

УДК 535.015

ВЫСОКОДОБОТНЫЕ РЕЗОНАТОРЫ НА ОСНОВЕ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ С ДВУМЕРНЫМИ ПОЛУПРОВОДНИКАМИ

Тюгаев М.Д. (Национальный исследовательский университет ИТМО)

Научный руководитель – PhD, в.н.с. Кравцов В.А.
(Национальный исследовательский университет ИТМО)

В настоящее время стоит острая необходимость в создании миниатюрных активных оптических элементов с высокими показателями нелинейности, которые можно интегрировать на чип. Для решения этой задачи был спроектирован нанофотонный резонатор на основе фотонно-кристаллического волновода с высоким показателем добротности и небольшим модовым объемом. Интеграция монослоя двумерного полупроводника с подобным нанорезонатором позволит добиться высоких значений нелинейности в материале полупроводника и в перспективе создать энергоэффективные активные оптические элементы на чипе.

Введение. Одним из наиболее перспективных способов достижения эффективного фотон-фотонного взаимодействия при малых интенсивностях возбуждения является использование сильного фотон-экситонного взаимодействия в полупроводниках, где могут образовываться новые составные квазичастицы – экситон-поляритоны. Мезоскопические системы на основе дихалькогенидов переходных металлов (ДПМ) в этом отношении являются перспективной платформой, так как ДПМ, с одной стороны, характеризуются сильными нелинейно-оптическими свойствами, а с другой — допускают образование поляритонов при комнатной температуре и могут быть интегрированы на чип. Однако, несмотря на высокие нелинейные восприимчивости в этих материалах, объем взаимодействия ограничен их толщиной в один атомный слой. Усиления нелинейно оптических свойств возможно за счет использования высокодобротные резонаторов, таких как пары брэгговских зеркал. Однако, такие резонаторы обладают большим модовым объемом, и их трудно в дальнейшем интегрировать в оптический чип. В данной работе мы используем в качестве нанорезонаторов для связи с двумерными материалами планарные фотонно-кристаллические структуры.

Основная часть. Для достижения сильной связи моды оптического резонатора с экситонной модой двумерного ДПМ и, соответственно, высоких показателей оптических нелинейностей, был спроектирован нанофотонный резонатор на основе фотонно-кристаллического волновода. Фотонно-кристаллический волновод выполнен из нитрида кремния на подложке из диоксида кремния с периодически вытравленными отверстиями. Первый этап работы заключается в моделировании нанофотонного резонатора на основе фотонно-кристаллического волновода и оптимизации добротности резонатора путем варьирования таких параметров как ширина волновода, радиус и периодичность отверстий, а также длина дефектного слоя с отверстиями, радиусы которых уменьшаются линейно. В результате численного моделирования в программном пакете CST Studio Suite были определены оптимальные параметры волновода, а именно: ширина волновода 800 нм, период отверстий 260 нм с радиусом 68 нм, длина дефектного слоя 3200 нм. Нанофотонный резонатор с такими параметрами обладает добротностью $Q = 30\ 000$ в отсутствие подложки. В присутствии подложки добротность нанорезонатора составляет $Q = 1000$, однако такая геометрия представляет более практическую реализацию для проведения экспериментального исследования. Второй этап работы заключается в изготовлении фотонно-кристаллических волнопроводов с оптимизированными параметрами. Изготовление производится с помощью электронной литографии и травления ионным пучком, после чего на изготовленные структуры переносится монослой двумерного полупроводника. В данный момент производится обработка процессов изготовления и характеристика тестовых образцов гибридных структур.

В дальнейшем изготовленные образцы будут использоваться для проведения нелинейно-оптических измерений при температуре от 6 до 300 К.

Выводы. В работе были исследованы свойства нанофотонных резонаторов на основе фотонно-кристаллических структур для интеграции с монослоями двумерных материалов. Предложенная система, состоящая из двумерного материала ДПМ, интегрированного в нанофотонный резонатор, может быть перспективной для создания энергоэффективных и сверхбыстрых активных оптических элементов для использования как в классических, так и в квантовых вычислениях.

Тюгаев М.Д. (автор)

Подпись

Кравцов В.А. (научный руководитель)

Подпись