

УДК 535.32

## ЗАКОН ДИСПЕРСИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ФОТОННОГО КРИСТАЛЛА

Ю. А. Вощинский, В. С. Горелик

*В работе установлены законы дисперсии для одномерного и трёхмерного фотонных кристаллов на основе расчётной модели слоистой гетерогенной среды. Показано, что удовлетворительная аппроксимация этих законов дисперсии в определённой области обратного пространства может быть достигнута на основе использования результатов анализа модели кристаллической цепочки с дополнительными связями.*

**Ключевые слова:** закон дисперсии, фотонный кристалл, показатель преломления, кристаллографическое направление, коэффициент отражения.

В работе выполнены расчёты вида дисперсионных кривых  $\omega(k)$  для электромагнитных волн в одномерном и трёхмерном фотонном кристалле. Ранее на основе модели периодической слоистой среды, характеризующейся двумя показателями преломления, был получен неявный вид закона дисперсии в фотонном кристалле [1, 2]:

$$\cos(k_1 a_1) \cos(k_2 a_2) - \frac{1}{2} \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{\sqrt{\epsilon_1 \epsilon_2}} \sin(k_1 a_1) \sin(k_2 a_2) = \cos(ka), \quad (1)$$

где  $k_i = \sqrt{\epsilon_i} \frac{\omega}{c_0}$ ,  $i = 1, 2$ ;  $k$  – волновой вектор;  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  – диэлектрические проницаемости участков кристалла с размерами  $a_1$  и  $a_2$  соответственно. На основе соотношения (1) был построен закон дисперсии  $\omega(k)$  для одномерного фотонного кристалла (см. рис. 1). Данная зависимость состоит из трех фотонных ветвей. На основе этой модели можно определить показатель преломления наполнителя опала, при условии, что известен размер его глобул. Кроме того, на основе анализа закона дисперсии кристаллической цепочки с дополнительными связями [2] нами была исследована возможность аппроксимации точного закона дисперсии, задаваемого уравнением (1), аналитическими выражениями вида:

---

Учреждение Российской академии наук Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 119991, Москва, Ленинский пр-т, 53; e-mail: gorelik@sci.lebedev.ru.

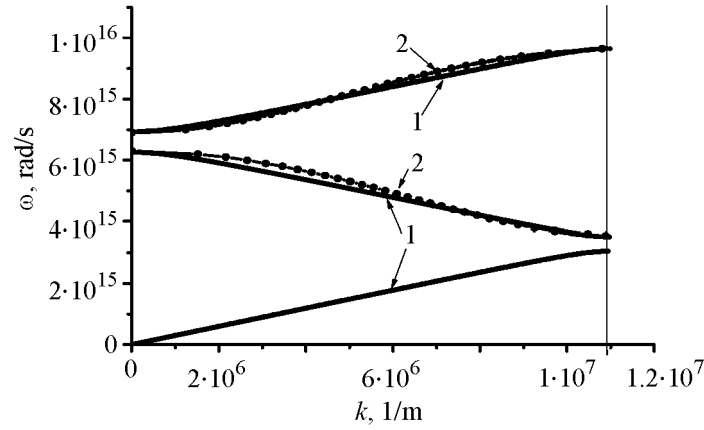


Рис. 1: Закон дисперсии  $\omega(k)$  для одномерного фотонного кристалла; 1 – результаты расчета дисперсионной зависимости  $\omega(k)$  по формуле (1), 2 – результаты расчета дисперсионной зависимости  $\omega(k)$  с помощью синусоидального приближения.

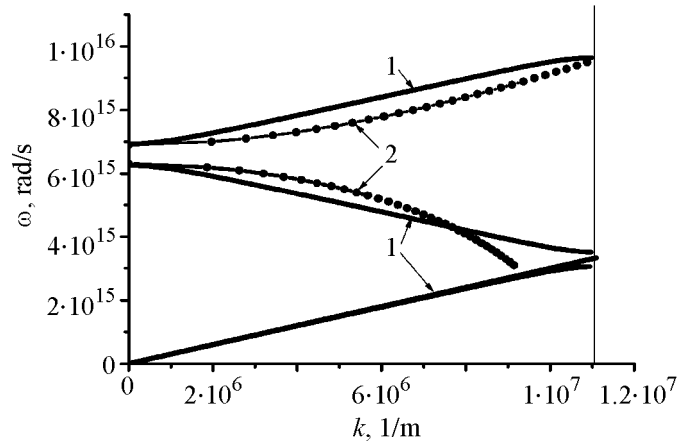


Рис. 2: Закон дисперсии  $\omega(k)$  для одномерного фотонного кристалла; 1 – результаты расчета дисперсионной зависимости  $\omega(k)$  по формуле (1), 2 – результаты расчета дисперсионной зависимости  $\omega(k)$  с помощью квазирелятивистского приближения.

$$\omega^2 = \omega_0^2 + c^2 k^2 \quad (\text{квазирелятивистское приближение}) \quad (2)$$

и

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 4 \frac{c^2}{a^2} \sin^2 \frac{ka}{2} \quad (\text{синусоидальное приближение}). \quad (3)$$

Как выяснилось (см. рис. 1 и 2), в результате сопоставления точного закона дисперсии для одномерной модели и его аппроксимаций в виде квазирелятивистского и

синусоидального приближений имеет место удовлетворительное согласие обсуждаемых зависимостей вблизи центра зоны Бриллюэна, а в случае синусоидального приближения – и для всей зоны Бриллюэна. Предлагаемые идеализированные модели (квазирелятивистское и синусоидальное приближения), позволяют рассчитать в явном виде закон дисперсии  $\omega(k)$  для одномерного фотонного кристалла. Можно полагать, что использование таких зависимостей, основанных на свойствах симметрии дисперсионных ветвей, могут быть применимы и для трёхмерных фотонных кристаллов при расчёте закона дисперсии для определённых кристаллографических направлений.

Таким образом, разработана теоретическая модель, позволяющая рассчитать закон дисперсии фотонных зон в явном виде для фотонных кристаллов. На основе полученного закона дисперсии  $\omega(k)$  может быть установлена также дисперсионная зависимость показателя преломления и коэффициента отражения реальных фотонных кристаллов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ; гранты №№ 08-02-00114, 09-02-00582, 10-02-00293, 10-02-90042, а также Программы № 27 Президиума РАН “Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов”.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] А. Ярив, П. Юх, *Оптические волны в кристаллах* (М., Мир, 1987).

A. Yariv, P. Yeh, *Optical waves in crystals* (Wiley-Interscience Publication, New York, 1984).

- [2] В. С. Горелик, Квантовая электроника **37**(5), 409 (2007).

*По материалам 3 Всероссийской молодежной школы-семинара “Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики”, Москва, ФИАН, октябрь 2009 г.*

Поступила в редакцию 26 октября 2010 г.