

Как снизить стоимость светодиодных светотехнических устройств

Паула Доу (Paula Doe),
пишущий редактор, SEMI

Те методы повышения эффективности производства, благодаря которым снизилась стоимость полупроводников за последние 30 лет, позволят сверхъярким светодиодам (СИД) выйти на рынок осветительных приложений общего применения, считает президент SEMI Стэн Майерс (Stan Myers). Стоимость производства СИД можно также значительно снизить за счет сотрудничества компаний в рамках стратегического плана развития отрасли.

Возможно, к 2015 г. стоимость производства осветительных средств на светоизлучающих диодах снизится на 70%. К такому выводу пришли участники двух совещаний, состоявшихся в Министерстве энергетики США, на которых рассматривались вопросы совершенствования производства твердотельных осветительных устройств (Solid-State Lighting, SSL). Большая доля этого снижения будет достигнута за счет уменьшения примерно на 85% стоимости корпусированных СИД, составляющей на текущий момент около 40% стоимости светильников.

Такого грандиозного снижения стоимости, по всей вероятности, можно достичь в т.ч. за счет кооперации в рамках стратегического плана развития отрасли и реалистичной модели учета общих затрат, поэтому компаниям, уча-

ствующим в цепочке поставок, следует просчитать, куда целесообразнее приложить свои усилия.

Недавно Министерство энергетики США выпустило первый проект плана по технологиям производства сверхъярких СИД и ОСИД (OLED), основу которого составили итоги дискуссий представителей отраслевых компаний. Этот план касается развития производства SSL, а также аккумулирует наиболее ценный опыт и возможности совершенствования и сотрудничества между участниками рынка. «Совместными усилиями мы установили основную структуру стоимости, благодаря чему нам удалось лучше понять, в каком направлении работать», — заключил Фред Уэлш (Fred Welsh), Radcliffe Advisors, консультант при Министерстве энергетики и один из организаторов встречи.

В следующем году Министерство энергетики планирует обновить этот план, а также продолжить работу над повышением отдачи от инвестиций в совершенствование производства. Такой подход позволил бы сообществу отраслевых производителей определить неэффективные оборудование и технологии, а также лучше оценить роль выгодной цены в решении той или иной проблемы. Том Морроу (Tom Morrow), вице-президент Международной ассоциации SEMI, заявил, что ей уже удалось оптимизировать работу компа-

ний в других сегментах рынка и пригласил все заинтересованные стороны к диалогу с целью оказания взаимной поддержки в усилиях.

ВЗГЛЯД ПОСТАВЩИКОВ ОБОРУДОВАНИЯ

В настоящее время производство сверхъярких СИД с помощью запатентованных технологий на основе 3-дюймовых пластин и с производительностью порядка 50 пластин в час, ограниченным выходом годных и сравнительно небольшим временем безотказной работы оборудования во многом схоже с состоянием полупроводникового производства образца 1975-го г.

С тех пор удалось снизить стоимость полупроводниковых изделий в 4 млн раз за счет повышения эффективности производства и благодаря увеличению размера пластин на 30–50% каждые 10–15 лет.

Светодиодный сегмент рынка быстро прогрессирует. Эффективность СИД увеличилась в 1,5–2 раза, а их светоотдача — примерно в 4–6 раз благодаря более высокому управляющему току. Остальные причины такого роста связаны с повышением производительности труда и коэффициента загрузки. На рисунке 1 представлен прогноз относительной стоимости осветительного оборудования, а на рисунке 2 — прогнозируемая от-

Совещания по вопросам совершенствования производства SSL

В 2009 г. Министерство энергетики США провело два семинара, посвященных вопросам совершенствования производства твердотельных осветительных устройств (SSL). Эти мероприятия состоялись в рамках новой инициативы, направленной на повышение совместимости и качества продукции, а также способствующей снижению стоимости за счет повышения эффективности производства. Более чем 350 участников — производителей кристаллов, осветительных приборов, компонентов — обсуждали вопросы, связанные с применением материалов, оборудования, а также другие факторы, влияющие на качество и стоимость SSL. Участники первого совещания, состоявшегося в Фэйрфаксе, определили основные препятствия и рекомендации по снижению стоимости и повышению качества SSL-продукции. На состоявшемся в Ванкувере мероприятии обсуждался черновой вариант стратегического плана, который отразил взгляд участников отрасли на развитие производства твердотельных осветительных устройств.

носительная стоимость корпусированных СИД.

В настоящее время схемы для сверхъярких СИД достигают размера 5 мкм и ниже и начинают соответствовать требованиям серийного производства MEMS-систем и тонкопленочных головок, что позволяет перейти от контактных установок совмещения и экспонирования к проекционному литографическому оборудованию. Вероятно, при этом будут достигнуты те же объемы выпуска продукции и использоваться средства контроля, что и в полупроводниковой индустрии.

Однако степперы (установки совмещения и последовательного шагового мультишлицирования) слишком дорогостоящи и не подходят для решения задач производства светодиодов. По этой причине производители желают использовать заказные средства. Что препятствует их желанию? Энди Гаврилюк (Andy Hawryluk), рук. техн. отд. Ultratech, заявляет: «До сих пор у нашей компании не было стимулов создать установку для нескольких заказчиков. Надеемся, что после появления промышленных стандартов Ultratech станет продавать большое количество установок».

Производители полупроводникового оборудования утверждают, что имеются реальные способы значительно повысить выход годных и производительность труда, что позволит снизить стоимость SSL (см. рис. 3). Это станет возможным за счет освоения опыта других тонкопленочных производств и разработки оборудования, специально предназначенного для данного сегмента, а также благодаря современным средствам управления технологическим процессом и уровню производительности.

«Суммарная стоимость реализации эпитаксиальной технологии должна снизиться в 3 раза, и мы уже знаем, как этого добиться», — сказал Джим Дженсон (Jim Jenson), вице-президент отд. MOCVD (химическое осаждение из паровой фазы металлоорганических соединений), компания Veeco Instruments. Он заявил, что достигнут определенный успех в усовершенствовании сложного и многочасового процесса выращивания тонких пленок.



Рис. 1. Прогноз стоимости СИД-светильников и потенциал ее снижения
Источник: DOE Manufacturing Workshop



Рис. 2. Прогнозируемая стоимость корпусированных СИД и потенциал ее снижения



Рис. 3. Прогноз стоимости производства твердотельных осветительных устройств на 2010 г., Pareto

Так, удалось добиться большей однородности пленок и воспроизводимости результатов, оптимизировать геометрию потока, улучшить управление температурным режимом и архитектуру системы, ускорить время обработки и оптимизировать объем серии, несмотря на то, что, возможно, потребуются несколько лет, чтобы наладить массовое производство продукции на основе этих достижений.

Другой наиболее важной возможностью, рассматриваемой не

только уже присутствующими на рынке, но и новыми поставщиками, является разделение эпитаксиального процесса на отдельные этапы, каждый из которых оптимизирован в соответствии с требованиями к различным слоям. Получение толстой GaN-пленки требует технологии HVPE (Hydride Vapor Phase Epitaxy — хлоридно-гидридная газофазная эпитаксия), для реализации которой необходимо массовое производство HVPE-реакторов. Напри-

мер, компания Oxford Instruments недавно заявила о первой такой установке для одновременного выращивания пленок на нескольких подложках.

Пэт Лэйми (Pat Lamey), нач. отд. развития нового бизнеса в области экологических решений, компания Applied Materials, также заявил о достигнутых успехах по реализации решений на основе технологии MOCVD. Его компания сосредоточила усилия на комбинации широко используемых MOCVD-технологий и «технологии, о которой писали десятки лет, но никогда не применяли в производстве».

По мнению Лэйми, более совершенная организация управления технологическим процессом является основой повышения выхода годных СИД и снижения их стоимости, т.к. это определяющий фактор повышения эффективности производства. «У сегмента твердотельных осветительных устройств имеется потенциал для значительного роста в ближайшие пять лет. Чем быстрее нам удастся внедрить методы производства и управления, известные из других производств, тем быстрее мы выведем продукцию на рынок, — считает Лэйми. — Стратегический план развития приносит эффективную помощь, особенно с тех пор как индустрия СИД стала переходить с 2-дюймовых на 100-мм подложки».

Вероятно, наибольших результатов в повышении эффективности производства удастся достичь тогда, когда удастся привлечь нескольких производителей полупроводников, знакомых с очень хорошо организованным управ-

лением производства серийно выпускаемой продукции. «Клиентская база развивается, по мере того как в наш сегмент рынка приходят новые игроки из полупроводниковой промышленности, — считает Лэйми. — Их появление окажет огромное воздействие на производственную технологию».

Ричард Соларц (Richard Solarz), ст. директор технол. отд., корпорация KLA-Tencor Corp., видит возможность двукратного снижения стоимости производства за счет совершенствования методов контроля дефектов и анализа их возникновения — именно того, в чем в настоящее время испытывает недостаток производство СИД. Используемые в производстве полупроводников средства обнаружения мелких дефектов в кремнии не годятся для производства СИД. Например, эти инструменты не в состоянии отличить нежелательные микроуглубления или прорастающие дислокации в сапфире от частиц, не имеющих отношения к дефектам. Кроме того, данные методы не позволяют отсортировать готовые кристаллы по представляющим интерес параметрам качества. Инструменты, применяемые при входном контроле качества поверхности несмонтированной пластины или пленки в производстве жестких дисков, не сопрягаются с инструментами для обнаружения дефектов пластины на основе изображения и созданными для контроля качества корпусирования кристалла. Это обстоятельство затрудняет оперативное отслеживание дефектов и обнаружение причин их возникновения.

«Осознав, в чем заключаются основные потребности в средствах обнаружения дефектов у многих производств СИД, мы установили, какие меры следует предпринять для удовлетворения этих потребностей, — заявил Соларц. — Мы надеемся снизить стоимость производства в два раза». По его мнению, существует и другая возможность повысить выход годных, но только в том случае, если ведущим отраслевым компаниям удастся достигнуть согласия по некоторым вопросам. Например, существуют полярные мнения в отношении необходимости использования цветных мониторов с высоким качеством воспроизведения. В этих условиях, заявляет Соларц, компании KLA-Tencor трудно придти к однозначному выводу о востребованности на рынке конкретных средств диагностики.

Энди Гаврилок также считает, что имеются все возможности по двукратному снижению стоимости литографии за счет перехода от использования литографических установок к 1× степерам, которые обеспечивают лучшую производительность и стоимость владения. Используемые в настоящее время установки фотолитографии с зазором начинают испытывать трудности с фокусированием и износом масок при работе с большими часто деформирующимися пластинами. Перекос 4-дюймовой пластины, как правило, достигает 100 мкм, а 6-дюймовой — до 200 мкм. Ultratech разрабатывает новую модель 1× проекционно-го степера на базе платформы, изначально применявшейся в проектировании силовых по-

Oxford Instruments выпускает HVPE-установку CrystalFlex

Компания Oxford Instruments в мае 2009 г. анонсировала выпуск новой установки Crystal Flex для хлоридно-гидридной газофазной эпитаксии (HVPE). Новый HVPE-реактор спроектирован для поточной загрузки пластин и гарантирует высочайшую степень контроля эпитаксиального роста высококачественных бездефектных монокристаллов GaN, AlGaIn, AlN.

Установка Crystal Flex объединяет ключевой опыт компании Oxford Instruments в проектировании и производстве высококачественного оборудования и технологические основы HVPE-процессов компании Technologies and Devices International.

Установка, предназначенная для проведения научно-исследовательских работ, а также для полномасштабного производства нитридов, обеспечивает устойчивость технологического процесса, воспроизводимость и применение оптимальных исходных материалов. Гибкая конфигурация реактора позволяет выращивать нитриды разной толщины для производства твердотельных осветительных, РЧ- и силовых устройств. Кроме того, новый реактор дополняет уже существующий ряд технологий, специально предназначенных для рынка сверхъярких СИД. Компания Oxford Instruments более 10 лет является основным поставщиком для индустрии сверхъярких СИД.

лупроводников, MEMS-систем и тонкопленочных головок, а затем перепроектированной под нужды СИД-производства. Выпуск этой установки, предназначенной для более эффективной работы с перекошенными пластинами, планируется на середину 2010 г.

Компания EV Group видит возможность повышения светоотдачи СИД путем структурирования поверхности с помощью нанопечати для извлечения большего количества света. Большинство производителей изучает этот метод, несмотря на то что стоимость материалов и производительность по-прежнему вызывают вопросы, сообщает Пол Линднер (Paul Lindner), исполнительный директор отд. технологий.

Оптическая система или корпусирование на уровне подложки кристалла также значительно позволяют снизить стоимость производства. «Большие пластины и технология корпусирования на базе подложки весьма перспективны, — утверждает Линднер, говоря о появлении на рынке 6-дюймовых пластин. — Мы очень внимательно следим за происходящим в этом направлении». Если бы удалось за счет таких пластин добиться высокого выхода годных и снизить стоимость производства, повысилась бы эффективность процесса присоединения выводов на уровне пластин с захватом и биннингом на завершающем этапе. Вероятно, можно было бы также воспользоваться технологией создания КМОП-датчиков изображения для реализации процессов печати оптических линз.

Производители СИД предупреждают производителей полупроводников о том, что СИД — отличные от кремниевых устройства, в отношении которых основные положения о масштабировании, размере пластины, управления выходом годных и о процессе автоматизации не должны обязательно быть применимы. Например, мощный стандартный СИД является, за некоторыми исключениями, отдельным устройством площадью около 1 мм². Значение кремниевых пластин большого диаметра становится скромнее на фоне установки

МОСVD, которая уже позволяет получать крупные партии небольших пластин.

ВЗГЛЯД ПОСТАВЩИКОВ МАТЕРИАЛОВ

Крупнейшие производители ЖКД, которые ускоренно переходят на серийный выпуск сверхъярких СИД задней подсветки для собственных нужд, начинают использовать 4-дюймовые сапфировые пластины вместо широко распространенных 2-дюймовых подложек. Достаточно серьезно прорабатывается вопрос о применении 6-дюймовых пластин в ближайшие два-три года. Установку для эпитаксиального выращивания можно легко приспособить для загрузки, например, двенадцати 4-дюймовых пластин вместо более сорока 2-дюймовых.

ставщики считают, что благодаря большому объему продукции и некоторым соглашениям по стандартам стоимость все же удастся снизить.

Вполне вероятно, что для повышения выхода годных следует производить обработку сапфировой поверхности, а первый GaN-слой — наносить отдельно. Чтобы достичь лучшей производительности и повысить выход годных, следует уменьшить плотность дефектов, для чего, в свою очередь, необходимо снизить рассогласование параметров решетки и степень термического несоответствия между подложкой и слоями СИД. По мнению Кита Эванса (Keith Evans), президента Кума Technologies, объемный GaN позволяет добиться впечатляющих показателей эффективности (см.



Рис. 4. Прогноз тенденции совершенствования подложки СИД
Источник: Кума Technologies

Это позволит несколько повысить выход годных за счет уменьшения суммарной площади краев, более подверженных дефектам. Однако значительный прирост годных достигается за счет обработки меньшего количества мелких элементов.

Санил Пахтак (Sunil Pahtak), вице-президент отд. проектирования, компания Rubicon Technology, утверждает, что 4-дюймовые сапфировые пластины получат широкое распространение в 2010 г. Он также заметил, что уже появились опытные партии 6-дюймовых пластин, а их серийный выпуск ожидается к 2011–2012 гг. За два года компания Rubicon отгрузила более 30 тыс. 6-дюймовых подложек с полупроводниковым эпитаксиальным слоем. Цены на большие пластины выглядели угрожающе, по сравнению с 10-долл. ценами на 2-дюймовые сапфировые пластины, но по-

рис. 4), однако до сих пор не накоплен достаточный опыт применения этого материала. В то же время возникла настоятельная потребность немедленно решить этот вопрос.

Первым таким решением, на которое стоит обратить самое серьезное внимание, является структурированный сапфир. За счет структурирования поверхности с помощью жидкого и сухого травителя повышается качество верхних эпислоев, и увеличивается светоотдача, но до сих пор этот эффект не изучен. Кроме того, первые эксперименты показали, что благодаря нанесению AlN на поверхность структурированного сапфира повысилась яркость СИД и стал более однородным спектр излучения. По мнению Эванса, эти результаты также могут способствовать снижению стоимости, т.к. отпадает необходимость в некоторых этапах МОСVD: по-



Рис. 5. Отделенная от подложки GaN-фольга
(Публикуется с разрешения компании Goldeneye)

крытая нитридом алюминия сапфировая подложка быстрее нагревается до необходимой температуры и не требует использования буферного слоя, благодаря чему можно сразу перейти к фазе высокотемпературного осаждения нитрида галлия, а объем выпуска изделий вырастает. Поставки таких подложек ожидаются в 2010 г.

Существует и более радикальный вариант, при котором на сапфировое основание наносят нитрид галлия. Затем основание удаляется, а полученную GaN-фольгу используют для выращивания слоев СИД. В компании Goldeneye выращивают 30-мкм слой GaN с помощью технологии HVPE, а затем его удаляют с поверхности лазером. Тонкие GaN-пленки площадью около 1 см² (см. рис. 5) можно быстро нагреть и охладить, благодаря чему цикл эпитаксиального роста занимает 30 мин, по заявлению Скотта Циммермана (Scott Zimmerman), вице-президента отд. технологий, компания Goldeneye. Эта компания только недавно получила первую установку, специально перепроектированную под быстрые циклы.

Европейский научно-исследовательский консорциум IMEC в настоящее время разрабатывает

средства контроля над термическим несопадением между кремниевой подложкой и слоем GaN, отслеживая его рост и устраняя напряжения. «Наилучший способ добиться снижения стоимости производства — использовать структуру «нитрид галлия — кремний», — считает Марианна Джермэйн (Marianne Germain), руководитель проекта, IMEC. — Только у кремниевых пластин относительно большой диаметр и низкая стоимость». IMEC заявляет об уменьшении дефектов примерно до того уровня, что у сапфировых подложек, за счет использования нескольких промежуточных слоев AlGaIn и нитрида кремния (SiN) между кремниевой подложкой и GaN.

ЛИТЕРАТУРА

1. Paula Doe. Supply Chain Maps a Path to Bringing Down the Cost of LED Lighting//LEDs Magazine. Nov-Dec 2009.

До лампочки

Каждый пятый россиянин не намерен отказываться от ламп накаливания

Многие россияне возражают против законодательного запрета использования всем привычных ламп накаливания и замены их энергосберегающими. Таковы итоги исследования Всероссийского центра изучения общественного мнения (ВЦИОМ).

Напомним, что запрет на производство и оборот ламп накаливания будет введен в России предположительно с 2011 года. И 49 процентов опрошенных считают это недопустимым. Однако 62 процента все-таки позиционировали себя законопослушными гражданами и планируют вовремя перейти на энергосберегающие лампы.

Эта позиция характерна практически в равной степени для жителей всех населенных пунктов (62—65%), за исключением обеих столиц (49%). Готовность перейти на энергосберегающие лампы также наиболее характерна для россиян моложе 34 лет (68—70%) и обеспеченных респондентов (71%). В группе респондентов, уже пользовавшихся энергосберегающими лампами, перейти на них полностью готовы 73% опрошенных, а среди тех, кто не имеет такого опыта, — только 49%.

Среди тех, кто считает недопустимым законодательный запрет на производство и продажу ламп накаливания, главным образом, столичные жители (63%) и малообеспеченные россияне (56%). 37% наших сограждан придерживаются иной точки зрения и считают, что такое ограничение вполне допустимо. Это мнение наиболее свойственно жителям малых городов (42%) и обеспеченным респондентам (53%).

Почти каждый второй россиянин, или 52% опрошенных, имеет опыт использования энергосберегающих ламп. Больше всего — 74% — таких респондентов в Москве и Санкт-Петербурге. 45 процентов опрошенных никогда ими не пользовались. В основном это сельские (55%), пожилые (64%), малообразованные и малообеспеченные россияне (70 и 54% соответственно).

Впрочем, несмотря на запреты, часть россиян не намерена отказываться от лампочек Ильича. Каждый пятый опрошенный (21% опрошенных) планирует после введения запрета все же продолжать использовать привычные лампы, закупив их в прок. Эту стратегию предпочитают в первую очередь

столичные жители (37%), респонденты старше 45 лет (26—27%) и малообеспеченные россияне (25%).

Кстати, Евросоюз еще с сентября 2009 года запретил магазинам 27 государств — членом ЕС закупать 100-ваттные лампы накаливания. К 2016 году европейцы планируют полностью отказаться от устаревших классических лампочек. По оценкам экспертов, европейские семьи сократят в результате свои расходы на электричество на 25—50 евро в год даже с учетом более высокой стоимости новых ламп.

Как это ни странно, но экономных европейцев такая перспектива тоже не порадовала. Многие из них бросились скупать классические лампы. Так, продажи 100-ваттных ламп в немецких магазинах взлетели осенью более чем на 300%. Основные аргументы европейцев против энергосберегающих ламп звучат так: лампы эти тусклые, бездушные, искажают цвета, содержат вредную для здоровья ртуть и некрасиво смотрятся даже в современных люстрах.