

УДК 3937.53

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ЭКСИТОН-ПОЛЯРИТОНОВ В МОНОСЛОЙНОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕ В ОПТИЧЕСКИ СВЯЗАННОМ СОСТОЯНИИ КОНТИНУУМА.

Иванова Т. В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к. ф.-м. н. Хестанова Е.А.
(Университет ИТМО)

Доклад посвящён исследованию нелинейно-оптических эффектов в композитном состоянии вещества и света, называемом экситон-поляритон. В перспективе исследования открывается решение множества задач: создание масштабируемых микроскопических устройств с низким порогом нелинейно-оптического отклика, интегрируемых на плате, служащей базой для создания оптических переключателей, транзисторов и других элементов для следующего поколения компьютеров.

Введение. На сегодняшний день одним из самых перспективных направлений в физике является создание устройств, обрабатывающих и передающих данные при помощи света, что делает компьютеры и другие цифровые приборы более эффективными за счет больших скоростей передачи светового сигнала. Световые волны в оптоволоконных соединениях могут переносить информацию на большие расстояния при высокой скорости с меньшими потерями передачи данных, чем электрические провода. Кроме того, оптические соединения отличаются меньшим энергопотреблением, и при быстрой работе практически не нагреваются, чего нельзя сказать про электронные соединения. Однако, внедрение высокоскоростной низкоэнергетической оптической логики в полностью оптических интегральных схемах представляет собой большую проблему для будущей обработки информации.

Материальной базой для таких устройств являются нелинейные оптические среды и кристаллы, обладающие различного рода нелинейными свойствами, такими как генерация второй гармоники, эффект Керра и другие. Величина нелинейного отклика зависит от амплитуды возбуждающего излучения и времени взаимодействия света с веществом, поэтому часто нелинейные оптические элементы изготавливаются из макроскопических кристаллов для увеличения оптического пути падающего света и повышения стойкости к лазерному излучению. Это тем не менее является проблемой для интеграции таких устройств в миниатюризированные чипы и транзисторы.

Помимо кристаллов, которые обладают нелинейностью, можно получать квазичастицы экситон-поляритоны, которые демонстрируют сильный нелинейный отклик. Одной из систем для разработки полностью оптических переключателей, является резонатор типа Фабри-Перо, где полупроводник, демонстрирующий экситонный резонанс, помещается между двумя зеркалами перпендикулярно волновому вектору возбуждающей световой волны. Недостатком данного метода является проблема интегрирования в устройства ввиду трехмерности и крупных габаритов.

Другой подход, который обеспечивает плоскую геометрию структуры — это замена резонатора Фабри-Перо на планарный резонатор, в котором оптическая мода распространяется параллельно экситонному материалу, и, взаимодействуя с ним образует экситон-поляритон.

Основная часть. Платформой для исследований служит методика создания нелинейных устройств на основе экситон-поляритонов, где экситоны создаются в атомарно тонких слоях дихалькогенидов переходных металлов (ДПМ, например, MoSe_2), а оптическая часть представлена фотонной модой, которая распространяется в волноводе. Структура создается на основе высокоиндексного волновода с решеткой из Ta_2O_5 с индексом преломления 2.16.

Данное решение обусловлено продольным распространением моды вдоль волновода и возможностью интеграции в микросхемы. На волноводе создается периодическая структура – фотонный кристалл, поддерживающий оптические моды определенной дисперсии и высокой добротности, - так называемые, связанные состояния в континууме.

Для создания гибридных структур используется методика механической эксфолиации объемного кристалла и последующий сбор слоев на установке для переноса, разработанной в научном центре Метаматериалов. Инкапсулированные гетероструктуры с использованием крупных монослоев создаются с целью защиты ДПМ от нежелательного допирования, уменьшения экситонного уширения и, как следствие, наблюдения экситонных линии шириной, близкой к величине чисто однородного уширения.

Экситоны в ДПМ, связываясь с высокодобротными модами фотонного кристалла, образуют долгоживущие экситон-поляритоны, наблюдаемые в виде антипересечения фотонной моды и экситона в зависимости спектра фотолюминисценции и отражения от угла. Антипересечение характеризуется сильным экситон-фотонным взаимодействием, которое приводит к расщеплению уровней экситона и фотона на два поляритонных состояния, получившие названия верхняя и нижняя поляритонные ветки. Величина взаимодействия в условиях точного резонанса экситонного уровня и фотонной моды получила название Раби-расщепление, и в нашем случае составила 27 мэВ.

В связи с тем, что были выбраны связанные состояния в континууме, наблюдается очень высокая добротностью дисперсии поляритонов и маленькие ширины поляритонных линий. При измерении отклика поляритона в отражении в зависимости от энергии накачки наблюдается большой нелинейный отклик из-за высокого времени взаимодействия со светом.

Выводы. Таким образом, плоская геометрия и контроль экситон-поляритонных взаимодействий, а также возникающих нелинейно-оптических эффектов, прокладывает путь к интегрируемым перестраиваемым добротным поляритонным устройствам. Исследования в области экситон-поляритонов открывают новые возможности создания высокочувствительных нелинейно-оптических переключателей, у которых, помимо отклика величины прикладываемой интенсивности, существует дополнительная степень свободы в виде угла падения света.

Можно с уверенностью сказать, что в недалеком будущем на основе экситон-поляритонов будут созданы материальные платформы для нового поколения оптических устройств.