

**ОСОБЕННОСТИ РОСТА И МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК ПОЛУМАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ХАЛЬКОГЕНИДОВ  $A^2B^6$** **И.Р. НУРИЕВ***Institute of Physics, ANAS,  
131, H. Javid ave., Baku, Azerbaijan*

Полумагнитные полупроводники (ПМП) являются новым классом материалов, сочетающих в себе свойства обычных и магнитных полупроводников. К ПМП относят полупроводниковые кристаллы, легированные Sd-ионами переходных металлов, либо твердые растворы, содержащие магнитные компоненты. Период бурного исследования ПМП начался с публикаций по кристаллам, легированным ионами марганца (Mn) [1], и твердым растворам  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  [2]. Именно в этих работах впервые сообщается о наблюдении гигантских спиновых расщеплений зонных состояний электронов, дырок, экситонов и гигантском эффекте Фарадея обусловленных обменным взаимодействием зонных носителей с локализованными магнитными моментами ионов  $M_n^{2+}$ . Основное качественное отличие между ПМП и обычными полупроводниками состоит в существенности для первых обменного взаимодействия между магнитными ионами и зонными носителями заряда, которые начинают проявляться только при наложении внешнего магнитного поля. В отсутствие же магнитного поля характер протекания электронных процессов и перестройка зонной структуры при изменении  $x$  для кристаллов указанных типов во многом сходное.

С другой стороны, ПМП можно рассматривать и как промежуточный класс веществ между немагнитными и магнитными полупроводниками.

Изменяя содержание магнитного компонента в кристаллах и внешние условия (температуру и магнитное поле), можно осуществлять переход от одного крайнего типа полупроводников к другому и выделить те особенности, которые обусловлены наличием локализованных магнитных моментов.

В последнее время широкое распространение получили эпитаксиальные пленки полупроводников. Вполне естественно, исследование особенностей эффекта Фарадея в таких пленках ПМП представляет большой научный интерес. Современная техника ионно-лучевой эпитаксии позволяет получать не только отдельные пленки п/п-ов, но и более сложные дозированные многослойные структуры называемыми сверхрешетками. В применении к ПМП такие структуры получили название спиновых сверхрешеток [3,4].

В работе [5] проанализированы возможности использования этих кристаллов в качестве активной среды для компактных вентилях Фарадея (Оптических изоляторов). Напомним, что это устройство обеспечивает малые потери для прохождения излучения в одном направлении и

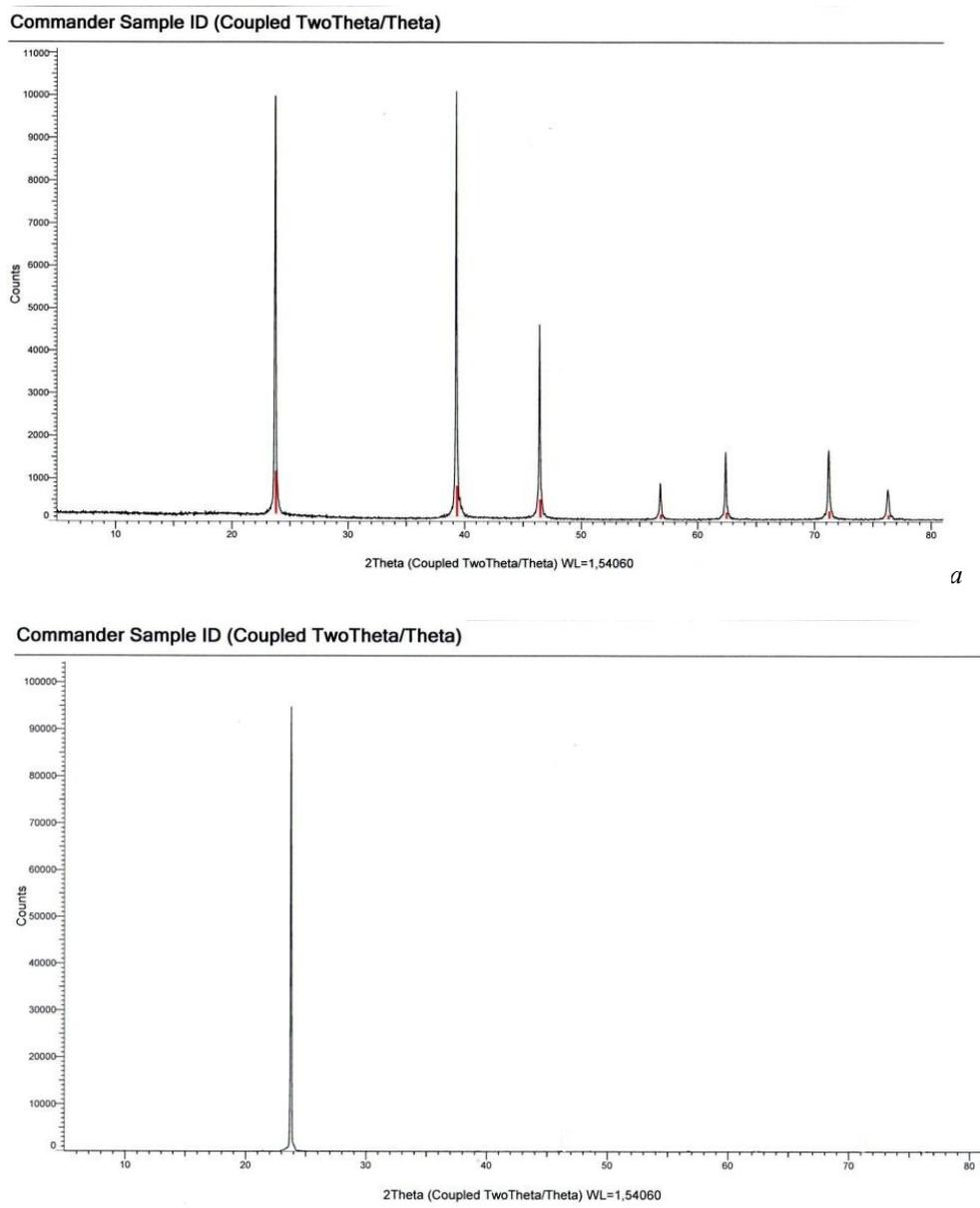
создает сильное затухание его интенсивности в противоположном [6].

Другим примером практического применения эффекта Фарадея ПМП является разработка датчиков магнитного поля. В работе [7] для такой демонстрации также выбраны кристаллы  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ .

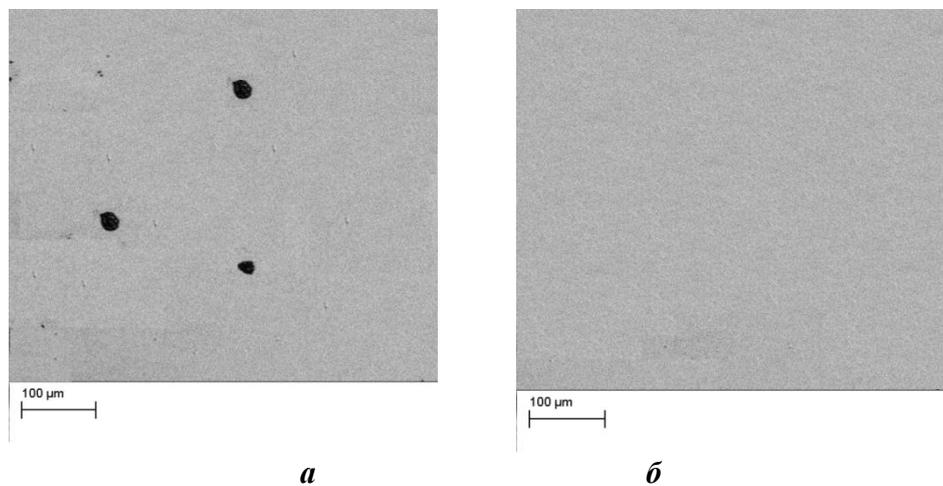
Анализируется возможность использования других материалов семейств ПМП для создания волоконно-оптических датчиков магнитного поля. Полученные результаты свидетельствуют о возможности нормального функционирования устройства при частотах в несколько ГГц. В работе [8] пленки  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  были получены одновременным испарением  $CdTe$  и  $MnTe$  на сапфировую и стеклянную подложки. Концентрационная зависимость ширины запрещенной зоны для пленок на сапфировой подложке находится в удовлетворительном согласии с данными по  $E_g(x)$  для монокристаллических образцов. Кроме того, сравнительные исследования постоянной решетки показали, что для таких пленок параметр решетки оказывается близким к значению для объемных кристаллов  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ , тогда как для пленок на стеклянной подложке постоянная решетки намного больше. Также ждут еще своего осуществления эксперименты с другими, ранее не исследованными ПМП, включающие полупроводники, содержащие не только ионы Mn, а и другие переходные металлы группы железа, и редкоземельные элементы.

Особый интерес представляет эпитаксиальные пленки ПМП с высоким кристаллическим совершенством и с чистой, гладкой поверхностью, которые имеют большое научно-практическое значение. Эти пленки широко используются в современной оптоэлектронике. Оптоэлектронные приборы, изготовленные на основе эпитаксиальных пленок отличаются улучшенными параметрами, по сравнению с массивными кристаллами. Основным требованием современной оптоэлектроники является получение эпитаксиальных пленок с заданными свойствами, свободных от различного рода нежелательных поверхностных состояний, так как приборы создаются на однородно чистых поверхностях [9].

В последние годы привлекают большое внимание и широко исследуются эпитаксиальные пленки полумагнитных полупроводников (ПМП) халькогенидов  $A^2B^6$ . На их основе созданы приборы различного назначения, в том числе солнечные элементы, радиационные детекторы, определены влияние ионизирующего излучения на физические свойства [10-18].



*Рис. 1.* Рентгено-дифракционные снимки пленок  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  ( $x=0.15$ ) полученные на стеклянных подложках: *a)*  $T_{п}=470$  К (поликристаллические); *б)*  $T_{п}=670$  К (эпитаксиальные-монокристаллические).



*Рис. 2.* Электронно-микроскопические снимки поверхности эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  ( $x=0.15$ ) полученные при температуре подложки  $T_{п}=670$  К: *a)* без компенсации Те, *б)* с компенсацией Те.

В настоящей работе приводятся результаты исследования особенности роста и морфологии поверхности эпитаксиальных пленок ПМП халькогенидов  $A^2B^6 Cd_{1-x} Mn(Fe)_x Te(Se)$  состава ( $x=0,01-0,15$ ) выращенных на аморфных стеклянных и монокристаллических слюдяных подложках, методом конденсации молекулярных пучков в вакууме  $10^{-4}$  Па.

Для получения структурно-совершенных пленок с чистой гладкой поверхностью без включения второй фазы, в процессе роста были использованы дополнительные компенсирующие источники халькогенов в процессе роста (Se,Te).

Структура пленок исследовалась рентген-дифракционным (Bruker XRD D8 Advance), морфология поверхности электронномикроскопическим (The Carl Zeiss Sigma VP Scanning Elektron) методами.

Определены оптимальные условия получения структурно-совершенных эпитаксиальных пленок исследованных ПМП.

Установлено, что пленки, полученные на стеклянных подложках при температуре  $T_{п}=300$  К

имеют поликристаллическую структуру в смеси с аморфной фазой. Увеличение температуры подложки ( $T_{п} \geq 470$  К) приводит к получению поликристаллических пленок с кубической структурой типа сфалерита (Рис.1а). Пленки, полученные на монокристаллических слюдяных подложках при  $T_{п}=300$  К имеют только поликристаллическую структуру. При температуре  $T_{п} \geq 670$  К на обоих подложках получаются монокристаллические эпитаксиальные пленки с направлением роста [111] (Рис.1б).

Электронномикроскопические исследования показали, что на поверхности пленок наблюдаются черные скопления, являющиеся продуктами окисления, образующиеся в процессе роста, которые исчезают с применением дополнительного компенсирующего источника халькогенов (Se,Te) (Рис.2а,б).

Аналогичные результаты получены и для других исследованных ПМП халькогенидов  $A^2B^6$ .

- 
- [1] *A.B. Комаров, С.М. Рябченко и др. // ЖЭТФ, 1977, т.73.с.608.*
- [2] *J.A. Gaj, R.R. Galazka, M. Navrocki // Sol.State Commun., 1978, v.25, p.193.*
- [3] *M. Oztenberg // Leet.Notes Phys. 1983, v.177, p.451.*
- [4] *A.V. Nurmikko, R.L. Gunshor, L.A. Kolodriejski // IEEE J.Quantum Elektron. 1986, V.QE-22, p.1785.*
- [5] *A.E. Turner, R.L. Gunshor, S. Datta // Appl.Opt. 1983, v.22, p.3152.*
- [6] *G. Fischer // J.Opt.Commun 1987, v.8, p.18.*
- [7] *M.A Butler, S.J. Martin, R.J. Baughman // Appl. Phy.s. Lett. 1986, v.49, p.1053.*
- [8] *T. Koyanagi, K.Matsubara, H.Tokaoka, T.Takagi // J.App.Phys.1987, v.61, p.3020.*
- [9] *А.М.Афанасьев, П.А.Александров, Р.М.Имамов М.:Наука, 1989, 152с.*
- [10] *П.В. Жуковский, Я. Партыка, П. Венгерэк, Ю.В. Сидоренко и др. // ФТП, 1999, том 33, вып.3.*
- [11] *П.В.Жуковский, П.Венгерэк, Шостакю. и др. // ФТП, 2000, том 34, вып.10.*
- [12] *П.В. Жуковский, Я. Партыка, Т. Колтунович и др. ФТП, 2007, том 41, вып.5*
- [13] *М.А. Mehrabova, H.R. Nuriyev, T.B. Taghiyev // Science PG International Journal of materials science and applications, 2014, 3(6-1), p.20-23.*
- [14] *H.R. Nuriyev, M.A. Mehrabova, A.M. Nazarov, R.M. Sadiqov, Journal of Radiation Researches, 2015, v.2, №1, p.26-34*
- [15] *И.Р. Нуриев, М.А. Мехрабова, А.М. Назаров, Р.М. Садыгов // АМЕА Хəбərлər, №5, 2016, с.34-37.*
- [16] *И.Р. Нуриев, А.М. Назаров, М.А. Мехрабова, Р.М. Садыгов // Журнал Неорганические Материалы, 2016, т.52, №9, с.1-4*
- [17] *И.Р. Нуриев, М.А. Мехрабова, А.М. Назаров, Р.М. Садыгов, Н.Г. Гасанов // ФТП, 2017, v.51, №1, p.36-39.*
- [18] *И.Р. Нуриев, М.А. Мехрабова, Н.Г. Гасанов // Поверхность. Рентгеновские синхротронные и нейтронные исследования, 2018, №5, с.98-101.*