

AŞAĞI TEMPERATURLARDA BİR NÖV AŞQARI OLAN YARIMKEÇİRİCİNİN TƏDQIQI

HACIYEVA VALİDƏ İBRAHİM qızı, BABAYEV ŞİRZAD ZÜLGÜQAR oğlu

Naxçıvan Dövlət Universiteti Elektroenergetika kafedrası

validehaciyeva@ndu.edu.az

babayevsiraz@ndu.edu.az

Biz böyük dielektrik keçiriciliyə malik aşqarlanmış yarımkəçiricilərdə elektron-çirкли səpilmənin yeni mexanizmini nəzəri cəhətdən təklif edir və öyrənirik. O, vahid hüceyrədə asimmetrik yerləşmiş istənilən nöqtə qüsurlarının kristal qəfəsə yaratdığı deformasiyaların vektor xarakteri ideyasına əsaslanır. Nəticə etibarlı ilə elastik deformasiyalar nəticəsində şəbəkənin yerli sıxılması çirkədən uzaqlaşdıqca $1/r^2$ $1/r^2$ kimi çürüyür. Belə qüsurlar üzərində elektronların səpilməsi (standart deformasiya potensialına görə) aşağı temperaturda hərəkətilik $\mu(n)$ $\mu(n)$ elektron sıxlığı n n şəklində $\mu(n)$ $\mu(n)$ ilə miqyasına səbəb olur. $\mu(n) \propto n^{-2/3}$ ki, bir sıra müvafiq materiallar üzrə eksperimental müşahidələrə yaxındır.

Açar sözlər: Donor tipli aşqar, keçiricilik, valent zonası, Fermi səviyyəsi, elektronların konsentrasiyası.

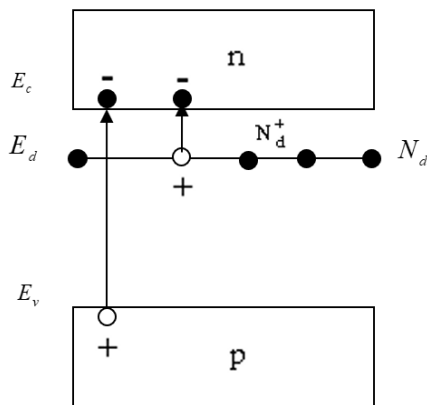
Key words: Donor additive, conductivity, valence band, Fermi level, concentration of electrons.

Giriş.

Bir növ aşqar mərkəzi, deyək ki, donor tipli aşqarlar olan yarımkəçiriciyə baxaq: $N_d \neq 0, N_a = 0$. Bu halda neytrallıq tənliyi belə olur:

$$n - (p + N_d^+) = 0 \quad (1)$$

Ümumi halda bu tənlik F -ə görə üçüncü tərtibdəndir. İndi valent zonasında sərbəst dəşiklər yalnız məxsusi atomların ionlaşması hesabına, keçiricilik zonasında sərbəst elektronlar isə həm valent zonasından və həm də donor mərkəzindən elektronların keçiricilik zonasına keçməsi hesabına yaranır (şəkil 1). Ona görə də $p \ll N_d^+$ şərti ödənilən temperatur intervalında («aşağı» temperaturlarda) əsas rolu aşqar mərkəzləri, $p \gg N_d^+ = N_d$ şərti ödənilən intervalda isə («yuxarı» temperaturlarda) əsas rolu valent zonasından keçiricilik zonasına gedən keçidlər oynayacaq.



Şəkil 1. Donor tipli aşqara malik yarımkəçiricidə yükdaşıyıcıların istilik generasyonu

Qeyd etdiyimiz kimi, bu $p \ll N_d^+$ şərtini ödəyən temperatur intervalını əhatə edir.

$$N_c e^{\frac{F}{k_0 T}} - \left(N_d - \frac{N_d}{\frac{1}{2} e^{\frac{E_d - F}{k_0 T}} + 1} \right) = 0$$

və ya

$$\frac{1}{2} N_c e^{\frac{E_d}{k_0 T}} + N_c e^{\frac{F}{k_0 T}} - \frac{1}{2} N_d e^{\frac{E_d - F}{k_0 T}} = 0. \quad (2)$$

Belə əvəzləmə aparsaq:

$$e^{\frac{F}{k_0 T}} = x, \quad (3)$$

$$\frac{1}{2} N_c e^{\frac{E_d}{k_0 T}} + N_c x - \frac{1}{2} N_d e^{\frac{E_d}{k_0 T}} \cdot x^{-1} = 0,$$

sadələşdirsək:

$$x^2 + \frac{1}{2} e^{\frac{E_d}{k_0 T}} x - \frac{N_d}{2 N_c} e^{\frac{E_d}{k_0 T}} = 0. \quad (4)$$

Buradan:

$$x = \frac{1}{4} e^{\frac{E_d}{k_0 T}} \left[-1 \pm \sqrt{1 + \frac{8 N_d}{N_c} e^{\frac{E_d}{k_0 T}}} \right] \quad (5)$$

burada $x > 0$ olduğunu nəzərə alsaq, kökaltı ifadənin qarşısındakı mənfi işarəni ata bilərik. Fermi səviyyəsi üçün alırıq:

$$F = k_0 T \ln \left\{ \frac{1}{4} e^{\frac{E_d}{k_0 T}} \left[\sqrt{1 + \frac{8N_d}{N_c} e^{-\frac{E_d}{k_0 T}}} - 1 \right] \right\} \quad (6)$$

Kifayət qədər aşağı temperaturlarda N_c -nin dəyişməsi hesabına aşağıdakı bərabərsizlik ödənilə bilər:

$$\frac{8N_d}{N_c} e^{-\frac{E_d}{k_0 T}} \gg 1. \quad (7)$$

Onda (3.6.6)-də vahidləri ata bilərik:

$$F = k_0 T \ln \left\{ \frac{1}{4} e^{\frac{E_d}{k_0 T}} \sqrt{\frac{8N_d}{N_c} e^{-\frac{E_d}{k_0 T}}} \right\} = k_0 T \ln \left\{ \sqrt{\frac{N_d}{2N_c}} e^{\frac{E_d}{2k_0 T}} \right\} = \frac{E_d}{2} + \frac{k_0 T}{2} \ln \frac{N_d}{2N_c}. \quad (8)$$

Enerji keçiricilik zonasının dibindən ($E_c = 0$) hesablandığı üçün aşqar səviyyəsinə uyğun gələn enerji (aşqar səviyyəsinin «dərini») mənfiyədir:

$$E_d < 0.$$

Nəzərə alsaq ki, E_d mütləq qiymətə aşqar mərkəzinin ionlaşma enerjisinə ($\Delta \varepsilon_d$) bərabərdir, onda F üçün (8)-dan

$$F = -\frac{\Delta \varepsilon_d}{2} + \frac{k_0 T}{2} \ln \left(\frac{N_d}{2N_c} \right) \quad (9)$$

Buradan görünür ki, $T = 0$ olduqda $F = -\frac{\Delta \varepsilon_d}{2}$

olur, yəni mütləq sıfırda Fermi səviyyəsi keçiricilik zonası ilə aşqar səviyyəsi arasındakı məsafənin ortasından keçir. Temperaturun artması ilə F artaraq, keçiricilik zonasının dibinə yaxınlaşır, maksimum qiymət alır və sonra azalmağa başlayır, $2N_c = N_d$

qiymətində yenidən $F = -\frac{\Delta \varepsilon_d}{2}$ olur.

Elektronların konsentrasiyasını tapaq:

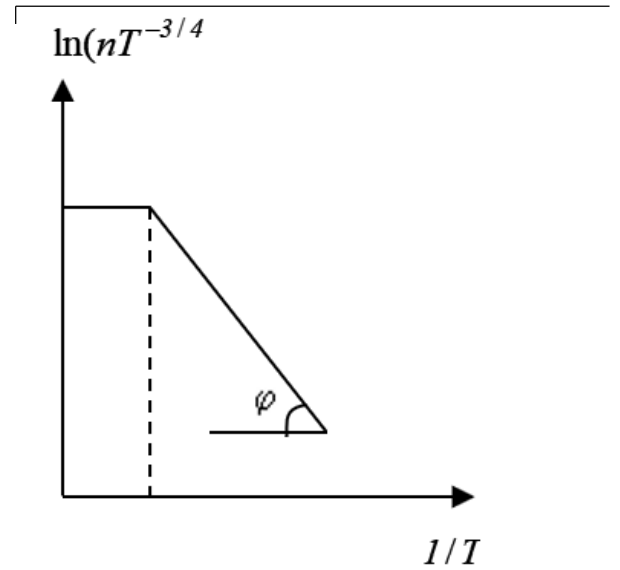
$$n = N_c e^{-\frac{\Delta \varepsilon_d}{2k_0 T} + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{N_d}{2N_c} \right)} = \left(\frac{N_d N_c}{2} \right)^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{\Delta \varepsilon_d}{2k_0 T}},$$

$$n = \left(\frac{N_d N_c}{2} \right)^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{\Delta \varepsilon_d}{2k_0 T}} \quad (9a)$$

buradan görünür ki, yenə də

$$\ln \left(n T^{-3/4} \right)$$

kəmiyyətinin $\frac{1}{T}$ -dən asılılığı düz xətt verir.



Şəkil 2. Bir növ aşqar olan yarım-keçiricidə aşağı temperaturlarda $\ln(nT^{-3/4}) = f\left(\frac{1}{T}\right)$.

həmin düz xəttin meyl bucağı (φ) vasitəsilə tapmaq olar:

$$\Delta \varepsilon_d = 2 \cdot k_0 T \operatorname{tg} \varphi. \quad (10)$$

İndi də (3.6.7)-ə əks olan şərtin ödənilməsi halına baxaq, yəni:

$$\frac{8N_d}{N_c} e^{\frac{\Delta \varepsilon_d}{k_0 T}} \ll 1. \quad (11)$$

Aşqar mərkəzlərinin eyni bir N_d konsentrasiyasında (11)-nin doğru olması üçün nisbətən yuxarı temperaturlar tələb olunur və bu temperaturlarda həm də $N_c \gg 8N_d$ şərti ödənilməlidir. Onda ifadəni

$y = \frac{8N_d}{N_c} \cdot e^{\frac{\Delta\epsilon_d}{k_0T}}$ -nin üstlərinə görə sıraya ayırıb,

birinci iki hədlə kifayətlənsək:

$$F = k_0T \ln \left\{ \frac{1}{4} e^{\frac{\Delta\epsilon_d}{k_0T}} \left(1 + \frac{4N_d}{N_c} e^{\frac{\Delta\epsilon_d}{k_0T}} + \dots - 1 \right) \right\} = k_0T \ln \frac{N_d}{N_c} \quad (12)$$

$N_d \ll N_c$ olduğu üçün $\ln \frac{N_d}{N_c} < 0$ -dir. Deməli, temperatur artdıqca F keçiricilik zonasının dibindən aşağı

düşür (uzaqlaşır).

Bu hal üçün elektronların konsentrasiyasını tapaq:

$$n = N_c e^{\frac{F}{k_0T}} = N_c e^{\ln \frac{N_d}{N_c}} = N_d \quad (13)$$

yəni konsentrasiya temperaturdan asılı olaraq dəyişmir (bütün donor mərkəzləri ionlaşmışdır). Bu oblasta aşqar mərkəzlərinin (donorların) elektronlarının tam tükəndiyi oblast deyirlər.

Burada artıq $N_d^+ = N_d$ -dir.

- | | |
|--|---|
| <p>[1] <i>M. Zərbəliyev</i>. Yarımkeçiricilər fizikası, Bakı, 2008, 460s.</p> <p>[2] <i>B. Əsgərov</i>. Bərk cisimlər nəzəriyyəsi, BDU nəşriyyatı, Bakı, 2001, 154 s.</p> <p>[3] <i>V. Tahirov</i>. Yarımkeçiricilər fizikasının əsasları. "Maarif" nəşriyyatı, Bakı, 1984, 326 s.</p> <p>[4] <i>M. Zərbəliyev</i>. Yarımkeçiricilərin elektrofiziki parametrlərinin ölçmə üsulları, SDU nəşriyyatı, Sumqayıt, 2004, 117 s.</p> <p>[5] <i>Ə. Abdinov, İ. Həsənov, T.X. Hüseyinov</i>. "elektron cihazları və emissiya elektronikasının əsasları". Bakı, 2011, 360 s.</p> | <p>[6] <i>R. Hümbətov</i>. "Bərk cisim elektronikasısı" Bakı, "Təhsil" nəşriyyatı, 2002, 172 s.</p> <p>[7] <i>E. Eyvazov</i>. "Bərk cisimlərin fizikası" Bakı, "Təhsil" nəşriyyatı, 2003, 455 s.</p> <p>[8] <i>Ə. Abdinov, V. Səfərov</i>. "Elektron texnikasının əsasları və nanotexnologiyanın əsasları", "Təhsil" nəşriyyatı, 2010, 183s.</p> <p>[9] <i>A. Лебедев</i>. «Физика полупроводниковых приборов» Москва, физматлит, 2008, 487с.</p> |
|--|---|