

Оптимизация параметров метаматериала на основе П-образных элементов в модуле DesignXplorer программы ANSYS Workbench

Хахомов С. А.¹, Самофалов А. Л.¹, Никитюк Ю. В.¹, Семченко И. В.^{1,2}, Аушев И. Ю.³

¹Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, Гомель, Беларусь

²ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Минск, Беларусь

³Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. В программе Ansys HFSS создан проект поглощающей структуры, состоящей из проводящих П-образных элементов, и проведен численный эксперимент с применением выборки, полученной методом латинских гиперкубов в модуле DesignXplorer программы ANSYS Workbench. В качестве варьируемых факторов использовались период структуры, ширина и толщина проводящего слоя П-образных элементов. В качестве откликов использовались резонансная частота и соответствующие значения коэффициентов отражения и поглощения метаматериала. В модуле DesignXplorer с применением генетического алгоритма MOGA определены значения параметров метаматериала на основе массива П-образных элементов, обеспечивающие формирование слабо отражающих структур с одновременно сильным поглощением волн в СВЧ-диапазоне.

I. Введение

Исследования метаматериалов открывают возможности создания объектов, скрытых в определенном диапазоне частот, при этом использование в качестве элементов метаматериалов и метаповерхностей частиц прямоугольной формы обеспечивает расширение технологических возможностей за счет применения высокоэффективных методов фотолитографии [1-4]. Актуальным направлением повышения эффективности применения метаматериалов является определение оптимальных значений параметров, обеспечивающих формирования слабо отражающих структур с одновременно сильным поглощением волн в заданном диапазоне.

В работах [5-8] приведены результаты многокритериальной оптимизации параметров конструкций и параметров технологических процессов с использованием алгоритма MOGA [9]. В данной работе с применением генетического алгоритма MOGA, реализованного в модуле DesignXplorer программы ANSYS Workbench [10], определены значения параметров метаматериала на основе массива П-образных элементов, обеспечивающие формирования слабо отражающих структур с одновременно сильным поглощением волн в СВЧ-диапазоне.

II. Определение оптимальных значений параметров метаматериала на основе П-образных элементов

В программе ANSYS HFSS был создан проект поглощающего метаматериала, состоящего из проводящих П-образных элементов, расположенных на диэлектрическом слое (см. рис. 1.) [10-11].

С использованием метода латинских гиперкубов в модуле DesignXplorer была сформирована выборка для проведения численного эксперимента [12]. В соответствии с планом эксперимента выполнялись расчёты для 20 комбинаций трех входных параметров (см. табл. 1): P1 – период структуры p , P2 – ширина полосы проводящего слоя w , P3 – толщина проводящего слоя t . При этом определялись следующие выходные параметры: резонансная частота падающего излучения ω_0 , коэффициент отражения R и коэффициент поглощения метаматериала A . Таким образом, моделью объекта исследования являлись функции отклика, связывающие выходные параметры (ω_0, R, A) с факторами (p, w, t) .

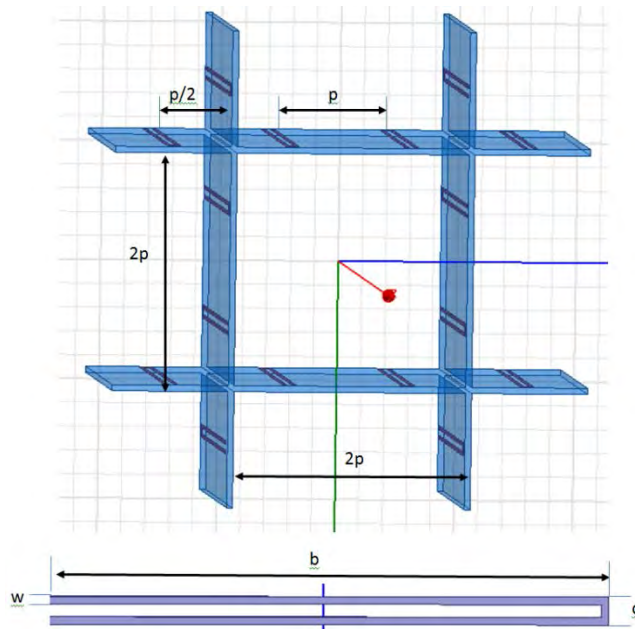


Рис. 1. Проект поглощающего метаматериала, состоящего из проводящих Π-образных элементов, расположенных на диэлектрическом слое

Таблица 1

Параметры Π-образного метаматериала

Входные параметры	Значения входных параметров
P1 (p, мм)	2,4; 3,2; 4; 4,8; 5,6; 6,4; 7,2; 8,0; 8,8; 9,6
P2 (w, мм)	0,305; 0,315; 0,325; 0,335; 0,345; 0,355; 0,365; 0,375; 0,385; 0,395
P3 (t, мкм)	18; 35

На рисунке 2 представлена зависимость резонансной частоты падающего излучения ω_0 от периода структуры p и ширины проводящего слоя w, при толщине проводящего слоя $t=35$ мкм.

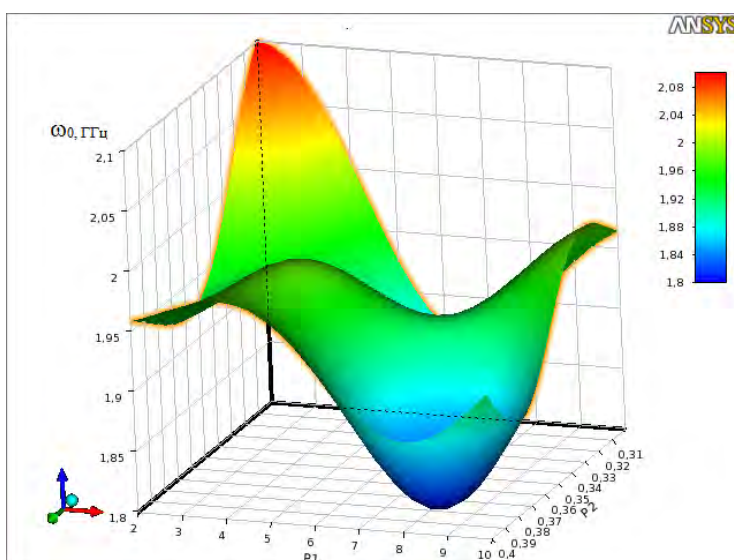


Рис. 2. Зависимость резонансной частоты падающего излучения от параметров метаматериала

При оптимизации параметров метаматериала на основе массива Π-образных элементов использовался многокритериальный генетический алгоритм MOGA, встроенный в модуль DesignXplorer, с числом индивидов начальной популяции, равным 200, и числом индивидов за итерацию, равным 100.

Многокритериальная оптимизация осуществлялась по критериям максимума значений коэффициента поглощения $A \rightarrow \max$ и минимума значений коэффициента отражения $R \rightarrow \min$. Результаты оптимизации приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты многокритериальной оптимизации

$P1$ $p, \text{ мм}$	$P2$ $w, \text{ мм}$	$P3$ $t, \text{ мкм}$	ω_0 ГГц	R	A
2,89	0,34	35	1,95	0,01	0,78

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций», подпрограмма «Опто- и СВЧ-электроника».

III. Заключение

В работе выполнена оптимизация параметров метаматериала на основе массива П-образных элементов. В результате оптимизации определен набор параметров, использование которого на практике обеспечит формирования слабо отражающих структур с одновременно сильным поглощением волн в СВЧ-диапазоне.

Список литературы

1. И. Семченко, С. Хахомов, А. Самофалов, А. Балмаков, “Метаматериалы и метаповерхности”, Наука и инновации, №8. 2020, С.23–27.
2. I.V. Semchenko, S.A. Khakhomov, M.A. Podalov, S.A., Tretyakov, “Radiation of circularly polarized microwaves by a plane periodic structure of Ω elements”, J. Commun. Technol. Electron. 52(9), 2007, 1002.
3. I.V. Semchenko, S.A. Khakhomov, A.L. Samofalov, M.A. Podalov, Q. Songsong, “The effective optimal parameters of metamaterial on the base of omega-elements”, Recent Global Research and Education: Technological Challenges. INTER-ACADEMIA 2016 / Ed. by Ryszard Jablonski and Roman Szewczyk, Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 519, Springer. 2017, pp. 3 – 9.
4. I.V. Semchenko, S.A. Khakhomov, M.A. Podalov, A.L. Samofalov, “Polarization properties of a rectangular balanced omega-element in the THz range”, Engineering for Sustainable Future. INTER-ACADEMIA 2019. / Ed. by Várkonyi-Kóczy A., Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 101. Springer, 2020, pp. 84-93.
5. С. В. Красновская, В. В. Напрасников, “Обзор возможностей оптимизационных алгоритмов при моделировании конструкций компрессорно-конденсаторных агрегатов методом конечных элементов”, Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук, № 2, 2016, С. 92-98.
6. S. Wu, J. Xing, L. Dong and H. Zhu, “Multi-Objective Optimization of Microstructure of Gravure Cell Based on Response Surface Method”, Processes, 9(2), 2021, 403.
7. Y. V. Nikityuk, A. N. Serdyukov, and I. Y. Aushev, “Optimization of two-beam laser cleavage of silicate glass”, J. Opt. Technol. 89, 2022, pp. 121-125.
8. Ю.В. Никитюк, А.Н. Сердюков, И.Ю. Аушев, “Оптимизация параметров лазерного раскалывания кварцевого стекла”, Проблемы физики, математики и техники, № 4 (49), 2021, С. 21–28.
9. C. Fonseca, P. Flemingz, “Genetic algorithms for multiobjective optimization: Formulation discussion and generalization”, In Proceedings of The 5th International Conference on Genetic Algorithms. CA, USA. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1993, pp. 416–423.
10. Ansys.com – Официальный сайт компании ANSYS.
11. С.Е. Банков, Э.М. Гутцайт, А.А. Курушин, “Решение оптических и СВЧ задач с помощью HFSS”, М: ООО «Оркада», 2012. 250 с.
12. T. J. Santner, B. J. Williams, W. I. Notz, “The Design and Analysis of Computer Experiments. Springer Series in Statistics”, 2003, 285 p.