

## Связанные состояния в континууме в полубесконечном одномерном фотонном кристалле с анизотропным дефектным слоем

П.С. Панкин<sup>1</sup>, Б.-Р. Ву<sup>2</sup>, Ж.-Х. Янг<sup>2</sup>, К.-П. Чен<sup>2</sup>, И.В. Тимофеев<sup>1</sup>, А.Ф. Садреев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики им. Л.В. Куренского ФИЦ КНЦ СО РАН

<sup>2</sup>National Chiao-Tung University, Taiwan

[pavel-s-pankin@iph.krasn.ru](mailto:pavel-s-pankin@iph.krasn.ru)

Связанные состояния в континууме (ССК) – это локализованные безызлучательные решения уравнений Максвелла выше световой линии [1]. Теоретически ССК имеют бесконечную добротность, так как не распадаются в окружающее пространство. Для возбуждения и детектирования ССК необходимо связать ССК с распространяющимися модами. Тогда ССК превращается в квази-ССК с конечной добротностью. Возможность менять коэффициент связи локализованной моды с континуумом позволяет управлять добротностью квази-ССК поворотом дефектного слоя, максимальное значение которой в реальных структурах определяется величиной материальных потерь. В настоящей работе нами показывается возможность управления добротностью локализованных оптических мод в резонаторе, состоящем из одномерного фотонного кристалла (ФК), покрытого золотой непрозрачной пленкой (Рис. 1, слева).

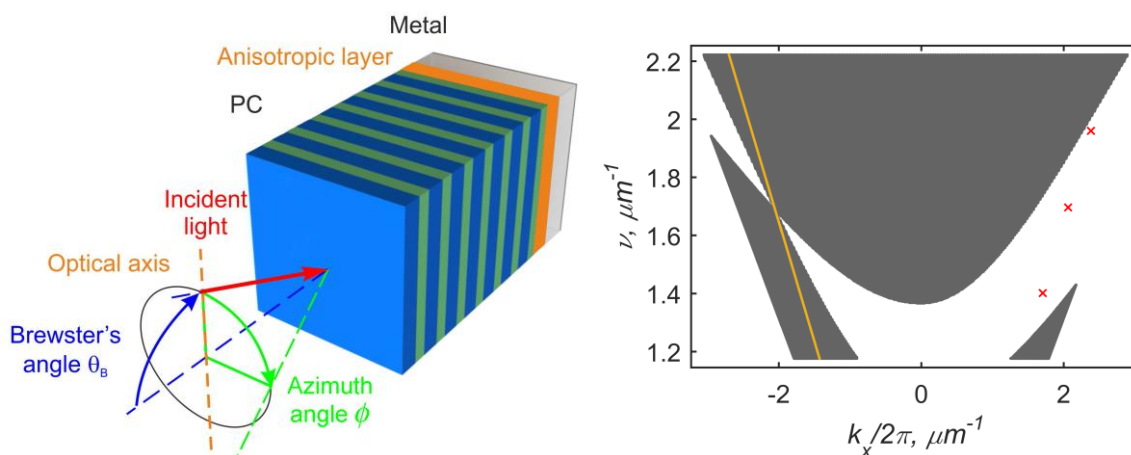


Рис. 1. (слева) Исследуемая ФК структура. (справа) Зонная структура при  $\phi = 0$ . Отрицательные значения волнового числа соответствуют ТМ-волнам, положительные – ТЕ-волнам. Серым цветом показаны зоны пропускания ФК, белым – запрещенные зоны. Оранжевая линия соответствует углу Брюстера и континууму распространяющихся волн. Красные крестики соответствуют положениям ССК.

Несмотря на то, что ФК изготовлен из изотропных материалов (8 пар слоев  $\text{SiO}_2$  толщиной 145 нм и  $\text{TiO}_2$  толщиной 94 нм), он имеет различную зонную структуру для ТМ- и ТЕ-поляризованных волн (Рис. 1, справа). При угле Брюстера ФК становится прозрачным для ТМ-волн, но остается непрозрачным для ТЕ-волн благодаря наличию фотонной запрещенной зоны. Таким образом, локализованные между металлическим и ФК-зеркалом ТЕ-поляризованные моды могут сосуществовать с распространяющимися ТМ-волнами. Для связывания ортогонально поляризованных волн в резонатор вводится анизотропный слой, оптическая ось которого параллельна плоскости слоев ФК. В качестве данного слоя был выбран слой планарно ориентированного жидкого кристалла (ЖК) 4-н-пентил-4'-цианобифенил (5ЦБ) толщиной 1.05 мкм. Связью ТЕ- и ТМ-волн можно управлять вращением структуры в плоскости слоев или поворотом

падающего светового луча по конусу с углом раствора, равным удвоенному углу Брюстера. Величина азимутального угла  $\varphi$  между плоскостью падения и оптической осью ЖК определяет величину связи локализованных мод с континуумом, их спектральное положение и добротность (Рис. 2). Когда оптическая ось ЖК лежит в плоскости падения ( $\varphi=0$ ) или перпендикулярна ей ( $\varphi=90^\circ$ ), связь между ТМ- и ТЕ-волнами отсутствует – локализованные моды можно рассматривать как тривиальные ССК, защищенные симметрией. Важная особенность данной структуры состоит в возможности существования нетривиальных ССК для промежуточных углов  $\varphi$ . Возникновение ССК этого типа связано со случайным обнулением связи локализованных ТЕ-мод с распространяющимися ТМ-решениями континуума. Преобразование одного типа поляризации в другой прекращается для углов  $\varphi$ , при которых анизотропный слой эквивалентен целоволновой фазовой пластинке, сохраняющей поляризацию прошедшего через нее света. Аналитическое решение для зонной структуры и ССК хорошо согласуется с экспериментальными и численными спектрами.

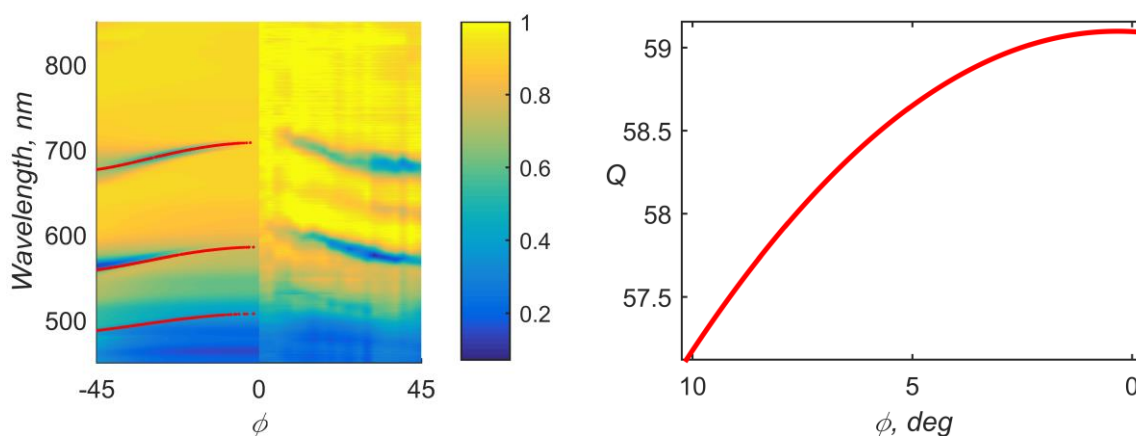


Рис. 2. (слева) Спектр отражения структуры для ТМ-волн, падающих под углом Брюстера. Отрицательные азимутальные углы соответствуют расчету методом трансфер-матрицы Берремана, положительные – экспериментальным спектрам. Красные линии – решение дисперсионного уравнения. (справа) Добротность длинноволнового резонанса.

Рассмотренная слоистая структура дополняет ранее предложенную анизотропную слоистую структуру [2] возможностью реализации нетривиальных ССК, не защищенных симметрией, рассмотренных в работе [3]. Чувствительность ЖК к внешним полям позволяет осуществлять управление величиной связи континуума и локализованных мод посредством внешних полей. Кроме того, при оптической толщине анизотропного резонаторного слоя менее четверти длины волны, в запрещенной зоне ФК имеется только одно решение для ССК, соответствующее интерфейсному состоянию – таммовскому плазмон-поляритону [4], имеющему многочисленные приложения в фотонике и оптоэлектронике.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. C. W. Hsu et al. // Nat. Rev. Mater. 2016. V. 1. No. 9, P. 16048.
2. I. V. Timofeev, D. N. Maksimov and A. F. Sadreev // Phys. Rev. B. 2018. V. 97. P 024306.
3. E.A. Besus, D.A. Bykov and L.L. Doskolovich // Photonic Res. 2018. V. 6. P. 1084.
4. M. A. Kalitchevski et al. // Phys. Rev. B. 2007. V. 76. No. 16. P. 165415.