

## ПОЛУЧЕНИЕ ГЕТЕРОФАЗНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ТЕЛЛУРИДОВ ВИСМУТА-СУРЬМЫ

**Юсупова Дилфуза Аминовна**

*доцент кафедры «Физика», к.ф.-м.н. ФерГУ*

**Толипов магистрант ФерГУ**

**Жасурбек Равшанжон угли**

**Аннотация:** *В работе исследуются методики получения сложных по составу гетерофазных систем, описывается способ автоматизации технологического процесса получения гетерофазных систем на основе теллуридов висмута-сурьмы, содержащих наногранулы.*

**Ключевые слова:** *полупроводниковые пленочные элементы, межзеренные границы, гетерофазные границы раздела, гетерофазные системы, коэффициент тензочувствительности, датчики накопленной усталостной повреждаемости, метод термовакуумного напыления, вакуумная установка.*

В последние годы стимулируется интерес к исследованиям поверхности и границ раздела возник достаточно давно, стимулируется развитием микро - и нанотехнологии, общей тенденцией к миниатюризации приборов и устройств электроники, проявляющейся в уменьшении толщины рабочих структур, синтезом сложных многослойных и наноструктурированных композиций. Очевидно, что указанная тенденция должна приводить к заметному усилению влияния границ раздела на свойства таких структур, а в ряде случаев к появлению нового качества, позволяющего создавать приборы и устройства с уникальными свойствами. В первую очередь это относится к объектам наноэлектроники, где влияние границ раздела, в том числе гетерофазных, будет проявляться в большей степени. Одним из наиболее распространенных объектов такого рода являются тонкие поликристаллические пленки полупроводников и диэлектриков, широко используемые в современной электронике. Их свойства во многом определяются межзеренными границами, изучение свойств которых представляет актуальную научную и практическую задачу.

Прогресс в изучении свойств поверхности и границ раздела очевидно связан с необходимостью радикального упрощения сложных реальных систем (создания модельных объектов), однако проблемы, возникающие при их получении, часто сводят на нет преимущества такого подхода. Создание атомарно-чистых поверхностей или резких границ раздела требует больших усилий и представляет интерес с позиций фундаментальных исследований. Во всех реальных ситуациях фигурирует покрытая поверхность, являющаяся результатом взаимодействия с окружающей средой, когда происходит сорбция инородных атомов, окисление

поверхности и т. п.

Собственно гетерофазные границы раздела являются примером такого рода объектов. Влияние границ раздела за счет их зарядки, диффузии и дрейфа носителей заряда может распространяться в объем образца, изменяя его электрофизические свойства, что, с одной стороны, затрудняет изучение собственно границ раздела, а с другой – позволяет применять классические «объемные» методы их исследования – измерение проводимости, емкости, фотоэлектрические исследования. Этому способствует также тот факт, что поверхности на границе раздела «взаимодействуют» между собой, причем в ряде случаев это взаимодействие приводит к изменению химического состава границы раздела.

Образуется гетерофазная граница, обладающая собственными «объемными» свойствами. Взаимное влияние гетерофазной границы раздела и объема зерна создает условия для формирования *гетерофазных систем*, комплексное изучение которых с использованием современных методов диагностики поверхности может дать информацию о свойствах границ раздела и механизмах их влияния на параметры структур.

В последние годы наблюдается серьезный прогресс в развитии технологии и методов диагностики, послуживший основой для становления нового направления в развитии науки, связанного с получением и исследованием наноразмерных структур. Трудно сказать, что является первичным в развитии этого направления: технологические возможности или аналитические методы, позволяющие изучать свойства такого рода объектов. Вероятно то и другое. Однако если технологии в каждом конкретном случае могут различаться (и различаются) самым кардинальным образом, то методы исследования наноструктурированных объектов различного происхождения и назначения общие и должны характеризоваться определенными аналитическими параметрами. В этом смысле развитие методов диагностики поверхности и границ раздела является доминирующим и определяющим успехи современной микро и наноэлектроники. Поэтому в работе значительное внимание уделялось совершенствованию методик, их адаптации к получению сложных по составу гетерофазных систем, разработке новых методов диагностики поверхности.

Известно, что наиболее высоким коэффициентом тензочувствительности обладают пленочные гетерофазные системы на основе тройных полупроводниковых соединений (Bi,Sb)Te. Гетерофазные системы теллуридов висмута-сурьмы способны накапливать информацию в виде изменения сопротивления, по способам приложения и величине нагрузок, которые они воспринимают. Это позволяет использовать такие пленки для создания датчиков-преобразователей механических величин в электрические сигналы, в частности использовать их для получения чувствительного элемента датчика накопленной

усталостной повреждаемости (ДНУП).

В данной работе описан способ автоматизации технологического процесса изготовления ДНУП на основе полупроводникового соединения  $(\text{BiSb})_{2-x}\text{Te}_{3-x}$ . Контроль параметров процесса напыления и управления отдельными узлами установки осуществляется по технологической карте, составленной заранее.

Для получения нанокристаллических образцов из полупроводникового соединения теллуридов висмута и сурьмы методом термовакуумного напыления, необходимо специальное технологическое оборудование - модернизированная однопостовая типовая вакуумная установка УВН-73П. Она является базовым вакуумным оборудованием, позволяющим при напылении нанокристаллических плёнок контролировать сопротивление образцов по свидетелю.

С помощью вакуумной установки со штатным оборудованием, снабженной дополнительной системой для автоматического регулирования температуры по заданной программе мы получали гетерофазные плёнки теллуридов висмута-сурьмы, содержащих наногранулы с воспроизводимыми характеристиками [4-7].

В качестве исходных материалов при получении соединения  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  использовался гетерогенный материал со следующим процентным содержанием: 40 %  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  + 50 %  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  + 10 %  $\text{Bi}$ . В испаритель закладывают навеску весом ~ 6 грамм. Ранее полученные подложки, с напыленными контактными площадками закладывают вместе с масками в подложкодержатели, которые помещают в вакуумную установку, после чего устанавливают основной и вспомогательный свидетели. При получении нанокристаллических тензоплёнок  $\text{Bi}_x\text{Sb}_{2-x}\text{Te}_3$  расстояние между испарителем и подложкой варьировалась в пределах 80÷150 мм.[8-11]

После завершения подготовительного периода камера герметически закрывается и в подколпачном объёме устанавливается высокий вакуум с давлением  $1,33 \cdot 10^{-2} \div 1,33 \cdot 10^{-3}$  Па, так как наилучшие деформационные свойства независимо от других параметров технологии обеспечивают при остаточном давлении в вакуумной камере в пределах  $6,7 \cdot 10^{-2} \div 6,7 \cdot 10^{-4}$  Па.

Следующий этап является ионная очистка, разогрев и поддержание температуры подложек 343,15 ÷ 348,15 К. Испарение части навески исходного материала проводится при закрытой заслонке при температуре испарителя 623 ÷ 643 К, при этом сопротивление вспомогательного свидетеля должно достигнуть величины ~ 7000 Ом за время 27 мин. Испарение исходного материала при открытой заслонке проводится при температуре испарителя 643÷1073 К. При завершении испарения сопротивление свидетеля должно быть ~ 150 Ом. Время испарения 7-8 мин. После остывания подложек производится напуск воздуха.[12-15].

Каждая исходная структура плёнки имеет свою «автономию» формирующую историю процесса перестройки её электронной подсистемы. Структуры, имеющие одинаковую «автономию», воспроизводятся в узком технологическом интервале.

Поэтому необходимо использовать высокий уровень автоматизации технологического процесса получения плёнок.

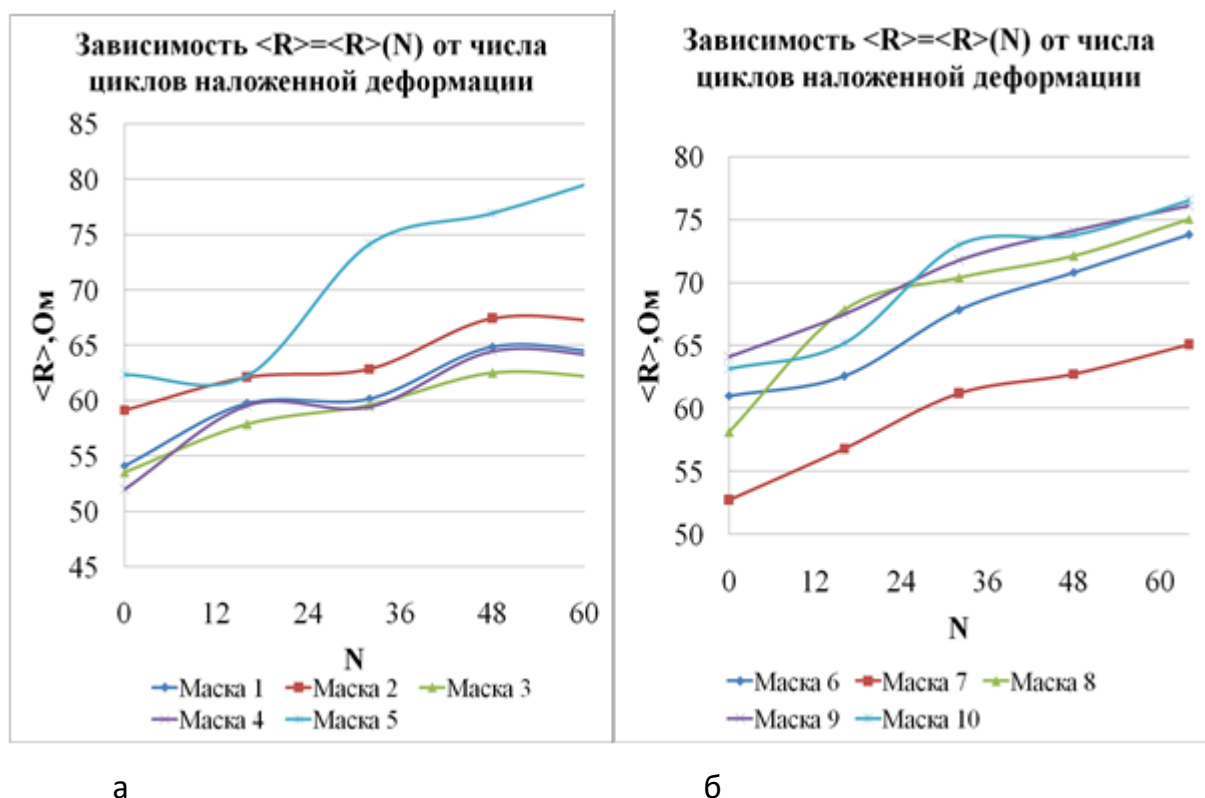
Для стабильности характеристик получаемых пленок, необходимо обеспечить определенную скорость вращения карусели над испарителями. Соблюдение этого условия позволяет ожидать воспроизведения структуры напыляемых пленок. В системе предусмотрено непрерывное измерение и регулирование скорости вращения карусели по заданному закону.

Контроль за процессом получения плёнок обеспечивают два свидетеля - вспомогательный и основной. Вспомогательный свидетель расположен на технологической заслонке. С помощью измерения сопротивления вспомогательного свидетеля задается начальная фаза напыления пленок. После достижения заданного сопротивления на вспомогательном свидетеле технологическая заслонка открывается и начинается процесс напыления на подложки.

Процесс напыления завершается по достижении заданной величины сопротивления на основном свидетеле. Если скорость вращения карусели соответствует заданной, напряжение на двигателе поддерживается на прежнем уровне. Если же произошло отклонение от заданной скорости по какой-либо причине, то напряжение на двигателе меняется так, чтобы скомпенсировать это отклонение.

В процессе работы необходимо изменять протокол работы в зависимости от величины вспомогательного и основного свидетеля. Во время работы Система начнёт отрабатывать, заданные величины и отображать соответствующие им измеренные значения. Можно редактировать данные, заданные в Протоколе и во время технологического процесса. Во время процесса программа запоминает все измеренные величины.

На рис.1.1.а и рис.1.1.б приведены зависимости среднего значения сопротивления плёнок и их среднеквадратичного отклонения от числа циклов наложенной деформации по партиям (DNUP7) и (DNUP 6LD).



а

б

Рис.1. Зависимость среднего значения сопротивления плёнок, и их среднеквадратичного отклонения от числа циклов наложенной деформации по партиям: а – партия (DNUP7) и б – партия (DNUP 6LD)

На рис.1.а и рис.1.б приведена зависимость среднего значения сопротивления плёнок по маскам от числа циклов наложенной деформации (маски от 1-10). В результате сопоставлений значений среднего сопротивления по маскам до и после наложения 64 циклов относительной деформации ( $10^{-4}$  отн.ед) видно, что среднее значение сопротивлений, после наложения свыше 60 циклов относительной деформации ( $10^{-4}$  отн.ед) во всех масках увеличивается. Особенно оно заметно увеличивается в масках №5, №8 и №9. Среди приведенной партии именно эти маски и находящиеся на ней чувствительные элементы обладают наилучшими тензорезистивными характеристиками. Поэтому необходимо использовать высокий уровень автоматизации как для технологического процесса изготовления ЧЭ, так и для процесса калибровки полученных тензоплёнок.

Таким образом, с помощью использования эффектов самоорганизации наноструктур и автоматизации технологического процесса получения нанокристаллических полупроводниковых плёнок, а также автоматизации процесса их отбраковки можно обеспечить ~10 процентную воспроизводимость свойств чувствительных элементов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Catalytic activity of Au nanoparticles. // Nanotoday. -August 2007-. V. 2, № 4. PP. 14-18.
2. Охотин А.С., Пушкарский А.С., Горбачов С, Теплофизические свойства полупроводников.- Атомиздат, 1972
3. Атакулов Б., Афузов А.Я., Билялов Э.И., Олимов Х. Полупроводниковый плёночный тензодатчик. – Авторское свидетельство № 307288 с приор. от 3.11.1969.
4. Мухамедиев Э., Шамирзаев С., Онаркулов К., Юсупова Д., Смирнов В. Технологические установки для получения чувствительных элементов ДНУП на основе  $(\text{BiSb})_{2-x}\text{Te}_{3+x}$ . // Международная конференция, посвященная 90-летию академика С.А.Азимова «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» : - Tashkent, 18-19 ноября 2004. № 3. 429 с.
5. Юсупова, Д. А. (2019). Исследование влияния деформации на изменения концентрации поверхностных состояний, уровня Ферми и заряда поверхности раздела нанокристаллических пленок теллуридов висмута и сурьмы. *Проблемы современной науки и образования*, (12-2 (145)), 8-12.
6. Юсупова, Д. А. (2021). СПОСОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ТЕНЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПЛЁНОК ТЕЛЛУРИДОВ ВИСМУТА-СУРЬМЫ. *Universum: технические науки*, (12-1 (93)), 23-25.
7. Юсупова, Д. А. (2022). ИЗУЧЕНИЯ РОЛИ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОТНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНКАХ ПРИ НАЛОЖЕНИИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ. *Involta Scientific Journal*, 1(6), 416-424.
8. Юсупова, Д. А., & Насретдинова, Ф. Н. (2017). Автоматизация процесса получения тензочувствительных плёнок теллуридов висмута-сурьмы, содержащих наногранулы с воспроизводимыми характеристиками. *ББК 74.58 С 30 Международная редакционная коллегия*, 100, 88.
9. Yusupova, D. A., & Tadjiboyeva, X. B. Q. (2021). KO'P KOMPONENTLI BIRIKMALARDAN YARIM O 'TKAZGICHLI SEZGIR ELEMENTLARNI OLISH METODIKASI. *Scientific progress*, 2(1), 247-251.
10. Юсупова, Д. А. (2018). Изучение электрофизических свойств нанокристаллических пленок  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$ . *Интеграция наук*, (4), 52-54.
11. Юсупова, Д. А. (2022). ИЗУЧЕНИЯ РОЛИ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОТНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНКАХ ПРИ НАЛОЖЕНИИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ. *Involta Scientific Journal*, 1(6), 416-424.

12. Шамирзаев, С. Х., Онаркулов, К. Э., Юсупова, Д. А., & Мухамедиев, Э. Д. (2006). Простые модели усталостной повреждаемости гетерогенных материалов с очень сложной динамикой. *Фізична інженерія поверхні*, (4, № 1-2), 91-96.

13. Юсупова, Д. А., & Фозилова, М. Д. Қ. (2021). ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОЧНЫХ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ. *Scientific progress*, 2(1), 441-447.

14. Карабаев, М. К., Онаркулов, К. Э., Ахмедов, М. М., & Юсупова, Д. А. Обоснован способ использования полупроводникового пленочного элемента как индикатора усталостных повреждений. Описаны методы его изготовления. *Описаны методы его изготовления*.

15. Юсупова Д.А. СПОСОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ТЕНЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПЛЁНОК ТЕЛЛУРИДОВ ВИСМУТА-СУРЬМЫ // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* 2021. 12(93).