

Показана перспективність формування текстур електрохімічними технологіями пористого кремнію (ПК) для отримання фронтальних функціональних шарів сонячних елементів (СЕ). Створена схематична модель різних видів пористого кремнію для текстур в залежності від форми струму. Використання коралоподібних, колоноподібних та краплеподібних текстур на основі пористого кремнію, як ефективного та рентабельного покриття, повинно бути максимально адаптоване до процесів створення кремнієвих сонячних елементів

Ключові слова: пористий кремній, текстура, електрохімічне травлення, сонячний елемент, фотоелектричний перетворювач

Показана перспективность формирования текстур электрохимическими технологиями пористого кремния (ПК) для получения фронтальных функциональных поверхностей солнечных элементов (СЕ). Создана схематическая модель разных видов пористого кремния для текстур в зависимости от формы тока. Использование коралоподобных, колоноподобных и каплеподобных текстур на основе пористого кремния, как эффективного и рентабельного покрытия, должно быть максимально адаптировано к процессам создания кремниевых солнечных элементов

Ключевые слова: пористый кремний, текстура, электрохимическое травление, солнечный элемент, фотоэлектрический преобразователь

УДК 621.315.592

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36754

ФОРМУВАННЯ ТЕКСТУР ФРОНТАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ СОНЯЧНОГО ЕЛЕМЕНТА ТЕХНОЛОГІЄЮ ПОРИСТОГО КРЕМНІЮ

В. Ю. Єрохов

Доктор технічних наук, доцент*

E-mail: verohov@polynet.lviv.ua

А. О. Дружинін

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: druzh@polynet.lviv.ua

О. В. Єрохова

Аспірант

Інститут прикладних проблем
математики і механіки ім. Підстригача

Національна Академія наук України

вул. Наукова, 3-6, м. Львів, Україна, 79060

E-mail: mlleolga@gmail.com

*Кафедра напівпровідникової електроніки
Національний університет „Львівська політехніка”
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

1. Вступ

Використання пористого кремнію в якості антивідбивного покриття і текстур для фронтальних поверхонь фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) – сонячних елементів, дає можливість ефективного світлового поглинання.

Найбільш перспективним для людства в майбутньому можна вважати Сонячну енергію. Це джерело енергії на нашій планеті є самим потужним, екологічно чистим, природним і загальнодоступним. Всі потреби людства можуть забезпечити практично невичерпні запаси енергії Сонця. Одним з перспективних методів використання Сонця є метод прямого перетворення сонячної енергії в електричну з допомогою фотоелектричних перетворювачів. В результаті інтенсивного розвитку ФЕП сонячної енергії за три останні десятиліття стало широким впровадження сонячних елементів для живлення різноманітних малопотужних електронних пристроїв, систем наземного електроживлення, а також потужних фотовольтаїчних станцій. Світова фотоенергетика є однією із самих перспективних галузей сучасної промисловості, що інтенсивно

розвивається, в якій за останні роки спостерігався один із найбільш великих відсотків збільшення виробництва електроенергії. Прагнення до зниження вартості і підвищення технічних і фотоелектричних параметрів веде до розробки нових систем, а вона багато чисельніша і всебічна в цій області. Актуальні дослідження по розробці рентабельних технологічних процесів і створенню нових структур ФЕП. Кремній, як матеріал, залишається найбільш поширеним в природі матеріалом, так як і найбільш використовуваним в фотоенергетиці, тому найбільший інтерес представляє дослідження в області кремнієвих ФЕП. Введення в структуру ФЕП функціональних пористих шарів дозволить керувати їх ефективністю перетворення і досягати мети, яка би послідовно збільшувала ефективність перетворення при зменшенні ціни.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Відомо ряд методів одержання текстурованих поверхонь підкладок кремнію для послідовного використання для ФЕП [1]. Найбільш відомим і широко

використовуваним методом є анізотропне травлення поверхні кремнієвих підкладок в 10 % водному розчині КОН з отриманням пірамідальних текстур [2]. Високоєфективні текстури можна отримати електрохімічним методом або анодуванням на постійному струмі у фтористоводневих електролітах, а також хімічним методом травлення кремнієвих підкладок у суміші фтористоводневої та азотної кислот (HF-HNO_3) з точно визначеними складниками [3].

До теперішнього часу процес утворення пор для текстур при анодному травленні кремнієвої підкладки досліджений не достатньо, не дивлячись на велику кількість робіт [4]. Тому, для отримання функціонального пористого кремнію необхідне проведення ряду спеціальних досліджень, які дозволять розширити уявлення про механізми пороутворення при анодному травленні, і додатково згенерувати нові методи, а також розвинути старі методи управління процесом електрохімічного травлення кремнію [5]. Дослідження всіх стадій формування пористої структури і виявлення закономірностей, які впливають на характеристики отримуваних нано-, мезо-, і макропор для текстур дуже важливі, оскільки більшість параметрів пористих шарів закладається на стадії формування нуклеаційних (затравочних) центрів [6].

3. Мета і завдання дослідження

Метою роботи було вивчення і розробка текстур електрохімічними технологіями пористого кремнію для отримання фронтальних функціональних шарів кремнієвих фотоелектричних перетворювачів розробкою ефективних та рентабельних технологічних процесів в виробництві ФЕП сонячного світла, яке повинно бути максимально адаптоване до процесів створення кремнієвих сонячних елементів.

Для досягнення поставленої мети ставилися наступні завдання:

1. Розробка технології створення шарів пористого кремнію для текстур фронтальної поверхні високоефективних кремнієвих СЕ;

2. Створення схематичної моделі різних видів пористого кремнію для текстур в залежності від форми струму;

3. На основі моделі пористого кремнію експериментальне отримання коралоподібних, колоноподібних та краплеподібних текстур, як ефективного та рентабельного покриття, яке повинно бути максимально адаптоване до процесів створення кремнієвих сонячних елементів.

4. Моделювання багатшарового пористого кремнію з мікро- та макропористого шару

Двошаровий пористий кремній з мікропористого кремнію по верху шару макропористого кремнію формується на слабологованому p-Si або освітленому n-Si (рис. 1, б). Для слабологованого p-Si двошаровий пористий кремній може формуватися за умов, коли шар просторового заряду і резистивний шар розрізняються за розмірами на декілька порядків. Дірки, що фотогенеруються, зосереджені біля по-

верхні і перетинають її в різних напрямках залежно від напрямку поля усередині стінок у мікропористому кремнію (слід зазначити, що стінки в мікропористого кремнію мають порядок нанометрів, що набагато менше, ніж товщина шару просторового заряду). Ці фотоносії можуть приводити до розчинення пористого кремнію без допомоги прикладеного анодного потенціалу і є відповідальними за травлення шару пористого кремнію. З іншого боку, фотоносії, що генеруються на різних глибинах всередині шару просторового заряду, збираються на поверхнях мікропор, що приводить до формування і зростання мікропор на поверхні макропор.

Утворення двошарового пористого кремнію на p-Si включає два різних фізичних шари, в яких співвідношення потенціал-струм є чутливими до радіусу кривизни. Шар просторового заряду на p-Si при анодному потенціалі є тонким, що обумовлює формування мікропористого кремнію. Ефект нелінійності питомого опору підкладки є відповідальним за формування макропористого кремнію. Вплив високого питомого опору підкладки може також мати місце в слабологованому n-Si. Проте, за нормальних умов, товщина шару просторового заряду при анодному потенціалі, при якому відбувається формування пористого кремнію, має такий же порядок, як і розмір резистивного шару.

Таким чином, вплив цих двох різних шарів, що визначаються діаметром пори, є нерозрізненим. Якщо умови можуть контролюватися таким чином, що пори, сформовані під впливом шару просторового заряду і під впливом резистивного шару, мають малу різницю в розмірах (знаходяться в межах одного порядку), це може бути використано для отримання двошарового пористого кремнію на n-Si.

4.1. Моделювання пористого кремнію різного формату

Якщо функціонально змінювати густину струму по поверхні пори, то можна створити пористий кремній різного формату. При тому суттєву різницю має пористий кремній, сформований в темноті або під освітленням, а також пористий кремній, сформований на p-Si або n-Si підкладках. Він має чіткі відмінності в умовах формування розміру пори, орієнтації і степені розгалуження. Пористий кремній, сформований під фронтальним освітленням або під освітленням з зворотньої сторони пластини, також різний за цими параметрами. Серед всіх умов формування пористого кремнію різного формату, найбільш видимий функціональний ефект проявляє концентрація легуючої домішки. Зокрема, розмір пор залежить від типу легуючої домішки і її концентрації, а розмір пор зазвичай збільшується із збільшенням концентрації легуючої домішки для p-Si, але зменшується з концентрацією легуючої домішки для n-Si. У кількісному відношенні, розмір пор є найбільш використовуваний параметр для характеристики розмірів елементу разом з фізичними і хімічними властивостями пористого кремнію.

В технологічному процесі формування пори одною з найбільш важливих характеристик є розподіл густини струму, який залежить від багатьох параметрів і в свою чергу впливає на формування виду елемента пористого кремнію [7]. В залежності від густини струму

ми отримуємо різні види пористого кремнію. Можна змодельовати різні густини струмів, які можна використати для створення пористого кремнію, і в залежності від них ми отримаємо різні види пористого кремнію, такі як макропористий кремній і мікропористий кремній, а також, одночасно мікро/макропористий кремній, як показано на рис. 1.

При зростанні і розподілі густини струму по поверхні дна пори, як показано на рис. 1, а, ми отримуємо звичайний дзвоноподібний вид пори. Якщо ми будемо використовувати розподіл струму на фронті росту пористого кремнію за зигзагоподібною модою по всій поверхні зразка, то пори прагнуть рости в вигляді мікропористого кремнію і розподіл струму на фронті росту пористого кремнію модулюється як ілюстровано на рис. 1, б. Для пористого кремнію (рис. 1, в, г), зростання і розподіл густини струму по поверхні дна пори – подібно, але при тому на дзвоноподібний вид пори накладається зигзагоподібна мода.

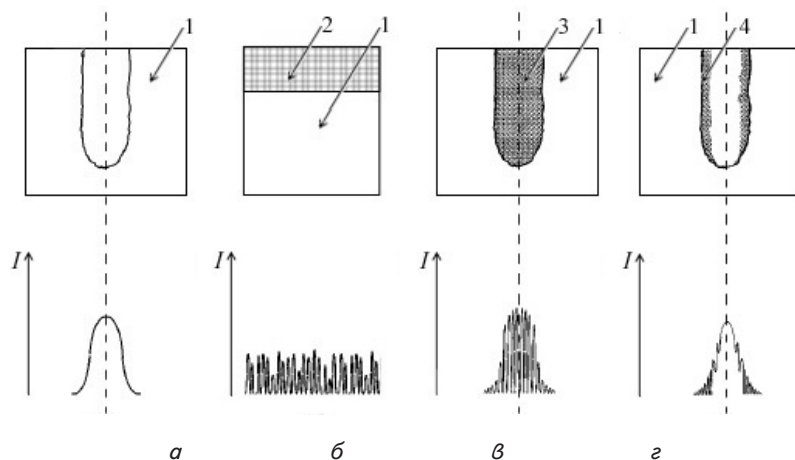


Рис. 1. Схематична модель створення різних видів пористого кремнію в залежності від форми струму: перший рядок – модель пори; другий рядок – розподіл густини і форми струмів; 1 – кремнієва підкладка; 2 – мікропористий кремній; 3 – макропористий кремній, наповнений мікропористим кремнієм; 4 – макропористий кремній, частково наповнений мікропористим кремнієм; а – створення пори дзвоноподібного виду; б – створення мікропористого кремнію; в – створення макропористого кремнію, повністю наповненого мікропористим кремнієм; г – створення макропористого кремнію, частково наповненого мікропористим кремнієм

Накладаючи на дзвоноподібну форму струму зигзагоподібну моду можемо отримати двошаруватий пористий кремній, де макропористий кремній може бути заповнений або частково заповнений мікропористим кремнієм, профілі струму яких ілюстровані на рис. 1, в–г. Розподіл форми струму відповідального за зростання макро/мікропористого кремнію дзвоноподібною формі складається з модуляцій струму відповідального за зростання мікропористого кремнію. Коли струмовий розподіл є таким, що не проходить окислення на дні пори, макропористий кремній повністю заповнюється мікропористим кремнієм (рис. 1, в). З іншого боку, коли струмовий розподіл є таким, що проходить окислення дна пори, макропористий кремній тільки частково заповнюється мікропористим кремнієм (рис. 1, г).

5. Формування текстури фронтальної поверхні кремнієвих фотоелектричних перетворювачів електрохімічним методом

Формування текстури на основі шару ПК може проводитись як у хімічному так і у електрохімічному режимі [8].

Технології створення текстур фронтальної поверхні ФЕП базується на процесі розчинення поверхневого шару кремнію в розчинах на основі фтористоводневої кислоти. По мірі покриття поверхні зв'язками Si-O-Si реакція розчинення стає менш активною і припиняється при утворенні суцільної оксидної плівки. Подальший хід реакції повинен відбуватися шляхом руйнування Si-O-Si зв'язків, а швидкість реакції зростає зі збільшенням концентрації фтористоводневої кислоти.

Виникнення різних областей травлення протягом анодизації кремнію в розчинах фтористоводневої кислоти обумовлено двома реакціями - прямого та непрямого розчинення поверхні кремнію при його освітленні і розчиненні оксиду кремнію. Утворення пористого кремнію можливе тільки в тому випадку, коли поверхня не повністю покрита оксидною плівкою, оскільки в цьому випадку має місце пряме електрохімічне розчинення кремнію [9].

В дослідженні були використані вищеописані реакції для створення пористого кремнію. На рис. 2 (фотографії №2, №4, №6 вироблено на растровому електронному мікроскопі в Інституті Дослідження Сонячної Енергії (ISFH, Німеччина) приведена фотографія сколу кремнієвого зразка з коралоподібними порами поверхневого шару, який ми отримали використовуючи анодизацію кремнію в електrolіті на основі фтористоводневої кислоти з етанолом ($\text{HF}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}=7:2$ при струмі в 10 mA/cm^2), час травлення в діапазоні $0,5...5 \text{ хв}$.

Пористий кремній легко утворюється прямим розчиненням кремнію при низьких потенціалах. При більш високих потенціалах, вся поверхня покривається оксидною плівкою, що розчиняється у фтористоводневій

кислоті, оскільки ми отримуємо не пористий кремній а колоноподібну текстуру і процес утворення текстури закінчується при утворенні на дні пори оксиду SiO_2 (рис. 3).

Особливо важливою властивістю пластин кремнію, як електрода в технологічному процесі є чутливість швидкості електрохімічних реакцій до радіуса кривизни поверхні. Оскільки електричне поле присутнє в зарядженому шарі частинок біля поверхні напівпровідника, то вектор поля змінюється з радіусом кривизни поверхні і можливе створення колоноподібною текстури пористої поверхні кремнію (рис. 3).

З фізичної точки зору, чутливість реакцій до кривизни поверхні може бути пов'язана з шаром просторового заряду або питомим опором підкладки. Для помірно або високолегованих матеріалів ця чутливість

пов'язана тільки з шаром просторового заряду унаслідок того, що різниця потенціалів в підкладці напівпровідника є дуже малою. Проте, для слаболегованих матеріалів можливе значне падіння потенціалу в напівпровіднику, що спричиняє чутливість до кривизни поверхні.

Для слаболегованих матеріалів, чутливість до кривизни може бути пов'язана з товщиною шару просторового заряду так само як і із питомим опором підкладки. Радіус кривизни, потрібний для впливу на товщину шару просторового заряду, відрізняється від того, що потрібний для впливу на розподіл потенціалу в підкладці завдяки високому питомому опору. З цієї причини, при певному легуванні і умовах поляризації струм на поверхні може мати два різні розподіли, пов'язаних з радіусами кривизни різного розміру. Такі розподіли можуть привести до утворення геометричних структур з кількох різних шарів, таких як утворення (рис. 4, 5.) двошарового колоноподібного пористого кремнію.

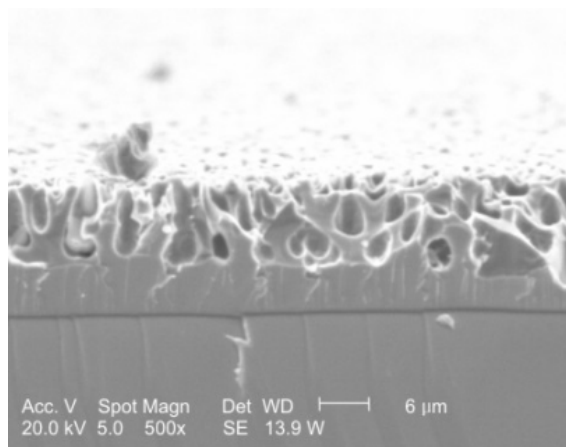


Рис. 2. Фотографія сколу кремнієвого зразка з коралоподібними порами поверхневого шару, отримана за допомогою електронного (SEM) мікроскопа

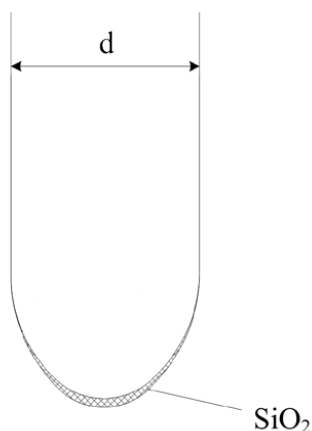


Рис. 3. Схематична ілюстрація змін струму на дні пори кремнію

Швидкості розчинення є різними на стінках пор і на дні пор завдяки впливу поверхневої кривизни. В такому випадку струм є найбільшим на дні пори, оскільки радіус кривизни в даному випадку є наймен-

шим. Він знижується від верхівки пори до стінок пори, оскільки радіус кривизни зростає.

Коли поверхня повністю покривається оксидною плівкою, розподіл подібної реакції стає однорідним і незалежним від геометричних чинників [10]. Можна відтворити п'ять можливих фаз на шляху струму, в яких може мати місце значна різниця потенціалів. Розподіл прикладеного потенціалу в різних фазах шляхів струму залежить від типу легування і концентрації, концентрації HF, щільності струму, потенціалу інтенсивності освітлення і напрямку. Ті фази в шляхах струму, які мають велику частку в зміні прикладеного потенціалу, мають і послідовність змін в розподілі струму уздовж дна пор і, таким чином, залежать від морфології ПК.

Опір електроліту приводить до різниці потенціалів, який лінійно розподіляється в електроліті усередині пор, і таким чином, не має впливу на розподіл струму на дні пори. В той же час, різниця потенціалів в електроліті має важливий вплив на збереження площини, що росте, шаруючи пористий кремній.

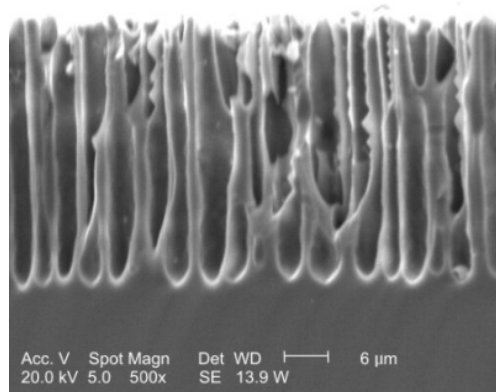


Рис. 4. Фотографія сколу кремнієвого зразка отриманого за допомогою електронного (SEM) мікроскопа з текстурою на основі пористого кремнію з колоноподібними порами

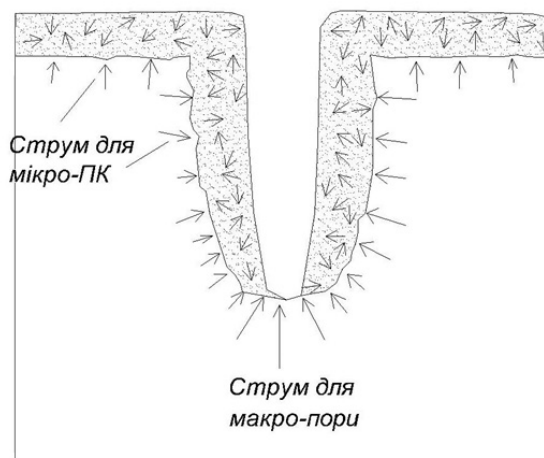


Рис. 5. Схематична ілюстрація формування частково наповненої макропори мікропористим кремнієм на n-Si

Для помірно легованих підкладок, коли поверхня є вільною від оксиду, зміна потенціалу в основному знижується в шарі просторового заряду і подвійному шарі Гельмгольца. Реакції є дуже чутливими до геометричного чинника. Реакція, яка кінетично лімітується процесом в шарі просторового заряду, є чутлива до радіуса кривизни, тоді як реакції, які лімітуються процесами в шарі Гельмгольца, є чутливими до орієнтації поверхні. Залежно від відносного впливу кожного шару, вплив кривизни залежно від впливу анізотропії може змінюватися.

Коли дно пори покривається оксидом, зміна прикладеного потенціалу протікає в оксиді майже повністю завдяки дуже високому опору оксиду. Швидкість реакцій в даному випадку лімітується хімічним розчиненням оксиду на площі, покритій оксидом. Коли суцільне дно пори покривається оксидом, швидкість реакції є подібною, як на суцільній поверхні дна пори. Як результат, зникає чинник площини днища і умови для формування колоноподібного пористого кремнію (рис. 5). Зміна оксидного покриття на дні пори може також відбуватися, коли дифузія електроліту вглиб довгих пор стає стадією, яка контролює швидкість процесу, і струм, при якому відбувається формування оксиду, зростає з концентрацією HF. А зменшення концентрації HF на дні пори унаслідок впливу дифузії може привести до формування оксиду за умов, які не мають місця в дрібних порах.

Коли питомий опір підкладки є високим і значна кількість потенціалу падає на підкладці, різниця потенціалів може і не бути однорідною вздовж викривленого днища пори унаслідок нелінійного розподілу потенціалу по напівпровідниковому матеріалу, що оточує дно. За таких умов стає можливим формування макропористого кремнію на слаболегованих матеріалах, з утворенням краплеподібної текстури, яка представлена на рис. 6.

Отримана текстура з краплеподібними порами мала інтегральний коефіцієнт відбивання $\approx 7,5\%$ в

діапазоні 400–1100 нм. Для порівняння можна привести інтегральний коефіцієнт відбивання текстур типу «хаотичні піраміди» та полірованої поверхні, який в декілька раз більше. Тому аналіз поверхні текстур з колоноподібними та краплеподібними порами показує їх високу ефективність порівняно із іншими текстурами, особливо в інфрачервоному діапазоні.

7. Висновки

Результатом даної роботи стала розробка технології створення шарів ПК, для текстур фронтальної поверхні високоефективних кремнієвих СЕ, глибокий аналіз технології створення багатоформатної текстури, вивчення текстур по спектральних характеристик відбивання і моделювання багатошарової текстури на основі мікро- та макропористих шарів пористого кремнію, що в цілому дає достатньо глибоку характеристику фронтальної поверхні високоефективних кремнієвих СЕ.

Узагальнення отриманих експериментальних результатів отримання текстур з поверхнею різної морфології (з колоноподібними – рис. 3. та краплеподібними порами – рис. 5.) дозволяє зробити наступні висновки:

1. Утворення пористого кремнію можливе тільки в тому випадку, коли поверхня не повністю покрита оксидною плівкою, оскільки в цьому випадку має місце пряме електрохімічне розчинення кремнію.

2. Є можливим формування макропористого кремнію на слаболегованих матеріалах, з утворенням краплеподібної текстури на фронтальній поверхні.

3. Аналіз інтегральних коефіцієнтів відбивання для текстур з колоноподібними та краплеподібними порами показує їх високу ефективність порівняно із іншими текстурами, особливо в інфрачервоному діапазоні.

4. Якщо функціонально змінювати густину струму по поверхні пори, то можна створити пористий кремній різного формату, із мікро- та макропорами.

Використання колоноподібного чи краплеподібного ПК, отриманого електрохімічною технологією, спростить технологічний цикл, зменшить вартість виробу та підвищить експлуатаційні характеристики сонячних елементів (СЕ).

Література

1. Saadoun, M. Porous silicon-based microtexturing of textured monocrystalline silicon solar cells [Text] / M. Saadoun, M. Fethi Boujmil, S. Aouida, M. Ben Rabha and B. Bessaïs // Physica Status Solidi (C) Current Topics in Solid State Physics. – 2011. – Vol. 8, Issue 6. – P. 1869–1873. doi: 10.1002/pssc.201000090

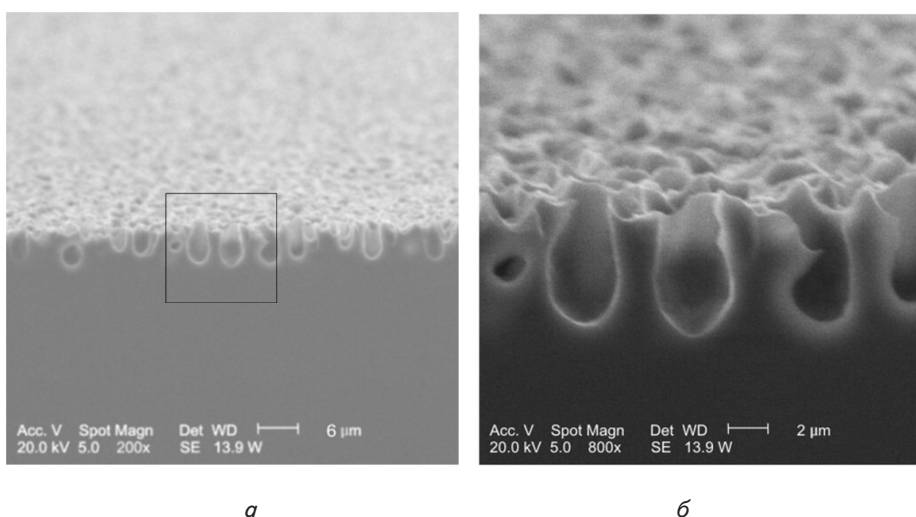


Рис. 6. Фотографії сколу кремнієвого зразка отриманого за допомогою електронного (SEM) мікроскопа з двома підвищеннями, текстури на основі пористого кремнію з краплеподібними порами діаметром 3 мкм.: а – загальна картина краплеподібної пористої поверхні (на відміченому квадраті робиться додатковий знімок); б – додаткова фотографія - найбільш характерна вибрана частина краплеподібних пор

2. Yerokhov, V. Yu. Porous silicon in solar cell structures: A review of achievements and modern directions of further use [Text] / V. Yu. Yerokhov, I. I. Melnyk // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 1999. – Vol. 3, Issue 4. – P. 291–322. doi: 10.1016/s1364-0321(99)00005-2
3. Ou, W. Optical and electrical properties of porous silicon layer formed on the textured surface by electrochemical etching [Text] / W. Ou, L. Zhao, H. Diao, J. Zhang // Journal of Semiconductors. – 2011. – Vol. 32, Issue 5. – P. 056002. doi: 10.1088/1674-4926/32/5/056002
4. Huang, Y. M. Porous silicon based solar cells [Text] / Y. M. Huang, Q.-L. Ma, M. Meng // Materials Science Forum. – 2011. – Vol. 663-665. – P. 836–839. doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.663-665.836
5. Zhang, X. G. Electrochemistry of Silicon and Its Oxides [Text] / X. G. Zhang. – Kluwer Academic, Horwell, MA, 2001. – 537 p.
6. Salman, K. A. The effect of etching time of porous silicon on solar cell performance [Text] / K. A. Salman, K. Omar, Z. Hassan // Superlattices and Microstructures. – 2011 – Vol. 50, Issue 6. – P. 647–658. doi: 10.1016/j.spmi.2011.09.006
7. Патент № 36642. Україна, МКВ Н 01 L 31/05. Спосіб одержання поверхневої мультитекстури [Текст] / Єрохов В. Ю., Селемонавічус А. А. – НУ “Львівська політехніка”. – заявка № а 2007 13213 від 27.11.2007. Рішення на видачу патенту України на винахід від 10.11.2008. – Бюл. № 21.
8. Foil, H., Formation and application of porous silicon [Text] / H. Foil, M. Christophersen, J. Carstensen, G. Hasse // Materials Science and Engineering R. – 2002. – Vol. 39. – P. 93–141.
9. Yerokhov, V. Development of profitable Methods of Texturing for Silicon Solar Cells [Text] / V. Yerokhov, R. Hezel, H. Nagel, I. Melnyk, I. Semochko // 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. – Glasgow, UK, 2000. – № VA2-15.
10. Патент № 92962, Україна, МКВ Н 01 L 31/05. Спосіб одержання поверхневої функціональної нанотекстури [Текст] / Єрохов В. Ю., Дружинін А. О. – Національний Університет “Львівська політехніка”, Рішення на видачу патенту України на винахід від 27.12.2010 р. – Бюл. № 24.

Запропоновано спосіб визначення стабільності процесу розмірної обробки дугою. Наведено залежності, за якими визначається приналежність миттєвих значень напруги дуги до зон горіння дуги. За значеннями отриманих коефіцієнтів можна судити про стан процесу і, відповідно, керувати ним, що створює широкі можливості по автоматизації керування станом процесу розмірної обробки дугою

Ключові слова: напруга дуги, зони горіння дуги, стабільність процесу, розмірна обробка дугою

Предложен способ определения стабильности процесса размерной обработки дугой. Приведены зависимости, по которым определяется принадлежность мгновенных значений напряжения дуги к зонам горения дуги. По значениям полученных коэффициентов можно судить о состоянии процесса и, соответственно, управлять им, что создает широкие возможности по автоматизации управления состоянием процесса размерной обработки дугой

Ключевые слова: напряжение дуги, зоны горения дуги, стабильность процесса, размерная обработка дугой

УДК 621.9.048.4:681.511.4

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36226

СПОСІБ АВТОМАТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОЦЕСУ РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ ДУГОЮ

Г. В. Савеленко

Асистент

Кафедра економіки та організації виробництва
Кіровоградський національний
технічний університет
пр. Університетський, 8,
м. Кіровоград, Україна, 25000
E-mail: savelenko@mail.ru

1. Вступ

Для того, щоб відбувся процес розмірної обробки дугою (РОД), необхідно створити умови для її запалення та існування. РОД хоч і відноситься до різновиду електроерозійної обробки (ЕЕО) струмопровідних матеріалів, проте має суттєві відмінності від традиційних (електроіскрових та електроімпульсних) методів ЕЕО. Процес РОД відбувається при довготривалому горінні електричної дуги в міжелектродному проміжку (МЕП) в поперечному потоці робочої ріди-

ни, яка прокачується під тиском 0,5...3 МПа, що дозволяє вводити великі потужності в МЕП (потужність обмежується величиною поперечного перерізу електрод-інструменту) [1].

Одним з основних показників якості процесу ЕЕО є стабільність його горіння [2]. В працях [3–6] розглядається вплив стабільності горіння на: продуктивність процесу РОД, чистоту оброблюваної поверхні електрода-заготовки (ЕЗ), витрати електрода-інструмента (ЕІ) та її залежність від динамічного тиску робочої рідини і електричної потужності, що підводяться в