

**$CuIn_5S_8$  MONOKRİSTALINDA HƏCMİ YÜKLƏRLƏ MƏHDUDLAŞMIŞ  
CƏRƏYANIN (HYMC) TƏDQIQI**

**L.H.HƏSƏNOVA, S.Ə.CAHANGİROVA, Ə.Z.MƏHƏMMƏDOV**  
*Bakı Dövlət Universiteti*  
*physics@bsu.az*

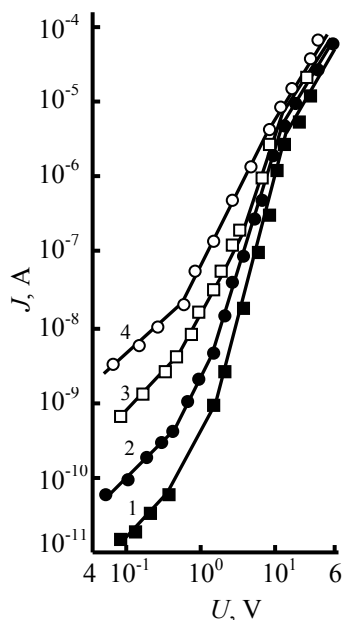
*$CuIn_5S_8$  monokristalında statik VAX-ları tədqiq edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, baxılan kristalda həcmi yüklərlə məhdudlaşmış cərəyan (HYMC) rejimi ödənilir ki, buna da səbəb kristalda dayaz tələlərin olmasıdır. VAX-ın xarakteristik nöqtələrini araşdırmaqla tələlərin parametrləri təyin olunmuşdur.*

Üçqat yarımkeçirici  $CuIn_5S_8$  birləşməsi  $CdIn_2S_4$  tipli kubik quruluşa maldir [1].  $CuIn_5S_8$ -in optik, elektrik və fotoelektrik xassələri [2-3] işlərində öyrənilmişdir.

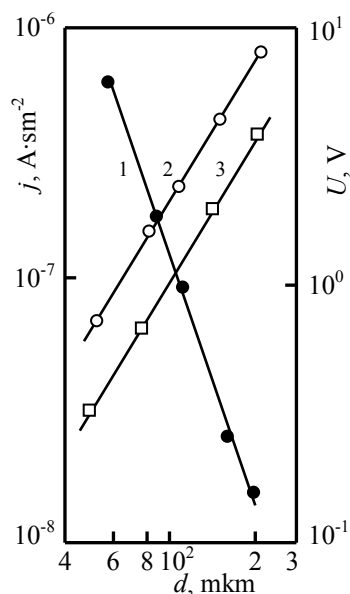
Tədqiq olunan maddə stexiometrik miqdarda götürülmüş  $CuInS_2$  və  $In_2S_3$  liqaturundan sintez olunmuş, təkmil monokristalları isə Bricmen metodu ilə göyərtilmişdir.

Baxılan işdə  $CuIn_5S_8$  nümunələrində statik VAX-ları çıxarılmışdır. Nümunələrin ölçüləri  $3 \times 4 \times 0,008 - 4 \times 5 \times 0,5$  mm<sup>3</sup> götürülmüş, gümüş pastasından omik kontakt vurulmuşdur. Müxtəlif temperaturalarda çıxarılmış VAX-da HYMC rejimi üçün xarakterik olan dörd sahə müşahidə olunur: xətti ( $J \sim U$ ), kvadratik ( $J \sim U^2$ ), cərəyanın kəskin artma oblastı ( $J \sim U^{L+1}$ , burada  $L = \frac{T_t}{T}$  və  $T_t$  xarakteristik temperatur olub, temperatur artdıqca 5-dən 2-yə qədər azalır) və nəhayət, ikinci kvadratik oblast. Ölçmələr zamanı HYMC rejiminin ödənildiyini isbat etmək üçün müxtəlif qalınlıqlı nümunələrdə eyni rejimdə VAX-ı çıxararaq (şəkil 1), cərəyanın sıxlığının ( $j$ ) və xarakterik nöqtələrin ( $U_x, U_{td}$ ) elektrodlararası məsafədən asılılığı öyrənilmişdir (şəkil 2).

Müəyyən olunmuşdur ki, tələli kvadratik oblastda  $j \sim d^{-3}$  asılılığı (şəkil 2-də 1 əyrisi), cərəyanın kəskin artma oblastında isə  $j \sim d^{-(2\ell+1)}$  asılılığı ödənilir.  $U_x$  və  $U_{td}$  keçid gərginlikləri isə nümunənin qalınlığından kvadratik asılıdır (şəkil 2-də 2 və 3 əyriyə). Çıxarılan asılılıqlar HYMC rejiminin ödənildiyini təsdiq edir.



Şəkil 1.  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$  monokristalında statik VAX. T, K: 1 – 150; 2 – 200; 3 – 300; 4 – 350.



Şəkil 2.  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$  monokristalında cərəyanın sıxlığının «tələli» kvadratik oblastda və  $U_x(2)$ ,  $U_{td}(3)$  xarakteristik nöqtələrin nümunələrin qalınlığından asılılığı.

HYMC rejimində zəif sahələrdə tarazlıqda olan yükdaşıyıcıların yaratdığı cərəyan Om qanununa tabedir:

$$J = e\mu n_0 \frac{U}{d}$$

(1), burada  $e$  – elektronun yükü,  $\mu$  - yükdaşıyıcıların yürüklüyü,  $U$  – tətbiq olunan gərginlikdir. Şəkil 1-dən görüldüyü kimi  $T=150$  K və  $U=0,6$  V olduqda injeksiya olan yükdaşıyıcıların konsentrasiyası tarazlıqda olan yükdaşıyıcıların konsentrasiyasını üstəliyə və VAX-da kvadratik asılılıq başlayır. Temperatur 350 K-ə qədər yüksəldikdə keçid gərginliyi 1 V-a qədər artır. Omik asılılıqdan kvadratik asılılığa keçid gərginliyi aşağıdakı ifadədən təyin olunur [4]:

$$U_x = \frac{en_0 d^2}{\varepsilon} \quad (2)$$

burada  $\varepsilon$  – maddənin dielektrik sabitidir.

Kvadratik oblastdan sonra cərəyan kəskin artır, bu da  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$  monokristalında tələlərin böyük rol oynadığını göstərir. Tələlərin VAX-da rolu onunla izah olunur ki [4], yarımkeçiricilərdə tələ olmadıqda injeksiya edən yükdaşıyıcılar həcmi yüklər yaradır. HYMC-a uyğun kvadratik oblastda cərəyan aşağıdakı qanuna tabedir:

$$J = \varepsilon\mu \frac{U^2}{d^3} \quad (3)$$

Kristalda tələ olduqda həcmi yüklər tələlər tərəfindən zəbt olunur. İnjeksiya olunmuş yükdaşıyıcılar tələlər tərəfindən zəbt olunduğundan, tələlər tam dolana qədər cərəyan azalır, tələlərin tam dolması isə aşağıdakı ifadədən təyin olunur:

$$n_{t,0} = \frac{N_t}{1 + \frac{1}{g} \exp \frac{E - F}{kT}}$$

(4), burada  $n_{t,0}$  – elektronlarla dolmayan tələlərin sayı,  $N_t$  və  $E$  isə uyğun olaraq tələlərin konsentrasiyası və dərinliyi,  $g$  – lokal səviyyənin spin cırılması,  $F$  – Fermi səviyyəsidir.

Kiçik tələlər halında  $\frac{E - F}{kT} > 1$  şərti ödənilir. Tələlərin dolması  $\theta = \frac{n}{n_t}$

parametri ilə xarakterizə olunur.  $\theta \ll 1$  halında VAX

$$J = \theta \epsilon \mu \frac{U^2}{d^3} \quad (5)$$

şəklində olur və kvadratik tələli qanun adlanır. Deməli, kiçik tələlər HYMC-ni əsaslı dəyişdirəcək. Bir neçə qrup tələ olduqda  $\theta$ -nın ən kiçik olanı HYMC-yə ən çox təsir edəcək.

Om qanunundan tələli kvadratik oblasta keçid aşağıdakı ifadədən təyin olunur:

$$U_x = \frac{en_0 d^2}{\theta \epsilon} \quad (6)$$

İnjeksiya artıqda  $F$  səviyyəsi qalxır və  $(F - E) \frac{1}{kT} > 1$  şərti ödəndikdə yapışma mərkəzləri dərin mərkəzlərə çevrilir.

Fermi səviyyəsindən aşağıda yerləşən dolmamış mərkəzlərin konsentrasiyası aşağıdakı ifadədən təyin olunur:

$$n_{t,0} = \frac{N_t}{g} \exp \frac{E - F}{kT} \quad (7)$$

Bu halda xətti hissədən birbaşa tələlərin tam dolması müşahidə olunur:

$$U_{t,d} = \frac{en_{t,0} d^2}{\epsilon} \quad (8)$$

$CuIn_5S_8$  monokristalında kvadratik oblastdan dərhal sonra cərəyanın kəskin artması müşahidə olunur ki, bu da tələlərin varlığı ilə izah olunur. Ona görə kvadratik oblast  $\theta$  parametrinin daxil olduğu (5) düsturu ilə xarakterizə edilir. (6) düsturundan istifadə edərək  $CuIn_5S_8$  monokristalında sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası hesablanır. (7) düsturunda  $U_{t,d}$ -nin təcrübi qiymətlərindən istifadə edərək, dolmamış tələlərin konsentrasiyası təyin edilir. Kəskin artma oblastından əvvəl tələli kvadratik oblast müşahidə olunur ki, bu da əvvəlcə tələlərin boş olduğunu təsdiq edir və deməli,  $P_{t,0} \approx N_t$  yazmaq olar.

Tələlərin dolma parametri aşağıdakı ifadədən təyin olunur:

$$\theta = \frac{N_v}{gN_t} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (9)$$

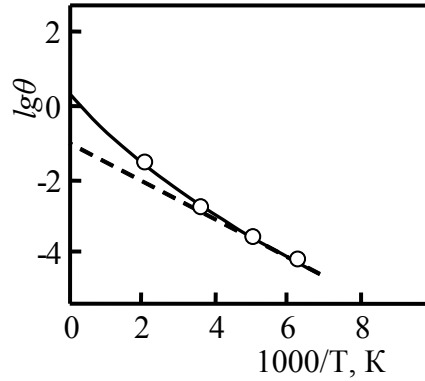
$N_v$  – valent zolağındakı hal sıxlığı,  $g$  – spin cırlaşma faktoru olub  $1 \leq g \leq 2$  intervalında dəyişir. Ona görə  $\lg(\theta) = f\left(\frac{1}{T}\right)$  qrafikini qurmaqla tələlərin dərinliyini təyin etmək olar.  $\theta$  parametri isə:

$$\theta = \frac{J_1}{J_2} \quad (10)$$

ifadəsindən tapılır.  $J_1$  – cərəyanın kəskin artma oblastının başlanğıcına,  $J_2$  – isə sonuna uyğun gəlir. Müxtəlif temperaturalarda  $\theta$ -nın qiyməti cədvəldə verilmişdir.

**Cədvəl**

T, K	$N_v, \text{sm}^{-3}$	$P_0, \text{sm}^{-3}$	$N_t, \text{sm}^{-3}$	$\theta$
150	$7,0 \cdot 10^{17}$	$1,0 \cdot 10^7$	$5,0 \cdot 10^{13}$	$1 \cdot 10^{-4}$
200	$1,5 \cdot 10^{18}$	$1,2 \cdot 10^8$	$8,0 \cdot 10^{13}$	$5 \cdot 10^{-4}$
300	$2,0 \cdot 10^{18}$	$7,0 \cdot 10^8$	$9,0 \cdot 10^{13}$	$4 \cdot 10^{-3}$
350	$2,5 \cdot 10^{18}$	$2,0 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^{14}$	$5 \cdot 10^{-2}$



**Şəkl. 3.**  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$  monokristalında tələlərin dolma parametrinin temperaturdan asılılığı.

Cədvəldən görüldüyü kimi temperatur artıqca  $\theta$ -nın qiyməti artır və tələlərin rolu zəifləyir.  $\lg \theta \sim \left(\frac{1}{T}\right)$  asılılığı 3-cü şəkildə verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi əyridən bir düz xətt keçirmək olar, bu isə  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$  monokristalında tələlərin bir əsas səviyyə ətrafında qruplaşdığını göstərir. Qrafikdən səviyyələrin sərhədi tapılmış (0,02 eV), (9) düsturundan səviyyənin sıxlığı hesablanmışdır.  $\theta$ -nın qiymətini bildikdə, tələsiz kvadratik oblastdan sərbəst yükdaşıyıcıların  $\mu$  yüüklüyünü hesablamaq olar. Otaq temperaturunda  $\mu \approx 25 \text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  olmuşdur.

## ӘДӘБИҮАТ

1. Binsma J.M., Giling L.J., Bloem J. J. Cryst. Growth, 1980, v.50, №2, p. 429-436.
2. Usujima A. Takenchi S., Endo S., Jiril T. Japan J. Appl. Phys., 2001, v.20, №7, p. 2505-2507.
3. Кязым-заде А.Г., Гасанова Л.Г., Магомедов А.З., Джахангирова С.А. АМЕА хәбәрләри, fiz.riy. və техн. elm. ser., 2008, s. 266-268.
4. Ламперт М., Марк П. Инжекционные токи в полупроводниках. М.: Мир, 1973, 413 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКОВ, ОГРАНИЧЕННЫХ ОБЪЕМНЫМ ЗАРЯДОМ (ТООЗ) В МОНОКРИСТАЛЛАХ $\text{CuIn}_5\text{S}_8$

Л.Г.ГАСАНОВА, С.А.ДЖАХАНГИРОВА, А.З.МАГОММЕДОВ

### РЕЗЮМЕ

Исследованы статистические вольтамперные характеристики (ВАХ) в монокристалле  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ . Установлено, что в определенной области напряжений удовлетворяется режим ТООЗ и это доказывается некоторыми измерениями. Проведенные исследования показали, что на ВАХ сильно действуют мелкие ловушки и определены их параметры.

## THE INVESTIGATION OF SPACE CHARGE LIMITED CURRENTS (SCLC) IN $\text{CuIn}_5\text{S}_8$ SINGLE-CRYSTALS

L.H.HASANOVA, S.A.JAHANGIROVA, A.Z.MAHAMMADOV

### SUMMARY

The paper investigates the statistical voltage-ampere characteristics (VAC) in  $\text{CuIn}_5\text{S}_8$  single-crystal. It is found out that SCLC regime is satisfied in a certain area of stress and this, in turn, is proved by some measurements. The studies show that the VAC is strongly affected by very shallow traps, their parameters have been determined.