

UOT 621.315.592

XANƏLİ HƏSƏNOV¹, QULU HƏZİYEYEV²

XARİCİ ELEKTRİK SAHƏSİ İLƏ PARABOLİK ZONALI YARIMKEÇİRİCİLƏRDƏ YÜKDAŞIYICILARIN QIZDIRILMASINA DAİR

İşdə parabolik zonalı yarımkeçiricidə yükdaşıyıcıların fononlarla sövqünə xarici elektrik sahəsinin təsiri araşdırılmışdır. Burada xarici elektrik sahəsi kimi yarımkeçirici kristalda yayılan elektromaqnit dalğalarının dəyişən elektrik sahəsi nəzərdə tutulur. Model seçilərək və sadələşdirmələr apararaq kinetik tənlikdən və enerji balans tənliyindən istifadə edilərək qızdırılmış yükdaşıyıcıların ölçüsüz elektron temperaturu nəzəri olaraq tapılmışdır. İsti elektronlar sistemini yaradan xarakterik sahə qiymətləndirilmişdir.

Açar sözlər: parabolik zona, yarımkeçirici, elektron, akustik fonon, dreyf sürəti, elektromaqnit dalğaları.

Parabolik zonalı yarımkeçiricilərdə yükdaşıyıcıların impulsunun enerjiden asılılığı sadədir və sferik simmetrikdir. Bu cür kristal xarici elektrik sahəsinə daxil edildikdə yükdaşıyıcılar sahədən aldıkları enerjini əvvəlcə toqquşmalar yolu ilə öz aralarında paylaşır, sonra isə qəfəsin istilik rəqslərinə – fonon altsistemlərinə ötürürlər.

Yarımkeçirici kristalda yaranan temperatur qradienti fononların paylanma funksiyasını tarazlıq paylanma olan Plank paylanmasından kənara çıxarır. Xarici elektrik sahəsi isə öz növbəsində toqquşmaların hesabına elektron sisteminin istiqamətlənmiş impulsunu fonon altsisteminə verdiyindən, elektron qazının impulsa görə paylanması anizotrop olur [1].

Temperatur qradienti yarımkeçirici nümunənin isti ucundan soyuq ucuna tərəf fonon seli yaratdığından, onlar özləri ilə yükdaşıyıcıları sövq edirlər.

Baxılan işdə məqsəd qarşılıqlı sövqü temperatur qradienti ilə deyil, xarici elektrik sahəsinin təsiri ilə tədqiq etməkdir. Sövq effektinin baxılan məsələdəki rolunu qiymətləndirərək qəbul edilib ki, elektronlar qəfəsin akustik rəqslərindən səpildikdə enerjinin və impulsun saxlanma qanunlarına əsasən onlar yalnız dalğa vektoru, elektronun dalğa vektoru ilə eyni tərtibli fononlarla qarşılıqlı təsirdədir.

Optik fononların generasiyası nisbətən çətin olduğundan bu sistemdə əsas relaksasiya kanalı optik fononların akustik fononlarla toqquşmalarıdır. Qeyri-taraz elektronların optik fononlarla sövqü sırada ikinci hədd kimi olduğundan burada nəzərə alınmır.

Qeyri-taraz elektronların xarici sahə ilə qızdırılmasını qiymətləndirmək üçün işdə ölçüsüz θ_e -elektron temperaturu daxil edilib. Bu daxiletmə

$$\sigma_{Re} E^2 = \sum_{\vec{q}} \hbar \omega_q \frac{N(q, T_e) - N(q, T)}{\tau_{pp}} \quad (1)$$

kompakt yazılışındakı enerji balans tənliyindən alınır. Burada σ_{Re} – elektronların elektrik keçiriciliyinin real hissəsi, E – xarici sahənin intensivliyi, $\vec{q}$ – akustik fononun impulsu, τ_{pp} – fononların relaksasiya müddəti, $N(q, T)$ və $N(q, T_e)$ uyğun olaraq tarazlıq və qeyri-tarazlıq fononların paylanma funksiyalarıdır.

Yuxarıda qeyd olunan fiziki mühakimələrə əsaslanaraq və bəzi model sadələşdirmələri apararaq θ_e üçün ifadə çıxaraq.

Məlumdur ki, mütləq sıfır temperaturunda yükdaşıyıcılar yarımkeçiricidə aşağı enerji səviyyələrini doldururlar. Başqa sözlə $T = 0$ olduqda keçiricilər zonasında elektronlar yoxdur. Kristal xarici sahə ilə qızdırıldıqda donor aşqarlardan elektronların qopması və kovalent rabitənin qırılması baş verir. Nəticədə keçiricilik zonasında sərbəst elektronlar, valent zonada isə dəşiklər yaranır.

Keçiricilik zonasındakı elektronların konsentrasiyasına ionlaşma və rekombinasiya prosesləri də təsir edir. Bu proseslər əsasən elektronun sərbəst halda qalmasını müəyyən edir. Yükdaşıyıcılar arasında toqquşmaların tam qeyri-elastikliyi və rekombinasiya tezliyinin impulsvermə tezliyindən kiçikliyi onların paylanma funksiyasının anizotrop hissəsinin kiçik olmasına gətirir.

Bu isə kinetik tənliyin həllində paylanma funksiyasının anizotrop hissəsində toqquşma inteqralının rekombinasiya ilə əlaqədar həddinin nəzərə alınmamasına şərait yaradır [2].

İşdə həmçinin tezliklər üzərinə də müəyyən şərtlər qoyulub. Belə ki, qəbul edilir ki, yarımkeçirici nümunənin üzərinə düşən elektromaqnit dalğalarının tezliyi ω , $\omega < \beta < v_e \ll v_p$ tezliklər şərtini ödəyir. Burada β – fononların səpici mərkəzlərlə toqquşmaların tam tezliyi, v_e – elektronların bir-biri ilə toqquşma tezliyi, v_p – elektron-fonon səpilmə tezliyidir. Şərtin sonuncu hissəsi göstərir ki, dalğa sahəsinin qızdırdığı elektronlar enerjilərinin bir hissəsini uzundalğalı fononlara verirlər. Bu halda onların paylanma funksiyasının tarazlıq hissəsi elektrik sahəsindən qeyri-aşkar asılı olur.

Bu fiziki mühakimələrə və mülahizələrə əsasən Bolsmanın kinetik tənliyindən elektronların Dreyf sürəti üçün

$$v = \frac{eE}{mv_p^{(0)}(\varepsilon)\delta(u)} + u = u \left(1 + \frac{E}{E_{\text{xar}}} \right) \quad (2)$$

ifadəsi alınmışdır. Burada u -fononların dreyf sürəti, $\delta(u)$ -sövq parametri, E və E_{xar} uyğun olaraq xarici və xarakterik elektrik sahəsinin intensivlikləridir. $v_p^{(0)}$ – qızma və qarşılıqlı sövq olmayanda yükdaşıyıcıların impulsa görə relaksasiya tezliyidir:

$$v_p^{(0)} = \frac{\sqrt{2}E_c^2 (mkT)^{\frac{3}{2}}}{\left(\frac{\varepsilon}{kT}\right)^2} \quad (3)$$

Elektronların dreyf sürətinə görə cərəyan sıxlığı və sonuncuya görə elektrik keçiriciliyi hesablanaraq (1) tənliyindən ölçüsüz elektron temperaturu üçün

$$\theta_e = \frac{3\pi\sqrt{\pi}}{2\sqrt{2}v_p\beta_b} \left(\frac{\hbar^2 n_0^{2/3}}{m^*T} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{mS_0}{T} \right) \beta^2 \quad (4)$$

alınmışdır. Burada m^* – elektronun effektiv kütləsi, n_0 – ionların konsentrasiyası, S_0 – səsin yarımkeçirici kristaldakı sürəti, β_b – fononların kristalın sərhədindən səpilmə tezliyidir.

Ölçüsüz elektron temperaturunun tərifindən $\theta_e = \frac{T_e}{T}$ və (4) düsturundan məlum olur ki, elektronların fononlardan səpilməsi (toqquşması) nə qədər az olarsa, onların xarici sahədən aldıkları enerji özlərində daha çox qalar. Başqa sözlə, elektron sistemindən fononlar vasitəsi

ilə kristallik qəfəsə enerjinin verilməsi azalar və bu zaman $\theta_e > 1$ olar. Bu halda isti elektronlar sistemi yaranar. $\theta_e \gg 1$ isə güclü qızdırılma halıdır.

$\delta(u)$ parametrindəki loqarifmik vuruğun sıraya ayrılmasından və sıfırıncı rəqslərdən səpilmədə (2) düsturundakı xarakterik sahə üçün

$$E_{xar} = \frac{3mS_0^2 v_{ps}(T)}{eU} \left(\frac{mS_0^2}{kT} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

alınıb. Burada $v_{ps}(T)$ – dəşiklərin qəfəsin sıfırıncı rəqslərindən səpilməsində impuls relaksasiya tezliyidir.

Təhlilləri güclü və zəif sahələrdə aparaq.

1. Zəif elektrik sahəsində $E \ll E_{xar}$

Bu halda fononların dreyf sürəti səsin kristaldakı sürətindən çox-çox böyükdür və (2) ifadəsindən $v \approx u$ alınır.

2. Güclü elektrik sahəsində $E \gg E_{xar}$

Bu halda fononların dreyf sürəti səsin kristaldakı sürətindən çox-çox kiçik olur və elektronlar xarici sahənin təsiri ilə sürətlənsələr də, sövqə məruz qalmırlar və $v \gg u$ olur.

Otaq temperaturunda S_i kristalının fiziki xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla E_{xar} üçün qiymətləndirmədən $\sim 2,9 \cdot 10^4$ V/m alınır. Bunun təcrübi nəticələrə yaxınlığı (5) ifadəsinin doğruluğunu göstərir.

ƏDƏBİYYAT

1. Басс Ф.Г., Гуревич Ю.Г. Горячие электроны и сильные электромагнитные волны в плазме полупроводников и газового разряда. Москва: Наука, 1975, 380 с.
2. Vəliyev Z.Ə., Qardaşbəyova N.A., Həsənov X.Ə. Yükdaşıyıcı-fonon sövqünün rekombinasiya proseslərinə təsiri // Fizika, 2004, № 3, с. 10.
3. Аскеров Б.М. Электронные явления переноса в полупроводниках. Москва: Наука, 1985, 400 с.

¹Naxçıvan Dövlət Universiteti,

²AMEA Naxçıvan Bölməsi

E-mail: atcc55@mail.ru

Khanali Hasanov, Gulu Haziyeu

HEATING OF CARRIERS BY AN EXTERNAL ELECTRIC FIELD IN THE PARABOLIC ZONE OF SEMICONDUCTORS

In this work, we investigated the effect of an external electric field on the movement of carriers by phonons in a semiconductor with a parabolic band. Here, an external electric field is understood as an alternating electric field of electromagnetic waves propagating in a semiconductor crystal. By choosing a model and making simplifications using the kinetic equation and the energy balance equation, the dimensionless electron temperature of heated

carriers is theoretically found. The characteristic field, which creates a system of hot electrons, is estimated.

Keywords: *parabolic zone, semiconductor, electron, acoustic phonon, drift velocity, electromagnetic waves.*

Ханели Гасанов, Гулу Газиев

О НАГРЕВЕ НОСИТЕЛЕЙ ВНЕШНИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ В ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

В данной работе исследовалось влияние внешнего электрического поля на движение носителей фононами в полупроводнике с параболической зоной. Здесь под внешним электрическим полем понимается переменное электрическое поле электромагнитных волн, распространяющихся в полупроводниковом кристалле. Путем выбора модели и проведения упрощений с использованием кинетического уравнения и уравнения баланса энергии теоретически найдена безразмерная электронная температура нагретых носителей. Оценено характеристическое поле, создающее систему горячих электронов.

Ключевые слова: *параболическая зона, полупроводник, электрон, акустический фонон, скорость дрейфа электромагнитных волн.*

(AMEA-nın müxbir üzvü Namiq Cəlilov tərəfindən təqdim edilmişdir)

Daxilolma tarixi: İlkin variant 05. 04. 2021

Son variant 20. 05. 2021