

УДК 621.383

Особенности роста и фотопроводимость эпитаксиальных пленок твердых растворов $Pb_{1-x}Mn_xTe$ (Ga)

И. Р. Нуриев, С. С. Фарзалиев, Х. Д. Джалилова, Р. М. Садыгов
Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, г. Баку, Республика Азербайджан

*Исследованы особенности роста и фотопроводимость эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ (Ga) ($0 \leq x \leq 0,04$), выращенных на подложках BaF_2 (111, 100) методом эпитаксии из молекулярных пучков. Установлено, что пленки с более совершенной кристаллической структурой ($W_{1/2} = 80-100''$), толщиной 0,5–1 мкм получают при скоростях конденсации $v_k = 5-10 \text{ \AA}/\text{с}$ и $T_s = 400 \text{ }^\circ\text{C}$. Были получены высокоомные пленки *n*-, *p*-типа проводимости и показано, что они являются фоточувствительными. Максимум в спектрах фотопроводимости смещается в сторону более коротких волн с ростом содержания марганца в образцах, что объясняется увеличением ширины запрещенной зоны.*

Халькогениды свинца эффективно используются для изготовления ряда устройств — от термоэлектрических преобразователей до инфракрасных (ИК) детекторов. Твердые растворы халькогенидов свинца и олова являются перспективным материалом для создания приемников ИК-излучения [1]. Предметом интенсивных экспериментальных и теоретических исследований стали полумагнитные твердые растворы халькогенидов свинца, в которых атомы последнего частично замещаются на атомы переходного элемента — марганца с некомпенсированным магнитным моментом [2–6]. Введение

ионов марганца в решетку соединений халькогенидов свинца, например в $PbTe$, и образование твердого раствора $Pb_{1-x}Mn_xTe$ приводят к двум основным эффектам:

сильно возрастает ширина запрещенной зоны E_g ;

в магнитном поле нетрадиционно изменяется энергетический спектр носителей заряда благодаря их обменному взаимодействию с электронами магнитных ионов марганца.

При этом свойствами структур на основе указанных материалов можно управлять с помощью магнитного поля и температуры. В по-

следние годы внимание исследователей широко привлекают и интенсивно изучаются теллуриды свинца и полумагнитные твердые растворы $Pb_{1-x}Mn_xTe$, легированные элементами III группы [7—11]. Легирование этих материалов индием и галлием приводит к качественному изменению фотопроводимости — появлению с ростом x на кинетических кривых наряду с задержанной проводимостью участка сравнительно быстрых релаксаций. Таким образом, перспективы использования этих полупроводников в ИК-фотоэлектронике определяются эффектом долговременной релаксации фотовозбужденных носителей заряда. Названные исследования в основном проводились на массивных монокристаллах указанных твердых растворов. В целях практического применения большой перспективой обладают их эпитаксиальные пленки. Для создания различных приборов ИК-техники, многоэлементных матриц, ИК-фотоприемников на основе данных твердых растворов и их успешного применения в современной оптоэлектронике необходимо получение пленок этих материалов со стабильным составом и заданными воспроизводимыми свойствами.

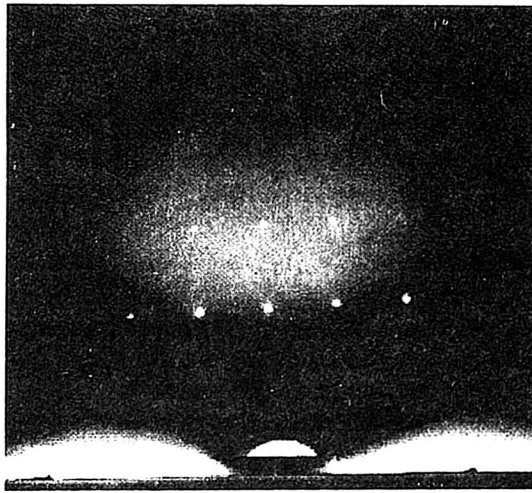
В данной статье исследованы особенности роста и фотопроводимость эпитаксиальных

рентгенодифрактометрическим методами. Для получения пленок с более совершенной структурой и необходимыми значениями электрофизических параметров был использован дополнительный компенсирующий источник паров Te в процессе роста.

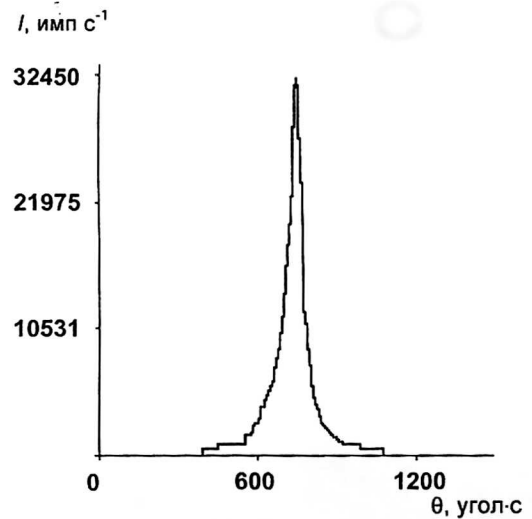
Исследования показали, что эпитаксиальный рост пленок происходит при температурах подложки (T_s) выше $350^\circ C$. Пленки с более совершенной кристаллической структурой ($W_{1/2} = 80-100''$) толщиной $0,5-1$ мкм получают при скоростях конденсации $v_k = 5-10$ Å/с и $T_s = 400^\circ C$ (рис. 1, а, б).

Эпитаксиальные пленки растут по плоскостям (111) и (100) в соответствии с ориентацией подложки.

На электронно-микроскопических снимках пленок наблюдаются черные пятна в виде включений, которые, согласно литературным данным, являются окислом свинца. С применением дополнительного компенсирующего источника паров Te в процессе роста эти пятна исчезают, и пленки приобретают чистую, гладкую поверхность (рис. 2, а, б).



а



б

Рис. 1. Электрограмма (а) и кривая качания рентгеновской дифракции (б) пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ (Ga) ($x = 0,04$)

пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ (Ga), выращенных методом конденсации молекулярных пучков в вакууме 10^{-4} Па. В качестве подложек были использованы свежесколотые грани (111) и полированные пластины (100) VaF_2 . Источником молекулярных пучков служили заранее синтезированные сплавы $Pb_{1-x}Mn_xTe$ (Ga) ($0 \leq x \leq 0,04$) соответствующего химического состава, легированные галлием (0,5—1 ат. %). Структурное совершенство пленок контролировалось электронно-графическим, электронно-микроскопическим и

На пленках, выращенных при более низких скоростях конденсации ($v_k = 1-2$ Å/с), количество черных пятен растет.

Скорость конденсации задавалась температурой источника. Изменяя эту температуру, удалось получить пленки p - и n -типов проводимости.

Установлено, что пленки, полученные при температуре источника ниже $800^\circ C$ обладают p -типом, — а выше n -типом проводимости.

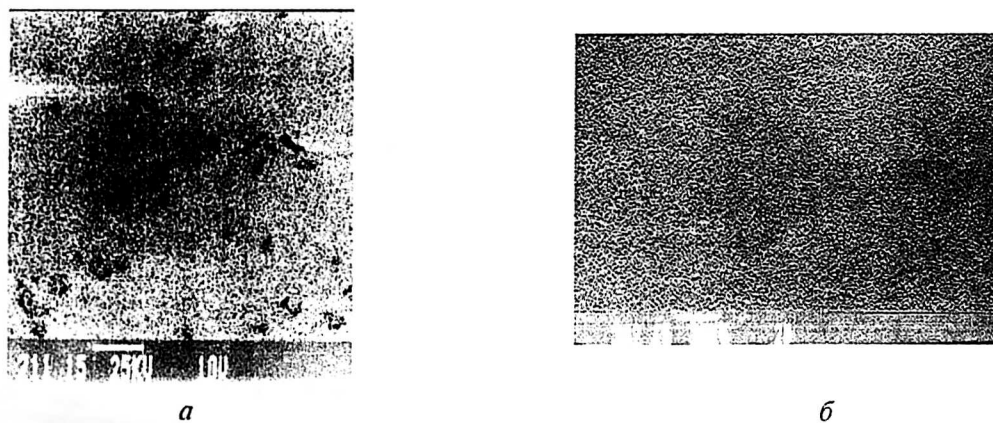


Рис. 2. Электронно-микроскопический снимок поверхности пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe (Ga)$ ($x = 0,04$): а — без компенсации Те; б — с компенсацией Те

Были получены высокоомные пленки *n*- и *p*-типов проводимости с концентрацией $8 \cdot 10^{15}$ – $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью носителей заряда $\mu (77 \text{ K}) = 2$ – $2,5 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, что свидетельствует о высокой кристаллической совершенности. Установлено, что полученные при вышеприведенных условиях эпитаксиальные пленки являются фоточувствительными (рис. 3).

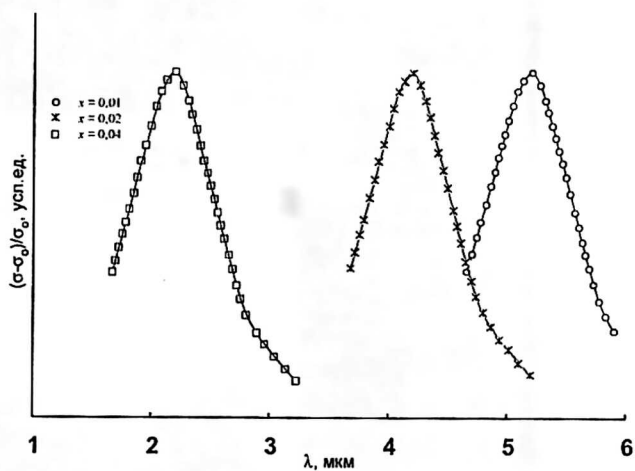


Рис. 3. Спектры фотопроводимости пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe (Ga)$ ($x = 0,01$ – $0,04$), снятые при температуре 77 К

Как видно из рис. 3, спектральные характеристики варьируются посредством изменения *x*. При этом максимум в спектрах фотопроводимости смещается в сторону более коротких волн с ростом содержания марганца в образцах ($x = 0,01$ – $0,04$), что объясняется увеличением ширины запрещенной зоны.

Л и т е р а т у р а

1. Матвеев А. В., Медведев Ю. В., Берченко Н. Н. Термическое вакуумное напыление эпитаксиальных пленок полупроводниковых соединений группы $A^{IV}B^{VI}$ // Зарубежная электронная техника. 1982. № 11. С. 54–115.
2. Андрианов Д. Г., Павлов Н. М., Савельев А. С., Фистуль В. И., Цискаришвили Г. И. Дальнейшая обменная связь между ионами Mn^{2+} в $Pb_{1-x}Mn_xTe$ // ФТП. 1980. Т. 14. Вып. 6. С. 1202–1212.
3. Засавицкий И. И., Ковальчик Л., Мацонашвили Б. Н., Сазонов А. В. Фотолюминесценция полумагнитных полупроводников типа $A^{IV}B^{VI}$ // Там же. 1988. Т. 22. Вып. 12. С. 2118–2123.
4. Гук В. Г., Осипова Е. В., Панушина Т. И. Микротвердость кристаллов $PbTe$ и $Pb_{1-x}Mn_xTe$ // Неорганические материалы. 1992. Т. 28. № 2. С. 340–343.
5. Трофимов В. Т., Аббасов Г. З., Спринхольц Г., Бауэр Г., Засавицкий И. И. Энергетическая диаграмма гетероперехода $Pb_{1-x}Mn_xTe/PbTe$ // ФТП. 1993. Т. 27. Вып. 7. С. 1158–1164.
6. Рогачева Е. И., Сологубенко А. С., Кривулькин И. М. Микротвердость полумагнитных твердых растворов $Pb_{1-x}Mn_xTe$ // Неорганические материалы. 1998. Т. 34. № 6. С. 669–674.
7. Акимов Б. А., Никорич А. В., Рябова Л. И., Широкова Н. А. Переход металл–диэлектрик в твердых растворах $Pb_{1-x}Mn_xTe (In)$ // ФТП. 1989. Т. 23. Вып. 6. С. 1019–1024.
8. Акимов Б. А., Белоконов С. А., Дашевский З. М. и др. Энергетический спектр и фотопроводимость твердых растворов $Pb_{1-x}Mn_xTe (Ga)$ // ФТП. 1991. Т. 25. Вып. 2. С. 250–253.
9. Акимов Б. А., Львова Н. А., Рябова Л. И. Кинетика фотопроводимости в твердых растворах $Pb_{1-x}Mn_xTe (In)$ при изменении их состава// Там же. 1996. Т. 30. Вып. 9. С. 1647–1652.
10. Де Виссер А., Иванчик И. И., Хохлов Д. Р. Особенности магнитосопротивления сплавов $Pb_{1-x}Sn_xTe (In)$ и $Pb_{1-x}Mn_xTe (In)$ в сверхсильных магнитных полях// Там же. Вып. 8. С. 1400–1405.
11. Акимов Б. А., Богоявленский В. А., Рябова Л. И., Васильков В. Н. Особенности фотопроводимости тонких эпитаксиальных слоев *n*- $PbTe (Ga)$ // Там же. 2001. Т. 35. Вып. 5. С. 524–527.

Features of growth and photoconductivity of epitaxial films of the $Pb_{1-x}Mn_xTe (Ga)$ solid solutions

I. R. Nuriyev, S. S. Farzaliyev, Kh. D. Djalilova, R. M. Sadigov

Institute of Photoelectronics National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Republic of Azerbaijan

In the present work the features of growth and photoconductivity of epitaxial films of $Pb_{1-x}Mn_xTe (Ga)$ ($0 \leq x \leq 0.04$) grown on substrates $BaF_2 (111, 100)$ by method of mo-

lecular beam condensation are investigated. Is established, that of film with perfect crystal structure ($W_{1/2} = 80-100''$), thickness $0.5-1 \mu\text{m}$, obtained at speeds of condensation $v_k = 5-10 \text{ \AA} / \text{s}$ and $T_s = 400 \text{ }^\circ\text{C}$. Were have obtained high — resistance films n-, p-types of conductivity and is shown, that they are photosensitive. At that the maximum in spectra of photoconductivity is displaced to shorter waves with growth of the contents of manganese in samples ($x = 0.01-0.04$), that is explained by increase of width of the forbidden band zone.