

КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ

Рута А.М., Сапсуева З.Н.

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

Евсейчик М.А. – магистр, ассистент кафедры физики

Квантовые точки представляют собой наноструктуры с размерами в диапазоне от 1 до 10 нм, обладающие уникальными оптическими и электронными свойствами. В этой научной работе рассмотрены основные аспекты квантовых точек, включая их структуру, свойства и синтез. Обсуждаются перспективы применения КТ в различных областях, включая фотонику, электронику и медицину.

Квантовые точки были впервые предложены в конце 20 века и представляют собой наночастицы полупроводниковых материалов, обладающие квантовыми свойствами. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с классическими полупроводниками, такими как широкий спектр поглощения и улучшенная фотостабильность.

Структура квантовых точек образована полупроводниковыми материалами, такими как кадмий селенид (CdSe), свинец сульфид (PbS), индий арсенид (InAs) и другие. Наиболее распространенными материалами для синтеза квантовых точек являются полупроводниковые соединения группы II-VI (например, CdSe, CdS) и группы III-V (например, InAs, InP).

Квантовые точки могут быть классифицированы в две основные категории: нулевой и одномерной размерности. Нулевой размерности означает, что квантовые точки являются наночастицами сферической формы, такими как CdSe или PbS. Одномерные квантовые точки имеют форму стержня или нанопроволоки, например, CdSe или InP.

Квантовые точки можно рассматривать как трехмерные аналоги двумерных квантовых ям. В то время как квантовые ямы ограничивают движение электронов в плоскости, квантовые точки ограничивают движение электронов в трех измерениях. Это приводит к еще более квантованным энергетическим уровням и уникальным оптическим свойствам. Иногда квантовые точки могут быть интегрированы внутрь квантовых ям, образуя гибридные структуры. Это создает дополнительные возможности для инженерии энергетических уровней и оптических свойств. Такие гибридные структуры могут быть полезны при создании эффективных светодиодов и лазеров.

Свойства квантовых точек обусловлены квантовым ограничением размера и эффектами, которые проявляются при таких малых размерах. Размер квантовой точки определяет энергетический уровень электронов и дырок внутри наноструктуры. Это приводит к дискретным энергетическим состояниям, аналогичным энергетическим уровням в атомах, её размер влияет на ширину запрещенных зон, оптические и электронные свойства. Квантовые точки обладают высокой квантовой эффективностью поглощения и эмиссии света. Это означает, что они способны эффективно поглощать свет определенной длины волны и излучать свет с высокой яркостью. Квантовая эффективность связана с уровнями запрещенных зон и размером квантовых точек. Они обладают широким спектром оптических свойств. Их оптические свойства, такие как поглощение и люминесценция, могут быть настроены путем изменения размера и состава квантовых точек. Это делает их полезными для создания материалов с определенными оптическими свойствами, такими как различные цвета свечения. Поверхность квантовых точек играет важную роль в их свойствах. Поверхностные состояния могут влиять на электронные и оптические свойства квантовых точек. Поскольку атомы на поверхности имеют меньшее количество соседей, их свойства могут отличаться от свойств атомов внутри кристаллической решетки. Квантовые точки обладают высокой фотостабильностью, что означает, что они сохраняют свои оптические свойства при длительной экспозиции свету без значительного ухудшения. Это делает их привлекательными для применения в оптических устройствах и технологиях, таких как солнечные батареи и дисплеи. Размер квантовых точек может влиять на их энергетические уровни и оптические свойства. Например, при уменьшении размера квантовой точки энергетический разрыв между валентной и проводящей зонами увеличивается, что приводит к сдвигу спектра поглощения и люминесценции в более высокие энергетические области (синий сдвиг). Они могут иметь некоторую дисперсию в своих свойствах, таких как размер, форма и оптические характеристики. Это связано с процессами синтеза и обработки, а также с флуктуациями внутри наноструктур. Дисперсия свойств может быть преодолена путем улучшения методов синтеза и контроля процессов [1].

Синтез квантовых точек - процесс получения наноструктурных полупроводниковых материалов с размерами в диапазоне от нанометров до нескольких десятков нанометров. Существует несколько методов синтеза квантовых точек, и выбор конкретного метода зависит от материала квантовых точек, требуемых свойств и применения.

Перечислим некоторые из основных методов синтеза квантовых точек: термическое разложение прекурсоров, гидротермальный синтез, метод фазового обратного микроэмульсионного растворения, ионообменный синтез.

Термическое разложение прекурсоров основано на термическом разложении химических

прекурсоров, содержащих элементы, образующие квантовые точки. Они подвергаются нагреванию в органических или неорганических растворителях, или в газовой фазе. В результате происходит реакция, которая приводит к образованию наночастиц - квантовых точек. Этот метод позволяет контролировать размер и форму квантовых точек путем изменения условий синтеза, таких как температура, время реакции и соотношение реагентов.

Гидротермальный синтез опирается на реакции между растворами прекурсоров в высокотемпературных и высокодавленных условиях. Растворы нагреваются в закрытых реакционных сосудах при повышенных давлениях. В результате образуются квантовые точки. Гидротермальный синтез позволяет получать квантовые точки с узким распределением размеров и высокой кристаллическостью.

Метод фазового обратного микроэмульсионного растворения включает использование микроэмульсий, которые состоят из водной фазы, органической фазы и позитивного или отрицательного эмульгатора, чтобы контролировать рост квантовых точек. Прекурсоры растворяются в одной фазе, а затем происходит реакция между ними, что приводит к образованию квантовых точек.

Ионообменный синтез основан на реакции ионообмена между растворимыми ионами и ионами в кристаллической решетке материала квантовых точек. В результате образуются квантовые точки с заданными свойствами и размерами. Ионообменный синтез позволяет получать квантовые точки с высокой кристаллическостью и узким распределением размеров.

Существует несколько методов синтеза квантовых точек, включая снизу-вверх (top-down) и сверху-вниз (bottom-up) подходы. Снизу-вверх методы включают литографию и электронно-лучевую литографию, позволяющие создавать квантовые точки через нанотехнологические процессы. Сверху-вниз методы, такие как коллоидный синтез и гидротермальный метод, позволяют получить квантовые точки с помощью химических реакций.

Квантовые точки имеют широкий спектр потенциальных применений [2,3]. Они нашли применение в различных фотонных устройствах, могут использоваться в качестве эффективных светоизлучателей в светодиодах и лазерах. Светодиоды на основе квантовых точек имеют преимущества перед традиционными светодиодами, такие как широкая цветовая гамма и улучшенная цветопередача. Лазеры на основе квантовых точек обладают низким пороговым током и могут работать при комнатной температуре. Квантовые точки также показывают перспективы в таких областях, как солнечные элементы, оптические датчики и квантовая криптография. Они могут улучшить электронику, позволяя разрабатывать новые устройства с новыми характеристиками, могут использоваться в качестве активных материалов в транзисторах, обладая преимуществами, такими как высокая подвижность носителей заряда и низким энергопотреблением. Транзисторы на основе квантовых точек демонстрируют отличную производительность в плане скорости переключения и модуляции тока. Квантовые точки вызывают значительный интерес в биомедицинских исследованиях и применениях. Они могут служить флуоресцентными зондами для клеточного изображения и диагностики благодаря своей яркости и фотостабильности, используются в таких приложениях, как раковая диагностика, доставка лекарств и биосенсорика. Также могут использоваться в квантовой криптографии для создания безопасных методов передачи информации. Их уникальные квантовые свойства позволяют обнаруживать попытки подслушивания и обеспечивать безопасную передачу данных. Используются для создания высококачественных цветных дисплеев, обеспечивая широкий цветовой охват, высокую яркость и энергоэффективность, что делает их привлекательным вариантом для использования в мониторах, мобильных устройствах и телевизорах.

Квантовые точки представляют собой уникальные наноструктуры с особыми оптическими и электронными свойствами. Их синтез и применение открывают новые возможности в фотонике, электронике и медицине. Синтез квантовых точек продолжает развиваться, и исследования в этой области могут привести к новым открытиям и применениям. Квантовые точки представляют большой потенциал в будущих технологиях и устройствах, и дальнейшие исследования и разработки в этой области являются важным направлением для науки и промышленности. Важно отметить, что исследования в области квантовых точек продолжаются, и ученые постоянно исследуют новые методы синтеза, улучшают их свойства и открывают новые области применения.

Список использованных источников:

1. Литвинов. Л. М. *Квантовые точки: синтез, структура и свойства. Физика твердого тела. 2016. Том 58, выпуск 2, с. 199-217.*
2. Баранов А. С., Баранов А.В. и др. *Квантовые точки: от фундаментальных исследований к прикладным технологиям. Успехи физических наук. 2017. Том 187, выпуск 1, с. 1-26.*
3. Баранов А. В., Федоров. А. В. *Квантовые точки: свойства и применение. Материалы XXI научной конференции молодых ученых. 2018.*