

УДК 621.315.592:537.3:621

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ПО ПОВЕРХНОСТИ ПЛАСТИН И  
ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ***Ткаченко С.В., ст. преп.**Кременчугский государственный политехнический университет  
имени Михаила Остроградского**Кременчуг, ул. Первомайская, 20**E-mail: kafea@polytech.poltava.ua**Притчин С.Э., к.т.н., проф., Сидоренко С.Д., ст. преп., Петрова О. А., ас.**Кременчугский университет экономики, информационных технологий и управления**Кременчуг, ул. Пролетарская 24/37**E-mail: vndr@ient.net*

Наведені результати досліджень фотомодуляційного методу контролю товщини і електропровідності епітаксіальних плівок в двошарових структурах р-п типу з високоомними підложками, реалізованого з використанням розробленої автоматизованої системи.

**Ключові слова:** неруйнуючий контроль, епітаксіальні структури, напівпровідникові матеріали.

There are represented the researching results of photomodulation method control of epitaxial films in the double layer p-n-structures with high-resistance substrate thickness and electroconductivity which realized with the developed automated system assisted.

**Keywords:** nondestructive control, epitaxial structures, semiconductors materials.

**Введение.** Контроль качества пластин и эпитаксиальных структур полупроводниковых материалов является одним из наиболее сложных процессов в измерительной технике. Особенно это касается контроля однородности электрофизических свойств.

Необходимость контроля распределения фотоэлектрических свойств по поверхности пластин и эпитаксиальных структур связана с неоднородностью слитков полупроводниковых материалов по электрофизическим свойствам.

Собственное и примесное поглощение фотонов сопровождается возбуждением дополнительных носителей зарядов в зоне разрешенных энергий [1]. Генерация неравновесных носителей зарядов и изменение их подвижности под действием электромагнитного излучения приводит к изменению проводимости материалов [2]. А изменение проводимости материалов, как известно [3], приводит к изменению сопротивления образцов.

При измерениях чаще всего применяются контактные методы, т. е. параметры полупроводниковых и диэлектрических материалов и металлических пленок измеряют на постоянном или низкочастотном токе. Измерения такими методами предусматривают наличие контакта зонда с образцом, что часто приводит к разрушению исследуемого материала и сложностям в автоматизации измерений.

Достоинством бесконтактных методов, к которым относится также и использованный авторами СВЧ-метод, является возможность проводить изме-

рения, не разрушая материал и не изменяя его свойства. Еще одно преимущество СВЧ-измерений – возможность с помощью одной измерительной установки и на одном образце проводить определение нескольких параметров, измерение которых контактными методами требует создания различных установок и использования нескольких однотипных образцов. Для определения толщины и электропроводности пленок и пластин в слоистых структурах можно использовать результаты измерения параметров взаимодействующего с ними СВЧ излучения при условии, что известно их теоретическое описание.

Важным достижением развития СВЧ диагностики полупроводниковых материалов явилась разработка основ СВЧ фотомодуляционного метода контроля основных параметров полупроводниковых пластин и эпитаксиальных структур [3]. Как известно, этот метод базируется на исследовании зависимости однородности электрофизических свойств (ЭФ) при СВЧ смещении от электрофизических свойств образца и условий его взаимодействия с СВЧ измерительным преобразователем (ИП). К числу наиболее существенных достоинств метода следует отнести легко реализуемую возможность узкополосного усиления сигналов, обеспечения высокой локальности измерений, а также – в ряде случаев – независимость метрологических показателей разрабатываемой измерительной аппаратуры от условий формирования фотопроводимости в исследуемом образце.

**Цель работы.** Возможность оценки распределения какого-либо параметра по поверхности плоской полупроводниковой структуры заложена в самом

принципе формирования сигнала измерительной информации за счет возбуждения фотопроводимости в локализованном участке образца. Количественная характеристика достижимой локальности контроля может ограничиваться размерами апертуры измерительного преобразователя [3]. Однако, очевидно, в пределе такая характеристика ограничивается диффузионной длиной ( $L$ ) фотоносителей в образце.

Распределение фотогенерированных носителей в плоской полупроводниковой пластине нетрудно получить при помощи уравнения диффузии [3]:

$$\frac{1}{D} \cdot \frac{\partial n}{\partial t} = \frac{\partial^2 n}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial n}{\partial r} + \frac{\partial^2 n}{\partial z^2} - \frac{n}{L^2}, \quad (1)$$

где  $n$  – концентрация фотоэлектронов;  $D$  – коэффициент диффузии;  $L$  – диффузионная длина;  $t$ ,  $r$ ,  $z$  – время и две координаты соответственно.

Влияние диффузии фотоносителей на локальность фотомодуляционного контроля полупроводниковых структур в значительной степени зависит от механизма фотопроводимости. Обеспечив соответствующие размеры освещенного участка можно получить локальность порядка  $10^{-8}$  м. Однако основным является биполярный механизм собственной фотопроводимости. В этом случае эффективная область, в пределах которой происходят диффузионные процессы, ограничивается длиной диффузионного смещения носителей за время жизни [6]. Для оценки размеров области диффузии удобно воспользоваться выражением диффузионной длины через коэффициент диффузии  $D$  и время жизни [7]:

$$L = \sqrt{D\tau_{\phi}} \quad (2)$$

С помощью выражения (2) получим для кремния величину диффузионного смещения при комнатной температуре в пределах  $5 \cdot 10^{-6} \div 5 \cdot 10^{-4}$  м, где

коэффициент диффузии  $D=3,5 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/с в диапазоне значений  $\tau_{\phi}=10^{-2} \div 10^{-8}$  с. Это означает, что реально можно локально контролировать участок с геометрическим размером  $d=10^{-5} \div 10^{-3}$  м.

Таким образом, освещая образец пучком света с диаметром поперечного сечения порядка  $L$  и проводя сканирование области освещения поверхности пластины, можно получить информацию о распределении концентрации примеси по площади образца. Для этого необходимо произвести измерение сигнала фотопроводимости в зависимости от координат светового пятна.

Следует, однако, отметить, что при проведении абсолютных измерений распределения фотопроводимости по площади образца существует целый ряд факторов, заметно влияющих на погрешность измерений.

Необходимо строго поддерживать постоянной мощность источника светового излучения и СВЧ генератора.

На величину фотопроводимости оказывают влияние (кроме времени жизни) и другие характеристики полупроводникового материала (квантовый выход, коэффициент поглощения излучения, подвижность носителей заряда).

Предлагаемая автоматизированная система, оснащенная оригинальным СВЧ резонатором, который позволяет осуществлять измерения на отражение, а не на проход, и применение сканатора, оснащенного датчиками положения пятна засветки, управление расположением которого осуществляет ЭВМ, позволила автоматизировать процесс контроля распределения электрофизических величин по поверхности эпитаксиальных структур полупроводниковых материалов.

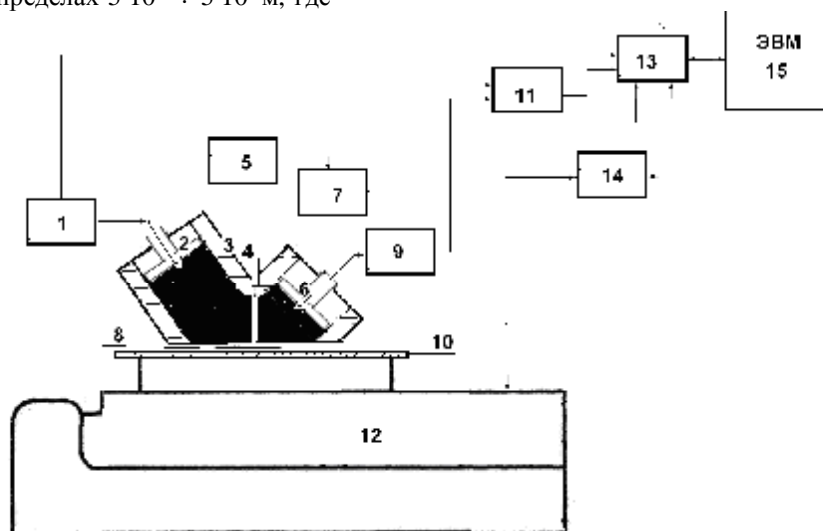


Рисунок 1 – Укрупненная структурная схема автоматизированной системы контроля распределения электрофизических величин: 1 – устройство СВЧ; 2 – поршень; 3 – СВЧ резонатор; 4 – лазер; 5 – генератор импульсов; 6 – настроечный поршень; 7 – привод перемещения поршня со схемой управления; 8 – образец; 9 – СВЧ детектор; 10 – проводящая поверхность; 11 – синхронный детектор; 12 – двухкоординатный стол (сканатор); 13 – устройство ввода-вывода; 14 – устройство управления приводами сканатора; 15 – ЭВМ

Укрупненная структурная схема автоматизированной системы контроля распределения электрофизических величин по поверхности пластин и эпитаксиальных структур полупроводниковых материалов для СВЧ фотомодуляционного контроля электропроводности  $\sigma$  и толщины  $h$ , реализующая данный метод представлена на рис. 1.

**Материал и результат исследования.** При исследовании метрологических показателей в качестве независимых средств измерения были использованы микрометр и четырехзондовая установка. При проведении второй серии измерений нами использовались сведения о толщине пленки, полученные с помощью метода шарового шлифа. В результате проведенных исследований нами было установлено, что при использовании двухпараметрового фотомодуляционного контроля систематическая погрешность не обнаруживается.

Исследование проводились на образцах кремниевых р-п структур типа 10КЭФ4,5/380КДБ10; 10КЭФ0.3/380КДБ10; 10КЭФ1/380КДБ10.

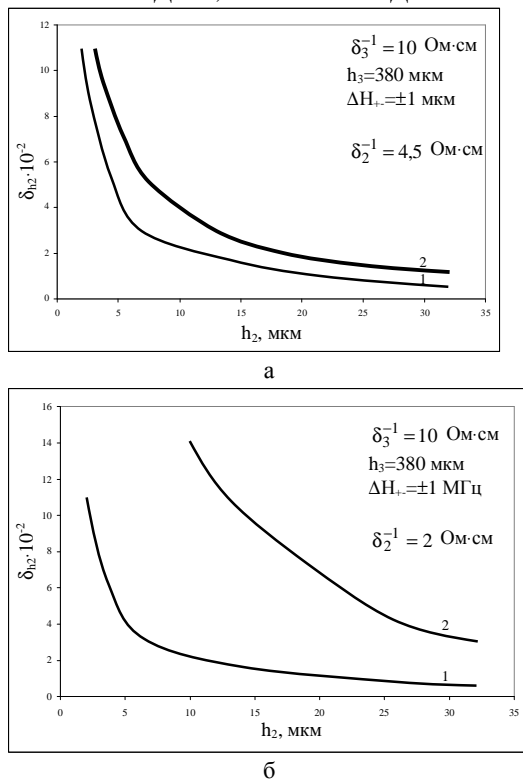


Рисунок 2 – Относительная погрешность измерения толщины пленки

Измерение  $\sigma$  и  $h$  в семи различных точках поверхности пленок осуществляли с помощью двухкоординатного стола (сканатора) и экспериментального макета. Искомые параметры  $\sigma$  и  $h$  определялась с помощью номограмм. Для каждого образца проводилось по 100 измерений, которые, как было установлено, распределены по нормальному закону. Рассчитывались средние значения толщины и электропроводности, полученные фотомодуляционным способом, которые сравнивались со значениями толщины и электропроводности, найденными методом шарового шлифа и четырехзондовым

методом.

Зависимость относительной погрешности измерения электропроводности и толщины пленки от параметров образца представлены на рисунках 2, 3.

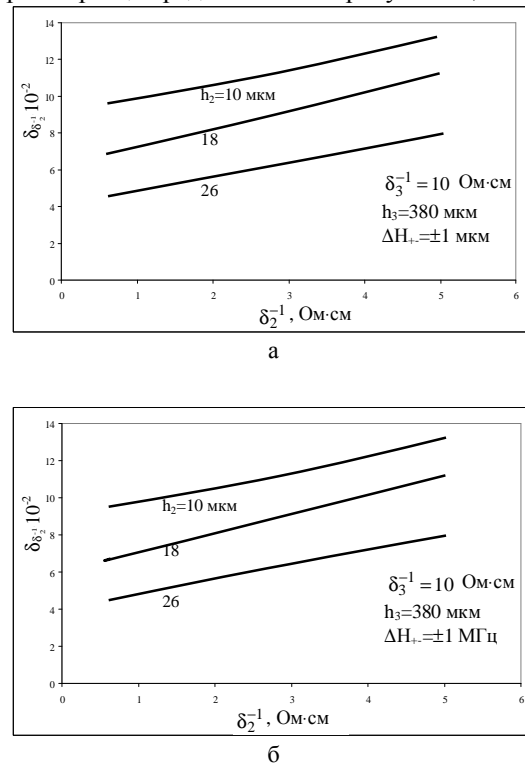


Рисунок 3 – Относительная погрешность измерения электропроводности пленки

**Выводы.** В результате проведенных исследований реализована автоматизированная система на основе фотомодуляционного метода контроля толщины и электропроводности эпитаксиальных пленок в двухслойных структурах р-п типа с высокоомными подложками. Применение управляющей ЭВМ позволило автоматизировать процедуру неразрушающего контроля электропроводности и толщины эпитаксиальных кремниевых структур в различных точках поверхности с высокой степенью локальности и величиной допустимой относительной погрешности измерений не более 12 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Литвинов Р.О. Влияние поверхности на характеристики полупроводниковых приборов. Киев: Наукова думка, 1972. – 115 с.
2. Гордиенко Ю.Е., Бородин Б.Г., Вашерук А.В., Сидоренко С.Д. СВЧ фотомодуляционный метод измерения параметров полупроводниковых пластин и эпитаксиальных структур // Складні системи і процеси. – Запоріжжя. – 2006. – № 2. – С. 35-40.
3. Фотомодуляционный метод контроля параметров полупроводниковых материалов / Ю.Е.Гордиенко, Б.Г.Бородин, Ю.И.Гуд, В.Е.Старков / В сб.: Технология. Сер. Технология приборостроения, 1983. – Вып. 3. – С.82-94.

Статья поступила 15.08.2007.  
Рекомендовано к печати к.т.н., доц.  
Мосьпаном В.А.