

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫВОДА СВЕТА ИЗ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДНЫХ СБОРОК "ЧИП НА ПЛАТЕ", ИЗЛУЧАЮЩИХ В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

К.А. Виноградова^{1,2,3*}, С.Н. Липницкая^{1,2}, К.Д. Мынбаев^{1,2,3}, В.Е. Бугров^{1,2},
А.Р. Ковш^{1,2}, М.А. Одноблюдов^{1,2}, В.И. Николаев^{2,3,4}, А.Е. Романов^{1,2,3}

¹Группа компаний «Оптоган», Таллинское ш. 206, Санкт-Петербург, 198205, Россия

²Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики,

Кронверкский пр. 49, Санкт-Петербург, 197101, Россия

³Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, Политехническая ул. 26,
Санкт-Петербург, 194029, Россия

⁴ООО "Совершенные Кристаллы", Политехническая ул. 28 Литер А, Санкт-Петербург, 194064, Россия

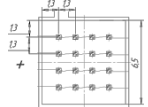
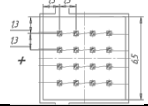
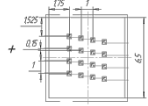
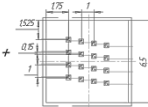
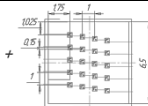
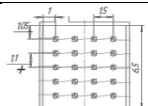
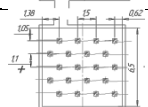
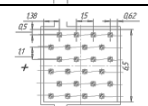
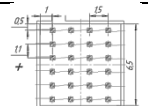
*e-mail: K.Vinogradova@mail.ioffe.ru

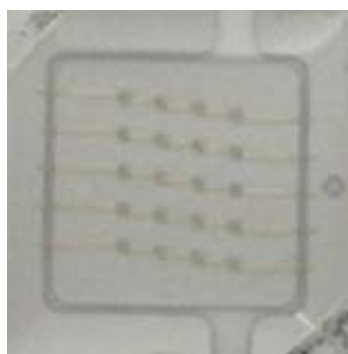
Аннотация. В статье рассмотрены проблемы вывода света из светодиодных устройств, изготовленных по технологии «чипнаплате», излучающих в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне (длины волн 360–380 нм). Проведены экспериментальные измерения электрических и оптических характеристик устройств с различным количеством и расположением полупроводниковых чипов. Оптимизационные расчеты с использованием программного пакета Zemax, включающие выбор материала подложки, вариации в расположении чипов и изменение параметров оптического покрытия, позволили выработать рекомендации по улучшению характеристик УФ светодиодных устройств. В частности, было показано, что оптимизация расположения чипов на подложке даёт 10 %-ный прирост энергоэффективности светодиодных модулей.

1. Введение

Изготовление мощных УФ светодиодов, светодиодных сборок, обладающих высокой эффективностью, является актуальной задачей [1–5], поскольку устройства, излучающие в УФ диапазоне, требуются в различных отраслях промышленности: медицинской, пищевой, сельскохозяйственной и других [3], — но до недавнего времени выпускались исключительно на основе ртутных ламп. Использование УФ излучения обусловлено его особым действием на клетки живых организмов [4]. Светодиодные сборки, выполненные по технологии «чип на плате», являются высокотехнологичной экологичной альтернативой традиционным устройствам. Конструкция *ultraviolet chip-on-board*, сокращенно UV-COB, включает УФ светодиодные чипы, металлизированное основание сборки, одновременно корпусом устройства и обеспечивает токоведущую разводку между чипами и внешними контактами, далее в тексте называемое «подложка», защитное покрытие [5]. Эффективность устройств сильно зависит от эффективности светодиодных чипов,

Таблица 1. Характеристики УФ светодиодных сборок «чип на плате».

№ UV-COB	Общий вид UV-COB	n	I_f , мА	U_f , В	P_{el} , Вт	λ_{peak} , нм	FWHM, нм	P_{opt} , мВт	КПД, %
1		16	80	13.23	1.06	376	9	218	21
2		16	80	13.63	1.09	368	10	125	11
3		16	80	13.25	1.06	376	9	221	21
4		16	80	13.56	1.08	368	11	137	13
5		20	100	13.21	1.32	376	9	288	22
6		20	100	13.27	1.33	376	9	283	21
7		20	100	13.21	1.32	376	9	295	22
8		24	120	13.38	1.61	377	10	320	20
9		24	120	13.24	1.59	377	10	356	22



(а)



(б)



(в)

Рис. 1. Оптические фотографии нескольких исследованных образцов UV-COB: (а) образец № 5 (см. Таблицу 1), (б) образец № 6, (в) образец № 7. Размер подложки UV-COB составляет 9.8×9.8 мм, размер чипа — 400×400 мкм.

- *размеры чипа* (для UV-COB с 1, 4, 9 и 16 чипами размер стороны чипа варьировался в интервале 0.4–1.2 мм, продольное сечение чипа представляло собой квадрат);
- *толщина защитного покрытия* (для UV-COB с 1, 4 и 9 чипами толщина покрытия варьировалась в интервале 0.4–2 мм).

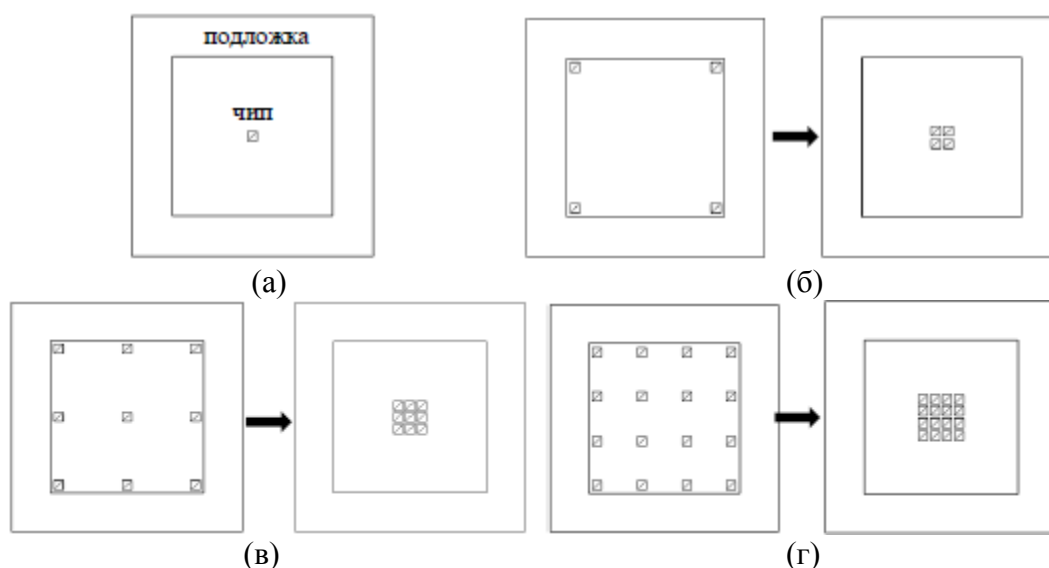


Рис. 3. Конструкции UV-COB (вид сверху) с «наименьшими» и «наибольшими» расстояниями между чипами: (а) 1 чип, (б) 4 чипа, (в) 9 чипов, (г) 16 чипов.

Моделирование проводилось с некоторыми упрощениями: из всего спектра излучения чипов задавалась лишь пиковая длина волны, коэффициент отражения поверхности подложки был использован для выбранной пиковой длины волны, как и коэффициент пропускания защитного покрытия, не учитывалось наличие проволочных контактов.

На Рис. 4 показана простейшая схема распространения излучения в UV-COB и некоторые характерные геометрические параметры. Угол полного внутреннего отражения (ПВО) α составляет для используемого материала покрытия 45.17° , все лучи, попадающие на поверхность покрытия под углами меньше α , покидают UV -COB (область (I)). Остальные лучи отражаются от поверхности покрытия внутрь устройства, часть из них попадает на подложку и соседние чипы (область (II)), часть выходит через боковую поверхность покрытия (область (III)). Для размеров чипа 0.4×0.4 мм и толщины покрытия 0.9 мм параметр $a = 1.2$ мм, $b = 1.5$ мм, c зависит от расположения чипа на подложке, для случая одного чипа, расположенного посередине подложки, $c = 3.4$ мм.

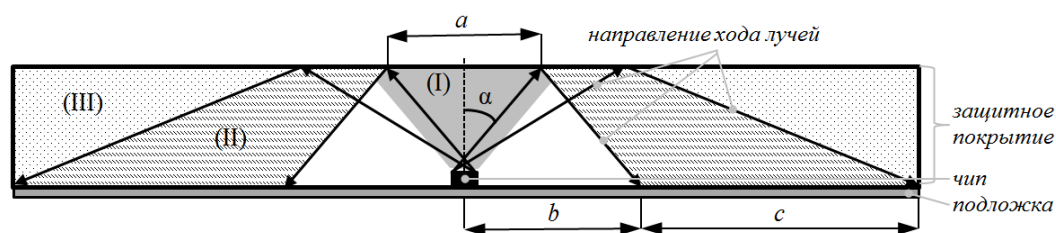


Рис. 4. Схема распространения излучения в одночиповой светодиодной сборке (вид сбоку).

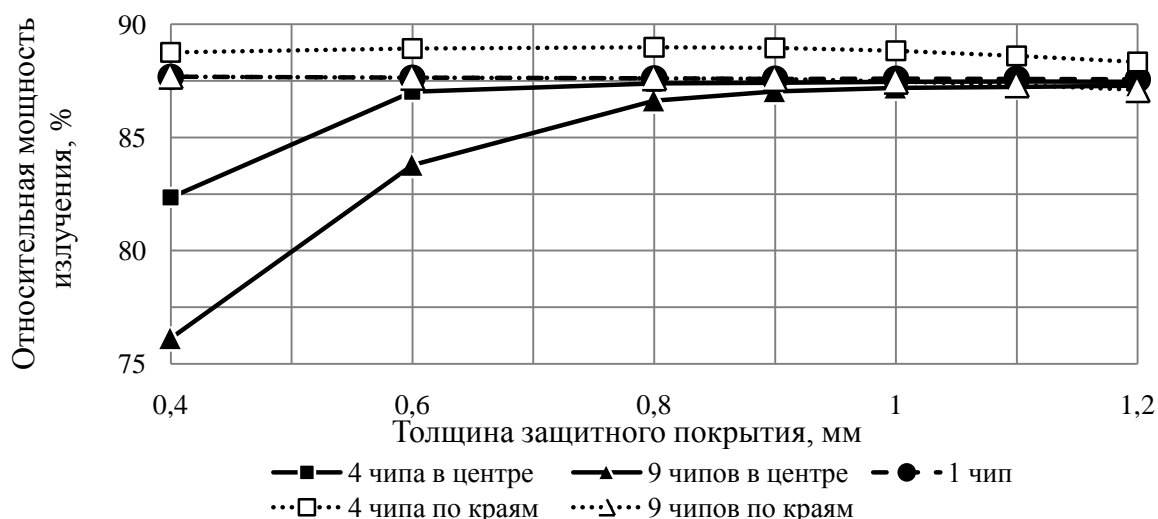


Рис. 7. Результаты параметрических расчетов относительной мощности излучения UV-COB с разным количеством чипов в зависимости от толщины защитного покрытия.

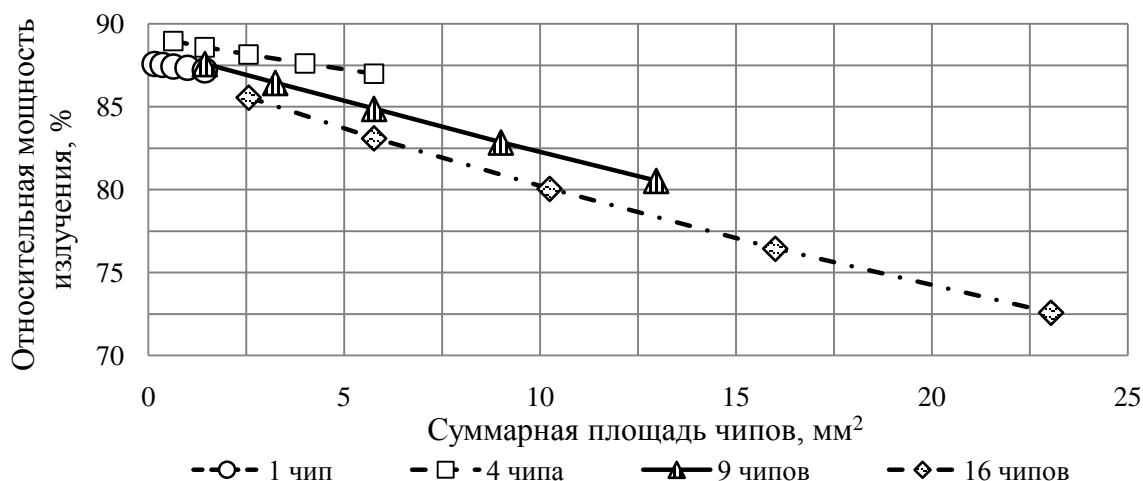


Рис. 8. Результаты параметрических расчетов мощности излучения UV-COB с разным количеством чипов в зависимости от суммарной площади чипов. Результаты представлены для чипов с длиной стороны чипа от 400 мкм до 1,2 мм.

В общем случае, чем меньше чипов в сборке, тем меньше потерь излучения за счет поглощения материалом чипов. Для каждой конструкции есть значение расстояния между центрами чипов, при котором достигается минимум мощности излучения. Для рассмотренных образцов это расстояние составляет: 1,8 мм для UV-COB из 4 чипов, 1,3 мм для UV-COB из 9 чипов, 0,8 мм для UV-COB из 16 чипов, это то расстояние, для которого большая поверхность чипов попадает в зону (II) соседних чипов (см. Рис. 4).

Оптимальное расстояние между чипами определяется их количеством и размером подложки. Существует два оптимальных расстояния:

- минимально возможное расстояние между чипами, которое обеспечивает расположение большинства чипов в зоне между зонами (I) и (II) (см. Рис. 4);
- максимально возможное расстояние между чипами, которое снижает их взаимное влияние и при котором чипы располагаются близко к краю подложки, что обеспечивает вывод света через боковую поверхность покрытия.

- [3] G. Tamulaitis // *Lithuanian Journal of Physics* **51** (3) (2011) 177.
- [4] <http://www.med-shop.ru/faq/ultra.htm>.
- [5] К.А. Виноградова, Н.В. Середова, В. *Тезисах 9-ой Всероссийской конференции «Нитриды галлия, индия, алюминия: структуры и приборы»* (Москва, 2013) с. 182.
- [6] В.Е. Бугров, *Физические основы оптимизации нитридных полупроводниковых гетероструктур для их применения в высокоэффективных светодиодных устройствах*. Диссертация на соискание ученой степени д.ф.-м.н. (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 2013).
- [7] O. Svensk, P.T. Törmä, S. Suihkonen, M. Ali, H. Lipsanen, M. Sopanen, M.A. Odnoblyudov, V.E. Bougrov // *Journal of Crystal Growth* **310** (23) (2008) 5154.
- [8] P.T. Törmä, M. Ali, O. Svensk, S. Suihkonen, M. Sopanen, H. Lipsanen, M. Mulot, M.A. Odnoblyudov, V.E. Bougrov // *Cryst. Eng. Comm.* **12**(10) (2010) 3152.
- [9] M. Ali, O. Svensk, L. Riuttanen, M. Kruse, S. Suihkonen, A.E. Romanov, P.T. Törmä, M. Sopanen, H. Lipsanen, M.A. Odnoblyudov, V.E. Bougrov // *Semiconductor Science and Technology* **27**(8) (2012) 082002.
- [10] С.С. Суслов, К.А. Виноградова, В.Е. Бугров, М.А. Одноблюдов, А.Е. Романов // *Materials Physics and Mechanics* **14** (1) (2012) 78.
- [11] И.Н. Ивукин, Д.М. Артемьев, В.Е. Бугров, М.А. Одноблюдов, А.Е. Романов // *Физика Твёрдого Тела* **54** (12) (2012) 2102.
- [12] С.Н. Липницкая, К.Д. Мынбаев, Л.А. Никулина, В.Е. Бугров, А.Р. Ковш, М.А. Одноблюдов, А.Е. Романов // *Оптический журнал* **12** (2013) (в печати).
- [13] *Zemax 12. Optical Design Program. User's Manual* (Radiant Zemax LLC, 2012).
- [14] L. Szirmay-Kalos, *Monte-Carlo methods in global illumination* (Institute of Computer Graphics, Vienna University of Technology, Vienna, 2000).
- [15] М. Борн, Э. Вольф, *Основы оптики* (издательство «Наука», Москва, 1973).

OPTIMIZATION OF LIGHT EXTRACTION FROM POWER LED CHIP-ON-BOARD MODULES EMITTING IN ULTRAVIOLET RANGE OF SPECTRUM

**K.A. Vinogradova^{1,2,3*}, S.N. Lipnitskaya^{1,2}, K.D. Mynbaev^{1,2,3}, V.E. Bougrov^{1,2},
A.R. Kovsh^{1,2}, M.A. Odnoblyudov^{1,2}, V.I. Nikolaev^{2,3,4}, A.E. Romanov^{1,2,3}**

¹Optogan Group, Tallinskoe shosse 206, St. Petersburg, 198205, Russia

²St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics,
Kronverkskiy pr. 49, St. Petersburg, 197101, Russia

³Ioffe Physical Technical Institute RAS, Polytekhnicheskaya 26, St. Petersburg, 194021, Russia

⁴Ltd. "Perfect crystals", Polytekhnicheskaya 26 A, St. Petersburg, 194064, Russia

*e-mail: K.Vinogradova@mail.ioffe.ru

Abstract. This article investigates the problem of light extraction from LED devices fabricated via chip-on-board technology and emitting in ultraviolet (UV) range (360-380 nm) of spectrum. The measurements of electrical and optical properties of devices with varying number and arrangement of semiconductor chips were conducted. Optimization modeling was

performed with Zemax software. Modeling included the choice of substrate material, variation in the chip arrangement, and the change in the properties of the covering layer. All together, the accomplished study allowed us to elaborate the recommendations for improving the performance of UV LED devices. In particular, it was demonstrated that the optimization of chip arrangement on the substrate can provide 10 % increase in energy efficiency of LED modules.

References

- [1] M. Kneissl, T. Kolbe, C. Chua, V. Kueller, N. Lobo, J. Stellmach, A. Knauer, H. Rodriguez, S. Einfeldt, Z. Yang, N.M. Johnson, M. Weyers // *Semiconductor Science Technology* **26** (2011) 014036.
- [2] P.-M. Tu, C.-Y. Chang, S.-C. Huang, C.-H. Chiu, J.-R. Chang, W.-T. Chang, D.-S. Wu, H.-W. Zan, C.-C. Lin, H.-C. Kuo, C.-P. Hsu // *Applied Physics Letters* **98** (2011) 211107.
- [3] G. Tamulaitis // *Lithuanian Journal of Physics* **51 (3)** (2011) 177.
- [4] <http://www.med-shop.ru/faq/ultra.htm>.
- [5] K.A. Vinogradova, N.V. Seredova, In: *Abstracts of the 9th All-Russian Conference "Nitrides of gallium, indium, aluminum: structures and devices"* (Moscow, 2013), p. 182.
- [6] V.E. Bougrov, *Physical basis of the optimization of nitride semiconductor heterostructures for their application in high-performance LED devices*. Thesis for the degree of Doctor of Science (Ioffe Physical Technical Institute, St. Petersburg, 2013).
- [7] O. Svensk, P.T. Törmä, S. Suihkonen, M. Ali, H. Lipsanen, M. Sopanen, M.A. Odnoblyudov, V.E. Bougrov // *Journal of Crystal Growth* **310 (23)** (2008) 5154.
- [8] P.T. Törmä, M. Ali, O. Svensk, S. Suihkonen, M. Sopanen, H. Lipsanen, M. Mulot, M.A. Odnoblyudov, V.E. Bougrov // *Cryst. Eng. Comm.* **12 (10)** (2010) 3152.
- [9] M. Ali, O. Svensk, L. Riuttanen, M. Kruse, S. Suihkonen, A.E. Romanov, P.T. Törmä, M. Sopanen, H. Lipsanen, M.A. Odnoblyudov, V.E. Bougrov // *Semiconductor Science and Technology* **27 (8)** (2012) 082002.
- [10] S.S. Suslov, K.A. Vinogradova, V.E. Bougrov, M.A. Odnoblyudov, A.E. Romanov // *Materials Physics and Mechanics* **14 (1)** (2012) 78.
- [11] I.N. Ivukin, D.M. Artem'ev, V.E. Bougrov, M.A. Odnoblyudov, A.E. Romanov // *Physics of the Solid State* **54 (12)** (2012) 2421.
- [12] S.N. Lipnitskaya, K.D. Mynbaev, L.A. Nikulina, V.E. Bougrov, A.R. Kovsh, M.A. Odnoblyudov, A.E. Romanov // *Journal of Optical Technology* **12** (2013) (in press).
- [13] *Zemax 12. Optical Design Program. User's Manual* (Radiant Zemax LLC, 2012).
- [14] L. Szirmay-Kalos, *Monte-Carlo methods in global illumination* (Institute of Computer Graphics, Vienna University of Technology, Vienna, 2000).
- [15] M. Born, E. Wolf, *Principles of Optics* (Pergamon Press, Oxford, 1968).