

УДК 621.383

## СТРУКТУРА И ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ГОМОПЕРЕХОДЫ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК $Pb_{1-x}Sn_xSe$

© 2012 г. И. Р. Нуриев, А. М. Назаров, Н. В. Фараджев

Институт физики НАН Азербайджана, Баку

E-mail: afinnazarov@yahoo.com

Поступила в редакцию 03.02.2011 г.

Представлены результаты исследования роста, структуры эпитаксиальных пленок твердых растворов  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  различных химических составов ( $x = 0.02-0.05$ ), выращенных на свежесколотых гранях  $BaF_2$  (111), и изготовления фоточувствительных  $p-n$ -гомопереходов на их основе. Гомопереходы созданы в едином технологическом цикле без нарушения вакуума на основе структурно совершенных пленок ( $W_{1/2} = 90-100''$ )  $n$ - и  $p$ -типа проводимости, полученных с применением дополнительного источника паров селена во время роста. Установлено, что с увеличением количества Sn в выращенных пленках максимум фоточувствительности перемещается в сторону длинных волн, которое объясняется уменьшением ширины запрещенной зоны в зависимости от состава.

Бурное развитие инфракрасной техники требует получения новых полупроводниковых кристаллов с узкой шириной запрещенной зоны. В этом отношении эпитаксиальные пленки, полученные на диэлектрических подложках  $BaF_2$  и отвечающие современным требованиям электроники, являются перспективными. Совершенствование технологических процессов получения таких кристаллов и изготовление приборов на их основе наиболее выгодно отличает в этой сфере твердых растворов  $Pb_{1-x}Sn_xSe$ . Получение эпитаксиальных пленок  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  на различных подложках и создание на их основе фоточувствительных  $p-n$ -гетеропереходов представляет большой интерес [1–5].

В настоящей работе представлены результаты исследования роста, структуры эпитаксиальных пленок твердых растворов  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  различных химических составов ( $x = 0.02-0.05$ ), выращенных на свежесколотых гранях  $BaF_2$  (111), и изготовления фоточувствительных  $p-n$ -гомопереходов на их основе. Выращивание пленок и создание гомоструктур осуществлялось путем сублимации заранее синтезированного шихтового материала необходимого состава методом конденсации молекулярных пучков. В качестве испарителя использовалась ячейка Кнудсена, изготовленная из особо чистого графита. Для получения пленок с низкой концентрацией носителей заряда ( $\leq 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ) в качестве источника использовались синтезированные образцы  $Pb_{1-x}Sn_xSe$ , легированные индием. Известно, что различие параметров решеток подложки и наращиваемой пленки затрудняет получение пленок с совершенной структурой. Рост таких пленок имеет много особенностей. Однако близость параметра решеток  $BaF_2$  (6.19 Å) и  $Pb_{1-x}Sn_xSe$

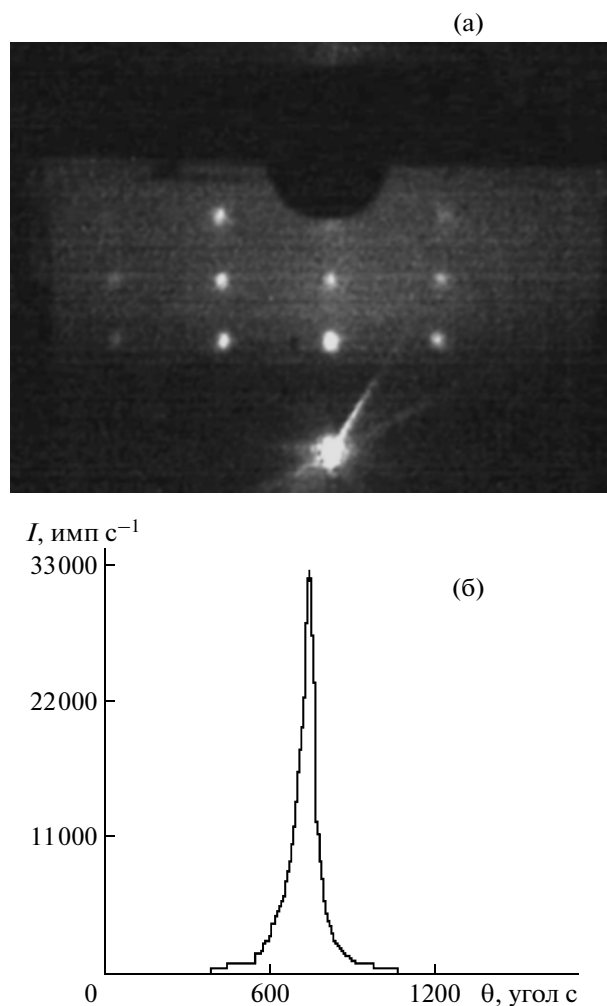
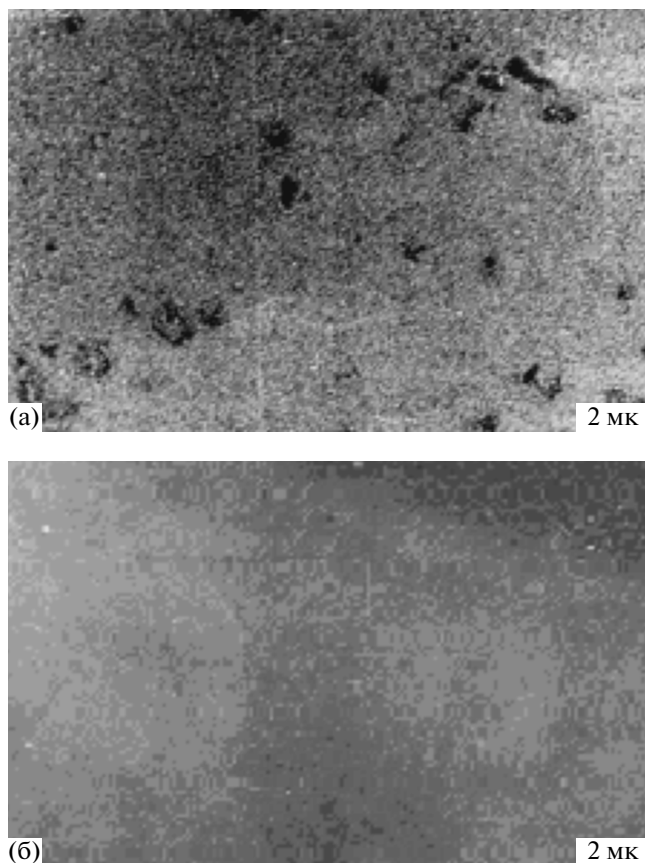


Рис. 1. Электронограмма (а) и кривая качания рентгеновской дифракции (б) пленок  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $x = 0.02$ ).

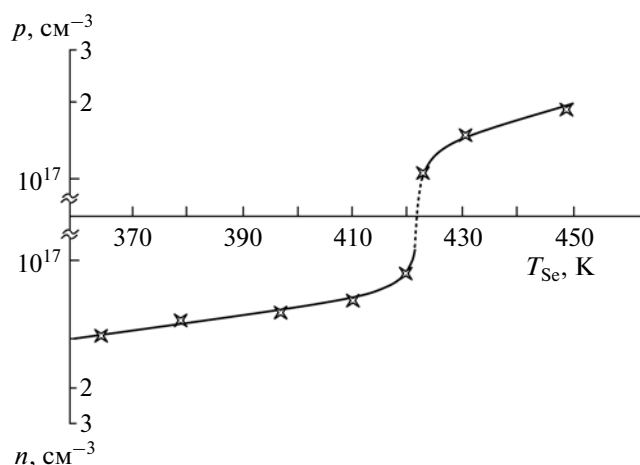


**Рис. 2.** Электронномикроскопические снимки поверхности эпитаксиальных пленок  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $x = 0.02$ ): а – без дополнительного источника паров Se, б – с дополнительным источником паров Se.

( $6.10 \text{ \AA}$ ) дала возможность получения пленок с более совершенной кристаллической структурой. Близость значений коэффициентов термического расширения указанных материалов ( $\alpha_{BaF_2} = 1.8 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ;  $\alpha_{Pb_{1-x}Sn_xSe} = 2.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  при  $27^\circ\text{C}$ ) также способствовала получению структурно совершенных пленок  $Pb_{1-x}Sn_xSe$ . Структурное совершенство пленок контролировалось электронографическим и рентгенодифрактометрическими методами. Морфология поверхности исследовалась методом электронной микроскопии. Определены оптимальные условия получения ( $v_k = 8-9 \text{ \AA}/\text{с}$ ;  $T_{\text{под}} = 650-680 \text{ K}$ ) пленок с совершенной кристаллической структурой ( $W_{1/2} = 90-100''$ ) (рис. 1).

Пленки, полученные при приведенных выше условиях с концентрацией  $2 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$  и подвижностью носителей заряда  $(2.1-2.3) \times 10^4 \text{ см}^2/\text{В с}$  при  $77 \text{ K}$ , имели  $n$ -тип проводимости и кристаллизировались в ГЦК-решетке ( $a = 6.11 \text{ \AA}$ ).

Установлено, что на поверхности полученных пленок наблюдаются черные скопления (рис. 2а), свидетельствующие о наличии включения второй



**Рис. 3.** Зависимость концентрации носителей заряда и инверсии типа проводимости пленок  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $x = 0.02$ ) от температуры дополнительного компенсирующего источника паров селена.

фазы, которые были устранены использованием дополнительного компенсирующего источника паров селена в процессе роста. Применение дополнительного источника селена приводило к получению пленок с более совершенной структурой, гладкой поверхностью (рис. 2б) и низким значением концентрации носителей заряда ( $8 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ), что необходимо для создания на их основе фоточувствительных  $p$ - $n$ -переходов и различных структур.

Регулированием температуры компенсирующего источника удалось получить инверсию проводимости при  $T_{\text{к.ист}} = 422 \text{ K}$  с  $n$ -типа в  $p$ -тип (рис. 3) и пленок с высокой подвижностью ( $\mu_{77 \text{ K}} = (2.5-2.8) \times 10^4 \text{ см}^2/\text{В с}$ ) носителей заряда. При дальнейшем увеличении температуры компенсирующего источника концентрация пленок  $p$ -типа проводимости постепенно увеличивалась.

Обычно создание  $p$ - $n$ -переходов затрудняется образованием различного рода поверхностных состояний, которые резко снижают параметры приборов, изготовленных на их основе. Получение активных элементов в едином технологическом цикле уменьшает плотности поверхностных дефектов. Учитывая это,  $p$ - $n$ -гомоструктуры были получены в едином технологическом цикле без нарушения вакуума в виде пересекающихся полос, согласно методу, разработанному в [6].

В соответствии с [6] после осаждения первой системы полос  $n$ - $Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $n_{77 \text{ K}} = 8 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ) заслонка закрывалась и через определенное время, необходимое для установления температурного режима и перемещения маски, заслонка повторно открывалась и осаждалась вторая система полос  $p$ - $Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $p_{77 \text{ K}} = 2 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ).

Установлено, что полученные гомопереходы, созданные на основе пленок с концентрациями

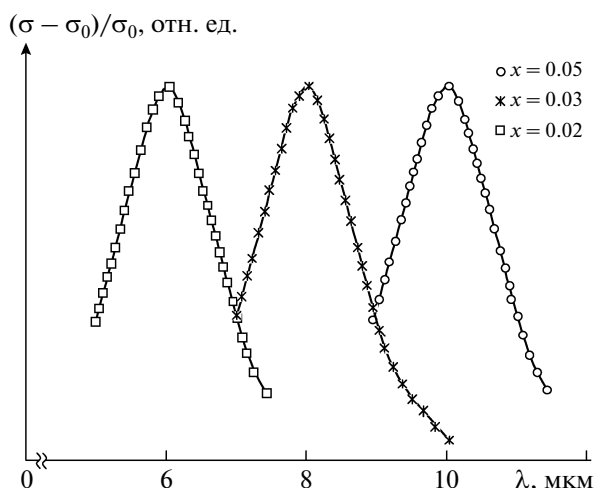


Рис. 4. Спектральные характеристики  $p$ - $n$ -гомопереходов в эпитаксиальных пленках  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$  ( $x = 0.02; 0.03; 0.05$ ).

носителей заряда  $n_{77\text{K}} = 8 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$  и  $p_{77\text{K}} = 2 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , обладают выпрямляющими свойствами.

Анализ вольт-амперных характеристик (**ВАХ**) созданных гомопереходов показывает, что утечки в них зависят от степени структурного совершенства пленок. Прямая ветвь ВАХ при малых смещениях подчиняется экспоненциальному закону  $J = J_0 \exp(eU/\beta kT)$  при 77 К, где  $\beta$  изменяется в интервале 2–2.5, что характерно для генерационно-рекомбинационного механизма протекания тока через область пространственного заряда. В

области высоких смещений прохождение тока определяется туннелированием. Значение величины, характеризующей данный переход,  $R_0 A = 1.5 - 1.8 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$  ( $R_0$  – дифференциальное сопротивление при нулевом смещении;  $A$  – площадь  $p$ - $n$ -перехода). Большинство изготовленных  $p$ - $n$ -гомопереходов оказались фоточувствительными.

Не нарушая вакуума в едином технологическом цикле, фоточувствительные  $p$ - $n$ -гомопереходы также были изготовлены на основе пленок  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$  ( $x = 0.03; 0.05$ ) (рис. 4). Как показывает рисунок, с увеличением количества Sn в выращенных пленках максимум фоточувствительности перемещается в сторону длинных волн, что объясняется уменьшением ширины запрещенной зоны в зависимости от состава.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Салаев Э.Ю., Нуриев И.Р., Джалилова Х.Д., Фараджев Н.В. // Прикл. физика. 1999. № 3. С. 112.
2. Нуриев И.Р., Фараджев Н.В., Джалилова Х.Д. // Изв. НАНА. 2000. Вып. 20. № 5. С. 25.
3. Salaev E.Yu., Nuriyev I.R., Jalilova Ch.J., Faradjev N.V. // Proc. SPIE. 2000. V. 4340. P. 213.
4. Nuriyev I.R., Jalilova Kh.D., Faradjev N.V., Nazarov A.M. // Физика. 2001. Т. 7. № 4. С. 33.
5. Нуриев И.Р., Фараджев Н.В. // Изв. НАНА. 2006. Т. XXVI. № 5. С. 43.
6. Семилетов С.А., Ракова Е.В., Заитов Ф.А. Сулейманов Н.А. // Микроэлектроника. 1984. Т. 13. № 3. С. 280.