

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



Рисунок 2 – Установка со снятым защитным кожухом

Конструкция и компоновка всех составных модулей и блоков установки обеспечивает удобство доступа к ним в процессе работы, обслуживания и ремонта. Оптико-механический модуль установки размещается на виброустойчивой платформе. Системный блок компьютера и вакуумный насос установлены на независимой платформе без непосредственного механического контакта с виброустойчивой платформой. Установка укомплектована стандартизованными и/или заимствованными деталями не менее, чем на 60 %. Габаритные размеры установки не превышают 1000×1000×2100 мм. Предельное время установления рабочего режима с учетом прогрева лазерных источников 30 мин. Время непрерывной работы установки 8 ч. Установка сконструирована таким образом, чтобы при неисправностях, возникающих в процессе ее эксплуатации, не создавалась опасность для обслуживающего персонала и окружающей среды. Конструкция установки обеспечивает защиту персонала от поражений электрическим током.

По результатам предварительных испытаний установка обеспечивает следующие показатели назначения. Скорость вращения поворотного стола аппаратно задается в диапазоне от 10 до 800 оборотов в минуту. Подвижная платформа линейного стола управляемо смещается в диапазоне не менее 100 мм. Скорость перемещения подвижной платформы линейного стола с закрепленным на нем поворотным столом аппаратно задается в диапазоне от 0,001 до 0,1 м/с. Образец в виде круглой пластины с эпитаксиальным слоем на плоской гладкой подложке из любого материала диаметром от 50 до 200 мм крепится воздушным прихватом к верхней горизонтальной поверхности подвижной платформы поворотного стола. Установка регистрирует точечные поверхностные дефекты и группы дефектов размером от 0,25 до 25 мкм на поверхности образца. Установка позволяет производить анализ дефектов - подсчет количества дефектов, построение карты локализации дефектов и распределения дефектов по размерам. На рис. 3 показана зарегистрированная с помощью установки карта дефектов тестового образца полупроводниковой пластины диаметром

100 мм, на который были нанесены разнообразные виды дефектов различных размеров.

Проверка чувствительности установки производилась с помощью калибровочной пластины SPx Wafer Calibration Standard производства MSP Corporation, A Division of TSI Inc. (США). Были надежно зарегистрированы круглые участки пластины с нанесенными на них частицами диаметром 1112, 360, 304, 204 и 155 нм. Участок с частицами диаметром 105 нм дал ослабленный сигнал (рис. 4).

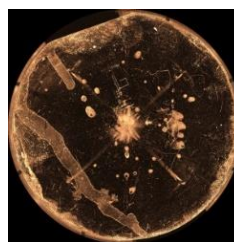


Рисунок 3 – Карта дефектов тестового образца / диаметром 100 мм с различными типами повреждений

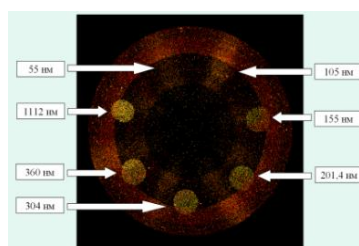


Рисунок 4 – Проверка чувствительности установки с помощью калибровочной пластины

Минимальное время сканирования пластины диаметром 200 мм – 4 мин, пластины диаметром 50 мм – 1 мин. Загрузка пластин осуществляется в ручном режиме. Время непрерывной работы установки – не менее 8,5 ч.

Направления работ по оптимизации установки. По результатам проведенных предварительных испытаний фактические технические характеристики изготовленной установки определения и анализа точечных дефектов на поверхности полупроводниковых пластин соответствуют требованиям технического задания либо превосходят их. Однако в процессе работы были обнаружены пути, позволяющие улучшить эксплуатационные характеристики созданной установки. Прежде всего, есть возможность уменьшить высоту установки на 200 мм путем перемещения рычажных подвесов и плиты внутрь каркаса. При этом уменьшится масса установки и увеличится вибрационная стабильность, поскольку в новом варианте верхняя часть защитного кожуха будет крепиться не на плиту оптического блока, а непосредственно на каркас. Кроме того, использование платы АЦП с большим числом разрядов позволит существенно улучшить синхронизацию

положения образца с моментом считывания данных по конкретному участку образца, что в свою очередь повысит оптическое разрешение дефектов малых размеров.

Благодарности. Работа проводилась и финансировалась в рамках задания 5.4 белорусской

части научно-технической программы Союзного государства «Разработка критических стандартных технологий проектирования и изготовления изделий наноструктурной микро- и оптоэлектроники, приборов и систем на их основе и оборудования для их производства и испытаний» («Луч»).

УДК 620.169.2

УСТАНОВКА ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ И СРОКА СЛУЖБЫ УФ СВЕТОДИОДОВ

Челяпин А.Е., Бегунов П.С., Трофимов Ю.В., Поседько В.С.

Республиканское научно-производственное унитарное предприятие
Минск, Республика Беларусь

«Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь

Введение. Светодиоды ультрафиолетового диапазона всё чаще находят применение в различных отраслях производства благодаря компактности, длительному сроку службы. Светодиодные излучатели уже успешно работают во всех поддиапазонах УФ излучения: УФ-А (400-315 нм), УФ-В (315-280 нм) и УФ-С (280-100 нм). Однако, несмотря на очевидные преимущества УФ светодиодных излучателей, их реальное внедрение сдерживается следующими факторами. Во-первых, это невысокая квантовая эффективность светодиодов, особенно для приборов УФ-В и УФ-С диапазонов, во-вторых, их высокая стоимость. В настоящее время основным препятствием при создании полупроводниковых УФ светодиодов является низкая эффективность люминесценции в эпитаксиальных гетероструктурах, что обычно связывают со значительной плотностью дислокаций и высокой концентрацией фоновых примесей [1]. Кроме того, при высоких плотностях тока возникает самонагрев активной области излучателя, приводящий к снижению оптической мощности излучения УФ светодиодов и срока их службы. Срок службы УФ светодиодов должен составлять не менее 10 000 часов, при этом основным критерием работоспособности УФ светодиода является величина его светового потока, снижение которой допускается не более чем на 30%. Проведенные исследования показали, что на данный момент существует ряд методов прогнозирования срока службы УФ светодиодов, однако они не могут быть выполнены в краткие сроки и предполагают проведение долговременных испытаний.

Экспериментальная часть. Для определения времени наработки изделий в режиме ускоренных испытаний используют модель развития отказов, основанную на законе Аррениуса [2]:

$$K = (J_{\text{исп}}/J_{\text{ном}})^m \exp \left[\frac{\Delta E}{K_B} \left(\frac{1}{T_{\text{пер1}}} - \frac{1}{T_{\text{пер2}}} \right) \right], \quad (1)$$

где K – коэффициент ускорения механизма отказа; m – постоянная для конкретного типа

полупроводниковой светоизлучающей структуры ($m = 1$, если $J_{\text{пот}} < 2 \cdot 10^5$ А/см²); ΔE – энергия активации доминирующего механизма деградации СД; K_B – постоянная Больцмана, равная $8,617 \cdot 10^{-5}$ эВ/град; $J_{\text{ном}}$ – номинальная плотность прямого тока через p - n -переход, А/см²; $J_{\text{исп}}$ – плотность прямого тока при испытаниях; $T_{\text{пер1}}$ – рабочая температура кристалла, К; $T_{\text{пер2}}$ – температура кристалла при ускоренных испытаниях, К.

Таким образом, для корректного проведения ускоренных испытаний СД необходимо точно задать температуру кристалла, определить энергию активации механизма деградации и показателя степени m .

Температура кристалла полупроводникового источника света ($T_{\text{пер}}$) определяется согласно методу тепловых сопротивлений. Температура кристалла определяется суммой температуры окружающей среды (T_a) и произведения теплового сопротивления (R_{j-a}) на выделяющуюся в кристалле тепловую мощность (P_d):

$$T_{\text{пер}} = T_a + R_{j-a} \cdot P_d. \quad (2)$$

Для исследуемых ультрафиолетовых полупроводниковых источников света основным результатом деградации является уменьшение значения излучаемого светового потока, поэтому энергия активации механизма деградации ΔE определяется по результатам электротренировки при ступенчато-возрастающей нагрузке, с контролем величины светового потока светодиода.

Температуру корпуса УФ светодиода во время испытаний на долговечность необходимо контролировать в пределах 2 °С от заданной при испытании. Для правильного запуска и эксплуатации светодиода воздушный поток должен быть сведен к минимуму, для исключения его влияния на характеристики теплового потока.

Для оценки срока службы УФ светодиодов проводятся исследования деградации их опти-