

КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ

(Quantum dots)

«Квантовые точки – это искусственные атомы, свойствами которых можно управлять».

*Ж.И. Алферов,
лауреат Нобелевской премии*



Древнегреческий амфитеатр

Квантовые точки (КТ) – это изолированные нанообъекты, свойства которых существенно отличаются от свойств объемного материала того же состава. Сразу следует отметить, что квантовые точки являются скорее математической моделью, нежели реальными объектами. И связано это с невозможностью формирования полностью обособленных структур – малые частицы всегда взаимодействуют с окружающей средой, находясь в жидкой или твердой матрицах.

Чтобы разобраться в том, что такое квантовые точки, и понять их электронное строение, представьте себе древнегреческий амфитеатр. Теперь вообразите, что на сцене разворачивается увлекательное представление, а зрительские ряды наполнены публикой, пришедшей посмотреть игру

актеров. Оказывается, что поведение людей в театре во многом похоже на поведение электронов квантовой точки (КТ). Во время представления актеры передвигаются по арене, не выходя в зрительный зал, а сами зрители следят за действием со своих мест и не спускаются на сцену. Арена – это нижние заполненные уровни квантовой точки, а зрительские ряды – электронные уровни проводимости. При этом как зритель может находиться в любом ряду зала, так и электрон способен занять любой энергетический уровень квантовой точки, но не может располагаться между ними. Покупая в кассах билеты на представление, все стремились получить самые лучшие места – как можно ближе к сцене. Действительно, ну кто же захочет сидеть в последнем ряду, откуда лицо актера не рассмотришь даже в бинокль! Поэтому, когда перед началом представления зрители рассаживаются, все нижние ряды зала оказываются заполнены, так же как в стационарном состоянии КТ, обладающем наименьшей энергией, нижние энергетические уровни полностью заняты электронами. Однако во время представления кто-то из зрителей может покинуть свое место, например потому что музыка на сцене слишком громко играет или просто сосед неприятный попался, и пересест на свободный верхний ряд. Вот так и в КТ электрон под действием внешнего воздействия может переходить на более высокий, не занятый другими электронами энергетический уровень, приводя к образованию возбужденного состояния квантовой точки. Наверное, Вам интересно, что при этом происходит с тем пустым местом на энергетическом уровне, где раньше был

электрон – так называемой «дыркой»? Оказывается, посредством зарядовых взаимодействий иногда электрон остается с ней связан и в любой момент может перейти обратно, так же как пересевший зритель всегда может передумать и вернуться на обозначенное в его билете место. Пару электрон–дырка называют *экситоном* от английского слова «excited», что означает «возбужденный». Миграция между энергетическими уровнями КТ, аналогично подъему или спуску одного из зрителей, сопровождается изменением энергии электрона, что соответствует поглощению или излучению кванта света (фотона) при переходе электрона соответственно на более высокий или низкий уровень. Описанное выше поведение электронов в квантовой точке приводит

к нехарактерному для макрообъектов дискретному энергетическому спектру, за который КТ часто называют искусственными атомами.

Энергия связи дырки и электрона определяет радиус экситона, который является характерической величиной для каждого вещества. Если размер квантовой точки меньше радиуса экситона, то экситон оказывается ограничен в пространстве ее размерами, а соответствующая энергия связи значительно изменяется по сравнению с объемным веществом (см. *Квантово-размерные эффекты*). Нетрудно догадаться, что если энергия экситона изменяется, то, следовательно, изменяется и энергия фотона, излучаемого системой при переходе возбужденного электрона на свое исходное место (экситонный

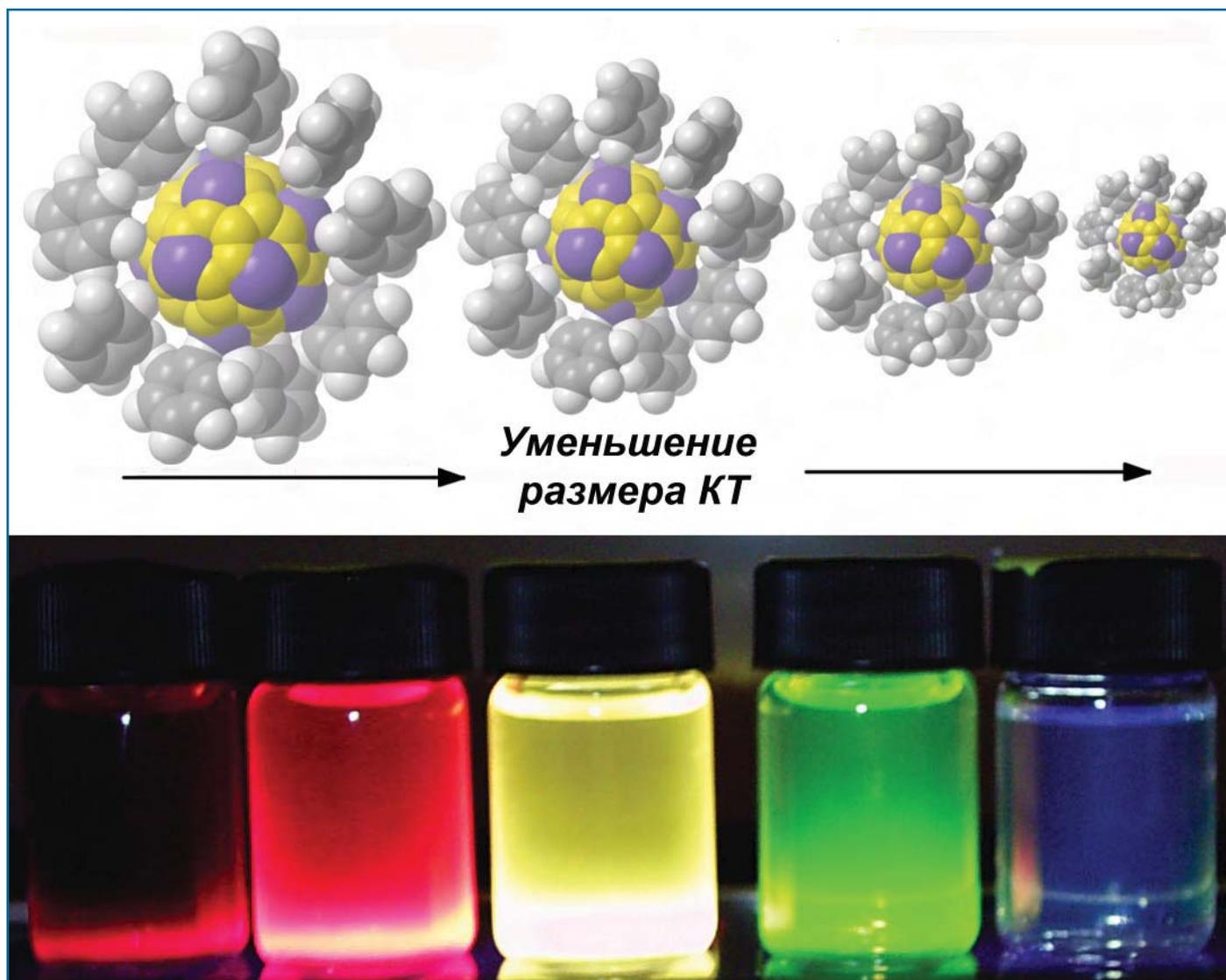


Рис. 1. Изменение цвета (полосы испускания) коллоидного раствора частиц CdSe в оболочке CdS в зависимости от размера квантовых точек (КТ получены на ФНМ МГУ им. М.В. Ломоносова)

переход). Таким образом, получая монодисперсные коллоидные растворы наночастиц различных размеров, можно управлять энергиями переходов в широком диапазоне оптического спектра (рис. 1).

Первыми квантовыми точками были наночастицы металлов, которые синтезировали еще в Древнем Египте для окрашивания ими различных стекол, хотя более традиционными и широко известными КТ являются выращенные на подложках полупроводниковые частицы GaN и коллоидные растворы микрокристаллов CdSe. В настоящий момент известно множество способов получения квантовых точек, например их можно «вырезать» из тонких слоев полупроводниковых *гетероструктур* с помощью *нанолитографии*, а можно спонтанно сформировать в виде наноразмерных включений структур полупроводникового материала одного типа в матрице другого.

Методом *молекулярно-пучковой эпитаксии* при существенном отличии параметров элементарной ячейки подложки и напыляемого слоя можно добиться роста на подложке пирамидальных квантовых точек, за исследование свойств которых Ж.И. Алферову была присуждена Нобелевская премия. Контролируя условия процессов синтеза, теоретически можно получать квантовые точки определенных размеров с заданными свойствами.

Исследования КТ начались сравнительно недавно, но широчайшие перспективы их практического использования уже совершенно очевидны для дизайна лазеров и дисплеев нового поколения. Уникальные перестраиваемые оптические свойства КТ находят применение в самых неожиданных областях, например в медицинских исследованиях, для построения кубитов квантовых компьютеров и т.д.

Литература:

1. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 134 с
2. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М.: Логос, 2000.