

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ p-n ПЕРЕХОДЫ В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНКАХ $Pb_{1-x}Mn_xTe$

И.Р.НУРИЕВ, Р.М.САДЫГОВ, А.А.МАШНИН

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

В настоящей работе исследованы особенности роста эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0,005; 0,01$) выращенных на подложках BaF_2 (111), методом конденсации молекулярных пучков. Регулированием температуры дополнительного источника паров Te разработана технология получения пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0,005; 0,01$) p и n- типов проводимости с заданными электрофизическими параметрами $\mu_{n,p}(77K)=2,5\div 3\cdot 10^4$ см²/В·сек; $(n,p_{77K})=5\cdot 10^{16}\div 1\cdot 10^{17}$ см⁻³) и высоким кристаллическим совершенством ($W_{1/2}=90\div 100^\circ$) и на их основе созданы p-n гомопереходы. Изготовление p-n переходов проводилось в едином технологическом цикле, не нарушая вакуума. Большинство изготовленных пленок оказалось фоточувствительными в ИК области спектра (3÷7мкм). Установлено, что максимум спектральной фоточувствительности p-n гомопереходов смещается в сторону более коротких волн с ростом содержания марганца, что объясняется увеличением ширины запрещенной зоны.

Полупроводниковые соединения типа $A^{IV}B^{VI}$ и твердые растворы на их основе находят широкое применение при изготовлении различных приборов инфракрасной техники (ИК) [1]. Разработан ряд методов для получения структурно совершенных, однородных эпитаксиальных пленок этих материалов с заданными толщиной, составом и электрофизическими параметрами. В последние годы внимание исследователей широко привлекают и интенсивно изучаются полумангнитные твердые растворы $Pb_{1-x}Mn_xTe$. Введение ионов марганца в решетку соединений халькогенидов свинца, например в $PbTe$, и образование твердого раствора $Pb_{1-x}Mn_xTe$ приводит к двум основным эффектам [2-6]:

- сильно возрастает ширина запрещенной зоны E_g ;
- в магнитном поле необычно изменяется энергетический спектр носителей заряда благодаря их обменному взаимодействию с электронами магнитных ионов марганца.

При этом свойствами структур на основе этих материалов можно управлять с помощью магнитного поля и температуры. Перспективы использования этих полупроводников в ИК фотоэлектронике определяются эффектом долговременной релаксации возбужденных носителей заряда [7-8].

Эти исследования в основном проводились на массивных монокристаллах указанных халькогенидов. Однако, на практике наиболее перспективны их эпитаксиальные пленки. Известно что, для изготовления различных приборов ИК техники, многоэлементных матриц и их успешном применении в современной оптоэлектронике, требуются пленки со стабильными свойствами. В связи с этим необходимо разработка технологии получения структурносовершенных эпитаксиальных пленок с заданными структурными, электрофизическими и фотоэлектрическими параметрами.

В настоящей работе исследуются особенности роста эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0,005; 0,01$), выращенных на подложках BaF_2 (111) методом конденсации молекулярных пучков в вакууме 10^{-4} Па, и получение фоточувствительных p-n переходов на их основе.

С этой целью были разработаны оптимальные условия получения структурно совершенных ($W_{1/2}=90\div 100^\circ$) эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ p и n-типов

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ p-n ПЕРЕХОДЫ В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНКАХ $Pb_{1-x}Mn_xTe$ проводимости толщиной $0,5 \div 1$ мкм с концентрацией $((n,p)_{77K}) = 5 \cdot 10^{16} \div 1 \cdot 10^{17}$ см³) и подвижностью $(\mu_{n,p}(77K)) = 2,5 \div 3 \cdot 10^4$ см²/В·сек) носителей заряда. Эпитаксиальные пленки выращивались на подложках VaF_2 (111) при скоростях конденсации $v_k = 8 \div 10$ Å/сек и температурах подложек $T_{п} = 653 \div 673$ К (Рис.1.а, б).

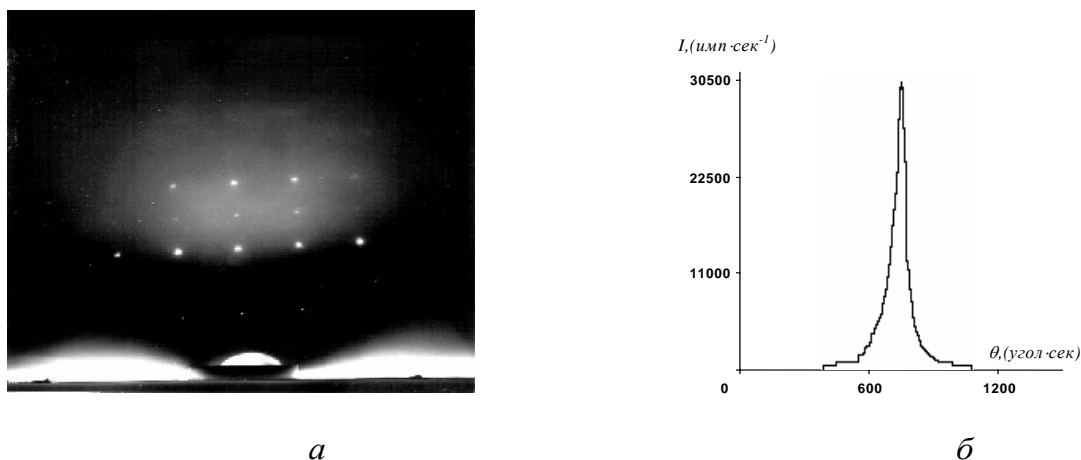


Рис.1.
Эпитаксиальная пленка $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0,005$):
а - электронограмма; б - кривая качания рентгеновской дифракции.

Структурное совершенство пленок контролировалось электронографическим, электронномикроскопическим и рентгенодифрактометрическим методами. С целью получения пленок n и p-типа проводимости с совершенной структурой и необходимыми электрофизическими параметрами был использован дополнительный компенсирующий источник паров Te в процессе роста [9-10].

Далее были получены p-n переходы на основе этих пленок. Известно, что задача создания p-n-переходов затрудняется образованием различного рода поверхностных состояний, которые резко снижают характеристики изготовленных на их основе приборов [11-13]. Одним из методов уменьшения плотности поверхностных дефектов является изготовление активных элементов в едином технологическом цикле. Таким образом, p-n гомоструктуры в виде пересекающихся полос были получены в едином технологическом цикле без нарушения вакуума. После осаждения первой системы полос n- $Pb_{1-x}Mn_xTe$ заслонка закрывалась, и через определенное время после установления необходимого температурного режима и перемещения маски заслонка снова открывалась, и осаждалась вторая система полос p- $Pb_{1-x}Mn_xTe$.

Полученные гомопереходы обладали выпрямляющим свойством. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) одного из этих гомопереходов представлена на Рис.2.

При малых смещениях в прямом направлении ВАХ гомопереходов 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. Величина произведения дифференциального сопротивления при нулевом смещении на площадь p-n перехода $R_{0A} = 25 \div 40$ Ом·см² сравнима с соответствующей величиной для лучших диодов на основе $PbTe$, описанных в литературе. ВАХ полученных гомоструктур показывают, что утечки в них сильно зависят от структурного совершенства n-слоя. Большинство изготовленных p-n гомопереходов оказались фоточувствительными в ИК-области спектра. Указанные p-n переходы получались для двух составов исследуемых пленок ($x=0,005$; $0,01$). Их типичная спектральная характеристика представлена на Рис.3.

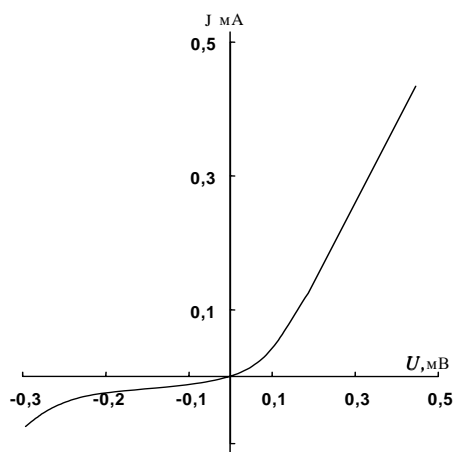


Рис.2.
ВАХ гомоперехода в пленках
 $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0,005$).

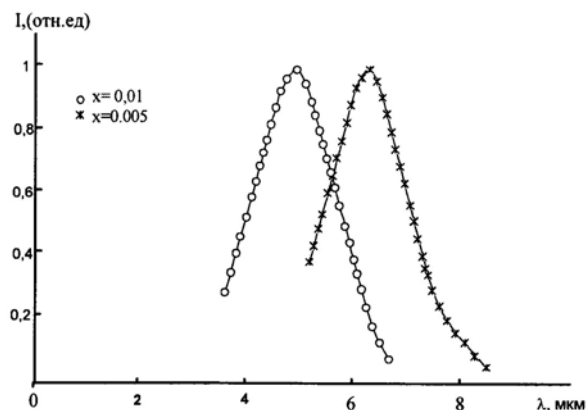


Рис.3.
Спектральные характеристики
гомопереходов в пленках
 $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0,005; 0,01$).

Максимальное значение фоточувствительности наблюдается при длинах волны $\lambda_{max}=5,1\div 6,5$ мкм. Наблюдаемое смещение максимума спектральной фоточувствительности р-п гомопереходов в сторону более коротких волн с ростом содержания марганца объясняется увеличением ширины запрещенной зоны.

1. А.В.Матвеев, Ю.В.Медведев, Н.Н.Берченко, *Зарубежная электронная техника*, **11** (1982) 54.
2. Д.Г.Андрианов, Н.М.Павлов, А.С.Савельев, В.И.Фистуль, Г.И.Цискаришвили, *ФТП*, **14** (1980) 1202.
3. В.Г.Гук, Е.В.Осипова, Т.И.Папушина, *Неорганические материалы*, **28** (1992) 340.
4. В.Т.Трофимов, Г.З.Аббасов, Г.Спринхольц и др., *ФТП*, **27** (1993) 1158.
5. Е.И.Рогачева, А.С.Сологубенко и др., *Неорганические материалы*, **34** (1998) 669.
6. Б.А.Акимов, А.В.Никорич, Л.И.Рябова и др., *ФТП*, **23** (1989) 1019.
7. Б.А.Акимов, С.А.Белоконь, З.М.Дашевский и др., *ФТП*, **25** (1991) 250.
8. Б.А.Акимов, Н.А.Львова, Л.И.Рябова, *ФТП*, **30** (1996) 1647.
9. Н.Р.Nuriyev, S.S.Farzaliyev, Kh.D.Djalilova, R.M.Sadigov, *Proceedings of SPIE*, (2002) 420.
10. И.Р.Нуриев, С.С.Фарзалиев, Р.М.Садыгов, "Поверхность", *Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, Москва, №1 (2004) 113.
11. И.Р.Нуриев и др., *ДАН Азерб. ССР*, **43** (1987) 21.
12. С.А.Семилетов и др., *Микроэлектроника*, **13** (1984) 28.
13. Р.Дж. Кеис и др., М.: «Радио и связь», (1958).

$Pb_{1-x}Mn_xTe$ EPITAKSIAL TƏBƏQLƏRİNDƏ FOTOHƏSSAS p-n KEÇİDLƏR

İ.R.NURİEV, R.M.SADIQOV, A.A.MAŞNİN

Təqdim olunan işdə molekulyar dəstədən kondensasiya metodu ilə BaF_2 (111) altlıqları üzərində alınmış $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0,005; 0,01$) epitaksial təbəqələrinin böyümə xüsusiyyətləri tədqiq olunmuşdur. Əlavə Te mənbəyinin temperaturunu tənzimləməklə verilmiş elektrofiziki parametrlə ($\mu_{n,p}(77K)=2,5\div 3\cdot 10^4 \text{ sm}^2/V\cdot\text{sek}$; (n,p_{77K})= $5\cdot 10^{16}\div 1\cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) və yüksək kristallik mükəmməlliyə ($W_{1/2}=90\div 100^\circ$) malik p və n tip keçiricilikli $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0,005; 0,01$) epitaksial təbəqələrinin alınması texnologiyası işlənilib hazırlanmış və onların əsasında p-n homo keçidlər yaradılmışdır. p-n keçidlərin hazırlanması vahid texnoloji şəraitdə, vakuumin pozulmaması şərti ilə həyata keçirilir. p-n keçidlərin əksəriyyəti İK oblastın $3\div 7\mu\text{m}$ spektrində həssasdırlar. Müəyyən edilmişdir ki, p-n homo keçidlərdə maksimum spektral fəthəssaslıq tərkibdə manqanın artması ilə daha qısa dalğalara tərəf sürüşür ki, bu da qadağan olunmuş zolağın eninin böyüməsi ilə izah olunur.

PHOTOSENSITIVE p-n JUNCTIONS ON THE BASIS OF EPITAXIAL FILMS OF $Pb_{1-x}Mn_xTe$

I.R.NURİYEV, R.M.SADIQOV, A.A.MASHNIN

Peculiarities of the growth of $Pb_{1-x}Mn_xTe$ epitaxial films, grown on BaF_2 (111) substrate by the molecular beam condensation method were investigated in this paper. By regulation of the temperature of additional source of Te has been established technology for obtaining structural-perfect films of $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0,005; 0,01$) with various n and p type conductivity and fixed parameters ($\mu_{n,p}(77K)=2,5\div 3\cdot 10^4 \text{ sm}^2/V\cdot\text{s}$; (n,p_{77K})= $5\cdot 10^{16}\div 1\cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$). p-n homojunctions at unite technological cycle not breaking vacuum have been created on the basis of obtained films. Many of the obtained p-n junctions have been photosensitive in IR area of the spectrum $3\div 7\mu\text{m}$. It was established that maximum of spectral photosensitivity of p-n homojunctions was displaced towards more short waves with increasing of the contents of manganese that is explained by increase of width of the forbidden zone.

Редактор: Дж.Абдинов