Режимы оптической связи при трансформации одиночной частицы типа «ядро в оболочке» в две разные частицыДмитриев А.А.¹, Рыбин М.В.^{1,2}¹ Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49² ФТИ им. Иоффе, 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

DOI 10.34077/Semicond2019-405

Многие эффекты в фотонных структурах обусловлены резонансами [1]. Принято различать два класса структур: структуры с локальными резонансами, возбуждающимися внутри одного структурного элемента, например, частицы типа ядро в оболочке, и структуры, в которых резонансы поддерживаются комплексом из нескольких частиц. Примером таких комплексов являются фотонные олигомеры, в которых собственные моды отдельных резонансных частиц гибридизуются и обобществляются всеми частицами. Отметим, что принадлежность структуры к первому или второму типу определяется режимом оптической связи между её составными элементами. При этом для различных приложений структуры каждого типа имеют как свои преимущества, так и недостатки. Поэтому важно определить условия возникновения режимов оптической связи в различных фотонных структурах.

В данной работе мы исследуем режимы оптической связи в простейшей системе, состоящей из двух бесконечных диэлектрических цилиндров разного диаметра. Значения диэлектрической проницаемости цилиндров выбраны таким образом, чтобы их частоты дипольных резонансов Ми совпадали. Сначала цилиндры расположены соосно – сформирована система типа ядро в оболочке. Затем центр меньшего цилиндра плавно смещается, что приводит к «вытягиванию» ядра из оболочки. Таким образом, можно получить две конфигурации: (а) меньший цилиндр находится внутри большего, причём их центры смещены друг относительно друга, и (б) цилиндры разделены воздушным промежутком и вместе формируют димер. Для определения режима связи исследуются спектры рассеяния таких систем. Мы рассчитываем спектры при помощи метода связанных мультиполей, основанного на переразложении мультипольного ряда, записанного для одного из центров, через мультиполи, связанные с центром другого цилиндра. Это позволяет получить систему линейных уравнений, содержащих амплитуды всех мультиполей в качестве неизвестных. Решая матричное уравнение, можно найти отклик системы на падающее поле (плоскую волну). Спектры рассеяния вычисляются при помощи 2D-варианта оптической теоремы [2] через амплитуду рассеяния вперед.

Для анализа рассмотрим эту трансформацию в обратном направлении. Цилиндры, расположенные на бесконечно большом расстоянии друг от друга, рассеивают свет независимо – спектр рассеяния в этом случае является суммой спектров от каждого цилиндра. По мере сближения цилиндров он существенно изменяется. На расстоянии порядка нескольких десятков радиусов, на спектре появляются выраженные осцилляции, связанные с модами типа Фабри – Перо. При дальнейшем сближении цилиндров, эти осцилляции уходят в высокочастотную область спектра, и в области частоты резонанса Ми более не наблюдаются. Вместе с этим, пик, связанный с резонансом Ми, начинает расщепляться в дуплет. Данное расщепление связано с переходом в режим сильной оптической связи [3]: локальные моды Ми в каждом из цилиндров, начинают гибридизоваться, что приводит к появлению симметричной и антисимметричной обобщенных мод. По мере дальнейшего сближения расщепление усиливается. После того, как цилиндры коснулись, мы помещаем меньший цилиндр внутрь большего, и продолжаем уменьшать расстояние между их осями. Спектры для такой конфигурации продолжают обозначенную выше тенденцию, вплоть до момента, когда оси цилиндров окажутся в одной точке.

[1] A. Kuznetsov et al, *Science* **354**(6314), aag2472 (2016).

[2] A. A. Dmitriev, M. V. Rybin, *Proceedings of Days of Diffraction 2018*, 71–75 (2018).

[3] L. Cao, P. Fan, M. L. Brongersma, *Nano Lett.* **11**(4), 1463–1468 (2011).