

ствительности температурного датчика, что снижает требования к ширине спектра отражения ВБР и разрешающей способности спектроанализаторов при сохранении требуемой точности измерения. С другой стороны, расширение интервала сдвига брэгговской длины волны излучения в зависимости от изменения температуры приводит к уменьшению количества решеток, которые можно мультиплексировать в пределах ширины спектра излучения оптического источника в 3,5 раза при выполнении условия отсутствия наложения спектров соседних ВБР при их смещении во всем измеряемом интервале температур.

#### Литература

1. On-line temperature measurement of fiber Bragg gratings inside a fiber laser / Z. Zhoua [et al.] // *Optical Fiber Technology*. – 2018. – V. 45, № 7. – P. 137–140.
2. Разработка и исследование волоконно-оптического датчика температуры на основе регенерированной волоконной брэгговской решетки / Д. А. Коннов [и др.] // *Оптический журнал*. – 2024. – Т. 91. – № 5. – С. 66–71.
3. Li, Y. Temperature sensing characteristics of metal coated FBG during dynamic cooling process / Y. Li, K Yang., X. Li // *Optical Fiber Technology*. – 2018. – V. 45, № 9. – P. 368–375.

УДК 621.327

### ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ГАЗОРАЗРЯДНЫЙ ИСТОЧНИК УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СПЛОШНОГО СПЕКТРА

Потапенко А. О.

*ООО «Научно производственное предприятие «Мелитта»  
Москва, Российская Федерация*

**Аннотация.** Работа посвящена экспериментальным исследованиям излучательных характеристик в бактерицидной области спектра открытых короткодуговых сильнотоочных разрядов в ксеноне. Экспериментальные исследования радиационных характеристик разряда выполнены в диапазонах давления ксенона от 2 до 6 атм, электрических энергий от 0,2 до 2,0 Дж при рабочих напряжениях на электродах от 0,9 до 3,3 кВ, межэлектродных зазорах 4 и 6 мм. Определены режимы разряда, обеспечивающие выход излучения в спектральной области 200 – 300 нм, до 14% от вложенной в разряд энергии.

**Ключевые слова:** сильнотоочный разряд, ксенон, короткодуговая лампа, бактерицидное УФ излучение, плазменный канал.

### A HIGHLY EFFICIENT PULSED GAS-DISCHARGE SOURCE OF CONTINUOUS-SPECTRUM ULTRAVIOLET RADIATION

Potapenko A.

*Scientific and Industrial Enterprise Melitta, Ltd.  
Moscow, Russian Federation*

**Abstract.** The paper is devoted to experimental studies of the radiative characteristics in the bactericidal range of the spectrum of unlimited short-arc high-current discharges in xenon. Experimental studies of the radiation characteristics of the discharge were performed in the ranges of xenon pressure from 2 to 6 atm, electrical energies from 0.2 to 2.0 J at operating voltages at electrodes from 0.9 to 3.3 kV, interelectrode gaps of 4 and 6 mm. Discharge modes that provide radiation output in the spectral range of 200-300 nm, up to 14% of the energy invested in the discharge have been determined.

**Keywords:** high-current discharge, xenon, short-arc flashlamp, biocidal UV-radiation, plasma channel.

*Адрес для переписки: Потапенко А. О., ул. Миклухо-Маклая, д. 16, г. Москва 10117997, Российская Федерация, e-mail: alexeu1999pt@gmail.com*

В настоящее время ультрафиолетовые источники сплошного спектра (импульсные ксеноновые лампы и ртутные лампы среднего давления) широко применяются для обеззараживания различных объектов и деструкции органических загрязнителей в воде и воздухе [1, 2]. Наибольшее распространение получили лампы трубчатой геометрии с различной конфигурацией плазменного канала. Основным недостатком такого типа ламп является ограничение удельной мощности плазменного канала, которая определяет его радиационные характеристики, связанное с ускоренной

деградацией кварцевой оболочки и ее преждевременным разрушением.

Свободно расширяющийся плазменный канал позволяет многократно увеличить удельную мощность, что должно обеспечить формирование импульсной дуги с оптимальными значениями плотности и температуры плазмы, для генерации УФ-излучения в требуем спектральном интервале, определяемом фотохимическими прикладными задачами.

**Методика и аппаратура.** Исследования проводились с экспериментальными образцами ко-

роткодуговых ламп шаровой формы, подробно описанных в [3]. Два электрода, расположенные соосно, являлись анодом и катодом. Третий электрод, расположенный на расстоянии 2 мм от катода использовался в качестве источника плазмы, формирующий проводящую область в разрядном промежутке. Разрядный контур состоял из емкостного накопителя с конденсаторами, емкость которых составляла от 0,1 мкФ до 2 мкФ. Конструкция разрядного контура и его расположение относительно короткодуговой лампы отвечало требованию минимизации индуктивности контура для обеспечения максимальной эффективности преобразования электрической энергии, запасаемой в конденсаторах в энергию плазменного канала. Зазор между разрядными электродами в лампах составлял 4 и 6 мм. Экспериментальные образцы ламп заполнялись ксеноном до давления 2, 4 и 6 атм. Исследования радиационных характеристик разряда исследовались при изменении рабочего напряжения от 0,9 до 3,3 кВ.

Учитывая, что задача оптимизации электро-мощностных характеристик разряда с учетом параметров газовой среды с целью получения максимального выхода УФ-излучения является многопараметрической, был проведен цикл исследований радиационных характеристик плазменного канала в зависимости от его размеров, давления ксенона, мощности и энергии разряда.

Регистрация электрических характеристик плазменного канала осуществлялась с помощью калиброванного малоиндуктивных делителя напряжения Pintek HVP-39Pro и пояса Роговского (производства ИПС). Регистрация радиационных характеристик плазменного канала проводилась калиброванным спектрометром AvaSpec-ULS2048CL-1-RS-EVO. Все электрические сигналы регистрировались запоминающим осциллографом Tektronix TDS-2014C.

**Результаты.** Разрядный ток имеет колебательный характер с сильным затуханием. Логарифмический декремент затухания составляет 2 при вложенных в разряд энергиях 0,5 Дж и снижается до 1 при увеличении энергии до 1,5 Дж. В первый полупериод длительностью от 0,4 до 1 мкс (в зависимости от емкости конденсатора) в плазменный канал вкладывается от 75% до 95 % от запасаемой в конденсаторе энергии. Характерные значения активного сопротивления плазменного канала в момент максимума разрядного тока составляют от 0,25 до 1,2 Ом в зависимости от вложенной в разряд энергии от 1,5 Дж до 0,25 Дж.

Уменьшение длины разрядного канала сопровождается снижением активного сопротивления и выхода УФ-излучения. Например, при вложенной в разряд энергии 1 Дж выход в области 200 – 300 нм, для канала длиной 4 мм составляет 7 %, а для канала 6 мм увеличивается до 12 %.

Спектр излучения (рисунок 1) во всех исследуемых режимах работы короткодуговых ламп с различным наполнением имеет характерное распределение по спектру энергии.

Видно, что спектральная плотность энергии излучения имеет наибольшие значения в области длин волн от 220 до 280 нм, что близко к спектральному распределению излучателя абсолютно черного тела с яркостной температурой 12–14 кК. На данную область спектра накладывается молекулярный континуум и уширенные линии атомов ксенона. Изменение давления и плотности мощности приводят к заметному увеличению/уменьшению эффективности доли УФС-излучения в общем спектре излучения с сохранением спектрального распределения энергии в видимой области.

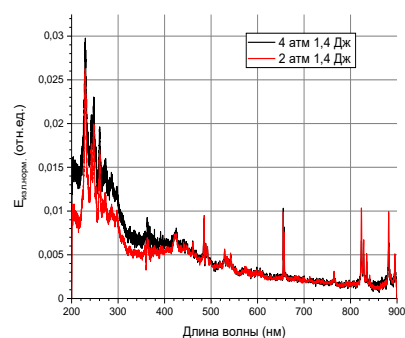


Рисунок 1 – Спектры излучения

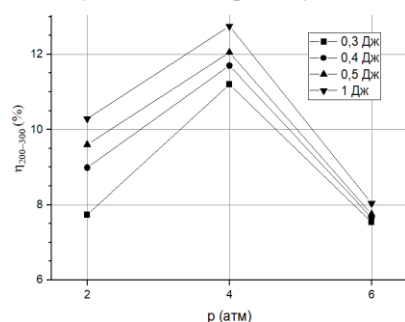


Рисунок 2 – Зависимость эффективности от давления при различной вложенной энергии

Наиболее сильное влияние на эффективность генерации излучения в коротковолновой области ультрафиолета (короче 280 нм) оказывает давление ксенона. На рисунке 2 представлена зависимость эффективности генерации УФС-излучения (200–300 нм) для импульсных ламп с наполнением ксенона до давления 2, 4 и 6 атм. При различных вложенных в разряд энергиях (от 0,3 до 1 Дж). Представленные результаты на рисунке 2 показывают, что с увеличением давления влияние плотности мощности (энергии) на выход УФС-излучения снижается и при давлениях 6 атм режимы работы ламп по эффективности практически не отличаются. Наибольшая эффективность генерации УФС-излучения наблюдалась при давлениях

ксенона 4 атм, которая достигала значений 12 % от вложенной в разряд энергии.

Достигнутые значения уровня бактерицидных потоков сохранялись при работе ламп в частотных режимах от 10 до 100 Гц. Электрод инициирующий формирование плазменного канала обеспечивал устойчивое его положение относительно разрядных электродов, что позволило в частотном режиме работы ламп зафиксировать его пространственное расположение и высокую стабильность повторения импульсов УФ-излучения.

Полученные результаты демонстрируют возможность создания высокоэффективных импульсных генераторов УФ-излучения с компактным телом излучения, работающих с частотами от еди-

ниц до сотен Гц, обладающих высокой стабильностью УФ-потока, для оптикоэлектронных систем различного назначения (медицина, экология, фотохимия и т. д.)

#### Литература

1. Ушаков, И. Стерилизующий свет / И. Ушаков, Н. Новикова, С. Шашковский // Наука в России. – 2011. – № 6 (186). – С. 11–16.

2. Плазменно-оптические технологии обеззараживания и обезвреживания объектов среды обитания / В. П. Архипов // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2011. – С. 120–134.

3. Импульсная короткодуговая трехэлектродная газоразрядная лампа для оптикоэлектронных систем УФ-обеззараживания: сб.ст./ 16-я междунар. науч. тех. конф. «Приборостроение – 2023», Минск, 2023.

УДК 628.9.037

### ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКЛОЛЮМИНОФОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Трофимов Ю. В.<sup>1</sup>, Лишик С. И.<sup>1</sup>, Сурвило Л. Н.<sup>1</sup>, Грушко Н. Н.<sup>1</sup>, Цвирко В. И.<sup>1</sup>, Комса О. С.<sup>1</sup>, Фан Ц.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси»

Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Фуданский университет

Шанхай, Китай

**Аннотация.** Разработаны образцы стеклолюминофоров на основе боросиликатной стеклообразующей системы и алюмоиттриевого граната. Исследованы светотехнические характеристики в зависимости от концентрации, толщины и степени полировки. Полученные образцы термически и химически стабильны, сохраняют эффективность преобразования излучения люминофором при накачке лазером мощностью 1 Вт.

**Ключевые слова:** стеклолюминофорный преобразователь, алюмоиттриевый гранат, трафаретная печать.

### OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR PRODUCTION OF PHOSPHOR-IN-GLASS CONVERTERS

Trofimov Yu.<sup>1</sup>, Lishik S.<sup>1</sup>, Survilo L.<sup>1</sup>, Hrushko N.<sup>1</sup>, Tsvirko V.<sup>1</sup>, Komsa O.<sup>1</sup>, Fan J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SE “Center for LED and Optoelectronic Technologies of the NAS Belarus”

Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Fudan university

Shanghai, China

**Abstract.** Samples of glass phosphors based on a borosilicate glass-forming system and yttrium aluminium garnet have been developed. The lighting characteristics were studied depending on the concentration, thickness and degree of polishing. The resulting samples are thermally and chemically stable and retain the efficiency of radiation conversion by the phosphor when pumped by a 1 W laser.

**Key words:** phosphor-in-glass converter, yttrium aluminium garnet, screen printing.

Адрес для переписки: Лишик С. И., Логойский тракт, 20, г. Минск 220090, Республика Беларусь  
e-mail: Rnd@ledcenter.by

Большинство белых светодиодов представляют собой синий светодиодный кристалл, покрытый органическим полимером, содержащим желтый люминофор. Такое изделие имеет ограниченную яркость, поскольку высокие уровни плотности излучения накачки приводят к тепловому разрушению полимерной матрицы люминофорных преобразователей (ЛП). Разработка полупроводниковых источников белого света с высокой яркостью требует высокостабильных ЛП для применения в специализированных источниках осве-

щения и сигнализации, автомобильных фарах, информационных проекторах и пр. Благодаря своим превосходным оптическим свойствам, химической, термической стабильности и низкой стоимости стекло является идеальным выбором для белых источников света, у которых накачкой служит синий лазерный диод (ЛД). [1].

**Экспериментальная часть.** В рамках данной работы были разработаны и исследованы стеклолюминофорные композиции на основе порошков боросиликатного стекла, алюмо-иттриевого гра-