

УДК 621.383

Т.Ю. Білик, С.С. Шкарніков

## Фоточутливі структури з пористим кремнієм

Були досліджені пластини з шаром пористого кремнію, отримані методом хімічного травлення. З використанням монохроматора були отримані спектральні залежності фоточутливості контакту Al/пористий кремній та порівняні з аналогічною залежністю для контакту Al/c-Si. Аналіз отриманих даних показав, що фоточутливість у випадку з шаром пористого кремнію на порядок вища та на спектральній залежності спостерігається короткохвильовий «хвіст». Інтегральна фоточутливість контакту росте зі збільшенням тривалості травлення, поки не досягає насичення при часі травлення приблизно в 1,5 хвилини.

The samples covered with porous silicon layer, achieved by the method of chemical etching, were investigated in this article. The spectral dependences of photosensitivity of the Al/porous-Si contact were achieved and compared with similar dependence for Al/c-Si contact. The analysis of achieved results have shown that photosensitivity in case of the samples of silicon layer is higher by a factor of ten and shortwave "tail" is observed on the spectral dependence. Integrated photosensitivity of the contact grows with increase of etching duration, until in approximately 1.5 minutes of etching it reaches saturation.

**Ключові слова:** пористий кремній, хімічне травлення, фоточутливість.

### Вступ

Пористий кремній (ПК) є перспективним матеріалом мікро-, нано- і оптоелектроніки. Його властивості протягом останнього десятиліття активно досліджуються більш ніж в 40 країнах світу, а об'єм наукових публікацій досягає 500 статей на рік. На міжнародних конференціях обговорюються й унікальні властивості цього матеріалу, і можливості його застосування в приладах різного призначення.

Пористий кремній привертає увагу дослідників перш за все своїми люмінесцентними властивостями [1]. Проте вивчення інших його властивостей відкрило перспективи багатьох інших застосувань пористого кремнію: сонячні елементи, біотехнологія, сенсори [2,3]. Пористий кремній продовжує привертати увагу у зв'язку з його потенційними можливостями для створення

джерел і приймачів видимого випромінювання, для інтеграції елементів опто- і мікроелектроніки на базі кремнієвої технології, а отже окремий інтерес становлять дослідження можливостей застосування ПК для створення фотоприймачів.

Для отримання шарів ПК найчастіше застосовують електрохімічне травлення пластин c-Si у розчині на основі плавикової кислоти HF[4]. Проте, через свою простоту, окремий інтерес викликає метод виключно хімічного травлення кремнію[5]. Саме цей метод було застосовано у даній роботі.

Метою даної роботи є дослідження взаємозв'язків між часом травлення зразків хімічним методом і фотоелектричними властивостями контакту Al/пористий кремній.

### Виготовлення зразків

Шари пористого кремнію були отримані хімічним травленням. В якості підкладки використовувались пластини КДБ-1 (100). Травником слугував розчин 2 г  $\text{NaNO}_2$  у 100мл HF на 20 мл води. Було створено 6 пластин з часом травлення 10, 30, 45, 180, 300 та 600 секунд. Далі на поверхню пластин зі сторони пористого кремнію було нанесено по 2 металевих контакта. Для утворення цих контактів використовувався Al, що наносився шляхом низькотемпературного магнітронного напылення. Також, для порівняння, в одному технологічному циклі була виготовлена пластина без пористого шару з аналогічним розміщенням контактів.

### Результати вимірювань та їх обговорення

Під час вимірювання фото ЕРС контакту алюміній – пористий кремній промінь світла з монохроматора фокусувався на краю одного з металічних контактів, та вимірювалася різниця Нормовані графіки залежності фото ЕРС від енергії фотонів зображені на рис. 1.

У структурах з пористим кремнієм, як видно з графіків, спостерігається збільшення фоточутливості у короткохвильовій області спектру. Це можна трактувати як вклад аморфної фази, що утворюється поміж кристалітами у пористому кремнії. Цей вклад збільшується, поки шар пористого кремнію не досягне певної товщини. Це свідчить про те, що зі збільшенням часу травлення, а отже й товщини ПК, збільшується вміст аморфної фази у складі ПК.

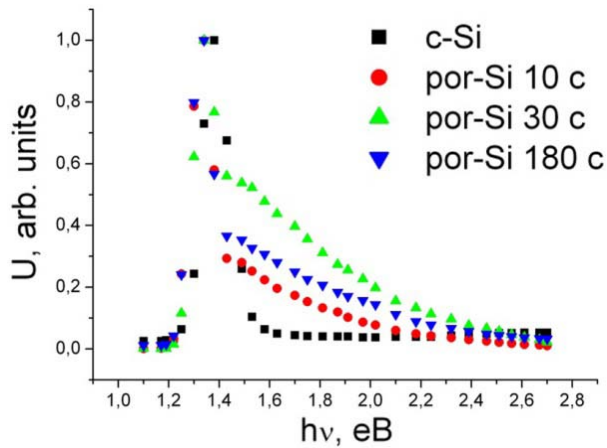


Рис. 1. Графік нормованої спектральної залежності фото ЕРС контакту Al/ПК для різних пластин

На рис. 2. зображені ненормовані спектральні характеристики фоточутливості цих же зразків. З цього малюнка видно, що збільшення фоточутливості у короткохвильовій області помітно навіть у зразка з найтоншим шаром ПК. Надалі фоточутливість у діапазоні коротких хвиль повільно зростає зі збільшенням часу травлення. Слід зазначити, що при тривалому травленні (довше 1 хв.) вклад короткохвильової ділянки у інтегральну фоточутливість поступово зменшується, оскільки значення максимуму фоточутливості зростає швидше. У загальному ж, фоточутливість структур з пористим кремнієм на порядок вища, ніж фоточутливість аналогічної структури без нього.

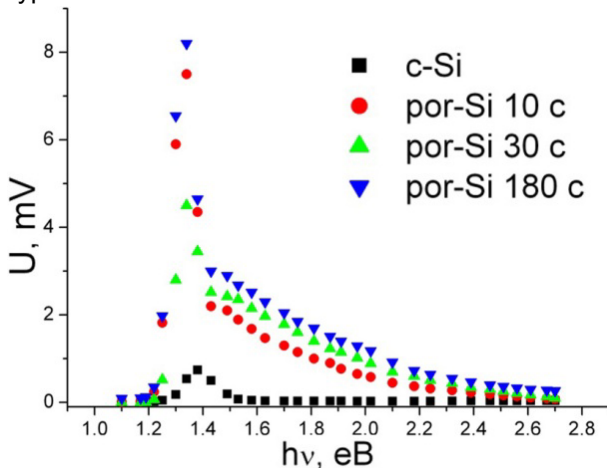


Рис. 2. Графік спектральної залежності фото ЕРС контакту Al/ПК для різних пластин

Як бачимо на рис. 3., інтегральна фоточутливість збільшується зі збільшенням часу травлення, поки не досягне насичення при часі травлення приблизно у півтори хвилини. Ріст фоточутливості пов'язаний, по-перше, зі зменшенням коефіцієнту відбиття, що викликано пористістю поверхні, та, по-друге- зі згаданим раніше вкладом аморфної фази. Насичення інтегральної фоточутливості може свідчити про відсутність

змін складу та морфології шару пористого кремнію при подальшому травленні. Окрім цього, внаслідок даної структури зразка, можливий певний вплив гетеропереходу пористий кремній-кремній на результати вимірювань. Оскільки зі збільшенням товщини шару ПК цей гетероперехід віддаляється від досліджуваного контакту, це може також призводити до зменшення фоточутливості.

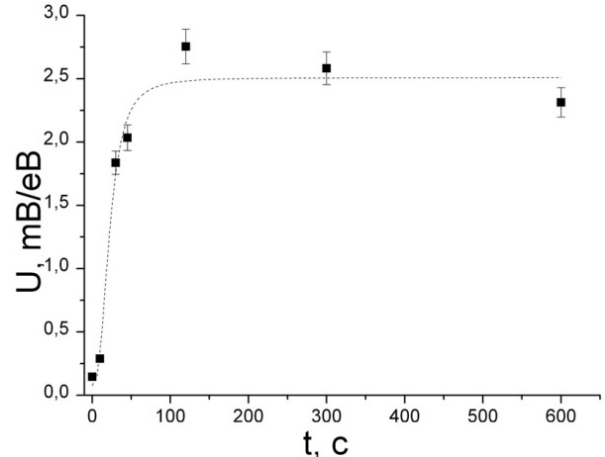


Рис. 3. Графік залежності інтегральної фоточутливості контакту Al/ПК від часу травлення

## Висновки

Фотолектричні властивості контакту Al/пористий кремній змінюються в залежності від часу травлення.

Інтегральна фоточутливість контакту росте зі збільшенням часу травлення до певної величини. Це свідчить про те, що під час хімічного травлення склад та морфологія шару ПК поступово змінюються, але при тривалому травленні настає момент, коли ці зміни припиняються.

Фоточутливість контакту Al/пористий кремній на порядок більше, ніж у Al/c-Si. У спектральній залежності фоточутливості контакту з пористим кремнієм спостерігається збільшення фоточутливості у короткохвильовій області. Це явище пов'язане з утворенням аморфної фази кремнію у шарі ПК. Максимум спектральної залежності фоточутливості розглянутих структур майже співпадає з максимумом для контакту Al/c-Si.

## Література

1. Беляков Л.В., Горячев Д.Н., Сресели О.М. Фотоответ и электролюминесценция структур кремний--<пористый кремний>--<химически осажденный металл> // ФТП. – 2000 – Т.34. – №11. – С. 1386-1390.
2. Torres-Costa V., Agulló-Rueda F., Martín-Palma R.J. Martínez-Duart J.M. Porous silicon optical devices for sensing applications // Opt. Mater. – 2005 – 27. – P. 1084–1087.

3. Jalkanen T., Tuura J., Mäkilä E., Salonen J. Electro-optical porous silicon gas sensor with enhanced selectivity. // Sensors and Actuators, B Chemical. – 2010 - 147 (1). - P. 100-104.
4. Юзова В.А., Левицкий А.А., Харлашин П.А. Развитие технологии получения и исследования пористого кремния // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2011 – Т.4. - №1. – С. 92-111.
5. Білик Т.Ю., Шмирева О.М., Алябушев В.І. Електрофізичні властивості гетероструктур наноструктурований кремній/моно кремній // Електроніка і зв'язь, Тематический випуск «Проблеми електроніки» ч. 2. – 2009. – №4-5. – С. 59–62.

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»*

*Поступила в редакцию 4 мая 2012 г.*