

УДК 544.164

Олена АКСИМЕНТЬЄВА, Оксана ЄВЧУК

ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ОДЕРЖАННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ ГІБРИДНИХ НАНОСТРУКТУР НА ОСНОВІ ПОРУВАТОГО КРЕМНІЮ І ПОЛІАНІЛІНУ

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія, 6, Львів 79005, Україна
e-mail: aksimen@ukr.net; yevchuk81@mail.ru*

Вивчено закономірності електрохімічного одержання гібридних наноструктур на основі тонких шарів поліаніліну на поверхні поруватого кремнію в умовах електрохімічної полімеризації аніліну з циклічною розгорткою потенціалу. Методом атомно-силової мікроскопії досліджено топологію поверхні отриманих структур. Виявлено, що наявність тонкого поліанілінового шару спричиняє незначний зсув максимуму і деяке послаблення фотолюмінесценції поруватого кремнію, а також окисно-відновну та сенсорну активність одержаних наноструктур.

Ключові слова: поруватий кремній, електрополімеризація, поліанілін, наноструктура, фотолюмінесценція.

Вступ

Електронні властивості кремнію можна змінювати внаслідок формування на його основі наноструктур – просторово розділених кремнієвих ділянок з мінімальними розмірами в декілька нанометрів [1]. Такі структури називають “поруватим кремнієм” і їх широко застосовують у різних галузях техніки, зокрема, в оптоелектроніці та сенсоріці [1-4]. Найважливіша властивість поруватого кремнію, на відміну від монокристалічного, – здатність до фотолюмінесценції (ФЛ) у видимому та ближньому ІЧ-діапазоні спектра, збудження якої стає можливим завдяки нанометровим розмірам поруваті структури [3]. Викликають зацікавлення гетероструктури, створені на основі поруватого кремнію (ПК) і поверхневих органічних шарів, серед яких досить активно останнім часом досліджують спряжені електропровідні полімери, зокрема, поліанілін (ПАН) [4, 5]. Наявність плівки електропровідного полімеру на поверхні ПК може слугувати пасивуючим шаром і електропровідним контактом, а при густині струму $i > 0,5 \text{ A/cm}^2$ в такій гетероструктурі може спостерігатись “видима” електролюмінесценція [5]. Внаслідок того, що електричні властивості ПАН суттєво залежать від ступеня окиснення чи протонування [6], цей полімер доволі чутливий до дії хімічних чинників (величини рН, адсорбції полярних газів), тому нанесення плівок ПАН може поліпшити властивості сенсорних пристроїв на основі ПК [4]. У зв’язку з цим виникає необхідність роз-

робки та удосконалення методів одержання тонких шарів поліаніліну на поверхні поруватого кремнію.

Одержання поліанілінового шару на ПК проводять методом вакуумного напилення [2], розтіканням розчину полімеру по поверхні ПК з наступним випаровуванням розчинника [5] та методом електрополімеризації [7]. Враховуючи доволі великі розміри полімерних молекул та їхню глобулярну структуру, у перших двох випадках важко очікувати глибокого проникнення макромолекул полімеру в пори кремнію, навіть після ультразвукової обробки. З іншого боку, в умовах електрохімічної полімеризації, коли полімер синтезується з вихідних мономерних молекул безпосередньо на струмопровідній поверхні, існує ймовірність проникнення мономера в пори кремнію і проходження полімеризаційного процесу безпосередньо в глибині пор [7].

Мета нашої праці – вивчити закономірності електрополімеризаційного одержання наноструктур на основі поруватого кремнію і поліаніліну, дослідити їхні властивості.

Експериментальна частина

Серед технологічних прийомів отримання наноструктур на основі кремнію найдоступнішим є створення нанокристалів шляхом витравлювання у монокристалічному кремнії пор, які можуть мати розміри в декілька нанометрів [1, 2, 5]. Для одержання поруватого кремнію ми використовували пластини монокристалічного кремнію (100) товщиною 460 мкм з провідністю n-типу, що мали питомий опір 6,5 Ом см. Анодування пластин проводили в етанольному розчині плавикової кислоти (40 об.%) при густині струму 10 мА/см² та освітленні вольфрамовою лампою потужністю 150 Вт протягом 20 хв, після чого пластинку з шаром ПК промивали в етанолі та висушували у вакуумі за температури $T = 373\text{--}393$ К.

Плівки поліаніліну на поверхні ПК отримували методом електрохімічної полімеризації 0,1 М розчину сульфату аніліну в 0,5 М сульфатній кислоті у скляній триелектродній комірці при кімнатній температурі. Як робочий електрод використовували пластинки ПК площею 1 см², закріплені у платиновому тримачі, протиелектродом була платинова пластинка, електрод порівняння – насичений аргентумхлоридний Ag/AgCl (х.с.е.). Після нанесення плівки зразок промивали деіонізованою водою і сушили в умовах динамічного вакууму при $T = 353\text{--}373$ К протягом 4 год. Вивчення електрохімічних властивостей ПК-ПАН електродів проводили методом циклічної вольтамперометрії (ЦВА) у 0,5 М розчині сульфатної кислоти. При отриманні спектрів ФЛ джерелом збудження був азотний лазер, який працював в імпульсному режимі генерації випромінювання з $\lambda = 370,1$ нм за пікової потужності 40 кВт, тривалості імпульсів 20 нс і частоти 60 Гц. Топологію поверхні вивчали за допомогою атомно-силової мікроскопії (АСМ) із застосуванням мікроскопа “NanoScope IIIa” в Інституті фізики напівпровідників НАНУ, м. Київ. Програмне забезпечення фірми PSI давало змогу зняти й обробити дані, провести фільтрації та згладжування, а також статистично проаналізувати отримані АСМ зображень.

Результати та обговорення

Електрополімеризаційне одержання наноструктур поруватий кремній-поліанілін проводять шляхом електролізу поруватого кремнію в розчині аніліну [7], або електрохімічним травленням монокристалічного кремнію за наявності у травиль-

ному розчині аніліну, тобто процес електрохімічної полімеризації відбувається одночасно з формуванням поруваної структури ("in situ"[2]), товщина полімерного шару не регулюється. Водночас густини анодного струму, які застосовують для анодизації кремнію (10-60 мА/см²), відповідають високим позитивним потенціалам робочого електрода, чим зумовлюють електрохімічну деструкцію поліанілінового ланцюга [6, 8]. При високих густинах струму у сильно кислих середовищах можливе окиснення полімеру з утворенням феназинових структур і навіть розчинних хіноїдних продуктів [8]. Тому при електрохімічному одержанні тонких плівок поліаніліну важливою умовою є контроль області потенціалів і струмів електрохімічної полімеризації. Таку змогу може дати метод електроосадження з циклічною розгорткою потенціалу, добре опрацьований для металічних, вуглецевих та оксидних електродів [9-11] і малодосліджений для ПК.

Як з'ясував Г. Зотті і співробітники [10] при електрополімеризації з циклічною розгорткою потенціалу кількість заряду (Q) і відповідно маса полімеру, електроосадженого на електроді, залежить від швидкості (v) та кількості циклів розгортки (N) потенціалу відповідно з наближеним співвідношенням

$$Q \sim (cN/v)^n \exp[aE_1],$$

в якому c – концентрація мономера (моль/л); a – коефіцієнт перенесення; E_1 – потенціал переключення; V , Q – загальний заряд електроосадження (Кл) після N циклів. Значення ступеневого показника n визначається типом мономера, електроліту, їхньою концентрацією та іншими чинниками. Для поліаніліну в розчині сульфатної кислоти $n=2$, що зумовлюється особливостями механізму полімеризації [9, 10]. При формуванні плівок похідних поліаніліну на поверхні оксидних електродів, струми електроокиснення змінюються пропорційно N [12]. Для поруваного кремнію такі залежності не вивчали.

Для вивчення умов електрохімічного одержання плівок ПАН на поверхні ПК при циклічній розгортці потенціалу отримали вольтамперні криві зразків ПК у фоновому електроліті (0,5 М сульфатній кислоті) та за наявності мономера за різних значень швидкості розгортки потенціалу (рис. 1, а, б). Пряма та зворотна гілки ЦВА – кривої для чистого ПК у фоновому розчині мають вигляд прямої лінії з певним нахилом, значення якого залежить від опору зразка. З циклічних вольтамперограм, отриманих на ПК електроді в тих самих умовах, але за наявності мономера, встановлено, що перший цикл розгортки потенціалу характеризується появою широкого анодного максимуму в області $E_a = 1,7-2,0$ В, пов'язаного з електроокисненням аніліну (рис. 1, крива 1). Вищі значення анодного потенціалу цієї реакції на ПК порівняно з металевими електродами [6, 9, 10]) ймовірно зумовлені особливостями будови подвійного електричного шару напівпровідника n -типу [13], а саме – збідненням концентрації носіїв заряду у внутрішній обкладці подвійного електричного шару.

Вигляд ЦВА-кривих, отриманих при наступних циклах розгортки помітно відрізняється від циклічних вольтамперограм, одержаних на металічних, вуглецевих та оксидних електродах [9-12] і свідчить про складний характер проходження електро-полімеризаційних процесів на поверхні ПК та їхній автокаталітичний характер. Згідно з існуючими уявленнями про механізм електрохімічної полімеризації аніліну [6, 9, 10] анодне окиснення мономера відбувається внаслідок перенесення електрона з молекули аніліну на електрод, що супроводжується формуванням первинних катіон-радикалів, другою стадією є окисне сполучення радикальних

частинок з утворенням димерів, тетраметрів., процес супроводжується окисненням-відновленням сформованих фрагментів, що призводить до утворення сульфатно-легованого спряженого полімерного ланцюга. Поява низки характерних для електрополімеризації аніліну окисно-відновних максимумів в інтервалі $E = 0,5-1,2$ В [6, 9, 10] та послідовне збільшення струмів цих максимумів (рис. 1, а, б) свідчить про утворення електроактивного полімеру. Пропорційна залежність струмів піків від кількості циклів розгортки в інтервалі $N = 4 \dots 16$ (рис. 2) дає можливість контролювати процес формування електроактивної плівки на поверхні ПК.

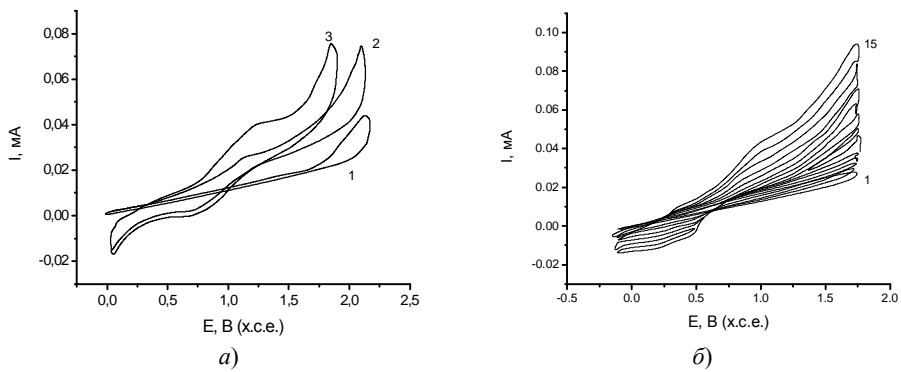


Рис. 1. ЦВА, отримані в процесі електрохімічної полімеризації аніліну на поверхні ПК в 0,1 М розчині аніліну у в 0,5 М H_2SO_4 при швидкості розгортки потенціалу 40 (а) та 80 (б) мВ/с та числі циклів : (а) $N = 1$ (1); 5 (2) та 15 (3); (б) $N = 1-15$.

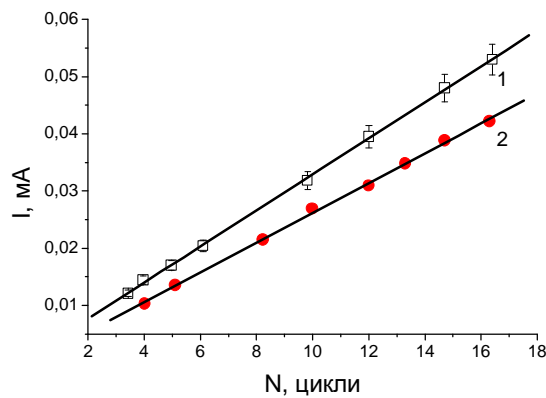


Рис. 2. Залежність струму першого анодного максимуму в інтервалі $E = 0,5-0,7$ В від кількості циклів (N) у процесі електросинтезу поліаніліну на поверхні поруватого кремнію при швидкості розгортки 80 (1) та 40 (2) мВ/с.

Для з'ясування вияснення характеру поверхневих утворень досліджували топологію отриманих гетероструктур за допомогою АСМ (рис. 3, а, б).

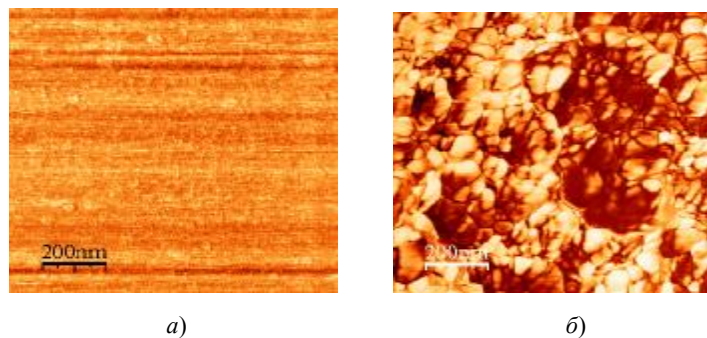


Рис. 3. АСМ зображення поверхні монокристалічного (а) та поруватого кремнію (б).

Як можна бачити з отриманих за допомогою АСМ зображень, в результаті анодизації поверхні монокристалічного кремнію відбувається утворення періодичних структур (пор), розміри яких становлять від 5 до 50 нм. Вигляд утворених наноструктур в об'ємному, 3D зображенні (рис. 4, а) свідчить про формування наностержнів (нанокристалів) кремнію. Внаслідок електрохімічної полімеризації поверхня ПК вкривається рівномірним шаром поліаніліну (рис. 4, б). Результати статистичного аналізу зображень поверхні ПК та отриманих гетероструктур засвідчили, що при глибині пор ПК понад 200 нм товщина гібридного шару ПК-полімер досягає 40–45 нм, у цьому разі зберігається глобулярна структура полімеру.

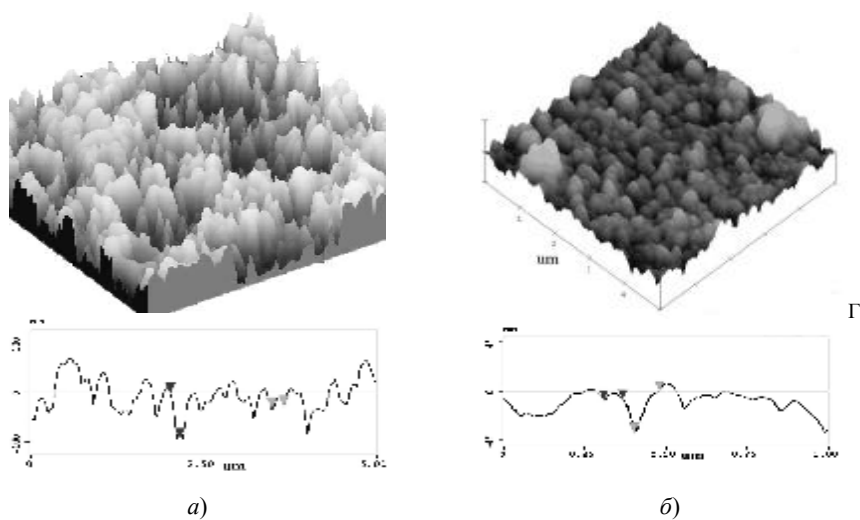


Рис. 4. АСМ зображення та профіль поверхні (а) поруватого кремнію, отриманого анодизацією монокристалічного кремнію, (б) плівки ПАН на поверхні поруватого кремнію.

Отримані в результаті проведення послідовних циклів сканування потенціалу ($N = 12$) зразки ПК-ПАН були досліджені на здатність до фотолюмінесценції та електрохімічної активності. На рис. 5 зображено циклічну вольтамперограму, яку отримали при дослідженні електрохімічної поведінки ПК-ПАН електрода у водних розчинах сульфатної кислоти, на рис. 6 – спектри фотолюмінесценції отриманих структур.

Вигляд ЦВА кривих та порівняння їх з вихідним зразком (рис. 1, а, крива 1) свідчить про підвищену окисно-відновну активність ПК-ПАН електрода порівняно з чистим ПК, яка зумовлюється електрохімічними реакціями полімерного шару, сформованого на поверхні ПК. Наявність на циклічній вольтамперограмі оборотних анодно-катодних максимумів при $E = 0,2-0,3$ та $0,5-0,6$ В, властивих процесам допування (легування) - дедопування ПАН з відповідним приєднанням-вивільненням легуючих аніонів HSO_4^- [6, 9–11], свідчить про збереження молекулярної будови полімеру та його здатності до окисно-відновних реакцій на поверхні поруватого напівпровідника. Одержані результати добре узгоджуються зі виявленим раніше фактом поліпшення сенсорних [4] і вольтамперних характеристик гетероструктур ПК-ПАН порівняно з чистим ПК [7].

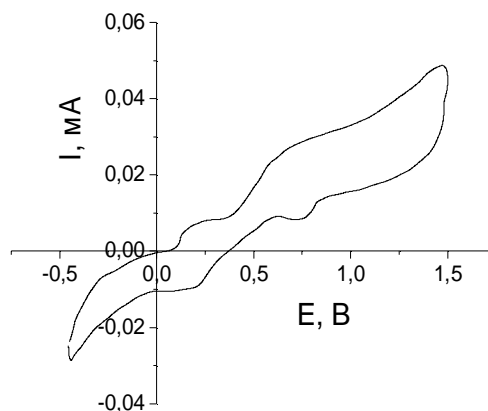


Рис. 5. Циклічна вольтамперограма, яку отримали у розчині 0,5 М сульфатної кислоти ($v = 80$ мВ/с) для поруватого кремнію з плівкою ПАН, одержаною з 0,1 М розчину аніліну в 0,5 М H_2SO_4 при $N=12$ та $v=40$ мВ/с.

Оскільки визначення істинної площі поверхні поруватого кремнію доволі складна задача то оцінку товщини полімерного шару на ПК проводять здебільшого для плівки полімеру, отриманої в аналогічних умовах на поверхні скла або ІТО електрода [2, 5]. Водночас застосування методу ЦВА дає змогу оцінити поверхневу концентрацію полімеру за кількістю заряду, який витратили в процесі електросинтезу, або пішов на окиснення-відновлення електроактивного шару в процесі електрохімічного легування [14]. Використовуючи останній підхід, внаслідок інтегрування ЦВА-кривої (рис. 4) знайдено, що кількість заряду, витраченого на окиснення-відновлення плівки ПАН на поверхні ПК становить $0,312$ мКл/см², що відповідає поверхневій концентрації електроактивної речовини $\Gamma_i = 3,24 \cdot 10^{-9}$

моль/см². Це значення добре узгоджується поверхневим покриттям, оціненим для плівок, отриманих у подібних умовах на поверхні SnO₂ електрода [11, 12].

Як видно зі спектрів фотолюмінесценції, зображених на рис. 6, за наявності ПАН на поверхні ПК спостерігають “червону” ФЛ, однак відбувається деяке її послаблення порівняно з ФЛ чистого ПК з одночасним незначним зсувом максимуму в бік менших довжин хвиль: для ПК максимум ФЛ спостерігають при $\lambda_{\max} = 696$ нм, для структури ПК-ПАН $\lambda_{\max} = 694$ нм.

Спектральні характеристики ФЛ для гетероструктури ПК-ПАН мають значно вищі показники порівняно з аналогічними структурами, коли плівку ПАН отримують з розчину полімеру, синтезованого методом хімічної полімеризації. Зокрема, зменшення інтенсивності ФЛ у досліджуваній структурі становить лише 35-40 % (стосовно 65 % [5]), а зсув максимуму випромінювання не перевищує 2 нм [5]).

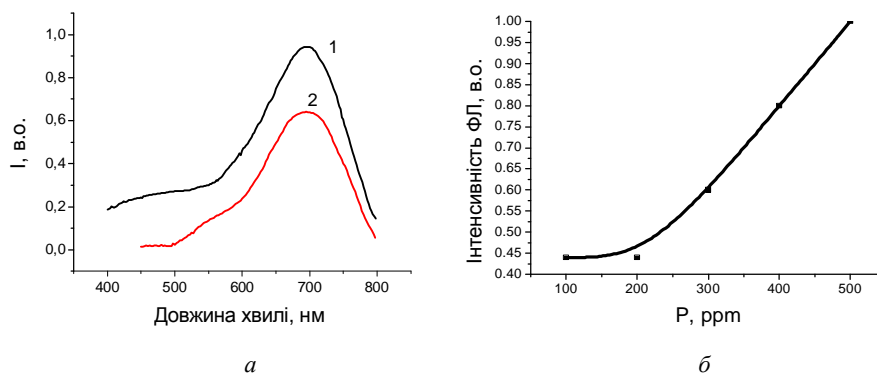


Рис. 6. Спектр фотолюмінесценції ПК (1) та гетероструктури ПК-ПАН (2) (а); залежність інтенсивності фотолюмінесценції структури ПК-ПАН на довжині хвилі 700 нм від тиску аміаку (б).

Спостережений ефект можливо пов'язаний з особливостями структури поліаніліну, отриманого в умовах електрополімеризації з циклічною розгорткою потенціалу, коли синтез полімеру відбувається не тільки на поверхні, а й у порах кремнію. Випромінюючі властивості гетероструктури поруватий кремній-поліанілін залежать від наявності газового середовища. Як видно з зображених на рис. 6, б даних, зростання тиску аміаку веде до збільшення інтенсивності ФЛ, що можна пояснити процесами відновлення поліанілінової плівки з формуванням безбарвної форми полімеру – лейкоемеральдину, внаслідок чого збільшується оптична прозорість плівки і, відповідно, вихід випромінювання.

Висновки

Проведені дослідження свідчать про те, що метод електрохімічної полімеризації з циклічною розгорткою потенціалу може бути використаний для керованого одержання тонких полімерних плівок на поверхні поруватого кремнію. Отримані на основі ПК і поліаніліну наноструктури характеризуються підвищеною електрохімічною активністю і покращеними фотолюмінесцентними характеристиками порівняно з гетероструктурами такого типу, отриманими іншими методами. Виявлений ефект зростання інтенсивності ФЛ під дією аміаку може бути використаний

для створення газових сенсорів на основі гібридних наноструктур поруватий кремній – поліанілін.

Подяка. Автори висловлюють вдячність д-ру тех. наук, професорові НУ “Львівська Політехніка” Стахірі Павлу Йосиповичу за допомогу у знятті й обговоренні спектрів фотолюмінесценції.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Примаченко В.Е.* Электронные и излучательные свойства пористого кремния, легированного золотом / В.Е. Примаченко, Я.Ф. Кононец, Б.М. Булах, и др. // Физика и техника полупроводников. – 2005. – Т.39, №5. – С. 595-601.
2. *Jayachandran M.* Synthesis of porous silicon nanostructures for photoluminescent devices / M. Jayachandran, M. Paramasivam, K.R. Murali, [et al] // Mater. Phys. Mech. – 2001. – Vol.4. – P.143-147.
3. *Aksimentyeva O.I.* Electronic processes in conducting polymer-porous silicon interface / O.I. Aksimentyeva, P.Y. Stakhira, L.S. Monastyrskiy, B.M., [et al] // Molec.Cryst.& Liq. Cryst. – 2007. – Vol. 467. – P.73 - 83.
4. *Стахіра П.Й.* Газовий сенсор на основі гетероструктури поруватий кремній-поліанілін / П.Й. Стахіра, О.І. Аксіментьєва, І.П. Глушик, [та ін.] // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – №17. – С.127-129.
5. *Halliday D.P.* Visible electroluminescence from polyaniline — porouse silicon junction / D.P. Halliday, J.M. Eggleston, P.N. Adams, [et al] // Synth. Metals. – 1997. – Vol. 85. – P.1245-1246.
6. *Аксіментьєва О.І.* Електрохімічні методи синтезу і провідність спряжених полімерів / Аксіментьєва О.І. – Львів: Світ, 1998. – 154 с.
7. *Stakhira P.* Fotovoltaic properties of heterostructure based on porous silicon and polyaniline / P. Stakhira, O. Aksimentyeva, Z. Mykytyuk, [et al] // Functional Materials. – 2005. – Vol. 12, № 4. – P.807-809.
8. *Genies E.M.* Cyclic voltammetry of polyaniline: interpretation of the middle peak / Genies E.M., Lapkowsky M., Denneov J.F. // J.Electroanal. Chem. – 1988. – Vol. 240. – P. 97 - 107.
9. *Choi S.-J.* Electrochemistry of conducting polymers. XXVI. Effect of Electrolytes and Growth Methods on Polyaniline Morphology / Choi S.-J., Park S.-M. // J.Electrochem. Soc. – 2002. – Vol. 149, № 2. – E26-E37.
10. *Zotti G.* Electrodeposition of polythiophene, polypyrrole and polyaniline by the cyclic potential sweep method / Zotti G., Cattarin S., Comisso N. // J.Electroanal.Chem. – 1987. – Vol. 235. – P.259-273.
11. *Konopelnik O.I.* Electrochromic transitions in polyaminoarene films electrochemically obtained on the transparent electrodes / O.I.Konopelnik, O.I.Aksimentyeva, M.Ya.Grytsiv // Materials Science. – 2002. – Vol. 20, № 4.- P. 49-60.
12. *Аксіментьєва О.І., Луцшак Н.-О., Конопельник О.І., Грицив М.Я.* Електрохімічне одержання полімерних шарів з електрооптичними властивостями // Вісник Львів. ун-ту. Сер. хім. – 2002. – Вип. 42. – С.114-116.
13. *Гуревич Ю.* Фотоелектрохимия полупроводников / Ю. Гуревич, Ю.В. Плесков.-М.: Наука, 1983.
14. *Nyasulu F.W.M.* Electrochemical behavior of 5-amino-1,10- phenantroline and oxidative electropolymerization of tris[5-amino-1,10-phenantroline]iron(II) / F.W.M.Nyasulu, H.A. Mottola // J.Electroanal.Chem. – 1988. – Vol. 239. – P. 175-183.

SUMMARY

Olena AKSIMENTYEVVA, Oksana YEVCCHUK

**ELECTROCHEMICAL OBTAINING AND PROPERTIES OF THE HYBRID NANOSTRUCTURES
BASED ON POROUS SILICON AND POLYANILINE**

*Ivan Franko National University of Lviv
Kyryla & Mefodia str., 6, 79005 Lviv, Ukraine
e-mail: aksimen@ukr.net; yevchuk81@mail.ru*

Among the semiconductor materials a special place is occupied by the heterogeneous systems based on nanoporous silicon (PS), having a wide application in optoelectronic and sensor devices. Of great interest are the heterostructures created on the PS and surface organic layers, among which the conjugated conducting polymers are now intensively studied. In the present work the possibility of electrochemical obtaining of the hybrid nanostructures based on thin polyaniline (PANI) layers on the surface of porous silicon in the conditions of electrochemical polymerization has been investigated. The porous silicon layers were formed by etching of the silicon wafers (100) with n-type of conductivity in a 40% HF ethyl alcohol solution at a current density of 10 mA cm^{-2} during 20 minutes. For creation of PS-PANI hybrid layer a method of electrochemical polymerization with cyclic potential sweeping in 0.1M solutions of purified aniline in 0.5 M H_2SO_4 was used. A wafer of PS of the area of 1 cm^2 was as an operating electrode, a platinum wire was used as a counter electrode and saturated Ag/AgCl electrode was employed as a reference. The potentiostat PI-50 was a power source. After film coating the samples were rinsed with deionized water and dried under vacuum at 353 – 373 K. Linear dependence of the peak current on the potential sweep number in the interval of $N = 4 \dots 16$ give the possibility to control the process of electroactive film formation on the surface of the porous silicon. The surface topology of the prepared structures was investigated by the method of atom force microscopy. It found that PANI films obtained on the surface of PS by electropolymerization method in general repeat the relief of the surface forming a continuous polymer layer. However, the morphology of the films is difficult interpret due to the irregularity of PS surface. As has been shown by the profile analysis of PS-polymer heterostructure a thickness of PS-polymer layer achieves 40–45 nm.

Obtained nanostructures were examined on the ability to photoluminescence (PL) and electrochemical activity. Higher electrochemical activity of PS-PANI nanostructure in comparison with PS probably connected with particularities of the polyaniline structure, obtained in the condition of electropolymerization with cyclic potential sweeping where polymer synthesis proceeds both on the surface and inside the silicon pores. It has been found that presence of the thin polyaniline layer causes an insignificant displacement of the maximum and some weakness of PL in comparison with PL of clean porous silicon.

Because electrical and optical properties of PANI is significantly depend on the level of oxidation or reduction, this polymer is very sensitive to the action of chemical substances (value of pH, adsorption of polar gases), therefore coating of PS by PANI film may improving the properties of sensor devices based on PS. A sensor activity of the obtained heterostructures in gas medium has been study. It found that increasing the ammonia pressure leads to growing the PL intensity, which may be explained by the processes of PANI film reduction with formation of colorless form of polymer - leucoemeraldine, in result of this increases an optical transperance of the film and, correspondently, yield of emission.

Key words: porous silicon, electropolymerization, polyaniline, nanostructure, photoluminescence

РЕЗЮМЕ

Елена АКСИМЕНТЬЄВА, Оксана ЄВЧУК

**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ГИБРИДНЫХ НАНОСТРУКТУР НА
ОСНОВЕ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ И ПОЛИАНИЛИНА**

Львовский национальный университет имени Ивана Франко,

ул. Кирилла и Мефодия, 6, 79005 Львов, Украина
e-mail: aksimen@ukr.net; yevchuk81@mail.ru

Изучены закономерности электрохимического получения гибридных наноструктур на основе тонких слоев полианилина на поверхности пористого кремния в условиях электрохимической полимеризации анилина с циклической разверткой потенциала. Методом атомно-силовой микроскопии исследовано топографию поверхности полученных структур. Установлено, что наличие тонкого полианилинового слоя вызывает незначительный сдвиг максимума и некоторое ослабление фотолуминесценции пористого кремния, а также окислительно - восстановительную и сенсорную активность полученных гетероструктур.

Ключевые слова: пористый кремний, электрополимеризация, полианилин, наноструктура, фотолуминесценция.

Надійшла 28.12.2009.
Після доопрацювання 19.02.2010.
Прийнята до друку 22.02.2010.