

УДК 535.012

Деформация изочастотных поверхностей в трехмерных диэлектрических
композитах

А.А. Ушков, А.А. Щербаков

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Искусственно созданные оптические материалы с периодическим изменением параметров стали широко исследоваться, начиная с конца XIX века. В основу легли работы Д.Ч. Бозе (1898), К.Ф. Линдмана (1914), У.Э. Кока (1946), а также советских физиков В.Е. Пафомова (1959), Д.В. Сивухина (1957), В.Г. Веселаго (1968). Такие структуры открывают большие возможности в области манипулирования светом [1] и интересны как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения. Например, были созданы материалы с сильно выраженными анизотропными [2] и гиротропными свойствами [3-5], разрабатываются оптические фильтры и волноводы, зеркала лазерных резонаторов, элементы для оптической электроники.

В работе изучаются трехмерные периодические диэлектрические структуры с периодами, меньшими длины волны падающего оптического излучения. Они интересны тем, что их оптические свойства (коэффициент преломления, механизмы рассеивания и пропускания) не только количественно, но и качественно зависят от соотношения длины волны и периода структуры, что дает дополнительные степени свободы в приложениях. Это, а также возможность масштабировать задачу в широком диапазоне частот и определило быстрое развитие науки о фотонных кристаллах.

Чтобы получить частотные зависимости параметров эффективной среды, в работе решалась задача о дифракции на фотонном кристалле. Наиболее удобный и наглядный способ представления таких результатов – это изображение волновых (изочастотных) поверхностей (или контуров в двумерном случае) [2, 6] для частот из нужного интервала. Волновая поверхность несет в себе исчерпывающую информацию о режиме работы эффективной среды: эффективный коэффициент преломления, диэлектрическая проницаемость для немагнитных сред, направление групповой скорости, оптические оси, двулучепреломление.

Большинство работ посвящено исследованию случая, когда отношение пространственного периода системы к длине волны излучения близко к нулю. При этом оказывается, что кристалл описывается однородной средой с эффективным тензором диэлектрической проницаемости [7]. Однако тензорное приближение перестает работать для режимов,

когда отношение стремится к единице. Волновые поверхности второго порядка, описываемые уравнением Френеля, искажаются, а затем при увеличении периода структуры разбиваются на несколько изолированных частей.

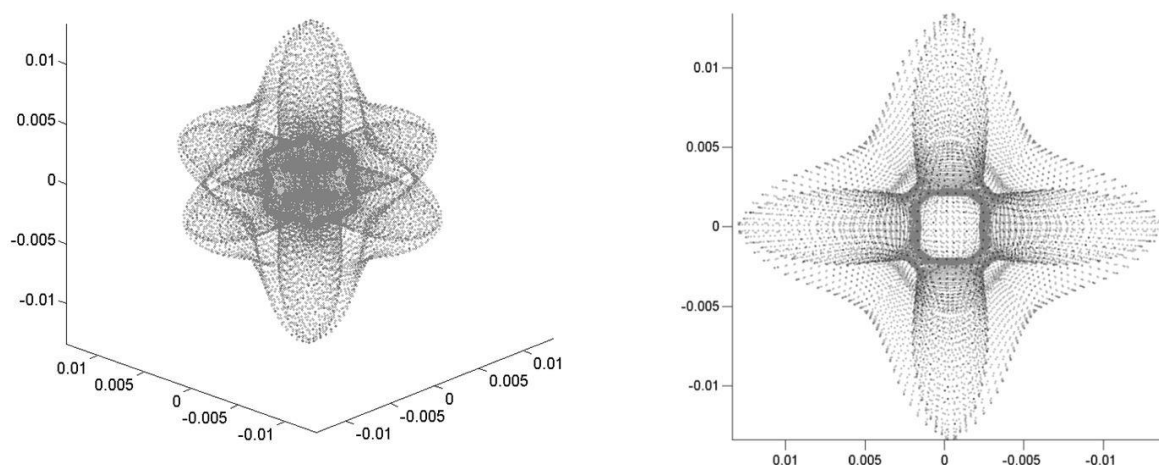


Рис. 1. Искажения волновой поверхности фотонного кристалла, состоящего из среды с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_m = 1,0$ и сферических вкраплений $\epsilon_{str} = 1,5$. Отношение периода к длине волны $0,425$.

В данной работе проведено исследование фотонных кристаллов в режиме, когда отношение периода к длине волны близко к единице, с помощью эффективного численного метода, а также определение характерных искажений и деформаций изочастотных поверхностей. Рис. 1 иллюстрирует искажения волновой поверхности фотонного кристалла, состоящего из диэлектрической среды и периодически расположенных сферических вкраплений, отношение периода к длине волны $0,425$.

Литература

1. Joannopoulos J.D., Villeneuve P.R., Fan S. Photonic crystals: putting a new twist on light // Nature. – 1997. – V. – 386. – P. 143-149.
2. Funda T.G., Serebryannikov A.E., Cakmak A.O., E. Ozbay. Asymmetric transmission in prisms using structures and materials with isotropic-type dispersion // Optics Express. – 2015. – V. 23. – N. 19. – P. 24120-24132.
3. Thiel M., G. von Freymann, Wegener M. Layer-by-layer three-dimensional chiral photonic crystals // Optics Letters. – 2007. – V. 32. – N. 17. – P. 2547-2549.
4. Turner M.D., Saba M., Zhang Q., Cumming B.P., Schroder-Turk G.E., Gu M. Miniature chiral beamsplitter based on gyroid photonic crystals // Nature Photonics. – 2013 – V. 7. – P. 801-805.

- 5.** Tzu-Hung Kao, Lung-Yu Chang Chien, Yu-Chueh Hung. Dual circular polarization gaps in helix photonic metamaterials // *Optics Express*. – 2015. – V. 23. – N. 19. – P. 24416-24425.
- 6.** Chigrin D.N., Stefan E., Clivia M.T., Gerard T. Self-guiding in two-dimensional photonic crystals // *Optics Express*. – 2003. – V. 11. – N. 10. – P. 1203-1211.
- 7.** Markel V.A., Schotland J.C. Homogenization of Maxwell's equations in periodic composites: boundary effects and dispersion relations // *Physical Review E*. – 2012. – V. 85. – P. 066603(23).