

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И
ИННОВАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ФЕРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.АУЭЗОВА

ФЕРГАНСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИНСТИТУТ ОБЩЕСТВЕННОГО
ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

МАТЕРИАЛЫ

Международной научной конференции

**“ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ
СРЕД”**

Фергана, 24-май, 2024 год.

2. Шамирзаев, С. Х., Юсупова, Д. А., Мухамедиев, Э. Д., & Онаркулов, К. Э. (2006). Определение эффективной плотности электронных поверхностных состояний в нанокристаллических пленках $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$. *Физическая инженерия поверхности*.
3. 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.
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» : -Ташкент, 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. (2022). ИЗУЧЕНИЯ РОЛИ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОТНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНКАХ ПРИ НАЛОЖЕНИИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ. *Involta Scientific Journal*, 1(6), 416-424.
7. Yusupova, D. A., & Tadjiboyeva, X. B. Q. (2021). KO'P KOMPLEMENTLI BIRIKMALARDAN YARIM O 'TKAZGICHLI SEZGIR ELEMENTLARNI OLISH METODIKASI. *Scientific progress*, 2(1), 247-251.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Юсупова, Д. А., & Фозилова, М. Д. К. (2021). ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОЧНЫХ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ. *Scientific progress*, 2(1), 441-447.
12. 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*.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ

ВАКУУМНЫХ КОНДЕНСАТОВ $(\text{Bi}_x\text{Sb}_{2-x})\text{Te}_3$

Юсупова Д.А.¹, Толипов Ж.², Сирожидинова С.³

Ферганский государственный университет,

доцент, к.-ф.м.н¹, магистрант², преподаватель³

Аннотация. В данной работе с целью установления связи между термоэлектрическими свойствами плёнок системы Bi-Sb-Te, их структурой,

химическим и фазовым составом, было исследовано распределение химического состава по толщине плёнок системы Bi-Sb-Te с помощью рентгеноспектрального анализа.

Ключевые слова: Поликристаллические плёнки теллуридов висмута-сурьмы, тензочувствительность пленки, рентгеноспектрального анализ, скорость конденсации слоев, температура подложки, средний размер зерен.

Изучению особенностей роста и формирования структуры плёнок теллуридов висмута-сурьмы представляет большой интерес, так как целенаправленное изменение свойств материалов на основе теллуридов висмута-сурьмы невозможно без исследования их физико-химических свойств, изучения структурных дефектов, текстуры, состава и однородности посредством создания оптимальных технологических условий. Термо чувствительность теллуридов висмута-сурьмы и твёрдых растворов на их основе зависит как от состава этих материалов, так и их структуры.

В работе рассмотрены результаты исследований, затрагивающих вопрос о формировании структуры вакуумных конденсатов $(\text{Bi}_x\text{Sb}_{2-x})\text{Te}_3$ на полиимиде при температурах конденсации около 360К. Согласно расшифровок электронограмм и рентгенографических исследований-плёнки $(\text{Bi}_x\text{Sb}_{2-x})\text{Te}_3$ поликристалличны с беспорядочной ориентацией кристаллитов плоскостями (110) и (200) в плоскости подложки. Эти плоскости перпендикулярны плоскости скола $(\text{Bi}_x\text{Sb}_{2-x})\text{Te}_3$, которая совпадает с плоскостью (001). С целью установления корреляции между тензоэлектрическими свойствами пленок системы Bi-Sb-Te, их структурой, химическим и фазовым составом нами было исследовано распределение химического состава по толщине пленок системы Bi-Sb-Te. Исследования проводились с помощью рентгеноспектрального анализа. Измерение проводилось при постоянном токе электронного зонда и ускоряющем напряжении 30 кВ на сериях $L_{\alpha 1}$, излучений висмута, сурьмы и теллура. Было изучено влияние скорости конденсации и температуры подложки $T_{\text{п}}$ на структуру и фазовый состав пленки. Скорость конденсации слоев v

составляла 200 Å/с при $T_{\text{п}}=50$ и 150°C , и 80, 200, 450 Å/с при $T_{\text{п}}=90^{\circ}\text{C}$. Из анализа микрофотографий следует, что средний размер зерен D в пленках увеличивается с ростом v от ~ 10 нм при $T_{\text{п}}=50^{\circ}\text{C}$ до ~ 50 нм при $T_{\text{п}}=150^{\circ}\text{C}$.

Эксперименты показали, что увеличение скорости конденсации при постоянной $T_{\text{п}}=90^{\circ}\text{C}$ сопровождается ростом концентрации свободной сурьмы в пленке по отношению к теллуру. Уменьшение температуры до 50°C , при постоянной $v \approx 20$ нм/с, приводит к росту концентрации свободного теллура. Наилучшим тензосвойствам пленок соответствуют оптимальные условия их конденсации: $T_{\text{п}}=90^{\circ}\text{C}$, $v \approx 20$ нм/с. Из сопоставления этих данных с результатами электронографического и рентгеноспектрального анализов следует, что в оптимальном технологическом режиме получают пленки, содержащие в основном соединение $(\text{Bi}_x\text{Sb}_{2-x})\text{Te}_3$. Причем, значение x изменяется по толщине. Это изменение сопровождается изменением концентраций фаз теллура и сурьмы.

Изменение фазового состава по толщине слоя может привести к возникновению значительных механических напряжений в системе пленка-подложка. Механические напряжения, возникающие в процессе конденсации и термообработки пленок, обусловлены структурно-фазовой и химической неоднородностью пленок по толщине.

Если механические напряжения превысят предел прочности пленки, то это явление должно привести к образованию системы микротрещин в пленке. Причем трещины могут образоваться в плоскостях как перпендикулярных, так и параллельных поверхности. Ясно, что в обоих случаях причина возникновения микротрещин является следствием возникновения механических напряжений, которые превышают предел прочности пленок. Трещины, перпендикулярные поверхности, возникают из-за различия коэффициента теплового расширения пленки и подложки. Образование трещин, параллельных поверхности, внутри объема пленки на первый взгляд

кажется странным явлением. Однако, это возможно, если учесть, что химический и фазовый состав изменяются по толщине пленки.

Из дифрактограммы пленки Bi_2Te_3 следует, что пленка имеет структуру поликристалла с параметрами решетки $a=4.385^\circ\text{A}$, $c=30.480^\circ\text{A}$. Уменьшение параметра c пленки по сравнению с параметром материала и литературными данными может быть связано с нарушениями стехиометрии пленок теллурида висмута [1]. Средний размер зерен, формирующих пленку Bi_2Te_3 толщиной 103 нм, рассчитанной по ширине дифракционных пиков, составлял ~ 50 нм. Рассчитанные по дифрактограммам экспериментальные значения d_{hkl} пленок толщиной 10^3 нм, полученных при температуре подложки $T_{\text{п}} = 200^\circ\text{C}$, сравнивались со стандартными значениями. Средний размер кристаллитов, формирующих пленку Bi_2Te_3 составлял 10–15 нм, а для пленки Sb_2Te_3 эта величина равнялась 5–7 нм. По нашему мнению, причинами различной степени кристаллической упорядоченности данных конденсатов могут быть недостаточная кинетическая энергия атомов и молекул, которые достигают поверхности подложки, недостаточная для достижения состояния равновесия подвижность, значительные различия кинетических параметров (коэффициентов термической аккомодации молекул и атомов, временем жизни на поверхности, энергией связанных состояний и коэффициентов прилипания).

Исследование условий формирования структуры синтезированных материалов Bi_2Te_3 и Sb_2Te_3 показали хорошее согласие экспериментальных значений параметров решетки с их стандартными значениями.

Рентгеноспектральный анализ показал незначительное отклонение от стехиометрии в процессе осаждения пленок, возможно, связанное с неоднородностями состава облученных участков мишени в процессе взаимодействия лазерного излучения с мишенью.

На температурных зависимостях удельного сопротивления наблюдается несколько активационных участков с энергиями активации, зависящими от толщины пленок и размеров кристаллитов, формирующих пленку.

Экспериментально было установлено, что наибольшими значениями коэффициента тензочувствительности обладают пленки, содержащие сетку микротрещин. Система микротрещин делит пленку на отдельные проводящие микроблоки, контактирование между которыми и обеспечивает, на наш взгляд, высокие значения коэффициента тензочувствительности за счет скачков электросопротивления и деформации на границах микроблоков.

Список использованной литературы

1. Б.М. Гольцман, В.А. Кудинов, И.А. Смирнов. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi_2Te_3 (М., Наука, 1972).
2. [3] Thermoelectrics handbook: macro to nano, ed. By D.M. Rowe (Taylor & Francis, 2006)
3. С.Х.Шамирзаев, Д.А.Юсупова. Исследование электрофизических свойств поликристаллических плёнок теллуридов висмута-сурьмы, содержащих наногранулы // Актуальные проблемы современной физики.Сборник материалов республиканской научной конференции. Термиз 1- май, 2013. С.45-46.
4. Д.А.Юсупова.Изучение электрофизических свойств нанокристаллических пленок $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$.//«Интеграция наук» Международный научно-практический журнал.Москва.В.№4(19) (июнь, 2018), с 52-54
5. Д.А.Юсупова, С.Маматкулов. Влияние межгранульных поверхностных условий на формирование пороговой проводимости двухкомпонент-ных полупроводниковых смесей теллуридов висмута-сурьмы.//
6. 1 International Congress of The Turkie World on Health and Natural Sciences.21-23 april. 2019.Osh. Kyrgyzstan.183- 189 page.
7. S. Cho, Y. Kim, A. Di Venere, G.K. Wong, J.B. Ketterson, J.R. Meyer. Appl. Phys. Lett., 75, 1401 (1999).
8. Юсупова, Д. А., & Толипов, Ж. (2022). ПОЛУЧЕНИЕ ГЕТЕРОФАЗНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ТЕЛЛУРИДОВ ВИСМУТА-СУРЬМЫ. *Новости образования: исследование в XXI веке*, 1(4), 175-181.
9. Юсупова, Д. А., Сирожиддинова, С. З., & Толипов, Ж. (2023, November). ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ТЕЛЛУРИДОВ ВИСМУТА И СУРЬМЫ. In *Fergana state university conference* (pp. 71-71).
10. Мухамедиев, Э., Шамирзаев, С., Онаркулов, К., Юсупова, Д., & Смирнов, В. (2004). Технологические установки для получения чувствительных элементов ДНУП на основе $(\text{BiSb})_{2-x}\text{Te}_{3+x}$. In *Международная конференция, посвященная*.
11. 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.
12. Юсупова, Д.А., Толипов, Ж. (2022). ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Sb}_2\text{Te}_3$. Международный