



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0036217

(51)⁷ H01L 31/0224; H01L 31/073; H01L
31/0725

(13) B

(21) 1-2019-02382

(22) 11/10/2017

(86) PCT/US2017/056092 11/10/2017

(87) WO2018/071509 19/04/2018

(30) 62/407,260 12/10/2016 US

(45) 25/07/2023 424

(43) 25/07/2019 376A

(73) FIRST SOLAR, INC. (US)

350 West Washington Street, 6th Floor, Tempe, AZ 85281, United States of America

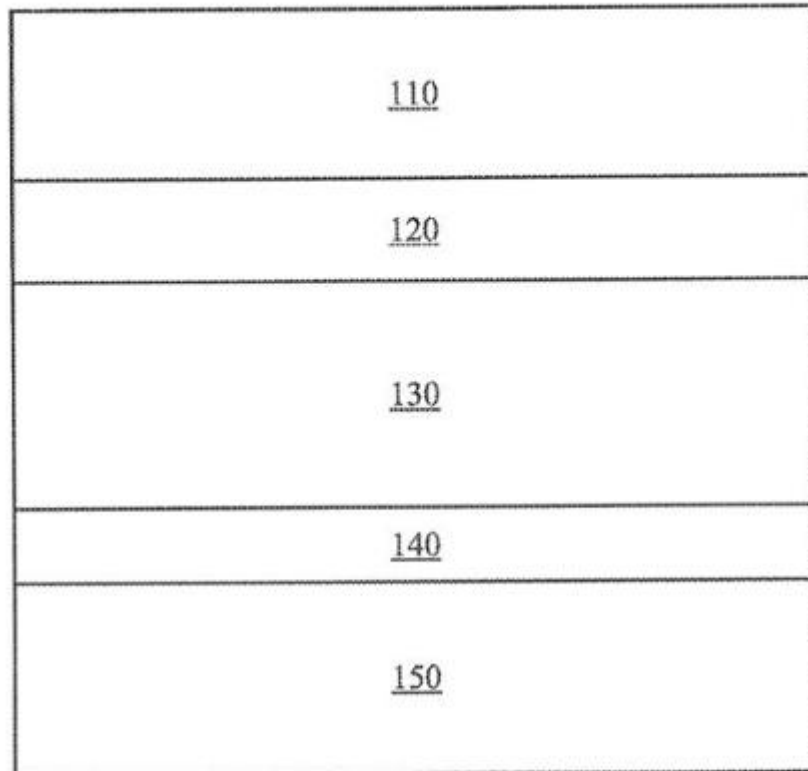
(72) GLOECKLER, Markus (DE); MEI, Fang (US); ZHANG, Wei (US).

(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)

(54) THIẾT BỊ QUANG ĐIỆN

(57) Sáng chế đề cập tới thiết bị quang điện chứa đế, chồng bán dẫn và tiếp giáp đường hầm trong suốt. Chồng bán dẫn chứa lớp loại n được chọn từ lớp oxit dẫn trong suốt thứ nhất, hoặc lớp cửa sổ, hoặc cả hai; và lớp hấp thụ loại p được bố trí trên lớp loại n, trong đó lớp hấp thụ chứa về cơ bản là $\text{CdSe}_x\text{Te}_{(1-x)}$, trong đó x là từ 1 tới khoảng 40 % nguyên tử. Tiếp giáp đường hầm trong suốt bao gồm lớp giao diện trong suốt of $\text{Cd}_y\text{Zn}_{(1-y)}\text{Te}$ được pha tạp thành loại p+, và lớp tiếp xúc trong suốt được pha tạp thành loại n+, và lớp giao diện được bố trí giữa lớp hấp thụ loại p và lớp tiếp xúc trong suốt. Trong các phương án thực hiện hai mặt, tiếp giáp đường hầm tạo thành tiếp xúc sau trong suốt và điện cực, và trong các phương án thực hiện nhiều tiếp giáp, tiếp giáp đường hầm tạo thành bộ phận nối dạng diot giữa các tế bào đỉnh và đáy. Lớp tiếp xúc trong suốt có thể chứa oxit thiếc hoặc oxit kẽm được pha tạp với nhôm, flo hoặc indi. Thiết bị quang điện cũng có thể chứa lớp phản xạ điện tử và/hoặc lớp phản xạ quang học.

100



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến lĩnh vực vật liệu bán dẫn. Cụ thể là, sáng chế đề cập tới các thiết bị quang điện có tiếp giáp đường hầm trong suốt.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Thiết bị quang điện tạo ra năng lượng điện bằng cách biến đổi ánh sáng thành dòng điện một chiều nhờ việc sử dụng các vật liệu bán dẫn có hiệu ứng quang điện. Hiệu ứng quang điện sinh ra năng lượng điện khi được phơi ra trước ánh sáng khi các photon được hấp thụ trong vật liệu bán dẫn để kích thích các điện tử tới trạng thái năng lượng cao hơn. Do đó các điện tử bị kích thích này có thể di chuyển trong vật liệu, nhờ đó tạo ra dòng điện.

Đơn vị cơ bản của cấu trúc thiết bị quang điện (photovoltaic - PV), được gọi chung là tế bào, chỉ có thể sinh ra một lượng năng lượng điện ở quy mô nhỏ. Do đó, nhiều tế bào có thể được kết nối điện nối tiếp hoặc song song để tích tụ năng lượng tổng cộng được sinh ra giữa nhiều tế bào nằm trong một thiết bị tích hợp lớn hơn, được gọi là môđun, hoặc tấm. Tế bào quang điện còn có thể chứa lớp sau bảo vệ và các vật liệu bao để bảo vệ các tế bào khỏi các yếu tố tác động của môi trường. Nhiều môđun hoặc tấm quang điện có thể được lắp ghép với nhau nối tiếp hoặc song song để tạo ra hệ thống quang điện, hoặc mảng, có khả năng sinh ra năng lượng điện lên tới các mức có thể so sánh được với các loại khác của các nhà máy điện có quy mô có thể sử dụng được. Bên cạnh các môđun quang điện, mảng ở quy mô có thể sử dụng được có thể còn chứa các cấu trúc gắn, thiết bị điện chứa các bộ biến đổi, các bộ biến thế, và các hệ thống điều khiển khác. Khi xem xét các mức khác nhau của thiết bị, từ tế bào riêng rẽ tới các mảng kích cỡ có thể sử dụng được chứa nhiều môđun, tất cả các ứng dụng này của hiệu ứng quang điện có thể chứa một hoặc nhiều thiết bị quang điện để hoàn thành việc chuyển đổi năng lượng.

Các thiết bị quang điện màng mỏng thường được tạo thành từ nhiều lớp của các vật liệu khác nhau, mỗi lớp phục vụ một chức năng khác nhau, được tạo thành trên đế.

Thiết bị quang điện màng mỏng chứa điện cực phía trước và điện cực phía sau để tạo ra truy cập điện tới lớp bán dẫn có hoạt tính quang học hoặc tới các lớp khác được kẹp giữa chúng.

Các tế bào pin mặt trời màng mỏng thông thường có các hiệu suất biến đổi khiêm tốn khi biến đổi ánh sáng thành điện một chiều. Do đó, chủ đề mấu chốt trong lĩnh vực thiết bị PV là để cải thiện hiệu suất biến đổi.

Một thách thức để đạt được hiệu suất cao hơn là khó khăn trong việc tạo tiếp xúc sau phù hợp với tiếp xúc omic và cho việc vận chuyển bộ phận mang điện tích. Một thách thức khác là việc làm giảm việc tái tổ hợp điện tử-lỗ trống ở bề mặt phía sau. Thách thức khác là để cải thiện việc thu thập ánh sáng. Nó bao gồm việc thu ánh sáng được phản xạ và thu ánh sáng qua phổ rộng, bao gồm việc thu được nhiều quang tử hồng ngoại (infrared - IR) hơn. Việc thu thập của các bộ phận mang điện tích từ cả ánh sáng nhìn thấy và IR sử dụng các phương pháp truyền thống bị làm suy yếu và không hiệu quả, do độ dày lớp hấp thụ cần có cho việc hấp thụ IR dẫn tới việc tạo ra bộ phận mang điện tích tối thiểu hoặc dẫn tới việc tạo bộ phận mang điện tích bên ngoài vùng làm nghèo. Ánh sáng khuếch tán và ánh sáng được phản xạ khỏi mặt đất và các cấu trúc gần đó là ánh sáng sẵn có mà chưa được thu thập bởi thiết bị PV thông thường do nó bị phản xạ ra khỏi phía sau của tấm năng lượng mặt trời, hoặc bị biến đổi thành nhiệt.

Mặc dù có nhiều cải tiến được phát triển cho việc tăng các hiệu suất biến đổi, nhưng vẫn còn nhu cầu liên tục về các thiết bị PV cải tiến, khả thi, tối thiểu hóa các tổn thất hấp thụ trong khi thu và phục hồi lượng tối đa của bức xạ mặt trời.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Theo khía cạnh thứ nhất, sáng chế đề xuất thiết bị quang điện. Thiết bị quang điện bao gồm: lớp loại n được chọn từ lớp oxit dẫn trong suốt thứ nhất hoặc lớp cửa sổ, hoặc cả hai; lớp hấp thụ loại p được bố trí trên lớp loại n, trong đó lớp hấp thụ chứa về cơ bản là $\text{CdSe}_x\text{Te}_{(1-x)}$, trong đó x là từ khoảng 1 % nguyên tử tới khoảng 40 % nguyên tử; và tiếp giáp đường hầm trong suốt được bố trí trên lớp hấp thụ, tiếp giáp đường hầm bao gồm lớp giao diện trong suốt được pha tạp thành loại p+, và lớp tiếp xúc trong suốt được pha tạp thành loại n+, trong đó lớp giao diện được bố trí giữa lớp hấp thụ và lớp tiếp xúc, và trong đó lớp tiếp xúc bao gồm oxit dẫn trong suốt thứ hai.

Theo khía cạnh thứ hai, sáng chế đề xuất thiết bị quang điện ghép đôi. Thiết bị quang điện ghép đôi bao gồm: đế trong suốt; các cặp tiếp giáp loại n và loại p trên đỉnh tế bào trong một hoặc nhiều lớp được bố trí trên đế trong suốt, ít nhất một lớp đang là lớp hấp thụ quang điện trên đỉnh tế bào có độ rộng vùng cấm đỉnh tế bào; tiếp giáp đường hầm trong suốt bao gồm lớp giao diện $\text{Cd}_y\text{Zn}_{(1-y)}\text{Te}$ được pha tạp thành loại p+, và lớp tiếp xúc trong suốt được pha tạp thành loại n+, và trong đó lớp tiếp xúc trong suốt bao gồm oxit dẫn trong suốt; các cặp tiếp giáp loại n và loại p ở đáy tế bào trong một hoặc nhiều lớp được bố trí trên tiếp giáp đường hầm trong suốt, ít nhất một lớp đang là lớp hấp thụ quang điện ở đáy tế bào có độ rộng vùng cấm đáy tế bào nhỏ hơn độ rộng vùng cấm đỉnh tế bào; và tiếp xúc sau bằng kim loại được bố trí trên các lớp ở đáy tế bào.

Theo khía cạnh thứ ba, sáng chế đề xuất thiết bị quang điện hai mặt. Thiết bị quang điện hai mặt bao gồm: chồng lớp bán dẫn xác định bề mặt phía trước và bề mặt phía sau, chồng bán dẫn chứa lớp loại n được chọn từ lớp oxit dẫn trong suốt hoặc lớp cửa sổ; và lớp hấp thụ loại p được bố trí trên lớp loại n, lớp hấp thụ loại p chứa về cơ bản là $\text{CdSexTe}(1-x)$ trong đó x là từ khoảng 1 % nguyên tử tới khoảng 40 % nguyên tử %; và tiếp giáp đường hầm trong suốt bao gồm lớp giao diện được pha tạp thành loại p+, và lớp tiếp xúc trong suốt được pha tạp thành loại n+, trong đó lớp giao diện được bố trí giữa lớp hấp thụ và lớp tiếp xúc trong suốt, và trong đó lớp tiếp xúc trong suốt bao gồm oxit dẫn trong suốt.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ kèm theo

Fig.1 mô tả giản đồ của các lớp chức năng theo phương án thực hiện thứ nhất của thiết bị quang điện.

Fig.2 là hình chiếu từ dưới lên của thiết bị quang điện trên Fig.1 với việc thêm vào của các ngón tay lưới kim loại (metallic grid finger).

Fig.3 mô tả các số đo QE cho việc chiếu sáng phía trước (front-side - SS) và phía sau (back-side - FS) cho phương án thực hiện hai mặt làm ví dụ của Fig.1.

Fig.4 đưa ra các đường cong I-V cho phương án thực hiện hai mặt làm ví dụ của Fig.1.

Fig.5 mô tả giản đồ của các lớp chức năng theo phương án thực hiện thứ hai của thiết bị quang điện.

Fig.6 là việc so sánh QE giữa tiếp xúc sau lớp kép molybden nitrit (MoN_x/Mo) và phương án thực hiện làm ví dụ của Fig.5 với tiếp xúc sau AZO/Au.

Fig.7A thể hiện đường cong I-V của hiệu quả hoạt động của phương án thực hiện làm ví dụ của Fig.5 với tiếp xúc sau lớp kép AZO/Au có độ dày 20 nm.

Fig.7B thể hiện đường cong I-V của hiệu quả hoạt động của phương án thực hiện làm ví dụ của Fig.5 với tiếp xúc sau lớp kép AZO/Au có độ dày 150 nm.

Fig.8 mô tả giản đồ của các lớp chức năng theo phương án thực hiện thứ ba của thiết bị quang điện.

Fig.9 mô tả giản đồ của các lớp chức năng trong phương án thực hiện đa tiếp giáp.

Fig.10 thể hiện hiệu suất của nhiều biến thể của các tiếp xúc sau trong suốt được chuẩn hóa tới tiêu chuẩn MoN_x/Al .

Mô tả chi tiết sáng chế

Sáng chế đề xuất các cấu trúc và các thành phần để sử dụng trong các thiết bị quang điện (photovoltaic - PV). Các phương án thực hiện đề xuất các thiết bị quang điện màng mỏng có lớp tiếp xúc sau trong suốt loại n. Các phương án thực hiện chứa các lớp màng mỏng bao gồm tiếp giáp đường hầm, bộ phản xạ quang học, và/hoặc bộ phản xạ điện tử.

Phần mô tả chi tiết được tạo ra bên dưới cùng với các hình vẽ kèm theo là nhằm mục đích mô tả các ví dụ và nó không nhằm thể hiện các dạng duy nhất mà trong đó các ví dụ có thể được tạo thành hoặc được sử dụng. Phần mô tả chỉ ra các chức năng của các ví dụ và trình tự của các bước vận hành với các ví dụ. Tuy nhiên, các chức năng và các trình tự giống hoặc tương tự như vậy có thể được thực hiện bởi các ví dụ thay thế tương đương.

Phần mô tả chi tiết dưới đây không nhằm mục đích giới hạn sáng chế hoặc ứng dụng và việc sử dụng của sáng chế. Như được sử dụng ở đây, từ “làm ví dụ” có nghĩa là “có tác dụng như là ví dụ, ví dụ, hoặc minh họa.” Do đó, phương án thực hiện bất kỳ được mô tả ở đây làm “ví dụ” không nhất thiết bị nhầm lẫn là được ưu tiên hay có lợi

hơn các phương án thực hiện khác. Tất cả các phương án thực hiện được mô tả ở đây được tạo ra để cho phép người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật thực hiện hoặc sử dụng sáng chế và không làm hạn chế phạm vi bảo hộ của sáng chế, vốn được xác định bởi các yêu cầu bảo hộ. Hơn nữa, nó không nhằm mục đích bị bó buộc bởi lý thuyết được thể hiện hoặc được ám chỉ bất kỳ nào, được thể hiện trong phần lĩnh vực kỹ thuật được đề cập, tình trạng kỹ thuật của sáng chế, bản chất kỹ thuật của sáng chế hoặc phần mô tả chi tiết các phương án thực hiện sáng chế dưới đây.

Trong tài liệu này, các thuật ngữ tương quan như thứ nhất và thứ hai, và dạng tương tự có thể được sử dụng đơn độc để phân biệt một thực thể hoặc hành động với thực thể hoặc hành động khác mà không nhất thiết phải yêu cầu hoặc ám chỉ quan hệ hoặc thứ tự thực tế bất kỳ nào giữa các thực thể hoặc các hành động này. Các số thứ tự như "thứ nhất," "thứ hai," "thứ ba," v.v. đơn giản là mô tả các dạng đơn khác nhau của số nhiều và không áp chừa thứ tự hoặc trình tự bất kỳ, trừ khi được chỉ ra một cách cụ thể. Trình tự của văn bản trong yêu cầu bảo hộ bất kỳ trong các yêu cầu bảo hộ không ám chỉ rằng các bước xử lý phải được thực hiện trong thứ tự thời gian hoặc logic theo trình tự này, trừ khi nó được chỉ ra một cách cụ thể bởi ngôn ngữ trong yêu cầu bảo hộ. Các bước xử lý có thể được tráo đổi trong thứ tự bất kỳ mà không tách khỏi phạm vi bảo hộ của sáng chế miễn là việc tráo đổi này không mâu thuẫn với ngôn ngữ yêu cầu bảo hộ và không phải là sự không thống nhất về mặt logic.

Trong bản mô tả và phần yêu cầu bảo hộ, dạng số ít bao gồm cả dạng số nhiều, trừ khi văn cảnh chỉ rõ ràng theo cách khác. Như được sử dụng trong bản mô tả này, thuật ngữ "hoặc" không có nghĩa nhằm giới hạn và dùng để chỉ ít nhất một trong số các thành phần phần được chỉ đến là có mặt và bao gồm các trường hợp trong đó tổ hợp của các thành phần được chỉ đến có thể có mặt, trừ khi có quy định khác.

Mỗi lớp trong các lớp được mô tả trong các phương án thực hiện dưới đây có thể được tạo thành từ nhiều hơn một lớp hoặc màng. Mỗi lớp có thể che phủ tất cả hoặc một phần của thiết bị PV và/hoặc tất cả hoặc một phần của lớp hoặc vật liệu nằm bên dưới lớp. Ví dụ, "lớp" có thể có nghĩa là lượng bất kỳ của vật liệu tiếp xúc với tất cả hoặc một phần bề mặt. Trong suốt quy trình tạo thành một lớp trong số các lớp, lớp được tạo thành, tạo thành trên bề mặt bên ngoài, thường là bề mặt trên, của đế hoặc cấu trúc đế.

Để có thể chứa lớp để được đưa vào trong quy trình lắng đọng và lớp khác hoặc các lớp bổ sung bất kỳ có thể được lắng đọng lên trên lớp để trong quy trình hoặc các quy trình lắng đọng trước đó. Các lớp có thể được lắng đọng qua toàn bộ để với các phần cụ thể của vật liệu sau đó được loại bỏ nhờ việc cắt bỏ, khắc lazer hoặc nhờ quy trình loại bỏ vật liệu khác.

Việc sản xuất của thiết bị quang điện nói chung chứa việc lắng đọng liên tiếp của các lớp chức năng hoặc các tiền chất lớp theo chồng qua một hoặc nhiều quy trình, bao gồm, nhưng không giới hạn ở, phún xạ, phun, bay hơi, lắng đọng chùm phân tử, hòa phân, thăng hoa không gian đóng (close space sublimation - CSS), lắng đọng xung lazer (pulse laser deposition - PLD), lắng đọng hơi hóa học (chemical vapor deposition - CVD), lắng đọng điện hóa (electrochemical deposition - ECD), lắng đọng lớp nguyên tử (atomic layer deposition - ALD), hoặc lắng đọng vận chuyển hơi (vapor transport deposition - VTD).

Khi lớp được tạo thành, mong muốn là có thể biến đổi các tính chất vật lý của lớp qua các quy trình xử lý sau đó. Ví dụ, bước xử lý có thể bao gồm việc làm thụ động hóa, vốn là việc sửa chữa khuyết tật của cấu trúc hạt tinh thể, và có thể còn chứa các khiếm khuyết ủ hoặc các khuyết tật trong hạt tinh thể của vật liệu làm gián đoạn cấu trúc tuần hoàn trong lớp và có thể tạo ra các vùng có điện trở cao hoặc các đường dẫn dòng không mong muốn, ví dụ như, song song nhưng tách biệt với đường dẫn dòng mong muốn như đường dẫn sơn (shunt) hoặc ngắn mạch.

Quy trình xử lý kích hoạt có thể hoàn thiện việc thụ động hóa nhờ việc đưa vào các chất pha tạp hóa học vào chồng lớp bán dẫn nhờ việc dung dịch ngâm, phun hoặc hơi. Việc ủ của lớp sau đó, trong sự có mặt của chất pha tạp hóa học tại nhiệt độ tăng lên thúc đẩy việc phát triển hạt và việc tích hợp của chất pha tạp vào trong lớp. Với nhiều vật liệu, kích cỡ hạt lớn hơn, với ít biên hạt hơn, làm giảm điện trở của lớp, nhờ đó cho phép các bộ phận mang điện chảy một cách hiệu quả hơn. Việc tích hợp của chất pha tạp hóa học cũng có thể tạo ra các vùng của lớp bán dẫn thiên về loại n hoặc thiên về loại p hơn và có thể sinh ra lượng các bộ phận mang điện tích di động lớn hơn. Mỗi đặc điểm trong số các đặc điểm này đều cải thiện hiệu quả hoạt động bằng cách tăng điện thế tối đa của thiết bị, có thể tạo ra và làm giảm các vùng dẫn điện không mong

muốn. Trong quy trình kích hoạt, các thông số của quy trình như nhiệt độ ủ, thành phần của bể hóa học, và thời gian thấm cho lớp cụ thể phụ thuộc vào vật liệu của lớp.

Đầu ra công suất của thiết bị PV là tích của dòng điện (I , hoặc đôi khi là J) và điện thế (V) có thể được biểu diễn bởi đường cong I - V . Tại dòng điện bằng không hoặc “mạch hở,” điện thế tối đa được tạo ra là (V_{OC}) và tại điện thế bằng không hoặc “đoản mạch,” dòng điện tối đa được tạo ra là (I_{SC}). Tích của chúng là công suất tiềm năng tổng cộng (P_T), được tính theo watt (W), nhưng điều này là không thể đạt được trong thực tế. Công suất ra tối đa (P_{MAX}) có thể đạt được, được định nghĩa bởi điểm trên đường cong IV tạo ra tích $I_{MP} * V_{MP}$. Hệ số điền đầy (Fill Factor - FF) được định nghĩa như là tỉ lệ của P_{MAX} so với P_T , tức là tích của $I_{MP} * V_{MP}$ được chia bởi tích của $I_{SC} * V_{OC}$. FF cao hơn là chỉ thị của tế bào hiệu quả hơn. Hiệu suất biến đổi của thiết bị PV là tỉ lệ giữa công suất tiềm năng tổng cộng (P_T) được giảm bởi FF , với công suất tới tổng cộng (P_{in}), và có thể được biểu diễn toán học như sau: Hiệu suất = $(I_{SC} * V_{OC} * FF) / P_{in}$. Một mục đích trong lĩnh vực thiết bị quang điện là nhằm cải thiện hiệu suất biến đổi. Làm tăng thành phần lưu huỳnh hoặc selen nằm trong bộ hấp thụ bao gồm $CdTe$ có thể thay đổi năng lượng độ rộng vùng cấm. Tăng thành phần selen từ 0 phần trăm nguyên tử (% nguyên tử - at. %), tới khoảng 40 % nguyên tử so với telurium nằm trong bộ hấp thụ chứa chủ yếu là $CdTe$ làm giảm năng lượng độ rộng vùng cấm, cải thiện việc hấp thụ hồng ngoại và do đó tăng việc tạo dòng điện.

Việc phân cấp có thể được sử dụng để điều chỉnh các độ rộng vùng cấm của các hợp kim gốc $CdTe$ để làm giảm việc tái tổ hợp bề mặt và làm tăng việc hấp thụ của phổ mặt trời để tối thiện hiệu suất biến đổi năng lượng. Gradient có thể được hình thành bởi hoặc là việc lắng đọng vật liệu (các vật liệu) có gradient và profin vật liệu mong muốn, hoặc gradient có thể được tạo thành bằng cách lắng đọng các lớp rời rạc của vật liệu mà sau đó sẽ được ủ để tạo thành profin nồng độ mong muốn. Mỗi lớp có thể được phân cấp làm lớp dịch chuyển ra khỏi tiếp giáp luyện kim p-n để tối ưu hóa việc sắp xếp độ rộng vùng cấm và/hoặc việc pha tạp tại phía trong tiếp xúc với các lớp tiếp xúc được pha tạp cao.

Việc thêm vào của một hoặc nhiều lớp rào hoặc các lớp bộ đệm có thể được sử dụng để ức chế sự phân tán của các chất pha tạp hoặc các tạp chất giữa các lớp. Lớp bộ

đệm có thể được tận dụng để làm giảm số bất thường xuất hiện trong quá trình tạo thành của chất bán dẫn.

Theo sáng chế này, khi lớp được mô tả như được bố trí hoặc được định vị "trên" lớp khác hoặc trên đế, nó cần được hiểu là việc tiếp xúc trực tiếp với lớp khác hoặc có một (hoặc nhiều) lớp hoặc đặc điểm khác giữa các lớp. Tiếp theo, thuật ngữ "trên" mô tả vị trí tương đối của các lớp so với nhau và không nhất thiết phải là "trên đỉnh của" do vị trí tương đối trên hoặc dưới phụ thuộc vào định hướng của thiết bị so với người nhìn. Ngoài ra, việc sử dụng của các thuật ngữ "đỉnh," "đáy," "ở trên," "bên dưới," và các biến thể của các thuật ngữ này được tạo ra để tạo thuận tiện và không yêu cầu hướng cụ thể bất kỳ nào của các thành phần, trừ khi được chỉ ra theo cách khác. Tuy nhiên, hướng vẫn giữ thống nhất với từng phương án thực hiện hoặc ví dụ, sao cho nếu B là "trên" A, và C là "trên" B, thì B nhất thiết là giữa A và C, dù có thể không nhất thiết phải tiếp xúc với nhau.

Trong phần mô tả này, khi một đối tượng đang được mô tả là "liền kề," nó cần được hiểu là từ liền kề nghĩa là "ngay ở bên" và "trong tiếp xúc trực tiếp với" đối tượng khác và không đồng nghĩa với thuật ngữ "trên," mặc dù một đối tượng có thể "trên" và "liền kề" với đối tượng khác.

Ngôn ngữ xấp xỉ, như được sử dụng trong suốt bản mô tả và yêu cầu bảo hộ, có thể được áp dụng để thay đổi bất kỳ miêu tả định lượng nào vốn có thể thay đổi được mà không dẫn đến sự thay đổi về chức năng cơ bản liên quan đến nó. Do đó, trị số được điều chỉnh bởi thuật ngữ hoặc các thuật ngữ, như "khoảng", "xấp xỉ", và "về cơ bản là" là không bị hạn chế vào các trị số cụ thể đã được chỉ ra. Trong một số ví dụ, ngôn ngữ xấp xỉ có thể tương ứng với độ chính xác của thiết bị đo giá trị. Ở đây và trong suốt bản mô tả và phần yêu cầu bảo hộ này, các giới hạn của khoảng có thể được kết hợp và/hoặc được trao đổi, sao cho các khoảng giới hạn này được nhận diện và chứa tất cả các khoảng giới hạn con được chứa trong đó, trừ khi văn cảnh hoặc ngôn ngữ chỉ ra theo cách khác.

Thuật ngữ "lớp trong suốt" như được sử dụng ở đây đề cập tới lớp cho phép truyền qua trung bình ít nhất khoảng 70% bức xạ điện từ đi tới có bước sóng trong khoảng giới hạn từ 300 nm tới khoảng 900 nm. Bức xạ trong khoảng giới hạn bước sóng này được

xem là “ánh sáng” theo các mục đích của sáng chế này, mặc dù nó có thể không nằm hoàn toàn trong khoảng giới hạn nhìn thấy.

Thuật ngữ “lớp hấp thụ” như được sử dụng ở đây đề cập tới lớp bán dẫn trong đó việc hấp thụ của bức xạ điện từ làm cho các điện tử trong lớp hấp thụ bị kích thích từ năng lượng thấp hơn “trạng thái cơ bản” hoặc “băng hóa trị” mà trong đó chúng bị gắn vào các nguyên tử cụ thể trong trạng thái rắn, tới “trạng thái kích thích,” cao hơn hoặc “băng dẫn” mà trong đó chúng có thể di chuyển quanh, trong chất rắn.

Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ “mật độ bộ mang hiệu quả” đề cập tới nồng độ trung bình của các lỗ trống và các điện tử trong vật liệu.

Như được sử dụng ở đây, “lớp loại n” đề cập tới lớp bán dẫn có dư các phân cho điện tử như là các bộ mang chính; trong khi “lớp loại p” đề cập tới lớp bán dẫn có dư các bộ phận nhận điện tử (còn được biết tới như là “các lỗ trống”) làm các bộ mang chính. Trong mỗi trường hợp, các bộ mang dư (các điện tử hoặc các lỗ trống) có thể được tạo ra bằng cách pha tạp hóa học chất bán dẫn với các chất pha tạp thích hợp hoặc có thể được sinh ra bởi các khuyết tật sẵn có, có mặt trong vật liệu. Các lớp loại n và các lớp loại p được pha tạp hóa học có thể có các vật liệu khác ngoài các chất pha tạp loại n và loại p. Ví dụ, lớp loại p của CdSeTe là lớp được tạo thành từ Cd, Se, và Te cũng được pha tạp hóa học loại p. Với các đối tác tiếp giáp trong thiết bị PV, các lớp loại n và loại p hoặc các vật liệu tiếp giáp với nhau, liền kề với nhau. Nói chung, hoặc là vật liệu hoặc lớp loại p hoặc vật liệu hoặc lớp loại n sẽ hoạt động như là “lớp hấp thụ” trong đó các điện tử bị kích thích như được mô tả ở trên để sinh ra hiệu ứng quang điện.

Các chất bán dẫn được pha tạp thành loại p hoặc loại n đôi khi còn khác biệt ở mật độ của các bộ phận mang điện tích chính, tương ứng. Mặc dù các biên không cứng nhắc, nhưng vật liệu thường được xem là loại p nếu các bộ phận mang nhận điện tử (nghĩa là “các lỗ trống”) có mặt trong khoảng giới hạn từ khoảng $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ tới khoảng $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, và loại p+ nếu mật độ bộ mang bộ phận nhận là lớn hơn khoảng $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Một cách tương tự, vật liệu được xem là loại n nếu các bộ phận mang cho điện tử có mặt trong khoảng giới hạn từ khoảng $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ tới khoảng $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, và loại n+ nếu mật độ bộ mang bộ phận cho là lớn hơn khoảng $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Các biên là không cứng nhắc và có thể chòng lún do lớp có thể là p+ so với lớp loại p (hoặc n+ so với lớp loại

n) nếu nồng độ bộ mang lớn hơn ít nhất là 2 bậc của độ lớn (nghĩa là gấp 100 lần), mà không cần quan tâm tới mật độ bộ mang tuyệt đối. Ngoài ra, xem xét một số mật độ điện tích lớn hơn khoảng $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ là loại “++”; và do đó lớp hoặc là loại n hoặc là loại p có thể là “++” so với lớp cùng loại nghĩa lại tự bản thân là “+” so với lớp thứ ba, nếu lớp ++ có mật độ bộ mang cùng loại lớn hơn 100 lần so với mật độ của lớp +.

Mặc dù các phương án thực hiện làm ví dụ được thể hiện, nhưng cần hiểu rằng có rất nhiều biến thể khác vẫn tồn tại. Cần hiểu rằng phương án thực hiện làm ví dụ hoặc các phương án thực hiện làm ví dụ này chỉ là các ví dụ, và không nhằm hạn chế phạm vi bảo hộ của sáng chế, khả năng áp dụng, hoặc cấu hình của sáng chế theo bất kỳ cách nào. Ngoài ra, phần mô tả chi tiết tạo ra cho người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật đường hướng để áp dụng các phương án thực hiện làm ví dụ của sáng chế. Cần hiểu rằng nhiều thay đổi có thể được tạo ra trong chức năng và trong bố trí của các thành phần được mô tả trong phương án thực hiện làm ví dụ mà không tách khỏi phạm vi bảo hộ của sáng chế được chỉ ra trong các yêu cầu bảo hộ kèm theo.

Trong phần mô tả sau, các tham khảo được tạo ra với các hình vẽ kèm theo tạo thành một phần của bản mô tả này, và được thể hiện bằng cách minh họa, các phương án thực hiện cụ thể, hoặc các ví dụ. Đề cập tới các hình vẽ, trong đó các số chỉ dẫn giống nhau thể hiện các thành phần giống nhau trong khắp các hình vẽ, các khía cạnh của thiết bị quang điện sẽ được mô tả.

Việc hình thành của các tiếp xúc sau ổn định, điện trở thấp cho các tế bào pin mặt trời CdTe có thể bị thách thức do các kim loại thường được sử dụng cho các tiếp xúc sau cho CdTe không có các công thoát đủ lớn để tạo thành các tiếp xúc omic tốt cho CdTe, và có xu hướng tạo thành dạng Schottky, hoặc các rào ngăn. Cách tiếp cận thông thường để khắc phục trở ngại này là hoặc là làm giảm rào hoặc là điều chỉnh độ rộng của nó bằng cách pha tạp mạnh CdTe với Cu tại giao diện tiếp xúc sau CdTe. Làm như vậy có thể cải thiện hiệu quả hoạt động ban đầu của thiết bị, tuy nhiên, việc phân tán của các nguyên tử đồng từ vùng tiếp xúc sau về phía tiếp giáp dị thể theo thời gian dẫn tới Voc bị giảm và đóng góp vào việc làm giảm chất lượng thiết bị. Việc suy giảm tiếp xúc sau thường tạo thành trong việc giảm thông số điền đầy (fill factor - FF), do việc tăng trong điện trở nối tiếp và/hoặc việc tạo thành của diot sau, chặn.

Các thách thức khác để thu được hiệu suất cao hơn là khó trong việc tạo tiếp xúc sau omic thỏa mãn để làm giảm việc tái tổ hợp điện tử thiếu số bề mặt phía sau, và việc tận dụng tối đa của tất cả các bước sóng của ánh sáng sẵn có. Để thu thập nhiều ánh sáng IR hơn, các kỹ thuật truyền thống đều dẫn tới việc sử dụng các lớp hấp thụ dày hơn. Tuy nhiên, do ánh sáng IR xâm nhập quá sâu, thậm chí cho các lớp hấp thụ dày nên việc thu thập hiệu quả của các bộ phận mang điện tích được sinh ra từ các bước sóng này là không khả thi do các bộ phận mang điện tích được tạo ra bên ngoài vùng làm nghèo tiếp giáp.

Một cách để tăng việc thu thập của bức xạ IR, cùng với ánh sáng nhìn thấy, là sử dụng thiết bị nhiều tiếp giáp. Các tế bào pin mặt trời nhiều tiếp giáp có thể đạt được hiệu suất biến đổi tổng cộng cao hơn các tế bào tiếp giáp đơn bằng cách thu phần lớn hơn của phổ mặt trời. Các thiết bị này có thể được tạo thành như là các cấu trúc được tích hợp liền khối với nhiều hơn một tiếp giáp p-n và với các vật liệu có các tính chất độ rộng vùng cấm khác nhau cho các khoảng giới hạn khác nhau của phổ. Với thiết bị mà trong đó nguồn sáng sơ cấp là từ phía trên thì ánh sáng tới trên tế bào ở trên nhất có độ rộng vùng cấm lớn để thu được các bước sóng ngắn đầy năng lượng, trong khi tế bào thấp hơn có độ rộng vùng cấm và thu các bước sóng dài hơn và các quang tử bị phản xạ. Thiết bị nhiều tiếp giáp có thể có hai (ghép đôi) hoặc nhiều tế bào phụ với các tiếp giáp đường hầm giữa các tế bào phụ.

Các tiếp giáp đường hầm có tác dụng cho các mục đích khác nhau. Trong các tế bào quang điện, các tiếp giáp đường hầm tạo thành các kết nối giữa các tiếp giáp p-n liên tiếp, bằng cách kết nối đầu cuối của diot thứ nhất với đầu cuối p của diot thứ hai hoặc ngược lại. Các lớp tiếp giáp đường hầm hoạt động như là tiếp xúc điện omic nằm trong thiết bị quang điện.

Có các thách thức trong việc sử dụng CdTe làm vật liệu tiếp giáp đường hầm trong thiết bị nhiều tiếp giáp. Một lý do là do CdTe là khó để pha tạp p+ một cách hiệu quả, làm cho việc tạo ra của tiếp giáp đường hầm trong lớp CdTe trở thành vấn đề cho một số ứng dụng, như tế bào ghép đôi. Một giải pháp cho thách thức này là làm khớp theo cách chọn lọc các vật liệu thích hợp cho việc sử dụng với CdTe mà cũng có thể được

điều chỉnh bởi việc thay đổi thành phần thành p^+ để tạo ra tế bào ghép đôi với các đặc tính hấp thụ tốt.

Ánh sáng khuếch tán và ánh sáng được phản xạ khỏi mặt đất và các cấu trúc gần đó là ánh sáng sẵn có mà chưa được thu thập do nó bị phản xạ ra khỏi phía sau của tấm năng lượng mặt trời, hoặc bị biến đổi thành nhiệt. Một giải pháp cho thách thức thu thập ánh sáng này là việc tạo ra thiết bị được tạo thành dạng hai mặt hoặc thiết bị hai mặt. Ánh sáng sau đó có thể được thu qua cả bề mặt phía sơ cấp hoặc trước cũng như bề mặt thứ cấp hoặc mặt sau của thiết bị quang điện vào trong lớp hấp thụ bên trong để chuyển đổi thành dòng điện. Các thiết bị màng mỏng gốc CdTe hai mặt theo truyền thống thể hiện độ tăng cường biến đổi thấp của việc chiếu sáng phía sau, tuy nhiên, do cấu hình lớp làm cho các quang tử được hấp thụ phía sau cần được sinh ra ở khoảng cách nào đó tính từ tiếp giáp dị thể. Một giải pháp cho vấn đề này là tạo ra thiết bị hai mặt với lớp phản xạ điện tử.

Theo các phương án thực hiện hai mặt, nhiều lớp bán dẫn màng mỏng (“chồng”) được kẹp giữa bề mặt phía trước và bề mặt phía sau, phía trước đang là phía “năng” quay mặt về phía bức xạ mặt trời. Nằm trong chồng bán dẫn, lớp ngoài cùng nhất trên phía trước là oxit dẫn trong suốt loại n ; lớp ngoài cùng nhất trên phía sau là oxit dẫn trong suốt thứ cấp, có thể là loại p hoặc loại n . Mặc dù lớp dẫn trong suốt loại p sẽ tốt hơn nếu là tiếp xúc cho bộ hấp thụ loại p hoặc là lớp giao diện, nhưng sẽ khó để lắp ráp. Lớp dẫn trong suốt loại n là dễ lắp ráp hơn, nhưng lại yêu cầu tiếp giáp đường hầm để tiếp xúc với bộ hấp thụ loại p hoặc lớp giao diện loại p . Lớp giao diện loại p^+ là liền kề với oxit dẫn trong suốt loại n^+ ; và lớp hấp thụ loại p là giữa lớp giao diện loại p^+ và oxit dẫn trong suốt loại n . Tất nhiên, cũng có thể có đế, siêu đế, các lớp bao, các lớp chống phản xạ và/hoặc các lớp tùy chọn khác ở bên ngoài của (nghĩa là ở phía trước của) bề mặt phía trước hoặc bên ngoài của (nghĩa là đằng sau) bề mặt phía sau.

Thiết bị quang điện có thể chứa lớp phản xạ điện tử (electron reflector - ERF) để cải thiện dòng chảy điện bằng cách tạo ra tiếp xúc omic để đạt được hiệu suất hoạt động cao tại giao diện giữa lớp hấp thụ và lớp giao diện hoặc lớp tiếp xúc sau. Bộ phản xạ điện tử làm giảm tổn thất điện tích giữa lớp hấp thụ và tiếp xúc sau bằng cách làm giảm

việc tái tổ hợp của các cặp điện tử-lỗ trống tại bề mặt của lớp hấp thụ gần nhất với tiếp xúc sau.

Lớp ERF giữa catmi telurit (CdTe) hoặc lớp hấp thụ catmi selenit telurit và đường dẫn dòng sau có thể được tạo thành từ vật liệu có độ rộng vùng cấm cao hơn độ rộng vùng cấm của bộ hấp thụ. Lớp ERF độ rộng vùng cấm lớn hơn sau đó tạo ra rào năng lượng bằng dẫn yêu cầu năng lượng cao hơn để điện tử di chuyển, nhờ đó làm giảm số điện tử có xu hướng và năng lượng để di trú qua lớp ERF vào trong tiếp xúc sau trong đó chúng có thể khả năng tái hợp với các lỗ trống chảy ra khỏi tiếp xúc sau.

Lớp ERF có thể chứa lớp kẽm telurit (ZnTe), hoặc Magan Telurit (MnTe) hoặc Magan Telurit (MgTe). Theo cách khác lớp phản xạ điện tử có thể chứa lớp hợp chất tam nguyên như catmi kẽm telurit (CdZnTe), catmi Mangan Telurit (CdMnTe) hoặc catmi Magan Telurit (CdMgTe), hoặc các tổ hợp của các hợp chất nhị nguyên và tam nguyên hoặc các vật liệu khác có cấu trúc độ rộng vùng cấm thích hợp. Các hợp chất này và các hợp chất tương tự có thể đặc trưng chung bởi công thức $Cd_zM_{(1-z)}Te$, trong đó M thể hiện Zn, Mg hoặc Mn, và z là từ 0 tới khoảng 99 % nguyên tử thường từ 0 tới khoảng 60 % nguyên tử.

Trong một số cấu trúc, ERF có thể chứa chất pha tạp. Theo một số phương án thực hiện, ERF bao gồm lớp ZnTe được pha tạp với đồng Telurit (Cu_2Te) lên tới 5% nồng độ nguyên tử. Theo cách khác, lớp phản xạ điện tử có thể chứa lớp kép của vật liệu các các thành phần khác nhau, với lớp thứ nhất chứa ZnTe hoặc catmi kẽm telurit (CZT hoặc CdZnTe) và lớp thứ hai Cu_2Te . Theo một số phương án thực hiện, bộ phản xạ điện tử có thể có độ dày nằm giữa 5 nm đến 25 nm hoặc độ dày giữa khoảng 15 nm đến 20 nm.

Theo một số phương án thực hiện, ERF có thể có gradien chất pha tạp qua độ dày của ERF. Ví dụ nồng độ của Cu_2Te có thể là 0,01% tại tiếp giáp bộ hấp thụ/ERF tăng tới 5% tại tiếp giáp giữa ERF và lớp điệ cực sau. Gradien chất pha tạp có thể tăng theo bậc hoặc nó có thể tăng một cách liên tục. Các bộ phản xạ điện tử được bọc lộ đầy đủ hơn trong bằng sáng chế cùng chủ số 9,269,849, được kết hợp ở đây bằng cách viện dẫn.

Đề cập tới các hình vẽ, Fig.1 mô tả một phương án thực hiện của thiết bị quang điện 100 theo sáng chế, trong đó số lớp được thể hiện và được mô tả. Các lớp được mô tả, các vật liệu được sử dụng, và/hoặc các phương pháp tạo thành các lớp thiết bị quang

điện 100 có thể được thay thế, được chứa, bên cạnh các lớp đã được mô tả, hoặc không có mặt trong các phương án thực hiện của sáng chế được mô tả bên dưới và được minh họa trong các hình vẽ kèm theo. Cần hiểu rằng mỗi lớp trong các lớp có thể được lắng đọng trong việc lắng đọng lớp đơn từ vật liệu đơn, từ việc xử lý nhiều lớp từ vật liệu đơn, hoặc từ việc xử lý nhiều lớp từ nhiều vật liệu.

Thiết bị quang điện 100 trên Fig.1 chứa lớp đế 110, lớp oxit dẫn trong suốt (transparent conductive oxide - TCO) thứ nhất 120, lớp hấp thụ thứ nhất loại p 130, lớp giao diện 140, và lớp tiếp xúc trong suốt 150 trong đó lớp tiếp xúc trong suốt 150 có tác dụng như là tiếp xúc sau. Thiết bị quang điện còn chứa các kết nối điện tạo ra đường dẫn dòng để liên lạc các luồng dòng điện được sinh ra, như từ một tế bào quang điện tới các tế bào liền kề trong môđun hoặc từ một môđun quang điện tới các môđun liền kề trong mảng. Theo cách khác, các kết nối điện có thể dẫn luồng dòng điện tới thiết bị tải bên ngoài, trong đó dòng được sinh ra nhờ quang học sẽ tạo ra năng lượng. Theo một phương án thực hiện, lớp TCO thứ nhất 120 có tác dụng như là điện cực phía trước mà cực dẫn thứ nhất được vào và lớp tiếp xúc trong suốt 150 có tác dụng như là điện cực sau mà cực dẫn thứ hai được gắn vào.

Lớp đế 110 tạo ra bề mặt là các lớp vật liệu được lắng đọng trên đó để tạo ra thiết bị quang điện. Lớp đế 110 bao gồm đế thích hợp bất kỳ, như đế thủy tinh vô natri, thủy tinh nổi hoặc thủy tinh sắt thấp. Theo cách khác, lớp đế 110 có thể chứa các vật liệu polyme, gốm, hoặc các vật liệu khác tạo cấu trúc bền vững để tạo thành đế của tế bào quang điện. Đế không phải là thiết yếu đối với sáng chế, nhưng là môi trường cần thiết để tạo các lớp màng mỏng sau đó. Mặc dù các lớp thường được mô tả ở đây ở dạng cấu hình siêu đế, trong đó ánh sáng từ mặt trước đi tới qua đế, cấu hình “đế” thực sự, trong đó đế là trên một phía của tiếp xúc sau, là cũng khả thi.

Lớp đế 110 có thể có các lớp phủ bề mặt khác nhau trên các bề mặt bên trong và bên ngoài, theo nghĩa của thiết bị đã hoàn thành. Lớp đế 110 có thể có các lớp bên ngoài bổ sung được áp dụng để cải thiện việc truyền của ánh sáng và hiệu quả hoạt động của thiết bị, có thể chứa các lớp phủ chống phản xạ và/hoặc các lớp phủ chống bẩn. Đế cũng có thể có các lớp phủ trên bề mặt bên trong, như, ví dụ là, lớp bộ đệm hoặc lớp rào. Lớp rào có thể được sử dụng để thúc đẩy độ ổn định hóa học của lớp đế 110 bằng cách ức

chế việc phân tán của các ion từ, vào trong, hoặc đi qua đế. Lớp rào có thể được tạo thành từ, ví dụ, silic nitrit, silic oxit, oxit silic được pha tạp nhôm, silic nitrit được pha tạp bo, silic nitrit được pha tạp photpho, oxit silic-nitrit, hoặc các tổ hợp hoặc các hợp kim của chúng.

Lớp TCO thứ nhất 120 tạo ra vật liệu trong suốt, dẫn điện hoạt động như là điện cực phía trước cho thiết bị quang điện để nối dòng điện được sinh ra tới mạch, có thể chứa thiết bị quang điện liền kề, như các tế bào lân cận nằm trong môđun quang điện. Các lớp phủ bên trong cùng với ít nhất một lớp oxit dẫn trong suốt tạo thành chồng TCO.

Lớp TCO thứ nhất 120 có thể được tạo thành từ oxit dẫn trong suốt. Các oxit dẫn trong suốt làm ví dụ chứa, nhưng không hạn chế ở, thiếc oxit, oxit kẽm, kẽm sulfua, catmi oxit và gali oxit, có thể được pha tạp với các nguyên tố như indi, flo, hoặc các chất pha tạp khác; như indi gali oxit, indi thiếc oxit, indium oxit kẽm, catmi stanat (Cd_2SnO_4), catmi thiếc oxit, catmi oxit được pha tạp indi, thiếc oxit được pha tạp flo, oxit kẽm được pha tạp nhôm, indi thiếc oxit, và các tổ hợp và các biến thể được pha tạp của chúng.

Theo một phương án thực hiện được thể hiện trên Fig.1, TCO được pha tạp để tạo thành lớp bán dẫn loại n. Lớp TCO thứ nhất 120 có thể được tạo thành qua lớp đế 110, hoặc lớp rào (nếu được chứa). Theo một phương án thực hiện cụ thể, lớp TCO thứ nhất 120 bao gồm lớp kép của lớp thiếc oxit được pha tạp flo ($\text{SnO}_2\text{:F}$) với lớp, SnO_2 không được pha tạp.

Chồng TCO có thể còn chứa các lớp vật liệu bổ sung được áp dụng trên bề mặt lớp TCO thứ nhất 120, như lớp bộ đệm thúc đẩy chức năng điện của TCO hoặc tạo ra bề mặt được cải thiện cho việc lắng đọng sau đó của các vật liệu bán dẫn. Theo một phương án thực hiện, lớp rào được tạo thành qua lớp TCO thứ nhất và bao gồm vật liệu được chọn từ: thiếc oxit, oxit thiếc kẽm, oxit kẽm, kẽm oxysulfua, hoặc oxit kẽm magiê. Theo một phương án thực hiện, lớp TCO thứ nhất 120 bao gồm lớp thiếc oxit được pha tạp flo ($\text{SnO}_2\text{:F}$) có nồng độ bộ mang là 1×10^{17} tới $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, với lớp bộ đệm SnO_2 điện trở suất cao hơn, không được pha tạp được lắng đọng trên lớp TCO 120. Lớp bộ đệm SnO_2 có độ dày khoảng 20 nm đến 100 nm.

Theo một số phương án thực hiện lớp cửa sổ loại n tùy chọn được bố trí giữa lớp TCO thứ nhất 120 và lớp hấp thụ thứ nhất 130 để hoạt động như là đối tác tiếp giáp bán dẫn loại n cho bộ hấp thụ loại p. Catmi sulfua và các chất bán dẫn cửa sổ loại n thích hợp khác có thể được sử dụng. Trong các cấu hình khác, như được thể hiện trên Fig.1, các lớp cửa sổ là tùy chọn và có thể được bỏ qua, trong trường hợp đó lớp TCO 120 có thể có tác dụng như đối tác tiếp giáp loại n. Các thiết bị màng mỏng không có lớp cửa sổ thông thường được bộc lộ đầy đủ hơn trong bằng sáng chế đồng sở hữu của Mỹ số công bố No. 2016/0126395 A1, được kết hợp ở đây bằng cách viện dẫn.

Lớp hấp thụ thứ nhất 130 được bố trí qua lớp TCO thứ nhất 120 và lớp đế 110. Lớp hấp thụ thứ nhất 130 bao gồm vật liệu bán dẫn loại p để tạo thành vùng nằm trong thiết bị quang điện 100. Theo một phương án thực hiện, lớp TCO thứ nhất 120 và lớp hấp thụ thứ nhất 130 tạo thành tiếp giáp n-p. Lớp hấp thụ thứ nhất 130 hấp thụ các quang tử đi qua lớp TCO thứ nhất 120 để làm linh động hóa các bộ phận mang điện tích. Lớp hấp thụ thứ nhất 130 có thể mang hợp kim tam nguyên được tạo thành từ catmi telurit chứa selen (CdSeTe). Việc sử dụng Se với CdTe trong lớp hấp thụ thứ nhất 130 tạo ra việc điều khiển bổ sung qua thay đổi độ rộng vùng cấm (E_g) do độ rộng vùng cấm của lớp hấp thụ thứ nhất 130 bị thay đổi bởi sự có mặt của Se ở trong đó. Ví dụ, độ rộng vùng cấm của lớp hấp thụ thứ nhất 130 được giảm bằng cách tăng thành phần Se lên tới 40 % nguyên tử so với Te. Theo một phương án thực hiện, thành phần của lớp hấp thụ thứ nhất 130 có thể có mặt bởi công thức $\text{CdSe}_x\text{Te}_{(1-x)}$ trong đó x là giữa khoảng 1 % và khoảng 40 % nguyên tử (nghĩa là, khoảng 0,01 tới khoảng 0,40). Nếu được phân cấp, nồng độ cao nhất có thể giữa khoảng 15 % nguyên tử và khoảng 40 % nguyên tử % (nghĩa là, khoảng 0,15 tới khoảng 0,40) sao cho, ví dụ, giữa khoảng 15 % nguyên tử và 30 % nguyên tử (nghĩa là, khoảng 0,15 tới khoảng 0,40). Lớp hấp thụ thứ nhất 130 có thể có độ dày giữa 0,5 μm đến 8,0 μm , hoặc độ dày giữa 1,0 μm đến 3,5 μm , hoặc độ dày giữa 1,85 và 2,25 μm . Theo một phương án thực hiện làm ví dụ lớp hấp thụ thứ nhất 130 là 2,1 μm $\text{CdSe}_x\text{Te}_{(1-x)}$ trong đó trị số trung bình của x là nhỏ hơn 25 % nguyên tử.

Lớp hấp thụ thứ nhất 130 có thể được tạo thành bởi lớp vật liệu được lắng đọng trên thiết bị quang điện 100, hoặc lớp hấp thụ thứ nhất 130 có thể được tạo thành bởi nhiều lớp vật liệu được lắng đọng trên thiết bị quang điện 100 được xử lý, như bằng

cách ủ, để tạo thành hợp kim. Gradient có thể được tạo thành nằm trong lớp hấp thụ thứ nhất 130 được biểu diễn bởi việc tăng liên tục trong nồng độ, thay đổi dạng bậc trong nồng độ hoặc dạng tương tự. Gradient này có thể áp dụng vào Se trong trường hợp của hợp kim tam nguyên, trong đó trị số “x” thay đổi qua suốt độ dày của bộ phận hấp thụ, hoặc cho chất pha tạp trong bộ phận hấp thụ.

Lớp giao diện được chỉ ra tại 140. Lớp giao diện 140 bao gồm kẽm telurit hoặc catmi kẽm telurit được pha tạp mạnh p+ với đồng, bạc, hoặc vàng, và có thể được biểu diễn bởi công thức $Cd_yZn_{(1-y)}Te:D$, trong đó y có thể từ 0 tới khoảng 90 % nguyên tử, ví dụ, từ 0 tới khoảng 60 % nguyên tử, hoặc từ khoảng 30 % nguyên tử, tới khoảng 60 % nguyên tử, và “:D” chỉ thị chất pha tạp trong công thức.

Trong trường hợp của tế bào điện mặt trời ghép đôi, lớp $Cd_yZn_{(1-y)}Te$ được pha tạp với Cu tạo thành lớp p+ của tiếp giáp đường hầm kết nối các tế bào điện mặt trời thứ nhất (“đỉnh”) và thứ hai (“đáy”) như được thể hiện trên Fig.9. Theo các phương án thực hiện khác, lớp giao diện 140 bao gồm $Cd_yZn_{(1-y)}Te:D$ được pha tạp với các kim loại quý khác (như bạc hoặc vàng), vật liệu nhóm V (như nitơ, photpho, hoặc acsen), hoặc tổ hợp của các vật liệu từ cả hai nhóm. Lớp giao diện 140 trải dài trong độ dày từ 10 nm đến 50 nm. Theo một phương án thực hiện cụ thể, lớp giao diện 140 là ZnTe được pha tạp Cu với độ dày 25 nm và nồng độ đồng là 0,01 đến 1,0 % Cu theo khối lượng nguyên tử.

Lớp tiếp xúc trong suốt 150 cần phải trong suốt và thể hiện các tính chất điện thích hợp cho tiếp xúc sau tới lớp hấp thụ thứ nhất 130 và khả năng phục vụ như là lớp n+ của tiếp giáp đường hầm. Trong các tính chất điện mong muốn, có đặc điểm về công thoát cần phù hợp tốt với ái lực điện tử của lớp hấp thụ thứ nhất 130 sao cho các bộ phận mang điện tích dương (các lỗ trống) có thể chảy một cách sẵn sàng vào trong lớp tiếp xúc trong suốt 150. Lớp tiếp xúc trong suốt 150 bao gồm oxit dẫn trong suốt (transparent conductive oxide - TCO) được pha tạp n+ mạnh. Một số oxit được pha tạp thích hợp bao gồm oxit kẽm hoặc thiếc oxit được pha tạp với nhôm, indium, hoặc flo, hoặc catmi stanat. Các TCO khác có khả năng được pha tạp n+ mạnh cũng có thể là thích hợp.

Lớp tiếp xúc trong suốt 150, cùng với lớp giao diện 140, hoạt động như là tiếp giáp đường hầm trong suốt. Trong các phương án thực hiện hai mặt, như được thể hiện trên

Fig.1 và Fig.8, lớp tiếp xúc trong suốt 150 cho phép việc đi tới của ánh sáng trên mặt sau đi qua bộ hấp thụ và có tác dụng như là tiếp xúc sau. Trong các phương án thực hiện ORF, như được thể hiện trên Fig.5, lớp tiếp xúc trong suốt 150, truyền ánh sáng theo hai hướng: thứ nhất từ bộ hấp thụ qua bề mặt phản xạ của ORF, và thứ hai chuyển ánh sáng được phản xạ trở lại qua lớp 150 tới lớp hấp thụ một lần nữa. Trong thiết bị ghép đôi, như được thể hiện trên Fig.9, lớp tiếp xúc trong suốt được pha tạp mạnh 150 tạo thành lớp n^+ của tiếp giáp đường hầm kết nối tế bào thứ nhất (“đỉnh”) 410 và tế bào thứ hai (“đáy”) 420.

Do đó, lớp tiếp xúc trong suốt 150 có tác dụng nhiều hơn một mục đích. Đầu tiên, lớp tiếp xúc trong suốt 150 cho phép ánh sáng bị phản xạ và ánh sáng đi tới từ phía sau đi vào từ phía sau của thiết bị quang điện 100 để được thu bởi lớp hấp thụ thứ nhất 130 để sinh ra các điện tử và các lỗ trống. Thứ hai, lớp tiếp xúc trong suốt 150 là lớp tiếp giáp đường hầm n^+ cho phép việc vận chuyển hiệu quả hơn của các lỗ trống từ lớp hấp thụ thứ nhất 130 tới kết nối điện phía sau bằng cách giảm việc tái hợp điện tử/lỗ trống không có ý xuất hiện giữa tiếp xúc sau truyền thống và các lớp điện cực sau. Thứ ba, nó tạo ra tiếp xúc omic trong suốt để sử dụng trong thiết bị nhiều tiếp giáp.

Theo một số phương án thực hiện, lớp tiếp xúc trong suốt 150 là AZO trong đó mức độ pha tạp nhôm là trong khoảng giới hạn từ 2 % nguyên tử tới 8 % nguyên tử và độ dày là trong khoảng giới hạn từ 20 nm đến 1000 nm. Theo một phương án thực hiện, mức pha tạp nhôm là 5 % nguyên tử % và lớp tiếp xúc sau trong suốt 150 dày khoảng 500 nm.

Theo phương án thực hiện của Fig.1 và trong tất cả các phương án thực hiện được mô tả ở đây, lớp dẫn trong suốt 120 đề cập tới lớp dẫn điện trong suốt, có thể có tác dụng như là tiếp xúc điện phía trước. Một cách tương tự, lớp tiếp xúc trong suốt 150 cũng là lớp dẫn điện là trong suốt, cũng có thể có tác dụng như là tiếp xúc điện phía sau trong phương án thực hiện hai mặt hoặc ERF.

Fig.1 mô tả thiết bị quang điện hai mặt quang học 100. Thiết bị quang điện hai mặt 100 có thể thu thập ánh sáng tới trên bề mặt phía trước qua lớp TCO thứ nhất 120 và thu thập ánh sáng tới trên bề mặt phía sau qua lớp tiếp xúc trong suốt 150. Hiệu quả hoạt động của thiết bị quang điện 100 có thể được cải thiện bằng cách điều chỉnh các độ dày

của các lớp, như lớp hấp thụ thứ nhất 130 và lớp tiếp xúc trong suốt 150, thụ động hóa giao diện tiếp xúc sau để làm giảm việc tái tổ hợp điện tử-lỗ trống, và/hoặc tận dụng bộ phận dẫn thứ cấp. Một áp dụng này được mô tả trên Fig.2.

Fig.2 thể hiện thiết bị trên Fig.1 với việc bổ sung của bộ phận dẫn thứ cấp 180. Bộ phận dẫn thứ cấp 180 có thể là bộ các ngón tay lưới kim loại được đặt tách nhau để cho phép ánh sáng đi qua vào trong thiết bị quang điện 100 từ đằng sau qua lớp tiếp xúc trong suốt 150. Bộ phận dẫn thứ cấp 180 có thể được sử dụng trong kết hợp với lớp tiếp xúc trong suốt mỏng hơn 150. Theo một số phương án thực hiện, thiết bị tiếp xúc sau chứa về cơ bản là lớp tiếp xúc trong suốt 150 và bộ phận dẫn thứ cấp 180. Theo một số phương án thực hiện, có bộ phận dẫn thứ cấp 180, lớp tiếp xúc trong suốt 150 là oxit kẽm được pha tạp nhôm trong đó mức pha tạp nhôm là khoảng 5 đến 6 % nguyên tử với độ dày nhỏ hơn 500 nm. Theo một số phương án thực hiện, lớp tiếp xúc trong suốt 150 độ dày là giữa 100 nm và 300 nm.

Theo một số phương án thực hiện, bộ phận dẫn thứ cấp 180 bao gồm các dây song song. Theo một số phương án thực hiện, bộ phận dẫn thứ cấp 180 bao gồm các dải kim loại song song, rộng hơn trong hướng chòng-cắt chéo để mang nhiều dòng điện hơn, và hẹp hơn trong hướng mặt phẳng-cắt chéo để tối thiểu hóa việc làm mờ và tổn thất che mờ. Theo một số phương án thực hiện, thành phần bộ phận dẫn thứ cấp 180 bao gồm một hoặc nhiều vật liệu được chọn từ: Au, Cu, Al, và Ag. Theo một số phương án thực hiện, thành phần bộ phận dẫn thứ cấp 180 về cơ bản là không có đồng. Theo một số phương án thực hiện, bộ phận dẫn thứ cấp 180 được nhúng, hoặc được nhúng một phần, trong lớp tiếp xúc trong suốt 150. Theo một số phương án thực hiện, bộ phận dẫn thứ cấp 180 là liền kề với, và tiếp xúc một cách trực tiếp với lớp tiếp xúc trong suốt 150. Theo một số phương án thực hiện, phía sau còn chứa lớp bề mặt phía sau hoặc phần bao. Theo một số phương án thực hiện, bộ phận dẫn thứ cấp 180 tiếp xúc và liền kề với lớp tiếp xúc trong suốt 150 và được nhúng hoặc được nhúng một phần, trong lớp bề mặt phía sau hoặc phần bao.

Theo một số phương án thực hiện, thành phần của lớp bề mặt phía sau, bộ phận dẫn thứ cấp 180, lớp tiếp xúc trong suốt 150, và lớp giao diện 140 tất cả về cơ bản là không có đồng. Theo một số phương án thực hiện, thành phần của lớp bề mặt phía sau,

bộ phận dẫn thứ cấp 180, lớp tiếp xúc trong suốt 150, và lớp giao diện 140 tất cả về cơ bản là không có graphit.

Hiệu suất lượng tử (Quantum efficiency - QE) là tổ hợp của việc sinh các cặp điện tử-lỗ trống và hiệu suất của việc thu thập bộ phận mang trong tế bào pin mặt trời. QE là tỉ lệ các bộ phận mang điện tích được tạo ra so với các quang tử tới. Trị số QE chỉ thị lượng dòng điện mà thiết bị quang điện sẽ tạo ra khi được chiếu xạ bởi các quang tử có bước sóng cụ thể. Hiệu suất lượng tử (quantum efficiency - QE) của thiết bị quang điện có thể được tích hợp qua khoảng giới hạn phổ mặt trời, và QE có thể được biểu diễn như là trị số phần trăm. Do đó, QE có thể được sử dụng trong việc dự đoán lượng dòng điện mà tế bào quang điện sẽ tạo ra khi được phơi ra trước ánh sáng mặt trời hoặc ánh sáng tới khác.

Fig.3 mô tả các số đo hiệu suất lượng tử (Quantum Efficiency - QE) cho việc chiếu sáng mặt trước (front-side - SS) và mặt sau (back-side - FS) của thiết bị quang điện hai mặt có lớp hấp thụ (CdSeTe) thứ nhất 130 dày 2,1 μm và lớp tiếp xúc trong suốt oxit kẽm được pha tạp nhôm (aluminum-doped zinc oxide- AZO) dày 500 nm 150. Các số đo QE được lấy bằng cách chiếu sáng trực tiếp phía trước (front-side - SS) và phía sau (back-side - FS) với nguồn sáng giống nhau. Như có thể thấy từ phần chiếu sáng phía sau (back-side - FS) của đường cong, có việc thu thập dòng điện xuất hiện qua lớp tiếp xúc trong suốt 150 (ở đây là, AZO), cụ thể là trong đầu cuối đỏ và đầu cuối hồng ngoại của phổ, với việc hấp thụ ánh sáng IR phía sau, đáng kể giữa 800 nm và 900 nm. Các kết quả này minh họa khả năng sử dụng AZO trong cấu hình tế bào pin mặt trời hai mặt và thể hiện việc hấp thụ IR tốt. Việc thu thập ở phía sau (Back-side - FS) có thể còn được cải thiện bằng cách điều chỉnh các độ dày của các lớp, như lớp hấp thụ thứ nhất 130 và lớp tiếp xúc trong suốt 150, thụ động hóa giao diện tiếp xúc sau để làm giảm việc tái tổ hợp điện tử, và/hoặc tận dụng bộ phận dẫn thứ cấp. Fig.3 cũng thể hiện rằng trong giới hạn của các bộ phận hấp thụ mỏng, QE phía sau (back-side - FS) hội tụ với QU phía trước (front-side - SS).

Fig.4 đưa ra đường cong I-V thể hiện hiệu quả hoạt động của thiết bị quang điện, cũng như các trị số của các thông số hiệu quả hoạt động tế bào thông thường như mật độ dòng điện (current density - JQE), và thông số điền đầy (fill factor - FF). Như có thể

được thấy, mật độ dòng điện là 27,8 mA và FF là 72%. Đường cong I-V không chỉnh lưu, quan sát được thể hiện rằng các tiếp giáp đường hầm omic có thể được tạo thành với việc sử dụng của lớp tiếp xúc trong suốt AZO 150. Nó cho phép các tiếp giáp đường hầm thực tế sử dụng các xử lý CdTe thông thường cho việc tạo thành của lớp tiếp giáp đường hầm p+ thứ nhất và các quy trình sản xuất có hiệu quả về mặt giá thành để tạo lớp tiếp giáp đường hầm n+ thứ hai.

Fig.5 là mô tả của thiết bị quang điện làm ví dụ 200. Thiết bị quang điện 200 trên Fig.5 được tạo ra tương tự như với thiết bị quang điện trên Fig.1 với việc bổ sung lớp phản xạ quang học 160. Lớp phản xạ quang học (optical reflector - ORF) 160 được bố trí trên lớp tiếp xúc trong suốt 150 để cải thiện hiệu suất của tế bào quang điện 200. Một số bước sóng ánh sáng đi qua tế bào quang điện 200 mà không bị hấp thụ trong lớp hấp thụ thứ nhất 130. Mục đích của lớp ORF 160 là để phản xạ ánh sáng không được hấp thụ này trở lại lớp hấp thụ thứ nhất 130 trong đó ánh sáng có cơ hội thứ hai để được hấp thụ để tăng việc sinh ra của bộ phận mang và nhờ đó làm tăng hiệu suất. Lớp phản xạ quang học 160 bao gồm Au, Ag, Al kim loại hoặc vật liệu thích hợp khác. Theo một phương án thực hiện làm ví dụ, lớp ORF 160 bao gồm lớp Au kim loại trong độ dày giữa 20 nm và 500 nm, thường giữa 50 nm và 200 nm, ví dụ giữa 75 nm và 150 nm. Theo một số phương án thực hiện, ORF có thể được lắng đọng làm lớp kép của nhôm với lớp mỏng hoặc là vàng hoặc bạc làm lớp thứ hai.

Để thu được cả việc truyền quang học tốt và tiếp xúc điện tốt trong phương án thực hiện của Fig.5, lớp tiếp xúc trong suốt 150 được bố trí giữa lớp giao diện trong suốt 140 và lớp phản xạ quang học (ORF) 160. Cùng với nhau, lớp tiếp xúc trong suốt 150 và lớp phản xạ quang học 160 tạo thành tiếp xúc sau. Theo một phương án thực hiện làm ví dụ, lớp tiếp xúc trong suốt 150 là ZnO được pha tạp Al 5 % nguyên tử trong khoảng giới hạn độ dày giữa 20 nm và 150 nm. Chú ý là nó là khác biệt với lớp TCO thứ nhất, tùy chọn là có thể là lớp kép của $\text{SnO}_2/\text{SnO}_2$ được pha tạp flo như được mô tả ở trên.

Đường cong của Fig.6 là việc so sánh QE giữa tiếp xúc sau lớp kép molybden nitrit (MoN_x/Mo) và phương án thực hiện làm ví dụ của Fig.5 với tiếp xúc sau AZO/Au lớp kép. Đường cong QE thể hiện khuếch đại hiệu suất tại ánh sáng bước sóng dài được hiện thực hóa bằng cách sử dụng tiếp xúc sau AZO/Au hơn là tiếp xúc sau oxit kim loại như

molybden nitrit (MoNx/Mo hoặc MoNx/Al). Như có thể thấy, có dòng tăng cường được thu bởi tiếp xúc sau AZO/Au tại các bước sóng giữa khoảng 0,8 - 0,9 μm (800-900 nm) minh họa hiệu ứng phản xạ quang học dương từ tiếp xúc sau AZO/Au. Có trị số nhỏ trong việc thêm vào của kim loại phản xạ cao trên MoNx do việc hấp thụ cao của nó, khi so sánh với AZO che lợi ích của việc phản xạ bất kỳ.

Fig.7A và Fig.7B biểu diễn các đường cong I-V để so sánh hiệu quả hoạt động của phương án thực hiện làm ví dụ của Fig.5 có tiếp xúc sau AZO/Au với độ dày cụ thể. Fig.7A và Fig.7B mỗi hình đưa ra các trị số cho các thông số hiệu quả hoạt động của tế bào thông thường như điện thế hở mạch (open circuit voltage - Voc), mật độ dòng ngắn mạch (short circuit current density - ở đây ghi là Jsc), và thông số điền đầy (fill factor - FF). Như có thể thấy, có ít khác biệt Jsc được quan sát giữa tiếp xúc sau ZnO:Al 20 nm và 150 nm. Kết quả này minh họa rằng độ dày lớp AZO không tác động đáng kể tới dòng điện do độ trong suốt tốt của AZO. Ngoài ra, so sánh với các đường cong I-V từ các hình vẽ Fig.7A và Fig.7B với Fig.4 thể hiện rằng việc thêm vào của lớp phản xạ quang học 160 để tạo thành tiếp xúc sau AZO/Au được thực hiện tốt bằng cách sinh ra nhiều dòng và điện thế hơn so với thiết bị sử dụng lớp tiếp xúc trong suốt AZO dày 500 nm 150 mà không có lớp phản xạ quang học.

Các lớp tiếp xúc trong suốt khác thể hiện mức độ tốt tương đương hoặc tốt hơn. Fig.10 so sánh các hiệu suất của các thiết bị PV bổ sung có ORF 160 như trên FIG 5, nhưng có các thành phần ORF/tiếp xúc sau thay đổi. Trong từng trường hợp, các thành phần thực nghiệm là nằm trong vài điểm phần trăm của tiếp xúc sau MoNx/Al 10 nm, có tác dụng như là việc điều khiển mà dữ liệu được chuẩn hóa tới đó. ORF/các tiếp xúc sau thực nghiệm là các lớp kép của lớp oxit kim loại 20 nm và lớp kim loại nhôm 120 nm. Các lớp oxit là catmi stanat (Cd_2SnO_4), oxit kẽm được pha tạp nhôm (AZO), và thiếc ôxit được pha tạp indium (indium doped tin oxide - ITO).

Fig.8 là mô tả của thiết bị quang điện làm ví dụ 300. Thiết bị quang điện 300 là phương án thực hiện hai mặt tương tự như phương án thực hiện được mô tả trên Fig.1 với việc thêm vào của lớp cửa sổ thứ nhất tùy chọn 185 và lớp phản xạ điện tử (electron reflector - ERF) tùy chọn 170. Lớp cửa sổ thứ nhất tùy chọn 185 được bố trí trên lớp TCO thứ nhất 120 và có thể được tạo thành từ vật liệu bán dẫn loại n về cơ bản là trong

suốt như, ví dụ, CdS, CdSSe, CdSe, kẽm sulfua (ZnS), ZnSe, ZnTe, hợp kim ZnS/CdS, ZnSO, catmi magiê sulfua, hoặc vật liệu có độ rộng vùng cấm lớn và ổn định thích hợp khác. Lớp cửa sổ thứ nhất 185 được bố trí giữa lớp oxit dẫn trong suốt thứ nhất 120 và lớp hấp thụ thứ nhất 130.

Khi sử dụng lớp cửa sổ thứ nhất loại n 185, lớp trong suốt điện trở cao (high resistivity transparent - HRT) tùy chọn hoặc lớp bộ đệm có thể được bố trí giữa lớp TCO thứ nhất 120 và lớp cửa sổ thứ nhất 185 để thúc đẩy chức năng điện của TCO, như cản trở các khuyết tật sơn (shunt) hoặc làm giảm hiệu ứng lỗ kim hoặc các diot yếu, hoặc để tạo ra bề mặt được cải thiện cho việc lắng đọng sau này của các vật liệu bán dẫn. Lớp HRT có thể là lớp kép sử dụng SnO₂ cộng với lớp SnO₂ nội tại giữa SnO₂ điện trở thấp và lớp cửa sổ thứ nhất 185. Hoặc, lớp HRT có thể là thành phần bất kỳ của nhóm được cụ thể cho lớp TCO thứ nhất 120 nhưng không có việc pha tạp sao cho điện trở là cao. Theo một phương án thực hiện, HRT là ZnO hoặc SnO₂ với độ dày khoảng 25 nm tới khoảng 200 nm. Theo một phương án thực hiện, HRT là ZnO hoặc SnO₂ với độ dày từ khoảng 50 nm tới khoảng 100 nm. Lớp bộ đệm có thể được tạo thành từ, ví dụ, thiếc oxit, oxit thiếc kẽm, oxit kẽm, kẽm oxysulfua, hoặc thiếc magie. Thiết bị quang điện 200 có thể bỏ qua lớp cửa sổ thứ nhất 185, do sự có mặt của lớp TCO thứ nhất loại n 120.

Lớp ERF được lắng đọng giữa lớp hấp thụ thứ nhất 130 và lớp giao diện 140, là một phần của tiếp giáp đường hầm. Lớp ERF 170 có thể chứa CdZnTe ("CZT"), CdMnTe, CdMgTe, hoặc các vật liệu thích hợp tương tự với độ rộng vùng cấm cao hơn lớp hấp thụ thứ nhất CdSe_xTe_(1-x) 130, như được mô tả ở trên. Theo một phương án thực hiện, ERF 170 là lớp kẽm telurit (ZnTe) được pha tạp với đồng telurit (Cu₂Te). Theo phương án thực hiện này, ERF 170 chứa chủ yếu là ZnTe với chất pha tạp Cu₂Te có mặt trong các nồng độ lên tới 5 % nguyên tử. ERF 170 có thể có độ dày là giữa khoảng 5 nm tới khoảng 25 nm.

Lớp ERF 170 có độ rộng vùng cấm cao hơn tạo ra rào năng lượng băng dẫn yêu cầu các năng lượng cao hơn cho điện tử để di chuyển qua nó. Nó làm cho các điện tử khó di chuyển ra khỏi lớp hấp thụ thứ nhất 130 về phía lớp tiếp xúc trong suốt 150 hơn, trong đó chúng có thể tái hợp với nồng độ của các lỗ trống, và thay vào đó, phản xạ các

điện tử về phía lớp TCO thứ nhất 120, đóng góp vào việc thu thập dòng điện và làm giảm việc tái hợp bộ phận mang điện tích. Việc tối thiểu hóa các khuyết tật mạng tinh thể, như bằng cách thụ động hóa tại lớp ZnO:Al cũng đóng góp vào việc làm giảm nồng độ của các vị trí tái hợp, và nhờ đó tăng việc thu thập năng lượng ở phía sau. Theo một phương án thực hiện, lớp ERF 170 được sử dụng trong thiết bị với lớp phản xạ quang học 160.

Fig.9 thể hiện một phương án thực hiện của thiết bị quang điện ghép đôi 400. Thiết bị quang điện 400 chứa các thành phần của thiết bị quang điện 100 từ Fig.1, cộng với các lớp bổ sung. Thiết bị quang điện ghép đôi 400 bao gồm tế bào thứ nhất (“đỉnh”) 410 và tế bào thứ hai (“đáy”) 420 được kết nối bởi tiếp giáp đường hầm. Trong các tế bào pin mặt trời màng mỏng ghép đôi, các đặc tính được mong muốn cho tiếp xúc phía trước TCO bao gồm, độ rộng vùng cấm cao, khả năng truyền ánh sáng tới cao, độ dẫn cao và điện trở thấp.

Tế bào thứ nhất (“đỉnh”) bao gồm lớp đế 110, lớp oxit dẫn trong suốt (transparent conductive oxide - TCO) thứ nhất 120, lớp trong suốt điện trở cao (high resistivity transparent - HRT) tùy chọn 195 được bố trí trên lớp TCO thứ nhất 120, lớp cửa sổ thứ nhất loại n tùy chọn 185, lớp hấp thụ thứ nhất loại p 130. Tiếp giáp đường hầm giữa tế bào đỉnh 410 và tế bào đáy 420 chứa lớp giao diện được pha tạp p⁺ mạnh 140 tạo thành lớp p⁺ của tiếp giáp đường hầm và lớp tiếp xúc trong suốt được pha tạp n⁺ mạnh 150 tạo thành lớp n⁺ của tiếp giáp đường hầm. Theo một số phương án thực hiện, lớp p⁺ của tiếp giáp đường hầm bao gồm lớp ZnTe p⁺ cuối cùng của tế bào đỉnh và lớp n⁺ bao gồm oxit dẫn trong suốt như oxit kẽm được pha tạp với nhôm.

Tiếp tục đề cập tới Fig.9, tế bào thứ hai (“đáy”) bao gồm lớp oxit dẫn trong suốt thứ hai (transparent conductive oxide - TCO) 220, lớp cửa sổ thứ hai loại n 285 (tùy chọn), lớp hấp thụ thứ hai loại p 230, và tiếp xúc sau bằng kim loại 290. Tiếp xúc sau bằng kim loại 290 có thể chứa vàng, platin, molypden, vonfram, tantali, paladi, nhôm, crôm, niken, hoặc bạc. Tế bào thứ hai nhận ánh sáng mặt trời được truyền qua tế bào thứ nhất.

Theo một phương án thực hiện, tế bào thứ nhất sử dụng CdSe_xTe_(1-x) cho lớp hấp thụ thứ nhất loại p 130 và tế bào thứ hai sử dụng bộ hấp thụ thứ hai loại p 230 với độ

rộng vùng cấm là thấp hơn độ rộng vùng cấm của bộ hấp thụ thứ nhất; ví dụ độ rộng vùng cấm khoảng 1,4 – 2,2 eV trong bộ hấp thụ thứ nhất và khoảng 0,6 tới 1,4 eV trong bộ hấp thụ thứ hai. Các độ rộng vùng cấm này có thể được điều chỉnh một cách chọn lọc lên hoặc xuống bằng cách bổ sung các chất pha tạp sử dụng các phương pháp đã biết trong tình trạng kỹ thuật của sáng chế. Ví dụ, Se có thể được sử dụng với các bộ hấp thụ CdTe để điều chỉnh độ rộng vùng cấm xuống trong khi Zn có thể được sử dụng để điều chỉnh độ rộng vùng cấm lên. Ngoài ra, các lớp bao gồm tiếp giáp n-p có thể được phân cấp để điều chỉnh các độ rộng vùng cấm tại tiếp giáp để làm giảm một cách đáng kể việc tái tổ hợp bề mặt và tăng việc hấp thụ của phổ mặt trời để cải thiện hiệu suất biến đổi năng lượng. Theo các phương án thực hiện thay thế, có thể áp dụng bộ hấp thụ loại n và tiếp giáp đường hầm có thể được đảo ngược thứ tự của nó hoặc có thể là không cần thiết.

Thiết bị quang điện 400 còn chứa các kết nối điện tạo ra đường dẫn dòng để liên lạc các luồng dòng điện được sinh ra, như từ một tế bào quang điện tới các tế bào liên kề trong môđun hoặc từ một môđun quang điện tới các môđun liên kề trong mảng. Theo cách khác, các kết nối điện có thể dẫn luồng dòng điện tới thiết bị tải bên ngoài, trong đó dòng được sinh ra nhờ quang học sẽ tạo ra năng lượng.

Trong thiết bị hai đầu cuối, được nối nối tiếp, được tích hợp đơn khối, tế bào thứ hai được kết nối điện tới tế bào thứ nhất qua tiếp giáp đường hầm p+/n+.

Trong thiết bị bốn đầu cuối, được nối song song, được chồng, tiếp giáp đường hầm truyền ánh sáng tới tế bào thấp hơn và lớp n+ của tiếp giáp đường hầm có chức năng như là tiếp xúc sau cho tế bào đỉnh. Theo một phương án thực hiện, cực dẫn thứ nhất được kết nối tới lớp TCO thứ nhất 120; cực dẫn thứ hai được kết nối tới lớp tiếp xúc trong suốt 150; cực dẫn thứ ba được kết nối tới lớp TCO thứ hai 220; và cực dẫn thứ tư được kết nối tới tiếp xúc sau bằng kim loại 290.

Theo các phương án thực hiện của sáng chế, các phương pháp, thiết bị và/hoặc các cấu trúc tạo ra cho các thành phần sau: các lớp thiết bị với các năng lượng độ rộng vùng cấm trong khoảng giới hạn giữa xấp xỉ 1,1 eV và 2,1 eV; việc phân cấp thành phần tùy chọn của các lớp tiếp giáp để tối ưu hóa cấu trúc và làm giảm việc tái tổ hợp giao diện; các lớp tiếp xúc sau trong suốt và tiếp giáp đường hầm thích hợp cho các thiết bị hai mặt và nhiều tiếp giáp; việc tạo ra của vật liệu được pha tạp mạnh mọc trên siêu đế

hoặc để, in situ, gần các tiếp xúc phía trước và tiếp xúc sau để tạo ra một hoặc nhiều tiếp xúc omic; việc tái tổ hợp được làm giảm của các điện tử và các lỗ trống, và tạo ra các cấu trúc hiệu quả về mặt giá thành. Theo các phương án thực hiện, các khả năng nêu trên, khi được kết hợp, sẽ cho phép điều khiển việc hấp thụ ánh sáng qua và dòng chảy bộ phận mang điện tích trong thiết bị để tạo hiệu quả được tối ưu hóa. Các ví dụ của các tế bào pin mặt trời ghép đôi được điều chỉnh tạo ra các hiệu suất cao đã được mô tả. Các phương pháp và các cấu trúc của sáng chế này có thể tạo ra các thiết bị quang điện với dòng ngắn mạch (short circuit current - J_{sc}), điện thế hở mạch (open circuit voltage - V_{oc}), và thông số điền đầy (fill factor - FF) được cải tiến so với các thiết bị quang điện màng mỏng trong tình trạng kỹ thuật của sáng chế.

Nguyên tắc và chế độ vận hành của sáng chế này đã được giải thích và được minh họa trong các phương án thực hiện được ưu tiên. Tuy nhiên, cần phải hiểu rằng sáng chế này có thể được thực hiện theo các cách khác với cách đã được giải thích và được minh họa cụ thể mà không tách khỏi phạm vi bảo hộ của sáng chế.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Thiết bị quang điện bao gồm:

lớp loại n bao gồm lớp oxit dẫn trong suốt thứ nhất, và tùy chọn là lớp cửa sổ;

lớp hấp thụ loại p được bố trí trên lớp loại n, trong đó lớp hấp thụ chứa về cơ bản là $\text{CdSe}_x\text{Te}_{(1-x)}$, trong đó x là từ 1 % nguyên tử tới 40 % nguyên tử; và

tiếp giáp đường hầm trong suốt được bố trí trên lớp hấp thụ, tiếp giáp đường hầm bao gồm lớp giao diện trong suốt được pha tạp thành loại p+, trong đó lớp giao diện bao gồm $\text{Cd}_y\text{Zn}_{(1-y)}\text{Te}$, được pha tạp với đồng (Cu), trong đó y có thể từ 0 % tới khoảng 60 % nguyên tử, và lớp tiếp xúc trong suốt được pha tạp thành loại n+, trong đó lớp giao diện được bố trí giữa lớp hấp thụ và lớp tiếp xúc trong suốt, và trong đó lớp tiếp xúc trong suốt bao gồm oxit dẫn trong suốt thứ hai.

2. Thiết bị quang điện theo điểm 1, trong đó lượng Se trong lớp hấp thụ được phân cấp sao cho x thay đổi từ tối thiểu 1 % tới tối đa trong khoảng giới hạn từ 15 % nguyên tử tới 30 % nguyên tử.

3. Thiết bị quang điện theo điểm 1, trong đó lớp tiếp xúc trong suốt được chọn từ nhóm các oxit dẫn chứa oxit thiếc được pha tạp flo, oxit kẽm được pha tạp nhôm, catmi stanat, và oxit thiếc được pha tạp indi.

4. Thiết bị quang điện theo điểm 3, trong đó lớp tiếp xúc trong suốt chứa về cơ bản là ZnO và Al.

5. Thiết bị quang điện theo điểm 4, trong đó nồng độ của nhôm (Al) là 4 đến 6 phần trăm nguyên tử.

6. Thiết bị quang điện theo điểm 1, trong đó độ dày của lớp tiếp xúc trong suốt là 0,02 μm tới 1,0 μm .

7. Thiết bị quang điện theo điểm 1, trong đó thiết bị còn bao gồm bộ phận dẫn thứ cấp trong tiếp xúc với lớp tiếp xúc trong suốt.

8. Thiết bị quang điện theo điểm 1, còn bao gồm lớp phản xạ quang học (optical reflector - ORF) được bố trí trên lớp tiếp xúc trong suốt.

9. Thiết bị quang điện theo điểm 8, trong đó lớp ORF chứa vật liệu được chọn từ nhóm chứa vàng, bạc, và nhôm.

10. Thiết bị quang điện theo điểm 9, trong đó lớp ORF có độ dày trong khoảng giới hạn từ 50 nm đến 200 nm.

11. Thiết bị quang điện theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 10, còn bao gồm lớp phản xạ điện tử (electron reflector - ERF) được bố trí giữa lớp hấp thụ và lớp giao diện.

12. Thiết bị quang điện hai mặt bao gồm:

chồng lớp bán dẫn xác định bề mặt phía trước và bề mặt phía sau, chồng bán dẫn chứa lớp loại n bao gồm lớp oxit dẫn trong suốt; và lớp hấp thụ loại p được bố trí trên lớp loại n, lớp hấp thụ loại p chứa về cơ bản là $\text{CdSe}_x\text{Te}_{(1-x)}$ trong đó x là từ 1 % nguyên tử tới 40 % nguyên tử ; và

tiếp giáp đường hầm trong suốt bao gồm lớp giao diện được pha tạp thành loại p+, và lớp tiếp xúc trong suốt được pha tạp thành loại n+, trong đó lớp giao diện được bố trí giữa lớp hấp thụ và lớp tiếp xúc trong suốt, và trong đó lớp tiếp xúc trong suốt bao gồm oxit dẫn trong suốt;

tiếp giáp p-n, được tạo thành bởi lớp loại n liền kề với lớp hấp thụ loại p; trong đó lớp loại n về cơ bản là không có kẽm; trong đó lớp hấp thụ loại p bao gồm catmi và telua;

lớp phản xạ điện tử (electron reflector - ERF) được bố trí giữa lớp hấp thụ loại p và lớp giao diện; và

trong đó lớp giao diện bao gồm kẽm và telua; trong đó lớp tiếp xúc trong suốt bao gồm oxit kẽm được pha tạp nhôm; và trong đó lớp tiếp xúc trong suốt là tiếp xúc sau cho thiết bị quang điện hai mặt.

13. Thiết bị quang điện bao gồm:

lớp loại n bao gồm lớp oxit dẫn trong suốt thứ nhất được bố trí trên đế;

lớp hấp thụ loại p được bố trí trên lớp loại n, trong đó lớp hấp thụ chứa về cơ bản là $\text{CdSe}_x\text{Te}_{(1-x)}$, trong đó lượng Se trong lớp hấp thụ được phân cấp sao cho x thay đổi từ tối thiểu 1 % tới tối đa trong khoảng giới hạn từ 15 % tới 30 % nguyên tử; và

tiếp giáp đường hầm trong suốt được bố trí trên lớp hấp thụ, tiếp giáp đường hầm bao gồm lớp giao diện trong suốt được pha tạp thành loại p+, và lớp tiếp xúc trong suốt được pha tạp thành loại n+, trong đó lớp giao diện được bố trí giữa lớp hấp thụ và lớp tiếp xúc trong suốt, và trong đó lớp tiếp xúc trong suốt bao gồm oxit dẫn trong suốt thứ hai.

14. Thiết bị quang điện theo điểm 13, trong đó lớp tiếp xúc trong suốt được chọn từ nhóm các oxit dẫn chứa oxit thiếc được pha tạp flo, oxit kẽm được pha tạp nhôm, catmi stanat, và oxit thiếc được pha tạp indi.

15. Thiết bị quang điện theo điểm 13, trong đó lớp tiếp xúc trong suốt chứa về cơ bản là ZnO và Al, trong đó nồng độ của nhôm (Al) là khoảng 4 đến 6 phần trăm nguyên tử.

16. Thiết bị quang điện theo điểm 13, trong đó độ dày của lớp tiếp xúc trong suốt là 0,02 μm tới 1,0 μm .

17. Thiết bị quang điện theo điểm 13, còn bao gồm lớp phản xạ quang học (optical reflector - ORF) được bố trí trên lớp tiếp xúc trong suốt.

18. Thiết bị quang điện theo điểm 17, trong đó lớp ORF chứa vật liệu được chọn từ nhóm chứa vàng, bạc, và nhôm.

19. Thiết bị quang điện theo điểm 17, trong đó lớp ORF có độ dày trong khoảng giới hạn từ 50 nm đến 200 nm.

20. Thiết bị quang điện theo điểm 13, còn bao gồm lớp phản xạ điện tử (electron reflector - ERF) được bố trí giữa lớp hấp thụ và lớp giao diện.

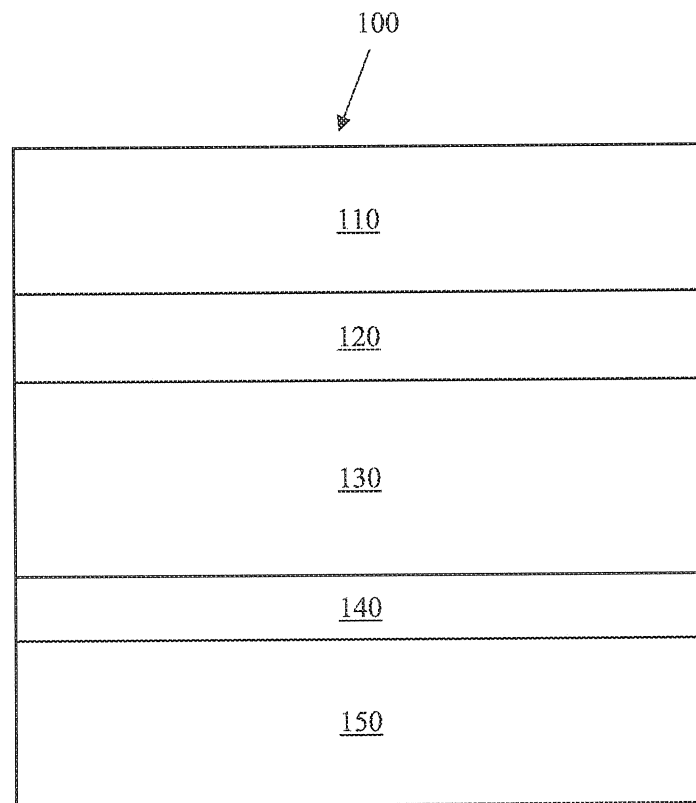


FIG. 1

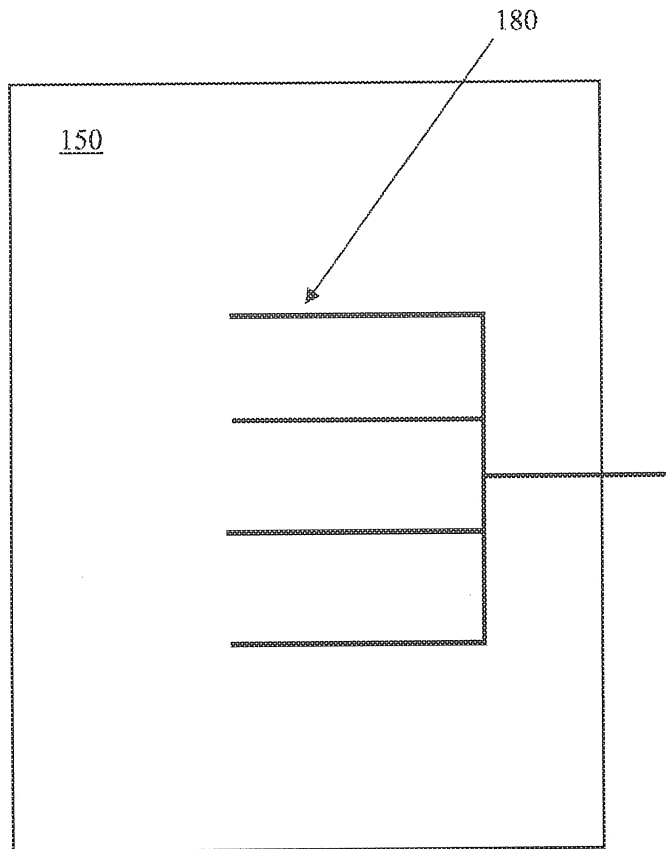


FIG. 2

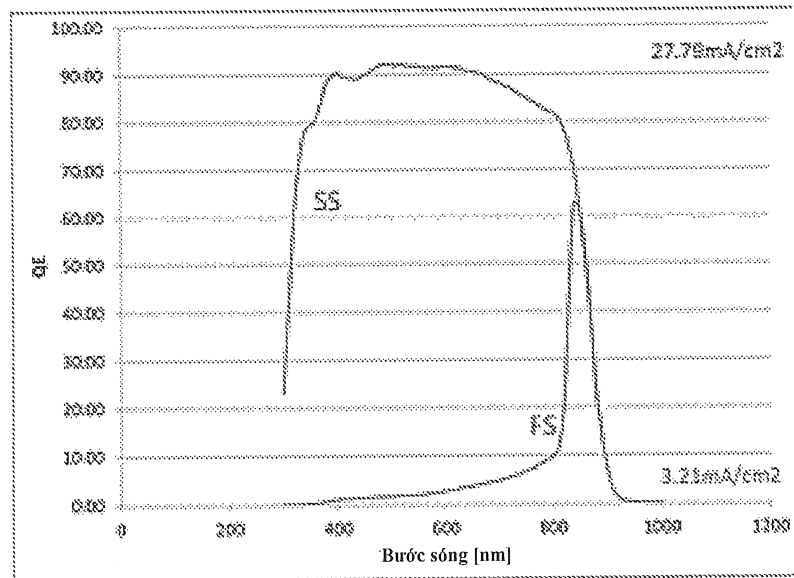


FIG. 3

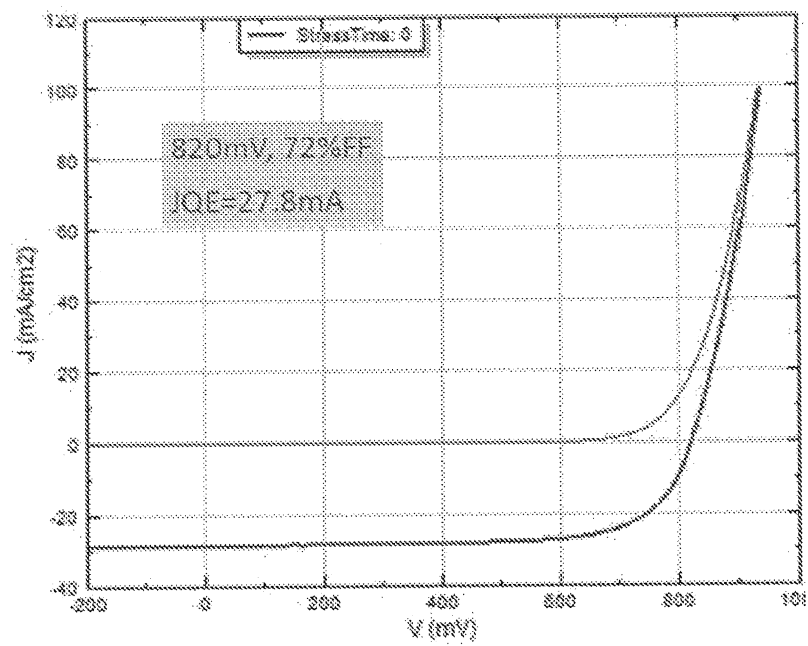


FIG. 4

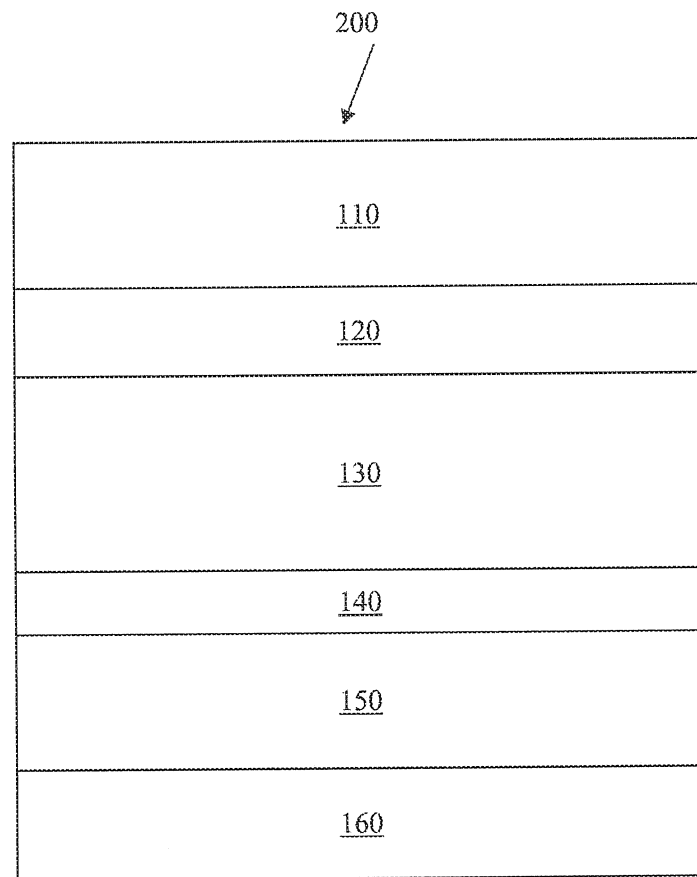


FIG. 5

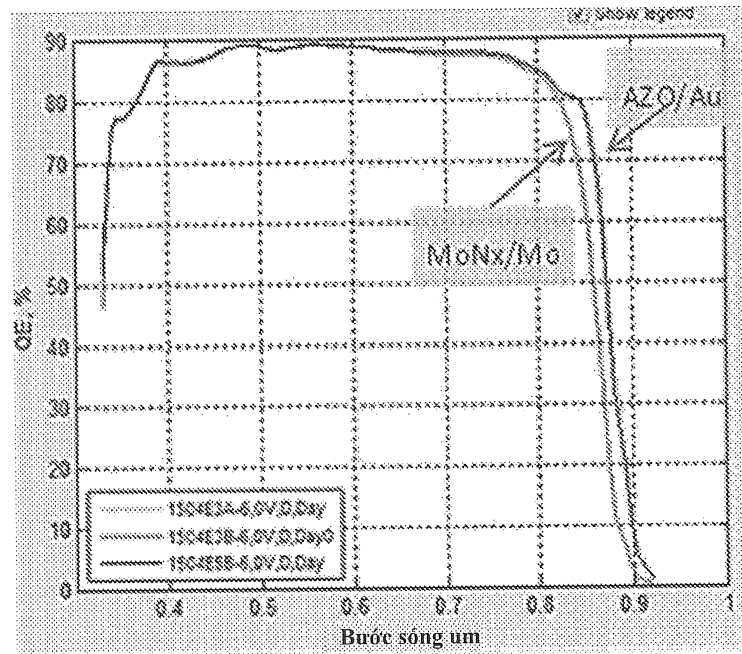


FIG. 6

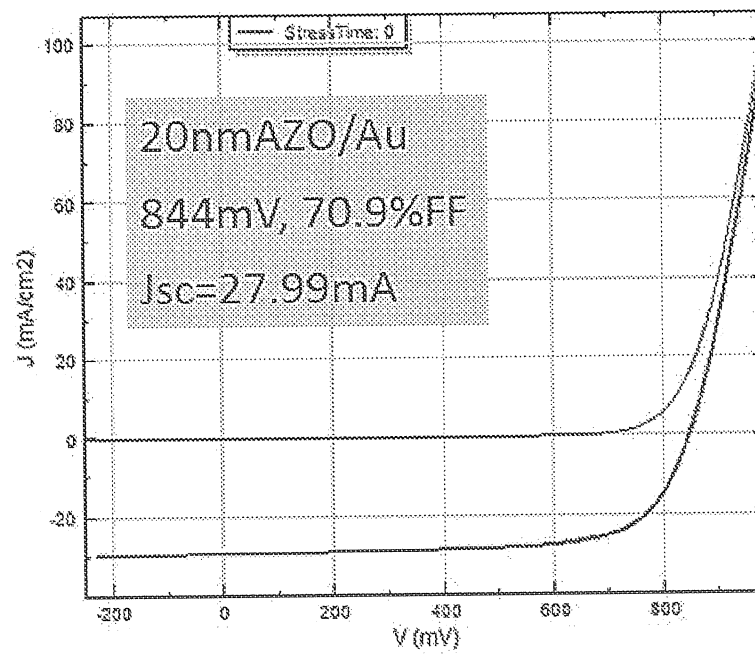


FIG. 7a

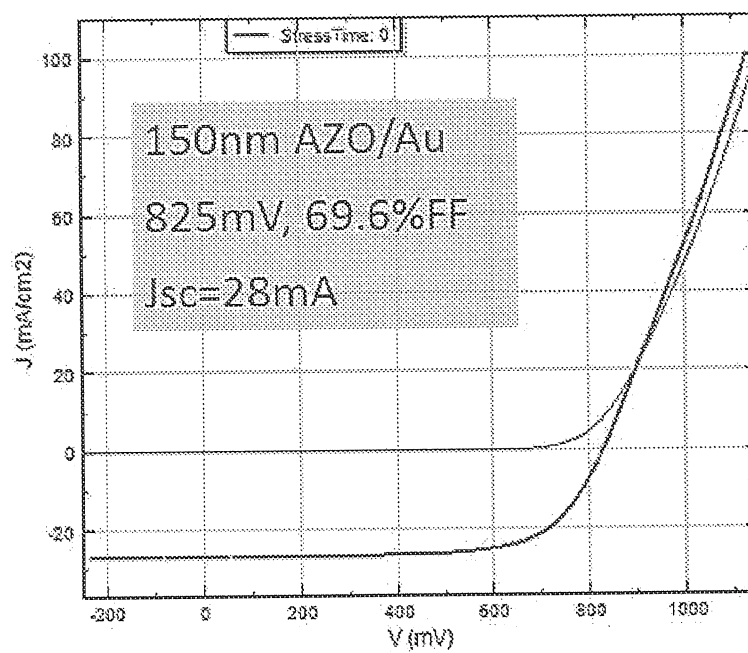
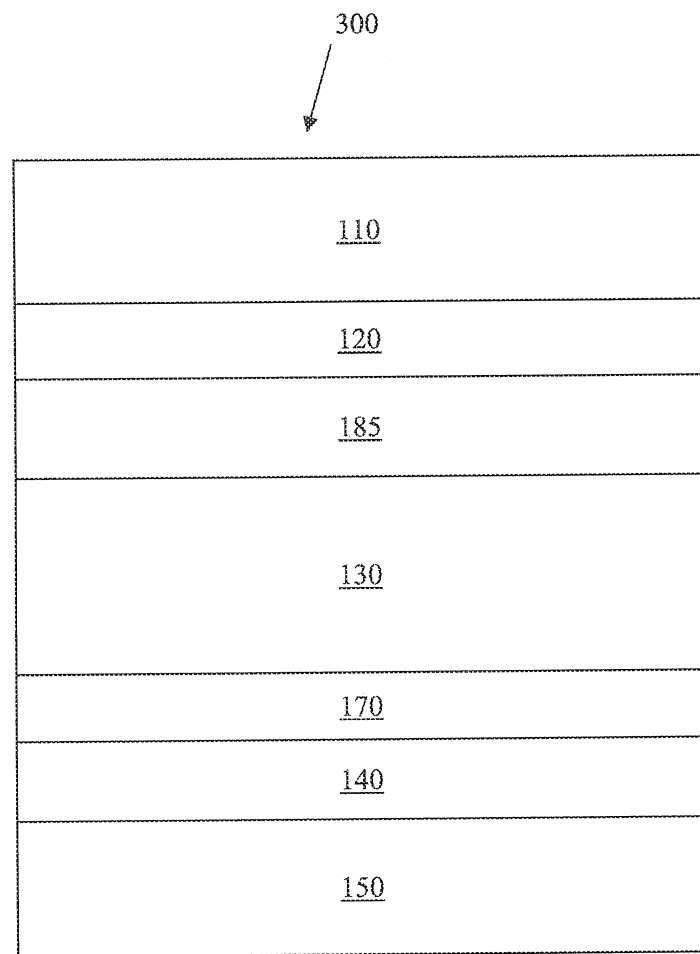


FIG. 7b

**FIG. 8**

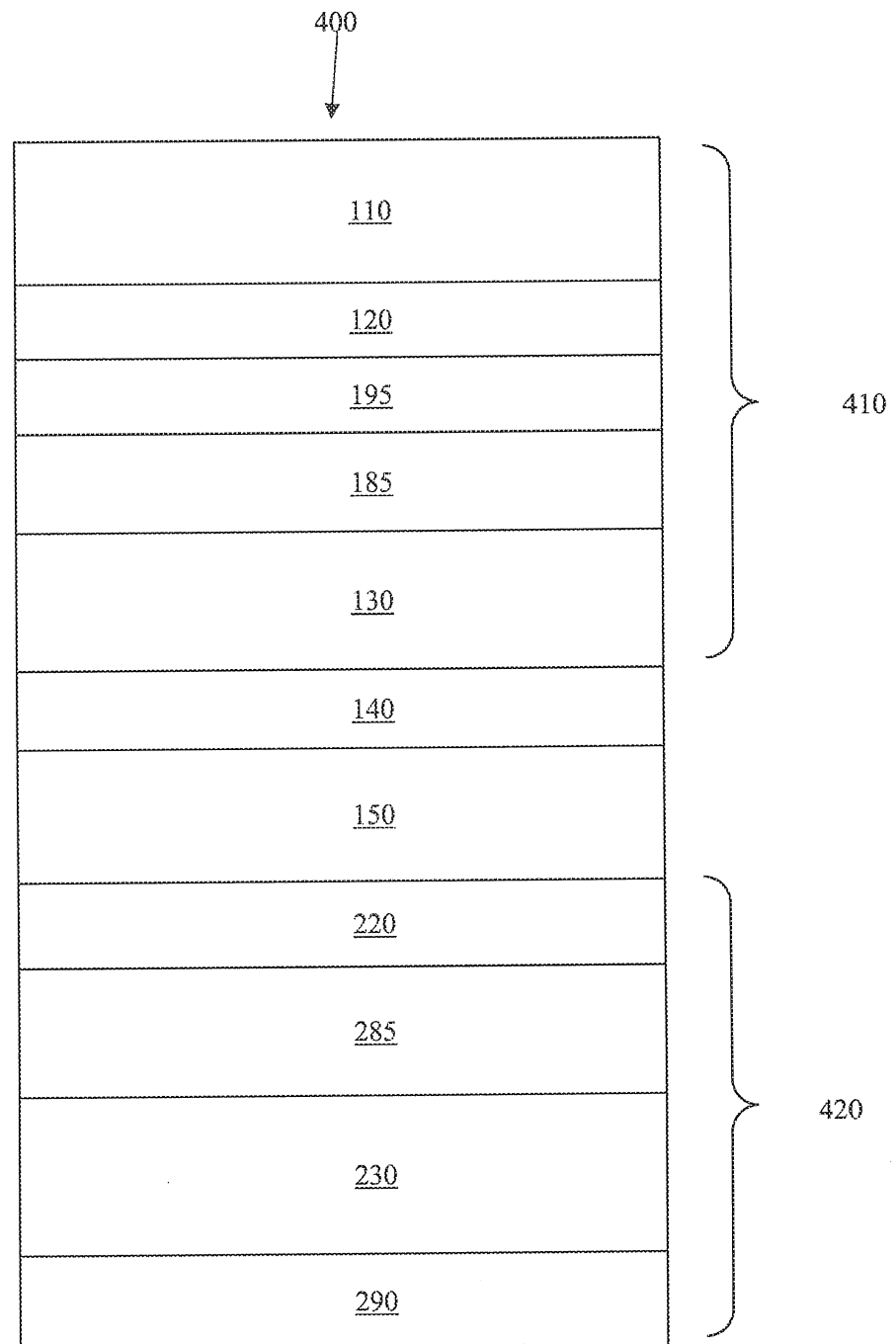


FIG. 9

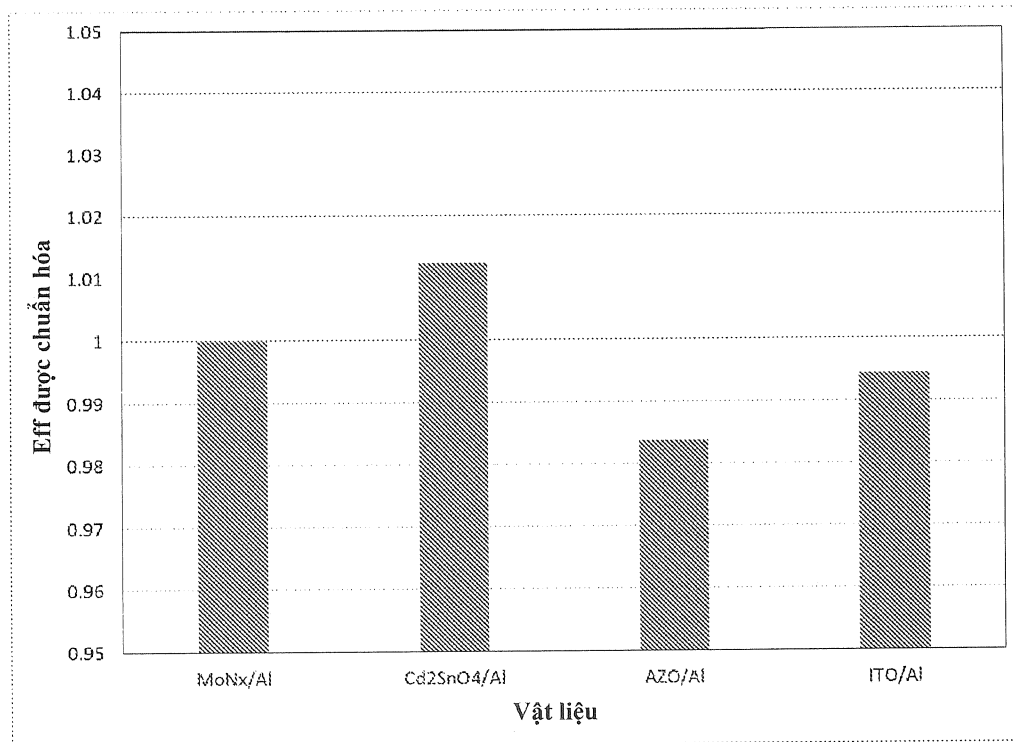


FIG. 10