



УКРАЇНА

(19) UA (11) 54178 (13) U
(51) МПК (2009)
С30В 30/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) МАГНІТОФОТОННИЙ КРИСТАЛ РЕЗОНАНСНОГО ТИПУ

1

2

(21) u201006113

(22) 20.05.2010

(24) 25.10.2010

(46) 25.10.2010, Бюл. № 20, 2010 р.

(72) ШАПОШНИКОВ ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ,
ПРОКОПОВ АНАТОЛІЙ РОМАНОВИЧ, КАРАВАЙ-
НИКОВ АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ(73) ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИ-
ТЕТ ІМ. В.І. ВЕРНАДСЬКОГО(57) Магнітофотонний кристал мікрорезонаторного
типу, що містить магнітооптичний шар вісмут-

заміщеного залізо-ітрієвого гранату $\text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{2,0}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, розташований між двома брегівськими дзеркалами, які складаються з N пар переміжних чвертьхвильових шарів Ta_2O_5 і SiO_2 , який відрізняється тим, що додатково містить шар залізо-вісмутного гранату $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ товщиною $3\lambda/8n$, нанесений на шар, виконаний з вісмут-заміщеного залізо-ітрієвого гранату товщиною $\lambda/8n$, де λ - довжина хвилі, n - показник заломлення світла в магнітооптичних шарах.

Корисна модель відноситься до галузі виробництва кристалів і може бути використана для керування когерентними потоками світла в оптоелектронних і магнітофотонних приладах, системах відображення, зберігання і передавання інформації.

Відомий періодичний одновимірний магнітофотонний кристал, що включає нанесені на підкладку із плавленого кварцу чотири повторювані пари шарів з вісмут-заміщеного залізо-ітрієвого гранату ($\text{Bi}:\text{YIG}$) складу $\text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{2,0}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ товщиною $3\lambda_{\text{PC}}/4n_{\text{M}}$ і двоокису кремнію SiO_2 товщиною $\lambda_{\text{PC}}/4n_{\text{N}}$ $\text{Arс}/4n_{\text{N}}$, де λ_{PC} - довжина хвилі, що відповідає середині фотонної забороненої зони, $n_{\text{M}} = 2,6$ і $n_{\text{N}} = 1,47$ - показники заломлення шарів $\text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{2,0}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ і SiO_2 , відповідно [Fedyanin A. A., Aktsipetrov O. A., Kobayashi D., Nishimura K., Uchida H., Inoue M. Phase-matched magnetization-induced second-harmonic generation in yttrium-iron-garnet magnetophotonic crystals // IEEE Trans. Magn. 2004. Vol. 40, N 4. P. 256-259]. Абсолютне значення кута обертання Фарадея на довгохвильовому краї фотонної забороненої зони такого кристала в результаті ефекту підсилення становить $\alpha_{\text{F}} = -0,8$, значення питомого обертання Фарадея становить $\theta_{\text{F}} = -0,75$ °/мкм, що приблизно в 8 разів більше, ніж для окремих шарів $\text{Bi}:\text{YIG}$ еквівалентної товщини.

Недоліком пристрою на основі такого кристала є неможливість одержати в ньому значення питомого обертання Фарадея величиною кілька десятків градусів на мікрон шляхом використання $\text{Bi}:\text{YIG}$ з вмістом вісмуту, що перевищує 1,0 ат./ф. о., у

тому числі чистого залізо-вісмутного гранату $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, у зв'язку з неможливістю здійснення кристалізації шарів таких складів у вигляді гранатової фази на шарі SiO_2 .

Як найближчий аналог вибрано одновимірний магнітофотонний кристал мікрорезонаторного типу $(\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)^5/\text{Bi}:\text{YIG}/(\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5)^5$, який складається з напівхвильового шару $\text{Bi}:\text{YIG}$ складу $\text{Bi}_{0,7}\text{Y}_{2,3}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, оточеного двома брегівськими дзеркалами, які складаються у свою чергу з п'яти пар переміжних чвертьхвильових шарів SiO_2 і Ta_2O_5 [Inoue M., Fujikawa R., Baryshev A., Khanikaev A., P. B. Lim, Uchida H., Aktsipetrov O., Fedyanin A., Murzina T., Granovsky A. Magnetophotonic crystals. Topical Review // J. Phys. D. 2006. Vol. 39. P. R151-R161]. На резонансній довжині хвилі $\lambda_{\text{R}} = 720$ нм коефіцієнт пропускання структури становить 63 %, а кут обертання Фарадея $\alpha_{\text{F}} = -0,63^\circ$, що відповідає значенню питомого обертання Фарадея $\theta_{\text{F}} = -3,77$ °/мкм і приблизно в 10 разів більше, ніж для окремого шару $\text{Bi}:\text{YIG}$ еквівалентної товщини.

Недоліком пристрою на основі такого кристала також є неможливість одержати в ньому значення питомого обертання Фарадея величиною кілька десятків градусів на мікрон у зв'язку з неможливістю здійснення кристалізації шарів зі вмістом вісмуту, що перевищує 1,0 ат./ф. о., у тому числі чистого залізо-вісмутного гранату $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, у вигляді гранатової фази на шарі SiO_2 .

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалити магнітофотонний кристал мікроре-

(19) UA (11) 54178 (13) U

зонаторного типу шляхом підвищення в ньому величини питомого обертання Фарадея.

Поставлена задача вирішується тим, що магнітофотонний кристал мікрорезонаторного типу, який включає магнітооптичний шар вісмут-заміщеного залізо-ітрієвого гранату $\text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{2,0}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, розташований між двома бреггівськими дзеркалами, які складаються з N пар переміжних чвертьхвильових шарів Ta_2O_5 і SiO_2 , згідно з корисною моделлю, додатково містить шар залізо-вісмутного гранату $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ товщиною $3\lambda/8n$, нанесений на шар, виконаний з вісмут-заміщеного залізо-ітрієвого гранату товщиною $\lambda/8n$, де λ - довжина хвилі, n - показник заломлення світла в магнітооптичних шарах.

Такий кристал дозволяє одержувати високі значення питомого обертання Фарадея в ньому, що становлять десятки градусів на мікрон.

На (фіг. 1) наведено схематичне зображення такого магнітофотонного кристала мікрорезонаторного типу. Кристал виготовлений на кварцовій підкладці (1) і містить два діелектричних бреггівських дзеркала, що складаються з N пар переміжних чвертьхвильових шарів Ta_2O_5 (2) і SiO_2 (3), між дзеркалами розташовано два магнітооптичних шари, один з яких виконаний з $\text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{2,0}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (4) товщиною $\lambda/8n$, а другий - нанесений на нього шар залізо-вісмутного гранату $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (5) товщиною $3\lambda/8n$.

Магнітофотонний кристал мікрорезонаторного типу працює так. Кристал вміщується в зовнішнє магнітне поле H , напрямлене вздовж нормалі до його поверхні, яке перевищує поле насичення магнітооптичного шару. На кристал вздовж нормалі до його поверхні падає світловий потік лінійно поляризованого випромінювання (6) з резонансною довжиною хвилі λ_R . Бреггівські дзеркала забезпечують локалізацію світла у феромагнітних мікрорезонаторних шарах $\text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{2,0}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (4) і $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (5), що приводить до багаторазового посилення кута обертання Фарадея внаслідок багатопроменевої інтерференції. При цьому на спектральних залежностях коефіцієнта пропускання і кута обертання Фарадея на довжині хвилі λ_R будуть спостерігатися максимуми коефіцієнта пропускання і кута обертання Фарадея.

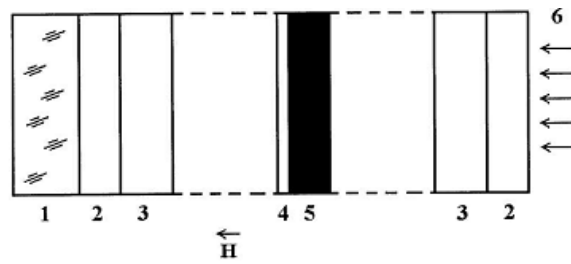
Приклад.

Магнітофотонний кристал мікрорезонаторного типу містить два бреггівських дзеркала, кожне з яких виконано у вигляді п'яти пар переміжних шарів Ta_2O_5 і SiO_2 з товщинами, відповідно, $\lambda_R/4n_2$ і $\lambda_R/4n_3$, де $n_2 = 2,31$ і $n_3 = 1,50$ - показники заломлення світла в шарах Ta_2O_5 і SiO_2 , відповідно. Між дзеркалами розташований магнітооптичний шар,

що складається з шару вісмут-заміщеного залізо-ітрієвого гранату $\text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{2,0}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ товщиною $\lambda_R/8n$ і шару залізо-вісмутного гранату $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ товщиною $3\lambda_R/8n$, де $n = 2,55$ - показник заломлення світла в магнітооптичних шарах. Кристал моделювався і виготовлявся для резонансної довжини хвилі $\lambda_R = 655$ нм. Відповідно, товщини його шарів становили: Ta_2O_5 - 71 нм, SiO_2 - 109 нм, $\text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{2,0}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ - 32 нм, $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ - 96 нм. Шари структури виготовлялися методом реактивного іонно-променевого розпилення відповідних мішеней у суміші аргону і кисню. Шар $\text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{2,0}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ після напilenня на шар SiO_2 кристалізувався на повітрі при атмосферному тиску і при температурі 680 °C протягом 20 хв. Потім на нього наносився шар $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ і кристалізувався. Про успішну кристалізацію та утворення плівок гранатової фази свідчили вимірювання магнітооптичних петель гістерезису на довжині хвилі 655 нм зразків кожного з шарів $\text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{2,0}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ і $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, а також усієї структури після її виготовлення. $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ і $\text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{2,0}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ мають однакову магнітну підрешітку, внаслідок цього обидва шари в магнітофотонному кристалі будуть зв'язані обмінними взаємодіями. Підтвердженням цього стало те, що магнітооптична петля гістерезису виготовленого кристала була дуже подібна до магнітооптичної петлі гістерезису одношарової плівки $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ і не виявляла жодних ознак поділу на шари. Кути обертання Фарадея для кожного з магнітооптичних шарів $\text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{2,0}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ і $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ склали мінус 0,064 і мінус 0,53°, відповідно. Це відповідає питомому обертанню Фарадея шарів, відповідно, мінус 2,0 і мінус 5,5 °/мкм, що відповідає значенням для плівок цих складів. Кут обертання двошарової структури $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ на $\text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{2,0}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ склав мінус 0,58°.

Вимірювання спектральних залежностей коефіцієнта пропускання і кута обертання Фарадея магнітофотонного кристала мікрорезонаторного типу показали, що кристал має фотонну заборонену зону між 550 і 750 нм, усередині якої спостерігається резонансне пропускання світла на довжині хвилі 655 нм, коефіцієнт пропускання становить 60 %. На цій же довжині хвилі резонансне значення питомого обертання Фарадея склало мінус 5,6°, що майже в 10 разів вище, ніж у сумі для шарів $\text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{2,0}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ і $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ і відповідає питомому обертанню Фарадея мінус 43,75 °/мкм, що значно вище значення, характерного для прототипу.

Перевагою пропонованого магнітофотонного кристала є можливість одержання в ньому високих значень питомого обертання Фарадея.



Фиг. 1