



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **130782** (13) **C2**
(51) МПК (2026.01)

C25D 5/18 (2006.01)

C23C 22/05 (2006.01)

B82Y 30/00

B82B 3/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2023 05832**

(22) Дата подання заявки: **01.12.2023**

(24) Дата, з якої є чинними
права інтелектуальної
власності: **14.05.2026**

(41) Публікація відомостей
про заяву: **10.07.2024, Бюл.№ 28**

(46) Публікація відомостей
про державну
реєстрацію: **13.05.2026, Бюл.№ 19**

(72) Винахідник(и):

**Васильєв Анатолій Георгійович (UA),
Васильєв Тарас Анатолійович (UA),
Манілов Антон Ігорович (UA)**

(73) Володілець (володільці):

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА,**

вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01033 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

UA 117080 C2, 11.06.2018

CN 107385486 A, 24.11.2017

CN 112251782 A, 22.01.2021

CN 115466995 A, 13.12.2022

Hydrogen-induced buckling of gold films / B.
EREN et al. // Journal of Physics D: Applied
Physics. 2014. Vol. 47. P. 1-7

Hydrogen Treatment of Surface Layer of a
Gold Film on Glass / A.G. VASILJEV et al. //
Journal Of Nano-and Electronic Physics. 2023.
Vol. 15. No 2. P. 1-5

(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ НАНОСТРУКТУРОВАНОЇ ЗОЛОТОЇ ПЛІВКИ З КОНТРОЛЬОВАНОЮ ШОРСТКІСТЮ

(57) Реферат:

Винахід належить до галузей металургії, хімічної технології та електроніки. Спосіб виготовлення наноструктурованої золотої плівки з контрольованою шорсткістю, що включає циклічну обробку золотої плівки, де кожен цикл передбачає розміщення золотої плівки у водному розчині сірчаної кислоти, у якому попередньо було встановлено приєднаний до джерела струму вуглецевий електрод, пропускання через комірку, утворену вуглецевим електродом, який є позитивним полюсом, та поверхнею золотої плівки, яка є негативним полюсом, імпульсного струму, далі застосовують наступне: промивання плівки у дистильованій воді та розміщення її у свіжій порції дистильованої води для витримки до наступного циклу обробки, обробку золотої плівки здійснюють за 15-18 циклів, при цьому силу струму забезпечують на рівні 2-5 мкА, довжину одного імпульсу забезпечують на рівні 1-3 с, а витримку золотої плівки між циклами обробки здійснюють протягом 1-5 хв. Спосіб забезпечує одержання наноструктурованої золотої плівки з контрольованим дефектоутворенням та зменшити тривалість технологічного процесу.

UA 130782 C2

Спосіб виготовлення наноструктурованої золотої плівки з контрольованою шорсткістю належить до галузей металургії, хімічної технології та електроніки. Винахід може бути застосованим для виготовлення нових пристроїв та датчиків на основі плазмонних ефектів, біосенсорів, медичних діагностичних та протівірусних засобів, каталізаторів хімічних реакцій тощо.

Процес виготовлення золотих плівок зазвичай складається з етапів підготовки підкладки, нанесення металу з рідкої або газової фази та фінальної хімічної обробки плівки з метою очищення, легування, полірування тощо. Морфологія утвореної плівки визначається параметрами нанесення, такими як температура, тиск, швидкість осадження, та способом постобробки. Технології нанесення наноструктурованих або поруватих плівок вимагають контролю шорсткості поверхні [1].

Відомим аналогом до заявленого винаходу є двостадійний спосіб виготовлення нанопористого золота [2]. На першому етапі використовують розчин галогеніду металу високої валентності або солі металу високої валентності та розчинного галогеніду для окислення та корозії срібла у фользі на основі сплаву золота і срібла. На другому етапі аміак, тіосульфат натрію тощо використовують для видалення утвореного нерозчинного галогеніду срібла для отримання нанопористого золота з діаметром пор від 2 нм до 100 нм.

Недоліком приведенного аналогу є складна технологія, що включає дві стадії, можливість контролю морфології структури лише на певному етапі процесу, та застосування шкідливих для здоров'я реагентів.

Іншим аналогом до заявленого винаходу є спосіб одержання наноплівки золота шляхом електрохімічного осадження з розчинів комплексних сполук золота [3]. Як комплексну сполуку використовують гідроген тетрахлоаурат (III), розчинник - органічний апротонний. Електрохімічне осадження здійснюють в імпульсному режимі електролізу за наявності тетрабутиламонію перхлорату.

Недоліком цього способу є комбінована технологія виготовлення на основі діелектрофорезу та електроосадження, контроль на етапі осадження, а не постобробки, що не дозволяє застосування до золотих плівок створених за іншою технологією.

Ще одним аналогом до заявленого винаходу є спосіб обробки золотих плівок водневою плазмою [4]. Спосіб полягає у обробці тонких плівок золота низькотемпературною водневою плазмою в умовах високого вакууму (10^{-5} Па). Параметри обробки: температура електронів $3,5 \pm 0,5$ еВ, потік іонів $1,5 \pm 0,5 \times 10^{15}$ см⁻² с⁻¹ і потенціал плазми ≈ 30 В. Це призводить до утворення зон напруження та відповідно поверхневих дефектів за рахунок надлишкового тиску водню захопленого у зони пасток золотої плівки.

Недоліком даного аналогу є необхідність у створенні умов високого вакууму та застосування плазми як джерела іонів водню, що вимагає відносно складного лабораторного обладнання та енергозатрат.

Найбільш близьким до заявленого винаходу є імпульсний спосіб обробки золотої плівки воднем [5], який включає циклічну обробку золотої плівки, де кожен цикл передбачає розміщення золотої плівки у водному розчині сірчаної кислоти, у якому попередньо було встановлено приєднаний до джерела струму вуглецевий електрод, пропусканні через комірку, утворену вуглецевим електродом, який є позитивним полюсом, та поверхнею золотої плівки, яка є негативним полюсом, імпульсного струму, з наступним промиванням плівки у дистильованій воді та розміщенням її у свіжій порції дистильованої води для витримки до наступного циклу обробки. Потік іонів водню до поверхні золотої плівки нанесеної на скло створювали за рахунок імпульсів струму електролізу у 10 % розчині сірчаної кислоти у воді. Коли через електроліт проходив електричний струм, золота плівка накопичувала іони H⁺. Якщо на період часу між пропусканням через утворену комірку до наступного імпульсу струму зразок залишали у розчині сірчаної кислоти, то після п'ятнадцяти імпульсів струму і промиванні зразка у дистильованій воді, плівка повністю змивалась зі скла. Це змивання відбувалось за рахунок дефектоутворення у всій товщині плівки, стимульованого іонами H⁺, що містяться у розчині сірчаної кислоти. Отже це призводить до необхідності промивати зразок після пропускання через нього кожного імпульсу струму та зберігати зразок між імпульсами струму у дистильованій воді.

Основними недоліками найближчого аналога до наведеного способу є, відповідно:

- відсутність зауваження про неконтрольоване дефектоутворення при знаходженні плівки у електроліті, яке призводить до руйнування золотої плівки, а не створення необхідної шорсткості поверхні;

- відсутність визначених параметрів обробки іонами водню що дозволяють контролювати процес дефектоутворення у плівці золота;

- значна тривалість обробки (близько 10 годин сумарно);
- суттєві не продуктивні втрати накопиченого у плівці водню за рахунок процесів дегазації протягом всієї водневої обробки.

В основу винаходу поставлено задачу розробки способу виготовлення наноструктурованої золотої плівки з контрольованою шорсткістю поверхні, який би дозволив:

- адаптувати імпульсну технологію обробки поверхні золота іонами водню для контрольованого дефектоутворення за рахунок визначених параметрів обробки;
- зменшити тривалість технологічного процесу;
- підвищити ефективність накопичення водню у плівці шляхом зменшення втрат спричинених процесами дегазації.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб виготовлення наноструктурованої золотої плівки з контрольованою шорсткістю включає циклічну обробку золотої плівки, де кожен цикл передбачає розміщення золотої плівки у водному розчині сірчаної кислоти, у якому попередньо було встановлено приєднаний до джерела струму вуглецевий електрод, пропускання через комірку, утворену вуглецевим електродом, який є позитивним полюсом, та поверхнею золотої плівки, яка є негативним полюсом, імпульсного струму, з наступним промиванням плівки у дистильованій воді та розміщенням її у свіжій порції дистильованої води для витримки до наступного циклу обробки, у якому, згідно з винаходом, обробку золотої плівки здійснюють за 15-18 циклів, при цьому силу струму забезпечують нарівні 2-5 мкА, довжину одного імпульсу 1-3 с, а витримку золотої плівки між циклами обробки здійснюють протягом 1-5 хв.

Здійснення способу, який заявляється, забезпечується за рахунок:

- створення комірки для електролізу, де у 10 % водному розчині сірчаної кислоти є вуглецевий електрод що є анодом та розміщенням золотої плівки в цьому розчині де поверхня золотої плівки стає катодом;

- через комірку пропускають імпульсний струм з силою струму на рівні 2-5 мкА, довжину одного імпульсу 1-3 с та витримкою золотої плівки між циклами обробки у дистильованій воді протягом 1-5 хвилини;

- регулювання силою струму у зазначених межах 2-5 мкА, довжиною одного імпульсу 1-3 с та витримкою золотої плівки між циклами обробки у дистильованій воді від 1 до 5 хвилини дозволяє досягати поверхні з різною шорсткістю;

- витримка золотої плівки у дистильованій воді між циклами обробки протягом 1-5 хвилин дозволяє виготовити наноструктуровану золоту плівку за 15-18 циклів обробки. Технічним результатом є створення наноструктурованої золотої плівки із поверхнею, шорсткість якої визначається параметрами імпульсної обробки іонами водню: силою струму одного імпульсу, довжиною одного імпульсу та часом витримки золотої плівки у дистильованій воді.

Суть винаходу пояснюється наступними кресленнями:

На Фіг. 1 показано розподіл відносної концентрації водню у зразку вздовж товщини плівки X (нм - нанометр) у момент часу відключення струму електролізу. Значення відносної концентрації водню у зразку вздовж товщини C/C_0 визначається в умовних одиницях (у. о. - умовна одиниця) де C_0 величина концентрації водню у шарі золотої плівки що виходить на поверхню у момент часу відключення струму електролізу. На кресл. криві побудовано за розрахунками у моделі Фіка. Крива 1 відповідає розподілу відносної концентрації водню у зразку вздовж товщини що отримають завдяки довжини одного імпульсу струму електролізу 1 с. Крива 2 відповідає розподілу відносної концентрації водню у зразку вздовж товщини що отримають завдяки довжини одного імпульсу струму електролізу 2 с. Крива 3 відповідає розподілу відносної концентрації водню у зразку вздовж товщини що отримають завдяки довжини одного імпульсу струму електролізу 3 с.

На Фіг. 2 показано розподіл відносної концентрації водню у зразку вздовж товщини плівки у перший цикл водневої обробки. На кресл. криві побудовано за розрахунками у моделі Фіка для довжини одного імпульсу струму електролізу 2 с. Крива 4 відповідає розподілу відносної концентрації водню у зразку вздовж товщини що отримають після 2 с витримки золотої плівки у дистильованій воді. Крива 5 відповідає розподілу відносної концентрації водню у зразку вздовж товщини що отримають після 4 с витримки золотої плівки у дистильованій воді. Крива 6 відповідає розподілу відносної концентрації водню у зразку вздовж товщини що отримають після 6 с витримки золотої плівки у дистильованій воді. Крива 7 відповідає розподілу відносної концентрації водню у зразку вздовж товщини що отримають після 8 с витримки золотої плівки у дистильованій воді.

На Фіг. 3 показано розподіл відносної концентрації водню у зразку вздовж товщини плівки у перший цикл водневої обробки. На кресл. криві побудовано за розрахунками у моделі Фіка після 60 с витримки золотої плівки у дистильованій воді. Крива 8 відповідає розподілу відносної

концентрації водню у зразку вздовж товщини що отримують завдяки довжини одного імпульсу струму електролізу 1 с. Крива 9 відповідає розподілу відносної концентрації водню у зразку вздовж товщини що отримують завдяки довжини одного імпульсу струму електролізу 2 с. Крива 10 відповідає розподілу відносної концентрації водню у зразку вздовж товщини що отримують завдяки довжини одного імпульсу струму електролізу 3 с.

На Фіг. 4 показано теоретичні криві поверхневого плазмонного резонансу (ППР) для золотої плівки: Крива 11 поверхню з нульовою шорсткістю (ідеальною пласка поверхня); Крива 12 відповідає плівці з пошкодженнями поверхні, з виступами над площиною поверхні у 3 нм.

На Фіг. 5 показано зміни у експериментальних кривих поверхневого плазмонного резонансу (ППР) для зразка золотої плівки на склі до та після обробки заявленим способом. Рисунок має дві криві. Крива 13 відповідає ППР для зразка золотої плівки до водневої обробки заявленим способом. Крива 14 відповідає тог ж для зразка золотої плівки після водневої обробки заявленим способом з такими характеристиками обробки: сила струму електролізу 5 мкА; довжини одного імпульсу струму електролізу 2с; витримки золотої плівки у дистильованій воді 1 хвилина; кількість циклів обробки 15.

На Фіг. 6 показано зміни у експериментальних кривих поверхневого плазмонного резонансу (ППР) для зразка золотої плівки на склі до та після обробки заявленим способом. Рисунок має дві криві. Крива 15 відповідає ППР для зразка золотої плівки до водневої обробки заявленим способом. Крива 16 відповідає для зразка золотої плівки після водневої обробки заявленим способом з такими характеристиками обробки: сила струму електролізу 5 мкА; довжини одного імпульсу струму електролізу 2с; витримки золотої плівки у дистильованій воді 5 хвилина; кількість циклів обробки 18.

Заявлений спосіб реалізується наступним чином. Золота плівка розміщують у 10 % водному розчині сірчаної кислоти. У такому розчині за грубою оцінкою в 1 см^3 міститься близько $1,31 \cdot 10^{21}$ іонів водню. В утвореній для електролізу комірці де вугільний електрод - анод у електроліті, а поверхня золотої плівки у електроліті була катодом. Електричний струм, що пропускають через електролітичну комірку, постачає до поверхні золотої плівки іони водню. Водень у стані окремих атомів на відміну від молекул водню має добру рухомість у металах, Дефекти що присутні у плівці служать пастками, де водень утворює молекули. Для створення шорсткої поверхні в збереження плівки необхідно мати водень у шарі наближеному до поверхні плівки. Це забезпечують довжиною одного імпульсу струму електролізу у 1-3 с, оскільки при таких значеннях довжини одного імпульсу струму електролізу водень насичує верхній шар золотої плівки і не встигає глибоко проникнути у товщину плівки. Параметри обробки, що дозволяють керувати процесом утворення дефектів і відповідно шорсткістю поверхні це: сила струму електролізу; довжина одного імпульсу; час витримки золотої плівки у дистильованій воді між циклами обробки. Ці параметри обробки взаємно пов'язані. Сила струму електролізу впливає перш за все на створення механічної напруженості у шарі наближеному до поверхні золотої плівки. Більша механічна напруженість сприяє утворенню більшої кількості дефектів у шарі наближеному до поверхні золотої плівки. Отже при силі струму електролізу у 2 мкА дефектів утворюють менше ніж при силі струму електролізу у 5 мкА. Довжина імпульсу струму електролізу у 1 с після заявленої обробки буде давати менш шорстку поверхню, ніж довжина імпульсу струму електролізу у 3 с. Час витримки золотої плівки у дистильованій воді між циклами обробки, перш за все, впливає на кількість циклів обробки. Так при обробці з силою струму електролізу у 5 мкА і довжиною одного імпульсу 2 с та з часом витримки золотої плівки у дистильованій воді між циклами обробки у 1 хвилину досягли пошкодження поверхні за 15 циклів обробки, при часі витримки золотої плівки у дистильованій воді між циклами обробки у 5 хвилину лише після 18 циклів. Найкращі результати досягаються при силі струму електролізу на рівні 5 мкА, довжині одного імпульсу 2 с та витримкою золотої плівки між циклами обробки у дистильованій воді протягом 1 хвилини. Нерівності поверхні у такому випадку становлять 5-7 нм.

За рахунок пропускання електричного струму через комірку відбувалось накопичення атомів водню у золоті. Збільшення величини сили струму збільшує кількість водню у золотій плівці. Якщо неперервне утримувати струм електролізу зразок менше ніж за одну хвилину насититься воднем до максимально можливої величини. Поки водень у золоті знаходиться у стані окремих атомів він добре рухається по металу навіть при кімнатній температурі. Дрібні дефекти, що присутні у золотій плівці, є добрими пастками водню. У дефектах водень утворює молекули. Молекули на відміну від атомів практично нерухомі. Водень у пастках створює значний тиск, під цим тиском дефекти збільшуються у розмірах. Для створення шорсткої поверхні необхідно щоб ріст розмірів дефектів відбувався у шарі коло поверхні плівки. Це, у спосіб що пропонується, вирішується обмеженням довжини одного імпульсу струму електролізу у 1-3 с.

За такий час дії струму електролізу водень встигає проникнути у верхній шар. У другій половині і особливо на склі на кінець імпульсу струму, кількість атомів водню потрібна щонайменша. Після дії струму електролізу, промиванні у дистильованій воді і витримці у чистій дистильованій воді відбувається дегазація водню з плівки. Але при дегазації водень рухається через шар коло поверхні плівки і процес захвату водню дефектами у цьому шарі продовжується. Тому розглянемо процес що відбувається при водневій обробці плівки золота у межах законів Фіка. У нашому випадку коефіцієнт дифузії D не залежить від концентрації водню в плівці золота. Товщина плівки/значно менша за розміри поверхні, тому ми можемо враховувати лише дифузію атомів водню вздовж товщини.

$$J(x, t) = -D \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} \quad (1)$$

$$\frac{\partial C(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C(x, t)}{\partial x^2}, \quad (2)$$

де: x - положення точки відносно осі, перпендикулярної до площини поверхні плівки, початок осі знаходиться на поверхні, а вісь спрямована до скляної пластини; J - щільність потоку атомів водню; C - концентрація атомів водню. Ці рівняння можливо застосувати як до розгляду процесу насичення, так і процесу дегазації. Граничні та початкові умови для дегазації плівки визначимо з наступних міркувань. Початкова концентрація водню у зразку відповідає розподілу що отримали на кінець імпульсу струму електролізу. На самій поверхні плівки постійна концентрація водню - $C(0, t) = 0$. Скло практично непроникне для водню, потік водню на межі золото-скло дорівнює нулю. З урахуванням наведених граничних і початкових умов було отримано розподіли вздовж товщини плівки відносної концентрації водню в плівці у різні моменти часу з початку процесу дегазації (Фіг. 2-3). З Фіг. 1 видно, що на відстані у 10 нм від поверхні для першого імпульсу струму електролізу з довжиною у 1 с відносна концентрація водню C/C_0 у момент часу відключення струму електролізу становить 0,21 умовних одиниці, для першого імпульсу струму електролізу з довжиною у 2 с відносна концентрація водню $C/C_0 = 0,37$ умовних одиниць, а для першого імпульсу струму електролізу з довжиною у 3 с відносна концентрація водню $C/C_0 = 0,47$ умовних одиниць. Отже, це свідчить про те що збільшення довжини імпульсу струму електролізу призводить до збільшення водню у шарі золотої плівки що наближена до поверхні. У середині товщини плівки ($X = 25$ нм) значення $C/C_0 = 0,0017$ умовних одиниць (1 с), $C/C_0 = 0,0260$ умовних одиниць (2 с) і $C/C_0 = 0,0692$ умовних одиниць (3 с). Ці значення значно менше одиниці, отже водень на середині товщини плівки майже відсутній на момент часу відключення струму електролізу.

З Фіг. 2 моделі видно, що кількість водню у зразку з часом зменшується, але кількість водню у шарі що знаходиться далі від поверхні поступово зростає, але залишається невеликою. Так на межі золото-скло відносна концентрація водню у зразку у перший цикл водневої обробки після 2 с витримки золотої плівки у дистильованій воді становила 0,0033 умовної одиниці, після 4 с - становила 0,0171 умовної одиниці, після 6 с - становила 0,0318 умовної одиниці, після 8 с - становила 0,0410 умовної одиниці. На кресл. криві побудовано за розрахунками у моделі Фіка для довжини одного імпульсу струму електролізу 2 с, але тенденція зростання концентрації водню на межі золото-скло характерно для довжини одного імпульсу у 1 с і у 3 с. Характерно також що ці накопичення водню на межі золото-скло не створюють загрози відокремлення плівки золота від скла.

З Фіг. 3 моделі видно, що накопичений за рахунок попереднього циклу обробки водень залишається у зразку на початку наступного циклу обробки. Так на межі золото-скло відносна концентрації водню що отримали завдяки довжини одного імпульсу струму електролізу 1 с становить 0,0060 умовної одиниці, довжини одного імпульсу струму електролізу 2 с становить 0,0119 умовної одиниці, довжини одного імпульсу струму електролізу 3 с становить 0,0175 умовної одиниці. Характерно що ці накопичення водню на межі золото-скло не створюють загрози відокремлення плівки золота від скла. Зі збільшенням кількості циклів обробки золотої плівки все більше водню затримується у зразку. Отже у шарі коло поверхні плівки водень є протягом всієї обробки. Це дозволяє накопичувати водень у пастках протягом всієї обробки.

Відстежити зміни шорсткості поверхні у золотій плівці нанесеній на поверхні скла можливо за рахунок вимірювання поверхневого плазмонного резонансу (ППР). Відповідні дослідження проводились на спектрометрі "Плазмон-6". Збудження плазмонів у спектрометрі відбувається за методом Кречмана. Спектрометр реєстрував зміну інтенсивності світла що відбито від плівки золота, при зміні кута падіння. Спектрометр записував криву ППР. Крива ППР - це залежність інтенсивності відбитого світла від кута падіння θ на плівку золота. Оскільки через технологію виробництва сенсорів, кожен зразок має свої індивідуальні властивості, Крива ППР для кожного

зразка індивідуальна. Тому зміни у зразку можливо аналізувати тільки у порівнянні кривої ППР що мав зразок перед обробкою воднем та кривої ППР від того ж зразка після водневої обробки.

Для підтвердження контролю зміни шорсткості виконали комп'ютерне моделювання. Була побудована теоретична модель у якій отримана теоретична крива ППР від золотої плівки на склі товщиною 50 нм, що відповідає за параметрами реальним зразкам. У модельних розрахунках поверхня плівки була ідеально пласкою. Потім була побудована теоретична модель у якій отримана теоретична крива ППР від золотої плівки на склі товщиною 50 нм але на поверхню було додано наночастинки золота. Наявність наночастинок золота моделювало зміну шорсткості поверхні. У моделі були розраховані криві ППР з різними розмірами золотих наночастинок. На фіг. 4 наведено результати моделювання для розмірів наночастинок 3 нм. З цього кресл. ми бачимо, що Крива 11 (пласка поверхня) має максимум поглинання світла на куті падіння $44,5^\circ$, відносна інтенсивність відбитого світла (I/I_0 де: I - інтенсивність відбитого від поверхні плівки світла, I_0 - інтенсивність світла що падає на поверхню плівки) становила 0,1 умовні одиниці. Після модулювання шорсткості у 3 нм, крива 12 має максимум поглинання світла на куті падіння $46,1^\circ$, відносна інтенсивність відбитого світла становила 0,25 умовні одиниці. Видно також що крива ППР від шорсткої поверхні також має більшу ширину по відношенню ширини кривої ППР від пласкої поверхні плівки. Були виконані також модельні розрахунки кривих ППР для випадків 1 і 2 нм. Відповідно з цих модулювань витікає наступне: збільшення шорсткості поверхні золотої плівки супроводжується: збільшенням ширини кривої ППР, збільшенням кута падіння світла на якому спостерігається максимум поглинання світла, збільшенням відносною інтенсивності відбитого світла у максимумі поглинання світла.

Для підтвердження способу водневої обробки було оброблено серію зразків золотих плівок на склі відповідно до заявленого способу і було отримано множину зразків наноструктурованих золотих плівок з шорсткістю від 3 до 10 нм. Суть винаходу пояснюється наступними прикладами:

Приклад 1

Зразки що досліджували мали такі розміри: площа поверхні $3,6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$, товщина плівки 50 нм. Параметри обробки: сила струму електролізу - 5 мкА, довжина одного імпульсу - 2 с, промиванням плівки у дистильованій воді та розміщенням її у свіжій порції дистильованої води для витримки до наступного циклу обробки - 1 хвилина. Кожен зразок з такими параметрами обробки отримав 15 циклів обробки заявленим способом. Зміни у спектрі ППР для одного зразка з такими параметрами обробки, які викликала обробка воднем зображені на Фіг. 5. З кресл. ми бачимо, що після обробки зразка крива ППР стала значно ширшою у порівнянні до кривої ППР, що отримали від поверхні зразка до обробки. Відносна інтенсивність поглинання світла в резонансі змінилася суттєво. Крива 14 ППР на фіг. 5 піднялась угору на 0,16 у. о. Після обробки Крива 14 змістилась у більші кути. Зсув кута максимуму поглинання світла на Фіг. 5 становить приблизно $2,8^\circ$. Зміни у спектрах інших зразків подібні, що наведено на кресл., близькі за значеннями. У порівнянні з модельними розрахунками такий зсув відповідає шорсткості поверхні 5-7 нм.

Приклад 2

Параметри обробки: сила струму електролізу - 5 мкА, довжина одного імпульсу - 2 с, промиванням плівки у дистильованій воді та розміщенням її у свіжій порції дистильованої води для витримки до наступного циклу обробки - 5 хвилин. Кожен зразок з такими параметрами обробки отримав 18 циклів обробки заявленим способом. Зміни у спектрі ППР для одного зразка з такими параметрами обробки, які викликала обробка воднем зображені на Фіг. 6. З кресл. ми бачимо, що після обробки зразка крива ППР стала значно ширшою у порівнянні з кривою ППР, що отримали від поверхні зразка до обробки. Відносна інтенсивність поглинання світла в резонансі змінилася суттєво. Крива 16 ППР на Фіг. 6 піднялась у гору на 0.15 умовних одиниць. Після обробки Крива 16 змістилась у більші кути. Зсув кута максимуму поглинання світла на Фіг. 6 становить приблизно $2,7^\circ$. Зміни у спектрах інших зразків подібні, що наведено на кресл., близькі за значеннями. У порівнянні з модельними розрахунками такий зсув відповідає шорсткості поверхні 5-7 нм.

Порівняння результатів експерименту та теоретичного моделювання зміни шорсткості поверхні (Фіг. 4) демонструє, що отримані зміни в спектрі ППР відбуваються за рахунок руйнуванні верхнього шару золотої сенсорної плівки. При цьому поверхня плівки стає істотно шорсткою у порівнянні з шорсткістю поверхні вихідного зразка. Шорсткість поверхні вихідних зразків, що наведено на Фіг. 5 і 6, у порівнянні з теоретичним моделюванням можливо оцінювати у 2 нм.

Отже, застосування заявленого способу виготовлення наноструктурованої золотої плівки дозволяє досягти заявленого технічного результату. На це вказує те що зміна одного параметру

обробки заявленого способу обробки веде до зміни кількості циклів обробки, але в результаті ціль обробки - досягнення відповідної шорсткості поверхні досягається у обох прикладах.

Джерела інформації:

1. Porous Gold Films-A Short Review on Recent Progress/R. Zhang, H. Olin//Materials. - 2014. - Vol. 7 (5). - P. 3834-3854.
2. Опис до патенту CN101787458A, Preparation method of nano-porous gold, 2010.
3. Опис до патенту України № 108175, Спосіб одержання наноплівки золота, 2015.
4. Hydrogen-induced buckling of gold films/B. Eren, L. Marot, G. Günzburger, P-O. Renault, Th. Giatzel, R. Steiner, E. Meyer//Journal of Physics D: Applied Physics. - 2014. - Vol. 47. - 025302 (7pp).
5. Hydrogen Treatment of Surface Layer of a Gold Film on Glass/A.G. Vasiljev, T.A. Vasyliiev, R.O. Zhelezniak, V.V. Kryvytskyi, T.P. Doroshenko//Journal Of Nano-and Electronic Physics. - 2023. - Vol. 15, No 2. - 02013 (5pp).

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб виготовлення наноструктурованої золотої плівки з контрольованою шорсткістю, що включає циклічну обробку золотої плівки, де кожен цикл передбачає розміщення золотої плівки у водному розчині сірчаної кислоти, у якому попередньо було встановлено приєднаний до джерела струму вуглецевий електрод, пропускання через комірку, утворену вуглецевим електродом, який є позитивним полюсом, та поверхнею золотої плівки, яка є негативним полюсом, імпульсного струму, який **відрізняється** тим, що далі застосовують наступне: промивання плівки у дистильованій воді та розміщення її у свіжій порції дистильованої води для витримки до наступного циклу обробки, обробку золотої плівки здійснюють за 15-18 циклів, при цьому силу струму забезпечують на рівні 2-5 мкА, довжину одного імпульсу забезпечують на рівні 1-3 с, а витримку золотої плівки між циклами обробки здійснюють протягом 1-5 хв.

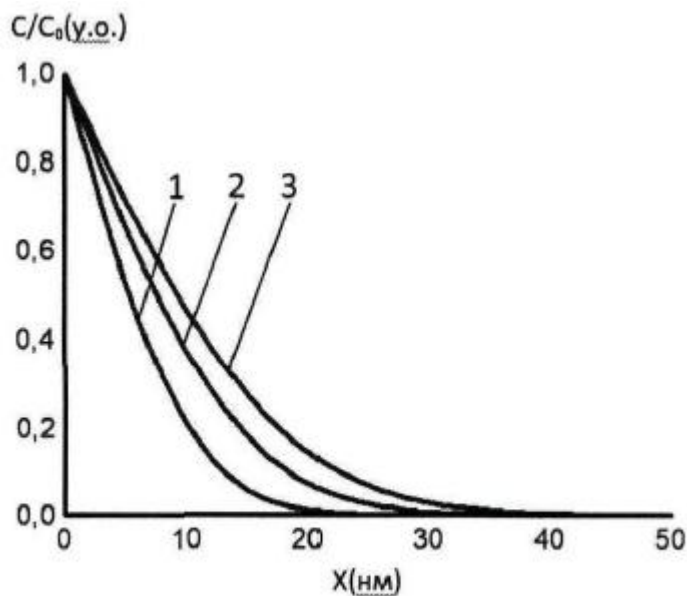


Fig. 1

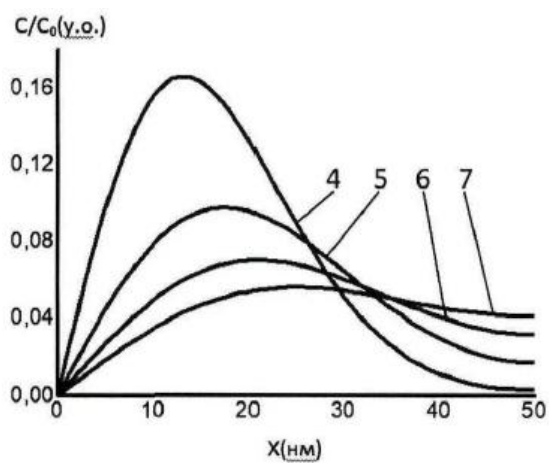


Fig. 2

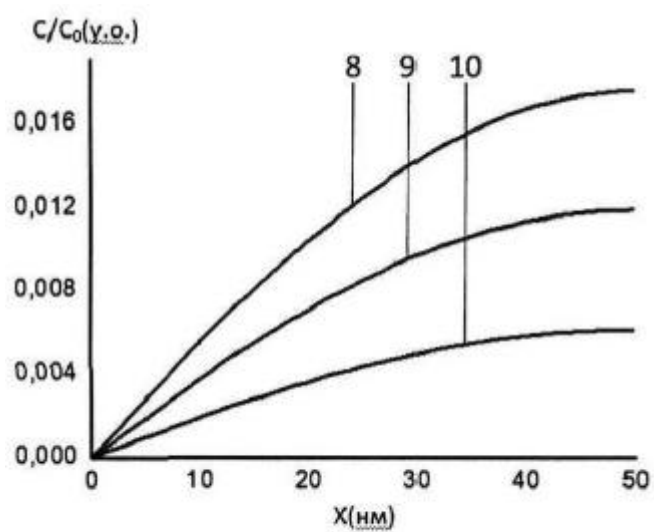


Fig. 3

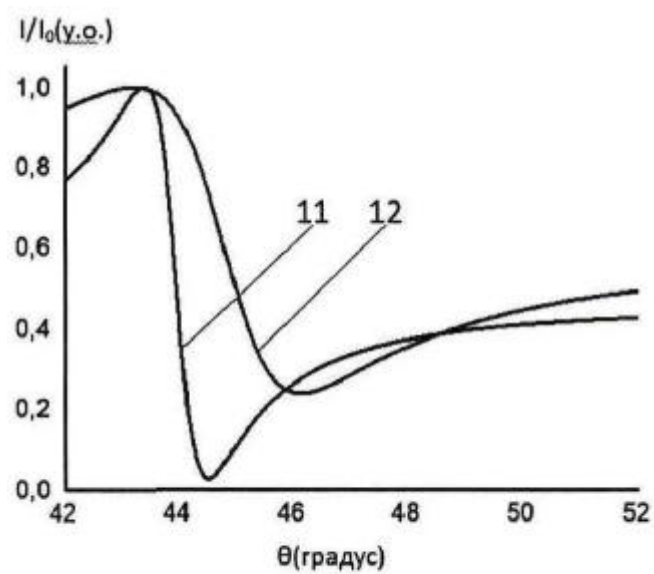


Fig. 4

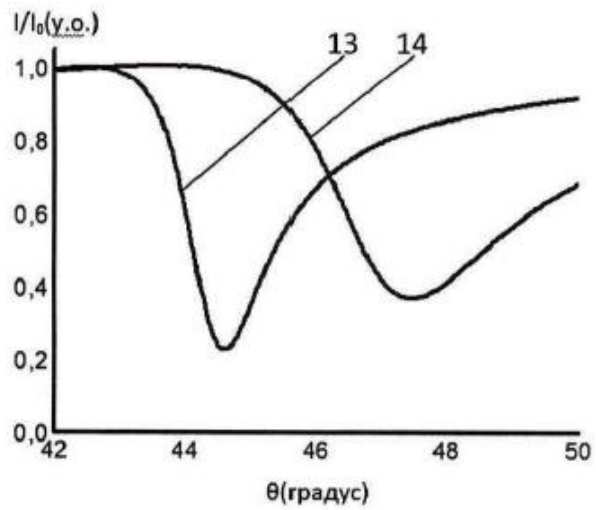


Fig. 5

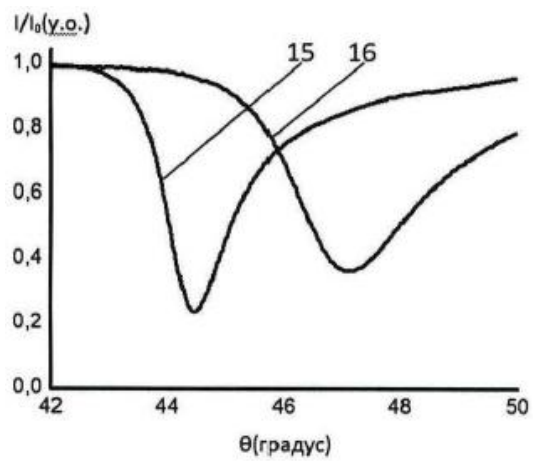


Fig. 6