

ФОТОУПРАВЛЯЕМЫЕ ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ, ЗАПОЛНЕННОГО ФОТОХРОМНОЙ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СМЕСЬЮ.

С.Е. Свяховский^{1*}, А.Ю. Бобровский², А.В. Богданов², В.П. Шibaев², М. Цигл³,
В. Хамплова³, А. Бубнов

¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

*E-mail: sse@shg.ru

²Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, химический факультет
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр.3

³Institute of Physics, The Czech Academy of Sciences, 182 21 Prague 8, Czech Republic

Создан композитный фотонный кристалл из пористого кремния с введённой в поры смесью жидкого кристалла 4-пентил-4'-цианбифенила и фотохромного соединения, содержащего азобензольную группу. Пр продемонстрирован обратимый спектральный сдвиг микрорезонаторной моды под действием УФ и видимого светового облучения за счёт фотоизомеризации фотохрома и фотоиндуцированного фазового перехода в изотропную фазу.

Фотонные кристаллы (ФК), запрещённая зона которых может управляться световым облучением, могут найти применение в качестве перестраиваемых оптических фильтров, экранов и лазеров с обратной связью. Среди различных подходов к созданию этих структур можно выделить заполнение пористых ФК функциональными материалами и жидкими кристаллами (ЖК) [1].

В данной работе были изготовлены ФК из пористого кремния по методу электрохимического травления [3]. Он состоит из двух брэгговских зеркал, содержащих 26 парно чередующихся слоёв двух типов, толщины слоёв $d_1=96$ и $d_2=108$ нм. Между зеркалами имеется микрорезонаторная мода толщиной $d_c=2d_2=216$ нм. Размер пор ФК в слоях $a_1=20$ и $a_2=60$ нм, что превосходит размер молекулы ЖК 2-3 нм. Микрорезонаторный слой имел больший размер пор.

Полученные ФК заполняли смесью нематического ЖК 4-пентил-4'-цианбифенила (5CB) и азобензол-содержащего фотохрома 6DABU [2] в массовой концентрации 30%.

Молекула 6DABU содержит азобензольную группу, которая изомеризуется под действием внешнего облучения: ультрафиолетовый свет (350-400 нм) переводит молекулу в Z-изомер (рис. 1), облучение синим светом (400-440 нм) либо нагрев переводит молекулу обратно в E-изомер.

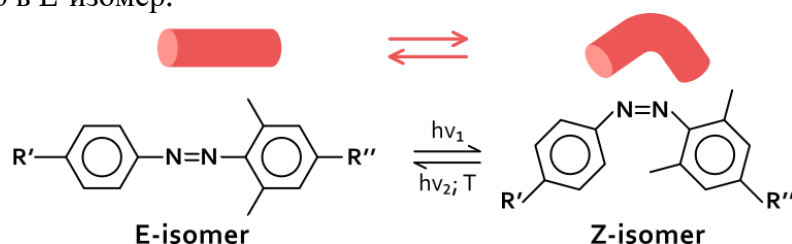


Рис. 1. E-Z изомеризация азобензольной группы под действием облучения.

Для установления ориентации молекул внутри пор ФК была исследована угловая зависимость спектров электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). В отдельный образец пористого кремния толщиной 100 мкм, состоящий из одного слоя с пористостью, соответствующей микрорезонаторной моде, помещали 5CB, допированный молекулами спинового зонда. Это позволило обнаружить, что молекулы компонентов ЖК смеси ориентированы вдоль пор кремния (рис. 2b), однако степень ориентации примерно в 2 раза ниже, чем в случае молекул 5CB ориентированных магнитным полем.

Полученные композиты облучали ультрафиолетом (375 нм, ~ 7.1 мВт/см²) в течение

5 минут, что приводило к спектральному смещению микрорезонаторной моды на 10 нм (рис. 2а). Облучение видимым светом (428 нм, 10 с, ~ 90 мВт/см²) возвращает ФК в исходное состояние. Продемонстрирована возможность многократных циклов сдвига фотонной зоны при последовательном облучении УФ и видимым светом. Спектры измеряли при нормальном падении.

Механизм наблюдаемого сдвига фотонной зоны связан с процессом изомеризации 6DABU. Е-изомер фотохрома имеет вытянутую форму и стабилизирует нематическую фазу, в то время как молекулы Z-изомера изогнуты и разрушают ЖК порядок (рис. 2с). Это приводит к тому, что при изомеризации происходит фазовый переход смеси в изотропную фазу. Изотропная и нематическая фазы отличаются показателями преломления, в случае макроскопических объёмов равными соответственно 1.70 и 1.65 (обыкновенный луч).

Теоретическая аппроксимация спектров отражения ФК была построена при использовании метода матриц распространения с приближением эффективной среды Бруггемана. При аппроксимации использовали показатели преломления для изотропной и нематической фазы соответственно $n_2^{\text{iso}}=1.706$ и $n_2^o=1.673$. Показатель преломления нематической фазы оказался выше измеренного оптическим спектральным методом, что свидетельствует о неполной ориентации молекул вдоль пор, что согласуется с данными ЭПР.

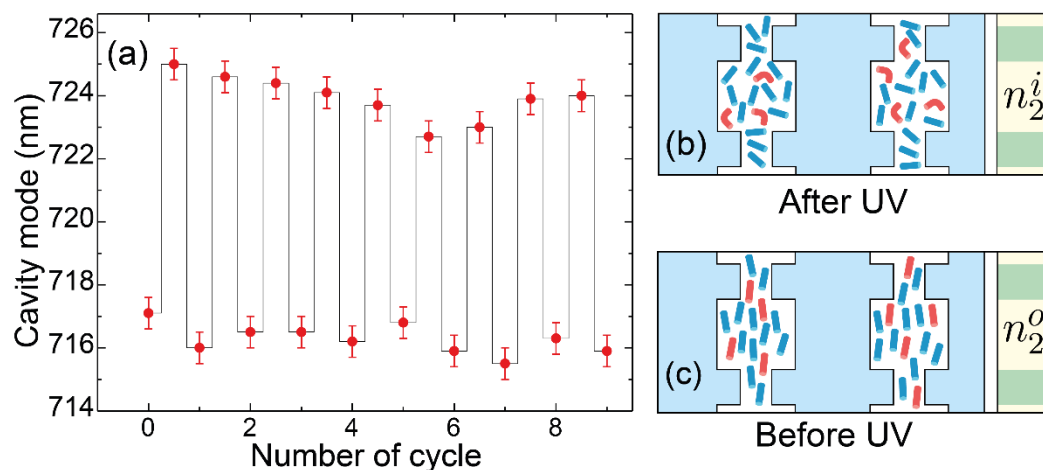


Рис. 2. (а) – ЛУЧШЕ ПРИВЕСТИ РИС. 6 ИЗ СТАТЬИ положение микрорезонаторной моды композитного фотонного кристалла при циклическом облучении ультрафиолетовым и видимым светом. (b) – изотропная фаза смеси в порах после облучения ультрафиолетом, (с) – нематическая фаза до облучения. Молекулы жидкого кристалла показаны схематично не в масштабе.

Полученные и исследованные в работе фоточувствительные ФК интересны с точки зрения их использования в фотонике и оптоэлектронике, например, для создания пере-страиваемых оптических фильтров и бистабильных лазерных резонаторов.

Исследование поддержано РНФ (19-13-00029), РФФИ (19-03-00337, 19-53-26007) и грантом Президента РФ для молодых учёных МК-2761.2019.2.

Список литературы

1. Leonard, S.W., Mondia, J.P., Van Driel, H.M., Toader, O., John, S., Busch, K., Birner, A., Gösele, U. and Lehmann, V. Tunable two-dimensional photonic crystals using liquid crystal infiltration // *Physical Review B*. vol. 61(4), p. R2389, 2000.
2. Ryabchun A., Raguzin I., Stumpe J., Shibaev V., and Bobrovsky A. Cholesteric polymer scaffolds filled with azobenzene-containing nematic mixture with phototunable optical properties. // *ACS applied materials & interfaces*, vol. 8(40), pp. 27227–27235, 2016.

3. Svyakhovskiy, S.E., Maydykovsky, A.I. and Murzina, T.V. Mesoporous silicon photonic structures with thousands of periods // Journal of Applied Physics, vol. 112(1), p. 013106, 2012