

УДК 621.315.592

СТРУКТУРА И МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК $Cd_{1-x}(Mn, Fe)_xSe$

© 2019 г. И. Р. Нуриев¹, М. А. Мехрабова², * А. М. Назаров¹, Н. Г. Гасанов³,
Р. М. Садыгов¹, С. С. Фарзалиев¹

¹Институт физики НАН Азербайджана, 1143 Баку, Азербайджан

²Институт радиационных проблем НАН Азербайджана, 1143 Баку, Азербайджан

³Бакинский государственный университет, 1143 Баку, Азербайджан

*E-mail: m.mehrabova@science.az

Поступила в редакцию 20.12.2018 г.

После доработки 25.02.2019 г.

Принята к публикации 03.03.2019 г.

Определены оптимальные условия получения структурно совершенных эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}(Mn, Fe)_xSe$, образующихся в плоскости (111). Исследована структура и морфология поверхности эпитаксиальных пленок. Установлено, что в тонких пленках $Cd_{1-x}(Mn, Fe)_xSe$ в отличие от массивных образцов образуется сфалеритная структура с параметром решетки $a = 6.05 \text{ \AA}$. При использовании дополнительного источника паров Se во время роста, получены эпитаксиальные пленки $Cd_{1-x}(Mn, Fe)_xSe$ с чистой, гладкой поверхностью.

Ключевые слова: эпитаксиальная пленка, полумагнитный полупроводник, структура, морфология поверхности, электронограмма, рентгенодифрактограмма.

DOI: 10.1134/S1028096019110165

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы соединения группы $A^{II}B^{VI}$ и твердые растворы на их основе, являющиеся полумагнитными полупроводниками, в которых можно плавно регулировать ширину запрещенной зоны путем изменения состава, нашли широкое применение при изготовлении приборов различного назначения, в том числе солнечных элементов, детекторов ионизирующего излучения, оптических изоляторов и т.д., работающих при комнатной температуре [1].

Известно, что современные электронные приборы, с высокими параметрами, создаются на однородно-чистых, зеркально-гладких поверхностях [2]. Для этой цели широко используются структурно-совершенные эпитаксиальные пленки полупроводников. Эпитаксиальные пленки полупроводников являются объектом исследований многих ученых и передовых научных центров мира. Этот интерес объясняется не только фундаментальным аспектом уникальных свойств, но и широким спектром прикладных возможностей их в электронике, оптоэлектронике, наноэлектронике, интегральной оптике и в других областях. Быстрое развитие этих областей требует, в свою очередь, получения современных приборов с высокими параметрами. Эпитаксиальные пленки

широко используются в приборах различного назначения, поэтому развитию новых методов их получения, а также усовершенствованию уже существующих методов (например, выбору оптимальных условий получения пленок заданной структуры) уделяется большое внимание.

В настоящей работе представлены результаты исследования структуры и морфологии поверхности эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}(Mn, Fe)_xSe$, полученных методом конденсации молекулярных пучков. Указанные твердые растворы образуются частичным замещением атомов кадмия (Cd) на атомы переходных элементов, соответственно марганца и железа. В этих материалах в магнитном поле изменяется энергетический спектр носителей заряда, благодаря чему появляется возможность управления их свойствами с помощью магнитного поля и температуры.

В работах [3–5] были исследованы диэлектрические свойства и проводимость в массивных образцах указанных полупроводниковых материалов. Эпитаксиальные пленки этих твердых растворов еще не изучены. Согласно литературным данным [6] CdSe (в отличие от своего аналога CdTe, который имеет структуру типа сфалерита с параметром $a = 6.477 \text{ \AA}$) кристаллизуется в структуре типа вюрцита с параметрами решетки $a = 4.30 \text{ \AA}$, $c = 7.02 \text{ \AA}$. В связи с вышеизложенным исследова-

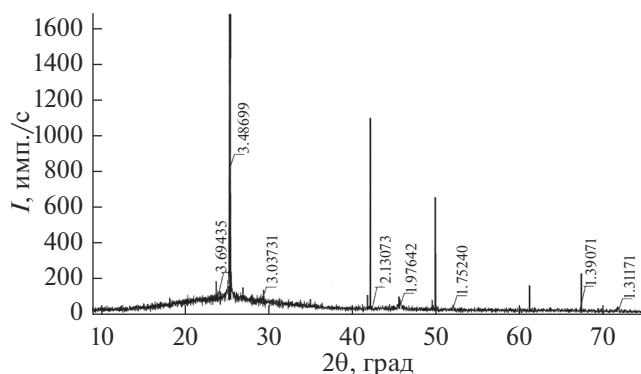


Рис. 1. Рентгенодифрактометрический снимок пленок $Cd_{1-x}(Mn, Fe)_xSe$ ($x = 0.03$), полученных на стеклянных подложках ($T_n = 300$ К).

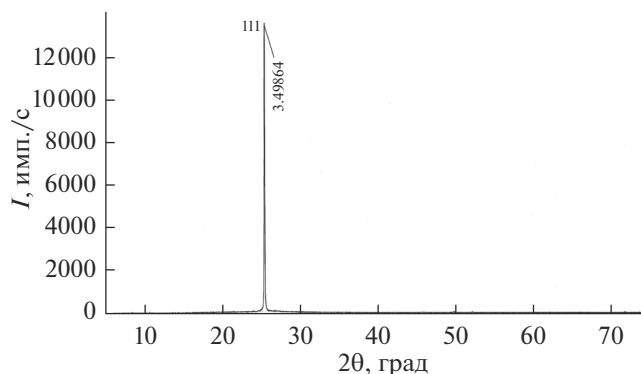


Рис. 2. Рентгенодифрактометрический снимок пленок $Cd_{1-x}(Mn, Fe)_xSe$ ($x = 0.03$), полученных на стеклянных подложках ($T_n = 673$ К).

ния структуры и морфологии поверхности пленок является актуальной задачей современного приборостроения.

Целью настоящей работы является исследование структуры и морфологии поверхности эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}(Mn, Fe)_xSe$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Эпитаксиальные пленки $Cd_{1-x}(Mn, Fe)_xSe$ выращивались методом конденсации молекулярных пучков в вакууме 10^{-4} Па на свежесколотых гранях монокристаллов слюды и стекла. В качестве источника использовались заранее синтезированные твердые растворы $Cd_{1-x}(Mn, Fe)_xSe$ ($x = 0.02, 0.03$).

Химический состав твердых растворов, использованных в качестве источника, и структура полученных пленок контролировались рентгенодифрактометрическим и электронографическим методами. Параметры решетки и ориентация пленок определялись по рентгенодифрактограммам и электронограммам отражения исследуемых твердых растворов. Установлено, что при комнатной температуре (температура подложки $T_n = 300$ К) на свежесколотых гранях монокристаллов слюды растут пленки с поликристаллической структурой, а на стеклянных подложках наряду с поликристаллической одновременно образуются пленки с аморфной структурой (рис. 1). Расчеты показывают, что поликристаллические пленки $Cd_{1-x}(Mn, Fe)_xSe$ ($x = 0.02, 0.03$) в отличие от пленок, полученных в работе [6] имеют структуру типа сфалерита с параметрами решетки $a = 6.05$ Å (рис. 1).

Повышение температуры подложки до 673 К приводит к эпитаксиальному росту пленок с структурой типа сфалерита в направлении [111]. Определены оптимальные условия получения эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}(Mn, Fe)_xSe$, расту-

щих в плоскости (111) (скорость конденсации $v_k = 8-9$ Å/с; $T_n = 673$ К) с полушириной кривой качания рентгеновской дифракции $W_{1/2} = 100''-140''$, значение которой непосредственно связано структурным совершенством кристалла (рис. 2).

Морфологии поверхности исследовалась методом растровой электронной микроскопии (РЭМ). Использовали растровый электронный микроскоп The Carl Zeiss Sigma VP Scanning Electron Microscope. На электронных микрофотографиях исследованных пленок наблюдаются черные скопления, количество которых растет с уменьшением скорости конденсации и увеличением температуры подложки (рис. 3а). Согласно литературным данным, где исследуются другие халькогениды [7–9], эти скопления, вероятно, также являются оксидами, образовавшимися во время роста вследствие захвата кислорода лишними атомами металла (Cd), которые появляются в результате частичного разложения исследуемого материала в процессе напыления. При использовании дополнительного компенсирующего источника паров Se в процессе роста, удалось получить пленки с чистой, гладкой поверхностью (рис. 3б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, определены оптимальные условия ($v_k = 8-9$ Å/с, $T_n = 673$ К) получения структурно совершенных ($W_{1/2} = 100''-140''$) эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}(Mn, Fe)_xSe$, образующихся в плоскости (111). Исследована структура и морфология поверхности эпитаксиальных пленок. Установлено, что в тонких пленках $Cd_{1-x}(Mn, Fe)_xSe$ ($x = 0.02, 0.03$) в отличие от массивных образцов образуется сфалеритная структура с параметром решетки $a = 6.05$ Å. Показано, что черные скопления, наблюдаемые на поверхности эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}(Mn, Fe)_xSe$ являются оксидами, образо-

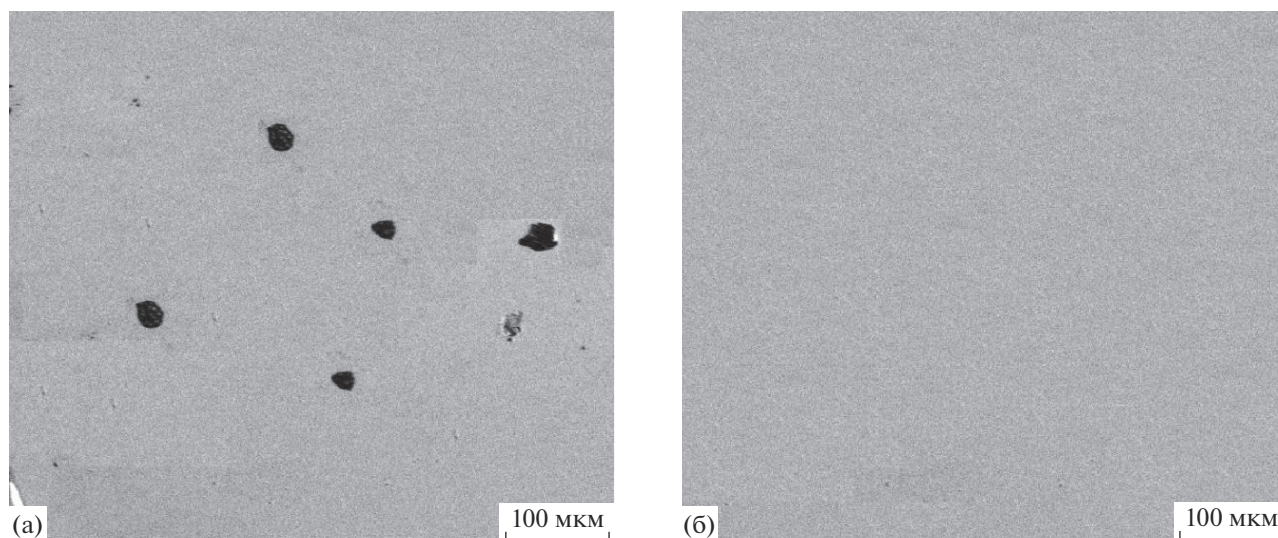


Рис. 3. РЭМ-изображения поверхности эпитаксиальных пленок $\text{Cd}_{1-x}(\text{Mn}, \text{Fe})_x\text{Se}$ ($x = 0.03$), полученных при температуре подложки $T_n = 673$ К: а – без компенсации Se, б – с компенсацией Se.

вавшимися во время роста вследствие захвата металла (Cd). При использовании дополнительного источника паров Se, удается получить пленки с чистой, гладкой поверхностью.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа была выполнена при финансовой поддержке УНТЦ, грант № 6288.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полумангнитные полупроводники / Ред. Фурдыны Я., Косуца Я. М.: Мир, 1992. 496 с.
2. Афанасьев А.М., Александров П.А., Имамов Р.М. Рентгеновская структурная диагностика в исследовании приповерхностных слоев монокристаллов. М.: Наука, 1986. 95 с.
3. Жуковский П.В., Партыка Я., Венгерэк П., Сидоренко Ю.В., Шостак Ю.А., Родзик А. // ФТП. 1999. Т. 33. В. 3. С. 270.
4. Жуковский П.В., Партыка Я., Венгерэк П., Шостак Ю.А., Сидоренко Ю.В., Родзик А. // ФТП. 2000. Т. 34. В. 10. С. 1174.
5. Жуковский П.В., Партыка Я., Венгерэк П., Колтунович Т., Сидоренко Ю.В., Лапчук Н. // ФТП. 2007. Т. 41. В. 5. С. 544.
6. Воронкова Е.М., Гречушников В.Н. и др. Оптические материалы для инфракрасной техники. М.: Наука, 1965. 335 с.
7. Нуриев И.Р. // Прикладная физика. 2013. В. 5. С. 16.
8. Нуриев И.Р., Назаров А.М., Мехрабова М.А., Садыгов Р.М. // Неорганич. матер. 2016. Т. 52. В. 9. С. 1.
9. Нуриев И.Р., Назаров А.М., Мехрабова М.А. и др. // ФТП. 2017. Т. 51. В. 1. С. 36.

Structure and Surface Morphology of $\text{Cd}_{1-x}(\text{Mn}, \text{Fe})_x\text{Se}$ Epitaxial Films

I. R. Nuriyev, M. A. Mehrabova, A. M. Nazarov, N. H. Hasanov, R. M. Sadigov, S. S. Farzaliyev

It was determined optimal conditions ($\nu_k = 8-9 \text{ \AA}/\text{с}$; $T_n = 673$ K) to obtain the structurally perfect ($W_{1/2} = 100''-140''$) $\text{Cd}_{1-x}(\text{Mn}, \text{Fe})_x\text{Se}$ epitaxial films formed in the (111) plane. The structure and surface morphology of the epitaxial films have been studied. It is established that in $\text{Cd}_{1-x}(\text{Mn}, \text{Fe})_x\text{Se}$ thin films, unlike bulk samples, a sphalerite structure with a lattice parameter $a = 6.05 \text{ \AA}$ is formed. Using an additional source of Se vapor during growth, $\text{Cd}_{1-x}(\text{Mn}, \text{Fe})_x\text{Se}$ epitaxial films with a clean, smooth surface have been obtained.

Keywords: epitaxial film, semimagnetic semiconductor, structure, surface morphology, electron diffraction pattern, X-ray diffractogram.