

Заключение. Система радиационного контроля на базе измерителя-сигнализатора СРКАТ2327 позволяет обеспечить требуемый законодательством Республики Беларусь и международными рекомендациями уровень контроля за радиационной обстановкой на линейных ускорителях электронов.

1. Тарутин, И. Г. Радиационная защита в лучевой терапии / И.Г. Тарутин, Е.В. Титович, Г.В. Гацкевич. – Минск : Беларуская навука, 2015. – 212 с.
2. АТОМТЕХ | Приборы и технологии для ядерных измерений и радиационного контроля [Электронный ресурс] : приборы и технологии для ядерных измерений и радиационного контроля. – Минск., 2017. – URL: <http://www.atomtex.com/ru>.
3. TrueBeam, TrueBeam STx, Инструкции по эксплуатации. – 2013. – 388 с.

УДК 621.382

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОТРАЖАЮЩИХ ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВЫСШЕГО КЛАССА ЧИСТОТЫ МЕТОДАМИ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ

Тявловский А.К.¹, Жарин А.Л.¹, Пантелеев К.В.¹, Свистун А.И.¹, Мухуров Н.И.², Шаронов Г.В.³

¹Белорусский национальный технический университет

²ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»

³НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ
Минск, Республика Беларусь

Одной из проблем производства деталей современной оптики является отсутствие в настоящее время методов контроля, обеспечивающих контроль качества и выявление дефектов прецизионных отражающих поверхностей с чувствительностью, соответствующей классу обработки поверхности. Существующие методы основываются на ГОСТ 11141-84 [1], предусматривающем использование визуального контроля для выявления таких дефектов, как царапины и точки на поверхности оптической детали. Качество такого контроля зависит от квалификации оператора, вследствие чего получаемые результаты не являются объективными. Кроме того, в ГОСТ 11141-84 отсутствуют критерии оценки качества металлических поверхностей с классом чистоты выше V, что объясняется отсутствием на момент разработки стандарта методов обработки металлов, обеспечивающих более высокую чистоту поверхности. В то же время, современные технологии обработки поверхности, такие как аддитивная технология формирования наноструктурированных покрытий методом анодирования или алмазное наноточение обеспечивают фактическую чистоту поверхности, приближающуюся к “нулевому” классу чистоты (классы 0-10, 0-20, 0-40 согласно ГОСТ 11141-84), однако подтверждение класса чистоты формально невозможно из-за необеспеченности технологий обработки соответствующими методами контроля.

В рамках действующих стандартов рекомендуемым методом контроля чистоты поверхностей IV-IXa классов, к которым согласно ГОСТ 11141-84 относятся металлы, является визуальное наблюдение без использования увеличительных приборов в косонаправленном пучке отраженного света (под углом к оси детали) на фоне черного экрана.

Такой способ исключает объективное определение размеров царапин и точек, поэтому их ширину и диаметр оценивают путем визуального сличения с эталонными образцами. При этом возможно определение результата контроля только в виде бинарной классификации “годен / не годен”, причем результат классификации существенным образом зависит от квалификации, опыта и психофизического состояния оператора, что предполагает высокую вероятность ошибок первого (приемка негодных) и второго (отбраковка годных изделий) рода. Отнесение поверхности к определенному классу чистоты по результатам такого контроля невозможно, также невозможен контроль отражающих металлических поверхностей более высокого класса чистоты.

Результаты проведенных экспериментальных исследований продемонстрировали возможность реализации объективного контроля чистоты прецизионных металлических поверхностей вплоть до “нулевого” класса на основе методов зондовой электрометрии, обеспечивающих бесконтактное определение пространственного распределения работы выхода электрона (РВЭ) поверхности. При этом диагностическое значение имеет не величина РВЭ локального участка поверхности как таковая, а ее отклонения от величины математического ожидания РВЭ для данной поверхности.

Для определения диагностически значимых диапазонов изменения РВЭ поверхности металлов при неразрушающем контроле их дефектов методами зондовой электрометрии были выполнены исследования поверхности заготовок лазерных зеркал из алюминия, обработанных алмазным наноточением по высшему классу точности. Исходя из известных параметров технологического процесса обработки результирующий класс чистоты поверхности

оценивался в пределах от 0–10 до 0–40. Образцы имели вид круглых шайб диаметром 120 мм; для исключения влияния на картину распределения держателя образцов, поверхность которого характеризуется низким качеством и отличными от образца значениями РВЭ, исследования выполнялись на ограниченном участке поверхности без выхода электрометрического зонда за пределы ограниченного участка поверхности образца 25×25 мм.

Измерения, выполненные на материале 8 бездефектных образцов, показали в целом сходные результаты. На рисунке 1 приведены типичные результаты контроля пространственного распределения РВЭ, оцениваемой по распределению потенциала поверхности U_{CPD} образцов № 1, 4, 5 и 7.

Из полученных результатов хорошо видно, что средние значения (математическое ожидание) потенциала поверхности металлов может существенно различаться даже при одинаковом химическом составе и одинаковых способах обработки поверхности и степени ее дефектности, как в рассматриваемом случае. Так, для приведенных образцов математическое ожидание потенциала поверхности изменяется в пределах от 274 мВ до 319 мВ. Таким образом, как это отмечалось и ранее [2], регистрируемые абсолютные значения потенциала поверхности металлов диагностического значения не имеют.

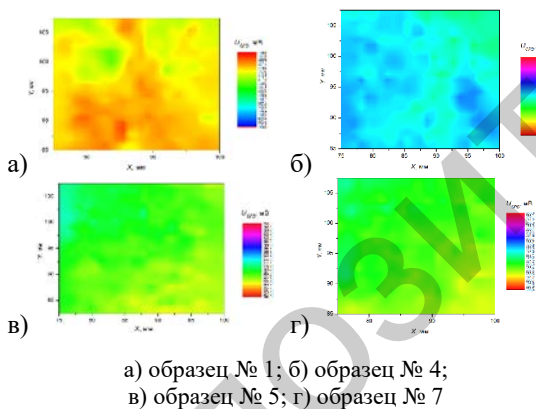
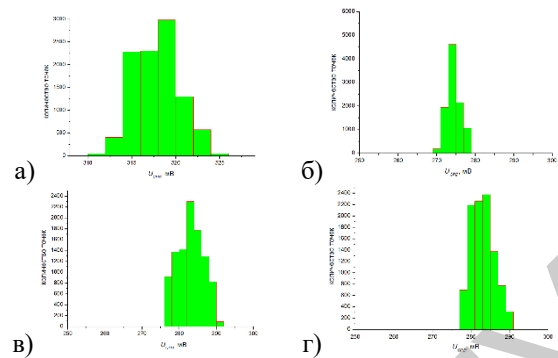


Рисунок 1 – Пространственное распределение РВЭ поверхности оптических деталей высшего класса чистоты

Гистограммы распределения РВЭ поверхности этих же образцов показаны на рисунке 2.

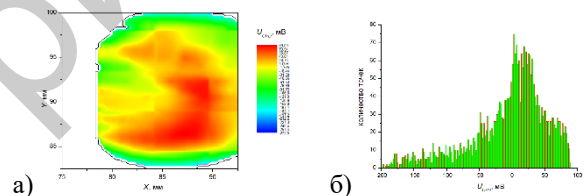
Степень чистоты поверхности при ее контроле методами зондовой электрометрии может быть количественно оценен величиной полуширины гистограммы распределения регистрируемых значений РВЭ или поверхностного потенциала. В приведенных случаях для поверхностей высшего класса чистоты полуширина гистограммы распределения составляла около 5 мВ.



а) образец № 1; б) образец № 4;
в) образец № 5; г) образец № 7

Рисунок 2 – Гистограммы распределения значений РВЭ

Для примера на рисунке 3 приведены пространственное распределение и гистограмма распределения регистрируемых значений РВЭ алюминиевой пластины, подвергнутой плазмохимической обработке и, вследствие неравномерности параметров обработки, содержащей дефекты. Можно видеть, что полуширина гистограммы распределения РВЭ дефектной поверхности значительно превышает 5 мВ и при этом содержит множественные пики, характеризующие различные типы дефектов.



а) Пространственное распределение РВЭ
б) Гистограмма распределения значений РВЭ

Рисунок 3 – Распределение РВЭ поверхности алюминиевой пластины с дефектами обработки

Результаты исследований показали, что достигнутая чувствительность средств измерений на основе методов зондовой электрометрии обеспечивает контроль дефектов поверхности вплоть до высшего класса чистоты 0-10 и более (обеспечивается обнаружение дефектов с поперечными размерами менее 1 мкм, не выявляемых оговоренными стандартом [1] визуальными методами). Наиболее актуальным является использование методов зондовой электрометрии для контроля прецизионных поверхностей металлов с классом чистоты выше V, поскольку данный вид поверхностей не обеспечен стандартизованными методами контроля.

- ГОСТ 11141–84. Детали оптические. Классы чистоты поверхностей. Методы контроля.

2. Воробей, Р.И. Режим самокалибровки зонда Кельвина для контроля электрофизических параметров полупроводниковых пластин / Р.И. Воробей, О.К. Гусев, А.Л. Жарин, А.Н. Петлицкий,

В.А. Пилипенко, А.С.Турцевич, А.К. Тявловский // Приборы и методы измерений. – 2014. – № 2(9). – С. 46–52.

УДК 621.382

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЖИМА МОДУЛИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ФОТОЭДС В КОНСТРУКЦИИ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

Жарин А.Л.¹, Гусев О.К.¹, Воробей Р.И.¹, Пантелеев К.В.¹, Тявловский А.К.¹, Тявловский К.Л.¹, Пилипенко В.А.², Петлицкий А.Н.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ОАО «ИНТЕГРАЛ» - управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»

Минск, Республика Беларусь

Основным назначением разрабатываемых методов и методик измерения, основанных на бесконтактной неразрушающей регистрации изменений потенциала поверхности полупроводниковой пластины при воздействии модулированным оптическим излучением, является измерение пространственного измерения длины диффузии неравновесных носителей заряда (ННЗ) и других параметров полупроводниковой пластины. В качестве рассматриваемых материалов выступает кремний как в виде монокристаллической пластины, так и в форме эпитаксиальных слоев, выращенных на подложке с более высокой, чем у эпитаксиального слоя, степенью легирования. В последнем случае измерения возможны, если толщина эпитаксиального слоя превышает длину диффузии ННЗ не менее чем в 4 раза [1].

При выполнении измерений модулированное оптическое излучение передается в локальную точку поверхности образца, в которой выполняются измерения, посредством гибкого оптоволоконного световода. Диаметр светового пятна должен существенно (в 3-5 раз) превышать линейные размеры электрометрического зонда, осуществляющего регистрацию изменений потенциала поверхности полупроводниковой пластины, т.е. при диаметре зонда 1 мм составлять 3-5 мм. Для исключения затенения области измерений чувствительный элемент зонда следует выполнять в виде сетки. Частота модуляции оптического излучения должна находиться в пределах от 10 до 20 Гц, что позволяет исключить влияние переходных процессов на результаты измерений.

Предлагаемая принципиальная схема бесконтактной неразрушающей регистрации изменений потенциала поверхности полупроводниковой пластины и его пространственного распределения при воздействии модулированным оптическим излучением в режиме постоянной интенсивности оптического излучения показана на рисунке 1. Схема предусматривает использование нескольких (не менее двух)

источников монохроматического оптического излучения на основе светодиодов либо полупроводниковых лазеров. Все источники предварительно калибруются по плотности мощности оптического излучения для обеспечения равного значения последней. При этом установленное значение плотности мощности для всех длин волн должно находиться в пределах диапазона линейности зависимости «поверхностная фотоЭДС – плотность мощности оптического излучения», а энергия квантов должна превышать ширину запрещенной зоны исследуемого образца.

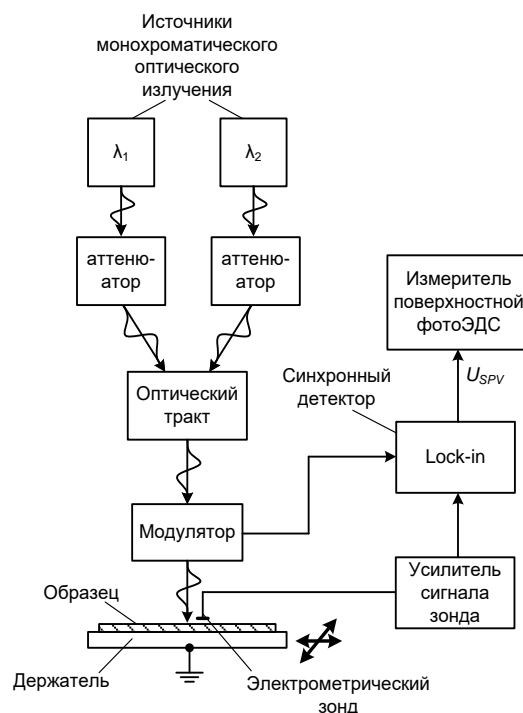


Рисунок 1 – Принципиальная схема бесконтактной неразрушающей регистрации изменений потенциала поверхности полупроводниковой пластины и его пространственного распределения при воздействии модулированным оптическим излучением в режиме постоянной интенсивности оптического излучения