

©2011 р. З.Ю. Готра, Н.В. Костів, П.Й. Стахіра,
В.В.Черпак, Д.Ю. Волинюк

Національний університет "Львівська політехніка", Львів

ФОТОВОЛЬТАІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГЕТЕРОСТРУКТУРИ ITO/VOPc/C₆₀/Al

Розроблена технологія створення гетероструктури на основі тонких органічних плівок фталоціаніну ванадію (VOPc) і фулерену (C₆₀). Наведені дослідження імпедансних і фотовольтаїчних властивостей гетероструктури ITO/VOPc/C₆₀/Al. Проведено комп'ютерну параметричну ідентифікацію гетероструктури, визначений механізм струмопроходження у досліджуваній гетероструктурі.

Ключові слова: сонячний елемент, фталоціанін ванадію, фулерен, імпедансна спектроскопія.

Разработана технология формирования гетероструктуры на базе тонких органических пленок фталоцианина ванадия (VOPc) и фулерена (C₆₀). Представлены результаты исследования импедансных и фотовольтаических свойств гетероструктуры ITO/VOPc/C₆₀/Al. Проведена компьютерная параметрическая идентификация гетероструктуры, определен механизм токопрохождения в исследованной структуре.

Ключевые слова: солнечный элемент, фталоцианин ванадия, фуллерен, импедансная спектроскопия.

Was developed fabrication technology of heterosrtructure based on vanadium phthalocyanine (VOPc) and fullerene (C₆₀) organic thin films. In this work was shown investigation of impedance and photovoltaic properties of structure ITO/VOPc/C₆₀/Al. Computer parametrical identification of heterosrtructure was carried out, also it was studied change of current in heterosrtructure

Keywords: solar cell, vanadium phthalocyanine, fullerene, impedance spectroscopy.

Пріоритетним завданням сонячної енергетики є отримання високоефективних, технологічно дешевих, екологічно безпечних, пластичних пристроїв перетворення сонячної енергії в електричну [1,2]. Наукові досягнення в області органічних напівпровідникових матеріалів, що мають унікальні властивості і можуть успішно конкурувати з неорганічними, привели до виникнення нового напрямку в оптоелектроніці - органічної фотовольтаїки. З часу появи перших публікації про можливість створення органічних фоточутливих пристроїв їх коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) зріс з 0,001% до 6,5% [3]. На сьогоднішній день вже налагоджене серійне промислове виробництво рулонних органічних сонячних батарей на гнучких підкладках, які, незважаючи на порівняно низьку ефективність фотоперетворення порівняно з пристроями на основі неорганічних напівпровідників, створюють їм певну

конкуренцію. Велика увага приділяється вивченню молекулярних гетеропереходів на основі фталоціанінів і фулеренів, оскільки теоретично прогнозований к.к.д. таких пристроїв може дорівнювати 12-16%, що, з урахування їхньої порівняно високої хімічної і термічної стійкості створює вагомі передумови до подальшої комерціалізації органічних сонячних елементів [4].

У цьому контексті перспективним є розробка і дослідження нових гетероструктур для сонячних елементів, типу "фталоціанін ванадію-фулерен" (VOPc-C₆₀) (рис.1).

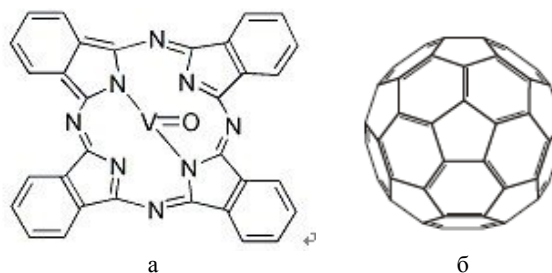


Рис. 1. Молекулярна структура VOPc (а), C₆₀ (б).

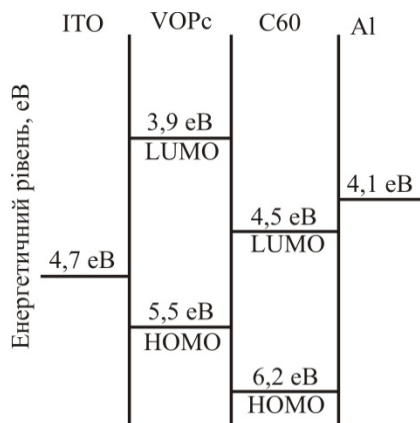


Рис. 2. Енергетична діаграма гетероструктури ITO/VOPc/C₆₀/Al.

Одним із важливих параметрів органічних сонячних елементів є напруга холостого ходу U_{oc} . Цей параметр визначається контактною різницею потенціалів (різницею енергій між рівнем верхньої вакантної молекулярної орбіталі (НОМО) донора та рівнем нижньої зайнятої молекулярної орбіталі (LUMO) акцептора) [5]. Поєднання VOPc в якості донора та C₆₀ в якості акцептора дає високе значення напруги холостого ходу 1В (рис.2) [6]. Крім того дані матеріали володіють співмірними значеннями довжини вільного пробігу екситонів [7], що забезпечує високе значення іншого важливого параметру сонячного елемента – струму короткого замикання I_{sc} .

Метою даної роботи є формування гетероструктури ITO/VOPc/C₆₀/Al і дослідження її імпедансних і фотовольтаїчних властивостей для створення високоефективних органічних сонячних елементів.

Експериментальна частина

Методом термовакuumного напилення створено експериментальну гетероструктуру. Плівки VOPc, C₆₀ поетапно наносили на скляну підкладку (при температурі 300 К) з електропровідним покриттям ІТО (*Indium tin oxide*) при залишковому тиску, що не перевищував 10^{-3} Па. Швидкість напилення становила 0,8 і 0,5 нм/с, відповідно, плівок VOPc і C₆₀. На поверхні структури сформовано плівку Al товщиною 200 нм для забезпечення верхнього контакту гетероструктури (рис. 3).

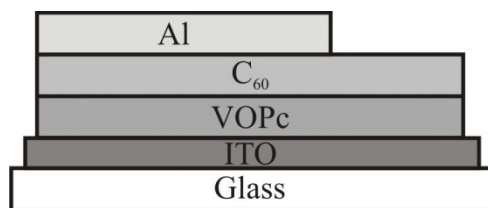


Рис. 3. Схематичне зображення гетероструктури ITO/VOPc/C₆₀/Al.

Вольт-амперні та імпедансні характеристики досліджувались за допомогою гальваностатичного електронного блоку і програмного забезпечення *Autolab Software*. Для отримання ВАХ використовувався програмний пакет *GPES*. Світлова ВАХ була отримана під дією оптичного випромінювання гетеропереходу ксеноновою лампою при освітленні 75 мВ/см^2 . Імпедансні характеристик досліджувались на основі програмного пакету *FRA*. Частотний діапазон вимірювання становив $1\text{-}10^6$ Гц. Моделювання еквівалентної схем пристрою під дією світла проводилось за допомогою програмного забезпечення *ZView2*.

Результати та обговорення

На рис. 4 наведено світлову і темнову вольт-амперні характеристики гетероструктури ITO/VOPc/C₆₀/Al.

Аналіз світлової ВАХ показав наявність напруги холостого ходу $U_{oc}=1,1 \text{ В}$ і струм короткого замикання $I_{sc}=2,5 \text{ мА/см}^2$, фактор заповнення $FF=0,36$, к.к.д.=1,4%.

На рис.5 наведені результати імпедансних досліджень ITO/VOPc/C₆₀/Al під впливом оптичного випромінювання.

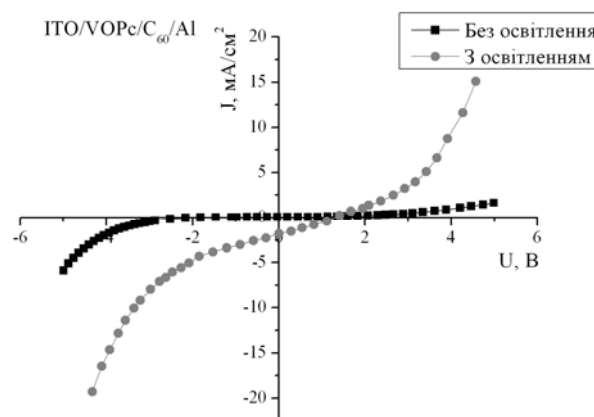


Рис. 4. Темнова і світлова ВАХ гетероструктури ITO/VOPc/C₆₀/Al.

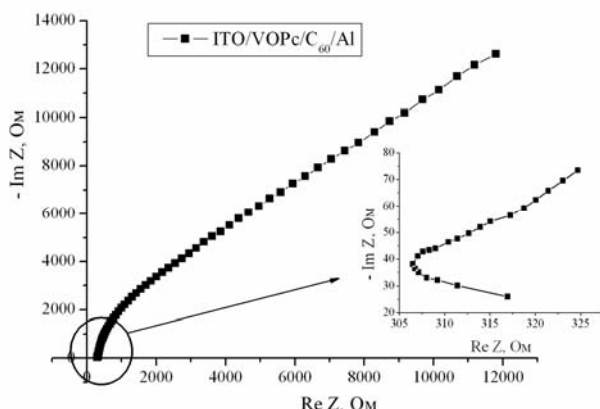


Рис. 5. Діаграма Найквіста гетероструктури ІТО/VOPc/C₆₀/Al під впливом оптичного випромінювання.

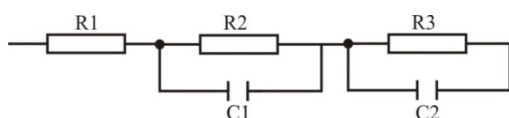


Рис. 6. Еквівалентна схема гетероструктури ІТО/VOPc/C₆₀/Al.

Діаграма Найквіста гетероструктури ІТО/VOPc/C₆₀/Al характеризується двома півколами.

Комп'ютерна параметрична ідентифікація гетероструктури наведена на рис.6, показала, що резистор $R1=306$ Ом визначає величину опору електричних контактів структури.

На низьких частотах основна напруга падає на ділянці $R2||C1$ ($R2=3,1$ кОм), що характеризує процеси релаксації в області об'ємного просторового заряду на межі поділу між VOPc і C₆₀. Із збільшенням частоти ємність переходу шунтує протікання струму через бар'єр, відповідно, впливом першої ланки можна знехтувати. Домінуючу роль починає відігравати $R3||C2$ -ланка ($R3=43$ кОм), яка відповідає за процес стрибкової провідності по локалізованих станах поблизу рівня Фермі.

Висновок

Методом термовакuumного наплення отримано органічну фоточутливу гетероструктуру ІТО/VOPc/C₆₀/Al, що характеризується $U_{oc}=1,1$ В та $I_{sc}=0,025$ мА/см², $FF=0,36$, к.к.д.=1,4%. Аналіз діаграми Найквіста гетероструктури вказує на домінування стрибкового механізму перенесення зарядів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kippelen B., Yoo S., Domercq B. et al. Organic photovoltaics based on self-assembled mesophases // Liquid Crystals. – 2003. – **76**. – P.431-434.
2. Dennler G., Sariciftci N.S. Flexible conjugated polymer-based plastic solar cells: from basics to applications // Proceeding of the IEEE. – 2005. – **93**. – P.1429-1439
3. Kim J.Y., Lee K., Coates N.E. et al. Efficient tandem polymer solar cells fabricated by all-solution processing // Science. – 2007. – **317**. – P.222-225
4. Паращук Д.Ю., Кокорин А.И. Современные фотоэлектрические и фотохимические методы преобразования солнечной энергии // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2008. – **LI**(6). – С.107-117.
5. Wurfel P. Physics of solar cells. – Weinheim: Wiley-VCH, 2005.
6. Yan D., Wang H., Du B. Introduction to organic semiconductor heterojunctions. – Weinheim: Wiley-VCH, 2010.
7. Gommans H., Verreet B., Rand B.P. et al. On the role of bathocuproine in organic photovoltaic cells // Adv. Funct. Mater. – 2008. – **18**. – P. 3686-3689.