



(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) 
1-0020880

(51)⁷ **B23H 7/28**

(13) **B**

(21) 1-2016-02710

(22) 21.07.2016

(45) 27.05.2019 374

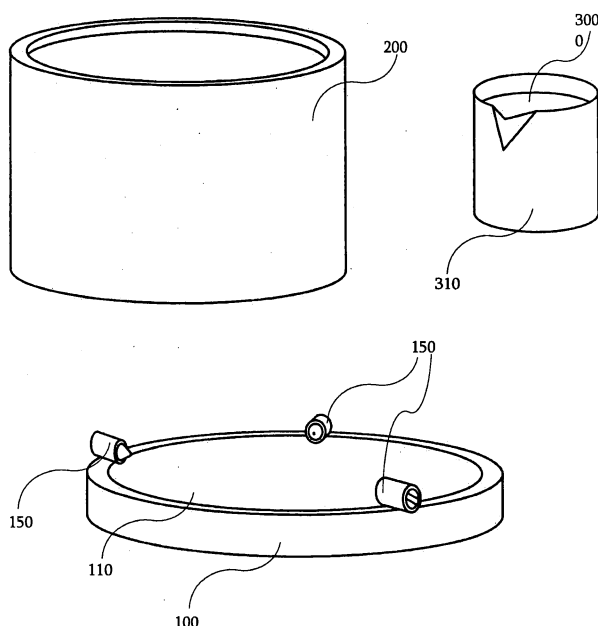
(43) 25.10.2016 343

(73) **VIỆN NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ FPT - TRƯỜNG ĐẠI HỌC FPT (VN)**
Số 8 Tôn Thất Thuyết, Mỹ Đình 2, quận Nam Từ Liêm, thành phố Hà Nội

(72) **Trần Thế Trung (VN)**

(54) **MÁY TẠO HÌNH BA CHIỀU**

(57) Sáng chế đề xuất máy tạo hình ba chiều, và quy trình sử dụng máy này để tạo ra các vật thể có hình dạng cho trước, từ một phôi, hoạt động dựa trên việc cắt bỏ những phần vật liệu thừa từ phôi bằng sự va đập của các hạt cứng nhỏ trong chất lỏng ở các vị trí trên bề mặt phôi có sự hội tụ của sóng siêu âm. Máy tạo hình ba chiều có thành phần chính là mảng nhiều phần tử phát siêu âm, có thể điều khiển lệch pha giữa từng phần tử một cách tùy ý, để hội tụ sóng siêu âm phát ra từ mảng này đến một điểm tùy ý nằm trong một phôi đặt tiếp xúc bên trên mảng này. Chất lỏng có chứa các hạt cứng nhỏ được đặt trên bề mặt phôi và có thể chảy vào các khe đã được khoan cắt trên phôi, đóng vai trò chuyển hóa năng lượng siêu âm tại điểm hội tụ sóng siêu âm thành sự dao động của các hạt cứng nhỏ, va đập vào bề mặt phôi và bào mòn chúng ở vị trí mong muốn, do đó tạo ra hình dạng mong muốn của vật thể từ phôi. Máy tạo hình ba chiều được đề xuất, và quy trình sử dụng máy này, hoàn toàn không sử dụng cơ cấu chuyển động, do đó loại bỏ sự mài mòn và giảm chất lượng theo thời gian do các cơ cấu chuyển động gây ra, đồng thời cho phép khoan cắt và tạo hình cả những vật thể có khoang rỗng hoặc có hình dạng phức tạp, mà mũi khoan thông thường không dễ dàng tiếp cận tới.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến máy có khả năng tạo ra vật thể có hình dạng ba chiều cho trước, từ phôi vật liệu, trong đó không có bộ phận chuyển động khi vận hành.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Kỹ thuật khoan cắt hoặc đánh bóng bằng siêu âm là một kỹ thuật dùng để loại bỏ những phần nhỏ vật liệu từ bề mặt của phôi để hình thành vật thể có hình dạng mong muốn từ phôi. Trong kỹ thuật này một đầu dao động ở tần số siêu âm, biên độ chừng 0,05 milimét đến 0,125 milimét, được đặt ở sát bề mặt phôi, nhúng trong chất lỏng chứa các hạt nhỏ cứng sắc lơ lửng trên bề mặt phôi. Rung động của đầu dao động lan truyền tới các hạt nhỏ cứng, khiến chúng dao động va đập vào bề mặt phôi, bào mòn bề mặt này ở vị trí gần đầu dao động. Kích cỡ của các hạt nhỏ cứng càng nhỏ thì bề mặt của vật thể được tạo hình càng mịn.

Theo sách *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, của tác giả Kalpakjian Serope xuất bản năm 2008 bởi nhà xuất bản Pearson Education, từ trang 552 đến trang 553, kỹ thuật khoan cắt siêu âm đã được đưa vào sử dụng từ giữa thế kỷ trước và cho đến nay vẫn được sử dụng hiệu quả để khoan cắt, đặc biệt là khi làm việc với vật liệu dễ nứt vỡ.

Khoan cắt bằng siêu âm không gây ra các hiệu ứng phụ về nhiệt, hóa, hay điện, như nhiều loại khoan cắt khác, do đó không làm thay đổi tính chất hóa lý của vật liệu, đồng thời phù hợp cho dải rất rộng các loại vật liệu khác nhau. Khoan cắt bằng siêu âm cũng cho ưu điểm là độ nhẵn của sản phẩm hoàn thiện có thể đạt ở mức cao, độ gồ ghề vào cỡ $0,25\mu\text{m}$ tức là có thể phản xạ ánh sáng như gương. Tuy nhiên, khoan cắt bằng siêu âm truyền thống có một nhược điểm là gây ra mức độ bào mòn cao đối với đầu dao động. Thực tế đầu dao động có thể làm bằng vật liệu thậm chí không cứng bằng vật liệu cần khoan cắt tạo hình. Điều này dẫn đến việc phải thay thế thường xuyên, đầu dao động, thậm chí ngay

cả khi chưa hoàn thành tạo hình cho một vật thể. Đầu dao động bị thay thế thường bị bỏ đi, dẫn đến chi phí lớn, gây ra lãng phí và ô nhiễm môi trường. Ngoài ra khoan cắt bằng siêu âm theo phương pháp truyền thống cũng chia sẻ nhiều nhược điểm của các kỹ thuật khoan cắt khác.

Cũng giống như mọi kỹ thuật khoan cắt đã từng được công bố, kỹ thuật khoan cắt bằng siêu âm truyền thống không dễ dàng tạo hình vật thể có nhiều dạng khoang rỗng phức tạp bên trong, hoặc vật thể có nhiều bộ phận lồng ghép sẵn, mà không cần thêm bước lắp ghép nào khác. Lý do là mũi khoan, hoặc trong trường hợp của kỹ thuật khoan cắt bằng siêu âm là đầu dao động, khó có thể được luồn vào các khoang rỗng, hoặc các khe hở giữa các bộ phận lắp ghép, nhỏ bé và nằm ở những vùng khuất.

Khi sử dụng trong các máy cắt CNC, giống với mọi kỹ thuật khoan cắt đã từng được công bố, đầu dao động cần được điều khiển để di chuyển một cách chính xác trong không gian ba chiều. Việc này đòi hỏi hệ thống cần có các động cơ điều khiển và các khớp nối cơ khí có độ chính xác cao, gây ra chi phí cao. Chuyển động của hệ thống gây ra ma sát và bào mòn dần các liên kết cơ khí theo thời gian sử dụng, khiến cho hệ thống giảm dần chất lượng theo thời gian.

Hồ sơ sáng chế ở Hoa Kỳ số US4365133 A công bố năm 1982 với tiêu đề *Method of and apparatus for electroerosively machining a 3D cavity in a workpiece*, đề xuất sử dụng đầu khoan, theo một cơ chế khác là làm mòn bằng đánh tia lửa điện, ở dạng thanh hoặc sợi dây mỏng, để luồn vào những khoang rỗng phức tạp. Tuy nhiên, phương pháp này vẫn đòi hỏi sử dụng các cơ cấu chuyển động và điều khiển chuyển động, do đó gặp phải những hạn chế của các cơ cấu chuyển động đã nêu ở trên.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích thứ nhất của sáng chế này là đề xuất một máy tạo hình ba chiều sử dụng siêu âm để làm dao động các hạt nhỏ cứng tại những vị trí bề mặt chọn lọc trên phôi để hình thành vật thể, hoàn toàn không có cơ cấu chuyển động, do đó loại bỏ sự mài mòn và giảm chất lượng theo thời gian, đồng thời không sử

dụng đầu dao động, do đó cho phép khoan cắt tạo hình cả những vật thể có khoang rỗng ở hình dạng phức tạp gần như tùy ý, và loại bỏ sự cần thiết phải thay thế thường xuyên các đầu dao động.

Cụ thể, sáng chế đề xuất máy tạo hình ba chiều gồm:

một đế;

nhiều phần tử phát sóng siêu âm độc lập với nhau, gắn trên đế, mỗi phần tử phát sóng siêu âm là một miếng áp điện có hai đầu gắn điện cực;

phôi nằm sát các phần tử phát sóng siêu âm nêu trên, được cố định vào đế thông qua các ốc vít hoặc các kẹp;

chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ, được thả lên mặt trên của phôi hoặc được thả vào các khe hở trong phôi.

Mục đích thứ hai của sáng chế này là đề xuất quy trình sử dụng máy tạo hình ba chiều để tạo ra các vật thể có hình dạng cho trước từ một phôi có kích thước phù hợp để đặt lên máy tạo hình ba chiều.

Cụ thể, sáng chế đề xuất quy trình tạo ra vật thể có hình dáng cho trước từ phôi, bằng máy tạo hình ba chiều, gồm các bước sau, với xuất phát điểm của một biến số được gọi là Z có giá trị ban đầu bằng không:

xác định mặt cắt của hình dạng vật thể cần tạo ra, tại độ cao Z ;

xác định đường biên của mặt cắt này, gọi là đường biên CZ ;

với mỗi điểm gọi là P ở độ sâu Z so với mặt trên của phôi và tọa độ theo phương ngang nằm trên đường biên CZ , hoặc trên đường biên rộng hơn CZ một khoảng cố định, cấp điện xoay chiều, trong một khoảng thời gian ΔT nhất định, vào các điện cực của các miếng áp điện của các phần tử phát sóng siêu âm, ở tần số siêu âm, và lệch pha giữa hai điện cực bất kỳ bằng chênh lệch hai khoảng cách từ hai phần tử phát sóng siêu âm tương ứng đến P nhân với số sóng của sóng siêu âm phát ra từ các phần tử phát sóng siêu âm;

tăng Z lên một khoảng nhỏ, gọi là ΔZ , vào cỡ bước sóng siêu âm hoặc nhỏ hơn, và quay lại các bước nêu trên, cho đến khi Z đạt giá trị độ cao lớn nhất của vật thể cần tạo.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ sơ lược mặt cắt đứng của thành phần cơ bản của một hệ thống thực hiện khoan cắt bằng siêu âm trên một phôi, giải thích cho hoạt động của kỹ thuật khoan cắt bằng siêu âm truyền thống;

Hình 2 là hình phối cảnh riêng phần dưới dạng sơ lược của máy tạo hình ba chiều theo một phương án thực hiện sáng chế;

Hình 3 là hình vẽ sơ lược mặt cắt đứng của máy tạo hình ba chiều, thể hiện các bộ phận chính của máy này;

Hình 4 là hình phối cảnh riêng phần dưới dạng sơ lược của một số phần tử dao động ở tần số siêu âm của máy tạo hình ba chiều, được cắt ra theo mặt cắt đứng, theo một phương án thực hiện sáng chế;

Hình 5 là hình vẽ sơ lược mặt cắt đứng của một số phần tử dao động ở tần số siêu âm của máy tạo hình ba chiều, theo một phương án thực hiện sáng chế, ở trạng thái chưa cấp điện vào các điện cực;

Hình 6 là hình vẽ sơ lược mặt cắt đứng của một số phần tử dao động ở tần số siêu âm của máy tạo hình ba chiều, theo một phương án thực hiện sáng chế, ở trạng thái có chênh lệch điện thế giữa một số điện cực;

Hình 7 là hình phối cảnh riêng phần dưới dạng sơ lược của 1516 phần tử dao động ở tần số siêu âm của máy tạo hình ba chiều, được sắp đặt nằm trên một đĩa tròn nằm ngang, cùng với một điểm hội tụ trên lý thuyết của sóng siêu âm khi điện áp đưa vào các cực của các phần tử dao động là xoay chiều ở tần số siêu âm và lệch pha nhau theo công thức nhất định;

Hình 8 là ảnh chụp cắt lớp cường độ siêu âm tại mặt phẳng song song với các trục x và trục z của Hình 7 và đi qua điểm hội tụ, trong đó vùng sáng màu có cường độ siêu âm cao và vùng tối màu có cường độ siêu âm thấp;

Hình 9 là ảnh chụp cắt lớp cường độ siêu âm tại mặt phẳng song song với các trục x và trục y của Hình 7 và đi qua điểm hội tụ, trong đó vùng sáng màu có cường độ siêu âm cao và vùng tối màu có cường độ siêu âm thấp;

Hình 10 là ảnh chụp cắt lớp cường độ siêu âm trong một vùng phóng đại quanh điểm hội tụ ở mặt phẳng song song với các trục x và trục z của Hình 7 và đi qua điểm hội tụ, trong đó vùng sáng màu có cường độ siêu âm cao và vùng tối màu có cường độ siêu âm thấp;

Hình 11 là ảnh chụp cắt lớp cường độ siêu âm trong một vùng phóng đại quanh điểm hội tụ ở mặt phẳng song song với các trục x và trục y của Hình 7 và đi qua điểm hội tụ, trong đó vùng sáng màu có cường độ siêu âm cao và vùng tối màu có cường độ siêu âm thấp;

Hình 12 là hình vẽ sơ lược mặt cắt đứng của máy tạo hình ba chiều, trong đó sóng siêu âm đang hội tụ tại một số điểm nhất định gần một phần chất lỏng chứa các hạt nhỏ cứng sắc, khiến cho các hạt này dao động và bào mòn phôi ở những điểm hội tụ của sóng siêu âm;

Hình 13 là hình vẽ sơ lược mặt cắt đứng của máy tạo hình ba chiều, trong đó các hạt nhỏ cứng sắc trong chất lỏng đã tiếp tục khoét sâu hơn xuống bên dưới để hoàn thiện quá trình tạo hình vật thể ba chiều;

Hình 14 là hình vẽ sơ lược mặt cắt đứng của máy tạo hình ba chiều, theo một phương án thực hiện khác của sáng chế, có thêm ống đựng chất lỏng chứa các hạt nhỏ cứng sắc ở mặt trên của phôi;

Hình 15 là hình vẽ sơ lược mặt cắt đứng của máy tạo hình ba chiều, theo một phương án thực hiện khác của sáng chế, trong đó phôi có thêm các vết khắc tại các vị trí cố định trên bề mặt, dùng để định vị và hiệu chỉnh máy tạo hình ba chiều.

Mô tả chi tiết sáng chế

Máy tạo hình ba chiều, được đề xuất bởi sáng chế, có nguyên lý hoạt động dựa trên việc cắt bỏ những phần vật liệu thừa từ một phôi vật liệu có sẵn, để tạo

ra hình dạng ba chiều của vật thể từ phôi này, trong đó việc cắt bỏ vật liệu sử dụng kỹ thuật tương tự như kỹ thuật khoan cắt hoặc đánh bóng bằng siêu âm truyền thống.

Hình 1 là hình vẽ sơ lược mặt cắt đứng của thành phần cơ bản của một hệ thống thực hiện khoan cắt bằng siêu âm trên một phôi, giải thích cho hoạt động của kỹ thuật khoan cắt bằng siêu âm truyền thống. Trên Hình 1, mặt cắt đứng của phôi được thể hiện. Phía mặt trên của phôi có các hạt cứng nhỏ nằm trong chất lỏng, và gần các hạt này là đầu dao động lên xuống ở tần số siêu âm. Đầu này vừa rung - dao động - và có thể vừa được di chuyển chậm ba chiều. Khi đầu dao động rung ở tần số siêu âm, dao động này, qua môi trường chất lỏng ở gần đầu này, lan truyền đến các hạt cứng nhỏ nằm trong chất lỏng, khiến các hạt cứng nhỏ này dao động theo và va đập vào phần bề mặt phôi ở gần các hạt này. Các hạt cứng nhỏ va đập vào bề mặt phôi, ở tần số siêu âm sẽ khiến các lớp vật liệu ở phần bề mặt này bị bào mòn và lõm vào xung quanh đầu dao động. Khi di chuyển ba chiều đầu dao động, có thể tạo ra vết cắt lõm theo hình dạng mong muốn.

Hiệu ứng bào mòn vật liệu của phôi tăng đáng kể khi dao động áp suất trong chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ, ở tần số siêu âm, lớn đến mức có những thời điểm trong chu kỳ dao động, áp suất này đủ thấp để làm chất lỏng bay hơi, tạo khoang rỗng bé nhỏ, trong thời gian rất ngắn. Ở thời điểm khác trong chu kỳ dao động, áp suất tăng lên khiến các khoang rỗng này sập đổ, tạo ra dòng chất lỏng tốc độ cao, mang theo các hạt cứng nhỏ, bắn phá bề mặt vật liệu của phôi. Đây cũng là hiệu ứng vật lý được ứng dụng trong các máy móc làm sạch các vật thể bằng sóng siêu âm, nhờ vào việc sinh ra dòng chất lỏng tốc độ cao phụt lên bề mặt cần làm sạch khi các khoang rỗng bé nhỏ liên tục sinh ra và sụp đổ dưới tác động của sóng siêu âm cường độ cao.

Trong sáng chế, việc cắt bỏ các lớp vật liệu của phôi vẫn được thực hiện thông qua sự va đập, ở tần số siêu âm, của các hạt cứng nhỏ lên bề mặt phôi. Tuy nhiên, dao động ở tần số siêu âm ở trong chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ không

được sinh ra bởi đầu dao động, mà thay vào đó là bằng cách hội tụ sóng siêu âm sinh ra từ một mảng nhiều phần tử phát siêu âm và đứng yên.

Các bộ phận chính của máy tạo hình ba chiều được thể hiện trên Hình 2. Hình 2 là hình phối cảnh riêng phần dưới dạng sơ lược của máy tạo hình ba chiều theo một phương án thực hiện sáng chế. Các bộ phận chính của máy tạo hình ba chiều gồm:

đế 100, nâng đỡ và cố định ở mặt bên trên một mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110;

phôi 200, có hình dạng là hình trụ, và mặt trên lõm xuống để có thể chứa một thể tích nhỏ chất lỏng ở mặt trên; và phôi 200 có thể được gắn cố định lên, và tiếp xúc với, mặt trên của mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110, nhờ các các kẹp 150;

chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300, nằm trong hộp đựng 310.

Ở trong trạng thái vận hành, phôi 200 sẽ được đặt bên trên, và tiếp xúc với, mặt trên của mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110, nhờ các các kẹp 150. Chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 được đổ lên mặt trên lõm xuống của phôi 200. Hình 3 là hình vẽ sơ lược mặt cắt đứng của máy tạo hình ba chiều, thể hiện các bộ phận chính của máy này ở trạng thái sẵn sàng vận hành.

Trên Hình 3 thể hiện mặt cắt của đế 100, cùng với mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 và kẹp 150, tiếp xúc với phôi 200. Phương án thực hiện kẹp 150, thể hiện ở trên Hình 3, là ở dạng ốc vít. Khi xoay ốc vít theo chiều phù hợp, ốc vít sẽ di chuyển vào bên phía tâm của đế 100 và kẹp chặt phôi 200 nằm ở bên trên, đặc biệt khi có nhiều ốc vít nằm ở nhiều phía. Trên Hình 3 cũng thể hiện một lượng nhỏ chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 nằm ở mặt trên lõm xuống của phôi 200.

Chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 có thể là nước, hoặc dầu, hoặc chất lỏng có tính ăn mòn như axit, cùng các hạt cứng nhỏ có thể là các hạt ôxít nhôm,

cacborundum hay còn gọi là silic cacbua, nitrit boron, ôxít crôm, cát, bột đá, kim cương, sắt, ... có thể có kích thước vài trăm nanomet đến vài chục micron.

Ngoài phương án thực hiện của kẹp 150 như đã thể hiện trên Hình 3, cũng có thể có nhiều phương án thực hiện khác của kẹp 150. Chẳng hạn như kẹp 150 có thể ở dạng thanh có thể di chuyển vào phía tâm của đế 100 bởi lực đàn hồi, ví dụ lực đàn hồi của lò xo. Với phương án này, khi đặt phôi 200 lên mặt trên của mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110, cần kéo các thanh này di chuyển ra xa tâm của đế 100, để tạo khoảng trống cho phôi 200 có thể được đặt vào; rồi sau khi phôi 200 đã yên vị thì thả các thanh ra để chúng kẹp phôi 200 lại, dưới lực đàn hồi. Phương án thực hiện kẹp 150 như vậy không được thể hiện trên các hình vẽ.

Mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 có thể được thực thi bằng nhiều phương án. Công nghệ CMUT - viết tắt của thuật ngữ tiếng Anh *Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducers* - là mảng gồm các tụ điện nhỏ bé, trong đó các bản cực của các tụ điện có thể dao động, do lực hút tĩnh điện giữa chúng thay đổi, khi đặt điện áp xoay chiều vào chúng. Điện áp đặt vào từng tụ điện có thể được sắp đặt để độc lập với điện áp đặt lên các tụ điện lân cận, do đó dao động siêu âm của từng tụ điện có thể được điều khiển độc lập với nhau.

Một công nghệ khác cũng rất phổ biến để thực thi các mảng nhiều phần tử phát siêu âm, như mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110, là công nghệ PMUT - viết tắt của thuật ngữ tiếng Anh *Piezoelectric Micromachined Ultrasonic Transducers*. Công nghệ này sử dụng mảng gồm các miếng áp điện nhỏ bé, có thể dao động khi đặt điện áp xoay chiều vào chúng. Điện áp đặt vào từng miếng áp điện có thể được sắp đặt để độc lập với điện áp đặt lên các miếng áp điện lân cận, do đó dao động siêu âm của từng miếng áp điện có thể được điều khiển độc lập với nhau.

Hình 4 minh họa cho phương án thực thi mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 theo công nghệ PMUT. Hình 4 là hình phối cảnh riêng phần dưới dạng sơ lược của một số phần tử dao động ở tần số siêu âm của máy tạo hình ba chiều, được cắt ra từ mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 theo mặt cắt đứng. Trên

Hình 4 thể hiện lớp điện cực mặt trên 112, có xẻ nhiều rãnh để tạo điều kiện cho những phần nằm ở giữa các rãnh có thể phồng lên hoặc lõm xuống. Tại những phần nằm ở giữa các rãnh, ngay bên dưới là các miếng áp điện 114, và bên dưới của từng miếng áp điện là các điện cực 116 độc lập với nhau. Các điện cực 116 nằm ngay trên đế 100 - đế 100 không được thể hiện trong Hình 4. Lớp điện cực mặt trên 112 có thể được đặt ở một điện thế cố định, ví dụ như được nối đất, như thể hiện trên Hình 4. Các điện cực 116 có thể được nối một cách độc lập vào những nguồn điện thế riêng rẽ, và điều khiển một cách riêng rẽ sự lồi lõm của từng phần nằm ở giữa các rãnh ở lớp điện cực mặt trên 112.

Hình 5 và Hình 6 lần lượt thể hiện việc điều khiển, một cách độc lập, việc lồi lõm của từng phần nằm ở giữa các rãnh ở lớp điện cực mặt trên 112.

Hình 5 là hình vẽ sơ lược mặt cắt đứng của một số phần tử dao động ở tần số siêu âm của máy tạo hình ba chiều, được cắt ra từ mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110, ở trạng thái chưa cấp điện vào các điện cực 116. Khi không có điện áp đưa vào các điện cực 116, như thể hiện trên Hình 5, lớp điện cực mặt trên 112 là phẳng, không lồi lõm.

Hình 6 là hình vẽ sơ lược mặt cắt đứng của một số phần tử dao động ở tần số siêu âm của máy tạo hình ba chiều, được cắt ra từ mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110, ở trạng thái một số điện cực 116 nằm ở những điện thế nhất định. Cả hai hình cùng thể hiện lớp điện cực mặt trên 112 được nối đất, bên dưới đó là các miếng áp điện 114 và bên dưới của các miếng áp điện 114 là các điện cực 116.

Khi có điện thế nhất định, ví dụ như điện thế dương vào một điện cực 116, như thể hiện trên Hình 6, thì miếng áp điện 114 bị giãn nở ra. Do điện cực 116 đã nằm cố định trên đế 100 - đế 100 không được thể hiện trên các Hình 5 và Hình 6 - nên việc giãn nở của miếng áp điện 114 sẽ khiến phần nằm ở giữa các rãnh ở lớp điện cực mặt trên 112, nằm ngay trên miếng áp điện 114, bị phồng lên. Ngược lại, nếu cho điện thế âm vào một điện cực 116, như thể hiện trên Hình 6, thì

miếng áp điện 114 bị co ngót lại, và khiến phần nằm ở giữa các rãnh ở lớp điện cực mặt trên 112, nằm ngay trên miếng áp điện 114, bị lõm xuống.

Với điện thể xoay chiều ở tần số siêu âm được đưa vào các điện cực 116, sự lồi lõm của các phần nằm ở giữa các rãnh ở lớp điện cực mặt trên 112 sẽ là dao động ở tần số siêu âm và phát ra sóng siêu âm lan truyền tới môi trường xung quanh. Do điện thể đưa vào các điện cực 116 có thể được đặt tùy ý và độc lập với nhau, sóng siêu âm phát ra từ các miếng áp điện 114 có cường độ, tần số và pha hoàn toàn điều khiển được một cách tùy ý.

Việc điều khiển pha của sóng siêu âm phát ra từ các miếng áp điện 114 hoàn toàn tương tự như kỹ thuật điều khiển pha của mảng nhiều ăng ten trong trình sát vô tuyến điện. Cụ thể, có thể điều khiển pha của sóng siêu âm phát ra từ các miếng áp điện 114 để các sóng này hội tụ vào một vùng nhỏ, có kích thước tương đương với bước sóng, ở tọa độ tùy ý.

Các Hình 7, Hình 8, Hình 9, Hình 10 và Hình 11 minh họa của khả năng hội tụ sóng siêu âm vào một khu vực bé nhỏ chỉ bằng cách điều khiển sự lệch pha của dao động của các miếng áp điện 114.

Hình 7 là hình phối cảnh riêng phần dưới dạng sơ lược của 1516 miếng áp điện 114 dao động ở tần số siêu âm, được sắp đặt nằm trên một đĩa tròn nằm ngang, trên mặt phẳng $x-y$, cùng với một điểm hội tụ trên lý thuyết của sóng siêu âm, nằm ở phía bên trên mặt phẳng $x-y$, khi dao động của các miếng áp điện 114 lệch pha nhau theo công thức nhất định. Ở đây trục x và y là hai trục nằm ngang, còn trục z là trục thẳng đứng.

Công thức xác định sự lệch pha giữa dao động của các miếng áp điện 114, khi muốn sóng siêu âm phát ra từ các miếng áp điện 114 này đều hội tụ về một điểm nhất định được trình bày bên dưới đây. Gọi điểm hội tụ của sóng siêu âm là điểm P có tọa độ mong muốn, trong hệ trục tọa độ x, y, z như thể hiện trên Hình 6A, là

$$P = (x_P, y_P, z_P)$$

Khi đó lệch pha giữa một miếng áp điện 114 bất kỳ, nằm ở tọa độ (x, y, z) , so với miếng áp điện 114 nằm tại tọa độ nhất định, chẳng hạn tại $(0,0,0)$ là:

$$\Delta\varphi = 2\pi (f_P - f_0) / \lambda$$

với λ là bước sóng của sóng siêu âm - giá trị $2\pi/\lambda$ còn được gọi là số sóng của sóng siêu âm, f_P là khoảng cách từ P đến miếng áp điện 114 nằm ở tọa độ (x, y, z) :

$$f_P = ((x_P - x)^2 + (y_P - y)^2 + (z_P - z)^2)^{1/2}$$

và f_0 là khoảng cách từ P đến miếng áp điện 114 nằm ở tọa độ $(0, 0, 0)$:

$$f_0 = ((x_P - 0)^2 + (y_P - 0)^2 + (z_P - 0)^2)^{1/2} = (x_P^2 + y_P^2 + z_P^2)^{1/2}$$

Công thức trên được xây dựng từ nguyên lý giao thoa của sóng, trong đó nếu lệch pha giữa hai miếng áp điện 114 thỏa mãn công thức trên thì sóng siêu âm phát ra từ hai miếng áp điện 114 này sẽ lan truyền tới điểm P ở cùng một pha và giao thoa cộng hưởng làm cho cường độ sóng siêu âm tại điểm hội tụ P là mạnh nhất.

Hình 8 thể hiện ảnh chụp cắt lớp cường độ siêu âm tại mặt phẳng song song với các trục x và trục z của Hình 7 và đi qua điểm hội tụ của sóng siêu âm, trong điều kiện các miếng áp điện 114 được cấp điện xoay chiều ở tần số siêu âm và lệch pha nhau theo công thức đã nêu. Vùng sáng màu có cường độ siêu âm cao và vùng tối màu có cường độ siêu âm thấp. Có thể thấy hầu hết sóng siêu âm tập trung vào một điểm sáng trên hình, và điểm sáng này ở đúng tọa độ mong muốn của điểm hội tụ sóng siêu âm.

Hình 9 là ảnh chụp cắt lớp cường độ siêu âm tại mặt phẳng song song với các trục x và trục y của Hình 7 và đi qua điểm hội tụ, trong đó vùng sáng màu có cường độ siêu âm cao và vùng tối màu có cường độ siêu âm thấp. Hình 9 cũng cho thấy hầu hết sóng siêu âm tập trung vào một điểm sáng trên hình, và điểm sáng này ở đúng tọa độ mong muốn của điểm hội tụ sóng siêu âm.

Vùng mà sóng siêu âm tập trung vào, thể hiện trên Hình 8 và Hình 9 rất nhỏ. Các Hình 10 và Hình 11 phóng đại các vùng này lên để thể hiện rõ hơn việc sóng siêu âm được hội tụ như thế nào tại các vùng này.

Hình 10 là ảnh chụp cắt lớp cường độ siêu âm trong một vùng phóng đại quanh điểm hội tụ ở mặt phẳng song song với các trục x và trục z của Hình 7 và đi qua điểm hội tụ, trong đó vùng sáng màu có cường độ siêu âm cao và vùng tối màu có cường độ siêu âm thấp. Trong ảnh phóng đại này, có thể thấy sóng siêu âm không giới hạn trong một điểm mà trải ra ở vùng xung quanh điểm hội tụ. Kích thước của vùng có cường độ siêu âm cao vào cỡ một vài bước sóng của sóng siêu âm.

Hình 11 là ảnh chụp cắt lớp cường độ siêu âm trong một vùng phóng đại quanh điểm hội tụ ở mặt phẳng song song với các trục x và trục y của Hình 7 và đi qua điểm hội tụ, trong đó vùng sáng màu có cường độ siêu âm cao và vùng tối màu có cường độ siêu âm thấp. Trong ảnh phóng đại này, có thể thấy sóng siêu âm không giới hạn trong một điểm mà trải ra ở vùng xung quanh điểm hội tụ. Kích thước của vùng có cường độ siêu âm cao vào cỡ một bước sóng của sóng siêu âm.

Như vậy nếu muốn vùng hội tụ của sóng siêu âm càng nhỏ, thì chọn bước sóng của sóng siêu âm càng nhỏ. Chẳng hạn, vùng hội tụ có thể có kích thước nhỏ hơn 0,05 milimét nếu chọn bước sóng của sóng siêu âm vào cỡ 0,01 milimét.

Bằng cách điều khiển pha của dao động của các miếng áp điện 114, theo công thức đã nêu ở trên, có thể hội tụ sóng siêu âm vào một điểm tùy ý, có kích thước đủ nhỏ. Nếu điểm hội tụ sóng siêu âm này nằm gần chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300, thì chỉ các hạt cứng nhỏ nằm trong vùng hội tụ của sóng siêu âm mới dao động mạnh, và tác động bào mòn hiệu quả vật liệu ở phôi 200 của máy tạo hình ba chiều. Những vùng chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 không nằm trong điểm hội tụ của sóng siêu âm hầu như không gây ra tác động bào mòn vật liệu của phôi 200. Khi di chuyển điểm hội tụ của sóng siêu âm, chỉ bằng cách điều khiển lệch pha của dao động của các miếng áp điện 114, theo công thức đã

nêu ở trên, có thể tạo ra sự bào mòn vật liệu ở phôi 200 tại những vị trí mong muốn, do đó tạo ra hình dạng mong muốn của vật thể từ phôi 200.

Hình 12 và Hình 13 minh họa cho hoạt động tạo hình nêu trên.

Hình 12 là hình vẽ sơ lược mặt cắt đứng của máy tạo hình ba chiều, trong đó sóng siêu âm đang hội tụ tại một số điểm nhất định gần một phần chất lỏng chứa các hạt nhỏ cứng sắc, khiến cho các hạt này dao động và bào mòn phôi ở những điểm hội tụ của sóng siêu âm. Hình 12 thể hiện mặt cắt của các thành phần cơ bản của máy tạo hình ba chiều, gồm đế 100, mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 ở bên trên, phôi 200 nằm bên trên đó, được cố định bởi các kẹp 150, và phía trên của phôi 200 là chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300. Vùng có khoanh tròn bằng các nét gạch gạch trên Hình 12 là vùng mà sóng siêu âm hội tụ vào. Ở vùng này, các hạt cứng nhỏ, nằm trong chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300, dao động mạnh và bào mòn vật liệu của phôi 200, khiến cho phôi 200 bị khoét sâu dần theo hướng mũi tên ở Hình 12.

Hình 13 là hình vẽ sơ lược mặt cắt đứng của máy tạo hình ba chiều, trong đó các hạt nhỏ cứng sắc trong chất lỏng đã tiếp tục khoét sâu hơn xuống bên dưới để hoàn thiện quá trình tạo hình vật thể ba chiều. Hình 13 vẫn thể hiện mặt cắt của các thành phần cơ bản của máy tạo hình ba chiều, gồm đế 100, mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 ở bên trên, phôi 200 nằm bên trên đó, được cố định bởi các kẹp 150, và phía trên của phôi 200 là chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300. Vùng có khoanh tròn bằng các nét gạch gạch trên Hình 13 là vùng mà sóng siêu âm hội tụ vào. Ở vùng này, các hạt cứng nhỏ, nằm trong chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300, dao động mạnh và bào mòn vật liệu của phôi 200, khiến cho phôi 200 bị khoét sâu dần theo hướng mũi tên ở Hình 13.

Hướng mũi tên trên các Hình 12 và Hình 13, là hướng mà phôi 200 sẽ tiếp tục được khoét sâu, một cách gần đúng, trùng với phương nối từ tâm của vùng hội tụ sóng siêu âm đến điểm trên bề mặt phôi 200 nằm gần nhất với tâm đó và có chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 ở đó. Bằng cách điều khiển tâm của vùng hội tụ sóng siêu âm, thông qua điều khiển pha của dao động của các miếng áp

điện 114, sẽ điều khiển được hướng mà phôi 200 sẽ tiếp tục được khoét sâu, từ đó tạo ra được các đường khoan cắt theo ý muốn vào phôi 200, và do đó tạo hình dạng ba chiều mong muốn của vật thể từ phôi.

Đầy đủ hơn, để tạo ra một vật thể có hình dạng ba chiều cho trước, từ phôi 200, với máy tạo hình ba chiều đã nêu, thực hiện ứng với mỗi độ cao Z , từ không cho đến giá trị độ cao lớn nhất của vật thể cần tạo:

xác định mặt cắt của hình dạng vật thể cần tạo tại độ cao Z ;

xác định đường biên của mặt cắt này, gọi là đường biên C_Z ;

hội tụ sóng siêu âm tại các điểm, gọi là các điểm P , có độ sâu so với mặt trên của phôi 200 đúng bằng Z và có tọa độ theo phương ngang nằm trên đường biên C_Z ; thời gian sóng siêu âm hội tụ tại mỗi điểm là trong một thời lượng ΔT đủ lâu đã biết trước; cụ thể, việc hội tụ thực hiện bằng cách cấp điện xoay chiều, trong khoảng thời gian ΔT , vào các điện cực của các miếng áp điện, ở tần số siêu âm, và lệch pha giữa hai điện cực bất kỳ bằng chênh lệch hai khoảng cách từ hai điện cực này đến P nhân với số sóng của sóng siêu âm phát ra từ các miếng áp điện gắn với các điện cực này;

tăng Z lên một khoảng nhỏ, gọi là ΔZ , vào cỡ bước sóng siêu âm hoặc nhỏ hơn, và quay lại các bước nêu trên, cho đến khi Z đạt giá trị độ cao lớn nhất của vật thể cần tạo.

Gọi độ rộng của đường khoan cắt là R , trong một phương án thực thi khác của sáng chế, sóng siêu âm được hội tụ tại các điểm có tọa độ theo phương ngang không nằm trên đường biên C_Z ; mà ở một đường biên rộng hơn C_Z một khoảng $R/2$. Lý do là nếu giữ nguyên tọa độ theo phương ngang của các điểm hội tụ sóng siêu âm nằm trên đường biên C_Z thì đường khoan cắt sẽ cắt thêm sâu vào bên trong vật thể cần tạo hình một khoảng $R/2$, khiến cho vật thể được tạo ra nhỏ hơn thiết kế. Việc hội tụ sóng siêu âm vào các điểm có tọa độ theo phương ngang ở một đường biên rộng hơn C_Z một khoảng $R/2$ sẽ giúp dự trữ không gian dành cho đường khoan cắt, để lại sản phẩm có kích thước giống với thiết kế.

Đường khoan cắt càng nhỏ thì sai lệch gây ra do độ rộng của đường khoan cắt cũng càng nhỏ theo. Độ nhỏ của đường khoan cắt phụ thuộc vào các yếu tố:

kích thước của các hạt cứng nhỏ, nằm trong chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 - các hạt này càng nhỏ thì bề mặt hình thành sau khi khoan cắt càng mịn;

bước sóng siêu âm, và do đó là kích thước của vùng hội tụ sóng siêu âm - bước sóng này càng ngắn thì khe cắt càng bé nhỏ.

Do việc khoan cắt được thực hiện từ phía mặt trên của phôi 200 đi dần xuống các lớp bên dưới, sóng siêu âm chủ yếu lan truyền qua môi trường đồng nhất trong phôi 200, khi đi từ mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 đến vùng hội tụ. Cũng nhờ việc khoan cắt được thực hiện từ phía mặt trên của phôi 200 đi dần xuống các lớp bên dưới, chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300, thông qua tác động của trọng lực, một cách tự nhiên, sẽ len lỏi vào các khe đã được khoan cắt để chảy đến gần vùng hội tụ sóng siêu âm.

Với tốc độ sóng siêu âm lan truyền trong vật liệu rắn ở cỡ 1000 đến 2000 mét trên giây, để có bước sóng nhỏ vào cỡ 0,01 milimét, thì tần số sóng siêu âm vào cỡ vài trăm MHz.

Tốc độ khoan cắt phụ thuộc vào các yếu tố:

cường độ sóng siêu âm - cường độ này càng lớn thì việc khoan cắt diễn ra càng nhanh;

độ bé nhỏ của khe cắt, tức phụ thuộc vào bước sóng siêu âm và kích thước các hạt cứng nhỏ nằm trong chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 - khe cắt càng bé thì việc khoan cắt diễn ra càng nhanh do năng lượng tiêu thụ để bào mòn tạo ra khe cắt bé sẽ ít hơn năng lượng tiêu thụ để bào mòn tạo ra khe cắt to;

chênh lệch độ cứng giữa độ cứng của các hạt cứng nhỏ nằm trong chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 với độ cứng của vật liệu làm nên phôi 200 -

các hạt cứng nhỏ nằm trong chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 càng cứng hơn phôi 200 thì việc khoan cắt diễn ra càng nhanh.

Nếu phôi 200 là vật liệu có khối lượng riêng nhẹ hơn chất lỏng trong chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 - ví dụ như với trường hợp phôi gỗ nhẹ, phôi nhựa, phôi cao su nhẹ hoặc phôi chất dẻo nhẹ, và chất lỏng trong chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 là nước - thì những phần vật liệu của phôi 200 được bào mòn ra sẽ nổi lên mặt trên của chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300, nhờ lực nâng Ácsimét. Việc này sẽ giúp dễ dàng tách rời vật liệu của phôi 200 khỏi các hạt cứng nhỏ trong chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300, tạo điều kiện cho các hạt cứng nhỏ tiếp xúc tốt hơn với bề mặt của phôi 200 tại vùng cần khoan cắt, giúp tăng hiệu quả khoan cắt. Ngoài ra, trong tình huống này, sau khi hoàn thành việc khoan cắt, chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 có thể được đổ trở lại hộp đựng 310, và khi đó lớp bên trên của chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300, gồm chủ yếu các mảnh vật liệu của phôi 200, có thể được dễ dàng gạn lọc ra, giúp tái sử dụng được chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 cho các lần khoan cắt sau với chất lượng gần như không thay đổi.

Sau khi đã khoan cắt xong phần đường biên của vật thể cần tạo, trong một số trường hợp có thể dỡ vật thể cần tạo ra khỏi phôi 200 ngay, tuy nhiên cũng có trường hợp phần vật liệu của phôi 200 nằm xung quanh vật thể cần tạo không cho phép dỡ vật thể ra. Khi đó cần tạo thêm các đường cắt bổ sung trên phần vật liệu của phôi 200 nằm xung quanh vật thể cần tạo, để tách nhỏ nó ra thành các phần không che chắn vật thể cần dỡ ra.

Trong một số trường hợp đường biên của vật thể có cấu trúc phức tạp làm cho chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 không tiếp cận đến các đường biên này một cách dễ dàng. Khi đó có thể phải tạo thêm các đường cắt bổ sung trên vật thể để dẫn chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 chảy vào, và khi dỡ vật thể ra thì cần thực hiện các phương pháp hậu xử lý để bịt các đường cắt này lại. Một phương án khác để giải quyết vấn đề đặt ra trong tình huống này là tách vật thể cần tạo hình thành nhiều mảnh nhỏ, mỗi mảnh có đường biên đơn giản hơn, để

tạo hình riêng rẽ các mảnh này, rồi thực hiện các phương pháp hậu xử lý để lắp ghép các mảnh này lại thành vật thể hoàn chỉnh.

Ngoài hình dạng của phôi 200 như đã được mô tả trong các hình vẽ đã nêu ra ở bên trên, cũng có thể có những phương án thực thi khác của phôi 200.

Hình 14 là hình vẽ sơ lược mặt cắt đứng của máy tạo hình ba chiều, theo phương án thực khác của sáng chế, trong đó phôi 200 có thể không cần có mặt trên lõm xuống. Thay vào đó, máy tạo hình ba chiều có thêm một ống 400 đặt ở mặt trên của phôi 200, hoặc đặt xung quanh phôi 200 và tiếp xúc sát với phôi 200 để tạo thành bức tường ngăn không cho chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 chảy ra ngoài nếu được đổ lên mặt trên của phôi 200.

Trên Hình 14, ngoài các thành phần là đế 100, mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 ở bên trên, phôi 200 nằm bên trên đó, được cố định bởi các kẹp 150, thì còn thể hiện mặt cắt đứng của ống 400. Ở đây, ống 400 là một ống hình trụ, hai đáy không có nắp, đặt tiếp xúc sát với phôi 200 ở mặt trên, và tạo ra bức tường xung quanh mặt trên của phôi, giữ cho chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300 nằm yên bên trên phôi 200 mà không bị chảy ra ngoài.

Trong một phương án thực thi khác của sáng chế, không được thể hiện trên các hình vẽ, ống 400 cũng có thể gắn kết luôn với đế 100.

Trong các phương án thực thi của sáng chế đã được nêu bên trên, vị trí của điểm hội tụ sóng siêu âm, và do đó là hình dạng của các đường cắt và hình dạng của vật thể được tạo hình, hoàn toàn phụ thuộc vào một công thức lý thuyết liên hệ vị trí này với các độ lệch pha giữa dao động của các miếng áp điện 114. Tuy nhiên, có những yếu tố có thể ảnh hưởng đến độ chính xác của vị trí này.

Thứ nhất, ngay trong công thức liên hệ vị trí của điểm hội tụ sóng âm với các độ lệch pha giữa dao động của các miếng áp điện 114, có giá trị bước sóng sóng âm. Bước sóng này phụ thuộc vào vật liệu cấu tạo nên phôi 200. Nếu bước sóng này có những sự sai khác so với giá trị biết trước thì sẽ dẫn đến sai lệch về vị trí của các điểm hội tụ của sóng siêu âm, do đó dẫn đến sai lệch hình dạng của vật thể được tạo ra.

Thứ hai, phôi 200 có thể cấu tạo bởi vật liệu không đồng nhất hoàn toàn ở các vị trí khác nhau. Chẳng hạn, nếu phôi 200 được cắt ra từ một khúc gỗ tự nhiên, hoặc từ một tảng đá tự nhiên, thì những phần khác nhau trong khúc gỗ hoặc tảng đá có thể có sự khác nhau nhỏ. Sự không đồng nhất này khiến cho bước sóng siêu âm lan truyền trong những phần khác nhau của phôi 200 là khác nhau. Dù có thể là sự khác biệt này không lớn, nó cũng làm sai lệch hình dạng của vật thể được tạo ra.

Để khắc phục vấn đề này, trong một phương án thực thi khác của sáng chế, mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 còn đóng vai trò thu nhận lại tín hiệu siêu âm, do chính nó phát ra, phản xạ lại từ phôi 200, để dựng lại hình ảnh của phôi 200, và giúp căn chỉnh lại chính xác hơn vị trí của các điểm hội tụ sóng siêu âm.

Cụ thể, các miếng áp điện 114, với mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 thực hiện bằng công nghệ PMUT, có đặc tính là khi có rung động tác động vào, từ sóng siêu âm lan truyền tới chúng, thì sinh ra hiệu điện thế giữa lớp điện cực mặt trên 112 và các điện cực 116 nằm ở hai đầu của chúng. Hiệu điện thế sinh ra này hoàn toàn tỷ lệ thuận với độ biến dạng của miếng áp điện 114. Do đó, hiệu điện thế này cũng sẽ dao động với tần số và pha trùng với tần số và pha của sóng siêu âm lan truyền tới các miếng áp điện 114. Bằng cách đo sự lệch pha của các điện thế xoay chiều sinh ra ở các cực 116, có thể xác định lại vị trí của điểm phát ra sóng siêu âm, theo cùng một công thức như công thức đã nêu ở bên trên liên hệ vị trí của điểm hội tụ sóng âm với các độ lệch pha giữa dao động của các miếng áp điện 114.

Trường hợp mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 sử dụng công nghệ CMUT, thì các tụ điện cũng sẽ có điện dung thay đổi tuần hoàn khi các bản cực của chúng dao động. Do sự lệch pha của các biến thiên điện dung của các tụ điện cũng cho phép xác định lại vị trí của điểm phát ra sóng siêu âm theo cùng một phương pháp như nêu trên.

Hình 15 là hình vẽ sơ lược mặt cắt đứng của máy tạo hình ba chiều, theo phương án thực hiện của sáng chế mà có mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110

đóng thêm vai trò thu nhận lại tín hiệu siêu âm và dựng lại hình ảnh của phôi 200. Hình 15 vẫn thể hiện mặt cắt của các thành phần cơ bản của máy tạo hình ba chiều, gồm đế 100, mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 ở bên trên, phôi 200 nằm bên trên đó, được cố định bởi các kẹp 150, và phía trên của phôi 200 là chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ 300. Điểm khác biệt, so với các phương án thực thi khác của sáng chế đã được nêu ra ở các phần bên trên, là trên bề mặt phôi 200 có các vết khắc ở các vị trí đã được xác định chính xác. Những vết khắc này sẽ phản xạ lại sóng siêu âm lan truyền đến chúng, và khi đó đóng vai trò như những điểm phát ra sóng siêu âm đã biết trước chính xác vị trí.

Với máy tạo hình ba chiều được mô tả trên Hình 15, trước khi thực hiện khoan cắt, máy tạo hình ba chiều bổ sung thêm một bước xác định lại một cách chính xác hơn bước sóng của sóng siêu âm tại những vùng khác nhau trong phôi 200. Việc này được thực hiện bằng cách, với từng vết khắc, gọi là vết khắc thứ i , với i bằng 1, 2, ..., nằm trên bề mặt phôi 200 ở vị trí $P_i = \{ x_{Pi}, y_{Pi}, z_{Pi} \}$ đã biết trước:

cấp điện xoay chiều vào các điện cực 116 trong một thời gian ngắn, để truyền xung sóng siêu âm vào vùng nằm bao trùm vết khắc thứ i ;

ngừng cấp điện xoay chiều vào các điện cực 116, và chuyển sang thu nhận điện thế xoay chiều sinh ra từ các điện cực 116 khi sóng siêu âm phản xạ từ vết khắc thứ i dội ngược trở lại và lan truyền đến các miếng áp điện 114; và đo các giá trị lệch pha giữa các cặp điện thế xoay chiều sinh ra từ từng cặp điện cực trong số các điện cực 116;

xác định vị trí Q_i thỏa mãn lệch pha giữa hai điện cực 116 bất kỳ bằng chênh lệch hai khoảng cách từ hai điện cực này đến Q_i nhân với số sóng của xung sóng siêu âm đã được phát ra.

Nếu Q_i trùng P_i thì nghĩa là công thức tính ra Q_i là hoàn toàn đúng và bước sóng siêu âm trong phôi 200 trùng với giá trị lý thuyết. Thực tế các Q_i có thể có sai khác nhỏ so với các P_i , do bước sóng siêu âm trong phôi 200 có thể sai khác với giá trị lý thuyết. Trường hợp này, sau khi đã thu được các cặp giá trị P_i, Q_i ,

thực hiện thay đổi nhỏ bước sóng ở những vùng khác nhau của phôi 200 và tính lại các giá trị Q_i với các giá trị bước sóng mới. Cụ thể, Q_i được xác định là điểm mà thỏa mãn điều kiện:

lệch pha giữa hai điện cực 116 bất kỳ, gọi là điện cực A và điện cực B, bằng chênh lệch hai tổng sau:

tổng thứ nhất được tính bằng cách chia đoạn thẳng nối điện cực A đến Q_i làm nhiều đoạn, trên mỗi đoạn lấy tích độ dài đoạn này nhân với số sóng ở vùng phôi 200 quanh đoạn này, rồi cộng các tích vừa thu được cho từng đoạn lại, để ra tổng thứ nhất;

tổng thứ hai được tính bằng cách chia đoạn thẳng nối điện cực B đến Q_i làm nhiều đoạn, trên mỗi đoạn lấy tích độ dài đoạn này nhân với số sóng ở vùng phôi 200 quanh đoạn này, rồi cộng các tích vừa thu được cho từng đoạn lại, để ra tổng thứ hai.

Lặp lại việc này cho đến khi nào mọi giá trị Q_i đều trùng khớp với các giá trị P_i tương ứng. Khi đó, thu được bộ các giá trị bước sóng ở các vùng khác nhau của phôi 200. Bộ này sẽ được sử dụng trong việc xác định độ lệch pha giữa dao động của các miếng áp điện 114, khi muốn hội tụ sóng siêu âm ở các điểm mong muốn trong quá trình khoan cắt tạo hình tiếp theo trên phôi 200. Cụ thể, trong quá trình vận hành quy trình sử dụng máy tạo hình ba chiều để khoan cắt, mỗi khi tạo ra sóng siêu âm hội tụ tại một điểm P , thì thực hiện:

cấp điện xoay chiều vào các điện cực của các miếng áp điện, ở tần số siêu âm, và lệch pha giữa hai điện cực bất kỳ, gọi là điện cực A và điện cực B, bằng chênh lệch của hai tổng sau:

tổng thứ nhất được tính bằng cách chia đoạn thẳng nối điện cực A đến P làm nhiều đoạn, trên mỗi đoạn lấy tích độ dài đoạn này nhân với số sóng ở vùng phôi 200 quanh đoạn này, rồi cộng các tích vừa thu được cho từng đoạn lại, để ra tổng thứ nhất;

tổng thứ hai được tính bằng cách chia đoạn thẳng nối điện cực B đến P làm nhiều đoạn, trên mỗi đoạn lấy tích độ dài đoạn này nhân với số sóng ở vùng phôi 200 quanh đoạn này, rồi cộng các tích vừa thu được cho từng đoạn lại, để ra tổng thứ hai.

Việc sử dụng mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 đóng thêm vai trò thu nhận lại tín hiệu siêu âm cũng cho phép vận hành máy tạo hình ba chiều mà ban đầu chưa biết trước giá trị lý thuyết của bước sóng siêu âm trong phôi 200. Để xác định giá trị trung bình của bước sóng siêu âm trong phôi 200, khi đặt một phôi 200 làm từ vật liệu mới chưa biết rõ đặc tính vào máy, có thể thực hiện:

cấp điện xoay chiều vào các điện cực 116 trong một thời gian ngắn, có pha lệch nhau theo công thức đã nêu, để hội tụ một xung sóng siêu âm vào tâm của mặt trên của phôi 200;

ngừng cấp điện xoay chiều vào các điện cực 116, và chuyển sang thu nhận điện thế xoay chiều sinh ra từ các điện cực 116 khi sóng siêu âm phản xạ từ mặt trên của phôi 200 dội ngược trở lại và lan truyền đến các miếng áp điện 114;

xác định chênh lệch thời gian từ lúc đầu tiên phát xung siêu âm đến lúc đầu tiên nhận được xung siêu âm, gọi là T;

giá trị trung bình của bước sóng siêu âm trong phôi 200 là $\lambda = 2D/(Tf)$, với D là độ cao của phôi 200, còn f là tần số của sóng siêu âm.

Công thức vừa nêu xuất phát từ mối liên hệ giữa bước sóng âm, gọi là λ , và tốc độ lan truyền của âm, gọi là c, và tần số của âm, gọi là f, theo $\lambda = c/f$. Tốc độ lan truyền của âm bằng quãng đường sóng siêu âm đi được trong khoảng thời gian T, chính là 2 lần độ cao của phôi 200, chia cho thời gian T.

Như vậy, ngay cả khi đưa vào máy một phôi 200 làm từ vật liệu mới chưa biết rõ đặc tính, có thể xác định giá trị trung bình của bước sóng siêu âm trong phôi 200 theo cách trên. Bước sóng này sẽ là xuất phát điểm để thực hiện quy

trình tính các giá trị Q_i và so sánh với các giá trị P_i để hiệu chỉnh lại chính xác hơn các giá trị bước sóng ở các vùng khác nhau của phôi 200, đã nêu ở trên.

Việc sử dụng mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 đóng thêm vai trò thu nhận lại tín hiệu siêu âm cũng cho phép vận hành máy tạo hình ba chiều mà ban đầu chưa biết trước thời lượng ΔT , thời lượng cần thiết để sóng siêu âm hội tụ vào một điểm đủ lâu cho vật liệu của phôi 200 gần điểm đó bị bào mòn hết. Thời lượng này cũng phụ thuộc vào vật liệu của phôi 200. Nếu vật liệu của phôi 200 cứng thì thời lượng này kéo dài hơn, còn nếu vật liệu của phôi 200 mềm thì thời lượng này ngắn hơn. Khi đưa vào máy một phôi 200 làm từ vật liệu mới chưa biết rõ đặc tính, sẽ khó có thể biết trước giá trị của thời lượng ΔT . Lúc đó, trong quá trình máy tạo hình ba chiều thực hiện khoan cắt, mỗi khi sóng siêu âm được hội tụ vào một điểm mới cần khoan, thực hiện:

cấp điện xoay chiều vào các điện cực 116 trong một thời gian ngắn, để hội tụ một xung sóng siêu âm vào điểm cần khoan, ở vị trí gọi là P , bằng cách tạo ra lệch pha giữa các cặp điện cực theo những cách đã mô tả ở các phần bên trên;

ngừng cấp điện xoay chiều vào các điện cực 116, và chuyển sang thu nhận điện thế xoay chiều sinh ra từ các điện cực 116 khi sóng siêu âm phản xạ từ vùng bề mặt phôi 200 nằm gần điểm cần khoan, dội ngược trở lại và lan truyền đến các miếng áp điện 114; từ độ lệch pha của các hiệu điện thế đã ghi nhận được, xác định lại vị trí của vùng bề mặt phôi 200 nằm gần điểm cần khoan; kết quả thu được là vị trí Q , thỏa mãn mối liên hệ với độ lệch pha của các hiệu điện thế như đã trình bày ở các nội dung bên trên;

nếu Q nằm cao hơn P hoặc lệch khỏi P nhưng không thấp hơn P thì lặp lại các bước trên, cho đến khi Q không còn lệch khỏi P hoặc bắt đầu hơi thấp hơn P .

Trong quy trình vừa nêu trên, P là tâm hội tụ của sóng siêu âm, còn Q là điểm phản xạ sóng siêu âm trên bề mặt phôi 200 gần nhất với P . Khi chưa

hoàn thành việc khoan cắt tại P, điểm Q vẫn còn cao hơn P, hoặc lệch khỏi P. Nhờ xác định vị trí của Q, thông qua việc sử dụng mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 đóng thêm vai trò thu nhận lại tín hiệu siêu âm, có thể biết việc khoan cắt tại điểm P đã hoàn thành chưa. Khi việc khoan cắt vẫn chưa hoàn thành thì tiếp tục hội tụ sóng siêu âm vào điểm P. Khi việc khoan cắt đã hoàn thành, Q sẽ gần với P hoặc thấp hơn P một chút; lúc đó có thể ngừng hội tụ sóng siêu âm tại P để chuyển sang khoan cắt ở điểm tiếp theo trong phôi 200.

Các quy trình trên cho phép máy tạo hình ba chiều hoạt động với phôi làm từ vật liệu hoàn toàn chưa biết trước đặc tính, do đó mở ra một dải rộng ứng dụng cho máy tạo hình ba chiều, trên các vật liệu khác nhau.

Việc sinh ra các phôi, từ các nguyên vật liệu tự nhiên như gỗ hay đá, có thể được thực hiện đơn giản và nhanh chóng bằng các máy tiện hoặc cắt có hình dạng cố định, phù hợp với kích cỡ của máy tạo hình ba chiều. Cũng có thể tạo ra phôi từ vật liệu nhựa tái chế, thủy tinh, hoặc các vật liệu có thể nóng chảy và hóa cứng khi nguội nhiều lần, bằng cách đun chảy chúng trong các khuôn có hình dạng cố định phù hợp với kích cỡ của máy tạo hình ba chiều, rồi để nguội. Cũng có thể tạo ra phôi từ vật liệu hóa cứng khi phơi lâu, như xi măng, đồ gốm hay cao su, silicon bằng cách đổ chúng ở dạng lỏng hoặc dạng mềm vào các khuôn có hình dạng cố định phù hợp với kích cỡ của máy tạo hình ba chiều, rồi phơi đủ lâu. Các phương pháp này đều có thể tạo ra các phôi số lượng lớn, giá thành rẻ, phù hợp cho máy tạo hình ba chiều.

Ngoài phương án tạo ra các vết khắc trên phôi 200, bằng máy tiện, máy khoan cắt, hoặc bằng khuôn đúc như đã nêu trên, với mặt cắt đứng được thể hiện trên Hình 9, cho máy tạo hình ba chiều có bổ sung thêm bước xác định lại một cách chính xác hơn bước sóng của sóng siêu âm tại những vùng khác nhau trong phôi 200, thì cũng có phương án khác vẫn tạo ra được sự phản xạ mạnh sóng siêu âm ở các vị trí xác định trên bề mặt phôi. Chẳng hạn, một phương án thực thi khác là tạo ra các mấu lồi trên bề mặt phôi 200 ở các vị trí xác định, có thể bằng khuôn đúc. Một phương án thực thi khác nữa là việc

son lên hoặc dán lên bề mặt phôi 200, ở các vị trí xác định, những miếng vật liệu dày hơn vài bước sóng của sóng âm. Theo những phương án đó, tại các vị trí có miếng dán hoặc mấu lồi, sự phản xạ của sóng siêu âm sẽ khác biệt so với các phần bề mặt còn lại, và tạo ra nguồn siêu âm phản xạ khác biệt so với nền sóng siêu âm phản xạ lại từ bề mặt của phôi. Việc này vẫn giúp thu được sóng siêu âm phản xạ ở dạng phù hợp để tính lại các giá trị Q_i , từ đó xác định lại một cách chính xác hơn bước sóng của sóng siêu âm tại những vùng khác nhau trong phôi 200.

Cuối cùng trong một phương án thực thi khác của sáng chế, giữa mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 và phôi 200, có thêm lớp đệm bằng chất lỏng hoặc chất keo, chất dẻo có tính năng hỗ trợ dẫn truyền siêu âm từ mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 sang phôi 200, và ngược lại, từ phôi 200 sang mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110. Lớp đệm này thay thế lớp không khí nằm giữa mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 và phôi 200, giảm phản xạ và thất thoát siêu âm ở bề mặt phôi 200, do chênh lệch tốc độ lan truyền siêu âm trong phôi 200 và lớp đệm ít hơn so với chênh lệch tốc độ lan truyền siêu âm trong phôi 200 và không khí.

Một yếu tố kỹ thuật cần lưu ý khi sử dụng máy tạo hình ba chiều, đó là có nhiều loại sóng siêu âm lan truyền được trong vật liệu rắn của phôi 200, với tốc độ khác nhau. Loại sóng âm có tốc độ lan truyền nhanh nhất, và cũng ít bị tiêu hao năng lượng khi lan truyền nhất, là sóng dọc, chính là loại được sử dụng trong máy tạo hình ba chiều. Các sóng siêu âm khác, có tốc độ lan truyền chậm hơn khá nhiều, sẽ không thể tạo ra được điểm hội tụ nào, khi mảng nhiều phần tử phát siêu âm 110 được điều khiển để có các độ lệch pha phù hợp cho sóng dọc hội tụ tại một điểm. Vì thế, các sóng siêu âm khác sẽ không gây nhiễu vào quá trình vận hành máy tạo hình ba chiều.

Yêu cầu bảo hộ

1. Máy tạo hình ba chiều gồm:

một đế;

nhiều phần tử phát sóng siêu âm độc lập với nhau, gắn trên đế, mỗi phần tử phát sóng siêu âm là một miếng áp điện có hai đầu gắn điện cực;

phôi nằm sát các phần tử phát sóng siêu âm nêu trên, được cố định vào đế thông qua các ốc vít hoặc các kẹp;

chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ, được thả lên mặt trên của phôi hoặc được thả vào các khe hở trong phôi.

2. Máy tạo hình ba chiều theo điểm 1, khác biệt ở chỗ có thêm:

ống đặt sát vào bề mặt phôi, làm cho bề mặt phôi và thành ống chứa đựng được chất lỏng chứa các hạt cứng nhỏ.

3. Máy tạo hình ba chiều theo điểm bất kỳ trong các điểm 1 và 2, khác biệt ở chỗ có thêm:

lớp đệm bằng chất lỏng hoặc chất keo hoặc chất dẻo, nằm giữa các phần tử phát sóng siêu âm và phôi, thay thế cho lớp không khí, nếu có, nằm giữa các phần tử phát sóng siêu âm và phôi.

4. Máy tạo hình ba chiều theo điểm bất kỳ trong các điểm 1, 2 và 3, khác biệt ở chỗ:

phôi có thêm những vết khắc, hoặc mấu lồi, hoặc miếng dán ở những vị trí đã xác định trước.

5. Quy trình tạo ra vật thể có hình dáng cho trước từ phôi, bằng máy tạo hình ba chiều theo điểm bất kỳ trong các điểm 1, 2, 3 và 4, gồm các bước sau, với xuất phát điểm của một biến số được gọi là Z có giá trị ban đầu bằng không:

xác định mặt cắt của hình dạng vật thể cần tạo ra, tại độ cao Z ;

xác định đường biên của mặt cắt này, gọi là đường biên CZ ;

với mỗi điểm gọi là P ở độ sâu Z so với mặt trên của phôi và tọa độ theo phương ngang nằm trên đường biên CZ, hoặc trên đường biên rộng hơn CZ một khoảng cố định, cấp điện xoay chiều, trong một khoảng thời gian ΔT nhất định, vào các điện cực của các miếng áp điện của các phần tử phát sóng siêu âm, ở tần số siêu âm, và lệch pha giữa hai điện cực bất kỳ bằng chênh lệch hai khoảng cách từ hai phần tử phát sóng siêu âm tương ứng đến P nhân với số sóng của sóng siêu âm phát ra từ các phần tử phát sóng siêu âm;

tăng Z lên một khoảng nhỏ, gọi là ΔZ , vào cỡ bước sóng siêu âm hoặc nhỏ hơn, và quay lại các bước nêu trên, cho đến khi Z đạt giá trị độ cao lớn nhất của vật thể cần tạo.

6. Quy trình tạo ra vật thể có hình dáng cho trước từ phôi, bằng máy tạo hình ba chiều theo điểm bất kỳ trong các điểm 1, 2, 3 và 4, gồm các bước sau, với xuất phát điểm của một biến số được gọi là Z có giá trị ban đầu bằng không:

xác định mặt cắt của hình dạng vật thể cần tạo ra, tại độ cao Z;

xác định đường biên của mặt cắt này, gọi là đường biên CZ;

với mỗi điểm gọi là P ở độ sâu Z so với mặt trên của phôi và tọa độ theo phương ngang nằm trên đường biên CZ, hoặc trên đường biên rộng hơn CZ một khoảng cố định:

cấp điện xoay chiều, trong một khoảng thời gian ngắn, vào các điện cực của các miếng áp điện của các phần tử phát sóng siêu âm, ở tần số siêu âm, và lệch pha giữa hai điện cực bất kỳ bằng chênh lệch hai khoảng cách từ hai phần tử phát sóng siêu âm tương ứng đến P nhân với số sóng của sóng siêu âm phát ra từ các phần tử phát sóng siêu âm;

ngừng cấp điện xoay chiều vào các điện cực, và chuyển sang thu nhận điện thế xoay chiều sinh ra từ các điện cực, và đo các giá trị lệch pha giữa các cặp điện thế xoay chiều sinh ra từ từng cặp điện cực trong số các điện cực;

xác định vị trí Q thỏa mãn lệch pha giữa hai điện cực bất kỳ bằng chênh lệch hai khoảng cách từ hai phần tử phát sóng siêu âm tương ứng đến Q nhân với số sóng của sóng siêu âm phát ra từ các phần tử phát sóng siêu âm;

nếu Q nằm cao hơn P hoặc lệch khỏi P nhưng không thấp hơn P thì lặp lại ba bước ngay trên, cho đến khi Q không còn lệch khỏi P hoặc bắt đầu hơi thấp hơn P ;

tăng Z lên một khoảng nhỏ, gọi là ΔZ , vào cỡ bước sóng siêu âm hoặc nhỏ hơn, và quay lại các bước có sử dụng Z trước đó, cho đến khi Z đạt giá trị độ cao lớn nhất của vật thể cần tạo.

7. Quy trình tạo ra vật thể có hình dáng cho trước từ phôi, bằng máy tạo hình ba chiều theo điểm 4, gồm các bước sau:

với mỗi vết khắc, hoặc mấu lồi, hoặc miếng dán, thứ i , trên bề mặt của phôi, ở vị trí đã xác định trước, gọi là vị trí P_i :

cấp điện xoay chiều, trong một thời gian ngắn, vào các điện cực của các miếng áp điện, ở tần số siêu âm;

ngừng cấp điện xoay chiều vào các điện cực, rồi chuyển sang thu nhận điện thế xoay chiều sinh ra từ các điện cực, và đo các giá trị lệch pha giữa các cặp điện thế xoay chiều sinh ra từ từng cặp điện cực trong số các điện cực;

xác định vị trí Q_i thỏa mãn lệch pha giữa hai điện cực bất kỳ bằng chênh lệch hai khoảng cách từ hai phần tử phát sóng siêu âm tương ứng đến Q_i nhân với số sóng của sóng siêu âm phát ra từ các phần tử phát sóng siêu âm;

nếu có giá trị Q_i khác biệt với giá trị P_i tương ứng thì lặp lại việc:

thay đổi nhỏ giá trị số sóng, của sóng siêu âm phát ra từ các phần tử phát sóng siêu âm, tại các vùng khác nhau trong phôi;

xác định lại vị trí Q_i thỏa mãn lệch pha giữa hai điện cực bất kỳ, gọi là điện cực A và điện cực B, bằng chênh lệch của hai tổng:

tổng thứ nhất được tính bằng cách chia đoạn thẳng nối phần tử phát sóng siêu âm ứng với điện cực A đến Q_i làm nhiều đoạn, trên mỗi đoạn lấy tích độ dài đoạn này nhân với số sóng ở vùng phôi quanh đoạn này, rồi cộng các tích vừa thu được cho từng đoạn lại, để ra tổng thứ nhất;

tổng thứ hai được tính bằng cách chia đoạn thẳng nối phần tử phát sóng siêu âm ứng với điện cực B đến Q_i làm nhiều đoạn, trên mỗi đoạn lấy tích độ dài đoạn này nhân với số sóng ở vùng phôi quanh đoạn này, rồi cộng các tích vừa thu được cho từng đoạn lại, để ra tổng thứ hai;

cho đến khi nào mọi Q_i đều trùng với các P_i tương ứng;

với xuất phát điểm của một biến số được gọi là Z có giá trị ban đầu bằng không:

xác định mặt cắt của hình dạng vật thể cần tạo ra, tại độ cao Z;

xác định đường biên của mặt cắt này, gọi là đường biên CZ;

với mỗi điểm gọi là P ở độ sâu Z so với mặt trên của phôi và tọa độ theo phương ngang nằm trên đường biên CZ, hoặc trên đường biên rộng hơn CZ một khoảng cố định, thực hiện một trong hai cách:

cách thứ nhất là cấp điện xoay chiều, trong một khoảng thời gian ΔT nhất định, vào các điện cực của các miếng áp điện của các phần tử phát sóng siêu âm, ở tần số siêu âm, và lệch pha giữa hai điện cực bất kỳ, gọi là điện cực A và điện cực B, bằng chênh lệch của hai tổng:

tổng thứ nhất được tính bằng cách chia đoạn thẳng nối phần tử phát sóng siêu âm ứng với điện cực A đến P làm nhiều đoạn, trên mỗi đoạn lấy tích độ dài đoạn này nhân với số sóng ở

vùng phôi quanh đoạn này, rồi cộng các tích vừa thu được cho từng đoạn lại, để ra tổng thứ nhất;

tổng thứ hai được tính bằng cách chia đoạn thẳng nối phần tử phát sóng siêu âm ứng với điện cực B đến P làm nhiều đoạn, trên mỗi đoạn lấy tích độ dài đoạn này nhân với số sóng ở vùng phôi quanh đoạn này, rồi cộng các tích vừa thu được cho từng đoạn lại, để ra tổng thứ hai;

cách thứ hai là:

cấp điện xoay chiều, trong một khoảng thời gian ngắn, vào các điện cực của các miếng áp điện của các phần tử phát sóng siêu âm, ở tần số siêu âm, và lệch pha giữa hai điện cực bất kỳ, gọi là điện cực A và điện cực B, bằng chênh lệch của hai tổng:

tổng thứ nhất được tính bằng cách chia đoạn thẳng nối phần tử phát sóng siêu âm ứng với điện cực A đến P làm nhiều đoạn, trên mỗi đoạn lấy tích độ dài đoạn này nhân với số sóng ở vùng phôi quanh đoạn này, rồi cộng các tích vừa thu được cho từng đoạn lại, để ra tổng thứ nhất;

tổng thứ hai được tính bằng cách chia đoạn thẳng nối phần tử phát sóng siêu âm ứng với điện cực B đến P làm nhiều đoạn, trên mỗi đoạn lấy tích độ dài đoạn này nhân với số sóng ở vùng phôi quanh đoạn này, rồi cộng các tích vừa thu được cho từng đoạn lại, để ra tổng thứ hai;

ngừng cấp điện xoay chiều vào các điện cực, và chuyển sang thu nhận điện thế xoay chiều sinh ra từ các điện cực, và đo các giá trị lệch pha giữa các cặp điện thế xoay chiều sinh ra từ từng cặp điện cực trong số các điện cực;

xác định vị trí Q thỏa mãn lệch pha giữa hai điện cực bất kỳ, gọi là điện cực A và điện cực B, bằng chênh lệch của hai tổng:

tổng thứ nhất được tính bằng cách chia đoạn thẳng nối phần tử phát sóng siêu âm ứng với điện cực A đến Q làm nhiều đoạn, trên mỗi đoạn lấy tích độ dài đoạn này nhân với số sóng ở vùng phôi quanh đoạn này, rồi cộng các tích vừa thu được cho từng đoạn lại, để ra tổng thứ nhất;

tổng thứ hai được tính bằng cách chia đoạn thẳng nối phần tử phát sóng siêu âm ứng với điện cực B đến Q làm nhiều đoạn, trên mỗi đoạn lấy tích độ dài đoạn này nhân với số sóng ở vùng phôi quanh đoạn này, rồi cộng các tích vừa thu được cho từng đoạn lại, để ra tổng thứ hai;

nếu Q nằm cao hơn P hoặc lệch khỏi P nhưng không thấp hơn P thì lặp lại ba bước ngay trên, cho đến khi Q không còn lệch khỏi P hoặc bắt đầu hơi thấp hơn P;

tăng Z lên một khoảng nhỏ, gọi là ΔZ , vào cỡ bước sóng siêu âm hoặc nhỏ hơn, và quay lại các bước có sử dụng Z trước đó, cho đến khi Z đạt giá trị độ cao lớn nhất của vật thể cần tạo.

8. Quy trình theo điểm bất kỳ trong các điểm 5, 6 và 7, khác biệt ở chỗ, trước khi thực hiện các bước đã nêu ra ở trong các điểm 5, 6 và 7, bổ sung thêm việc thực hiện các bước sau:

cấp điện xoay chiều, trong một thời gian ngắn, vào các điện cực của các miếng áp điện của các phần tử phát sóng siêu âm;

ngừng cấp điện xoay chiều vào các điện cực, và chuyển ngay sang thu nhận điện thế xoay chiều sinh ra từ các điện cực;

xác định chênh lệch thời gian, gọi là T, từ lúc đầu tiên cấp điện xoay chiều vào các điện cực đến lúc đầu tiên nhận được điện thế xoay chiều sinh ra từ các điện cực;

giá trị của số sóng của sóng siêu âm trong phôi, sẽ được sử dụng trong các bước tiếp theo, là bằng số pi nhân với T nhân với tần số của điện xoay

chiều đã cấp cho các điện cực ở bước đầu tiên và chia cho khoảng cách ngắn nhất từ các phần tử phát sóng siêu âm đến bề mặt phản xạ đối diện và gần nhất với các phần tử phát sóng siêu âm.

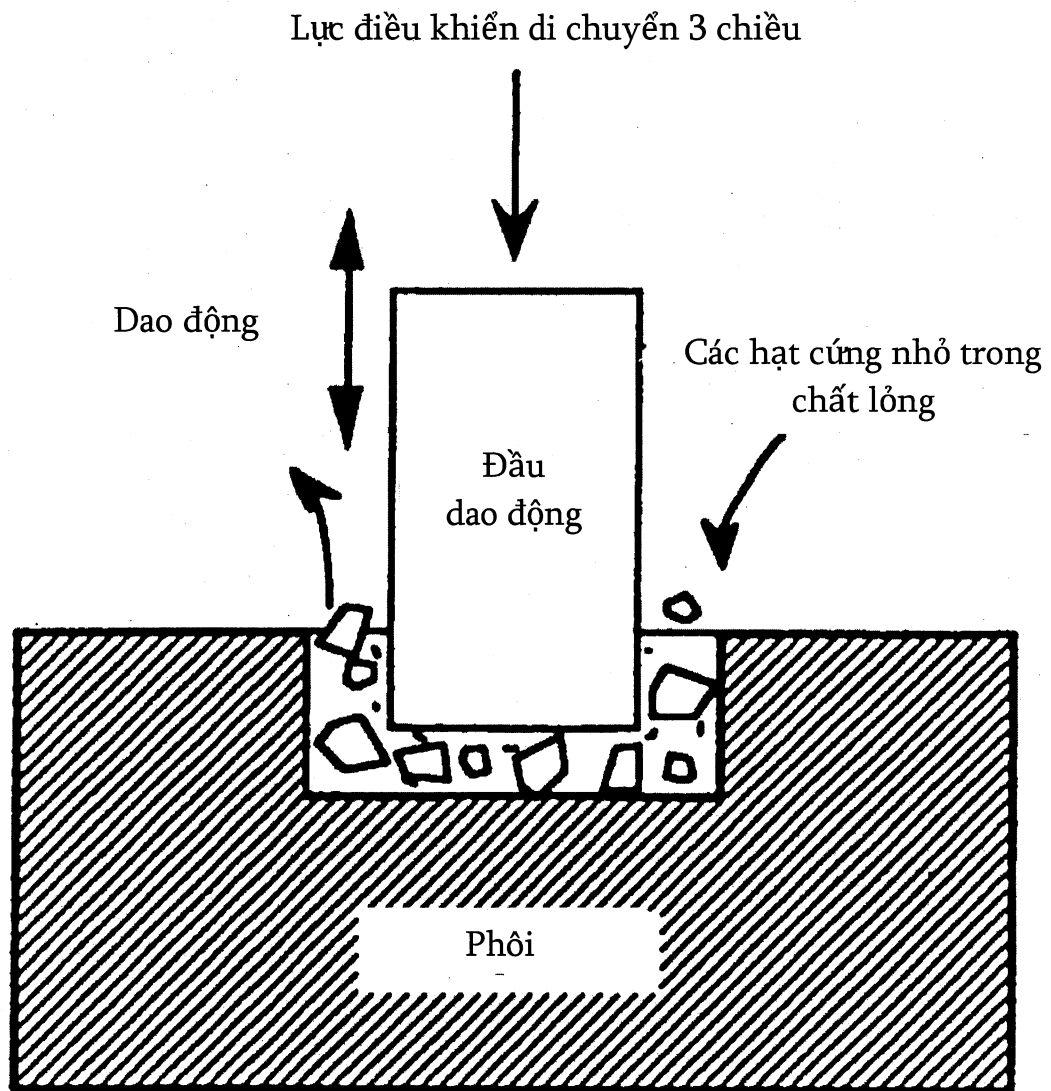
9. Quy trình theo điểm bất kỳ trong các điểm 5, 6, 7 và 8, khác biệt ở chỗ, bổ sung thêm việc lặp lại các bước đã nêu ra trong quy trình với các điểm P còn có thêm tọa độ theo phương ngang nằm ở các vị trí bên phía ngoài của đường biên CZ, hoặc ở các vị trí bên phía ngoài của đường biên rộng hơn CZ một khoảng cố định.

10. Quy trình theo điểm bất kỳ trong các điểm 5, 6, 7, 8 và 9, khác biệt ở chỗ:

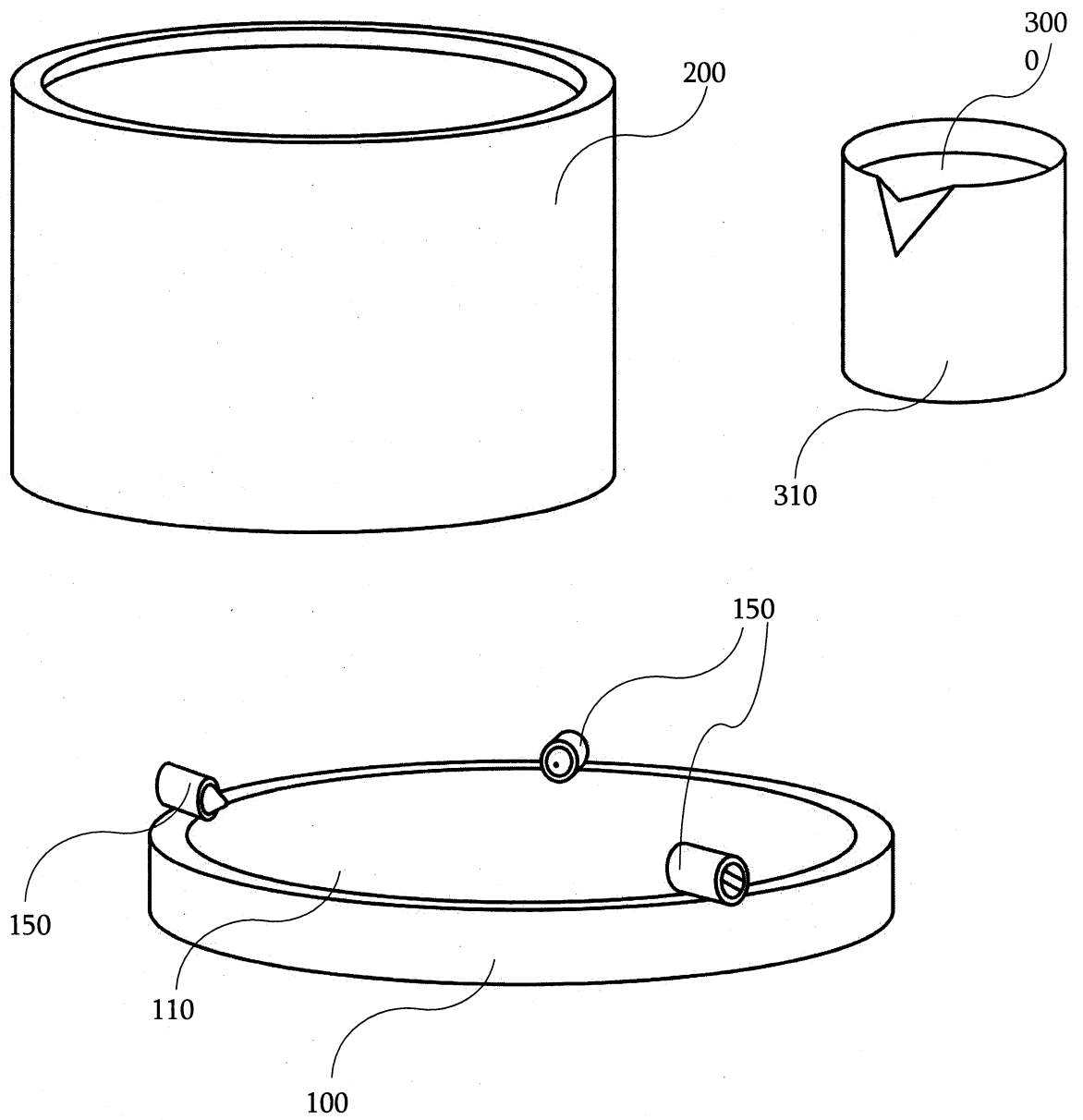
biến số Z có giá trị ban đầu bằng độ cao lớn nhất của vật thể cần tạo;

bước cuối cùng, thay vì tăng Z thì giảm Z một khoảng nhỏ, gọi là ΔZ , vào cỡ bước sóng siêu âm hoặc nhỏ hơn, và quay lại các bước có sử dụng Z trước đó, cho đến khi Z đạt giá trị bằng không.

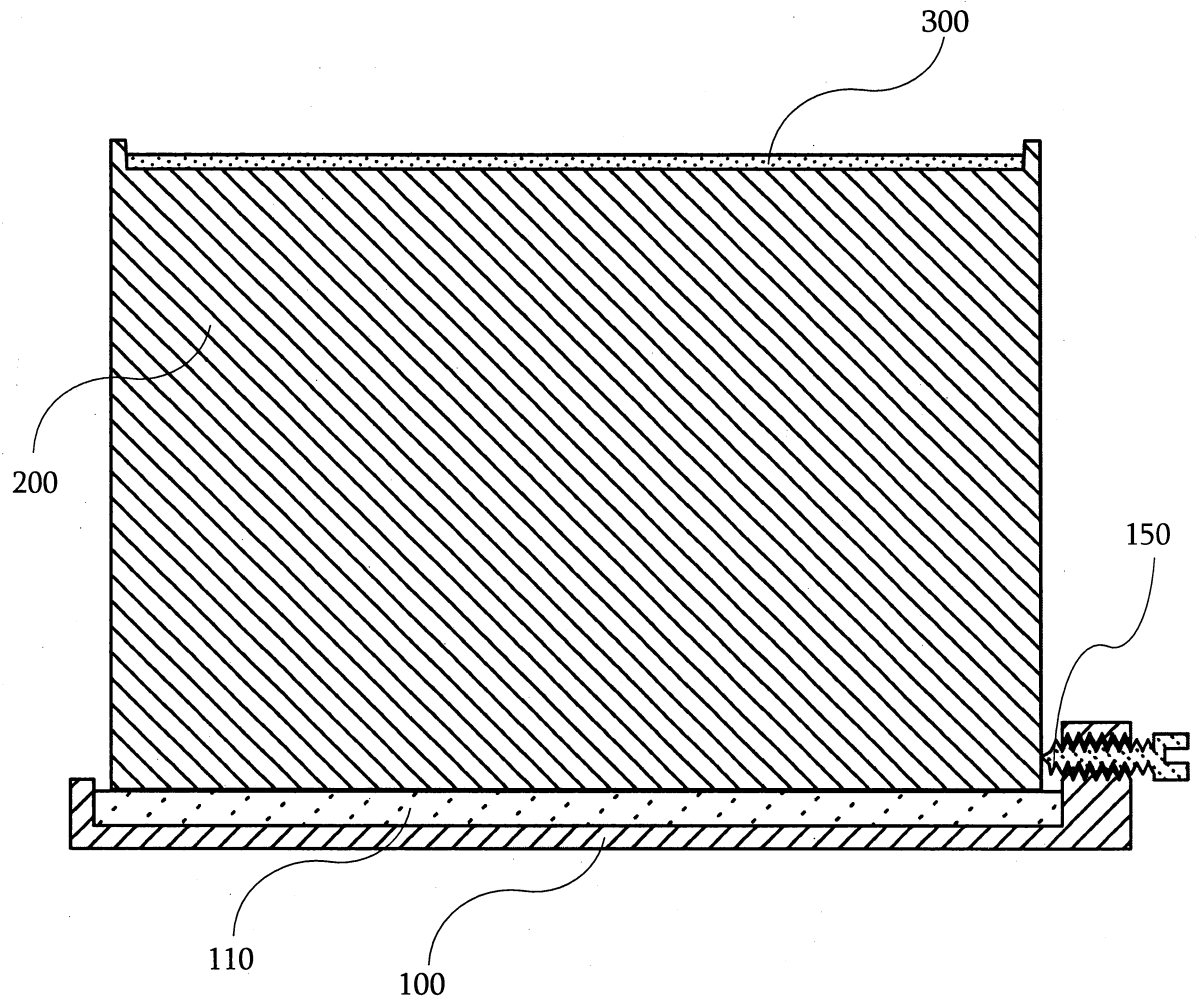
Hình 1



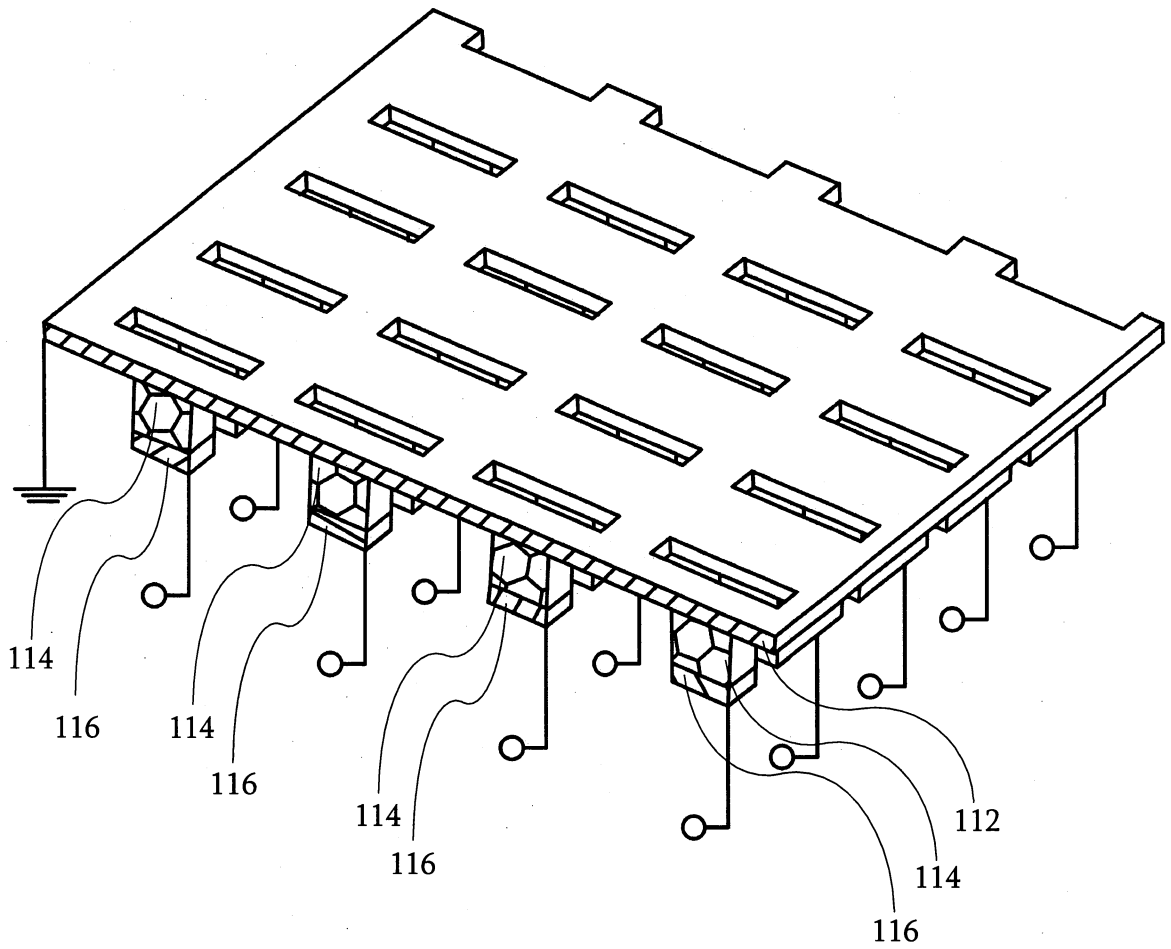
Hình 2



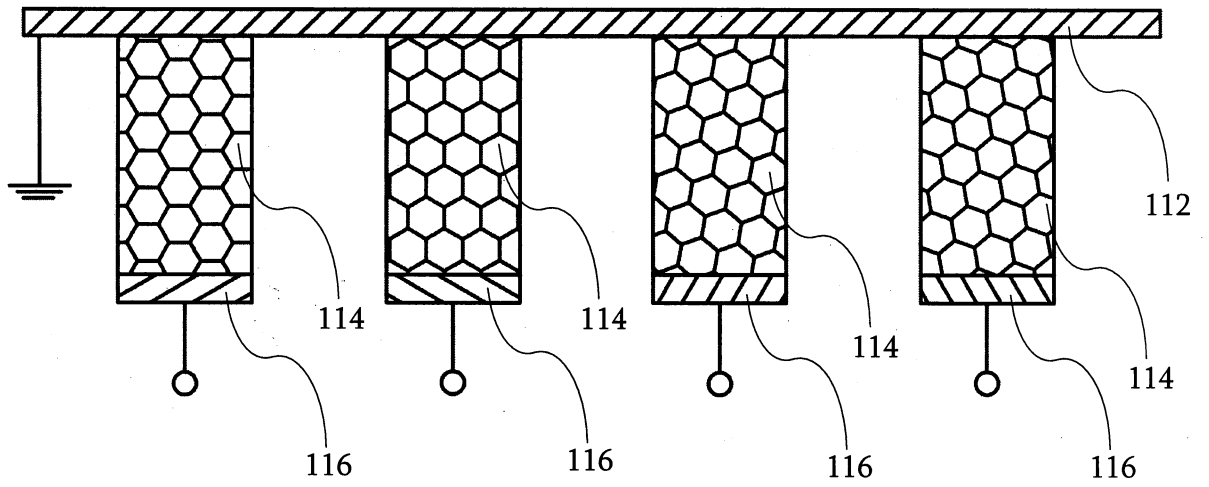
Hình 3



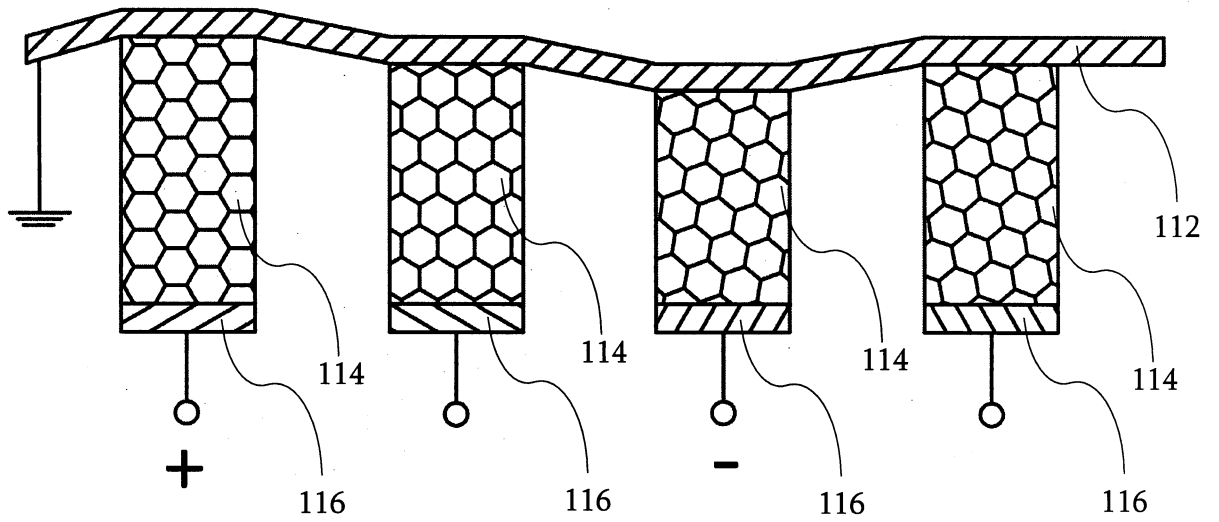
Hình 4



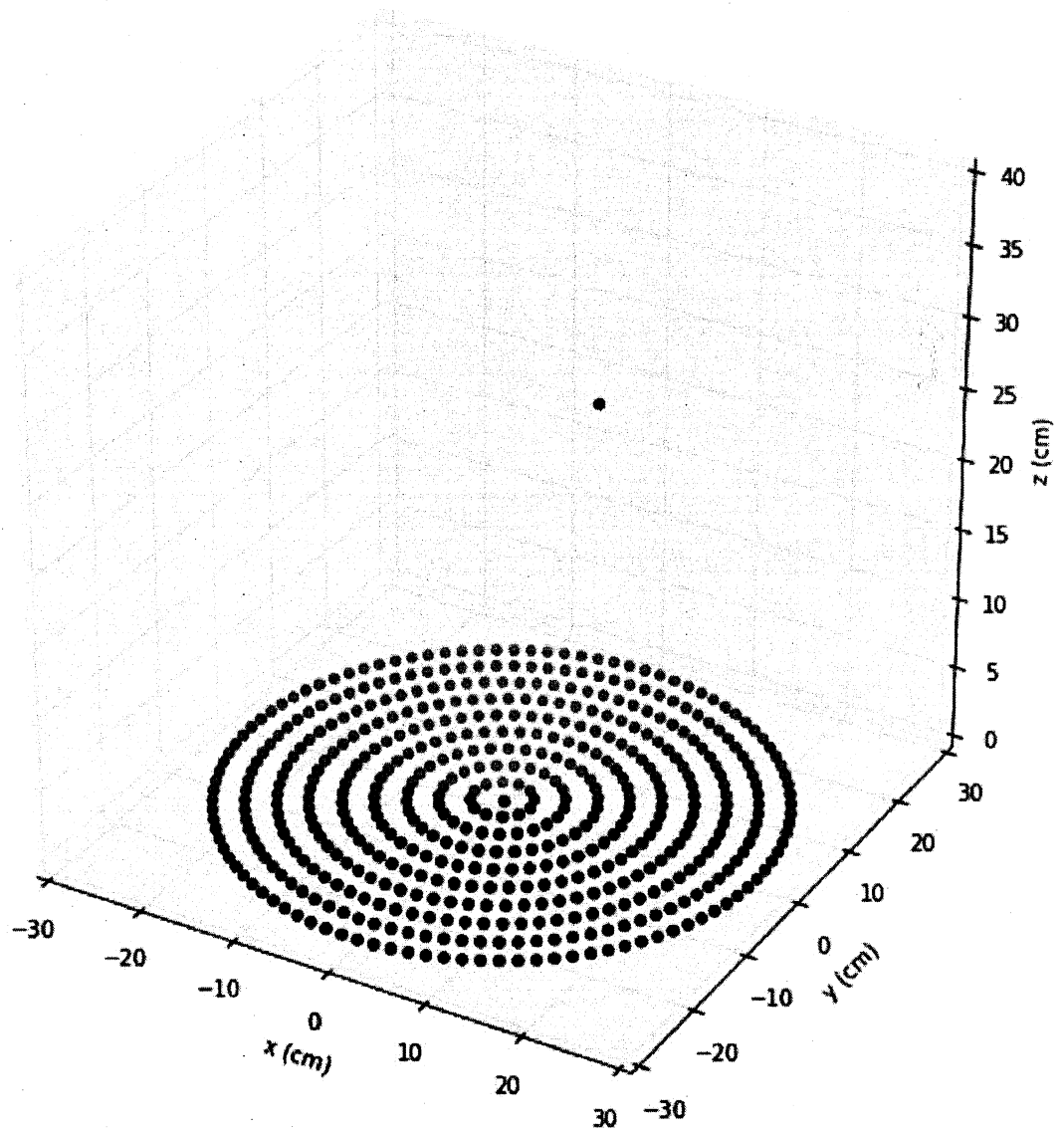
Hình 5



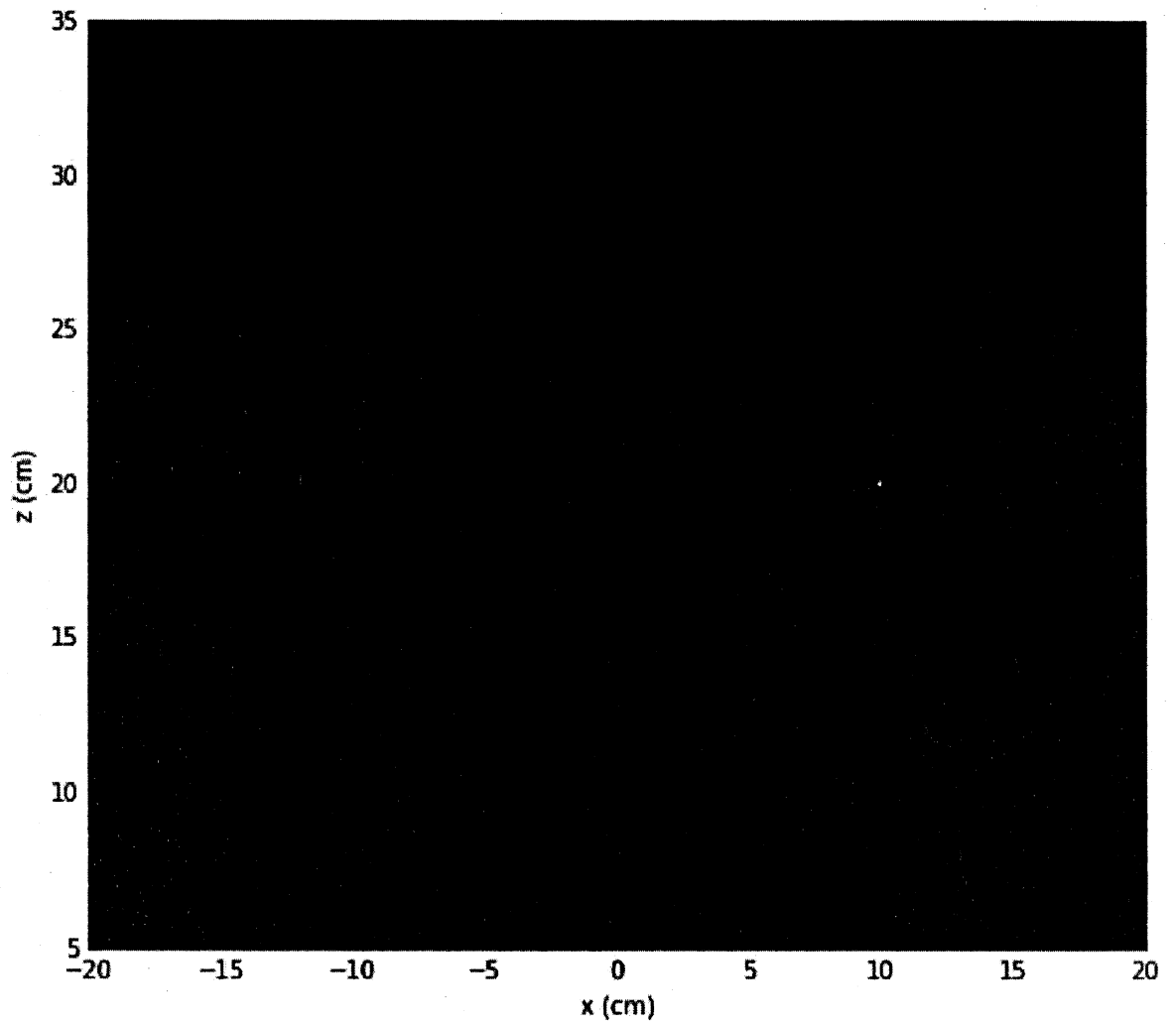
Hình 6



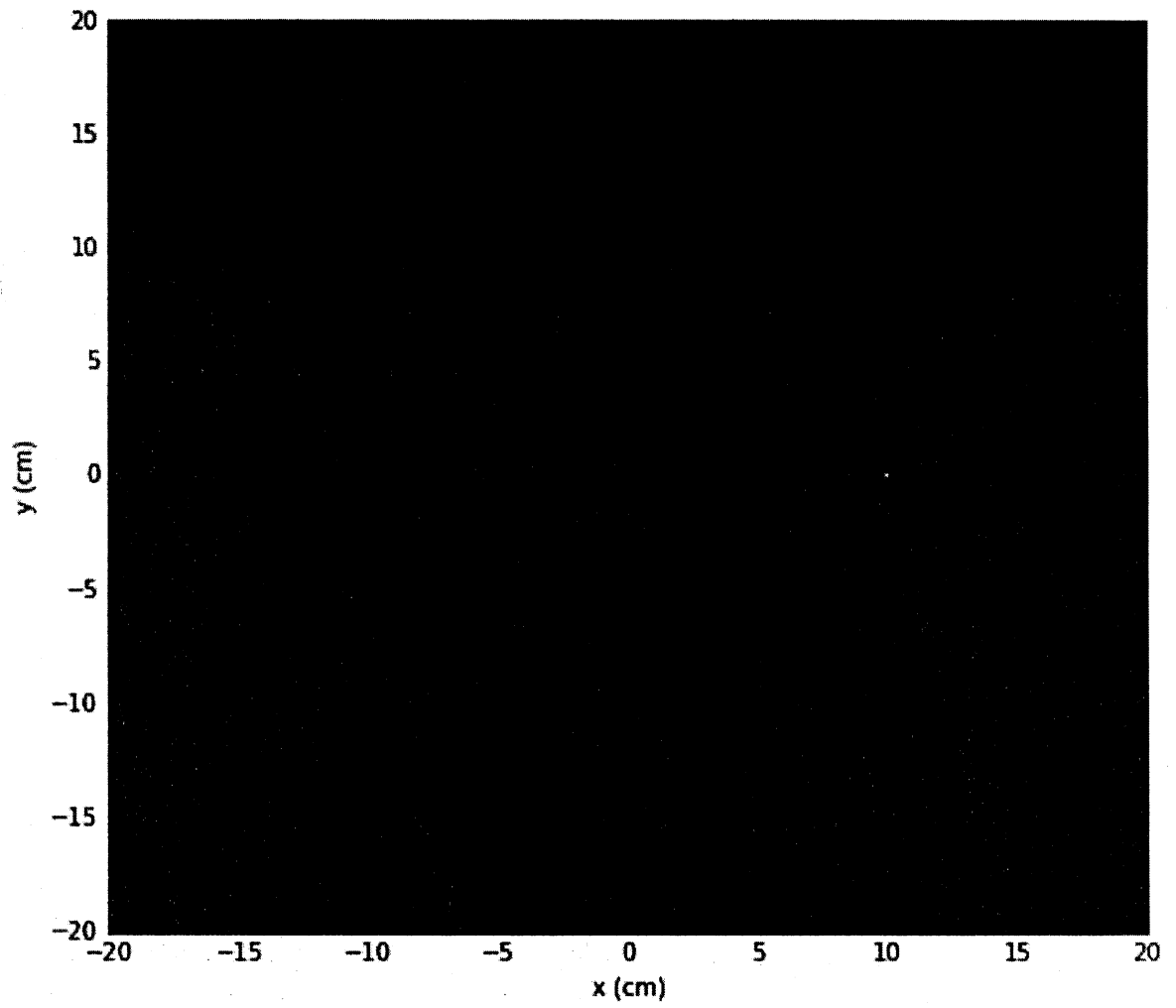
Hình 7



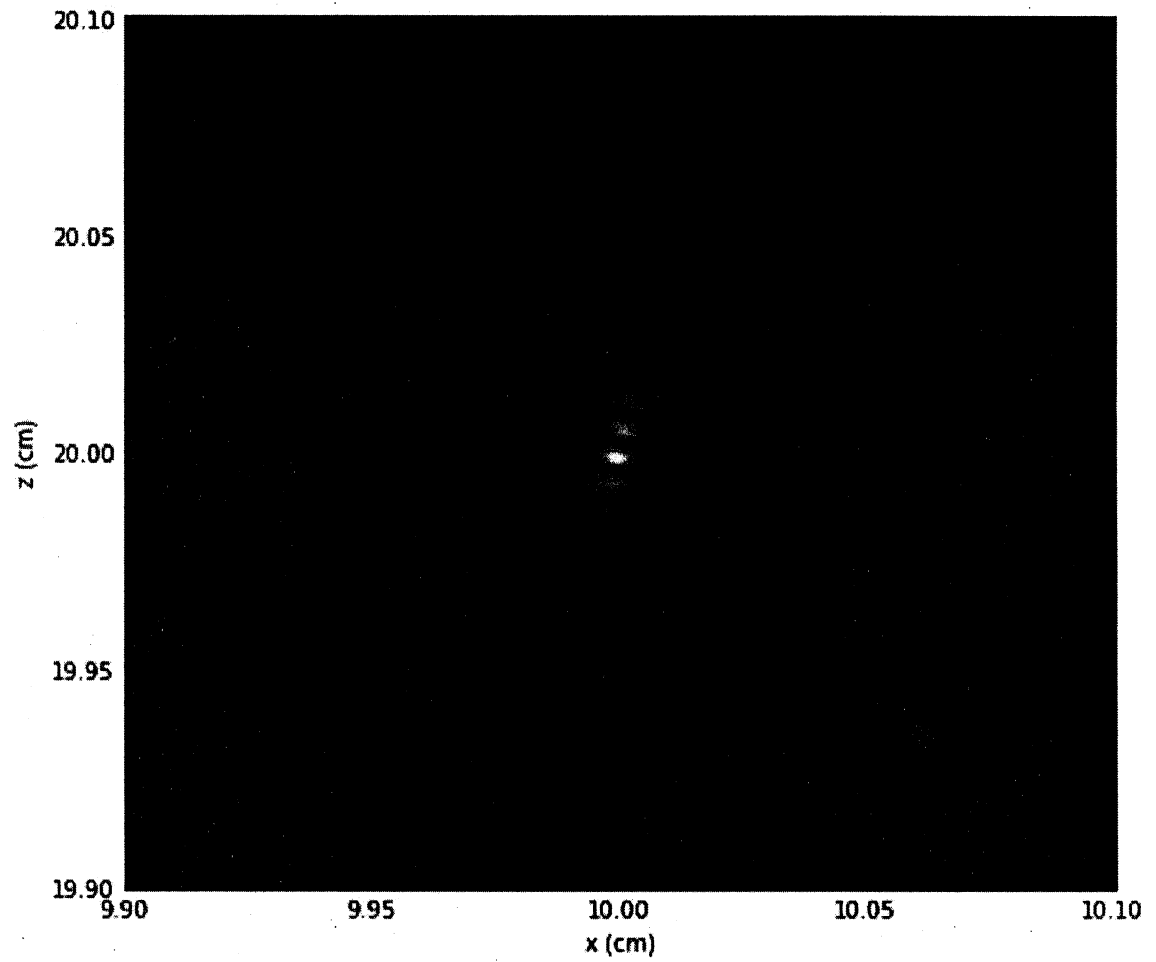
Hình 8



Hình 9

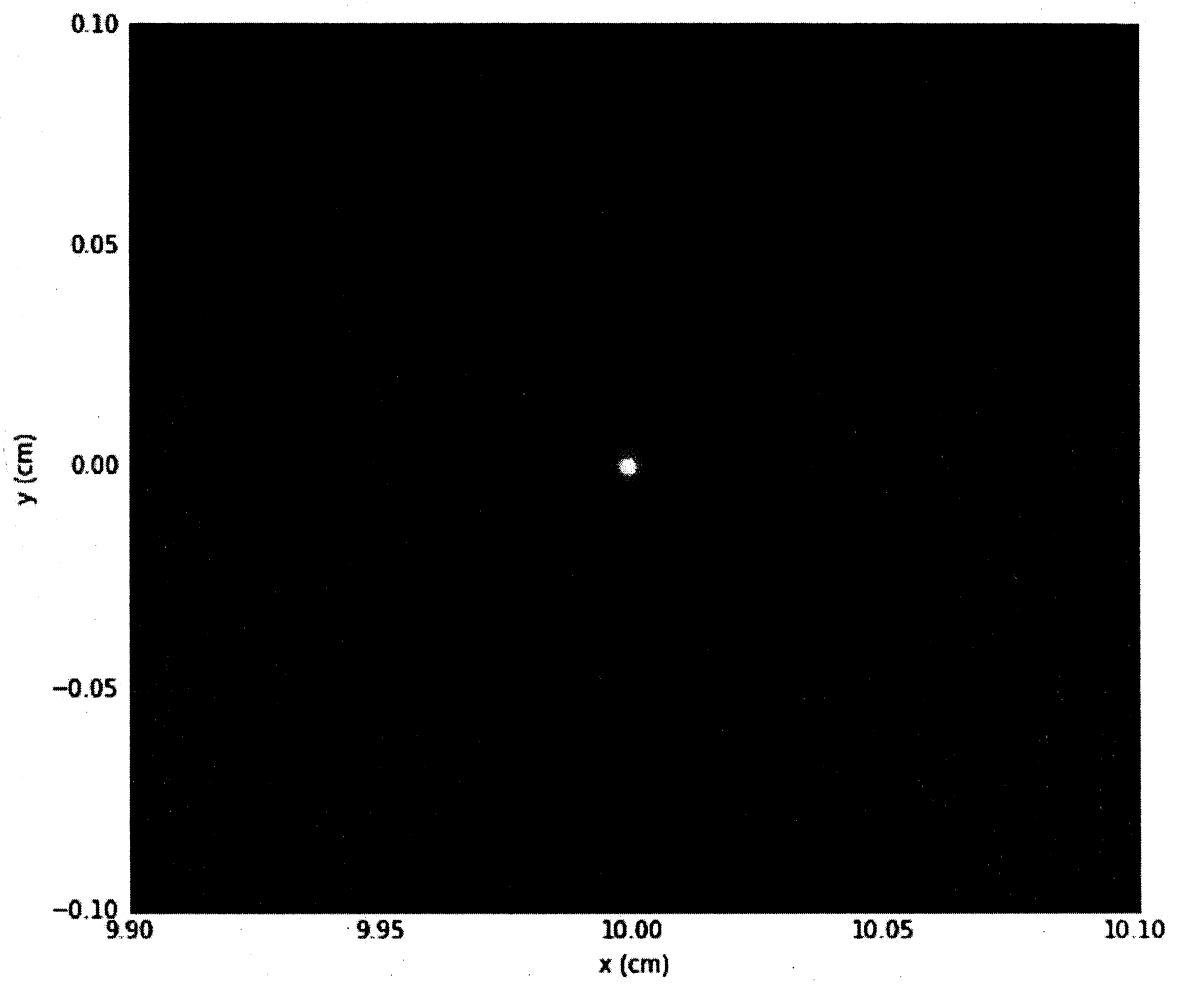


Hình 10

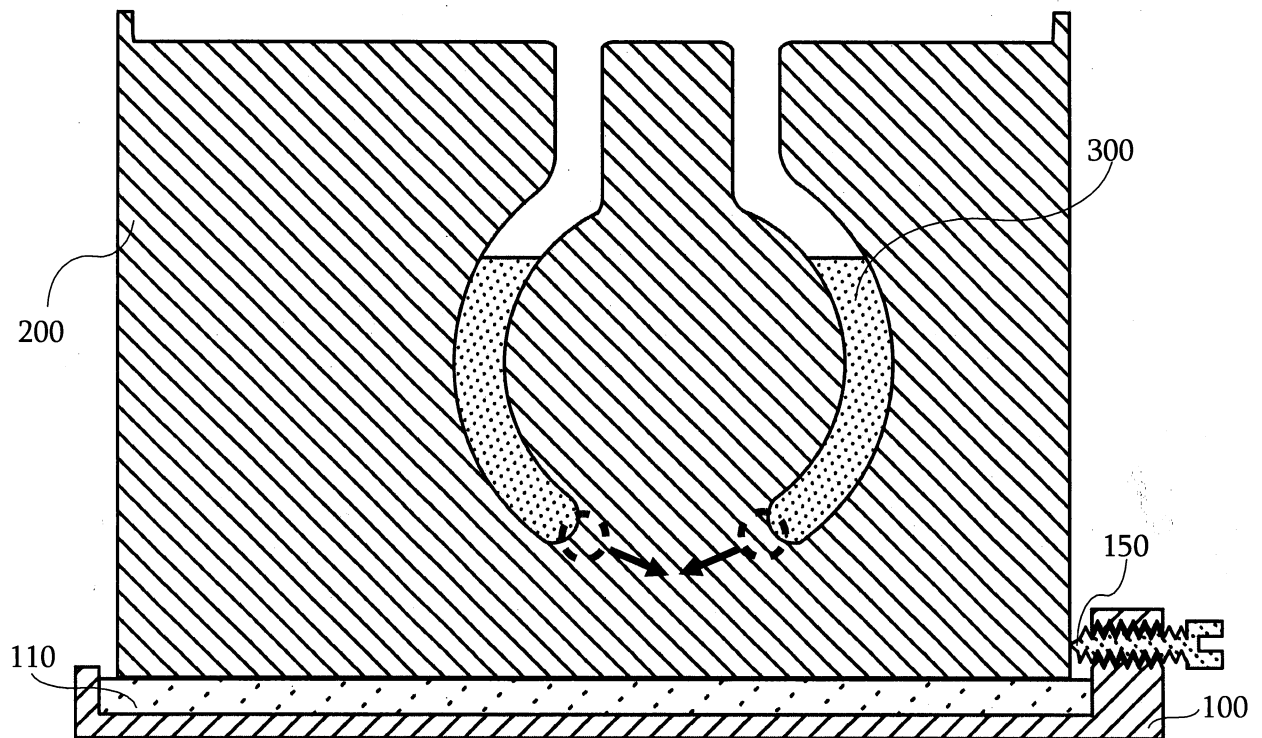


20880

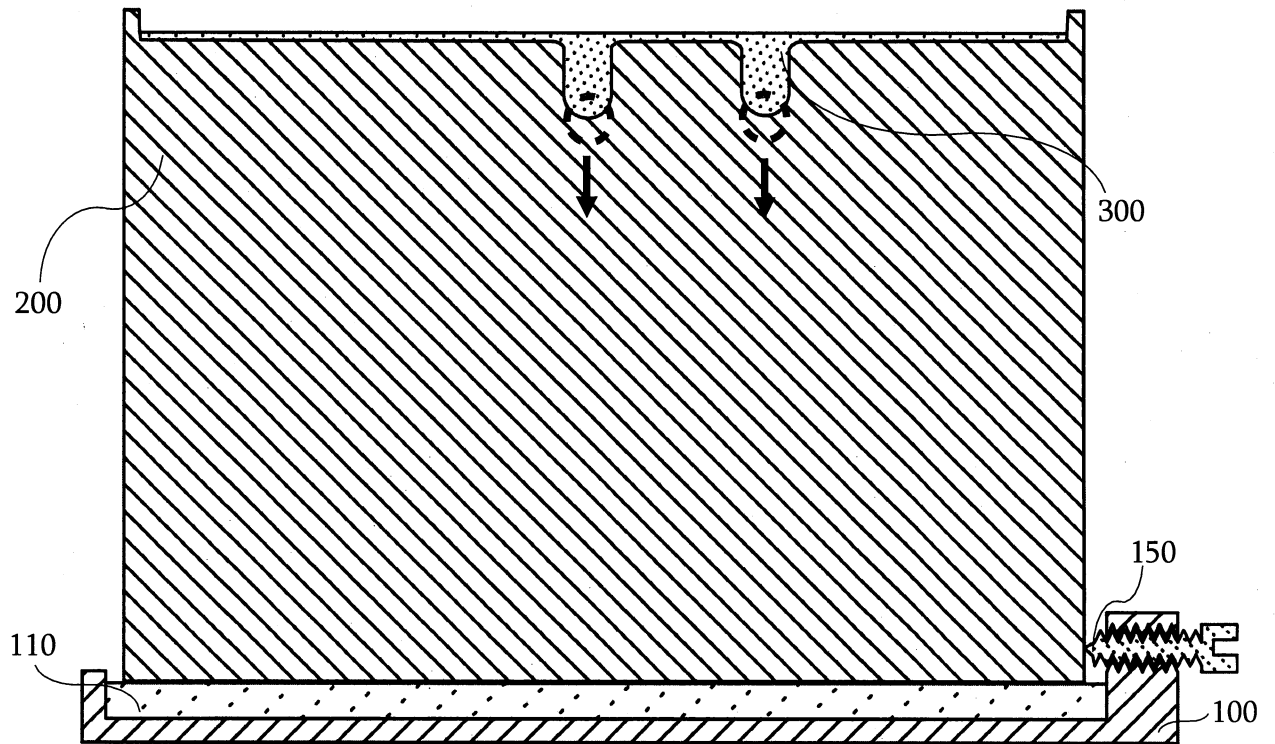
Hình 11



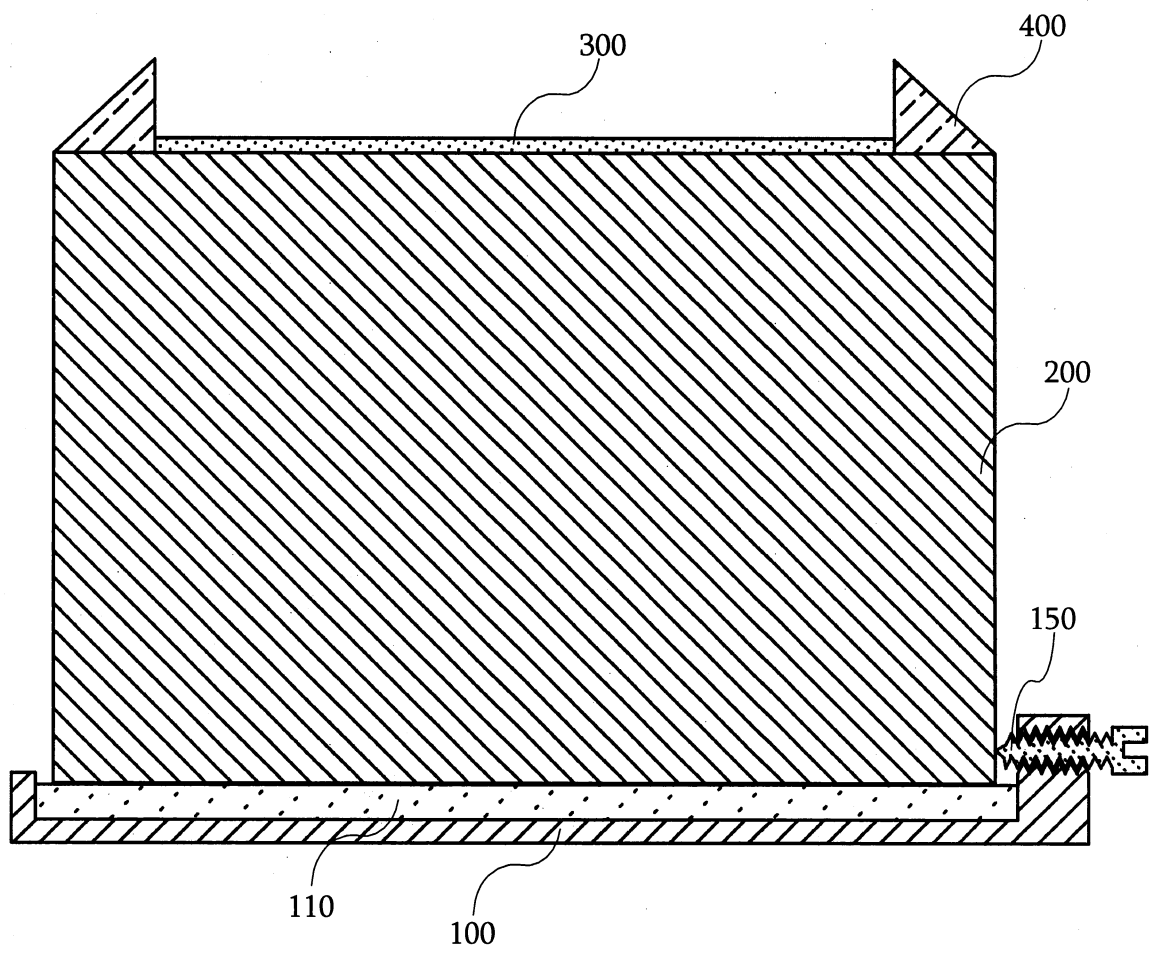
Hình 12



Hình 13



Hình 14



Hình 15

