

ПЛАНШЕТНЫЙ СКАНЕР КАК ПРИБОР ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Представлен новый метод оптического неразрушающего контроля свойств различных материалов: полупроводников, диэлектриков, металлов. Метод основан на измерении геометрических и оптических неоднородностей исследуемых объектов по характеристикам рассеянного объектами излучения. В качестве физического прибора для измерения интенсивности рассеянного излучения предложено использовать планшетный сканер. Анализ возможностей метода показал, что с его помощью можно измерять шероховатость и кривизну поверхности, выявлять одиночные дефекты на поверхности объектов, измерять электрофизические параметры материалов, прозрачных в видимой области спектра. Метод прост в реализации, не уступает по точности измерениям, проводимым с помощью многих специализированных физических приборов, превосходит дорогостоящее оборудование по объему и оперативности получаемой информации, позволяет проводить контроль свойств материалов в производственных условиях.

ПЛАНШЕТНЫЙ СКАНЕР, РАССЕЯНИЕ СВЕТА, ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ, ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ.

Введение

Поиск объективных методов неразрушающего контроля и разработка экспресс-методов оценки качества полупроводниковых и других материалов электронной техники представляет интерес как для исследовательских целей, так и для производства.

В работе [1] сообщалось об использовании планшетного сканера в сочетании с современными информационными технологиями для экспресс-диагностики свойств кристаллов карбида кремния. В развитие данного предложения к настоящему времени нами разработаны оригинальные методики исследования свойств различных материалов электронной техники [2 – 4]. Методики обеспечивают бесконтактный неразрушающий контроль свойств материалов при не-

традиционном использовании возможностей современной компьютерной техники, что обеспечивает им доступность и низкую стоимость аппаратного оформления.

Цели настоящей работы: обоснование идеи и физических основ метода исследования свойств материалов электронной техники с использованием планшетного сканера в качестве основного инструмента для измерений; сравнение возможностей метода с существующими; представление аппаратуры для его реализации и областей применения, а также демонстрация некоторых из полученных результатов.

Идея и физические основы метода

Можно смело утверждать, что надежным методом измерений является любой «дифференциальный» метод, особенно если

эти измерения проводятся не относительно опорного сигнала (он сам может оказаться источником ошибки его формирования), а относительно «чистого нуля». Для оптических измерений таким примером может служить метод рассеянного света. «Нулями» сигнала в нем являются состояния абсолютной прозрачности и абсолютного зеркального отражения. Эти случаи могут быть реализованы на серийно выпускаемых планшетных сканерах – периферийных устройствах для персональных компьютеров.

Планшетный сканер, благодаря особенностям его оптической схемы, «не видит» зеркальные поверхности и поэтому представляет собой идеальный физический прибор для регистрации рассеянного света плоскими объектами в видимом диапазоне длин волн.

Прежде, чем перейти к описанию устройства различных моделей сканеров и их возможностей для проведения физических исследований, кратко остановимся на природе появления рассеянного света.

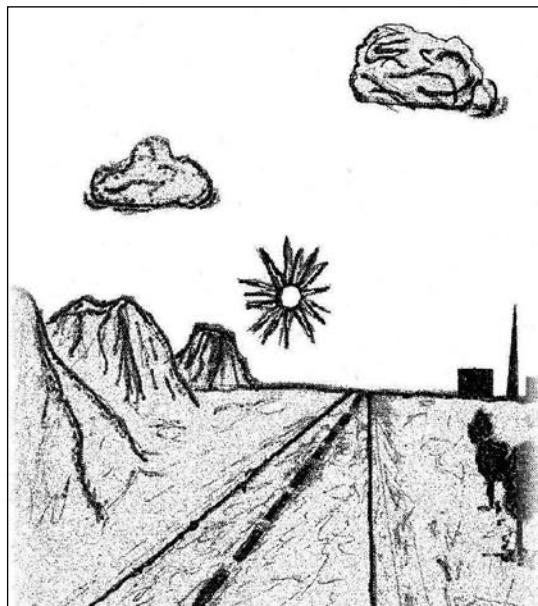
Окружающие нас предметы отражают падающий на них свет. С этим связана возможность их видеть. Отраженный от предметов свет имеет зеркальную и рассеянную составляющие. На рис. 1 схематически показано, как глаз человека видит реальный мир (рис. 1, *a*) и как бы он его видел, если бы все окружающие предметы только зеркально отражали свет, а атмосфера была бы абсолютно прозрачной (рис. 1, *b*).

Из приведенного примера видно, что, взаимодействуя с веществом различных объектов, свет создает зрительный образ предмета, прежде всего, за счет рассеянного света, а спектральный состав последнего несет информацию об оптических свойствах вещества. Рассеяние света определяется геометрическими и оптическими неоднородностями предметов. Чем неоднороднее объект, тем, как правило, интенсивнее рассеяние. Рассмотрим кратко природу неоднородностей исследуемых объектов, которые могут служить причиной рассеяния света.

К геометрическим неоднородностям можно отнести шероховатость поверхности исследуемого объекта. По измеренной

интенсивности света, рассеянного шероховатой поверхностью, можно судить о величине шероховатости, об однородности рельефа шлифованной или полированной

a)



b)

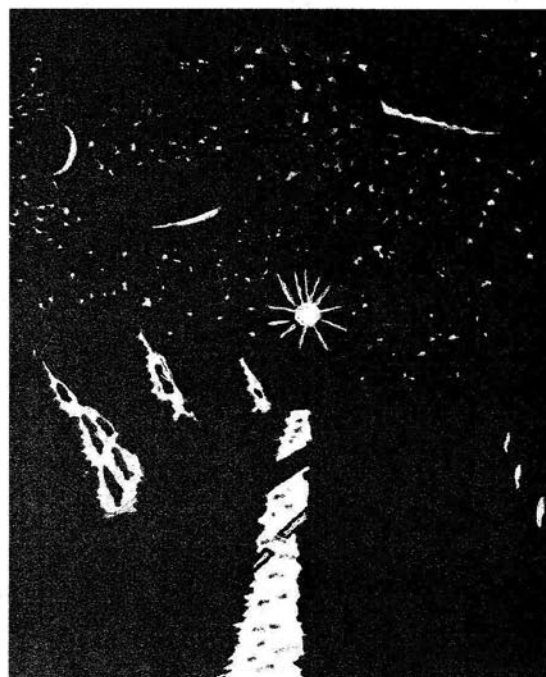


Рис. 1. Зрительное восприятие одной и той же местности в реальном (*a*) и чисто зеркальном (*b*) мирах

поверхности, о наличии на ней крупных дефектов.

Оптические свойства среды характеризуются ее комплексным показателем преломления. Непостоянство данного параметра в объеме исследуемого объекта свидетельствует о его оптической неоднородности и приводит к рассеянию падающего на объект излучения.

Природа оптических неоднородностей исследуемой среды разнообразна. Это могут быть включения второй фазы или неоднородности химического состава среды, например неомогенность твердых растворов полупроводников и других материалов. Ярким примером регулярных оптических неоднородностей служат фотонные кристаллы. По характеристикам рассеянного излучения можно судить о степени оптической неоднородности среды, о концентрации, форме и ориентации центров рассеяния, об их распределении по размерам и в пространстве.

Из сказанного следует, что идея метода не нова, а исследование интенсивности и спектрального состава рассеянного света многократно привлекалось для изучения свойств различных материалов и сред. Проблема заключается в методах измерения, поскольку существующие методы и реализующие их экспериментальные установки весьма сложны и дороги.

Планшетный сканер как прибор для регистрации рассеянного света

Современный сканер [5 – 7] функционально состоит из двух частей: сканирующего механизма и программной части (TWAIN-модуль). Сканируемый объект располагается на прозрачном неподвижном стекле, вдоль которого передвигается каретка с источником света и линейкой фотоприемников (приборов с зарядовой связью – ПЗС-элементов, или фототранзисторов). Оптическая система сканера проецирует световой поток от объекта на фотоприемники, где осуществляется разделение информации по цвету. Фотоприемники преобразуют уровень освещенности в уровень напряжения. Далее аналоговый сигнал поступает на аналого-цифровой преобразова-

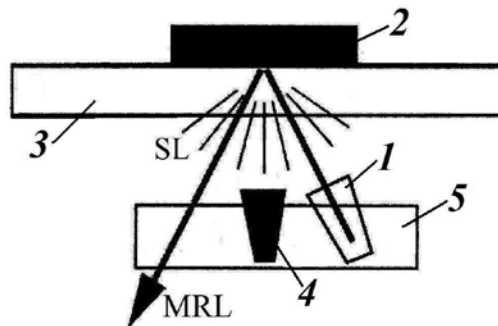


Рис. 2. Схема расположения элементов планшетного сканера (без элементов оптической системы): 1 – источник света, 2 – объект, 3 – стекло экспонирования, 4 – фотоприемники, 5 – каретка сканера; SL и MRL – рассеянный и зеркально отраженный свет, соответственно

тель (АЦП), из которого информация выходит в двоичном коде и после обработки в контроллере сканера через интерфейс с компьютером поступает в драйвер сканера – TWAIN-модуль, с которым взаимодействуют прикладные программы.

Геометрия оптической системы сканера такова, что свет, зеркально отраженный от объекта, не попадает на фотоприемники (рис. 2), поэтому сканер можно использовать как физический прибор для регистрации рассеянного света.

Планшетный сканер, созданный для считывания изображений и текстов с полиграфической продукции, в руках физика-исследователя может служить превосходным инструментом для получения и последующего анализа изображений исследуемых объектов, т. е. может быть использован для их бесконтактной неразрушающей диагностики.

В качестве прибора для физических исследований планшетный сканер обладает следующими достоинствами:

это готовая экспериментальная установка для наблюдения рассеянного света от плоских объектов в видимом диапазоне длин волн;

в нем реализована плоская оптическая задача, что позволяет исключить погрешности, возникающие при контроле однородности свойств плоских объектов с помощью

устройств со сферическими или цилиндрическими оптическими системами (фотоаппарат, видеокамера, микроскоп и т. п.);

он обеспечивает высокую скорость сбора информации от объектов большой площади и позволяет регистрировать и обрабатывать большие массивы информации. Это возможно благодаря бесконтактному построчному считыванию информации, в отличие от последовательной линейной (к тому же, в большинстве случаев контактной) регистрации информации в современных микронных методах (профилометры и различные сканирующие микроскопы, в том числе электронные, туннельные, атомно-силовые) [8];

с его помощью достигается высокая точность измерений величин, имеющих случайную погрешность.

Модели планшетных сканеров

Несмотря на то, что планшетные сканеры сравнительно просты в использовании, они представляют собой весьма сложные оптико-электронно-механические устройства. Вне зависимости от фирмы производителя, интерфейса, габаритов и технологии сканирования все сканеры имеют плоскогоризонтальную конструкцию, тогда как их сканирующие элементы могут быть различными. Наиболее часто используются следующие модели: CIS, LIDE и CCD [5 – 7].

Сканер, использующий технологию контактного датчика изображения CIS (Contact Image Sensor), не содержит оптики. На сканирующей каретке смонтирован источник света, состоящий из трех групп светодиодов, генерирующих свет в красном, зеленом и синем диапазонах длин волн. Суммарное белое излучение падает на объект и, отражаясь, возвращается на сканирующую головку – линейку фотоприемников, расположенную в непосредственной близости от предметного стекла сканера. Длина светочувствительной линейки соответствует ширине стекла сканера, поэтому дополнительные элементы оптики (зеркала, призмы, линзы) в сканере подобной конструкции отсутствуют.

Сканеры с непрямым светодиодным экспонированием LIDE (LED InDirect

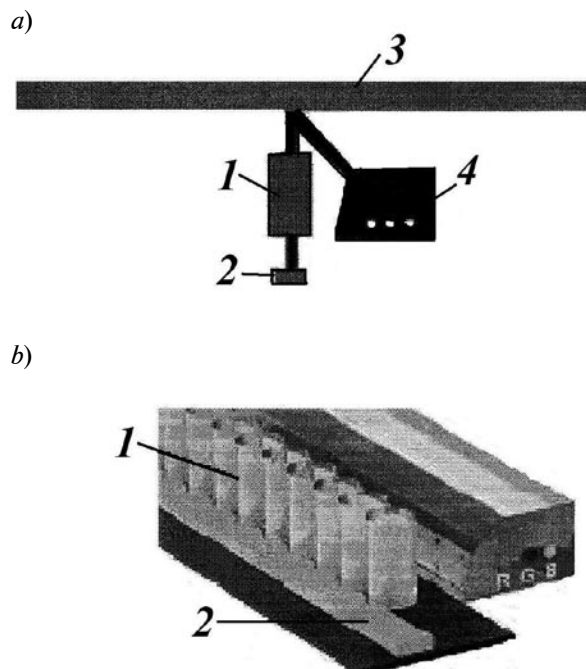


Рис. 3. Схема сканера технологии LIDE (a) и светочувствительная линейка сканера (b): 1 – цилиндрические линзы, 2 – линейка фототранзисторов, 3 – стекло экспонирования, 4 – световод

Exposure) являются улучшенной версией технологии CIS. Здесь в качестве источника света используются мощные трехцветные RGB-светодиоды (Red, Green, Blue – красный, зеленый, синий), излучение которых направляется на объект по кварцевому световоду, который обеспечивает равномерное экспонирование оригинала по всей ширине окна сканера (рис. 3).

Цилиндрические линзы собирают рассеянный объектом свет в однородные пучки на линейке оптоэлектронных преобразователей из фототранзисторов, которые характеризуются значительной величиной отношения сигнал/шум и высокой чувствительностью, по сравнению с любыми другими существующими приемными сенсорами (рис. 3, b).

В планшетном сканере типа CCD (Charge Coupled Device), в отличие от технологии CIS и LIDE, оптическая система состоит из объектива, зеркал или призм, проецирующих световой поток от сканируемого объекта на систему фотоприемников (рис. 4).

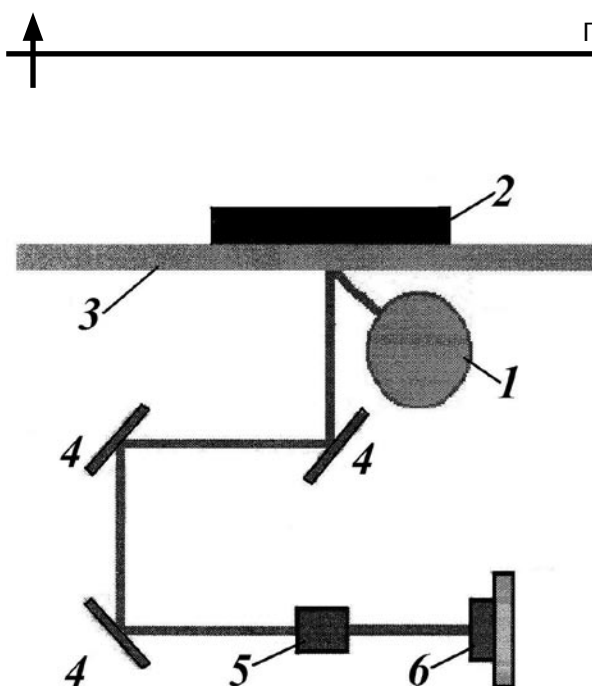


Рис. 4. Расположение элементов в сканере технологии CCD:
 1 – источник света, 2 – объект, 3 – стекло экспонирования, 4 – зеркала, 5 – объектив, 6 – ПЗС-матрица

Система фотоприемников состоит из трех параллельных ПЗС-линейек с равным числом одинаковых светочувствительных элементов (каждая со своим красным, зеленым и синим светофильтрами), принимающих информацию о содержании «своих» цветов в световом потоке от сканируемого объекта. В качестве осветителей в сканерах CCD используются люминесцентные лампы. Если сканируются прозрачные образ-

цы, то используется так называемый слайд-адаптер, для которого включается вторая лампа, расположенная в крышке сканера. Эта лампа перемещается строго параллельно считывающей головке сканера.

Основные характеристики сканеров

Оптическое разрешение. Это количество элементов в линейке фотоприемников, деленное на максимальную ширину сканируемой области, т. е. ширину предметного стекла сканера (*dpi*-параметр). Для сканеров CCD предельная величина $dpi = 9600$, для сканеров LIDE – 4800. Данный параметр определяет число каналов, по которым параллельно измеряется интенсивность светового потока, рассеянного объектом, и линейные размеры каждого канала (см. таблицу).

Механическое разрешение. Это количество «считываний» информацией линейкой фотоприемников (число строк), деленное на длину пути, пройденного сканирующей кареткой за то же время. Часто механическое разрешение называют оптическим, что неверно. Как правило, оно вдвое больше оптического и задается изготовителем.

Интерполяционное разрешение. Это произвольно заданное разрешение, до которого программа сканера «сама рассчитывает» недостающие точки (например, выдает 16×16 точек, получив со сканера всего 3×3 точки). При физических исследованиях этот параметр использовать не следует.

Таблица

Оптическое разрешение и информационные каналы планшетного сканера

Оптическое разрешение сканера (<i>dpi</i> -параметр)	Линейные размеры одного канала, мкм	Число параллельных каналов на 1 см ²
600	42,3 × 42,3	$5,6 \cdot 10^4$
1200	21,2 × 21,2	$2,2 \cdot 10^5$
2400	10,6 × 10,6	$8,9 \cdot 10^5$
4800	5,3 × 5,3	$3,6 \cdot 10^6$
9600	2,6 × 2,6	$1,5 \cdot 10^7$

Глубина цвета (количество бит на цвет, разрядность). Обычное количество двоичной информации о цвете одной точки полноцветного изображения в компьютере — 24 бита на каждую точку, по 8 бит на каждый из основных цветов RGB, что дает порядка 17 млн. вариантов цвета этой точки. Более тонкие оттенки глаз человека не различает.

Диапазон оптических плотностей. Оптическая плотность — это характеристика объекта сканирования. Она вычисляется как десятичный логарифм отношения интенсивности света, падающего на объект, к интенсивности света, отраженного от него или прошедшего через прозрачный объект. Минимально возможное значение 0,0 D соответствует идеально белому или прозрачному объекту, значение 4,0 D — предельно черному или непрозрачному объекту. Диапазон оптических плотностей сканера характеризует его способность различать близлежащие оттенки. Максимальная оптическая плотность для сканера — это оптическая плотность объекта, которую сканер еще отличает от «полной темноты». Все оттенки объекта темнее этой границы сканер не различает. Это означает, что сканер может потерять все детали сканируемого объекта как в его темных, так и в светлых участках. Этот параметр важен для физических исследований, поскольку более широкий диапазон оптических плотностей сканера позволяет получать более детальную информацию о сканируемых объектах.

Приведем также обычно не сообщаемые, но чрезвычайно важные параметры ПЗС-фотоприемной линейки для сканеров CCD-технологии.

Уровень шума ограничивает динамический диапазон и реальное число разрядов данных, содержащих полезную информацию. Если к дешевой шумящей линейке подключить 36-битный АЦП, то качество получаемого изображения не улучшится, но и не ухудшится. Отметим, что уровень шума в сканерах CCD может быть в несколько раз выше, чем в сканерах LIDE. При физических исследованиях уровень шума сканера может быть измерен и учтен при анализе результатов.

Разброс чувствительности от ячейки к ячейке в ПЗС-линейке. Даже если в сканере предусмотрена калибровка, она выполняется по усредненным значениям от нескольких соседних ячеек, что скрывает мелкие детали изображения.

Уровень перекрестных помех. Это влияние ярко освещенных ячеек на соседние, что также скрывает мелкие детали изображения.

Совмещение цветов. В однопроходных сканерах CCD-технологии цвет падающего света определяется тремя линейками из ПЗС-элементов, для которых технологически трудно обеспечить абсолютную идентичность, а поэтому возможны искажения в получаемых изображениях.

Кроме того, для сканеров CCD-технологии само наличие оптической системы потенциально закладывает возможные искажения в получаемые изображения, поскольку перекося любого элемента в оптической системе приведет к неоднородному считыванию информации вдоль каждой строки, чего нет в сканерах LIDE-технологии, которые обеспечивают более высокую геометрическую точность при сканировании. CCD-сканеры из-за наличия длиннофокусной оптической системы обеспечивают большую глубину резкости (до 5 мм) в отличие от сканеров LIDE (до 0,5 мм). В сканерах LIDE, как правило, отсутствует слайд-модуль.

Анализ изображений, полученных со сканера

В современных сканерах используется трехканальная система представления цвета — RGB. Каждый канал имеет 256 градаций интенсивности. Нулевое значение соответствует отсутствию рассеянной компоненты, т. е. сканируемый объект представляет собой идеальное зеркало. Значению 255 соответствует идеально рассеивающая поверхность, зеркальная компонента отсутствует. В результате имеем $256^3 = 16\,777\,216$ цветовых оттенков, которые различает компьютер, что очень близко к чувствительности человеческого глаза.

Сканер разбивает изображение на отдельные точки — пиксели, количество и линейные размеры которых зависят от

оптического разрешения сканера (см. таблицу). Каждый пиксел имеет свой цветовой «паспорт», а именно, обладает своими координатами в RGB-пространстве. Например, запись (185, 17, 110) означает, что пиксел отображает красный, зеленый и синий цвета с интенсивностями 185, 17 и 110, соответственно. Компьютер получает пикселы со своими «паспортами» и хранит информацию о них в своей памяти.

С помощью сканера удастся одновременно вводить для обработки в компьютер $10^4 - 10^7$ независимых точек отсчета в одном измерении с каждого квадратного сантиметра поверхности формата А4 (см. таблицу), что существенно отличает сканер от систем с одномерной регистрацией сигналов, как это делается в различных сканирующих приборах (атомно-силовой, электронный и туннельный сканирующие микроскопы и др.), которые имеют лучшее геометрическое разрешение, но значительно уступают сканеру по быстродействию и размерам анализируемой площади [8].

Существует ряд графических редакторов, позволяющих обрабатывать большие массивы информации. Чаще других используется графический редактор Adobe Photoshop. Он позволяет подсчитывать количество пикселов в изображении, выводить их распределение по яркостям в виде гистограммы, проводить усредненные оценки по площадям.

Для физических исследований больше подходит программа Origin, основным преимуществом которой является возможность математической обработки данных, полученных со сканера. Origin поддерживает создание двух- и трехмерной научной графики, позволяет проводить численный анализ данных, включая различные статистические операции, выполнять аппроксимацию результатов различными аналитическими зависимостями. Пользуясь данной программой, можно строить гистограммы в различных масштабах, например в логарифмическом. Это позволяет оценивать более широкий диапазон интенсивностей рассеянного света, т. е. определять размеры не только доминирующих рассеивающих об-

разований в исследуемом объекте, но и видеть редко встречающиеся на общем фоне более мелкие и более крупные элементы.

В эксперименте можно с одинаковым успехом использовать сканеры конструкций CCD и LIDE, применяя каждый из них в зависимости от решаемых задач и ориентируясь на перечисленные выше особенности этих моделей. Чтобы не вносить искажения в получаемые изображения, рекомендуем никогда не использовать внутренние настройки сканера и не сохранять изображения в *jpg*-формате, так как при этом можно потерять значительную часть информации. Для сохранения изображений можно использовать один из следующих форматов: *tif*, *bmp*, *pnd* или *raw* [9].

Следует отметить общий недостаток, свойственный всем моделям сканеров. Каждый из них требует своей индивидуальной калибровки, поскольку даже два сканера одной модели, от одного производителя могут различаться по своим характеристикам. По-видимому, это следствие ручной настройки каждого сканера при его изготовлении. На копирование полиграфической продукции это обстоятельство существенного влияния не оказывает, но для надежности получаемых результатов в физическом эксперименте имеет определяющее значение.

Примеры реализации метода

В качестве подтверждения широких возможностей использования планшетных сканеров для физических исследований приведем несколько практических примеров.

На рис. 5 представлена гистограмма распределения интенсивности рассеянного света от пластины сапфира в линейном и логарифмическом масштабах. Логарифмический масштаб позволяет увидеть неоднородности полировки пластины, которые не видны на линейной гистограмме. Основной максимум гистограммы соответствует преимущественному рельефу на поверхности пластины, полуширина максимума отражает разброс шероховатости относительно средней величины, а практически

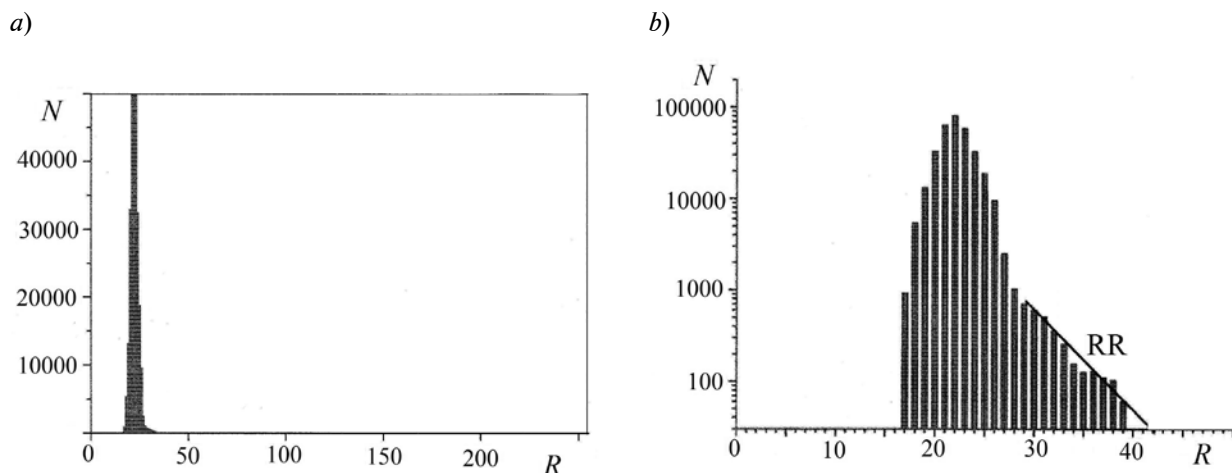


Рис. 5. Гистограмма распределения интенсивности света, рассеянного пластиной сапфира, построенная в линейном (а) и логарифмическом (б) масштабах:
 RR (Rare, Rounphness) – редкие, более грубые неровности

экспоненциальный спад справа от максимума RR соответствует присутствию на поверхности пластины грубого рельефа, что

свидетельствует о недошлифовке пластины на предыдущем этапе ее обработки.

На рис. 6 показаны рельефы поверхности оптического окна из фторида кальция CaF_2 , полученные с помощью сканера до и после финишной полировки. Искривления интерференционных полос (колец Ньютона) демонстрируют неоднородности рельефа. На пластине, прошедшей финишную полировку, кольца Ньютона расположены параллельно и на одинаковых рас-

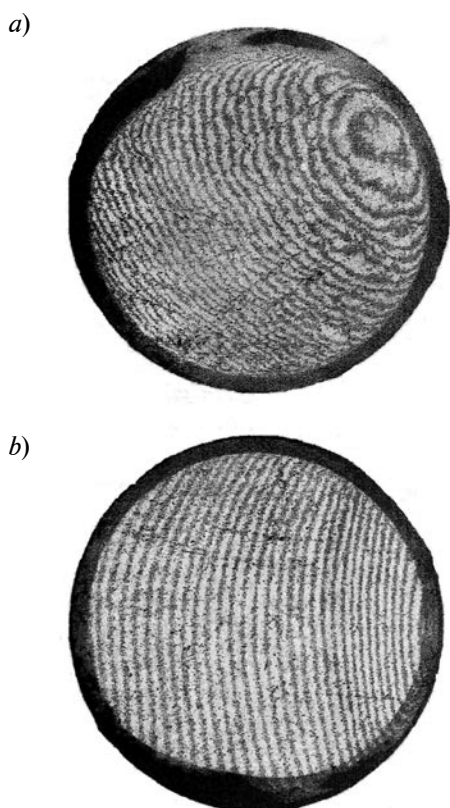


Рис. 6. Рельефы поверхности оптического окна из CaF_2 до (а) и после (б) финишной полировки

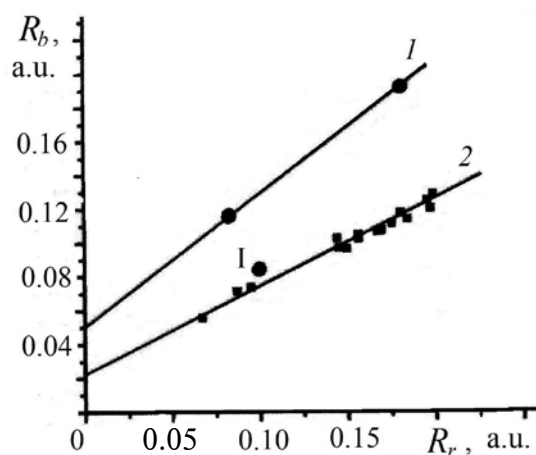


Рис. 7. Определение поли типа кристаллов карбида кремния:
 1 – кубический 3C-SiC, 2 – гексагональный 6H-SiC.
 Образец I, кубический по паспорту, оказался гексагональным

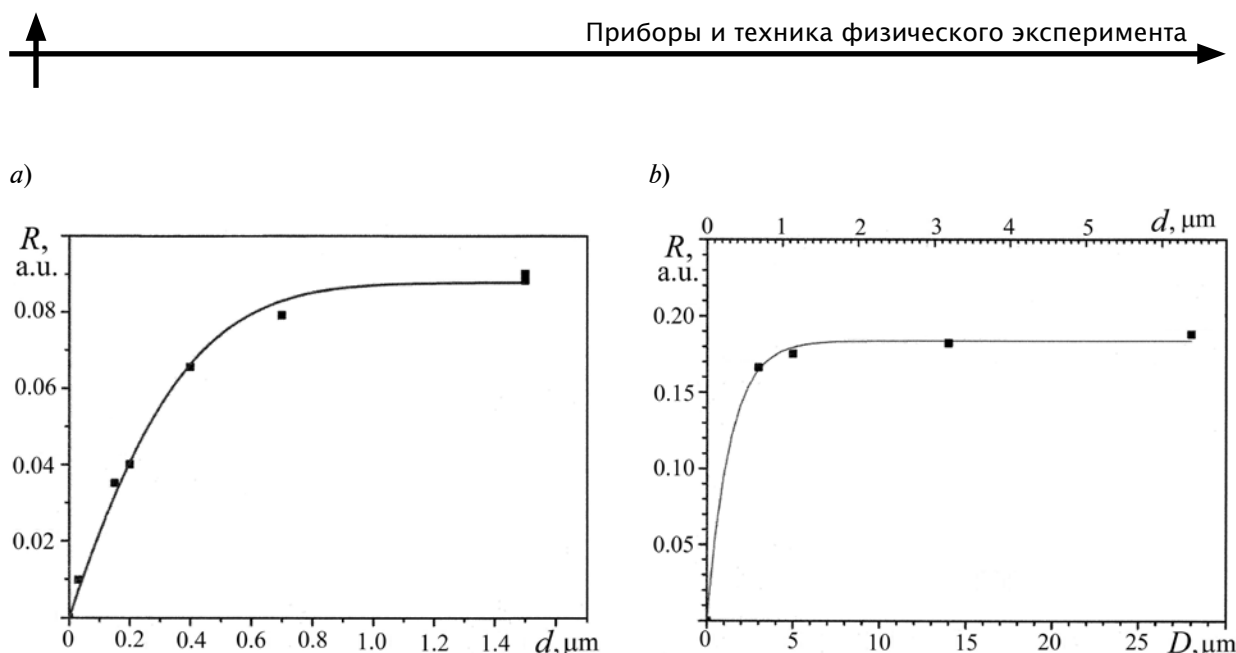


Рис. 8. Калибровочные зависимости для определения шероховатости поверхности для кварца (а) и стекла (б):

символы – эксперимент, сплошные линии – аппроксимация, d – шероховатость, D – размер зерна абразива, использованного при шлифовке

стояниях друг от друга, т. е. на поверхности нет вершин и провалов, а кривизна колец свидетельствует о небольшой конусности поверхности.

Рис. 7 демонстрирует возможности сканера при определении политипа кристаллов карбида кремния SiC, полученных по технологии Lely. Образец I из набора кубических кристаллов 3C-SiC оказался на самом деле гексагональным политипом 6H-SiC. По осям графика отложены в относительных единицах интенсивности рассеяния света образцами карбида кремния в красном (R_r) и синем (R_b) диапазонах длин волн.

На рис. 8 приведены калибровочные зависимости для определения шероховатости пластин кварца и стекла по данным сканирования. Количественная калибровка по величине шероховатости выполнена с помощью измерений на профилометре. На графиках точки соответствуют экспериментальным данным, полученным с помощью сканера, сплошные кривые – аппроксимация.

Подробное описание методик, использующих планшетный сканер для получения результатов, представленных на рис. 5 – 8, предполагается представить в наших даль-

нейших публикациях.

Заключение

Разработан относительно недорогой метод неразрушающего контроля поверхностных и объемных свойств изделий и материалов электронной техники, основанный на применении планшетного сканера для измерения оптической неоднородности контролируемых объектов по характеристикам излучения, рассеянного этими объектами.

Объектами контроля могут быть твердые, жидкие и сыпучие полупроводниковые, диэлектрические и металлические объекты. Контроль может быть выполнен одновременно для серии образцов, размещенных в пределах рабочего окна сканера А4 (290×210 мм), независимо от их количества, размеров и формы.

Метод предназначен для использования, в первую очередь, на производстве как для 100%-го цехового контроля, так и для выборочного экспресс-контроля в заводских лабораториях, но представляет интерес и для исследовательских целей.

Универсальность метода определяется тем, что в нем удачно сочетаются достаточно высокие чувствительность и разрешающая способность, быстрота измерений,

компактность измерительного оборудования, простота обслуживания, отсутствие жестких требований к размещению и установке и сравнительно невысокая цена.

Принципиальное отличие разработанного метода от методов, использующих узкоспециализированное оборудование, состоит в том, что при низкой цене и простоте аппаратного оформления он позволяет измерять широкий спектр физических параметров материалов с достаточно высокой точностью путем обработки большого объема информации, полученной от контролируемого объекта.

В настоящее время в лабораторных условиях разработаны и освоены методики, позволяющие выполнять следующие функции:

измерять физические параметры материалов (от практически прозрачных до почти абсолютно черных в видимой обла-

сти спектра);

измерять степень шероховатости (от 2 нм и грубее) полированных и шлифованных плоских поверхностей, однородность их обработки по площади объекта с латеральным разрешением участков 3 – 10 мкм; количественно оценивать степень недополировки-недошлифовки поверхности на каждой стадии обработки, т. е. выявлять грубый рельеф, включая царапины, на фоне более мелкого;

разделять свет, рассеянный прозрачным объектом, на составляющие (рассеяние от объема, от лицевой и обратной поверхностей) и тем самым отдельно характеризовать поверхностные и объемные свойства объекта;

определять количество, положение и размеры дефектов, их форму и геометрические размеры в пределах оптической разрешающей способности сканера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Горохов Е.В., Титков И.Е., Штурбин А.В. Применение графического редактора ADOBE FOTOSHOP для экспресс-диагностики кристаллов карбида кремния // 3-я Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводников и полупроводниковой опто- и наноэлектронике, Санкт-Петербург. 5–8 декабря 2001. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2001. С. 99.

[2] Железняк А.Г., Сидоров В.Г., Штурбин А.В. Новые оптические методы неразрушающего контроля свойств полупроводниковых материалов и структур // Book of papers of the 5-th Belarussian-Russian Workshop "Semiconductor Lasers and Systems", 1 – 5 June 2005. Minsk, Belarus, 2005. Pp. 168–171.

[3] Железняк А.Г., Сидоров В.Г., Штурбин А.В., Шмидт Н.М. Магнито-абразивная обработка подложек, предназначенных для эпитаксиального выращивания полупроводниковых структур, и бесконтактный метод контроля качества обработки поверхности // 3-я Всероссийская конференция «Нитриды галлия, индия и алюминия: структуры и приборы», Москва, 7 – 9 июня 2004. СПб.: Изд-во Политехнического

ун-та, 2004. С. 17–18.

[4] Железняк А.Г., Сидоров В.Г., Штурбин А.В. Диагностика гомогенности твердых растворов III-нитридов средствами современных IT-технологий // Book of papers of the 6-th Belarussian-Russian Workshop «Semiconductor Lasers and Systems», 4–8 June 2007. Minsk, Belarus, 2007. Pp. 183–186.

[5] Степаненко О.С. Сканеры и сканирование: краткое руководство. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 288 с.

[6] Шпунт Я.Б. Сканирование изображений; 4-е изд. испр. и доп. М.: Изд-во «НТ Пресс», 2004. 411 с.

[7] Овчинников С.М. Секреты сканирования изображений и символов на персональном компьютере. М.: «Майор», 2002. 240 с.

[8] Рыков С.А. Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур : СПб.: Наука, 2001. 52 с.

[9] Жук Ю.А. Компьютерная графика. Средства создания и обработки растровых изображений. Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. 118 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ЖЕЛЕЗНЯК Александр Генрихович – *технический директор ООО «МАО».*

141551, Российская Федерация, Московская обл., Солнечногорский район, Андреевка, д. 16Б
Igrok50@yandex.ru

СИДОРОВ Валерий Георгиевич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики полупроводников и нанoeлектроники ИФНиТ Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
sidorov@rphf.spbstu.ru

Zheleznyak A.G., Sidorov V.G. FLATBED SCANNER AS AN INSTRUMENT FOR PHYSICAL STUDIES.

A new method for nondestructive testing of the optical properties of various materials (semiconductors, dielectrics and metals) has been presented. It is based on the determination of geometric and optical inhomogeneities of the objects using the measurement data on the objects characteristics of the light scattered by them. It has been proposed to use a flatbed scanner as a physical device for measuring the scattered light. An analysis of the method possibilities showed that it is possible to measure the roughness and surface curvature, identify single defects on the surface, to measure the electrophysical parameters of materials being transparent in the visible region of the spectrum by means of the scanner. The method is simple to implement, it is on par with the accuracy of measurements made with many specialized physical devices, it is superior to the expensive equipment in a body of on-line information, it makes testing material properties under production conditions possible.

FLATBED SCANNER, LIGHT SCATTERING, GEOMETRICAL AND OPTICAL INHOMOGENEITIES, SURFACE ROUGHNESS.

REFERENCES

- [1] **E.V. Gorokhov, I.E. Titkov, A.V. Shturbin**, *Primeneniye graficheskogo redaktora ADOBE-FOTOSHOP dlya ekspress-diagnosticsi kristallov karbida kremniya* [The use of graphic editor Adobe Photoshop for rapid diagnosis of silicon carbide crystals] // 3-ya Vserossiyskaya molodezhnaya konferentsiya po fizike poluprovodnikov i poluprovodnikovoy opto- i nanoelektronike, St. Petersburg, December 5–8, 2001. Izd-vo SPbGTU, St. Petersburg, 2001, p. 99.
- [2] **A.G. Zheleznyak, V.G. Sidorov, A.V. Shturbin**, *Novyye opticheskiye metody nerazrushayushchego kontrolya svoystv poluprovodnikovyykh materialov i struktur* [New optical methods of nondestructive testing of properties of semiconductor materials and structures] // Book of papers of the 5-th Belarussian-Russian Workshop “Semiconductor Lasers and Systems”, June 1–5, 2005. Minsk, Belarus, 2005, pp.168–171.
- [3] **A.G. Zheleznyak, V.G. Sidorov, A.V. Shturbin, N.M. Shmidt**, *Magnito-abrazivnaya obrabotka podlozhek, prednaznachennykh dlya epitaksialnogo vyrashchivaniya poluprovodnikovyykh struktur, i beskontaktnyy metod kontrolya kachestva obrabotki poverkhnosti* [Magneto-abrasive treatment of substrates designed for epitaxial growth of semiconductor structures, and non-invasive method of monitoring the quality of surface treatment] // 3-ya Vserossiyskaya konferentsiya «Nitridy galliya, indiya i alyuminiya: struktury i pribory», Moscow, June 7–9, 2004. Izd-vo SPbGPU, St. Petersburg, 2004, pp. 17–18.
- [4] **A.G. Zheleznyak, V.G. Sidorov, A.V. Shturbin**, *Diagnostika gomogenosti tverdykh rastvorov III-nitridov sredstvami sovremennykh IT-tekhnologiy* [Diagnosis of homogeneity in solid solution of III-nitride by means of modern IT-technologies] // Book of papers of the 6-th Belarussian-Russian Workshop “Semiconductor Lasers and Systems”, June 4–8, 2007. Minsk, Belarus, 2007, pp. 183–186.
- [5] **O.S. Stepanenko**, *Skannery i skanirovaniye : kratkoye rukovodstvo* [Scanners and scanning: a quick guide] M.: Izdatelskiy dom “Vilyams”, 2004.
- [6] **Ya.B. Shpunt**, *Skannirovaniye izobrazheniy* [Scanning of images]: 4-ye izd. ispr. i dop. Izd-vo «NT Press», Moscow, 2004.
- [7] **S.M. Ovchinnikov**, *Sekrety skanirovaniya izobrazheniy i simvolov na personalnom kompyutere* [Scanning secrets of images and symbols on person computer], Mayor, Moscow, 2002.
- [8] **S.A. Rykov**, *Skanirovaniye zondovaya mikroskopiya poluprovodnikovyykh materialov i nanostruktur* [Scanning probe microscopy of semiconductor materials and nanostructures], Nauka, St. Petersburg, 2001.
- [9] **Yu.A. Zhuk**, *Kompyuternaya grafika. Sredstva sozdaniya i obrabotki rastrovyykh izobrazheniy* [Computer graphics. Tools for creating and processing bitmap images], Izd-vo Politekhn. un-ta, St. Petersburg, 2014.

THE AUTHORS

ZHELEZNYAK Alexander G.

MAO, LLC

16B, Andreevka, Moscow Oblast, 141551, Russian Federation

Igrok50@yandex.ru

SIDOROV Valeriy G.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

29 Politekhnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation

sidorov@rphf.spbstu.ru