

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ p-n ГОМОПЕРЕХОДЫ НА ОСНОВЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК $Pb_{1-x}Sn_xSe$

А.М. НАЗАРОВ, Н.В. ФАРАДЖЕВ

Институт Физики им. академика Г.М.Абдуллаева

НАН Азербайджана

AZ- 1143, Баку, пр. Г.Джавида 33

Təqdim olunan işdə $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.02$) epitaksial təbəqələrinin 10^{-4} Pa vakuumda molekulyar dəstədən kondensasiya metodu ilə, BaF_2 (111) altlıqları üzərində böyümə xüsusiyyətləri və kristal quruluşu tədqiq edilmişdir. Böyümə prosesində kompensəedici əlavə Se mənbəindən istifadə etməklə, mükəmməl quruluşlu ($W_{1/2}=100\div 120^\circ$), p, n tip keçiriciliyə və tələb olunan elektrofiziki parametrlərə malik $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.02$) təbəqələrinin alınmasının optimal şərtləri müəyyən edilmişdir: $T_n=700$ K; $T_{Se}=420$ K; $v_k=7\div 8$ Å/сек, $(n,p)_{77K}=(2\div 3)\cdot 10^{17}$ см⁻³; $\mu_{n,p(77K)}=(2,5\div 2,8)\cdot 10^4$ см²/В·с. Vahid texnoloji şəraitdə alınmış təbəqələr əsasında spektrin İnfraqırmızı (İQ) oblastında fətohəssas p-n homoqəçidlər yaradılmışdır.

В настоящей работе представлены результаты исследования особенностей роста и структуры эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.02$) выращенных на подложках BaF_2 (111) методом конденсации молекулярных пучков в вакууме 10^{-4} Па. Применением дополнительного компенсирующего источника паров Se в процессе роста, определены оптимальные условия получения структурно совершенных ($W_{1/2}=100\div 120^\circ$) пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.02$) p и n-типа проводимости с заданными электрофизическими параметрами: $T_n=700$ K; $T_{Se}=420$ K; $v_k=7\div 8$ Å/сек, $(n,p)_{77K}=(2\div 3)\cdot 10^{17}$ см⁻³; $\mu_{n,p(77K)}=(2,5\div 2,8)\cdot 10^4$ см²/В·с. На основе пленок, полученных в едином технологическом цикле, созданы p-n гомопереходы, фоточувствительные в ИК-области спектра.

In the present work results of research of features of growth and structure of $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.02$) epitaxial films grown on BaF_2 (111) substrates by the method of condensation of molecular beams in vacuum 10^{-4} Pa have been submitted. By the application of an additional compensating source of Se vapors during growth, optimum conditions of reception structurally perfect ($W_{1/2}=100\div 120^\circ$) $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.02$) films of p- and n-type conductivity with a set of electrophysical parameters: $T_n=700$ K; $T_{Se}=420$ K; $v_k=7\div 8$ Å/s, $(n,p)_{77K}=(2\div 3)\cdot 10^{17}$ см⁻³; $\mu_{n,p(77K)}=(2,5\div 2,8)\cdot 10^4$ см²/V·s have been determined. On the basis of the films received in a uniform work cycle p-n homojunctions photosensitive in IR-region of the spectrum have been created.

Интенсивное развитие инфракрасной (ИК) техники привело к необходимости получения структурно совершенных материалов с узкой шириной запрещенной зоны. Совершенствование технологических процессов получения таких материалов и изготовление приборов на их основе наиболее выгодно отличает в этой сфере твердых растворов $Pb_{1-x}Sn_xSe$. Опубликованы ряд работ [1-5] посвященных получению эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.05\div 0.07$) на различных подложках и созданию на их основе фоточувствительных p-n гетеропереходов.

Настоящая работа посвящена исследованию особенностей роста и структуры эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.02$) выращенных на подложках BaF_2 (111) методом конденсации молекулярных пучков в вакууме 10^{-4} Па и созданию фоточувствительных p-n гомопереходов на их основе. Отметим, что получение эпитаксиальных пленок твердых растворов $Pb_{1-x}Sn_xSe$ на диэлектрических подложках BaF_2 представляет большой научный и практический интерес. При этом чистота и совершенство поверхности подложек играет доминирующую роль. Известно, что различие параметров решеток подложки и наращиваемой пленки затрудняет получение пленок с совершенной структурой. Рост таких пленок имеет много особенностей. Однако, близость параметра решетки BaF_2 ($6,19$ Å) к параметру решетки $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.02$) ($6,10$ Å) дает возможность получения пленок с более совершенной кристаллической структурой. Близость значений коэффициентов термического расширения указанных материалов ($\alpha_{BaF_2}=1,8\cdot 10^{-6}$ K⁻¹;

$\alpha_{Pb_{1-x}Sn_xSe}=2,0\cdot 10^{-6}$ K⁻¹ при 27°C), также способствовала получению структурно совершенных пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$.

Структура пленок исследовалась электронографическим (ЭМР-100), рентгендифракционным (TRC), морфология поверхности электронномикроскопическим (09ИОЭ-100-005) методами.

В качестве подложек были использованы свежесколотые грани (111) BaF_2 . Для очищения поверхности от возможных загрязнений эти подложки перед процессом напыления отжигались в вакууме 10^{-4} Па при 850 K в течении 30 минут. После отжига температура подложки снижался до температуры эпитаксии и затем производился процесс роста пленок.

Исследование особенностей роста эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.02$) проводилось при температурах подложки ($450\div 700$ K). В качестве источника были использованы заранее синтезированные твердые растворы $Pb_{1-x}Sn_xSe$ соответствующим химическим составом. Исследования показали, что в пленках выращенных при температурах подложки ниже 600 K эпитаксиальный рост не наблюдается. Полученные в таких условиях пленки обладали малой подвижностью носителей заряда ($800\div 1000$ см²/В·с). С повышением температуры подложки до 650 K, при скоростях конденсации $7\div 8$ Å/с происходит ориентированный рост кристалликов. Пленки имеют монокристаллическую кубическую структуру с параметром решетки

$a_{Pb_{1-x}Sn_xSe} = 6,10 \text{ \AA}$ и растут плоскостью (111) повторяя ориентации подложки (рис.1).

условиями являются: $v_k = 7 \div 8 \text{ \AA/c}$; $T_{II} = 700 \text{ K}$; $T_{Se} = 420 \text{ K}$.

Далее, на основе пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.02$) n и p-типа проводимости, были получены p-n переходы.

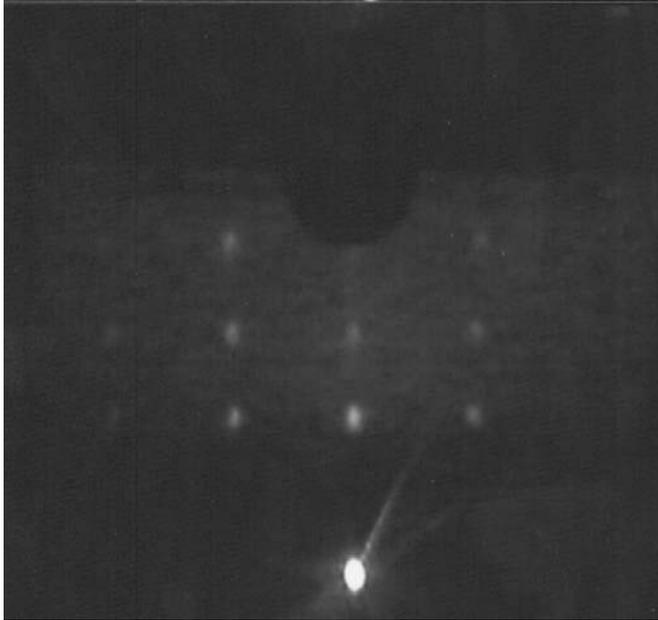


Рис.1. Электронограмма эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.02$).

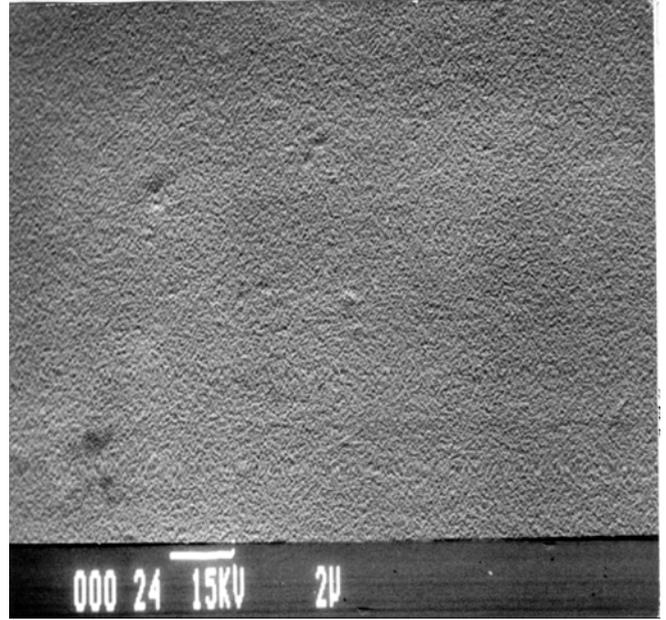


Рис.2. Электронномикроскопический снимок поверхности пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.02$).

При этом совершенство пленок также улучшается, что подтверждается увеличением подвижности носителей заряда до $(0,8 \div 1) \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В-сек}$. Дальнейшее увеличение температуры подложки до 700 К приводит к повышению совершенства пленок и лучшие образцы имели следующие параметры: подвижность носителей заряда $\mu_{n(77K)} = (1,5 \div 2) \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В-сек}$; концентрация носителей заряда $(n)_{77K} = (5 \div 6) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, полуширина кривой качания рентгеновской дифракции $W_{1/2} = 150'' \div 160''$.

Следует отметить, что на электронномикроскопических снимках пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ полученных при вышеприведенных условиях, наблюдаются черные скопления, свидетельствующие о наличии включений второй фазы на их поверхности. Для устранения этих скоплений в процессе выращивания пленок был использован дополнительный компенсирующий источник Se. Применение такого источника в процессе роста, приводило к уменьшению концентрации и увеличению подвижности носителей заряда.

При температуре компенсирующего источника Se 400 К черные скопления полностью исчезают, пленки приобретают зеркально-гладкую поверхность, становятся более совершенными ($W_{1/2} = 100'' \div 120''$) и обладают высокими значениями подвижности носителей заряда $\mu = (2,5 \div 2,8) \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В-сек}$ (рис.2). Концентрация носителей заряда в этих пленках составляла $n_{(77K)} = (2 \div 3) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Увеличение температуры компенсирующего источника до 420 К приводит к инверсии типа проводимости пленок с n-типа на p-тип. Таким образом, в результате проведенных исследований можно считать установленным, что для получения совершенных эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.02$) p-типа проводимости на подложках BaF_2 оптимальными

обычно, создания p-n переходов затрудняется образованием различного рода поверхностных состояний, которые резко снижают параметры изготовленных на их основе приборов. 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 [6].

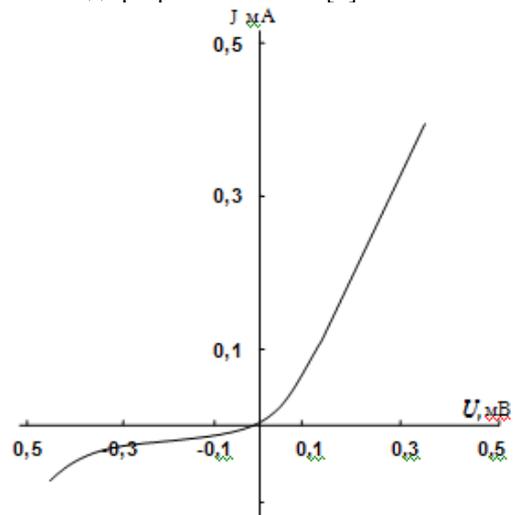


Рис.3. ВАХ p-n гомоперехода в пленках $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.02$).

В соответствии указанного метода, после осаждения первой системы полос $n-Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0.02$) заслонка закрывалась и через определенное время, необходимого для установления температурного режима и

перемещение маски, заслонка повторно открывалась и осаждалась вторая система полось p-Pb_{1-x}Sn_xSe (x=0.02). Полученные по вышеприведенному методу, p-n гомоструктуры, обладали выпрямляющим свойством.

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) одного из этих p-n гомопереходов представлена на рис.3.

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 $R_0A=5 \div 6 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ (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. Спектральная характеристика полученного p-n гомоперехода представлена на рис.4., согласно которой максимальная фоточувствительность наблюдается при $\lambda=6 \text{ мкм}$.

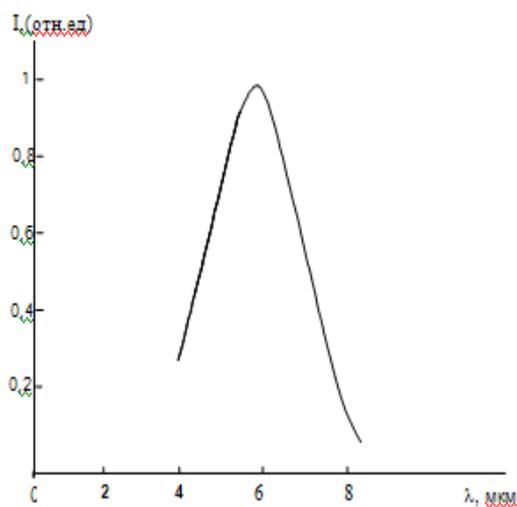


Рис.4. Спектральная характеристика p-n гомоперехода в пленках $Pb_{1-x}Sn_xSe$ (x=0.02).

-
- [1]. *И.Р.Нуриев, А.К.Шарифова* Фоточувствительные p-n переходы в пленках PbSe // Специальная электроника. 1988, вып.2, с.56-58.
 - [2]. *Э.Ю.Салаев, И.Р.Нуриев, Х.Д.Джалилова, Н.В.Фараджев* Особенности роста и электрофизические свойства эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe:In$ // Прикладная Физика. 1999, №3, с.112-115.
 - [3]. *И.Р.Нуриев, Н.В.Фараджев, Х.Д. Джалилова* Фоточувствительные эпитаксиальные слои $Pb_{1-x}Sn_xSe$ легированные индием // Известия НАНА. 2000, вып.20, №5, с.25-28.
 - [4]. *Е.Ю.Салаев, Н.Р.Нуриев, Х.Д.Джалилова, Н.В.Фараджев* Optical properties of $Pb_{1-x}Sn_xSe:In$ epitaxial films. Proceedings of SPIE, 2000, Vol. 4340, pp.213-216.
 - [5]. *И.Р.Нуриев, Х.Д.Джалилова, Н.В.Фараджев, А.М.Назаров* Isoperiodic heterojunctions based on $Pb_{1-x}Sn_xSe$, $PbSe_{1-x}S_x$ epitaxial films // Fizika. 2001, Cild VII, №4, s.33-35.
 - [6]. *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.