

Детектирование киральных молекул является активно развивающимся направлением нанофотоники и биологии. Одним из основных способов детектирования является измерение разницы в пропускании лево- и право- циркулярно поляризованных волн киральными образцами, однако значения такого сигнала являются крайне малыми. В работе показано, как использование связанных состояний континуума (ССК) фотонной периодической структуры может значительно усилить дифференциальное пропускание.

Введение. Киральностью обладают молекулы живых организмов, химические вещества и лекарства, что делает их обнаружение и анализ чрезвычайно важной задачей биологии, химии, фармакологии и т.д. Одним из наиболее распространенных способов детектирования правых и левых киральных молекул (энантиомеров) является измерение циркулярного дихроизма (ЦД), представляющего собой разницу в пропускании лево- и право- циркулярно поляризованных электромагнитных волн энантиомерами. В этом случае сигнал ЦД на несколько порядков уступает величине пропускания волны каждой поляризации по отдельности, поэтому исследования в этом направлении нацелены на усиление чувствительности детекторов к киральным образцам. В представленной работе предлагается новый подход к детектированию энантиомеров, проводимому с помощью фотонных наноструктур, поддерживающих ССК.

Основная часть. ЦД определяется как арктангенс отношения разницы в пропускании лево- и право- циркулярно поляризованных волн к их сумме. С учетом того, что речь идет о малых порядках разницы, удобнее пользоваться абсолютной разницей в пропускании - дифференциальным пропусканием (ДП). Для исследования эффекта усиления ДП мы использовали метаповерхность с гексагональной фотонно-кристаллической решеткой нитрида кремния Si_3N_4 на подложке из диоксида кремния SiO_2 . Толщина метаповерхности составляет $h = 250$ нм. Период решетки фотонного кристалла $a = 570$ нм, а радиус воздушной поры в ячейке решетки равен $r = 148$ нм.

Описанная структура поддерживает ССК в желаемом диапазоне длин волн 600-700 нм. Одной из отличительных черт ССК является их высокая добротность, связанная с шириной резонанса и определяющая усиление падающего поля. Идеальные ССК обладают бесконечной добротностью, однако их невозможно возбудить внешним полем из-за отсутствия радиационных потерь. Одним из решений является введение деформаций в систему для разрушения ССК до квази-ССК и высокодобротных излучающих мод, что позволит найти баланс между эффективностью возбуждения моды и ее добротностью. Для этого мы растягивали воздушное отверстие внутри ячейки, понижая симметрию исходной структуры с C_{6v} до C_{2v} , тем самым увеличивая радиационные потери метаповерхности. При такой деформации изначально круглое отверстие становится эллиптическим, и для характеристики степени растяжения мы используем эксцентриситет - отношение фокуса эллипса к его большой полуоси.

Анализ зависимости добротности структуры от величины растяжения отверстия ячейки позволил найти режим оптимальной (критической) связи, при котором радиационные потери системы равны материальным потерям. В таком режиме структура поглощает практически все падающее излучение, и мы можем ожидать значительное усиление ДП.

Для расчета ДП был рассмотрен киральный раствор в параметром Пастера равным $\kappa = 5 \cdot 10^{-3}$. Были проведены расчеты ДП для значений эксцентриситетов в окрестности значения, соответствующего режиму оптимальной связи. Был обнаружен максимум ДП равный $2.3 \cdot 10^{-2}$, что на два порядка выше полученных ранее результатов.

Выводы. В работе было показано, что использование высокодобротных мод, полученных из ССК путем деформации гексагональной кристаллической решетки, позволяет значительно усилить ДП кирального раствора. Описанный подход может быть применен в других частот падающего излучения путем масштабирования структуры, что позволит разработать новые классы биосенсоров для желаемых диапазонов длин волн (видимый, инфракрасный и т.д.).

Шакирова Д.Т. (автор)

Подпись

Богданов А.А. (научный руководитель)

Подпись