

ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІТЕТРАФТОРЕТИЛЕНУ В ГАЗОВИХ СЕНСОРАХ НА ОСНОВІ ЯВИЩА ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ

Д. т. н. В. П. Маслов, к. ф.-м. н. П. М. Литвин, к. ф.-м. н. Ю. В. Коломзаров,
к. т. н. Г. В. Дорожинський, Ю. В. Ушенін, Г. В. Дорожинська

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України
Україна, м. Київ
gvdorozinsky@ukr.net

Досліджено адсорбуючі властивості плівок політетрафторетилену сенсорів на основі явища поверхневого плазмонного резонансу до парів етанолу та метанолу. Збільшення відгуку є наслідком збільшення площі поверхні чутливого елемента через підвищення її шорсткості (з 0,86 до 3,07 нм). Плівки забезпечують більший (понад 2 рази) відгук сенсору на зміну параметрів досліджуваного середовища, ніж при використанні чутливого елемента без них. Результати досліджень можуть бути використані для виробництва високочутливих газових сенсорів для хімічної та харчової промисловості.

Ключевые слова: поверхневий плазмонний резонанс, політетрафторетилен, газовий сенсор.

Одними з найбільш чутливих сучасних оптичних сенсорів є прилади на основі поверхневого плазмонного резонансу (ППР). Резонансні умови зв'язку між поверхневими плазмонами та електромагнітним полем збуджуючого випромінювання дуже чутливі до зміни оптичних характеристик діелектричного середовища поблизу поверхні металевої плівки. Такі зміни можуть бути викликані адсорбцією аналіту, яка тим вище, чим більша питома поверхня чутливого елемента. Тому дуже перспективним середовищем для формування чутливих елементів ППР-сенсорів є поруваті діелектричні шари. В [1] показана можливість досягнення значної сенсорної чутливості плівок $\text{por-Al}_2\text{O}_3$, сформованих методом імпульсного лазерного осадження (ІЛО) в атмосфері інертного газу, що практично підтверджено при дослідженні за допомогою явища ППР їхнього відгуку на пари води, ацетону, етанолу та гексану в порівнянні з чутливістю непоруватої структури. Однак метод ІЛО не дозволяє отримувати однорідні по товщині та поруватості плівки на підкладках значних розмірів, складно також контролювати і саму величину поруватості нанесених шарів. В [2] показано застосування поруватих плівок SiO_x як чутливих елементів, отриманих осадженням у вакуумі під ковзним кутом, значення якого впливає на величину поруватості. Незважаючи на збільшення відгуку у 6 разів, такі плівки деградують під впливом вологи, а технологія їхнього виготовлення потребує прецизійної оснастки для забезпечення стабільної поруватості та відтворюваності результатів вимірів.

У даній роботі досліджувався вплив додаткового шару політетрафторетилену (ПТФЕ) на поверхні золотого чутливого елемента на величину відгуку ППР-сенсору до парів органічних речовин.

Було виготовлено експериментальні зразки з товщиною ПТФЕ 5—50 нм. Плівки ПТФЕ осаджувались термічним випаровуванням у вакуумі на обладнанні УВН-74 зі швидкістю 2—4 нм/с при залишковому тиску $(3\text{—}4) \cdot 10^{-2}$ Па. Товщина плівок контролювалась в процесі нанесення приладом Sigma Instruments SQM-242 з похибкою вимірювання $\pm 0,01$ нм.

Для вивчення кінетики адсорбції плівками політетрафторетилену різної товщини як аналіт використовували прості сполуки, а саме етанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) та метанол (CH_3OH) [3].

Експерименти по дослідженню сенсорної чутливості отриманих структур виконувалися на рефрактометрі ППР «ПЛАЗМОН-6», розробленому в ІФП ім. В. Є. Лашкарьова НАН України [4]. Рефрактометр працював в режимі Multiple, в якому при кожному скануванні визначався і записувався мінімум характеристики відбиття (рис. 1). Для визначення сенсорної чутливості структур виконували заміну плунжерним насосом кімнатного повітря парами відповідних сполук у вимірювальній кюветі, яка була розташована над досліджуваним зразком таким чином, що забезпечувала контакт газової суміші з плівкою ПТФЕ. Кінетика зсуву мінімуму характеристики відбиття записувалася за допомогою спеціально розробленої програми. Найбільший відгук до насичених парів етанолу мав чутливий

елемент з товщиною шару ПТФЕ 30 нм (рис. 2), а найменший — 10 нм. Для ПТФЕ товщиною 5,1 нм було навпаки послаблення відгуку через неоднорідність шару. При цьому для всіх значень товщини ПТФЕ відгук на насичені пари етанолу був більшим, ніж на насичені пари метанолу, що може бути пов'язано з різними розмірами молекул газів (етанол — 0,44 нм; метанол — 0,36 нм).

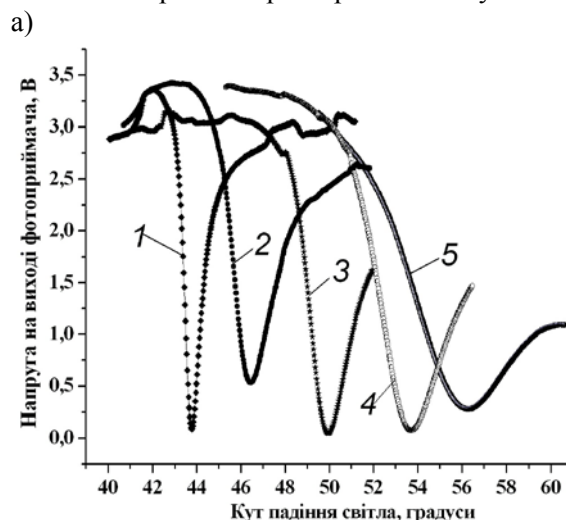


Рис. 1. Рефрактометричні характеристики чутливих елементів з шаром ПТФЕ товщиною 0 (1), 10 (2), 20 (3), 30 (4) та 50 (5) нм

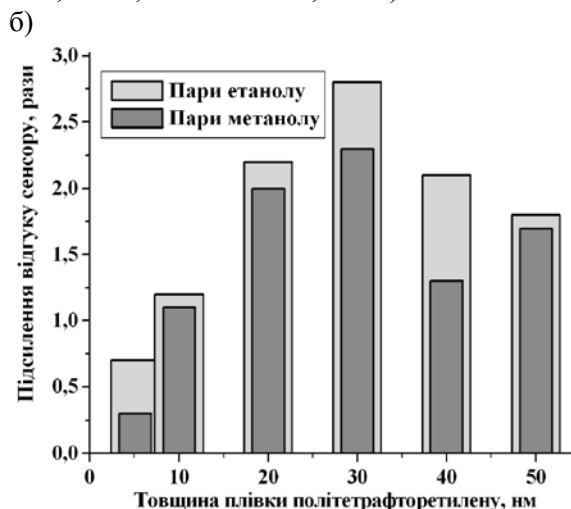


Рис. 2. Відносне підсилення відгуку за наявності додаткового шару політетрафторетилену

Збільшення відгуку є наслідком збільшення площі поверхні взаємодії плівки ПТФЕ з аналітом через підвищення її шорсткості з 0,86 до 3,07 нм, яка була визначена методом атомно-силової мікроскопії на приладі NanoScope IIIa Dimension 3000™. При цьому найбільше зростання площі поверхні було для зразків з товщиною 30 та 40 нм, відповідно, на 2,60 і 2,64 %. Підсилення відгуку узгоджується зі збільшенням площі поверхні з коефіцієнтом кореляції 0,88. Встановлено, що застосування додаткового шару ПТФЕ на поверхні золотого чутливого елемента підвищує відгук ППР-сенсору до парів органічних речовин, ніж сенсори, в яких використовуються лише золоті плівки. Найбільший відгук показали ПТФЕ товщиною 30 нм до парів етанолу (2,8 рази).

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Ушенин Ю.В., Христосенко Р.В., Самойлов А.В. и др. Оптоэлектронные сенсорные структуры на основе пленок пористого оксида алюминия, полученных импульсным лазерным осаждением // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника.— 2012.— № 47.— С. 40—45.
2. Дорожинський Г.В., Христосенко Р.В., Данько В.А. та ін.. Дослідження сенсорних властивостей плівок SiO_x за допомогою газового сенсора на онові явища поверхневого плазмонного резонансу. // Труды XVII МНПК «Сучасні інформаційні та електронні технології».— Україна, м. Одеса.— 2016.— С. 222—223.
3. Дорожинский Г.В., Лобанов М.В., Маслов В.П. Обнаружение паров метанола методом поверхностного плазмонного резонанса // Восточно-Европейский журнал передовых технологий.— 2015.— Vol. 4(76).— Р. 4–7.
4. Венгер Є.Ф., Зиньо С.А., Мацас Є.П. та ін. Спектрометр поверхневого плазмонного резонансу Плазмон-6 // Тези доповідей науково-практичної конф. «СЕНСОР-2007».— Україна, м. Одеса.— 2007.— С. 111.

V. P. Maslov, P. M. Lytvyn, Yu. V. Kolomzarov, G. V. Dorozinsky, Yu. V. Ushenin, H. V. Dorozinska

Application of polytetrafluoroethylene in gas sensors based on surface plasmon resonance phenomenon

The paper presents adsorption properties of polytetrafluoroethylene film of sensors based on surface plasmon resonance to ethanol and methanol vapors. The enhanced response is caused by an increase in the surface area of the sensitive element due to an increase in its roughness from 0.86 to 3.07 nm. The films provide a greater (more than 2 times) sensor response to the change in the parameters of the test medium than when using a sensitive element without the films. Research results can be used to produce high-sensitivity gas sensors for the chemical and food industries.

Key words: surface plasmon resonance, polytetrafluoroethylene, gas sensor.