

МОЩНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Подобно тому, как в 60-х годах транзисторы вытесняли вакуумные лампы в радиотехническом оборудовании, так сегодня в светотехнической аппаратуре происходит наступление полупроводниковых светоизлучающих диодов (СИД) на позиции ламп накаливания. Триумфу СИД в немалой степени способствует их экономичность. Достаточно сказать, что замена ламп накаливания светоизлучающими диодами в светофорах дает экономии электроэнергии более 60 долл. в год на каждую светофорную секцию. Мировой рынок СИД развивается чрезвычайно быстрыми темпами, а его емкость поистине огромна. Достойное место на нем могут занять и российские предприятия.

Появившиеся в 60-х годах светоизлучающие диоды до недавних пор считались маломощными источниками света, основная сфера применения которых ограничена различными индикаторами и миниатюрными буквенно-цифровыми табло. Однако с середины 90-х за рубежом, главным образом в США и Японии, усилился интерес к СИД как уже достаточно мощным устройствам, способным заменить лампы накаливания в светотехнических приборах большого радиуса действия (светофорах, маяках, бортовых сигнальных огнях транспортных средств, дорожных знаках, указателях, информационных табло и т.п.). Еще раньше хорошие перспективы открылись и перед мощными диодами ближнего ИК-диапазона (0,8–1 мкм), которые уже широко используются для подсветки в ПЗС-фотопреобразователях, а также в системах ночного видения и скрытого наблюдения за объектами.

До недавнего времени из приборов видимого диапазона лишь СИД на основе гетероструктур $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$, излучающие в темно-красной области цветового графика МКО (660–680 нм), обладали сравнительно высоким внешним квантовым выходом (эффективностью) излучения $\eta_e \approx 5\text{--}8\%$ [1] и мощностью порядка единиц-десятков милливатт. Но из-за низкой светоотдачи (1–5 лм/Вт) при малых значениях функции видности в этой области спектра они не имели принципиальных преимуществ перед лампами накаливания (10–15 лм/Вт во всем

Второе пришествие СИД

В. Волков, А. Закгейм, Г. Иткинсон,
М. Мизеров, Б. Пушный

видимом спектре и 2–5 лм/Вт при использовании цветных фильтров). Поскольку зонная структура арсенида галлия-алюминия не позволяет получать излучение на более короткой длине волны, СИД зеленого, желтого и ярко-красного свечения многие годы создавали на основе фосфида галлия с различными легирующими примесями – GaP:Zn,O , GaP:N , GaAsP:N [2]. Помимо “грязного” цвета свечения, не соответствующего по координатам цветности стандартам на сигнальные огни, эти СИД имели низкие эффективность и силу излучения – единицы-десятки милликандел, тогда как в светотехнических устройствах этот параметр в среднем должен составлять несколько десятков тысяч кандел. Такие же недостатки характерны и для синих светодиодов на основе карбида кремния.

Ситуация изменилась с освоением промышленной технологии газофазной эпитаксии из металлорганических соединений новых гетероструктур на базе твердых растворов алюминий-галлий-индий-фосфор ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_{0,5}\text{P}$ и галлий-индий-азот $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$). Первая пригодна для изготовления диодов, перекрывающих желто-оранжево-красную область спектра (585–640 нм). Квантовая эффективность таких диодов 8–17% (17,6% макс.) на 629 нм, а светоотдача равна 35–41 лм/Вт (41,5 лм/Вт макс.) на 604 нм [3]. Вторая структура позволяет эффективно перекрыть сине-зеленый спектр (460–540 нм) при квантовой эффективности 7–9% и светоотдаче 20–25 лм/Вт [4]. Таким образом, в начале 90-х годов СИД превзошли лампы накаливания по величине светового КПД для всех цветов видимого диапазона и этот параметр продолжает быстро расти (рис. 1).

Помимо интегрального выигрыша в световой эффективности, важное преимущество СИД – пространственное распределение излучения. Как известно, лампа накаливания – изотропный источник, равномерно излучающий в полном телесном угле. Для большинства же светотехнических устройств индикатрисы излучения строго регламентированы и, как правило, достаточно узки. Ширина пучка железнодорожного светофора равна $\pm 1,5^\circ$ (0,002 ср), а дорожного транспортного светофора – $\pm 10^\circ$ (0,09 ср). Такие пучки формируют с помощью рефлекторных и линзовых систем, что увеличивает



потери света, а также габариты и стоимость светофоров. Для СИД же, как правило, характерно пространственно-ограниченное, осесимметричное распределение излучения с полушириной диаграммы направленности $\pm(5^\circ-40^\circ)$. Это в большей степени соответствует требованиям к выходным потокам широко распространенных сигнальных приборов и позволяет упростить их внешнюю оптику. К достоинствам СИД следует также отнести отсутствие сильно нагретых элементов, высокую надежность, длительный ресурс работы (сотни тысяч часов) [5], механическую прочность, высокое быстродействие, малые габариты, конструктивную гибкость и низкие издержки при массовом производстве.

Эпитаксиальные гетероструктуры СИД на основе твердых растворов AlGaAs, AlGaInP, GaInN в принципе похожи – активная область на основе узкозонного материала с *p-n*-переходом, заключенная между двумя широкозонными эмиттерами толщиной от нескольких единиц до нескольких десятков и даже сотен микрометров. Эмиттеры выполняют также функцию прозрачных для излучения “окон”. Толщина активной области – от нескольких десятков нанометров (“квантовая яма”) до нескольких микрометров. При оптимальном выборе состава гетероструктуры и толщины бездефектных слоев внутренняя квантовая эффективность преобразования ток-свет η_i может быть близкой к 100% [6]. Поэтому основные требования, предъявляемые к конструкции СИД, – обеспечение высокого коэффициента вывода света из объема и внешней квантовой эффективности η_e (величина, близкая к КПД за вычетом джоулевых потерь).

В массовом производстве редко обращаются к сложным и “изысканным” конструктивным решениям. Как правило, **конструкция** серийно выпускаемых СИД независимо от материала гетероструктуры и, соответственно, цвета излучения сравнительно проста. Наиболее дешевый в производстве прибор имеет вид слегка сплюсненного кубика сечением 300x300 мкм и толщиной 150–250 мкм (рис. 2а). Большая часть толщины прибора приходится на поглощающую излучение подложку и лишь 20–30 мкм – на собственно излучающую гетероэпитаксиальную структуру. Верхний контакт диаметром 80–100 мкм затеняет около 15% световыводящей поверхности кристалла, а нижний контакт к подложке – всю ее поверхность. Основной недостаток такой конструкции – низкая внешняя квантовая эффективность (как правило, не более 1,5–1,8%). Из-за высокого показателя преломления полупроводника $n \gg 3,5$ и в силу этого малого угла полного внутреннего отражения на границе раздела полупроводник–воздух (около 16°)

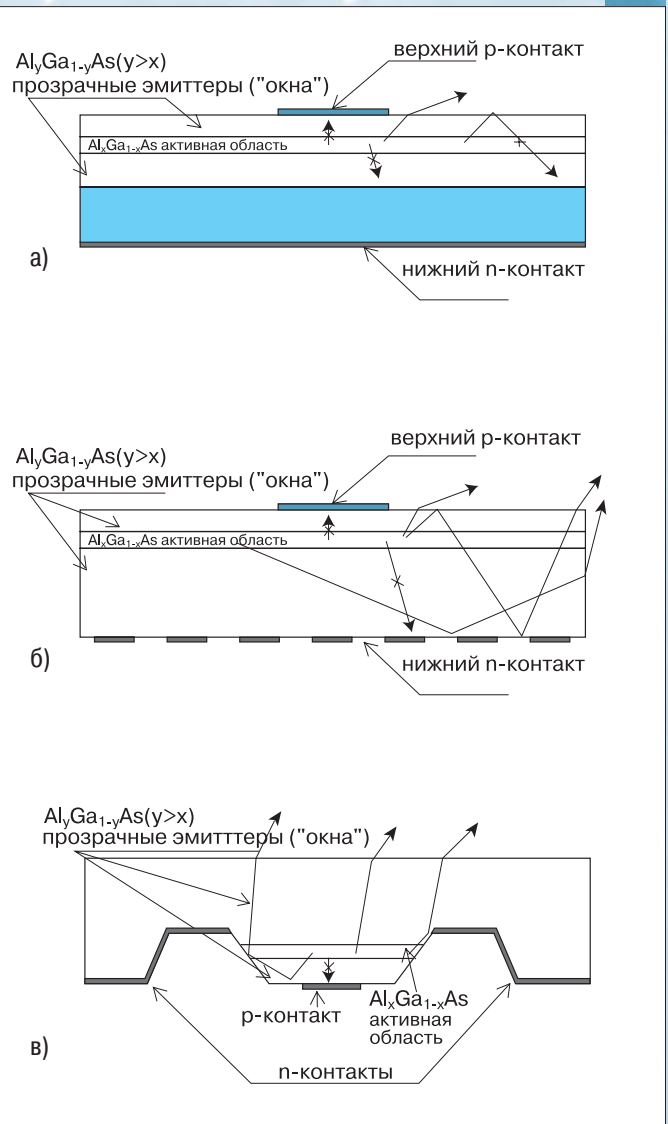


Рис. 2. Основные типы конструктивного исполнения СИД:

- а) однопроходная структура с поглощающей подложкой;
- б) многопроходная структура с прозрачной подложкой;
- в) мезаструктура с внутренней фокусировкой

большая часть излучения претерпевает полное внутреннее отражение с последующим поглощением в подложке и на контактах. Поэтому от подложки пришлось отказаться, а для обеспечения механической прочности прибора – выращивать толстые прозрачные пленки эмиттеров (рис. 2б). Топология и размеры контактов оптимизированы так, чтобы их площадь была минимальной, но достаточной для получения низкого контактного последовательного сопротивления. В такой конструкции с учетом эффектов многопроходности, рассеяния света на неоднородностях и вывода излучения через боковую поверхность $\eta_e = 5-8\%$ [7,8], т.е. в два-четыре раза выше, чем в предыдущей. В более сложной конфигурации излучающего диода с мезаструктурой (рис. 2в) внутреннее отражение света происходит в сторону световыводящей поверхности. В СИД с оптимизированной геометрией мезаструктуры значение η_e может достигать 20–30% [9,10]. Все приведенные значения η_e относятся к непосредственному выводу излучения из кристалла в воздух. При использовании широко распространенных в технологии СИД иммерсионных линз из эпоксидного компаунда с показателем преломления $n > 1,55$ значение η_e возрастает примерно в полтора-два раза.

Высокая внешняя квантовая эффективность диодов еще не га-

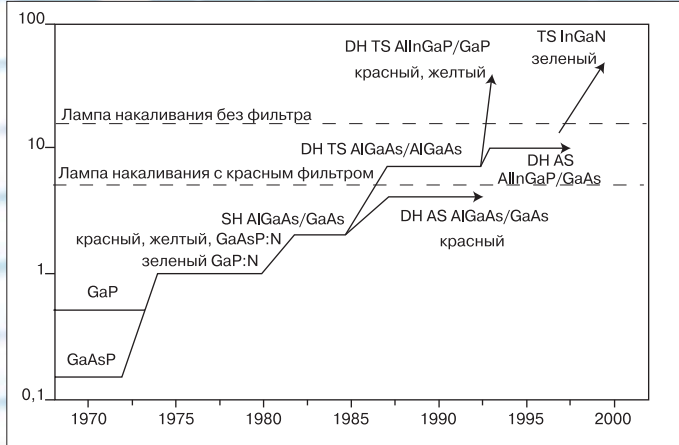


Рис. 1. Динамика совершенствования СИД (по материалам фирмы Hewlett-Packard).

Условные обозначения: SH – одиночная гетероструктура, DH – двойная гетероструктура, AS – структура с поглощающей подложкой, TS – структура с прозрачной подложкой

рантирует получение высокой выходной мощности излучения или силы света. Необходима вторая составляющая – высокая **входная электрическая мощность**, т.е. способность СИД работать при большом токе питания. СИД, сравнимый по площади излучения с нитью лампы накаливания, рассеивает лишь доли ватта (против 70 Вт в среднем для ламп). Даже при высоком КПД отдаваемый им суммарный световой поток и яркость на три-четыре порядка ниже, чем у ламп. К тому же в отличие от тепловых источников света в СИД с ростом температуры возрастает вероятность безызлучательных переходов с участием фононов, и вследствие этого достаточно быстро снижается внутренний квантовый выход ($TK_{\eta I} = 0,8\%/град$). Кроме того, тепловое смещение спектра излучения желто-красных светодиодов в длинноволновую область с коэффициентом $0,1-0,2$ нм/град вызывает снижение светоотдачи за счет уменьшения функции видности. В реальном температурном диапазоне ($-60...+60^\circ C$) выходной поток излучения AlGaInP-диодов может уменьшиться в четыре раза даже без учета разогрева прибора протекающим током [5]. Необходимо также учитывать, что скорость деградации излучательных характеристик СИД, согласно модели Аррениуса, экспоненциально растет с температурой. И, наконец, при температурах выше $120^\circ C$ термические напряжения, возникающие между отдельными элементами прибора, могут просто его разрушить. Поэтому температура диода не должна превышать $110-120^\circ C$ и, следовательно, проблема охлаждения его чрезвычайно важна.

Рассмотрим одномерные тепловые модели стандартного СИД в корпусе T-13/4 диаметром 5 мм [5] и диода с мезаструктурой (рис.3). Как видно из рис. 3а, полное тепловое сопротивление конструкции R_{TS}^T равно сумме трех основных составляющих: теплового сопротивления объема полупроводника между *p-n*-переходом и монтажным (катодным) выводом (R_{j-if}^T); теплового сопротивления растекания вывода (R_{if-pin}^T) и теплового сопротивления вывода (обычно – монтажного) относительно окружающей среды при распайке в корпус или на печатную плату ($R_{pin-air}^T$). Величина $R_{j-if}^T + R_{if-pin}^T$ зависит от теплопроводности полупроводникового материала, толщины слоя между основанием и *p-n*-переходом, сечения диода, теплопроводности и толщины токопроводящего клея, а также от теплопроводности и сечения вывода. Как правило, теплопроводность материала мала (для GaAs – $0,44$ Вт/см·град), толщина прибора равна $200-250$ мкм, а сечение – 350×350 мкм ($S=0,125$ мм²). Таким образом, сумма первых двух составляющих не меньше $250^\circ C/Вт$. Третья составляющая может меняться в пределах $50-400^\circ C/Вт$ в зависимости от типа матрицы (одно- или двумерная), характера монтажа диодов (размер контактных площадок и толщина шин используемой печатной платы, с балластными резисторами или без них, в герметичном корпусе или корпусе с вентиляцией и т.п.). В самом благоприят-

ном случае R_{TS}^T стандартного диода не ниже $300^\circ C/Вт$. Поскольку при максимальной рабочей температуре $+60^\circ C$ температура активной области не должна превышать $110^\circ C$, предельная мощность рассеяния составляет около $0,15$ Вт ($P_{рас}=(T_a-T_{окр})/R_{TS}^T = (110^\circ C-60^\circ C/300^\circ C)/Вт=0,16$ Вт). Соответственно, максимальный рабочий ток не должен превышать $50-70$ мА (j около 50 А/см²). Тогда выходная мощность красного (660 нм) стандартного СИД равна $7-10$ мВт, а световой поток – $0,6-0,8$ лм.

В диоде с мезаструктурой (рис.3б) для максимально эффективного отвода тепла *p-n*-переход отстоит всего на $8-10$ мкм от нижней границы кристалла, смонтированного на тонкой окисленной кремниевой пластине-носителе с высокой теплопроводностью $0,8$ Вт/см·град, изолирующей прибор от корпуса и выполняющей также функцию коммутационной платы. Пластины крепят на основание массивного металлического корпуса типа TO-66. Как показывает расчет, в мезаструктуре площадью $0,125$ мм² тепловое сопротивление между *p-n*-переходом и корпусом составляет $15-18^\circ C/Вт$. При среднем значении теплового сопротивления корпус типа TO-66–окружающая среда $15^\circ C/Вт$ общее тепловое сопротивление равно $40^\circ C/Вт$, т.е. на порядок меньше, чем в предыдущем случае. В результате мощность рассеяния может составить $1,4$ Вт (при тех же условиях, что и в предыдущем примере), рабочий ток достигает $0,5$ А, а излучаемый световой поток – примерно 3 лм (на 660 нм). Таким образом, рабочие токи и, соответственно, излучаемые потоки СИД различных конструкций могут отличаться на порядок. Но и в предельном случае световой поток одного диода не превышает нескольких люмен.

Из индикатрисы распределения силы света дорожного светофора [11] получим, что минимально необходимый для его реализации световой поток равен 80 лм. Следовательно, такое устройство должно содержать от десятков до сотен отдельных СИД, а его конструкция – обеспечивать необходимый режим питания и рассеяния тепла. Для получения требуемой диаграммы направленности излучения различных устройств необходима специальная оптическая система (вторичная оптика), эффективно собирающая излучение диодов и преобразующая его в световой пучок с требуемым пространственным распределением. Поэтому мощные светотехнические устройства на основе СИД – это большей частью многоэлементные (растровые) системы с излучателями, равномерно распределенными по всей площади световой апертуры. При этом важную роль играет не только конструкция самих СИД, но и их “обрамление”: методы монтажа и коммутации при объединении отдельных диодов в матрицы; схемы стабилизации тока питания; конструкция корпуса, прежде всего с точки зрения эффективного отвода тепла и, наконец, отражающие и фокусирующие оптические элементы (вторичная оптика), суммирующие излучение СИД и создающие выходной пучок.

Самое легкое по энергетическим параметрам (“пробный камень”) и в то же время достаточно массовое изделие, в котором целесообразно вместо ламп накаливания применять СИД, – **автомобильный фонарь дополнительного сигнала торможения** [12]. В нем особенно ценно и такое важное достоинство СИД, как высокое быстродействие (в 1000 раз выше, чем у лампы

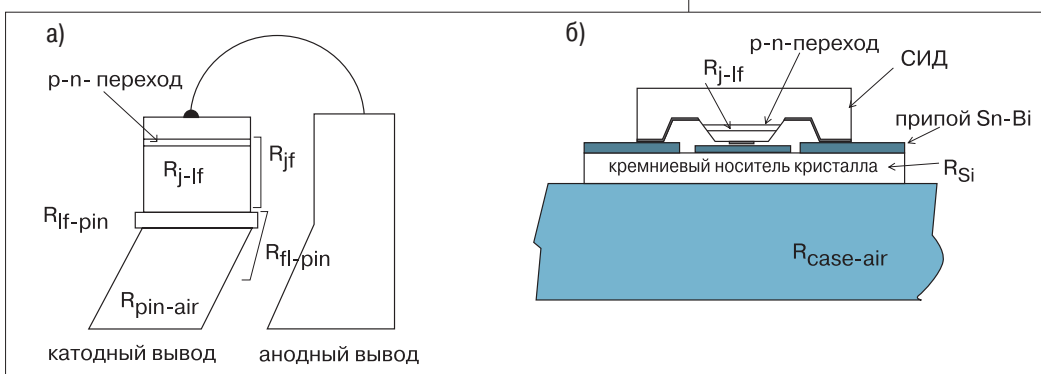


Рис.3. Тепловая модель СИД с минимальным тепловым сопротивлением:

а) стандартная в корпусе T13/4 и б) с мезаструктурой.



накаливания), способствующее раннему предупреждению о торможении [13]. Распределение света фонаря, соответствующее принятому в европейских странах и России *Правилу ЕЭК ООН N7-02*, имеет трапецеидальную форму: “полка” в диапазоне углов $\pm 6^\circ$ с минимальной “высотой” силы света 25 кд, линейно снижающаяся в направлениях -11° до 16 кд и 14° – до 8 кд (рис.4). Вне этих пределов сила света не регламентирована и может быть принята за нуль. Суммирование силы света в пределах соответствующих телесных углов дает значение минимально необходимого потока – 2,9 лм (световой поток обычной свечи – около 12 лм). При световой эффективности красных AlGaAs СИД (структура с прозрачной подложкой) около 10 лм/Вт необходимая мощность, казалось бы, должна быть равна всего 0,3 Вт, а значит, фонарь можно реализовать на двух–трех СИД. Но это не так. При оценке светового потока нужно учитывать потери света на защитном стекле фонаря, на заднем стекле кабины автомобиля, а также снижение светоотдачи при максимальной температуре среды $+60^\circ\text{C}$ и технологический запас, связанный с погрешностью фотометрических измерений (не менее 10%). Основные же потери энергии связаны с тем, что реальная диаграмма направленности излучения СИД не имеет плоской вершины, поскольку индикатрису излучения определяет кривизна только внешней поверхности защитной эпоксидной оболочки, служащей одновременно и линзой. Осевая сила света либо ве-

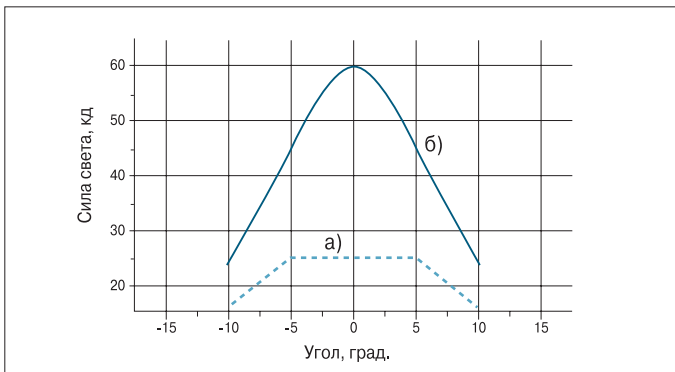


Рис. 4. Угловое распределение силы света излучения фонаря дополнительного сигнала торможения, построенное по экстремальным точкам: а) идеальное, б) реальное

лика и практически сразу же спадает до низких значений (острая диаграмма), либо световой поток размазан в пространстве до больших углов (широкая диаграмма), а значения силы света малы. И тот, и другой случай далеки от требуемой диаграммы.

В фонаре дополнительного сигнала торможения типа ВАЯФ. 676-649.001ТУ совместной разработки ЗАО ИФ “ИРСЭТ-Центр”, АО “Светлана” и ОКБ “Вега” использована зеркально-призменная вторичная оптическая схема (рис.5). Излучение диодов с умеренно широкой диаграммой направленности ($2Q_{1/2} = \pm 20^\circ$) предварительно собирается коническими алюминиевыми отражателями схемы. Затем с помощью призменного рассеивателя оно окончательно формируется в пучок с приближенным к требуемому *Правилу* распределением силы света. Из приведенных в таблице значений силы света фонаря с СИД-излучателем при номинальном питании 12 В/0,25 А следует, что световое распределение хотя и удовлетворяет требованиям *Правил*, доста-

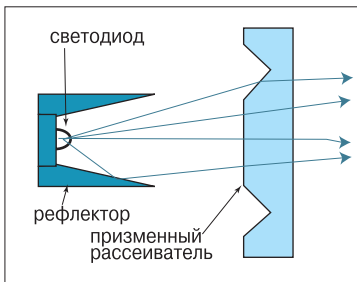


Рис.5. Оптическая схема фонаря дополнительного сигнала торможения на СИД.

точно далеко от идеального: в центральной части светового пятна имеется более чем двукратный запас по силе света, а на периферии он сокращается до 30% минимальной величины, необходимой для гарантированного обеспечения требуемых параметров при максимальной температуре среды $+60^\circ\text{C}$. Потребляемая мощность такого фонаря в три раза меньше, чем у лампового (две лампы по 5 Вт). Однако она заметно превосходит минимальную, рассчитанную из требуемого светового потока и эффективности диодов.

Угловое распределение силы света фонаря дополнительного сигнала торможения

Угол по вертикали	Минимальная сила света, кд				
	10° влево	5° влево	0°	5° вправо	10° вправо
10° вверх	11(8)*	–	26 (16)	–	11 (8)
5° вверх	20 (16)	32 (25)	50 (25)	32 (25)	20 (16)
0°	24 (16)	45 (25)	60 (25)	45 (25)	24 (16)
5° вниз	20 (16)	30 (25)	45 (25)	30 (25)	20 (16)
Угол по горизонтали	10° влево	5° влево	0°	5° вправо	10° вправо

* В скобках приведены значения, соответствующие требованиям *Правил ЕЭК ООН N 7-02*.

Расчетные и экспериментальные оценки показали, что для более эффективного использования излучаемого света целесообразно применять оптическую систему на основе светосильных и дешевых плоских линз Френеля из полиметилметакрилата или поликарбоната, получаемых методом литья под давлением, с микролинзовыми рассеивателями или без них. Такой метод был использован в магистральных **мачтовых железнодорожных светофорах СССР 200-50К(Ж,З)**, разработанных Центром микроэлектроники при ФТИ им.А.Ф.Иоффе РАН и ЗАО “ИРСЭТ-Центр”. Перспективность применения СИД в этих устройствах в первую очередь объясняется их высокой надежностью и длительным ресурсом работы (10 лет без обслуживания), что существенно снижает эксплуатационные расходы: не нужно ежемесячно заменять лампы накаливания, особенно на отдаленных перегонах. Железнодорожные мачтовые светофоры, фактически представляющие собой источники света прожекторного типа, отличаются высокой осевой силой излучения (более 2100 кд для красного и зеленого сигналов и 4000 кд для желтого) при малой ширине светового пучка ($\pm 1,5^\circ$ по уровню 0,1) [14]. Наиболее простая вторичная оптическая схема для такого устройства – светосильная собирающая линза с источником излучения в фокальной точке. Поскольку минимальная расходимость светового пучка за линзой равна $a = \arctg(d/2F)$ (F – фокусное расстояние, d – диаметр области свечения СИД, как правило, не менее 300 мкм), необходимо применять достаточно длиннофокусную оптику. Эксперименты показали, что наибольшую эффективность можно получить при использовании линзы Френеля с $F = 31-35$ мм и апертурой 0,35. Она позволяет собрать примерно 40% светового потока СИД с углом излучения $\pm 20^\circ$. Сотовая структура из 55 шестигранных линз с СИД в фокусе каждой линзы плотно заполняет зрачок светофора стандартного диаметра 200 мм. Разводка проводников на печатной плате обеспечивает параллельное включение 11 групп диодов (по пять последовательно включенных приборов в каждой). Это совместно со специально разработанным блоком питания гарантирует номинальный и другие режимы работы в соответствии с требованиями железнодорожной сигнализации. Значения осевой силы света превышают 10000 кд для желтого, 8000 для зеленого и 6000 кд для красного светофоров при потребляемой мощности всего 7, 6 и 9 Вт, соответственно (мощность стандартных ламп железнодорожного светофора – 15 или 25 Вт). Основные элементы, оптическая схема и абсолютные значения силы света в зависимости от направления для модуля желтого цвета показаны на рис.6.

Дорожные светофоры для управления автомобильным движением – самые мощные и широко распространенные сиг-

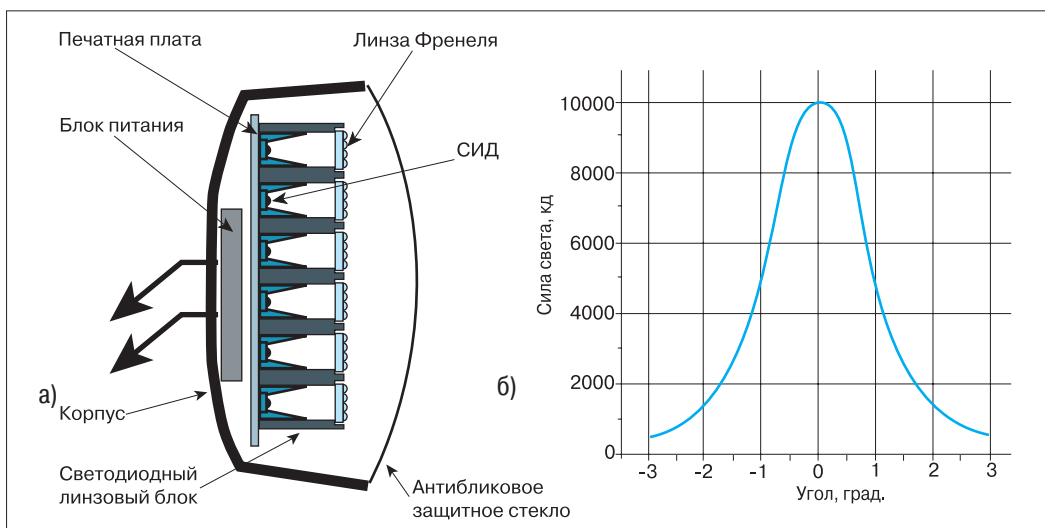


Рис.6. Устройство (а) и угловое распределение силы света (б) в желтом модуле железнодорожного магистрального светофора.

нальные устройства, в которых применяют 75–150-Вт лампы накалывания. Их световые потоки в горизонтальной плоскости должны быть достаточно широкими – $\pm 10^\circ$ по уровню 0,5 и $\pm 20^\circ$ по уровню 0,1 при осевой силе света более 200 кд (красный, зеленый) и 300 кд (желтый). В вертикальной плоскости излучение нормируется только до -8° , т.е. диаграмма направленности резко несимметричная [11]. Общие принципы построения СИД-модуля дорожного светофора типа СМД-К(Ж,З)-200, созданного в ЗАО ИФ “ИРСЭТ-Центр” и ОАО “ЛОМО”, те же, что и для железнодорожного: двухкоординатная матрица (150 последовательно/параллельно соединенных диодов), сопряженная с растровой линзовой вторичной оптической системой. Однако внутреннюю поверхность единичного линзового оптического элемента образует короткофокусная ($F = 12,6$ мм) светосильная ($d = 16$ мм) линза Френеля, преобразующая излучение СИД в слаборасходящийся пучок, а наружную – специальный рассеиватель, формирующий из параллельного пучка требуемый по ГОСТу асимметричный. Благодаря литьевой технологии стоимость такого элемента при массовом производстве невысока, несмотря на его относительную сложность. Оптимизация вторичной оптической системы позволила увеличить эффективность СИД-источников путем рационального использования их излучения. Так, красный модуль при средней осевой силе света около 400 кд потребляет примерно 25 Вт. Мощность, потребляемая собственно диодной матрицей, еще меньше, так как КПД блока питания не превышает 90%. Для желтого и зеленого блоков эти значения равны 600 кд, 20 Вт и 350 кд, 15 Вт, соответственно.

Сегодня ведутся активные работы по созданию мощных СИД видимого диапазона для сигнально-информационных световых приборов дальнего действия. Сила света некоторых типов СИД, например HLMP-DDXX, HPWL-EDXX (Sun Power, Hewlett-Packard), удваивается каждые два года. Фирма Nichia, известная пионерными работами в области мощных эффективных сине-зеленых СИД, за несколько лет увеличила выпуск подобных приборов с единичных опытных образцов до миллионов штук в месяц. На рынке высокоярких СИД, пригодных для применения в светотехнических приборах, сейчас действует не менее 25 крупных фирм. По оценкам, внедрение светодиодов в светотехнику происходит сейчас быстрее, чем в свое время транзисторов в радиоэлектронику [15]. Столь высокие темпы естественны, поскольку транспортные и железнодорожные системы, средства управления дорожным движением, информационные табло и другие перспективные рынки сбыта этих изделий оцениваются

в десятки миллиардов долларов. Достойное положение на этом быстро развивающемся рынке может занять и отечественная промышленность. В России сохраняется значительный научно-технологический потенциал в области создания высокоэффективных СИД, сосредоточенный в институтах Российской академии наук, например ФТИ им.А.Ф.Иоффе, и ряде отраслевых институтов электронной промышленности. Имеется и первоклассная оптико-механическая промышленность. Помимо уже упоминавшихся выше организаций, разработкой светотехнических приборов на СИД занимаются НПФ “Свеча”, АО “Зенит” (Москва), АО “Протон” (Орел). Однако нужно помнить о том, что в условиях жесткой, открытой конкуренции темпы проведения этих работ и их финансирование недостаточны. Без решения этих проблем мы не только не сможем выйти на мировой рынок, но и потеряем свои позиции внутри страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ж.И.Алферов и др. — Письма в Журнал технической физики, 1978, №4, с. 241.
2. Берг А., Дин П. Светодиоды. — М.: Мир, 1979.
3. F.A.Kish et al. — Applied Physics Letters, 1994, №64(21), p.2839.
4. S. Nakamura et al. — Japan Journal of Applied Physics, 1995, №34, p.11832.
5. Материалы симпозиума фирмы Hewlett-Packard “Оптоэлектроника в автомобиле завтрашнего дня”. — М., февраль 1997г.
6. Ж.И.Алферов и др. — Физика и техника полупроводников, 1975, №9(3), с.462.
7. В.М.Андреев и др.— Журнал технической физики, 1997, №47, с.1778.
8. Ж.И.Алферов и др. — Физика и техника полупроводников, 1976, №10, с.1497.
9. Ж.И.Алферов и др. — Письма в Журнал технической физики, 1997, №3, с.657.
10. Закейм и др. — Письма в Журнал технической физики, 1980, №6, с.342.
11. ГОСТ 25695-83 — Светофоры дорожные.
12. ГОСТ 10984-74 — Приборы внешние световые сигнальные автомобилей.
13. International Automotive Technology Update. 1994/95, 185.
14. ГОСТ 11947-90 — Линзы и комплекты линз сигнальных приборов железнодорожного транспорта.
15. M.W.Hodapp, — High Brightness Light Emitting Diodes - New York, NY: Academic Press, 1997.

СэОЗУ пытается выжить

В марте этого года фирмы Ramtron International и Fujitsu заключили соглашение на совместную разработку встраиваемой сегнетозлектрической памяти. Проект рассчитан на два года. Схемы предполагается изготавливать на заводе Fujitsu в г. Ивате по 0,35-мкм технологии с двойной металлизацией. Проект предусматривает и модернизацию предприятия фирмы Ramtron в Колорадо-Спрингс с помощью оборудования, поставляемого японским партнером. Совместную разработку СэОЗУ большой емкости фирмы ведут уже три года. Ими создан опытный образец СэОЗУ емкостью 1 Мбит и микроконтроллер со встроенной сегнетозлектрической памятью 64 Кбит. Эта работа будет продолжена с целью создания 64-К и 256-Кбит параллельных СэОЗУ с 0,5-мкм топологическими нормами. Ramtron International имеет лицензионные и производственные соглашения с рядом других фирм, в том числе Hitachi, Toshiba и Rohm.

www.eef.com./story/OEG19990322S0061



Биочип может стать основой крупного сектора рынка медицинской техники

В ближайшие пять лет фирмы Motorola и Packard Instrument намерены затратить 19 млн. долл. на коммерциализацию биочипов, предназначенных для расшифровки генной информации. Планируется освоить технологию, разработанную учеными Аргоной национальной лаборатории (шт. Иллинойс, США) и Института молекулярной биологии им. Энгельгардта РАН (Россия). На счету этих научных организаций 19 изобретений в области биологических микросхем. На их работу Министерство энергетики и Управление перспективных разработок МО США, а также Российская Академия наук и Российская программа человеческого генома с 1994 года затратили более 10 млн. долларов.

В результате совместных усилий создан робот, способный изготовить последовательность "микрочипов" — матрицы коротких нитей ДНК, заключенных в гелиевые элементы (до 10 тыс. микроструктур) на стеклянной подложке. Биоматричные схемы содержат бесконечно большое число мельчайших зондов, удерживающих молекулы ДНК. Схемы позволяют одновременно выполнять несколько различных анализов с целью выявления генетических маркеров, соответствующих определенной реакции на новое лекарство. Разработчики относят такие биоустройства к схемам памяти, поскольку они хранят множество молекулярных проб, как полупроводниковая память хранит данные. Motorola исследует и микрожидкостные микросхемы, которые также называют "лабораториями-на-чипе". Такая схема содержит вентили и трубки для хранения жидкости, используемой для синтеза соединения или проведения простейшего анализа. Разработчики считают микрожидкостные схемы аналогами микропроцессоров, поскольку они могут быть запрограммированы и поддерживать многоступенчатые химические реакции, как микропроцессоры — математические вычисления с многими действиями. В случае удачного завершения проекта практикующие врачи уже через четыре-пять лет с помощью биочипа смогут легко определять, не предрасположен ли больной к тем или иным заболеваниям, а саму болезнь лечить на молекулярном уровне. Биосхема укажет, как больной прореагирует на то или иное лекарство, каких побочных эффектов можно ожидать от его приема.

По соглашению, Motorola разрабатывает промышленный процесс изготовления биочипа, а Packard Instrument — аналитическое оборудование для обработки полученной информации. Оценить будущий объем рынка таких изделий пока трудно, хотя участники программы считают, что биочипы найдут огромный спрос в медицинской диагностике, исследовании лекарств, охране окружающей среды и сельском хозяйстве. Motorola намерена затратить 9,3 млн. долл. на создание делового подразделения Bioinformatics, где будут изготавливаться новые биосхемы. Кроме того, планируется построить завод по их производству. Сейчас опытные линии по выпуску биочипов уже работают на предприятиях фирмы в штатах Аризона и Иллинойс. И хотя процесс изготовления биосхем, по утверждению специалистов Motorola, уникален, в нем используются методы, позаимствованные из технологии изготовления плоских дисплеев с автоэлектронной эмиссией, получения межсоединений плат с высокой плотностью элементов и микрообработки стекла наподобие применяемой при производстве автомобильных датчиков давления. Поскольку биосхемы выполняются на биологическом материале, применяемые для этого процессы будут существенно отличаться от используемых в полупроводниковой промышленности. Так, при обработке кремниевых пластин низкой считается температура 400°C, тогда как в биотехнике — менее 100°C. Цель фирмы — снизить стоимость биосхемы со 100 до 1 долл. Motorola заключила также соглашения с фирмой Orchid Bioscomputer — разработчиком технологий микрожидкостных платформ, и Genometrix — поставщиком микроматриц, используемых в геномных, диагностических и фармацевтических исследованиях. Пока ни один крупный изготовитель полупроводниковых приборов, кроме Motorola и Packard Instrument, не заявил о намерении развивать это новое направление научной мысли.

www.edtn.com/news/july1/070198tnews2.html
www.edtn.com/story/tech/OEG19990216S0030-R
Electronics News, Feb.22, 1999

Связующий препрег для многослойных печатных плат СВЧ-диапазона

Сегодня при создании многослойных печатных плат (МПП) СВЧ-диапазона конструкторы используют ламинаты новейшей серии RO4000 (RO4003 и RO4350), которые сохраняют диэлектрическую постоянную 3,48 и тангенс угла потерь 0,004 почти до 12 ГГц. Однако в качестве связующего материала они вынуждены выбирать между дешевыми препрегами на эпоксидной основе низкого качества и очень дорогими высококачественными композиционными препрегами. В связи с этим недавно был разработан новый связующий препрег RO4320 специально для совместного использования с ламинатами серии RO4000 в СВЧ МПП коммерческого назначения. Этот материал не текуч и имеет диэлектрическую постоянную 3,3, тангенс угла потерь 0,004, температуру стеклования выше 280°C. Образцы материала готовы для оценочных испытаний. Сочетание нового препрега с ламинатами RO4000 позволяет изготавливать МПП, которые могут проходить обработку, аналогичную стандартной обработке традиционного материала FR-4. Это операции электроосаждения, сверления отверстий и склеивания. Температура сцепления составляет 190°C, давление прессования для большинства конструкций порядка 2 МПа. В результате почти любой производитель плат способен экономично изготавливать однородную МПП с высокими параметрами.

Комбинация низкой температуры сцепления и высокой температуры стеклования делает препрег RO4320 и ламинаты серии RO4000 оптимальным вариантом для крупносерийного производства дешевых МПП СВЧ-диапазона с высокими параметрами.

Microwave Journal, 1998, v.41, №12, p.90,92, 94

0,15-мкм технология изъята из Roadmap

В начале мая опубликован скорректированный вариант программы развития полупроводниковой промышленности Roadmap. Разработчики программы — Ассоциация полупроводниковой промышленности и консорциум Sematech — исключили из нее поколение схем с минимальными размерами элементов 0,15 мкм. В результате сроки появления схем следующих поколений сместились на год вперед: ИС с 0,13-мкм элементами должны появиться в 2002 году, с 0,07-мкм элементами — в 2008-м. Таким образом, уже к концу этого года появятся первые ДОЗУ емкостью 1 Гбит, к 2002 году — 4 Гбит, к 2005-му — 16 Гбит и к 2008-му — 64 Гбит. Согласно программе International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS), к 2014 году появятся первые лабораторные образцы схем ДОЗУ емкостью 1 Тбит с минимальными размерами элементов 0,025 мкм (ширина токопроводящих линий, топологические размеры узлов — 0,035 мкм). Микропроцессоры, изготовленные с такими топологическими нормами, будут содержать 390 млн. логических транзисторов на 1 см².

Скорректирован и прогноз удельной (в пересчете на 1 бит) стоимости ДОЗУ. Согласно последнему варианту ITRS, она составит 40 микроцентов/бит против 60 микроцентов, предусмотренных предыдущим вариантом. Прогнозируется и снижение удельной стоимости корпусов (в пересчете на вывод): с 1,25–2,8 до 0,7–2,52 долл./вывод в 1999 году и 0,6–2,16 долл./вывод в 2002-м. Отчасти снижение стоимости корпусов вызвано сокращением числа контактных площадок. Так, если прежде прогнозировалось, что число контактных площадок схематипа корпус для быстродействующих микропроцессоров в 1999 году будет равно 2000, то в последнем варианте их число уменьшено до 1867.

www.edtn.com/story/tech/OEG19990505S0009-R

КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

фирм MURATA, KEMET, SINCERA

РЕЗИСТОРЫ постоянные, подстроечные
КОНДЕНСАТОРЫ керамические, танталовые, алюминиевые, подстроечные
ИНДУКТИВНОСТИ MURATA типоразмер 0805, 1812
ДИОДЫ, ДИОДНЫЕ МОСТЫ, ВАРИКАПЫ, СВЕТОДИОДЫ,
СТАБИЛИТРОНЫ, ТРАНЗИСТОРЫ,
ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ в SOT89,
а также **БАТАРЕЙНЫЕ ОТСЕКИ, ЭНКОДЕРЫ(ALPS)**
МИКРОСХЕМА-РАДИОПРИЕМНИК и ПАВ-резонатор для ДУ на 433 МГц
Оптовые поставки со склада

ООО СМП

Тел.: (095) 158 7396. Факс: (095) 537 1855. Каталог по адресу: www.smp.aha.ru