

PACS: 73.50 Lw; 73.63 Hs

İONLARIN SƏTH SİXLİYİNİN İKİÖLÇÜLÜ ELEKTRON QAZININ TERMoeLEKTRİK HƏRƏKƏT QÜVVƏSİNƏ TƏSİRİ

X.B.SULTANOVA

AMEA Fizika İnstitutu
AZ 1143, Bakı, H.Cavid pr., 131
xatire280@gmail.com

Daxil olub: 29.10.2021
Çapa verilib: 04.03.2022

REFERAT

Modifikasiya olunmuş Pöşl-Teller potensialı $GaAs/Al_xGa_{1-x}As$ kvant çuxurunda termoelektrik hərəkət qüvvəsinin ionların səth sıxlığından asılılığı tədqiq edilmişdir. Nisbətən aşağı temperatur-
lara baxıldığı üçün ($T < 100K$) elektronların yalnız ionlardan, akustik və pyezoakustik fononlardan səpilmə mexanizmləri nəzərə alınmışdır. Göstərilmişdir ki, ionların səth sıxlığının kiçik qiymətlərində termoelektrik hərəkət qüvvəsi ionların səth sıxlığının artması ilə artır, nisbətən böyük qiymətlərdə isə bu asılılıq çox zəifdir.

Açar sözlər: kvant çuxuru, Pöşl-Teller potensialı, termoelektrik hərəkət qüvvəsi.

Bərk cisim fizikasının inkişafının son otuz ili, əsas tədqiqat obyektlərinin dəyişməsi, yəni həcmli kristallardan nanoölçülü kristallara - nazik təbəqələrə, kvant məfillərinə və kvant nöqtələrinə keçidlə xarakterizə olunur. Həcmli kristallarla müqayisədə nanoölçülü sistemlərin bir sıra xassələri əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir - çox sayda yeni ölçü effektləri yaranır. Ölçüləri de-Broyl dalğa uzunluğu tərtibində olan nümunədə sərbəst yükdaşıyıcılar bir, iki və ya hər üç koordinat istiqamətində lokallaşır. Bu cür strukturlar yeni növ yarımkeçirici qurğuların yaradılmasında mühüm rol oynayır.

Yarımkeçirici kvant çuxurları, elektronların hərəkəti bir istiqamətdə məhdudlaşmış, qalan iki istiqamətdə isə qeyri-məhdud olan kvant təbəqələridir. Kvant çuxurlarının xassələrinin formalaşmasında mühüm rol oynayan məhdudlayıcı potensialın forması dəqiq bilinmədiyindən müxtəlif modellərdən istifadə edilir. Bizim bu işdə isə kvant çuxurunda məhdudlayıcı potensialın modeli olaraq, modifikasiya olunmuş Pöşl-Teller potensialından [1] istifadə edilmişdir.

[2-3] işlərində modifikasiya olunmuş Pöşl-Teller potensialı yarımkeçirici kvant çuxurunda elektronların kimyəvi potensialı, elektronların relaksasiya prosesləri və yürüklüyü öyrənilmiş, o cümlədən yürüklüyün ionların səth sıxlığından asılılığı tədqiq edilmişdir. Alınmış nəzəri nəticələrin eksperimental nəticələrə uyğunluğu modifikasiya olunmuş Pöşl-Teller potensialının kvant çuxurunda məhdudlayıcı potensialı yaxşı təsvir etdiyini göstərir. Bu işdə həmin potensialı yarımkeçirici kvant çuxurunda ekranlaşma nəzərə alınmaqla termoelektrik hərəkət qüvvəsinin (termoeq) diffuziya (elektron) hissəsi hesablanmış və onun ionların səth sıxlığından asılılığı araşdırılmışdır. Elektronların ionlardan, akustik və pyezoakustik fononlardan səpilməsi nəzərə alınmışdır.

Elektronların hərəkətinin məhdudlaşdığı istiqamət olaraq z oxunu götürək. $\lambda = 1$, $N = 0$ halında modifikasiya olunmuş Pöşl-Teller potensialını aşağıdakı şəkildə yazmaq olar [1]

$$U(z) = \frac{\hbar^2 \alpha^2}{m} \tanh^2 \alpha z. \quad (1)$$

Qalan iki istiqamətdə (x və y) hərəkət məhdudlaşmadığı üçün, (1) potensialına malik kvant çuxurunda elektronların dispersiya qanunu

$$\varepsilon_n = \frac{\hbar^2}{2m}(\alpha^2 + k^2) \quad (2)$$

şəkilindədir [1]. Burada m - keçirici elektronların effektiv kütləsi, α - Pöşl-Teller potensialının parametri, $k = (k_x, k_y)$ - elektronların 2-ölçülü dalğa vektorudur.

İkiölçülü elektron qazı müstəvisində yaradılan temperatur qradientinin istiqamətini x ilə işarə edək: $\nabla T = \nabla T_x$. Təbəqə müstəvisində kvantlanma baş vermədiyinə görə keçirici elektronlar üçün kinetik tənliyi aşağıdakı şəkildə yazı bilərik [4]

$$\frac{\hbar k_x}{m} \cdot \frac{\partial f(k_x, k_y)}{\partial x} - \frac{e}{\hbar} E_x \cdot \frac{\partial f(k_x, k_y)}{\partial k_x} = -\frac{f_1(k_x, k_y)}{\tau(\varepsilon)}, \quad (3)$$

burada $E_x = -\frac{\partial}{\partial x}(\varphi_0 - \frac{\xi}{e})$, φ_0 - elektrostatik potensial, ξ - elektronların kimyəvi potensialı, $\tau(\varepsilon)$ - relaksasiya müddətidir.

Temperatur qradienti nəticəsində tarazlıqdan çıxmış elektronların paylanma funksiyası $f(k_x, k_y) = f_0(\varepsilon) + f_1(k_x, k_y)$ kimi yazıla bilər [4]. Burada $f_0(\varepsilon) = \left[\exp \frac{\varepsilon - \xi}{k_B T} + 1 \right]^{-1}$ - tarazlıq halında Fermi-Dirak paylanma funksiyası, $f_1(k_x, k_y)$ - paylanma funksiyasına qeyri-tarazlıqdan yaranan əlavə, k_B isə Bolsman sabitidir. Bu əlavəni relaksasiya müddəti yaxınlaşmasında (3) tənliyindən tapa bilərik

$$f_1(k_x, k_y) = \frac{\hbar}{m} \frac{\partial f_0(\varepsilon)}{\partial \varepsilon} \tau(\varepsilon) \left(e E_x + \frac{\varepsilon - \xi}{T} \nabla_x T \right) k_x. \quad (4)$$

Bu bərabərliyi 2-ölçülü kvant təbəqəsi üzrə elektronların yaratdığı elektrik cərəyanının

$$j_x = 2 \sum_{k_x, k_y} (-e) \frac{\hbar k_x}{m} f_1(k_x, k_y) \quad (5)$$

ifadəsində nəzərə alıb (qeyd etdik ki, elektronların yalnız ən aşağı enerjili $N=0$ səviyyəsində olduğu hala baxırıq) $k = (k_x, k_y)$ üzrə cəmləməni inteqrallama ilə əvəz etsək və polyar oxu k_x üzrə götürməklə polyar koordinatlara keçsək elektrik cərəyanının ifadəsi aşağıdakı şəkildə düşər

$$j_x = \frac{e^2 \hbar^2}{2 \pi m^2} \int_0^\infty k^3 dk \left(-\frac{\partial f_0}{\partial \varepsilon} \right) \tau(\varepsilon) \left(E_x + \frac{\varepsilon - \xi}{e T} \nabla_x T \right) \quad (6)$$

Termoelektrik $j_x = 0$ tənliyindən tapılır [4]. Elektrik cərəyanının (6) düsturundan istifadə edib termoelektriknin aşağıdakı ifadəsini tapa bilərik

$$\alpha = -\frac{k_0}{e} \cdot \frac{j_1}{j_0}; \quad (7)$$

burada aşağıdakı işarələmələr qəbul edilmişdir

$$I_0 = \int_0^{\infty} x^2 dx \frac{e^{x-\eta}}{(e^{x-\eta} + 1)^2} \tau(x), \quad (8)$$

$$I_1 = \int_0^{\infty} x^2 dx \frac{e^{x-\eta}}{(e^{x-\eta} + 1)^2} \tau(x)(x - \eta), \quad (9)$$

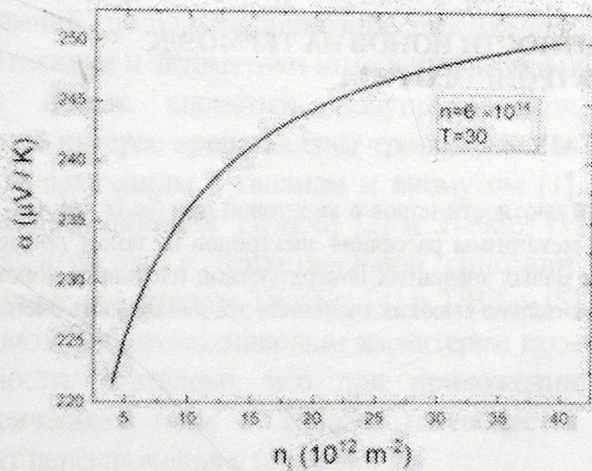
$$x = \frac{\hbar^2 k^2}{2mk_B T}, \quad \eta = \frac{\xi}{k_B T} - \frac{\hbar^2 \alpha^2}{2mk_B T}. \quad (10)$$

(8) və (9) ifadələrində $\tau(x) = (v_{ak} + v_{pz} + v_i)^{-1}$ - elektronların ümumi relaksasiya müddəti, v_{ak} - deformasiya potensialından, v_{pz} - pyezo-potensialdan, v_i - ionlardan səpilmədə relaksasiya tezliyidir. Pöşl-Teller potensiallı kvant çuxurunda elektronların ξ kimyəvi potensialı, elektronların akustik fononların deformasiya və pyezoelektrik potensiallarından və aşqar ionlardan səpilmə tezliklərinin ifadələri [2] işində hesablanmışdır. Göstərilmişdir ki, ikiölçülü halda elektronların ionlardan səpilmə tezliyi v_i ionların kvant təbəqəsindəki səth sıxlığı (n_i) ilə düz mütənəsbdir.

Yuxarıda termoehtq üçün alınan nəzəri nəticələri $GaAs/Al_xGa_{1-x}As$ kvant çuxurlarına tətbiq edək. Bu kvant çuxuru üçün: $m = 0.067m_0$ (burada m_0 - sərbəst elektronun kütləsidir), $\rho = 5.3 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$, $v_0 = 5.14 \cdot 10^3 \frac{m}{s}$, $\chi = 12.9$, $E_1 = 7.4 \text{ eV}$, $e_{1\frac{1}{2}} = 0.16 \frac{e}{m^2}$ [5].

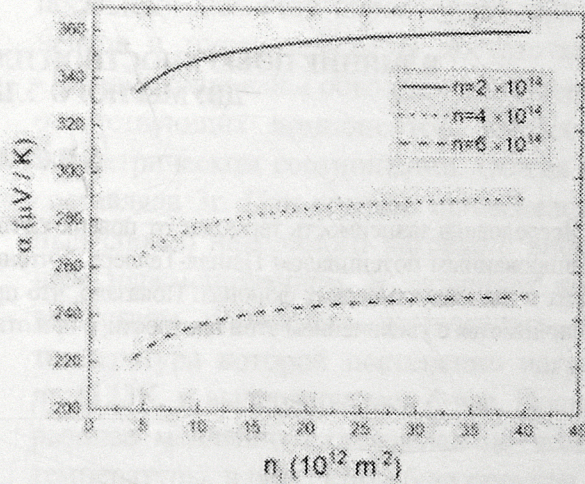
Modifikasiya olunmuş Pöşl-Teller potensialının parametri olan α -nı qiymətləndirmək üçün potensialın (1) ifadəsində $\tanh^2 \alpha z$ funksiyasının qarşısındakı əmsalın kvant çuxurunun dərinliyinə (Δ) ekvivalent olmasından istifadə edirik. $\lambda=1$ parametrlili kvant çuxurunda, çuxurun dərinliyinin $\Delta = 0.1 \text{ eV}$ qiymətində $\alpha = 3 \cdot 10^8 m^{-1}$ alırıq. Ədədi hesablamalarda biz α -nın bu qiymətindən istifadə edəcəyik.

Bu işdə sabit temperaturda və elektronların səth sıxlığının sabit qiymətlərində termo-ehqnin ionların səth sıxlığından asılılıqları tədqiq edilmişdir.



Şəkil 1

Temperaturun $T=30K$ və elektronların səth sıxlığının $6 \times 10^{14} m^{-2}$ qiymətində ikiölçülü elektron qazında termo-ehqnin ionların səth sıxlığından asılılıq qrafiki.



Şəkil 2

Elektronların səth sıxlığının müxtəlif qiymətlərində termo-ehqnin ionların səth sıxlığından asılılıq qrafikləri.

Şəkil 1-də elektronların səth sıxlığının $n = 6 \times 10^{14} m^{-2}$ və temperaturun $T=30K$ qiymətində termo-ehqnin ionların səth sıxlığından asılılıq qrafiki göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi ionların səth