

p-CdTe/*n*-CdZnS ANİZOTİP HETEROKEÇİDİNİN FİZİKİ XASSƏLƏRİ

E.F. NƏSİROV

*Bakı Dövlət Universiteti, Fizika Problemləri İnstitutu,
Azərbaycan, Bakı, Z. Xəlilov küç., 33.*

elshannasirov@bsu.edu.az

p-CdTe/*n*-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S anizotip heterokeçidinin fiziki xassələrinin tədqiqi aparılmış, düzünə və əks istiqamətdə cərəyan-keçmə mexanizmi, o cümlədən I-V xarakteristikası təhlil edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, kontakt potensiallar fərqi volt-farad xarakteristikasından alınan qiyməti volt-ampere xarakteristikasından alınan qiymətlərdən kiçikdir və praktiki olaraq tezlikdən asılı deyil. Bu mənərə Donelli və Milns tərəfindən təklif olunmuş heterokeçidin metallurji sərhədində lokallaşmış elektrik yüklərinin təsirini nəzərə alan model əsasında yaxşı izah olunur. Tədqiq olunan *p*-CdTe/*n*-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S strukturunun elektrik xassələri, ikiqat ionlaşmış kadmium vakansiyasının və donor tipli aşqarların daxil olduğu ($V^{-2}_{Cd} - D^{+}$)⁻ mürəkkəb defektlərlə təyin olunur.

Açar sözlər: Heterokeçid, cərəyankeçmə mexanizmi, VAX, VFX.

PACS: 78.20.-e, 73.00.00

GİRİŞ

Müxtəlif yarımkeçirici birləşmələrin bərk məhlullarının alınması nazik təbəqələrin fiziki xassələrinin və qadağan olunmuş zolağının eninin nəzarət olunan formada idarə olunmasına imkan verir ki, bu da müxtəlif spektral diapazonda işləyən fotoelektrik cihazların hazırlanması baxımından çox aktualdır [1-3].

Bununla əlaqədar, tədqiqatçılar Cd_xZn_{1-x}S bərk məhlullarının nazik təbəqələrinin alınması və fiziki xassələrinin öyrənilməsinə xüsusi diqqət yetirirlər [4, 5]. Cd_xZn_{1-x}S bərk məhlullarının tərkibində sinkin miqdarının artması ilə qadağan olunmuş zonanın eni böyüyür ki, bu tip heterokeçidlərin əsasında hazırlanan gü-nəş elementlərinin spektral diapazonunu qısa dalğalar oblastına doğru genişləndirməyə imkan verir. *p*-CdTe/*n*-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S anizotip heterokeçidinin elektrik xassələrinin tədqiqi aparılmış, düzünə və əks istiqamətdə cərəyankeçmə mexanizmi təhlil olunmuşdur.

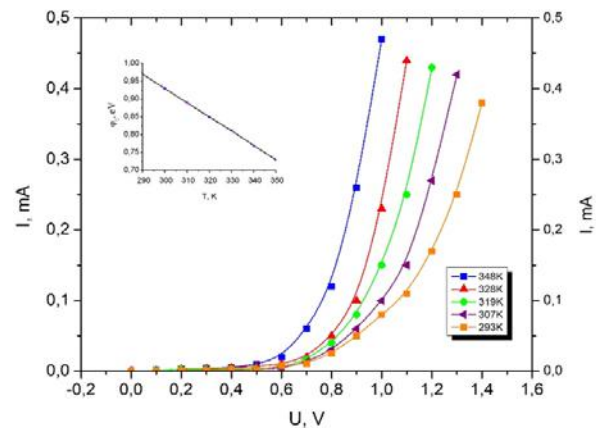
EKSPERİMENT

p-tip CdTe təbəqələri məhluldan kimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınmışdır. Elektrokimyəvi çökdürülmə prosesi otaq temperaturunda xüsusi kvarts qabda siliyum lövhələrinin üzərində yerinə yetirilmişdir. Cd_{1-x}Zn_xS nazik təbəqələrinin alınması üçün kimyəvi məhlulun optimal tərkibi aşağıdakı kimi seçilmişdir: 1:12:500 (1,5÷2,2×10⁻³ M Zn(CH₃OOO)₂, 1,5÷2×10⁻³ M Cd(CH₃OOO)₂, 0,01÷0,02 M Na₂S₂O₃, 1,05 M NH₄OH). Alınmış nazik təbəqələrin tərkibi 0≤x≤0,5 diapazonunda dəyişir və ona kimyəvi, termik və rentgen analizləri ilə nəzarət edilir. Müxtəlif nümunələr üçün onların qalınlığı 2 μm-ə bərabərdir. Nazik təbəqələr *n*-tip keçiricilik qabiliyyətinə malikdir. Bu, termoe.h.q.-nin işarəsinə görə müəyyən edilmişdir.

Nazik təbəqələrin struktur xarakteristikaları Rigaku D/Max-IIIc rentgen difraktometrindən istifadə edilməklə 20÷70 skanlama bucağı diapazonunda müəyyən olunmuşdur. Səthin morfologiyası, nümunənin stexiometriyasının keyfiyyət ölçmələri skanlayıcı elek-

tron mikroskopunun köməyi ilə müəyyən edilmişdir. Nazik təbəqənin strukturu haqqında informasiyanın alınması üçün Rentgen şüalarının difraksiyasının (XRD) şəkilləri təhlil edilmişdir. Cd_{1-x}Zn_xS nazik təbəqəsinin struktur analizi rentgen difraktometrinin köməyi ilə 20÷70 skanlama bucağı diapazonunda aparılmışdır.

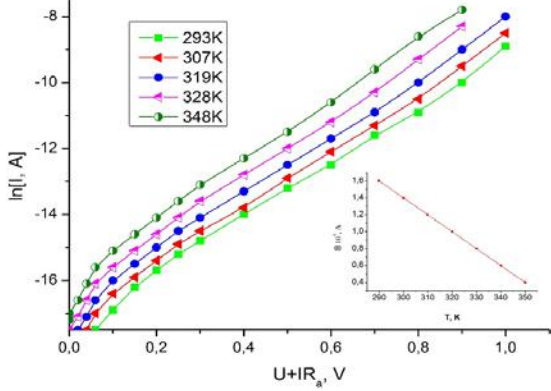
Şəkil 1-də anizotip *p*-CdTe/*n*-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S heterokeçidinin müxtəlif temperaturalarda ölçülmüş *I*(*V*) volt-ampere xarakteristikaları verilmişdir. Volt-ampere xarakteristikaların xətti hissəsinin gərginlik oxuna ekstrapolyasiyasından φ₀ potensial çəpərin hündürlüyünün qiyməti təyin olunmuşdur. φ₀=qV_{bi}, V_{bi}- kontakt potensiallar fərqi.



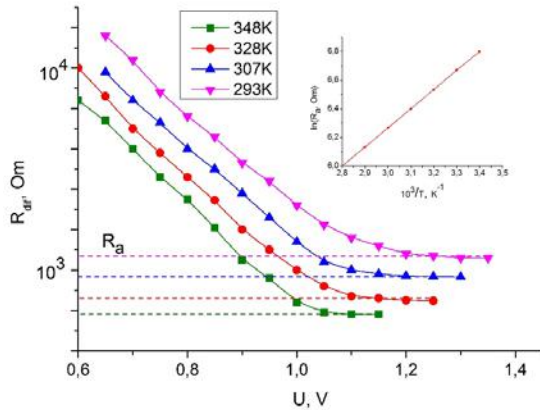
Şəkil 1. *p*-CdTe/*n*-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S heterokeçidinin müxtəlif temperaturalarda düzünə istiqamətdə volt-ampere xarakteristikası, **K:** 1-293, 2-307, 3-319, 4-328, 5-348. Əlavədə-potensial çəpərinin hündürlüyünün temperatur asılılığı.

p-CdTe/*n*-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S heterokeçidin potensial çəpərinin hündürlüyünün temperatur asılılığı φ₀(*T*)=φ₀(0)-β_φ*T* (1) şəkildə ifadə olunur. Burada β_φ=4,23·10⁻³eV·K⁻¹ potensial çəpərinin hündürlüyünün temperatur əmsalı, φ₀(0)=2,2eV isə tədqiq olunan heterokeçidin mütləq sıfır temperaturda potensial çəpərinin hündürlüyünün qiymətidir. Qeyd etmək lazımdır ki, β_φ

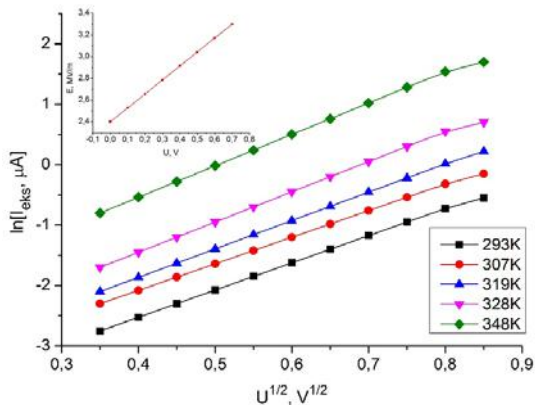
və $\phi_0(0)$ -in böyük qiymətləri keçid sərhədində səth hallarının N_{ss} konsentrasiyasının yüksək qiyməti ilə bağlıdır. d - qəfəs parametrlərin uyğunsuzluğundan yaranan dislokasiyalar arasındakı məsafədir $d = a_{CdTe} a_{CdZnS} / (a_{CdTe} - a_{CdZnS})$. Qəfəs parametrlərinin qiyməti $Cd_{0.5}Zn_{0.5}S$ təbəqələri üçün $a_{CdZnS} = 3,36 \text{ \AA}$, CdTe təbəqələri üçün $a_{CdTe} = 6,48 \text{ \AA}$ götürülmüş, $d = 7 \text{ \AA}$ və $N_{ss} = 2 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-2}$ alınmışdır [6].



Şəkil 2. *p*-CdTe/*n*-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S heteroqəçidinin BAX-ın müxtəlif temperaturlarda düzünə qolları. *B* əmsalının temperatur asılılığı



Şəkil 3. R_{dir} differensial müqavimətin müxtəlif temperaturlarda düzünə gərginlikdən asılılığı, K : 1-293, 2-307, 3-328, 4-348. Əlavədə-heteroqəçidin ardıcıl müqavimətinin temperatur asılılığı.



Şəkil 4. *p*-CdTe/*n*-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S heteroqəçidindən müxtəlif temperaturlarda Frenkel-Pul emissiyası. Əlavə diaqram - həcmi yüklər oblastında elektrik sahəsinin intensivliyinin tətbiq olunan gərginlikdən asılılığı

Şəkil 2-də tədqiq olunan heteroqəçidin volt-ampere xarakteristikası ardıcıl müqavimətin təsirinə nəzərə alınmaqla təsvir olunmuşdur. Göründüyü kimi, yarımləqərfimik koordinatlarda VAX xətti asılılığa tabe olur ki, bu da cərəyanın gərginlikdən asılılığının eksponensial qanunla təsvir olunduğunu göstərir. VAX- xətlərinin meylinin temperaturdan asılı olmadığını və metallurji sərhəddə səth hallarının konsentrasiyasının yüksək qiymətə malik olduğunu nəzərə alaraq, cərəyankeçmədə çoxpilləli tunel-rekombinasiya mexanizminin üstünlük təşkil etdiyini qəbul etmək olar [7]. Bu halda:

$$I = B \exp\{-\alpha[\phi_0(T) - q(V - IR_s)]\}, \quad (1)$$

$\alpha = 8.1 \text{ eV}^{-1}$ VAX-ın xətti hissələrinin meylinəndən tapılır. B əmsalı aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$B = \exp[\ln I_0 + \alpha \phi_0(T)] \quad (2)$$

Burada $\ln I_0$ qiymətləri VAX-ın xətti hissələrinin cərəyan oxu ilə kəsişməsindən götürülür (şəkil 3). B əmsalının qiyməti temperaturdan zəif asılıdır (şəkil 4). *n*-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S/*p*-CdTe heterostrukturundan cərəyankeçmə mexanizmi əks gərginlikdə də təhlil olunmuşdur. Analiz göstərir ki, gərginliyin $0.12 < |U| < 0.7V$ əksinə cərəyan $I_{rev}(V)$ Frenkel-Pul emissiyası modeli əsasında yaxşı izah olunur. Bu halda səth halları tərəfindən tutulan yükdaşıyıcıların elektrik sahəsinin təsiri və elektrik sahəsinin köməyi ilə asanlaşan termik həyəcanlanma baş verir. Həcmi yüklər oblastında güclü daxili sahənin olması kontakt potensialları fərqi böyük qiymətə ilə təsdiq olunur. ($U_{bi} = 0,97V$, $T = 293K$). Asimetrik heteroqəçidin həcmi yüklər oblastında elektrik sahəsinin intensivliyinin tətbiq olunan gərginlikdən asılılığı - $E(V)$ verilmişdir. Heteroqəçidin həcmi yüklər oblastında elektrik sahəsinin intensivliyi aşağıdakı ifadəyə görə hesablanmışdır:

$$E = \frac{V_{bi} - V}{W} = \sqrt{\frac{qN_A(V_{bi} - V)}{2\epsilon\epsilon_0}} \quad (3)$$

Burada W - həcmi yüklər oblastının eni, ϵ_0 - elektrik sabitidir. Əksinə cərəyanın gərginlikdən asılılığı $I_{rev} = \alpha |V| \exp(2\beta \sqrt{|V|/T})$ ifadəsi ilə verilir. Burada β -sabit kəmiyyətdir. Əksinə cərəyanın gərginlikdən asılılığının $0,12 < |V| < 0,7V$ intervalında $\ln(I_{eks}) = f(|V|^{1/2})$ koordinatlarında qurulmuş qrafikləri şəkil 5-də təsvir olunmuşdur. Əksinə istiqamətdə tunel cərəyanının gərginlikdən asılılığı

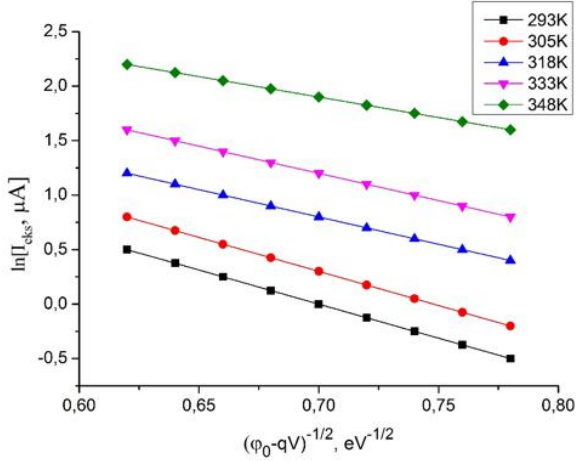
$$I_{rev} \approx a_0 \exp\left(\frac{b_0}{\sqrt{\phi_0(T) - qV^*}}\right) \quad (4)$$

ifadəsi ilə verilir, burada a_0 - energetik səviyyələrin dolma ehtimalı ilə təyin olunan parametrdir. b_0 -kəmiyyəti cərəyanın gərginlikdən asılı olaraq dəyişmə sürətini təyin edir. Bu tənliyə görə $\ln(I_{rev}) - (\phi_0 - qV)^{-1/2}$ asılılığının $0,75 < |U| < 1,8V$ intervalda xətti qanuna tabe olması tunel mexanizminin üstünlük təşkil etdiyini göstərir. $\ln(a_0) = f(10^3/T)$ asılılığının meylinə görə

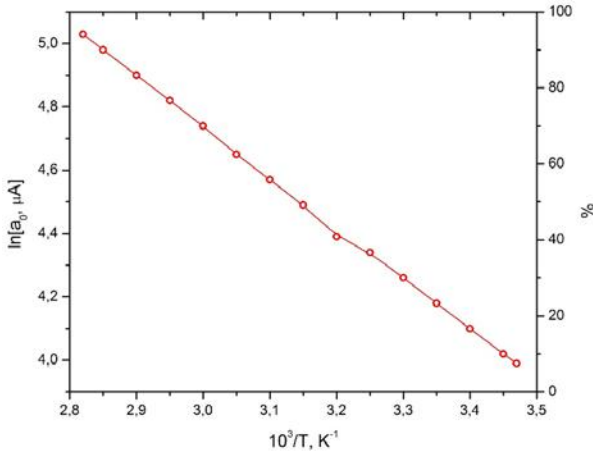
yapışma mərkəzinin energetik dərinliyi təyin olunmuşdur- 0.13eV (şəkil 5).

Qeyd etmək lazımdır ki, səviyyənin energetik dərinliyi üçün tapılmış qiymət tədqiq olunan strukturun ardıcıl müqavimətinin temperatur asılılığından tapılan qiymətlə üst-üstə düşür.

Heteroqeçidin R_{dif} differensial müqavimətinin V gərginlikdən asılılığından R_a ardıcıl müqavimət təyin olunmuşdur.



Şəkil 5. p -CdTe/ n -Cd_{0.5}Zn_{0.5}S heteroqeçidinin müxtəlif temperaturalarda əks gərginliklərdə tunnel cərəyanı, K: 1-293, 2-305, 3-318, 4-333, 5-348.



Şəkil 6. a_0 -parametrinin temperatur asılılığı.

Gərginliyin potensial çəpərin hündürlüyündən böyük qiymətlərində $R_{dif}(V)$ əyrləri doyma halına çatır. Bu, o deməkdir ki, çəpərin təsiri aradan qalxır, heteroqeçiddən axan cərəyan ancaq ardıcıl müqavimətlə təyin olunur. Diferensial müqavimətin qiyməti doyma oblastına aid hissələrin ordinat oxuna ekstrapolyasiyası ilə təyin olunur, ρ — xüsusi müqavimət qismən kompensə olunmuş yarımkeçirici üçün belə təyin olunur:

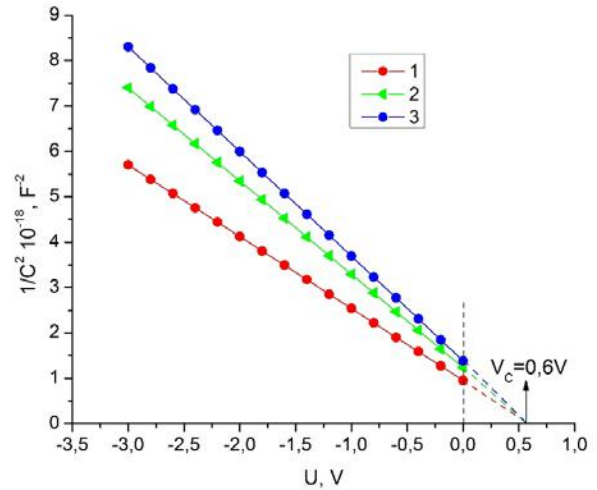
$$\rho = \frac{1}{q\mu_p p} = \frac{1}{q\mu_p N_v [(N_A - N_D)/2N_D] \exp(-E_A/kT)}, \quad (5)$$

burada μ_p -deşiklərin yüyrüklüyü, N_v -valent zonasında effektiv hal sıxlığı, N_A və N_D -akseptor və donör aşqarlarının konsentrasiyası, E_A - akseptor səviyyəsinin ionlama enerjisi tarazlıq keçiriciliyini təyin edir. Ardıcıl

müqavimətin temperatur asılılığı $R_a = R_0 \exp(\frac{E_a}{kT})$ eksponensial qanuna tabe olduğundan, yarımloqarifmik koordinatlarda $R_s = f(10^3/T)$ asılılığının qrafikinə meyindən akseptor səviyyəsinin dərinliyi tapılmışdır $E_A = 0.13$ eV.

Tədqiq olunan n -Cd_{0.5}Zn_{0.5}S/ p -CdTe strukturunun elektrik xassələri, ikiqat ionlaşmış kadmium vakansiyasının və donör tipli aşqarların daxil olduğu $(V_{Cd}^2 - D^+)^-$ mürəkkəb defektlərlə təyin olunur. [6,7].

Şəkil 7-də Cd_{0.5}Zn_{0.5}S/CdTe heteroqeçidinin otaq temperaturunda təsiredici siqnalın müxtəlif tezliklərində volt-farad xarakteristikası (VFX) verilmişdir. Volt-farad xarakteristikası $C^{-2}(V)$ koordinatlarında xətti olması kompensə olunmayan akseptor mərkəzlərinin həcmi yüklər oblastında kəskin paylanması göstərir.



Şəkil 7. p -CdTe/ n -Cd_{0.5}Zn_{0.5}S heteroqeçidinin dəyişən siqnalın 10(I), 20(2), 30kHz (3) tezliklərində volt-farad xarakteristikası

Kontakt potensiallar fərqi volt-farad xarakteristikasından alınan qiyməti volt-ampere xarakteristikasından alınan qiymətlərdən kiçikdir və praktiki olaraq tezlikdən asılı deyil. Bu mənzərə Donelli və Milns tərəfindən təklif olunmuş heteroqeçidin metallurji sərhədində lokallaşmış elektrik yüklərinin təsirini nəzərə alan model əsasında yaxşı izah olunur.

$$V_c = V_{bi} - \frac{Q_{ss}^2}{2q(\epsilon_p N_a + \epsilon_n N_d)} \quad (6)$$

Burada $Q_{ss} = qN_{ss}$ - keçid sərhədində toplanan yükün miqdarı kontakt potensiallar fərqi qiymətini azaldır.

NƏTİCƏ

Həcmi yüklər oblastında güclü daxili sahənin olması kontakt potensiallar fərqi böyük qiyməti ilə təsdiq olunur. ($U_{bi}=0,97V$, $T=293K$). VAX- xətlərinin meylinin temperaturdan asılı olmadığını və sərhəddə səth hallarının konsentrasiyasının yüksək qiymətə malik olduğunu nəzərə alaraq, cərəyankeçmədə çoxpilləli tunnel-rekombinasiya mexanizminin üstünlük təşkil etdiyini qəbul etmək olar. Kontakt potensiallar fərqi volt-farad xarakteristikasından alınan qiyməti volt-ampere xarakteristikasından alınan qiymətlərdən kiçikdir

və praktiki olaraq tezlikdən asılı deyil. Bu mənzərə Donnelly və Milns tərəfindən təklif olunmuş hetero keçidin metallurji sərhədində lokallaşmış elektrik yüklərinin təsirini nəzərə alan model əsasında izah olunmuşdur. Beləliklə demək olar ki, tədqiq olunan p-CdTe/n-

Cd_{0.5}Zn_{0.5}S strukturunun elektrik xassələri, ikiqat ionlaşmış kadmium vakansiyasının və donor tipli aşqarların daxil olduğu ($V^{2-}_{Cd} - D^+$)⁻ mürəkkəb defektlərlə təyin olunur.

-
- [1] *D. Kuciauskas, A. Kanevce, J.N. Duenow, P. Dippo, M. Young, J.V. Li, D.H. Levi, and T.A. Gessert.* Spectrally and time resolved photoluminescence analysis of the CdS/CdTe interface in thin-film photovoltaic solar cells, *Appl. Phys. Lett.* 102, 2013, 173902.
- [2] *G.L. Burton, D.R. Diercks, O.S. Ogedengbe, P.A.R.D. Jayathilaka, M. Edirisooriya, T.H. Myers, K.N. Zaunbrecher, J. Moseley, T.M. Barnes, B.P. Gorman.* *Sol. Energy Mat. Sol. Cells.*, 2018, 182, 68-75.
- [3] *B.E. McCandless, W.A. Buchanan, C.P. Thompson, G. Sriramagiri, R.J. Lovelett, J. Duenow, D. Albin, S. Jensen, E. Colegrove, M. Al-Jassim, and W.K. Metzger.* Overcoming Carrier Concentration Limits in Polycrystalline CdTe Thin Films with In Situ Doping, *Sci. Rep.* 8, 2018, 14519.
- [4] *G. Kartopu, A.J. Clayton, W.S.M. Brooks, S.D. Hodgson, V. Barrioz, A. Lamb, S.J.C. Irvine.* *Prog. Photovolt.* 22, 2014, 18-23.
- [5] *W.S.M. Brooks, S.J.C. Irvine, V. Barrioz, and A.J. Clayton.* *Sol. Energy Mat. Sol. Cells*, 101, 2012, 26-31.
- [6] *Y.Y. Proskuryakov, K. Durose, J.D. Major, M.K. Al-Turkestani, V. Barrioz, S.J.C. Irvine, E.W. Jones.* *Sol. Energy Mat. Sol. Cells* 93, 2009, 1572-1581.
- [7] *S.L. Rugen-Hankey, A.J. Clayton, V. Barrioz, G. Kartopu, S.J. C. Irvine, J.D. McGettrick, D. Hammond.* *Sol. Energy Mat. Sol. Cells* 136, 2015, 213-217.

E.F. Nasirov

PHYSICAL PROPERTIES OF THE p-CdTe/n-CdZnS ANISOTYPE HETEROJUNCTION

The physical properties of the anisotype heterojunction p-CdTe/n-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S were investigated, the mechanism of current in the forward and reverse directions, as well as the I-V characteristic were analyzed. It was found that the value of the contact potential difference obtained from the capacitance-voltage characteristic is less than the value obtained from the current-voltage characteristic and is practically independent of frequency. This picture is best explained by the model proposed by Donnelly and Milnes, which takes into account the effect of localized electric charges on the metallurgical boundary of the heteroconductor. The electrical properties of the p-CdTe/n-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S structure under study are determined by complex defects, including doubly ionized cadmium vacancies and donor-type additives ($V^{2-}_{Cd} - D^+$).

Э.Ф. Насиров

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АНИЗОТИПНОГО ГЕТЕРОПЕРЕХОДА p-CdTe/n-CdZnS

Исследованы электрические свойства анизотипного гетеропроводника p-CdTe/n-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S, проанализированы механизм тока в прямом и обратном направлениях, а также ВАХ. Было обнаружено, что значение контактной разности потенциалов, полученное из вольт-фарадной характеристики, меньше значения, полученного из вольт-амперной характеристики, и практически не зависит от частоты. Эту картину лучше всего объясняет модель, предложенная Донелли и Милнсом, которая учитывает влияние локализованных электрических зарядов на металлургическую границу гетеропроводника. Электрические свойства исследуемой структуры p-CdTe/n-Cd_{0.5}Zn_{0.5}S определяются сложными дефектами, включая дважды ионизованные вакансии кадмия и добавки донорного типа ($V^{2-}_{Cd} - D^+$).

Qəbul olunma tarixi: 07.07.2021