

**УСЛОВИЯ СИНТЕЗА, КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА
ЭВТЕКТИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА GaSb-CrSb**

¹Рагимов Р.Н., ²Мамедов И.Х., ³Галяс А.И., ³Митюк В. И., ³Янушкевич К.И.,
¹Араслы Д.Г., ¹Халилова А.А.

¹Институт Физики НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

²Национальная Академия Авиации Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

³ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»
г. Минск, Беларусь, E-mail: rashadrahim48@gmail.com

Введение

Эвтектические композиты на основе соединений III-V групп и 3d-переходных металлов (Fe, Mn, Cr) представляют собой полупроводниковую матрицу с параллельно ориентированными металлическими включениями. Такие эвтектические композиты ведут себя как неоднородные полупроводники и их физические свойства существенно зависят от электронной конфигурации 3d-элементов, геометрии включений и особенностей формирования межфазных зон, имеют воспроизводимые и стабильные характеристики, не зависящие от внешних воздействий [1-3]. Исследуемый нами эвтектический композит GaSb-CrSb состоит из матрицы – алмазоподобного соединения GaSb со структурой цинковой обманки и металлических включений CrSb с гексагональной структурой типа NiAs и ниже 700K представляет собой антиферромагнетик [4]. С этой точки зрения композит GaSb-CrSb, как разбавленный магнитный полупроводник, представляет собой перспективный материал для использования в устройствах микроэлектроники, для создания высокоскоростной системы памяти. Ранее нами исследована микроструктура, проведены DSC, TG и DTA анализы, а также изучены особенности электронных и фононных процессов в этом композите [5]. Определены температуры начала и завершения плавления, 670K и 692K, соответственно, определена энтальпия плавления -56.45808 J/g. В настоящей работе приведены результаты рентгенофазового анализа, исследования микроструктуры, элементного состава и магнитных свойств композита GaSb-CrSb.

Эксперимент

Синтез композита GaSb-CrSb проводился в два этапа. Бинарное соединение GaSb синтезировано сплавлением элементов в стехиометрических количествах и подвергнуто горизонтальной зонной очистке. Образцы имели p-тип проводимости с концентрацией носителей заряда $n=1,2 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Эвтектика получена вертикальным методом Бриджмена со скоростью перемещения фронта кристаллизации 0.3мм/мин в вертикальной геометрии сплавлением GaSb с 13.4 вес % CrSb. Полученные композиты имеют проводимость p-типа с концентрацией носителей тока $2 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Рентгенофазовый анализ проведен при комнатной температуре на дифрактометре «Advance D8», микроструктура и элементный состав изучены сканирующим электронным микроскопом «Zeiss SigmaTM Field Emission SEM», укомплектованным приборами «Oxford EDS» и «HKL EBSD». Температурные зависимости удельной намагниченности и магнитной восприимчивости исследованы в интервале 100÷1000K в полях с индукцией до 1,0 Тесла пондеромоторным методом на образцах, помещенных в вакуумированные кварцевые ампулы.

Результаты и обсуждение

Установлено, что наиболее интенсивные дифракционные рефлексы на рентгенограммах соответствуют соединению GaSb (указаны индексы Миллера) [6], а при угловых положениях $2\theta=30^{\circ}$; 44.08° ; 52.12° ; 54.13° ; 69.13° (обозначенные звездочкой) – соединению CrSb, имеющую гексагональную структуру пространственной группы $R\bar{6}_3/mmc$ [4] (рис.1).

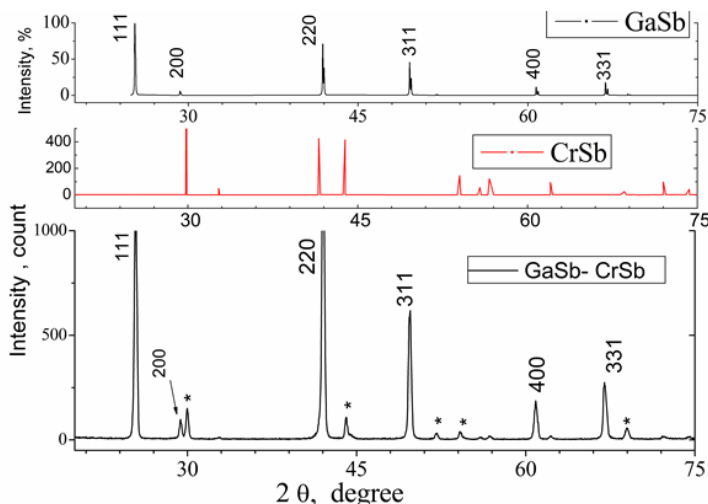


Рисунок 1 – Дифрактограммы GaSb, CrSb из эвтектического композита GaSb-CrSb

Результаты электронной микроскопии эвтектики GaSb-CrSb позволили выявить наличие в полупроводниковой матрице металлических включений длиной $30 \div 50 \mu\text{m}$, диаметром $\sim 1.4 \mu\text{m}$ равномерно и параллельно распределенных вдоль фронта кристаллизации. Изучая элементный состав композита в геометрии перпендикулярного направления фронту кристаллизации установлено, что матрица содержит Ga=36.1 вес%, Sb=63.9 вес% (спектр1), а включение – Cr=27.8 вес%, Sb=72.2 вес% (спектр2). Эти данные соответствуют стехиометрическому составу эвтектического композита GaSb-CrSb.

На рисунке 2 представлены результаты изучения удельной намагниченности $M=f(T)$ соединения CrSb и композита GaSb-CrSb в магнитном поле с индукцией $B=0,86\text{T}$ в интервале температур $80 \div 750\text{K}$. Зависимость $M=f(T)$ характерна для антиферромагнитного состояния.

Результаты исследований показали, что удельная намагниченность композита GaSb-CrSb на порядок меньше, чем соединения CrSb. Из литературных источников известно, что CrSb имеет структуру типа NiAs, состоящую из ферромагнитных плоскостей, направленных перпендикулярно к оси *c* и антиферромагнитно связанных между собой. Антимонид хрома представляет собой антиферромагнетик с температурой Нееля $T_N=705\text{K}$ и температурой Кюри-Вейса $\sim (-625\text{K})$ [7], что близко к полученным нами данным

Уменьшение величины удельной намагниченности при образовании композита, вероятнее всего, обусловлено ослаблением обменных магнитных взаимодействий между ферромагнитными плоскостями.

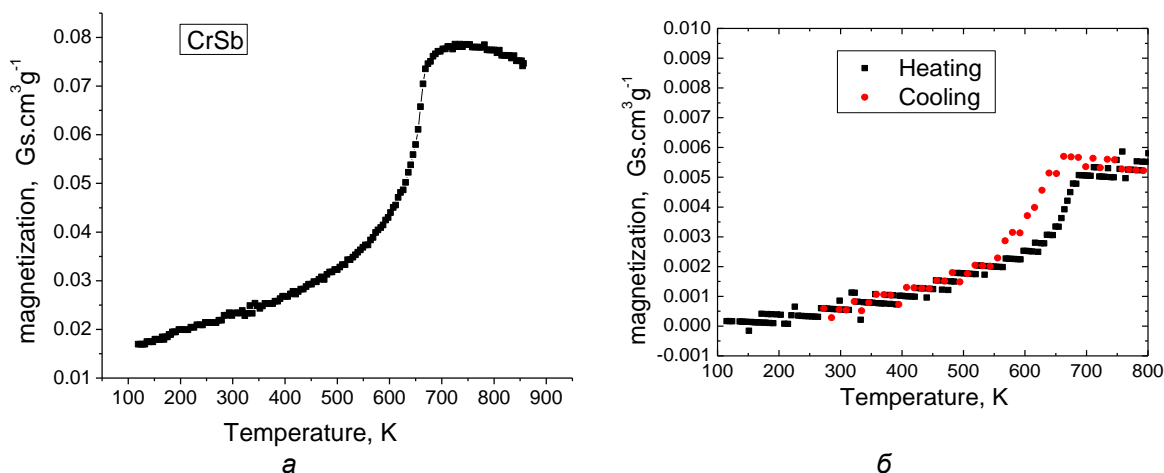


Рисунок 2 – Удельная намагниченность CrSb (a) и эвтектического композита GaSb-CrSb (b)

Необходимо отметить, что в процессе синтеза композита наряду с образованием ориентированных игольчатых включений происходит легирование матрицы атомами хрома. Известно, что соединение GaSb, легированное Cr, является ферромагнетиком [9], а включения CrSb – антиферромагнитны. Композит содержит две магнитные подсистемы: легированную матрицу, имеющую слабый магнетизм и магнитные металлические включения.

Таким образом, установлено, что эвтектический композит GaSb-CrSb и соединение CrSb антиферромагнетики в температурном интервале 80-600K. Определены температура Нееля ~650K для композита и асимптотические температуры Кюри-Вейса ~(-300K) и ~(-620K) для композита и соединения CrSb, соответственно.

Список литературы:

1. Aliyev M.I., A.A.Khalilova, Arasly D.H., Rahimov R.N., Tanoglu M., Ozyuzer L. // J.Phys.D: Appl. Phys. -2003. - V.36. - P.2627-2633.
2. Rahimov R.N., Khalilova A.A., Arasly D.H., Aliyev M.I., Tanoglu M., Ozyuzer L. // Sensors and Actuators A: Physical. -2008. - V.147, no 2, 3 - P.436-440.
3. Mamedov I.Kh., Arasly D.H., Khalilova A.A., Rahimov R.N. // Inorg. Mat. 2016. - V.52, no4. - P.423-428.
4. Willis T.M. // Acta Cryst. -1963. - V.6. - P.425-430.
5. Rahimov R. N., Mammadov I.Kh., Kazimov M.V., Arasly D. H., and Khalilova A.A. // Moldavian Journal of the Physical Sciences. -2015. - V14, no1-2. - P.44-50.
6. Бурдиан И.И.// ФТТ. – 1959. - Т.1. -С.1360.
7. Abe S., Kaneko T. Ohashi M., Yoshida H., Kamigaki K. // Journal of the Physical Society of Japan. – 1984. - V.53, no 8. - P.2703- 2709.
8. Shandong Li, Jenq-Gong Duh, Feng Bao, Kai-Xin Liu, Cheng-Lun Kuo, XiaoshanWu, Liya Lü, Zhigao Huang and Youwei Du. // J. Phys. D: Appl. Phys. (2008, V.41, 175004 (4p)
9. Kondrin M.V., Gizatullin V.R, S.V.Popova, Lyapin A.G, Brazhkin V.V, Ivanov V.Y, Pronin A.A, Lebed Y.B. Sadykov R.A. // Journal of Physics Condensed Matter, 23 (2011) 44,446001.