

МАЯТНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ С БОЛЬШИМ ЧИСЛОМ ПЕРИОДОВ В ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛАХ ИЗ ПОРИСТОГО ОКСИДА КРЕМНИЯ

А.А. Скорынин, С.Е. Свяховский, В.Б. Новиков, В.А. Бушуев,
А.И. Майдыковский, Т.В. Мурзина, Б.И. Манцызов
Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова
skoraleks@ya.ru

В работе рассматривается маятниковый эффект в фотонных кристаллах (ФК), возникающий при брэгговской динамической дифракции излучения в периодических структурах в геометрии Лауэ (на прохождение). Он заключается в перекачке энергии проходящего излучения внутри структуры в энергию дифрагированного и обратно. Ранее маятниковый эффект наблюдался в различных диапазонах электромагнитного спектра, в том числе в рентгеновском [1], микроволновом радио [2] и оптическом [3,4]. При этом параметры структур на соответствующих частотах были таковы, что количество периодов маятникового эффекта было относительно невелико ($\ll 100$).

Толщина структуры, при которой происходит полная перекачка энергии при маятниковом эффекте – глубина экстинкции Λ – пропорциональна длине волны излучения и обратно пропорциональна контрасту показателей преломления структуры. ФК, в которых контраст достигает максимального значения, например, полые синтетические опалы, состоящие из кремния и воздуха, обладают глубиной экстинкции, сравнимой с длиной волны оптического излучения. Однако получение таких структур достаточной толщины, при сохранении высокой однородности оптических свойств, связано с рядом технологических сложностей.

Ранее нами был теоретически предсказан [5], а затем экспериментально обнаружен [6] эффект дифракционного деления импульса (ДДИ) при брэгговской дифракции в геометрии Лауэ в линейных ФК. Для наблюдения этого эффекта были изготовлены одномерные структуры из оксида пористого кремния. Размеры полученных образцов достигали 2-4 мм при толщине более чем 350 периодов и модуляции показателей преломления $\delta n = n_2 - n_1 \approx 0.1$. Однородность оптических свойств образцов была подтверждена наблюдением эффектов динамической дифракции.

Для описания распространения лазерного излучения в таких ФК была разработана теория динамической дифракции [5]. В рамках этой теории было показано, что каждая спектральная компонента падающего излучения индуцирует внутри структуры две собственные моды – бормановскую и антибормановскую, состоящие из проходящей и дифрагированной волн. Указанные моды имеют различные дисперсионные законы, поэтому вследствие их интерференции возникают биения амплитуды проходящих и дифрагированных волн, которые проявляются как маятниковый эффект.

Полученные аналитические выражения позволяют определить глубину экстинкции и рассчитать динамику пространственного распределения поля внутри ФК.

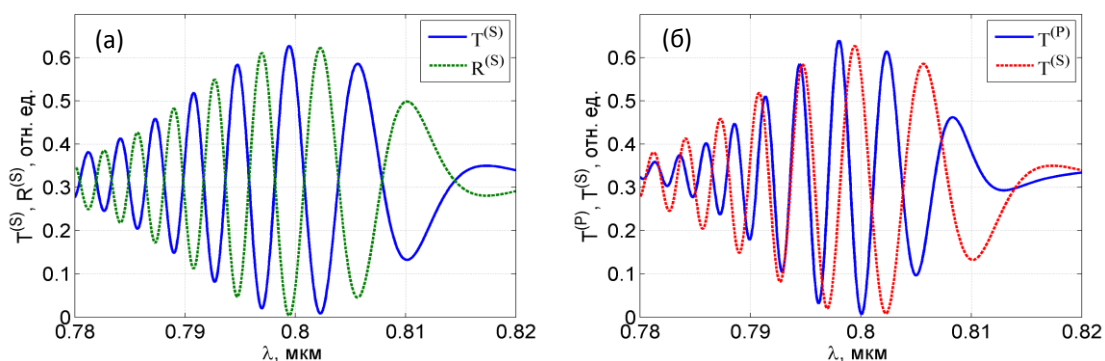


Рис. 1. Теоретические зависимости интенсивности излучения на выходе из ФК от длины волны для случая проходящего (Т) и дифрагированного (R) излучения s-поляризации (а), проходящего излучения для s- и р-поляризации (б). Продольный размер структуры $L = 2$ мм, $\delta n = 0.1$, период ФК $d = 0.78$ мкм, длина волны излучения $\lambda = 0.8$ мкм, диаметр входного пучка 300 мкм

При изменении параметров излучения и структуры меняется длина экстинкции, что приводит к изменению интенсивности излучения на выходе из структуры. На рис. 1 представлены подобные зависимости от длины волны падающего излучения, полученные с учетом дисперсионного искажения волновых пакетов внутри ФК, приводящего к уменьшению видности интерференционной картины. Чем больше длин экстинкции укладывается внутри структуры, тем меньше требуется изменение длины волны для осуществления полного переключения направления распространения. В рассматриваемых структурах при $L/\Lambda \approx 350$ переключение происходит уже при отстройке $\Delta\lambda \sim 2 \div 3$ нм.

Экспериментальные результаты хорошо согласуются с теоретическими зависимостями для проходящего и дифрагированного излучения каждой поляризации, что позволяет рассматривать подобные ФК в качестве поляризационных и спектральных делителей излучения с высокой разрешающей способностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пинскер З.Г. Рентгеновская кристаллооптика. М.: Наука, 1982.
2. Savo S. et al. // Opt. Express. 16, 12, 9097. 2008.
3. Terhalle B. et al. // Phys. Rev. Let. 106, 8, 083902. 2011
4. Mazurenko D.A. and et al. // J. of Non-Cryst. Solids. 338-340. 2004.
5. Bushuev V.A., Mantsyzov B.I., Skorynin A.A. // Phys. Rev. A. 79, 5, 053811, 2009.
6. Svyakhovskiy S.E. et al. // Phys. Rev. A. 86, 1, 013843, 2012.