

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКОЛ С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ PbS, КАК ПРОСВЕТЛЯЮЩИХСЯ СРЕД ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ

Рачковская Г.Е.¹, Маляревич А.М.², Захаревич Г.Б.¹, Юмашев К.В.², Гапоненко М.С.²

¹ Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь

² Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

Стекла, содержащие квантовые точки полупроводникового соединения сульфида свинца (PbS), представляют собой наноразмерные структуры, которым присущ эффект размерного квантования движения носителей заряда. Интерес, проявляемый в последнее время к наноструктурированным стеклообразным материалам, связан как с их уникальными оптическими свойствами, так и с возможностью создания на их основе элементов для оптоэлектроники и нелинейной оптики. Полупроводниковые кристаллы с размерами нанометрового диапазона (квантовые точки, КТ) проявляют особые оптические свойства, отличающиеся от свойств объемных полупроводников. Изменение оптических свойств наноструктурированных материалов с уменьшением размеров нанокристаллов до боровского радиуса экситона является следствием квантово-размерных эффектов. Возможность формирования КТ PbS в стеклянных матрицах различного химического состава открывает перспективы их широкого использования в качестве просветляющих сред – насыщающихся поглотителей – для реализации режимов синхронизации мод и модуляции добротности целого ряда твердотельных лазеров ближнего инфракрасного диапазона. Другое применение стекол с КТ PbS связано с их люминесцентными свойствами, благодаря которым они могут использоваться как люминесцентные метки в биомедицинской диагностике.

Настоящая работа посвящена изучению функциональных свойств, а именно, спектров оптического поглощения и люминесценции, кинетики релаксации просветления и люминесценции КТ PbS, синтезированных в боросиликатной стеклянной матрице.

Формирование КТ PbS размером от 3.4 до 8.2 нм с распределением по размерам, близким к монодисперсному, достигается в результате одноступенчатого режима термической обработки стекла, что подтверждено результатами рентгеновского малоуглового рассеяния и рентгенофазового анализа. Установлена кинетическая зависимость роста КТ PbS от продолжительности термообработки, что позволило направленно изменять средний размер квантовых точек и управлять спектрально-оптическими характеристиками стекла, используя эффект размерного квантования.

Спектры оптического поглощения в диапазоне длин волн 0.5–2.25 мкм стекол, термообработанных при различной длительности прогревания, четко отражают квантово-размерный эффект. В спектрах поглощения по мере роста КТ PbS отмечено смещение первого экситонного пика поглощения в длинноволновую область от 0.8 до 1.86 мкм.

Насыщение (уменьшение) поглощения в спектральной области, соответствующей низшему по энергии оптическому переходу в системе уровней энергии размерного квантования, при интенсивном световом воздействии используется в пассивных затворах (насыщающихся поглотителях) лазеров для генерации импульсов короткой и сверхкороткой длительности. Управляя размерами КТ PbS, можно смещать пик полосы поглощения, соответствующий первому экситонному резонансу, в широком спектральном диапазоне, тем самым, смещая рабочую длину волны пассивного затвора лазера, используя для этой цели одно и то же стекло с PbS, но подвергнутое разной термической обработке. Пассивный затвор, выполненный из такого стекла, при малой интенсивности падающего светового излучения имеет высокий коэффициент поглощения, т.е. затвор закрыт. При сильном резонансном возбуждении, когда интенсивность света сильно возрастает, коэффициент поглощения значительно снижается и наступает эффект

просветления – затвор открыт и пропускает лазерный луч. Исследована кинетика релаксации просветления КТ PbS в области основной полосы поглощения 1.08 мкм. Размер КТ PbS в стеклянной матрице опытного образца составляет 4.0 нм. Результаты исследования показали, что релаксация (затухание) просветления носит двухэкспоненциальный характер и характеризуется быстрой и медленной компонентами с временами релаксации просветления 23 пс и 0.5 нс, соответственно. Отношение амплитуд быстрой и медленной компонент релаксации равно 14. Следовательно, преимущественным процессом релаксации просветления в КТ PbS данного размера является прямая рекомбинация электронно-дырочной пары. Чем быстрее проходит процесс релаксации просветления в пассивном затворе, тем более короткие импульсы излучения можно получить в лазере.

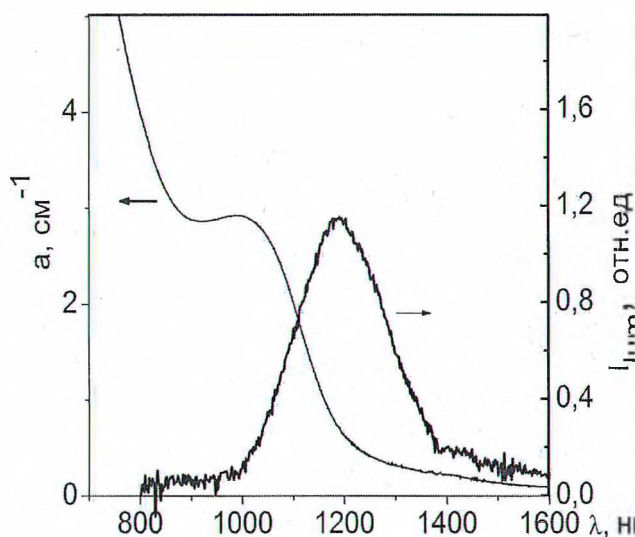


Рис. Спектры поглощения и люминесценции КТ PbS в боросиликатном стекле

На рисунке представлены спектры поглощения и люминесценции КТ PbS. Возбуждение в область основной полосы поглощения вызывает люминесценцию с максимумом при 1200 нм, смещенным в длинноволновую область относительно основной полосы поглощения на 210 мэВ. Спектрально-люминесцентные характеристики КТ PbS в боросиликатном стекле в сравнении с силикатным и фосфатным стеклами представлены в таблице. Ширина полосы люминесценции КТ PbS ΔE_{lum} (по полувысоте) достаточно велика и составляет 180 мэВ. Уменьшение ширины полосы люминесценции с ростом размера КТ PbS и заметный стоксов сдвиг этой полосы позволяет отнести ее к свечению носителей заряда, релаксирующих из ловушечных состояний.

Таблица. Спектрально-люминесцентные характеристики КТ PbS

Стекло	D, нм	$h\nu_1$, эВ	$h\nu_{lum}$, эВ	ΔE_{lum} , мэВ	$\tau_{1/e}$, мкс
боросиликатное	4.0	1.24	1.03	180	1.6
силикатное	4.3	1.14	1.03	155	3.0
фосфатное	4.3	1.13	0.98	170	1.4

Кинетика затухания люминесценции КТ PbS является немоноэкспоненциальной. Время ослабления сигнала люминесценции составляет 1.6 мкс, что заметно больше времени релаксации просветления, регистрируемого в нелинейно-оптических экспериментах. Это можно объяснить разницей величин диэлектрических проницаемостей PbS и стекла, что вызывает увеличение регистрируемого времени затухания люминесценции.

Разработанное боросиликатное стекло с КТ PbS рекомендовано в качестве пассивных затворов для генерации коротких и сверхкоротких импульсов на длинах волн 0.8 – 1.86 мкм в твердотельных лазерах, применяемых в медицине, волоконно-оптических линиях связи и для дистанционного зондирования атмосферы.