

Новые мощные ультрафиолетовые и фиолетовые излучающие диоды

Л. М. КОГАН, А. А. КОЛЕСНИКОВ, А. Н. ТУРКИН

ООО «НПЦ ОЭП «ОПТЭЛ», Москва; ОАО «ОПТРОН», Москва; ФГБОУ ВПО «МГУ им. М.В. Ломоносова», Москва
E-mail: levkogan@mail.ru

Аннотация

Сообщается о разработке новых мощных УФ излучающих диодов (УФИД) с пиковой длиной волны излучения $\lambda_{max} = 360\text{--}390$ нм, потоком излучения 0,6–1,5 Вт и осевой силой излучения до 9,5 Вт/ср, а также новых мощных фиолетовых излучающих диодов (ФИД) с $\lambda_{max} = 390\text{--}410$ нм, потоком излучения до 2,7 Вт и осевой силой излучения до 12 Вт/ср. Приборы изготавливаются с углами излучения $2\theta_{0,5} = (60 \pm 3)^\circ$ и $(11 \pm 1)^\circ$.

Ключевые слова: УФ излучающий диод, фиолетовый излучающий диод, спектр излучения, поток излучения, сила излучения, угол излучения, длина волны.

Введение

УФИД и ФИД применяются в очищении воздуха, дефектоскопии металлов, отверждении клеев,

медицине, обеззараживании помещений и воды, проверке подлинности документов и денежных купюр, фотолитографии и ряде других областей. Объём этих применений может быть расширен путём повышения, в частности, потока излучения Φ_e и осевой силы излучения I_e УФИД и ФИД.

Излучающий кристалл и конструкция диодов

Использовались кристаллы фирмы *SemiLEDs* типов *EV-D80T-U* и *EV-U80T-U* с размерами $2,09 \times 2,09$ мм (размеры *p-n*-гетероперехода – $1,93 \times 1,93$ мм), выполненные на основе *p-n*-гетероструктуры

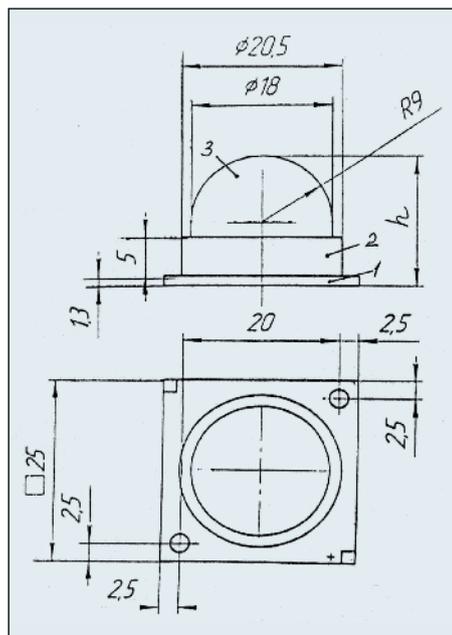


Рис. 1. Конструкция УФ и фиолетовых излучающих диодов:
1 – печатная плата, 2 – отражатель, 3 – полимерная линза

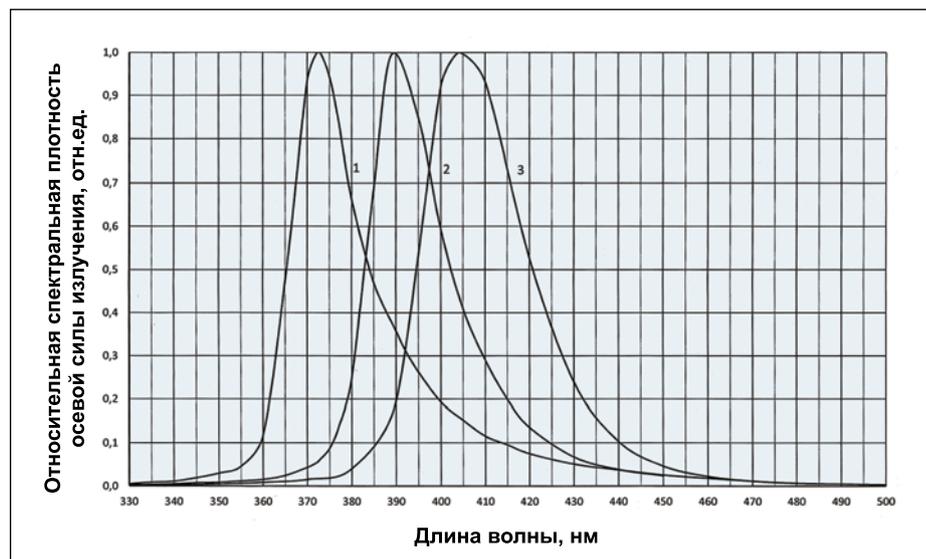


Рис. 2. Типичные относительные спектры излучения УФ (1, 2) и фиолетовых (3) излучающих диодов

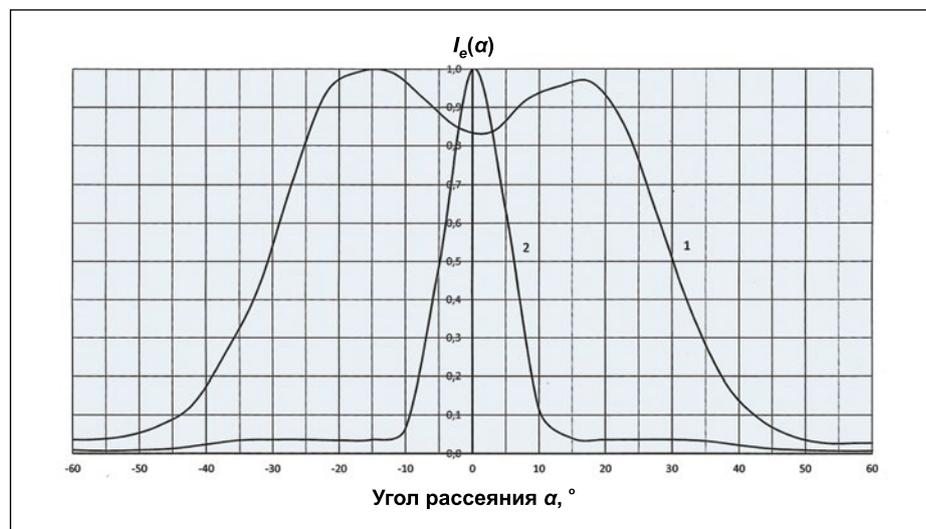


Рис. 3. Типичные индикатрисы излучения УФ и фиолетовых излучающих диодов с углом излучения $2\theta_{0,5} \approx 60^\circ$ (1) и 11° (2)

в системе $InGaAlN^1$. Кристалл монтировался на специальную печатную плату на медной основе, на которую устанавливался керамический отражатель бокового излучения кристалла, а затем создавалась прозрачная полимерная линза диаметром 18 мм с относительным показателем преломления 1,56 с полусферическим куполом (рис. 1). Высота прибора h составляла максимум 17 мм (для обеспечения угла излучения $2\theta_{0,5} \approx 60^\circ$) или 22 мм ($2\theta_{0,5} \approx 11^\circ$). Электрическая цепь диода изолирована от корпуса. Тепловое сопротивление между $p-n$ -переходом и корпусом составляло $5-7^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Диод исследовался с использованием радиатора.

Методики и результаты измерений

Измерение пространственного распределения I_e УФИД и ФИД проводилось в системе фотометрирования (C, γ) на гониофотометре, включающем поворотный механизм и фотодиод ФД-288 с калиброванной диафрагмой диаметром 6 мм. Расстояние от диода до фотоприёмника — 4,0 м. Спектральная чувствительность фотодиода ФД-288 в диапазоне длин волн (225–455) нм определялась с погрешностью не более 3,5% (поверка ФГУП «ВНИИОФИ»).

По измеренным значениям I_e проводился расчёт Φ_e УФИД и ФИД при значениях зональных телесных углов, соответствующих зонам угла шириной 5° (по ГОСТ 17677–82, приложение 6). При этом расчёт I_e проводился по измеренным значениям фототока фотодиода, работающего в режиме короткого замыкания, с учётом спектра излучения УФИД и ФИД, измеренного на двойном монохроматоре МДР-2 с использованием светоизмерительной лампы СИРШ6–100, аттестованной по спектральной плотности энергетической яркости в ФГУП «ВНИИОФИ».

Типичные спектры излучения УФИД, с $\lambda_{max} = 360-390$ нм, и ФИД,

¹ Гетероструктура, вертикального типа, имеет: многослойную квантовую яму; светоотражающий слой на границе с подложкой; диффузно-рассеивающую световыводящую поверхность; подложку из медного сплава с высокой теплопроводностью. Обеспечивает высокую эффективность генерации и вывода излучения.

Рис. 4. Типичные зависимости потока излучения Φ_e от прямого тока I_f для УФ и фиолетовых излучающих диодов с углом излучения $2\theta_{0,5} \approx 60^\circ$ и $\lambda_{max} = 360-380$ нм (1), $380-390$ нм (2) и $390-410$ нм (3) соответственно

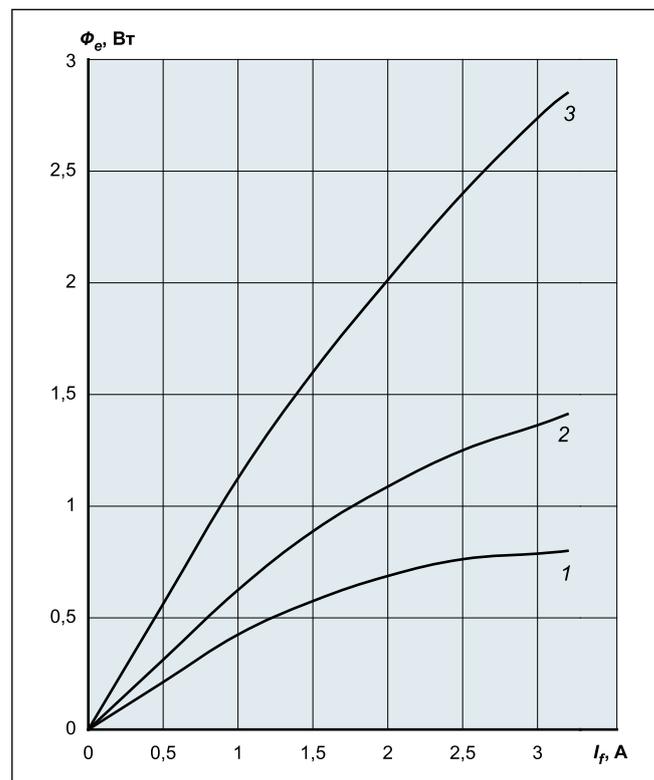
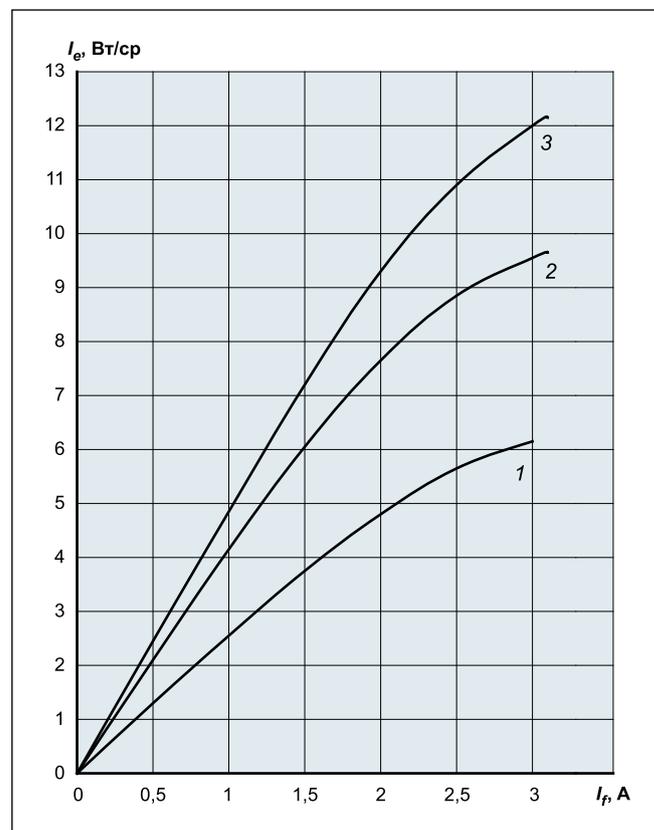


Рис. 5. Типичные зависимости осевой силы излучения I_e от прямого тока I_f для УФ и фиолетовых излучающих диодов с углом излучения $2\theta_{0,5} = 11^\circ$ и $\lambda_{max} = 360-380$ нм (1), $380-390$ нм (2) и $390-410$ нм (3) соответственно



с $\lambda_{max} 390-410$ нм, приведены на рис. 2. Полуширина полосы излучения УФИД и ФИД — (20 ± 1) нм и (26 ± 1) нм соответственно.

Типичные индикатрисы излучения УФИД и ФИД с $2\theta_{0,5} \approx (60 \pm 3)^\circ$

и $(11 \pm 1)^\circ$ приведены на рис. 3, а типичные зависимости Φ_e от I_f для УФИД и ФИД с $2\theta_{0,5} = 60^\circ$ — на рис. 4.

Как видим, Φ_e УФИД достигает 0,7 Вт ($\lambda_{max} = 360-380$ нм, $I_f = 2,5$ А) и 1,4 Вт ($\lambda_{max} = 380-390$ нм, $I_f = 3$ А).

Фотометрические и электрические параметры УФ излучающих диодов при температуре $p-n$ -перехода $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$

Тип	I_f , А	U_f , В, не более	λ_{max} , нм	$2\theta_{0,5}$, °	Φ_e , Вт		I_e , Вт/ср	
					не менее	тип. знач.	не менее	тип. знач.
У-124УФД-370-1 У-124УФД-385-1	2,5 3,0	4,0	360–380 380–390	60 ± 3	0,6 1,3	0,7 1,4	0,5 1,0	1,0 1,5
У-124УФД-370-2 У-124УФД-385-2	2,5 3,0	4,0	360–380 380–390	11 ± 1	0,15 0,6	0,2 0,7	5,0 9,0	5,5 9,5

Таблица 2.

Фотометрические и электрические параметры фиолетовых излучающих диодов при температуре $p-n$ -перехода $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$

Тип	I_f , А	U_f , В, не более	λ_{max} , нм	$2\theta_{0,5}$, °	Φ_e , Вт		I_e , Вт/ср	
					не менее	тип. знач.	не менее	тип. знач.
У-124ФД-400-1 У-124ФД-400-2	3,0 3,0	4,0 4,0	390–410 390–410	60 ± 3 11 ± 1	2,5 1,0	2,7 1,5	2,0 11,0	2,5 12,0

При этом внешний квантовый выход излучения $\eta_{\text{вн}}$, соответственно, равен 9 и 18% при $I_f = 2,5-3,0$ А.

Φ_e ФИД достигает 2,7 Вт ($\lambda_{\text{max}} = 390-410$ нм, $I_f = 3$ А), что соответствует $\eta_{\text{вн}} = 29\%$ при $I_f = 3,0$ А, 33% при 2 А и 36% при 1 А.

Типичные зависимости осевой I_e от I_f для УФФИД и ФИД с $2\theta_{0,5} = 11^\circ$ приведены на рис. 5. Как видим, осевая I_e УФФИД достигает 5,5 Вт/ср ($\lambda_{\text{max}} = 360-380$ нм, $I_f = 2,5$ А) и 9,5 Вт/ср ($\lambda_{\text{max}} = 380-390$ нм, $I_f = 3$ А), а осевая I_e ФИД – 12 Вт/ср ($\lambda_{\text{max}} = 390-410$ нм, $I_f = 3$ А). Высокие значения осевой I_e позволяют эффективно использовать УФФИД и ФИД на удалении от освещаемого объекта.

Рассматриваемые УФФИД и ФИД могут эффективно использоваться в импульсном электрическом режиме при импульсном I_f до 10 А и среднем I_f до 1 А. При этом Φ_e и I_e в импульсе возрастают примерно втрое. Φ_e УФФИД с $2\theta_{0,5} = 60^\circ$ в импульсе достигает 3–4 Вт, а осевая I_e УФФИД с $2\theta_{0,5} = 11^\circ$ – (15–25) Вт/ср. Φ_e ФИД с $2\theta_{0,5} = 60^\circ$ в импульсе достигает 7,5 Вт, а осевая I_e ФИД с $2\theta_{0,5} = 11^\circ$ – 35 Вт/ср.

Параметры разработанных УФФИД и ФИД приведены в табл. 1 и 2, из которых следует, что Φ_e и I_e растут с увеличением λ_{max} в рассматриваемых спектральных диапазонах (но и

при меньших λ_{max} (360–370 нм) параметры эти достаточно высоки).

Быстродействие УФФИД и ФИД характеризуется временем нарастания и спада импульса излучения по уровням 0,1–0,9: в диапазоне 20–30 нс.

Таким образом, показана возможность получения высоких значений Φ_e (до 2,7 Вт) и I_e (до 12 Вт/ср) УФФИД и ФИД².

Авторы благодарят И.Т. Рассохина и А.Л. Гофштейн-Гардта за помощь в работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальчина Н.А., Коган Л.М., Колесников А.А., Портнягин Ю.А. Мощные ультрафиолетовые излучающие диоды // Светотехника. – 2010. – № 3. – С. 35–37.
2. Туркин А. Новые продукты в линейке светодиодов компании *SemiLEDs* // Современная электроника. – 2015. – № 4. – С. 2–5.
3. Коган Л., Гальчина Н., Гофштейн-Гардт А., Колесников А. Излучающие диоды инфракрасного диапазона // Полупроводниковая светотехника. – 2014. – № 5. – С. 48–49.

² Ранее [3] для ИК излучающих диодов с $\lambda_{\text{max}} = (850 \pm 20)$ нм были получены Φ_e до 3,3 Вт и осевая I_e до 8,5 Вт/ср.



**Коган Лев
Моисеевич,**
доктор техн. наук.
Окончил в 1956 г.
МЭИ. Научный
руководитель ООО
«НПЦ ОЭП «ОПТЭЛ»



**Колесников
Александр
Алексеевич,**
инженер-физик.
Окончил в 1971 г.
МИФИ. Главный
метролог и
начальник отдела
ОАО «Оптрон»



**Туркин Андрей
Николаевич,**
кандидат физ.-мат.
наук. Окончил
в 1995 г. физический
факультет МГУ
им. М.В. Ломоносова.
Старший
преподаватель
кафедры

полупроводников физического факультета
ФГБОУ ВПО «МГУ им. М.В. Ломоносова»