

Вальдемар Вуйцик¹
С.В. Павлов²
И.Б. Шедреева³
Г.Ж.Карнакова³

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ КОСИХ БРЕГГІВСЬКИХ РЕШТОК ДЛЯ БІОМЕДИЦИНИ

¹Люблінська Політехніка, Польща

²Вінницький національний технічний університет

³Таразський регіональний університет імені М.Х.Дулаті

***Анотація.** Розвиток оптичних сенсорів на основі дифракційних косих бреггівських ґраток та систем на їх основі є вкрай актуальним завданням, особливо для біомедичних застосувань. На основі волоконних плазмонних сенсорів, в рамках концепції, що набирає обертів, і «лабораторія на чіпі», можуть бути створені перспективні портативні комплекси для імунного аналізу.*

Ключові слова: бреггівські ґратки, волоконні плазмонні сенсори, лабораторія, біомедична інженерія

Актуальність. Волоконно-оптичні датчики різних фізичних величин на основі бреггівських решіток в даний час вже набули широкого поширення і активно застосовуються в різних галузях науки і техніки для вирішення цілого ряду інженерних завдань. Загальний принцип роботи таких датчиків ґрунтується на зміні бреггівської довжини хвилі під дією зовнішніх впливів. Однак спектр можливих конструкцій сенсорних елементів не обмежується класичними структурами бреггівськими. Особливе місце в лінійці подібних пристроїв займають бреггівські решітки з похилими штрихами. Окремий інтерес бреггівські решітки з похилими штрихами представляють основою перспективних плазмонних сенсорів, тобто. сенсорів, що працюють на ефекті поверхневого плазмонного резонансу [1]. Загальний принцип роботи таких систем заснований на високому ступені залежності дисперсійного співвідношення поверхневих плазмонів від показника заломлення зовнішнього середовища, на межі якого цей плазмон порушується [1]. Будь-які зміни поблизу поверхні металу, будь то зміни у складі навколишнього середовища або модифікація поверхні самого сенсора внаслідок його взаємодії з навколишнім середовищем, негайно відобразяться у значенні довжини хвилі, на якій спостерігається плазмонний резонанс. У класичних, планарних схемах Кречмана [2] та Отто [3] поверхневі плазмони збуджуються оптичним випромінюванням, що падає під деяким кутом до поверхні металу, при цьому вимірюється інтенсивність відбитого сигналу в залежності від кута падіння. Мінімум цієї залежності і визначає кут, який відповідає поверхневому плазмонному резонансу. При зміні показника заломлення зовнішнього середовища змінюється характерний кут, що дозволяє з високою точністю відстежувати зміни в найближчому оточенні плазмонного сенсора. Волоконна оптика, порівняно з планарними структурами, надає цілу низку переваг, таких як мобільність, компактність, зручність роботи з мікрофлюїдними системами, на їх основі можна створювати перспективні високочутливі плазмові волоконні сенсори, в тому числі і для біомедичних застосувань.

Технологія виробництва. Косі решітки виготовлялися в ексимерній лазерній системі Coherent Bragg Star M. У системі пучок лазерного випромінювання довжиною 248 нм, що направляється набором дзеркал, потрапляв на циліндричну лінзу. У фокус лінзи містилося оптичне волокно. Фазова маска містилася безпосередньо перед світловодом. Таким чином, за фазовою маскою створювалося просторове інтерференційне поле з періодом, що залежить від фазової маски, що використовується. Для створення решіток Брегга використовувалася фазова маска з періодом 1080 нм. Дифракційна інтерференція +/- першого порядку використовувалася для реєстрації бреггівської структури [5.6].

Одномодове оптичне волокно Corning SMF28 Ultra, що зазнало більш раннього процесу гідрування, використовувалося для запису решіток Брегга. Процес гідрування проводився для підвищення чутливості оптичного волокна до процесу запису решітки Брегга. Гідрування полягало у приміщенні оптичного волокна в атмосферу водню під тиском 150 бар на 7 днів.

У процесі запису бреггівських ґрат оптичне волокно поміщалося в тримачі і піддалося впливу лазерного випромінювання зі зміною розподілу фазової маски. Завдяки цьому у серцевині оптичного волокна реєструється періодична структура, що відповідає періоду інтерференційного поля, створюваного за фазовою маскою [5].

На рис. 1 представлена фотографія запису бреггівської решітки з фазовою маскою (3) та тримачі для кріплення оптоволоконна (7). Процес запису контролювався виміром спектра створеної структури за допомогою суперлюмінесцентного діода (5) та аналізатора оптичного спектра (6).

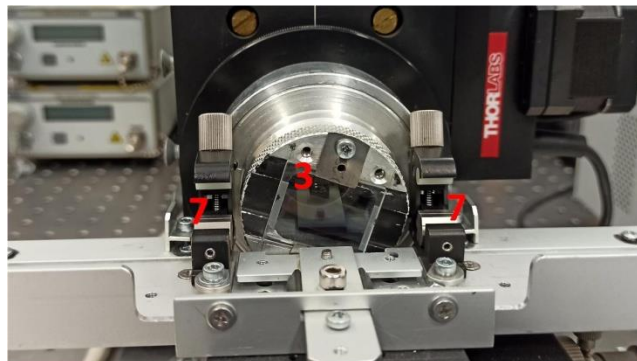


Рисунок 1 Система для запису оптоволоконних періодичних структур

Щоб створити структуру TFBG косої решітки, необхідно створити кут між фазовою маскою і створеним нею полем інтерференції і віссю оптичного волокна. На рис. 2 показана схема системи, в якій оптичне волокно (1), поміщене в тримачі (2), утворює кут (4) з лініями інтерференційного поля (3), який також є кутом нахилу похилої бреггівської ґратчаста конструкція [1].

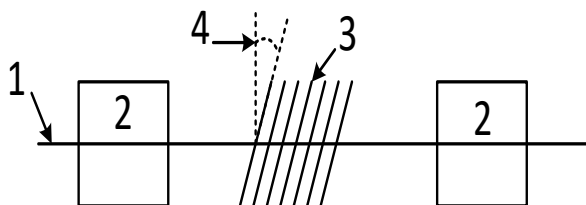


Рисунок 2 Схема системи запису оптоволоконної косої решітки Брегга

Для виготовлення косих решіток Брегга з кутом нахилу 3° , 5° , 7° проведено вимірювання впливу змін температури на їх спектральні характеристики. Для цієї мети складено вимірювальну систему, яка представлена на рис. 3.

Застосування. Насправді такий сенсор може використовуватися визначення змін у складі, наприклад, біологічних розчинів, як-от кров чи плазма. Адгезія частинок поверхні сенсора значно змінює показник заломлення найближчого оточення, також призводячи до зміни спектра пропускання датчика. Особливий інтерес становлять сенсори, дозволяють визначити концентрацію одного конкретного білка в багатоскладовому біологічному розчині. Для цього металева поверхня може бути функціонована антитілами, що забезпечують специфіку зв'язування для білка, що детектується. Розвиток подібних сенсорів та систем на їх основі є вкрай актуальним завданням, особливо для біомедичних застосувань. На основі волоконних плазмонних сенсорів, в рамках концепції, що набирає обертів, і «лабораторія на чіпі», можуть бути створені перспективні портативні комплекси для імунного аналізу [6-11].

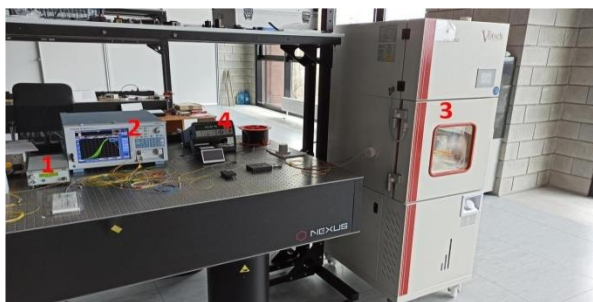


Рисунок 3 Система для вимірювання впливу температури на спектральні характеристики косих решіток Брегга

Висновки. Розвиток оптичних сенсорів на основі дифракційних косих бреггівських решіток та систем на їх основі є вкрай актуальним завданням, особливо для біомедичних застосувань. На основі волоконних плазмонних сенсорів, в рамках концепції, що набирає обертів, і «лабораторія на чіпі», можуть бути створені перспективні портативні комплекси для імунного аналізу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бутов О.В., Томышев К.А. Волоконные датчики на основе брегговских решеток с наклонными штрихами, №6 2019 Спецвыпуск «ФОТОН-ЭКСПРЕСС-НАУКА 2019». – С.22-23.
2. Homola J., Yee S. S., Gauglitz G., Sens. Actuators, B 54, 3-15 (1999)
3. Kretschmann E., Raether H., Z. Naturforsch. 23, 2135–2136 (1968)
4. Kersey A.N. et al. Fiber Grating Sensors // Journal of Lightwave Technology. 1997. Vol. 15 (8).
5. Қрыкбаев М.М., Шедреева И.Б., Тлешова А.С. Практическая реализация эффекта самоадаптации в решетке Брегга, показывающая отрицательный наклон характеристики // Вестник Евразийского национального университета. 2020 // - ISSN 2077-9879.
6. Kisała, P., “Application of inverse analysis to determine the strain distribution with optoelectronic method insensitive to temperature changes,” Applied Optics 51(16), 3599-3604. 2012.
7. Caucheteur C., Guo T., Albert J., Anal. Bioanal. Chem. 407, 3883-3897 (2015)
8. Albert J., et al, Methods 63, 239–254 (2013)
9. Tomyshev K. A., et al, J. Appl. Phys. 124, 113106 (2018)
10. Yuan Y., et al, Anal. Chem. 88, 7609-7616 (2016)
11. Tomyshev K. A., et al, Phys. Status Solidi A 216, 1800541 (2019)

Вуйчик Вальдемар, професор, д.т.н., директор інституту електроніки та інформаційних технологій, Люблінський технологічний університет, e-mail: waldemar.wojcik@pollub.pl

Павлов Сергій Володимирович, професор, д.т.н., професор кафедри біомедичної інженерії, Вінницький національний технічний університет, e-mail: psv@vntu.edu.ua

Шедреева Індра Біжанівна, магістр, докторант, асистент кафедри автоматизації та телекомунікацій, Тараський регіональний університет ім. М.Х.Дулаті.

Карнакова Гайні Жарасханівна, магістр, докторант, заступник декана, Тараський регіональний університет ім. М.Х.Дулаті.

PROSPECTS OF APPLICATION OF OBLIQUE BRAGG LATTICES FOR BIOMEDICINE

Abstract. The development of optical sensors based on diffraction oblique Bragg gratings and systems based on them is an extremely urgent task, especially for biomedical applications. On the basis of fiber plasmon sensors, within the framework of the growing concept and "laboratory on a chip", promising portable complexes for immune analysis can be created.

Key words: Bragg gratings, fiber plasmon sensors, laboratory, biomedical engineering

Wujcik Waldemar, Professor, Ph.D., Director of the Institute of Electronics and Information Technology, Lublin University of Technology, e-mail: waldemar.wojcik@pollub.pl.

Pavlov Serhii Volodymyrovych, Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Biomedical Engineering, Vinnitsia National Technical University, e-mail: psv@vntu.edu.ua.

Shedreeva Indira Bizhanovna, master, doctoral student, assistant of the Department of Automation and Telecommunications, Taraz Regional University. MH Dulati.

Karnakova Gaini Zharaskhanivna, master, doctoral student, deputy dean, Taraz Regional University. MH Dulati.