

Исследование квантовых точек в режиме катодolumинесценции на примере CdZnS/ZnS (ГТ)

Маджма Худа Халид Хамид, Шешин Е. П.
Московский физико-технический институт,
Московская область, г. Долгопрудный, Российская Федерация

Ключевые слова: ультрафиолет, источники света, квантовые точки, катодolumинесценция, автоэмиссия

Введение

В последние десятилетия стремительно расширяется область применения ультрафиолетовых источников излучения. Наибольшее распространение получили ртутные лампы низкого и среднего давления. Однако в настоящее время усилились тенденции к исключению ртути не только из бытового, но и промышленного оборота. Этим вызвана необходимость развития не содержащих ртути УФ-источников. Такими являются катодolumинесцентные УФ-источники. Одним из возможных направлений создания УФ-катодolumинофоров является применение квантовых точек заданного спектра.

Катодolumинесцентный источник излучения представляет собой вакуумную лампу диодной или триодной схемы с электронной пушкой и экраном-анодом, на который нанесен катодolumинофор, светящийся под действием быстрых электронов (энергией 5–30 кэВ). Так как спектр излучения лампы зависит только от использованного люминофора, на основе тех же конструкций могут быть созданы УФ-лампы путём замены люминофора. Наиболее эффективными катодolumинесцентными источниками могут стать при использовании не термокатодов, требующих затрат энергии на их нагревание и обладающих сравнительно небольшим ресурсом, а автоэмиссионных катодов. Автоэмиссионная лампа принципиально может стать новым уникальным источником ультрафиолета. Теоретический потолок энергетической эффективности катодolumинофоров составляет 36–40% [1]. Достигнутый на практике – 25% (в синей области спектра, в более длинноволновой он меньше). Поэтому можно ожидать, что в УФ-области достижимы величины ~30%.

Квантовые точки – основная информация

Одним из возможных направлений создания УФ-катодolumинофоров с заданным спектром является применение квантовых точек (КТ). Спектр КТ – полупроводниковых нанокристаллов – зависит от размеров нанокристалла, причём спектр отдельно взятого нанокристалла представляет собой единственную очень узкую линию [2]. Таким образом, принципиально возможно создание люминофора, излучающего одну спектральную линию шириной 1–2 нм. Проверено экспериментально (для КТ в диапазоне излучения 470–680 нм), что многооболочечные КТ могут служить и катодolumинофорами, эффективно возбуждаясь электронами и демонстрируя яркость свечения, сопоставимую с классическими катодolumинофорами той же спектральной области [3], то есть КПД их ~10–20% даже при квантовом выходе, далёком от 100%.

Основными требованиями, предъявляемыми к полупроводниковым материалам, на основе которых синтезируются квантовые точки следующие:

1. Прямозонный характер зонного спектра – обеспечивает эффективную люминесценцию,
2. Малая эффективная масса носителей заряда - проявление квантово-размерных эффектов в достаточно широком диапазоне размеров (конечно по меркам нанокристаллов).

Кроме состава и размера серьезное влияние на свойства квантовых точек будет оказывать их форма:

- *Сферические* - большая часть квантовых точек. На настоящий момент имеют наибольшее практической применение. Наиболее просты в изготовлении.
- *Эллипсоидальные* - нанокристаллы, вытянутые вдоль одного направления.

• *Нанокристаллы со сложной геометрией.* Может быть синтезировано достаточно разнообразие форм - кубические, звездочки и др., а также разветвленных структур

Особый интерес представляют фотolumинесцирующие квантовые точки, в которых поглощение фотона рождает электрон-дырочные пары, а рекомбинация электронов и дырок вызывает флуоресценцию. Такие квантовые точки обладают узким и симметричным пиком флуоресценции, положение которого определяется их размером. Так, в зависимости от размера и состава, КТ могут иметь флуоресценцию в УФ, видимой или ИК- области спектра.

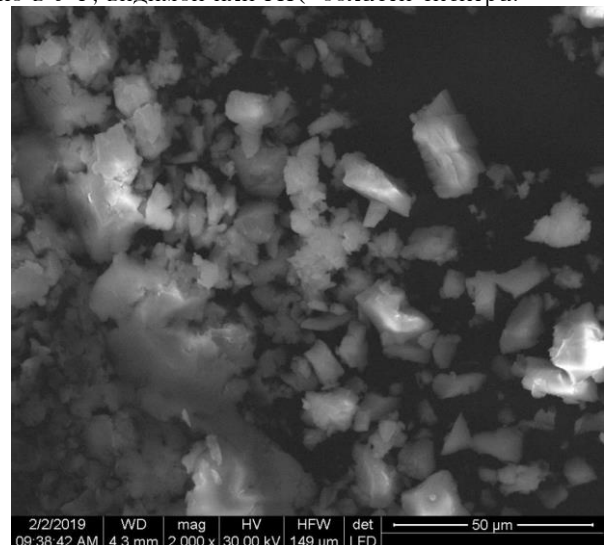


Рис.1 РЭМ-изображение образцов нанесённых квантовых точек.

Ввиду вышеперечисленных причин, было принято решение исследовать КТ CdZnS/ZnS (ГТ), излу-

чающий на длине волны 390нм, в качестве катодолюминофора.

Постановка эксперимента

Были приобретены образцы квантовых точек CdZnS/ZnS (ГТ) [4] в коллоидном растворе толуола, которые были нанесены на стекло с проводящей плёнкой ITO методом осаждения, после чего была произведена сушка образца при температуре 80°C на протяжении 4 часов. Один из образцов был отдан на РЭМ-исследование с целью оценки однородности нанесения (Рис. 1).

Далее образец был смонтирован на вакуумный фланец и помещён в вакуумную камеру (Рис. 2), где при давлении остаточных газов $\sim 10^{-6}$ Торр проводились исследования. При напряжении в 6.7 кВ была зарегистрирована активация КТ под действием автоэмиссионного тока. Анодный ток при этом составил порядка 1 мкА. Излучение оказалось достаточно слабым для регистрации имеющимся в наличии спектрометром, но было хорошо наблюдаемо при переотражении от стенок вакуумной камеры. Данный эксперимент производился на протяжении 15 минут, после чего произошло резкое падение интенсивности излучения, наблюдаемого через переотражение от стенок камеры, причём при отключении источника тока и его последующем включении активация квантовых точек не была замечена, не смотря на наличие анодного тока. При повторе данного эксперимента с аналогичным образцом эффект повторился. Вышеперечисленные обстоятельства могут являться формальным критерием деградации квантовых точек.

Для аналогичного образца была попытка повышения анодного тока до 100 мкА. Это было достигнуто повышением напряжения до 15 кВ. Таким образом была повышена не только интенсивность пучка электронов, но и энергия электронов, но интенсивность излучения осталась низкой и качественного изменения характеристик образца по излучению не было обнаружено, что может говорить о недостаточной концентрации квантовых точек на образце и насыщении имеющихся ещё на достаточно малых токах.

Таким образом, исследуемые образцы квантовых точек на основе CdZnS/ZnS (ГТ) показывают малое время жизни и низкую интенсивность излучения,

Литература:

1. Левшин В.Л. и др. Исследование катодолюминесценции цинксульфидных и некоторых других люминофоров // Труды Физического института им. П.Н. Лебедева. 1963. Вып. 23. С. 64–135.
2. Klimov V.I., ed. Nanocrystal Quantum Dots (2nd Ed.). // CRC Press, 2010
3. Ozol D.I. Preliminary study of cathode ray tube phosphors on the basis of nanocrystal quantum dots // 29th International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC), 2016, Vancouver, BC, 2016, pp. 1-2.
4. Дежуров С. В. и др. СИНТЕЗ ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫХ КОЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК CdTeSe/CdS/CdZnS/ZnS, ФЛУОРЕСЦИРУЮЩИХ В БЛИК-ДИАПАЗОНЕ 650-750 НМ // Российские нанотехнологии. 2016г, номер 5-6 стр. 69-74

всвязи с чем их дальнейшее исследование не является целесообразным.



Рис.2 Образец перед установкой в вакуумную камеру

Вывод

Несмотря на очевидную перспективность квантовых точек как катодолюминофоров, полученные в результате исследования данные показывают, что использование данного образца квантовых точек нецелесообразно ввиду крайне низкой интенсивности излучения и малого времени жизни точек. Мы предполагаем, что малое время жизни вызвано малым количеством оболочек квантовых точек, а низкая интенсивность излучения вызвана малой концентрацией квантовых точек в растворе, ввиду чего при нанесении количество точек на образце оказалось недостаточным, что и вызвало низкую интенсивность свечения.