

# ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ ĐẾN TÍNH CHẤT QUANG ĐIỆN CỦA MÔĐUN PIN MẶT TRỜI

## THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE DARK PROPERTIES OF PHOTOVOLTAIC SOLAR MODULES

Nguyễn Thế Vinh\*, Trần Ngân Hà

### TÓM TẮT

Các đặc điểm thuận nghịch của cường độ dòng điện - điện áp (I-V) và điện dung - điện áp (C-V) của các môđun pin mặt trời silicon vô định hình đã được đo đạc nhằm nghiên cứu hiệu suất của chúng dưới ảnh hưởng của sự thay đổi nhiệt độ do tiếp xúc trực tiếp với nguồn nhiệt hoặc bị che khuất. Nhiệt độ môđun tác động trực tiếp đến cường độ dòng rò thuận nghịch. Các điểm hư hại và quá nhiệt của môđun năng lượng mặt trời, liên quan đến hiệu ứng nhiệt, cũng được ghi lại và thảo luận. Bằng chứng thực nghiệm cho thấy các mức nhiệt độ khác nhau được xác nhận là yếu tố suy giảm chính ảnh hưởng đến hiệu suất, hiệu quả và năng lượng của pin mặt trời.

**Từ khóa:** Pin/môđun mặt trời, silicon, nhiệt độ, đặc tính cường độ - điện áp, đặc tính điện dung - điện áp.

### ABSTRACT

Forward and reverse dark current-voltage (I-V) and capacitance-voltage (C-V) characteristics of commercial amorphous silicon solar modules were measured in order to study their performance under the influence of temperature changes due to direct exposure to heat or to shading. Applied module temperatures were directly related to the amount of each of the forward and reverse leakage currents, respectively. Hot spots defects and overheating of the solar module, linked to thermal effects, were also documented and discussed. Experimental evidence showed that different levels of temperatures are confirmed to be a major degrading factor affecting the performance, efficiency, and power of solar cells and modules.

**Keywords:** Solar cells/modules, silicon, temperature, current - voltage characteristics, capacitance - voltage characteristics.

Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

\*Email: vinhnt@qui.edu.vn

Ngày nhận bài: 05/4/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 30/5/2019

Ngày chấp nhận đăng: 10/6/2019

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Pin năng lượng mặt trời có thể được coi như là một diốt với vùng tiếp giáp silicon p-n diện tích lớn hơn với điện áp quang 0,6V, được tạo ra bởi sự lệch vị trí của các electron như một kết quả của các photon tới. Mặt khác, khi xem xét kiến trúc của toàn bộ một hệ thống cảm biến quang điện, panel hay nguồn, pin quang điện gồm nhiều khối, chúng

có thể được sắp đặt vào các tổ hợp khác nhau, trong chuỗi và/hoặc song song với nhau để đạt được điện áp và cường độ theo yêu cầu về công suất phát và đặc tính của tải. Mỗi một môđun là một khối cơ bản của hệ thống năng lượng mặt trời. Môđun có thể được sắp xếp theo nhóm để tạo thành một tấm panel mặt trời. Khi được kết nối theo chuỗi để đạt được điện áp cao hơn, các môđun được gọi là chuỗi năng lượng mặt trời; các chuỗi này được nhóm song song với nhau để đạt mức năng lượng cao hơn sẽ tạo nên mảng năng lượng mặt trời.

Trong một máy phát quang điện cỡ lớn, đa phần pin quang điện thương mại được tạo nên từ các vật liệu bán dẫn silicon màng mỏng đơn tinh thể, đa tinh thể và vô định. Tính chất vật lý và điện của silicon bán dẫn vô cùng nhạy cảm với nhiệt độ và sự thay đổi của nó. Các kết quả thí nghiệm [1, 2, 3, 5] cho thấy rằng, tính chất và hiệu quả của môđun quang điện bị ảnh hưởng mạnh mẽ bởi sự thay đổi nhiệt độ. Khi nhiệt độ của một môđun tăng lên, dòng điện ngắn mạch  $I_{sc}$  tăng nhẹ, trong khi điện áp mạch hở  $V_{oc}$  giảm đáng kể trong đường cong I-V [6, 7]. Theo đó, sự thay đổi trong tính chất I-V ở mức nhiệt cao hơn sẽ làm giảm đi năng lượng đầu ra tối đa  $P_{max}$  của môđun. Thông thường, thay đổi trong thông số quang điện được trình bày theo giá trị dương hoặc âm hoặc tỷ lệ phần trăm trên mỗi độ C [8]. Trình bày định lượng các hiệu ứng nhiệt độ trên các thông số quang điện cho thấy dòng quang điện tăng lên theo nhiệt độ tại  $0,1\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  do sự giảm độ rộng vùng hạn chế nhiệt của pin mặt trời và điện áp hở mạch giảm ở  $2\text{mV}^\circ\text{C}^{-1}$  trong khoảng từ 20 đến  $100^\circ\text{C}$  không chỉ bởi sự giảm độ rộng vùng hạn chế mà còn do sự gia tăng của dòng bão hòa. Hại hiệu ứng này dẫn đến sự suy giảm  $0,35\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  trong mức năng lượng tối đa có thể đạt được như tài liệu tham khảo [9]. Các thông số này sau đó được phân tích để đạt được cái gọi là nhiệt độ tới hạn của một môđun quang điện nhất định, theo đó nó có thể hoạt động trong điều kiện làm việc được tối ưu hóa.

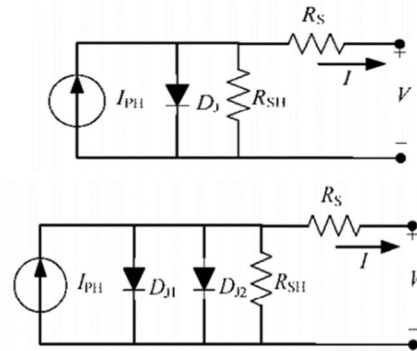
Nhiệt độ và những thay đổi của nó trong môđun quang điện là đặc trưng của nhiều yếu tố bên ngoài và bên trong như nhiệt độ môi trường, độ ẩm, dòng ngược và nhiều yếu tố khác liên quan đến điều kiện hoạt động. Một loạt các bài kiểm tra tiêu chuẩn được phát triển để xác định và đo lường những thay đổi này [10], ví dụ như: đo lường hệ số

hiệt độ, đo nhiệt độ pin hoạt động danh nghĩa (NOCT), hiệu quả của pin được thử nghiệm trong điều kiện thử nghiệm tiêu chuẩn (STC) và (NOCT), khi chiếu xạ thấp hoặc phơi ngoài trời. Một vài các thông số khác của pin thường được xem xét là độ bền tới hạn, tiếp xúc với tia cực tím, chu kỳ nhiệt, độ ẩm và nhiệt ẩm. Danh sách này không kiểm tra toàn diện và các thử nghiệm khác có thể được thực hiện trên đặc tính pin, đặc biệt là khi cần nhắc các yếu tố môi trường của pin, chẳng hạn như các diodes nối tắt và các đặc tính nhiệt của chúng. Thiết kế và phê duyệt kiểu của môđun phải tuân thủ yêu cầu của các tiêu chuẩn IEC 61215:2005/IEC 61646:2008, và ASTM E11771 [10]. Các phân tích sâu rộng và các thử nghiệm về đặc tính I-V của pin mặt trời và môđun vẫn còn thiếu sót nhưng cần thiết, vì các phép đo dữ liệu I-V cung cấp thêm thông tin chức năng về tế bào và môđun cho mục đích chẩn đoán. Sự đóng góp dòng điện tập trung vào phép đo định lượng thực nghiệm về tác động của sự thay đổi nhiệt độ cùng với các hiệu ứng nhiệt khác do dòng điện ngược được chọn, trên các đặc tính I-V. Điều này được thực hiện bằng cách áp dụng các mức nhiệt độ tăng dần, có và không có hiệu ứng dòng điện ngược theo hướng dòng điện tử ngược của các môđun năng lượng mặt trời được thu thập. Mục đích của phương pháp thử nghiệm này, đi kèm với mô hình hóa các hiện tượng, là mô phỏng sự quá nhiệt có hại và sự phân cực ngược ảnh hưởng đến môđun trong một khoảng thời gian nhất định. Các kết quả và thảo luận sau đây sẽ làm rõ ảnh hưởng của sự thay đổi nhiệt độ đến đặc tính vật liệu và đóng góp cho các nghiên cứu khoa học và kỹ thuật về việc cải thiện hiệu quả của pin mặt trời quang điện.

**2. THÍ NGHIỆM**

Để mô tả các tác động nhiệt đến các tính quang điện, các môđun năng lượng mặt trời quang điện, làm từ silicon vô định hình phổ biến trên thị trường. Các môđun di động này được xây dựng với bốn ô nối tiếp với một môđun có kích thước 1,1 x 13,7 x 35,1 mm; bảng thông số kỹ thuật của môđun cung cấp các thông số kỹ thuật sau trong điều kiện thử nghiệm 200 lx và ở 25°C:  $V_{op} = 1,5\text{ V}$ ,  $I_{op} = 11,5\ \mu\text{A}$ ,  $V_{oc} = 2\text{ V}$ ,  $I_{sc} = 14\ \mu\text{A}$  và  $P = 17,25\ \mu\text{Watt}$ , với đường nối tiếp giáp n - p. Cả hai mối nối cuối đều được hàn bạc để đảm bảo khả năng dẫn dòng tốt nhất và giảm tổn thất. Trong các thí nghiệm, năm mức nhiệt độ 25°C, 50°C, 75°C, 100°C và 150°C đã được tác động vào môđun trong buồng kín được cách nhiệt. Hiệu ứng nhiệt độ được tiến hành gián tiếp đến các tế bào quang điện. Các đặc tính quang điện của I-V và C-V được đo trong 10 phút sau khi ổn định ở mức nhiệt độ đã cho trong tám lần liên tiếp. Đầu dò kỹ thuật số nhiệt độ theo dõi nhiệt độ bề mặt của môđun trong suốt thí nghiệm. Mục đích chính của nghiên cứu là phân tích hiệu suất của môđun quang điện bằng cách xem xét ảnh hưởng của nhiệt độ tương tự như các hư hại làm suy giảm các hệ số; do đó, điều quan trọng cần lưu ý là các phép đo I-V được thực hiện trong bóng tối thay vì dưới ánh sáng. Các phép đo I-V cung cấp thông tin quan trọng về các đặc tính bên trong của các tế bào quang điện được coi là một tiếp giáp p-n. Nó tránh các tác động trực tiếp và gián tiếp của

các dao động ánh sáng tại nguồn của các chất quang điện và biến động nhiệt độ, ảnh hưởng cuối cùng là nguồn gây nhiễu trong các phép đo điện.



Hình 1. Mạch tương đương của một tế bào quang điện

Các mô hình dựa trên mạch tương đương như vậy chủ yếu được sử dụng cho theo dõi điểm công suất tối đa (MPPT). Mạch tương đương của mô hình chung được biểu thị trong hình 1, bao gồm một dòng quang, một diốt, một điện trở song song biểu thị một dòng rò và một điện trở nối tiếp mô tả điện trở trong. Mô hình một diốt cổ điển của pin mặt trời là không đủ và không có giá trị để xử lý các vấn đề về dòng điện ngược, hiệu ứng nhiệt độ và hiệu ứng bóng râm hoặc một phần trên các tế bào. Một mô tả toán học chính xác hơn về pin mặt trời, được gọi là mô hình hàm mũ, được suy ra từ các trạng thái vật lý của pin mặt trời silicon đa tinh thể. Mô hình này bao gồm hai diốt D1 và D2 [6], nó cho phép xem xét độ khuếch tán ngược mật độ dòng bão hòa  $J_{01}$  và dòng bão hòa ngược tái tổ hợp  $J_{02}$ , tương ứng, một điện trở nối tiếp  $R_s$  và điện trở  $R_{SH}$  được tính đến trong tính toán cùng với hệ số lý tưởng tiếp giáp A. Dữ liệu đầu vào được đưa vào phần mềm được thiết kế đặc biệt để thực hiện các phép tính số dựa trên mô hình hàm mũ của tiếp giáp p-n được xây dựng theo phương trình sau của tổng dòng điện I:

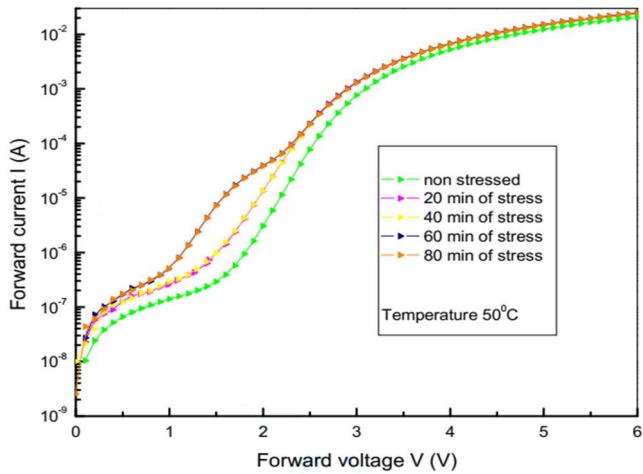
$$I = J_{01} \left[ \exp\left(\frac{V - R_s \cdot I}{V_T}\right) - 1 \right] + J_{02} \left[ \exp\left(\frac{V - R_s \cdot I}{AV_T}\right) - 1 \right] + \left(\frac{V - R_s \cdot I}{R_s}\right) \tag{1}$$

Trong phương trình (1), V và  $V_T = kT/q$  lần lượt là các điện áp tế bào và nhiệt, với T nhiệt độ làm việc của tế bào; Q là điện tích cơ bản  $Q = 1,602177 \cdot 10^{-19}$  (C) và k là hằng số của Boltzmann,  $k = 1,380662 \cdot 10^{-23}$  (J/K).

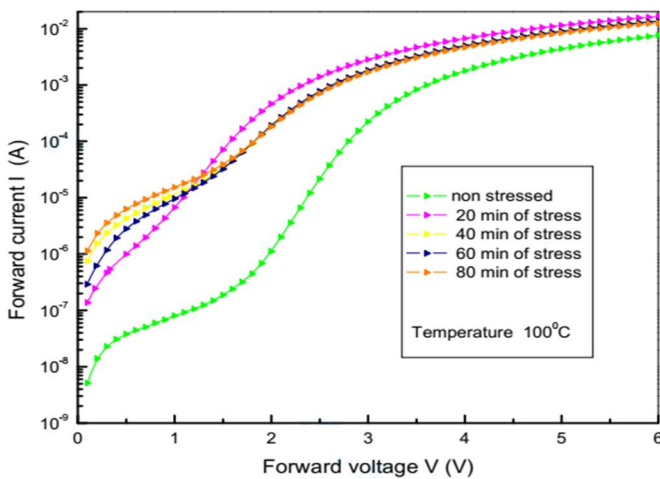
**3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

Một pin mặt trời trong bóng tối có thể coi như là hai diốt. Hình 2a và 2b là các đặc tính I-V thu được bằng thực nghiệm trên môđun được thử nghiệm ở hai nhiệt độ 50°C (hình 2a) và 100°C (hình 2b) đóng vai trò là tác động nhiệt. Năm đường cong được thể hiện trên mỗi con số. Lần đầu tiên được ghi lại tại thời điểm ban đầu ( $t = 0$ ) và các lần khác tại thời điểm khác nhau của tác động ( $t = 20, 40, 60, 80$  mn). Các đặc điểm được đưa ra trên quy mô bán logarith. Quan sát những thay đổi đáng kể khác nhau giữa các đặc

tính thu được ở một nhiệt độ nhất định và giữa đường đặc tính ở hai nhiệt độ khác nhau.



a)



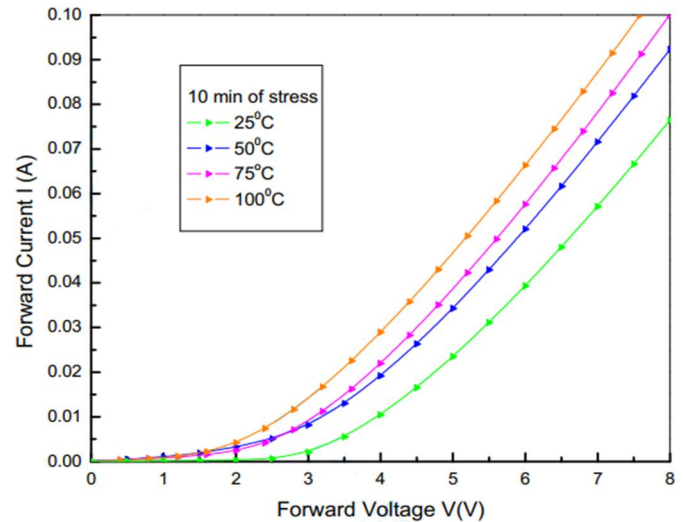
b)

Hình 2. Đặc điểm I-V của môđun quang điện dưới tác động nhiệt, I được trình bày theo thang đo logarith: a) Ở nhiệt độ 50°C; b) Ở nhiệt độ 100°C

Xem xét so sánh đầu tiên được đề cập ở trên, ở nhiệt độ cố định 50°C (hình 2a) và 100°C (hình 2b), quan sát trong cả hai hình, trong các đặc điểm I-V có hai khu vực chính có thể liên kết với những thay đổi đáng kể trong các cơ chế dẫn. Vùng đầu tiên nằm trong phạm vi điện áp rất nhỏ từ 0,1-2V tương ứng với  $V_{OC}$  của môđun như được đưa ra bởi nhà sản xuất. Vùng thứ hai là vùng kéo dài từ khoảng 2V đến điện áp đo tối đa là 6V. Hai vùng này có thể được giải thích bằng sự rò rỉ dòng khuếch tán trong môđun, đó là kết quả của sự thay đổi tốc độ tái hợp điện tích ở các bề mặt chất bán dẫn. Điều quan trọng cần lưu ý là mô hình trong các kết quả hiệu ứng nhiệt độ dường như tương tự với kết quả đạt được bằng các kết quả dòng ngược trước đó.

Bây giờ, xem xét so sánh thứ hai của các kết quả thí nghiệm như được đề xuất ở trên như đặc trưng của nhiệt độ, được trình bày đầy đủ cho hai cấp nhiệt độ 50 và 100°C ở hình 2a và 2b. Việc dần dần thay đổi nhiệt độ lên trên 25°C đã gây ra lượng rò rỉ dòng bắt đầu tăng lên và liên tục từ khoảng thời gian 10 phút đầu tiên của thí nghiệm và tiếp

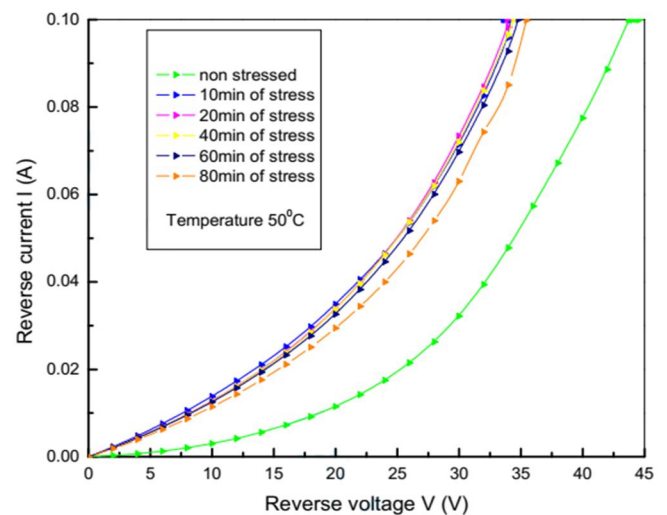
tục với mẫu này lên đến 80 phút. Rò rỉ dòng điện này bắt đầu từ thứ tự  $10^{-8}$ A cho nhiệt độ 50°C và tăng dần từ  $10^{-7}$  đến  $10^{-6}$ A cho nhiệt độ 100°C.



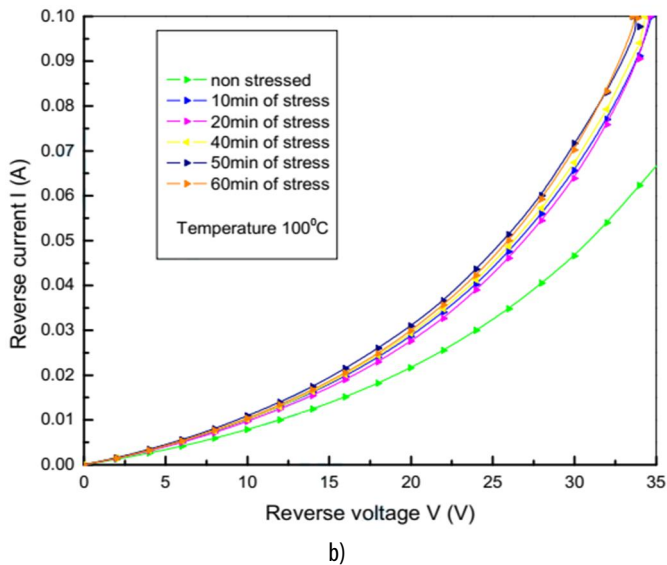
Hình 3. Đặc tính I-V của môđun quang điện dưới tác động của nhiệt độ trong 10 phút

Những thay đổi bắt đầu xảy ra đối với các đường cong được ghi lại cho thấy thiệt hại càng nghiêm trọng hơn, do ảnh hưởng của nhiệt độ đã xảy ra đối với pin mặt trời. Hiệu ứng này được thực hiện trong một thời gian đủ ngắn, cho đến khi điện áp khuếch tán bắt đầu giảm đáng kể, khiến môđun hoạt động với công suất và hiệu suất thấp hơn.

Để hoàn thành phân tích kết quả về ảnh hưởng của sự thay đổi nhiệt độ đến các đặc tính chuyển tiếp của môđun quang điện, dòng điện thuận được vẽ so với điện áp thuận trong hình 3, sử dụng thang đo tuyến tính, trong cùng khoảng thời gian hiệu suất và các khoảng nhiệt độ khác nhau. Quan sát hình 3 thấy rằng, với một điện áp nhất định, dòng điện thuận tăng theo nhiệt độ. Điều này chủ yếu do sự rò rỉ dòng điện, xảy ra ở điện áp hoạt động thấp hơn khi nhiệt độ tác động tăng lên, do sự gia tăng hoạt tính của các phân tử trong vật liệu và lớp tiếp giáp.



a)

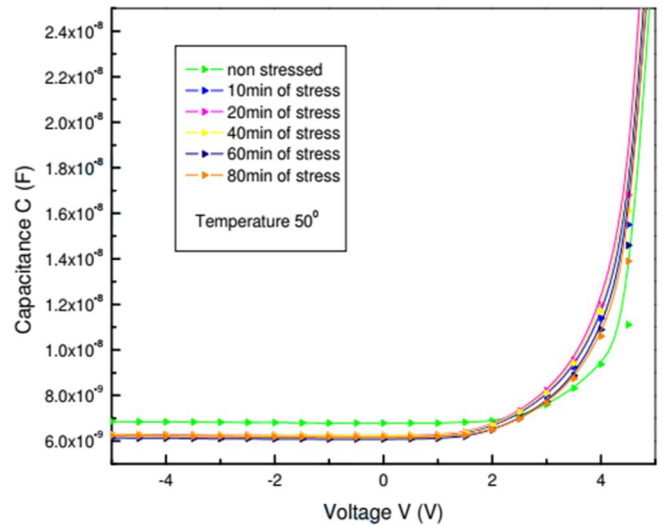


Hình 4. Đặc tính I-V ngược của môđun quang điện dưới tác động của nhiệt độ: a) Ở nhiệt độ 50°C; b) Ở nhiệt độ 100°C

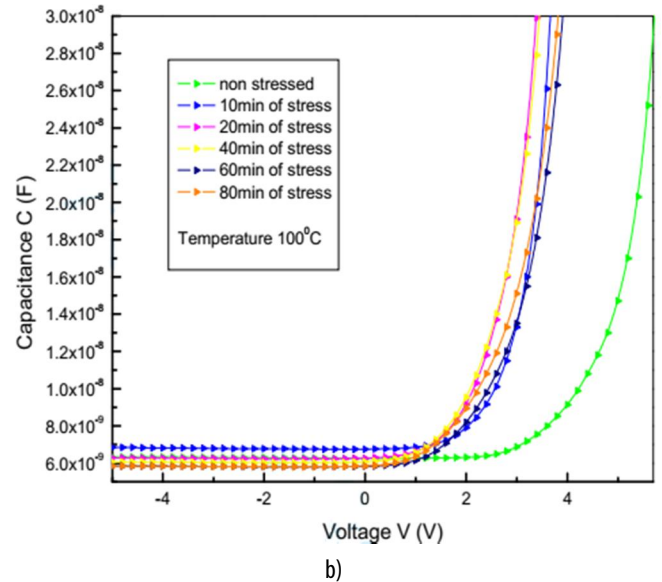
Hình 4a và 4b trình bày về các đặc tính ngược của các môđun được thử nghiệm dưới tác động nhiệt độ với các giá trị tương ứng 50°C và 100°C, được vẽ theo tỷ lệ tuyến tính. Những đường cong này cũng tương tự với các cấp nhiệt độ khác. Ở đây, các đường cong của dòng điện ngược tăng giá trị cao hơn ngay từ khi bắt đầu chịu tác động của nhiệt độ, so với giá trị ban đầu khi chưa chịu tác động của nhiệt độ. Sự thay đổi này đi chệch hướng và duy trì trong một phạm vi nhất định khi thời gian chịu tác động tăng lên. Sự gia tăng đáng kể của dòng điện ngược này đã được quan sát thấy sau 10 phút chịu tác động, đó là thời gian đủ để tạo ra các hiệu ứng nhiệt cần thiết và sau đó biến đổi này trở nên nhỏ hơn trong các giai đoạn tiếp theo đến một mức độ nhất định được coi là có giá trị không đáng kể. Điều này là do sự suy giảm của các hiệu ứng nhiệt độ đối với hiệu suất của pin hoặc môđun, tạo ra một ảnh hưởng đáng kể ngay từ đầu. Ở đây, một vài phần của môđun được nung nóng hoặc thậm chí bị đốt cháy (tùy thuộc vào nhiệt độ tác động) để tạo thành một kênh dẫn dòng nơi các điện tích thoát qua các điểm giới hạn này một khi chúng được tạo ra, mà không làm hỏng các khu vực khác. Đây là lý do tại sao thời gian chịu tác động lâu hơn nhưng sự phá hỏng không tăng lên, tuy nhiên trên thực tế, mặc dù dòng ngược đang tăng theo thời gian, nhưng dường như các lớp tiếp giáp đang duy trì và các điểm bị cháy không rõ ràng đủ dòng điện ngược. Điều quan trọng cần lưu ý là các hiệu ứng nhiệt độ có thể đảo ngược sau khi loại bỏ tác động nhiệt với một số rò rỉ dòng điện, trừ khi xảy ra dòng điện đánh thủng tiếp giáp.

Trong hình 5a, sự thay đổi của các đường cong, tại các thời điểm tác động khác nhau rất nhỏ vì điện dung thay đổi từ khoảng  $6.10^{-9}$  và  $7.10^{-9}$ F đến vô cùng trong khoảng từ -5 V đến +5 V. Nhưng trong hình 5b, thiết bị chịu tác động bởi nhiệt độ cao hơn, sự biến đổi trở nên đáng chú ý hơn vì có dòng rò cao hơn trong môđun ảnh hưởng đến điện dung của nó. Trên thực tế, miễn là điện áp trên môđun nhỏ

hơn điện áp hoạt động, các giá trị điện dung không bị lệch khi không còn tác động. Sau đó, ở nhiệt độ cao hơn, các hiệu ứng nhiệt dường như trở nên rõ ràng khi các đường cong điện dung bắt đầu lệch và tăng mạnh về phía vô cực ở điện áp thấp hơn (khoảng 2V) khi một dòng điện bắt đầu chảy theo chiều thuận.



Hình 5. Đặc tính C-V của môđun quang điện dưới tác động của nhiệt độ: a) Ở nhiệt độ 50°C; b) Ở nhiệt độ 100°C



Hình 5. Đặc tính C-V của môđun quang điện dưới tác động của nhiệt độ: a) Ở nhiệt độ 50°C; b) Ở nhiệt độ 100°C

#### 4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy hiệu suất pin năng lượng mặt trời phụ thuộc đáng kể vào nhiệt độ. Các đặc tính của môđun dưới tác động của nhiệt độ hiển thị bởi các đường đặc tính I - V hay các đường đặc tính C - V được xác định bằng thực nghiệm. Ngoài ra, khi các tấm pin mặt trời chịu tác động của nhiệt độ cao sẽ dẫn đến các hư hại đáng kể cho các tế bào quang điện. Khi đó sẽ xuất hiện các dòng rò ở trong các lớp tiếp giáp. Dòng rò trên môđun ngày càng tăng đủ để có thể quan sát thấy khi các vật mẫu chịu sự tác động của nhiệt lớn dần.

---

**TÀI LIỆU YHAM KHẢO**

[1]. Nordmann, T., & Clavadetscher, L., 2003. *Understanding temperature effects on PV systems performance*. Paper presented at the 3rd world conference on Photovoltaic Energy Conversion, 11-18 May 2003, Osaka, Japan.

[2]. Friesen, G., Zaaiman, W., & Bishop, J., 1998. *Temperature behaviour of photovoltaic parameters*. Proc. of the 2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion, 6-10 July 1998, Wien, Austria.

[3]. Saengprajak, A., & Pattanasethanon, S., 2009. *The low temperature analysis of the used PV modules during on-site generation in Thailand*. Journal of Applied Sciences. 9(22), 3966-3974.

[4]. Sharri, S., Sopian, K., Amin, N., & Kassim, M., 2009. *The temperature dependence coefficients of amorphous silicon and crystalline photovoltaic modules using Malaysian field test investigation*. American Journal of Applied Sciences 6(4), 586-593.

[5]. Özdemir, S. and Dökme, I., & Altındal, S., 2011. *The forward bias current density- voltage-temperature (J-V-T) characteristics of Al-SiO<sub>2</sub>-pSi (MIS) Schottky diodes*. International Journal of Electronics, 98-6, 699-712.

[6]. Taherbaneh M., Rezaie A. H., Ghafoorifard H., Rahimi K., Menhaj M. B., & Milimonfared, J. M., 2011. *Evaluation of two-diode-model of a solar panel in a wide range of environmental conditions*. International Journal of Electronics, 98, 357-377.

[7]. Zegaoui, A., Aillerie, M., Petit, P., Sawicki, J. -P., Charles, J. P., Belarbi, A. W., 2011. *Dynamic behaviour of PV generator trackers under irradiation and temperature changes*. Solar Energy, 85(11), 2953-2964. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2011.08.038>.

[8]. Mahanama, G. D. K., & Reehal, H. S., 2005. *Dark and illuminated characteristics of crystalline silicon solar cells with ECR plasma CVD deposited emitters*. International Journal of Electronics, 92(9), 525-537.

[9]. Andreev, V., Grilikhes, V., & Rumyanstev, V., 1997. *Handbook of photovoltaic science and engineering*. John Wiley and Sons, ISBN: 978-0-471-96765-1, UK.

[10]. Rheinland TÜV., 2009. *Design qualification and type approval of PV modules according to 61215:2005/IEC 61646:2008*. TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH. Renewable Energies, 1-5.

[11]. [www.solar-academy.com/menus/IEC\\_61215\\_61646022540.pdf](http://www.solar-academy.com/menus/IEC_61215_61646022540.pdf)

---

**AUTHORS INFORMATION**

**Nguyen The Vinh, Tran Ngan Ha**

Quang Ninh University of Industry