

К. т. н. А. И. ТКАЧУК, к. т. н. О. Н. ЦАРЕНКО,
к. т. н. С. И. РЯБЕЦ, к. ф.-м. н. И. Ю. ТКАЧУК, Ю. Г. КОВАЛЁВ

Украина, Кировоградский гос. педагогический ун-т
им. Владимира Винниченко
E-mail: atkachuk@kspu.kr.ua

Дата поступления в редакцию
19.10.2006 г.

Оппонент к. т. н. В. В. РЮХТИН
(ЦКБ "Ритм", г. Черновцы)

ПОЛУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ЧЕТЫРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ A^4B^6

Предложена лабораторная технология формирования поверхностно-барьерных диодов на основе эпитаксиальных гетероструктур $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y/Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te$.

При изготовлении инфракрасных детекторов эпитаксиальные гетероструктуры на основе четырехкомпонентных твердых растворов A^4B^6 , полученные методом жидкофазной эпитаксии, остаются одними из самых перспективных и недорогих компонентов диодов Шоттки с полупрозрачными металлическими электродами, в которых излучение падает на переход со стороны барьерного контакта [1].

Цель данной работы — разработка лабораторной технологии формирования поверхностно-барьерных структур на основе эпитаксиальных слоев $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$, выращенных на полупроводниковых подложках $Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te$.

Для получения поверхностно-барьерных структур использовались четырехкомпонентные твердые растворы $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$ ($0,09 \leq x \leq 0,18$ (ат. д.) и $0,02 \leq y \leq 0,06$ (ат. д.)), которые были выращены методом жидкофазной эпитаксии в потоке очищенного водорода из ограниченного объема пересыщенного раствора-расплава $(Pb_{1-v}Sn_v)_{1-w}(Te_{1-u}Se_u)_w$ ($0,163 \leq v \leq 0,371$ (ат. д.), $0,011 \leq u \leq 0,046$ (ат. д.), $0,01 \leq w \leq 0,05$ (ат. д.)) с использованием вертикального реактора (рис. 1) [1, 2].

В качестве полупроводниковых подложек использовали монокристаллические пластины $Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te$, которые были получены путем разрезания выращенных методом Чохральского объемных монокристаллов в направлении (100). Подложки имели форму шайбы диаметром 20–30 мм и толщиной 1–2 мм при плотности поверхностных дислокаций $N_d = (1 \dots 8) \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$ и концентрации дырок $P = (5 \dots 8) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Разориентация подложек составляла не больше $0,4^\circ$ относительно кристаллографической плоскости (100). Температура ликвидуса была 773–873 К при скорости программируемого охлаждения 0,1–0,2 К/мин и диапазоне снижения температуры 5–15 К.

Выращенные эпитаксиальные слои p - $Pb_{0,87}Sn_{0,13}Te_{0,96}Se_{0,04}$ имели толщину 5–7 мкм, плотность поверхностных дислокаций $N_d = (3 \dots 7) \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$, концентрацию носителей заряда $P = (4,6 \dots 4,9) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$

и холловскую подвижность $\mu_H = (3,7 \dots 4,1) \cdot 10^3 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ при $\approx 80 \text{ К}$.

Поверхностно-барьерные структуры получали путем термического вакуумного напыления с использованием системы масок из нержавеющей стали [1, 3]. Перед формированием омического контакта эпитаксиальные гетероструктуры p - $Pb_{0,87}Sn_{0,13}Te_{0,96}Se_{0,04}/p^+$ - $Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te$ подвергали со

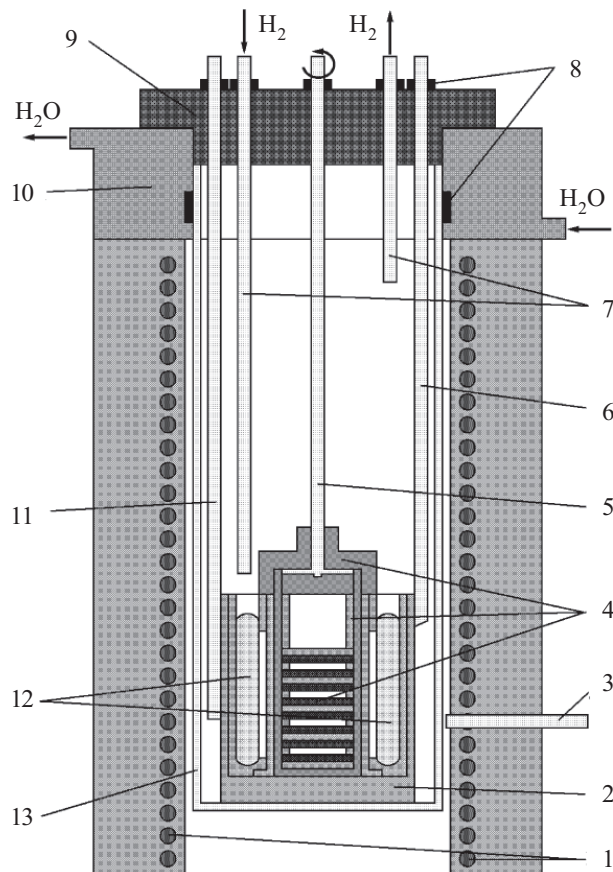


Рис. 1. Схема реактора для жидкофазной эпитаксии: 1 — нагревающий элемент; 2 — графитовый тигель для раствора-расплава; 3 — вход регулирующей термопары; 4 — графитовая поворотная кассета с подложками; 5 — кварцевый шток подвески кассеты; 6 — кварцевый шток для передачи вибрации тиглю; 7 — кварцевые трубки газоснабжения; 8 — резиновые уплотнители; 9 — герметизирующая фторопластовая головка реактора; 10 — водоохлаждаемая насадка реактора; 11 — кварцевая трубка для ввода контрольной термопары; 12 — раствор-расплав; 13 — кварцевый реактор

стороны подложки механическому шлифованию с последующим химико-динамическим полированием при комнатной температуре в растворе 95% HBr + 5% Br₂ до толщины подложки ≈ 200 мкм. Затем при температуре подложки $T_{\text{под}} \approx 423...473$ К на всю ее поверхность при остаточном давлении 10^{-5} мм рт. ст. напыляли последовательно слои золота (толщиной $d_{\text{Au}} \approx 150$ нм), хрома ($d_{\text{Cr}} \approx 100$ нм) и меди ($d_{\text{Cu}} \approx 250$ нм) (рис. 2).

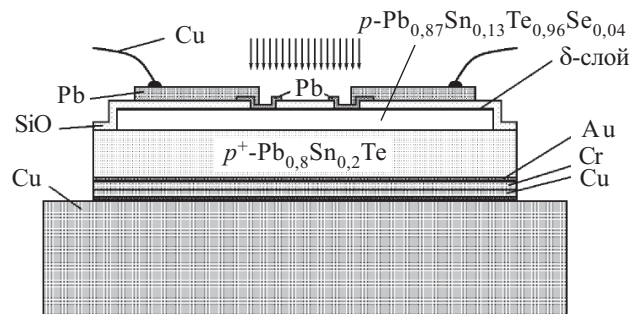


Рис. 2. Схематическое изображение фотоприемника на основе фотовольтаического инфракрасного сенсора Pb/δ-слой/p-Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y/p⁺-Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te/Au/Cr/Cu

Для формирования защитного промежуточного слоя собственного окисла (δ-слоя) толщиной 10 нм свободную поверхность эпитаксиального слоя подвергали термическому окислению при $T_{\text{под}} \approx 473$ К в течение 2 мин с последующим (при $T_{\text{под}} \approx 523$ К) напылением поверх него изоляционного слоя окисла SiO₂ толщиной 500 нм, в котором оставляли окна 0,5×0,5 мм. В эти окна напыляли полупрозрачные барьерные электроды из свинца толщиной 30 нм при $T_{\text{под}} \approx 300$ К. Затем на часть каждого сформированного электрода поверх изоляционного слоя SiO₂ наносились полоски свинца толщиной 1000 нм в качестве контактных площадок. После этого всю структуру крепили со стороны медного слоя к медному теплоотводу с помощью припоя состава 52% In + 47% Sn + 1% Ag, а также монтировали медные токопроводящие проволочки диаметром 1 мм к контактными площадкам за пределами барьерных электродов.

Измерения темновых вольт-амперных характеристик (ВАХ) проводили при постоянном токе и температуре ≈ 170 К. Вольт-фарадные характеристики (ВФХ) исследовали мостовым методом при частоте 1 МГц. Удельную обнаружительную способность поверхностно-барьерных структур измеряли на установке К-54.410 при температуре нагрева абсолютно черного тела 500 К. Модуляция излучения осуществлялась механическим прерывателем с частотой 800 Гц.

Полученные таким образом поверхностно-барьерные диоды Pb/δ-слой/p-Pb_{0,87}Sn_{0,13}Te_{0,96}Se_{0,04}/p⁺-Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te/Au/Cr/Cu имели ВАХ (рис. 3), прямые ветви которых в области напряжений смещения $0,02 < U < 0,4$ В хорошо аппроксимировались зависимостью

$$I = I_s \cdot \exp \left[\frac{q(U - Ir)}{\beta kT} \right], \quad (1)$$

где I_s — ток насыщения, $I_s = 101...229$ мкА;

q — элементарный заряд;

r — последовательное сопротивление, обусловленное суммой сопротивления квазинейтральной области эпитаксиального слоя, сопротивления растекания подложки и сопротивления омического контакта, $r = 3,5...6,7$ Ом;

β — коэффициент идеальности, $\beta = 1,7...2,8$;

k — постоянная Больцмана;

T — температура измерений.

Обратные ветви ВАХ насыщения не отражали.

Произведение дифференциального сопротивления при нулевом смещении на активную площадь составляло $R_0 A = 0,39...0,92$ Ом·см².

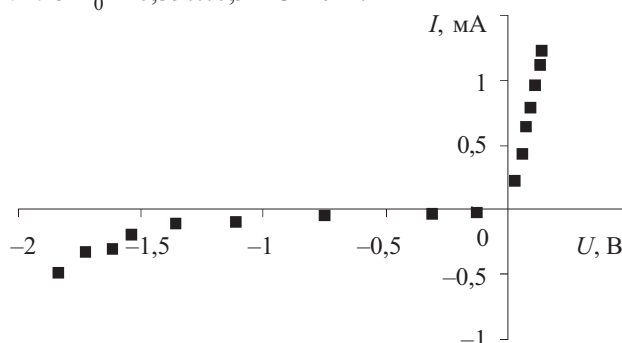


Рис. 3. ВАХ поверхностно-барьерной структуры Pb/δ-слой/p-Pb_{0,87}Sn_{0,13}Te_{0,96}Se_{0,04}/p⁺-Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te/Au/Cr/Cu

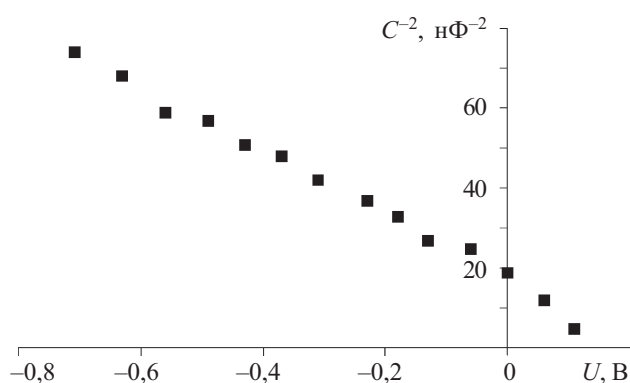


Рис. 4. ВФХ поверхностно-барьерной структуры Pb/δ-слой/p-Pb_{0,87}Sn_{0,13}Te_{0,96}Se_{0,04}/p⁺-Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te/Au/Cr/Cu

ВФХ в области напряжений $-0,08 < U < 0$ В (рис. 4) хорошо аппроксимировались зависимостью

$$C^{-2} = \frac{2\beta}{A^2 q N_A \epsilon_0 \epsilon_s} \left[\beta \left(\Phi_{bi}^0 - \frac{kT}{q} \right) - U \right], \quad (2)$$

где A — активная площадь барьерного контакта;

N_A — концентрация заряженных центров;

ϵ_s — относительная статическая диэлектрическая проницаемость эпитаксиального слоя.

Диффузионный потенциал при нулевом смещении $\Phi_{bi}^0 = 0,106...0,114$ В находили по формуле

$$\Phi_{bi}^0 = \frac{U_i}{\beta} + \frac{kT}{q}, \quad (3)$$

где напряжение отсечки U_i определяли путем экстраполяции линейного участка ВФХ до пересечения с осью абсцисс. Емкость при нулевом смещении составляла $C_0 = 221...270$ пФ.

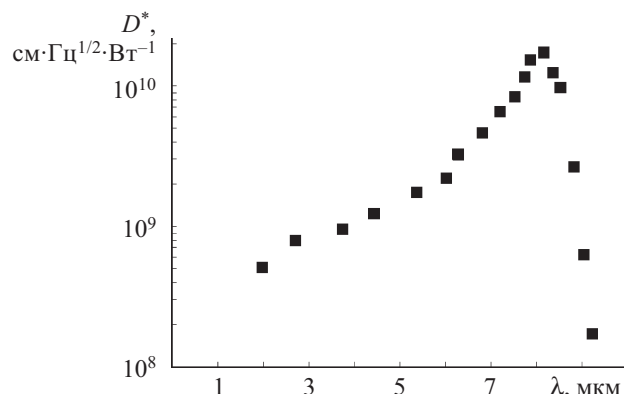


Рис. 5. Спектральная зависимость удельной обнаружительной способности поверхностно-барьерной структуры Pb/δ-слой/p-Pb_{0,87}Sn_{0,13}Te_{0,96}Se_{0,04}/p⁺-Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te/Au

При температуре измерений $T \approx 170$ К, температуре фона $T_{\text{ф}} \approx 300$ К, пиковой длине волны $\lambda_{\text{п}} \approx 8,2$ мкм и длине волны отсечки $\lambda_{\text{от}} \approx 8,5$ мкм удельная обнаружительная способность составляла $D_{\lambda}^* = (0,76 \dots 1,68) \cdot 10^{10}$ см·Гц^{1/2}·Вт⁻¹ (рис. 5) при пиковой квантовой эффективности $\eta_{\lambda} = 0,33 \dots 0,42$.

Таким образом, проведенные исследования электрофизических и фотоэлектрических свойств полученных поверхностно-барьерных структур Pb/δ-слой/p-Pb_{0,87}Sn_{0,13}Te_{0,96}Se_{0,04}/p⁺-Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te/Au показали, что предложенная технология дает возможность получать фотовольтаические сенсоры, имеющие при пиковой длине волны и температуре 170 К значения удельной обнаружительной способности, близкие к ограниченному фоновыми шумами пределу детектирования.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ткачук А. И. Рідинна епітаксія твердих розчинів сполук A⁴B⁶ для діодів Шоттки / Дис. ... канд. техн. наук. — Херсон, ХДТУ, 2003.
2. Tsarenko O. N., Raybets S. I., Tkachuk A. I. Properties of the Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y epitaxial layers grown from the supersaturated melt-solution on dielectric and semiconductor substrates // Functional Materials. — 2005. — Vol. 12, N 3. — P. 526—530.
3. Царенко О. М., Рябець С. І., Ткачук А. І. Багатоеlementні інфрачервоні фотоприймачі на основі епітаксійних гетероструктур p-Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y/p⁺-Pb_{0,80}Sn_{0,20}Te // Вісник НУ "Львівська політехніка". Електроніка. — 2004. — № 513. — С. 89—95.

ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ

МГТУ им. Н. Э. Баумана
и ОАО Центральный научно-исследовательский технологический институт "ТЕХНОМАШ"
организуют и проводят в сентябре 2007 года на базе Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана



XIII Международную научно-техническую конференцию
"ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ"
(МАТЕРИАЛЫ И УСТРОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И МИКРОФОТОНИКИ)

Справки по e-mail:
belyanin@tehnomash.ru
samoylovich@tehnomash.ru
Белянин Алексей Федорович
Самойлович Михаил Исаакович

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ



Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника. Мировые достижения за 2005 год. Сборник под редакцией д. т. н., профессора П. П. Мальцева. — М.: Техносфера, 2006. — 120 с.

Приведены мировые новости за 2005 год, сгруппированные по разделам и охватывающие наноматериалы, нанoeлектронику, нанодатчики и наноустройства, диагностику наноструктур и наноматериалов, нанобиотехнологию и применение нанотехнологий в медицине. В книге приведены примеры реализации и применения с цветными иллюстрациями в области технологии формирования наноструктур, методов исследования наноматериалов, метрологическое обеспечение и основы технологии наносистемной техники.

Сборник представляет интерес для ученых, инженеров и преподавателей высшей школы, аспирантов и студентов, специализирующихся в области нанотехнологии, наноматериалов, нанoeлектроники, микро- и наносистемной техники.