

УДК 535.36, 535.37

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СУБВОЛНОВЫХ ПЕРОВСКИТНЫХ РЕЗОНАТОРОВ НА ПОДЛОЖКЕ МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК

Хмелевская Д. (Университет ИТМО), Утюшев А.Д. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – канд. хим. наук Пушкарев А.П.

(Университет ИТМО)

В работе исследуются резонансные свойства перовскитных нанокубов CsPbBr_3 на подложке $\text{Si/Ag/Al}_2\text{O}_3$. Предлагается комплексный подход первичной характеристики и обнаружения наноразмерных резонаторов, направленный на создание миниатюрных лазеров, излучающих в видимом спектральном диапазоне.

Введение. Одним из ключевых направлений развития современной фотоники является миниатюризация интегральных нанопотонных схем, что требует создания новых наноразмерных источников когерентного видимого излучения. В качестве таких источников могут выступать перовскитные нанорезонаторы. Перовскиты семейства CsPbX_3 ($X = \text{I}, \text{Br}$ или Cl) относятся к классу диэлектрических материалов с экситонным откликом при комнатной температуре, химически перестраиваемой шириной запрещенной зоны, высокой стабильностью, низким уровнем дефектов и высоким квантовым выходом фотолюминесценции. Основные трудности в направлении миниатюризации фотонных лазеров связаны с дифракционным пределом, который определяет минимально возможный размер нанолазера. В настоящее время популярность набирает создание гибридных устройств на основе перовскитных и плазмонных материалов. Так, использование металлической пленки может повысить добротность дипольной моды перовскитного резонатора за счет формирования диполя-изображения, а покрытие тонким слоем диэлектрика предотвратит безызлучательные потери в подложку. Однако оптические свойства нанокубов на таких подложках остаются мало изученными до настоящего времени. Одной из возможных причин является отсутствие методов, позволяющих с достаточной точностью измерять размеры резонаторов без воздействия на их оптические свойства. Так, использование претензионных методов электронной микроскопии, основанной на облучении частиц электронами, приводит к росту количества дефектных состояний в кристаллической решетке и деградации материала. В результате эффективность фотолюминесценции падает, а порог лазерной генерации существенно увеличивается и в большинстве случаев лазерная генерация пропадает полностью. Решением данной проблемы представляется разработка численной модели, решающей обратную задачу рассеяния.

Основная часть. В данной работе исследуются резонансные свойства перовскитных нанокубов на подложке $\text{Si/Ag/Al}_2\text{O}_3$ методом темнопольной микроскопии. Металл-диэлектрические подложки $\text{Si/Ag}(50\text{нм})/\text{Al}_2\text{O}_3(6\text{нм})$ были получены методами терморезистивного напыления металла в вакууме и послойного атомного осаждения. Перовскитные нанокубы были получены методом “hot injection” согласно модифицированному Исполнителем протоколу получения нанокристаллов CsPbBr_3 и нанесены на металл-диэлектрическую подложку методом “drop casting”. Для решения обратной задачи рассеяния была измерена обширная база спектров рассеяния и получены изображения сканирующей электронной микроскопии соответствующих одиночных нанокубов различных форм и размеров. Численные спектры рассеяния были получены с использованием программного пакета SMUTHI. Полученные результаты позволили установить корреляцию между Ми-резонансами и геометрическими параметрами перовскитных нанокубов на подложке $\text{Si/Ag/Al}_2\text{O}_3$. Кроме того, был проведен численный анализ высокодобротных мод перовскитных нанорезонаторов разных размеров и исследованы зависимости их фактора добротности от размера и формы нанокубов. Ключевым результатом работы является разработанная методика предварительной оценки геометрических размеров

нанокубов методом темнопольной микроскопии, не ухудшающей их оптические свойства. Использование данной методики позволило наблюдать лазерную генерацию в перовскитных нанокубах с малым физическим объемом при комнатной температуре, в том числе в объеме 0.047 мкм^3 .

Выводы. В настоящей работе сравниваются спектры рассеяния нанокубов CsPbBr_3 в зависимости от их формы и размеров, а также приводится сопоставление численным расчетам. Разработанная методика позволяет проводить первичную характеристику размеров нанолазеров по измеренным оптическим свойствам, не оказывая негативного воздействия на кристаллическую структуру объекта исследования. Использование метода темнопольной микроскопии позволило обнаружить нанорезонатор с необходимым физическим объемом (0.047 мкм^3) и пронаблюдать лазерную генерацию в нем. Полученные результаты актуальны для создания новых наноразмерных источников видимого излучения, применяемых в интегрированной нанофотонике, оптической связи и квантовых информационных технологиях.

Хмелевская Д. (автор)

Подпись

Пушкарев А.П. (научный руководитель)

Подпись