

**ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«АЗЕРБАЙДЖАН ХАВА ЙОЛЛАРЫ»**

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ АВИАЦИИ

На правах рукописи

ШАХЛА ГАМЛЕТ КЫЗЫ ЗЕЙНАЛОВА

**РАЗРАБОТКА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУР
МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК-ПОЛУПРОВОДНИК**

**по специальности: 3361.01 - Твердотельная электроника,
радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по технике**

БАКУ – 2016

Работа выполнена в Азербайджанской Государственной Нефтяной Академии

Научный руководитель: д.т.н., профессор **С.И. Юсифов**

Официальные оппоненты: д.ф-м.н., профессор **Э.М. Годжаев**
д.т.н., профессор **Р.Н. Набиев**

Ведущее предприятие: **Сумгаитский государственный университет, кафедра Физики твёрдого тела.**

Защита состоится “13” мая 2016 г. в “14⁰⁰” часов на Диссертационном Совете D 06.001 при Национальной Академии Авиации по адресу: AZ-1045, г.Баку, прос. Мардакан 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НАА.

Автореферат разослан “11” апреля 2016 г.

Ученый секретарь
Диссертационного Совета D 06.001,
д.ф.т., доцент

С.Б. Габидуллаев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Стремительное улучшение параметров полупроводниковых материалов, освоение производства новых полупроводниковых материалов в последние годы обусловили разработку больших и сверхбыстрых интегральных схем, в результате чего стало возможным повысить степень миниатюризации микроэлектронных устройств, разработать ряд новых оптоэлектронных и сверхвысокочастотных приборов, начать интенсивную реализацию возможностей линий волоконно-оптической связи и интегральной оптики. Развитие работ в области электронной техники стимулирует разработку не только активных элементов с улучшенными характеристиками, но и разработку устройств с качественно новыми свойствами и возможностями.

Несмотря на развитие приборов (транзисторы, запоминающие устройства, приборы с зарядовой связью и т.д.) на основе структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) вопросы разработки МДП фотоприемников и фотоэлементов, датчиков температуры, преобразователей оптического изображения, МДП фототранзисторов, фотоварикапов и МДП запоминающих элементов и т.д. являются актуальными. Отсутствие достаточной информации о фотоэлектрических свойствах МДП структур до и после электроформовки, об электрических и фотоэлектрических свойствах МДП структур с туннельным диэлектриком, а также симметричных МДП структур препятствует правильному использованию их потенциальных возможностей.

Большой интерес к МДП структурам связан с перспективностью их для решения ряда прикладных задач микроэлектроники. С данной точки зрения, исследование переходных процессов в МДП структурах с туннельным диэлектриком, вопросы создания фотоприемников и структур с изолированным полупроводником, и на их основе полупроводниковых элементов различного назначения является актуальной.

Основной объект исследования. Объектом исследования являются системы с МДП, МТДП, МДПДМ структурами с диэлектриком различной толщины, на основе кремния различного типа, концентрацией и ориентацией и системы с МДП структурой, подверженные электроформовке.

Целью исследования является изучение неравновесных электронно-ионных процессов в различных МДП структурах, т.е. в МДП структурах, структурах металл-туннельный диэлектрик-полупроводник-металл (МТДПМ), металл-диэлектрик-полупроводник-диэлектрик-металл (МДПДМ), подверженных электроформовке, установление механизмов, ответственных за особенности неравновесных процессов данных структур, изучение механизмов протекания тока, характера фотоэлектрических свойств, выяснение особенностей зонных энергетических диаграмм и определение направлений применения исследуемых структур в микро- и оптоэлектронных устройствах.

Для достижения поставленной цели предусмотрено решение следующих задач:

- изготовление МДП, МТДП, МДПДМ структур на основе кремния n- и p-типа различной проводимостью и с различными контактами (In_2O_3 , Al) и различной толщиной диэлектрического слоя;

- разработка и исследование устройств для измерения электрофизических параметров изготавливаемых структур;

- изучение внешних факторов (температуры и освещения) и напряжения питания на режим работы данных структур;

- исследование воздействия процесса электроформовки на изготавливаемые структуры;

- исследование возможностей создания высокочувствительных фотоприемников и термодатчиков;

Научная новизна исследований:

1. При исследовании спектральной фоточувствительности и кинетики фототока структуры $In_2O_3-SiO_2-Si-M$ выявлено образование туннельного диэлектрического канала высокой проводимости при электроформовке.

2. Установлен характер зависимости времени экранирования от температуры и освещенности в структурах $In_2O_3-SiO_2-Si-M$.

3. При исследовании кинетики фототока $In_2O_3-SiO_2-Si-M$ структур после электроформовки установлено, что в фотовольтаическом режиме и при $U < 0,25B$ через структуру протекает нестационарный, а при $U \geq 0,25B$ - стационарный ток. Т.е. механизм протекания тока через структуру изменяется в зависимости от электрического поля.

4. Установлено, что время экранирования в $In_2O_3-SiO_2-Si-SiO_2-Al$ структурах в исследуемом диапазоне зависит от продолжительности неуравновешенного обеднения носителей заряда генерируемых в области пространственных зарядов за счет активности центров примеси и поверхностно-энергетического состояния носителей заряда.

5. Показано возможность создания высокочувствительных фотоприемников и термодатчиков на основе увеличения времени жизни носителей заряда в кремнии в $In_2O_3-SiO_2-Si-SiO_2-M$ структурах в неуравновешенном режиме накопления.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Повышение фоточувствительности МДПДМ структур в зависимости от приложенного напряжения и управление чувствительности при различной длине волны (0,4мкм, 0,63мкм, 1,14мкм) определяется электронным воздействием противоположных барьеров.

2. В структуре ($In_2O_3-SiO_2-Si-M$), исследуемом при критическом поле ($E_{kr}=5 \cdot 10^5 V/cm$) соответствующем напряжению пробоя диэлектрического слоя, в результате локальной диффузии ионов металла (In, Al) в промежуточном диэлектрическом слое образуется проводящий канал, что приводит к электроформовке структуры.

3. Спектральная чувствительность структуры, подверженной электроформовке, в зависимости от напряжения, приложенного к полупроводнику резко увеличивается и в результате чего область высокой чувствительности значительно расширяется, что препятствует образованию в полупроводнике инверсного слоя, вследствие прохода неосновных носителей – электронов из слоя окиси в металл туннелированием и приводит к глубокому обеднению в полупроводнике.

4. Высокочувствительные микроэлектронные фотоприемники, на базе $In_2O_3-SiO_2-Si-M$ структур, полученные после электроформовки, чувствительность которых управляется электрическим полем и освещением.

5. Установление зависимости времени экранирования от температуры и освещенности $In_2O_3-SiO_2-Si-SiO_2-M$ структуре и изготовление датчиков температуры и фотоприемников с высокой чувствительностью, основанные на данном принципе.

Практическое значение работы. Результаты исследований

новых типов фото- и термочувствительных элементов в микроэлектронном и дискретном исполнении могут быть использованы как в приборостроении, так и микроэлектронике и микротермоэлектронике (акт внедрения прилагается).

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на: 6-ой Международной конференции «Технические и физические проблемы энергетики» Сераджский Институт Высшего Образования (Тебриз, Иран, 2010), AzCIFToMM 2010 – Международный симпозиум по Механизмам и машинам, Измирский Технологический Институт (Измир, Турция, 2010), Материалы международной научной конференции «Нефть-газ, переработка нефти и нефтехимия», посвященной 90-летию юбилею АГНА, Конференции докторантов и молодых исследователей «Азербайджан 2020: Перспективы развития нефтегазовой промышленности», посвященной 90-летию юбилею Гейдара Алиева (Баку, 2013), I международной научной конференции «Металлургия и проблемы материаловедения», посвященной 90-летию юбилею общенационального лидера Азербайджанского народа Гейдара Алиева (Баку, 2013), XVIII республиканской научной конференции докторантов и молодых исследователей (Баку, 2013), XIX республиканской научной конференции докторантов и молодых исследователей (Баку, 2015).

Опубликованные труды. Основные результаты диссертации опубликованы в 14 трудах, из них 9 статей (в том числе 2 за рубежом), 5 тезисов на различных конференциях (в том числе 2 за рубежом).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Работа состоит из 158 страниц, включая 29 иллюстраций и приложения в 2 стр.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении диссертационной работы обоснована актуальность темы, определены основные цели и задачи исследования, описаны научная новизна работы, ее практическое значение и основные положения, выносимые на обсуждение и приведены краткое содержание основных разделов диссертации.

В первой главе представлен обзор литературных источников. В ней проанализированы теоретические и экспериментальные работы, посвященные фотоэлектрическим свойствам, а также туннельным явлениям в МДП структурах.

Во второй главе описаны технология получения МДПМ и МДПДМ структур и экспериментальные устройства для исследования электрических и фотоэлектрических свойств данных структур.

Исследуемые структуры получены из монокристаллических кремниевых пластинок *n*- *v*э *p*-типа (111) ориентации, толщиной $250 \div 300 \text{ мкм}$, и $\rho \sim 0,1 \div 100 \text{ Ом}\cdot\text{см}$.

Диэлектрические слои получены использованием термических, комбинированных сухих способов окисления. Толщина диэлектрического слоя установлена на основе кривых зависимости толщины слоя от времени температуры, а также эллипсометрическим способом.

В данной главе приведено также описание методик исследования.

В третьей главе исследованы прямые и обратные вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Si-M}$ структур с туннельными диэлектриками различной толщины.

Выявлено, что при определенном интервале толщины диэлектрического слоя ($d=15 \div 25 \text{ \AA}$) по мере увеличения толщины проводимость структуры увеличивается. При толщине диэлектрического слоя до $d=30 \text{ \AA}$ вольт-фарадные характеристики структур – линейные. Показано, что при увеличении толщины диэлектрического слоя диффузионный потенциал уменьшается с $0,64 \text{ В}$ до $0,27 \text{ В}$. В результате исследования обратные вольт-амперные и вольт-фарадные характеристик МДП структур в широком интервале изменения толщины диэлектрического слоя установлено, что на данном участке наблюдается переход от барьера Шоттки к МДП прибору с толстым слоем. Структура с толщиной диэлектрика $d=10 \text{ \AA}$ является идеальным диодом Шоттки с очень прозрачным тонким слоем для туннелирования электронов на границе раздела. В таких структурах падение напряжения на окиси незначительно, поэтому полное обратное напряжение падает в области объемных зарядов кремния и с повышением напряжения увеличивается глубина обедненной области. Это видно из кривой емкости и указывает на уменьшение емкости обедненной области по мере увеличения об-

ратного напряжения. При толщине диэлектрического слоя $d=30\text{Å}$ в интервале $U = -0,3 \div -1,3\text{V}$ емкость для обратного напряжения достигает стабильного значения. Так как в данной структуре емкость окиси, подключенной к ней последовательно, весьма большая, измеренная емкость соответствует емкости обедненной области. Таким образом, при $-1,3\text{V} \leq U \leq -0,3\text{V}$, глубина обедненной области приблизительно остается неизменной. А при толщине окиси $d=35\text{Å}$ емкость структуры при обратном смещении не зависит от напряжения, а проводимость структуры как при прямом, так и при обратном смещениях увеличивается в зависимости от напряжения. Высокая проводимость при прямом смещении, поддерживает сильное поле для туннелирования электронов и дырок в направлении к металлу, что объясняется сдвигом уровня Ферми в металле. Когда поверхности полупроводника находятся в обогащенном состоянии, это приводит к смещению уровня Ферми в нижнюю часть диаграммы зонального строения кремния, что способствует увеличению дырочного тока при приложенном напряжении. При дальнейшем увеличении толщины диэлектрика проводимость структуры, связанная с туннелированием, электронов незначительна.

В данной главе приведены также результаты экспериментальных исследований фотоэлектрических и электрических свойств $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Si-M}$ структуры после электроформовки (рис. 1).

Установлено, что значение fotocувствительности, форма

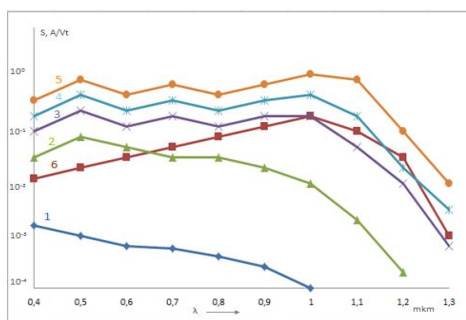


Рис.1. Спектральные зависимости fotocувствительных структур после электроформовки при различных напряжениях. 1) $U=0\text{ V}$; 2) $U=1\text{V}$; 3) $U=5\text{V}$; 4) $U=18\text{V}$; 5) $U=21\text{V}$; 6) $U=0\text{V}$. кремниевый фотодиод ФД-27К

спектральной характеристики $In_2O_3-SiO_2-Si-M$ структур в состоянии низкого сопротивления существенно изменяется приложенным постоянным электрическим полем. При малых значениях напряжения ($U \leq 0,25B$) фототок не зависит от приложенного постоянного напряжения. При напряжениях $U > 0,25B$ значение тока резко увеличивается (на 2-2,5 порядка) и при $U = 1B$ приближается к состоянию насыщения (рис.2).

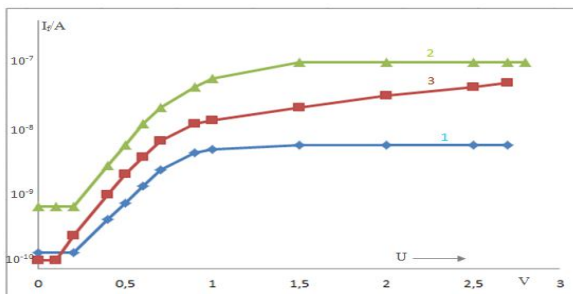


Рис.2. Зависимость фототока $In_2O_3-SiO_2-Si-M$ структур от заданного напряжения после электроформовки при различной длине волны.

1) $\lambda = 0,56$ мкм; 2) $\lambda = 0,78$ мкм; 3) $\lambda = 0,90$ мкм.

На основе исследования кинетики фотоотклика $In_2O_3-SiO_2-Si-M$ структур при различных напряжениях и в фотовольтаическом режиме ($U = 0$) установлено, что при $U < 0,25B$ через структуру протекает нестационарный, а при $U \geq 0,25B$ - стационарный ток. Показано также, что форма кинетики фотопроводимости зависит от интенсивности освещенности.

Установлено, что в состоянии низкого сопротивления структура ведет себя как структура металл-диэлектрик-полупроводник с туннельным диэлектриком и толщина диэлектрического слоя составляет $20-40 \text{ \AA}$. В этом случае, фототок определяется двумя процессами – емкостным зарядом и туннельным током фотогенерации носителей заряда, протекающим через диэлектрик МТДП структуры. Из-за повышения прозрачности туннельного диэлектрика под воздействием приложенного напряжения при $U \geq 0,25B$ через структуру протекает стационарный ток (рис.3). Все наб-

людаемые качественные параметры кинетики хорошо объясняются простой моделью, учитывающей относительную роль рекомбинации и эмиссии фотоносителей посредством диэлектрика.

В четвертой главе описаны результаты исследования $In_2O_3-SiO_2-Si-SiO_2-M$ структур в режиме неравновесного обеднения. Приведены результаты изучения воздействия различных факторов (температуры, освещения и напряжения питания) на длительность неравновесного нестационарного процесса обеднения и на реактивные свойства вышеуказанных структур.

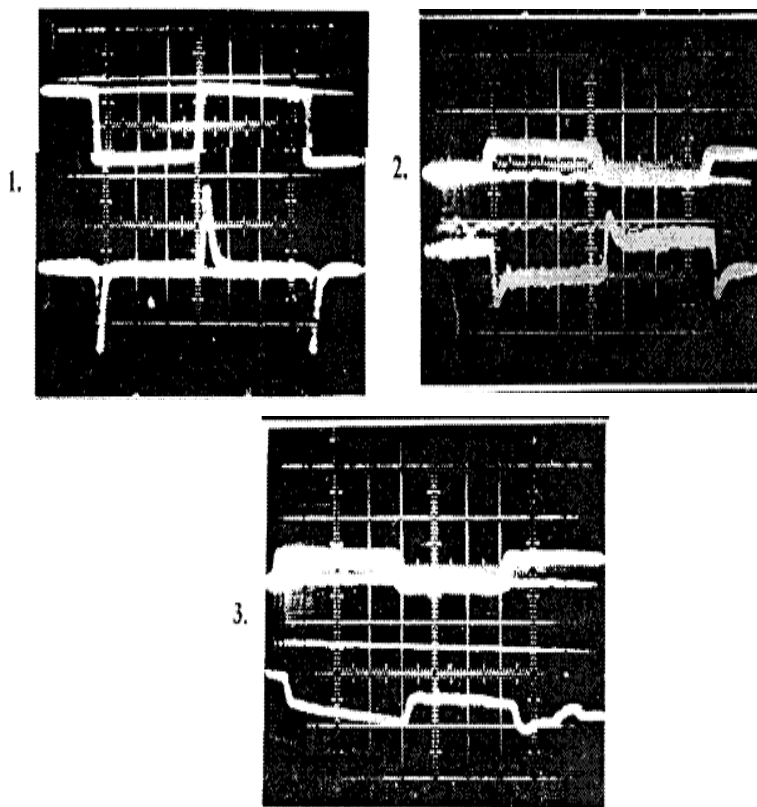


Рис.3. Осциллограммы фотоотклика $In_2O_3-SiO_2-Si-M$ структур при различных напряжениях после освещения прямоугольными импульсами ($\lambda=0,91mkm$), 1) $U=0V$; 2) $U=0,25V$; 3) $U=1V$.

Исследовано влияние температуры (рис. 4) и освещенности на время накопления носителей заряда. Выявлено, что при увеличении температуры время накопления τ уменьшается (рис. 5). Используя

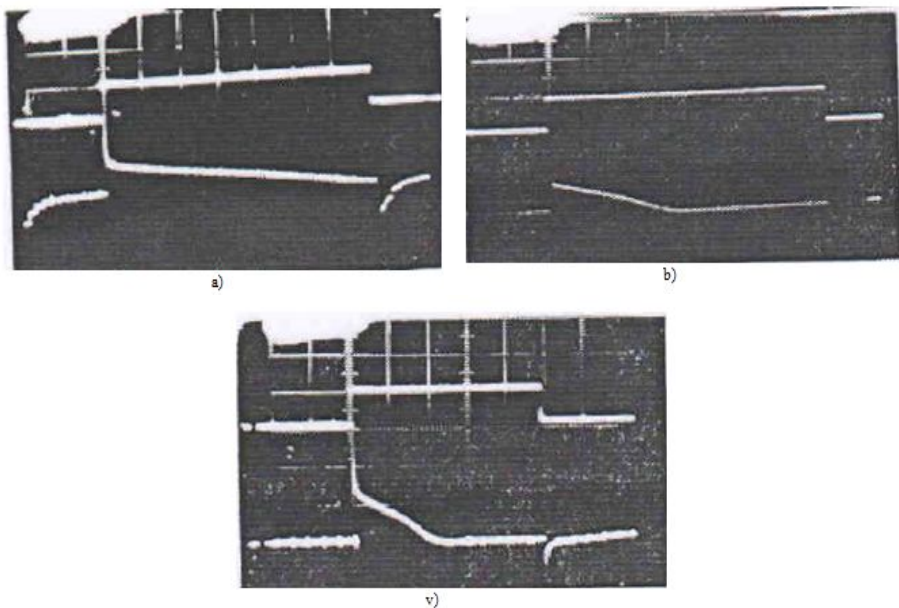


Рис.4. Осциллограммы кинетики релаксации неравновесного обеднения при различных температурах: а) 7°C, б) 18°C, в) 30°C

основные соотношения для высокочастотной емкости структуры МДП, а также статистику генерационно-рекомбинационных процессов через локальные центры, можно получить следующие выражения для объемной компоненты генерационного потока в кремнии:

$$G_V(t) = \frac{n_i}{\tau_\delta} \Delta W(t) = \frac{n_i}{\tau_\delta} \cdot \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{C_0} \left[\frac{C_0}{C(t)} - 1 \right]$$

Из этого соотношения следует, что темп объемной генерации пропорционален отношению $\frac{n_i}{\tau_\delta}$, где τ_δ определяется выражением:

$$\tau_\delta = \tau_{p_0} \exp\left(\frac{E_{iv} - E_i}{kT}\right) + \tau_{n_0} \exp\left(\frac{E_i - E_{vt}}{kT}\right)$$

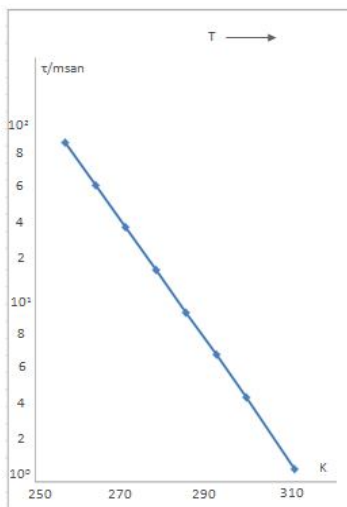


Рис.5. Зависимость времени экранирования от температуры для $In_2O_3-SiO_2-Si-SiO_2-M$ структур

Где τ_{p_0} и τ_{n_0} -времена жизни дырок и электронов в полупроводниках п- и р-типа соответственно.

Следовательно, в общем случае темп объемной генерации зависит как от характера температурной зависимости собственной концентрации n_i , так и от параметров генерационно-активных центров.

Экспериментальные исследования температурных зависимостей темпа генерации, проведенные различными авторами на кремниевых МДП структурах, показали, что как объемная, так и поверхностная биполярная генерация на истощенной поверхности определяется достаточно глубокими генерационными центрами, локализованными вблизи середины запрещенной зоны. Это предположение хорошо согласуется в случае температурной зависимости времени накопления в МДПДМ-структурах, которая показана на рис.5. Видно, что в исследованном диапазоне температур закон изменения $\tau_n=f(T)$ приближается $n_i=f(T)$.

При исследовании времени накопления при различной интенсивности освещения выявлено, что по мере увеличения интенсивности света τ уменьшается, а после экранирования структура не реагирует на свет, т.е. ток поляризации не изменяется (рис.6).

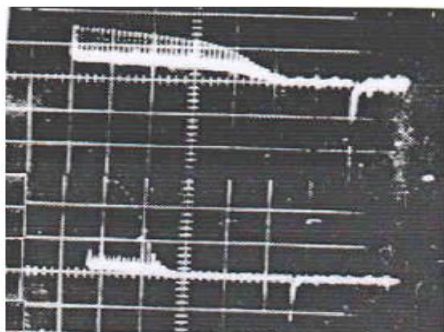


Рис.6. Осциллограммы тока поляризации при различной интенсивности освещения.

Установлено, что заряд, накопленный под воздействием импульсов света, пропорционально произведению скорости фотогенерации на длительность накопления.

Исследование вольт-фарадных характеристик $In_2O_3-SiO_2-Si-SiO_2-M$ структур показывает, что они аналогичны с низкочастотными характеристиками МДП структур на основе кремния р-типа. Основное различие между данными характеристиками является то, что значение емкости в области насыщения при высоких частотах ($f \geq 100 \text{kHz}$) меньше емкости диэлектрических слоев.

Зависимость граничных значений емкости от частоты тестового сигнала при обеих полярностях напряжения доказывает, что оба значения ограничивается емкостями области объемных зарядов (ООЗ) на границе раздела SiO_2-Si и $Si-SiO_2$. Кроме того, при частотах выше 100 кГц предельные значения емкости всегда меньше емкости диэлектрика. При частотах ниже 100 кГц емкость структуры при освещении белым постоянным светом не изменяется.

Из описанных выше экспериментальных результатов очевидно, что характеристики $C(V)$ $In_2O_3-SiO_2-Si-SiO_2-M$ структур ограничиваются не только барьерными емкостями, при подключении напряжения в связи с изменением характера распределения потенциалов и электрических полей на границе раздела образуются дополнительные емкости, характеризующиеся взаимодействием между поверхностными барьерами.

Исследованы спектральная характеристика, кинетика фототока

$In_2O_3-SiO_2-Si-SiO_2-M$ структур и проанализированы факторы, влияющие на чувствительность МДПДМ структур на освещение (рис.7). Установлено, что спектральная чувствительность МДПДМ структур управляется приложенным напряжением.

Форма люкс-амперной характеристики показывает, в $In_2O_3-SiO_2-Si-SiO_2-M$ структурах в широком диапазоне интенсивности освещения фото-е.д.с., возникшая за счет поверхности, больше по сравнению с барьерной фото-э.д.с.

В пятой главе приведены результаты некоторых технологических и конструкторских разработок фотопреобразователей и датчиков температуры, ключей и ячеек памяти на основе $Al-SiO_2-Si-M$ и $In_2O_3-SiO_2-Si-SiO_2-M$ структур.

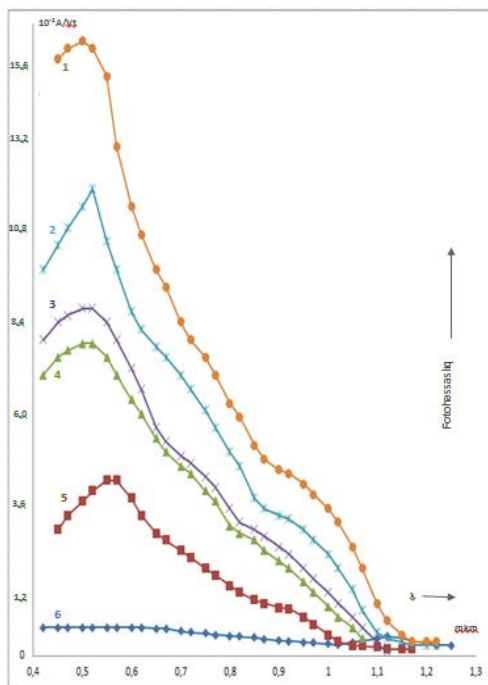


Рис.7. Спектральные характеристики МДПДМ структур при различных значениях напряжения 1) $U_y=2V$, 2) $U_y=0$, 3) $U_y=-5V$, 4) $U_y=-8V$, 5) $U_y=-10V$, 6) $U_y=-20V$.

В данной главе также представлены результаты разработки фотопреобразователя с внутренним усилением на основе $In_2O_3-SiO_2-Si-M$ структур, подверженных электроформовке. В диссертации приведены также конструкция, фотоэлектрические параметры и технология изготовления фотоприемника.

Заключительная часть диссертации посвящена разработке фотоприемника на основе $M-SiO_2-Si-SiO_2-M$ структур в режиме накопления и мгновенном режиме.

При исследовании фотоэлектрических особенностей $In_2O_3-SiO_2-Si-M$ структур наблюдалось влияние постоянного фонового освещения на фото э.д.с. Освещение осуществлялось немодулированным сигналом, лазерами ЛГ-126 и ЛМП-11 с длиной волны соответственно $0,63\text{мкм}$, $1,15\text{мкм}$ и $0,4\text{мкм}$.

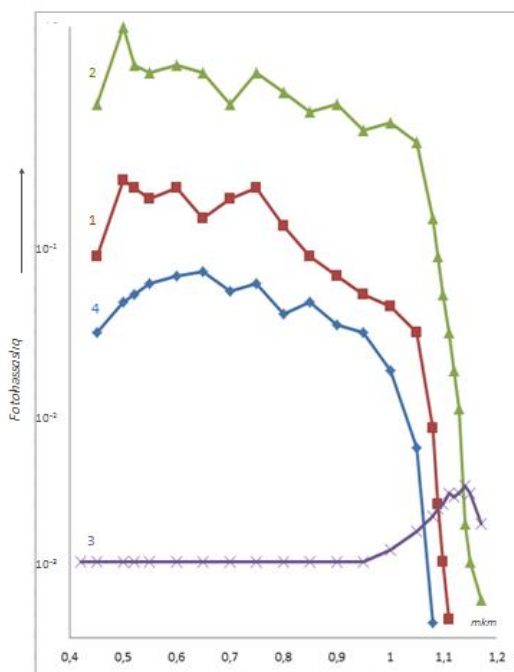


Рис. 8. Влияние постоянного освещения на фото-э.д.с.: 1 - при отсутствии освещения; 2-4 – при освещении с длиной волны $\lambda=0,4\text{мкм}$; $\lambda=0,63\text{мкм}$; $\lambda=1,15\text{мкм}$, соответственно.

Результаты измерения приведены на рис.8. Кривая 1 соответствует спектральной характеристике при отсутствии освещения. Кривые 2-4 соответствуют освещению с длиной волны $0,63\text{мкм}$, $1,15\text{мкм}$ и $0,4\text{мкм}$.

Данные результаты измерения указывают на возможность создания фотоприемников с управляемой фоточувствительностью.

Разработано фотоприемное устройство (ФПУ) в гибридном исполнении на основе пары фотодиод-источковый повторитель. Разработанное ФПУ обладает предельной чувствительностью не меньше 10^{-11}Вт для фиксированной длины волны $0,73\text{мкм}$ в полосе пропускания 4кГц .

В заключении представлены основные выводы работы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Возникновение туннельного диэлектрика с высокой проводимостью под воздействием постоянного, периодического и импульсного электрических полей в $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Si-M}$ структурах при приложенных напряжениях приводит к усилению фототока.

2. При исследовании спектральной чувствительности $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Si-M}$ структур в низкоимпедансном состоянии при различных напряжениях и фотовольтаическом режиме в широком диапазоне наблюдается значительное увеличение спектральной чувствительности при приложенном напряжении. Впервые экспериментально выявлено усиление тока в $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Si-M}$ структурах с низким импедансом. Фотоэлектрическое усиление в различных структурах повышается в $10\text{-}25$ раз.

3. При исследовании кинетики фотопроводимости в $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Si-M}$ структурах установлено, что в фотовольтаическом режиме и при значениях $U < 0,25\text{В}$ через структуру протекает только нестационарный ток и структура ведет себя как идеальная структура металл-диэлектрик-полупроводник, а при значениях $U \geq 0,25\text{В}$ через структуру протекает стационарный ток, что связано с изменением прозрачности диэлектрика в зависимости от электрического поля.

4. Исследованием переходных процессов в МДПДМ структурах на основе высокоомного кремния при различных температурах и освещенностях установлено, что переходные процессы сопровождаются резким изменением емкости, общего сопротивления

структуры, при этом структура имеет высокую чувствительность к свету и температуре и способно накапливать действие лучистой энергии.

5. Определены характеры зависимости времени экранировки от температуры и освещенности и установлено, что время экранировки указанных структур определяется временем релаксации неравновесного объединения обусловленного генерацией носителей в области пространственного заряда за счет активации примесных центров и поверхностно-энергетических состояний.

6. Изготовлен фотоприемник на базе $In_2O_3-SiO_2-Si-M$ структур, в которых вследствие электроформовки образуется диэлектрический туннельный канал с высокой проводимостью.

7. На основе исследования $In_2O_3-SiO_2-Si-SiO_2-M$ структур в режимах накопления и мгновенных режимах предложен высокочувствительный и быстродействующий фотоприемник.

8. В результате исследования $In_2O_3-SiO_2-Si-SiO_2-M$ структуры выдвинут тезис о возможности изготовления высокочувствительного термодатчика, который был реализован.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Пашаев А.М., Бадалов А.З., Юсифов Б.А., Зейналова Ш.Г. Особенности токопереноса МДП структур с туннельным диэлектриком в прямом направлении // МAA Elmi əsərlər, Bakı, 2010, № 1, s. 148-155

2. Пашаев А.М., Бадалов А.З., Юсифов Б.А., Зейналова Ш.Г. Исследование ВАХ и вольт-емкостных характеристик Au-SiO₂-Si-M структур с туннельном диэлектриком в обратном направлении // МAA Elmi əsərlər, Bakı, 2010, № 2, s. 45-53

3. Зейналова Ш.Г. Фотоэлектрические свойства $In_2O_3-SiO_2-Si-M$ структур после переключения / ADNA-nın 90 illik yubileyinə həsr olunmuş “Neft-qaz, neft emalı və neft-kimya” beynəlxalq elmi konfransının materialları, Bakı, 2010, s. 291-293

4. A.Z. Badalov, B.A. Yusifov, Sh.Q.Zeynalova. Interphase interactions in the structures of metal GaAs (InP) with single component metallization / 6th International Conference on “Technical and Physical Problems

- of Power Engineering”, Seraj Higher Education Institute Tabriz, Iran, 2010
5. A.Z. Badalov, B.A. Yusifov, Sh.Q.Zeynalova. Photoelectric Properties $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Si-M}$ Structures / AzCIFToMM 2010 - International Symposium of Mechanism and Machine Science (ISMMS), Izmir Institute of Technology, Izmir, Turkey, 2010
6. Bədəlov A.Z., Zeynalova Ş.H. Tunel dielektrikli $\text{Au-SiO}_2\text{-Si-M}$ quruluşunun əks istiqamətdə volt - amper və tutum-gərginlik xarakteristikalarının tədqiqi // Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin xəbərləri, 2011, № 6, s.26-29
7. Пашаев А.М., Бадалов А.З., Зейналова Ш.Г. Особенности фотозлектрических свойств $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Si-M}$ структур после переключения // Milli Aviasiya Akademiyasının elmi məcmuələri, 2011, № 2, s.12-19
8. Yusifov S.İ., Zeynalova Ş.H. $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Si-SiO}_2\text{-M}$ strukturlarının ftohəssaslığına elektrik sahəsinin təsiri / Azərbaycan Xalqının Ümummilli Lideri Heydər Əliyevin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş “Metallurgiya və materialşünaslığın problemləri” I Beynəlxalq elmi konfransının materialları, Bakı, 2013, s. 243-247
9. Zeynalova Ş.H. MDY/kDM-strukturunda həssaslığı idarə olunan fotoqəbuledici / Azərbaycan xalqının Ümummilli lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 90 illiyinə həsr olunmuş “Azərbaycan 2020: neft-qaz sənayesinin inkişaf perspektivlikləri” elmi praktiki konfransın materialları, Bakı, 2013, s. 190-192
10. Zeynalova Ş.H. Qeyritarazlı kəsiblaşma anında $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Si-SiO}_2\text{-M}$ quruluşların tədqiqi / Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XVII Respublika Elmi Konfransının Materialları, Bak, 2013, s.162-164
11. Zeynalova Ş.H. Elektrik formalaşmış $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Si-SiO}_2\text{-M}$ quruluşları əsasında daxili gücləndirməli fotoqəbuledici / Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XVIII Respublika Elmi Konfransının Materialları, Bakı, 2013, s. 315-316
12. Бадалов А.З., Юсифов С.И., Зейналова Ш.Г. Влияние электрического поля и подсветки на фоточувствительность МДПДМ структур // Milli Aviasiya Akademiyasının elmi məcmuələri, 2014, № 2, s.96-109
13. Зейналова Ш.Г. Фотоприемник с управляемой чувствительностью на основе $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Si-SiO}_2\text{-Al}$ структур // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, 2015, № 1, с.20-25

14. Badalov A.Z., Zeynalova S.H. Relaxation of the non-equilibrium field effect in $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Si-SiO}_2\text{-Al}$ structures at the non-equilibrium depletion regimes // Science & applied engineering quarterly (SAEQ), London, UK, 2015, ISSUE-06, p.21-26

15. Бадалов А.З., Зейналова Ш.Г. Релаксация неравновесного эффекта поля в $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Si-SiO}_2\text{-Al}$ структурах в режиме неравновесного обеднения // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, İSSN 2076-0515, 2015, cild 7. № 3, səh. 7-17.

**METAL-DİELEKTRİK-YARIMKEÇİRİCİ
STRUKTURLARININ ELEKTROFİZİKİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ
ƏSASINDA FOTOELEKTRİK VƏ TEMPERATUR
VERİCİLƏRİNİN İŞLƏNMƏSİ**

XÜLASƏ

Dissertasiya işində müxtəlif qalınlıqlı, müxtəlif konsentrasiyalı və müxtəlif tipli silisium əsasında metal-dielektrik-yarımkeçirici strukturlar işlənmiş və tədqiq olunmuşdur.

Müxtəlif qalınlıqlı dielektriklərin volt-ampere və volt-farad xarakteristikaları öyrənilmiş, eləcə də metal-dielektrik-yarımkeçirici (MDY) və metal-dielektrik-yarımkeçirici-dielektrik-metal (MDYDM) strukturların elektriklə işlənmədən əvvəl və sonra fotoelektrik xarakteristikaları araşdırılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, elektriklə işlənmə aparılmış MDY strukturlarda fotohəssaslıq yüksəlir, bu da strukturda daxili gücləndirmə hadisəsinin baş verdiyini göstərir. Aşkar edilmişdir ki, daxili gücləndirmə hadisəsi elektriklə işlənmə zamanı strukturda yüksək keçiricilikli kanal və tunel dielektrikin yaranması ilə əlaqədardır. MDYDM strukturların fotoelektrik xassələrinin yığma rejimində tədqiqi zamanı müəyyən edilmişdir ki, həmin rejimdə də fotocərəyanın güclənməsini əldə etmək mümkündür. Bu da həmin struktur əsasında yüksək həssaslığa malik fotoqəbuledicinin yaradılmasına, strukturun ekranlama müddətinin temperatur asılılığı isə strukturdan termoverici kimi istifadə etməyə imkan verir. Dissertasiya işinin gedişində bu prinsiplər əsasında işləyən fotovericilər, eləcə də termovericilər hazırlanmış və tədqiq edilmişdir.

İşin praktiki əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, mikroelektron və diskret icrada yüksək həssaslığa malik olan yeni növ foto- və termoelementlərin tədqiqat nəticələri həm diskret cihazqayırmada, həm də mikrooptoelektronika və mikrotermoelektronikada istifadə oluna bilər.

**DEVELOPMENT OF PHOTOELECTRIC AND
TEMPERATURE SENSORS BASED ON ELECTROPHISICAL
FEATURES OF THE METAL-DIELECTRIC-
SEMICONDUCTOR STRUCTURES**

ABSTRACT

Different types of metal-dielectric-semiconductor structures based on silicon with different thicknesses and different concentrations have been developed and investigated in dissertation work.

The volt-farad and volt-ampere characteristics of the dielectrics with different thickness were studied, photoelectric characteristics of the metal-dielectric-semiconductor (MDS) and semiconductor-dielectric-metal-dielectric-metal (MDSDM) structures before and after processed electrically were investigated as well as. It was determined that using of the electrical processing photosensitivity in MDS structures considerably increases, after electrical processing the internal gain effect happens in the structure. It was determined also that an internal gain effect in the structure is connected with the creation of high conductivity channels and tunnel dielectrics while electrical processing. During the investigation of the photoelectric characteristics of the MDSDM structures in accumulation mode it has been identified that gain of the photocurrent can be obtained in such mode too. It also allows to get high sensitivity fotosensors based on this structure and dependence period of the screening process of the temperature of these structures allows to use them as thermosensors. During the reseach work photosensors and also thermosensors based on above mentioned principals have been developed and investigated.

Practical significance of the investigation is that the results obtained during the investigation of new type thermosensor elements in microelectronic and discrete design can be used in discrete device manufacturing, as well as in microelectronics.

Formatı 60x84 ¹/₁₆. Həcmi 1 ç.v.
Sayı 100. Sifariş 035.

“Ulu” istehsalat-kommersiya mətbəəsində
hazır diopozitivlərdən istifadə olunmaqla çap edilmişdir

**“AZƏRBAYCAN HAVA YOLLARI”
QAPALI SƏHMDAR CƏMİYYƏTİ
MİLLİ AVİASIYA AKADEMİYASI**

Əlyazması hüququnda

ŞƏHLA HAMLET QIZI ZEYNALOVA

**METAL-DİELEKTRİK-YARIMKEÇİRİCİ
STRUKTURLARININ ELEKTROFİZİKİ
XÜSUSİYYƏTLƏRİ ƏSASINDA FOTOELEKTRİK
VƏ TEMPERATUR VERİCİLƏRİNİN İŞLƏNMƏSİ**

**İxtisas: 3361.01 - Bərk cisim elektronikasi, radioelektron
komponentlər, mikro- və nanoelektronika**

**texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq
üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın**

A V T O R E F E R A T I

BAKI - 2016