

DİSLOKASIYALI YARIMKEÇİRİCİLƏRDƏ SÖVQ CƏRƏYANI

T.H.İSMAYILOV, Ə.H.XƏLİLOVA

Məqalədə hərəkət edən yüklü dislokasiyaların yaratdığı sövq cərəyanı tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, sövqetmə əmsalı (k) dislokasiyaların dolma əmsalı (f) ilə düz, aşqar mərkəzlərinin enerjisi ilə tərs mütənəsbdir. Sövqetmə prosesinin temperatur asılılığı özünü ancaq klassik temperaturlar oblastlarında ($kT > \hbar\omega_m$) aşkar şəkildə göstərir. Lakin qeyri-aşkar şəkildə $k=k(T)$ asılılığı $f=f(T)$ asılılığı vasitəsilə özünü büruzə verir. Təcrübə ilə müqayisədə yaxşı uyğunluq alınır.

Yarımkəçirici və yarımkəçirici strukturlarda elektron keçiriciliyinə yüklü dislokasiyaların təsiri məsələsi həm nəzəri aspektlər, həm də təbiiqlər nöqtəyi-nəzərindən xüsusi əhəmiyyət kəsb edir [1]. Son illərdə aşağı ölçülü elektron sistemlərində belə dislokasiyaların rolunun araşdırılması yeni keyfiyyətlərin üzə çıxarılmasına rəvac vermiş oldu [2,3].

A^2B^6 tipli yarımkəçirici birləşmələrdə yüklü dislokasiyalar öz hərəkəti zamanı dərin enerji səviyyəsinə malik aşqar mərkəzləri ilə qarşılıqlı təsire girərək onları ionlaşdırır. Belə ionlaşma nəticəsində yaranan elektronlar keçiricilik zonasına keçdikdən sonra dislokasiyanın yaratdığı elektrik sahəsində hərəkət edərək plastik deformasiya olunmuş kristalda yaranan cərəyana əlavə pay verir. Müəyyən fiziki şərtlər daxilində əsas cərəyana 30%-ə qədər pay verən bu cərəyan sövq cərəyanı adlanır [4].

Təqdim edilən məqalənin məqsədi yüklü dislokasiyalı yarımkəçirici birləşmələrdə yaranan sövq cərəyanını tədqiq edib, onun aşqar mərkəzlərinin enerji səviyyələrindən (E_d), temperaturdan (T) və dislokasiyanın dolma əmsalından (f) asılılığını öyrənməkdir.

Məlum olduğu kimi, statik halda ətrafında dairəvi silindrik ekranlaşdırıcı fəza yükləri oblastı olan yüklü dislokasiyalar hərəkət etdikdə onun ətrafındakı fəza yükləri oblastı deformasiyaya uğrayır (R radiuslu dairəvi silindrik oblast, eninə və uzununa ölçüləri d və l olan elliptik silindrə çevrilir) və dislokasiyaların nöqtəvi aşqar mərkəzləri ilə qarşılıqlı təsir ehtimalı artır. Nəticədə sövq prosesində iştirak edən elektronların konsentrasiyası artır və bununla əlaqədar olaraq sövq cərəyanının qiyməti də artır.

Sövq prosesi $k=c_s/c_D$ nisbəti ilə xarakterizə edilir. Burada j_s -dislokasiyalı yarımkəçiricidəki sövq cərəyanının sıxlığı, $j_D=qvN_D$ V isə cərəyan sıxlığıdır. $q = \frac{ef}{a}$ dislokasiyanın xətti yükü, f -dislokasiyanın elektronlarla dolma əmsalı, a -dislokasiya boyunca kristal qəfəsin periodu, v -dislokasiyanın hərəkət sürəti, N_D -dislokasiyaların konsentrasiyasıdır. Sadə fiziki mülahizələrdən istifadə edərək k -sövqətinə əmsalını müəyyənləsənsək,

$$k = \frac{a}{f} d \cdot n_a \cdot L \quad (1)$$

olduğunu alırıq. Burada, n_a -dərin enerjili aşqar mərkəzlərinin konsentrasiyası, L -dislokasiya boyunca nümunənin uzunluğudur. Dislokasiya-aşqar mərkəzləri arasındakı qarşılıqlı təsirin effektiv radiusu (dislokasiyanın ətrafındakı fəza yükləri oblastının eni) dislokasiyanın aşqar mərkəzlərini ionlaşdırma ehtimalının sonluluq şərtindən tapılır. Silindrik koordinatlarda (r,z,t) dislokasiyanın oxu z oxu istiqamətində yönəldikdə, bu radius

$$\int W(r) dt = \int W(r) r dr / v(r^2 - d^2)^{1/2} = j \quad (2)$$

şərtindən tapılır [5]. Burada, $W(r)$ -yüklü dislokasiyanın elektrostatik sahəsində aşqar mərkəzlərin ionlaşma ehtimalı, c vahid tərtibində sabit kəmiyyət, dt –isə dislokasiyanın $r(t)$ məsafəsindən verilmiş atomla qarşılıqlı təsir müddətidir. İonlaşma ehtimalı aşağıdakı kimi təyin edilir [5]:

$$W = \frac{(e\epsilon\hbar)^4}{4\sqrt{2}m^2\hbar E^2 d(\hbar^v\omega_m)^2} e^{-\frac{(E_d - \delta)^2}{4\hbar^2\omega^2}} \quad (3)$$

$$(\hbar\omega)^2 = \begin{cases} 2\delta kT \\ \frac{1}{2}\delta \cdot \hbar\omega_m \left[1 + \frac{2\pi^2}{3} \left(\frac{kT}{\hbar\omega_m} \right)^2 \right] \end{cases} \quad \text{əgər}$$

$$(8mS_D^2 \cdot E_D)^{1/2} \ll kT \ll \hbar\omega_m, \quad (4)$$

$$\delta = \frac{3\pi^2}{2} \frac{m}{M} \left(\frac{Ec}{\hbar\omega_m} \right)^2 \cdot Ed \quad (5)$$

Burada, s_0 -səsin kristaldakı sürəti, m - elektronların, M - kristalda elementar özəyin kütlələri, ω_m -Debay tezliyi, E_j -deformasiya potensialı sabitidir. $\varepsilon(r)$ -dislokasiyanın elektrik sahəsinin intensivliyidir və

$$\varepsilon(r) = ef / 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 ar \quad (6)$$

ifadəsi ilə təyin edilir. (2) və (6) ifadələrini (1) düsturunda yerinə yazıb uyğun inteqrallamalar aparsaq,

$$d = \left[\pi a^4 W(a) / 2\gamma \right]^{1/3} \quad (7)$$

$$W(a) = W(\varepsilon(r)) \Big|_{r=a}, \varepsilon(a) = ef / 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 a^2$$

olduğunu alırıq. Dislokasiya-aşqar mərkəzi qarşılıqlı təsirinin effektiv radiusu $d \sim v^{-1/3}$ və $d \sim f^{4/3}$ olduğundan

$$E_d^{-4/3} \cdot \begin{cases} \exp\left(-\frac{(E_d - \delta)^2}{\delta \cdot \hbar \omega_m}\right), & (8mS^2 E_d)^{1/2} \ll kT < \hbar \omega_m \\ \exp\left(-\frac{(E_d - \delta)^2}{3\delta - kT}\right), & kT > \hbar \omega_m \end{cases} \quad k \sim f^{1/3} \quad (8)$$

olur. Beləliklə, alınmış oluruq ki, dislokasiyalı yarımkəçiricilərdə sövqetmə əmsalı dislokasiyaların elektronlarla dolma əmsalı ilə düz, aşqar mərkəzlərinin enerjisi ilə tərs mütənasib olur. Yəni enerji səviyyələri keçiricilik zonasının dibinə nəzərən nə qədər dərin yerləşərsə, ionlaşma ehtimalı və sövqetmə prosesi də bir o qədər kiçik olur. Sövqetmə prosesinin temperatur asılılığı özünü ancaq «klassik» temperatur oblastlarında ($kT > \hbar \omega_m$) aşkar şəkildə göstərir. Lakin qeyri-aşkar şəkildə $k=k(T)$ asılılığı $f=f(T)$ asılılığı ilə özünü büruzə verir.

Təcrübi olaraq dislokasiyalarda sövq cərəyanını ölçməklə dislokasiyanın elektrik yükü haqqında $\left(q = ef / q\right)$ məlumat almaq olar.

Belə ki, parametrlərin verilmiş qiymətlərində: $v \sim 10^5$ m/san; $n_d \sim 10^{21}$ m⁻³; $k_{\text{tecrübi}} = 0,3$ [4]. $E_d \sim 2 \cdot 10^{-19}$ J; $a \sim 3 \cdot 10^{-10}$ m; $T = 1,4 \cdot 10^{-21}$ J; $\hbar \omega_m \sim 10^{-20}$ J; $\varepsilon = 10$; dislokasiyanın elektronlarla dolma əmsalını qiymətləndirsək, $f \sim 0,1$ alınmış olarıq ki, bu da mövcud eksperimental faktlarla tamamilə uzlaşır.

ӘДӘБИҒАТ

1. III Международная конф. Микромеханизмы пластичности, разрушения и сопутствующих явлений (MPFP) на базе 41 Межд. семинара Актуальные проблемы прочности. Тамбов, 23-27 июня, 2003.
2. Zanato D., Cokden S., Balkan N., Ridley B.K., and Scaff W.J. The effect of interface roughness and dislocation scattering on low-temperature mobility of 2D electron gas in GaN/AlGaN Semicond. Sci. Technol., 2004, v.19, p.427-432.
3. Емалетдинов А.К., Нуруллаев Р.П. Кинетика дислокаций и механизмы деформаций нанокристаллических материалов. Вест. Тамбовского Ун-та, 2003, сер. ест. и техн. наук, т.8, № 4, с.766-769
4. Бредихин С.И., Шмурак С.З. Взаимодействие заряженных дислокаций с центрами люминесценции в кристаллах ZnS. ЖЭТФ, 1999, т.76, в.3, стр.1028-1037
5. Велиев З.А. О заполнении дислокационных уровней в сильных электрических полях. ФТП, 1998, т.32, в.1, стр.36-37.

ТОК УВЛЕЧЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ С ДИСЛОКАЦИЯМИ

Т.Г.ИСМАИЛОВ, А.Г. ХАЛИЛОВА

АННОТАЦИЯ

В статье исследуется ток увлечения движущихся заряженных дислокаций в полупроводниковых соединениях A^2B^6 . Показано, что коэффициент увлечения (k) прямо пропорционален коэффициенту заполнения дислокаций (f) и обратно пропорционален энергии примесных уровней. Температурная зависимость процесса увлечения явно проявляется только в классической области температур ($kT \gg \hbar\omega$). А в общем случае зависимость $k=k(T)$ в неявном виде проявляется через зависимость $f=f(T)$. Сравнение с экспериментом дает хорошее согласие.

DRAG CURRENT IN SEMICONDUCTORS WITH DISLOCATIONS

T.G.ISMAILOV, A.H.HALILOVA

ABSTRACT

The drag current of the moving charged dislocations in the semiconductors A^2B^6 is investigated. It is shown that drag coefficient (k) is proportional to filling coefficient (f) of dislocations and is inversely proportional to the impurity energies. The temperature dependence of the drag process apparently exhibits only in the classical region of the temperatures ($kT \gg \hbar\omega$). But in a general case $k=k(T)$ dependence has effected in an implicit form via the $f=f(T)$ dependence. A good agreement with the experiment is obtained.