

АНАЛІЗ ВПЛИВУ MXENE СТРУКТУРИ НА ЧУТЛИВІСТЬ SPR-БІОСЕНСОРА

Федін В.Я., Лінник О.В.

email: valentyn.fedin@nure.ua, elena.linnyk@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ФОЕТ
м. Харків, Україна

Surface plasmon resonance (SPR) biosensor using a 2D MXene ($Ti_3C_2T_x$) to enhance sensitivity is analyzed. The silicon layer increases the electromagnetic field, while MXene provides high surface area and strong light-matter interaction. The transfer matrix method was used to optimize the MXene layer number for maximum sensitivity. Results show significantly improved sensitivity compared to conventional SPR sensors, highlighting the potential for advanced biosensing applications.

Поверхневий плазмонний резонанс (SPR) є потужним методом для біосенсингу завдяки своїй високій чутливості, швидкості відповіді та можливості роботи у безмітковому режимі [1]. Традиційні SPR -сенсори, засновані на металевих шарах (золото, срібло), обмежені у своїх можливостях через низьку специфічність та обмежену адсорбційну здатність [2]. Тому сучасні дослідження спрямовані на розробку нових матеріалів з покращеними характеристиками.

Двовимірні (2D) матеріали, такі як графен, фосфорен та перехідні металеві дихалькогеніди, привернули значну увагу завдяки своїм унікальним електричним та оптичним властивостям [3]. Проте, MXenes – новий клас 2D-матеріалів, що представляють собою карбіди, нітриди та карбонітриди перехідних металів – пропонують ще більший потенціал для вдосконалення біосенсорів завдяки своїй високій електропровідності, великій площі поверхні та можливості функціоналізації [4].

Для аналізу запропоновано структуру оптоволоконного SPR-біосенсора на основі шару кремнію та двовимірного MXene ($Ti_3C_2T_x$), що наведено на рисунку 1.

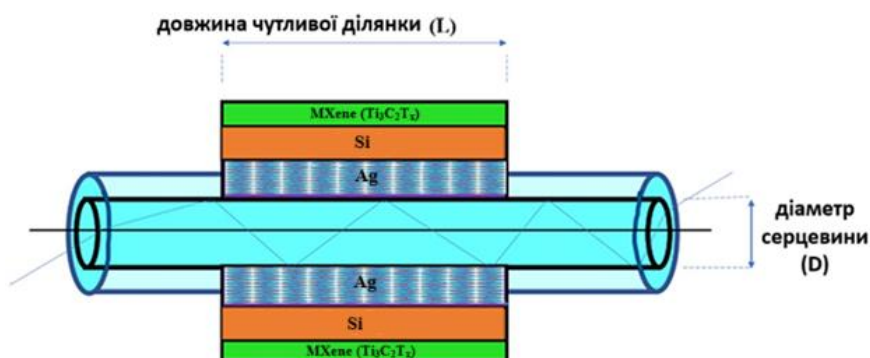


Рисунок 1 – Структура SPR-біосенсора з шаром MXene

Включення шару МХене дозволяє покращити адсорбцію біомолекул завдяки великій площі поверхні, сильній взаємодії світло-речовина та високій енергії зв'язку. Кремнієвий шар між шаром срібла та МХене використовується для підвищення чутливості. В роботі оптимізовано кількість шарів МХене для досягнення оптимальної продуктивності сенсора.

Для моделювання та аналізу поверхневого плазмонного резонансу у багатошаровому сенсорі було використано метод матриці переносу (transfer matrix method). Цей метод базується на розв'язанні рівнянь Френеля для розрахунку коефіцієнта відбиття світла від багатошарової структури [5]. Результати моделювання представлено на рисунку 2.

Включення шару кремнію між срібним шаром та МХене продемонструвало зростання чутливості сенсора. Зокрема, чутливість сенсора з кремнієм була на 99% вищою, ніж у традиційного SPR-сенсора, та на 95% вищою, ніж у запропонованого сенсора без кремнію. Максимальна чутливість досягла $230^\circ/\text{RIU}$ при використанні 50 нм срібла, 5 нм кремнію та моношару МХене на довжині хвилі 633 нм.

Було проаналізовано вплив кількості шарів МХене на чутливість сенсора. Максимальна чутливість спостерігалася при використанні моношару МХене. Збільшення кількості шарів призводило спочатку до зростання чутливості, а потім до її зниження.

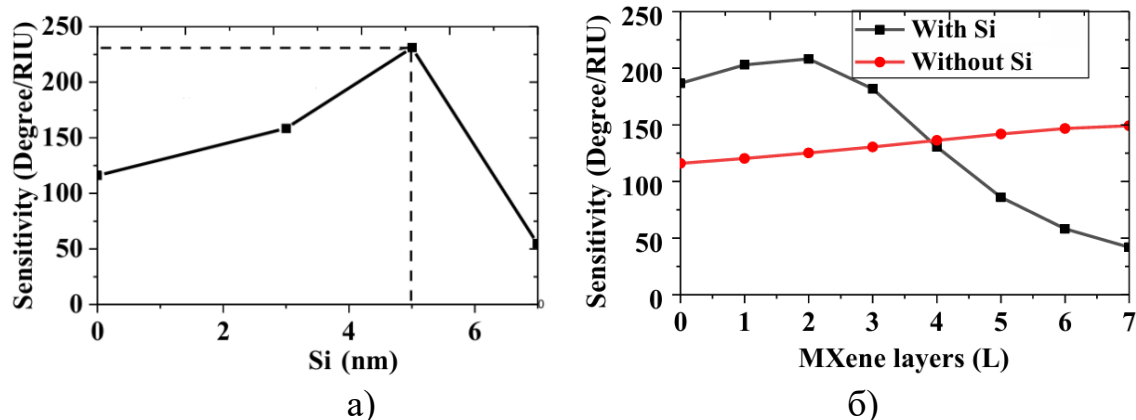


Рисунок 2 – Залежність чутливості SPR-біосенсора від товщини шару (а) та кількості шарів МХене(б)

Запропонований сенсор продемонстрував значно вищу чутливість порівняно з традиційними ППР-сенсорами та іншими сенсорами на основі МХене, що були описані в літературі.

Запропонований сенсор демонструє високу чутливість та коефіцієнт якості (FOM), що робить його перспективним кандидатом для використання у біосенсорних додатках. Отримані результати є важливим внеском у розробку високочутливих та ефективних біосенсорних систем на основі МХене.

Подальші дослідження можуть зосередитися на експериментальній перевірці теоретичних результатів та розширенні застосування запропонованого сенсора шляхом функціоналізації поверхні MXene за допомогою специфічних лігандів або біомолекул (антитіла, аптамери тощо). Результати дослідження можуть бути використані для розробки комерційно доступних біосенсорів для медичної діагностики, моніторингу навколишнього середовища та інших сфер [6,7].

Результати даної роботи також сприяють досягненню цілей сталого розвитку (ЦСР). Розробка дешевших та швидших методів діагностики різних захворювань завдяки впровадженню високочутливих біосенсорів сприятимуть покращенню охорони здоров'я (ЦСР 3). Застосування новітніх технологій у галузі біосенсорних пристроїв стимулюють розвиток інновацій (ЦСР 9).

Список використаних джерел:

1. Verma R, Gupta BD, Jha R. Sensitivity enhancement of a surface plasmon resonance-based biomolecules sensor using graphene and silicon layers. // *Sensors Actuators B Chem.* 2011. Vol. 160(1). P. 623–63
1. Masson J.F. Surface Plasmon resonance clinical biosensors for medical diagnostics. // *ACS Sens.* 2017. Vol.2(1). P. 16–30
2. Verma R, Gupta BD, Jha R. Sensitivity enhancement of a surface plasmon resonance-based biomolecules sensor using graphene and silicon layers. // *Sensors Actuators B Chem.* 2011. Vol. 160(1). P. 623–63
3. Ouyang Q, Zeng S, Jiang L, Hong L, Xu G, Dinh XQ, Yong KT. Sensitivity enhancement of transition metal dichalcogenides/silicon nanostructure-based surface plasmon resonance biosensor. // *Sci. Rep.* 2016. Vol. 6. P.281-290
4. Sinha A, Dhanjai ZH, Huang Y, Lu X, Chen J, Jain R. MXene: an emerging material for sensing and biosensing. // *TrAC Trends Anal Chem.* 2018. Vol. 105. P. 424–435
5. Zhan, T., Shi, X., Dai, Y., Liu, X., & Zi, J. Transfer matrix method for optics in graphene layers. // *Journal of Physics: Condensed Matter.* 2013. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/25/21/215301>
6. V Anufriiev, O Kravchuk, Y Levchenko, H Hlukhova, E Linnyk, O Glukhov. Perspective of Creating a Low-Cost Medical Assistant Robot Based on the WafflePI4 Platform with a Palm Vein Pattern Scanner. Preprints <https://www.preprints.org/manuscript/202403.1696/v1>
7. Chekubasheva, V., O. Glukhov, O. Kravchuk, Y. Levchenko, E. Linnyk, and V. Rohovets. Possibility of Creating a Low-Cost Robot Assistant for Use in General Medical Institutions During the COVID-19 Pandemic. // *Optics and Its Applications: Proceedings of the 9th International Symposium OPTICS-2022,* P. 203-213.