



(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)



1-0050998

(51)^{2021.01} C03C 3/097; C03B 1/00; C03C 10/00

(13) B

(21) 1-2022-03684

(22) 24/11/2020

(86) PCT/US2020/061913 24/11/2020

(87) WO2021/108345 03/06/2021

(30) 62/940,523 26/11/2019 US

(45) 25/09/2025 450

(43) 26/09/2022 414A

(73) CORNING INCORPORATED (US)

1 Riverfront Plaza, Corning, New York 14831, United States of America

(72) FU, Qiang (US); RAI, Rohit (IN); RIDGE, John Richard (US); UKRAINCZYK, Ljerka (US).

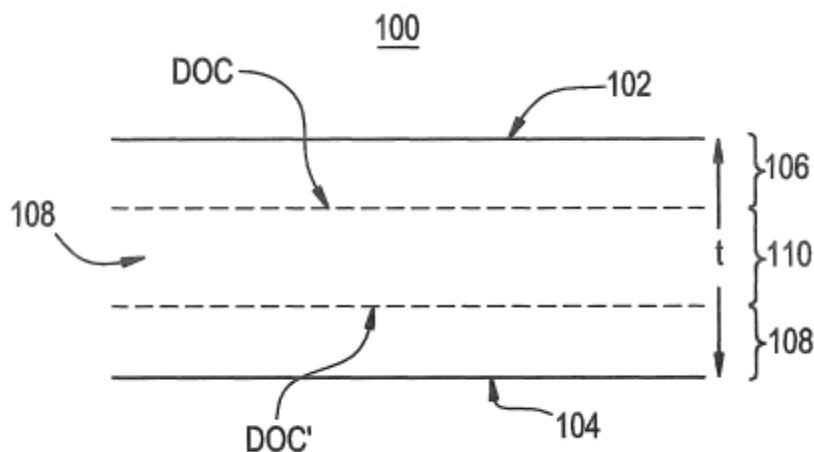
(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)

(54) PHƯƠNG PHÁP TẠO RA VẬT PHẨM THỦY TINH GÓM

(21) 1-2022-03684

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm. Các phương án về phương pháp có thể gồm trước tiên bước tạo ra mầm hợp phần tiền chất thủy tinh ở nhiệt độ tạo mầm thứ nhất và duy trì nhiệt độ tạo mầm thứ nhất trong khoảng thời gian tạo mầm sơ bộ để tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ, trong đó hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ bao gồm 5% khối lượng đến 20% khối lượng pha kết tinh ASTM C1365-18, tạo hình hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ thành hình dạng 3D ban đầu; tiếp theo tạo ra mầm hình dạng 3D ban đầu trong khoảng thời gian tạo mầm đến nhiệt độ tạo mầm thứ hai để tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm; và gồm hóa hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm đến nhiệt độ kết tinh và duy trì nhiệt độ gồm hóa trong khoảng thời gian kết tinh để tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm. Vật phẩm thủy tinh gồm có thể có hình dạng 3D cuối là nằm trong 0,1 mm của các thông số kỹ thuật thiết kế ban đầu.

FIG. 1



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến vật phẩm thủy tinh gồm có tính chống nứt vỡ cao, và cụ thể hơn là vật phẩm thủy tinh gồm ba chiều (three-dimensional - 3D) và tiến trình gồm hóa để tạo ra chúng.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Vật phẩm thủy tinh gồm có thể được sử dụng làm đế phủ và vỏ cho thiết bị điện tử di động. Trong một số trường hợp, vật phẩm thủy tinh gồm có thể có các đặc tính cơ học tốt hơn so với thủy tinh, như tính chống xuyên thấu vết nứt và tính năng thả rơi.

Thủy tinh gồm gồm lithi disilicat/petalit được phát triển cho các ứng dụng thủy tinh phủ. Nhận thấy rằng khách hàng điện tử tiêu dùng quan tâm đến việc sử dụng lớp phủ 3D cho các thiết bị điện tử cầm tay, như điện thoại thông minh, máy tính bảng, và máy tính xách tay. Thủy tinh phủ mong muốn có thể có dạng kết hợp của bề mặt 2D, để tương tác với thiết bị hiển thị, và bề mặt 3D, để cuốn quanh mép của thiết bị hiển thị. Việc điều khiển số học bằng máy tính (computer numerical control - CNC) truyền thống gia công từ vật phẩm khối dày thành hình dạng 3D mỏng tốn nhiều thời gian và năng lượng.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Các phương án của sáng chế đề xuất phương pháp tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm thành hình 3D. Bằng cách kiểm soát độ kết tinh của thủy tinh gồm và độ nhót, vật phẩm thủy tinh gồm hình 3D có kích thước chính xác có thể được tạo ra với chất lượng bề mặt mong muốn đồng thời giảm thiểu sự biến dạng. Hơn nữa, vật phẩm thủy tinh gồm 3D tạo ra từ các phương pháp được mô tả ở đây có thể không cần khuôn.

Theo khía cạnh thứ nhất, phương pháp tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm được đề xuất. Phương pháp có thể gồm bước tạo mầm sơ bộ hợp phần tiền chất thủy tinh ở nhiệt độ tạo mầm thứ nhất và duy trì nhiệt độ tạo mầm thứ nhất trong khoảng thời gian tạo mầm sơ bộ để tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ, trong đó hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ bao gồm 5% khối lượng đến 20% khối lượng pha kết tinh ASTM C1365-18; tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ thành hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu; tạo mầm hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu trong khoảng thời gian tạo mầm đến nhiệt độ tạo mầm thứ hai để tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm; và gôm hóa hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm ở nhiệt độ kết tinh và duy trì nhiệt độ kết tinh trong khoảng thời gian kết tinh để tạo ra vật phẩm thủy tinh gôm. Vật phẩm thủy tinh gôm có thể có mức kiểm soát kích thước của hình dạng 3D cuối nằm trong 0,1 mm của thông số kỹ thuật thiết kế ban đầu có hình dạng 3D cuối.

Khía cạnh thứ hai có thể gồm khía cạnh thứ nhất, trong đó bước tạo mầm sơ bộ hợp phần tiền chất thủy tinh bao gồm việc gia nhiệt hợp phần tiền chất thủy tinh đến nhiệt độ tạo mầm thứ nhất và duy trì nhiệt độ tạo mầm thứ nhất trong khoảng thời gian tạo mầm sơ bộ.

Khía cạnh thứ ba có thể gồm khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh nêu trên, trong đó hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm bao gồm lớn hơn 20% khối lượng pha kết tinh.

Khía cạnh thứ tư có thể gồm khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh nêu trên, trong đó hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có độ nhót từ 10^8 poa đến $10^{9,9}$ poa ở nhiệt độ tạo mầm thứ nhất trong khoảng thời gian tạo mầm sơ bộ.

Khía cạnh thứ năm có thể gồm khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh nêu trên, trong đó hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm có độ nhót lớn hơn 10^{10} poa ở nhiệt độ tạo mầm thứ hai.

Khía cạnh thứ sáu có thể gồm khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh nêu trên, trong đó quy trình tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ thành hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu bao gồm một hoặc nhiều quy trình nén, quy trình làm lún, quy trình lăn, hoặc quy trình đúc.

Khía cạnh thứ bảy có thể gồm khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh nêu trên, trong đó nhiệt độ tạo mầm thứ nhất là từ 500°C đến 650°C.

Khía cạnh thứ tám có thể gồm khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh nêu trên, trong đó nhiệt độ tạo mầm thứ hai là từ 500°C đến 750°C.

Khía cạnh thứ chín có thể gồm khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh nêu trên, trong đó quy trình tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ thành hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu xảy ra khi gia nhiệt vật phẩm đến nhiệt độ tạo mầm thứ hai, trong đó nhiệt độ tạo mầm thứ hai là lớn hơn nhiệt độ tạo mầm thứ nhất.

Khía cạnh thứ mười có thể gồm khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh nêu trên, trong đó quy trình tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ thành hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu xảy ra trước khi tạo mầm hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu.

Theo khía cạnh mười một, phương pháp tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm được đề xuất. Phương pháp có thể gồm bước tạo ra tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D thành tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu, trong đó tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ bao gồm 5% khối lượng đến 20% khối lượng pha kết tinh khi được đo theo ASTM C1365-18; tạo mầm tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu ở nhiệt độ tạo mầm trong khoảng thời gian tạo mầm để tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm; kết tinh hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm đến nhiệt độ kết tinh và duy trì nhiệt độ gồm hóa trong khoảng thời gian kết tinh để tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm,

trong đó vật phẩm thủy tinh gồm có mức kiểm soát kích thước có hình dạng 3D cuối là nằm trong 0,1 mm của thông số kỹ thuật thiết kế ban đầu có hình dạng 3D cuối.

Khía cạnh mười hai có thể gồm khía cạnh mười một, trong đó tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D có độ nhót từ $10^{7,6}$ poa đến $10^{9,9}$ poa trong quá trình tạo thành hình dạng 3D ban đầu.

Khía cạnh mười ba có thể gồm khía cạnh mười một đến mười hai, trong đó quy trình tạo ra tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu bao gồm một hoặc nhiều quy trình nén, quy trình làm lún, quy trình lăn, hoặc quy trình đúc.

Khía cạnh mười bốn có thể gồm khía cạnh mười một đến khía cạnh mười ba, trong đó nhiệt độ tạo mầm thứ hai là từ 500°C đến 750°C .

Khía cạnh mười lăm có thể gồm khía cạnh mười một đến mười bốn, trong đó khoảng thời gian tạo mầm là từ 1 phút đến 6 giờ.

Khía cạnh mười sáu có thể gồm khía cạnh mười một đến mười lăm, trong đó nhiệt độ kết tinh là từ 650°C đến 900°C .

Khía cạnh mười bảy có thể gồm khía cạnh mười một đến mười sáu, trong đó bước tạo hình tấm đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D thành tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu xảy ra đồng thời với bước tạo mầm tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu bằng cách gia nhiệt hình dạng 3D ban đầu đến nhiệt độ tạo mầm.

Khía cạnh mười tám có thể gồm khía cạnh mười một đến mười bảy, trong đó bước tạo hình tấm đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D thành tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu xảy ra trước khi tạo mầm tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu.

Theo khía cạnh mười chín, tấm đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D được đề xuất. Tấm đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D có thể gồm hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ bao gồm 5% khối lượng đến 20% khối lượng pha kết tinh đo được theo ASTM C1365-18.

Khía cạnh hai mươi có thể gồm khía cạnh mười chín, trong đó tấm đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D có độ dày từ 0,2 mm đến 4,0 mm.

Khía cạnh hai mươi một có thể gồm khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh mười chín đến hai mươi, trong đó tấm đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D có độ dày đồng đều.

Khía cạnh hai mươi hai có thể gồm khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ mười chín đến hai mươi, trong đó tấm đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D có độ dày không đồng đều.

Khía cạnh hai mươi ba có thể gồm khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ mười chín đến hai mươi hai, trong đó hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ bao gồm từ 55 % mol đến 75 % mol SiO_2 ; từ 0,2 % mol đến 10 % mol Al_2O_3 ; từ 15 % mol đến 30 % mol Li_2O ; từ 0,2 % mol đến 3,0 % mol P_2O_5 ; từ 0,1 % mol đến 10 % mol ZrO_2 ; và từ 0,05 % mol đến 1,0 % mol SnO_2 .

Khía cạnh hai mươi tư có thể gồm khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ mười chín đến hai mươi ba, trong đó hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ bao gồm một hoặc nhiều B_2O_3 với lượng nhỏ hơn 5 % mol; Na_2O với lượng nhỏ hơn 2 % mol; K_2O với lượng nhỏ hơn 2 % mol; MgO với lượng nhỏ hơn 2 % mol; và ZnO với lượng nhỏ hơn 2 % mol.

Các đặc điểm và các ưu điểm bổ sung sẽ được thể hiện trong phần mô tả chi tiết sau đây, và một phần sẽ trở nên rõ ràng với người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này từ phần mô tả đó hoặc được thừa nhận bằng cách thực hành các phương án như được mô tả ở đây, bao gồm phần mô tả chi tiết dưới đây, các yêu cầu bảo hộ cũng như các hình vẽ kèm theo.

Cần phải hiểu rằng, cả phần mô tả chung trên đây và mô tả chi tiết dưới đây chỉ nhằm minh họa, và nhằm đưa ra tổng quan hoặc khung để hiểu bản chất và đặc trưng của các yêu cầu bảo hộ.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Các hình vẽ kèm theo được đưa vào để giúp hiểu rõ hơn về sáng chế và được kết hợp và tạo thành một phần của bản mô tả này. Các hình vẽ này minh họa một hoặc nhiều phương án và cùng với phần mô tả dùng để giải thích các nguyên tắc và cách thực hiện các phương án khác nhau.

FIG. 1 là sơ đồ mặt cắt ngang minh họa của vật phẩm thủy tinh gồm;

FIG. 2 là biểu đồ minh họa chu trình làm mát;

FIG. 3 là biểu đồ minh họa chu trình làm mát khác;

FIG. 4 là đồ thị về sự thay đổi độ kết tinh là hàm số của thời gian gồm hóa và nhiệt độ đối với hợp phần mẫu 1;

FIG. 5 là đồ thị về sự thay đổi độ nhớt là hàm số của nhiệt độ đối với tiền chất thủy tinh, thủy tinh đã được tạo mầm sơ bộ, và thủy tinh gồm đã được gồm hóa hoàn toàn;

FIG. 6A là hình ảnh của các vật phẩm như được tạo hình và như được gồm hóa từ hợp phần mẫu 1;

FIG. 6B là hình ảnh của các vật phẩm như được tạo hình và như được gồm hóa từ hợp phần mẫu 1;

FIG. 7 là đồ thị XRD của các vật phẩm như được tạo hình một phần và được gồm hóa hoàn toàn như được thể hiện trên FIG. 3;

FIG. 8 là đồ thị XRD của các vật phẩm như được tạo hình một phần và được gồm hóa hoàn toàn như được thể hiện trên FIG. 3;

FIG. 9 là điểm tham chiếu khớp nhất của lớp phủ thủy tinh 3D tạo hình từ từ dạng tạo hình sơ bộ đã được tạo mầm sơ bộ (600°C-15 phút) của hợp phần mẫu 1; và

FIG. 10 là điểm tham chiếu khớp nhất của lớp phủ thủy tinh 3D tạo hình từ dạng tạo hình sơ bộ đã được tạo mầm sơ bộ (600°C-15 phút) của hợp phần mẫu 1.

Mô tả chi tiết sáng chế

Định nghĩa và kỹ thuật đo

Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ “thủy tinh gồm” là các chất rắn được tạo ra bằng quá trình kết tinh có kiểm soát tiên chất thủy tinh và có một hoặc nhiều pha kết tinh và pha thủy tinh dư.

Như được sử dụng ở đây, “độ sâu nén” hoặc “DOC” để chỉ độ sâu của lớp ứng suất nén (compressive stress - CS) và là độ sâu mà tại đó ứng suất bên trong vật phẩm thủy tinh gồm thay đổi từ ứng suất nén sang ứng suất kéo và có trị số ứng suất bằng 0. Theo quy ước thông thường được sử dụng trong lĩnh vực, ứng suất nén được biểu diễn là ứng suất âm (<0) và ứng suất kéo được biểu diễn là ứng suất dương (>0). Tuy nhiên, trong toàn bộ phần mô tả và trừ khi được lưu ý theo cách khác, CS được biểu diễn bằng trị số dương hoặc trị số tuyệt đối - tức là, như được nêu trong bản mô tả này, $CS = |CS|$.

Các trị số DOC và lực kéo trung tâm (central tension - CT) tối đa được đo sử dụng kính phân cực ánh sáng tán xạ số (scattered light polariscope - SCALP) số kiểu SCALP-04 có sẵn từ GlasStress Ltd. đặt tại Tallinn, Estonia.

Phương pháp đo CS bề mặt phụ thuộc vào việc có hay không vùng hoặc lớp thủy tinh được hình thành tại bề mặt của vật phẩm thủy tinh gồm trong quá trình trao đổi ion. Nếu không có vùng hoặc lớp thủy tinh, thì CS bề mặt được đo bằng dụng cụ đo ứng suất bề mặt (FSM) bằng cách sử dụng các thiết bị có bán sẵn trên thị trường như FSM-6000 do Orihara Industrial Co., Ltd. (Nhật Bản) sản xuất. Các phép đo ứng suất bề mặt dựa vào phép đo chính xác của hệ số quang ứng suất (stress optical coefficient - SOC), liên quan đến tính lưỡng chiết quang của thủy tinh. SOC đến lượt nó được đo theo Quy trình C (Phương pháp đĩa thủy tinh - Glass Disc Method) được mô tả trong tiêu chuẩn ASTM C770-16, với tiêu đề “Standard Test Method for Measurement of Glass Stress-Optical Coefficient”, nội dung của nó được kết hợp toàn bộ vào đây bằng cách viện dẫn. Nếu có vùng hoặc lớp thủy tinh được hình thành, thì CS bề mặt (và CS của vùng hoặc lớp thủy tinh) được đo bằng lưỡng chiết quang của cộng hưởng truyền (ghép nối) thứ nhất của vùng thủy tinh trong phép đo ghép lăng kính và đo độ sâu lớp của vùng thủy tinh bằng khoảng cách giữa các cộng hưởng truyền thứ nhất và thứ hai hoặc bề rộng của cộng hưởng truyền thứ nhất.

CS ở phần còn lại của vùng CS được đo bằng phương pháp trường gần khúc xạ (refracted near-field - RNF) được mô tả trong bằng sáng chế Mỹ số 8,854,623, với tên sáng chế là “Hệ thống và phương pháp xác định đặc tính biên dạng của mẫu thủy tinh (Systems and methods for measuring a profile characteristic of a glass sample)”, được kết hợp toàn bộ vào đây bằng cách viện dẫn. Số đo RNF là lực được cân bằng và hiệu chỉnh tới trị số CT cực đại được cung cấp bởi phép đo SCALP. Cụ thể, phương pháp RNF bao gồm bước đặt vật thể thủy tinh liền kề với khối tham chiếu, tạo chùm ánh sáng chuyển trạng thái phân cực được chuyển giữa các trạng thái phân cực trực giao ở tốc độ từ 1 Hz đến 50 Hz, đo lường công suất trong chùm ánh sáng chuyển trạng thái phân cực và tạo tín hiệu tham chiếu chuyển trạng thái phân cực, trong đó các lượng công suất đo được trong mỗi trạng thái phân cực trực giao nằm trong khoảng 50% so với nhau. Phương pháp này còn bao gồm bước truyền chùm ánh sáng chuyển trạng thái phân cực qua mẫu thủy tinh và khối tham chiếu ở những độ sâu khác nhau vào mẫu thủy tinh, sau đó chuyển tiếp chùm ánh sáng chuyển trạng thái phân cực đã truyền vào bộ phát hiện quang tín hiệu bằng cách sử dụng hệ thống quang học chuyển tiếp, với bộ phát hiện quang tín hiệu sinh ra tín hiệu bộ phát hiện chuyển trạng thái phân cực. Phương pháp này cũng bao gồm bước chia tín hiệu của bộ phát hiện cho tín hiệu tham chiếu để tạo ra tín hiệu bộ phát hiện chuẩn hóa và xác định biên dạng đặc trưng cho mẫu thủy tinh từ tín hiệu bộ phát hiện đã chuẩn hóa.

Biên dạng ứng suất có thể được đo bằng sự kết hợp của RNF cho CS bên trong, SCALP cho vùng CT và phương pháp được sử dụng để đo CS bề mặt.

Năng lượng ứng suất kéo dự trữ tính theo (J/m^2) được tính bằng cách sử dụng phương trình (1) sau đây:

$$\text{Năng lượng ứng suất kéo dự trữ } (J/m^2) = [(1-\nu)/E] \int (\sigma^2) (dt) \quad (1)$$

trong đó ν là tỷ lệ Poisson, E là suất Young, σ là ứng suất, t là độ dày, và phép tích phân được tính toàn theo độ dày của duy nhất vùng ứng suất kéo.

Sự ghép pha kết tinh (trước khi trao đổi ion) và tỷ lệ phần trăm khối lượng của pha kết tinh và pha thủy tinh dư được xác định dựa vào nhiễu xạ tia x (x-ray diffraction

- XRD) sử dụng phương pháp phân tích Rietveld. Tỷ lệ phần trăm khối lượng của pha kết tinh và pha thủy tinh dư có thể được xác định theo ASTM C1365-18.

Theo quy trình dưới đây, được dùng để chỉ ở đây là “thử nghiệm mảnh”, được sử dụng để xác định số lượng các mảnh vật phẩm thủy tinh gốm bị vỡ ra khi nứt vỡ. Vật phẩm thủy tinh gốm trao đổi ion có kích thước 50 mm x 50 mm x 0,8 mm được đặt trên bề mặt thép. Kim có đầu nhọn vonfram cacbua (có sẵn từ Fisher Scientific Industries, với nhãn hiệu TOSCO® và số định dạng của nhà sản xuất #13-378, có đầu nhọn hình nón-cầu 60 độ), có khối lượng 40 g, và được nối với kẹp trên cơ cấu chuyển động bánh răng di chuyển kim lên và xuống. Đầu nhọn của kim này được đặt tiếp xúc với vật phẩm thủy tinh gốm và sau đó cơ cấu bánh răng được dịch chuyển tăng dần vật phẩm thủy tinh gốm vỡ. Sau đó, số lượng các mảnh được đếm.

Trị số độ bền chống nứt vỡ (K_{IC}) được đo bằng phương pháp thanh ngắn được cắt khắc hình chữ V (chevron notched short bar - CNSB) được bọc lộ trong Reddy, K.P.R. et al, “Fracture Toughness Measurement of Glass and Ceramic Materials Using Chevron-Notched Specimens,” J. Am. Ceram. Soc., 71 [6], C-310-C-313 (1988) ngoại trừ Y^*_m được tính toán sử dụng phương trình 5 của Bubsey, R.T. et al., “Closed-Form Expressions for Crack-Mouth Displacement and Stress Intensity Factors for Chevron-Notched Short Bar and Short Rod Specimens Based on Experimental Compliance Measurements,” NASA Technical Memorandum 83796, pp. 1-30 (October 1992).

Trị số suất Young được đề cập trong bản mô tả này dùng để chỉ trị số như được đo bởi kỹ thuật phổ siêu âm cộng hưởng loại thông thường được nêu trong ASTM E2001-13.

Độ đục của vật phẩm thủy tinh gốm được đo sử dụng máy đo độ đục, như BYK Gardner Haze-Gard i.

Độ truyền qua, như được sử dụng trong bản mô tả này chỉ tổng độ truyền qua, và được đo bằng máy đo quang phổ Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR với thiết bị cầu tích hợp 150 mm. Các mẫu được gắn ở cửa vào của thiết bị cầu, cho phép thu nhận ánh sáng tán xạ góc rộng. Dữ liệu tổng độ truyền qua được thu bằng đĩa phản xạ Spectralon tham chiếu qua cửa ra của thiết bị cầu. Phần trăm tổng độ truyền qua (%T) được tính so với phép đo cơ bản chùm mở.

Tổng quan về các đặc tính của vật phẩm thủy tinh gốm

Tham khảo chi tiết sẽ được dẫn chiếu tới các phương án, các ví dụ được minh họa trong các hình vẽ kèm theo. Trong trường hợp có thể bất kỳ, các số tham chiếu giống nhau được sử dụng trong các hình vẽ để đề cập đến các bộ phận giống hoặc tương tự nhau.

Vật phẩm thủy tinh gốm có các thuộc tính có thể được điều chỉnh để sử dụng làm đế phủ và/hoặc vỏ cho thiết bị điện tử di động. Ví dụ, không bị ràng buộc bởi lý thuyết, vật phẩm thủy tinh gốm với độ bền nứt vỡ cao và/hoặc mô đun Young cao có thể cung cấp khả năng chống lại sự xuyên vết nứt và tính năng thả rơi. Khi vật phẩm thủy tinh gốm này được gia cường hóa học, ví dụ thông qua trao đổi ion, khả năng chống lại sự xuyên vết nứt và tính năng thả rơi có thể được tăng cường thêm. Và độ bền nứt vỡ và/hoặc mô đun Young cao cũng làm tăng lượng năng lượng kéo tích trữ và lực căng trung tâm tối đa có thể được tạo cho vật phẩm thủy tinh gốm thông qua quá trình tôi hóa học trong khi vẫn duy trì sự phân mảnh mong muốn của sản phẩm thủy tinh gốm khi bị nứt vỡ. Một ví dụ khác, các đặc điểm quang học của vật phẩm thủy tinh gốm, như độ trong và độ đục, có thể được điều chỉnh thông qua việc điều chỉnh tiến trình gia nhiệt/gốm hóa được sử dụng để chuyển vật phẩm thủy tinh thành vật phẩm thủy tinh gốm cũng như thông qua việc gia cường hóa học, chẳng hạn thông qua trao đổi ion.

FIG. 1 mô tả sơ đồ mặt cắt ngang minh họa của vật phẩm thủy tinh gốm 100 có bề mặt thứ nhất 102 và bề mặt thứ hai đối diện 104 được tách riêng bởi độ dày (t). Theo các phương án, vật phẩm thủy tinh-gốm được gia cường 100 đã được trao đổi ion và có lớp ứng suất nén (CS) 106 (hoặc vùng thứ nhất) mở rộng từ bề mặt thứ nhất 102 tới độ sâu nén (depth of compression - DOC). Theo các phương án, như được thể hiện trên FIG. 1, vật phẩm thủy tinh gốm 100 cũng có lớp ứng suất nén (CS) 108 mở rộng từ bề mặt thứ hai 104 tới độ sâu nén DOC'. Cũng có vùng độ căng trung tâm 110 dưới ứng suất căng ở giữa DOC và DOC'.

Theo các phương án, DOC và DOC' có thể nằm trong khoảng từ lớn hơn 0*t đến 0,30*t, như, lớn hơn 0*t đến 0,25*t, lớn hơn 0*t đến 0,20*t, lớn hơn 0*t đến 0,15*t, lớn hơn 0*t đến 0,10*t, lớn hơn 0*t đến 0,05*t, lớn hơn 0,05*t đến 0,30*t, lớn hơn 0,05*t đến 0,25*t, lớn hơn 0,05*t đến 0,20*t, lớn hơn 0,05*t đến 0,15*t, lớn hơn 0,05*t

đến $0,10 \cdot t$, lớn hơn $0,10 \cdot t$ đến $0,30 \cdot t$, lớn hơn $0,10 \cdot t$ đến $0,25 \cdot t$ lớn hơn $0,10 \cdot t$ đến $0,20 \cdot t$, lớn hơn $0,10 \cdot t$ đến $0,15 \cdot t$, và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng, trong đó t là độ dày của vật phẩm thủy tinh gồm 100. Ví dụ, độ sâu của lớp ứng suất nén (DOC, DOC') có thể lớn hơn $0,05 \cdot t$, $0,06 \cdot t$, $0,07 \cdot t$, $0,08 \cdot t$, $0,09 \cdot t$, $0,10 \cdot t$, $0,11 \cdot t$, $0,12 \cdot t$, $0,13 \cdot t$, $0,14 \cdot t$, $0,15 \cdot t$, $0,16 \cdot t$, $0,17 \cdot t$, $0,18 \cdot t$, $0,19 \cdot t$, $0,20 \cdot t$, $0,21 \cdot t$, $0,22 \cdot t$, $0,23 \cdot t$, $0,24 \cdot t$, $0,25 \cdot t$, $0,26 \cdot t$, $0,27 \cdot t$, $0,28 \cdot t$, $0,29 \cdot t$, hoặc $0,30 \cdot t$. Theo các phương án khác, độ sâu của lớp ứng suất nén (DOC, DOC') nằm trong khoảng từ 0,05 mm đến 0,60 mm, 0,05 mm đến 0,50 mm, 0,05 mm đến 0,40 mm, 0,05 mm đến 0,30 mm, 0,05 mm đến 0,20 mm, 0,05 mm đến 0,10 mm, 0,10 mm đến 0,60 mm, 0,10 mm đến 0,50 mm, 0,10 mm đến 0,40 mm, 0,10 mm đến 0,30 mm, 0,20 mm đến 0,60 mm, 0,20 mm đến 0,50 mm, 0,20 mm đến 0,40 mm, và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án độ sâu của lớp ứng suất nén là lớn hơn hoặc bằng 0,05 mm, 0,06 mm, 0,07 mm, 0,08 mm, 0,09 mm, 0,10 mm, 0,15 mm, 0,20 mm, 0,25 mm, 0,30 mm, 0,35 mm, 0,40 mm, 0,45 mm, 0,50 mm, 0,55 mm hoặc 0,60 mm. Theo các phương án DOC có thể giống như DOC'. Theo các phương án khác, DOC có thể khác với DOC'.

Theo các phương án, sức kéo trung tâm tối đa (CT) nằm trong khoảng từ lớn hơn 90 MPa đến 180 MPa. Theo các phương án, CT tối đa là lớn hơn hoặc bằng 90 MPa, 100 MPa, 110 MPa, 120 MPa, 130 MPa, 140 MPa, 150 MPa, 160 MPa, hoặc 170 MPa. Theo một số phương án, CT tối đa có thể trong khoảng từ lớn hơn 90 MPa đến 180 MPa, lớn hơn 90 MPa đến 170 MPa, lớn hơn 90 MPa đến 160 MPa, lớn hơn 90 MPa đến 150 MPa, lớn hơn 90 MPa đến 140 MPa, 100 MPa đến 180 MPa, 100 MPa đến 170 MPa, 100 MPa đến 160 MPa, 100 MPa đến 150 MPa, 100 MPa đến 140 MPa, 110 MPa đến 180 MPa, 110 MPa đến 170 MPa, 110 MPa đến 160 MPa, 110 MPa đến 150 MPa, 110 MPa đến 140 MPa, 120 MPa đến 180 MPa, 120 MPa đến 170 MPa, 120 MPa đến 160 MPa, 120 MPa đến 150 MPa, 120 MPa đến 140 MPa, 130 MPa đến 180 MPa, 130 MPa đến 170 MPa, 130 MPa đến 150 MPa hoặc khoảng và các khoảng con bất kỳ nằm giữa chúng.

Theo một số phương án, năng lượng ứng suất được lưu giữ của vật phẩm thủy tinh gồm là trong khoảng từ lớn hơn 22 J/m^2 đến 60 J/m^2 , lớn hơn 22 J/m^2 đến 55 J/m^2 , lớn hơn 22 J/m^2 đến 50 J/m^2 , lớn hơn 22 J/m^2 đến 45 J/m^2 , lớn hơn 22 J/m^2 đến 40 J/m^2 ,

lớn hơn 22 J/m^2 đến 35 J/m^2 , lớn hơn 22 J/m^2 đến 30 J/m^2 , 25 J/m^2 đến 60 J/m^2 , 25 J/m^2 đến 55 J/m^2 , 25 J/m^2 đến 50 J/m^2 , 25 J/m^2 đến 45 J/m^2 , 25 J/m^2 đến 40 J/m^2 , 25 J/m^2 đến 35 J/m^2 , 25 J/m^2 đến 30 J/m^2 , 30 J/m^2 đến 60 J/m^2 , 30 J/m^2 đến 55 J/m^2 , 30 J/m^2 đến 50 J/m^2 , 30 J/m^2 đến 45 J/m^2 , 30 J/m^2 đến 40 J/m^2 , 30 J/m^2 đến 35 J/m^2 , 35 J/m^2 đến 60 J/m^2 , 35 J/m^2 đến 55 J/m^2 , 35 J/m^2 đến 50 J/m^2 , 35 J/m^2 đến 45 J/m^2 , 35 J/m^2 đến 40 J/m^2 , 40 J/m^2 đến 60 J/m^2 , 40 J/m^2 đến 55 J/m^2 , 40 J/m^2 đến 50 J/m^2 , 40 J/m^2 đến 45 J/m^2 , 45 J/m^2 đến 60 J/m^2 , 45 J/m^2 đến 55 J/m^2 , 45 J/m^2 đến 50 J/m^2 , và tất cả các khoảng và các khoảng con nằm giữa chúng. Theo một số phương án, năng lượng ứng suất được lưu giữ có thể lớn hơn hoặc bằng 22 J/m^2 , 23 J/m^2 , 24 J/m^2 , 25 J/m^2 , 30 J/m^2 , 35 J/m^2 , 40 J/m^2 , 45 J/m^2 , 50 J/m^2 , hoặc 55 J/m^2 .

Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh gồm có độ dày t nằm trong khoảng từ $0,2 \text{ mm}$ đến 4 mm , $0,2 \text{ mm}$ đến 3 mm , $0,2 \text{ mm}$ đến $2,0 \text{ mm}$, $0,2 \text{ mm}$ đến $1,5 \text{ mm}$, $0,2 \text{ mm}$ đến $1,0 \text{ mm}$, $0,2 \text{ mm}$ đến $0,9 \text{ mm}$, $0,2 \text{ mm}$ đến $0,8 \text{ mm}$, $0,2 \text{ mm}$ đến $0,7 \text{ mm}$, $0,2 \text{ mm}$ đến $0,6 \text{ mm}$, $0,2 \text{ mm}$ đến $0,5 \text{ mm}$, $0,3 \text{ mm}$ đến 4 mm , $0,3 \text{ mm}$ đến 3 mm , $0,3 \text{ mm}$ đến $2,0 \text{ mm}$, $0,3 \text{ mm}$ đến $1,5 \text{ mm}$, $0,3 \text{ mm}$ đến $1,0 \text{ mm}$, $0,3 \text{ mm}$ đến $0,9 \text{ mm}$, $0,3 \text{ mm}$ đến $0,8 \text{ mm}$, $0,3 \text{ mm}$ đến $0,7 \text{ mm}$, $0,3 \text{ mm}$ đến $0,6 \text{ mm}$, $0,3 \text{ mm}$ đến $0,5 \text{ mm}$, $0,4 \text{ mm}$ đến 4 mm , $0,4 \text{ mm}$ đến 3 mm , $0,4 \text{ mm}$ đến $2,0 \text{ mm}$, $0,4 \text{ mm}$ đến $1,5 \text{ mm}$, $0,4 \text{ mm}$ đến $1,0 \text{ mm}$, $0,4 \text{ mm}$ đến $0,9 \text{ mm}$, $0,4 \text{ mm}$ đến $0,8 \text{ mm}$, $0,4 \text{ mm}$ đến $0,7 \text{ mm}$, $0,4 \text{ mm}$ đến $0,6 \text{ mm}$, $0,5 \text{ mm}$ đến 4 mm , $0,5 \text{ mm}$ đến 3 mm , $0,5 \text{ mm}$ đến $2,0 \text{ mm}$, $0,5 \text{ mm}$ đến $1,5 \text{ mm}$, $0,5 \text{ mm}$ đến $1,0 \text{ mm}$, $0,5 \text{ mm}$ đến $0,9 \text{ mm}$, $0,5 \text{ mm}$ đến $0,8 \text{ mm}$, $0,5 \text{ mm}$ đến $0,7 \text{ mm}$, $0,8 \text{ mm}$ đến 4 mm , $0,8 \text{ mm}$ đến 3 mm , $0,8 \text{ mm}$ đến $2,0 \text{ mm}$, $0,8 \text{ mm}$ đến $1,5 \text{ mm}$, $0,8 \text{ mm}$ đến $1,0 \text{ mm}$, $1,0 \text{ mm}$ đến $2,0 \text{ mm}$, $1,0 \text{ mm}$ đến $1,5 \text{ mm}$, và tất cả các khoảng và các khoảng con ở giữa chúng. Theo các phương án, vật phẩm thủy tinh gồm có thể được tạo hình, ví dụ nó có thể có hình dạng 2,5D hoặc 3D. Theo các phương án, vật phẩm thủy tinh gồm có thể có độ dày đồng đều, hoặc vật phẩm thủy tinh gồm không thể có độ dày đồng đều.

Theo một số phương án, độ bền nứt vỡ của vật phẩm thủy tinh-gốm là trong khoảng từ $1,0 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ đến $2,0 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $1,1 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ đến $2,0 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $1,2 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ đến $2,0 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $1,3 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ đến $2,0 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $1,4 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ đến $2,0 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $1,5 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ đến $2,0 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $1,0 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ đến $1,9 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $1,1 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ đến $1,9 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $1,2 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$

đến 1,9 MPa $\sqrt{m}$, 1,3 MPa $\sqrt{m}$ đến 1,9 MPa $\sqrt{m}$, 1,4 MPa $\sqrt{m}$ đến 1,9 MPa $\sqrt{m}$, 1,5 MPa $\sqrt{m}$ đến 1,9 MPa $\sqrt{m}$, 1,0 MPa $\sqrt{m}$ đến 1,8 MPa $\sqrt{m}$, 1,1 MPa $\sqrt{m}$ đến 1,8 MPa $\sqrt{m}$, 1,2 MPa $\sqrt{m}$ đến 1,8 MPa $\sqrt{m}$, 1,3 MPa $\sqrt{m}$ đến 1,8 MPa $\sqrt{m}$, 1,4 MPa $\sqrt{m}$ đến 1,8 MPa $\sqrt{m}$, 1,5 MPa $\sqrt{m}$ đến 1,8 MPa $\sqrt{m}$, và tất cả các khoảng và các khoảng con nằm giữa chúng. Theo một số phương án, độ bền nứt vỡ của vật phẩm thủy tinh-gốm là lớn hơn hoặc bằng với 1,0 MPa $\sqrt{m}$, 1,1 MPa $\sqrt{m}$, 1,2 MPa $\sqrt{m}$, 1,3 MPa $\sqrt{m}$, 1,4 MPa $\sqrt{m}$, 1,5 MPa $\sqrt{m}$, 1,6 MPa $\sqrt{m}$, 1,7 MPa $\sqrt{m}$, 1,8 MPa $\sqrt{m}$, hoặc 1,9 MPa $\sqrt{m}$.

Theo các phương án, suất Young của vật phẩm thủy tinh gốm nằm trong khoảng từ 95 GPa đến 110 GPa, 95 GPa đến 105 GPa, 95 GPa đến 100 GPa, 100 GPa đến 110 GPa, 100 GPa đến 105 GPa, 105 GPa đến 110 GPa và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo một số phương án, suất Young của vật phẩm thủy tinh-gốm là lớn hơn hoặc bằng với 95 GPa, 96 GPa, 97 GPa, 98 GPa, 99 GPa, 100 GPa, 101 GPa, 102 GPa, 103 GPa, 104 GPa, 105 GPa, 106 GPa, 107 GPa, 108 GPa, hoặc 109 GPa.

Theo một số phương án, khi áp dụng thử nghiệm vỡ mảnh (Fragment Test) (dựa trên mẫu 50 mm x 50 mm x 0,8 mm) được mô tả ở trên, vật phẩm thủy tinh gốm vỡ thành nhỏ hơn 5 mảnh vỡ, nhỏ hơn 4 mảnh vỡ, hoặc nhỏ hơn 3 mảnh vỡ.

Hợp phần

Tiền chất thủy tinh và thủy tinh gốm mô tả ở đây có thể được mô tả chung là thủy tinh hoặc thủy tinh gốm nhôm silicat chứa lithi và bao gồm SiO₂, Al₂O₃, và Li₂O. Ngoài SiO₂, Al₂O₃, và Li₂O, các loại thủy tinh và thủy tinh gốm được mô tả ở đây có thể còn chứa các muối kiềm, như Na₂O, K₂O, Rb₂O, hoặc Cs₂O, cũng như P₂O₅, và ZrO₂ và một số thành phần khác như được mô tả dưới đây. Theo một số phương án, tiền chất thủy tinh (trước khi gốm hóa) và/hoặc thủy tinh gốm (sau khi gốm hóa) có thể có có hợp phần sau theo phần trăm mol trên cơ sở oxit:

SiO ₂ :	55–75%;
Al ₂ O ₃ :	0,2-10%;
Li ₂ O:	15-30%;
P ₂ O ₅ :	0,2-3,0%;
ZrO ₂ :	0,1–10%; và

SnO_2 : 0,05-1,0%.

Theo các phương án, tiền chất thủy tinh và/hoặc thủy tinh gồm có thể có các thành phần bổ sung tùy ý dưới đây tính theo phần trăm mol trên cơ sở oxit:

B_2O_3 : 0-5%;
 Na_2O : 0-2%;
 K_2O : 0-2%;
 MgO : 0-2%; và
 ZnO : 0-2.

SiO_2 , oxit liên quan đến sự tạo thành thủy tinh, có thể có chức năng làm ổn định kết cấu mạng của thủy tinh và thủy tinh gồm. Theo các phương án, hợp phần thủy tinh hoặc thủy tinh gồm bao gồm từ 55 đến 75 % mol SiO_2 . Theo các phương án, hợp phần thủy tinh hoặc thủy tinh gồm có thể bao gồm SiO_2 với lượng từ 55 đến 70 % mol, 55 đến 65 % mol, 55 đến 60 % mol, 60 đến 75 % mol, 60 đến 70 % mol, 60 đến 65 % mol, 65 đến 75 % mol, 65 đến 70 % mol, 70 đến 75 % mol, và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, hợp phần thủy tinh hoặc thủy tinh gồm bao gồm 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, hoặc 75 % mol SiO_2 .

Liên quan đến độ nhớt và đặc tính cơ học, độ nhớt và đặc tính cơ học chịu ảnh hưởng bởi các hợp phần thủy tinh. Trong thủy tinh và thủy tinh gồm, SiO_2 đóng vai trò làm oxit tạo ra thủy tinh sơ cấp đối với tiền chất thủy tinh và có thể có chức năng làm ổn định kết cấu mạng của thủy tinh và thủy tinh gồm. Lượng SiO_2 có thể được giới hạn để kiểm soát nhiệt độ nóng chảy (nhiệt độ 200 poa), vì nhiệt độ nóng chảy của thủy tinh SiO_2 tinh khiết hoặc thủy tinh chứa lượng SiO_2 cao là cao theo cách không mong muốn.

Al_2O_3 cũng có thể cung cấp tác dụng ổn định mạng và cung cấp các đặc tính cơ học và độ bền hóa học được cải thiện. Tuy nhiên, nếu lượng Al_2O_3 quá cao, thì các tinh thể lithi silicat có thể được giảm, có thể tới mức mà cấu trúc khóa liên thông không thể được tạo thành. Lượng Al_2O_3 có thể được tùy chỉnh để kiểm soát độ nhớt. Hơn nữa, nếu lượng Al_2O_3 là quá cao thì độ nhớt của phần nóng chảy nói chung cũng bị tăng lên. Theo các phương án, hợp phần thủy tinh hoặc thủy tinh gồm có thể bao gồm Al_2O_3 với lượng từ 0,2 đến 10,0 % mol, 0,2 đến 8,0 % mol, 0,2 đến 6,0 % mol, 0,2 đến 4,0 % mol,

0,2 đến 2,0 % mol, 0,2 đến 1,0 % mol, 1,0 đến 10 % mol, 1,0 đến 8,0 % mol, 1,0 đến 6,0 % mol, 1,0 đến 4,0 % mol, 1,0 đến 2,0 % mol, 2,0 đến 10,0 % mol, 2,0 đến 8,0 % mol, 2,0 đến 6,0 % mol, 2,0 đến 4,0 % mol, 4,0 đến 10,0 % mol, 4,0 đến 8,0 % mol, 4,0 đến 6,0 % mol, 6,0 đến 10,0 % mol, 6,0 đến 8,0 % mol, 8,0 đến 10,0 % mol, và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, hợp phần thủy tinh hoặc thủy tinh gồm có thể bao gồm 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,0, 2,0, 3,0, 4,0, 5,0, 6,0, 7,0, 8,0, 9,0, hoặc 10,0 % mol Al_2O_3 .

Trong thủy tinh và thủy tinh gồm trong bản mô tả này, Li_2O hỗ trợ trong việc tạo ra các pha kết tinh. Theo các phương án về hợp phần, thủy tinh hoặc thủy tinh gồm có thể bao gồm từ 15 % mol đến 30 % mol Li_2O . Theo các phương án, hợp phần thủy tinh hoặc thủy tinh gồm có thể bao gồm Li_2O với lượng từ 15 đến 25 % mol, 15 đến 20 % mol, 20 đến 30 % mol, 20 đến 25 % mol, 25 đến 30 % mol, và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, hợp phần thủy tinh hoặc thủy tinh gồm có thể bao gồm 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, hoặc 30 % mol Li_2O .

Như được lưu ý ở trên, Li_2O thường là hữu ích để tạo ra thủy tinh gồm theo các phương án, nhưng các oxit kiềm khác có xu hướng làm giảm sự tạo thành thủy tinh gồm và tạo ra thủy tinh dư nhôm silicat trong thủy tinh gồm. Đã thấy rằng lượng các oxit kim loại kiềm khác, như Na_2O , K_2O , Rb_2O , Cs_2O , là quá lớn và có thể có lượng không mong muốn của thủy tinh còn dư vốn có thể dẫn tới việc biến dạng trong suốt quá trình kết tinh hóa và các vi cấu trúc không mong muốn từ khía cạnh tính chất cơ học. Hợp phần của thủy tinh dư có thể được điều chỉnh để kiểm soát độ nhớt trong quá trình kết tinh, tối thiểu hóa sự biến dạng hoặc sự giãn nở nhiệt không mong muốn, hoặc để kiểm soát các tính chất vi cấu trúc. Do đó, nói chung, các chế phẩm được mô tả ở đây có lượng nhỏ oxit kiềm không phải lithi. Theo một số phương án, thủy tinh hoặc hợp phần thủy tinh-gồm có thể có tỉ lệ của Li_2O (% mol) / R_2O (% mol) lớn hơn khoảng 0,85 đến 1,00, từ lớn hơn 0,85 đến 0,97, từ lớn hơn 0,85 đến 0,95, từ 0,86 đến 1,00, từ 0,86 đến 0,97, từ 0,86 đến 0,95, từ 0,87 đến 1,00, từ 0,87 đến 0,97, từ 0,87 đến 0,95, từ 0,88 đến 1,00, từ 0,88 đến 0,97, từ 0,88 đến 0,95, từ 0,89 đến 1,00, từ 0,89 đến 0,97, từ 0,89 đến 0,95, từ 0,90 đến 1,00, từ 0,90 đến 0,97, từ 0,90 đến 0,95, từ 0,91 đến 1,00, từ

0,91 đến 0,97, từ 0,91 đến 0,95, từ 0,92 đến 1,00, từ 0,92 đến 0,97, từ 0,93 đến 1,00, từ 0,93 đến 0,97, từ 0,94 đến 1,00, từ 0,95 đến 1,00, từ 0,96 đến 1,00, từ 0,97 đến 1,00 và tất cả các khoảng và các khoảng con nằm giữa chúng. R_2O là tổng của các oxit kim loại kiềm chứa Li_2O , Na_2O , K_2O , Rb_2O , và Cs_2O . Theo các phương án hợp phần thủy tinh hoặc thủy tinh gồm có thể bao gồm tỷ lệ của Li_2O (% mol) / R_2O (% mol) lớn hơn hoặc bằng 0,85, 0,86, 0,87, 0,88, 0,89, 0,9, 0,91, 0,92, 0,93, 0,94, 0,95, 0,96, 0,97, 0,98, hoặc 0,99.

Các chế phẩm thủy tinh và thủy tinh gồm có thể chứa P_2O_5 . P_2O_5 có thể có tác dụng như tác nhân tạo mầm để tạo ra việc tạo mầm cho khối. Nếu nồng độ của P_2O_5 là quá nhỏ, thì tiền chất thủy tinh có thể chỉ kết tinh được ở nhiệt độ cao hơn (do độ nhớt thấp hơn) và từ phía trong bề mặt. Điều này thu được thể yếu và thường bị biến dạng. Tuy nhiên, nếu nồng độ của P_2O_5 quá cao, sự hóa mờ khi làm mát trong quá trình tạo hình tiền chất thủy tinh có thể khó kiểm soát. Các phương án có thể bao gồm P_2O_5 với lượng từ 0,2 đến 3 % mol, 0,2 đến 2 % mol, 0,2 đến 1 % mol, 1 đến 3 % mol, 1 đến 2 % mol, 2 đến 3 % mol, và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, hợp phần thủy tinh hoặc thủy tinh gồm có thể bao gồm 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,0, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, 1,9, 2,0, 2,1, 2,2, 2,3, 2,4, 2,5., 2,6, 2,7, 2,8, 2,9, 3,0 % mol P_2O_5 .

Trong thủy tinh và thủy tinh gồm được bộc lộ ở đây, thông thường nhận thấy rằng ZrO_2 có thể cải thiện độ ổn định của thủy tinh $Li_2O-Al_2O_3-SiO_2-P_2O_5$ bằng cách làm giảm đáng kể sự hóa mờ thủy tinh trong quá trình tạo thành và làm giảm nhiệt độ đường lỏng. Việc bổ sung ZrO_2 cũng có thể giúp làm giảm kích cỡ hạt của các tinh thể, điều này hỗ trợ việc tạo thành thủy tinh gồm trong suốt. Theo các phương án, hợp phần thủy tinh hoặc thủy tinh gồm có thể bao gồm ZrO_2 với lượng từ 0,1 % mol đến 10,0 % mol, 0,1 % mol đến 8,0 % mol, 0,1 đến 6,0 % mol, 0,1 % mol đến 4,0 % mol, 0,1 % mol đến 2,0 % mol, 0,1 % mol đến 1,0 % mol, 1,0 % mol đến 10 % mol, 1,0 % mol đến 8,0 % mol, 1,0 % mol đến 6,0 % mol, 1,0 % mol đến 4,0 % mol, 1,0 % mol đến 2,0 % mol, 2,0 % mol đến 10 % mol, 2,0 % mol đến 8,0 % mol, 2,0 % mol đến 6,0 % mol, 2,0 % mol đến 4,0 % mol, 4,0 % mol đến 10,0 % mol, 4,0 % mol đến 8,0 % mol, 4,0 % mol đến 6,0 % mol, 6,0 % mol đến 10,0 % mol, 6,0 % mol đến 8,0 % mol, 8,0 đến

10,0 % mol, và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, hợp phần thủy tinh hoặc thủy tinh gồm có thể bao gồm 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,0, 2,0, 3,0, 4,0, 5,0, 6,0, 7,0, 8,0, 9,0, hoặc 10,0 % mol ZrO_2 .

Theo một hoặc nhiều phương án, thủy tinh và thủy tinh gồm ở đây có thể bao gồm từ 0,05 % mol đến 1,0 % mol SnO_2 làm chất độn. Theo các phương án, hợp phần thủy tinh hoặc thủy tinh gồm có thể bao gồm SnO_2 với lượng từ 0,05 % mol đến 1,00 % mol, 0,05 % mol đến 0,80 % mol, 0,05 % mol đến 0,60 % mol, 0,05 % mol đến 0,40 % mol, 0,05 % mol đến 0,20 % mol, 0,05 % mol đến 0,10 % mol, 0,10 % mol đến 1,00 % mol, 0,10 % mol đến 0,80 % mol, 0,10 % mol đến 0,60 % mol, 0,10 % mol đến 0,40 % mol, 0,10 % mol đến 0,20 % mol, 0,20 % mol đến 1,00 % mol, 0,20 % mol đến 0,80 % mol, 0,20 % mol đến 0,60 % mol, 0,20 % mol đến 0,40 % mol, 0,40 % mol đến 1,00 % mol, 0,40 % mol đến 0,80 % mol, 0,40 % mol đến 0,60 % mol, 0,60 % mol đến 1,00 % mol, 0,60 % mol đến 0,80 % mol, hoặc 0,80 % mol đến 1,00 % mol, và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, hợp phần thủy tinh hoặc thủy tinh gồm có thể bao gồm 0,05, 0,10, 0,20, 0,30, 0,40, 0,50, 0,60, 0,70, 0,80, 0,90, hoặc 1,00 % mol SnO_2 .

B_2O_3 là có lợi để tạo ra tiền chất thủy tinh với nhiệt độ nóng chảy thấp. Hơn nữa, việc bổ sung B_2O_3 trong tiền chất thủy tinh, và do đó trong thủy tinh gồm, giúp đạt được vi cấu trúc tinh thể liên thông và có thể cải thiện khả năng chống hư hỏng của thủy tinh gồm. Khi bo trong thủy tinh dư không được cân bằng điện tích bằng các oxit kiềm hoặc các oxit cation hóa trị hai, nó sẽ ở trạng thái phối trí tam giác (hoặc bo được phối trí ba), mà mở ra cấu trúc của thủy tinh. Mạng xung quanh nguyên tử bo phối trí ba này không cứng nhắc như là với nguyên tử bo phối trí tứ diện (hoặc phối trí bốn). Không bị bó buộc vào lý thuyết, tin rằng các tiền chất thủy tinh và các thủy tinh-gồm chứa bo phối trí ba ở mức độ nào đó có thể chịu được biến dạng trước khi tạo thành nứt vỡ. Bằng cách chịu một số biến dạng, các trị số khởi tạo nứt vỡ ấn lõm Vickers sẽ được tăng. Độ bền nứt vỡ của các thủy tinh tiền chất và các thủy tinh-gồm chứa bo phối trí ba cũng có thể được tăng. Không bị bó buộc vào lý thuyết, tin rằng sự có mặt của bo trong thủy tinh còn dư của thủy tinh-gồm (và tiền chất thủy tinh) làm giảm độ nhớt của thủy tinh còn dư (hoặc tiền chất thủy tinh), vốn tạo thuận tiện cho việc phát triển của các tinh thể

lithi silicat, đặc biệt các tinh thể lớn có hệ số co cao. Lượng bo phối trí ba lớn hơn (so với lượng bo phối trí bốn) được tin là làm cho thủy tinh gồm có tải trọng bắt đầu nứt vỡ bởi sự tạo vết lõm Vickers lớn hơn. Theo một số phương án, lượng bo phối trí ba (tính theo phần trăm trên tổng lượng B_2O_3) có thể là 40% hoặc lớn hơn, 50% hoặc lớn hơn, 75% hoặc lớn hơn, 85% hoặc lớn hơn, hoặc thậm chí là 95% hoặc lớn hơn. Lượng bo nói chung nên được kiểm soát để duy trì độ bền hóa học và độ bền cơ học của khối thủy tinh gồm được gồm hóa.

Theo một hoặc nhiều phương án, thủy tinh và thủy tinh gồm ở đây có thể bao gồm B_2O_3 với lượng từ 0 đến 5 % mol, 1 đến 4 % mol, hoặc 2 đến 3 % mol và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, hợp phần thủy tinh hoặc thủy tinh gồm có thể bao gồm 0, >0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,0, 2,0, 3,0, 4,0, hoặc 5,0 % mol B_2O_3 .

Khi lượng của các oxit kim loại chuyển tiếp, ví dụ Fe_2O_3 , là quá cao chúng có thể tác động tới màu sắc của thủy tinh gồm và do đó tác động tới độ trong suốt của thủy tinh gồm. Theo các phương án, hợp phần thủy tinh và/hoặc thủy tinh gồm có thể bao gồm Fe_2O_3 với lượng nhỏ hơn 0,5 % mol, 0,4 % mol, 0,3 % mol, 0,2 % mol, 0,1 % mol, hoặc 0,05 % mol.

Các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây có thể còn bao gồm MgO. MgO làm giảm độ nhớt của thủy tinh, làm tăng cường khả năng tạo thành, điểm biến dạng, và suất Young, và có thể cải thiện có khả năng trao đổi ion. Tuy nhiên, khi quá nhiều MgO được bổ sung vào hợp phần thủy tinh, mật độ và CTE của hợp phần thủy tinh có thể tăng lên. Theo các phương án, nồng độ của MgO trong hợp phần thủy tinh có thể nằm trong khoảng từ 0 % mol đến 2,0 % mol, từ 0 % mol đến 1,5 % mol, từ 0 % mol đến 1,0 % mol, từ 0,5 % mol đến 2,0 % mol, từ 0,5 % mol đến 1,5 % mol, từ 0,5 % mol đến 1,0 % mol, từ 1,0 % mol đến 2,0 % mol, từ 1,0 % mol đến 1,5 % mol, hoặc từ 1,5 % mol đến 2,0 % mol, hoặc khoảng bất kỳ và tất cả các khoảng con tạo ra từ đầu mút bất kỳ trong số các đầu mút này. Theo các phương án, nồng độ của MgO là nhỏ hơn hoặc bằng 2,0 % mol, 1,5 % mol, 1,0 % mol, hoặc 0,5 % mol. Theo các phương án, nồng độ của MgO trong hợp phần thủy tinh có thể nằm trong khoảng từ 0 % mol đến 2,0 % mol.

Các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây có thể còn bao gồm ZnO. Khi lượng ZnO quá cao, nó có thể ảnh hưởng đến độ nhớt của thủy tinh gồm và từ đó ảnh hưởng tới khả năng tạo thành thủy tinh gồm. Theo các phương án, nồng độ của ZnO trong hợp phần thủy tinh có thể nằm trong khoảng từ 0 % mol đến 2,0 % mol, từ 0 % mol đến 1,5 % mol, từ 0 % mol đến 1,0 % mol, từ 0,5 % mol đến 2,0 % mol, từ 0,5 % mol đến 1,5 % mol, từ 0,5 % mol đến 1,0 % mol, từ 1,0 % mol đến 2,0 % mol, từ 1,0 % mol đến 1,5 % mol, hoặc từ 1,5 % mol đến 2,0 % mol ZnO, hoặc khoảng bất kỳ và tất cả các khoảng con tạo ra từ đầu mút bất kỳ trong số các đầu mút này. Theo các phương án, nồng độ của ZnO là nhỏ hơn hoặc bằng 2,0 % mol, 1,5 % mol, 1,0 % mol, hoặc 0,5 % mol. Theo các phương án, nồng độ của ZnO trong hợp phần thủy tinh có thể nằm trong khoảng từ 0 % mol đến 2,0 % mol.

Phương pháp tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm 3D

Như được đề cập trên đây, có thể mong muốn các sản phẩm tiêu dùng gồm thủy tinh phủ có dạng kết hợp của bề mặt 2D và bề mặt 3D. Tuy nhiên, phương pháp gia công điều khiển số học bằng máy tính (CNC) truyền thống tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm thành hình dạng 3D có thể mất thời gian và chuyên sâu cần năng lượng. Các phương pháp tái tạo nhiệt thường được sử dụng để tạo ra vật phẩm thủy tinh 3D từ tấm thủy tinh 2D. Các phương pháp như vậy thường liên quan đến việc gia nhiệt tấm thủy tinh 2D đến nhiệt độ tạo thành mong muốn và sau đó tái tạo tấm thủy tinh 2D thành hình dạng 3D. Các bước tái tạo có thể được thực hiện bằng các phương pháp làm lún, mà sử dụng trọng lực hoặc chân không để tạo hình 3D, hoặc bằng các phương pháp nén, mà nén tấm thủy tinh 2D với khuôn đúc để tạo hình 3D. Trong cả phương pháp làm lún và nén, có thể mong muốn giữ nhiệt độ của thủy tinh dưới điểm hóa mềm của nó để duy trì chất lượng bề mặt mong muốn. Ngoài ra, trong các phương pháp nén, mong muốn giữ nhiệt độ của thủy tinh dưới điểm hóa mềm của nó để tránh phản ứng giữa thủy tinh và khuôn đúc. Hơn nữa, thủy tinh có thể có độ nhớt lớn (tức là lớn hơn 10^{10} poa) dưới điểm biến dạng của nó. Do đó, thủy tinh có thể cần có áp suất tương đối lớn hơn để tạo ra hình dạng phức tạp như chỗ uốn, các góc, và đường cong. Trong các phương pháp tái tạo nhiệt thủy tinh truyền thống, pittông, tiếp xúc với thủy tinh và nén thủy tinh với khuôn đúc, được sử dụng để áp dụng áp suất cần thiết.

Các phương pháp tái tạo nhiệt thông thường có thể gặp thách thức đối với thủy tinh gồm có độ kết tinh cao (tức là lớn hơn 20% khối lượng tinh thể) do độ nhót tương đối lớn (tức là lớn hơn 10^{10} poa) tạo ra từ các pha kết tinh của thủy tinh gồm. Ngoài ra, các phương pháp tái tạo nhiệt có thể tốn thời gian và đòi hỏi nhiệt độ gần 1000°C , mà có thể tác động tiêu cực đến thời hạn sử dụng của khuôn đúc. Như vậy, cần có cách thức mới để tái tạo thủy tinh gồm.

Các phương án theo sáng chế đáp ứng được các yêu cầu này bằng cách tạo ra phương pháp tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm. Phương pháp theo sáng chế có thể tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm 3D có chất lượng bề mặt mong muốn với sự biến dạng tối thiểu của hình dạng 3D đã tạo thành ban đầu. Bằng cách kiểm soát độ kết tinh của thủy tinh gồm và độ nhót của chúng, vật phẩm thủy tinh gồm hình 3D có thể được tạo ra có kích thước chính xác, khi so sánh với thông số kỹ thuật thiết kế. Hơn nữa, vật phẩm thủy tinh gồm 3D tạo ra từ các phương pháp được mô tả ở đây có thể không cần khuôn. Như vậy, các phương pháp theo sáng chế, mà sử dụng thủy tinh gồm có độ kết tinh nhỏ hơn 20% khối lượng tinh thể có thể có độ nhót (tức là nhỏ hơn 10^{10} poa), có thể cung cấp phương pháp hiệu quả hơn để tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm đối với các ứng dụng thủy tinh phủ.

Như được sử dụng ở đây, “mức kiểm soát kích thước” để chỉ sự khác nhau giữa mức sai lệch tối đa và mức sai lệch nhỏ nhất giữa các kích thước của thông số kỹ thuật thiết kế ban đầu có hình dạng 3D và các kích thước thực có hình dạng 3D cuối. Theo các phương án, mức kiểm soát kích thước có hình dạng 3D cuối nằm trong 0,1 mm của các thông số kỹ thuật thiết kế ban đầu có hình dạng 3D.

Theo một hoặc nhiều phương án, quy trình tạo ra có thể gồm xử lý nhiệt tiền chất thủy tinh ở một hoặc nhiều nhiệt độ chọn trước trong một hoặc nhiều thời điểm chọn trước để làm đồng nhất thủy tinh và kết tinh (tức là, tạo mầm và phát triển) hai hoặc nhiều pha kết tinh (ví dụ, có một hoặc nhiều hợp phần, lượng, hình thái, kích cỡ hoặc sự phân bố kích cỡ, v.v.). Theo các phương án, các quy trình có thể gồm việc tạo ra tiền chất thủy tinh thành hình dạng 3D ban đầu trước khi xử lý nhiệt. Theo các phương án, các quy trình có thể gồm việc tạo ra hình dạng 3D ban đầu sau khi xử lý nhiệt tiền chất thủy tinh để tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ.

Theo các phương án, phương pháp tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm có thể gồm trước tiên tạo mầm hợp phần tiền chất thủy tinh ở nhiệt độ tạo mầm thứ nhất và duy trì nhiệt độ tạo mầm thứ nhất trong khoảng thời gian tạo mầm sơ bộ để tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ; tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ thành hình dạng 3D ban đầu; tiếp theo tạo mầm hình dạng 3D ban đầu ở nhiệt độ tạo mầm thứ hai trong khoảng thời gian tạo mầm để tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm; và gồm hóa hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm đến nhiệt độ kết tinh và duy trì nhiệt độ gồm hóa trong khoảng thời gian kết tinh để tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm.

Như được đề cập trên đây, theo các phương án, hợp phần tiền chất thủy tinh có thể được tạo thành hình dạng 3D ban đầu từ tấm bao gồm hợp phần tiền chất thủy tinh trước khi tạo mầm hợp phần tiền chất thủy tinh. Việc tạo mầm hợp phần tiền chất thủy tinh có thể gồm việc gia nhiệt hợp phần tiền chất thủy tinh ở một hoặc nhiều nhiệt độ chọn trước trong một hoặc nhiều thời điểm chọn trước để làm đồng nhất thủy tinh và kết tinh (tức là, tạo mầm và phát triển) của hai hoặc nhiều pha kết tinh (ví dụ, có một hoặc nhiều hợp phần, lượng, hình thái, kích cỡ hoặc sự phân bố kích cỡ, v.v.). Việc tạo ra tiền chất thủy tinh thành hình dạng 3D ban đầu có thể gồm một hoặc nhiều quy trình nén, quy trình làm lún, quy trình lăn, hoặc quy trình đúc. Quy trình làm lún bao gồm việc sử dụng trọng lực hoặc chân không để tạo hình 3D. Quy trình nén bao gồm nén tấm 2D với khuôn đúc để tạo ra tiền chất thủy tinh thành hình dạng 3D. Trong cả hai phương pháp làm lún và nén, mong muốn giữ nhiệt độ của thủy tinh dưới điểm hóa mềm của nó để duy trì chất lượng bề mặt mong muốn. Ngoài ra, trong các phương pháp nén, mong muốn giữ nhiệt độ của thủy tinh dưới điểm hóa mềm của nó để tránh phản ứng giữa thủy tinh và khuôn đúc.

Theo các phương án, hợp phần tiền chất thủy tinh có thể được tạo thành hình dạng 3D ban đầu đồng thời tạo mầm tiền chất thủy tinh ở nhiệt độ tạo mầm thứ nhất như được mô tả dưới đây. Theo các phương án, việc tạo tiền chất thủy tinh thành hình dạng 3D ban đầu có thể xảy ra trước khi gia nhiệt tiền chất thủy tinh đến nhiệt độ tạo mầm thứ hai. Theo các phương án, việc tạo tiền chất thủy tinh thành hình dạng 3D ban đầu có thể xảy ra trong khi gia nhiệt tiền chất thủy tinh đến nhiệt độ tạo mầm thứ hai.

Như sẽ mô tả chi tiết hơn dưới đây, theo các phương án khác, tiền chất thủy tinh có thể được gia nhiệt để tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ, mà sau đó được tạo thành hình dạng 3D ban đầu.

Đối với một số phương án được mô tả ở đây, mong muốn hoàn thành việc tạo hình 3D trong khi vật phẩm có độ nhót từ $10^{7,6}$ poa đến $10^{9,9}$ poa, hoặc trong các khoảng con như được mô tả ở đây. Khoảng độ nhót này là đủ nhót để nó có thể tạo thành hình dạng mong muốn, đồng thời nó không quá nhót để không dễ làm mất đi hình dạng. Một yếu tố ảnh hưởng lớn đến độ nhót là nhiệt độ. Đối với vật liệu được mô tả ở đây, khi không có sự thay đổi về độ kết tinh, độ nhót thường giảm khi tăng nhiệt độ. Còn một yếu tố khác ảnh hưởng lớn đến độ nhót là độ kết tinh. Độ nhót lớn hơn liên quan đến độ kết tinh lớn hơn. Độ kết tinh tăng khi tinh thể tạo thành và phát triển theo thời gian cùng với việc xử lý nhiệt. Tốc độ tạo tinh thể, đối lập với lượng tinh thể tuyệt đối, thường tăng cùng với sự tăng nhiệt độ. Do đó, mong muốn có cửa sổ xử lý khi độ nhót là hàm số của cả nhiệt độ và lịch sử nhiệt để tạo hình 3D. Như được mô tả ở đây, cửa sổ này có thể xuất hiện trong khi hoặc sau khi được mô tả như bước tạo mầm sơ bộ, nhưng trước khi tạo mầm. Có hai cửa sổ xử lý đặc biệt thích hợp. Một cửa sổ xuất hiện trong khi tạo mầm sơ bộ ở nhiệt độ tạo mầm thứ nhất. Vật phẩm có độ kết tinh tương đối thấp ở điểm này, chính vì thế việc tạo hình 3D có thể xảy ra ở nhiệt độ tương đối thấp. Một cửa sổ xử lý thích hợp khác xuất hiện sau khi tạo mầm sơ bộ, đồng thời vật phẩm cần được gia nhiệt đến nhiệt độ tạo mầm thứ hai cao hơn nhiệt độ tạo mầm thứ nhất. Việc gia nhiệt này làm giảm tạm thời độ nhót của vật phẩm do tính phụ thuộc nhiệt độ của độ nhót, tạo nên cửa sổ xử lý để tạo hình 3D. Độ nhót tăng do kết tinh ngay khi đạt tới nhiệt độ tạo mầm thứ hai có thể gần cửa sổ này một cách nhanh chóng.

Theo các phương án, nhiệt độ tạo mầm thứ nhất có thể nằm trong khoảng từ 500°C đến 650°C (ví dụ, 500°C, 510°C, 520°C, 530°C, 540°C, 550°C, 560°C, 570°C, 580°C, 590°C, 600°C, 610°C, 620°C, 630°C, 640°C, hoặc 650°C) và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, nhiệt độ tạo mầm thứ nhất có thể là từ 500°C đến 640°C, từ 500°C đến 620°C, từ 500°C đến 600°C, từ 500°C đến 580°C, từ 500°C đến 560°C, từ 500°C đến 540°C, từ 500°C đến 520°C, từ 520°C đến 650°C, từ 520°C đến 640°C, từ 520°C đến 620°C, từ 520°C đến 600°C, từ 520°C đến 580°C,

từ 520°C đến 560°C, từ 520°C đến 540°C, từ 540°C đến 650°C, từ 540°C đến 640°C, từ 540°C đến 620°C, từ 540°C đến 600°C, từ 540°C đến 580°C, từ 540°C đến 560°C, từ 560°C đến 650°C, từ 560°C đến 640°C, từ 560°C đến 620°C, từ 560°C đến 600°C, từ 560°C đến 580°C, từ 580°C đến 650°C, từ 580°C đến 640°C, từ 580°C đến 620°C, từ 580°C đến 600°C, từ 600°C đến 650°C, từ 600°C đến 640°C, từ 600°C đến 620°C, từ 620°C đến 650°C, từ 620°C đến 640°C, hoặc từ 640°C đến 650°C.

Theo các phương án, tốc độ gia nhiệt từ nhiệt độ trong phòng đến nhiệt độ tạo mầm thứ nhất có thể thay đổi. Theo các phương án, tốc độ gia nhiệt từ nhiệt độ trong phòng đến nhiệt độ tạo mầm thứ nhất có thể nằm trong khoảng từ 0,01°C/phút đến 50°C/phút, 0,01°C/phút, 0,1°C/phút, 0,5°C/phút, 1°C/phút, 2°C/phút, 3°C/phút, 4°C/phút, 5°C/phút, 10°C/phút, 15°C/phút, 20°C/phút, 25°C/phút, 30°C/phút, 40°C/phút, 45°C/phút, 50°C/phút, và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, tốc độ gia nhiệt từ nhiệt độ trong phòng đến nhiệt độ tạo mầm thứ nhất có thể là từ 0,01°C/phút đến 50°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 40°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 30°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 20°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 10°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 5°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 1°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 0,1°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 50°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 40°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 30°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 20°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 10°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 5°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 1°C/phút, từ 1°C/phút đến 50°C/phút, từ 1°C/phút đến 40°C/phút, từ 1°C/phút đến 30°C/phút, từ 1°C/phút đến 20°C/phút, từ 1°C/phút đến 10°C/phút, từ 1°C/phút đến 5°C/phút, từ 5°C/phút đến 50°C/phút, từ 5°C/phút đến 40°C/phút, từ 5°C/phút đến 30°C/phút, từ 5°C/phút đến 20°C/phút, từ 5°C/phút đến 10°C/phút, từ 10°C/phút đến 50°C/phút, từ 10°C/phút đến 40°C/phút, từ 10°C/phút đến 30°C/phút, từ 10°C/phút đến 20°C/phút, từ 20°C/phút đến 50°C/phút, từ 20°C/phút đến 40°C/phút, từ 20°C/phút đến 30°C/phút, từ 30°C/phút đến 50°C/phút, từ 30°C/phút đến 40°C/phút, hoặc từ 40°C/phút đến 50°C/phút.

Theo các phương án, khoảng thời gian tạo mầm sơ bộ để duy trì nhiệt độ tạo mầm thứ nhất có thể nằm trong khoảng từ 1 phút đến 16 giờ (ví dụ 1 phút, 5 phút, 10 phút, 20 phút, 30 phút, 40 phút, 50 phút, 1 giờ, 2 giờ, 3 giờ, 4 giờ, 5 giờ, 6 giờ, 7 giờ, 8

giờ, 9 giờ, 10 giờ, 11 giờ, 12 giờ, 13 giờ, 14 giờ, 15 giờ, hoặc 16 giờ) và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, khoảng thời gian tạo mầm sơ bộ để duy trì nhiệt độ tạo mầm thứ nhất có thể nằm trong khoảng từ 1 phút đến 16 giờ, từ 1 phút đến 15 giờ, từ 1 phút đến 10 giờ, từ 1 phút đến 5 giờ, từ 1 phút đến 1 giờ, từ 1 phút đến 30 phút, từ 30 phút đến 16 giờ, từ 30 phút đến 15 giờ, từ 30 phút đến 10 giờ, từ 30 phút đến 5 giờ, từ 30 phút đến 1 giờ, từ 1 giờ đến 16 giờ, từ 1 giờ đến 15 giờ, từ 1 giờ đến 10 giờ, từ 1 giờ đến 5 giờ, từ 5 giờ đến 16 giờ, từ 5 giờ đến 15 giờ, từ 5 giờ đến 10 giờ, từ 10 giờ đến 16 giờ, từ 10 giờ đến 15 giờ, hoặc từ 15 giờ đến 16 giờ.

Ngay khi đạt đến nhiệt độ tạo mầm thứ nhất, khoảng thời gian tạo mầm sơ bộ có thể được xác định bằng cách kiểm soát độ nhớt. Theo các phương án, hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có thể có độ nhớt, đo được ở nhiệt độ tạo mầm thứ nhất, từ $10^{7,6}$ poa đến $10^{9,9}$ poa, 10^8 poa đến $10^{9,9}$ poa, từ 10^8 poa đến $10^{9,5}$ poa, từ 10^8 poa đến $10^{9,0}$ poa, từ 10^8 poa đến $10^{8,5}$ poa, từ $10^{8,5}$ poa đến $10^{9,9}$ poa, từ $10^{8,5}$ poa đến $10^{9,5}$ poa, từ $10^{8,5}$ poa đến $10^{9,0}$ poa, từ $10^{9,0}$ poa đến $10^{9,9}$ poa, từ $10^{9,0}$ poa đến $10^{9,5}$ poa, hoặc từ $10^{9,5}$ poa đến $10^{9,9}$ poa, và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Như được đề cập trên đây, độ nhớt của hợp phần thủy tinh đã được tạo mầm sơ bộ có thể cho phép tạo thành hình 3D. Theo các phương án, khoảng thời gian tạo mầm sơ bộ có thể kết thúc ngay khi hợp phần thủy tinh đã được tạo mầm sơ bộ có độ nhớt lớn hơn $10^{9,9}$ poa, đo được ở nhiệt độ tạo mầm thứ nhất.

Việc tạo mầm hợp phần tiền chất thủy tinh đến nhiệt độ tạo mầm thứ nhất và duy trì nhiệt độ tạo mầm thứ nhất trong khoảng thời gian tạo mầm sơ bộ tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ. Như được sử dụng ở đây, hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ là hợp phần có hàm lượng pha kết tinh lên đến 20% khối lượng. Không gán bởi giả thuyết, tin rằng bằng cách thay đổi thời gian giữ (khoảng thời gian tạo mầm sơ bộ) ở giai đoạn tạo mầm sơ bộ, mức độ kết tinh tương đối thấp này (lên đến 20% khối lượng) có thể đạt được. Sự có mặt của pha kết tinh lên đến 20% khối lượng có thể tạo ra hợp phần thủy tinh đã được tạo mầm sơ bộ có độ nhớt nhỏ hơn 10^{10} poa, mà có thể được tạo thành hình 3D. Ở độ nhớt trên 10^{10} poa, việc tạo hình 3D có thể gặp thách thức ở nhiệt độ dưới 800°C . Theo các phương án, hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có thể có

phần trăm khối lượng của tinh thể nằm trong khoảng từ 5% khối lượng đến 20% khối lượng, từ 5% khối lượng đến 15% khối lượng, từ 5% khối lượng đến 10% khối lượng, từ 10% khối lượng đến 20% khối lượng, từ 10% khối lượng đến 15% khối lượng, hoặc từ 15% khối lượng đến 20% khối lượng, và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có thể có phần trăm khối lượng tinh thể lớn hơn 5% khối lượng, 6% khối lượng, 7% khối lượng, 8% khối lượng, 9% khối lượng, 10% khối lượng, 11% khối lượng, 12% khối lượng, 13% khối lượng, 14% khối lượng, 15 wt%, 16% khối lượng, 17% khối lượng, 18% khối lượng, 19% khối lượng, hoặc 20% khối lượng.

Tấm đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D có thể được tạo ra bằng cách làm mát hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ đến nhiệt độ trong phòng. Theo các phương án, tấm đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D có thể được tạo thành hình dạng 3D ban đầu. Theo các phương án tấm đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D có thể được tạo mầm và gồm hóa tiếp sau đó. Không gán bởi giả thuyết, việc sản xuất vật phẩm thủy tinh gồm 3D bằng cách sử dụng tấm đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D có thể duy trì chất lượng bề mặt mong muốn đồng thời giảm thiểu sự biến dạng của hình dạng 3D. Như được sử dụng ở đây, “có thể tạo hình 3D” có nghĩa là tấm có khả năng tạo thành hình 3D như được mô tả ở đây, và đáp ứng việc mô tả về độ nhót được mô tả ở đây, tức là, tấm đã được tạo mầm sơ bộ có độ nhót đủ nhỏ để nó có thể tạo hình dạng 3D ở nhiệt độ tạo hình thích hợp – điều này thường không xảy ra nếu độ kết tinh quá cao.

Theo các phương án, tấm đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D có độ dày nằm trong khoảng từ 0,2 mm đến 4,0 mm, 0,2 mm đến 3,0 mm, 0,2 mm đến 2,0 mm, 0,2 mm đến 1,5 mm, 0,2 mm đến 1,0 mm, 0,2 mm đến 0,9 mm, 0,2 mm đến 0,8 mm, 0,2 mm đến 0,7 mm, 0,2 mm đến 0,6 mm, 0,2 mm đến 0,5 mm, 0,3 mm đến 4,0 mm, 0,3 mm đến 3,0 mm, 0,3 mm đến 2,0 mm, 0,3 mm đến 1,5 mm, 0,3 mm đến 1,0 mm, 0,3 mm đến 0,9 mm, 0,3 mm đến 0,8 mm, 0,3 mm đến 0,7 mm, 0,3 mm đến 0,6 mm, 0,3 mm đến 0,5 mm, 0,4 mm đến 4,0 mm, 0,4 mm đến 3 mm, 0,4 mm đến 2,0 mm, 0,4 mm đến 1,5 mm, 0,4 mm đến 1,0 mm, 0,4 mm đến 0,9 mm, 0,4 mm đến 0,8 mm, 0,4 mm đến 0,7 mm, 0,4 mm đến 0,6 mm, 0,5 mm đến 4,0 mm, 0,5 mm đến 3,0 mm, 0,5

mm đến 2,0 mm, 0,5 mm đến 1,5 mm, 0,5 mm đến 1,0 mm, 0,5 mm đến 0,9 mm, 0,5 mm đến 0,8 mm, 0,5 mm đến 0,7 mm, 0,8 mm đến 4 mm, 0,8 mm đến 3,0 mm, 0,8 mm đến 2,0 mm, 0,8 mm đến 1,5 mm, 0,8 mm đến 1,0 mm, 1,0 mm đến 2,0 mm, 1,0 mm đến 1,5 mm, và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, tấm đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D có thể được tạo hình, ví dụ nó có thể có hình dạng 2,5D hoặc 3D. Theo các phương án, tấm đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D có thể có độ dày đồng đều, hoặc tấm đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D không thể có độ dày đồng đều.

Theo các phương án, hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có thể được tạo thành hình dạng 3D ban đầu không cần làm mát đến nhiệt độ trong phòng. Theo các phương án, tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ thành hình dạng 3D ban đầu có thể xảy ra trước khi tạo mầm tiếp hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ. Theo các phương án khác, hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có thể được tạo thành hình dạng 3D ban đầu đồng thời trong khi tạo mầm hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ như được mô tả dưới đây. Hình dạng 3D ban đầu có thể được tạo ra sử dụng một hoặc nhiều quy trình nén, quy trình làm lún, quy trình lăn, hoặc quy trình đúc.

Việc tạo mầm tiếp hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ ở một hoặc nhiều nhiệt độ chọn trước trong một hoặc nhiều thời điểm chọn trước để làm đồng nhất thủy tinh và kết tinh (tức là, tạo mầm và phát triển) của pha kết tinh (ví dụ, có một hoặc nhiều hợp phần, lượng, hình thái, kích cỡ hoặc sự phân bố kích cỡ, v.v.) tạo nên hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm. Việc tạo mầm tiếp hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có thể gồm gia nhiệt hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ ở một hoặc nhiều nhiệt độ chọn trước, gồm nhiệt độ tạo mầm thứ hai, trong một hoặc nhiều thời điểm chọn trước, gồm khoảng thời gian tạo mầm.

Theo các phương án, nhiệt độ tạo mầm thứ hai có thể nằm trong khoảng từ 500°C đến 750°C (ví dụ, 500°C, 510°C, 520°C, 530°C, 540°C, 550°C, 560°C, 570°C, 580°C, 590°C, 600°C, 610°C, 620°C, 630°C, 640°C, 650°C, 670°C, 680°C, 690°C,

700°C, 710°C, 720°C, 730°C, 740°C, hoặc 750°C). Theo các phương án, nhiệt độ tạo mầm thứ nhất có thể là từ 500°C đến 750°C, từ 500°C đến 700°C, từ 500°C đến 650°C, từ 500°C đến 600°C, từ 500°C đến 550°C, từ 550°C đến 750°C, từ 550°C đến 700°C, từ 550°C đến 650°C, từ 550°C đến 600°C, từ 600°C đến 750°C, từ 600°C đến 700°C, từ 600°C đến 650°C, từ 650°C đến 750°C, từ 650°C đến 700°C, hoặc từ 700°C đến 750°C.

Theo các phương án, tốc độ gia nhiệt từ nhiệt độ tạo mầm thứ nhất hoặc nhiệt độ trong phòng đến nhiệt độ tạo mầm thứ hai có thể thay đổi. Theo các phương án, tốc độ gia nhiệt từ nhiệt độ tạo mầm thứ nhất hoặc nhiệt độ trong phòng đến nhiệt độ tạo mầm thứ hai có thể nằm trong khoảng từ 0,01°C/phút đến 50°C/phút, 0,01°C/phút, 0,1°C/phút, 0,5°C/phút, 1°C/phút, 2°C/phút, 3°C/phút, 4°C/phút, 5°C/phút, 10°C/phút, 15°C/phút, 20°C/phút, 25°C/phút, 30°C/phút, 40°C/phút, 45°C/phút, 50°C/phút, và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, tốc độ gia nhiệt từ nhiệt độ tạo mầm thứ nhất hoặc nhiệt độ trong phòng đến nhiệt độ tạo mầm thứ hai có thể là từ 0,01°C/phút đến 50°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 40°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 30°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 20°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 10°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 5°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 1°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 0,1°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 50°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 40°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 30°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 20°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 10°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 5°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 1°C/phút, từ 1°C/phút đến 50°C/phút, từ 1°C/phút đến 40°C/phút, từ 1°C/phút đến 30°C/phút, từ 1°C/phút đến 20°C/phút, từ 1°C/phút đến 10°C/phút, từ 1°C/phút đến 5°C/phút, từ 5°C/phút đến 50°C/phút, từ 5°C/phút đến 40°C/phút, từ 5°C/phút đến 30°C/phút, từ 5°C/phút đến 20°C/phút, từ 5°C/phút đến 10°C/phút, từ 10°C/phút đến 50°C/phút, từ 10°C/phút đến 40°C/phút, từ 10°C/phút đến 30°C/phút, từ 10°C/phút đến 20°C/phút, từ 20°C/phút đến 50°C/phút, từ 20°C/phút đến 40°C/phút, từ 20°C/phút đến 30°C/phút, từ 30°C/phút đến 50°C/phút, từ 30°C/phút đến 40°C/phút, hoặc từ 40°C/phút đến 50°C/phút.

Theo các phương án, thời gian được xác định trước thứ hai để duy trì nhiệt độ tạo mầm thứ hai, hoặc khoảng thời gian tạo mầm, có thể nằm trong khoảng từ 1 phút

đến 6 giờ (ví dụ 1 phút, 5 phút, 10 phút, 20 phút, 30 phút, 40 phút, 50 phút, 60 phút, 90 phút, 120 phút, 150 phút, 180 phút, 210 phút, 240 phút, 270 phút, 300 phút, 330 phút, hoặc 360 phút) và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, thời gian được xác định trước thứ hai để duy trì nhiệt độ kết tinh có thể nằm trong khoảng từ 1 phút đến 4 giờ (ví dụ 1 phút, 5 phút, 10 phút, 20 phút, 30 phút, 40 phút, 50 phút, 60 phút, 90 phút, 120 phút, 150 phút, 180 phút, 210 phút, 240 phút) và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, khoảng thời gian tạo mầm có thể là từ 1 phút đến 6 giờ, từ 1 phút đến 5 giờ, từ 1 phút đến 4 giờ, từ 1 phút đến 3 giờ, từ 1 phút đến 2 giờ, từ 1 phút đến 1 giờ, từ 1 phút đến 30 phút, từ 30 phút đến 6 giờ, từ 30 phút đến 5 giờ, từ 30 phút đến 4 giờ, từ 30 phút đến 3 giờ, từ 30 phút đến 2 giờ, từ 30 phút đến 1 giờ, từ 1 giờ đến 6 giờ, từ 1 giờ đến 5 giờ, từ 1 giờ đến 4 giờ, từ 1 giờ đến 3 giờ, từ 1 giờ đến 2 giờ, từ 2 giờ đến 6 giờ, từ 2 giờ đến 5 giờ, từ 2 giờ đến 4 giờ, từ 2 giờ đến 3 giờ, từ 3 giờ đến 6 giờ, từ 3 giờ đến 5 giờ, từ 3 giờ đến 4 giờ, từ 4 giờ đến 6 giờ, từ 4 giờ đến 5 giờ, hoặc từ 5 giờ đến 6 giờ.

Theo các phương án, có thể có một hoặc nhiều nhiệt độ bổ sung giữ ở giữa quá trình tạo mầm hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ và gồm hóa hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm để tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm. Do đó, theo các phương án, sau khi duy trì vật phẩm ở nhiệt độ tạo mầm thứ hai, vật phẩm có thể được gia nhiệt đến một hoặc nhiều nhiệt độ trung gian (trong đó nhiệt độ trung gian là nằm trong khoảng giữa nhiệt độ tạo mầm và nhiệt độ kết tinh) và được giữ ở một hoặc nhiều nhiệt độ trung gian trong khoảng thời gian xác định trước (ví dụ, nằm giữa 1 giờ và 4 giờ và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng) và sau đó được gồm hóa. Theo các phương án, ngay khi vật phẩm được gia nhiệt đến nhiệt độ tạo mầm thứ hai, vật phẩm không được duy trì ở nhiệt độ tạo mầm thứ hai nhưng thay vào đó tiếp tục được gia nhiệt đến khi đạt đến nhiệt độ kết tinh.

Theo các phương án, tốc độ gia nhiệt từ nhiệt độ tạo mầm thứ hai đến nhiệt độ kết tinh hoặc nhiệt độ tạo mầm thứ hai đến nhiệt độ trung gian và/hoặc tốc độ gia nhiệt từ nhiệt độ trung gian đến nhiệt độ kết tinh có thể thay đổi. Theo các phương án khi có nhiều nhiệt độ trung gian, thì tốc độ gia nhiệt giữa các nhiệt độ trung gian riêng rẽ cũng có thể thay đổi. Theo các phương án, tốc độ gia nhiệt từ nhiệt độ tạo mầm thứ hai đến

nhiệt độ kết tinh hoặc nhiệt độ tạo mầm thứ hai đến nhiệt độ trung gian và/hoặc tốc độ gia nhiệt từ nhiệt độ trung gian đến nhiệt độ kết tinh có thể nằm trong khoảng từ 0,01°C/phút đến 50 °C/phút, 0,01°C/phút, 0,1°C/phút, 0,5°C/phút, 1°C/phút, 2°C/phút, 3°C/phút, 4°C/phút, 5°C/phút, 10°C/phút, 15°C/phút, 20°C/phút, 25°C/phút, 30°C/phút, 40°C/phút, 45°C/phút, 50°C/phút, và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, tốc độ gia nhiệt từ nhiệt độ tạo mầm thứ hai đến nhiệt độ kết tinh hoặc nhiệt độ tạo mầm thứ hai đến nhiệt độ trung gian và/hoặc tốc độ gia nhiệt từ nhiệt độ trung gian đến nhiệt độ kết tinh có thể là từ 0,01°C/phút đến 50°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 40°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 30°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 20°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 10°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 5°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 1°C/phút, từ 0,01°C/phút đến 0,1°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 50°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 40°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 30°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 20°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 10°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 5°C/phút, từ 0,1°C/phút đến 1°C/phút, từ 1°C/phút đến 50°C/phút, từ 1°C/phút đến 40°C/phút, từ 1°C/phút đến 30°C/phút, từ 1°C/phút đến 20°C/phút, từ 1°C/phút đến 10°C/phút, từ 1°C/phút đến 5°C/phút, từ 5°C/phút đến 50°C/phút, từ 5°C/phút đến 40°C/phút, từ 5°C/phút đến 30°C/phút, từ 5°C/phút đến 20°C/phút, từ 5°C/phút đến 10°C/phút, từ 10°C/phút đến 50°C/phút, từ 10°C/phút đến 40°C/phút, từ 10°C/phút đến 30°C/phút, từ 10°C/phút đến 20°C/phút, từ 20°C/phút đến 50°C/phút, từ 20°C/phút đến 40°C/phút, từ 20°C/phút đến 30°C/phút, từ 30°C/phút đến 50°C/phút, từ 30°C/phút đến 40°C/phút, hoặc từ 40°C/phút đến 50°C/phút.

Theo các phương án, hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm có thể được gồm hóa đến nhiệt độ kết tinh và duy trì ở nhiệt độ gồm hóa trong khoảng thời gian kết tinh để tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm. Theo các phương án, nhiệt độ kết tinh có thể là từ 650°C đến 900°C, từ 650°C đến 850°C, từ 650°C đến 800°C, từ 650°C đến 750°C, từ 650°C đến 700°C, từ 700°C đến 900°C, từ 700°C đến 850°C, từ 700°C đến 800°C, từ 700°C đến 750°C, từ 750°C đến 900°C, từ 750°C đến 850°C, từ 750°C đến 800°C, từ 800°C đến 900°C, từ 800°C đến 850°C hoặc từ 850°C đến 900°C.

Theo các phương án, nhiệt độ kết tinh có thể phụ thuộc vào việc mong muốn thủy tinh gồm trong suốt hoặc trong mờ/đục. Nhiệt độ kết tinh từ 650°C đến 790°C hoặc nhỏ hơn sẽ tạo thành thủy tinh gồm trong suốt và nhiệt độ kết tinh trên 790°C sẽ tạo thành thủy tinh gồm trong mờ/đục. Theo một số phương án, thủy tinh có thể được gia nhiệt từ nhiệt độ phòng tới nhiệt độ tạo mầm là 570°C tại tốc độ là 5°C/phút, được duy trì tại nhiệt độ tạo mầm trong 4 giờ, sau đó được gia nhiệt tới nhiệt độ kết tinh 740°C tại tốc độ là 5°C/phút, và được duy trì tại nhiệt độ kết tinh trong 1 giờ.

Theo các phương án, thời gian xác định trước để duy trì nhiệt độ kết tinh, hoặc khoảng thời gian kết tinh, có thể nằm trong khoảng từ 1 phút đến 4 giờ (ví dụ 1 phút, 5 phút, 10 phút, 20 phút, 30 phút, 40 phút, 50 phút, 1 giờ, 1,5 giờ, 2 giờ, 2,5 giờ, 3 giờ, 3,5 giờ, hoặc 4 giờ) và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, khoảng thời gian kết tinh có thể là từ 1 phút đến 4 giờ, từ 1 phút đến 3 giờ, từ 1 phút đến 2 giờ, từ 1 phút đến 1 giờ, từ 1 phút đến 30 phút, từ 1 phút đến 10 phút, hoặc từ 1 phút đến 5 phút.

Theo các phương án, vật phẩm thủy tinh gồm được làm mát sau khi được giữ ở nhiệt độ kết tinh. Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh gồm có thể làm mát tới nhiệt độ phòng trong một giai đoạn tại tốc độ làm mát không đổi, trong hai giai đoạn mà mỗi giai đoạn có tốc độ làm mát khác nhau, hoặc trong ba hoặc hơn ba giai đoạn mà mỗi giai đoạn có tốc độ làm mát khác nhau. Theo một số phương án, các vật phẩm thủy tinh gồm được làm mát tại tốc độ được kiểm soát từ nhiệt độ kết tinh để tối thiểu hóa các gradien nhiệt độ qua các vật phẩm cũng như tối thiểu hóa ứng suất dư qua các vật phẩm. Các gradien nhiệt độ và sự khác biệt về ứng suất dư có thể dẫn tới việc cong vênh các vật phẩm do việc làm mát. Do đó, việc kiểm soát quá trình làm mát có thể làm giảm nhẹ gradien nhiệt độ và ứng suất dư, mà cũng có thể giảm thiểu sự cong vênh của vật phẩm thủy tinh gồm.

Theo các phương án, ví dụ như được thể hiện trên FIG. 2, việc làm mát có thể xảy ra trong hai giai đoạn làm mát. Theo các phương án này, trong giai đoạn làm mát thứ nhất, nhiệt độ nguội từ $T_{\max}$ (tức là, T_c – nhiệt độ kết tinh) đến T_1 với tốc độ làm mát thứ nhất. Trong giai đoạn làm mát thứ hai, nhiệt độ làm mát từ T_1 đến nhiệt độ trong phòng ($T_{\text{trong phòng}}$) ở tốc độ làm mát thứ hai. Như được thể hiện trên FIG. 2, tốc độ làm

mát thứ nhất chậm hơn tốc độ làm mát thứ hai. Tốc độ làm mát thứ nhất trong giai đoạn thứ nhất là nhỏ để giảm thiểu gradient nhiệt độ qua vật phẩm thủy tinh gốm. Theo một số phương án, nhiệt độ T_1 trong đó việc chuyển tiếp từ giai đoạn làm mát thứ nhất tới giai đoạn làm mát thứ hai xuất hiện được xác định dựa trên nhiệt độ mà dưới nhiệt độ này, vật phẩm thủy tinh gốm đóng vai trò như vật liệu đàn hồi. Không bị bó buộc vào lý thuyết, tin rằng tốc độ làm mát chậm hơn của giai đoạn làm mát thứ nhất chỉ cần để kiểm soát các gradient nhiệt độ cho tới khi vật phẩm thủy tinh gốm đạt tới nhiệt độ mà dưới nhiệt độ này, nó đóng vai trò như vật liệu đàn hồi. Theo các phương án, nhiệt độ T_1 có thể nằm trong khoảng từ 450°C đến 550°C và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, nhiệt độ T_1 có thể nhỏ hơn hoặc bằng 550°C, 540°C, 530°C, 520°C, 510°C, 500°C, 490°C, 480°C, 470°C, 460°C, hoặc 450°C. Theo các phương án, nhiệt độ nằm trong giai đoạn làm mát thứ nhất ($T_{\max}$ T_1) là nhỏ hơn nhiệt độ nằm trong giai đoạn làm mát thứ hai (T_1 $T_{\text{trong phòng}}$). Không bị ràng buộc vào lý thuyết, tin rằng các gradient nhiệt độ tăng trong giai đoạn làm mát thứ nhất có tác dụng lớn hơn trên các ứng suất dư (và do đó độ cong vênh) trong vật phẩm thủy tinh gốm khi đạt tới nhiệt độ phòng (ở dạng độ trễ quang học) so hơn các gradient nhiệt độ tăng trong giai đoạn làm mát thứ hai. Do đó, theo một số phương án, sau khi làm mát được kiểm soát trong giai đoạn làm mát thứ nhất, vật phẩm thủy tinh gốm có thể được làm mát tới nhiệt độ phòng trong môi trường làm mát không được kiểm soát.

Theo các phương án, ví dụ như được thể hiện trên FIG. 3, chu kỳ làm mát có thể có giai đoạn làm mát trung gian ở giữa giai đoạn làm mát thứ nhất và giai đoạn làm mát thứ hai để tổng cộng có ba giai đoạn làm mát. Theo các phương án này, trong giai đoạn làm mát thứ nhất, nhiệt độ nguội từ $T_{\max}$ (tức là, T_C – nhiệt độ kết tinh) đến T_1 với tốc độ làm mát thứ nhất. Trong giai đoạn làm mát trung gian, nhiệt độ nguội từ T_1 tới T_2 tại tốc độ làm mát thứ hai. Trong giai đoạn làm mát thứ hai, nhiệt độ làm mát từ T_2 đến nhiệt độ trong phòng ($T_{\text{trong phòng}}$) ở tốc độ làm mát thứ ba. Như được thể hiện trên FIG. 3, tốc độ làm mát tăng với từng giai đoạn sao cho (i) tốc độ làm mát thứ nhất trong suốt giai đoạn làm mát thứ nhất nhỏ hơn tốc độ làm mát thứ hai trong suốt giai đoạn làm mát trung gian và tốc độ làm mát thứ ba trong suốt giai đoạn làm mát thứ hai và (ii) tốc độ làm mát thứ hai trong suốt giai đoạn làm mát trung gian nhỏ hơn tốc độ làm mát thứ ba trong suốt giai đoạn làm mát thứ hai. Theo một số phương án, (i) mức giảm nhiệt

độ trong giai đoạn làm mát thứ nhất ($T_{\max} - T_1$) nhỏ hơn mức giảm nhiệt độ trong giai đoạn làm mát trung gian ($T_1 - T_2$) và mức giảm nhiệt độ trong giai đoạn làm mát thứ hai ($T_2 - T_{\text{trong phòng}}$) và (ii) mức giảm nhiệt độ trong giai đoạn làm mát trung gian ($T_1 - T_2$) nhỏ hơn mức giảm nhiệt độ trong giai đoạn làm mát thứ hai ($T_2 - T_{\text{trong phòng}}$). Các giai đoạn làm mát trung gian cho phép chu kỳ làm mát nhanh hơn trong khi vẫn giảm thiểu được các gradien nhiệt độ và ứng suất dư. Theo các phương án, $T_{\max}$ có thể là 740°C , T_1 có thể là 640°C , và T_2 có thể là 580°C .

Theo các phương án có nhiều giai đoạn làm mát trong chu trình làm mát, gradien nhiệt độ qua vật phẩm thủy tinh gồm trong giai đoạn làm mát thứ nhất có thể là nhỏ hơn 15°C , nhỏ hơn 14°C , nhỏ hơn 13°C , nhỏ hơn 12°C , nhỏ hơn 11°C , nhỏ hơn 10°C , nhỏ hơn 9°C , nhỏ hơn 8°C , nhỏ hơn 7°C , nhỏ hơn 6°C , nhỏ hơn 5°C , nhỏ hơn 4°C , hoặc nhỏ hơn 3°C . Theo các phương án, gradien nhiệt độ qua vật phẩm thủy tinh gồm trong giai đoạn làm mát thứ nhất có thể là từ 3°C đến 15°C , từ 3°C đến 12°C , từ 3°C đến 9°C , từ 3°C đến 6°C , từ 6°C đến 15°C , từ 6°C đến 12°C , từ 6°C đến 9°C , từ 9°C đến 15°C , từ 9°C đến 12°C , hoặc từ 12°C đến 15°C .

Theo các phương án có nhiều giai đoạn làm mát trong chu trình làm mát, độ trễ quang học ở nhiệt độ trong phòng có thể là nhỏ hơn 15 nm/mm độ dày , nhỏ hơn 14 nm/mm độ dày , nhỏ hơn 13 nm/mm độ dày , nhỏ hơn 12 nm/mm độ dày , nhỏ hơn 11 nm/mm độ dày , nhỏ hơn 10 nm/mm độ dày , nhỏ hơn 9 nm/mm độ dày , nhỏ hơn 8 nm/mm độ dày , nhỏ hơn 7 nm/mm độ dày , nhỏ hơn 6 nm/mm độ dày , nhỏ hơn 5 nm/mm độ dày , nhỏ hơn 4 nm/mm độ dày , hoặc nhỏ hơn 3 nm/mm độ dày . Độ trễ quang học có thể được đo theo tiêu chuẩn ASTM F218-13.

Khi tiến hành các phương pháp nêu trên để tạo ra thủy tinh gồm 3D, thủy tinh gồm thu được có một hoặc nhiều pha kết tinh và pha thủy tinh dư. Theo một số phương án, thủy tinh gồm chứa các pha kết tinh làm ví dụ sau: lithi disilicat, petalit, dung dịch rắn β -spodumen, dung dịch β -thạch anh rắn, lithi metasilicat, virgilit, cristobalit, lithi photphat, baddeleyit và ziriconi và các tổ hợp bất kỳ của chúng.

Theo các phương án, lithi disilicat là pha kết tinh với phần trăm khối lượng cao nhất. Lithi disilicat, $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$, là tinh thể trực thoi dựa trên các tấm lượn sóng của các mảng tứ diện $\{\text{Si}_2\text{O}_5\}$. Các tinh thể có hình dạng dạng ống hoặc giống như thanh

mỏng, với các mặt phẳng chia tách rõ rệt. Các loại thủy tinh gồm trên cơ sở lithi disilicat có các tính chất cơ học rất đáng mong muốn, gồm độ bền vật thể và độ bền chống nứt vỡ cao, nhờ các vi cấu trúc tinh thể liên khóa định hướng ngẫu nhiên của chúng – cấu trúc tinh thể mà buộc các vết nứt lan truyền qua vật liệu thông qua các đường ngoằn ngoèo xung quanh các tinh thể này. Theo các phương án, tỷ lệ phần trăm khối lượng của lithi disilicat pha kết tinh trong hợp phần thủy tinh gồm có thể nằm trong khoảng từ 20 đến 60% khối lượng, 20 đến 55% khối lượng, 20 đến 50% khối lượng, 20 đến 45% khối lượng, 20 đến 40% khối lượng, 20 đến 35% khối lượng, 20 đến 30% khối lượng, 20 đến 25% khối lượng, 25 đến 60% khối lượng, 25 đến 55% khối lượng, 25 đến 50% khối lượng, 25 đến 45% khối lượng, 25 đến 40% khối lượng, 25 đến 35% khối lượng, 25 đến 30% khối lượng, 30 đến 60% khối lượng, 30 đến 55% khối lượng, 30 đến 50% khối lượng, 30 đến 45% khối lượng, 30 đến 40% khối lượng, 30 đến 35% khối lượng, 35 đến 60% khối lượng, 35 đến 55% khối lượng, 35 đến 50% khối lượng, 35 đến 45% khối lượng, 35 đến 40% khối lượng, 40 đến 60% khối lượng, 40 đến 55% khối lượng, 40 đến 50% khối lượng, 40 đến 45% khối lượng, 45 đến 60% khối lượng, 45 đến 55% khối lượng, 45 đến 50% khối lượng, 50 đến 60% khối lượng, 50 đến 55% khối lượng, hoặc 55 đến 60% khối lượng. Theo một số phương án, thủy tinh gồm có 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, hoặc 60% khối lượng pha kết tinh lithi silicat.

Theo các phương án, petalit là pha kết tinh với phần trăm khối lượng cao nhất. Petalit, $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$, là tinh thể đơn tà có cấu trúc khung ba chiều với cấu trúc phân lớp có các lớp Si_2O_5 gấp nếp được liên kết bằng tứ diện Li và Al. Li được liên kết phối trí hình tứ diện với oxy. Petalit khoáng là nguồn lithi và được sử dụng làm pha nở nhiệt thấp để cải thiện khả năng chống sốc nhiệt của thủy tinh gồm hoặc các phần gồm. Hơn nữa, các vật phẩm thủy tinh gồm dựa trên pha petalit có thể được gia cường hóa học trong bể muối, mà trong đó Na^+ (và/hoặc K^+) thay thế Li^+ trong cấu trúc petalit, vốn gây ra việc nén và gia cường bề mặt. Theo các phương án, tỷ lệ phần trăm khối lượng của petalit pha kết tinh trong hợp phần thủy tinh gồm có thể nằm trong khoảng từ 20 đến 70% khối lượng, 20 đến 65% khối lượng, 20 đến 60% khối lượng, 20 đến 55% khối lượng, 20 đến 50% khối lượng, 20 đến 45% khối lượng, 20 đến 40% khối lượng, 20 đến

35% khối lượng, 20 đến 30% khối lượng, 20 đến 25% khối lượng, 25 đến 70% khối lượng, 25 đến 65% khối lượng, 25 đến 60% khối lượng, 25 đến 55% khối lượng, 25 đến 50% khối lượng, 25 đến 45% khối lượng, 25 đến 40% khối lượng, 25 đến 35% khối lượng, 25 đến 30% khối lượng, 30 đến 70% khối lượng, 30 đến 65% khối lượng, 30 đến 60% khối lượng, 30 đến 55% khối lượng, 30 đến 50% khối lượng, 30 đến 45% khối lượng, 30 đến 40% khối lượng, 30 đến 35% khối lượng, 35 đến 70% khối lượng, 35 đến 65% khối lượng, 35 đến 60% khối lượng, 35 đến 55% khối lượng, 35 đến 50% khối lượng, 35 đến 45% khối lượng, 35 đến 40% khối lượng, 40 đến 70% khối lượng, 40 đến 65% khối lượng, 40 đến 60% khối lượng, 40 đến 55% khối lượng, 40 đến 50% khối lượng, 40 đến 45% khối lượng, 45 đến 70% khối lượng, 45 đến 65% khối lượng, 45 đến 60% khối lượng, 45 đến 55% khối lượng, 45 đến 50% khối lượng, 50 đến 70% khối lượng, 50 đến 65% khối lượng, 50 đến 60% khối lượng, 50 đến 55% khối lượng, 55 đến 70% khối lượng, 55 đến 65% khối lượng, 55 đến 60% khối lượng, 60 đến 70% khối lượng, 60 đến 65% khối lượng, hoặc 65 đến 70% khối lượng. Theo một số phương án, thủy tinh gồm có khoảng 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, hoặc 70% khối lượng pha kết tinh petatlit.

Theo các phương án, các pha kết tinh khác lithi disilicat và petalit có mặt trong vật phẩm thủy tinh gồm với lượng nhỏ hơn 5% khối lượng, nhỏ hơn 4% khối lượng, nhỏ hơn 3% khối lượng, nhỏ hơn 2% khối lượng, hoặc nhỏ hơn 1% khối lượng.

Theo các phương án, thủy tinh gồm có hàm lượng thủy tinh dư là 5 đến 50% khối lượng, 5 đến 45% khối lượng, 5 đến 40% khối lượng, 5 đến 35% khối lượng, 5 đến 30% khối lượng, 5 đến 25% khối lượng, 5 đến 20% khối lượng, 5 đến 15% khối lượng, 5 đến 10% khối lượng, 10 đến 50% khối lượng, 10 đến 45% khối lượng, 10 đến 40% khối lượng, 10 đến 35% khối lượng, 10 đến 30% khối lượng, 10 đến 25% khối lượng, 10 đến 20% khối lượng, 10 đến 15% khối lượng, 15 đến 50% khối lượng, 15 đến 45% khối lượng, 15 đến 40% khối lượng, 15 đến 35% khối lượng, 15 đến 30% khối lượng, 15 đến 25% khối lượng, 15 đến 20% khối lượng, 20 đến 50% khối lượng, 20 đến 45% khối lượng, 20 đến 40% khối lượng, 20 đến 35% khối lượng, 20 đến 30% khối lượng, 20 đến 25% khối lượng, 25 đến 30% khối lượng, và tất cả các khoảng và khoảng con

nằm giữa chúng. Theo các phương án, hàm lượng thủy tinh dư có thể là nhỏ hơn hoặc bằng 50, 45, 40, 35, 30, 25, 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, hoặc 1% khối lượng.

Theo một số phương án, pha tinh thể có thể có tỷ lệ % khối lượng của các tinh thể nằm trong khoảng từ lớn hơn 20% khối lượng đến 100% khối lượng, lớn hơn 20% khối lượng đến 90% khối lượng, lớn hơn 20% khối lượng đến 80% khối lượng, lớn hơn 20% khối lượng đến 70% khối lượng, 30% khối lượng đến 100% khối lượng, 30% khối lượng đến 90% khối lượng, 30% khối lượng đến 80% khối lượng, 30% khối lượng đến 70% khối lượng, 40% khối lượng đến 100% khối lượng, 40% khối lượng đến 90% khối lượng, 40% khối lượng đến 80% khối lượng, 40% khối lượng đến 70% khối lượng, 50% khối lượng đến 100% khối lượng, 50% khối lượng đến 90% khối lượng, 50% khối lượng đến 80% khối lượng, 50% khối lượng đến 70% khối lượng, và tất cả các khoảng và khoảng phụ giữa các khoảng nêu trên. Theo các phương án, vùng CS bên trong có thể có tỷ lệ phần trăm theo khối lượng của các tinh thể lớn hơn 20% khối lượng, 25% khối lượng, 30% khối lượng, 35% khối lượng, 40% khối lượng, 45% khối lượng, 50% khối lượng, 55% khối lượng, 60% khối lượng, 65% khối lượng, 70% khối lượng, 75% khối lượng, 80% khối lượng, 85% khối lượng, hoặc 90% khối lượng.

Kích thước hạt của các tinh thể trong các pha kết tinh là thông số ảnh hưởng tới độ trong suốt của thủy tinh gốm. Theo các phương án, các hạt có kích thước dài nhất nằm trong khoảng từ 5 nm đến 150 nm, 5 nm đến 125 nm, 5 nm đến 100 nm, 5 nm đến 75 nm, 5 nm đến 50 nm, 25 nm đến 150 nm, 25 nm đến 125 nm, 25 nm đến 100 nm, 25 nm đến 75 nm, 50 nm đến 150 nm, 50 nm đến 125 nm, 50 nm đến 100 nm, và tất cả các khoảng và khoảng con nằm giữa chúng. Theo một số phương án, kích thước dài nhất của các hạt nhỏ hơn 150 nm, nhỏ hơn 125 nm, nhỏ hơn 100 nm, nhỏ hơn 75 nm, nhỏ hơn 50 nm, hoặc nhỏ hơn 25 nm. Kích thước dài nhất của các hạt được đo bằng cách sử dụng kính hiển vi điện tử quét (scanning electron microscope - SEM).

Theo một số phương án, các điều kiện tập hợp pha và việc xử lý nhiệt được chọn để tạo vật phẩm thủy tinh gốm với các đặc tính quang học thích hợp, như độ trong suốt và độ mờ đục thấp, để sử dụng làm thủy tinh che phủ cho thiết bị điện tử di động. Theo các phương án, vật phẩm thủy tinh gốm là trong suốt trong đó độ truyền qua trung

bình là 85% hoặc lớn hơn, 86% hoặc lớn hơn, 87% hoặc lớn hơn, 88% hoặc lớn hơn, 89% hoặc lớn hơn, 90% hoặc lớn hơn, 91% hoặc lớn hơn, 92% hoặc lớn hơn, 93% hoặc lớn hơn (bao gồm các tổn hao do phản xạ bề mặt) của ánh sáng qua khoảng bước sóng từ 450 nm đến 600 nm cho vật phẩm thủy tinh gồm có độ dày là 1 mm. Theo các phương án khác, thủy tinh gồm có thể là trong mờ qua khoảng bước sóng từ 450 nm đến 600 nm. Theo các phương án, thủy tinh gồm trong mờ có thể có độ truyền qua trung bình nằm trong khoảng từ 20% đến nhỏ hơn 85% ánh sáng qua khoảng bước sóng từ 450 nm đến 800 nm đối với vật phẩm thủy tinh gồm có độ dày là 1 mm. Theo các phương án, vật phẩm thủy tinh gồm có độ đục nhỏ hơn 0,20, 0,19, 0,18, 0,17, 0,16, 0,15, 0,14, 0,13, 0,12, 0,11 hoặc 0,10.

Phương trình (2) bên dưới ước lượng độ mờ đục của vật phẩm thủy tinh gồm dựa trên nhiệt độ tạo mầm (TN), thời gian giữ tạo mầm (tN), nhiệt độ kết tinh (TC), và thời gian giữ tạo tinh thể (tC).

$$\begin{aligned} \text{Độ mờ đục được ước lượng} = & 103 \, 0,260T_N + 0,000203(T_N)^2 - 7,96t_N + \\ & 0,1532(t_N)^2 - 0,019T_C - 0,000008(T_C)^2 - 10,03t_C + 0,00597T_N*t_N + \\ & 0,00463t_N*T_C + 0,01342T_C*t_C \end{aligned} \quad (2)$$

Theo các phương án, nhiệt độ tạo mầm (TN), thời gian giữ việc tạo mầm (tN), nhiệt độ kết tinh (TC), và thời gian giữ tạo tinh thể (tC) cho chu kỳ xử lý nhiệt có thể được chọn dựa trên độ mờ đục được ước lượng tạo ra bởi phương trình (2) để có độ mờ đục được ước lượng nhỏ hơn 0,2, 0,19, 0,18, 0,17, 0,16, 0,15, 0,14, 0,13, 0,12, 0,11, hoặc 0,1. Theo các phương án, việc xử lý nhiệt có thể bao gồm (i) gia nhiệt thủy tinh tiền chất với tốc độ là 0,01-50°C/phút tới nhiệt độ tạo mầm (Tn); (ii) duy trì thủy tinh có thể tinh thể hóa được tại nhiệt độ tạo mầm trong khoảng thời gian định trước thứ nhất (tN) để tạo ra hợp phần thủy tinh được tạo mầm có thể tinh thể hóa; (iii) gia nhiệt thủy tinh có thể tinh thể hóa được đã được tạo mầm tại tốc độ trong khoảng từ 0,01°C/phút tới 50°C/phút tới nhiệt độ kết tinh (Tc); (iv) duy trì các thủy tinh có thể tinh thể hóa được đã được tạo mầm tại nhiệt độ kết tinh cho chu kỳ thời gian được xác

định từ trước thứ hai (t_c) để tạo ra các vật phẩm thủy tinh gồm được mô tả ở đây; và (v) làm mát thủy tinh gồm được tạo thành xuống nhiệt độ phòng, sao cho trị số của phương trình (2) nhỏ hơn 0,2, 0,19, 0,18, 0,17, 0,16, 0,15, 0,14, 0,13, 0,12, 0,11, hoặc 0,1,

Như được đề cập trên đây, việc tạo hình dạng 3D ban đầu theo các phương pháp được mô tả ở đây có thể giảm thiểu sự biến dạng của hình dạng 3D ban đầu đồng thời sản xuất được vật phẩm thủy tinh gồm 3D với chất lượng bề mặt mong muốn. Theo các phương án, mức kiểm soát kích thước có hình dạng 3D cuối nằm trong 0,1 mm của các thông số kỹ thuật thiết kế ban đầu có hình dạng 3D.

Trao đổi ion

Theo các phương án, vật phẩm thủy tinh gồm có khả năng được gia cường hóa học sử dụng một hoặc nhiều kỹ thuật trao đổi ion. Theo các phương án này, việc trao đổi ion có thể xảy ra bằng cách đưa một hoặc nhiều bề mặt của vật phẩm thủy tinh gồm này vào một hoặc nhiều môi trường trao đổi ion (ví dụ các bể muối nóng chảy), có hợp phần và nhiệt độ cụ thể, trong khoảng thời gian cụ thể để tạo ra lớp (các lớp) ứng suất nén cho một hoặc nhiều bề mặt. Theo các phương án, môi trường trao đổi ion là bể muối nóng chảy chứa ion (ví dụ ion kim loại kiềm) là lớn hơn ion (ví dụ ion kim loại kiềm) có mặt trong vật phẩm thủy tinh gồm trong đó ion lớn hơn từ bể muối nóng chảy được trao đổi với ion nhỏ hơn trong vật phẩm thủy tinh gồm để tạo ứng suất nén trong vật phẩm thủy tinh gồm, và từ đó làm tăng độ bền của vật phẩm thủy tinh gồm.

Theo các phương án, quy trình trao đổi ion một bước có thể được sử dụng và theo các phương án khác, quy trình trao đổi ion nhiều bước có thể được sử dụng. Theo một số phương án, đối với cả hai quy trình trao đổi ion một bước và quy trình trao đổi ion nhiều bước, các môi trường trao đổi ion (ví dụ, các bể nóng chảy) có thể chứa 100% khối lượng là muối chứa natri (ví dụ, NaNO_3) hoặc có thể chứa bể muối được trộn lẫn, ví dụ tổ hợp của muối chứa natri (ví dụ, NaNO_3) và muối chứa kali (ví dụ KNO_3). Theo phương án, khi bể muối nóng chảy chứa muối chứa natri (ví dụ, NaNO_3) trong khoảng từ 3% khối lượng đến 100% khối lượng, 3% khối lượng đến 95% khối lượng, 3% khối lượng đến 90% khối lượng, 3% khối lượng đến 85% khối lượng, 3% khối lượng đến 80% khối lượng, 3% khối lượng đến 75% khối lượng, 5% khối lượng đến 100% khối lượng, 5% khối lượng đến 95% khối lượng, 5% khối lượng đến 90% khối lượng, 5%

khối lượng đến 85% khối lượng, 5% khối lượng đến 80% khối lượng, 5% khối lượng đến 75% khối lượng, 10% khối lượng đến 100% khối lượng, 10% khối lượng đến 95% khối lượng, 10% khối lượng đến 90% khối lượng, 10% khối lượng đến 85% khối lượng, 10% khối lượng đến 80% khối lượng, 10% khối lượng đến 75% khối lượng, 20% khối lượng đến 100% khối lượng, 20% khối lượng đến 95% khối lượng, 20% khối lượng đến 90% khối lượng, 20% khối lượng đến 85% khối lượng, 20% khối lượng đến 80% khối lượng, 20% khối lượng đến 75% khối lượng, 30% khối lượng đến 100% khối lượng, 30% khối lượng đến 95% khối lượng, 30% khối lượng đến 90% khối lượng, 30% khối lượng đến 85% khối lượng, 30% khối lượng đến 80% khối lượng, 30% khối lượng đến 75% khối lượng, và tất cả các khoảng và các khoảng con nằm giữa chúng. Theo các phương án, các muối natri và kali khác cũng có thể được sử dụng trong dung dịch trao đổi ion, như, ví dụ các natri hoặc kali nitrit, các phosphat, hoặc các sulfat.

Sau khi quá trình trao đổi ion được thực hiện, cần hiểu rằng hợp phần tại bề mặt của thủy tinh-gốm có thể khác với hợp phần của thủy tinh-gốm vừa được tạo ra (*tức là*, thủy tinh-gốm trước khi nó trải qua quy trình trao đổi ion). Kết quả này là một loại của ion kim loại kiềm trong thủy tinh gốm vừa được tạo ra, như, ví dụ Li^+ hoặc Na^+ , cần được thay thế bằng các ion kim loại kiềm lớn hơn, như, ví dụ Na^+ hoặc K^+ , theo cách tương ứng. Tuy nhiên, hợp phần của thủy tinh gốm tại hoặc gần với tâm của độ sâu của vật phẩm thủy tinh gốm sẽ, theo các phương án, vẫn có hợp phần của thủy tinh gốm vừa được tạo ra.

Sản phẩm cuối

Vật phẩm thủy tinh gốm được bộc lộ ở đây có thể được tích hợp vào trong vật phẩm khác như vật phẩm với bộ phận hiển thị (ví dụ, thiết bị điện tử tiêu dùng, gồm điện thoại di động, máy tính bảng, máy tính, hệ thống định vị, thiết bị đeo được (ví dụ, đồng hồ), và dạng tương tự), vật phẩm kiến trúc, vật phẩm giao thông (ví dụ, xe, tàu hỏa, máy bay, tàu biển, v.v., ví dụ để sử dụng cho phần che phủ hiển thị bên trong, cửa sổ, hoặc kính chắn gió), vật phẩm ứng dụng, hoặc vật phẩm bất kỳ yêu cầu mức độ trong suốt, chịu cào xước, chịu ăn mòn hoặc tổ hợp của chúng.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Các phương án khác nhau sẽ được mô tả tiếp bởi các ví dụ sau đây.

Ví dụ 1

Trong ví dụ 1, sự thay đổi độ kết tinh được nghiên cứu là hàm số của thời gian xử lý nhiệt và nhiệt độ. Tiền chất thủy tinh và các hợp phần thủy tinh gồm làm ví dụ theo % mol trên cơ sở oxit kim loại, được liệt kê trong bảng 1 bên dưới.

Bảng 1

Hợp phần	1	2	3	4	5	6
SiO ₂ (% mol)	70,1	70,7	70,7	70,7	70,7	70,7
Al ₂ O ₃ (% mol)	4,3	4,2	3,8	3,8	2,8	2,8
Li ₂ O (% mol)	21,4	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1
Na ₂ O (% mol)	1,5	0	0,5	1	1	2
K ₂ O (% mol)	0	0	0,75	0,75	0,75	0,75
P ₂ O ₅ (% mol)	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0
ZrO ₂ (% mol)	1,8	2,0	3,0	3,0	4,0	4,0
SnO ₂ (% mol)	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Đường lỏng nội tại (°C)	1020	1100	1075	1050	1070	1065
η _{liq} (poa)	5486	2850	3343	3206	3004	2579
Pha đường lỏng	Lithio-phosphat	Ziricon	Sogdianit	Sogdianit	Sogdianit/zircon	Zircon/Sogdianit
Chu trình gồm hóa	560°C-4h/ 730°C-1h	580°C-4h/ 750°C-1h	580°C-4h/ 750°C-1h	580°C-4h/ 750°C-1h	580°C-4h/ 760°C-1h	580°C-4h/ 750°C-1h
Sự tập hợp pha	petalit/ lithi disilicat	petalit/ lithi disilicat	petalit/ lithi disilicat	petalit/ lithi disilicat	petalit/ lithi disilicat	petalit/ lithi disilicat
Thủy tinh dư (% khối lượng)	15	12	27	29	40	45

Trong ví dụ 1, hợp phần mẫu 1 được gia nhiệt từ nhiệt độ trong phòng đến xấp xỉ 600°C ở tốc độ gia nhiệt bằng $5^{\circ}\text{C}/\text{phút}$ và được giữ trong 10 giờ. Sau đó, các mẫu được gia nhiệt đến 700°C ở tốc độ gia nhiệt bằng $5^{\circ}\text{C}/\text{phút}$ và được giữ trong 10 giờ.

Các kết quả của Ví dụ 1 được thể hiện bằng đồ thị trên FIG. 4, mà chỉ ra rằng bằng cách thay đổi thời gian giữ ở các giai đoạn tạo mầm sơ bộ và tạo mầm, mức độ kết tinh thấp (lên đến 20% khối lượng) có thể đạt được. Sự có mặt của pha kết tinh lên đến 20% khối lượng có thể tạo ra hợp phần thủy tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hợp phần nhỏ hơn 10^{10} poa, mà có thể được tạo hình 3D. Như được đề cập trên đây trong bản mô tả này, tin rằng hợp phần thủy tinh đã được tạo mầm sơ bộ có thể cũng duy trì được chất lượng bề mặt mong muốn đồng thời giảm thiểu được sự biến dạng. Ngay khi xong giai đoạn tạo mầm sơ bộ, quan sát được mức tăng mạnh của độ kết tinh. Mức độ kết tinh lớn (lớn hơn 20% khối lượng) có thể thu được độ nhớt lớn (trên 10^{10} poa). Ở độ nhớt trên 10^{10} poa, việc tạo hình 3D gặp thách thức ở khoảng nhiệt độ dưới 800°C .

Ví dụ 2

Trong ví dụ 2, ảnh hưởng của độ kết tinh đối với độ nhớt được nghiên cứu đối với tiền chất thủy tinh (“thủy tinh”) của hợp phần 1 từ ví dụ 1, thủy tinh đã được tạo mầm sơ bộ được tạo mầm ở 600°C trong 15 phút (“ 600°C -15 phút”), thủy tinh đã được tạo mầm sơ bộ được tạo mầm ở 600°C trong 30 phút (“ 600°C -30 phút”), và thủy tinh gồm được gồm hóa hoàn toàn 600°C trong bốn giờ và 710°C trong 4 giờ (“ 600 -4/+ 710 -4”). Trong ví dụ này, độ nhớt được đo sử dụng phương pháp độ nhớt đĩa song song (parallel plate viscosity - PPV) theo ASTM C1351M-96(2012), mà được sử dụng ở đây mà không cần mô tả cụ thể theo cách khác.

Các kết quả của Ví dụ 2 được thể hiện bằng đồ thị trên FIG. 5. Như được thể hiện trên FIG. 5, ở nhiệt độ dưới 800°C , độ nhớt thấp nhất (10^9 poa) được đo trong tiền chất thủy tinh. Độ nhớt nhỏ nhất thứ hai ($10^{9.8}$ poa) được đo trong thủy tinh đã được tạo mầm sơ bộ (600°C -15 phút) với độ kết tinh thấp (5% khối lượng). Thời gian giữ tăng tiếp trong quá trình tạo mầm thu được độ kết tinh tăng và do đó độ nhớt lớn hơn nhiều, trên 10^{10} poa, nằm ngoài khoảng đo đối với thử nghiệm PPV.

Ví dụ 3

Trong ví dụ 3, hợp phần mẫu 1 được gia nhiệt ở nhiệt độ tạo mầm 600°C trong khoảng thời gian 15 giờ trong lò Lindberg/xanh để tạo ra mẫu hình chữ nhật, phẳng đã được tạo mầm sơ bộ. Sau đó, mẫu đã được tạo mầm sơ bộ được uốn thành hình dạng 3D mong muốn sử dụng khuôn đúc đơn với áp suất dương đã được áp là 60 psi và áp suất hỗ trợ chân không là 12 inHg trong 30 giây. Sau khi tạo thành hình dạng 3D ban đầu của nó, mẫu đã được tạo mầm sơ bộ được đặt lên mép của nó mà không cần sự hỗ trợ bên ngoài bất kỳ. Sau đó, mẫu đã được tạo mầm sơ bộ được gia nhiệt sử dụng chu trình 560°C trong 4 giờ sau đó 720°C trong 1 giờ với tốc độ biến đổi là 5°C/phút để tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm có hình dạng 3D cuối.

Các hình ảnh của các FIG. 6A và 6B thể hiện mẫu đã được tạo mầm sơ bộ sau khi được tạo thành hình dạng 3D ban đầu của chúng so với vật phẩm thủy tinh gồm có hình dạng 3D cuối. Các FIG. 6A và 6B thể hiện mẫu đã được tạo mầm sơ bộ thường xuất hiện để duy trì chất lượng bề mặt của nó và giảm thiểu sự biến dạng khi so sánh với vật phẩm thủy tinh gồm. Tức là, vật phẩm thủy tinh gồm xuất hiện để tương tự như hình dạng của mẫu đã được tạo mầm sơ bộ được tạo hình 3D mà không cần chú ý tới sự biến dạng bề mặt. (Xem FIG. 6A và 6B). Ngoài ra, như được đề cập trên đây, do sự có mặt của độ kết tinh trong mẫu đã được tạo mầm sơ bộ được tạo hình 3D, mẫu có thể được gồm hóa đồng thời được hỗ trợ bởi chính khối lượng của nó mà không cần khuôn đúc hỗ trợ. Tin rằng phương pháp gồm hóa không cần khuôn đúc này có thể có lợi để làm giảm chi phí sản xuất—ví dụ, bằng cách giảm hoặc loại trừ chi phí của khuôn đúc và bằng cách loại trừ các mối quan tâm liên quan đến thời hạn sử dụng của khuôn đúc.

Các FIG. 7 và 8 là các đồ thị lần lượt minh họa dữ liệu nhiễu xạ tia X đối với mẫu đã được tạo mầm sơ bộ được tạo hình 3D và vật phẩm thủy tinh gồm có hình dạng 3D cuối. Mẫu đã được tạo mầm sơ bộ được tạo hình 3D của FIG. 7 gồm xấp xỉ 5% khối lượng pha kết tinh, và vật phẩm thủy tinh gồm có hình dạng 3D cuối của FIG. 8 gồm xấp xỉ 100% khối lượng pha kết tinh.

Ví dụ 4

Trong ví dụ 4, lớp phủ thủy tinh 3D bao gồm hợp phần mẫu 1 từ ví dụ 1 được quét 3D và so sánh với thông số kỹ thuật thiết kế ban đầu. Hình dạng của lớp phủ thủy tinh 3D gồm bề mặt 2D (để tương tác với thiết bị hiển thị) và bề mặt 3D (để cuốn quanh

mép của thiết bị hiển thị). FIG. 9 là hình chiếu từ trên xuống của lớp phủ thủy tinh 3D. FIG. 10 là hình chiếu bên của lớp phủ thủy tinh 3D.

Việc quét 3D được tiến hành sử dụng máy quét 3D ánh sáng trắng ATOS có sẵn trên thị trường từ Capture 3D. Để tiến hành quét 3D, mây điểm thu được và được phân tích sử dụng phần mềm Geomagic XO.V và được so sánh với CAD đích với thông số kỹ thuật thiết kế ban đầu. Như được thể hiện trên FIG. 9 và FIG. 10, độ lệch so với CAD đích được báo cáo theo đơn vị millimet.

Độ lệch toàn phần là độ lệch tối đa – phút so với CAD, tức là sự chênh lệch giữa độ lệch nhỏ nhất và lớn nhất so với CAD đối với hình dạng 3D ban đầu.

Rõ ràng là người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật sẽ hiểu rõ rằng, các cải biến, thay đổi khác nhau có thể được đưa ra mà không nằm ngoài tinh thần hoặc phạm vi bảo hộ của sáng chế.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm, phương pháp này bao gồm các bước:

tạo ra mầm sơ bộ hợp phần tiền chất thủy tinh ở nhiệt độ tạo mầm thứ nhất và duy trì nhiệt độ tạo mầm thứ nhất trong khoảng thời gian tạo mầm sơ bộ để tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ, trong đó hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ bao gồm 5% khối lượng đến 20% khối lượng pha kết tinh khi được đo theo ASTM C1365-18,

làm mát hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ,

tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ thành hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu;

tạo ra mầm hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu ở nhiệt độ tạo mầm thứ hai trong khoảng thời gian tạo mầm để tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm;

gốm hóa hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm ở nhiệt độ kết tinh và duy trì nhiệt độ kết tinh trong khoảng thời gian kết tinh để tạo ra vật phẩm thủy tinh gốm có hình dạng 3D cuối,

trong đó vật phẩm thủy tinh gốm có mức kiểm soát kích thước có hình dạng 3D cuối nằm trong 0,1 mm của thông số kỹ thuật thiết kế ban đầu có hình dạng 3D cuối.

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm bao gồm lớn hơn 20% khối lượng pha kết tinh.
3. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có độ nhót từ 10^8 poa (10^7 Pa.giây) đến $10^{9,9}$ poa ($794328234,72$ Pa.giây) ở nhiệt độ tạo mầm thứ nhất trong khoảng thời gian tạo mầm sơ bộ.

4. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm có độ nhót lớn hơn 10^{10} poa (10^9 Pa.giây) ở nhiệt độ tạo mầm thứ hai.
5. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó bước tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ thành hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu bao gồm một hoặc nhiều quy trình nén, quy trình làm lún, quy trình lăn, hoặc quy trình đúc.
6. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó nhiệt độ tạo mầm thứ nhất là từ 500°C đến 650°C .
7. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó nhiệt độ tạo mầm thứ hai là từ 500°C đến 750°C .
8. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó bước tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ thành hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu xảy ra khi gia nhiệt hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ đến nhiệt độ tạo mầm thứ hai, trong đó nhiệt độ tạo mầm thứ hai là lớn hơn nhiệt độ tạo mầm thứ nhất.
9. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó bước tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ thành hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu xảy ra trước khi tạo mầm hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu.

10. Phương pháp tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm, phương pháp này bao gồm các bước:

định vị tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ bao gồm 5% khối lượng đến 20% khối lượng pha kết tinh, khi được đo theo ASTM C1365-18, lên thiết bị đúc;

tạo ra tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ thành tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu;

tạo ra mầm tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu ở nhiệt độ tạo mầm trong khoảng thời gian tạo mầm để tạo ra hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm;

gốm hóa hợp phần thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm đến nhiệt độ kết tinh và duy trì nhiệt độ kết tinh trong khoảng thời gian kết tinh để tạo ra vật phẩm thủy tinh gồm có hình dạng 3D cuối; và

làm mát vật phẩm thủy tinh gồm từ nhiệt độ có khả năng kết tinh đến nhiệt độ trung gian với tốc độ làm mát thứ nhất, và từ nhiệt độ trung gian đến nhiệt độ trong phòng với tốc độ làm mát thứ hai, trong đó:

tốc độ làm mát thứ nhất là nhỏ hơn tốc độ làm mát thứ hai, và

vật phẩm thủy tinh gồm có mức kiểm soát kích thước có hình dạng 3D cuối nằm trong 0,1 mm của thông số kỹ thuật thiết kế ban đầu có hình dạng 3D cuối.

11. Phương pháp theo điểm 10, trong đó tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có độ nhớt từ $10^{7,6}$ poa (3981071,71 Pa.giây) đến $10^{9,9}$ poa (794328234,72 Pa.giây) trong quá trình tạo thành hình dạng 3D ban đầu.

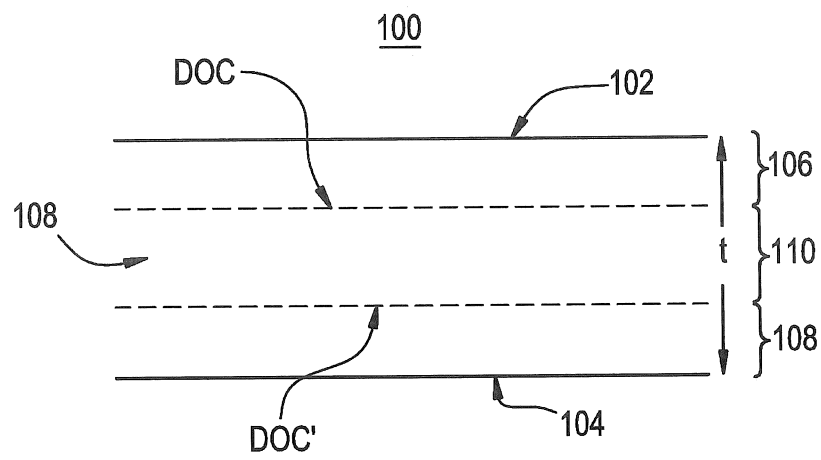
12. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm 10–11, trong đó bước tạo ra tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu bao gồm một hoặc nhiều quy trình nén, quy trình làm lún, quy trình lăn, hoặc quy trình đúc.

13. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm 10–12, trong đó nhiệt độ tạo mầm là từ 500°C đến 750°C.

14. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm 10–13, trong đó khoảng thời gian tạo mầm là từ 1 phút đến 6 giờ.
15. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm 10–14, trong đó nhiệt độ kết tinh là từ 650°C đến 900°C.
16. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm 10–15, trong đó bước tạo tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ thành tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu xảy ra đồng thời với bước tạo mầm tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu bằng cách gia nhiệt hình dạng 3D ban đầu đến nhiệt độ tạo mầm.
17. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm 10–16, trong đó bước tạo tấm đã được tạo mầm sơ bộ có thể tạo hình 3D thành tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu xảy ra trước khi tạo mầm tấm thủy tinh có khả năng kết tinh đã được tạo mầm sơ bộ có hình dạng 3D ban đầu.

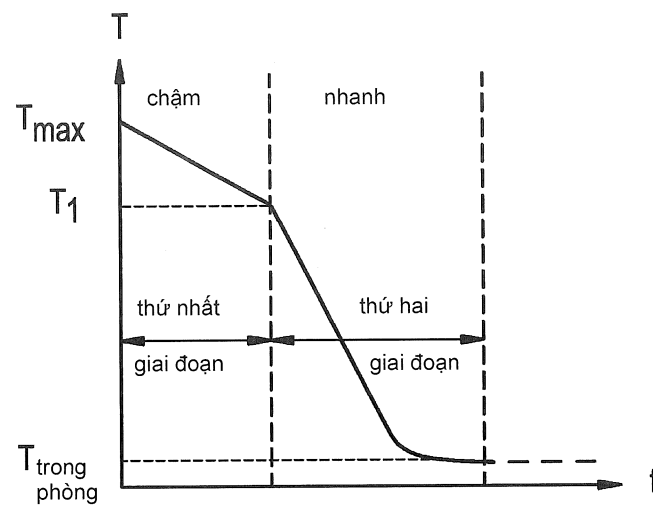
1/10

FIG. 1



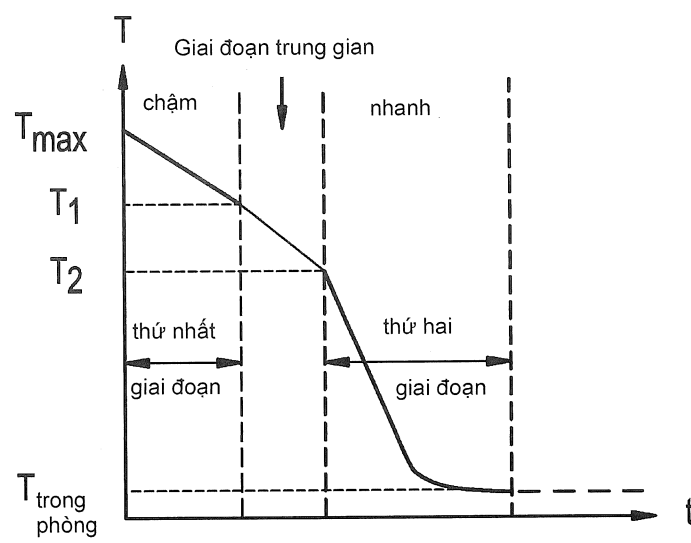
2/10

FIG. 2



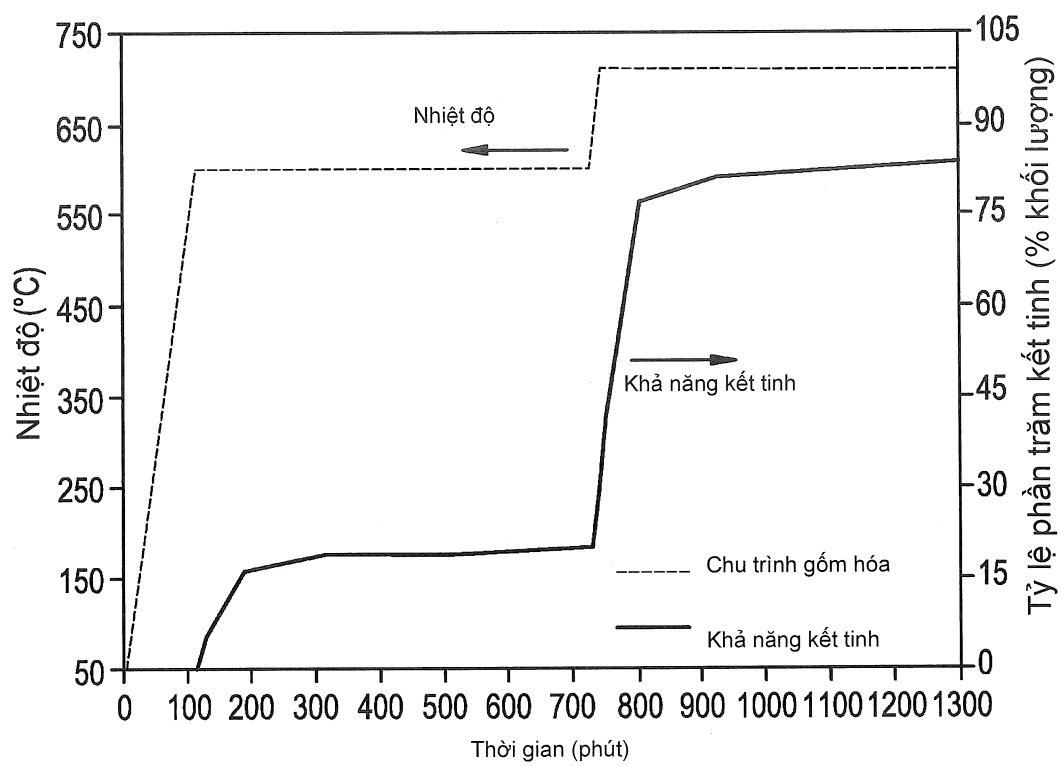
3/10

FIG. 3

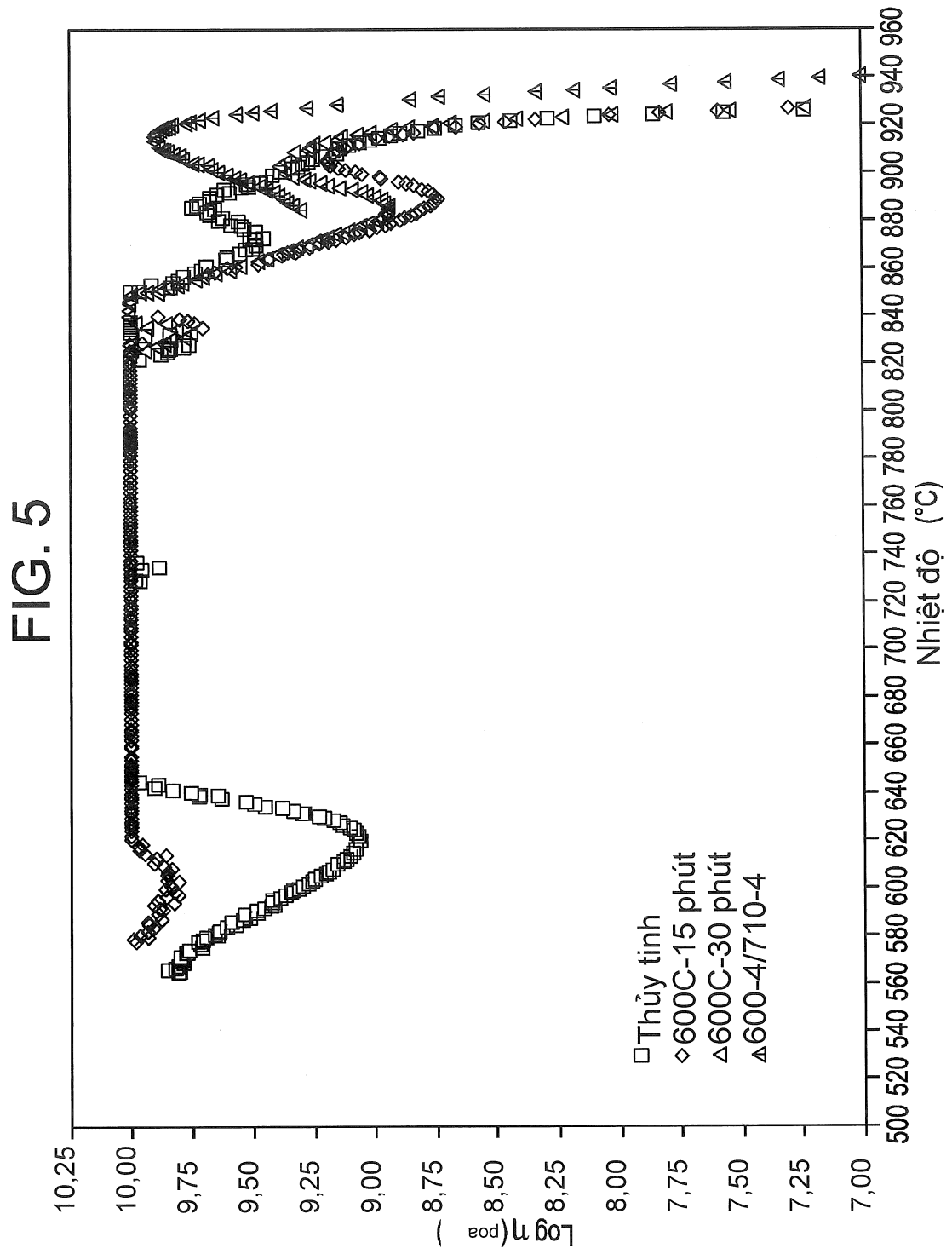


4/10

FIG. 4



5/10



6/10

FIG. 6A

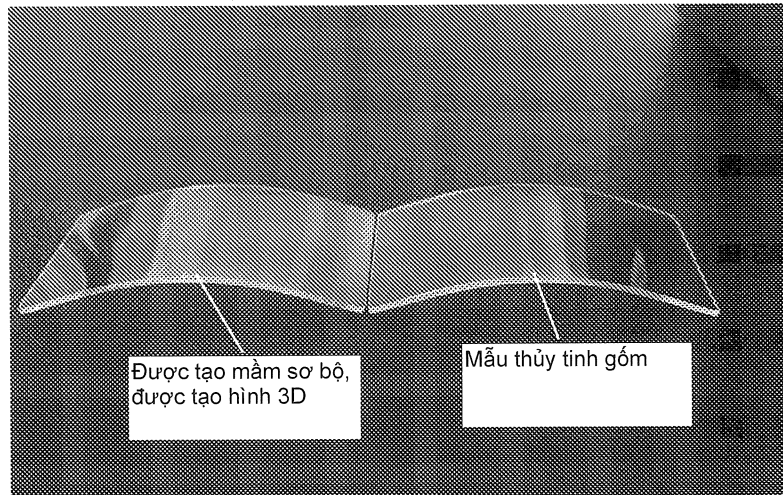
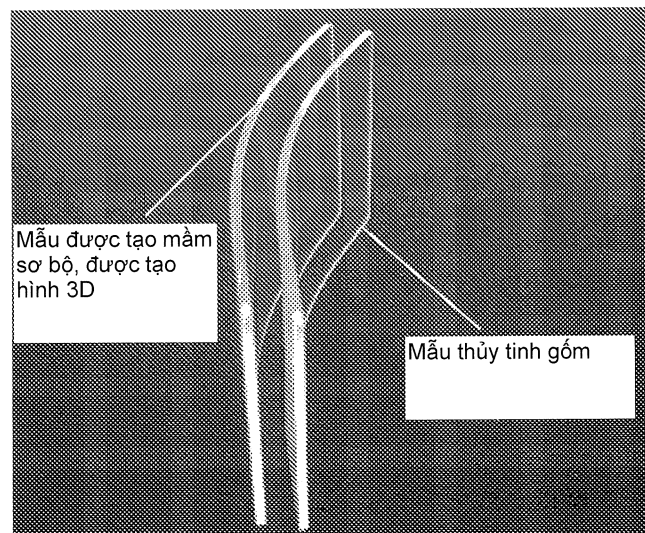
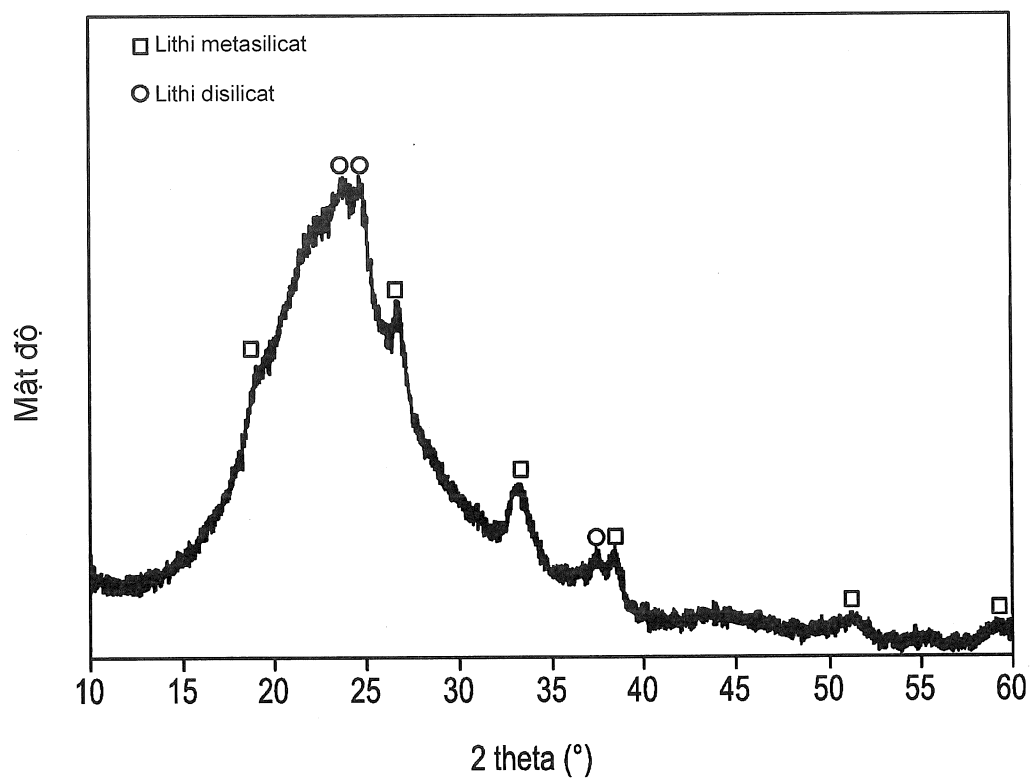


FIG. 6B



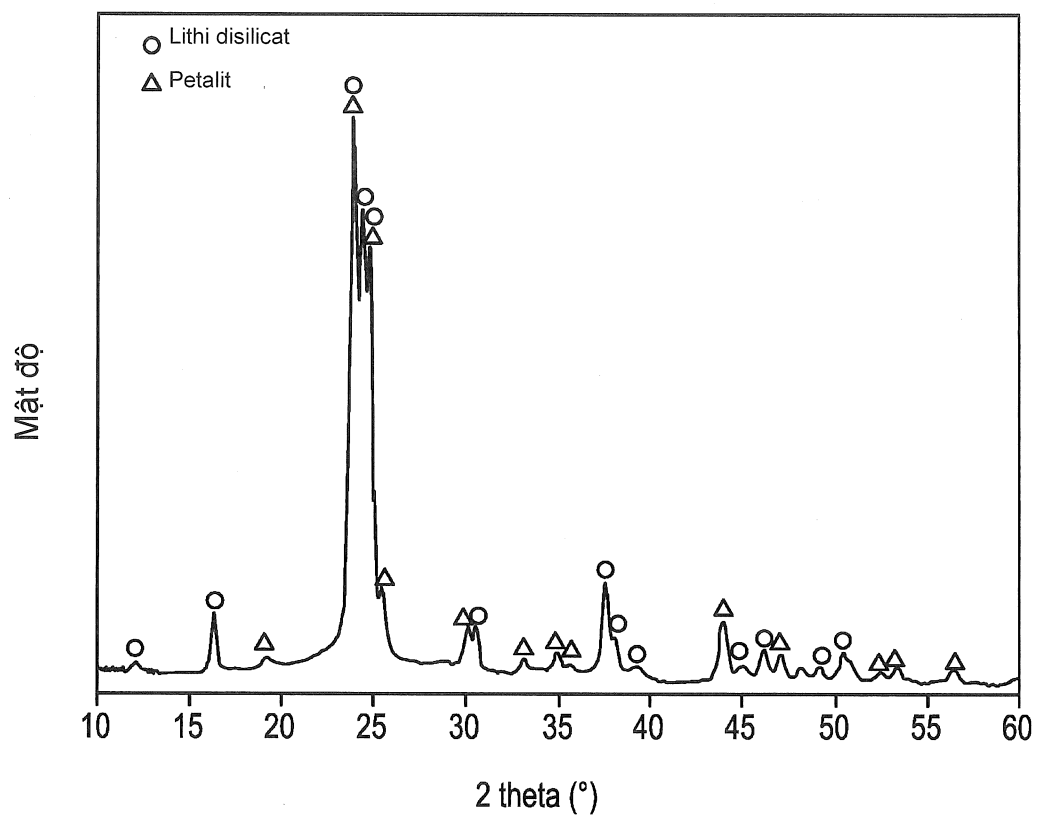
7/10

FIG. 7



8/10

FIG. 8



10/10

FIG. 10

