



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

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ



1-0052281

(51)^{2020.01} C23C 14/08; C23C 16/40; C30B 29/22; (13) B
C23C 14/30

(21) 1-2021-06895	(22) 17/04/2020
(86) PCT/US2020/028827 17/04/2020	(87) WO2020/214994 22/10/2020
(30) 62/836,376 19/04/2019 US	
(45) 27/10/2025 451	(43) 25/01/2022 406A
(73) Hunt Perovskite Technologies, L.L.C. (US) 1900 N. Akard Street, Dallas, TX 75201, United States of America	
(72) IRWIN, Michael D. (US); HIGGINS, Marissa (US); MILLER, David W. (US).	
(74) Công ty TNHH Tầm nhìn và Liên danh (VISION & ASSOCIATES CO.LTD.)	

(54) PHƯƠNG PHÁP LẮNG ĐỘNG PEROVSKIT KHÔNG DUNG MÔI

(21) 1-2021-06895

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp lắng đọng perovskit không dung môi. Phương pháp này bao gồm bước nạp chất đích chì và một hoặc nhiều mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng lắng đọng, bơm hút đến áp suất chân không cao, và lấp đầy lại buồng lắng đọng bằng hơi tiền chất muối để tạo ra vật liệu perovskit.

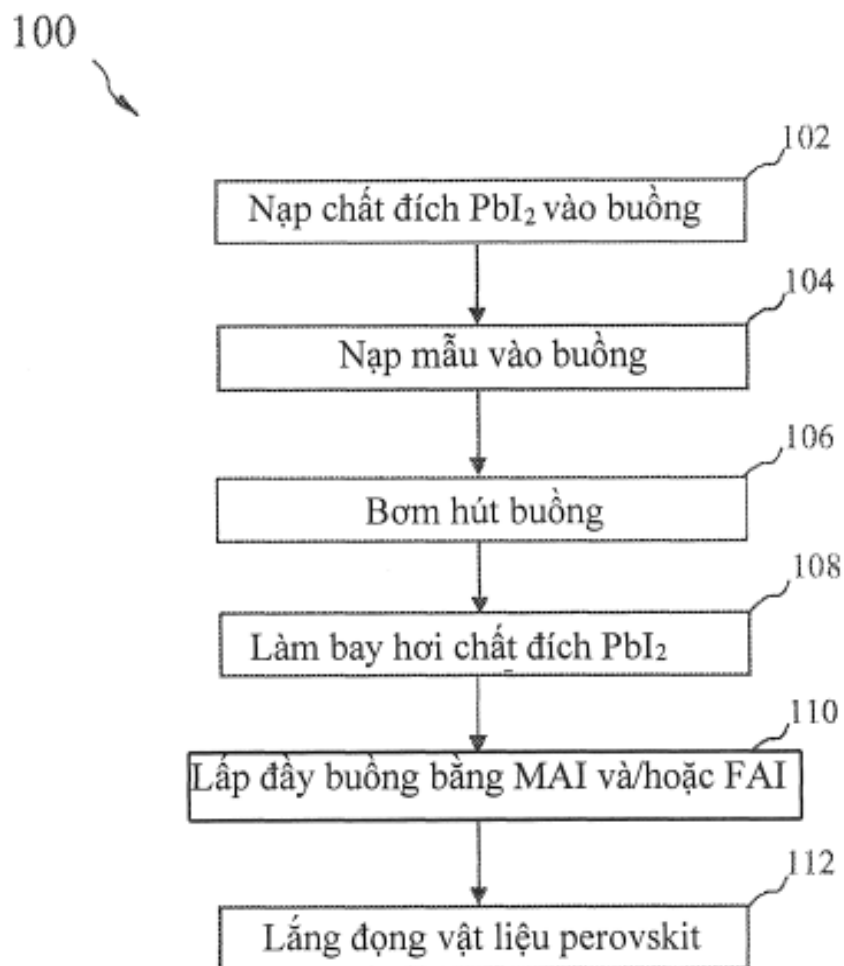


FIG. 1

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Nói chung, sáng chế đề cập đến chế phẩm dùng trong thiết bị quang điện và quang điện tử, và cụ thể hơn là phương pháp lắng đọng perovskit không dung môi.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Việc sử dụng thiết bị quang điện (photovoltaic - PV) để tạo ra điện năng từ bức xạ hoặc năng lượng mặt trời có thể mang lại nhiều lợi ích, bao gồm, ví dụ, nguồn điện, lượng phát thải thấp hoặc bằng không, sản xuất điện độc lập với lưới điện, cấu trúc vật lý bền (không có bộ phận chuyển động), hệ thống ổn định và đáng tin cậy, cấu tạo dạng môđun, lắp đặt tương đối nhanh, sản xuất và sử dụng an toàn, và sự chấp thuận sử dụng và ý kiến dư luận tốt.

Vật liệu perovskit có thể được kết hợp vào một hoặc nhiều mặt của thiết bị PV. PV sử dụng các thành phần perovskit chịu được các khiếm khuyết bên trong tốt hơn so với PV gốc silic. Khả năng chịu lớn hơn này giúp giảm chi phí sản xuất. Tuy nhiên, các phương pháp sản xuất pin perovskit truyền thống dựa vào dung môi có thể dẫn đến độ dày không đều trên một lớp. Điều này hạn chế khả năng phủ hiệu quả các bề mặt lớn và khả năng tạo ra các màng xếp chồng nhiều lớp hiệu quả.

Các đặc điểm và ưu điểm của sáng chế sẽ dễ dàng được nhận thấy bởi người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này. Mặc dù nhiều thay đổi có thể được thực hiện bởi người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này, nhưng các thay đổi như vậy sẽ thuộc phạm vi của sáng chế.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Theo một phương án, phương pháp lắng đọng perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích chì và nền vào buồng lắng đọng. Phương pháp này còn bao gồm bước giảm áp suất trong buồng lắng đọng xuống thấp hơn hoặc bằng 5×10^{-6} Torr ($\sim 6,7 \times 10^{-4}$ Pa). Phương pháp này còn bao gồm bước hóa hơi chất đích chì. Ngoài ra, phương pháp này bao gồm bước lấp đầy lại buồng lắng đọng bằng hơi tiền chất muối. Cuối cùng, phương pháp này bao gồm bước lắng đọng vật liệu perovskit lên nền.

Theo phương án khác, phương pháp lắng đọng perovskit không dung môi bao gồm bước nạp mẫu bột chì vào nồi nung. Phương pháp này còn bao gồm bước đặt nền

ở trạng thái úp xuống trên bột trong nồi nung. Phương pháp này còn bao gồm bước giảm áp suất trong buồng lắng đọng xuống 200 mTorr ($\sim 26,7$ Pa). Phương pháp này còn bao gồm bước làm thăng hoa mẫu bột chì. Cuối cùng, phương pháp này bao gồm bước tạo ra lớp lắng đọng thứ nhất lên nền.

Theo phương án khác, phương pháp lắng đọng perovskit không dung môi bao gồm bước nạp tiền chất muối chì vào nồi nung. Phương pháp này còn bao gồm bước nạp nền vào vật giữ mẫu. Phương pháp này còn bao gồm bước giảm áp suất trong buồng lắng đọng xuống ít nhất 10^{-3} Torr ($\sim 0,13$ Pa). Phương pháp này còn bao gồm bước cấp dòng điện để ion hóa tiền chất muối chì. Phương pháp này còn bao gồm bước lấp đầy lại buồng lắng đọng bằng hơi tiền chất muối thứ hai. Cuối cùng, phương pháp này bao gồm bước lắng đọng vật liệu perovskit lên nền.

Theo phương án khác nữa, phương pháp lắng đọng perovskit không dung môi bao gồm bước nạp tiền chất muối chì vào nồi nung. Phương pháp này còn bao gồm bước nạp nền vào vật giữ mẫu. Phương pháp này còn bao gồm bước giảm áp suất trong buồng lắng đọng xuống khoảng từ 5 Torr đến 760 Torr (từ $\sim 666,7$ Pa đến ~ 101325 Pa). Phương pháp này còn bao gồm bước hóa hơi tiền chất muối chì. Phương pháp này còn bao gồm bước thực hiện epitaxy pha hơi hữu cơ-kim loại trên hơi này. Phương pháp này còn bao gồm bước lấp đầy lại buồng lắng đọng bằng hơi tiền chất muối thứ hai. Cuối cùng, phương pháp này bao gồm bước lắng đọng, trong môi trường khí trơ, vật liệu perovskit lên nền.

Mô tả văn tắt hình vẽ

Fig.1 là lưu đồ của phương pháp lắng đọng perovskit không dung môi làm ví dụ.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các phương pháp được nêu trong bản mô tả này để lắng đọng perovskit lên nền có thể được sử dụng để sản xuất một hoặc nhiều mặt của PV. Các ứng dụng tiềm năng khác bao gồm, nhưng không giới hạn ở, ắc quy, tranzito hiệu ứng trường (FET), điốt phát quang (LED), thiết bị quang học phi tuyến tính, điện trở nhớ (memristor), tụ điện, bộ chỉnh lưu và/hoặc ăngten chỉnh lưu. Vật liệu perovskit có thể có công thức chung là CMX_3 , trong đó: C bao gồm một hoặc nhiều cation (ví dụ, amin, amoni, phosphoni, kim loại nhóm 1, kim loại nhóm 2 và/hoặc các cation khác hoặc các hợp chất giống cation); M bao gồm một hoặc nhiều kim loại (các ví dụ bao gồm Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Fe, Cd, Co,

Ni, Cu, Ag, Au, Hg, Sn, Ge, Ga, Pb, In, Tl, Sb, Bi, Ti, Zn, Cd, Hg và Zr); và X bao gồm một hoặc nhiều anion. Theo các phương án cụ thể, C có thể bao gồm formamidinium hoặc metylamoni. Mặc dù nhiều phương pháp trong số các phương pháp được mô tả dưới đây được minh họa bằng cách sử dụng perovskit chì, nhưng các phương pháp này có thể được sử dụng để thu được các perovskit khác bằng cách thay thế kim loại (M) hoặc halogenua kim loại (MX_n) mong muốn.

Theo một số phương án, sáng chế đề cập đến phương pháp lắng đọng perovskit dựa trên phương pháp lắng đọng hơi vật lý. Theo các phương án khác, sáng chế đề cập đến phương pháp lắng đọng perovskit dựa trên phương pháp lắng đọng hơi hóa học. Một số phương án của các phương pháp lắng đọng hơi vật lý và lắng đọng hơi hóa học được mô tả chi tiết dưới đây.

Theo mỗi trong số các phương án được mô tả dưới đây, việc tạo mẫu hình cho màng perovskit thu được có thể đạt được bằng cách đặt mặt nạ che bóng khí trực tiếp lên nền trước khi nạp nền vào buồng chân không.

Phương pháp lắng đọng hơi vật lý

Nhìn chung, phương pháp lắng đọng hơi vật lý bao gồm việc hóa hơi vật liệu lắng đọng, vận chuyển hơi đến nền đích, phản ứng giữa các nguyên tử kim loại và khí phản ứng trong giai đoạn vận chuyển, và lắng đọng tại nền. Sáng chế bao gồm một số phương án của phương pháp lắng đọng hơi vật lý. Cụ thể, các phương pháp phún xạ, phún xạ phản ứng, lắng đọng chùm điện tử, lắng đọng hồ quang catot, lắng đọng laze xung, epitaxy chùm phân tử, thăng hoa không gian gần, bay hơi bằng nhiệt và bay hơi đồng thời có tôi ủ, xử lý dung dịch có sự trợ giúp của hơi, lắng đọng có sự trợ giúp của ion, và bay hơi phản ứng có kích hoạt được mô tả.

Phún xạ

Theo các phương án nhất định, phương pháp lắng đọng perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích PbI_2 (chì (II) iodua) vào buồng phún xạ và bơm hút đến áp suất chân không từ cao đến rất cao. Ví dụ, áp suất cần được bơm hút đến thấp hơn hoặc bằng 10^{-6} Torr ($\sim 1,3 \times 10^{-4}$ Pa). Tốt hơn là, hệ thống cần nằm trong chân không tĩnh có áp suất là 10^{-8} Torr ($\sim 1,3 \times 10^{-6}$ Pa). Phương pháp này còn bao gồm bước nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng tải-khóa (load-lock chamber). Phương pháp này còn bao gồm bước bơm hút buồng tải-khóa đến áp suất chân không cao (từ 10^{-3} đến 10^{-

⁵ Torr (từ $\sim 0,13$ đến $\sim 0,0013$ Pa)) và chuyển vật giữ mẫu vào buồng phún xạ. Theo một số phương án, chân không cao có thể là thấp hơn 1×10^{-5} Torr ($\sim 1,3 \times 10^{-3}$ Pa). Phương pháp này còn bao gồm bước cấp khí trơ, như Ar, vào chất đích PbI_2 để gây ra hiệu ứng phún xạ, lấp đầy lại buồng phún xạ bằng hơi FAI (formamidinium iodua) và/hoặc MAI (metyl amoni iodua), và lắng đọng vật liệu perovskit. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng bộ điều chỉnh lưu lượng khối (MFC: mass flow controller) với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến $100 \text{ cm}^3/\text{phút}$. Theo một số phương án, FAI và/hoặc MAI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến $30 \text{ cm}^3/\text{phút}$. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của perovskit cần được lắng đọng với tốc độ khoảng $0,5 \text{ Å/giây}$ để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo các phương án khác, phương pháp lắng đọng perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích Pb (chì) vào buồng phún xạ và bơm hút đến áp suất chân không từ cao đến rất cao. Ví dụ, áp suất cần được bơm hút đến thấp hơn hoặc bằng 10^{-6} Torr ($\sim 1,3 \times 10^{-4}$ Pa). Tốt hơn là, hệ thống cần nằm trong chân không tĩnh có áp suất là 10^{-8} Torr ($\sim 1,3 \times 10^{-6}$ Pa). Phương pháp này còn bao gồm bước nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng tải-khóa. Phương pháp này tiếp tục với bước bơm hút buồng tải-khóa đến áp suất chân không cao (từ 10^{-3} đến 10^{-5} Torr (từ $\sim 0,13$ đến $\sim 0,0013$ Pa)) và chuyển vật giữ mẫu vào buồng tải-khóa. Phương pháp này còn bao gồm bước cấp khí trơ, như Ar, vào chất đích Pb để gây ra hiệu ứng phún xạ, lấp đầy lại buồng bằng HI (hydro iodua) và một hoặc cả hai trong số hơi FAI hoặc MAI, và lắng đọng vật liệu perovskit. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến $100 \text{ cm}^3/\text{phút}$. Theo một số phương án, HI và một hoặc cả hai trong số MAI hoặc FAI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến $30 \text{ cm}^3/\text{phút}$. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của perovskit cần được lắng đọng với tốc độ khoảng $0,5 \text{ Å/giây}$ để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo phương án khác nữa, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích Pb (Pb với HI, hoặc PbI_2) vào buồng phún xạ và bơm hút đến áp suất chân không từ cao đến rất cao. Ví dụ, áp suất cần được bơm hút đến thấp hơn hoặc bằng 10^{-6} Torr ($\sim 1,3 \times 10^{-4}$ Pa). Tốt hơn là, hệ thống cần nằm trong chân không tĩnh có áp suất là 10^{-8} Torr ($\sim 1,3 \times 10^{-6}$ Pa). Phương pháp này còn bao gồm bước nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng tải-khóa và bơm hút buồng tải-khóa đến áp suất chân không cao (từ 10^{-3} đến 10^{-5} Torr (từ $\sim 0,13$ đến $\sim 0,0013$ Pa)) trước khi chuyển vật

giữ mẫu vào buồng. Phương pháp này tiếp tục bằng bước cấp khí trơ, như Ar, vào chất đích PbI_2 để gây ra hiệu ứng phún xạ, lấp đầy lại buồng bằng HI, và lắng đọng vật liệu perovskit. Bước lấp đầy lại buồng có thể được thực hiện bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 $\text{cm}^3/\text{phút}$. Theo một số phương án, HI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 $\text{cm}^3/\text{phút}$. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của perovskit cần được lắng đọng với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền. Phương pháp này kết thúc bằng bước lấy màng PbI_2 ra khỏi buồng và chuyển màng này sang thiết bị khác, như bộ làm bay hơi bằng nhiệt, để lắng đọng FAI và/hoặc MAI.

Phún xạ phản ứng

Theo các phương án khác, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích PbI_2 vào buồng phún xạ và bơm hút đến áp suất chân không từ cao đến rất cao. Ví dụ, áp suất cần được bơm hút đến thấp hơn hoặc bằng 10^{-6} Torr ($\sim 1,3 \times 10^{-4}$ Pa). Tốt hơn là, hệ thống cần nằm trong chân không tĩnh có áp suất là 10^{-8} Torr ($\sim 1,3 \times 10^{-6}$ Pa). Phương pháp này còn bao gồm bước nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng phún xạ. Phương pháp này còn bao gồm bước bơm hút buồng tải-khóa đến áp suất chân không cao (từ 10^{-3} đến 10^{-5} Torr (từ $\sim 0,13$ đến $\sim 0,0013$ Pa)) và chuyển vật giữ mẫu vào buồng tải-khóa. Phương pháp này còn bao gồm bước cấp khí phản ứng, như oxy hoặc nitơ, vào chất đích PbI_2 để gây ra hiệu ứng phún xạ, lấp đầy lại buồng bằng hơi FAI và/hoặc MAI, và lắng đọng vật liệu perovskit. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 $\text{cm}^3/\text{phút}$. Theo một số phương án, FAI và/hoặc MAI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 $\text{cm}^3/\text{phút}$. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của perovskit cần được lắng đọng với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo các phương án khác, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích Pb (chì) vào buồng phún xạ và bơm hút đến áp suất chân không từ cao đến rất cao. Ví dụ, áp suất cần được bơm hút đến thấp hơn hoặc bằng 10^{-6} Torr ($\sim 1,3 \times 10^{-4}$ Pa). Tốt hơn là, hệ thống cần nằm trong chân không tĩnh có áp suất là 10^{-8} Torr ($\sim 1,3 \times 10^{-6}$ Pa). Phương pháp này còn bao gồm bước nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng tải-khóa. Phương pháp này tiếp tục với bước bơm hút buồng tải-khóa đến áp suất chân không cao (từ 10^{-3} đến 10^{-5} Torr (từ $\sim 0,13$ đến $\sim 0,0013$ Pa))

và chuyển vật giữ mẫu vào buồng tải-khóa. Phương pháp này còn bao gồm bước cấp khí phản ứng, như oxy hoặc nitơ, vào chất đích Pb để gây ra hiệu ứng phún xạ, lấp đầy lại buồng bằng HI (hydro iodua) và một hoặc cả hai trong số hơi FAI hoặc MAI, và lắng đọng vật liệu perovskit. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, HI và một hoặc cả hai trong số MAI hoặc FAI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của perovskit cần được lắng đọng với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo phương án khác nữa, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích Pb vào buồng phún xạ và bơm hút đến áp suất chân không từ cao đến rất cao. Ví dụ, áp suất cần được bơm hút đến thấp hơn hoặc bằng 10⁻⁶ Torr (~1,3x10⁻⁴ Pa). Tốt hơn là, hệ thống cần nằm trong chân không tĩnh có áp suất là 10⁻⁸ Torr (~1,3x10⁻⁶ Pa). Phương pháp này còn bao gồm bước nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng tải-khóa và bơm hút buồng tải-khóa đến áp suất chân không cao (từ 10⁻³ đến 10⁻⁵ Torr (từ ~0,13 đến ~0,0013 Pa)) trước khi chuyển vật giữ mẫu vào buồng. Phương pháp này tiếp tục với bước cấp khí phản ứng, như oxy hoặc nitơ, vào chất đích Pb để gây ra hiệu ứng phún xạ, lấp đầy lại buồng bằng HI, và lắng đọng vật liệu perovskit. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, HI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của perovskit cần được lắng đọng với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền. Phương pháp này kết thúc bằng bước lấy màng PbI₂ ra khỏi buồng và chuyển màng này sang thiết bị khác, như bộ làm bay hơi bằng nhiệt, để lắng đọng FAI và/hoặc MAI.

Lắng đọng hơi vật lý chùm điện tử hoặc lắng đọng chùm điện tử

Fig.1 minh họa phương pháp 100 để lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi. Bước 102 bao gồm bước nạp chất đích PbI₂ vào buồng lắng đọng. Bước 104 bao gồm bước nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng lắng đọng. Phương pháp 100 tiếp tục tại bước 106 bằng việc bơm hút đến áp suất chân không cao (thấp hơn hoặc bằng 5x10⁻⁶ Torr (~6,7x10⁻⁴ Pa)). Tại bước 108, chùm điện tử được cấp vào chất đích PbI₂. Sau đó, phương pháp 100 tiếp tục đến bước 110 trong đó buồng lắng đọng được

lấp đầy lại bằng hơi FAI và/hoặc MAI. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, FAI và/hoặc MAI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Cuối cùng, phương pháp ví dụ này kết thúc tại bước 112 bằng việc lắng đọng vật liệu perovskit. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của perovskit cần được lắng đọng với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo các phương án khác, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích Pb vào buồng lắng đọng và nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng lắng đọng. Phương pháp này còn bao gồm bước bơm hút đến áp suất chân không cao (thấp hơn hoặc bằng 5×10^{-6} Torr ($\sim 6,7 \times 10^{-4}$ Pa)) và cấp chùm điện tử vào chất đích Pb. Phương pháp này tiếp tục bằng bước lấp đầy lại buồng bằng hơi HI và formamidin và/hoặc metylamin (MA) và lắng đọng vật liệu perovskit. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, HI và FA và/hoặc MA có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của perovskit cần được lắng đọng với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo phương án khác nữa, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích Pb vào buồng lắng đọng và nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng lắng đọng. Phương pháp này còn bao gồm bước bơm hút đến áp suất chân không cao (thấp hơn hoặc bằng 5×10^{-6} Torr) và cấp chùm điện tử vào chất đích Pb. Phương pháp này tiếp tục với bước lấp đầy lại buồng bằng hơi HI và lắng đọng vật liệu perovskit. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, HI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Phương pháp này kết thúc bằng bước lấy màng PbI₂ ra khỏi buồng và chuyển màng này sang thiết bị khác, như bộ làm bay hơi bằng nhiệt, để lắng đọng FAI và/hoặc MAI. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của perovskit cần được lắng đọng với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Lắng đọng hơi vật lý hồ quang catot

Theo các phương án nhất định, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích Pb vào buồng lắng đọng và nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng lắng đọng. Phương pháp này còn bao gồm bước bơm hút đến áp suất chân không rất cao (từ 10^{-8} đến 10^{-12} Torr (từ $\sim 1,3 \times 10^{-6}$ đến $\sim 1,3 \times 10^{-10}$ Pa)) và cấp hồ quang catot vào chất đích Pb. Phương pháp này tiếp tục với bước lấp đầy lại buồng bằng hơi HI và lắng đọng vật liệu perovskit. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, HI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Phương pháp này kết thúc bằng bước lấy màng PbI₂ ra khỏi buồng và chuyển màng này sang thiết bị khác, như bộ làm bay hơi bằng nhiệt, để lắng đọng FAI và/hoặc MAI. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của perovskit cần được lắng đọng với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Lắng đọng laze xung

Theo các phương án nhất định, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích PbI₂ vào buồng lắng đọng và nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng lắng đọng. Phương pháp này còn bao gồm bước bơm hút đến áp suất chân không cao (từ 10^{-6} đến 10^{-8} Torr (từ $\sim 1,3 \times 10^{-4}$ đến $\sim 1,3 \times 10^{-6}$ Pa)) và cấp laze xung vào chất đích PbI₂. Phương pháp này tiếp tục với bước lấp đầy lại buồng bằng hơi FAI và/hoặc MAI và lắng đọng vật liệu perovskit. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, FAI và/hoặc MAI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của perovskit cần được lắng đọng với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo các phương án khác, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích Pb vào buồng lắng đọng và nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng lắng đọng. Phương pháp này còn bao gồm bước bơm hút đến áp suất chân không cao (từ 10^{-6} đến 10^{-8} Torr (từ $\sim 1,3 \times 10^{-4}$ đến $\sim 1,3 \times 10^{-6}$ Pa)) và cấp laze xung vào chất đích Pb. Phương pháp này tiếp tục với bước lấp đầy lại buồng bằng HI và một hoặc cả hai trong số hơi MAI hoặc FAI và lắng đọng vật liệu perovskit. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, HI và một hoặc cả hai trong số MAI hoặc FAI

có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của perovskit cần được lắng đọng với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo phương án khác nữa, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích Pb vào buồng lắng đọng và nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng lắng đọng. Phương pháp này còn bao gồm bước bơm hút đến áp suất chân không cao (từ 10⁻⁶ đến 10⁻⁸ Torr) và cấp laze xung vào chất đích Pb. Phương pháp này tiếp tục với bước lấp đầy lại buồng bằng hơi HI và lắng đọng vật liệu perovskit. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, HI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Phương pháp này kết thúc bằng bước lấy màng PbI₂ ra khỏi buồng và chuyển màng này sang thiết bị khác, như bộ làm bay hơi bằng nhiệt, để lắng đọng FAI và/hoặc MAI. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của perovskit cần được lắng đọng với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Epitaxy chùm phân tử

Theo các phương án nhất định, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích Pb vào buồng lắng đọng và nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng lắng đọng. Phương pháp này còn bao gồm bước bơm hút đến áp suất chân không rất cao (từ 10⁻⁸ đến 10⁻¹² Torr (từ ~1,3x10⁻⁶ đến ~1,3x10⁻¹⁰ Pa)) và cấp chùm phân tử vào chất đích Pb. Phương pháp này tiếp tục với bước lấp đầy lại buồng bằng hơi HI và lắng đọng vật liệu perovskit. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, HI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Phương pháp này kết thúc bằng bước lấy màng PbI₂ ra khỏi buồng và chuyển màng này sang thiết bị khác, như bộ làm bay hơi bằng nhiệt, để lắng đọng FAI và/hoặc MAI. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của perovskit cần được lắng đọng với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Thăng hoa không gian gần

Theo các phương án nhất định, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp mẫu bột PbI₂ vào nồi nung và đặt nền ở trạng thái úp xuống

trên mẫu bột. Phương pháp này còn bao gồm bước bơm hút đến áp suất chân không thấp (~ 200 mTorr ($\sim 26,7$ Pa)) và làm thăng hoa mẫu bột PbI_2 . Phương pháp này tiếp tục với bước lấp đầy lại buồng bằng hơi FAI và/hoặc MAI và lắng đọng vật liệu perovskit. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 $\text{cm}^3/\text{phút}$. Theo một số phương án, FAI và/hoặc MAI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 $\text{cm}^3/\text{phút}$. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo các phương án khác, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp mẫu bột Pb vào nồi nung và đẩy nồi nung với mẫu bột Pb ở trạng thái úp mặt xuống. Phương pháp này còn bao gồm bước bơm hút đến áp suất chân không thấp (~ 200 mTorr ($\sim 26,7$ Pa)), làm thăng hoa mẫu Pb, và tạo ra lớp lắng đọng thứ nhất. Phương pháp này tiếp tục với bước lấp đầy lại buồng bằng HI và một hoặc cả hai trong số hơi formylimidamit (FA) hoặc metylamin (MA) và tạo ra lớp lắng đọng thứ hai. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 $\text{cm}^3/\text{phút}$. Theo một số phương án, HI và một hoặc cả hai trong số MA hoặc FA có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 $\text{cm}^3/\text{phút}$. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo phương án khác nữa, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp mẫu bột PbI_2 vào nồi nung và đẩy nồi nung với mẫu bột PbI_2 ở trạng thái úp mặt xuống. Phương pháp này còn bao gồm bước bơm hút đến áp suất chân không thấp (~ 200 mTorr ($\sim 26,7$ Pa)), làm thăng hoa mẫu bột PbI_2 , và tạo ra lớp lắng đọng thứ nhất. Phương pháp này còn bao gồm bước thay thế mẫu bột PbI_2 bằng mẫu bột MAI và/hoặc FAI và đặt mẫu bột MAI và/hoặc FAI ở trạng thái úp xuống trên nồi nung. Phương pháp này kết thúc với bước bơm hút đến áp suất là 200 mTorr ($\sim 26,7$ Pa), làm thăng hoa mẫu bột MAI và/hoặc FAI, và tạo ra lớp lắng đọng thứ hai. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo phương án khác, phương pháp lắng đọng perovskit không dung môi bao gồm bước phát triển perovskit tinh thể đơn có cấu trúc ABX_3 bằng phương pháp bất kỳ đã biết đối với người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này. Phương pháp này còn

bao gồm bước nạp tinh thể đơn vào nồi nung và nạp nền ở trạng thái úp xuống vào vật giữ nền. Tùy thuộc vào kích thước của các tinh thể, có thể cần phải nghiền nhỏ perovskit tinh thể thành các mảnh đồng nhất hơn bằng cối và chày. Phương pháp này còn bao gồm bước bơm hút đến áp suất chân không thấp (~ 200 mTorr ($\sim 26,7$ Pa)), làm thăng hoa tinh thể, và tạo ra lớp lắng đọng thứ nhất.

Bay hơi bằng nhiệt và bay hơi đồng thời có tới 3

Theo các phương án nhất định, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp mẫu bột PbI_2 vào nồi nung và nạp nền lên vật giữ mẫu. Phương pháp này còn bao gồm bước bơm hút đến áp suất chân không cao (thấp hơn hoặc bằng 5×10^{-6} Torr ($\sim 6,7 \times 10^{-4}$ Pa)) và làm bay hơi mẫu bột PbI_2 bằng cách đặt điện áp giữa hai trụ kim loại. Phương pháp này tiếp tục với bước lấp đầy lại buồng bằng hơi FAI và/hoặc MAI và tạo ra các lớp lắng đọng. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 $\text{cm}^3/\text{phút}$. Theo một số phương án, FAI và/hoặc MAI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 $\text{cm}^3/\text{phút}$. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo các phương án khác, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp mẫu bột PbI_2 vào nồi nung thứ nhất và nạp mẫu MAI và/hoặc FAI vào nồi nung thứ hai. Phương pháp này còn bao gồm bước nạp nền lên vật giữ mẫu và bơm hút đến áp suất chân không cao (thấp hơn hoặc bằng 5×10^{-6} Torr ($\sim 6,7 \times 10^{-4}$ Pa)). Phương pháp này tiếp tục bằng bước làm bay hơi PbI_2 và mẫu MAI và/hoặc FAI bằng cách đặt điện áp giữa hai trụ kim loại, và lắng đọng PbI_2 và MAI và/hoặc FAI cùng một lúc. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo phương án khác nữa, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp mẫu Pb vào nồi nung, nạp nền lên vật giữ mẫu, và bơm hút đến áp suất chân không cao (thấp hơn hoặc bằng 5×10^{-6} Torr ($\sim 6,7 \times 10^{-4}$ Pa)). Phương pháp này còn bao gồm bước làm bay hơi mẫu Pb bằng cách đặt điện áp giữa hai trụ kim loại. Phương pháp này tiếp tục với bước lấp đầy lại buồng bằng HI và một hoặc cả hai trong số hơi FAI hoặc MAI và tạo ra các lớp lắng đọng. Buồng này có thể được lấp đầy lại

bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, HI và một hoặc cả hai trong số MAI hoặc FAI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo các phương án khác, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp mẫu bột PbI₂ vào nồi nung, nạp nền lên vật giữ mẫu, và bơm hút đến áp suất chân không cao (thấp hơn hoặc bằng 5x10⁻⁶ Torr (~ 6,7x10⁻⁴ Pa)). Phương pháp này còn bao gồm bước làm bay hơi mẫu bột PbI₂ bằng cách đặt điện áp giữa hai trụ kim loại và tạo ra lớp lắng đọng thứ nhất. Phương pháp này tiếp tục bằng bước thay thế mẫu bột PbI₂ bằng mẫu bột MAI và/hoặc FAI và bơm hút đến áp suất chân không cao (nhỏ hơn hoặc bằng 5x10⁻⁶ Torr (~ 6,7x10⁻⁴ Pa)). Phương pháp này kết thúc bằng bước làm bay hơi mẫu bột MAI và/hoặc FAI bằng cách đặt điện áp giữa hai trụ kim loại và tạo ra lớp lắng đọng thứ hai. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo các phương án khác nữa, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước phát triển perovskit tinh thể đơn có cấu trúc ABX₃ bằng phương pháp bất kỳ. Phương pháp này còn bao gồm bước nạp (các) tinh thể đơn vào nồi nung. Trong một số trường hợp, có thể cần phải nghiền nhỏ (các) tinh thể bằng chày và cối để thu được các mảnh nhỏ hơn, đồng nhất hơn. Phương pháp này còn bao gồm bước nạp mẫu vào vật giữ nền. Phương pháp này còn bao gồm bước bơm hút buồng lắng đọng đến áp suất chân không cao (thấp hơn hoặc bằng 5x10⁻⁶ Torr (~ 6,7x10⁻⁴ Pa)). Phương pháp này kết thúc bằng bước đặt điện thế vào hai trụ kim loại được nối với nồi nung tiên chất để làm bay hơi (các) tinh thể, và tạo ra lớp lắng đọng trên mẫu.

Xử lý dung dịch có sự trợ giúp của hơi hoặc lắng đọng lai lý - hóa

Theo các phương án nhất định, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước lắng đọng lớp PbI₂ lên màng bằng phương pháp bất kỳ trong số các phương pháp được bộc lộ nêu trên. Màng PbI₂ có thể được tạo mẫu hình bằng cách sử dụng mặt nạ che bóng khít. Phương pháp này còn bao gồm bước đặt màng sao cho lớp PbI₂ ngửa lên trong buồng áp suất giảm (từ 200 mTorr đến 10⁻⁶ Torr (từ ~26,7

Pa đến $\sim 1,3 \times 10^{-4}$ Pa)) và đưa hơi hydro iodua (HI) vào. Phương pháp này kết thúc bằng bước cho hơi metylamin (MA) và/hoặc formylimidamit (FA), mà có thể tồn tại ở dạng formamidin tautome của nó ở pha khí, chảy vào buồng áp suất giảm. Hơi MA và/hoặc FA có thể được đưa vào bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, nó có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút.

Theo các phương án nhất định, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước lắng đọng lớp HPbI₃ lên màng bằng phương pháp bất kỳ trong số các phương pháp nêu trên. Phương pháp này còn bao gồm bước đặt màng sao cho lớp HPbI₃ ngửa lên trong buồng áp suất giảm. Phương pháp này kết thúc với bước cho hơi metylamin (CH₃NH₂) và/hoặc formylimidamit (NH₂CHNH) chảy vào buồng áp suất giảm. Theo cách khác, hơi metylamin (CH₃NH₂) và/hoặc formylimidamit (NH₂CHNH) được bổ sung vào PbI₂ trước, và sau đó là HI.

Phun nhiệt (phủ phun)

Theo các phương án nhất định, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước phun mẫu PbI₂, đã được gia nhiệt đến nhiệt độ nằm trong khoảng từ 20 đến 80°C, lên màng ở áp suất khí quyển và đặt màng sao cho lớp PbI₂ ngửa lên trong buồng áp suất giảm (từ 200 mTorr đến 10⁻⁶ Torr (từ $\sim 26,7$ Pa đến $\sim 1,3 \times 10^{-4}$ Pa)). Phương pháp này kết thúc với bước cho hơi MA và/hoặc FA chảy vào buồng áp suất giảm. Hơi MA và/hoặc FA có thể được đưa vào bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, nó có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút.

Mạ ion hoặc lắng đọng có sự trợ giúp của ion

Theo phương án nhất định, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích Pb vào buồng lắng đọng, nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng lắng đọng, và bơm hút buồng đến áp suất thấp hơn hoặc bằng 10⁻⁵ Torr ($\sim 1,3 \times 10^{-3}$ Pa). Theo một số phương án, buồng được bơm hút đến áp suất 10⁻⁸ Torr ($\sim 1,3 \times 10^{-6}$ Pa). Phương pháp này còn bao gồm bước làm bay hơi chất đích Pb bằng cách phá vỡ vật liệu nguồn bằng cách bắn phá hạt. Sự hóa hơi bằng cách bắn phá hạt có thể được thực hiện bằng phương pháp làm bay hơi, phún xạ, hóa hơi hồ quang hoặc phương pháp hóa học. Dạng hóa hơi này đòi hỏi phải bổ sung khí trơ (ví dụ, Ar) hoặc khí phản

ứng (ví dụ, O_2 hoặc N_2). Phương pháp này còn bao gồm bước lấp đầy lại buồng bằng hơi HI và tạo ra các lớp lắng đọng. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 $cm^3/phút$. Theo một số phương án, HI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 $cm^3/phút$. Phương pháp này kết thúc bằng bước lấy màng PbI_2 ra khỏi buồng và chuyển màng này sang thiết bị khác, như bộ làm bay hơi bằng nhiệt, để lắng đọng FAI và/hoặc MAI. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Bay hơi phản ứng được kích hoạt

Theo các phương án nhất định, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích PbI_2 vào buồng lắng đọng, nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng lắng đọng, và bơm hút đến áp suất chân không cao (thấp hơn hoặc bằng 5×10^{-6} Torr ($\sim 6,7 \times 10^{-4}$ Pa)). Phương pháp này còn bao gồm bước làm bay hơi chất đích PbI_2 khi có mặt khí phản ứng và plasma. Phương pháp này tiếp tục bằng bước lấp đầy lại buồng bằng hơi FAI và/hoặc MAI và tạo ra các lớp lắng đọng. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 $cm^3/phút$. Theo một số phương án, FAI và/hoặc MAI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 $cm^3/phút$. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo các phương án khác, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích Pb vào buồng lắng đọng, nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng lắng đọng, và bơm hút đến áp suất chân không cao (thấp hơn hoặc bằng 5×10^{-6} Torr ($\sim 6,7 \times 10^{-4}$ Pa)). Phương pháp này còn bao gồm bước làm bay hơi chất đích Pb khi có mặt khí phản ứng và plasma. Phương pháp này tiếp tục với bước lấp đầy lại buồng bằng HI và một hoặc cả hai trong số hơi MAI hoặc FAI và tạo ra các lớp lắng đọng. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 $cm^3/phút$. Theo một số phương án, HI và một hoặc cả hai trong số MAI hoặc FAI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 $cm^3/phút$. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo phương án khác nữa, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp chất đích Pb vào buồng lắng đọng, nạp mẫu đã được gắn vào vật giữ nền vào buồng lắng đọng, và bơm hút đến áp suất chân không cao (thấp hơn hoặc bằng 5×10^{-6} Torr ($\sim 6,7 \times 10^{-4}$ Pa)). Phương pháp này còn bao gồm bước làm bay hơi chất đích Pb khi có mặt khí phản ứng và plasma. Phương pháp này tiếp tục bằng bước lấp đầy lại buồng bằng hơi HI và tạo ra các lớp lắng đọng. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, HI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Phương pháp này kết thúc bằng bước lấy màng PbI₂ ra khỏi buồng lắng đọng và chuyển màng này sang thiết bị khác, như bộ làm bay hơi bằng nhiệt, để lắng đọng FAI và/hoặc MAI. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Lắng đọng hơi hóa học

Nhìn chung, phương pháp lắng đọng hơi hóa học bao gồm bước hóa hơi tiền chất, vận chuyển hơi đến nền đích, phản ứng hóa học giữa các hơi tiền chất và bề mặt cần phủ, và lắng đọng tại nền. Các tiền chất khác nhau có thể được sử dụng với mỗi trong số các phương pháp lắng đọng hơi hóa học nêu dưới đây. Tiền chất chì có thể sử dụng thường bao gồm chì alkoxit, chì alkylamit, chì alkylsulfua, chì alkylselenua, plumban và plumbylen. Theo một số phương án, tiền chất chì có thể là bis(1-dimethylaminio-2-methyl-2-propanolat) chì (II) (Pb(DMAMP)₂); bis(2,2,6,6-tetrametyl-3,5,heptandionato) chì (II) (Pb(THD)₂); chì (II) hexafluoraxetylaxetonat; plumboxen (PbCp₂); tetraetyl chì (IV); bis[bis(trimetylsilyl)amido] chì (II); hoặc *rac*-N²,N³-di-*tert*-butan-2,3-diamido chì (II). Tiền chất iot có thể sử dụng thường bao gồm iotua kim loại và muối alkylamoni iotua. Theo một số phương án, tiền chất iot có thể sử dụng là trimetylsilyl iotua (TMSI); iot (I₂); hydro iotua (HI); axit hydroiodic; thiếc (IV) iotua; hoặc metylamoni iotua. Tiền chất formamidinium iotua có thể sử dụng thường bao gồm muối formamidinium, chất phản ứng tiền chất formamidinium (format, imidic este, triazin), muối amoni, và muối xyanua. Theo một số phương án, tiền chất formamidinium có thể là formamidinium iotua (FAI); formamidinium axetat; trietoxyl orthoformat; etyl metanimidini iotua; 1,3,5-triazin; amoniac (NH₃); amoni iotua (NH₄I); amoni hydroxit (NH₄OH); hoặc hydro xyanua (HCN).

Sáng chế bao gồm một số phương án của phương pháp lắng đọng hơi vật lý. Cụ thể, các phương pháp lắng đọng lớp nguyên tử, lắng đọng hơi hóa học tăng cường plasma, epitaxy pha hơi hữu cơ - kim loại, epitaxy pha hơi hydrua, chuyển hóa hơi-lỏng-rắn màng mỏng, và epitaxy pha lỏng được mô tả.

Lắng đọng lớp nguyên tử

Theo các phương án nhất định, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp tiền chất PbI_2 vào buồng lắng đọng và nạp mẫu FAI vào buồng lắng đọng. Phương pháp này còn bao gồm bước bơm hút đến áp suất chân không thấp (100-500 mTorr ($\sim 13,3$ -66,7 Pa), xung tiền chất PbI_2 thứ nhất trong ít nhất 0,015 giây, đợi 10-30 giây để cho phép có thời gian xảy ra phản ứng tại nền, xung PbI_2 thứ hai trong ít nhất 0,015 giây, đợi 10-30 giây để cho phép có thời gian xảy ra phản ứng tại nền, và sau đó lặp lại chu trình cho đến khi đạt được độ dày vật liệu mong muốn. Các lớp lắng đọng được tạo ra trong môi trường khí mang, thường là N_2 . Theo các phương án nhất định, phương pháp này đòi hỏi bước lắng đọng PbS trong buồng lắng đọng và tạo ra PbI_2 trước khi nạp tiền chất PbI_2 vào buồng lắng đọng.

Ví dụ, sau khi nạp mẫu FAI vào buồng lắng đọng và bơm hút chân không đến áp suất chân không thấp, chì (II) axetat được đưa vào buồng, tạo ra lớp lắng đọng thứ nhất. Sau khi đợi 30 giây, trimethylsilyl iodua được đưa vào buồng, tạo ra lớp lắng đọng thứ hai. Lớp lắng đọng thứ hai này phản ứng với lớp lắng đọng thứ nhất để tạo ra lớp PbI_2 . Phương pháp ví dụ này còn bao gồm bước đợi thêm 30 giây nữa trước khi bắt đầu lại chu trình bằng cách đưa chì (II) axetat vào buồng. Chì (II) axetat và trimethylsilyl iodua có thể được đưa vào bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 $\text{cm}^3/\text{phút}$. Theo một số phương án, chúng có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 $\text{cm}^3/\text{phút}$.

Ví dụ khác, sau khi nạp mẫu FAI vào buồng lắng đọng và bơm hút chân không đến áp suất chân không thấp, PbS được đưa vào buồng, tạo ra lớp lắng đọng thứ nhất. Sau khi đợi 30 giây, TMSI được đưa vào buồng, tạo ra lớp lắng đọng thứ hai. Lớp lắng đọng thứ hai này phản ứng với lớp lắng đọng thứ nhất để tạo ra lớp PbI_2 . Phương pháp ví dụ này còn bao gồm bước đợi thêm 30 giây nữa trước khi bắt đầu lại chu trình bằng cách đưa PbS vào. PbS và TMSI có thể được đưa vào bằng cách sử dụng MFC với tốc

độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, chúng có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút.

Theo các phương án khác, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp tiền chất PbI₂ vào buồng lắng đọng, nạp mẫu FAI vào buồng lắng đọng, và bơm hút đến áp suất chân không thấp (100-500 mTorr (~13,3-66,7 Pa)). Theo các phương án nhất định, phương pháp này đòi hỏi bước lắng đọng PbS trong buồng lắng đọng và tạo ra PbI₂ trước khi nạp tiền chất PbI₂ vào buồng lắng đọng. Phương pháp này còn bao gồm bước luân phiên giữa việc tạo ra lớp lắng đọng tiền chất PbI₂ và tạo ra lớp lắng đọng FAI lên màng. Phương pháp này kết thúc bằng bước đặt tiền chất PbI₂ ngửa lên trong buồng áp suất giảm và cho hơi MAI và/hoặc FAI chảy vào buồng áp suất giảm (từ 200 mTorr đến 10⁻⁶ Torr (từ ~26,7 Pa đến ~1,3x10⁻⁴ Pa)). Hơi MAI và/hoặc FAI có thể được đưa vào bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, nó có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút.

Đối với mỗi trong số các phương pháp lắng đọng lớp nguyên tử được mô tả ở trên, nên có thể được tạo mẫu hình một cách chọn lọc trước khi được đặt vào buồng lắng đọng. Ví dụ, việc tạo mẫu hình có thể được áp dụng bằng cách sử dụng O₂ plasma, làm sạch bằng ozon, hoặc các kỹ thuật biến đổi bề mặt khác đã biết đối với người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này. Việc tạo mẫu hình tạo ra các vùng chọn lọc mà phần tạo nhân của tiền chất có thể gắn vào đó.

Lắng đọng hơi hóa học tăng cường plasma

Theo các phương án nhất định, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp tiền chất Pb vào nồi nung, nạp nền lên vật giữ mẫu, và bơm hút đến áp suất chân không cao (ít nhất 10⁻³ Torr (~0,13 Pa)). Phương pháp này còn bao gồm bước đưa khí phản ứng vào buồng lắng đọng và cấp dòng điện để ion hóa khí phản ứng và tiền chất Pb. Phương pháp này kết thúc với bước lấp đầy lại buồng bằng hơi FAI và/hoặc MAI và tạo ra các lớp lắng đọng. Theo một số phương án, bước lấp đầy lại cũng bao gồm bước đưa khí phản ứng vào. Các khí phản ứng thích hợp, ngoài các khí đã được đề cập đến trong phần mô tả này, bao gồm nước, oxy, nitơ oxit, amoniac và nitơ. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, FAI và/hoặc MAI (và khí phản ứng khi thích

hợp) có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo các phương án khác, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp tiền chất Pb vào nồi nung, nạp nền lên vật giữ mẫu, và bơm hút đến áp suất chân không cao (ít nhất 10⁻³ Torr (~0,13 Pa)). Phương pháp này còn bao gồm bước cấp dòng điện để ion hóa tiền chất Pb. Phương pháp này tiếp tục với bước lấp đầy lại buồng bằng HI và một hoặc cả hai trong số MAI hoặc FAI và tạo ra các lớp lắng đọng. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, HI và một hoặc cả hai trong số MAI hoặc FAI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo phương án khác nữa, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp tiền chất PbI₂ vào nồi nung, nạp nền lên vật giữ mẫu, và bơm hút đến áp suất chân không cao (ít nhất 10⁻³ Torr (~0,13 Pa)). Phương pháp này còn bao gồm bước cấp dòng điện để ion hóa tiền chất PbI₂ và tạo ra các lớp lắng đọng. Theo một số phương án, khí phản ứng có thể được đưa vào trước khi ion hóa tiền chất. Khí phản ứng bất kỳ trong số các khí phản ứng đã được nêu ở trên đều thích hợp. Phương pháp này tiếp tục với bước chuyển màng vào thiết bị, như bộ làm bay hơi bằng nhiệt, và cho hơi MA và/hoặc FA chảy vào buồng áp suất giảm (từ 200 mTorr đến 10⁻⁶ Torr (từ ~26,7 Pa đến ~1,3x10⁻⁴ Pa)). Hơi MA và/hoặc FA có thể được đưa vào bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, nó có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Phương pháp này kết thúc với bước tạo ra các lớp lắng đọng MAI và/hoặc FAI.

Epitaxy pha hơi hữu cơ-kim loại (lắng đọng hơi hóa học hữu cơ-kim loại)

Theo các phương án nhất định, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp tiền chất Pb vào nồi nung, nạp nền lên vật giữ mẫu, bơm hút buồng đến áp suất vừa phải (từ 5 Torr đến 760 Torr (từ ~666,7 Pa đến ~101325 Pa)), và cấp một trong số nhiệt hoặc dòng điện từ vào tiền chất Pb, tạo ra hơi Pb. Phương pháp này còn bao gồm bước áp dụng quy trình epitaxy pha hơi hữu cơ-kim loại cho hơi

Pb. Phương pháp này tiếp tục với bước lấp đầy lại buồng bằng hơi FAI và/hoặc MAI, và tạo ra các lớp lắng đọng trong môi trường khí mang trợ như Ar. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, hơi FAI và/hoặc MAI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo các phương án khác, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp tiền chất Pb vào nồi nung, nạp nền lên vật giữ mẫu, bơm hút buồng đến áp suất vừa phải (từ 5 Torr đến 760 Torr (từ ~666,7 Pa đến ~101325 Pa)), và cấp một trong số nhiệt hoặc dòng điện tử vào tiền chất Pb, tạo ra hơi Pb. Phương pháp này còn bao gồm bước áp dụng quy trình epitaxy pha hơi hữu cơ-kim loại cho hơi Pb. Phương pháp này tiếp tục với bước lấp đầy lại buồng bằng HI và một hoặc cả hai trong số MAI hoặc FAI, và tạo ra các lớp lắng đọng trong môi trường khí mang trợ như Ar. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, HI và một hoặc cả hai trong số hơi MAI hoặc FAI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo phương án khác nữa, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp tiền chất Pb vào nồi nung, nạp nền lên vật giữ mẫu, và bơm hút buồng đến áp suất vừa phải (từ 5 Torr đến 760 Torr (từ ~666,7 Pa đến ~101325 Pa)). Phương pháp này còn bao gồm bước cấp một trong số nhiệt hoặc dòng điện tử vào tiền chất Pb, tạo ra hơi Pb. Phương pháp này còn bao gồm bước áp dụng quy trình epitaxy pha hơi hữu cơ-kim loại cho hơi Pb trong môi trường khí mang trợ như Ar. Phương pháp này tiếp tục bằng bước chuyển màng vào thiết bị, như bộ làm bay hơi bằng nhiệt, và lắng đọng FAI và/hoặc MAI. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo mỗi trong số các phương án được mô tả ở trên đối với epitaxy pha hơi hữu cơ-kim loại, tiền chất Pb có thể là plumboxen hoặc plumbylen. Tiền chất bất kỳ trong số các tiền chất Pb còn lại được nêu chi tiết trong bản mô tả này cũng là thích hợp.

Epitaxy pha hơi hydrua

Theo các phương án nhất định, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp tiền chất Pb vào nồi nung, nạp nền lên vật giữ mẫu, bơm hút buồng đến áp suất vừa phải (từ 5 Torr đến 760 Torr (từ ~666,7 Pa đến ~101325 Pa)), và cấp một trong số nhiệt hoặc dòng điện tử vào tiền chất Pb, tạo ra hơi Pb. Phương pháp này còn bao gồm bước cấp HCl (axit clohydric). Phương pháp này tiếp tục bằng bước lấp đầy lại buồng bằng HI và một hoặc cả hai trong số hơi MAI hoặc FAI và tạo ra các lớp lắng đọng. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, HI và một hoặc cả hai trong số hơi MAI hoặc FAI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Khí mang được sử dụng trong một số phương án để tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình lắng đọng. Khí mang thích hợp bao gồm NH₃, H₂ và clorua. Phương pháp này dự tính rằng 20 nm đầu tiên của các lớp lắng đọng cần được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây để đảm bảo rằng vật liệu được gắn vào nền.

Theo các phương án khác, phương pháp lắng đọng vật liệu perovskit không dung môi bao gồm bước nạp tiền chất Pb vào nồi nung, nạp nền lên vật giữ mẫu, bơm hút buồng đến áp suất vừa phải (từ 5 Torr đến 760 Torr (từ ~666,7 Pa đến ~101325 Pa)), và cấp một trong số nhiệt hoặc dòng điện tử vào tiền chất Pb, tạo ra hơi Pb. Phương pháp này còn bao gồm bước cấp HCl. Phương pháp này tiếp tục với bước lấp đầy lại buồng bằng hơi HI và tạo ra các lớp lắng đọng cho màng. Buồng này có thể được lấp đầy lại bằng cách sử dụng MFC với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút. Theo một số phương án, HI có thể được đưa vào với tốc độ nằm trong khoảng từ 5 đến 30 cm³/phút. Khí mang được sử dụng trong một số phương án để tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình lắng đọng. Khí mang thích hợp bao gồm NH₃, H₂ và clorua. Phương pháp này kết thúc với bước chuyển màng vào thiết bị, như bộ làm bay hơi bằng nhiệt, và lắng đọng FAI và/hoặc MAI.

Chuyển hóa hơi-lỏng-rắn màng mỏng

Theo các phương án nhất định, phương pháp lắng đọng perovskit không dung môi bao gồm bước cấp ít nhất một trong số nhiệt hoặc dòng điện tử vào kim loại, C (trong đó C là, ví dụ, cation nhóm I hoặc II như được liệt kê trong các phương án ưu tiên), M (ví dụ, Pb, Sn, v.v., như được mô tả trong các phương án ưu tiên), hoặc hỗn hợp

của các kim loại C và M để làm bay hơi các kim loại lên nền. Phương pháp này còn bao gồm bước cấp trực tiếp kim loại C hoặc M dạng lỏng, hoặc hợp kim hoặc hợp chất của chúng (ví dụ, chì (II) axetat trihydrat). Phương pháp này tiếp tục bằng bước gia nhiệt nền và giữ ổn định nhiệt độ cao hơn điểm nóng chảy của kim loại hoặc hỗn hợp kim loại. Phương pháp này còn bao gồm bước sử dụng chất xử lý bề mặt nền và lớp phủ xốp trợ để ngăn chặn sự không bám ướt của kim loại hoặc các kim loại lỏng khỏi nền. Phương pháp này tiếp tục với bước cấp hơi HX, X₂ và/hoặc CX vào buồng để tạo ra màng mỏng của hợp chất CMX₃. Theo các phương án cụ thể, hơi HI, I₂ và/hoặc CsI được cấp vào buồng chứa màng kim loại lỏng của Pb, Cs hoặc Cs và Pb để tạo ra màng mỏng của CsPbI₃. Theo các phương án nhất định, phương pháp này còn bao gồm bước sử dụng các hợp chất khác để làm ổn định hơi CX ở nhiệt độ cao bao gồm các sản phẩm phân hủy C trong trường hợp C là cation hữu cơ mà có thể không ổn định ở nhiệt độ cần thiết để làm nóng chảy các kim loại C, M hoặc hợp kim CM. Các hợp chất tiền chất thay thế, ví dụ, chì (II) axetat trihydrat, có thể được sử dụng.

Epitaxy pha lỏng

Phương án bất kỳ trong số các phương án của phương pháp chuyển hóa hơi-lỏng-rắn màng mỏng được mô tả trên đây đều có thể được thực hiện trên nền kết tinh nhằm mục đích phát triển epitaxy. Theo một số phương án, nền này có thể là nền perovskit tinh thể đơn hoặc các hợp chất khớp mạng tinh thể khác.

Mặc dù một số phương án đã được trình bày trong phần mô tả, nhưng cần hiểu rằng các hệ thống và phương pháp được bộc lộ có thể được thực hiện theo nhiều dạng cụ thể khác mà không tách rời khỏi ý tưởng và phạm vi của sáng chế. Các ví dụ nêu trong bản mô tả này cần được xem là mang tính minh họa và không giới hạn, và mục đích dự định không bị giới hạn ở các chi tiết được nêu trong bản mô tả này. Ví dụ, các bộ phận hoặc các thành phần khác nhau có thể được kết hợp hoặc được tích hợp vào hệ thống khác, hoặc một số đặc điểm có thể được lược bỏ hoặc không được thực hiện.

Ngoài ra, các kỹ thuật, hệ thống, phân hệ và phương pháp được mô tả và được minh họa trong các phương án khác nhau ở dạng riêng rẽ hoặc tách rời đều có thể được kết hợp hoặc được tích hợp với các hệ thống, mô đun, kỹ thuật hoặc phương pháp khác mà không tách rời khỏi phạm vi của sáng chế. Các thành phần khác được thể hiện hoặc được mô tả là được ghép nối hoặc được ghép nối trực tiếp hoặc liên thông với nhau có

thể là được ghép nối hoặc liên thông gián tiếp thông qua bề mặt chung, thiết bị hoặc bộ phận trung gian nhất định, dù là bằng phương pháp điện học, cơ học hay bằng phương pháp khác. Các ví dụ khác về sự thay đổi, thay thế và sửa đổi là có thể xác định được bởi người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này và có thể được thực hiện mà không tách rời khỏi ý tưởng và phạm vi được bộc lộ trong bản mô tả này.

Để hỗ trợ cho cơ quan sáng chế và bất kỳ độc giả nào đọc bất kỳ văn bằng bảo hộ nào được cấp cho sáng chế này trong việc diễn giải các yêu cầu bảo hộ đi kèm theo đây, Người nộp đơn lưu ý rằng họ không dự định viện dẫn đến Điều 35 U.S.C. § 112(f) cho bất kỳ yêu cầu bảo hộ nào trong số các yêu cầu bảo hộ đi kèm theo đây vì nó tồn tại vào ngày nộp đơn của nó, trừ khi các từ “phương tiện để” hoặc “bước để” được sử dụng một cách rõ ràng trong yêu cầu bảo hộ cụ thể.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp lắng đọng perovskit không dung môi, phương pháp này bao gồm các bước:

nạp chất đích chì và nền vào buồng lắng đọng;

giảm áp suất trong buồng lắng đọng xuống thấp hơn hoặc bằng 5×10^{-6} Torr ($\sim 6,67 \times 10^{-4}$ Pa);

hóa hơi chất đích chì;

lắp đầy lại, bằng cách sử dụng bộ điều chỉnh lưu lượng khối (MFC), buồng lắng đọng bằng hơi của tiền chất muối để tạo thành màng mỏng trên nền, trong đó tiền chất muối này bao gồm hydro iodua, và trong đó bước lắp đầy lại xảy ra với tốc độ nằm trong khoảng từ 2 đến 100 cm³/phút, và trong đó màng mỏng này bao gồm chì iodua;

chuyển màng mỏng này vào bộ làm bay hơi bằng nhiệt; và

lắng đọng tiền chất muối thứ hai trên màng mỏng để tạo thành vật liệu perovskit trên nền, trong đó tiền chất muối thứ hai này được chọn từ nhóm bao gồm formamidinium iodua, metyl amoni iodua, và tổ hợp của chúng.

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó 20 nm đầu tiên của của các lớp lắng đọng được tạo ra với tốc độ khoảng 0,5 Å/giây.

3. Phương pháp theo điểm 1, trong đó:

bước hóa hơi xảy ra bằng cách cấp chùm điện tử vào chất đích chì.

4. Phương pháp theo điểm 1, trong đó:

bước hóa hơi xảy ra bằng cách cấp hồ quang catot vào chất đích chì; và

áp suất trong buồng được làm giảm xuống khoảng từ 10^{-8} đến 10^{-12} Torr (từ $\sim 1,3 \times 10^{-6}$ đến $\sim 1,3 \times 10^{-10}$).

5. Phương pháp theo điểm 1, trong đó:

bước hóa hơi xảy ra bằng cách cấp laze xung vào chất đích chì; và

áp suất trong buồng được làm giảm xuống khoảng từ 10^{-8} đến 10^{-12} Torr (từ $\sim 1,3 \times 10^{-6}$ đến $\sim 1,3 \times 10^{-10}$).

6. Phương pháp theo điểm 1, trong đó chất đích chì chứa chì (Pb).

1/1

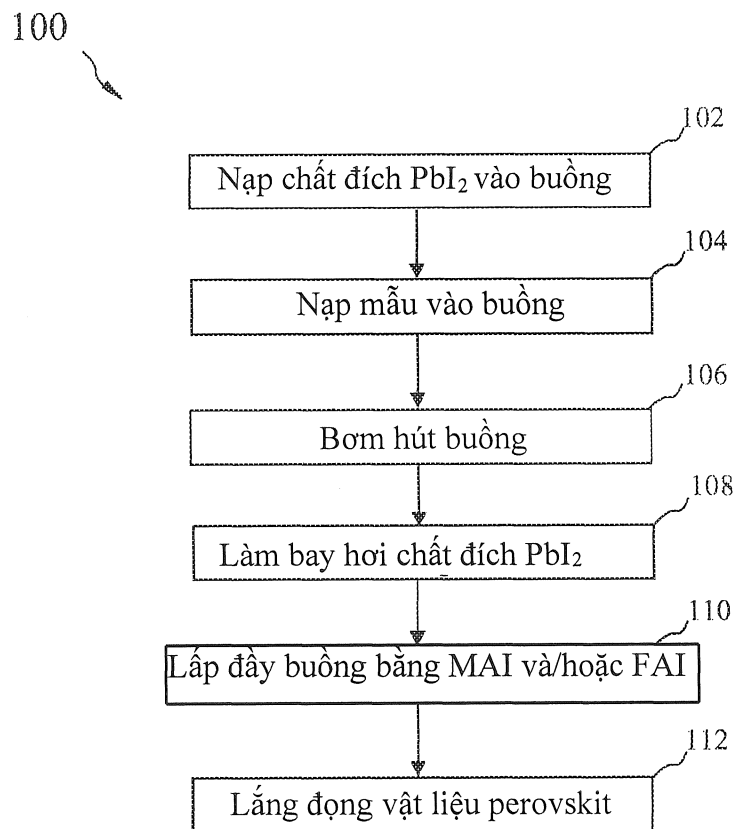


FIG. 1