

TCVN 12678-8-1:2020

IEC 60904-8-1:2017

Xuất bản lần 1

**THIẾT BỊ QUANG ĐIỆN –
PHẦN 8-1: PHÉP ĐO ĐÁP ỨNG PHỔ CỦA
THIẾT BỊ QUANG ĐIỆN NHIỀU LỚP TIẾP GIÁP**

Photovoltaic devices –

*Part 8-1: Measurement of spectral responsivity
of multi-junction photovoltaic (PV) devices*

HÀ NỘI – 2020

Mục lục

Lời nói đầu 4

1 Phạm vi áp dụng..... 5

2 Tài liệu viện dẫn..... 5

3 Thuật ngữ và định nghĩa 6

4 Xem xét chung..... 6

5 Ánh sáng định thiên 6

6 Thiên áp..... 7

7 Trang thiết bị..... 8

8 Phép đo SR 9

9 Hiệu chỉnh SR đo được..... 9

10 Báo cáo..... 14

Thư mục tài liệu tham khảo..... 15

Lời nói đầu

TCVN 12678-8-1:2020 hoàn toàn tương đương với IEC 60904-8-1:2017;

TCVN 12678-8-1:2020 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn Quốc gia TCVN/TC/E13 *Năng lượng tái tạo* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Bộ TCVN 12678 (IEC 60904), Thiết bị quang điện, gồm các phần sau:

- TCVN 12678-1:2020 (IEC 60904-1:2006), Phần 1: Phép đo đặc tính dòng điện-điện áp quang điện
- TCVN 12678-1-1:2020 (IEC 60904-1-1:2017), Phần 1-1: Phép đo đặc tính dòng điện-điện áp quang điện của thiết bị quang điện nhiều lớp tiếp giáp
- TCVN 12678-2:2020 (IEC 60904-2:2015), Phần 2: Yêu cầu đối với thiết bị chuẩn quang điện
- TCVN 12678-3:2020 (IEC 60904-3:2019), Phần 3: Nguyên lý đo dùng cho thiết bị quang điện mặt đất với dữ liệu phổ bức xạ chuẩn
- TCVN 12678-4:2020 (IEC 60904-4:2019), Phần 4: Thiết bị chuẩn quang điện – Quy trình thiết lập liên kết chuẩn hiệu chuẩn
- TCVN 12678-5:2020 (IEC 60904-5:2011), Phần 5: Xác định nhiệt độ tương đương của tế bào của thiết bị quang điện bằng phương pháp điện áp hở mạch
- TCVN 12678-7:2020 (IEC 60904-7:2019), Phần 7: Tính toán hiệu chỉnh sự không phù hợp phổ đối với các phép đo của thiết bị quang điện
- TCVN 12678-8:2020 (IEC 60904-8:2014), Phần 8: Phép đo đáp ứng phổ của thiết bị quang điện
- TCVN 12678-8-1:2020 (IEC 60904-8-1:2017), Phần 8-1: Phép đo đáp ứng phổ của thiết bị quang điện nhiều lớp tiếp giáp
- TCVN 12678-9:2020 (IEC 60904-9:2007), Phần 9: Yêu cầu về tính năng của bộ mô phỏng mặt trời
- TCVN 12678-10:2020 (IEC 60904-10:2009), Phần 10: Phương pháp đo độ tuyến tính

Thiết bị quang điện –

Phần 8-1: Phép đo đáp ứng phổ của thiết bị quang điện nhiều lớp tiếp giáp

Photovoltaic devices –

Part 8-1: Measurement of spectral responsivity of multi-junction photovoltaic (PV) devices

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này đưa ra hướng dẫn đo đáp ứng phổ (SR) của thiết bị quang điện (PV) nhiều lớp tiếp giáp. Về nguyên tắc, tiêu chuẩn này được thiết kế cho các thiết bị không hội tụ, nhưng có thể áp dụng một phần cho các thiết bị PV nhiều lớp tiếp giáp hội tụ. SR được yêu cầu để phân tích đặc tính dòng điện-điện áp đo được của thiết bị PV nhiều lớp tiếp giáp như mô tả trong TCVN 12678-1-1 (IEC 60904-1-1).

Yêu cầu đối với phép đo SR của thiết bị PV một lớp tiếp giáp được đề cập trong IEC 80904-8, trong khi tiêu chuẩn này mô tả các yêu cầu bổ sung đối với phép đo SR của các thiết bị PV nhiều lớp tiếp giáp. Tiêu chuẩn này chỉ xem xét phép đo SR của các lớp tiếp giáp riêng rẽ bên trong thiết bị nhiều lớp tiếp giáp hai cực.

Tiêu chuẩn này có thể áp dụng cho các thiết bị PV được thiết kế để sử dụng dưới bức xạ tập trung nếu chúng được đo mà không có hệ thống quang học hội tụ.

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau đây là cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi.

TCVN 12678-8 (IEC 60904-8), *Thiết bị quang điện – Phần 8: Phép đo đáp ứng phổ của thiết bị quang điện*

TCVN 12678-9 (IEC 60904-9), *Thiết bị quang điện – Phần 9: Yêu cầu về tính năng của bộ mô phỏng mặt trời*

3 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này áp dụng các thuật ngữ và định nghĩa trong IEC TS 61836 và thuật ngữ và định nghĩa dưới đây.

3.1

Tiếp giáp giới hạn dòng điện (current limiting junction)

Lớp tiếp giáp trong một thiết bị quang điện nhiều lớp tiếp giáp trong đó, ở điều kiện chiếu sáng đã cho, tạo ra dòng quang điện thấp nhất.

4 Xem xét chung

Quy trình đối với phép đo đáp ứng phổ (SR) của thiết bị quang điện một lớp tiếp giáp được mô tả chi tiết trong TCVN 12678-8 (IEC 60904-8). Quy trình đối với phép đo đáp ứng phổ (SR) của thiết bị quang điện nhiều lớp tiếp giáp dựa trên cùng nguyên tắc cơ bản, nhưng phức tạp hơn, cụ thể là về yêu cầu đối với ánh sáng định thiên và thiên áp.

Tiêu chuẩn này mô tả các xem xét, yêu cầu và quy trình bổ sung cho các phép đo SR của thiết bị quang điện nhiều lớp tiếp giáp dựa trên các nguyên tắc đo của thiết bị quang điện một lớp tiếp giáp.

Do đó, các quy định trong TCVN 12678-8 (IEC 60904-8) cũng có giá trị đối với phép đo thiết bị quang điện PV nhiều lớp tiếp giáp trừ khi được sửa đổi rõ ràng trong tiêu chuẩn này.

Các thiết bị PV nhiều lớp tiếp giáp bao gồm hai hoặc nhiều lớp tiếp giáp nối tiếp, từng lớp tiếp giáp trong đó đáp ứng trong dải bước sóng ánh sáng khác nhau. Đối với thiết bị PV nhiều lớp tiếp giáp có các đầu nối riêng rẽ, phép đo SR của lớp tiếp giáp riêng rẽ là giống như đối với thiết bị một lớp tiếp giáp như mô tả trong TCVN 12678-8 (IEC 60904-8) sử dụng đầu nối thích hợp.

Quy trình trong tiêu chuẩn này mô tả phép đo SR của thiết bị PV nhiều lớp tiếp giáp hai cực, tức là thiết bị có hai hoặc nhiều tiếp giáp nối tiếp với hai đầu nối điện bên ngoài. Quy trình đo cho phép đo liên tiếp SR của từng lớp tiếp giáp bằng chế độ đặt thích hợp các điều kiện đo sử dụng ánh sáng định thiên (Điều 5) và thiên áp (Điều 6) đúng.

5 Ánh sáng định thiên

Phép đo SR của thiết bị PV một lớp tiếp giáp (TCVN 12678-8 (IEC 60904-8)) đòi hỏi ánh sáng định thiên có thành phần phổ không xác định. Đối với thiết bị quang điện nhiều lớp tiếp giáp, phép đo SR của tiếp giáp cụ thể yêu cầu lớp tiếp giáp này là giới hạn dòng điện. Việc này đạt được bằng cách đặt ánh sáng định thiên vào tất cả các lớp tiếp giáp còn lại trong thiết bị nhiều lớp tiếp giáp sao cho ở mọi

thời điểm trong quá trình đo, từng lớp tiếp giáp tạo ra dòng quang điện lớn hơn dòng quang điện phát ra từ lớp tiếp giáp cần thử nghiệm. Dòng quang điện trong lớp tiếp giáp cần thử nghiệm có thể được phát ra một phần bởi ánh sáng định thiên lên các lớp tiếp giáp còn lại ngoài ánh sáng đơn sắc được sử dụng cho phép đo SR thực. Sự không đồng nhất về không gian (như xác định trong TCVN 12678-9 (IEC 60904-9)) của ánh sáng định thiên đặt lên toàn bộ khu vực hoạt động của thiết bị nhiều lớp tiếp giáp cần nhỏ hơn 10 %, ứng với cấp C.

Đối với từng lớp tiếp giáp cần đo lần lượt trong thiết bị n lớp tiếp giáp, ánh sáng định thiên thích hợp phải được đặt vào thiết bị. Điều này có thể dễ dàng đạt được với n nguồn sáng định thiên, trong đó từng nguồn sáng định thiên phát ra ánh sáng trong dải bước sóng giới hạn bên trong dải SR của lớp tiếp giáp tương ứng. Tuy nhiên, các giải pháp khác như các nguồn ánh sáng định thiên đơn lẻ có bộ lọc quang thích hợp hoặc nguồn ánh sáng định thiên dải rộng cũng có thể được sử dụng.

Trong TCVN 12678-8 (IEC 60904-8), ánh sáng định thiên dải rộng được gọi là ánh sáng định thiên trắng. Ánh sáng định thiên yêu cầu cho thiết bị nhiều lớp tiếp giáp cũng thường có màu. Tuy nhiên, vì các dải bước sóng không giới hạn cho phần nhìn thấy của phổ và để tránh nhầm lẫn tiềm ẩn, trong tiêu chuẩn này, ánh sáng định thiên được đề cập tới là dải rộng (tức là bao trùm đáp tuyến của một số lớp tiếp giáp) hoặc dải hẹp (tức là cụ thể cho dải bước sóng của đáp tuyến của lớp tiếp giáp cụ thể).

6 Thiên áp

SR của thiết bị một lớp tiếp giáp thường được đo ở các điều kiện ngắn mạch (thiên áp bằng không) nhưng cũng có thể được đo ở điện áp cụ thể được cung cấp bởi nguồn thiên áp bên ngoài, như quy định trong TCVN 12678-8 (IEC 60904-8).

Trong trường hợp thiết bị PV nhiều lớp tiếp giáp, thiên áp đầy đủ bên ngoài phải được phân biệt với thiên áp trên lớp tiếp giáp cần thử nghiệm. Điện áp đầy đủ bên ngoài của thiết bị nhiều lớp tiếp giáp bao gồm điện áp trên lớp tiếp giáp cần thử nghiệm và điện áp trên các lớp tiếp giáp còn lại. Các lớp tiếp giáp khác sẽ được thiên áp thuận do ánh sáng định thiên đặt vào (xem Điều 5), do đó lớp tiếp giáp cần thử nghiệm sẽ chịu thiên áp ngược khi thiên áp bên ngoài được đặt về 0. Phép đo SR của lớp tiếp giáp chịu thiên áp ngược có thể gây ra việc đánh giá quá cao của SR. Để tránh việc này và để có điều kiện điện áp zero ở lớp tiếp giáp cần thử nghiệm, thiên áp bên ngoài phải được đặt vào sử dụng nguồn điện áp bên ngoài thích hợp.

Thiên áp bên ngoài yêu cầu phải được đặt theo một trong các phương pháp sau:

Thiên áp bên ngoài phải bằng với tổng của các điện áp được tạo ra trong các lớp tiếp giáp không được thử nghiệm bởi ánh sáng định thiên đặt lên chúng. Trong trường hợp ánh sáng định thiên đặt vào không phát ra dòng quang điện trong lớp tiếp giáp cần thử nghiệm thì đo điện áp mạch hở của thiết bị cần thử nghiệm với ánh sáng định thiên đặt vào. Sau đó, điều chỉnh nguồn điện cung cấp thiên áp bên ngoài đến giá trị này.

TCVN 12678-8-1:2020

Nếu quy trình trên không đạt được thì ban đầu, phải đặt thiên áp đến $(n-1)/n$ lần điện áp mạch hở của thiết bị tiếp giáp nhiều lớp (trong đó: n là số lớp tiếp giáp). Thử nghiệm xem thiên áp bên ngoài có thích hợp hay không: với ánh sáng định thiên (xem Điều 5) và thiên áp đặt vào, chọn bước sóng tại đó lớp tiếp giáp cần thử nghiệm được kỳ vọng có SR gần giá trị lớn nhất của nó và quan sát sự biến đổi của tín hiệu (và tùy chọn sự biến đổi pha của tín hiệu khi sử dụng tín hiệu băm xung) trong khi thay đổi thiên áp hoặc tăng ánh sáng định thiên. Với việc thay đổi thiên áp, tín hiệu cần duy trì không đổi trong dải thiên áp (bằng phẳng) (và pha tín hiệu cần đạt tới trạng thái mà sẽ được quan sát đối với thiết bị PV một lớp tiếp giáp trên cùng hệ thống). Thiên áp đúng là giá trị bất kỳ của phần bằng phẳng (và pha ổn định trong phạm vi một vài độ của giá trị đối với thiết bị một lớp tiếp giáp). Sau đó, chọn một bước sóng tại đó lớp tiếp giáp cần thử nghiệm được kỳ vọng có SR zero và lại thay đổi thiên áp. Với thiên áp bên ngoài zero, có thể quan sát được một tín hiệu mà có thể biến mất khi thiên áp bên ngoài tăng. Thiên áp đúng đạt được khi tín hiệu này được giảm thiểu. Thông thường, việc này cũng dùng cho dải thiên áp. Chọn thiên áp thống nhất với cả hai thử nghiệm.

Nếu với cả hai cách tiếp cận được mô tả ở trên, không thể đạt được thiên áp thì tổng ước tính của điện áp mạch hở của tất cả các lớp tiếp giáp không được thử nghiệm có thể được sử dụng như thiên áp cơ sở đối với phép đo SR. Trong trường hợp này, hai phép đo bổ sung ở thiên áp xấp xỉ $\pm 10\%$ liên quan đến thiên áp gốc cần được thực hiện để kiểm tra sự độc lập về điện áp.

7 Trang thiết bị

7.1 Quy định chung

Sự khác nhau chính liên quan đến trang thiết bị đo SR của thiết bị một lớp tiếp giáp là yêu cầu đối với ánh sáng định thiên cụ thể (theo Điều 5) trong quá trình đo SR của thiết bị nhiều lớp tiếp giáp. Thiết bị thích hợp để cung cấp ánh sáng định thiên là điốt phát quang (LED) hoặc nguồn sáng băng rộng có bộ lọc quang thích hợp hoặc nguồn sáng thích hợp bất kỳ (ví dụ như đèn laze không tiêu cự).

Nguồn thiên áp bên ngoài, là tùy chọn trong phép đo SR của thiết bị một lớp tiếp giáp, trở thành bắt buộc đối với phép đo SR của thiết bị nhiều lớp tiếp giáp.

7.2 Trang thiết bị dùng cho phép đo SR sử dụng nguồn sáng liên tục

Trang thiết bị được yêu cầu tương tự như quy định trong TCVN 12678-8 (IEC 60904-8) đối với phép đo SR của thiết bị PV một lớp tiếp giáp có sửa đổi ánh sáng định thiên như Điều 5.

7.3 Trang thiết bị dùng cho phép đo SR sử dụng nguồn sáng dạng xung

Trang thiết bị được yêu cầu cho phép đo SR sử dụng nguồn sáng dạng xung tương tự như quy định trong TCVN 12678-8 (IEC 60904-8) đối với phép đo SR của thiết bị PV một lớp tiếp giáp có bổ sung ánh sáng định thiên như Điều 5.

7.4 Trang thiết bị dùng cho phép đo các môđun nối nối tiếp

Trang thiết bị được yêu cầu tương tự như quy định trong TCVN 12678-8 (IEC 60904-8) đối với phép đo SR của thiết bị PV một lớp tiếp giáp có sửa đổi ánh sáng định thiên như Điều 5 đối với tế bào mục tiêu. Ánh sáng định thiên bổ sung đặt lên phần còn lại của môđun cần có khả năng phát ra dòng quang điện ở tất cả các mối nối, bằng tổng của một vài nguồn ánh sáng băng hẹp hoặc bằng nguồn sáng băng rộng thích hợp.

8 Phép đo SR

8.1 Đo SR sử dụng nguồn sáng liên tục

Phép đo tương tự như trường hợp thiết bị PV một lớp tiếp giáp có sửa đổi ánh sáng định thiên như Điều 5. Ngoài ra, thiên áp bên ngoài thích hợp phải được đặt vào như Điều 6.

Sử dụng ánh sáng dạng băm xung và kỹ thuật khóa sóng, không chỉ biên độ của tín hiệu mà trong trường hợp có thể, cả pha phải được ghi lại, vì việc này chứa thông tin giá trị tiềm ẩn (xem thư mục tài liệu tham khảo).

8.2 Đo SR sử dụng nguồn sáng dạng xung

Phép đo tương tự như trường hợp thiết bị PV một lớp tiếp giáp có bổ sung ánh sáng định thiên như Điều 5. Ngoài ra, thiên áp bên ngoài thích hợp phải được đặt vào như Điều 6.

8.3 Đo SR của môđun nối nối tiếp

Phép đo tương tự như trường hợp thiết bị PV một lớp tiếp giáp có bổ sung ánh sáng định thiên như Điều 5 đối với tế bào mục tiêu. Ánh sáng định thiên bổ sung đặt lên phần còn lại của môđun cần có khả năng phát ra dòng quang điện ở tất cả các mối nối của các tế bào không trong thử nghiệm lớn hơn dòng quang điện lớn nhất phải ra trong lớp tiếp giáp được thử nghiệm bên trong tế bào đang thử nghiệm (tế bào mục tiêu). Điều kiện đối với thiên áp đã được đề cập trong TCVN 12678-8 (IEC 60904-8).

9 Hiệu chỉnh SR đo được

9.1 Yêu cầu chung

SR đo được có thể sai lệch với SR thực do nối song song các lớp tiếp giáp và/hoặc do ghép nối phát quang. Cả hai trường hợp này đều đòi hỏi hiệu chỉnh SR đo được.

Nối song song trong lớp tiếp giáp mục tiêu dẫn đến độ dốc không zero (gần điểm ngắn mạch) của đường cong I-V của lớp tiếp giáp, gây ra độ dịch pha của điện áp làm việc và dẫn đến sự góp phần không zero của các lớp tiếp giáp khác vào SR đo được.

Ghép nối phát quang trong thiết bị PV nhiều lớp tiếp giáp là hiện tượng trong đó sự kết hợp lại về bức xạ trong lớp tiếp giáp cao trong thiên áp thuận dẫn đến các photon được phát ra hướng về lớp tiếp giáp có vùng trống năng lượng hẹp hơn và khi được hấp thụ trong lớp tiếp giáp có vùng trống năng lượng hẹp hơn, chúng tạo ra dòng quang điện bổ sung trong lớp tiếp giáp đó. Hiệu ứng này đặc biệt chiếm ưu thế trong các phép đo SR vì việc định thiên ánh sáng đòi hỏi bắt buộc một trong các lớp tiếp giáp là giới hạn dòng điện cần thiết để bắt buộc các lớp tiếp giáp còn lại trở nên thiên áp thuận.

Đối với một lớp tiếp giáp trong thiết bị PV nhiều lớp tiếp giáp bị ảnh hưởng bởi việc nối song song và/hoặc ghép nối phát quang, SR không zero sẽ được quan sát tại các bước sóng ngắn hơn (đuôi) trong bước sóng tương ứng với lớp tiếp giáp lọc có vùng trống năng lượng rộng hơn.

Quy trình dưới đây cần được sử dụng để phân biệt nối song song với ghép nối phát quang nếu có câu hỏi về nguồn gốc này, và tiếp theo, áp dụng quy trình hiệu chỉnh tương ứng. Với ánh sáng đơn sắc trong vùng bước sóng của đuôi, thay đổi thiên áp đặt và theo dõi biên độ của tín hiệu: nếu thiết bị PV chiếm ưu thế về nối song song thì biên độ của tín hiệu sẽ thay đổi theo thiên áp, trong khi nếu thiết bị PV chiếm ưu thế về ghép nối phát quang thì biên độ cần không đổi. Lưu ý rằng ghép nối phát quang có thể độc lập về thiên áp hoặc bức xạ của ánh sáng định thiên, mà có thể làm phức tạp trong phép tính vi phân.

Các ảnh hưởng tương tự cũng có thể nảy sinh từ sự đánh thủng thiên áp ngược trong lớp tiếp giáp giới hạn dòng điện.

9.2 Hiệu chỉnh đối với nối song song

Việc hiệu chỉnh đối với nối song song được mô tả như dưới đây. Đầu tiên, đo SR của tất cả các lớp tiếp giáp.

Công thức (1) dưới đây được thể hiện cho SR đo được và có thể được sử dụng để hiệu chỉnh SR đo được.

$$SR_{meas} = \frac{\sum_{i=1}^n SR_i \frac{dV_i}{dI_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{dV_i}{dI_i}} \quad (1)$$

trong đó

SR_{meas} là SR đo được

n là số lớp tiếp giáp trong thiết bị nhiều lớp tiếp giáp

i là chỉ số lớp tiếp giáp

SR_i là SR thực của lớp tiếp giáp thứ i

dV_i/dI_i là độ dốc của đường cong I-V của lớp tiếp giáp thứ i tại điểm làm việc của nó trong khi đo SR.

Việc hiệu chỉnh SR đo được để đạt được SR thực của một lớp tiếp giáp là có thể thực hiện được, dựa vào hiểu biết trước đó (hoặc giả định) của SR ở các bước sóng nhất định. Thông thường, việc nhận biết một vật giả (SR không zero) trong vùng bước sóng tại đó vật liệu của lớp tiếp giáp được biết là có SR zero. Các hệ số hiệu chỉnh có thể được tính toán tại các bước sóng cụ thể và sau đó áp dụng cho toàn bộ dải bước sóng của phép đo. Điều này là có thể khi không có hiểu biết rõ ràng về đường cong dòng điện-điện áp. Trong trường hợp vật giả được đề cập ở trên, SR của lớp tiếp giáp khác được lấy tỷ lệ và trừ đi để loại bỏ vật giả. Ngoài ra, SR của lớp tiếp giáp thể hiện vật giả sau đó được tăng tỷ lệ bằng cách chia nó cho (1-hệ số tỷ lệ).

Chi tiết xem thư mục tài liệu tham khảo.

9.3 Hiệu chỉnh đối với ghép nối phát quang

9.3.1 Quy định chung

Trong quy trình dưới đây về cách hiệu chỉnh đối với ghép nối phát quang, các lớp tiếp giáp J_i được lấy chỉ số bắt đầu từ vùng trống năng lượng cao nhất (1 = lớp tiếp giáp trên cùng, 2 = lớp tiếp giáp thứ hai, v.v...). Quy trình này chỉ xem xét ghép nối giữa các lớp tiếp giáp liền kề và bỏ qua ghép nối trực tiếp từ, ví dụ, $J_1 \rightarrow J_3$ vì lớp tiếp giáp giữa trong trường hợp này cần đủ dày để hấp thụ tất cả các ánh sáng phát ra từ J_1 . Việc hiệu chỉnh được áp dụng lần lượt, nghĩa là lớp tiếp giáp thứ hai được hiệu chỉnh đối với các ảnh hưởng của ghép nối $J_1 \rightarrow J_2$ và $J_2 \rightarrow J_3$, v.v...

9.3.2 Hiệu chỉnh SR của lớp tiếp giáp thứ hai (đối với ghép nối $J_1 \rightarrow J_2$)

9.3.2.1 Việc hiệu chỉnh áp dụng cho lớp tiếp giáp dưới cùng SR của thiết bị PV hai lớp tiếp giáp hoặc SR trong lớp tiếp giáp thứ hai của thiết bị PV có ba (hoặc nhiều hơn) lớp tiếp giáp.

9.3.2.2 Nhận dạng dải bước sóng $[\lambda_1, \lambda_2]$ trong đó:

- a) lớp tiếp giáp trên cùng có SR gần với giá trị lớn nhất của nó;
- b) đường cong SR là tương đối trơn.

9.3.2.3 Đối với bước sóng λ_0 gần điểm giữa của dải $[\lambda_1, \lambda_2]$, tính tỷ số $\beta_{12}^{(2)}$

$$\beta_{12}^{(2)} = \frac{SR_2^{meas}(\lambda_0)}{SR_1^{act}(\lambda_0)} \quad (2)$$

trong đó

$SR_i^{meas}(\lambda)$ đề cập đến đường cong SR đo được của lớp tiếp giáp thứ i ;

$SR_i^{act}(\lambda)$ đề cập đến đường cong SR thực (tức là đã hiệu chỉnh) của lớp tiếp giáp thứ i .

Đối với lớp tiếp giáp trên cùng, không có hiệu chỉnh, do đó:

$$SR_1^{act}(\lambda) = SR_1^{meas}(\lambda) \quad (3)$$

9.3.2.4 Sử dụng kết quả của công thức (2), ước tính hệ số hiệu chỉnh $\nu_{12}^{(2)}$

$$\nu_{12}^{(2)} \approx \frac{\beta_{12}^{(2)}}{1 - \beta_{12}^{(2)}} \quad (4)$$

9.3.2.5 Tính đường cong $SR_2^{act}(\lambda)$ của lớp tiếp giáp thứ hai đã hiệu chỉnh:

$$SR_2^{act}(\lambda) = (1 + \nu_{12}^{(2)}) \cdot SR_2^{meas}(\lambda) - \nu_{12}^{(2)} \cdot SR_1^{act}(\lambda) = \frac{SR_2^{meas}(\lambda)}{1 - \beta_{12}^{(2)}} - \frac{\beta_{12}^{(2)}}{1 - \beta_{12}^{(2)}} SR_1^{act}(\lambda) \quad (5)$$

9.3.2.6 Điều chỉnh thêm giá trị $\nu_{12}^{(2)}$ và lặp lại 9.3.2.5 để giá trị trung bình của $SR_2^{act}(\lambda)$ là zero trong toàn dải $[\lambda_1, \lambda_2]$ – việc này có thể thực hiện bằng cách tính toán hình thức giá trị trung bình của SR đã hiệu chỉnh nhưng độ chính xác đủ thường thu được bởi xem xét bằng mắt đơn giản (của đường cong SR của lớp tiếp giáp thứ hai) rằng SR trung bình có vẻ xấp xỉ zero.

9.3.3 Hiệu chỉnh SR của lớp tiếp giáp thứ ba (đối với ghép nối $J_1 \rightarrow J_2$ và $J_2 \rightarrow J_3$)

9.3.3.1 Việc hiệu chỉnh này áp dụng cho lớp tiếp giáp cuối cùng SR của thiết bị PV ba lớp tiếp giáp, hoặc đối với lớp tiếp giáp thứ ba SR của thiết bị PV bốn lớp tiếp giáp (hoặc nhiều hơn). Để hiệu chỉnh đối với ghép nối, hai hằng số $\nu_{12}^{(3)}$ và $\nu_{23}^{(3)}$ được xác định. $SR_2^{act}(\lambda)$ phải được xác định trước khi tiến hành, sau quy trình hiệu chỉnh SR của lớp tiếp giáp thứ hai nêu trên.

9.3.3.2 Nhận dạng dải bước sóng $[\lambda_1^T, \lambda_2^T]$ trong vùng của đáp ứng của lớp tiếp giáp trên cùng, trong đó:

- a) lớp tiếp giáp trên cùng có SR gần với giá trị lớn nhất của nó;
- b) đường cong SR tương đối trơn tru.

9.3.3.3 Đối với bước sóng λ_1^T gần giữa của dải $[\lambda_1^T, \lambda_2^T]$, tính:

$$\beta_{12}^{(3)} = \frac{SR_3^{meas}(\lambda_1^T)}{SR_1^{act}(\lambda_1^T)} \quad (6)$$

9.3.3.4 Nhận dạng dải bước sóng $[\lambda_1^M, \lambda_2^M]$ trong vùng đáp ứng của lớp tiếp giáp ở giữa, trong đó:

- a) lớp tiếp giáp ở giữa có SR gần với giá trị lớn nhất của nó;
- b) đường cong SR tương đối trơn tru.

9.3.3.5 Đối với bước sóng λ_0^M gần giữa của dải $[\lambda_1^M, \lambda_2^M]$, tính:

$$\beta_{23}^{(3)} = \frac{SR_3^{meas}(\lambda_0^M)}{SR_2^{act}(\lambda_0^M)} \quad (7)$$

9.3.3.6 Ước tính hệ số hiệu chỉnh đầu tiên $\nu_{12}^{(3)}$:

$$\nu_{12}^{(3)} = \frac{\beta_{12}^{(3)}}{\beta_{23}^{(3)}} \quad (8)$$

9.3.3.7 Ước tính hệ số hiệu chỉnh thứ hai $\nu_{23}^{(3)}$:

$$\nu_{23}^{(3)} = \frac{\beta_{12}^{(3)}}{\nu_{12}^{(3)} - (1 + \nu_{12}^{(3)}) \cdot \beta_{12}^{(3)}} = \frac{\beta_{23}^{(3)}}{1 - (1 + \nu_{12}^{(3)}) \cdot \beta_{23}^{(3)}} = \frac{\beta_{23}^{(3)}}{1 - (\beta_{23}^{(3)} + \beta_{12}^{(3)})} \quad (9)$$

9.3.3.8 Tính đường cong $SR_3^{act}(\lambda)$ của lớp tiếp giáp thứ ba đã hiệu chỉnh là:

$$SR_3^{act}(\lambda) = (1 + \nu_{23}^{(3)} + \nu_{12}^{(3)} \nu_{23}^{(3)}) \cdot SR_3^{meas}(\lambda) - \nu_{23}^{(3)} \cdot SR_2^{act}(\lambda) - \nu_{12}^{(3)} \nu_{23}^{(3)} \cdot SR_1^{act}(\lambda) \quad (10)$$

9.3.3.9 Điều chỉnh thêm giá trị $\nu_{12}^{(3)}$ và $\nu_{23}^{(3)}$ và lặp lại 9.3.3.8 để giá trị trung bình của $SR_3^{act}(\lambda)$ là zero trong toàn dải $[\lambda_1^T, \lambda_2^T]$ và $[\lambda_1^M, \lambda_2^M]$ – như trước, việc này có thể thực hiện bằng cách tính toán hình thức giá trị trung bình của SR đã hiệu chỉnh nhưng độ chính xác đủ thường thu được bởi xem xét bằng mắt đơn giản (của đường cong SR của lớp tiếp giáp thứ hai) rằng SR trung bình có vẻ xấp xỉ zero trong hai dải bước sóng này.

9.3.4 Hiệu chỉnh SR của lớp tiếp giáp thứ tư (hoặc cao hơn)

SR của lớp tiếp giáp thứ tư (hoặc cao hơn) có thể được hiệu chỉnh một cách chính xác hợp lý bằng cách bỏ qua các ảnh hưởng từ (các) lớp tiếp giáp trên cùng và chỉ xem xét các ghép nối từ hai lớp tiếp giáp trước đó.

Đối với lớp tiếp giáp thứ tư:

- Hiệu chỉnh SR của lớp tiếp giáp thứ hai và thứ ba như mô tả ở trên (9.3.2 và 9.3.3).
- Lặp lại theo quy trình đối với lớp tiếp giáp thứ ba nhưng với tất cả các chỉ số dưới và chỉ số trên tăng lên 1.

Hiệu chỉnh SR của lớp tiếp giáp cao hơn được mở rộng một cách đơn giản theo quy trình này.

TCVN 12678-8-1:2020

Xem thư mục tài liệu tham khảo về thông tin chi tiết thêm.

10 Báo cáo

Sau khi hoàn thành quy trình, báo cáo thử nghiệm đã xác nhận về phép đo SR phải được chuẩn bị bởi tổ chức thử nghiệm. Từng báo cáo thử nghiệm phải bao gồm tất cả các hạng mục như quy định trong TCVN 12678-8 (IEC 60904-8). Ngoài ra, phải bao gồm và quy định các thông tin dưới đây cho từng lớp tiếp giáp được thử nghiệm:

- Nhận dạng ánh sáng định thiên đặt vào bao gồm bước sóng, băng thông và cường độ bức xạ;
- Mô tả phương pháp được chấp nhận để xác định thiên áp;
- Thiên áp bên ngoài thực đặt vào;
- Ghi tài liệu việc hiệu chỉnh được áp dụng, nếu có;
- Tuyên bố về độ không đảm bảo đo ước tính của việc hiệu chuẩn hoặc kết quả thử nghiệm áp dụng cho các quy trình đo đối với thiết bị nhiều lớp tiếp giáp.

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] M. A. Steiner and J. F. Geisz, "Non-linear luminescent coupling in series-connected multijunction solar cells", *Appl. Phys. Lett.* 100, 251106, 2012
- [2] S. R. Kurtz, K. Emery and J. M. Olson, "Methods for analysis of two-junction, two-terminal photovoltaic devices", *Proc. Of First WCPEC, Hawaii*, 1994, pp. 1733-1737
- [3] M. Meusel, R. Adelhelm, F. Dimroth, A.W. Bett, and W. Warta, *Spectral Mismatch Correction and Spectrometric Characterization of Monolithic III-V Multi-Junction Solar Cells. Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 2002, 10(4): pp. 243-255
- [4] M. Pravettoni, A. Virtuani, K. Keller, M. Apolloni, and H. Müllejans, "Spectral mismatch effect to the open-circuit voltage in the indoor characterization of multi-junction thin-film photovoltaic modules", *Proc. 39th IEEE PVSC, Tampa*, 2013, pp. 706-711
-