

выводятся на индикаторное табло, где с помощью светодиодов выводятся логические результаты диагностики в виде 0 и 1, что соответствует высвечиванию или отсутствию высвечивания светодиода. В докладе предлагается электронная схема тестера с полной информацией о принципах его работы, а так же демонстрация самого прибора.

## НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМОЙ

*О.В. Зинчук, М.С. Тиванов, С.В. Чигирь*

Научные руководители – д.ф.-м.н., профессор *А.К. Федотов*,

к.ф.-м.н, доцент *Н.А. Дроздов*

*Белорусский государственный университет*

Известно, что ионно-плазменная обработка пластин кремния приводит к изменению морфологии поверхности – увеличению шероховатости. Это может быть использовано для создания антиотражающего покрытия в производстве солнечных элементов. Данная работа посвящена исследованию влияния энергии и потока ионов водорода на структурирование поверхности и электрические свойства кремниевых подложек. Пластины кремния, выращенного по методу Чохральского, были облучены ионами водорода с разными энергиями и разной длительностью. В работе представлены результаты исследований морфологии поверхности пластин методами атомной силовой микроскопии (АСМ), а также измерений диффузионной длины и времени жизни неосновных носителей заряда (ННЗ) в обработанных водородом пластинах кремния.

Для исследования влияния ионно-плазменной обработки водородом на морфологию поверхности и свойства монокристаллического кремния использовались стандартные промышленные пластины КДБ-12 с ориентацией поверхности (100). Образцы обрабатывались в водородной плазме в вакуумной установке ионного облучения при давлении  $5 \cdot 10^{-4}$  Торр. Был использован широкоапертурный источник ионов водорода на основе двухкаскадного самостоятельного разряда низкого давления с холодным полым катодом [1]. Плотность потока ионов водорода составляла  $0,1 \text{ мА/см}^2$ . В процессе экспериментов получено пять серий образцов, каждой из которых соответствовала определенная энергия ионов (100, 200, 400, 600 и 800 эВ). Для каждой использованной энергии при помощи программы SRIM-2003 рассчитывалась глубина проникновения и коэффициент распыления ионов водорода, а также среднеквадратичные значения шероховатости после облучения для каждой серии образцов. Длительность облучения для образцов каждой серии составляла 5, 10, 20 и 40 мин, а температура подложки в процессе облучения была  $\sim 40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Для изучения шероховатости поверхности облученных образцов использовался атомный силовой микроскоп (АСМ) “FEMTOSCAN-001” с полем сканирования до  $5 \times 5 \text{ мкм}^2$ , работающий в контактном режиме с использованием кремниевых кантилеверов. С целью исследования влияния ионно-плазменной обработки на электрические свойства пластин на облученных образцах проводилось оценка диффузионной длины ННЗ на основе измерения спектральной зависимости фотоотклика в системе “кремний-электролит” [2], а также времени жизни ННЗ методом кинетики спада фотопроводимости [3].

Наблюдается наибольшая шероховатость у образцов после облучения ионами водорода с энергиями 400-800 эВ в течение 5 мин. Более длительное облучение образцов приводит к уменьшению шероховатости поверхности (планаризации пластин).

С увеличением времени облучения происходит уменьшение диффузионной длины неосновных носителей, причём особенно сильнее (в 6-10 раз за первые 5 мин обработки). Кроме того, как показали эксперименты, характерной особенностью образцов является появление изгиба зон на обработанной стороне, что проявлялось в фотовольтаическом эффекте и повышении фоточувствительности в коротковолновой области спектра. Это свидетельствует об интенсивном дефектообразовании вблизи поверхности кремния в процессе обработки водородом. Однако выявление типа и природы этих дефектов требуют дальнейших исследований.

## Литература

1. А.И. Стогний, С.В. Корякин // ПТЭ.- 2000.- №6.- с. 64-67,
2. D.L. Lile, N.M. Davis semiconductor profiling using an optical probe // Solid State Electron.- 1975.- v. 18.-№ 7-8.- p. 699-704.
3. С.М.Рывкин. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. -М.: Физматгиз, 1963.

## ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОК, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

*А.В. Иванов*

Научный руководитель – *В.И. Попко*

*Белорусский национальный технический университет*

Внимание исследователей многих стран давно привлечено к разработке преобразователей солнечной энергии, практическое применение которой не связано с загрязнением окружающей среды и, как следствие, изменением теплового баланса планеты. В современной фотоэлектрической энергетике особое внимание уделяется разработке высокоэффективных дешёвых тонкопленочных солнечных элементов с продолжительным сроком службы, которые успешно могут заменить применяемые в настоящее время элементы на основе кремния и арсенида галлия. Среди новых перспективных полупроводниковых материалов, пригодных для создания на их основе эффективных фотопреобразователей следует выделить трехкомпонентное соединение меди  $\text{CuInSe}_2$ . По своим физическим свойствам (ширина запрещенной зоны и большой коэффициент оптического поглощения) это соединение удачно подходит для изготовления на его основе солнечных элементов. Кроме этого радиационная стойкость приборов на основе этого соединения в 50 раз выше по сравнению с Si и GaAs.

Целью настоящей работы являлось исследование температурных зависимостей электропроводности плёнок  $\text{CuInSe}_2$ . Процесс получения плёнок включал в себя нанесение слоёв меди и индия на стеклянную подложку методом термического напыления и последующий температурный отжиг в парах селена в атмосфере инертного газа (азот). Исследование температурной зависимости электропроводности позволяет определить значения энергий активации энергетических уровней в запрещённой зоне, обусловленных дефектами различного типа, образующимися при формировании плёнки. Измерение температурных зависимостей плёнок проводилось в вакуумной камере в температурном интервале 80–400К. В качестве электрических контактов использовался токопроводящий клей, который, согласно предварительно проведенным исследованиям являлся омическим контактом к вышеуказанным плёнкам во всём температурном интервале. Все исследованные плёнки имели p-тип электропроводности. Температурные зависимости электропроводности описываются известным соотношением  $\sigma = \sigma_0 \exp(-\Delta E_a/kT)$ , где  $\Delta E_a$  – энергия активации энергетического уровня, который при данной температуре участвует в создании носителей заряда, определяющих величину электропроводности. Поэтому для определения энергий активации энергетических уровней необходимо регистрация температурной зависимости электропроводности. Если преобразовать её в зависимость вида  $\ln \sigma = f(1000/T)$ , то по наклону прямолинейных участков в определенных интервалах температур можно определить соответствующие значения энергий активации энергетических уровней  $\Delta E_a$ . Согласно имеющимся литературным данным вышеуказанные плёнки имеют собственные дефекты типа вакансии меди ( $V_{\text{Cu}}$ ) и вакансии селена ( $V_{\text{Se}}$ ). Эти дефекты являются основными для данного полупроводникового соединения и определяют тип проводимости и значение величины удельного сопротивления. Из полученных нами температурных зависимостей электропроводности были определены два значения энергий активации энергетических уровней, созданных собственными дефектами в плёнках. Первое значение энергии активации  $\Delta E_1 = 0,093$  эВ, определённое в температурном интервале  $\Delta T_1 = 140-300\text{K}$  можно приписать вакансиям селена, образующим донорные энергетические уровни в запрещённой зоне. Второе значение  $\Delta E_2 = 0,045$  эВ было определено в температурном интервале  $\Delta T_2 = 80-140\text{K}$  и