



(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)



1-0050789

(51)^{2020.01} C03C 21/00; C03C 10/00

(13) B

(21) 1-2020-05464

(22) 12/11/2019

(86) PCT/US2019/060979 12/11/2019

(87) WO2020/102231 22/05/2020

(30) 62/760,753 13/11/2018 US

(45) 25/08/2025 449

(43) 25/01/2021 394A

(73) CORNING INCORPORATED (US)

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

(72) ANDREWS, Ryan Claude (US); FAHEY, Albert Joseph (US); NONI, Lisa Marie (US); ROUSSEV, Rostislav Vatchev (BG); SMITH, Charlene Marie (US); UKRAINCZYK, Ljerka (US); WILSON, Shelby Kerin (US).

(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)

(54) VẬT PHẨM GỒM THỦY TINH ĐƯỢC TRAO ĐỔI ION

(21) 1-2020-05464

(57) Sáng chế đề cập đến vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion có ứng suất giảm khi tăng khoảng cách theo một hàm gần như tuyến tính từ độ sâu khoảng 0,07t đến độ sâu khoảng 0,26t từ bề mặt ngoài của vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion từ ứng suất nén sang ứng suất kéo. Ứng suất chuyển từ ứng suất nén sang ứng suất kéo ở độ sâu từ khoảng 0,18t đến khoảng 0,25t từ bề mặt ngoài của vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion. Giá trị tuyệt đối của ứng suất nén tối đa ở bề mặt ngoài của vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion là từ 1,8 đến 2,2 lần giá trị tuyệt đối của ứng suất kéo trung tâm (central tension-CT) tối đa của vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion, và vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion có độ bền chống nứt là 1 Mpa√m hoặc lớn hơn như được đo theo phương pháp đầm côngxon kép.

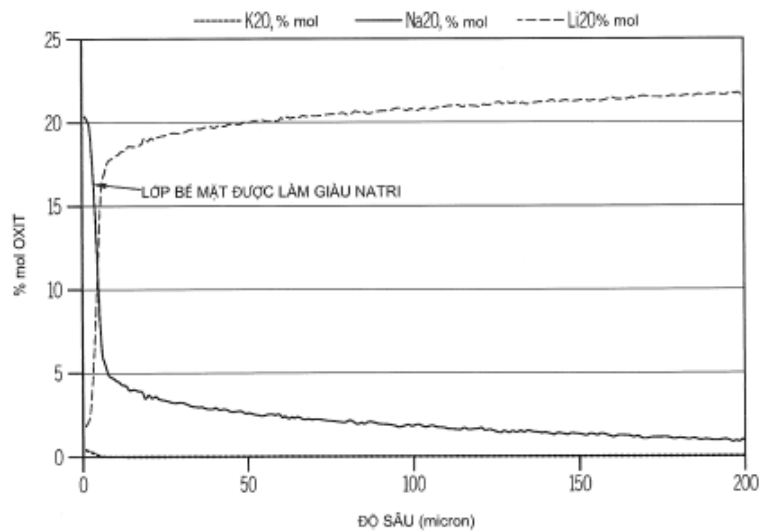


FIG. 1
(GIẢI PHÁP KỸ THUẬT ĐÃ BIẾT)

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập chung đến các vật phẩm thủy tinh và cụ thể hơn là các vật phẩm gốm thủy tinh có độ bền hóa học và khả năng chống hư hỏng được cải thiện và phương pháp tạo ra vật phẩm này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Khi gốm thủy tinh có pha tinh thể lithi disilicat trải qua quá trình trao đổi ion thông thường, lớp chỉ số khúc xạ thấp mà giàu natri hình thành trên bề mặt của gốm thủy tinh. Sự có mặt của lớp bề mặt giàu natri này làm cho bề mặt của gốm thủy tinh dễ bị hydrat hóa dưới bề mặt, điều này có thể dẫn đến sự phát triển các tinh thể natri cacbonat trên bề mặt của gốm thủy tinh, do đó có thể tạo ra độ mờ bề mặt. Lớp bề mặt giàu natri cũng thể hiện độ bền hóa học thấp, làm cho gốm thủy tinh dễ bị ăn mòn, rỗ và các hư hỏng bề mặt khác.

Ngoài việc làm thay đổi tính chất của gốm thủy tinh, sự có mặt của lớp chỉ số khúc xạ thấp có thể làm mờ hình ảnh được tạo ra trong quá trình tạo hình ảnh FSM, khiến việc sử dụng những hình ảnh đó để kiểm soát chất lượng của quá trình trao đổi ion là không đáng tin cậy.

Do đó, có nhu cầu đối với các vật phẩm gốm thủy tinh với độ bền hóa học được cải thiện, khả năng chống hư hỏng được cải thiện, và các phương pháp để cải thiện việc kiểm soát chất lượng của quá trình trao đổi ion.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Theo khía cạnh thứ nhất, sáng chế đề xuất vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion có độ dày t , trong đó: vật phẩm thủy tinh này có ứng suất giảm khi tăng khoảng cách theo một hàm gần như tuyến tính từ độ sâu khoảng $0,07t$ đến độ sâu khoảng $0,26t$ từ bề mặt ngoài của vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion về phía đường tâm; ứng suất chuyển từ ứng suất nén sang ứng suất kéo ở độ sâu từ khoảng $0,18t$ đến khoảng $0,25t$ từ bề mặt ngoài của vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion; và giá trị tuyệt đối của ứng suất nén tối đa ở bề mặt ngoài của vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion là từ 1,8 đến 2,2 lần giá trị tuyệt đối của ứng suất kéo trung tâm (central tension-CT) tối đa của vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion; và vật phẩm gốm thủy tinh

được trao đổi ion có độ bền đứt gãy là $1 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ hoặc lớn hơn như được đo theo phương pháp đầm côngxon kép.

Theo khía cạnh thứ hai, sáng chế đề xuất vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh thứ nhất, trong đó ứng suất kéo trung tâm tối đa là 70 MPa hoặc lớn hơn.

Theo khía cạnh thứ ba, sáng chế đề xuất vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh bất kỳ nêu trên, trong đó ứng suất kéo trung tâm tối đa là từ 80 MPa đến 140 MPa .

Theo khía cạnh thứ tư, sáng chế đề xuất vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh bất kỳ nêu trên, trong đó ứng suất nén tối đa là từ 180 MPa đến 350 MPa .

Theo khía cạnh thứ năm, sáng chế đề xuất vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh bất kỳ nêu trên, trong đó độ bền chống nứt là từ $1 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ đến $1,5 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ như được đo theo phương pháp đầm côngxon kép.

Theo khía cạnh thứ sáu, sáng chế đề xuất vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh bất kỳ nêu trên, trong đó vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion có nồng độ Na_2O nhỏ hơn $10\% \text{ mol}$ ở bề mặt ngoài.

Theo khía cạnh thứ bảy, sáng chế đề xuất vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion có độ dày t , trong đó: nồng độ của các ion Li tăng khi tăng khoảng cách từ bề mặt ngoài của vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion từ nồng độ ion Li bề mặt đến nồng độ ion Li tối đa, trong đó chênh lệch giữa nồng độ ion Li bề mặt và nồng độ ion Li tối đa là nhỏ hơn $5\% \text{ mol}$; nồng độ của các ion Na tăng và sau đó giảm khi tăng khoảng cách từ bề mặt ngoài của vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion từ nồng độ ion Na bề mặt đến nồng độ ion Na tối thiểu, trong đó chênh lệch giữa nồng độ ion Na bề mặt và nồng độ ion Na tối thiểu là nhỏ hơn $5\% \text{ mol}$, nồng độ ion Na bề mặt nhỏ hơn $10\% \text{ mol}$; và vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion có độ bền chống nứt lớn hơn $1 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ như được đo theo phương pháp đầm côngxon kép.

Theo khía cạnh thứ tám, sáng chế đề xuất vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh thứ bảy, trong đó nồng độ của các ion Na lớn hơn 0% mol xuyên suốt độ dày t của vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion.

Theo khía cạnh thứ chín, sáng chế đề xuất vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh thứ bảy hoặc thứ tám, trong đó nồng độ của các ion Na lớn hơn 0% mol và nhỏ hơn 2,5% mol.

Theo khía cạnh thứ mười, sáng chế đề xuất vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ bảy đến chín, trong đó nồng độ tối đa của các ion Li là từ 19% mol đến 32% mol.

Theo khía cạnh thứ mười một, sáng chế đề xuất vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ bảy đến mười, trong đó độ bền chống nứt là từ 1 MPa $\sqrt{m}$ đến 1,5 MPa $\sqrt{m}$ như được đo theo phương pháp đầm côngxon kép.

Theo khía cạnh thứ mười hai, sáng chế đề xuất vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ bảy đến mười một, còn chứa Al_2O_3 với lượng lớn hơn 0% mol đến 6% mol.

Theo khía cạnh thứ mười ba, sáng chế đề xuất vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ bảy đến mười hai, còn chứa P_2O_5 với lượng 0,7% mol đến 2,2% mol.

Theo khía cạnh thứ mười bốn, sáng chế đề xuất vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ bảy đến mười ba, còn chứa ZrO_2 với lượng từ 1,7% mol đến 4,5% mol.

Theo khía cạnh thứ mười lăm, sáng chế đề xuất vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh bất kỳ

trong số các khía cạnh từ bảy đến mười bốn, còn chứa SiO_2 với lượng từ 60% mol đến 72% mol.

Theo khía cạnh thứ mười sáu, sáng chế đề xuất vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm hàm lượng thủy tinh dư từ 1% đến 30% và từ 70% đến 99% của pha tinh thể được chọn từ nhóm bao gồm lithi disilicat, petalit, β -thạch anh, dung dịch rắn β -spodumen, và các kết hợp của chúng; vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion có độ dày t và bao gồm ứng suất giảm khi tăng khoảng cách từ bề mặt ngoài của vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion về phía đường tâm, trong đó: ứng suất giảm theo một hàm gần như tuyến tính từ độ sâu khoảng $0,07t$ đến độ sâu khoảng $0,26t$ từ bề mặt ngoài của vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion; ứng suất chuyển từ ứng suất nén sang ứng suất kéo ở độ sâu từ khoảng $0,18t$ đến khoảng $0,25t$ từ bề mặt ngoài của vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion; và ứng suất nén tối đa ở bề mặt ngoài của vật phẩm thủy tinh được trao đổi ion là từ 1,8 đến 2,2 lần giá trị của ứng suất kéo trung tâm (CT) tối đa của vật phẩm thủy tinh được trao đổi ion.

Theo khía cạnh thứ mười bảy, sáng chế đề xuất vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh thứ mười sáu, trong đó vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion có độ bền chống nứt là từ $1 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ đến $1,5 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ như được đo theo phương pháp đầm côngxon kép.

Theo khía cạnh thứ mười tám, sáng chế đề xuất vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh thứ mười sáu hoặc mười bảy, trong đó thủy tinh được trao đổi ion là mờ đục.

Theo khía cạnh thứ mười chín, sáng chế đề xuất vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ mười sáu đến mười tám, trong đó ứng suất nén tối đa là từ 180 MPa đến 350 MPa.

Theo khía cạnh thứ hai mươi, sáng chế đề xuất vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ mười sáu đến mười chín, trong đó vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion có nồng độ Na_2O nhỏ hơn 10% mol ở bề mặt ngoài.

Theo khía cạnh thứ hai mươi một, sáng chế đề xuất phương pháp gia cường vật phẩm gồm thủy tinh có pha tinh thể được chọn từ nhóm bao gồm petalit, lithi disilicat,

và các kết hợp của chúng, phương pháp này bao gồm bước: sử dụng môi trường trao đổi ion cho vật phẩm gốm thủy tinh, trong đó môi trường trao đổi ion bao gồm lớn hơn 0% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 20% khối lượng NaNO_3 , từ 80% khối lượng đến nhỏ hơn 100% khối lượng KNO_3 , và từ 0,01% khối lượng đến 0,5% khối lượng LiNO_3 .

Theo khía cạnh thứ hai mươi hai, sáng chế đề xuất phương pháp bao gồm phương pháp theo khía cạnh thứ hai mươi một, trong đó môi trường trao đổi ion có nhiệt độ từ 380°C đến 550°C.

Theo khía cạnh thứ hai mươi ba, sáng chế đề xuất phương pháp bao gồm phương pháp theo khía cạnh thứ hai mươi một hoặc hai mươi hai, trong đó môi trường trao đổi ion được sử dụng cho vật phẩm gốm thủy tinh trong thời gian từ 2 giờ đến 16 giờ.

Theo khía cạnh thứ hai mươi tư, sáng chế đề xuất phương pháp bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ hai mươi một đến hai mươi ba, trong đó môi trường trao đổi ion là môi trường trao đổi ion thứ hai, và phương pháp này còn bao gồm bước: sử dụng môi trường trao đổi ion thứ nhất cho vật phẩm gốm thủy tinh trong đó môi trường trao đổi ion thứ nhất bao gồm NaNO_3 , KNO_3 , và từ 0,01% khối lượng đến 0,5% khối lượng LiNO_3 , và trong đó việc sử dụng môi trường trao đổi ion thứ hai được thực hiện sau khi sử dụng môi trường trao đổi ion thứ nhất.

Theo khía cạnh thứ hai mươi lăm, sáng chế đề xuất phương pháp bao gồm phương pháp theo khía cạnh thứ hai mươi tư, trong đó môi trường trao đổi ion thứ nhất bao gồm lớn hơn 20% khối lượng NaNO_3 .

Theo khía cạnh thứ hai mươi sáu, sáng chế đề xuất phương pháp bao gồm phương pháp theo khía cạnh thứ hai mươi tư hoặc hai mươi lăm, trong đó môi trường trao đổi ion thứ hai bao gồm lớn hơn 95% khối lượng và nhỏ hơn 100% khối lượng KNO_3 và lớn hơn 0% khối lượng và nhỏ hơn 5% khối lượng NaNO_3 .

Theo khía cạnh thứ hai mươi bảy, sáng chế đề xuất phương pháp gia cường vật phẩm gốm thủy tinh có pha tinh thể được chọn từ nhóm bao gồm petalit, lithi disilicat, và các kết hợp của chúng, phương pháp này bao gồm bước: sử dụng môi trường trao đổi ion cho vật phẩm gốm thủy tinh, trong đó môi trường trao đổi ion bao gồm lớn hơn

20% khối lượng và nhỏ hơn hoặc bằng 50% khối lượng NaNO_3 , từ 50% khối lượng đến nhỏ hơn 80% khối lượng KNO_3 , và từ 0,01% khối lượng đến 0,5% khối lượng LiNO_3 .

Theo khía cạnh thứ hai mươi tám, sáng chế đề xuất phương pháp bao gồm phương pháp theo khía cạnh thứ hai mươi bảy, trong đó môi trường trao đổi ion có nhiệt độ từ 380°C đến 550°C .

Theo khía cạnh thứ hai mươi chín, sáng chế đề xuất phương pháp bao gồm phương pháp theo khía cạnh thứ hai mươi bảy hoặc hai mươi tám, trong đó môi trường trao đổi ion được sử dụng cho vật phẩm gồm thủy tinh trong thời gian từ 2 giờ đến 16 giờ.

Theo khía cạnh thứ ba mươi, sáng chế đề xuất phương pháp bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ hai mươi bảy đến hai mươi chín, trong đó môi trường trao đổi ion bao gồm từ 30% khối lượng đến 50% khối lượng NaNO_3 và từ 50% khối lượng đến 70% khối lượng KNO_3 .

Theo khía cạnh thứ ba mươi một, sáng chế đề xuất sản phẩm điện tử tiêu dùng bao gồm: vỏ bao gồm bề mặt trước, bề mặt sau và các bề mặt bên; các linh kiện điện ít nhất một phần nằm trong vỏ này, các linh kiện điện này bao gồm bộ xử lý, bộ nhớ, và bộ phận hiển thị, bộ phận hiển thị tại hoặc liền kề với bề mặt trước của vỏ này; và để che phủ được bố trí qua bộ phận hiển thị, trong đó ít nhất một trong số phần vỏ hoặc để che phủ bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ một đến hai mươi.

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, nhờ phần mô tả đó hoặc được thừa nhận bằng cách thực hiện các phương án được mô tả ở đây, bao gồm phần mô tả chi tiết dưới đây, các điểm yêu cầu bảo hộ cũng như các hình vẽ kèm theo.

Cần hiểu rằng cả phần mô tả chung trên đây và phần mô tả chi tiết dưới đây mô tả các phương án khác nhau và được dự định để đưa ra cái nhìn tổng quan hoặc cốt lõi để hiểu bản chất và đặc điểm của đối tượng được yêu cầu bảo hộ. Các hình vẽ kèm theo được bao hàm để đọc hiểu hơn nữa phương án thực hiện khác nhau, và được kết hợp và đóng vai trò là một phần của bản mô tả này. Các hình vẽ minh họa các phương

án thực hiện khác nhau được mô tả ở đây, và cùng với phần mô tả có tác dụng giải thích các nguyên lý và các cách vận hành của đối tượng được yêu cầu bảo hộ.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 là đồ thị nồng độ (trục Y, tính bằng % mol oxit) dưới dạng hàm của độ sâu theo độ dày của mẫu tính từ bề mặt (trục X; tính bằng micromet, micron hoặc μm) phân bố nguyên tố natri, lithi, và kali trong nền gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A khi nền gốm thủy tinh được xử lý trao đổi ion thông thường;

Fig.2A và 2B là phổ FSM ở bước sóng 365 nm đối với các vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý trao đổi ion thông thường;

Fig.3 là ảnh hiển vi quang học của vật phẩm gốm thủy tinh có sự phân bố nguyên tố ở Fig.1 sau khi phơi ở điều kiện 85°C /độ ẩm tương đối 85% trong 48 giờ;

Fig.4A là hình ảnh kính hiển vi lực nguyên tử (atomic force microscope-AFM) của độ nhám bề mặt của mẫu thủy tinh phù hợp với Ví dụ A;

Fig.4B là hình ảnh AFM của độ nhám bề mặt của vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A đã qua xử lý trao đổi ion thông thường;

Fig.5 là phổ FSM ở bước sóng 365 nm của vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý trao đổi ion không có vân theo một hoặc nhiều phương án được thể hiện và được mô tả ở đây;

Fig.6 là đồ thị của độ trễ (trục Y bên trái; tính bằng độ) và ứng suất (trục Y bên phải; tính bằng Mega Pascal (MPa), trong đó ứng suất nén là dương và ứng suất kéo là âm) dưới dạng hàm của độ dày theo độ dày của mẫu từ bề mặt (trục X; tính bằng micromet hoặc μm) đối với vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý trao đổi ion không có vân theo một hoặc nhiều phương án được thể hiện và được mô tả ở đây;

Fig.7 là đồ thị của sự phát triển kích thước từ sự trao đổi ion (trục Y; tính theo % chiều dài) tương quan với ứng suất kéo trung tâm (trục X; tính bằng MPa) đối với các vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý trao đổi ion không có vân theo một hoặc nhiều phương án được thể hiện và được mô tả ở đây;

Fig.8A-8E là phổ FSM ở bước sóng 365 nm của các vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý trao đổi ion vân đơn theo một hoặc nhiều phương án được thể hiện và được mô tả ở đây;

Fig.9 là đồ thị nồng độ (trục Y, tính bằng % mol oxit) dưới dạng hàm của độ sâu theo độ dày của mẫu từ bề mặt (trục X; tính bằng micromet hoặc μm) phân bố nguyên tố natri, lithi, và kali trong nền gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A khi nền gốm thủy tinh được xử lý trao đổi ion vôn đơn theo một hoặc nhiều phương án được thể hiện và được mô tả ở đây;

Fig.10A-10H là phổ FSM ở bước sóng 365 nm của các vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý trao đổi ion vôn đơn theo một hoặc nhiều phương án được thể hiện và được mô tả ở đây;

Fig.11 là đồ thị của ứng suất (trục Y; tính bằng MPa, ứng suất nén là dương và ứng suất kéo là âm) dưới dạng hàm của độ sâu theo độ dày của mẫu từ bề mặt (trục X; tính bằng micromet hoặc μm) được xác định bằng cách sử dụng RNF đối với vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý trao đổi ion vôn đơn theo một hoặc nhiều phương án được thể hiện và được mô tả ở đây;

Fig.12 là đồ thị của ứng suất (trục Y; tính bằng MPa, ứng suất nén là dương và ứng suất kéo là âm) dưới dạng hàm của độ sâu theo độ dày của mẫu từ bề mặt (trục X; tính bằng micromet hoặc μm) được xác định bằng cách sử dụng RNF đối với vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý trao đổi ion không có vôn theo một hoặc nhiều phương án được thể hiện và được mô tả ở đây;

Fig.13 là đồ thị của ứng suất gây nứt được áp dụng (trục Y; tính bằng MPa) đối với các mẫu (trục X) chịu các xử lý trao đổi ion khác nhau theo một hoặc nhiều phương án được thể hiện và được mô tả ở đây và được thử nghiệm bằng phép thử uốn cong bốn điểm sau khi bị làm hỏng với giấy nhám 80 grit;

Fig.14A-14C là đồ thị của các kết quả của thử nghiệm thả rơi mặt tăng dần, trong đó độ cao gây hư hỏng được thể hiện trên trục Y (tính bằng cm) đối với các mẫu (trục X) chịu các xử lý trao đổi ion khác nhau theo một hoặc nhiều phương án được thể hiện và được mô tả ở đây;

Fig.15A là ảnh hiển vi quang học của vật phẩm gốm thủy tinh đã qua xử lý trao đổi ion thông thường trước khi tiếp xúc với điều kiện già hóa 85°C /độ ẩm tương đối 85%;

Fig.15B là ảnh hiển vi quang học của vật phẩm gốm thủy tinh trên Fig.15A sau khi tiếp xúc với điều kiện già hóa 85°C /độ ẩm tương đối 85% trong 144 giờ;

Fig.15C là ảnh hiển vi quang học của vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý trao đổi ion không có vân theo một hoặc nhiều phương án được thể hiện và được mô tả ở đây sau khi tiếp xúc với điều kiện già hóa 85°C /độ ẩm tương đối 85% trong 48 giờ;

Fig.15D là ảnh hiển vi quang học của vật phẩm thủy tinh trên Fig.15C sau khi tiếp xúc với điều kiện già hóa 85°C /độ ẩm tương đối 85% trong 144 giờ;

Fig.16A là đồ thị của nồng độ (trục Y, tính bằng % mol oxit) dưới dạng hàm của độ sâu theo độ dày của mẫu từ bề mặt (trục X; tính bằng micromet hoặc μm) phân bố nguyên tố cacbon, hydro, Li_2O , Na_2O , Al_2O_3 , và P_2O_5 trong nền gốm thủy tinh ở Fig.15B;

Fig.16B là đồ thị của nồng độ (trục Y, tính bằng % mol oxit) dưới dạng hàm của độ sâu theo độ dày của mẫu từ bề mặt (trục X; tính bằng micromet hoặc μm) phân bố nguyên tố cacbon, hydro, Li_2O , Na_2O , Al_2O_3 , và P_2O_5 trong nền gốm thủy tinh ở Fig.15D;

Fig.17 là sơ đồ minh họa thiết bị được sử dụng trong phương pháp đâm côngxon kép để đo độ bền chống nứt;

Fig.18A là hình chiếu bằng của thiết bị điện tử làm ví dụ tích hợp vật phẩm bất kỳ trong các vật phẩm được gia cường được bộc lộ ở đây; và

Fig.18B là hình phối cảnh của thiết bị điện tử làm ví dụ của Fig.18A.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sau đây, sáng chế sẽ được mô tả chi tiết đến các phương án thực hiện khác nhau, ví dụ về các phương án này được minh họa trong các hình vẽ kèm theo. Bất cứ khi nào có thể, các số chỉ dẫn giống nhau sẽ được sử dụng trên toàn bộ các hình vẽ để chỉ các phần giống nhau hoặc tương tự.

Các định nghĩa và kỹ thuật đo

Các khoảng giới hạn có thể được biểu thị ở đây dưới dạng từ “khoảng” một giá trị cụ thể, và/hoặc đến “khoảng” giá trị cụ thể khác. Khi khoảng giới hạn như vậy được biểu thị, phương án khác bao gồm từ một giá trị cụ thể và/hoặc đến giá trị cụ thể khác.

Tương tự, khi các giá trị được biểu thị là các giá trị xấp xỉ, thì bằng cách sử dụng từ “khoảng” ở trước, sẽ hiểu rằng giá trị cụ thể sẽ tạo thành phương án thực hiện khác. Cần hiểu thêm là các điểm đầu mút của mỗi khoảng giới hạn trong số các khoảng giới hạn là có ý nghĩa liên quan đến điểm đầu mút khác, và độc lập với điểm đầu mút khác. Khi khoảng giới hạn đó được biểu thị, thì các phương án là bao gồm từ một giá trị cụ thể này và/hoặc đến giá trị cụ thể kia. Tương tự, khi các giá trị được biểu thị là các giá trị xấp xỉ, thì bằng cách sử dụng từ “khoảng” ở trước, sẽ hiểu rằng giá trị cụ thể sẽ tạo thành phương án thực hiện khác. Dù giá trị số hoặc điểm đầu mút của khoảng giới hạn có việ dẫn “khoảng” hay không, thì giá trị số hoặc điểm đầu mút của khoảng giới hạn vẫn được dự định bao gồm hai phương án: một phương án được thay đổi bởi “khoảng” và một phương án không bị thay đổi bởi “khoảng.” Cần hiểu thêm là các điểm đầu mút của mỗi khoảng giới hạn trong số các khoảng giới hạn là có ý nghĩa, cả liên quan đến điểm đầu mút khác và độc lập với điểm đầu mút khác.

Các thuật ngữ “gần như,” “gần như là,” và các biến thể của chúng như được sử dụng ở đây được dự tính để lưu ý rằng dấu hiệu được mô tả là bằng hoặc xấp xỉ bằng với giá trị hoặc phân mô tả. Ví dụ, bề mặt “gần như là phẳng” được nhằm để biểu thị bề mặt phẳng hoặc xấp xỉ phẳng. Hơn nữa, như được định nghĩa trên đây, “gần như giống nhau” được dự định để biểu thị rằng hai giá trị là bằng nhau hoặc xấp xỉ bằng nhau. Theo một số phương án, “gần như giống nhau” có thể biểu thị các giá trị nằm trong khoảng 10% của nhau, như nằm trong khoảng 5% của nhau, hoặc nằm trong khoảng 2% của nhau.

Các thuật ngữ định hướng được dùng ở đây, ví dụ, lên trên, xuống dưới, phải, trái, trước, sau, trên, dưới, được đưa ra chỉ với sự tham khảo đến các hình vẽ như đã được vẽ và không nhằm để bao hàm sự định hướng tuyệt đối.

Tất cả các khoảng giới hạn được bộc lộ cũng cần được hiểu là bao gồm, và hỗ trợ cho các điểm yêu cầu bảo hộ mà việ dẫn đến các khoảng con bất kỳ hoặc các giá trị riêng lẻ bất kỳ được gộp trong đó. Ví dụ, một khoảng giới hạn được nêu là từ 1 đến 10 thì cần được hiểu là bao gồm và hỗ trợ cho các điểm yêu cầu bảo hộ mà việ dẫn đến các khoảng con bất kỳ hoặc các giá trị riêng lẻ bất kỳ mà nằm giữa và/hoặc kể cả giá trị nhỏ nhất là 1 và giá trị lớn nhất là 10; tức là, tất cả các khoảng con bắt đầu với giá trị nhỏ nhất là 1, hoặc lớn hơn, và kết thúc với giá trị lớn nhất là 10, hoặc nhỏ hơn,

(ví dụ, 5,5 đến 10, 2,34 đến 3,56, và v.v.) hoặc các giá trị bất kỳ từ 1 đến 10 (ví dụ, 3, 5,8, 9,9994, và v.v.).

Như được sử dụng ở đây, "độ sâu nén" hoặc "DOC" đề cập đến độ sâu của lớp ứng suất nén (compressive stress-CS) và là độ sâu mà tại đó ứng suất trong vật phẩm gồm thủy tinh chuyển từ ứng suất nén sang ứng suất kéo và có giá trị ứng suất bằng không. Ứng suất nén được biểu thị ở đây là ứng suất dương (> 0) và ứng suất kéo được biểu thị là ứng suất âm (< 0). Tuy nhiên, trong toàn bộ mô tả này và trừ khi có ghi chú khác, các giá trị số của ứng suất kéo và ứng suất nén được biểu thị bằng giá trị dương hoặc giá trị tuyệt đối. DOC có thể được đo bởi FSM hoặc kính phân cực tán xạ ánh sáng (scattered light polariscope-SCALP) tùy thuộc vào việc xử lý trao đổi ion. FSM được sử dụng để đo DOC tại chỗ ứng suất trong vật phẩm thủy tinh được sinh ra bằng cách trao đổi các ion kali vào trong vật phẩm thủy tinh. SCALP được sử dụng để đo DOC tại chỗ ứng suất được sinh ra bằng cách trao đổi các ion natri vào trong vật phẩm thủy tinh. Tại chỗ ứng suất trong vật phẩm thủy tinh được sinh ra bằng cách trao đổi cả ion kali và natri trong thủy tinh, DOC được đo bằng SCALP do tin rằng độ sâu trao đổi ion natri biểu thị DOC và độ sâu trao đổi các ion kali biểu thị sự thay đổi về độ lớn của ứng suất nén (nhưng không phải là sự thay đổi về ứng suất từ có khuynh hướng nén thành có khuynh hướng kéo); độ sâu trao đổi các ion kali trong các vật phẩm thủy tinh này được đo bằng FSM.

Các phép đo khác nhau được mô tả ở đây, và đặc biệt là, ứng suất nén, được đo bằng máy đo ứng suất bề mặt (surface stress meter-FSM) sử dụng các thiết bị có sẵn trên thị trường, ví dụ như FSM-6000, do Orihara Industrial Co., Ltd. (Japan) sản xuất. Như sẽ được thảo luận chi tiết hơn ở đây, các phép đo ứng suất bề mặt dựa trên phép đo chính xác của hệ số quang ứng suất (stress optical coefficient-SOC), hệ số này có liên quan đến lưỡng chiết quang của gốm thủy tinh. SOC lần lượt được đo theo Quy trình C (Phương pháp đĩa thủy tinh) đã được mô tả trong tiêu chuẩn ASTM C770-16, có tiêu đề "Standard Test Method for Measurement of Glass Stress-Optical Coefficient," các nội dung của nó được đưa vào trong bản mô tả này bằng cách viện dẫn. Nếu lớp chỉ số thấp được tạo thành, thì ứng suất nén bề mặt (và ứng suất nén của lớp chỉ số thấp) được đo bằng lưỡng chiết quang của cộng hưởng truyền (ghép nối) đầu tiên của lớp chỉ số thấp trong phép đo ghép lăng kính và đo độ sâu lớp của lớp chỉ

số thấp bằng khoảng cách giữa cộng hưởng truyền thứ nhất và thứ hai hoặc bề rộng của cộng hưởng truyền thứ nhất.

Biểu diễn bằng đồ thị biên dạng ứng suất từ chỗ uốn đến CT tối đa có thể thu được bằng phương pháp trường gần khúc xạ (refracted near-field - RNF) được mô tả trong Bảng sáng chế Mỹ số 8,854,623, có tựa đề “Systems and methods for measuring a profile characteristic of a glass sample”, được kết hợp toàn bộ ở đây bằng cách viện dẫn. Biểu diễn bằng đồ thị RNF là lực được cân bằng và hiệu chuẩn với giá trị ứng suất kéo trung tâm tối đa (còn gọi là ứng suất kéo trung tâm đỉnh) được cung cấp bởi phép đo SCALP. Cụ thể là, phương pháp RNF bao gồm bước đặt vật phẩm thủy tinh liền kề với khối tham chiếu, tạo ra chùm ánh sáng chuyển phân cực mà được chuyển đổi giữa các trạng thái phân cực trực giao ở tần số nằm trong khoảng từ 1 Hz đến 50 Hz, đo lượng công suất trong chùm ánh sáng chuyển phân cực và tạo ra tín hiệu tham chiếu chuyển phân cực, trong đó các lượng công suất được đo trong mỗi trạng thái phân cực trực giao bằng 50% của nhau. Phương pháp này còn bao gồm bước truyền chùm ánh sáng chuyển 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 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 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.

Biểu diễn bằng đồ thị biên dạng ứng suất có thể thu được bằng sự kết hợp của phương pháp RNF, SCALP, và FSM. FSM được sử dụng để thu được biểu diễn bằng đồ thị phần của biên dạng ứng suất gần bề mặt, trong khi RNF được sử dụng cùng với SCALP để thu được biểu diễn bằng đồ thị hình dạng của phần biên dạng ứng suất nằm ngoài độ sâu của chỗ uốn và thông qua phần ứng suất kéo của biên dạng ứng suất. Các phần có nguồn gốc từ FSM, RNF và SCALP, được ghép lại với nhau để tạo ra biểu diễn biên dạng ứng suất đầy đủ như sau. RNF là lực được cân bằng và hiệu chỉnh để phù hợp với ứng suất kéo trung tâm SCALP. Cân bằng lực được thực hiện bằng cách dịch chuyển trục trung hòa để khớp giữa vùng ứng suất kéo nằm dưới đường trung hòa của hình biểu diễn với vùng ứng suất nén nằm trên đường trung hòa của hình biểu diễn. Sau khi cân bằng lực và hiệu chuẩn RNF, hình biểu diễn gai bề mặt thu được từ

FSM được ghép vào hình biểu diễn RNF của biên dạng, thay thế phần tương ứng của hình biểu diễn RNF. Quá trình cân bằng lực, hiệu chỉnh đến ứng suất kéo trung tâm SCALP và ghép nối được lặp lại cho đến khi đạt được sự hội tụ, nghĩa là, hình biểu diễn của biên dạng về cơ bản không thay đổi với các lần lặp lại tiếp theo của quá trình. Khi thích hợp và khi cần thiết, các kỹ thuật làm trơn tiêu chuẩn có thể được sử dụng để loại bỏ nhiễu đo.

Các biên dạng nồng độ của các thành phần cấu tạo khác nhau trong thủy tinh, ví dụ, các thành phần cấu tạo kiềm, được đo bằng phương pháp vi phân tích đầu dò điện tử (electron probe microanalysis-EPMA). EPMA có thể được sử dụng, ví dụ, để phân biệt ứng suất nén trong thủy tinh do sự trao đổi ion của các ion kiềm vào trong thủy tinh. Các mức nồng độ bề mặt trung bình (ví dụ, trong vòng 100 nm đầu tiên tính từ bề mặt của thủy tinh) được đo bằng phép đo phổ phát xạ quang phóng điện phát sáng (glow discharge optical emission spectrometry-GdOES) theo một số phương án.

Các phép đo độ bền chống nứt được thực hiện bằng phương pháp dầm côngxon kép (double cantilever beam-DCB). Hình học của mẫu DCB được thể hiện trên Fig.17 với các thông số chính là chiều dài vết nứt a , tải trọng tác dụng P , kích thước mặt cắt ngang w và $2h$, và độ dày của rãnh dẫn hướng vết nứt, b . Các mẫu được tạo thành từ chế phẩm giống như chế phẩm cân thử nghiệm nhưng không có mẫu trải qua quá trình trao đổi ion, được chuẩn bị bằng cách cắt thủy tinh thành các hình chữ nhật có chiều rộng $2h = 1,25$ xentimét (cm) và độ dày nằm trong khoảng từ, $w = 0,3$ milimét (mm) đến 1 mm, với chiều dài tổng thể của mẫu thay đổi từ 5 cm đến 10 cm. Mỗi mẫu thủy tinh có một lỗ được khoan ở cả hai đầu bằng mũi khoan kim cương để tạo ra cách thức gắn mẫu với giá đỡ mẫu và tải trọng. “Rãnh dẫn hướng” vết nứt b được cắt theo chiều dài của mẫu trên cả hai mặt phẳng bằng cách sử dụng lưỡi cưa kẻ ô cắt lát có lưỡi bằng kim cương, để lại một “mạng lưới” vật liệu, xấp xỉ một nửa tổng độ dày của tấm (b trên Fig.17), với chiều cao 180 μm là độ dày của lưỡi cưa hoặc vết cưa. Dung sai kích thước có độ chính xác cao của lưỡi cưa kẻ ô cho phép giảm thiểu sự thay đổi giữa các mẫu. Lưỡi cưa kẻ ô cũng được sử dụng để cắt một vết nứt ban đầu có kích thước $a = 15$ mm, tạo ra một nêm vật liệu rất mỏng gần đầu vết nứt (do độ cong của lưỡi) cho phép tạo vết nứt dễ dàng hơn trong mẫu.

Rãnh dẫn hướng vết nứt duy trì vết nứt trong một mặt phẳng và ngăn sự phát triển ra khỏi mặt phẳng vết nứt. Mẫu được gắn vào giá đỡ mẫu bằng kim loại bằng cách dùng dây thép móc vào lỗ dưới cùng của mẫu. Các mẫu cũng được hỗ trợ ở đầu đối diện để giữ mức mẫu trong điều kiện tải trọng thấp. Lò xo nối tiếp với cảm biến tải trọng (FUTEK, LSB200) được móc vào lỗ phía trên, sau đó được kéo dài ra, để dần dần tác dụng tải trọng, bằng cách sử dụng dây và máng trượt có độ chính xác cao. Vết nứt được theo dõi bằng kính hiển vi (độ phân giải 5–10 μm) gắn với máy ảnh kỹ thuật số và máy tính.

Bằng cách duy trì dung sai chặt chẽ đối với các thông số kích thước, cường độ ứng suất áp dụng, K_p , được tính bằng phương trình (1) sau với các thông số đầu vào được thể hiện trên Fig.17:

$$K_p = \left[\frac{Pa}{(wb)^{0,5} h^{0,5}} \right] \left[3,47 + 2,32 \frac{h}{a} \right] (1)$$

Đối với mỗi mẫu, vết nứt được bắt đầu ở đầu của mạng lưới, và sau đó vết nứt khởi đầu được phát triển từ từ dưới mức tới hạn cho đến khi tỷ lệ kích thước a/h lớn hơn 1,5, mà được sử dụng trong phương trình (1) để tính toán chính xác cường độ ứng suất. Tại thời điểm này, chiều dài vết nứt, a , được đo và ghi lại bằng kính hiển vi du lịch có độ phân giải 5 μm . Sau đó, một giọt toluen được nhỏ vào rãnh nứt, và được tác động mạnh dọc theo toàn bộ chiều dài của rãnh bởi lực mao dẫn, cố định vết nứt không di chuyển trừ khi nó được tải đến độ bền chống nứt. Toluene, dầu khoáng nặng, dầu silicon và các chất hữu cơ khác hoạt động như một rào cản giữa nước trong khí quyển và bề mặt thủy tinh và ngăn sự phát triển của vết nứt dưới mức tới hạn. Sau đó, tải trọng được tăng lên cho đến khi xảy ra nứt mẫu, và cường độ ứng suất tới hạn được tính toán từ tải trọng hư hỏng và kích thước mẫu. Tất cả các mẫu được đo sau thử nghiệm bằng kính hiển vi quang học để đảm bảo kích thước mẫu chính xác được sử dụng trong tính toán K . Khi thử độ bền chống nứt của mẫu được trao đổi ion, phép đo như mô tả ở trên được thực hiện trên mẫu có cùng thành phần với thành phần cần thử nhưng trước khi mẫu thử đó đã trải qua quá trình trao đổi ion.

Thuật ngữ "được tạo thành từ" có thể có nghĩa là một hoặc nhiều trong số bao gồm, chủ yếu gồm hoặc gồm có. Ví dụ, một thành phần được tạo thành từ một vật liệu cụ thể có thể bao gồm vật liệu cụ thể, chủ yếu gồm vật liệu cụ thể hoặc gồm có vật liệu cụ thể.

Tổng quan chung về các vật phẩm gốm thủy tinh

Các vật phẩm gốm thủy tinh theo các phương án khác nhau bao gồm petalit và lithi disilicat làm pha tinh thể sơ cấp và có thể tùy ý bao gồm thêm các pha tinh thể lithi nhôm silicat (lithium aluminosilicate-LAS). Các vật phẩm gốm thủy tinh này bao gồm lớp bề mặt có hàm lượng natri nhỏ hơn hoặc bằng 10% mol. Sau khi xử lý trao đổi ion, các vật phẩm gốm thủy tinh được mô tả ở đây thể hiện năng lượng dự trữ tăng (ứng suất kéo trung tâm), độ bền chống nứt tăng và không dễ bị vỡ.

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 là nguồn lithi và được sử dụng làm pha giãn nở nhiệt thấp để cải thiện khả năng chống sốc nhiệt của phần gốm thủy tinh hoặc phần gốm. 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 này có hình dạng điển hình là phẳng như bàn hoặc hình dạng giống như thanh gỗ mỏng, với các mặt phẳng chia tách rõ rệt. Gốm thủy tinh dựa trên lithi disilicat có các đặc tính cơ học mong muốn cao, bao gồm độ bền khối và độ bền chống nứt cao, do vi cấu trúc của các tinh thể lồng vào nhau được định hướng ngẫu nhiên của chúng. Cấu trúc tinh thể này buộc các vết nứt truyền qua vật liệu thông qua các đường quanh co xung quanh các tinh thể lồng vào nhau, do đó cải thiện độ bền và độ bền chống nứt.

Có hai nhóm gốm thủy tinh lithi disilicat lớn. Nhóm thứ nhất gồm các loại gốm thủy tinh mà được pha tạp với xeri oxit và kim loại quý như bạc. Các loại này có thể được tạo mầm nhạy quang qua ánh sáng UV và sau đó được xử lý nhiệt để tạo ra gốm thủy tinh bền vững như Fotoceram®. Nhóm gốm thủy tinh lithi disilicat thứ hai được tạo mầm bằng cách bổ sung P_2O_5 , trong đó pha tạo mầm là Li_3PO_4 . Các gốm thủy tinh lithi disilicat được tạo mầm bằng P_2O_5 đã được phát triển cho các ứng dụng thay đổi như các vật liệu bịt kín nhiệt độ cao, các đĩa dùng cho các ổ cứng của máy tính, vỏ trong suốt, và các ứng dụng nha khoa.

Các loại thủy tinh và gốm thủy tinh được mô tả ở đây có thể được mô tả chung là các loại thủy tinh hoặc gốm thủy tinh nhôm silicat chứa lithi và gồm SiO_2 , Al_2O_3 , và Li_2O . Ngoài SiO_2 , Al_2O_3 , và Li_2O , các loại thủy tinh và gốm thủy tinh được mô tả ở đây có thể còn chứa các oxit kiềm, như Na_2O , K_2O , Rb_2O , hoặc Cs_2O , cũng như P_2O_5

và ZrO_2 và một số thành phần khác như được mô tả dưới đây. Theo một hoặc nhiều phương án, các pha tinh thể gồm petalit và lithi dsilicat, nhưng dung dịch rắn β -spodumen, β -thạch anh, metasilicat, lithi phosphat, và zircon cũng có thể có mặt tùy thuộc vào các thành phần của thể tiền thủy tinh. Theo một số phương án, chế phẩm gồm thủy tinh có hàm lượng thủy tinh dư từ 1 đến 30% khối lượng, 1 đến 25% khối lượng, 1 đến 20% khối lượng, 1 đến 15% khối lượng, 1 đến 10% khối lượng, 1 đến 5% 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 30% khối lượng, 10 đến 25% khối lượng, 10 đến 20% khối lượng, 10 đến 15% khối lượng, 15 đến 30% khối lượng, 15 đến 25% khối lượng, 15 đến 20% khối lượng, 20 đến 30% khối lượng, 20 đến 25% khối lượng, hoặc 25 đến 30% khối lượng, như được xác định theo phân tích Rietveld phổ XRD. Cần phải hiểu rằng hàm lượng thủy tinh dư có thể nằm trong khoảng giới hạn con được tạo thành từ bất kỳ và tất cả các điểm đầu mút nêu trên. Do đó, theo một số phương án, vật phẩm gồm thủy tinh có từ 70 đến 99% khối lượng, từ 70 đến 95% khối lượng, từ 70 đến 90% khối lượng, từ 70 đến 85% khối lượng, từ 70 đến 80% khối lượng, từ 70 đến 75% khối lượng, từ 75 đến 99% khối lượng, từ 75 đến 95% khối lượng, từ 75 đến 90% khối lượng, từ 75 đến 85% khối lượng, từ 75 đến 80% khối lượng, từ 80 đến 99% khối lượng, từ 80 đến 95% khối lượng, từ 80 đến 90% khối lượng, từ 80 đến 85% khối lượng, từ 85 đến 99% khối lượng, từ 85 đến 95% khối lượng, từ 85 đến 90% khối lượng, từ 90 đến 99% khối lượng, từ 90 đến 95% khối lượng, hoặc từ 95 đến 99% khối lượng của pha tinh thể.

SiO_2 là chất tạo thủy tinh sơ cấp và có thể có tác dụng làm ổn định cấu trúc mạng của các loại thủy tinh và gốm thủy tinh. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh chứa SiO_2 với lượng từ 55 đến 80% mol. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh chứa SiO_2 với lượng từ 60 đến 72% mol. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ 55 đến 80% mol, 55 đến 77% mol, 55 đến 75% mol, 55 đến 73% mol, 60 đến 80% mol, 60 đến 77% mol, 60 đến 75% mol, 60 đến 73% mol, 60 đến 72% mol SiO_2 , hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm đầu mút bất kỳ trong số các điểm đầu mút này.

Nồng độ SiO_2 nên đủ cao (lớn hơn 55% mol) để tạo ra pha tinh thể petalit khi thể tiền thủy tinh được xử lý nhiệt để chuyển hóa thành gốm thủy tinh. Nói cách khác,

nồng độ SiO_2 phải đủ cao để tạo ra cả hai pha lithi silicat và petalit. 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 một cách không mong muốn.

Giống như SiO_2 , Al_2O_3 cũng có thể tạo ra tác dụng làm ổn định mạng và cũng tạo ra các đặc tính cơ học và độ bền hóa học được cải thiện. Tuy nhiên, nếu lượng Al_2O_3 là quá cao, thì tỷ lệ các tinh thể lithi silicat có thể bị giảm, có thể đến mức độ mà cấu trúc liên khóa không thể tạo thành được. Lượng Al_2O_3 có thể được điều 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 một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa Al_2O_3 với lượng từ 0 đến 6% mol. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa Al_2O_3 với lượng từ 0 đến 6% mol, 0 đến 5% mol, 0 đến 4% mol, 0 đến 3% mol, 0 đến 2% mol, 0 đến 1% mol, lớn hơn 0 đến 6% mol, lớn hơn 0 đến 5% mol, lớn hơn 0 đến 4% mol, lớn hơn 0 đến 3% mol, lớn hơn 0 đến 2% mol, lớn hơn 0 đến 1% mol, 0,5 đến 6% mol, 0,5 đến 5% mol, 0,5 đến 4% mol, 0,5 đến 3% mol, 0,5 đến 2% mol, 0,5 đến 1% mol, 1 đến 6% mol, 1 đến 5% mol, 1 đến 4% mol, 1 đến 3% mol, 1 đến 2% mol, 2 đến 6% mol, 2 đến 5% mol, 2 đến 4% mol, 2 đến 3% mol, 3 đến 6% mol, 3 đến 5% mol, 3 đến 4% mol, 4 đến 6% mol, 4 đến 5% mol, hoặc 5 đến 6% mol, hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm đầu mút bất kỳ trong số các điểm đầu mút này.

Trong thủy tinh và gốm thủy tinh được mô tả ở đây, Li_2O hỗ trợ trong việc tạo ra cả pha tinh thể petalit và pha tinh thể lithi silicat. Để thu được petalit và lithi silicat dưới dạng các pha tinh thể chính, thì mong muốn là chế phẩm chứa Li_2O với lượng 14% mol hoặc lớn hơn. Tuy nhiên, nếu nồng độ Li_2O quá cao - lớn hơn 36% mol - chế phẩm sẽ trở nên rất lỏng và độ nhớt phân phối đủ thấp để không thể tạo thành tấm. Trong một số chế phẩm được minh họa, thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa Li_2O với lượng từ 20% mol đến 32% mol. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa Li_2O với lượng từ 20 đến 32% mol, 20 đến 30% mol, 20 đến 28% mol, 20 đến 26% mol, 20 đến 24% mol, 22 đến 32% mol, 22 đến 30% mol, 22 đến 28% mol, 22 đến 26% mol, 22 đến 24% mol, 24 đến 32% mol, 24 đến 30% mol, 24 đến 28% mol, 24 đến 26% mol, 26 đến 32% mol, 26 đến 30% mol, 26 đến 28% mol, 28 đến 32% mol, 28 đến 30% mol, hoặc 30 đến 32% mol, hoặc bất kỳ và tất

cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm đầu mút bất kỳ trong số các điểm đầu mút này.

Như đã nêu trên đây, Li_2O nói chung là hữu dụng để tạo ra các loại gốm thủy tinh được minh họa, nhưng các oxit kiềm khác (ví dụ, K_2O và Na_2O) có xu hướng làm giảm sự tạo thành gốm thủy tinh và tạo ra thủy tinh dư nhôm silicat trong gốm thủy tinh hơn là pha gốm. Đã phát hiện ra rằng Na_2O hoặc K_2O , hoặc các kết hợp của chúng với lượng trên 10% mol sẽ dẫn đến lượng thủy tinh dư không mong muốn, điều này có thể dẫn đến sự biến dạng trong quá trình kết tinh và các vi cấu trúc không mong muốn từ quan điểm về đặc tính cơ học. Ngoài ra, mức Na_2O lớn hơn 10% mol có thể làm cho bề mặt dễ bị hydrat hóa dưới bề mặt, điều này có thể dẫn đến sự phát triển các tinh thể natri cacbonat trên bề mặt. Đến lượt mình, những tinh thể natri cacbonat như vậy có thể tạo ra độ mờ bề mặt trên gốm thủy tinh. Tuy nhiên, mức dưới 5% mol có thể có lợi cho sự trao đổi ion, cho phép nén bề mặt và/hoặc đo lường cao hơn. Nói chung, các chế phẩm được mô tả ở đây có lượng nhỏ oxit kiềm không phải lithi. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa R_2O với lượng từ 0 đến 5% mol, trong đó R là một hoặc nhiều cation kim loại kiềm Na và K. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa R_2O với lượng từ 1 đến 4% mol, trong đó R là một hoặc nhiều cation kim loại kiềm Na và K. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa Na_2O hoặc K_2O , hoặc các kết hợp của chúng, với lượng từ 0 đến 5% mol, 0 đến 4% mol, 0 đến 3% mol, 0 đến 2% mol, 0 đến 1% mol, >0 đến 5% mol, >0 đến 4% mol, >0 đến 3% mol, >0 đến 2% mol, >0 đến 1% mol, 1 đến 5% mol, 1 đến 4% mol, 1 đến 3% mol, 1 đến 2% mol, 2 đến 5% mol, 2 đến 4% mol, 2 đến 3% mol, 3 đến 5% mol, 3 đến 4% mol, hoặc 4 đến 5% mol. Cần phải hiểu rằng hàm lượng R_2O có thể nằm trong khoảng giới hạn con được tạo thành từ bất kỳ và tất cả các điểm đầu mút nêu trên

Các chế phẩm thủy tinh và gốm thủy tinh có thể chứa P_2O_5 . P_2O_5 có thể hoạt động như một chất tạo mầm để tạo ra sự tạo mầm khối của (các) pha tinh thể từ các chế phẩm thủy tinh và gốm thủy tinh. Nếu nồng độ của P_2O_5 là quá thấp thì thể tiền thủy tinh kết tinh, nhưng chỉ ở nhiệt độ cao hơn (do độ nhớt thấp hơn); tuy nhiên, nếu nồng độ của P_2O_5 là quá cao thì có thể khó kiểm soát sự hóa mờ khi làm nguội trong quá trình tạo ra thể tiền thủy tinh. Các phương án có thể chứa P_2O_5 với lượng từ >0 đến 3% mol. Các phương án khác có thể chứa P_2O_5 với lượng từ 0,7 đến 2,2% mol.

Các chế phẩm minh họa có thể chứa từ >0 đến 3% mol, >0 đến 2,5% mol, >0 đến 2,2% mol, >0 đến 2% mol, >0 đến 1,5% mol, >0 đến 1,2% mol, >0 đến 1% mol, 0,7 đến 3% mol, 0,7 đến 2,5% mol, 0,7 đến 2,2% mol, 0,7 đến 2% mol, 0,7 đến 1,5% mol, 0,7 đến 1,2% mol, 0,7 đến 1% mol, 1 đến 3% mol, 1 đến 2,5% mol, 1 đến 2,2% mol, 1 đến 2% mol, 1 đến 1,5% mol, 1 đến 1,2% mol, 1,2 đến 3% mol, 1,2 đến 2,5% mol, 1,2 đến 2,2% mol, 1,2 đến 2% mol, 1,5 đến 3% mol, 1,5 đến 2,5% mol, 1,5 đến 2% mol, 2 đến 3% mol, 2 đến 2,5% mol, 2,2 đến 3% mol, 2,5 đến 3% mol P_2O_5 , hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm đầu mút bất kỳ trong số các điểm đầu mút này.

Trong thủy tinh và gốm thủy tinh được mô tả ở đây, việc bổ sung ZrO_2 có thể cải thiện độ ổn định của thủy tinh $Li_2O-Al_2O_3-SiO_2-P_2O_5$ bằng cách giảm đáng kể sự hóa mờ thủy tinh trong quá trình tạo thành và làm giảm nhiệt độ đường lỏng. Ở nồng độ trên 4% mol, ZrO_2 có thể tạo ra pha đường lỏng sơ cấp ở nhiệt độ cao, điều này làm giảm đáng kể độ nhớt đường lỏng. Các thủy tinh trong suốt có thể được tạo ra khi thủy tinh chứa ZrO_2 với lượng trên 1% mol. Việc bổ sung ZrO_2 cũng có thể làm giảm cỡ hạt petalit, điều này hỗ trợ trong việc tạo ra gốm thủy tinh trong suốt. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa ZrO_2 với lượng từ 1,7 đến 4,5% mol. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa ZrO_2 với lượng từ 2 đến 4% mol. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa ZrO_2 với lượng từ 1,7 đến 4,5% mol, 1,7 đến 4% mol, 1,7 đến 3,5% mol, 1,7 đến 3% mol, 1,7 đến 2,5% mol, 1,7 đến 2% mol, 2 đến 4,5% mol, 2 đến 4% mol, 2 đến 3,5% mol, 2 đến 3% mol, 2 đến 2,5% mol, 2,5 đến 4,5% mol, 2,5 đến 4% mol, 2,5 đến 3,5% mol, 2,5 đến 3% mol, 3 đến 4,5% mol, 3 đến 4% mol, 3 đến 3,5% mol, 3,5 đến 4,5% mol, 3,5 đến 4% mol, 4 đến 4,5% mol, hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm đầu mút bất kỳ trong số các điểm đầu mút này.

B_2O_3 làm giảm nhiệt độ nóng chảy của thể tiền thủy tinh. Hơn nữa, việc bổ sung B_2O_3 vào trong thể tiền thủy tinh và vì vậy, vào trong gốm thủy tinh giúp đạt được vi cấu trúc tinh thể liên khóa và còn có thể cải thiện khả năng chống hư hỏng của gốm thủy tinh. Nếu bo trong thủy tinh dư không được cân bằng điện tích bằng các oxit kiềm hoặc các oxit cation hóa trị hai (ví dụ MgO , CaO , SrO , BaO , và ZnO), thì nó sẽ ở trạng thái phối trí tam giác (hoặc bo phối trí ba), mà mở ra cấu trúc của thủy tinh. Mạng

xung quanh các nguyên tử bo phối trí ba này không cứng như là với nguyên tử bo phối trí tứ diện (hoặc phối trí bốn). Không bị giới hạn ở lý thuyết bất kỳ, người ta tin rằng các thể tiền thủy tinh và các gồm thủy tinh mà chứa bo phối trí ba có thể chịu độ biến dạng nhất định trước khi hình thành vết nứt so với bo phối trí bốn. Bằng sự chịu biến dạng nhất định, trị số ngưỡng bắt đầu nứt bởi sự tạo vết lõm Vickers được tăng lên. Độ bền chống nứt vỡ của thể tiền thủy tinh và gồm thủy tinh mà chứa bo phối trí ba cũng có thể được tăng lên. Không giới hạn bởi lý thuyết bất kỳ, người ta tin rằng sự có mặt của bo trong thủy tinh dư của gồm thủy tinh (và thể tiền thủy tinh) làm giảm độ nhót của thủy tinh dư (hoặc thể tiền thủy tinh), điều này tạo điều kiện thuận lợi cho việc phát triển các tinh thể lithi silicat, đặc biệt là các tinh thể lớn có tỷ số hướng cao. Lượng bo phối trí ba lớn hơn (so với lượng bo phối trí bốn) được tin là dẫn đến gồm thủy tinh mà thể hiện tải trọng bắt đầu nứt 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 gồm thủy tinh được gồm hóa. Mặt khác, lượng bo nên được giới hạn là nhỏ hơn 5% mol để duy trì độ bền hóa học và độ bền cơ học.

Theo một hoặc nhiều phương án, các thủy tinh và gồm thủy tinh ở đây có thể chứa B_2O_3 với lượng từ 0 đến khoảng 2% mol. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gồm thủy tinh có thể chứa B_2O_3 với lượng từ 0 đến 2 mol%, 0 đến 1,5% mol, 0 đến 1% mol, 0 đến 0,5% mol, >0 đến 2% mol, >0 đến 1,5% mol, >0 đến 1% mol, >0 đến 0,5% mol, 0,5 đến 2% mol, 0,5 đến 1,5% mol, 0,5 đến 1% mol, 1 đến 2% mol, 1 đến 1,5% mol, 1,5 đến 2% mol, hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm đầu mút bất kỳ trong số các điểm đầu mút này.

MgO có thể đi vào các tinh thể petalit trong dung dịch đặc một phần. Theo một hoặc nhiều phương án, các thủy tinh và gồm thủy tinh được mô tả ở đây có thể chứa MgO với lượng từ 0 đến 1% mol, 0 đến 0,75% mol, 0 đến 0,5% mol, 0 đến 0,25% mol, >0 đến 1% mol, >0 đến 0,75% mol, >0 đến 0,5% mol, >0 đến 0,25% mol, 0,25 đến 1% mol, 0,25 đến 0,75% mol, 0,25 đến 0,5% mol, 0,5 đến 1% mol, 0,5 đến 0,75% mol, 0,75 đến 1% mol, hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm đầu mút bất kỳ trong số các điểm đầu mút này.

ZnO có thể đi vào các tinh thể petalit trong dung dịch đặc một phần. Theo một hoặc nhiều phương án, các thủy tinh và gốm thủy tinh ở đây có thể chứa ZnO với lượng từ 0 đến 1% mol. Theo một hoặc nhiều phương án, các thủy tinh và gốm thủy tinh được mô tả ở đây có thể chứa ZnO với lượng từ 0 đến 1% mol, 0 đến 0,75% mol, 0 đến 0,5% mol, 0 đến 0,25% mol, >0 đến 1% mol, >0 đến 0,75% mol, >0 đến 0,5% mol, >0 đến 0,25% mol, 0,25 đến 1% mol, 0,25 đến 0,75% mol, 0,25 đến 0,5% mol, 0,5 đến 1% mol, 0,5 đến 0,75% mol, 0,75 đến 1% mol, hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm đầu mút bất kỳ trong số các điểm đầu mút này.

Theo một hoặc nhiều phương án, các thủy tinh và gốm thủy tinh có thể chứa SnO₂ hoặc chất tinh chế khác với lượng từ 0 đến 0,5% mol. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa SnO₂ với lượng từ 0 đến 0,5% mol, 0 đến 0,4% mol, 0 đến 0,3% mol, 0 đến 0,2% mol, 0 đến 0,1% mol, 0,05 đến 0,5% mol, 0,05 đến 0,4% mol, 0,05 đến 0,3% mol, 0,05 đến 0,2% mol, 0,05 đến 0,1% mol, 0,1 đến 0,5% mol, 0,1 đến 0,4% mol, 0,1 đến 0,3% mol, 0,1 đến 0,2% mol, 0,2 đến 0,5% mol, 0,2 đến 0,4% mol, 0,2 đến 0,3% mol, 0,3 đến 0,5% mol, 0,3 đến 0,4% mol, hoặc 0,4 đến 0,5% mol, hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm đầu mút bất kỳ trong số các điểm đầu mút này.

Là kết quả của các vật liệu thô và/hoặc thiết bị được sử dụng để sản xuất chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh theo các phương án khác nhau, các tạp chất hoặc các thành phần nhất định mà không được dự định bổ sung, có thể có mặt trong chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh cuối cùng. Các vật liệu này có mặt trong chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh với lượng nhỏ và ở đây được xem như là "các vật liệu tạp tán". Như được sử dụng ở đây, "các vật liệu tạp tán" có thể có mặt với lượng nhỏ hơn 1000 ppm. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh còn có thể bao gồm các vật liệu tạp tán, ví dụ, TiO₂, MnO, ZnO, Nb₂O₅, MoO₃, Ta₂O₅, WO₃, Y₂O₃, La₂O₃, HfO₂, CdO, As₂O₃, Sb₂O₃, các hợp chất trên cơ sở lưu huỳnh, ví dụ, sulfat, halogen, hoặc các kết hợp của chúng. Theo một số phương án, các thành phần kháng khuẩn, chất tinh chế hóa học, hoặc các thành phần bổ sung khác có thể được bao gồm trong chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh.

Theo một số phương án, các thủy tinh và/hoặc gốm thủy tinh được mô tả ở đây có thể được sản xuất thành các tấm bằng các quy trình bao gồm, nhưng không chỉ giới hạn ở, tạo hình nóng chảy, quy trình chuốt qua khe, quy trình nổi, quy trình cán, và các quy trình tạo tấm khác đã được người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này biết rõ.

Các vật phẩm được tạo thành từ gốm thủy tinh được mô tả ở đây có thể có độ dày thích hợp bất kỳ, có thể thay đổi tùy thuộc vào ứng dụng cụ thể để sử dụng gốm thủy tinh. Các phương án về tấm thủy tinh và hoặc gốm thủy tinh có thể có độ dày nằm trong khoảng từ khoảng 0,4 mm đến 10 mm. Một số phương án có thể có độ dày 6 mm hoặc nhỏ hơn, 5 mm hoặc nhỏ hơn, 3 mm hoặc nhỏ hơn, 2 mm hoặc nhỏ hơn, 1,0 mm hoặc nhỏ hơn, 750 μm hoặc nhỏ hơn, 500 μm hoặc nhỏ hơn, hoặc 250 μm hoặc nhỏ hơn. Một số phương án về tấm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể có độ dày từ 200 μm đến 5 mm, 500 μm đến 5 mm, 200 μm đến 4 mm, 200 μm đến 2 mm, 400 μm đến 5 mm, hoặc 400 μm đến 2 mm. Một số phương án về tấm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể có độ dày từ 250 μm đến 5 mm, 400 μm đến 4 mm, 350 μm đến 3 mm, 450 μm đến 2 mm, 500 μm đến 1 mm, hoặc 550 μm đến 750 μm . Theo một số phương án, độ dày có thể từ 3 mm đến 6 mm hoặc từ 0,8 mm đến 3 mm. Cần phải hiểu rằng độ dày của vật phẩm có thể nằm trong khoảng giới hạn con được tạo thành từ bất kỳ và tất cả các điểm đầu mút nêu trên.

Theo các phương án khác nhau được mô tả ở đây, gốm thủy tinh được gia cường hóa học, ví dụ bằng cách xử lý trao đổi ion, để cải thiện độ bền hóa học và khả năng chống hư hỏng của gốm thủy tinh trong khi cho phép đo lường và ngăn ngừa sự hình thành lớp mờ đục trong điều kiện độ ẩm cao.

Khi gốm thủy tinh được mô tả ở đây được xử lý trao đổi ion thông thường (ví dụ, xử lý trao đổi ion với natri nitrat, kali nitrat, hoặc hỗn hợp muối natri/kali nitrat nóng chảy), gốm thủy tinh thu được có thể có năng lượng dự trữ cao, với ứng suất kéo trung tâm tối đa từ khoảng 70 MPa đến khoảng 140 MPa. Các vật phẩm thủy tinh như vậy cũng có thể thể hiện độ bền chống nứt cao (K_{IC} là 1,1 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ được đo theo thử nghiệm khía Chevron tiêu chuẩn hoặc 1,32 $\text{Mpa}\cdot\text{m}^{1/2}$ được đo theo phương pháp dầm côngxon kép (DCB)) và không dễ bị vỡ ở độ dày 0,8 mm, nơi thủy tinh có thể dễ

vỡ. Các gốm thủy tinh này cũng có thể thể hiện các đặc tính hiệu suất cơ học mong muốn.

Tuy nhiên, các pha tinh thể của các gốm thủy tinh này cũng có thể trải qua quá trình trao đổi ion trong quá trình xử lý trao đổi ion, ví dụ, khi lithi trong các pha tinh thể lithi disilicat trao đổi với natri trong muối trao đổi ion, mà có thể tạo thành lớp bề mặt có chỉ số thấp (tức là, lớp có chỉ số khúc xạ thấp hơn so với vật phẩm gốm thủy tinh) được làm giàu natri với hàm lượng cao, như được thể hiện trên Fig.1. Đặc biệt, sự trao đổi ion giữa các ion lithi disilicat và natri có thể dẫn đến việc silicat chỉ số thấp được bổ sung vào pha thủy tinh của gốm thủy tinh cũng như sự tạo thành natri silicat và natri disilicat trong lớp bề mặt. FIG.1 là đồ thị sự phân bố natri, lithi và kali trong vật phẩm gốm thủy tinh có chế phẩm A trong Bảng 1 sau khi vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion trong hỗn hợp muối $\text{KNO}_3/\text{NaNO}_3$ chứa ít hơn 0,04% khối lượng LiNO_3 . Để sản xuất các vật phẩm gốm thủy tinh chứa chế phẩm A (như được sử dụng cho các mẫu được ghi chú bên dưới có chế phẩm A), vật phẩm được nung ở nhiệt độ 570°C trong 4 giờ, và sau đó ở 740°C trong 1 giờ, sau đó được làm lạnh thông thường cho các vật phẩm gốm thủy tinh. Sau chu kỳ gốm kim loại được mô tả ở trên, vật phẩm có pha thủy tinh dư từ 9 đến 15% khối lượng, pha tinh thể lithi disilicat 40-48% khối lượng, pha tinh thể petalit 39-45% khối lượng và pha tinh thể lithi metasilicat nhỏ hơn khoảng 3% khối lượng, trong đó pha tinh thể được đo bằng nhiễu xạ tia X với độ lệch chuẩn trên các pha chính là khoảng 1,2% khối lượng.

Bảng 1:

	Chế phẩm A
SiO_2	70,65
Al_2O_3	4,20
Li_2O	22,10
Na_2O	0
K_2O	0
P_2O_5	0,80
ZrO_2	2,00
SnO_2	0,15
B_2O_3	0,00

$\text{Li}_2\text{O}/\text{R}_2\text{O}$	1,00
$\text{R}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$	5,26

Như được thể hiện trên Fig.1, lớp bề mặt được làm giàu natri, trong đó natri trao đổi ion với các ion lithi và cả pha thủy tinh và pha tinh thể.

Fig.2A và 2B đều là ảnh FSM được chụp ở bước sóng 365 nm. Như được thể hiện trên Fig.2A, vì lớp bề mặt có chỉ số khúc xạ thấp hơn so với vật phẩm gồm thủy tinh, hình ảnh FSM của vật phẩm bị mờ, điều này làm cho việc sử dụng FSM làm công cụ kiểm tra chất lượng không đáng tin cậy để theo dõi các quá trình trao đổi ion, đặc biệt là khi độ dày của lớp được trao đổi ion nhỏ hơn khoảng 3 μm .

Ngoài ra, sự tạo thành lớp ứng suất cao được tạo ra bởi sự trao đổi ion của các ion natri với lithi trong lithi disilicat bị ngăn do lượng nhiễm độc lithi rất thấp trong bể muối. Nói cách khác, 0,04% khối lượng LiNO_3 trong bể trao đổi ion là đủ để ngăn sự tạo thành các vân, như được thể hiện trên Fig.2B. Để ngăn ngừa sự nhiễm độc lithi, muối trong bể phải được thay đổi sau khi trao đổi ion khoảng 0,01 m^2 gồm thủy tinh trên 1 kg muối.

Hơn nữa, lớp bề mặt được làm giàu natri làm cho bề mặt gồm thủy tinh dễ bị hydrat hóa dưới bề mặt, có thể dẫn đến sự phát triển của các tinh thể natri cacbonat trên bề mặt, do đó, có thể tạo ra độ mờ bề mặt, như được thể hiện trên Fig.3. Fig.3 là ảnh hiển vi quang học thu được khi cho vật phẩm thủy tinh có sự phân bố nguyên tố ở Fig.1 tiếp xúc với độ ẩm tương đối 85% ở 85°C trong 48 giờ. Sự phát triển của vân được thể hiện trên Fig.3 là các tinh thể natri cacbonat. Đặc biệt hơn, sự phát triển tinh thể natri cacbonat xảy ra khi các ion hydroni từ nước trao đổi cho các ion natri và di chuyển vào lớp dưới bề mặt thủy tinh, các ion natri đi ra khỏi bề mặt thủy tinh và Na_2CO_3 tạo thành trên thủy tinh theo thời gian thông qua phản ứng của các ion natri với CO_2 khí quyển. Sự phát triển natri cacbonat như vậy có thể xảy ra khi có độ ẩm khí quyển trên thủy tinh trong một thời gian lâu hơn, ví dụ, khi các bộ phận được đóng gói trong môi trường có độ ẩm cao và độ ẩm khí quyển bị giữ lại giữa bề mặt thủy tinh và màng đóng gói.

Việc tạo ra một lớp bề mặt được làm giàu natri cũng làm cho bề mặt dễ bị ăn mòn và rỉ trong quá trình đánh bóng và rửa, như được thể hiện trên các Fig.4A và 4B.

Cụ thể, các Fig.4A và 4B là các ảnh kính hiển vi lực nguyên tử (AFM) của các mẫu 500 nm x 500 nm đã được trao đổi ion, đánh bóng và rửa sạch. Fig.4A mô tả độ nhám bề mặt của vật phẩm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm thủy tinh có thành phần danh nghĩa tính theo % gồm: 71 SiO₂; 1,9 B₂O₃; 12,8 Al₂O₃; 2,4 Na₂O; 8,2 Li₂O; 2,9 MgO; 0,8 ZnO; 0,02 Fe₂O₃; 0,01 ZrO₂; 0,06 SnO₂, và ion được trao đổi theo phương pháp xử lý trao đổi ion thông thường như trong ví dụ A. Fig.4B mô tả độ nhám bề mặt của gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A được trao đổi ion trong hỗn hợp muối KNO₃/NaNO₃ chứa ít hơn 0,04% khối lượng LiNO₃. Do độ bền hóa học thấp của lớp bề mặt được làm giàu natri, việc đánh bóng và rửa có thể dẫn đến độ nhám bề mặt cao, làm giảm độ bền của lớp phủ có thể được sử dụng trong các ứng dụng thủy tinh phủ. Các lớp phủ như vậy có thể cung cấp, ví dụ và không giới hạn, đặc tính chống trầy xước, chống phản xạ, kỵ dầu hoặc kỵ nước cho thủy tinh phủ.

Theo các phương án khác nhau được mô tả ở đây, gốm thủy tinh được gia cường hóa học bằng cách xử lý trao đổi ion để cải thiện độ bền hóa học và khả năng chống hư hỏng của gốm thủy tinh trong khi cho phép đo lường và ngăn ngừa sự hình thành lớp mờ đục trong điều kiện độ ẩm cao. Các phương án xử lý trao đổi ion bây giờ sẽ được mô tả chi tiết hơn.

Xử lý trao đổi ion vân đơn

Theo các phương án khác nhau, việc xử lý trao đổi ion của vật phẩm gốm thủy tinh dẫn đến lớp dẫn sóng tạo ra một vân trên mỗi trạng thái phân cực trong phép đo FSM, và ở đây được gọi là “IOX vân đơn”. Theo các phương án như vậy, tỷ lệ trao đổi ion natri đối với lithi là tỷ lệ làm giảm chỉ số khúc xạ của lớp bề mặt thấp hơn chỉ số khúc xạ tăng do sự trao đổi ion kali đối với natri ở lớp bề mặt, do đó cho phép hình thành lớp dẫn sóng.

Theo các phương án khác nhau, xử lý IOX vân đơn bao gồm việc sử dụng môi trường trao đổi ion cho một hoặc nhiều bề mặt của vật phẩm gốm thủy tinh. Môi trường trao đổi ion có thể là bể muối nóng chảy, dung dịch, hỗn hợp sệt, gel hoặc môi trường thích hợp khác bao gồm KNO₃, NaNO₃, và LiNO₃.

Theo các phương án khác nhau, môi trường trao đổi ion bao gồm lớn hơn 0% khối lượng NaNO₃ và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 20% khối lượng NaNO₃ tính theo tổng lượng NaNO₃ và KNO₃ trong môi trường trao đổi ion. Ví dụ, môi trường trao đổi

ion theo các phương án khác nhau có thể bao gồm từ >0% khối lượng đến 20% khối lượng, từ >0% khối lượng đến 15% khối lượng, từ >0% khối lượng đến 12% khối lượng, từ >0% khối lượng đến 10% khối lượng, từ >0% khối lượng đến 7,5% khối lượng, từ >0% khối lượng đến 5% khối lượng, từ 2,5% khối lượng đến 20% khối lượng, từ 2,5% khối lượng đến 15% khối lượng, từ 2,5% khối lượng đến 12% khối lượng, từ 2,5% khối lượng đến 10% khối lượng, từ 2,5% khối lượng đến 7,5% khối lượng, từ 2,5% khối lượng đến 5% khối lượng, từ 5% khối lượng đến 20% khối lượng, từ 5% khối lượng đến 15% khối lượng, từ 5% khối lượng đến 12% khối lượng, từ 5% khối lượng đến 10% khối lượng, từ 5% khối lượng đến 7,5% khối lượng, từ 7,5% khối lượng đến 20% khối lượng, từ 7,5% khối lượng đến 15% khối lượng, từ 7,5% khối lượng đến 12% khối lượng, từ 7,5% khối lượng đến 10% khối lượng, từ 10% khối lượng đến 20% khối lượng, từ 10% khối lượng đến 15% khối lượng, từ 10% khối lượng đến 12% khối lượng NaNO_3 tính theo tổng lượng NaNO_3 và KNO_3 trong môi trường trao đổi ion, hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm bất kỳ trong số các điểm đầu mút này.

Theo các phương án khác nhau, môi trường trao đổi ion bao gồm từ 80% khối lượng đến nhỏ hơn 100% khối lượng KNO_3 tính theo tổng lượng NaNO_3 và KNO_3 trong môi trường trao đổi ion. Ví dụ, môi trường trao đổi ion theo các phương án khác nhau có thể bao gồm từ 80% khối lượng đến 99,9% khối lượng, từ 80% khối lượng đến 97,5% khối lượng, từ 80% khối lượng đến 95% khối lượng, từ 80% khối lượng đến 92,5% khối lượng, từ 80% khối lượng đến 90% khối lượng, 90% khối lượng đến 99,9% khối lượng, từ 90% khối lượng đến 97,5% khối lượng, từ 90% khối lượng đến 95% khối lượng, từ 90% khối lượng đến 92,5% khối lượng, 92,5% khối lượng đến 99,9% khối lượng, từ 92,5% khối lượng đến 97,5% khối lượng, từ 92,5% khối lượng đến 95% khối lượng, 95% khối lượng đến 99,9% khối lượng, từ 95% khối lượng đến 97,5% khối lượng, 97,5% khối lượng đến 99,9% khối lượng KNO_3 tính theo tổng lượng NaNO_3 và KNO_3 trong môi trường trao đổi ion, hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm bất kỳ trong số các điểm đầu mút này.

Theo các phương án khác nhau, môi trường trao đổi ion còn bao gồm từ 0,01% khối lượng đến 0,5% khối lượng LiNO_3 tính theo tổng khối lượng của các muối trong môi trường trao đổi ion. Ví dụ, môi trường trao đổi ion theo các phương án khác nhau có thể bao gồm từ 0,01% khối lượng đến 0,5% khối lượng, từ 0,01% khối lượng đến

0,3% khối lượng, từ 0,01% khối lượng đến 0,1% khối lượng, 0,1% khối lượng đến 0,5% khối lượng, từ 0,1% khối lượng đến 0,3% khối lượng, từ 0,3 đến 0,5% khối lượng LiNO_3 hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm bất kỳ trong số các điểm đầu mút này. Theo một số phương án cụ thể, môi trường trao đổi ion bao gồm 0,1% khối lượng, 0,09% khối lượng, 0,08% khối lượng, 0,07% khối lượng hoặc 0,06% khối lượng LiNO_3 tính theo tổng khối lượng của các muối trong môi trường trao đổi ion.

Việc xử lý trao đổi ion có thể là xử lý một bước hoặc xử lý nhiều bước, ví dụ, xử lý hai bước hoặc ba bước. Theo các phương án trong đó quá trình xử lý trao đổi ion bao gồm nhiều bước, cần phải hiểu rằng mỗi bước bao gồm việc sử dụng môi trường trao đổi ion cho vật phẩm gồm thủy tinh, và môi trường trao đổi ion của mỗi bước có thể khác môi trường trao đổi ion của một hoặc nhiều bước khác. Tuy nhiên, mỗi môi trường trao đổi ion bao gồm lớn hơn 0% khối lượng NaNO_3 và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 20% khối lượng NaNO_3 tính theo tổng lượng NaNO_3 và KNO_3 trong môi trường trao đổi ion, từ khoảng 80% khối lượng đến nhỏ hơn 100% khối lượng KNO_3 tính theo tổng lượng NaNO_3 và KNO_3 trong môi trường trao đổi ion, và từ 0,01% khối lượng đến 0,5% khối lượng LiNO_3 tính theo tổng khối lượng các muối trong môi trường trao đổi ion.

Theo các phương án khác nhau, nhiệt độ của bể muối nóng chảy có thể nằm trong khoảng từ 380°C đến khoảng 550°C, và thời gian ngâm nằm trong khoảng từ 2 giờ đến khoảng 16 giờ.

Xử lý trao đổi ion không có vân

Theo các phương án khác nhau, phương pháp xử lý trao đổi ion sử dụng nồng độ kali thấp hơn hiệu quả để tạo ra đường dẫn sóng bề mặt cho các phép đo FSM, và ở đây được gọi là “IOX không có vân”. Theo các phương án này, nồng độ kali, natri và lithi trong môi trường trao đổi ion là thích hợp để hạn chế sự kết hợp natri oxit trung bình từ 100 nm bề mặt vào độ sâu của vật phẩm gồm thủy tinh đến nhỏ hơn 10% mol natri oxit như được đo bằng cách sử dụng phương pháp đo phổ phát xạ quang phóng điện phát sáng (glow discharge optical emission spectrometry-GDOES). Mặc dù thiếu đường dẫn sóng bề mặt, theo các phương án khác nhau, lớp bề mặt có độ bền hóa học làm cho nó đặc biệt thích hợp cho các ứng dụng thủy tinh phủ.

Theo các phương án khác nhau, xử lý IOX không có vãn bao gồm việc sử dụng môi trường trao đổi ion cho một hoặc nhiều bề mặt của vật phẩm gồm thủy tinh. Môi trường trao đổi ion có thể là dung dịch, hỗn hợp sệt, gel hoặc môi trường thích hợp khác bao gồm KNO_3 , NaNO_3 , và LiNO_3 .

Theo các phương án khác nhau, môi trường trao đổi ion bao gồm lớn hơn 20% khối lượng NaNO_3 và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 50% khối lượng NaNO_3 tính theo tổng lượng NaNO_3 và KNO_3 trong môi trường trao đổi ion. Ví dụ, môi trường trao đổi ion theo các phương án khác nhau có thể bao gồm từ 20% khối lượng đến 50% khối lượng, từ 20% khối lượng đến 45% khối lượng, từ 20% khối lượng đến 40% khối lượng, từ 20% khối lượng đến 35% khối lượng, từ 20% khối lượng đến 30% khối lượng, từ 30% khối lượng đến 50% khối lượng, từ 30% khối lượng đến 45% khối lượng, từ 30% khối lượng đến 40% khối lượng, từ 30% khối lượng đến 35% khối lượng, từ 35% khối lượng đến 50% khối lượng, từ 35% khối lượng đến 45% khối lượng, từ 35% khối lượng đến 40% khối lượng, từ 40% khối lượng đến 50% khối lượng, từ 40% khối lượng đến 45% khối lượng, từ 45% khối lượng đến 50% khối lượng NaNO_3 tính theo tổng lượng NaNO_3 và KNO_3 trong môi trường trao đổi ion, hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm bất kỳ trong số các điểm đầu mút này. Tuy nhiên, cần được đánh giá cao rằng theo một số phương án, NaNO_3 có thể được kết hợp với lượng lớn hơn 50% khối lượng, mặc dù trong trường hợp đó, lượng lớn hơn khoảng 0,15% khối lượng LiNO_3 có thể có lợi tùy thuộc vào lượng NaNO_3 cụ thể và nhiệt độ của quá trình xử lý trao đổi ion.

Theo các phương án khác nhau, môi trường trao đổi ion bao gồm từ 50% khối lượng đến khoảng 80% khối lượng KNO_3 tính theo tổng lượng NaNO_3 và KNO_3 trong môi trường trao đổi ion. Ví dụ, môi trường trao đổi ion theo các phương án khác nhau có thể bao gồm từ 50% khối lượng đến 80% khối lượng, từ 50% khối lượng đến 70% khối lượng, từ 50% khối lượng đến 65% khối lượng, từ 50% khối lượng đến 60% khối lượng, từ 50% khối lượng đến 55% khối lượng, từ 55% khối lượng đến 80% khối lượng, từ 55% khối lượng đến 70% khối lượng, từ 55% khối lượng đến 65% khối lượng, từ 55% khối lượng đến 60% khối lượng, từ 60% khối lượng đến 80% khối lượng, từ 60% khối lượng đến 70% khối lượng, từ 60% khối lượng đến 65% khối lượng, từ 65% khối lượng đến 80% khối lượng, từ 65% khối lượng đến 70% khối lượng, từ 70% khối lượng đến 80% khối lượng KNO_3 tính theo tổng lượng NaNO_3 và

KNO_3 trong môi trường trao đổi ion, hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm bất kỳ trong số các điểm đầu mút này.

Theo các phương án khác nhau, môi trường trao đổi ion còn bao gồm từ 0,04% khối lượng đến 0,5% khối lượng LiNO_3 tính theo tổng khối lượng của các muối trong môi trường trao đổi ion. Ví dụ, môi trường trao đổi ion theo các phương án khác nhau có thể bao gồm từ 0,04% khối lượng đến 0,5% khối lượng, từ 0,04% khối lượng đến 0,3% khối lượng, từ 0,04% khối lượng đến 0,1% khối lượng, 0,1% khối lượng đến 0,5% khối lượng, từ 0,1% khối lượng đến 0,3% khối lượng, từ 0,3 đến 0,5% khối lượng LiNO_3 tính theo tổng khối lượng của các muối trong môi trường trao đổi ion, hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm bất kỳ trong số các điểm đầu mút này. Theo một số phương án cụ thể, môi trường trao đổi ion bao gồm 0,1% khối lượng, 0,09% khối lượng, 0,08% khối lượng, 0,07% khối lượng hoặc 0,06% khối lượng LiNO_3 tính theo tổng khối lượng của các muối trong môi trường trao đổi ion.

Việc xử lý trao đổi ion có thể là xử lý một bước hoặc xử lý nhiều bước, ví dụ, xử lý hai bước hoặc ba bước. Theo các phương án trong đó quá trình xử lý trao đổi ion bao gồm nhiều bước, cần phải hiểu rằng mỗi bước bao gồm việc sử dụng môi trường trao đổi ion cho vật phẩm gồm thủy tinh, và môi trường trao đổi ion của mỗi bước có thể khác môi trường trao đổi ion của một hoặc nhiều bước khác. Tuy nhiên, mỗi môi trường trao đổi ion bao gồm lớn hơn 20% khối lượng NaNO_3 và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 50% khối lượng NaNO_3 tính theo tổng lượng NaNO_3 và KNO_3 trong môi trường trao đổi ion, từ khoảng 50% khối lượng đến khoảng 80% khối lượng KNO_3 tính theo tổng lượng NaNO_3 và KNO_3 trong môi trường trao đổi ion, và từ 0,04% khối lượng đến 0,5% khối lượng LiNO_3 tính theo tổng khối lượng các muối trong môi trường trao đổi ion.

Theo các phương án khác nhau, nhiệt độ của bể muối nóng chảy có thể nằm trong khoảng từ 380°C đến khoảng 550°C, và thời gian ngâm nằm trong khoảng từ 2 giờ đến khoảng 16 giờ.

Không bị giới hạn bởi lý thuyết, cho rằng trong gồm thủy tinh thuộc họ lithi disilicat và/hoặc petalit, khi nồng độ của NaNO_3 trong quá trình xử lý trao đổi ion vượt quá khoảng 20% khối lượng, thì sự gia tăng chỉ số khúc xạ do sự trao đổi ion kali bị

chế ngự bởi sự giảm chỉ số khúc xạ do sự trao đổi ion natri cho ion lithi. Do đó, các vân kali thường thích hợp cho phép đo FSM không được tạo ra trong quá trình xử lý trao đổi ion không có vân. Ví dụ, như được thể hiện trên Fig.5, phổ FSM 365 nm của thủy tinh chứa chế phẩm A được trao đổi ion trong 60% khối lượng KNO_3 và 40% khối lượng NaNO_3 , với 0,1% khối lượng LiNO_3 được tạo ra. Bằng cách so sánh Fig.5 với Fig.2A, có thể thấy rằng các vân chỉ số thấp mờ xuất hiện trên Fig.2A biểu thị sự trao đổi ion natri với lithi trong pha tinh thể không xuất hiện trên Fig.5. Do đó, phép đo FSM có thể không thích hợp để sử dụng trong các quy trình theo dõi sự trao đổi ion natri của phương pháp xử lý IOX không có vân.

Tuy nhiên, phổ FSM có thể được sử dụng để thu được ứng suất nén bề mặt từ tính lưỡng chiết. Ví dụ, máy đo ứng suất quang đàn hồi ánh sáng tán xạ Orihara SLP 2000 hoạt động ở bước sóng 405 nm được sử dụng để thu được độ sâu nén và ứng suất kéo trung tâm, và các kết quả được thể hiện trên Fig.6. Bước sóng 405 nm có thể đặc biệt có lợi đối với gốm thủy tinh trong suốt vì người ta cho rằng bước sóng 405 nm làm giảm thiểu vết đốm. Tuy nhiên, có thể sử dụng bước sóng cao hơn (ví dụ, 633 nm), mặc dù nó có thể làm tăng đáng kể vết đốm. Theo một số phương án như vậy, vết đốm có thể được tính trung bình bằng cách di chuyển mẫu trong khi đo

Orihara SLP 2000 bao gồm ống kính viễn tâm phóng đại 2x tích hợp, cho phép trường quan sát của máy ảnh lên đến 600 μm theo hướng sâu. Tuy nhiên, do bản chất chỉ số khúc xạ cao của gốm thủy tinh, độ cảm nhận độ sâu có thể được mở rộng đến khoảng 800 μm , cho phép SLP 2000 được sử dụng để đo biên dạng ứng suất đầy đủ của các vật phẩm gốm thủy tinh khác nhau được mô tả ở đây.

Khi hoạt động, một diot laze ở bước sóng 405 nm được điều biến pha định kỳ thông qua bộ làm chậm biến đổi tinh thể lỏng trước khi đi vào gốm thủy tinh. Do sự phân bố ứng suất trong gốm thủy tinh, ánh sáng tán xạ trải qua sự thay đổi về cường độ và pha khi nó truyền qua độ dày của gốm thủy tinh. Trong khi ánh sáng tán xạ theo mọi hướng, máy ảnh đặt nghiêng 45° so với bề mặt của gốm thủy tinh sẽ chụp thành phần thẳng đứng của các dao động cường độ dọc theo đường đi của tia laze. Sự dịch pha trải qua tại mỗi điểm dọc theo đường đi của tia laze được ghi lại thông qua phân tích hình ảnh và ứng suất bên trong σ có thể được suy ra theo phương trình (2) sau:

$$\sigma = \left(\frac{1}{\beta}\right) \left(\frac{\lambda}{360}\right) \left(\frac{d\varphi}{dx}\right) \quad (2)$$

trong đó λ là bước sóng của laze, β là hệ số quang ứng suất (stress optical coefficient-SOC), ϕ là độ dịch pha và x là độ dài quang trình.

Phần mềm SLP 2000 cung cấp màn hình trực tiếp của chùm tia laze bên trong mẫu. Theo các phương án khác nhau, sự phù hợp đa thức bậc 6 có thể được sử dụng để tạo ra các kết quả nhất quán trên các mẫu gốm thủy tinh khác nhau. Tuy nhiên, khu vực xử lý, bước sóng laze, và chức năng làm phù hợp thích hợp có thể thay đổi tùy thuộc vào phương án cụ thể.

Ngoài ra, phép đo kiểm soát chất lượng có thể bắt nguồn từ việc tích hợp ứng suất nén. Đặc biệt, sự tích hợp ứng suất nén từ việc trao đổi ion tương quan với một số ion đã trao đổi ion. Khi các ion lớn hơn thay thế các ion nhỏ hơn, vật phẩm thủy tinh trải qua sự phát triển kích thước, tương quan với ứng suất kéo trung tâm, miễn là quá trình trao đổi ion được thực hiện dưới ứng suất kéo trung tâm ở đỉnh. Một khi đạt đến ứng suất kéo trung tâm ở đỉnh, mặc dù vẫn có sự phát triển trong trao đổi ion, nhưng mối tương quan giữa sự phát triển kích thước và ứng suất kéo trung tâm không còn giá trị. Ví dụ về mối tương quan giữa % phát triển kích thước với ứng suất kéo trung tâm từ ba nồng độ muối khác nhau được thể hiện trên Fig.7.

Trên Fig.7, ứng suất kéo trung tâm tính theo MPa được thể hiện dọc theo trục X trong khi sự phát triển kích thước tính theo % chiều dài được thể hiện dọc theo trục Y. Mỗi mẫu gốm thủy tinh được tạo ra từ chế phẩm A. Đồ thị 702 cho thấy mối tương quan đối với mẫu gốm thủy tinh được trao đổi ion trong bể chứa 50% khối lượng KNO_3 và 50% khối lượng NaNO_3 với 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 470°C . Đồ thị 704 cho thấy mối tương quan đối với mẫu gốm thủy tinh được trao đổi ion trong bể chứa 70% khối lượng KNO_3 và 30% khối lượng NaNO_3 với 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 470°C . Đồ thị 706 cho thấy mối tương quan đối với mẫu gốm thủy tinh được trao đổi ion trong bể chứa 60% khối lượng KNO_3 và 40% khối lượng NaNO_3 với 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C . Như được thể hiện trên Fig.7, % phát triển kích thước từ sự trao đổi ion có thể được sử dụng như một phương pháp để đo ứng suất nén dưới giá trị ứng suất nén đỉnh. Cụ thể, đồ thị 706 thể hiện rằng sau 8 giờ, ứng suất kéo trung tâm đạt xấp xỉ 95 MPa, và sự trao đổi ion tăng lên cho thấy sự gia tăng phát triển kích thước không tương quan với ứng suất nén. Đặc biệt, đối với vật liệu thủy tinh và gốm

thủy tinh trong suốt, sự phát triển kích thước có thể tương quan với ứng suất kéo trung tâm theo phương trình (3) sau:

$$CT = 1182 * DG + 20 \quad (3)$$

trong đó CT là ứng suất kéo trung tâm tính theo MPa và DG là % chiều dài của sự phát triển kích thước khi ứng suất kéo trung tâm nằm dưới ứng suất kéo trung tâm ở đỉnh.

Đối với vật liệu không trong suốt, % phát triển kích thước có thể được hiệu chỉnh với biên dạng cơ bản thu được bằng vi đầu dò và được chuyển đổi thành ứng suất bằng cách sử dụng hằng số giãn mạng theo phương trình (4) sau:

$$\sigma(z) = \frac{BE}{1-\nu} (C_{avg} - C(z)) = \frac{BE}{1-\nu} \left(\frac{1}{h} \int_0^h C(z) dz - C(z) \right) \quad (4)$$

trong đó C (z) là nồng độ của các cation lớn tại z, h là độ dày của thủy tinh, B là hệ số giãn mạng, E là mô đun Young, ν là tỷ lệ Poisson và z là khoảng cách từ bề mặt thủy tinh qua độ dày thủy tinh có giá trị 0 và h tại các bề mặt.

Vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion

Theo các phương án khác nhau, vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion thu được có thể trong suốt hoặc không trong suốt và có độ sâu nén (DOC) từ khoảng 0,18t đến khoảng 0,25t từ bề mặt ngoài của vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion, trong đó t là độ dày của vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion. Nói cách khác, ứng suất trong vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion chuyển từ ứng suất nén thành ứng suất kéo ở độ sâu từ khoảng 0,18t đến khoảng 0,25t từ bề mặt ngoài của vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion. Theo các phương án khác nhau, DOC có thể lớn hơn 80 μm . Ví dụ, độ sâu nén có thể là từ 80 μm đến 300 μm , từ 100 μm đến 250 μm , từ 150 μm đến 200 μm , hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm bất kỳ trong số các điểm đầu mút này. DOC sâu có thể cung cấp khả năng chống hư hỏng, ví dụ như có thể cung cấp khả năng chống lại các vết nứt rõ ràng có thể do làm rơi vật phẩm gốm thủy tinh trên bề mặt gồ ghề, ví dụ như nhựa đường.

Theo các phương án khác nhau được mô tả ở đây, vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion thu được có ứng suất nén tối đa (giá trị tuyệt đối) ở bề mặt ngoài bằng 1,8 đến 2,2 lần ứng suất kéo trung tâm tối đa (giá trị tuyệt đối) (CT) của vật phẩm gốm

thủy tinh được trao đổi ion. Ví dụ, giá trị tuyệt đối của ứng suất nén tối đa có thể là 2 |CT| chẳng hạn. Theo các phương án, giá trị tuyệt đối của ứng suất kéo trung tâm tối đa ít nhất là 60 MPa hoặc lớn hơn hoặc 70 MPa hoặc lớn hơn. Ví dụ, giá trị tuyệt đối của ứng suất kéo trung tâm tối đa có thể là từ 60 MPa đến 160 MPa, từ 60 MPa đến 150 MPa, từ 60 MPa đến 140 MPa, từ 60 MPa đến 130 MPa, từ 60 MPa đến 120 MPa, từ 60 MPa đến 110 MPa, từ 60 MPa đến 100 MPa, từ 70 MPa đến 160 MPa, từ 70 MPa đến 150 MPa, từ 70 MPa đến 140 MPa, từ 70 MPa đến 130 MPa, từ 70 MPa đến 120 MPa, từ 70 MPa đến 110 MPa, từ 70 MPa đến 100 MPa, từ 80 MPa đến 160 MPa, từ 80 MPa đến 150 MPa, từ 80 MPa đến 140 MPa, từ 80 MPa đến 130 MPa, từ 80 MPa đến 120 MPa, từ 80 MPa đến 110 MPa, từ 80 MPa đến 100 MPa, từ 90 MPa đến 160 MPa, từ 90 MPa đến 150 MPa, từ 90 MPa đến 140 MPa, từ 90 MPa đến 130 MPa, từ 90 MPa đến 120 MPa, từ 90 MPa đến 110 MPa, từ 90 MPa đến 100 MPa, từ 100 MPa đến 160 MPa, từ 100 MPa đến 150 MPa, từ 100 MPa đến 140 MPa, từ 100 MPa đến 130 MPa, từ 100 MPa đến 120 MPa, từ 100 MPa đến 110 MPa, hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm bất kỳ trong số các điểm đầu mút này.

Các vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion còn có ứng suất nén tối đa từ 108 MPa đến 350 MPa theo các phương án khác nhau. Ví dụ, giá trị tuyệt đối của ứng suất nén tối đa có thể là từ 108 MPa đến 350 MPa, từ 108 MPa đến 325 MPa, từ 108 MPa đến 300 MPa, từ 108 MPa đến 275 MPa, từ 108 MPa đến 250 MPa, từ 108 MPa đến 225 MPa, từ 108 MPa đến 200 MPa, từ 180 MPa đến 350 MPa, từ 180 MPa đến 325 MPa, từ 180 MPa đến 300 MPa, từ 180 MPa đến 275 MPa, từ 180 MPa đến 250 MPa, từ 180 MPa đến 225 MPa, từ 180 MPa đến 200 MPa, từ 200 MPa đến 350 MPa, từ 200 MPa đến 325 MPa, từ 200 MPa đến 300 MPa, từ 200 MPa đến 275 MPa, từ 200 MPa đến 250 MPa, từ 200 MPa đến 225 MPa, từ 225 MPa đến 350 MPa, từ 225 MPa đến 325 MPa, từ 225 MPa đến 300 MPa, từ 225 MPa đến 275 MPa, từ 225 MPa đến 250 MPa, từ 250 MPa đến 350 MPa, từ 250 MPa đến 325 MPa, từ 250 MPa đến 300 MPa, từ 250 MPa đến 275 MPa, từ 275 MPa đến 350 MPa, từ 275 MPa đến 325 MPa, từ 275 MPa đến 300 MPa, từ 300 MPa đến 350 MPa, từ 300 MPa đến 325 MPa, từ 325 MPa đến 350 MPa, hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm bất kỳ trong số các điểm đầu mút này.

Độ bền chống nứt cũng có thể được sử dụng để đặc trưng cho các vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion. Theo các phương án khác nhau, vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion có độ bền chống nứt là $1 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ hoặc lớn hơn như được đo theo phương pháp dầm côngxon kép trên mẫu có cùng thành phần nhưng trước khi trao đổi ion. Ví dụ, theo các phương án khác nhau, các vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion có độ bền chống nứt từ $1 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ đến $1,5 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ khi được đo theo phương pháp dầm côngxon kép.

Các phương án khác nhau được mô tả trong bản mô tả này cũng có thể được sử dụng để làm giảm tính dễ vỡ của vật phẩm gốm thủy tinh. Do đó, theo các phương án khác nhau, các vật phẩm gốm thủy tinh không dễ bị vỡ khi được trao đổi ion. Đặc tính dễ vỡ đề cập đến đặc tính dễ vỡ cụ thể khi vật phẩm gốm thủy tinh bị tác động hoặc va chạm. Như được sử dụng ở đây, thủy tinh được coi là không dễ vỡ khi nó thể hiện một hoặc nhiều điều sau đây trong vùng thử nghiệm là kết quả của thử nghiệm tính dễ vỡ: (1) bốn mảnh vỡ hoặc ít hơn có kích thước lớn nhất là 1 mm hoặc lớn hơn, và/hoặc (2) số vết nứt nhỏ hơn hoặc bằng số nhánh nứt. Các mảnh vỡ, vết nứt và nhánh nứt được tính dựa trên $2 \text{ in} \times 2 \text{ in}$ vuông bất kỳ có tâm ở điểm va chạm. Do đó, thủy tinh được coi là không vỡ nếu nó đáp ứng một hoặc cả hai thử nghiệm (1) và (2) đối với kích thước $2 \text{ in} \times 2 \text{ in}$ vuông bất kỳ có tâm ở điểm va chạm nơi vết vỡ được tạo ra theo quy trình được mô tả dưới đây. Trong thử nghiệm tính dễ vỡ, đầu dò va chạm được đưa đến tiếp xúc với thủy tinh, với độ sâu mà đầu dò va chạm mở rộng vào thủy tinh sẽ tăng lên trong các lần tiếp xúc liên tiếp. Việc tăng độ sâu từng bậc của đầu dò va chạm cho phép vết nứt do đầu dò va chạm tạo ra tiếp cận vùng căng trong khi ngăn việc tác dụng lực bên ngoài quá mức mà có thể ngăn cản việc xác định chính xác đặc tính dễ vỡ của thủy tinh. Theo một số phương án, độ sâu của đầu dò va chạm trong thủy tinh có thể tăng khoảng $5 \text{ }\mu\text{m}$ trong mỗi lần lặp, với đầu dò va chạm không tiếp xúc với thủy tinh giữa mỗi lần lặp. Khu vực thử nghiệm là $2 \text{ in} \times 2 \text{ in}$ vuông bất kỳ có tâm tại điểm va chạm. Như được sử dụng ở đây, một nhánh nứt bắt nguồn tại điểm va chạm và một mảnh vỡ được coi là nằm trong vùng thử nghiệm nếu bất kỳ phần nào của mảnh vỡ đó kéo dài vào vùng thử nghiệm. Mặc dù các lớp phủ, các lớp dính, và các yếu tố tương tự có thể được sử dụng kết hợp với các vật phẩm thủy tinh gia cường được mô tả ở đây, nhưng các yếu tố kim chế bên ngoài này không được sử dụng khi xác định tính dễ vỡ hoặc đặc tính dễ vỡ của các vật phẩm gốm thủy tinh.

Theo một số phương án, lớp màng không ảnh hưởng đến đặc tính nứt vỡ của vật phẩm gốm thủy tinh có thể được sử dụng cho vật phẩm gốm thủy tinh trước khi thử nghiệm tính dễ vỡ để ngăn việc bắn ra các mảnh vỡ từ vật phẩm thủy tinh, tăng tính an toàn cho người thực hiện thử nghiệm.

Ngược lại, vật phẩm gốm thủy tinh dễ vỡ không có bốn mảnh vỡ hoặc nhỏ hơn hoặc số lượng vết nứt nhỏ hơn hoặc bằng số nhánh nứt. Trong thử nghiệm tính dễ vỡ được mô tả ở đây, sự va chạm được truyền đến bề mặt của vật phẩm gốm thủy tinh với một lực vừa đủ để giải phóng năng lượng tích trữ bên trong có trong vật phẩm gốm thủy tinh gia cường. Nghĩa là, lực tác động đủ để tạo ra một hoặc nhiều vết nứt mới trên bề mặt của tấm gốm thủy tinh gia cường và kéo dài vết nứt qua vùng nén (tức là đến độ sâu nén) vào vùng kéo (tức là vùng nằm dưới vùng ứng suất kéo trung tâm).

Do đó, các vật phẩm gốm thủy tinh được gia cường hóa học được mô tả ở đây là “không dễ vỡ” – tức là, chúng không thể hiện đặc tính dễ vỡ như được mô tả trên đây khi bị va chạm bởi đối tượng có mũi nhọn.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Để các phương án khác nhau được hiểu một cách dễ dàng hơn, đề cập đến các ví dụ sau đây, các ví dụ này nhằm minh họa cho các phương án khác nhau. Trừ khi có ghi chú khác, mỗi mẫu trong mỗi ví dụ có độ dày 0,8 mm.

Ví dụ 1

Các mẫu gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A đã được xử lý trao đổi ion khác nhau và phổ FSM của mỗi mẫu thu được bằng cách sử dụng FSM Orihara 365 nm. Các kết quả được thể hiện trên các Fig.8A-8E.

Trên Fig.8A, mẫu gốm thủy tinh được xử lý trao đổi ion trong bể chứa 100% khối lượng KNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 10 giờ. Trên Fig.8B, mẫu gốm thủy tinh được xử lý trao đổi ion trong bể chứa 95% khối lượng KNO_3 , 5% khối lượng NaNO_3 , và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 12 giờ. Trên Fig.8C, mẫu gốm thủy tinh được xử lý trao đổi ion trong bể chứa 90% khối lượng KNO_3 , 10% khối lượng NaNO_3 , và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 12 giờ. Như được thể hiện trên các Fig.8A-8C, các vân TE và TM thích hợp để sử dụng trong đo lường kiểm tra chất lượng trao đổi ion được tạo ra.

Trên Fig.8D, mẫu gốm thủy tinh được xử lý trao đổi ion trong bể chứa 80% khối lượng KNO_3 , 20% khối lượng NaNO_3 , và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 16 giờ. Trên Fig.8E, mẫu gốm thủy tinh được xử lý trao đổi ion trong bể chứa 80% khối lượng KNO_3 , 20% khối lượng NaNO_3 , và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 480°C trong 16 giờ. Mặc dù các vân trên các Fig.8D và 8E có thể thích hợp cho phép đo với các phương pháp xử lý hình ảnh tiên tiến, độ tương phản của các vân hoặc chuyển góc tới hạn bị giảm do sự trao đổi ion natri tăng, làm giảm chỉ số khúc xạ. Không bị ràng buộc bởi lý thuyết, như được thấy trên các Fig.8D và 8E, các vân kali bắt đầu bị mất màu khi nồng độ natri lớn hơn khoảng 10% khối lượng NaNO_3 , vì sự trao đổi ion natri với lithi diễn ra với tốc độ nhanh và làm giảm chỉ số khúc xạ của lớp bề mặt nhanh hơn so với sự trao đổi ion kali đối với natri có thể làm tăng chỉ số khúc xạ. Mẫu trên Fig.8D cũng trải qua thời gian xử lý lâu hơn (16 giờ) để thu được phổ có thể so sánh được với phổ được thể hiện trên Fig.8C với thời gian xử lý là 12 giờ.

Ứng suất nén và ứng suất kéo trung tâm tối đa cũng được đo cho mỗi mẫu được sử dụng cho các Fig.8A-8C, và giá trị ứng suất kéo trung tâm tối đa được chỉ ra trên một trong các hình tương ứng trong các Fig.8A-8C. Như được thể hiện trên Fig.8A, ứng suất kéo trung tâm tối đa của vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý bằng bể muối $\text{KNO}_3/\text{LiNO}_3$ tinh khiết là thấp (27 MPa) so với vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý bằng $\text{KNO}_3/\text{NaNO}_3/\text{LiNO}_3$ (71 MPa và 84 MPa đối với Fig.8B và 8C, tương ứng). Tuy nhiên, thời gian xử lý kéo dài đối với các mẫu bao gồm 20% khối lượng NaNO_3 (các Fig.8D và 8E) tạo ra biên dạng natri sâu kéo dài qua ứng suất kéo trung tâm ở đỉnh và dẫn đến giá trị ứng suất nén thấp hơn.

Ví dụ 2

Trước khi gia cường trao đổi ion, nồng độ của các thành phần cấu tạo khác nhau của mạng thủy tinh (ví dụ, chất tạo thủy tinh, ví dụ SiO_2 và B_2O_3 , chất trung gian, ví dụ Al_2O_3 , và chất điều chỉnh, ví dụ CaO , Na_2O , v.v.) của vật phẩm gốm thủy tinh nói chung là được phân bố đồng đều từ các bề mặt bên ngoài của vật phẩm gốm thủy tinh thông qua độ dày của vật phẩm gốm thủy tinh. Ví dụ, vật phẩm gốm thủy tinh bao gồm một hoặc nhiều chất tạo thủy tinh và nồng độ của chất tạo thủy tinh về cơ bản là không đổi thông qua toàn bộ độ dày của vật phẩm gốm thủy tinh. Ngoài ra, vật phẩm gốm thủy tinh bao gồm một hoặc nhiều chất điều chỉnh, ví dụ Na_2O và/hoặc oxit kiềm khác,

và nồng độ của chất điều chỉnh gần như là không đổi thông qua toàn bộ độ dày của vật phẩm gốm thủy tinh.

Tuy nhiên, sau khi trao đổi ion, nồng độ của các oxit kiềm, ví dụ K_2O , thay đổi trong vật phẩm gốm thủy tinh dưới dạng hàm của độ sâu từ bề mặt ngoài của vật phẩm gốm thủy tinh. Để xác định ảnh hưởng của việc xử lý trao đổi ion vôn đơn đối với vật phẩm gốm thủy tinh, vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A, và có độ dày 0,8 mm, được xử lý bằng xử lý trao đổi ion vôn đơn trong bể chứa 80% khối lượng KNO_3 , 20% khối lượng $NaNO_3$, và 0,1% khối lượng $LiNO_3$ ở $500^\circ C$ trong 16 giờ (ví dụ vôn đơn). Vật phẩm gốm thủy tinh khác được tạo thành từ chế phẩm A, và có độ dày 0,8 mm, được xử lý bằng phương pháp xử lý trao đổi ion thông thường trong bể chứa 30% khối lượng KNO_3 , 70% khối lượng $NaNO_3$ và 0,05% khối lượng $LiNO_3$ ở $470^\circ C$ trong 12 giờ, sau đó xử lý trong bể chứa 30% khối lượng KNO_3 và 70% khối lượng $NaNO_3$ ở $470^\circ C$ trong 1 giờ (ví dụ IOX thông thường). Các biên dạng nồng độ của các thành phần cấu tạo khác nhau trong thủy tinh, ví dụ, các thành phần cấu tạo kiềm, được đo bằng phương pháp vi phân tích đầu dò điện tử (EPMA), và các biên dạng này được thể hiện trên Fig.9.

Cụ thể, nồng độ K_2O giảm từ bề mặt của vật phẩm gốm thủy tinh theo hướng đường tâm CL của vật phẩm gốm thủy tinh đến nồng độ 0% mol đối với cả phương pháp xử lý IOX vôn đơn (902) và IOX thông thường (904).

Nồng độ của Na_2O (906) tăng và sau đó giảm dần từ bề mặt của vật phẩm gốm thủy tinh theo hướng đường tâm CL của vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý IOX vôn đơn. Tức là, nồng độ Na_2O 904 trong vật phẩm gốm thủy tinh là hàm của khoảng cách từ các bề mặt ban đầu có độ dốc dương nhưng sau đó có độ dốc âm. Theo các phương án khác nhau, chênh lệch giữa nồng độ Na_2O bề mặt và nồng độ Na_2O tối thiểu là nhỏ hơn 5% mol và nồng độ Na_2O bề mặt nhỏ hơn 10% mol. Theo các phương án khác nhau, nồng độ của Na_2O lớn hơn 0% mol xuyên suốt độ dày của vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion. Ví dụ, nồng độ của Na_2O theo các phương án khác nhau là lớn hơn 0% mol và nhỏ hơn 2,5% mol.

Ngược lại, nồng độ của Na_2O (908) đối với vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý bằng IOX thông thường có đỉnh nhọn bề mặt, đỉnh nhọn này dốc thẳng đứng và giảm từ bề mặt của vật phẩm gốm thủy tinh theo hướng đường tâm CL của vật phẩm gốm

thủy tinh. Theo đó, có thể thấy bằng cách so sánh 906 và 908, việc xử lý IOX vôn đơn làm giảm đáng kể lượng natri gần bề mặt (khoảng 2,5% mol so với khoảng 20% mol), trong khi biên dạng natri sâu (giúp chống hư hỏng) có thể so sánh được với biên dạng của việc xử lý IOX thông thường quá 80 μm , cho thấy độ sâu nén sâu.

Ngoài ra, trên Fig.9, nồng độ Li_2O (910) của vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý IOX vôn đơn tăng lên khi tăng khoảng cách từ bề mặt của vật phẩm gốm thủy tinh đến đường tâm CL của vật phẩm gốm thủy tinh từ nồng độ Li_2O bề mặt đến nồng độ Li_2O tối đa tại đường tâm CL. Theo các phương án khác nhau, chênh lệch giữa nồng độ Li_2O bề mặt và nồng độ Li_2O tối đa là nhỏ hơn 5% mol. Theo các phương án khác nhau, nồng độ tối đa của Li_2O là từ 19% mol đến 32% mol. Ngược lại, nồng độ Li_2O (912) của vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý IOX thông thường tăng mạnh ở gần bề mặt, sau đó tiếp tục tăng khi tăng khoảng cách từ bề mặt của vật phẩm gốm thủy tinh đến đường tâm CL của vật phẩm gốm thủy tinh từ nồng độ Li_2O bề mặt đến nồng độ Li_2O cực đại ở đường tâm CL. Tuy nhiên, sự khác biệt giữa nồng độ Li_2O bề mặt và nồng độ Li_2O tối đa lớn hơn 10% mol, lớn hơn 15% mol, hoặc thậm chí lớn hơn 18% mol.

Trong khi nồng độ của các oxit kiềm trong vật phẩm gốm thủy tinh thay đổi do tăng cường trao đổi ion, cần phải hiểu rằng nồng độ của các thành phần khác của mạng thủy tinh (ví dụ, chất tạo thủy tinh, chất trung gian và chất điều chỉnh không di động, ví dụ các oxit kiềm thổ (CaO , MgO , v.v.)) về cơ bản vẫn giống nhau (ví dụ, về cơ bản đồng nhất qua độ dày của vật phẩm gốm thủy tinh).

Ví dụ 3

Để làm tăng thêm ứng suất kéo trung tâm trong các vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý bằng IOX vôn đơn, quá trình trao đổi ion hai bước đã được nghiên cứu. Tất cả các vật phẩm trong Ví dụ 3 đều được tạo thành từ chế phẩm A. Phổ FSM của các vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý IOX vôn đơn được thể hiện trên các Fig.10A-10H. Cụ thể, mỗi hình trong các Fig.10A-10H cho thấy phổ FSM ở bước sóng 365 nm đối với vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A và được xử lý trao đổi ion.

Trên Fig.10A, vật phẩm gốm thủy tinh được cho xử lý bao gồm 90% khối lượng KNO_3 , 10% khối lượng NaNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 12 giờ. Vật phẩm gốm thủy tinh thu được có ứng suất kéo trung tâm tối đa là 84 MPa. Sau

đó, vật phẩm gồm thủy tinh được cho xử lý bao gồm 60% khối lượng KNO_3 , 40% khối lượng NaNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 4 giờ. Vật phẩm gồm thủy tinh thu được có ứng suất kéo trung tâm tối đa là 103 MPa. Như được hiển thị bằng cách so sánh các Fig.10A và 10B, bước thứ nhất cho thấy các vân phát triển tốt (Fig.10A), trong khi bước thứ hai tăng sự trao đổi ion của các ion natri và tăng ứng suất kéo trung tâm bao gồm ứng suất kéo trung tâm tối đa (Fig.10B). Tuy nhiên, sau bước thứ hai, các vân bắt đầu mất đi độ tương phản (hay “mất màu”) do sự trao đổi ion natri tăng lên, điều này làm giảm chỉ số khúc xạ của lớp bề mặt.

Trên Fig.10C, vật phẩm gồm thủy tinh được cho xử lý bao gồm 95% khối lượng KNO_3 , 5% khối lượng NaNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 12 giờ. Vật phẩm gồm thủy tinh thu được có ứng suất kéo trung tâm tối đa là 71 MPa. Sau đó, vật phẩm gồm thủy tinh được cho xử lý bao gồm 60% khối lượng KNO_3 , 40% khối lượng NaNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 4 giờ. Vật phẩm gồm thủy tinh thu được có ứng suất kéo trung tâm tối đa là 98 MPa. Như với các Fig.10A và 10B, bước thứ nhất cho thấy các vân phát triển tốt (Fig.10C), trong khi bước thứ hai tăng sự trao đổi ion của các ion natri và tăng ứng suất kéo trung tâm bao gồm ứng suất kéo trung tâm tối đa (Fig.10D). Một lần nữa, sau bước thứ hai, các vân bắt đầu mất đi độ tương phản (hay “mất màu”) do sự trao đổi ion natri tăng lên, điều này làm giảm chỉ số khúc xạ của lớp bề mặt.

Trên Fig.10E, vật phẩm gồm thủy tinh được cho xử lý bao gồm 60% khối lượng KNO_3 , 40% khối lượng NaNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 7 giờ. Vật phẩm gồm thủy tinh thu được có ứng suất kéo trung tâm tối đa là 100 MPa. Sau đó, vật phẩm gồm thủy tinh được cho xử lý bao gồm 93% khối lượng KNO_3 , 7% khối lượng NaNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 4 giờ (Fig.10F). Vật phẩm gồm thủy tinh thu được có ứng suất kéo trung tâm tối đa là 95 MPa. Nồng độ cao của muối natri trong bước thứ nhất tạo ra ứng suất nén với DOC sâu (Fig.10E), trong khi vân kali được phát triển trong bước thứ hai (Fig.10F) bao gồm nồng độ cao của muối kali.

Trên Fig.10G, vật phẩm gồm thủy tinh được cho xử lý bao gồm 60% khối lượng KNO_3 , 40% khối lượng NaNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 6 giờ. Vật phẩm gồm thủy tinh thu được có ứng suất kéo trung tâm tối đa là 103 MPa. Sau đó, vật phẩm gồm thủy tinh được cho xử lý bao gồm 90% khối lượng KNO_3 , 10% khối

lượng NaNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 5 giờ. Vật phẩm gồm thủy tinh thu được có ứng suất kéo trung tâm tối đa là 101 MPa. Như với các Fig.10E và 10F, nồng độ của muối natri trong bước thứ nhất tạo ra ứng suất nén với DOC sâu (Fig.10G), trong khi vôn kali được phát triển trong bước thứ hai (Fig.10H) bao gồm nồng độ cao của muối kali.

Ví dụ 4

Các vật phẩm thủy tinh và gốm thủy tinh được cho xử lý bằng một trong các phương pháp xử lý trao đổi ion khác nhau và khả năng chống hư hỏng được xác định. Các điều kiện trao đổi ion, đặc tính biên dạng ứng suất và các giá trị thử nghiệm độ bền (chịu nứt) được nêu trong Bảng 2 dưới đây. Tất cả các mẫu đều có độ dày 0,8 mm.

Mẫu A là vật phẩm thủy tinh có thành phần danh nghĩa tính theo % mol gồm: 71 SiO_2 ; 1,9 B_2O_3 ; 12,8 Al_2O_3 ; 2,4 Na_2O ; 8,2 Li_2O ; 2,9 MgO ; 0,8 ZnO ; 0,02 Fe_2O_3 ; 0,01 ZrO_2 ; 0,06 SnO_2 , và được xử lý IOX thông thường. Mẫu A có độ bền chống nứt được xác định bằng phương pháp dầm côngxon kép là $0,84 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. Mẫu B là vật phẩm thủy tinh có thành phần danh nghĩa tính theo % mol gồm: 58,4 SiO_2 ; 6,1 B_2O_3 ; 17,8 Al_2O_3 ; 1,7 Na_2O ; 0,2 K_2O ; 10,7 Li_2O ; 4,4 MgO ; 0,6 CaO ; 0,02 Fe_2O_3 ; 0,01 ZrO_2 ; 0,08 SnO_2 , và được xử lý IOX thông thường. Mẫu B có độ bền chống nứt được xác định bằng phương pháp dầm côngxon kép là $0,95 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. Mẫu C là vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A và được cho xử lý IOX hai bước. Mẫu D là vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A và được cho xử lý IOX vôn đơn theo các phương án khác nhau. Mẫu E là vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A và được cho xử lý IOX vôn đơn hai bước theo các phương án khác nhau. Mẫu F là vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A và được cho xử lý IOX vôn đơn hai bước khác nhau theo các phương án khác nhau. Mẫu G là vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A và được cho xử lý IOX vôn đơn hai bước khác nhau theo các phương án khác nhau.

Bảng 2:

Mẫu	KNO_3 (% khối lượng)	NaNO_3 (% khối lượng)	LiNO_3 (% khối lượng)	Nhiệt độ ($^\circ\text{C}$)	Thời gian (giờ)	CT (MPa)	Độ bền chống nứt (MPa)
A	93,5	6,5	0	430	4,5	86	195

B	88,2	11,8	2	450	8,4	105	235
C	30	70	0,05	470	12	114	-
	30	70	0	470	1,5	124	334
D	90	10	0,1	500	13	85	239
E	60	40	0,1	500	6	103	-
	90	10	0,1	500	4	101	
F	60	40	0,1	500	7	-	-
	93	7	0,1	500	5	92	271
G	60	40	0,1	500	10	-	-
	93	7	0,1	500	5	90	258

Độ bền, được báo cáo là chống nứt trong Bảng 2, được đo bằng độ bền chống nứt tác dụng lên vết nứt với thử nghiệm uốn 4 điểm sau khi gây ra hư hỏng cho thủy tinh thông qua việc áp dụng năng lượng 1,3J được tác động với giấy nhám 80 grit thông qua máy đập. Phương pháp này được mô tả trong US20190072479A1. Thử nghiệm được thực hiện bằng cách sử dụng thiết bị bao gồm thử nghiệm va chạm động dựa vào con lắc đơn có bề mặt nằm trong phạm vi từ phẳng tới cong, trong đó mẫu thử nghiệm vật phẩm gồm thủy tinh được lắp lên quả lắc của con lắc, sau đó nó được sử dụng để khiến cho mẫu thử nghiệm tiếp xúc với bề mặt va chạm gồ ghề. Thiết bị này được mô tả chi tiết trong công bố đơn quốc tế số WO2017100646, được kết hợp vào đây bằng cách viện dẫn toàn bộ. Để thực hiện thử nghiệm, mẫu được đặt lên giá đỡ và sau đó được kéo về phía sau vị trí cân bằng của con lắc (đến vị trí mà 1,3J năng lượng sẽ được sử dụng cho mẫu được thử nghiệm) và được thả ra để tạo ra va chạm động trên bề mặt va chạm. Bề mặt va chạm bao gồm một tấm mài mòn được gắn vào bề mặt va chạm, ở dạng giấy nhám có độ nhám được chỉ định trong các ví dụ. Giấy nhám được cắt thành các miếng hình vuông 25 mm, và giấy nhám được làm phẳng nếu các miếng bị uốn cong trong quá trình cắt.

Bán kính uốn cong của bề mặt cong trên bề mặt được lựa chọn để tạo lực kéo uốn 100 MPa khi để được uốn xung quanh bề mặt cong sao cho lực kéo là lực kéo tác dụng từ bên ngoài xuất phát từ ứng suất uốn cong để.

Ví dụ 5

Tiếp theo, các vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A được xử lý trao đổi ion và các biên dạng ứng suất của chúng được đo bằng RNF. Các kết quả được thể hiện trên Fig.11. Vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A được xử lý bằng trao đổi ion vôn đơn với 60% khối lượng KNO_3 , 40% khối lượng NaNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 10 giờ, sau đó là 93% khối lượng KNO_3 , 7% khối lượng NaNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 5 giờ (giống như mẫu G từ bảng 2) thể hiện biên dạng ứng suất 1102. Vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A được xử lý bằng trao đổi ion vôn đơn với 60% khối lượng KNO_3 , 40% khối lượng NaNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 7 giờ, sau đó là 93% khối lượng KNO_3 , 7% khối lượng NaNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 5 giờ (giống như mẫu F từ bảng 2) thể hiện biên dạng ứng suất 1104. Vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A được xử lý bằng trao đổi ion thông thường với bể chứa 30% khối lượng KNO_3 , 70% khối lượng NaNO_3 và 0,05% khối lượng LiNO_3 ở 470°C trong 12 giờ, sau đó là 30% khối lượng KNO_3 , 70% khối lượng NaNO_3 ở 470°C trong 1,5 giờ (giống như mẫu C từ bảng 2) thể hiện biên dạng ứng suất 1106. Như được thể hiện trên Fig.11, ứng suất trong cả hai biên dạng 1102 và 1104 giảm khi tăng khoảng cách từ bề mặt ngoài của vật phẩm gốm thủy tinh từ ứng suất nén đến ứng suất kéo.

Biên dạng ứng suất 1106 của vật phẩm gốm thủy tinh có lớp chỉ số thấp có ứng suất nén cao (ví dụ, trên 80 MPa) từ bề mặt đến độ sâu 0,1t hoặc lớn hơn, trong đó t là độ dày của gốm thủy tinh. Tuy nhiên, các biên dạng ứng suất 1102 và 1104 đã làm tăng ứng suất nén ở độ sâu vượt quá 120 μm , hoặc 0,15t. Cụ thể, ứng suất nén tăng là ứng suất nén lớn hơn hoặc bằng 40 MPa ở độ sâu 0,15t, lớn hơn hoặc bằng 30 MPa ở độ sâu 0,19t, lớn hơn hoặc bằng 20 MPa ở độ sâu 0,19t. Ngoài ra, các biên dạng ứng suất 1102 và 1104 thể hiện độ sâu nén cao hơn đáng kể, vượt quá 0,20t, 0,21t hoặc 0,22t.

Các biên dạng ứng suất 1102 và 1104 cũng bao gồm ứng suất uốn CS_k được xác định rõ, xảy ra trong phạm vi độ sâu sau mũi nhọn. Không bị giới hạn bởi lý thuyết, cho rằng ứng suất uốn là kết quả của việc làm ổn định nồng độ kali đến mức tương tự như bên trong mẫu. Giá trị CS_k là từ 100 đến 150 MPa. Cần phải hiểu rằng CS_k có thể là từ 100 MPa đến 150 MPa, từ 100 MPa đến 140 MPa, từ 100 MPa đến 130 MPa, từ 100 MPa đến 120 MPa, từ 100 MPa đến 110 MPa, từ 110 MPa đến 150 MPa, từ 110

MPa đến 140 MPa, từ 110 MPa đến 130 MPa, từ 110 MPa đến 120 MPa, từ 120 MPa đến 150 MPa, từ 120 MPa đến 140 MPa, từ 120 MPa đến 130 MPa, từ 130 MPa đến 150 MPa, từ 130 MPa đến 140 MPa, từ 140 MPa đến 150 MPa, hoặc bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con được tạo thành từ điểm bất kỳ trong số các điểm đầu mút này. Ví dụ, trong các phương án có hàm lượng LiNO_3 thấp hơn một chút (ví dụ, 0,09% khối lượng, 0,08% khối lượng hoặc 0,07% khối lượng) trong bước trao đổi ion cuối cùng, có thể thu được các giá trị cao hơn cho CS_k mà không tạo thành lớp chỉ số thấp trên bề mặt.

Theo các phương án khác nhau, giá trị CS_k lớn hơn 70 MPa, 80 MPa, hoặc thậm chí 90 MPa có thể đem lại khả năng chống nứt vỡ được tăng cường trong các sự kiện thả rơi trên bề mặt gồ ghề vừa phải. Không bị giới hạn bởi lý thuyết, cho rằng ứng suất kéo, ví dụ 70 MPa và 80 MPa xảy ra gần bề mặt và ở độ sâu cao tới 30-40 μm trong quá trình thả rơi trên bề mặt gồ ghề từ độ cao 1 m hoặc cao hơn. Do đó, theo các phương án khác nhau, vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion có giá trị CS_k lớn hơn 70 MPa. Theo các phương án khác nhau, CS_k được đo bằng phép đo tính lưỡng chiết của chuyển góc tới hạn trong phổ ghép lăng kính (FSM), trong đó tính lưỡng chiết tương quan trực tiếp với CS_k .

Như được thể hiện trên Fig.11, các biên dạng ứng suất 1102 và 1104 còn cho thấy các mũi nhọn bề mặt của ứng suất nén. Không bị giới hạn bởi lý thuyết, cho rằng mũi nhọn bề mặt là do nồng độ ion kali tăng lên, chứ không phải ion natri. Đặc biệt, sự thâm nhập của kali trong các mẫu này rơi vào khoảng từ 5 μm đến khoảng 12 μm , tương quan với nồng độ kali thấp và phổ FSM vắn đơn cho mỗi phân cực.

Ứng suất tại bề mặt có thể nhìn thấy trong các đồ thị được thể hiện trên Fig.11 không được coi là chính xác do độ phân giải hạn chế của phương pháp trường gần khúc xạ (refracted near field-RNF), phương pháp này hạn chế độ chính xác của việc biểu diễn mũi nhọn khi ứng suất thay đổi rất nhiều trong một khoảng cách rất nhỏ. Do đó, theo các phương án khác nhau, ứng suất bề mặt được đo hoặc ước lượng bằng cách sử dụng phép đo ghép lăng kính bất cứ khi nào có thể. Khi lớp bề mặt có chỉ số thấp được tránh nhưng bề mặt được làm giàu ion kali, thì ứng suất nén trung bình trong vùng mũi nhọn đối với các mẫu tương ứng với các biên dạng ứng suất 1102 và 1104 là từ 150 MPa đến khoảng 300 MPa, trong khi ứng suất bề mặt là từ khoảng 200 MPa

đến khoảng 490 MPa. Giới hạn trên được xác định bằng các mẫu trao đổi ion trong thời gian lâu hơn đáng kể để thu được phổ hai vân, đo ứng suất nén bề mặt bằng cách sử dụng các phương tiện thông thường để đo ứng suất nén bề mặt với phổ hai vân, và sau đó hiệu chỉnh để sự giảm ứng suất nén xảy ra do thời gian trao đổi ion quá lâu. Không bị giới hạn bởi lý thuyết, ứng suất nén bề mặt và ứng suất kéo trung tâm, bao gồm cả ứng suất kéo trung tâm tối đa, nhạy với lượng LiNO_3 trong bể, với ứng suất nén giảm dần từ khoảng 400-490 MPa đối với nồng độ LiNO_3 nằm trong khoảng từ 0,05% khối lượng đến 0,07% khối lượng xuống 350-450 MPa đối với nồng độ LiNO_3 nằm trong khoảng từ 0,07% khối lượng đến 0,12% khối lượng, xuống 250-400 MPa đối với nồng độ LiNO_3 thậm chí cao hơn. Cần phải hiểu rằng các giá trị ứng suất nén cụ thể thay đổi trong các khoảng giới hạn tùy thuộc vào tỷ lệ Na/K trong bể, trong đó các giá trị cao nhất thu được đối với các bể có nồng độ NaNO_3 thấp (ví dụ, <5% khối lượng) và nồng độ KNO_3 cao (ví dụ, >95% khối lượng) ở bước trao đổi ion cuối cùng.

Hơn nữa, các biên dạng ứng suất 1102 và 1104 có đạo hàm bậc hai rất nhỏ trong vùng giữa đáy của mũi nhọn bề mặt được làm giàu kali và độ sâu gần như vượt quá độ sâu nén. Vùng gần như tuyến tính này kéo dài đến độ sâu lớn hơn 0,25t đến 0,4t. Ví dụ, như được thể hiện trên Fig.11, vùng gần như tuyến tính của biên dạng vượt quá 200 μm , và thậm chí vượt quá 240 μm , 280 μm , hoặc thậm chí 320 μm . Điểm bắt đầu của vùng gần như tuyến tính là nhỏ hơn 50 μm , và có thể được thấy ở mức thấp là 35 μm , 20 μm , 15 μm , hoặc thậm chí 10 μm tùy thuộc vào phương án cụ thể. Ngược lại, biên dạng ứng suất 1106 có đạo hàm bậc hai rất cao trong 0,1t thứ nhất, hay 80 μm . Cụm từ "gần như tuyến tính" nghĩa là giá trị tuyệt đối của đạo hàm bậc hai của biên dạng ứng suất trong vùng quan tâm không vượt quá giới hạn mà tỷ lệ với độ dốc trung bình của vùng, trong đó giới hạn là 10 mm nghịch đảo. Theo một số phương án, giới hạn có thể được đặt thành 9, 8, 7, 6 hoặc 5 mm nghịch đảo để có được giá trị gần đúng hơn của đoạn biên dạng tuyến tính.

Biên dạng ứng suất 1102 có độ dốc trung bình khoảng 580 MPa/mm, trong khi đạo hàm bậc hai nằm trong khoảng -3000 đến 3000 MPa trên một mm vuông trong phạm vi độ sâu từ 20 đến 240 μm (0,025 đến 0,3t). Do đó, tỷ số giữa giá trị tuyệt đối của đạo hàm bậc hai với giá trị tuyệt đối của đạo hàm bậc nhất nhỏ hơn 6 trong phạm vi độ sâu xác định. Trong phạm vi độ sâu từ 40 đến 200 μm (0,05 đến 0,25t), tỷ lệ này thấp hơn 5.

Theo các phương án khác nhau, đạo hàm bậc hai trong vùng quan tâm được ước tính bằng cách thu được đa thức phù hợp gần giống với biên dạng trong vùng quan tâm, rồi lấy đạo hàm của đa thức phù hợp. Phương pháp này có thể cho phép nhiều thường xuất hiện khi tính toán đạo hàm bậc hai trực tiếp của biên dạng thực nghiệm bằng các sai khác hữu hạn được giảm hoặc thậm chí loại bỏ. Tuy nhiên, theo một số phương án, có thể khó thu được đa thức phù hợp gần giống (ví dụ, đa thức phù hợp với R^2 lớn hơn hoặc bằng 0,999). Theo các phương án như vậy, có thể xem xét một khía cạnh khác của đoạn gần như tuyến tính, ví dụ như độ dốc cục bộ không thay đổi đáng kể trong phạm vi của đoạn. Ví dụ, biên dạng ứng suất 1102 có độ dốc không thấp hơn 470 MPa/mm và không vượt quá 640 MPa/mm trong vùng quan tâm, do đó tổng biến thiên độ dốc là nhỏ hơn 170 MPa/mm không vượt quá 30% độ dốc trung bình trong vùng. Do đó, theo một số phương án, "gần như tuyến tính" nghĩa là tổng biến thiên về độ dốc không vượt quá 30%, 25%, 20% hoặc 15% độ dốc trung bình.

Biên dạng ứng suất 1104 có độ dốc trung bình ở vùng sâu đang quan tâm (không bao gồm vùng mũi nhọn) cao hơn một chút so với biên dạng ứng suất 1102. Trong đó, độ dốc trung bình là từ 600 đến 670 MPa/mm. Giống như với biên dạng ứng suất 1102, vùng gần như tuyến tính của biên dạng ứng suất 1104 kéo dài từ giới hạn dưới là 30, 25, 20, hoặc 15 μm đến giới hạn trên là 320, 300, 280, 240 hoặc 200 μm , tùy thuộc vào điều kiện cụ thể của biên dạng gần như tuyến tính đang được quan sát. Các giới hạn trên là phần lớn của độ dày (ví dụ: 0,25t, 0,3t, 0,35t, 0,37t hoặc thậm chí 0,4t). Do đó, theo các phương án khác nhau, biên dạng ứng suất của vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion có vùng gần như tuyến tính trải dài trong phạm vi từ 0,02t đến 0,4t với chiều rộng lớn hơn 0,25t hoặc 0,3t, ngay cả khi điều kiện nghiêm ngặt nhất của biên dạng gần như tuyến tính được quan sát.

Các biên dạng ứng suất 1102 và 1104 cũng cho thấy rằng ứng suất kéo trung tâm đỉnh (là ứng suất kéo trung tâm tối đa trong các ví dụ được thể hiện) là từ 60 MPa đến 120 MPa. Theo một số phương án, ứng suất kéo trung tâm đỉnh là nhỏ hơn 108 MPa hoặc 102 MPa. Không bị giới hạn bởi lý thuyết, cho rằng giá trị ứng suất kéo trung tâm đỉnh nhỏ hơn 120 MPa, hoặc thậm chí 108 MPa, có thể làm giảm hoặc loại bỏ sự hình thành của lớp bề mặt có chỉ số thấp và/hoặc các thách thức về độ bền hóa học. Cho rằng việc làm giảm hàm lượng LiNO_3 từ 0,1% khối lượng đến 0,09% khối lượng, 0,08% khối lượng, hoặc thậm chí 0,07% khối lượng có thể làm tăng ứng suất

kéo trung tâm đỉnh. Ngoài ra, cho rằng mức ứng suất kéo trung tâm cao hơn, bao gồm cả ứng suất kéo trung tâm cực đại cao hơn, có thể đạt được bằng cách kiểm soát cẩn thận hơn thành phần của bể trao đổi ion, và đặc biệt là hàm lượng LiNO_3 .

Như được thể hiện trên Fig.11, các biên dạng ứng suất 1102 và 1004 cũng có tích phân độ sâu của ứng suất nén trong mỗi vùng nén từ 9,9 đến 12,5 MPa*mm, và ứng suất trung bình trong vùng nén từ 52 MPa đến 66 MPa. Tổng tích phân ứng suất nén trên hai vùng nén, khi chia cho độ dày 0,8 mm, là từ 23,5 MPa đến 31,3 MPa cho cả hai biên dạng ứng suất 1102 và 1004. Tuy nhiên, tích phân ứng suất cao hơn một chút lên đến 16 MPa*mm là có thể khi hàm lượng LiNO_3 của bể trao đổi ion giảm xuống 0,06-0,09% khối lượng, và tích phân ứng suất thấp hơn một chút là 8 MPa*mm khi hàm lượng LiNO_3 của bể tăng lên do nhiều phần trao đổi ion. Do đó, bằng cách thay đổi hàm lượng LiNO_3 trong bể, ứng suất nén trung bình trong vùng nén có thể thay đổi từ 85 MPa (ở mức LiNO_3 từ 0,06-0,08% khối lượng) đến 45 MPa (ở mức LiNO_3 từ 0,2 đến 0,3% khối lượng). Theo các phương án khác nhau, tổng tích phân ứng suất nén của hai vùng nén (ví dụ, gần mỗi bề mặt đối lập của vật phẩm gốm thủy tinh), khi chia cho độ dày của vật phẩm gốm thủy tinh, nằm trong khoảng từ 20 MPa đến 40 MPa. Cần phải hiểu rằng các giá trị và các khoảng giới hạn tương tự đối với ứng suất chuẩn hóa theo độ dày sẽ áp dụng cho tích phân ứng suất chuẩn hóa theo độ dày trên vùng kéo, do sự cân bằng lực giữa vùng nén và vùng kéo.

Ví dụ 6

Các vật phẩm gốm thủy tinh được xử lý bằng các quá trình xử lý trao đổi ion không có vôn khác nhau và các biên dạng ứng suất của chúng được đo bằng RNF. Cụ thể, biên dạng ứng suất 1202 tương ứng với vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A và được xử lý bằng 60% khối lượng KNO_3 , 40% khối lượng NaNO_3 , và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 8 giờ. Biên dạng ứng suất 1204 tương ứng với vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A và được xử lý bằng 70% khối lượng KNO_3 , 30% khối lượng NaNO_3 , và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 470°C trong 8 giờ (mẫu O, bên dưới). Biên dạng ứng suất 1206 tương ứng với vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A và được xử lý bằng 70% khối lượng KNO_3 , 30% khối lượng NaNO_3 , và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 470°C trong 13 giờ (mẫu P, bên dưới). Cuối cùng, biên dạng ứng suất 1208 tương ứng với vật phẩm gốm thủy tinh được tạo

thành từ chế phẩm A và được xử lý bằng xử lý trao đổi ion thông thường bao gồm bước thứ nhất với 30% khối lượng KNO_3 , 70% khối lượng NaNO_3 và 0,05% khối lượng LiNO_3 ở 470°C trong 12 giờ và bước thứ hai với 30% khối lượng KNO_3 và 70% khối lượng NaNO_3 ở 470°C trong 1,5 giờ (giống như mẫu C từ bảng 2).

Như được thể hiện trên Fig.12, mỗi biên dạng ứng suất bao gồm độ sâu nén khoảng 20% độ dày của vật phẩm gồm thủy tinh (0,8 mm cho mỗi mẫu). Biên dạng ứng suất 1202 có đạo hàm bậc hai dương đối với $\text{CS}(z)$, mặc dù nó cũng bao gồm vùng gần như tuyến tính kéo dài từ độ sâu 50 μm đến 240 μm (0,05t đến 0,3t) hoặc nghiêm ngặt hơn, từ 56 μm đến 208 μm (0,07t đến 0,26t). Độ dốc ứng suất trung bình trong vùng gần như tuyến tính là khoảng 1000 MPa/mm, và độ sâu nén là khoảng 0,17 mm (0,21t). Ứng suất kéo trung tâm tối đa là 107 MPa. Biên dạng ứng suất 1202 cũng có CS_k cao trong khoảng 210 đến 220 MPa, và tích phân độ sâu của ứng suất nén trong vùng nén bằng 16 MPa*mm. Tích phân của ứng suất kéo trên vùng kéo là 32 MPa*mm, cân bằng tổng tích phân độ sâu của các vùng nén ở cả hai phía của vùng kéo. Tỷ lệ giữa tổng tích phân ứng suất nén và độ dày là 40 MPa. Ngoài ra, ứng suất nén trung bình trong vùng nén là 94 MPa, thu được bằng cách chia tích phân độ sâu của ứng suất nén từ $z = 0$ tại bề mặt đến DOC (0,17 mm đối với biên dạng ứng suất 1202) cho khoảng độ sâu từ 0 đến DOC. Ứng suất nén trung bình này gần như giống nhau khi biên dạng được chia tỷ lệ với độ dày (ví dụ, bằng cách giảm thời gian trao đổi ion tương ứng với bình phương độ dày).

Như được thể hiện trên Fig.12, biên dạng ứng suất 1204 cũng được đặc trưng bởi đạo hàm bậc hai dương liên tục trong suốt vùng nén và qua hầu hết vùng kéo trên mặt trong của vật phẩm gồm thủy tinh. Tích phân ứng suất nén trên mỗi vùng nén là 15,6 MPa*mm. Tổng tích phân ứng suất (ứng suất nén hoặc ứng suất kéo, do cân bằng ứng suất) chia cho độ dày (0,8 mm) là 39 MPa. Ứng suất nén trung bình trong vùng nén là 99,4 MPa, và như trên, gần như là giống nhau khi biên dạng được chia tỷ lệ với độ dày.

Biên dạng ứng suất 1204 thường có giá trị tuyệt đối của đạo hàm bậc hai cao hơn, và một phần nhỏ của nó (từ khoảng 80 μm đến khoảng 200 μm , hoặc 0,1t đến 0,25t) gần như là tuyến tính. Biên dạng ứng suất 1204 cũng có ứng suất nén thấp hơn

một chút ở độ sâu trên 60 μm và ứng suất nén cao hơn ở độ sâu dưới 50 μm so với biên dạng ứng suất 1202.

Tuy nhiên, cả hai biên dạng ứng suất 1202 và 1204 đều có đạo hàm bậc hai cao nhất của hàm $CS(z)$ đối với 200 μm (hoặc 0,25t) đầu tiên xảy ra trong 50 μm (hoặc 0,06t) đầu tiên. Cụ thể hơn, loại trừ vùng được làm giàu kali của 10 μm đầu tiên, đạo hàm bậc hai cao nhất xuất hiện ở độ sâu từ 12 μm đến 40 μm . Đạo hàm bậc hai cao nhất của mỗi biên dạng ứng suất 1202 và 1204 nhỏ hơn đáng kể (từ 25.000 đến 40.000 MPa/mm^2 đối với biên dạng ứng suất 1202 và từ 40.000 đến 70.000 MPa/mm^2 đối với biên dạng ứng suất 1204) so với biên dạng ứng suất 1208, mà có đạo hàm bậc hai cao nhất trong 50 μm đầu tiên cao gấp đôi so với đạo hàm của biên dạng ứng suất 1204 hoặc lớn hơn. Cần lưu ý rằng các đạo hàm bậc hai cao hơn, ví dụ lên đến 100.000, có thể thu được khi nồng độ LiNO_3 ở bước trao đổi ion cuối cùng thấp hơn 0,1% khối lượng, và có thể thu được mà không tạo thành lớp bề mặt chỉ số thấp khi sau đó nồng độ LiNO_3 lớn hơn 0,06 hoặc 0,07% khối lượng và nhỏ hơn 0,1% khối lượng.

Các biên dạng ứng suất 1202 và 1204 còn có thể được đặc trưng bởi khoảng giới hạn độ dốc quan sát được trong vùng nén. Theo các phương án khác nhau, độ dốc của bề mặt trong vùng được làm giàu kali có độ sâu khoảng 10 μm không được bao gồm. Đặc biệt, biên dạng ứng suất 1202 có CS_k từ 210 đến 220 MPa, và độ dốc âm $CS(z)$ thay đổi đơn điệu từ -2650 MPa/mm trong khoảng độ sâu từ 10 đến 20 μm đến khoảng -1430 MPa/mm tại độ sâu 50 μm . Sau đó độ dốc âm của $CS(z)$ thay đổi chậm hơn đến -880 MPa/mm ở DOC là 170 μm . Biên dạng ứng suất 1204 bắt đầu với độ dốc cao hơn khoảng -3830 MPa/mm trong khoảng độ sâu từ 10 đến 20 μm và thay đổi nhanh đến khoảng -1610 MPa/mm ở độ sâu 50 μm , sau đó thay đổi chậm hơn để đạt khoảng -950 MPa/mm ở DOC là 157 μm . Biên dạng ứng suất 1202 có ứng suất kéo trung tâm tối đa là 107 MPa, trong khi biên dạng ứng suất 1204 có ứng suất kéo trung tâm tối đa thấp hơn đáng kể là 77 MPa.

Mỗi biên dạng ứng suất 1202 và 1204 thể hiện ứng suất nén cao đồng thời cả ở độ sâu đầu tiên khoảng 40 μm (0,05t) và độ sâu thứ hai 120 μm (0,15t), nơi ứng suất nén lớn hơn 100 MPa ở độ sâu đầu tiên và lớn hơn 30 MPa ở độ sâu thứ hai. Không bị giới hạn bởi lý thuyết, cho rằng điều này có thể cung cấp sự bảo vệ đáng kể chống lại

cả các sự kiện ứng suất cao hơn tác động lên các vết nứt sâu từ nông đến trung bình và chống lại các sự kiện ứng suất thấp hơn đến trung bình tác động lên các vết nứt sâu.

Biên dạng ứng suất 1206 có DOC là 0,17 mm và tích phân độ sâu ứng suất nén trên mỗi vùng nén bằng 14,4 MPa*mm. Ứng suất nén trung bình trong vùng nén là 84,7 MPa, và tổng tích phân ứng suất chia cho độ dày (0,8 mm) là 36 MPa. Ngoài lớp bề mặt được làm giàu kali, biên dạng ứng suất 1206 có các đặc điểm tương tự như biên dạng ứng suất 1102 và 1104 trên Fig.11, ngoại trừ DOC nhỏ hơn một chút. Cụ thể, giống như các biên dạng ứng suất 1102 và 1104, biên dạng ứng suất 1206 có vùng gần như tuyến tính kéo dài, cho thấy rằng việc xử lý trao đổi ion không có vân được mô tả ở đây có thể tạo ra biên dạng ứng suất tương tự, và do đó, khả năng chống nứt tương tự, mà không cần tạo ra mũi nhọn vân 1 để sử dụng trong kiểm tra chất lượng. Ngoài ra, so với các biên dạng ứng suất 1102 và 1104, biên dạng ứng suất 1206 có CS_k cao hơn đáng kể vào khoảng 170 MPa. Kết quả là ứng suất nén trung bình trong vùng nén đối với biên dạng ứng suất 1206 cao hơn một chút so với trong biên dạng ứng suất 1102 và 1104, mà có DOC cao hơn.

Ví dụ 7

Các vật phẩm thủy tinh và gốm thủy tinh được cho xử lý bằng một trong các phương pháp xử lý trao đổi ion khác nhau và khả năng chống hư hỏng được xác định. Các điều kiện trao đổi ion, đặc tính biên dạng ứng suất và các giá trị thử nghiệm độ bền (chịu nứt) được nêu trong Bảng 3 dưới đây.

Mẫu H là vật phẩm thủy tinh có cùng tính chất và chịu các điều kiện trao đổi ion giống như mẫu A ở trên. Mẫu I là vật phẩm thủy tinh có cùng tính chất và chịu các điều kiện trao đổi ion giống như mẫu B ở trên. Mẫu J là vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A và được xử lý IOX 2 bước thông thường (giống như Mẫu C ở trên). Các mẫu K, L và M là các vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A và được xử lý IOX không có vân theo các phương án khác nhau trong 4, 8 hoặc 12 giờ, tương ứng. Các mẫu N, O, P và Q là các vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A và được xử lý IOX không có vân khác theo các phương án khác nhau trong 4, 8, 13 hoặc 16 giờ, tương ứng. Các mẫu R, S và T là các vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A và được xử lý IOX không có vân khác nhau theo các phương án khác nhau trong 4, 8 hoặc 16 giờ, tương ứng.

Bảng 3:

Mẫu	KNO ₃ (% khối lượng)	NaNO ₃ (% khối lượng)	LiNO ₃ (% khối lượng)	Nhiệt độ (°C)	Thời gian (giờ)	CT (MPa)	CS (MPa)	Độ bền chống nứt (MPa)
H	93,5	6,5	0	430	4,5	86	660 ±20	195
I	88,2	11,8	2	450	8,4	105	600	235
J	30	70	0,05	470	12	114	350	-
	30	70	0	470	1,5	124	426	334
K	60	40	0,1	500	4	78	305	300
L	60	40	0,1	500	8	107	295	325
M	60	40	0,1	500	12	108	262	304
N	70	30	0,1	470	4	53	308	286
O	70	30	0,1	470	8	77	290	309
P	70	30	0,1	470	13	94	266	288
Q	70	30	0,1	470	16	97	236	307
R	50	50	0,1	470	4	59	330	-
S	50	50	0,1	470	8	105	285	-
T	50	50	0,1	470	16	84	299	-

Độ bền, được báo cáo là chống nứt trong Bảng 3, được đo bằng độ bền chống nứt tác dụng lên vết nứt với thử nghiệm uốn 4 điểm sau khi gây ra hư hỏng cho thủy tinh thông qua tác động 1,3J với giấy nhám 80 grit bằng máy đập. Phương pháp này được mô tả trong US20190072479A1. Độ bền chống nứt đối với các Mẫu J, K, L và M được vẽ trên Fig.13. Tất cả các mẫu từ J đến T (được tạo thành từ chế phẩm A) mà không tạo thành lớp chỉ số thấp dễ bị suy thoái vẫn hoạt động tốt hơn đáng kể so với các ví dụ H và I, mặc dù không tạo thành lớp chỉ số thấp. Các mẫu này (J đến T) có khả năng chống suy thoái bề mặt cho thấy hiệu suất cơ học thường gần với độ bền của mẫu trao đổi ion kép gồm thủy tinh (Mẫu J) hơn so với các ví dụ thủy tinh của Mẫu H và I.

Ví dụ 8

Các vật phẩm thủy tinh và gốm thủy tinh đã được xử lý bằng một trong các phương pháp xử lý trao đổi ion khác nhau và khả năng chống hư hỏng được đo bằng cách sử dụng thử nghiệm thả rơi, và các kết quả được thể hiện trên các Fig.14A-14C. Các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo Ví dụ U-BB được lắp vào các thiết bị mẫu thử nghiệm giống hệt, trong đó các mẫu thử nghiệm có kích thước, hình dạng và khối lượng để mô phỏng các thiết bị điện thoại di động. Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ “trên cơ sở thủy tinh” được hiểu là bao gồm vật liệu bất kỳ được tạo thành ít nhất một phần từ thủy tinh, bao gồm thủy tinh và gốm thủy tinh. Các mẫu thử nghiệm được thả rơi theo hướng nằm ngang, với vật liệu trên cơ sở thủy tinh hướng xuống dưới - mặt phẳng thả rơi, từ chiều cao tăng dần bắt đầu từ 20 cm lên giấy nhám 180 grit. Nếu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh chịu được việc thả rơi từ một độ cao (ví dụ, 20 cm), thì mẫu thử nghiệm được thả rơi lại từ độ cao lớn hơn tăng dần 10 cm (ví dụ, 30 cm, 40 cm, 50 cm, v.v.) lên tới độ cao 225 cm. Các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh còn bền nguyên sau đó sẽ được thả rơi trên giấy nhám 80 grit (ở cùng các thiết bị điện thoại). Độ cao mà tại đó vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được thả rơi trên cả giấy nhám 180 grit và giấy nhám 80 grit được vẽ đồ thị trên các Fig.14A-C.

Fig.14A cho thấy kết quả của lần thả rơi trên mặt phẳng tăng dần trên giấy nhám 80 grit đối với các mẫu U, V, W và X. Mẫu U là vật phẩm thủy tinh được tạo thành từ thành phần danh nghĩa tính theo % mol gồm: 63,6 SiO₂; 2,3 B₂O₃; 15 Al₂O₃; 9,3 Na₂O; 5,9 Li₂O; 1,2 ZnO; 0,05 SnO₂, 2,53 P₂O₅. Mẫu U có độ bền chống nứt theo phương pháp dầm côngxon kép là 0,76 MPa√m. Mẫu V là vật phẩm thủy tinh được tạo thành từ thành phần danh nghĩa tính theo % mol gồm: 71 SiO₂; 1,9 B₂O₃; 12,8 Al₂O₃; 2,4 Na₂O; 8,2 Li₂O; 2,9 MgO; 0,8 ZnO; 0,02 Fe₂O₃; 0,01 ZrO₂; 0,06 SnO₂. Mẫu V có độ bền chống nứt theo phương pháp dầm côngxon kép là 0,84 MPa√m. Mẫu W là vật phẩm thủy tinh được tạo thành từ thành phần danh nghĩa tính theo % mol gồm: 58,4 SiO₂; 6,1 B₂O₃; 17,8 Al₂O₃; 1,7 Na₂O; 0,2 K₂O; 10,7 Li₂O; 4,4 MgO; 0,6 CaO; 0,02 Fe₂O₃; 0,01 ZrO₂; 0,08 SnO₂. Mẫu W có độ bền chống nứt theo phương pháp dầm côngxon kép là 0,95 MPa√m. Mẫu X là vật phẩm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A. Mỗi mẫu U, V, W và X được xử lý trao đổi ion thông thường bao gồm bước xử lý đầu tiên với bể chứa 70% khối lượng NaNO₃ và 30% khối lượng KNO₃ ở 380°C

trong 4 giờ và bước xử lý thứ hai bằng bể chứa 7% khối lượng NaNO_3 và 93% khối lượng KNO_3 ở 380°C trong 40 phút.

Fig.14B và 14C cho thấy kết quả của các lần thả rơi trên mặt phẳng tăng dần trên giấy nhám 180 grit và giấy nhám 80 grit, tương ứng, đối với các mẫu Y, Z, AA và BB. Mỗi mẫu Y, Z, AA và BB được tạo thành từ chế phẩm A. Mẫu Y được xử lý trao đổi ion hai bước thông thường bao gồm bước đầu tiên với 70% khối lượng NaNO_3 , 30% khối lượng KNO_3 và 0,05% khối lượng LiNO_3 ở 470°C trong 12 giờ, tiếp theo là 70% khối lượng NaNO_3 và 30% khối lượng KNO_3 ở 470°C trong 1,5 giờ (giống như đường 1106 và Ví dụ 4C, cũng như tương tự như Ví dụ 2 thông thường). Mẫu Z được xử lý trao đổi ion hai bước không có vãn bao gồm bước đầu tiên với 40% khối lượng NaNO_3 , 60% khối lượng KNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 6 giờ sau đó là 10% khối lượng NaNO_3 , 90% khối lượng KNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 5 giờ (tương tự như đường 1104, Ví dụ 4F). Mẫu AA được xử lý trao đổi ion một bước không có vãn bao gồm 40% khối lượng NaNO_3 , 60% khối lượng KNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 500°C trong 8 giờ (giống như Ví dụ 7L). Mẫu BB được xử lý trao đổi ion một bước không có vãn bao gồm 30% khối lượng NaNO_3 , 70% khối lượng KNO_3 và 0,1% khối lượng LiNO_3 ở 470°C trong 8 giờ (giống như 7O và đường 1204).

Như được thể hiện trên 14A-C, toàn bộ vật phẩm trừ hai vật phẩm trên cơ sở thủy tinh của ví dụ U và V vẫn bền nguyên sau khi được thả rơi lên giấy nhám 80 grit ở các độ cao tới khoảng 250 cm (đưa ra độ cao thả rơi bền nguyên trung bình là từ 160 cm đến 178 cm). Do đó, các hình vẽ FIG.14A-14C chỉ ra rằng các vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion theo các phương án khác nhau ở đây thể hiện hiệu suất thả rơi về mặt thống kê giống như các vật phẩm thủy tinh được gia cường hóa học theo các quy trình trao đổi ion trong giải pháp kỹ thuật đã biết.

Ví dụ 9

Để xác định tác dụng của các phương pháp xử lý trao đổi ion không có vãn theo các phương án khác nhau đối với sự già hóa và ăn mòn, các vật phẩm gốm thủy tinh được tạo ra và được xử lý bằng một trong các phương pháp xử lý trao đổi ion khác nhau. Mỗi vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A. Điều kiện xử lý trao đổi ion và kết quả thử nghiệm sự già hóa tăng tốc được nêu trong Bảng 4 dưới đây. Để

xác định kết quả già hóa tăng tốc, các mẫu được đặt vào buồng ở 85°C và độ ẩm tương đối 85% trong một khoảng thời gian (báo cáo trong Bảng 4) và kiểm tra về độ ăn mòn.

Bảng 4:

Mẫu	KNO ₃ (% khối lượng)	NaNO ₃ (% khối lượng)	LiNO ₃ (% khối lượng)	Nhiệt độ (°C)	Thời gian (giờ)	Kết quả già hóa tăng tốc
CC	30	70	0,1	470	12	Ăn mòn nghiêm trọng
	30	70	0	470	1	
DD	70	30	0,1	470	13	Không ăn mòn (144 giờ)
EE	60	40	0,1	500	12	Không ăn mòn (144 giờ)
FF	60	40	0,1	500	7	Không ăn mòn (144 giờ)
	93	7	0,1	500	5	
GG	60	40	0,1	500	10	Không ăn mòn (144 giờ)
	93	7	0,1	500	5	
HH	50	50	0,1	470	4	Không ăn mòn (48 giờ)
II	50	50	0,1	470	6	Không ăn mòn (48 giờ)

Như được nêu trong Bảng 4, việc xử lý IOX không có vân được mô tả trong các phương án khác nhau dẫn đến kết quả già hóa tăng tốc được cải thiện đáng kể.

Để khám phá thêm các tác dụng già hóa, ảnh hiển vi quang học của mẫu CC thu được trước (Fig.15A) và sau (Fig.15B) khi mẫu đã được thử nghiệm già hóa tăng tốc trong 144 giờ ở 85°C và độ ẩm tương đối 85%. Ảnh hiển vi quang học cũng thu được đối với mẫu JJ, vật phẩm gốm thủy tinh được tạo thành từ chế phẩm A và được xử lý trao đổi ion không có vân bao gồm 90% khối lượng KNO₃, 10% khối lượng NaNO₃, và 0,1% khối lượng LiNO₃ ở 470°C trong 12 giờ ở 48 giờ (Fig.15C) và ở 144 giờ (Fig.15D). Như có thể thấy trên ảnh hiển vi quang học, mẫu CC thể hiện sự ăn mòn nghiêm trọng ở 144 giờ, trong khi không có sự ăn mòn nào có thể nhìn thấy đối với mẫu JJ được thể hiện trên Fig.15C và 15D.

Biên dạng độ sâu của nguyên tố cho các mẫu CC và JJ thu được ở độ sâu 300 nm đầu tiên bằng cách sử dụng biên dạng độ sâu SIMS. Các biên dạng được thể hiện

trên các Fig.16A và 16B, tương ứng. Như được thể hiện trên Fig.16A, mẫu CC đã phát triển một lớp bề mặt hydrat hóa trong đó natri đã bị làm nghèo và phản ứng với CO₂ trong khí quyển. Tuy nhiên, như được thể hiện trên Fig.16B, mẫu JJ không phát triển lớp hydrat hóa.

Các phương án khác nhau được mô tả ở đây cho phép cải thiện hiệu suất gồm thủy tinh, ví dụ như cải thiện khả năng chống hư hỏng, cải thiện độ bền hóa học và giảm ăn mòn khi tiếp xúc với điều kiện độ ẩm cao, thông qua gia cường hóa học. Hơn nữa, các phương pháp xử lý trao đổi ion được mô tả ở đây cho phép tạo ra các vật phẩm gồm thủy tinh bao gồm một vân để sử dụng với các kỹ thuật kiểm soát chất lượng đo lường FSM hoặc không có vân. Các phương án khác nhau được mô tả ở đây còn đề xuất các quy trình kiểm soát chất lượng bổ sung hoặc thay thế để sử dụng khi, ví dụ, không có vân tạo ra từ việc xử lý trao đổi ion hoặc khi vật phẩm gồm thủy tinh bị mờ đục.

Các vật phẩm được gia cường được bộc lộ ở đây, ví dụ, các vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion có thể được tích hợp vào trong vật phẩm khác, ví dụ như vật phẩm với bộ phận hiển thị (hoặc các vật phẩm hiển thị) (ví dụ, các thiết bị điện tử tiêu dùng, gồm các điện thoại di động, các máy tính bảng, các máy tính, các hệ thống định vị, các thiết bị đeo được (ví dụ các đồng hồ) và dạng tương tự), các vật phẩm kiến trúc, các vật phẩm giao thông (ví dụ, xe, tàu hỏa, máy bay, tàu biển, v.v.), các vật phẩm ứng dụng, hoặc vật phẩm bất kỳ yêu cầu mức độ trong suốt, chịu cào xước, chịu ăn mòn nào đó hoặc tổ hợp của chúng. Vật phẩm làm ví dụ tích hợp vật phẩm bất kỳ trong số các vật phẩm được gia cường được bộc lộ ở đây được thể hiện trên các hình vẽ Fig.18A và 18B. Cụ thể là, các Fig.18A và 18B thể hiện thiết bị điện tử tiêu dùng 1800 bao gồm vỏ 1802 có mặt trước 1804, mặt sau 1806, và các mặt bên 1808; các linh kiện điện (không được thể hiện) mà ít nhất một phần ở bên trong hoặc toàn bộ ở bên trong vỏ và bao gồm ít nhất bộ phận điều khiển, bộ nhớ, và bộ phận hiển thị 1810 tại hoặc liền kề với mặt trước của vỏ; và để che phủ 1812 tại hoặc trên mặt trước của vỏ sao cho nó ở trên bộ phận hiển thị. Theo một số phương án, ít nhất một trong số để che phủ 1812 hoặc một phần của hộp vỏ 102 có thể bao gồm vật phẩm bất kỳ trong số các vật phẩm được gia cường được bộc lộ ở đây.

Người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này sẽ hiểu rõ rằng các cải biến và thay đổi khác nhau có thể được thực hiện đối với các phương án được mô tả trong bản mô tả này mà không vượt quá ý tưởng và phạm vi của đối tượng được yêu cầu bảo hộ. Do đó, bản mô tả này nhằm mục đích bao hàm cả các cải biến và các thay đổi của các phương án thực hiện khác nhau được mô tả ở đây miễn là các cải biến và các thay đổi này nằm trong phạm vi bảo hộ của các yêu cầu bảo hộ kèm theo và các dạng tương đương của chúng.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion bao gồm:

độ dày t

nồng độ của các ion Li tăng khi tăng khoảng cách từ bề mặt ngoài của vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion từ nồng độ ion Li bề mặt đến nồng độ ion Li tối đa, trong đó chênh lệch giữa nồng độ ion Li bề mặt và nồng độ ion Li tối đa là nhỏ hơn 5% mol;

nồng độ của các ion Na tăng và sau đó giảm khi tăng khoảng cách từ bề mặt ngoài của vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion từ nồng độ ion Na bề mặt đến nồng độ ion Na tối thiểu, trong đó chênh lệch giữa nồng độ ion Na bề mặt và nồng độ ion Na tối thiểu là nhỏ hơn 5% mol, nồng độ ion Na bề mặt nhỏ hơn 10% mol; và

vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion có độ bền chống nứt lớn hơn 1 MPa $\sqrt{m}$ như được đo theo phương pháp đầm côngxon kép.

2. Vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo điểm 1, trong đó nồng độ của các ion Na là lớn hơn 0% mol xuyên suốt độ dày t của vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion.

3. Vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo điểm 1, trong đó nồng độ của các ion Na là lớn hơn 0% mol và nhỏ hơn 2,5% mol.

4. Vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo điểm 1, trong đó nồng độ tối đa của các ion Li là từ 19% mol đến 32% mol.

5. Vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo điểm 1, trong đó độ bền chống nứt là từ 1 MPa $\sqrt{m}$ đến 1,5 MPa $\sqrt{m}$ như được đo theo phương pháp đầm côngxon kép.

6. Vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo điểm 1, còn bao gồm Al₂O₃ với lượng lớn hơn 0% mol đến 6% mol.

7. Vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo điểm 1, còn bao gồm P₂O₅ với lượng từ 0,7% mol đến 2,2% mol.

8. Vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo điểm 1, còn bao gồm ZrO₂ với lượng từ 1,7% mol đến 4,5% mol.

9. Vật phẩm gồm thủy tinh được trao đổi ion theo điểm 1, còn bao gồm SiO_2 với lượng từ 60% mol đến 72% mol.

1 / 21

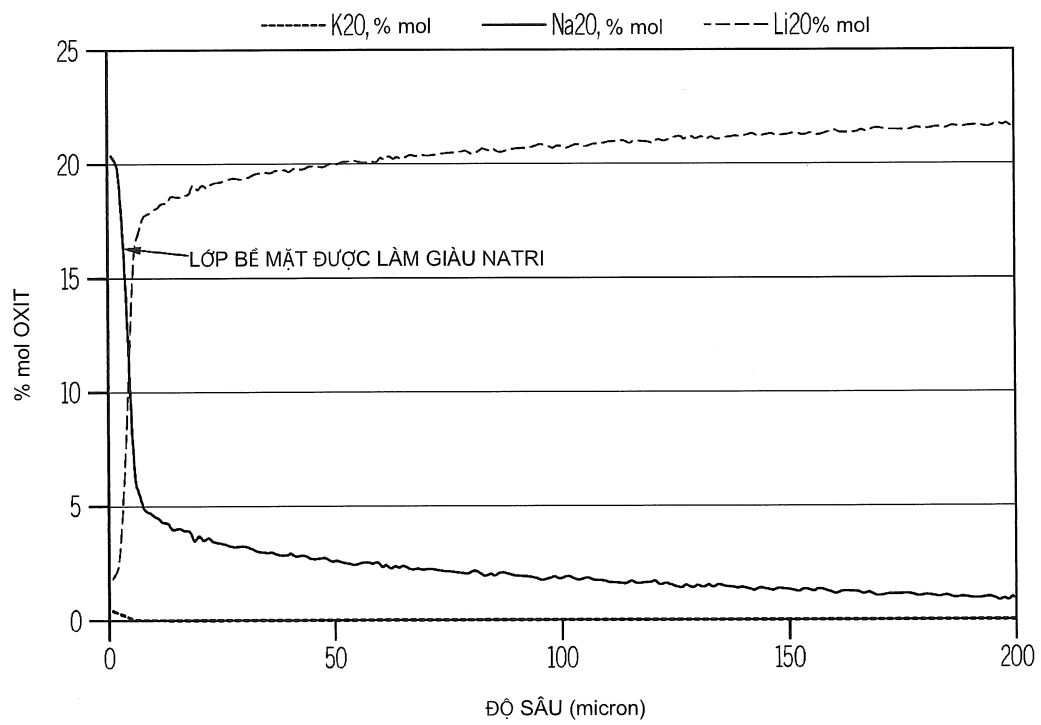


FIG. 1
(GIẢI PHÁP KỸ THUẬT ĐÃ BIẾT)

2 / 21

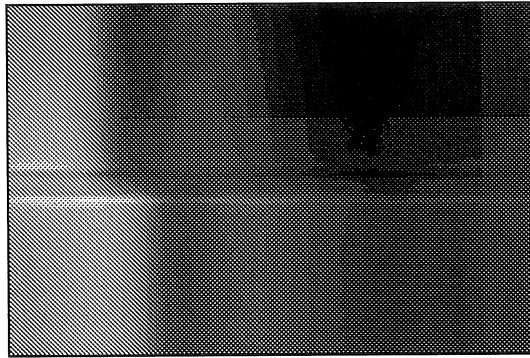


FIG. 2A
(GIẢI PHÁP KỸ THUẬT ĐÃ BIẾT)

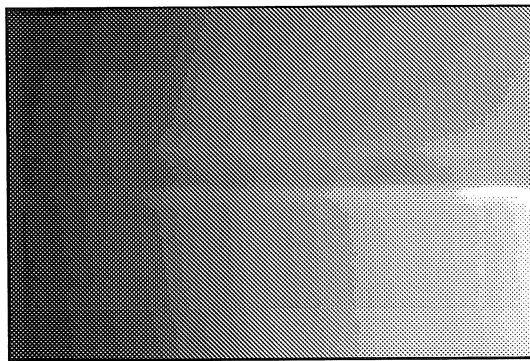


FIG. 2B
(GIẢI PHÁP KỸ THUẬT ĐÃ BIẾT)

3 / 21

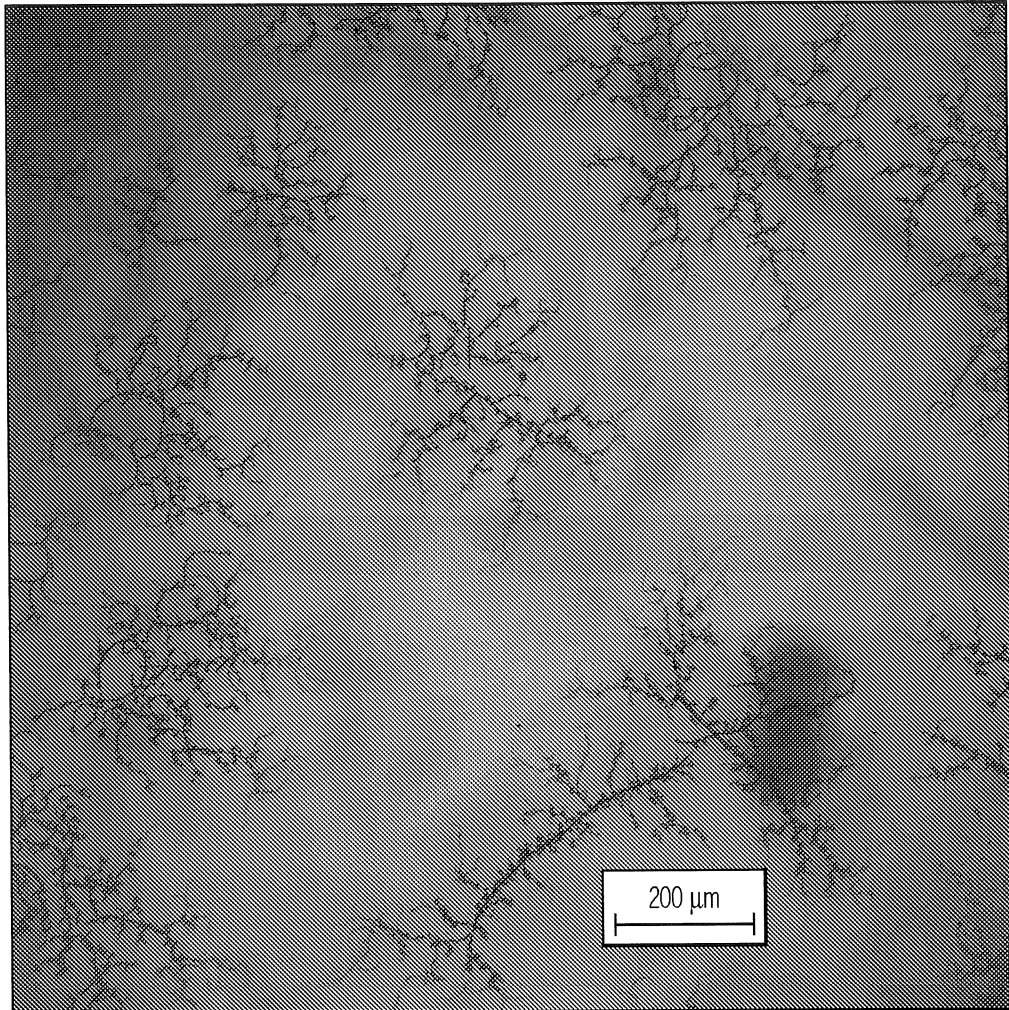


FIG. 3

(GIẢI PHÁP KỸ THUẬT ĐÃ BIẾT)

4 / 21

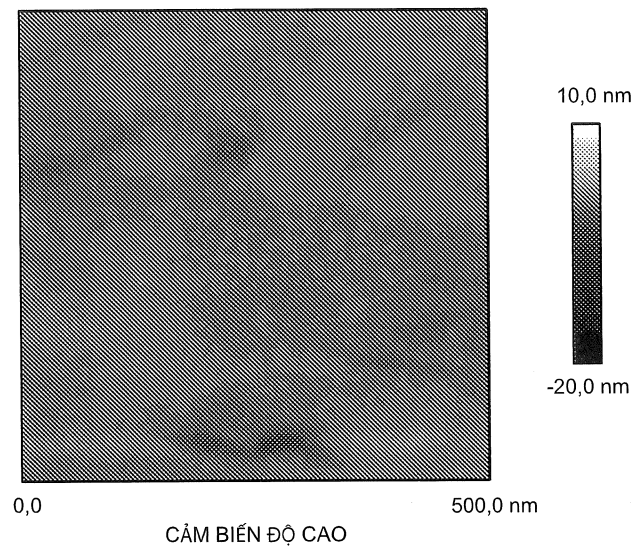


FIG. 4A

(GIẢI PHÁP KỸ THUẬT ĐÃ BIẾT)

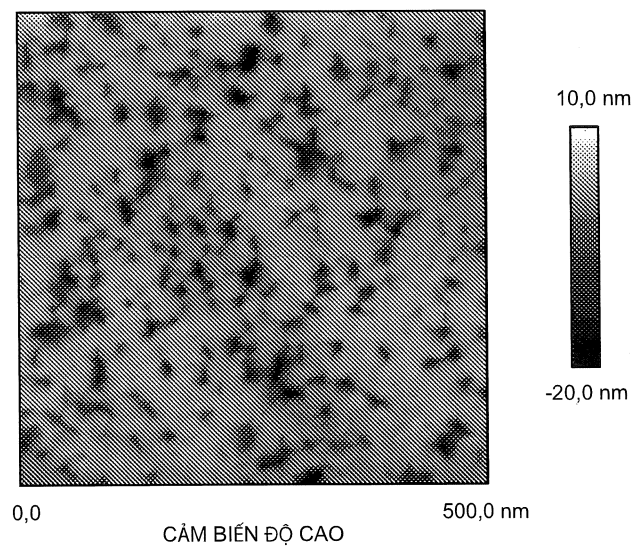


FIG. 4B

(GIẢI PHÁP KỸ THUẬT ĐÃ BIẾT)

5 / 21

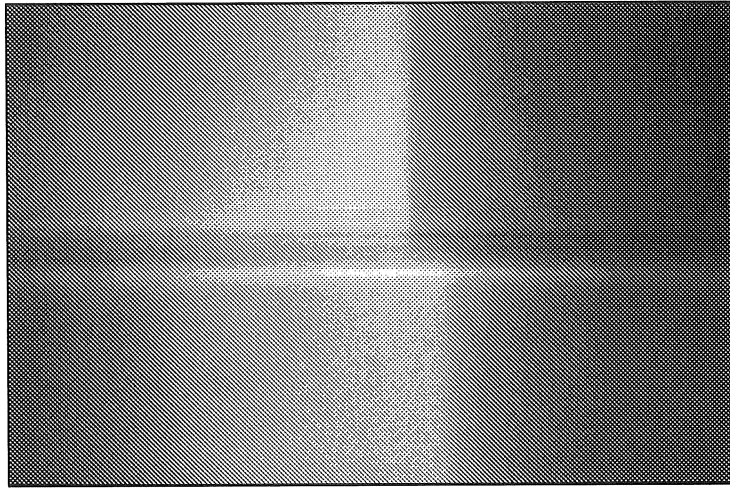


FIG. 5

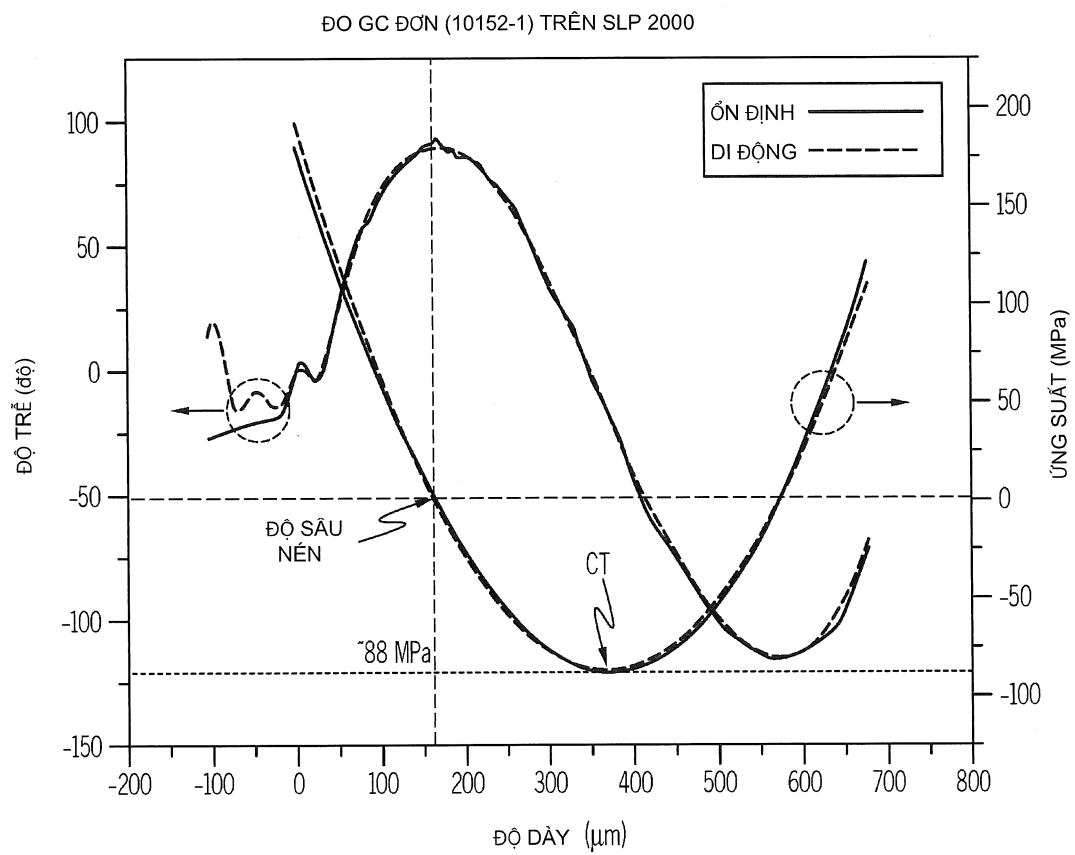


FIG. 6

6 / 21

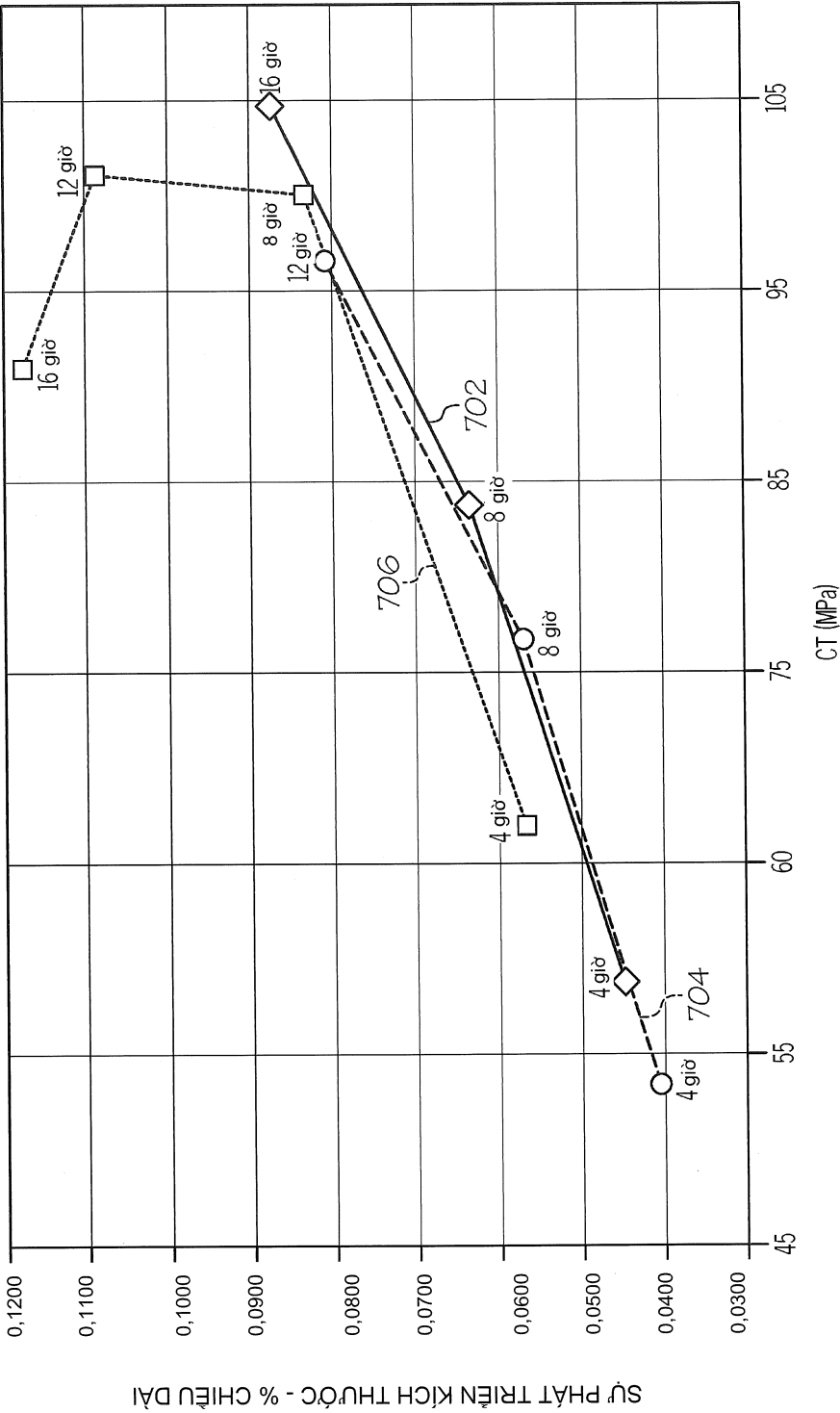


FIG. 7

7 / 21

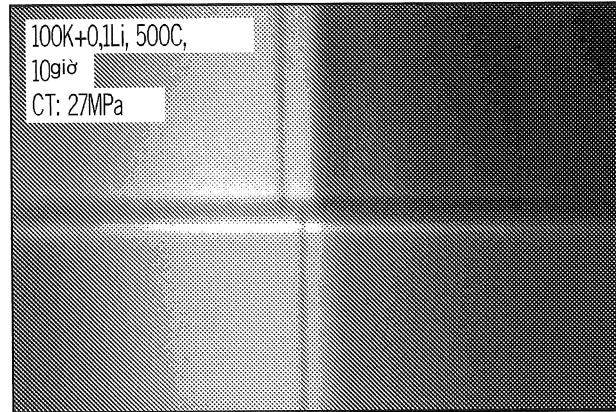


FIG. 8A

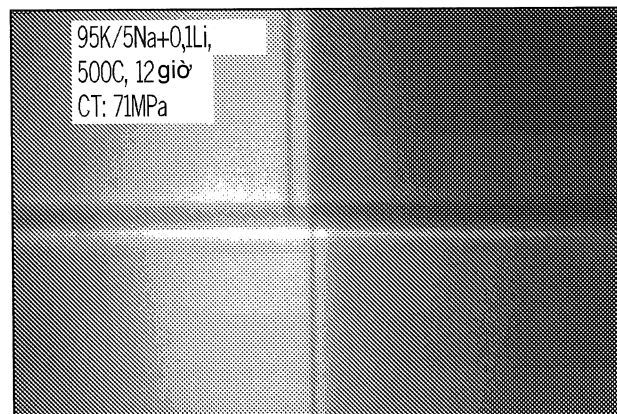


FIG. 8B

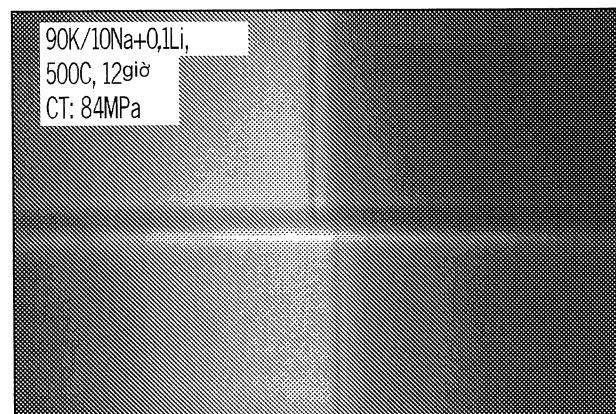


FIG. 8C

8 / 21

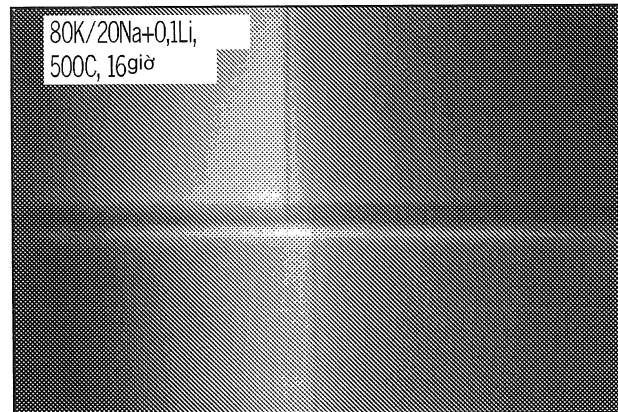


FIG. 8D

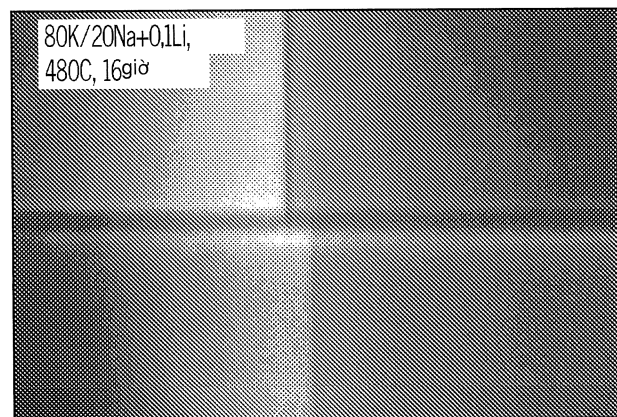


FIG. 8E

9 / 21

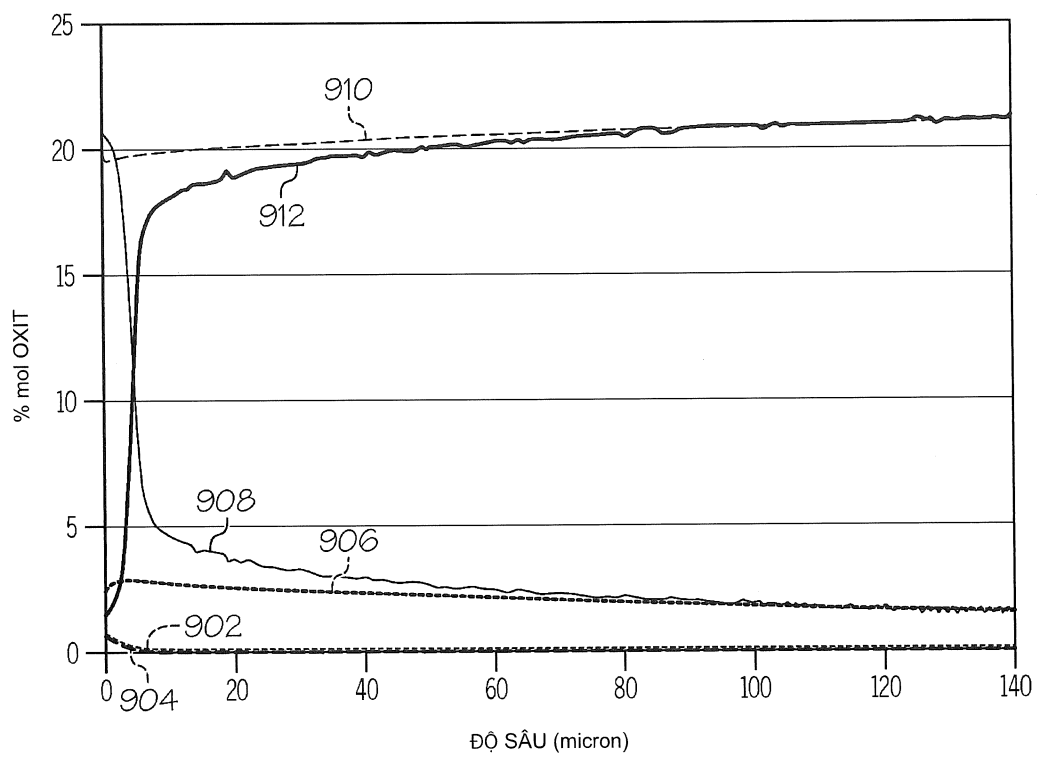


FIG. 9

10 / 21

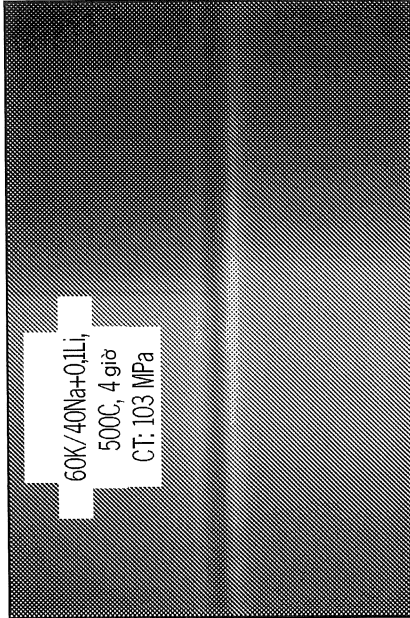


FIG. 10B

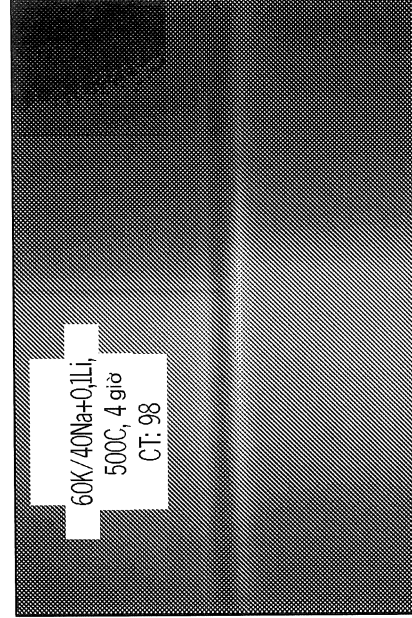


FIG. 10D

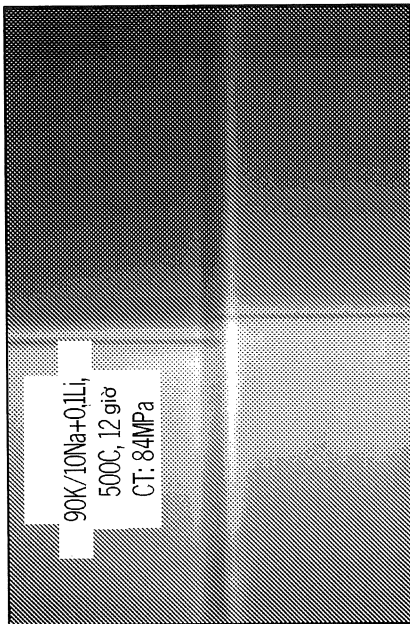


FIG. 10A

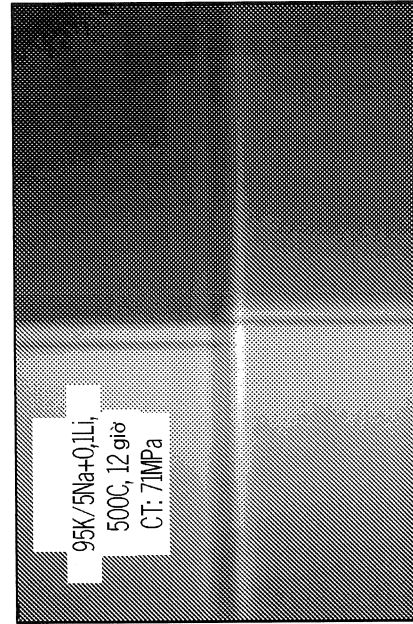


FIG. 10C

11 / 21

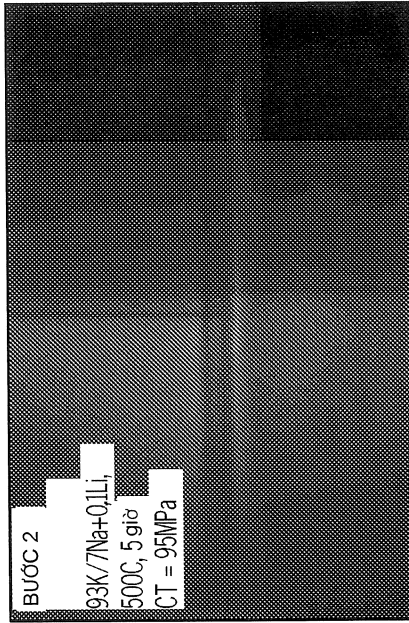


FIG. 10F

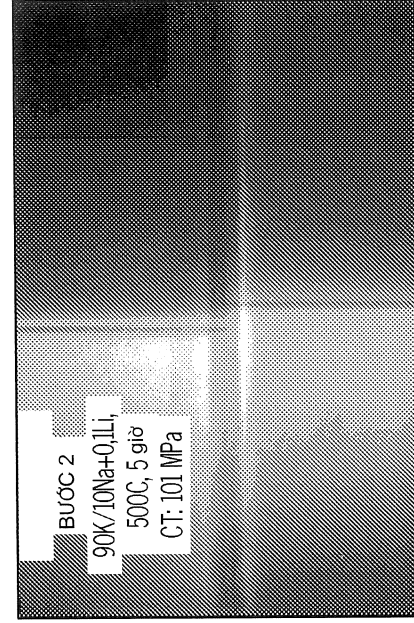


FIG. 10H

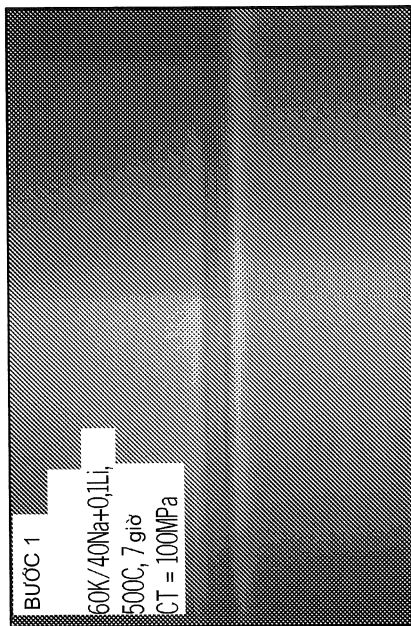


FIG. 10E

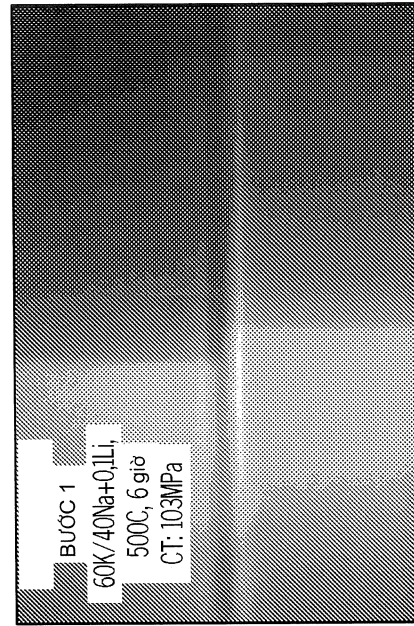


FIG. 10G

12 / 21

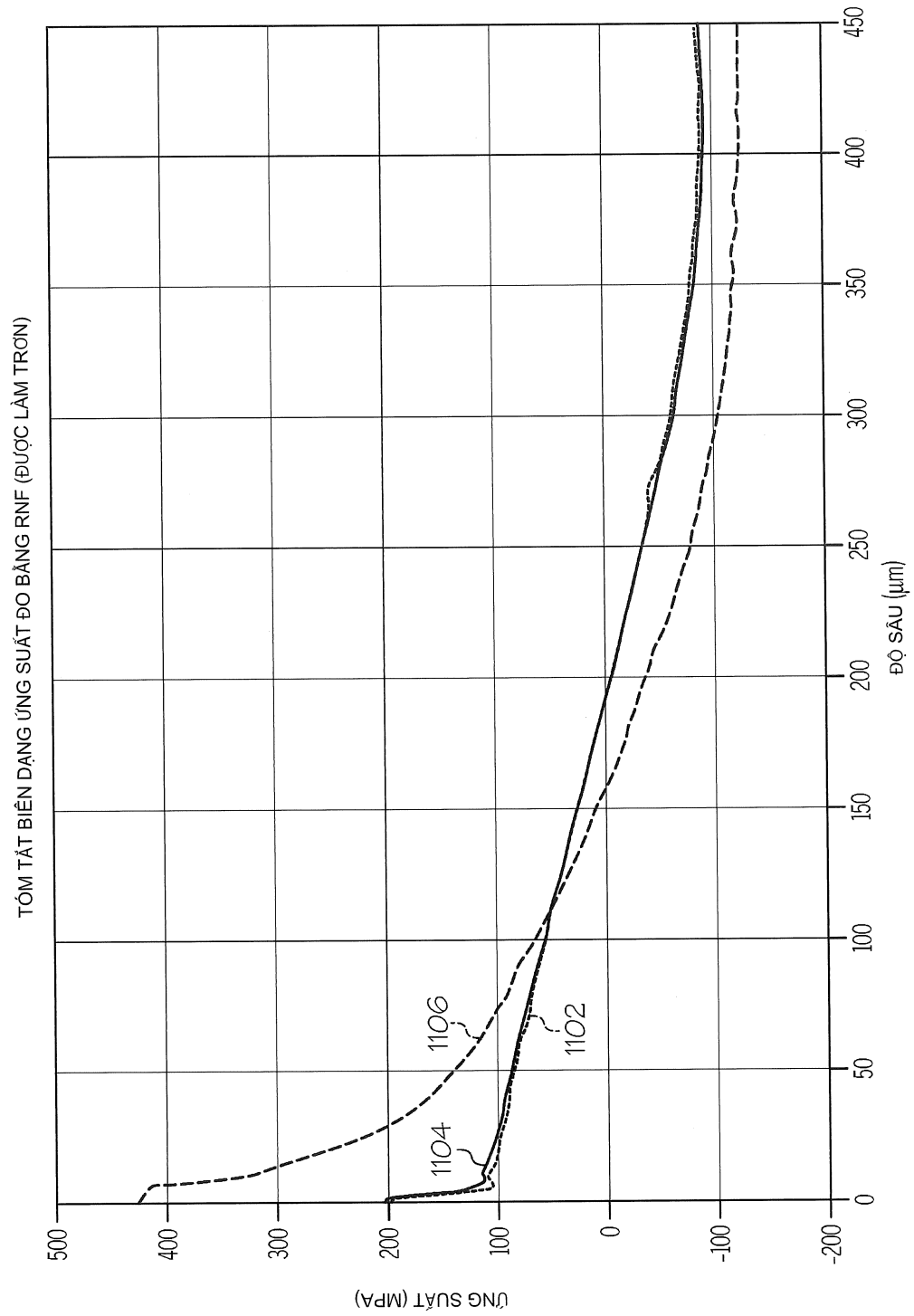


FIG. 11

13 / 21

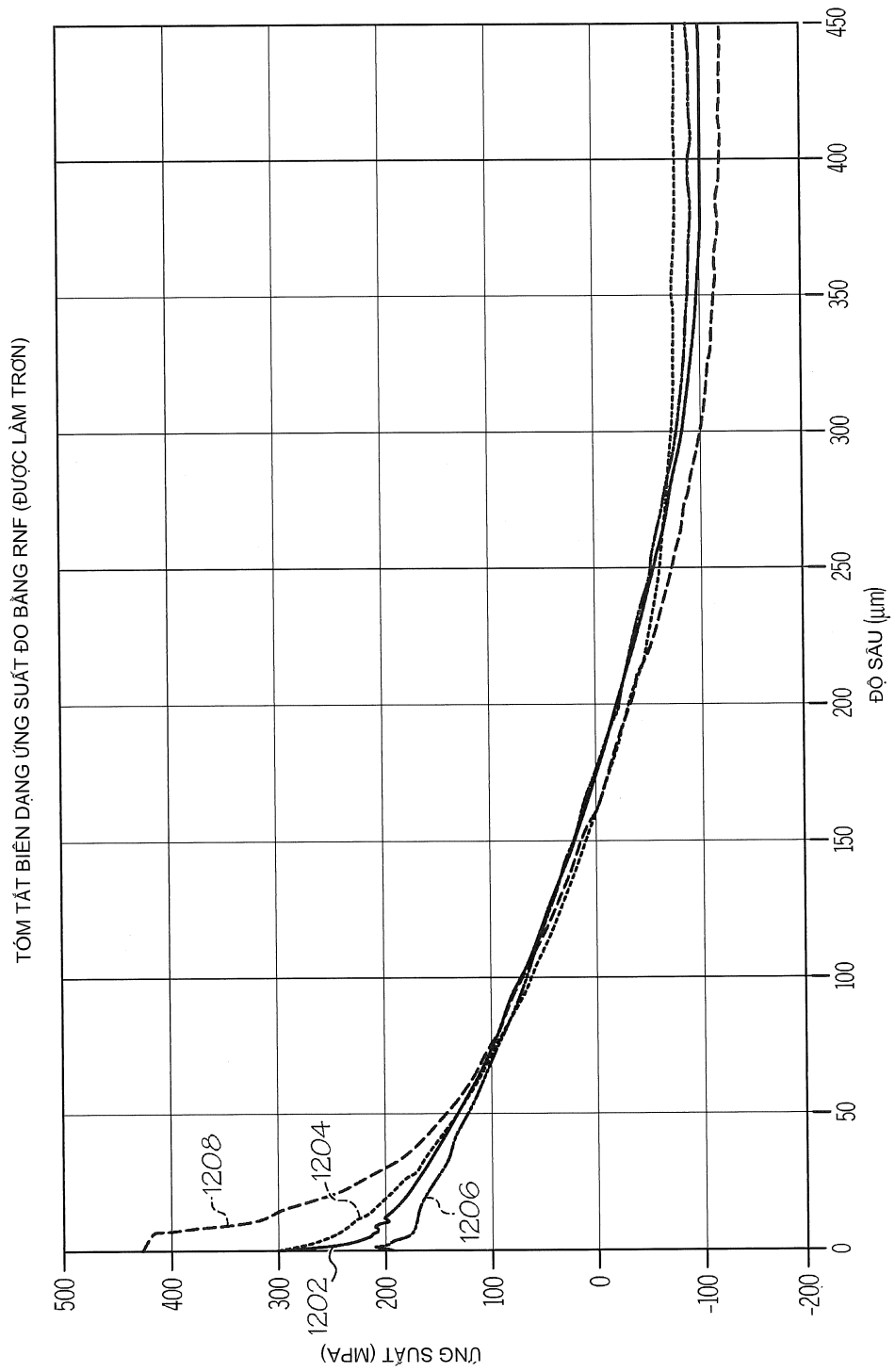


FIG. 12

14 / 21

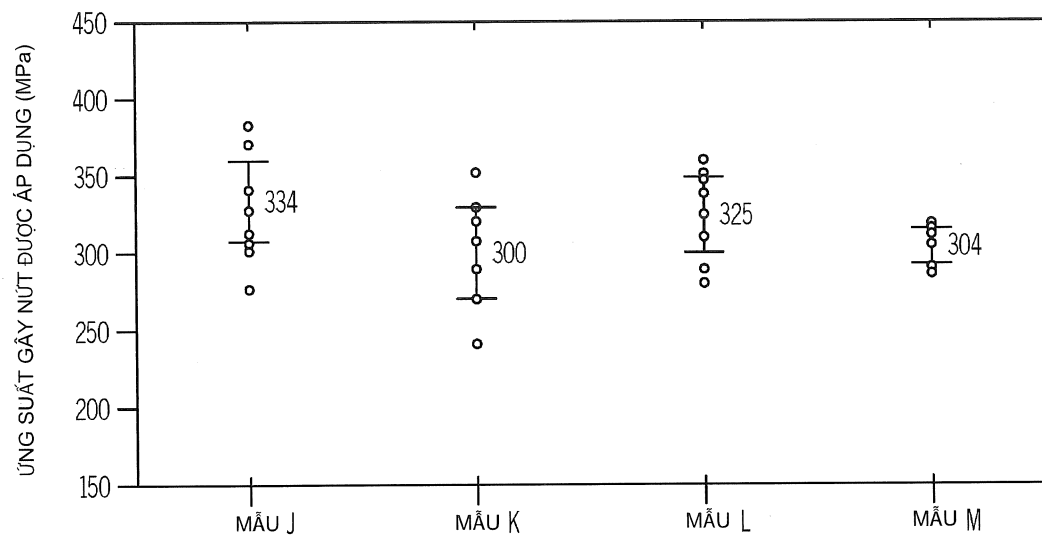


FIG. 13

15 / 21

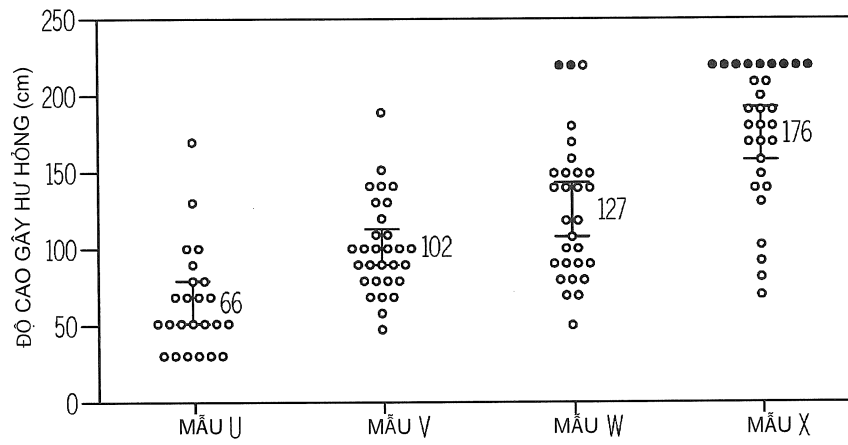


FIG. 14A

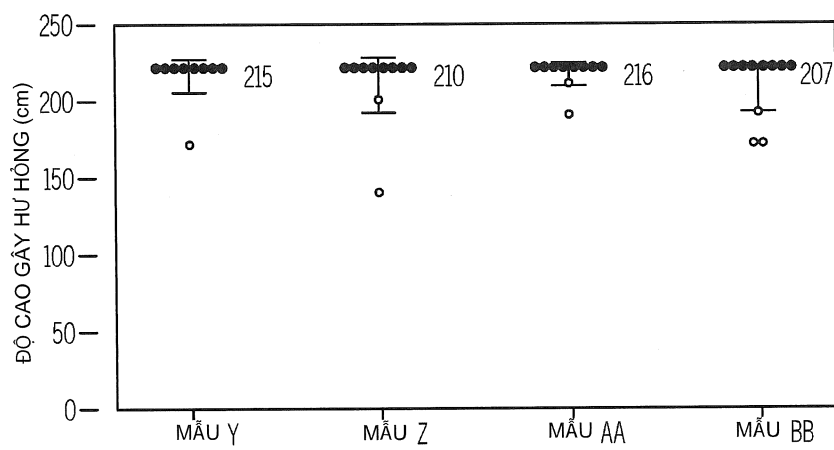


FIG. 14B

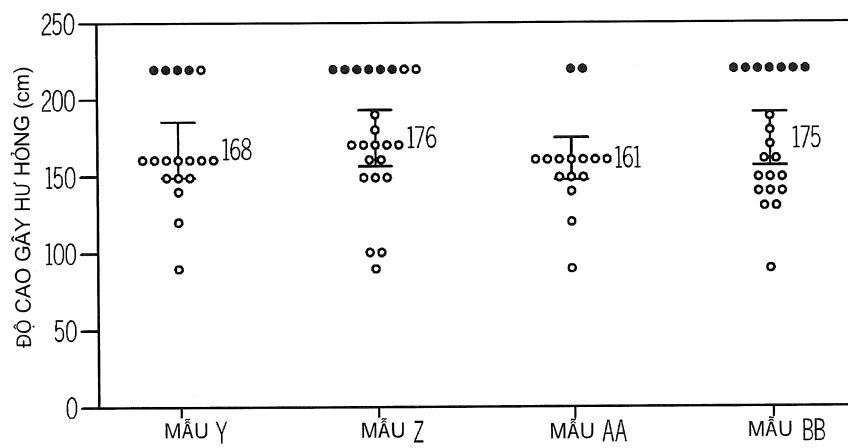


FIG. 14C

16 / 21

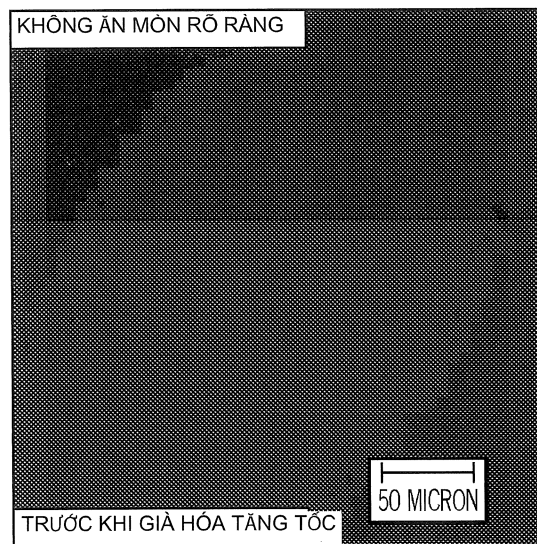


FIG. 15A

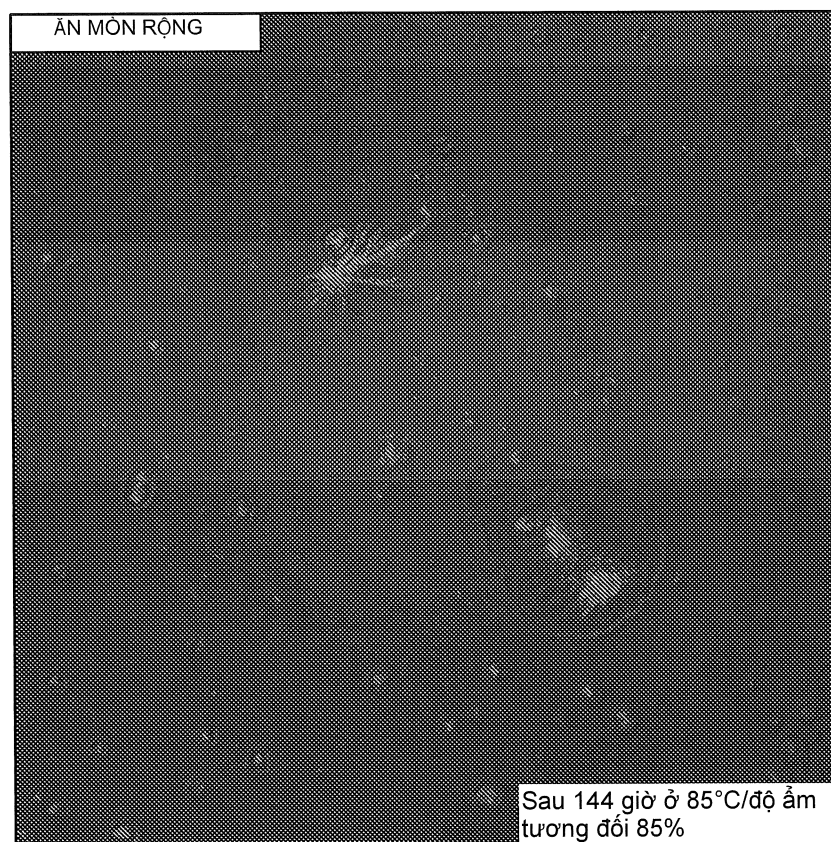


FIG. 15B

17 / 21

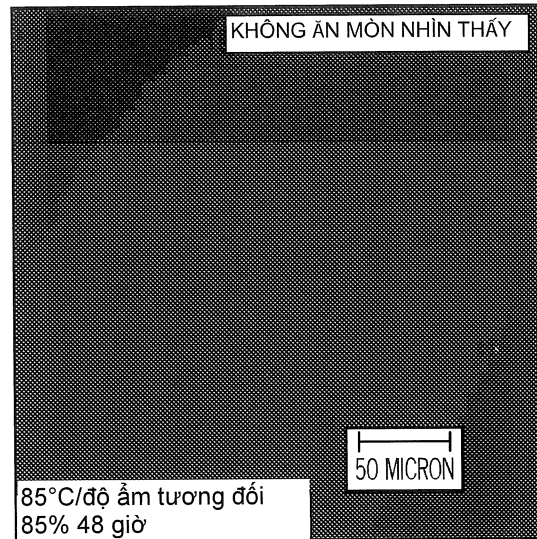


FIG. 15C

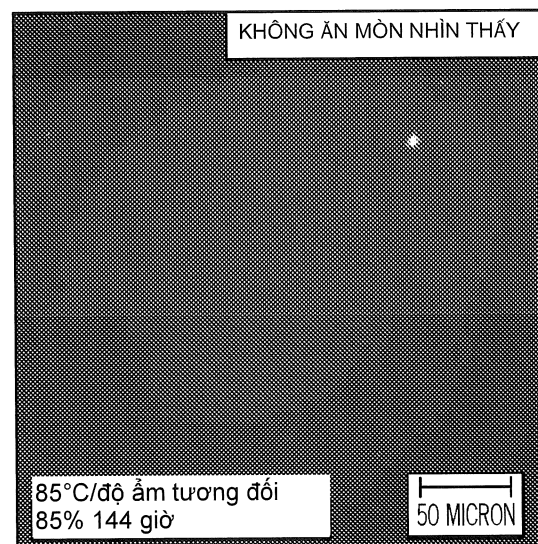


FIG. 15D

18 / 21

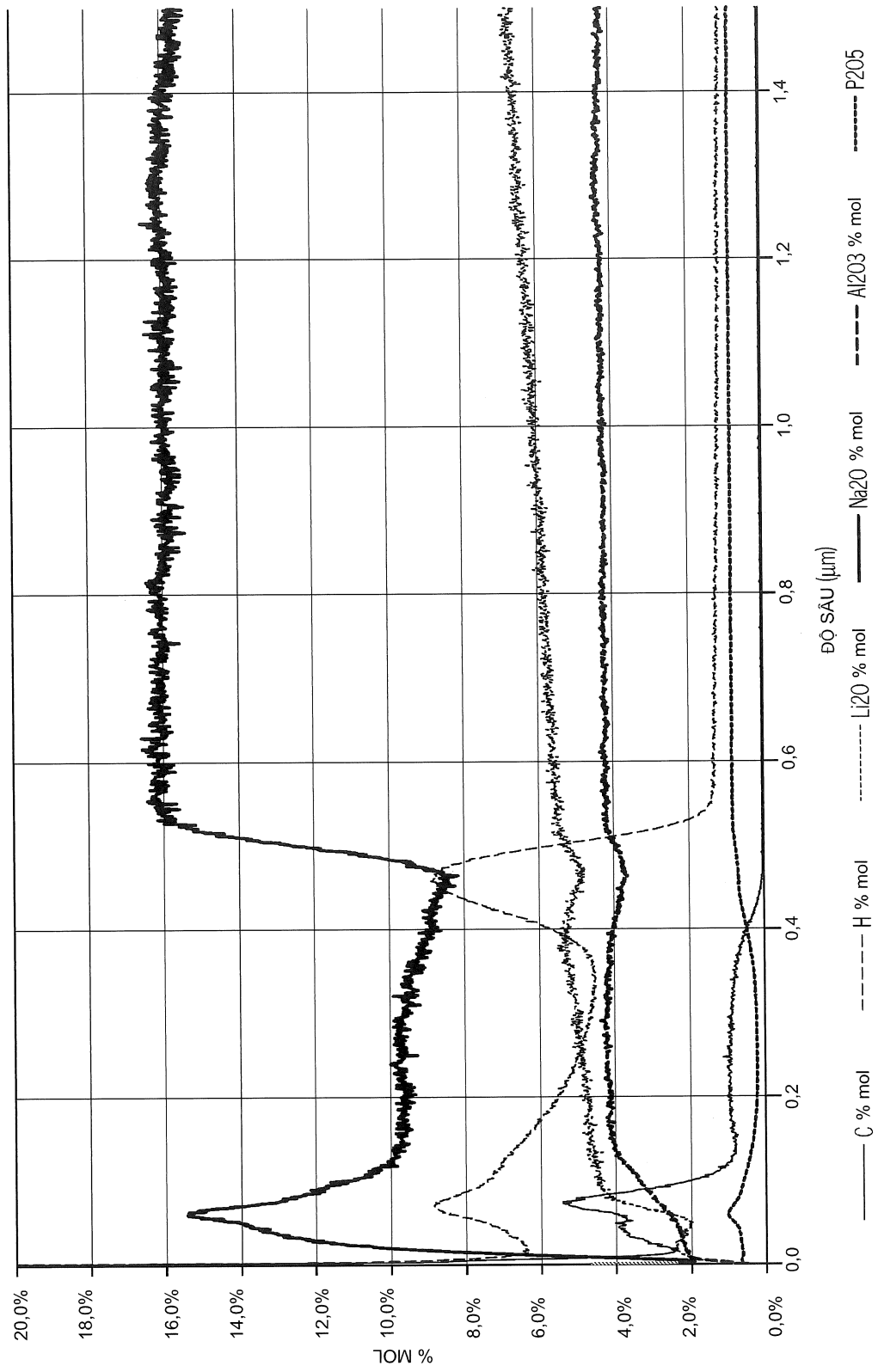


FIG. 16A

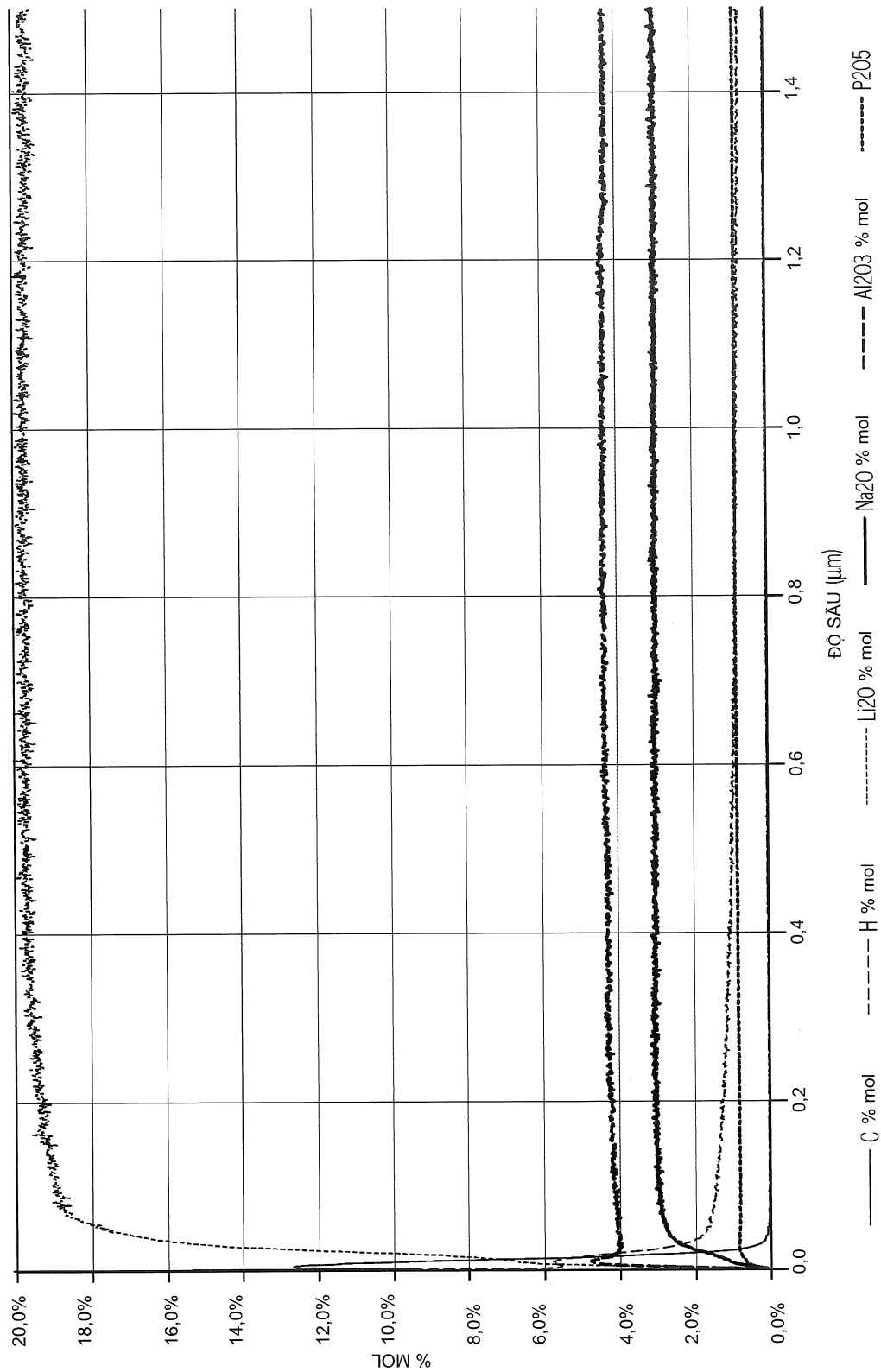


FIG. 16B

20 / 21

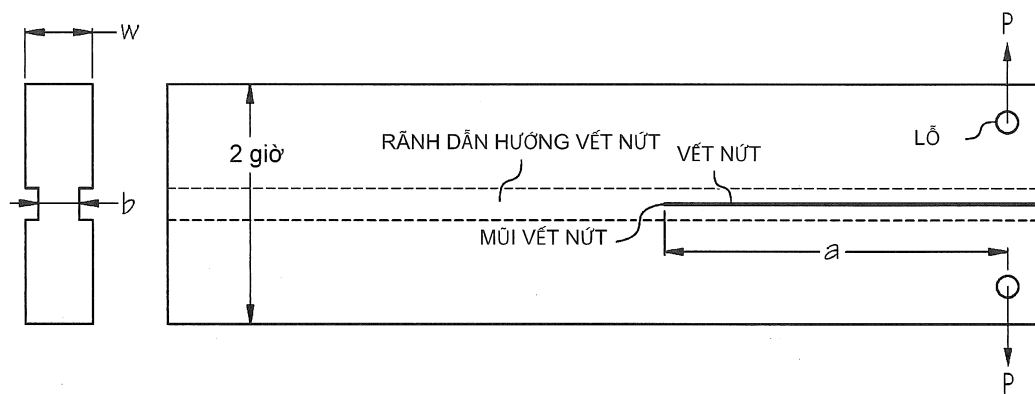


FIG. 17

21 / 21

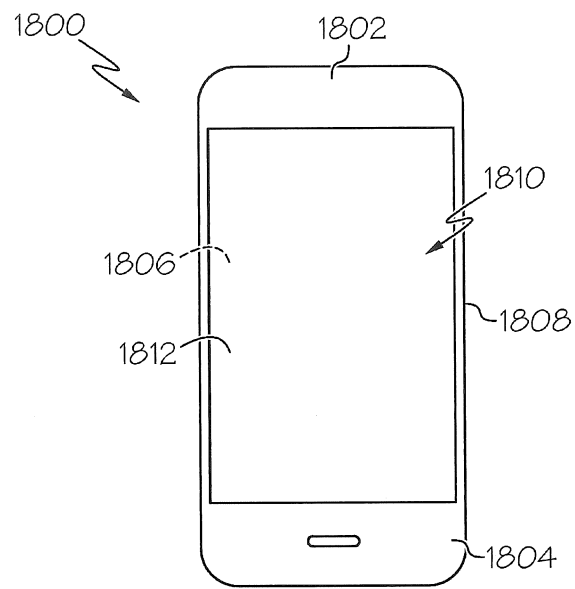


FIG. 18A

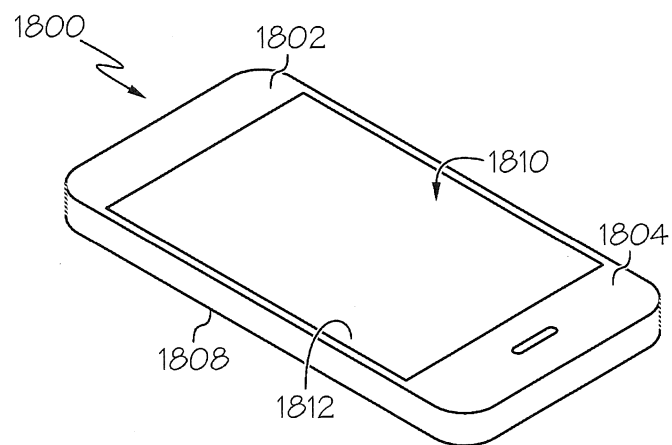


FIG. 18B