

12-15-2019

## SOME FEATURES OF HETEROJUNCTION OF Au-GaAs: O-nCdS-nInP-Au STRUCTURES PHOTONSENSITIVITY

Feruzza Abdiazizovna Giyasova

*Physical-Technical Institute NGO "Physics-Sun" of ASUZ, Tashkent, Uzbekistan, feruzagfa@mail.ru*

Abdulaziz Vakhitovich Karimov

*Physical-Technical Institute NGO "Physics-Sun" of ASUZ, Tashkent, Uzbekistan, karimov@uzsci.net*

Dilbara Mustafayevna Yodgorova

*Research Institute of Physics of Semiconductors and Microelectronics at NUUZ, Tashkent, Uzbekistan, yodgorova@uzsci.net*

Oybek Abdullazizovich Abdulkhaev

*Research Institute of Physics of Semiconductors and Microelectronics at NUUZ, Tashkent, Uzbekistan, abdulhaev@uzsci.net*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/semiconductors>

---

### Recommended Citation

Giyasova, Feruzza Abdiazizovna; Karimov, Abdulaziz Vakhitovich; Yodgorova, Dilbara Mustafayevna; and Abdulkhaev, Oybek Abdullazizovich (2019) "SOME FEATURES OF HETEROJUNCTION OF Au-GaAs: O-nCdS-nInP-Au STRUCTURES PHOTONSENSITIVITY," *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*: Vol. 1 : Iss. 6 , Article 4.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/semiconductors/vol1/iss6/4>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

УДК 621.383.52

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ  
ГЕТЕРОПЕРЕХОДНОЙ Au-v GaAs:O-nCdS-nInP-Au-СТРУКТУРЫ**

**Гиясова Феруза Абдиязизовна\***, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Физико-технического института НПО «Физика-Солнце» АН РУз, Ташкент, Узбекистан, e-mail: [feruzagfa@mail.ru](mailto:feruzagfa@mail.ru)

**Каримов Абдулазиз Вахитович**, д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией в Физико-техническом институте НПО «Физика-Солнце» АН РУз, Ташкент, Узбекистан. e-mail: [karimov@uzsci.net](mailto:karimov@uzsci.net)

**Ёдгорова Дилбара Мустафаевна**, д.т.н., профессор, заведующий лабораторией в НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз, Ташкент, Узбекистан. e-mail: [yodgorova@uzsci.net](mailto:yodgorova@uzsci.net)

**Абдулхаев Ойбек Абдуллазизович**, доктор философии (PhD), старший научный сотрудник, заведующий лабораторией в НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз, Ташкент, Узбекистан. e-mail: [abdulhaev@uzsci.net](mailto:abdulhaev@uzsci.net)

***Аннотация.** Приводятся результаты исследования фоточувствительности гетеропереходной Au-vGaAs:O-nCdS-nInP-Au структуры при различных режимах включения. Экспериментально показано, что независимо от возбуждаемой поверхности они отличаются фоточувствительностью в спектральном диапазоне 0,85-0,9 мкм и 1,31-1,55 мкм, что связано с фотогенерационными процессами в высокоомном арсениде галлия и фотоэмиссионными процессами из металла в полупроводник.*

***Ключевые слова:** гетеропереход, фоточувствительность, фототок, режим прямого смещения, интегральный свет, монохроматическое излучение.*

**SOME FEATURES OF HETEROJUNCTION OF Au-GaAs: O-nCdS-nInP-Au  
STRUCTURES PHOTSENSITIVITY**

**Giyasova Feruza Abdiazizovna\***, Cand. of Phys.-Math. Sc., Senior Researcher of the Physical-Technical Institute NGO «Physics–Sun» of ASUZ, Tashkent, Uzbekistan. e-mail: [feruzagfa@mail.ru](mailto:feruzagfa@mail.ru)

**Karimov Abdulaziz Vakhitovich\***, Dr. of Phys. and Math. Sc., Professor, Head of the Laboratory of the Physical-Technical Institute NGO “Physics-Sun” of ASUZ, Tashkent, Uzbekistan. e-mail: [karimov@uzsci.net](mailto:karimov@uzsci.net)

**Yodgorova Dilbara Mustafayevna**, Dr. of Tech. Sc., Professor, Head of the Laboratory of the Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the NUUZ, Tashkent, Uzbekistan. e-mail: [yodgorova@uzsci.net](mailto:yodgorova@uzsci.net)

**Abdul Khaev Oybek Abdullazizovich**, Doctor of Philosophy (PhD), Senior Researcher, Head of the Laboratory of the Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the NUUZ, Tashkent, Uzbekistan. e-mail: [abdulhaev@uzsci.net](mailto:abdulhaev@uzsci.net)

***Abstract.** The research results of photosensitivity of Au-vGaAs: O-nCdS-nInP-Au structure heterojunction under various electrical circuit configuration are presented. It is shown experimentally that irrespective of the excited surface, they differ in photosensitivity in the spectral*

---

range of 0,85-0,9  $\mu\text{m}$  and 1,31-1,55  $\mu\text{m}$ , which is associated with photo-generation processes in high-resistance gallium arsenide and photoemission processes from metal to semiconductor.

**Keywords:** heterojunction, photosensitivity, photocurrent, direct bias mode, integrated light, monochromatic radiation.

## 1. Введение

В настоящее время основной технологией изготовления фотоэлектрических приборов на основе твердых растворов соединений  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$  и  $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$  являются дорогостоящие и сложные методы газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений (МОСГФЭ) и молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ) [1]. Внимание многих исследователей обращено к поиску более простых альтернативных методов получения полупроводниковых структур [2]. В тоже время представляются относительно простыми и незатратными методами получения фоточувствительных гетероструктур: жидкофазная эпитаксия, ионно-лучевая кристаллизация и лазерная кристаллизация [3].

При этом немаловажным является выбор базовой области, хотя в случае широкозонного материала можно было бы получить определенные преимущества, если преодолеть низкую подвижность носителей заряда и влияние различий параметров решеток [4]. С этих позиций в исследуемой многослойной фотодиодной  $\text{Au-}\nu\text{GaAs:O-nCdS-nInP-Au}$ -структуре пленочные гетерослои, особенно примыкающий к объемному арсениду галлия слой, сформирован с близкой к металлической проводимостью [5], то есть прикладываемое к структуре электрическое поле падает в высокоомной базовой области, что предопределяет протекание в нем физических процессов и сравнительно простую технологию изготовления гетероструктур.

Как известно [6] в идеальном случае фоточувствительность полупроводниковой структуры определяется тем, что если один падающий фотон создает одну электронно-дырочную пару, тогда квантовый выход фотодиода будет равен единице. Для фотовольтаического элемента спектральные характеристики определяются зависимостью фототока короткого замыкания или напряжения холостого хода от мощности монохроматического излучения.

Зависимости фототока от напряжения в резисторных структурах имеют линейный характер, а в фотодиодной структуре - насыщающийся характер, то есть кривые световых токов параллельно смещаются в область больших значений токов, пропорционально интенсивности светового излучения. В отличие от них, в лавинных фотодиодах зависимости фототока от напряжения с приближением напряжения пробоя приобретают нарастающий характер. Однако им свойственна зависимость коэффициента умножения от рабочего режима и температуры, что требует стабилизации рабочего режима [7]. В последнее время внимание исследователей обращено к пленочным структурам, на основе сульфида кадмия и фосфида индия, которые изготавливаются сравнительно простой технологией, в том числе вакуумным напылением [8,9].

В настоящей работе приведены результаты исследования некоторых особенностей фоточувствительности многослойной  $\text{Au-}\nu\text{GaAs:O-nCdS-nInP-Au}$ -структуры при различных

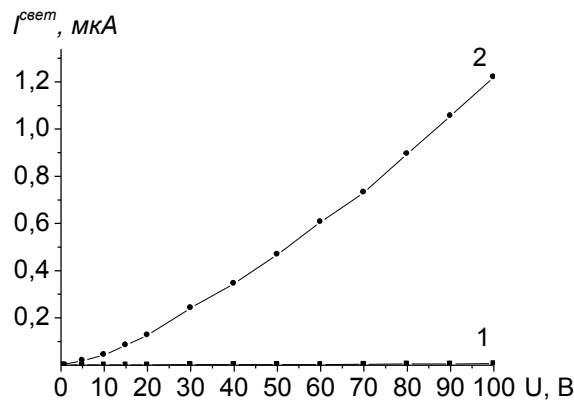
режимах включения рабочего напряжения и при воздействии интегрального и монохроматического излучения.

## 2. Методика эксперимента

Исследуемые структуры изготовлены методом термического нанесения пленок nCdS и nInP толщиной 0.4 мкм из измельченных кристаллов на монокристаллическую полуизолирующую подложку из арсенида галлия, толщиной 400 мкм легированного кислородом. Выпрямляющие контакты из Au нанесены вакуумным напылением на фронтальной и с тыльной стороны структуры поверхности.

## 3. Результаты и их обсуждение

Экспериментальные зависимости фототока, в исследуемых нами многослойных гетеропленочных Au-ν GaAs:O-nCdS-nInP-Au-структурах, при монохроматическом освещении излучением длиной волны 1.2 мкм от напряжения приведены на рис. 1.



**Рис. 1. Зависимость спектрального фототока от рабочего напряжения при возбуждении монохроматическим светом с  $\lambda = 1.2$  мкм со стороны запираемого Au-ν GaAs:O-перехода**

Из рисунка видно, что по мере увеличения рабочего напряжения фототок, то есть разность монохроматического светового и темнового токов возрастает

$$I^{\Phi} = I^{св} - I^{тем}, \quad (1)$$

стремясь к суперлинейной зависимости, что подтверждает наличие эффекта усиления первичного фототока.

Коэффициент фотоэлектрического усиления [10], т.е. отношение фототока к первичному фототоку можно представить в виде

$$M^{\Phi} = \frac{J^{\Phi}}{J^{\Phi 0}} = \frac{J^{св} - J^{тем}}{J_{\min}^{св} - J_{\min}^{тем}}. \quad (2)$$

Его значение увеличивается с повышением рабочего напряжения и имеет наибольшее усиление при возбуждении со стороны прямосмещаемого и запираемого nInP-Au-перехода. При этом для исследуемой структуры, как показано в таблице 1, значение коэффициента усиления первичного фототока с увеличением рабочего напряжения приобретает нарастающий характер, то есть данную структуру можно использовать с предварительным согласующим каскадом.

Относительно спектральной характеристики многослойной фоточувствительной Au- $\nu$  GaAs:O-nCdS-nInP-Au-структуры имеем следующее. В режиме запираения Au- $\nu$  GaAs:O-перехода при подсветке как со стороны объемного арсенида галлия, а также nInP-Au-перехода в спектральной характеристике пик связанный с оптическим переходом зона-зона

Таблица 1

**Зависимости коэффициента усиления первичного фототока  
от рабочего напряжения**

$\lambda = 1.2 \text{ мкм } \Phi \rightarrow \text{Au-}\nu \text{ GaAs:O-nCdS-nInP-Au}$				
U, В	$J^T$ , мкА	$J^{CB}$ , мкА	$J^\Phi = (J^{CB} - J^T)$	$M^\Phi = J^\Phi / J^{\Phi O}$
1	0,0003	0,0005	0,00049	1,01
5	0,0005	0,019	0,0185	37,8
10	0,00067	0,043	0,0423	86,3
15	0,0009	0,084	0,0831	170
20	0,0012	0,127	0,126	257
30	0,0016	0,242	0,24	490
40	0,002	0,345	0,343	700
50	0,0025	0,469	0,467	953
60	0,0029	0,606	0,603	1230
70	0,0034	0,731	0,728	1490
80	0,0044	0,895	0,891	1820
90	0,0053	1,055	1,05	2140
100	0,0064	1,22	1,21	2470

арсенида галлия (0.86 мкм) не заметен (рис. 2, кривая 1). Однако в области 1.3-1.5 мкм создается полочка, спектральный фототок, который возрастает с увеличением величины запираемого напряжения, что связано с эмиссией генерированных электронов из (металла) Au в (полупроводник)  $\nu$  GaAs. Соответственно, по мере увеличения толщины обедненного слоя под металлом изменением рабочего напряжения имеем тем больший фототок, как приведено на рис.1.

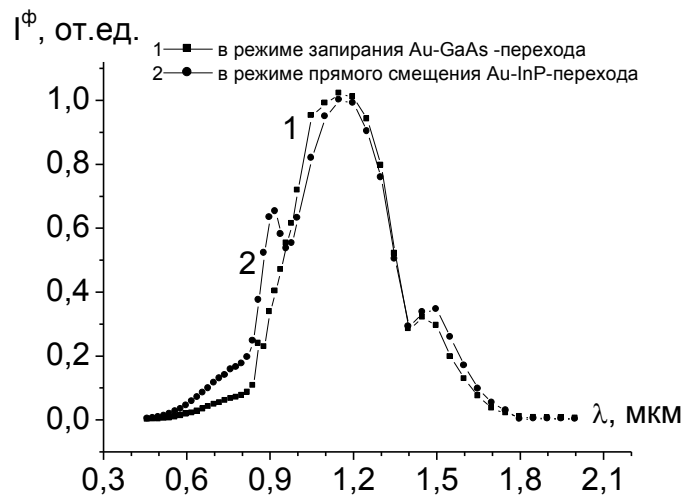
В режиме прямого смещения Au- $\nu$  GaAs:O-nCdS-nInP-Au- структуры и подсветке со стороны nInP-Au-перехода становится ярко выраженным пик, связанный с переходом зона-зона и во всем спектральном диапазоне наблюдается синхронное увеличение спектрального фототока (рис. 2, кривая 2) с преобладанием роста максимального фототока обусловленного возбуждением носителей с примесного уровня [11]. При этом также проявляется полочка,

связанная с эмиссией генерированных электронов из металла (Au) в полупроводник nInP. При этом высота Au-nInP барьера можно полагать остается неизменной.

Сопоставление спектральных характеристик Au-ν GaAs:O-nCdS-nInP-Au-структуры при различных режимах включения указывает на то, что фотогенерационные процессы в обоих режимах протекают в более высокоомной базовой области из арсенида галлия толщиной 400 мкм.

В соответствии с исходными данными материалов многослойной Au-ν GaAs:O-nCdS-nInP-Au-структуры можно построить качественную энергетическую зонную диаграмму.

Фактически в исследуемой структуре между полупроводниковыми областями образуются изотипные гетеропереходы (ν GaAs-nCdS-nInP) ν-n-n-типа, где переход (m-ν и n-m) между полупроводниками и металлом из Au является выпрямляющим.

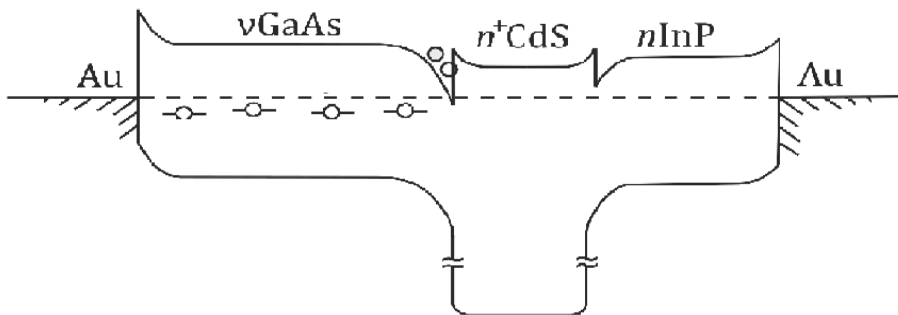


1- в режиме запираания Au-GaAs-перехода

2- в режиме прямого смещения Au-InP-перехода

**Рис. 2. Спектральная характеристика Au-ν GaAs:O-nCdS-nInP-Au-структуры**

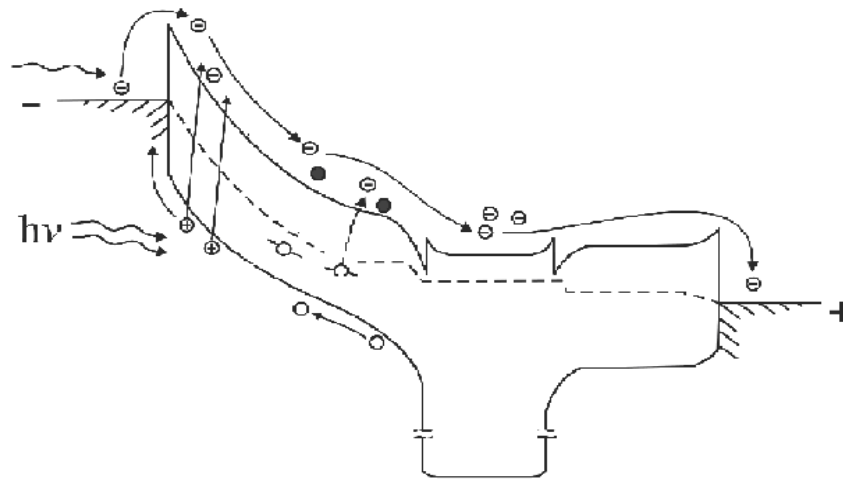
В равновесном состоянии энергетическую зонную диаграмму Au-ν GaAs:O-nCdS-nInP-Au-структуры можно представить, как на рис. 3. Так как слои сульфида кадмия после



**Рис. 3. Энергетическая зонная диаграмма Au-ν GaAs:O-nCdS-nInP-Au-структуры в равновесном состоянии**

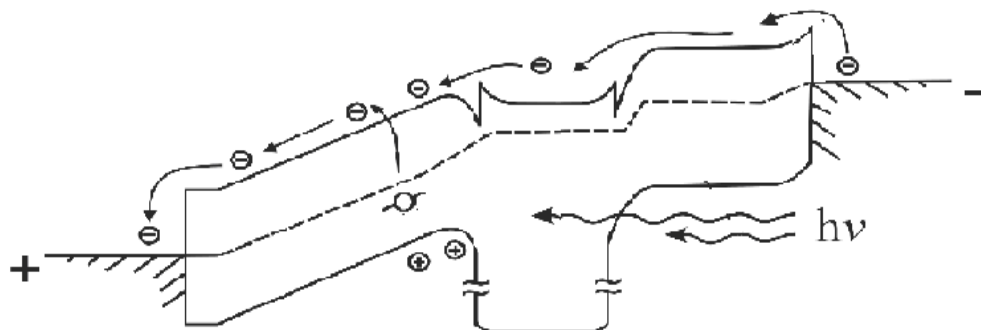
осаждения вакуумным напылением не активировались, поэтому они имеют сравнительно низкие удельные сопротивления, то есть без дополнительной обработки обладают высокой концентрацией основных носителей ( $10^{17} \text{ см}^{-3}$ ) за счет избытка кадмия [5].

В режиме освещения запираемого Au- $\nu$  GaAs:O-перехода все приложенное напряжение падает в области объемного заряда под потенциальным барьером. Генерация фотоносителей будет осуществляться как из области объемного заряда, так и с примесных уровней кислорода, а также из уровней собственных дефектов. При этом, также имеет место переброс фотоносителей из металла в базу, рис. 4.



**Рис. 4. Энергетическая зонная диаграмма Au- $\nu$  GaAs:O-nCdS-nInP-Au-структуры в режиме запираения Au- $\nu$  GaAs-перехода**

В случае прямого смещения Au- $\nu$  GaAs:O-nCdS-nInP-Au-структуры фотогенерация носителей осуществляется в арсениде галлия, где дырки скапливаются в яме валентной зоны, а также имеет место эмиссия фотоэлектронов из металла в полупроводник, как показано на энергетической зонной диаграмме, рис. 5.



**Рис. 5. Энергетическая зонная диаграмма Au- $\nu$  GaAs:O-nCdS-nInP-Au-структуры в режиме прямого смещения**

#### 4. Заключение

Таким образом, экспериментально показано, что на основе многослойной Au-v GaAs:O-nCdS-nInP-Au-структуры с пленочными гетерослоями можно создать чувствительные в спектральном диапазоне 0.85-0.9 мкм и 1.31-1.55 мкм фотодиодные структуры, в которых слои сульфида кадмия и фосфида индия получены последовательным вакуумным напылением на подложку арсенида галлия легированного кислородом с удельным сопротивлением  $1 \cdot 10^7$  Ом·см. Отличительной особенностью, полученных фотодиодных Au-vGaAs:O-nCdS-nInP-Au-структур является двухсторонняя чувствительность и наличие эффекта усиления первичного фототока, особенно из металла в полупроводник, а также низкие значения темнового тока при комнатной температуре при сравнительно больших площадях  $\sim 3 \times 4$  мм<sup>2</sup>.

#### References

1. Sysoev I.A., Lunina M.L., Alfimova D.L., Blagin A.V., Gusev D.A., Seredin B.M. *Formirovanie massivov kvantovykh toчек GaxIn1-xAsyP1-y v processe ionno-luchevogo osazhdenija* [Formation of GaxIn1-xAsyP1-y quantum dot arrays during ion beam deposition] *Zhurnal Neorganicheskie materialy.*[Journal of Inorganic Materials]. 2014. Vol. 50, No. 3, p. 1-7. (In Russ.)
2. Alfimova D.L., L.S. Lunin, M.L. Lunina i dr. *Tonkosloinye geterostruktury GaInSbAsPBi/GaSb, poluchennye iz zhidkoi fazy v pole temperaturnogo gradient* [Thin-layer GaInSbAsPBi/GaSb heterostructures obtained from the liquid phase in a temperature gradient field] *Kristallografiya* [Crystallography]. 2017, v. 62, No. 1, p. 137-142. (In Russ.)
3. Michael, J.A. Film growth mechanisms in pulsed laser deposition. *Applied Physics*. 2008, №93. P. 579–587.
4. Alfimova D.L., Lunin L.S., Lunina M.L. *Vliyanie uslovii vyrashhivaniya na kachestvo poverkhnosti i strukturnoe sovershenstvo mnogokomponentnykh geterostruktur soedinenii A3B5* [The influence of growing conditions on surface quality and structural perfection of multicomponent heterostructures of A3B5 compounds] *Poverkhnost. Rentgenovskie, sinkhrotronnye i neitronnye issledovaniya.* [Surface. X-ray, synchrotron and neutron studies]. 2014. No. 6. p. 103–112. (In Russ.)
5. Kosyachenko L.A., Mathew X., Motushhuk V.V., Sklyarchuk V.M. *Generacionno-rekombinatsionnyi mekhanizm perenosa zaryada v tonkoplennom geteroperekhode CdS/CdTe.*[ Generation-recombination charge transfer mechanism in a thin-film CdS/CdTe heterojunction] *Fizika i tekhnika poluprovodnikov.* [Semiconductors] 2005.V. 39. Issue. 5. pp. 569-572. (In Russ.)
6. Ishanin G.G., Pankov Je.D., Andreev A.L., Pol'shhikov G.V. *Istochniki i priemniki izluchenija.*[ Sources and receivers of radiation.]. Saint Petersburg, Polytekhnik Publ., 1991, pp. 125–133. (In Russ.)
7. *Fotopriemniki s vnutrennim usileniem* [Photodetectors with internal amplification]. (In Russ.)  
<http://rudocs.exdat.com/docs/index-529755.html?page=5>
8. D.D. Gulamova, A.V. Karimov, D.G. Chigvinadze, S.M. Ashimov, O.V. Magradze, S.H. Bobokulov, Zh.Sh. Turdiev, H.N. Bahronov. *Issledovanie kriticheskoi temperatury Tc gomofaznykh*



*sverkhprovodnikov (Bi<sub>1.7</sub>Pb<sub>0.3</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>(n-1)</sub>Cu<sub>n</sub>O<sub>y</sub> (n = 3, 4, 5) i vol't-ampernykh kharakteristik siendvich-par poluprovodnik InP–sverkhprovodnik Bi/Pb (2223, 2234, 2245). [Investigation of the critical temperature T<sub>c</sub> of homophase superconductors (Bi<sub>1.7</sub>Pb<sub>0.3</sub>Sr<sub>2</sub>Ca (n – 1) Cu<sub>n</sub>O<sub>y</sub> (n = 3, 4, 5) and the current – voltage characteristics of the sandwich pair InP – Bi / Pb semiconductor (2223, 2234, 2245)] Zhurnal tekhnicheskoi fiziki [Journal of Technical Physics]. 2019, vol. 89, no. 4. pp. 583-589. (In Russ.)*

9. Timoshenko O.T. *Novaya mnogokomponentnaya poluprovodnikovaya sistema InP-CdS. Ee poverkhnostnye fiziko-khimicheskie svoistva: dis. kand. khim. nauk: 02.00.04* [New multi-component semiconductor system InP-CdS. Its surface physical and chemical properties: dis. Cand. Chem. Sciences: 02.00.04] Omsk, 2006. 181 p. RSL OD, 61: 07-2 / 130. (In Russ.)

10. Karimov A.V., Yodgorova D.M., Abdulkhaev O.A. Physical principles of photo-current generation in Multi-Barrier Punch-Through-Structures Second chapter of book “Photodiodes - World Activities in 2011” edited by Jeong-Woo Park. InTech, 2011. pp. 23-36. [ISBN: 9789533075].

11. Hludkov S.S., Tolbanov O.P., Vilisova M.D., Prudaev I.A. *Poluprovodnikovye pribory na osnove arsenida galliya s glubokimi primesnymi tsentrami. Pod red. O.P. Tolbanova.* [Semiconductor devices based on gallium arsenide with deep impurity centers]. Tomsk. Publishing House of Tomsk State University, 2016, p. 258. (In Russ.)

---