PROPAN-BUTAN QAZ QARIŞIĞINA MALİK MÜHİTDƏ Al-$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$-Te SENDVİÇ STRUKTURUNUN VOLT–AMPER XARAKTERİSTİKASININ TƏDQİQİ

S.İ. MEHDİYEVA[1], R.İ. ƏLƏKBƏROV[1], S.M. MƏMMƏDOV[1], H.İ. MƏMMƏDOVA[1], B.H. İBRAHİMOV[1], M.V. KAZIMOV[1], V.N. POLADOVA[2]

[1]Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Fizika İnstitutu, Bakı, Az 1143, H.Cavid, 131, e-mail: Rahim-14@mail.ru

[2]Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Radiasiya Problemləri İnstitutu

İşdə vakuumda termik buxarlandırma üsulu ilə alınan nazik təbəqəli **Al**-$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$-**Te** sendviç strukturunun volt–amper xarakteristikasına (VAX) propan-butan qaz qarışığı mühitinin təsiri tədqiq olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, qaz atomlarının təsiri ilə VAX-da müşahidə olunan osilyasiyalar tədrici zəifləyərək yox olur. Bu nəticə neytral qaz atomlarının aşağı atomar məsamələrə toplanması ilə izah olunur. Göstərilmişdir ki, məsamələrə toplanan neytral qaz atomları U^--mərkəzlərin termik-sahə ionlaşma proseslərinin zəifləməsinə, yükdaşıyıcıların həmin mərkəzlər tərəfindən periodik zəpt olunması proseslərinin isə sürətlənməsinə səbəb olması nümunənin müqavimətinin artmasına gətirir.

Açar sözlər: xalkogenid şüşə, amorf
DOI:10.70784/azip.2.2024123

1. GİRİŞ

Mövcud elmi ədəbiyyatın müqayisəli analizi göstərir ki, keramik (Al_2O_3, TiO_2, SiO_2) və onların şpinel birləşmələri əsasında hazırlanan sensorlar üstünlükləri ilə bərabər, qüsurlara da malikdir. Maliyyə dəyəri yüksək olan xüsusi texnoloji üsullar ilə hazırlanan məsaməli SiO_2 materialının SO_2, CO_2, CO, NH_3, CH_4 kimi zəhərli qazlara həssaslığı aşağı olmaqla bərabər qarşı cavab reaksiyası <10 san tərtibindədir [1]. Tədqiqatlar göstərir ki, xalkogenid şüşələrdən ($As_2(Se_{0.9}Te_{0.1})_3$, As_2Se_3) nazik amorf təbəqələr şəklində hazırlanan sensorların həssaslığı onların tərkibindən asılı olub, ətalətliliyi olduqca kiçikdir. Bunun başlıca səbəbi elektron prosesi olaraq həcmi keçiriciliyin dəyişməsinin olduqca sürətli baş verməsi ilə bağlıdır [2]. Digər tərəfdən xalkogenid şüşələrdən hazırlanan (As_4S_3 və As-Ge-Te) sensorların həssaslığı yüksək olmaqla bərabər, ölçüləri kompakt, dəyəri və enerji sərfi aşağıdır [3]. As_4S_3 və As-Ge-Te xalkogenid şüşəvari nazik təbəqələri əsasında hazırlanan rezistiv sensorlar propilamin ($C_3H_7NH_2$) və azot dioksid (NO_2) mühitinə yüksək həssas olub, rütubətə qarşı mütəhərrik reaksiya, yüksək bərpaolunma və dönərlilik xüsusiyyətlərinə malik olduğundan göstərilən mühitlərin monitorinqi üçün uğurlu tətbiq oluna bilər [3]. Sulfidli xalkogenid şüşələr (məs: As-S) dalğa uzunluğunun əsasən 0.6–7 μm oblastında, germanium (x_{Ge}=15–30 at.%), selen (Se), kükürd (S) və tellur (Te) tərkibli xalkogenid şüşələr (Ge-S, Ge-Se, Ge-As-S, Ge-As-Se, Ge-As-Se-Te) isə daha geniş dalğa uzunluqları oblastında (2–12 μm) yüksək optik şəffaflığa malik olub nisbətən geniş temperatur intervalında (200–300 °C) işləyən daha effektiv fiber optik material kimi tətbiq oluna bilər [4,5].

Məqalənin məqsədi mürəkkəb komponentli Al-$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$-Te xalkogenid şüşəvari yarımkeçirici tərkiblərin vakuumda termik buxarlandırma üsulu ilə alınan sendviç strukturlarının propan-butan qaz qarışığı mühitinə həsaslığının fiziki mexanizmlərini və onların tətbiq imkanlarını müəyyənləşdirməkdir.

2. TƏCRÜBƏNİN METODİKASI VƏ NÜMUNƏLƏRİN ALINMASI

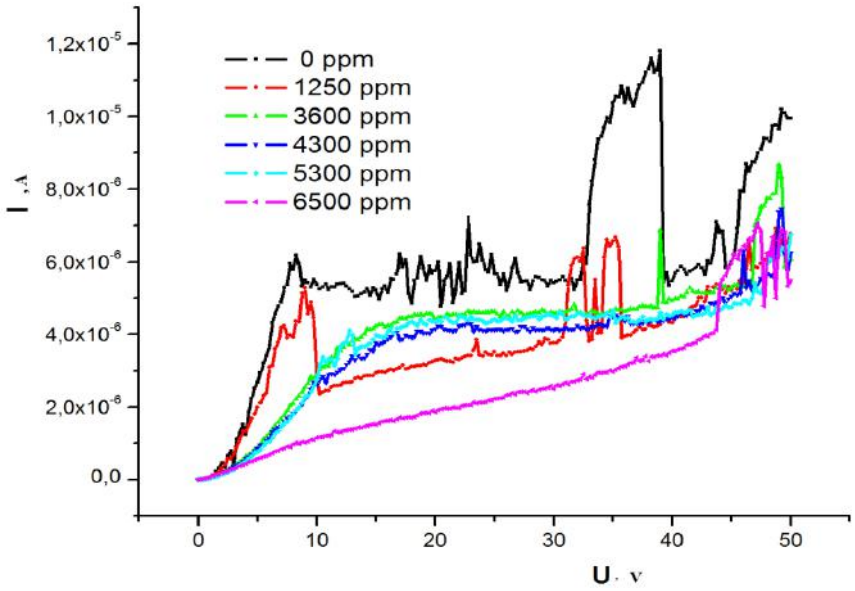
$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$ xalkogenid şüşəvari yarımkeçirici (XŞY) tərkibinin sintezi fırlanan silindrik soba üsulu ilə yerinə yetirilmişdir. Bunun üçün göstərilən mürəkkəb komponentli şüşəvari tərkiblərə məxsus xüsusi təmizlikli (təmizlik dərəcəsi 99,9999%) elementlərdən seçilmiş stexiometrik və qeyri-stexiometrik tərkib nisbətlərinə uyğun elekton tərəzidə çəkilərək, daxili diametri 12÷17 mm olan kvars ampulalara doldurulmuş və havası 10^{-4} tor təzyiqə qədər vakuum alınmışdır. Tədqiqat üçün seçilmiş mürəkkəb komponentli maddələrin sintezi 950°C temperaturda yerinə yetirilmişdir. Sintezin yüksək temperaturda aparılması nəticəsində tərkibə daxil olan bütün komponentlərin mümkün qədər az özlülüklə bir-birinə qarışmasına nail olunmuşdur. Sobanın qızdırılması nixrom spiralı ilə, temperaturun ölçülməsi isə xromel-alümel termocütü vasitəsilə edilmişdir. Sintez olunacaq mürəkkəb komponentli tərkiblərin bircinsliliyini təmin etmək üçün ampulalar 950°C temperaturda 11 saat ərzində saxlanılmış, sintez prosesinin sonu söndürülmüş fırlanan soba rejimində həyata keçirilmişdir. Volt-amper xarakteristikasının ölçülməsi şüşə altlıqlar üzərində vakuumda termik buxarlandırma üsulu ilə alınan d=2 mk qalınlığa malik Al-$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$-Te sendviç strukturlu nazik amorf təbəqələrdə yerinə yetirilmişdir. Qazın miqdarı MESTEK CGD02A markalı detektorla təyin olunmuşdur.

3. NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

Şəkil.1-də atmosfer və propan-butan qaz qarışığına malik mühitdə Al-$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$-Te sendviç strukturunun volt–amper xarakteristikası (VAX) təsvir edilmişdir. Şəkil.1-dən göründüyü kimi atmosfer mühitində tədqiq olunan nümunəyə tətbiq olunan gərginliyin müxtəlif qiymətlərində osilyasiyasız və yaxud qismən osilyasiyalar şəklində aşağı

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

müqavimətli haldan yüksək müqavimətli hala keçidlər müşahidə olunur. Tədqiqat göstərir ki, qapalı təcrübi kameraya əlavə olunan propan-butan qaz qarışığının miqdarının artması nəticəsində tədqiq edilən şüşəvari maddədən vakuumda termik buxarlandırma üsulu ilə alınan Al-$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$-Te sendviç quruluşlu nümunədə yükdaşınma prosesləri və o cümlədən, VAX-nın aşağı müqavimətli haldan yüksək müqavimətli hala (və yaxud əksinə) keçid gərginliklərinin qiymətləri ciddi dəyişməyə məruz qalır.



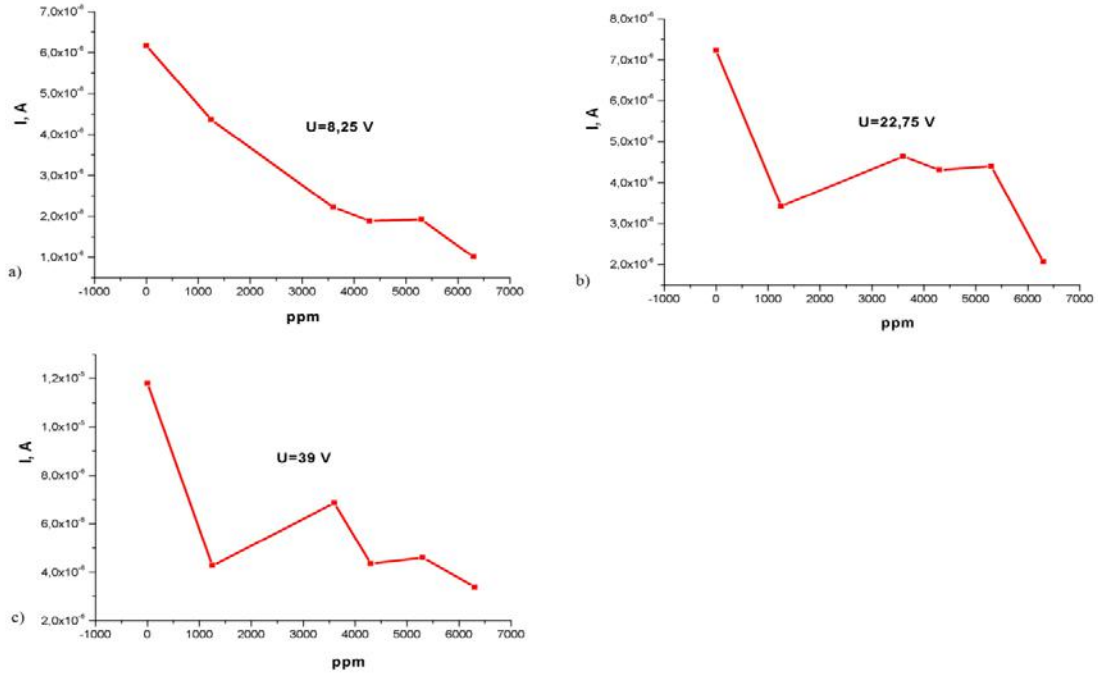
Şəkil.1. Atmosfer və propan-butan qaz qarışığına malik mühitdə Al-$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$-Te sendviç strukturunun volt – amper xarakteristikası.

VAX-dan göründüyü kimi, yalnız atmosfer mühitində, yəni propan-butan qaz qarışığı olmayan halda nümunəyə tətbiq olunan gərginliyin uyğun olaraq, U~8,2 V; 17,6 V; 22,8 V; 39 V; 43,75 V qiymətlərində cərəyanın qismən və eləcədə müxtəlif oblastlarda kəskin azalması müşahidə olunur. Tədqiq olunan nümunənin VAX-da aşağı müqavimətli haldan yüksək müqavimətli hala (və yaxud əksinə) keçidlərin müşahidə olunması, yəni gərginliyin müəyyən qiymətlərində cərəyanın məhdudlanması və eyni zamanda asılılığın qismən osilyasiyalar şəklində müşahidə olunması xalkogenid şüşəvari maddələrdə yükdaşınma hadisələrinin idarə edilməsinə həlledici təsir edən mənfi korelyasiya enerjili U^-- mərkəzlərin generasiya-rekombinasiya proseslərinə ciddi təsirləri ilə izah olunur[6]. Propan-butan qaz qarışığının nümunənin VAX-na təsirini nəzərdən keçirdikdə məlum olur ki, təcrübi kamerada qazın nisbətən az miqdarda (1250 ppm) olması əsasən aşağı müqavimətli haldan yüksək müqavimətli hala (və yaxud əksinə) keçid gərginliklərinin qiymətlərinə təsir etməklə yanaşı, tətbiq olunan gərginliyin U=39 V və 43,75 V qiymətlərində qeyd olunan keçidin tamamilə itməsinə səbəb olur. VAX-nın analizi göstərir ki, nisbətən az miqdarda propan-butan qaz qarışığının (1250 ppm) təsiri nəticəsində yüksək müqavimətli hala keçid gərginliyinin U~8,2 V-dan U=9 V-a qədər artmasına, U=17÷22 V və U=23,58÷28,8 V gərginlik intervallarında keçiriciliyin dayanıqsız halları ilə müşahidə olunan osilyasiyaların əsasən zəifləyərək itməsinə (U= 23,4 V və 29,2 V-da müşahidə olunan zəif intensivlikli piklər istisna olmaqla) və U=39 V-da müşahidə olunan yüksək müqavimətli hala keçid gərginliyinin qismən azalaraq U=32,5÷35,6 V intervalında təkrarlanan osilyasiyaların müşahidə olmasına səbəb olur. Atmosfer mühitində nümunəyə tətbiq olunan gərginliyin U=43,75 V qiymətində müşahidə olunan aşağı amplitudalı maksimum isə qaz mühitinin (1250 ppm) təsiri ilə nisbətən böyük gərginliklərə (U=46,4 V; U=49 V) sürüşərək digər aşağı amplitudlu maksimumlarla əvəz olunur. Təcrübi kamerada qazın miqdarının artması tədqiq olunan nümunənin VAX-da daha ciddi dəyişmələrə gətirir. Belə ki, kamerada qazın miqdarının 3600 ppm olması VAX-da U=39 V-a qədər müşahidə olunan yüksək müqavimətli hala keçid oblastlarının (U=39 V-da aşağı və yüksək müqavimətli hallara keçidlərin mövcudluğu istisna olmaqla) və o cümlədən dayanıqsız keçiricilik halları ilə xarakterizə olunan osilyasiyaların tamamilə yox olmasına gətirir. Qazın miqdarının davamlı olaraq artması həm nümunənin ümumi müqavimətinin artmasına gətirir, həmdə yuxarıda qeyd olunan dayanıqsız keçid hallarının baş verməsi gərginliyinin daha böyük qiymətlətinə U≥47 V doğru sürüşməsi ilə nəticələnir.

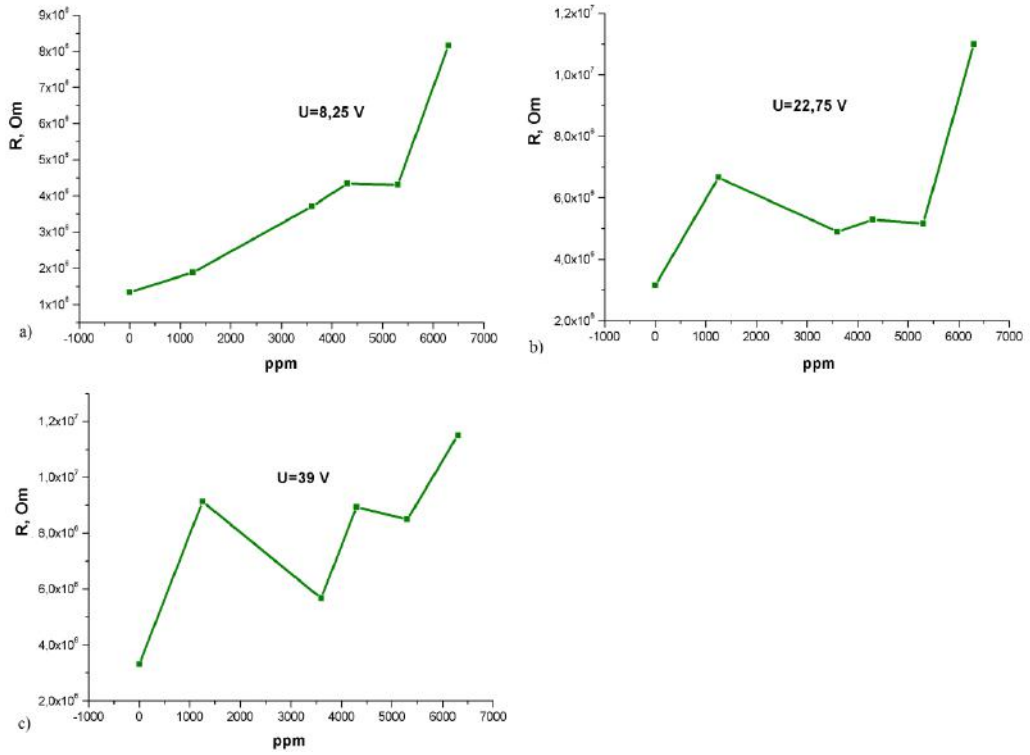
Şəkil.2-dən göründüyü kimi, təcrübi kamerada qazın miqdarının artmasının keçid gərginliklərinə uyğun cərəyanın qiymətlərinə təsiri də, yuxarıda qeyd olunan nəticələrin doğruluğunu sübut edir. Müəyyən olunmuşdur ki, nisbətən aşağı keçid gərginliyində (U=8,25 V) qazın miqdarının artması cərəyanın monoton azalmasına səbəb olur. Lakin, qazın miqdarının 1250 ppm-dən 3600 ppm-ə qədər artması keçid gərginliyinin U=22,75 V; U=39 V qiymətlərində cərəyanın qismən artımına səbəb olmuşdur. Lakin qazın miqdarının sonrakı artımı cərəyanın yenidən

azalmasına səbəb olmuşdur. Anoloji nəticə uyğun keçid gərginliklərində VAX-dan hesablanan müqavimətin qazın miqdarından asılılığında da öz əksini tapır.

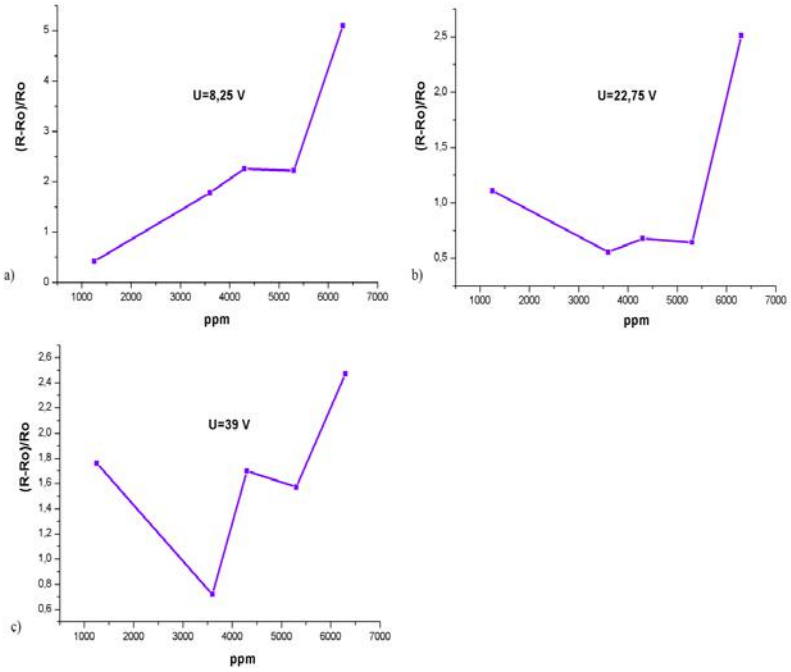
İş prinsipi qazın təsiri ilə müqaviməti dəyişən sensorlarda nisbi müqavimətin qazın miqdarından asılı olaraq necə dəyişməsi onların tətbiqi baxımdan xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bu baxımdan tədqiq olunan nümunənin müxtəlif keçid gərginliklərində qazın miqdarından asılı olaraq nisbi müqaviməti təyin edilmiş və alınan nəticələr Şəkil.4-də qrafiki asılılıq olaraq təsvir edilmişdir.



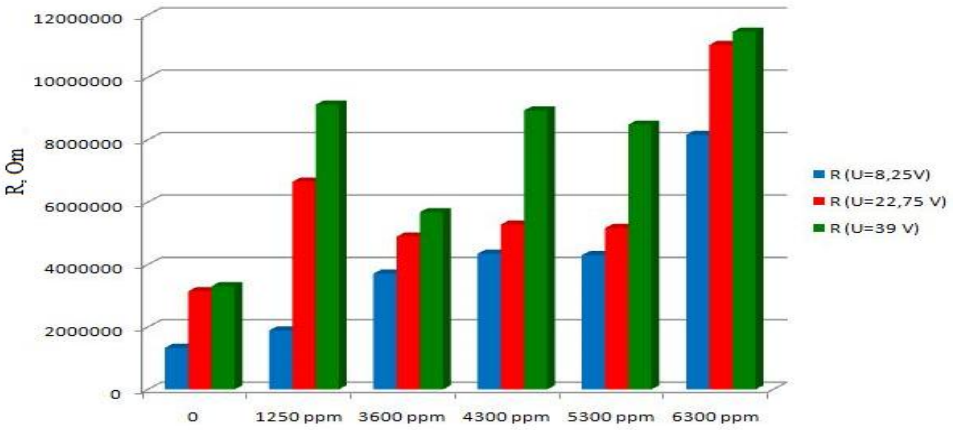
Şəkil.2. Al-$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$-Te sendviç strukturunun volt–amper xarakteristikasında müxtəlif gərginliklərə uyğun cərəyanın qiymətlərinə propan-butan qaz qarışığı miqdarının təsiri.



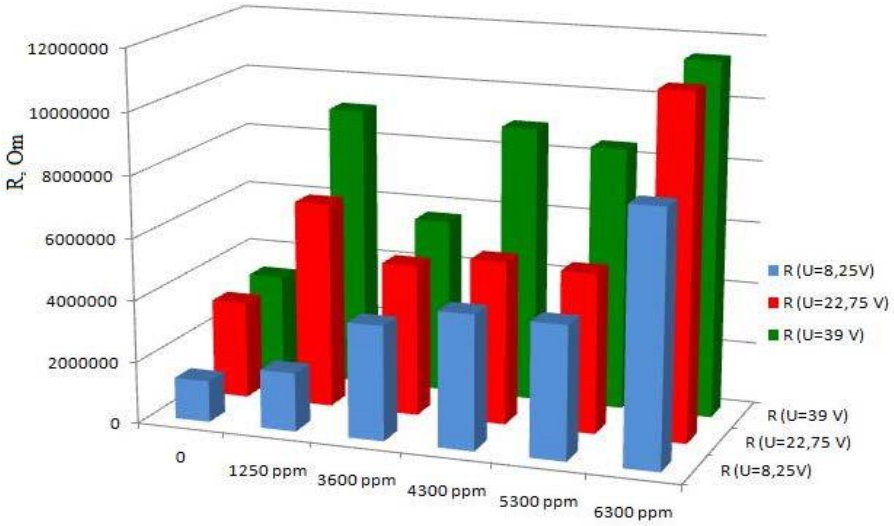
Şəkil.3. Al-$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$-Te sendviç strukturunun volt–amper xarakteristikasında müxtəlif gərginliklərə uyğun müqavimətin qiymətlərinə propan-butan qaz qarışığı miqdarının təsiri.



Şəkil.4. Al-$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$-Te sendviç strukturunun volt–amper xarakteristikasında müxtəlif gərginliklərə uyğun nisbi müqavimətin qiymətlərinə propan-butan qaz qarışığı miqdarının təsiri.



Şəkil.5. Müxtəlif gərginliklər tətbiq olunmuş $Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$ tərkibli nümunənin müqavimətinə propan-butan qaz qarışığı təsirinin 2D-diaqramında təsviri.



Şəkil.6. Müxtəlif gərginliklər tətbiq olunmuş $Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$ tərkibli nümunənin müqavimətinə propan-butan qaz qarışığı təsirinin 3D-diaqramında təsviri.

Şəkil.4-də təsvir olunan nəticələrin analizi göstərir ki, nisbətən aşağı gərginlikdə (U=8,25 V) propan-butan qarışığının miqdarından asılı olaraq müqavimətin nisbi dəyişməsi daha böyük tərtibdə baş verir. Bu nəticə göstərir ki, xalkogenid şüşələr əsasında hazırlanan Al-$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$-Te sendviç strukturlu nümunələr tətbiq olunan gərginliyin U=0÷10 V intervalında propan-butan qaz mühitinin təsirinə daha həsasdır. Alınan nəticələrin aydın təsvir olunması məqsədi ilə yuxarıda qeyd olunan keçid gərginliklərinə uyğun müqavimətin qazın miqdarından asılılığı 2D və 3D-diaqramları şəklində təsvir olunmuşdur (Şəkil 5, Şəkil 6).

Yuxarıda təsvir edilən 2D və 3D-diaqramlarından göründüyü kimi, qazın miqdarının artması nəticəsində nümunənin müqavimətinin artması U=39 V keçid gərginliyində daha yüksək sütunlarla xarakterizə edilir. Propan-butan qaz qarışığının Al-$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$-Te sendviç strukturunun volt–amper xarakteristikasına təsirinin fiziki mexanizmilərini izah etmək üçün Elliottun [6,7] və boşluq-klaster modeli və Andersonun [8] amorf maddələrdə, xüsusilə xalkogenid şüşəvari yarımkeçiricilərdə (XŞY) defektlərin təbiətini müəyyənləşdirmək üçün təklif etdiyi mənfi korelyasiya enerjisinə (U_{ef}) malik cüt elektron konsepsiyası və ya polyaron modeli tətbiq olunmuşdur. Bu modelə görə defektlər ətrafında atomar relaksasiyalar nəzərə alınmadığı halda istər elektronların enerjisi, istərsə də defektlərin əsas energetik konfiqurasiya halında lokal təhrifləri nəzərə alınmalıdır. Bu halda sistemin relaksasiyası elektron-fonon əlaqəsinin ən aşağı enerjili tarazlıq halına keçməsinə səbəb olur. Qeyd olunan modelə görə qırılmış rabitəyə elektron əlavə olunması defekt mərkəzində spin cütləşməsi və rabitə enerjisinin dəyişməsinə gətirir. Nəticədə, elektronun enerjisi U_r-qədər azalır [8]. Mott və Street [9] ideyasına görə elektronların optik keçidi zamanı U^--mərkəzlərin əsas yüklü D^+-halından həyəcanlaşmış D^0- halına keçidi müşahidə olunur. Elliott [6,7] modelinə görə tədqiq olunan materiallar aşağı atomar sıxlıqlı oblastlar və ya biri digərindən boşluqlar (məsamələr) ilə ayrılan quruluş oblastları və yaxud klasterlərdən ibarətdir. Bu maddələrdə atomar kontrast və uyğun olaraq klasterlərlə boşluqlar arasındakı orta elektron sıxlığı yekun quruluş əmsalının (S(Q)) spektral asılılığında birinci kəskin difraksiya pikinin (BKDP) yaranmasına səbəb olur. Odur ki, tədqiq olunan nümunənin atmosfer və qaz mühitində ölçülən VAX-da aşağı müavimətli hala keçidlərin baş verməsi yükdaşıyıcıların dayaz energetik səviyyələrdən azad olması, N–şəkilli oblastın qeyri müntəzəm ossilyasiyalar şəklində müşahidə olunan qeyri stabilliyi isə U^--mərkəzlərin ionlaşma proseslərinin və yükdaşıyıcıların həmin mərkəzlər tərəfindən periodik zəpt olunması ilə bağlıdır[10]. Təcrübi kamerada qaz atomlarının təsiri ilə VAX-da osilyasiyaların tədricən zəifləyərək yox olması neytral qaz atomlarının aşağı atomar sıxlıqlı oblastlara və ya məsamələrə toplanması nəticəsində baş verir. Hesab olunur ki, məsamələrə toplanan neytral qaz atomları U^- - mərkəzlərin ionlaşma proseslərinin zəifləməsinə, yükdaşıyıcıların həmin mərkəzlər tərəfindən periodik zəpt olunması proseslərinin isə sürətlənməsinə səbəb olur. Qeyd olunan amillərin hesabına təcrübi kamerada qazın miqdarının artması nümunənin müqavimətinin artmasına gətirir (Şəkil 5, Şəkil 6).

4. NƏTİCƏ

Propan-butan qaz qarışığı mühitinin Al-$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$-Te sendviç strukturunun volt–amper xarakteristikasına (VAX) təsiri tədqiq olunaraq göstərilmişdir ki, qaz atomlarının təsiri ilə VAX-da osilyasiyaların tədricən zəifləyərək yox olması neytral qaz atomlarının aşağı atomar sıxlıqlı oblastlara və ya məsamələrə toplanması nəticəsində baş verir. Fərz olunur ki, məsamələrə toplanan neytral qaz atomları U^- - mərkəzlərin ionlaşma proseslərinin zəifləməsinə, yükdaşıyıcıların həmin mərkəzlər tərəfindən periodik zəpt olunması proseslərinin isə sürətlənməsinə səbəb olur. Bunun nəticəsində təcrübi kamerada qazın miqdarının artması nümunənin müqavimətinin artmasına gətirir.

İŞ SOCAR-ın Elm Fondunun maliyyə dəstəyi ilə yerinə yetirilmişdir (№06 LR-EF/2024)

[1] *J.M. Lin, M. Heurich, E. Obermeier.* Manufacture and examination of various spin-on glass films with respect to their humidity-sensitive properties. Sens. Actuators B, -1993, 13(1-3), p.104-106.

[2] *K.P. Kornev, I.P. Korneva.* Humidity detectors based on chalcogenide semiconductors. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, -2005, 7(5), - p. 2359–2362.

[3] *D. Tsiulyanu.* Chalcogenide based gas sensors/ D. Tsiulyanu, S. Marian, H - D. Liess, I. Eisele. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, -2003, 5(5), -p. 1349-1354.

[4] *J.L. Adam, X. Zhang.* Chalcogenide Glasses, Preparation, Properties and Applications/ J.L. Adam, X. Zhang, –Cambridge: Woodhead Publishing Limited, –2014, -703p.

[5] *R.I. Alekberov, A.I. İsayev, S.I. Mekhtiyeva.* Features of the optical absorption, phonon spectrum and glass transition in As-Se, As-Se-S, As-Se-Te chalcogenide semiconductors. Journal of Optoelectronics and Advanced materials, –2020, 22(11), –p.596-605.

[6] *S.R. Elliott.* Extended range order, interstitial voids and the first sharp diffraction peak of network glasses. J. Non Crystalline Solids, -1995, 182(1), -p.40-48.

[7] *S.R. Elliott.* Medium-range structural order in covalent amorphous solids. Nature, -1991, 354, -p.445-452.

[8] *P.W. Anderson.* Model for the electronics structure of amorphous semiconductors. Phys. Rev. Lett, –1975, 37(15), –p.953-955.

[9] *R.A. Street, N. F. Mott*. States in the gap in glassy semiconductors. Phys. Rev. Letters, – 1975, 35(19), – p.1293-1296.

[10] *A.I. Isaev, S.I. Mekhtiyeva, H.I. Mammadova, M.R. Rzayev, R.I. Alekberov*. Infulence of topological features and U- - centers on electric charge carrying at strong electric fields in $Ge_xAs_yTe100_{-x-y}$ amorphous films. A.I. Isaev, Functional Materials, 2023, №1, p.28-34.

S.I. Mekhtiyeva, R.I. Alekberov, S.M. Mammadov, H.I. Mammadova, B.G. Ibragimov, M.V. Kazimov, V.N. Poladova

STUDY OF VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS OF Al-$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$-Te SANDWICH STRUCTURE IN PROPANE-BUTANE GAS MIXTURE

In this work, the effect of propane-butane gas mixture on the volt-ampere characteristic (VAC) of thin-layer Al-Ge33As17S35Se15-Te sandwich structure obtained by thermal evaporation in vacuum was studied. It was determined that the oscillations observed in VAC gradually weaken and disappear due to the influence of gas atoms. This result is explained by the accumulation of neutral gas atoms in the lower atomic pores. It has been shown that the neutral gas atoms collected in the pores weaken the processes of thermal-field ionization of U- centers, and the acceleration of the processes of periodic capture of charge carriers by those centers leads to an increase in the resistance of the sample.

С.И. Мехтиева, Р.И. Алекберов, С.М. Мамедов, Х.И. Мамедова, Б.Г. Ибрагимов, М.В. Казимов, В.Н. Поладова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЭНДВИЧ-СТРУКТУРЫ Al-$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$-Te В ГАЗОВОЙ СМЕСИ ПРОПАН-БУТАН

В данной работе исследовано влияние газовой смеси пропан-бутан на вольт-амперную характеристику (ВАХ) тонкослойной сэндвич-структуры Al-$Ge_{33}As_{17}S_{35}Se_{15}$-Te, полученной термическим испарением в вакууме. Установлено, что наблюдаемые в ВАХ колебания постепенно ослабевают и исчезают под влиянием атомов газа. Этот результат объясняется накоплением атомов нейтрального газа в нижних атомных порах. Показано, что атомы нейтрального газа, собранные в порах, ослабляют процессы термополевой ионизации U^-- центров, а ускорение процессов периодического захвата носителей заряда этими центрами приводит к увеличению сопротивления образца.

Qəbul olunma tarixi: 01.04.2024