



(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)



1-0052107

(51)^{2023.01} H01G 9/00; C23C 14/22; C23C 14/50; (13) B
C23C 14/58; H10K 85/30; H10K 30/30;
H10K 30/40; H10K 30/82; H10K 71/16;
C23C 14/06; H01G 9/20

(21) 1-2022-05782

(22) 19/02/2021

(86) PCT/US2021/018666 19/02/2021

(87) WO2021/168175 26/08/2021

(30) 62/978,760 19/02/2020 US

(45) 27/10/2025 451

(43) 25/11/2022 416A

(73) FIRST SOLAR, INC. (US)

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

(72) CHEN, Le (CN); HO, David (CA); LI, Xiaoping (US); POWELL, Rick (US); SONG, Tze-bin (TW); STEINMANN, Vera (DE); VARADARAJAN, Aravamuthan (US); WEISS, Dirk (US); XIONG, Gang (US); ZHAO, Zhibo (US).

(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)

(54) PHƯƠNG PHÁP TẠO THÀNH LỚP TIỀN CHẤT PEROVSKIT

(21) 1-2022-05782

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp tạo thành lớp tiền chất perovskit, cấu trúc trung gian, phương pháp tạo thành cấu trúc trung gian và phương pháp tạo lớp hấp thụ perovskit. Sáng chế mô tả các cấu trúc và các phương pháp để chế tạo các thiết bị quang điện bằng cách tạo thành các lớp perovskit và các lớp tiền chất perovskit nhờ sử dụng sự lắng đọng vận chuyển hơi (Vapor Transport Deposition, VTD).

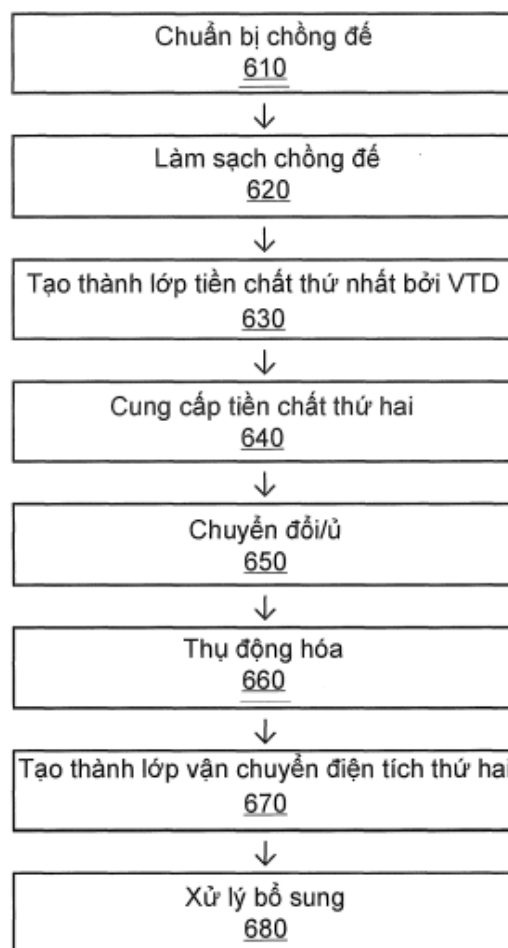


FIG. 6

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế liên quan chung đến các thiết bị quang điện, và, cụ thể là, đến sự tạo thành các lớp hấp thụ và tiền chất perovskit để sử dụng trong việc chế tạo các thiết bị quang điện.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Các thiết bị quang điện sinh ra điện năng bằng cách chuyển đổi ánh sáng thành điện năng bằng cách sử dụng các vật liệu bán dẫn mà thể hiện hiệu quả quang điện. Các perovskit là một loại vật liệu có thể tạo thành lớp hoạt động trong các thiết bị quang điện. Các hợp chất perovskit có cấu trúc ABX_3 , mà tại đó A và B là các cation và X là một halogenua. Một số hợp chất perovskit chỉ halogenua và thiếc halogenua đã được nghiên cứu để sử dụng trong các thiết bị quang điện. Trong các cấu trúc này, vị trí A có thể bao gồm các cation metylamoni (MA) hữu cơ, formamidin (FA), hoặc xesi (Cs^+) hoặc rubidi (Rb^+) vô cơ. Mặt B có thể bị chiếm giữ bởi các cation chì (Pb^{+2}) hoặc thiếc (Sn^{+2}). Và mặt X có thể bị chiếm giữ bởi một halogenua, như là như iôđua (I^-), bromua (Br^-) hoặc clorua (Cl^-). Trong thiết bị quang điện, vật liệu perovskit được định vị tiếp xúc với và ở giữa lớp vận chuyển điện tích âm và lớp vận chuyển điện tích dương.

Trong khi các perovskit là vật liệu đầy hứa hẹn, nhưng vẫn thiếu các phương pháp sản xuất hiệu quả, đáng tin cậy và có thể mở rộng. Các phương pháp đã biết để sản xuất các perovskit gồm bay hơi chân không, phủ phun, hoặc phủ kéo sợi từ các dung dịch của các chế phẩm hoặc các tiền chất. Các phương pháp có thể gồm các quy trình một

bước và nhiều bước. Các phương pháp đã biết để sản xuất các vật liệu perovskit có những trở ngại đáng kể để sử dụng trong việc chế tạo.

Ví dụ, sự bay hơi chân không đòi hỏi chân không cao, với các áp suất thường thấp hơn 1×10^{-4} mbar (0,01 Pa). Sự đồng bay hơi với sự kiểm soát chính xác của nhiều dòng chảy là một thách thức và tốn kém để chuyển sang việc chế tạo diện tích lớn. Áp suất thấp được đòi hỏi sẽ không thích hợp để chế tạo hiệu quả ở quy mô lớn, khó đạt được lớp phủ có độ dày đều trên diện tích lớn, nó cũng kém linh hoạt hơn, thường loại trừ việc sử dụng các chế phẩm cụ thể, như là formamidin iôđua (FAI), do những lo ngại liên quan sự ăn mòn làm hỏng thiết bị được sử dụng trong môi trường chân không cao.

Các phương pháp dựa trên dung dịch cũng có các nhược điểm. Hợp chất perovskit có khả năng tự kết tinh, vốn thuận lợi trong việc xử lý dung dịch ở nhiệt độ thấp. Tuy nhiên, tốc độ kết tinh là rất cao và có thể khó kiểm soát, do đó khó có thể sản xuất màng dày đặc và mỏng đều mà không có độ nhám và không đồng đều.

Các phương pháp tạo các vật liệu perovskit có thể gồm việc phủ tuần tự để tạo thành màng halogenua kim loại, tiếp theo là áp dụng dung dịch halogenua hữu cơ trên màng halogenua kim loại để tạo thành phân lớp của các màng BX_2 và AX , và sau đó hai màng này được phản ứng để tạo thành cấu trúc ABX_3 . Dù các phương pháp hai bước đã thể hiện một số sự cải thiện, nhưng các quy trình lắng đọng lớp dựa trên dung dịch dẫn đến các độ dày lớp không đều và có thể dẫn đến phản ứng không hoàn toàn của các màng. Nhờ sử dụng các phương pháp được thiết lập, nên các màng thu được có chất lượng không thể dự đoán được, có độ đồng đều kém trên các bề mặt lớn hơn vài cm, và có thể quá thô và không đồng đều để sử dụng trong các thiết bị quang điện hiệu quả. Trong các phương pháp phủ phun, thì các dung môi có thể sản xuất các sản phẩm phụ không mong muốn, làm hạn chế sự lựa chọn của các hợp chất, đồng thời làm tăng thời

gian khô và tạo thành màng. Việc phủ kéo sợi không thực tế để sử dụng ở quy mô lớn, tạo ra các lớp không đồng nhất trên các diện tích lớn hơn vài cm vuông.

Nên sẽ rất thuận lợi nếu đề xuất các phương pháp, hệ thống và cấu trúc được cải thiện để chế tạo trên diện tích lớn hiệu quả và có thể mở rộng các chất hấp thụ perovskit và tiền chất perovskit trong các lớp mỏng với độ dày đồng nhất, tốc độ sản xuất cao, chi phí thấp và chất lượng màng vượt trội.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là để đề xuất phương pháp tạo thành lớp tiền chất perovskit bao gồm các bước:

cung cấp chồng đế trong buồng lắng đọng, chồng đế có lớp vận chuyển điện tích thứ nhất trên điện cực;

lắng đọng chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất trên chồng đế trong buồng lắng đọng bởi quy trình lắng đọng vận chuyển hơi (VTD), bao gồm các việc:

gia nhiệt vật liệu nguồn đến nhiệt độ trong phạm vi từ 375°C đến 550°C,

cung cấp màn hơi để dẫn hướng hơi của vật liệu nguồn sử dụng khí mang về phía chồng đế trong buồng lắng đọng, trong đó màn hơi có chiều rộng lớn hơn 1 m, buồng lắng đọng có áp suất trong phạm vi từ 0,1 Torr đến 2,0 Torr; và

tạo thành lớp tiền chất, tại tốc độ lắng đọng trong phạm vi từ 0,01 μm đến 1,50 μm mỗi phút, đến độ dày từ 100 nm đến 2000 nm, trong đó lớp tiền chất bao gồm nhiều cấu trúc hạt tinh thể halogenua kim loại, trong đó: các cấu trúc hạt có chiều cao, trục giao với mặt của chồng đế, và chiều rộng, song song với bề mặt của chồng đế, và chiều rộng hạt trung bình nhỏ hơn một phần ba chiều cao hạt trung bình.

Một mục đích khác của sáng chế là để đề xuất cấu trúc trung gian cho thiết bị quang điện perovskit, bao gồm:

điện cực thứ nhất trên chồng đế, chồng đế có chiều rộng lớn hơn 1 m;

lớp vận chuyển điện tích thứ nhất trên điện cực thứ nhất; và

lớp tiền chất trên lớp vận chuyển điện tích thứ nhất, lớp tiền chất có độ dày trong phạm vi từ 100 nm đến 2000 nm, trong đó lớp tiền chất bao gồm nhiều cấu trúc hạt tinh thể halogenua kim loại, trong đó các cấu trúc hạt có chiều cao, trục giao với mặt của chồng đế, và chiều rộng, song song với bề mặt của chồng đế, và chiều rộng hạt trung bình nhỏ hơn một phần ba chiều cao hạt trung bình.

Một mục đích khác của sáng chế là để đề xuất phương pháp tạo thành cấu trúc trung gian, có lớp tiền chất perovskit, để sản xuất thiết bị quang điện, bao gồm các bước:

cung cấp chồng đế trong buồng lắng đọng, chồng đế có lớp vận chuyển điện tích thứ nhất trên điện cực, và trong đó chồng đế có chiều rộng lớn hơn 1 m;

lắng đọng chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất trên chồng đế trong buồng lắng đọng bởi quy trình lắng đọng vận chuyển hơi (VTD), bao gồm các việc:

gia nhiệt vật liệu nguồn đến nhiệt độ trong phạm vi từ 375°C đến 550°C, trong đó vật liệu nguồn là bột bao gồm ít nhất một thành phần trong số: chì iôđua (PbI_2), chì bromua (PbBr_2), xesi bromua (CsBr), xesi chì iôđua (CsPbI_3), xesi thiếc iôđua (CsSnI_3), chì clorua (PbCl_2), thiếc iôđua (SnI_2), thiếc bromua (SnBr_2), hoặc thiếc clorua (SnCl_2);

dẫn hướng hơi của vật liệu nguồn sử dụng khí mang về phía chồng đế trong buồng lắng đọng, buồng lắng đọng có áp suất trong phạm vi từ 0,1 Torr đến 2,0 Torr; và

tạo thành lớp tiền chất, tại tốc độ lắng đọng trong phạm vi từ 0,01 μm đến 1,50 μm mỗi phút, đến độ dày từ 100 nm đến 2000 nm, trong đó lớp tiền chất bao gồm nhiều cấu

trúc hạt tinh thể halogenua kim loại, trong đó các cấu trúc hạt có chiều cao, trục giao với mặt của chồng đế, và chiều rộng, song song với bề mặt của chồng đế, và chiều rộng hạt trung bình nhỏ hơn một phần ba chiều cao hạt trung bình.

Một mục đích khác của sáng chế là đề xuất phương pháp tạo lớp hấp thụ perovskit của thiết bị quang điện.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Các phương án thực hiện được chỉ ra trong các hình vẽ về bản chất chỉ là minh họa và là ví dụ và không nhằm làm hạn chế đối tượng được xác định bởi các yêu cầu bảo hộ. Phần mô tả chi tiết sau đây của các phương án minh họa của sáng chế có thể được hiểu rõ hơn khi đọc kết hợp với các hình vẽ sau đây, trong đó các số chỉ dẫn giống nhau biểu thị các phần giống nhau hoặc tương ứng trong suốt các hình.

Fig.1 miêu tả một cách sơ lược hệ thống lắng đọng vận chuyển hơi (Vapor Transport Deposition, VTD).

Fig.2 miêu tả một cách sơ lược hình cắt ngang của hệ thống VTD trên Fig.1.

Fig.3 thể hiện sự trừu tượng hóa cấu trúc mạng perovskit cho vật liệu ví dụ.

Fig.4 miêu tả một cách sơ lược phương án của thiết bị quang điện.

Fig.5 miêu tả một cách sơ lược phương án của thiết bị quang điện.

Fig.6 thể hiện lưu đồ cho phương pháp ví dụ.

Fig.7 thể hiện lớp tiền chất ví dụ.

Fig.8 thể hiện lớp tiền chất ví dụ.

Fig.9 thể hiện lớp tiền chất ví dụ.

Fig.10 thể hiện lớp tiền chất ví dụ.

Fig.11A và Fig.11B thể hiện các lớp tiền chất ví dụ và các lớp perovskit tương ứng.

Fig.12 thể hiện hình ảnh SEM của lớp perovskit được tạo thành bởi các phương pháp được mô tả.

Fig.13 thể hiện khả năng hút bởi chiều dài bước sóng cho lớp perovskit.

Fig.14 thể hiện phép đo truyền quang của lớp perovskit.

Fig.15 thể hiện phép đo sự nhiễu xạ tia X cho lớp perovskit.

Fig.16 thể hiện phép đo dòng điện-điện áp bởi sự quét ngược trên thiết bị perovskit.

Fig.17 thể hiện hình ảnh SEM cắt ngang của thiết bị perovskit.

Fig.18 thể hiện hình ảnh SEM cắt ngang của thiết bị perovskit.

Bảng sáng chế hoặc tập đơn đăng ký có thể chứa ít nhất một hình vẽ được thực thi bằng màu và/hoặc một hoặc nhiều bức ảnh. Các bản sao của bảng sáng chế hoặc công bố đơn sáng chế này cùng với (các) hình vẽ màu sẽ được cung cấp bởi cơ quan sáng chế Hoa Kỳ khi có yêu cầu và đóng lệ phí theo quy định.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các phương án đề xuất lớp tiền chất perovskit của halogenua kim loại và các phương pháp tạo thành lớp tiền chất perovskit bởi sự lắng đọng vận chuyển hơi (VTD). Các lớp perovskit tiền chất được tạo thành bởi các phương pháp được mô tả có độ đồng nhất độ dày được cải thiện, mật độ và thông lượng xử lý. Các lớp perovskit được sản xuất bởi các phương pháp được mô tả có các đặc điểm được cải thiện, gồm: kích cỡ hạt, sự chuyển đổi tiền chất hoàn toàn, độ đồng nhất độ dày được cải thiện, và giảm hoặc không có các lỗ đường kính nhỏ và khiếm khuyết mắc sun. Sáng chế cũng đề xuất các phương pháp để chuyển đổi lớp tiền chất thành lớp perovskit. Nói chung là, các thiết bị quang điện được đề xuất ở đây có thể gồm các môđun quang điện được tạo thành một

phần hoặc được tạo thành đầy đủ. Các phương án khác nhau của lớp tiền chất perovskit, cấu trúc quang điện được tạo thành một phần, và thiết bị quang điện, cũng như các hệ thống và các phương pháp để tạo thành các lớp, các cấu trúc, và các thiết bị, sẽ được mô tả chi tiết hơn ở đây.

Các thiết bị quang điện có thể chứa vài lớp vật liệu được lắng đọng một cách tuần tự trên đế. Sự lắng đọng hơi có thể được sử dụng để lắng đọng các lớp trên đế. Một kỹ thuật lắng đọng hơi vật lý được sử dụng cho sự lắng đọng vật liệu bán dẫn được biết là sự lắng đọng vận chuyển hơi (VTD). VTD đã được thiết lập như là kỹ thuật đáng thiết kế để lắng đọng các vật liệu bán dẫn loại II-VI màng mỏng trên đế một cách nhanh chóng và đều như các lớp màng rắn mỏng. Dù VTD đã được thiết lập để sử dụng với một số vật liệu, như là các vật liệu bán dẫn loại II-VI, nhưng VTD đã không được thiết lập để sử dụng với các vật liệu perovskit hoặc tạo thành các lớp tiền chất perovskit.

Các quy trình VTD có thể được tạo thành tại các áp suất cao hơn so với nhiều kỹ thuật lắng đọng hơi vật lý khác. Ví dụ, sự bay hơi nhiệt chân không đã được sử dụng để sản xuất các vật liệu perovskit, tuy nhiên, các phương pháp như vậy có thể đòi hỏi các áp suất thấp hơn 10^{-5} Torr, kéo theo việc sử dụng của thiết bị kém thích hợp với việc chế tạo thông lượng cao. Thiết bị như vậy cũng có thể ngăn cản việc sử dụng của các chất phản ứng mà có thể gây ra sự ăn mòn, như là một số hơi halogenua. Thuận lợi là các quy trình VTD có thể được tạo thành tại các áp suất tại hoặc cao hơn 0,1 Torr.

Ví dụ về hệ thống VTD đã biết được mô tả trong bằng sáng chế Hoa Kỳ số US 5,945,163. Trong hệ thống VTD, như được thể hiện trong bằng sáng chế Hoa Kỳ số US 5,945,163, vật liệu bán dẫn trong dạng bột được cấp liên tục vào bên trong buồng hóa hơi có thể thấm qua được với sự hỗ trợ của khí mang. Buồng hóa hơi được gia nhiệt đến nhiệt độ cao đủ để hóa hơi bột, với hơi đi qua thành có thể thấm qua được của buồng

hóa hơi. Sau đó, hơi được dẫn hướng bởi bộ phân phối về phía đế mà dịch chuyển qua một hoặc nhiều lỗ của bộ phân phối dẫn hướng hơi về phía đế. Hơi đông đặc lại như màng mỏng trên bề mặt của chõng đế. Chõng đế gồm đế vật liệu và các lớp được tạo thành trước đó trên đế.

Các hệ thống VTD thường gồm một hoặc nhiều thành phần trong số: đơn vị phân phát bột, bộ hóa hơi bột, bộ phân phối hơi, và đơn vị lắng đọng chân không. Các bộ hóa hơi bột VTD thường được thiết kế để hóa hơi và làm thăng hoa vật liệu bột thô thành dạng khí. Trong các bộ hóa hơi bột truyền thống, thì vật liệu bột thô từ đơn vị phân phát được kết hợp với khí mang và được bơm vào trong bộ hóa hơi được tạo thành như là xylanh được gia nhiệt có thể thấm qua được. Vật liệu được hóa hơi trong xylanh và vật liệu được hóa hơi phân tán qua các thành có thể thấm qua được của bộ hóa hơi vào trong bộ phân phối hơi. Bộ phân phối thường bao quanh xylanh bộ hóa hơi và dẫn hướng các hơi tập trung về phía các phần mở quay mặt về phía đế để lắng đọng vật liệu màng mỏng trên đế.

Các hệ thống VTD có thể được làm thích ứng để sử dụng nguyên liệu cơ bản dạng hạt và/hoặc bột. Trong một số hệ thống, vật liệu dạng hạt được cấp thông qua phễu và nguồn vật liệu được dẫn động bởi sự rung sẽ được sử dụng, mà trong số sự rung được tạo ra bởi bộ nạp kiểu rung làm cho vật liệu dạng hạt và/hoặc bột di chuyển dần dần từ phễu sang một lối đi nghiêng. Theo cách thức này, vật liệu nguyên liệu cơ bản được đưa vào trong ống nạp, cùng với một hoặc nhiều khí mang từ nguồn khí mang.

Fig.1 minh họa một ví dụ về hệ thống lắng đọng vận chuyển hơi 20 để phân phát và lắng đọng vật liệu, lên trên đế hoặc chõng đế 13, ví dụ, đế 13 có thể là đế thủy tinh, được sử dụng trong việc chế tạo các môđun pin mặt trời màng mỏng. Các nguồn khí mang 25 và 27, ví dụ, các nguồn khí heli (He), khí argon (Ar) và/hoặc khí nitơ (N₂),

theo cách tương ứng, tạo ra khí mang tới các bộ phận nạp bột 21 và 23, vốn chứa vật liệu dạng bột hoặc hạt. Khí vận chuyển vật liệu dạng bột hoặc hạt qua các cổng tiêm 17, 19 trên các đầu ngược nhau của cụm bộ hóa hơi và bộ phân phối 10. Cụm bộ hóa hơi và bộ phân phối 10 hóa hơi bột và/hoặc vật liệu dạng hạt và phân phối nó để lắng đọng lên trên chồng đế 13.

Fig.2 là hình cắt ngang được lấy dọc theo đường 2-2 trên Fig.1, của một ví dụ về cụm bộ hóa hơi và bộ phân phối bột 10. Bộ hóa hơi 12 được xây dựng như là bộ phận có thể thấm qua được dạng ống, được gia nhiệt. Nó được tạo thành từ vật liệu chống chịu vốn có thể được gia nhiệt bởi nguồn công suất AC 29 và hóa hơi vật liệu bột được vận chuyển bởi khí mang vào trong bộ hóa hơi 12 qua các cổng tiêm 17, 19. Bộ phân phối 15 là vỏ được gia nhiệt bởi nhiệt bức xạ từ bộ hóa hơi 12 và/hoặc từ nguồn khác. Vỏ của bộ phân phối 15 bao quanh bộ hóa hơi 12 để chụp hơi vật liệu đi qua qua các thành của bộ hóa hơi 12. Hơi vật liệu bán dẫn được dẫn hướng bởi bộ phân phối về phía khe hoặc các dây của các lỗ 14 vốn quay mặt về phía bề mặt của đế 13, di chuyển qua cụm bộ hóa hơi và bộ phân phối 110. Các ví dụ chi tiết hơn về các hệ thống VTD của loại được minh họa có thể được tìm thấy trong, ví dụ, các bằng sáng chế Hoa Kỳ số US 5,945,163, 5,945,165, 6,037,241, 7,780,787, và 8,382,901.

Các nhiệt độ được sử dụng cho sự lắng đọng VTD có thể nằm trong phạm vi từ khoảng 200 °C đến khoảng 1200 °C. Bộ hóa hơi 12 có thể được tạo thành bộ phận có thể thấm qua được dạng ống, có thể gia nhiệt được mà được tạo thành từ than chì hoặc silic cacbua (SiC). Bộ phân phối 15 có thể được tạo thành từ vài bọc là vật liệu gốm, như mulit. Sự lắng đọng hơi diễn ra trong vỏ vốn chứa cơ cấu vận chuyển để như là các con lăn được dẫn động. Các tấm gốm cũng được sử dụng làm các phần che chắn nhiệt nằm trong vỏ.

Hệ thống xử lý VTD có thể xử lý để (ví dụ, tắm thủy tinh hoặc tắm thủy tinh được phủ một hoặc nhiều màng mỏng) để lắng đọng vật liệu. Hệ thống có thể gồm vỏ xác định buồng xử lý mà trong đó vật liệu được lắng đọng trên đế. Vỏ có thể gồm trạm vào và trạm ra. Trạm vào và trạm ra có thể được xây dựng như là các khóa tải hoặc các phần bít kín khe mà qua đó thì để đi vào và đi ra khỏi buồng xử lý. Bên trong của vỏ có thể được gia nhiệt đến nhiệt độ xử lý mong muốn và được duy trì tại áp suất xử lý.

Hệ thống xử lý VTD có thể gồm cụm bộ phân phối. Cụm bộ phân phối có thể được đặt ở trên bộ phận chuyên chở để lắng đọng vật liệu trên bề mặt quay mặt hướng lên trên của đế. Hơn nữa, bộ phận chuyên chở có thể là loại quay gồm các con lăn đỡ bề mặt quay mặt xuống phía dưới của đế cho việc chuyên chở của nó trong quá trình xử lý. Cụm bộ phân phối có thể được sử dụng với chân không được hút trong buồng xử lý như là, ví dụ, trong phạm vi từ khoảng 0,1 Torr đến 50 Torr hoặc khoảng 10 Pa đến 6600 Pa. Theo đó, hệ thống xử lý có thể gồm bơm xả thích hợp để xả buồng xử lý của vỏ cả ban đầu và liên tục sau đây để thải bỏ các khí mang và các khí thứ cấp.

Các phương án của cụm bộ phân phối có thể gồm ống dẫn, ít nhất một bộ hóa hơi, và ít nhất một bộ gia nhiệt. Cụm bộ phân phối có thể gồm ống dẫn được tạo cấu hình để phân phối hơi bán dẫn dọc theo màn hơi. Bộ hóa hơi có thể được đỡ trên, được gắn vào, hoặc nếu không thì nối thông chất lưu với, ống dẫn, và được tạo cấu hình để hóa hơi bột hoặc vật liệu dạng hạt để lắng đọng. Bộ gia nhiệt cũng có thể được đỡ trên, được gắn vào, hoặc nếu không thì nối thông nhiệt với ống dẫn, và được tạo cấu hình để gia nhiệt ít nhất một phần của ống dẫn. Ống dẫn nói chung là gồm ít nhất một khe hoặc vòi (“vòi” cũng có thể được gọi là “vòi phun”) được tạo cấu hình để dẫn hướng được hóa hơi vật liệu bán dẫn lên trên các đế đi qua, vốn có thể được vận chuyển dọc theo đường dẫn bên dưới cụm bộ phân phối trên bộ phận chuyên chở dạng lăn hoặc tương tự.

Trong một số phương án, cụm bộ phân phối cho phép sự lắng đọng quy mô lớn bằng cách cung cấp màn hơi có kích cỡ lớn hơn 1 m. Trong một số phương án, chiều rộng màn hơi nằm giữa 1m đến 2 m, hoặc khoảng 1,2 m. Trong một số phương án, cụm bộ phân phối đạt đến các tốc độ lắng đọng khoảng 0,5 μm trên mỗi giây, khoảng 1,0 μm trên mỗi giây, hoặc khoảng 1,5 μm trên mỗi giây.

Việc chế tạo của thiết bị quang điện có thể gồm việc bố trí một cách tuần tự các lớp chức năng hoặc các tiền chất lớp trong “chồng” của các lớp thông qua một hoặc nhiều quy trình lắng đọng, gồm, nhưng không bị hạn chế ở, phún xạ, phun, bay hơi, lắng đọng chùm phân tử, hỏa phân, thăng hoa không gian đóng (Closed Space Sublimation, CSS), lắng đọng xung laze (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). Trong một số phương án, VTD có thể được ưu tiên đối với tốc độ và chất lượng thông lượng tốt hơn.

Việc chế tạo của các thiết bị quang điện có thể còn gồm việc thải bỏ có chọn lọc các phần của các lớp nhất định của chồng các lớp, như là bằng cách vạch dấu, để phân chia thiết bị quang điện thành nhiều tế bào quang điện.

Bây giờ, tham khảo đến Fig.3, các hợp chất perovskit có cấu trúc ABX_3 , mà tại đó A và B là các cation và X là anion halogenua. Các vật liệu và các hợp chất cụ thể đã được nghiên cứu để sử dụng trong các thiết bị quang điện. Trong các cấu trúc perovskit này, mặt A có thể bị chiếm giữ bởi một hoặc nhiều thành phần trong số MA, FA, Cs, hoặc Rb. Mặt B có thể bị chiếm giữ bởi một hoặc nhiều thành phần trong số Pb, Sn, hoặc Ge. Và mặt X có thể bị chiếm giữ bởi một hoặc nhiều thành phần trong số I, Br, hoặc Cl.

Các vật liệu perovskit kim loại halogenua hữu cơ-vô cơ hoặc vô cơ có thể được sử dụng để hấp thụ năng lượng ánh sáng trong các thiết bị quang điện. Trong thiết bị quang điện, vật liệu perovskit được định vị tiếp xúc với và ở giữa lớp vận chuyển điện tích âm và lớp vận chuyển điện tích dương. Các thiết bị quang điện perovskit có thể được tạo cấu hình hoặc theo sự định hướng N-I-P hoặc theo sự định hướng P-I-N, với hoặc lớp vận chuyển điện tích âm hoặc dương về phía ánh sáng tới của thiết bị.

Fig.4 thể hiện cấu trúc thiết bị ví dụ cho thiết bị quang điện perovskit. Trong ví dụ được miêu tả, lớp vận chuyển điện tích âm gần với phía ánh sáng tới của thiết bị.

Bây giờ, tham khảo đến Fig.4, phương án của thiết bị quang điện 100 sẽ được miêu tả một cách sơ lược. Thiết bị quang điện 100 có thể được tạo cấu hình để nhận ánh sáng và biến đổi ánh sáng thành các tín hiệu điện, ví dụ, các photon có thể được hấp thụ từ ánh sáng và được biến đổi thành các tín hiệu điện qua hiệu ứng quang điện. Theo đó, thiết bị quang điện 100 có thể xác định mặt trước hoặc năng lượng, ánh sáng tới, 102 được tạo cấu hình để được phơi bày ra trước nguồn sáng, như là, ví dụ, mặt trời. Thiết bị quang điện 100 có thể còn định rõ phần bù mặt đối diện 104 từ mặt ánh sáng tới 102 như là, ví dụ, bởi nhiều lớp vật liệu. Cần chú ý rằng thuật ngữ “ánh sáng” có thể đề cập đến các bước sóng khác nhau của phổ điện từ như, nhưng không bị hạn chế ở, các bước sóng trong các phần cực tím (Ultraviolet, UV), hồng ngoại (Infrared, IR), và phần nhìn thấy của phổ điện từ. “Ánh sáng mặt trời,” như được sử dụng ở đây, đề cập tới ánh sáng được phát ra bởi mặt trời.

Thiết bị quang điện 100 có thể gồm nhiều lớp được bố trí ở giữa mặt ánh sáng tới 102 và mặt đối diện 104. Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ “lớp” đề cập tới độ dày của vật liệu được tạo ra ở trên bề mặt. Mỗi lớp có thể che phủ tất cả hoặc một phần bất kỳ của bề mặt. Trong một số phương án, các lớp của thiết bị quang điện 100 có thể được

phân chia thành mảng của các tế bào quang điện. Ví dụ, thiết bị quang điện 100 có thể được vạch dấu theo nhiều vạch dấu nối tiếp và nhiều vạch dấu song song.

Thiết bị quang điện 100 có thể gồm đế 110 được tạo cấu hình để tạo thuận lợi cho việc truyền ánh sáng vào trong thiết bị quang điện 100. Đế 110 có thể được bố trí tại mặt trước 102 của thiết bị quang điện 100. Đế 110 có thể có bề mặt thứ nhất 112 gần như là quay mặt về mặt năng lượng 102 của thiết bị quang điện 100 và bề mặt thứ hai 114 gần như là quay mặt về mặt đối diện 104 của thiết bị quang điện 100. Một hoặc nhiều lớp vật liệu có thể được bố trí ở giữa bề mặt thứ nhất 112 và bề mặt thứ hai 114 của đế 110.

Đế 110 có thể gần như là trong suốt. Trong một số phương án, đế bao gồm vật liệu gần như là trong suốt như là, ví dụ, thủy tinh. Thủy tinh thích hợp có thể gồm thủy tinh vôi natri cacbonat, thủy tinh với hàm lượng sắt giảm, hoặc thủy tinh với khoảng 90% hệ số truyền. Theo cách tùy chọn, đế 110 có thể gồm lớp phủ hiệu suất được áp dụng để tạo thành bề mặt hướng sáng hoặc bề mặt ngoài. Lớp phủ hiệu suất có thể được tạo cấu hình để tương tác với ánh sáng hoặc để cải thiện độ bền của đế 110 như là, nhưng không bị hạn chế ở, lớp phủ chống phản xạ, lớp phủ chống bẩn, hoặc tổ hợp của chúng.

Thiết bị quang điện 100 có thể gồm lớp hàng rào 130, được tạo cấu hình để làm giảm sự khuếch tán của các chất tạp nhiễm (ví dụ, natri) từ đế 110, vốn có thể gây ra sự thoái hóa hoặc tách lớp cán. Lớp hàng rào 130 có thể có bề mặt thứ nhất 132 gần như là quay mặt về mặt trước 102 của thiết bị quang điện 100 và bề mặt thứ hai 134 gần như là quay mặt về mặt đối diện 104 của thiết bị quang điện 100. Trong một số phương án, lớp hàng rào 130 có thể được tạo ra liền kề với đế 110. Ví dụ, bề mặt thứ nhất 132 của lớp hàng rào 130 có thể được tạo ra ở trên bề mặt thứ hai 114 của đế 100. Cụm từ “liền

kề với,” như được sử dụng ở đây, có nghĩa là hai lớp được bố trí giáp nhau và không có vật liệu xen giữa bất kỳ nào giữa ít nhất một phần của các lớp.

Nói chung, lớp hàng rào 130 có thể gần như là trong suốt, ổn định về nhiệt, với số các lỗ đường kính nhỏ giảm và có khả năng chặn natri, và các tính chất kết dính tốt. Theo cách thay thế hoặc theo cách bổ sung, lớp hàng rào 130 có thể được tạo cấu hình để áp dụng việc triệt màu bất kỳ cho ánh sáng. Lớp hàng rào 130 có thể gồm một hoặc nhiều lớp vật liệu thích hợp, gồm, nhưng không bị hạn chế ở, thiếc oxit, silic đioxit, silic oxit được pha tạp nhôm, silic oxit, silic nitrua, hoặc nhôm oxit. Lớp hàng rào 130 có thể có độ dày thích hợp bất kỳ được giới hạn bởi bề mặt thứ nhất 132 và bề mặt thứ hai 134, gồm, ví dụ, nhiều hơn khoảng 100 Å trong một phương án, nhiều hơn khoảng 150 Å trong phương án khác, hoặc nhỏ hơn khoảng 200 Å trong phương án khác nữa.

Thiết bị quang điện 100 có thể gồm lớp điện cực trong suốt 140 được tạo cấu hình để tạo ra tiếp xúc điện để vận chuyển các bộ phận mang điện tích được sinh ra bởi thiết bị quang điện 100. Lớp điện cực trong suốt 140 có thể có bề mặt thứ nhất 142 gần như là quay mặt về mặt năng lượng 102 của thiết bị quang điện 100 và bề mặt thứ hai 144 gần như là quay mặt về mặt đối diện 104 của thiết bị quang điện 100. Trong một số phương án, lớp điện cực trong suốt 140 có thể được tạo ra liền kề với lớp hàng rào 130. Ví dụ, bề mặt thứ nhất 142 của lớp điện cực trong suốt 140 có thể được tạo ra ở trên bề mặt thứ hai 134 của lớp hàng rào 130. Nói chung, lớp điện cực trong suốt 140 có thể được tạo thành từ một hoặc nhiều lớp vật liệu bán dẫn loại n mà gần như là trong suốt và có công thoát rộng. Cụ thể là, công thoát rộng có thể có trị số năng lượng lớn hơn khi so sánh với năng lượng của các photon của ánh sáng, vốn có thể làm giảm sự hấp thụ không mong muốn của ánh sáng. Lớp điện cực trong suốt 140 có thể gồm một hoặc

nhiều lớp vật liệu thích hợp, gồm, nhưng không bị hạn chế ở, thiếc đioxit, thiếc đioxit được pha tạp (ví dụ, F-SnO₂), indi thiếc oxit, hoặc catmi stannat.

Thiết bị quang điện 100 có thể gồm lớp vận chuyển điện tử (Electron Transport Layer, ETL) 150. Lớp vận chuyển điện tử (ETL) cũng có thể được gọi là lớp vận chuyển điện tích âm, tiếp xúc loại n, tiếp xúc chọn lọc e⁻, hoặc lớp chọn lọc điện tử. Nó có thể được định vị tiếp xúc với điện cực trong suốt vốn đóng vai trò là cực dương. ETL 150 có thể có bề mặt thứ nhất 152 gần như là về phía mặt trước 102 của thiết bị quang điện 100 và bề mặt thứ hai 154 gần như là về phía mặt đối diện 104 của thiết bị quang điện 100. Trong một số phương án, ETL 150 có thể được tạo ra liền kề với lớp hàng rào 140. Ví dụ, bề mặt thứ nhất 152 của ETL 150 có thể được tạo ra ở trên bề mặt thứ hai 144 của lớp điện cực trong suốt 140. ETL 150 có thể có độ dày thích hợp giữa bề mặt thứ nhất 152 và bề mặt thứ hai 154, gồm, ví dụ, nhiều hơn khoảng 2 nm trong một phương án, giữa khoảng 10 nm và khoảng 80 nm trong phương án khác, hoặc giữa khoảng 15 nm và khoảng 60 nm trong phương án khác nữa. ETL có thể gồm một hoặc nhiều lớp vật liệu thích hợp, gồm, nhưng không bị hạn chế ở, PCBM (poly(methylhexatriene)-C61-phenyl), C60, BCP (bathocuproine), florua liti (LiF), hoặc các oxit kim loại, như là TiO₂, ZnO, SnO_x, ZnSnO₄, hoặc SrTiO₃. Trong một số phương án ETL 150 bao gồm thiếc oxit (SnO₂).

Thiết bị được tạo thành một phần, gồm đế 110, ETL 150, và các lớp ở giữa nó, có thể được gọi là chồng đế 113.

Thiết bị quang điện 100 có thể gồm lớp hấp thụ 160 bao gồm vật liệu perovskit được tạo cấu hình để kết hợp với lớp liền kề và tạo thành mối nối p-i-n ở thiết bị quang điện 100. Theo đó, các photon bị hấp thụ của ánh sáng có thể giải phóng cặp điện tử-lỗ trống và sinh ra dòng mang, vốn có thể sản sinh điện năng.

Các hợp chất perovskit chì halogenua và thiếc halogenua có thể được sử dụng trong lớp hấp thụ của thiết bị quang điện. Các hợp chất perovskit halogenua kim loại có cấu trúc ABX_3 , mà tại đó A và B là các cation và X là anion halogenua. Trong các ví dụ, mặt A có thể bị chiếm giữ bởi một hoặc nhiều hữu cơ hoặc vô cơ các cation. Ví dụ, mặt A có thể gồm có một hoặc nhiều thành phần trong số: các cation metylamoni (MA), formamidin (FA), xesi (Cs), hoặc rubiđi (Rb). Mặt B có thể bị chiếm giữ bởi một hoặc nhiều kim loại, như là chì (Pb) hoặc thiếc (Sn). Và mặt X có thể bị chiếm giữ bởi một hoặc nhiều halogenua, như là iốt (I), brom (Br), hoặc clo (Cl). Lớp hấp thụ perovskit có thể được tạo thành bằng cách lựa chọn và phản ứng một hoặc nhiều cation loại A hoặc các hợp chất loại A-X với một hoặc các hợp chất B-X. Các vật liệu halogenua kim loại thích hợp để sử dụng làm hợp chất B-X trong việc tạo thành hợp chất perovskit cho lớp hấp thụ gồm các iôđua, bromua, và/hoặc clorua, trong sự tổ hợp với kim loại, kim loại kiềm và/hoặc các tổ hợp của chúng. Trong một số phương án, vật liệu B-X là muối kim loại nhóm 14. Các vật liệu halogenua kim loại hoặc B-X thích hợp để sử dụng trong hợp chất perovskit gồm, nhưng không bị hạn chế ở, chì iôđua (PbI_2), iôđua xesi (CsI), chì bromua ($PbBr_2$), xesi bromua ($CsBr$), xesi chì iôđua ($CsPbI_3$), xesi thiếc iôđua ($CsSnI_3$), chì clorua ($PbCl_2$), thiếc iôđua (SnI_2), thiếc bromua ($SnBr_2$), và/hoặc thiếc clorua ($SnCl_2$). Trong thiết bị quang điện, lớp hấp thụ của vật liệu perovskit có thể được định vị tiếp xúc với và ở giữa lớp vận chuyển điện tích âm và lớp vận chuyển điện tích dương.

Lớp hấp thụ 160 có thể có bề mặt thứ nhất 162 gần như là quay mặt về mặt năng lượng 102 của thiết bị quang điện 100 và bề mặt thứ hai 164 gần như là quay mặt về mặt đối diện 104 của thiết bị quang điện 100. Độ dày của lớp hấp thụ 160 có thể được định rõ là ở giữa bề mặt thứ nhất 162 và bề mặt thứ hai 164.

Trong thiết bị ví dụ, độ dày của lớp hấp thụ 160 có thể nằm giữa khoảng 150 nm đến 10000 nm, như là, ví dụ, giữa 500 nm đến 10000 nm trong phương án, giữa 1000 nm đến 7000 nm trong phương án, giữa 200 nm đến 6000 nm trong phương án, giữa 300 nm đến 3000 nm trong phương án, giữa 400 nm đến 2000 nm trong phương án, giữa 400 nm đến 1500 nm trong phương án, hoặc giữa 1500 nm đến 4000 nm trong một phương án khác. Trong phương án được thể hiện trên Fig.4, lớp hấp thụ 160 liền kề với ETL 150 và với lớp vận chuyển lỗ.

Lớp vận chuyển lỗ (Hole Transport Layer, HTL) 180 cũng có thể được gọi là lớp vận chuyển điện tích dương, lớp vận chuyển loại p, vật liệu vận chuyển lỗ, tiếp xúc chọn lọc h^+ , hoặc lớp chọn lọc lỗ. Nó có thể được định vị là tiếp xúc với lớp dẫn hoặc điện cực sau vốn đóng vai trò là cực âm. HTL 180 tạo ra tiếp xúc điện cho lớp hấp thụ 160. HTL 180 có thể có bề mặt thứ nhất 182 gần như là về phía mặt trước 102 của thiết bị quang điện 100 và bề mặt thứ hai 184 gần như là về phía mặt đối diện 104 của thiết bị quang điện 100. Độ dày của HTL 180 có thể được định rõ là ở giữa bề mặt thứ nhất 182 và bề mặt thứ hai 184. Độ dày của HTL 180 có thể nằm giữa khoảng 5 nm đến khoảng 200 nm như là, ví dụ, giữa khoảng 10 nm đến khoảng 50 nm trong một phương án. Trong phương án được thể hiện, HTL 180 được tạo ra liền kề với lớp hấp thụ 160. Ví dụ, bề mặt thứ nhất 182 của điện cực sau 180 có thể được tạo ra ở trên bề mặt thứ hai 164 của lớp hấp thụ 160.

Trong một số phương án, HTL 180 có thể gồm oxit kim loại, polyme, phân tử nhỏ hoặc vật liệu vận chuyển lỗ hữu cơ. Trong một số phương án, vật liệu vận chuyển lỗ có thể gồm một hoặc nhiều thành phần trong số: nicken oxit (NiO_x), đồng thioxyanat ($CuSCN$), đồng phtaloxyanin ($CuPc$), vonfram oxit (WO_3), đồng iôđua (CuI), hoặc đồng oxit (CuO_x). Trong một số phương án, HTL 180 có thể gần như là gồm có oxit niken

(NiO_x). Trong một số phương án, HTL 180 có thể gồm hợp chất hữu cơ, như là 2,2',7,7'-Tetrakis [N,N-di (4-metoxypheyl) amino] -9,9'-spirobucliclofen (Spiro-OMeTAD). Số CAS cho Spiro-OMeTAD là 207739-72-8. Trong một số phương án, HTL 180 có thể gồm có một hoặc thành phần trong số: Spiro-OMeTAD, PTAA (poly-triarylamin hoặc Poly[bis(4-phenyl)(2,4,6-trimetylphenyl)amin]), PEDOT:PSS (Poly(3,4-etylendioxythiophen)-poly(styrenesulfonat)), P3HT (Poly(3-hexylthiophen-2,5-diyl)), P3HT-COOH (poly[3-(6-carboxyhexyl)thiophen-2,5-diyl]), hoặc poly-TPD (4-butyl-N,N-diphenylanilin polyme đồng nhất).

Thiết bị quang điện 100 có thể gồm lớp dẫn hoặc điện cực sau 190. Lớp dẫn 190 có thể có bề mặt thứ nhất 192 gần như là quay mặt về mặt năng lượng 102 của thiết bị quang điện 100 và bề mặt thứ hai 194 gần như là quay mặt về mặt đối diện 104 của thiết bị quang điện 100. Trong một số phương án, điện cực sau 190 có thể được tạo ra liền kề với HTL 180. Ví dụ, bề mặt thứ nhất 192 của lớp dẫn 190 có thể được tạo ra ở trên bề mặt thứ hai 184 của HTL 180. Lớp dẫn 190 có thể gồm vật liệu dẫn điện như là, ví dụ, một hoặc nhiều lớp kim loại chứa nito, vàng, đồng, nhôm, titan, paladi, crôm, molybden, vàng, hoặc dạng tương tự. Các ví dụ về lớp kim loại chứa nito có thể gồm nhôm nitrit, niken nitrit, titan nitrit, vonfram nitrit, selen nitrit, tantalum nitrit, hoặc vanadi nitrit.

Thiết bị quang điện 100 có thể gồm phần đỡ sau 196 được tạo cấu hình để phối hợp với đế 110 để tạo thành vỏ cho thiết bị quang điện 100. Phần đỡ sau 196 có thể được bố trí tại mặt đối diện 102 của thiết bị quang điện 100. Ví dụ, phần đỡ sau 196 có thể được tạo thành liền kề với điện cực sau 190. Phần đỡ sau 196 có thể gồm vật liệu thích hợp bất kỳ, gồm, ví dụ, thủy tinh (ví dụ, thủy tinh vôi natri cacbonat). Trong một số phương án, lớp đóng gói cũng có thể đóng vai trò là phần đỡ sau 196.

Thiết bị quang điện 100 có thể, theo cách tùy chọn, gồm một hoặc nhiều lớp trung gian và/hoặc một hoặc nhiều lớp đệm. Lớp đệm có thể được tạo cấu hình để tạo ra lớp ngăn cách giữa liền kề các lớp. Lớp đệm có thể gồm vật liệu có điện trở suất cao hơn so với lớp liền kề, và có thể gồm, nhưng không bị hạn chế ở, thiếc đioxit thực, kẽm magiê oxit (ví dụ, $Zn_{1-x}Mg_xO$), thiếc đioxit (SnO_2), silic đioxit (SiO_2), nhôm oxit (Al_2O_3), nhôm nitrit (AlN), kẽm thiếc oxit, kẽm oxit, thiếc silic oxit, hoặc các tổ hợp của chúng. Trong một số phương án, vật liệu của lớp đệm có thể được tạo cấu hình để gần như là thích hợp với công thoát của lớp bán dẫn liền kề. Lớp đệm có thể có độ dày, gồm, ví dụ, nhiều hơn khoảng 10 nm trong một phương án, giữa khoảng 10 nm và khoảng 80 nm trong một phương án khác, hoặc trong phạm vi từ 15nm đến 60 nm trong phương án khác.

Trong một số phương án, cấu trúc n-i-p được đảo ngược thành sự định hướng p-i-n mà trong đó lớp vận chuyển điện tích dương là gần với phía trước tương đối với lớp vận chuyển điện tích âm. Trong một số phương án, các lớp được lựa chọn, gồm HTL, bộ hấp thụ perovskit, và ETL, được gồm trong thiết bị trước sau (tandem). Trong các phương pháp để tạo thành thiết bị trước sau, thì các phương pháp để tạo thành lớp perovskit có thể gồm tạo thành lớp perovskit trên lớp tiếp xúc của chồng để trong đó chồng để bao gồm chồng tế bào và mối nối ống.

Fig.5 thể hiện thiết bị ví dụ 200 với sự định hướng p-i-n. Các lớp là giống với các lớp như được mô tả đối với Fig.4, nhưng có thể được định vị như được thể hiện trên Fig.5. Thiết bị được tạo thành một phần, gồm đế 110, HTL 180, và các lớp ở giữa nó, có thể được gọi là chồng để 213.

Lớp của chồng để đối diện với đế có thể được gọi là lớp tiếp xúc thứ nhất hoặc lớp vận chuyển điện tích thứ nhất. Lớp vận chuyển điện tích thứ nhất của chồng để là tương đương với HTL trong thiết bị với sự định hướng p-i-n, hoặc ETL cho thiết bị với sự định

hướng n-i-p. Như được sử dụng ở đây, chồng đế (13, 113, 213) không gồm lớp hấp thụ. Trong thiết bị được tạo thành hoàn toàn, lớp hấp thụ được bố trí ở giữa lớp vận chuyển điện tích thứ nhất và lớp vận chuyển điện tích thứ hai, lớp vận chuyển điện tích thứ hai có điện tích ngược lại với lớp vận chuyển điện tích thứ nhất.

Bây giờ, chuyển tới Fig.6, tổng quan về tiến trình ví dụ để tạo thành thiết bị quang điện được thể hiện.

Chồng đế được tạo thành và được chuẩn bị 610. Để có thể được tạo thành từ phần đỡ trong suốt, như là thủy tinh, với điện cực trong suốt và lớp vận chuyển điện tích thứ nhất, như là HTL hoặc ETL, trên phần đỡ trong suốt. Theo cách tùy chọn, chồng đế có thể còn gồm tập hợp vạch dẫn thứ nhất, và một hoặc nhiều lớp bổ sung, như là lớp đệm, lớp điện trở cao, hoặc lớp chống phản xạ.

Chồng đế, theo cách tùy chọn, có thể được làm sạch 620. Chồng đế có thể được làm sạch với chất lưu, như là dung môi hoặc khí. Ví dụ, chồng đế có thể được làm sạch với khí ôzôn UV, hoặc plasma.

Chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất, như là chì halogenua hoặc thiếc halogenua, được lắng đọng lên trên vật liệu vận chuyển điện tử của chồng đế để tạo thành lớp tiền chất bởi VTD 630. Để lắng đọng chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất, thì để có thể được chuyển chở vào trong buồng lắng đọng. Nhiệt độ và áp suất trong buồng lắng đọng có thể được kiểm soát trong quy trình lắng đọng.

Trong quy trình ví dụ, buồng lắng đọng nhiệt độ nằm trong phạm vi từ 20° C đến 150° C và tại áp suất nằm trong phạm vi từ 0,1 Torr đến 5 Torr. Buồng lắng đọng có thể có khí quyển gồm khí mang trợ hoặc tổ hợp của không khí và khí trợ. Vật liệu nguồn thứ nhất có thể gồm nguồn halogenua kim loại, như là chì halogenua hoặc thiếc halogenua, được gia nhiệt đến nhiệt độ trong phạm vi từ 375° C đến 550° C. Vật liệu

nguồn thứ nhất có thể được vận chuyển về phía đế nhờ sử dụng khí mang. Khí mang có thể là trơ. Khí mang có thể bao gồm một hoặc nhiều thành phần trong số heli, nitơ, hoặc argon. Lớp tiền chất thứ nhất có thể là PbI_2 , SnI_2 , PbBr_2 , SnBr_2 , hoặc các tổ hợp của chúng. Vật liệu nguồn được hóa hơi được mang bởi khí mang có thể đi qua ống dẫn được định vị gần với đường dẫn đế. Ống dẫn sẽ dẫn hướng vật liệu nguồn được hóa hơi để được lắng đọng ngang qua chiều rộng của đế, gần như là vuông góc với đường dẫn đế, khi đế được chuyên chở qua ống dẫn. Đế có thể được chuyên chở liên tục dọc theo đường dẫn đế sao cho độ dày gần như đều của vật liệu tiền chất thứ nhất được lắng đọng trong lớp liên tục liền kề với lớp vận chuyển điện tích thứ nhất của chồng đế. Trong một số phương án, chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất được lắng đọng một cách đồng thời dọc theo chiều rộng đế, đến độ dày từ 100 nm đến 2000 nm. Trong ví dụ, chiều rộng đế nằm trong phạm vi từ 1 m đến 2 m.

Sau đó, chồng đế với lớp phủ lớp tiền chất được phô bày ra với chế phẩm tiền chất tạo thành perovskit thứ hai 640. Chế phẩm tiền chất thứ hai có thể gồm, ví dụ, chất lỏng hoặc hơi của MAI, FAI và/hoặc các hợp chất tạo thành perovskit khác.

Chồng đế với chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất được phô bày ra với chất phản ứng bao gồm chế phẩm tạo thành perovskit thứ hai, và được ủ để làm phản ứng và chuyển đổi lớp tiền chất thứ nhất thành lớp perovskit 650. Các bước để tạo ra chế phẩm tiền chất tạo thành perovskit thứ hai 640 và chuyển đổi lớp tiền chất thứ nhất thành lớp perovskit 650 có thể được tạo thành một cách đồng thời hoặc theo tuần tự.

Trong ví dụ, lớp tiền chất thứ nhất được tiếp xúc với chế phẩm tạo thành perovskit thứ hai trong quy trình ủ.

Trong ví dụ, lớp tiền chất thứ nhất được phô bày ra với chế phẩm tạo thành perovskit thứ hai bằng cách phủ phun lớp tiền chất thứ hai lên trên lớp tiền chất thứ nhất.

Trong ví dụ, lớp tiền chất thứ nhất được phơi bày ra với chế phẩm tạo thành perovskit thứ hai bằng cách lắng đọng lớp tiền chất thứ hai bởi sự lắng đọng vận chuyển hơi.

Quy trình ủ có thể gồm việc kiểm soát nhiệt độ, độ ẩm, áp suất, nồng độ chất phản ứng, thời gian phơi bày chất phản ứng, và thời lượng gia nhiệt. Trong một số phương án, một hoặc nhiều chất kích thích có thể được hợp nhất trong quy trình ủ.

Trong quy trình ủ ví dụ, bề mặt của tấm chuyển, có các kích thước tương ứng với chiều dài và chiều rộng của đế, được phủ metylamoni iôđua (MAI) sẽ được hòa tan trong dung môi rượu isopropyl và được làm khô để làm bay hơi dung môi. Tấm chuyển được phủ MAI sẽ được định vị liền kề với lớp tiền chất thứ nhất trên bề mặt của chồng đế, với khoảng cách giữa tấm chuyển và lớp tiền chất trong phạm vi từ 0,5 đến 10 cm. Tấm chuyển được gia nhiệt đến phạm vi từ 75° C đến 125° C trong khoảng từ 20 phút đến 120 phút, hóa hơi MAI từ tấm chuyển và phơi bày lớp tiền chất thứ nhất với hơi MAI. Quy trình ủ có thể được tạo thành trong buồng ủ.

Sau khi tạo thành vật liệu perovskit, lớp perovskit có thể theo cách tùy chọn được thụ động hóa 660.

Lớp vận chuyển điện tích thứ hai, như là ETL hoặc HTL, có điện tích ngược lại với lớp vận chuyển điện tích thứ nhất, được tạo thành 670 trên lớp hấp thụ perovskit. Lớp hàng rào khuếch tán hoặc ẩm có thể được tạo thành. Chồng đế với lớp perovskit và HTL có thể được xử lý bởi các bước xử lý bổ sung 680. Các bước xử lý bổ sung có thể gồm một hoặc nhiều việc trong số: sự tạo thành của các lớp bổ sung, làm sạch, vạch dầu, đóng gói, hoặc áp dụng các kết nối ống lót. Chồng đế với lớp perovskit và lớp vận chuyển điện tích thứ hai có thể, theo cách tùy chọn, được vạch dầu để tạo thành một tập hợp vạch dầu khác, ví dụ, bởi laze. Lớp dẫn hoặc điện cực sau có thể được tạo thành

trên lớp vận chuyển điện tích thứ hai. Chồng đế với lớp dẫn có thể được vạch dấu để tạo thành tập hợp vạch dấu sau. Lớp đóng gói có thể được áp dụng trên chồng lớp được hoàn thành. Các kết nối điện hoặc ống lót khác và phần đỡ sau có thể được bổ sung vào thiết bị.

Cấu trúc trung gian cho thiết bị quang điện perovskit, được tạo thành bởi ví dụ các phương pháp, có lớp tiền chất được tạo kết cấu tốt trước khi ủ và sự chuyển đổi của lớp tiền chất thành lớp hấp thụ perovskit. Cấu trúc lớp tiền chất này sản xuất lớp phủ perovskit dày đặc với các cấu trúc hạt perovskit, giáp nhau, được định rõ ràng góp phần chuyển đổi năng lượng quang điện hiệu quả và đáng thất vọng.

Lớp tiền chất thứ nhất bao gồm vật liệu halogenua kim loại được bố trí trong lớp ở trên lớp vận chuyển điện tích. Các vật liệu halogenua kim loại thích hợp để sử dụng trong hợp chất perovskit gồm các iôđua, bromua, và/hoặc clorua, trong sự tổ hợp với kim loại, kim loại kiềm và/hoặc các tổ hợp của chúng. Các vật liệu halogenua kim loại thích hợp để sử dụng trong hợp chất perovskit gồm, nhưng không bị hạn chế ở, chì iôđua (PbI_2), chì bromua (PbBr_2), xesi bromua (CsBr), xesi chì iôđua (CsPbI_3), xesi thiếc iôđua (CsSnI_3), chì clorua (PbCl_2), thiếc iôđua (SnI_2), thiếc bromua (SnBr_2), và/hoặc thiếc clorua (SnCl_2).

Nhờ sử dụng các phương pháp được mô tả, lớp tiền chất có các tính năng thuận lợi có thể được chuẩn bị một cách đáng cậy và hiệu quả, sử dụng các quy trình thích hợp để chế tạo các panen quang điện. Để tạo thuận lợi cho sự chuyển đổi hiệu quả, thì halogenua kim loại được lắng đọng có độ xốp cao. Trong số các phương pháp khác, độ xốp có thể được đánh giá nhờ sử dụng kính hiển vi điện tử quét (Scanning Electron Microscope, SEM) để sản xuất các phép đo ba chiều từ đó có thể xác định tỷ lệ rỗng. Các màng được sản xuất bởi các phương pháp được mô tả có thể có độ xốp khoảng 50%. Trong ví dụ,

lớp tiền chất có độ xốp là khoảng 50%. Trong ví dụ, lớp tiền chất có độ xốp trong phạm vi từ 35% đến 65%, trong phạm vi từ 40% đến 60%, và/hoặc trong phạm vi từ 45% đến 55%.

Lớp tiền chất có thể có các cấu trúc hạt tinh thể giống như cánh hoa dày đặc được định hướng sao cho chiều cao, gần như là trực giao với mặt của chồng đế, của phần lớn cấu trúc hạt tinh thể giống như cánh hoa gần như là lớn hơn chiều rộng hạt cắt ngang song song với chồng đế. Lớp tiền chất có thể có lớp giống như bãi cỏ gần như là đồng nhất và dày đặc của các cấu trúc hạt tinh thể. Lớp có thể tạo ra đủ vật liệu để sản xuất lớp hấp thụ mà không cần các lỗ đường kính nhỏ hoặc các khe hở. Lớp có thể tạo ra tỷ lệ bề mặt trên thể tích thuận tiện để thúc đẩy phản ứng hoàn toàn với lớp tiền chất thứ hai mà không có vật liệu halogenua kim loại chưa được phản ứng. Trong lớp tiền chất ví dụ, ít nhất một phần ba các hạt của lớp tiền chất có chiều cao nằm trong phạm vi từ 200 nm đến 500 nm và kích thước chiều rộng hạt cắt ngang nhỏ hơn 50 nm.

Trong ví dụ, lớp tiền chất bao gồm nhiều cấu trúc hạt tinh thể chì iôđua có chiều cao, trực giao với mặt của chồng đế, và chiều rộng, song song với bề mặt của chồng đế, và ít nhất một phần tư các cấu trúc hạt của lớp tiền chất có chiều cao nằm trong phạm vi từ 200 nm đến 700 nm và chiều rộng nhỏ hơn 100 nm.

VTD của PbI_2 tại các nhiệt độ được lựa chọn.

Tập hợp của các chồng đế mẫu đã được chuẩn bị. Sau đó, các chồng đế mẫu đã được đặt trong buồng VTD. Chì iôđua (PbI_2) đã được sử dụng làm vật liệu nguồn cho lớp tiền chất thứ nhất. Vật liệu nguồn đã được gia nhiệt đến nhiệt độ được lựa chọn là khoảng 300° C, 350° C, 400° C, 450° C, 500° C, và 600° C. Nhiệt độ buồng đã được duy trì tại nhiệt độ thấp hơn vật liệu nguồn được gia nhiệt. Để nhiệt độ ở tại hoặc thấp hơn nhiệt độ buồng. Khí mang bao gồm PbI_2 được hóa hơi mà được dẫn hướng heli về

phía đế. PbI_2 đã được lắng đọng đến độ dày từ 100 đến 1000 nm. Các màng kết quả đã được đánh giá về mặt chất lượng. Chất lượng của các màng được sản xuất trong ví dụ này đã được tìm thấy là có các chất lượng thuận tiện hơn tại các nhiệt độ gần hơn với phần giữa của các phạm vi được kiểm tra.

Việc kiểm tra nhiệt độ bổ sung đã được tạo thành đối với phạm vi của các mức áp suất và các tốc độ luồng khí mang. Các kết quả thí nghiệm được thể hiện sự tạo thành lớp đối với nguồn halogenua kim loại được gia nhiệt đến nhiệt độ trong phạm vi từ 375°C đến 550°C để lắng đọng ở trong buồng lắng đọng có áp suất trong phạm vi từ 0,1 Torr đến 2,0 Torr và sử dụng khí mang bao gồm khí hiếm. Theo các điều kiện thí nghiệm, chất lượng lớp đã được cải thiện cho các lớp được sản xuất từ nguồn được gia nhiệt đến nhiệt độ ở trong phạm vi từ 400°C đến 525°C .

VTD của PbI_2 tại các áp suất và các tốc độ lắng đọng được lựa chọn.

Chuyển tới các hình từ Fig.7 đến Fig.10, các màng tiền chất đã được chuẩn bị tại các áp suất và các tốc độ lắng đọng được lựa chọn. Tập hợp của các chồng đế mẫu đã được chuẩn bị. Mỗi chồng đế mẫu đã được đặt trong buồng VTD. Bột chì iôđua (PbI_2) đã được sử dụng làm vật liệu nguồn cho lớp tiền chất perovskit thứ nhất. Vật liệu nguồn đã được gia nhiệt đến trên 400°C . Nhiệt độ buồng đã được duy trì trong phạm vi từ khoảng 25°C đến 100°C . Nhiệt độ đế ở tại hoặc thấp hơn nhiệt độ buồng.

Bốn điều kiện đã được kiểm tra, tập hợp A, tương ứng với ví dụ được thể hiện trên Fig.7; tập hợp B, tương ứng với ví dụ được thể hiện trên Fig.8; tập hợp C, tương ứng với ví dụ được thể hiện trên Fig.9; và tập hợp D, tương ứng với ví dụ được thể hiện trên Fig.10. Khí mang bao gồm PbI_2 được hóa hơi mà được dẫn hướng heli về phía đế. PbI_2 đã được lắng đọng trong lớp gần như là gồm có PbI_2 đến độ dày trong phạm vi từ 100 nm đến 1000 nm. Trong các tập hợp A và B, áp suất buồng đã được duy trì tại khoảng

1,5 Torr. Trong các tập hợp C và D, áp suất buồng đã được duy trì tại khoảng 0,3 Torr. Trong các tập hợp A và C, tốc độ luồng khí mang là khoảng 110 sccm (sccm - cm khối tiêu chuẩn mỗi phút) và tốc độ lắng đọng là khoảng 0,25 $\mu\text{m}/\text{min}$ (250 nm/min). Trong các tập hợp B và D, tốc độ luồng khí mang là khoảng 110 sccm và tốc độ lắng đọng là khoảng 0,04 $\mu\text{m}/\text{min}$ (40 nm/min). Theo sau sự lắng đọng của lớp PbI_2 , thì các đế đã được cho phép để làm lạnh đến nhiệt độ phòng trước bước xử lý tiếp theo.

Các hình từ Fig.7 đến Fig.10 thể hiện các hình ảnh SEM của lớp tiền chất được tạo thành theo mỗi tập hợp (A, B, C, & D) của các điều kiện. Panen trên trong mỗi hình trên các hình từ Fig.7 đến Fig.10 thể hiện các hình ảnh của bề mặt của lớp tiền chất với khung tỉ lệ là 1 μm (1000 nm). Panen dưới trong mỗi hình trên các hình từ Fig.7 đến Fig.10 thể hiện các hình ảnh cắt ngang qua lớp tiền chất và dưới các lớp. Khung tỉ lệ cho panen dưới trên Fig.8 là 400 nm, và khung tỉ lệ cho panen dưới trên Fig.7, Fig.9, và Fig.10 là 500 nm. Như có thể thấy trên các hình ảnh, các lớp tiền chất được tạo thành trong các tập hợp B, C, và D chứng minh cấu trúc hạt thuận tiện của cấu trúc hạt tinh thể giống như cánh hoa được đặt gần nhau, với tập hợp D thể hiện sự định hướng gần như là phía trên bên phải của các hạt tương đối với chông đế. Các màng kết quả được thể hiện độ bám dính tốt như được chứng minh bởi bài kiểm tra kéo.

PbI_2 được lắng đọng bởi VTD và chuyển đổi thành perovskit.

Fig.11A thể hiện bốn panen từ trái sang phải, miêu tả các hình ảnh SEM của các lớp tiền chất tương ứng, một cách tương ứng, với các tập hợp A-D, được mô tả ở trên. Fig.11B thể hiện bốn panen từ trái sang phải tương ứng, một cách tương ứng, với các tập hợp A-D, và miêu tả các lớp perovskit sau khi các lớp tiền chất tương ứng được chuyển đổi thành perovskit theo gần như là cùng các điều kiện để phô bày ra với chất phản ứng bao gồm việc xử lý vật liệu tạo thành perovskit thứ hai và nhiệt. Khung tỉ lệ

cho các hình ảnh được miêu tả trên Fig.11A và Fig.11B là 1 μm (1000 nm). Trong ví dụ này, vật liệu tạo thành perovskit thứ hai bao gồm MAI, dẫn đến lớp perovskit MAPbI₃. Như có thể thấy, lớp perovskit của tập hợp A là không giáp nhau và không đồng đều, chỉ ra lớp chất lượng kém. Lớp được thể hiện cho tập hợp D có các tính năng chỉ ra lớp chất lượng cao là đồng đều, đều, giáp nhau, và có các hạt perovskit được tạo kích cỡ tương tự nhau và rộng.

Sự tạo thành vật liệu bộ hấp thụ perovskit chất lượng cao cho vật liệu được sản xuất bởi phương pháp của tập hợp D đã được khẳng định thêm nữa bởi phép đo phát sáng quang hoá (Photoluminescence, PL) cao.

Các thông số quy trình và chất lượng màng kết quả.

Các tính chất và yếu tố liên quan đến việc sản xuất chất lượng màng tốt trong lớp perovskit gồm: áp suất, nhiệt độ, độ ẩm, lựa chọn vật liệu, cấu trúc tinh thể, kích cỡ hạt, các lớp liên kết, độ dày và/hoặc độ xốp. Khi lớp tiền chất có độ xốp cao, hoặc tỷ số bề mặt trên thể tích, thì sự phơi bày tiếp xúc với tiền chất thứ hai được tăng cường, nhờ đó sản xuất màng mà trong đó phản ứng hóa học với tiền chất thứ hai tiến hành để hoàn thành một cách nhanh chóng và một cách đồng thời. Các hệ thống VTD và các phương pháp được mô tả đặc biệt hiệu quả để kiểm soát các thông số lắng đọng vật liệu, vì thế tạo ra lớp kết quả với các tính chất mong muốn.

Fig.12 thể hiện hình ảnh của lớp perovskit được tạo thành bởi các phương pháp được mô tả. Các hạt perovskit được chuyển đổi được đóng gói gần nhau và rộng, không có các lỗ đường kính nhỏ hoặc các khe hở. Phần bên trái thể hiện SEM cắt ngang với khung tỉ lệ là 400 nm. Phần bên phải thể hiện hình ảnh SEM bề mặt trên cùng của lớp perovskit với khung tỉ lệ là 1 μm .

Bây giờ, chuyển tới các hình từ Fig.13 đến Fig.15, các phép đo của chất lượng bộ hấp thụ được thể hiện. Fig.13 thể hiện khả năng hút bởi chiều dài bước sóng cho bộ hấp thụ được tạo thành bởi phương pháp được mô tả. Fig.14 thể hiện phép đo truyền quang của lớp perovskit trên đế thủy tinh được phủ thiếc oxit được pha tạp flo (FTO). Vị trí và độ nhô cao của mép hấp thụ phù hợp với các lớp perovskit được đặc trưng trước đây. Fig.15 thể hiện phép đo sự nhiễu xạ tia X cho lớp perovskit với các đỉnh perovskit (PK) đặc trưng. Việc thiếu đỉnh cho PbI_2 chỉ ra rằng sự chuyển đổi của lớp tiền chất thành perovskit đã hoàn thành, và không có dư lượng PbI_2 đáng kể có thể đo được.

Màng perovskit đã được tích hợp vào trong thiết bị chức năng. Fig.16 thể hiện ví dụ về phép đo dòng điện-điện áp (IV) bởi sự quét ngược trên thiết bị perovskit có cấu trúc: FTO/ETL/lớp perovskit/HTL/Phần tiếp xúc sau Au. Thiết bị đạt đến hiệu quả lớn hơn 13%.

Fig.17 và Fig.18 thể hiện các hình ảnh SEM cắt ngang của các thiết bị perovskit được làm bởi VTD của lớp tiền chất thứ nhất PbI_2 với sự chuyển đổi quy trình ướt kế tiếp. Màng có độ dày khoảng 400 nm với kích cỡ hạt perovskit trung bình lớn hơn 500 nm theo chiều rộng. Mỗi hình trong số Fig.17 và Fig.18 có khung tỉ lệ là 500 nm.

Ví dụ – VTD của xesi bromua (CsBr)

Các chồng đế được chuẩn bị và ít nhất một chồng đế mẫu được chuyên chở vào trong buồng VTD. Vật liệu bột bao gồm xesi bromua (CsBr) được sử dụng làm vật liệu nguồn cho lớp tiền chất perovskit thứ nhất. Vật liệu nguồn được gia nhiệt đến trên 400°C . Buồng được duy trì tại nhiệt độ trong phạm vi từ 25°C đến 150°C và tại áp suất trong phạm vi từ 0,1 Torr đến 2,0 Torr. Khí mang dẫn hướng vật liệu nguồn được hóa hơi thông qua ống dẫn về phía bề mặt của chồng đế với tốc độ luồng khí mang trong phạm vi từ 80 sccm đến 150 sccm để làm lắng đọng lớp tiền chất bao gồm xesi bromua

trên chồng đế trong lớp có độ dày trong phạm vi từ 100 nm đến 2000 nm. Trong một số phương án, vật liệu nguồn còn bao gồm thiếc và/hoặc chì.

Ví dụ – VTD của xesi thiếc iôđua (CsSnI_3)

Các chồng đế được chuẩn bị và ít nhất một chồng đế mẫu được chuyên chở vào trong buồng VTD. Vật liệu bột bao gồm xesi thiếc iôđua (CsSnI_3) được sử dụng làm vật liệu nguồn cho lớp tiền chất perovskit thứ nhất. Vật liệu nguồn được gia nhiệt đến trên 400°C . Buồng được duy trì tại nhiệt độ trong phạm vi từ 25°C đến 150°C và tại áp suất trong phạm vi từ 0,1 Torr đến 2,0 Torr. Khí mang dẫn hướng vật liệu nguồn được hóa hơi thông qua ống dẫn về phía bề mặt của chồng đế với tốc độ luồng khí mang trong phạm vi từ 80 sccm đến 150 sccm để làm lắng đọng lớp tiền chất bao gồm xesi thiếc iôđua trên chồng đế trong lớp có độ dày trong phạm vi từ 100 nm đến 2000 nm.

Ví dụ – VTD của chì bromua (PbBr_2)

Các chồng đế được chuẩn bị và ít nhất một chồng đế mẫu được chuyên chở vào trong buồng VTD. Vật liệu bột bao gồm chì bromua (PbBr_2) được sử dụng làm vật liệu nguồn cho lớp tiền chất perovskit thứ nhất. Vật liệu nguồn được gia nhiệt đến trên 400°C . Buồng được duy trì tại nhiệt độ trong phạm vi từ 25°C đến 150°C và tại áp suất trong phạm vi từ 0,1 Torr đến 2,0 Torr. Khí mang dẫn hướng vật liệu nguồn được hóa hơi thông qua ống dẫn về phía bề mặt của chồng đế với tốc độ luồng khí mang trong phạm vi từ 80 sccm đến 150 sccm để làm lắng đọng lớp tiền chất bao gồm chì bromua trên chồng đế trong lớp có độ dày trong phạm vi từ 100 nm đến 2000 nm.

Các bước xử lý trong việc chế tạo thiết bị có thể được hoàn tất nhờ sử dụng hệ thống có một hoặc nhiều bộ xử lý. Theo các phương án thực hiện được mô tả ở đây, bộ xử lý có nghĩa là thiết bị bất kỳ có khả năng thực thi các lệnh được bởi máy. Theo

đó, mỗi bộ xử lý trong số một hoặc nhiều bộ xử lý có thể là bộ điều khiển, mạch tích hợp, vi chip, máy tính, hoặc thiết bị tính toán bất kỳ khác.

Một hoặc nhiều bộ xử lý có thể được tạo cấu hình để thực thi logic hoặc phần mềm và thực hiện các chức năng kiểm soát chuyển động tương đối của hệ thống và lớp chồng, cũng như các tính chất xử lý của hệ thống, như là bộ phận chuyên chở tốc độ, nhiệt độ, áp suất, và tốc độ luồng khí hoặc vật liệu. Bên cạnh đó, một hoặc nhiều bộ xử lý có thể được ghép nối theo cách liên lạc được tới một hoặc nhiều thành phần nhớ có thể lưu trữ logic và/hoặc đầu vào được nhận bởi một hoặc nhiều bộ xử lý. Các thành phần bộ nhớ được mô tả ở đây có thể là RAM, ROM, bộ nhớ tác động nhanh, đĩa cứng, hoặc thiết bị bất kỳ có khả năng lưu trữ các lệnh đọc được bởi máy.

Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ “được ghép nối theo cách liên lạc được” có nghĩa là các thành phần có khả năng trao đổi tín hiệu dữ liệu với nhau, như là, ví dụ, các tín hiệu điện thông qua môi trường dẫn, các tín hiệu điện từ thông qua không khí, các tín hiệu quang học qua các bộ phận dẫn sóng quang, và tương tự.

Các phương án theo sáng chế này bao gồm logic chứa các lệnh đọc được bởi máy hoặc thuật toán được viết trong ngôn ngữ lập trình bất kỳ của thể hệ bất kỳ như là, ví dụ, ngôn ngữ máy có thể được thực thi một cách trực tiếp bởi bộ xử lý, hoặc ngôn ngữ assembly, lập trình hướng đối tượng (Object-Oriented Programming, OOP), các ngôn ngữ script, vi mã (microcode), v.v., có thể được biên dịch và chuyển thành các lệnh đọc được bởi máy và được lưu trong môi trường đọc được bởi máy. Theo cách thay thế, logic hoặc thuật toán có thể được viết trong ngôn ngữ mô tả phần cứng (Hardware Description Language, HDL), như logic được áp dụng thông qua hoặc là cấu hình mạng cổng lập trình được bằng trường(Field-Programmable Gate Array, FPGA) hoặc mạch tích hợp ứng dụng cụ thể (Application-Specific Integrated Circuit, ASIC), và các tương

đương của chúng. Theo đó, logic có thể được áp dụng trong ngôn ngữ lập trình máy tính truyền thống bất kỳ, như các thành phần phần cứng được lập trình trước, hoặc như là tổ hợp của các thành phần phần cứng và phần mềm.

Các cụm bộ phân phối và các phương pháp được mô tả ở đây cung cấp độ gần như là đồng nhất của sự phân phối hơi. Các cụm bộ phân phối được đề xuất ở đây có thể mở rộng để phủ các đế rộng, ví dụ, các đế có các kích thước lớn hơn hoặc bằng khoảng 1 m theo chiều dài và/hoặc chiều rộng, trong phạm vi giữa 0,5 đến 2,0 m theo chiều dài và chiều rộng, hoặc lên đến khoảng 2 m theo chiều dài và/hoặc chiều rộng.

Theo các phương án được đề xuất ở đây, cụm bộ phân phối cho hệ thống lắng đọng vận chuyển hơi có thể gồm ống dẫn, ít nhất một bộ hóa hơi, ít nhất một bộ gia nhiệt, và khe hoặc vòi trong ống dẫn. Ít nhất một bộ hóa hơi có thể được đỡ trên, được kết nối với, hoặc nối thông chất lưu với, ống dẫn, và được tạo cấu hình để hóa hơi bột của vật liệu bán dẫn hoặc vật liệu tiền chất bán dẫn. Khe hoặc vòi trong ống dẫn có thể được tạo cấu hình để dẫn hướng các hơi đi qua trên các đế.

Theo các phương án được đề xuất ở đây, phương pháp dẫn sự lắng đọng vận chuyển hơi (VTD) có thể gồm bước hóa hơi nguồn bột của vật liệu trong cụm bộ phân phối với bộ hóa hơi được dành riêng mà được tạo cấu hình để gia nhiệt một cách có chọn lọc nguồn bột để gần như là không gia nhiệt các thành phần khác của cụm bộ phân phối; và lắng đọng vật liệu bán dẫn được hóa hơi lên trên đế di chuyển qua cụm bộ phân phối.

Theo phương án bất kỳ trong số các phương án được đề xuất ở trên, cụm bộ phân phối có thể có khả năng phân phát sự hóa hơi và sự phân phối đồng nhất của các một cách đồng thời dọc theo chiều rộng của chồng đế có chiều rộng từ 1,0 m đến 2,0 m.

Chiều rộng có thể được đo ngang qua kích thước vuông góc với cạnh và vuông góc với hướng chuyên chở.

Theo phương án bất kỳ trong số các phương án được đề xuất ở trên, cụm bộ phân phối có thể được tạo cấu hình để lắng đọng vật liệu lên trên chông để tại tốc độ lắng đọng từ giữa 0,05 μm đến 1,75 μm trên mỗi giây. Trong ví dụ, tốc độ lắng đọng là ít nhất 0,25 μm trên mỗi giây. Trong ví dụ, tốc độ lắng đọng là ít nhất 0,5 μm trên mỗi giây. Trong ví dụ, tốc độ lắng đọng là ít nhất 1 μm trên mỗi giây. Trong ví dụ, tốc độ lắng đọng là khoảng 1,5 μm trên mỗi giây.

Theo phương án bất kỳ trong số các phương án được đề xuất ở trên, ống dẫn có thể định rõ vỏ được tích hợp mà bao bọc bộ hóa hơi và bộ gia nhiệt.

Theo phương án bất kỳ trong số các phương án được đề xuất ở trên, cụm bộ phân phối có thể gồm nhiều khe hoặc vòi mà khe hoặc được tạo cấu hình để dẫn hướng các hơi đi qua trên các đế.

Theo các phương án được đề xuất ở đây, phương pháp tạo thành lớp tiền chất perovskit có thể gồm các bước: cung cấp chông đế trong buồng lắng đọng, chông đế có lớp vận chuyển điện tích thứ nhất trên điện cực thứ nhất; lắng đọng chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất trên chông đế trong buồng lắng đọng bởi sự lắng đọng vận chuyển hơi, bằng cách gia nhiệt vật liệu nguồn đến nhiệt độ trong phạm vi từ 375°C đến 550°C, sử dụng khí mang để dẫn hướng hơi của vật liệu tạo thành perovskit thứ nhất về phía chông đế trong buồng lắng đọng có áp suất trong phạm vi từ 0,1 Torr đến 2,0 Torr; và tạo thành lớp tiền chất thứ nhất đến độ dày từ 100 nm đến 2000 nm.

Theo các phương án được đề xuất ở đây, cấu trúc trung gian cho thiết bị quang điện perovskit có thể bao gồm: điện cực thứ nhất; lớp vận chuyển điện tích thứ nhất trên điện cực thứ nhất; và lớp tiền chất trên lớp vận chuyển điện tích thứ nhất, lớp tiền chất

có độ dày trong phạm vi từ 100 nm đến 2000 nm, với sự lệch độ dày trong lớp là nhỏ hơn 50%, và bao gồm ít nhất một halogenua kim loại trong ma trận tinh thể có độ xốp lớn hơn 35%.

Theo các phương án được đề xuất ở đây, phương pháp để tạo thành thiết bị quang điện dựa trên perovskit có thể gồm các bước: lắng đọng lớp vận chuyển điện tích thứ nhất lên trên điện cực thứ nhất; lắng đọng chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất trên lớp vận chuyển điện tích, bởi sự lắng đọng vận chuyển hơi (VTD) với khí mang, theo tập hợp của các điều kiện VTD, để tạo thành lớp tiền chất; cho tiếp xúc lớp tiền chất với chế phẩm tạo thành perovskit thứ hai, chuyển đổi lớp tiền chất thành perovskit bằng cách làm phản ứng lớp tiền chất với chế phẩm tạo thành perovskit thứ hai, theo tập hợp của các điều kiện để tạo thành lớp hấp thụ quang hoạt bao gồm vật liệu perovskit, lắng đọng lớp vận chuyển điện tích thứ hai, có phân cực ngược với lớp vận chuyển điện tích thứ nhất, lên trên vật liệu perovskit; và lắng đọng vật liệu dẫn điện lên trên lớp vận chuyển điện tích thứ hai để tạo thành điện cực thứ hai.

Trong một số phương án, chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất có thể gồm halogenua kim loại nhóm IV. Trong một số phương án, chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất có thể gồm một hoặc nhiều thành phần trong số: chì halogenua và/hoặc thiếc halogenua. Trong một số phương án, chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất có thể gồm một hoặc nhiều thành phần trong số: chì iôđua (PbI_2), chì bromua (PbBr_2), xesi bromua (CsBr), xesi chì iôđua (CsPbI_3), xesi thiếc iôđua (CsSnI_3), chì clorua (PbCl_2), thiếc iôđua (SnI_2), và/hoặc thiếc clorua (SnCl_2).

Trong ví dụ, chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất bao gồm chì iôđua.

Trong ví dụ, chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất bao gồm chì bromua.

Trong ví dụ, chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất bao gồm xesi bromua.

Trong một số phương án, halogenua kim loại bao gồm một hoặc nhiều thành phần trong số: I, Br, hoặc Cl.

Trong một số phương án, halogenua kim loại bao gồm iôt và/hoặc brom.

Trong một số phương án, halogenua kim loại bao gồm ít nhất một kim loại nhóm IVA.

Theo các phương án được đề xuất ở đây, lớp tiền chất bao gồm ít nhất một thành phần trong số: chì iôđua (PbI_2), chì bromua (PbBr_2), xesi bromua (CsBr), xesi chì iôđua (CsPbI_3), xesi thiếc iôđua (CsSnI_3), chì clorua (PbCl_2), thiếc iôđua (SnI_2), thiếc bromua (SnBr_2), và/hoặc thiếc clorua (SnCl_2). Trong ví dụ, lớp tiền chất bao gồm chì iôđua (PbI_2).

Trong một số phương án, lớp tiền chất bao gồm nhiều hạt kết tinh, trong đó 30% đến 100% các hạt có kích cỡ với ít nhất một kích thước có chiều dài trong phạm vi từ 200 nm đến 800 nm.

Trong một số phương án, tập hợp của các điều kiện VTD bao gồm: buồng lắng đọng nhiệt độ trong phạm vi từ 20°C đến 150°C ; vật liệu nguồn cho chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất được gia nhiệt đến nhiệt độ trong phạm vi từ 375°C đến 550°C ; khí quyển buồng lắng đọng bao gồm khí mang trơ; và buồng lắng đọng áp suất trong phạm vi từ 0,05 Torr đến 5,0 Torr. Trong một số phương án, áp suất buồng trong quá trình bước lắng đọng lớp tiền chất thứ nhất nằm trong phạm vi từ 0,1 Torr đến 5,0 Torr, 0,1 Torr đến 2,0 Torr, 0,1 Torr đến 1,5 Torr, 0,25 Torr đến 1,5 Torr, 0,25 Torr đến 1,0 Torr, 0,25 Torr đến 0,75 Torr, hoặc 0,25 Torr đến 0,50 Torr.

Trong ví dụ, vật liệu nguồn cho chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất bao gồm bột.

Trong một số phương án, vật liệu nguồn được gia nhiệt đến nhiệt độ trong phạm vi từ 400°C đến 525°C. Trong ví dụ, vật liệu nguồn được gia nhiệt đến nhiệt độ trong phạm vi từ 400°C đến 500°C. Trong ví dụ, vật liệu nguồn được gia nhiệt đến nhiệt độ trong phạm vi từ 450°C đến 525°C. Trong ví dụ, vật liệu nguồn được gia nhiệt đến nhiệt độ trong phạm vi từ 400°C đến 475°C.

Trong một số phương án, chông đế trong buồng lắng đọng có nhiệt độ trong phạm vi từ 20° C đến 150° C.

Trong một số phương án, khí mang là trơ. Trong một số phương án, khí mang bao gồm khí hiếm. Trong ví dụ, khí mang bao gồm hêli. Trong ví dụ, khí mang bao gồm acgon. Trong ví dụ, khí mang bao gồm nitơ.

Trong ví dụ, lắng đọng lớp tiền chất thứ nhất bởi VTD gồm tốc độ lắng đọng trong phạm vi từ 0,01 μm đến 1,50 μm mỗi phút, thời lượng lắng đọng trong phạm vi từ 0,5 phút đến 5 phút, và việc sản xuất lớp tiền chất có độ dày từ 100 nm đến 2000 nm. Trong một số phương án, lắng đọng lớp tiền chất thứ nhất bởi VTD bao gồm tốc độ lắng đọng trong phạm vi từ 0,05 μm đến 1,00 μm mỗi phút, 0,05 μm đến 0,75 μm mỗi phút, 0,05 μm đến 0,50 μm mỗi phút, hoặc 0,01 μm đến 0,35 μm mỗi phút.

Theo các phương án được đề xuất ở đây, cấu trúc trung gian cho thiết bị quang điện perovskit có thể bao gồm lớp tiền chất trên lớp vận chuyển điện tích thứ nhất.

Theo các phương án được đề xuất ở đây, lớp tiền chất có độ dày trong phạm vi từ 100 nm đến 2000 nm. Trong một số phương án, độ dày của lớp tiền chất nằm trong phạm vi từ 200 nm đến 1500 nm, trong phạm vi từ 300 nm đến 1200 nm, trong phạm vi từ 300 nm đến 900 nm, và/hoặc trong phạm vi từ 350 nm đến 800 nm. Trong một số phương án, lớp tiền chất có độ dày trong phạm vi từ 300 nm đến 1000 nm, 300 nm đến

700 nm, 350 nm đến 600 nm, hoặc 400 nm đến 500 nm. Trong ví dụ, lớp tiền chất độ dày nằm trong phạm vi từ 300 nm đến 1200 nm.

Trong một số phương án, lớp tiền chất có sự lệch độ dày trong lớp là nhỏ hơn 50%, nhỏ hơn 40%, nhỏ hơn 30%, nhỏ hơn 20%, hoặc nhỏ hơn 15%. Trong ví dụ, lớp tiền chất gần như là không có các lỗ đường kính nhỏ và độ dày tối thiểu là 100 nm trong suốt lớp tiền chất. Trong ví dụ, lớp tiền chất gần như là không có các lỗ đường kính nhỏ và độ dày tối thiểu là 200 nm trong suốt lớp tiền chất.

Trong một số phương án, lớp tiền chất bao gồm nhiều cấu trúc hạt tinh thể halogenua kim loại, trong đó: các cấu trúc hạt có chiều cao, trục giao với mặt của chồng đế, và chiều rộng, song song với bề mặt của chồng đế, và chiều rộng hạt trung bình nhỏ hơn một phần ba chiều cao hạt trung bình. Trong ví dụ, các cấu trúc hạt bao gồm chì iôđua.

Trong một số phương án, lớp tiền chất có độ xốp trong phạm vi từ 35% đến 65%, trong phạm vi từ 40% đến 60%, và/hoặc trong phạm vi từ 45% đến 55%. Trong ví dụ, độ xốp lớn hơn 40%.

Trong một số phương án, chế phẩm tạo thành perovskit thứ hai, gồm ít nhất một thành phần trong số cation xesi (Cs), cation rubidi (Rb), hợp chất metylamoni (MA), và/hoặc hợp chất formamidin (FA).

Trong ví dụ, tập hợp của các điều kiện ủ bao gồm: áp suất buồng ủ trong phạm vi từ 0,1 Torr đến 1000 Torr, thời lượng ủ trong phạm vi từ 1 phút đến 90 phút, độ ẩm trong phạm vi từ 40% đến 60%, và nhiệt độ buồng ủ trong phạm vi từ 50° C đến 200° C. Trong một số phương án, áp suất trong quá trình bước ủ nằm trong phạm vi từ 0,1 Torr đến 100,0 Torr, 0,1 Torr đến 20,0 Torr, 0,1 Torr đến 5,0 Torr, 0,1 Torr đến 2,0 Torr, hoặc 0,25 Torr đến 1,5 Torr.

Theo các phương án được đề xuất ở đây, lớp vận chuyển điện tích thứ nhất cho thiết bị quang điện có thể bao gồm lớp vận chuyển lỗ hoặc lớp vận chuyển điện tử, và lớp vận chuyển điện tích thứ hai có thể bao gồm lớp vận chuyển điện tử hoặc lớp vận chuyển lỗ, chứng tỏ rằng các lớp vận chuyển điện tích thứ nhất và thứ hai có phân cực điện tích ngược nhau.

Theo các phương án được đề xuất ở đây, phương pháp để tạo thành thiết bị quang điện dựa trên perovskit, có thể gồm các bước: lắng đọng lớp vận chuyển lỗ hoặc vận chuyển điện tử thứ nhất lên trên điện cực thứ nhất; lắng đọng, bởi sự lắng đọng vận chuyển hơi (VTD) theo tập hợp của các điều kiện VTD, chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất, gồm chỉ halogenua hoặc thiếc halogenua, lên trên vật liệu vận chuyển lỗ hoặc vận chuyển điện tử thứ nhất để tạo thành lớp tiền chất; lắng đọng chế phẩm tạo thành perovskit thứ hai; chuyển đổi lớp tiền chất thành perovskit bằng cách làm phản ứng lớp tiền chất với chế phẩm tạo thành perovskit thứ hai, theo tập hợp của các điều kiện ủ để tạo thành lớp quang hoạt bao gồm vật liệu perovskit trên lớp vận chuyển lỗ hoặc vận chuyển điện tử thứ nhất; lắng đọng lớp vận chuyển lỗ hoặc vận chuyển điện tử thứ hai, vốn có phân cực ngược với lớp vận chuyển lỗ hoặc vận chuyển điện tử thứ nhất, lên trên vật liệu perovskit; và lắng đọng vật liệu dẫn điện lên trên lớp vận chuyển lỗ hoặc vận chuyển điện tử thứ hai để tạo thành điện cực thứ hai.

Trong một số phương án, tập hợp của các điều kiện VTD bao gồm: nhiệt độ buồng trong phạm vi từ 20° C đến 150° C, khí quyển bao gồm khí mang trơ, nguồn halogenua kim loại được gia nhiệt đến nhiệt độ trong phạm vi từ 375° C đến 550° C, tốc độ lắng đọng trong phạm vi từ 0,10 μm đến 1,00 μm mỗi phút, và áp suất trong phạm vi từ 0,1 Torr đến 5 Torr. Trong một số phương án, lớp tiền chất được lắng đọng tại độ dày 400

nm đến 500 nm hoặc mỏng hơn, với thời lượng lắng đọng trong phạm vi từ 0,5 phút đến 5 phút.

Trong một số phương án, phương pháp tạo lớp hấp thụ perovskit của thiết bị quang điện gồm các bước cung cấp cấu trúc trung gian, với halogenua kim loại lớp tiền chất được tạo thành từ chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất; phơi bày cấu trúc trung gian với chế phẩm tạo thành perovskit thứ hai; và ủ cấu trúc trung gian với chế phẩm tạo thành perovskit thứ hai. Trong một số phương án, chế phẩm tạo thành perovskit thứ hai, gồm ít nhất một thành phần trong số: cation xesi (Cs), cation rubiđi (Rb), hợp chất metylamoni (MA) (I hoặc Br), hoặc hợp chất formamidin (FA); tập hợp của các điều kiện ủ có thể gồm: áp suất trong phạm vi từ 0,1 Torr đến 1000 Torr, thời lượng ủ trong phạm vi từ 10 phút đến 90 phút, độ ẩm trong phạm vi từ 45% đến 60%, và nhiệt độ trong phạm vi từ 50° C đến 150° C. Trong một số phương án, bước phơi bày cấu trúc trung gian với chế phẩm tạo thành perovskit thứ hai gồm cho tiếp xúc lớp tiền chất với hơi bao gồm chế phẩm tạo thành perovskit thứ hai. Trong một số phương án, bước phơi bày cấu trúc trung gian với chế phẩm tạo thành perovskit thứ hai bao gồm việc lắng đọng vật liệu bao gồm chế phẩm tạo thành perovskit thứ hai trong lớp trên lớp tiền chất.

Trong một số phương án, phương pháp sản xuất lớp hấp thụ perovskit có độ dày khoảng 400 nm, với kích cỡ hạt perovskit trung bình lớn hơn 500 nm theo chiều rộng. Trong một số phương án, phương pháp sản xuất lớp hấp thụ perovskit có độ dày trong phạm vi từ 200 nm đến 800 nm. Trong một số phương án, phương pháp sản xuất lớp hấp thụ perovskit có các hạt perovskit với chiều rộng hạt perovskit trung bình lớn hơn chiều cao hạt perovskit trung bình. Trong một số phương án, phương pháp sản xuất lớp hấp thụ perovskit gần như là không có các lỗ đường kính nhỏ hoặc các khe hở. Trong một số phương án, phương pháp sản xuất lớp hấp thụ perovskit có độ dày lớn hơn 200

nm. Trong một số phương án, phương pháp sản xuất lớp hấp thụ perovskit có độ dày trong phạm vi từ 200 nm đến 10000 nm. Trong một số phương án, phương pháp sản xuất lớp hấp thụ perovskit có độ dày trong phạm vi từ 200 nm đến 6000 nm, hoặc trong phạm vi từ 300 nm đến 3000 nm.

Các phương án cụ thể của cụm bộ phân phối và các phương pháp được bộc lộ ở đây được xác định trong các ví dụ nêu trên. Cần hiểu rằng các ví dụ này, trong khi đang chỉ ra các phương án cụ thể, chỉ được đưa ra theo cách làm minh họa. Từ các ví dụ được thảo luận ở trên và các ví dụ này, người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật tương ứng có thể biết chắc các đặc điểm thiết yếu của phần bộc lộ này, và không vượt ra khỏi nguyên lý và mục đích của nó, có thể tạo ra các thay đổi và các sửa đổi khác nhau để thích ứng với các thành phần và các phương pháp được mô tả ở đây với các việc sử dụng và các điều kiện khác nhau. Các thay đổi khác nhau có thể được thực hiện và các phần tương đương có thể được thay thế cho các thành phần của chúng mà không vượt ra khỏi phạm vi thiết yếu của phần bộc lộ này. Bên cạnh đó, nhiều sửa đổi có thể được tạo ra để thích ứng với tình huống hoặc vật liệu cụ thể theo các hướng dẫn của phần bộc lộ này mà không vượt ra khỏi phạm vi thiết yếu của chúng.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp tạo thành lớp tiền chất perovskit bao gồm các bước:

cung cấp chồng đế trong buồng lắng đọng, chồng đế có lớp vận chuyển điện tích thứ nhất trên điện cực;

lắng đọng chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất trên chồng đế trong buồng lắng đọng bởi quy trình lắng đọng vận chuyển hơi (Vapor Transport Deposition, VTD), bao gồm các việc:

gia nhiệt vật liệu nguồn đến nhiệt độ trong phạm vi từ 375°C đến 550°C, trong đó vật liệu nguồn bao gồm ít nhất một thành phần trong số: chì iốtua (PbI_2), chì bromua (PbBr_2), xesi bromua (CsBr), xesi chì iốtua (CsPbI_3), xesi thiếc iốtua (CsSnI_3), chì clorua (PbCl_2), thiếc iốtua (SnI_2), thiếc bromua (SnBr_2), hoặc thiếc clorua (SnCl_2);

cung cấp màn hơi để dẫn hướng hơi của vật liệu nguồn sử dụng khí mang về phía chồng đế trong buồng lắng đọng, trong đó màn hơi có chiều rộng lớn hơn 1 m, buồng lắng đọng có áp suất trong phạm vi từ 0,1 Torr đến 2,0 Torr; và

tạo thành lớp tiền chất, tại tốc độ lắng đọng trong phạm vi từ 0,01 μm đến 1,50 μm mỗi phút, đến độ dày từ 100 nm đến 2000 nm, trong đó lớp tiền chất bao gồm nhiều các cấu trúc hạt tinh thể halogenua kim loại, trong đó: các cấu trúc hạt có chiều cao, trực giao với mặt của chồng đế, và chiều rộng, song song với bề mặt của chồng đế, và chiều rộng hạt trung bình nhỏ hơn một phần ba chiều cao hạt trung bình.

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó:

buồng lắng đọng có áp suất trong phạm vi từ 0,1 Torr đến 1,0 Torr;

buồng lắng đọng có nhiệt độ trong phạm vi từ 20° C đến 150° C;

vật liệu nguồn được gia nhiệt đến nhiệt độ trong phạm vi từ 400°C đến 525°C; và

tốc độ luồng khí mang trong phạm vi từ 80 sccm đến 150 sccm.

3. Phương pháp theo điểm 1, trong đó vật liệu nguồn được cung cấp dưới dạng bột.
4. Phương pháp theo điểm 1, trong đó lớp tiền chất bao gồm ít nhất một halogenua kim loại trong ma trận tinh thể có độ xốp trong phạm vi từ 35% đến 65%.
5. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bước tạo thành lớp tiền chất đến độ dày bao gồm việc tạo thành lớp tiền chất đến độ dày trong phạm vi từ 200 nm đến 1500 nm.
6. Phương pháp theo điểm 1, trong đó lớp tiền chất bao gồm ít nhất một thành phần trong số: chì iodua (PbI_2), chì bromua (PbBr_2), xesi bromua (CsBr), hoặc xesi thiếc iodua (CsSnI_3), trong ma trận tinh thể có độ xốp lớn hơn 35%.
7. Phương pháp theo điểm 1, trong đó lớp tiền chất bao gồm nhiều các cấu trúc hạt tinh thể chì iodua, trong đó: các cấu trúc hạt có chiều cao, trục giao với mặt của chồng đế, và chiều rộng, song song với bề mặt của chồng đế, và ít nhất một phần tư các cấu trúc hạt của lớp tiền chất có chiều cao nằm trong phạm vi từ 200 nm đến 700 nm và chiều rộng nhỏ hơn 100 nm.
8. Phương pháp theo điểm 1, trong đó tốc độ lắng đọng nằm trong phạm vi từ 0,05 μm đến 0,50 μm mỗi phút.
9. Phương pháp theo điểm 1, trong đó khí mang bao gồm ít nhất một thành phần trong số: argon, heli, hoặc nitơ.
10. Phương pháp theo điểm 1, trong đó lớp tiền chất bao gồm nhiều các hạt kết tinh, và trong đó 30% đến 100% các hạt có kích cỡ với ít nhất một kích thước có chiều dài trong phạm vi từ 200 nm đến 800 nm.
11. Phương pháp tạo thành lớp tiền chất perovskit cho thiết bị quang điện, phương pháp bao gồm các bước:

cung cấp chồng đế trong buồng lắng đọng, chồng đế có lớp vận chuyển điện tích thứ nhất trên điện cực;

lắng đọng chế phẩm tạo thành perovskit thứ nhất trên chồng đế trong buồng lắng đọng bởi quy trình lắng đọng vận chuyển hơi (VTD), bao gồm các việc:

gia nhiệt vật liệu nguồn đến nhiệt độ trong phạm vi từ 400°C đến 525°C,

cung cấp màn hơi để dẫn hướng hơi của vật liệu nguồn sử dụng khí mang về phía chồng đế trong buồng lắng đọng, trong đó:

buồng lắng đọng có áp suất trong phạm vi từ 0,1 Torr đến 1,0 Torr;

buồng lắng đọng có nhiệt độ trong phạm vi từ 20° C đến 150° C;

vật liệu nguồn bao gồm ít nhất một thành phần trong số: chì iodua (PbI_2), chì bromua (PbBr_2), xesi bromua (CsBr), xesi chì iodua (CsPbI_3), xesi thiếc iodua (CsSnI_3), chì clorua (PbCl_2), thiếc iodua (SnI_2), thiếc bromua (SnBr_2), hoặc thiếc clorua (SnCl_2);

tốc độ luồng khí mang trong phạm vi từ 80 sccm đến 150 sccm; và

tạo thành lớp tiền chất đến độ dày trong phạm vi từ 200 nm đến 1500 nm,

do vậy lớp tiền chất bao gồm nhiều cấu trúc hạt tinh thể halogenua kim loại.

12. Phương pháp theo điểm 11, trong đó các cấu trúc hạt halogenua kim loại có chiều cao, trực giao với mặt của chồng đế, và chiều rộng, song song với bề mặt của chồng đế, và ít nhất một phần tư các cấu trúc hạt của lớp tiền chất có chiều cao nằm trong phạm vi từ 200 nm đến 700 nm và chiều rộng nhỏ hơn 100 nm.

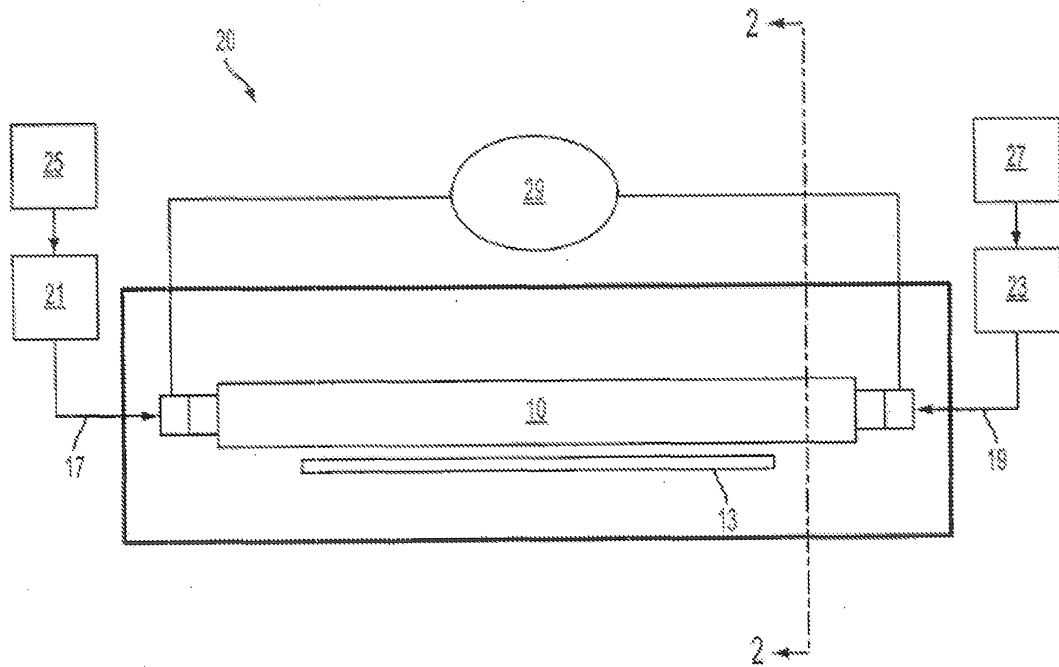


FIG. 1

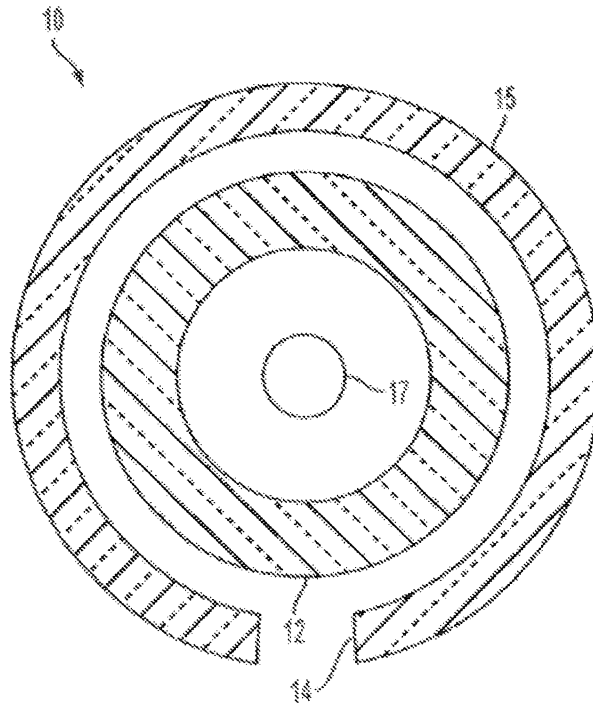


FIG. 2

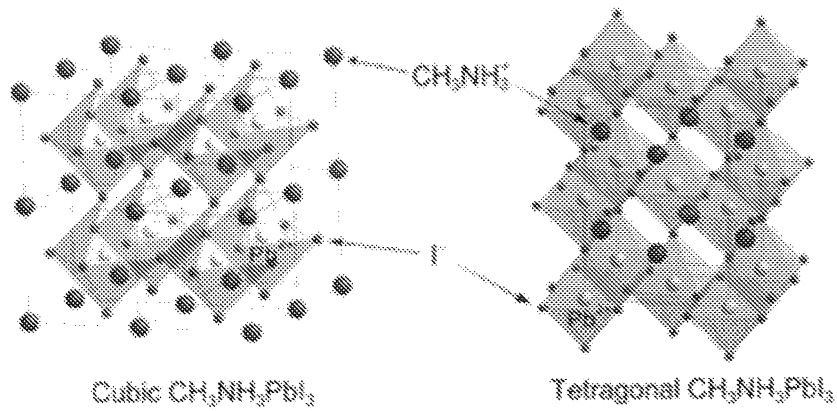


FIG. 3

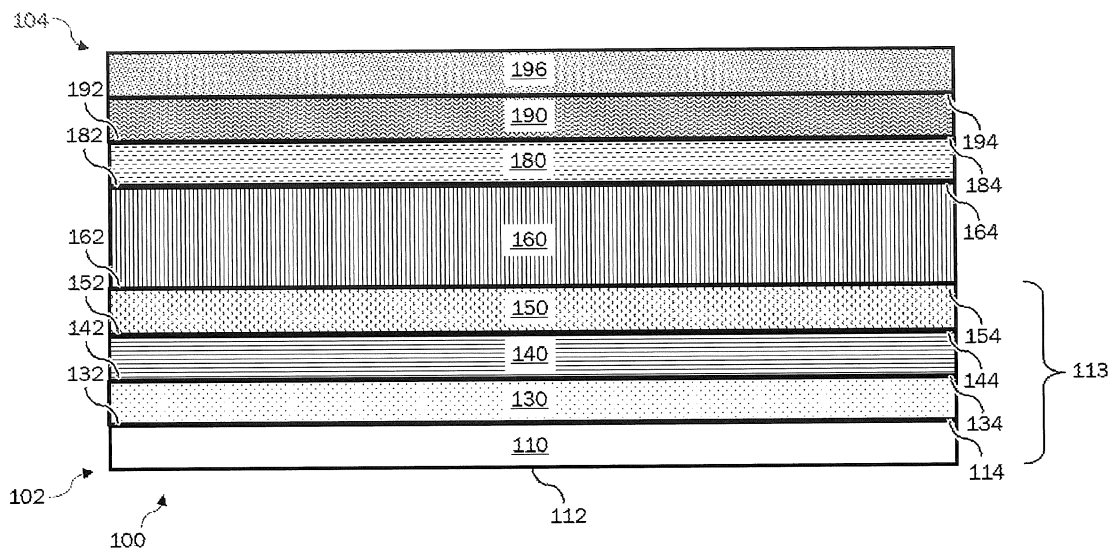


FIG. 4

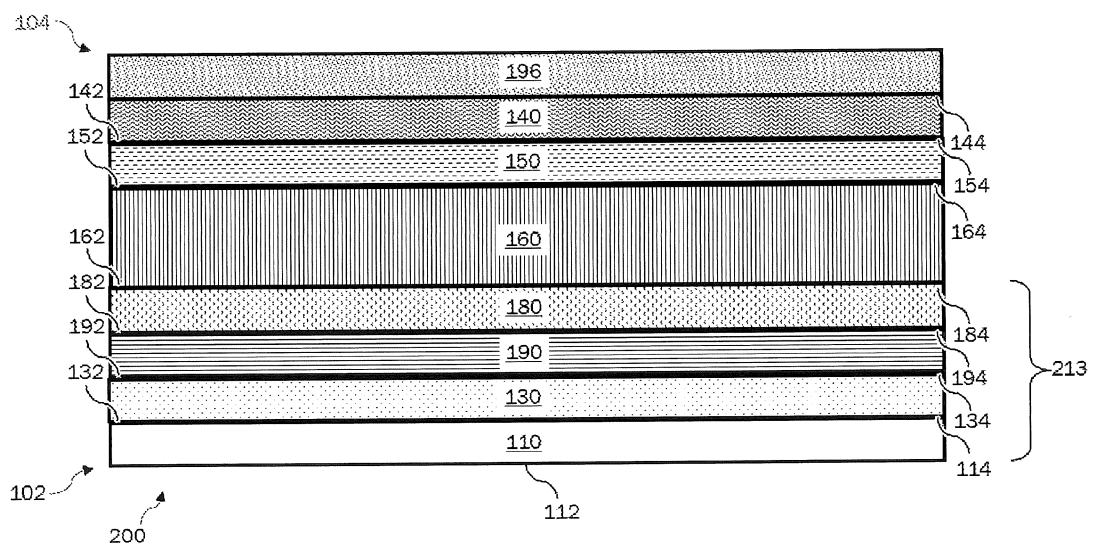


FIG. 5

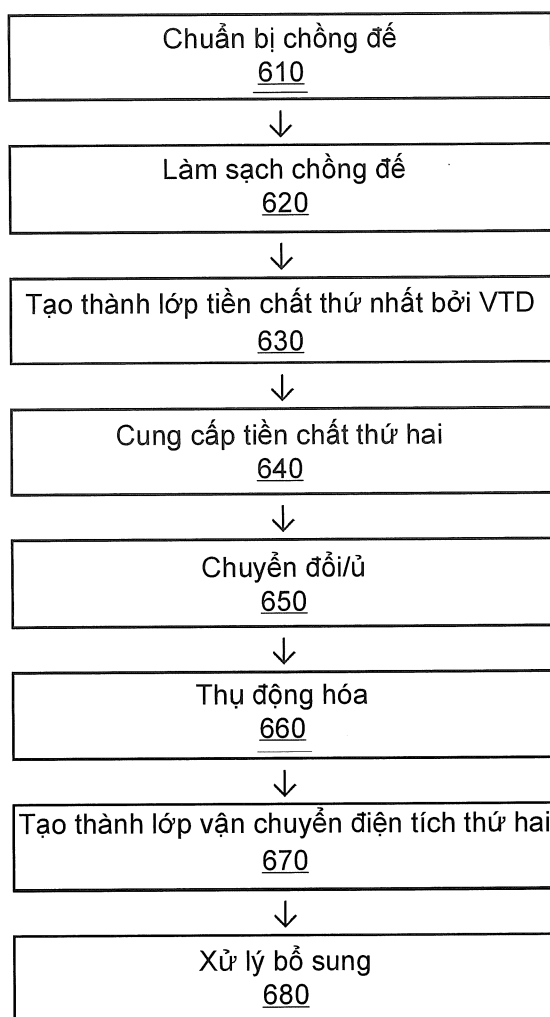
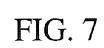


FIG. 6



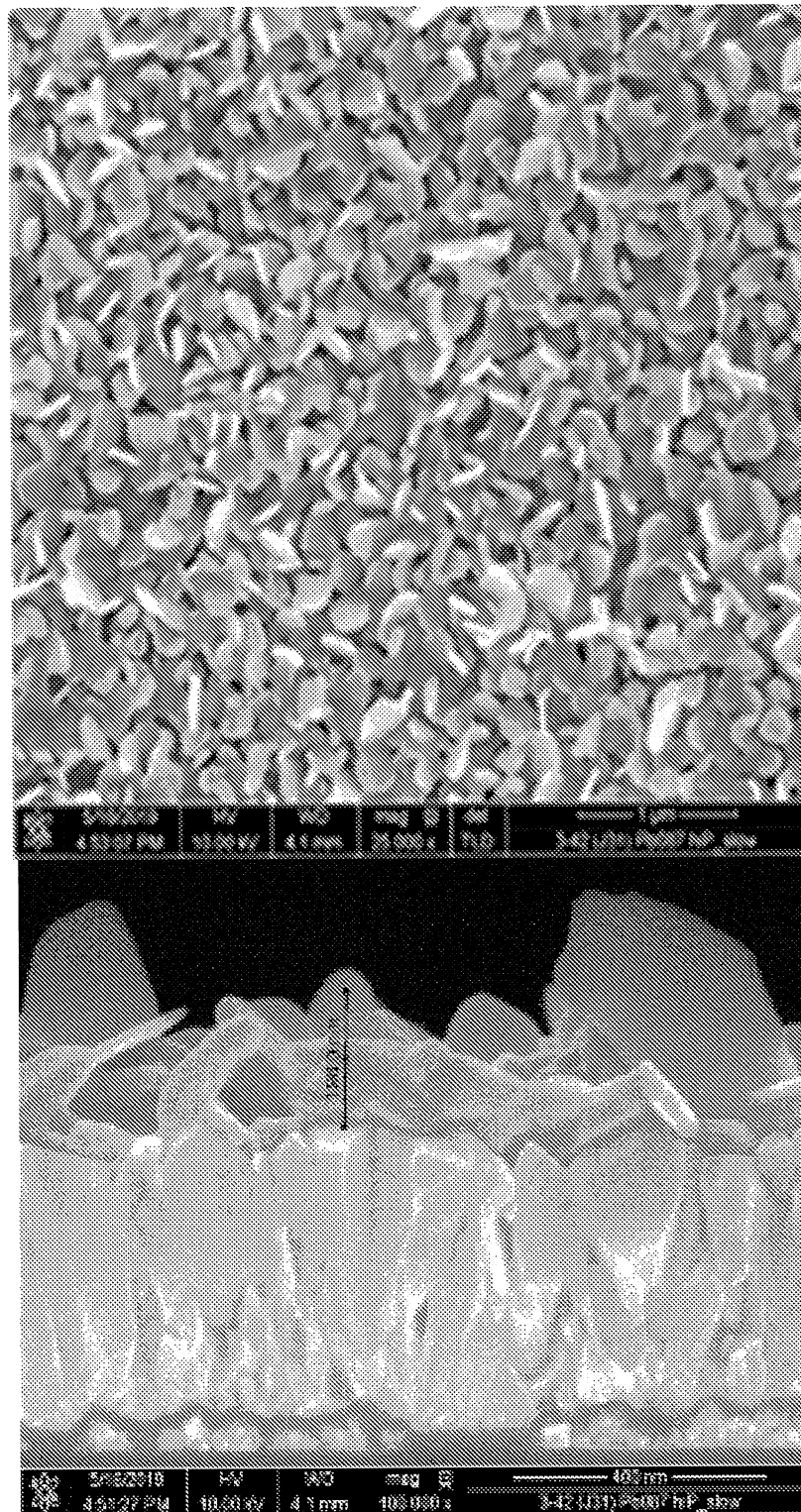


FIG. 8

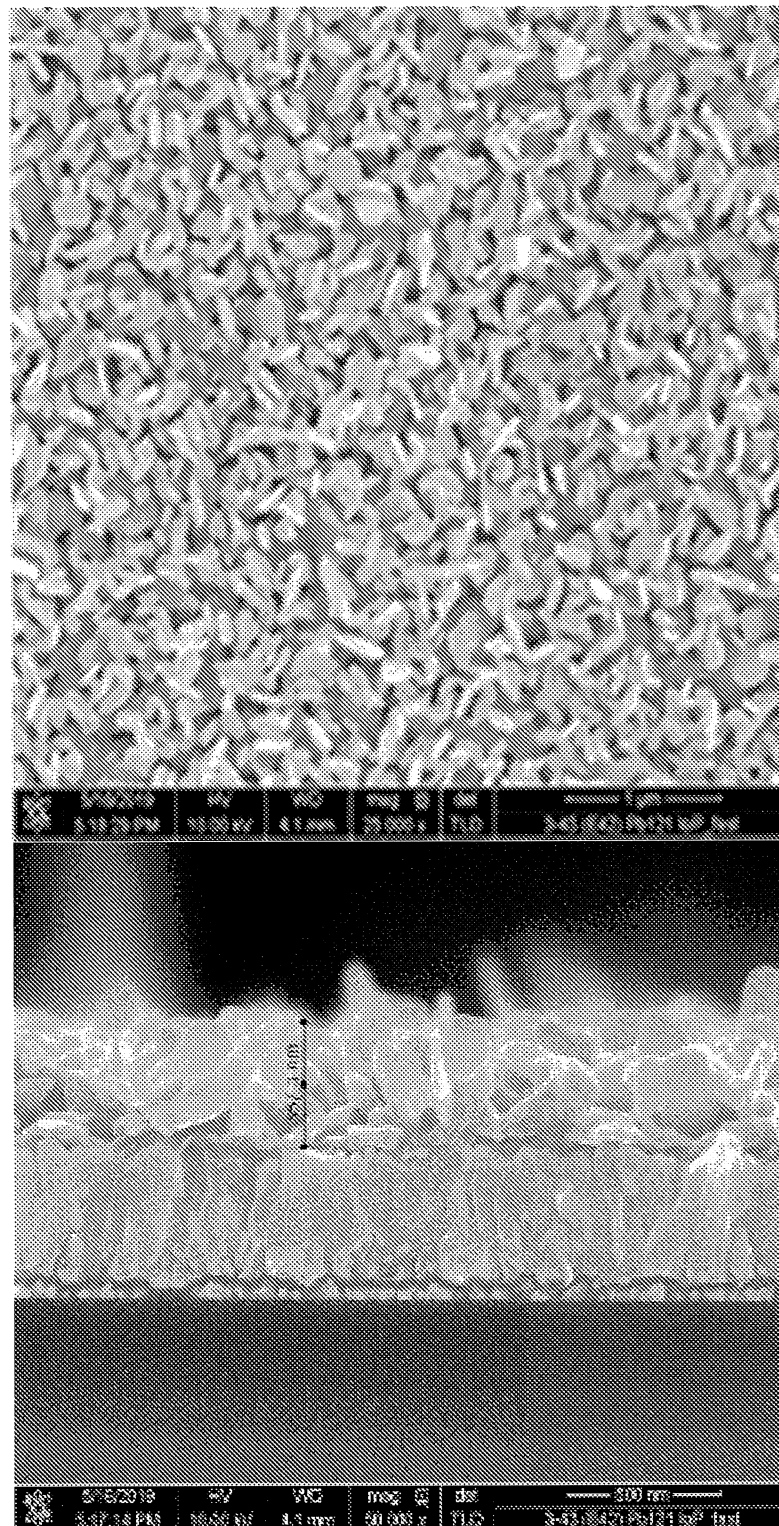


FIG. 9

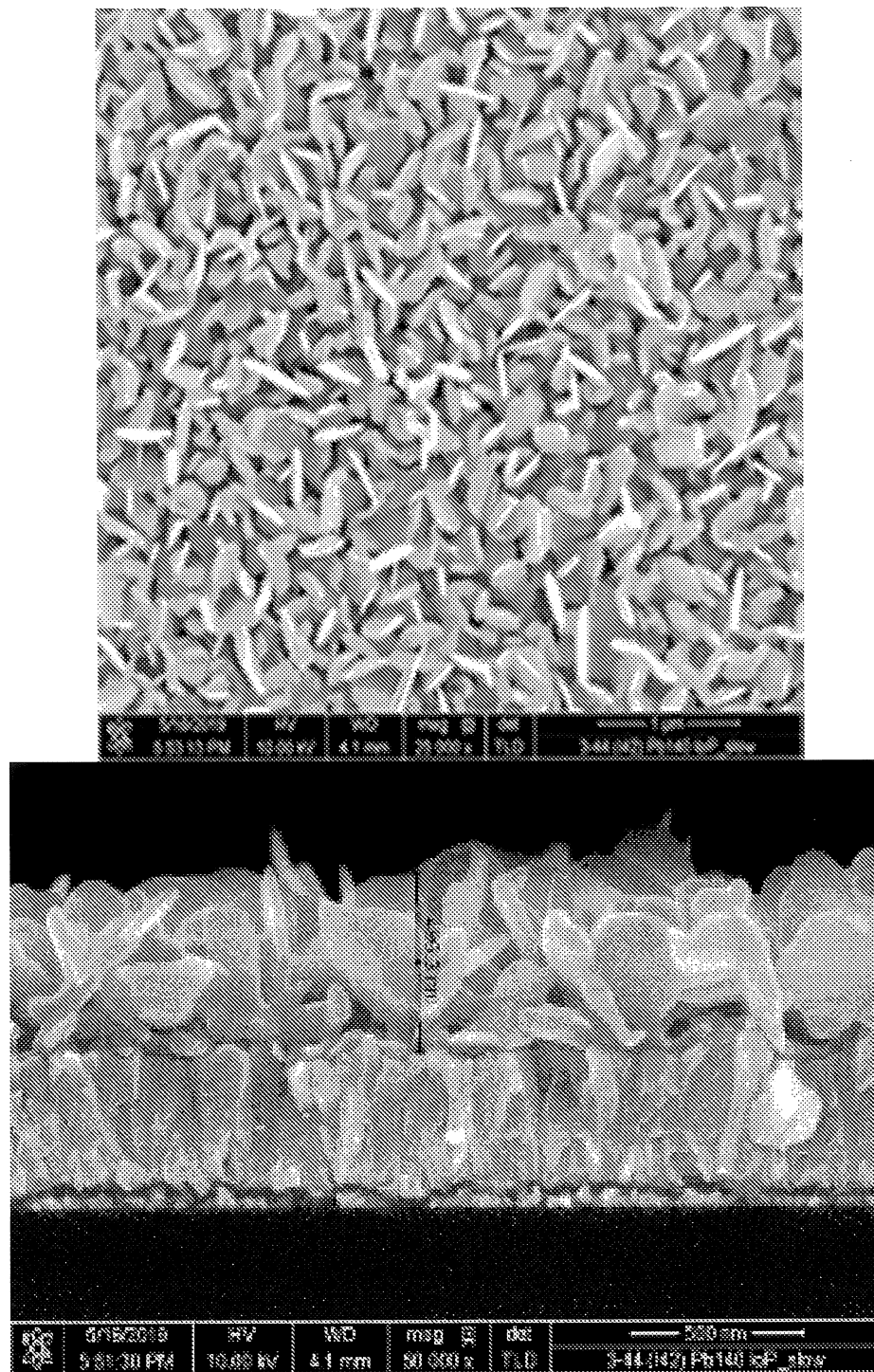


FIG. 10

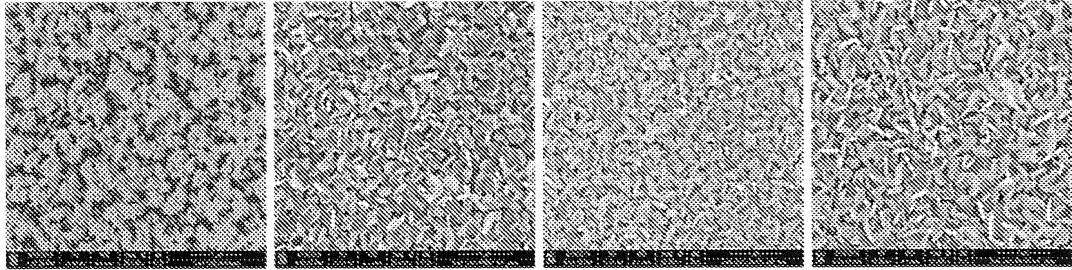


FIG. 11A

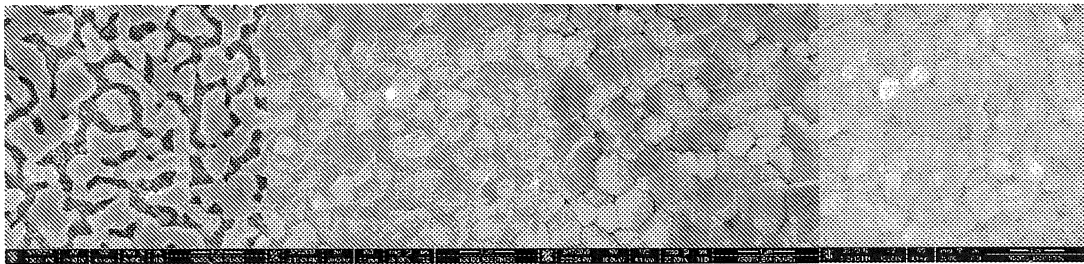


FIG. 11B

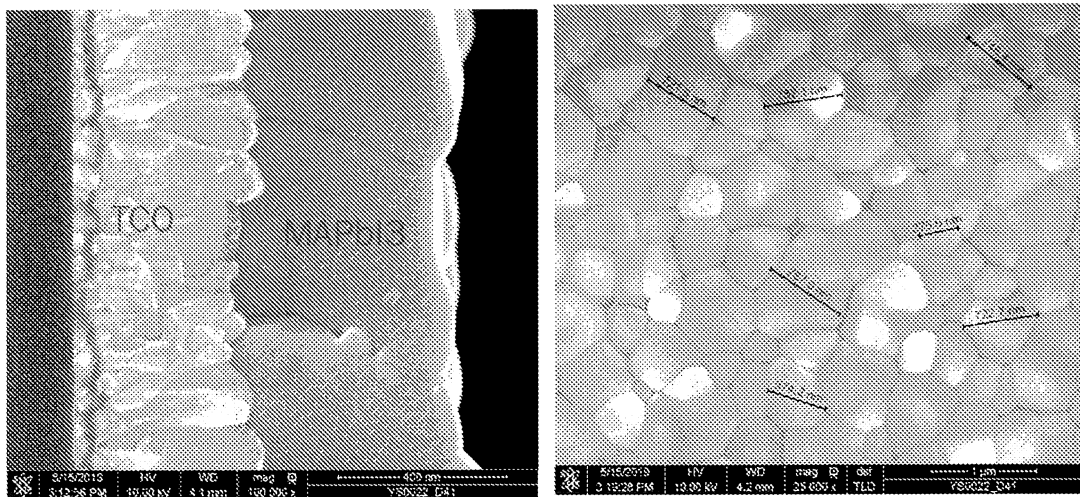


FIG. 12

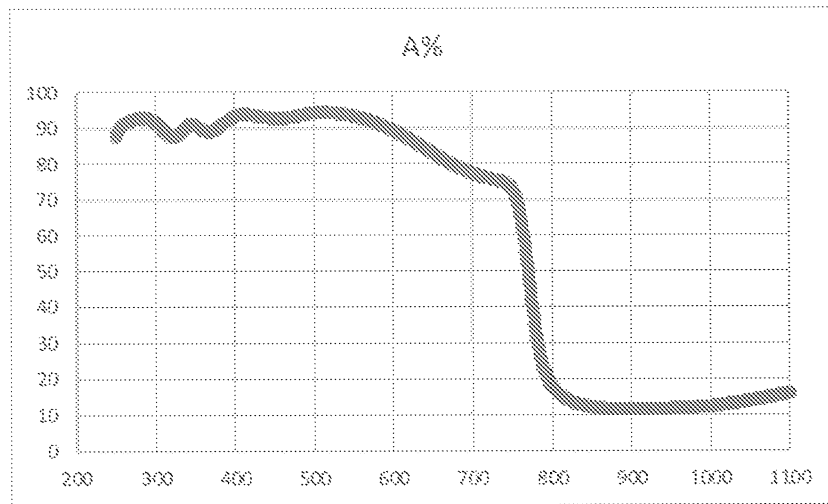


FIG. 13

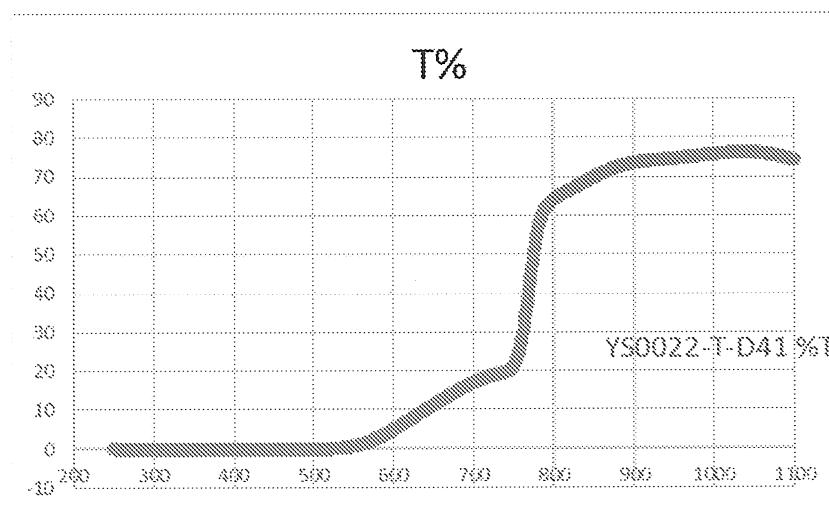


FIG. 14

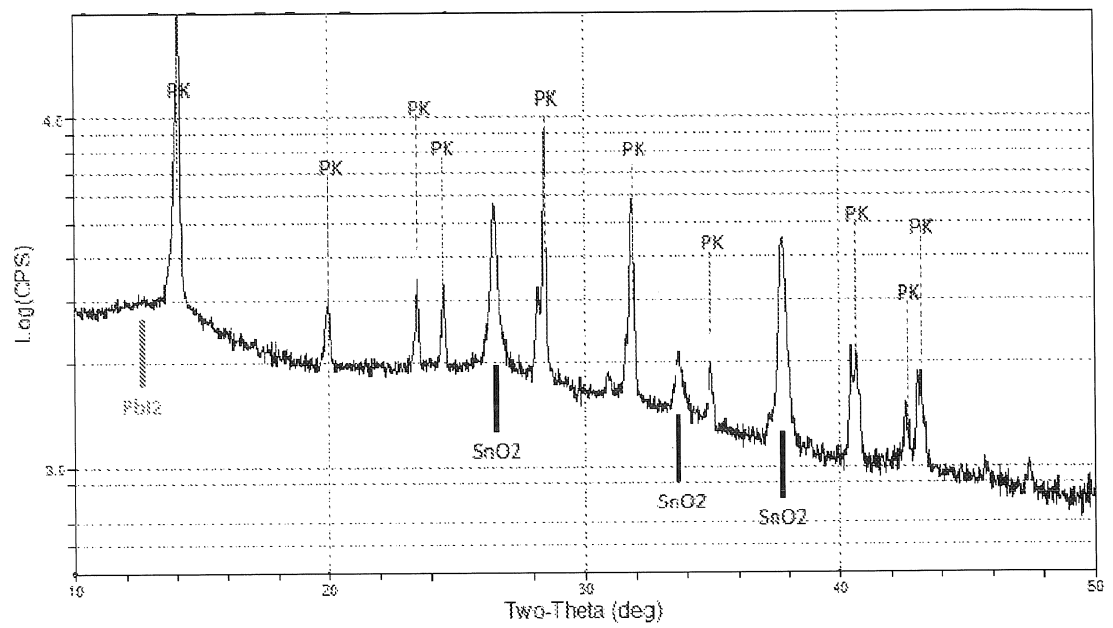


FIG. 15

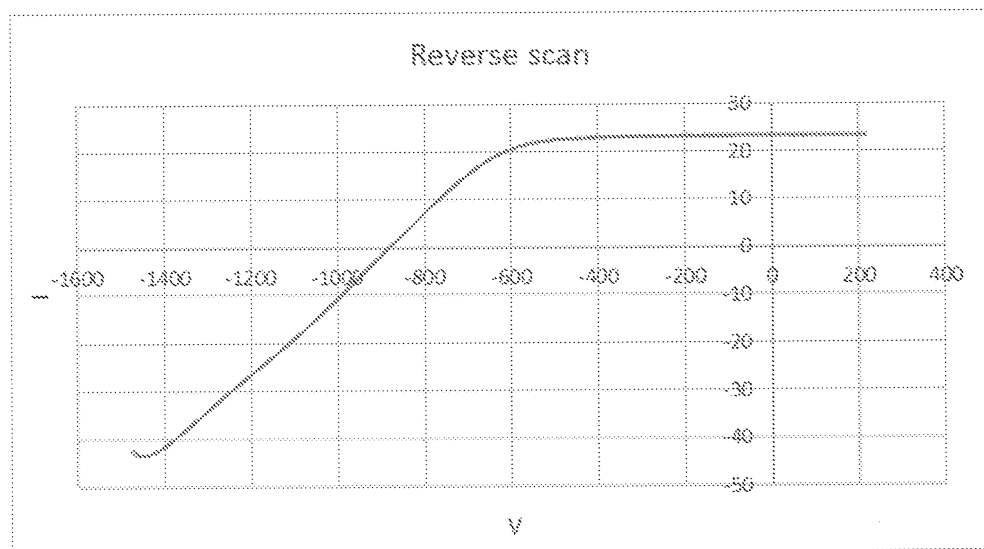


FIG. 16

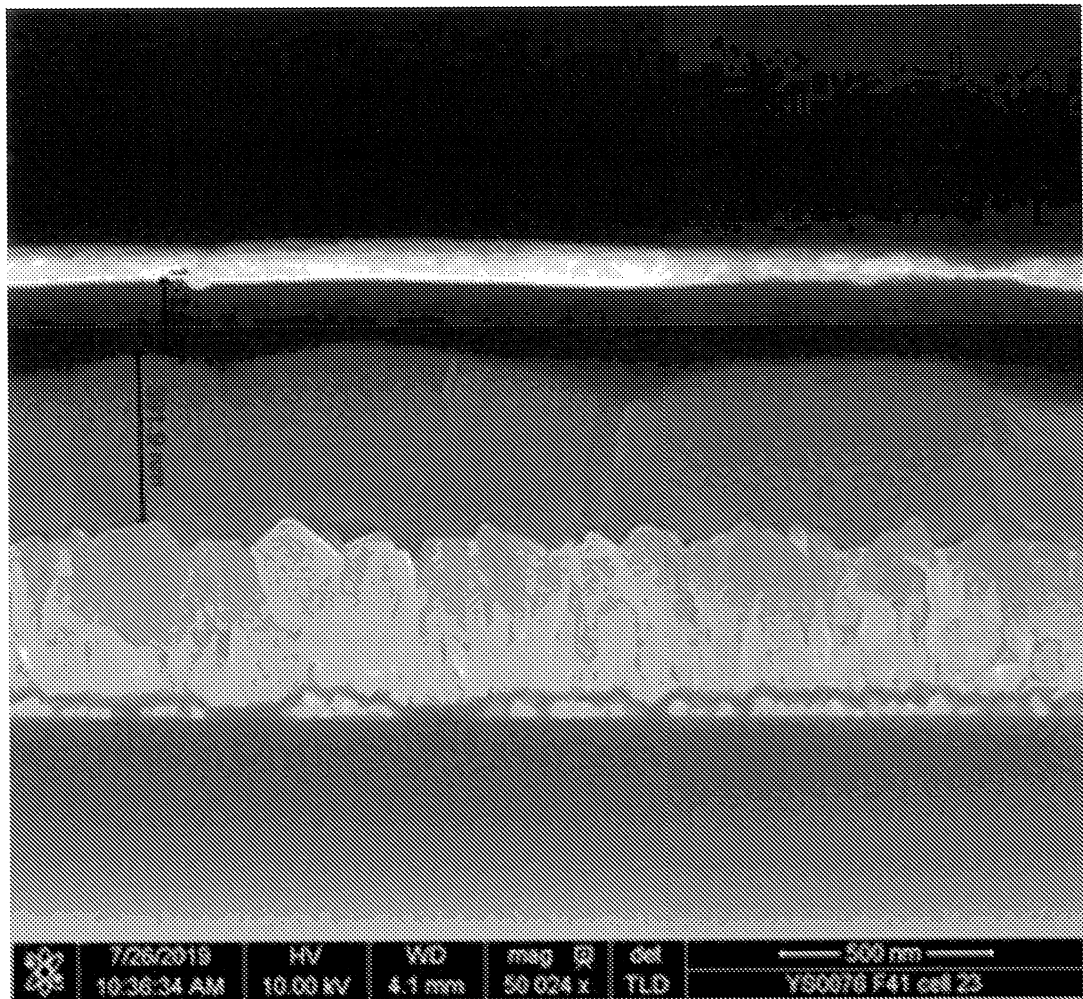


FIG. 17

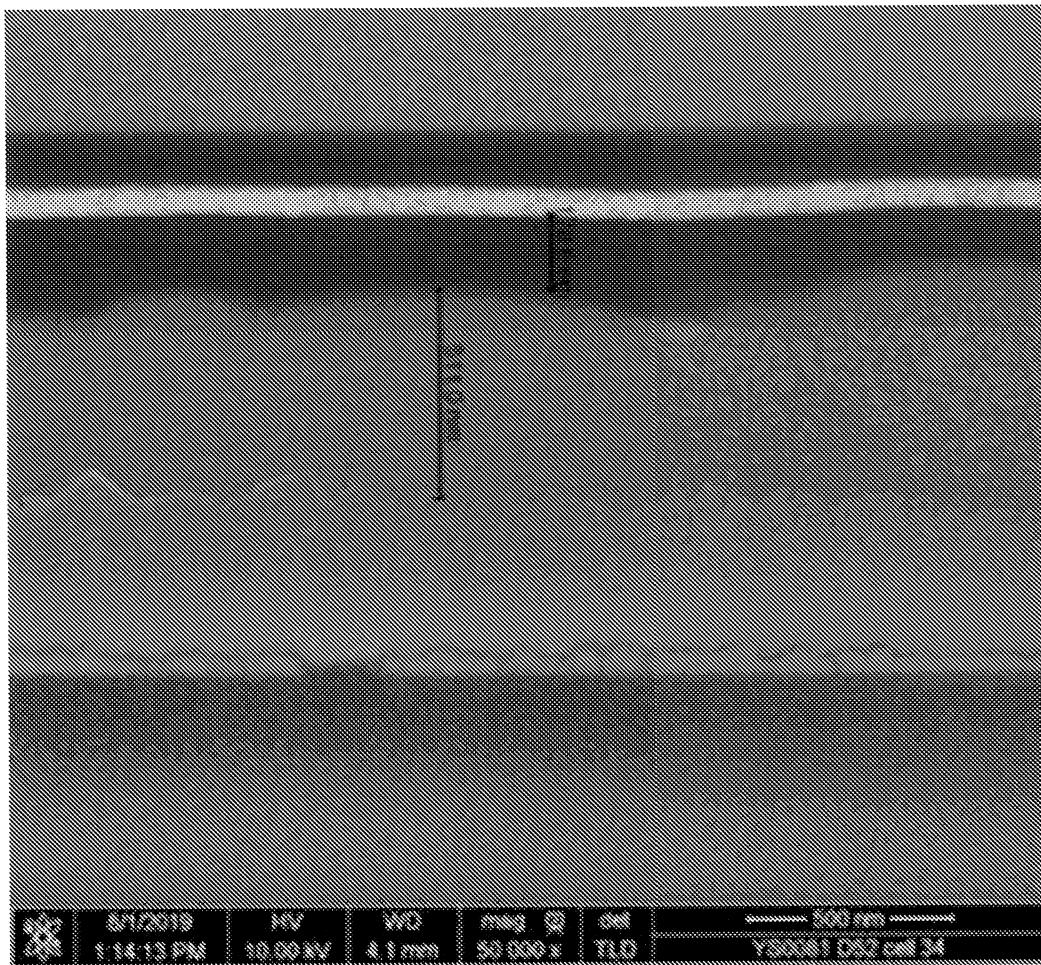


FIG. 18