

ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ ПЛЕНКИ $Pb_{1-x}Mn_xSe$ И ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ $p-n$ ГОМОПЕРЕХОДЫ НА ИХ ОСНОВЕ

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

*Институт физики НАН Азербайджана,
AZ1143, Баку, пр.Г.Джавида, 33*

Təqdim olunan işdə molekulyar dəstədən kondensasiya metodu ilə BaF_2 (111) altlıqları üzərində alınmış $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,01$) epitaksial təbəqələrinin böyümə xüsusiyyətləri tədqiq olunmuşdur. Əlavə Se mənbəyinin temperaturunu tənzimləməklə verilmiş elektrofiziki parametrləri: $\mu_{n,p}(77K)=(2\div 3)\cdot 10^4 \text{ sm}^2/V\cdot\text{san}$; $(n,p_{77K})=6\cdot 10^{16}\div 2\cdot 10^{17} \text{ sm}^{-3}$ və yüksək kristal mükəmməlliyə ($W_{1/2}=80\div 100\%$) malik p və n tip keçiricilikli $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,01$) epitaksial təbəqələrinin alınması texnologiyası işlənilib hazırlanmış və onların əsasında $p-n$ homokeçidlər yaradılmışdır. $p-n$ keçidlərin hazırlanması vahid texnoloji şəraitdə, vakuunun pozulmaması şərti ilə həyata keçirilmişdir. Alınmış $p-n$ keçidlərin əksəriyyəti İK oblastın $3\div 5$ mkm spektrində həssasdırlar.

В настоящей работе представлены результаты исследования роста, структуры эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,01$) выращенных на подложках BaF_2 (111), методом конденсации молекулярных пучков в вакууме 10^{-4} Па и создания $p-n$ гомопереходов на их основе. Применением дополнительного источника паров Se и регулированием температуры в процессе роста, разработана технология получения пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,01$) p и n - типа проводимости с заданными электрофизическими параметрами $\mu_{n,p}(77K)=(2\div 3)\cdot 10^4 \text{ см}^2/V\cdot\text{сек}$; $(n,p_{77K})=6\cdot 10^{16}\div 2\cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и высоким кристаллическим совершенством ($W_{1/2}=80\div 100\%$). В едином технологическом цикле, не нарушая вакуума, на основе полученных пленок, изготовлены $p-n$ гомопереходы фоточувствительные в области спектра $3\div 5$ мкм..

In this work are investigated peculiarities of the growth of $Pb_{1-x}Mn_xSe$ epitaxial films, grown on BaF_2 (111) substrate by the molecular beam condensation method. By regulation of the temperature of additional source of Se has been established technology for obtaining structural-perfect films of $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,01$) with various n - and p -type conductivity and fixed parameters $\mu_{n,p}(77K)=(2\div 3)\cdot 10^4 \text{ cm}^2/V\cdot\text{s}$; $(n,p_{77K})=6\cdot 10^{16}\div 2\cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. On the base of obtained films have been created $p-n$ junctions at unite technological cycle not breaking vacuum. Many of the obtained $p-n$ junctions have been photosensitive in IR area of the spectrum $3\div 5\mu\text{m}$.

В течении последних 30 лет полумагнитные твердые растворы халькогенидов свинца, в которых атомы свинца частично замещаются на атомы переходного элемента – марганца с некомпенсированным магнитным моментом, широко привлекают внимание исследователей и интенсивно изучаются [1-10].

В этих материалах, в магнитном поле, необычно изменяется энергетический спектр носителей заряда, благодаря чему создается возможность управления свойствами структур на их основе, с помощью магнитного поля и температуры. Литературные данные свидетельствуют о том, что среди этих материалов более широко исследованы полумагнитные твердые растворы $Pb_{1-x}Mn_xTe$. Получены и исследованы их массивные монокристаллы и эпитаксиальные пленки. В [9], на основе эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0,01$) выращенных на подложках BaF_2 (111), созданы фоточувствительные $p-n$ гомопереходы.

Твердые растворы $Pb_{1-x}Mn_xSe$ исследованы сравнительно мало. Однако, следует отметить, что полумагнитные твердые растворы $Pb_{1-x}Mn_xSe$, как их аналоги $Pb_{1-x}Mn_xTe$, также являются перспективными материалами для инфракрасной (ИК) техники.

В настоящей работе представлены результаты исследования особенности роста, структуры, электрофизических, фотоэлектрических свойств эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,01$) и создание фоточувствительных $p-n$ гомопереходов на их основе.

Известно, что для создания различных приборов и многоэлементных матриц на основе полупроводниковых пленок и их успешном применении в современной оптоэлектронике, требуются пленки со стабильными свойствами. В связи с этим необходимо разработка технологии получения эпитаксиальных пленок с

заданными структурными, электрофизическими и фотоэлектрическими параметрами.

Эпитаксиальные пленки $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,01$) выращены методом конденсации молекулярных пучков в вакууме 10^{-4} Па, на стандартной установке типа УВН-71П-3. Подложками служили свежие, естественные сколы монокристаллов BaF_2 (111). Эти подложки диэлектрические, основным достоинством которых является возможность осуществления электрической развязки отдельных функциональных элементов при создании многоэлементных структур. С другой стороны, имеются удовлетворительные соотношения между параметрами решетки и коэффициентов теплового расширения подложки и выращенной эпитаксиальной пленки, что необходимо для получения пленок с совершенной структурой и требуемыми параметрами.

В качестве источника использованы заранее синтезированные образцы $Pb_{1-x}Mn_xSe$ с химическим составом ($x=0,01$).

Структурное совершенство пленок контролировалось электронографическим и рентгенодифрактометрическим методами. Морфология поверхности пленок исследовалась методом электронной микроскопии.

Параметр решетки и ориентация пленок определялись по кривым качания рентгеновской дифракции и по электронограммам отражения.

Определены оптимальные условия ($v_k=8\div 9 \text{ Å/сек}$; $T_n=663\div 673 \text{ K}$) получения эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,01$) с совершенной кристаллической структурой ($W_{1/2}=80\div 100\%$), плоскостью роста (111), параметром кубической гранцентрированной решетки $a=6,11 \text{ Å}$ и с подвижностью носителей заряда $\mu_{n,p}(77K)=(2\div 3)\cdot 10^4 \text{ см}^2/V\cdot\text{сек}$ (Рис.1). Однако, в соответствии [11], на электронномикроскопических

снимках этих пленок, наблюдаются черные скопления, количество которых растет с уменьшением скорости конденсации и увеличением температуры подложки.



Рис.1. Электронограмма эпитаксиальной пленки $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,01$).

Согласно литературным данным, эти скопления являются окислами, образовавшиеся вследствие захвата кислорода с излишними атомами металла, в процессе роста. Захват кислорода происходит на поверхности пленок с излишними 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, к улучшению структуры и увеличению подвижности носителей заряда в полученных пленках.

Таким образом полученные пленки имеют чистую, гладкую поверхность без включения второй фазы. Регулируя температуры компенсирующего источника Se, удалось получить эпитаксиальные пленки n и p-типа проводимости в соответствии [10], с концентрацией носителей заряда $(n, p_{77K}) = 6 \cdot 10^{16} \div 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Далее, на основе указанных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,01$) n и p-типа проводимости, были получены p-n переходы. Обычно, создания p-n переходов затрудняется образованием различного рода поверхностных состояний, которые резко снижают параметры изготовленных на их основе приборов [12-14]. Изготовление активных элементов в едином технологическом цикле уменьшает плотности поверхностных дефектов. Учитывая это обстоятельство, p-n гомоструктуры были получены в едином технологическом цикле, без нарушения вакуума, в виде пересекающихся полос, согласно метода разработанного в [13].

В соответствии указанного метода, после осаждения первой системы полос n- $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,01$) заслонка закрывалась и через определенное время, необходимого для установления температурного режима и перемещение маски, заслонка повторно открывалась и осаждалась вторая система полос p- $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,01$).

Полученные по вышеприведенному методу, p-n гомоструктуры, обладали выпрямляющим свойством. Вольтамперная характеристика (ВАХ) одного из этих p-n гомопереходов представлена на рис.2.

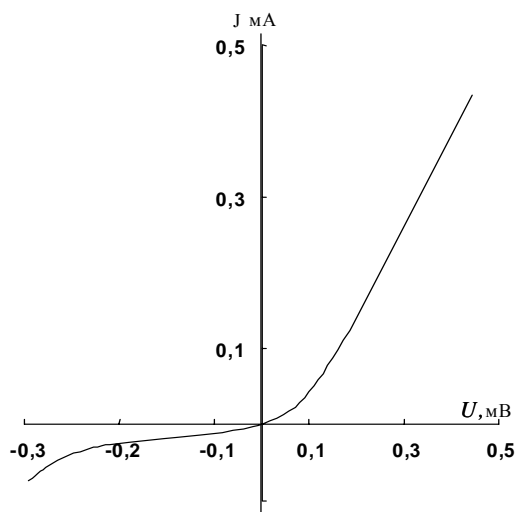


Рис.2. ВАХ p-n гомоперехода в пленках $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,01$).

ВАХ гомопереходов при малых смещениях в прямом направлении, описывается уравнением $J=J_0 \exp(eu/\beta kT)$, где $\beta=1,5 \div 2$, что характерно для генерационно-рекомбинационного механизма протекания тока через область пространственного заряда. Значение величины $R_0 A = 25 \div 40 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ (R_0 дифференциальное сопротивление при нулевом смещении; A площадь p-n перехода), характеризующей данного перехода, сравнимо с соответствующей величиной для лучших диодов на основе PbSe, приведенных в литературе. Большинство изготовленных p-n гомопереходов оказались фоточувствительными в ИК-области спектра.

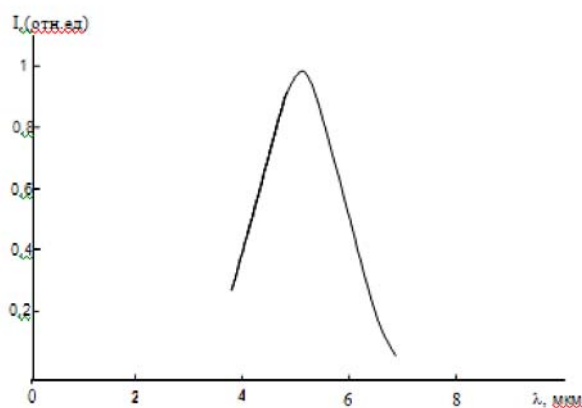


Рис.3. Спектральная характеристика p-n гомоперехода в пленках $Pb_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0,01$).

Спектральная характеристика полученного p-n гомоперехода представлена на рис.3., согласно которой максимальная фоточувствительность наблюдается при $\lambda = 5 \text{ мкм}$.

- [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, 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.
- [3]. *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.
- [4]. *Б.А.Акимов, Н.А.Львова, Л.И.Рябова* Кинетика фотопроводимости в твердых растворах $Pb_{1-x}Mn_xTe$ (In) при изменении их состава // ФТП. Т. 30. В. 9. 1996. С. 1647-1652.
- [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.П.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.
- [7]. *I.R. Nuriyev, S.S.Farzaliyev, N.V.Faradjev, R.M.Sadigov* Photoelectrical and optical properties of $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$ epitaxial films // Proceedings of SPIE. 2004. V. 5834. PP. 246-249.
- [8]. *И.П.Нуриев, С.С.Фарзалиев, Р.М.Садыгов* Рост эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ (Ga) на монокристаллах $PbTe_{1-x}Se_x$ // «Поверхность». Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. Москва. 2004. № 2. С. 110-112.
- [9]. *И.П.Нуриев, Р.М.Садыгов, А.А.Машнин* Фоточувствительные $p-n$ переходы в эпитаксиальных пленках $Pb_{1-x}Mn_xTe$ // Известия НАН Азербайджана. 2005. Т. XXV. № 2. С. 106-109.
- [10]. *I.R.Nuriyev, R.M.Sadigov, S.S.Farzaliyev, M. Hacıyev* Vahid texnoloji şəraitdə alınmış p,n -tip keçiriciliyə malik $Pb_{1-x}Mn_xTe(Se)$ epitaksial təbəqələri // Azərbaycan MEA Fizika. Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri bölməsi, 2006, c.XII, №1-2, s.52-53.
- [11]. *M.V.Hacıyev* $Pb_{1-x}Mn_xSe$ bərk məhlulları epitaksial təbəqələrinin kristall quruluşu və səthinin morfolojiyası // Azərbaycan MEA aspirantların elmi konfransının materialları, 2006, I hissə, s.62-64.
- [12]. *И.П.Нуриев, Р.Н.Набиев* Фоточувствительные $p-n$ переходы на основе эпитаксиальных пленок $PbS(Se)$ // ДАН Аз.ССР, 1987, т.43, №2, с.21-24.
- [13]. *С.А.Семилетов, Е.В.Ракова, Ф.А.Заитов, Н.А.Сулейманов* Получение фоточувствительных $p-n$ переходов в пленках $PbTe$ методом конденсации в вакууме // Микроэлектроника, 1984, т.13, №3, с.280-281.
- [14]. *Р.Дж. Кеус и др.* Фотоприемники видимого и ИК-диапазонов. М.: «Радио и связь», 1958.

Daxil olunub: 01.07.2007