



УДК 621.315.375

**ПОСТРОЕНИЕ И АППРОКСИМАЦИЯ
ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ
СВЕТОДИОДОВ***Попова И. Г., Гребенюк Т. И.,
Подольцев В. В.*

Донской государственный технический
университет, Ростов-на-Дону, Российская
Федерация

inna111109@rambler.rupga26@yandex.ruslavic.podolcev@gmail.com

Приведен расчёт диаграммы направленности светодиодов и определены заданные электрические характеристики. Рассмотрено применение и принцип работы светодиодов, разработана методика построения диаграмм направленности светодиодов по экспериментальным данным.

Ключевые слова: светодиод, диаграмма направленности, *p-n*-переход, полупроводник, вольт-амперная характеристика, угол излучения.

Введение. Светоизлучающим диодом называется полупроводниковый прибор с *p-n*-переходом, в котором осуществляется непосредственное преобразование электрической энергии в энергию некогерентного электромагнитного излучения в видимой, инфракрасной и ультрафиолетовой областях спектра за счет рекомбинации электронов и дырок.

Принцип действия светодиодов основан на явлении инжекционной люминесценции. Свет возникает в объеме полупроводника на расстоянии не более нескольких диффузионных длин, его направление может быть разнообразным. Используют обычно свет, выходящий перпендикулярно *p-n*-переходу.

Авторами проекта впервые был выполнен расчёт диаграммы направленности светодиодов и определены заданные электрические характеристики.

Построение диаграммы направленности светодиодов по экспериментальным данным методом сплайн-аппроксимации. Физической основой полупроводниковых излучателей является люминесценция — испускание электромагнитного излучения полупроводниками, находящимися в возбужденном состоянии, которая является процессом, обратным поглощению. Вещества, которые обладают люминесцирующими свойствами, называют люминофорами.

Излучение может возникать при возбуждении вещества различными способами: за счет поглощаемой энергии света (фотолюминесценция), при бомбардировке образца электронами (катодолюминесценция), при возбуждении рентгеновским (рентгенолюминесценция) и γ -излучением (радиолюминесценция), под действием электрического поля (электролюминесценция), а также при химических и биологических процессах (хеми- и биолюминесценция).

Для светоизлучающих диодов быстрдействие оказывается второстепенным параметром, так как инерционность человеческого глаза значительно больше 50 мс. Для систем записи и

UDC 621.315.375

**CONSTRUCTION AND APPROXIMATION
OF LEDS RADIATION PATTERNS***Popova I. G., Grebenyuk T. I.,
Podoltsev V. V.*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federation

inna111109@rambler.rupga26@yandex.ruslavic.podolcev@gmail.com

The work considers the calculation of the radiation pattern of LEDs and the determination of the given electrical characteristics. The application and principle of operation of LEDs are considered, a methodology for constructing radiation patterns of LEDs based on experimental data is developed.

Keywords: LED, radiation pattern, *p-n*-junction, semiconductor, current-voltage characteristic, radiation angle.

считывания информации без визуализации время переключения ИК-диода стремятся сделать минимально возможным. Время нарастания и спада импульса излучения составляет порядка 8–10 нс (десятки наносекунд).

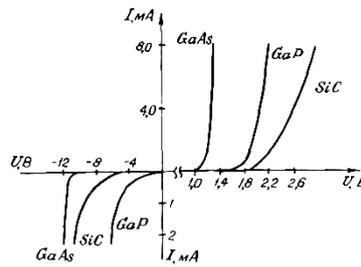


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика излучающего диода

Оптические свойства излучения светодиода (спектрофотометрические параметры и характеристики), в зависимости от способа приема, описываются световыми или электрическими параметрами.

Излучательная характеристика имеет линейный участок. Однако при малых токах велика доля безызлучательной рекомбинационной составляющей, а при больших — снижение излучательной способности обусловлено насыщением центров люминесценции и увеличением вероятности ударной рекомбинации. В результате этого излучательная характеристика нелинейна. Фосфидогаллиевый светоизлучающий диод АЛС331А (рис. 2 а) имеет два максимума спектрального распределения красного и зеленого цветов свечения, соответствующих свечению двух переходов, при длинах волн $\lambda = 0,7$ мкм и $\lambda = 0,56$ мкм (рис. 2 б). Соотношение их интенсивностей регулируется путем изменения токов через переходы (рис. 2 в). Максимальная сила излучения зависит от геометрии и площади *p-n*-перехода, а также от размеров электрических контактов.

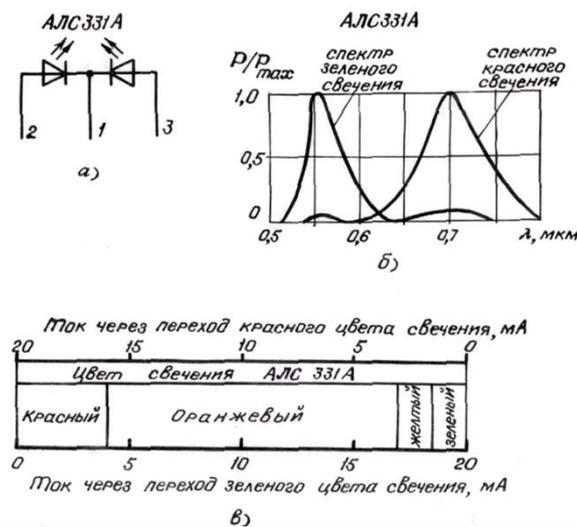


Рис. 2. Характеристики фосфидогаллиевого светоизлучающего диода

Важной характеристикой светодиода является диаграмма направленности, которая описывает распределение излучения в зависимости от угла излучения (рис. 3) [1]. С помощью диаграммы направленности и угла излучения можно зрительно определить воспринимаемый световой поток при взгляде под некоторым углом излучателя. Паспортная диаграмма направленности позволяет определить значение силы света I_v (рис. 3 а) или (рис. 3 б) при любом конкретном угле зрения.

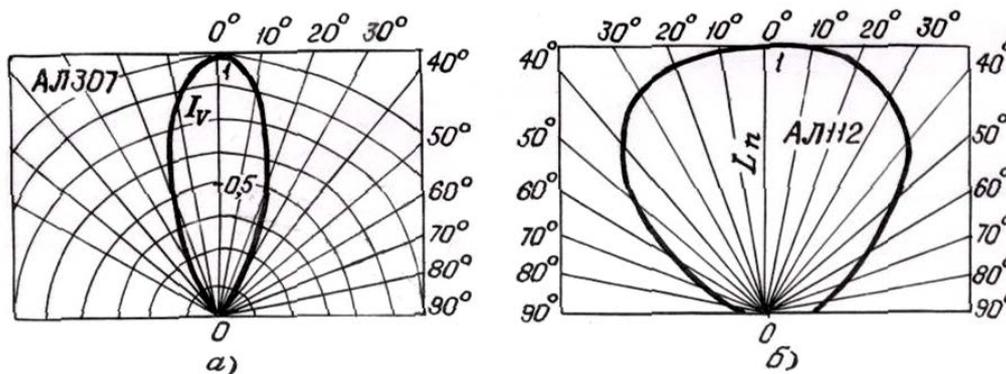


Рис. 3. Диаграмма направленности: а — для силы света I_v ; б — для яркости L_n

Угол измерения Θ и ширина диаграммы направленности обычно по уровню 0,5 максимального значения [2]. Также указываются предельные электрические параметры и диапазоны рабочих температур.

Построим диаграмму направленности светодиода АЛ112 по экспериментальным справочным данным.

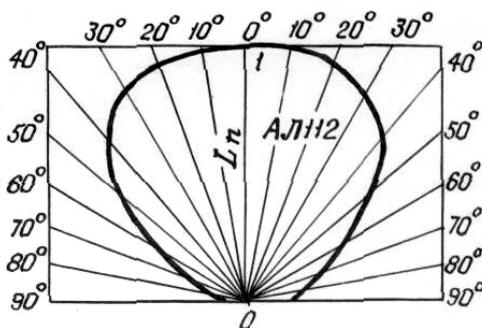


Рис. 4. Нормированная диаграмма направленности светодиода

Представим справочную экспериментальную нормированную диаграмму направленности светодиода АЛ112 в табличной форме.

Таблица 1

Справочная экспериментальная нормированная диаграмма направленности светодиода АЛ112

Угол излучения, град	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Яркость L_n	1,00	0,99	0,96	0,90	0,82	0,65	0,51	0,31	0,23	0,17

Поскольку диаграмма направленности симметрична относительно нулевого направления, то расчету подлежит диапазон от 0 до 90 градусов.

Согласно справочным данным, диапазон из 10 измерений разбит на 9 интервалов: [0,10]; [10,20]; [20,30]; [30,40]; [40,50]; [50,60]; [60,70]; [70,80]; [80,90].

Так как измерительные данные нормированные, то характеристика яркость $L_n / L_n \max$ является безразмерной.

Для унификации математических расчетов введем обозначения: нормированная яркость $L_n / L_n \max = S$; угол излучения — x [3, 4].

Для задания алгоритма расчета определим коэффициенты сплайна на первом (начальном) шаге [0,10].

В точке $x=x_0$

$$S_0 = c_0 = 1.$$

Поскольку в начальной точке, согласно физическим условиям задачи, имеем максимум, то производная в точке $x = x_0$ должна быть равна нулю

$$d/dx (S_0 (x_0)) = b_0 = 0.$$

Коэффициент a_0 рассчитываем из условия в конце интервала $x=10$

$$S_0 (x_1) = S_1 (x_1) = a_0 h_2 + b_0 h + c_0 = c_1.$$

$$a_0 = (S_1 (x_1) - b_0 h - c_0) / h_2$$

После расчета коэффициентов a_0, b_0, c_0 на начальном шаге, коэффициенты a_i, b_i, c_i для остальных шагов рассчитываем:

– из условия непрерывности сплайна

$$c_i = S_i;$$

– из условия непрерывности первой производной

$$b_i = 2a_i - 1 h + b_{i-1};$$

Из условия непрерывности сплайна

$$a_i = (S_i (x_{i+1}) - b_i h - c_i) / h_2 .$$

Результаты расчетов в программе *Matcad* по предложенной методике, согласно таблице 1 и рис. 4, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Расчет коэффициентов сплайна аппроксимационной характеристики диаграммы направленности светодиода

Шаг	a	b	c
[0,10]	$a_0 = -1 \cdot 10^{-4}$	$b_0 = 0$	$c_0 = 1$
[10,20]	$a_1 = -1 \cdot 10^{-4}$	$b_1 = -2 \cdot 10^{-3}$	$c_1 = 0,99$
[20,30]	$a_2 = -5,78 \cdot 10^{-4}$	$b_2 = -2,2 \cdot 10^{-4}$	$c_2 = 0,96$
[30,40]	$a_3 = -7,862 \cdot 10^{-4}$	$b_3 = -1,376 \cdot 10^{-4}$	$c_3 = 0,9$
[40,50]	$a_4 = -1,683 \cdot 10^{-3}$	$b_4 = -1,71 \cdot 10^{-4}$	$c_4 = 0,82$
[50,60]	$a_5 = -1,365 \cdot 10^{-3}$	$b_5 = -3,537 \cdot 10^{-4}$	$c_5 = 0,65$
[60,70]	$a_6 = -1,969 \cdot 10^{-3}$	$a_7 = -7,575 \cdot 10^{-4}$	$a_8 = -5,806 \cdot 10^{-4}$
[70,80]	$b_6 = -3,083 \cdot 10^{-4}$	$b_7 = -4,247 \cdot 10^{-4}$	$c_7 = 0,31$
[80,90]	$c_6 = 0,51$	$b_8 = -1,94 \cdot 10^{-4}$	$c_8 = 0,23$

Из представленных в таблице 2 коэффициентов получили аналитическое выражение для диаграммы направленности светодиода и можем рассчитать значение нормированной яркости для любого угла излучения.

Для примера в таблице 3 приведены значения нормированной яркости для середины каждого рассчитанного интервала [5, 6].

Таблица 3

Справочная экспериментальная и рассчитанная нормированные диаграммы направленности светодиода АЛ112

Угол излучения, град	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Яркость L_n справочное	1	-	0,99	-	0,96	-	0,90	-	0,82
Яркость L_n рассчитанное	1	0,998	0,99	0,978	0,96	0,994	0,90	0,88	0,82

Угол излучения, град	45	50	55	60	65	70	75
Яркость L_n справочное	-	0,65	-	0,51	-	0,31	-
Яркость L_n рассчитанное	0,777	0,65	0,614	0,51	0,459	0,31	0,289

Угол излучения, град	70	75	80	85	90
Яркость L_n справочное	0,31		0,23		0,17
Яркость L_n рассчитанное	0,31	0,289	0,23	0,215	0,17

Представленный численный пример показывает эффективность разработанного алгоритма.

Заключение. В результате проделанной работы рассчитана диаграмма направленности светодиодов, определены их заданные электрические характеристики, рассмотрено применение и принцип работы светодиодов, разработана методика построения диаграмм направленности светодиодов по экспериментальным данным. Это имеет важное прикладное значение, так как диаграмма направленности является важной характеристикой для волоконно-оптических приложений — показывает изменение интенсивности излучения в зависимости от направления, а также точку, откуда ведётся наблюдение за светом.

Библиографический список

1. Завьялов, Ю. С. Методы сплайн-функций / Ю. С. Завьялов, Б. И. Квасов, В. Л. Мирошниченко. — Москва : Наука, 1980. — 352 с.
2. Завьялов, Ю. С. Сплаины в инженерной геометрии / Ю. С. Завьялов, В. А. Леус, В. А. Скороспелов. — Москва : Машиностроение, 1985. — 224 с.
3. Стечкин, С. Б. Сплаины в вычислительной математике / С. Б. Стечкин, Ю. Н. Субботин. — Москва : Наука, 1976. — 248 с.
4. Альберг, Дж. Теория сплайнов и ее применения / Дж. Альберг, Э. Нильсен, Дж. Уолш. — Пер. с англ., под ред. С. Б. Стечкина. — Москва : Мир, 1972. — 319 с.
5. Диоды высокочастотные. Диоды импульсные. Оптоэлектронные приборы: справочник / [А. Б. Гитцевич и др.]; под ред. А. В. Голомедова. — 2-е изд., стер. — Москва : Изд. Фирма «КУБК-а», 1997. — 592 с.
6. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: справочник / А. В. Баюков [и др.]; под ред. А. В. Голомедова. — Москва : Энергоатомиздат, 1987. — 743 с.