ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ СО СВЕТОМ

Маньшина Александра Тарасовна
студент
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»

Аннотация: В статье рассматриваются основные механизмы взаимодействия полуповодниковых наноматериалов со светом, их особенности и перспективные направления применения. Особое внимание уделяется оптическим свойствам наноструктур, таким как поглощение, отражение, пропускание и люминесценция. Обсуждаются современные модели и методы исследования, а также перспективы использования полупроводниковых наноматериалов в фотонике, оптоэлектронике и медицине.

Ключевые слова: полупроводники, наноматериалы, поглощение света, люминесценция, оптические свойства полупроводниковых наноматериалов.

THE MAIN MECHANISMS OF INTERACTION OF SEMICONDUCTOR NANOMATERIALS WITH LIGHT

Manshina Alexandra Tarasovna

Abstract: The article discusses the main mechanisms of interaction of semiconductor nanomaterials with light, their features and promising areas of application. Special attention is paid to the optical properties of nanostructures, such as absorption, reflection, transmission and luminescence. Modern models and research methods are discussed, as well as prospects for the use of semiconductor nanomaterials in photonics, optoelectronics and medicine.

Key words: semiconductors, nanomaterials, light absorption, luminescence, optical properties of semiconductor nanomaterials.

Введение

Наноматериалы — это материалы, структура которых характеризуется размерами в нанометровом диапазоне. Их уникальные свойства обусловлены высоким соотношением поверхности к объему, квантовыми эффектами и особенностями электронных и фононных спектров. Взаимодействие полупроводниковых наноматериалов со светом является ключевым аспектом их применения в фотонике, сенсорике, медицине и других областях.

Основная часть

Взаимодействие полупроводниковых наноматериалов со светом включает процессы поглощения, отражения, пропускания и люминесценции (излучения света). Эти механизмы отличаются от взаимодействия объёмных материалов из-за квантового ограничения электронов в наноматериалах. Из-за небольшого размера частиц электроны не могут свободно двигаться, и оптические свойства возникают, когда происходит перенос электронов между энергиями орбиты проводимости и валентной орбиты.

Поглощение для полупроводниковых материалов делится на: собственное, экситонное и на свободных носителях. Собственное поглощение представляет собой переходы электронов из валентной зоны в зону проводимости под действием квантов света. Энергия квантов идёт на ионизацию атомов полупроводника с образованием пары носителей заряда. Переходы могут быть прямые или непрямые с участием фононов. Экситонное поглощение заключается в том, что энергия внешнего излучения расходуется не на создание свободных электронов и дырок, а на образование особых квазичастиц — экситонов, которые могут блуждать по кристаллу. При столкновении с примесными центрами экситон может либо распасться и образовать электрон и дырку, либо рекомбинировать и перевести атом в невозбуждённое состояние. Поглощение на свободных носителях заключается в том, что фотоны реагируют со свободными носителями заряда в разрешённых зонах, энергия фотонов расходуется на перевод носителей заряда на более высокие уровни. На рисунке 1 представлена спектральная зависимость коэффициента поглощения, а также отмечены пики, соответствующие процессам в наноразмерном полупроводнике [1, с. 6].

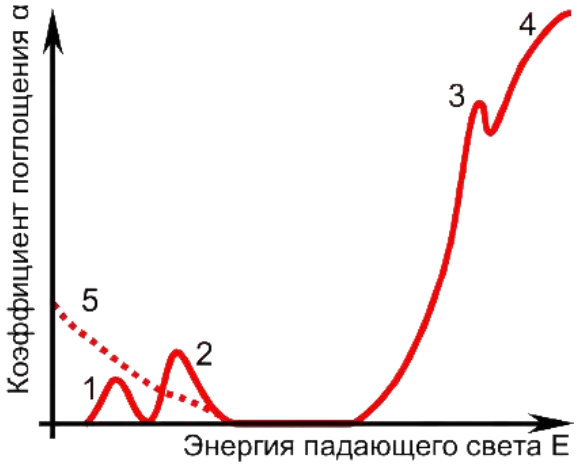


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения:
1 – поглощение на оптических колебаниях решетки;
2 – ионизация примесных атомов; 3 – экситонное поглощение;
4 – собственное поглощение; 5 – поглощение свободными носителями [1, с. 6]

Отражение от слоя квантовой ямы. На экситонном резонансе слой квантовой ямы перестаёт быть оптически тонким, поскольку светоэкситонное взаимодействие приводит к сильному изменению показателя преломления. В результате происходит существенное отражение от слоя квантовой ямы, которое даёт пик отражения в случае конструктивной интерференции с отражённым от поверхности образца светом, провал отражения в случае деструктивной интерференции и дисперсионный контур в промежуточном случае [2, с. 604]. Для описания отражения света от слоя квантовой ямы используют следующие методы: метод матриц переноса — позволяет описать распространение света в слоистых структурах и рассчитать спектр отражения, связав его с собственными модами системы, а также используют модель тонкой квантовой ямы с изолированным экситонным резонансом — в отсутствии взаимодействия между отдельными экситонами яма описывается как слой двухуровневых систем (осцилляторов).

Пропускание характеризуется в основном ослаблением интенсивности света и нелинейными оптическими эффектами. Ослабление интенсивности света — интенсивность света, проходящего через полупроводник, ослабляется за счёт поглощения. Интенсивность светового потока J при прохождении в теле

расстояния x уменьшается от исходного значения J экспоненциально в соответствии с законом Бугера – Ламберта – Бера [3, с. 434]:

$$J = J_0 exp(-\alpha x) \quad (1)$$

где α – коэффициент поглощения, определяющий вероятность поглощения фотона на единичной длине.

Нелинейные оптические эффекты в полупроводниковых квантово-размерных структурах (квантовых точках, квантовых стержнях и проволоках) это оптически вызванное возбуждение локализовано в пространственной области (нанометрового размера), что обуславливает проявление сильных нелинейных оптических свойств в поле мощного излучения.

Процесс люминесценции происходит за счет излучательной рекомбинации, те есть электронно-дырочные пары, которые не являются энергетически стабильными, релаксируют за счёт излучательной рекомбинации и испускания фотонов. Полупроводниковые наноматериалы поглощают и излучают свет с определёнными длинами волн, которые сильно зависят от размера и формы частиц из-за эффектов квантового ограничения. Изменяя размер и состав наноматериалов, длины волн их излучения можно настраивать интервал от ультрафиолета через видимую область до ближней инфракрасной области спектра [4, с. 18].

Оптические свойства полупроводниковых наноматериалов очень важны для их практического применения во многих областях. Например, к областям применения полупроводниковых наноматериалов относятся: фотоника и оптоэлектроника (фотодетекторы, фотосенсоры и солнечные элементы, лазеры и светодиоды), медицина и биотехнологии (биосенсоры и контрастные агенты) [5, с. 171], электроника и наноэлектроника [5, с. 179] (транзисторы и логические элементы, наноструктурированные схемы).

Заключение

Полупроводниковые наноматериалы находят применение во множестве областей благодаря своим уникальным оптическим, электронным и поверхностным свойствам. Их использование позволяет создавать более эффективные, миниатюрные и функциональные устройства во многих технологических сферах.

Список литературы

1. А. А. Позняк, В. А. Полубок, А. В. Стрелюхин Основы физики твёрдого тела / А. А. Позняк, В. А. Полубок, А. В. Стрелюхин — 1-е изд. — Минск: БГУИР, 2007 — 48 с.

2. Михайлов А. В. и др. Экситонная динамика в квантовой яме CdTe/ CdZnTe //Физика и техника полупроводников. 2023. Т. 57. – №. 7. – С. 603-610.

3. Деменова А. С., Епифанцев К. В. Исследование реализации закона Бугера-Ламберта-Бера в phet-simulators //Метрологическое обеспечение инновационных технологий. – 2021. – С. 433-434.

4. Гурьев Е. Л. и др. Фотолюминесцентные наноматериалы для медицинской биотехнологии //Acta Naturae (русскоязычная версия). – 2021. – Т. 13. – №. 2. – С. 16-31.

5. Колмаков А., Баринов С., Алымов М. Основы технологий и применение наноматериалов. – Litres, 2022.

© Маньшина А.Т.