Колдонулган адабияттар

1. Кадышев, С. О преподавании особенностей МОС-гидридной технологии в курсе «Спец. вопросы технологии микро- и наноэлектроники» / С. Кадышев // Ж. Баласагын атындагы КУУнун Жарчысы. – 2024. – № 3 (119). – 176–181-бб.
2. Кадышев, С. Электроника. I том. Электрониканын материалдары жана технологиялары: ЖОЖдордун студенттери үчүн окуу китеби / С. Кадышев. – Бишкек, 2025. – 320 б.
3. Esaki, L. Superlattice and negative differential conductivity in semiconductors / L. Esaki, R. Tsu // IBM Journal of Research and Development. – 1970. – Vol. 14. – P. 61.
4. Chang, L. L. The growth of a GaAs–GaAlAs superlattice / L. L. Chang, L. Esaki, W. E. Howard, R. Ludeke // Journal of Vacuum Science and Technology. – 1973. – Vol. 10. – P. 11.
5. Chang, L. L. Resonant tunneling in semiconductor double barriers / L. L. Chang, L. Esaki, R. Tsu // Applied Physics Letters. – 1974. – Vol. 24. – P. 593.
6. Esaki, L. New transport phenomenon in a semiconductor superlattice / L. Esaki, L. L. Chang // Physical Review Letters. – 1974. – Vol. 33. – P. 495.
7. Эсаки, Л. Молекулярно-лучевая эпитаксия и развитие технологии полупроводниковых сверхрешеток и структур с квантовыми ямами / Л. Эсаки // Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры / пер. с англ.; под ред. Л. Ченга, К. Плога. – М.: Мир, 1989. – С. 7–36.
8. Херман, М. А. Полупроводниковые сверхрешетки / М. А. Херман. – М.: Мир, 1989. – 240 с.
9. Furdyna, J. K. / J. K. Furdyna // Journal of Applied Physics. – 1982. – Vol. 53. – P. 7637.
10. Kolodzijski, L. A. / L. A. Kolodzijski, T. C. Bonsett, R. L. Gunshor, S. Datta, R. R. Bylsma, W. M. Becker, N. Otsuka // Applied Physics Letters. – 1984. – Vol. 45. – P. 440.
11. Manasevit, H. M. / H. M. Manasevit // Applied Physics Letters. – 1968. – Vol. 12. – P. 156.
12. Manasevit, H. M. / H. M. Manasevit // Journal of Crystal Growth. – 1981. – Vol. 55. – P. 1.
13. Amano, H. Effects of the buffer layer in metalorganic vapour phase epitaxy of GaN on sapphire substrate / H. Amano, I. Akasaki, K. Hiramatsu, N. Koide, N. Sawaki // Thin Solid Films. – 1988. – Vol. 163. – P. 415.
14. Nakamura, S. Hole compensation mechanism of p-type GaN films / S. Nakamura, N. Iwasa, M. Senoh, T. Mukai // Japanese Journal of Applied Physics. – 1992. – Vol. 31. – P. 1258.
15. Neugebauer, J. Hydrogen in GaN: Novel aspects of a common impurity / J. Neugebauer, C. G. Van de Walle // Physical Review Letters. – 1995. – Vol. 75. – P. 4452.
16. Щукин, В. Г. Физика и техника полупроводников / В. Г. Щукин, Р. Г. Шарафутдинов, В. О. Константинов // Физика и техника полупроводников. – 2019. – Т. 53. – Вып. 1. – С. 132–136.

Рецензент: педагогика илимдеринин кандидаты, доцент Карасартова Н.А.

УДК 544.1
DOI 10.58649/1694-9099-2026-2-349-354

Кожоева С.Т.
Жусуп Баласагын атындагы КУУ
Кожоева С.Т.
КНУ имени Жусупа Баласагына
Kozhoeva S.T.
KNU Jusup Balasagyn

ORCID 0009 0002 7574 3151

ТӨМӨНКҮ ӨЛЧӨМДҮҮ ТҮЗҮЛҮШТӨРДӨГҮ КВАНТТЫК ӨЛЧӨМДҮК ЭФФЕКТТЕР
КВАНТОВЫЕ РАЗМЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУРАХ
QUANTUM SIZE EFFECTS IN LOW-DIMENSIONAL STRUCTURES

Кыскача мүнөздөмө: Төмөнкү өлчөмдүү түзүлүштөр физикалык системалардын өзгөчө классын түзөт. Алардын касиеттери химиялык курамы жана кристаллдык торчонун түрү менен гана эмес, мейкиндиктик өлчөмдөрү менен да аныкталат. Сызыктуу өлчөмдөр нанометрдик диапазонго чейин кыскарганда кванттык өлчөмдүк эффекттер пайда болуп, материалдардын электрондук, оптикалык, термодинамикалык жана транспорттук мүнөздөмөлөрүнүн сапаттык өзгөрүшүнө алып келет. Бул иште өлчөмдүү жана төмөнкү өлчөмдүү түзүлүштөрдүн түшүнүктөрү ырааттуу каралат, аларды бөлүп көрсөтүүнүн физика-математикалык критерийлери аныкталат, мейкиндиктик масштабдар жана алардын физикалык касиеттерге тийгизген таасири талданат. Нанотехнологиялардын фундаменталдык негизи катары кванттык өлчөмдүк эффекттерге өзгөчө көңүл бурулат. Бул эффекттердин төмөнкү өлчөмдүү түзүлүштөрдүн ар кандай түрлөрүндөгү көрүнүшү, ошондой эле нанотехнологиялардын практикалык колдонулушу жана өнүгүү келечеги талкууланат.

Аннотация: Низкоразмерные структуры представляют собой особый класс физических систем, свойства которых определяются не только химическим составом и типом кристаллической решётки, но и размерами. При уменьшении линейных размеров до нанометрового диапазона проявляются квантовые размерные эффекты, приводящие к качественному изменению электронных, оптических, термодинамических и транспортных характеристик материалов. В работе последовательно рассматриваются понятия размерных и низкоразмерных структур, формулируются физико-математические критерии их выделения, анализируются пространственные масштабы и их влияние на физические свойства. Особое внимание уделено квантовым размерным эффектам как фундаментальной основе нанотехнологий. Рассматриваются проявления этих эффектов в различных типах низкоразмерных структур, а также обсуждаются практические применения и перспективы развития нанотехнологий.

Abstract: Low-dimensional structures represent a special class of physical systems whose properties are determined not only by their chemical composition and crystal lattice type but also by their spatial dimensions. When linear dimensions are reduced to the nanometer scale, quantum size effects emerge, leading to qualitative changes in the electronic, optical, thermodynamic, and transport characteristics of materials. This paper examines the concepts of dimensional and low-dimensional structures, formulates physical and mathematical criteria for their identification, and analyzes spatial scales and their influence on physical properties. Special attention is given to quantum size effects as the fundamental basis of nanotechnology. The manifestations of these effects in various types of low-dimensional structures, as well as practical applications and prospects for the development of nanotechnology, are discussed.

Негизги сөздөр: төмөнкү өлчөмдүү түзүлүштөр; кванттык өлчөмдүк эффекттер; нанотехнологиялар; кванттык чектелүү; конденсацияланган абалдын физикасы.

Ключевые слова: низкоразмерные структуры; квантовые размерные эффекты; нанотехнологии; квантовое ограничение; физика конденсированного состояния.

Keywords: low-dimensional structures; quantum size effects; nanotechnology; quantum confinement; condensed matter physics.

Введение. Уникальные свойства низкоразмерных структур обусловлены особенностями их строения. Такие структуры могут состоять из определённого количества атомов или ещё меньших структурных единиц, при этом их свойства отличаются от свойств объёмных веществ, состоящих из тех же атомов. Линейные размеры низкоразмерных структур обычно находятся в диапазоне от 1 до 1000 нм. К ним относятся металлические кластеры, полупроводниковые наночастицы, кластеры атомов редких газов, молекулярные кластеры, углеродные наноструктуры, органические соединения,

полимеры, а также объёмные наноструктурированные материалы [1]. Наличие в объёмных материалах, например в стекле, мелких кластеров оксидов металлов с размерами, не превышающими длину волны видимого света, приводит к рассеянию света различных длин волн и придаёт стеклу разные цвета; коллоидные частицы серебра появляются в процессе обработки фотоплёнки.

Низкоразмерные структуры характеризуются линейными размерами и количеством атомов в данной структуре. Однако только по линейному размеру и количеству атомов не всегда можно определить различие между низкоразмерной структурой и молекулой. Поэтому для характеристики низкоразмерных структур требуются и другие параметры, например критическая длина, которая может соответствовать расстоянию тепловой диффузии или длине рассеяния. Известно, что многие физические свойства определяются соотношением критической длины и размера образца. Электропроводность металла в значительной степени зависит от расстояния, которое электрон проходит между двумя соударениями с колеблющимися атомами или атомами примеси в твёрдом теле.

В нанометровом диапазоне при уменьшении линейного размера увеличивается количество частиц на поверхности, поскольку возрастает отношение площади поверхности данной структуры к её объёму. Важное значение имеет область рассмотрения данного объекта (табл. 1).

Таблица 1. Пространственные масштабы современных систем

Объект	Параметр объекта	Величина параметра
Макроуровень: > 1 мм		**мм**
Чипы, интегральные микросхемы	Характерный размер	0,1–1
Сердце взрослого человека	Характерный размер	100
Микроуровень: 1–1000 мкм		**мкм**
Топологические элементы интегральных схем	Характерный размер	0,1–1,0
Клетки сердца	Характерный размер	50
Микромеханический акселерометр	Характерный размер	500
Наноуровень: 1–1000 нм		**нм**
Атомы Si	Диаметр атома	0,236
Атомы Ge	Диаметр атома	0,246
Кристаллическая решётка Si	Постоянная решётки	0,543
Кристаллическая решётка Ge	Постоянная решётки	0,566
Фуллерен	Размер	0,714
Квантовые точки	Размер	1–10
Квантовые проволоки	Сечение	< 10 × 10
Квантовые ямы	Размер	10–100

Основные структурные элементы материалов нанотехнологии и наноэлектроники не превышают нанотехнологической границы - 100 нм (1 нм = 10^{-9} м) - по крайней мере в одном направлении.

Объекты, имеющие хотя бы в одном из пространственных направлений размер от 0,1 до 100 нм, можно отнести к низкоразмерным структурам. Они могут быть разделены на нульмерные, одномерные, двумерные и трёхмерные.

Целью настоящей работы является систематический анализ квантовых размерных эффектов в низкоразмерных структурах с физико-математической точки зрения, а также выявление их роли в формировании свойств наноструктур и развитии нанотехнологий.

Низкоразмерные структуры: критерии и классификация.

Физико-математический критерий низкоразмерности. С физико-математической точки зрения структура относится к низкоразмерным, если хотя бы в одном пространственном направлении её характерный размер становится сравнимым с одной или несколькими фундаментальными физическими длинами:

- длиной волны де Бройля носителей заряда;
- длиной свободного пробега электронов;
- радиусом экситона;
- длиной когерентности волновой функции.

В этом случае размеры системы начинают играть роль граничных условий в уравнении Шрёдингера, что приводит к дискретизации энергетического спектра и изменению плотности состояний.

Металлические нанокластеры. Многие металлические нанокластеры имеют кристаллическую структуру, в которой атомы металла располагаются в узлах кристаллической решётки, как и в объёмных материалах. Однако при уменьшении линейного размера металлических нанокластеров менее чем до 6 нм структура может изменяться и переходить в другую форму. Например, частицы золота размером от 3 до 6 нм имеют икосаэдрическую структуру, тогда как в объёмном состоянии золото кристаллизуется в ГЦК-решётку. Кластер алюминия, состоящий из 13 атомов, может образовывать три возможные структурные формы.

Некоторые металлические нанокластеры можно рассматривать как изолированные объекты, однако в действительности многие из них обладают реакционной способностью на воздухе. Например, данные рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии показывают, что нанокластер алюминия размером 80 нм на воздухе покрывается оксидным слоем толщиной 3–5 нм.

Проводимость металлических кластеров определяется изменением электронной структуры при переходе от объёмного кристалла к крупным и малым кластерам, состоящим, например, из 15 атомов (рис. 1). В объёмном металле валентная зона полностью занята электронами (рис. 1а), тогда как при уменьшении числа металлических атомов до 100 возникает запрещённая зона (рис. 1б).



Рисунок 1. Изменение электронной структуры при уменьшении количества атомов

Полупроводниковые наночастицы. В основном наночастицы полупроводников не являются полупроводниками в обычном понимании, однако их оптические свойства отличаются от свойств объёмного материала. При уменьшении размеров частиц полупроводниковых материалов оптические спектры поглощения существенно сдвигаются в сторону меньших длин волн [2]. Полупроводниковые наночастицы Si_n, где n - число атомов кремния, могут образовываться при лазерном испарении кремниевой подложки в потоке гелия (рис. 2).

В полупроводниковых наночастицах проявляются эффекты, связанные с экситонами и многократной ионизацией, что может приводить к кулоновскому взрыву.

Кластеры атомов редких газов. Молекулярные кластеры. Кластеры из атомов благородных газов, например ксенона и криптона, изучаются для определения потенциала взаимодействия между атомами этих структур.

Молекулярные кластеры по своим свойствам отличаются от обычных структур соответствующих веществ. Например, кластер из пяти молекул воды имеет новую структуру водородной связи, при которой атом водорода равноудалён от двух атомов кислорода, в отличие от структуры обычной воды.

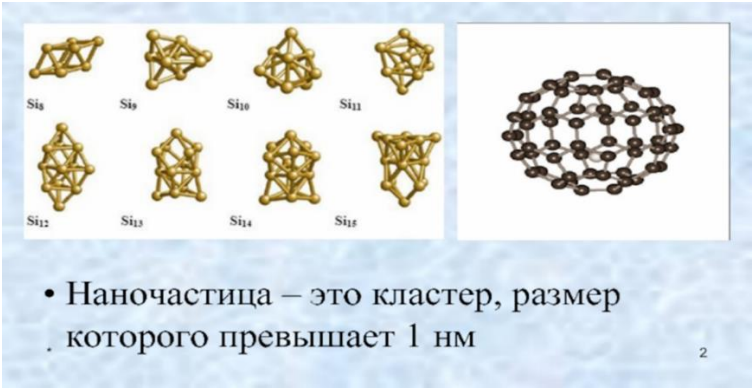


Рисунок 2. Полупроводниковая наночастица, которая состоит из атомов кремния и образует различные низкоразмерные структуры

Углеродные наноструктуры. Наноструктуры, состоящие из атомов углерода, имеют уникальную природу связи и важное значение в образовании органических молекул. Такая природа связи углерода позволяет формировать различные структуры, включая углеродные молекулы, углеродные кластеры (фуллерены) и углеродные нанотрубки. Потенциал применения углеродных низкоразмерных структур широк: от электродов батарей до наноэлектронных устройств и армирующих волокон для прочных композитных материалов. Это направление с каждым годом активно развивается.

Наноструктурированные материалы. Наноструктурированные материалы состоят из наномасштабных структурных единиц или наночастиц. Из этих элементов можно создавать неупорядоченные наноструктурированные твёрдые тела.

Квантовые размерные эффекты как фундамент нанотехнологий. С физико-математической точки зрения нанотехнологии представляют собой область прикладной физики, основанную на управлении квантовыми размерными эффектами путём задания граничных условий на нанометровом уровне. Экспериментальные методы синтеза наноструктур позволяют реализовывать решения фундаментальных уравнений квантовой механики в конкретных физических системах.

Практическое значение и перспективы. Квантовые размерные эффекты лежат в основе современных нано- и оптоэлектронных устройств, квантовых сенсоров, биомедицинских технологий и энергетических систем. Перспективы дальнейших исследований связаны с развитием квантовых вычислений, управляемого синтеза наноструктур и созданием материалов с заранее заданными свойствами.

Выводы:

- структуры, которые имеют линейный размер менее 100 нм хотя бы в одном пространственном направлении, можно отнести к низкоразмерным структурам. Для таких размеров количество атомов в структуре может определяться так называемыми магическими числами;
- отношение площади поверхности низкоразмерных структур к их объёму соответствует условию $S_{поверхность}/V \geq 1$;
- при указанных условиях изменение физических свойств низкоразмерных структур становится очевидным.

Нанонаука изучает материалы, свойства которых определяются не только химическим составом, но и линейными размерами, структурой и физическими свойствами на нанометровом уровне, что открывает широкие возможности для технологий будущего.

Список использованной литературы

1. Нанотехнология. Азбука для всех / под ред. Ю. Д. Третьякова. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 368 с.
2. Вовк Т. Ф., Баранов А. В., Леонов М. Ю. Физика полупроводниковых нанокристаллов : учебное пособие. - Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2021. - 87 с.

Рецензент: доктор химических наук, профессор Сулайманкулова С.

УДК: 539.4.01 (575.2) (04)
DOI 10.58649/1694-9099-2026-2-354-359

Минбаева Б.Д., Хайдаров Б.К., Абдылдаев О.Т., Хайдаров К.
Жусуп Баласагын атындагы КУУ,
Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясы
Минбаева Б.Д.,[1] Хайдаров Б.К.,[2] Абдылдаев О.Т.,[3] Хайдаров К.[4]
КНУ имени Жусупа Баласагына,[3]
Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясы
B. Minbaeva, B. Khaidarov, O. Abdyldaev K. Khaidarov
KNU Jusup Balasagyn,
National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic

ORCID 0009-0007-4330-0694[3]

МОНОКРИСТАЛЛДЫК СИНТЕТИКАЛЫК АЛМАЗДЫН БЕКЕМДИГИНЕ ТЕРМИКАЛЫК ИШТЕТҮҮНҮН ТААСИРИ
ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПРОЧНОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА
THE EFFECT OF THERMAL EFFECTS ON THE STRENGTH OF SINGLE CRYSTALS OF SYNTHETIC DIAMOND

Кыскача мүнөздөмө: Бул иште лазердик нурлануунун (ЛН) жана суюк азоттун (СА) синтетикалык алмаздын (САл) монокристаллдарына тийгизген таасири изилденди. Белгилүү режимдерде бул таасирлер алардын бекемдик мүнөздөмөлөрүнүн жогорулашына алып келери аныкталды. Бекемдикти өлчөө үчүн бир октуу статикалык кысуу сыноолорунун ыкмасы колдонулду. ЛНдин ар кандай тыгыздыгы менен иштетилген, дан өлчөмү 630/500дөн 400/315 мкмге чейинки ачык сары жана күңүрт боз түстөгү синтетикалык алмаздын монокристаллдары статикалык бекемдикке сыналды. Энергия тыгыздыгы 600 Дж/см² болгон ЛН таасир эткенде 630/500 фракциядагы САл монокристаллдарынын бекемдиги жогорулаганы аныкталды. Төмөнкү температуранын таасири үлгүлөрдү суюк азотко чөмүлтүү аркылуу жүргүзүлдү. Суюк азоттун кайноосу токтогондон кийин үлгүлөр 1 мүнөттөн 30 мүнөткө чейин кармалды. Лазердик иштетүүдөн кийин САл монокристаллынын бети баштапкы үлгүгө салыштырмалуу микротешикчелери жана микрожаракалары бар рельефтүү көрүнүшкө ээ болору аныкталды. Изилденген САл монокристаллдарында суюк азоттун таасиринен бекемдиктин байкаларлык өзгөрүүсү байкалган жок.

Аннотация: В работе рассмотрено воздействие лазерного излучения (ЛИ) и жидкого азота (ЖА) на монокристаллы синтетического алмаза (СА). Показано, что при определённых режимах указанные