

9-10-2019

INFLUENCE OF THE STRUCTURE OF TENSOR-RESISTIVE FILMS (Bi,Sb)₂Te₃ ON THE PHYSICAL MECHANISMS OF TRANSFER MEDIA CHARGE

K Onarkulov
Fergana State University

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi>

Recommended Citation

Onarkulov, K (2019) "INFLUENCE OF THE STRUCTURE OF TENSOR-RESISTIVE FILMS (Bi,Sb)₂Te₃ ON THE PHYSICAL MECHANISMS OF TRANSFER MEDIA CHARGE," *Scientific-technical journal*: Vol. 22 : Iss. 3 , Article 22.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol22/iss3/22>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific-technical journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

SHORT MESSAGES

УДК 537.322; 539.23

INFLUENCE OF THE STRUCTURE OF TENSOR-RESISTIVE FILMS $(Bi, Sb)_2Te_3$ ON THE PHYSICAL MECHANISMS OF TRANSFER MEDIA CHARGE**K. Onarkulov, A. Yuldashev, SH. Yuldoshqori**

Fergana State University

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫХ ПЛЕНОК $(Bi, Sb)_2Te_3$ НА ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕНОСА НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА**К. Онаркулов, А. Юлдашев, Ш. Йўлдошқори**

Ферганский государственный Университет

 $(Bi, Sb)_2Te_3$ ТЕНЗОСЕЗГИР ЮПҚА ПАРДАЛАРНИНГ ТУЗИЛИШИНИ ЗАРЯД ТАШУВЧИЛАР ҲАРАКАТИНИНГ ФИЗИКАВИЙ ЖАРАЁНЛАРИГА ТАЪСИРИ**К. Онаркулов, А. Юлдашев, Ш. Йўлдошқори**

Фарғона давлат университети

The microstructure of thin $(Bi, Sb)_2Te_3$ films prepared by thermal evaporation of stoichiometric $(Bi, Sb)_2Te_3$ crystals in vacuum different substrates were studied using X-ray diffraction, scanning electron microscopy. The obtained thin films were polycrystalline, exhibited p-type conductivity and do contain phases for $(Bi, Sb)_2Te_3$. The results obtained show that using a simple and inexpensive method of thermal evaporation from a single source and choosing optimal technological parameters, one can grow thin p- $(Bi, Sb)_2Te_3$ films of sufficiently high quality.

Key words: bismuth stibium telluride, thermal evaporation, thin film, thickness, structure, the potential barrier.

С использованием методов, сканирующей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа исследованы микроструктура тонких пленок $(Bi, Sb)_2Te_3$ полученных термическим испарением в вакууме на разные подложки. Полученные тонкие плёнки были поликристаллическими, обладали p-типом проводимости и содержали $(Bi, Sb)_2Te_3$. Полученные результаты показывают что, используя простой и недорогой метод термического испарения и оптимальные технологические параметры, можно получить тонкие плёнки $(Bi, Sb)_2Te_3$ достаточно высокого качества.

Ключевые слова: теллурид висмута сурьмы, термическое испарение, тонкая пленка, толщина, структура, потенциальной барьер.

Сканерловчи электрон микроскоп ва рентген структура таҳлили усулидан фойдаланиб турли тагликларга вакуумда термик буглантириши орқали олинган $(Bi, Sb)_2Te_3$ юпқа қатламларни микроструктураси ва уларнинг кинетик катталикларга таъсири ўрганилган. Олинган юпқа қатламларни поликристалл тузилишида бўлиб, p-тип ўтказувчанликка эга ва $(Bi, Sb)_2Te_3$ фазасидан ташкил топган. Олинган натижалар кўрсатадики, оддий ва қиммат бўлмаган термик буглантириши усули ва оптимал технологик катталиклардан фойдаланиб, етарли даражада юқори сифатга эга бўлган $(Bi, Sb)_2Te_3$ юпқа пардалар олиши мумкин.

Таянч сўзлар: теллурид висмут сурьма, термик буглантириш, юпқа парда, калинлиги,

SHORT MESSAGES

структура, потенциал тѳсик.

Полупроводниковое соединение Bi_2Te_3 и твердые растворы на его основе относятся к числу лучших и наиболее широко используемых при производстве различного рода тензoeлектрических и термоэлектрических (ТЭ) материалов [1-4]. Все возрастающий интерес к низкоразмерным наноструктурам на основе теллурида висмута сурьмы [5-7] стимулирует проведение детальных исследований свойств указанных материалов в тонкопленочном состоянии, установление корреляции между технологическими параметрами, структурой и физическими процессами в них. Для получения пленок $(Bi, Sb)_2Te_3$ с воспроизводимыми тензосвойствами и улучшенными температурными характеристиками нами предложен способ, описанный в [6]. Исследованные структуры пленок проводилось на растровом электронном микроскопе. Исследования показали, что пленки полученные на аморфных подложках имели мелкозернистую поликристаллическую структуру без преимущественной ориентации с размерами кристаллитов ~ 0.5 мкм. На рис 1а, рис 1б показана, соответственно электронограмма и структура пленки, конденсированной на слюду при $t_n = 90^\circ C$ ($\times 100000$). Видно, что кристаллиты в пленке имеют разную величину (но не более 0,1 мкм). Наряду с крупными хорошо сформированными кристаллитами, встречаются участки очень мелких искаженных островков.

Электронно-микроскопические снимки показали, что границы кристаллитов состоят из дислокаций образующих дислокационную стенку.

Некоторые кристаллиты разделены дислокационными стенками на блоки более меньших размеров. Вместе с сплошной фазой, пленка содержит большое количество пустых каналов и пор размером меньше $300-500 \text{ \AA}$. В общем из рис. 1а.1б можно заключить, что пленка $(Bi, Sb)_2Te_3$ представляет собой сильно неоднородную структуру.

Поле упругих напряжений вблизи границ кристаллитов, связанное с дислокационными стенками может достигать значительных величин. Хотя граница кристаллитов не обладает дальнедействующими полями напряжений (при $x \gg D/2\pi$ напряжения экспоненциально стремятся к нулю; D -шаг дислокаций, x -расстояние от дислокационной стенки в перпендикулярном направлении) в мелкозернистой системе механические напряжения, передаваемые дислокационной стенкой в кристаллиты, могут быть значительными.

В оптимальном режиме получения пленок их состав

приближается к составу шихты. При этом пленка неоднородна, т.к. содержит различные фазы. Проведенные анализы показали, что в пленке, кроме фазы $p-(Bi, Sb)_2Te_3$, имеются включения электронного $(Bi_2Te_3 + Te)$ и дырочного $(Sb_2Te_3$ или $Bi_2Te_3 + Bi)$.

Существование в пленках структурных и фазовых неоднородностей, определяют перенос носителей в пленочной системе. Электрические поля связанные со структурными и

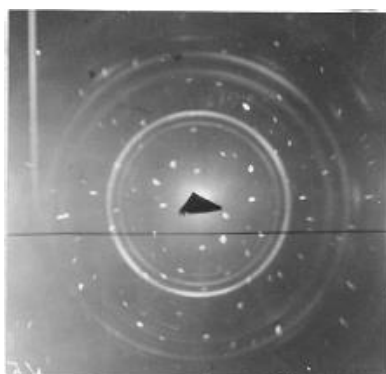


Рис 1а



Рис 1б

Электроннограмма (рис 1а), и структура (рис 1б) пленки, конденсированной на слюду При $t_n = 90^\circ C$ ($\times 100000$).

SHORT MESSAGES

фазовыми неоднородностями приводят к модуляции зон полупроводника – к возникновению крупномасштабных флуктуаций потенциала [10]. Перенос тока в таком неоднородном потенциальном рельефе обусловлен забросом носителей на уровень протекания в случае отсутствия вырождения или активацией с уровня Ферми на горбы рельефа в случае вырождения (в последнем случае имеется в виду, что амплитуда флуктуаций зон больше энергии Ферми).

Рассмотрим причины появления крупномасштабных флуктуаций в пленках $(Bi, Sb)_2Te_3$. Как было указано концентрация носителей в пленках $(Bi, Sb)_2Te_3$ $p_0 > 10^{20} \text{ м}^{-3}$. При таких концентрациях дырок $(Bi, Sb)_2Te_3$ находится в состоянии вырождения. Поэтому дальнейшие рассуждения относятся к пленкам с вырожденными кристаллитами, т.е. уровень Ферми находится достаточно глубоко в зоне.

1. Вблизи краевых дислокаций, из которых образована граница кристаллитов, всегда имеется область сжатия и растяжения. Упругая деформация кристалла вблизи дислокации приводит к появлению малого двумерного потенциала. Этот двумерный потенциал дает уровень в запрещенной зоне. Если основная энергия уровня меньше энергии Ферми, что в предположении достаточно большой концентрации состояний с такой энергией, заполнение их носителями происходит до тех пор пока их энергия не совпадает с энергией Ферми. Локализация заряда на этих состояниях приводит к изгибу зон.

2. Если на границах кристаллитов имеются локализованные состояния для основных носителей, образованные адсорбцией на них электрически активных атомов или молекул и их основная энергия меньше энергии Ферми, то захват на эти состояния носителей также приведет к изгибу зон. Потенциальный барьер (φ) при этом будет определяться следующим выражением

$$\varphi = \begin{cases} \mu - E_s, \text{ если } \frac{e^2 N_s^2}{8\chi\chi_0 n_0} > \mu - E_s \\ \frac{e^2 N_s^2}{8\chi\chi_0 n_0}, \text{ если } \frac{e^2 N_s^2}{8\chi\chi_0 n_0} > \mu - E_s \end{cases} \quad (1)$$

где N_s - концентрация состояний на границах кристаллитов; μ и E_s - энергии Ферми и состояний, отсчитанные от границы соответствующей зоны.

В обоих случаях, если $|E_s| > kT$ и $\frac{e^2 N_s^2}{8\chi\chi_0 n_0} > \mu - E_s$ перенос носителей через такие границы будет активационным. В противном случае (при нарушении одного из неравенств) барьер будет приводить к дисперсии длины свободного пробега носителей вблизи уровня Ферми.

3. Наличие в пленках включений разных типов проводимости или различных материалов приведет к появлению потенциальных барьеров связанных с возникновением гомо- или гетеропереходов на границах различных фаз. Высота потенциального барьера будет определяться концентрацией и типом носителей в различных фазах (близость по ширине запрещенной зоны различных фаз входящих в пленки $(Bi, Sb)_2Te_3$ делает не эффективными гетеропереходы).

Электропроводность пленки с активационными барьерами на границах кристаллитов определится выражением

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\varphi - \mu}{kT}\right) \quad (2)$$

SHORT MESSAGES

4. В пленках из материалов со сложной зоной, кроме отмеченных выше ситуаций, могут существовать неоднородности, связанные с расщеплением неэквивалентных экстремумов. $p-(Bi, Sb)_2Te_3$ имеет сложную валентную зону с под зонами «легких» и «тяжелых» дырок, разделенных на $\Delta E_v = 0,02 \text{ эВ}$.

Одноосная деформация приводит к изменению энергетического зазора между под зонами, изменяя эффективную плотность состояний в валентной зоне:

$$N_v = N_{v\Lambda} + N_{vT} \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E_v}{kT}\right) \quad (3)$$

Под влиянием внутренних механических напряжений в зависимости от их величины и знака пленка будет разбита на различные области, в которых будет своя фиксированная эффективная плотность состояния в валентной зоне. Величина N_v определится соотношением (3), в котором ΔE_v необходимо заменить на величину

$$\Delta E_v^e = \Delta E_v - \frac{d(\Delta E_v)}{d\varepsilon} \cdot \varepsilon^* \quad (4)$$

где ε^* - относительная деформация в рассматриваемой области пленки, обусловленная внутренними механическими напряжениями, $\frac{d(\Delta E_v)}{d\varepsilon}$ - барический коэффициент изменения зазора ΔE_v с деформацией.

Различие концентраций в соседних областях приведет к появлению потенциального барьера.

5. Структурные исследования показали наличие большого количества пустых каналов и пор в пленке. Если при пропускании тока через пленку по ее длине любая линия тока хотя бы раз пересекает пустой канал, то перенос носителей от одного электрода пленки до другого будет немислим без преодоления этого канала. Перенос носителей через пустой канал будет осуществляться туннелированием. При этом высота туннельного барьера задается работой выхода материала пленки, а толщина - шириной канала. Как следует из приведенного анализа электропроводность пленки может осуществляться любым из приведенных механизмов или несколькими механизмами одновременно.

Заключение

На основе анализа структуры и физических процессов в тонких пленках и их зависимости от технологических процессов установлены:

- пленки содержат большое количество пустых каналов и по размерам менее $300 - 500 \text{ \AA}$;

- физический механизм переноса носителей определяется структурными и фазовыми неоднородностями;

- наличие в пленках включений разных типов проводимости или различных материалов приведет к появлению потенциальных барьеров определяющие механизмы электропроводности пленочной структуры.

References:

- [1]. В.М.Голитсман, В.А.Кудин, И.А.Смирнов. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi_2Te_3 (Москва. Наука. 1972).
- [2]. L.E.Bell. Cooling, Science 321, 1457 (2008).
- [3]. E.A.Abdullaev, N.X.Yuldashev, Effekt pьezosoprotivleniya v xalkogenidax svintsa i vismuta. Toshkent, Fan 1989, 182 s.
- [4]. L.D.Hicks, M.S.Dresselhaug, Phys. Rev. 47, 127 (1993).
- [5]. E.I.Rogacheva, A.V.Budnik, A.G.Fedorov, S.I.Krivosnogov, P.V.Mateychenko. Materialovedenie. №2, 5 (2015).
- [6]. K.E.Onarkulov, A.A.Yuldashev, T.M.Azimov. Nauchn. Vest.FerGU. №2, 9(2017).

SHORT MESSAGES

-
- [7]. S.A.Azimov, SH.B.Atakulov. Kineticheskie yavleniya v polikristallicheskih plenках халькогенидов свинца и висмута. (Toshkent. Fan. 1985).

Список литературы

- [1]. Б.М.Гольцман, В.А.Кудинов, И.А.Смирнов. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi_2Te_3 (Москва.Наука.1972).
- [2]. E.Bell. Cooling, Science 321, 1457 (2008).
- [3]. Э.А.Абдуллаев, Н.Х.Юлдашев, Эффект пьезосопротивления в халькогенидах свинца и висмута. Ташкент, Фан 1989, 182 с.
- [4]. L.D.Hicks, M.S.Dresselhaug, Phys. Rev. 47, 127 (1993).
- [5]. Е.И.Рогачева, А.В.Будник, А.Г.Федоров, С.И.Кривоногов, П.В.Матейченко. Материаловедение. №2, 5 (2015).
- [6]. К.Э.Онаркулов, А.А.Юлдашев, Т.М.Азимов. Научн. Вест.ФерГУ. №2, 9(2017).
- [7]. С.А.Азимов, Ш.Б.Атакулов. Кинетические явления в поликристаллических пленках халькогенидов свинца и висмута. (Ташкент. Фан. 1985).