

КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ, ИХ ПРИМЕНИМОСТЬ И СВОЙСТВА

Муравьев Д.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Григорьев А.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Нанокристаллы размером 2-10 нанометров обладают уникальными оптическими и электронными свойствами, что делает их перспективными для различных приложений. Они находят применение в оптоэлектронике, включая светодиоды и лазеры, что улучшает качество изображения на экранах мобильных устройств и телевизоров. Также эти наноструктуры повышают эффективность солнечных элементов и используются в биомедицине как флуоресцентные метки. В микроэлектронике они могут интегрироваться в транзисторы. Исследования в этой области продолжаются, открывая новые технологии и возможности для применения в энергетике и медицине.

Квантовые точки (КТ) – нанокристаллы с размером в диапазоне 2-10 нанометров, состоящие из атомов, созданные на основе неорганических полупроводниковых материалов, покрытых монослоем органических молекул, играющих роль стабилизатора. Схематическое изображение квантовой точки приведено на рисунке 1. Квантовая точка представляет собой фрагмент проводника или полупроводника (например CdTe, CdS, CdSe, ZnSe, ZnS и др.), носители заряда которого ограничены в пространстве по всем трем направлениям [1]. Квантовыми их назвали потому, что при столь малых размерах в них проявляются квантовые, то есть, дискретные, свойства электронов. Физические свойства кристаллов сверхмалых размеров могут принципиально отличаться от массивных кристаллов, например вещество с металлическими свойствами только за счет уменьшения размеров может перейти в диэлектрическое состояние.

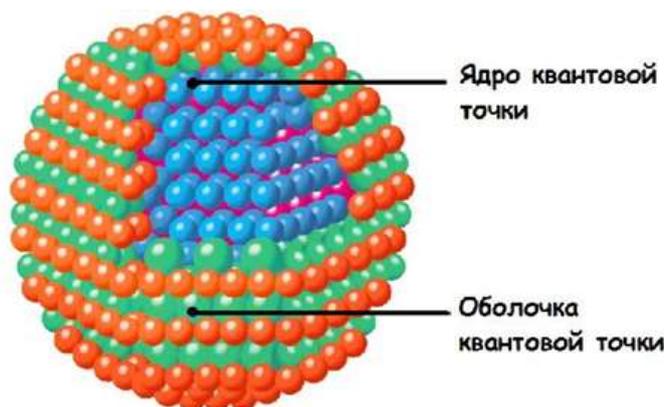


Рисунок 1 – Модель квантовой точки

Квантовые точки обладают уникальными физическими свойствами, которые зависят от их размеров, формы, состава и структуры. Эти характеристики делают их важными для различных приложений в науке и технике.

Одним из ключевых свойств квантовых точек является их способность к люминесценции. При возбуждении нанокристаллы способны излучать свет, а их оптические характеристики могут быть изменены в зависимости от размеров. Это позволяет получать свет различных цветов. Более крупные КТ диаметром 5-6 нм излучают более длинные волны таких цветов, как оранжевый или красный. КТ меньшего размера (2-3 нм) излучают более короткие волны, создавая синий и зелёный свет. Однако конкретные цвета также зависят от точного химического состава КТ.

Еще одним важным параметром является квантовый выход, который определяет, насколько эффективно квантовые точки преобразуют поглощенную энергию в световое излучение. Он измеряет долю фотонов, которые излучаются по сравнению с количеством поглощенной энергии. Формально, квантовый выход можно выразить как отношение числа излученных фотонов к числу поглощенных. Этот параметр имеет большое значение для оценки производительности квантовых точек в различных оптических устройствах, таких как светодиоды, лазеры и флуоресцентные маркеры. Высокий квантовый выход указывает на то, что большая часть поглощенной энергии преобразуется в свет, что делает устройство более экономичным.

Также к физическим характеристикам относится квантовая эффективность. Это показатель, измеряющий, насколько эффективно квантовые точки излучают свет по сравнению с поглощенной энергией. Она определяется отношением числа излученных фотонов к количеству носителей заряда, участвующих в процессе. Основные факторы, влияющие на квантовую эффективность, включают радиативную рекомбинацию, при которой электроны и дырки испускают фотон, и нерадиативную рекомбинацию, которая приводит к потере энергии в виде тепла. Кроме того, процессы рассеяния могут снижать количество фотонов, достигающих наблюдателя. Высокая квантовая эффективность критически важна для создания ярких и эффективных оптических устройств, таких как светодиоды и лазеры [2].

Электронные свойства квантовых точек включают размерный квантовый эффект и кулоновское взаимодействие. При уменьшении размеров квантовых точек до наномасштаба проявляется размерный квантовый эффект, который влияет на дискретизацию энергетических уровней электронов и дырок. Это изменение приводит к изменению запрещенной зоны и спектра излучения, что позволяет настраивать оптические свойства материалов для применения в оптоэлектронике и фотонике. Кроме того, в ограниченном объеме квантовых точек усиливается кулоновское взаимодействие между электронами и дырками, что изменяет электронную структуру и влияет на эффективные массы носителей заряда.

Квантовые точки находят широкое применение в различных областях. В первую очередь, они используются в оптоэлектронике. Квантовые точки применяются в светодиодах (LED) и лазерах, обеспечивая яркое и насыщенное светоизлучение. Способность КТ точно преобразовывать и настраивать спектр делает их привлекательными для ЖК-дисплеев. Предыдущие ЖК-дисплеи могли тратить энергию на преобразование плохого красно-зеленого и насыщенного сине-желтого белого света в более сбалансированное освещение. Благодаря использованию КТ на экране содержатся только необходимые цвета для идеального изображения. В результате экран стал ярче, четче и энергоэффективнее. Также КТ-светодиоды могут быть изготовлены на кремниевой подложке, что позволяет интегрировать их в стандартные кремниевые интегральные схемы.

Нанокристаллы могут повысить эффективность и снизить стоимость современных типичных кремниевых фотоэлектрических элементов. Способность квантовых точек поглощать широкий спектр световых волн позволяет улучшить выход энергии, что делает их перспективными для использования в возобновляемых источниках энергии.

Также квантовые точки находят применение в биомедицинских исследованиях в качестве флуоресцентных меток. Ведь они превосходят традиционные органические красители по нескольким параметрам, одним из наиболее очевидных из которых является яркость (благодаря высокому коэффициенту поглощения в сочетании с сопоставимым квантовым выходом с флуоресцентными красителями), а также их стабильность. Было подсчитано, что квантовые точки в 20 раз ярче и в 100 раз более стабильны, чем традиционные флуоресцентные репортеры. Нерегулярное мерцание квантовых точек при отслеживании одиночных частиц является незначительным недостатком. Также исследуются возможности использования квантовых точек в целевой терапии и доставке лекарств благодаря их способности модифицироваться для специфического связывания с клетками. Это открывает новые горизонты в лечении различных заболеваний.

В микроэлектронике квантовые точки могут использоваться в транзисторах и других компонентах, обеспечивая высокую производительность и малый размер. Исследуются также их возможности в квантовых вычислениях, где они могут выступать в роли кубитов благодаря своим квантовым свойствам.

Глубокие исследования и разработки в области квантовых точек имеют большое значение для науки и промышленности. Ученые активно работают над новыми методами синтеза, улучшением характеристик и поиском новых областей применения квантовых точек, способствуя их интеграции в современные технологии. Наиболее изучены квантовые точки на основе селенида кадмия. Но с появлением законодательных актов об ограничении применения опасных веществ в изделиях электротехники и радиоэлектроники, ограничивающих использование материалов на основе тяжелых металлов, технологии стали развиваться в сторону производства квантовых точек, не содержащих кадмий. Дальнейшие исследования в области квантовых точек могут привести к созданию более эффективных и инновационных технологий, которые будут иметь значительное влияние на нашу повседневную жизнь, медицину, энергетику, информационные технологии и многие другие области.

Список использованных источников:

1. Грибкова, Н.С. Полупроводниковые коллоидные квантовые точки: учеб. пособие / Н.С. Грибкова, В.И. Лесняк.—Ростов-на-Дону: Южный федеральный ун-т, 2017. — 31 с.
2. Бричкин, С.Б. Коллоидные квантовые точки: синтез, свойства, применение / С.Б. Бричкин, В.Ф. Разумов. // Успехи химии, 2016.—С.1297-1312