

Головкина Мария Вилевна, Подвигин Андрей Геннадьевич

### **РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОХОЖДЕНИЯ ЧЕРЕЗ ТОНКИЕ ПЕРФОРИРОВАННЫЕ ПЛЕНКИ**

В работе теоретически исследуется коэффициент прохождения электромагнитной волны через двумерный фотонный кристалл в виде тонкой металлической пленки с массивом периодически расположенных отверстий, полученных методом лазерной абляции. Полученные в результате теоретических расчетов высокие значения коэффициента прохождения объясняются образованием поверхностных плазмонов.

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2013/4/10.html](http://www.gramota.net/materials/1/2013/4/10.html)

**Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.**

Источник

**Альманах современной науки и образования**

Тамбов: Грамота, 2013. № 4 (71). С. 36-38. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2013/4/](http://www.gramota.net/materials/1/2013/4/)

**© Издательство "Грамота"**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

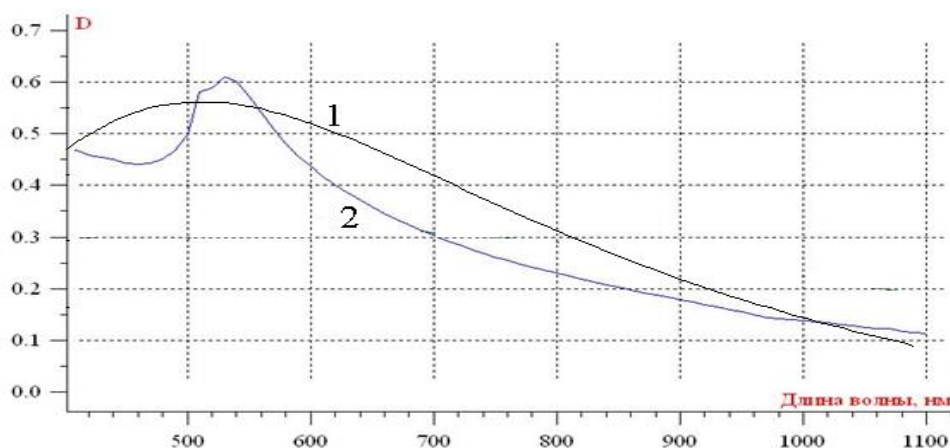


Рис. 1. Нормированные экспериментальный (кривая 2) и теоретический, полученный по формуле (1) (кривая 1), спектры поглощения

Таким образом, в ходе работы исследованы спектры поглощения коллоидных растворов наночастиц золота, полученных методом лазерной абляции в жидких средах. Проведены сравнения расчетных и экспериментальных спектров. На основе теоретического моделирования спектра поглощения проведена оценка параметров наночастиц в коллоидном растворе. Проведенные исследования спектральных характеристик коллоидов на основе наночастиц, полученных методом лазерной абляции металлов, позволяют заранее прогнозировать параметры полученных наночастиц в зависимости от характеристик применяемого лазерного излучения, что расширяет возможности получения металлических наночастиц.

#### Список литературы

1. Johnson P. B., Cristy R. W. Optical Constants of the Noble Metals // Physical Review B. 1972. V. 6. P. 4370-4376.
2. Kazakevich P. V., Simakin A. V., Shafeev G. A., Monteverde F., Wautelet M. Phase Diagrams of Laser-Processed Nanoparticles of Brass // Applied Surface Science. 2007. V. 253. P. 7724-7728.
3. Kazakevich P. V., Simakin A. V., Voronov V. V., Shafeev G. A. Laser Induced Synthesis of Nanoparticles in Liquids // Applied Surface Science. 2006. V. 253. P. 4373-4380.
4. Kyriacou S. V., Brownlow W. J., Xu X. H. N. Using Nanoparticle Optics Assay for Direct Observation of the Function of Antimicrobial Agents in Single Live Bacterial Cells // Biochemistry. 2004. V. 43. P. 140-147.
5. Lal S., Link S., Halas N. J. Nano-Optics from Sensing to Wave Guiding // Nature Photonics. 2007. V. 1. P. 641-648.
6. Mandal S. K., Roy R. K., Pal A. K. Surface Plasmon Resonance in Nanocrystalline Silver Particles Embedded in SiO<sub>2</sub> Matrix // Journal of Applied Physics D. 2002. V. 35. P. 2198-2205.
7. Scaffardi L. B., Pellegrini N., Sanctis O. de, Tocho J. O. Sizing Gold Nanoparticles by Optical Extinction Spectroscopy // Nanotechnology. 2005. Vol. 16. P. 158-163.

УДК 535.345.1

#### Физико-математические науки

*В работе теоретически исследуется коэффициент прохождения электромагнитной волны через двумерный фотонный кристалл в виде тонкой металлической пленки с массивом периодически расположенных отверстий, полученных методом лазерной абляции. Полученные в результате теоретических расчетов высокие значения коэффициента прохождения объясняются образованием поверхностных плазмонов.*

*Ключевые слова и фразы:* коэффициент прохождения; фотонный кристалл; поверхностный плазмон; тонкие пленки; перфорирование.

Головкина Мария Вилевна, к. ф.-м. н.

Подвигин Андрей Геннадьевич

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

nauka77@yandex.ru

#### РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОХОЖДЕНИЯ ЧЕРЕЗ ТОНКИЕ ПЕРФОРИРОВАННЫЕ ПЛЕНКИ<sup>©</sup>

В последнее время все большее внимание исследователей привлекают фотонные кристаллы, которые находят все большее практическое применение в различных устройствах оптоэлектроники [5], в частности,

в волноводах и фильтрах [2]. Фотонные кристаллы представляют собой среды с периодически меняющимся значением диэлектрической проницаемости. В качестве элементов сред с различной диэлектрической проницаемостью могут использоваться диэлектрики, металлы, полупроводники, сверхпроводники, графен [1]. Первый фотонный кристалл изготовил в 1991 г. *E. Yablonovitch* с коллегами путем сверления миллиметровых отверстий в материале с высоким показателем преломления [8]. Такой искусственный кристалл не пропускал излучение миллиметрового диапазона и реализовывал фотонную структуру с запрещенной зоной.

В нашей работе мы рассмотрим двумерный фотонный кристалл в виде тонкой пленки с периодически расположенными отверстиями, полученными методом лазерной абляции, который позволяет получить отверстия малого диаметра. Проведем расчет коэффициента прохождения электромагнитной волны через рассматриваемый фотонный кристалл.

Комплексный коэффициент прохождения для амплитуды электрического поля находится по формуле [4]:

$$t_{010}(\omega) = \frac{t_{01}(\omega)t_{10}(\omega) \exp(-|qz(\omega)|h)}{1 - (\rho(\omega))^2 \exp(-2|qz(\omega)|h)}, \quad (1)$$

где  $t_{01}$ ,  $t_{10}$  – коэффициенты прохождения,  $\rho$  – коэффициент отражения,  $qz$  –  $z$ -компонента первой волноводной моды,  $h$  – толщина пленки.

Коэффициенты отражения и прохождения рассчитываются по формулам [6]:

$$t_{01}(\omega) = 2 \frac{d}{L} \frac{1}{G(\omega)} \quad (2)$$

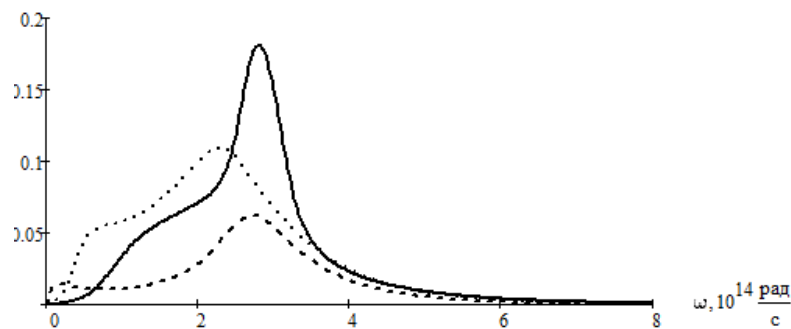
$$t_{10}(\omega) = 2 \cdot n(\omega) \cos(\psi(\omega)) \frac{1}{G(\omega)} \quad (3)$$

$$\rho(\omega) = (n(\omega) \cos(\psi(\omega)) - G(\omega)) / (n(\omega) \cos(\psi(\omega)) + G(\omega)) \quad (4)$$

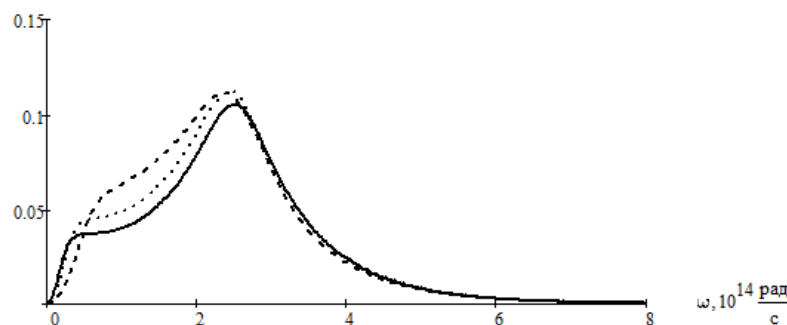
$$G(\omega) = \left(\frac{d}{L}\right)^2 \frac{2}{\cos(\psi(\omega))} \left( \frac{d}{L} \frac{\sin \frac{1}{2} kx(\omega)d}{\frac{1}{2} kx(\omega)d} \right) + n(\omega) \cdot \cos(\psi(\omega)), \quad (5)$$

где  $d$  – диаметр отверстия,  $L$  – период отверстий,  $kx$  – проекция волнового вектора на ось  $Ox$ ,  $\varphi$  – угол падения электромагнитной волны на пленку,  $\psi$  – угол падения волны внутри пленки.

Расчет коэффициента прохождения проводился для тонкой металлической пленки с упорядоченными отверстиями малого диаметра. Диэлектрическая проницаемость металла учитывалась в рамках модели Друде [7]. Результаты расчетов приведены на Рисунках 1 и 2. Из рисунков видно, что коэффициент прохождения достигает очень больших значений при определенной частоте, зависящей от диаметра отверстий и расстояния между отверстиями.



**Рис. 1.** График зависимости действительной части коэффициента прохождения  $t_{101}$  от частоты. Сплошная кривая: диаметр отверстий  $d=380$  нм, короткий пунктир:  $d=200$  нм, длинный пунктир:  $d=40$  нм



**Рис. 2.** График зависимости действительной части коэффициента прохождения  $t_{101}$  от частоты. Сплошная кривая: период решетки  $L=600$  нм, короткий пунктир:  $L=45$  нм, длинный пунктир:  $L=250$  нм

Как показано в работах [3; 4], формула (1) дает объяснение аномально высоким значениям коэффициента прохождения, соответствующим резонансным значениям знаменателя в формуле. При этом резонансное поведение знаменателя является результатом недолговечного характера мод, а период решетки определяет спектральное положение резонансного прохождения [4]. В результате экстраординарная прозрачность тонкой металлической пластинки с регулярным множеством субдлинноволновых отверстий может интерпретироваться как поверхностно-плазмонный световой туннельный эффект [Ibidem].

#### **Заключение**

Таким образом, в работе исследован коэффициент прохождения электромагнитной волны через тонкие перфорированные металлические пленки. В результате проведенных расчетов показано, что коэффициент прохождения достигает максимума при некоторой частоте, соответствующей частоте поверхностного плазмона. Показано, что при увеличении диаметра отверстий коэффициент прохождения увеличивается и при определенных значениях достигает максимума. Результаты проведенной работы могут быть использованы при создании фотонно-кристаллических волноводов и фильтров, работающих в инфракрасном и оптическом диапазоне.

#### *Список литературы*

1. Колесников А. А., Лозовик Ю. Е. Графеновый фотонный кристалл // Труды МФТИ. 2013. Т. 5. № 1. С. 53-58.
2. Chigrin D. N., Sotomayor C. M. Periodic Thin-Film Interference Filters as One-Dimensional Photonic Crystals // Optics and Spectroscopy. 2001. V. 91. № 3. P. 484-489.
3. Ebbesen T. W., Degiron A., Lezec H. J., Yamamoto N. Optical Transmission Properties of a Single Subwavelength Aperture in a Real Metal // Optics Communications. 2004. V. 239. P. 61-66.
4. Ebbesen T. W., Lezec H. J., Ghaemi H. F., Thio T., Wolff P. A. Extraordinary Optical Transmission through Sub-Wavelength Hole Arrays // Nature. 1998. V. 931. P. 667-669.
5. Eldada L. Advances in Telecom and Datacom Optical Components // Optical Engineering. 2001. V. 40. P. 1165-1178.
6. Gaponenko S. Introduction to Nanophotonics. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 676 p.
7. Maier S. Plasmonics: Fundamentals and Applications. Berlin: Springer Verlag, 2007. 248 p.
8. Yablonovitch E., Gmitter T. J., Leung K. M. Photonic Band Structure: the Face-Centered Cubic Case Employing Non-Spherical Atoms // Physical Review Letters. 1991. V. 67. P. 2295-2297.

УДК 621.3

#### **Физико-математические науки**

*В работе рассматриваются фотонные запрещенные зоны для одномерного фотонного кристалла, содержащего слои нанокompозитного сверхпроводника с включениями сферической формы и диэлектрика. Исследуется динамика изменения положения фотонных запрещенных зон в зависимости от параметров слоев из сверхпроводящего нанокompозита.*

*Ключевые слова и фразы:* фотонный кристалл; сверхпроводимость; композитная структура; сферические включения; запрещенные зоны.

**Головкина Мария Вилевна**, к. ф.-м. н.

**Феопемптов Роман Сергеевич**

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики  
nauka77@yandex.ru*

#### **ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ОДНОМЕРНОГО ФОТОННОГО КРИСТАЛЛА, СОДЕРЖАЩЕГО СЛОИ КОМПОЗИТНОГО СВЕРХПРОВОДНИКА ©**

В настоящее время большое внимание ученых и разработчиков оптоэлектронных устройств уделяется исследованию электродинамических характеристик наноструктурированных материалов и нанотонких пленок [3]. Нанопленки из высокотемпературных сверхпроводников обладают низким сопротивлением и малыми потерями при температурах ниже критической, что обуславливает перспективность их применения в оптоэлектронных устройствах [2; 4]. В представленной работе теоретически проведено исследование электродинамических характеристик одномерного фотонного кристалла, содержащего чередующиеся слои композитного материала со сверхпроводящими включениями сферической формы и слои диэлектрика.

Исследуем свойства одномерного фотонного кристалла «тонкопленочный сверхпроводящий композит – диэлектрик». Геометрия структуры изображена на Рисунке 1. Слой № 1 – композитный сверхпроводник толщиной  $d_1$ , слой № 2 – диэлектрик толщиной  $d_2$ .