

УДК 621.315.592

Фоточувствительные эпитаксиальные пленки $PbSe_{1-x}Te_x<Ga>$

С. С. Фарзалиев, И. Р. Нуриев, Р. М. Садыгов, Б. Ш. Бархалов

Проведено исследование эпитаксиальных пленок $PbSe_{1-x}Te_x<Ga>$, полученных на диэлектрических подложках BaF_2 . Изопериодичность кристаллических решеток и близость коэффициентов термического расширения подложки и выращенных пленок $PbSe_{1-x}Te_x$ ($x = 0,2$) дали возможность получения пленок с совершенной структурой и высокими электрическими параметрами. Изготовлены элементы, фоточувствительные в области спектра 3—5 мкм при 77 К. Максимум фоточувствительности соответствует $\lambda_{max} = 5$ мкм.

PACS: 85.60.-q

Ключевые слова: эпитаксиальная пленка, фоточувствительность, ИК-диапазон.

Введение

Интенсивное развитие инфракрасной техники привело к необходимости получения структурно-совершенных эпитаксиальных пленок соединений $A^{IV}B^{VI}$, их твердых растворов с узкой шириной запрещенной зоны и создания различных оптоэлектронных приборов на их основе. Разработаны и изготовлены одно- и многоэлементные фотоприемники с высокой обнаружительной способностью. Имеется огромный интерес к твердым растворам $PbSe_{1-x}Te_x$ [1—3]. В литературе встречаются работы, посвященные исследованию особенностей роста, структуры, оптического поглощения эпитаксиальных пленок $PbSe_{1-x}Te_x$ и созданию фоточувствительных гомо- и гетеропереходов на их основе [4—8]. Однако имеется сравнительно мало работ, посвященных фотопроводимости указанных твердых растворов, что, по-видимому, связано с трудностями получения структурно-совершенных эпитаксиальных пленок с более низкой концентрацией ($\leq 10^{15}$ см⁻³) носителей заряда. В [9] исследованы фоточувствительные пленки $PbSe_{1-x}Te_x<Ga>$ ($x = 0,2$) с концентрацией носителей заряда $n = 5 \cdot 10^{15} — 10^{16}$ см⁻³.

В данной работе приведены результаты исследования структуры эпитаксиальных пленок $PbSe_{1-x}Te_x<Ga>$, выращенных на диэлектрических подложках BaF_2 с кристаллической плоскостью (111) и изготовления фоточувствительных элементов на их основе.

Технология

Пленки получались методом конденсации молекулярных пучков в вакууме 10^{-4} Па на стандартной вакуумной установке УВН-71П-3. В качестве испаряемого источника молекулярных пучков использовались заранее синтезированные и легированные галлием твердые растворы $PbSe_{1-x}Te_x$ с соответствующим химическим составом $x = 0,2$. Испарителем служила ячейка Кнудсена изготовленная из особо чистого графита.

Выбор в качестве подложки монокристаллов BaF_2 продиктован их оптической прозрачностью в диапазоне спектра 3—12 мкм, в котором исследуемые эпитаксиальные пленки нашли широкое практическое применение в различных оптоэлектронных приборах. С другой стороны, большой практический интерес представляют эпитаксиальные пленки и структуры, полученные на изолирующих диэлектрических подложках. В пользу этого говорит тот факт, что BaF_2 как диэлектрик имеет одновременно хорошую механическую прочность и химически инертен [10].

Методы исследования и результаты

Для определения структуры пленки, параметра решетки и состава выращенных пленок применялись методы рентгенодифрактометрии и электронографии. Морфология поверхности пленок контролировалась электронно-микроскопическим методом.

Изопериодичность кристаллических решеток подложки и выращенных пленок $\left(a_{BaF_2} = a_{PbSe_{1-x}Te_x} = 6,19 \text{ \AA} \right)$ и близкие значения коэффициентов термического расширения $\left(a_{BaF_2} = 1,8 \cdot 10^6 \text{ K}^{-1}, a_{PbSe_{1-x}Te_x} = 2,1 \cdot 10^6 \text{ K}^{-1} \right)$ дали возможность получения пленок с совершен-

Фарзалиев Сабир Саидра оглы, старший научный сотрудник.
Нуриев Идаят Рагим оглы, руководитель лаборатории.
Садыгов Рафиг Микаил оглы, старший научный сотрудник.
Бархалов Бархал Шабан оглы, главный научный сотрудник.
Институт физики НАН Азербайджана.

Азербайджан, AZ1143, Баку, пр. Г. Джавида, 33.
Тел. (99412) 432-47-04. E-mail afin@aport2000.ru

Статья поступила в редакцию 12 мая 2011 г.

© Фарзалиев С. С., Нуриев И. Р., Садыгов Р. М., Бархалов Б. Ш., 2012

ной структурой и высокими электрофизическими параметрами. Определены оптимальные условия получения структурно-совершенных пленок на базе исследованных твердых растворов. Установлено, что эпитаксиальные пленки $\text{PbSe}_{1-x}\text{Te}_x\langle\text{Ga}\rangle$ ($x = 0,2$) толщиной 0,5—1,0 мкм, полученные при температурах подложки $T = 675\text{—}680\text{ K}$ и скоростях конденсации $7\text{—}8\text{ \AA/s}$ (с применением дополнительного источника паров Te в процессе роста), имеют гранцентрированную кубическую структуру с высоким кристаллическим совершенством ($W_{1/2} = 100''$), однородно чистую зеркальную поверхность и n -типа проводимость с концентрацией носителей заряда $n = 5 \cdot 10^{15}\text{ см}^{-3}$ (рис. 1).

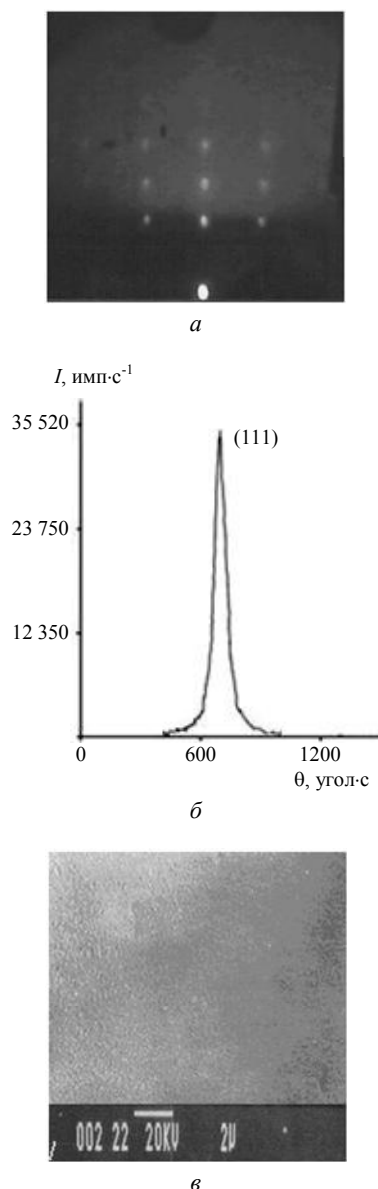


Рис. 1. Исследование поверхности эпитаксиальных пленок $\text{PbSe}_{1-x}\text{Te}_x\langle\text{Ga}\rangle$ ($x = 0,2$):
a — электронограмма; *б* — кривая качания рентгеновской дифракции; *в* — электронно-микроскопический снимок поверхности

Дополнительным имплантированием полученных пленок низкотемпературными ионами галлия (с энергией менее 1 кэВ) посредством жидкометаллического ионного источника, который действовал в режиме торможения первичного пучка, удалось получить пленки с существенно более низкой концентрацией носителей заряда $n \leq 10^{15}\text{ см}^{-3}$. Подобные пленки имеют высокую фоточувствительность при температуре 77 К. Соответствующее спектральное распределение фоточувствительности этих пленок представлено на рис. 2. Как видно из приведенного рисунка, максимум фоточувствительности приходится на длину волны $\lambda = 5\text{ мкм}$.

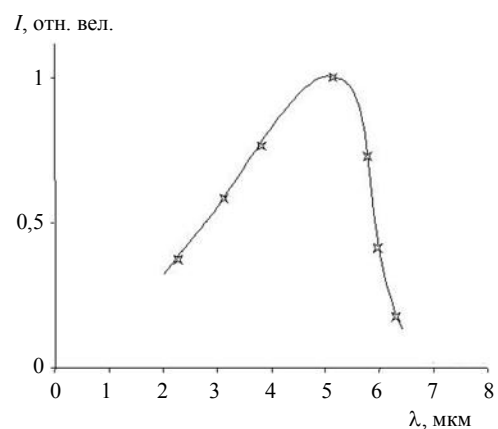


Рис. 2. Спектральное распределение фоточувствительности эпитаксиальных пленок $\text{PbSe}_{1-x}\text{Te}_x\langle\text{Ga}\rangle$ ($x = 0,2$) при 77 К

В едином технологическом цикле и с применением специальной маски в процессе роста была создана многоэлементная структура на основе исследуемых пленок. Все элементы изготовленной структуры оказались фоточувствительными и почти не отличались по значениям λ_{max} , что свидетельствует о высокой однородности полученных пленок.

Были измерены оптические спектры пропускания и отражения, по которым рассчитан коэффициент поглощения выращенных эпитаксиальных пленок.

Значение ширины запрещенной зоны E_g , определенное по оптическим спектрам и фотопроводимости исследуемых пленок, хорошо согласуется со значениями E_g , вычисленными из спектральной характеристики фотодиодов, изготовленных на основе этих материалов.

Заключение

Проведенное исследование эпитаксиальных пленок $\text{PbSe}_{1-x}\text{Te}_x\langle\text{Ga}\rangle$, полученных на диэлектрических подложках BaF_2 , показало возможность

получения пленок с совершенной кристаллической структурой и высокими электрическими параметрами. Изготовлены элементы, фоточувствительные в области спектра 3—5 мкм при 77 К. Максимум фоточувствительности соответствует $\lambda_{\max} = 5$ мкм. Это открывает широкие перспективы использования данных структур в самых разнообразных областях науки и техники.

Литература

1. Вейс А. Н., Кайданов В. И., Немов С. А. // ФТП. 1983. Т. 17. В. 11. С. 1948.
2. Вaleyko M. B., Засавицкий И. И., Кузнецов В. Л., Курганский А. В., Мацонашвили Б. Н. // ФТП. 1985. Т. 19. В. 4. С. 627.

3. Акопян Э. А., Галандаров Г. А., Мехтиев А. Ш., Фараджес Ф. Э. // ФТП. 1999. Т. 15. В. 10. С. 2012.
4. Nuriev I. R., Abdullaev M. I., Farzaliyev S. S. // Proceedings of SPIE. 2000. V. 4340. P. 264.
5. Нуриев И. Р., Фарзалиев С. С., Назаров А. М. // Известия НАН Азербайджана. 2002. Т. XXII. № 2. С. 43.
6. Нуриев И. Р., Джалилова Х. Д., Фарзалиев С. С. // Сб. докл. 14-го Междунар. симпозиума: Тонкие пленки в оптике и электронике. — Харьков. 2002. С. 91.
7. Алиев А. А., Гасанов И. С., Джалилова Х. Д., Фарзалиев С. С. // Физика. Баку. 2007. Т. XIII. № 1—2. С. 340.
8. Нуриев И. Р., Фарзалиев С. С., Машинин А. А., Гюльмамедов К. Д. // Физика. Баку. 2005: Сб. докл. междунар. конф. — Баку. 7—9 июня. 2005. С. 248.
9. Нуриев И. Р., Фарзалиев С. С., Джалилова Х. Д. // Физика. Баку. 2009. Т. XV. № 2. С. 74.
10. Воронкова Е. М., Гречушников Б. Н., Дистлер Г. И. и др. Оптические материалы для инфракрасной техники. — М.: Наука, 1965.

Photosensitive epitaxial $\text{PbSe}_{1-x}\text{Te}_x\langle\text{Ga}\rangle$ films

S. S. Farzaliyev, I. R. Nuriyev, R. M. Sadigov, B. Sh. Barkhalov
H. M. Abdullayev Institute of Physics, NAS of Azerbaijan
33 H. Javid, Baku, AZ1143, Azerbaijan
E-mail: afin@aport2000.ru

The results of research of epitaxial films of $\text{PbSe}_{1-x}\text{Te}_x\langle\text{Ga}\rangle$ ($N_{\text{Ga}} \leq 0.8$ at. %) received on dielectric substrates BaF_2 (111) and manufacturing of photosensitive elements on their basis have been presented. Isoperiodicity of crystal lattices and proximity of the thermal expansion factors for a substrate and grown $\text{PbSe}_{1-x}\text{Te}_x$ ($x = 0.2$) films has enabled us to reception the films with perfect structure and high electric parameters. On the basis of the received films elements have been made which are photosensitive in the 3—5 μm range of the spectrum. The photosensitivity maximum corresponds to $\lambda_{\max} = 5 \mu\text{m}$.

PACS: 85.60.-q

Keywords: epitaxial films, vapor, photosensitivity, solid solutions, isoperiodic.

Bibliography — 10 references.

Received May 12, 2011