

Д. т. н. А. А. АЩЕУЛОВ¹, А. В. ГАЛОЧКИН¹, к. т. н. И. С. РОМАНЮК²,
к. х. н. С. Г. ДРЕМЛЮЖЕНКО³

Украина, г. Черновцы, ¹Буковинский государственный финансово-экономический университет,

²Завод «Кварц», ³ЧНУ имени Юрия Федьковича

E-mail: ashcheulovaa@rambler.ru

РАДИАЦИОННО СТОЙКАЯ ФОТОСТРУКТУРА НА ОСНОВЕ Cr/In₂Hg₃Te₆ ДЛЯ ДИОДА ШОТТКИ

Представлены конструкция и технология изготовления структуры фотодиода Шоттки на основе подложки из радиационно-стойкого кристалла n-In₂Hg₃Te₆ с барьерным слоем из Cr, характеризующегося фотоотчетом в области 0,6–1,6 мкм при максимальной чувствительности 0,43 А/Вт на длине волны 1,55 мкм. Исследования электрических параметров этих фотодиодных структур показали, что высота потенциального барьера составляет 0,41 эВ, а величина обратного темнового тока не превышает 4 мкА. Созданные устройства сохраняют свою работоспособность при дозах гамма-облучения 2·10⁸ бэр.

Ключевые слова: фотодиод Шоттки, радиационная стойкость, In₂Hg₃Te₆, Cr.

В настоящее время весьма актуальны различные оптические системы обработки информации, в том числе и со спектральным рабочим диапазоном, расположенным в области прозрачности кварцевого стекловолокна [1]. В качестве приемников излучения в этом случае используются фотодиоды на основе Ge, Si, InGaAs, GaInAsP и др. [2, 3]. В случае оптических систем, функционирующих в условиях повышенной радиации, оптимальным оказалось использование фотоприемных устройств на основе кристаллов In₂Hg₃Te₆ [4]. С одной стороны, это вызвано тем, что данный полупроводник характеризуется фоточувствительностью в спектральном диапазоне 0,5–1,6 мкм [5], с другой — его повышенной радиационной стойкостью к α-, β- и γ-излучениям [6], обусловленной наличием в его кристаллической структуре электрически нейтральных катионных вакансий [7].

Анализ электрических и фотоэлектрических параметров существующих фотодиодов Шоттки (ФДШ) [8–10], а также результаты исследований их радиационной стойкости [11] показали, что относительно равномерным спектральным распределением фоточувствительности S характеризуются фотоструктуры на основе ИТО/In₂Hg₃Te₆ и Au/In₂Hg₃Te₆ ($S=0,48–0,76$ А/Вт), а наиболее высокой радиационной стойкостью обладают фотоструктуры на основе Ni/In₂Hg₃Te₆ — доза облучения D , при которой они сохраняют работоспособность, составляет примерно $8 \cdot 10^7$ бэр. Дальнейшее увеличение D приводит к снижению чувствительности

этой структуры вследствие отслаивания барьерного слоя из Ni.

Анализ характера и вида разрушений, возникающих в конструкции существующих ФДШ под воздействием гамма-излучения, показал, что в основном они определяются процессами аморфизации материалов барьерного и омического слоев [11], которые приводят к ухудшению адгезии и, как следствие, к разрушению электрических контактов между монокристаллической подложкой из In₂Hg₃Te₆ и этими слоями. Следует отметить, что при этом не наблюдается заметного изменения электрофизических свойств подложки.

Обзор литературы по материалам, используемым в качестве радиационно стойких барьерных слоев, показал, что с точки зрения оптических, электрических, химических и адгезионных свойств, а также радиационной стойкости оптимальным в этом случае является слой из Cr [12, 13].

Целью настоящей работы является разработка и исследование ФДШ-структур на основе In₂Hg₃Te₆ с барьерным слоем из Cr, характеризующихся повышенной радиационной стойкостью.

Особенности ФДШ на основе Cr/In₂Hg₃Te₆

Структура предлагаемого ФДШ (рис. 1) представляет собой монокристаллическую подложку из монокристалла n-In₂Hg₃Te₆, выращенного модифицированным методом зонной перекристаллизации [14], в котором нивелирован эффект седиментации исходных материалов [15]. Радиационно стойкие монокристаллы, получаемые этим методом, характеризуются повышенной однородностью физических параметров как в поперечном направлении, так и в продольном

Авторы выражают благодарность к. т. н. Ю. Г. Добровольскому за помощь и полезные замечания.

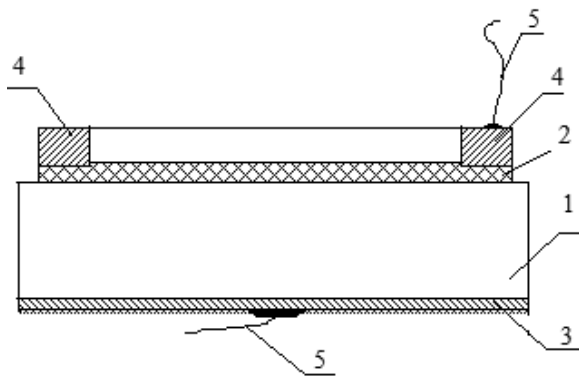


Рис. 1. Структура ФДШ на основе Сг/In₂Hg₃Te₆: 1 — подложка из n-In₂Hg₃Te₆; 2 — барьерный слой Сг; 3 — омический контакт из In; 4 — переходной слой нихрома; 5 — электровыводы из нихрома

[14]. Их использование позволяет значительно уменьшить обратный темновой ток ФДШ [16], величина которого зависит от неоднородности кристалла, из которого изготовлена подложка.

Разрезание выращенных монокристаллов на образцы требуемой конфигурации и размеров проводилась вольфрамовой струной с подачей водной суспензии абразива АМ10; механическая шлифовка — свободными абразивами М10, М5; механическая полировка — алмазными пастами АСМ с зернами разных размеров. Финишная обработка проводилась двумя способами: химическое травление в 8%-м растворе брома в метаноле (травитель 1); химико-механическая полировка в растворе, в состав которого входили аминоэтоксисаэросил, H₂O₂, NaOH, C₃H₈O₃ (травитель 2).

Верхняя фронтальная грань подложки обрабатывалась лазерным излучением с помощью установки ГОР-100М, благодаря чему удалялся нарушенный вследствие механической обработки поверхностный слой. Далее проводился отжиг в парах ртути при температуре $T=460-490$ К на протяжении 700 ч. Концентрация собственных носителей электрического заряда материала подложки размерами 2×2 мм составляла $n = 10^{11}-10^{13}$ см⁻³, а их подвижность $\mu = 275-300$ см²/(В·с).

Поверхность верхней грани подложки 1 содержит слой Сг 2 (в форме круга диаметром 1,2 мм), нанесенного методом катодного напыления на установке УВН-71ПЗ с использованием молибденовой маски соответствующей формы и размеров. При этом температура подложки поддерживалась на уровне 380—400 К, а напыление навески Сг проводилось со средней скоростью 0,7 нм/с. Толщина барьерного слоя Сг определялась из условия максимального оптического пропускания и составляла 10—11 нм [17].

Исследование морфологии поверхности, а также структуры напыленной пленки Сг проводилось с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ-100У методом «вторичных электронов» и сканированием в рентгеновских лу-

чах. Результаты показали, что поверхностный слой является однородным и характеризуется поликристаллической структурой.

Далее на слой Сг через соответствующую молибденовую маску методом термического напыления наносился переходной слой нихрома 4 толщиной 1,5—2 мкм в форме кольца с разрезом. Для повышения адгезии и оптической прозрачности системы «подложка — барьерный слой», а также увеличения временной стабильности электрических, фотоэлектрических и оптических характеристик, подложка вместе с нанесенными слоями отжигалась с помощью СО₂-лазера ($\lambda = 10,6$ мкм) со стороны нижней грани подложки, являющейся прозрачной для такого излучения. После этого на нижнюю грань подложки также методом термического напыления наносился омический In-контакт 3. Нихромовый электровывод 5 крепился к слою нихрома 4 методом импульсной электросварки.

Исследование параметров ФДШ

Исследования основных параметров ФДШ, таких как спектральная зависимость чувствительности, ее максимальное значение, обратный темновой ток, определялись по стандартным методам [18].

Анализ полученных результатов показал, что созданные структуры чувствительны к излучению в диапазоне 600—1600 нм (при интегральной дозе облучения $D = 0$), при этом максимальное значение чувствительности (0,43 А/Вт) приходится на длину волны 1550 нм (рис. 2).

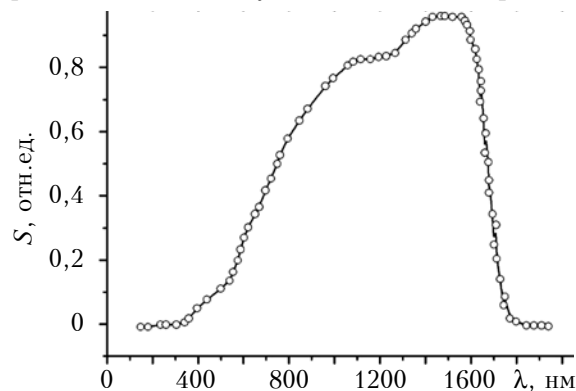


Рис. 2. Спектральная зависимость чувствительности структуры Сг/In₂Hg₃Te₆

Анализ приведенных на рис. 3 вольт-амперных характеристик этих структур указывает на то, что экспоненциальная зависимость протекания прямого тока подчиняется классическому выражению Шокли

$$I = I_S \left(\exp \frac{qU}{nkT} - 1 \right),$$

где I_S — ток насыщения, $I_S = APT \exp \phi / (kT)$;

A — константа Ричардсона;

P — площадь барьерного перехода;

ϕ_b — высота потенциального барьера.

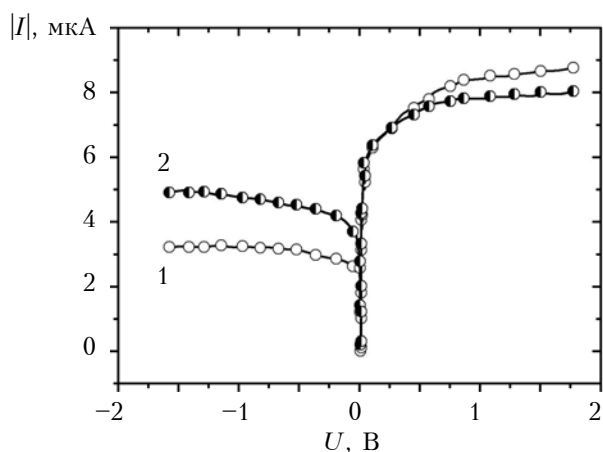


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики необлученной структуры $\text{Cr}/\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ (1) и при облучении дозой $2 \cdot 10^8$ бэр (2)

При этом значение темнового тока находится в диапазоне 1–4 мкА при обратном смещении 1 В. Экстраполяция полулогарифмической зависимости $\ln I = f(U)$ позволила определить величину тока насыщения, а также ϕ_b , которое составило 0,41 эВ (при $A = 120$ и $P = 0,25\pi d^2 = 1,13 \text{ мм}^2$). Поскольку ширина запрещенной зоны $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ составляет 0,7 эВ, а высота потенциального барьера ФДШ почти вдвое меньше, то можно утверждать о том, что контакт «металл – полупроводник» созданного устройства качественный.

Испытания радиационной стойкости партии созданных структур проводились на стандартных установках, содержащих изотоп Co-60 , а в случае бета-излучения – на установке ГВГ-11А. Ухудшения параметров ФДШ практически не наблюдалось в первом случае при $D = 10^7$ – $2 \cdot 10^8$ бэр и при $D = 10^7$ бэр во втором. При увеличении же интегральной дозы гамма-облучения до $5 \cdot 10^8$ бэр максимальная спектральная чувствительность падала до значения 0,38 А/Вт, а обратный темновой ток возрастал до 5–6 мкА. Следует отметить, что при аналогичных дозах радиации стандартные ФДШ на основе Si полностью теряют свою работоспособность [11].

Предварительные исследования, проведенные методом «на отражение» с помощью электронографа ЭГ-100А на соответственно подготовленных пластинах $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ с нанесенным слоем In, показали, что изменения параметров облученных устройств вызваны, в первую очередь, аморфизацией нижнего омического In-контакта, которая происходит из-за радиационного разрушения низкоэнергетических неэквивалентных орбиталей, составляющих тонкую структуру химических связей In [19]. При этом результаты измерения электрических параметров подложки

не показали существенного изменения ее удельного сопротивления.

Выводы

Таким образом, созданные фотоструктуры диодов Шоттки на основе монокристаллической подложки $n\text{-In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ с барьерным слоем из Cr обладают спектральной чувствительностью в диапазоне 0,6–1,6 мкм с максимумом 0,43 А/Вт на длине волны 1,55 мкм. При комнатной температуре обратный темновой ток такого ФДШ не превышает 4 мкА при смещении 1 В. Данное устройство выдерживает радиационные потоки до $2 \cdot 10^8$ бэр, что позволяет рекомендовать эти фотоструктуры для практического применения. При этом в случае использования новых радиационно стойких контактных материалов следует ожидать дальнейшее повышение их радиационной стойкости.

Данные структуры рекомендуются к использованию в различных приборах, устройствах и системах, предназначенных для регистрации излучения видимой и ближней части ИК-спектра оптического диапазона, функционирующих при повышенных дозах гамма-радиации.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Каток В.Б., Короп Б.В., Никитченко Ю.Б., Руденко И.Е. Волоконно-оптические системы передачи. – Москва: Ирис, 1994.
2. Абдулхаев О.А., Едгорова Д.М., Каримов А.В., Кулиев Ш.М. Высокочувствительный фотоприемник на основе германиевой двухбарьерной структуры с эффектом смыкания // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2015. – № 4. – С. 24–26. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2015.4.24>
3. Бараночников М.Л. Приемники и детекторы излучений. Справочник. – Москва: ДМК Пресс, 2012.
4. Домашевская Э.П., Неврюева Е.Н., Грушка Г.Г. и др. Влияние стехиометрических вакансий на поведение потолка валентной зоны в твердых растворах $(\text{In}_2\text{Te}_3)_x-(\text{Hg}_3\text{Te}_3)_{1-x}$ // ФТП. – 1991. – Т. 25, вып. 5. – С. 893–897.
5. Малик А.И., Грушка Г.Г. Самокалиброванный измерительный ИК фотодиод на основе дефектного полупроводника $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ для спектрального диапазона 0,85–1,5 мкм // ЖТФ. – 1990. – № 10. – Р. 188–190.
6. Грушка Г.Г., Грушка З.М., Гавалешко Н.П. Электрические свойства собственного полупроводника $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ // УФЖ. – 1985. – Т. 30, № 2. – С. 304–307.
7. Диэлектрики и полупроводники в детекторах излучения / Под. ред. Ю.В. Малюкина. – Харьков: Институт монокристаллов, 2006.
8. Косяченко Л.А., Паранчик С.Ю., Макогоненко В.Н. и др. Электрические свойства поверхностно-барьерной фотодиодной структуры на основе HgInTe // ЖТФ. – 2003. – Т. 73, № 5. – С. 126–129.
9. Косяченко Л.А., Паренко И.М., Склярчук Е.Ф., Герман И.И., Sun Weiguo. Электрические характеристики фотодиодов ITO/HgInTe // ФТП. – 2006. – Т. 40, № 5. – С. 568–571.

10. Сялярчук В.М., Захарук З.І., Рибак Є.В. та ін. Електрофізичні властивості діодів Шотткі $\text{Ni-Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ // XI Міжнар. конф. з фізики і технології тонких плівок. — Україна, Івано-Франківськ. — 2007. — С. 182.

11. Ковальчук М.Л. Дослідження твердих розчинів на основі HgTe як базових для фотоприймачів широкого спектрального діапазону електромагнітного випромінювання / Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. — ЧНУ ім. Ю.Федьковича. — 2009.

12. Кочубей В.А., Атучин В.В., Покровский Л.Д. и др. Структура, микрорельеф и оптические свойства пленок хрома, полученных методом сублимации в вакууме // Письма о материалах. — 2013. — Т. 3, № 4. — С. 326–329.

13. Kulkarni A.K., Chang L.C. Electrical and structural characteristics of chromium thin films deposited on glass and alumina substrates // Thin Solid Films. — 1997. — Vol. 301, iss. 1-2. — P.17–22.

14. Пат. 105367 України. Процес отримання монокристалів $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ / Галочкін О.В. и др. — 2016. — Бюл. № 5.

15. Галочкін О.В., Годованюк В.М., Захарук З.І. та ін. Вплив гравітаційної седиментації в розплавах багатокомпонентних напівпровідників на процеси вирощування

кристалів спрямованою кристалізацією, зонною плавкою // Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ. — 2010. — № 1. — С. 10–15.

16. Галочкін О.В., Ащеулов А.А., Дремлюженко С.Г. Координатно-чутливий фотодіод Шотткі на $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ // Конф. молодих вчених з фізики напівпровідників «Лашкарівські читання 2016». — Україна, Київ. — 2016. — С. 52.

17. Андреев В.Г., Ангелуц А.А., Вдовин В.А., Лукичев В.Ф. Спектральные характеристики пленок хрома нанометровой толщины в терагерцовом диапазоне частот // Письма в ЖТФ. — 2015. — Т.41, №4. — С. 52–60.

18. Докторович И.В., Бутенко, В.К., Годованюк, В.Н., Юрьев, В.Г. Методика определения динамического диапазона полупроводниковых фотоприемников // Технологии и конструирование в электронной аппаратуре. — 2002. — № 6. — С. 14–15.

19. Ащеулов А. А., Маник О. Н., Маник Т. О., Билинский-Слотыло В. Р. Молекулярная модель и химическая связь теллура // Технологии и конструирование в электронной аппаратуре. — 2010. — №5–6. — С. 46–50.

Дата поступления рукописи
в редакцию 28.03 2016 г.

А. А. АЩЕУЛОВ¹, О. В. ГАЛОЧКИН¹, І. С. РОМАНЮК², С. Г. ДРЕМЛЮЖЕНКО³

Україна, Чернівці, ¹Буковинський державний фінансово-економічний університет,

²Завод «Кварц», ³ЧНУ імені Юрія Федьковича

Email: ashcheulovaa@rambler.ru

РАДІАЦІЙНО СТИЙКА ФОТОСТРУКТУРА НА ОСНОВІ $\text{Cr}/\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ ДЛЯ ДІОДА ШОТТКІ

Представлено конструкцію і технологію виготовлення структури фотодіода Шотткі на основі підкладки з радіаційно стійкого кристала $n\text{-In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ з бар'єрним шаром з Cr , що характеризується фотовідповіддю в області 0,6–1,6 мкм при максимальній чутливості 0,43 А/Вт на довжині хвилі 1,55 мкм. Дослідження електричних параметрів цих фотодіодних структур показали, що висота потенційного бар'єру складає 0,41 еВ, а величина зворотного темного струму не перевищує 4 мкА. Створені пристрої зберігають свою працездатність при дозах гамма-опромінення $2 \cdot 10^8$ бер.

Ключові слова: фотодіод Шотткі, радіаційна стійкість, $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$, Cr .

DOI: 10.15222/TKEA2016.2-3.03

UDC 621.383.526, 621.793

A. A. ASHCHEULOV¹, A. V. GALOCHKIN¹,

I. S. ROMANYUK², S. G. DREMLUZHENKO³

Ukraine, Chernivtsi, ¹Bukovina State University of Finance and Economy,

²Business Park «Quartz», ³Chernivtsi National University

RADIATION-RESISTANT PHOTOSTRUCTURE FOR SCHOTTKY DIODE BASED ON $\text{Cr}/\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$

Ge, Si, InGaAs, GaInAsP photodiodes are used as optical radiation receivers and function in a spectral range of transparency of quartz fiberglass. For the optical systems operated in the increased radioactivity the photodetectors' application on $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ crystal base characterized by a photosensitivity in the spectral range of 0,5–1,6 μm and also by increased radiation resistance to alpha, beta and gamma radiation is most acceptable.

Schottky photodiode structure was designed on the base of this semiconductor formed by a modified floating zone recrystallization technique where the sedimentation effect was leveled. It consists of $n\text{-In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ substrate and deposited by cathode sputtering Cr barrier layer of thickness within a range 10–11 nm choice of Cr is determined by its optimal optical, electric and adhesive features in high quality radiation-resistant photodiode structures manufacturing. Indium and nichrome are used as ohmic contacts.

The barrier structures have the contact area of $1,13 \text{ mm}^2$ with photo response of $0,6-1,6 \text{ }\mu\text{m}$ at the maximal sensitivity $0,43 \text{ A/W}$ on the wavelength $1,55 \text{ }\mu\text{m}$. Reverse dark current of these structures do not exceed $4 \text{ }\mu\text{A}$ at the bias of 1 V ($T=295 \text{ K}$), and the potential barrier height is equal to $0,41 \text{ eV}$. The tests of radiation resistance of these structures demonstrated their ability to function at doses of $2 \cdot 10^8 \text{ rem}$ without evident parameters changes. This allows using them in practical aims in the conditions of high radiation.

Keywords: Schottky photodiode, radiation resistance, $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$, Cr.

REFERENCES

1. Katok V.B., Korop B.V., Nikitchenko Yu.B., Rudenko I.E. *Volokonno-opticheskie sistemy peredachi* [Fiber optic transmission system]. Moscow, Iris, 1994, 120 p. (Rus)
2. Abdulkhaev O. A., Yodgorova D. M., Karimov A. V., Kuliyeu S. M. [Highly sensitive photodetector based on Ge double-barrier punch-through structure]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2015, no 4, pp. 24-26. (Rus) <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2015.4.24>
3. Baranochnikov M.L. *Priemniki i detektory izlucheniya: Spravochnik* [Receivers and detectors of optical radiation: Handbook]. Moscow, DMK Press, 2012, 640 p. (Rus)
4. Domashevskaya E.P., Nevryueva E.N., Grushka G.G., Govareshko N.P., Bayev A.S., Terekhov V.A. [Influence of stoichiometric vacancies on the top of valence band in solid solutions $(\text{In}_2\text{Te}_3)_x-(\text{Hg}_3\text{Te}_3)_{1-x}$]. *FTP*, 1991, vol. 25, iss. 5. pp. 893-897. (Rus)
5. Malik A.I., Grushka G.G. [Self-calibrated radiometric IR photodiode based on defect semiconductor $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ for the spectral range $0.85-1.5 \text{ }\mu\text{m}$]. *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki*, 1990, iss. 10, pp. 188-190. (Rus)
6. Grushka G.G., Grushka Z.M., Govareshko N.P. [Electrical properties of intrinsic semiconductor $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$]. *Ukrainian Journal of Physics*, 1985, vol. 30, no. 2, pp. 304-307. (Rus)
7. *Dielektriki i poluprovodniki v detektorakh izlucheniya* [Insulators and semiconductors in the detectors of radiation]. Ed. by Yu.V. Malyukina. Kharkov, Institute of Monocrystals, 2006, 360 p. (Rus)
8. Kosyachenko L. A., Paranchich Yu. S., Makogonenko V. N., Sklyarchuk V. M., Sklyarchuk E. F., German I. I. *Electrical performance of HgInTe surface-barrier photodiodes*. *Technical Physics*, 2003, vol. 48, no. 5, p. 647.
9. Kosyachenko L.A., Rarenko I.M., Sklyarchuk E.F., German I.I., Sun Weiguo. Electrical characteristics of ITO/ HgInTe photodiodes. *Semiconductors*, 2006, vol. 40, iss. 5, pp. 554-557. <http://dx.doi.org/10.1134/S1063782606050083>
10. Sklyarchuk V.M., Zakharuk Z.I., Rybak Ye.V., Rarenko I.M., Sklyarchuk O.F., German I.I. [Electrical properties of the Shottki diodes on $\text{Ni-Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$]. *Proceed. of the XI Int. Conference Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems*, Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2007, p. 182. (Ukr)
11. Koval'chuk M.L. *Doslidzhennya tverdikh rozchiniv na osnovi HgTe yak bazovikh dlya fotopriimachiv shirokogo spektral'nogo diapazonu elektromagnitnogo viprominyuvannya*. Diss. kand. fiz.-mat. nauk [Study solid solutions based on HgTe as base for the photodetectors wide spectral range of electromagnetic radiation. Dr. phys. and math. sci. diss.] Chernivtsi National University, Ukraine, 2009. (Ukr)
12. Kochubey V.A., Atuchin V.V., Pokrovsky L.D., Soldatenkov I.S., Troitskaia I.B., Kozhukhov A.S., Kruchinin V.N. [Structure, microrelief and optical properties of chromium films deposited by sublimation in vacuum]. *Letters on materials*, 2013, vol. 3, iss. 4, pp. 326-329. (Rus)
13. Kulkarni A.K., Chang L.C. Electrical and structural characteristics of chromium thin films deposited on glass and alumina substrates. *Thin Solid Films*, 1997, vol. 301, iss. 1-2, pp. 17-22.
14. Galochkin O.V. et. al. *Protses otrimannya monokristaliv $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$* [The process of obtaining single crystals $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$]. Patent UA, no. 105367, 2016.
15. Galochkin O.V., Godovanyuk V.M., Zakharuk Z.I., Kolisnyk M.G., Rarenko A.I., Rarenko I.M., Ruskovoloshyn M.M., Raranskiy M.D. [Influence of gravitational sedimentation in semiconductor melt on the crystal growth by direct crystalization, zone melting]. *Novi tekhnologiyi. Naukovii visnik KUEITU*, 2010, no. 1, pp. 10-15. (Ukr)
16. Galochkin O.V., Ashcheulov A.A., Dremlyuzhenko S.G. [Jig-sensitive photodiode on Schottky on $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$]. *Conference of young scientists on semiconductor physics "Lashkaryov's readings 2016"*, Ukraine, Kyiv, p. 52. (Ukr)
17. Andreev V. G., Angeluts A. A., Vdovin V. A., Lukichev V. F. Spectral characteristics of nanometer-thick chromium films in terahertz frequency range. *Technical Physics Letters*, 2015, vol. 41, iss. 2, pp. 180-183. <http://dx.doi.org/10.1134/S1063785015020170>
18. Doctorovich I.V., Butenko V.K., Godovanyuk V.N., Yur'ev V.G. [Determination methodology of dynamic range of semiconductor photodetectors]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2002, no. 6, pp. 14-15. (Rus)
19. Ashcheulov A.A., Manyk O.N., Manyk T.O., Bilinsky-Slotylo V.R. [Molecular model and chemical bond of tellurium]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2010. no. 5-6, pp. 46-50. (Rus).