# AgGaSe<sub>2</sub> NAZİK TƏBƏQƏSİNİN VOLT–AMPER XARAKTERİSTİKASININ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

A.Ç. MƏMMƏDOVA<sup>1,2</sup>

Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu, AZ-1073, H. Cavid pr. 131, Bakı, Azərbaycan Bakı Dövlət Univeristeti Az-1148, Z. Xəlilov 23, Bakı, Azərbaycan <u>amamedova@inbox.ru</u>

Yüksək vakuumda termik buxarlandırma yolu ilə AgGaSe<sub>2</sub> tərkibli üçqat birləşmənin nazik amorf təbəqəsi alınmış, faza tərkibi, quruluş xüsusiyyətləri elektron difraksiyası və rentgen difraksiyası (XRD) üsulları ilə tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, AgGaSe<sub>2</sub> tərkibli amorf təbəqələr periodu a = 0,599 nm; c = 1,089 nm olan tetraqonal sinqoniyada kristallaşır.

AgGaSe<sub>2</sub> tərkibli təbəqələrin volt-amper xarakteristikalarının (VAX) tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu təbəqələrdə həcmi yüklərlə məhdudlaşmış cərəyan monopolyar injeksiya mexanizmi ilə baş verir.

**Açar sözlər:** VAX, amorf, polikristal, nazik təbəqələr, həcmi yüklərlə məhdudlaşan cərəyan **DOI**:10.70784/azip.2.2025224

## GİRİŞ

Elektron cihazlarının imkanlarının genişləndirilməsi və iş keyfiyyətinin artırılmasıməqsədilə, alimlər dayanmadan müxtəlif birləşmələr üzərində tədqiqatlar apararaq yeni xassələr axtarışındadırlar. Bu səbəbdən alınmış birləşmələrin struktur təhlili, müxtəlif xassələrinin tədqiqi mühim əhəmiyyət kəsb edir. Birləşmədə defektlərin konsentrasiyası, onların nizamlanmasının mümkünlüyü, cərəyan yaranma mexanizmindəki rolu və digər elektrik, optik xassələrin tədqiqi mütləqdir.

Tədqiq edilən AgGaSe<sub>2</sub> nazik təbəqələri unikal fiziki xassələrinə və praktiki tətbiqinə görə hələ də öz aktuallığını itirməmişdir. Yaxın və orta infraqırmızı diapazonlu qeyri-xətti optika üçün AgGaSe<sub>2</sub> birləşmələri xüsusilə maraqlıdır. Onların üstünlükləri qismində ikiqat şüasındırma və qeyri-xəttilik əmsalı qiymətlərinin yaxşı uygunluq təşkil etməsi, həmçinin lazer şüalarına davamlılığı göstərilməlidir. Bu kristallar əsasındakı parametrik işıq generatorları 1,2 mkm-dən 10mkm-ə qədər diapazonda yenidən şüalanmanı fasiləsiz olaraq təmin edə bilirlər. [1-2]

### TƏCRÜBÜ NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN İZAHI

Ag – Ga – Se sisteminin nazik təbəqələri 10<sup>-5</sup> Pa tərtibli vakuumda UVP–5 gurğusunda termik buxarlandırma üsulu ilə alınmışdır. Nazik təbəqələrin alınması, müxtəlif tərkibli birləşmələrin alınması üçün [4-5] göstərilərək tətbiq edilən üsuldan istifadə edilmişdir.

Prosesdə üç buxarlandırma mənbəyi istifadə edilmişdir. Ag və Ga buxarlandırılan mənbələr bir- birindən 150 mm məsafədə, kondensasiya müstəvisindən (altlıq kimi istifadə olunan NaCl monokristalı) 70 mm hündürlükdə yerləşdirilmişlər. Se buxarlandırılan üçüncü mənbə digər iki mənbənin tam ortasında, kondensasiya müstəvisindən 80 mm hündürlükdə yerləşdirilmişdir.

Ag, Ga və Se maddələrinin miqdarı uyğun olaraq 30 nm qalınlığında təbəqə üçün hesablanmış, 14,2; 7,3

və 12 mq götürülmüsdür. Maddələr 0.02 mq dəqiqliklə analitik tərəzi ilə çəkilmişdir. Maddələrin mənbələrdən buxarlandırma sürəti 1,5 nm/san-dən 2nm/san qədər dəyişir. Buxarlandırıcı mənbə qismində diametri 0,15 mm olan konusvari şəkildə hörülmüş volfram məftillərdən istifadə edilmişdir. Təbəqələrin termik işlənməsi zamanı uçucu komponentin (selenin) oksidləşmə proseslərinin və təkrar buxarlandırmanın qarşısının alınması məqsədilə tədqiq olunan təbəqələr hər iki tərəfdən amorf karbon qoruyucu təbəqəsi ilə örtülmüşdür. Bu məqsədlə karbon təbəqəsi ilkin olaraq NaCl monokristal altıqların səthinə vakuumda çökdürülmüş, bunun üzərinə tədqiq olunan təbəqələr, sonra yenıdən üzərinə karbon təbəqələr çökdürülmüşdür. Beləliklə tədqiq olunan təbəqələr xüsusi olaraq kapsullaşdırılmışdır. Kollektor müstəvisinin vahid səthinə düşən maddənin kəmiyyət paylanması aşağıdakı düsturla təyin edilmişdir:

$$q = \frac{Q}{4\pi h^2} \frac{1}{(1+\alpha)^{\frac{3}{2}}}$$
(1)

Alınmış amorf və kristal fazaların tərkibi, quruluş xüsusiyyətləri EMR-102 elektronoqrafında elektron difraksiya və Rigaku Mini Flex 600 difraktometrində rentgen difraksiyası (XRD) üsulu ilə tədqiq edilmişdir.



*Şəkil 1*. AgGaSe<sub>2</sub> nazik amorf təbəqəsindən alınmış elektronoqram.



Şəkil 2. AgGaSe2 polikristal təbəqəsindən alınmış elektronoqram.



Şəkil 3. AgGaSe2 amorf təbəqəsinin XRD diffraktoqramı.



Şəkil 4. AgGaSe2 təbəqəsinin 550 C° temperaturun təsirindən sonrakı XRD difraktoqramı.

AgGaSe<sub>2</sub> tərkibli üçqat birləşmənin amorf təbəqəsi periodu a = 0,599 nm; c = 1,089 nm olan tetraqonal sinqoniyada kristallaşır və I $\overline{4}2d(D_{2d}^{12})$  fəza simmetriya qrupu ilə təsvir olunur.

Təbəqənin difraktoqramları İCDD PDF-2 verilənlər bazası ilə müqayisə edilmiş və eynilik göstərilmişdir.

Alınmış strukturların VAX-nın tədqiqi yarımkeçiricilərdə injeksiya – kontakt hadisələrinin ümumiləşmiş aproksimativ nəzəriyyəsi əsasında aparılmışdır ki, bu da nəinki cərəyankeçirmə mexanizmini, eləcə də materialların parametrlərini təyin etməyə və texnoloji şəraitdən asılı olaraq onların dəyişilmə qanunauyğunluqlarını izləməyə imkan vermişdir [6-9].

Həcmi yüklərlə məhdudlaşmış cərəyanın ölçülməsi üçün sabit cərəyan mənbəyi və voltmetrdən istifadə edilmişdir. Məlumdur ki, yarımkeçirici birləşmələrin hazırlanmasında ən vacib mərhələlərdən biri cərəyan kontaktlarının yaradılmasıdır. Aydındır ki, müxtəlif metallarla, metal ərintiləri ilə yarımkeçiricilərin qalvanik təmasında yaradılan bu cür kontaktlarda injeksiya prosesləri baş verməməli və xarici gərginliyin istənilən istiqamətində kontaktın volt-amper xarakteristikası xətti qanuna tabe olmalı- yəni omik olmalıdır. Bu məqsədlə bərk məhlulların nazik təbəqələrinə vakuumda 10<sup>-5</sup>-10<sup>-6</sup> Pa təzyiqdə UVP-5 tipli universal vakuum postunda termik buxarlanma üsulu ilə cərəyan kontaktlarının yaradılması həyata keçirilmişdir. Nazik təbəqələrin və onlar əsasındakı diod quruluşlarının müxtəlif mühit və temperaturlarda termik işlənməsi kontaktların buxarlanması (əsasən In zamanı kontaktları) və diffuziyası (Ag, Cu, Al, Ni) zamanı yarana biləcək problemlərə görə, kontaktların çökdürülməsi, təbəqələrin və strukturların termik işlənməsindən sonra həyata keçirilmişdir.

Tədqiqat zamanı qalınlığı 1÷3 mkm aralığında dəyişən üç təbəqəyə baxılmışdır. Bu zaman VAX-nın ölçülməsi üçün sendviç texlologiyası ilə In kontaktı vurulmuşdur.

Ölçmə zamanı alınmış qiymətlərdən J ~V aslılığı qurulmuşdur (şəkil 5). Daha sonrabu asılılıq tam loqarifmik masştaba keçirilmişdir (şəkil 6).



Şəkil 5. 1-1,5 mkm; 2- 2 mkm; 3- 2,7 mkm; 4- 3,5 mkm qalınlıqlı AgGaSe<sub>2</sub> təbəqələrinin VAX -ları.



*Şəkil 6.* 1- 1,5 mkm; 2- 2 mkm; 3- 2,7 mkm; 4- 3,5mkm qalınlıqlı AgGaSe<sub>2</sub> təbəqələrinin tam loqarifmik VAX-ları.

Şəkil 6-dan görünür ki, verilmiş şəraitdə təbəqələrin VAX-1 injeksiya cərəyanına uğun gələn - xətti, kvadratik, kəskin artma və tələsiz keçid oblastlarına malikdir. Tədqiq olunan strukturun tipik VAX-dan görünür ki, qeyri-tarazlıq həyəcanlaşmasının həcmi yüklərlə məhdudlaşan cərəyana stimullaşdırıcı təsir effekti müsahidə olunur. Baxılan strukturda VAX son tələsiz monopolyar cərəyanın limit xəttindən yuxarıda yerləşmişdir ki, bu da bipolyar keçiriciliyin olmasını təsdiq edir. Cərəyandan asılı olaraq ikiqat logarifmik masştabda VAX-da ( $\alpha = \frac{d \log J}{d \log U}$ - VAX-ın dərəcəsidir) kontaktdan emissiya ilə məhdudlanan cərəyan rejimi üçün xarakterik olan maksimum  $\alpha_{max} > 1$  və kontaktlararası minimum  $\alpha_{min}$ <1 müşahdə olunur. Təbəqələr 10<sup>6</sup>V\smə qədər elektrik sahəsinə davam gətirirlər. Kiçik gərginliklərdə VAX xəttidir: J=enµE. Bu, tarazlıq yükdaşıyıcılarının cərəyanı ilə, böyük keçiriciliklərdə isə həcmi yüklərlə məhdudlaşan cərəyanın axma qanunauyğunluqları ilə müəyyən olunur:  $J \sim V^2/L^3$ .

Həcmi yüklərlə məhdudlaşmış sahədə VAX üçün

$$J = \frac{\varepsilon \mu \alpha^2 \theta \beta V^2}{L^3} \tag{2}$$

ifadəsi doğrudur.

Burada  $\varepsilon$  - dielektrik nüfuzluğu,  $\mu$  - sərbəst yükdaşıyıcıların yürüklüyü, L – təbəqənin qalınlığı (cərəyan kontaktları arasındakı məsafə), V – nümunəyə tətbiq edilmiş xarici gərginlik,  $\alpha$  və  $\beta$  uyğun olaraq elektrik sahəsinin və konsentrasiyanın orta qiymətdən kənara çıxması,  $\theta$  - tələlərdə injeksiya cərəyanı daşıyıcılarının tutulmasını nəzərə alan əmsal.

Kvadratik qanunun pozulması və cərəyanın kəskin artması tələlərin injeksiya daşıyıcıları ilə dolmasından sonra baş verir. Bu hal baş verməsəydi asılılıq kvadratik olardı. Onların konsentrasiyası həcmi yüklərlə məhdudlanmış cərəyanın keçid gərginliyindən tapılır  $N_t = 10^{12}$  sm<sup>-3</sup>. Tələlərin injeksiya daşıyıcıları ilə ifrat dolmasının VAX

$$J = \frac{\varepsilon \mu \alpha^2 (V - V_{TID})}{L^3}$$
(3)

 $V_{TID}$ =2,6 V tələlərin ifrat dolmasıdır. Nümunədən axan cərəyan sıxlığının tətbiq olunan gərginlikdən kvadratik asılılığı V>> $V_{TID}$ , VAX-nın bu nöqtəsindən dolan tələlərin konsentrasiyası hesablanır. Məlum olmuşdur ki, baxdığımız şəraitdə  $n_t \approx 1,8 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-3}$  olmuşdur. Tələlərin energetik vəziyyəti (tutmanın energetik dərinliyi) və vahid enerji intervalında hal sıxlığı uyğun olaraq müxtəlif temperaturlarda Lambert nəzəriyyəsi ilə müəyyən edilib.



Şəkil 7. 1- 300, 2- 350, 3- 400 K temperaturlarda 2mkm qalınlıqlı təbəqələrin VAX.

Müəyyən edilmişdir ki,qadağan zonada tələlərin vəziyyətinin sərhəd qiymətləri 0,14-0,29 eV təşkil edir. Tarazlıqda olan yükdaşıyıcıların konsentrasiyası 300K temperaturda VAX-dan hesablanmış və  $n_t \approx 8 \Box 10^{13} \text{ sm}^{-3} \text{ ol-}$ muşdur. Nisbətən böyük temperaturlarda (T=360K) I(V) asılılığı müşahidə edilir.  $I \sim V^n$  burada n=2. Bu tarazlıqda olan yükdaşıyıcıların təbəqələrin keçiriciliyinə olan təsiririni göstərir və bu asılılıq Om qanununa tabe olan VAX yaradır. Asqar səviyyələrin energetik dərinliyi bu sahədə ~0,65eV-dur. Bu səviyyələrdə mərkəzlərin konsentrasiyası (sıxlığı) 1,6 10<sup>18</sup> sm<sup>-3</sup>-dir. Konsentrasiya və energetik vəziyyətin dərinliyi üçün alınmış qiymətlər termostimullaşmış cərəyan göstəriciləri əsasında hesablanmışdır. 300, 350, 400 K temperaturlarda 2 mkm qalınlıqlı təbəqələrin VAX-nın temperaturdan asılılığı verilmişdir (şəkil 7). Asılılıqdan aydın görünür ki, temperaturun artması cərəyanın artmasına səbəb olur. Bu isə kontaktdan injeksiyanın daha sürətlibaş verməsinə dəlalət edir.

- [1] А.У. Шелег, В.Г. Гуртовой. Влияние электронного облучения на диэлектрические характеристики монокристаллов AgGaSe<sub>2</sub>, Физика твердого тела, 2019, том 61, вып. 10, 1743-1745.
- [2] Ф.И. Мамедов, С.М. Зарбалиева, Э.К. Гурбанова. Определение уровней прилипания в монокристаллах AgGase<sub>2</sub> методом термической очистки. Журнал технической физики, 2014, том 84, вып. 12.
- [3] N.K. Kerimova, A.Ch. Mamedova.

#### NƏTİCƏ

Yüksək vakuumda termik buxarlandırma üsulu ilə alınmış AgGaSe<sub>2</sub> nazik amorf təbəqəsinə temperaturun təsiri müəyyən edilmişdir. Belə ki, AgGaSe<sub>2</sub> təbəqəsi temperaturun təsirindən  $\{112\}, \{200\}, \{204\}$  və  $\{312\}$  müstəviləri üzərində tetraqonal sinqoniyada kristallaşır, qəfəs sabitləri a=0,599 nm; c=1,089 nm-dir.

AgGaSe<sub>2</sub> təbəqəsinin VAX-na əsasən müəyyən edilmişdir ki, bu təbəqədə həcmi yüklərlə məhdudlaşmış cərəyan mexanizmi mövcuddur. Bu mexanizm hesabına təbəqələrdə yüksək sıxlıqlı injeksiya cərəyanı yaranır. AgGaSe<sub>2</sub> təbəqəsinin VAX-na temperaturun və tablamanın təsiri müəyyən edilmişdir. Lambert nəzəriyyəsinə əsasən yükdaşıyıcıların konsentrasiyası və tələlərin energetik dərinliyi hesablanmışdır.

> Crystallization kinetics of amorphous AgInS<sub>2</sub>. Russian Phyusics journal 60, p. 2144-2148, 2018.

- [4] Ch.Mamedova,N.K.Kerimova,I.T.Mammadova. Crystallization kinetics of amorphous nanothickness CuGa<sub>5</sub>Se<sub>8</sub>. AJP FIZIKA, V. XXVIII, 2022, № 2, p.7-9.
- [5] А.Ч. Мамедова. Электронографическое исследование кинетики кристаллизации аморфных пленок CuIn<sub>5</sub>Se<sub>8</sub>. Проблемы энергетики, № 2, 2024, с.42 -47.

- [6] А.В. Васильев, Г.Г. Девятых, Е.М. Дианов и др. Двухслойные халькогенидные волоконные световоды с оптическими потерями менее 30дБ/км, Квантовая электроника, 20 № 2, 1993 109-110.
- [7] G.G.Devyatyth, M.F.Churbanov, I.V.Scripachev et al. Middle infrared As-S, AsSe, Ge-As-Se chalcogenide glass fibres, J. of Optoelectron., 7, 1992 237-254.
- [8] V.S. Shiryaev, J.L. Adam, X.H. Zhang, et al. Infrared fibers based on Te-As-Se glass system with low optical losses, J. Non. - Cryst. Solids, 336, 2004, 113 -119.
- [9] K. Wei, D.P. Machewirth, J. Wenzel et al. Pr<sup>3+</sup>doped by Ge-Ga-S glasses for 1.3 μm optical fiber amplifiers, J. Non.- Cryst. Solids, 182, 1995, 257-261.

#### A. Ch. Mammadova

#### **VOLT – AMPERE CHARACTERISTIC FEATURES OF AgGaS2 THIN FILMS**

Ternary compounds  $AgGaSe_2$  were obtained in high vacuum. Phase analysis and structure properties of the obtained samples were studied by electron diffraction and X-ray structural analysis (XRD). It was shown that amorphous layers containing  $AgGaSe_2$  have parameters a = 0.599 nm; c = 1.089 nm and crystallize in tetragonal syngony. During the investigation of volt amper characteristics (VAC) of thin amorph  $AgGaS_2$  films it was determined that in this layers current is confined with volume charges and it is result of monopolar injection mechanism.

*Qəbul olunma tarixi: 23.04.2025*