

## Частотные характеристики слоистой среды из двупериодических полосковых решеток

Л. Н. Литвиненко, С. Л. Просвирнин, Д. О. Тырнов

*Радиоастрономический институт НАН Украины,  
Украина, 61002, г. Харьков, ул. Краснознаменная, 4  
prosvirn@rian.kharkov.ua*

*Статья поступила в редакцию 26 марта 2002 г.*

Рассмотрена слоистая периодическая структура. Получены частотные зависимости постоянных распространения собственных волн. Исследованы коэффициенты отражения от полупространства, заполненного такой слоистой средой. Приведены результаты для структур из одинаковых слоев и для структур, набранных из пар различающихся слоев.

Розглянуто шарувату періодичну структуру. Отримано частотні залежності сталих поширення власних хвиль. Досліджено коефіцієнти відбиття від півпростору, заповненого таким шаруватим середовищем. Наведено результати для структур з однакових шарів та для структур, набраних з пар шарів, що відрізняються.

### Введение

Электродинамические свойства новых композиционных материалов для СВЧ-техники, особенно искусственных фотонных кристаллов и киральных сред, привлекают большой интерес исследователей. Фотонными кристаллами принято называть периодические структуры, выполненные из металла и диэлектрика. В микроволновом диапазоне у фотонных кристаллов проявляются некоторые свойства, характерные для реальных кристаллов в оптике: зависимость коэффициентов отражения, поглощения и пропускания от частоты и поляризации падающих волн; способность преобразовывать поляризацию распространяющихся в них волн; анизотропия и т. п.

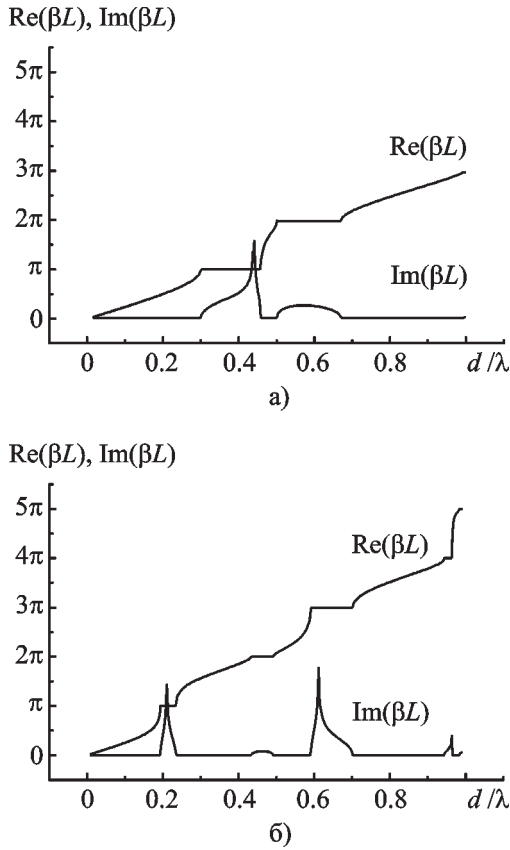
Такие свойства природных кристаллов, как оптическая активность и круговой дихроизм были известны с начала прошлого столетия, и оптические свойства гиротропных сред хорошо исследованы. Соответствующие явления в искусственных кристаллах (в СВЧ-диапазоне) стали активно исследоваться только в последние 15-20 лет. Возможность создания

из композитных материалов поглощающих покрытий и волноводных компонентов техники СВЧ вызвала повышенный интерес к этой области прикладной электродинамики.

В настоящей работе описываются свойства слоистой среды из двупериодических решеток из плоских металлических элементов, размещенных на слое диэлектрика. Такая среда проявляет свойства, характерные для фотонного кристалла в направлении, перпендикулярном плоскости слоев.

### Периодическая среда из одинаковых слоев

Пусть каждый слой набран из плоских С-образных элементов, ориентированных в одном направлении (см. рис. 1, а). Такой выбор элемента решетки связан с тем, что при малом, по сравнению с длиной волны, периоде решетки на элементе возможны резонансы тока. Периоды всех слоев по осям  $OX$  и  $OY$  одинаковы. Слои расположены перпендикулярно оси  $OZ$  (рис. 1, б).



**Рис. 2.** Дисперсионная зависимость волнового числа собственной волны в бесконечной структуре с параметрами  $L/d = 1.1$ ,  $\Delta/d = 0.083$ ,  $\epsilon = 1$ : а) – собственная волна, поляризованная в  $XOZ$ -плоскости; б) – собственная волна, поляризованная в  $YOZ$ -плоскости

Отбросим слои, расположенные слева от точки  $z = 0$ . Рассмотрим полученную таким образом полубесконечную вдоль оси  $OZ$  структуру.

Оператор отражения  $R_\infty^+$  от такой структуры получается аналогично тому, как это сделано в [4]. Уравнение для него имеет вид:

$$R_\infty^+ = r^+ + t^- e R_\infty^+ e (I - r^- e R_\infty^+ e)^{-1} t^+. \quad (2)$$

В общем случае уравнение (2) решается итерационным методом. В качестве начального приближения можно взять, например,  $R_e^+$  – оператор отражения положительной парциальной составляющей собственной волны  $A_j^+$  от полубесконечной структуры. Этот опе-

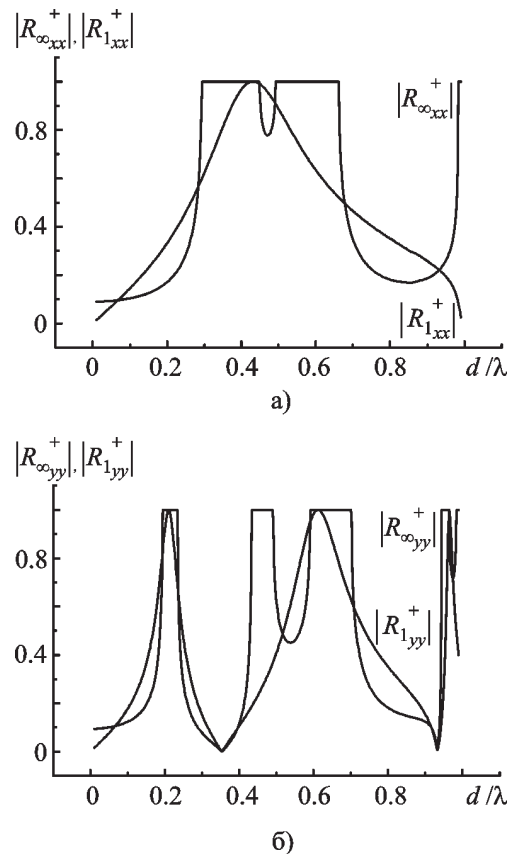
ратор можно найти из уравнений (1), он имеет следующий вид:

$$R_e^+ = (I - t^- e e^{i\beta L})^{-1} r^+. \quad (3)$$

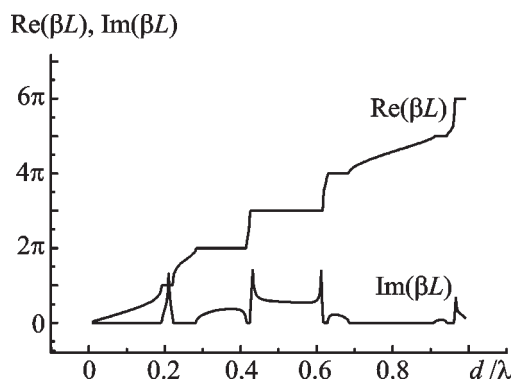
В случае, когда входящие в уравнение (2) операторы имеют вид диагональных матриц, уравнение для  $R_\infty^+$  распадается на два квадратных уравнения и решается строго.

Зависимости модулей диагональных матричных элементов  $R_{\infty,xx}^+$  и  $R_{\infty,yy}^+$  от частоты представлены на рис. 3, а и 3, б. Индексы  $xx$  и  $yy$  соответствуют коэффициентам отражения для волны, поляризованной в  $OX$  и в  $OY$  плоскостях соответственно при отсутствии преобразования поляризации.

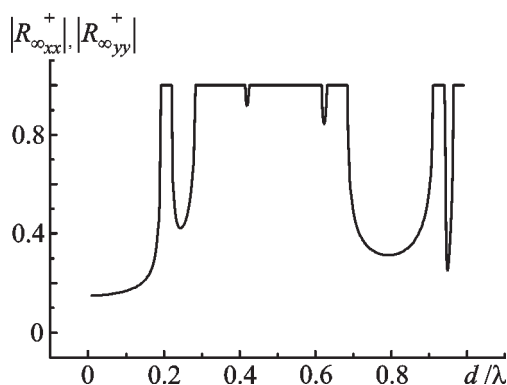
Если сравнивать зависимости на рис. 2 и 3, то видно, что зоны полного отражения от



**Рис. 3.** Дисперсионная зависимость коэффициентов отражения при  $L/d = 1.1$ ,  $\Delta/d = 0.083$ ,  $\epsilon = 1$ : а) – падающее поле поляризовано в  $XOZ$ -плоскости; б) – падающее поле поляризовано в  $YOZ$ -плоскости



**Рис. 5.** Дисперсионная зависимость волнового числа собственной волны в бесконечной структуре, составленной из пар слоев, при  $L/d = 1.1$ ,  $\Delta/d = 0.083$ ,  $h/d = 0.5$ ,  $\varepsilon = 1$



**Рис. 6.** Дисперсионная зависимость коэффициента отражения от полубесконечной структуры, составленной из пар слоев, при  $L/d = 1.1$ ,  $\Delta/d = 0.083$ ,  $h/d = 0.5$ ,  $\varepsilon = 1$

### Выводы

Исследован наиболее важный для практики одноволновый режим периодической композитной структуры. Построены дисперсионные характеристики для собственных волн. Получены частотные зависимости для коэффициентов отражения от слоистой полубесконечной структуры для двух ортогональных поляризаций падающей волны. Видно, что зоны запираения для такой структуры могут иметь как интерференционную природу, так

и быть связанными с максимумами отражения отдельных слоев, составляющих среду. В последнем случае волна почти не проникает в среду, отражаясь от первого слоя, а мнимая часть постоянной распространения собственной волны стремится к бесконечности.

Если среда состоит из одинаковых слоев, зоны запираения для двух ортогональных поляризаций падающей волны не связаны друг с другом. В том случае, когда среда состоит из различных слоев, ее коэффициент отражения не зависит от поляризации падающей волны. Из приведенных результатов можно сделать вывод, что описанная в статье среда обладает свойствами фотонного кристалла в направлении оси  $OZ$ .

### Литература

1. С. Л. Просвирнин. Радиотехника и электроника. 1999, **44**, №6, с. 681-686.
2. Т. Д. Васильева, С. Л. Просвирнин. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 1998, №4, с. 5-9.
3. S. L. Prosvirnin, T. D. Vasilyeva. 8-th Int. Conf. on Electromagnetics of Complex Media. Lisbon, Portugal, Sept. 27-29, 2000, Proceedings, pp. 241-244.
4. Л. Н. Литвиненко, С. Л. Просвирнин. Радиофизика и радиоастрономия. 1999, **4**, №3, с. 276-286.
5. Д. Н. Кокодий, С. Л. Просвирнин. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2001, **4**, №2, с. 22-27.

### Frequency Characteristics of Layered Medium Consisted of Biperiodic Strip Arrays

L. M. Lytvynenko, S. L. Prosvirnin,  
D. O. Tyrnov

The periodic layered structure is considered. The frequency dependences of the eigen wave propagation constants are obtained. The reflection coefficients from the half-space filled by such medium are investigated. The results are presented for structures made of identical layers and for structures composed of the pairs of different layers.