

Титова А. А., аспирант,  
Филиппов Д. А., д-р физ.-мат. наук, проф.  
Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого

## ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ СВЕТОДИОДОВ

Dmitry.Filippov@novsu.ru

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований диаграмм направленности светоизлучающих диодов. Проанализировано влияние параметров корпуса на характеристики диаграммы направленности.

**Ключевые слова:** светодиод, диаграмма направленности, интенсивность излучения.

### Введение

Результатом интенсивного развития технологий в области производства оптоэлектронных приборов на основе полупроводниковых светоизлучающих кристаллов стало широкое использование этих приборов в системах освещения, отображения информации и световой сигнализации, которые широко применяются при экологическом мониторинге. Большой выбор цветов свечения, комбинация мощного излучения с любой формой пространственного распределения и возможность получения любого оттенка в широком динамическом диапазоне яркостей позволяют использовать данные приборы в устройствах экологического контроля самого различного назначения. Вместе с тем, качественное изображение информации в значительной степени определяется диаграммой направленности излучения, вид которой определяется в первую очередь параметрами корпуса. Изменяя конструкцию корпуса можно получить диаграммы направленности полушириной 8 до 20 и более градусов. В данной работе на примере простой модели представлены расчетные характеристики и экспериментальные данные диаграмм направленности светодиодов для различных параметров корпуса.

### Модель

В основу математической модели для расчета диаграммы направленности положены законы геометрической оптики, а именно, законы отражения и преломления света, закон поглощения и формулы Френеля для расчета изменения интенсивности при отражении света от диэлектрических поверхностей. Правомочность применения законов геометрической оптики объясняется тем, что параметры корпуса много больше длины волны света и явления интерференции и дифракции можно не учитывать. Следует заранее отметить, что при распространении света на прозрачных поверхностях корпуса наблюдается явление полного внутреннего отражения. Этот эффект приводит к возникновению дополни-

тельных максимумов на диаграмме направленности.

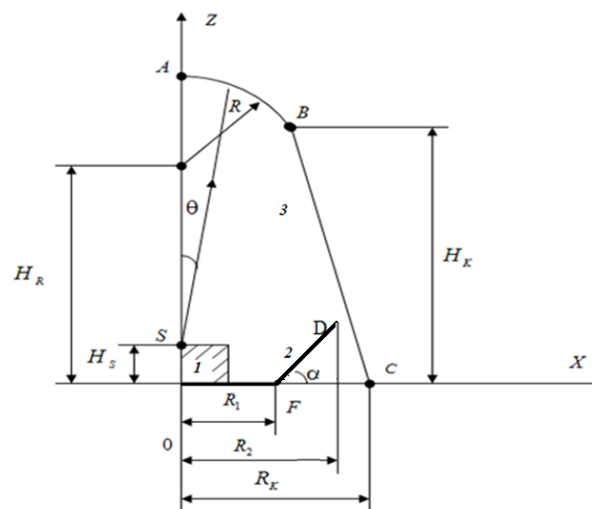


Рис. 1. Схематичное изображение типичного светоизлучающего диода

1- кристалл, 2- отражатель, 3 – пластмассовая колба,

$H_S$  - высота кристалла над фарой,  $H_R$  - высота центра окружности верхней части корпуса,  $R$  - радиус верхней части сферической поверхности,  $H_K$  - высота конической поверхности

( $H_K \geq H_R$ ),  $R_K$  - радиус нижнего основания конической поверхности ( $R_K \geq R$ ).  $R_1$  и  $R_2$  -

радиусы нижнего и верхнего оснований отражателя

$R_2 \geq R_1$ ,  $\alpha$  - угол наклона отражателя

Конструкцию типичных корпусов светодиодов можно представить в виде прозрачной конической поверхности, в вершине которой находится полусфера. Такая конструкция является наиболее удобной с точки зрения технологии изготовления. Схематичное изображение типичного светоизлучающего диода приведено на рис. 1. Основными элементами конструкции являются излучающий кристалл (1), установленный на металлическую отражающую поверхность в виде усеченного конуса OFD, называемую фарой (2) и пластмассовый корпус в виде купола ABC (3). Корпус изготавливается в виде цилиндра или конуса высотой  $H_K$  сопря-

женного со сферической фокусирующей поверхностью  $AB$ . При трансферном прессовании корпуса в разъемные формы, боковая поверхность корпуса изготавливается в виде цилиндра, если же герметизация прибора выполняется методом заливки жидкого компаунда в литьевые формы, то для удобства извлечения корпуса из формы поверхность его выполняется в виде конуса с минимальным углом наклона образующей по отношению к оси прибора.

#### Численный расчет и эксперимент

Численный расчет диаграммы направленности производился с помощью программы [1], в основу которой была положена методики, предложенная в работе [2]. При расчете в качестве базовых принимались следующие значения параметров корпуса:

$$H_S = 0.35 \text{ мм}, R_K = 1.45 \text{ мм},$$

$$H_R = 7 \text{ мм}; R_1 = 0.05 \text{ мм}; R = 2.6 \text{ мм};$$

$$R_1 = 0.3 \text{ мм}; H_K = 8 \text{ мм}; \alpha = 45^\circ.$$

Экспериментальное исследование диаграммы направленности было проведено для светодиодов типа КИПД21Д-К с красным цветом свечения; КИПД21Д-Л - с зеленым цветом свечения и КИПД21Д-Е - с желтым цветом свечения на основе эпитаксиальных структур арсенида галлия и арсенида галлия-алюминия.

Результаты численного расчета и экспериментальных измерений для светодиода типа КИПД21Д-Е представлены на рис. 2.

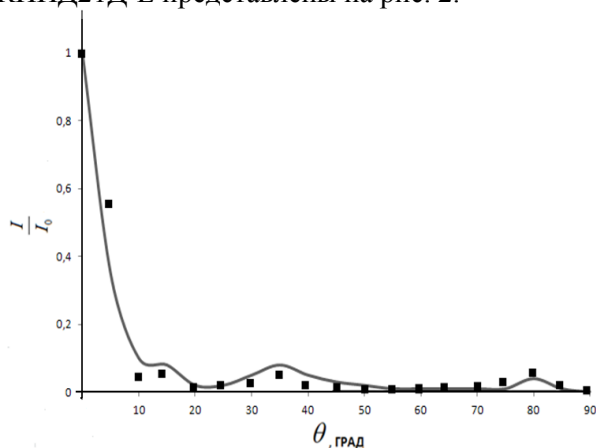


Рис. 2. Зависимость интенсивность излучения от угла для светодиода типа КИПД21Д-Е. Сплошная линия - численный расчет, точки – эксперимент

Как следует из рис. 2, наблюдается очень хорошее соответствие результатов численного расчета и экспериментальных измерений, что позволяет сделать вывод о хорошей адекватности модели реальной структуре.

На диаграмме направленности, представленной на рис. 2 хорошо заметны два дополни-

тельных максимума, соответствующие углам примерно 35 и 80 градусов.

Изменяя размеры конструкции светодиода, можно определить, с чем связаны эти дополнительные максимумы и получить требуемую диаграмму направленности. На рис. 3 и 4 показаны рассчитанные диаграммы направленности для разных параметров конструкции светодиода.

Все диаграммы имеют два характерных пика интенсивности излучения в районе углов  $0^\circ$  и  $40^\circ$ . Пик интенсивности излучения в районе  $0^\circ$  обусловлен выходом лучей из корпуса без отражения от каких-либо поверхностей. Затем наблюдается спад интенсивности за счет отражения от верхней сферической части корпуса и конической поверхности. После того, как угол падения луча на поверхность достигнет угла полного внутреннего отражения, наблюдается минимум, а затем наблюдается второй пик интенсивности за счет выхода преломленных лучей через коническую поверхность. На величину и положение второго пика существенное влияние оказывают как высота колбы, так и параметры отражателя. Как следует из рис. 3, с уменьшением высоты колбы положение второго максимума смещается в область более малых углов, при этом его величина сначала возрастает, а затем уменьшается. Как следует из рис. 3, с увеличением высоты отражателя положение второго максимума не изменяется, зато заметно изменяется его интенсивность. При уменьшении угла наклона отражателя (рис. 4) положение второго максимума не меняется, зато несколько уменьшается его интенсивность. При отсутствии отражателя второй пик интенсивности перемещается в область более малых углов и диаграмма направленности становится более широкой.

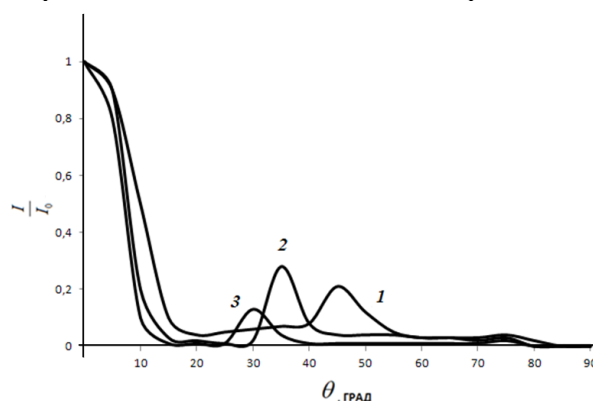


Рис. 3. Диаграмма направленности для различных размеров колбы

светодиода  $H_K$ . Высота конической поверхности колбы 1 – 9 мм, 2 – 8 мм, 3 – 7 мм.

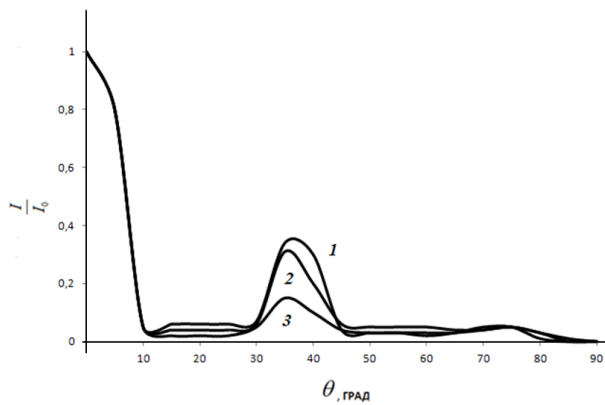


Рис. 4. Диаграмма направленности для различных углов наклона отражателя  $\alpha$ . Угол наклона 1 –  $50^\circ$ , 2 –  $45^\circ$ , 3 –  $40^\circ$

### Выводы

При использовании светодиодов в качестве индикаторов необходимо чтобы диаграмма направленности плавной, без ярко выраженных дополнительных максимумов и минимумов, которые приводят к тому, что под некоторыми углами свечение индикатора будет не видно. Для этих целей наиболее оптимальными параметра-

ми корпуса светодиода являются следующие значения: высота конической поверхности колбы – 7 мм, радиус колбы – 1.45 мм, высота отражателя – 0.45 мм, угол наклона отражателя – 40 градусов. Данные параметры корпуса позволяют получить диаграмму направленности с минимальным значением интенсивности в побочных максимумах.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2012618099. Расчет диаграмм направленности светоизлучающих диодов в пластмассовом корпусе. / А.А. Титова, Д.А. Филиппов, В.Е. Удальцов; заявитель и правообладатель НовГУ им. Ярослава Мудрого; заявл. 11.07.2012, опубл. 07.09.2012

2. Удальцов В.Е., Уварова (Титова) А.А. Моделирование процессов распространения излучения в светодиодах//Известия ВУЗов. Приборостроение. - 2010.- № 7. - С. 67-73.