

ТОНКИЕ ПЛЕНКИ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ III-V ГРУПП ЭЛЕМЕНТОВ И 3d-МЕТАЛЛОВ И ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

¹Рагимов Р.Н., ⁴Мамедов И.Х., ²Барайшук С.М., ¹Араслы Д.Г., ¹Халилова А.А.,
³Янушкевич К.И., ²Ткаченко Т.М.

¹Институт Физики НАН Азербайджана;

²Белорусский Государственный Аграрный Технический Университет.

³ГО "НПЦ НАН Беларуси по материаловедению"

⁴Национальная академия авиации Азербайджана, Баку, Азербайджан

Получены тонкие пленки эвтектических композитов GaSb-CrSb, InSb-FeSb и InSb-MnSb методом мгновенного испарения. Рентгеноструктурным и калориметрическим анализами и определением элементного состава подтверждена идентичность структур пленок и массивных образцов. АСМ исследованиями поверхности пленок определена фрактальность и удельная концентрация поверхностных элементов пленки композитов исследуемых эвтектик.

Введение. Эвтектические композиты на основе соединений III-V групп с 3d-переходными металлами, состоящие из полупроводниковой матрицы и металлических включений, представляют интерес из-за сохранения микроструктуры до температуры плавления, повторяемости и стабильности характеристик. Такие эвтектические композиты ведут себя как неоднородные и вырожденные полупроводники, а их физические свойства существенно зависят от электронной конфигурации 3d-элементов, геометрии включений и особенностей формирования межфазных зон. Из-за наличия ферромагнитных металлических включений эти композиты перспективны для создания инжекторов спинполяризованных электронов. Ранее исследованы микроструктура и физические свойства эвтектических композитов на основе InSb и GaSb [1-3]. В данной работе приведены результаты рентгенофазового, микроструктурного анализов и атомно-силовой микроскопии поверхности полученных тонких пленок эвтектического композита GaSb-CrSb, InSb-MnSb, InSb-FeSb.

Экспериментальная часть

Тонкие пленки композитов на основе GaSb и InSb с 3d-переходными металлами (Fe, Cr, Mn) получены в два этапа: массивные образцы получены методом Бриджмена со скоростью передвижения фронта кристаллизации 1мм/мин. Затем полученный материал измельчался на агатовой ступке и по очереди пропускался через 300 и 100 микрометровое сито. Выбранные зерна засыпались на ящик с дверьми, открывающимися магнитными пускателями, находящийся в камере с вакуумом $5 \cdot 10^{-5}$ Торр. Затем зерне попадали на испаритель - вольфрамовую лодочку, через которую пропускается ток 200А. Скорость падения зерен составляет примерно 10мг/сек.

Полученные тонкие пленки имели толщину в пределе $0.4 \div 1.0 \mu\text{m}$.

Аттестация полученных пленок проведена рентгенофазовым анализом и изучением микроструктуры на электронном микроскопе. Рентгенофазовый анализ проведен на дифрактометре «Advance 8D» с $\text{CuK}\alpha$ -излучением, микроструктурный анализ - сканирующим микроскопом FEI Quanta FEG, а элементный состав спектрометром "EDS system - Oxford Inca X-act". В атомном силовом микроскопе NC-AFM получены рельефы и профилограммы поверхности тонких пленок.

Результаты и обсуждение

Сравнительные дифракционные спектры массивных образцов композитов GaSb-CrSb, InSb-FeSb и InSb-MnSb и их тонких пленок приведены на рис.1. Как видно, массивные и тонкие пленки имеют двухфазные структуры. Острота интенсивных линий пленок указывает на высокий уровень кристаллизации.

Интенсивные линии на спектрах соответствуют соединениям GaSb и InSb (для них указаны индексы Миллера: [для GaSb-(111); (220); (220); (311); (400); (331), а для InSb - 23.77° (111), 39.31° (220), 46.48° (311), 62.41° (331), 71.38° (422)]), а слабые линии, обозначенные звездочкой - соединениям CrSb, FeSb и MnSb. В пленках эти линии немного смещены. Интенсивность линий на дифракционном спектре пленок указывает на их кристаллизацию, а идентичность рентгенограмм массивного и пленочного образцов обусловлена идентичностью их состава. На это указывают и микроструктуры тонких пленок GaSb-CrSb, InSb-FeSb и InSb-MnSb, полученные микроскопом FEI Quanta FEG и элементный состав тонких пленок, полученный спектрометром “EDS system-Oxford Inca X-act” (рис.2). Как видно из рисунка, все элементы распределяются почти равномерно. Распределение атомов In, Sb, Fe, Cr и Mn соответствует стехиометрическому составу.

Топография поверхности исследуемых тонких пленок изучена на много-функциональном атомном силовом микроскопе NT-206 Microtestmachines Co в контактном режиме с использованием зондов Mikromasch CSC 38. Для оценки поверхности было выбрано не менее 5 площадок сканирования размером 20×20 мкм² с разных участков поверхности, что позволило провести усреднение параметров рельефа. Обработка полученных данных произведена с помощью программы «SurfaceXplorer» по методике, описанной в [4].

АСМ - исследования показали, что поверхности всех тонких пленок имеют развитый рельеф. В частности, АСМ-изображения указывают на наличие на поверхности исследуемых композитов равномерно распределенных структурных образований округлой формы, диаметр которых: для GaSb-CrSb 0,3–0,5 мкм в основании при высоте от 50 до 100 нм (рис. 3); для InSb-MnSb – 0,5-2 мкм поперечнике с средней высотой 0,3-0,9 мкм (рис.4). Для образцов InSb-FeSb картина несколько иная, на поверхности просматриваются 2 типа структур поперечнике с средней высотой 0.6-0.8 мкм (рис.5) и высотой 0,3-0,4 мкм, кроме того присутствуют и значительно меньшие образования с высокой поверхностной концентрацией, размер которых 0,05-0,15 мкм в поперечнике и высота не превышает 70 нм. Наличие мелких структур подтверждает и диаграмма кручения зонда, приведенная на рисунке 6, на которой заметно изменение твердости по границам низкоразмерных образований на поверхности композита InSb-FeSb. При анализе топографии аналогичные, но меньшие по размеру, структуры наблюдаются и для образцов GaSb-CrSb, однако при анализе Torsion изображений отсутствуют сколь либо значимые различия на их границах, что указывает на равномерную твердость поверхности и ее однородность.

Средняя арифметическая (Ra) и среднеквадратичные (Rq) шероховатости поверхности, усредненные по 5-ти различным площадкам, составляют Ra = 7,6 нм; 78,3 нм; 37,8 нм и Rq = 9,8 нм; 103,3 нм; и 52 нм для композитов GaSb-CrSb, InSb-MnSb, InSb-FeSb, соответственно. Основные характеристические параметры поверхности пленок исследуемых композитов приведены в таблице 1. Там же приведены данные о удельной концентрации поверхностных элементов обнаруженных в процессе микроскопии, наглядное представление о концентрации элементов можно получить из 3D снимков на рисунках 3-5.

Отношение полной площади поверхности к площади проекции составляет 1.16; 1.14 и 1,09 для композитов GaSb-CrSb, InSb-MnSb, InSb-FeSb, соответственно.

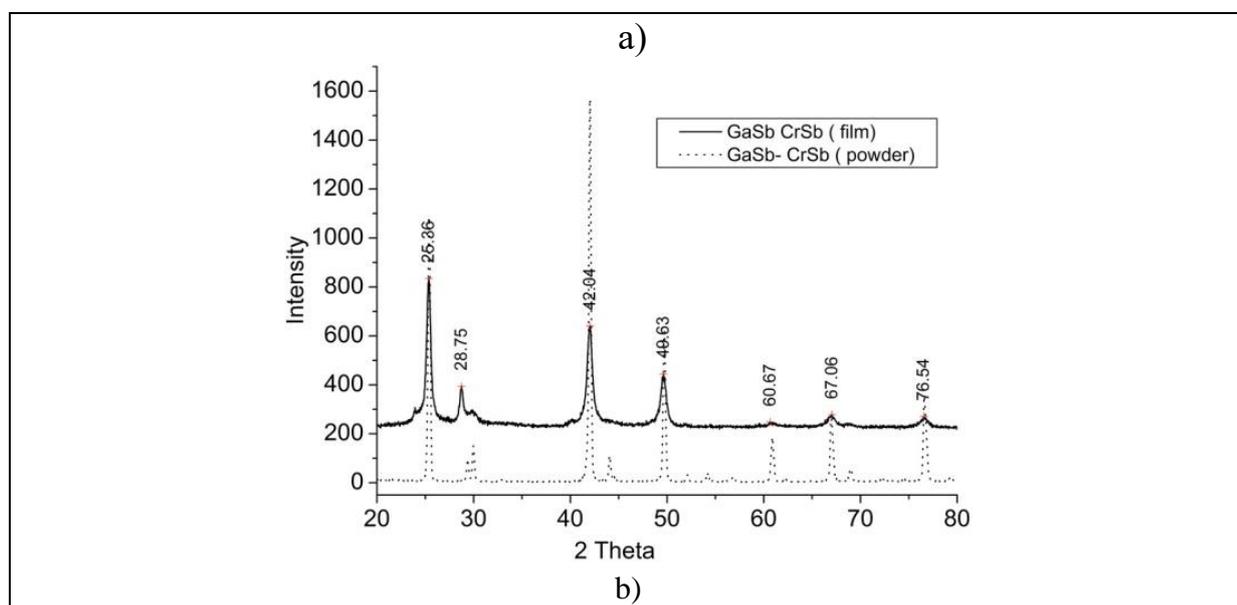
Проведен анализ фрактальности исследованных площадок по 500 подслоям исследуемых композитов.

Проведенный анализ ориентированности поверхностных структур позволяет утверждать отсутствует ли сколь либо выраженная ориентация для структур большого размера, и упорядочение с вероятностью 28 и 21% вдоль одной оси для образований меньшего размера для композитов GaSb-CrSb и InSb-FeSb, соответственно.

В результате проведенных исследований показано, что тонкие пленки эвтектических композитов GaSb-CrSb, InSb-MnSb, InSb-FeSb, полученные методом мгновенного испарения имеют высокий уровень кристаллизации, распределение атомов In, Sb, Cr, и Mn соответствует стехиометрическому составу.

Таблица 1. Характеристические параметры поверхности пленок исследуемых композитов.

	Структурное образование		R _a (nm)	R _q (nm)	Фрактальность	Удельная концентрация поверхностных элементов, μm^{-2}
	Диаметр, μm	Высота, nm				
GaSb-CrSb	0,3-0,5	50-100	7,4	9,8	2,78	0,02
InSb-MnSb	0,5-2	300-900	78,3	103,3	2,79	0,67
InSb-FeSb	0,05-0,15	20-70	37,8	52	3,01	50
	0,6-0,8	300-400				



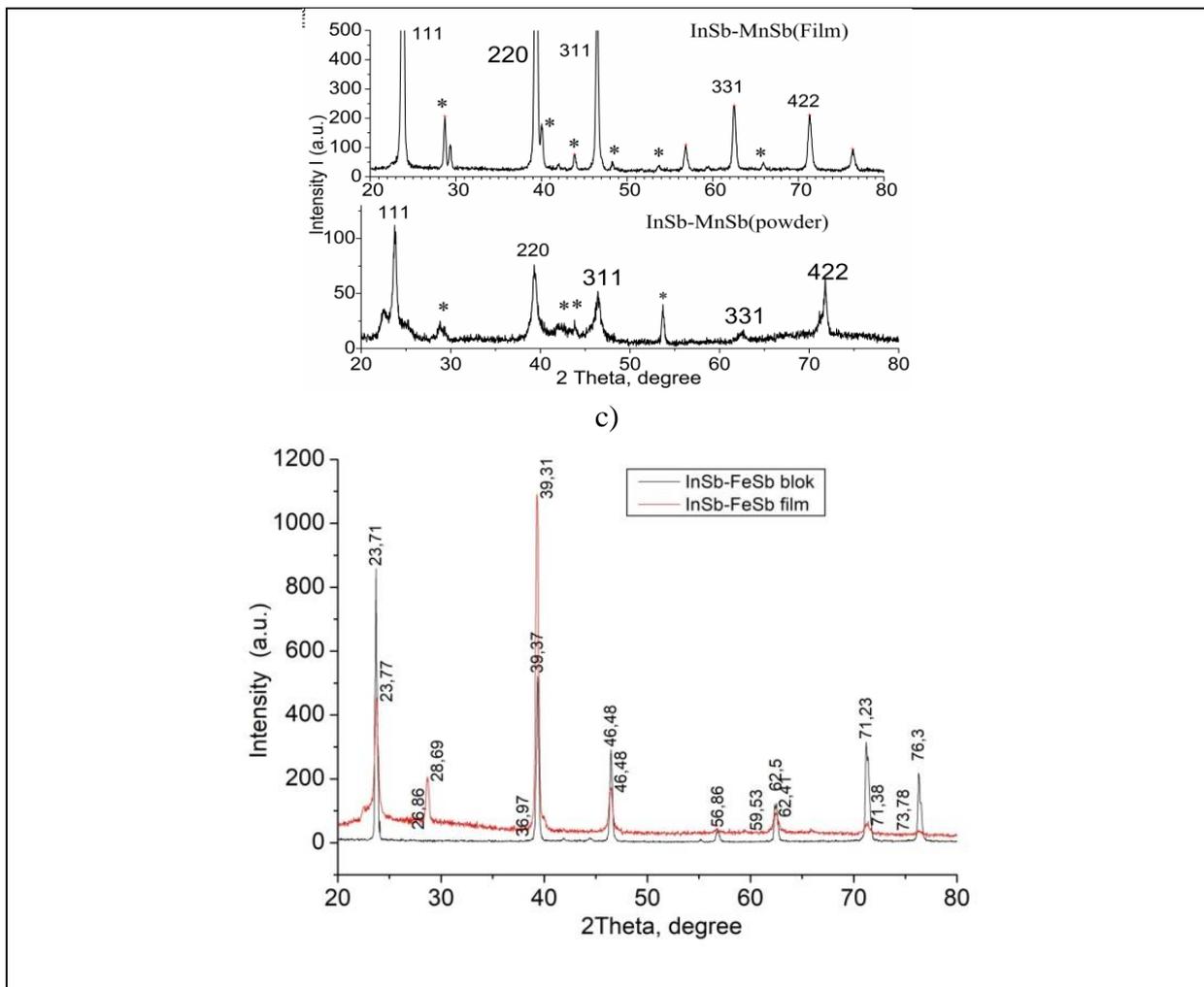


Рис.1 Дифрактограмма тонкой пленки и массивного образца эвтектики GaSb-CrSb (а), InSb-MnSb (б) и InSb-FeSb (с)

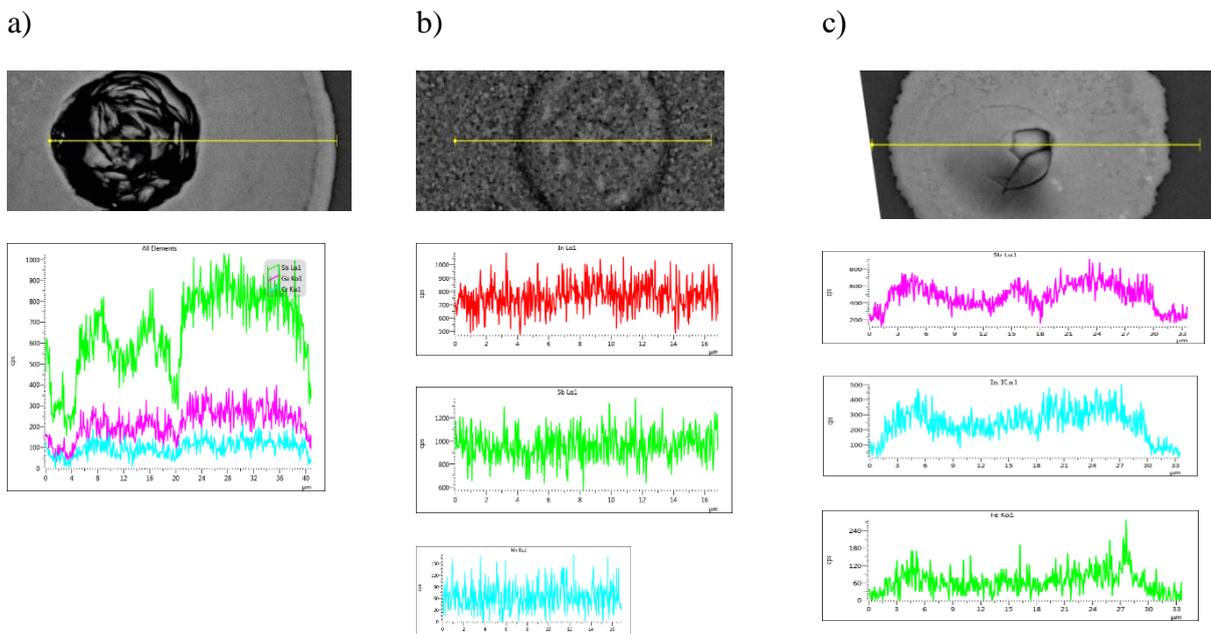


Рис.2. Микроструктура и элементный состав тонкой пленки композита GaSb-CrSb (а) InSb-MnSb (б) и InSb-FeSb (с)

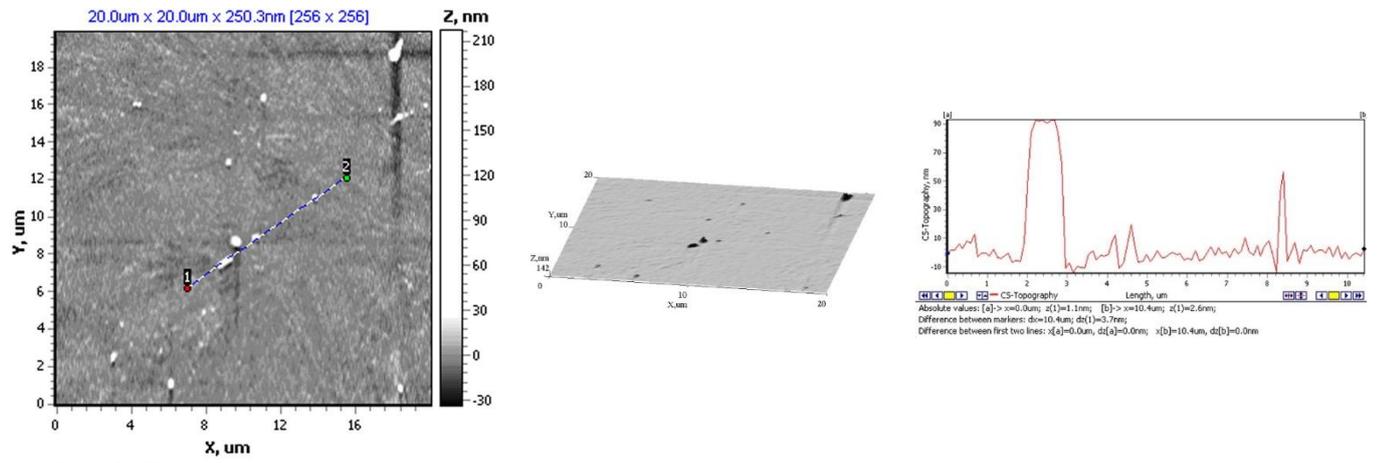


Рис.3. Топография поверхности (a), профиль сечения вдоль линии 1–2 (b) пленки композита GaSb-CrSb

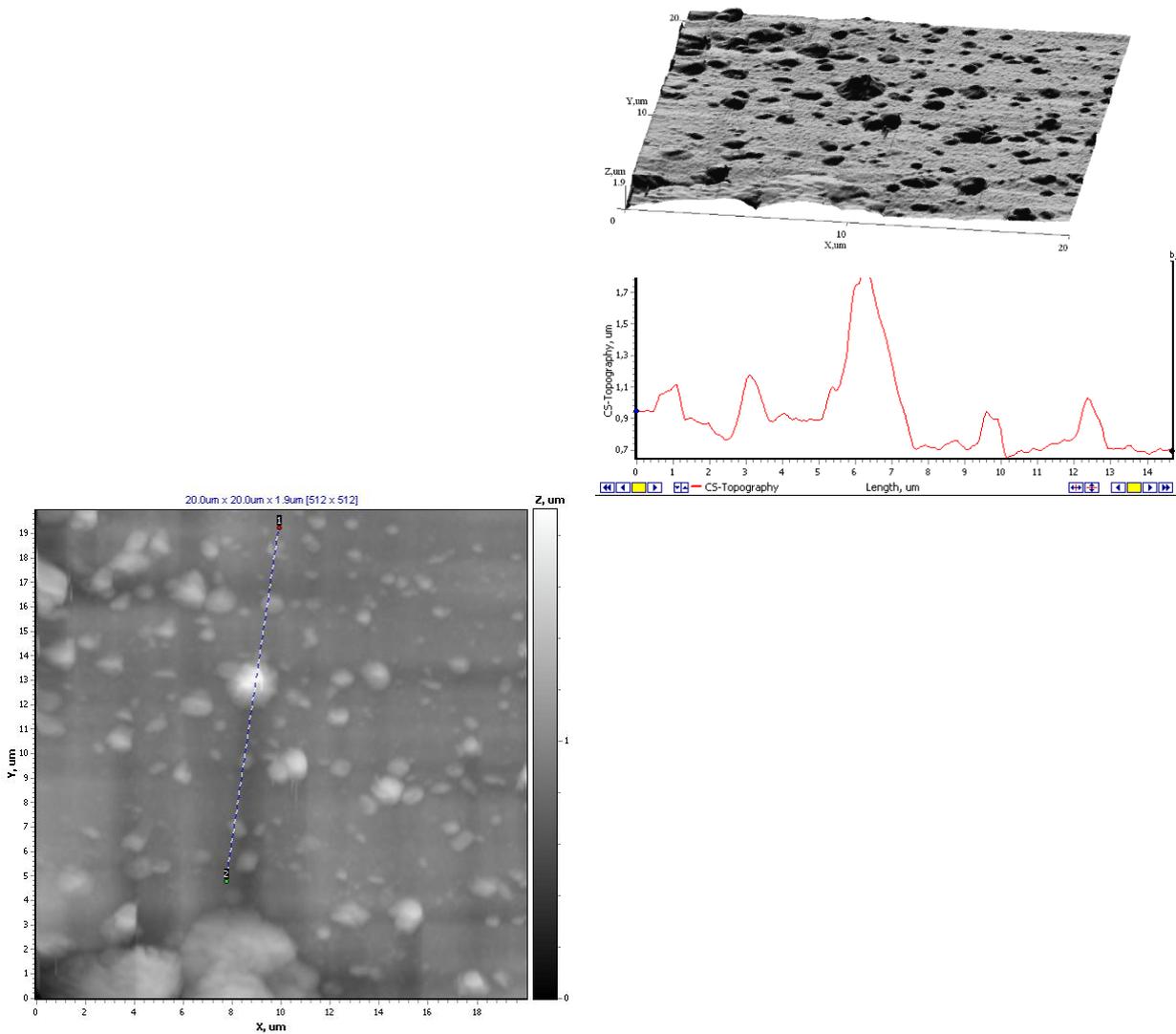


Рис.4. Топография поверхности (a), профиль сечения вдоль линии 1-2, 3-х мерная реконструкция поверхности пленки InSb-MnSb.

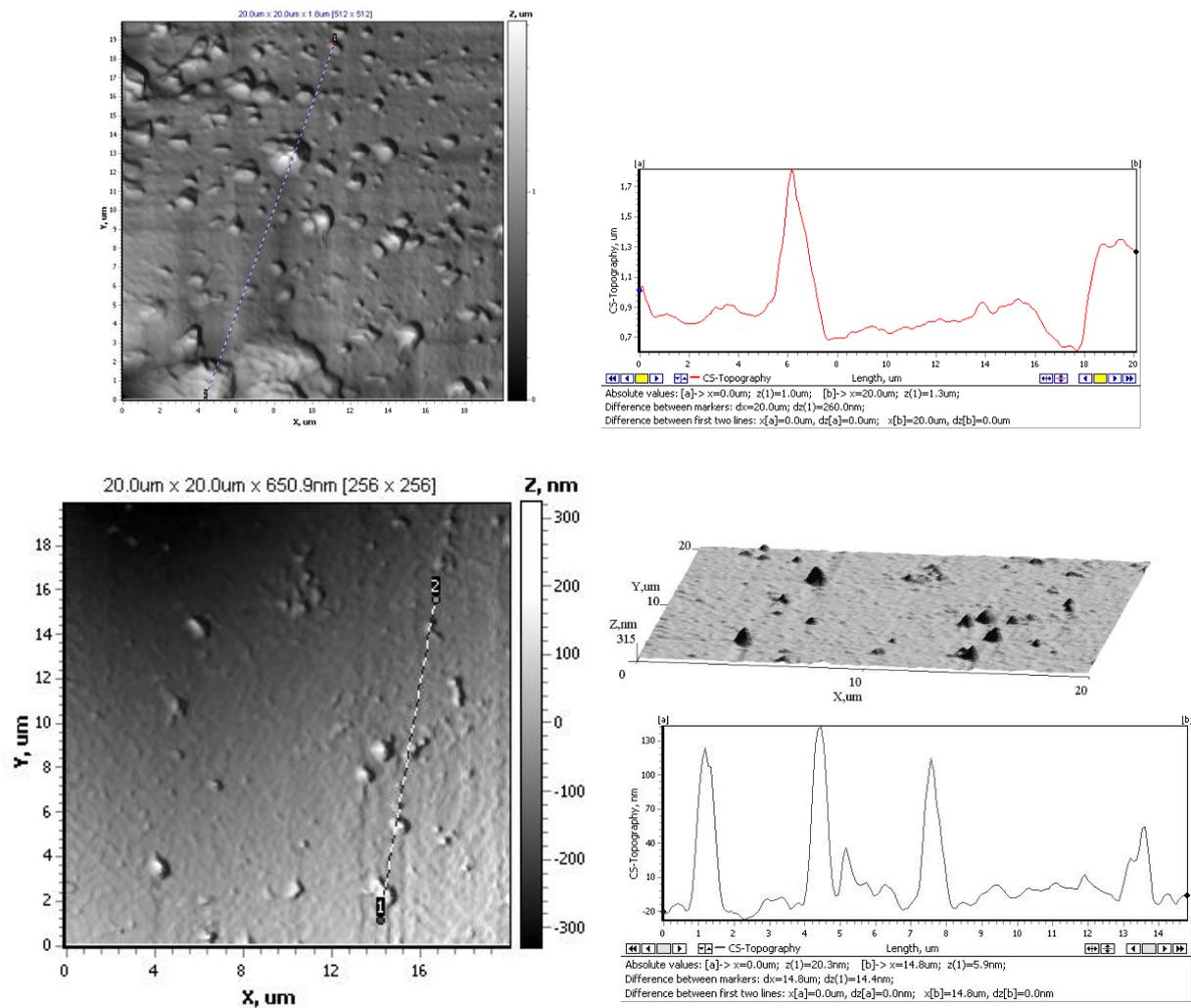


Рис.5. Топография поверхности, профиль сечения пленки композита InSb-FeSb

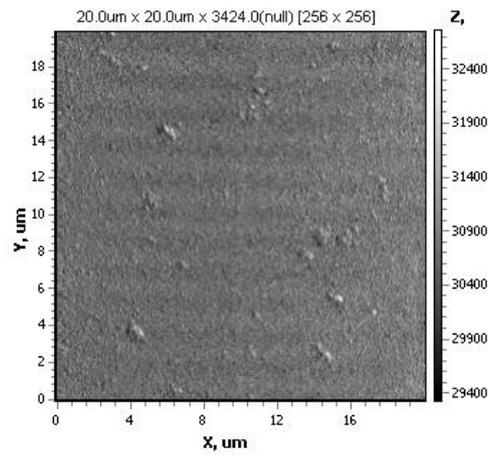


Рис.6. Диаграмма Torsion поверхности образца InSb-FeSb представленного на рисунке 5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mamedov I. Kh., Arasly D. H., Khalilova A. A., and Rahimov R. N., Anisotropic Electrical Properties of a Eutectic InSb + MnSb Composite, *Inorganic Materials*, 2016, Vol. 52, No. 4, pp. 423–428.
2. Rahimov R.N., Kazimov M.V.Arasly., D.H., Khalilova A.A., Mammadov I.Kh., Features of Thermal and Electrical Properties of GaSb-Crsb eutectic composite. *Journal Ovonic Research*, 2017, Vol.13, No. 3, pp. 113 – 118.
3. Aliyev M.I. Khalilova A.A. Arasly D.H., Rahimov R.N., Tanoglu M. Ozyuzer L. Features of electron and phonon processes in GaSb-FeGa. *J.Phys.D: Applied Phys.*, 2003, 36, p.2627-2633.
4. Tashlykov I.S., Baraishuk S.M.. Elemental composition, topography, and wettability of the surface of graphite modified by ion-assisted deposition of chromium coatings, *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 2008, V. 49. N 4, P. 303-307.

III-Y QRUP EVTEKTIK BİRLƏŞMƏLƏRİN VƏ 3D METALLARIN NAZIK TƏBƏQƏLƏRİ VƏ ONLARIN FİZİKİ-KİMYAVİ ANALIZI

¹Rəhimov R.N., ⁴Məmmədov İ.X., ²Barayşuk S.M., ¹Araslı D.Q., ¹Xəlilova A.A.,
³Yanuşkeviç K.İ., ²Tkaçenko T.M.

¹AMEA Fizika institutu, Bakı, Azərbaycan

²Belarus aqrar texniki universiteti, Minsk, Belarus

³Belarusiya Milli Elmlər Akademiyasının Materialşünaslıq Elmi-Praktik Mərkəzi"
Dövlət Elmi-İstehsalat Birliyi, Minsk, Belarus

⁴Milli Aviasiya Akademiyası, Bakı, Azərbaycan

Açar sözlər: nazik təbəqələr, eutektik komponentlər, ani buxarlanma üsulu

GaSb-CrSb, InSb-FeSb və InSb-MnSb evtektik kompozitlərin nazik təbəqələri ani buxarlanma üsulu ilə əldə edilib. Rentgen şüaların difraksiyası, kalorimetrik analiz və element tərkibin təyin edilməsi ilə nazik təbəqələrin strukturunun həcmi kristallarla eyni olduğu təsdiq edilib. Təbəqələrin səthində aparılan AFM tədqiqatları ilə öyrənilən təbəqələrdə fraktal və səth elementlərin xüsusi konsentrasiyası təyin edilib.

THIN FILMS OF EUTECTIC COMPOUNDS III-Y GROUPS OF ELEMENTS AND 3d-METALS AND THEIR PHYSICO-CHEMICAL ANALYSIS

¹Rahimova R.N. ⁴Mamadov I.Kh., ²Bayrashuk S.M., ¹Arasli D.G., ¹Khalilova A.A.,
³Yanushkevich K.I., ²Tkachenko T.M.

¹Institute of Physics, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

²Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus

³SSPA "Scientific-Practical Materials Research Centre of NAS of Belarus", Minsk, Belarus

⁴National Aviation Academy, Baku, Azerbaijan

Key words: thin films, eutectic components, flash method

Thin films of eutectic composites GaSb-CrSb, InSb-FeSb, and InSb-MnSb are obtained by the flash evaporation method. X-ray diffraction and calorimetric analyzes and determination of the elemental composition confirmed the identity of the structures of the films and bulk samples. AFM studies of the

surface of the films determined the fractality and specific concentration of the surface elements of the films of the studied eutectics.

ЛЕГИРОВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ $TlInSe_2$ ПЕРСПЕКТИВНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Умаров С.Х., Ашуров Ж. Дж., Ходжаев У.О., Нарзуллаева З. М., Хожиев Т. С.,
Намозов И. У.

Бухарский медицинский институт им. Абу Али ибн Сино, Узбекистан

E-mail:salim_umarov49@mail.ru

Ключевые слова: электрофизические, тензорезистивные, примеси, концентрации, твердом расплаве, тензочувствительности, термодатчиков.

В работе исследовано влияние легированием элементов IV группы на электрофизические и тензорезистивные характеристики кристаллов $TlInSe_2$, вводились примеси Ge, Si и Sn в расплав из расчета концентрации замещающего индий элемента в твердом расплаве по формуле $TlIn_{0.99}V_{0.01}Se_2$. Установлено, что с повышением температуры существенно увеличивается коэффициент тензочувствительности, что позволяет увеличить чувствительность термодатчиков на основе тензорезисторов.

Введение. В настоящее время в мире исследователи и практики уделяют большое внимание изучению различных полупроводниковых преобразователей, в том числе тензопреобразователям, основным преимуществом которых является высокая чувствительность и малогабаритность. Однако требования современной науки и техники неуклонно растут, что обуславливает поиск материалов, обладающих разнообразными свойствами, соответствующими этим требованиям.

Следовательно, в настоящее время, наряду с усовершенствованием свойств имеющихся материалов, поиск новых полупроводниковых материалов, в том числе тройных и более сложных соединений и их твердых растворов, и исследование их разнообразных характеристик являются одними из важнейших задач современной физики конденсированного состояния. Особую ценность представляет создание новых полупроводниковых материалов, если удастся получить их в виде совершенных крупных монокристаллов. Среди многокомпонентных полупроводниковых соединений типа $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ особый интерес представляют полупроводниковые соединения $TlInSe_2$, закономерности многих физических явлений, в которых не получили достаточного освещения в специальной литературе. Согласно выше изложенного, целью нашего исследования является изучение тензорезистивных характеристик монокристаллов $TlInSe_2$ и создание высокочувствительный тензодатчиков для электронной техники на их основе.

Образцы для исследования и методика эксперимента: Для этой цели были использованы кристаллы, синтезированные сплавлением компонента в соответствии со стехиометрией в эвакуированных ($\sim 10^{-4}$ mmrt.st) и запаянных кварцевых ампулах. В качестве исходных компонентов для синтеза использовались особо чистые элементы таллия (Tl – 000), индия (In – 000) и селена (Se – ОСЧ-17-4). Монокристаллы выращивались усовершенствованным методом Бриджмена, скорость фронта кристаллизации варьировалась от 0,5 до 0,9 mm/chas.