

УДК 621.315.592

Структура и оптические свойства эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe <Ga>$

И. Р. Нуриев, Э. Ю. Салаев, М. Б. Гаджиев, Х. Д. Джалилова,
Р. М. Садыгов, А. М. Назаров, Б. Ш. Бархалов
Институт физики НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Исследованы структура и оптические свойства эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,02—0,04$), выращенных на подложках VaF_2 (111) методом конденсации молекулярных пучков в вакууме 10^{-4} Па. Определены оптимальные условия получения структурно-совершенных ($W_{1/2} = 90—100''$) эпитаксиальных пленок с различным химическим составом, легированных галлием ($\leq 0,8$ ат. %). Показано, что край спектральной зависимости коэффициента оптического поглощения исследуемых пленок варьируется посредством изменения x и смещается в сторону коротких длин волн, что объясняется возрастанием ширины запрещенной зоны твердых растворов $Pb_{1-x}Mn_xSe$ с увеличением содержания марганца.

PACS: 85.60.-q; 68.37.-d

Введение

Полумангнитные твердые растворы $Pb_{1-x}Mn_xSe$, как и их аналоги $Pb_{1-x}Mn_xTe$, в которых атомы свинца частично замещены атомами переходного элемента — марганца с некомпенсированным магнитным моментом, широко исследуются и являются перспективными материалами для инфракрасной (ИК) техники [1—8]. В этих материалах введением ионов марганца в решетку соединений халькогенидов свинца и образованием твердых растворов замещения при незначительном уменьшении параметра решетки сильно возрастает ширина запрещенной зоны [1, 3].

Известно, что для практического применения большой перспективой обладают эпитаксиальные пленки. Необходимость создания различных приборов, многоэлементных матриц и их успешное применение в современной оптоэлектронике требуют получения пленок с высоким кристаллическим совершенством и заданными электрофизическими, фотоэлектрическими и оптическими параметрами.

В работах [7, 8] исследованы фотоэлектрические свойства эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$ и созданы фоточувствительные $p-n$ -гомопереходы на их основе.

Структура пленок

В настоящей работе представлены результаты исследования структуры и оптических свойств эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x = 0,02—$

$0,04$), выращенных методом конденсации молекулярных пучков в вакууме 10^{-4} Па. Подложками служили свежие естественные сколы монокристаллов VaF_2 (111). Имеется удовлетворительное соотношение между параметрами кристаллических решеток и коэффициентами теплового расширения подложки и напыляемой эпитаксиальной пленки, что необходимо для получения последних с высоким структурным совершенством, пригодным для практического применения.

С другой стороны, подложки VaF_2 диэлектрические, поэтому имеется возможность осуществления электрической развязки отдельных функциональных элементов при создании многоэлементных структур. В качестве источника использованы заранее синтезированные образцы $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x = 0,02—0,04$), легированные 0,5—0,8 ат.%-ным галлием.

Структура пленок исследовалась электронографическим, электронно-микроскопическим и рентгенодифрактометрическими методами.

По кривым качания рентгеновской дифракции и электронограммам отражения определялись параметр кристаллической решетки и ориентация пленок. Морфология поверхности пленок исследовалась электронно-микроскопическим методом. В результате исследований определены оптимальные условия роста ($T_{sub} = 663—673$ К; $8—9$ Å/с) пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x = 0,02—0,04$) с высоким кристаллическим совершенством ($W_{1/2} = 90—100''$), растущих плоскостью (111) с параметрами кубической границентрированной решетки $a = (6,11—6,10)$ Å (рис. 1, а, б).

Оптические свойства пленок

Исследован край оптического поглощения пленок толщиной $d = 1\text{—}5$ мкм. Для определения коэффициента поглощения измерены оптическое пропускание $D(\lambda)$ и отражение $R(\lambda)$, и по полученным данным вычислены коэффициенты поглощения $K(\lambda)$.

Измерения спектров отражения показали, что коэффициент отражения $R(\lambda)$ постоянен по всей измеряемой ИК-области спектра (0—12 мкм) при $T = 77\text{—}300$ К, а коэффициент поглощения $K(\lambda)$ вычислялся по формуле

$$K(\lambda) = \frac{1}{d} \ln \left[\frac{1-R^2}{2D} + \sqrt{\frac{(1-R)^4}{4D^2} + R^2} \right],$$

где d — толщина пленок.

Спектральная зависимость коэффициента поглощения эпитаксиальных пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}<\text{Ga}>$ различных химических составов, толщиной $d = 3$ мкм, при 77 К приведена на рис. 3, из которого видно, что с увеличением содержания марганца в исследуемых образцах край спектральной зависимости коэффициента оптического поглощения сдвигается в сторону коротких длин волн. По-видимому, это обусловлено увеличением ширины запрещенной зоны в результате роста количества марганца в исследуемых образцах, как в случае спектральной зависимости фотопроводимости [7]. Из рис. 3 также видно, что коэффициент поглощения хорошо описывается прямой в координатах $K^{1/2}(h\omega)$ в области слабого поглощения эпитаксиальных пленок ($K \leq 10^3 \text{ см}^{-1}$), что характерно для непрямых оптических переходов. Экстраполяцией значений $K^{1/2}(h\omega)$ к $K = 0$ определялась величина ширины запрещенной зоны E_g для каждого состава исследуемых пленок при $T = 77$ К.

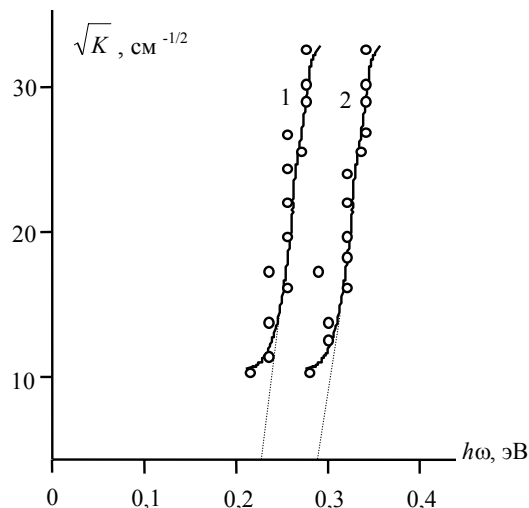
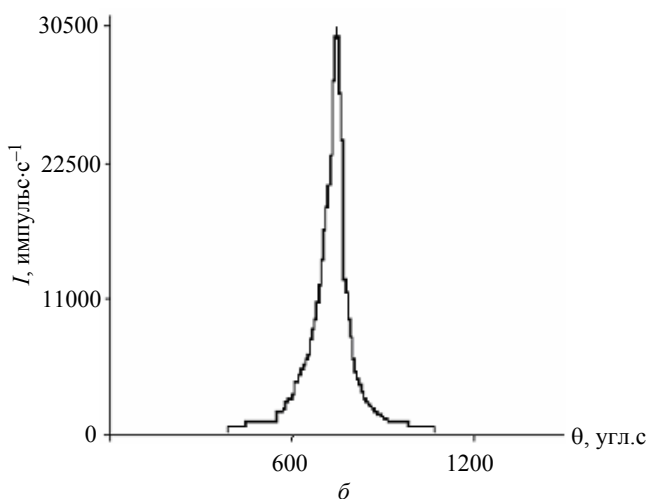


Рис. 3. Спектральная зависимость коэффициента поглощения эпитаксиальных пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}<\text{Ga}>$ при 77 К: 1 — $x = 0,02$; 2 — $x = 0,04$



a



b

Рис. 1. Электронограмма (a) и кривая качания рентгеновской дифракции (б) пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($x = 0,02$)

Эпитаксиальные пленки $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($x = 0,02\text{—}0,04$) с чистой гладкой поверхностью без включения второй фазы (рис. 2), что необходимо для проведения оптических исследований, в соответствии с работами [6—8], получают с использованием дополнительного компенсирующего источника паров Se в процессе роста. Были исследованы оптические свойства полученных эпитаксиальных пленок твердых растворов $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ с различным химическим составом ($x = 0,02\text{—}0,04$).

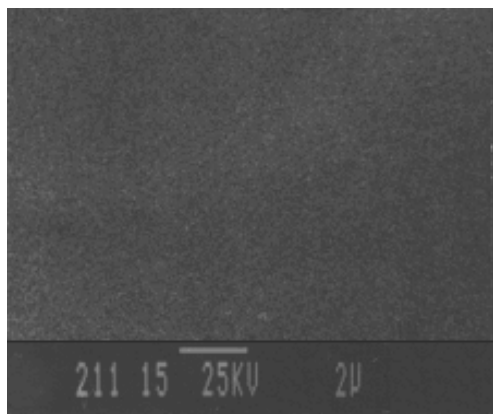


Рис. 2. Электронно-микроскопический снимок поверхности пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($x = 0,02$)

Заклучение

Исследования спектров оптического поглощения эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe<Ga>$ различных толщин ($d = 1—5$ мкм) показали, что величина коэффициента поглощения почти не зависит от d , что, по-видимому обусловлено высоким структурным совершенством и зеркально-гладкой поверхностью полученных пленок.

Установлено, что значения ширины запрещенной зоны E_g исследуемых образцов различного химического состава, определенные из спектральной зависимости коэффициента поглощения ($E_g = 0,24—0,28$ эВ) находятся в удовлетворительном согласии с соответствующими данными, вычисленными из спектральных характеристик фотопроводимости этих твердых растворов [7].

Литература

1. Засавицкий И. И., Ковальчик Л., Мацонашвили Б. Н., Сазонов А. В. Фотолюминесценция полумагнитных полупроводников типа $A^{IV}B^{VI}$ //ФТП. 1988. Т. 22. В. 12. С. 2118—2123.

2. Нуриев И. Р., Фарзалиев С. С., Джалилова Х. Д., Садыгов Р. М. Особенности роста и фотопроводимость эпитаксиальных пленок твердых растворов $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$ //Прикладная физика. 2004. № 4. С. 89—92.

3. Nuriyev I. R., Farzaliyev S. S., Faradjev N. V., Sadigov R. M. Photoelectrical and optical properties of $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$ epitaxial films//Proceedings of SPIE. 2004. V. 5834. P. 246—249.

4. Нуриев И. Р., Фарзалиев С. С., Садыгов Р. М. Рост эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$ на монокристаллах $PbTe_{1-x}Se_x$ //Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. — М., 2004. № 2. С. 110—112.

5. Нуриев И. Р., Садыгов Р. М., Машигин А. А. Фоточувствительные $p-n$ -переходы в эпитаксиальных пленках $Pb_{1-x}Mn_xTe$ //Известия НАН Азербайджана. 2005. Т. XXV. № 2. С. 106—109.

6. Нуриев И. Р., Садыгов Р. М., Фарзалиев С. С., Гаджиев М. Б. Эпитаксиальные пленки $Pb_{1-x}Mn_xTe(Se)$ p -, n -типа проводимости, полученные в едином технологическом цикле// Физика. 2006. Т. XII. № 1—2. С. 52, 53.

7. Нуриев И. Р., Гаджиев М. Б., Садыгов Р. М. Структура и фотоэлектрические свойства эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$ //Прикладная физика. 2007. № 2. С. 132—134.

8. Нуриев И. Р., Гаджиев М. Б., Садыгов Р. М. Эпитаксиальные пленки $Pb_{1-x}Mn_xSe$ и фоточувствительные $p-n$ -гомопереходы на их основе//Физика. 2007. Т. XIII. № 4. С. 121—123.

Статья поступила в редакцию 9 октября 2008 г.

Structure and optical properties of $Pb_{1-x}Mn_xSe<Ga>$ epitaxial films

I. R. Nuriyev, E. Yu. Salayev, M. B. Gadzhiyev, Kh. D. Jalilova, R. M. Sadigov,
A. M. Nazarov, B. Sh. Barkhalov

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

The structure and optical properties of $Pb_{1-x}Mn_xSe<Ga>$ ($x = 0.02—0.04$) epitaxial films grown on BaF_2 (111) substrates in vacuum 10^{-4} Pa by the method of molecular beam condensation have been investigated. Optimum conditions of reception for structurally perfect ($W_{1/2}=80—100$ °) epitaxial films of different chemical composition alloyed with gallium (≤ 0.8 at.%) have been determined. It is shown that the edge of spectral dependence of the optical absorption factor for investigated films is varied by change of x and is shifted to short wavelengths which is explained by increase of band-gap width of $Pb_{1-x}Mn_xSe$ solid solutions with increase in the manganese content.

PACS: 85.60.-q; 68.37.-d

УДК 621.59

Оптимизация криогенного излучающего холодильника

А. И. Абросимов, А. А. Верлан, Г. М. Полищук, К. М. Пичхадзе, В. К. Сысоев
ФГУП «НПО им. С. А. Лавочкина», г. Химки, Россия

Приведена нагрузочная характеристика, полученная в результате полета криогенного излучающего холодильника в составе спутника "Электра-1". Проведено физическое и математическое моделирование распределения температур в холодильнике. Найдено оптимальное соотношение размеров радиаторов, при которых достигается наибольшая холодопроизводительность.

PACS: 07.20.Mc; 07.57.Kp