

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОПРОВІДНОСТІ КРИСТАЛІЧНОГО КРЕМНІЮ З АМОРФНИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ

О. Ю. Бабиченко

Харківський національний університет радіоелектроніки
Україна, м. Харків
oksana.babychenko@nure.ua

Представлені результати чисельно-аналітичного моделювання фотопровідності кристалічного кремнію з включеннями аморфного кремнію, котрі можуть бути використані при вивченні принципів роботи нового класу фотоелектричних перетворювачів на основі модифікованих напівпровідникових матеріалів. Результати співпадають з раніше отриманими експериментальними даними на аморфно-кристалічних структурах утворених в результаті опромінення γ -квантами.

Ключові слова: фотопровідність, аморфний кремній, розупорядкованість, сонячний елемент.

Поєднання фундаментальних властивостей прямозонних (*a-Si*) і непрямозонних (*c-Si*) структур в єдиній (*c-Si*) матриці є основною відмінністю від існуючих сонячних елементів (СЕ), створених на основі лише *c-Si* або *a-Si*-матеріалів. У структурі *c-Si* носії заряду мають велику рухливість ($\mu_n \approx 1500$, $\mu_p \approx 500$ $\text{cm}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$), але незначний (крім короткохвильової області сонячного спектра) коефіцієнт поглинання світла, що і змушує використовувати СЕ великої товщини (≥ 100 мкм). У структурі *a-Si* носії заряду мають низьку дрейфову рухливість ($\mu_n \approx 10^{-1}$, $\mu_p \approx 10^{-3}$ $\text{cm}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$), але значний коефіцієнт поглинання світлового випромінювання, а також велику концентрацію рекомбінаційних центрів. Ці фактори і визначають низьку ефективність *a-Si*-СЕ.

Метою роботи є порівняння теоретично розрахованої фотопровідності аморфно-кристалічної кремнієвої структури з експериментальними результатами отриманими при дослідженні процесів накопичення радіаційних дефектів в об'ємі монокристалічного кремнію при його опроміненні γ -квантами гальмівного випромінювання [1]. Мікрофотографії поверхні зразків до та після опромінювання осколками поділу урану і хімічного травлення представлені на (рис. 1). На поверхні пластини кремнію спостерігаються нерозвинуті пори (кратери) з невеликою кількістю пор, що йдуть вглиб пластини кремнію.

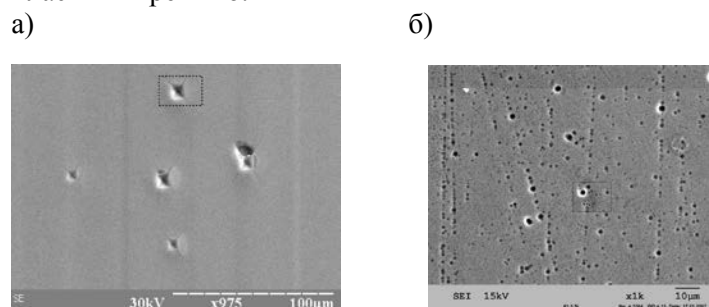


Рис. 1. Мікрофотографії поверхні зразків до та після опромінювання

За результатами рентгенофазового аналізу, в складі зразків монокристалічного кремнію встановлена наявність деякої кількості аморфної фази, що утворилася в результаті їхнього опромінювання уламками розподілу ядер ^{238}U [1].

Фотопровідність і час життя зразків опроміненних гамма-квантами досліджувалися НВЧ фотомодуляційними методами за допомогою резонаторного вимірювального перетворювача [2].

На рис. 2, а наведено результати вимірювання фотопровідності зразка Si після радіаційної обробки та відпалу для різних довжин хвиль опромінення. Зміна фотопровідності в результаті відпалу зразка обумовлена зміною структури дефектів, утворених в результаті радіаційної обробки зразка та відновленні обірваних зв'язків в структурі аморфних вкраплень.

Для теоретичного опису побудовані залежності фотопровідності величина якої, віднесена до одиниці поверхні пластини товщиною d та дорівнює

$$\sigma_{ph} = e\mu_n \Delta N,$$

$$\text{де } \Delta N = \frac{G \cdot \tau}{\alpha} \cdot \frac{1 - \exp(-\alpha d)}{1 + \frac{G \cdot \tau}{L} \cdot \text{cth}\left(\frac{d}{2 \cdot L}\right)} \cdot \left[1 + \frac{G \cdot L}{D} \cdot \frac{\left[\text{cth}\left(\frac{d}{2 \cdot L}\right) - \alpha \cdot L \cdot \text{cth}\left(\frac{\alpha \cdot d}{2}\right) \right]}{1 - \alpha^2 \cdot L^2} \right],$$

G — швидкість генерації, τ — час життя носіїв заряду, α — коефіцієнт поглинання, L — дифузійна довжина пробігу, D — коефіцієнт дифузії.

Якщо припустити, що в структурі домінують циліндричні вклучення, то ступінь розупорядкованості зразка γ змінюється в діапазоні від 0,04 до 0,065 [3, 4]. Тобто в об'ємі кристалічної структури приблизно 5% аморфних вклучень. Результати розрахунків відносної зміни фотопровідності за температури наведено на рис. 2, б. При розрахунках припускалось, що зміна фотопровідності обумовлена зміною ступеня розупорядкованості аморфних вклучень.

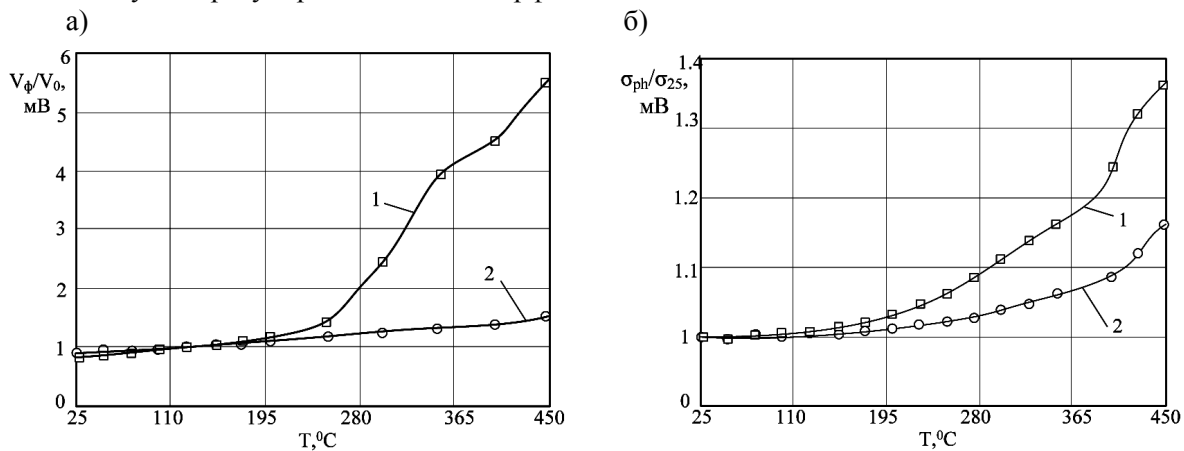


Рис. 2. Температурні залежності фотопровідності c - Si зразка, отримані експериментально та розрахунковим шляхом (1 — $\lambda = 0,57$ мкм; 2 — $\lambda = 1$ мкм)

Отримані чисельно-аналітичні результати за характером зміни кривих співпадають з експериментальними результатами. Це свідчить про можливість їхнього застосування для удосконалення структур та моделей фотоперетворювачів на основі сплавів неупорядкованого і кристалічного кремнію. Вихідними даними для такої моделі мають бути експериментально отримані параметри шарів.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Dovbnya A.N., Yefimov V.P., Pugachev G.D. та ін. The influence of γ -irradiation and ^{238}U fragments on the properties of single-crystal Silicon. // Problems of atomic science and technology. Series Nuclear Physics Investigations.— 2006.— № 3 (47).— P. 179–181.
2. Гордієнко Ю. С., Бородин Б. Г., Рябухін А. А. Фотомодуляційна СВЧ діагностика напівпровідникових структур // Радіотехніка.— 1995.— 110.— С. 71–80.
3. Babychenko O.Y., Pashchenko A.G. States density distribution for determination of a-Si:H photoconductivity // Journal of Nano- and Electronic Physics.— 2017.— № 9 (5).— 05044 (4p.).
4. Galat A.B. Simulation of an optimal design for (P)-a-Si:H(N)-c-Si photovoltaic converters using the analytical model // Telecommunications and Radio Engineerang.— 2015.— 74.— P. 1215–1223.

O. Yu. Babychenko

Studying the photoconductivity of crystal silicon with amorphous inclusions

The paper presents the results of the numerical-analytical modeling of the photoconductivity of crystalline silicon with the inclusion of amorphous silicon, which can be used in studying the principles of the operation of a new class of photovoltaic converters based on modified semiconductor materials. The results coincide with previously obtained experimental data on the amorphous-crystalline structures formed by the γ -quanta irradiation.

Keywords: photoconductivity, amorphous silicon, disordering, solar cell.