

УДК 621.315.592

## Изопериодические фоточувствительные гетероструктуры $Pb_{1-x}Sn_xSe/PbSe_{1-x}S_x$

И. Р. Нуриев, Н. В. Фараджев, А. М. Назаров, М. Б. Гаджиев

*Рассмотрены особенности создания изопериодических эпитаксиальных гетеропереходов  $p$ - $Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $x = 0,03$ )/ $n$ - $PbSe_{1-x}S_x$  ( $x = 0,05$ ) и изготовления фоточувствительных элементов, пригодных для практического применения. Изготовлены фоточувствительные элементы с высокими техническими параметрами:  $R_0A = 1,2—1,5$  Ом·см<sup>2</sup>;  $\lambda_{max} = 8$  мкм;  $D_{\lambda}^* = (1—2) \cdot 10^{10}$  см·Гц<sup>1/2</sup>·Вт<sup>-1</sup>, сравнимыми с аналогичными параметрами, приведенными для диодов Шоттки на основе  $Pb_{1-x}Sn_xSe$ .*

PACS: 85.60.-q

*Ключевые слова:* гетеропереход, эпитаксиальный слой, фоточувствительный элемент.

### Введение

Узкозонные полупроводники типа  $A^4B^6$  широко применяются в инфракрасной (ИК) технике. Интенсивное развитие ИК-техники требует получения структурно-совершенных кристаллов указанных полупроводников. Совершенствование технологических процессов получения таких кристаллов и изготовление приборов на их основе наиболее эффективно осуществляется на базе твердых растворов  $Pb_{1-x}Sn_xSe$ . Опубликовано ряд работ [1—6], посвященных получению эпитаксиальных пленок  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $x = 0,05—0,07$ ) на различных подложках и созданию на их основе фоточувствительных  $p$ - $n$ -гетеропереходов.

В данной работе рассматриваются технологические особенности создания изопериодических гетеропереходов  $p$ - $Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $x = 0,03$ )/ $n$ - $PbSe_{1-x}S_x$  ( $x = 0,05$ ) и изготовления фоточувствительных элементов, пригодных для применения. Изопериодичность гетеропар создает условие для получения кристаллически-совершенных пленок и структур с высокими параметрами.

### Технология

Выращивание пленок  $Pb_{0,97}Sn_{0,03}Se$  и  $PbSe_{0,95}S_{0,05}$ , а также создание гетероструктур на их основе осу-

ществлялось 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  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  с низкой концентрацией носителей заряда ( $p \leq 10^{17}$  см<sup>-3</sup>) использовались синтезированные образцы, 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 решетки  $BaF_2$  ( $a = 6,19$  Å) к параметру решетки  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  при  $x = 0,03$  ( $a = 6,10$  Å) дает возможность получения пленок с достаточно совершенной кристаллической структурой. Близость значений коэффициентов термического расширения указанных материалов ( $\alpha_{BaF_2} = 1,8 \cdot 10^{-6}$  K<sup>-1</sup>;  $\alpha_{Pb_{1-x}Sn_xSe} = 2,0 \cdot 10^{-6}$  K<sup>-1</sup> при 27 °C) также способствовала получению структурно-совершенных пленок  $Pb_{1-x}Sn_xSe$ . Такие эпитаксиальные пленки  $Pb_{1-x}Sn_xSe$   $p$ -типа проводимости, обладающие гранцентрированной кубической решеткой ( $a = 6,10$  Å), подвижностью носителей заряда  $\mu = (2—3) \cdot 10^4$  см<sup>2</sup>/(В·с), были получены на подложках  $BaF_2$  с применением дополнительного компенсирующего источника паров Se в процессе роста. Применение такого источника приводило к получению пленок с чистой, гладкой поверхностью и без включений второй фазы (рис. 1, а и б).

Кристаллическая структура пленок контролировалась методами дифракции быстрых электронов на отражение и рентгенодифрактометрии. Морфология поверхности исследовалась в растровом электронном микроскопе.

Нуриев Идаят Рагим оглы, руководитель лаборатории.  
Фараджев Назим Вахид оглы, старший научный сотрудник.  
Назаров Афин Магамед оглы, ведущий научный сотрудник.  
Гаджиев Мехман Балоглан оглы, научный сотрудник.  
Институт физики НАН Азербайджана.  
Азербайджан, AZ1143, Баку, проспект Г. Джавида, 33.  
Тел. (99412) 432-47-04. E-mail afin@aport2000.ru

Статья поступила в редакцию 12 мая 2011 г.

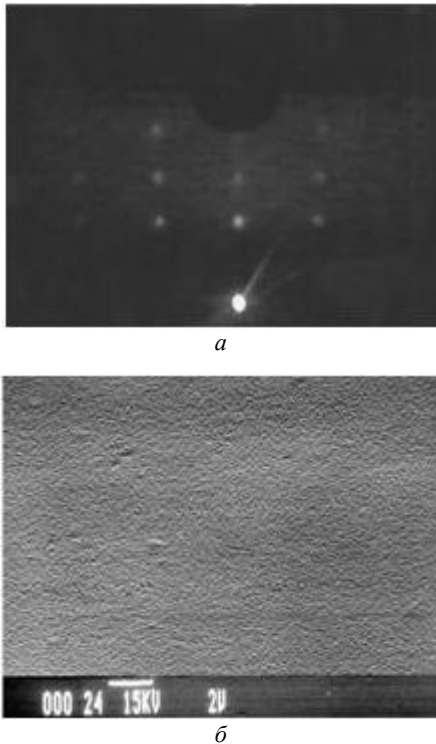


Рис. 1. Электронограмма (а) и электронно-микроскопический снимок поверхности (б) эпитаксиальных пленок  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $x = 0,03$ )

Эпитаксиальные слои  $Pb_{0,97}Sn_{0,03}Se$   $p$ -типа проводимости толщиной  $0,8—1,2$  мкм получались при температурах подложки  $T_n = 623—653$  К и скорости конденсации  $v_k = 7—8$  Å/с. Нанесение слоя  $n$ - $PbSe_{0,95}Se_{0,05}$  и создание  $p$ - $n$ -гетероперехода осуществлялось при  $T_n = 523—553$  К.

Обычно создание  $p$ - $n$ -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, вышеупомянутые  $p$ - $n$ -гетероструктуры были получены в едином технологическом цикле, причем без нарушения вакуума, в виде пересекающихся полос, что соответствует методу, разработанному в [7].

В соответствии с требованиями указанного метода, после осаждения первой системы полос  $p$ - $Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $x = 0,03$ ) заслонка закрывалась и через определенное время, необходимое для установления температурного режима и перемещения маски, заслонка повторно открывалась и осаждалась вторая система полос  $n$ - $PbSe_{1-x}S_x$  ( $x = 0,05$ ).

### Свойства гетеропереходов

Установлено, что гетеропереходы, созданные на основе пленок с концентрациями носителей заряда  $p = 2 \cdot 10^{16}—2 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup> и  $n = 3 \cdot 10^{17}—4 \cdot 10^{18}$  см<sup>-3</sup>, обладают выпрямляющими свойствами. Вольт-ампер-

ная характеристика (ВАХ) одного из этих  $p$ - $n$ -гетеропереходов представлена на рис. 2.

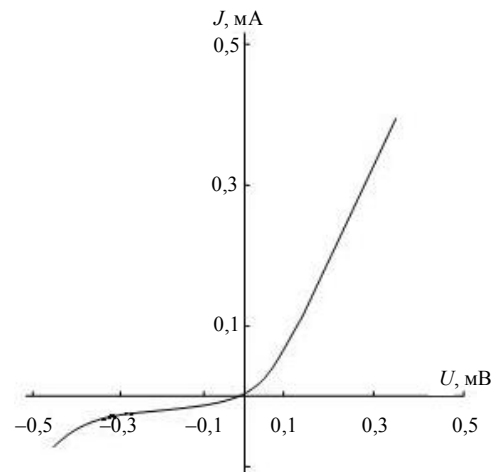


Рис. 2. ВАХ  $p$ - $n$ -гетероперехода на основе  $Pb_{1-x}Sn_xSe/PbSe_{1-x}S_x$

Анализ ВАХ созданных гетеропереходов показывает, что утечки в них сильно зависят от степени структурного совершенства  $p$ -слоя. Прямая ветвь ВАХ при малых смещениях подчиняется экспоненциальному закону  $J = J_0 \cdot \exp(eU/\beta kT)$  при 77 К, где параметр  $\beta$  изменяется в интервале 2—2,5. Это характерно для генерационно-рекомбинационного механизма протекания тока через область пространственного заряда. В области высоких смещений прохождение тока определяется туннелированием. Значение величины  $R_0 A = 1,2—1,5$  Ом·см<sup>2</sup> ( $R_0$  — дифференциальное сопротивление при нулевом смещении;  $A$  — площадь  $p$ - $n$ -перехода) является характеристикой данного перехода. Большинство изготовленных  $p$ - $n$ -гетеропереходов оказались фоточувствительными в ИК-области спектра.

Спектральная характеристика полученного  $p$ - $n$ -гетероперехода представлена на рис. 3, из которого видно, что максимальная фоточувствительность наблюдается при  $\lambda = 8$  мкм.

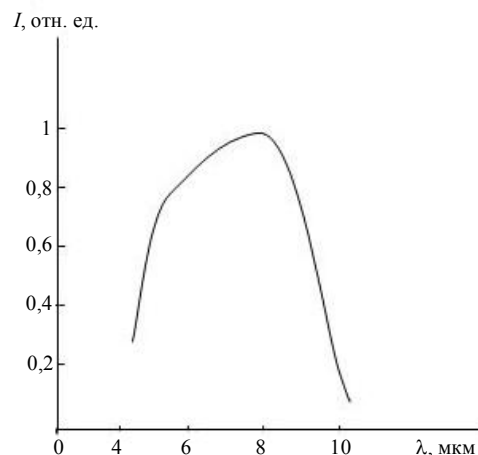


Рис. 3. Спектральная характеристика  $p$ - $n$ -гетероперехода на основе  $Pb_{1-x}Sn_xSe/PbSe_{1-x}S_x$

На базе полученных результатов изготовлены фоточувствительные элементы с достаточно высокими техническими параметрами:  $R_0A = 1,2—1,5 \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$ ;  $\lambda_{\text{max}} = 8 \text{ мкм}$ ;  $D\lambda^* = (1—2)\cdot 10^{10} \text{ см}\cdot\text{Гц}^{1/2}\cdot\text{Вт}^{-1}$ . Эти значения сравнимы с аналогичными параметрами, характерными для диодов Шоттки на основе  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$ .

### Заключение

Разработанная технология создания изопериодических эпитаксиальных гетеропереходов  $p\text{-Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$  ( $x = 0,03$ )/ $n\text{-PbSe}_{1-x}\text{S}_x$  ( $x = 0,05$ ) позволяет осуществить изготовление фоточувствительных элементов, пригодных для практического применения и имеющих высокие технические

параметры, сравнимые с диодами Шоттки на основе  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$ .

### Литература

1. Салаев Э. Ю., Нуриев И. Р., Джалилова Х. Д., Фараджев Н. В. // Прикладная физика. 1999. № 3. С. 112.
2. Нуриев И. Р., Фараджев Н. В., Джалилова Х. Д. // Известия НАН Азербайджана. 2000. В. 20. № 5. С. 25.
3. Salaev E. Yu., Nuriyev H. R., Jalilova Kh. D., Faradjev N. V. // Proceedings of SPIE. 2000. V. 4340. P. 213.
4. Nuriyev I. R., Jalilova Kh. D., Faradjev N. V., Nazarov A. M. // Физика. Баку. 2001. Т. VII. № 4. С. 33.
5. Нуриев И. Р., Фараджев Н. В. // Известия НАН Азербайджана. 2006. Т. XXVI. № 5. С. 43.
6. Нуриев И. Р., Назаров А. М., Фараджев Н. В. // Физика. Баку. 2009. Т. XV. № 2. С. 55.
7. Семилетов С. А., Ракова Е. В., Заитов Ф. А. Сулейманов Н. А. // Микроэлектроника. 1984. Т. 13. № 3. С. 280.

## Isoperiodic photosensitive $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se} / \text{PbSe}_{1-x}\text{S}_x$ heterostructures

I. R. Nuriyev, N. V. Faradzhev, A. M. Nazarov, M. B. Gadzhiev  
Institute of Physics of the NAS of Azerbaijan  
33 H. Javid av., Baku, AZ1143, Azerbaijan  
E-mail: afin@aport2000.ru

*In the present paper, peculiarities of creation of the isoperiodic  $p\text{-Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$  ( $x = 0.03$ )/ $n\text{-PbSe}_{1-x}\text{S}_x$  ( $x = 0.05$ ) hetero-junctions and manufacturing the photosensitive elements suitable for application have been considered. Photosensitive elements with high technical parameters:  $R_0A = 1.2—1.5 \text{ }\Omega\cdot\text{cm}^2$ ;  $\lambda_{\text{max}} = 8 \text{ }\mu\text{m}$ ;  $D\lambda^* = (1—2)\cdot 10^{10} \text{ cm}\cdot\text{Hz}^{1/2}\cdot\text{W}^{-1}$ , which are comparable with the similar parameters obtained for Schottky diodes on the basis  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$ , have been made.*

PACS: 85.60.-q

*Keywords:* hetero-junction, epitaxial layer, photosensitive element.

Bibliography — 7 references.

Received May 12, 2011