

ДИОДНЫЕ СВЕТОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В ОПТИКЕ И ФОТОМЕТРИИ.

В.Е. Сабинин*, С.В. Солк*, Б.А. Матвеев**.

*НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор, Ленинградская обл., e-mail: gera@sbor.net
т.(81369)21188,

**Санкт-Петербург, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН
e-mail: bmat@iropt3.ioffe.rssi.ru т.(812) 247 7446.

Рассмотрены особенности и условия использования светоизлучающих диодов ИК диапазона, в том числе работающих в режиме „приём - излучение” в качестве встроенных систем фотометрического контроля и при организации стендовых испытаний.

Последние годы являют период быстрого развития полупроводниковых излучающих устройств - светодиодов /СД/. Спектральный диапазон излучения, полученного в настоящее время от СД, включает длины волн λ от 0,38 до ~7 мкм и имеет тенденцию к дальнейшему расширению. В частности, использование InSb и InAsSb в качестве материала активной области позволяет перекрыть диапазон спектра вплоть до 8-9 мкм. Мощность излучения от одного кристалла составляет от микроватт до десятков милливольт. Путём конверсии коротковолнового излучения на люминофорах получен белый свет, по энергетическим параметрам сопоставимый с бытовыми источниками освещения.

Существует возможность полного перекрытия спектра излучения внутри диапазона 0,38 – 7,0 мкм путём смены материала активной области СД или легирующих добавок. Дополнительные возможности для сдвига центра полосы излучения создаёт изменение температуры СД, однако это действие приводит также к нежелательному изменению мощности излучения. Диапазон КПД для разных типов СД может изменяться от сотых долей до 10 – 15 %. Соответственно, меняются расход энергии электропитания на нагрев СД и требования к интенсивности теплосъёма. Возможно использование импульсных и частотно-импульсных режимов работы и, соответственно, модуляции излучения электропитанием с частотами от единиц Гц до десятков и сотен кГц. Продолжительность устойчивой работы СД может составлять десятки тысяч часов, а число переключений $10^5 \div 10^6$. В длинноволновой области (4 - 7 мкм) при включении диода в обратном направлении возможна имитация «холодного» источника, т.е. объекта, имеющего излучательную способность ниже, чем окружающий фон.

Специфические возможности предлагают новые СД, в английской транскрипции получившие название flip-chip LEDs (флип-чип СД) Эти СД обладают не только наибольшей мощностью, достигающей нескольких мВт [1], но и позволяют регистрировать оптическое излучение в спектральном диапазоне, положение и ширина которого соответствуют собственному спектру излучения СД. Иными словами СД может использоваться в качестве освещаемого через подложку („backside-illuminated”) фотодиода /ФД/ с достаточно высокой обнаружительной способностью, достигающей, например, $D_{3.3}^{*} = 2 \cdot 10^{10} \text{ см Гц}^{1/2} \text{ Вт}^{-1}$. Смена режима работы «приём»-«излучение» может быть осуществлена за времена от единиц до десятков наносекунд Подобные устройства на основе материалов AlGaAs пока известны для спектрального диапазона от ~ 0,6 до 5.5 мкм.

Излучающая поверхность СД обычно является плоской и имеет типичные размеры на уровне долей миллиметра. В зависимости от конструкции излучение распространяется в полусферу, или может быть ориентировано на боковые (торцевые) зоны. Проблемы полезного использования световой энергии СД упираются в разработку оптических устройств для преобразования излучения в световые потоки заданной конфигурации. С учётом малости средней мощности излучения, эти оптические системы должны иметь высокие коэффициенты пропускания. Привычные для СД конструкции каплевидной формы постепенно сменяются линзами Френеля, фоконами, оптическими концентраторами, сумматорами, смесителями, сложными комбинированными системами.

Специфика светотехнических параметров СД позволяет использовать их в сложных, многофункциональных оптических системах, предназначенных для разнообразных технических применений. Среди таковых системы локализации и связи, оптические информационные устройства, устройства автоматизации и техники безопасности, научные исследования и т.д. В данной работе мы рассматриваем перспективы использования СД, в том числе флип-чип СД в фотометрии.

Одно из наиболее перспективных направлений – создание встроенных систем фотометрического контроля. В таких системах нуждаются многие оптические и оптико-электронные устройства, в особенности длительное время работающие в автономном режиме. СД и оптопары включающие СД и ФД обладают достаточной стабильностью и удобными потребительскими качествами. Простота и

надёжность в сочетании с отлаженными оптическими системами позволяют, как нам кажется, получать новое качество в существующих и разрабатываемых оптико-электронных системах [2].

Задача полного, без потерь сбора излучения во всем диапазоне от 0,6 до 7 мкм, от источников не являющихся точечными, и направления его в поток с малым угловым расхождением не является тривиальной. Для спектрального диапазона 0,35 – 1,6 мкм проблема решена путём использования устройств типа „концентратор”, выполненных из полимерных материалов методами литья или горячего прессования[3]. Такое устройство, если оно использовано для излучателя, обеспечивает сбор до 95 % излучения и направление его в телесный угол $\pm 1^\circ$, куда попадает до 50% излучаемой энергии. При этом 100% энергии попадает в угол $\pm 3^\circ$. Подобные концентраторы позволяют получать световые потоки с осевой силой света до 1000 и более Кандел от 1 – 2-х кристаллов и осевой силой излучения до десятков Вт/страд. Если концентратор работает на приём излучения, то он обеспечивает попадание на поверхность кристалла тех же 95% излучения, приходящего на поверхность концентратора в телесном угле $\pm 3^\circ$. За пределами этого угла такой радиометр является „слепым”, что в некоторых случаях даёт ему дополнительные преимущества, например, в части повышения соотношения сигнал-шум.

Сегодня технологи могут обеспечить поставку полимерного материала, прозрачного в диапазоне от 0,36 до ~ 1,8 мкм. Путём нанесения просветляющих и защитных вакуумных покрытий с использованием окислов металлов, преодолены традиционные недостатки полимерной оптики – низкая механическая прочность поверхности, электризация, старение полимера, пониженная устойчивость к влаге и наличию в атмосфере примесей агрессивных химических веществ. К сожалению, конструкция концентратора такова, что изготовить его традиционными методами полирования невозможно. Существует принципиальная возможность прессования концентратора из некоторых стёкол, прозрачных в ИК-диапазоне оптического спектра, например, типа ИКС-25, имеющих пониженную температуру размягчения, однако технологические проблемы этого процесса пока далеки от разрешения. Поэтому для спектрального диапазона $\geq 1,8$ мкм целесообразно использовать зеркальные системы, с некоторыми ограничениями пригодные для работы в широком спектральном диапазоне.

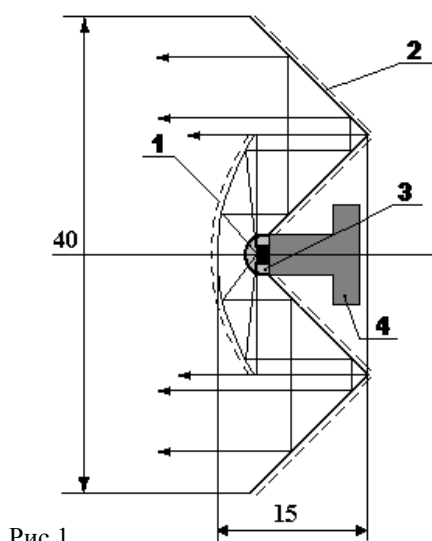


Рис.1

- 1 - парабола
- 2 - W-образный аксион
- 3 - излучающий кристалл
- 4 - теплоёмник

Нами изготовлен и испытан зеркальный концентратор, выполненный по схеме показанной на рис.1. Он предназначен для сбора излучения от СД, распространяющегося в угол до $\approx 180^\circ$. При размещении в его фокальной плоскости ФД эти концентраторы, как и любые иные, могут исполнять функции радиометров.

Одно из перспективных направлений практического использования отмеченных выше возможностей, включает изготовление излучателей с заданным распределением спектральной интенсивности, имитирующим характеристики конкретного светящегося объекта, в том числе, низкотемпературного. Такие имитаторы с высокой эффективностью могут быть использованы при организации стендовых испытаний различных оптико-электронных устройств обнаружения и распознавания. На рисунке 2 показано распределение спектральной интенсивности известных СД в спектральном диапазоне 3 – 5 мкм. Для создания, например, П-образного в этом спектральном диапазоне сигнала излучения необходимо использовать 17 различных кристаллов. При этом суммарная мощность излучателя составит 0,2 мВт, а общая площадь излучающей поверхности будет представлять собой своеобразную матрицу, площадью около 2×2 мм².

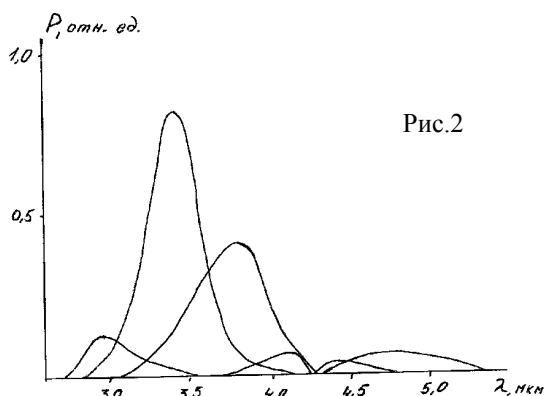


Рис.2

Решения этой же проблемы можно достичь, используя широкополосный источник излучения и набор кристаллов ФД, чувствительных в разных спектральных диапазонах, установленных в фокусе единого оптического устройства. Так, чтобы спектральное распределение чувствительности имело наперёд заданную форму. С другой стороны, такое устройство представляет собой пирометр, с помощью которого можно измерять яркостную температуру излучающих объектов. Наличие подобных ФД в видимом диапазоне оптического спектра позволяет надеяться на проведение измерений

высокотемпературных излучателей, то есть, осуществлять традиционно трудоёмкие измерения.

Интересные технические возможности предлагают BSI диоды, попеременно работающие в режиме излучения и приёма и включенные навстречу друг другу. Такая оптопара может служить своеобразным кодирующим устройством, настроенным на определённую частоту. При регистрации отражённого частотно-импульсного излучения оказывается возможным измерение дистанции и параметров движения мишени, что может оказаться принципиальным, например, в робототехнике.

Любая фотометрическая схема, предназначенная для контроля спектральных характеристик оптического элемента или устройства, а также их изменения во времени и в пространстве, включает следующие составные части [4]:

- Стабилизированный источник излучения, согласованный по спектру с излучением АЧТ, систему электропитания к нему и устройства утилизации избыточной тепловой энергии;
- Систему выделения потока излучения нужного диапазона и заданной ширины спектра;
- Устройство для размещения изучаемого объекта на оптическом пути излучения;
- Систему модуляции;
- Фотоприёмное устройство;
- Устройство принятия и реализации решения.

Перечисленные особенности светоактивных кристаллов иллюстрируют принципиальную возможность и целесообразность использования их в системах фотометрического контроля. Такое решение позволяет упростить техническую схему измерений, а в некоторых случаях, получить новое качество. Например:

1. Малая мощность и напряжение электропитания (обычно доли Вт и $U < 1$ В) упрощают технические решения в области систем электропитания, стабилизации мощности излучения и утилизации избыточной тепловой энергии.
2. Относительно малая ширина спектра излучения, а также стабильность этого спектра во времени, в подавляющем большинстве случаев позволяют рассматривать этот тип излучателей как монохроматический. В свою очередь, это обстоятельство позволяет отказаться от оптических фильтров, призм, решёток и т.д., что особенно принципиально в ИК-диапазоне.
3. Малая инерционность СД как источника излучения, создаёт возможность модуляции излучения электропитанием, включая формирование экзотических по форме световых импульсов.
4. Наборы излучателей или приёмников, активных в различных спектральных диапазонах, позволяют создавать устройства с заданным спектральным распределением. При длине волны > 4 мкм использование обратного смещения диодов имитирует «излучение» холодных объектов.
5. В оптопаре СД - ФД оказывается возможным уменьшать ширину спектра регистрируемого излучения путём сдвига центра полосы оптической активности.
6. Наличие свободной от контактов плоской поверхности позволяет производить иммерсионную стыковку кристалла с линзами или световолокном.
7. Высокая яркость излучения при малых габаритах обеспечивают миниатюризацию фотометрических систем.

В то же время, необходимо отметить, что полное использование всех отмеченных преимуществ требует создания набора совершенных оптических устройств, которые обеспечат концентрирование, смещение и суммирование излучения от набора кристаллов, работающих в разном спектральном диапазоне и разделённых геометрически. Простых и доступных способов решения этих задач пока нет, однако, очевидно, что это явление временное, поскольку СД и ФД постоянно совершенствуются, вышли за порог «лабораторных образцов» и активно применяются на практике.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Matveev, Boris A.; Zotova, Nonna V.; Karandashev, Sergey A.; Remennyi, Maxim A.; Stus', Nikolai M.; Talalakin, Georgii N. "Backside illuminated In(Ga)As/InAsSbP DH photodiodes for methane sensing at 3.3 μm ", Proc. SPIE Vol 4650, p.173-178, Photodetector Materials and Devices VII (2002)
2. V.E.Sabinin, S.K.Savelyev, S.V.Solk. The application of the Light Emitting Diodes (LED) in optical measurement. // SPIE .vol.5066 (2002), p.325-329.
3. В.Е.Сабинин, С.В.Солк. Проблемы проектирования и изготовления оптики из полимерных материалов. // Оптический журнал. Том 69, №1, 2002, стр.61-64.
4. М.М. Гуревич. Фотометрия. Л., Энергоатомиздат, 1983. 272 стр.