

**Cu₃In₅S₉ YARIMKEÇİRİCİ BİRLƏŞMƏSİNDƏ
KEÇİRİCİLİK MEXANİZMİ**

**A.H.KAZIMZADƏ, L.H.HƏSƏNOVA,
Ə.Z.MƏHƏMMƏDOV, Ə.Ə.MƏMMƏDOV**
Bakı Dövlət Universiteti

Baxılan işdə Cu₃In₅S₉ monokristalında keçiricilik mexanizmini aydınlaşdırmaq üçün $40 \div 3 \times 10^7$ Hs tezlik intervalında elektrikkeçiriciliyinin tezlikdən asılılığı təhlil olunmuşdur. Ölçü aparmaq üçün lazım olan nümunələr böyük monokristaldan kəsilmək yolu ilə alınmışdır. Baxılan maddələrin layvari quruluşa malik olması asanlıqla istənilən qalınlıqda və istənilən ölçüdə nümunə hazırlamağa imkan verir. Təzə kəsilmiş nümunələrin səthinə gümüş elektrod çəkilərək, 30 V-a qədər gərginlik tətbiq edilmiş və volt-ampere xarakteristikası çıxarılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, baxılan oblastda Om qanunu ödənilir.

Cu₃In₅S₉ kristalı A₃^I B₅^{III} C₉^{VI} - tip yarımkeçirici birləşmələr qrupuna daxildir. Rentqenoqrafik təhlil nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, Cu₃In₅S₉ monoklin struktura malikdir və parametrləri $a = 6,60 \text{ \AA}^0$, $b = 6,91 \text{ \AA}^0$, $c = 8,12 \text{ \AA}^0$, $z = 1$ – dir [1,2].

Elektrikkeçiriciliyinin temperaturdan və tezlikdən asılılığı $5 \times 10^4 \div 3 \times 10^7$ Hs tezlik intervalında BM3//G kümmetrindən istifadə etməklə rezonans metodu ilə, $40 \div 10^4$ Hs tezlik intervalında isə E8-2 dəyişən cərəyan körpüsü ilə tədqiq olunmuşdur. Tətbiq olunan gərginlik 5V-dan böyük olmamışdır. Kümmetrlə ölçmə apardıqda xəta 5%, dəyişən cərəyan körpüsü ilə ölçmə apardıqda isə 2% tərtibində olmuşdur. Şəkil 1-də Cu₃In₅S₉ birləşməsinin elektrikkeçiriciliyinin tezlikdən asılılığı verilmişdir. Ölçmələr zamanı temperatur 1 K dəqiqliyi ilə sabit saxlanılmışdır. 82 K-də və $10^2 \div 10^7$ Hs tezlik intervalında keçiriciliyin temperatur asılılığı aşağıdakı qanuna tabe olur:

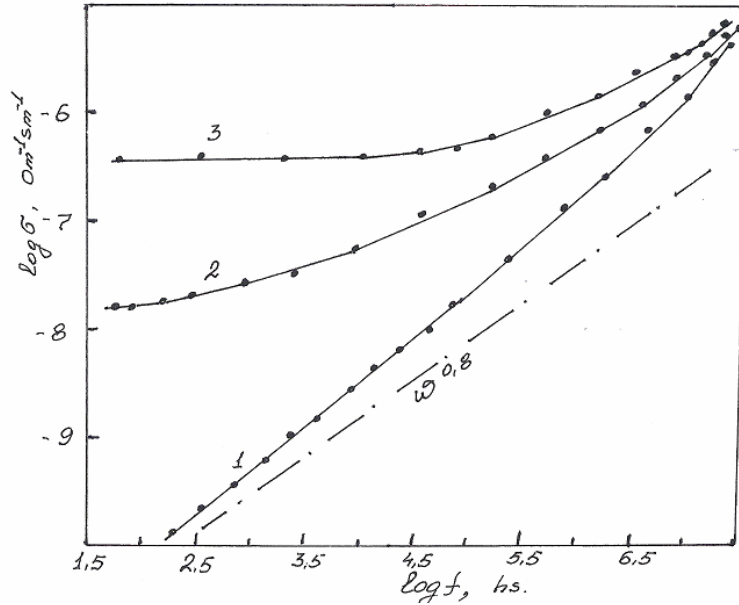
$$\sigma = \sigma_0 \omega^{0,8} \quad (1)$$

Bu ifadədə σ_0 kəmiyyəti nümunələrin temperaturundan və müqavimətindən, başqa sözlə kompensasiya dərəcəsiindən asılıdır.

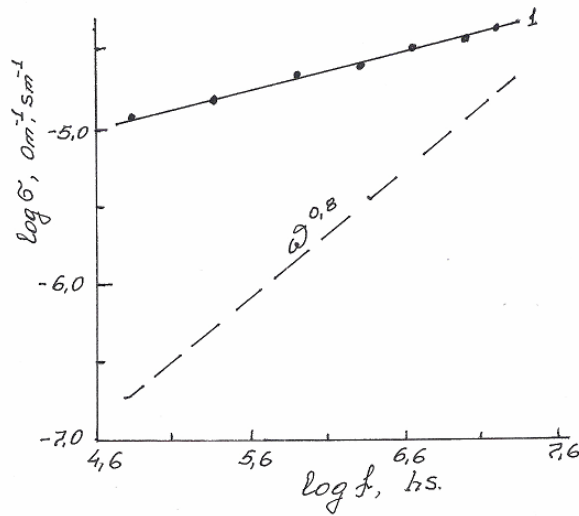
Temperatur yüksəldikcə keçiriciliyin tezlikdən asılılığı zəifləyir və müəyyən tezlik oblastında sabit qiymətə yaxınlaşır (şəkil 2). Ona görə (1) ifadəsini ümumi şəkildə aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\sigma = \sigma_0 \omega^s \quad (2)$$

$\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ nümunəsi üçün temperatur oblastından asılı olaraq $S \sim 0,2 \div 0,80$ arasında dəyişir. Temperatur yüksəldikdə (1) asılılığı daha kiçik intervalda ödənilir (şəkil 1).



Şəkil 1. $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ monokristalının xüsusi keçiriciliyinin tezlikdən asılılığı.
T, K: 1-82; 2-297; 3-400.



Şəkil 2. 600 K-də $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ monokristalının xüsusi keçiriciliyinin tezlikdən asılılığı.

Əgər cərəyan keçirici zonadakı elektronlar və ya valent zonasındakı deşiklər vasitəsilə yaranırsa, keçiriciliyin tezlikdən asılılığı Drude formulu ilə xarakterizə olunur [3]:

$$\sigma(\omega) = \frac{Ne^2\tau/m}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (3)$$

Burada N-vahid həcmdəki sərbəst elektronların sayı, m-elektronların effektiv kütləsi, τ -relaksasiya müddətidir. $\omega^2\tau^2 \leq 1$ intervalında keçiricilik tezlikdən asılı olmur. Relaksasiya müddəti çox kiçik (10^{-15} san) olduğundan, $\omega \leq 10^8$ Hs tezliklərində zona keçiriciliyi tezlikdən asılı deyil və (3) əvəzinə aşağıdakı ifadə alınır.

$$\ln \sigma = A + \frac{1}{2} \ln(N_c N_v) - q \ln T - \frac{E_{go}}{2k} \frac{1}{T} \quad (4)$$

Burada $N_{c(v)}$ -keçirici və ya valent zonadakı halların sıxlığı, E_{go} -0 K-də qadağan olunmuş zolağın eni, q-yükdaşıyıcıların yürüklüyünün temperatur asılılığının göstəricisi, A-temperaturdan asılı olmayan sabitdir.

Yarımkeçiricilərdə aşqar keçiriciliyini izah etmək üçün müxtəlif modellər təklif olunmuşdur. Onlardan ən çox yayılmışı sıçrayışlı keçiricilik mexanizmidir [3]. Bu halda keçiricilik üçün belə ifadə alınmışdır:

$$\sigma(\omega) \sim \omega \left[\ln \left(\frac{\omega_{fon}}{\omega} \right) \right]^4 \quad (5)$$

Bu ifadə alınarkən aşqarların təsadüfi paylandığı və sıçrayışların sinqlet olduğu (sıçrayış ancaq iki mərkəz arasında olur) nəzərə alınır. Ölçmələr zamanı dəyişən cərəyanın tezliyi $\leq 10^7$ Hs olmuşdur. Tədqiq olunan kristallarda fononun tezliyi isə $\leq 10^{10}$ Hs-dir [4].

$\left[\ln \left(\frac{\omega_{fon}}{\omega} \right) \right]^4$ vuruğunu 10^7 Hs tezlik oblastına qədər qiymətlən-

dirsək, (5) ifadəsindən alınan $\sigma(\omega)$ asılılığı (1) təcrübi ifadəsi ilə yaxşı uyğun gəlir. Əgər multiplet sıçrayışların keçiriciliyə təsirini nəzərə alsaq, onda görürük ki, temperatur artdıqca multiplet sıçrayışlar sinqlet sıçrayışlara nisbətən üstünlük təşkil edir. Yüksək temperaturlarda böyük aktivləşmə enerjisinə malik səviyyələrdən keçidlərin ehtimalı artır, deməli keçiriciliyin tezlikdən asılılığı zəifləyir.

Beləliklə, keçiriciliyin tezlikdən asılılığı onunla izah olunur ki, $A_3^I B_5^{III} C_9^{VI}$ tip birləşmələr kompensasiya olunmuş yarımkeçiricilərdir. p-tip kompensasiya olunmuş yarımkeçiricilərdə ($N_a > N_D$) bütün donorlar müsbət yüklənmiş ionlardır, akseptorların isə bir hissəsi yüklənmiş, bir hissəsi isə neytraldır. Cərəyan köçürməsi dəşiklərin neytral akseptorlardan yüklü akseptorlara tunnel keçidi nəticəsində baş verir. Tunnel keçidi zamanı dəşiklərin başlanğıc və son hallarındakı enerjisi eyni olur, ona görə belə keçidlərdə enerji udulmur və buraxılmır. Lakin birləşmədə təsadüf olunan yüklü aşqarlar hesabına dəşiklərin başlanğıc və son hal-

larındakı enerji halları müxtəlif ola bilər və nəticədə tunnel keçidi zamanı enerji udular və buraxılar.

$\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ monokristalında keçiriciliyin tezlikdən asılılığını xarakterizə edən (1) ifadəsinin ödənilməsi göstərir ki, monokristal göyərdilən zaman onlarda lokal hallar yaranır və onlar nisbətən kompensasiya olunmuşdur. Lokal səviyyələr isə nəzarət olunmayan aşqarlar və struktur defektlər nəticəsində yaranır.

ƏDƏBİYYAT

1. Тагиров В.И., Гахраманов Н.Ф., Гусейнов А.Г. Новый класс тройных полупроводниковых соединений типа $A_3^I B_5^III C_9^{VI}$. Баку-2001
2. Тагиров В.И., Кязым-заде А.Г., Магомедов А.З., Гасанова Л.Г. Некоторые электрические и фотоэлектрические свойства гетеропереходов $p-GaSe-n-Cu_3In_5S_9$. ФТП-1984 –т.18. В.1-с.159-162.
3. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников. М., Наука, 1979
4. Аллахвердиев К.Р., Гасанова Л.Г., Магомедов А.З., Бедалова С.А. Комбинационное рассеяние света в кристаллах $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$. Препринт № 393 АН Азербайджана Ордена Трудового Красного Знамени Институт физики. Баку-1991

МЕХАНИЗМ ПРОВОДИМОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$

А.Г.КЯЗЫМ-ЗАДЕ, Л.Г.ГАСАНОВА, А.З.МАГОМЕДОВ, А.А.МАМЕДОВ

РЕЗЮМЕ

В данной работе для выяснения механизма проводимости анализируется частотная зависимость электропроводности монокристаллов $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ в интервале частот $40 \div 3 \times 10^7$ Гц. При этом был использован резонансный метод. Установлено, что при низких температурах проводимость почти линейно зависит от частоты, но с повышением температуры зависимость ослабляется и в определенной частотной области стремится к постоянному значению. Такая зависимость объясняется тем, что рассматриваемое соединение является компенсированным полупроводником и перенос тока обусловлен туннелированием носителей с нейтральных примесей на заряженные центры.

THE CONDUCTIVITY MECHANISM IN SEMICONDUCTOR COMPOUND $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$

A.H.KAZIMZADE, L.H.QASANOVA,
A.Z.MAQAMEDOV, A.A.MAMEEDOV

SUMMARY

In the given work for finding-out of the mechanism of conductivity frequency dependence electroconductivity monocrystals $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ in an interval of frequencies $40 \div 3 \times 10^7$ Hz is analyzed. Thus the resonant method has been used. It is established, that at low temperatures conductivity almost linearly depends on frequency, but with rise in temperature dependence is weakened and in the certain frequency area aspires to constant value. Such dependence

speaks that considered connection is the compensated semiconductor and carry of a current is caused by tunneling of carriers from neutral impurity on the charged centers.