

Список литературы

1. E.R.Hasanov, R.N.Hossey, A.Z.Panahov and A.I.Demirel. «Instability in Semiconductors with Deep Traps in the Presence of Strong ($\mu_{\pm}H \gg c$) External Magnetic Field» Adv. Studies. Phys. Vol.5, 2011, N1, 25-30.
2. Nonlinear electric and magnetic field of radiation, E.R.Hasanov, I.I.Mustafaeva, A.R.Salimi, S.S.Ahadova, K.N.Yusifova, 13th International Conference on «Technical and Physic Problems of Electrical Engineering» 21-23 September 2017, p.201-204.
3. В.Л.Бонг-Бруевич, И.П.Звягин, А.Г.Миронов «Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках», Издательство Наука, 1972, ст.59-138
4. «Nonlinear Oscillations of the charge carriers concentration and electric field in semiconductors with deep traps», F.F. Aliev, E.R.Hasanov, IOSR Journal Applied Physics (IOSR-JAP) vol.10, ISSUE1, Ver II (Jan-Feb 2018), p.36-42.
5. М.Н.Иглучин, Э.Г.Пель, Л.Я.Первова, В.И.Фистуль «Неустойчивость электронно-дырочной плазмы полупроводнике обусловленная нелинейностью вольтамперных характеристик» ФТТ, вып.12, ст.3606-3614

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК ЭВТЕКТИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА InSb-MnSb

¹Мамедов И.Х., ²Барайишук С.М., ¹Араслы Д.Г., ¹Халилова А.А.,
²Ткаченко Т.М., ³Галия А.И., ¹Рагимов Р.Н.

¹Институт Физики НАН Азербайджана;

²Белорусский государственный аграрный технический университет.

³ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению»

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 и 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 спин-поляризованных электронов.

Ранее нами исследованы микроструктура и физические свойства эвтектических композитов на основе InSb и GaSb [1-3]. В данной работе приведены результаты рентгенофазового, микроструктурного анализа и топологии поверхности полученных нами тонких пленок эвтектического композита InSb-MnSb.

Экспериментальная часть

Тонкие пленки эвтектического композита InSb-MnSb получены методом «мгновенного испарения» и имели толщину в пределах $0.4 \div 1.0 \mu\text{m}$.

Аттестация полученных пленок проведена рентгенофазовым анализом, исследованием микроструктуры. Рентгенофазовый анализ проведен на дифрактометре «Advance 8D» с $\text{CuK}\alpha$ - излучением, микроструктурный анализ - сканирующим микроскопом FEI Quanta FEG, элементный состав определен на спектрометре "EDS system - Oxford Inca X-act". Топология поверхности исследуемых тонких пленок изучена на многофункциональном 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 $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ и $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ с разных участков поверхности, что позволило провести усреднение параметров рельефа. Обработка полученных данных произведена с помощью программы «SurfaceXplorer» по методике, описанной в [4].

Результаты и обсуждение

Сравнительные дифракционные спектры массивных образцов эвтектики InSb-MnSb и его тонких пленок приведены на рис.1. Как видно из спектра, массивные и тонкие пленки имеют двухфазные структуры. Интенсивные линии в спектре соответствуют соединению InSb (индексы Миллера: 23.77° (111), 39.31° (220), 46.48° (311), 62.41° (331), 71.38° (422)), а слабые линии,

обозначенные звездочкой - соединению MnSb. Интенсивность линий на дифракционном спектре пленок указывает на их кристаллизацию. Идентичность рентгенограмм массивного и пленочного образцов обусловлена идентичностью их состава. На это указывают и представленные микроструктура (рис.2) и элементный состав (рис.3) тонких пленок InSb-MnSb. Распределение атомов In, Sb и Mn соответствует стехиометрическому составу.

АСМ-исследования показали, что типичная поверхность тонких пленок эвтектического композита InSb-MnSb имеет сложный микрорельеф. При размере площадок сканирования $20 \times 20 \text{ мкм}^2$ (рис.4) на поверхности наблюдаются равномерно распределенные структурные образования округлой формы размером 0.5-2 мкм, в поперечнике с средней высотой 0,8-0,9 мкм что видно из профиля сечения (рис.4с). Средняя арифметическая шероховатость поверхности, усредненная по 5 различным площадкам, при указанном выборе площадки составляет $Ra=78.3 \text{ нм}$, среднеквадратичная $Rq=103.3$. Отношение полной площади поверхности к проективной составляет 1,14. Распределение высот для указанных площадок представлено на рис.5а, там же приведен анализ ориентированности поверхностных структур, который позволяет утверждать отсутствует сколь, либо выраженная ориентация (рис. 5b). Кроме того, в левом нижнем углу представленного АСМ изображения можно заметить структуры размером 8-12мкм в поперечнике округлой формы, что хорошо согласуется с данными СЭМ.

По АСМ-изображениям вычислялась мультифрактальная размерность поверхности методом горизонтальных сечений (площадь-периметр). При вычислении фрактальной размерности учитывалось систематическое отклонение, характерное для метода горизонтальных сечений [5, 6]. Анализ фрактальности исследованных площадок по 500 подслоям (рис. 6) дает среднее значение фрактальной размерности 2.79.

Кроме того, дополнительно было проведено изучение межзеренного пространства при большем разрешении сканирования и областей, содержащих аномальные топографические структуры для данных поверхностей. В частности, при размере, области сканирования $5 \times 5 \text{ мкм}^2$ полученные при помощи АСМ, изображения (рис.7) хорошо согласуются с данными СЭМ, приведенными на рис.2.

Для этих областей характерно отсутствие сколь либо значительных по размеру структур, однако наблюдается мелкозеренная структура с преобладающей высотой $\sim 30 \text{ нм}$ (рисунок 8). Зерна неправильной формы размером 40-80 нм в поперечнике так же не имеют ярко выраженной ориентации. Это приводит к уменьшению значений средней арифметической и среднеквадратичной шероховатости до $Ra=9.4 \text{ нм}$ и $Rq=12.2 \text{ нм}$, соответственно. При этом среднее значение фрактальной размерности исследованных площадок несколько возрастает в сравнении с основным рельефом и достигает 2.82, что говорит о развитой «объемной» поверхности. Это подтверждает высокое качество поверхности и достаточно высокую равномерность нанесения покрытий.

Кроме указанных особенностей топографии на поверхности в нескольких местах были замечены следующие особенности: на одной из площадок сканирования обнаружено наличие упорядоченно направленных продолговатых структур длиной 1,2-1,4мкм, шириной $\sim 0,1$, высотой 0,15-0,2 мкм. Так же при изучении соседних областей были обнаружены две структуры продолговатой формы: одна длиной 4,2 мкм, шириной $\sim 0,3$ мкм, высотой 0,3-0,4 мкм и вторая, имеющая сходное направление с первой и более мелкими структурами длиной 12 мкм, шириной $\sim 0,8$ мкм, высотой 0,6-0,2 мкм в зависимости от длины имеющей излом.

Появление указанных структур может быть как особенностью протекания каких либо процессов в ходе нанесения покрытий, так и дефектом обработки поверхности перед нанесением. Анализ динамической составляющей работы зонда в контактном режиме дает сходные значения (разница менее 20%) как для основного рельефа, так и для обнаруженных неоднородностей, что позволяет сделать заключение, что структуры не являются «мусором» и имеют адгезию с поверхностью.

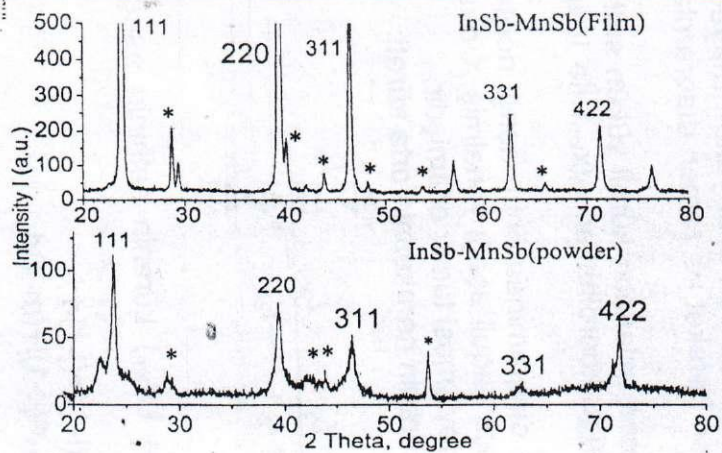
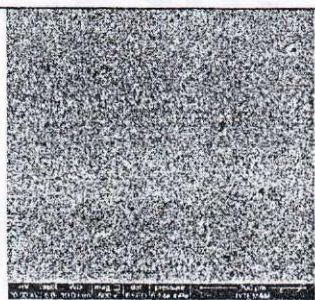
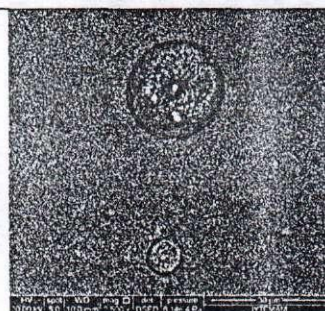


Рис.1. Дифрактограмма массивного образца и тонкой пленки InSb-MnSb.



а) увеличение 500



б) увеличение 3500

Рис.2. Микроструктура тонкой пленки InSb-MnSb

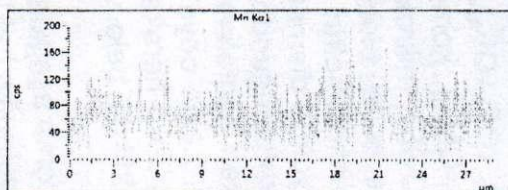
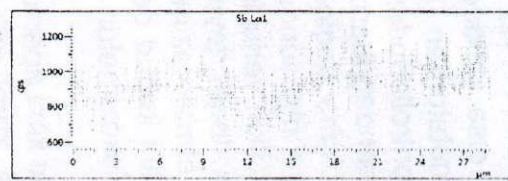
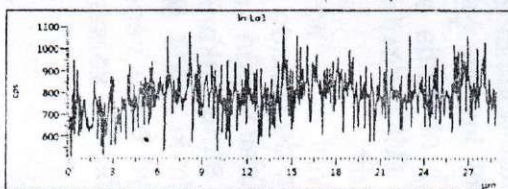
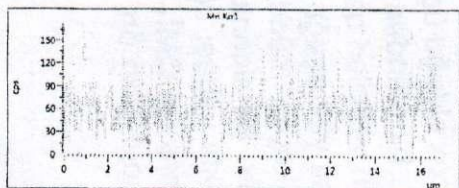
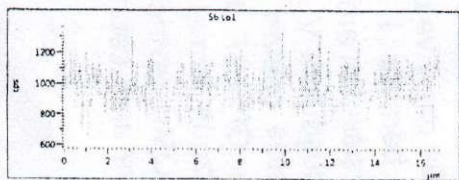
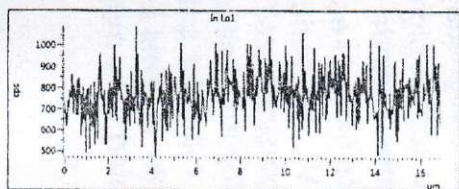


Рис.3. Элементный состав пленки InSb-MnSb.

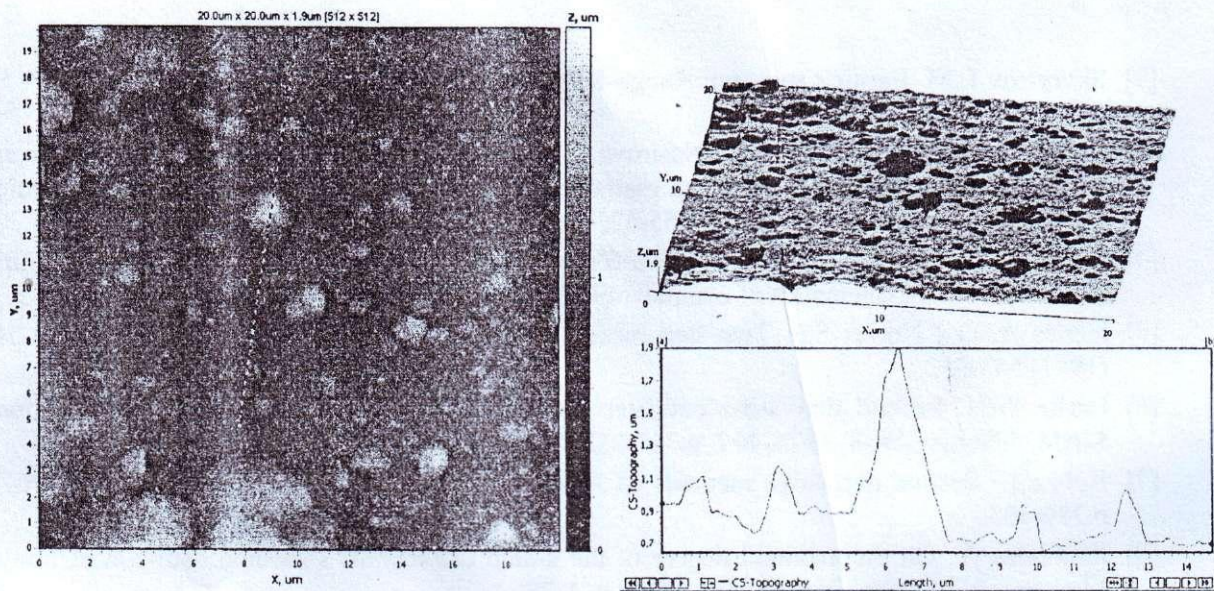


Рис.4. Топография поверхности (а), профиль сечения вдоль линии 1-2 (б), 3-х мерная реконструкция (с) поверхности пленки InSb-MnSb.

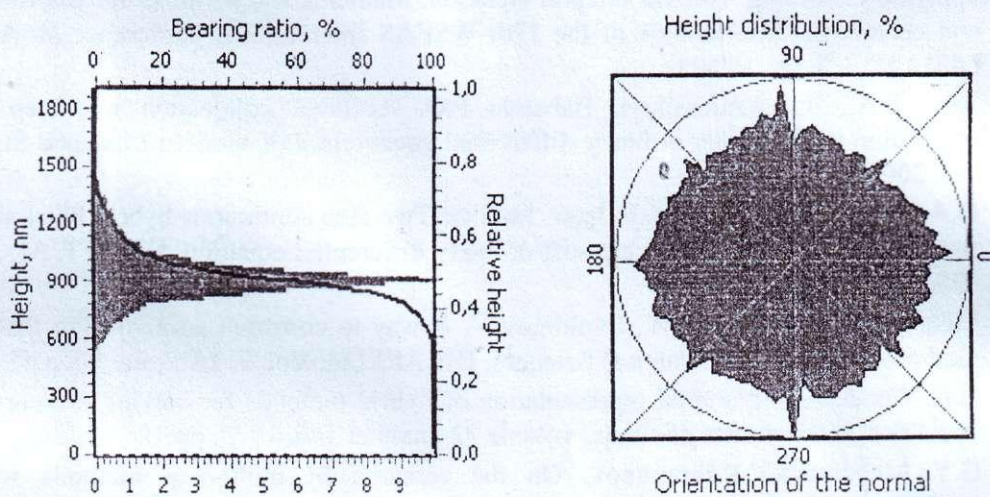


Рис.5 Распределение высот (а) анализ ориентации поверхностных структур (б).

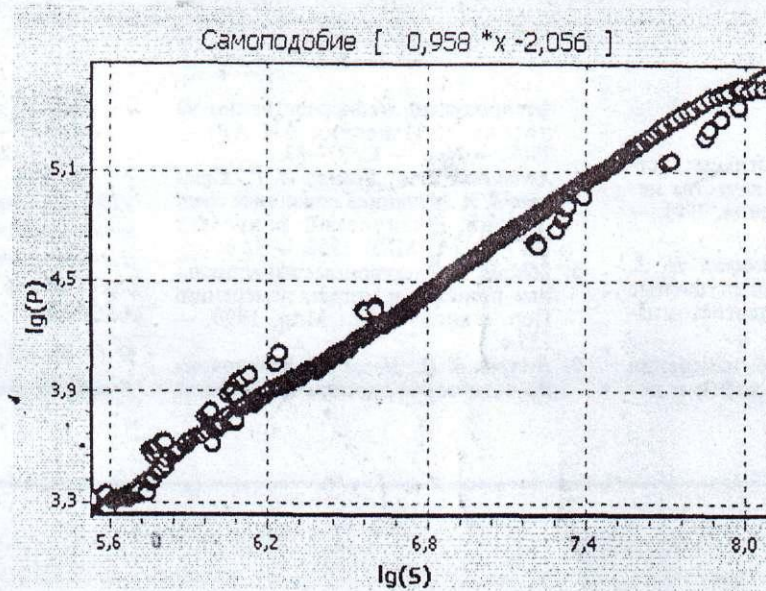


Рис.6. Результаты расчета мультифрактальной размерности.

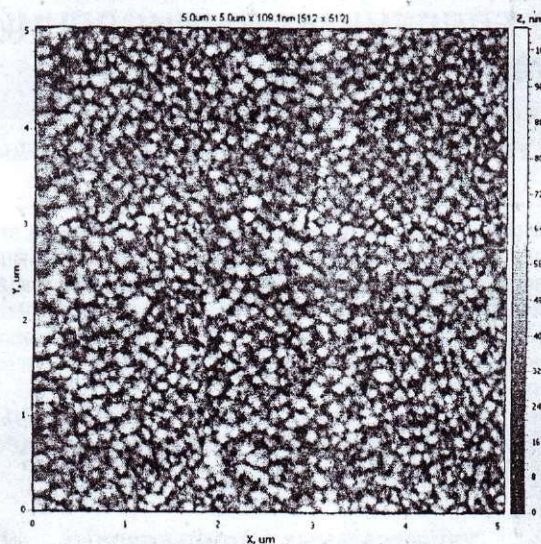


Рис.7. Топография поверхности InSb-MnSb при сканировании по площадке $5 \times 5 \text{ мкм}^2$ с разрешением 10нм.

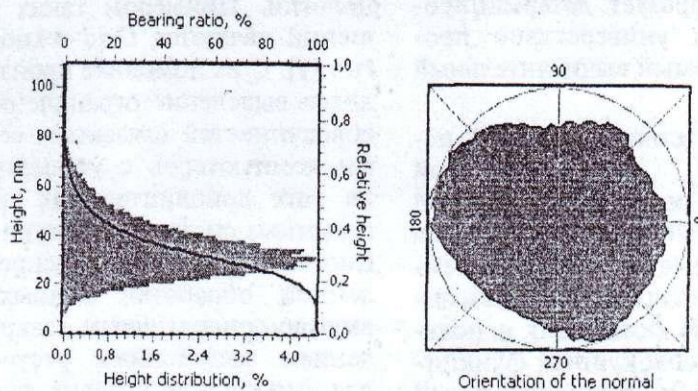


Рис.8. Распределение высот (а) анализ ориентации поверхностных структур (б) при анализе пространства между образованиями на поверхности и площади сканирования $5 \times 5 \text{ мкм}^2$.

Список литературы

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.
5. Almquist N.. Fractal analysis of scanning probe microscopy images. Surface Science. –1996 (355), 221-228.
6. Zahn W., Zösch A.. The dependence of fractal dimension on measuring conditions of scanning probe microscopy. Fresenius J Analen Chem (1999) 365: 168-172.

ЭПР ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Cd_{1-x}Mn_x(Fe)_xTe$

¹Мехрабова М.А., ²Нуриев И.Р., ³Оруджев Г.С., ¹Керимова Т.И., ³Абдуллаева А.А.

¹Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана,

²Институт Физики им. академика Г.М.Абдуллаева НАН Азербайджана,

³Азербайджанский Технический Университет

m.mehrabova@science.az

В последние годы полумагнитные полупроводники (ПМП) $Cd_{1-x}Mn_x(Fe)_xTe$ нашли свое успешное применение в создании различных приборов, в том числе, солнечных элементов, радиационных детекторов, ИК детекторов, фотоприемников, оптических изоляторов и т.д., которые созданы в основном на основе массивных кристаллов.

Современную электронику сегодня невозможно представить без тонких пленок. Поскольку приборы создаются на поверхности кристаллов, и все структурные изменения отражаются на параметрах приборов, требуется получение пленок с совершенной кристаллической структурой и чистой гладкой поверхностью.

Для получения тонких пленок ПМП $Cd_{1-x}Mn_x(Fe)_xTe$ с совершенной структурой, были синтезированы твердые растворы $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0,01$, $x=0,1$) и $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0,03$). С целью изучения совершенства кристаллической структуры были проведены ЭПР исследования этих твердых растворов.

ЭПР спектры снимались при комнатной температуре в спектрометре фирмы “Bruker” EMX/lus (в области x , при частоте $\nu=9,9$ Гц, $\lambda=3,2$ см⁻¹). Параметры ЭПР спектров, полученных от трех составов, а также от CdTe следующие [1]:

- 1) CdTe, $g=0$; $\Delta H \approx 95$ Гс
- 2) $Cd_{1-x}Mn_xTe$, $x=0,01$; $g \approx 2,0082$; $\Delta H \approx 112$ Гс
- 2) $Cd_{1-x}Mn_xTe$, $x=0,1$; $g \approx 2,0070$; $\Delta H \approx 4000$ Гс,
- 3) $Cd_{1-x}Fe_xTe$, $x=0,03$; $g \approx 3,9$; $\Delta H \approx 300-325$ Гс

Как видно из рис.1 в ЭПР спектрах CdTe не наблюдаются сигналы от парамагнитных центров.

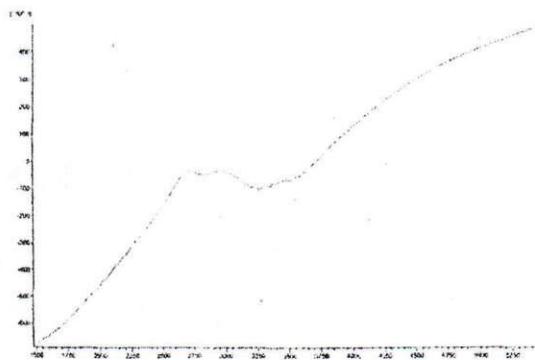


Рис.1. ЭПР спектры твердых растворов CdTe