

ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЛАЗМОНОГО СЕНСОРУ ВОДНЮ

Горбенко О. А.; Кузьмичев А. І., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

У зв'язку з вичерпністю корисних копалин і важкою екологічною ситуацією у світі водень стає все більш і більш важливим видом палива. Все більше зростає його застосування в енергетиці, транспорті та ракетно-космічній техніці, але необхідний контроль концентрації водню для виявлення витоків і запобігання пожеж і вибухів, тож необхідне детектування малих концентрацій газу.

Метод оптичного детектування представляє особливий інтерес, оскільки виключає ризик вибуху. Він в порівнянні з іншими методами є найбезпечнішим і дозволяє охопити більші території, тому є таким бажаним для застосування в енергетиці, на космодромах і автомобілях [1]. Більші перспективи мають сенсори на основі поверхневого плазмонного резонансу, котрі мають високу чутливість і реагують на слідові концентрації водню [1]. Поверхневий плазмонний резонанс – це резонанс електромагнітних коливань електронів в зоні провідності металу, в нашому випадку паладію.

Принцип дії сенсору: на оптоволокну (тобто на підкладку) наноситься тонка плівка паладію; при взаємодії водню з паладієм формується гідрид паладію, що призводить до розширення металевих частин ґратки і оптоволоконна; це призводить до зміни ефективної довжини оптичного шляху у волокні відповідно змінам концентрації водню [2]. В даній роботі виконані розрахунки взаємодії електромагнітної хвилі з плазмоно-дифракційною ґраткою з паладію. Розрахунки основані на моделі елементарної комірки ґратки. Періодичність описується завдяки граничній умові Флоке. Процес моделюється в середовищі Comsol Multiphysics 4.2.a.

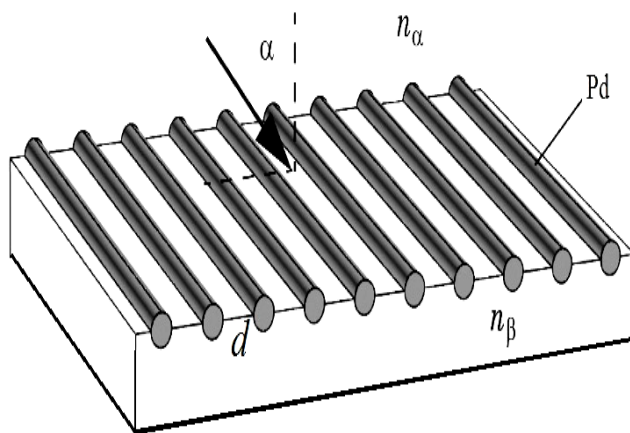


Рис. 1. Модель дифракційної ґратки

На рис.1 показаний фрагмент дифракційної ґратки, який складається з нанодротів паладію на діелектричній підкладці з коефіцієнтом заломлення n_β . Відстань між дротами (постійна ґратки) – d . Лінійно поляризована хвиля поширюється в середовищі з коефіцієнтом заломлення n_α і падає на ґратку під кутом α в площині перпендикулярній ґратці.

Критерієм для позитивної інтерференції є те, що різниця в оптичній

довжині двох шляхів рівна цілому числу довжин хвиль у вакуумі: модель покриває тільки перший порядок дифракції. При розрахунках задається $n_\alpha = 1$ (повітря), $n_\beta = 1,2$ (діелектрик), $d = 400$ нм. Враховуючи довільність кутів падіння на площу ґратки, маємо нижню границю на довжину хвилі в вакуумі (λ_0) 400 нм. При розрахунках задається $\lambda_0 = 445$ нм.

Перший дифракційний порядок ґратки залежить від поляризації падаючої хвилі. Через це розрахунки відбувались для поперечної електричної (ПЕ) та поперечної магнітної (ПМ) хвиль. Кут падіння у цих випадках складав від 0 до $\pi/2$ з кроком $\pi/40$. На рис. 2 та рис. 3 показане нормоване електричне поле для ПЕ та ПМ хвиль, відповідно.

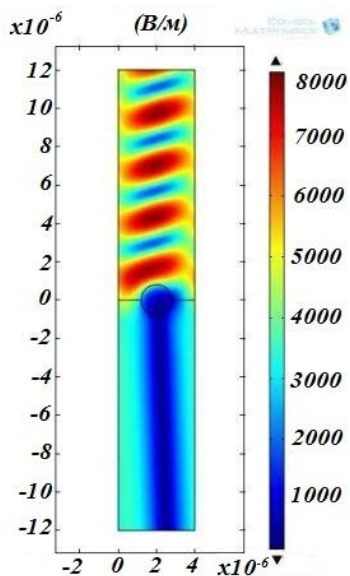


Рис. 2. Нормоване електричне поле для ПЕ хвилі з кутом падіння $\pi/5$

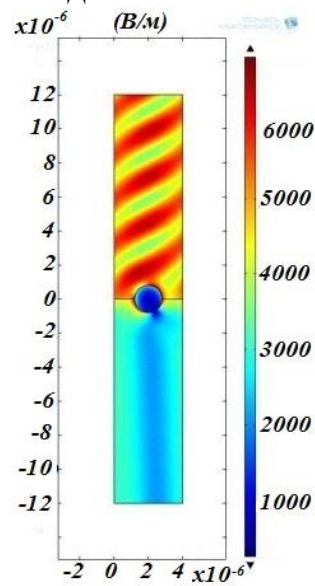


Рис. 3. Нормоване електричне поле для ПМ хвилі з кутом падіння $\pi/5$

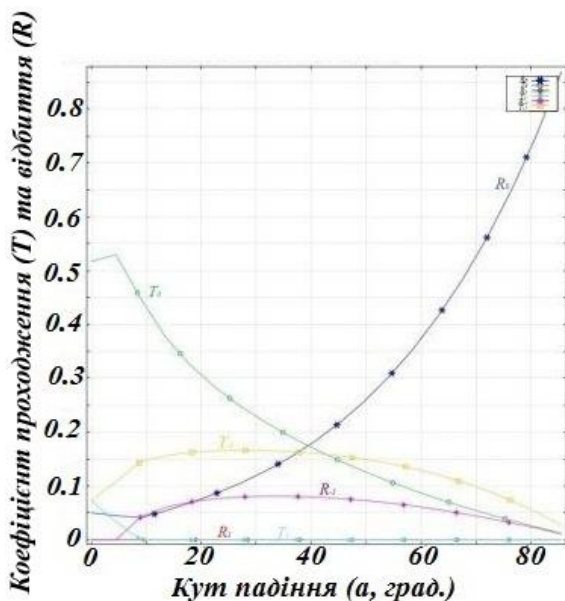


Рис. 4. Коефіцієнт проходження та відбиття для ПЕ хвилі

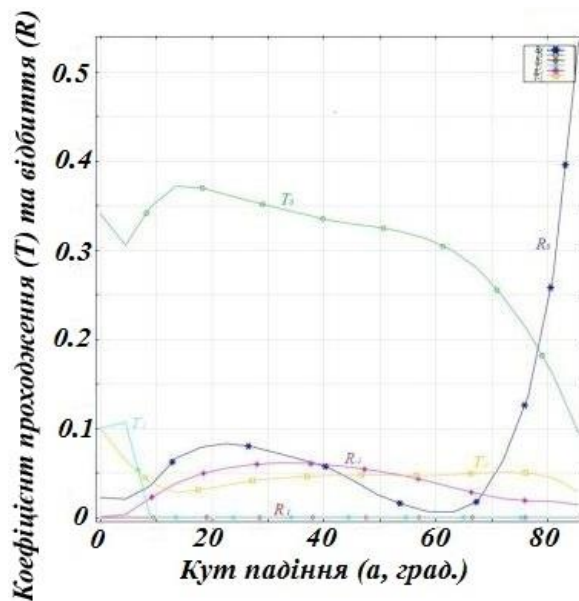


Рис. 5. Коефіцієнт проходження та відбиття для ПМ хвилі

На рис. 4 та рис. 5 підраховані коефіцієнти проходження хвиль (T) через ґратку і відбиття від неї (R). R_0 – коефіцієнт дзеркального відбиття, він постійно зростає в залежності від кута падіння. T_0 – коефіцієнти повного проходження, відповідно, зменшується. Перший позитивний порядок дифракції існує лише у вигляді пучка (T_1) для майже перпендикулярного падіння. Відбитий перший позитивний порядок (R_1) залежить від довжини хвилі, або від постійної ґратки. Одразу помітимо, що сума усіх коефіцієнтів менше ніж 1. Це обумовлюється тим, що мають місце втрати в провіднику. Це більш наглядно видно для ПМ хвилі (рис. 5), майже половина хвилі поглинута дротом. Іншою важливою особливістю ПМ хвилі є те, що цей випадок має дуже маленьке дзеркальне відбиття (R_0).

Таким чином, за допомогою даної моделі було розраховано коефіцієнти проходження та відбиття для заломлених та відбитих променів, а також перший дифракційний порядок для ПЕ і ПМ хвиль. Подібні розрахунки дозволяють зв'язати вказані характеристики взаємодії світла з величиною постійної ґратки з паладію, тобто з концентрацією водню навколо ґратки.

Перелік посилань

1. Palladium-based plasmonic perfect absorber in the visible wavelength range and its application to hydrogen sensing / Tittl A, Mai P, Taubert R, Dregely D, Liu N and Giessen H. // Nano Lett. – 2011. – V. 11. – p. 4366–4369.
2. Surface plasmon resonance hydrogen sensor using an optical fibre / X. Bevenot, A. Trouillet, C. Veillas, H. Gagnaire and M. Clement // Measurement Science & Technology. – Jan. 2002. – V. 13. – p. 118–124.

Анотація

За допомогою моделі плазмоно-дифракційної ґратки з паладію розраховано коефіцієнти проходження та відбиття для заломлених і відбитих світлових променів в залежності від величини постійної ґратки, яка змінюється при зміні концентрації водню.

Ключові слова: плазмоний сенсор водню, дифракція, заломлення, відбиття, постійна ґратки.

Аннотация

С помощью модели плазмонно-дифракционной решетки из палладия рассчитано коэффициенты прохождения и отражения для заломленных и отраженных световых лучей в зависимости от величины постоянной решетки, которая изменяется при изменении концентрации водорода.

Ключевые слова: плазмонный сенсор водорода, преломление, отражение, постоянная решетки.

Abstract

Based on the model of plasmon-diffraction palladium grating, there was calculated the transmission and reflection coefficient for refracted and reflected light rays, depending on the size of the grating constant, which was changed with the hydrogen concentration.

Keywords: plasmon hydrogen sensor, diffraction, refraction, reflection, the grating constant.