

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: 2910.2021
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 məftillərinə 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 potensiallı yarımkeçirici kvant çuxurunda elektronların kimyəvi potensialı, elektronların relaksasiya prosesləri və yüklüyü öyrənilmiş, o cümlədən yüklüyün 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 potensiallı yarımkeçirici kvant çuxurunda ekranlaşma nəzərə alınmaqla termoelektrik hərəkət qüvvəsinin (termoehq) 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_0 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

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

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

$$\alpha = -\frac{k_0}{e} \cdot \frac{J_1}{J_0}, \quad (7)$$

burada aşağıdakı işarələmələr qəbul edilmişdir

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

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

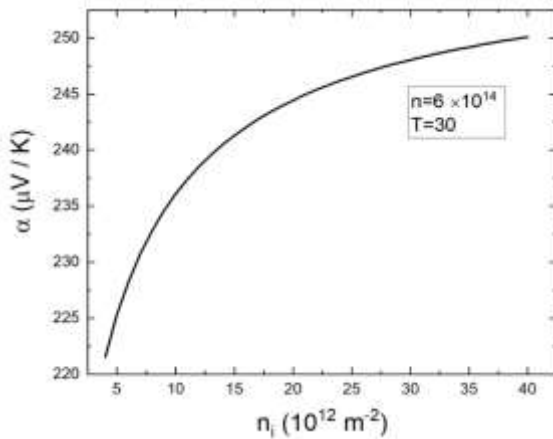
$$x = \frac{\hbar^2 k^2}{2mk_0 T}, \quad \eta = \frac{\xi}{k_0 T} - \frac{\hbar^2 \alpha^2}{2mk_0 T}. \quad (10)$$

(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 mütənasibdir.

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), $\rho = 5.3 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$, $v_0 = 5.14 \cdot 10^3 \frac{m}{s}$, $\chi = 12.9$, $E_1 = 7.4 eV$, $e_{14} = 0.16 \frac{C}{m^2}$ [5].

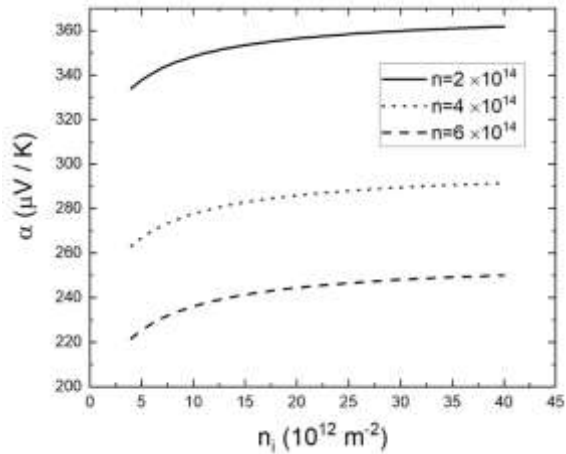
Modifikasiya olunmuş Pöşl-Teller potensialının parametri olan α -nı qiymətləndirmək üçün potensialın (1) ifadəsində $\tanh^2 \alpha z$ funksiyasının qarşısındakı əmsalın kvant çuxurunun dərinliyinə (Δ) ekvivalent olmasından istifadə edirik. $\lambda=1$ parametrlili kvant çuxurunda, çuxurun dərinliyinin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

sıxlığının kiçik qiymətlərində termoehtq ionların səth sıxlığının artması ilə artır, ionların səth sıxlığının nisbətən böyük qiymətlərdə isə bu asılılıq zəifləyir.

Termoehtqın ionların səth sıxlığından asılılığına n -in təsirini araşdırmaq məqsədi ilə elektronların səth sıxlığının müxtəlif qiymətlərində ($n = 2 \times 10^{14}$; 4×10^{14} ; $6 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$) termoehtq hesablanmışdır (Şəkil 2). Hesablamalar göstərir ki, n - in bütün qiymətlərində termo-ehqın ionların səth sıxlığından asılılığı eyni xarakterdədir: n_i -nin artması ilə termo - ehq artır.

1. S.Cruz y Cruz, S.Kuru, J.Negro. Classical motion and coherent states for Pöschl-Teller potentials, *Phys. Lett. A*, **372** (2008) 1391-1405.
2. M.M.Babayev, Kh.B.Sultanova, N.B.Mustafayev. Relaxation processes and mobility of electrons in a semiconductor quantum well with the modified Pöschl-Teller confining potential, *Chinese Journal of Physics*, **56** (2018) 2977-2983.
3. M.M.Babayev, Kh.B.Sultanova, M.Q.Abbaslı. Dependence of electron mobility on their surface density in a semiconductor quantum well with the modified Pöschl-Teller confining potential, *Fizika*, **XXV**-En (2019) 22-24.
4. Б.М.Аскеров. Электронные явления переноса в полупроводниках, Москва, Наука, (1985) 318.
5. В.Ф.Гантмахер, И.Б.Левинсон. Рассеяние носителей тока в металлах и полупроводниках, Москва, Наука, (1984) 351.

INFLUENCE OF SURFACE ION DENSITY ON THE THERMOPOWER OF TWO-DIMENSIONAL ELECTRONIC GAS

Kh.B.SULTANOVA

The dependence of the thermo-power on the surface density of ions in an $\text{GaAs}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ quantum well with a modified Pöschl-Teller potential has been investigated. The mechanisms of electron scattering by impurity ions, acoustic and piezo-acoustic phonons have been taken into account. It has been shown that at low values of the surface density of ions the thermo-power increased with an increase in this density, and at relatively high values, this dependence was very weak.

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ ИОНОВ НА ТЕРМОЭДС ДВУМЕРНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА

Х.Б.СУЛТАНОВА

Исследована зависимость термоэдс от поверхностной плотности ионов в квантовой яме $\text{GaAs}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ с модифицированным потенциалом Пёшля-Теллера. Учтены механизмы рассеяния электронов на ионах примеси, акустических и пьезоакустических фононах. Показано, что при малых значениях поверхностной плотности ионов термоэдс увеличивается с увеличением этой плотности, а при относительно высоких значениях эта зависимость очень слабая.