

ЗАСТОСУВАННЯ АНІЗОТРОПНОГО ФОТОННОГО КРИСТАЛУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОНИКНОСТІ МАТЕРІАЛІВ І РІДИН

Шматько¹ О.О., Одаренко^{1,2} Є.М., Вертій² О.О.

¹ кафедра фізики НВЧ, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,

alexandr.a.shmatko@univer.kharkov.ua, sh47@ukr.net

² Харківський національний університет радіоелектроніки

yevhen.odarenko@nure.ua, alexey.vertiy@gmail.com

***Анотація** – Представлено новий поляриметричний метод вимірювання діелектричної проникності матеріалів і рідин на основі анізотропного фотонного кристалу. Теоретично розв'язана задача розсіяння плоских електромагнітних хвиль двох ортогональних поляризацій методом матриці передачі і знайдено в аналітичному вигляді коефіцієнти проходження хвиль та визначено кут нахилу площини поляризації хвилі для повного поля за кристалом. Проведено аналіз зміни кута в залежності від параметрів анізотропного кристалу і встановлено його зв'язок з діелектричною проникністю вимірюваного зразка середовища за повним проходження хвиль на різних частотах. Розраховано кути повороту площини поляризації для різних значень діелектричної проникності одного із шарів фотонного кристалу. Показана висока чутливість методу знаходження діелектричної проникності зразків на фотонному анізотропному поляриметрі.*

***Ключові слова:** поляриметрия, фотонні кристали, вимірювання діелектричної проникності, поляризація хвиль*

1. ВСТУП

Фотонні кристали (ФК) знаходять широке застосування в різних додатках сучасної науки і техніці терагерцового, мікрохвильового і оптичного діапазонів [1, 2]. Особливості проходження електромагнітних хвиль через такі структури повністю залежать від матеріальних параметрів і геометричних розмірів шарів ФК. До теперішнього часу є багато публікацій, в яких розглядаються різні методи діелектричних вимірювань в діапазонах мм та субмм хвиль. Досить повний огляд методів вимірювання можна знайти в роботах [3-7].

Відомо, що для Е- і Н- поляризованих хвиль коефіцієнти відбиття та проходження через обмежений одновимірний ФК мають різні значення. Якщо в обмеженому ФК один із шарів на періоді вибрати анізотропним (наприклад, кристалічний кварц), а другий шар (зразок) – ізотропним матеріалом або рідиною, то поляризація хвилі після проходження через структуру буде змінюватись. Тангенс кута нахилу поляризації, який визначається через відношення двох компонент електричного поля, залежить від значення діелектричної проникності досліджуваного зразка. За зміною кута визначається і значення

діелектричної проникності ізотропного шару.

В цій роботі наведеним вище методом проведено вимірювання діелектричної проникності рідини в якості якої було вибрано бензин з різним октановим числом.

2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для визначення залежності кута нахилу площини поляризації хвилі на виході одновимірному ФК необхідно розв'язати дві електродинамічні задачі для Е- і Н-поляризацій випромінювання.

На першому етапі необхідно знайти власні хвильові числа Флоке-Блоха для обох поляризацій в нескінченному одновимірному ФК з двома різними шарами на періоді. Така задача розв'язується за допомогою методу матриці передачі і теореми Флоке. В результаті для такої структури отримано дисперсійні рівняння для визначення хвильових чисел Флоке-Блоха, які знаходяться у аналітичному вигляді для ТЕ і ТМ власних хвиль ФК для довільних розмірів шарів і їх матеріальних параметрів.

На другому етапі розв'язуються електродинамічні задачі дифракції ТЕ і ТМ плоских хвиль на Брегівській структурі. Для знаходження коефіцієнтів проходження плоских хвиль через таку періодичну структуру застосовується також метод матриці передачі на періоді ФК і структури в цілому. В результаті використання цього методу отримано в аналітичному вигляді через елементи матриці передачі коефіцієнти відбиття і проходження хвиль для Е- і Н- поляризацій. Завдяки властивості унімодулярності матриці передачі для обмеженого ФК вдається отримати аналітичні вирази для коефіцієнтів проходження хвиль через матрицю передачі на одному періоді ФК. На третьому етапі це дозволило отримати формулу для кута нахилу площини поляризації через знайдені аналітичні вирази коефіцієнтів проходження для двох ортогональних поляризацій.

Таким чином на основі отриманих аналітичних виразів для хвильових чисел безмежного анізотропного ФК і коефіцієнтів проходження хвиль було розраховано залежність кута нахилу площини поляризації від діелектричної проникності бензину, яка характеризує його октанове число.

В якості прикладу розрахунку діелектричної проникності бензину з різним октановим числом від 76 до 95 (діелектрична проникність якого змінювалась в діапазоні 2-2.2) було вибрано ФК з скінченним числом його періодів на основі кристалічного

альфа-кварцу з відомими з літературних джерел діагональними елементами тензору діелектричної проникності [8]. Завдяки розробленому методу було розраховано кут нахилу площини поляризації в інтервалі зміни діелектричної проникності бензину для вибраної частоти сигналу, на якій проводяться вимірювання. Частота, на якій проводились розрахунки вибиралась такою, що відповідає умові реалізації найбільшої крутизни амплітудно-частотної характеристики для двох поляризацій. Це область на межі смуги запирання нескінченного ФК.

Встановлено, що зміна діелектричної проникності бензину на 0.01-0.02 призводить до зміни кута нахилу площини поляризації на декілька градусів, що вказує на високу чутливість запропонованого методу вимірювання діелектричної проникності досліджуваного середовища.

3. ВИСНОВКИ

Запропонований новий метод вимірювання діелектричної проникності матеріалів і рідин на основі анізотропного ФК за рахунок виміру кута нахилу площини поляризації показав його високу ефективність завдяки значній його чутливості. Це вказує на перспективу його застосування для вимірювання діелектричної проникності широкого кола твердих речовин та рідин в мм, субмм та оптичному діапазонах.

4. ЛІТЕРАТУРА

- 1 J. D. Joannopoulos, S. G. Johnson, J. N. Winn, and R. D. Meade, Photonic Crystals: molding the flow of light. Princeton University Press, 2008.
- 2 Q. Gong, X. Hu, Photonic Crystals: Principles and Applications. Taylor and Francis Group, 2013.
- 3 J. R. Birch, R. N. Clarke, Dielectric and optical measurements from 30 to 1000 GHz. J. Radio and Electronic Engineer. V. 52. № 11-12, 1982; 565-584.
- 4 M. T. Jilani, M. Z. Rehman, A. M. Khan, M. T. Khan, and S. M. Ali, A brief review of measuring techniques for characterization of dielectric materials, Int. J. of Information Techn. and Electrical Engineering, vol. 1, no. 1, 2012; 1-5.
- 5 А. А. Вертий, С. П. Гаврилов, В. Н. Деркач. Применение многослойного перестраиваемого интерференционного зеркала для измерения оптических параметров и постоянных (n, k) образцов в диапазоне миллиметровых волн. Электроника миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. Сб. науч.

трудоу. Киев, Наук. думка. 1988; 195-203.

6 А. А. Vertiy, S. P. Gavrilov, V. N. Derkach and V. P. Shestopalov, "Application of multilayer structures at millimeter wavelength," Int. J. of Infrared and Millimeter Waves, vol. 10, no. 10, 1989; 1193-1206.

7 В. Н. Мизерник, А. А. Шматко Определение материальных параметров и толщины промышленных магнитоэлектрических и ферритовых образцов с металлической подложкой. Ж. «Физическая инженерия поверхности», Изд-во ХНУ, Т.8, №4, 2010; 287-305.

8 С. Sevik, and C. Bulutay, Theoretical study of the insulating oxides and nitrides: SiO₂, GeO₂, Al₂O₃, Si₃N₄, and Ge₃N₄. J. Mater. Sci., vol. 42, 2007; 6555-6565.

APPLICATION OF ANISOTROPIC PHOTONIC CRYSTAL FOR SOLIDS AND LIQUIDS PERMITTIVITY DETERMINATION

Shmat'ko¹ A.A., Odarenko^{1,2} E.N., Vertiy² A.A.

¹ Department of Microwave Physics,
V. N. Karazin Kharkiv National University
Kharkiv, Ukraine

alexandr.a.shmatko@univer.kharkov.ua

² School of Electronics and Biomedical Engineering,
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine

vevhen.odarenko@nure.ua, alexey.vertiy@gmail.com

Abstract — A new polarimetric method for measuring the dielectric constant of materials and liquids based on an anisotropic photonic crystal is presented. The problem of scattering of plane electromagnetic waves of two orthogonal polarizations by the method of transmission matrix is theoretically solved. Wave transmission coefficients are found in the analytical form and the tilt angle of the polarization plane for the full field behind the crystal is determined. The analysis of the dependence of the tilt angle on the anisotropic crystal parameters is carried out and its connection with the dielectric constant of the measured sample of the medium at the full passage of waves at different frequencies is established. The angles of polarization plane rotation for different values of the dielectric constant of gasoline in one of the layers of the anisotropic structure are calculated. The high sensitivity of the method of defining the dielectric constant of samples on the base of considered polarimeter is shown.

Key words: polarimetry, photonic crystals, measurement of dielectric constant, wave polarization