



УКРАЇНА

(19) UA (11) 83123 (13) C2
(51) МПК (2006)
G02B 5/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ДВОВИМІРНИЙ ФОТОННИЙ КРИСТАЛ

1

(21) а200610576

(22) 06.10.2006

(46) 10.06.2008, Бюл. № 11, 2008 р.

(72) КАРАЧЕВЦЕВА ЛЮДМИЛА АНАТОЛІЇВНА,
UA, ГЛУШКО ОЛЕКСАНДР ЄВГЕНОВИЧ, UA(73) ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ІМ.
В.Є.ЛАШКАРЬОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ
НАУК УКРАЇНИ, UA

(56) RU 2173003, 27.08.2001

RU 2214359, 05.09.2002

WO 03089925, 22.01.2003

US 2004013379, 22.01.2004

CN 1609641, 27.04.2005

2

Жувикин Г. Лабиринты фотонных кристаллов//
Компьютерра. - 2001.-№30Звездин А.К. Квантовая механика плененных фо-
тонов// Природа.-2004.- №10

DE 19526734, 23.01.1997

(57) Двовимірний фотонний кристал, який включає
кремнієву матрицю n-типу провідності із розташо-
ваними з періодом а повітряними циліндрами із
радіусом R та пасивуючим покриттям на поверхні
циліндрів з оксиду кремнію товщиною d, який **від-
різняється** тим, що пасивуюче покриття на повер-
хні циліндрів виконане із товщиною, вибраною із
співвідношення $d = 0,40-0,42 (a - 2R)$.

Запропонований винахід відноситься до тех-
нологій виготовлення фотонних кристалів і може
бути використаний при розробці активних та паси-
вних елементів нанофотонних інтегральних схем,
оптичних логічних елементів, високоефективних
лазерів, хвильоводів з малими втратами та ін.

Протягом останнього десятиліття фотонні кри-
стали є динамічним напрямком фізики твердого
тіла завдяки їх потенційному застосуванню в опти-
чних та оптоелектронних приладах. Найбільш ва-
жливою властивістю при виготовленні приладів на
основі фотонних кристалів є формування фотон-
ної забороненої зони – області частот, для якої
світло не розповсюджується всередині фотонного
кристалу. Формування фотонних дозволених та
заборонених зон в таких структурах визначається
періодичною залежністю показника заломлення
від координат за аналогією з електронами в кри-
сталах. По кількості напрямків періодичності показ-
ника заломлення розрізняють одно-, дво- та три-
вимірні фотонні кристали. Сьогодні основні
дослідження сконцентровані на двовимірних фо-
тонних структурах, які поєднують функціональність
тривимірних фотонних кристалів та відносно не-
складну технологію виготовлення. Зокрема, перс-
пективним матеріалом для розробки двовимірних
фотонних кристалів є фотонні кремнієві структури
(структури макропористого кремнію), одержані
методом фотоанодного травлення [1]. Це пов'язано
з виготовленням структур з потрібною геометрі-

єю, формуванням додаткових смуг оптичного по-
глинання.

Недоліком відомих двовимірних фотонних
кристалів на основі напівпровідників з періодично
розташованими повітряними циліндрами є мала
відстань між повітряними циліндрами для реаліза-
ції великої ширини фотонної забороненої зони, що
знижує міцність структур. Як приклад, розглянемо
двовимірну фотонну структуру на основі кремнію з
[2]. Фотонний кристал на основі кремнію був виго-
товлений з монокристалічного кремнію з періодич-
ним розташуванням паралельно розташованих
повітряних циліндрів. Для виготовлення структури
був використаний монокристалічний кремній n-
типу провідності з питомим опором 0,5 Ом·см і орі-
єнтацією поверхні <100>. Методом фотоелектро-
хімічного травлення були сформовані кремнієві
структури з повітряними циліндрами періодом
1,5 мкм і діаметром 1,15 мкм. Для використання
фотонних кристалів на основі кремнію в якості
оптичних елементів необхідно виготовити структу-
ри з широкою фотонною забороненою зоною і,
відповідно, збільшити діаметр повітряних цилінд-
рів. Максимальна ширина фотонної забороненої
зони для розглянутих двовимірних кремнієвих
структурах досягає 17,3% відносно середини за-
бороненої зони при діаметрі циліндрів 1,44 мкм.
При цьому відстань між циліндрами становить
60 нм, що знижує механічну стійкість структури.

(13) C2

(11) 83123

(19) UA

Найбільш близьким технічним рішенням, прийнятим за прототип, є періодичні структури кремнію з поверхневим шаром оксиду кремнію [3]. Структура була виготовлена методом фотоелектрохімічного травлення, розмір повітряних циліндрів складав від 500нм до 100мкм в залежності від режимів фотоелектрохімічного процесу. На поверхні повітряних циліндрів методом термічного окислення сформований шар оксиду кремнію, який замінює кремній. Захист поверхні оксидом кремнію дозволяє використовувати структури для проведення хімічних реакцій. Таким чином, прототип забезпечує міцність фотонного кристалу. Недоліком прототипу є велика товщина оксиду кремнію, яка дорівнює половині відстані між повітряними циліндрами $d = 0,5 (a - 2R)$, що відповідає ширині фотонної забороненої зони 4%, що значно менше максимальної ширини фотонної забороненої (17%).

Задачею запропонованого винаходу є збільшення ширини фотонної забороненої зони при збереженні міцності двовимірної фотонної кристалу.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що двовимірний фотонний кристал включає кремнієву матрицю n-типу провідності, повітряні циліндри з періодом a , радіусом R та пасивуюче покриття на поверхні циліндрів з оксиду кремнію товщиною d ; при цьому пасивуюче поверхнєве покриття має товщину $d = 0,40-0,42 (a - 2R)$

На Фіг. наведена схема двовимірної фотонної кристалу з гексагональною ґраткою і пасивуючим поверхневим покриттям:

1 - напівпровідникова матриця з кремнію n-типу провідності;

2 - повітряні циліндри;

3 - пасивуюче покриття з оксиду кремнію на поверхні циліндрів. Фотонний кристал функціонує наступним чином. Падаюча електромагнітна хвиля максимально поглинається кремнієвою структурою 1 з повітряними циліндрами 2 і пасивуючим поверхневим покриттям 3 на довжинах хвиль, які відповідають умові формування максимальної фотонної забороненої зони.

Наші дослідження показали, що для двовимірної кремнієвої фотонної кристалу з пасивуючим поверхневим покриттям останнє виконує функції збереження поверхні повітряних циліндрів від старіння та зміцнює двовимірний фотонний кристал при реалізації максимальної ширини фотонної забороненої зони. Так, без поверхневого шару максимальна фотонна заборонена зона на кремнієвій структурі відповідає відстані між повітряними циліндрами $a - 2R = 0,02a$, що значно менше, ніж період структури і радіус повітряних циліндрів. Це знижує міцність фотонного кристалу при його розмірах, оптимальних для реалізації максимальної фотонної забороненої зони. Відсутність поверхневого шару або його мала товщина $d < 0,40-0,42 (a - 2R)$ не дозволяє стабілізувати поверхню і захистити її від старіння, робить структуру крихкою. З іншого боку, товстий поверхневий шар з $d > 0,40-0,42 (a - 2R)$ не дозволяє досягнути максимальної ширини фотонної забороненої зони. Авторами встановлено, що при нанесенні пасивуючого по-

криття, товщина якого задовольняє умові $d = 0,40-0,42 (a - 2R)$, відстань між повітряними циліндрами в 20 разів більша, ніж для аналога. Крім того, ширина фотонної забороненої зони двовимірної фотонної структури на основі напівпровідника з паралельно розташованими повітряними циліндрами і з пасивуючим поверхневим покриттям вища, ніж у прототипі, за рахунок співвідношення товщини поверхневого шару і радіуса циліндрів $d = 0,40-0,42 (a - 2R)$.

Позитивний ефект запропонованого винаходу обумовлений тим, що одночасно:

- реалізується максимальна фотонна заборонена зона на відміну від прототипу завдяки запропонованому співвідношенню розмірів структури $d = 0,40-0,42 (a - 2R)$

- захищається від старіння поверхня завдяки формуванню пасивуючого поверхневого покриття, що не реалізовано в аналозі - двовимірному фотонному кристалі з повітряними циліндрами без поверхневого шару;

- підвищується міцність фотонного кристалу у порівнянні з аналогом внаслідок збільшення відстані між циліндрами.

Новітність запропонованого рішення обумовлена тим, що наші дослідження фотонних кристалів, до яких відноситься двовимірний кремнієвий фотонна структура з пасивуючим поверхневим покриттям, дозволили встановити умови формування максимальної фотонної забороненої зони при забезпеченні стабілізації від старіння поверхні та підвищення міцності фотонних кристалів. Нами доведено, що при наявності поверхневого пасивуючого покриття оксиду кремнію вказаної нами товщини $d = 0,40-0,42(a-2R)$ максимальна ширина фотонної забороненої зони у кремнієвому фотонному кристалі змінюється несуттєво від 14% до 16%, а відстань між повітряними циліндрами збільшується у чотири рази у порівнянні з двовимірним фотонним кристалом без поверхневого покриття; тобто, структура зміцнюється.

Приклад

Експериментальні оцінки фотонної забороненої зони були проведені для двовимірних фотонних кремнієвих структур з пасивуючим поверхневим покриттям оксиду кремнію для реалізації максимальної ширини фотонної забороненої зони в області оптичних комунікаційних довжин хвиль (1,55мкм). Фотонний кристал на основі кремнію був виготовлений з монокристалічного кремнію з періодичним розташуванням паралельно розташованих повітряних циліндрів. Для виготовлення структури був використаний монокристалічний кремній n-типу провідності з питомим опором 50м.см і орієнтацією поверхні $\langle 100 \rangle$. Були виготовлені кремнієві структури з паралельно розташованими повітряними циліндрами з періодом $a = 1,5\text{мкм}$. В результаті термічного окислення двовимірної кремнієвої кристалу було сформовано пасивуюче поверхнєве покриття оксиду кремнію товщиною $d = 0,42(a-2R) = 74\text{нм}$. При цьому відстань між циліндрами складає 180нм, а максимальна ширина фотонної забороненої зони дорівнює 15%. Таким чином, пасивуюче поверхнєве покриття оксиду кремнію на поверхні повітряних цилінд-

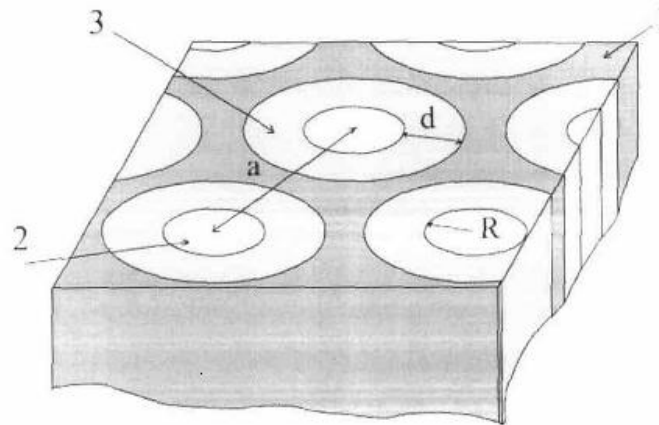
рів двовимірних кремнієвих кристалів товщиною 74нм стабілізує, зміцнює структуру завдяки збільшенню відстані між циліндрами з 60нм (аналог) до 180нм при виконанні умови максимальної ширини фотонної забороненої зони.

Література:

1. Karachevtseva L.A. Two-dimensional photonic crystals as perspective materials of modern nanoelectronics // Semicond. Phys. Quant&Optoelectronics -2005-7(4)-P.430-435.

2. Muller F., Birner A., Gosele U., Lemann V., Ottow S. and Foll H. Structuring of Macroporous Silicon for Applications as Photonic Crystals // J. Porous Materials. -2000.-7. -P. 201-204.

3. DEVICE BASED ON PARTIALLY OXIDIZED POROUS SILICON AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF; PCT, WO №03/089925 A2; МПК 7 G01N 33/50; INFINEON TECHNOLOGES AG (DE); Пріоритет 19.04.2002 DE; Заявка №PCT/EP03/03293.



Фиг.