

ХЕРСОНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

Нечипоренко Юрий Леонидович

ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ

С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЗРАЧНЫХ ПРОВОДЯЩИХ ОКСИДОВ

Специальность 01.04.10 - физика полупроводников и диэлектриков

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Запорожье - 1994



00756740 (Т)

копiя.

на Запорiжському титано - магнiевому комбiнаті
в Запорiжському iндустріальному iнституті.

Наукові керівники - доктор технічних наук, професор,
Д.І. Левинзон;
кандидат фізико - математических
наук, доцент Н.Н.Ткаченко

Офіційні опоненти: доктор фізико - математических наук,
професор Н.Л.Дмитрук,
Інститут напівпровiдників Академії
наук України;

кандидат технічних наук,
доцент Л.Н.Галкін,
Запоріжський державний
університет

Ведущая організація: виробниче об'єднання
"Преобразователь", г. Запоріж'є

Захист проводиться " " 1994 г. в _____ годин на
засіданні спеціалізованого ради Д 19.01.02 по присудженню
учених степеней при Херсонському iндустріальному iнституті по
адресу: 325009, г.Херсон, Вериславське шоссе, 24, ХІІ

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці iнститута.

Автореферат розісланий " " / 1994 г.

Справки по телефону 0552-51-64-68

Ученый секретарь
спеціалізованого ради
д.х.м., професор

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

А.А. Новиков

АВ - 29.507

Характеристика работы

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ. Энергетические потребности человечества растут высокими темпами. Традиционные источники получения энергии невозобновимы и будут исчерпаны в обозримом будущем. Кроме того, современные технологии получения энергии в большинстве случаев не исключают загрязнения окружающей среды. Солнечная энергетика представляет разумную альтернативу использованию тепловых, химических и ядерных источников тока. По своим энергетическим ресурсам солнечное излучение вполне способно удовлетворить растущие потребности человечества.

Основной причиной ограниченного использования фотопреобразователей (ФП) является их высокая стоимость, определяемая, главным образом, ценой и показателями качества используемого кремния, который в настоящее время остается основным полупроводниковым материалом, применяемым для этих целей.

Вторая причина связана с трудностями получения ФП с высоким коэффициентом полезного действия, хотя ФП и представляется на первый взгляд достаточно простым устройством. Сегодня определенно ясно, что разработка и изготовление высокоэффективных и экономичных фотопреобразователей требует использования достижений многих областей науки и техники.

В настоящее время проводится большое количество исследований, направленных на повышение эффективности и снижения стоимости ФП. Основные направления исследований связаны с поиском новых материалов и технологий, обеспечивающих достижение указанных целей. Однако несмотря на то, что имеется большое количество публикаций, посвященных проблемам производства ФП, практические рекомендации по их изготовлению, повышению эффективности, экономичности и, главное, разработке реальных технологий далеко не отработаны и не завершены.

ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ является исследование, разработка и внедрение в промышленность экономически выгодной, воспроизводимой и простой технологии производства высокоэффективных фотоэлектрических преобразователей для солнечных батарей и энергетических панелей на основе различных промышленных видов кремния и кремниевых композиция.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие ЗАДАЧИ:

разработать и обосновать модель структуры фотопреобразователя на основе кремния, удовлетворяющую требованиям высокого качества и экономичности;

провести теоретические и экспериментальные исследования различных способов формирования фотопреобразователей с оптимальными показателями качества и технологичности;

реализовать полученные разработки в условиях опытного и серийного производства и оценить их экономическую эффективность;

разработать комплект технологических документов на изготовление высокоэффективных и экономически выгодных фотопреобразователей и солнечных батарей на их основе для различных областей применения.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ

1. Впервые разработана и обоснована физическая модель гетеропереходного фотопреобразователя, отличительной особенностью которого является сочетание активной ростовой поверхности кремния и слоя широкозонного прозрачного проводящего оксида, обеспечивающее его достаточно высокие показатели качества, определяемые высокими характеристиками поверхности в функциональной области перехода.

2. Исследованы электрофизические характеристики широкого спектра промышленно производимых видов кремния и кремниевых композиций, сделано заключение о предпочтительности использования структур $n-p^+$ - типа, полученных методом эпитаксиального наращивания, с гетеропереходом ITO/Si.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

1. Разработана экономически эффективная промышленная технология изготовления фотопреобразователей, предусматривающая возможность использования кремния "солнечного" качества и вторичных продуктов полупроводникового производства.

2. Установлена возможность изготовления ФП с приемлемыми параметрами из объемных поликристаллов, выращенных методом Чохральского из отходов моно- и поликристаллов кремния.

3. Результаты работы внедрены в КВ "Фотон" Днепропетровского

государственного университета, частично на Запорожском титано - магниевом комбинате и производственном объединении "Гамма" (Запорожье); технология изготовления ФП передана НПО "Гран - Полет" (Челябинск, Россия).

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Модель ФП на основе кремния с гетеропереходом типа ИТО/ n -Si, включающая в себя эпитаксиальный слой кремния n - типа электропроводности, выращенный на подложке из кремния относительно низкого качества, слой широкозонного полупроводника, состоящего из смеси проводящих оксидов индия и олова, лицевого и тыльного контактов.

2. Способ изготовления экономичных ФП на основе композиция типа ИТО/ n -Si, обеспечивающий при условиях освещенности, равных $AM1$, на монокристаллических ФП к.п.д. η 12 %, плотность тока короткого замыкания I_{sc} 25 мА/кв.см, напряжение холостого хода U_{oc} 470 мВ, коэффициент заполнения вольт - амперной характеристики (ВАХ) ff 0.67; на поликристаллических ФП η - 10 %, I_{sc} - 19 мА/кв.см, U_{oc} - 510 мВ, ff - 0.55.

3. Результаты исследований оптических и электрофизических параметров прозрачных проводящих оксидов In_2O_3 , SnO_2 , их смесей (ИТО), а также ФП типа ИТО/Si и выявленные при этом закономерности влияния технологических параметров на показатели качества и функционирования ФП.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

Основные материалы диссертации докладывались и обсуждались: на Всесоюзном научно - техническом совещании "Пути совершенствования технологии полупроводниковых и диэлектрических материалов электронной техники", октябрь 1988 г., г.Одесса; на конференции "Материалы и компоненты электронной техники" г.Запорожье, апрель 1990 г.;

на научном семинаре кафедры физической электроники Черновицкого государственного университета, мая 1991 г.;

на конференции по электронным материалам РАН, Сибирское отделение, Новосибирск, 9 - 14 августа 1992 г.;

на научном семинаре кафедры физической электроники Херсонского индустриального института, апрель 1993 г.;

на заседаниях регионального научного семинара по физико-материаловедению и техническим применениям полупроводников - периодически;

на заседаниях и научных семинарах кафедры компонентов и материалов электронной техники ЗИИ - периодически.

ПУБЛИКАЦИИ. По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ, подготовлен научно - технический отчет, получено авторское свидетельство.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИССЕРТАЦИИ. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и рекомендаций, списка использованных источников 61 наименования и содержит 102 страниц машинописного текста, 36 рисунков и 5 таблиц.

В приложении содержится технологический регламент изготовления ФП и технико - экономическое обоснование производства экономически эффективных фотопреобразователей.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, указаны ее научная новизна и практическая ценность, а также указаны основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава носит обзорный характер и содержит анализ информационных источников о материалах и технологических процессах изготовления ФП.

Приведен обзор экспериментальных и теоретических результатов разработок технологии изготовления ФП с применением ППО, гетеропереходов $\text{SnO}_2 - \text{In}_2\text{O}_3/n\text{-Si}$. Рассмотрены методы и аппаратура изготовления ППО, применяемые легирующие добавки к ППО, их оптические и электрофизические характеристики в зависимости от использованной аппаратуры и состава. Приведен обзор работ о роли и особенностях использования туннельно - тонкого диэлектрика в ФП со структурой $\text{SnO}_2 - \text{In}_2\text{O}_3/\text{SiO}_x/n\text{-Si}$.

Обосновано преимущество применения тонких пленок, в том числе пленок прозрачных проводящих оксидов (ППО) SnO_2 , In_2O_3 , ИТО в технологии ФП как одного из значительных резервов их

удешевления. Рассмотрены основные электрические параметры ФП различной структуры.

Дан обзор типов ФП и основных элементов технологии их изготовления.

На основании анализа известных источников выяснены проблемы в области исследования и сформулированы задачи диссертационной работы. Сделан вывод о том, что одной из особенностей технологии изготовления рассмотренных типов ФП, является то, что их активные области располагаются в приповерхностном слое, содержащем нарушения, возникшие при его механической обработке. Представляют интерес для исследования фотопреобразователи со структурой типа ITO/Si, в которых активная область является гетеропереходом, образуемым при контакте слоя ITO со слоем крениния, полученным эпитаксиальным способом, имеющим лучшие характеристики поверхности. Показано, что практически полностью отсутствует в отечественной научно - технической практике опыт изготовления ФП с ППО на основе технология, использующих многослойные и поликристаллические структуры. Этот пробел и призвана заполнить выполненная работа.

Во второй главе представлены данные о техническом обеспечении экспериментов и методиках выполнения измерений.

Дано краткое описание конструкции и технических характеристик основного технологического оборудования и оснастки, использованных для изготовления ФП. Для изготовления эпитаксиальных слоев крениния применяли установки эпитаксиального наращивания УНЭС-2ПК-А с вертикальным графитовым нагревателем в металлическом реакторе. Слои поликристаллического крениния изготавливали на установке "Днепр". Для осаждения слоев крениния применялся метод водородного восстановления тетрахлорсилана $SiCl_4$ и трихлорсилана $SiHCl_3$. Эпитаксиальные слои легировались треххлористым фосфором PCl_3 . Диффузию бора и фосфора проводили на установках СДО 125/3-12. Осаждение слоев металлов осуществляли вакуумным напылением на установке УВН-71 Р-3. Описана лабораторная установка получения слоев ППО методом пульверизации с последующим пиролизом. Описана установка измерения и сортировки фотопреобразователей по их к.п.д. Даны показатели качества основных материалов, которые применялись для изготовления ФП.

Изложены экспериментальные методики изготовления ФП. Приведены аппаратурно - технологические схемы их изготовления. ФП типа ITO/n-Si/n⁺Si получали на основе кремниевых однослойных эпитаксиальных структур, которые подвергались травлению в плавиковой кислоте, затем на лицевую поверхность структуры осаждали методом пульверизации с последующим пиролизом слоя ITO. Далее наносили вакуумным напылением сплошной тыльной и лицевой гребенчатый токосъемный контакт. Сформированные на пластине ФП скраивали и сортировали по электрофизическим параметрам. ФП типа ITO/p⁺-Si/n-Si/n⁺Si получали также на основе кремниевых однослойных эпитаксиальных структур. P⁺-слой был создан на поверхности эпитаксиального слоя методом диффузии бора.

В заключении главы даны методики исследования оптических и электрофизических параметров ППО и ФП. Приведено краткое техническое описание установок измерения электрофизических параметров кремниевых структур и ФП - удельного и поверхностного электрического сопротивления (УЭС), толщины слоев, концентрационного профиля распределения примеси в слоях кремния, времени жизни неосновных носителей заряда, спектральных, вольт - амперных, вольт - фарадных характеристик ФП, установки измерения коэффициента отражения оптических покрытий. Кратко описаны разработанные и изготовленные экспериментальная установка измерения времени жизни неосновных носителей заряда в слоях кремния, отличающаяся от аналогов способностью измерения особо малого значения времени жизни ($\tau \sim 10^{-10}$ с), лабораторная установка измерения вольт - фарадных характеристик ФП, приставка к монохроматору МУМ, позволяющая определять оптические параметры ФП. Приведены методики экспериментальных исследований параметров слоев кремния, слоев ППО, фотопреобразователей.

В третьей главе приведены результаты разработки технологии изготовления прозрачных проводящих оксидов и обобщены результаты исследования их характеристик.

Разработан температурный режим, условия напыления указанных слоев ППО методом пульверизации с последующим пиролизом на поверхность кремниевых пластин диаметром 60 - 76 мм. Скорость осаждения пленок составляла 20 - 50 Å. При выбранных режимах метод позволяет получить пленки, обладающие хорошей адгезией к кремнию, высокой механической прочностью, длительной стабильностью в

нормальных условиях и при повышенной температуре, не содержащие пор и сквозных отверстий. Пленки имеют шероховатую поверхность. Характер рельефа поверхности определяется условиями распыления раствора и температурой подложки. В зависимости от условия осаждения микроструктура пленок изменялась от аморфной до поликристаллической.

Изложены результаты исследования оптических и электрофизических характеристик ППО SnO_2 , In_2O_3 , смеси $\text{SnO}_2:\text{In}_2\text{O}_3$ (ITO), $\text{SnO}_2:\text{In}_2\text{O}_3:\text{F}^+$, имеющих различную толщину и содержание компонентов. Выполнен теоретический расчет спектральной зависимости коэффициента отражения слоя ITO различной толщины. Представлены результаты измерения этого параметра на реальных образцах ФП, имеющих различную толщину и состав. Определен коэффициент пропускания, тип электропроводности, поверхностное сопротивление, время жизни н.н.з. а также напряжение холостого хода (при нанесении ППО на эпитаксиальный слой кремния) указанных ППО.

ППО, имеющий состав 95 % In_2O_3 , 5 % SnO_2 и толщину порядка 600 - 700 Å является оптимальным для создания гетероперехода с кремнием электронного типа электропроводности. Для уменьшения поверхностного сопротивления ППО в качестве легирующей добавки в распыляемый раствор вводили 1 - 3 % NH_4F или другого вещества, содержащего ион фтора. Явление просветления наиболее сильно в спектральном диапазоне 0.5 - 0.8 мкм.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что изменяя толщину и состав слоя ITO можно эффективно управлять спектральной характеристикой ФП. Отжиг, проводимый после осаждения слоя ITO, изменяет их электропроводность, но микроструктура и внешний вид пленок практически не изменяются.

С помощью ИК - спектрометрии определен характер изменения коэффициента пропускания слоя ITO. В диапазоне длин волн от 2.5 до 5.0 мкм коэффициент пропускания слоя ITO толщиной ~700 Å, нанесенного на кварцевую пластину, монотонно уменьшается от 90 до 85 %.

Измерения, выполненные методом Ван-дер-Пау позволили

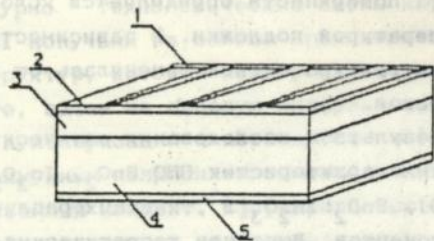


Рис.1. Фотопреобразователь типа ITO/nSi/n+Si. 1 - гребенчатый лицевой контакт; 2 - слой ITO; 3 - слой эпитаксиального кремния n-типа; 4 - подложка n типа; 5 - сплошной тыльный контакт

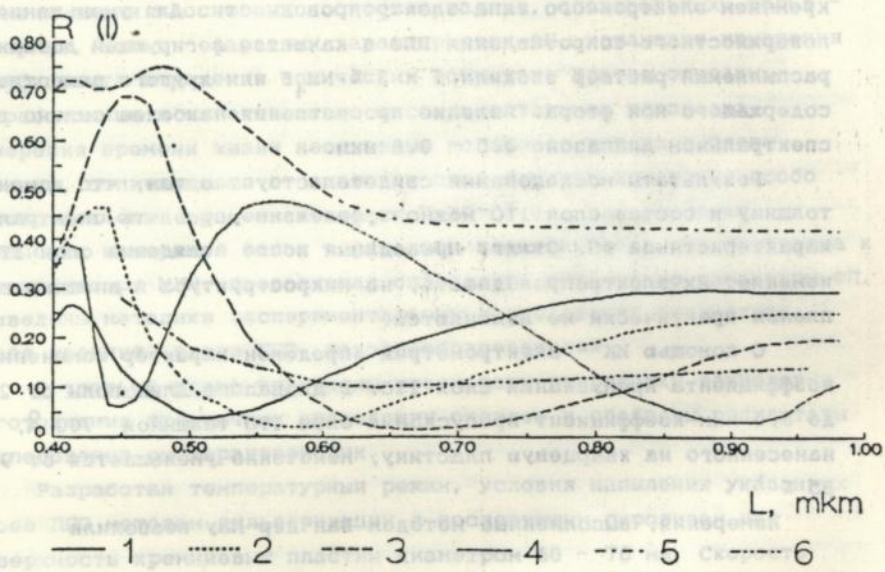


Рис.2. Значения коэффициента отражения $R(\lambda)$ слоя ITO различной толщины: 1 - 620 Å; 2 - 660 Å; 3 - 695 Å; 4 - 1200 Å; 5 - $R(\lambda)$ полированной поверхности кремния; 6 - $R(\lambda)$ поверхности кремния со слоем SiO толщиной 700 Å

установить, что концентрация примеси в слое ITO для разных образцов находится в интервале $1.7 - 2.5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. При этом удельное электрическое сопротивление слоя ITO на этих образцах составляло $4.1 - 4.7 \text{ Ом.см}$. Удельное электрическое сопротивление этих же образцов, измеренное с помощью четырехзондового метода, оказалось достаточно близким, оно составило $6.0 - 6.5 \text{ Ом.см}$. Подвижность неосновных носителей заряда в слое ITO составляла $880 - 930 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

С целью изучения влияния слоя SiO_x , вырастающего в нормальных условиях на поверхности кремния, на параметры ФП, кремниевые эпитаксиальные структуры после снятия слоя SiO_x в плавиковой кислоте подвергались выдержке различной длительности в контролируемой атмосфере. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что режимы отнывки структур перед напылением слоя ITO играют важную роль. Увеличение выдержки после снятия слоя SiO_x снижает величину I_{sc} .

На основании результатов экспериментальных исследований и справочных данных построена энергетическая зонная диаграмма гетероперехода $\text{SnO}_2 - \text{In}_2\text{O}_3/\text{SiO}_x/n\text{-Si}$.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния различных видов исходного кремния на показатели качества и технологичности фотопреобразователей. В этой главе анализируются характеристики ФП, изготовленных на основе моно- и поликристаллического кремния и на основе кремниевых композиция.

Изложены результаты исследования оптических и электрофизических параметров экспериментальных образцов ФП различного типа. Представлены результаты определения оптических и электрофизических параметров кремниевых структур и ФП - удельного и поверхностного электрического сопротивления (УЭС), толщины слоев, концентрационного профиля распределения примеси в слоях кремния, времени жизни неосновных носителей заряда, спектральных, вольт - амперных, вольт - фарадных характеристик ФП.

Исследовано влияние параметров эпитаксиального слоя на электрические параметры ФП, влияние термоотжига, введения лицевого p^+ - слоя, сформированного методом диффузии.

Установлено, что структурные дефекты эпитаксиального слоя в

виде ямок, бугров, пирамид, рисок, царапин, дефектов упаковки, дислокаций, непараллельность толщины эпитаксиального слоя на электрофизические свойства ФП существенно не влияют.

На основании анализа экспериментальных данных сделан вывод о том, что с увеличением толщины и удельного электрического сопротивления эпитаксиального слоя к.п.д. ФП типа $\text{ITO}/\text{nSi}/\text{n}^+\text{Si}$ увеличивается. При этом наблюдается рост $U_{0\text{с}}$ и $I_{\text{сс}}$. В увеличении $I_{\text{сс}}$ с ростом толщины эпитаксиального слоя главную роль, очевидно, играет увеличение толщины переходного слоя между n^+ подложкой и эпитаксиальным слоем. Переходной слой создает тянущее поле, увеличивая коэффициент собирания носителей. Кроме того, большая величина удельного электрического сопротивления эпитаксиального слоя способствует расширению области тянущего поля в сторону лицевого контакта.

С целью увеличения толщины переходного слоя и улучшения параметров ФП проводился термоотжиг эпитаксиальных структур при температуре 1000°C в течение 60 мин. в атмосфере водорода. В результате термоотжига напряжение холостого хода ФП возрастает на 3 - 9 %.

Проведен сравнительный анализ электрофизических характеристик ФП со структурой $\text{ITO}/\text{nSi}/\text{n}^+\text{Si}$ и $\text{ITO}/\text{p}^+\text{Si}/\text{nSi}/\text{n}^+\text{Si}$. Оба типа ФП были получены на основе кремниевых эпитаксиальных структур. P^+ -слой создавался методом диффузии бора в эпитаксиальный слой. Установлено, что в том случае, когда в структуру $\text{ITO}/\text{nSi}/\text{n}^+\text{Si}$ вводится p^+ слой и в качестве активного p-n -перехода используется переход $\text{p}^+\text{Si}/\text{nSi}$, а слой ITO используется не для создания гетероперехода, а в качестве просветляющего покрытия, увеличение напряжения холостого хода ФП составляет 3 - 9 %, увеличение к.п.д. ФП незначительно. Поэтому из экономических соображений предпочтительнее применять структуру $\text{ITO}/\text{nSi}/\text{n}^+\text{Si}$.

В качестве базовой была выбрана технология изготовления ФП на основе монокристаллического кремния с гетеропереходом, который создавался с помощью ППО. В качестве ППО применялся слой ITO . ФП с ППО имеют высокую эффективность при наличии изотипного перехода в базовом материале. Поэтому в качестве подложки применяли кремниевую однослойную эпитаксиальную структуру (КОЭС) n-n^+ -типа.

На разработанной и изготовленной лабораторной измерительной установке измерено время жизни носителей в эпитаксиальных слоях

кремния. Обнаружен факт зависимости времени жизни $n.h.c.$ τ в зависимости от расстояния от центра структуры. По мере удаления от центра структуры среднее значение τ убывает. На основе исследованных образцов диаметром 76 мм изготовлены ФП типа ITO/nSi/n⁺Si размером 8 * 12 мм. Величина I_{sc} у крайних ФП в среднем меньше, чем у центральных, а U_{oc} не зависит от того, из какого места вырезан ФП.

Исследована возможность использования в качестве основы фотопреобразователя эпитаксиальных структур имеющих размытый концентрационный профиль, высокоомную переходную область или слой с дырочным типом электропроводности. Изготовлены ФП на основе структур $n - n^+$ типа, имеющих эпитаксиальный слой толщиной до 100 нм.

Для оценки качества гетероперехода и определения его параметров, влияющих на характеристики ФП, анализировался характер изменения емкости гетероперехода C в зависимости от изменения напряжения смещения U . Характеристика в интервале $-30 \text{ мВ} < U < 30 \text{ мВ}$ представляет собой наклонную прямую, что свидетельствует о том, что переход является резким. Емкость обедненного слоя перехода для ФП, имеющих площадь от 1.0 до 2.5 см^2 , находилась в интервале от 3 до 9 нФ. Концентрация легирующей примеси, измеренная методом ВФХ, близка к данным, полученным холловскими измерениями, и равна для различных образцов от 1.2 до $8.5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Высота потенциального барьера гетероперехода ITO/n-Si, экспериментально определенная на исследованных образцах, находилась в интервале 0.58 - 0.78 мВ.

Характеристики экспериментально изготовленных ФП типа ITO/nSi/n⁺Si на основе эпитаксиальных слоев даны в сравнении с диффузионными и текстурированными ФП.

Изготовлены и исследованы ФП в качестве подложек которых использовались кремния поликристаллический, полученный методом литья расплава по технологии, разработанной на Запорожском титано - магниево комбинате, на Светловодском заводе чистых металлов и кремния поликристаллический, полученный методом Чохральского из отходов производство монокристаллического кремния.

Размер зерен поликристалла ЗМК заметно различался по объему слитка. В поверхностном слое по образующей и торцам слитка располагались более крупные зерна столбчатой формы, ориентированные от поверхности вглубь слитка. Большая размер

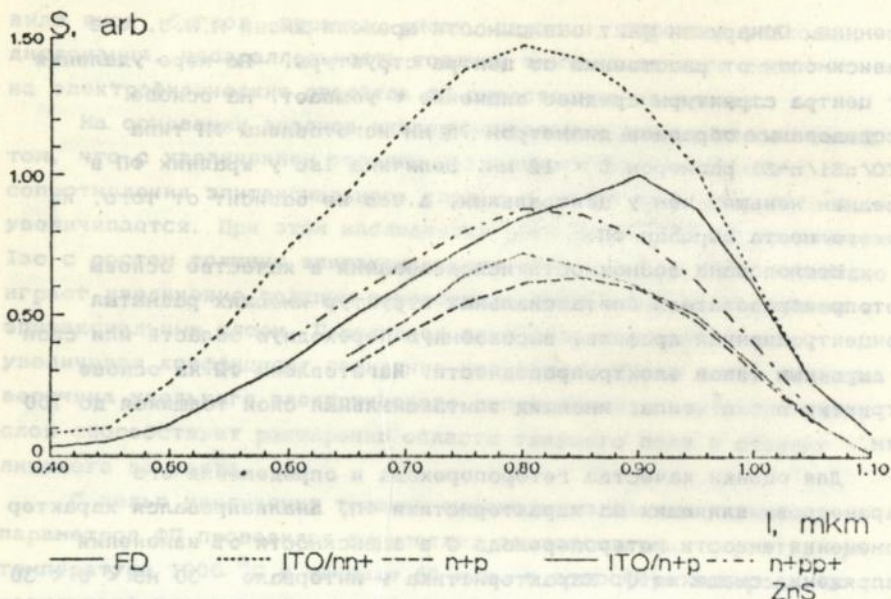


Рис. 3 Спектральные характеристики (в условных единицах) ФП различной структуры с просветляющими покрытиями ITO, ZnS и образцового фотодиода FD

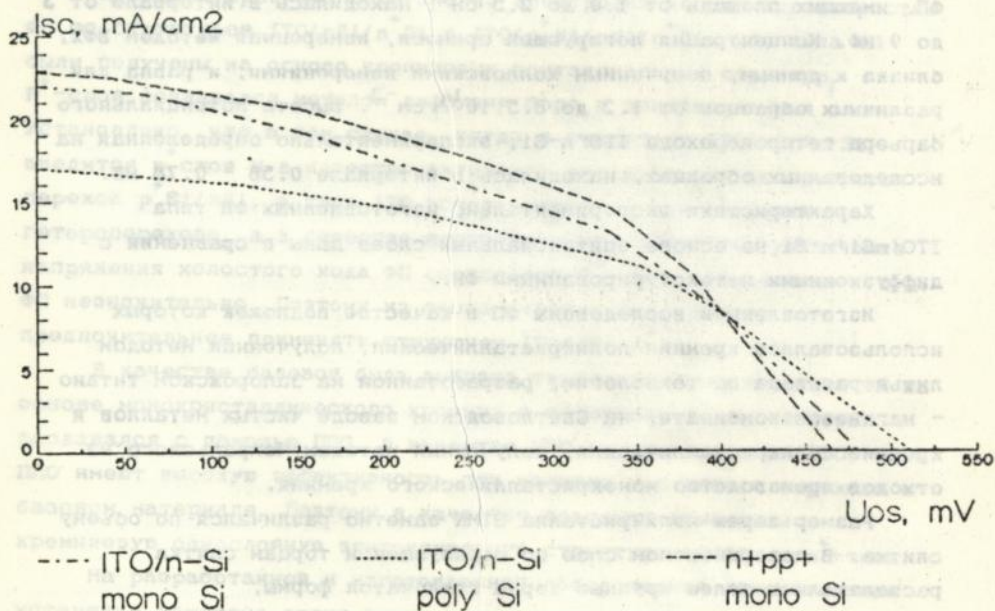


Рис. 4. Вольт - амперные характеристики фотопреобразователя

столбчатых зерен от 7 до 15 нм, меньший - от 0.5 до 5 нм. Остальная часть слитка представляла конгломерат неориентированных зерен размером порядка 0.5 нм. Размер зерен поликристалла 3ЧМ однороден по всему объему, но составлял менее 0.5 нм. Зерна поликристаллического слитка, полученного методом Чохральского, располагались неупорядоченно по всему объему и имели различный размер. До 50% площади пластины, изготовленной из такого слитка, занимали зерна неправильной формы с наибольшим размером до 10 нм, остальную площадь пластины занимали зерна меньшего размера.

При изготовлении ФП слоя n-типа электропроводности создавали методом эпитаксии. Слой ИТО наносили пульверизацией. Приведены параметры слоев и полученных структур. Исследованы оптические и электрофизические параметры ФП, полученных из вышеуказанных поликристаллов. Представлены результаты определения их спектральных, вольт - амперных, вольт - фарадных характеристик в сравнении с характеристиками монокристаллических ФП.

Опробованы различные материалы просветляющих и защитных покрытий для ФП разных типов. Исследование показало увеличение оптимальной электрической мощности на образцах, на которые наносили слой ППО и кремнийорганический лак КО-921. Прирост оптимальной электрической мощности после нанесения слоя кремнийорганического лака объясняется его просветляющим действием, а также уменьшением токов утечек через торцы ФП.

Исследовано влияние облучения монокристаллического кремния γ -квантами на его прочностные и электрофизические характеристики. Проанализировано влияние облучения γ -квантами различной экспозиционной дозой на электрофизические характеристики моно- и поликристаллических ФП с применением ППО. У поликристаллических ФП напряжение холостого хода и ток короткого замыкания после облучения в среднем изменились незаметно не зависимо от УЭС и типа электропроводности исходного кремния. У монокристаллических ФП U_{oc} уменьшился незначительно, I_{sc} уменьшился на 7 - 35%. Облучение приводит к изменению спектральной чувствительности в основном в длинноволновой области спектра. Поликристаллические ФП более стойки к воздействию γ -квантов.

Обработке гамма - квантами подвергались также бездислокационные монокристаллы кремния диаметром 25 - 76 мм с УЭС 5 - 40 кОм.см (р-типа электропроводности) и 0.3 - 60 Ом.см

(n-типа), в том числе предназначенные для изготовления фотопреобразователей.

Для монокристаллов, выращенных в вакууме, обнаружено уменьшение величины УЭС с ростом экспозиционной дозы облучения, в то время как для образцов, полученных в аргоне, с ростом экспозиционной дозы облучения УЭС возрастает.

Наряду с изменением величины УЭС образцов исходного кремния при облучении гамма - квантами происходит и изменение неоднородности его распределения в объеме образцов. Для основной массы образцов, выращенных в вакууме, наблюдается уменьшение неоднородности распределения УЭС, причем у более 80% образцов она не превышает 15%. Для образцов выращенных в аргоне также наблюдается уменьшение неоднородности, однако для большей части образцов имело место ее увеличение.

Изменение УЭС можно объяснить введением в монокристалл при облучении гамма - квантами сложных центров как донорного так и акцепторного характера, компенсирующих основную легирующую примесь.

Исходя из измерения УЭС была оценена зависимость числа вводимых электрически активных центров от дозы облучения.

Облучение γ -квантами проводилась с целью исследования искусственного внесения таких нарушений кристаллической решетки, которые могли хотя бы частично компенсировать нарушения, вводимые механической и термической обработкой монокристаллов кремния. Обнаружено, что в результате облучения удалось улучшить прочностные характеристики пластин. При механической обработке слитков сумма брака (по бою, сколам, трещинам) уменьшена в среднем на 2.7 % по сравнению с серийными монокристаллическими слитками, не подвергшимися облучению. Механические испытания, выполненные методом осесимметричного изгиба, позволили установить, что пластины, изготовленные из слитков, прошедших облучение гамма - квантами, выдерживают большее напряжение разрушения, чем изготовленные из необлученных.

Микроскопический анализ выявил на полированных пластинах, облученных гамма - квантами, фон из очень мелких ямок, отвечающий поверхностным микродефектам. В то же время контроль совершенства кристаллической решетки облученных эпитаксиальных структур на наличие линий скольжения, плотности дислокаций и дефектов

упаковки, показал, что существенных отличий от серийных структур нет. Аналогичные результаты получены при контроле монокристаллических областей кремниевых структур с диэлектрической изоляцией и микросхем, сделанных на их основе.

Сделан вывод, что облучение слитков гамма - квантами улучшает механические свойства кремниевых пластин и при этом не ухудшает электро - физические свойства структур и приборов, получаемых на их основе.

Выполнены технико - экономические расчеты, подтверждающие эффективность производства фотопреобразователей с использованием ППО.

В заключении сформулированы ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ.

1. Разработана и обоснована модель фотопреобразователя на основе гетероперехода ITO/Si в котором в качестве базовой области используется слой кремния, созданный методом эпитаксиального выращивания, а подложкой служит экономичный кремний низкого качества.

2. Исследованы оптические и электрофизические характеристики ППО, имеющих различную толщину и содержание компонентов.

3. Исследовано влияние свойств эпитаксиальных слоев на электрофизические характеристики ФП с гетеропереходом ITO/Si.

4. Исследовано влияние электрофизических характеристик объемных поликристаллов кремния на электрофизические характеристики ФП, изготовленных на их основе.

5. Разработана экономически эффективная технология производства ФП на основе использования вторичных продуктов производства кремниевых пластин и композиций.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

1. Левинзон Д.И., Нечипоренко Ю.Л., Ткаченко Н.Н. Исследование свойств пленок ITO для фотопреобразователей на основе поликристаллического кремния/ Пути совершенствования технологии полупроводниковых и диэлектрических материалов электронной техники: Тез. докл. Всес. науч.-техн. совещ., Одесса, 1988.-С.83
2. Дук Н.А., Нечипоренко Ю.Л., Полунин А.И. Фотопреобразователи на основе кремниевых структур// Компоненты и материалы электронной техники: Сб. науч. тр./Залорожский

индустриальный институт -К.: УМК ВО, -1989. -С.67-72

3. Головки О.П., Нечипоренко Ю.Л., Трубицын Ю.В. О влиянии гамма - облучения на механические свойства кремниевых пластин и структур// Компоненты и материалы электронной техники: Тез. докл. обл. науч. конф./Отв. ред. Д.И.Левинзон.- Запорожье: 1990.-С.49-50

4. Вервика А.В., Онищук В.Н., Нечипоренко Ю.Л. Солнечные элементы на основе кремниевых эпитаксиальных структур// Компоненты и материалы электронной техники: Тез. докл. обл. науч. конф.- Запорожье: 1990 -С.39-41

5. Вервика А.В., Нечипоренко Ю.Л., Ткаченко Н.Н. Фотопреобразователи на основе кремниевых структур// Компоненты и материалы электронной техники: Тез. докл. обл. науч. конф./Отв. ред. Д.И.Левинзон.- Запорожье: 1990. -С.54-56

6. Время жизни неосновных носителей заряда в эпитаксиальных кремниевых слоях для фотопреобразователей/ Гориславец В.Г., Нечипоренко Ю.Л., Левинзон Д.И., Ткаченко Н.Н.// Фотозлектроника: Межвед. науч.сб./Одес.гос.ун-т.-Одесса, 1992, N 5.-С.133-137

7. Study of silicon solar cells characteristics with heterojunction on the basis of transparent conductive oxides Levinson D.I., Nechiporenko J.L., Onyshuk V.N., Sajenko O.V., Tkachenko N.N., Vervika A.V.. Исследование характеристик кремниевых фотопреобразователей с гетеропереходом на основе прозрачных проводящих окислов. Международная конференция по электронным материалам. Тез. докл./ - Ин-т неорганической химии, ин-т физики полупроводников.-Новосибирск, 1992.-С.243

8. Левинзон Д.И., Нечипоренко Ю.Л., Ткаченко Н.Н. Исследование характеристик кремниевых фотоэлементов с гетеропереходом на основе прозрачных проводящих окислов// Датчики: Сб. науч. тр./ Севастополь -К.: УМК ВО, -1993. -С.85-86

9. Радіаційна стійкість полікристалічних фотоперетворювачів з плівками прозорих проводящих оксидів/Верзика А.В., Левинзон Д.І., Нечипоренко Ю.Л., Ткаченко М.М.-IV Міжнародна конференція з фізики та технології тонких плівок. Тез. конф., Івано-Франківськ, 1993.-С.69

10. Технология изготовления кремниевых ФП : Отчет о НИР/ Запорожский индустриальный институт; Руководитель работы Вервика А.В.-06-91; N ГР 01840037881; Инв. N 0285002287. -Запорожье, 1991.-

60 с.: -Исполн. Нечипоренко Ю.Л. -Библиогр. 25 назв.

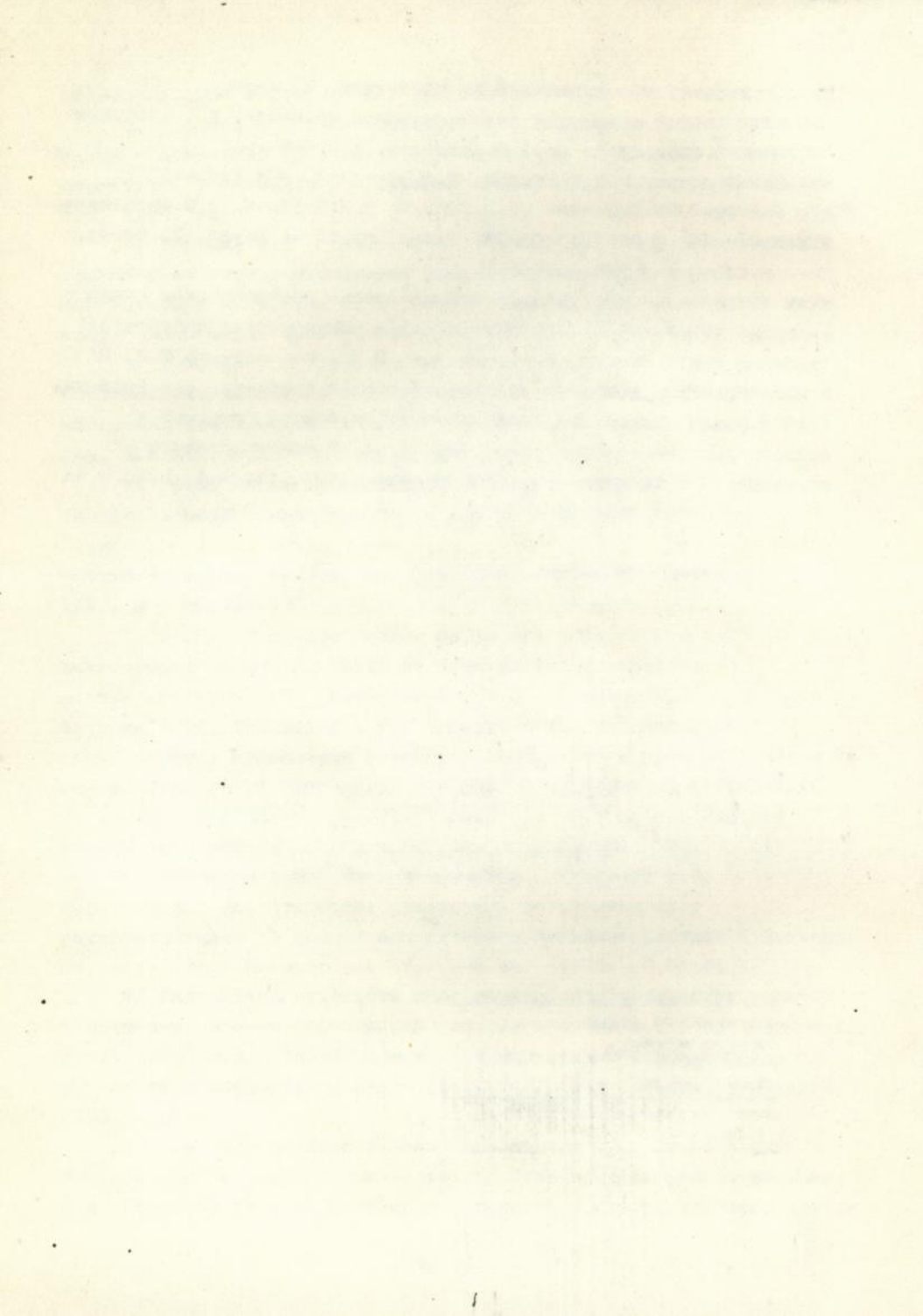
11. Способ обработки монокристаллов кремния: А.с. 1603860 СССР: мки³ СО5Д 27/00. / Т.В.Критская, К.Н.Неямарк, Ю.Л.Нечипоренко, Ю.В.Трубицын, И.Ф.Червоныя, В.Е.Кустов, В.И.Шаховцов, В.Л.Шиндич, В.И.Бидуха, В.И.Думбров, М.Э.Фалькевич, Л.К.Альтман. - N 2869116/23-26; Заявл. 01.06.90 Оpubл. 23.05.91, Бюл. N 10.-2 с., УДК 66.066.7

12. Кремния, облученные малыми дозами комптоновских гамма - квантов: изменение электрофизических и механических свойств/ Трубицын Ю.В., Неямарк К.Н., Анцюнас В.И., Нечипоренко Ю.Л. // В кн. "Проблемы создания полупроводниковых приборов, интегральных схем и радиоэлектронной аппаратуры на их основе, стойких к воздействию внешних факторов. Тез. докл. V межотраслевого семинара, 9 - 14 сентября 1991, Москва, 1991. Часть 1, с.43 - 44

1994 г. Заказ 2291 тираж 70 экз.
Формат 60x84 1/16.
Осетная печать.
Бумага писчая.
Объем 1 печ. л.

Отпечатано на "Ромайоре" ЗТМК
г.Запорожье, 330600

461906



AB SA. 204

461906

AB 29.501