

PAST O'LCHAMLI KVANT SISTEMALARNING TASNIFI

Xolliyev Azizjon Shukurillayevich
BUXDU fizika kafedrası 2-kurs magistranti

Kvant o'ralari, simlar va nuqtalar.

Kalit so'zlar: Broyl to'lqini, kvant o'ra, elektron energiyasi, kvant effektlar, potentsial energiya, kvant simi, elektron gaz, Shredinger tenglamasi, InAs materiali.

Annotatsiya: Ushbu maqolada turli kristall panjara parametrlariga ega bo'lgan ikkita material bo'linishidagi kvant nuqtalarini o'z-o'zidan tashkillanish usulini ko'rib chiqilgan.

Agar bitta geometrik parametr de Broyl to'lqin uzunligi ($\lambda_B=10\div 100$ nm) tartibli uzunlikka ega bo'lgan yarimo'tkazgichli materiallar kichik o'lchomli deb ataladi.

Past o'lchamli elektron tizimlar uchun fermi energiyasi

1-jadval

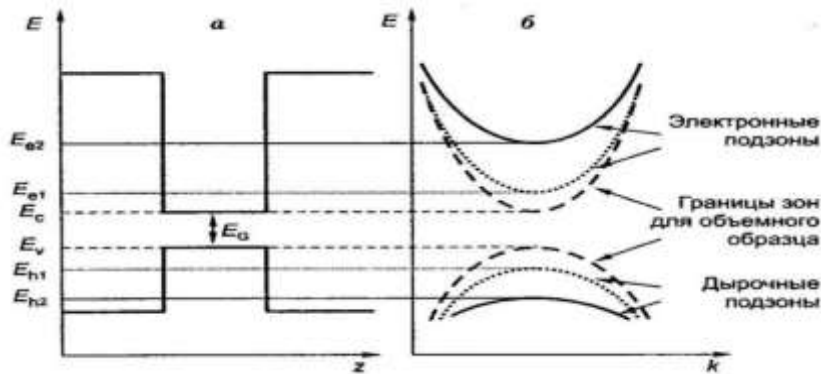
Namuna	Elektron sistema	*)	Fermi energiyasi E_F
Kvant sim	Bir o'lchovli	1D	$\frac{\hbar^2}{2m^*} \frac{\pi^2}{4} n^{\frac{2}{1}}$
Kvant o'ra	Ikki o'lchovli	2D	$\frac{\hbar^2}{2m^*} 2\pi n^{\frac{2}{2}}$
Kvant nuqta	Uch o'lchovli	3D	$\frac{\hbar^2}{2m^*} (3\pi^2)^{\frac{2}{3}} n^{\frac{2}{3}}$

Strukturalar harakatning cheklangan kvantlanadigan yo'nalishlari soni bilan emas, balki zarrachaning harakat erkinlik qolgan darajalari soni bilan belgilanadi.

Kvant effektlari kvant o'ralaridan boshlab, elektronlar harakati bir o'lchamdagi nanometrlarda chegaralanganda paydo bo'ladi.

Kvant o'ra - bir o'lchami nanodiapozonda, qolgan ikkita o'lchami mikro yoki undan yuqori diapozonda bo'lgan namunadir. Misol (grafen, mono qatlam, plyonkadagi nano qatlam, nanoplyonka).

Kvant o'raga misol sifatida uch qatlamdan iborat ikki o'lchovli yarimo'tkazgichli strukturani keltirish mumkin. GaAs galliy arsenid plyonkasi qalinligi nanometrli (zonasi 1,4 eV) bo'lgan, ikki tomondan $Al_xGa_{1-x}As$ bilan galliy arsenid aluminati ($x=0,3$) yanada kengroq taqiqlangan zonali (2 eV) qatlamlari bilan o'ralgan. Natijada potentsial energiya profili elektronlar uchun 0,4 eV va kovaklar uchun 0,2 eV to'siq balandligi bilan to'rtburchak shakliga yaqin.



Рasm 2.15. Kvant o'raing energiya diagrammasi. a) energiya fazosida, b) to'lqin vektorlari fazosida [2].

z o'qi yo'nalishi bo'yicha elektronlar harakati cheklangan va kvantlangan, (x, y) tekislikda esa erkin bo'lib qoladi. Shuning uchun kvant o'raidagi elektronlarning to'lqin funktsiyasi shakl oladi

$$\Psi(x, y, z) = \psi(x, y)\psi(z) = \psi_0 \sin k_x x \cdot \sin k_y y \cdot \left(\frac{2}{a}\right)^{1/2} \sin \frac{\pi n z}{a}$$

Elektron energiyasi z o'qi bo'ylab kvantlanadi:

$$E(k_x, k_y, k_z) = \frac{\hbar^2}{2m_e^*} (k_x^2 + k_y^2) + \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m_e^* a^2} n^2. \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

bu yerda $m_e^* = 0,0067m_0$ a- kvant o'raing kengligi.

k_x, k_y to'lqin vektorlarining kvaziuzluksiz qiymatlari davriy chegaraviy shartlari bilan belgilanadi: $2\pi/L$, bu erda L - tekislikdagi namunaning o'lchami.

Ikki o'lchovli elektron sistema uchun holatlar zichligi

$$n_{2D}(E) = \frac{m_e^*}{\pi \hbar^2}$$

$E_1 < E < E_2$ oralig'ida elektronlar $n=1$ bo'lgan zona ostida joylashgan. $E_2 < E < E_3$ intervalda elektronlar $n=1$ va $n=2$ ikkita zona ostida joylashgan va holatlarning zichligi ikki barobar ortadi. Energiyaning ortishiga bog'liq bo'lgan holatlarning umumiy zichligi grafigi zinali tavsifli n_{2D} doimiy o'lchamli ordinata o'qi bo'ylab, abscissa o'qi bo'yicha E_n energiya bilan beriladi. n_{2D} funktsiyasining zinasimon tabiati optik yutilishning to'g'ridan-to'g'ri o'lchovlari bilan tasdiqlanadi.

Kvant simi - ikki o'lchami nanodiapozonda va bir o'lchami mikrodiapozonda hamda undan yuqori bo'lgan namunadir (misol: nanosim - DNK molekulas).

Kvant simlarida elektron gaz z o'qi bo'ylab erkin harakatlanadi. Boshqa ikki yo'nalishda elektronlar harakati cheklangan va kvantlanadi. Ikki o'lchovli Shredinger tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$-\frac{\hbar^2}{2m_e} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) u_{n_1 n_2}(\vec{r}) + V(\vec{r}) u_{n_1 n_2}(\vec{r}) = E_{n_1 n_2} u_{n_1 n_2}(\vec{r})$$

$$(n_1, n_2) = 1, 2, 3 \square$$

Cheksiz uzunlikdagi ikki o'lchovli to'rtburchak potentsial uchun kvant simidagi elektronning to'liq energiyasi

$$V(x, y) = \left\{ \begin{array}{l} 0, \quad 0 < x < a_x, 0 < y < a_y \\ \infty, \quad x \leq 0, x \geq a_x, y \leq 0, y \geq a_y \end{array} \right\},$$

$$E_{n_1, n_2}(k_z) = \frac{\hbar^2 k_z^2}{2m_e^*} + \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m_e^*} \left(\frac{n_1^2}{a_x^2} + \frac{n_2^2}{a_y^2} \right).$$

Kvant simlari holatida ko'ndalang harakatga mos keladigan energiya darajalari ikkita kvant soni bilan tavsiflanadi. Elektron holatlar uchun energiya sathlari qiymatlari kvant simlarining qalinligi kamayishi bilan ortadi.

Bir o'lchovli elektron gaz holatlarining zichligi

$$n_{1D}(E) = \frac{1}{\pi \hbar} \sqrt{\frac{2m_e^*}{E}}$$

$$E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_e^*} = \frac{m_e^* v_g^2}{2}, \quad n_{1D}(E) = \frac{2}{\pi \hbar v_g}$$

v_g - guruhiy tezlik. Bir o'lchovli tizimda elektr toki

$$j = en_{1D}v_g = \frac{2e}{\pi \hbar} = const$$

Kvant nuqta - bu namuna (nanokristal), uning uchta o'lchami ham nanodiapozonda joylashgan. Misol: nanoklaster. Strukturalar nanolitografiya yordamida olinadi. Haqiqiy kvant nuqtalari 10^4 - 10^6 gacha bo'lgan ko'p miqdordagi atomlarni o'z ichiga oladi. Energiya spektri uch o'lchovli potentsial qutiga mos keladi.

Shredinger tenglamasi quyidagi shaklga ega

$$-\frac{\hbar^2}{2m_e} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \psi - U(x, y, z) \psi = E \psi.$$

To'lqin funksiyalar bu turgun to'lqinlardir

$$\psi = \psi_x \psi_y \psi_z = \left(\frac{2}{a_x} \right)^{1/2} \left(\frac{2}{a_y} \right)^{1/2} \left(\frac{2}{a_z} \right)^{1/2} \sin \frac{\pi n_1}{a_x} \sin \frac{\pi n_2}{a_y} \sin \frac{\pi n_3}{a_z},$$

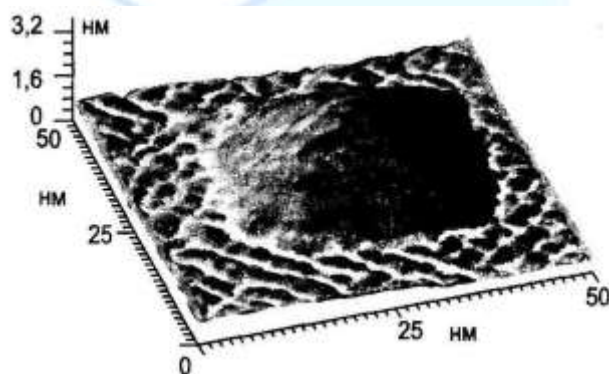
va energiya sathlari

$$E_{n_1, n_2, n_3} = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m_e^*} \left(\frac{n_1^2}{a_x^2} + \frac{n_2^2}{a_y^2} + \frac{n_3^2}{a_z^2} \right).$$

$$n_1, n_2, n_3 = 1, 2, 3 \square$$

Квант нуқталари молекуляр нур epitaksisi orqali hosil bo'ladi. Vertikal bog'langan kvant нуқталари - nanoklasterlar massivlarining o'z-o'zidan shakllanishi Stranskiy-Krastanov rejimida amalga oshiriladi. Turli kristall panjara parametrlariga ega bo'lgan ikkita material bo'linishidagi kvant нуқталарини o'z-o'zidan tashkillanish usulini ko'rib chiqaylik.

InAs materiali katta panjara doimiysi va GaAs ning katta taqiqlangan zonasi bo'lgan kristall plastinkada kimyoviy bug'larni cho'ktirish orqali o'stiriladi. Yangi paydo bo'lgan piramidalar asosiy yarimo'tkazgich yuzasida aralashmali nuqsonlari sifatida qaraladi (1-rasmga qarang).



Rasm 1. GaAs sirtida InAs piramidacha ko'rinishidagi kvant нуқtaning yarimo'tkazgichli eksperimental bajarilishi[1].

Adabiyotlar

1. Мокеров В., Пожела Ю., Пожела К., Юцена В.. Гетероструктурный транзистор на квантовых точках с повышенной максимальной дрейфовой электронов. - ФТП, 2006, Т.40, в.3, с .367-371.
2. Байматов П., Иноятов Ш., Ахмедов О.. О состоянии континуального экситона, полярона и D центра при квантовом сужении. 2009 йил 5-ноябрь УзМУ хабарлари, 2-сон.140-145 бетлар.