

УДК 535.343.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ НАНОКРИСТАЛЛОВ ПЕРОВСКИТОВ CsPbX₃ (X = Br, I) В БОРОГЕРМАНАТНОМ СТЕКЛЕ

Павлюк А.С. (Университет ИТМО), **Бабкина А.Н.** (Университет ИТМО)
Научный руководитель – к. ф.-м. н. Бабкина А.Н.
(Университет ИТМО)

Работа направлена на выявление фазовых превращений нанокристаллов CsPbX₃ (X = Br, I) в борогерманатной матрице при помощи циклической регистрации спектров оптической плотности и спектров люминесценции в видимом диапазоне при различных температурах. Построены температурные зависимости поглощения на длине волны первого экситонного максимума при нагреве и охлаждении образцов с различной температурой термообработки. Определены предполагаемые температуры фазовых переходов нанокристаллов перовскитов CsPbX₃ (X = Br, I) в борогерманатном стекле.

Введение. Перовскиты обладают многообещающими характеристиками: высоким квантовым выходом, а также возможностью варьировать спектр люминесценции во всем видимом диапазоне. Благодаря данным свойствам они являются перспективными материалами оптоэлектроники, однако требуют стабилизации. На данный момент активно развиваются методы, предотвращающие деградацию перовскитов вследствие влажности и контакта с атмосферным кислородом. Один из вариантов – получение нанокристаллов перовскитов в стекле. Аморфная диэлектрическая матрица предотвращает контакт нанокристаллов с атмосферой и защищает их от влияния влаги, предупреждая деградацию. Однако помимо изменения структуры перовскитов вследствие химических реакций, необходимо предотвратить изменение их спектральных свойств вследствие претерпевания структурных изменений в условиях перепада температур.

На данный момент полноценные исследования температурной стабильности перовскитов проведены лишь для объемных кристаллов, преимущественно методом рентгеновской дифракции. Стоит отметить, что данный метод не позволяет изучить стабильность нанокристаллов, выделенных в стеклянной матрице.

При изучении температурной стабильности нанокристаллов и квантовых точек, полученных в стеклянной матрице, исследователи пользуются результатами циклических измерений интенсивности люминесценции, получаемых после изменения температуры. При этом исследователи останавливаются на предположении, что фазовые превращения нанокристаллов могут происходить лишь вблизи температуры стеклования, не представляя доказательства этого тезиса.

Основная часть. В данной работе структурные превращения нанокристаллов перовскитов исследуются в диапазоне от комнатной температуры до температуры размягчения стеклянной матрицы при помощи оптико-термического метода. Данный метод включает в себя оптическую спектроскопию поглощения видимого диапазона с использованием оптической термоячейки.

Объектом исследования являются нанокристаллы перовскитов CsPbX₃ (X = Br, I), выделенные в матрице борогерманатного стекла методом объемной кристаллизации. Матрица представляет собой систему состава ZnO-Na₂O-B₂O₃-GeO₂. Полученные образцы прошли изотермическую обработку при различных температурах в течение 3 часов.

Лабораторная установка представляет собой термоячейку с установленной внутри термопарой и волоконного спектрометра Avantes. Источник широкого спектра и приемник излучения расположены снаружи термоячейки, которая имеет два кварцевых окна для обеспечения прохождения излучения. Скорость нагрева оптической термоячейки контролируется при помощи изменения подаваемой силы тока.

Образец, помещенный в оптическую термоячейку, нагревается со скоростью 2,5°C в минуту; каждые 2-3 градуса фиксируется спектр оптической плотности. После определения температуры плавления нанокристаллов прекращается подача тока на термоячейку, образец самопроизвольно охлаждается, что также сопровождается регистрацией спектров оптической плотности.

Серия спектров оптической плотности, получаемая в ходе таких измерений, позволяет построить зависимость интенсивности поглощения от температуры на длине волны первого экситонного максимума нанокристаллов CsPbX₃ (X = Br, I) для случаев нагрева и последующего охлаждения образцов. По особенностям на построенных кривых нагрева и охлаждения были определены температурные диапазоны предполагаемых фазовых переходов, а также температуры плавления и кристаллизации нанокристаллов. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о зависимости температур структурных превращений от температуры изотермической обработки образцов.

Для образцов с нанокристаллами CsPbBr₃ измерены также спектры люминесценции в ходе нагрева. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что режим термообработки влияет на направление и величину спектрального сдвига максимума люминесценции нанокристаллов перовскитов, выделенных в стеклянной матрице.

Выводы. Результаты исследования свидетельствуют о том, что влияния стеклянной матрицы недостаточно для предотвращения фазовых переходов нанокристаллов перовскитов. Тем не менее полученные данные позволяют определить температурный диапазон, при котором нанокристаллы обладают стабильными спектральными свойствами. Исследование поможет также определить оптимальный режим термообработки борогерманатного стекла, при котором выделенные нанокристаллы характеризуются наименьшим изменением спектрального положения максимума люминесценции. Данная информация необходима для создания эффективных солнечных даун-конвертеров и источников излучения (светодиодов и лазеров), способных работать в экстремальных условиях, включая резкие перепады температур, а также для определения температурного диапазона, в котором указанные приборы сохраняют свои характеристики.

Синтез образцов выполнен при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых № МК-4235.2021.1.3. Температурные исследования выполнены при финансовой поддержке гранта НИРМА ФТ МФ Университета ИТМО.

Павлюк А.С. (автор)

Подпись

Бабкина А.Н. (научный руководитель)

Подпись