



Государственный университет –
Высшая школа экономики

ДОРОЖНАЯ КАРТА

«Использование нанотехнологий в производстве светодиодов»

Москва, 2010

Технологическая дорожная карта "Использование нанотехнологий в производстве светодиодов"

**(карта разработана в соответствии с контрактом
ГК «Роснано-тех» с ГУ - ВШЭ №111 от 25.04.2008)**

В работе приняли участие специалисты:

- Метрологического центра ГК «Роснано-тех»
- Управления по инвестиционной деятельности С.С.Поликарпова ГК «Роснано-тех»
- Департамента анализа и прогнозирования развития нанотехнологий ГК «Роснано-тех»
- Форсайт-центра Института статистических исследований и экономики знаний Государственного университета – Высшей школы экономики
- Российские и зарубежные исследователи, разработчики и производители светодиодного оборудования

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
<i>1. Основные принципы разработки интегрированной дорожной карты, методология и организация исследования</i>	<i>6</i>
<i>2. Перспективы светодиодной индустрии и государственная политика</i>	<i>7</i>
<i>3. Структурообразующие элементы дорожной карты</i>	<i>11</i>
I. Анализ производства светодиодов и новых материалов.....	13
<i>I.1. Сравнительный анализ перспективных и альтернативных технологий.....</i>	<i>13</i>
I.1.1. Перспективные технологии	13
<i>I.1.1.1. Анализ технологических процессов</i>	13
<i>I.1.1.2. Оценка критичности</i>	25
I.1.2. Альтернативные технологии: преимущества и недостатки	26
<i>I.1.2.1. Обзор альтернативных технологий</i>	26
<i>I.1.2.2. Сравнительные характеристики источников света.....</i>	34
<i>I.1.2.3. Анализ экономической эффективности</i>	35
<i>I.2. Основные технологические группы светодиодов.....</i>	<i>42</i>
I.2.1. Неорганические светодиоды	42
<i>I.2.1.1. Основные типы</i>	42
<i>I.2.1.2. Векторы развития технологии LED.....</i>	47
<i>I.2.1.3. Перспективные потребительские свойства продукции на базе неорганических светодиодов ..</i>	52
I.2.2. Органические светодиоды	55
<i>I.2.2.1. Общие характеристики</i>	55
<i>I.2.2.2. Основные препятствия на пути успешного массового использования органических светодиодов</i>	56
<i>I.2.2.3. Векторы развития технологии</i>	60
<i>I.2.2.4. Перспективные потребительские свойства продукции на базе органических светодиодов.....</i>	63
<i>I.2.2.5. Выводы Круглого стола по состоянию технологии органических светодиодов в России.....</i>	69
I.2.3. Новые материалы в производстве светодиодов	71
<i>I.2.3.1. Основные виды: перспективы применения</i>	71
<i>I.2.3.2. Перспективы применения новых материалов для создания неорганических светодиодов</i>	81
II. Сравнительный анализ областей применения светодиодов	88
<i>II.1. Основные продуктовые сегменты светодиодной индустрии</i>	<i>88</i>
<i>II.2. Анализ технических характеристик светодиодов в разрезе основных продуктовых сегментов</i>	<i>90</i>

<i>II.3. SWOT-анализ сегментов светодиодной индустрии</i>	95
II.3.1. Мобильные устройства	95
II.3.2. Дисплеи больших размеров.....	96
II.3.4. Сигнальные приборы, информационные знаки	97
II.3.5. Транспортные средства	97
II.3.6. Освещение.	98
II.3.7. Наружная декоративная подсветка	98
<i>II.4. Альтернативные траектории развития производства светодиодов в России</i>	99
III. Исследование рынка светодиодов	104
<i>III.1. Анализ предложения светодиодов</i>	104
III.1.1. Принципы сегментации	104
III.1.2. Основные производители.....	108
III.1.3. Факторы предложения	109
<i>III.2. Анализ спроса на светодиоды</i>	110
III.2.1. Сегментация спроса	110
III.2.1.1. Выделение сегментов потребительского сектора: спрос и предложение	111
III.2.1.2. Иерархия сегментов	114
III.2.1.3. Требования потребителей	114
III.2.1.4. Факторы спроса	115
<i>III.3. Анализ рынка светодиодов</i>	116
III.3.1. Объем рынка	116
III.3.2. Прогнозы развития.....	118
III.3.2.1. Среднесрочные прогнозы мирового рынка	118
III.3.2.2. Сценарии долгосрочного развития мирового рынка	119
III.3.2.3. Сценарии развития российского рынка	120
III.3.3. Ожидаемая динамика цен на светодиоды.....	121
IV. Рыночные перспективы основных групп светодиодов	123
Заключение	129
ПРИЛОЖЕНИЯ	135
<i>Приложение 1 Эксперты карты</i>	136
<i>Приложение 2 Сборка светотехники в России с применением светодиодов</i>	143
<i>Приложение 3 Ведущие российские производители в отдельных областях применения светодиодов</i>	150
<i>Приложение 4 Российские разработки: сравнительный анализ характеристик продукции</i>	156

<i>Российские разработки: сравнительный анализ характеристик продукции.....</i>	<i>157</i>
<i>Приложение 5 Готовность технологии/оборудования и возможность для массового производства</i>	<i>159</i>
<i>Готовность технологии/оборудования и возможность для массового производства</i>	<i>160</i>
<i>Приложение 6 Российские проекты в области светодиодной индустрии</i>	<i>161</i>
<i>Приложение 7 Основные технологические развилки</i>	<i>179</i>
<i>Приложение 8 Востребованность технологических задач по совершенствованию светодиодов в различных сегментах применения светодиодов.....</i>	<i>200</i>

Введение

1. Основные принципы разработки интегрированной дорожной карты, методология и организация исследования

Настоящий документ представляет собой аналитический отчет, сформированный в ходе разработки Дорожной карты «Использование нанотехнологий при производстве светодиодов». Отчет отражает систематизированное представление о состоянии и перспективах предметной области – российской светодиодной индустрии, а также о многообразии стратегий ее развития, способствующих повышению конкурентоспособности отечественных исследований, разработок и производства в данной сфере. В рамках единой временной шкалы соотносятся основные технологии, определяющие прогресс в области, продукты, обладающие высоким потенциалом спроса и значимыми потребительскими свойствами, а также перспективные рынки. Дорожная карта построена на основе данных опроса экспертного сообщества, а также исследования международных и российских аналитических материалов. Важной особенностью карты является интеграция в едином аналитическом проекте позиций и мнений различных групп экспертов – представителей научного сообщества, производителей и потребителей, сертифицирующих и регулирующих организаций.

Предметной областью настоящей дорожной карты является продуктовая группа «светодиоды». Возможности содержательного анализа и прогнозирования технологического развития предметной области с использованием экспертных методов определяют временной горизонт исследования – 2009–2015 гг. с перспективой до 2020 г.

Первоначальный этап разработки дорожной карты включил в себя развернутый поиск и изучение аналитических источников, характеризующих состояние зарубежных и отечественных разработок в данной области, фактических и перспективных экономических показателей. На данном этапе также были заложены основные структурные элементы дорожной карты, а также параметры экспертной панели исследования. Базовыми методами формирования панели стали кономинация, библиометрический анализ предметной области, а также прямое рекрутирование экспертов из ведущих организаций.

В разработке дорожной карты приняли участие представители основных исследовательских центров и предприятий светодиодной индустрии. Общее число экспертов, принявших участие в проекте, составляет 113 человек. Состав экспертной группы проекта отражен в Приложении 1.

Опросы различных целевых групп экспертов проводились по специализированным сценариям, разработанным с учетом внутренних взаимосвязей элементов в дорожной карте.

Предварительные совокупные представления о различных смысловых уровнях предметной области обсуждались на специализированных экспертных дискуссиях с последующей коррекцией и уточнением общих положений и выделением наиболее существенной информации для других уровней дорожной карты.

Последующим этапом разработки карты стала интеграция массива собранных экспертных мнений в единое системное представление. Промежуточные результаты и завершающая валидация основных положений карты осуществлялась в рамках Круглых столов, организованных Государственной корпорацией «Роснано» в феврале 2009 и апреле 2010 гг. Важнейшей темой открытых экспертных дискуссий на Круглых столах стало определение направлений исследования и путей развития конкурентоспособной светодиодной промышленности в России.

2. Перспективы светодиодной индустрии и государственная политика

На сегодняшний день с технологиями твердотельных источников света связывается будущее целого ряда секторов экономики. С внедрением светодиодов связаны перспективы развития целого ряда направлений — от сигнальных световых приборов и оборудования для световой индикации и рекламы до специальных приложений в производстве мобильных устройств и дисплеев.

Основной привлекательной чертой светодиодной технологии является принципиально более высокий по сравнению с альтернативными технологическими решениями уровень светоотдачи, что способно привести к значительным экономическим и социальным эффектам. Важнейшим из них является радикальное сокращение затрат электроэнергии на освещение, составляющих по различным оценкам до 18–20% всех затрат произведенной электроэнергии. Требования экономической и энергетической безопасности делают развитие светодиодной индустрии одним из национальных приоритетов многих стран — Канады, США, стран Европейского Союза, Японии и Китая.

Значительное внимание уделено этому направлению и в ряде регулирующих документов Правительства РФ, в т. ч. в Федеральной целевой программе «Развитие электронной и компонентной базы и радиоэлектроники».

Светодиодные технологии, способные в перспективе заменить большинство современных источников освещения, концентрируют на себе внимание крупнейших корпораций светотехнической промышленности, включая General Electric, Philips, Osram.

Основные направления развития светодиодной промышленности подразумевают разработку материалов с принципиально новыми свойствами и манипулирование наноразмерными компонентами. Таким образом, поддержка и развитие светодиодной индустрии в России находится в сфере непосредственной компетенции ГК «РоснаноТех».

Регулирующие документы для светодиодной индустрии можно разделить на две основные группы: документы, относящиеся к энергетике и энергосбережению, и документы, регулирующие инновационную деятельность, в том числе развитие нанотехнологий.

Стратегическая программа государства в области энергетики и энергосбережения определена федеральными законами «Об электроэнергетике» от 26 марта 2003 г. №35-ФЗ, «Об энергосбережении» от 3 апреля 1996 г. №28-ФЗ, Энергетической стратегией Российской Федерации на период до 2020 г. (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 августа 2003 г. №1234-р), Федеральной целевой программой «Энергоэффективная экономика на 2002–2005 гг. и на перспективу до 2010 года» (постановление Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2001 г. №796) и Правилами оптового рынка электрической энергии (мощности) переходного периода (утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 24 октября 2003 г. №643).

Помимо этого развитие светодиодной индустрии предусмотрено также Федеральной целевой программой «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008–2015 гг., утвержденной постановлением Правительства РФ от 26 ноября 2007 г. №809.

Одним из приоритетных направлений, указанным в перечисленных документах, является разработка энергосберегающих технологий, включающих создание новых типов устройств, в том числе на базе нанотехнологий.

Материалы и технологии для наноэлектроники и нанофотоники являются, в соответствии с Программой развития nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 г., одним из приоритетных направлений НИОКР в сфере нанотехнологий в России.

Связь развития светодиодной индустрии с системой целей Правительства РФ иллюстрирует табл. 1.

Светодиодная индустрия в системе целей Правительства Российской Федерации

Цели Правительства РФ	Комментарий
1. Повышение уровня и качества жизни населения	
1.1. Повышение материального уровня жизни населения	
1.1.4. Повышение обеспеченности населения благоустроенным жильем и качественными коммунальными услугами	Светодиодные технологии позволят создать качественное, энергоэффективное, вандалоустойчивое, электро- и пожаробезопасное освещение в жилых, общественных и производственных помещениях, на дорогах и территориях
1.1.5. Повышение доступности населению качественных и безопасных потребительских товаров и услуг	
1.1.6. Повышение обеспеченности населения услугами социальной и инженерной инфраструктуры	
1. Повышение уровня и качества жизни населения	
1.2. Повышение уровня здоровья и безопасности условий жизни населения	
1.2.3. Предупреждение заболеваний и других угрожающих жизни и здоровью состояний (снижение ущерба жизни и здоровью населения от злоупотреблений и пренебрежения жизнью и здоровьем)	Улучшение качества освещения в жилых, общественных, производственных помещениях, на улицах при уменьшении издержек на него способствует снижению травматизма, аварийности и вредного воздействия на органы зрения
1.2.4. Повышение уровня экологической безопасности и улучшение состояния окружающей среды.	Использование светодиодов в освещении позволит сократить затраты на утилизацию устаревших источников света, содержащих вредные компоненты
1.2.6. Повышение технологической безопасности населения	Низковольтные системы освещения снижают риск поражения электрическим током при авариях, затоплениях, повреждениях изоляции. Светодиодные технологии конструктивно обеспечивают пожаро- и взрывобезопасность
2. Повышение уровня национальной безопасности	
2.5. Снижение рисков и возможного ущерба от природных и техногенных катастроф	
2.5.2. Предотвращение возможной гибели людей от опасных природных и техногенных катастроф	Светодиодное аварийное и эвакуационное освещение возможно размещать в недоступных ранее местах, а малое потребление электроэнергии светодиодами делает эффективным автономное питание аварийного освещения
3. Обеспечение высоких темпов экономического роста	
3.5. Повышение конкурентоспособности российской экономики	
3.5.3. Повышение инвестиционной привлекательности российской экономики	Государственное участие в развитии рынка сбыта светодиодов приведет к притоку частных инвестиций в высокотехнологичные, наукоемкие производства светодиодной светотехники

Цели Правительства РФ	Комментарий
3.6. Повышение конкурентоспособности российских предприятий	
3.6.1. Создание условия для экспорта высокотехнологичных товаров и услуг и импортозамещения (внешняя и внутренняя конкурентоспособность)	Большинство современных светодиодов производится вне России. Учитывая общемировую тенденцию к замещению традиционных источников света на светодиодные, развитие производства в России обеспечивает как импортозамещение, так и создание экспортного потенциала
3.6.3. Повышение восприимчивости компаний к инновациям	Светотехническая отрасль, являющаяся целевым потребителем сверхъярких светодиодов, весьма консервативна к инновациям. Расширение предложения светодиодов и государственная поддержка будут способствовать ускоренному переходу на энергосберегающее светодиодное освещение
3.6.7. Развитие трудовых ресурсов и повышения их качества	Светодиодная индустрия является наукоемкой и высокотехнологичной. Соответственно требуются хорошо подготовленные специальные кадры рабочих и инженерных специальностей
4. Формирование условий для социально-экономического роста на долгосрочную перспективу	
4.1. Развитие научного потенциала	
4.1.1. Развитие фундаментальных исследований	Только при наличии финансовой поддержки фундаментальных исследований физики полупроводников можно рассчитывать на эффективность вложений в производство
4.1.2. Развитие потенциала НИОКР	Разработки новых светодиодных изделий являются необходимым условием успехов в конкурентной борьбе
4.2. Развитие потенциала инфраструктуры	
4.2.2. Развитие потенциала энергетической инфраструктуры	

Благодаря тесной интеграции светодиодной индустрии в сферу стратегических целей, установленных Правительством РФ, компании, осуществляющие деятельность в данной области, располагают доступом к широкому спектру механизмов государственной поддержки коммерциализации продукции, связанной с нанотехнологиями. К числу таких механизмов относятся:

- инвестиционная поддержка Государственной корпорации «Российская корпорация нанотехнологий»;
- программа поддержки создания новых высокотехнологичных компаний наноиндустрии (Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере);

- венчурное финансирование компаний наноиндустрии (Российская венчурная компания, другие участники венчурного финансирования компаний наноиндустрии);
- особые экономические зоны технико-внедренческого типа;
- программа создания и развития технопарков;
- поддержка экспорта компаний наноиндустрии (Государственная корпорация «Банк развития и внешнеэкономической деятельности»).

3. Структурообразующие элементы дорожной карты

При построении дорожной карты использован принцип группировки продуктов по технологиям, положенным в основу их создания. В одну группу включаются все продукты, созданные на основе единой технологии, независимо от разнообразия их возможных приложений. Например, белые светодиоды, в силу своих характеристик, могут применяться как для освещения жилых и производственных помещений, так и в качестве элементов приборных панелей и индикаторов в бытовой технике. Тем не менее, с точки зрения базовой технологии их создания такие светодиоды образуют одну группу.

Методика формирования дорожных карт подразумевает построение иерархии элементов дорожной карты — выделение логических уровней, каждый из которых содержит однотипные элементы. В дорожной карте выделены следующие типы (уровни) элементов:

- **Области применения** — части предметной области, выделенные по принципу единого функционального назначения входящих в нее продуктов.
- **Сегменты однородной продукции** — части областей применения, в пределах которых спрос определяется однотипным набором факторов. Сегмент однородной продукции представляет собой совокупность продуктов по принципу их однородности с точки зрения потребителей.
- **Продукты** — перспективные светодиоды, обладающие принципиально новыми свойствами либо значительно улучшенными рабочими характеристиками.
- **Компоненты** — промежуточные продукты, используемые в производстве светодиодов. Примерами компонентов являются материалы для подложек неорганических светодиодов, люминофоры, особо чистые газы, особо чистые металлы и др.
- **Технологии** — перспективные технологии, используемые в производстве светодиодов — MOCVD (газофазное химическое осаждение металлоорганических соединений); MBE (молекулярная лучевая эпитаксия) и др.

Дорожная карта выявляет взаимосвязи между указанными элементами в иерархической последовательности. Взаимосвязь между ключевыми элементами показана с помощью визуального представления дорожной карты.

I. Анализ производства светодиодов и новых материалов

I.1. Сравнительный анализ перспективных и альтернативных технологий

I.1.1. Перспективные технологии

В настоящем разделе рассмотрены технологические процессы, связанные с ключевым этапом технологической цепочки разработки светодиода — производством чипов. В разделе описывается фактическое состояние технологических процессов применительно к приложениям светодиодной индустрии и нанофотоники, приводится прогноз на среднесрочную перспективу (2012 г.) и перспективы выхода на уровень массового производства¹.

Следует отметить, что значительная часть описываемых здесь технологических процессов в общем случае не является специфичной для светодиодной индустрии и может быть использована не только для приложений нанофотоники. Развитие данных технологий во многом определяет общий технологический уровень отраслей, связанный с производством полупроводниковых структур.

I.1.1.1. Анализ технологических процессов

Технологии производства чипов принято разделять на две основные группы — восходящие и нисходящие.

I.1.1.1.1. Восходящие технологии

Восходящие технологии — это технологии, в которых формирование наноструктуры производится с активным внесением материала. В самом простом случае они формируют тонкую пленку, которая требует применения последующих нисходящих технологий создания наноструктур. Более сложные технологии включают способы непосредственного формирования комплексных наноструктур.

Применительно к приложениям изготовления светодиодов, следует выделить следующие технологии:

- МOCVD (газофазное химическое осаждение металлоорганических соединений).
- MBE (молекулярная лучевая эпитаксия).
- Другие процессы химического осаждения (CVD):
- Изготовление углеродных и SiO_x нанотрубок методом CVD.
- Изготовление SiO_x нанонитей.

¹ Оценки даны на базе материалов дорожной карты европейской комиссии Merging Photonics and Nanooptics-2008, уточнены в ходе опроса экспертов из ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН.

- HVPE (газофазная эпитаксия гидридов).
- Прочие процессы:
- Прямое осаждение наночастиц.
- Коллоидный химический синтез.
- Лазерная обработка (удаление).
- Изготовление нанолуминофоров.
- Sol-Gel синтез. Химический процесс осаждения из растворов. Обычно используется для производства оксидов металлов и начинается либо с химических растворов, либо с коллоидных частиц, чтобы создать интегрированную среду — гель.
- Пиролиз.
- Формирование наночастиц TiO₂.
- Гальванотехника.
- Газофазное осаждение ZnO.
- Тонкопленочное покрытие методом вращения.
- Струйная печать.
- OVPD (газофазное осаждение органических соединений).
- PECVD (плазменное газофазное химическое осаждение).
- Импульсная лазерная обработка (удаление).

МОСVD — газофазное химическое осаждение металлоорганических соединений

Газофазное химическое осаждение металлоорганических соединений (МОСVD) в течение долгого времени известно как технология массового производства составов III–V. Эта технология используется при производстве ярких светодиодов, лазеров, датчиков и многих других устройств. Существуют оборудование и технология как для научно-исследовательских, так и для промышленных целей. МОСVD реакторы с высокой пропускной способностью могут одновременно выращивать до 49x2'' подложек при диапазоне размеров подложек от 2'' до 6'' (в случае подложек из кремния — даже до 300 мм). Помимо составов III–V, возможно также использование II–VI сплавов, как оксидов, так и чистых металлов.

В мире имеются три производителя — Aixtron (ФРГ), Veeco (США) и региональный производитель Nirron (Япония). Это серийное оборудование ориентировано на удовлетворение спроса КНР, Тайваня, выпускающих дешевые синие светодиоды. В таком оборудовании используются большие реакторы, позволяющие растить чипы одновременно на большом количестве подложек. В связи с этим, ограничены диапазоны возможных техно-

логических параметров, и, как следствие, нет возможности их оптимизировать. Поэтому ведущие производящие и разрабатывающие фирмы (Cree, Osram, Lumileds, Nichia) в кооперации с изготовителями оборудования серьезно его модифицируют (заказывают эксклюзивно для себя), либо работают на установках, собранных самостоятельно из комплектующих по своему проекту. Nichia использует свои установки с реакторами на одну подложку. Такие установки на свободном рынке оборудования не предлагаются. Однако коллективам, практически занимающимся такими работами, известно много соответствующих технических решений.

В связи с этим важно в РФ проводить разработку и изготовление MOCVD-установок, специально предназначенных для формирования полупроводниковых гетероструктур конкретного назначения. Например, оптимальные реакторы установок для «синих» и для «зеленых» структур должны иметь различную конструкцию.

Приложения для светотехники и нанофотоники

Для изготовления устройств светотехники и нанофотоники существует много различных вариантов использования MOCVD. Самый простой подход состоит в том, чтобы осаждать очень тонкие слои, которые подвергаются последующему наноструктурированию. Помимо этого используются чисто нанотехнологические подходы. Большая работа была выполнена по разработке технологии выращивания самоорганизующихся наноструктур (например, на основе явления Странски-Крастанова), где правильно подобранные параметры процесса выращивания приводят непосредственно к формированию трехмерной наноструктуры.

Другим способом выращивания наноструктур является процесс роста под воздействием катализатора, в котором очень маленькие капельки металлов катализируют реакцию формирования наностержней и нанопроволок. Наконец, существует большое число процессов на базе MOCVD, при которых производится выращивание на предструктурных подложках.

MOCVD — это технология осаждения, которая широко используется для создания устройств нанофотоники. Нанотехнологические процессы могут быть реализованы без модификации оборудования или только с его незначительной модификацией, однако в ряде случаев есть необходимость в усовершенствовании MOCVD технологии для изготовления устройств нанофотоники. Для самоорганизующегося роста требуется более качественное управление осаждением в отношении размеров, плотности и распределения квантовых структур. Почти для всех технологических процессов требуется улучшение температурного контроля, так как многие из нанотехнологических процессов более чувствительны к температурным эффектам, чем стандартные процессы. Это потребует исполь-

зования сложной метрологии на месте, дающей информацию об условиях роста во время технологического процесса.

Уровень разработки (готовности) MOCVD технологии для создания устройств нанофотоники, в том числе и светодиодов, сегодня достаточно высок. Для разработки многих устройств нанофотоники (например, самоорганизующейся сборки квантовых точек) эта технология удовлетворяет условиям массового производства. Другие наноматериалы, такие как наностержни на базе ZnO или GaN, требуют дальнейшей проработки.

Таблица 2

Технология MOCVD для светотехнических приложений материалов нанофотоники

Наноматериал/ применение	Характеристики	Текущее состояние	Состояние на 2012 г.	Массовое производство
Материалы III–V с квантовыми точками/нанопроволоками для светотехники	Текущее состояние: MOCVD — известная технология для массового производства светодиодов высокой яркости на базе GaN и AlGaInP. На сегодня самые высокие пропускные способности, которые достигнуты: (42 wafer/прогон) и однородность (1%, 1 нм). Однако не разработано никаких определенных концепций применения технологии в области нанофотоники. Цель: Технологические процессы MOCVD для систем освещения (СД) с применением квантовых точек потребуют сочетания высокой пропускной способности, низкой цены производства и точного контроля малых размеров. Процессы могут быть оптимизированы отдельно для буферов с дислокациями низкой плотности и активных структур на базе квантовых точек/квантовых нитей. Должны быть разработаны подходящие средства измерения и контроля в процессе изготовления. Новые концепции СД на базе нанонитей или наностержней GaN могут потребовать разработки полностью новых технологических процессов MOCVD. Ключевым вопросом будет точный контроль таких структур.	Фундаментальные исследования	Первое применение	2012 г.
Материалы II–VI с квантовыми точками/нанонитями для светотехники (ZnO)	Текущее состояние: Существует экспериментальное оборудование по технологии MOCVD и технологические процессы для объемных и наноструктурированных материалов с ZnO. До сих пор главной проблемой все еще является легирование Р-типа.	Фундаментальные исследования	Первое применение	2015 г.

Требования к характеристикам технологии MOCVD

Характеристики оборудования	Существующие характеристики	Желательные (целевые) характеристики
Точность температурного контроля	2-3°C	1°C с обратной связью
Размер подложки	42/49×2'', max/ 7×6''	300 мм
Распределение и однородность квантовых точек (длина волны излучения)	Несколько нанометров	1 нм
Легирование ZnO p-типа	н/д	1e17
Воспроизводимость от прохода к проходу	2%	1%

Метод молекулярно-лучевой эпитаксии (МВЕ)

МВЕ является второй после MOCVD по значимости и применению технологией массового производства составов III–V. Однако из-за ее технологических ограничений только несколько видов продукции могут быть произведены коммерчески. Эта продукция — высокочастотные транзисторы на базе AlGaAs (HEMTs, HBTs) и некоторые типы лазеров. Коммерческое МВЕ оборудование дает возможность множественного изготовления 6'' подложек. Для фосфоросодержащих составов или составов на базе нитридов технология МВЕ не играет никакой роли в массовом производстве.

Главное применение технология МВЕ находит в научных исследованиях и опытно-производстве. Она позволяет быстро реализовать новые концепции устройств и опробовать много новых материалов или структур, которые, прежде чем их перевести на технологический процесс MOCVD, сначала будут выращены по технологии МВЕ. Для целей научных исследований почти все материалы могут быть выращены по технологии МВЕ.

Приложения для светотехники и нанофотоники

Подобно технологии MOCVD, МВЕ использует множество различных методов выращивания наноструктур. Здесь применяются как методы самоорганизующегося выращивания, так и выращивание на предструктурных подложках. Как и MOCVD, технология МВЕ хорошо зарекомендовала себя при выращивании контролируемых тонких слоев.

В области исследований технология МВЕ используется для разработок различных устройств светотехники и нанофотоники. Она также играет заметную роль в мелкосерийном коммерческом производстве лазеров на базе квантовых точек. Технология применяется достаточно широко. При изготовлении продукции нанофотоники и светотехники в процессе производства ключевым вопросом является метрология. В качестве такого инструмента МВЕ использует RHEED (Reflection High Energy Electron Diffraction). В перспективе требуются дополнительные методы для более точного управления размером и рас-

пределением квантовых структур. Таким образом, измерение или контроль температуры в процессе производства (на месте) могли бы помочь улучшить воспроизводимость.

Применение МВЕ в массовом производстве носит ограниченный характер, поскольку определенные материалы не могут быть выращены в большем количестве и пропускная способность ограничена требованиями по обслуживанию.

Степень готовности технологии МВЕ для производства продукции светотехники и нанофотоники сегодня находится на среднем уровне. Для производства такой продукции, как лазеры на базе квантовых точек, она уже начинает использоваться. Из-за ее относительно высокой стоимости трудно прогнозировать, когда она будет применяться для массового производства.

Таблица 4

Технология МВЕ для производства материалов светотехники

Наноматериал/ применение	Характеристики	Текущее состояние	Состояние на 2012 г.	Массовое производство
Материалы III–V с квантовыми точками/нанопроволоками для светотехники	Текущее состояние: МВЕ пока используется в научных целях для исследования основных физических свойства GaN. В массовом (промышленном) производстве МВЕ не используется. Цель: Доработка технологических процессов МВЕ для СД структур на базе квантовых точек с целью получения более высокой пропускной способности и улучшения контроля.	Фундаментальные исследования	Первое применение	н/д

Таблица 5

Требования к характеристикам технологии МВЕ

Характеристики оборудования	Существующие характеристики	Желательные (целевые) характеристики
Точность температурного контроля	До 5°C	2°C с обратной связью
Распределение и однородность квантовых точек (длина волны излучения)	Несколько нанометров	1 нм
Воспроизводимость от прохода к проходу	2%	1%

Другие технологии химического осаждения паров (CVD)

Есть множество процессов CVD, помимо MOCVD, которые могут быть использованы или уже используются в микроэлектронике, фотонике и светотехнике. Широкое поле для CVD технологий основано на том факте, что газофазные процессы обычно хорошо управляются и, таким образом, больше всего подходят для производства структур квантовых размеров. Данная технология включает известные технологические процессы, такие как CVD и PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition), которые могут быть

модифицированы для производства устройств светотехники и нанофотоники, а также для производства новых материалов, таких как углеродные нанотрубки.

Приложения для светотехники и нанофотоники

Общий высокий уровень готовности кремниевой CVD технологии для производства устройств светотехники обусловлен ее текущим широким использованием в полупроводниковой промышленности. Чтобы применять ее для создания большего количества различных устройств светотехники и нанофотоники, таких как выращивание кремниевых нанонитей, должно быть разработано специализированное оборудование. Таким образом, этот технологический процесс в настоящее время должен быть модернизирован. Производство углеродных нанотрубок на базе CVD технологии существует лишь на лабораторном уровне, и в настоящее время не существует оборудования для промышленного производства. HVPE (Hybrid Vapor Phase Epitaxy) существует как небольшая промышленная технология, поэтому необходима ее дальнейшая доработка для применения в массовом производстве устройств светотехники и нанофотоники.

Таблица 6

Другие CVD технологии для производства материалов светотехники и нанофотоники

Наноматериал/ применение	Характеристики	Текущее состояние	Состояние на 2012 г.	Массовое производство
HVPE технология материалов III-V с квантовыми точками для светотехники	Текущее состояние: Основное оборудование предназначено для изготовления единичных подложек для целей научно-технических разработок (1x2"). Не существует коммерческого оборудования для серийного производства подложек. Была продемонстрирована возможность выращивания нанонитей. Цель: Улучшение контроля над производственным процессом (чтобы воспроизводимость стала лучше чем 5%, температурная стабильность 3°C). Исследование воспроизводимости процессов и увеличение производительности (цель для производительности: 6x2"). Снятие ограничений по применению материалов (содержащих Al). Применение методов измерения в процессе производства (на месте).	Фундаментальные исследования	Массовое производство	2012 г.

Таблица 7

Требования к характеристикам технологии CNT CVD

Характеристики оборудования	Существующие характеристики	Желательные (целевые) характеристики
Температура осаждения	Более 600°C	Менее 600°C
Плотность углеродных нанотрубок		1e9 cm ⁻²
Площадь осаждения	Несколько дюймов	> 40 дюймов

Требования к характеристикам технологии HVPE

Характеристики оборудования	Существующие характеристики	Желательные (целевые) характеристики
Емкость реактора	1x2''	> 5x2''
Воспроизводимость	> 5%	< 5%
Температурная стабильность	При не прямых измерениях, 5°С?	< 3°С, при обратной связи

Прочие процессы

В данном разделе описаны технологические процессы, в которых происходит осаждение материала, но они не являются процессами MBE или CVD.

Приложения для светотехники и нанопластики

Многие технологии, относящиеся к данному классу, были хорошо отработаны в традиционных процессах с уровнем миниатюризации крупнее нанометра. Одна из основных целей развития данных технологий — модификация процессов для обеспечения точности на нанометровом уровне. Кроме традиционных существует ряд принципиально новых технологий, отвечающих специфическим требованиям нанопластики и светотехники. Существует ряд неопределенностей, не позволяющих однозначно утверждать, подойдут ли конкретные технологические решения для производства устройств светотехники и нанопластики. Описание степени готовности каждой из них приведено в табл. 9.

Разные технологии осаждения для различных материалов

Оборудование/технология/применение	Характеристики	Текущее состояние	Состояние на 2012 г.	Массовое производство
Изготовление нанолуминофоров для светодиодного освещения	Текущее состояние: Основные технологические процессы: напыляемое осаждение или осаждение из жидкого раствора люминесцентных; внедрение люминесцентных частиц в неорганическую матрицу. Цель: Разработка специализированного оборудования и технологических процессов.	Фундаментальные исследования	Массовое производство	2010 г.

Оборудование/технология/ применение	Характеристики	Текущее состояние	Состояние на 2012 г.	Массовое производство
Коллоидная химия для наночастиц групп II–VI (освещение)	Текущее состояние: Технология широко используется для изготовления квазисферических и подобных стержню частиц. Частицы появляются в результате реакций осаждения. Дисперсия размеров составляет порядка нескольких процентов. Цель: Устранение опасных материалов. Альтернативные решения, например с водными растворителями. Изготовление больших количеств.	Фундаментальные исследования	Массовое производство	2010 г.
Гальванотехника ZnO для светодиодного освещения	Текущее состояние: Процесс R&D существует; принцип — гальваностатическое катодное осаждение на подложку из Au/Si. Пластина из цинка действует как анод, а электролит — это водный раствор нитрата цинка. Температура осаждения составляет 355°K. Цель: Управление процессом легирования и достижение желательной ориентации проволоки.	Фундаментальные исследования	Прикладные исследования	>2015 г.
Парофазное осаждение ZnO (Испарение цинка в атмосфере O ₂)	Текущее состояние: Процесс существует. Цель: Легирование (p-тип).	Фундаментальные исследования	Прикладные исследования	>2015 г.
Органическое парофазное осаждение маленьких молекул на основе органических полупроводников для фотовольтаики и освещения	Текущее состояние: Суть процесса изучена, процесс управляем при мелком масштабе. Он может лучше управляться, чем испарение (увеличение масштаба может быть более простым, лучшая точность для тонких слоев). Цель: Увеличение объемов производства и производство очень тонких слоев.	Прикладные исследования	Первое применение	2015 г.

1.1.1.1.2. Нисходящие технологии

Нисходящие технологии создают наноструктуры без активного осаждения материала. Это обычно означает, что тонкая пленка, которая была создана осаждением, затем структурируется.

Аналогично восходящим, целью развития большей части нисходящих технологий является обеспечение контроля за результатами процессов на наноуровне.

Литография

В данном разделе рассматриваются следующие технологии литографии.

- Оптическая литография.

- Литография глубокого УФ.
- Литография экстра глубокого УФ.
- Рентгеновская литография.
- Электронно-лучевая литография.
- Литография на основе нанопечати.
- Ионно-лучевая литография.

Обсуждается также технология травления.

Фотолитография, в том числе литография глубокого и экстра глубокого УФ

Фотолитография — одна из наиболее разработанных технологий, она является стандартной в любом процессе производства полупроводников.

Определенные области светотехники и нанофотоники потребуют намного более мелких структур, чем обычно используемые в стандартных технологиях производства CMOS. Возникнет необходимость применения экстра глубокого УФ и использования специальных источников излучения и оптики. Основные проблемы — увеличение точности, расширение объемов до уровня массового производства и снижение стоимости производства.

Уровень развития фотолитографии полностью определяется текущим состоянием полупроводниковой промышленности. По сравнению с этим уровнем объемы производства устройств нанофотоники и светотехники все еще несравнимо малы и не могут стимулировать разработку оборудования.

Таблица 10

Фотолитография/УФ технологии для различных материалов нанофотоники и светотехники

Нanomатериал/ применение	Характеристики	Текущее состояние	Состояние на 2012 г.	Массовое производство
Плазмонные/ металлические нанострук- туры для освещения	Состояние на сегодня: Широко известная техно- логия. Цель: Увеличение надежности, увеличение объемов до массового производства.	Прикладные исследования	Массовое производство	2011 г.

Таблица 11

Требования к характеристикам фотолитографии

Характеристики оборудования	Существующие характеристики	Желательные (целевые) характеристики
Размер структуры	65 нм	Менее 45 нм
Длина волны излучения	193 нм	13,5 нм (Экстра УФ)

Рентгеновская литография

Рентгеновская литография дает возможность достичь наименьших размеров структур. Однако здесь существуют серьезные ограничения по производительности и стоимости. Поэтому весьма сомнительно, что эта технология будет когда-либо в обозримом будущем применяться в массовом производстве. Кроме того, данный вид технологии может быть использован лишь для создания наноструктур для оптических регуляторов.

Электронно-лучевая литография

Данный вид литографии в ее различных модификациях является широко известной и применяемой в промышленности технологией. Помимо применения для изготовления масок, он может быть использован для непосредственного создания самых мелких структур. Использование инструментальных средств для изготовления наноструктур ограничено пока исследовательскими целями, в то время как практическое использование сдерживается ограниченными возможностями применения для структур большего размера, подложек большей площади, повышения пропускной способности, в необходимости радикального снижения стоимости оборудования.

Данная технология достаточно хорошо разработана, однако необходима ее серьезная доработка для того, чтобы она была внедрена как технология массового производства.

Таблица 12

Технология электронно-лучевой литографии для различных материалов нанофотоники и светотехники

Наноматериал/применение	Характеристики	Текущее состояние	Состояние на 2012 г.	Массовое производство
Фотонные кристаллы III–V для освещения	Текущее состояние: Существует оборудование, удовлетворяющее требованиям с точки зрения решения, однако с очень низкой пропускной способностью. Цель: Повышение скорости записи фотонной картины: чтобы гарантировать большие объемы производства, требуется удешевление технологии и обязательно повышение пропускной способности.	Прикладные исследования	Массовое производство	2010 г.

Литография на основе нанопечати

Нанопечать — новая технология, которая потенциально позволяет сочетать высокое разрешение (нанометровые размеры структур) с низкими производственными затратами. Технология нанопечати может стать единственным высокоэффективным методом с точки зрения стоимости для производства наноструктур, однако окончательное доказательство ее потенциальных возможностей пока не получено.

Уровень готовности этой технологии в настоящее время низок, и она не используется в массовом производстве. Интересен тот факт, что в Европейской дорожной карте по фотонике и нанотехнологиям (A European roadmap for photonics and nanotechnologies, MONA) эта технология была оценена как самая перспективная для изготовления фотонных кристаллов и других наноструктур, поскольку у нее есть возможности для снижения стоимости и увеличения пропускной способности, что не свойственно рентгеновской и электронно-лучевой литографии.

Таблица 13

Технология нанопечати для различных материалов нанофотоники и светотехники

Наноматериал/применение	Характеристики	Текущее состояние	Состояние на 2012 г.	Массовое производство
Фотонные кристаллы III-V для освещения	Текущее состояние: Продемонстрирована концепция, но нет оборудования и технологии производства. Цель: Пропускная способность должна удовлетворять требованиям массового производства СД. Воспроизводимость и точность должны быть такими же, как в электронно-лучевой литографии.	Прикладные исследования	Массовое производство	2010 г.

Таблица 14

Требования к характеристикам литографии нанопечати

Характеристики оборудования	Существующие характеристики	Желательные (целевые) характеристики
Размер структуры	50 нм	20 нм
Пропускная способность	25 подложек/час при 4''	> 25 подложек/час
Максимальный размер подложки	300 мм	450 мм

Ионно-лучевая литография может быть применена только для левосторонних материалов (метаматериалов), которые, в свою очередь, в ближайшем будущем для устройств освещения применяться не будут.

Травление

В настоящее время существуют различные отработанные технологические процессы травления. Все соответствующие материалы могут быть обработаны с помощью этих процессов. Почти все фотонные устройства используют такие процессы травления. Наиболее перспективными из процессов сухого травления являются: реактивное ионное травление (RIE), ионно-лучевое или реактивное ионно-лучевое травление и ионно-лучевое травление с химической поддержкой, поскольку эти технологии весьма хорошо разработаны.

Так как весь процесс сухого травления основан на реакциях между единичными атомами или молекулами и материалом, подверженным травлению, то не существует принципиального различия между стандартными процессами травления и такими же процессами для наноструктур. Однако влияние шероховатости поверхности становится более существенным, поскольку размер наноструктур является очень маленьким по сравнению с поверхностной шероховатостью.

Поскольку сухое травление — хорошо освоенная технология, усовершенствования потребуются в большей степени для технологического процесса, чем для аппаратуры.

Таблица 15

Технология травления для различных материалов нанофотоники и светотехники

Наноматериал/ применение	Характеристики	Текущее состояние	Состояние на 2012 г.	Массовое производство
Фотонные кристаллы III–V для освещения	Текущее состояние: Сухое травление является наиболее общим методом для получения структур фотонных кристаллов. Цель: Разработка новых технологических процессов для повышения скорости травления.	Прикладные исследования	Массовое производство	2010 г.

Таблица 16

Требования к характеристикам процесса травления

Характеристики оборудования	Существующие характеристики	Желательные (целевые) характеристики
Глубина шероховатости	>2 нм в зависимости от материала	2 нм
Формат изображения	10–20	> 20

1.1.1.2. Оценка критичности

По мнению экспертов, с точки зрения перспективности применения *восходящих* технологий самые высокие приоритеты нужно дать следующим технологиям (в порядке значимости):

1. OVPD.
2. Осаждение CNT.
3. Технология синтеза из раствора/геля.
4. Коллоидный синтез.
5. MOCVD.
6. Изготовление наноломинофоров.

Для *нисходящих* технологий:

7. УФ литография.
8. Технология травления.
9. Нанопечать Nanoimprint Lithography (NIL).

Основные результаты развития технологий — удешевление массового производства, лучший контроль параметров (и обеспечение лучшего качества) выходной продукции.

I.1.2. Альтернативные технологии: преимущества и недостатки

I.1.2.1. Обзор альтернативных технологий

Приложения освещения и источники света

1. Лампа накаливания

Традиционная технология получения света использует нагрев нити накала для преобразования электрической энергии в излучение. При этом, на видимую часть спектра приходится лишь незначительная доля излучения, большая часть приходится на инфракрасный диапазон, что определяет крайне низкий КПД лампы. Типичная температура нити накала достигает 2300-3000 С, что, с одной стороны, соответствует приемлемой цветовой температуре (получению белого света надлежащего качества), а с другой – обеспечивает адекватный срок службы лампы. Для средней температуры порядка 2700 С время жизни лампы может составить до 1000 часов. Основной ограничивающий параметр времени жизни лампы накаливания – неоднородные испарения материала нити, что приводит к ее неравномерному истончению и последующему разрыву. Важными позитивными особенностями технологии является непрерывный (и близкий к солнечному) спектр излучения, отсутствие какого-либо вредного для глаз мерцания, высокая скорость переключения (возможность быстро включаться и выключаться без ущерба для времени жизни лампы), позволяющая применять данную технологию в дисплейных и декоративных приложениях. Лампы накаливания после нанесения термостойкой краски также пригодны для получения цветного света. Простота осветительной арматуры, низкая стоимость устройства и легкость утилизации обеспечила широчайшее распространение ламп накаливания, что в сочетании с низким КПД создает проблему неэффективного использования электроэнергии в больших масштабах.

На протяжении цикла развития технологии ламп накаливания предпринималось немало усилий по улучшению основных рабочих характеристик – энергоэффективности и времени жизни. Важным технологическим совершенствованием традиционной технологии стали **галогенные** лампы. В таких лампах повышение срока службы и КПД достигается за

счет совместного использования в качестве наполнителей колбы инертных газов и паров галогенов. Время жизни таких ламп увеличивается до 2000-3000 часов, а температура нити – до 3000 С. Эффективность галогенных ламп достигает 25-28 лм/Вт.

Другое направление развития технологии связано с ограничением инфра-красного излучения и использованием его для дополнительного нагрева спирали. Такие лампы получили название **IRC-галогенных ламп** (IRC – Infrared coating). В информационных материалах фирмы OSRAM указывается о снижении потребления электроэнергии на 45%.

В целом, в ближайшие 15 лет эксперты не ожидают существенного развития данной технологии. В среднесрочной перспективе появление инженерных решений, способных на 40-50% повысить энергоэффективность данных ламп и на 100% – время жизни, но дальнейшее совершенствование технологии не прогнозируется.

Лампы накаливания		
<i>Традиционные лампы накаливания, галогеновые лампы, галогеновые лампы с инфракрасным напылением и др.</i>		
<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>	<i>Перспективы</i>
Непрерывный спектр излучения; невысокая стоимость; небольшие размеры; простота осветительной арматуры; отсутствие токсичных компонентов; возможность работы как на постоянном токе (любой полярности), так и на переменном; возможность возможности вариации входного напряжения	Низкая световая отдача; малый срок службы; выраженная зависимость световой отдачи и срока службы от напряжения; ограниченность цветового диапазона 2300-2900 К (желтый оттенок)	Наблюдается появление инженерных решений, способных на 40% повысить энергоэффективность и на 100% – время жизни ламп накаливания (IRC-галогеновые лампы). Однако, технология близка к пределу, более значительного совершенствования не ожидается

2. Газоразрядные лампы низкого давления (Люминесцентная лампа, компактная люминесцентная лампа, плазменные лампы и другие лампы низкого давления)

В классе газоразрядных ламп низкого давления прежде всего следует упомянуть люминесцентные лампы, а также более технологически совершенные компактные люминесцентные лампы. Люминесцентные лампы используют преобразованное люминофором в видимый свет свечение паров ртути под действием газовых разрядов. По сравнению с лампами накаливания, люминесцентные лампы характеризуются сниженным энергопотреблением, существенно увеличенным сроком службы, но, вместе с тем – неудовлетворительным качеством белого света, лишь частично пригодным и комфортным для глаза человека. Помимо спектрального состава, проблемы вызывает также сложность осветительной конструкции, мерцание, повышающее утомляемость глаз, а также крупные габариты. В период с 30-х годов, отмечающих начало широкого применения, данная технология находилась в состоянии непрерывного совершенствования.

В 1990х годах получило распространение новое технологическое поколение – компактные люминесцентные лампы. Данные лампы устраняют целый ряд базовых недостатков прошлого поколения технологии, предлагая в компактном, совместимом с традиционными патронами корпусе относительно энергоэффективные и долгоживущие источники света. Однако, целый ряд проблем делает люминесцентные лампы лишь временным технологическим решением для освещения. Важнейшей проблемой является содержание в лампах паров ртути и других токсичных веществ, что в краткосрочной перспективе создает значительные проблемы по утилизации отработанных ламп, а в долгосрочной заставляет продолжать поиск более эффективных источников света. Эксперты отмечают, что технологическое совершенствование характеристик люминесцентных ламп не превысит 10-15% в течение ближайших 20 лет, что вкупе с неустранимыми недостатками в долгосрочной перспективе заставляет обращаться к альтернативным подходам к получению света. Данные выводы согласуются с результатами исследований, проводившихся Министерством энергетики США «Contact Fluorescent Lighting in America: Lessons Learned on the Way to Market» (2006).

Помимо люминесцентных, к данной группе технологий принадлежат плазменные лампы (обычные и высокоэффективные, НЕР), неоновые лампы. Общим недостатком данных ламп при высокой энергоэффективности является крайняя специфичность спектрального состава излучения (крайняя некомфортность для человеческого глаза), а также длительное время включения и выхода на рабочий режим. Отдельные работы по совершенствованию технологии ведутся в направлении повышения энергоэффективности.

Газоразрядные лампы низкого давления		
<i>Люминесцентные и компактные люминесцентные лампы</i>		
<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>	<i>Перспективы</i>
Светоотдача порядка 40-60 лм/Вт, для ламп с холодным катодом может быть выше; большой срок службы для серийных продуктов порядка 5000-10000 часов; низкая габаритная яркость	Содержат ртуть и требуют специальной утилизации; требуют времени для включения и выхода на максимальный режим; усложненное диммирование; электромагнитное излучение; побочное ультрафиолетовое излучение; механическая хрупкость; большие габариты; невозможность применения при низких температурах; проблема утилизации; пульсация светового потока, линейчатый спектр света	Ожидается повышение эффективности светоотдачи на 10-15% в течении следующих 10 лет, снижение стоимости. Решаются проблемы, связанные с качеством белого света и возможностями диммирования. При этом содержание ртути делает технологию нежелательной в большинстве применений. Практически достигнут технологический предел
<i>Плазменные лампы, высокоэффективные плазменные лампы (НЕР), другие лампы низкого давления</i>		
<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>	<i>Перспективы</i>
Высокая энергоэффективность; высокий световой поток	Крупные габариты; требует время для выхода на рабочий режим; специфичный спектр излучения	Прогнозируется рост энергоэффективности. Возможно ограниченное использование ламп с учетом спектра их излучения

3. Газоразрядные лампы высокого давления и высокой интенсивности

Лампы, объединенные в данной группе, обладают высокой мощностью (значительным световым потоком), высокой энергоэффективностью, но крайне узким спектральным составом. Такие лампы используются в мощных осветительных системах, не предъявляющих особенных требований к качеству света (напр., подсветка второстепенных помещений больших площадей, подсветка высоких зданий и т.п.). Технологическое совершенствование данной группы направлено на улучшенное соответствие требованиям подобных нишевых приложений, в основном – на повышение качества света. Отдельно следует отметить износ ламп при частом переключении. Эффективными такие лампы становятся при длительном времени горения.

Газоразрядные лампы высокого давления и высокой интенсивности (HID)		
<i>Газоразрядные (натриевые и металл-галидные) лампы высокого давления и высокой интенсивности, лампы на основе вольтовой дуги</i>		
<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>	<i>Перспективы</i>
Наиболее высокая энергоэффективность, высокий световой поток	Низкое качество света; крупные габариты; требует время для выхода на рабочий режим; после выключения требует времени для «остывания» перед повторным включением; проблемы включения при низких температурах; проблемы утилизации; требуется охлаждение при длительной работе	Ограниченное использование с учетом низкого качества света (узкий спектр, неподходящая цветовая температура). Основное направление развития – улучшение качества света

4. Электролюминесцентные источники света

Для получения света явление электролюминесценции используется несколькими основными способами. Наиболее важным в терминах настоящего исследования из них является технология светодиодного освещения. Альтернативой светодиодам для формирования элементов декоративной подсветки являются электролюминесцентные лампы с цветными люминофорами для получения различных цветов, которые в настоящее время используются в элементах наружной рекламы и декоративной подсветке.

Другой интересной разработкой являются электролюминесцентные провода, применяющиеся для декоративных целей. Они отличаются крайне низким энергопотреблением, сопровождающимся низкой яркостью и невысокой мощностью светового потока.

Электролюминесцентные источники света		
<i>Электролюминесцентные лампы с люминофорами</i>		
<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>	<i>Перспективы</i>
Энергоэффективность, приближающаяся к параметрам компактных люминесцентных ламп; экологичность; возможность диммирования; мгновенное включение	Крупные габариты; невысокий срок службы	Ограниченное распространение и опыт применения. Коммерческие перспективы не ясны
<i>Электролюминесцентные провода</i>		
<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>	<i>Перспективы</i>
Гибкость; низкий расход электроэнергии	Невысокая мощность; неприменимы для освещения	Перспективны (и используются в настоящее время) при декорировании зданий, транспортных средств, в рекламе

5. Неэлектрические источники света

Основным элементом данной группы являются традиционные лампы горения, использующие для получения света процесс сжигания топлива. Следует отметить актуальность данных ламп в условиях отсутствия доступа к электрическим сетям. По данным экспертов, подобными источниками света пользуется более трети домохозяйств в развивающихся странах, например, Индии, Китае. При этом, подобные источники являются пожароопасными, способствуют нанесению вреда окружающей среде (так, в Индии существуют правительственные программы по субсидированию керосиновых ламп для ограничения стихийной вырубке лесов с целями освещения).

Более технологичными являются люминофоры с длительным временем послесвечения. Накапливая энергию солнечного (либо другого) света, люминофоры на протяжении длительного времени испускают бледное свечение, пригодное для нужд бытовой индикации и маркировки.

Неэлектрические источники света		
<i>Люминофоры с длительным временем послесвечения</i>		
<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>	<i>Перспективы</i>
Не требуют для свечения расхода электроэнергии	Невысокая яркость, ограниченное время свечения	Перспективны применения в дорожных знаках и информационных табло. Прогнозируется повышение времени послесвечения
<i>Лампы горения (керосиновые лампы, свечи, фитильные лампы и т.д.)</i>		
<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>	<i>Перспективы</i>
Не требуют подключения к электросети, технологически просты,	Неэкологичны, пожароопасны, затраты на обслуживание (покупка	Развитие технологии не прогнозируется

дешевы в приобретении	горючего)	
-----------------------	-----------	--

Технологии отображения информации

1. Электронные чернила

Данная группа объединяет целый ряд технологий формирования изображения без самосвечения. Основная цель технологического развития в данной области – получение дисплеев по оптическим и механическим свойствам сходных с традиционной бумагой. Обычно говорят о формировании статических изображений, либо изображений с низкой скоростью обновления. В основе технологии – микрокапсулы, заполненные прозрачной жидкостью и пигментными частицами разного цвета и заряда. Электрический заряд управляет перемещением пигментных частиц и формирует изображение. Основными недостатками подобных дисплеев являются ограниченное число отображаемых цветов, высокая инерционность (от 200 до 500 мс). Важным достоинством является крайне низкое энергопотребление (исключительно в момент изменения изображения). Технология находится на стадии активного развития, основное направление совершенствования – снижение инерционности и повышение цветности.

Электронные чернила (e-ink)		
<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>	<i>Перспективы</i>
Энергоэффективность, снижение утомляемости глаза	Ограниченная цветность; ограниченный размер; низкая скорость смены изображения (для существующих образцов)	Технология в процессе развития. Предполагается расширение использования в мобильных устройствах. Ожидается появление цветных дисплеев

2. Жидкокристаллические дисплеи

Название «ЖК-дисплеи» объединяет целый ряд технологий, различающихся по принципу формирования изображения и механизмах подсветки. За последние 40 лет сменилось несколько базовых технологических модификаций жидкокристаллических дисплеев, включая дисплеи на пассивных и активных матрицах, подсветку на базе люминесцентной лампы, а также современную светодиодную подсветку. Последние результаты технологического совершенствования позволили при сохранении традиционной технологии производства перейти на новый уровень качества изображения (улучшилась контрастность), а также существенно снизить энергопотребление (за счет использования сверхъярких и сверхэффективных светодиодов). С технологией ЖК-дисплеев на светодиодной подсветке эксперты связывают коммерческие перспективы дисплейных технологий следующих 10 лет.

ЖК-дисплей		
<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>	<i>Перспективы</i>
Отработанная технология производства; контроль контраста (при LED-подсветке); высокий динамический диапазон	Низкий КПД; низкое качество изображения при открытом солнечном свете	Выраженная тенденция к переходу на LED-подсветку, повышение энергоэффективности

3. «Плазменная панель» (Газоразрядный экран)

Технология подразумевает использование комбинированных в матрицы ячеек, заполненных газами (чаще всего – ксенон, неон) с различным спектром свечения, помещенных между стеклянными поверхностями. В ячейках формируются газовые разряды, результирующая плазма испускает свет в УФ-области, которое затем переводится в видимую часть спектра при помощи люминофоров. С технологической точки зрения, производство плазменных панелей затруднено необходимостью использования прозрачного переднего электрода больших размеров. Существуют также существенные ограничения на габариты устройств – нижняя граница диагонали существующих панелей составляет порядка 80 см. К недостаткам технологии также относят необходимость использования высокого напряжения, побочные электромагнитные излучения, крайне высокое энергопотребление. При этом, важно отметить, что плазменная технология одна из немногих подходит для использования в наружных экранах больших размеров. Именно с этим сегментом эксперты связывают будущее плазменных дисплеев.

Плазменные панели		
<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>	<i>Перспективы</i>
Улучшенная цветопередача (по сравнению с ЖК – CFPL); высокая яркость; возможность наружного применения	Крупные габариты; крупное зерно; высокая стоимость; выгорание элементов изображения; деградация люминофоров; паразитное электромагнитное излучение; высокое энергопотребление	По имеющимся сведениям, существенного улучшения параметров технологии в краткосрочной перспективе не ожидается. Основные применения – в наружной индикации информации

4. Электролюминесцентная панель (EL-panel; другое название — электролюминесцентная бумага), технология фирмы Seelite, выглядит как светящаяся бумага, тонкий светящийся лист. Отдельная гибкая и тонкая световая панель (пластиковая световая панель, светящийся пластик) и аналогичные световые панели изготавливаются по технологии светоизлучающих конденсаторов (Light-Emitting Capacitor — LEC). При изготовлении световых панелей Seelite используются полимерные плёночные компоненты для трафаретной печати.

Светоизлучающая панель состоит из нескольких слоев. Если рассматривать панель стороной излучения света к наблюдателю, то слои, из которых она состоит, будут располагаться так:

- § первый слой — высококачественный ламинат, предназначенный для защиты панели от механических и химических воздействий;
- § второй — боковой металлический электрод, по сути — первая обкладка конденсатора;
- § третий слой — светопроводящий и защитный слой для люминофора;
- § четвертый — слой с люминофором;
- § пятый — гибкий высококачественный диэлектрик;
- § шестой слой — металлизированный электрод, по сути — вторая обкладка конденсатора;
- § седьмой — непроводящий ток защитный слой, придает всей панели гибкие свойства, рассеивает тепло и является отражателем света в сторону наблюдателя;
- § восьмой слой, как и первый, — защищает панель от механических и химических воздействий.

Диапазон размеров светоизлучающих панелей очень широк, начиная от размера стандартный бейдж и заканчивая метровыми размерами. Панели достаточно легки, очень гибки, обеспечивают равномерное освещение (подсветку). Они могут быть встроены в любую конструкцию, разрезаны в соответствии с любыми требованиями. Из них можно вырезать буквы, надписи, фигуры. Светоизлучающие панели могут быть элементом дизайна одежды, автомобиля, интерьера.

Электролюминесцентные панели		
<i>Преимущества</i>	<i>Недостатки</i>	<i>Перспективы</i>
Возможность создания тонких и гибких экранов, потенциально низкая стоимость	Низкая контрастность	Предполагается значительное совершенствование технологии.

5. Проекционные системы.

Важным направлением технологий отображения информации являются проекционные системы. Разнообразие технологий получения проецируемого изображения велико — используются кинескопы, комбинация лампы и жидкокристаллических матриц, жк-матрицы на кремниевой подложке и др. Оптическая система фокусирует результирующее изображение на экране, при этом, его размеры играют меньшее значение, чем, например, для традиционных ЖК-дисплеев. Основные ограничения технологии связаны с использо-

ванием мощных ламп, нуждающихся в своевременной замене и эффективном охлаждении. При этом, существует тенденция перехода на LED-подсветку, что позволяет существенно уменьшить габариты и энергопотребление устройств, а также увеличить срок службы.

Проекционные системы	
<i>Недостатки</i>	<i>Перспективы</i>
Низкая яркость; ограниченный срок службы; невысокий контраст; габариты	Уменьшение габаритов; распространение светодиодных технологий в качестве источников света (для мобильных применений)

6. Лазерные проекторы

В данных проекторах изображение формируется с использованием лазерного луча, прорисовывающего каждую точку изображения в импульсном режиме. Использование лазеров позволяет упростить оптическую систему (свести ее к контролю за направлением луча), а также осуществлять формирование высококонтрастного изображения на значительных расстояниях. Развитие данной технологии связано с разработкой улучшенных лазеров (особенно в зеленом диапазоне), также ожидается снижение стоимости подобных устройств.

Лазерные проекторы	
<i>Недостатки</i>	<i>Перспективы</i>
Высокая стоимость; зернистость изображения; когерентность излучения (небезопасно, ограничения на мощность); низкое разрешение; ограниченное применение	Снижение стоимости, разработка мощных источников непрерывного излучения в зеленой области света

1.1.2.2. Сравнительные характеристики источников света

Сравнительные характеристики источников света на основе различных технологий по состоянию на сегодняшний день, представлены в табл. 17.

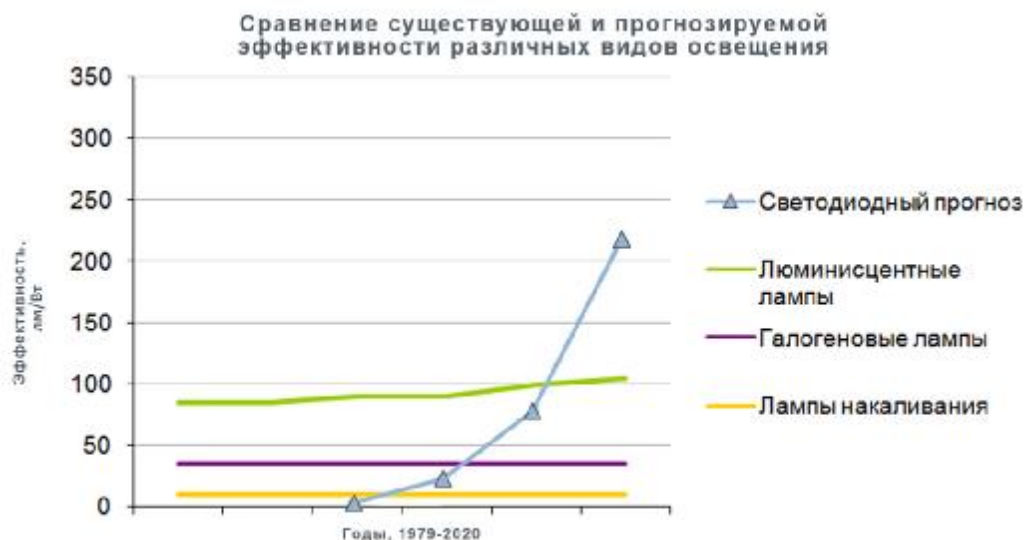
Таблица 17

Характеристики источников света

Тип источника света (ИС)	Световая отдача ИС, лм/Вт	Эффективность изделия с данным ИС, лм/Вт	Ресурс, часов
Лампы накаливания	8–13	6–10	1 000
Галогенные лампы	16–37	12–20	50–6 000
Компактные люминесцентные лампы	50–70	35–50	6 000–15 000
Металлогалогенные лампы	60–100	<40	6 000–10 000
Люминесцентные лампы	60–100	55–70	15 000–32 000
Полупроводниковые светодиоды (Cree XR-E)	100–110	90–100	>50 000
Натриевые лампы высокого давления	90–130	<50	15 000–32000

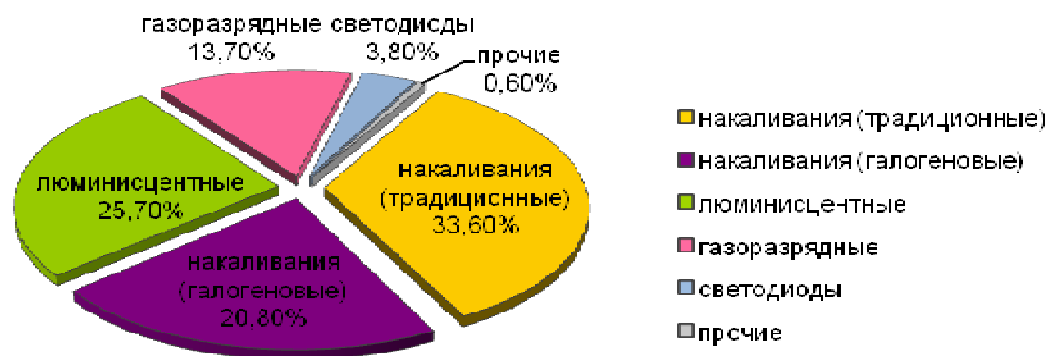
Прогноз относительно будущей эффективности различных видов освещения приведен на рис. 1.

Рис. 1. Сравнение существующей и прогнозируемой эффективности различных видов освещения



Распределение рынка между альтернативными источниками освещения представлено на рис. 2.

Рис. 2. Распределение рынка по типам ламп (Россия)



Источник: Обзор рынка светотехники, РБК, 2009 г.

1.1.2.3. Анализ экономической эффективности

Удельная стоимость единицы излучаемого светового потока

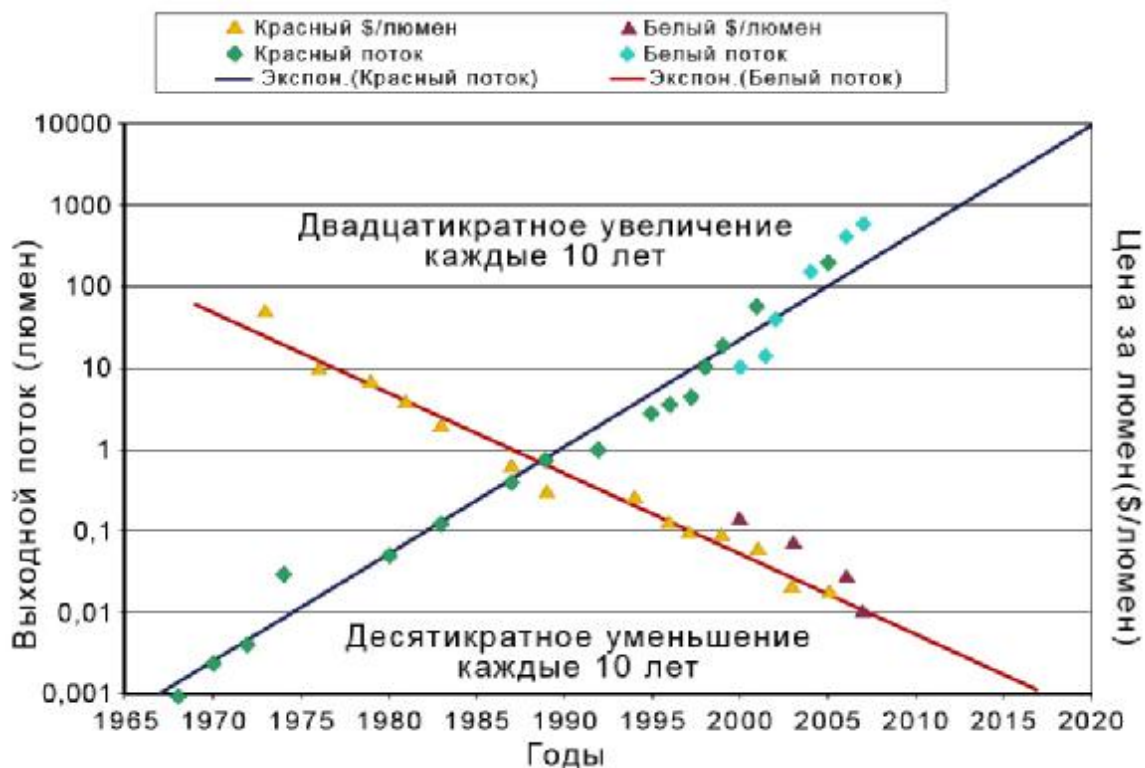
Типовая оценка стоимости источников света (по материалам Департамента энергетики США) в 2007 г. определяется стоимостью за киллолюмен. Киллолюмен — это 1000 люменов света, что примерно соответствует излучению 75-ваттной ярко-белой лампы.

Ярко-белые лампы (A19 60 Вт)	\$0.30 за килолюмен
Компактная флуоресцентная лампа (13 Вт)	\$3.50 за килолюмен
Флуоресцентные лампы (F32T8)	\$0.60 за килолюмен
Разрядные лампы высокого давления (250Вт)	\$2.00 за килолюмен
Светодиоды (1 Вт Холодный белый)	\$25.00 за килолюмен

Хотя стоимость светодиодов более чем в 50 раз выше стоимости ярко-белых ламп и приблизительно в 7 раз выше стоимости компактной флуоресцентной лампы, цена светодиодов значительно снизилась за последние годы и продолжит снижаться. Через несколько лет, при улучшении характеристик и уменьшении цены, светодиодные источники будут вполне конкурентоспособны по себестоимости.

График, представленный на рис. 3, показывает, что при существенном росте светоотдачи светодиодов темпы снижения их себестоимости значительно выше. Этот график также позволяет предсказать светоотдачу светодиодов и их себестоимость на 7–10 лет.

Рис. 3. Рост светоотдачи и темпы снижения себестоимости светодиодов



Источник: материалы предоставлены экспертами

Примечание: Обе линии находятся в одном и том же числовом масштабе (с различными единицами измерения).

Сравнение источников света по экономической целесообразности применения для России приведено в табл. 18 на примере использования для местного освещения в светильниках со световым потоком около 500 лм. Цифры, указанные в таблице, варьируются

в зависимости от производителя источника света и условий эксплуатации, но отражают общие соотношения между характеристиками продукции.

Таблица 18

Сравнительные характеристики некоторых видов источников света

	Лампы накаливания	Галогенные лампы OSRAM	Энергосберегающие лампы	Люминесцентные миниатюрные лампы DULUX S 11/840	Сверхъяркие светодиоды CREE XL7090 55лм/Вт 9шт.
Начальная стоимость источника света (руб.)	15	53	300	60	2 800
Потребляемая мощность (Вт)	60	40	10	12	9
Средний срок службы (час)	1 000	3 000	10 000	8 000	100 000
Расход электроэнергии за 10 лет (при горении по 12 часов в сутки)	3 250	2 150	545	650	450
Расходы на покупку ламп за 10 лет (руб.)	650	750	1 200	340	2 800
Расходы на содержание обслуживающего персонала за 10 лет (руб.)	600	600	600	600	-
Общие расходы за 10 лет (руб.)	4 500	3 500	2 350	1 590	3 250

Источник: http://expomir.com/docs/led_svet.doc

Из приведенных расчетов видно, что, несмотря на высокую начальную стоимость, светодиоды XL7090 и XR7090 со световой отдачей 55лм/Вт выгоднее, чем лампы накаливания и галогенные лампы (при использовании в местном освещении), и лишь немного уступают энергосберегающим лампам и компактным люминесцентным лампам (например, DULUX FM, DULUX S 11/840).

При использовании светодиодов в общем освещении, где нужен большой световой поток, они пока значительно уступают по экономическим показателям люминесцентным лампам, энергосберегающим и металлогалогенным лампам. Однако следует иметь в виду, что все сказанное выше справедливо только при оплате за электроэнергию по льготному тарифу со стоимостью 1.25 руб. за 1 квт×час. Если электропитание производится от более дорогих источников (бензо-/дизель генератор, аккумуляторная батарея) или оплата за электроэнергию ведется по коммерческому тарифу, то экономическая целесообразность использования светодиодных светильников значительно увеличивается.

«Есть отчет по перспективам применения светодиодов.

Прогноз до 2012 г. (но докризисный прогноз): срок службы останется таким же; светоотдача возрастет в массовом применении до 150 люмен на Ватт, а вот цена должна была бы снизиться до 50 руб./Ватт. Всему этому есть определенные обоснования. Мне казалось это реальным год назад. Не знаю — как скажется кризис. Это прогнозы производителей, таких как Сгее, например. Но есть сильные сомнения, что цена будет 50 руб. Л/В. Если считать экономику, то параметры традиционных ламп по удельной стоимости на потребляемую мощность, то сегодняшний уровень совершенно несравним. Люминесцентная лампа стоит 0.9 руб./Ватт, ртутные лампы высокого давления 0.7, МГМ (самые современные) 3–10, металлокерамика и др.

Если в люменах на рубль, то ситуация тоже не в пользу светодиодов. Где-то раза в 3–10 хуже у светодиодов. Но в перспективе идет выравнивание.

Но вот если считать в рублях на люмен/час, учитывая высокие срок службы светодиодов, то здесь цена выравнивается уже сейчас.

Но еще более интересно соотношение по приведенным затратам. В перспективе к 2012 г. при стоимости 50 руб/Ватт и 150 люмен светоотдачи можно войти практически в любую отрасль. У сегодняшних ламп показатели не сильно изменятся, хотя и там наука не стоит на месте. Но диверсификация светодиодов должна произойти».

Из экспертного интервью

Существуют и другие факторы, увеличивающие экономическую целесообразность применения светодиодов:

- При расчете затрат на замену перегорающих ламп в несветодиодных светильниках учитывалась только зарплата малоквалифицированного электрика и не учитывались другие возможные расходы.
- Быстрый рост стоимости электроэнергии.

Несмотря на наличие прямой экономической выгоды от применения СД-светильников, в ряде случаев экономическая целесообразность не является решающим фактором. Существуют также другие преимущества светодиодов, а именно:

- Низкий уровень излучения в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне (для сочетания «синий» диод плюс один люминофор). Это свойство имеет большое значение там, где важно обеспечить сохранность во времени освещаемых предметов (освещение картин, фотографий, старинных предметов). Традиционные источники света, даже при наличии УФ фильтра, не обеспечивают меньший уровень УФ излучения по сравнению со светодиодным источником.

- Небольшие размеры светодиодных светильников позволяют устанавливать их в местах, недоступных для большинства других светильников (кроме, отчасти, миниатюрных ламп накаливания), что может сделать их менее заметными, уменьшить ослепляемость. Небольшие размеры, большой срок службы и высокая виброустойчивость облегчает изготовление антивандального исполнения, что в ряде случаев оказывается важным.
- Высокая направленность излучения (малый угол излучения). Благодаря этому отсутствует необходимость в сложных системах концентрации излучения в заданном направлении.
- Меньшее тепловыделение СД-светильников по сравнению с другими светильниками аналогичных размеров.

Однако стоит принимать во внимание и факторы, действующие в пользу традиционных источников освещения и препятствующие внедрению светодиодов.

- Светодиод зависит от температуры, при которой работает. При 80 градусах его светоотдача снижается на 50%. Это основной недостаток светодиодного освещения. Необходимо разработать и задействовать способ мощного отвода тепла, что повышает цену владения.

«Общественные здания, подъезды без сомнения будут «оккупированы» светодиодами, уличные переходы, т. е. то, что не требует мощных кластеров. А вот по уличным светильникам, которые требуют освещения в 400 ватт, не говоря уже о сельском освещении, ситуация сложнее».

Из экспертного интервью

- Питание традиционных СД-светильников осуществляется от низковольтных источников, тогда как вся инфраструктура российского энергохозяйства разработана исходя из напряжения 220 вольт. Использование светодиодов предполагает обязательное применение специальных устройств питания (драйверов), что повышает цену владения. При этом, следует особо отметить важность разработки инженерных решений, обеспечивающих использование светодиодных технологий в конструктиве стандартного патрона (и действующей инфраструктуры). Разработка подобных устройств может в значительной мере способствовать росту спроса на светодиоды. Подобные разработки, в частности, ведутся и в России. Представлены первые образцы светодиодов, работающих на напряжении 220 В.

Расчет стоимости света

Стоимость света для различных источников может быть рассчитана по формуле [Multi-Year Program Plan FY'09-FY'14 «Solid-State Lighting Research and Development»]:

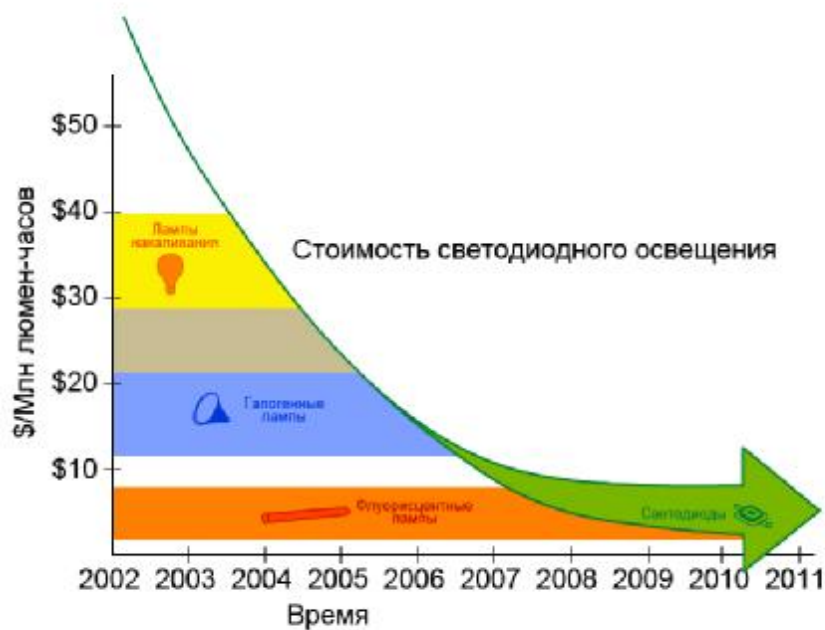
$$\text{ЦенаСвета} = \left(\frac{10}{\text{Люмены}} \right) \times \left(\frac{\text{ЦенаЛампы} + \text{ЦенаЗаменыЛампы}}{\text{СрокСлужбы}} + \text{ПотрМощность} \times \text{СтоимостьЭлЭнергии} \right)$$

где *Люмены* — выходная мощность лампы в люменах;
ЦенаЛампы — начальная себестоимость лампы;
ЦенаЗаменыЛампы — стоимость работы на замену лампы;
СрокСлужбы — срок службы лампы в тысячах часов;
ПотрМощность — потребление мощности лампой в ваттах;
СтоимостьЭлЭнергии — цена одного киловатт/часа электроэнергии.

Проведение расчетов по данной формуле показывает, что освещение на основе светодиодов уже является доступной альтернативой и является вполне конкурентоспособным решением для различных областей. Преимущества светодиодного освещения состоят, в первую очередь, в значительно большем сроке службы и значительной экономии электроэнергии, а также в быстром снижении стоимости светодиодов благодаря совершенствованию технологии их производства. Кроме того, СД идеальны для использования в экстремальных условиях окружающей среды (например, высокой вибрации).

При этом, по мнению ряда экспертов, для обычных технологий стоимость света будет изменяться в меньшей степени, поскольку темпы их развития в настоящее время замедлились.

Рис. 4. Темпы снижения стоимости светодиодного освещения



Источник: US Department of Energy (DOE).

I.2. Основные технологические группы светодиодов

I.2.1. Неорганические светодиоды

I.2.1.1. Основные типы

Получение цветного света

- Светодиоды на базе фосфидов и арсенидов (инфракрасный, красный, желтый, оранжевый)

Светодиоды на базе арсенидов относятся к наиболее изученному типу, для которого достигнут теоретический максимум светоотдачи и налажено масштабное массовое производство. Светодиоды на базе арсенидов применяются для получения инфракрасного и красного света.

Материальная система AlGaInP, основа фосфидных светодиодов, к настоящему времени относительно хорошо изучена. Анализ эффектов снижения внутренней квантовой эффективности при увеличении содержания Al и определения доминирующих механизмов этого явления позволил достигнуть существенного улучшения эффективности вывода излучения.

Можно выделить пять основных направлений развития светодиодов на базе фосфидных систем при применении их в устройствах освещения:

- переработка структуры излучателя для улучшения удержания носителей и повышения эффективности излучения с целью повышения внутренней квантовой эффективности и температурной стабильности;
- разработка дешевых методов повышения эффективности вывода света;
- управление механизмами деградации при работе на большом токе при высокой температуре;
- разработка яркого желтого источника света;
- исследование возможности применения фотонных структур для улучшения эффективности и вывода света.

Перспективные продукты:

- Светодиоды на базе AlGaInP с улучшенным на 50% по сравнению с уровнем 2008 г. выводом света (более 100 лм/Вт).
- **Светодиоды на базе нитридов (синий, зеленый, ультрафиолетовый)**

Несмотря на то, что система InGaN известна достаточно давно, основной коммерческий успех был достигнут в последние годы благодаря разработке синих светодиодов высокой яркости. Светодиоды на основе этой системы могут работать при более высоких температурах, чем светодиоды на основе фосфидов. На сегодняшний момент уровень разработки нитридных технологий существенно ниже уровня фосфидных систем.

Нитридные системы позволяют разработать синий и ультрафиолетовый светодиоды, а также зеленый светодиод на основе ультрафиолетовых излучателей и потенциально дают возможность разработки источников для всего видимого спектра. Одним из долгосрочных направлений исследований данных систем является разработка источников света для всего видимого спектра.

Основные исследовательские проблемы для нитридных систем сосредоточены в *пяти* главных областях:

- изготовление подложек большой площади;
- разработка дешевых методов повышения эффективности вывода света;
- увеличение внешней квантовой эффективности;
- увеличение срока службы и поддержание уровня светоотдачи;
- получение качественного смешивания цветов и получение большого светового потока.

Перспективные продукты:

- Светодиоды на основе GaN с фотонными кристаллами.

- Светодиоды на основе GaN с поверхностным усилением, основанном на плазмонном эффекте.
- Светодиоды на базе III-N на основе наноконцепций со значительно увеличенным уровнем эффективности (выше 100 лм/Вт).
- **Светодиоды на базе соединений ZnO**

В ходе недавних исследований был получен полупроводниковый материал ZnO, применение которого может способствовать существенному понижению стоимости светоизлучающих диодов. Данный материал способен составить серьезную конкуренцию светодиодам на базе нитрида галлия.

В настоящее время уровень разработок по данному типу светодиодов находится на стадии ранних фундаментальных исследований.

Перспективные продукты:

- СД на основе материалов II–VI-ZnO.

Получение белого света

Одной из основных задач, связанных с массовым применением светодиодов, является получение белого света. Именно белые светильники наиболее востребованы в основных сферах применения светодиодов, связанных с освещением.

В настоящее время существует *три* основные стратегии получения белого света.

- **Синие светодиоды с люминофорами**

Основой подхода является использование синих светодиодов (на нитридной базе) и одного люминофора. Часть синего света, испускаемого светодиодом, проходит, не взаимодействуя с люминофором, а другая часть с помощью люминофора преобразуется в желтый (янтарный) цвет. Желтый цвет в смеси с синим светом, излучаемым светодиодом, дает белое излучение.

Данный подход к созданию белого света наиболее приближен к массовому использованию. Поскольку была проведена большая работа по разработке люминофоров для люминесцентных ламп, то естественным является использовать эти наработки для светодиодов. Такие компании, как Nichia, Cree и другие, уже продемонстрировали два–четыре поколения белых светодиодов при использовании светодиода синего цвета и одного люминофора.

Недостатки метода:

- «Эффект ореола».

Эффект ореола или эффект проступания возникает потому, что излучение от светодиода синего цвета является направленным, в то время как желтый свет от люминофора

направлен в полусферу. Таким образом, для наблюдателя, находящегося сбоку, цвет кажется не белым, а многоцветным.

- Слабое поглощение синего излучения люминофором.

Для редкоземельных люминофоров поглощение в синей области относительно мало, что требует нанесения толстого слоя люминофора. Требуется проведение исследований, направленных либо на получение новых люминофоров с более сильным поглощением в синей области, либо на введение в люминофор таких ионных присадок, которые позволяют помочь передать энергию редкоземельному иону.

Текущие исследования посвящены, главным образом, расширению диаграммы направленности светодиода синего излучения до 2π , т. е. до совпадения диаграмм направленности синего и желтого излучения.

Для производства белого света более высокого качества при данном подходе могут также применяться два люминофора (например, зеленый и красный).

Дальнейшая работа должна быть направлена на ликвидацию «эффекта ореола» и на увеличение коэффициента преобразования люминофоров. Кроме того, необходимо улучшать существующие красно-зеленые люминофоры или разработать новые для повышения квантовой эффективности и стабильности при повышении температуры.

Существуют другие решения, при которых, например, полупроводник или другой люминесцентный материал становится преобразователем длины волны. Для этого может быть использован твердый раствор полупроводника AlInGaP , поскольку люминофор, возбужденный синим InGaN светодиодом, будет генерировать белый свет путем смешения двух цветов. Подобный подход мог бы применяться при использовании нанокластеров квантовых точек или органических тонких пленок. Изучение данных методов находится на стадии ранних фундаментальных исследований.

По мнению экспертов, светодиод синего цвета плюс единственный люминофор является хорошим направлением для демонстрации возможности и практического применения белого света для целей освещения. Другие методы могли бы заменить или превзойти этот метод из-за ограничений индекса цветопередачи при использовании только двух цветов. Кроме того, чтобы обеспечить 200 лм/Вт белого света, излучение светодиода синего цвета должно преобразовываться с КПД более 60%. Такая внешняя квантовая эффективность превышает самую высокую квантовую эффективность светодиодов видимого диапазона, известную на сегодняшний день (45% для 610 нм).

Основные исследовательские проблемы, существующие при разработке люминофоров применительно к светодиодному освещению:

- разработка неорганического люминофора для УФ диапазона (360–410 нм) и синей области (> 410 нм);
- разработка нового органического люминофора для УФ диапазона (360–410 нм) и синей области (> 410 нм);
- разработка методов повышения поглощения излучения в светодиоде (синего или УФ) различными люминофорами;
- достижение внутренней квантовой эффективности > 90% для синего, зеленого, и красного люминофоров (или для других люминесцентных материалов);
- исследование возможности применения квантовых точек и нанокластеров для преобразования длины волны;
- управление механизмами деградации люминофора при работе на большом токе при высокой температуре;
- снижение угла рассеяния люминофора и разработки новых применений светодиодов.

Перспективные продукты:

- Светодиоды на базе GaN с квантовыми точками люминофора.
- **Ультрафиолетовые светодиоды с использованием трех или более люминофоров**

В данном методе используется излучение УФ светодиода для возбуждения нескольких люминофоров с последующим смешением цветов. В таком варианте могут быть получены высокие индексы цветопередачи, подобные флуоресцентным лампам. Кроме того, тот факт, что УФ излучение не используется непосредственно (в предыдущем подходе используется часть синего света), предъявляет более высокие требования к мощности излучателя, чтобы компенсировать конверсионные потери. Чтобы получить 200 лм/Вт, потребуется, чтобы КПД люминесценции превышал 70%.

В настоящее время эффективные излучатели были продемонстрированы на 400 нм. Самая высокая эффективность была достигнута для излучателя на основе InGaN при КПД 21% (Стег для светодиода 400 нм). Ясно, что увеличение КПД люминесценции до 60–70% является серьезной проблемой. Кроме того, для трех люминофоров существуют те же самые проблемы, касающиеся поглощения, что и для единственного светодиода синего цвета плюс люминофор. Все компоненты (люминофоры) УФ накачиваемой системы должны иметь высокое поглощение, высокую квантовую эффективность и хорошую фото- и температурную стабильность. Необходима разработка новых люминофоров в красной, зеленой и особенно в синей области, удовлетворяющих поставленным требованиям.

Перспективные продукты:

- УФ-светодиоды на базе нитридов с люминофорами.

Получение белого света за счет смешения цветов

Смешение цветов в светодиоде — перспективный подход, позволяющий получать высококачественные, эффективные белые светодиоды с высокой эффективностью светотдачи.

Основное преимущество метода смешения цветов состоит в том, что он не использует люминесценцию. Таким образом, потери, связанные с фактором люминесценции при получении белого цвета, отсутствуют.

Главная проблема — отсутствие эффективных источников зеленого света, которые значительно ограничивают эффективность белых светодиодов. Другим недостатком является более сложная конструкция, чем у люминесцентного светодиода. Это требует установки нескольких чипов и сложной оптики для того, чтобы смешивать разные цвета. Может также потребоваться схема обратной связи управления цветом, которая могла бы управлять работой светодиодов при их деградации, а также регулировать или поддерживать тепловой режим работы чипов. Все перечисленное необходимо, например, при разработке малогабаритных (карманных) проекторов на основе светодиодов.

Для достижения приемлемых характеристик объединенный многокристальный излучатель должен обеспечивать по крайней мере 50%-ную квантовую эффективность, принимая во внимание потери при смешивании цветов.

Кроме того, при трех или более различных цветных компонентах требуются источники питания с различным напряжением, существуют различные особенности деградации и различные температурные зависимости. Это требует применения сложной системы управления. Для решения такой инженерной задачи необходимы дополнительные прикладные исследования, поэтому в настоящее время трудно оценить, когда многокристальные белые источники света смогут выйти на коммерческий уровень.

Перспективные продукты:

- Белые светодиоды на базе смешения цветов.

1.2.1.2. Векторы развития технологии LED

В настоящем разделе описаны основные направления работ по улучшению характеристик неорганических светодиодов. Эти направления схематично обозначены на рис. 5.

Рис. 5. Основные направления развития технологии LED



- **Разработка основных материалов излучателей**

- *Разработка подложек*

Разработка подложек предполагает исследование альтернативных материалов и совершенствование качества технологии выращивания подложек при снижении их стоимости.

- *Исследование и разработка материалов излучателей*

Разработка излучателей предполагает создание высокоэффективных зеленых и красных чипов с минимальной тепловой чувствительностью, а также дальнейшее совершенствование внутренней квантовой эффективности синего светодиода. Необходимо также работать над повышением внутренней квантовой эффективности на оптимальных дли-

нах волн (красной — 610 нм; зеленой — 540 нм) и улучшением ее термической стабильности.

- *Разработка преобразователей длины волны (люминофоров)*

В направлении разработки люминофоров следует увеличивать квантовую эффективность люминесценции, оптическую эффективность и цветовую стабильность. Для белых светодиодов необходимо также оптимизировать люминофоры для получения цветовой однородности, поддержки постоянства цвета во времени, тепловую чувствительность и стабильность.

- **Общая конструкция и новые материалы**
- *Вывод света*

Разработка (изобретение) схемы улучшения вывода света из чипа и повышения эффективности оптической системы светодиода. Для этого могут быть использованы фотонные кристаллы или резонаторы.

- *Разработка новой конструкции излучателей*

Создание альтернативной структуры излучателя и механизма излучения, пригодного для производства, который дал бы возможность радикального улучшения (квантовые точки, монолитные интегральные RGB структуры, излучатели с диаграммой 360 градусов и т.д.).

- *Разработка электрической схемы питания*

Снижение рабочего напряжения чипа или матрицы чипов путем увеличения проводимости, конструктивных решений или конструкции корпуса и т.д.

- **Корпусирование**
- *Исследование теплового контроля*

Для изучения возможности теплового контроля требуется провести моделирование для всего конструктива светодиода или матрицы светодиодов. В области теплового контроля также требуются инновационные решения.

- *Формирующая оптика*

Для формирования луча и смешивания цветов в светодиоде или матрице светодиодов требуется разработка соответствующей оптической системы.

- *Герметизация*

Для герметизации требуется разработка компаунда, который имел бы долгий срок службы и высокий коэффициент преломления.

- *Теплоотвод и чувствительность к окружающей среде*

Необходима разработка светодиода или матрицы светодиодов, которые обладали бы максимальной способностью рассеяния тепла для увеличения срока службы и надежности.

- *Конструкция корпуса*

Необходима разработка светодиода или матрицы светодиодов, которые обладали бы увеличенным сроком службы за счет улучшенных методов дизайна или материалов.

- **Основные элементы изготовления светодиодов**
- *Моделирование процесса изготовления*

Требуется разработка (изобретение) методов улучшения эпитаксиального роста для уменьшения разброса длины волны излучения и других параметров источников, чтобы уменьшить бесполезные потери. Решения могут включать контроль на месте и должны давать возможность тиражирования до большого объема.

- *Объемы и производство*

Необходима разработка моделей процессов производства, которые помогут увеличить объем и улучшить качество светодиодной продукции.

- *Эпитаксия*

Разработка и демонстрация реакторов низкой стоимости и высокой производительности с улучшенной эффективностью использования материалов.

- *Инструменты производства*

Разработка улучшенных методов и приспособлений разделения подложек, формирования чипов, соединения в пластины и тестового оборудования для производства при низкой цене.

- **Ключевые оптические задачи**
- *Оптические материалы*

Разработка оптических компонентов, которые служат, по крайней мере, в течение срока службы светодиодного источника (50 тыс. часов работы) и работают при повышенной окружающей и рабочей температуре, воздействии УФ и синего света в условиях влажности и сырости.

- *Использование света*

Максимизация использования света светодиода в светильнике, включая все оптические потери в светильнике. Минимизация таких артефактов, как мультитенение или цветные кольца.

- *Поддержание постоянства цвета*

Светильник должен обеспечивать гарантированное поддержание изначального качества цвета в течение всего срока службы.

- *Рассеяние и формирование пучка света*

Необходимо разработать такие оптические компоненты, которые формируют требуемую расходимость потока и обеспечивают равномерное смешивание цветов по всему сечению луча.

- **Ключевые аспекты светильника**

- *Исследование источников тепла*

Необходимы исследование и разработка новых теплоустойчивых материалов и устройств, которые могут быть применимы для светодиодного освещения.

- *Методы повышения и оптимизация надежности системы*

Требуется разработка модели, методологии и проведение экспериментальных исследований для определения срока службы уже готового светильника, включая ускоренное тестирование.

- *Механическая конструкция светильника*

Необходимо провести системный анализ проектируемого светильника, включая все аспекты: тепловой, механический, оптический, и электрический. Проект должен быть экономически выгодным, надежным и с низким энергопотреблением.

- *Теплоотвод*

Необходимо спроектировать интегрированные методы теплового контроля, чтобы защитить светодиодный источник, сохранить светоотдачу и качество цвета светильника в течение срока службы при низкой стоимости.

- **Основные вопросы электронных компонентов**

- *Управляющая электроника*

Необходима разработка материалов и компонентов твердотельной электроники для контроля и управления источниками на светодиодах, способных обеспечить повышение их эффективности и срока службы.

- *Исследование надежности управляющей электроники*

Требуется разработать такую структуру и дизайн электронных компонентов, которые увеличивают срок службы электроники, а также методы прогнозирования срока службы.

- *Поддержание цвета*

Управляющая электроника должна обеспечивать качество цвета в течение срока службы светильника, компенсируя изменения, происходящие в светодиоде и из-за деградации компонентов светильника.

- *Настройка цвета, интеллектуальное управление*

Управляющая электроника должна позволять потребителю устанавливать оттенок цвета светильника по его усмотрению, регулировать яркость, экономить электроэнергию.

1.2.1.3. Перспективные потребительские свойства продукции на базе неорганических светодиодов

В соответствии с оценками перспектив развития твердотельного освещения по программе (DOE Solid State Lighting Research and Development Workshop), подготовленными Департаментом энергетики США (US Department of Energy, DOE), могут быть спрогнозированы следующие характеристики неорганических светодиодов.

В табл. 19 показаны пределы эффективности светодиодов, которые признаны достижимыми в период до 2020 г. Эти пределы зависят от цветовой температуры (ССТ) и показателя цветности, которые обусловлены типом применяемого светодиода. Кроме этого, эффективность светодиодов может снизиться из-за неблагоприятных факторов при производстве, а также из-за требования снижения стоимости светодиодов (применения более дешевых материалов, технологии и т.п.).

Таблица 19

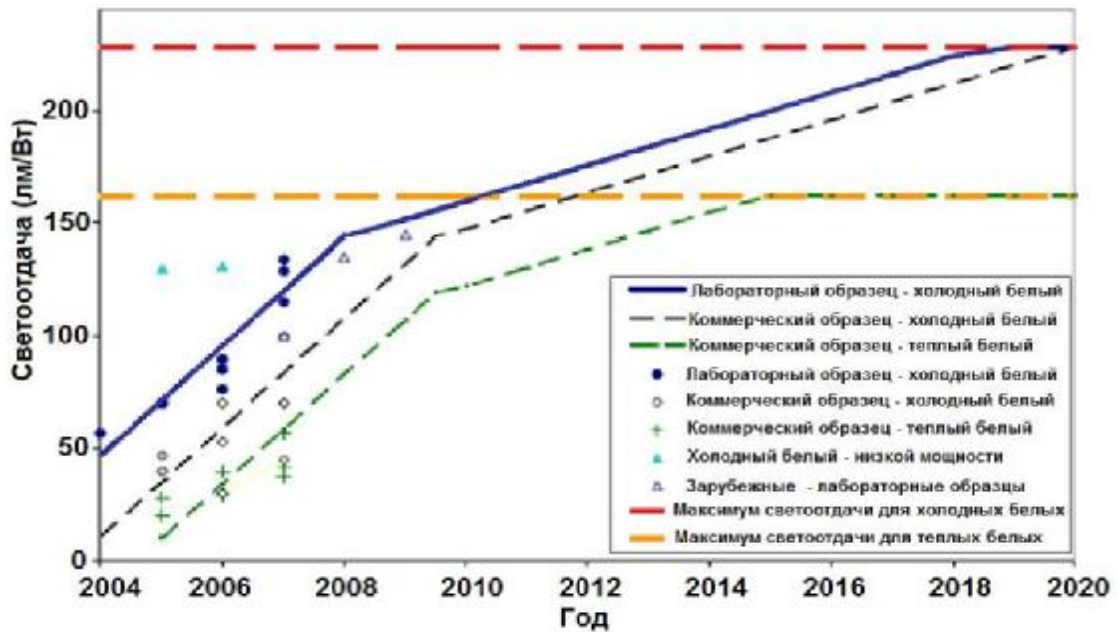
Прогноз максимальной эффективности светодиодов, достижимой на практике

Максимальная светоотдача (лм/Вт) в зависимости от цветовой температуры белого света и индекса цветности		
Цветовая температура (ССТ)	Индекс цветности (CRI) 75	Индекс цветности (CRI) 90
3000°K	182	162
4100°K	220	193
6500°K	228	186

Источник: NGLIA LED Technical Committee, Fall 2008

К 2013 г. светоотдача лабораторных образцов холодных белых светодиодов высокой мощности должна достичь 184 лм/Вт, коммерческих — примерно 172 лм/Вт. К 2025 г. предполагается достижение практического максимума эффективности 228 лм/Вт для холодных белых светодиодов и 162 лм/Вт для теплых белых светодиодов (с CRI порядка 90). При всех прогнозах предполагается разумный срок службы устройств (более 50 000 часов).

Рис. 6. Светоотдача белых светодиодов: максимум светоотдачи, лабораторные и коммерческие образцы



Примечание:

1. Холодные белые: прогнозируемая светоотдача при CRI=70 → 80, CCT=4 100–6 500°K.
2. Теплые белые: прогнозируемая светоотдача при CRI> 85, CCT=2 800–3 500°K.
3. Все прогнозы для мощных диодов при 350 мА, 25°С, размере кристалла 1 мм², только для светодиода (схема управления/светильник не учитываются) при приемлемом сроке службы.
4. Максимальные значения светоотдачи, представленные в табл. 19 для теплого белого и холодного белого, показаны на рис. 6 как асимптоты.

Источник: LED Technical Committee and the Department of Energy, Fall 2008 and Press Releases

Согласно оценкам Департамента энергетики США, современный уровень LED-технологий позволяет выпустить на рынок устройства со светоотдачей 80 лм/Вт при цене от изготовителя \$25/кЛм (только светодиод) и сроком службы 50 000 часов с цветовым индексом (CRI) более 80 и цветовой температурой (CCT) менее 5000 К. Часто эти сочетания параметров достигаются раздельно — некоторые продукты достигают светоотдачи более 100 лм/Вт, но проигрывают по другим показателям, в т. ч. по цене.

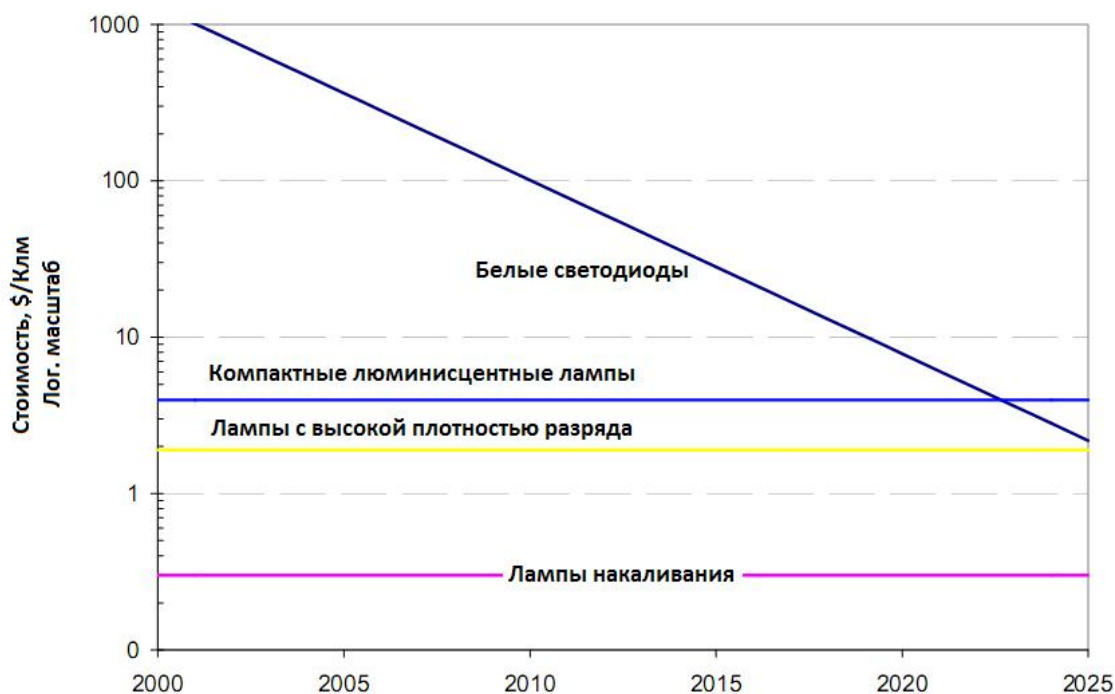
В 2010–2015 гг. ожидается появление светодиодов с характеристиками 140 лм/Вт и сроком службы 70000 часов для коммерческого устройства. Наконец к 2015 г. стоимость света должна быть ниже \$2/кЛм для LED для тех же диапазонов остальных характеристик.

Перспективы разработки продукции на базе LED*

Год	Характеристики продукции
2008	80 лм/Вт, <\$25/кЛм, 50 000 час. для LED
2010	>140 лм/Вт холодный белый LED; >90 лм/Вт теплый белый LED; <\$10/кЛм
2012	126 лм/Вт светильник с потоком излучения ~ 1 000 лм
2015	< \$2/кЛм

* Для следующих условий: CRI > 80, CCT < 5 000°K, T_j=125°С.

Рис. 7. Прогноз стоимости белых светодиодов (логарифмическая шкала)



Примечание: цены указаны для «разумных объемов» (несколько тысяч), CRI=70 → 80, CCT=4 100–6 500K, и только для светодиода (драйвер/конструкция не включены). Предполагаются следующие параметры источников: белый светодиод 1–3 Вт, компактная люминесцентная лампа 13 W, металл-галидная лампа 250 W, 32 W T-8 линейная люминесцентная лампа и 60 W лампа накаливания A19 с ценами на 2008.

Источник: NGLIA LED Technical Committee, Fall 2008

Прогнозируемые характеристики светодиодов

Характеристика	2008	2010	2012	2015
Светоотдача лабораторных образцов, лм/Вт	144	160	176	200
Светоотдача коммерческих образцов холодных белых, лм/Вт	108	147	164	188
Светоотдача коммерческих образцов теплых белых, лм/Вт	64	97	114	138
ОЕМ* цена (изготовителя),\$/кЛМ	85	50	30	14

* Original equipment manufacturer.

Примечание:

1. Прогноз светоотдачи для холодных белых светодиодов проведен для CRI=70 → 80 и CCT=4 100–6 500°K, в то время как прогноз светоотдачи для теплых белых светодиодов проведен для CRI => 85 и CCT=2 800–3 500°K. Во всех прогнозах предполагается, что устройства работают при 25°С.

2. Предполагается, что все устройства работают при 350 мА, размер чипа составляет 1мм², только для светодиода (драйвер/конструкция не включены) при сроке службы 50 000 часов.

3. Цены приведены для «разумных объемов» (несколько тысяч), CRI=70 → 80, CCT=4 100–6 500K, только для светодиода (драйвер/конструкция не включены).

4. Срок службы — приблизительно 50 000 часов при 70%-снижении выходного потока «устройство на 1 ватт», 350 мА.

Источник: NGLIA LED Technical Committee, Fall 2008.

Прогноз характеристик светодиодных светильников

Характеристика	2008	2010	2012	2015
Светоотдача устройства — коммерческий холодный белый, лм/Вт, 25°С	108	147	164	188
Температурный КПД	85%	89%	91%	95%
КПД драйвера	85%	89%	91%	95%
КПД конструкции	80%	84%	88%	95%
КПД светильника	58%	68%	75%	86%
Светоотдача коммерческого светильника — теплый белый (лм/Вт)	63	97	121	161

Примечание:

1. Прогнозируемый КПД светильников на холодных белых светодиодах принят для CRI=70 → 80 и CCT=4 100–6 500°K.

Все прогнозы соответствуют току 350 мА, размеру чипа 1мм², приемлемому сроку службы и рабочей температуре.

2. КПД светильника получен путем перемножения КПД элементов светильника.

Источник: NGLIA LED Technical Committee, Fall 2008

1.2.2. Органические светодиоды**1.2.2.1. Общие характеристики**

Современный уровень развития технологий органических светодиодов позволяет говорить о возможности их эффективного применения.

По сравнению с неорганическими светодиодами OLED имеют ряд преимуществ:

- возможность получать однородно светящиеся поверхности большой площади (ограничивается только возможностями оборудования) и любой формы;
- возможность получать однородно светящиеся поверхности на гибких носителях;
- возможность получать полупрозрачные светящиеся поверхности;

- возможность получать излучение с любой заданной длиной волны либо с широким спектром излучения. При использовании соответствующих органических электролюминесцентных материалов возможно получение белого цвета любых оттенков.

Высокая эффективность OLED-структур в перспективе позволит заменить традиционно используемые световые приборы в секторе распределенных источников освещения, таким образом дополняя неорганические светодиоды, имеющие наибольшие преимущества в секторе точечных высокоярких источников.

OLED-структуры имеют широкий спектр электролюминесценции, что обеспечивает им высокий уровень индекса цветопередачи (CRI) и способствует применению в жилых помещениях, поскольку способствует лучшему психо-физическому восприятию. Кроме того, благодаря широкому спектру применяемых электролюминесцентных материалов, существует возможность получения практически любого цвета свечения.

Распределенный характер OLED структур исключает сильный локальный перегрев устройств и необходимость применения систем отвода тепла от активной зоны устройства, которые существенно удорожают источник света в целом.

Перспектива разработки OLED на гибкой подложке предполагает получение светильников произвольной формы, а развитие технологии «roll-to-roll» (барабанной печати) в перспективе может привести к существенному снижению себестоимости ИС, хотя в этой области ряд проблем остается нерешенным.

1.2.2.2. Основные препятствия на пути успешного массового использования органических светодиодов

1. Низкая эффективность OLED

Эффективность светодиодов определяют следующие факторы:

- Внутренняя квантовая эффективность OLED, представляющая собой отношение числа фотонов, генерированных в результате рекомбинации электрона и дырки, к числу инжектированных пар носителей зарядов. Идеальной является ситуация, когда все введенные пары зарядов порождают фотоны. К сожалению, процессы генерации фотонов пока недостаточно эффективны.
- Для повышения эффективности этих процессов необходим специальный подбор электродов и материалов транспортировки зарядов. Сейчас трудно оценить, каков может быть окончательный предел квантовой эффективности, однако в пределе следует стремиться к единице. Необходимо провести более глубокие исследования, которые позволят расширить представление о внутренних физи-

ческих процессах и использовать его при разработке новых излучателей, которые были бы не только эффективны, но и устойчивы и позволяли бы подбирать цвет.

- Внешняя квантовая эффективность. Обычно из-за внутреннего поглощения теряется более чем 80% света. Внутреннее отражение фотонов, вызванное высокими преломляющими коэффициентами материалов слоя, является главной причиной плохой эффективности вывода света. Только часть фотонов выводится из устройства.

На сегодняшний день для изотропной (низкомолекулярной) системы внешняя эффективность уже увеличена приблизительно от 18% до 35%, а в случае полимерных излучателей — до 45%. Это достигнуто путем улучшения конфигурации поверхности проводника (электрода).

Важным аспектом является требование необходимого уровня светимости. Потребности варьируются от 100 до 1000 кд/м² для разных конфигураций светильников.

Уровень светимости 850 кд/м² может быть принят в качестве требуемого уровня для вычисления светоотдачи. Краткосрочная цель — достижение светоотдачи > 100 лм/Вт. Такого уровня возможно достичь через 4–5 лет. Следует отметить, что все вышеупомянутые оценки справедливы для единичных случаев зарубежных разработок, проведенных в разное время. Приближение внутренней эффективности OLED к 100% и повышение эффективности вывода света до 80% и выше сделали бы устройства на базе OLED самыми эффективными источниками света.

2. Недостаточный срок службы органических светодиодов

Согласно подходу американской ассоциации OIDA, срок службы OLED принято определять следующим образом. Необходимо, чтобы светильники на базе OLED работали не менее 10000 часов при потере светимости 20% для всех цветов для светильника со светоотдачей 850 лм/Вт. Это первый уровень, который должен быть достигнут, чтобы светильники на основе OLED были конкурентоспособны с флуоресцентными лампами.

Короткий срок службы устройства — главное препятствие коммерциализации OLED для общего освещения. Как упомянуто выше, это не является приоритетом в дисплейных технологиях, где текущие сроки службы уже близки к требуемым значениям. Соответственно, именно в этом направлении должны быть направлены основные усилия исследователей и разработчиков.

Существует несколько причин, ограничивающих срок службы OLED, а именно:

а) воздействие внешней среды (кислород, CO₂ и влажность) на металл электродов, низкомолекулярные соединения и полимеры, экситоны и присадки;

б) электрохимическая деградация электродов, низкомолекулярных соединений и полимеров, экситонов, эмиттеров и присадок;

в) спонтанные (тепловые) изменения / распад заряженных частиц (низкомолекулярных соединений и полимеров) и экситонов.

Также известно, что излучатели различного цвета деградируют с различной скоростью, в связи с чем качество белого света со временем ухудшается, несмотря на то, что уровень яркости остается еще на достаточном уровне.

3. Цвет

Показано, что для создания приемлемого цвета на основе использования двух присадок является более доступным решением, чем на основе трех присадок. В этом отношении весьма важно то, как получен белый цвет с приемлемым индексом цветности. Например, одни и те же цветовые координаты могут быть получены при смешении двух, трех или более цветов. Однако даже при одних и тех же цветовых координатах во всех трех случаях индекс цветности может быть различным. Отсюда следует, что для получения требуемых цветовых координат и индекса цветности важна оптимизация смешения спектров, позволяющая получить требуемые цветовые координаты и индекс цветности, который характеризует качество белого света.

Это подтверждает необходимость проведения серьезных исследований в области материалов, чтобы разработать и синглетные, и триплетные излучатели с достаточной стабильностью и требуемыми спектрами излучения. Вообще, на пути получения белого цвета требуемого качества нет непреодолимых препятствий при условии, что существует поддержка проведения исследований в данной области.

Прежде не было ясно, какая система материалов для OLED — полимеры или низкомолекулярные соединения — смогут обеспечить лучшее качество белого света. Для полимерных систем, которые более привлекательны с точки зрения простоты и потенциально низкой стоимости, не разработаны соответствующие технологии.

В РФ наблюдается существенный дефицит ингредиентов как для полимерных, так и для низкомолекулярных соединений. Состояние производства искусственных материалов сейчас таково, что они разрабатываются и изготавливаются только в лабораториях и являются почти без исключения разновидностями полифлюоренов и полифениленвиниленов. Другие классы, такие как полимеры, содержащие ароматические группы амина (поливинилкарбазол или им подобные), еще не были исследованы.

4. Стоимость

Существуют два основных направления улучшения ценовых характеристик OLED-технологий производства:

а) Разработка технологии OLED, которая удовлетворяет требованиям к характеристикам устройств при приемлемой стоимости. Ближайшей целью может быть снижение стоимости до \$20–30/м². По некоторым оценкам существующая стоимость для технологии OLED — \$400/м².

б) Разработка базовых материалов, позволяющих упростить и снизить стоимость производства. Особенно это важно в области улучшения технологии герметизации, которую необходимо совершенствовать. Следует отметить, что снижение стоимости в 10–20 раз однозначно приведет к коммерциализации светильников на базе OLED и обеспечит их выход на рынок общего освещения.

По-видимому, наиболее приемлемый путь для продвижения OLED на рынок общего освещения — это использование легких и гибких OLED, а в качестве производственной линии — непрерывная линия. Для снижения стоимости органических светодиодов необходимо применять технологию «roll-to-roll», включая нанесение электродов, герметизацию и последующее формирование конфигурации источника. Через 5 лет стоимость производства может быть доведена до \$20/м², если сейчас приступить к решению наиболее важных технологических проблем.

Таковыми проблемами являются:

- а) технология нанесения органики;
- б) герметизация, когда устройства изготавливаются на сетке шириной до 36'', двигающейся со скоростью 200'' /мин.

5. Инфраструктура устройств освещения

Применение постоянного тока при низком напряжении в устройствах освещения имеет несомненные преимущества по сравнению с переменным током высокого напряжения, который используется в традиционных системах освещения. Однако имеющейся в настоящее время информации недостаточно для того, чтобы оценить сложность и стоимость электронных схем управления светильниками на базе OLED.

Важным аспектом является также введение обратной связи между светильником и контроллером, что позволяет поддерживать постоянный уровень светимости в течение всего срока службы светильника при незначительном увеличении стоимости. При поддержании постоянной светимости затраты на электроэнергию будут самыми низкими в начале эксплуатации светильника и повысятся в конце срока службы. В конечном счете, проектировщики разработают новые светильники на базе OLED, однако важным требованием к ним является то, что их механическое крепление должно быть совместимо с существующими лампами с целью упрощения замены ламп на OLED-светильники. Сегментированная лампа, состоящая из нескольких источников, дает возможность подбора

цветового баланса светильника путем индивидуальной настройки отдельных источников. Кроме того, за счет обратной связи через контроллер с источником питания возможно поддержание требуемого цветового баланса в течение всего срока службы светильника.

1.2.2.3. Векторы развития технологии

В настоящем разделе описываются основные технологические проблемы, которые предстоит решить для получения конкурентоспособных источников света на базе органических светодиодов. Задачи совершенствования технологии OLED схематично отображены на следующем рисунке.

Рис. 8. Основные направления развития технологии OLED



- **Конструкция устройства**

Требуется разработать такую архитектуру, при которой внешний квантовый выход был бы максимальным при малом напряжении питания и достаточном сроке службы при стабильном белом свете. Нужно исследовать новые структуры типа многофункциональных компонентов, чтобы оптимизировать излучение света. Необходимо также изучить

взаимодействие материалов и разработать дающий по крайней мере 50 люмен образец, который можно было бы увеличить в размерах.

- **Разработка новых материалов (органических или контактных)**

Необходимо создание таких материалов, которые обладают высокой внутренней квантовой эффективностью, низким напряжением питания и позволяют увеличить срок службы устройства. Требуется исследование новых материалов для получения высокоэффективных OLED синего света, с тем чтобы в дальнейшем получить высокоэффективные OLED белого света. Материалы должны быть устойчивы к воздействию влажности и температуры.

- **Моделирование устройств**

Важной задачей является разработка методов и программ имитационного моделирования работы OLED с учетом свойств материалов, особенностей архитектуры и работы OLED.

- **Изучение и оценка процессов деградации материалов в процессе работы устройства**

Исследование надежности методами моделирования и оптимизация температурных характеристик материалов и устройств с целью разработки термо- и влагоустойчивых материалов и устройств — одно из ключевых направлений исследований. Важным также является изучение причин отказов на уровне устройств.

- **Разработка подложек**

Важной задачей может стать разработка подложек, которые не пропускают влагу и кислород. Другими положительными качествами могут быть технологичность и эксплуатационная стабильность, малые вес, стоимость, хорошие оптические свойства и гибкость.

- **Разработка новых прозрачных электродов с низким удельным сопротивлением более низкой стоимости**

Цель — замена традиционных материалов в электроде (оксида индия и олова, indium tin oxid, ITO) с теми же или лучшими характеристиками, устойчивыми к влажности и температуре, при возможности массового производства. Исследования могут проводиться в областях электродов вырожденных полупроводников p-типа и n-типа; электродов с двумя материалами; электродов, которые уменьшают растекание тока; гибких электродов или других низковольтных электродов.

- **Разработка новых практических методов для нанесения органических материалов, изготовления устройств или герметизации**

Развитие методов может сопровождаться разработкой физической, химической и оптической моделей изготовления устройств OLED. При этом важно разработать и изгото-

товить образец панели при низкой стоимости на основе интегрированных технологий производства с возможностью создания панелей большой площади.

- **Контроль качества**

Необходимо разработать методы определения качества различных материалов и изучить взаимосвязь между качеством материалов и характеристиками прибора. Важно разработать совершенные методы контроля нанесения материалов при создании панели.

- **Эффективность использования света**

Требуется максимизировать отношение светового потока, излучаемого светильником, к световому потоку от OLED источника. Здесь должны быть учтены все потери в светильнике, включая оптические потери при формировании луча и оптики смешивания цветов. Важно при проектировании светильника на OLED учесть все аспекты: тепловой, механический, оптический и электрический, чтобы обеспечить долгий срок службы, низкую стоимость, экономию энергии и получить светильник, востребованный на рынке.

- **Исследование теплового режима**

Необходимо разработать методы теплоотвода из светильника при различных условиях окружающей среды и работы. Теплоотвод должен поддерживать на одном уровне как температуру OLED, так и цвет и светоотдачу.

- **Разработка методов оптимизации светильника и проверки его надежности**

Необходимо разработать методы оценки надежности системы, и ускоренные методы тестирования срока службы, чтобы оценить надежность и срок службы устройства OLED, панели или светильника.

Необходимо разработать модели, методологию и экспериментальную методику для определения срока службы светильника на OLED в целом и всех его компонентов.

- **Электрические соединители**

Для соединения светильника в единое целое нужно разработать и изготовить стандартные электрические соединители.

- **Драйверы**

Для поддержания постоянства цвета светильника в течение всего срока службы и для компенсации изменений во времени и в зависимости от окружающей температуры, а также по причине деградации компонентов светильника требуется разработать соответствующую управляющую электронику.

- **Электронные средства управления**

Для экономии электроэнергии необходимо разработать электронные средства управления и соответствующие датчики для включения/выключения светильника.

- **Преобразователи электроэнергии**

Требуется разработка эффективных преобразователей электроэнергии, сохраняющих свои характеристики в течение всего срока службы светильника. Они могут работать в энергосберегающем режиме, т. е. автоматически выключаться при дневном свете и управляться от внешних систем управления освещением.

- **Изготовление панелей большой площади**

Необходимо определить основные проблемы и найти пути их решения при изготовлении панелей большой площади, в том числе и при сборке панелей. Требуется изготовить образец с хорошими термическими характеристиками при малых затратах на разработку и материалы для запуска в массовое производство. Образец должен иметь низкие омические потери, минимум дефектов, высокое качество и однородность света.

- **Корпусирование**

Требуется разработать дешевые, устойчивые к окружающей среде (обычно защищенные от воздействия влаги, кислорода и изменения температуры) методы корпусирования/герметизации. Для герметизации необходима разработка соответствующих материалов.

- **Обеспечение высокого выхода света**

Для создания светильника требуется изобрести новую оптическую схему, дающую возможность наилучшей светоотдачи панели. Необходимо показать возможность массового производства таких устройств.

- **Надежность панелей**

Необходимо провести анализ отказов панелей, устранить их причины и разработать образец с существенным увеличением срока службы.

- **Механическая конструкция**

Требуется провести системный анализ конструкции светильника: тепловой обмен, оптическую и электрическую схему. Конструкция должна быть приемлемой по стоимости, энергосберегающей и надежной.

1.2.2.4. Перспективные потребительские свойства продукции на базе органических светодиодов

В настоящем разделе приведены оценки перспективных значений характеристик органических светодиодов.

По оценкам Департамента энергетики США, лучшая эффективность для лабораторных устройств OLED на сегодняшний день составляет 64 лм/Вт. В ближайшей перспективе предполагается появление образца со светоотдачей 25 лм/Вт, стоимостью от из-

готовителя (ОЕМ) \$100/кЛм (только OLED) и сроком службы 5 000 часов. При этом цветовой индекс (CRI) должен быть больше 80 и цветовая температура (ССТ) — между 3000–4 000°К при светимости 1 000 кд/м² и световом потоке больше 500 люмен.

В настоящее время отсутствует массовое производство светильников на базе OLED. Согласно экспертному мнению, ведущие изготовители ожидают появления лабораторных опытных образцов OLED с более высокой светоотдачей для целей общего освещения.

По оценке US DOE, к 2010 г. предполагается создание коммерческого образца со светоотдачей 50 лм/Вт и сроком службы порядка 5 000 часов. Основной задачей, которую нужно решить для выхода на рынок, является снижение стоимости.

Предполагается, что к 2015 г. будут получены коммерческие образцы со светоотдачей OLED 100 лм/Вт, увеличенным сроком службы и сниженной стоимостью.

Таблица 23

Перспективы разработки продукции на базе OLED*

Год	Характеристики продукции
2008	25 лм/Вт, <\$100/кЛм, 5 000 час.
2010	>45 лм/Вт
2012	<\$30/кЛм
2015	>100 лм/Вт

* Для следующих условий: CRI > 80, ССТ < 2 700–4 100°К, светимость = 1 000 кд/м², выходной поток ≥ 500 люмен для OLED панели. На всех этапах предполагается улучшение других показателей — срока службы и стоимости.

В табл. 24 приведены оценочные расчеты Bardsley Consulting (США) по себестоимости исходных материалов, используемых для производства OLED в общем устройстве за квадратный метр светильника после перехода на серийное производство.

Стоимость составляющих материалов OLED

Материал	Стоимость для производства 1 м ² , \$	Полная стоимость материалов \$/м ²
Подложка (AMLCD* стекло для дисплеев стоимостью 40 \$/м ²)	3	20
Герметическое покрытие (исходное покрытие для дисплеев стоило 30 \$/м ²)	2	
Прозрачный проводник (стоимость ITO** 12 \$/м ²)	2	
Металлический проводник (серебряный в PDP стоит 60 \$/м ²)	2	
Органические материалы (жидко-кристаллические материалы стоят 30 \$/м ²) Органические материалы для маленьких дисплеев стоят 300 \$/м ²)	4	
Усилитель вывода света (пленки с призмами стоят 16 \$/м ²)	3	
Источник питания и разъемы	4	

* Active Matrix LCD.

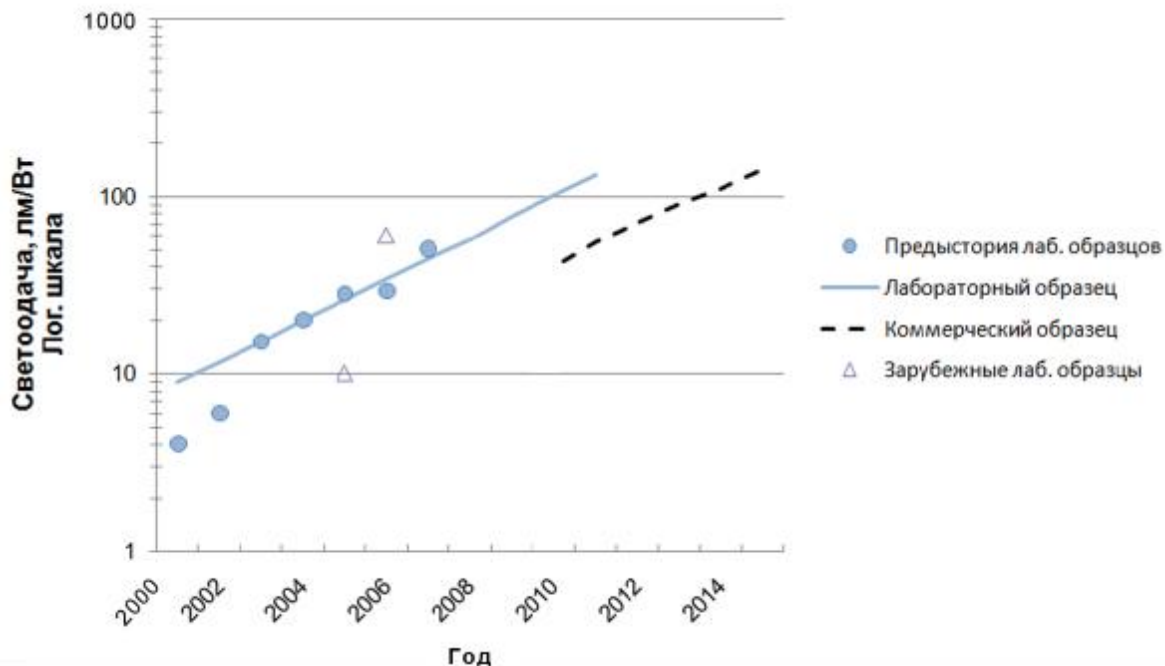
** Indium — tin — oxide.

По прогнозам US DOE, стоимость одного килолюмена составит 10\$ при стоимости за квадратный метр 30\$ светящейся поверхности OLED светильника яркостью 1 000 кд/м² и, по оценкам компании General Electric, 6\$ и 40\$ соответственно для светильников яркостью 2 000 кд/м². Кроме того, в полную стоимость системы освещения входит цена светильника, стоимость обслуживания и замена, а также стоимость энергопотребления.

Рис. 9 (в логарифмическом масштабе) показывает, что светоотдача лабораторных опытных образцов будет расти по экспоненте и превысит 150 лм/Вт к 2012 г. Поскольку в настоящее время не существует коммерческих светильников на базе OLED, отсутствуют и данные по светоотдаче для коммерческих продуктов до 2009 г. Задержка относительно лабораторных продуктов составляет приблизительно три года. Прогноз выше 150 лм/Вт в рамках существующих представлений о технологии представляется необъективным.

Прогноз относится к белому OLED «около» кривой абсолютно чёрного тела ($\Delta s_{xy} < 0,01$) (Δs_{xy} — это расстояние от кривой абсолютно черного тела в цветовом пространстве C.I.E.), что требуется для общего освещения.

Рис. 9. Прогноз светотдачи коммерческих и лабораторных белых OLED

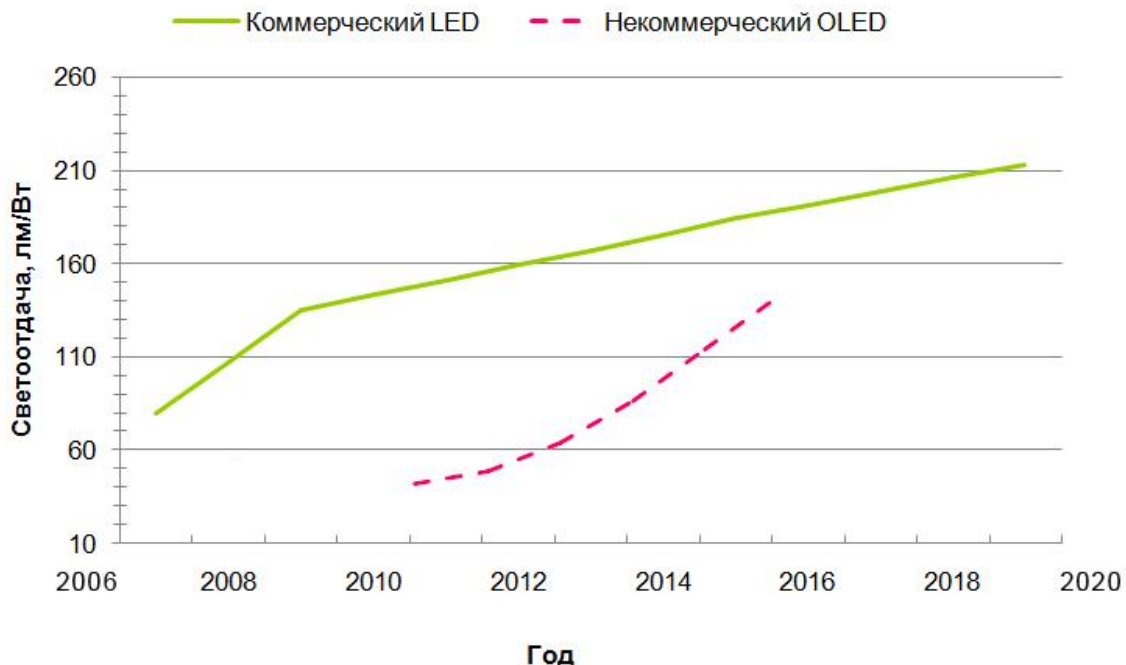


Примечание: Прогнозы светотдачи приняты для CRI > 80, CCT=2 700–4 100°K («около» кривой абсолютно чёрного тела ($\Delta s_{xy} < 0.01$), срока службы > 1 000 часов, светимости 1 000 кд/м², суммарный поток ≥ 500 лм, только для OLED (драйвер/светильник, не учитываются).

Источник: OLED Technical Committee, Fall 2008.

В настоящее время светотдача OLED отстает от LED, и на рынке нет продукции на базе OLED. Однако исследователи дают оптимистичный прогноз, в результате которого на конец прогнозируемого срока продукция на базе LED и OLED будет сравнима (рис. 10).

Рис. 10. Прогноз светоотдачи коммерческих LED и OLED



Источник: LED and OLED Technical Committee and the Department of Energy, Fall 2008.

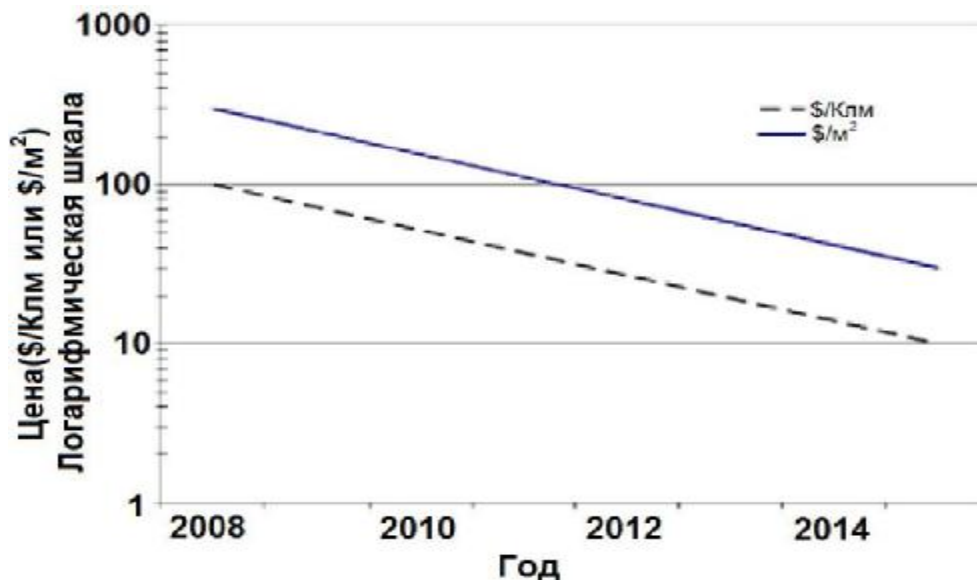
На рис. 11 представлена ожидаемая цена OEM² коммерчески доступных белых OLED (драйвер и конструкция не включены) для светимости 1 000 кд/м² при суммарном выходе не менее 500 люменов³. Исходя из текущих затрат на изготовление, цена на устройство OEM к 2009 г. составит \$72/кЛм. К 2015 г. цена, как ожидают, упадет до \$10/кЛм при объемах в десятки тысяч единиц. Цены на OLED могут остаться около \$10/кЛм после 2015 г., хотя возможны будущие ценовые снижения. Цена OEM на устройство, измеренная в \$/м², приблизительно в три раза выше, чем цена на устройство OLED, измеренная в \$/кЛм для принятой светимости.

Важно отметить, что ценовой прогноз ниже для OLED, но не для светильников. Поскольку драйвер OLED и конструкция могут быть менее дорогостоящими по сравнению с обычным источником освещения, светильник с более дорогим OLED может быть конкурентоспособным по отношению к обычным светильникам.

² Original equipment manufacturer.

³ Прогноз US Department of Energy.

Рис. 11. Прогноз стоимости OLED



Источник: OLED Technical Committee, Fall 2008.

Срок службы коммерческих OLED, определяемый как 70%-ый уровень выходного потока, увеличится линейно до величины порядка 40 000 часов к 2015 г. Хотя 50%-ый уровень используется на практике при демонстрации OLED, 70%-ый уровень применяется для того, чтобы сравнить сроки службы с другим осветительным оборудованием.

Таблица 25

Итоговые прогнозируемые характеристики OLED

Единицы измерения	2008	2010	2012	2015
Светоотдача лабораторных образцов, лм/Вт	58	99	150	150
Светоотдача коммерческих образцов, лм/Вт	N/A	44	76	150
Цена от изготовителя (ОЕМ), \$/клм	N/A	72	27	10
Цена от изготовителя (ОЕМ), \$/м ²	N/A	216	80	30
Срок службы коммерческого образца, тыс. часов	N/A	11	25	50

Примечания:

1. При прогнозе КПД принимают CRI=80, CCT=2 700–4 100°K («около» кривой абсолютно чёрного тела ($\Delta s_{\text{ху}} < 0,005$), светимость 1 000 Кд/м², полный выход ≥ 500 лм, и только для OLED (драйвер/светильник не включены).
2. При прогнозе цены на OEM принимают CRI=80, светимость 1 000 кд/м², только для OLED (драйвер/светильник не включены).
3. При прогнозе срока службы устройства принимают CRI=80, 70%-ый уровень выходного потока от первоначального, светимость 1 000 кд/м².

Источник: OLED Technical Committee, Fall 2008.

Характеристики срока службы, указанные в табл. 25, приведены для собственно OLED, но не всего светильника. Важной проблемой является увеличение срока службы драйвера, который может ограничить срок службы светильника на OLED.

В табл. 26 указаны потери КПД, которые происходят на элементах светильника OLED. Потери в драйвере составляют большую часть потерь КПД. Кроме того, в OLED нет существенных тепловых потерь, в отличие от LED. С учетом всех факторов для светильника OLED и их перемножения КПД светильника OLED в расчете на 2009 г. становится 16 лм/Вт, а к 2015 г. прогноз для коммерческих светильников OLED оценивается 129 лм/Вт.

Таблица 26

Итоговый прогноз КПД светильников на OLED

Единицы измерения	2008	2010	2012	2015
Светоотдача коммерческих образцов, лм/Вт	N/A	44	76	150
КПД конструкции	90%	90%	92%	95%
КПД драйвера	90%	90%	92%	95%
Суммарный КПД от OLED до светильника	81%	81%	85%	90%
Суммарный КПД коммерческого светильника, лм/Вт	N/A	36	65	122

Примечания:

При прогнозе КПД принимают CRI=80, CCT=2 700–4 100°K («около» кривой абсолютно чёрного тела ($\Delta\epsilon < 0,005\epsilon$)), светимость 1 000 Кд/м² только для OLED (драйвер/светильник не включены).

Источник: OLED Technical Committee, Fall 2008

1.2.2.5. Выводы Круглого стола по состоянию технологии органических светодиодов в России

В настоящем разделе представлены основные выводы экспертного обсуждения дорожной карты развития светодиодной индустрии в России, проведенного в рамках Круглого стола в февраль 2009 г. По мнению экспертов, на пути к коммерциализации OLED в России предстоит решить целый ряд проблем.

Были особенно акцентированы следующие выводы:

1. Необходимо интенсифицировать фундаментальные исследования. Очевидно, что финансирования через РАН и Минобрнауки явно недостаточно. Необходимо выделить несколько научных групп (5–10 чел.) в ряде академических институтов, например ФИАН, ИХФ (Черноголовка), ИМХ (Нижний Новгород), с годовым финансированием около \$1 млн в год. Причем объем средств, выделяемых в первый год, должен быть гораздо больше для покупки монтажа «чистых» комнат, напылительных и других установок.

2. Необходимо привлечение выпускников ведущих вузов (МФТИ, МГУ, МИЭТ и др.) с окладом в размере не менее 40 тыс. рублей, при котором молодые специалисты смогут решить жилищную проблему в крупных научных центрах (Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород).

3. Возможно приглашение специалистов из-за границы. При оплате \$4–5 тыс. возможно резкое увеличение числа ведущих специалистов в данной области.

Усилия российских исследований были направлены на разработку подходов и идей использования гибридных наноматериалов, выявление новых эффектов (например, экситон-плазмонное взаимодействие), эффективных комбинаций OLED с органическими транзисторами и т. п.

Массовое производство в России необходимо, но для начала нужно закупить несколько (2–3) небольших предприятий для производства OLED «под ключ», рентабельность которых будет очевидна. Примером могут служить иностранные автозаводы в России. На данных предприятиях можно будет внедрять российские разработки.

Текущее состояние российского рынка OLED технологий эксперты характеризуют следующим образом:

- Российская промышленность не имеет никаких планов разработки OLED для освещения. Причины такого положения состоят в следующем:

а) Использование OLED для общего освещения слишком рискованно и имеет много серьезных препятствий в настоящее время. Требуемое число изобретений, которые должны быть сделаны, и которых сейчас нет, делает невозможным детальное планирование бизнеса и не позволяет точно определить временные рамки. Разработки всех компаний в области OLED направлены на дисплейные технологии. Приоритетные проблемы для дисплеев отличаются от проблем, характерных для общего освещения. Например, для дисплеев важно разделение пикселей, в то время как срок службы не столь существенен. Для задач освещения приоритеты характеристик обратные.

б) Разработки всех компаний в области OLED находятся на начальной стадии и имеют ограниченный бюджет, или ведутся маленькими организациями в крупных компаниях, которые имеют обязательства разрабатывать OLED еще и для общего освещения. Эти компании или организации не могут себе позволить значительные инвестиции в научные исследования и разработку технологий, которые пока рассматриваются как рискованные направления. Таким направлением считается исследование материалов, слишком трудоёмкое и дорогостоящее для небольших организаций.

- Без существенной поддержки ни одна российская компания не начнет разрабатывать OLED для общего освещения, пока разработка OLED для дисплеев не даст результатов. Только инициатива кооперации крупных государственных инвесторов, промышленности и академических организаций может изменить ситуацию.

Вывод: Должным образом сформулированная и оформленная инициатива может обеспечить существенное повышение уровня разработок OLED для задач общего освещения и гарантировать российское лидерство в этой области.

I.2.3. Новые материалы в производстве светодиодов⁴

В данном разделе описываются компоненты, используемые на наиболее критичных этапах технологической цепочки производства светодиодов — в производстве гетероструктур и светоизлучающих чипов.

По оценкам экспертов, значительная часть описываемых в этом разделе компонентов используется в целом ряде смежных секторов экономики (в т. ч. секторов, связанных с производством полупроводниковой продукции). Наличие производства соответствующих компонентов в России определяет общий технологический уровень производства.

I.2.3.1. Основные виды: перспективы применения

Светодиодные подложки: тенденции развития технологии производства и применения

В настоящее время существуют три вида светодиодных подложек: сапфировые, подложки на основе кремния и подложки на основе SiC.

Сапфировые подложки

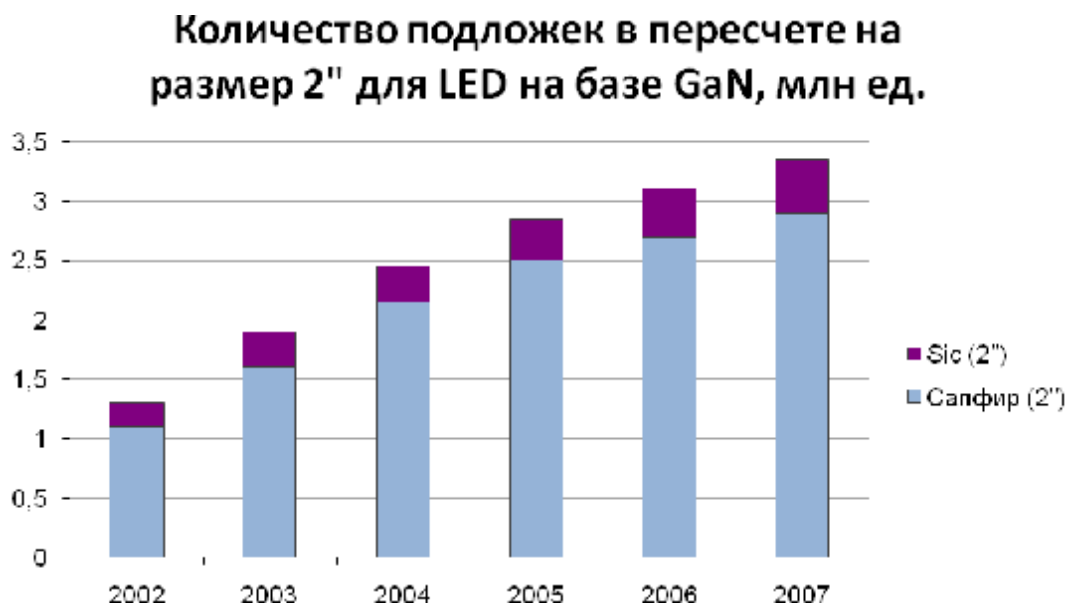
С созданием кристалла GaN рынок был поделен между традиционными для изготовления большинства светодиодов сапфировыми и SiC-подложками. Высока вероятность того, что в будущем именно подложки SiC получат большее распространение при производстве белых светодиодов для общего освещения.

Около 90% подложек SiC производится для изготовления синих/белых светодиодов и закупается фирмами Cree и Osram в соответствии с соглашением Сумитомо (Sumitomo), хотя ожидаются некоторые изменения [Yole Développement, SiC market 2005 edition report: from material to devices, 2005.]. Тем не менее, официальные заявления представителей Osram подтверждают, что компания активно применяет подложки из сапфира для производства белых и синих светодиодов, которые позволяют достичь примерно такой же светоотдачи, как и при использовании подложек из SiC. Компания Cree в свою очередь в основном использует 2'' подложки при производстве светодиодов на SiC, и постепенно переходит на 3'' подложки.

⁴ Источник: экспертные интервью, материалы сборника **Письма в журнал технической физики**, авторы -- Лундин В.В., Заварин Е.Е., Синицын М.А., Яговкина М.А., Николаев, А. Е., Лундина Е.Ю., Сахаров А.В., Трошков, С.И., Цацульников А.Ф., и др., 2008 г., СПб.

В 2005г. производство 2'' подложек во всем мире для синих/белых СД составляло 2,8 млн шт, из которых 2,5 млн. шт - это подложки из сапфира. Только порядка 12% от общего количества производимых подложек составляет SiC (см. рис. 12).

Рис. 12. Прогноз производства светодиодных подложек. Соотношение объемов производства подложек из SiC и из сапфира при изготовлении СД на базе GaN



Источник: <http://www.gaasmantech.com/Digests/2006/2006%20Digests/14E.pdf>

Все другие компании также используют сапфировые подложки, на основе которых достигаются наилучшие результаты. Таким образом, остаются открытыми вопросы: в чем заключаются преимущества SiC и возможно ли достижение светоотдачи > 200 лм/Вт более быстрыми темпами.

Карбидкремниевые (SiC) подложки⁵

В свое время в качестве альтернативы полупроводниковому материалу Ge были предложены кремний и карбид кремния (SiC). Тем не менее, с развитием технологии Si и GaAs промышленный интерес к карбиду кремния постепенно угас.

Однако после разработки метода газотранспортной (CVD) эпитаксии пленок 3C-SiC на кремниевых подложках карбид кремния был снова отнесен к перспективному материалу для полупроводниковой электроники. SiC-подложки непрерывно совершенствуются, за счет увеличения диаметра и качества. Достоинства карбида кремния состоят в следующем.

⁵ Источник: *Лебедев А.А. Вечнозеленый полупроводник // Химия и жизнь, №4, 2006. - С. 14-19*

Во-первых, это большая по сравнению с Si и GaAs ширина запрещенной зоны (возможность увеличение области рабочих температур и создания светоизлучающих приборов для всего диапазона видимого света).

Во-вторых, в SiC на порядок больше значение поля пробоя по сравнению с кремнием.

В-третьих, решение проблемы теплоотвода за счет высокой теплопроводности.

В-четвертых, высокая термическая стабильность вещества.

В-пятых, это возможность производить на основе SiC любые типы полупроводниковых приборов и наличие собственной подложки большого размера.

Таким образом, SiC можно считать более перспективным материалом по сравнению с GaN и другими нитридами.

В настоящее время экспериментальный выпуск приборов на основе карбида кремния, так же как и интенсивные исследовательские работы, проводят крупнейшие компании, специализирующиеся на производстве полупроводниковой техники: Cree (США), АВВ (Швеция), Siemens (Германия), Hitachi (Япония). Можно выделить несколько основных направлений.

Первыми промышленно выпускаемыми приборами на основе SiC были светодиоды. Получаемые светоизлучающие приборы охватывали всю спектральную область видимого света за счет большой ширины запрещенной зоны SiC.

Размеры подложек SiC за последние 15 лет выросли более чем в десять раз, в свою очередь на три порядка уменьшилась концентрация дефектов. Исследования выращенных на подложках пористого SiC гетероструктур и эпитаксиальных слоев на основе GaN подтверждают увеличение интенсивности люминесценции. Это вызвано существенным снижением плотности проникающих дислокаций в одиночных эпитаксиальных слоях, выращенных на подложке ПКК (пористый карбид кремния). Такие структуры имеют перспективу применения в светодиодах, перестраиваемых по длине волны излучения.

Сапфировые (Al₂O₃) подложки

Существенно сдерживает повышение эффективности InGaAlN светодиодов низкая эффективность вывода света из прибора. Решением может стать использование профилированных сапфировых подложек.

Эпитаксиальные структуры для III–N светодиодов сегодня выращиваются преимущественно на сапфировых подложках. Появившиеся экспериментальные AlN и GaN подложки открыли новые возможности в производстве III–N светодиодов, но из-за их высокой стоимости не получили массового распространения.

Использование обычной сапфировой подложки существенно ограничивает максимально достижимую эффективность прибора. В данном случае перспективны сапфировые подложки с профилированной поверхностью, на которой производится эпитаксиальный рост приборной структуры. Тем не менее, методы профилирования поверхности подложек пока коммерчески неэффективны.

Наряду с этим разработаны достаточно простые методы на основе фотолитографии с применением травления, которые могут быть пригодны для массового производства. В ФТИ им. А.Ф. Иоффе была разработана наиболее простая технология формирования профилированного сапфира, пригодного для последующего эпитаксиального роста InGaN/GaN/AlGaIn светодиодных структур. Травление сапфировых подложек ориентации (0001) производилось в ортофосфорной кислоте.

Согласно исследованиям использование профилированных сапфировых подложек приводит к увеличению интенсивности электролюминесценции до 1,5–2 раз по сравнению со структурами, выращенными на стандартных подложках.

Кремниевые (Si) подложки

Кремниевые подложки в сравнении с сапфировыми имеют большие размеры (диаметром до 300 мм), что позволяет снизить стоимость светодиодов за счет увеличения их выхода в одном процессе. Также кремний увеличивает надежность работы светодиодов и лучше рассеивает тепло.

В Purdue University (штат Индиана, США) попробовали использовать кремниевые подложки, покрытые эпитаксиальным слоем нитрида циркония для создания GaN-светодиода. Нитрид химически, изменяя его свойства. Для исключения взаимодействия циркония и кремния, на кремний осадили барьерный слой стабильного нитрида алюминия. Работа опубликована в журнале Appl.Phys.Lett., 2008, v.93, p. 023109.

Предложенная технология на базе кремниевых подложек может снизить стоимость светодиодных светильников в 20 раз. Как заявляют разработчики, доступные по цене светодиодные лампы появятся на рынке в течение ближайших 2 лет.

Среди нерешенных проблем - снижение дефектов в устройствах и предотвращение растрескивания слоя нитрида галлия при охлаждении кремниевой пластины.

Компания Shimei Semiconductor также разработала технологии производства коротковолновых полупроводниковых светодиодов, позволяющие создавать их на кремниевых подложках. Прототип диода Shimei излучает на длине волны 450 нм и обеспечивает мощность 10 мВт. На нижнем слое устройства расположен катод и кремниевая подложка, на верхнем — излучающий слой и анод.

Металлоорганические соединения

Перечислим основные металлоорганические газы, используемые в технологии МOCVD:

1) Алюминий:

- Триметил алюминия CAS 75-24-1.
- Триэтил алюминия CAS 97-93-8.

2) Галлий:

- Триметил галлия.
- Триэтил галлия.
- Триизопропил галлия $\text{Ga}(\text{C}_3\text{H}_7)_3$.

3) Индий:

- Триметил индия.
- Триэтил индия.

4) Мышьяк:

- Арсин AsH_3 .
- Фениларсин.

В последнее время ведутся весьма активные работы по изготовлению светодиодов на основе кремния и использования кремниевых органических соединений в процессе эпитаксии. Широко распространение в производстве полупроводниковых приборов газофазная и жидкофазная эпитаксии. Газофазная эпитаксия, как более простой способ для целей массового производства, используется для формирования тонких слоев кремния и сложных полупроводников типа $\text{A}_{\text{III}}\text{B}_{\text{V}}$. В свою очередь жидкофазная эпитаксия применяется для получения эпитаксиальных слоев арсенида галлия и гетероструктур на его основе.

При формировании способом газофазной эпитаксии кремниевых эпитаксиальных пленок используют реакции восстановления тетрахлорида (SiCl_4). Температура подложек при этом должна достигать 1100–1300°C.

В России металлоорганические газы выпускает предприятие ООО «ЭЛМОС». Сегодня ООО «ЭЛМОС» является ведущим производителем металлоорганических соединений для электроники, которые пользуются спросом не только на внутреннем, но и на внешнем рынке. Основным направлением его деятельности является производство особо чистых металлоорганических соединений (триметилгаллий, триэтилгаллий, триметилалюминий, триметилиндий, диметилцинк, диэтилцинк, диметилкадмий, алкилы мышьяка,

сурьмы, селена, теллура, ценовые производные магния), особо чистых химикатов для электроники (бор трехбромистый, фосфор треххлористый, фосфора окситрихлорид, мышьяк треххлористый, галлий треххлористый и др.), галлоидных алкилов (метил йодистый, этил йодистый, этил бромистый, изопропил бромистый и др.), растворов алкиллития (метиллитий, n-бутиллитий, трет-бутиллитий и др.) и ряда других органических соединений.

Материалы, выпускаемые ООО «ЭЛМОС» используются для получения полупроводниковых эпитаксиальных структур (GaAs, GaN, GaAlAs, GaP, GaSb, InP, InSb, ZnS, ZnSe, ZnTe, CdSe, CdTe, CdHgTe, PbS, PbSe, PbTe, и др.) и оксидных пленок (SnO₂, In₂O₃, Al₂O₃, ZnO и др.) методом газофазного осаждения.

Люминофоры⁶

Люминофоры применяются для преобразования синего излучения в белых светодиодах. Как правило, используются желто-зеленые, желтые, оранжевые или красные люминофоры. Ниже приведены наиболее важные направления разработки люминофоров для белых светодиодов.

Использование органических люминофоров, испускающих белый свет, в мощных промышленных и бытовых светильниках достаточно ограничено, из-за их недолговечности. Неорганические в свою очередь требуют высоких температур синтеза, что не позволяет получать их в виде пленок на подложках.

Основной способ нанесения люминофоров сегодня — нанесение пасты на стеклянную или полимерную поверхность. Процесс получения светильника в таком случае существенно усложняется, снижается светоотдача и механические характеристики полимерной подложки.

В качестве желтого люминофора в основном используется иттрий-алюминиевый гранат (ИАГ), легированный церием. Для создания теплых белых светодиодов применяют смеси ИАГ и оранжевого или красного люминофора. Основными недостатками такого люминофор являются:

- ограничение по индексу цветопередачи излучения светодиода;
- узкая полоса возбуждения;
- ограничение на цветовую температуру излучения светодиода.

Тем не менее, эффективность ИАГ- люминофоров достаточно высока как и их индекс цветопередачи.

⁶ Источник: “Перспективные люминофоры для белых светодиодов”, А. Феопентов, 2006

Наиболее перспективными в данном случае становятся разработки однофазных люминофоров сопоставимой с ИАГ, позволяющих создавать теплые белые светодиоды. В этом направлении актуальны следующие разработки:

- использование двухвалентного европия с широкой полосой возбуждения в качестве активатора;
- построение матрицы люминофора на группировках SiN^+ и AlO^+ Группировки SiN^+ обеспечивают хорошие химические свойства, в т.ч. высокую стабильность.

Параметры люминофоров с двухвалентным европием или трехвалентным церием, представлены в табл. 27.

Таблица 27

Перспективные люминофоры для теплых белых светодиодов

Люминофор	Цвет излучения	L_{\max}^* , нм	L_{exc}^{**} , нм
$\text{Si}_{12-x}\text{Al}_x\text{O}_{16-y}\text{N}_y(\text{Sr,Ca})\text{:Eu}$	желтый	~ 580	~ 410
$\text{Y}_3(\text{Al,Si})_5(\text{O,N})_{12}\text{:Ce}$	оранжевый	~ 590	~ 460
$\text{Sr}_2\text{Si}_{5-x}\text{Al}_x\text{O}_x\text{N}_{8-x}\text{:Eu}$	красный	620..640	нет данных
$\text{Ca}_x\text{Al}_y\text{Si}_z\text{N}_3\text{:Ce}$	желтый	565	~ 460
$\text{Ca}_x\text{Si}_y\text{N}_{2-z}\text{O}_z\text{:Ce}$	красный	630	~ 530 (зеленый)
$\text{Ca}_x\text{Si}_y\text{N}_{2-z}\text{O}_z(\text{Al})\text{:Ce}$	оранжевый	560	~ 460

* Длина волны максимума излучения люминофора.

** Длина волны максимума возбуждения люминесценции люминофора.

Таким образом, перспективны разработки люминофоров на основе следующих матриц для применения в технологии белых светодиодов:

- гранаты, структура которых содержит группировки SiN^+ ;
- сиалоны;
- нитриды и оксинитриды кремния, содержащие кальций и алюминий.

В Национальном институте передовых промышленных технологий (Япония) в качестве люминофорного материала выбраны метаванадаты щелочноземельных элементов (калия, рубидия и цезия). Для метаванадата рубидия эффективность преобразования поглощаемой энергии веществом в излучаемый свет составляет 79%, для метаванадата цезия - 87%,. Такие показатели свидетельствуют об их перспективности в массовом производстве светодиодных осветительных приборов. Для этого используется метод мягкого синтеза.

Лиганды (от лат. ligo — связываю) — нейтральные молекулы, ионы или радикалы, связанные с центральным атомом комплексного соединения. Ими могут быть ионы (H^- , Hal^- , NO_3^- , NCS^- и др.), а также неорганические молекулы. Растворы органических ком-

плексных соединений формируют исходные компоненты синтеза, в которых ванадий и щелочноземельные металлы содержатся в виде связанных с органическим «остовом» катионов. Основными параметрами в данном случае являются время УФ-синтеза и длина волны. При увеличении времени синтеза агрегация нанокристаллов приводит к снижению квантового выхода люминесценции ванадатов.

Определенные параметры облучения позволяют избежать плазменной или термической обработки, разрушающую подложки. Также стало возможным настроить на более мягкие тона спектр излучаемого белого света посредством добавлению слоя второго люминофора на основе кальция, титана, стронция и микропримеси празеодима. Подобная технология со временем позволит создавать эффективные светоизлучающие устройства.

Компания Dominant Semiconductors сообщила о разработке светодиодов белого цвета с технологией использования не-YAG (алюмоиттриевый гранат) люминофора, который герметизируется эпоксидной смолой. Данный светодиод предназначен для использования в качестве подсветки в дисплеях портативных устройств.

Особо чистые газы⁷

Для выращивания кристаллов посредством металлоорганической эпитаксии необходимы особо чистые газы. В процессе газовой эпитаксии из металлоорганических соединений (МО ГФЭ) газообразные реагенты пиролизически разлагаются у поверхности подложки. Процесс проводят в проточном вакуумном реакторе при давлении паров компонентов 0.1–10 мм рт. ст. Более однородные слои можно получать за счет увеличения скорости газового потока и снижения давления.

Водород, аммиак, азот – представляют несущие газы, используемые при газовой эпитаксии. Азот и водород считаются инертными по отношению к химическим процессам, протекающим при выращивании классических полупроводников III–V (антимониды, фосфиды, арсениды). Воздействие газов на процесс роста происходит через влияние на распределение в реакторе скоростей, температуры и особенностей протекания гомогенных реакций в газовой фазе. В случае МО ГФЭ III-N соединений (GaN, AlN, InN) ситуация принципиально иная. В данном случае водород является активным участником химических реакций на поверхности растущего слоя.

В ФТИ им. А.Ф. Иоффе были проведены исследования по установлению факта синтеза AlN, а также изучение возможности выращивания совершенных эпитаксиальных слоев AlN с использованием газообразного азота в качестве источника азота для AlN. Бы-

⁷ Источник: *Лундин В.В., Заварин Е.Е., Сеницын М.А., Яговкина М.А., Цацульников А.Ф., “Газофазная эпитаксия нитрида алюминия из триметилалюминия и молекулярного азота”, Письма в журнал технической физики, 2008-34-21, СПб.*

ло показано, что результат процесса зависит от характера покрытий на подложкодержателе. Если перед началом процесса покрытий, содержащих нитрид галлия, в реакторе не было, то продуктом пиролиза ТМА (триметилалюминий) был карбид алюминия. Плотный волокнистый материал образовывался, если в качестве несущего газа использовался чистый азот. Добавление водорода изменяло структуру от светло-коричневого слоя развитых нанокристаллов до сплошного текстурированного поликристаллического слоя желтого цвета, однако при этом не изменялась химическая природа материала. При разработке обобщенной модели эпитаксии III–N соединений следует провести дополнительные исследования этого явления.

Особо чистые металлы

Кристаллофизические методы рафинирования применяются для получения особо чистых металлов и полупроводников. Основные направления технического прогресса в процессах получения отливок из расплавленных металлов и сплавов связаны с использованием непрерывной разливки стали и сплавов и с совмещением обработки заготовок давлением и литья.

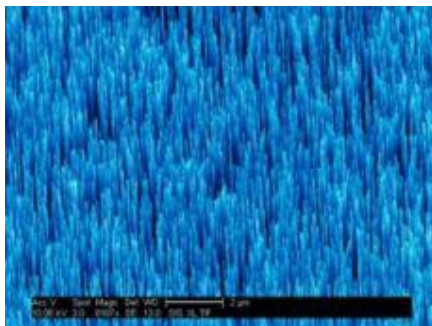
Ультрачистые металлы (УМ) получают посредством создания чистых химических соединений и их восстановления до элементарного состояния. Такие соединения получают сорбцией, экстракцией, дистилляцией, ректификацией, ионным обменом, перекристаллизацией из водных растворов. Для их восстановления прибегают к химическим методам, термическому разложению или электроосаждению. Для анализа примесей в УМ используют спектральные методы, полярографический, люминесцентный и другие методы.

Вещества особой чистоты делятся на три класса. Класс А делится на подклассы А1 (содержание основного вещества 99.9%) и А2 (99.99% основного вещества). Также различают подклассы В3, В4, В5 и В6 в соответствии с содержанием основного вещества. Класс С образуют сверхчистые вещества. Существуют прочие методы классификации материалов особой чистоты.

Материалы для светодиодов на основе ZnO

Оксид цинка в настоящее время рассматривается как перспективная с точки зрения снижения стоимости светодиодов альтернатива нитриду галлия.

Рис. 13. SEM микрофотография нанотрубок ZnO p-типа, синтезированных профессором Deli Wang из Калифорнийского университета



Источник: Deli Wang/UCSD.

В процессе химического осаждения из паровой фазы применяется легированный фосфором оксид цинка. Это позволило получить нанотрубки p-типа выгодно отличающегося по стоимости от других методов осаждения. Помимо применения полученных на базе оксида цинка наноструктурированных соединений для изготовления светодиодов, возможно использование этих материалов для совершенствования транзисторной технологии, сенсоров, наногенераторах и т.п.

Оптические компаунды⁸

Введение в состав макромолекул полимеров органических или неорганических люминофоров позволяет придать им способность к люминесценции. Подобные химические процессы должны минимально воздействовать на хромофорные группы полимеров.

Для целей массового применения больше всего подходят люминесцентные компаунды, применяемые для производства белых светодиодов. При нанесении на синий светодиод желтого люминофора, в котором свет возбуждается синим излучением, сложение цветов дает белое свечение. Экспериментально доказано получение приемлемых индексов цветопередачи, а светосила таких светодиодов значительно выше, чем у белых светодиодов на основе неорганических люминофоров.

При нанесении обычного неорганического люминофора на кристалл проблематично осуществить точную дозировку компаунда с введенным люминофорным порошком. Применение специального оптического модификатора, вводимого в эпоксидный компаунд, привело к устранению процесса осаждения люминофора. Это позволяет увеличить квантовый выход и добиться хорошей повторяемости результатов. Оптические характеристики белых светодиодов, изготовленных с использованием разработанного люминесцентного компаунда ОПТОКОМ белый, приведены в табл. 28.

⁸ Источник: Лаборатория физики полимеров Санкт-Петербургского Государственного технологического института

Параметры излучения партии белых светодиодов, герметизированных компаундом ОПТОКОМ белый, на разных стадиях изготовления

Параметры	Исходный сигнал		До заливки линз				После заливки линз				
	I _v , мкд	P, мВт	I _v , мкд	F, мЛМ	P, мВт	BIN	I _v , мкд	F, мЛМ	P, мВт	X	Y
Минимальное значение	48	2.51	73	279	0.73	1-2	154	318	0.87	0.36	0.44
Среднее значение	76	2.93	94	368	1.07	2-3	195	465	1.17	0.32	0.38
Максимальное значение	106	3.57	111	435	1.24	2-3	254	465	1.41	0.31	0.37

Компаунд ОПТОКОМ белый состоит из двух компонентов. Компонент А представляет собой однородную гомогенную суспензию люминофора в эпоксидной основе, которая для удобства применения фасуется в одноразовые шприцы. В 1 мл шприца входит 1.6 г компонента А. Компонент В содержит отвердитель и катализатор и также фасуется в шприцы. 1 г компонента В занимает объем в шприце 0.9 мл.

1.2.3.2. Перспективы применения новых материалов для создания неорганических светодиодов

В данном разделе описываются перспективные наноматериалы, использование которых способно оказать существенное влияние на развитие светодиодной техники.

Согласно мнению экспертов, устройства освещения находятся в настоящее время в статусе фундаментальных исследований. Несмотря на это, прогнозируется бурное развитие компонентов, связанных с твердотельным освещением.

Квантовые точки и провода на основе III–V, II–VI

Ограничение размеров квантовых точек ниже длины волны де Бройля вызывает сдвиги структуры ширины запрещенной зоны и разбиения уровней энергии (если частица имеет энергию E и импульс, абсолютное значение которого равно p , то с ней связана волна, частота которой $\nu = E / h$ и длина $\lambda = h / p$; эти волны и получили название «волны де Бройля»).

Использование кремниевых квантовых точек и нитей предусмотрено для различных приложений. Наноструктуры имеют весьма изменчивые электрооптические свойства, в отличие от их объёмных свойств. Кремний — хорошо изученный материал, который используется для многих приложений. Поэтому весьма привлекательно его использование в новых структурах.

Однако большинство приложений находится все еще в стадии фундаментальных исследований. Квантовые точки в составных полупроводниках представляются более раз-

работанными на сегодняшний день. Преимущество использования кремния создает задел для создания устройств с хорошими характеристиками.

Кремниевые нанокристаллы используются при создании кремниевых лазеров. При необходимости увеличения выходной мощности устройства на основе кремния были бы очень полезны в области фотоники, например для создания оптических соединительных проводов. Кроме того, солнечные элементы на базе квантовых точек имеют потенциальную возможность увеличения эффективности по сравнению со стандартными прозрачными кремниевыми ячейками. В то же самое время стоимость могла бы быть ниже, чем для ячеек III–V. Наконец, наноструктурные кремниевые зонды для оптической микроскопии со сканированием ближнего поля (SNOM) имеют существенные преимущества при внедрении в производство.

В целом требуется хороший контроль как размеров, так и плотности нанокристаллов. Разброс размеров должен быть настолько малым, насколько это возможно. Для большинства устройств также требуются образцы с высокой плотностью, состоящие из кристаллов маленьких размеров. Допустимая величина потерь и дефектов (рассеивание, нелинейность, и т. д.) должна быть сведена к минимуму. Образцы для солнечных элементов должны иметь высокую однородность квантовых точек по большой области. Наконец, еще нужно продемонстрировать работоспособность кремниевого лазера при электрическом возбуждении.

Квантовые точки и нити — это полупроводниковые наноструктуры, которые пространственно ограничивают движение электронов, дырок или экситонов. Пространственное ограничение приводит к улучшению характеристик и новым квантовым эффектам, которые могут быть использованы для разработки более совершенных устройств оптоэлектроники (лазеров, источников излучения, датчиков и т. д.).

Различные материалы групп III–V представляют собой главным образом соединения GaN, GaAs (включая антимониды) и системы материалов InP. Наиболее общей технологией выращивания квантовых точек и проводов является самосборка.

Диапазон приложений материалов, содержащих квантовые точки и провода на основе материалов III–V, очень широк. Основные усилия были направлены на исследования и разработку эффективных источников света для оптических соединительных проводов, оптических систем связи, систем освещения и хранения данных, а также на разработку малощумящих фотодатчиков для систем изображений, датчиков и солнечных элементов. Наряду с такими преимуществами квантовых точек и проводов, как эффективность, температурная стабильность (источники освещения) или низкий уровень темновых электрических токов (фотодатчики), возможности вырастить материалы друг на друге с несовпа-

дающими решетками, появились новые возможности комбинаций материалов для изменения ширины запрещенной зоны.

В то время, когда первые образцы с квантовыми точками и нитями должны уже быть коммерциализованы, технология по-прежнему находится на начальном этапе развития. Много новых концепций и явлений находятся в стадии исследований, главным образом это касается разработки солнечных элементов, хранения данных и систем освещения.

Основные проблемы при разработках связаны с улучшением контроля однородности размеров, формы и симметрии квантовых точек и проводов, т. к. эти проблемы в настоящее время ухудшают характеристики устройств. Кроме того, исследование и применение коллоидного синтеза дает возможность предложить путь к дешевому массовому производству.

Квантовые точки и провода на базе материалов II–VI

Основным типом наноматериалов, которые здесь рассматриваются, являются материалы с квантовыми точками, на основе групп II–VI, которые могут использоваться как материалы, обладающие способностью к флюоресценции/фотолюминесценции, электролюминесценции или обладающие свойством поглощения. Свойство излучения или поглощения, характерное для материала, определяется типом материала полупроводника (грубые регуляторы) и размером точек (тонкие регуляторы). Наночастицы групп II–VI потенциально обладают лучшей стабильностью и эффективностью по сравнению с обычными решениями. Они обладают широкими спектрами поглощения, с заметными пиками из-за индивидуальных энергетических состояний, и узким колоколообразным спектром излучения. Для таких приложений, как биодатчики, были разработаны более сложные структуры, состоящие из ядра, оболочки и покрытия.

Другой тип наноматериала — нанонити на основе окиси цинка, которые могут использоваться для изготовления ультрафиолетовых светодиодов.

Технология квантовых точек для нанолюминофоров была разработана сравнительно недавно. Эти наноматериалы произведены и уже коммерциализированы компанией Evident. Биологические датчики (например, для флюоресцентной микроскопии) являются наиболее подготовленной областью их применения после систем освещения и дисплеев, где нанолюминофоры, как ожидается, заменят обычные люминофоры, основанные на материалах с присадками редкоземельных элементов. Материалы на основе II–VI наночастиц могут быть использованы в солнечных элементах, при этом увеличивается эффективность ячейки при относительно низких затратах. Для других областей, таких как хранение данных, передача данных/телекоммуникации или датчики изображения, приложения возможны лишь в долгосрочной перспективе. Нанонити на базе окиси цинка долж-

ны иметь меньшую стоимость. Здесь могут использоваться большие непрозрачные подложки.

Влажные химические процессы — основной метод изготовления материалов с наночастицами на стандартном химическом оборудовании. Что касается других типов наночастиц, основными проблемами при их изготовлении являются как точное управление распределением размеров, так и изготовление ряда продуктов от маленьких объемов (несколько граммов за пакет) до продукции большого объема. Остается нерешенной проблема увеличения сроков службы и температурной стабильности, более высокой эффективности преобразования и улучшения управления перекрытием излучения/поглощения.

Должна быть также оценена токсичность нанокристаллов, которая может являться как результатом их небольшого размера, так и/или химического состава материалов (Cd, Te, органическое поверхностное покрытие и т. д.), а также продуктов разложения. Поскольку при производстве используются токсичные материалы (например, фосфин или органические растворители, такие как толуол, гексан, гептан или хлороформ), оказывающие негативное воздействие на окружающую среду, этот фактор должен быть принят во внимание. Альтернативные решения, например использование водных растворителей, находятся в настоящее время в процессе разработки.

Вообще говоря, научно-исследовательские работы, проводимые в Европе, находятся на более высоком уровне по сравнению с США; в Азии также основан ряд исследовательских центров. На промышленном уровне ситуация существенно зависит от области применения:

- QD-биодатчики были разработаны главным образом в США, хотя исследование проводилось и в Европе. Коммерциализация уже выполнена малыми и средними американскими компаниями. Необходимо проанализировать, есть ли рыночные возможности для российских компаний в будущем.
- Требуется дальнейшее исследование применения для систем освещения, поскольку это важное приложение в России. Исследования выполнены главным образом в США.
- В области дисплейных технологий нанолюминофоры с II–VI квантовыми точками применяются для усовершенствования существующих дисплейных технологий, которые проводятся в основном в Азии. Экспертами отмечено, что в России, как и в Европе, существует не так много возможных технологических альтернатив. Активные индикаторные панели на базе квантовых точек зависят от технологии OLED.

Плазмонные наноструктуры

Квантованные колебания заряженных частиц называют «плазмонами». Плазмонные эффекты особенно интересны в области нанофотоники. Они основаны на взаимодействии света со свободными электронами на металлических поверхностях. В зависимости от структуры поверхности, длины волны, угла падения и поляризации света эффект поверхностного плазмонного резонанса (SPR) может быть весьма существенным. В связи с этим эффект SPR очень чувствителен к характеру поверхности и, таким образом, может быть использован прежде всего для (био-) химического считывания.

В области разработки систем освещения плазмоники находится в основном в стадии фундаментальных исследований. Хорошие возможности для использования этого эффекта возможны там, где твердотельное освещение базировалось на применении светодиодов и OLED. У плазмоники есть потенциальные возможности для значительного увеличения световой эффективности светодиодов.

Другие наноструктуры

- Наноструктуры III–V с высоким контрастом.

Этот тип наноструктур пока не рассматривается для применения в области создания систем освещения или дисплейных технологиях.

- Углеродные нанотрубки.

Этот тип наноструктур рассматривается российским ФГУП «Волга» как перспективный материал для создания устройств освещения.

- Наночастицы в стеклах или полимерах.

Наночастицы с содержанием Er или других активных ионов вводятся в стекловолокна с целью создания активных стекловолокон, которые могут быть использованы, например, как оптические усилители. Для создания белых светодиодов применяются синие или ультрафиолетовые светодиоды с преобразователем. Этот преобразователь может состоять из наноразмерных кристаллов люминофора, например YAG с присадкой Ce, встроенного в матрицу. Для плоских дисплеев можно использовать наночастицы, состоящие из кварца, из которого возможно изготовить хорошие антиотражающие и антибликовые покрытия.

Существуют хорошие возможности использования люминофора для белого светодиода и покрытий для дисплеев.

Для создания эффективных белых светодиодов с хорошим цветом требуются такие люминофоры, которые обеспечивают эффективность более 85%. Могут потребоваться новые материалы, например для матрицы, чтобы повысить температурную, радиационную и механическую стабильность.

Существуют коммерчески доступные продукты с использованием антиотражающих покрытий для дисплеев. Основная проблема — это уменьшение их стоимости (порядка 100 \$/кг покрытия) до уровня, обеспечивающего конкурентоспособность по сравнению с антибликовыми покрытиями.

- Левосторонние метаматериалы.

Этот тип наноструктур пока не рассматривается для применения в области создания систем освещения.

Тенденции развития технологии производства излучающих кристаллов

В настоящее время производители светодиодов применяют достаточно удачные разработки в области технологии производства излучающих кристаллов. Однако технология посадки и корпусирования новых типов кристаллов в светодиод, еще не полностью освоенная и не доведенная до необходимого качественного уровня, сменяется другой технологией из-за появления более новых кристаллов или технологий их корпусирования. Одновременно меняются и области применения светодиодов, что, в свою очередь, влияет на их вид и конструкцию. Методы улучшения характеристик светодиодов можно изобразить в виде схемы, как это показано на *рис. 14* (Yole Développement market research report, 2008).

Рис. 14. Пути улучшения характеристик светодиодов



Технологии производства кристаллов может быть усовершенствована за счет повышение энергетики квантового выхода посредством применения перспективных материалов подложек и кристаллодержателей с малым тепловым сопротивлением. Также для

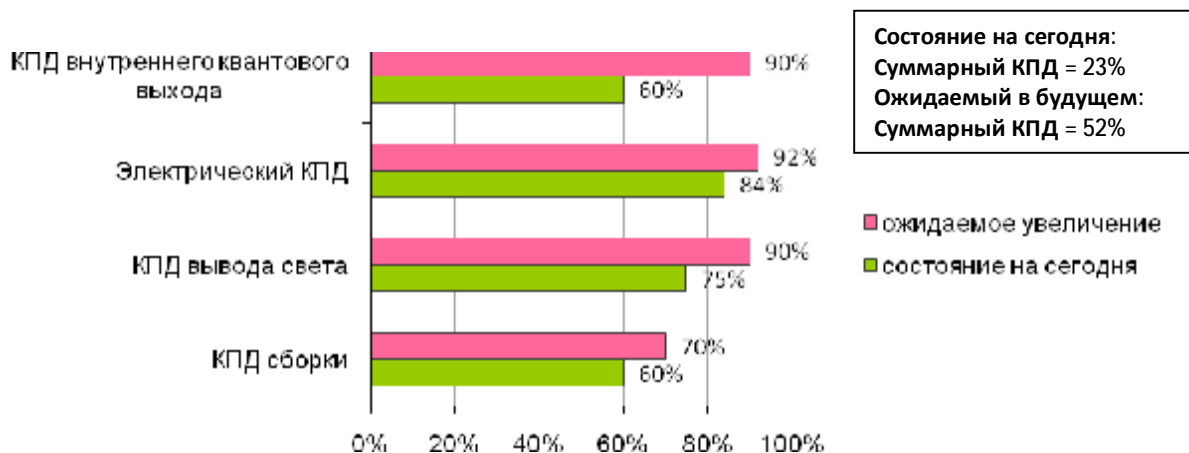
совершенствования методики производства кристаллов используется эффект Пельтье. Этот подход позволяет значительно увеличить квантовый выход.

Развитие интеграции за счет увеличения размеров кристаллов идет параллельно с увеличением плотности тока. Прогрессу в этой области мешают сложности формирования по всей площади большого кристалла равномерной плотности тока, а также изготовления однородных подложек (по большой площади) и структур излучающих кристаллов.

Особо стоит отметить тенденции развития технологий производства белых светодиодов. Вышеописанные варианты, а также на усовершенствование материала люминофора могут способствовать росту квантового выхода в белых светодиодах. Тем не менее, существует предел плотности мощности, размеров кристалла, возможностям комбинаций состава люминофора. Проблема заключается в совершенствовании технологии выращивания кристаллов и структур с неким набором запрещенных зон различной ширины в одной активной области.

Описанные проблемы конструкций кристаллов очевидным образом переносятся на конструктив светодиода. Посадке кристаллов на подложках SiC (Cree), будет осуществляться на эвтектику, а для материалов GaAs/GaAs, AlInGaP/GaP и структур на подложке Al₂O₃ (EPISTAR, NICHIA, AXT) будут использоваться эпоксидные и клеевые способы крепления. Источники излучения в приборах для освещения будут матричными ввиду важности энергетики светового потока. В ближайшем будущем нужна будет лишь герметизация кристалла, а формирование вторичной оптики сведется к минимуму. Таким образом, суммарное улучшение характеристик светодиодов может быть представлено в виде диаграммы (рис. 15) (Yole Développement market research report, 2008).

Рис. 15. Ожидаемое улучшение характеристик светодиодов



II. Сравнительный анализ областей применения светодиодов

II.1. Основные продуктовые сегменты светодиодной индустрии

По результатам анализа доступных источников было выделено 7 сегментов, охватывающих основные области применения светодиодов. Поскольку эти области довольно обширны, внутри каждого сегмента сформирован список вторичных сегментов, или сегментов второго уровня.

Двухуровневый список сегментов был подвергнут верификации в процессе углубленных интервью с экспертами. Полученная с учетом замечаний, дополнений и комментариев экспертов сегментация предложения светодиодов приведена в табл. 29:

Таблица 29

Сегментация предложения светодиодов

Название и краткое описание сегмента	Текущее состояние
1. Мобильные устройств (дисплеи, панели, единичные индикаторы, подсветка)	
Для одноцветных (монохромных) светодиодов	
1.1 Цветные индикаторы состояния (зарядка устройства, индикация режимов работы, оповещение о событиях)	Уже существуют
1.2 Индикаторные экраны: малоразмерные точечные и символьные экраны, в том числе монохромные, для более информативной индикации (внешние экраны в телефонах форм-фактора «раскладушка», однострочные индикаторы состояния устройства, контроля зарядки, экраны в электронных часах, плеерах, медицинских приборах и др.)	Уже существуют
1.3 Дисплеи, панели для рекламных целей:	
– на подарочных упаковках чая, кофе и т.д.	Уже существуют
– светящаяся жесткая и гибкая упаковка на основе OLED	Состоялись первые демонстрации
Для цветных светодиодов	
1.4 Полноразмерные экраны для отображения информации (многоточечные экраны для сотовых телефонов, медиаплееров, портативных телевизоров, устройств GPS, ноутбуков и т.д.)	Существуют первые, пока редкие приборы с OLED экранами, например, смартфон премиум-класса от Samsung
Для «белых» светодиодов	
1.5 Подсветка жидкокристаллических экранов (экраны для ноутбуков, телевизоров, часов и др.).	Уже существуют
1.6 Мобильные встраиваемые проекционные системы (замена интенсивным лампам подсветки, позволяющая встраивать проектор, например, в сотовый телефон).	Состоялись первые демонстрации
1.7 LD –вспышки, подсветки для фото- и видеотехники	Уже существуют

Название и краткое описание сегмента	Текущее состояние
2. Дисплеи больших размеров (наружные и внутренние, всех типов, с диагональю более 20")	
2.1 Информационные табло типа «бегущая строка» (одноцветные, полноцветные)	Уже существуют
2.2 Видеоэкраны (Телевизоры с OLED экранами, информационные табло для вокзалов, стадионов и т.д., наружная реклама на основе OLED)	Уже существуют. Первые образцы наружной рекламы на основе OLED
3. Электронные бытовые и промышленные устройства (другие сферы применения светодиодов)	
3.1 Цветные и монохромные индикаторы (единичные индикаторы)	Уже существуют
3.2 Индикаторные экраны	Уже существуют
3.3 Применение в системах телекоммуникации и электронике (волоконно-оптические линии связи, волонные линии передачи для цифрового телевидения; замена ламп подсветки в устройствах сканирования; замена лазерных диодов в системах формирования изображения в «светодиодных», по аналогии с «лазерными», принтерах и др.)	Уже существуют
3.4 Измерительные приборы	Уже существуют
3.5 Подсветка жидкокристаллических экранов	Уже существуют
3.6 Другое (включая новые сферы применения, такие как УФ-дезинфекция воды и помещений, средства проверки подлинности банкнот, стимуляция роста растений и т.д.)	Уже существуют
4. Сигнальные приборы, информационные знаки	
4.1 Светофоры	Уже существуют
4.2 Указатели дорожной обстановки (ночная дорожная разметка, подсветка дорожных знаков и указателей)	Уже существуют
4.3 Аварийная разметка и надписи (разметка аварийных проходов, в том числе автономная; надписи типа «аварийный выход»; аварийная подсветка надписей, в том числе автономная)	Уже существуют
4.4 Системы контроля, датчики присутствия, датчики дыма, в том числе в охранных системах	Уже существуют
5. Транспортные средства	
5.1 Стояночные огни, указатели поворотов, стоп-сигналы с цветными светодиодами	Уже существуют
5.2 Внутреннее освещение салона	Уже существуют
5.3 Индикаторные панели	Уже существуют
5.4 Встроенные медиа- и GPS-системы	Уже существуют
5.5 Встроенные парковочные системы (подсветка при движении задним ходом для специальных камер и мониторов изображения)	Уже существуют
5.6 Элементы декора	Уже существуют
5.7 Другое (системы контроля, например датчики дождя, датчики гололеда и т.д., использующие инфракрасные светодиоды в оптопарах; системы индикации непосредственно на лобовом стекле автомобиля)	Уже существуют. Первые образцы систем индикации на лобовом стекле автомобиля

Название и краткое описание сегмента	Текущее состояние
6. Освещение	
6.1 Наружное освещение больших площадей	Уже существуют
6.2 Внутреннее освещение	Уже существуют
6.3 Общее освещение нежилых помещений	Уже существуют
6.4 Общее освещение в жилых помещениях	Уже существуют
6.5 Декоративное освещение	Уже существуют
6.6 Специальное освещение с переменной цветопередачей	Уже существуют
6.7 Специальное освещение на рабочих местах	Уже существуют
6.8 Освещение в жилых помещениях, не имеющих подключения к электроэнергии	Уже существуют
7. Наружная декоративная подсветка (архитектурно-декоративная подсветка и реклама на основе сверхъярких светодиодов и OLED)	
7.1 Декоративная цветная подсветка	Уже существуют
7.2 Декоративная «белая» подсветка	Уже существуют
7.3 Статичные рекламные и декоративные вывески	Уже существуют

II.2. Анализ технических характеристик светодиодов в разрезе основных продуктовых сегментов

На базе информационно-аналитических материалов и в ходе экспертных интервью были выделены основные технические характеристики светодиодов, которые могли бы стать основой конкурентных преимуществ светодиодов перед альтернативными технологиями:

- 1) размеры;
- 2) спектр излучения;
- 3) направленность;
- 4) мощность;
- 5) быстродействие;
- 6) механическая прочность;
- 7) управление яркостью;
- 8) формирование изображения;
- 9) срок службы;
- 10) экономичность;
- 11) стоимость.

Однако в разных областях применения значимость этих характеристик неодинакова. Для оценки сравнительной значимости характеристик составлена и верифицирована в ходе экспертных опросов сводная таблица важности каждой технической характеристики в каждой области применения (табл. 30).

Сравнительная значимость технических характеристик светодиодов

	Размеры	Спектр излучения	Направленность	Мощность	Быстродействие	Механическая прочность	Управление яркостью	Формирование изображения	Срок службы	Экономичность	Стоимость
Мобильные и бытовые устройства											
Цветные индикаторы	+ В	+ В	+ В	+ Н	+ Н	+ В	+ С	- Н	+ В	+ В	+ В
Индикаторные экраны точечные и символьные	+ В	+ В	+ В	+ Н	+ Н	+ В	+ В	- Н	+ В	+ В	+ В
Полноразмерные экраны	+ В	+ В	+ В	+ С	+ В	+ В	+ В	- Н	+ В	+ В	+ В
Подсветка ЖК экранов (белая)	+ В	- В	+ В	- С	+ Н	+ В	+ Н	- Н	+ В	+ В	+ В
Подсветка ЖК экранов RGB	+ В	+ В	+ В	+ С	+ Н	+ В	+ Н	- Н	+ В	+ В	+ В
Мобильные проекционные системы	+ В	- В	+ В	- В	+ В	+ В	+ Н	- В	+ В	+ В	+ В
Дисплей больших размеров											
Телевизоры	+ В	+ В	+ В	- С	+ В	+ С	+ В	- Н	+ В	+ С	+ С
Информационные табло типа «бегущая строка»	+ В	+ С	+ В	- С	+ В	+ С	+ С	- С	+ В	+ С	+ С
Информационные табло для вокзалов, стадионов и т.д.	+ В	+ В	+ В	- С	+ В	+ С	+ В	- С	+ В	+ В	+ В
Наружная реклама	+ С	+ С	+ С	- С	+ С	+ С	+ С	- С	+ В	+ С	+ Н

	Размеры	Спектр излучения	Направленность	Мощность	Быстродействие	Механическая прочность	Управление яркостью	Формирование изображения	Срок службы	Экономичность	Стоимость
Сигнальные приборы, информационные знаки											
Светофоры	- С	+ В	+ В	- В	+ С	+ В	+ Н	- В	+ В	+ В	+ В
Ночная дорожная разметка	+ В	+ В	+ В	- Н	+ Н	+ В	+ С	- Н	+ В	+ В	+ В
Подсветка дорожных знаков и указателей	+ С	- С	+ В	- В	+ Н	+ В	+ С	- С	+ В	+ В	+ В
Аварийная разметка и надписи	+ С	+ С	+ С	- Н	+ Н	+ В	+ С	- С	+ В	+ В	+ В
Системы контроля, датчики присутствия	+ В	+ С	+ В	- С	+ С	+ В	+ Н	- Н	+ В	+ В	+ В
Транспортные средства											
Стояночные огни, указатели поворотов, стоп-сигналы	- С	+ В	+ В	- В	+ С	+ В	+ С	- В	+ В	+ В	+ В
Внутреннее освещение салона	- С	- С	- С	- С	+ С	+ В	+ С	- Н	+ В	+ В	+ В
Индикаторные панели	+ В	+ В	+ В	- Н	+ С	+ В	+ В	- Н	+ В	+ В	+ В
Встроенные медиа и GPS системы	+ В	+ В	+ В	- С	+ В	+ В	+ В	- Н	+ В	+ В	+ В
Встроенные парковочные системы	+ В	+ В	+ В	- В	+ Н	+ В	+ Н	- В	+ В	+ В	+ В
Элементы декора	+ С	+ С	+ С	- Н	+ Н	+ В	+ С	- С	+ В	+ Н	+ Н
Системы контроля	+ В	+ С	+ В	- С	+ В	+ В	+ Н	- С	+ В	+ С	+ В
Освещение											
Наружное освещение больших площадей	- В	- С	+ С	- В	+ Н	+ В	+ Н	- В	+ В	+ В	+ В

	Размеры	Спектр излучения	Направленность	Мощность	Быстродействие	Механическая прочность	Управление яркостью	Формирование изображения	Срок службы	Экономичность	Стоимость
Общее освещение помещений	– В	– В	+ В	– В	+ Н	+ В	+ С	– В	+ В	+ В	+ В
Декоративное освещение	+ С	+ С	+ С	+ С	+ С	+ В	+ С	– С	+ В	+ С	+ Н
Специальное освещение на рабочих местах	– С	– В	+ В	– С	+ Н	+ В	+ С	– В	+ В	+ В	+ В
Освещение в жилых помещениях, не имеющих подключения к электроэнергии	+ С	– С	+ С	– С	+ Н	+ В	+ В	– С	+ В	+ В	+ В
Наружная декоративная подсветка											
Декоративная цветная подсветка	– С	– В	– С	– В	+ Н	+ В	+ С	– С	+ В	+ С	+ С
Декоративная «белая» подсветка	– С	– С	– С	– В	+ Н	+ В	+ С	– С	+ В	+ С	+ С
Статичные рекламные и декоративные вывески	– С	+ С	+ С	– В	+ С	+ В	+ С	– С	+ В	+ С	+ С
Телекоммуникации и коммутации											
Волоконно-оптические линии связи	+ В	– В	– В	– В	– В	+ С	+ Н	– В	+ В	+ В	+ В
Волконные линии передачи для цифрового телевидения	+ В	– В	– В	– В	+ В	+ С	+ Н	– В	+ В	+ В	+ В
Мобильные тестеры кабельных сетей	+ В	+ С	+ С	+ С	+ В	+ В	+ Н	+ В	+ В	+ В	+ В

В таблице приняты обозначения

«+» — параметр светодиода достаточен для данного применения;

«–» — параметр недостаточен для данного применения.

Значения в таблице приведены для одиночных светодиодов.

В – важность параметра высока для данного применения;

С – средняя важность параметра для данного применения;

Н – низкая важность параметра для данного применения.

Данные табл. 30 легли в основу сравнительного анализа перспектив светодиодов в различных областях их применения.

II.3. SWOT-анализ сегментов светодиодной индустрии

II.3.1. Мобильные устройства

Сила	Слабость
<ul style="list-style-type: none"> – Высокая механическая прочность из-за отсутствия спирали и иных чувствительных составляющих). – Длительный срок службы. – Узкий спектр (нет необходимости в светофильтрах). – Высокая направленность (малый угол излучения). – Экономичность. – Малые размеры. – Невысокая стоимость. – Электробезопасность (не требуется высокое напряжение питания). 	<ul style="list-style-type: none"> – Необходимость стабилизации тока. – Необходимость специальных схем для эффективного управления яркостью.
Угрозы	Вывод
<p><u>Лампы накаливания</u> – практически нет.</p> <p><u>Газоразрядные индикаторы.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Простота конструкции. – Простое управление яркостью. – «Неоновые» газоразрядные лампы могут подключаться непосредственно к сети 220 В без схем понижения и стабилизации напряжения. 	<p>Светодиоды для цветных индикаторов уверенно конкурируют с альтернативными продуктами и постепенно вытесняют их с рынка.</p>

II.3.2. Дисплеи больших размеров

Сила	Слабость
<ul style="list-style-type: none"> – Высокая механическая прочность из-за отсутствия спирали и иных чувствительных составляющих). – Длительный срок службы. – Узкий спектр (нет необходимости в светофильтрах и люминофорах). – Высокая направленность (малый угол излучения). – Малые размеры. – Экономичность. – Электробезопасность (не требуется высокое напряжение питания). – Высокое качество «черного» цвета. 	<ul style="list-style-type: none"> – Неотработанная технология массового производства. – Малая диагональ существующих дисплеев. – Высокая стоимость. – Малый срок службы «синих» OLED. – Неравномерность старения источников RGB света, приводящая к искажению цветопередачи со временем.
Угрозы	Вывод
<p><u>«Плазменные» панели:</u> На данный момент угрозы неочевидны, поскольку распространяются на другие сегменты. «Плазменные» панели по техническим причинам изготавливаются с диагональю только свыше 32” (82 см), а массовые, современные коммерческие OLED экраны имеют размер порядка 2-3”</p> <p><u>Цветные ЖК дисплеи (TFT) с подсветкой:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Отработанная технология производства. – Высокая яркость. – Отсутствие мерцания, великолепная стабильность изображения из-за особенности управления яркостью изображения. <p><u>Электролюминесцентные дисплеи:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Стабильно работают в широком температурном диапазоне от -50 до +85° С – Высокая стабильность и отсутствие задержек в переключении. – Возможность достаточно просто создавать полностью прозрачные дисплеи. – Возможность использования органических электролюминесцентных материалов, что является прямым конкурентом OLED технологии. <p><u>Проекционные лазерные дисплеи:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Высокое качество цветопередачи. – Возможность использовать под экран любую поверхность, необязательно плоской формы, поскольку не требуется система фокусировки. – Очень высокая яркость и контрастность. 	<p>Светодиоды для активных дисплеев могут конкурировать с альтернативными продуктами, но тенденция на данный момент не очевидна.</p>

Ц.3.3. Электронные бытовые и промышленные устройства

Сила	Слабость
<ul style="list-style-type: none"> – Высокая механическая прочность из-за отсутствия спирали и иных чувствительных составляющих. – Длительный срок службы. – Высокая направленность (малый угол излучения). – Экономичность. – Малые размеры. – Электробезопасность (не требуется высокое напряжение питания). 	Практически нет.
Угрозы	Вывод
<u>Газоразрядные лампы:</u> <ul style="list-style-type: none"> – Высокое качество «белого» света. 	Светодиоды для подсветки ЖК экранов уверенно конкурируют с альтернативными продуктами и постепенно вытесняют их с рынка.

Ц.3.4. Сигнальные приборы, информационные знаки

Сила	Слабость
<ul style="list-style-type: none"> – Высокая механическая прочность из-за отсутствия спирали и иных чувствительных составляющих). – Длительный срок службы. – Узкий спектр (нет необходимости в светофильтрах). – Высокая направленность (малый угол излучения). – Экономичность. – Невысокая стоимость. – Электробезопасность (не требуется высокое напряжение питания). 	Практически нет.
Угрозы	Вывод
<u>Лампы накаливания:</u> Преимуществ нет.	Светодиоды для приборов и информационных знаков уверенно конкурируют с альтернативными продуктами и постепенно вытесняют их с рынка. Ограничение оборота ламп накаливания может ускорить этот процесс.

Ц.3.5. Транспортные средства

Сила	Слабость
<ul style="list-style-type: none"> – Высокая механическая прочность из-за отсутствия спирали и иных чувствительных составляющих). – Длительный срок службы. – Узкий спектр (нет необходимости в светофильтрах). – Высокая направленность (малый угол излучения). – Экономичность. – Электробезопасность (не требуется высокое напряжение питания). 	Сложность формирования на данном этапе высокоинтенсивных пучков света сложной формы из-за необходимости использования для получения больших мощностей светодиодных сборок.
Угрозы	Вывод
<u>Лампы накаливания:</u> <ul style="list-style-type: none"> – Низкая стоимость. <u>Галогенные лампы головного освещения:</u> <ul style="list-style-type: none"> – Высокая яркость. – Качество «белого» света. – На данном этапе проще формирование яркого направленного излучения сложной формы. 	Светодиоды для транспортных средств уверенно конкурируют с альтернативными продуктами и постепенно наполняют рынок.

II.3.6. Освещение.

Сила	Слабость
<ul style="list-style-type: none"> – Высокая механическая прочность из-за отсутствия спирали и иных чувствительных составляющих). – Длительный срок службы. – Электробезопасность (не требуется высокое напряжение питания). 	<ul style="list-style-type: none"> – Узкий спектр излучения – Высокая направленность (малый угол излучения) – Эффективность снижается при объединении диодов в блоки и при повышении мощности
Угрозы	Вывод
<p><u>Лампы накаливания:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Низкая стоимость. – Небольшие размеры. – Простота осветительной арматуры. – Отсутствие токсичных компонентов. – Возможность работы как на постоянном токе (любой полярности), так и на переменном. – Возможность изготовления ламп для различного напряжения (от долей вольта до сотен вольт). – Непрерывный спектр излучения. <p><u>Люминесцентные лампы:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Высокая эффективность до 90 лм/Вт, причем для люминесцентных ламп с холодным катодом может быть выше. – Цветопередача: хорошая (3000 К: индекс цветности>80) , отличная (4200 К: индекс цветности>90) <p><u>Натриевые лампы:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Самая высокая эффективность. 	<p>Светодиоды для целей освещения не могут уверенно конкурировать с альтернативными продуктами. Внедрение запретов на лампы накаливания активизирует спрос на альтернативные продукты (люминесцентные лампы) в большей степени, нежели на светодиоды, т.к. в жилом секторе светодиоды не имеют преимуществ перед люминесцентными лампами.</p>

II.3.7. Наружная декоративная подсветка

Сила	Слабость
<ul style="list-style-type: none"> – Высокая механическая прочность из-за отсутствия спирали и иных чувствительных составляющих). – Длительный срок службы. – Узкий спектр (нет необходимости в светофильтрах и люминофорах). – Высокая направленность (малый угол излучения). – Малые размеры. – Экономичность. – Электробезопасность (не требуется высокое напряжение питания). – Высокая скорость переключения. 	<p>Практически нет.</p>
Угрозы	Вывод
<p><u>Лампы накаливания:</u> Преимуществ практически нет.</p> <p><u>Люминесцентные лампы:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Простота создания светящихся «трубок» любой формы. – Возможность создания эффективных цветных ламп за счет использования «одноцветного» люминофора. – Электролюминесцентный провод. – Высокая экономичность. – Малая толщина и гибкость. – Круговое освещение на 360°. 	<p>Светодиоды для наружной и декоративной подсветки могут конкурировать с альтернативными продуктами, но полное вытеснение не очевидно.</p>

II.4. Альтернативные траектории развития производства светодиодов в России

Базовой траекторией, вдоль которой может двигаться страна при развитии любого инновационного продукта, является реализация внутри страны всей цепочки его создания и внедрения. Такой подход в течение долгого времени практиковался в плановой советской экономике, что было вызвано как существованием «железного занавеса» (в том числе и для передовых зарубежных технологий), так и свойственной той эпохе идеологии «осажденного лагеря», требующей создания абсолютно самодостаточной экономической и инновационной системы.

Однако сегодня, в условиях глобализации, когда открытость национальных экономик стала нормой, данная траектория перестает быть единственно возможной и тем более единственно правильной. Она рациональна только в том случае, если страна является безусловным лидером на всех этапах создания, производства и реализации инновационного продукта. При отсутствии этого условия целесообразно пользоваться преимуществами международного разделения труда, определяя оптимальное место страны в таком разделении.

Методика построения альтернативных траекторий

В качестве основы для построения траекторий вся цепочка создания инновационного продукта разделена на три последовательных этапа:

1. **НИОКР.** Результат этапа — создание лабораторного образца.
2. **Внедрение.** Результат этапа — создание промышленного образца.
3. **Массовое производство.** Результат этапа — широкомасштабный выпуск продукции, обеспеченный соответствующими производственными мощностями, кадрами и инфраструктурой.

Критерием выбора траектории является два параметра:

1. Ожидаемый срок завершения первого этапа внутри страны по сравнению с зарубежными странами.
2. Ожидаемый интервал между этапами внутри страны по сравнению с зарубежными странами.

Разумеется, выделение этих критериев производится «при прочих равных условиях». Для выполнения данного условия выделяются характеристики светодиодов, которые являются «рубежными» в их развитии (данные характеристики выявлены в результате экспертных опросов и описаны выше), причем учитываются как технические, так и ценовые характеристики.

Далее рассматривается, с какой скоростью могут быть пройдены три вышеназванных этапа в России по сравнению со скоростью их прохождения в зарубежных странах для достижения «рубежных» значений характеристик продукта.

Получившийся в результате набор альтернатив, характеризующий сравнительную скорость реализации трех основных этапов инновационного цикла, приведен в Приложении 7.

Для выявления возможных траекторий развития разработок и производства светодиодов в России было рассмотрено два сценария. В качестве основного сценарного фактора рассматривается наличие государственной поддержки. Поскольку этот фактор носит бинарный характер, образуется два сценария:

1) Инерционный сценарий — отсутствие целенаправленной государственной поддержки, продолжают действовать те же факторы, что и сейчас.

В результате экспертного опроса выяснились следующие характеристики инерционного сценария:

- Уровень научных исследований и разработок не отстает от мирового (отставание менее 10–15%). Можно считать, что сопоставимые результаты НИОКР достигаются одновременно с остальными.
- Интервалы между этапами — отставание от стран-лидеров на 20–30% на обоих промежутках.

Таким образом, инерционный сценарий (см. Приложение 7) оставляет возможность только для продажи результатов НИОКР. Причем конкурентные позиции России здесь не окажутся слишком сильными ввиду того, что результаты эти достигаются одновременно и другими странами. Если реализовать этот сценарий, необходима очень сильная политика по продвижению результатов НИОКР, что может оказаться затратным.

Организовывать же внедрение и массовое производство нецелесообразно, т. к. импортные разработки будут готовы раньше, а с учетом контрафакта, вероятно, окажутся и сравнительно дешевыми.

Сейчас лет уже 15 в России ничего нового не разрабатывается. Мы полностью зависим от поставок из-за рубежа. Это стратегическая ошибка.

Из экспертного интервью

В рамках такого сценария у российской светодиодной индустрии практически нет будущего. Это неоднократно отмечалось и экспертами.

Чтобы изменить положение дел и уменьшить вероятность инерционного сценария, эксперты отмечали необходимость проведения целенаправленной государственной поли-

тики. При ее реализации возможно наступление второго сценария, который назван «активным», поскольку предусматривает активную поддержку отрасли государством.

2) Активный сценарий. Для осуществления активного сценария эксперты выделили следующие основные направления государственной поддержки, которые смогли бы ликвидировать отставание России в области разработки и производства светодиодов:

а) Принятие государственных программ разного уровня, в рамках действующих федеральных целевых программ, национальной программы по твердотельному освещению, масштабной программы по выпуску/внедрению энергосберегающих приборов («программа по энергосбережению») и т.п.

б) Прямое финансирование производителей и разработчиков, например, государственный заказ на разработку и производство светодиодных фонарей дорожного освещения, включая финансирование для закупки завода (оборудования и технологий).

Получить финансирование на разработки по теме «оптические СД» даже 25 млн евро (как в Европе) — было бы достаточно на несколько лет. У нас в стране принято давать столько, сколько могут, а не столько, сколько надо. В результате получается ничего.

Из экспертного интервью

Если речь идет о расширении применения оптоэлектронных компонентов в светотехнической отрасли, то я считаю, на начальном этапе должна работать система госзаказов на готовые изделия, в которых используются лучшие оптоэлектронные компоненты. Хороший пример из Китая. Там в период подготовки к Олимпиаде около 10 светотехнических предприятий получили госзаказ на разработку и производство светодиодных фонарей дорожного освещения. Менее чем за три года были разработаны и запущены в серийное производство гибридные светодиодные сборки с потребляемой мощностью от 30 до 200 Вт.

Из экспертного интервью

в) Формирование налоговых льгот для производителей и разработчиков. Например, налоговые льготы или «каникулы» на 3 года для производителей/разработчиков высокотехнологичной продукции, уменьшение НДС.

г) Разработка и утверждение нормативной базы. Введение новых СНиП, издание нормативных актов, ограничивающих использование неэффективных источников освещения.

Ввести в СНиП, издать нормативные акты, законы, запрещающие использование неэффективных источников освещения (до 40 Вт), — как в Европе (с 2015 г.).

Из экспертного интервью

д) Поддержка таможенными льготами отечественных производителей и разработчиков. Благоприятный таможенный климат и снижение пошлин для производителей/разработчиков (поддержка экспортеров высокотехнологичной продукции).

Таможенные препятствия очень затрудняют быстрый и эффективный гарантийный и текущий ремонт или замену оборудования и узлов. Иногда из-за этого возникает опасность остановки процессов, что недопустимо. Нужны законодательные решения. Государственные же чиновники, которые должны обеспечить благоприятный климат и таможенный, в том числе для высокотехнологичных компаний, видят в каждом юридическом лице потенциального контрабандиста и нарушителя. Действует презумпция виновности. Надо стремиться к кооперации на международном, межгосударственном уровне и устранять препятствия для этого.

Из экспертного интервью

е) Развитие малых предприятий в научно-технической сфере. Поощрение создания венчурных фирм и финансирования НИОКР, например, создание нескольких фондов с увеличенным финансированием на проект (7–15 млн руб.) и временем (не 1–3 года, а 5–7 лет).

ж) Совершенствование и поощрение защиты отечественной интеллектуальной собственности.

Если даже себе представить благоприятные условия для развития российской промышленности, то развитие светодиодного производства потребует непременно выхода на внешний рынок, где существует уже сложившийся спрос. Здесь есть два основных препятствия. Первое — Россия может конкурировать с Тайванем, Кореей и Китаем только в секторе наукоемкой продукции, т. к. ценовой фактор здесь не в пользу нашей страны. Такого рода разработки в России находятся на зачаточной стадии. Даже если преодолеть и эту проблему, то возникает другая — отсутствие патентно защищенных решений, которая не даст легко проникнуть российской продукции на мировой рынок. Для примера, только японская компания Toyota Gosei оформляет примерно 200–250 патентов в год, относящихся к нитридным светодиодам. В этом случае един-

ственный выход, как мне думается, это — развитие новых отраслей и технологий, еще не закрытых зарубежными патентами.

Из экспертного интервью

Реализация указанного пакета мер может, по мнению экспертов, привести к следующим изменениям:

- Научные исследования — преодоление лага при активных инвестициях займет около года.
- Промышленный образец — с лагом в 2 года относительно параметров лабораторных образцов с условием закупки оборудования при параллельном развитии базы производства.
- Массовое производство — 3–5 лет, при условии эффективности политики для обеспечения спроса, контроля за организацией технологических цепочек, развития соответствующих технологических мощностей и инфраструктуры.

По мнению экспертов, эти сроки сопоставимы со странами-лидерами. При условии соблюдения нижней границы интервала между внедрением и массовым производством может наблюдаться и опережение по скорости прохождения данного интервала. Таким образом, по мнению экспертов, при надлежащей поддержке внутреннего спроса появляется высокая вероятность охвата всех релевантных сегментов спроса российских потребителей, в том числе за счет вытеснения контрафакта, а при сокращении сроков организации массового производства появляются и экспортные перспективы.

III. Исследование рынка светодиодов

III.1. Анализ предложения светодиодов

III.1.1. Принципы сегментации

Структура предложения светодиодов в настоящем отчете рассматривается в двух аспектах — по происхождению и назначению (области применения).

В настоящее время Россия не относится к числу лидеров по производству светодиодов. Специалисты сходятся во мнении, что лидируют здесь компании Японии, США, Тайваня, Южной Кореи, материкового Китая и Западной Европы. Однако мнения по поводу доли конкретной страны или региона разнятся. Одни эксперты отдают пальму первенства США и Европе, другие считают, что лидерство принадлежит японским и южнокорейским фирмам. Некоторые ставят на первое место в производстве светодиодов такие страны, как Китай и Тайвань, полагая, что к 2020 г. КНР превратится в мирового лидера.

Данные таможенной статистики Федеральной таможенной службы формируют следующую картину: Япония — 50% от официально учтенного объема импорта светодиодов, США — 17%, страны Юго-Восточной Азии — 19% и на Западную Европу приходится 5%.

В любом случае, сложившееся соотношение сил делает Россию зависимой от импортных поставок.

Кроме того, эксперты отмечают, что среди импортной продукции значительную долю составляет продукция контрафактная. Это также важно учитывать, оценивая перспективы завоевания российского рынка легальной отечественной продукцией.

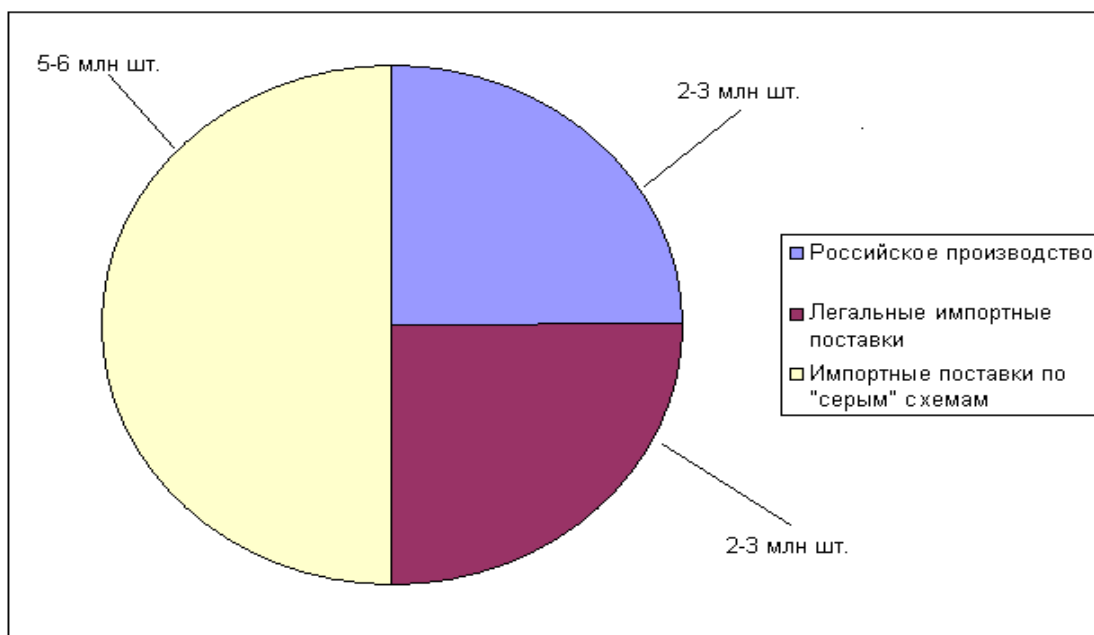
Как чаще всего и бывает при количественных измерениях теневого сектора, оценки экспертов доли контрафактной продукции на российском рынке светодиодной продукции резко расходятся. Минимальные оценки — 15–20%, максимальные — 80–99%. Взвешенными (без эмоций) можно считать оценки в диапазоне от 30 до 60%.

Контрафакт составляет 40–60%. Это, конечно, очень серьезные цифры, но надо понимать, что если не будет контрафакта, российский рынок светотехники на основе светодиодов сейчас не будет развиваться вообще. То есть, мы пока не можем сами производить достаточное количество дешевых светодиодов. Поэтому, чтобы производить и, главное, продавать светотехнику, надо покупать за границей. А неконтрафактные импортные светодиоды очень-очень дорого стоят.

Из экспертного интервью

Сегментация предложения светодиодов по происхождению изображена на диаграмме, представленной на рис. 16.

Рис. 16. Сегментация предложения светодиодов по происхождению



Источник: составлено по результатам экспертного опроса, проведенного ГУ-ВШЭ.

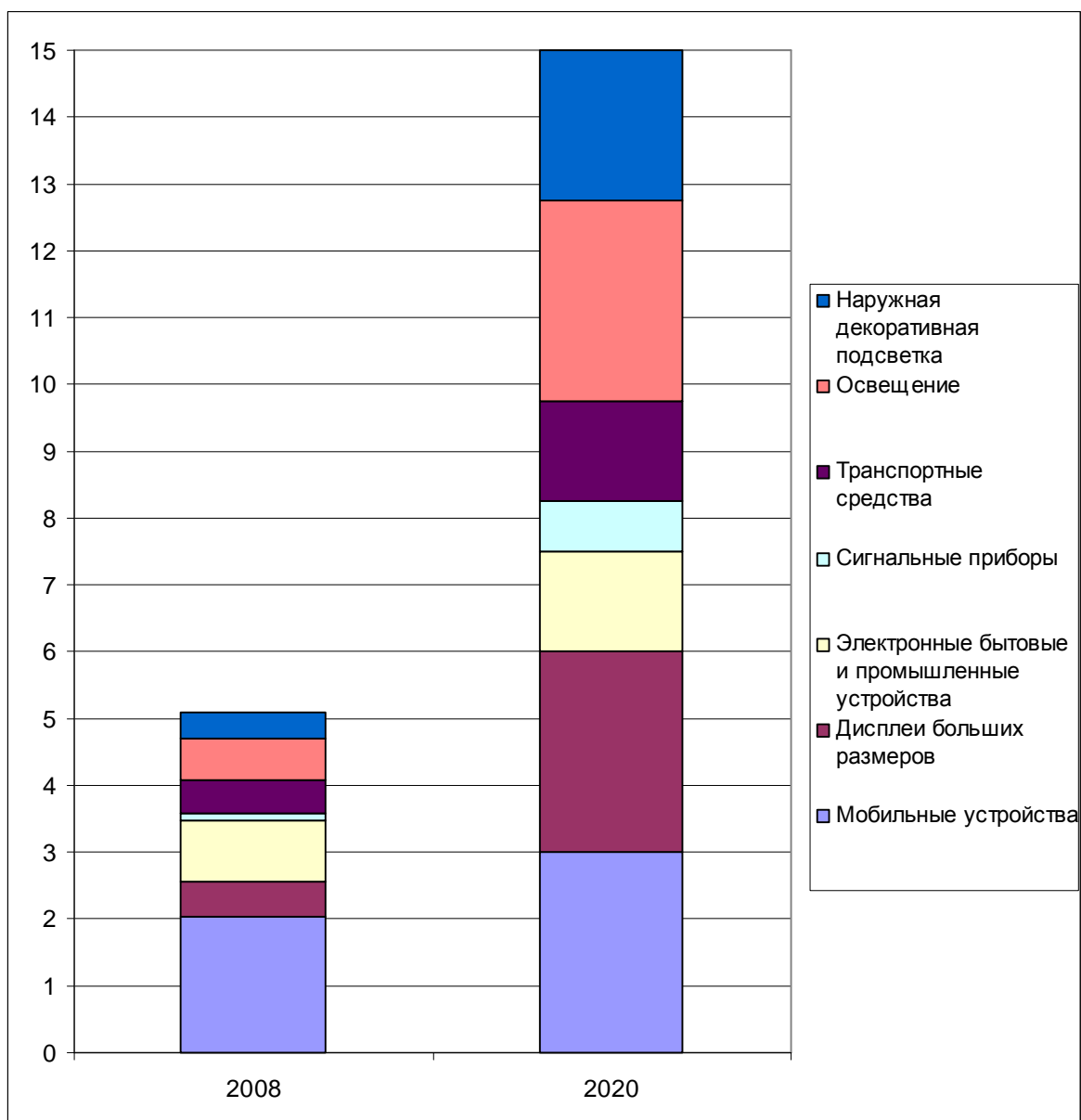
Данная сегментация важна для решения задач исследования, связанных с выделением факторов, определяющих динамику рынка, а также с выработкой рекомендаций относительно политики регулирования рынка.

Сегментация предложения светодиодов на российском рынке по назначению (области применения) была выполнена в разделе III.1. В данном разделе производится углубленный анализ сегментов первого уровня с целью:

- сравнения потенциала развития светодиодов и альтернативных продуктов. «Соревнование» между ними происходит именно в разрезе области применения;
- выявления лидеров в производстве светодиодов. Сама постановка задачи обуславливает группировку лидеров по производственному принципу.

Рассмотрим фактическое и ожидаемое состояние основных областей применения светодиодов в мире в абсолютном выражении (рис. 17):

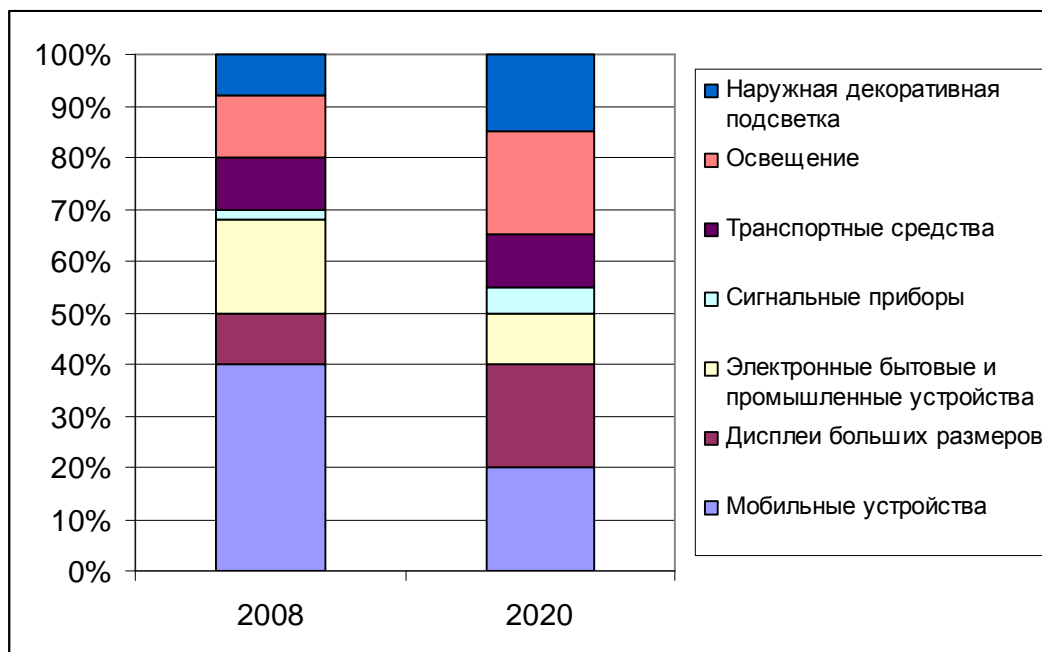
Рис. 17. Динамика развития областей применения светодиодов мире в абсолютном выражении (млрд долл. США)



Источник: составлено по результатам экспертного опроса, проведенного ГУ-ВШЭ.

В относительном выражении нынешняя и ожидаемая в будущем структура областей применения приведена на рис. 18.

Рис. 18. Динамика развития областей применения светодиодов в мире в относительном выражении (%)



Источник: составлено по результатам экспертного опроса, проведенного ГУ-ВШЭ.

Основной областью применения в настоящее время является производство мобильных устройств (40%), в первую очередь, мобильных телефонов. В будущем эта тенденция изменится из-за насыщения рынка телефонов. Впрочем, в среднесрочной перспективе данный сегмент все же будет расти за счет других мобильных устройств, а именно смартфонов, MP3-плееров, портативных компьютеров, GPS-навигаторов, цифровых камер. В относительном же выражении к 2020 г. удельная доля сегмента может снизиться до 20%, но не за счет его упадка, а за счет более быстрого прогресса других сегментов (в первую очередь, дисплеев). Относительно стабильным будет применение светодиодов для освещения, а также в автомобильной промышленности.

Мы думаем, что рост будет наблюдаться за счет еще трех сфер применения: автомобильного освещения, архитектурной подсветки и общего освещения, это в дополнение к рынку подсветки дисплеев.

Из экспертного интервью

На мировом рынке пока доминируют «стандартные» светодиоды с типичным рабочим током 20 мА. Однако сегмент светоизлучающих диодов (СД) с потребляемой мощностью 0.5 Вт и более растет с 2004 г. — 48% в год. Светодиоды высокой яркости (с рабочим током от 20 мА) распределяются на рынке следующим образом: белые составляют

48% , синие и зеленые на основе структур InGaN — 28%, желтые, оранжевые и красные на основе AlGaInP — 17% и RGB — 7%. Темпы улучшения характеристик СД опережают прогнозы, сделанные в начале XXI века. Световой поток в 100 лм/Вт был получен на лабораторных образцах в 2007, а не в 2010 г., как ожидалось.

Что касается российского рынка, то при схожей структуре их количественное наполнение в настоящий момент достаточно скромно из-за невысокой доли России в мировом производстве светодиодов.

III.1.2. Основные производители

Как было указано выше, лидерами предложения светодиодов являются зарубежные страны. Это соотношение имеет место во всех областях применения. В табл. 31 приведен список основных производителей светодиодов.

Таблица 31

Основные мировые производители светодиодов для освещения

№	Наименование	Сайт компании	Продукция
1	Cree	www.cree.com , США	Светодиоды типа Emitter, Star, SMD. Линзы для светодиодов. Светодиодные модули. Драйверы
2	Edison Opto Corporation	www.edison-opto.com.tw , Тайвань	Светодиоды типа Emitter, Star. Линзы для светодиодов. Светодиодные модули. Драйверы.
3	Lumileds Lighting	www.lumileds.com , США	Светодиоды типа Emitter, Star.
4	Osram	www.osram.com , www.osram-os.com , Германия	Светодиоды типа Emitter, Star, SMD, MultiLed, RadialLed (3,5 мм). Лазерные диоды. Оптические сенсоры. Дисплеи.
5	LedEngin	www.ledengin.com	Светодиоды 1-10W.
6	Prolight Opto	www.prolightopto.com , Тайвань	Светодиоды типа Emitter (1-4 W), Star (1-5 W). Оптические линзы. Светодиодные модули (максимум 3 светодиода).
7	Seul Semiconductor	www.seoulsemicon.com , www.zled.com , Ю.Корея	Светодиоды различных типов (Edison, Star, ChipLed, z-series, RadialLtd). Светодиодные модули.
8	Huey Jann Electronics Industry Co Ltd	www.hueyjann.com.tw , Тайвань	Светодиоды типа Emitter, Star, RadialLed, SMD, LazerLed.
9	Tridonic Atco	www.tridonicatco.com , Австрия	Светодиоды типа Emitter, Star. Декоративные изделия из светодиодов. Светодиодные модули. Драйверы.
10	Coline, KTL	www.bright-leds.ru , Россия	Светодиоды типа Emitter, Star, SMD, RadialLeds (5 мм). Светодиодные линейки (12 светодиодов). Светодиодные модули
11	Lexedis Lighting Gmbh	www.lexedis.com , Австрия	Светодиоды типа Emitter, nanoXED.
12	Nichia	www.nichia.com , Япония	Светодиоды типа Emitter, Star, LazerDiode, RadialLed. Линзы для светодиодов.
13	Roithner Lazer Technic	www.roithner-lazer.com , Австрия	Светодиоды типа Emitter, Star, RadialLed. Изделия из светодиодов.
14	HPLighting	www.hpl.com , США	Светодиоды типа Emitter, Star, с коллиматором. Линзы для светодиодов. Индикаторы.

№	Наименование	Сайт компании	Продукция
15	Sharp	www.sharpsme.com , Япония	Светодиоды 1-10W.
16	Epistar	www.epistar.com.tw , Тайвань	Светодиоды AlGaInP, СД устройства.
17	Stanley Electronic Co LTD	www.stanley.com , Япония	Линейка светодиодов, модули, оптические устройства, контроллеры.
18	Toshiba	www.toshiba.com , Япония	Линейка светодиодов, драйверы, оптика и т. д.
19	Neo Neon	www.neoneon.com , Китай	Светотехника, с октября 2009 г. Собственное производство светодиодов.
20	Philips Lighting, Philips Lumeleds	www.philips.com , www.philipslumeleds.com , Голландия	LED освещение, OLED дисплеи. Luxeon, SuperFlax, SnapLED, Led Die
21	Samsung Electro-Mechanics	www.sem.samsung.com , Корея	СД, оптические компоненты.
22	Ligitek Electronics	www.ligitek.com , Тайвань	Различные виды светодиодов, компоненты.
23	Para Light Electronics	www.para.com.tw , Тайвань	Различные виды светодиодов, оптические компоненты.
24	Vishay Intertechnology	www.vishey.com , США	Различные виды светодиодов, компоненты.

Светодиоды, в том числе белого света, выпускаются и в России фирмами «Корвет-лайтс» (www.corvette-lights.ru), «Протон» (www.proton.orel.ru), «Транс-Лед» (www.transled.ru), НПЦ ОЭП ОПТЭЛ (www.optelcenter.com), «Оптоника» (www.optonica.ru), «Светлана Оптоэлектроника» (www.svetlana-o.spb.ru).

Эксперты утверждают, что по конструкции и технологическому исполнению российские светодиоды не уступают зарубежным, перечисленные компании имеют соответствующие патенты.

Более подробный перечень российских производителей светодиодов, структурированный по областям применения продукции, приведен в Приложении 3.

III.1.3. Факторы предложения

Развитие производства светодиодов зависит от множества факторов, которые действуют на этот процесс как позитивно, так и негативно. Экспертный опрос, проведенный ГУ-ВШЭ, позволил выделить важнейшие из них. В приведенном ниже списке основные драйверы роста предложения расположены в порядке убывания их значимости:

- формирование и поддержка спроса;
- многоканальная система финансирования, налаживание финансирования из источников частного капитала;
- поддержка со стороны государства, государственное финансирование;
- разработка нормативно-правовых документов и ГОСТов, обеспечивающих законодательную базу данной деятельности;

- налаживание массового производства с целью снижения себестоимости;
- налаживание вертикальной и горизонтальной кооперации.

На первом месте, как можно было предвидеть, находится формирование спроса. Склонность российских домохозяйств и организаций к инновациям довольно низка, и без активной и целенаправленной политики развития потребностей в светодиодном освещении перспективы российских производителей ненадежны.

Важное место занимают факторы, связанные с финансированием. Примечательно, однако, что эксперты не уповают исключительно на финансирование со стороны государства, а возлагают надежды и на корпоративные проекты. От государства требуется, прежде всего, формирование нормальной правовой среды — по мнению экспертов, в настоящее время она неадекватна потребностям, излишне громоздка, запутанна и противоречива.

Факторы, находящиеся на стороне предложения, заняли последние места. Вероятно, это обуславливается не тем, что они малозначимы. Эксперты предположительно считают внешние по отношению к собственно производству факторы предпосылками для развития производства.

III.2. Анализ спроса на светодиоды

III.2.1. Сегментация спроса

Сегментация спроса проводилась в разрезе основных групп потребителей. Выше говорилось о том, что развитие производства светодиодов в нашей стране тормозится недостаточной развитостью спроса на них и консервативностью потребителей. Рассчитывать на то, что спрос автоматически сформируется в ответ на технологические предложения, не приходится. В наши дни производители не ждут пассивно, пока сложится спрос на их продукцию, а активно завоевывают и формируют этот спрос.

Нас не нужно поддерживать финансово или всякими законами, ограничениями и т. п. Конечно, можно нам выделить денег, но завтра они закончатся, и что дальше? Но вот если нет спроса на нашу продукцию — работать тяжело.

Из экспертного интервью

Для России данное обстоятельство имеет особую важность, т. к. отечественная инновационная система в значительной степени сохранила черты, заложенные в плановой экономике. В советское время распространение и внедрение научных разработок осуществлялось в рамках линейной модели инновационной деятельности. Накопленные научные и

инженерные знания в плановом порядке передавались в производство, реальные запросы конечного потребителя, как правило, не изучались, а «моделировались». Таким образом, внедрение регулировалось из центра, и в экономику вводились те инновации, которые, по тем или иным причинам, представлялись центральным органам управления эффективными. Хозяйствующие субъекты при этом нередко оказывали сопротивление таким инновациям, отчего эффективность внедрения оказывалась много ниже, чем эффективность разработок. Для преодоления этих недостатков инновационная система должна гибко учитывать потребности спроса.

Для успешного формирования и развития спроса необходимо проводить целенаправленную политику. Другими словами, надо хорошо знать портрет потенциального потребителя и подбирать под его особенности стратегию продвижения продукта. Потребители неоднородны, у них разные склонности, они ценят в продукте разные свойства. Формирование спроса должно точно ориентироваться на особенности каждой группы. Чтобы это стало возможным, такие группы необходимо выделять и исследовать. В противном случае важнейшее условие развития производства не будет выполнено.

Только создав устойчивое и растущее потребление готовых светодиодных устройств, можно будет уверенно говорить о продвижении светодиодной технологии в Россию.

Из экспертного интервью

III.2.1.1. Выделение сегментов потребительского сектора: спрос и предложение

В результате обобщения материалов экспертного опроса спрос на рынке светодиодов был разделен на следующие основные сегменты:

- частные потребители, домохозяйства;
- корпоративные потребители в целях освещения;
- корпоративные потребители в целях комплектации: автомобиль, мобильные телефоны и т. п.;
- муниципальные потребители;
- особые потребители: ОАО «РЖД», сигнализация, дорожная разметка и т. п.

Выделение последней группы, несколько нарушающее, на первый взгляд, принцип сегментации, обусловлено российской спецификой. Известно, что большинство отраслей, являющихся корпоративными потребителями, характеризуется высокой концентрацией. Они довольно четко разбиты на два сегмента: немногочисленные крупные компании,

обычно занимающие не меньше половины рынка, и мелкие, занимающие все остальное. С точки зрения характеристик спроса внутри одной отрасли крупные компании от мелких отличаются очень сильно, зато мало различаются между собой по отраслям. То же можно сказать и про мелких производителей.

Иными словами, в отечественных условиях нельзя говорить о типовом корпоративном потребителе. Можно говорить о типовом крупном и типовом мелком. Именно поэтому и проведено разделение на «особых потребителей» (крупных) и просто «корпоративных потребителей».

Краткая характеристика основных групп потребителей.

С учетом областей применения светодиодной техники можно выделить следующие группы потребителей:

1. Мобильные устройства:

- организации, занимающиеся разработкой и конструированием приборов (массового производства мобильных устройств — сотовых телефонов, коммуникаторов — в России нет);
- организации, применяющие малоразмерные панели для улучшения внешнего вида продукции, например, производители упаковки.

2. Дисплеи больших размеров:

- организации, занимающиеся наружной рекламой;
- организации, занимающиеся разработкой и конструированием приборов (массового производства мобильных устройств — в РФ нет).

3. Электронные бытовые и промышленные устройства

- организации, производящие различные индикаторные устройства промышленного и бытового назначения;
- организации, производящие бытовую и офисную технику (принтеры, сканеры и т.п.)

4. Сигнальные приборы, информационные знаки:

- организации, занимающиеся наружной рекламой;
- управления ГИБДД, организации, ответственные за обеспечение работы светофоров.

5. Транспортные средства:

- организации, занимающиеся торговлей автозапчастями;
- автосервисы, автосалоны и центры, занимающиеся тюнингом автомобилей;
- автомобильные заводы и АТП.

6. Освещение:

- организации Горсвета, занимающиеся эксплуатацией и обслуживанием систем уличного освещения;
- строительные и проектные организации;
- промышленные предприятия — подразделения заводов, фабрик, складов, АТП, которые занимаются обслуживанием и эксплуатацией наружного и внутреннего освещения территорий предприятий;
- службы ЖКХ — подразделения, отвечающие за освещение дворов и придомовых территорий, общественных и технических помещений в домах.

7. Наружная декоративная подсветка:

- организации Горсвета, занимающиеся установкой, эксплуатацией и обслуживанием муниципальных систем подсветки;
- частные компании, устанавливающие подсветку своих зданий с имиджевыми целями;
- владельцы частных домов для ландшафтного оформления участков;

Таким образом, сегменты предложения (продуктовая сегментация) и сегменты спроса (сегментация по потребителям) соотносятся следующим образом (табл. 32):

Таблица 32

Соотношение сегментации предложения и спроса на светодиоды

Сегменты предложения / Сегменты спроса	Мобильные устройства	Дисплеи больших размеров	Электронные бытовые и промышленные устройства	Сигнальные приборы	Транспортные средства	Освещение	Наружная декоративная подсветка
Частные потребители, домохозяйства	+	+				+	+
Корпоративные потребители в целях освещения						+	
Корпоративные потребители в целях комплектации: автомобиль, мобильные телефоны, рекламные щиты и т. п.	+	+	+	+	+		+
Муниципальные потребители		+	+	+		+	+
Особые потребители: ОАО «РЖД», сигнализация, дорожная разметка, и т. п.			+	+			

III.2.1.2. Иерархия сегментов

Обобщение результатов экспертного опроса позволяет сформировать следующий рейтинг сегментов по востребованности в них светодиодов (в порядке убывания):

1. Корпоративные потребители (комплектация и приборостроение).
2. Муниципальные потребители.
3. Домохозяйства.
4. Особые потребители.
5. Корпоративные потребители (освещение);

Сейчас тоже товары, оснащенные светодиодами, покупаются, но 80% из них не нашего производства. Конечно, не надо просто поддерживать всех, кто производит светодиоды, надо проанализировать, кто что делает. А то некоторые переориентировались, делают гособоронзаказ и все — подавай им финансирование. А это же мизерный объем. Частный сектор — вот основное.

Из экспертного интервью

III.2.1.3. Требования потребителей

В табл. 33 приведены основные требования, которые потребители в каждом сегменте предъявляют к светодиодной продукции и на основании которых они принимают решение о приобретении.

Таблица 33

Основные характеристики светодиодов, значимые для формирования спроса в основных сегментах

Сегмент	Мобильные устройства	Дисплеи больших размеров	Сигнальные приборы	Транспортные средства	Освещение
Требования потребителей, ранжированные по важности	§ надежность	§ надежность	§ соответствие требованиям ГОСТов, нормам и правилам	§ цена	§ соответствие полученного освещения нормам (СНиП)
	§ цена	§ цена	§ надежность	§ надежность	§ стоимость владения
			§ цена	§ дизайнерские возможности	§ цена
					§ надежность
					§ экономичность

Источник: составлено по результатам экспертного опроса, проведенного ГУ-ВШЭ.

Таблица 34

**Прирост взвешенного рейтинга основных потребительских характеристик
светодиодов к 2020 году**

Взвешенный рейтинг	Процентный прирост в 2020 году
Надежность	-7%
Цена	-2%
Соответствие нормам	79%
Экономичность	67%
Стоимость владения	67%
Дизайнерские возможности	0%

Наибольший прирост значимости ожидается для характеристики «соответствие нормам». Это вызвано, в том числе, ожидаемыми законодательными стимулами для внедрения светодиодов, как прямыми (например, ограничение на использование ламп накаливания), так и косвенными (ужесточение требований к конечным устройствам, создающие конкурентные преимущества для светодиодов).

Возрастет также значимость таких факторов, как «экономичность» и «стоимость владения». Данный вывод представляется обоснованным, поскольку в настоящее время речь идет о первичном приобретении устройств, использующих светодиоды, и основное внимание уделяется соотношению «покупная цена – качество». Но к 2020 году многие потребители уже совершат первичные покупки и, благодаря длительному сроку службы светодиодов, будут меньше нуждаться в новых покупках с целью замены. Тогда большее внимание станут привлекать эксплуатационные свойства уже приобретенных устройств.

III.2.1.4. Факторы спроса

Выше описаны характеристики продукта, которые являются значимыми для представителей спроса. Однако следует понимать, что эти драйверы не являются единственно возможными, поскольку потребитель обращает внимание и на другие обстоятельства. В ходе экспертного опроса получены следующие данные о факторах спроса, ранжированные по значимости:

1) Факторы, исходящие от предложения. Главными из них являются ценовые, затем маркетинговые и уже потом — технологические.

2) Характеристики спроса. Среди них на первом месте стоят доходы, играет роль также склонность к инновациям.

3) Государственное регулирование. Положительное влияние оказывают налоговые льготы, принятие государственных программ, отрицательное влияние — импортные барьеры. Прямое финансирование может иметь как положительную, так и отрицательную стороны.

4) Нормативные факторы (ГОСТ на конечную продукцию и др.).

5) Внешние факторы. Положительную роль играют развитие конкурирующих разработок, возможность импорта технологий и др.

6) Как оформлена интеллектуальная собственность на разработки.

На первом месте находятся характеристики продуктов, однако важную роль играют и усилия по их продвижению. Эксперты высоко оценивают перспективность таких усилий — факторы спроса поставлены на второе место, а на них можно влиять с помощью маркетинга. Государственное регулирование заняло третье место, что обуславливается ролью корпоративных и муниципальных потребителей — частных потребителей эти факторы почти не затрагивают.

Следует обратить внимание на то, что проблемы оформления интеллектуальной собственности находятся, по мнению экспертов, в нижней части рейтинга. Это, вероятнее всего, является следствием свойственного нашей стране правового нигилизма. Однако такое отношение может иметь серьезные негативные последствия при попытках выйти на мировой рынок.

III.3. Анализ рынка светодиодов

III.3.1. Объем рынка

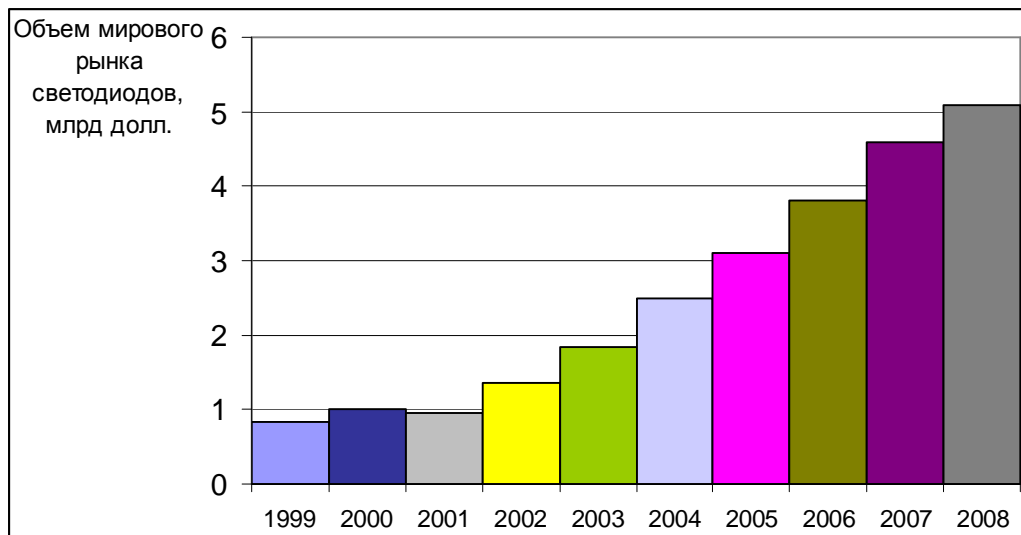
В последнее десятилетие мировой рынок светодиодов быстро расширялся. Темпы роста в 2001–2004 гг. были порядка 40% в год, а по данным международной конференции *Strategies in Light*, которая проводится уже 17-й год, — даже 46%. В последующие годы они несколько замедлились, но, тем не менее, до 2008 г. составляли не менее 20–25%.

Маркетинговая исследовательская компания *Strategies Unlimited* указывает на то, что с 1999 г. по 2008 г. продажи выросли в 6.2 раза с 820 млн до 5.1 млрд долл. Однако рост не был равномерным. Если в 2000, 2002, 2003 гг. темп роста сохранялся на уровне 50% в год, то за 2008 г. вырос «всего» на 11%. В абсолютном выражении рынок по сравнению с 2007 г. увеличился на 25%, достигнув максимального показателя в 48 млрд штук.

В денежном выражении объем рынка светодиодов, по оценке компании *Global Industry Analysts*, в 2007 г. составил 4.6 млрд долл. По данным *Strategies in Light*, в 2008 г. номинальная емкость рынка превысила уже 5 млрд долл., и годовой прирост составил 10% по сравнению с 7% в 2007 г.

Рестроспективная динамика мирового рынка светодиодов представлена на рис. 19.

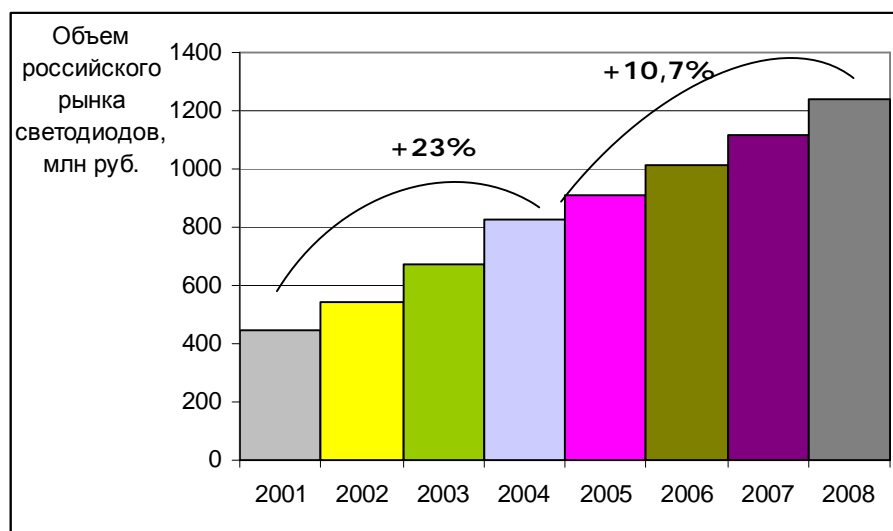
Рис. 19. Динамика объема мирового рынка светодиодов в 2001-2008 гг.



Что касается рынка светодиодов России, то он составляет, по данным из открытых источников, около 1% от мирового рынка. Следовательно, объем российского рынка в 2008 г. можно оценить цифрой порядка 51 млн долл., или чуть больше 1200 млн руб.

Даже в период бурного роста мирового рынка российский рынок светодиодов развивался медленнее мирового примерно в два раза. Темпы роста рынка в 2001–2003 гг., по приблизительной оценке, составляли около 20–25%, а в 2004–2008 гг. они снизились до 10–12% (см. рис. 20).

Рис. 20. Темпы роста (%) и объем (млн долл.) российского рынка светодиодов



Источник: составлено по результатам экспертного опроса, проведенного ГУ-ВШЭ.

III.3.2. Прогнозы развития

Оценка перспектив развития и объемов российского рынка светодиодов тесно связана с оценкой мировых перспектив развития рынка. Поэтому целесообразно, в первую очередь, рассмотреть прогнозы мирового рынка.

III.3.2.1. Среднесрочные прогнозы мирового рынка

С наступлением мирового кризиса темп роста мирового рынка замедлился. По оценкам, в 2009 г. он может принять отрицательное значение. Сохранить положительные темпы роста смогут, как ожидается, только рынки подсветки для ЖК телевизоров/панелей и системы освещения.

Несмотря на то, что в 2009 г. прогнозируется 20%-ное увеличение количества продаж ЖК телевизоров, доходы уменьшатся из-за продолжающейся тенденции давления на цены, появившейся в четвертом квартале 2008 г. При этом прогнозируется снижение цен от изготовителя на 30%. С целью экономии на издержках в условиях снижения цен основные производители ЖК телевизоров разворачивают программы развития устройств светодиодной подсветки. Результатом, как ожидается, станет снижение энергопотребления, повышение потребительских качеств телевизоров. Поэтому сжатия данного рынка, видимо, не произойдет.

Вхождение светодиодов на рынок систем освещения в настоящее время имеет существенный прогресс. В 2009 г. ожидается увеличение рынка, но не так, как это прогнозировалось ранее (на 35%), а на 17%. Долгосрочный прогноз для этого сегмента также позитивен, рынок восстановится в соответствии с восстановлением экономики.

Что касается других направлений применения светодиодов, то здесь в ближайшие два года будут наблюдаться негативные тенденции снижения роста производства при снижении цен. В текущем году прогнозируется 5%-ое снижение объема рынка в денежном выражении, что, кстати, уже наблюдалось в 2001 г. после глобальной рецессии на полупроводниковом рынке.

Тем не менее ожидается, что с 2010 г. восстановится положительная динамика. Через 2 года в 2011 г. рынок достигнет уровня в 9 млрд долл., а к 2013 г. превысит 12 млрд долл., как считают специалисты компании Strategies Unlimited. Схожий прогноз делают эксперты консалтинговой компании iSuppli: по их оценкам, уже в 2010 г. рынок предположительно начнет расти в среднем на 19.3% в год, и в 2013 г. достигнет 12.4 млрд долл.

Таким образом, несмотря на некоторые расхождения в оценках, в перспективе преобладают положительные ожидания относительно динамики развития мирового рынка.

III.3.2.2. Сценарии долгосрочного развития мирового рынка

Экспертные прогнозы относительно более отдаленной перспективы (до 2020 г.) расходятся. Тем не менее, проанализировав данные открытого доступа и экспертные мнения, можно сгруппировать прогнозные оценки в три категории.

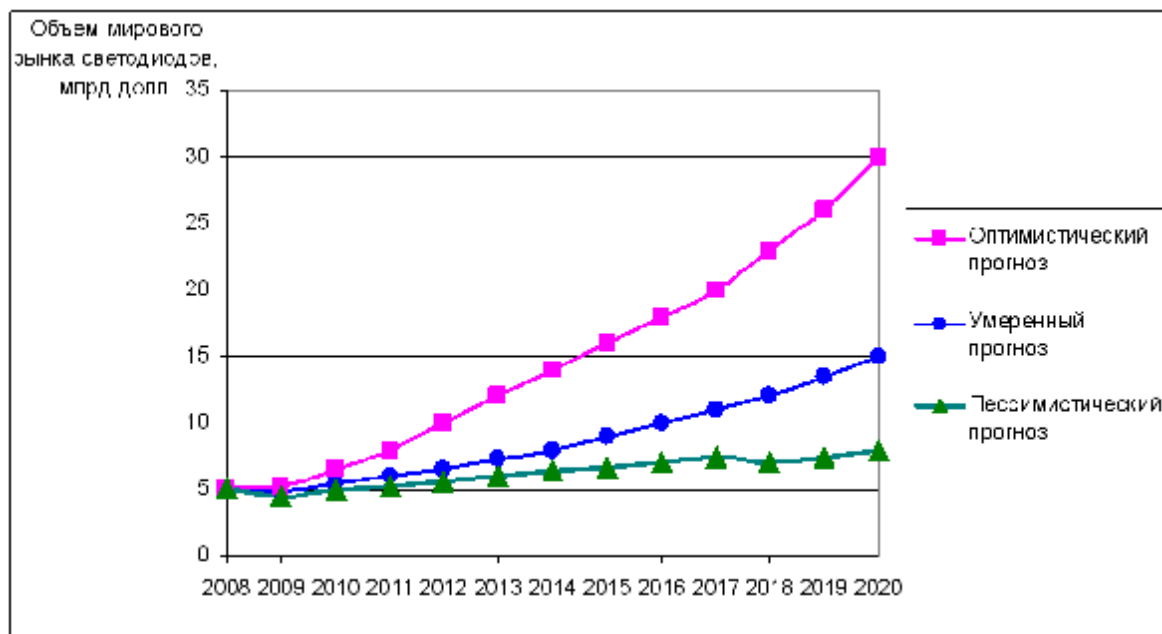
Оптимистический прогноз развития мирового рынка светодиодов основан на мнении о том, что глобальный экономический кризис на рынке светодиодов проявится только в снижении до нуля темпов роста (в стоимостном выражении); а затем вместе с возобновлением роста мировой экономики темпы роста рынка светодиодов восстановятся до уровня 20–25% в год. Основными движущими силами рынка будут: популяризация (в т. ч. нормативная) применения светодиодов в осветительных приборах и устройствах; развитие рынка мобильных устройств (телефоны, ноутбуки и т. п.); снижение цен при повышении потребительских свойств самих светодиодов.

Пессимистический прогноз основан на предположении о том, что проблемы в мировой экономике будут носить затяжной характер. Медленный и постепенный выход из рецессии начнется не ранее второй половины 2011 г. «Люминесцентное» лобби очень сильно, потребители весьма консервативны и ориентируются на цену приобретения (а она еще 10 лет будет в разы выше у светодиодов), а не на цену владения. В этом случае рост рынка будет носить скорее «инфляционный» характер на уровне 5–6% годовых.

Умеренный (средний) прогноз исходит из того, что после снижения на 5% в стоимостном выражении в 2009 г. рынок возобновит рост. Сначала (в 2010 г.) это будет компенсационный рост в 15–20% за год. А потом темпы роста будут удерживаться на уровне 10–12% в год, в денежном выражении.

Сравнительная динамика в рамках всех трех вариантов прогноза показана на рис. 21.

Рис. 21. Фактическая и ожидаемая динамика объема мирового рынка светодиодов
(млрд долл. США)



Источник: составлено по результатам экспертного опроса, проведенного ГУ-ВШЭ.

III.3.2.3. Сценарии развития российского рынка

Прогнозы перспектив российского рынка отталкиваются от оценок динамики мирового рынка. Оценки же эти, как видно из приведенных выше данных, сильно разнятся: в 2020 г. разброс составляет от 7.5 до 30 млрд долл. США, в зависимости от сценария.

На неопределенность динамики самого мирового рынка накладывается неопределенность относительно позиции России на этом рынке. Поэтому расхождения в оценках перспектив отечественного рынка у экспертов еще более существенны.

Сторонники пессимистического сценария считают, что российский рынок никогда не сможет превысить 1% от мирового рынка. В силу инертности потребителей, коррупционности вопроса (около 50 нормативных актов, включая СНиП и ГОСТ, которые препятствуют установлению светодиодных светильников в подъездах жилых домов), невнимания властей, низкой рыночной ориентированности производителей и других негативных факторов. Их оценки объема рынка на 2020 г. укладываются в диапазон от 80 до 300 млн долл. **Сверхпессимисты** вообще прогнозируют стагнацию рынка светодиодов, продолжительностью в 10–15 лет.

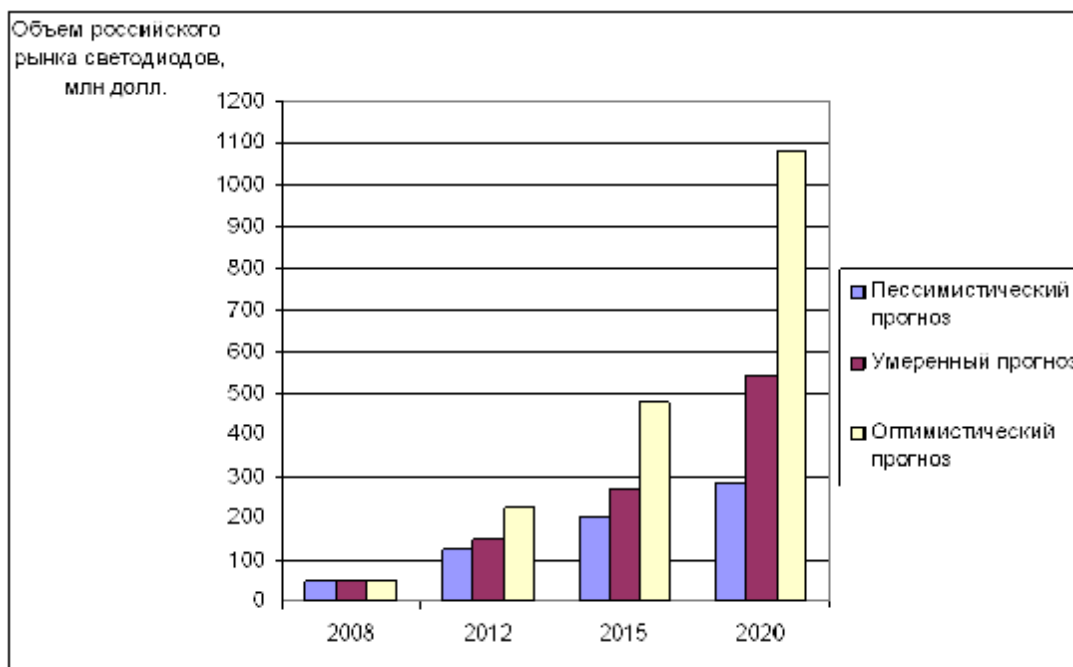
Оптимисты, напротив, полагают, что в силу огромного размера территории страны, сложных погодных условий, достаточно инновационного характера потребления как со стороны физических, так и со стороны юридических лиц, при должном уровне поддержки со стороны государства и своевременном решении нормативных вопросов рос-

сийский рынок светодиодов вполне может составить до 5% от мирового, — при оптимистическом сценарии мирового развития до 1,5 млрд долл. США в 2020 г.

Умеренная (средняя) оценка, соответственно, может попасть в интервал от 300 до 900 млн долл.

Усредненные прогнозные оценки приведены на сравнительной диаграмме (рис. 22).

Рис. 22. Фактический и ожидаемый объем российского рынка светодиодов (млн долл. США)



Источник: составлено по результатам экспертного опроса, проведенного ГУ-ВШЭ.

III.3.3. Ожидаемая динамика цен на светодиоды

Светодиодное освещение на сегодняшний день является достаточно дорогим. Пока не произойдет зримого снижения цен, светодиоды не смогут конкурировать с другими видами общего освещения и претендовать на сколько-нибудь весомую роль на этом рынке. Поэтому важно понять, как может в перспективе меняться цена.

Прогноз цены построен на основе эмпирического закона Хейнца: в течение десятилетия происходит двадцатикратное увеличение светового потока при десятикратном снижении стоимости люмена.

Предположительно, снижение цены будет происходить в две фазы.

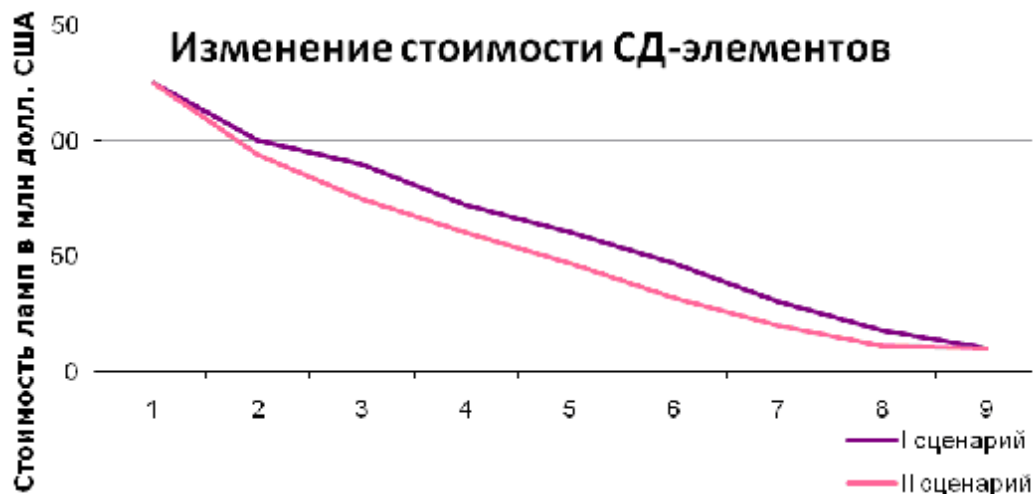
Первая, так называемая «фаза, предшествующая коммерческому использованию», имеет отношение к периоду исследований и демонстрации. На примере других энергетиче-

ческих технологий доказано, что во время первой фазы цена снижается на 20% при каждом удвоении эффективности устройств (лм/Вт).

Вторая, именуемая «фазой подъема», во время которой технология проходит апробацию различных способов применения. В течение этой фазы цена падает в два раза меньшей степени, чем в первой, т. е. на 10% при каждом удвоении эффективности.

Ожидаемое изменение цены на светодиоды для оптимистического (I) и пессимистического (II) сценариев показано на рис. 23.

Рис. 23. Фактическая и прогнозная динамика цены светодиодов



Источник: составлено по результатам экспертного опроса, проведенного ГУ-ВШЭ.

Таким образом, цена на светодиоды будет уменьшаться на 20% после каждого удвоения их эффективности. Вторая фаза начнется после того, как светодиодам будет принадлежать 2% от общей массы освещения — с этого момента цена будет падать на 10% при каждом удвоении эффективности.

IV. Рыночные перспективы основных групп светодиодов

Обобщая результаты проведенного анализа потенциальных объемов и динамики рынка, были построены оценки емкости основных сегментов с учетом трех базовых сценариев.

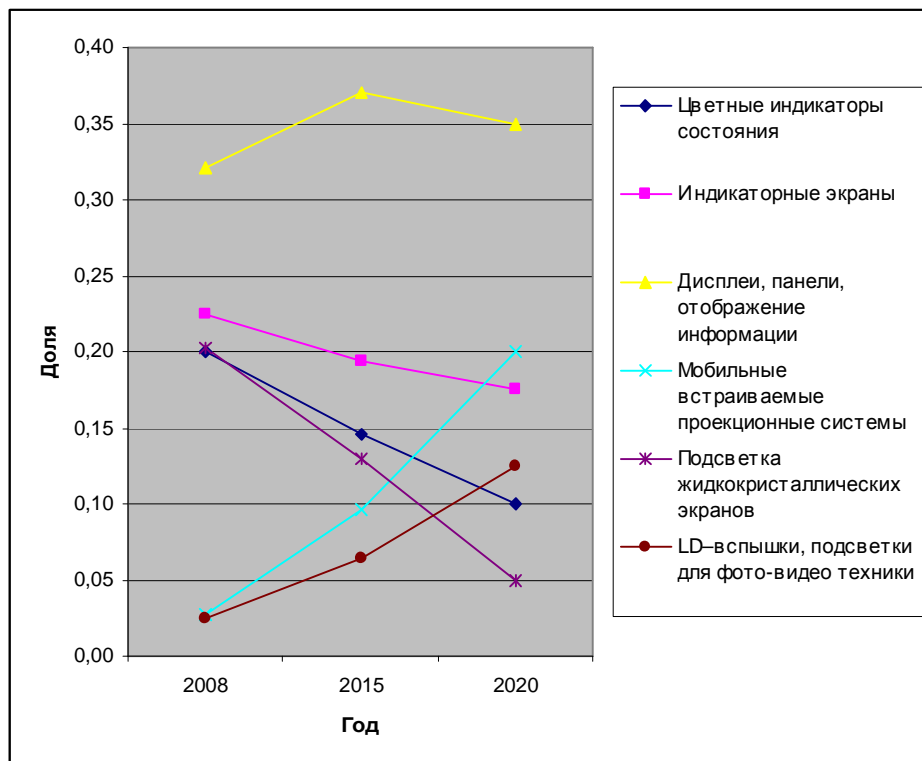
Табл. 35

Емкость основных сегментов российского рынка светодиодов (млн долл.)

	2010	2015	2020
Цветные светодиоды	16 17 19	25 40 65	100 190 370
Мобильные устройства	5 5 5	5 10 15	15 30 60
Дисплеи больших размеров	2 2 2	4 5 10	15 30 60
Электронные бытовые и промышленные устройства	5 5 6	5 10 15	20 40 80
Сигнальные приборы	1 1 1	1 2 5	10 20 30
Транспортные средства	2 2 3	5 6 10	20 30 60
Наружная декоративная подсветка	2 2 2	5 7 10	20 40 80
Белые светодиоды	16 17 19	30 40 65	110 210 400
Мобильные устройства	5 5 5	4 7 10	10 20 40
Дисплеи больших размеров	2 2 3	5 7 15	30 60 110
Электронные бытовые и промышленные устройства	3 3 3	3 4 5	5 10 15
Сигнальные приборы	0 0 0	1 1 2	5 10 25
Транспортные средства	1 1 1	2 2 3	10 20 30
Освещение	6 6 7	10 20 40	60 100 200
Наружная декоративная подсветка	2 2 2	5 6 10	20 40 80
Органические светодиоды	18 18 21	30 50 65	80 145 280
Мобильные устройства	11 11 13	15 20 30	30 60 110
Дисплеи больших размеров	1 1 1	2 4 5	10 20 40
Электронные бытовые и промышленные устройств	1 1 1	1 2 5	3 5 10
Транспортные средства	2 2 2	2 4 5	7 10 20
Освещение	6 6 7	10 20 40	60 100 200

В сегменте мобильных устройств наибольший потенциал роста имеют мобильные встраиваемые проекционные системы и LD-вспышки, подсветки для фото- и видеотехники. Удельный вес подсегмента дисплеев в среднесрочной перспективе также возрастет, но в более отдаленном будущем ожидается его снижение.

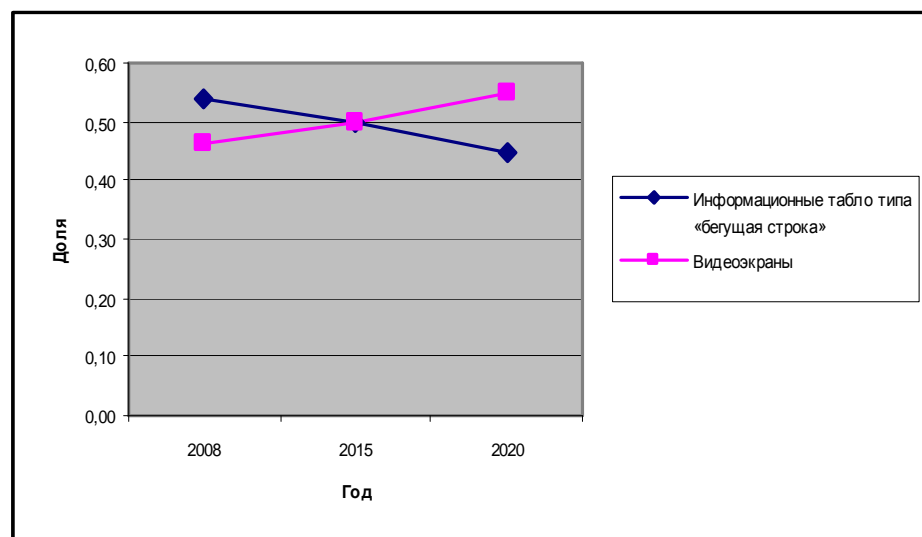
Рис. 24а.



Источник: материалы экспертного опроса, проведенного ГУ-ВШЭ.

В сегменте дисплеев больших размеров эксперты прогнозируют рост доли видео-экранов. Удельный вес информационных табло типа «бегущая строка» будет снижаться.

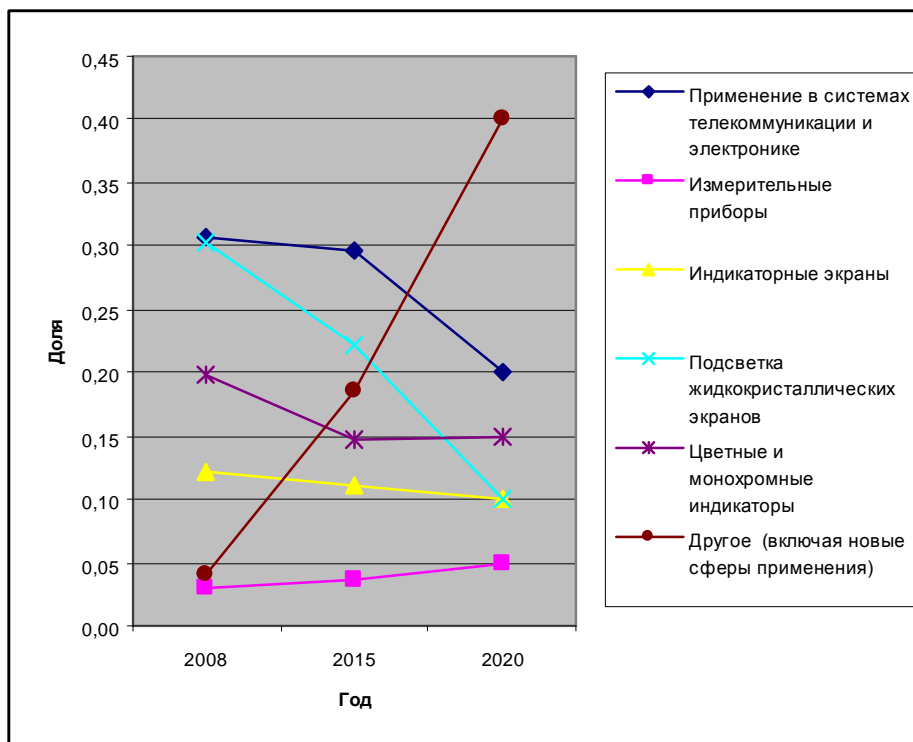
Рис. 24b.



Источник: материалы экспертного опроса, проведенного ГУ-ВШЭ.

Перспективная динамика сегмента бытовых и промышленных устройств характеризуется тем, что наибольший потенциал роста в нем будут иметь специальные нишевые применения светодиодов.

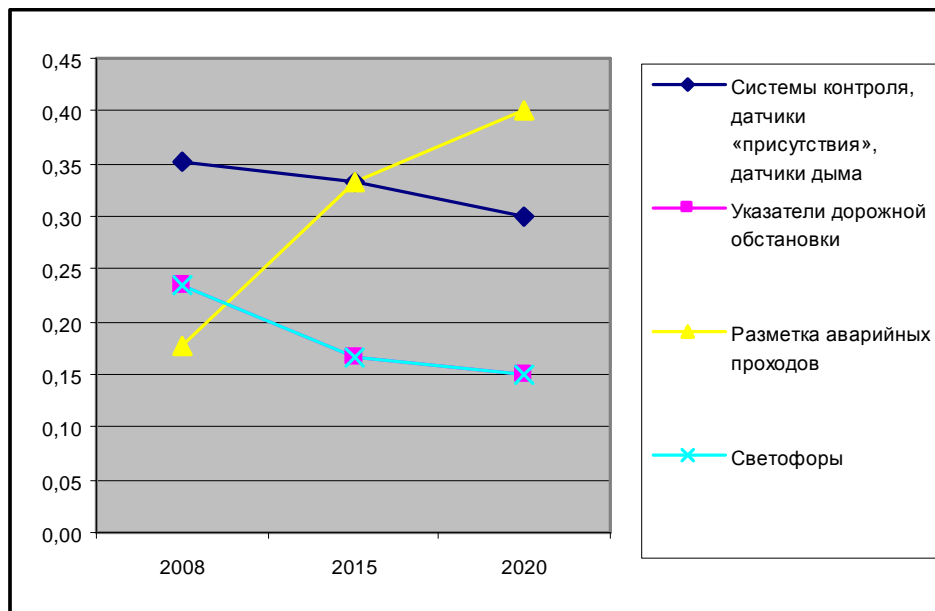
Рис. 24с.



Источник: материалы экспертного опроса, проведенного ГУ-ВШЭ.

В сегменте сигнальных приборов, по мнению экспертов, наиболее динамично будет развиваться применение светодиодов для создания аварийной разметки.

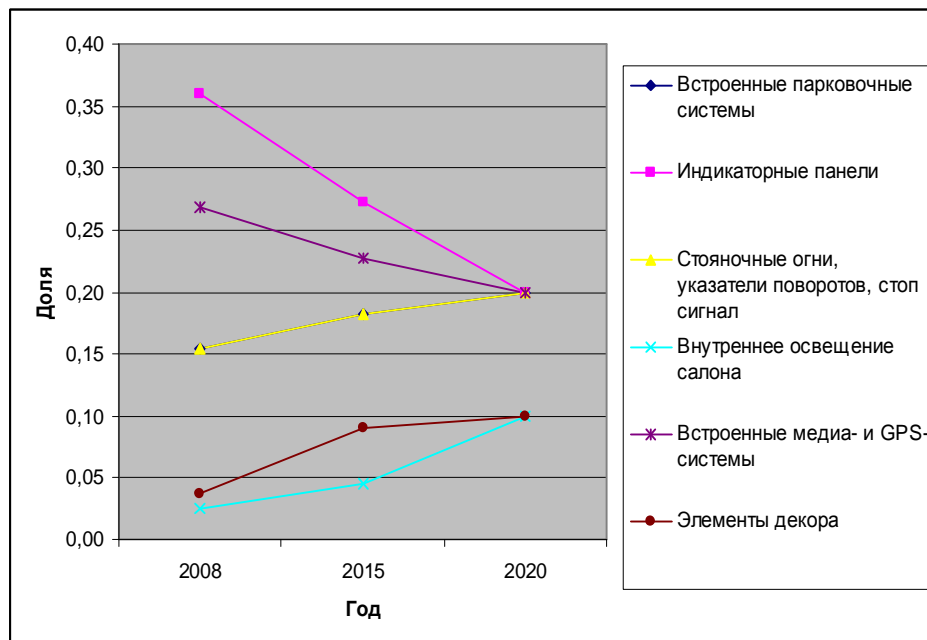
Рис. 24d.



Источник: материалы экспертного опроса, проведенного ГУ-ВШЭ.

Эксперты отмечают, что в сфере транспорта опережающими темпами будет расти применение светодиодов во внешних световых приборах (стояночных огнях, указателях поворотов и т.п.), а также в парковочных системах. Увеличится доля светодиодов в элементах декора, а также во внутрисалонном освещении.

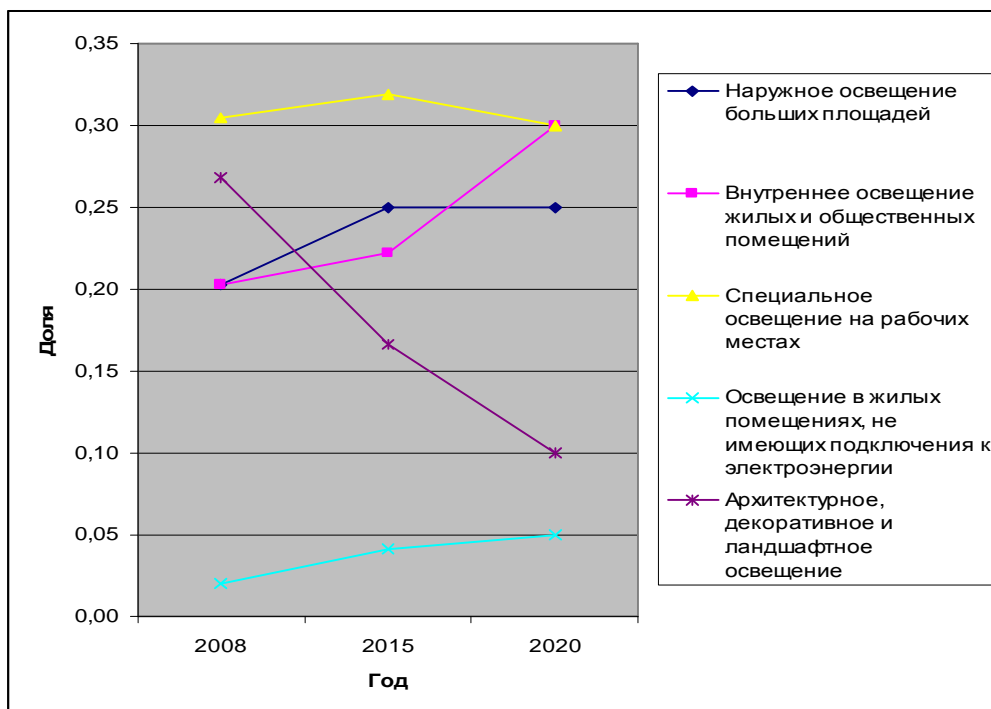
Рис. 24е.



Источник: материалы экспертного опроса, проведенного ГУ-ВШЭ.

В сегменте освещения, как ожидается, наиболее динамично будет развиваться использование светодиодов для внутреннего освещения жилых и общественных помещений. Следует обратить внимание на такую область применения, как освещение в жилых помещениях, не имеющих подключения к электроэнергии.

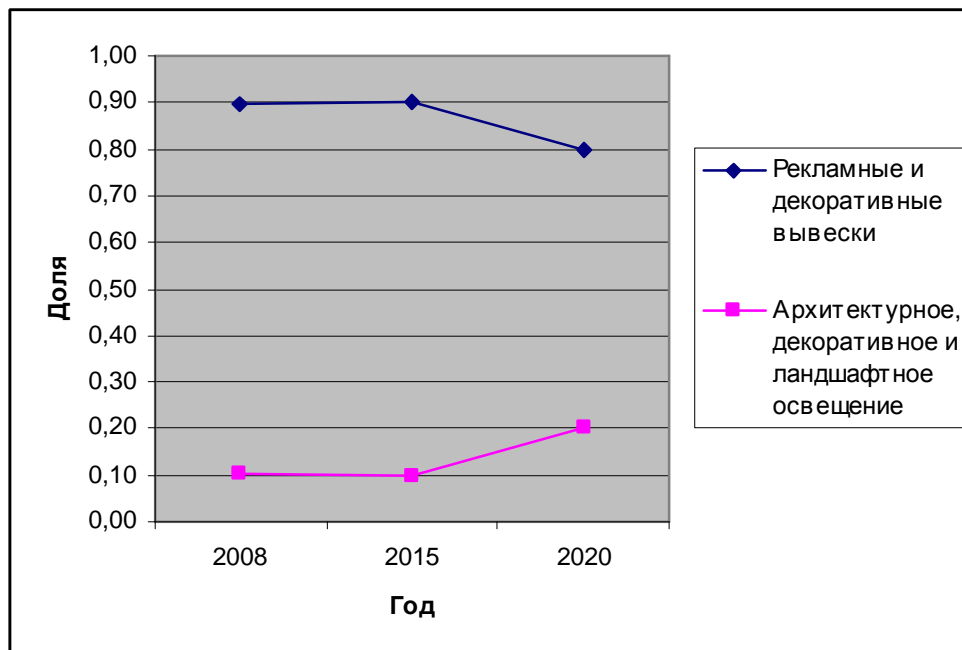
Рис. 24ф.



Источник: материалы экспертного опроса, проведенного ГУ-ВШЭ.

В сегменте наружной декоративной подсветки эксперты прогнозируют рост доли светодиодов в архитектурном, декоративном и ландшафтном освещении. В долгосрочном периоде ожидается снижение удельного веса светодиодов, применяемых для статичных рекламных и декоративных вывесок, хотя он по-прежнему будет весьма высоким.

Рис. 24г.



Источник: материалы экспертного опроса, проведенного ГУ-ВШЭ.

По мнению экспертов, принявших участие в опросе, светодиоды обладают достаточно высокой степенью взаимозаменяемости внутри областей применения. Таким образом, оценка потенциала рынка для каждого типа светодиодов проведена для случая, когда данный тип опережает в развитии все остальные. Подобная ситуация может иметь место, например, при точечном финансировании проектов.

В результате проведенного анализа представляется возможным более точно сформулировать стратегию внутри каждого сегмента:

1) Мобильные устройства. Перспективные направления для вложений в НИОКР. Имеются хорошие шансы на значительное софинансирование со стороны производителей, поскольку сегмент может приносить больше прибыли, чем требуется для поддержания его роста, и излишки могут быть выделены на исследования и разработки.

2) Дисплеи больших размеров. Необходимо стабильное финансирование в течение длительного времени для поддержания устойчивого темпа роста. Ввиду привлекательности сегмента проектное финансирование в таких случаях может не требоваться.

3) Электронные бытовые и промышленные устройства. Не являются перспективным направлением для инвестирования.

4) Сигнальные приборы. Перспективное направление проектного финансирования, ориентированного на агрессивную стратегию захвата рынка, в основном, на коммерциализацию разработок. Возможности софинансирования со стороны производителей пока не очень велики, хотя по мере продвижения продукта могут появиться.

5) Транспортные средства. Малоперспективное направление, развитие возможно только при больших и длительных затратах. Может иметь смысл только в рамках крупных долгосрочных проектов.

6) Освещение. Имеет хороший потенциал роста, но, благодаря наличию серьезных конкурентов со стороны альтернативных технологий может и не реализовать потенциал полностью. При грамотном и последовательном проектном финансировании, особенно при наличии законодательной поддержки, может не только стать прибыльным объектом инвестирования, но и превратиться в «дойную корову» для других сегментов. В этом случае финансирование целесообразно сместить в сторону научных исследований и разработок, т. к. появятся возможности для софинансирования.

7) Наружная подсветка. Растущий и перспективный сегмент, но источники роста неустойчивы, поэтому финансирование целесообразно только в достаточно зрелые продукты. Актуальна поддержка коммерциализации, финансирование даже на стадии опытного образца может и не окупиться.

Заключение

На сегодняшний день с технологиями твердотельных источников света связывается будущее целого ряда секторов экономики. Основной привлекательной чертой светодиодных технологий является сочетание компактных размеров, высокой по сравнению с альтернативными технологическими решениями энергоэффективности, возможности быстрого управления свечением. Благодаря этим свойствам светодиоды находят применение в приложениях освещения (в качестве энергоэффективных источников света, готовых для интеллектуальных схем управления освещением) и в приложениях отображения информации (в качестве индивидуальных индикаторов и дисплейных панелей как малого, так и большого размера).

Одним из важнейших социально-экономических эффектов масштабного использования светодиодных технологий является возможность радикального сокращения затрат электроэнергии на освещение, составляющих по различным оценкам до 18–20% всех затрат произведенной электроэнергии.

Требования экономической и энергетической безопасности делают развитие светодиодной индустрии одним из национальных приоритетов многих стран — Канады, США, стран Европейского Союза, Японии и Китая. Значительное внимание уделено этому направлению и в ряде регулирующих документов Правительства РФ, в т. ч. в Федеральной целевой программе «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники».

С развитием светодиодных технологий, способных в перспективе превзойти ряд технологий отображения информации, также связывают перспективы рынков электронно-бытовых устройств. Светодиоды, предоставляющие возможности создания прозрачных и гибких дисплейных панелей, а также разработки гибридных устройств, использующих органические электронные компоненты, концентрируют на себе внимание крупнейших корпораций светотехнической промышленности, в том числе General Electric, Philips, Osram.

При исследовании технологических и рыночных перспектив светодиодов рассматривались две основные группы устройств: *неорганические* и *органические* светодиоды. Эти группы различаются как технологическим процессом изготовления, так и потребительскими свойствами и сегментами применения.

Изготовление и применение *неорганических светодиодов* имеет более чем полувековую историю. Неорганические светодиоды характеризуются высокой механической прочностью, малыми размерами, значительной энергоэффективностью и высокой скоростью переключения. Традиционные сегменты применения неорганических светодиодов —

приложения освещения и подсветки, индикация информации, формирование изображения типа «бегущая строка» либо экранов больших размеров.

Изготовление неорганических светодиодов осуществляется в два этапа. Первый — изготовление светоизлучающего чипа, которое происходит с применением процессов молекулярно-лучевой эпитаксии и металлоорганических соединений из газообразной фазы. Второй — включает сборку светодиода: корпусирование, присоединение оптической системы и системы охлаждения. Оба процесса предъявляют повышенные требования к технологическому уровню производства — необходимо использование чистых комнат, материалов высокой степени чистоты.

Основными направлениями *технологического совершенствования* неорганических светодиодов является повышение светоотдачи и срока службы при снижении стоимости. Решение этих задач предъявляет спрос как на инженерно-конструкторские разработки, так и на проведение целого ряда фундаментальных исследований.

В России наиболее распространены предприятия, осуществляющие сборку светодиодов на базе готовых светодиодных чипов, произведенных в основном зарубежными компаниями. О производстве собственных чипов заявляют три компании. При этом существует значительный задел фундаментальных исследований в сфере неорганических светодиодов, сопоставимый, по мнению экспертов, с международным уровнем. По мнению экспертов, одной из ключевых задач в сфере неорганических светодиодов в России является развертывание производства конкурентоспособных светодиодных чипов.

Масштабное коммерческое применение *органических* светодиодов насчитывает менее 10 лет, причем отдельные сферы применения на сегодняшний день только отнесены к перспективным на горизонте последующих 15 лет. Основные свойства, характеризующие органические светодиоды, — перспективно низкая стоимость при использовании технологий струйной печати, возможность создания светящихся и отображающих панелей с высоким качеством изображения и большой площадью, гибких и прозрачных источников освещения и дисплеев, а также возможность использования в гибридных и полностью органических электронных устройствах.

В настоящее время масштабное распространение органических светодиодов наблюдается только в сегменте дисплеев и телевизоров, в котором существует перспектива вытеснения альтернативных технологий за счет лучшего качества изображения. Отдельно следует отметить направление разработок, связанных с приложениям органических светодиодов в освещении — существует перспектива коммерческого использования светящихся панелей большой площади.

Изготовление органических светодиодов осуществляется с применением технологий напыления, осаждения из растворов, а также технологий струйной печати. Данные технологии менее требовательны к оборудованию и технологическому уровню производства, что в перспективе позволит существенно снизить стоимость отдельных устройств.

Основные направления технологического совершенствования органических светодиодов включают повышение срока службы устройств, увеличение площади панели, снижение стоимости. Решение большинства данных задач связано с фундаментальными исследованиями.

В России существует единственная компания, занятая в производстве органических светодиодов. Фундаментальные исследования непосредственно для органических светодиодов ведутся на недостаточном уровне. При этом важно отметить наличие задела в смежных сферах органической химии, что может быть использовано для наращивания научного потенциала в данной области. По мнению экспертов, сфера органических светодиодов является перспективной для России с точки зрения возможного встраивания в международные цепочки создания стоимости.

Согласно мнению экспертов, светодиодные технологии претендуют на доминирование в целом ряде сегментов применения. В последнее десятилетие мировой рынок светодиодов быстро расширялся. Ожидается, что с 2010 г. восстановится положительная динамика рынка, прерванная кризисом. В рамках этого прогноза выделяются *три сценария*:

- § *Оптимистический* сценарий предполагает, что глобальный экономический кризис на рынке светодиодов проявится только в снижении до нуля темпов роста (в стоимостном выражении). Затем вместе с возобновлением роста мировой экономики темпы роста рынка светодиодов восстановятся до уровня 20–25% в год. Основными движущими силами рынка будут: популяризация (в т. ч. нормативная) применения светодиодов в осветительных приборах и устройствах; развитие рынка мобильных устройств (телефоны, ноутбуки и т. п.); снижение цен при улучшении потребительских свойств самих светодиодов.
- § *Пессимистический* сценарий основан на предположении о том, что постепенный выход из рецессии начнется не ранее второй половины 2011 г. Потребители весьма консервативны и проявляют приверженность к альтернативным продуктам. Рост рынка ожидается в размере 5–6% в год.
- § *Умеренный* (средний) сценарий исходит из того, что после снижения на 5% в стоимостном выражении в 2009 г. рынок возобновит рост. Сначала (в 2010 г.) это будет компенсационный рост в 15–20% за год. Затем темпы роста будут удерживаться на уровне 10–12% в год в денежном выражении.

Российский рынок светодиодов в последние годы развивался медленнее мирового примерно в два раза. Темпы роста рынка в 2001–2003 гг. составляли порядка 20–25%, в 2004–2008 гг. они снизились до 10–12%. В перспективе возможны три сценария развития:

- § *Пессимистический* сценарий основан на предположении о том, что российский рынок не сможет превысить 1% от мирового рынка в силу инертности потребителей, несовершенства нормативной базы, низкой рыночной ориентированности производителей и других негативных факторов.
- § *Оптимистический* сценарий предусматривает развитие российского рынка светодиодов, который может составить до 5% от мирового в силу больших размеров территории страны, сложных погодных условий, достаточно инновационного характера потребления, а также при должном уровне поддержки со стороны государства и своевременном решении нормативных вопросов.
- § *Умеренный* (средний) сценарий носит инерционный характер и опирается на предположение, согласно которому в долгосрочной перспективе развитие российского рынка светодиодов всего лишь вернется к докризисной тенденции (темпы роста останутся в два раза ниже мировых).

Согласно экспертным оценкам, различные сегменты рынка светодиодов будут развиваться неодинаково. В долгосрочной перспективе наиболее высокие темпы роста демонстрируют сегменты общего освещения и дисплеев больших размеров. Прогнозируется сокращение доли сегмента рынка светодиодов для мобильных устройств. Сегмент сигнальных приборов занимает всего 2% рынка светодиодов и является нишевым.

Доля рынка светодиодов в электронных бытовых устройствах, в том числе в ЖК-дисплеях в долгосрочной перспективе не изменится из-за 20%-го роста рынка таких устройств. Ожидается вхождение светодиодов на рынок систем освещения и рост этого сегмента на 17–35% в год.

Факторы, сдерживающие распространение светодиодов, сочетают технологические и рыночные аспекты. В большинстве сфер применения светодиодов существует значительное число конкурирующих технологий. В приложениях освещения светодиоды конкурируют в том числе с лампами накаливания, галогенными и энергосберегающими лампами. Среди дисплейных технологий конкуренцию составляют жидкокристаллические и плазменные дисплеи, а также электролюминесцентные экраны (электронная бумага). Альтернативные технологии предъявляют спрос на технологическое совершенствование характеристик светодиодов, связанное с проведением фундаментальных исследований, опытно-конструкторских разработок и институциональных мер, таких как введение процедур и критериев сертификации светодиодной продукции, исследование воздействия ис-

точников света узкого спектра на человека, а также целевых маркетинговых исследований, изучающих спрос на характеристики светодиодов во всех основных сегментах применения.

Примером подобного комплексного фактора, замедляющего выход светодиодов на рынки общего освещения, является проблема совместимости с существующей энергетической инфраструктурой. Традиционные светодиоды используют для питания постоянный ток. В связи с этим возникает необходимость в использовании преобразователей переменного тока, что накладывает ограничения на габариты светодиодных устройств. Возможны как институциональные решения данной проблемы — доработка существующей инфраструктуры, так и технологические пути. Конструкторские разработки по решению данной проблемы идут по двум направлениям — создание устройства, интегрирующего светодиод и преобразователь тока в форм-факторе стандартного патрона, совместимого с лампами накаливания и энергосберегающими лампами, и создание специального типа светодиодов, функционирующих на переменном токе напряжения 220В. Разработки обоих типов существуют в России.

Комплексный характер факторов, сдерживающих развитие светодиодной индустрии, равно как и значительная конкуренция со стороны зарубежных разработок и ограниченность ресурсов, делают результативное развитие невозможным без создания механизма взаимодействия между представителями различных этапов процесса коммерциализации светодиодных технологий и участников рынка. Основной задачей такой коммуникационной платформы является предоставление возможности совместного выявления и обсуждения актуальных проблем в данной области, установка целевых ориентиров отрасли и мониторинг их достижения, интеграция усилий исследовательских коллективов, промышленных предприятий и дистрибьюторов для удовлетворения потребностей потребителей.

Настоящая дорожная карта представляет пример формата подобной коммуникации. Разработанная с привлечением представителей всех типов участников рынка и научного сообщества, данная карта намечает основные направления развития светодиодной индустрии, предлагая способ построения интегрального представления о секторе, построенного на базе экспертных мнений специалистов из существенно различающихся областей. При этом формат карты обеспечивает возможность гибкой перестройки результирующего представления с учетом появления новых, не учтенных ранее мнений на всех уровнях — от научного и технологического, до уровня спроса на светодиоды. Реализованный подход делает возможным конструктивное обсуждение сформированных в ходе работы над картой перечней перспективных технологий, целевых ориентиров научных и

опытно-конструкторских разработок, оценок перспективных сегментов рынков в максимально широком кругу экспертов. Подобное обсуждение представляется не только желательным, но и необходимым условием достижения эффективного результата от создания дорожной карты, причем в полной мере результативность будет достигнута в случае создания процедуры регулярного обновления дорожной карты с привлечением к процессу разработки всех значимых участников рынка.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1
Эксперты карты

Эксперты, принявшие участие в составлении и обсуждении дорожной карты

№	ФИО	Организация	Должность	Категория
1	Алфимов Михаил Владимирович	Центр фотохимии РАН	Директор, академик РАН	Наука
2	Копьев Петр Сергеевич	ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН	Руководитель Центра наногетероструктур	Наука
3	Бер Борис Яковлевич	ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН	Главный научный сотрудник	Наука
4	Бочкарев Михаил Николаевич	ИМХ им. Г.А. Разуваева РАН, г. Нижний Новгород	Д.х.н., проф., зав. Лабораторией	Наука
5	Дорошенко Максим Евгеньевич	Институт общей физики РАН	Заведующий сектором	Наука
6	Грузинцев Александр Николаевич	Институт проблем Технологии Микроэлектроники РАН	Заведующий лабораторией	Наука
7	Разумов Владимир Федорович	Институт проблем химической физики РАН	Член-корр. РАН, заместитель директора	Наука
8	Ванников Анатолий Вениаминович	Институт физической химии и электрохимии им. Фрункина РАН	Заведующий лабораторией	Наука
9	Мальцев Евгений Иванович	Институт физической химии и электрохимии им. Фрункина РАН	Главный научный сотрудник	Наука
10	Баранов Александр Михайлович	МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского	Профессор., д.т.н	Наука
11	Власова Ксения Юрьевна	ОАО «ВНИИЖТ»	Старший инженер	Наука
12	Бакин Николай Николаевич	ОАО «НИИ Полупроводников» г. Томск	Зам. генерального директора	Наука
13	Чернов Николай Александрович	ОАО «НИИ Полупроводников» г. Томск	Зам. начальника научно-производственного комплекса	Наука
14	Витухновский, Алексей Григорьевич	ФИАН	Заведующий отделом	наука
15	Дубин Михаил Владимирович	Физико-технологический научно-образовательный центр РАН	Заведующий лабораторией	наука
16	Витухновский Алексей Григорьевич	Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН	Профессор, д.ф.-м.н.	наука
17	Юнович Александр Эммануилович	Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова	Профессор	наука

№	ФИО	Организация	Должность	Категория
18	Туркин Андрей Николаевич	«Прософт», группа развития бизнеса, Физический факультет МГУ им. Ломоносова;	Директор	наука
19	Поседейко Валерий Сергеевич	Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Института физики НАН	Ведущий научный сотрудник	наука
20	Одноблюдов Максим Анатольевич	«ОртоGaN» GmbH	Исполнительный директор	производство
21	Пантелеева Елена Александровна	«Инновационный Зеленоград»	Зам. директора	производство
22	Архипов Александр Леонидович	«Л.И.С.Т.»	Технический директор	производство
23	Марков Валерий Николаевич	«Оптоника»	Генеральный директор	производство
24	Мориков Олег Александрович	«ТБС-инжиниринг»	Генеральный директор	производство
25	Кузенко Владимир Борисович	«ЦЕРС Групп»	Генеральный директор	производство
26	Буряков Александр Анатольевич	«ЦЕРС Групп»	Главный конструктор	производство
27	Усов Николай Николаевич	ЦНИИ «Циклон»	Главный конструктор	производство
28	Паращук Дмитрий Юрьевич	OLED	Ведущий научный сотрудник, д.ф.-м.н.	производство
29	Качалов Олег Викторович	ЗАО «Монокристалл»	Директор по продажам и маркетингу	производство
30	Сыралёв Владимир Анатольевич	ЗАО «Планета-СИД», В.Новгород	Генеральный директор	производство
31	Герасимовский Лев Александрович	ЗАО «Протон»	Ведущий инженер-электроник	производство
32	Андреев Юрий Всеволодович	ЗАО «Электролуч»	Начальник технического отдела	производство
33	Свешников Юрий Николаевич	ЗАО «Элма Малахит»	Главный научный сотрудник	производство
34	Сыралев Владимир Анатольевич	ЗАО Планета — СИД	Генеральный директор	производство
35	Устинов Тимур Николаевич	Московский филиал УОМЗ	Заместитель директора	производство
36	Сергеев Игорь Константинович	НКБ ОП и К ФГУП ПО УОМЗ	Директор	производство
37	Коган Лев Моисеевич	НПЦ ОПТЭЛ Москва	Директор по новой технике	производство
38	Рассохин Игорь Тимофеевич	НПЦ ОПТЭЛ Москва	Генеральный директор	производство
39	Поляков Александр Яковлевич	ОАО «Гиредмет»	Ведущий научный сотрудник	производство
40	Жалнин Борис Викторович	ОАО НПП «КВАНТ»	Начальник отдела	производство

№	ФИО	Организация	Должность	Категория
41	Обручева Елена Владимировна	ОАО «НПП «Квант»	Руководитель учебно-методического центра	производство
42	Аксенов Игорь Владимирович	ОАО «Протон»	Заместитель технического директора	производство
43	Карнов Сергей Анатольевич	ОАО «Протон»	Заместитель генерального директора по маркетингу и ВЭД	производство
44	Скоропад Григорий Николаевич	ОАО «Протон»	Заместитель начальника отдела маркетинга	производство
45	Трофимов Павел Владимирович	ОАО «Протон»	Заместитель начальника ОС ПК «СИД»	производство
46	Комков Андрей Валентинович	ОАО «Энергомера»	Директор по развитию	производство
47	Макаров Юрий Николаевич	ООО «Группа компаний «Нитридные кристаллы»	Генеральный директор	производство
48	Морозов Виталий Юрьевич	ООО «КТЛ»	Начальник отдела маркетинга	производство
49	Тарасов Александр	ООО «КТЛ»	Технический директор	производство
50	Маслов Владимир Эдуардович	ООО «Ледру»	Генеральный директор	производство
51	Зелинский Константин Эдуардович	ООО «Фокус»	Генеральный директор	производство
52	Романовский Александр Николаевич	ООО «Фокус»	Директор по маркетингу	производство
53	Булаев Петр Валентинович	Сигм Плюс (AIXTRON)	Генеральный директор	производство
54	Ракович Николай Степанович	УОМЗ	Зам. генерального директора по НИОКР	производство
55	Данилин Валентин Николаевич	ФГУП «ГЗ Пульсар»	Директор	производство
56	Жукова Татьяна Александровна	ФГУП «ГЗ Пульсар»	Начальник отдела	производство
57	Коновалов Алексей Михайлович	ФГУП «ГЗ Пульсар»	Директор по развитию	производство
58	Буробин Валерий Анатольевич	ФГУП Государственный завод «Пульсар»	Директор	производство
59	Мармалюк Александр Анатольевич	ФГУП НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха (Сигма +)	Начальник отдела	производство
60	Дорофеев Алексей Анатольевич	ФГУП НПП «Пульсар»	Начальник отдела	производство
61	Бородин Владимир Алексеевич	ФГУП ЭЗАН	Генеральный директор	производство
62	Жадько Владимир Федорович	ЦНИИ «Циклон»	Начальник лаборатории	производство
63	Арендаренко Алексей Андреевич	Элма-Малахит	Генеральный директор	производство
64	Кюрегян Сергей Пайлакович	Мосэнергосбыт	Руководитель центра по энергосбережению,	ключевые потребители

№	ФИО	Организация	Должность	Категория
			к.т.н.	
65	Гараничев Андрей Константинович	ОАО «РЖД»	Советник старшего вице-президента	ключевые потребители
66	Груздев Артем Владимирович	ОАО «РЖД», Институт автоматизации связи	Ведущий научный сотрудник	ключевые потребители
67	Розенберг Ефим Наумович	НИИАС ОАО «РЖД»	Первый заместитель директора	потребители
68	Смолин Евгений Владимирович	Светорезерв	Коммерческий директор	потребители
69	Черняк Анатолий Шахнович	ООО «ВНИСИ»	Заведующий лабораторией	ключевые потребители
70	Сарычев Генрих Сергеевич	ООО «ВНИСИ»	Заведующий лабораторией	ключевые потребители
71	Меламед Ольга Петровна	ООО «ВНИСИ»	Заведующая лабораторией, к.т.н.	ключевые потребители
72	Прикупец Леонид Борисович	ООО «ВНИСИ»	Заведующий лабораторией, к.т.н.	ключевые потребители
73	Красавин Артем Алексеевич	Adizz	Менеджер по продажам	потребители
74	Королев Георгий Владимирович	Arrow Electronics Russia	Менеджер по развитию бизнеса	потребители
75	Беляев Евгений Геннадьевич	Light Tape	Директор по развитию	потребители
76	Туркин Владимир Николаевич	Xlight	Директор	потребители
77	Емельянов Николай Иванович	Ассоциация «Российский свет»	Исполнительный директор	потребители
78	Нефедов Алексей Владимирович	Виокон	Директор	потребители
79	Добровольский Александр Николаевич	ГУП МНИИТП	Зав. лаборатории архитектурной светотехники	потребители
80	Хндамян Арсен Жирайрович	ЗАО «Связь Инжиниринг»	Менеджер проекта	потребители
81	Розанов Сергей	Компания ИНТЕК	Директор по развитию	потребители
82	Чижев Сергей Юрьевич	Компания ФОК	Начальник отдела инновационного развития	потребители
83	Юрлов Сергей Владимирович	Компания ФОК	Аналитик отдела	потребители
84	Слепцов Владимир Владимирович	МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского	Профессор, д.т.н., заведующий кафедрой	потребители
85	Долин Евгений Владимирович	Международный LED-форум «Светодиоды в светотехнике»	Председатель Оргкомитета	потребители
86	Гужов Сергей Вадимович	Московский энергетический институт	Ведущий научный сотрудник	потребители
87	Гутцайт Эдуард Михайлович	МЭИ, кафедра светотехники	Профессор	потребители
88	Суетин Андрей Александрович	Нео-неон	Директор	потребители

№	ФИО	Организация	Должность	Категория
89	Пинчук Ольга Петровна	ОАО «ВНИИЖТ»	Старший научный сотрудник	потребители
90	Харитонов Надежда Ивановна	ОАО «ВНИИЖТ»	Старший научный сотрудник	потребители
91	Никифоров Сергей Григорьевич	ОАО «ЛИСТ»	Руководитель Центра по сертификации светотехники	потребители
92	Чехов Тимофей Сереевич	ООО «АльфаСтройИнвест»	Директор по стратегическому развитию	потребители
93	Новиков Вадим Иванович	ООО «Венчур-Н»	Генеральный директор, к.ф.-м.н.	потребители
94	Соболевская Татьяна Анатольевна	ООО «ДМТ Трейдинг»	Менеджер по продажам оптоэлектронных компонентов	потребители
95	Осипенко Юрий Владимирович	ООО «Нотис»	Генеральный директор	потребители
96	Пархоменко Олег Николаевич	ООО «Юстум»	Зам. директора	потребители
97	Печенов Олег Леонидович	ООО «Юстум»	Руководитель проекта	потребители
98	Полежаев Максим Николаевич	ООО «Юстум»	Председатель наблюдательного совета	потребители
99	Аблаев Алексей Равильевич	Российская Биотопливная Ассоциация	Президент	потребители
100	Никитин Владислав Владимирович	Светотроника	Менеджер по развитию	потребители
101	Стрекалов Андрей Владимирович	Светотроника	Коммерческий директор	потребители
102	Лускинович Петр Николаевич	Техносистема Н	Генеральный директор	потребители
103	Бондаренко Андрей Викторович	Торговая компания «Дельфин»	Директор	потребители
104	Трофимов Юрий Васильевич	Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси	Директор	потребители
105	Tzuching Wang	ETR Electronics Co., Ltd	Managing Director	зарубежные производители
106	Yu Yinsheng	Foryard Optoelectronics	General Manager	зарубежные производители
107	Mira Oh	Seoul Semiconductor Co., Ltd	Overseas Sales / Sales Manager	зарубежные производители
108	Алиев Евгений Тофикович	«Сеул Семикондактор»	Советник R&D, к.ф.-м.н.	зарубежные производители
109	Бэ Донг Сук	LG Technology Centre of LG Electronics	Заместитель директора	зарубежные производители
110	Годовский Дмитрий Юрьевич	LG Technology Centre of LG Elec-	Старший эксперт по технологиям	зарубежные производители

№	ФИО	Организация	Должность	Категория
		tronics		
111	Окунова Ирина Борисовна	LG Technology Centre of LG Electronics	Эксперт по технологиям	зарубежные производители
112	Азизян Генрих Ваганович	Light Engines Corp.	Главный технический специалист	зарубежные производители
113	Гвоздев-Карелин Сергей Викторович	ОАО «ОСРАМ»	Руководитель отдела технического маркетинга	зарубежные производители

Приложение 2
**Сборка светотехники в России
с применением светодиодов**

Сборка светотехники в России с применением светодиодов

Название компании	Город	Эпитаксиальные структуры	Производство чипов	Сборка светодиодов	Сигнальная светотехника	Дорожная светотехника	Архитектурная, ландшафтная подсветка	Интерьерная подсветка	Автомобильная светотехника	Экраны, дисплеи, табло	Уличное освещение	Внутреннее освещение	Выручка в 2007 г., млн руб.	Темп прироста, %
АО «НИИМЭТ» (Научно-исследовательский институт материалов электронной техники)	Калуга	+	+				+			+			59.116 (300 шт. светодиодных приборов в 2008 г., 300 тыс. руб. объем продаж)	-3.7
ООО «Светорезерв»	Зеленоград						+					+	52 (2008 г.)	н.д.
ОАО «Научно-производственнопредприятие «Инжект»	Саратов			+									38.264	43.7
ООО «ЛЛТ Световод»	Москва				+		+	+		+	+	+	35.976 (2006 г.)	149 (2006 г.)
ООО «Белый свет 2000»	Москва				+						+	+	30.354 (2004 г.)	н.д.
ООО «НТЦ «Оптоника»	Москва						+	+		+		+	22,682	3
ЗАО «Планиета-СИД»	Великий Новгород			+									12.64	-35

Название компании	Город	Эпитаксиальные структуры	Производственные чипов	Сборка светодиодов	Сигнальная светотехника	Дорожная светотехника	Архитектурная, ландшафтная подсветка	Интерьерная подсветка	Автомобильная светотехника	Экраны, дисплеи, табло	Уличное освещение	Внутреннее освещение	Выручка в 2007 г., млн руб.	Темп прироста, %
ООО «Фокус»	Щелково						+				+	+	5.995 (2005 г.)	н.д.
ООО «Полупроводниковые излучатели»	Великий Новгород			+									5.361	-23
ООО «НПЦ ОЭП ОПТЭЛ»	Москва			+	+		+	+				+	9.582 (производство малотиражное)	-15,7
ООО «Палами» (представительство белорусской компании в России)	Ногинск									+			5.17	н.д.
ООО «Агентство Технологических Исследований «ЮниСаф»	Зеленоград			+									0,371 (2003 г.)	н.д.
ЗАО «КаверЛайт»	Москва			+	+	+			+		+	+	1.962 (2005 г.)	н.д.
ООО «Микрэл»	Санкт-Петербург			+				+					1.052 (2002 г.)	н.д.

Название компании	Город	Эпитаксиальные структуры	Производственные чипов	Сборка светодиодов	Сигнальная светотехника	Дорожная светотехника	Архитектурная, ландшафтная подсветка	Интерьерная подсветка	Автомобильная светотехника	Экраны, дисплеи, табло	Уличное освещение	Внутреннее освещение	Выручка в 2007 г., млн руб.	Темп прироста, %
ООО «Компания ЛЕД сервис»	Новосибирск									+			0,173	н.д.
ООО «Белый свет» (учредитель Физтех, Институт им.Иоффе РАН)	Санкт-Петербург			+									н.д.	н.д.
ООО «КТЛ»	Зеленоград			+			+	+		+		+	н.д.	н.д.
Power Light Systems (ООО «Смарт Лайт»)	Москва						+	+	+	+		+	н.д.	н.д.
ООО «МегаЛЕД»	Москва						+	+		+	+		н.д.	н.д.
ООО «Икс-Лайт» (XLight™, эксклюзивный поставщик ПРОСОФТ)	Москва						+	+			+		н.д.	н.д.
ЗАО «Ледокол»	Санкт-Петербург												н.д.	н.д.

Название компании	Город	Эпитаксиальные структуры	Производственные чипов	Сборка светодиодов	Сигнальная светотехника	Дорожная светотехника	Архитектурная, ландшафтная подсветка	Интерьерная подсветка	Автомобильная светотехника	Экраны, дисплеи, табло	Уличное освещение	Внутреннее освещение	Выручка в 2007 г., млн руб.	Темп прироста, %
ЗАО «Завод электронных материалов «Монокристалл» («Концерн «Энергомера»)	Ставрополь	+											н.д.	н.д.
ООО «Тоника»	Санкт-Петербург						+	+				+	н.д.	н.д.
ООО «ВНИСИ»	Москва								+				н.д.	н.д.
ФГУП НИИ «Полос» им. М.Ф. Стельмаха	Москва	+											540.351	46.8
ОАО «НИИ Полупроводниковых Приборов (НИИПП)»	Томск	+	+	+	+		+	+				+	394.245	34.4
ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника»	Санкт-Петербург	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	363.77	-8.0
ОАО «Протон»	Орел			+	+	+	+	+	+		+	+	317.509	48.7

Название компании	Город	Эпитаксиальные структуры	Производственные чипов	Сборка светодиодов	Сигнальная светотехника	Дорожная светотехника	Архитектурная, ландшафтная подсветка	Интерьерная подсветка	Автомобильная светотехника	Экраны, дисплеи, табло	Уличное освещение	Внутреннее освещение	Выручка в 2007 г., млн руб.	Темп прироста, %
ООО «Ната-Инфо»	Йошкар-Ола									+			250.845	31
ОАО «Оптрон»	Москва			+			+			+	+	+	231.963	24.3
ФГУП «Уральский оптико-механический завод»	Екатеринбург					+		+				+	154.636 (общая выручка от продажи светотехнической продукции)	н.д.
ЗАО «Транс-сигнал»	Нижний Новгород				+	+			+	+			145.27	-42
ЗАО «Элма-малахит» («Концерн «Энергомера»)	Зеленоград	+											114.362	-13
ЗАО «АТВ Наружные системы»	Москва									+			160.431	-37
ООО «Церс»	Ростов-на-Дону						+	+			+	+	103.9 (объем продаж в 2008 г.)	-

Название компании	Город	Эпитаксиальные структуры	Производственные чипов	Сборка светодиодов	Сигнальная светотехника	Дорожная светотехника	Архитектурная, ландшафтная подсветка	Интерьерная подсветка	Автомобильная светотехника	Экраны, дисплеи, табло	Уличное освещение	Внутреннее освещение	Выручка в 2007 г., млн руб.	Темп прироста, %
ООО «Энергосберегающий союз»	Москва						+		+				н.д.	н.д.
ООО «Глобальные технологии»	Санкт-Петербург									+			н.д.	н.д.
POLYLED (ЗАО «Полимедиа»)	Москва									+			н.д.	н.д.
ООО «Ледарт»	Москва						+	+			+	+	н.д.	н.д.
ЗАО «МФГ»	Москва						+				+		н.д.	н.д.
Доля компаний, работающих в сегменте, от общего количества, %		15%	8%	33%	20%	13%	45%	38%	15%	35%	30%	43%	–	–

Источник: РБК, экспертный опрос ГУ-ВШЭ

Приложение 3
**Ведущие российские производители в отдельных
областях применения светодиодов**

Таблица 1**Российские производители светодиодной дорожной светотехники**

Название компании	Расположение головного офиса	Виды выпускаемой продукции	Количество выпускаемых позиций в ассортиментной группе	Объем производства (шт./руб.)
ЗАО «Светлана Оптоэлектроника»	Санкт-Петербург	Светофор дорожный, светооптические системы железнодорожных светофоров	4	363.77 млн руб. (общая выручка в 2007 г.)
ЗАО «Кавер Лайт»	Москва	Автомобильные светофоры, железнодорожные светофоры	–	5–10 тыс. головок в год
ОАО «Протон»	Орел	Светодиодные блоки излучателей и светодиодные светофоры, светофор трамвайный, табло обратного отсчета времени, светофор взрывозащищенный, светофор шахтный	30	60 тыс. светофоров в год
ФГУП «Уральский оптико-механический завод»	Екатеринбург	Светофор, модуль для железнодорожных светофоров	–	154.636 млн руб. (общая выручка от продажи светотехники в 2007 г.)
ЗАО «Трансигнал»	Нижний Новгород	Головка светофорная для железнодорожных переездов, головка светофорная оповестительная пешеходной сигнализации, указатели маршрутные световые, системы для мачтовых, тоннельных, карликовых светофоров, применяемых в метрополитенах	8	145.27 млн руб. (общая выручка в 2007 г.)

Источник: РБК.

**Российские производители светодиодных приборов для архитектурной,
ландшафтной подсветки**

Название компании	Расположение головного офиса	Виды выпускаемой продукции	Количество выпускаемых позиций в ассортиментной группе	Объем производства (шт./руб.)
ЗАО «Светлана Оптоэлектроника»	Санкт-Петербург	Блоки со светодиодной подсветкой для тротуаров: тротуарная плитка, светодинамический светильник, подводные светильники светодиодные матрицы	12	60–80 млн руб. (2008 г.)
Группа компаний «Церс»	Ростов-на-Дону	Светодиодный архитектурный светильник, светодиодный архитектурный светильник RGB	60	58.8 млн руб. (2008 г.)
ООО «Светорезерв»	Зеленоград	Прожектор светодиодный	–	17.16 млн руб. (2008 г.)
ООО «Фокус»	Щелково	Прожектор светодиодный	3	8% от общего оборота компании в 2008 г.
ОАО «Протон»	Орел	Подсветка ландшафтная светодиодная	4	317.509 млн руб. (общая выручка в 2007 г.)
ОАО «Оптрон»	Москва	Линейный светодиодный светильник	1	231.963 млн руб. (общая выручка в 2007 г.)
ООО «НПЦ ОЭП ОПТЭЛ»	Москва	Светодиодные линейки, светильники, фонари для архитектурно-ландшафтного и подводного освещения, светодиодный светильник белого свечения для архитектурного освещения	46	9.582 млн руб. (общая выручка в 2007 г.)
ОАО «НИИ Полупроводниковых Приборов» (НИИПП)	Томск	Светодиодные иллюминационные лампы, прожекторы полупроводниковые. Высоковольтные светодиоды (220В)	2	394.3 млн руб. (общая выручка в 2007 г.)

Название компании	Расположение головного офиса	Виды выпускаемой продукции	Количество выпускаемых позиций в ассортиментной группе	Объем производства (шт./руб.)
Power Light Systems (ООО «Смарт Лайт»)	Москва	Светодиодные светильники общего применения: для подсветки помещений, архитектурных сооружений и мостовых, встраиваемые светильники на светодиодах повышенной мощности (для фасадов зданий и мостовых), светодиодные светильники для бассейнов и фонтанов, светодиодные светильники-столбики для подсветки приусадебных территорий и садов, светодиодные трубки, линейки на мощных SMD-светодиодах	219	н.д.
ООО «ЛЛТ Световод»	Москва	Монохромные светодиодные лампы, полноцветная светодиодная лампа, грунтовые светильники, светодиодный прожектор, светодиодный подводный светильник	40	35.976 млн руб. (общая выручка в 2006 г.)
ООО «МегаЛЕД»	Москва	Полноцветный светодиодный RGB-прожектор, прожекторы белого света, уличные линейные светодиодные светильники, грунтовые светильники, ландшафтные светильники, светильники для освещения фасада, водозащищенные светильники, гибкий «неон», светодиодный шнур «LED неон»	213	н.д.
НТЦ «Оптоника»	Москва	Светодиодные прожекторы	12	22.682 млн руб. (общая выручка в 2007 г.)
ООО «КТЛ»	Зеленоград	Светодиодные прожекторы	–	н.д.
ООО «Тоника»	С-Петербург	Прожектор, светильники фасадные, светильники наружного применения, подсветка бассейнов	30	н.д.
ООО «Энергосберегающий союз»	Москва	Светодиодные уличные прожекторы	12	Под заказ
ООО «Икс-Лайт» (XLight™, эксклюзивный поставщик ПРОСОФТ)	Москва	Светодиодные прожекторы	7	н.д.

Название компании	Расположение головного офиса	Виды выпускаемой продукции	Количество выпускаемых позиций в ассортиментной группе	Объем производства (шт./руб.)
ООО «Ледарт»	Москва	Пржектор светодиодный	–	н.д.
ЗАО «МФГ»	Москва	Осветительные устройства для архитектурного и наружного освещения	5	н.д.
ОАО «НИИМЭТ» (Научно-исследовательский институт материалов электронной техники)	Калуга	Световые полосы	–	300 тыс. руб. (2008 г.)

Источник: РБК.

Таблица 3







Российские производители светодиодной автомобильной светотехники

Название компании	Расположение головного офиса	Виды выпускаемой продукции	Количество выпускаемых позиций в ассортиментной группе	Объем производства (шт./руб.)
ЗАО «Светлана Оптоэлектроника»	Санкт-Петербург	Дополнительный сигнал торможения автомобиля, контурный огонь, боковой габаритный фонарь	3	около 11.6 млн руб. (2007 г.)
ЗАО «Кавер Лайт»	Москва	Тюнинг задних фонарей, подсветка порогов и днища, спец-сигналы	5	1.962 млн руб. (общая выручка в 2005 г.)
Power Light Systems (ООО «Смарт Лайт»)	Москва	Лампы для прямой замены ламп накаливания в бортовых огнях автомобилей	6	н.д.
ООО «ВНИСИ»	Москва	Фары дальнего света ФДС и ближнего света ФБС		н.д.
ООО «Энергосберегающий союз»	Москва	Светодиодная подсветка арок авто и мото, светодиодная подсветка днища, светодиодная подсветка салона, светодиодная подсветка мото	15	н.д.
ЗАО «Транс-сигнал»	Нижний Новгород	Фонарь дополнительного сигнала торможения	2	145.27 млн руб. (общая выручка в 2007 г.)

Источник: РБК.

Приложение 4
**Российские разработки: сравнительный анализ
характеристик продукции**

Российские разработки: сравнительный анализ характеристик продукции

Производитель/ характеристика	ФГУП «ПО «Уральский оптико-механический завод»	ООО «Фокус»		«Корвет Лайтс»	ООО «Добрая Энергия» (Италия — Россия)	ООО «Цере технологий» Холдинг «Нотис»	КБ Автоматики		
модель  	ДКУ 62	YCC 70		РКУ-08-520-003 	DECR 501 	LZ-40 	РКУ 21 Гелиос 		
	Аналог лампового светильника 70 Вт	Аналог лампового светильника 100 Вт							
Потребляемая мощность, Вт	60	90			70	140	60	60	80
световой поток, лм	6400	10000	4200	462	4000		3000	2800	4000
кол-во светодиодов, шт.	50	80		540	50		3	20	4
цветовая температура, К°	5300				5000				
степень защиты IP	65		53	54		54	54	54	
диапазон рабочих температур, °С	-40... + 60	-60...+45			-40...+50				
Стоимость на рынке РФ, руб.	12576	15495	около 20000	21500	28000	19210	около 21000		

Продолжение

Производитель	ФГУП «ПО "Уральский оптико-механический завод"»	Светлана	Гелиос Лайт
Модель	Стандарт (7 диодов) 	ТИС-1-400-БП 	Экон-1 
Потребляемая мощность, Вт	10	18	5
Напряжение питания, В	1) 220 ±10% В, ~ 50 Гц 2) 48 В постоянного тока (от источника питания, обеспечивающего одновременное питание 10 светильников)	220 В, 50 Гц	220 В, 50 Гц
Световой поток, лм	700	400	Освещенность на расстоянии 1 м, не менее 155 лк
Цена, руб.	1814,00 2366,00 (с блоком питания)	2100,00	1750,00
Габариты	53x352x60	40x205x205	329x78x60

Приложение 5
**Готовность технологии/оборудования и возможность
для массового производства**

Готовность технологии/оборудования и возможность для массового производства

Оборудование/процесс	Общая техническая готовность	Техническая готовность для систем освещения	Усилия, требуемые для доработки	Степень влияния на характеристики устройств	Возможность для массового производства
MOCVD	++	+	+	++	++
MBE	+	+	++	++	o
CVD карбоновых нанотрубок	o	+	o	++	+
SiO _x CVD	++	+	o	+	+
CVD Si нанопроволок	o	o	++	++	o
HVPE	o	o	+	+	+
Прямое осаждение наночастиц	+	+	o	+	+
Коллоидно-химический синтез	+	+	+	++	++
Лазерное удаление*	+	+	o	+	+
Изготовление наноломинофоров	+	+	o	++	++
Солево-гелиевый синтез	+	+	o	+	++
Пиролиз	+	o	o	+	+
Формовка TiO ₂ наночастиц	+	+	o	+	+
Электроосаждение	o	o	o	+	o
Газофазное осаждение ZnO	o	o	o	o	o
Покрытие путем вращения	+	-	+	-	+
Чернильная печать	+	-	+	-	+
OVPD**	+	o	+	+	++
PECVD***	++	+	o	o	++
Импульсное лазерное удаление	+	+	o	+	+
Глубокая УФ/экстра УФ литография	o	+	+	++	+
Рентгеновская литография	o	++	+	++	o
Электронно-лучевая литография	+	++	+	++	o
Нанопечатная литография	-	++	++	++	++
Ионно-лучевая литография	o	+	+	++	o
Травление	++	+	o	+	++

* Лазерное удаление — процесс удаления материала с поверхности твердого тела (или иногда жидкости) путем обработки лазерным лучом. При низкой мощности лазера материал нагревается за счет поглощенной энергии лазерного излучения и испаряется или возгоняется. При высоком уровне мощности материал обычно превращается в плазму. Обычно, для лазерного удаления используются импульсные лазеры, но также возможно применение непрерывных лазеров, если мощность излучения достаточно высока.

** OVPD: Organic Vapour Phase Deposition (газофазное осаждение из органики)

*** PECVD: Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (газофазное химическое осаждение в атмосфере плазмы).

Источник: Merging Optics & Nanotechnologies (MONA). A European roadmap for photonics and nanotechnologies.

Представленная таблица позволяет выявить технологии, которые оказывают самое высокое потенциальное техническое влияние на светотехнику, и в то же время имеют потенциальные возможности для массового производства. Наиболее значимые технологии — MOCVD, CNT CVD, коллоидный синтез, изготовление наноломинофоров, синтез из растворов солей металлов/гелей, OVPD, УФ литография, нанопечать и травление.

Объединение критериев «степень влияния на характеристики устройств» и «возможности для массового производства» отражает потенциал технологии/оборудования.

Приложение 6
Российские проекты в области светодиодной индустрии

1. Проект «Твердотельная светотехника: производство нового поколения экологически чистой и энергосберегающей светотехники на основе нанотехнологий»

Целью проекта является создание промышленного производства поколения сверхъярких светодиодов и светотехнических систем на их основе (твердотельная светотехника).

Основной этап проекта — организация производства светотехники полного цикла: от нано-гетероструктур до светильников на светодиодных чипах в России.

Участниками проекта являются Государственная корпорация «РоснаноТех», «ОНЭКСИМ групп» и «Уральский оптико-механический завод». Производство эпитаксиальных пластин будет располагаться в Санкт-Петербурге и на территории особой экономической зоны Нойдорф. Производство светодиодов, светодиодных кластеров, светильников будет располагаться в Екатеринбурге на площадке УОМЗ, немецкая компания LWUB по производству люминофоров. В области НИР осуществляется кооперация с ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН (Санкт-Петербург), РФЯЦ в Снежинске, Уральским политехническим институтом (люминофоры).

Базой подготовки кадров будет Научно-образовательный центр в Санкт-Петербурге, Физико-технический университет на базе этого центра. В РОСНАНО подана заявка на образовательный проект, на основе которого предполагается финансирование подготовки инженерных кадров для будущего производства, также базовые кафедры при ФТИ им. А.Ф. Иоффе, УПИ (Екатеринбург).

Имеется центр опытно-конструкторских разработок в Дортмунде, который в дальнейшем будет поддерживать опытно-конструкторские разработки.

Данный проект имеет свой IP-портфель — 9 «семейств» патентов в области производства кристаллов и чипов.

Технологии. На данный момент чипы производятся по планарной технологии. Сейчас в производстве находятся чипы 0.25 Вт, в ближайшее время будут внедрены чипы с потребляемой мощностью 0.5 Вт и 1 Вт. В будущем будет осуществлен переход на технологию вертикальных чипов, что позволит повысить эффективность до 100–150 лм/Вт (характеристики для холодного белого света).

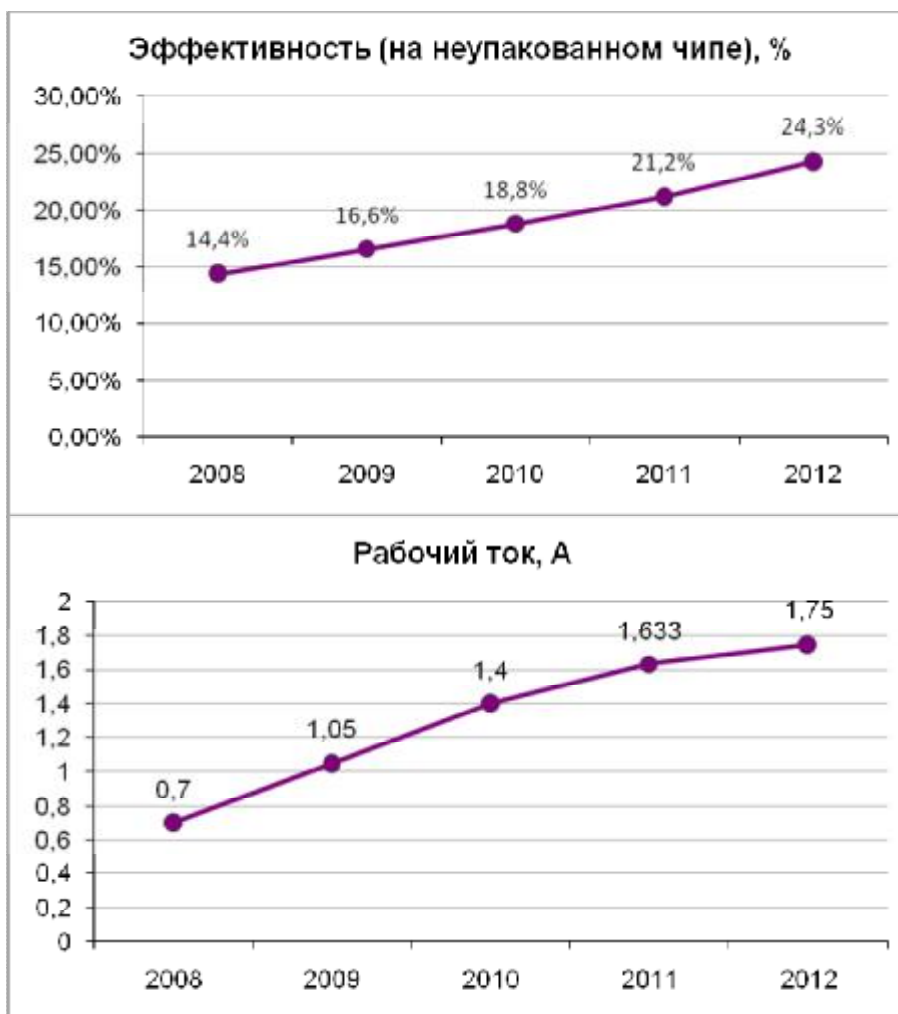
Корпусирование. На данный момент в разработке находятся достаточно дешевые корпуса на основе теплопроводящей керамики, оксида алюминия, позволяющих чипу работать в диапазоне мощностей до 1 Вт.

В настоящее время производятся белые светодиоды со светоотдачей 70 лм/Вт при теплом белом свете и цветовой температуре 3 500°К. В качестве люминофоров используются силикатные фосфоры, полоса возбуждения которых лежит в диапазоне 445–450 нм.

Кроме того, производятся белые светодиоды с высоким индексом цветопередачи (около 90), широким спектром. При этом светоотдача уменьшается до 50 лм/Вт.

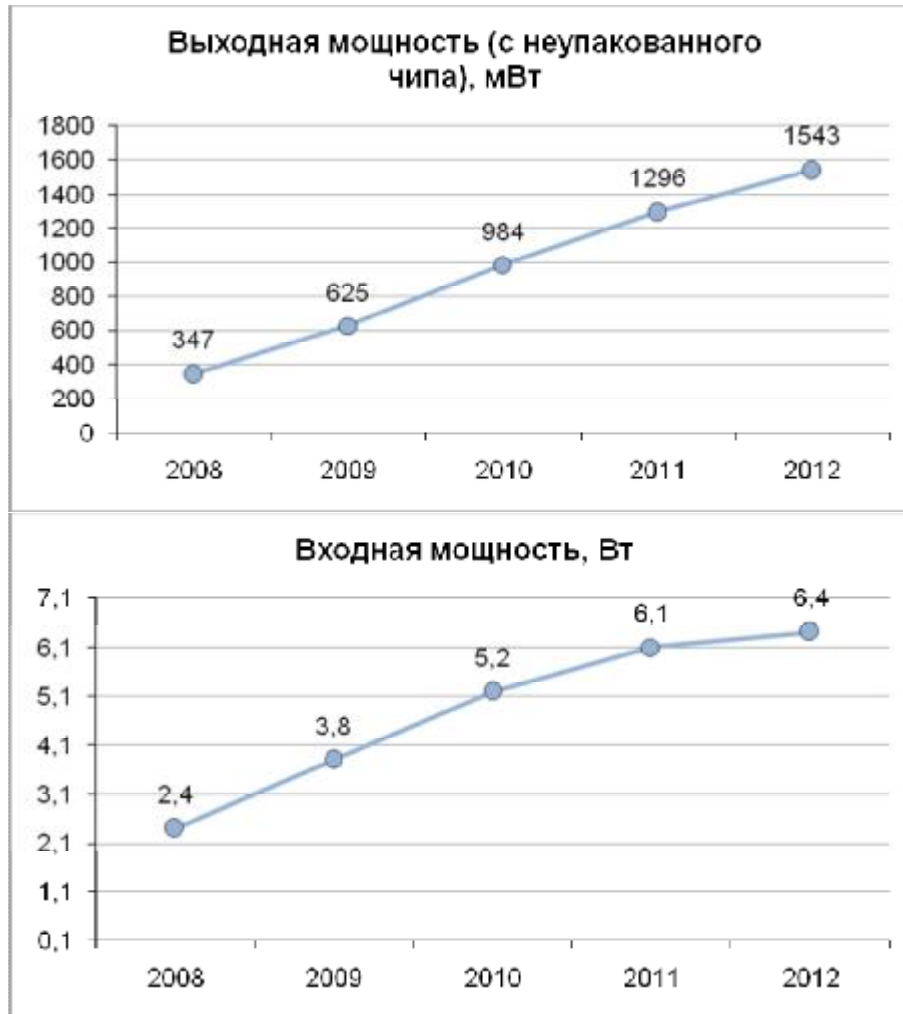
В результате проведения НИР ожидается следующий прогресс в характеристиках светодиодных чипов и светодиодов (рис. 1).

Рис. 1. Прогноз характеристик светодиодов



В данном случае рассматриваются чипы, излучающие на длине волны 450 нм, с линейными размерами чипа 1 мм×1мм. На практике требуемая геометрия чипа зависит от применения, и компания будет предлагать своим потребителям широкую номенклатуру продукции по геометрии, размерам и длинам волн. На базе упомянутых выше двух технических характеристик чипов прогнозируется следующий рост яркости чипов размером 1 мм (основной параметр для потребителей).

Рис. 2. Прогноз выходных характеристик светодиодов



На уровне ламп эти две характеристики, а также современный уровень эффективности преобразования света доступными на рынке люминофорами и уровень упаковочной технологии будут определять такие параметры, как световая эффективность и световой поток с лампы.

Рис. 3. Прогноз эффективности светодиодов



Интеллектуальная собственность после начала проекта будет принадлежать российской компании. Компании «Оптоган» принадлежат права на чип, который является ключевым элементом. Права на корпус автоматически приобретаются при приобретении корпуса у партнера. Соответственно, компании «Оптоган» принадлежат права на светодиод, который из них сделан.

Совместно с партнерами сделаны первые шаги по разработке и применению светотехнических устройств.

2. Комплексная программа внедрения светодиодной техники в ОАО «РЖД» на период 2009–2011 гг

На НТС ОАО «РЖД» были определены основные направления применения светодиодов на объектах инфраструктуры ОАО «РЖД» для освещения и других целей.

Для ОАО «РЖД» важны различные варианты применения полупроводниковой светооптики, в первую очередь элементы, встроенные в систему управления. Основные требования — сертификация и достижение существенного экономического эффекта. Необходи-

димо также учитывать ряд технических, производственных, стоимостных, нормативных и других факторов при использовании полупроводниковой светооптики, по которым следует выработать соответствующие рекомендации.

Для московской железной дороги уже изготовлено 8 поездов, полностью освещаемых светодиодами, депо и т. д. При этом основная экономия получается только за счет снижения электропотребления. Ожидаемый срок окупаемости составляет 12–15 лет, в то время как требование Заказчика — окупаемость за 3–5 лет, максимум 7 лет. Среди других требований — надежность (срок службы 10–20 лет), наличие комплексных систем управления, научно-технологическое сопровождение и безопасность. Для решения этих проблем нужно обеспечить взаимодействие отраслевой науки, которая адаптирует светотехнические технологии к жестким требованиям ОАО «РЖД».

В настоящее время формируются технические требования на перспективный подвижной состав, в котором будут рассматриваться вопросы создания светодиодного освещения и источников питания на этапе проектирования нового подвижного состава.

Приоритетные направления внедрения светодиодной техники в ОАО РЖД:

- освещение объектов инфраструктуры ОАО «РЖД» светодиодными источниками;
- светодиодное освещение подвижного состава железных дорог России;
- малообслуживаемые светосигнальные системы (светофоры, коммутаторные лампы и т.п.);
- оптические информационные каналы на основе ИК светодиодных технологий;
- построение резервных систем электроснабжения для отдельных объектов с использованием солнечных энергоэлементов.

Использование светодиодов позволит достичь следующих показателей экономической эффективности:

- применение светодиодных источников света позволяет экономить до 40% электроэнергии;
- наличие интеллектуальных систем управления позволяет дополнительно экономить до 30%;
- расход энергии на освещение снижается до 70%.

Рис. 4. Структура потребления в стационарном хозяйстве

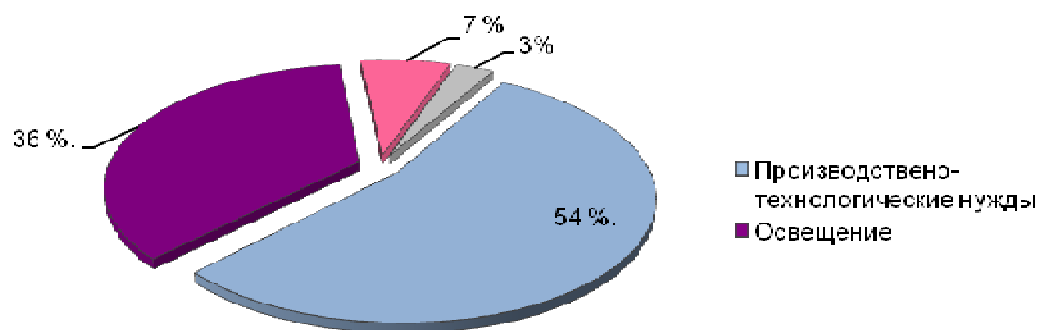


Рис. 5. Задачи в области разработки и производства светодиодных элементов

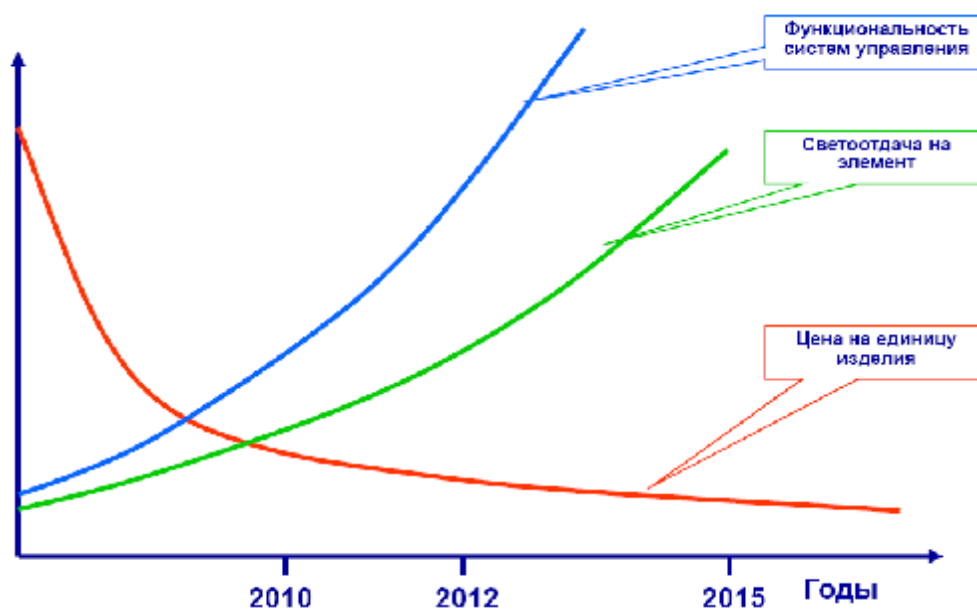


Рис. 6. Этапы внедрения информационных технологий на базе светодиодной техники

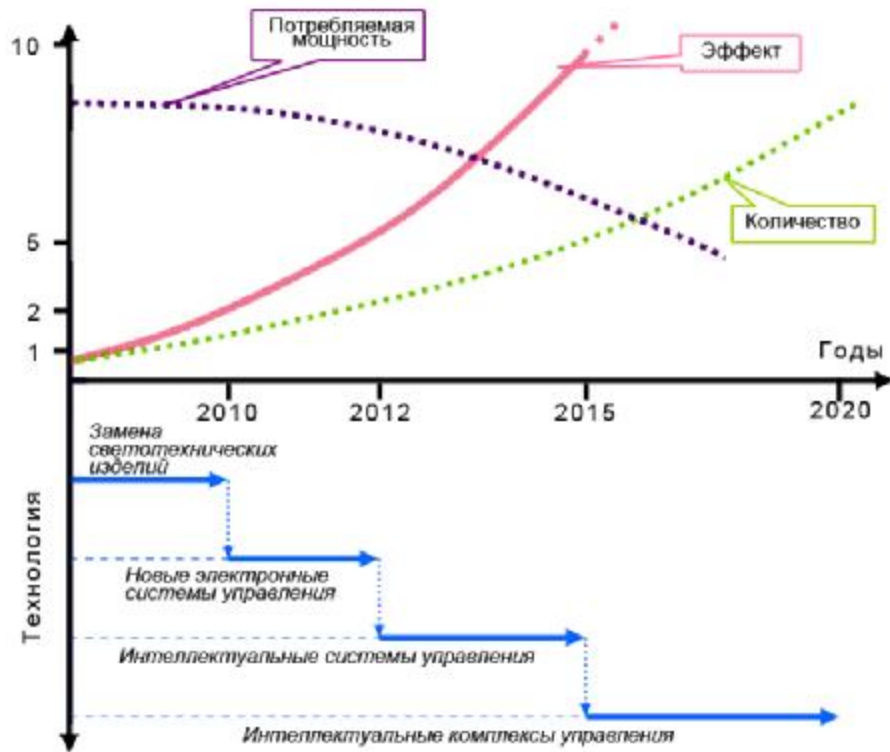


Рис. 7. Технико-экономическая эффективность внедрения светодиодных систем для сигнализации



Основные факторы, которые необходимо учитывать при реализации программы:

- технические аспекты, ограничивающие на начальном этапе потенциальную эффективность компонентов, но позволяющие реально подтверждать их работоспособность;
- проектные аспекты, которые позволят повысить эффективность систем путем совершенствования их энергоснабжения и управления на объектах;
- производственные и стоимостные аспекты, которые позволят ускорить переход производства к приемлемому для ОАО «РЖД» показателю «цена — качество»;
- необходимость контроля качества поставляемых изделий для обеспечения гарантированного срока их службы и заявленных характеристик;
- необходимость переработки нормативной базы для использования преимуществ светодиодной техники;
- необходимость научно-технологического сопровождения всех этапов программы для расширения областей приема светодиодных элементов и формирования соответствующей технической базы для испытаний и сертификации комплексов.

Критерии выбора производителей:

- организации, имеющие государственную поддержку в рамках программы ГК «Роснотех»;
- компании, которые через НП ОПЖТ готовы участвовать на доленой основе в инвестировании проектов ОАО «РЖД»;
- зарубежные компании, имеющие соответствующий уровень технологий и производства и готовые к организации этого производства в России;
- наличие у выбранных организаций документов, подтверждающих качество выпускаемой продукции;
- наличие у выбранных организаций технологической базы, позволяющей гарантировать сопровождение поставляемых изделий на всех этапах их жизненного цикла;
- наличие систем гарантийного и сервисного обслуживания с учетом требований ОАО «РЖД».

3. Проект «Организация производства полупроводниковых источников света для промышленного применения»

Проект предложен ОАО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов» (г. Томск), основными направлениями деятельности которого являются разра-

ботка и производство полупроводниковых соединений, гибридно-интегральных схем, изделий оптоэлектроники. На основе имеющегося опыта был предложен проект по созданию производства полупроводниковых источников света промышленного применения и светотехнических изделий на их основе, целями которого являются разработка и изготовление компонентов светодиодов, монокристаллических и гибридных матриц светодиодов, изготовление светотехнических изделий на их основе при уменьшении их размеров и увеличении прочности.

Производство будет строиться в кооперации с предприятиями, занимающимися производством светотехнических изделий в Сибири.

4. Создание производственного участка, освоение и запуск серийного производства гетероструктур для светодиодов повышенной яркости видимого диапазона на основе твердых растворов AlGaInP/GaAs и $\text{AlGaIn/GaN/Al}_2\text{O}_3$

В рамках проекта производится:

1) Разработка конструкции и технологии изготовления светоизлучающих диодов мощностью 1 Вт.

2) Разработка технологии изготовления нанокompозитного материала медь-алмаз повышенной теплопроводности — 3 проекта было предложено от ФГУП НИИ «Полус» им. М.Ф. Стельмаха, г. Москва.

На ФГУП НИИ «Полус» имеется вся необходимая технологическая база для производства светодиодов. В рамках проводящейся ОКР разрабатываются гетероструктуры на основе алюминия по разработанной конструкции. Предлагается поставить опытно-конструкторскую работу по изготовлению гетероструктур на поглощающих и отражающих носителях. Результат — увеличение светоотдачи в три раза и промышленное производство гетероструктур с требуемыми параметрами. Разработка конструкции и технологии изготовления светоизлучающих диодов мощностью 1 Вт. Предлагается изготовить светодиод во всём спектральном диапазоне от 630 нм до белого. Технологии, которые используются в производстве лазерных диодов, применимы и в светодиодах, в первую очередь системы охлаждения.

Предлагается также провести ОКР, направленную на разработку технологии изготовления нанокompозитного материала. В наноразмерных композитах отсутствуют механические микронапряжения в чипе, и они имеют меньшую шероховатость поверхности (20 нм).

Ожидаемые параметры:

1. Коэффициент теплопроводности не менее 600 Вт/м×град.
2. Коэффициент термического расширения 6×10^{-6} 1/град.

3. Диаметр подложки 50 мм.

4. Толщина 1–3 мм.

Для осуществления проектов имеется полное обеспечение материалами. В настоящее время возможен выпуск 250 пластин в год. Этого хватит для трёх производителей светодиодов — «Протон», «Планета СИД» и НИИПП. Необходимо организовать производственный участок с 3–4 российскими установками МОС-гидридной эпитаксии. Необходимо также оборудование для диагностики выращивания гетероструктур и для производства пластин по светодиодным технологиям. В результате можно выйти на требуемые объёмы.

Основная проблема — блоки питания. Для светодиодов они должны быть дешёвыми. Блок питания для лазерного диода на 10 ампер стоит 3 000 долл. США, на 1 ампер — 800 долл.. Делать светодиоды с питанием меньше 1А неэффективно.

5. Разработка конструкции и организация производства кристаллов на твердых растворах GaInN для мощных LED (более 1 Вт)

В рамках проекта осуществляется:

1) Создание участка серийной (до 10 млн штук в месяц) сборки мощных светодиодов для осветительных устройств.

2) Организация производства световых приборов двойного применения на основе энергосберегающих полупроводниковых твердотельных источников света — 3 проекта предложено ОАО «Протон» (г. Орел).

ОАО «Протон» является лидером в области оптоэлектроники и светодиодного освещения. В год выпускается около 6 млн светодиодов, из них особая ркие светодиоды составляют 70%. Существует четыре звена: эпитаксия, процессирование, сборка светодиодов и сборка устройств. Из них на предприятии нет только эпитаксиального роста.

Задачи: обеспечение отечественными чипами с размером не менее $1 \times 1 \text{ мм}^2$, со светоотдачей не менее 100 лм/Вт (в настоящее время производятся чипы на 87 лм/Вт на импортных чипах); производство мощных светодиодов; организация производства световых приборов. Проект касается сигнальных и осветительных приборов. Образцы уже сделаны, в июле 2009 г. начнется производство приборов для авиации и морского флота. В 2009 г. начнутся испытания.

6. Специализированные управляемые источники света на основе наногетероструктур для контрастного освещения биологических объектов: Физико-технологический научно-образовательный центр РАН (г. Санкт-Петербург)

Одним из основных направлений совершенствования хирургических светильников является использование светодиодных источников света. Это обеспечивает более ком-

фортное восприятие операционного поля хирургами и реалистичное отображение цветовой гаммы тканей без их нагревания.

Преимущества: источник света не нуждается в фокусировке, обеспечивает оптимальную глубину и объем светового поля, обладает увеличенным сроком службы.

Ограничения:

- Недостаточные показатели спектральных и цветовых параметров.
- Невозможность управления интенсивностью и цветом излучения.

Цель проекта — принципиальное усовершенствование светодиодных динамически управляемых источников света («интеллектуальный» свет) для повышения контрастности визуализации биологических тканей в процессе проведения хирургических операций.

7. Разработка светодиодных подложек нового поколения. Проект представлен ООО «Группа компаний "Нитридные кристаллы"» (г. Санкт-Петербург)

Сырьевой ресурс для подложек не производится в России. Кремний — самая дешёвая подложка. Сапфир всегда будет недорогим; карбид кремния, так как он производится сублимацией, всегда будет несколько дороже. Нитрид алюминия будет дороже сапфира и немного дороже карбида кремния, нитрид галлия — самый проблемный с точки зрения стоимости — выращивается хлоридно-гибридной эпитаксией.

Подложки карбида кремния все еще используются в массовом производстве сверхмощных светодиодов Cree и Osram и не вытеснены подложками на основе сапфира и «lift-off».

Одним из ключевых вопросов является себестоимость производства подложек из карбида кремния и, соответственно, конкурентоспособность. Основные составляющие себестоимости — оборудование и материалы. В России нет некоторых материалов и оборудования для обработки. На фирме запущено пилотное производство подложек три дюйма, можно производить до 1 000 подложек в месяц.

Преимущества нитрида алюминия: близкая по свойствам нитридная подложка, себестоимость сопоставима со стоимостью подложки карбида кремния, очень низкая плотность дислокаций. Мощностей достаточно для выпуска 300–500 подложек в месяц. Есть установка, себестоимость будет сопоставима со стоимостью подложки карбида кремния.

Нитрид галлия — лучшая подложка для всех светодиодов. Возможность получения материала с плотностью дислокаций менее 1 000 на кв. см. Недостаток — высокая стоимость (2 тыс. долл.). Используется для производства лазеров для DVD. Но в России будет дешевле, чем в Японии, — оборудование есть, для производства не требуется аммиак высокой чистоты.

8. Разработка подложек на основе карбида кремния: Институт проблем технологии микроэлектроники РАН (г. Черноголовка)

На заводе в Черноголовке планируется создание оборудования с большой производительностью для выращивания карбида кремния. Сейчас есть разработки на экспериментальном оборудовании — за последние пять лет на двух установках. Это промышленные образцы. Кристаллы, которые производятся, имеют диаметр 2 дюйма, толщину от 12 мм, производительность за сутки максимально — 20 штук. Более однородные кристаллы получаются при высокочастотном нагреве. К настоящему времени в Черноголовке (ИФТТ РАН) существует участок из 3-х опытных установок, на которых разрабатывается базовая технология выращивания монокристаллов карбида кремния диаметром 50 мм.

В 2008 г. выполнен ряд работ по разработке ростовых установок. В настоящее время идет технологическая подготовка производства для изготовления установки.

При достаточном финансировании этих работ в течение 2010–2012 гг. будет налажен серийный выпуск ростовых установок на ФГУП ЭЗАН, разработана технология выращивания монокристаллов карбида кремния и создан участок промышленного производства пластин карбида кремния для изготовления светодиодов на их основе.

9. Мощные светодиоды с ультрафиолетовым излучением ООО «НПЦ ОЭП «ОПТЭЛ», ОАО «ОПТРОН», ООО «КБСП».

Мощные светодиоды с ультрафиолетовым излучением могут найти применение в различных отраслях науки и техники, а именно:

- в медицинских исследованиях и в системах обеззараживания помещений;
- в системах обеззараживания и очистки воды;
- во флуоресцентном анализе, для контроля качества производимых люминофоров;
- для люминесцентного контроля подлинности документов и валютных купюр;
- в технологии фотолитографии в микроэлектронике;
- в устройствах для химического анализа;
- для ускоренной полимеризации клеев при сборке радиоэлектронной аппаратуры;
- для создания источников белого света при использовании трёхцветных люминофоров и т.п.

Для разработки мощных светодиодов с ультрафиолетовым излучением использовались кристаллы фирмы “SemiLEDs” (Тайвань) типа SL-V-U40AC (Metal Vertical Photon Light Emitting Diode – MvPLED™, т. е. кристаллы имеют «вертикальную» струк-

туру) размером 1.07x1.07 мм (площадь p-n-перехода 0,97x0,97 мм). Кристаллы выполнены на основе гетероструктур в системе AlInGaN. Активная область представляет собой двойную гетероструктуру InGaN/AlGaN. Эти светодиоды являются следующим поколением светодиодов высокой яркости для перспективных применений, включая общее освещение.

У MvpLED™ чипа есть много достоинств, включая высокую теплопроводность, высокую яркость и надежность. При корпусировании следует проявлять определенную осторожность для того, чтобы получить максимальную светоотдачу от чипа. MvpLED™ чип состоит из трех частей: подложка с устройством, инжекции фотонов и собственно инжекционные сопла. Подложка — достаточно мягкое устройство, инжекции фотонов и сопла достаточно хрупкие, поэтому при изготовлении корпуса следует избегать местных напряжений во избежание повреждения устройства инжекции фотонов и сопел инжекции фотонов.

На базе этих чипов были разработаны конструкции светодиодов с ультрафиолетовым излучением, содержащие ножку и полимерный купол с показателем преломления $n=1.56$. Для улучшения теплоотвода ножка содержит наваренную медную пластину. Для эффективного вывода излучения и формирования заданной диаграммы направленного излучения в диапазоне $2\theta_{0.5}=15-60$ град светодиоды содержат отражатель бокового излучения кристалла и полимерную полусферическую линзу. Для получения узкой диаграммы направленности излучения с $2\theta_{0.5}=5-10$ град и снижения потерь на сферическую абберацию применён эллиптический полимерный купол, в котором кристалл находится во втором от вершины купола фокусе эллипса.

Электрическая цепь диодов изолирована от корпуса приборов, что позволяет применять светодиоды как при последовательном, так и при параллельном соединениях. Конструкция приборов выполнена с возможностью последующей установки на радиатор. Тепловое сопротивление конструкций светодиодов составляет $7-10^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Для измерения фотометрических параметров была разработана специальная установка и методика, где были использованы приборы, аттестованные во ВНИИОФИ и проверенные в соответствии с требованиями стандартов.

Кроме того, были также разработаны малогабаритные светодиоды с ультрафиолетовым излучением $\varnothing 5$ мм типа У-118УФ с длиной волны излучения 395–405 нм на основе кристаллов фирмы Cree размером 0.3x0.3 мм. Мощность излучения составила 8.5–11 мВт при прямом токе 30 мА, что соответствует внешнему квантовому выходу излучения $\eta_{\text{вн}}=12\%$. Имеются перспективы дальнейшего повышения фотометрических

параметров светодиодов с ультрафиолетовым излучением до величины внешнего квантового выхода излучения $\eta_{\text{вн}}=20\text{--}30\%$.

10. Светодиодные системы освещения ООО «Церс» (г. Ростов-на-Дону)

Существенной проблемой, возникающей при создании эффективной осветительной системой, является то, что изготовители светодиодов не знают запросов реального потребителя. Поэтому необходима кооперация предприятий — изготовителей светодиодов и изготовителей осветительных систем. Требуется также решить ряд задач в области разработок, направленных на повышение световой эффективности и равномерности тока, оптимизации конструкции светодиодов и светильников.

Фирмой разработана оптимальная конструкция светильника для светодиода с требуемым форм-фактором. Под форм-фактором имеется в виду два параметра — совокупность оптических характеристик и электротермических характеристик. Если светодиод соответствует требуемому форм-фактору, конструкция в итоге будет иметь минимальную стоимость и высокие характеристики.

11. Разработка MOCVD технологии и оборудования для светодиодной индустрии: ФГУП ЭЗАН (г. Черноголовка)

Предприятие ФГУП ЭЗАН обладает достаточными возможностями производства технологического оборудования для производства светодиодов в России. В своё время в короткий срок были выпущены 22 установки молекулярно-лучевой эпитаксии, а также широкий спектр другого оборудования. Специальное конструкторское бюро состоит из шести специализированных КБ.

Завод выполняет объем работ на 700–800 млн руб. в год. Рентабельность — от 7 до 12%.

Совместно с «Эпилаб» и ИПТМ РАН создана машина для травления и роста пленок в ЭЦР-плазме. Получены структуры для малошумящих транзисторов. Эта машина поставлена в «Циклон». Если использовать ЭЦР плазму, то можно использовать не аммиак, а чистый азот. Температура снижается на 200–300 градусов. При температуре 700 градусов плёнка приближается к нанокристаллической плёнке GaN. Эти работы были запатентованы. Установка для выращивания нанокристаллов оснащена адаптивной САУ, есть заказчики, в том числе и зарубежные. Для таких машин создан высокочастотный генератор с высоким КПД — до 94%. Налажен серийный выпуск генераторов. Одновременно выпускается новая машина. Планируется создание машины для карбида кремния. Разработано два комплекта документации для двух партнеров, выращивающих подложки. Предприятие готово быть производителем оборудования для производства светодиодов.

12. Предложения ОАО НИИ «Изотерм» установок для выращивания кристаллов (г. Брянск)

Предприятие ОАО НИИ «Изотерм» выполняет широкий спектр научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) для различных отраслей промышленности России, в том числе и для светодиодной промышленности — разрабатывает оборудование для получения монокристаллических полупроводниковых и других специальных материалов, кристаллов-диэлектриков.

ОАО НИИ «Изотерм» осуществляет разработку, изготовление и пуско-наладку опытных образцов и малых партий оборудования по техническим требованиям заказчика. К наиболее значимым работам, которые были выполнены за последние годы, следует отнести разработку ростового оборудования для институтов РАН РФ, профильных прикладных институтов, предприятий микроэлектроники. Предприятие разрабатывает и производит следующие виды ростового оборудования:

- Установка выращивания монокристаллов кремния «ИЗОТЕРМ-20». Предназначена для производства в автоматическом режиме (кроме затравления) монокристаллов кремния диаметром до 250 мм общей длиной до 1 600 мм методом Чохральского из тигля \varnothing 508 мм.
- Установка выращивания монокристаллов «Дельта-30». Предназначена для производства в автоматическом режиме (кроме затравления) методом Киропулоса монокристаллов лейкосапфира массой до 30 кг.
- Установка электротехническая универсальная «Капля». Установка предназначена для:
 - измерения поверхностного натяжения расплавов методом «лежащей капли»;
 - изучения кинетики растекания жидких металлов по огнеупорным материалам;
 - изучения кинетики растворения материалов в расплавах методом вращающегося диска;
 - изучения кинетики проникновения расплавов в пористые образцы при изменении их электрического сопротивления.
- Установки «Сапфир-КР», «Сапфир-210» выращивания монокристаллов лейкосапфира. Предназначены для выращивания монокристаллов лейкосапфира методом горизонтально направленной кристаллизации, а также другие установки для выращивания кристаллов лейкосапфира.
- Малогабаритная установка выращивания монокристаллов. Малогабаритная установка предназначена для выращивания монокристаллов германия, кремния,

антимонидов галлия и индия в автоматическом режиме (кроме затравления) из тигля Ø102x100 мм и для проведения исследовательских работ.

- Электронно-лучевая установка рафинирования тугоплавких металлов. Предназначена для электронной очистки в вакууме тугоплавких металлов, в частности ниобия, от примесей алюминия и др.
- Нагреватель из вольфрамовых прутков. Предназначен для высокоточного перемещения и вращения гибкого вала с затравкой в установках выращивания монокристаллов кремния.
- Привод нижний. Предназначен для вращения и перемещения штока с тиглем при выращивании монокристалла кремния. Оснащен узлами вакуумного уплотнения и подачи воды.
- Привод верхний для установок выращивания монокристаллов типа «Кристалл-2», «Кристалл-3М». Привод предназначен для прецизионного вращения и вытягивания монокристаллов алюмо-иттриевого граната при их выращивании методом Чохральского. Используется для модернизации установок типа «Кристалл-2», «Кристалл-3М».

Одним из приоритетных направлений деятельности предприятия является исследование и разработка наукоемкого оборудования для выращивания кристаллов. ОАО НИИ «Изотерм» выполняет полный комплекс работ: от разработки новых видов продукции, ее производства и поставки до наладки и обслуживания своих изделий у заказчика. Разработки института защищены патентами на полезные модели.

13. Разработка светоизлучающих матриц белого цвета излучения, рассчитанных на переменное напряжение 220В ОАО «НИИ полупроводниковых приборов» (НИИПП) (г. Томск)

Разработка светодиоидов с высоким рабочим напряжением является одним из путей решения проблемы несоответствия светодиодных устройств особенностям сложившейся электрической инфраструктуры. В этом разделе приводятся характеристики светоизлучающих матриц белого цвета излучения мощности 8 Вт, рассчитанных на переменное напряжение 220В (далее по тексту СИМ-8Б-220). Ниже приведено краткое описание устройства, технические данные, условия эксплуатации, транспортировки и хранения.

Назначение

СИМ-8Б-220 относится к источникам света и предназначена для встраивания в осветительные устройства в качестве источника белого света. СИМ-8Б-220 представляет собой алюминиевую подложку с 2 крепёжными отверстиями и 2 контактными площадками.

ми, чипами светоизлучающих диодов и слоем люминофора. Габаритные размеры СИМ-8Б-220 приведены на рис. 1.

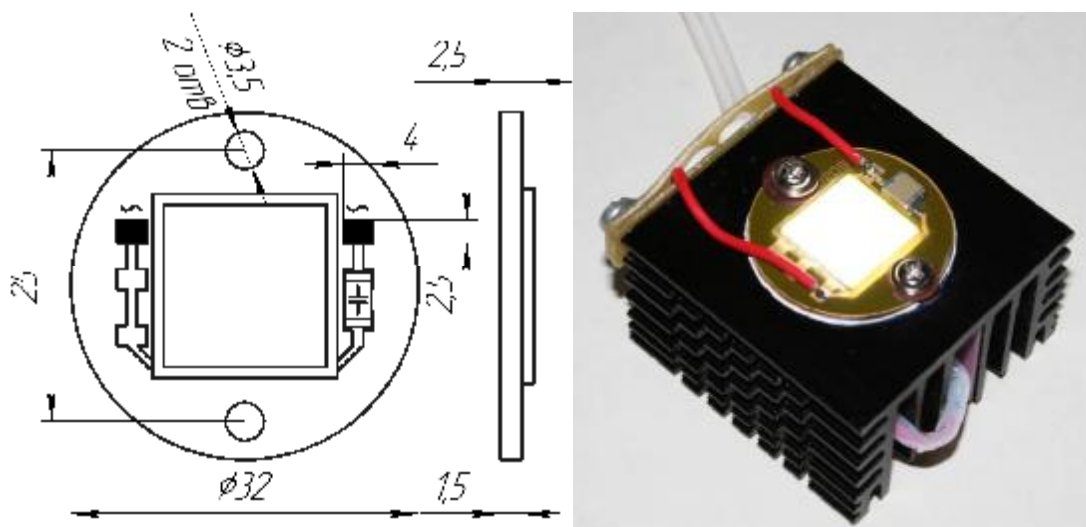


Рис. 1. Габаритный чертеж и внешний вид СИМ-8Б-220

Технические данные

№	Наименование параметра, единица измерения	Значение параметра
1	Переменное рабочее напряжение, В	200÷240
2	Постоянный прямой рабочий ток, мА	40
3	Угол излучения $\Theta_{0.5}$, градус	120
4	Световой поток, лм	250÷500
5	Цвет излучения	белый*
6	Диапазон рабочих температур, °С	-50 ÷ +65
7	Масса, г	не более 5

* цветовая температура 3000 - 6000°С, по согласованию с заказчиком

Условия эксплуатации

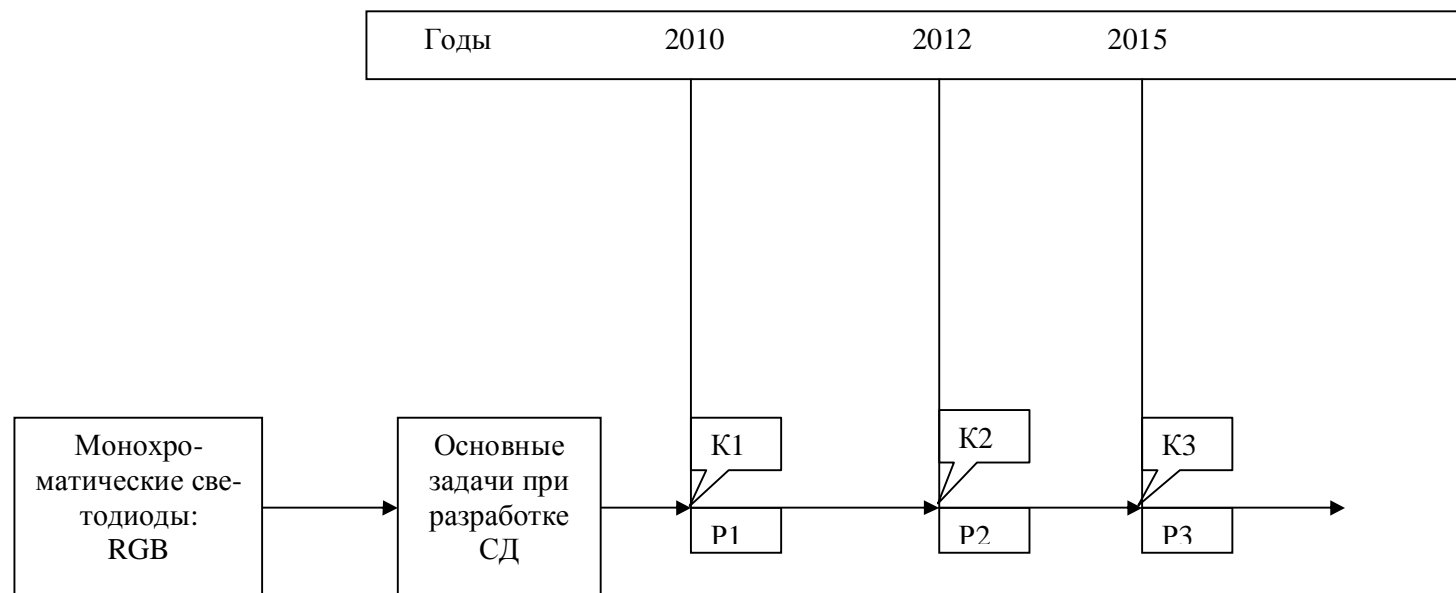
Для исключения перегрева СИМ-8Б-220 рекомендуется посадка с использованием термопасты на радиатор площадью 100 см². Паять рекомендуется с подогревом подложки СИМ-8Б-220 до температуры 90÷110°С, температура пайки <230°С (<5сек)

Транспортировка и хранение

Транспортирование СИМ-8Б-220 может производиться автомобильным, железнодорожным, воздушным и водным видами транспорта.

Условия хранения п.5 ГОСТа 15150-69.

Приложение 7
Основные технологические развилки



Пояснения к схеме:

- К1** – Критерий 1. Внутренняя квантовая эффективность $R = 75\%$, $G = 20\%$, $B = 80\%$. Светоотдача: $R = 58$ лм/Вт, $G = 53$ лм/Вт, $B = 16$ лм/Вт. Световой поток: $R = 42$ лм, $G = 53$ лм, $B = 16$ лм, (для $I = 350$ мА, 1 Вт, 25°C), 100 \$/Клм. Стабильность спектрального состава излучения в течение всего срока службы (25000 час). Эффективность вывода света из чипа 80% G (540 nm), 50% R (610 nm), 80% B . Тепловое сопротивление (соединения с корпусом) для однокристалльного пакета мощностью 1 Вт и площадью 1 мм^2 составляет $10^\circ\text{C}/\text{Вт}$, лучшие значения могут составлять $5^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Максимальная мощность излучения для УФ светодиодов $P_e = 160-180$ мВт в России получена на светодиодах с $\lambda_{\text{max}} = 395-405$ нм, внешний квантовый выход излучения УФ светодиодов составил $\approx 17\%$ (данные фирмы ООО «НПЦ ОЭП «ОПТЭЛ»⁹, КПД драйвера составляет 85% при сроке службы 40000 час.

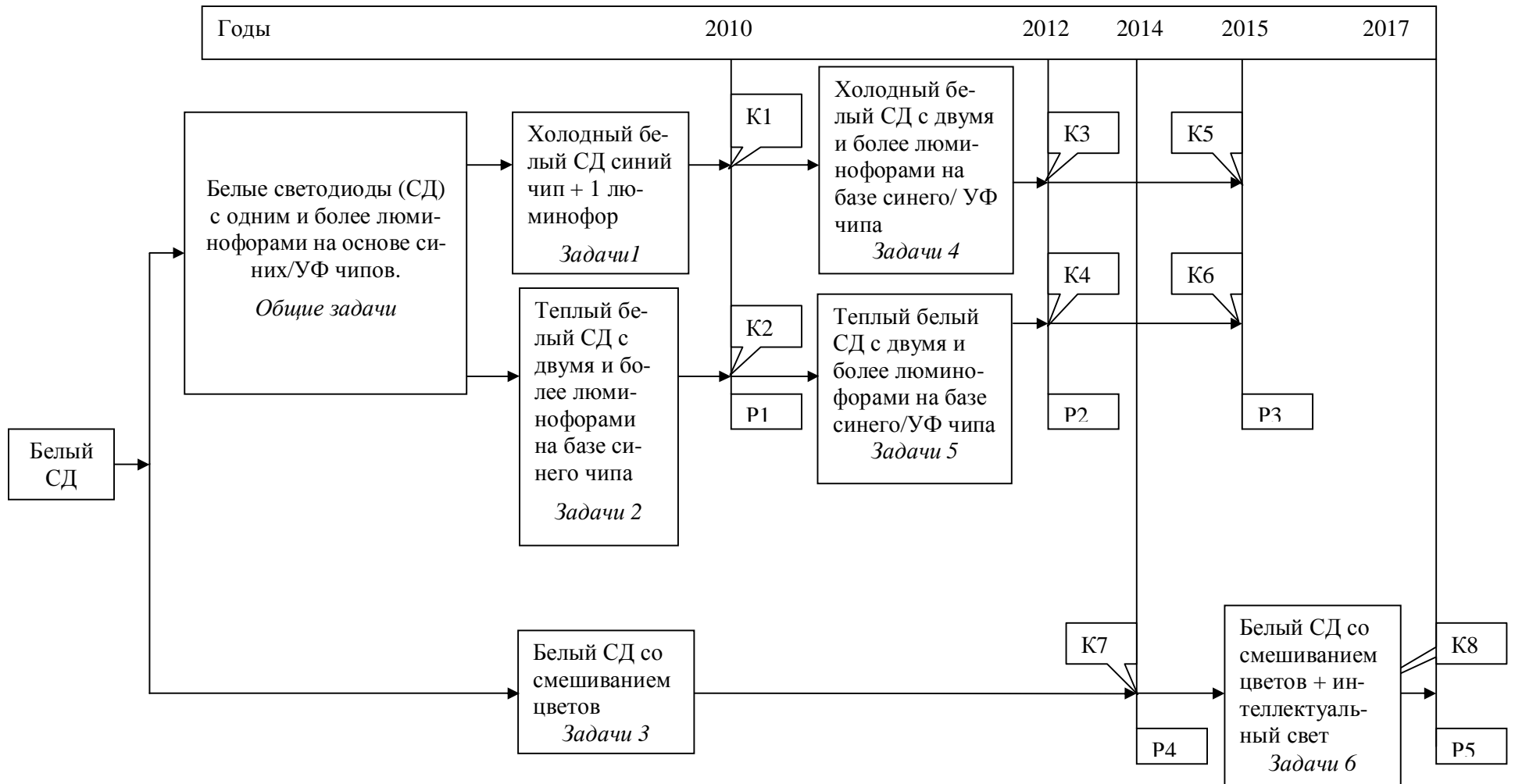
⁹ Коган Л.М., Гальчина Н.А., Колесников А.А., Портнягин Ю.А., Рассохин И.Т. Мощные светодиоды с ультрафиолетовым излучением.

- **P1** – Решение 1. Начало опытного производства светодиодов. Формирование рынка светодиодов. Определение сегментов применения светодиодов. Продолжение прикладных и фундаментальных исследований с целью создания СД с улучшенными характеристиками. Определение перспектив развития всех типов светодиодов. Альтернатива: приобретение лицензии на производство чипов или приобретение требуемой партии чипов.
- **K2** – Критерий 2. Внутренняя квантовая эффективность $R = 85\%$, $G = 40\%$ $B = 85\%$. Светоотдача: $R = 70$ лм/Вт, $G = 65$ лм/Вт $B = 40$ лм/Вт, 10\$/Клм. Срок службы 40000 час. Стабильность спектрального состава излучения в течение всего срока службы.
- **P2** – Решение 2. Начало серийного производства. Поддержка коммерциализации. Продолжение прикладных и фундаментальных исследований с целью улучшения характеристик светодиодов. Альтернатива: приобретение лицензии на недостающие элементы для производства светодиодов (чипов требуемого цвета, недостающих технологических процессов)
- **K3** – Критерий 3. Внутренняя квантовая эффективность 90% для всех трех цветов. Эффективность вывода света из чипа 90% для всех цветов. Светоотдача: $R = 100$ лм/Вт, $G = 95$ лм/Вт, $B = 90$ лм/Вт. Световой поток: $R = 100$ лм, $G = 95$ лм, $B = 90$ лм, 2 \$/Клм, (цель 2015 $<1^\circ\text{C}/\text{Вт}$). Стабильность спектрального состава излучения в течение всего срока службы (50000 час). КПД драйвера 92% при сроке службы 50000 час.
- **P3** – Решение 3. Зависит от появления новых технологий и результатов проведения фундаментальных и прикладных исследований.

Основные задачи при разработке светодиодов:

- Разработка эффективных чипов зеленого и красного диапазона с низкой степенью деградации и минимальной тепловой чувствительностью. Продолжение усовершенствования синих светодиодов. Разработка альтернативных конфигураций чипа и механизмов излучения, которые могут дать реальное повышение внешнего квантового выхода (Возможные примеры: квантовые точки, фотонные кристаллы, структуры на плазмонах и т. д.) Разработка оптических материалов со сроком службы по крайней мере не менее срока службы чипа (цель — 50000 час), работающих при повышенных температурах окружающей среды, влажности и воздействии синего и УФ излучения.
- Исследование и разработка новых теплоустойчивых материалов и устройств, которые могут быть применены в светодиодах.

- Разработка альтернативных материалов подложек и совершенствование качества технологии выращивания подложек при снижении их стоимости.
- Улучшение оптических схем вывода света из чипа и повышение эффективности оптической системы светодиодов.
- Снижение рабочего напряжения чипа.
- Разработка инновационных решений в области теплового контроля и теплоотвода.
- Увеличение срока службы светодиода или матрицы светодиодов.
- Разработка методов улучшения эпитаксиального роста для уменьшения разброса длины волны излучения и других параметров источников.
- Разработка ростовых реакторов низкой стоимости и высокой производительности с улучшенной эффективностью использования материалов.
- Разработка улучшенных методов и приспособлений разделения подложек, формирования чипов, соединения в пластины и разработка тестового оборудования для производства при низкой цене.
- Разработка управляющей электроники обеспечивающей качество цвета в течение всего срока службы, компенсируя изменения, происходящие в светодиодах.
- Разработка методологии моделирования и экспериментальных исследований для определения срока службы, включая методику ускоренного тестирования.
- Разработка методов моделирования процесса производства светодиодов с целью увеличения объема производства и качества светодиодов.



Пояснения к схеме:

Критерии **К1 – К8** являются предельно достижимыми для мирового уровня светодиодных технологий. Реальные значения определяются требованиями, предъявляемыми к светильникам различного назначения, представленным ниже:

- **К1** – Критерий 1. 90 лм/Вт, 10\$/Клм. Срок службы 30000 час. Цветовая температура < 6000К (в целях безопасности для зрения). Стабильность спектрального состава излучения в течение всего срока службы.
- **К2** – Критерий 2. 60 лм/Вт, 10\$/Клм. Срок службы 30000 час. Цветовая температура 4000К (в целях безопасности для зрения). Стабильность спектрального состава излучения в течение всего срока службы.
- **Р1** – Решение 1. Начало опытного производства светодиодов. Формирование рынка светодиодов. Определение сегментов применения холодных и теплых белых светодиодов. Продолжение прикладных и фундаментальных исследований с целью создания СД с улучшенными характеристиками. Определение перспектив развития холодных СД с одним люминофором и теплых СД, определение перспектив применения обоих типов светодиодов. Альтернатива: приобретение лицензии на производство светодиодов с одним люминофором за рубежом
- **К3** – Критерий 3. 130 лм/Вт, 5\$/Клм. Срок службы 35000 час. Цветовая температура < 6000К (в целях безопасности для зрения). Стабильность спектрального состава излучения в течение всего срока службы.
- **К4** – Критерий 4. 100 лм/Вт, 5\$/Клм. Срок службы 35000 час. Цветовая температура 4000К (в целях безопасности для зрения). Стабильность спектрального состава излучения в течение всего срока службы.
- **Р2** – Решение 2. Начало серийного производства. Поддержка коммерциализации. Продолжение прикладных и фундаментальных исследований с целью улучшения характеристик СД. Альтернатива: приобретение лицензии на производство светодиодов с несколькими люминофорами за рубежом.
- **К5** – Критерий 5. 150 лм/Вт, 2\$/Клм. Срок службы 50000 час. Цветовая температура < 6000К (в целях безопасности для зрения). Стабильность спектрального состава излучения в течение всего срока службы.

- **К6** – Критерий 6. 140 лм/Вт, 2\$/Клм. Срок службы 50000 час. Цветовая температура 4000К (в целях безопасности для зрения). Стабильность спектрального состава излучения в течение всего срока службы.
- **Р3** – Решение 3 зависит от появления новых технологий и результатов проведения фундаментальных и прикладных исследований.
- **К7** – Критерий 7. 180 лм/Вт, 5\$/Клм. Срок службы 50000 час. Цветовая температура 4000К (в целях безопасности для зрения). Стабильность спектрального состава излучения в течение всего срока службы.
- **Р4** – Решение 4. Начало опытного производства светодиодов со смешиванием цветов. Продолжение прикладных и фундаментальных исследований с целью улучшения характеристик СД. Возможная альтернатива: приобретение лицензии на производство светодиодов со смешиванием цветов за рубежом; интенсификация исследований и производства СД со смешиванием цветов при сокращении исследований и разработок СД с люминофорами.
- **К8** – Критерий 8. 200 лм/Вт, 2\$/Клм. Срок службы 100000 час. Цветовая температура 4000К (в целях безопасности для зрения). Стабильность спектрального состава излучения в течение всего срока службы. Интеллектуальное управление светом.
- **Р5** – Решение 5 зависит от появления новых технологий и результатов проведения фундаментальных и прикладных исследований. Возможная альтернатива: переход на производство белых светодиодов только на базе смешивания цветов.

Основные задачи при разработке светодиодов:

Общие задачи:

- Разработка альтернативных материалов подложек и совершенствование качества технологии выращивания подложек при снижении их стоимости.
- Увеличение квантовой эффективности люминесценции люминофоров и их цветовой стабильности.
- Улучшение оптических схем вывода света из чипа и повышение эффективности оптической системы светодиода.
- Снижение рабочего напряжения чипа.

- Разработка инновационных решений в области теплового контроля и теплоотвода.
- Разработка компаундов с повышенным сроком службы и высоким коэффициентом преломления (для СД с люминофорами).
- Увеличение срока службы светодиода или матрицы светодиодов.
- Разработка методов улучшения эпитаксиального роста для уменьшения разброса длины волны излучения и других параметров источников.
- Разработка ростовых реакторов низкой стоимости и высокой производительности с улучшенной эффективностью использования материалов.
- Разработка улучшенных методов и приспособлений разделения подложек, формирования чипов, соединения в пластины и тестового оборудования для производства при низкой цене.
- Разработка управляющей электроники обеспечивающей качество цвета в течение всего срока службы, компенсируя изменения, происходящие в светодиоде.

Задачи 1:

- Разработка новых материалов подложек и совершенствование качества технологии выращивания подложек при снижении их стоимости.
- Разработка новых более эффективных типов люминофоров.
- Улучшение схем теплового контроля.
- Совершенствование состава компаундов.
- Увеличение срока службы светодиода или матрицы светодиодов.
- Совершенствование методов эпитаксиального роста для уменьшения разброса длины волны излучения и других параметров источников.
- Снижение стоимости ростовых реакторов и повышение их производительности с улучшенной эффективностью использования материалов.

- Совершенствование методов и приспособлений разделения подложек, формирования чипов, соединения в пластины и тестового оборудования для производства при низкой цене.
- Совершенствование управляющей электроники обеспечивающей качество цвета в течение всего срока службы.

Задачи 2:

- Улучшение оптических схем вывода света из чипа и повышение эффективности оптической системы смешивания цветов светодиода.
- Разработка новых материалов подложек и совершенствование качества технологии выращивания подложек при снижении их стоимости.
- Разработка новых более эффективных типов люминофоров с дополнительным излучением в красной области.
- Улучшение схем теплового контроля.
- Совершенствование состава компаундов.
- Увеличение срока службы светодиода или матрицы светодиодов.
- Совершенствование методов эпитаксиального роста для уменьшения разброса длины волны излучения и других параметров источников.
- Снижение стоимости ростовых реакторов и повышение их производительности с улучшенной эффективностью использования материалов.
- Совершенствование методов и приспособлений разделения подложек, формирования чипов, соединения в пластины и тестового оборудования для производства при низкой цене.
- Совершенствование управляющей электроники обеспечивающей качество цвета в течение всего срока службы.

Задачи 3:

- Создание высокоэффективных зеленых и красных чипов при высокой термоустойчивости, а также дальнейшее повышение внутренней квантовой эффективности синего светодиода.
- Улучшение оптических схем вывода света из чипа и повышение эффективности оптической системы смешивания цветов светодиода.

Задачи 4:

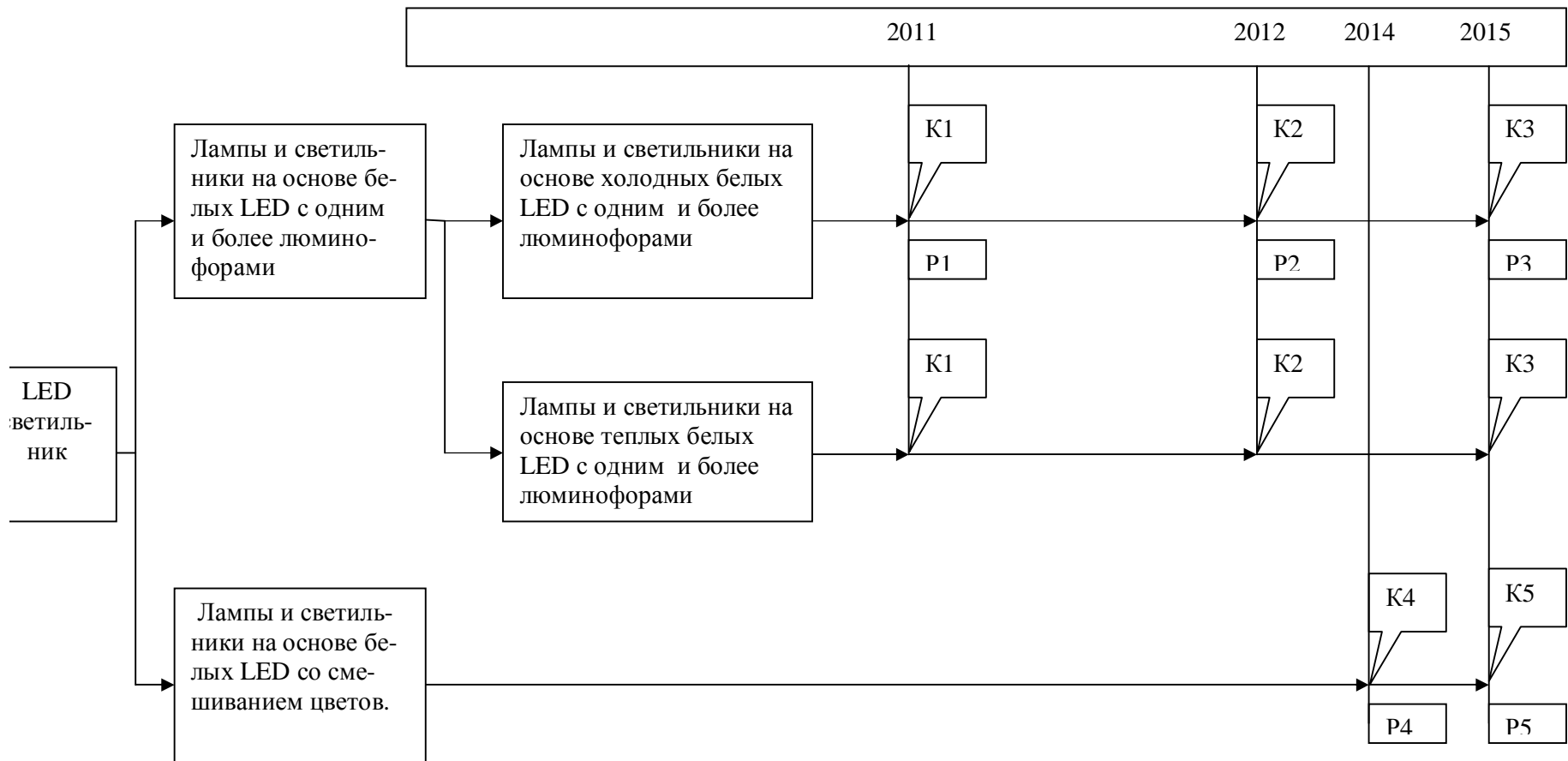
- Разработка УФ чипов.
- Разработка новых типов люминофоров.
- Разработка новых оптических схем смешивания цветов.

Задачи 5:

- Разработка УФ чипов.
- Разработка новых типов люминофоров с дополнительным излучением в красной области.
- Разработка новых оптических схем смешивания цветов.

Задачи 6:

- Разработка интеллектуальных схем управления светом.



Пояснения к схеме:

К1 – К5 – Критерии (требования) светоотдачи светильников, при сохранении стабильности спектрального состава излучения в течение всего срока службы.

- **Р1** – Решение 1. Оптимизация осветительной арматуры, разработанной для конечного потребителя по дизайну, функциональному назначению и стоимости. Разработка светодиодных модулей, оптимизированных по форм-фактору с параметрами, соответствующими применению в осветительной арматуре. Усовершенствование конструкции светодиода (измененный форм-фактор, оптимальная световая отдача и требуемое количество кристаллов), технические характеристики кристалла, соответствующие требованиям осветительной арматуры.
- **Р2** – Решение 2. Начало серийного производства светильников. Поддержка коммерциализации зависит от появления новых технологий и результатов проведения фундаментальных и прикладных исследований. Альтернатива: прекращение разработок холодных белых светодиодов с одним люминофором. Интенсификация разработок светильников на основе теплых белых и холодных белых светодиодов с несколькими люминофорами.
- **Р3** – Решение 3 зависит от появления новых технологий и результатов проведения фундаментальных и прикладных исследований.
- **Р4** – Решение 4. Начало опытного производства светильников на базе светодиодов со смешиванием цветов. Продолжение разработок светильников на базе светодиодов со смешиванием цветов. Возможная альтернатива: интенсификация разработок светильников на базе светодиодов со смешиванием цветов при сокращении исследований и разработок СД с люминофорами.
- **Р5** – Решение 5 зависит от появления новых технологий и результатов проведения фундаментальных и прикладных исследований.

Вид светильника	Цветовая температура	Минимальный световой поток, лм	Светоотдача, лм/Вт		
			К1	К2, К4	К3, К5
Светильники для кухонных шкафов	2700 К, 3000 К и 3500 К	125	24	50	100
Настольные лампы	2700 К, 3000 К, 3500 К, 4000 К, 4500 К и 5000 К	200	29	55	105
Светильники, устанавливаемые на поверхностях, дающие световой поток вниз	2700 К, 3000 К and 3500 К	С апертурой $\leq 4.5''$ 345 лм С апертурой $> 4.5''$ 575 лм	35	60	110
Потолочные светильники с диффузорами	2700 К, 3000 К и 3500 К	При максимальной ширине светильника $\leq 8''$ -	30	50	100

Вид светильника	Цветовая температура	Минимальный световой поток, лм	Светоотдача, лм/Вт		
			К1	К2, К4	К3, К5
		375 лм При максимальной ширине светильника > 8 – 750 лм			
Нишевые светильники	2700 К, 3000 К, 3500 К	200	45	65	105
Светильники, устанавливаемые на поверхностях, дающие направленный свет	2700 К, 3000 К, 3500 К	200	35	55	105
Наружные светильники, установленные на стенах подъездов		150	24	54	104
Наружные step светильники		50	20	50	100
Наружные светильники для освещения дорожек		100	25	55	105
Наружные декоративные светильники		300	35	65	115
Применения для нежилых помещений					
Светильники, устанавливаемые на поверхностях, дающие световой поток вниз	2700 К, 3000 К, 3500 К, 4000 К, 4500 К и 5000 К	Для апертуры ≤ 4.5": 345 лм Для апертуры > 4.5": 575 лм	35	65	115
Светильники для шкафов	2700 К, 3000 К, 3500 К, 4000 К, 4500 К, 5000 К	125	29	60	110
Настольные лампы	2700 К, 3000 К, 3500 К, 4000 К, 4500 К 5000 К	200	29	60	110
Настенные светильники в ваннах	2700 К, 3000 К, 3500 К, 4000 К, 4500 К 5000 К	575	40	70	110
Тумбы			35	65	105

Требования к светофорам на основе светодиодов:

- Магистральные светофоры должны удовлетворять требованиям ГОСТ 11946, ГОСТ 11947 и ГОСТ 24179:

Сила света:

§ Для красного сигнала – не менее 2100 кд.

§ Для желтого сигнала – не менее 4350 кд.

§ Для зеленого сигнала – не менее 2600 кд.

§ Для синего сигнала – не менее 150 кд.

- Дорожные светофоры должны удовлетворять требованиям ГОСТ 25695:

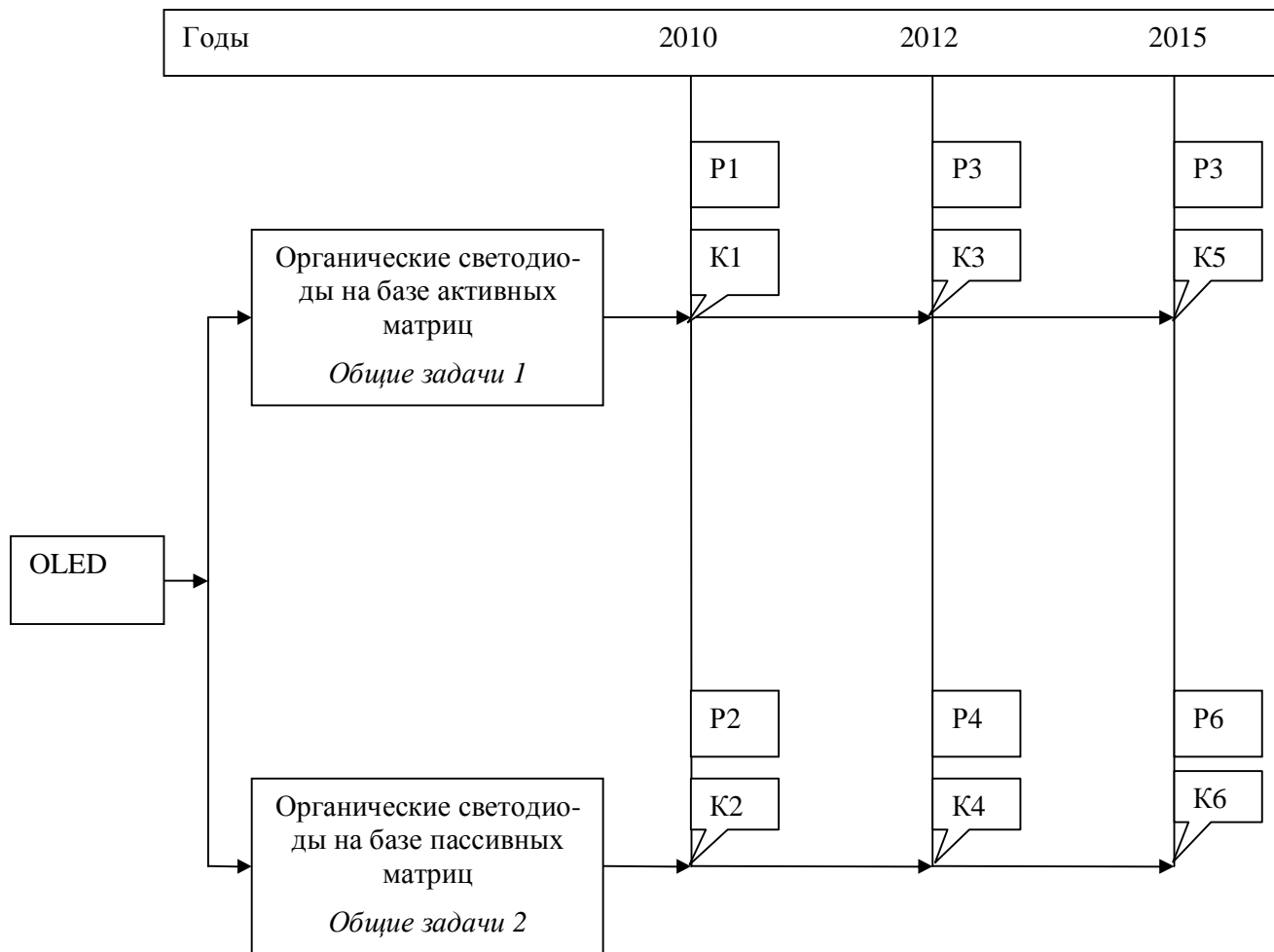
Сила света:

§ Для красного сигнала – не менее 200 кд.

§ Для желтого сигнала – не менее 300 кд.

§ Для зеленого сигнала – не менее 200 кд.

Заградительные огни, устанавливаемые на высоких зданиях и других высотных сооружениях, в соответствии с руководством по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации (РЭГА РФ – 94), должны иметь постоянное излучение красного цвета с силой света во всех направлениях не менее 10 кд.



Пояснения к схеме:

Критерии **К1 – К6** являются предельно достижимыми для мирового уровня светодиодных технологий. Реальные значения определяются требованиями, предъявляемыми к светильникам различного назначения, представленным ниже:

- **К1, К2** – Критерии 1, 2. 45 лм/Вт, 200\$/м². Срок службы 11000 час. Цветовая температура для теплых белых светодиодов 2725 ± 145 К; 3045 ± 175 К; 3465 ± 245 К; 3985 ± 275 К (в целях безопасности для зрения). Стабильность спектрального состава излучения в течение всего срока службы. Коэффициент цветопередачи не менее 75.
- **Р1, Р2** – Решение 1, 2. Начало опытного производства светодиодов. Формирование рынка светодиодов. Определение сегментов применения белых светодиодов. Продолжение прикладных и фундаментальных исследований с целью создания OLED с улучшенными характеристиками. Альтернатива: приобретение лицензии на изготовление светодиодов за рубежом.
- **К3, К4** – Критерии 3, 4. 76 лм/Вт, < 30\$/Клм, 80\$/м². Срок службы 25000 час. Цветовая температура такая же, как для К1, К2. Стабильность спектрального состава излучения в течение всего срока службы.
- **Р3, Р4** – Решение 3, 4. Начало серийного производства. Поддержка коммерциализации. Продолжение прикладных и фундаментальных исследований с целью улучшения характеристик OLED. Альтернатива: приобретение технологического оборудования для серийного производства OLED за рубежом.
- **К5, К6** – Критерии 5, 6. 150 лм/Вт, 10\$/Клм, 40\$/м². Срок службы 40000 час. Стабильность спектрального состава излучения в течение всего срока службы. Возможность управления спектральным составом и мощностью излучения.
- **Р5, Р6** – Решение 5, 6 зависит от появления новых технологий и результатов проведения фундаментальных и прикладных исследований. Возможная альтернатива: переход на производство OLED методом электронной печати.

Основные задачи при разработке и изготовлении OLED:

Общие задачи 1:

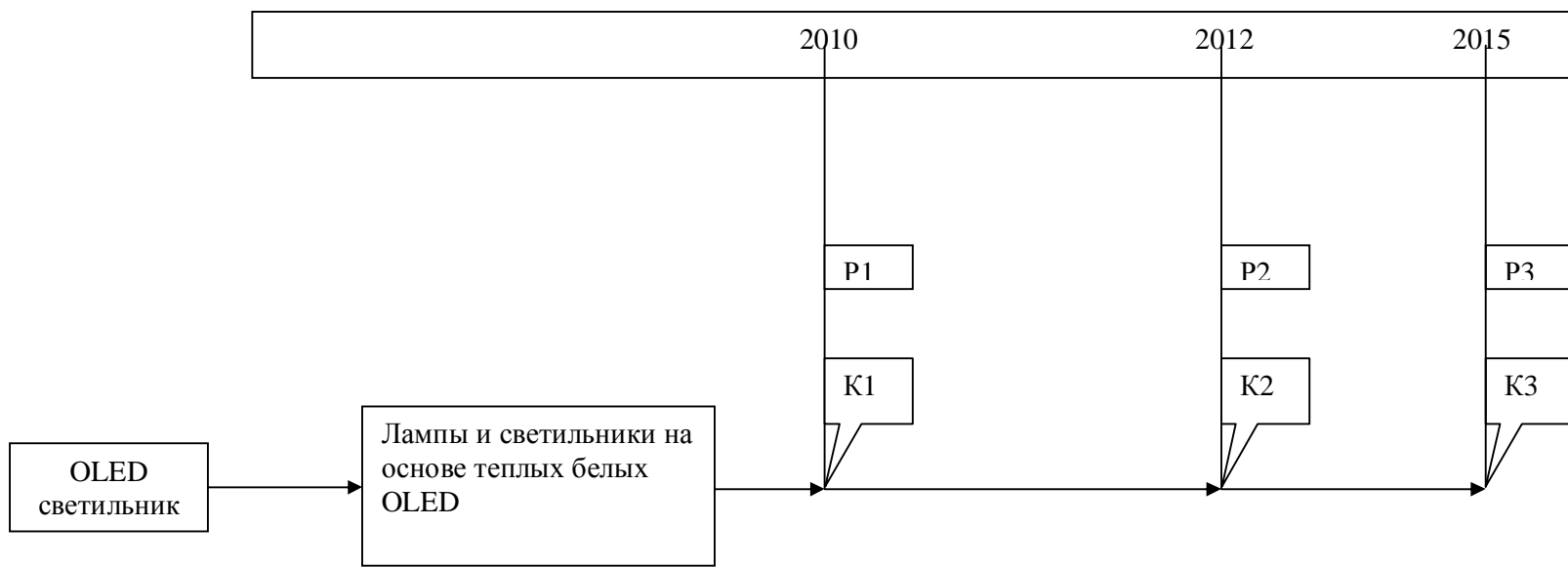
- Выбор технологии: эпитаксия или осаждение из раствора.
- Выбор технологии эпитаксии: статическая (точечный источник или протяженный) или динамическая – линейный источник (горизонтальный или вертикальный).
- Выбор технологии при изготовлении методом Roll-to-Roll:
 1. Осаждение из раствора.
 2. Гибридная технология: осаждение из раствора/парогазовая эпитаксия.
 3. Выбор метода герметизации.
 4. Полностью влажный процесс, в том числе при изготовлении катода и его расслоении/разделении.
- Выбор материалов основных составных частей OLED.
- Проблема подложки и увеличения ее размеров.
- Увеличение площади эпитаксии и площади нанесения электродов.
- Нанесение электродов (patterning).
- Эффективность использования материалов.
- Разработка новых материалов подложек и совершенствование качества технологии выращивания подложек при снижении их стоимости.
- Разделение катода.
- Снижение стоимости материалов и производства.
- Повышение эффективности (светоотдачи).

- Увеличение срока службы.
- Измерение светового потока на освещаемой поверхности.
- Применение величины T_{70} для измерения срока службы OLED.

Общие задачи 2:

- Выбор технологии: эпитаксия или осаждение из раствора.
- Выбор технологии эпитаксии: статическая (точечный источник или протяженный) или динамическая – линейный источник (горизонтальный или вертикальный).
- Выбор технологии при изготовлении методом Roll-to-Roll:
 1. Осаждение из раствора.
 2. Гибридная технология: осаждение из раствора/парогазовая эпитаксия.
 3. Выбор метода герметизации.
 4. Полностью влажный процесс, в том числе при изготовлении катода и расслоении/разделении.
- Выбор материалов основных составных частей OLED.
- Проблема увеличения размеров OLED.
- Эффективность использования материалов.
- Проблема синего света: повышение срока службы и эффективности.
- Нанесение электродов (patterning).
- Снижение стоимости материалов и производства.
- Повышение эффективности (светоотдачи).

- Увеличение срока службы.
- Измерение светового потока на освещаемой поверхности.
- Применение величины T_{70} для измерения срока службы OLED.



Пояснения к схеме:

- **К1** – Критерий 1. 25 лм/Вт светоотдачи светильников при сохранении стабильности спектрального с коэффициентом цветопередачи не хуже 75 состава излучения в течение всего срока службы (11000 час) при уровне освещенности 1000 Кд/м², 72 \$/Клм, 216 \$/м².
- **Р1** – Решение 1. Оптимизация осветительной арматуры, разработанной для конечного потребителя по дизайну, функциональному назначению и стоимости. Разработка светодиодных модулей, оптимизированных по форм-фактору с параметрами, соответствующими применению в осветительной арматуре. Усовершенствование конструкции светодиода (измененный форм-фактор, оптимальная световая отдача). Технические OLED, соответствующие требованиям осветительной арматуры.
- **К2** – Критерий 2. 76 лм/Вт светоотдачи светильников. Сохранение стабильности спектрального состава излучения в течение всего срока службы (25000 час). Коэффициент цветопередачи не хуже 80. 27 \$/Клм, 80 \$/м².
- **Р2** – Решение 2. Начало серийного производства светильников. Поддержка коммерциализации зависит от появления новых технологий и результатов проведения фундаментальных и прикладных исследований. Альтернатива: интенсификация разработок светильников на основе гибких OLED.
- **К3** – Критерий 3. 150 лм/Вт светоотдачи светильников. Сохранение стабильности спектрального состава излучения в течение всего срока службы (50000 час). Коэффициент цветопередачи не хуже 80. 10 \$/Клм, 30 \$/м².
- **Р3** – Решение 3. Начало массового производства светильников на основе OLED.

Приложение 8
Востребованность технологических задач по совершенствованию светодиодов в различных сегментах применения светодиодов

Таблица 9.1. Востребованность технологических задач по совершенствованию неорганических светодиодов в различных сегментах применения

	Усредненная оценка важности	Мобильные и бытовые устройства						Дисплеи больших размеров		Сигнальные приборы, информационные знаки				Транспортные средства					Освещение					Наружная декоративная подсветка		
		Цветные индикаторы состояния	Индикаторные экраны	Дисплеи, панели, отображение информации	Подсветка ЖК экранов	Мобильные проекционные системы	ID-вспышки, подсветки для фото- и видеотехники	Видеоэкраны	Информационные табло типа «бегущая строка»	Светофоры	Указатели дорожной обстановки	Разметка аварийных проходов	Системы контроля, датчики "присутствия", датчики дыма	Стойные опты, указатели поворотов, стоп-сигналы	Внутреннее освещение салона	Индикаторные панели	Встроенные электронные системы	Встроенные парковочные системы	Элементы декора	Наружное освещение больших площадей	Внутреннее освещение жилых и общественных помещений	Декоративное освещение	Специальное освещение на рабочих местах	Освещение в жилых помещениях, не имеющих подключения к электроэнергии	Архитектурное, декоративное и рекламные и декоративные вывески	
Разработка управляющей электроники обеспечивающей качество цвета в течение всего срока службы, компенсируя изменения, происходящие в светодиодах	63,28	43	48	59	58	92	69	60	60	77	45	46	46	80	54	64	64	74	41	84	97	45	77	57	77	65
Разработка процессов изготовления пластин с повышенной эпитаксиальной однородностью	52,84	42	42	45	60	70	50	35	35	60	44	44	45	60	50	50	50	60	23	80	90	31	80	70	60	45
Исследование и разработка новых теплоустойчивых материалов и устройств, которые могут быть применены в светодиодах, улучшение теплового контроля	51,96	55	60	60	52	52	45	45	45	52	55	45	52	55	55	60	60	52	37	57	65	40	55	50	50	45
Разработка новых материалов подложек и совершенствование качества технологии выращивания подложек при снижении стоимости	40,92	32	32	35	50	60	40	30	30	50	34	34	35	50	40	40	40	50	21	50	60	25	50	40	55	40
Улучшение качества и состава подложек из сапфира и карбида кремния, изучение подложек GaN	40,92	32	32	35	50	60	40	30	30	50	34	34	35	50	40	40	40	50	21	50	60	25	50	40	55	40
Разработка интеллектуальных схем управления светом	39,64	31	36	44	28	52	44	45	45	47	31	27	31	50	34	44	44	44	27	49	57	30	47	32	37	35
Разработка ростового оборудования с повышенной производительностью и уровнем автоматизации	35,76	30	30	30	30	30	30	15	15	30	30	30	30	30	30	30	30	30	6	90	90	18	90	90	15	15

		Мобильные и бытовые устройства						Дисплеи больших размеров		Сигнальные приборы, информационные знаки				Транспортные средства						Освещение					Наружная декоративная подсветка	
		Усредненная оценка важности	Цветные индикаторы состояния	Индикаторные экраны	Дисплеи, панели, отображение информации	Подсветка ЖК экранов	Мобильные проекционные системы	ID-вспышки, подсветки для фото- и видеотехники	Видеоэкраны	Информационные табло типа «бегущая строка»	Светофоры	Указатели дорожной обстановки	Разметка аварийных проходов	Системы контроля, Датчики "присутствия", датчики дыма	Стояночные огни, указатели поворотов, стоп-сигналы	Внутреннее освещение салона	Индикаторные панели	Встроенные электронные системы	Встроенные парковочные системы	Элементы декора	Наружное освещение больших площадей	Внутреннее освещение жилых и общественных помещений	Декоративное освещение	Специальное освещение на рабочих местах	Освещение в жилых помещениях, не имеющих подключения к электроэнергии	Архитектурное, декоративное и
Совершенствование состава оптических компонентов	40,92	32	32	35	50	60	40	30	30	50	34	34	35	50	40	40	40	50	21	50	60	25	50	40	55	40
Разработка оборудования для корпусирования с повышенной производительностью и автоматизацией	35,76	30	30	30	30	30	30	15	15	30	30	30	30	30	30	30	30	30	6	90	90	18	90	90	15	15
Снижение времени эпитаксиального роста слоя	35,76	30	30	30	30	30	30	15	15	30	30	30	30	30	30	30	30	30	6	90	90	18	90	90	15	15
Разработка модели стоимости производства для учета и оптимизации различных элементов стоимости в процессе производства светильника	35,76	30	30	30	30	30	30	15	15	30	30	30	30	30	30	30	30	30	6	90	90	18	90	90	15	15
Улучшение оптических схем вывода света из чипа и повышение эффективности оптической системы светодиодов	34,6	27	32	35	32	42	45	30	30	42	29	24	32	45	35	40	40	42	16	37	45	20	35	35	40	35
Разработка новых типов люминофоров с дополнительным излучением в красной области	31,12	22	22	25	40	50	35	20	20	40	24	24	25	40	30	30	30	40	11	40	50	15	40	30	45	30
Улучшение контроля качества в процессах производства и нанесения люминофоров	20,4	20	20	20	20	20	15	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	4	40	40	11	40	40	10	10

	Усредненная оценка важности	Мобильные и бытовые устройства						Дисплеи больших размеров		Сигнальные приборы, информационные знаки				Транспортные средства						Освещение						Наружная декоративная подсветка	
		Цветные индикаторы состояния	Индикаторные экраны	Дисплеи, панели, отображение информации	Подсветка ЖК экранов	Мобильные проекционные системы	LD-вспышки, подсветки для фото- и видеотехники	Видеоэкраны	Информационные табло типа «бегущая строка»	Светофоры	Указатели дорожной обстановки	Разметка аварийных проходов	Системы контроля, датчики "присутствия", датчики дыма	Стояночные огни, указатели поворотов, стоп-сигналы	Внутреннее освещение салона	Индикаторные панели	Встроенные электронные системы	Встроенные парковочные системы	Элементы Декора	Наружное освещение больших площадей	Внутреннее освещение жилых и общественных	Декоративное освещение	Специальное освещение на рабочих местах	Освещение в жилых помещениях, не имеющих подключения к электроэнергии	Архитектурное, декоративное и	Рекламные и декоративные вывески	
Разработка новых оптических схем смешивания цветов	75,6	61	66	69	76	102	74	65	65	92	63	59	61	95	69	74	74	92	46	97	115	50	95	70	90	70	
Улучшение контроля качества в процессе эпитаксиального роста для уменьшения разброса длины волны излучения и других параметров источников	73,56	62	62	65	80	90	70	50	50	80	64	59	65	80	70	70	70	80	30	115	130	42	120	105	75	55	
Повышение квантового выхода за счет разработки альтернативных конфигураций чипа и механизмов излучения (квантовые точки, фотонные кристаллы, структуры на плазмонах и др.)	72,08	59	64	75	74	92	80	60	60	77	61	56	62	80	70	80	80	74	35	89	107	46	97	87	77	60	
Разработка оптических материалов со сроком службы не менее срока службы чипа, работающих при повышенных температурах окружающей среды, влажности, и воздействии синего и УФ излучения	66,12	54	59	70	69	87	75	57,5	57,5	72	56	51	57	75	65	75	75	69	34	74	92	43	82	72	74,5	57,5	
Разработка ростовых реакторов низкой стоимости и высокой производительности с улучшенной эффективностью использования материалов	57,4	55	60	60	62	62	55	35	35	52	55	50	47	55	55	60	60	52	21	87	105	32	105	95	50	30	
Разработка процесса корпусирования, осуществляющегося на уровне пластины, а не на уровне кристалла.	45,76	40	40	40	40	40	40	25	25	40	40	35	40	40	40	40	40	40	11	110	110	23	100	95	25	25	
Разработка оптических комплаундов с повышенным сроком службы и высоким коэффициентом преломления	40,92	32	32	35	50	60	40	30	30	50	34	34	35	50	40	40	40	50	21	50	60	25	50	40	55	40	

	Усредне нная оценка важност и	Мобильные и бытовые устройства						Дисплеи больших размеров		Сигнальные приборы, информационные знаки				Транспортные средства						Освещение					Наружная декоративная подсветка	
		Цветные индикаторы состояния	Индикаторные экраны	Дисплеи, панели, отображение информации	Подсветка ЖК экранов	Мобильные проекционные системы	ID-вспышки, подсветки для фото- и видеотехники	Видеоэкраны	Информационные табло типа «бегущая строка»	Светофоры	Указатели дорожной обстановки	Разметка аварийных проходов	Системы контроля, датчики "присутствия", датчики дыма	Стояночные огни, указатели поворотов, стоп-сигналы	Внутреннее освещение салона	Индикаторные панели	Встроенные электронные системы	Встроенные парковочные системы	Элементы декора	Наружное освещение больших площадей	Внутреннее освещение жилых и общественных	Декоративное освещение	Специальное освещение на рабочих местах	Освещение в жилых помещениях, не имеющих подключения к электроэнергии	Архитектурное, декоративное и	Рекламные и декоративные вывески
Улучшение теплового контроля	59,4	60	60	60	60	60	45	60	60	60	60	45	60	60	60	60	60	45	90	90	45	60	45	60	60	
Увеличение квантовой эффективности люминесценции люминофоров и их цветовой стабильности	40,92	32	32	35	50	60	40	30	30	50	34	34	35	50	40	40	40	50	21	50	60	25	50	40	55	40
Разработка улучшенных конструкций корпуса	40,12	40	40	40	40	40	35	30	30	40	40	30	40	40	40	40	40	40	22	65	70	26	60	50	35	30
Разработка интегрированной на уровне корпусирования и изготовления пластины технологии производства, нацеленной на снижение стоимости системы твердотельного освещения	35,76	30	30	30	30	30	30	15	15	30	30	30	30	30	30	30	30	30	6	90	90	18	90	90	15	15
Повышение внутренней квантовой эффективности красных, зеленых и синих чипов	31,12	22	22	25	40	50	35	20	20	40	24	24	25	40	30	30	30	40	11	40	50	15	40	30	45	30
Снижение рабочего напряжения чипа	29,2	27	27	35	27	35	25	27,5	27,5	30	27	27	30	30	30	35	35	27	15	37	37	23	37	37	19,5	22,5
Разработка методов моделирования процесса производства для определения срока службы, ускоренного тестирования, контроля качества	23,84	20	20	20	20	20	20	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	4	60	60	12	60	60	10	10
Разработка улучшенных технологий разделения подложек	11,92	10	10	10	10	10	10	5	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	2	30	30	6	30	30	5	5

Таблица 9.2. Востребованность технологических задач по совершенствованию органических светодиодов в различных сегментах применения светодиодов

	Усреднен ная оценка важности	Мобильные и бытовые устройства	Дисплеи больших размеров	Транспортные средства			Освещение			
		Дисплей, панели, отображение информации	Видеоэкраны	Внутреннее освещение салона	Индикаторные панели	Элементы декора	внутреннее освещение жилых и общественных освещаемый	Декоративное освещение	Специальное освещение на рабочих местах	Освещение в жилых помещениях, не имеющих подключения к электроэнергии
Создание технологии производства OLED методом Roll-to-Roll на базе комбинации следующих процессов: осаждение из раствора, гибридная технология, полностью влажный процесс	124	102	85	112	112	56	220	73	190	165
Создание технологии производства OLED методом эпитаксии на базе следующих процессов: статическая (точечный источник или протяженный) эпитаксия, динамическая эпитаксия (линейный горизонтальный или вертикальный источник)	109	92	80	102	102	54	190	67	160	135
Увеличение площади эпитаксии и площади нанесения электродов	66	60	50	60	60	24	130	32	100	80
Разработка новых материалов подложек, увеличение размеров, снижение цены	54	50	35	50	50	32	90	36	80	65
Разработка методов прогнозирования срока службы	50	40	30	40	40	24	80	32	80	80
Выбор метода герметизации	48	50	35	50	50	50	50	50	50	50
Разработка интеллектуальных схем управления светом	46	54	45	39	54	29	57	35	52	47
Повышение срока службы и эффективности синих OLED	45	39	37,5	39	39	36	65	37,5	65	45
Повышение светоотдачи OLED	43	40	35	50	50	14	70	25	50	50
Выбор метода нанесения электродов (patterning)	25	19	20	19	19	25	35	25	35	25