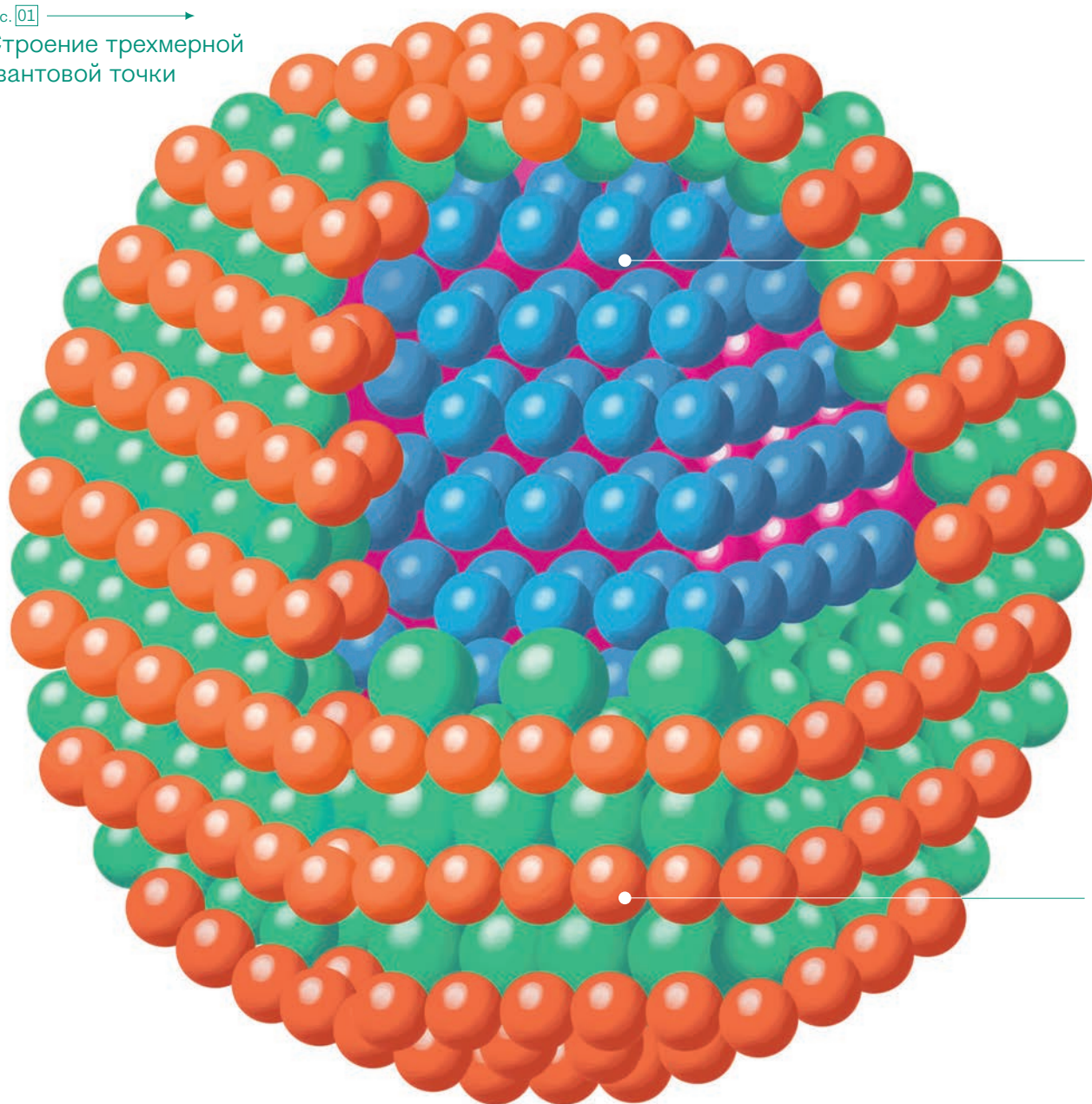


Микроэлектроника переходит на квантовые точки

рис. [01] →
Строение трехмерной квантовой точки

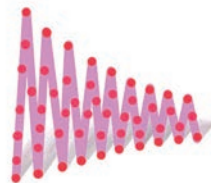


ядро квантовой точки

оболочка квантовой точки

На смену элементам электронных приборов, для которых применимо классическое описание, приходит элементная база наноэлектроники, где необходим последовательно квантовомеханический подход. Квантово-размерные наноструктуры важны не только для наноэлектроники, но и как основа информационных систем нового поколения, они могут применяться для создания магниточувствительных детекторов, на их основе в оптоэлектронике создаются сверхмалые лазерные источники.

Современная субмикронная технология позволяет создавать объекты, в которых движение электронов локализовано в плоскости. Такая ситуация имеет место в полупроводниковых гетероструктурах, на переходе металл-диэлектрик. При приложении достаточно высокого напряжения перпендикулярно слоям гетероструктуры электроны выходят на поверхность и ведут себя как двумерный электронный газ. Если к тому же потенциал ограничивает электроны в одном направлении в плоскости, то электроны могут свободно двигаться только в одном оставшемся — это одномерный газ (квантовые проволоки). Если же ограничивается движение электронов в обоих направлениях, мы получаем квантовую точку.



Декогеренция

Декогеренция — процесс нарушения когерентности, вызываемый взаимодействием квантовой системы с окружающей средой. Можно сказать, что при декогеренции происходит потеря квантовых свойств системы.

Квантовые точки — искусственные атомы

Квантовые точки (КТ) — это гигантские (по сравнению с атомами) искусственные атомы с контролируруемыми параметрами. Современные технологии позволяют получать и отдельные КТ, и массивы КТ с контролируемыми параметрами, такими как расположение, область локализации, число носителей заряда, крутизна удерживающего потенциала. Если мы сравним КТ и «обычные» атомы, то КТ перспективны из-за возможности управлять их свойствами с помощью магнитного поля [таб. 01]. Чтобы значимо изменить свойства обычных атомов, требуются поля, как в нейтронных звездах, а для квантовых точек — вполне доступные в земных лабораториях.

Системы же КТ могут рассматриваться как искусственные гигантские молекулы с контролируемо изменяемыми параметрами. Периодические и аperiodические массивы КТ — искусственные кристаллы и квазикристаллы.

Типичный размер квантовой точки — несколько десятков нанометров, однако размер занятой электронами области из-за внешнего потенциала может быть

текст **Наталья Капуткина**

доктор физико-математических наук,

НИТУ «МИСИС»

Михаил Алтайский

доктор физико-математических наук,

Институт космических исследований РАН

значительно меньше. В такой ситуации становится существенным квантование движения в плоскости границы, так что получается структура, подобная атому (с дискретными уровнями энергии), но роль атомного потенциала выполняет искусственно созданный потенциал квантовой точки, а число электронов может контролируемо изменяться от единиц до нескольких сотен.

В настоящее время наибольший интерес вызывают гетеронаноструктуры с квантовыми точками на основе арсенида галлия (GaAs) или его твердых растворов разного состава. Основное техническое применение квантово-размерных структур этого типа видится в настоящее время в разработках светоизлучающих приборов, прежде всего лазеров для волоконно-оптических линий связи. Также значительные возможности дает допирование структур на основе полупроводников переходными металлами.

Различие постоянных кристаллических решеток гетеропары, обычно считавшееся ее недостатком, оказалось весьма ценным свойством в технологии получения так называемых самоорганизованных квантовых точек. Под самоорганизацией понимается самопроизвольное возникновение упорядоченных макроскопических структур из менее упорядоченной среды. В основе процесса самоорганизации лежит свойство неравновесных физических систем при приближении к термодинамическому равновесию переходить в состояние, в котором свободная энергия системы минимальна.

Если на поверхности из материала А осажден тонкий однородный слой материала В, то при установлении термодинамического равновесия в слое В возникает атомная структура, и он имеет форму, при которой свободная энергия системы будет минимальна. Факторами, определяющими направление и конечный результат самоорганизации, являются рассогласование постоянных решеток материалов А и В, создающее упругие напряжения в системе и повышающее ее внутреннюю энергию, толщина слоя и некоторые другие. При одних значениях этих параметров может образоваться однородный слой материала В, повторяющий структуру подложки. При других значениях может оказаться более энергетически выгодным, чтобы материал В образовал массив напряженных кластеров определенных размеров и формы или собрался в один большой кластер.

Экспериментально уже давно установлено, что при осаждении из паровой фазы наблюдаются три типа начальной стадии роста слоя на подложке:

1) послойный (двумерный) рост. Он происходит, если материал В смачивает подложку и его постоянная решетки мало отличается от постоянной решетки материала А;

таб. [01] →
Сравнение параметров квантовых точек и атомов

параметр	атомы	квантовые точки
разность уровней энергии	1 Эв	10 ⁻⁴ Эв
энергия ионизации	10 Эв	10 ⁻⁴ Эв
управляющие магнитные поля	10 ⁴ Тл	1-10 Тл