

минальная скорости корректируются так, чтобы общее время прохода кадра было кратно периоду импульсов лазера. Реализация подобного алгоритма позволила сократить время обработки изделий на 30–50% по сравнению со стандартной схемой управления.

Система ЧПУ для управления комплексным лазерным оборудованием была реализована в виде многооперационного обрабатывающего центра, реализующего гибридную технологию – механическая обработка в сочетании с лазерной. Кроме того, на поверхности изделия с помощью лазерного излучения могут быть нанесены специальные покрытия или произведена закатка отдельных участков. Механическая обработка на станке реализована за счет управления шестью координатами, две из которых отвечают за перемещение направляющих портального типа. Возможность обрабатывать сложные изделия за одну установку появляется при применении поворотного глобусного стола [4]. На станке также применяется лазер, который при механической обработке закрыт в специализи-

рованном отсеке, располагающемся на инструментальной головке. Варьируя мощность, площадь пятна фокусировки, время воздействия и режимы подачи различных газов и материалов в зону разогрева, можно выполнять множество разнообразных операций.

Литература

1. Вейко, В.П. Лазерные технологии: Учеб. пособие / А.А. Петров, В.П. Вейко. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 184 с.
2. Мурзин С.П. Компьютерная система управления технологическими процессами лазерной и комбинированной обработки материалов / Мурзин С.П. – Известия Самарского научного центра: Том 4, номер 1, 2002.- 127-132.
3. Сосонкин, В.Л. Системы числового программного управления / В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов. – М.: Логос-М, 2005. – 376 с.
4. Vázquez R.G., Murzin S.P. Joining of Aluminium Alloy by Laser Assisted Wetting // Lasers in Manufacturing and Materials Processing 2018. – Vol. 5. Is. 1. –P. 74-74.

УДК 535.24

КОМПАКТНЫЕ РЕФЕРЕНСНЫЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЕ СВЕТОДИОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ С КОНИЧЕСКИМ ДИФFUЗНЫМ ОТРАЖАТЕЛЕМ

Данильчик А.В., Луценко Е.В., Никоненко С.В.

*Государственное научное учреждение «Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь*

В обычной метрологической практике оптической радиометрии в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне спектра, применяют эталонные (референсные) источники излучения: дейтериевые, кварцево-галогенные, ксеноновые и ртутные лампы. Каждому из этих типов ламп свойственны свои недостатки и преимущества, оказывающие существенное влияние на точность измерений. Дейтериевые лампы имеют относительно высокую стабильность излучения (не хуже 0,5 % за 8 ч работы) и относительно «гладкое» спектральное распределение мощности излучения в УФ диапазоне. Их основными недостатками являются малый межкалибровочный интервал (не более 50 ч), небольшое время жизни (до 1000 ч) и низкий уровень создаваемой спектральной плотности энергетической освещенности (СПЭО), не более $1 \cdot 10^8$ Вт·м⁻³. Ксеноновые лампы могут обеспечивать на много более высокий уровень освещенности, но имеют невысокую стабильность (не лучше 3 %) и неравномерное спектральное распределение излучения. Кварцево-галогенные лампы имеют высокую стабильность излучения и относительно «гладкое» спектральное распределение мощности излучения, но уровень СПЭО не превышает обычно 10^5 Вт·м⁻³ и 10^7 Вт·м⁻³ на длинах волн 250 и 400 нм со-

ответственно. Излучение ртутных ламп характеризуется наличием нескольких узких спектральных линий в УФ диапазоне спектра и нестабильностью излучения.

Одним из перспективных способов повышения точности оптических измерений в оптической радиометрии является использование референсных (эталонных) источников излучения, созданных на основе светодиодов (РСИИ), что обусловлено стабильностью и широким диапазоном мощности их излучения, хорошей воспроизводимостью основных оптических характеристик и долгим сроком службы. По этой причине в систему обеспечения единства измерений в области оптической радиометрии, в качестве вторичных и (или) рабочих эталонов, светодиоды введены с 2015 г. (ГОСТ 8.023-2014, ГОСТ 8.195-2013, ГОСТ 8.197-2013, ГОСТ 8.205-2014), что в определенной мере отражает прогресс в развитии светодиодных технологий. Однако следует отметить, что на сегодняшний день пока отсутствуют стандартизованные рекомендации по конструкции и характеристикам РСИИ. Но работа в этом направлении ведется, как в рамках технических комитетов СЕ, так и в метрологических национальных институтах [1–5].

Для УФ диапазона СИЕ А на основе светодиодов с пиковой длиной волны 365 нм в настоящее время уже предложены различные конструкции РСИИ. В первую очередь можно отметить разработки NIST (США) [1, 2], NMIJ (Япония) [3] и Института физики НАН Беларуси [4, 5].

Разработанный нами РСИИ для УФ диапазона СИЕ А основан на полусферическом рассеивателе [5]. РСИИ такой конструкции позволяют создавать равномерное освещение, но требуют для своей работы значительной оптической мощности излучения от УФ-светодиодов. В настоящее время эффективные УФ светодиоды (365 нм) могут достигать оптической мощности до 5 Вт (НИСНА), чего достаточно для создания РСИИ на основе полусферического рассеивателя.

До недавнего времени для УФ светодиодов излучающих в диапазонах СИЕ В и СИЕ С мощность составляла около 0,1 мВт, при квантовой эффективности около 1% и сроке службы 100 часов. В настоящее время стали коммерчески доступны УФ СИД с мощностью излучения до нескольких десятков мВт, квантовой эффективностью - до 10 % и сроке службы (L70) - до 10000 часов. Таким образом, на основе современных светодиодов диапазонов UV-B и UV-C в настоящее время можно сделать РСИИ для этих спектральных диапазонов. Проведенные эксперименты показали, что конструкция РСИИ, основанная на полусферическом рассеивателе, вызывает достаточно большие потери мощности излучения обусловленные рассеянием излучения на элементах конструкции и поэтому пока не очень эффективна для УФ диапазонов СИЕ В С. Поэтому нами были созданы конструкции РСИИ на основе цилиндрических и конических рассеивателей, которые обеспечивают прямое освещение плоскости измерения светодиодами.

В созданных РСИИ используются УФ-светодиоды VPC131 и VPS1A1, с максимальной оптической мощности излучения около 12 мВт ($\lambda = 265$ нм) и 25 мВт ($\lambda = 300$ нм) при токе инжекции 500 мА. РСИИ включают в себя один светодиод.

Конструкция эталонных источников УФ-светодиодов позволяет повысить стабильность его оптических характеристик и увеличить срок службы за счет термостабилизации светодиодов, что также помогает минимизировать ошибки измерения оптических характеристик. В этом случае комбинация диффузного отражателя и голографического фильтра обеспечивает равномерное распределение мощности излучения светодиодов в пределах стандартных углов фотометрического наблюдателя.

Результаты исследования оптических характеристик созданных РСИИ представлены на рис. 1–3. Спектры РСИИ приведены на рис. 1. Как видно из рисунка, наблюдается небольшое перекрытие спектрального распределения излучения из

разных диапазонов УФ излучения. 4,17 % интенсивности источника СИЕ С попадает в диапазон В, 2,17 % и 0,4 % интенсивности источника СИЕ В попадает в диапазоны УФ СИЕ А и УФ СИЕ С соответственно. Таким образом, перекрытие диапазонов незначительно, и данные РСИИ могут быть пригодны для прецизионной УФ-метрологии.

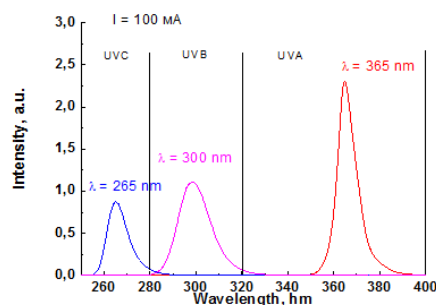


Рисунок 1 – Спектры референсных источников УФ излучения

Как видно из рис. 2, использование конического диффузора приводит к значительному увеличению плотности мощности излучения по сравнению с цилиндрическим диффузором. Для РСИИ УФ СИЕ В и УФ СИЕ С это значение составляет около 30 %.

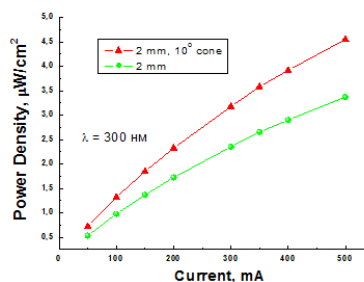


Рисунок 2 – Зависимость плотность мощности излучения РСИИ УФ СИЕ В от тока инжекции

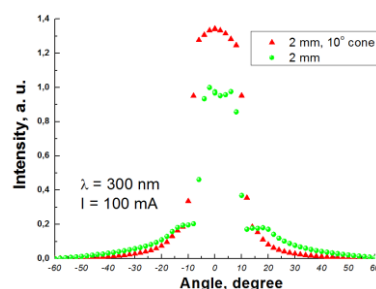


Рисунок 3 – Зависимость интенсивности излучения РСИИ УФ СИЕ В от угла наблюдения

Интенсивность излучения РСИИ находится в пределах $\pm 10^\circ$ от оптической оси для источников 265 и 300 нм. Значения плотности мощности излучения на длинах волн 265 нм и 300 нм при ширине на полувысоте 10,5 нм и 16 нм составляет $1,17 \text{ Вт/м}^2$ и $2,86 \text{ Вт/м}^2$. Использование УФ-голографического фильтра позволяет улучшить

угловое распределение интенсивности излучения РСИИ (рис.3). При этом потери мощности излучения составляют 20 %.

Таким образом созданы РСИИ с отражателями конического типа для УФ диапазонов СIE В и С, которые могут быть пригодны для прецизионной метрологии.

Литература

1. Calibration procedure for UV-365 integrated irradiance measurements / G.P. Eppeldauer [et al.] // CIE 216:2015 Proc. 28th Session of the CIE, Manchester, UK, 28 June – 4 July 2015. – Manchester: CIE, 2015. – Vol. 1, P. 2. – P. 1351–1364.
2. Broadband deep-UV to blue LED measurements / G.P. Eppeldauer [et al.] // Smart Lightning for Better Life: Proc. of the Conf. at the CIE Midterm Meeting 2017, Jeju

Island, Republic of Korea, 20-28 October 2017. – CIE, 2017. – P. 728–735.

3. Development of standard led for UV-LEDs and establishment of calibration service for total radiant flux of UV-LED at NMIJ/ K. Kinoshita [et al.] // CIE 216:2015 Proc. 28th Session of the CIE, Manchester, UK, 28 June – 4 July 2015. – Manchester: CIE, 2015. – Vol. 1, P. 2. – P. 1338–1342.

4. A practical method for determination of averaged spectral radiance of UV LED / S.V. Nikanenka [et al.] // CIE 216:2015 Proceedings of the 28th Session of the CIE, 28 June-4 July 2015, Manchester, United Kingdom. – CIE, 2015. – Vol. 1, P. 2. – P. 1396–1400.

5. Reference UV LED Sources / S.V. Nikanenka [et al.] // Smart Lightning for Better Life: Proc. of the Conf. at the CIE Midterm Meeting 2017, Jeju Island, Republic of Korea, 20-28 October 2017. – CIE, 2017. – P. 984–989.

УДК 53.082.5:535.012

ОПТИМИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И АНАЛИЗА ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

Прислонецкий С.Я.¹, Смирнов А.Г.^{1,2}, Станкевич В.В.¹, Балыкин И.В.^{1,2}, Рыжевич А.А.^{1,2}

¹Институт физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Введение. Целью работы являлась разработка и изготовление компьютеризированной установки определения и анализа точечных дефектов на поверхности полупроводниковых пластин, обеспечивающей обнаружение и регистрацию дефектов с размерами от 0,25 до 20 мкм, включая точечные дефекты роста, микротрещины, царапины, шероховатость и пыль, на поверхности полупроводниковых пластин в автоматическом режиме, а также статистическую обработку результатов измерений с подсчетом количества и анализом типов и размеров дефектов.

Нынешнее состояние разработки. В настоящее время разработана конструкторская документация, изготовлен опытный образец установки, подготовлена программа и методика предварительных испытаний, по которой проведены предварительные испытания установки.

Описание установки. По составу и способу монтажа установка представляет собой изделие единичного производства, собираемое на месте эксплуатации. Общий вид установки представлен на рис. 1.

Установка реализована в виде набора активных и пассивных аппаратных модулей, а также программных аналитических блоков, что позволяет легко настраивать установку и расширять ее возможности под конкретное приложение. На рис. 2 приведена фотография изготовленного опытного образца установки. Установка включает в себя виброизолирующую рамную стойку, аппаратную полку, оптико-механический модуль

с поворотным и линейным столами, драйвер поворотного стола, блок питания драйвера поворотного стола, драйвер линейного стола, блок питания драйвера линейного стола, вакуумный насос, плату АЦП, персональный компьютер с управляющим и анализирующим программным обеспечением. Пластина размещается на поворотном столе под лазерно-оптической головкой установки, при этом плоскость пластины совпадает с плоскостью стола и перпендикулярна оси вращения. Поворотный стол обеспечивает поворот пластины на заданный азимутальный угол. Сам поворотный стол закреплен на линейной платформе, которая обеспечивает поступательное перемещение поворотного стола с пластиной под лазерно-оптической головкой. При помощи поступательного и вращательного перемещения поверхность пластины может быть полностью просканирована лазерным лучом.



Рисунок 1 – Общий вид установки