

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
имени. А.Р. Беруни**

На правах рукописи

ДЕДАХАНОВ АКРАМЖОН ОЛТМИШБОЕВИЧ

«Исследования электрических и фотоэлектрических параметров элементов
памяти с управляемым временем запоминания»

Специальность: 5A521706

«Промышленная электроника»

ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание степени магистра по специальности
«Промышленного электроника»

Научной руководитель:

д.ф.-м.н. проф. Илиев Х.М.

Работа проверена и допущена к защите.

Заведующий кафедрой «ЭМ»

Проф. Бахадирхонов М.К.

Ташкент - 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ПРИЕМНИКИ ИК ИЗЛУЧЕНИЯ И ИХ ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ	12
1.1. Источники оптического излучения	12
1.2. Приемники излучения	18
1.3. Датчики ИК-излучения	25
ГЛАВА 2. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОКЛАСТЕРОВ АТОМОВ МАРГАНЦА В КРЕМНИИ	30
2.1. Физические и технологические основы формирования нанокластеров.	30
2.2. Низкотемпературная диффузионная технология легирования кремния атомами марганца.	33
2.3. Исследование нанокластеров методом ЭПР и силовым атомным микроскопом.	37
2.4. Электрические свойства кремния с нанокластерами атомов марганца	43
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	48
3.1. Исследование спектральной зависимости фотопроводимости кремния с многозарядными кластерами атомов марганца	48
3.2. Исследование спектральной зависимости фотопроводимости от положение уровня Ферми.	62
3.3. Влияние температуры на спектральную зависимость фотопроводимости.	70
3.4. Исследование основных параметров ИК фотоприемников на основе кремния с многозарядными кластерами атомов марганца.	74
3.5. Разработка и создание приборов для регистрации ИК света.	78
3.6. Обсуждение результатов	79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	81
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	83

ВВЕДЕНИЕ

Прогресс современной науки и техники неразрывно связан с успехами как в развитии и совершенствовании технологии получения традиционных полупроводниковых материалов, так и в разработке и исследовании новых перспективных полупроводников.

Совершенствование автоматизированных систем контроля, измерения и управления технологическими процессами является одним из необходимых условий нормального функционирования и перспективного развития промышленности. Важнейшими звеньями автоматизированных технологических систем (АТС) являются датчики. По мере развития АТС датчики приобретают все большее значение. Это связано с необходимым ростом номенклатуры датчиков физических величин, расширением областей их применения и усложнением решаемых с их помощью задач [1].

Датчики служат источником информации и состоят из чувствительного элемента, схемы обработки полученного сигнала, а также АЦП или светового табло (т.е. индикатора). Основным элементом этой триады является чувствительный элемент, называемый первичным преобразователем, или сенсором (с лат. - чувство) [2].

Примером простейшего датчика может служить обыкновенный ртутный термометр, чувствительным элементом которого является ртуть, расширяющаяся при нагревании; капилляр, в котором происходит расширение ртути - схема преобразования; шкала, к которой он прикреплен - индикатор. Однако показания термометра невозможно автоматически ввести в анализирующую или управляющую машину, т.к. это величина не электрическая.

Для сопряжения с АТС необходимо использовать такие чувствительные элементы, в которых под влиянием внешних воздействий меняется один из электрических параметров. С другой стороны, требования, предъявляемые к современной радио электронной автоматике, такие как: повышение надежности и помехоустойчивости, снижение цены, габаритов, потребляемой мощности - распространяются и на датчики. Выполнение этих условий становится

возможным при использовании микроэлектронных схемотехники и технологии, поскольку, во-первых, электрофизические свойства полупроводников и полупроводниковых приборов, на которых основана микросхемотехника, сильно зависят от внешних воздействий, во-вторых, микроэлектронная технология основана на групповых методах обработки материалов для изготовления приборов, что снижает их себестоимость, габариты, потребляемую мощность и ведет к повышению надежности и помехоустойчивости.

Кроме того, при использовании полупроводникового сенсора или сенсора, изготовление которого совместимо с технологическим процессом создания интегральных микросхем (ИМС), сам сенсор и схемы обработки полученного сигнала могут быть изготовлены в едином технологическом цикле, на едином полупроводниковом или диэлектрическом кристалле. Наука, занимающаяся разработкой первичных преобразователей и схем обработки полученных от них сигналов в микроэлектронном исполнении, получила название микроэлектронной сенсорики.

Таким образом, одной из основных задач микроэлектронной сенсорики является изучение влияния на полупроводниковые структуры различных внешних воздействий и выявление принципов создания на основе этих физических эффектов первичных преобразователей различных неэлектрических величин в электрический сигнал.

Поразительные возможности современной полупроводниковой электроники и особенно микроэлектроники реализуются только по мере разработки и освоения выпуска полупроводниковых материалов с разнообразными физическими свойствами. Эти материалы позволили создать на их основе миниатюрные усилители и генераторы электрических сигналов, работающие в широком диапазоне частот; интегральные микросхемы для современных компьютеров; преобразователи одного вида энергии в другой; полупроводниковые светодиоды, лазеры и фотоприемники, работающие в ИК- и видимом диапазонах (полупроводниковые лазеры, фотопамяти и

фотоприемники составляющие элементной базы волоконно-оптических линий связи); детекторы излучений и частиц; магнитные, пьезо-, сегнето-электрические и многие другие устройства. В то же время открытие новых явлений и потребность создания более совершенных приборов для научных исследований стимулируют поиск, разработку и освоение производства новых материалов с требуемыми свойствами. Между физикой и технологией полупроводников существует тесная взаимосвязь, и часто оказывается, что получение новых физических результатов становится невозможным без постоянного прогресса в технологии.

Идея создания тонких эпитаксиальных пленок полупроводников была впервые высказана в 1951 г., а первые эпитаксиальные транзисторы были изготовлены в 1960 г. Быстрый прогресс в области фундаментальных исследований механизма роста тонких пленок, связанный с широким промышленным применением эпитаксиальной технологии, привел к разработке новых методов эпитаксии - молекулярно-лучевой эпитаксии и MOCVD (химическое осаждение из газовой фазы с использованием металлоорганических соединений). Эти достижения в технологии позволили перейти к получению очень тонких пленок, толщина которых измеряется единицами атомных слоев, и исследованию их физических свойств, а также к созданию и изучению принципиально новых объектов - сверхрешеток. Под сверхрешеткой понимают периодическую структуру, состоящую из тонких (нано-метровых) слоев двух или более полупроводников, повторяющуюся в одном направлении. В этой структуре на периодичность самой кристаллической решетки накладывается дополнительная периодичность, обусловленная созданным закономерным изменением электронных или структурных свойств кристалла. Дополнительный период по толщине, обычно изменяющийся от единиц до десятков нанометров, меньше длины волны электронов, но больше постоянной кристаллической решетки.

В начале 70-х годов появились первые сообщения о получении таких структур, после чего начались систематические исследования свойств

сверхрешеток, ведущиеся в тесном контакте физиками и технологами. В ходе этой работы были обнаружены новые интересные физические явления, например, квантовый эффект Холла [3,4] и некоторые другие квантоворазмерные эффекты [5]; были выявлены возможности приборного применения сверхрешеток [6,7]. Все эти результаты могли быть получены только при детальном исследовании механизмов эпитаксиального роста и процессов, происходящих на гетерограницах в слоистых структурах, что и позволило создать сложные, достаточно совершенные сверхрешетки, состоящие из эпитаксиальных слоев толщиной в 1–5 моноатомных слоя. Этому способствовал выросший уровень исследовательской техники (современных методов исследования структуры и состава поверхности полупроводников) и вакуумной технологии. В настоящее время интерес исследователей в области эпитаксиального роста обращен на обнаруженные недавно особенности островкового роста на вицинальных гранях, напоминающие явление самоорганизации в живых системах.

Раньше, а нередко и сейчас, новые полупроводниковые материалы создавались эмпирически. Однако знание природы химической связи, структуры, физико-химических свойств известных материалов и установление взаимосвязи между свойствами и способами их производства позволяют научно обоснованно прогнозировать наличие полупроводниковых свойств у новых материалов и разрабатывать технологию получения этих новых полупроводников с заданными параметрами.

Технология полупроводников — это совокупность методов, которые позволяют получить полупроводник с заданными параметрами. На основе результатов, полученных в материаловедении, технологи разрабатывают и совершенствуют промышленные способы получения материалов.

Описать подробно все существующие технологические приемы, используемые в производстве материалов для электронной техники, в одном курсе вряд ли возможно и целесообразно, по крайней мере, из-за довольно быстрого совершенствования технологии. Сведения о способах получения того

или иного конкретного полупроводника можно получить из статей, справочников, монографий и т. д. Однако существуют некоторые общие закономерности технологических процессов производства разных полупроводниковых материалов. Это позволяет объединить способы получения различных полупроводников в типичные технологические методы, выделить наиболее широко используемые и детально их проанализировать.

В последнее время достаточно интенсивно изучается формирование нанокластеров примесных атомов в полупроводниках и использование их свойств. Это связано не только с возможностью создания наноразмерных структур в полупроводниках, так как этот способ не требует дорогостоящего оборудования и сложных технологических процессов, но и с возможностью получения материала с уникальными физическими свойствами и большими функциональными возможностями при использовании его в микроэлектронике [8].

Для создания нанокластеров примесных атомов, в настоящее время достаточно широко применяются имплантирование различных ионов, радиационное облучение, эпитаксиальные методы и различные химические способы [9-13]. Однако, формирование нанокластеров, особенно нанокластеров примесных атомов с помощью диффузионной технологии представляет особый интерес, т.к. именно с помощью этой технологии не только можно формировать и управлять структурой и составом нанокластеров, но и управлять их распределением по всему объему кристалла, что не удастся сделать другими методами.

Еще более важная и интересная особенность, связанная с этой технологией это возможность создания магнитных нанокластеров, обладающих многозарядными состояниями. Исследование таких нанокластеров позволяет выявить ряд новых физических явлений и раскрыть еще не известные эффекты, связанные с магнитными многозарядными наноразмерными структурами, и их новые функциональные возможности в микро и наноэлектронике. В данной диссертации приводится ряд принципиально новых технологических решений и результатов исследований в этом направлении.

Фотоэлектрические свойства кремния, легированного марганцем достаточно хорошо изучены в работе [14-17]. В этой работе показано, что в

компенсированном и в перекомпенсированном кремнии $\text{Si}\langle\text{B},\text{Mn}\rangle$ наблюдается ряд интересных явлений, таких как достаточно высокая фотопроводимость, глубокое инфракрасное и температурное гашение фотопроводимости, а также высокая остаточная фотопроводимость. Эти явления объясняются наличием двух донорных уровней марганца с энергией ионизации $E_1=E_c-0,27$ эВ (Mn^+) и $E_2=E_c-0,5$ эВ (Mn^{++}) [18]. Явления, перечисленные выше, в основном более четко наблюдались в сильнокомпенсированных образцах $\text{Si}\langle\text{B},\text{Mn}\rangle$ с $\rho>10^4$ Ом·см. Следует отметить, что стабильность параметров образцов, не зависимо от их типа проводимости и удельного сопротивления существенно ухудшалась при $T\geq 100^\circ\text{C}$. Такие свойства образцов объясняются междоузельным положением атомов марганца, которые являются достаточно подвижными при $T\geq 100^\circ\text{C}$. Таким образом в исследованных образцах, в зависимости от степени компенсации, атомы марганца находились в состояниях $\text{Mn}^0(3d^54s^2)$, $\text{Mn}^+(3d^54s^1)$ и $\text{Mn}^{++}(3d^5s^0)$. Поэтому большой интерес представляют особенности фотоэлектрических свойств, когда атомы марганца образуют в решетке кремния многозарядные нанокластеры. Такие исследования с одной стороны интересны в научном плане, поскольку в литературе отсутствуют какие либо экспериментальные данные связанные с изучением влияния многозарядных центров на фотоэлектрические свойства материала, а с другой стороны, в полупроводниках с действующими многозарядными центрами ставится под вопрос возможность применения законов рекомбинации и фотопроводимости, которые разработаны на основе двух уровневых моделей [19]. Поэтому исследование фотоэлектрических свойств кремния с нанокластерами с различной кратностью заряда, позволяет не только обнаружить ряд новых фотоэлектрических явлений, но также определить возможности создания принципиально новых фотоэлектрических приборов на их основе.

В данной главе приводятся оригинальные экспериментальные данные по особенностям фотоэлектрических свойств кремния с нанокластерами атомов

марганца. Фотоэлектрические свойства исследовались в тех образцов, в которых были более подробно исследованы их электрические и магнитные свойства. Поэтому результаты, полученные по фотоэлектрическим свойствам, позволяют установить взаимосвязь между магнитными и фотоэлектрическими свойствами кремния с многозарядными нанокластерами и выяснить физику эффектов, наблюдаемых в таких материалах.

Общая характеристика работы

Актуальность темы.

Разработка и создание ИК приемников для области $\lambda=1\div 10$ мкм работающих при достаточно высоких температурах $T=250\div 300$ К представляет большой научный и практический интерес. Так как, такие ИК приемники могут быть использованы в различных областях науки и техники, медицины, робототехники, автоматики и т.д. Научный интерес связан с тем, что в настоящее время практически отсутствуют ИК фотоприемники на основе кремния работающие в области высоких температур, и $\lambda=1\div 10$ мкм, так как существующие технологические методы легирования кремния с различными примесями не позволяют создать такие фотоприемники. Для создания таких фотоприемников требуется использование нового типа материала.

Целью диссертации является разработка технологии получения кремния с максимальным зарядовым состоянием кластеров атомов марганца и использование функциональных возможностей таких материалов при разработке и создании ИК фотоприемников для области $\lambda=1\div 10$ мкм. При этом основными задачи являются:

1. Определить оптимальный исходный материал и оптимальный технологический режим позволяющий получить кластеры атомов марганца с многозарядными центрами.
2. Исследовать фотоэлектрические свойств таких материалов в широкой области температур и интенсивности освещения.
3. Разработать на основе таких материалов ИК фотоприемники и исследовать их параметры.

4. Разработать прибор для регистрации ИК излучения работающий при комнатной температуре.

Научная новизна.

1. Впервые разработана новая поэтапная низкотемпературная диффузионная технология формирования наноразмерных кластеров атомов марганца в кремнии;
2. Доказана существования магнитных кластеров марганца в сильнокомпенсированного кремния, путем исследовать отрицательного магнитосопротивления и фотопроводимость;
3. Возможность управления зарядового состояния кластеров марганца в сильно компенсированного кремния.
4. Разработана технология изготовления элементов памяти на основе кремния с наноразмерными кластерами атомов марганца.

Практическая ценность.

1. Новое технология получения кремния с наноразмерными структурами.
2. Материал с аномально высокой фоточувствительностью.
3. Материал с аномально высокой остаточную фотопроводимостью.
4. ИК-приемник работающий на основе нанокластеров атомов марганца.

Публикация. По теме диссертации опубликовано 1 работы.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения четырех глав и заключения. Общий объем работы ___ страниц машинописного текста, включающего рисунков, таблицы и списка литературы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обнаружена аномально большая примесная фотопроводимость в области спектра $h\nu=0,2\div 0,7$ эВ. Величина фототока при этом увеличивается на 8-10 порядков и становится практически одинакова с собственной ФП. Фототок в интервале $h\nu=0,2\div 0,7$ эВ меняется непрерывно и скачкообразно не характерно для примесной ФП.

2. Обнаружен эффект непрерывного нарастания фототока при попадании на образец фотонов с энергией $h\nu < 0,2$ эВ. При этом образцы работают как счетчики, считывающие каждый фотон.

3. Обнаружена гигантская ОП, после выключения, как монохроматического, так и собственного освещения, т.е. спектральная ОП. В отличие от существующих ОП, обнаруженных в фоточувствительных и в неоднородных образцах, ОП в данной случае имеет не только гигантскую величину, но и обладает аномально большим временем релаксации $\tau \sim 10^9$ с.

4. Определено зарядовое состояние и соответствующий энергетический спектр многозарядного нанокластера, создаваемый в запрещенной зоне кремния, и структура нанокластеров $\left[(Mn)_4^{+n} B^- \right]^{+(n-1)}$, где кратность заряда меняется $n=4\div 8$. Такие нанокластеры создают примесную энергетическую полосу $\Delta E=0,3\text{эВ}=(E_V+0,42)-E_C-0,4$. В отличие от других энергетических полос, это не только достаточно широкая полоса, но и отдельные энергетические уровни внутри этой полосы, которые существенно отличаются сечениями захвата носителей заряд. Это и есть определяющий фактор фоточувствительных свойств кремния с нанокластерами.

5. Установлено, что кремний с многозарядными нанокластерами является уникальным материалом, для создания высокочувствительных ИК фотоприемников работающих в области $\lambda=8\div 1$ мкм, элементов оптической памяти, ИК фотоприемников для области $\lambda=3\div 1,5$ мкм работающих при наличии фонового освещения в широкой области температур.

6. Предложен принципиально новый механизм объясняющий особенности фотоэлектрических и магнитных свойств кремния с нанокластерами. Сущность предложенного механизма заключается в существенном изменении кратности заряда нанокластеров при изменении положения уровня Ферми при освещении.

7. Зависимость фототока от интенсивности освещения в ИК-приемнике при $T=300\text{К}$.

8. Зависимость фототока от интенсивности освещения в ИК-приемнике при $T=273\text{К}$.

9. Разработан и создан прибор для регистрации ИК света.

Литература

- [1]. Волков В.А. Датчики автоматизированных систем контроля измерения и управления // Приборы и системы управления. 1990, №10. С. 2-3.
- [2]. Викулин И.М., Стафеев В.И. Полупроводниковые датчики. М.: Сов. радио. 1975. 104 с.
- [3]. К. фон Клитцинг. УФН, 1986, т. 150, в. 1, с. 107.
- [4]. Квантовый эффект Холла. Сб. статей под ред. Ю. В.Шмарцева, М.,1986.
- [5]. А.П. Силин. УФН, 1985, т. 147, в. 3, с. 485.
- [6]. В. Т.Маслюк, П.А.Феннич. Зарубежная электронная техника, 1981,N 8(241), с. 3.
- [7]. М. Негман. Полупроводниковые сверхрешетки, М., Мир, 1989.
- [8]. Мартинес-Дуарт Дж.М., Мартин-Палама Р.Дж., Агулло-Рueda Ф. Нанотехнология для микро-и оптоэлектроники. Москва: Техносфера, 2007.
- [9]. Gerasimenko N.N., Parhomenko Yu.N., Troitskiy V.Yu., Irzhak A.V., Pavluchenko M.N., Djamanbalin K.K. Quantum-dimensional structures produced by ion inplation // NIMB, 2003, 206, P/ 644-647.
- [10]. Герасименко Н.Н. Радиационные методы в технологии нанoeлектроники. (Кремний-2007) 03-06 июля Москва 2007.
- [11]. Орлов А.Ф., Балагуров Л.А., Бублик В.Т., Зиненко В.И., Картавых А.В., Пархоменко Ю.Н. и др. Взаимодействие основной примеси с имплантированным

марганцем в ферромагнитном кремнии // Сб. тр. Международной конференции «Кремний-2007», М, 2007

- [12]. Сыркин В. Г. CVD метод–Химическое парофазное осаждение, М.: Наука, 2000. с.47.
- [13]. Ш.Н. Усмонов], А.С. Саидов, А.Ю. Лейдерман, Д. Сапаров, К.Т. Холиков // Возможность получения пленок $(\text{GaSb})_{1-x}(\text{Si}_2)_x$ на кремниевых подложках методом жидкофазной эпитаксии. ФТП 2009, т 43, в. 8, с 1131-113
- [14]. Бахадырханов М.К. //Автореферат докторской диссертации.-Л., 1982.-22с.
- [15]. Бахадырханов М.К., Камиллов Т.С. и др. Фотоэлектрические свойства кремния р- типа, легированного марганцем // ФТП, 1975, т. 9., в. 1., с. 76-80.
- [16]. Бахадырханов М.К., Зайнабидинов С. и др. Инфракрасные и температурное гашения фотопроводимости кремния с примесью марганца // ФТП, 1974, т. 8, в. 12, с. 2263-2265
- [17]. Камиллов Т.С.// Автореферат докторской диссертации.-Ташкент 1991. 32 с
- [18]. Абдурахмонов К.П, Лебедев А.А, Крейсль Й, Утамураова Ш.Б, //ФТП 1985 Т. 19. №2, 213-216.
- [19]. Роуз А . Основе теории Фотопроводимости. М., ИЛ. 1972г. с.123.
- [20]. Ludwig G.W., Woodbury H.H., Carlson R.O. // J.Phys.Chem. Sol., 1959. V.8. P.490.
- [21]. Фистуль В.И., Казакова В.М., Бобриков Ю.А., Рябцев А.В., Абдурахманов К.П., Зайнабидинов С., Камиллов Т.С., Утамурадова Ш.Б.. О состоянии примесных ионов марганца в кремнии // ФТП. 1982. Т.16. №5. С.939-941.
- [22]. J.Kreissl, W.Gehlhoff, “Electron Paramagnetic Resonance of the M_4^0 Cluster in Silicon” phys.stat.sol. b, 145, 609 (1988)

- [23]. Аскарлов Ш.И, Бахадирханов М.К., В.Ф. Мастеров, В.Ф. Штельмах. Исследование методом ЭПР межпримесного взаимодействия серы и марганца в кремнии // ФТП 1982 Т 16.№7.С.1308-1310.
- [24]. Астров Ю.А., Козлов В.А., Лодыгин А.Н., Порцель Л.М., Шуман В.Б., Gurevich E.L.// Перераспределение глубоких примесий селена и серы в кремнии при легировании поверхности фосфором// ФТП 2009, т.43, №6. С.739-744.
- [25]. К.С Аюпов, М.К. бахадирханов, Г.Х. Мавлянов, Н.Ф. Зикриллаев, С. Нигманхуджаев. Активация Нанокластеров атомов марганца в кремнии. ДАН РУз. № 3-4.2009. С.56-58.
- [26]. Б.А.Абдурахманов, М.К.Бахадырханов, Х.М.Илиев, С.С.Насриддинов. О диффузии атомов германия в кремнии. ДАН РУз. № 1. 2008. С. 18-20.
- [27]. Бахадырханов М.К., Болтакс Б.И., Куликов Г.С. Диффузия, электроперенос и растворимость примеси марганца в кремнии //ФТТ.1972. Т. 14. С. 1671-1676
- [28]. Бахадирханов М.К. «Комплексное исследование примесей марганца, кобальта, железа и никеля в кремнии» Автореферат кандидатская диссертации. Л.1971г.
- [29]. Бахадирханов М.К., Зикриллаев Н.Ф., Нокулов Н и др. О концентрации электроактивных атомов элементов переходных групп в кремнии. Электронная обработка материалов. 2005, №2, с.86-88.
- [30]. Саъдуллаев А.Б. «Влияние концентрации электроактивных атомов марганца на гальваномагнитные и фотоэлектрические свойства кремния в условиях сильной компенсации». кандидатская диссертации.к.ф-м.н., Т.1999г.
- [31]. Аюпов .К.С. Особенности ИК гашения фотопроводимости в кремнии, легированном марганцем //Журнал «Электронная обработка материалов» Кишинев. 2005г. №4. С. 84-88.

- [32]. Лебедев А.А., Мамадалимов А.Т., Махкамов Ш. Исследование ФП и ИК гашения в $\text{Si}\langle\text{S}\rangle$ // ФТП, 1974, т. 8. С. 262-266.
- [33]. Бахадырханов М.К., Турсунов А.А., Азизов К.А., Нигматхожаев С.С. Инфракрасное гашение фото- и остаточной проводимости в $n\text{-Si}\langle\text{Mn}\rangle$ // ФТП, 1980, т.14, №11. С. 2247-2249.
- [34]. Астрова Е.В., Воронков В.Б., Лебедев А.А. и др. Явления долговременной релаксации остаточной проводимости в фотоприемниках на основе $\text{Si}\langle\text{Zn}\rangle$ // Изв. вузов. Матер. электрон. техники, 1999, №1. С.16-20.
- [35]. Алешкин В.Я., Гавриленко В.И., Гапонова Д.М., Морозов С.В.//Спектры остаточной фотопроводимости в гетероструктурах InAs/AlSb с квантовыми ямами.// ФТП, 2005, т.39, №1. С.30-34.
- [36]. Бахадырханов М.К., Нигматходжаев С.С., Хаджаева М.А. Особенности остаточной проводимости в кремнии, легированном марганцем // ФТП, 1974, т.12, №4. С. 812-816.
- [37]. Бахадырханов М.К. и др. Гигантская остаточная проводимость в р-кремнии, легированном марганцем // ФТП, 1979, т. 13, в. 5, с. 1036-1038
- [38]. Аюпов К.С., Бобонов Д.Т., Кадырова Ф.А. Оптическая и электрическая память в кремнии, легированном селеном. // ИАПУ ДВО РАН 18-21 май, ПДММ- 2005г.
- [39]. Аюпов К.С., Бахадырханов М.К., Зикриллаев Н.Ф., Илиев Х.М., Норкулов Н. О природе глубоких уровней в кремни //ДАН РУз. 2007. №2. С.21-24.
- [40]. Милнс А. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках.М., 1977,562 с
- [41]. Зикриллаев Н.Ф., Саъдуллаев А., Аюпов К.С., Каршибаев И. Энергетические спектры примесей глубоких уровней в кремнии при условиях сильной компенсации //Международной конференции «Центры с глубокими уровнями в полупроводниках и полупроводниковых структурах». Ульяновск, 1997.

- [42]. К.С. Аюпов. Состояние примесных атомов с глубокими уровнями в полупроводниках в условиях сильной компенсации //Журнал. «ТошДТУ ХАБАРЛАРИ» 2004й. №2. С.9-16.
- [43]. Шейнкман М.К., Шик А.Я. Долговременные релаксации и остаточная проводимость в полупроводниках // ФТП 1976, т.10, №2. С.209-233
- [44]. <http://www.espribor.ru/pdf3>
- [45]. <http://www.indusystems.ru/articles/diffuz.html>
- [46]. <http://www.rakurs.su/brends/Sick/catalog/sensors-fiberglass>
- [47]. <http://www.e-automation.ru/sensoroptik>
- [48]. <http://www.indusystems.ru/articles/deflector.html>
- [49]. <http://www.e-automation.ru/sensoroptik/731720627>
- [50]. http://www.rs-energy.ru/trade/offer/offer_16107.html
- <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2007>