Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences
Scientific Journal Impact Factor
Advanced Sciences Index Factor

VOLUME 2 | ISSUE 4/2
ISSN 2181-1784
SJIF 2022: 5.947
ASI Factor = 1.7

РАЗМЕРНОЕ КВАНТОВАНИЕ В ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЯМЕ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ

Ахмедов Баходир Бахромович,
Муминов Исломжон Араббоевич,
Хошимов Хусанбой Анваржон угли
Ферганский государственный университет, преподаватели кафедры физики

АННОТАЦИЯ

Важной составляющей современной физики полупроводников является относительно новое, активно развивающееся направление – физика низкоразмерных систем. В этой статье мы изучаем одну из основных низкоразмерных систем – квантовые ямы.

Ключевые слова: *Потенциалная яма, энергетическая зона, полупроводник.*

ABSTRACT

An important component of modern semiconductor physics is a relatively new, actively developing direction - the physics of low-dimensional systems. This article studies one of the main low-dimensional systems - quantum wells.

Keywords: *Potential well, energy zone, semiconductor*

ВВЕДЕНИЕ

К полупроводниковым низкоразмерным системам относятся, в первую очередь, разнообразные наноструктуры - сверхрешетки, структуры с квантовыми ямами, системы квантовых нитей и точек, практическая разработка которых поддерживается постоянно возрастающими возможностями новых технологий. Наряду с тем, что такие структуры уже служат элементной базой современной микро и наноэлектроники, они являются объектами перспективных исследований по созданию принципиально новых квантовых устройств (приборов спинтроники, квантовых компьютеров).

В формировании уникальных физических свойств наноструктур ключевую роль играет эффект размерного квантования энергии. На популярном уровне изложения размерное квантование энергии электронов в наноструктурах представляется относительно простым явлением - оно имеет ту же природу, что и дискретность энергетического спектра атома, объясняемая квантовой механикой. Согласно квантовой теории, электрон обладает свойствами волны, а атом служит «резонатором», выделяющим из непрерывного множества волновых частот определенные, дискретные значения частоты. В квантовой механике частота, умноженная на постоянную Планка, есть энергия; так возникает картина дискретных уровней энергии атома. С этой точки зрения наноструктура (например, квантовая точка - островок одного полупроводникового материала в толще или на поверхности другого материала) подобна искусственному атому с дискретным спектром энергии. Свойства природных нанообъектов (атомов, молекул) невозможно изменить, тогда как в случае искусственных наноструктур легко удается варьировать состав полупроводниковых соединений, менять размеры и форму нанообъекта, концентрацию электронов в нем, конструируя тем самым структуру с заранее заданными физическими параметрами.

ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее простым примером структуры с квантовой ямой служит тонкая проводящая пленка. Поскольку носители заряда (электроны в зоне проводимости) движутся внутри пленки, не покидая ее, естественно рассматривать область пространства, занятую пленкой, как потенциальную яму с высотой стенок, равной работе выхода электронов (порядка нескольких эВ). Толщина L_z такой ямы совпадает с толщиной пленки.

Обратимся к примерам количественного анализа энергетического спектра и волновых функций электронов в прямоугольных потенциальных моделях квантовых ям.

Если характерные значения энергии электронов в квантовой яме малы по сравнению с величиной энергетических барьеров, то для простоты можно считать барьеры бесконечно высокими. Вне ямы, в области бесконечных потенциальных барьеров, волновая функция электрона f (r) должна быть равна нулю. Внутри ямы волновая функция, описывающая стационарное состояние с энергией E, удовлетворяет уравнению Шредингера

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 f(\vec{r}) + U(\vec{r})\, f(\vec{r}) \qquad (1)$$

с потенциалом U(r), характеризующим рельеф края зоны проводимости в квантовой яме. Говоря более строго, здесь f(r) - не вся волновая функция, а только огибающая блоховской волновой функции электрона в кристалле. [1-4]

В простейшей модели, с потенциальным рельефом прямоугольной формы, потенциал U(r) внутри ямы равен постоянной величине E_c - это уровень края зоны проводимости в рассматриваемом полупроводниковом материале. Пусть, кроме того, образец полупроводника имеет вид прямоугольного параллелепипеда с ребрами длиной L_x, L_y, L_z . Тогда решение уравнения

VOLUME 2 | ISSUE 4/2
ISSN 2181-1784
SJIF 2022: 5.947
ASI Factor = 1.7

Шредингера (1) легко получить методом разделения переменных в декартовых координатах.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Действительно, будем искать волновую функцию стационарного состояния f (r) в форме произведения трех неизвестных функций, каждая из которых зависит только от одной из координатных переменных x, y, z:[4-19]

$$f(\vec{r}) = \chi(x)\varphi(y)\psi(z) \qquad (2)$$

Подставляя такое произведение в (1.3), и учитывая, что в декартовых координатах

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} \qquad (3)$$

получим:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\left(\varphi\psi\frac{d^2\chi}{dx^2} + \chi\psi\frac{d^2\varphi}{dy^2} + \chi\varphi\frac{d^2\psi}{dz^2}\right) + E_c\chi\varphi\psi = E\chi\varphi\psi \qquad (4)$$

Уравнение (4) обращается в тождество, если в качестве функций χ, φ и ψ взять решения соответствующих одномерных уравнений Шредингера,

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\chi(x)}{dx^2} = E^{(x)}\chi(x), \qquad (5)$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\varphi(y)}{dy^2} = E^{(y)}\varphi(y) \qquad (6)$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi(z)}{dz^2} = E^{(z)}\psi(z), \qquad (7)$$

и положить в (4)

$$E = E^{(x)} + E^{(y)} + E^{(z)} + E_c \qquad (8)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, движение электрона вдоль осей x, y или z описывается одномерными волновыми функциями, причем каждая из этих трех степеней свободы дает аддитивный вклад в полную энергию стационарного состояния электрона E. Край зоны проводимости E_c в (8) играет роль начала отсчета электронной энергии (часто бывает удобным полагать $E_c = 0$).

REFERENCES

1. Rasulov, R. Y., Akhmedov, B. B., Muminov, I. A., & Umarov, B. B. (2021). Crystals with tetrahedral and hexagonal lattices. Fergana. Classic.-2021.

VOLUME 2 | ISSUE 4/2
ISSN 2181-1784
SJIF 2022: 5.947
ASI Factor = 1.7

2. Ахмедов, Б. Б. (2020). МЕТОД КР-ВОЗМУЩЕНИЙ С УЧЕТОМ ВЫРОЖДЕНИЯ. In Наука и современное общество: актуальные вопросы, достижения и инновации (pp. 21-25).
3. Ахмедов, Б. Б. (2020). УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА ДЛЯ ВОЛНОВЫХ ФУНКЦИЙ БЛОХА. In Научный форум: технические и физико-математические науки (pp. 20-25).
4. Ахмедов, Б., Муминов, И., & Ҳомиджонов, Д. (2021). УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА ДЛЯ ДВУМЕРНОГО ВОЛНОВОГО ВЕКТОРА. InterConf.
5. Muminov, I. A., Axmedov, B. B., & Sobirov, U. B. N. O. G. L. (2022). TURLI SIMMETRIYAGA EGA BO'LGAN QATTIQ JISMLAR KRISTALL PANJARASI. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 2(4), 541-546.
6. Muminov, I. A., Axmedov, B. B., & Maxmudov, A. A. O. G. L. (2022). YARIMO'TKAZGICH ASOSIDAGI TURLI STRUKTURALI NANOTRUBKALAR. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 2(4), 517-523.
7. Mamadaliyev, B., Rasulov, R. Y., Eshboltayev, I., Ahmedov, B. B., & Abdullayeov, M. (2014). About distribution of a potential barrier on borders of grains of the polycrystalline semiconductor. Europaische Fachhochschule, (9), 73-76.
8. Akhmedov, B. B., Rozikov, J. Y., & Muminov, I. A. MATERIAL'S ELECTRONIC STRUCTURE. Zbiór artykułów naukowych recenzowanych., 78.
9. Akhmedov, B., Rozikov, J., Muminov, I., & Ruziboev, V. (2018). ABOUT WAVEFUNCTIONS IN LOW-DIMENSIONAL SEMICONDUCTORS. Central Asian Problems of Modern Science and Education, 3(4), 51-57.
10. Расулов, Р. Я., Ахмедов, Б., & Мамадалиева, Н. (2018). Исследование размерного квантования в полупроводнике со сложной зоной методом теории возмущения. технологическое развитие науки: тенденции, проблемы и перспективы, 38-41.
11. Rozikov, J., Akhmedov, B., Muminov, I., & Ruziboev, V. (2019). DIMENSIONALLY QUANTIZED SEMICONDUCTOR STRUCTURES. Scientific Bulletin of Namangan State University, 1(6), 58-63.
12. Ахмедов, Б. Б., & Муминов, И. А. (2020). НЕПАРАБОЛИЧНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗОН. In WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS (pp. 28-30).
13. РАСУЛОВ, В., РАЗИКОВ, Ж., КАРИМОВА, Г., АБДУБАНАНОВ, А., & ЭШБОЛТАЕВ, И. (2017). Расчет коэффициента прохождения электронов через

многослойной полупроводниковой структуры, состоящей из прямоугольных потенциальных ям и барьеров. Современные научные исследования и разработки, (2), 183-185.

14. Sultanov, N. A., Rakhimov, E. T., Mirzajonov, Z., & Yusupov, F. T. (2021). Photoluminescence spectra of silicon doped with cadmium. Scientific-technical journal, 4(3), 22-26.

15. Nasirov, M. X., Axmadjonov, M. F., Nurmatov, O. R., & Abdullayev, S. (2021). O ‘LCHAMLI KVANTLASHGAN STRUKTURALARDA KVAZIZARRALAR. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 1(11), 166-174.

16. Rasulov, V. R., Akhmedov, B. B., & Muminov, I. A. (2021). Interband one-and two-photon absorption of polarized light in narrow-gap crystals. Scientific-technical journal, 4(1), UDC-621.

17. Rasulov, R., Rasulov, V., & Eshboltaev, I. (2016). On the Theory of the Shift Linear Photovoltaic Effect in Semiconductors of Tetrahedral Symmetry Under Two-Photon Absorption. Russian Physics Journal, 59(1).

18. Rustamovich, R. V., Yavkachovich, R. R., Eshboltaev, I. M., Ahmedov, B., & Mamadaliyeva, N. Z. (2018). Investigation of dimensional quantization in a semiconductor with a complex zone by the perturbation theory method. European science review, (9-10-1), 253-255.

19. Якубова, Ш. К., Хошимов, Х. А. У., & Мирзаева, Г. К. (2022). ИЗУЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРВОНАЧАЛЬНЫХ ЗНАНИЙ О МАССЕ В СРЕДНИХ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ШКОЛАХ. Scientific progress, 3(2), 73-77.