

**ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ МОДЫ В СТРУКТУРЕ
ХОЛЕСТЕРИЧЕСКИЙ ЖИДКИЙ КРИСТАЛЛ – ФАЗОВАЯ ПЛАСТИНКА –
МЕТАЛЛ**

Пятнов М.В.

*Институт инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального
университета*

В последние годы, наряду с изучением объемных свойств одномерных фотонных кристаллов (ФК), активно исследуются поверхностные электромагнитные волны в таких средах [1]. Кроме распространяющихся поверхностных волн можно получить состояние в виде стоячей поверхностной волны, которое имеет нулевое волновое число вдоль поверхности и не переносит энергию. Наблюдать такое состояние можно при падении волн по нормали к слоям ФК. Уравнение Максвелла для электрического поля в этом случае является точным аналогом одноэлектронного уравнения Шредингера для полубесконечного кристалла, решением которого является таммовское поверхностное состояние. В силу этого электромагнитный аналог таммовского электронного состояния называется оптическим таммовским состоянием (ОТС), или, иначе, таммовским плазмон-поляритоном. ОТС могут возбуждаться между двумя различными фотонными кристаллами, имеющими перекрывающиеся запрещенные зоны или между фотонным кристаллом и средой с отрицательной диэлектрической проницаемостью. На частоте, соответствующей Таммовскому состоянию, возникает узкий пик пропускания, связанный с туннелированием света через ОТС.

Потенциальными применениями ОТС являются датчики и резонансные оптические фильтры, поляритонные лазеры, оптические переключатели, многоканальные фильтры, усилители Фарадеевского вращения, усилители эффекта Керра, органические солнечные элементы и поглотители. Недавно предложен и экспериментально реализован лазер на основе таммовской структуры, которая состоит из квантовых ям, внедренных в брэгговский отражатель, поверхность которого покрыта слоем серебра [2].

Важной задачей оптики ФК является получение материалов, спектральными свойствами которых можно эффективно управлять при помощи внешних воздействий. Особым классом одномерных фотонных кристаллов являются холестерические жидкие кристаллы (ХЖК), обладающие уникальными свойствами: широкой областью прозрачности, сильной нелинейностью и высокой чувствительностью к внешним полям [3]. Характерной особенностью ХЖК является сильная зависимость их свойств от поляризации света. Для света с тем же направлением круговой поляризацией, что и закрутка ХЖК, существует фотонная запрещенная зона. Свет с противоположной круговой поляризацией не испытывает дифракционного отражения и проходит сквозь структуру. При отражении от ХЖК не происходит изменения знака поляризации.

В данной работе демонстрируется возможность реализации поверхностных оптических состояний в структуре, включающей ХЖК. Получить, как в случае с ОТС, поверхностное состояние на границе ХЖК и металла при нормальном падении света невозможно. Трудность заключается в изменении поляризации волны при отражении от металла и существовании брэгговского отражения не для любой поляризации. Для возникновения локализации света мы должны изменить фазу волны между ХЖК и металлом. С этой целью внедряем между ХЖК и металлом четвертьволновую анизотропную пластинку, вырезанную параллельно оптической оси и сдвигающую фазу волны на $\pi/2$. На границе ХЖК и фазовой пластинки молекулы холестерика

ориентированы вдоль оптической оси пластинки. Таким образом, предлагаемая система состоит из слоя ХЖК, фазовой пластинки и слоя металла.

На рис.1 представлены спектры пропускания ХЖК, металла и рассматриваемой структуры. В спектре пропускания ХЖК отчетливо проявилась запрещенная зона для света дифрагирующей круговой поляризации. Видно, что пик волноводной поверхностной моды возникает в спектре пропускания (сплошная линия), если внедрить между ХЖК и металлом анизотропную четвертьволновую пластинку, которая

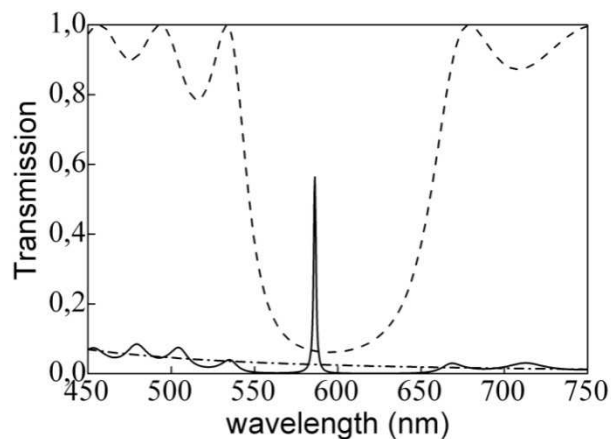


Рис. 1. Коэффициенты пропускания при нормальном падении света на ХЖК (штриховая линия), на серебряную пленку (штрихпунктирная линия) и на исследуемую структуру (сплошная линия).

управляет фазой световых волн. Затухание поля локализованной моды внутри металла обусловлено отрицательной диэлектрической проницаемостью металлической пленки, в то время как его затухание внутри ХЖК обусловлено брэгговским отражением на границе ХЖК-пластинка. Из распределения электрического поля для длины волны соответствующей максимуму пропускания рисунка установлено, что свет локализуется вблизи металлической пленки с максимальным значением электрического поля на границе фазовой пластинки и металлической пленки.

Изменяя параметры системы, мы можем контролировать положение пика пропускания через изолированную волноводную поверхностную моду. Сильную зависимость шага спирали, например, от температуры, по сравнению с другими элементами структуры, можно использовать для эффективного управления частотой пика пропускания, связанного с тунелированием света через поверхностное состояние.

Таким образом, продемонстрировано существование поверхностных электромагнитных состояний, локализованных в структуре ХЖК-фазовая пластинка-слой серебра. Спектральными свойствами такой системы можно эффективно управлять из-за высокой чувствительности структурных параметров ХЖК к внешним воздействиям. Изменение поляризации волны при отражении от металла и особые поляризационные свойства ХЖК вынуждают использовать фазовую пластинку, внедренную между ХЖК и слоем металла. Найденная поверхностная мода – есть фактически собственная мода микрорезонатора, где в качестве зеркал выступают слои ХЖК и металлической пластинки. Следовательно, появляется возможность получения лазерной генерации в микрорезонаторе, взяв в качестве фазовой пластинки оптически активный материал.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-02-31248).

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Виноградов и др.// УФН 2010 Т. 180. С. 249.
2. С. Symonds et al. // Nano Lett. 2013 V. 13. P. 3179.
3. В.А.Беляков, А.С.Сонин. “Оптика холестерических жидких кристаллов”. М.: Наука, 1982.