

ХІМІЧНІ НАУКИ

УДК 621.311.243 (043.2)

М.Г. Білоус, асп.
В.М. Ледовських, д.х.н., проф.

ПРОТИВІДБИВНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ КРЕМНІЄВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

Наведено результати дослідження можливості використання противідбивного покриття випромінювання сонячної енергії фотоелектричного перетворювача у вигляді плівок на основі TiO_x , отриманих за допомогою рідиннофазних гідролітичних процесів з наступним їх формуванням методом центрифугування і високотемпературною термообробкою. Показано, що такі противідбивні покриття відповідають основним вимогам і за своїми характеристиками не поступаються плівкам, отриманим іншими технологічними процесами. Запропонована технологія значно простіша та економічніша порівняно з іншими способами, легко адаптується до вимог промислового виробництва і тому є перспективною для широкого впровадження.

In the given work results on research of an opportunity of use antireflection coverings (ARC) converter photo-electric as coverages on a basis, received are resulted at the help liquid- face processes with their subsequent formation by a method centrifugation and high-temperature heat treatment. It is shown, that such ARC meet the basic requirements and behind the characteristics do not concede to the coverings received by other technological processes. The offered technology essentially easy and more economically in comparison with other ways, easily adapts up to requirements of industrial production and consequently is perspective for wide implementation.

коефіцієнт корисної дії, кремнієві елементи сонячних батарей, противідбивні покриття, рідиннофазні гідролітичні процеси

Вступ

Виробництво фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) – нині один з найперспективніших напрямів.

Для оцінювання перспективності використання сонячної енергії слід врахувати, що кожну секунду Сонце виділяє енергії близько $4 \cdot 10^{20}$ Дж, основна частина якої поступає на Землю у вигляді електромагнітного випромінювання в діапазоні хвиль 0,2–3,0 мкм.

Значення сонячної постійної (інтенсивності сонячного випромінювання у вільному просторі на відстані, що дорівнює середній відстані між Землею та Сонцем) становить 1353 Вт/м^2 .

Проходячи через атмосферу, сонячне світло послаблюється головним чином за рахунок поглинання інфрачервоного випромінювання парюю води, а ультрафіолетового – озоном.

Крім цього, послаблення сонячного випромінювання відбувається за рахунок цього розсіювання наявних в повітрі частинок пилу та аерозолів.

Показник атмосферного впливу на інтенсивність сонячного випромінювання, що доходить до земної поверхні, визначається “атмосферною масою” (АМ).

Величина останньої дорівнює секансу кута θ між Сонцем та зенітом.

На рис.1 крива 1 відповідає сонячному спектру за межами земної атмосфери, тобто за нульової “атмосферної маси” (АМ0). Спектральний розподіл інтенсивності сонячного випромінювання (потужність на одиницю площі в одиничному інтервалі хвиль).

Цей розподіл апроксимується інтенсивністю випромінювання чорного тіла за температури 5800 К.

Спектр АМ0 визначає роботу сонячних батарей на супутниках і космічних кораблях.

Спектр АМ1 відповідає розподілу інтенсивності сонячного випромінювання на поверхні Землі, коли Сонце стоїть в зеніті (потужність – 925 Вт/м^2), спектр АМ2 реалізується, якщо кут $\theta = 60$ (потужність – 691 Вт/м^2) [1].

Важливим елементом ФЕП, виготовленого на основі напівпровідника монокристалічного силіцію, є противідбивне покриття (ПВП), яке істотно зменшує втрати сонячної енергії, зумовлені відбиванням променів від поверхні пластини.

Такі покриття значно збільшують коефіцієнт корисної дії (ККД) виробу.

Як ПВП використовують плівки матеріалів, що мають оптичний коефіцієнт заломлення, зазвичай, більший за 1,9 для забезпечення ефекту повного внутрішнього відбивання, а також ефект поглинання випромінювання завдяки інтерференційним властивостям тонких плівок.

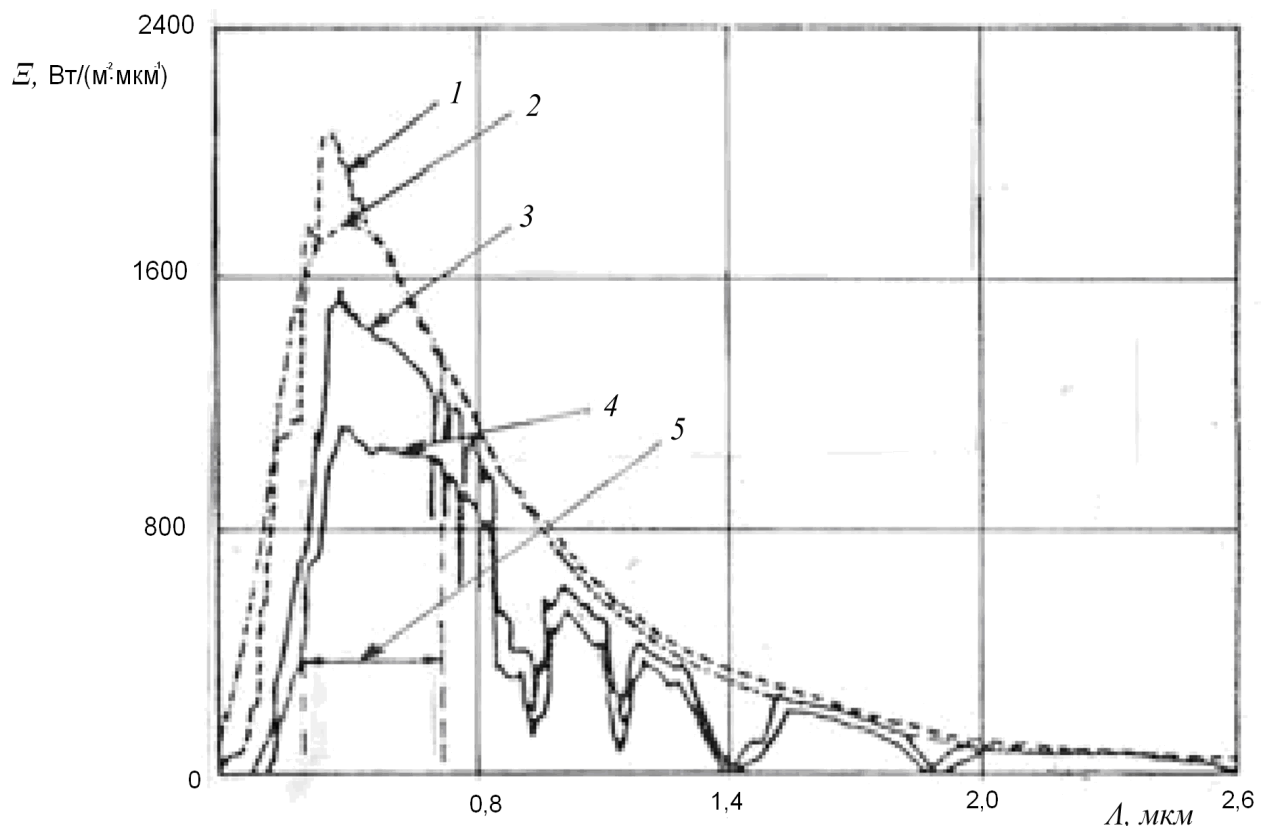


Рис. 1. Спектральний розподіл інтенсивності сонячної енергії:
 1 – AM0 (1353 Вт/м²);
 2 – випромінювання чорного тіла за температури 5800К (1353 Вт/м²);
 3 – AM1 (925 Вт/м²);
 4 – AM 2 (691 Вт/м²);
 5 –видимий спектр

Істотний недолік сонячних батарей – їх здатність частково відбивати сонячне випромінювання, що спричиняє суттєве зниження ефективності перетворення сонячної енергії і зменшення основного параметра ФЕП – ККД. Ці втрати повноти використання променевої енергії на силіцієвих елементах можуть досягати 35 %.

Мета роботи – створення технології отримання ПВП ФЕП на основі плівки TiO_x, яка ґрунтується на рідиннофазному гідролітичному розкладанні вихідних алкоксититанатів.

Експериментальна частина

Розглянемо детальніше відбиття світлового потоку в системі повітря – ПВП – силіцій (рис. 2). Завдяки інтерференційним властивостям тонких плівок світло повністю поглинається в плівці, реалізуючи принцип оптики:

$$nd = \frac{\lambda}{4}.$$

(1)

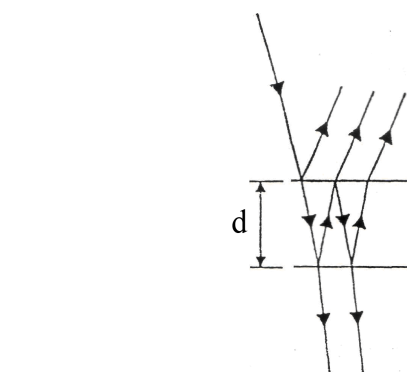


Рис. 2. Схематичне зображення розподілу світлового потоку в системі повітря – ПВП – силіцій:
 d – товщина плівки

У цілому коефіцієнт відбиття світла від поверхні ФЕП

$$R = \frac{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1r_2 \cos 2\Theta}{1 + r_1^2 r_2^2 + 2r_1r_2 \cos 2\Theta}; \quad (2)$$

$$r_1 = \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1};$$

$$r_2 = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2};$$

$$\Theta = \frac{2\pi n_1 d_1}{\lambda},$$

де

R – коефіцієнт відбиття в системі повітря – ПВП – силіцій;

r_1 – коефіцієнт відбиття системи повітря – ПВП;

r_2 – коефіцієнт відбиття системи ПВП – силіцій;

n_0 – коефіцієнт заломлення повітря;

n_1 – коефіцієнт заломлення ПВП;

n_2 – коефіцієнт заломлення силіцію.

Мінімальне відбиття світла в системі буде за умови (1) і вираз (2) набуде вигляду

$$R_{\min} = \left[\frac{n_1^2 - n_0 n_2}{n_1^2 + n_0 n_2} \right]^2.$$

Прирівнюючи R_{\min} до нуля, матимемо

$$n_1^2 = n_0 n_2$$

або

$$n_1 = \sqrt{n_0 n_2}.$$

Коефіцієнт заломлення для силіцію не є величиною сталою для різних довжин хвиль. Ця залежність має складний характер (рис.3).

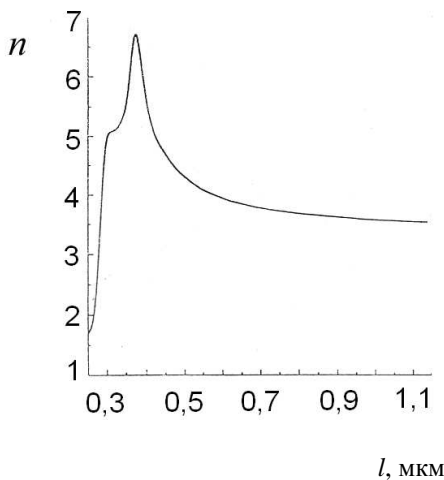


Рис. 3. Залежність коефіцієнта заломлення від довжини хвилі для силіцію

Умову (1) можна виконати тільки для певної довжини хвилі λ , тому дія ПВП для широкого діапазону довжин хвиль має вигляд резонансної характеристики, де мінімум відбиття відповідає згаданій умові [2] (рис. 4).

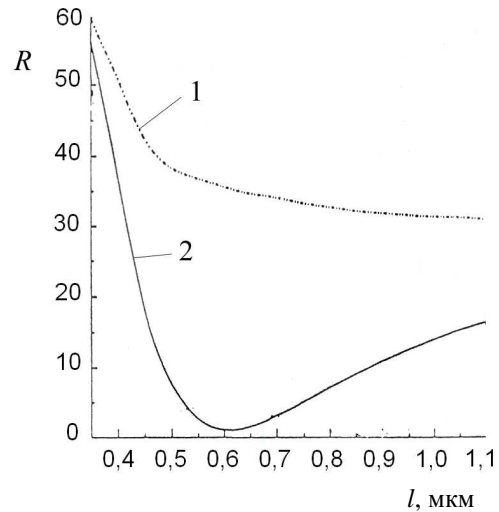


Рис. 4. Залежність коефіцієнта відбиття оголеної поверхні силіцію та з плівкою ПВП:

1 – оголена поверхня силіцію;
2 – з плівкою ПВП

Для зменшення рівня відбиття світлового потоку від ФЕП, поверхню пластини силіцію текстурують, тобто на поверхні формують суцільний масив пірамід заввишки близько 2–5 мкм.

На практиці пошук оптимальних значень параметрів коефіцієнта заломлення ПВП n_1 та оптичної довжини ПВП $n_1 d_1$ визначається емпірично на реальних структурах ФЕП. При цьому обов'язково узгоджуються спектральні чутливості ПВП та силіцію, що має власну спектральну чутливість.

Досить ефективним видається використання сполук SnO_2 , In_2O_3 , $\text{SnO}_2\text{In}_2\text{O}_3$ (ІТО), що відповідають вимогам до ПВП і водночас виявляють властивості провідності [3].

Отримання плівок за такими технологіями потребують прецизійного і дорогого обладнання, що істотно впливає на собівартість виробленої енергії (рис. 5).

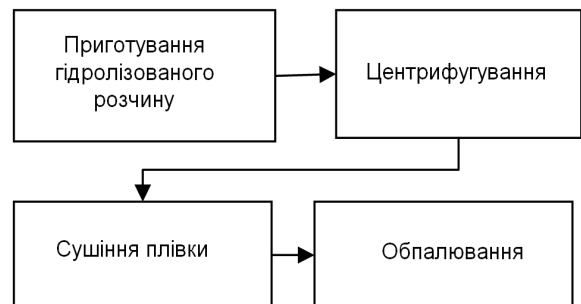


Рис. 5. Спосіб формування ПВП

Спосіб формування ПВП дозволяє отримувати плівки, що відповідають вимогам ПВП ФЕП [4]. Спеціальний спосіб центрифугування [5], що традиційно використовують у виробництві напівпровідникових приладів, дав такі результати:

- товщина плівки 15,0–120,0 нм;
- нерівномірність товщини плівки по пластині менша ніж 2 %;
- нерівномірність товщини плівки групи пластин менша за 5 %, що є достатнім показником для серійного виробника.

Додатковий ефект просушування покриття після центрифугування є також ефективною захисною плівкою від забруднення поверхні силіцію за рахунок адсорбції наявних у повітрі іонів натрію та інших шкідливих для виробу металів.

Високотемпературне формування структури плівки виконували на установці ІЧ-термообробки за температури 750 °С. Коефіцієнт заломлення вимірювали методом еліпсометрії на установці «Sperecord». Як видно з гістограми (рис. 6) розподілу коефіцієнта заломлення отриманих плівок TiO_x , переважна частина значень цього параметра лежить в інтервалі 2,3–2,6, що відповідає вимогам для ПВП.

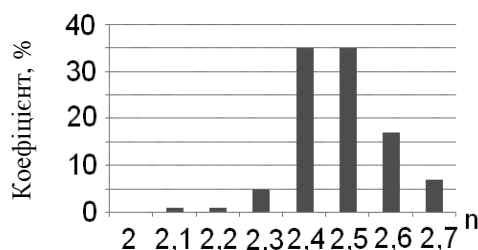


Рис. 6. Гістограма розподілу коефіцієнта заломлення плівки TiO_x на пластинах

Ефективність дії ПВП оцінювали рівнем відбиття оптичного випромінювання на пластинах силіцію та на реальних структурах ФЕП.

Як видно із таблиці, плівки цілком відповідають зазначеним вимогам, їх можна отримати рідиннофазним гідролітичним розкладанням вихідних алкоксититанатів з наступним контрольованим формуванням ПВП.

Відбивання випромінювання, %

Довжина хвилі	Пластина		
	полірована	текстурована	текстурована з АВП
400	41,6	11,2	4,8
582	29,8	10,9	4,5
927	26,7	9,4	4,2

Висновки

Визначено оптимальні склади вихідних сумішей речовин і наступні режимні параметри формування ПВП ФЕП у процесі центрифугування. Встановлено принципову можливість формування ПВП ФЕП використанням рідиннофазного гідролітичного розкладання вихідних алкоксититанатів, запропонований технологічний процес забезпечує вимоги до ПВП, економічніший порівняно з аналогами, легко адаптується до умов серійного виробництва.

Література

1. *Зи С.* Физика полупроводниковых приборов / С. Зи. – В 2-х кн. / пер. с англ.; перераб. и доп. – М.: Мир, 1984. – Кн. 2. – 456 с.
2. *Goetzberger A.* Crystalline Silicon Solar Cells / A. Goetzberger, I. Knobloch, B. Voss. – Germany. Fraunhofer Institut, 1977. – P. 115–118.
3. *Ангихотри О.* Селективные поверхности солнечных установок / О. Ангихотри, Б. Гупта / пер. с англ. Г.А. Гухман; под. ред. М.М. Колтуна. – М.: Мир, 1984. – 277 с.
4. *Білоус М.Г.* Модифікуючі плівки для підвищення ефективності кремнієвих сонячних елементів / М.Г. Білоус, В.М. Ледовських // Матеріали V Міжнар. наук.-техн. конф. «Авіа-2003», 23–25 квітня 2003 р. –К.: НАУ, 2003. – Т. IV. – С. 41.57 – 41.61.
5. *А.С №1329498 (СССР)* от 8.04.87г. Способ получения покрытия из фоторезиста / Н.Г. Белоус, И.Ю. Базанова, В.М. Мацкевич и др.; Заявл. 21.02.85.

Стаття надійшла до редакції 14.04.08.