

УДК 621.763

Є.І. Зубко, аспірант

Є.Я. Швець, в. о. ректора, к.т.н., професор

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДОВИХ КОМПОЗИЦІЙ НА ОСНОВІ ПОРИСТОГО КРЕМНІЮ

Запорізька державна інженерна академія

Описано современное состояние информационных источников, посвященных развитию технологий изготовления многокомпонентных электронных приборных композиций на основе пористого кремния, наполненных полимерами, металлами, жидкостью, галогенами, органическими и сегнетоэлектрическими материалами. Представлена упрощенная технологическая схема формирования композиций.

Ключевые слова: композиция, пористый кремний, технология, адсорбция, полимеризация, самоорганизация, деривационная стратегия, электроосаждение

Описано сучасний стан інформаційних джерел, присвячених розвитку технологій виготовлення багатоконпонентних електронних приладових композицій на основі пористого кремнію, наповнених полімерами, металами, рідиною, галогенами, органічними та сегнетоелектричними матеріалами. Подану спрощену технологічну схему формування композицій.

Ключові слова: композиція, пористий кремній, технологія, адсорбція, полімеризація, самоорганізація, дериваційна стратегія, електроосадження

It is described the modern state of the information sources devoted to development of manufacturing techniques of multicomponent electronic instrument compositions on the basis of porous silicon, filled with polymers, metals, a liquid, halogens, organic and ferroelectric materials. It is presented the simplified technological scheme for formation of compositions.

Keywords: composition, porous silicon, technology, adsorption, polymerization, self-organizing, derivational strategy, electric precipitation

Вступ. У роботі [1] виконано аналіз досліджень, пов'язаних з технологією формування багатоконпонентних електронних приладових композицій (БЕПК) на основі пористого кремнію (ПК) та систематизовано їх за допомогою класифікації. На рис. 1 наведено спрощену технологічну схему їх створення.

Дане повідомлення служить продовженням циклу робіт, присвячених БЕПК на основі ПК, які можуть знайти застосування в області фото- та наноелектроніки [2].

Для більш детального розгляду БЕПК на основі ПК необхідно звернути увагу на технологію формування органічних композицій. Насьогодні існує декілька найбільш поширених технологій виготовлення таких структур: адсорбція, полімеризація й електрополімеризація.

Слід зазначити, що адсорбція є найпоширенішою технологією серед значної кількості робіт. Згідно технологічного циклу, першим етапом підготовки зразків перед адсорбцією є формування ПК. Далі зразки занурюють у розчин, що містить етанол, ацетон або хлороформ і витримують у ньому протягом певного періоду часу (від 15 хв. до 4 днів) для здійснення дифузії органічного матеріалу в пори ПК. Процес просочення відбувається за рахунок взаємодії капілярних сил у структурі ПК. Проте трива-

лість цієї операції є пропорційною розміру молекул обмеженого матеріалу, більшість з яких є великими та громіздкими.

За зазначеною технологією дослідники інкорпорували у пори ПК поліанілін (PS), політіофен (PT), полі(3-метилтіофен) (РЗМТ), поліфенілацетилен (PFA), поліфеніленвінілен (PFV), поліметилметакрилат (PMMA), поліакрилонітрил (PAN), полівініліден-фторид (PVF) поліепоксипропілкарбазол (PEPC), флуорен, фероцен [3-10].

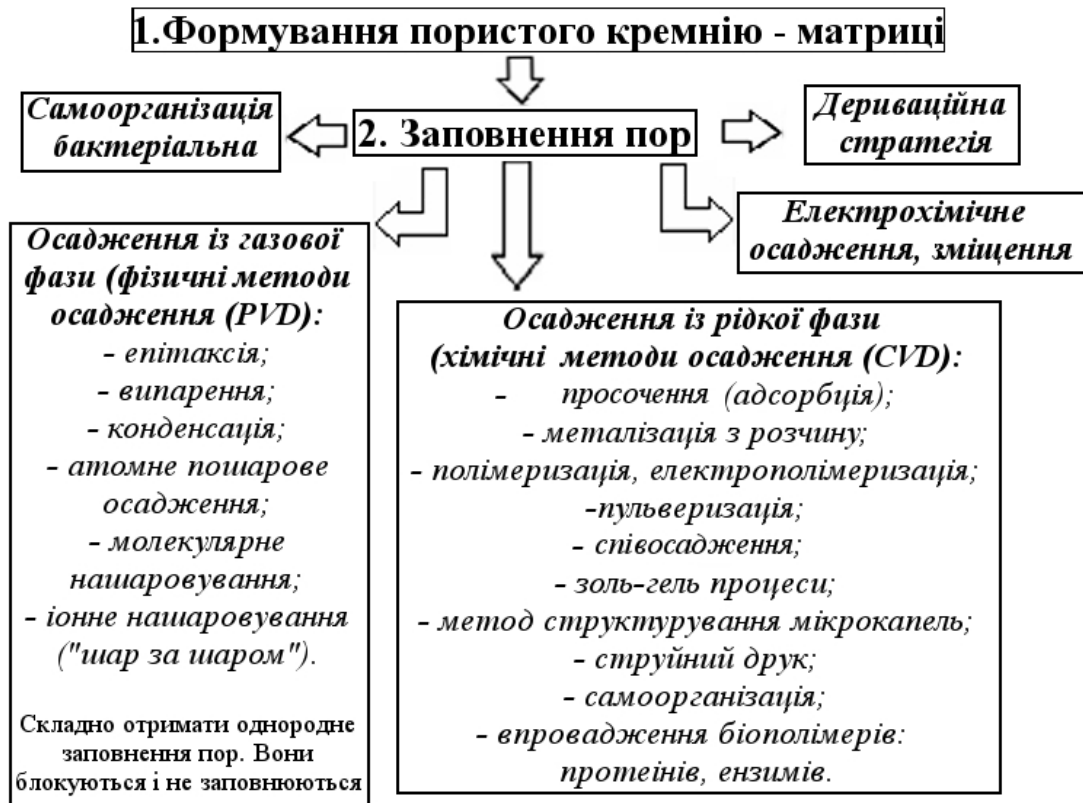


Рисунок 1 – Спрощена технологічна схема формування БЕПК на основі пористого кремнію

Після просочення й адсорбції органічного матеріалу зразок ретельно промивають розчинником. При цьому промивання зразків етанолом є кращим через низький тиск його пари, що дозволяє уникнути дефектів розтріскування та розшарування зразків під час сушіння композиції. Потім зразки швидко переміщують до герметичної камери, де процес випаровування розчинника має монотонний характер.

Відома технологія полімеризації для одержання органічних БЕПК на основі ПК, яка полягає у проникненні до зразків ПК різних зв'язаних полімерів: поліетилену (PE), поліпропілену (PP), полістирену (PS), поліметилметакрилату (PMMA), полівінілхлориду (PVC), поліаміду (PA), поліпіролу (PPy) [11-19]. Розчинення вказаних полімерів відбувається у стандартному органічному електроліті – суміші толуолу та ксилена. При цьому просочення зразків у розчині відбувається протягом двох або трьох днів. Наступною операцією технологічного процесу формування структури є видалення розчину та травлення у плазмі CF_4/O_2 . Далі зразок піддавали вільно-радикальній полімеризації або електрополімеризації [20].

За технологією сорбції молекул нітроароматичних сполук (ТНТ) у нанопористий кремній із газової фази при поєднанні методів спектроскопії та лазерної де-

сорбції створено портативні високочутливі газоаналізатори. Для таких приладів зразки ПК витримували у насичених парах ТНТ за температури від 40 до 55 °С і досліджували іонний сигнал у різних середовищах (повітря, азот). Такі прилади використовують для виявлення слідів присутності вибухових, наркотичних або отруйних речовин [21].

Розрахунки використання композицій у літій-іонних батареях наведено групою М. Thakur [22], приготування зразків для яких здійснювали за технологією піролізу поліакрилонітрилу в матриці ПК.

Також органічні БЕПК на основі ПК знайшли інтраваскулярне та екстраваскулярне медичне застосування як біофотонні пристрої виявлення молекулярних різновидів у кровотоку пацієнтів або підшкірних досліджень шляхом освітлення області зосередження пристрою та визначення віддзеркаленого спектру. Такі пристрої неруйнівного прочитування використовували під час хірургічного втручання, амбулаторного лікування та діагностики. Так звані фільтри rugate показали позитивні результати стабільності пристрою за інкубації в людській плазмі крові з фізіологічною температурою та рН чинником середовища. При цьому вони є мінімально агресивними за природних умов біологічного середовища, дуже чутливими завдяки значній поверхні ПК. Ці прилади стали можливими завдяки роботі групи К.А. Kilian, яка представила технологію дериваційних стратегій поступового приєднання – щеплень органічних молекул до обірваних зв'язків атомів водню на поверхні ПК [23-26]. Поряд із спрямованим ступінчастим синтезом структур існують роботи щодо механізму самоорганізації молекул у ПК [27].

Значний практичний інтерес дослідників було спрямовано на формування структур БЕПК, наповнених металами. До таких технологій можна віднести осадження з газової фази (CVD) та електролітичне зміщення металу в пори ПК [28]. Зокрема заповнення пор ПК золотом, нікелем і міддю методом електрохімічного зміщення вперше було виконано групою R. Herino [29] в 1998 р. У роботі було досліджено вплив на люмінесцентні властивості таких структур і встановлено, що металеве осадження супроводжується окисненням пористої кремнієвої поверхні, тоді як за катодним зміщенням на поверхні кремнію оксид не утворюється [30].

Результати зміщення заліза в пори ПК обговорюються у роботі [31]. Механізм зміщення заліза починається з утворення ядра в основі пори із-за катодного стандартного електролітичного потенціалу заліза, який близько розташований до кремнію. У роботі [32] при зміщенні індію й алюмінію в ПК була зареєстрована електролюмінесценція, при цьому зміщення металів відбувається в основу пори. Окрім того, було виявлено осадження металу на поверхні кремнію та пор ПК, що вказує на напрям осадження шару.

Групою M. Jeske [33] було виготовлено сполуки Si /метал і Si/SiO_2 /метал для створення двошарової та тришарової наноструктури з ізолюванням шарів і без ізоляції відповідно. Також заповнення макропористого кремнію міддю методом електроосадження розглядалося групами Ch. Fang [34], K. Fukami [35] та іншими [36,37]. При цьому група Ch. Fang повідомила про успішне повне заповнення міддю макропор (діаметр пори – 2 μm , довжина пори – 150 μm). Проте процеси електроосадження у леговані напівпровідники доки не є досить вивченими.

Електроосадження золота, платини та паладію в ПК обговорювали в роботах [38,39]. За стандартних умов паладій і платина починають рости від основи пори, але для електроосадження золота цих умов не достатньо. Такі умови для електричного

зміщення золота були експериментально визначені під час змінювання катодних процесів і розчину електроліту, але електроосадження відбувалося тільки у напрямі стінок пор. Тому дослідники пояснили цей ефект позитивнішим потенціалом рівноваги золота, відносно платини та паладію.

Також слід зазначити значний вплив умов анодування та вибір електроліту. Так, у роботі [35] при використанні як електроліту Na_2SO_4 , для зміщення платини у пори p -типу макропористого кремнію утворюються частки в межах пор (рис. 3,а), а при використанні $NaCl$ – металеві прутки платини у порах ПК (рис. 3,б). На рис. 3,с зображено поверхню зразка макропористого кремнію, металізованого нікелем [40].

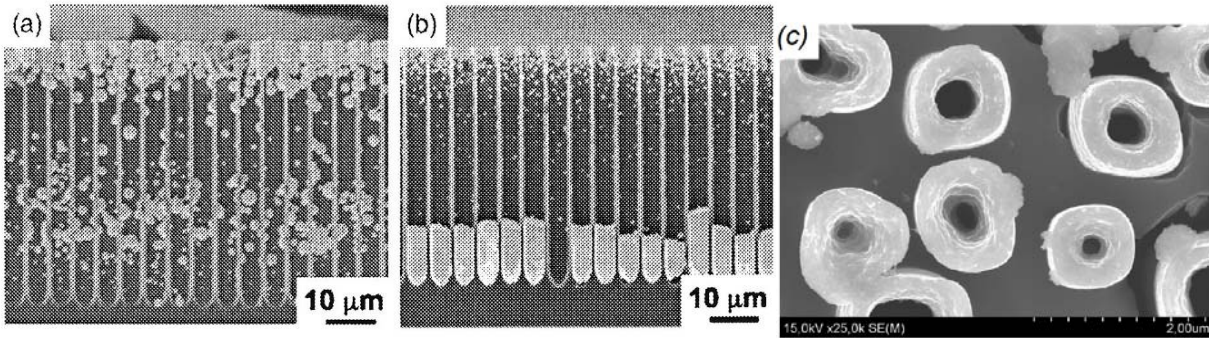


Рисунок 2 – Мікрофрактограми СЕМ областей заповнення металом макропористого кремнію: частки платини, зміщені в ПК p -типу (а), утворення прутків платини (б), мікротруби нікелю у порах ПК (с) в порах ПК [35,40]

Заповнення мезопористого кремнію міддю досліджували у роботах [41,42], де за сили струму $I = 5 \mu A$ для довжини $4 \mu m$ спостерігається безперервне заповнення пор міддю та створення у порах ПК мікропрутів міді, які формувалася від основи пор і мікротруби нікелю, сформованих на стінках пор кремнієвого каркасу ПК.

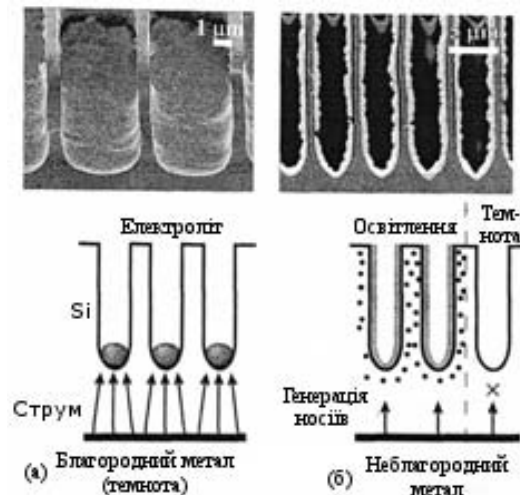


Рисунок 3 – Зображення РЕМ зміщення міді у межі макропористого кремнію p -типу, що формує прутки (а) та зміщення нікелю, що покриває стінки пор (б) [42,44]

Таким чином, металеве зміщення формує бар'єр Шотки між кремнієм та електролітом, коли електрохімічна функція роботи металу вища, ніж у кремнію n -типу та менше ніж у разі p -типу. Тому внесення благородних металів у ПК за електронного передавання через валентну зону є вищим та має місце утворення ядра в основі пори (рис. 4,а). Для менш благородних металів виникнення осадження має бути задіяне фо-

тозбудженням (рис. 4,б), що підтверджується у роботі [44]. А у разі зміщення нікелю в ПК потребують додаткового освітлення зразка для подальшого формування металевих мікротруб нікелю [40,45].

У роботі [45] шляхом багатократного повторення циклів просочення пластини насиченим розчином етанолу та шестиводного хлориду кобальту з наступним сушінням, видаленням хлориду з поверхні пластини та висушуванням її на повітрі були одержано композитні структури магнітоупорядкованого матеріалу – напівпровідника на основі ПК та кобальту, які можуть бути використані для зберігання інформації нового покоління. Така структура характеризувалася проявою магнітних властивостей у широкому температурному діапазоні. Також було проведено дослідження магнітних властивостей за зовнішнім магнітним полем B , прикладеним вздовж і поперек пор. Встановлена відсутність змінювання магнітних характеристик – проявів анізотропії форми за паралельним і перпендикулярним намагнічення. Тому групою А. Лашкула було зроблено припущення, що структура складається з окремих досить значних кластерів багатофазного магнітоупорядкованого матеріалу, які розташовано на внутрішній поверхні пор і не створюють суцільного магнітного протікання. Проте результати робіт [46,47] для регулярних магнітоупорядкованих структур з розмірами часток близько десятків нанометрів свідчили про виражені ознаки супермагнітної поведінки.

До сегнетоелектричних БЕПК на основі ПК відносяться структури з включенням сегнетової солі, нітрату натрію та тригліцинсульфату, які інкорпоровані у пористу матрицю за технологією сумішей. Технологічні розробки у цій області дозволять поширити температурний інтервал існування полярного стану в сегнетокомпозиціях порівняно з однорідними сегнетоелектричними матеріалами, а також збільшити діелектричну сприйнятливості сегнетокомполімерів, що дозволяють цілеспрямовано формувати матеріали із заданими функціональними характеристиками [48].

Дослідження галогеновміщуючих композицій БЕПК за адсорбції йоду в ПК подано у роботі [49].

Останнім часом з'явилися роботи, присвячені композитним системам «пориста матриця - рідина». Такі системи складаються з ПК та етилового спирту або мастила, які формувалися шляхом нанесення на поверхню пористого шару початкового зразка ПК/МК краплі відповідної рідини дозованої величини. Для таких структур характерним є фотоакустичний сигнал термоіндукованого тиску рідини у порах БЕПК [50].

Висновки. Виконано аналіз розробок багатокомпонентних електронних приладових композицій на основі ПК, як матеріалу для створення високочутливих газоаналізаторів, літій-іонних батарей, пристроїв зберігання інформації нового покоління та датчиків медичного застосування.

Розглянуто технології виготовлення БЕПК на основі ПК, наповнених полімерами, металами, рідиною, галогенами, органічними та сегнетоелектричними матеріалами. Головними перевагами виготовлення таких структур можна назвати простоту їх формування та розширення властивостей матеріалів, що відрізняються від об'ємних матеріалів. До недоліків слід віднести швидку деградацію структури та складність контролю реакцій із-за наявності значної кількості компонентів у композиції. До таких компонентів слід віднести небажані домішки з хімічних реагентів як під час формування ПК, так і на наступних операціях. Вони погіршують електронні властивості структури та взаємодіють із найменшою енергією в нерівноважній системі, тобто самоорганізуються неефективно. Проте на сьогодні існуючі технології не дозволяють розв'язати вказану проблему. Тому треба розвивати технологічні аспекти створення

таких структур: системи контролю й обладнання для нанесення покриття, методики сполучення матеріалів у композиції, а також розвивати технології молекулярного на шарування, самоорганізації, дериватиційних стратегій для створення приладів нового покоління.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. *Зубко, Є. І.* Сучасний стан розвитку багатокомпонентних електронних приладових композицій на основі пористого кремнію [Текст] / Є. І. Зубко, Є. Я. Швець // *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії.* – Запоріжжя : РВВ, 2013. – Вип. 1 (39). – С. 50-55.
2. *Pacholski, C.* Photonic crystal sensors based on porous silicon [Text] / C. Pacholski // *Sensors.* – 2013. – No 13. – P. 4694-4713.
3. Застосування гібридних структур на основі поруватого кремнію для створення елементів сенсорних пристроїв [Текст] / *Л. С. Монастирський, О. І. Аксіментьєва, І. Б. Оленич та ін.* // *Sensor Electronics and Microsystem Technologies.* – 2012. – Т. 3(9), No 3. – С. 87-91.
4. Структура і випромінювальні властивості нанорозмірних композитів поруватий кремній – поліфенілацетилен [Текст] / *О. І. Аксіментьєва, Л. С. Монастирський, В. П. Савчин та ін.* // *Фізика і хімія твердого тіла.* – 2010. – Т. 11, № 3. – С. 690-695.
5. Photoluminescence properties of porous silicon / fluorene dye composites [Text] / *M. Fakis, F. Zacharatos, V. Gianneta etc.* // *Materials Science and Engineering B.* – 2009. – Vol. 165. – P. 252-255.
6. *Jia, J. H.* Integrated urea sensor module based on poly(3-methylthiophene)-modified p-type porous silicon substrate [Text] / J. H. Jia, S. I. Hong, N. M. Min // *J. Porous Mater.* – 2009. – No 16. – P. 379-386.
7. Visible electroluminescence from a polyaniline - porous silicon junction [Text] / *D. P. Halliday, J. M. Eggleston, P. N. Adams etc.* // *Synth. Met.* – 1997. – Vol. 85. – P. 1245.
8. *Jia, Z.* Study on fabrication of porous silicon and polymer PMMA/DR1 composite films and its optical properties [Text] / *Z. Jia; C. Tu; R. Li* // *Organic Optoelectronics and Photonics.* – 2004. – Vol. 5464. – P. 428-433.
9. Luminescence of porous silicon/terbium organic complex hybrid [Text] / *J. X. Meng, T. K. Li, W. K. Wong, K. W. Cheah* // *Appl. Phys. Lett.* – 2000. – No 77. – P. 2795.
10. *Riveros, G.* Modification of silicon surface with redox molecules derived from foreseen [Text] / *G. Riveros, G. González; B. Chornik* // *Journal of the Brazilian Chemical Society.* – 2010. – Vol. 21, No 1. – P. 103-110.
11. Microhardness of porous silicon films and composites [Text] / *S. P. Duttgupta, X. L. Chen, S. A. Jenekhe, P. M. Fauchet* // *Solid State Communications.* – 1997. – Vol. 101, No 1. – P. 33-37.
12. Electrochemical fabrication and characterization of porous silicon / polypyrrole composites and chemical sensing of organic vapors [Text] / *J. Dian, M. Konecny, G. Broncova etc.* // *Int. J. Electrochem. Sci.* – 2013. – No 8. – P. 1559-1572.
13. *Jia, Z.* Determination of the effective refractive index of porous silicon / polymer composite films [Text] / *Z. Jia* // *Chinese optics letters.* – 2005. – Vol. 3, No 10. – P. 608-610.
14. *Park, J.* Multiple bit encodings of multilayer porous silicon [Text] / *J. Park, S. Cho, H. Sohn* // *Journal of Korean Physical Society.* – 2007. – Vol. 50, No 3. – P. 695-699.
15. *McInnes, S.* Characterisation of porous silicon/poly(L-lactide) composites prepared using surface initiated ring opening polymerisation [Text] / *S. McInnes, N. R. Choudhury, N. H. Voelcker* // *International scientifically-technical conference «BioMEMS and Nanotechnology II».* – Brisbane, Australia. – January 19, 2006. – P. 60361X.
16. Fluorescence quenching in porous silicon/conjugated polymer composites [Text] / *V. Pranculis, R. Karpicz, A. Medvids, V. Gulbinas* // *Physica status solidi (a).* – 2012. – Vol. 209, No 3. – P. 565-569.

17. Hybrid structures of porous silicon and conjugated polymers for photovoltaic applications [Text] / *A. Nahor*, O. Berger, Y. Bardavid etc. // *Physica status solidi (c)*. – June 2011. – Vol. 8, No. 6. – P. 1908-1912.
18. Blue luminescent silicon nanocrystals prepared by ns laser ablation and stabilized in electronically compatible spin on glasses [Text] / V. Švrček, T. Sasaki, Y. Shimizu, N. Koshizaki // *J. Appl. Phys.* – 2008. – Vol. 103. – P. 023101-023108.
19. Švrček, V. Luminescent properties of doped freestanding silicon nanocrystals embedded in МЕН-PPV [Text] / V. Švrček, H. Fujiwara, M. Kondo // *Solar Energy Materials & Solar Cells*. – 2009. – Vol. 93. – P. 774-780.
20. Lopez, H. A. Porous silicon nanocomposites for optoelectronic and telecommunication applications. Materials science program [Text] / H. A. Lopez. – University of Rochester. – Rochester. – New York. – 2001. – P. 216.
21. Довженко, Д. С. Лазерно-стимулированная десорбция/ионизация молекул нитроароматических соединений сорбированных в нанопористом кремнии [Текст] / Д. С. Довженко, Ю. А. Кузищин, И. Л. Мартынов // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2013. – Т. 15, № 4. – С. 130-132.
22. Freestanding macroporous silicon and pyrolyzed polyacrylonitrile as a composite anode for lithium ion batteries [Text] / *M. Thakur*, R. B. Pernites, N. Nitta etc. // *Chemistry of materials*. American Chemical Society – 29 June 2012. – P. A-F.
23. Forming Antifouling organic multilayers on porous silicon rugate filters towards in vivo/ex vivo biophotonic devices [Text] / *K. A. Kilian*, T. Böcking, S. Ilyas etc. // *Advanced functional materials*. – 2007. – Vol. 17. – P. 2884-2890.
24. Hydrolysis and Silanization of the Hydrosilicon Surface of Freshly Prepared Porous Silicon by an Amine Catalytic Reaction [Text] / *D. Xu*, L. Sun, H. Li etc. // *New Journal of Chemistry. Series of Selected Papers from Chun-Tsung Scholars*. – 2002. – P. 175-191.
25. Reaction of porous silicon with both end-functionalized organic compounds bearing alpha-bromo and omega-carboxy groups for immobilization of biomolecules [Text] / *D. J. Gno*, S. J. Xiao, B. Xia etc. // *J. Phys. Chem. B*. – 2005. – Vol. 43, No. 109. – P. 20620.
26. Peptide immobilisation on porous silicon surface for metal ions detection [Text] / *S. S. Sam*, J. N. Chazalviel, A. C. Gouget-Laemmel etc. // *Nanoscale Res. Lett.* – 2011. – No 6. – P. 412-420.
27. Kompan, M. E. Mechanism of primary self-organization in porous silicon with a regular structure [Text] / M. E. Kompan // *Physics of the Solid State*. – 2003. – Vol. 45, No 3. – P. 948-952.
28. Metallization of porous silicon by chemical vapour infiltration and deposition [Text] / B. J. Aylett, I. S. Harding, L. G. Earwaker etc. // *Thin Solid Films*. – 1996. – Vol. 276. – P. 253-256.
29. Herino, R. Impregnation of porous silicon [Text] / R. Herino // *In Properties of Porous Silicon; Canham, L., Ed.; INSPEC: London, UK, 1997. – P. 150.*
30. Electrodeposition of metals into porous silicon [Text] / *M. Jeske*, J. W. Schultze, M. Thönissen, H. Münder // *Thin Solid Films*. – 1995. – Vol. 255. – P. 63-66.
31. Ronke, F. Electrical contact to porous silicon by electrodeposition of iron [Text] / F. Ronkel, J. W. Schultze, R. Arens-Fischer // *Thin Solid Films*. – 1996. – Vol. 276. – P. 40-43.
32. Steiner, P. Electroluminescence from porous silicon after metal deposition into the pores [Text] / P. Steiner, F. Kozłowski, W. Lang // *Thin Solid Films*. – 1995. – Vol. 255. – P. 49-51.
33. Jeske, M. Porous silicon: Base material for nanotechnologies [Text] / M. Jeske, J. W. Schultze, H. Münder // *Electrochim. Acta*. – 1995. – Vol. 40. – P. 1435-1438.
34. Deep silicon macropores filled with Copper by electrodeposition [Text] / Ch. Fang, E. Foca, S. Xu etc. // *J. Electrochem. Soc.* – 2007. – Vol. 154. – P. D45-D49.
35. Electrodeposition of noble metals into ordered macropores in p-type silicon [Text] / *K. Fukami*, K. Kobayashi, T. Matsumoto etc. // *J. Electrochem. Soc.* – 2008. – Vol. 155. – P. D443-D448.

36. *Zacharatos, F.* Copper-filled macroporous Si and cavity underneath for microchannel heat sink technology [Text] / F. Zacharatos, A. G. Nassiopoulou // *Phys. Status Solidi A Appl. Res.* – 2008. – Vol. 205. – P. 2513-2517.
37. Formation of composite nanostructures by corrosive deposition of copper into porous silicon [Text] / *H. Bandarenka*, M. Balucani, R. Crescenzi, A. Ferrari // *Superlattices Microstruct.* – 2008. – Vol. 44. – P. 583-587.
38. Electrodeposition of noble metals into ordered macropores in p-type silicon [Text] / *K. Fukami*, K. Kobayashi, T. Matsumoto etc. // *J. Electrochem. Soc.* – 2008. – Vol. 155. – P. D443-D448.
39. *Гаврин, С. С.* Разработка нанокompозитных электродов для источников тока в электронике [Текст] Автореф. дис. ... канд. техн. наук / С. С. Гаврин. – Москва, 2010. – 23 с.
40. *Долгий, А. Л.* Электрохимические методы осаждения металлов в пористый кремний для миниатюрных топливных элементов и бета преобразователей энергии [Текст] / А. Л. Долгий, К. И. Холостов // «Актуальные проблемы физики твердого тела»: сб. докл. Междунар. науч. конф. В 3 т. Т. 3. – Редкол.: Н.М. Олехнович. – Минск : Изд. центр БГУ. – 20-23 октября 2009. – С. 303-306.
41. Filling of mesoporous silicon with copper by electrodeposition from an aqueous solution [Text] / *K. Fukami*, Y. Tanaka, M. L. Chourou etc. // *Electrochim. Acta.* – 2009. – Vol. 54. – P. 2197-2202.
42. *Ogata, Y. H.* Electrochemical metal deposition on silicon [Text] / Y. H. Ogata; K. Kobayashi, M. Motoyama // *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci.* – 2006. – Vol. 10. – P. 163-172.
43. Laser-assisted nickel deposition onto porous silicon [Text] / *J. Sasano*, P. Schmuki, T. Sakka, Y. H. Ogata // *Phys. Status Solidi A Appl. Res.* – 2003. – Vol. 197. – P. 46-50.
44. *Granitzer, P.* Porous silicon – a versatile host material [Text] / P. Granitzer, K. Rumpf // *Materials.* – 2010. – No 3. – P. 943-998.
45. Исследование композитной структуры магнитоупорядоченный материал - полупроводник на основе пористого кремния и кобальта [Текст] / *А. Лаикул*, И. В. Плешаков, Н. В. Глебов и др. // *Письма в ЖТФ.* – 2011. – Т. 37. – № 14. – С. 40-46.
46. Magnetic properties of nanophase cobalt particles synthesized in inversed micelles [Text] / *J. P. Chen*, C. M. Sorensen, K. J. Klabunde, G. C. Hadjipanayis // *J. Appl. Phys.* – 1994. – Vol. 76. – P. 6316.
47. Effect of magnetic field on the superparamagnetic relaxation in granular Co-Ag samples [Text] / *Y. D. Zhang*, J. I. Budnick, W. A. Hines etc. // *Appl. Phys. Lett.* – 1998. – Vol. 72. – P. 2053-2061.
48. *Поправко, Н. Г.* Электрические свойства матричных и смесевых нанокompозитов с сегнетоэлектрическими включениями: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук; 01.04.07 / Н. Г. Поправко ; [Воронеж. гос. ун-т]. – Воронеж, 2011. – 19 с.
49. Modification of the properties of porous silicon on adsorption of iodine molecules / *A. S. Vorontsov*, L. A. Osminkina, A. E. Tkachenko etc. // *Semiconductors.* – 2007. – Vol. 41, No 8. – P. 953-957.
50. *Андрусенко, Д. А.* Фототермоакустическое преобразование в композитных системах «пористая матрица - жидкость» [Текст] / Д. А. Андрусенко, Р. М. Бурбело, А. Г. Кузьмич // *Письма в ЖТФ.* – 2010. – Т. 36, № 24. – С. 9-16.

Стаття надійшла до редакції 21.11.2013 р.
Рецензент, проф. І.Ф. Червоний

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>