

## Фотоприемники ИК-диапазона на основе изопериодических эпитаксиальных слоев халькогенидов свинца—олова

© О.Н. Царенко, А.И. Ткачук, С.И. Рябец

Центральноукраинский государственный педагогический университет им. Владимира Винниченко, 25006 Кропивницкий, Украина  
e-mail: olegtsarenko55@gmail.com

(Поступило в Редакцию 20 февраля 2018 г. В окончательной редакции 2 октября 2018 г.)

Методами жидкофазной эпитаксии и термического вакуумного напыления сформированы фотоприемники ИК-диапазона на основе поверхностно-барьерных структур  $Pb/\delta\text{-слой}/p\text{-}Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y/p^+-Pb_{0.8}Sn_{0.2}Te/Au$  и  $Au/\delta\text{-слой}/n\text{-}Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y(BaF_2)/Pb$ . Поверхностно-барьерные структуры первого типа при температуре измерений  $\sim 170$  К, пиковой длине волны  $\lambda_p \sim 7.9\text{--}8.2\ \mu\text{m}$  и длине волны отсечки  $\lambda_c \sim 8.2\text{--}8.5\ \mu\text{m}$  имели произведение дифференциального сопротивления при нулевом смещении на активную площадь  $R_0A = 0.31\text{--}0.97\ \Omega \cdot \text{cm}^2$ , пиковую квантовую эффективность  $\eta_k = 0.32\text{--}0.48$  и удельную обнаружительную способность  $D_\lambda^* = (0.72\text{--}1.83) \cdot 10^{10}\ \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$ . Для фотодиодов на основе поверхностно-барьерных структур второго типа при температуре измерений  $\sim 80$  К эти параметры принимали значения в диапазоне  $\lambda_p \sim 8.6\text{--}12.3\ \mu\text{m}$ ,  $\lambda_c \sim 9.2\text{--}12.9\ \mu\text{m}$ ,  $R_0A = 1.71\text{--}2.72\ \Omega \cdot \text{cm}^2$ ,  $\eta_k = 0.34\text{--}0.49$ ,  $D_\lambda^* = (3.02\text{--}4.51) \cdot 10^{10}\ \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$ .

DOI: 10.21883/JTF.2019.03.47176.78-18

### Введение

Подавляющее большинство современной аппаратуры ИК-диапазона спектра создается на основе узкозонных полупроводниковых твердых растворов  $A^{II}B^{VI}$  и  $A^{IV}B^{VI}$ . Использование многокомпонентных твердых растворов (МТР)  $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$  позволяет плавно изменять ширину запрещенной зоны ( $E_g$ ) и параметр кристаллической решетки ( $a$ ) изменением химического состава, что является перспективным при получении изопериодических эпитаксиальных слоев (ИЭС) с заданным значением  $E_g$  в рабочем слое [1]. Наряду с этим, при построении инфракрасных детекторов не менее важной проблемой является выбор относительно недорогой и достаточно эффективной технологии получения высококачественных эпитаксиальных слоев (ЭС) — основы для формирования фотодиодов Шоттки. На сегодня жидкофазная эпитаксия (ЖФЭ) остается одним из альтернативных методов выращивания ИЭС МТР  $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$  с низкой концентрацией носителей тока при заданном составе и типе проводимости, исключая легирования [2,3].

В настоящей работе описана технология формирования инфракрасных фотодиодов с барьером Шоттки, тонким промежуточным туннельно-прозрачным диэлектрическим слоем собственного окисла ( $\delta$ -слоем) и надежными выпрямляющими и омическими контактами металл/полупроводник на основе структурно совершенных невырожденных ЭС МТР  $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$  разных типов проводимости, которые согласуются по параметру кристаллической решетки с полупроводниковыми и диэлектрическими подложками, прозрачными в диапазоне длин волн  $7\text{--}13\ \mu\text{m}$  при разных рабочих температурах.

### Методика эксперимента

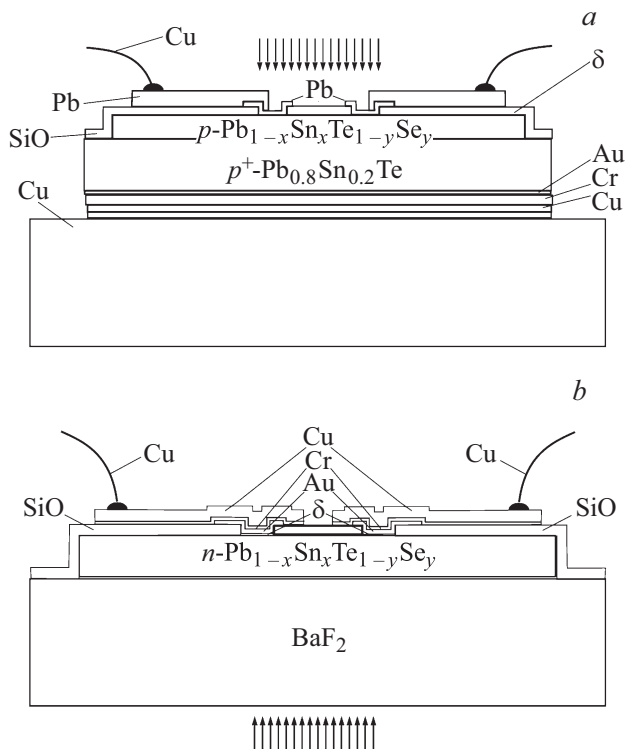
ЭС МТР  $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$  выращивались из ограниченного объема пересыщенного раствора-расплава  $(Pb_{1-v}Sn_v)_{1-w}(Te_{1-u}Se_u)_w$  методом ЖФЭ в вертикальном реакторе в потоке очищенного водорода. В качестве подложек использовали монокристаллы (111)  $BaF_2$  и (100)  $Pb_{0.8}Sn_{0.2}Te$  с поверхностной плотностью дислокаций  $N_d = (0.4\text{--}9) \cdot 10^5\ \text{cm}^{-2}$ . Подложки имели форму шайбы диаметром 20 мм и толщиной 0.8–2 мм. Температура ликвидуса составляла 773–873 К при скорости программного охлаждения 0.1–0.15 К/мин, диапазоне снижения температуры  $\sim 5$  К и исходном переохлаждении 1–2 К [2]. Полученные ЭС были зеркально-гладкими, при толщине 2–3  $\mu\text{m}$  их поверхностная плотность дислокаций не превышала  $10^5\ \text{cm}^{-2}$ .

На основе выращенных ЭС МТР  $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$ , методом термического вакуумного напыления при остаточном давлении  $10^{-5}$  мм рт.ст. с помощью системы масок из нержавеющей стали были сформированы линейки фотодиодов с использованием поверхностно-барьерных структур (ПБС) двух типов (рис. 1):

a)  $Pb/\delta\text{-слой}/p\text{-}Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y/p^+-Pb_{0.8}Sn_{0.2}Te/Au/Cr/Cu$ , на основе ЭС с содержанием  $0.13 \leq x \leq 0.18$  (at. fract.),  $0.02 \leq y \leq 0.04$  (at. fract.), концентрация носителей тока  $p = (4.3\text{--}7.6) \cdot 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$  при их подвижности  $\mu_p = (0.9\text{--}4.1) \cdot 10^3\ \text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  при  $T = 80$  К (рис. 1, a);

b)  $Cu/Cr/Au/\delta\text{-слой}/n\text{-}Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y(BaF_2)/Pb$ , где  $0.07 \leq x \leq 0.11$  (at. fract.),  $0.73 \leq y \leq 0.76$  (at. fract.),  $n = (1.9\text{--}3.6) \cdot 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$  и  $\mu_n = (0.71\text{--}1.01) \cdot 10^4\ \text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  при  $T = 80$  К (рис. 1, b).

Для получения ПБС первого типа (рис. 1, a) гетероструктуры  $p\text{-}Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y/p^+-Pb_{0.8}Sn_{0.2}Te$  с про-



**Рис. 1.** Схематическое изображение фотодиодов Шоттки на основе ПБС: *a* — Pb/ $\delta$ -слой/ $p$ -Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub>/ $p^+$ -Pb<sub>0.8</sub>Sn<sub>0.2</sub>Te/Au/Cr/Cu; *b* — Cu/Cr/Au/ $\delta$ -слой/ $n$ -Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub> (BaF<sub>2</sub>)/Pb.

типоволожной от выращенного ЭС стороны подвергали механической шлифовке до толщины подложки  $\sim 200 \mu\text{m}$  с последующей химико-динамической полировкой при комнатной температуре в растворе 95% HBr + 5% Br<sub>2</sub>. Для формирования омического контакта по всей поверхности подложки  $p^+$ -Pb<sub>0.8</sub>Sn<sub>0.2</sub>Te, с противоположной от ЭС стороны при температуре подложки  $T = 423\text{--}473 \text{ K}$  последовательно напыляли слои Au (толщиной  $\sim 1000 \text{ \AA}$ ), Cr ( $\sim 600 \text{ \AA}$ ) и Cu ( $\sim 2000 \text{ \AA}$ ).  $\delta$ -слой толщиной  $\sim 200 \text{ \AA}$  формировали путем окисления поверхности ЭС в течение 2–3 min при  $T = 473 \text{ K}$ .  $\delta$ -слой необходим для того чтобы при вакуумном напылении металлического выпрямляющего контакта не происходило его прямое химическое взаимодействие с поверхностью МТР халькогенида свинцола, поскольку в этом случае в области контакта появляется сложная гетерофазная область, содержащая продукты реакции металла и полупроводника, причем в переходной области всегда наблюдается выделение металлического олова. В такой системе возможно возникновение дополнительных потенциальных барьеров, препятствующих эффективному распределению фотоносителей [4].

Для формирования барьеров Шоттки на всю поверхность МТР  $p$ -Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub> при температуре подложки  $T = 523 \text{ K}$  напыляли изоляционный слой окиси SiO ( $\sim 5000 \text{ \AA}$ ), в котором оставляли окна  $0.5 \times 0.5 \text{ mm}$ .

В эти окна при  $T = 300 \text{ K}$  напыляли полупрозрачные барьерные электроды из Pb (толщиной  $\sim 300 \text{ \AA}$ ). Затем на часть каждого сформированного электрода поверх изоляционного слоя SiO напыляли полосы Pb толщиной  $\sim 10000 \text{ \AA}$  для создания контактных площадок. После этого всю структуру со стороны медного слоя крепили к медному тепловоду с помощью 52% In + 47% Sn + 1% Ag припоя, а также монтировали медные проволочки диаметром 0.1 mm к контактным площадкам за пределами барьерных электродов.

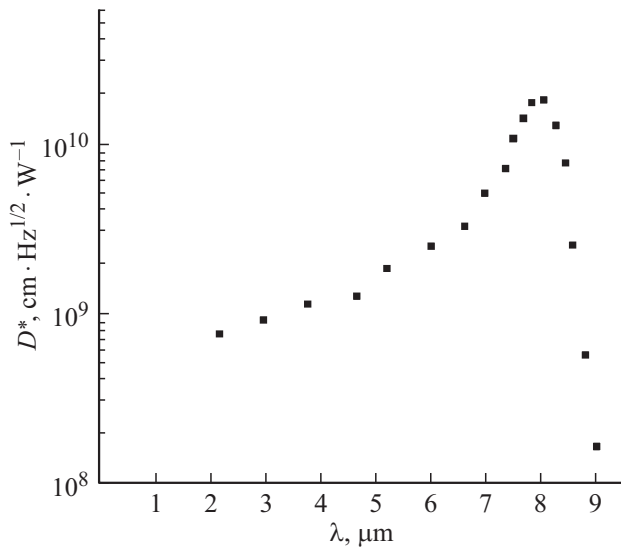
ПБС второго типа (рис. 1, *b*) сформированы следующим образом. Полученные ЭС  $n$ -Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub> отжигали в вакууме при температуре подложки  $T = 473 \text{ K}$  в течение 25 min для десорбции поверхностного слоя окисла, омические контакты формировали напылением при  $T = 300 \text{ K}$  полосок Pb толщиной  $\sim 5000 \text{ \AA}$ . Для формирования  $\delta$ -слоя толщиной  $\sim 200 \text{ \AA}$  свободную поверхность ЭС подвергали термическому окислению при  $T = 473 \text{ K}$  в течение 2–3 min. Сверх  $\delta$ -слоя по всей поверхности ЭС  $n$ -Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub> при  $T = 523 \text{ K}$  напыляли изоляционный слой SiO толщиной  $\sim 5000 \text{ \AA}$ , в котором так же, как и в первом случае, оставляли окна  $0.5 \times 0.5 \text{ mm}$ . Для формирования барьеров Шоттки в окна в SiO сверху  $\delta$ -слоя при  $T = 473 \text{ K}$  напыляли слой Au толщиной  $\sim 1000 \text{ \AA}$ . На часть каждого сформированного электрода поверх изоляционного слоя SiO при  $T = 453\text{--}473 \text{ K}$  последовательно напыляли полосы Cr (толщиной  $\sim 500 \text{ \AA}$ ) и Cu ( $\sim 6000 \text{ \AA}$ ) для создания контактных площадок, к которым за пределами барьерных электродов монтировали медные проволочки диаметром  $\sim 0.1 \text{ mm}$  с помощью 52% In + 47% Sn + 1% Ag припоя.

Измерения темновых вольт-амперных характеристик (ВАХ) проводили на постоянном токе в диапазоне температур 80–200 K. Вольт-фарадные характеристики (ВФХ) исследовали мостовым методом на частоте 1 MHz. Удельную обнаружительную способность поверхностно-барьерных структур измеряли на установке К-54.410 с температурой подогрева абсолютно черного тела 500 K. Модуляция излучения осуществлялась механическим прерывателем с частотой 800 Hz.

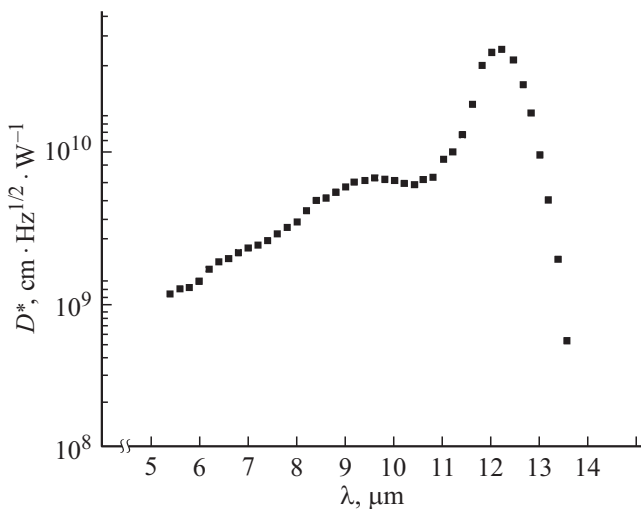
## Результаты и обсуждение

Сформированные таким образом линейки фотодиодов при температуре фона  $T_{\text{бckgr}} \sim 300 \text{ K}$  имели следующие усредненные характеристики:

*a*) Pb/ $\delta$ -слой/ $p$ -Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub>/ $p^+$ -Pb<sub>0.8</sub>Sn<sub>0.2</sub>Te/Au/Cr/Cu: пиковую длину волны  $\lambda_p \sim 7.9\text{--}8.2 \mu\text{m}$ , длину волны отсечки  $\lambda_c \sim 8.2\text{--}8.5 \mu\text{m}$ , произведение дифференциального сопротивления при нулевом смещении на активную площадь  $R_0A = 0.31\text{--}0.97 \Omega \cdot \text{cm}^2$ , пиковую квантовую эффективность  $\eta_\lambda = 0.32\text{--}0.48$ , удельную обнаружительную способность  $D_\lambda^* = (0.72\text{--}1.83) \cdot 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$  при температуре измерения  $T \sim 170 \text{ K}$  (оптимальной для данной ПБС);



**Рис. 2.** Спектральная зависимость удельной обнаружительной способности ИК-фотодиода на основе ПБС Pb/ $\delta$ -слой/ $p$ -Pb<sub>0.85</sub>Sn<sub>0.15</sub>Te<sub>0.97</sub>Se<sub>0.03</sub>/ $p^+$ -Pb<sub>0.8</sub>Sn<sub>0.2</sub>Te/Au/Cr/Cu при  $T \sim 170$  К.



**Рис. 3.** Спектральная зависимость удельной обнаружительной способности ИК-фотодиода на основе ПБС Au/ $\delta$ -слой/ $n$ -Pb<sub>0.89</sub>Sn<sub>0.11</sub>Te<sub>0.26</sub>Se<sub>0.74</sub>(BaF<sub>2</sub>)/Pb при  $T \sim 80$  К.

*b)* Cu/Cr/Au/ $\delta$ -слой/ $n$ -Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub>(BaF<sub>2</sub>)/Pb соответственно:  $\lambda_p \sim 8.6\text{--}12.3 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_c \sim 9.2\text{--}12.9 \mu\text{m}$ ,  $R_0A = 1.71\text{--}2.72 \Omega \cdot \text{cm}^2$ ,  $\eta_\lambda = 0.34\text{--}0.49$ ,  $D_\lambda^* = (3.02\text{--}4.51) \cdot 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$  при температуре измерения  $T \sim 80$  К.

На рис. 2 приведена типичная спектральная зависимость удельной обнаружительной способности исследуемых фотодиодов с ПБС первого типа на примере фотодиода Pb/ $\delta$ -слой/ $p$ -Pb<sub>0.85</sub>Sn<sub>0.15</sub>Te<sub>0.97</sub>Se<sub>0.03</sub>/ $p^+$ -Pb<sub>0.8</sub>Sn<sub>0.2</sub>Te/Au/Cr/Cu, который при  $T \sim 170$  К,  $\lambda_p = 8.1 \mu\text{m}$  и  $\lambda_c = 8.4 \mu\text{m}$  имел  $R_0A = 0.94 \Omega \cdot \text{cm}^2$ ,  $\eta_\lambda = 0.46$  и  $D_\lambda^* = 1.77\text{--}10^{10} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$ .

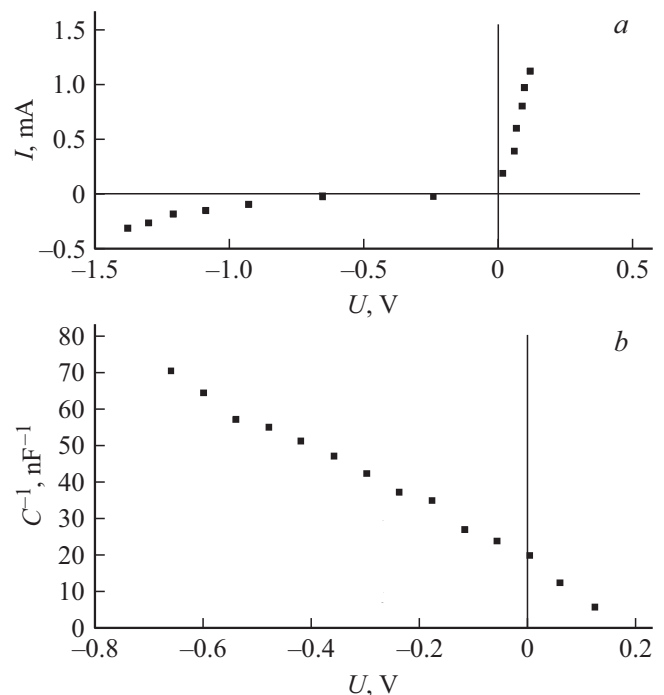
На рис. 3 приведена типичная спектральная зависимость удельной обнаружительной способности исследуемых фотодиодов с ПБС второго типа на примере фотодиода Cu/Cr/Au/ $\delta$ -слой/ $n$ -Pb<sub>0.89</sub>Sn<sub>0.11</sub>Te<sub>0.26</sub>Se<sub>0.74</sub>(BaF<sub>2</sub>)/Pb, который при  $T \sim 80$  К,  $\lambda_p = 12.3 \mu\text{m}$  и  $\lambda_c = 12.9 \mu\text{m}$  имел  $R_0A = 2.65 \Omega \cdot \text{cm}^2$ ,  $\eta_\lambda = 0.48$  и  $D_\lambda^* = 4.48\text{--}10^{10} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$ .

В области напряжений смещения  $0.01 < U < 0.33$  В прямые ветки темновых ВАХ полученных фотодиодов хорошо аппроксимировались зависимостью

$$I = I_S \exp \left[ \frac{q(U - Ir)}{\beta kT} \right] \quad [\text{A}],$$

где  $\beta$  — коэффициент идеальности;  $I_S$  — ток насыщения;  $k$  — постоянная Больцмана;  $T$  — температура измерения;  $r$  — последовательное сопротивление барьерной структуры. В данном диапазоне напряжений обратный ток не достигал насыщения, а ветки имели вид, характерный для „мягкого пробоя“, что обусловлено зависимостью высоты энергетического барьера для потока основных носителей тока из металла в полупроводник от приложенного напряжения (уменьшается при увеличении обратных напряжений). Так, ПБС первого типа имели значения  $\beta = 1.7\text{--}2.8$ ,  $I_S = 94\text{--}229 \mu\text{A}$  при  $r = 3.5\text{--}6.7 \Omega$ . На рис. 4, а приведена типичная ВАХ полученных фотодиодов на основе ПБС Pb/ $\delta$ -слой/ $p$ -Pb<sub>0.85</sub>Sn<sub>0.15</sub>Te<sub>0.97</sub>Se<sub>0.03</sub>/ $p^+$ -Pb<sub>0.8</sub>Sn<sub>0.2</sub>Te/Au/Cr/Cu при  $\sim 170$  К.

В целом возможные механизмы прохождения носителей заряда через барьер Шоттки в полученных ПБС металл/ $\delta$ -слой/Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub> могут задаваться



**Рис. 4.** ВАХ (а) и ВФХ (б) фотодиода на основе ПБС Pb/ $\delta$ -слой/ $p$ -Pb<sub>0.85</sub>Sn<sub>0.15</sub>Te<sub>0.97</sub>Se<sub>0.03</sub>/ $p^+$ -Pb<sub>0.8</sub>Sn<sub>0.2</sub> при  $T \sim 170$  К.

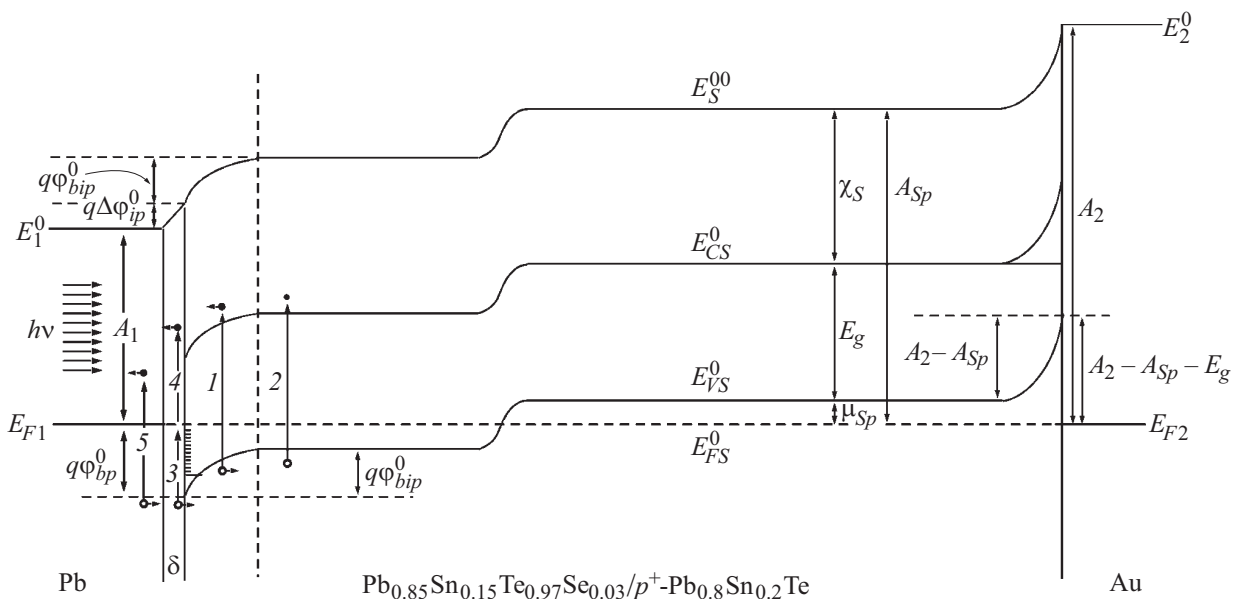


Рис. 5. Качественная энергетическая диаграмма ПБС Pb/δ-слой/p-Pb<sub>0.85</sub>Sn<sub>0.15</sub>Te<sub>0.97</sub>Se<sub>0.03</sub>/p<sup>+</sup>-Pb<sub>0.8</sub>Sn<sub>0.2</sub>Te при нулевом смещении.

эмиссией носителей заряда над барьером запирающего слоя, туннелированием носителей заряда через барьер запирающего слоя, генерацией или рекомбинацией носителей заряда в запирающем слое, туннельным резонансным прохождением носителей заряда через локальные уровни в запирающем слое, рекомбинацией и генерацией дырок в квазинейтральной области ЭС, прохождением зарядов через поверхностные состояния, туннелированием носителей заряда через барьер δ-слоя и прохождением носителей заряда над барьером δ-слоя.

ВАХ фотодиодов для обратных напряжений смещения  $-0.8 < U < 0 \text{ V}$  удовлетворительно аппроксимировались зависимостью

$$C^{-2} = B\beta \left[ \beta \left( \varphi_{bi}^0 - \frac{kT}{q} \right) - U \right] \quad [\text{F}^{-2}],$$

где  $B$  — коэффициент пропорциональности;  $\varphi_{bi}^0$  — величина диффузионного потенциала при нулевом смещении, который для ПБС первого типа принимал значения  $0.105-0.119 \text{ V}$  при напряжениях отсечки  $U_l = 0.167-0.273 \text{ V}$  и емкости при нулевом смещении  $C_0 = 219-271 \text{ pF}$  при температуре измерений  $T \sim 170 \text{ K}$ . На рис. 4, b приведена типичная ВФХ полученных фотодиодов на основе ПБС Pb/δ-слой/p-Pb<sub>0.85</sub>Sn<sub>0.15</sub>Te<sub>0.97</sub>Se<sub>0.03</sub>/p<sup>+</sup>-Pb<sub>0.8</sub>Sn<sub>0.2</sub>Te/Au/Cr/Cu при  $\sim 170 \text{ K}$ . Для ПБС второго типа  $C_0$  принимало значения в диапазоне  $2.2-2.4 \text{ nF}$  при температуре измерения  $T \sim 80 \text{ K}$ .

Полученные результаты ВФХ позволяют описать эквивалентную схему данных ПБС металл/δ-слой/Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub> как имеющую последовательное соединение сопротивления δ-слоя ( $R_i$ ) и дифференциального сопротивления запирающего слоя ( $R_d$ ), параллельно которым имеется последовательное соединение

емкости поверхностных состояний ( $C_{SS}$ ) и дифференциальной емкости запирающего слоя ( $C_d$ ). Фактически в предположении, что при достаточной толщине δ-слоя неосновные носители заряда и электроны в поверхностных состояниях не успевают следить за изменением высокочастотного сигнала, сама емкость барьерного контакта состоит из двух последовательных емкостей

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{SS}} + \frac{1}{C_d} \quad [\text{F}^{-1}].$$

Анализ полученных экспериментальных ВАХ и ВФХ показывает, что большим значениям  $\beta$  соответствуют большие значения  $U_l$ , а построенная в координатах  $C^{-2}-V$  барьерная емкость контактов изображается прямыми линиями. Это объясняется существенным влиянием на параметры полученных фотодиодов Шоттки толщины и состава δ-слоя. При этом наличие δ-слоя позволяет с помощью приложенного внешнего напряжения смещения регулировать высоту потенциального барьера для потока основных носителей заряда, возбужденных в металле, и соответственно управлять фототоком в ПБС Шоттки.

Следует отметить, что сформированная структура Pb/δ-слой/p-Pb<sub>0.85</sub>Sn<sub>0.15</sub>Te<sub>0.97</sub>Se<sub>0.03</sub>/p<sup>+</sup>-Pb<sub>0.8</sub>Sn<sub>0.2</sub>Te/Au с барьером Шоттки по своей конструкции имеет еще и изотипный p-p<sup>+</sup>-гетеропереход на границе раздела эпитаксиальный слой/подложка. Однако, поскольку и Pb<sub>0.85</sub>Sn<sub>0.15</sub>Te<sub>0.97</sub>Se<sub>0.03</sub> и p<sup>+</sup>-Pb<sub>0.8</sub>Sn<sub>0.2</sub>Te имеют при  $\sim 170 \text{ K}$  приблизительно одинаковую ширину запрещенной зоны ( $E_g \sim 0.15 \text{ eV}$ ), можно предположить, что данный гетеропереход не имеет разрывов в валентной зоне и зоне проводимости, а значит не имеет в валентной зоне барьера, который препятствовал бы движению дырок (рис. 5). Поэтому для данного типа ПБС влиянием

изотипного  $p-p^+$ -гетероперехода на ВАХ и ВФХ диода Шоттки можно пренебречь. Именно это обусловило выбор базовой температуры измерений характеристик ПБС первого типа в области  $\sim 170$  К.

## Заключение

Таким образом, в работе описана технология получения инфракрасных фотоприемников на основе ИЭС МТР  $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$  на диэлектрических и полупроводниковых подложках. Исследования электрофизических и фотоэлектрических свойств сформированных поверхностно-барьерных структур свидетельствуют, что разработанная технология дает возможность получать линейки инфракрасных фотодиодов, которые при пиковых длинах волн и рабочих температурах измерения имеют значения удельной обнаружительной способности, величины которых близки к пределу детектирования, ограниченной фоновыми шумами ( $T_{\text{bckgr}} \sim 300$  К).

## Список литературы

- [1] Ковалев Ю.Г., Ткачук А.И., Филер З.Е., Царенко О.Н. // Петербургский журнал электроники. 2010. № 4 (65). С. 33–39.
- [2] Tsarenko O.N., Ryabets S.I., Tkachuk A.I. // Functional Materials. 2005. Vol. 12. N 3. P. 526–530.
- [3] Pashaev A.M., Davarashvili O.I., Aliyev V.A., Enukashvili M.I., Zlomanov V.P., Kamushadze T.D., Mirianashvili Sh.M. // Georgia Chem. J. 2009. Vol. 9. N 1. P. 1–3.
- [4] Ткачук А.И., Царенко О.Н., Рябец С.И., Ткачук И.Ю., Ковалев Ю.Г. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2007. № 1 (67). С. 42–44.