



УКРАЇНА

(19) UA (11) 97425 (13) C2
(51) МПК (2012.01)
H01P 3/00ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ФОТОННОКРИСТАЛІЧНИЙ ПРИСТРІЙ З ПРОТИФАЗНИМИ ХВИЛЬОВИМИ НЕОДНОРІДНОСТЯМИ

1

2

(21) а201006790

(22) 01.06.2010

(24) 10.02.2012

(46) 10.02.2012, Бюл. № 3, 2012 р.

(72) ТИМОФЄЄВА ЮЛІЯ ФЕДОРІВНА, НАЗАРЬКО АНАТОЛІЙ ІВАНОВИЧ, НЕЛІН ЄВГЕНІЙ АНДРІЙОВИЧ, ПОПСУЙ ВОЛОДИМИР ІЛЛІЧ

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

(56) Rumsey I., Picket-May M., Kelly P. K. Photonic bandgap structures used as filters in microstrip circuits // IEEE Microwave and Guided Wave Letters, - 1998. - Vol. 8, №10. - P. 336-338

UA 43888 U; 10.09.2009

UA 47242 U; 25.01.2010

SU 1032977 A; 23.03.1986

RU 2257648 C1; 27.07.2005

US 5923225 A; 13.07.1999

KR 20030054278 A; 02.07.2003

US 2009021327 A1; 22.01.2009

WO 0184663 A1; 08.11.2001

(57) 1. Фотоннокристалічний пристрій з протифазними хвильовими неоднорідностями, що містить

діелектричну основу, в якій виконано ряд хвильових неоднорідностей, що розміщені з заданою періодичністю, причому з одного боку основа металізована, а на другому боці основи над рядом неоднорідностей розміщено сигнальний провідник, який відрізняється тим, що суміжні хвильові неоднорідності виконано з хвильовими опорами Z_1 та Z_2 , які відповідають умові $Z_1 > Z_0 > Z_2$, де Z_0 - хвильовий опір однорідної області пристрою.

2. Фотоннокристалічний пристрій за п. 1, який відрізняється тим, що додатково виконуються умови:

$$Z_1 Z_2 = Z_0^2, l_1 / l_2 = \sqrt{\epsilon_2 / \epsilon_1},$$

де

 l_1 і l_2 - довжини суміжних хвильових неоднорідностей у напрямку поширення хвилі, ϵ_2 і ϵ_1 - відносні діелектричні проникності суміжних хвильових неоднорідностей.

Запропонований винахід належить до електромагнітних радіоелектронних пристроїв на основі мікросмужкових фотонних кристалів (ФК) і може бути використаний для частотної селекції сигналів.

ФК, як і природні кристали, характеризуються зонною діаграмою з чергуванням дозволених та заборонених зон. Мікросмужкові ФК мають періодично розміщені хвильові неоднорідності. Хвильові опори неоднорідностей та однорідної області ФК різні, що приводить до формування дозволених та заборонених частотних зон. Заборонена зона ФК відповідає смузі подавлення пристрою, а мінімум коефіцієнта проходження в забороненій зоні - максимальному заглушенню сигналу в цій смузі.

Відомий фотоннокристалічний пристрій, що містить діелектричну основу, на одному боці якої виконано металізацію і ряд періодично розміщених в металізації неоднорідностей у вигляді отворів, а на другому боці розміщено сигнальний провідник,

розташований над рядом неоднорідностей [див. Radisic V., Qian Y., Coccioli R., Itoh T. Novel 2D photonic bandgap structure for microstrip lines // IEEE Microwave and Guided Wave Letters, - 1998. - Vol. 8, №2. - P. 69 - 71]. Недоліком такого рішення є вузькі заборонені зони та високий рівень сигналу в цих зонах, що обумовлене слабкими за своєю дією неоднорідностями. Хвильовий опір Z такої неоднорідності відповідає умові $Z > Z_0$, де Z_0 - хвильовий опір однорідної області, і невисокий.

Найбільш близьким до запропонованого пристрою є фотоннокристалічний пристрій, що містить діелектричну основу, в якій виконано ряд хвильових неоднорідностей у вигляді наскрізних отворів, що розміщені з заданою періодичністю, причому з одного боку основа металізована, а на другому боці основи над рядом неоднорідностей розміщено сигнальний провідник [див. Rumsey I., Picket-May M., Kelly P. K. Photonic bandgap structures used as

(13) C2

(11) 97425

(19) UA

filters in microstrip circuits // IEEE Microwave and Guided Wave Letters, - 1998. - Vol. 8, № 10. - P. 336-338]. Такі неоднорідності мають більше значення Z , у порівнянні з попереднім рішенням, що забезпечує розширення заборонених зон та зменшення рівня сигналу в цих зонах. Недоліком пристрою, як і інших відомих фотоннокристалічних пристроїв, є однофазність неоднорідностей, що збільшує габарити пристрою.

Задачею запропонованого винаходу є зменшення габаритів відомого пристрою шляхом виконання ряду неоднорідностей з по чергово розміщених проти фазних неоднорідностей.

Поставлена задача вирішується тим, що у фотоннокристалічному пристрої, що містить діелектричну основу, в якій виконано ряд хвильових неоднорідностей, що розміщені з заданою періодичністю, причому з одного боку основа металізована, а на другому боці основи над рядом неоднорідностей розміщено сигнальний провідник, новим є те, що суміжні хвильові неоднорідності виконано з хвильовими опорами Z_1 та Z_2 , які відповідають умові $Z_1 > Z_0 > Z_2$. Неоднорідностям з $Z > Z_0$, як і неоднорідностям з $Z < Z_0$, відповідають декілька конструктивних рішень. Наприклад, хвильовий опір $Z > Z_0$ мають такі неоднорідності: отвори в металізації; наскрізні або ненаскрізні отвори в діелектричній основі, а хвильовий опір $Z < Z_0$ - ненаскрізні металізовані отвори в діелектричній основі; наскрізні або ненаскрізні отвори в діелектричній основі, заповнені діелектричним матеріалом з діелектричною проникністю, більшою за діелектричну проникність основи.

Запропонований винахід пояснюється кресленнями та характеристиками на Фіг. 1 - Фіг. 5.

На Фіг. 1 показано загальний вид фотоннокристалічного пристрою,

на Фіг. 2 - вид зверху по Фіг. 1.

На Фіг. 3 і Фіг. 4 представлено порівняльні розрахункові частотні характеристики коефіцієнтів проходження T і відбиття R для фотоннокристалічного пристрою 1 конкретної реалізації та найбільш близького аналога 2 цього пристрою в першій забороненій зоні, де f_{01} - середня частота цієї зони.

На Фіг. 5 наведено частотні характеристики коефіцієнтів проходження пристроїв згідно з пп. 1 і 2 формули винаходу та найбільш близького аналога цього пристрою в другій забороненій зоні.

Фотоннокристалічний пристрій містить діелектричну основу 3, в якій виконано ряд неоднорідностей 1 і 2, що розміщені з заданою періодичністю по чергово. Відстань між центрами суміжних неоднорідностей дорівнює d . Неоднорідності 1 виконано у вигляді наскрізних отворів, а неоднорідності 2 у вигляді ненаскрізних металізованих отворів. З одного боку виконано металізацію 4 основи. Над рядом неоднорідностей розміщено сигнальний смужковий провідник 5.

В основі роботи пристрою лежить процес поширення електромагнітних хвиль вздовж мікросмужкової лінії. В результаті відбиття хвиль від періодично розташованих неоднорідностей і інтерференції цих хвиль формуються дозволени та заборонені частотні зони.

У першому наближенні враховують лише хвилі, однократно відбиті від меж неоднорідності. Коефіцієнт відбиття від неоднорідності r_n , приведений до її центра, визначається виразом

$$r_n = r \exp(ikl) - r \exp(-ikl) = 2ir \sin(kl), \quad (1)$$

де $r = (Z - Z_0)/(Z + Z_0)$ - коефіцієнт відбиття від меж між однорідною областю і неоднорідністю; k - хвильове число неоднорідності; l - довжина неоднорідності у напрямку поширення хвилі. При $Z > Z_0$ коефіцієнт відбиття $r > 0$, а при $Z < Z_0$ - $r < 0$. Згідно з (1), при $r > 0$ і $r < 0$ коефіцієнти r_n також відрізняються знаком, тобто неоднорідності проти фазні при $Z > Z_0$ і при $Z < Z_0$.

Для проти фазних неоднорідностей умова резонансного відбиття хвиль визначається співвідношенням $d = \lambda_n n / 4$, де λ_n - довжина хвилі на середній частоті n -ної забороненої зони; $n = 1, 2, \dots$ - номер забороненої зони. Оскільки $\lambda_n = v / f_{0n}$, де v - швидкість електромагнітної хвилі; f_{0n} - середня частота n -ної забороненої зони, з умови резонансного відбиття хвиль маємо

$$f_{0n} = vn / 4d. \quad (2)$$

Для однофазних неоднорідностей умова резонансного відбиття хвиль визначається співвідношенням $d = \lambda_n n / 2$. З цієї умови отримаємо

$$f_{0n} = vn / 2d. \quad (3)$$

З виразів (2) і (3) бачимо, що при однакових значеннях v і d середні частоти заборонених зон у випадку однофазних неоднорідностей вдвічі вищі у порівнянні з проти фазними неоднорідностями. При розрахунку пристрою на задану частоту, наприклад першої забороненої зони, габарити пристрою, що заявляється, будуть вдвічі менші у порівнянні з відомим пристроєм.

Згідно з (1), при виконанні амплітудної умови $Z_1 Z_2 = Z_0^2$, а також фазової умови $k_1 l_1 = k_2 l_2$, де індекси 1 і 2 відносяться до неоднорідностей 1 і 2, модулі коефіцієнтів відбиття від неоднорідностей 1 і 2 однакові. Оскільки $k = 2\pi / \lambda = 2\pi f \sqrt{\epsilon} / c$, де λ - довжина хвилі; f - частота; ϵ - відносна діелектрична проникність; c - швидкість електромагнітних хвиль у вакуумі, з другої умови маємо $l_1 / l_2 = \sqrt{\epsilon_2} / \epsilon_1$, де

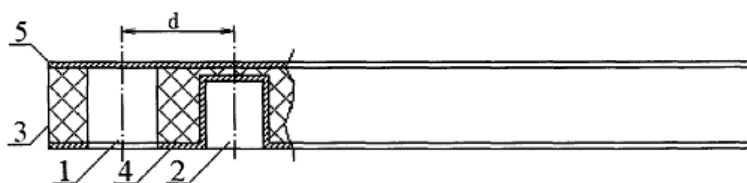
ϵ_1 і ϵ_2 - відносні діелектричні проникності неоднорідностей 1 і 2. При виконанні вказаних умов хвилі, відбиті від суміжних неоднорідностей 1 і 2, при парних n взаємно компенсуються. Відповідно, заборонені зони з парними n відсутні, що забезпечує додаткові можливості в формуванні частотних характеристик пристрою.

Частотні характеристики 1 і 2 на Фіг. 3 та Фіг. 4 відповідають пристрою I конкретної реалізації запропонованого згідно з п. 1 формули винаходу і пристрою II - найбільшчому аналогу в першій забороненій зоні. Отвори виконано круглими. Параметри: довжина ФК пристрою I становить 68 мм, пристрою II - 128 мм, ширина 13 мм, товщина діелектрика 2,1 мм, товщина мідної фольги 50 мкм, ширина смужкового провідника 2,5 мм, $d_1 = 12$ мм, $d_{II} = 24$ мм, діаметр отворів $l_1 = l_2 = 8$ мм, кількість отворів 6, відносна діелектрична проникність матеріалу основи - 7, тангенс кута діелектричних втрат - 0,0025 на частоті 10 ГГц. В пристрої I товщина зазору між металізованим отвором та смуж-

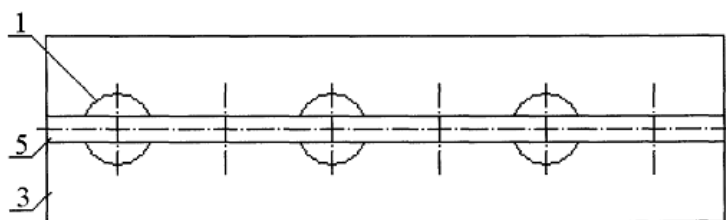
ковим провідником $\delta=0,65$ мм, а товщина металізації отворів - 50 мкм. Хвильові опори такі: $Z_0=50$ Ом, $Z_1=145$ Ом, $Z_2=25$ Ом. Для характеристики 1 $f_{01}=3,14$ ГГц, а для характеристики 2 $f_{01}=3,16$ ГГц. Таким чином, середні частоти характеристик пристроїв приблизно співпадають, хоча відношення $d_{II}/d_I = 2$, і довжина пристрою II майже вдвічі більша за довжину пристрою I. Дещо менша середня частота пристрою I пояснюється тим, що періоди пристроїв однакові, а $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$.

Частотні характеристики 1, 2, 3 і 4 на Фіг. 5 відповідають коефіцієнтам проходження пристрою V конкретної реалізації запропонованого винаходу згідно з п. 2 формули винаходу, пристроям I і I" та

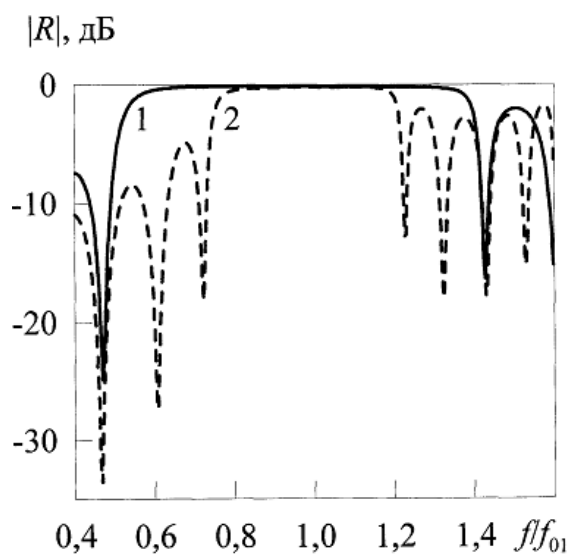
пристрою II в другій забороненій зоні. Пристрій I' відрізняється від пристрою I значеннями параметрів δ і l_2 . Значення $\delta=0,4$ мм знайдено з амплітудної умови $Z_2=Z_0^2/Z_1=17$ Ом, а значення l_2 - з фазової: $l_2=l_1 \cdot \sqrt{\varepsilon_1/\varepsilon_2} = 8 \cdot \sqrt{2,4/5,4} = 5,3$ мм. Пристрій I" відрізняється від пристрою I лише значенням $\delta=1,5$ мм, якому відповідає $Z_2=43$ Ом. З порівняння характеристик 1 і 4 видно, що друга заборонена зона в пристрої I' відсутня. Значення δ і l_2 пристрою I ближчі до умов п. 2 формули винаходу, ніж в інших випадках, які ілюструє пристрій I". Для характеристик 1 - 4 значення f_{02} відповідно дорівнюють 5,80 ГГц, 6,21 ГГц, 6,26 ГГц і 6,31 ГГц.



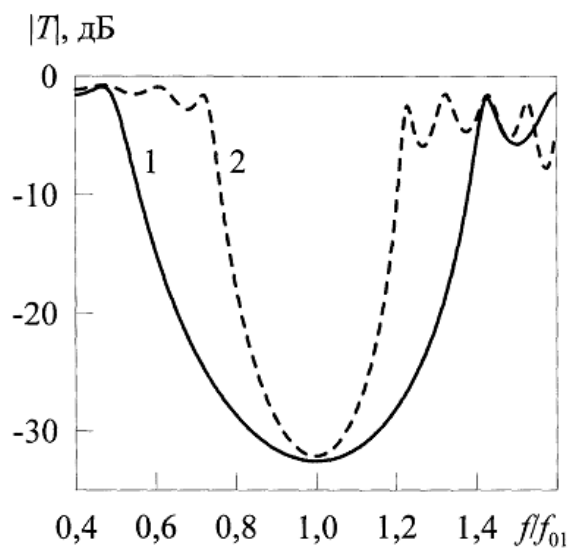
Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4

