

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК $Pb_{1-x}Mn_xSe$

И.Р. НУРИЕВ, М.Б. ГАДЖИЕВ, Р.М. САДЫГОВ

*Институт Физики им. академика Г.М. Абдуллаева НАН Азербайджана,
AZ1143, Баку, пр. Г.Джавида, 33*

Molekulyar dəstədən kondensasiya metodu ilə 10^{-4} Pa vakuumda $BaF_2(111)$ altlıqları üzərində $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0.02\div 0.04$) epitaksial təbəqələrinin kristal mükəmməlliyi və səthinin morfolojiyası elektrofiziki xüsusiyyətləri ilə əlaqəli tədqiq olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, təbəqələrin kristal mükəmməlliyi və yükdaşıyıcılarının yürekliyi kondensasiya sürətindən kəskin asılıdır. Yüksək elektrofiziki parametrlili və mükəmməl quruluşlu $Pb_{1-x}Mn_xSe$ epitaksial təbəqələrinin alınmasının optimal şərtləri müəyyən edilmişdir: $T_{alt.}=663\div 673$ K; $T_{Se}=400$ K; $v_k=8\div 9$ E/s, $(n,p)_{77K}=(1\div 5)\cdot 10^{16}$ sm $^{-3}$; $\mu_{n,p}(77K)=(2\div 3)\cdot 10^4$ sm $^2/V\cdot s$.

Представлены результаты исследования структуры и морфологии поверхности эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0.02\div 0.04$), выращенных на подложках $BaF_2(111)$ методом Конденсации молекулярных пучков в вакууме 10^{-4} Па, в корреляции с их электрофизическими свойствами. Показано, что кристаллическое совершенство и подвижность носителей заряда пленок сильно зависит от скорости конденсации. Определены оптимальные условия получения структурно совершенных эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$, с высокими электрофизическими параметрами: $T_n=663\div 673$ K; $T_{Se}=400$ K; $v_k=8\div 9$ Å/сек, $(n,p)_{77K}=(1\div 5)\cdot 10^{16}$ см $^{-3}$, $\mu_{n,p}(77K)=(2\div 3)\cdot 10^4$ см $^2/V\cdot c$.

Crystal perfectness and surface morphology of $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x = 0.02\div 0.04$) epitaxial films, grown on $BaF_2(111)$ substrates in the 10^{-4} Pa vacuum by the molecular beams condensation method were investigated related to their electrophysical features. It is shown that crystal perfectness and mobility of charge carriers are highly depended on the condensation rate. The condition of growth of $Pb_{1-x}Mn_xSe$ epitaxial films with high electrophysical parameters and with perfect structure was defined: $T_{sub.}=663\div 673$ K; $T_{Se}=400$ K; $v_c=8\div 9$ Å/s, $(n,p)_{77K}=(1\div 5)\cdot 10^{16}$ sm $^{-3}$; $\mu_{n,p}(77K)=(2\div 3)\cdot 10^4$ sm $^2/V\cdot c$

Полумангнитные твердые растворы селенида-свинца $Pb_{1-x}Mn_xSe$ как и их аналоги $Pb_{1-x}Sn_xTe$ являются перспективными материалами для инфракрасной (ИК) техники и интенсивно исследуются [1-11]. В результате введения ионов марганца (Mn^{2+}) в решетку соединения селенида свинца- $PbSe$ и образованием твердых растворов $Pb_{1-x}Mn_xSe$ значительно уменьшается параметр решетки, сильно возрастает ширина запрещенной зоны [1, 5, 7-11].

Достижения в области современного приборостроения показывают, что для практического применения большой перспективой обладают эпитаксиальные пленки материалов. В связи с этим, создание различных приборов ИК техники, многоэлементных матриц на основе эпитаксиальных пленок и их успешном применении в современной оптоэлектронике, требует получение структурно совершенных пленок с заданными электрофизическими параметрами.

Известно, что приборы создаются в тонких приповерхностных слоях кристаллов и структурные изменения в них сильно отражаются на физических свойствах и характеристиках приборов изготовленных на их основе [12].

Исходя из вышеизложенного, в настоящей работе представлены результаты исследования структуры и морфологии поверхности эпитаксиальных пленок твердых растворов $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0.02\div 0.04$), в корреляции их электрофизическими свойствами. Пленки выращены методом конденсации молекулярных пучков, на установке УВН71П-3 в вакууме 10^{-4} Па. Подложками служили свежесколотые грани (111) монокристаллов BaF_2 . В качестве источника использовались заранее синтезированные твердые растворы $Pb_{1-x}Mn_xSe$ легированные галлием ($N_{Ga}\leq 0,8$ ат.%) с соответствующим химическим составом. Испарителем источника служила Кнудсеновская ячейка изготовленная из особо чистого графита.

Исследование структуры пленок проводилось электронографическим и рентгенодифрактометрическим методами, морфология поверхности изучалась на растровом электронном микроскопе (09ИОЭ-100-005). Были исследованы пленки выращенные при различных температурах подложки (T_n) и скоростях конденсации (v_k).

Электронографические исследования показали, что при температурах подложки $T_n=523\div 573$ K на свежих сколах $BaF_2(111)$ наблюдается ориентированный рост пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$. При $T_n=573\div 623$ K растут мозаичные монокристаллы исследуемых пленок. Дальнейшее повышение температуры подложки ($T_n=623\div 673$ K) приводит к эпитаксиальному росту пленок с совершенной кристаллической структурой ($W_{1/2}=90\div 100^\circ$) (Рис.1а, б). Расчет, представленной на Рис.1а электронограммы показывает, что пленки $Pb_{1-x}Mn_xSe$ на подложках $BaF_2(111)$ растут в кубической гранецентрированной решетке $a=6,10$ Å, плоскостью (111), повторяя ориентацию подложки. Показано, что кристаллическое совершенство и подвижность носителей заряда полученных эпитаксиальных пленок сильно зависит от скорости конденсации (Рис. 2 а,б). Как видно из представленных рисунок значения полуширины кривого качания рентгеновской дифракции, характеризующей структурного совершенства растущих пленок (минимальное значение полуширины соответствует максимальному кристаллическому совершенству) (Рис.2а) и подвижности носителей заряда (Рис.2б) с увеличением скорости конденсации сначала растут, а затем проходя через максимум уменьшаются. Наилучшие результаты получены в эпитаксиальных пленках растущих при скоростях конденсации $v_k=8\div 9$ Å/сек. Эти пленки имеют совершенную кристаллическую структуру с параметрами кубической гранецентрированной решетки $a=(6,11\div 6,10)$ Å,

соответствующим исходным составам исследуемых твердых растворов.

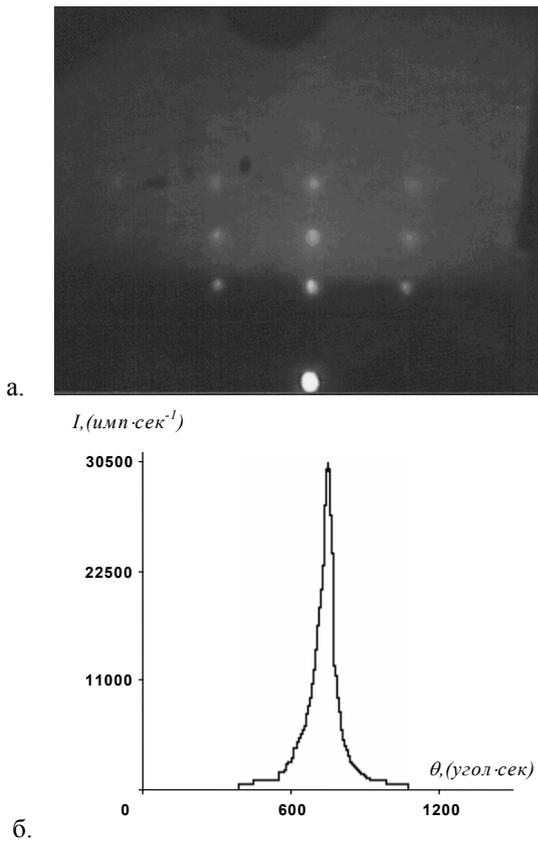


Рис.1. Электронограмма (а) и кривой качания рентгеновской дифракции (б) эпитаксиальных пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($x=0,04$).

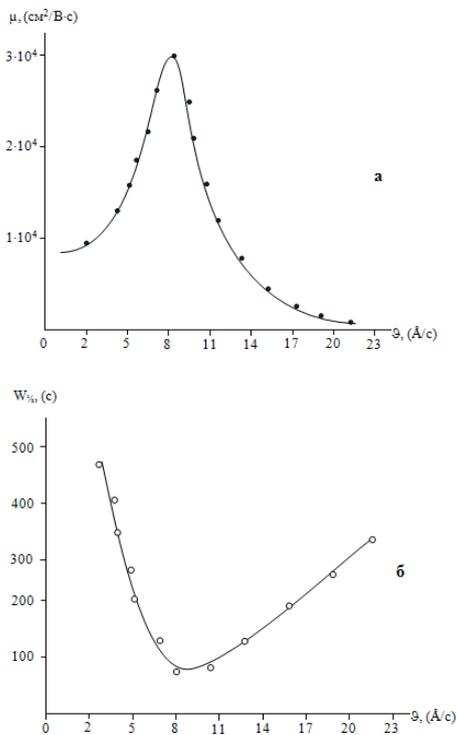


Рис.2. Зависимость подвижности носителей заряда (а) и кристаллического совершенства (б) пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($x=0,04$) от скорости конденсации.

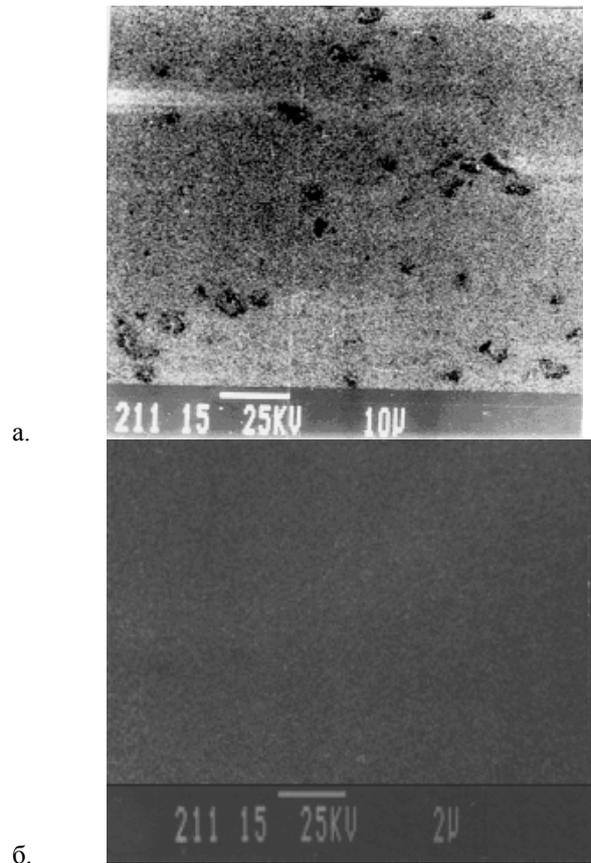


Рис.3. Электронномикроскопический снимок поверхности пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($x=0,04$): а) без компенсации Se, б) с компенсацией Se.

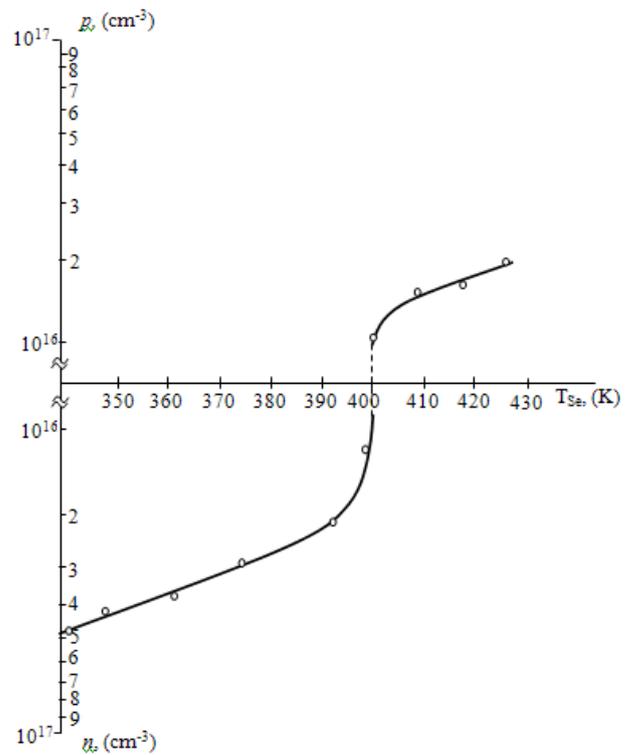


Рис.4. Зависимость концентрации носителей заряда и инверсии типа проводимости пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($x=0,04$), от температуры дополнительного компенсирующего источника паров селена.

Однако, на их электронномикроскопических снимках наблюдаются черные скопления, в качестве включения второй фазы, количество которых растет с уменьшением скорости конденсации и увеличением температуры подложки (Рис.3а). Согласно литературным данным, эти скопления являются окислами, образовавшиеся вследствие захвата кислорода с излишними атомами металла (Pb), в процессе роста. Захват кислорода происходит на поверхности пленок с атомами свинца, которые диффундируют из объема через междоузлия. Излишки атомов свинца образуются в результате частичного разложения исследуемого материала в процессе напыления, вследствие улетучивания легколетучего компонента халькогена (в данном случае Se).

Для устранения наблюдаемых скоплений, пленки легировались дополнительным компенсирующим источником паров Se, в процессе роста. Использование такого источника приводило наряду с исчезновением указанных скоплений и к получению пленок с чистой,

гладкой поверхностью (Рис.3б), также к улучшению структуры и увеличению подвижности носителей заряда.

Регулируя температуру компенсирующего источника Se, удалось получить структурно совершенные ($W_{1/2}=90\div 100''$) пленки $Pb_{1-x}Mn_xSe$ n-, p-типа проводимости с заданными электрофизическими параметрами: $(n,p)_{77K} = (5\div 1) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$; $\mu_{n,p}(77K) = (2\div 3) \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ (Рис.4).

Как видно из рис. 4, процесс компенсации дополнительным источником Se, сопровождается уменьшением концентрации носителей заряда и последующим наступлением инверсии типа проводимости при $T_{Se}=400 \text{ К}$, в исследуемых пленках.

Таким образом, установлены оптимальные условия получения структурно совершенных эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$ n-, p-типа проводимости с высокими электрофизическими параметрами: $T_{II}=663\div 673 \text{ К}$; $T_{Se}=400 \text{ К}$; $v_K=8\div 9 \text{ \AA}/\text{сек}$.

-
- [1]. *И.И.Засавицкий, Л.Ковальчик, Б.Н.Мацонашвили, А.В.Сазонов* Фотолюминесценция полумагнитных полупроводников типа $A^{IV}B^{VI}$ // ФТП. 1988. Т. 22. В. 12. С. 2118-2123.
- [2]. *Б.А.Акимов, А.В.Никорич, Л.Рябова, Н.А.Широкова* Переход металл – диэлектрик в твердых растворах $Pb_{1-x}Mn_xTe$ (In)//ФТП.1989.Т.23. В. 6. С. 1019-1024.
- [3]. *Б.А.Акимов, С.А.Белоконь, З.М.Дашевский и др.* Энергетический спектр и фотопроводимость твердых растворов $Pb_{1-x}Mn_xTe$ (Ga) // ФТП. 1991. Т. 25. В. 2. С. 250-253.
- [4]. *А.Де Виссер, И.И.Иванчик, Д.Р.Хохлов* Особенности магнитосопротивления сплавов $Pb_{1-x}Sn_xTe$ (In) и $Pb_{1-x}Mn_xTe$ (In) в сверхсильных магнитных полях // ФТП. 1996. Т. 30. В. 8. С. 1400-1405.
- [5]. *Е.И.Рогачева, А.С.Сологубенко, И.М.Кривулькин* Микротвердость полумагнитных твердых растворов $Pb_{1-x}Mn_xTe$ // Неорганические материалы. 1998. Т. 34. № 6. С. 669-674.
- [6]. *И.Р.Нуриев, С.С.Фарзалиев, Р.М.Садыгов* Рост эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ (Ga) на монокристаллах $PbTe_{1-x}Se_x$ // Поверхность, 2004, №2, с.110-112.
- [7]. *И.Р.Нуриев, С.С.Фарзалиев, Х.Д.Джалилова, Р.М.Садыгов* Особенности роста и фотопроводимость эпитаксиальных пленок твердых растворов $Pb_{1-x}Mn_xTe$ (Ga) // Прикладная физика, Москва, 2004, № 4, с.89-92.
- [8]. *И.Р.Нуриев, Р.М.Садыгов, А.А.Машигин* Фоточувствительные p-n переходы в эпитаксиальных пленках $Pb_{1-x}Mn_xTe$ // Azərbaican MEA-nın Xəbərləri, Fizika-riyaziyyat və texnika seriyası, 2005, с.XXV, №2, s.106-108.
- [9]. *И.Р.Нуриев, С.С.Фарзалиев, Н.В. Фараджев Р.М.Садыгов* Фотоэлектрические и оптические свойства эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ (Ga) //Прикладная физика, Москва, 2006. № 4. с.106-109.
- [10]. *И.Р.Нуриев, М.Б.Гаджиев, Р.М.Садыгов* Эпитаксиальные пленки $Pb_{1-x}Mn_xSe$ и фоточувствительные p-n гомопереходы на их основе // Fizika, 2007, Cild XIII, №4, s.121-123.
- [11]. *И.Р.Нуриев, М.Б.Гаджиев, Р.М.Садыгов, А.М.Назаров* Структура и фотоэлектрические свойства эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$ // Прикладная Физика. 2007, №2, с.132-135.
- [12]. *А.М.Афанасьев, П.А.Александров, Р.М.Имамов* Рентгенодифракционная диагностика субмикронных слоев. М.: Наука, 1989, 152с.