

7. Онаркулов, К., & Юлдашев, А. (2017). ВИСМУТ-СУРМА ТЕЛЛУРИД ЮПҚА ПАРДАЛАРНИНГ ЭЛЕКТРОФИЗИК ХОССАЛАРИГА ТЕХНОЛОГИК ЖАРАЁННИНГ ТАЪСИРИ. *Scientific journal of the Fergana State University*, (2), 2-2.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ТЕЛЛУРИДОВ ВИСМУТА И СУРЬМЫ

Д.А.Юсупова, С.З.Сирожиддинова, Ж.Толипов
Ферганский Государственный университет

Аннотация: Работа посвящена исследованию физических процессов, протекающих в нанокристаллических плёнках теллуридов висмута-сурьмы под действием наложенной деформации. В работе рассматриваются вопросы, связанные с изменением концентрации поверхностных состояний, уровня Ферми и заряда поверхности раздела в нанокристаллических пленках теллуридов висмута–сурьмы при наложении необратимой циклической деформации.

Ключевые слова: нанокристаллические полупроводники, нанокристаллические пленки теллуридов висмута – сурьмы, поверхностные электронные состояния, коэффициент тензочувствительности, межзёренные границы, изменение концентрации электронных поверхностных состояний, уровень Ферми, заряд поверхности раздела, наложение необратимой циклической деформации.

Исследования многокомпонентных соединений в конденсированном состоянии позволяют расширить возможности их практического применения в современной технике по сравнению с элементарными и бинарными конденсатами. Большими возможностями вариации физико-химических свойств обладают аморфные плёнки сложных халькогенидных соединений.

Однако, исследования тонкоплёночных конденсатов таких соединений не получили широкого распространения по двум основным причинам. Во-первых, относительно небольшое число сложных халькогенидных соединений испаряются без изменения состава, а отклонение соотношения составляющих компонентов от исходного, как правило, приводит к изменению необходимых характеристик образцов. Во-вторых, для сложных многокомпонентных систем характерны физико-химические процессы старения. К ним относятся всевозможные фазовые превращения, приводящие к окислению, кристаллизации аморфных фаз, изменение стехиометрического соотношения компонентов со временем и др.

В последнее время увеличилось исследование многокомпонентных конденсированных соединений по сравнению с элементарными и бинарными, в связи с расширением их возможности практического применения в современной технике. Особенно это относится к исследованию и использованию нанокристаллических полупроводников зерна которых имеют размеры порядка десятка нанометров. Это связано с многообразием их функциональных свойств. Так как нанокристаллические плёнки сложных халькогенидных соединений обладают большими возможностями вариации физико-химических свойств.

Размеры кристаллитов и состояние их поверхности непосредственно определяют электронные процессы в плёнках. Пространственное изменение энергетического спектра

носителей заряда увеличивает чувствительность многих физических параметров плёнок к внешним воздействиям, как температура, световые и ионизирующие излучения, деформация.

Объектами нашего исследования явились высокочувствительные к наложенной деформации (ϵ) нанокристаллические плёнки теллуридов висмута-сурьмы. Специфической особенностью нанокристаллических полупроводников является наличие в них однотипных встроенных поверхностей раздела – межзеренных границ, которые оказывают определяющие влияния на электрофизические свойства нанокристаллов.

В тензочувствительных пленках теллуридов висмута-сурьмы средний линейный размер одной гранулы составляет 30 нм. Для пленок $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$, общая площадь межгранульной поверхности превышает 60 см^2 .

На современном этапе развития физики полупроводниковых приборов для решения проблем дальнейшего улучшения рабочих параметров чувствительных элементов необходимо глубокое понимание физических процессов, протекающих в них. Наиболее существенное влияние на физико-химические свойства нанокристаллических плёнок полупроводников оказывают их состав и структура, в зависимости от которых формируется электронный энергетический спектр.

Размеры кристаллитов и состояние их поверхности непосредственно определяют электронные процессы в плёнках. Пространственное изменение энергетического спектра носителей заряда увеличивает чувствительность многих физических параметров плёнок к внешним воздействиям, как температура, световые и ионизирующие излучения, деформация.

Объектами нашего исследования явились высокочувствительные к наложенной деформации (ϵ) нанокристаллические плёнки теллуридов висмута-сурьмы. Специфической особенностью нанокристаллических полупроводников является наличие в них однотипных встроенных поверхностей раздела – межзеренных границ, которые оказывают определяющие влияния на электрофизические свойства нанокристаллов. В настоящее время физика нанокристаллических пленочных полупроводников находится в зачаточном состоянии. Поэтому актуальным является исследование реакции этих объектов на наложенные физические поля [1-3]. В тензочувствительных пленках теллуридов висмута-сурьмы средний линейный размер одной гранулы составляет 30 нм. Для пленок $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$, общая площадь межгранульной поверхности превышает 60 см^2 .

Для получения нанокристаллических пленок мы использовали метод испарения теллуридов висмута - сурьмы с последующей конденсацией на полиамидные подложки. Температура подложек ($\sim 90^\circ\text{C}$) и уровень вакуума в испарительной камере подбирались так, чтобы обеспечить неравновесность, позволяющую добиться спонтанного зародышеобразования и не допустить роста и агрегации сформировавшихся наночастиц.

При использовании термовакuumной технологии заметное испарение шихты начинается тогда, когда давление собственных паров испаряемого вещества на несколько порядков превышает остаточное давление в вакуумной камере. Кроме того, испарение $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$ становится эффективным при температурах более $850 - 900 \text{ K}$, что соответствует температурам сублимации этого материала.

В нанокристаллических полупроводниках ключевую роль в формировании их электрических характеристик играют однотипные межзеренные границы. Диффузия компенсирующей примеси вдоль межзеренных границ в однородно-легированном нанокристаллическом полупроводнике приводит к возникновению на границах зёрен

несбалансированного электрического заряда, формирующего двойной барьер Шоттки. Ширина и высота барьера определяются концентрацией компенсирующей примеси на границе, причем небольшие вариации этой концентрации могут изменять электрическую проводимость границы на несколько порядков. С этим связано изначально высокое значение деформационного коэффициента ($K > 10^4$) нанокристаллических пленок изготовленных из теллуридов висмута – сурьмы.

Электронная структура межзеренных границ весьма чувствительна к захвату примесей растущими плёнками. Это способствует получению плёнок с уникальными свойствами. На межзеренных границах находятся адсорбированные атомы, вакансии и другие дефекты. Энергетическая структура примесей и дефектов в зернах, а также плотности поверхностных электронных состояний в межзеренных границах зависят от деталей процесса получения поликристалла.

Исследование и практическое применение его электронных свойств наталкиваются на плохую воспроизводимость количественных характеристик, получаемых на, казалось бы, идентичных образцах. Также как и в монокристаллах, дефекты в зернах играют существенную роль. Всем перечисленным поверхностным дефектам соответствуют локальные поверхностные состояния электронов, энергетические уровни которых, как правило, попадают в запрещенную зону общего энергетического спектра кристалла. Их энергетические уровни зависят от соответствия электронной и пространственной структур примесей и матричной решетки.

Поверхностные электронные состояния являются центрами захвата и рекомбинации в зависимости от числа носителей, сечения захвата электрона и дырки, концентрации поверхностных состояний (N_{ss}) их типа и энергетического положения (E_s). В силу однотипности всю совокупность электрически активных межзеренных границ именно в нанокристаллической пленке можно заменить одной эффективной межзеренной границей [4,5].

Поверхностные уровни заряжены, так как на поверхности существует обмен носителями между поверхностными электронными состояниями и зонами. Суммарный заряд поверхностных состояний называется поверхностным зарядом.

Считается, что изменение уровня Ферми связано с изменением активного сопротивления, а изменение поверхностного заряда связано с изменением эффективной емкости. Суммарный заряд поверхностных состояний называется поверхностным зарядом. Под влиянием внешних воздействий он меняется. Для нейтрального перехода свободными остаются два параметра: заряд поверхности раздела и приложенное напряжение. В условиях, когда приложенное напряжение равно нулю, заряд поверхности раздела определяется пространственно однородным уровнем Ферми. Изменение поверхностного заряда по отношению к уровню Ферми дает концентрацию электронных поверхностных состояний [4,5].

Таким образом, для определения эффективной плотности поверхностных состояний необходимо найти как изменение уровня Ферми, так и изменение плотности эффективного поверхностного заряда. Уровень Ферми также как и заряд могут меняться при наложении внешних полей - температуры или деформации и при миграции примесных атомов [6,7].

В данной работе были рассмотрены изменение концентрации электронных поверхностных состояний, уровня Ферми и заряда поверхности раздела в нанокристаллических пленках теллуридов висмута – сурьмы при наложении необратимой

циклической деформации. При деформации нанокристаллических пленок меняются как геометрический фактор, так и уровень Ферми.

Мы использовали высокий уровень автоматизации процесса измерения электрического сопротивления плёнки в процессе наложения циклической деформации [8-9]. На рис. 1 приведены зависимости сопротивления $R(\epsilon)$ образцов нанокристаллических пленок телурида висмута – сурьмы, от наложенной деформации (1/4 цикла – только растяжение в одну сторону) измеренные для области низких частот ($f = 300 - 1000$ Гц).

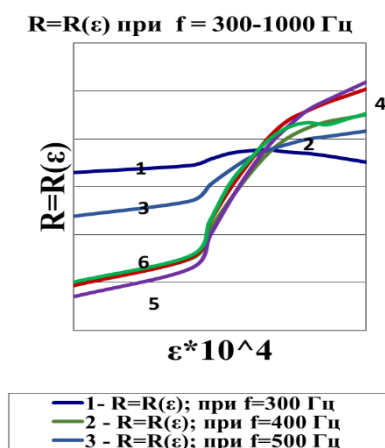


Рис. 1. Зависимость низкочастотных сопротивлений ($R[\epsilon]$) плёнок $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$ от величины наложенной деформации [ϵ – соответствует только растяжению от 0 до максимального значения равного 10^{-4} относительных единиц], измеренных на 6 различных частотах – 300 Гц; 400 Гц; 500 Гц; 800 Гц; 900 Гц и 1000 Гц.

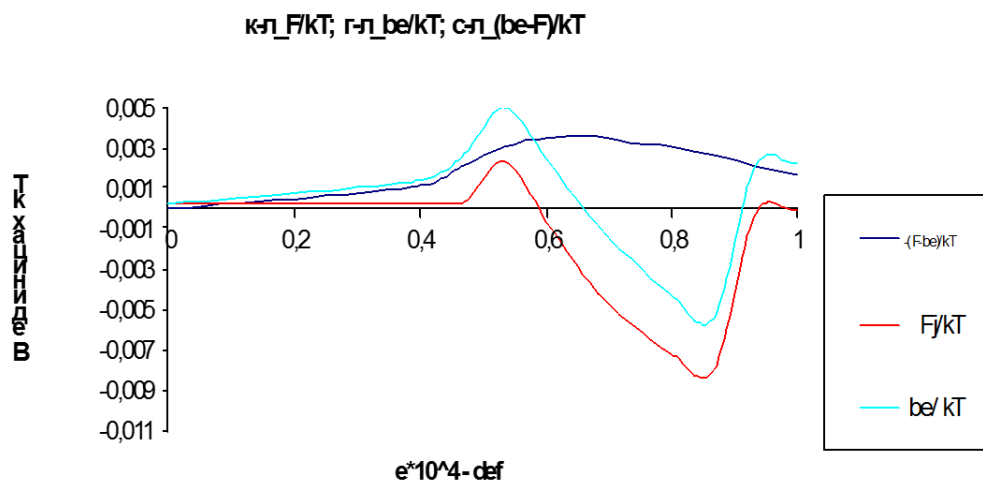


Рис.2. Зависимости от наложенной деформации изменения уровня Ферми F_j/kT а также величин $b_j\epsilon/kT$ и $(b_j\epsilon - F_j)/kT$, рассчитанных по формуле с использованием экспериментальных данных, приведенных на рис.1 для частот $f = 300$ Гц.

Зависимости же от наложенной деформации изменения уровня Ферми F_j/kT , а также величины $b_j\epsilon/kT$, свидетельствуют об изменениях с деформацией эффективной величины запрещенной зоны, по видимому, обусловленными миграцией или трансформацией существующих в пленках $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$ примесных центров. Вопрос о природе этих центров в данной работе не рассматривается.

ЛИТЕРАТУРА

1. S. Shamirzaev. The theory of output parameters of a pressing powder mixture with random packaging density// *Solid State Sciences* 6 (2004) pp. 1125-1129
2. 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 Выпуск № 4 (19) (июнь, 2018), с 52-54.
3. Юсупова, Д. А., & Сирожиддинова, С. З. (2021). Исследование структуры и эффективной плотности электронных поверхностных состояний полупроводниковых плёнок. Академик Р.А.Муминов таваллудининг 80-йиллигига бағишланган “Яримўтказгичлар физикаси, микро нанозлектрониканинг фундаментал амалий муаммолари” мавзусидаги I-халқаро анжуман материаллари тўплами. 66-68 б.
4. 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.
5. 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.*, 2006. Т.4, №1-2.С. 86-90
6. Юсупова, Д. А. (2019). Влияние межгранульных поверхностных условий на формирование пороговой проводимости двухкомпонентных полупроводниковых смесей теллуридов висмута-сурьмы.//1 International Congress of The Turkie World on Health and Natural Sciences.21-23 april. 2019.Osh. Kyrgyzstan.183- 189 page.
7. Юсупова, Д. А. (2023). Эффективные электронные поверхностные состояния в полупроводниках. *World of Science*, 6(9), 77-81.
8. Д.А.Юсупова. (2017). Автоматизация процесса получения тензочувствительных плёнок теллуридов висмута-сурьмы, содержащих наногранулы с воспроизводимыми характеристиками. //Актуальные научные исследования в современном мире. выпуск 4(24) Часть 4.Сборник научных трудов. Переяслав-Хмельницкий 128-133 с
9. Юсупова,Д.А. (2021). Способ автоматизации технологического процесса получения тензочувствительных плёнок теллуридов висмута-сурьмы. *Universum: технические науки*, (12-1 (93)), 23-25.

AUGER ELEKTRON SPEKTROSKOPIYASI.

Qo'chqorov Xoshimjon Ortiqovich, Xolmirzayev Akramjon Abduqodirovich,

Fazliddinov Salohiddin Bahridin o'g'li

Namangan davlat universiteti

Annotatsiya: Auger elektronining energiyasi tushgan birlamchi elektronning energiyasiga bog'liq emas va ma'lum bir moddaning atomining energiya spektri bilan belgilanadi. Bu holat kimyoviy tahlil uchun AES dan foydalanish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: detektor, spektr, elektronlarning energiyasi, chuqur satx, analizator, konsentratsiya, o'tish ehtimolligi, elastik cho'qqi, plazmon cho'qqi.

Elektron spektroskopiya sirtning elektron tuzilishi haqida ma'lumot beradi. Bunday ma'lumotni olish uchun namunaning sirtini birlamchi elektron nurlari bilan bombardimon qilish paytida chiqariladigan ikkilamchi elektronlarning energiya spektrini tahlil qilish qo'llaniladi. Birlamchi nurda elektronlarning energiyasi 1-10 keV, ikkilamchi nurda 5-2000eV oralig'ida joylashgan. Birlamchi elektron energiyasini tanlash elektronlarning kirib borish chuqurligiga va qo'llaniladigan usulga bog'liq (masalan, elementar sezgirlik bo'yicha miqdoriy tahlil).