

УДК 621.383.51

О.А. Прищепа, студентка гр.ПН-з71мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРОННОГО ПОМНОЖУВАЧА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЛЮМІНІСЦЕНТНИХ ДЕФЕКТІВ КРЕМНІЄВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Анотація. В роботі представлено результати досліджень дефектів кремнієвих сонячних елементів, яким притаманний ефект світіння у видимому діапазоні при подачі зворотної напруги, на основі застосування фотоелектронного помножувача. Розроблено лабораторний стенд та отримано залежність вихідного сигналу фотоелектронного помножувача від імпульсної напруги на сонячному елементі.

Ключові слова: сонячний елемент, фотоелектронний помножувач, електролюмінесценція.

ВСТУП

Електролюмінесценцію збуджують в деяких дефектах кремнієвих кристалічних пластин при подачі на них зворотної напруги від 4 до 20 В [1]. Дані дефекти виникають на етапах виготовлення фотоелектричних сонячних батарей, зокрема при нанесенні алюмінієвих шин на поверхню сонячного елемента. Особливістю світіння дефектів є видимий діапазон випромінювання та малі розміри (від 1 до 20 мкм). Дослідження видимих електролюмінісцентних дефектів сонячного кремнію досі було зосереджено на передпробійному типі випромінювання, яке виникає при критично високих напругах (до 30 В і вище), має значно більший розмір осередків світіння (від 100 до 1000 мкм і більше).

На нашу думку, причиною люмінесценції в нашому випадку є тунельний ефект в поверхневому нано-шарі кремнію. Дослідження цього явища має науковий інтерес з точки зору вдосконалення технології виготовлення фотоелектричних сонячних батарей (ФЕСБ), а також створення нових світлодіодних структур.

КОРОТКИЙ ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Виявлення видимих електролюмінісцентних дефектів сонячних елементів, їх візуалізація, вимірювання їх параметрів та характеристик є предметом наукових досліджень кафедри НАЕПС [2-4]. Зокрема, були досліджені телевізійним методом мікродефекти ФЕСБ потужністю 30 Вт, для чого на неї подавали високу зворотну напругу в 1000 В від спеціально розробленого каскадного джерела живлення. У виробництві використовують даний режим при тестових випробуваннях ФЕСБ на появу деградації після 72 годин тримання під високою напругою (Power Induced Degradation Test – PID-Test) [5-6].

Електролюмінесценція дефектів кремнієвих сонячних елементів у інфрачервоному діапазоні випромінювання досліджується в роботах [7-9].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основним методом збудження дефектів в кристалічних кремнієвих сонячних пластинах і елементах є пропускання через них зворотного темного струму. При цьому окрім їх нагрівання внаслідок виділення тепла Джоуля

відбувається також світіння мікродефектів у видимому діапазоні випромінювання. Для дослідження даних дефектів був розроблений та виготовлений лабораторний стенд (Рис. 1) на основі фотоелектронного помножувача (ФЕП).

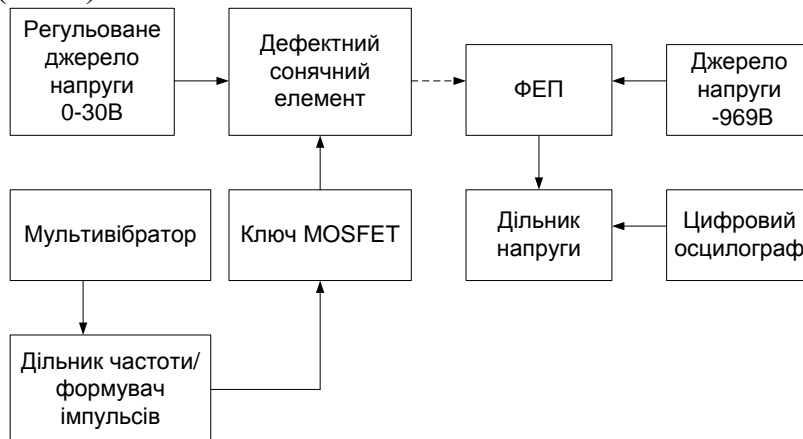


Рисунок 1. Лабораторний стенд для дослідження люмінесцентних мікродефектів кремнієвих сонячних елементів: використано ФЕП типу 86 та MOSFET типу IPF1010N

Для лабораторного стенду (Рис. 1) було спеціально розроблене та виготовлене високовольтне джерело стабілізованої напруги -969 В, яку подають на систему катодів ФЕП. При цьому нестабільність напруги дорівнює $\pm 1\text{В}$ або $\pm 0,1\%$. На дільнику напруги вимірюють анодний струм ФЕП за допомогою цифрового осцилографа Tektronix TDS1002. Осцилограми зберігають у пам'яті типу Flash у вигляді рисунків або таблиць Excel, що дозволяє надалі обробляти результати вимірювань на персональному комп'ютері. Для відокремлення постійної складової сигналу застосовано імпульсну модуляцію протікання струму через сонячний елемент. Коло модуляції утворюють несиметричний мультивібратор та дільник частоти на 10 із формуванням імпульсів частотою 700 Гц та шпаруватістю 10. Транзисторний ключ (MOSFET) подає імпульсну зворотну напругу на дефектний сонячний елемент.

Сонячний елемент захищено подвійним екраном. Подвійне екранування дозволило позбавитись фонового засвічування ФЕП і прилад на виході почав видавати сигнал виключно від джерела світіння – мікродефекту сонячного елементу (Рис. 2).

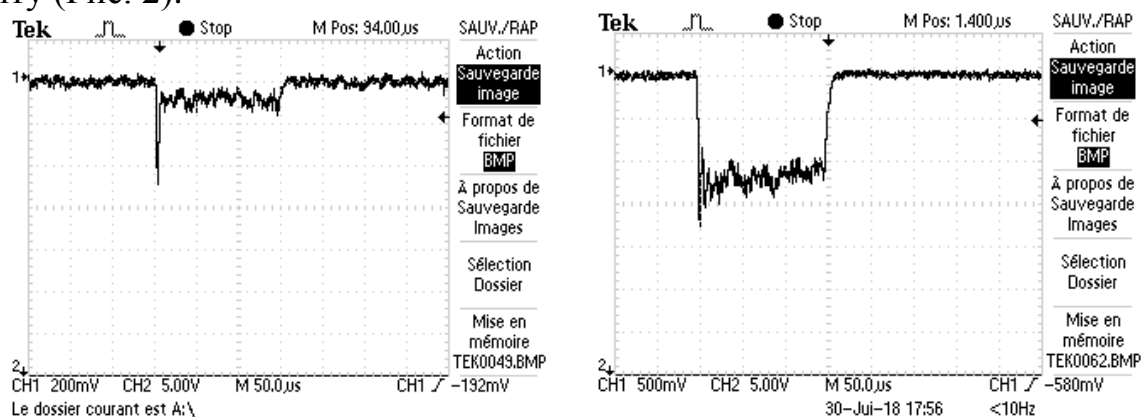


Рисунок 2. Осцилограми вихідного сигналу ФЕП при різному значенні імпульсної зворотної напруги на сонячному елементі: а) 6 В; б) 10 В

За результатами вимірювань була отримана залежність напруги на резистивному дільнику з виходу ФЕП, яка пропорційна до фотоструму, від імпульсної напруги на сонячному елементі (Рис. 3).

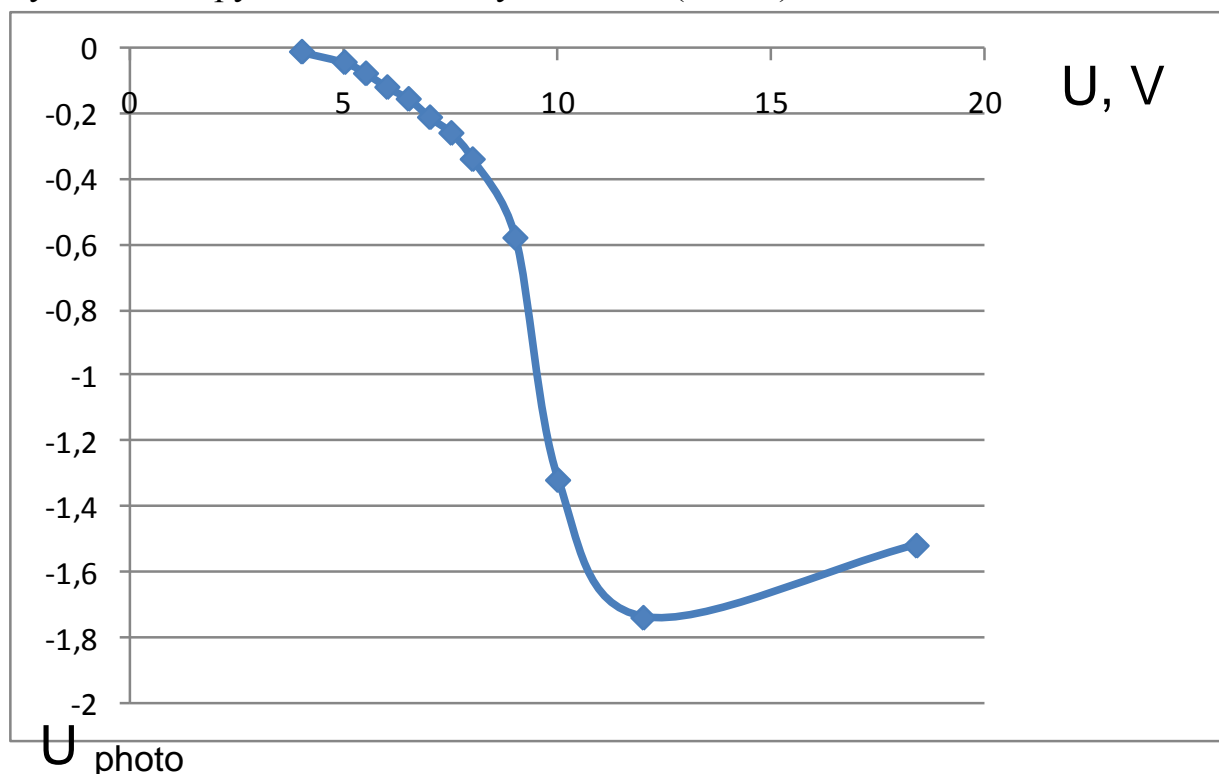


Рисунок 3. Залежність вихідної напруги ФЕП (яка є пропорційна до фотоструму) від імпульсної напруги на сонячному елементі

В залежності (Рис. 3) доводить наявність порогу світіння (приблизно 4,5 мікродфекту кремнієвого сонячного елементу, а також ефекту насичення світіння при напругах, які більші за 12 В. Зазначимо, що фотострум ФЕП лінійно залежить від світлового потоку джерела випромінювання.

Наступні дослідження мають бути зосереджені на визначенні світлової віддачі мікродфекту, який по суті утворює при поданні зворотної напруги, тунельну світлодіодну структуру.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень був розроблений лабораторний стенд для фотоелектричних вимірювань параметрів випромінювання електролюмінісцентних дефектів кремнієвих сонячних елементів у видимому діапазоні. Стенд має підвищений захист від засвічування у вигляді подвійного екрану. Це дозволило практично позбавитись від фонового сигналу. Виявлено поріг ефекту та зону насичення в результаті аналізу отриманої залежності вихідного сигналу фотоелектронного помножувача від величини імпульсної зворотної напруги на сонячному елементі.

Наступні дослідження дефектів дозволять керувати процесом утворення дефектів з метою отримання нових вискоефективних світлодіодних структур.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Попов В.М. Локальные свойства электрически активных дефектов в солнечных батареях на основе кремния. /В.М. Попов, А.С. Клименко, А.П. Поканевич, Ю.М. Шустов, И.И. Гаврилюк, А.И. Панин. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре, №4. – 2010. – С.43– 48.
2. Порев В.А. Исследование люминесцирующих дефектов солнечных панелей [Текст] /В.А. Порев, Р.И. Пахалюк, К.М. Божко //Известия академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. –2014. –№1. – С. 11-14.
3. Пахалюк Р.І. Візуалізація дефектів кремнієвих фотоелектричних сонячних батарей [Текст] /Р.І. Пахалюк, К.М.Божко //Вісник НТУ “ХПІ”. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси – 2014. – Вип. 40. – С. 3 – 7.
4. Bozhko K. The role of the solar power industry in sustainable development of society. [Текст] /K. Bozhko. //Sustainable Development: Social and Economic Changes. Monograph. – Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. – 2016. – P. 36 – 42.
5. Fraunhofer ISE. Jahresbericht 2014/15 [Текст] . – Freiburg: Fraunhofer Publ. – 2015. – 156 p.
6. Luque A. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering [Текст] /A. Luque, S. Hegedus . – New York.: Wiley. – 2003. – 1180 p.
7. Haunschild J. Fast series resistance imaging for silicon solar cells using electroluminescence. /J. Haunschild, M. Glatthaar, M. Kasemann and others // Phys. Stat. Sol. RRL. – 2009. – № 3. – P. 227 – 229.
8. Breitenstein O. Quantitative evaluation of electroluminescence images of solar cells. /O. Breitenstein, A. Khanna, Y. Augarten and others //Phys. Stat. Sol. RRL. – 2010. – № 4. – P. 7 – 9.
9. Wang Y. Research to the typical defects of crystalline silicon photovoltaic cells based on EL images /Y. Wang, Z. Haipeng, S. Dengyan. International Journal of Energy Sciens (IJES), 2013, Vol. 3 – Is 3. – P. 200 – 204.

Наук. керівник – к.т.н., ст.викладач, Божко К.М.