



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2019-125-7-46-50>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 539.1.04

СВЕТОДИОДНАЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ УСТАНОВКА ЭКСПОНИРОВАНИЯ С РЕГУЛИРУЕМЫМ ВРЕМЕНЕМ ЭКСПОЗИЦИИ

ЧЕЛЯПИН А.Е.¹, БЕГУНОВ П.С.¹, ТРОФИМОВ Ю.В.¹, ЖАВНЕРКО Г.К.²

¹Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

²ООО «ИЗОВАК ТЕХНОЛОГИИ», г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 18 ноября 2019

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2019

Аннотация. Исследованы возможности улучшения качества топологического рисунка при экспонировании толстопленочных фоторезистов за счет равномерного облучения ультрафиолетовыми светодиодами. Осуществлено моделирование оптических характеристик светодиодного линейного ультрафиолетового модуля. Установлена возможность равномерного облучения фоторезиста большой площади при перемещении узкой равномерно светящейся области экспонирования. Исследованы распределения энергетической освещенности УФ светодиодного модуля установки экспонирования с регулируемым временем экспозиции. Приведены результаты экспериментального исследования разработанного светодиодного ультрафиолетового фотолитографического облучателя с регулируемым временем экспонирования.

Ключевые слова: УФ светодиоды, светодиодный облучатель, фотолитография, толстопленочный фоторезист.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Челяпин А.Е., Бегунов П.С., Трофимов Ю.В., Жавнерко Г.К. Светодиодная ультрафиолетовая установка экспонирования с регулируемым временем экспозиции. Доклады БГУИР. 2019; 7(125): 46-50.

LED ULTRAVIOLET EXPOSURE UNIT WITH ADJUSTABLE EXPOSURE TIME

ALEXEI E. CHELIAPIN¹, PAVEL S. BEGUNOV¹, YURI V. TROFIMOV¹,
GENNADY K. ZHAVNERKO²

¹Center of LED and Optoelectronic Technologies of National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus

²IZOVAC Technologies, Ltd., Minsk, Republic of Belarus

Submitted 18 November 2019

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2019

Abstract. The possibilities of improving the quality of the topological pattern in the exposure of thick-film photoresists due to uniform irradiation with ultraviolet light-emitting diodes are investigated. The results

of an experimental study of the developed LED ultraviolet photolithographic irradiator with a controlled exposure time are presented.

Keywords: UV LEDs, LED irradiator, photolithography, thick-film photoresist.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Cheliapin A.E., Begunov P.S., Trofimov Y.V., Zhavnerko G.K. LED ultraviolet exposure unit with adjustable exposure time. Doklady BGUIR. 2019; 7(125): 46-50.

Введение

Светодиоды ближнего ультрафиолетового диапазона (UV-A) все чаще находят применение в различных отраслях производства благодаря компактности, длительному сроку службы, экологичности. Одно из перспективных направлений использования ультрафиолетовых (УФ) светодиодов является модернизация установок оптической фотолитографии.

Применение контактной фотолитографии широко используется для решения различных задач пилотного и мелкосерийного производства. Для контактной литографии применяется простое и дешевое оборудование по сравнению с проекционной, лазерной и электронно-лучевой литографией, что позволяет данной технологии успешно конкурировать с этими видами фотолитографии, особенно в серийном производстве элементов с топологической нормой порядка 1 мкм.

Обычно в качестве источника УФ излучения в серийно выпускаемых установках оптической фотолитографии применяются мощные ртутные лампы, недостатками которых являются: низкий (порядка 0,5 %) КПД, короткий (порядка 2 тыс. ч) срок службы, нестабильная мощность излучения, зависящая от температуры самой лампы и времени наработки. Ртутные лампы выходят в рабочий режим с задержкой порядка 10 мин. Также из-за наличия ртути такие лампы необходимо впоследствии утилизировать. Современные УФ светодиоды имеют более высокий КПД, срок службы порядка 25 тыс. ч, отсутствие теплового излучения, не требуют специальной утилизации [1–4].

Существуют УФ светодиодные облучатели с общей площадью засветки 1 м² с плавной регулировкой мощности излучения в пределах 15 %. Контроль температуры источников облучения и блоков питания производится встроенными воздушными системами охлаждения [5–7]. Однако такие установки имеют большую электрическую мощность потребления и характеризуются высокими требованиями к охлаждающим системам для предотвращения изменения спектра излучения УФ светодиодов во время работы установки. Такие изменения могут привести к ухудшению качества топологического рисунка.

Цель работы – исследование возможности улучшения качества топологического рисунка по сравнению с традиционными УФ установками оптической фотолитографии на ртутной лампе при экспонировании толстопленочных фоторезистов за счет равномерного облучения при перемещении линейного облучателя над рабочей поверхностью.

Экспериментальная часть

Разработанный государственным предприятием «ЦСОТ НАН БЕЛАРУСИ» опытный образец светодиодного УФ фотолитографического облучателя с регулируемым временем экспозиции (рис. 1) состоит из светодиодного УФ модуля, перемещаемого над рабочей поверхностью, и электромеханического блока управления перемещением, подключенного к источнику электрического питания.

Перемещение светодиодного линейного УФ модуля над рабочей зоной осуществляется посредством ременной передачи, приводимой в движение программируемым шаговым электродвигателем. Ремень экранирован металлической заглушкой от попадания отраженного УФ излучения. Корпус установки имеет датчики старта и окончания движения, а также промежутки разгона и торможения светодиодного линейного УФ модуля. Такие меры необходимы для предотвращения механического смещения корпуса установки во время

движения светодиодного линейного УФ модуля. Оптическая часть модуля состоит из линейного массива линз и внешней отсекающей диафрагмы. Линзы предназначены для концентрации света с длинами волн в диапазоне от 300 до 450 нм. Диафрагма покрыта изнутри черной матовой краской, невосприимчивой к воздействию УФ излучения. Источниками излучения служат УФ светодиоды, излучающие на длине волны 365 нм, выходная оптическая мощность каждого светодиода составляет 1,3 Вт.

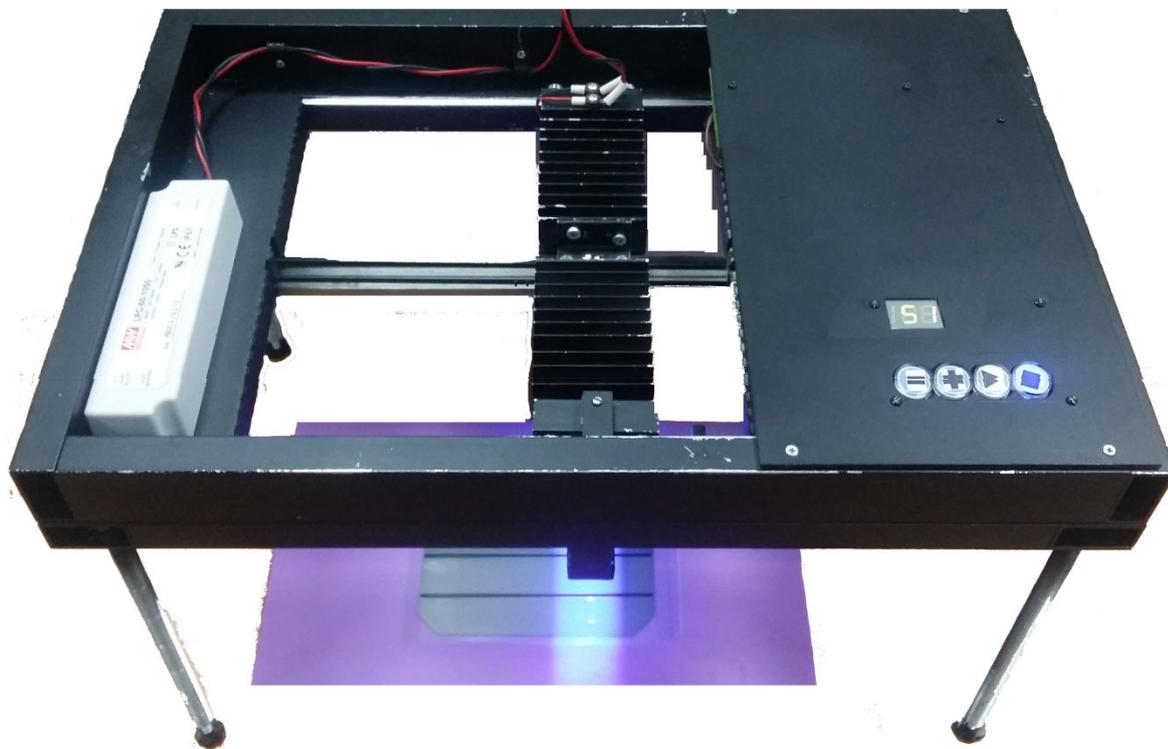


Рис. 1. Фотография образца светодиодной УФ установки экспонирования с регулируемым временем экспозиции

Fig. 1. Photograph of a sample of an LED UV exposure unit with adjustable exposure time

Технические параметры разработанной установки экспонирования: длина и ширина рабочей поверхности – 160 и 160 мм соответственно, потребляемая электрическая мощность – 50 Вт, удельная усредненная мощность УФ излучения на расстоянии 100 мм от выходного окна излучателя – 600 Вт м^{-2} , доминантная длина волны – 365 нм, неравномерность освещенности в рабочей зоне – не более 10 %, диапазон регулировки времени экспозиции – от 2 до 125 с.

Результаты и их обсуждение

Для применения УФ светодиодов в установке фотолитографии необходимо внести изменения в существующую систему концентрации излучения. Было проведено моделирование оптической системы фотолитографической установки в программном комплексе TracePro. Сравнивались два типа оптических систем. Первый представляет собой массив линз, состоящий из 121 линзы, который должен был обеспечить равномерное освещение площади размером 260 см^2 при заданном уровне излучаемой оптической мощности. В процессе моделирования выяснилось, что для обеспечения высокой равномерности засветки кроме массива линз необходимо для каждого отдельного светодиода использовать коллиматор, что усложняло конструкцию оптической системы. Второй тип оптической системы представляет собой линейный массив линз, состоящий из 11 линз, который должен был обеспечить равномерное освещение линии площадью 25 см^2 при необходимом уровне освещения. В отличие от первой системы вторая обладает более высокой равномерностью освещения (в первом случае неравномерность вносят лучи от соседних линий линз). Для получения высокой равномерности засветки поля можно использовать групповую

диафрагму, а площадь засветки в 260 см^2 обеспечивается механическим передвижением линейного массива линз с учетом времени перемещения. Это позволяет получать такую же дозу облучения, как и в случае использования первого типа оптической системы.

Были проведены измерения светотехнических характеристик светодиодного линейного УФ модуля. Как видно из рис. 2, на расстоянии 100 мм от края светодиодного модуля неравномерность освещенности в рабочей зоне не превышает 15 %.

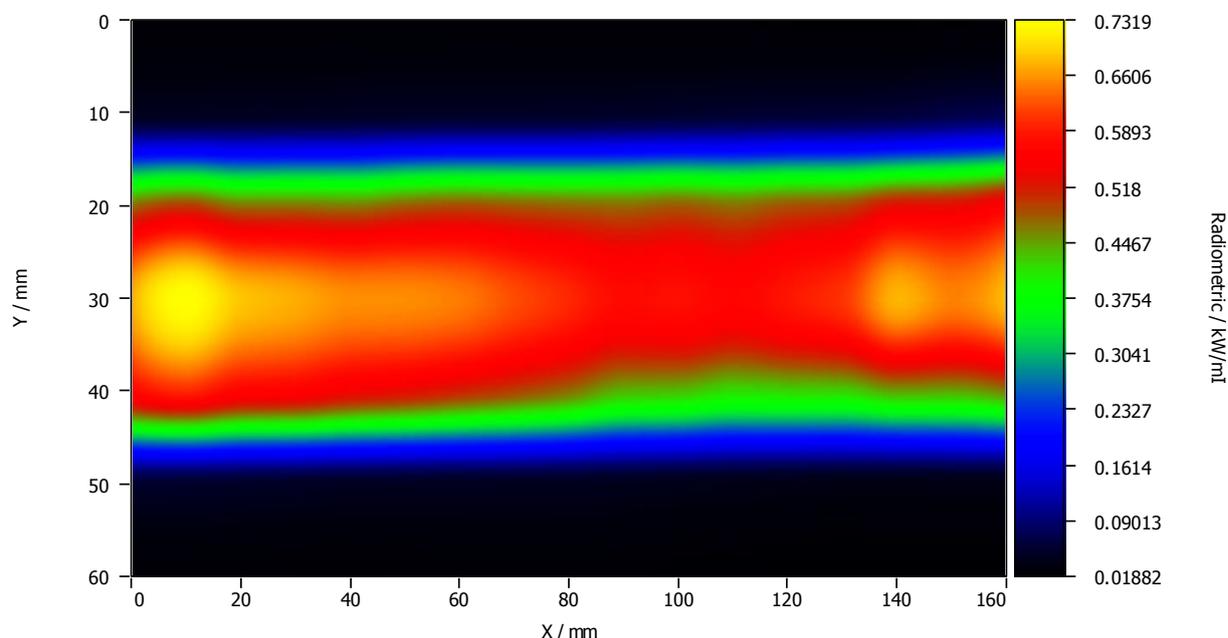


Рис. 2. Распределение энергетической освещенности УФ светодиодного модуля установки фотолитографии

Fig. 2. The distribution of energy illuminance UV LED module photolithography

Проведенные измерения кривой распределения силы света светодиодного линейного УФ модуля показали, что ширина угла половинной яркости составляет 4 град.

С помощью светодиодного УФ фотолитографического облучателя с регулируемым временем экспозиции были изготовлены различные топологические рисунки методом контактной фотолитографии с использованием толсто пленочного фоторезиста. В результате экспонирования получались четкие границы вертикальных канавок, что позволяет успешно применять разработанный облучатель для данных технологических операций.

Конструкция перемещаемого модуля осветителя не вносила существенных нарушений в процессе фотолитографии. В сравнении с традиционными установками экспонирования (ЭМ 576) разработанная установка имеет ряд преимуществ, таких как меньшая мощность потребления, возможность встраивания в непрерывную поточную производственную линию, имея сопоставимые фотолитографические разрешения (порядка 1 мкм). Регулировка времени экспонирования от 2 до 120 с позволяет подбирать оптимальные дозы облучения для различных фоторезистов.

Заключение

Представленный светодиодный УФ фотолитографический облучатель с регулируемым временем экспозиции успешно прошел испытания в производственных условиях на ООО «ИЗОВАК Технологии» (Беларусь). Разработанный экспериментальный образец облучателя имеет плотность мощности излучения с длиной волны 365 нм около 600 Вт м^{-2} при площади засветки 260 см^2 и обеспечивает высокое качество топологического рисунка, что связано с высокой степенью равномерности облучения подложки в рабочей зоне. Таким образом, облучатель может быть использован как более энергоэффективная замена

установок экспонирования с традиционными источниками света, имея при этом сопоставимые фотолитографические разрешения (порядка 1 мкм).

Список литературы / References

1. Deng J., Wang L., Liu L., Yang W. Developments and new applications of UV-induced surface graft polymerizations. *Prog. Polym.Sci.* 2009; 34(2): 156-193.
2. Sun R. Li. X., Gou J. UV-led system to obtain high power density in specific working-plane. *Proc. SPIE 9272, Optical design and testing VI.* 2014; 204-210.
3. Yapıcı M. K., Farhat I. UV-LED exposure system for low-cost photolithography. *Proc. SPIE.* 2014; 104-109.
4. Kim J., Paik S.-J., Herrault F., Allen M. G. UV-LED lithography for 3-D high aspect ratio microstructure patterning. *Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems Workshop.* Hilton Head Island, USA, June 3–7, 2012; 481-484.
5. Reznikova E. F., Morh J., Hein H. Deep photo-lithography characterization of SU-8 resist layers. *Microsystem Technol.* 2005; 11(Is. 4-5): 282-291.
6. Yoshihiko M., Masahiro K., Suguru N. Development and future of ultraviolet light-emitting diodes: UV-LED will replace the UV lamp. *Semicond. Sci. Technol.* 2014; 29: 084004.
7. Pramod Sh., Khan M.Z, Choubey A.K. *LED Revolution: Deep UV LED.* IRJET. 2019; 6(5): 6486-6489.

Вклад авторов

Все авторы в равной степени внесли вклад в написание статьи.

Authors contribution

All authors have equally contributed to the article writing.

Сведения об авторах

Челяпин А.Е., аспирант, научный сотрудник НИО государственного предприятия «ЦСОТ НАН Беларуси».

Бегунов П.С., аспирант, научный сотрудник НИО государственного предприятия «ЦСОТ НАН Беларуси».

Трофимов Ю.В., к.т.н., директор государственного предприятия «ЦСОТ НАН Беларуси».

Жавнерко Г.К., к.х.н., ООО «Изовак Технологии».

Information about the authors

Chelyapin A.E., PG student, researcher of “CLOET NAS of Belarus”.

Begunov P.S., PG student, researcher of “CLOET NAS of Belarus”.

Trofimov Yu. V., PhD., director of “CLOET NAS of Belarus”.

Zhavnerko G.K., PhD., IZOVAC Technologies LLC.

Адрес для корреспонденции

220090, Республика Беларусь,
г. Минск, Логойский тр., д. 20,
Государственное предприятие
«ЦСОТ НАН Беларуси»
тел. +375-29-673-65-92;
alex.gif@rambler.ru
Челяпин Алексей Евгеньевич

Address for correspondence

220090, Republic of Belarus,
Minsk, Logoisk tr., 20,
State enterprise
“CLOET NAS of Belarus.”
tel.+375-29-673-65-92;
alex.gif@rambler.ru
Chelyapin Alexey Evgenievich