



(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)



1-0031582

(51)⁷ H01L 21/00

(13) B

(21) 1-2017-03023

(22) 14/10/2015

(86) PCT/US2015/055460 14/10/2015

(87) WO 2016/122731 A1 04/08/2016

(30) 62/107,711 26/01/2015 US; 62/239,115 08/10/2015 US

(45) 25/04/2022 409

(43) 25/10/2017 355A

(73) 1366 TECHNOLOGIES, INC. (US)

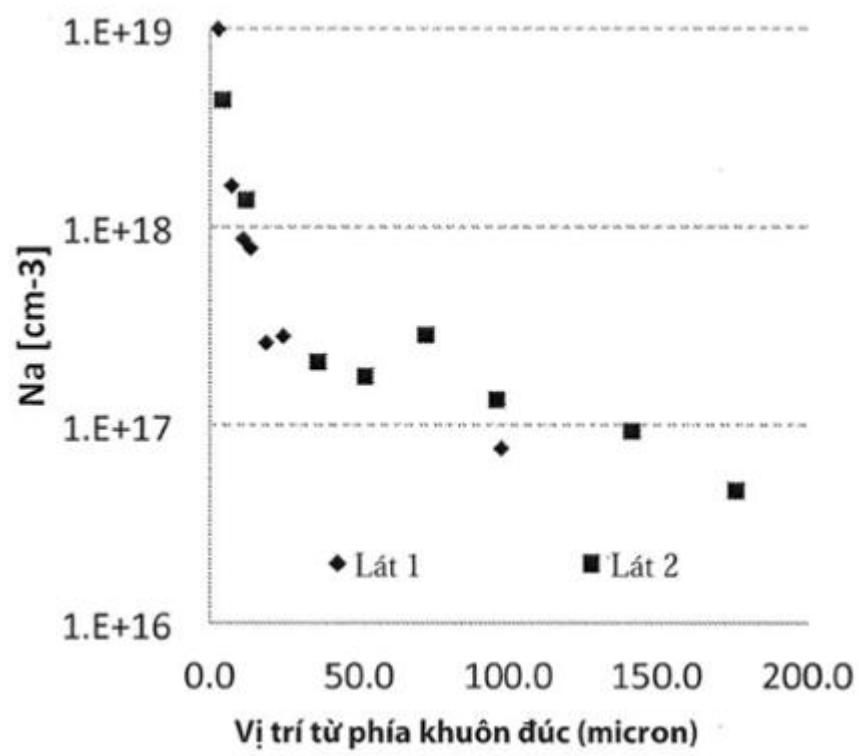
6 Preston Court, Bedford, MA 01730, United States of America

(72) JONCZYK, Ralf (DE); KERNAN, Brian, D. (US); HUDELSON, G.D. Stephen (US); LORENZ, Adam, M. (US); SACHS, Emanuel, M. (US).

(74) Công ty TNHH Quốc tế D&N (D&N INTERNATIONAL CO.,LTD.)

(54) PHƯƠNG PHÁP CHẾ TẠO LÁT BÁN DẪN

(57) Sáng chế đề cập đến bộ thu năng lượng mặt trời, lát bán dẫn và phương pháp chế tạo lát bán dẫn. Lát bán dẫn hình thành trên khuôn chứa chất pha tạp. Chất pha tạp kích thích vùng nóng chảy liên sát khuôn. Ở đó, nồng độ chất pha tạp ở đó cao hơn ở khối nóng chảy. Lát bắt đầu hóa rắn. Chất pha tạp khuếch tán kém trong chất bán dẫn rắn. Sau khi lát bắt đầu hóa rắn, chất pha tạp có thể không hòa vào vật liệu nóng chảy. Sau đó, nồng độ chất pha tạp trong phần nóng chảy sát mặt lát thấp hơn nồng độ chất pha tạp có mặt trong lát bắt đầu hình thành. Các vùng lát mới tăng lên từ vùng nóng chảy mà nồng độ chất pha tạp của nó giảm theo thời gian. Việc này hình thành gradien chất pha tạp trong lát có nồng độ cao hơn sát khuôn. Gradien có thể được điều chỉnh. Gradien sinh ra trường mà có thể có chức năng như trường trôi hoặc trường mặt sau. Các bộ thu năng lượng mặt trời có thể có dây dẫn dạng lưới hở và vật phản xạ quang tốt hơn ở mặt sau, có thể được tạo ra bởi trường mặt sau bên trong.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến bộ thu năng lượng mặt trời, lát bán dẫn và phương pháp chế tạo lát bán dẫn.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Lát bán dẫn có thể được chế tạo trực tiếp từ phần nóng chảy bán dẫn, thường sử dụng các kỹ thuật được bộc lộ trong bằng sáng chế Mỹ số 8,293,009, cấp ngày 23 tháng 10 năm 2012, có tên “phương pháp tạo ra hiệu dụng các vật thể bán dẫn mỏng từ phần nóng chảy cho pin mặt trời và vật liệu tương tự”, của Sachs, và các công sự, được đưa vào đây bằng cách viện dẫn toàn bộ.

Các bộ thu năng lượng mặt trời thông thường bao gồm các lát bán dẫn có một phần tương đối dày hơn, trong đó có các hạt mang chính, ví dụ các lỗ mạng, và nhiều vùng mỏng hơn trong đó có loại hạt mang ngược, trong trường hợp đó, các electron là các hạt mang chính. Hai phần này gặp nhau ở chỗ được gọi là mặt tiếp giáp p/n. Trong lát chuẩn công nghiệp có độ dày 180 micrômet, phần loại p có độ dày 180 micrômet, và phần loại n dày khoảng 0,5 micrômet. Trong các lát thông thường này, sự pha tạp là đều trên toàn bộ phần dày hơn của lát, như phần loại p, được pha tạp với các chất nhận (các lỗ) trong lát loại p, như lát silic được pha tạp với bo (B). Trong bộ thu này, hạt mang điện tích phụ có điện tự do di chuyển theo cách về cơ bản là ngẫu nhiên, việc khuếch tán ngẫu nhiên từ điểm sinh ra của chúng (ở mỗi phần, nhưng chủ yếu ở đây đề cập đến phần dày hơn). Một số hạt mang phụ có thể đi về phía mặt tiếp giáp p/n thu, còn một số, đi theo các hướng khác. Tình trạng này không mang lại hiệu dụng. Đã biết rằng việc tạo ra điện trường sẽ đẩy hạt mang điện tích phụ về phía mặt tiếp giáp p/n thu có thể, cùng với các hạt khác, cũng làm tăng hiệu suất. Điện trường này hướng về mặt tiếp giáp p/n và sẽ khiến cho hạt mang điện tích phụ được tạo ra để di chuyển có ưu tiên về phía mặt tiếp giáp p/n thu. Sự ưu tiên có hướng này sẽ làm tăng hiệu suất thu của pin mặt trời. Người ta tin rằng hiệu suất này không thể đạt được bằng bất kỳ phương pháp cô đặc nóng chảy nào sử dụng để cắt các lát từ các thỏi hoặc cục dày. Trường này đôi khi được gọi là trường trôi.

Đã có nhiều nỗ lực để tạo ra trường trôi điện này trong lát đã có sẵn gradien pha tạp, nó thiết lập một điện trường hướng về phía mặt tiếp giáp p/n thu. Giải pháp đã biết này được mô tả trong đơn sáng chế PCT số PCT/NL2005/000422, công bố số WO2005122287A1, có tên là, phương pháp sản xuất lá silic dạng tinh thể. Đơn sáng chế này được chuyển nhượng cho Stichting Energie, và giải pháp sau đây được gọi là giải pháp Stichting. Giải pháp Stichting có các nhược điểm lớn. Vật liệu bán dẫn chính là silic, và chất pha tạp là gali. Biên dạng của mức pha tạp được tạo ra bằng cách làm nguội nhanh vật thể nóng chảy, ở đó việc làm nguội nhanh ban đầu dẫn đến sự phân tách bị yếu đi ở mặt hóa rắn ban đầu và vì quá trình làm nguội chậm lại, gali sẽ ưu tiên tách khỏi mặt hóa rắn tiếp sau đó, do gali có hệ số phân tách cân bằng lớn (vào khoảng 0,008). Sự phân tách bị yếu đi có nghĩa là quá trình làm nguội diễn ra đủ nhanh sao cho hệ số phân tách thực của chất pha tạp gali là cao hơn gấp 10 lần hệ số phân tách cân bằng. Hệ số phân tách bằng 1 có nghĩa là không có sự ưu tiên về sự phân tách giữa các pha lỏng và rắn, thể hiện giá trị tối đa cho hệ số phân tách. Đối với chất pha tạp phân tách yếu như bo, nếu hệ số cân bằng là 0,8, thì sự tăng thêm tối đa của cơ chế bị suy yếu sẽ chỉ là 1,25 lần.

Hệ quả tất yếu của việc làm nguội nhanh này không được đề cập trong đơn sáng chế của Stichting, nhưng điều này là hiển nhiên đối với người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này. Các chất pha tạp kim loại trong vật liệu nóng chảy cũng cần được đưa vào chất rắn của tinh thể bán dẫn được hóa rắn và làm nguội nhanh ban đầu đến một độ lớn và không chấp nhận được. Phương pháp làm việc của Stichting mang đến ưu điểm về hệ số phân tách gali tương đối lớn (số lượng rất nhỏ), để thu được gradien theo nồng độ. Nhưng các chất pha tạp kim loại cũng có các hệ số phân tách tương đối lớn (số lượng rất nhỏ), và gali có mặt ở một mức độ vừa đủ để tạo ra biên dạng pha tạp có thể sử dụng, ngoài ra cần thiết là mọi chất pha tạp kim loại cũng cần có mặt trong tinh thể hóa rắn ở mức độ cao và không chấp nhận được nữa. Vì vậy, mặc dù biên dạng pha tạp được tạo ra bằng phương pháp Stichting, bất kỳ vật thể được tạo ra cơ bản sẽ không có ích cho sự thu năng lượng mặt trời, có chất pha tạp ở mức độ ít nhất một bậc độ lớn cao hơn hàm lượng kim loại so với phương pháp tách cân bằng.

Nói khác đi một chút, để đạt được độ chênh lệch 10 lần (theo độ lớn) khi pha tạp từ phần lát này đến phần lát khác, phương pháp Stichting vốn đã có cùng hệ số

này, tức là, kim loại ở vùng pha tạp cao hơn gấp 10 lần so với kim loại sẽ có mặt ở vùng pha tạp thấp hơn. Người có trình độ trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này hiểu rằng hàm lượng kim loại cao như vậy (cũng như hàm lượng kim loại khác nhau (hoặc các chất pha tạp khác)) có các ảnh hưởng có hại nghiêm trọng. Ví dụ, tuổi thọ hạt mang phụ sẽ là thấp hơn hạt mang không có các chất pha tạp này. Tuổi thọ thấp hơn này dẫn đến việc pin hoạt động kém hiệu dụng hơn so với pin có tuổi thọ cao hơn.

Một trường hợp giả thiết nhưng có lý minh họa các vấn đề này. Xét trường hợp trong đó có 1ppm kim loại trong phần nóng chảy, với hệ số phân tách cân bằng $k = 10^{-6}$, ví dụ sắt (Fe). Theo phương pháp Stichting, trường hợp này sẽ đạt kết quả là 5×10^{11} nguyên tử/cm³ kim loại trong lát. Điều này dẫn đến tuổi thọ hạt mang phụ vào khoảng 7 micro giây, điều này đạt được hiệu suất 16,4%.

Một kiểu trường khác tác động lên các lát sử dụng trong các bộ thu năng lượng mặt trời đã biết được gọi là trường mặt sau (back surface field- BSF). Thông thường các pin thường có trường mặt sau. Trường này làm giảm tốc độ tái hợp mặt sau hữu hiệu và cải thiện tần suất thu thập các hạt mang phụ. Cách thông thường để đạt được điều này để tạo ra lớp nhôm hoặc hợp kim nhôm mỏng ở mặt sau trong quá trình chế tạo. Việc ứng dụng nhôm có nhiều nhược điểm. Thứ nhất, đây là một bước riêng trong quá trình chế tạo, do đó làm tăng thêm sự phức tạp, sự phức tạp này sẽ không có nếu không cần đến lớp nhôm này. Thứ hai, nhôm là vật phản xạ khá kém của ánh sáng bước sóng dài. Vì vậy, khi lớp mặt sau bằng nhôm có mặt, một lượng ánh sáng bước sóng dài tương đối cao không được phản xạ, và bị mất đi. Sẽ là có lợi về khả năng phản xạ và nhờ đó thu được một số hoặc toàn bộ ánh sáng bước sóng dài này. (Như một điểm cần làm rõ, lưu ý là thảo luận BSF đề cập đến lực đẩy, hoặc sự phản xạ của hai thực thể hoàn toàn khác nhau - các hạt mang phụ được đẩy ra khỏi mặt sau của trường BSF. Một số photon nhất định không được phản xạ đầy đủ từ mặt sau vì chúng được hấp thụ hoặc ít nhất, không được phản xạ, bởi lớp nhôm gây ra trường BSF.)

Vì vậy, có nhu cầu về các lát bán dẫn mà có phương tiện để tạo ra trường điện từ có hướng để đẩy hạt mang điện tích phụ (chủ yếu ở phần lát dày hơn) đến mặt tiếp giáp p/n thu. Một nhu cầu khác về các lát này có các đặc tính dẫn điện vượt trội và mức chất pha tạp tương đối thấp. Ngoài ra một nhu cầu khác về các lát này được pha tạp bởi các chất pha tạp không có hệ số phân tách quan trọng. Cũng có nhu cầu về các

lát bán dẫn loại p có chất pha tạp được tạo biên dạng, và cũng có nhu cầu về các lát bán dẫn loại n. Còn có nhu cầu về phương pháp chế tạo các lát này. Cũng có nhu cầu về các bộ thu năng lượng mặt trời và các tấm năng lượng mặt trời tích hợp các lát bán dẫn.

Bên cạnh đó có nhu cầu về các lát dùng trong pin năng lượng mặt trời trong đó trường BSF có thể được tạo ra mà không cần bước chế tạo dành riêng cho mục đích đó, và cũng không cần lớp nhôm phản xạ kém về mặt quang học ở mặt sau. Hơn nữa, nhu cầu về lát bán dẫn mà có thể được cấu tạo để cho phép phản xạ lượng ánh sáng bước sóng dài tương đối lớn và nhờ vậy thu được bước sóng này trong lát và pin.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Do vậy, mục đích của sáng chế là đề xuất lát bán dẫn có phương tiện để tạo ra trường điện từ theo hướng thúc đẩy hạt mang điện tích phụ đến mặt tiếp giáp p/n thu. Mục đích khác của sáng chế là đề xuất lát bán dẫn có các đặc tính điện vượt trội và có mức chất pha tạp tương đối thấp. Một mục đích khác của sáng chế là đề xuất lát được pha tạp bởi chất pha tạp không có hệ số phân tách đáng kể. Mục đích khác nữa của sáng chế là đề xuất lát được tạo biên dạng chất pha tạp của lát bán dẫn loại p với chất pha tạp, và cũng của lát bán dẫn loại n. Mục đích khác nữa của sáng chế là đề xuất lát có trường BSF, trường này không có mặt sau bằng nhôm. Mục đích khác nữa là đề xuất phương pháp chế tạo bất kỳ và tất cả lát bán dẫn này. Mục đích khác nữa là đề xuất pin năng lượng mặt trời tích hợp lát có trường trôi hoặc trường BSF hoặc cả hai. Vẫn còn một mục đích khác nữa là đề xuất pin năng lượng mặt trời có hiệu suất cao hơn để thu ánh sáng bước sóng dài, so với các pin có các mặt phẳng BSF bằng nhôm.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Các mục đích này và các mục đích khác đạt được bởi sáng chế được thể hiện đầy đủ hơn trên một số hình vẽ, cụ thể như sau:

Fig.1A là sơ đồ thể hiện theo mặt cắt ngang khuôn được xử lý có tác nhân chất pha tạp xử lý phần nóng chảy của vật liệu bán dẫn;

Fig.1B là sơ đồ thể hiện theo mặt cắt ngang khuôn đã xử lý trên Fig.1A tiếp xúc phần nóng chảy, với phần trên của phần nóng chảy có một số vật liệu xử lý hòa vào phần nóng chảy;

Fig.1C là sơ đồ thể hiện theo mặt cắt ngang khuôn đã xử lý trên Fig.1B vẫn tiếp xúc phần nóng chảy, với lát hóa rắn trên khuôn, và phần nóng chảy lớn hơn phần được thể hiện trên Fig.1B có một số vật liệu xử lý hòa vào phần nóng chảy lớn hơn;

Fig.1D là sơ đồ thể hiện theo mặt cắt ngang khuôn đã xử lý trên Fig.1C vẫn tiếp xúc phần nóng chảy, với nhiều lát dày hơn hóa rắn trên khuôn, và với phần nóng chảy thậm chí còn lớn hơn phần được thể hiện trên Fig.1C có một số vật liệu xử lý hòa vào phần nóng chảy lớn hơn;

Fig.2A là sơ đồ thể hiện theo mặt cắt ngang lát được tạo thành trên khuôn như thể hiện trên Fig.1D, với biên dạng pha tạp gradient;

Fig.2B là sơ đồ thể hiện theo mặt cắt ngang lát trên Fig.2A sau khi pha tạp vật liệu loại n đã được bổ sung vào một phía, nhờ đó tạo thành mặt tiếp giáp p/n, và vùng pha tạp cao hơn đã được tạo thành ở phía đối ngược vật liệu loại n, điều này tạo ra trường BSF;

Fig.3 là sơ đồ thể hiện theo mặt cắt ngang khuôn theo sáng chế được xử lý bằng vật liệu pha tạp trên toàn bộ thể tích của nó;

Fig.4 là sơ đồ thể hiện theo mặt cắt ngang khuôn theo sáng chế được xử lý bằng vật liệu pha tạp ở cặp lớp hoặc lớp phủ trên hoặc gần với một mặt;

Fig.5 thể hiện dạng đồ thị mối quan hệ giữa các chất nhận (N_a / cm^3) và vị trí từ phía khuôn, của các lát đại diện được tạo ra theo sáng chế;

Fig.6A là sơ đồ thể hiện theo mặt cắt ngang lát đã biết trong lĩnh vực cũ sử dụng trong bộ thu năng lượng mặt trời có điện cực mặt sau bằng hợp kim nhôm;

Fig.6B là sơ đồ thể hiện theo mặt cắt ngang lát theo sáng chế sử dụng trong bộ thu năng lượng mặt trời, với mặt sau được pha tạp cao do biên dạng pha tạp, mà không có điện cực mặt sau làm bằng hợp kim nhôm, nhưng có điện cực lưới hở và vật phản xạ quang hiệu suất cao;

Fig.7 thể hiện dạng đồ thị mối quan hệ giữa hiệu suất lượng tử so với bước sóng ánh sáng tới hạn cho hai cấu hình khác nhau, bao gồm cả các cấu hình được thể hiện trên các Fig. 6A và Fig.6B.

Fig.8A là sự biểu diễn bằng sơ đồ về lát theo sáng chế, thể hiện sự phân tách các nguyên tử pha tạp bù chất cho ở các biên hạt; và

Fig.8B là sự biểu diễn bằng sơ đồ về lát theo sáng chế, thể hiện trên Fig.8A, còn thể hiện sự phân tách các nguyên tử pha tạp bù ngược chất nhận ở các biên hạt.

Mô tả chi tiết sáng chế

Lát được tạo ra trên khuôn, theo một số cách khuôn này có chất pha tạp. Chẳng hạn, khuôn có thể có lớp phủ chứa chất pha tạp. Để tạo ra lát loại p bằng cách sử dụng silic, chất pha tạp có thể là bo, chất pha tạp này tạo ra chất nhận electron bổ sung. Khi khuôn đun nóng, chất pha tạp hòa vào phần nóng chảy (bằng một số phương thức có thể), do đó việc pha tạp một vùng của phần nóng chảy ngay gần khuôn, sao cho trong vùng liền kề đó, nồng độ của chất pha tạp (như bo) tương đối cao hơn so với nồng độ của chất pha tạp trong khối phần nóng chảy. Trong thời gian rất ngắn, lát bán dẫn bắt đầu hóa rắn trên mặt khuôn. Chất pha tạp, như Bo, không phân tán đáng kể trong silic rắn. Vì vậy, sau khi lát rắn được tạo ra, chất pha tạp có thể không còn hòa vào phần nóng chảy trong khuôn nữa, bởi vì, silic rắn trên mặt khuôn có vai trò như là chất ngăn khuếch tán chất pha tạp bo. Ở thời điểm này và sau đó, nồng độ chất pha tạp bo trong vùng phần nóng chảy liền kề mặt lát đang tăng lên sẽ ít hơn nồng độ có trong vùng phần nóng chảy mà tạo ra lát đã hình thành đầu tiên. Do lát tiếp tục tăng lên, các vùng lát mới, bổ sung được tạo ra từ vùng tăng lên mới của phần nóng chảy, vùng này có nồng độ chất pha tạp bo, mà theo thời gian ngày càng trở nên bé hơn và thấp hơn. Sự giảm dần chất pha tạp liên tục trong mỗi vùng tăng lên mới liên tiếp tạo ra gradien hoặc biên dạng chất pha tạp bo, với nồng độ cao hơn có mặt ở lát liền kề khuôn mà đã hóa rắn đầu tiên, và nồng độ bo thấp hơn ở phía phần nóng chảy của lát hóa rắn, mà được hóa rắn sau cùng. Gradien có thể được điều chỉnh bằng nhiều cách khác nhau. Gradien trong quá trình pha tạp sẽ gây ra điện trường chỉ theo một hướng cụ thể, và cường độ điện trường ở vị trí bất kỳ có liên quan đến mức gradien ở vị trí đó và các vị trí liền kề. Điện trường như vậy có thể có sự ảnh hưởng lên hạt mang điện tích phụ trong lát đối với bộ thu năng lượng mặt trời.

Một biên dạng nồng độ gradien có thể có ích để tạo ra trường trôi trong lát. Một biên dạng khác có thể có ích để tạo ra trường mặt sau trong lát. Các lát theo sáng chế có thể được sử dụng trong pin năng lượng mặt trời. Hiệu suất cao hơn được gia tăng do trường trôi, hiệu suất này gia tăng sự thu thập các hạt mang trong pin. Hiệu suất cao hơn cũng đạt được do bố trí các vật phản xạ tốt hơn ở mặt sau, có thể khiến cho trường mặt sau bên trong sinh ra từ biên dạng pha tạp, việc này cho phép loại bỏ các vật phản xạ kém so với chuẩn công nghiệp trong các phần tử mặt sau bằng hợp

kim nhôm.

Một đặc điểm liên quan tới nồng độ pha tạp cục bộ theo phương thức tắt định là điện trở suất cục bộ. Trong điện trở suất cũng có gradien, và bằng cách đo điện trở suất ở các vị trí khác nhau, nồng độ có thể được xác định. Vì vậy, có thể có cách tương tự để suy luận và phân tích gradien trong nồng độ chất pha tạp và do vậy gradien của điện trường được tạo ra được xem xét là biên dạng điện trở suất, từ mặt lát này đến mặt lát khác.

Các phương pháp theo sáng chế gồm phương pháp tạo ra một lát bán dẫn từ phần nóng chảy. Phương pháp theo sáng chế còn bao gồm việc tạo ra nhiều lát bán dẫn từ cùng một phần nóng chảy, gồm các bước bù trong phần nóng chảy để tích tụ chất pha tạp chính trong phần nóng chảy mà nếu không sẽ là quá cao để đối với các lát cần tạo ra ở nồng độ chất pha tạp thực đích để đạt được điện trở suất khối đích dùng trong pin năng lượng mặt trời. Sự bù đạt được bằng cách cung cấp cho phần nóng chảy chất pha tạp bù thuộc loại chất nhận/chất cho ngược (ví dụ, để bù chất pha tạp là chất nhận bo, có thể sử dụng chất pha tạp là chất cho photpho), theo chu kỳ càng nhiều lát được tạo ra. Trong một số trường hợp, chất pha tạp bù có thể phân tách một cách không cân đối đối với các biên hạt, điều này có thể là nhược điểm. Trong các trường hợp như vậy, phương pháp theo sáng chế thêm chất pha tạp bù ngược (đối với hệ bo (chất nhận) và photpho (chất cho), chất pha tạp bù ngược này có thể là chất nhận, như gali chẳng hạn, có hằng số phân tách quan trọng phù hợp, để giảm đến mức thấp nhất các hiệu ứng điện về nồng độ của chất pha tạp bù ở các biên hạt.

Như nêu trên, lát bán dẫn thông thường để sử dụng với bộ thu năng lượng mặt trời có một phần tương đối dày, trong đó hạt mang chính thuộc loại chất cho/chất nhận, ví dụ, loại p điển hình. Các lát này được tạo ra, và sau đó được xử lý sao cho một mặt được pha tạp để có hạt mang chính thuộc loại chất cho/chất nhận ngược nhau, do đó, trong trường hợp lát phần lớn là lát loại p, thì xử lý lát loại n. Đối với lát thông thường, phần thứ nhất về cơ bản có độ dày lớn là 180 micrômet, và phần loại khác sẽ chỉ dày khoảng 0,5 micrômet. Mặt tiếp giáp giữa hai phần này được biết là mặt tiếp giáp p/n. Phần mô tả dưới đây chủ yếu đề cập đến phương pháp mới tạo ra phần dày hơn tương đối, thường là phần loại p. Phương pháp được mô tả dưới đây thường được sử dụng để tạo ra lát như vậy. Mặt tiếp giáp p/n và phần loại hạt mang ngược sẽ được tạo ra trên một mặt sau khi tiến hành các bước được mô tả trong sáng

chế này. Các phương pháp này cũng có thể được sử dụng để tạo ra lát dày, chủ yếu là loại n. Trong lát theo sáng chế, có biên dạng gradien pha tạp từ mặt của lát tăng lên đến mặt của tầng lên khác. Biên dạng gradien pha tạp này sẽ gây ra điện trường trong lát tăng lên cuối cùng, trường này có thể hoạt động như trường trôi, và ngoài ra hoặc tương tự như trường mặt sau (BSF).

Các hình vẽ trên Fig. 1A, 1B, 1C và 1D thể hiện khuôn 110 (đôi khi còn được gọi là đế), theo một số cách đế này được tạo ra có chất pha tạp, mà lát 100 được tạo ra trên đó (Fig.2A). Chẳng hạn, khuôn 110 có thể có lớp phủ 112 chứa chất pha tạp 114. Để tạo ra lát loại p bằng cách sử dụng silic nóng chảy, chất pha tạp có thể là bo (bo là chất nhận mang điện tích). Phương án khác, thể hiện dưới dạng sơ đồ trên Fig.3 có khuôn 310 có chất pha tạp 314 được phân bố đều hoặc theo một số chế độ khác phân bố khắp vật thể của nó. Một số phương án khác gồm xử lý chất pha tạp trên khuôn được mô tả dưới đây. Ứng dụng phổ biến nhất của sáng chế này là các lát bán dẫn loại p và do đó có thể ứng dụng cho các chất pha tạp là chất nhận. Do vậy, phần mô tả này sẽ tập trung chủ yếu vào các kết hợp này. Tuy nhiên, sáng chế này cũng có thể được sử dụng với các chất bán dẫn loại n và các chất pha tạp là chất cho mang điện tích. (Ví dụ về các hệ này có thể là để được pha tạp photpho, bằng việc bù bo nóng chảy.) Ngoài ra, kết hợp khác cũng có thể có và được mô tả dưới đây.

Chất pha tạp chính, như bo, có thể ở vị trí bất kỳ trên bề mặt của khuôn 110, hoặc nằm trong vật thể của khuôn 310. Tuy nhiên, cần tin rằng nếu chất pha tạp này có mặt trong một vùng của khuôn gần phần nóng chảy nhất, như lớp phủ 112 hoặc vùng trong vật thể 310 ngay sát bề mặt, thì điều này là có lợi nhất, như được mô tả dưới đây. Nhiều chất bán dẫn khác nhau có thể được sử dụng làm thành phần nóng chảy chính. Silic rất hay được sử dụng và sẽ được sử dụng làm ví dụ đại diện trong phần mô tả dưới đây. Tương tự, các chất pha tạp khác có thể được sử dụng. Bo sẽ được sử dụng làm ví dụ chất pha tạp đại diện trong phần mô tả dưới đây. Tuy nhiên, tính tổng quát của bản mô tả này không chỉ giới hạn ở silic như chất bán dẫn hoặc bo như chất pha tạp. Tất cả các lựa chọn thích hợp đều được xem là các khía cạnh của sáng chế. Chẳng hạn, đối với silic như chất bán dẫn, ví dụ về chất pha tạp bao gồm, nhưng không chỉ giới hạn ở: bo (B), nhôm (Al), gali (Ga) và indi (In). Đối với các lát loại n, chất pha tạp bao gồm, nhưng không giới hạn ở: photpho (P), Arsen (As), chì (Sb) và Bitmut (Bi).

Khi khuôn 110 nóng lên, như khi khuôn này tiếp xúc với chất bán dẫn nóng chảy 116, chẳng hạn, silic nóng chảy, chất pha tạp như bo 314 trong khuôn (Fig. 3) hoặc bo 114 của lớp phủ khuôn 112 hòa vào phần nóng chảy 116, nhờ đó pha tạp vùng 118b của phần nóng chảy 116 ngay cạnh khuôn 110, sao cho liên kết khuôn, nồng độ bo 114b tương đối cao hơn so với nồng độ bo trong khối (các vùng còn lại) 120 của phần nóng chảy 116. Phương án như thể hiện trong các hình vẽ trên Fig. 1A, Fig.1B, Fig.1C và Fig.1D sử dụng lớp phủ 112 sẽ được mô tả trước tiên. Như được thể hiện trên Fig.1C, trong thời gian rất ngắn (ví dụ, từ vài mili giây đến vài giây) lát bán dẫn (ví dụ, silic) 100, bắt đầu hóa rắn trên bề mặt 122 của khuôn 110.

Khuôn này có thể được làm nóng theo các cách khác (chẳng hạn, khuôn có thể được làm nóng trước trước khi tiếp xúc với phần nóng chảy). Thường có lợi nếu khuôn mát hơn phần nóng chảy khi nó tiếp xúc với silic lỏng để cho phép tỏa nhiệt tốt nhất và nhờ đó hóa rắn silic nóng chảy. Quy trình hóa rắn này sẽ làm cho khuôn nóng lên so với nhiệt độ ban đầu của nó.

Bo không khuếch tán đáng kể trong silic rắn. Do vậy, như được thể hiện trên Fig.1C, sau khi lát rắn 100 được tạo ra, bo 114 có thể không hòa vào phần nóng chảy 116 từ khuôn/đế 110 nữa do silic rắn 100 đã được tạo ra trên bề mặt khuôn 122 và silic rắn này có tác dụng như chất ngăn khuếch tán bo. (Đây cũng thường là trường hợp của các chất pha tạp và các hệ lát bán dẫn khác được mô tả trong bản mô tả này.) Thông thường, độ dày một vài micrômet của vật liệu rắn đủ để ngăn không cho khuếch tán thêm. Độ dày này ban đầu có thể xuất hiện ở các vị trí cách nhau xa trên bề mặt khuôn, nhưng tương đối nhanh, độ dày hóa rắn ở mọi nơi trên khuôn đủ để ngăn không cho khuếch tán thêm. Lúc này, nồng độ bo 114c ở vùng 118c của phần nóng chảy 116 liền kề mặt tăng lên 111 của lát 100 sẽ nhỏ hơn nồng độ bo 114b có trong vùng 118b nơi mà lát 100 bắt đầu hình thành trước tiên, ngay sau khi bề mặt khuôn 122 tiếp xúc với phần nóng chảy 116, như được thể hiện trên Fig.1B, do các nguyên tử bo 114c đã khuếch tán và di chuyển theo sự đối lưu ra khỏi khuôn 110 và lát tăng lên 100 và ra khỏi vùng 118c liền kề khuôn 110 và mặt tăng lên 111 của lát 100, vào phần nóng chảy 116.

Do lát 100 tiếp tục tăng lên (tức là, dày lên) trong thời gian vài giây tiếp theo, vùng mới, bổ sung của lát tạo thành 100 được tạo ra ở bề mặt 111 từ vùng tăng lên mới 118c, 118d của phần nóng chảy liền kề với mặt tăng lên 111, trong đó vùng tăng

lên mới 118d này có nồng độ bo 114d trở nên bé hơn và ít hơn theo thời gian. Đối với mỗi lượng lát bán dẫn tăng lên kế tiếp, vùng tăng lên mới 118 cách xa thêm một cách tăng lên rất ít so với khuôn, nguồn ban đầu của chất pha tạp. Chất pha tạp nhanh chóng khuếch tán vào trong khối 120 của phần nóng chảy 116, cách khỏi khuôn 110.

Fig.2A thể hiện lát silic tăng lên 100. Việc giảm liên tục chất pha tạp trong mỗi vùng tăng lên mới tiếp theo 118 hình thành gradient của chất pha tạp bo trong lát tăng lên 100, như được thể hiện trên Fig.2A, với nồng độ bo cao hơn có mặt ở phần 132 của lát liền kề với khuôn 110 và bề mặt 122 của nó khi lát hoàn thành sự tạo hình của nó, mặt 132 hóa rắn đầu tiên từ vùng 118 của phần nóng chảy 116 khi nó có nồng độ bo tương đối cao. Có nồng độ bo thấp hơn ở bề mặt 136 của lát hóa rắn 100, hóa rắn cuối cùng, từ vùng 118 của phần nóng chảy (tương đối xa mặt khuôn 122, có hàm lượng bo ở vị trí đó) tại thời điểm khi và vị trí mà phần nóng chảy có nồng độ bo tương đối thấp hơn.

Phần mô tả tiếp theo tập trung vào các vùng tiếp theo của lát tăng lên 100 và các vùng tăng lên mới tiếp theo 118 của phần nóng chảy, như thể các vùng tăng lên này rời rạc theo từng lớp như các tờ giấy. Thực tế là, sự tăng lên của lát là liên tục, theo từng nguyên tử, và sự khuếch tán của chất pha tạp vào phần nóng chảy cũng là liên tục, theo từng nguyên tử. Lượng chất pha tạp được đưa vào lát tăng lên tùy thuộc vào tốc độ khuếch tán tương đối của chất pha tạp vào phần nóng chảy, cách xa và nằm ngoài các vùng tăng lên mới tiếp theo liên tục của phần nóng chảy và tốc độ tăng lên của lát bán dẫn. Hai tốc độ này bị ảnh hưởng bởi khuynh hướng khuếch tán chất pha tạp trong phần nóng chảy, nhiệt độ và tốc độ tăng lên tinh thể, v.v. Do vậy, nồng độ bo trong lát thay đổi dần dần, từ bề mặt 132 mà được tạo ra ở gần khuôn nhất đến bề mặt 136, mà được tạo ra cách xa khuôn hơn, ở sâu hơn trong phần nóng chảy. (Fig.2A thể hiện ba vùng khác nhau của lát tạo thành, với ba nồng độ chất pha tạp khác nhau, riêng biệt, nồng độ này được biểu thị bằng mật độ của các đường gạch bóng ngang, các đường gạch bóng này biểu thị nồng độ chất pha tạp lớn. Điều này không có nghĩa là sự biểu diễn thực tế lát tạo thành, mà đơn thuần chỉ là giới hạn các hình vẽ, phải được thể hiện bằng màu đen và trắng trạng thái vật lý mà có thể được thể hiện tốt hơn bằng thang xám từ bề mặt 132, được tạo ra sát khuôn, đến bề mặt 136, được tạo ra xa khuôn hơn.)

Fig. 5 thể hiện nồng độ pha tạp chất pha tạp loại p cho hai lát khác nhau (được

ký hiệu là lát 1 và 2), mỗi lát có nồng độ khoảng $1 \times 10^{19} N_a / \text{cm}^3$ ở phần lát mà được tạo ra đầu tiên ngay sát khuôn, việc giảm dần theo đường cong suôn với hình dạng suy giảm hàm mũ mạnh với nồng độ N_a / cm^3 trong khoảng từ 1×10^{17} đến $1,5 \times 10^{17}$ trên dải các vị trí từ 25 đến 150 micrômet từ phần lát được tạo thành đầu tiên, ngay sát khuôn. N_a cao bằng $1 \times 10^{20} N_a / \text{cm}^3$ được tin là có thể có, và cũng tại vị trí của lát mà tạo ra cuối cùng ở xa khuôn nhất được tin là có thể có nồng độ thấp bằng $1 \times 10^{15} N_a / \text{cm}^3$. Đơn vị N_a đại diện cho một số chất nhận, như trong các chất nhận electron. Đối với chất pha tạp loại n, đơn vị tương ứng là N_d , đại diện cho một số chất cho, như trong các chất cho electron. (Trong một số trường hợp dưới đây, và trong phần yêu cầu bảo hộ, biểu thức N_x , được dùng để biểu thị N_a hoặc N_d , là trường hợp có thể có, tùy thuộc vào việc có chất cho hoặc chất nhận electron được dự định hay không.) Như có thể thấy, việc chuyển tiếp từ nồng độ tương đối cao sang nồng độ tương đối thấp là dễ dàng và liên tục.

Các lát bán dẫn có gradien pha tạp không được biết đến là đã được sản xuất trước đây, khác với loại rất giới hạn nêu trên, sử dụng phương pháp Stichting. Như được mô tả ở trên, phương pháp đó đã tạo ra chất bán dẫn có tính chất điện rất kém.

Nhắc lại ví dụ làm giả thiết nêu trên về các chất pha tạp và phương pháp Stichting, có một yếu tố là 10 sự khác biệt trong khi pha tạp, và do đó có cùng khác biệt về chất pha tạp, và 5×10^{11} nguyên tử/ cm^3 kim loại trong lát, dẫn đến tuổi thọ của hạt mang phụ khoảng 7 microgiây, đạt hiệu suất 16,4%, lát được tạo ra theo sáng chế có đặc tính tốt hơn đáng kể. Lát này có 5×10^{10} nguyên tử/ cm^3 kim loại trong lát, dẫn đến tuổi thọ của hạt mang phụ khoảng 70 microgiây, đạt hiệu suất 18,4%. Ví dụ này là giả thiết và các yếu tố khác sẽ đưa vào trường hợp vật lý thực bất kỳ, nhưng việc so sánh là thích hợp.

Trong lát được tạo biên dạng chất pha tạp theo sáng chế, nếu tạo ra từ phần nóng chảy được pha tạp với vật liệu loại p, thì lát được tạo ra trước tiên, và sau đó là vật liệu loại ngược, trong trường hợp này vật liệu loại n sẽ được tạo ra trên một mặt, nhờ đó tạo ra mặt tiếp giáp p/n. Fig.2B thể hiện dưới dạng sơ đồ mối quan hệ giữa mặt tiếp giáp p/n và biên dạng pha tạp theo sáng chế. Đối với lát loại p được tạo ra từ phần nóng chảy như nêu trên, với biên dạng pha tạp, mặt p của lát 100 (mặt được pha tạp nhiều dương) sẽ là mặt 242, có nồng độ chất pha tạp bo loại p cao hơn được tạo ra gần bề mặt khuôn 122. Mặt n của lát (mặt được pha tạp ít dương, hoặc, mặt được pha

tạp nhiều âm) sẽ được tạo ra trên mặt 246, với nồng độ chất pha tạp bo loại p ban đầu thấp hơn, nồng độ chất pha tạp này được tạo ra ở xa bề mặt khuôn 122 hơn. Sự hình thành phần loại n (hoặc được pha tạp ngược lại) 250 có thể được thực hiện bằng phương pháp thông thường bất kỳ hoặc phương pháp đang được triển khai. Thông thường, độ sâu của đoạn này chỉ dày khoảng 0,5 micrômet. Trong ứng dụng thông thường, việc pha tạp chất pha tạp loại p tạo ra N_a bo khoảng $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$. Việc pha tạp chất pha tạp loại n tạo ra N_d khoảng $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$. Do vậy, ở mặt 246, sự pha tạp chất pha tạp loại n chiếm ưu thế. Mặt tiếp giáp p/n 252 ở giữa phần loại n 250 và mặt 246 với nồng độ chất pha tạp loại p ban đầu thấp. Mặt hướng về phía mặt trời của lát này sẽ có phần loại n 250 hướng về phía mặt trời. Phần trường mặt sau 254 (được mô tả chi tiết dưới đây) cũng được thể hiện, phần này liền kề với mặt 242 có nồng độ chất pha tạp loại p ban đầu cao hơn, ở phía ngược với phía có mặt trời.

Như được mô tả ở trên, gradien chất pha tạp là có lợi bởi vì nó tạo ra điện trường hướng đến mặt tiếp giáp p/n thu đối với các hạt mang phụ. Điện trường này làm cho hạt mang điện tích phụ được tạo ra di chuyển có ưu tiên về phía mặt tiếp giáp p/n. Sự ưu tiên có hướng này làm tăng thêm hiệu dụng thu của pin năng lượng mặt trời. Người ta tin rằng hiệu quả này không thể đạt được bằng bất kỳ phương pháp pha tạp phần nóng chảy thông thường. (Trong chất bán dẫn loại p, các hạt mang phụ là các electron).

Cần lưu ý rằng việc xem xét nồng độ chất pha tạp ở các vị trí khác nhau trong vật thể của lát bán dẫn chỉ là một cách để mô tả cấu trúc và các đặc tính của nó. Một cách khác là cần xem xét điện trở suất của vật liệu ở các vị trí khác nhau trên toàn bộ vật thể của nó. Ngoài ra, đúng là do nồng độ pha tạp thực khác nhau, sẽ có một độ lệch tương ứng và liên quan về điện trở suất của lát bán dẫn ở các vị trí khác nhau trên toàn bộ vật thể. Do vậy, cũng có gradien trong điện trở suất của vật thể lát bán dẫn, gradien này nói chung ngược với gradien pha tạp thực. Do đó, có nghĩa là điện trở suất cao hơn ở các vùng có nồng độ chất pha tạp thấp và thấp hơn ở các vùng có nồng độ chất pha tạp cao. Cũng lưu ý rằng mặc dù các gradien trong nồng độ và điện trở suất này được tạo ra bởi hiện tượng được mô tả nêu trên về việc hóa rắn và phân tách phần nóng chảy, nên tương đối khó để đo lường nồng độ của vật liệu ở các vị trí khác nhau trong lát. Tuy nhiên, lại rất dễ dàng khi đo lường điện trở suất ở các vị trí này trên toàn bộ vật thể. (Việc này có thể được thực hiện bằng cách đo điện trở suất

của vật thể, loại bỏ lớp vật liệu và đo lường điện trở suất của vật thể còn lại, nhờ đó có thể xác định, từ sự chênh lệch, điện trở suất của phần đã được loại bỏ.) Từ điện trở suất đã xác định này, cũng có thể xác định nồng độ của vật liệu, tức là, nồng độ pha tạp, của lớp đã được loại bỏ. Trên từng lớp, biên dạng điện trở suất và biên dạng nồng độ pha tạp trên toàn bộ vật thể có thể được đo và nhờ đó được xác định.

Mối quan hệ giữa điện trở suất và chất pha tạp, hoặc nồng độ hạt mang là tất định và không tuyến tính. Bảng 1 dưới đây thể hiện tập hợp các trị số đại diện liên quan đến điện trở suất (ohm-cm) mặt khác liên quan đến nồng độ hạt mang chất nhận (nguyên tử/cm³) và cũng liên quan đến nồng độ hạt mang chất cho.

Điện trở suất (ohm-cm)	Nồng độ chất nhận (nguyên tử/cc ³) chất pha tạp loại p	Nồng độ chất cho (nguyên tử/cc ³) chất pha tạp loại n
0,001	$1,15 \times 10^{20}$	$7,36 \times 10^{19}$
0,01	$7,98 \times 10^{18}$	$4,38 \times 10^{18}$
0,1	$2,40 \times 10^{17}$	$7,77 \times 10^{16}$
0,3	$5,83 \times 10^{16}$	$1,87 \times 10^{16}$
0,5	$3,19 \times 10^{16}$	$1,04 \times 10^{16}$
1	$1,47 \times 10^{16}$	$4,83 \times 10^{15}$
2	$6,97 \times 10^{15}$	$2,31 \times 10^{15}$
4	$3,38 \times 10^{15}$	$1,13 \times 10^{15}$
6	$2,23 \times 10^{15}$	$7,43 \times 10^{14}$
10	$1,32 \times 10^{15}$	$4,41 \times 10^{14}$

BẢNG 1- MỐI QUAN HỆ GIỮA ĐIỆN TRỞ SUẤT VÀ NỒNG ĐỘ HẠT MANG
 Mối quan hệ này cũng có thể được biểu thị bằng biểu đồ, như trong biểu đồ lô-ga-lô-ga. Biểu đồ được thể hiện tại www.solecon.com/pdf/converting_resitivity_to_carrier_concentration_graph_sige.pdf. Đây là trang web thể hiện công việc của Solecon Laboratories of Trademark Dr., Reno, NV. Biểu đồ được thể hiện trong bản mô tả này được đưa vào đây bằng cách viện dẫn. Thang đứng biểu thị nồng độ hạt mang/cm³, với thang nằm ngang biểu thị điện trở suất (ohm-cm). Mối quan hệ giữa nồng độ hạt mang và điện trở suất thể hiện chung nồng độ cao hơn tương quan với điện trở suất thấp hơn và ngược lại. Trên

thang lôga-lôga, hệ số góc thường âm. Đồ thị pha tạp chất pha tạp loại n và loại p trong cùng chất bán dẫn, chẳng hạn, gecmani (Ge), nói chung là tương đẳng và cách xa đồ thị pha tạp chất pha tạp được đặt thay thế hướng về phía bên phải, nói chung sao cho chúng trong bán dẫn loại p, sẽ có điện trở suất cao hơn so với cùng nồng độ hạt mang trong chất bán dẫn loại n. Mỗi quan hệ giữa nồng độ hạt mang và điện trở suất của các chất bán dẫn silic thường được mô tả giống như chất bán dẫn gecmani. Các trị số được xác định bằng cách sử dụng phép phân tích điện trở phân rải (Spreading Resistance Analysis-SRA). Tác giả sáng chế giải thích rằng để tính toán các trị số nồng độ của hạt mang silic, họ sử dụng các trị số di động suy ra từ Thurber, Mattis, Liu và Filliben, Cục xuất bản đặc biệt tiêu chuẩn Quốc gia 400-64, *mối liên hệ giữa điện trở suất và chất pha tạp mật độ silic pha photpho - và Bo* (tháng 5/1981), bảng 10, trang 34 và bảng 14, trang 40. Để tính toán các trị số nồng độ hạt mang gecmani, họ sử dụng các trị số linh động của hạt mang suy ra từ D.B. Cuttriss, Bell System Technical Journal (tháng 3/1961), trang 509.

Quy trình nêu trên hoạt động rất tốt mà không cần sửa đổi để tạo ra một hoặc số lượng nhỏ lát từ một phần nóng chảy mà không cần điều chỉnh thành phần phần nóng chảy.

Một thách thức được trình bày trong quy trình này là nếu không có sự điều chỉnh, sẽ dẫn đến ngày càng nhiều lát được tạo ra, làm tăng nồng độ chất pha tạp như bo trong phần nóng chảy theo thời gian. Tức là do không phải là tất cả bo mà đã di chuyển từ khuôn trong thời gian sản xuất một lát, sẽ được đưa vào lát được tạo ra trong khoảng thời gian đó.

Sự tích tụ nồng độ trong phần nóng chảy này giới hạn số lượng lát có thể tăng lên, trước khi phần nóng chảy trở nên quá giàu chất pha tạp, ví dụ, bo, với mức pha tạp biên. Chính xác là, phần nóng chảy trở nên quá giàu trong bất cứ thứ gì mà chất pha tạp cung cấp, chất cho hoặc chất nhận electron. Cuối cùng, đạt được sự cân bằng, tại thời điểm này, lượng bo loại bỏ khỏi phần nóng chảy với sự hình thành của mỗi lát bằng với lượng bo được thêm từ khuôn vào phần nóng chảy với mỗi chu kỳ tăng lên của lát. Nồng độ bo mà ở sự cân bằng này đạt được ở đó thường quá cao để tạo ra lát pin năng lượng mặt trời thông thường có chất lượng từ phần nóng chảy giàu chất pha tạp.

Để bù cho sự tích tụ bo trong phần nóng chảy, lượng (được mô tả dưới đây)

vật liệu khác nhau, được gọi là chất pha tạp bù, chẳng hạn trong trường hợp của chất pha tạp chính là bo, chất pha tạp bù là photpho có thể được thêm trực tiếp vào phần nóng chảy. (Như được giải thích dưới đây, trong một số trường hợp có thể có chất pha tạp bù khác nữa (vì các lý do khác nhau), và trong một số trường hợp, chất pha tạp bù này đã được mô tả có thể được gọi là chất pha tạp bù thứ nhất.)

Bo là thành viên thuộc nhóm III của bảng tuần hoàn nguyên tố và có khuynh hướng lấy hoặc nhận một electron. Do vậy, bo là chất nhận electron. Photpho là thành viên thuộc nhóm V của bảng tuần hoàn nguyên tố và do vậy nó có electron dư mà có thể được cho phần nóng chảy. Do đó, photpho là chất cho electron. Do vậy, photpho bù cho các chất nhận electron dư của bo, do photpho cung cấp các electron mà bo dư có xu hướng nhận, do đó bù cho các chất nhận bo dư. Một nguyên tử photpho cho một electron, và một nguyên tử bo nhận một electron.

Photpho được thêm vào với lượng thích hợp sẽ bù cho bo dư và duy trì quá trình hình thành lát vô thời hạn tại mức chất pha tạp bo mong muốn. Lượng (được đo bởi số lượng nguyên tử) photpho (chất pha tạp là chất cho, bù) để bù xấp xỉ bằng lượng (được đo bởi số lượng nguyên tử) bo (chất pha tạp là chất nhận, chính, dư) trong phần nóng chảy nhân với hệ số phân tách k của bo và chia cho hệ số phân tách của photpho (cụ thể là $k=0,8$ đối với bo và $k=0,3$ đối với photpho).

Nói cách khác, việc pha tạp phần nóng chảy (nồng độ chất nhận hoặc chất cho, tùy từng trường hợp, tùy thuộc vào chất bán dẫn loại p hay loại n) nên theo lý tưởng được giữ ở hoặc gần với các điều kiện trong đó lát tăng lên trên khuôn không có vật liệu pha tạp có trong phần bất kỳ của khuôn hoặc lớp phủ khuôn sẽ có điện trở suất cao, như thường đối với loại n, điện trở suất lớn hơn 1 Ohm-cm, và đối với loại p, điện trở suất lớn hơn 2 Ohm-cm. Để đạt được hiệu suất này, lượng vật liệu pha tạp bù của loại n ngược với kiểu chính có trong khuôn hoặc lớp phủ, tốt hơn là nên có mặt trong phần nóng chảy với nồng độ được mô tả bằng hệ thức sau:

$$C_{cd} \text{ xấp xỉ bằng } C_{md} * (k_{md}/k_{cd})$$

trong đó:

C_{md} là nồng độ nóng chảy của chất pha tạp chính trong khuôn (bo, chẳng hạn);

C_{cd} là nồng độ nóng chảy của chất pha tạp bù (photpho cho ví dụ nêu trên về chất pha tạp chính bo);

k_{md} là hệ số phân tách hiệu dụng của chất pha tạp chính của khuôn; và

k_{cd} là hệ số phân tách hiệu dụng của chất pha tạp bù.

Lát thu được sẽ có gradien đo được trong nồng độ bo (xem Fig.5), chẳng hạn, từ khoảng $1 \times 10^{19} N_a / \text{cm}^3$ đến khoảng $1 \times 10^{17} N_a / \text{cm}^3$. Do vậy, một khía cạnh của sáng chế bộc lộ ở đây là vật phẩm sản xuất, là lát có gradien đo được trong chất pha tạp chính, như bo, nồng độ được đo từ một mặt đến mặt đối ngược. Thực tế là, hiệu số nhỏ nhất hợp lý giữa nồng độ chất pha tạp ở mặt nóng chảy và nồng độ chất pha tạp ở mặt đế là hệ số ba lần. Điều này làm tăng hiệu dụng lên 0,1% so với biên dạng pha tạp phẳng chứa cùng số lượng chất nhận. Cỡ hạt tùy thuộc vào nhiều yếu tố, như cấu trúc pin, tuổi thọ hạt mang phụ của lát, sự thụ động hóa bề mặt, v.v. Ví dụ nêu trên (0,1% hạt, hiệu số pha tạp giữa trước và sau là 1/3, đạt được với kết cấu PERC. Hạt này có thể khác với kết cấu BSF nhôm. Như nêu trên, khó đo trực tiếp nồng độ chất pha tạp, như bo, trong vật thể của lát. Do vậy, dựa vào nồng độ chất pha tạp đo được, nghĩa là nồng độ chất pha tạp có thể được xác định bằng cách đo trực tiếp nồng độ chất pha tạp bằng các phương pháp hiện nay hoặc các phương pháp sẽ được phát triển hoặc bằng cách đo điện trở suất. theo từng lớp như nêu trên, và sau đó từ điện trở suất, tính toán hoặc xác định theo một số cách khác, như dựa vào bảng 1 hoặc đồ thị, nồng độ chất pha tạp tương quan với điện trở suất đó và do đó biên dịch biên dạng gradien điện trở suất và biên dạng gradien chất pha tạp.

Chất pha tạp bù nên được bổ sung định kỳ hoặc liên tục để khớp tốc độ bổ sung chất pha tạp từ khuôn.

Khía cạnh khác của sáng chế được mô tả ở đây là phương pháp chế tạo lát, và khía cạnh cụ thể hơn về phương pháp sáng chế trong bản mô tả này là phương pháp chế tạo lát có gradien đo được trong nồng độ, hoặc điện trở suất chất pha tạp, như bo, được mô tả ở trên và phương pháp sáng chế cụ thể theo sáng chế là phương pháp sản xuất nhiều lát từ phần nóng chảy sau theo thời gian, đồng thời vẫn duy trì biên dạng pha tạp và điện trở suất tương đối giống nhau, ngay cả khi ngày càng nhiều lát được tạo ra và nhiều chất pha tạp được tạo ra và nhiều chất pha tạp chính hòa vào phần nóng chảy.

Quay trở lại phần mô tả về vị trí của nguồn chất pha tạp sẽ được đưa vào lát, vị trí điển hình được thể hiện trên Fig.1A, dưới dạng lớp phủ trên bề mặt tạo hình 122 của khuôn 110, hoặc như được thể hiện trên Fig.3 và Fig.4, ở đâu đó trong vật thể

khuôn 110, ở vị trí mà khi làm nóng khuôn, chất pha tạp có thể đi qua vật thể của khuôn, thoát khỏi khuôn và hòa vào phần nóng chảy 116. Như vậy, như được thể hiện ở 114 trên Fig.1A, chất pha tạp 114 có thể ở lớp ngoài cùng 112 của lớp phủ trên khuôn 110, như một lớp tỏa ra. Hoặc, như được thể hiện trên Fig.3, chất pha tạp có thể ở trong vật thể 314 của khuôn 310 được phân bố đều hoặc trong các vùng đặc hơn, như đặc hơn ở gần với mặt tạo hình 322. Hoặc, như thể hiện trên Fig.4, chất pha tạp có thể nằm ở lớp chìm 414 của lớp phủ trên khuôn, với lớp khác 424 như lớp tỏa ra ở bề mặt.

Cụ thể hơn, chính khuôn 310 có thể chứa các hợp chất chứa bo dễ bay hơi 314, như: bo oxit, bo nitrua, bo, axit boric và thủy tinh bo-silicat. Theo cách khác hoặc ngoài ra, lớp phủ khuôn 112 tiếp xúc trực tiếp với phần nóng chảy có thể chứa các hợp chất bo dễ bay hơi và hợp chất bo tan trong silic (trong trường hợp lát silic được tạo ra, theo cách khác, tan trong chất bán dẫn được tạo ra) bao gồm: bo oxit, bo nitrua, bo, axit boric, thủy tinh bo-silicat, bo cacbua, bo silicua. Theo cách khác hoặc ngoài ra, vùng phủ của khuôn 414 không tiếp xúc trực tiếp với phần nóng chảy có thể chứa các hợp chất bo dễ bay hơi, bao gồm: bo oxit, bo nitrua, bo, axit boric, thủy tinh bo-silicat.

Một vấn đề khác cần xem xét, liên quan đến vị trí của chất pha tạp, là phương thức mà chất pha tạp đi qua hoặc di chuyển từ khuôn đến phần nóng chảy. Người ta tin rằng có thể có ba cách thức chính khác nhau. Một là hòa tan chất pha tạp vào silic nóng chảy, tiếp theo là khuếch tán thêm vào phần nóng chảy. Phương thức hòa tan và khuếch tán này được cho là có nhiều lợi ích. Thứ hai là sự khuếch tán từ khuôn vào chất lỏng của phần nóng chảy. Thứ ba và hiện nay ít được ưu tiên là sự hóa hơi từ khuôn vào phần nóng chảy.

Trở lại mỗi trong số các cách thức này, được ưu tiên nhất là chất pha tạp từ khuôn, như có dạng B_4C (bo cacbua) hoặc B_4Si (bo silicua) hòa tan từ khuôn như lớp phủ vào phần nóng chảy. Trong phần nóng chảy, chất pha tạp phân hủy thành các thành phần của nó, và chất pha tạp, như bo, sẽ khuếch tán thêm vào vật thể của vật liệu nóng chảy. Các thành phần khác, như C hoặc Si, đến mức độ nóng chảy đã không được bão hòa với chúng, như trong trường hợp này có thể cũng sẽ khuếch tán. Ưu điểm của phương thức này là mỗi lát được tạo ra trên cùng một khuôn đều nhận cùng một lượng chất pha tạp, không giống như các phương pháp khác, như cách thứ

ba được mô tả dưới đây, nhiều chất pha tạp được giải phóng cho các lát được tạo ra trước đó.

Phương thức thứ hai, trong đó chất pha tạp khuếch tán trực tiếp vào chất lỏng từ khuôn, sẽ khuếch tán từ lớp phủ, hoặc từ chính khuôn vào phần nóng chảy, được cho là ít có khả năng xảy ra nhất do phần lớn, nếu không phải là tất cả vật liệu hòa vào phần nóng chảy bằng một số chế độ khác ngoài cách thức khuếch tán, như bằng cách hòa tan hoặc hóa hơi. Trong trường hợp bất kỳ, đối với tất cả các chế độ trong đó chất pha tạp tiếp xúc thực sự với phần nóng chảy, thì sự khuếch tán sẽ xảy ra ở mức độ nào đó.

Phương thức thứ ba là sự hóa hơi trực tiếp không được ưu tiên. Ví dụ, B_2O_3 (bo Oxit) hoặc BN (bo nitrit) có thể được làm nóng đến mức nó hóa hơi trực tiếp từ vị trí của nó trên khuôn (ví dụ, trong lớp phủ) hoặc trong khuôn, để đi trực tiếp vào vật liệu bán dẫn nóng chảy ở dạng khí. Việc này không được ưu tiên do khó kiểm soát mức độ mà chất pha tạp được giải phóng vào phần nóng chảy. Toàn bộ nguồn chất pha tạp sẽ nóng cũng một lúc và sẽ giải phóng bo bằng cách hóa hơi, không chỉ là phần nguồn chất pha tạp tiếp xúc với phần nóng chảy. Do vậy, lần thứ nhất khuôn được làm nóng, nhiều chất pha tạp được giải phóng, chẳng hạn, các hạt nhỏ sẽ biến mất chỉ sau một chu kỳ làm nóng. Hoặc quy trình này bị giới hạn bởi sự khuếch tán đến bề mặt của khuôn của các hạt chất pha tạp.

Liên quan đến cả vị trí của chất pha tạp và phương thức, một số ví dụ được minh họa. Đối với pha tạp từ lớp phủ của khuôn, như lớp phủ tỏa ra tiếp xúc trực tiếp với phần nóng chảy, như được thể hiện trên Fig.4 tại lớp 424, hoặc Fig.1B tại lớp 112, khi mong muốn vận chuyển hơi tối thiểu, nguồn chất pha tạp thích hợp là vật liệu phủ Si_3N_4 hoặc SiO_2 , và chất pha tạp B_4C hoặc SiB_4 . Đối với pha tạp từ lớp đáy của lớp phủ của khuôn không tiếp xúc trực tiếp với phần nóng chảy, như được thể hiện trên Fig.4, tại lớp 414, nguồn chất pha tạp thích hợp là vật liệu lớp phủ Si_3N_4 hoặc SiC , và chất pha tạp B_2O_3 hoặc BN. Đối với pha tạp từ khuôn, không phải từ lớp phủ, như được thể hiện ở 314 trên Fig.3, vật liệu khuôn thích hợp là SiC , và chất pha tạp là B_2O_3 hoặc BN.

Phương pháp cơ bản nêu trên cũng sẽ làm việc với mọi chất pha tạp chính loại p khác thay cho Bo (như Nhôm (Al), Gali (Ga), indi (In)) và sử dụng mọi chất pha tạp loại n thích hợp để bù tương ứng cho phần nóng chảy (photpho (P), Arsen (As),

antimon (Sb), bitmut (Bi)). Tuy nhiên, cặp B và P được cho là cực kỳ có lợi để sử dụng với các lát silic tăng lên, do chúng có hệ số phân tách lớn nhất về mặt số học trong số tất cả các chất pha tạp có ích trong silic. (Một nguyên tố có hệ số phân tách tương đối cao phân tách trong khi hóa rắn tương đối ít so với các nguyên tố khác và như vậy có hệ số phân tách cao nhất tách để tách trong khi hóa rắn.) Do đó, khi hóa rắn, chất pha tạp B và chất pha tạp bù P sẽ được phân bố tương đối đều trong tinh thể, khi so sánh với trường hợp mà sẽ tạo ra nếu các nguyên tố được sử dụng có hệ số phân tách nhỏ hơn về mặt số học (có xu hướng tách rời lớn hơn). Quy trình tương tự, nhưng không giống cũng có thể được sử dụng để tạo ra các lát được pha tạp loại n chính. Trong trường hợp đó, chất pha tạp chính được cung cấp bởi khuôn hoặc lớp phủ trên khuôn có thể là chất pha tạp loại n (như P, As, Sb, Bi) và chất pha tạp bù nóng chảy có thể là chất pha tạp loại p (như B, Al, Ga, In).

Bảng A dưới đây thể hiện chất pha tạp chính điển hình và chất pha tạp bù cho chất bán dẫn loại p và loại n và các hệ số phân tách tương ứng của chúng.

Loại p		Loại n	
Chất pha tạp chính	Chất pha tạp bù	Chất pha tạp chính	Chất pha tạp bù
B (0,8)	P (0,3)	P	B
Al (,002)	As (0,3)	As	Al
Ga (0,008)	Sb (0,023) (antimon)	Sb (antimon)	Ga
In (0,004)	Bi (0,0007)	Bi	In

Bảng A – Chất pha tạp và hằng số phân tách cân bằng

Phương pháp pha tạp vật liệu bán dẫn này có thể được áp dụng cho mọi chất bán dẫn bất kỳ mà có thể tăng lên từ phần nóng chảy, bao gồm Silic (Si), Gecmani, (Ge), Gali arsenua (GaAs), v.v. Các lát/vật thể bán dẫn tăng lên từ vật liệu bán dẫn ngoài silic cần sử dụng các chất pha tạp khác nhau (ví dụ, silic là chất pha tạp chính cho các lát GaAs) và các vật liệu pha tạp bù khác nhau.

Bảng B dưới đây thể hiện các hợp chất của các nguyên tố pha tạp mà có thể được sử dụng làm nguồn pha tạp. Dấu x có nghĩa là hợp chất tồn tại, ví dụ, bo carbua,

bo oxit, v.v. (Ngược lại, không có silicua đối với P, As, Sb, Bi.) Các nguyên tố tinh khiết cũng có thể được sử dụng và hợp chất bất kỳ của Si, C, O, N, có thể được pha tạp bằng nguyên tố bất kỳ và sau đó sử dụng làm nguồn chất pha tạp. Một số hợp chất được liệt kê tồn tại nhưng không có ích do độ ổn định thấp, có khả năng phản ứng với độ ẩm, có tính độc, v.v.

Nguyên tố	B	Al	Ga	In	P	As	Sb	Bi
Cacbua	x	x	x	x	x	x	x	x
Oxit	X	x	x	x	x	x	x	x
Nitrit	x	x	x	x	x	x	x	
Silicua	X	x	x	x				

Bảng B- Các hợp chất của các nguyên tố pha tạp

Sáng chế được mô tả ở đây có nhiều lợi ích. Một là điện trường có lợi cải thiện việc thu thập hạt mang phụ và do đó cải thiện hiệu suất của pin năng lượng mặt trời. Lợi ích khác là hiệu suất cao hơn khi điện trở suất thấp hơn, có nghĩa là có thể có hệ số nạp cao hơn. Cũng có thể có hiệu ứng đồng vận với các quy trình tương tự PERC (điện trở suất thấp hơn có lợi cho các cấu trúc pin tương tự PERC). (PERC là viết tắt của Tiếp xúc sau bộ phát xạ thụ động (Passivated Emitter Rear Contact)).

Lợi ích khác nữa liên quan đến một thực tế là gradien của chất pha tạp (hoặc mức tương quan, điện trở suất của nó) có thể tự động gây ra trường thụ động. (Điều này được chứng minh thông qua nồng độ pha tạp rất cao ở một phần của lát đã được tạo ra gần khuôn nhất, như được thể hiện ở bên tay trái của đường cong, như được thể hiện trên Fig.5.) Trường thụ động sẽ giảm sự tái hợp ở mặt sau. Lợi ích là BSF nhôm thông thường (trường mặt sau), có thể thường được áp dụng trong quá trình xử lý pin, nhưng không nhất thiết và có thể được bỏ đi. Việc này sẽ giảm số bước trong quá trình sản xuất pin thông thường.

Một ưu điểm khác phát triển từ việc này. Nếu Al BSF không cần có mặt, thì tiếp xúc lưới mở có thể được sử dụng ở mặt sau của lát, cho phép ánh sáng bước sóng dài đi qua pin và được phản xạ ở tấm phản xạ hiệu dụng tại mặt sau của môđun và sau đó quay trở lại pin lần nữa. Điều này được mô tả chi tiết dưới đây.

Gradient pha tạp chất pha tạp (và mối tương quan, điện trở suất của nó) qua chiều dày của lát cũng có thể tạo ra cái gọi là trường mặt sau (BSF). Fig.6A thể hiện dưới dạng sơ đồ theo mặt cắt ngang pin năng lượng mặt trời đã biết 600 tích hợp BSF. BSF được tạo ra bởi vùng 662 có nồng độ chất pha tạp đặc biệt cao ở mặt sau (mặt đối diện với mặt trời) của pin năng lượng mặt trời, tạo ra điện trường mạnh trong vật liệu bán dẫn ở mặt sau của pin này. Điện trường này đẩy các hạt mang phụ đến gần mặt sau của pin và ngăn không cho phần lớn chúng đi tới mặt sau 664 của vật liệu bán dẫn. Điều này là quan trọng bởi vì nếu chúng đi tới mặt sau 664 này, thì rất có khả năng chúng sẽ tái hợp ở mặt này và do vậy không còn là sẵn có để tạo ra dòng điện trong mạch bên ngoài nữa.

Các trường trôi và trường mặt sau đều dựa vào sự thay đổi không gian của mật độ pha tạp chất pha tạp qua chiều dày của lát, với mật độ chất pha tạp cao hơn ở mặt sau của pin và mật độ chất pha tạp thấp hơn ở mặt trước của pin. Tuy nhiên, chúng khác nhau ở một số điểm quan trọng. Trước hết, trường trôi là trường hiệu dụng nhất khi nó kéo dài suốt độ dày của lát, vì như vậy, trường này sẽ đẩy nhẹ nhàng các hạt mang phụ về phía mặt tiếp giáp tập trung (và không để chúng bị khuếch tán). Ngược lại, BSF bị giới hạn ở phần sau của lát pin. Ví dụ, ở lát pin có độ dày 180-200 micrômet, vùng BSF của lát pin có thể dày từ 1 đến 10 micrômet, với độ dày điển hình xấp xỉ khoảng 5 micrômet. Ngoài ra, mức pha tạp trong BSF rất cao để tạo ra điện trường cao, mà sau đó trường này đẩy hiệu dụng các hạt mang phụ về phía trước. Thực tế là, mức pha tạp này cao đến nỗi nó có thể tác động tiêu cực đến chiều dài khuếch tán của hạt mang phụ (hoặc tuổi thọ) ở phần sau của pin. Tác động thực lên hiệu suất của thiết bị vẫn còn rất tích cực, do việc giảm chiều dài khuếch tán chỉ tập trung ở mặt sau cùng của pin và do chính BSF cực tiểu hóa lượng hạt mang đi vào vùng này. Ngược lại, mức pha tạp thấp hơn trong trường trôi có tác động tiêu cực tương đối ít đối với chiều dài khuếch tán của hạt mang phụ. Pin BSF này được thể hiện trên Fig.6A.

Cách phổ biến nhất để tạo ra BSF là in lưới bột nhôm lên mặt sau của lát và nung nó trong lò có vành đai. Việc này tạo ra vùng silic 662 có mật độ pha tạp nhôm rất cao – chất pha tạp loại p. Ngoài ra, có lớp hợp kim nhôm-silic 668 (phần lớn hợp kim này là thành phần eutecti) ở sau vùng này. Vùng hợp kim nhôm 668 này có tác dụng như mặt tiếp xúc/vật dẫn sau cho pin. Thật không may, đối với hoạt động của

pin BSF thông thường, hợp kim nhôm-silic không phải là vật phản xạ quang học tốt, có hệ số phản xạ xấp xỉ 60%. Do vậy, 40% ánh sáng hồng ngoại mà không được hấp thụ trong lần thứ nhất đi qua vật thể pin 652 được hấp thụ bởi mặt tiếp xúc sau và không còn có thể quay trở lại qua vật thể pin 652 ở lần đi qua thứ hai. Việc này hạn chế một cách đáng kể dòng điện được tạo ra bởi pin và lượng nhỏ điện áp. Mặt hướng về phía mặt trời của pin được tạo ra có bề mặt được tạo kết cấu 650, và có các chốt tiếp xúc điện 670.

Như được thể hiện trên Fig.6B, chất pha tạp tăng lên theo sáng chế có thể tạo ra vùng 682 có biên dạng pha tạp, mà có chức năng như một BSF không có các nhược điểm nêu trên. Theo một số phương án, vùng pha chất pha tạp cao 682 này (cho mặt sau) có thể được tạo ra cùng với vùng pha tạp chất pha tạp trường trôi được tạo biên dạng rộng hơn 692 do độ dày của lát pin. (Như được thể hiện trên Fig.6B, vùng 692 không có bất kỳ biểu diễn bằng đồ họa nào về biên dạng pha tạp để đơn giản hóa hình vẽ. Tuy nhiên, cần phải hiểu rằng có thể có biên dạng pha tạp từng bước hoặc không theo từng bước tương tự biên dạng thể hiện trong các hình vẽ trên các Fig. 2A và Fig.2B, nêu trên.) Theo các phương án khác, dòng chất pha tạp đi từ khuôn hoặc lớp phủ của khuôn có thể được thiết kế để hạn chế sự hẹp hơn ở mặt sau của lát pin. Sau đó điều này có thể được sử dụng để tạo ra vùng BSF được pha tạp đáng kể 682 và cũng tạo ra vùng trường trôi 692 mà chỉ được pha tạp rất nhẹ, mặc dù sẽ có trường trôi nhưng gradien của nó rất chậm hoặc ít đột ngột. Hoặc, cả hai hiệu ứng đều có thể đạt được với cùng mẫu pha tạp, hoặc, với các mẫu pha tạp khác nhau.

Có một số phương pháp để tạo ra sự pha tạp chất pha tạp tăng lên mà có tác dụng như BSF. BSF điển hình có khoảng $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ chất nhận. Để đạt được điều này, một lượng lớn chất pha tạp là chất nhận, như bo, được để trong khuôn. Để tăng cường sự pha tạp chất pha tạp mặt sau so với sự pha tạp chất pha tạp mặt trước, tinh thể bán dẫn có thể được tăng lên tương đối chậm sau khi tạo nhân ban đầu, mà có thể có nhiều thời gian hơn cho các chất nhận trong phần nóng chảy để khuếch tán sâu hơn vào phần nóng chảy này, xa khỏi tinh thể hóa rắn, và do vậy cho phép nồng độ của các chất nhận (bo) trong phần lớn tinh thể thấp hơn nhiều so với lớp ban đầu tăng lên ngay sát khuôn. Độ bền của BSF tỷ lệ với tỷ số sự pha tạp chất pha tạp ở mặt sau trên sự pha tạp chất pha tạp trong khối của lát. Ngoài ra, hoặc theo cách khác, việc tạo nhân có thể được tăng cường bằng cách tạo ra chân không cao hơn (hoặc chênh

lệch áp suất), như được mô tả dưới đây, trong các phân hóa rắn trước đó. Việc này khiến cho sự hóa rắn tinh thể và sự phát triển lát bắt đầu sớm hơn, trong khi nồng độ chất pha tạp gần khuôn trong phần nóng chảy mà vật thể này sẽ hóa rắn từ đó, sẽ hình thành. Kỹ thuật thay đổi chân không (hoặc chế độ áp suất chênh lệch) theo thời gian, hoặc ở các vị trí khác nhau được mô tả trong sáng chế số 8,293,009 của Sachs và các cộng sự. Các lát đã tạo ra có nồng độ hạt mang là $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ chất nhận ở bề mặt của lát được tạo ra sát mặt khuôn.

Những đề cập ở trên điều chỉnh áp suất chân không hoặc chế độ áp suất chênh lệch trong quá trình hóa rắn. Việc này đề cập đến phương pháp được bộc lộ trong sáng chế số 8,293,009. Sáng chế có ưu điểm là khuôn được mô tả ở đây là xốp (như mô tả dưới đây). Mức chênh lệch áp suất được tạo ra giữa bề mặt của khuôn tiếp xúc với bề mặt của phần nóng chảy và mặt sau của khuôn, để khi tiếp xúc, vật liệu nóng chảy chảy về phía mặt khuôn. Độ xốp của khuôn để vật liệu nóng chảy không chảy vào các lỗ xốp. Việc này được thực hiện bởi các lỗ xốp đủ nhỏ để sức căng bề mặt và hiện tượng khác ngăn không cho vật liệu nóng chảy đi vào các lỗ rỗng trước khi vật liệu này hóa rắn. Các lỗ xốp cũng cần đủ nhiều để có thể thiết lập mức chênh lệch áp suất, mặc dù kích thước riêng của chúng nhỏ. Mức chênh lệch áp suất có thể được thiết lập bằng cách tạo chân không hoặc bằng cách tạo ra bề mặt của vật liệu nóng chảy ở áp suất trên áp suất khí quyển, với mặt ngược của khuôn ở áp suất thấp hơn, sao cho mức chênh lệch áp suất tạo ra lực tác động vào vật liệu nóng chảy và sau đó vật thể hóa rắn hướng về phía mặt khuôn. Bằng cách tạo ra mức chênh lệch áp suất này, lực tiếp xúc giữa vật liệu nóng chảy và mặt khuôn được tăng cường so với trường hợp không có mức chênh lệch áp suất, điều này cho phép hóa rắn nhanh hơn. Áp suất chênh tăng cường cũng có thể được tạo tại các vị trí riêng trên mặt khuôn, trái ngược với các vị trí không được tăng cường khác, bằng các phương tiện khác nhau, như các lớp lót hoặc lỗ rỗng nhiệt ở các vị trí riêng trên mặt khuôn. Do khuôn có độ xốp nghĩa là vật thể đầy những lỗ nhỏ và lối đi, sao cho đường dẫn liên tục có khí chảy từ mặt này đến mặt khác của khuôn. Các lỗ xốp này rất nhỏ. Chúng thường có cỡ là micrômet, như có đường kính mười micrômet, có thể có đường kính lên đến ba mươi hoặc bốn mươi micrômet. Có rất nhiều lỗ xốp, bao phủ bề mặt khuôn và chiếm một thể tích lớn khuôn của nó. Các đường này quanh co, như trong bọt biển tự nhiên. Như được mô tả ở đây, lỗ xốp không bao gồm các lỗ đơn giản thô đi từ mặt

này đến mặt khác, như các lỗ khoan xuyên qua vật thể khuôn.

Fig.6B thể hiện lát pin 601 với vùng BSF 682 và điện cực sau 698 ở dạng các chốt 671 tương tự các chốt 673 của điện cực trước, hướng về phía mặt trời 699, mà cũng thể hiện các chốt. Vật phản xạ quang học (thường màu trắng) 695 (có thể là gương hoặc vật tán xạ) ở sau (so với mặt trời) điện cực sau 698. Vật phản xạ này có thể là tấm sau được sử dụng trong quá trình đóng gói môđun. Có thể có khoảng trống vật lý 687 giữa mặt sau của lát pin và vật phản xạ hoặc không có khoảng trống này. Theo cách này, photon mà không được hấp thụ ở lần thứ nhất đi qua vật thể silic chính 693 sẽ thoát khỏi lát pin được phản xạ bởi vật phản xạ quang học 695 và lại trở vào lát pin từ mặt sau, cho lần thứ hai đi qua vật thể silic 693 và có thêm cơ hội để được hấp thụ. Hệ số phản xạ quang học của phần lớn mặt tiếp xúc sau chịu ảnh hưởng của hệ số phản xạ của vật liệu 695 đặt sau lát pin, mà có thể lớn hơn 90% và trong nhiều trường hợp, lớn hơn 95%. Mặt hướng về phía mặt trời của lát pin có thể được tạo ra với về mặt được tạo kết cấu 651 giống như phương án đã biết được thể hiện trên Fig.6A.

Fig.7 thể hiện bằng biểu đồ các phép đo hiệu suất lượng tử (QE - quantum efficiency) cho hai loại pin. Phản hồi quang cho cấu trúc được thể hiện trên Fig.6A được thể hiện bằng đường đứt nét và thường ở trong đường cong khác. Phản hồi quang cho cấu trúc theo sáng chế có BSF tăng lên và tấm phản xạ ngược thể hiện trên Fig. 6B được thể hiện bằng đường nét liền và thường ở ngoài đường cong khác. Do vậy, như có thể thấy, phản hồi quang của pin cao hơn phản hồi quang của cấu trúc theo sáng chế, như được thể hiện trên Fig.6B. QE tăng ở vùng hồng ngoại của bước sóng phổ trên đồ thị từ 900nm đến 1200nm, như mong đợi do các bước sóng dài này có thể xuyên qua mặt sau của pin. Kết quả là pin có hiệu suất cao hơn.

Cấu trúc pin cơ bản của lát và một số dạng BSF, chẳng hạn, được tạo ra bởi hợp kim nhôm trong bước nung tiếp xúc, phía sau là vùng mở, điện cực giống lưới và vật phản xạ đã biết trong lĩnh vực này. Ví dụ là cấu trúc pin PASHA. Cũng đã biết để tạo ra BSF bởi bước pha tạp riêng để tạo ra sự pha tạp chất pha tạp nặng hơn gần mặt sau của pin. Để tạo ra cấu trúc như vậy đòi hỏi bước pha tạp riêng. Sáng chế xem xét đến việc tạo ra BSF được pha tạp mà không cần đến một bước riêng biệt, tức là bằng cách tạo BSF trong pha tăng lên của lát, cùng với trường trôi, như được giải thích trên đây. Do đó sáng chế khác đề cập đến phương pháp mới và không hiển nhiên để sản

xuất cấu trúc như vậy, trong đó việc pha tạp cần thiết để tạo ra BSF được tạo ra trong quá trình tăng lên của lát theo các phương pháp nêu trên.

Sáng chế xác định rằng trong mọi hệ thống cụ thể, như bằng cách sử dụng Silic làm chất bán dẫn, Bo làm chất pha tạp chính và photpho là chất pha tạp bù, có thể xuất hiện tình trạng không mong muốn. Nhắc lại rằng chất pha tạp bù được bổ sung cho khối phần nóng chảy theo thời gian vì hàng loạt lát được tạo ra từ cùng một bình và phần nóng chảy, để giữ điện trở suất của mỗi lát mới được tạo ra trong dãy lát được tạo ra từ cùng một phần nóng chảy, là giống nhau. Điều này phải được thực hiện mặc dù thực tế rằng có sự tích tụ ngày càng tăng chất pha tạp chính (chẳng hạn, bo) trong phần nóng chảy.

Hiện tượng không mong muốn là chất pha tạp bù có hệ số phân tách thấp hơn chất pha tạp chính, tách mạnh hơn đối với các biên hạt. Chẳng hạn, Fig.8A thể hiện dưới dạng sơ đồ tinh thể Si 800 và chất pha tạp bù có hệ số phân tách thấp được tích tụ D ở biên hạt 860. Điều này nói chung là không mong muốn, do nồng độ chất pha tạp bù D gần các biên hạt 860 càng cao dẫn đến nồng độ gần các biên hạt của kiểu hạt mang D cũng càng cao gây ra chất pha tạp bù (trong trường hợp P, có các chất cho và do vậy, chữ cái D được sử dụng để thể hiện chúng). Vì thế, sẽ có điện trường được thiết lập trong các hạt hướng về phía các biên hạt và do vậy, các hạt mang phụ sẽ được kéo về các biên này. Điều kiện như vậy là không mong muốn, vì đó không phải là nơi mong muốn để định hướng các hạt mang. Các hạt mang này sẽ được dẫn ra xa bề mặt 242 của lát có nồng độ chất pha tạp là chất nhận A cao hơn, hướng đến mặt tiếp giáp p/n (chưa được tạo ra và do vậy không được thể hiện trên Fig.8A), sẽ được hình thành cạnh bề mặt 246 có nồng độ chất pha tạp là chất nhận A thấp hơn.

Cần xác định rằng tác dụng không mong muốn này có thể được khắc phục bằng bước cung cấp chất pha tạp bù thứ 2 theo trục góc ngược, được gọi là chất pha tạp bù ngược, ví dụ trong trường hợp hệ Si/B/Ph, chất pha tạp bù ngược là nhôm (Al). Nhôm là kiểu hạt mang cho/nhận giống như chất pha tạp chính. Do vậy, nhôm là chất nhận, như bo. Có lợi nhất là hệ số phân tách của chất pha tạp bù ngược nhỏ hơn về mặt số lượng hệ số phân tách của chất pha tạp bù thứ nhất, và về mặt số lượng có thể gần bằng trị số của hệ số của chất pha tạp bù thứ nhất. Để có hệ số phân tách nhỏ hơn về mặt số lượng, chất pha tạp bù ngược dịch chuyển đến các biên hạt thậm chí còn mạnh hơn chất pha tạp bù. Do vậy, đặc tính của chất nhận/chất cho khử, bù, cho mức

chất cho/chất nhận dư có trong nồng độ chất pha tạp bù tương đối cao ở các biên này.

Trong các trường hợp trong đó hệ số phân tách của chất pha tạp chính thấp hơn về mặt số lượng hệ số phân tách của chất pha tạp bù thứ nhất, thì không cần sử dụng chất pha tạp bù ngược thứ hai, (và do vậy, chất pha tạp bù đơn thuần là chất pha tạp bù, không phải là chất pha tạp bù thứ nhất). Sự kết hợp rất hữu ích cho chất bán dẫn silic là sử dụng bo làm chất pha tạp chính, photpho làm chất pha tạp bù và Ga (Gali) làm chất pha tạp bù ngược thứ 2. B có hệ số phân tách lớn nhất (ít tách nhất) là 0,8 tiếp đến là P là 0,3 và Ga là 0,008.

Bảng C thể hiện các kết hợp khác nhau của chất pha tạp chính (chất nền), chất pha tạp bù và chất pha tạp bù ngược thứ hai N_d cho cả tinh thể bán dẫn loại p, như Silic, lẫn chất bán dẫn loại n, như được thể hiện trong bảng A, nhưng lại có các thông tin khác liên quan đến chất pha tạp bù ngược. Hệ số phân tách cho mỗi nguyên tố cũng được đưa ra ở lần đề cập thứ nhất đến nguyên tố đó.

loại p			loại n		
chất pha tạp chính	chất pha tạp bù	chất pha tạp bù ngược	chất pha tạp chính	chất pha tạp bù	chất pha tạp bù ngược
B (0,8)	P (0,3)	Al	P	B	As
Al (,002)	As (0,3)	Ga	As	Al	Sb
Ga (0,008)	Sb (0,023)	In	Sb	Ga	Bi
In (0,004)	Bi (0,0007)		Bi	In	
B (0,8)	P (0,3)	Ga			

Bảng C - Sự kết hợp chất pha tạp chính, chất pha tạp bù và chất pha tạp bù ngược cho chất bán dẫn loại p và loại n

Các hợp chất được liệt kê trong bảng C ở trên có thể được dùng để cung cấp chất pha tạp bù ngược cũng như chất pha tạp chính và chất pha tạp bù. Trong trường hợp cả chất pha tạp loại n và loại p được thêm vào phần nóng chảy, chất bán dẫn hỗn

hợp có thể được dùng để thêm chất pha tạp bù thứ 2n. Ví dụ, với chất pha tạp chính Bo, InP (indi photphua) có thể được sử dụng. Photpho sẽ cung cấp cho việc pha tạp chất pha tạp bù và Indi sẽ cung cấp chất pha tạp bù ngược theo cách thức giống như Ga trong bảng nêu trên. Nhưng P và In sẽ được tạo ra dưới dạng chất hỗn hợp chứ không phải là các chất phụ gia riêng.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Các lát được phát triển và pin năng lượng mặt trời được tạo ra. Các pin năng lượng mặt trời có hiệu suất cao với điện trở suất rất thấp. Ví dụ, các pin năng lượng mặt trời được tạo ra trên các lát bằng cách sử dụng phương pháp này có điện trở suất khối trung bình chỉ 0,3Ohm-cm có hiệu suất cao hơn 2% so với các lát điều khiển có điện trở suất 2,2Ohm-cm. Biên dạng pha tạp được thể hiện dưới dạng sơ đồ trên Fig.5 được đo bằng cách loại bỏ có chọn lọc từng lớp silic và đo điện trở suất của lát còn lại. Nói chung, điện trở suất càng thấp ở các vùng có nồng độ chất pha tạp càng cao và ngược lại. (Việc pha tạp được suy ra bằng cách đo điện trở suất do khó đo nồng độ của vật liệu trong lát được tạo ra, tuy nhiên, việc đo điện trở suất theo từng lớp không quá khó. Do vậy, khi xem xét đến việc xâm phạm phần yêu cầu bảo hộ trong sáng chế này, sự có mặt của biên dạng theo điện trở suất có thể được coi là bằng chứng của biên dạng tương ứng trong nồng độ chất pha tạp. Hơn nữa, các lát có biên dạng theo điện trở suất, với điện trở suất ở một mặt kém hơn (thường là mặt sau, không hướng về phía mặt trời, nơi mà có nồng độ chất pha tạp cao hơn ở các lát loại p), và điện trở suất cao hơn ở mặt khác, có thể là mặt hướng về phía mặt trời, trong trường hợp đó, được xem là sáng chế, vì các pin năng lượng mặt trời bao gồm các lát và phương pháp sản xuất các lát này.

Nồng độ thực trung bình của chất nhận là khoảng $5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ gấp 10 lần nồng độ pha tạp chất pha tạp ở mặt sau (được tạo ra trên mặt đối diện với khuôn). Pin có trường mặt sau bằng nhôm, chứ không phải là dính vào BSF, cũng được mô tả ở trên. Chất pha tạp bo khoảng 1×10^{18} nguyên tử/ cm^3 . Hàm lượng chất pha tạp là nhỏ nhất, và trong trường hợp bất kỳ, nhỏ hơn mười lần hàm lượng có trong trạng thái tách cân bằng. Có một dải các chất pha tạp bù từ không (mỗi khi bắt đầu chạy) đến khoảng 1×10^{18} nguyên tử/ cm^3 đến khi kết thúc quá trình chạy (trong đó có khoảng 2.000 lát được tạo ra).

Sáng chế được mô tả ở đây giải quyết rất nhiều vấn đề. Sáng chế cho phép thiết lập gradien chất pha tạp với chi phí thấp từ mặt này đến mặt khác của lát được hình thành. Cho đến nay, các phương pháp đã biết thiết lập gradien trong các chất pha tạp trong các lát silic làm cho silic có chất lượng thấp (như dải tăng lên trên chất nền (RGS - ribbon growth on substrate) được pha tạp gali) hoặc rất tốn kém (silic tăng lên epitaxy).

Cần lưu ý rằng nhiều/bất kỳ trong số các kỹ thuật nêu trên để tạo ra lát có biên dạng mức pha tạp có thể được sử dụng với các phương pháp khác. Chẳng hạn, bất kỳ trong số các phương pháp đưa chất pha tạp vào khuôn, chẳng hạn, vào lớp phủ, trong vật thể của khuôn hoặc gần bề mặt của khuôn có thể được sử dụng cùng với các phương pháp bù cho chất pha tạp dư trong phần nóng chảy theo thời gian, và phương pháp bất kỳ khác để bù ngược phần tách dư của chất pha tạp bù cho các biên hạt có thể được sử dụng với phương pháp tạo biên dạng pha tạp khác bất kỳ. Việc bổ sung chất pha tạp đến một mức độ và ở các vị trí để tạo ra BSF có thể được sử dụng cùng với bất kỳ trong số các kỹ thuật để bù chất pha tạp và cũng để ngăn ngừa sự tích tụ chất pha tạp bù ở các biên hạt. Các kỹ thuật tạo ra biên dạng chất pha tạp có đường cong hoặc hình dạng bất kỳ có thể được sử dụng cùng với các kỹ thuật bù và bù ngược và cũng có thể cùng với phương pháp tạo ra BSF.

Bản mô tả này mô tả và bộc lộ nhiều hơn một sáng chế. Sáng chế được đưa ra trong phần yêu cầu bảo hộ và các tài liệu liên quan, không những được nộp mà còn phát triển trong quá trình theo đuổi đơn bất kỳ dựa trên bản mô tả này. Các tác giả sáng chế dự định bảo hộ tất cả các sáng chế khác nhau theo các giới hạn được phép của kỹ thuật đã biết vì được xác định sau đó. Không có dấu hiệu nào được mô tả ở đây là cần thiết cho mỗi sáng chế. Do đó, các tác giả sáng chế dự định rằng không mô tả các dấu hiệu ở đây và cũng không yêu cầu bảo hộ trong phần yêu cầu bảo hộ cụ thể bất kỳ dựa trên bản mô tả này, sẽ được hợp nhất vào phần yêu cầu bảo hộ bất kỳ.

Chẳng hạn, sáng chế về trường trôi thực chất không phải là sáng chế về BSF, và ngược lại. Trường trôi có thể được thiết lập từng bước và không có BSF được pha tạp quá cao. BSF có thể được tạo ra có một vùng được pha tạp tương đối cao, và phần còn lại của lát có thể tương đối đồng nhất, về cơ bản không có trường trôi hoặc chỉ có trường trôi ở mức nhẹ. Không nhất thiết cung cấp chất pha tạp bù trong phần nóng chảy, hoặc để tạo ra một lát hoặc thậm chí cho một loạt các lát với điều kiện là nồng

độ của chất pha tạp chính trong phần nóng chảy không quá lớn để tạo ra các lát chất lượng. Các phương pháp bù chất pha tạp khác có thể được sử dụng. Tương tự, không cần phải sử dụng phương pháp bù ngược để ngăn không cho tích tụ quá mức chất pha tạp bù ở các biên hạt được mô tả ở đây để cung cấp chất pha tạp ngược thậm chí có hệ số phân tách nhỏ hơn. Sự tích tụ như vậy có thể được chấp nhận đối với một số ứng dụng hoặc các phương pháp khác để chống lại sự tích tụ có thể được sử dụng.

Một số kết cấu phân cứng hoặc nhóm các bước, trong bản mô tả này được gọi là sáng chế. Tuy nhiên, đây không phải là sự thừa nhận rằng mọi kết cấu hoặc nhóm này có khả năng cấp bằng sáng chế khác biệt với khả năng bảo hộ, nhất là khi được dự tính bởi luật và các quy định về số lượng sáng chế sẽ được xét nghiệm trong một đơn xin cấp bằng sáng chế hoặc tính thống nhất của sáng chế. Tất cả những điều nêu trên nói một cách ngắn gọn là phương án của sáng chế.

Phần tóm tắt được kèm theo đây. Cần nhấn mạnh rằng phần tóm tắt này được cung cấp để tuân theo quy tắc cần thiết mà sẽ cho phép xét nghiệm viên và người tra cứu khác nhanh chóng xác định đối tượng của sáng chế. Cần phải hiểu rằng phần tóm tắt này sẽ không được sử dụng để giải thích hoặc giới hạn phạm vi hoặc ý nghĩa của phần yêu cầu bảo hộ, như sự đề trình cam đoan với cơ quan Sáng chế.

Phần mô tả trên được hiểu là sự minh họa và không nên được coi là sự hạn chế theo nghĩa bất kỳ. Đồng thời sáng chế đã được thể hiện và mô tả cụ thể dựa vào các phương án ưu tiên của chúng, thì người có trình độ trung bình trong lĩnh vực này sẽ hiểu rằng có thể thực hiện các thay đổi khác nhau về hình thức và chi tiết mà không đi chệch khỏi ý tưởng và phạm vi của sáng chế như được xác định bởi phần yêu cầu bảo hộ.

Các cấu trúc, vật liệu, hoạt động và các dạng tương đương của tất cả các phương tiện hoặc các bước cộng với các thành phần chức năng trong phần yêu cầu bảo hộ dưới đây được dự định để bao gồm cấu trúc, vật liệu, hoặc hành động bất kỳ để thực hiện các chức năng kết hợp với các phần tử được bảo hộ khác.

Các khía cạnh của sáng chế

Các khía cạnh sau đây của sáng chế dự định được mô tả ở đây và phần này bảo đảm rằng chúng được đề cập. Chúng được gọi là các khía cạnh và mặc dù chúng có vẻ tương tự với yêu cầu bảo hộ, nhưng chúng không phải là yêu cầu bảo hộ. Tuy

nhiên, vào một thời điểm nào đó trong tương lai, người nộp đơn có quyền yêu cầu bảo hộ bất kỳ và tất cả các khía cạnh trong đơn này hay trong các đơn liên quan.

A1. Phương pháp chế tạo lát bán dẫn dùng làm bộ thu năng lượng mặt trời, phương pháp này bao gồm các bước:

- a. tạo ra vật liệu bán dẫn nóng chảy có bề mặt;
- b. tạo ra khuôn, bao gồm mặt tạo hình, khuôn này còn bao gồm chất pha tạp chính tùy theo vật liệu bán dẫn;
- c. cho bề mặt tạo hình tiếp xúc với vật liệu nóng chảy sao cho chất pha tạp di chuyển từ khuôn vào vật liệu bán dẫn nóng chảy; và
- d. duy trì các điều kiện sao cho vật thể vật liệu bán dẫn có dạng lát hóa rắn trên bề mặt tạo hình, với bề mặt thứ nhất tiếp xúc với bề mặt tạo hình này, lát có biên dạng nồng độ chất pha tạp, có nồng độ chất pha tạp cao hơn ở bề mặt thứ nhất của lát, và nồng độ chất pha tạp thấp hơn ở bề mặt thứ hai của lát.

A2. Phương pháp chế tạo lát bán dẫn dùng làm bộ thu năng lượng mặt trời, phương pháp này bao gồm các bước:

- a. tạo ra vật liệu bán dẫn nóng chảy, có bề mặt;
- b. tạo ra khuôn bao gồm bề mặt tạo hình, khuôn này còn bao gồm chất pha tạp liên quan đến vật liệu bán dẫn;
- c. cho bề mặt tạo hình dạng tiếp xúc với vật liệu nóng chảy trong một khoảng thời gian tiếp xúc sao cho ít nhất một phần khoảng thời gian tiếp xúc của chất pha tạp di chuyển từ khuôn vào vật liệu bán dẫn nóng chảy; và
- d. duy trì các điều kiện sao cho vật thể vật liệu bán dẫn có dạng lát hóa rắn trên bề mặt tạo hình, lát này có biên dạng điện trở suất, có điện trở suất tương đối thấp hơn ở bề mặt thứ nhất của lát, và điện trở suất tương đối cao hơn ở bề mặt thứ hai của lát.

A3. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm 1 và 2, còn bao gồm bước tách lát hóa rắn khỏi bề mặt tạo hình.

A4. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó khuôn bao gồm lớp phủ ở một bề mặt, lớp phủ này bao gồm chất pha tạp chính.

A5. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, khuôn còn bao gồm vật thể, trong đó chất pha tạp chính được phân bố trong vật thể khuôn.

A6. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, khuôn còn bao gồm vật thể, trong đó chất pha tạp chính ở trong vật thể khuôn có nồng độ cao hơn gần một mặt.

A7. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 6, trong đó bước duy trì các điều kiện bao gồm bước cung cấp chất pha tạp chính cho khuôn mà có dạng là vật thể chất bán dẫn hóa rắn hoạt động như chất ngăn khuếch tán, sao cho khi vật thể hóa rắn tăng lên, chất pha tạp chính ban đầu di chuyển vào vật liệu nóng chảy với tốc độ thứ nhất và vật thể hóa rắn, và tiếp đó, chất pha tạp chính di chuyển vào phần nóng chảy và vật thể hóa rắn với tốc độ giảm dần, sao cho các phần của vật thể hóa rắn trước có chất pha tạp chính trên mỗi thể tích đơn vị tương đối nhiều hơn so với các phần của vật thể hóa rắn sau.

A8. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 7, trong đó chất pha tạp chính bao gồm hạt mang điện tích chỉ thuộc một kiểu trong số kiểu chất cho và chất nhận, còn bao gồm các bước;

thực hiện các bước a, b, c, và d (theo điểm 1 hoặc 2, nếu phù hợp) ít nhất hai lần;

cung cấp lượng chất pha tạp bù thuộc kiểu chất cho/chất nhận hạt mang điện tích ngược cho chất pha tạp chính trong vật liệu nóng chảy.

A9. Phương pháp theo điểm 8, còn bao gồm, bước cung cấp lượng chất pha tạp bù ngược thuộc kiểu chất cho/chất nhận hạt mang điện tích ngược cho chất pha tạp bù trong vật liệu nóng chảy.

A10. Phương pháp theo điểm 9, mỗi chất pha tạp bù và chất pha tạp bù ngược đều có hệ số phân tách cân bằng, hệ số phân tách cân bằng của chất pha tạp bù ngược bằng hoặc nhỏ hơn hệ số phân tách cân bằng của chất pha tạp bù.

A11. Phương pháp theo điểm 8 trong đó bước cung cấp lượng chất pha tạp bù được thực hiện bằng cách cung cấp chất pha tạp bù ở dạng phân nóng chảy với nồng độ C_{cd} theo hệ thức sau:

$$C_{cd} \text{ xấp xỉ bằng } C_{md}^* (k_{md}/k_{cd})$$

C_{md} là nồng độ nóng chảy của chất pha tạp chính;

C_{cd} là nồng độ nóng chảy của chất pha tạp bù;

k_{md} là hệ số phân tách hiệu dụng của chất pha tạp chính; và

k_{cd} là hệ số phân tách hiệu dụng của chất pha tạp bù.

A12. Phương pháp theo điểm 1, trong đó nồng độ của chất pha tạp chính nhỏ hơn hoặc bằng $1 \times 10^{20} N_x/\text{cm}^3$ ở bề mặt thứ nhất của lát và lớn hơn hoặc bằng trong khoảng $1 \times 10^{15} N_x/\text{cm}^3$ ở mặt thứ hai của lát, trong đó N_x là số lượng các chất nhận hạt mang điện tích N_a đối với chất pha tạp là chất nhận hạt mang điện tích, và số lượng các chất cho hạt mang điện tích N_d đối với chất pha tạp là chất cho hạt mang điện tích.

A13. Phương pháp theo điểm 2, trong đó chất pha tạp chính là chất nhận hạt mang điện tích, điện trở suất lớn hơn hoặc bằng 0,001 ohm-cm ở bề mặt thứ nhất của lát và nhỏ hơn hoặc bằng trong khoảng 10 ohm-cm ở mặt thứ hai của lát.

A14. Phương pháp theo điểm 1, trong đó nồng độ của chất pha tạp chính nhỏ hơn hoặc bằng $1 \times 10^{19} N_x/\text{cm}^3$ ở bề mặt thứ nhất của lát và lớn hơn hoặc bằng trong khoảng $1 \times 10^{17} N_x/\text{cm}^3$ ở mặt thứ hai của lát, trong đó N_x là số lượng các chất nhận của hạt mang điện tích N_a đối với chất pha tạp là chất nhận hạt mang điện tích, và là số lượng chất cho hạt mang điện tích N_d đối với chất cho của hạt mang điện tích.

A15. Phương pháp theo điểm 2, trong đó chất pha tạp chính là chất cho hạt mang điện tích, điện trở suất lớn hơn hoặc bằng 0,001 ohm-cm ở bề mặt thứ nhất của lát và nhỏ hơn hoặc bằng trong khoảng 0,1 ohm-cm ở mặt thứ hai của lát.

A16. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm 1 và 2, trong đó chất bán dẫn

bao gồm chất bán dẫn loại p, chất pha tạp chính được chọn từ nhóm bao gồm: bo, nhôm, gali và indi.

A17. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm 1 và 2, trong đó chất bán dẫn bao gồm chất bán dẫn loại n, chất pha tạp chính được chọn từ nhóm bao gồm: photpho, asen, antimon (Sb) và bitmut.

A18. Phương pháp theo điểm 8, trong đó chất bán dẫn bao gồm chất bán dẫn loại p, chất pha tạp bù được chọn từ nhóm bao gồm: photpho, asen, antimon (Sb) và bitmut.

A19. Phương pháp theo điểm 8, trong đó chất bán dẫn bao gồm chất bán dẫn loại n, chất pha tạp bù được chọn từ nhóm bao gồm bo, nhôm, gali và indi.

A20. Phương pháp theo điểm 18, còn bao gồm bước cung cấp chất pha tạp bù ngược được chọn từ nhóm bao gồm: nhôm, gali và indi trong vật liệu nóng chảy.

A21. Phương pháp theo điểm 19, còn bao gồm bước cung cấp chất pha tạp bù ngược được chọn từ nhóm bao gồm: asen, antimon và bitmut trong vật liệu nóng chảy.

A22. Phương pháp theo điểm 4, trong đó vật liệu nóng chảy bao gồm silic, lớp phủ bao gồm chất pha tạp được chọn từ nhóm bao gồm: B_4C (bo cacbua) và B_4Si (bo silicua).

A23. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm 1 và 2, trong đó chất pha tạp chính bao gồm hợp chất được chọn từ nhóm bao gồm cacbua, oxit, nitrat và silicua, hoặc nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm: bo, nhôm, gali, indi, photpho, asen, antimon và bitmut.

A24. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm 1 và 2, trong đó bước duy trì được thực hiện để tạo ra nồng độ của chất pha tạp chính ở bề mặt thứ nhất của lát đủ cao để thiết lập trường mặt sau ở lát được dùng làm bộ thu năng lượng mặt trời.

A25. Phương pháp theo điểm 24, còn bao gồm các bước cung cấp:

a. dây dẫn kim loại có dạng lưới hở được nối với lát, tiếp xúc với mặt thứ nhất của lát; và

b. vật phản xạ quang được đặt cách bề mặt thứ nhất, được bố trí sao cho dây dẫn kim loại nằm giữa mặt thứ nhất và vật phản xạ quang này.

A26. Phương pháp theo điểm 1, trong đó biên dạng nồng độ chất pha tạp có dạng sẽ sinh ra điện trường trôi trong vật thể lát nhằm hướng các hạt mang điện tích về phía được ưu tiên.

A27. Phương pháp theo điểm 2, trong đó biên dạng điện trở suất có dạng mà sẽ sinh ra điện trường trôi trong vật thể lát nhằm hướng các hạt mang điện tích về phía được ưu tiên.

A28. Lát bán dẫn dùng làm bộ thu năng lượng mặt trời, lát này bao gồm vật thể có bề mặt thứ nhất và thứ hai, vật thể có biên dạng nồng độ chất pha tạp, ở bề mặt thứ nhất của lát có nồng độ chất pha tạp cao hơn, và chuyển tiếp liên tục sang nồng độ chất pha tạp thấp hơn ở bề mặt thứ hai của lát, nồng độ cao hơn ít nhất ba lần nồng độ thấp hơn, ngoài ra, mọi chất pha tạp kim loại có trong vật thể có mặt ở bề mặt thứ nhất với mức ít hơn mười lần mức chất pha tạp kim loại có ở bề mặt thứ hai.

A29. Lát bán dẫn dùng làm bộ thu năng lượng mặt trời, lát này bao gồm vật thể có bề mặt thứ nhất và thứ hai, vật thể có biên dạng điện trở suất, có điện trở suất nhỏ hơn ở bề mặt thứ nhất của lát, và chuyển tiếp liên tục sang điện trở suất lớn hơn ở bề mặt thứ hai của lát, điện trở suất lớn hơn ít nhất ba lần điện trở suất nhỏ hơn, ngoài ra, mọi chất pha tạp kim loại có trong vật thể đều có mặt ở bề mặt thứ nhất với mức nhỏ hơn mười lần mức chất pha tạp kim loại có ở bề mặt thứ hai.

A30. Lát bán dẫn theo điểm bất kỳ trong số các điểm 28 và 29, trong đó chất bán dẫn này bao gồm silic, và chất pha tạp bao gồm bo.

A31. Lát bán dẫn theo điểm bất kỳ trong số các điểm 28 và 29, trong đó chất bán dẫn

bao gồm silic và chất pha tạp được chọn từ nhóm bao gồm: bo, nhôm, gali và indi.

A32. Lát bán dẫn theo điểm bất kỳ trong số các điểm 28 và 29, trong đó chất bán dẫn bao gồm chất bán dẫn loại p và chất pha tạp được chọn từ nhóm bao gồm: bo, nhôm, gali và indi.

A33. Lát bán dẫn theo điểm bất kỳ trong số các điểm 28 và 29, trong đó chất bán dẫn bao gồm chất bán dẫn loại n và chất pha tạp được chọn từ nhóm bao gồm: photpho, asen, antimon (Sb) và bitmut.

A34. Lát bán dẫn theo điểm 28, trong đó nồng độ chất pha tạp nhỏ hơn hoặc bằng $1 \times 10^{20} \text{ N}_x/\text{cm}^3$ ở bề mặt thứ nhất của lát và lớn hơn hoặc bằng trong khoảng $1 \times 10^{15} \text{ N}_x/\text{cm}^3$ ở bề mặt thứ hai của lát, trong đó N_x là số lượng các chất nhận hạt mang điện tích N_a đối với chất pha tạp là chất nhận hạt mang điện tích, và là số lượng chất cho hạt mang điện tích N_d đối với chất pha tạp là chất cho hạt mang điện tích.

A35. Lát bán dẫn theo điểm 29, trong đó điện trở suất lớn hơn hoặc bằng 0,001 ohm-cm ở bề mặt thứ nhất của lát và nhỏ hơn hoặc bằng trong khoảng 10 ohm-cm ở mặt thứ hai của lát.

A36. Lát bán dẫn theo điểm 28, trong đó nồng độ chất pha tạp chính ở bề mặt thứ nhất của lát đủ cao để thiết lập trường bề mặt sau trong lát được dùng làm bộ thu năng lượng mặt trời.

A37. Lát bán dẫn theo điểm 29, trong đó điện trở suất ở bề mặt thứ nhất của lát đủ thấp để thiết lập trường bề mặt sau trong lát được dùng làm bộ thu năng lượng mặt trời.

A38. Lát bán dẫn theo điểm bất kỳ trong số các điểm 36 và 37, còn bao gồm:

a. dây dẫn kim loại có dạng lưới hờ được nối với lát, tiếp xúc với mặt thứ nhất của lát; và

b. vật phản xạ quang được đặt cách mặt thứ nhất, được bố trí sao cho dây dẫn

kim loại nằm giữa mặt thứ nhất và vật phản xạ quang này.

A39. Lát bán dẫn theo điểm 28, trong đó biên dạng nồng độ chất pha tạp có dạng sẽ sinh ra điện trường trôi trong vật thể lát nhằm hướng các hạt mang điện tích về phía được ưu tiên.

A40. Lát bán dẫn theo điểm 29, trong đó biên dạng của điện trở có dạng sẽ sinh ra điện trường trôi trong vật thể lát nhằm hướng các hạt mang điện tích về phía được ưu tiên.

A41. Bộ thu năng lượng mặt trời bao gồm các lát bán dẫn, mỗi lát bao gồm vật thể có bề mặt thứ nhất và thứ hai, vật thể có biên dạng nồng độ chất pha tạp, có nồng độ chất pha tạp cao hơn ở bề mặt thứ nhất của lát, và chuyển tiếp liên tục sang nồng độ chất pha tạp thấp hơn ở bề mặt thứ hai của lát, nồng độ cao hơn ít nhất ba lần nồng độ thấp hơn, ngoài ra mọi chất pha tạp kim loại mà có trong vật thể đều có ở bề mặt thứ nhất với mức ít hơn mười lần mức chất pha tạp kim loại có ở bề mặt thứ hai.

A42. Bộ thu năng lượng mặt trời bao gồm các lát bán dẫn, mỗi lát này bao gồm vật thể có bề mặt thứ nhất và thứ hai, vật thể có biên dạng điện trở suất, có điện trở suất thấp hơn tương đối ở bề mặt thứ nhất của lát, và chuyển tiếp liên tục sang điện trở suất tương đối cao hơn ở bề mặt thứ hai của lát, ngoài ra, mọi chất pha tạp kim loại có trong vật thể đều có ở bề mặt thứ nhất với mức thấp hơn mười lần mức chất pha tạp kim loại có ở bề mặt thứ hai.

A43. Bộ thu năng lượng mặt trời theo điểm bất kỳ trong số các điểm 41 và 42, trong đó chất bán dẫn bao gồm silic, và chất pha tạp bao gồm bo.

A44. Bộ thu năng lượng mặt trời theo điểm bất kỳ trong số các điểm 41 và 42, trong đó chất bán dẫn bao gồm silic và chất pha tạp được chọn từ nhóm bao gồm: bo, nhôm, gali và indi.

A45. Bộ thu năng lượng mặt trời theo điểm bất kỳ trong số các điểm 41 và 42, trong

đó chất bán dẫn bao gồm chất bán dẫn loại p và chất pha tạp được chọn từ nhóm bao gồm: bo, nhôm, gali và indi.

A46. Bộ thu năng lượng mặt trời theo điểm bất kỳ trong số các điểm 41 và 42, trong đó chất bán dẫn bao gồm chất bán dẫn loại n và chất pha tạp được chọn từ nhóm bao gồm: photpho, asen, antimon (Sb) và bitmut.

A47. Bộ thu năng lượng mặt trời theo điểm 41, trong đó nồng độ chất pha tạp nhỏ hơn hoặc bằng $1 \times 10^{20} N_x/\text{cm}^3$ ở bề mặt thứ nhất của lát và lớn hơn hoặc bằng trong khoảng $1 \times 10^{15} N_x/\text{cm}^3$ ở mặt thứ hai của lát, trong đó N_x là số lượng các chất nhận của hạt mang điện tích N_a đối với chất pha tạp là chất nhận hạt mang điện tích, và là số lượng các chất cho của hạt mang điện tích N_d đối với chất pha tạp là chất cho hạt mang điện tích.

A48. Bộ thu năng lượng mặt trời theo điểm 42, trong đó điện trở suất lớn hơn hoặc bằng 0,001 ohm-cm ở bề mặt thứ nhất của lát và nhỏ hơn hoặc bằng trong khoảng 10 ohm-cm ở mặt thứ hai của lát.

A49. Bộ thu năng lượng mặt trời theo điểm 41, trong đó nồng độ chất pha tạp chính ở bề mặt thứ nhất của lát đủ cao để thiết lập trường mặt sau trong lát dùng làm bộ thu năng lượng mặt trời.

A50. Bộ thu năng lượng mặt trời theo điểm 42, trong đó điện trở suất ở bề mặt thứ nhất của lát đủ thấp để thiết lập trường mặt sau trong lát dùng làm bộ thu năng lượng mặt trời.

A51. Bộ thu năng lượng mặt trời theo điểm bất kỳ trong số các điểm 49 và 50, bộ thu này còn bao gồm:

- a. dây dẫn kim loại có dạng lưới hở được nối với lát, tiếp xúc với mặt thứ nhất của lát; và
- b. vật phản xạ quang được đặt cách mặt thứ nhất, được bố trí sao cho dây dẫn kim loại nằm giữa mặt thứ nhất và vật phản xạ quang này.

A52. Bộ thu năng lượng mặt trời theo điểm 41, trong đó biên dạng nồng độ chất pha tạp có dạng sẽ sinh ra điện trường trôi trong vật thể lát nhằm hướng các hạt mang điện tích về phía được ưu tiên.

A53. Bộ thu năng lượng mặt trời theo điểm 42, trong đó biên dạng điện trở suất có dạng sẽ sinh ra điện trường trôi trong vật thể lát nhằm hướng các hạt mang điện tích về phía được ưu tiên.

Sáng chế được bảo hộ trong phần yêu cầu bảo hộ sau đây:

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp chế tạo lát bán dẫn dùng làm bộ thu năng lượng mặt trời, phương pháp này bao gồm các bước:
 - a. tạo ra vật liệu bán dẫn nóng chảy có bề mặt;
 - b. tạo ra khuôn, bao gồm mặt tạo hình, khuôn này còn bao gồm chất pha tạp chính tùy theo vật liệu bán dẫn;
 - c. cho bề mặt tạo hình tiếp xúc với vật liệu nóng chảy sao cho chất pha tạp chính di chuyển từ khuôn vào vật liệu bán dẫn nóng chảy; và
 - d. duy trì các điều kiện sao cho vật thể vật liệu bán dẫn ở dạng lát hóa rắn trên bề mặt tạo hình, với bề mặt thứ nhất tiếp xúc với bề mặt tạo hình, lát có biên dạng nồng độ chất pha tạp chính, có nồng độ chất pha tạp chính cao hơn ở bề mặt thứ nhất của lát, và nồng độ chất pha tạp chính thấp hơn ở bề mặt thứ hai của lát.
2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó phương pháp này còn bao gồm bước tách lát đã hóa rắn khỏi mặt tạo hình.
3. Phương pháp theo điểm 1, trong đó khuôn bao gồm lớp phủ trên một mặt, lớp phủ này chứa chất pha tạp chính.
4. Phương pháp theo điểm 1, trong đó khuôn còn bao gồm vật thể, trong đó chất pha tạp chính được phân bố trong vật thể khuôn.
5. Phương pháp theo điểm 1, trong đó khuôn còn bao gồm vật thể, trong đó chất pha tạp chính ở trong vật thể khuôn gần một mặt có nồng độ cao hơn.
6. Phương pháp theo điểm 1, trong đó chất pha tạp chính bao gồm hạt mang điện tích thuộc duy nhất một kiểu trong số kiểu chất cho và chất nhận, phương pháp này còn bao gồm các bước;

thực hiện các bước a, b, c, và d (theo điểm 1) ít nhất hai lần;
 cung cấp cho chất pha tạp chính một lượng chất pha tạp bù thuộc kiểu chất
 cho/chất nhận hạt mang điện tích ngược dấu trong vật liệu nóng chảy.

7. Phương pháp theo điểm 6, trong đó phương pháp này còn bao gồm bước cung cấp
 cho chất pha tạp bù một lượng chất pha tạp bù ngược thuộc kiểu chất cho/chất nhận
 hạt mang điện tích ngược dấu trong vật liệu nóng chảy.

8. Phương pháp theo điểm 7, trong đó mỗi chất pha tạp bù và chất pha tạp bù ngược
 đều có hệ số phân tách cân bằng, hệ số phân tách cân bằng của chất pha tạp bù ngược
 bằng hoặc nhỏ hơn hệ số phân tách cân bằng của chất pha tạp bù.

9. Phương pháp theo điểm 6, trong đó bước cung cấp lượng chất pha tạp bù được
 thực hiện bằng cách cung cấp chất pha tạp bù trong phần nóng chảy với nồng độ C_{cd}
 theo mối quan hệ sau:

C_{cd} xấp xỉ bằng với $C_{md} \cdot (k_{md}/k_{cd})$

trong đó:

C_{md} là nồng độ nóng chảy của chất pha tạp chính;

C_{cd} là nồng độ nóng chảy của chất pha tạp bù;

k_{md} là hệ số phân tách hiệu dụng của chất pha tạp chính; và

k_{cd} là hệ số phân tách hiệu dụng của chất pha tạp bù.

10. Phương pháp theo điểm 1, trong đó nồng độ chất pha tạp chính nhỏ hơn hoặc
 bằng $1 \times 10^{20} \text{ N}_x/\text{cm}^3$ ở mặt thứ nhất của lát và lớn hơn hoặc bằng khoảng 1×10^{15}
 N_x/cm^3 ở mặt thứ hai của lát, trong đó N_x là số lượng các chất nhận hạt mang điện
 tích N_a đối với chất pha tạp là chất nhận hạt mang điện tích và, là số lượng chất cho
 hạt mang điện tích N_d đối với chất pha tạp là chất cho hạt mang điện tích.

11. Phương pháp theo điểm 1, trong đó nồng độ chất pha tạp chính nhỏ hơn hoặc
 bằng $1 \times 10^{19} \text{ N}_x/\text{cm}^3$ ở mặt thứ nhất của lát và lớn hơn hoặc bằng khoảng 1×10^{17}
 N_x/cm^3 ở mặt thứ hai của lát, trong đó N_x là số lượng các chất nhận hạt mang điện
 tích N_a đối với chất pha tạp là chất nhận hạt mang điện tích và, là số lượng chất cho
 hạt mang điện tích N_d đối với chất pha tạp là chất cho hạt mang điện tích.

12. Phương pháp theo điểm 1, trong đó chất bán dẫn bao gồm chất bán dẫn loại p, chất pha tạp chính được chọn từ nhóm bao gồm: bo, nhôm, gali và indi.

13. Phương pháp theo điểm 1, trong đó chất bán dẫn bao gồm chất bán dẫn loại n, chất pha tạp chính được chọn từ nhóm bao gồm: photpho, asen, antimon (Sb) và bitmut.

14. Phương pháp theo điểm 6, trong đó chất bán dẫn bao gồm chất bán dẫn loại p, chất pha tạp bù được chọn từ nhóm bao gồm: photpho, asen, antimon (Sb) và bitmut.

15. Phương pháp theo điểm 6, trong đó chất bán dẫn bao gồm chất bán dẫn loại n, chất pha tạp bù được chọn từ nhóm bao gồm bo, nhôm, gali và indi.

16. Phương pháp theo điểm 14, trong đó phương pháp này còn bao gồm bước cung cấp cho vật liệu nóng chảy, chất pha tạp bù ngược được chọn từ nhóm bao gồm: nhôm, gali và indi.

17. Phương pháp theo điểm 15, trong đó phương pháp này còn bao gồm bước cung cấp trong vật liệu nóng chảy, chất pha tạp bù ngược được chọn từ nhóm bao gồm: asen, antimon và bitmut.

18. Phương pháp theo điểm 1, trong đó vật liệu nóng chảy bao gồm silic và chất pha tạp chính bao gồm hợp chất được chọn từ nhóm bao gồm cacbua, oxit, nitrua và silicua, hoặc nguyên tố được chọn từ nhóm bao gồm: bo, nhôm, gali, indi, photpho, asen, antimon và bitmut.

19. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bước duy trì được thực hiện để tạo ra nồng độ của chất pha tạp chính ở bề mặt thứ nhất của lát đủ cao để thiết lập trường mặt sau ở lát được dùng làm bộ thu năng lượng mặt trời.

20. Phương pháp theo điểm 1, trong đó biên dạng của nồng độ chất pha tạp có dạng,

mà sẽ sinh ra điện trường trôi trong vật thể lát, được định hướng để thúc đẩy các hạt mang điện tích về phía được ưu tiên.

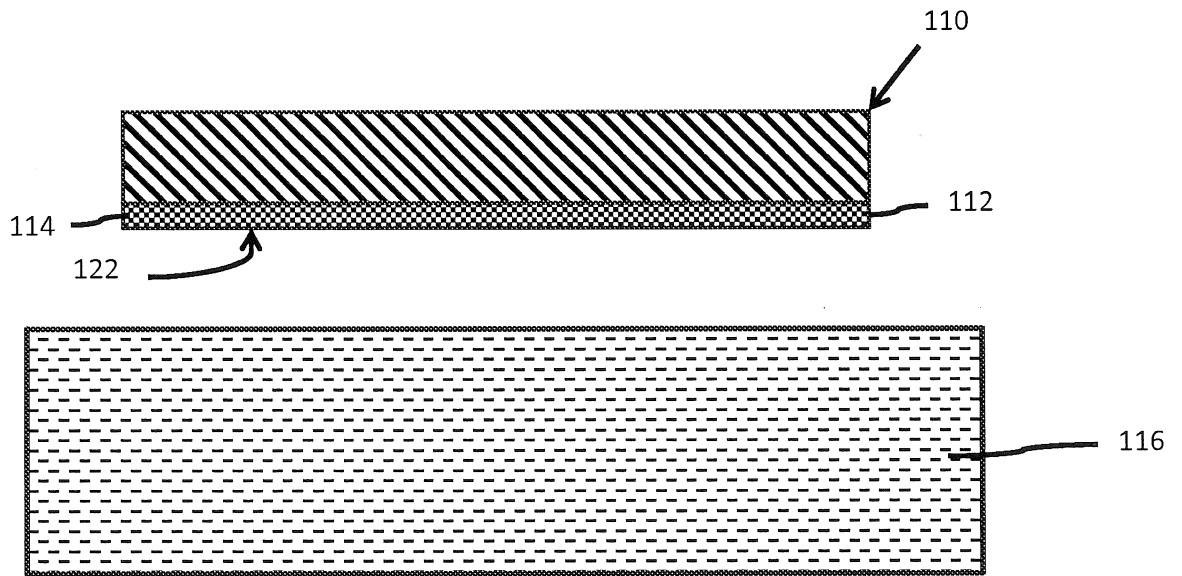


Fig.1A

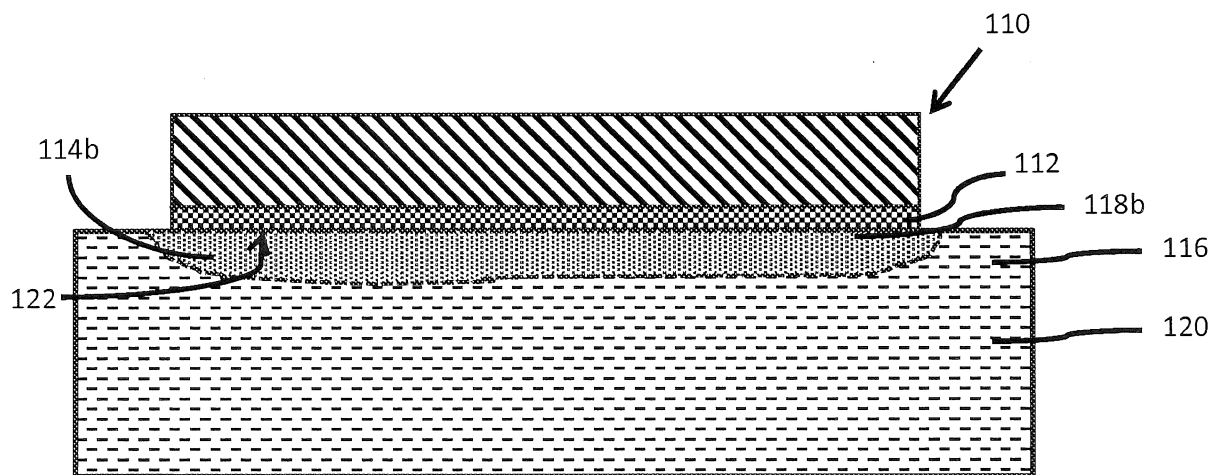


Fig.1B

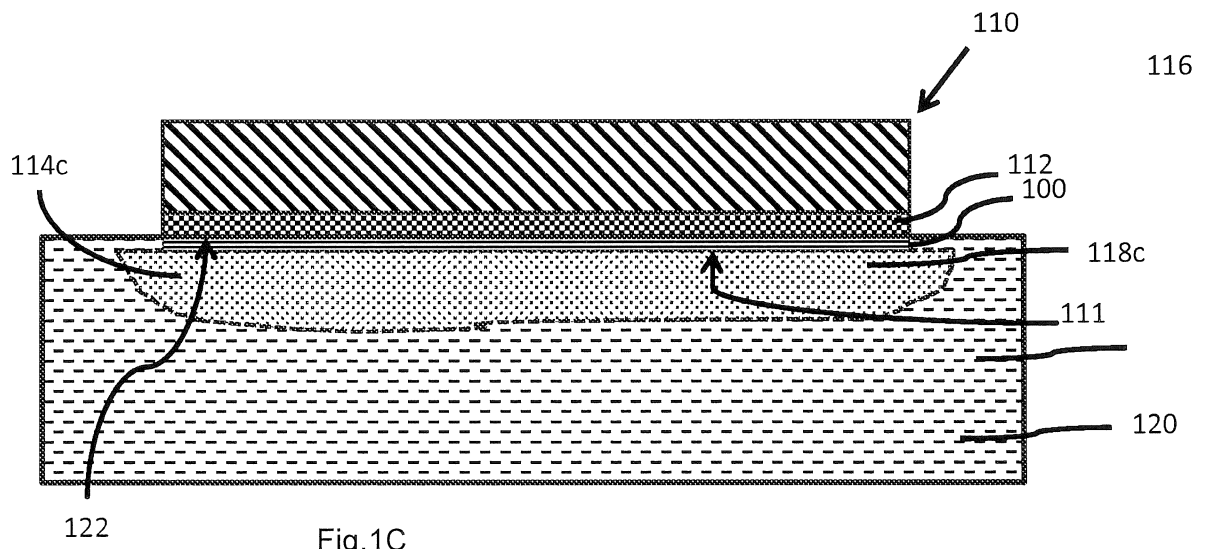


Fig. 1C

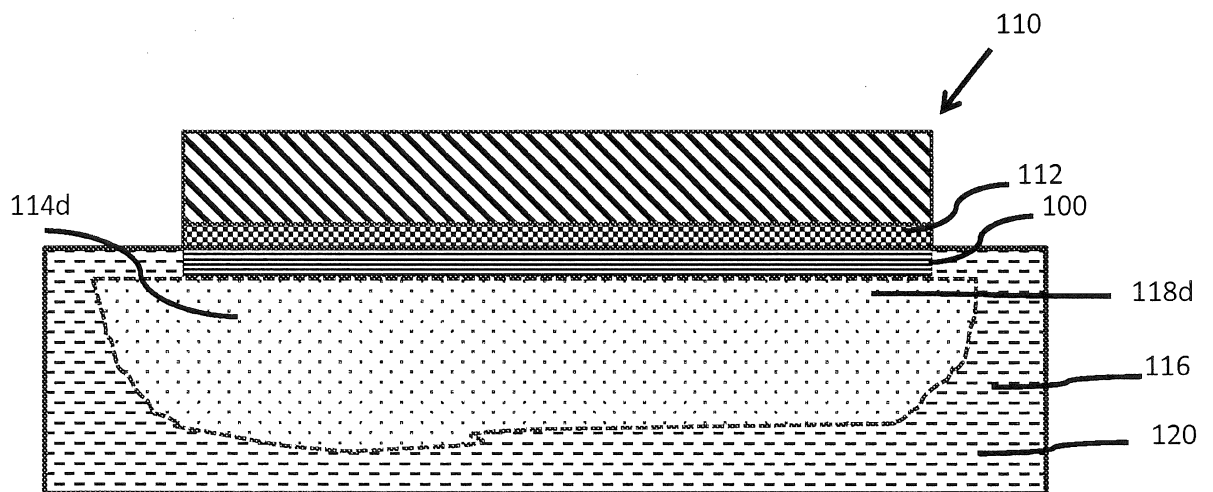


Fig. 1D

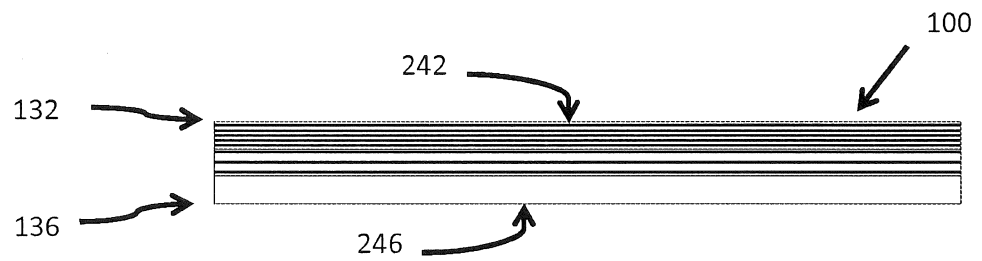


Fig.2A

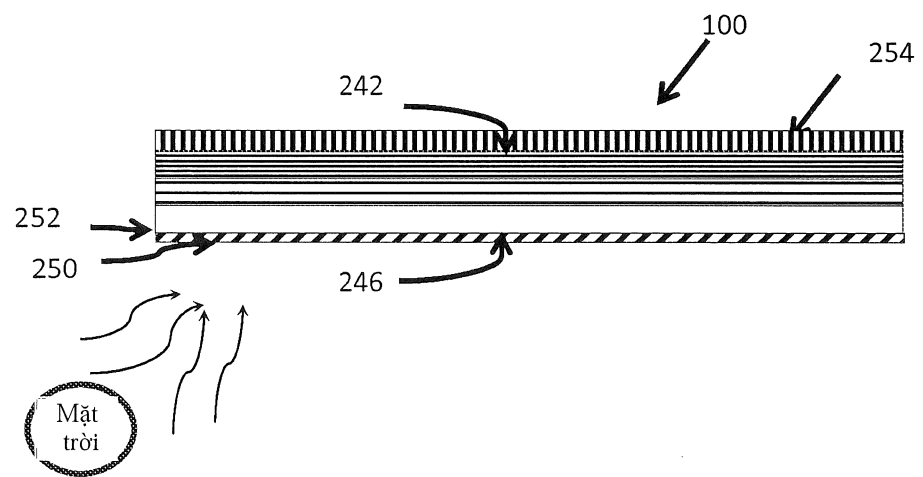


Fig.2B

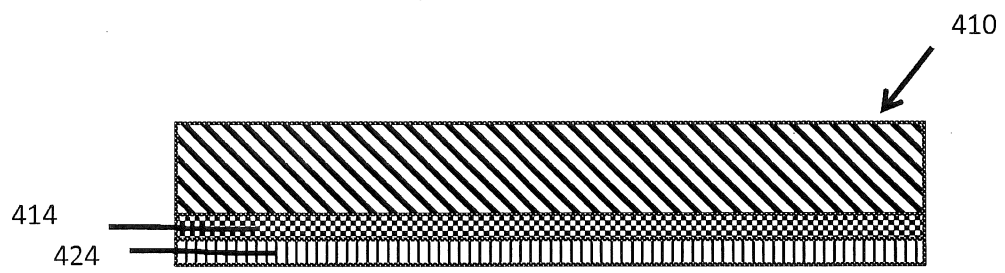
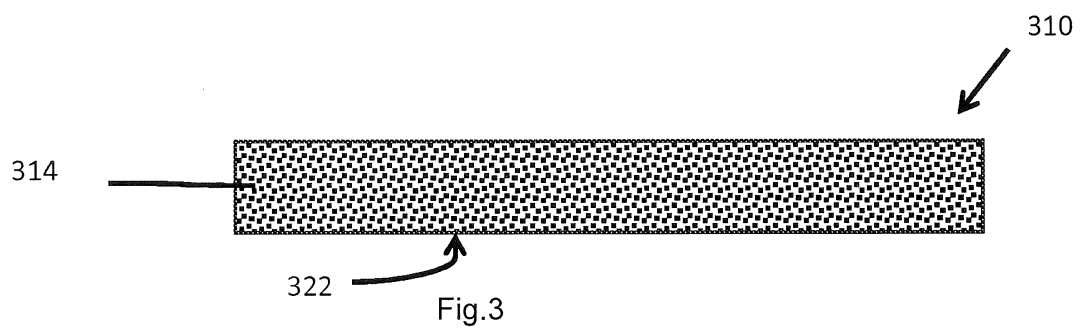


Fig.4

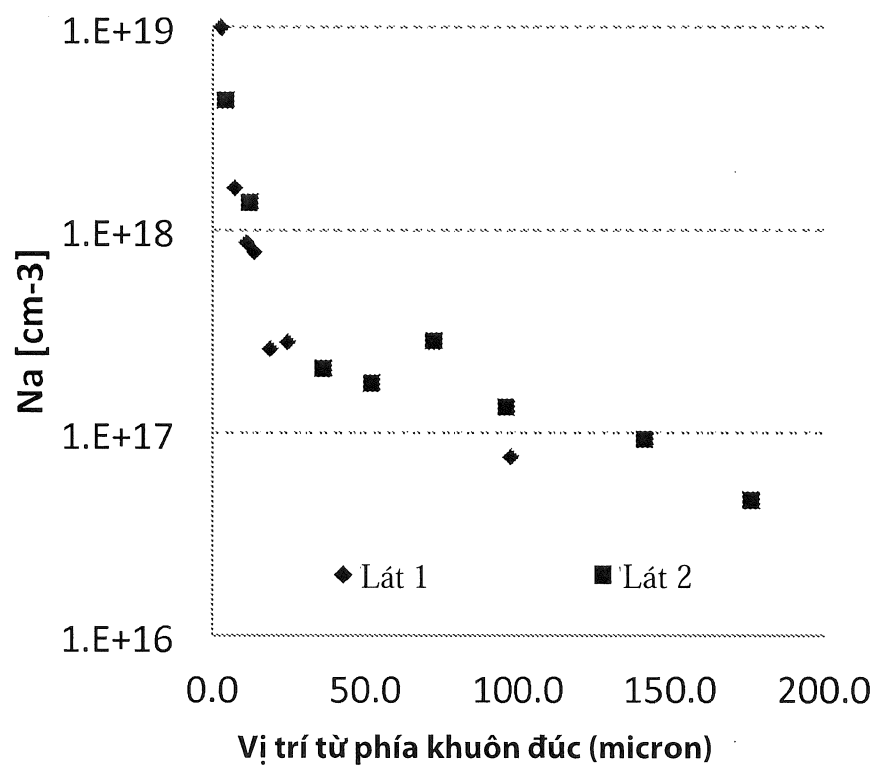
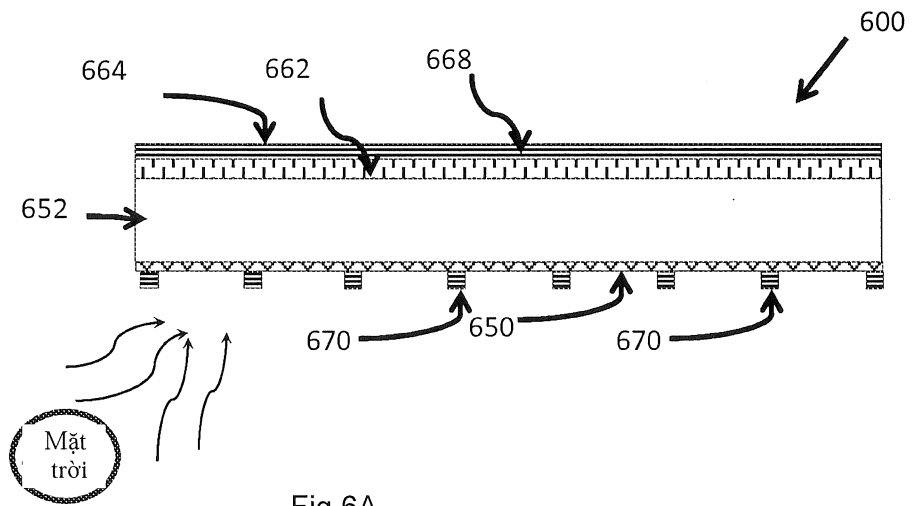
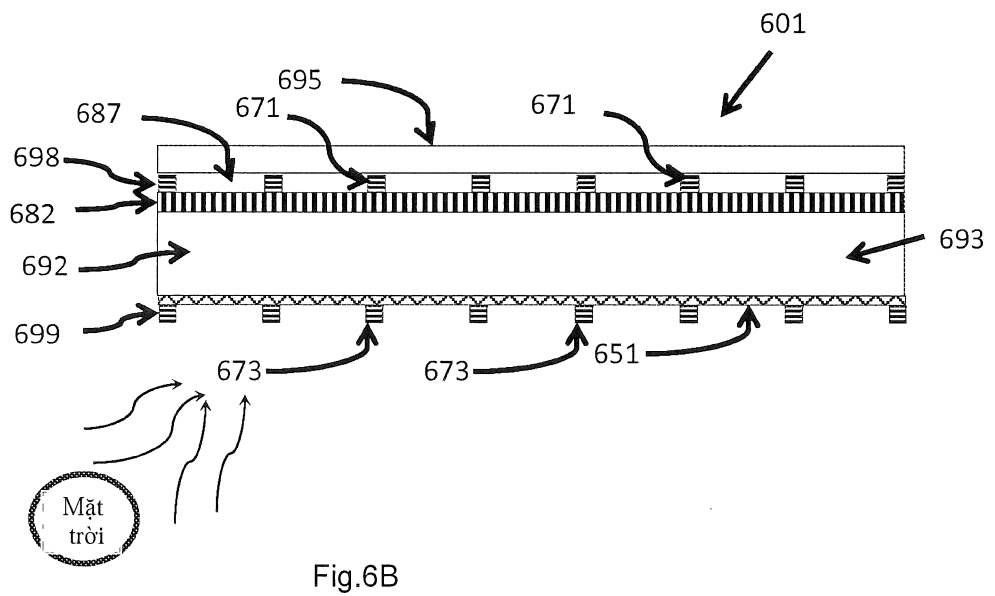


Fig.5



(GIẢI PHÁP KỸ THUẬT ĐÃ BIẾT)



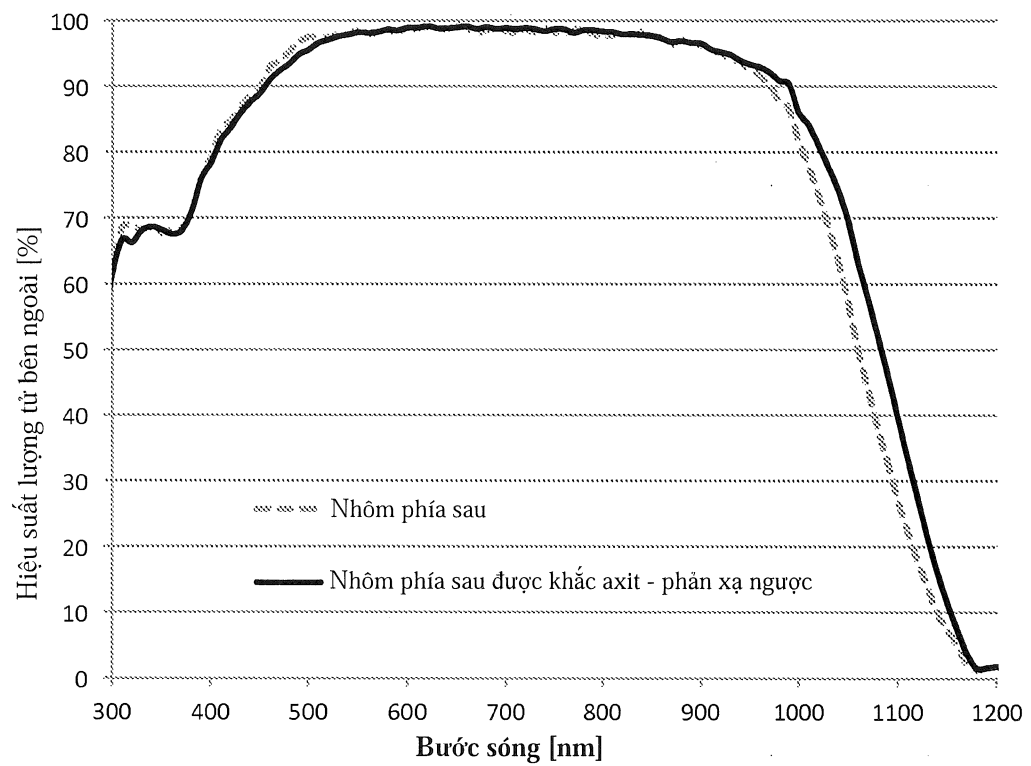


Fig.7

