



(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)



1-0045267

(51)^{2020.01} C03C 3/087; C03C 3/097

(13) B

(21) 1-2020-02833

(22) 30/10/2018

(86) PCT/US2018/058221 30/10/2018

(87) WO 2019/089602 09/05/2019

(30) 62/579,374 31/10/2017 US

(45) 25/04/2025 445

(43) 25/08/2020 389A

(71) CORNING INCORPORATED (US)

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

(72) DEJNEKA, Matthew John (US); HANSON, Benjamin Zain (US); PRIVEN, Alexander I (RU).

(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)

(54) VẬT PHẨM THỦY TINH VÀ SẢN PHẨM ĐIỆN TỬ TIÊU DÙNG BAO GỒM
VẬT PHẨM THỦY TINH NÀY

(21) 1-2020-02833

(57) Sáng chế đề cập đến vật phẩm thủy tinh chứa các hợp phần thủy tinh có độ bền cơ học có độ nhớt đường lỏng cao. Vật phẩm thủy tinh này có thể bao gồm các hợp phần thủy tinh có từ 50 % mol đến 80 % mol SiO_2 ; từ 7 % mol đến 25 % mol Al_2O_3 ; từ 2 % mol đến khoảng 14 % mol Li_2O ; 0,4 % mol P_2O_5 ; và nhỏ hơn hoặc bằng 0,5 % mol ZrO_2 . Lượng (Al_2O_3 (% mol)- R_2O (% mol)- RO (% mol)) lớn hơn 0, trong đó R_2O (% mol) là tổng các lượng mol của Li_2O , Na_2O , K_2O , Rb_2O , và Cs_2O trong hợp phần thủy tinh và RO (% mol) là tổng các lượng mol của BeO , MgO , CaO , SrO , BaO , và ZnO trong hợp phần thủy tinh. Tỷ lệ mol của (Li_2O (% mol))/(R_2O (% mol)) có thể lớn hơn hoặc bằng 0,5. Theo các phương án, hợp phần thủy tinh có thể bao gồm B_2O_3 . Các hợp phần thủy tinh có thể tạo hình nung chảy và có độ bền chống hư hại cao.

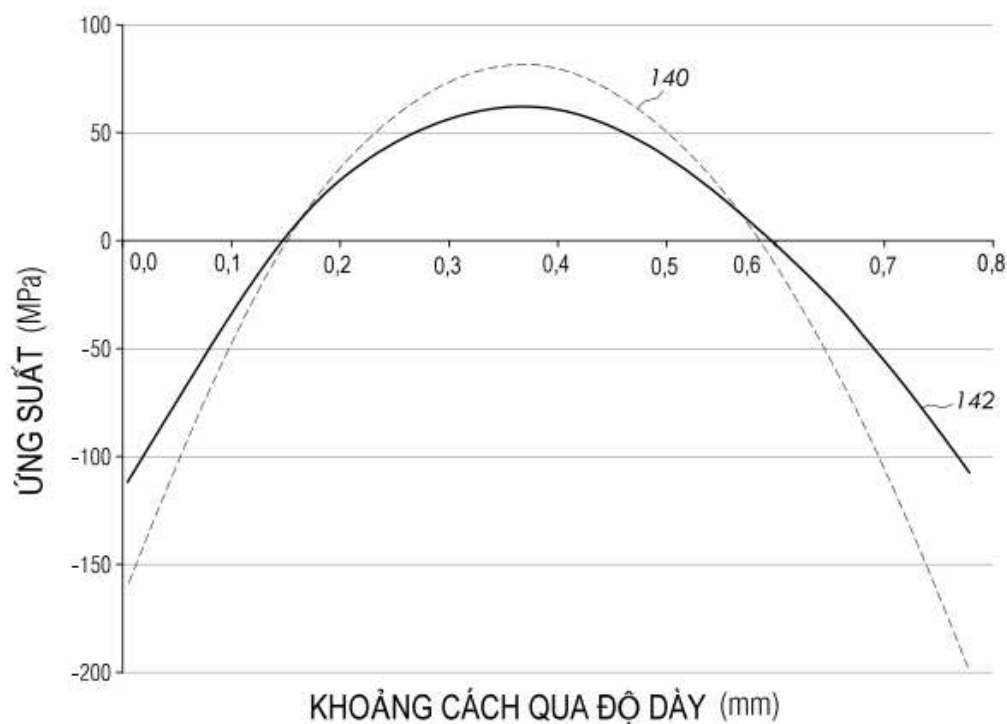


FIG. 1

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế nói chung đề cập đến các hợp phần thủy tinh và, cụ thể hơn, các hợp phần thủy tinh lithi aluminosilicat bão hòa nhôm có độ nhót đường lỏng cao và khả năng chống nứt gãy cao.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Về mặt lịch sử, thủy tinh được sử dụng làm kính phủ cho các thiết bị điện tử do các tính chất quang học và độ bền hóa học vượt trội so với các vật liệu khác. Cụ thể, thủy tinh gia cường được biết là để sử dụng cho các thiết bị điện tử cũng như các ứng dụng khác. Do thủy tinh gia cường được sử dụng ngày càng tăng, điều quan trọng hơn là phải phát triển vật liệu thủy tinh gia cường có khả năng tồn tại được cải thiện, đặc biệt là khi chịu ứng suất kéo gây ra bởi việc tiếp xúc với các bề mặt cứng/sắc, như nhựa đường hoặc bê tông, chịu được việc sử dụng và các ứng dụng trong “thế giới thực”. Tuy nhiên, các loại thủy tinh gia cường nhất định có độ bền chống gãy nứt cao cũng thể hiện nhiệt độ đường lỏng cao và độ nhót đường lỏng thấp. Một số hợp phần thủy tinh có độ nhót đường lỏng thấp không thích hợp để sản xuất bằng quy trình tạo hình rút xuôi như quy trình nung chuốt.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Do đó, vẫn cần có hợp phần thủy tinh thể hiện độ bền chống gãy nứt và độ bền cơ học cao và có độ nhót đường lỏng tương đối cao (ví dụ, lớn hơn 20 kP) để cho phép hợp phần thủy tinh được tạo thành bằng các quy trình tạo hình nung chảy.

Theo phương án thứ nhất, vật phẩm thủy tinh chứa hợp phần, hợp phần này chứa lớn hơn hoặc bằng 50 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 80 % mol. Theo phương án thứ nhất, vật phẩm thủy tinh chứa hợp phần, hợp phần này chứa lớn hơn hoặc bằng 50 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 80 % mol Al_2O_3 , lớn hơn hoặc bằng 2 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 14 % mol Li_2O , lớn hơn hoặc bằng 0,4 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 10 % mol P_2O_5 , và nhỏ hơn hoặc bằng 0,5 % mol ZrO_2 . Hợp phần có (Al_2O_3 (% mol)- R_2O (% mol)- RO (% mol)) lớn hơn 0, trong đó R_2O (% mol) là tổng các lượng mol của Li_2O , Na_2O , K_2O , Rb_2O , và Cs_2O trong hợp phần và RO (% mol) là tổng các lượng mol của BeO , MgO , CaO , SrO , BaO , và ZnO trong hợp phần.

Trong phương án thứ hai theo phương án thứ nhất trong đó, tỷ lệ mol của (Li_2O (% mol))/(R_2O (% mol)) trong hợp phần lớn hơn hoặc bằng 0,5. Theo phương án thứ ba theo phương án bất kỳ trong số các phương án nêu trên, hợp phần có (Al_2O_3 (% mol)- R_2O (% mol)- RO (% mol)- P_2O_5 (% mol)) lớn hơn hoặc bằng -2 % mol. Trong phương án thứ tư theo phương án bất kỳ trong số các phương án nêu trên, hợp phần có (Al_2O_3 (% mol)- R_2O (% mol)- RO (% mol)- P_2O_5 (% mol)) nhỏ hơn hoặc bằng 2 % mol. Trong phương án thứ năm theo phương án bất kỳ trong số các phương án nêu trên, hợp phần có (Al_2O_3 (% mol)- R_2O (% mol)- RO (% mol)- P_2O_5 (% mol)) lớn hơn hoặc bằng -2 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 2 % mol.

Trong phương án thứ sáu theo phương án bất kỳ trong số các phương án nêu trên, hợp phần có nhiệt độ đường lỏng nhỏ hơn hoặc bằng 1300 °C. Trong phương án thứ bảy theo phương án bất kỳ trong số các phương án nêu trên, hợp phần cũng có độ nhớt đường lỏng lớn hơn 20 kP. Trong phương án thứ tám theo phương án nêu trên bất kỳ, hợp phần có thể có độ nhớt đường lỏng lớn hơn 50 kP.

Trong phương án thứ chín theo phương án nêu trên bất kỳ, hợp phần có thể chứa nhỏ hơn hoặc bằng 14 % mol R_2O . Trong phương án thứ mười theo phương án nêu trên bất kỳ, hợp phần có thể còn chứa lớn hơn hoặc bằng 7 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 14 % mol R_2O . Trong phương án thứ mười một theo phương án nêu trên bất kỳ, hợp phần có thể còn chứa nhỏ hơn hoặc bằng 2,5 % mol K_2O . Trong phương án thứ mười hai theo phương án nêu trên bất kỳ, hợp phần có thể còn chứa lớn hơn hoặc bằng 3 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 15 % mol B_2O_3 . Trong phương án thứ mười ba theo phương án nêu trên bất kỳ, hợp phần có thể có (Li_2O (% mol)+ Al_2O_3 (% mol)) lớn hơn hoặc bằng hai lần B_2O_3 (% mol).

Trong phương án mười bốn theo phương án nêu trên bất kỳ, hợp phần có thể còn chứa lớn hơn hoặc bằng 0,1 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 6 % mol Na_2O . Trong phương án mười lăm theo phương án nêu trên bất kỳ, hợp phần có thể còn chứa lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 5 % mol MgO . Trong phương án mười sáu theo phương án nêu trên bất kỳ, hợp phần có thể còn chứa lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 5 % mol ZnO . Trong phương án mười bảy theo phương án nêu trên bất kỳ, hợp phần có thể còn chứa lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 4 % mol CaO . Trong phương án mười tám theo phương án nêu trên bất kỳ, hợp phần có thể còn chứa lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 4 % mol SrO . Trong phương án mười chín theo phương án nêu trên bất kỳ, hợp phần có thể còn chứa nhỏ hơn hoặc

bằng 0,35 % mol SnO_2 . Trong phương án hai mươi theo phương án nêu trên bất kỳ, hợp phần về cơ bản có thể không chứa BaO .

Trong phương án hai mươi một, vật phẩm thủy tinh bao gồm hợp phần, hợp phần này chứa lớn hơn hoặc bằng 50 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 80 % mol SiO_2 , lớn hơn hoặc bằng 7 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 25 % mol Al_2O_3 , lớn hơn hoặc bằng 2 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 14 % mol Li_2O , lớn hơn hoặc bằng 3 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 15 % mol B_2O_3 , lớn hơn hoặc bằng 0,1 % mol Na_2O , và lớn hơn hoặc bằng 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 4 % mol TiO_2 . Hợp phần này có $(\text{Al}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol}) - \text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol}) - \text{RO} (\% \text{ mol}))$ mà lớn hơn hoặc bằng 0, trong đó $\text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol})$ là tổng lượng mol của Li_2O , Na_2O , K_2O , Rb_2O , và Cs_2O trong hợp phần và $\text{RO} (\% \text{ mol})$ là tổng lượng mol của BeO , MgO , CaO , SrO , BaO , và ZnO trong hợp phần. Hợp phần này cũng có $(\text{Al}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol}) - \text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol}) - \text{RO} (\% \text{ mol}) - \text{P}_2\text{O}_5 (\% \text{ mol}))$ nhỏ hơn hoặc bằng 2, $\text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol})$ nhỏ hơn hoặc bằng 14 % mol.

Trong phương án thứ hai mươi hai theo phương án thứ hai một, hợp phần này có thể có tỷ lệ mol của $(\text{Li}_2\text{O} (\% \text{ mol})) / (\text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol}))$ lớn hơn hoặc bằng 0,5. Trong phương án hai ba theo phương án hai một hoặc hai hai, hợp phần này có thể còn chứa lớn hơn hoặc bằng 0,4 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 10 % mol P_2O_5 . Trong phương án hai bốn theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ hai một đến hai ba, hợp phần này có thể có $(\text{Al}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol}) - \text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol}) - \text{RO} (\% \text{ mol}) - \text{P}_2\text{O}_5 (\% \text{ mol}))$ lớn hơn hoặc bằng -2.

Trong phương án hai mươi lăm theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ hai một đến hai bốn, trong đó $(\text{Li}_2\text{O} (\% \text{ mol}) + \text{Al}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol}))$ lớn hơn hoặc bằng ba lần $\text{B}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol})$. Trong phương án hai sáu theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ hai một đến hai lăm, trong đó hợp phần này còn chứa lớn hơn hoặc bằng 1,5 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 6 % mol Na_2O . Trong phương án hai bảy theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ hai một đến hai sáu, trong đó hợp phần này còn chứa nhỏ hơn hoặc bằng 0,35 % mol SnO_2 . Trong phương án hai tám theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ hai một đến hai bảy, trong đó hợp phần này có nhiệt độ đường lỏng nhỏ hơn hoặc bằng 1300 °C. Trong phương án hai chín theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ hai một đến hai tám, trong đó hợp phần này có độ nhớt đường lỏng lớn hơn 20 kP.

Trong phương án ba mươi, vật phẩm thủy tinh bao gồm hợp phần, hợp phần này chứa lớn hơn hoặc bằng 50 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 80 % mol SiO_2 , lớn hơn hoặc bằng 7 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 25 % mol Al_2O_3 , lớn hơn hoặc bằng 2 % mol và nhỏ hơn hoặc

bằng 14 % mol Li_2O , lớn hơn hoặc bằng 0,1 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 20 % mol B_2O_3 , lớn hơn hoặc bằng 0,1 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 20 % mol P_2O_5 , và nhỏ hơn hoặc bằng 1 % mol ZrO_2 . Hợp phần này có $(\text{Al}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol}) - \text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol}) - \text{RO} (\% \text{ mol}))$ lớn hơn 0, trong đó $\text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol})$ là tổng các lượng mol của Li_2O , Na_2O , K_2O , Rb_2O , và Cs_2O trong hợp phần và $\text{RO} (\% \text{ mol})$ là tổng các lượng mol của BeO , MgO , CaO , SrO , BaO , và ZnO trong hợp phần này.

Trong phương án ba mươi một theo phương án ba mươi trong đó tỷ lệ mol của $(\text{Li}_2\text{O} (\% \text{ mol})) / (\text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol}))$ lớn hơn hoặc bằng 0,5. Trong phương án ba hai theo phương án ba mươi hoặc ba một, trong đó $(\text{Al}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol}) - \text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol}) - \text{RO} (\% \text{ mol}) - \text{P}_2\text{O}_5 (\% \text{ mol}))$ lớn hơn hoặc bằng -2 % mol. Trong phương án ba ba theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ ba mươi đến ba hai, trong đó $(\text{Al}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol}) - \text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol}) - \text{RO} (\% \text{ mol}) - \text{P}_2\text{O}_5 (\% \text{ mol}))$ lớn hơn hoặc bằng -2 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 2 % mol. Trong phương án ba tư theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ ba mươi đến ba ba, trong đó $(\text{Al}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol}) - \text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol}) - \text{RO} (\% \text{ mol}) - \text{P}_2\text{O}_5 (\% \text{ mol}))$ lớn hơn hoặc bằng -2 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 2 % mol. Trong phương án ba lăm theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ ba mươi đến ba tư, trong đó hợp phần này chứa nhỏ hơn hoặc bằng 14 % mol R_2O . Trong phương án ba mươi sáu theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ ba mươi đến ba lăm, trong đó hợp phần này chứa lớn hơn hoặc bằng 7 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 14 % mol R_2O . Trong phương án ba mươi bảy theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ ba mươi đến ba mươi sáu, trong đó $(\text{Li}_2\text{O} (\% \text{ mol}) + \text{Al}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol}))$ lớn hơn hoặc bằng hai lần $\text{B}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol})$. Trong phương án ba tám theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ ba mươi đến ba mươi bảy, trong đó hợp phần này còn chứa lớn hơn hoặc bằng 1 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 6 % mol Na_2O . Trong phương án ba chín theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ ba mươi đến ba tám, trong đó hợp phần này còn chứa lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 0,35 % mol SnO_2 . Trong phương án bốn mươi theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ ba mươi đến ba chín, trong đó hợp phần này có nhiệt độ đường lỏng nhỏ hơn hoặc bằng 1300 °C. Trong phương án bốn mươi một theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ ba mươi đến bốn mươi, trong đó hợp phần này có độ nhớt đường lỏng lớn hơn 20 kP.

Trong phương án bốn hai, vật phẩm thủy tinh chứa hợp phần, hợp phần này chứa: lớn hơn hoặc bằng 50 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 80 % mol SiO_2 ; lớn hơn hoặc bằng 2 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 25 % mol Al_2O_3 ; lớn hơn hoặc bằng 2 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 15 % mol Li_2O ; trong đó $\text{SiO}_2 (\% \text{ mol}) \geq [4 * \text{Li}_2\text{O} + 6 * (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) + 2,5 * \text{MgO} + 2 * (\text{CaO} +$

$\text{SrO} + \text{BaO}]$ (% mol), trong đó $(\text{Al}_2\text{O}_3$ (% mol)- R_2O (% mol)- RO (% mol)) lớn hơn 0, trong đó R_2O (% mol) là tổng lượng mol của Li_2O , Na_2O , K_2O , Rb_2O , và Cs_2O trong hợp phần và RO (% mol) là tổng lượng mol của BeO , MgO , CaO , SrO , BaO , và ZnO trong hợp phần này, trong đó tỷ lệ mol của $(\text{Li}_2\text{O}$ (% mol))/(R_2O (% mol)) lớn hơn hoặc bằng 0,35, trong đó P_2O_5 (% mol)/[(Al_2O_3 - R_2O - RO)](% mol) lớn hơn hoặc bằng 0,25, trong đó TiO_2 (% mol) + ZrO_2 (% mol) lớn hơn hoặc bằng 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 1 % mol, trong đó tổng hàm lượng của oxit kim loại đất hiếm lớn hơn hoặc bằng 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 0,5 % mol, và trong đó A lớn hơn hoặc bằng 17, trong đó:

$$A = 13,2 + P * [(1/673 - 1(A.P. + 273))],$$

$$P = 0,6 / [(1/(A.P. + 273)) - (1/(T_{12} + 273))],$$

A.P. là điểm ủ theo °C, và

T_{12} là nhiệt độ theo °C tương ứng với thời điểm thủy tinh có độ nhớt bằng 10^{12} poa.

Trong phương án bốn ba theo phương án bốn hai, trong đó P_2O_5 (% mol)/[(Al_2O_3 - R_2O - RO)](% mol) lớn hơn hoặc bằng 0,8 và nhỏ hơn hoặc bằng 1,25. Trong phương án theo bốn bốn theo phương án bốn ba trong đó P_2O_5 (% mol)/[(Al_2O_3 - R_2O - RO)](% mol) lớn hơn hoặc bằng 0,9 và nhỏ hơn hoặc bằng 1,1. Trong phương án bốn năm theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ bốn hai đến bốn bốn, trong đó môđun Young lớn hơn hoặc bằng 70 GPa. Trong phương án bốn sáu theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ bốn hai đến bốn bốn, trong đó môđun Young lớn hơn hoặc bằng 80 GPa. Trong phương án bốn bảy theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ bốn hai đến bốn sáu, trong đó độ bền chống nứt gãy lớn hơn hoặc bằng $0,7 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. Trong phương án bốn tám theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ bốn hai đến bốn sáu, trong đó độ bền chống nứt gãy lớn hơn hoặc bằng $0,8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. Trong phương án bốn chín theo phương án bất kỳ trong số các phương án từ bốn hai đến bốn tám, trong đó A lớn hơn hoặc bằng 19.

Trong phương án năm mươi, sản phẩm điện tử dân dụng bao gồm vỏ có mặt trước, mặt sau và các mặt bên và các linh kiện điện được bố trí ở ít nhất một phần bên trong vỏ, các linh kiện điện bao gồm ít nhất một bộ điều khiển, bộ nhớ, và màn hiển thị, màn hiển thị này được bố trí ở hoặc sát với mặt trước của vỏ. Sản phẩm điện tử dân dụng còn bao gồm nền che phủ được bố trí ở trên bộ phận hiển thị. Ít nhất một phần trong phần của vỏ hoặc nền che phủ bao gồm vật phẩm thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án được bộc lộ ở đây.

Các chi tiết và 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 như được mô tả ở đây, bao gồm phần mô tả chi tiết dưới đây, các yêu cầu bảo hộ cũng như các hình vẽ kèm theo.

Cần hiểu rằng cả phần mô tả chung trên đây và phần mô tả chi tiết sau đây mô tả các phương án thực hiện khác nhau và có mục đích đưa ra mô tả tổng quan hoặc khuôn khổ 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 để giải thích các nguyên tắc và cách vận hành của các đối tượng được yêu cầu bảo hộ.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

FIG. 1 thể hiện dưới dạng đồ thị profin ứng suất (trục x) qua độ dày (trục y) của các hợp phần thủy tinh theo sáng chế sau khi gia cường bằng cách trao đổi ion;

FIG. 2A là hình chiếu bằng của thiết bị điện tử làm ví dụ tích hợp vật phẩm bất kỳ trong số các vật phẩm thủy tinh được bộc lộ trong bản mô tả này; và

FIG. 2B là hình phối cảnh của thiết bị điện tử làm ví dụ của Fig. 2A.

Mô tả chi tiết sáng chế

Phần tham khảo sẽ được thực hiện chi tiết với các phương án khác nhau của các hợp phần thủy tinh thể hiện tính năng chịu rơi được cải thiện và độ nhót đường lòng lớn hơn, mà tạo ra thủy tinh bền hơn về mặt cơ học có thể được sản xuất bằng quy trình tạo hình nung chuốt. Các hợp phần thủy tinh thích hợp để sử dụng các ứng dụng khác nhau bao gồm, nhưng không giới hạn, như thủy tinh phủ cho thiết bị điện tử. Các hợp phần thủy tinh cũng được gia cường hóa học nhờ đó tăng độ bền cơ học cho thủy tinh. Các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây có thể thường được mô tả là lithi aluminosilicat bão hòa nhôm. Vì thế các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây chứa silic đioxit (SiO_2), alumin (Al_2O_3), và lithi oxit (Li_2O). Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể cũng bao gồm oxit kim loại kiềm ngoài lithi oxit (như Na_2O , và/hoặc K_2O chẳng hạn), và oxit kim loại kiềm thổ (như MgO và/hoặc CaO chẳng hạn) với lượng mà tạo độ bền hóa học và độ bền cơ học cho hợp phần thủy tinh và độ nhót đường lòng đủ để cho phép hợp phần thủy tinh được sản xuất bằng cách sử dụng quy

trình tạo hình nung chuốt. Ngoài ra, các oxit kim loại kiềm có mặt trong các hợp phần thủy tinh hỗ trợ việc gia cường hóa học cho các hợp phần thủy tinh bằng cách trao đổi ion. Theo một số phương án, hợp phần thủy tinh có thể bao gồm P_2O_5 , B_2O_3 , hoặc cả hai, mà có thể được kết hợp vào trong hợp phần thủy tinh để cải thiện độ nhớt đường lỏng, độ bền chống hư hại, hoặc cả hai. Các phương án khác nhau của các hợp phần thủy tinh sẽ được mô tả ở đây và được minh họa thêm bằng cách tham khảo các ví dụ cụ thể.

Thuật ngữ “điểm hóa mềm,” như được sử dụng ở đây, để chỉ nhiệt độ mà tại đó độ nhớt của hợp phần thủy tinh là $10^{7,6}$ poa.

Thuật ngữ “điểm ủ,” như được sử dụng ở đây, để chỉ nhiệt độ được xác định theo ASTM C598-93, tại đó độ nhớt của thủy tinh của hợp phần thủy tinh cho trước là khoảng $10^{13,2}$ poa.

Thuật ngữ “ T_{12} ,” như được sử dụng ở đây, để chỉ nhiệt độ được xác định theo ASTM C598-93, tại đó độ nhớt của thủy tinh trong hợp phần thủy tinh cho trước là khoảng 10^{12} poa.

Thuật ngữ “điểm biến dạng” và “ $T_{\text{biến dạng}}$ ” như được sử dụng ở đây, để chỉ nhiệt độ được xác định theo ASTM C598-93, tại đó độ nhớt của thủy tinh của hợp phần thủy tinh cho trước là khoảng $10^{14,7}$ poa.

Thuật ngữ “nhiệt độ đường lỏng” để chỉ nhiệt độ mà trên nhiệt độ đó hợp phần thủy tinh ở thể lỏng hoàn toàn không có sự kết tinh của các thành phần cấu thành của thủy tinh. Nhiệt độ ở thể lỏng của tinh được đo tuân theo tiêu chuẩn ASTM C829-81 (2015), với tiêu đề tài liệu là “Standard Practice for Measurement of Liquidus Temperature of Glass by the Gradient Furnace Method”.

Thuật ngữ “độ nhớt đường lỏng” để chỉ độ nhớt của hợp phần thủy tinh khi ở nhiệt độ đường lỏng của hợp phần thủy tinh. Độ nhớt đường lỏng của thủy tinh ở nhiệt độ đường lỏng được đo theo ASTM C965-96(2012), có tên “Standard Practice for Measuring Viscosity of Glass Above the Softening Point”.

Thuật ngữ “CTE,” như được sử dụng ở đây, để chỉ hệ số giãn nở nhiệt tuyến tính của hợp phần thủy tinh nhiệt độ trong khoảng từ nhiệt độ trong phòng (RT) đến 300°C và được xác định bằng cách sử dụng dụng cụ đo độ giãn nở kiểu thanh đẩy theo ASTM E228-11.

Theo các phương án của các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây, nồng độ của các thành phần cấu thành (ví dụ, SiO_2 , Al_2O_3 , và các chất tương tự) được định rõ theo phần trăm

mol (% mol) trên cơ sở oxit, trừ khi được quy định cụ thể. Phần trăm mol của thành phần trong hợp phần thủy tinh để chỉ số mol của thành phần đó trong mỗi đơn vị mol của hợp phần thủy tinh nhân với 100.

Thuật ngữ “bảo hòa nhôm” như được sử dụng ở đây để chỉ thủy tinh trong đó Al_2O_3 (% mol) lớn hơn tổng % mol R_2O (oxit kim loại kiềm) và % mol RO (oxit kim loại kiềm và ZnO).

Thuật ngữ “không chứa” và “về cơ bản không chứa,” khi được sử dụng để mô tả nồng độ và/hoặc sự vắng mặt của một thành phần cấu thành cụ thể trong hợp phần thủy tinh, có nghĩa là thành phần cấu thành này không được chủ ý thêm vào hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, hợp phần thủy tinh có thể chứa vết của thành phần cấu thành này ở dạng tạp chất hoặc chất tạp tán với lượng nhỏ hơn 0,05 % mol.

Thuật ngữ “chất tạp tán” khi được sử dụng để mô tả một thành phần cấu thành cụ thể trong hợp phần thủy tinh, để chỉ thành phần cấu thành mà không được chủ ý thêm vào hợp phần thủy tinh và có mặt với lượng nhỏ hơn 0,05 % mol. Các thành phần tạp tán theo cách không chủ ý có thể được thêm vào hợp phần thủy tinh ở dạng tạp chất trong thành phần cấu thành khác hoặc thông qua việc di chuyển của thành phần chất tạp tán vào trong hợp phần trong quá trình gia công hợp phần thủy tinh.

Các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây là các hợp phần thủy tinh lithi aluminosilicat bảo hòa nhôm mà thường bao gồm tổ hợp của SiO_2 , Al_2O_3 , và Li_2O , và theo một số phương án, có thể bao gồm các oxit kim loại kiềm bổ sung Na_2O , và/hoặc K_2O . Các hợp phần thủy tinh thích hợp để gia cường hóa học bằng cách trao đổi ion và có độ nhớt đường lỏng đủ cao sao cho các hợp phần thủy tinh này có thể được tạo ra bằng quy trình tạo hình nung chuốt. Sau khi trao đổi ion, thủy tinh thu được thể hiện tính năng chịu rơi tốt hơn so với thủy tinh phủ thông thường cho thiết bị điện tử cầm tay. Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh cũng có thể bao gồm P_2O_5 , B_2O_3 , ít nhất một oxit kim loại kiềm thổ, hoặc tổ hợp của chúng. Các thành phần này có thể được bổ sung để làm tăng thêm độ nhớt đường lỏng và/hoặc cải thiện độ bền cơ học và tính năng chịu rơi của thủy tinh. Theo một số phương án các hợp phần thủy tinh có thể còn chứa lượng ít hơn của một hoặc nhiều oxit bổ sung như, ví dụ, SnO_2 , ZrO_2 , ZnO , TiO_2 , As_2O_3 hoặc tương tự, như được mô tả ở đây. Các thành phần này cũng có thể được bổ sung dưới dạng chất làm sạch và/hoặc để cải thiện thêm độ bền hóa học của thủy tinh thu được.

Trong các phương án của các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây, SiO_2 là thành phần nhiều nhất của hợp phần và, do đó, là thành phần chính của mạng thủy tinh thu được. SiO_2 tăng cường độ bền hóa học của thủy tinh và khả năng chống chịu của hợp phần thủy tinh không bị phân hủy thành axit và khả năng chống chịu của hợp phần thủy tinh không bị phân hủy trong nước. Nếu hàm lượng của SiO_2 quá thấp, độ bền hóa học và độ chống chịu hóa học của thủy tinh có thể bị giảm và thủy tinh có thể dễ bị ăn mòn. Do đó, nồng độ SiO_2 cao thường được mong muốn. Tuy nhiên, nếu hàm lượng SiO_2 quá cao, khả năng tạo thành thủy tinh có thể bị giảm do các nồng độ SiO_2 cao hơn làm tăng độ khó của việc làm nóng chảy thủy tinh mà do đó sẽ gây tác động bất lợi cho việc hình thành thủy tinh. Trong các phương án khác được mô tả ở đây, hợp phần thủy tinh thường chứa SiO_2 với lượng lớn hơn hoặc bằng 50 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 80 % mol, nhỏ hơn hoặc bằng 75 % mol, nhỏ hơn hoặc bằng 74 % mol, nhỏ hơn hoặc bằng 72 % mol, hoặc thậm chí nhỏ hơn hoặc bằng 70 % mol và các khoảng hoặc khoảng nhỏ bất kỳ giữa các khoảng này. Theo một số phương án, lượng SiO_2 trong hợp phần thủy tinh có thể lớn hơn khoảng 58 % mol, lớn hơn khoảng 65 % mol, hoặc thậm chí lớn hơn khoảng 67 % mol. Theo một số phương án khác, lượng SiO_2 trong hợp phần thủy tinh có thể lớn hơn 70 % mol, lớn hơn 72 % mol, hoặc thậm chí lớn hơn 74 % mol. Ví dụ, theo một số phương án, hợp phần thủy tinh có thể bao gồm từ khoảng 58 % mol đến khoảng 80 % mol, từ khoảng 58 % mol đến khoảng 75 % mol, từ khoảng 58 % mol đến khoảng 74 % mol, từ khoảng 58 % mol đến khoảng 72 % mol, hoặc thậm chí từ khoảng 58 % mol đến khoảng 70 % mol SiO_2 . Theo một số phương án khác, hợp phần thủy tinh có thể bao gồm từ khoảng 65 % mol đến khoảng 80 % mol, từ 65 % mol đến khoảng 75 % mol, từ khoảng 65 % mol đến khoảng 74 % mol, từ khoảng 65 % mol đến khoảng 72 % mol, hoặc thậm chí từ khoảng 65 % mol đến khoảng 70 % mol SiO_2 . Theo một số phương án khác, hợp phần thủy tinh có thể bao gồm từ khoảng 67 % mol đến khoảng 80 % mol, từ khoảng 67 % mol đến khoảng 75 % mol, từ khoảng 67 % mol đến khoảng 74 % mol, từ khoảng 67 % mol đến khoảng 72 % mol, hoặc thậm chí từ khoảng 67 % mol đến khoảng 70 % mol SiO_2 . Theo các phương án khác nữa, hợp phần thủy tinh có thể chứa lớn hơn hoặc bằng 58 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 74 % mol SiO_2 . Theo một số phương án, hợp phần thủy tinh chứa lớn hơn hoặc bằng 65 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 72 % mol SiO_2 . Trong các phương án khác nữa, hợp phần thủy tinh có thể chứa lớn hơn hoặc bằng 67 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 70 % mol SiO_2 . Theo một số phương án, % mol của SiO_2 trong thủy tinh đáp ứng phương trình sau:

$$\text{SiO}_2 (\% \text{ mol}) \geq [4 * \text{Li}_2\text{O} + 6 * (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) + 2,5 * \text{MgO} + 2 * (\text{CaO} + \text{SrO} + \text{BaO})] (\% \text{ mol}).$$

Không bị ràng buộc bởi giả thuyết, người ta tin rằng hàm lượng silic đioxit nên đáp ứng phương trình trên để ngăn chặn việc kết tinh vật liệu chịu lửa giàu alumin.

Các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây có thể còn bao gồm Al_2O_3 . Al_2O_3 , kết hợp với oxit kim loại kiềm có mặt trong các hợp phần thủy tinh như Li_2O , hoặc các chất tương tự, cải thiện độ nhạy cảm của thủy tinh để gia cường bằng cách trao đổi ion. Cụ thể hơn, việc tăng lượng Al_2O_3 trong các hợp phần thủy tinh làm tăng tốc độ trao đổi ion ở thủy tinh và tăng ứng suất nén được tạo ra trong lớp chịu nén của thủy tinh do kết quả của việc trao đổi ion. Oxit kim loại kiềm được bù bằng Al_2O_3 thể hiện độ di động tốt hơn trong quá trình trao đổi ion so với các oxit kim loại kiềm không được bù Al_2O_3 . Al_2O_3 có thể làm tăng độ cứng và độ bền chống hư hại của thủy tinh. Tuy nhiên, độ nhót đường lỏng của thủy tinh giảm cùng với việc tăng nồng độ của Al_2O_3 trong hợp phần thủy tinh. Nếu nồng độ của Al_2O_3 trong các hợp phần thủy tinh quá lớn, độ nhót đường lỏng của hợp phần thủy tinh giảm, mà có thể làm cho hợp phần thủy tinh kết tinh trong quá trình sản xuất theo quy trình nung chuốt. Trong các phương án được mô tả ở đây, Al_2O_3 có mặt trong các hợp phần thủy tinh ở dạng Al_2O_3 (% mol), trong khi oxit kim loại kiềm có mặt trong các hợp phần thủy tinh ở dạng R_2O (% mol), trong đó R_2O (% mol) là bằng tổng các phần mol của Li_2O , Na_2O , K_2O , Rb_2O , và Cs_2O .

Theo một số phương án, tỷ lệ mol (Al_2O_3 (% mol))/(R_2O (% mol)) trong các hợp phần thủy tinh lớn hơn hoặc bằng 1 để bù hoàn toàn oxit kim loại kiềm bằng Al_2O_3 và hỗ trợ tính nhạy cảm nêu trên để gia cường bằng cách trao đổi ion. Nói theo cách khác, các hợp phần thủy tinh có thể có (Al_2O_3 (% mol) - R_2O (% mol)) lớn hơn hoặc bằng 0, trong đó R_2O là tổng các lượng mol của Li_2O , Na_2O , K_2O , Rb_2O , và Cs_2O trong hợp phần thủy tinh. Cụ thể, hệ số khuếch tán hoặc độ khuếch tán **D** của các hợp phần thủy tinh liên quan đến tỷ lệ tại đó các ion kim loại kiềm ngấm vào trong bề mặt thủy tinh trong quá trình trao đổi ion. Hợp phần thủy tinh có tỷ lệ (Al_2O_3 (% mol))/(R_2O (% mol)) bằng 1 hoặc có độ khuếch tán lớn hơn (tức là độ linh động) của ion oxit kim loại kiềm thông qua các hợp phần thủy tinh so với thủy tinh có tổng hàm lượng kim loại kiềm (R_2O (% mol)) nhưng tỷ lệ (Al_2O_3 (% mol))/(R_2O (% mol)) nhỏ hơn 1 hoặc lớn hơn 1. Thủy tinh mà trong đó các ion kim loại kiềm có độ khuếch tán lớn hơn có thể thu được độ sâu của lớp lớn hơn trong khoảng thời gian ngâm trao đổi ion và nhiệt độ trao đổi cho trước hơn so với thủy tinh trong đó các ion kim loại kiềm có độ khuếch tán thấp hơn.

Trong các phương án được mô tả ở đây, oxit kim loại kiềm thổ (ví dụ, BeO , MgO , CaO , SrO , và BaO) và/hoặc oxit kẽm (ZnO) có thể có mặt trong hợp phần thủy tinh. Tổng

lượng oxit kim loại kiềm thổ và ZnO trong các hợp phần thủy tinh có thể là RO (% mol). Tổng lượng oxit kim loại kiềm thổ không có BeO và ZnO (tức là, RO (% mol) – BeO(% mol) – ZnO(% mol)) có thể là A % mol. Việc tăng lượng Al₂O₃ trong các hợp phần thủy tinh cải thiện việc trao đổi ion trong hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, nhiệt độ đường lỏng tăng nhanh khi Al₂O₃ (% mol) vượt quá (R₂O (% mol)+RO (% mol)) lớn hơn khoảng 1 hoặc 2 % mol. BeO và ZnO có thể không hoạt động như các oxit kim loại kiềm thổ khác và có thể không ảnh hưởng nhiều đến đặc điểm trao đổi ion hoặc nhiệt độ đường lỏng như các oxit kim loại kiềm thổ khác. Vì thế, nhiệt độ đường lỏng có thể tăng nhanh khi Al₂O₃ (% mol) vượt quá (R₂O (% mol)+A (% mol)). Khi nhiệt độ đường lỏng của thủy tinh tăng, thì độ nhớt đường lỏng của thủy tinh giảm. Nếu lượng Al₂O₃ trong hợp phần thủy tinh quá cao, thì sau đó nhiệt độ đường lỏng tăng đến điểm mà thủy tinh không còn có thể tạo thành bằng cách nung chảy trong quá trình nung chuốt do việc hóa mờ của thủy tinh. Việc hóa mờ để chỉ việc kết tinh của một hoặc nhiều thành phần của hợp phần thủy tinh trong quá trình tạo thành (ví dụ, tạo thành cristobalit, spodumen mullit, rutin, corundum, và thành phần kết tinh khác, hoặc tổ hợp của chúng). Vì thế, theo một số phương án, Al₂O₃ (% mol) trong các hợp phần thủy tinh có thể không vượt quá tổng (R₂O (% mol)+RO (% mol)) hoặc (R₂O (% mol)+A (% mol)) hơn khoảng 10 % mol. Theo một số phương án, Al₂O₃ (% mol) không vượt quá tổng (R₂O (% mol)+RO (% mol)) hoặc (R₂O (% mol)+A (% mol)) nhiều hơn khoảng 5 % mol, nhiều hơn khoảng 2 % mol, hoặc thậm chí nhiều hơn khoảng 1 % mol. Ví dụ, các hợp phần thủy tinh có thể có (Al₂O₃ (% mol) – R₂O (% mol) – RO (% mol)) nhỏ hơn hoặc bằng 10 % mol, nhỏ hơn hoặc bằng 5 % mol, nhỏ hơn hoặc bằng 2 % mol, hoặc thậm chí nhỏ hơn hoặc bằng 1 % mol, trong đó RO (% mol) là tổng các lượng mol của BeO, MgO, CaO, SrO, BaO, và ZnO. Theo một số phương án, (Al₂O₃ (% mol) – R₂O (% mol) – RO (% mol)) có thể lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 10 % mol, lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 5 % mol, lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 2 % mol, hoặc thậm chí lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 1 % mol. Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể hầu như không chứa oxit phospho (P₂O₅). Trong các phương án này trong đó P₂O₅ không có mặt trong hợp phần thủy tinh để bù Al₂O₃ dư, lượng (Al₂O₃ (% mol) – R₂O (% mol) – RO (% mol)) có thể nhỏ hơn hoặc bằng 4 % mol, nhỏ hơn hoặc bằng 2 % mol, hoặc thậm chí nhỏ hơn hoặc bằng 1 % mol trong hợp phần thủy tinh.

Các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây thường bao gồm Al₂O₃ với lượng lớn hơn hoặc bằng khoảng 2 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 25 % mol hoặc lớn hơn hoặc bằng

khoảng 7 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 25 % mol và các khoảng hoặc khoảng con bất kỳ trong khoảng này. Theo một số phương án, lượng Al_2O_3 trong các hợp phần thủy tinh có thể lớn hơn hoặc bằng khoảng 10 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 18 % mol. Theo một số phương án khác, lượng Al_2O_3 trong các hợp phần thủy tinh có thể lớn hơn hoặc bằng khoảng 12 % mol đến nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 16 % mol. Theo một số phương án khác, lượng Al_2O_3 trong các hợp phần thủy tinh có thể lớn hơn hoặc bằng khoảng 10 % mol đến nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 16 % mol. Theo các phương án khác nữa, lượng Al_2O_3 trong các hợp phần thủy tinh có thể lớn hơn hoặc bằng khoảng 12 % mol đến nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 18 % mol.

Các hợp phần thủy tinh cũng bao gồm một hoặc nhiều oxit kim loại kiềm. Oxit kim loại kiềm hỗ trợ khả năng trao đổi ion của các hợp phần thủy tinh và, chẳng hạn, hỗ trợ việc gia cường hóa học cho thủy tinh. Oxit kim loại kiềm có thể bao gồm một hoặc nhiều trong số Li_2O , Na_2O , K_2O , Rb_2O , và Cs_2O . Như đã được đề cập ở trên, oxit kim loại kiềm thường có mặt trong các hợp phần thủy tinh ở tổng nồng độ của R_2O % mol. Việc tăng lượng oxit kim loại kiềm cải thiện việc trao đổi ion ở thủy tinh thu được. Tuy nhiên, nếu lượng oxit kim loại kiềm quá cao, như lớn hơn 14 % mol, độ nhớt đường lỏng của hợp phần thủy tinh sẽ giảm. Khi độ nhớt đường lỏng giảm, sẽ làm giảm nhiệt độ của các hợp phần thủy tinh nóng chảy để làm tăng độ nhớt cho quá trình tạo thành theo cách nung chảy dẫn đến việc hóa mờ trong các hợp phần thủy tinh trong quá trình tạo thành. Vì thế, theo một số phương án, hợp phần thủy tinh có thể có nhỏ hơn hoặc bằng 14 % mol R_2O (% mol). Theo một số phương án, hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn hoặc bằng 7 (% mol) và nhỏ hơn hoặc bằng 14 (% mol) R_2O .

Khả năng trao đổi ion của thủy tinh được tạo thành từ các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây chủ yếu được tác động đến thủy tinh bằng lượng oxit kim loại kiềm Li_2O ban đầu có mặt trong các hợp phần thủy tinh trước khi trao đổi ion. Do đó, trong các phương án của các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây, oxit kim loại kiềm có mặt trong các hợp phần thủy tinh bao gồm ít nhất là Li_2O . Các ion lithi nhỏ hơn các ion kim loại kiềm, như các ion natri (Na^+), ion kali (K^+), các ion rubiđi (Rb^+), và ion xesi (Cs^+) ví dụ. Khi thủy tinh được tạo thành từ các hợp phần thủy tinh chứa Li_2O được trao đổi ion với các ion natri hoặc kali, việc trao đổi ion của các ion natri và/hoặc kali lớn hơn đối với các ion lithi nhỏ hơn diễn ra nhanh so với việc trao đổi ion của các ion natri và/hoặc kali với các ion natri hoặc kali khác. Vì thế, lượng Li_2O trong các hợp phần thủy tinh lớn hơn so với các oxit kim loại kiềm dẫn đến hiệu suất

trao đổi ion tốt hơn của thủy tinh tạo thành. Ví dụ, việc trao đổi ion của các ion lithi trong thủy tinh với các ion natri và/hoặc kali trong ứng suất nén lớn hơn và độ sâu lớn hơn của lớp chịu nén của thủy tinh so với việc trao đổi ion của các ion kim loại kiềm khác trong thủy tinh với các ion natri và/hoặc kali. Khi việc trao đổi ion thủy tinh với các ion natri, lượng Li_2O lớn hơn trong thủy tinh so với các oxit kim loại kiềm khác, ứng suất nén lớn hơn trên bề mặt. Do đó, oxit kim loại kiềm có thể tạo ra oxy không tạo cầu trong mạng thủy tinh mà có thể làm giảm độ bền hóa học, làm giảm độ nhót, và làm chậm lại quá trình trao đổi ion. Vì thế, để đạt được độ bền và độ sâu của lớp nén mong muốn trong thủy tinh khi gia cường bằng cách trao đổi ion, trong các phương án, tỷ lệ mol của Li_2O với tổng R_2O trong các hợp phần thủy tinh lớn hơn hoặc bằng 0,35, trong đó R_2O là tổng lượng mol của oxit kim loại kiềm Li_2O , Na_2O , K_2O , Rb_2O , và Cs_2O trong các hợp phần thủy tinh (tức là, $(\text{Li}_2\text{O} (\% \text{ mol})) / (\text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol}))$ lớn hơn hoặc bằng 0,35). Nếu tỷ lệ mol của Li_2O và R_2O trong hợp phần thủy tinh nhỏ hơn 0,35, ứng suất nén thu được từ quá trình trao đổi ion bị giảm dẫn đến thủy tinh yếu hơn và giảm tính năng chịu rơi của thủy tinh. Theo một số phương án, tỷ lệ mol của Li_2O và R_2O trong các hợp phần thủy tinh có thể lớn hơn hoặc bằng 0,4, lớn hơn hoặc bằng 0,5, lớn hơn hoặc bằng 0,6, lớn hơn hoặc bằng 0,7, hoặc thậm chí lớn hơn hoặc bằng 0,8.

Cụ thể, để đạt được ứng suất nén và độ sâu chịu nén mong muốn trong thủy tinh khi gia cường bằng cách trao đổi ion, trong các phương án, các hợp phần thủy tinh bao gồm Li_2O với lượng từ khoảng 2 % mol đến khoảng 15 % mol hoặc từ khoảng 2 % mol đến khoảng 14 % mol và tất cả các khoảng và khoảng con trong đó. Nếu lượng Li_2O trong các hợp phần thủy tinh quá thấp, như nhỏ hơn 2 % mol ví dụ, tốc độ trao đổi ion trong thủy tinh giảm và ứng suất nén trong thủy tinh được tạo ra bằng cách trao đổi ion cũng giảm. Nếu lượng Li_2O trong các hợp phần thủy tinh quá cao, như lớn hơn 14 % mol hoặc 15 % mol ví dụ, thì độ nhót đường lỏng của các hợp phần thủy tinh giảm và thủy tinh có thể kết tinh trong quá trình tạo thành bằng cách nung chảy. Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh bao gồm ít nhất khoảng 4 % mol Li_2O . Ví dụ, nồng độ của Li_2O trong các hợp phần thủy tinh có thể lớn hơn 5 % mol, hoặc lớn hơn 6 % mol. Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể có lớn hơn hoặc bằng 4 % mol Li_2O , lớn hơn hoặc bằng 5 % mol Li_2O , hoặc thậm chí lớn hơn hoặc bằng 6 % mol Li_2O . Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh bao gồm nhỏ hơn khoảng 12 % mol Li_2O , nhỏ hơn khoảng 10 % mol Li_2O , hoặc thậm chí nhỏ hơn khoảng 9 % mol Li_2O . Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể có nhỏ hơn hoặc bằng 14 % mol Li_2O , nhỏ hơn hoặc bằng 12 % mol Li_2O , nhỏ hơn hoặc bằng 10 % mol Li_2O , hoặc thậm

chí nhỏ hơn hoặc bằng 9 % mol Li_2O . Ví dụ, theo một số phương án các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn hoặc bằng 2 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 14 % mol Li_2O , lớn hơn hoặc bằng 4 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 12 % mol Li_2O , lớn hơn hoặc bằng 5 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 10 % mol Li_2O , hoặc thậm chí lớn hơn hoặc bằng 6 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 9 % mol Li_2O .

Như đã lưu ý ở trên, oxit kim loại kiềm trong các hợp phần thủy tinh có thể còn bao gồm Na_2O . Lượng Na_2O có mặt trong các hợp phần thủy tinh cũng liên quan đến khả năng trao đổi ion của thủy tinh được chế tạo từ các hợp phần thủy tinh. Cụ thể, việc có mặt của Na_2O trong các hợp phần thủy tinh có thể làm tăng tốc độ trao đổi ion trong quá trình gia cường bằng cách trao đổi ion của thủy tinh bằng việc tăng độ khuếch tán của ion qua chất nền thủy tinh. Tuy nhiên, do lượng Na_2O có mặt trong các hợp phần thủy tinh tăng, ứng suất nén có thể thu được trong thủy tinh thông qua việc trao đổi ion giảm là kết quả của việc trao đổi của các ion natri này với các ion natri khác. Ví dụ, việc trao đổi ion của ion natri này với ion natri khác có cùng kích thước dẫn đến việc không có sự gia tăng thực về ứng suất nén trong lớp chịu nén. Vì thế, việc tăng lượng Na_2O trong các hợp phần thủy tinh làm giảm ứng suất nén được tạo ra trong thủy tinh bằng cách trao đổi ion. Do đó, mong muốn hạn chế lượng Na_2O có mặt trong hợp phần thủy tinh. Theo một số phương án, lượng Na_2O lớn hơn hoặc bằng 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 6 % mol và tất cả các khoảng và khoảng con trong đó. Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh bao gồm ít nhất khoảng 0,1 % mol Na_2O . Ví dụ, các hợp phần thủy tinh có thể có lớn hơn hoặc bằng 0,1 % mol Na_2O , lớn hơn hoặc bằng 0,2 % mol Na_2O , lớn hơn hoặc bằng 0,3 % mol Na_2O , lớn hơn hoặc bằng 0,5 % mol Na_2O , lớn hơn hoặc bằng 1 % mol Na_2O , hoặc thậm chí lớn hơn hoặc bằng 1,5 % mol Na_2O . Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm nhỏ hơn hoặc bằng 6 % mol Na_2O , nhỏ hơn hoặc bằng 5 % mol Na_2O , hoặc thậm chí nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 4 % mol Na_2O . Ví dụ, theo một số phương án các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn hoặc bằng 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 6 % mol Na_2O , lớn hơn hoặc bằng 0,1 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 6 % mol Na_2O , lớn hơn hoặc bằng 0,2 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 5 % mol Na_2O , lớn hơn hoặc bằng 0,3 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 4 % mol Na_2O , lớn hơn hoặc bằng 0,5 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 6 % mol Na_2O , lớn hơn hoặc bằng 1 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 6 % mol Na_2O , hoặc lớn hơn hoặc bằng 1,5 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 6 % mol Na_2O . Do đó, nên hiểu rằng Na_2O không cần phải có mặt trong hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, khi Na_2O

được bao gồm trong hợp phần thủy tinh, lượng Na_2O trong các hợp phần thủy tinh thường nhỏ hơn khoảng 6 % mol.

Như đã lưu ý ở trên, oxit kim loại kiềm trong các hợp phần thủy tinh có thể còn bao gồm K_2O . Lượng K_2O có mặt trong các hợp phần thủy tinh cũng liên quan đến khả năng trao đổi ion của hợp phần thủy tinh. Cụ thể, khi lượng K_2O có mặt trong các hợp phần thủy tinh tăng, ứng suất nén trong thủy tinh có thể thu được bằng cách trao đổi ion giảm là kết quả của việc trao đổi của các ion kali và natri. Do đó, mong muốn hạn chế lượng K_2O có mặt trong hợp phần thủy tinh. Theo một số phương án, lượng K_2O trong các hợp phần thủy tinh lớn hơn hoặc bằng 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 2,5 % mol và tất cả các khoảng và khoảng con trong đó. Theo một số phương án, lượng K_2O trong các hợp phần thủy tinh nhỏ hơn hoặc bằng 1 % mol hoặc thậm chí nhỏ hơn hoặc bằng 0,25 % mol. Theo các phương án, các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn hoặc bằng khoảng 0,01 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 2,5 % mol K_2O , lớn hơn hoặc bằng khoảng 0,01 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 1 % mol K_2O , hoặc thậm chí lớn hơn hoặc bằng khoảng 0,01 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 0,25 % mol K_2O . Do đó, nên hiểu rằng K_2O không cần phải có mặt trong hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, khi K_2O được bao gồm trong hợp phần thủy tinh, lượng K_2O thường nhỏ hơn khoảng 2,5 % mol.

Các hợp phần thủy tinh cũng có thể bao gồm oxit phospho (P_2O_5). Việc có mặt của P_2O_5 làm tăng độ nhót đường lỏng của các hợp phần thủy tinh bằng cách ức chế sự kết tinh của mullit trong hợp phần thủy tinh. Nhiệt độ đường lỏng của các hợp phần thủy tinh tăng nhanh khi lượng Al_2O_3 cao hơn tổng lượng các oxit kim loại kiềm (R_2O % mol) và oxit kim loại kiềm thổ (RO % mol) trong hợp phần thủy tinh nhiều hơn khoảng 2 % mol, hoặc thậm chí nhiều hơn khoảng 1 % mol. Khi Al_2O_3 (% mol) lớn hơn (R_2O (% mol) + RO (% mol)) nhiều hơn khoảng 1 % mol, việc có mặt P_2O_5 trong hợp phần thủy tinh bù cho Al_2O_3 dư bằng cách làm giảm nhiệt độ đường lỏng, vì thế, tăng độ nhót đường lỏng của hợp phần thủy tinh. Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể có lượng P_2O_5 đủ để bù cho Al_2O_3 dư. Ví dụ, trong một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể có lượng P_2O_5 đủ sao cho (Al_2O_3 (% mol) – R_2O (% mol) – RO (% mol) – P_2O_5 (% mol)) nhỏ hơn hoặc bằng 2 hoặc thậm chí nhỏ hơn hoặc bằng 1. Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể có lượng P_2O_5 sao cho (Al_2O_3 (% mol) – R_2O (% mol) – RO (% mol) – P_2O_5 (% mol)) lớn hơn hoặc bằng -2 hoặc thậm chí lớn hơn hoặc bằng -1. Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể có lượng P_2O_5 thích hợp sao cho (Al_2O_3 (% mol) – R_2O (% mol) – RO (% mol) – P_2O_5 (% mol))

mol)) lớn hơn hoặc bằng -2 và nhỏ hơn hoặc bằng 2, hoặc thậm chí lớn hơn hoặc bằng -1 và nhỏ hơn hoặc bằng 1. Theo một số phương án, việc có mặt của P_2O_5 cũng đạt được hiệu quả được nêu trên, khi tỷ lệ của P_2O_5 (% mol)/[(Al_2O_3 - R_2O - RO)](% mol) là trong khoảng từ 0,25 đến 1,5, từ 0,25 đến 1,4, từ 0,25 đến 1,3, từ 0,25 đến 1,25, từ 0,25 đến 1,2, từ 0,25 đến 1,1, từ 0,25 đến 1, từ 0,25 đến 0,9, từ 0,25 đến 0,8, từ 0,25 đến 0,7, từ 0,25 đến 0,6, từ 0,5 đến 1,5, từ 0,5 đến 1,4, từ 0,5 đến 1,3, từ 0,5 đến 1,25, từ 0,5 đến 1,2, từ 0,5 đến 1,1, từ 0,5 đến 1, từ 0,5 đến 0,9, từ 0,5 đến 0,8, từ 0,5 đến 0,7, từ 0,5 đến 0,6, từ 0,6 đến 1,5, từ 0,6 đến 1,4, từ 0,6 đến 1,3, từ 0,6 đến 1,25, từ 0,6 đến 1,2, từ 0,6 đến 1,1, từ 0,6 đến 1, từ 0,6 đến 0,9, từ 0,6 đến 0,8, từ 0,6 đến 0,7, từ 0,7 đến 1,5, từ 0,7 đến 1,4, từ 0,7 đến 1,3, từ 0,7 đến 1,25, từ 0,7 đến 1,2, từ 0,7 đến 1,1, từ 0,7 đến 1, từ 0,7 đến 0,9, từ 0,7 đến 0,8, từ 0,8 đến 1,5, từ 0,8 đến 1,4, từ 0,8 đến 1,3, từ 0,8 đến 1,25, từ 0,8 đến 1,2, từ 0,8 đến 1,1, từ 0,8 đến 1, từ 0,8 đến 0,9, từ 0,9 đến 1,5, từ 0,9 đến 1,4, từ 0,9 đến 1,3, từ 0,9 đến 1,25, từ 0,9 đến 1,2, từ 0,9 đến 1,1, hoặc từ 0,9 đến 1, và tất cả các khoảng và khoảng con trong đó. Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh không bao gồm P_2O_5 , và như được mô tả như trên, với sự vắng mặt của P_2O_5 , các hợp phần thủy tinh có (Al_2O_3 (% mol) - R_2O (% mol) - RO (% mol)) lớn hơn hoặc bằng 0 và nhỏ hơn hoặc bằng 2, hoặc thậm chí lớn hơn hoặc bằng 0 và nhỏ hơn hoặc bằng 1.

Lượng P_2O_5 cũng liên quan đến khả năng trao đổi ion của thủy tinh được chế tạo từ hợp phần thủy tinh. Việc tăng lượng P_2O_5 trong các hợp phần thủy tinh có thể làm tăng tốc độ trao đổi ion trong thủy tinh bằng cách tăng khoảng trống trong mạng lưới thủy tinh. P_2O_5 cũng góp phần vào việc tăng cường độ bền chống hư hại của thủy tinh được chế tạo từ hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, việc tăng lượng P_2O_5 trong các hợp phần thủy tinh giảm lượng ứng suất nén đạt được thông qua việc gia cường bằng cách trao đổi ion của thủy tinh. Do đó, việc tăng lượng P_2O_5 quá cao có thể gây kết tinh alumin phosphat ($AlPO_4$) ở nhiệt độ cao, mà có thể làm tăng nhiệt độ đường lỏng của hợp phần thủy tinh. Nếu lượng P_2O_5 trong các hợp phần thủy tinh quá cao, thì độ bền của thủy tinh có thể cũng giảm. Vì thế, tổng lượng P_2O_5 trong hợp phần thủy tinh có thể được giới hạn, như nhỏ hơn hoặc bằng 20 % mol ví dụ. Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh bao gồm P_2O_5 với lượng từ khoảng 0,1 % mol đến khoảng 20 % mol và tất cả các khoảng và khoảng con trong đó. Ví dụ, lượng P_2O_5 trong các hợp phần thủy tinh có thể lớn hơn khoảng 0,4 % mol, lớn hơn khoảng 1 % mol, lớn hơn khoảng 3 % mol, hoặc thậm chí lớn hơn khoảng 3,5 % mol. Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể có lớn hơn hoặc bằng 0,1 % mol P_2O_5 , lớn hơn hoặc bằng 0,4 % mol P_2O_5 , lớn hơn hoặc bằng 1 % mol P_2O_5 , lớn hơn hoặc bằng 3 % mol P_2O_5 , hoặc thậm chí lớn

hơn hoặc bằng 3,5 % mol P_2O_5 . Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm nhỏ hơn khoảng 20 % mol P_2O_5 , nhỏ hơn khoảng 10 % mol P_2O_5 , nhỏ hơn khoảng 8 % mol P_2O_5 , nhỏ hơn khoảng 6 % mol P_2O_5 , hoặc thậm chí nhỏ hơn khoảng 5,5 % mol P_2O_5 . Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể có nhỏ hơn hoặc bằng 20 % mol P_2O_5 , nhỏ hơn hoặc bằng 10 % mol P_2O_5 , nhỏ hơn hoặc bằng 8 % mol P_2O_5 , nhỏ hơn hoặc bằng 6 % mol P_2O_5 , hoặc thậm chí nhỏ hơn hoặc bằng 5,5 % mol P_2O_5 . Ví dụ, theo một số phương án các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn hoặc bằng 0,1 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 20 % mol P_2O_5 , lớn hơn hoặc bằng 0,4 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 10 % mol P_2O_5 , lớn hơn hoặc bằng 1 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 8 % mol P_2O_5 , lớn hơn hoặc bằng 3 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 6 % mol P_2O_5 , hoặc thậm chí lớn hơn hoặc bằng 3,5 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 5,5 % mol P_2O_5 . Do đó, nên hiểu rằng P_2O_5 không cần phải có mặt trong hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, khi P_2O_5 được bao gồm trong hợp phần thủy tinh, lượng P_2O_5 trong các hợp phần thủy tinh thường nhỏ hơn khoảng 20 % mol.

Bo oxit (B_2O_3) là chất trợ dung mà có thể được bổ sung vào các hợp phần thủy tinh để làm giảm độ nhớt của thủy tinh ở nhiệt độ cho trước (ví dụ, nhiệt độ tương ứng với độ nhớt là 200 poa, tại đó thủy tinh được nóng chảy và thường là nhiệt độ cao nhất trong lò làm nóng chảy thủy tinh) nhờ đó cải thiện chất lượng và khả năng tạo thành thủy tinh. Việc có mặt của B_2O_3 cũng có thể cải thiện độ bền chống hư hại của thủy tinh được chế tạo từ hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, đã phát hiện ra rằng việc bổ sung B_2O_3 làm giảm đáng kể độ khuếch tán của các ion natri và kali trong hợp phần thủy tinh, mà, sẽ gây ra các tác động bất lợi cho hiệu suất trao đổi ion của thủy tinh thu được. Cụ thể, người ta phát hiện ra rằng việc bổ sung B_2O_3 có thể làm tăng thời gian cần để đạt được độ sâu cho trước cho lớp trong thủy tinh so với các hợp phần thủy tinh không chứa bo. Việc bổ sung B_2O_3 cũng có thể làm tăng nhiệt độ mà tại đó việc trao đổi ion được thực hiện để đạt được tốc độ trao đổi ion cần thiết để đạt được độ sâu mục tiêu trong thủy tinh trong khoảng thời gian cho trước.

Hiệu quả của B_2O_3 về hiệu suất trao đổi ion của thủy tinh có thể được bù bằng cách bổ sung lượng Li_2O và Al_2O_3 lớn hơn vào hợp phần thủy tinh, mà bù cho việc có mặt của B_2O_3 trong hợp phần thủy tinh. Ví dụ, người ta đã xác định được rằng tác động của B_2O_3 lên hiệu suất trao đổi ion của thủy tinh có thể được giảm nhẹ bằng cách kiểm soát tỷ lệ của lượng B_2O_3 với tổng lượng Li_2O và Al_2O_3 trong hợp phần thủy tinh. Cụ thể, người ta đã xác định được rằng khi tổng (Li_2O (% mol) + Al_2O_3 (% mol)) lớn hơn hai lần lượng B_2O_3 (% mol) trong hợp phần thủy tinh, độ khuếch tán của các oxit kim loại kiềm trong thủy tinh thu được không bị

giảm bớt và, như vậy, hiệu suất trao đổi ion của thủy tinh được duy trì. Do đó, theo một số phương án, tỷ lệ của $(\text{Li}_2\text{O} (\% \text{ mol}) + \text{Al}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol})) / (\text{B}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol}))$ trong hợp phần thủy tinh lớn hơn hoặc bằng 2. Ở các tỷ lệ của $(\text{Li}_2\text{O} (\% \text{ mol}) + \text{Al}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol})) / (\text{B}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol}))$ trong hợp phần thủy tinh nhỏ hơn 2, độ khuếch tán của oxit kim loại kiềm trong hợp phần thủy tinh giảm và hiệu suất trao đổi ion cũng giảm.

Theo các phương án được mô tả ở đây, lượng B_2O_3 trong các hợp phần thủy tinh có thể là từ khoảng 0,1 % mol đến khoảng 20 % mol và tất cả các khoảng và khoảng con trong đó. Ví dụ, lượng B_2O_3 trong các hợp phần thủy tinh có thể lớn hơn khoảng 0,1 % mol, lớn hơn khoảng 3 % mol, hoặc thậm chí lớn hơn khoảng 4 % mol. Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể có lớn hơn hoặc bằng 0,1 % mol B_2O_3 , lớn hơn hoặc bằng 3 % mol B_2O_3 , hoặc thậm chí lớn hơn hoặc bằng 4 % mol B_2O_3 . Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh bao gồm nhỏ hơn khoảng 20 % mol B_2O_3 , nhỏ hơn khoảng 15 % mol B_2O_3 , nhỏ hơn khoảng 10 % mol B_2O_3 , hoặc thậm chí nhỏ hơn khoảng 7 % mol B_2O_3 . Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm nhỏ hơn hoặc bằng 20 % mol B_2O_3 , nhỏ hơn hoặc bằng 15 % mol B_2O_3 , nhỏ hơn hoặc bằng 10 % mol B_2O_3 , hoặc thậm chí nhỏ hơn hoặc bằng 7 % mol B_2O_3 . Ví dụ, trong một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn hoặc bằng 0,1 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 20 % mol B_2O_3 , lớn hơn hoặc bằng 3 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 15 % mol B_2O_3 , lớn hơn hoặc bằng 4 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 10 % mol B_2O_3 , hoặc thậm chí lớn hơn hoặc bằng 4 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 7 % mol B_2O_3 . Do đó, nên hiểu rằng B_2O_3 không cần phải có mặt trong hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, khi B_2O_3 được bao gồm trong hợp phần thủy tinh, lượng B_2O_3 trong hợp phần thủy tinh thường nhỏ hơn khoảng 20 % mol.

Các oxit kim loại kiềm thổ có thể có mặt trong các hợp phần thủy tinh để cải thiện khả năng nóng chảy của các vật liệu mẻ thủy tinh và tăng độ bền hóa học của thủy tinh thu được. Cụ thể, việc có mặt lượng nhỏ oxit kim loại kiềm thổ có thể làm tăng độ nhớt đường lỏng của hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, quá nhiều oxit kim loại kiềm thổ trong hợp phần thủy tinh sẽ gây kết tinh aluminosilicat và, vì thế, làm giảm độ nhớt đường lỏng của hợp phần thủy tinh. Việc có mặt của oxit kim loại kiềm thổ có thể cũng tác động đến hiệu suất trao đổi ion của thủy tinh thu được. Ví dụ, trong các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây, tổng lượng (theo % mol) của oxit kim loại kiềm thổ (tức là, $\text{RO} (\% \text{ mol})$) có mặt trong các hợp phần thủy tinh thường nhỏ hơn tổng lượng theo % mol của oxit kim loại kiềm có mặt trong các hợp phần thủy tinh (tức là, $\text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol})$) để cải thiện khả năng trao đổi ion của thủy tinh. Trong các

phương án được mô tả ở đây, các hợp phần thủy tinh thường bao gồm từ khoảng 0 % mol đến khoảng 5 % mol oxit kim loại kiềm thổ và tất cả các khoảng và khoảng con trong đó. Theo một số phương án của các phương án này, lượng oxit kim loại kiềm thổ trong hợp phần thủy tinh có thể là từ khoảng 0 % mol đến khoảng 3 % mol hoặc thậm chí từ khoảng 0 % mol đến khoảng 2 % mol.

Oxit kim loại kiềm thổ trong hợp phần thủy tinh có thể bao gồm BeO, MgO, CaO, SrO, BaO, hoặc tổ hợp của chúng. Theo một số phương án, hợp phần thủy tinh có thể không chứa hoặc hầu như không chứa BaO. Theo một số phương án, oxit kim loại kiềm thổ có thể bao gồm BeO, MgO, CaO, SrO, hoặc tổ hợp của chúng. Ví dụ, theo các phương án được mô tả ở đây oxit kim loại kiềm thổ có thể bao gồm MgO. Theo các phương án, các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn hoặc bằng khoảng 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 5 % mol MgO và tất cả các khoảng và khoảng con trong đó. Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn 0 % mol MgO. Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 5 % mol MgO, lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 3 % mol MgO, hoặc thậm chí lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 0,2 % mol MgO. Do đó, nên hiểu rằng MgO không cần phải có mặt trong hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, khi MgO được bao gồm trong các hợp phần thủy tinh, lượng MgO trong các hợp phần thủy tinh thường nhỏ hơn khoảng 5 % mol.

Theo một số phương án, oxit kim loại kiềm thổ có thể tùy ý bao gồm CaO. Việc có mặt của CaO có thể làm tăng độ nhớt đường lỏng của hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, quá nhiều CaO trong hợp phần thủy tinh có thể làm giảm tốc độ trao đổi ion trong thủy tinh thu được. Theo một số phương án, CaO có thể có mặt trong hợp phần thủy tinh với lượng từ khoảng 0 % mol đến khoảng 4 % mol và tất cả các khoảng và khoảng con trong đó. Ví dụ, lượng CaO có mặt trong hợp phần thủy tinh có thể nhỏ hơn hoặc bằng 4 % mol, nhỏ hơn hoặc bằng 2 % mol, hoặc thậm chí nhỏ hơn hoặc bằng 1 % mol. Theo một số phương án, hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn 0 % mol CaO. Theo một số phương án của các phương án này, hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 4 % mol CaO. Ví dụ, hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 2 % mol CaO hoặc thậm chí lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 1 % mol CaO. Do đó, nên hiểu rằng CaO không cần phải có mặt trong hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, khi CaO được bao gồm trong hợp phần thủy tinh, lượng CaO trong các hợp phần thủy tinh thường nhỏ hơn khoảng 4 % mol.

Theo một số phương án, oxit kim loại kiềm thổ có thể còn tùy ý bao gồm SrO. Việc có mặt của SrO có thể tác động đến việc tăng độ nhớt đường lỏng của hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, quá nhiều SrO trong hợp phần thủy tinh có thể làm giảm tốc độ trao đổi ion ở thủy tinh thu được. Theo các phương án, SrO có thể có mặt trong hợp phần thủy tinh với lượng từ khoảng 0 % mol đến nhỏ hơn hoặc bằng 4 % mol và tất cả các khoảng và khoảng con trong đó. Ví dụ, lượng SrO có mặt trong hợp phần thủy tinh có thể nhỏ hơn hoặc bằng 4 % mol, nhỏ hơn hoặc bằng 2 % mol, hoặc thậm chí nhỏ hơn hoặc bằng 1 % mol. Theo một số phương án, hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn 0 % mol SrO. Theo một số phương án của các phương án này, hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 4 % mol SrO. Ví dụ, hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 2 % mol SrO hoặc thậm chí lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 1 % mol SrO. Do đó, nên hiểu rằng SrO không cần phải có mặt trong hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, khi SrO được bao gồm trong hợp phần thủy tinh, lượng SrO trong các hợp phần thủy tinh thường nhỏ hơn khoảng 4 % mol.

Ngoài SiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 , B_2O_3 , oxit kim loại kiềm, và oxit kim loại kiềm thổ, các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây có thể còn tùy ý bao gồm một hoặc nhiều chất làm sạch như, ví dụ, SnO_2 , As_2O_3 , và/hoặc Cl^- (từ NaCl hoặc chất tương tự). Chất làm sạch có thể được bao gồm trong hợp phần thủy tinh để giảm thiểu hoặc loại bỏ bọt khí trong hợp phần thủy tinh trong quá trình tạo hình. Tuy nhiên, chất làm sạch thường có độ hòa tan trong hợp phần thủy tinh. Vì thế, nếu lượng chất làm sạch trong hợp phần thủy tinh quá lớn, việc hóa mờ của chất làm sạch có thể diễn ra trong quá trình tạo hình nung chảy. Khi chất làm sạch có mặt trong hợp phần thủy tinh, chất làm sạch này có thể có mặt với lượng nhỏ hơn hoặc bằng 0,35 % mol, nhỏ hơn hoặc bằng 0,2 % mol, hoặc thậm chí nhỏ hơn hoặc bằng 0,1 % mol. Ví dụ, theo một số phương án hợp phần thủy tinh có thể bao gồm SnO_2 làm chất làm sạch. Trong các phương án này, các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn hoặc bằng 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 0,35 % mol SnO_2 , lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 0,2 % mol SnO_2 , lượng lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 0,1 % mol SnO_2 , hoặc thậm chí lượng lớn hơn hoặc bằng khoảng 0,01 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 0,05 % mol SnO_2 . Do đó, nên hiểu rằng SnO_2 hoặc các chất làm sạch khác không cần phải có mặt trong hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, khi SnO_2 hoặc các chất làm sạch khác được bao gồm trong các hợp phần thủy tinh, tổng lượng SnO_2 và các chất làm sạch khác trong các hợp phần thủy tinh thường nhỏ hơn khoảng 0,35 % mol.

Ngoài ra, các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây có thể chứa một hoặc nhiều oxit kim loại khác để cải thiện thêm độ bền hóa học của thủy tinh thu được. Ví dụ, hợp phần thủy tinh có thể cũng tùy ý bao gồm oxit kim loại chuyển tiếp như ZnO , TiO_2 , ZrO_2 , hoặc tổ hợp của chúng. Mỗi một trong số các oxit kim loại này có thể cải thiện thêm khả năng chống chịu của thủy tinh đối với sự tấn công hóa học. Tuy nhiên, các oxit kim loại bổ sung này không hòa tan lắm trong các hợp phần thủy tinh và có xu hướng kết tinh, dẫn đến việc hóa mờ trong quá trình tạo hình rút xuôi. Trong các phương án này, các oxit kim loại bổ sung có thể có mặt với lượng lớn hơn hoặc bằng khoảng 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 5 % mol và tất cả các khoảng và khoảng con trong đó. Ví dụ, khi oxit kim loại bổ sung là ZnO , thì ZnO có thể có mặt với lượng lớn hơn hoặc bằng 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 5 % mol, lớn hơn hoặc bằng 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 3 % mol, hoặc thậm chí lớn hơn hoặc bằng 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 2 % mol. Theo một số phương án, khi oxit kim loại bổ sung là ZrO_2 hoặc TiO_2 , thì ZrO_2 hoặc TiO_2 có thể có mặt với lượng nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 1 % mol. Do đó, nên hiểu rằng các oxit kim loại bổ sung này không cần phải có mặt trong hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, khi ZnO , ZrO_2 , hoặc TiO_2 được bao gồm trong hợp phần thủy tinh, tổng lượng thì ZnO , ZrO_2 , và TiO_2 trong hợp phần thủy tinh thường nhỏ hơn khoảng 5 % mol.

Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm một hoặc nhiều oxit kim loại đất hiếm. Kim loại đất hiếm để chỉ các kim loại được liệt kê trong họ Lantan của Bảng tuần hoàn IUPAC cộng với yttri và scandi. Việc có mặt của oxit kim loại đất hiếm trong hợp phần thủy tinh có thể làm tăng môđun, độ cứng, hoặc môđun và độ cứng của thủy tinh thu được. Oxit kim loại đất hiếm cũng có thể hỗ trợ việc tăng độ nhớt đường lỏng của hợp phần thủy tinh. Ngoài ra, các oxit kim loại đất hiếm nhất định có thể bổ sung màu cho thủy tinh. Nếu không cần hoặc không mong muốn có màu, thì hợp phần thủy tinh có thể bao gồm oxit lantan (La_2O_3), oxit yttri (Y_2O_3), oxit gadolini (Gd_2O_3), oxit ytterbi (Yb_2O_3), oxit luteli (Lu_2O_3), hoặc tổ hợp của chúng. Đối với thủy tinh không màu, oxit kim loại đất hiếm có thể bao gồm Ce_2O_3 , Pr_2O_3 , Nd_2O_3 , Sm_2O_3 , Eu_2O_3 , Tb_2O_3 , Dy_2O_3 , Ho_2O_3 , Er_2O_3 , Tm_2O_3 , hoặc tổ hợp của chúng. Theo các phương án, các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm tổng lượng oxit kim loại đất hiếm là từ 0 % mol đến 4 % mol và tất cả các khoảng và khoảng con trong đó. Ví dụ, các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 4 % mol oxit kim loại đất hiếm, lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 2 % mol oxit kim loại đất hiếm, lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 1,5 % mol oxit kim loại đất hiếm, lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 1 % mol oxit kim loại đất hiếm, lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc

bằng 0,5 % mol oxit kim loại đất hiếm, nhỏ hơn 4 % mol oxit kim loại đất hiếm, nhỏ hơn 3 % mol oxit kim loại đất hiếm, nhỏ hơn 2 % mol oxit kim loại đất hiếm, nhỏ hơn 1 % mol oxit kim loại đất hiếm, hoặc nhỏ hơn 0,5 % mol oxit kim loại đất hiếm. Theo một số phương án, oxit kim loại đất hiếm có thể bao gồm La_2O_3 . Ví dụ, trong một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 4 % mol La_2O_3 . Do đó, nên hiểu rằng oxit kim loại đất hiếm không cần phải có mặt trong hợp phần thủy tinh. Tuy nhiên, khi oxit kim loại đất hiếm được bao gồm trong hợp phần thủy tinh, tổng lượng oxit kim loại đất hiếm trong các hợp phần thủy tinh thường nhỏ hơn khoảng 4 % mol.

Các hợp phần thủy tinh có thể bao gồm nhỏ hơn 0,05 % mol hợp chất tạp tán, như các hợp chất mangan, hợp chất xeri, hợp chất halfni, hoặc các hợp chất khác, mà có thể làm đưa nó vào hợp phần thủy tinh ở dạng tạp chất trong SiO_2 , Al_2O_3 , Li_2O , P_2O_5 , B_2O_3 , các oxit kim loại kiềm, kim loại kiềm thổ, và các oxit kim loại khác, hoặc các thành phần không chủ ý khác được bao gồm trong các thành phần của hợp phần thủy tinh. Các hợp chất tạp tán cũng có thể đi vào hợp phần thủy tinh thông qua việc tiếp xúc với thiết bị xử lý, như thành phần chịu lửa của quy trình tạo hình nung chuốt, hoặc tương tự.

Như được thảo luận dưới đây, các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây có thể được gia cường hóa học thông qua việc trao đổi ion để tạo ứng suất nén ở bề mặt của vật phẩm thủy tinh. Tuy nhiên, trong quá trình trao đổi ion, ứng suất nén được tạo ra cạnh bề mặt thủy tinh có thể bị giảm do kết quả của quy trình đã biết như sự phục hồi ứng suất, được điều chỉnh bởi độ nhớt của thủy tinh trong đó độ nhớt thấp hơn của thủy tinh, việc phục hồi ứng suất càng nhanh thì quy trình gia cường hóa học càng ít hiệu quả. Theo một số phương án, thành phần của thủy tinh có thể được kiểm soát để giảm thiểu ảnh hưởng của sự phục hồi ứng suất. Thủy tinh có thể được đặc trưng bởi lượng A mà là ước lượng của hàm loga của độ nhớt (theo poa) ở nhiệt độ bằng 400 °C, mà gần với các nhiệt độ điển hình nhất để trao đổi ion, trong đó:

$$A = 13,2 + P * [(1/673 - 1/(A.P. + 273))]$$

$$\text{trong đó } P = 0,6 / [(1/(A.P. + 273)) - (1/(T_{12} + 273))],$$

trong đó A.P. là điểm ủ theo °C, và

trong đó T_{12} là nhiệt độ tương ứng với khi thủy tinh có độ nhớt bằng 10^{12} poa.

Theo một số phương án, khi A lớn hơn hoặc bằng 17, lớn hơn hoặc bằng 18, lớn hơn hoặc bằng 19, hoặc lớn hơn hoặc bằng 20, sự phục hồi ứng suất được giảm thiểu.

Các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây được tạo thành bằng cách trộn mẽ các vật liệu thô thủy tinh (ví dụ, bột spodumen, cát, alumin oxit, alumin metaphosphat, axit boric, cacbonat kim loại kiềm, nitrat kim loại kiềm, cacbonat kim loại kiềm thổ, oxit kim loại kiềm thổ và chất tương tự) sao cho mẽ vật liệu thô thủy tinh có thành phần mong muốn. Sau đó, mẽ vật liệu thô thủy tinh được gia nhiệt để tạo thành hợp phần thủy tinh nóng chảy mà sau đó được làm nguội và đóng rắn để tạo thành hợp phần thủy tinh. Trong quá trình đóng rắn (tức là, khi hợp phần thủy tinh có thể biến dạng dẻo) hợp phần thủy tinh có thể được tạo hình bằng cách sử dụng các kỹ thuật định hình chuẩn để tạo hình hợp phần thủy tinh thành dạng cuối cùng mong muốn. Theo cách khác, vật phẩm thủy tinh có thể được tạo hình thành dạng nguyên vật liệu, như tấm, dải, ống hoặc dạng tương tự, và sau đó được gia nhiệt lại và được tạo thành dạng cuối cùng mong muốn.

Các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây có thể được tạo hình thành vật phẩm thủy tinh có các dạng khác nhau như, ví dụ, tấm, dải, ống, hoặc tương tự. Tuy nhiên, đối với độ bền cơ học, các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây đặc biệt thích hợp để sử dụng trong việc tạo thành thủy tinh phủ cho các thiết bị điện tử, như các thiết bị điện tử cầm tay. Ngoài ra, khả năng gia cường hóa học các hợp phần thủy tinh thông qua việc trao đổi ion có thể được sử dụng để cải thiện thêm độ bền cơ học của tấm thủy tinh và các vật phẩm được chế tạo từ các hợp phần thủy tinh được bộc lộ trong bản mô tả này. Do đó, nên hiểu rằng, theo ít nhất một phương án, hợp phần thủy tinh được tích hợp trong thiết bị điện tử để cải thiện độ bền cơ học của thiết bị điện tử.

Quy trình nung chuốt là một kỹ thuật để tạo hình các hợp phần thủy tinh nóng chảy được mô tả ở đây thành tấm thủy tinh và dải thủy tinh trong quá trình đóng rắn hợp phần thủy tinh. Quy trình nung chuốt tạo ra tấm và dải thủy tinh với lượng khiếm khuyết khá thấp và với các bề mặt có độ phẳng vượt trội, so với các dải được làm bằng cách sử dụng các quy trình tạo dải thủy tinh khác, như các quy trình tạo nổi và chuốt qua khe. Kết quả là, quy trình nung chuốt được sử dụng rộng rãi để sản xuất để thủy tinh được sử dụng trong sản xuất LED và LCD màn hiển thị và các đế khác yêu cầu độ phẳng vượt trội. Trong quy trình nung chuốt điển hình, hợp phần thủy tinh được điều chế và được làm nóng chảy, và hợp phần thủy tinh nóng chảy được nạp vào trong vật thể tạo hình (còn được gọi là ống isopipe), mà bao gồm bề mặt tạo hình hội tụ ở đáy. Thủy tinh nóng chảy chảy đều trên các bề mặt tạo hình của vật thể tạo hình và tạo ra dải thủy tinh phẳng với bề mặt sạch. Dải thủy tinh phẳng được kéo ra từ đáy của vật thể tạo hình ở tốc độ lớn hơn tốc độ mà thủy tinh chảy xuống dọc theo bề mặt tạo

hình của vật thể tạo hình theo trọng lực. Độ nhót của các hợp phần thủy tinh thường giảm theo cấp số nhân khi nhiệt độ tăng. Vì thế, các hợp phần thủy tinh có thể có nhiệt độ đường lỏng càng thấp càng tốt để tăng độ nhót của hợp phần thủy tinh khi ở nhiệt độ đường lỏng (tức là, độ nhót đường lỏng). Điều này đảm bảo rằng tốc độ mà dải thủy tinh được rút khỏi đáy lớn hơn tốc độ mà hợp phần thủy tinh chảy xuống bề mặt tạo hình của vật thể tạo hình. Nếu nhiệt độ đường lỏng của hợp phần thủy tinh quá cao, thì độ nhót đường lỏng trở nên quá thấp để có thể rút xuôi hiệu quả hợp phần thủy tinh. Việc giảm nhiệt độ xuống thấp hơn nhiệt độ đường lỏng để làm giảm độ nhót của hợp phần thủy tinh dẫn đến việc hóa mờ hợp phần thủy tinh trong quá trình tạo hình nung chảy. Việc hóa mờ của các thành phần của hợp phần thủy tinh trong quá trình tạo hình nung chảy dẫn đến các khiếm khuyết và/hoặc khiếm khuyết trong dải thủy tinh, cụ thể trong bề mặt của dải thủy tinh. Ngoài ra, việc kết tinh của các thành phần cũng giảm khả năng tạo hình của thủy tinh.

Như được mô tả ở trên, các hợp phần thủy tinh được bộc lộ trong bản mô tả này có nhiệt độ đường lỏng đủ thấp sao cho độ nhót đường lỏng của hợp phần thủy tinh đủ cao để cho phép hợp phần thủy tinh được tạo thành bằng quy trình tạo hình nung chuốt. Ví dụ, theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể có nhiệt độ đường lỏng nhỏ hơn hoặc bằng 1300 °C. Theo các phương án khác, các hợp phần thủy tinh có thể có nhiệt độ đường lỏng nhỏ hơn hoặc bằng 1250 °C, nhỏ hơn hoặc bằng 1200 °C, hoặc thậm chí nhỏ hơn hoặc bằng 1150 °C. Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể có nhiệt độ đường lỏng lớn hơn hoặc bằng 1100 °C và nhỏ hơn hoặc bằng 1300 °C, lớn hơn hoặc bằng 1100 °C và nhỏ hơn hoặc bằng 1250 °C, lớn hơn hoặc bằng 1150 °C và nhỏ hơn hoặc bằng 1300 °C, hoặc lớn hơn hoặc bằng 1150 °C và nhỏ hơn hoặc bằng 1250 °C. Theo phương án, các hợp phần thủy tinh có độ nhót đường lỏng đủ để cho phép hợp phần thủy tinh được tạo thành bằng cách sử dụng quy trình tạo hình nung chuốt. Ví dụ, theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể có độ nhót đường lỏng cao ít nhất là 20 kilopoa (kP) (20000 poa (P) hoặc 2000 Pascal giây (Pa-s), trong đó 1 kP bằng 100 Pascal giây (Pa-s). Theo các phương án khác, các hợp phần thủy tinh có thể có độ nhót đường lỏng ít nhất là 50 kP, ít nhất là 100 kP, ít nhất là 200 kP, ít nhất là 300 kP, hoặc thậm chí ít nhất là 500 kP. Theo một số phương án, các hợp phần thủy tinh có thể có độ nhót đường lỏng lớn hơn hoặc bằng 20 kP, lớn hơn hoặc bằng 50 kP, lớn hơn hoặc bằng 100 kP, lớn hơn hoặc bằng 200 kP, lớn hơn hoặc bằng 300 kP, lớn hơn hoặc bằng 500 kP, hoặc thậm chí lớn hơn hoặc bằng 1000 kP. Theo các phương án khác, các hợp phần thủy tinh có thể có độ nhót đường lỏng nhỏ hơn khoảng 1200 kP, hoặc thậm chí

nhỏ hơn 1000 kP. Theo các phương án khác nữa, hợp phần thủy tinh có thể có độ nhót đường lỏng lớn hơn hoặc bằng 20 kP và nhỏ hơn hoặc bằng 1000 kP. Ví dụ, các hợp phần thủy tinh có thể có độ nhót đường lỏng lớn hơn hoặc bằng 50 kP và nhỏ hơn hoặc bằng 1000 kP, lớn hơn hoặc bằng 100 kP và nhỏ hơn hoặc bằng 1000 kP, hoặc thậm chí lớn hơn hoặc bằng 500 kP và nhỏ hơn hoặc bằng 1000 kP.

Như đã đề cập, các hợp phần thủy tinh được bộc lộ trong bản mô tả này có độ nhót đường lỏng đủ cao để cho phép tạo hình, như tạo thành dải và/hoặc tấm thủy tinh, bằng cách sử dụng quy trình tạo hình nung chuốt. Tuy nhiên, các hợp phần thủy tinh cũng có thể được làm bằng phương pháp tạo thành thủy tinh đã biết, như phương pháp tạo nổi hoặc quy trình rút qua khe hẹp, ví dụ. Trong phương án tạo nổi, hợp phần thủy tinh nóng chảy được nổi lên trên bề mặt của bể của bể kim loại nóng chảy, như bể thiếc nóng chảy. Hợp phần thủy tinh nóng chảy nguội khi nó đi dọc theo bề mặt của kim loại nóng chảy cho đến khi thủy tinh được lấy ra khỏi bề mặt của bể ở dạng dải thủy tinh được tạo thành từ hợp phần thủy tinh. Các quy trình tạo thành thủy tinh khác cũng được dự tính.

Vật phẩm thủy tinh và tấm thủy tinh được chế tạo từ các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây có thể được gia cường hóa học bằng cách trao đổi ion. Trong quy trình gia cường bằng cách trao đổi ion, các ion trong lớp bề mặt của thủy tinh được chế tạo từ các hợp phần thủy tinh được thay thế bằng – hoặc được trao đổi bằng – các ion lớn hơn có cùng hóa trị hoặc trạng thái oxy hóa. Trong các phương án, các ion trong lớp bề mặt của hợp phần thủy tinh và các ion lớn hơn là các cation kim loại kiềm hóa trị một, như Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , và Cs^+ . Theo cách khác, các cation hóa trị một trong lớp bề mặt có thể được thay thế bằng các cation hóa trị một không phải các cation kim loại kiềm, chẳng hạn như Ag^+ hoặc dạng tương tự.

Các quy trình trao đổi ion quy mô thương mại điển hình được thực hiện bằng cách ngâm vật phẩm thủy tinh hoặc tấm thủy tinh được chế tạo từ hợp phần thủy tinh trong bồn muối nóng chảy chứa các ion lớn hơn để được trao đổi với các ion nhỏ hơn trong hợp phần thủy tinh. Người có kỹ năng trong lĩnh vực kỹ thuật này sẽ hiểu rằng, các thông số của quy trình trao đổi ion, bao gồm, nhưng không bị giới hạn ở, thành phần và nhiệt độ bể dung dịch, thời gian ngâm, số lần ngâm của thủy tinh trong bể muối (hoặc các bể), việc sử dụng nhiều bể muối, các bước bổ sung như tôi, rửa và bước tương tự, thông thường được xác định bởi thành phần của thủy tinh và độ sâu mong muốn của lớp và ứng suất nén của hợp phần thủy tinh thu được từ quy trình gia cường trao đổi ion. Bằng cách ví dụ, việc trao đổi ion của thủy tinh chứa kim loại kiềm có thể đạt được bằng cách ngâm trong ít nhất một bể dung dịch nóng

chảy chứa muối như nhưng không bị giới hạn bởi, nitrat, sulfat và clorua, của ion kim loại kiềm lớn hơn. Nhiệt độ của bể muối nóng chảy điển hình nằm trong khoảng từ khoảng 350 độ Celsius ($^{\circ}\text{C}$) lên đến khoảng 450 $^{\circ}\text{C}$, trong khi thời gian ngâm nằm trong khoảng từ khoảng 0,1 giờ đến khoảng 36 giờ. Tuy nhiên, nhiệt độ và thời gian ngâm khác với nhiệt độ và thời gian ngâm được mô tả ở trên cũng có thể được sử dụng.

Gia cường bằng cách trao đổi ion tạo ra ứng suất nén trong các vùng bên ngoài của thủy tinh được chế tạo từ hợp phần thủy tinh bằng cách thay thế nhiều ion kim loại kiềm thứ nhất trong vùng bên ngoài của thủy tinh bằng nhiều ion kim loại thứ hai từ bể muối nóng chảy sao cho vùng bên ngoài chứa nhiều ion kim loại thứ hai. Mỗi ion trong số các ion kim loại kiềm thứ nhất có bán kính ion thứ nhất và mỗi ion trong số các ion kim loại thứ hai có bán kính ion thứ hai. Bán kính ion thứ hai này là lớn hơn bán kính ion thứ nhất, và sự có mặt của các ion kim loại thứ hai lớn hơn này trong vùng ngoài sẽ tạo ra ứng suất nén trong vùng ngoài. Các ion kim loại kiềm thứ nhất có thể là các ion lithi, natri, kali và rubidi. Các ion kim loại thứ hai có thể là các ion thuộc nhất một trong số natri, kali, rubidi, và xesi. Thông thường, ion kim loại thứ hai khác với ion kim loại kiềm thứ nhất và có bán kính ion lớn hơn bán kính ion của ion kim loại kiềm thứ nhất.

Ứng suất nén (CS), độ sâu chịu nén (DOC), và độ sâu của lớp (DOL) của ion cụ thể thu được từ việc trao đổi ion có thể được đo bằng cách sử dụng các kỹ thuật đã biết bất kỳ. Ứng suất nén (bao gồm CS bề mặt) được đo bằng dụng cụ đo ứng suất bề mặt (surface stress meter - FSM) sử dụng các thiết bị sẵn có trên thị trường như FSM-6000 do Orihara Industrial Co., Ltd. (Japan) sản xuất. Các số đo ứng suất bề mặt phụ thuộc vào phép đo chính xác của hệ số quang ứng suất (stress optical coefficient - SOC), vốn liên quan tới tính lưỡng chiết quang của thủy tinh. SOC theo thứ tự được đo theo Quy trình C (Phương pháp đĩa thủy tinh - Glass Disc Method) được mô tả trong tiêu chuẩn ASTM C770-16, với tiêu đề "Standard Test Method for Measurement of Glass Stress-Optical Coefficient."

Như được sử dụng ở đây, DOC có nghĩa là độ sâu mà tại đó ứng suất trong vật phẩm thủy tinh nhôm silicat kiềm được gia cường hóa học được mô tả ở đây thay đổi từ có khuynh hướng nén thành có khuynh hướng kéo. DOC có thể được đo bởi FSM hoặc phân cực nghiệm ánh sáng tán xạ (scattered light polariscope - SCALP) phụ 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 (Kali DOL hoặc K DOL) 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.

Giá trị DOC được bộc lộ ở đây, cụ thể là các giá trị DOC ít nhất là bằng 10% độ dày của thủy tinh, và tốt hơn nữa là lớn hơn hoặc bằng 20% độ dày của thủy tinh, phản ánh các giá trị DOC được tính bằng cách sử dụng thiết bị SCALP. Để rõ ràng, giá trị DOC thể hiện độ dày của ít nhất một lớp ứng suất nén, mà có nghĩa là vật phẩm hoặc tấm thủy tinh được gia cường có thể có một lớp nén với DOC bằng ít nhất là 20% độ dày của thủy tinh hoặc hai lớp nén với mỗi lớp có DOC bằng ít nhất là 20% độ dày của thủy tinh. Các giá trị DOC được bộc lộ không phải là tổ hợp, ví dụ, tổng hoặc trung bình, của hai lớp ứng suất nén.

Như đã lưu ý ở trên, việc có mặt của oxit kim loại kiềm trong hợp phần thủy tinh hỗ trợ việc gia cường hóa học cho thủy tinh thu được bằng cách trao đổi ion. Cụ thể, các ion kim loại kiềm, như các ion lithi, các ion natri khác, các ion kali, và các chất tương tự, đủ linh động trong hợp phần thủy tinh để hỗ trợ việc trao đổi ion. Theo một số phương án, thủy tinh có thể được trao đổi ion bằng cách đưa vào thủy tinh, như vật phẩm thủy tinh hoặc tấm thủy tinh được chế tạo từ hợp phần thủy tinh ví dụ, vào bể trao đổi ion (ví dụ, ngâm thủy tinh trong bể trao đổi ion) chứa natri nitrat (NaNO_3), kali nitrat (KNO_3), hoặc cả hai. Trong các phương án, bể trao đổi ion có thể bao gồm từ 1 phần trăm khối lượng (% khối lượng) đến 100 % khối lượng NaNO_3 , dựa trên tổng khối lượng của bể trao đổi ion. Ví dụ, bể trao đổi ion có thể bao gồm từ 1 % khối lượng đến 99 % khối lượng, từ 1 % khối lượng đến 80 % khối lượng, từ 1 % khối lượng đến 20 % khối lượng, từ 20 % khối lượng đến 100 % khối lượng, từ 20 % khối lượng đến 99 % khối lượng, từ 20 % khối lượng đến 80 % khối lượng, từ 80 % khối lượng đến 100 % khối lượng, hoặc từ 80 % khối lượng đến 99 % khối lượng NaNO_3 , dựa trên tổng khối lượng của bể trao đổi ion. Bể trao đổi ion cũng có thể bao gồm lượng KNO_3 đủ để làm tăng ứng suất nén tại bề mặt của thủy tinh. Ví dụ, theo các phương án, bể trao đổi ion có thể bao gồm từ 0 % khối lượng đến 99 % khối lượng KNO_3 , dựa trên tổng khối lượng của bể trao đổi ion. Theo một số phương án, bể trao đổi ion có thể bao gồm từ 0 % khối lượng đến 98 % khối lượng, từ 0 % khối lượng đến 80 % khối lượng, từ 0 % khối lượng đến 20 % khối lượng, từ 20 % khối lượng đến 99 % khối lượng, từ 20 % khối lượng đến 98 % khối lượng, từ 20 %

khối lượng đến 80 % khối lượng, từ 80 % khối lượng đến 99 % khối lượng, hoặc từ 80 % khối lượng đến 98 % khối lượng KNO_3 , dựa trên tổng khối lượng của bể trao đổi ion. Bể trao đổi ion có thể tùy ý bao gồm 0,1 % khối lượng đến 2 % khối lượng axit silicic H_4SiO_4 .

Việc gia cường bằng cách trao đổi ion của thủy tinh được chế tạo từ hợp phần thủy tinh có thể được thực hiện ở nhiệt độ trao đổi ion và thời gian nhúng đủ để tạo ra profin ứng suất trong thủy tinh. Ví dụ, theo các phương án, bể trao đổi ion có thể được duy trì ở nhiệt độ từ 350 °C đến 450 °C. Theo các phương án khác, bể trao đổi ion có thể được duy trì ở nhiệt độ từ 365 °C đến 440 °C. Theo một số phương án, việc trao đổi ion có thể được thực hiện đối với thời gian ngâm từ 0,1 giờ đến 36 giờ. Theo các phương án khác, việc trao đổi ion có thể được thực hiện trong thời gian ngâm từ 0,1 giờ đến 30 giờ, từ 0,1 giờ đến 20 giờ, từ 0,1 giờ đến 10 giờ, từ 1 giờ đến 36 giờ, từ 1 giờ đến 30 giờ, từ 1 giờ đến 20 giờ, từ 1 giờ đến 10 giờ, hoặc từ 10 giờ đến 20 giờ. Thời gian ngâm của quá trình trao đổi ion có thể phụ thuộc vào độ dày của thủy tinh được trao đổi ion. Thời gian ngâm của quá trình trao đổi ion có thể cũng phụ thuộc vào hợp phần thủy tinh như đã mô tả ở trên trong bản mô tả này. Theo một số phương án, đối với tấm thủy tinh phẳng được chế tạo từ hợp phần thủy tinh và có độ dày từ 0,5 millimet (mm) đến 1 mm, việc trao đổi ion có thể được thực hiện trong thời gian ngâm lớn hơn hoặc bằng 1 giờ và nhỏ hơn hoặc bằng 10 giờ.

Theo một số phương án, hợp phần thủy tinh có thể là thủy tinh được trao đổi ion cho đến khi các ion natri khác đạt đến tâm độ dày của thủy tinh. Bằng việc trao đổi ion hợp phần thủy tinh cho đến khi các ion natri khác gặp nhau ở tâm độ dày của thủy tinh, gradien nồng độ ion natri thông qua độ dày của thủy tinh có thể được tạo ra, dẫn đến profin ứng suất parabol thông qua độ dày của thủy tinh. Tham chiếu đến FIG. 1, profin ứng suất của hai thủy tinh ví dụ được chế tạo từ các hợp phần thủy tinh được minh họa là hàm của độ dày qua chiều dày của thủy tinh. Trên FIG. 1, ứng suất âm để chỉ ứng suất nén và ứng suất dương để chỉ ứng suất kéo (tức là, kéo đúng tâm (CT)). DOC là điểm mà tại đó ứng suất trong thủy tinh chuyển tiếp từ ứng suất nén (tức là, ứng suất âm trên FIG. 1) sang lực kéo đúng tâm (tức là, ứng suất dương trên FIG. 1). Như được thể hiện trên FIG. 1, gradien của ion natri khác thấm vào vùng kéo đúng tâm (tức là, vùng từ khoảng 1,5 mm đến khoảng 6 mm trên FIG. 1) làm cho profin ứng suất được uốn cong trong vùng kéo đúng tâm. Do profin ứng suất được uốn cong trong vùng kéo đúng tâm, tổng sức căng dự trữ trong vùng kéo đúng tâm của thủy tinh là ít hơn. Nếu lực kéo đúng tâm trong thủy tinh trở nên quá lớn, thủy tinh có thể trở nên dễ vỡ. Vì thế, bằng việc trao đổi ion thủy tinh để tạo ra profin ứng suất parabol mà làm giảm lực kéo đúng

tâm trong thủy tinh, DOC lớn hơn có thể đạt được mà không làm cho thủy tinh trở nên dễ vỡ. Như được sử dụng ở đây, các thuật ngữ “đặc tính dễ vỡ” và “tính dễ vỡ” chỉ các phương thức vỡ mạnh hoặc mảnh liệt của thủy tinh gia cường không có các yếu tố kim chế bên ngoài bất kỳ, như các lớp phủ, các lớp dính, hoặc các yếu tố tương tự. Mặc dù các lớp phủ, các lớp dính, và các yếu tố tương tự có thể được sử dụng kết hợp với các thủy tinh gia cường được chế tạo từ hợp phần thủy tinh 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 thủy tinh.

Theo một số phương án, profin ứng suất parabol có thể cho phép lực kéo đúng tâm trong hợp phần thủy tinh nhỏ hơn 120 megaPascals (MPa), hoặc thậm chí nhỏ hơn 100 MPa. Theo một số phương án, lực kéo đúng tâm của hợp phần thủy tinh có thể lớn hơn hoặc bằng 50 MPa và nhỏ hơn 120 MPa, hoặc thậm chí lớn hơn hoặc bằng 70 MPa và nhỏ hơn hoặc bằng 100 MPa. Theo một số phương án, các mẫu dày 0,8 mm của thủy tinh được chế tạo từ các hợp phần thủy tinh được bộc lộ trong bản mô tả này có thể được trao đổi ion để profin parabol nhỏ hơn 8 giờ ở 430 °C.

Trong các phương án, sau khi trao đổi ion vật phẩm thủy tinh hoặc tấm thủy tinh được chế tạo từ hợp phần thủy tinh để tạo ra profin ứng suất parabol, DOC trong thủy tinh có thể lên đến 15% độ dày của thủy tinh. Ví dụ, trong một số phương án, sau khi trao đổi ion của thủy tinh để tạo ra profin ứng suất parabol, DOC có thể lên đến 18% độ dày của thủy tinh, lên đến 20% độ dày của thủy tinh, lên đến 22% độ dày của thủy tinh, hoặc thậm chí lên đến 25% độ dày của thủy tinh. Theo một số phương án, sau khi trao đổi ion, hợp phần thủy tinh có thể có DOC từ khoảng 5% đến 25% độ dày của hợp phần thủy tinh. Ví dụ, sau khi trao đổi ion cho thủy tinh được chế tạo từ hợp phần thủy tinh, thủy tinh có thể có DOC từ 5% đến 18%, từ 5% đến 20%, từ 5% đến 20%, từ 5% đến 22%, từ 10% đến 15%, từ 10% đến 18%, từ 10% đến 20%, từ 10% đến 22%, từ 10% đến 25%, từ 15% đến 18%, từ 15% đến 20%, từ 15% đến 22%, từ 15% đến 25%, từ 18% đến 20%, hoặc từ 18% đến 22% độ dày của thủy tinh. Trong một ví dụ, tấm thủy tinh được chế tạo từ các hợp phần thủy tinh và có độ dày là 0,8 mm có thể có DOC lên đến khoảng 120 μm , hoặc lên đến khoảng 145 μm , hoặc thậm chí lên đến khoảng 160 μm . Trong một ví dụ khác, tấm thủy tinh được chế tạo từ các hợp phần thủy tinh và có độ dày 1 mm có thể có DOC lên đến khoảng 150 μm , hoặc lên đến khoảng 180 μm , hoặc thậm chí lên đến khoảng 200 μm . Việc trao đổi ion cho thủy tinh để đạt được profin ứng suất parabol có thể cho phép thủy tinh có DOC trong khoảng từ 100 μm đến 200 μm để thủy tinh có độ dày từ 0,5 mm đến 1 mm. Thủy tinh aluminosilicat kim loại kiềm thông thường

điển hình có DOC sau khi trao đổi ion từ 40 μm đến 50 μm . Vì thế, các hợp phần thủy tinh được bọc lộ trong bản mô tả này có thể cho phép việc trao đổi ion của thủy tinh được chế tạo từ các hợp phần thủy tinh để tạo ra profin ứng suất parabol trong thủy tinh, mà có thể dẫn đến giá trị DOC lớn hơn đáng kể ở thủy tinh.

Các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây có thể cho phép các ion natri khác di chuyển đến tâm của thủy tinh trong quá trình trao đổi ion. Tuy nhiên, các ion kali, khi có mặt trong bể trao đổi ion, không thể di chuyển xa vào trong thủy tinh được chế tạo từ các hợp phần thủy tinh so với các ion natri khác do kích thước của các ion kali lớn hơn so với các ion natri. Trong các phương án trong đó các ion kali được bao gồm trong bể trao đổi ion, các ion kali ngấm vào trong thủy tinh (K DOL) đến độ sâu từ 5 μm đến 25 μm , từ 5 μm đến 15 μm , hoặc thậm chí từ 8 μm đến 12 μm .

Theo một số phương án, sau khi trao đổi ion, thủy tinh được chế tạo từ các hợp phần thủy tinh có thể có ứng suất nén đủ để tạo ra độ bền chống hư hại cho thủy tinh. Ví dụ, trong một số phương án, sau khi trao đổi ion, thủy tinh có thể có ứng suất nén tại bề mặt của thủy tinh lớn hơn hoặc bằng 400 MPa, lớn hơn hoặc bằng 500 MPa, hoặc thậm chí lớn hơn hoặc bằng 600 MPa.

Theo một số phương án, bước trao đổi ion thứ hai có thể được thực hiện để làm tăng thêm ứng suất nén trong các vùng bên ngoài của thủy tinh được tạo thành từ hợp phần thủy tinh. Không bị ràng buộc bởi giả thuyết, bước trao đổi ion thứ hai được coi là bước trao đổi ion nhanh mà thu được “mũi nhọn” của ứng suất nén gần bề mặt của thủy tinh. Theo một hoặc nhiều phương án, bước trao đổi ion thứ hai có thể được thực hiện trong thời gian là 30 phút hoặc ít hơn, hoặc trong thời gian 15 phút hoặc ít hơn, hoặc tùy ý có thể được thực hiện trong khoảng từ khoảng 10 đến khoảng 15 phút. Thành phần của bể trao đổi ion thứ hai có thể khác với bể trao đổi ion thứ nhất, như khi bước trao đổi ion thứ hai hướng đến việc phân phối ion khác vào thủy tinh hơn là bước trao đổi ion thứ nhất. Theo một số phương án, bể trao đổi ion thứ hai có thể chứa muối kali, như kali nitrat, kali sulfat, kali clorua, các muối kali khác, hoặc tổ hợp của chúng. Theo một hoặc nhiều phương án, bể trao đổi ion thứ hai có thể chứa ít nhất là khoảng 80% khối lượng muối kali. Theo một phương án cụ thể, bể trao đổi ion thứ hai có thể chứa từ khoảng 95% đến khoảng 99,5% khối lượng muối kali. Mặc dù có thể là bể trao đổi ion thứ hai chỉ bao gồm muối kali, bể trao đổi ion thứ hai có thể, trong một số phương án, bao gồm 0-2% khối lượng, hoặc khoảng 0,5-1,5% khối lượng muối natri, ví dụ, NaNO_3 . Theo phương án được lấy làm ví dụ, muối kali là KNO_3 . Theo các phương án khác, nhiệt độ của

bước trao đổi ion thứ hai có thể là 390 °C hoặc lớn hơn. Nếu ứng suất nén trong thủy tinh được trao đổi ion sau bước trao đổi ion thứ nhất không đủ, thì sau đó bước trao đổi ion thứ hai có thể được thực hiện với “mũi nhọn” bề mặt ngoài của thủy tinh bằng các ion kali để làm tăng ứng suất nén tại bề mặt của thủy tinh.

Thủy tinh được chế tạo từ các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây có thể thường có điểm biến dạng lớn hơn hoặc bằng khoảng 500 °C và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 650 °C. Thủy tinh được chế tạo từ các hợp phần thủy tinh được bộc lộ trong bản mô tả này cũng có thể có điểm ủ lớn hơn hoặc bằng khoảng 550 °C và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 725 °C và điểm hóa mềm lớn hơn hoặc bằng khoảng 775 °C và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 960 °C.

Trong các phương án được mô tả ở đây thủy tinh được chế tạo từ hợp phần thủy tinh có thể có CTE nhỏ hơn khoảng $75 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ hoặc thậm chí nhỏ hơn khoảng $60 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$. Các giá trị CTE thấp hơn cải thiện khả năng tồn tại của thủy tinh với các điều kiện của chu trình nhiệt hoặc ứng suất nhiệt so với các hợp phần thủy tinh có các giá trị CTE cao hơn.

Các vật phẩm thủy tinh được gia cường được bộc lộ ở đây có thể được tích hợp vào trong vật phẩm khác 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 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 thủy tinh được bộc lộ ở đây được thể hiện trên các hình vẽ Fig. 2A và 2B. Cụ thể là, các hình vẽ Fig. 2A và 2B thể hiện thiết bị điện tử tiêu dùng 300 bao gồm vỏ 302 có mặt trước 304, mặt sau 306, và các mặt bên 308; các thành phần điện tử (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 310 tại hoặc liền kề với mặt trước của vỏ; và nền che phủ 312 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 nền che phủ 312 hoặc một phần của hộp vỏ 302 có thể bao gồm vật phẩm bất kỳ trong số các các vật phẩm thủy tinh được bộc lộ ở đây.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Các phương án của các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây sẽ được làm rõ hơn bằng các ví dụ sau đây.

Ví dụ 1

103 hợp phần thủy tinh được lấy làm ví dụ (các hợp phần 1-103) được tạo ra. Các thành phần cụ thể của mỗi hợp phần thủy tinh được lấy làm ví dụ được thông báo dưới đây trên bảng 1. Thành phần của các hợp phần thủy tinh được làm nóng chảy trong nồi nấu kim loại platin nhiệt độ từ 1500 °C đến 1600 °C trong 5 đến 6 giờ, và sau đó được làm nóng chảy lại ở nhiệt độ cao trong khoảng từ 1600 °C đến 1650 °C trong 5 đến 6 giờ để cải thiện độ đồng nhất và chất lượng nóng chảy. Nhiệt độ ở thể lỏng và độ nhớt đường lỏng của các hợp phần thủy tinh trong ví dụ 1 được đo. Thủy tinh sau đó được đúc trên tấm thép và được ủ trong 1 giờ gần nhiệt độ ủ được nêu trong bảng I. Nhiều mẫu của mỗi hợp phần thủy tinh được cắt và được đánh bóng để đo đặc tính và thực hiện các thử nghiệm trao đổi khác nữa. Tất cả các mẫu có độ dày 0,8 mm. Mỗi một trong số các mẫu được kiểm tra hệ số giãn nở nhiệt (CTE), mật độ, độ bền, và môđun Young. Các giá trị mật độ được nêu trong bản mô tả này để chỉ giá trị khi được đo bằng phương pháp nổi của ASTM C693-93(2013). Giá trị môđun Young được nêu trong bản mô tả này để chỉ một giá trị được đo bằng kỹ thuật quang phổ siêu âm cộng hưởng thường được trình bày trong ASTM E2001-13, có tên “Standard Guide for Resonant Ultrasound Spectroscopy for Defect Detection in Both Metallic and Non-metallic Parts.” Theo một số phương án, môđun Young lớn hơn hoặc bằng 70 GPa hoặc lớn hơn hoặc bằng 80 GPa. Kết quả của tất cả các hợp phần thủy tinh được thông báo dưới đây trên bảng 1. Trị số độ bền chống nứt vỡ (K_{IC}) được trích dẫn trong phần bộc lộ này để cập tới trị số như được đo bởi phương pháp thanh ngắn được cắt khắc hình chữ V (chevron notched short bar - CNSB) được bộc lộ trong tài liệu của Reddy, K.P.R. và cộng sự, “Fracture Toughness Measurement of Glass và Ceramic Materials Using Chevron-Notched Specimens,” J. Am. Ceram. Soc., 71 [6], C-310-C-313 (1988) ngoại trừ Y^* được tính toán sử dụng phương trình 5 của Bubsey, R.T. và cộng sự, “Closed-Form Expressions for Crack-Mouth Displacement and Stress Intensity Factors for Chevron-Notched Short Bar and Short Rod Specimens Based on Experimental Compliance Measurements,” NASA Technical Memorandum 83796, pp. 1-30 (Tháng 10, 1992). Theo một số phương án, độ bền chống nứt gãy lớn hơn hoặc bằng khoảng $0,7 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ hoặc lớn hơn hoặc bằng khoảng $0,7 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Bảng 1: Các thành phần và tính chất của thủy tinh trong ví dụ 1

	% Mol thành phần						
ID thành phần	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	65,042	73,659	65,212	67,242	63,517	63,433	61,511

Al₂O₃	13,457	12,874	13,933	11,921	14,877	14,848	15,853
B₂O₃	6,666	0,000	7,738	5,736	7,630	7,610	7,545
P₂O₅	5,231	--	3,956	5,911	3,956	3,976	3,983
Li₂O	8,065	6,012	7,982	8,018	7,817	8,831	9,794
Na₂O	0,823	1,926	0,962	0,960	1,061	1,062	1,059
K₂O	0,044	0,034	0,041	0,042	0,029	0,032	0,037
MgO	0,032	2,001	0,024	0,020	0,934	0,027	0,027
CaO	0,533	1,960	0,045	0,043	0,055	0,052	0,058
ZnO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SnO₂	0,079	0,075	0,079	0,079	0,082	0,083	0,082
ZrO₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
TiO₂	0,002	0,008	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
HfO₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,006	0,006
Fe₂O₃	0,019	0,017	0,020	0,020	0,020	0,022	0,024
MnO₂	0,000	--	--	--	0,008	0,009	0,010
SrO	0,000	--	--	--	--	--	--
R₂O-Al₂O₃	-4,525	-4,903	-4,948	-2,900	-5,970	-4,922	-4,963
R₂O+RO-Al₂O₃	-3,960	-0,942	-4,880	-2,837	-4,981	-4,843	-4,877
R₂O+RO+P₂O₅-Al₂O₃	1,271	-0,942	-0,923	3,073	-1,024	-0,867	-0,894
Li₂O/R₂O	0,903	0,754	0,888	0,889	0,878	0,890	0,899
Nhiệt độ biến dạng (°C)	535	657	539	518	545	539	539
Nhiệt độ ủ (°C)	589	708	593	573	597	592	590
Nhiệt độ hóa mềm (°C)	872	953	870	874	860,3	854,1	839,5
CTE (10⁻⁷ °C⁻¹)	44,2	46,1	43,3	45,2	41,6	44,6	47,2
Khối lượng riêng (g/cm³)	2,284	2,512	2,29	2,273	2,307	2,302	2,313
Nhiệt độ đường lỏng (°C)	1230	1235	1175	1250	1185	1140	1165
Độ nhớt đường lỏng (kP)	22,3	42,2	50,3	29,4	24,6	51,3	21,9
Độ bền chống nứt vỡ (MPa·m^{1/2})	0,674	0,808	0,718	0,708	--	0,723	0,758

Môđun Young (GPa)	78,94	84,67	68,81	67,09	70,46	69,64	70,46
------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

	% Mol thành phần						
ID thành phần	8	9	10	11	12	13	14
SiO₂	65,372	62,398	58,517	67,097	67,176	67,120	68,099
Al₂O₃	14,863	17,822	17,789	13,983	13,987	13,977	12,993
B₂O₃	6,299	0,000	0,000	5,856	5,853	5,824	5,844
P₂O₅	3,321	1,975	5,850	2,922	2,932	2,937	2,935
Li₂O	8,837	11,678	11,696	8,910	7,851	6,953	7,911
Na₂O	1,061	5,820	5,834	0,971	1,955	2,954	1,970
K₂O	0,034	0,041	0,042	0,044	0,039	0,035	0,038
MgO	0,030	0,036	0,038	0,020	0,020	0,015	0,020
CaO	0,055	0,070	0,073	0,049	0,045	0,042	0,045
ZnO	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,001
SnO₂	0,082	0,104	0,103	0,083	0,080	0,083	0,083
ZrO₂	0,001	0,001	0,001	0,010	0,009	0,010	0,010
TiO₂	0,003	0,003	0,003	0,006	0,008	0,010	0,008
HfO₂	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe₂O₃	0,023	0,029	0,029	0,023	0,021	0,019	0,020
MnO₂	0,009	0,014	0,015	0,018	0,015	0,011	0,015
SrO	--	--	--	--	--	--	--
R₂O-Al₂O₃	-4,931	-0,284	-0,217	-4,058	-4,142	-4,035	-3,074
R₂O+RO-Al₂O₃	-4,846	-0,178	-0,107	-3,988	-4,075	-3,976	-3,008
R₂O+RO+P₂O₅- Al₂O₃	-1,525	1,796	5,744	-1,066	-1,143	-1,039	-0,073
Li₂O/R₂O	0,890	0,666	0,666	0,898	0,797	0,699	0,798
Nhiệt độ biến dạng (°C)	557	613	566	573	563	564	557
Nhiệt độ ủ (°C)	610	662	615	627	620	620	613
Nhiệt độ hóa mềm (°C)	877,8	xtl	857,2	889,5	891,1	893,3	877,9
CTE (10⁻⁷ °C⁻¹)	44,2	74	75,3	44,9	46,1	47,8	47,3
Khối lượng riêng (g/cm³)	2,313	2,41	2,395	2,309	2,311	2,313	2,303

Nhiệt độ đường lỏng (°C)	1195	1170	1160	1135	1105	1075	1165
Độ nhớt đường lỏng (kP)	27,4	35,9	26,6	120,2	240,5	455,7	92,5
Độ bền chống nứt vỡ (MPa·m ^{1/2})	0,745	0,74	0,716	0,776	0,768	0,709	0,688
Môđun Young (GPa)	71,57	80,88	76,67	72,12	72,12	71,29	70,12

	% Mol thành phần						
ID thành phần	15	16	17	18	19	20	21
SiO ₂	67,135	67,134	67,972	68,095	67,855	68,173	67,126
Al ₂ O ₃	13,987	13,956	14,968	15,010	14,939	15,031	14,002
B ₂ O ₃	6,796	4,878	3,924	2,694	1,856	2,724	4,877
P ₂ O ₅	1,957	3,886	1,955	2,931	3,893	1,963	3,959
Li ₂ O	7,895	7,923	8,008	8,077	8,288	7,950	7,393
Na ₂ O	1,971	1,974	2,926	2,943	2,918	3,912	2,421
K ₂ O	0,039	0,039	0,037	0,037	0,037	0,039	0,037
MgO	0,018	0,018	0,021	0,020	0,022	0,025	0,024
CaO	0,045	0,046	0,046	0,047	0,046	0,045	0,044
ZnO	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,000
SnO ₂	0,083	0,083	0,083	0,084	0,084	0,083	0,073
ZrO ₂	0,006	0,009	0,005	0,007	0,009	0,004	0,001
TiO ₂	0,009	0,007	0,007	0,008	0,007	0,004	0,010
HfO ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ₂ O ₃	0,020	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,020
MnO ₂	0,014	0,015	0,015	0,015	0,013	0,015	0,008
SrO	--	--	--	--	--	--	--
R ₂ O-Al ₂ O ₃	-4,082	-4,018	-3,997	-3,953	-3,695	-3,131	-4,151
R ₂ O+RO-Al ₂ O ₃	-4,018	-3,952	-3,928	-3,885	-3,626	-3,059	-4,084
R ₂ O+RO+P ₂ O ₅ -Al ₂ O ₃	-2,061	-0,066	-1,973	-0,954	0,268	-1,096	-0,125
Li ₂ O/R ₂ O	0,797	0,797	0,730	0,730	0,737	0,668	0,750

Nhiệt độ biến dạng (°C)	561	564	598	604	610	598	565
Nhiệt độ ủ (°C)	616	620	654	660	667	654	621
Nhiệt độ hóa mềm (°C)	--	900,7	920,9	935,9	950,7	925,1	905,9
CTE ($10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	45,5	47	49,7	49,9	50,7	54,8	48,2
Khối lượng riêng (g/cm^3)	2,315	2,308	2,342	2,338	2,335	2,351	2,309
Nhiệt độ đường lỏng (°C)	1210	1095	1250	1175	1180	1170	1090
Độ nhớt đường lỏng (kP)	28,0	407,3	25,9	123,6	162,7	116,1	478,4
Độ bền chống nứt vỡ ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)	0,762	0,715	0,759	0,739	0,735	0,759	0,734
Môđun Young (GPa)	72,12	70,95	74,95	74,88	74,46	76,26	70,67

	% Mol thành phần						
ID thành phần	22	23	24	25	26	27	28
SiO ₂	67,105	65,781	66,097	65,237	67,097	67,176	65,050
Al ₂ O ₃	13,976	13,717	14,974	13,586	13,971	14,006	13,353
B ₂ O ₃	4,920	4,802	3,903	4,743	4,890	5,815	6,893
P ₂ O ₅	3,957	3,873	4,943	3,850	3,966	2,978	3,195
Li ₂ O	6,923	6,821	6,947	7,590	7,919	7,870	8,847
Na ₂ O	2,905	2,849	2,913	1,879	1,931	1,932	2,421
K ₂ O	0,035	0,034	0,034	0,038	0,040	0,040	0,044
MgO	0,024	1,959	0,026	2,899	0,025	0,022	0,018
CaO	0,041	0,053	0,044	0,061	0,046	0,044	0,049
ZnO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
SnO ₂	0,073	0,071	0,074	0,071	0,073	0,073	0,062
ZrO ₂	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,008
TiO ₂	0,008	0,008	0,011	0,008	0,006	0,008	0,007
HfO ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ₂ O ₃	0,019	0,019	0,019	0,022	0,021	0,021	0,023

MnO ₂	0,008	0,006	0,006	0,009	0,008	0,008	0,020
SrO	--	--	--	--	--	--	--
R ₂ O-Al ₂ O ₃	-4,113	-4,013	-5,080	-4,079	-4,081	-4,165	-2,041
R ₂ O+RO-Al ₂ O ₃	-4,048	-2,001	-5,010	-1,119	-4,010	-4,099	-1,972
R ₂ O+RO+P ₂ O ₅ -Al ₂ O ₃	-0,091	1,872	-0,067	2,731	-0,044	-1,121	1,223
Li ₂ O/R ₂ O	0,702	0,703	0,702	0,798	0,801	0,800	0,782
Nhiệt độ biến dạng (°C)	559	555	576	558	566	559	525
Nhiệt độ ủ (°C)	617	608	634	609	623	614	578
Nhiệt độ hóa mềm (°C)	904,5	875,3	921,2	--	--	--	839,8
CTE (10 ⁻⁷ °C ⁻¹)	48,8	49	48,8	47,3	47	47,1	53,2
Khối lượng riêng (g/cm ³)	2,31	2,329	2,315	2,335	2,308	2,311	2,309
Nhiệt độ đường lỏng T (°C)	1105	1070	1175	1100	1100	1135	1085
Độ nhớt chất lỏng (kP)	367,9	410,1	123,8	153,2	384,4	139,5	132,3
Độ bền chống nứt vỡ (MPa·m ^{1/2})	0,725	0,749	0,724	--	--	--	0,771
Mô đun Young (GPa)	70,67	72,33	70,95	73,22	70,88	71,29	69,84

	% Mol thành phần						
ID thành phần	29	30	31	32	33	34	35
SiO ₂	65,803	66,519	65,457	66,021	66,364	65,862	66,642
Al ₂ O ₃	13,515	13,654	13,017	13,153	13,233	13,017	13,216
B ₂ O ₃	6,957	6,882	6,964	7,075	7,073	7,030	6,936
P ₂ O ₅	3,241	3,262	3,235	3,267	3,292	3,241	3,271
Li ₂ O	7,812	7,011	8,302	7,448	6,995	7,810	6,891
Na ₂ O	2,440	2,453	2,329	2,354	2,361	2,343	2,361
K ₂ O	0,041	0,036	0,045	0,038	0,036	0,045	0,039
MgO	0,017	0,018	0,492	0,491	0,494	0,496	0,493
CaO	0,046	0,043	0,051	0,045	0,051	0,051	0,045

ZnO	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
SnO₂	0,062	0,064	0,062	0,064	0,063	0,062	0,063
ZrO₂	0,008	0,008	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
TiO₂	0,006	0,007	0,007	0,008	0,007	0,008	0,008
HfO₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe₂O₃	0,021	0,019	0,022	0,019	0,019	0,020	0,019
MnO₂	0,017	0,014	0,010	0,008	0,007	0,008	0,008
SrO	--	--	--	--	--	--	--
R₂O-Al₂O₃	-3,222	-4,154	-2,341	-3,312	-3,842	-2,820	-3,925
R₂O+RO-Al₂O₃	-3,159	-4,090	-1,798	-2,776	-3,297	-2,272	-3,386
R₂O+RO+P₂O₅-Al₂O₃	0,082	-0,828	1,437	0,491	-0,005	0,969	-0,115
Li₂O/R₂O	0,759	0,738	0,778	0,757	0,745	0,766	0,742
Nhiệt độ biến dạng (°C)	534	543	520	534	547	531	545
Nhiệt độ ủ (°C)	588	599	573	588	601	584	600
Nhiệt độ hóa mềm (°C)	864,2	883,3	839,4	866,3	877,2	856,1	877,3
CTE (10⁻⁷ °C⁻¹)	50,3	46,9	52	48,4	47,4	50	46,9
Khối lượng riêng (g/cm³)	2,304	2,301	2,308	2,303	2,301	2,304	2,301
Nhiệt độ đường lỏng (°C)	1060	1060	1070	1055	1045	1060	1035
Độ nhớt đường lỏng (kP)	343,9	500,9	206,1	402,9	627,4	275,5	759,5
Độ bền chống nứt vỡ (MPa·m^{1/2})	0,721	0,704	0,749	0,731	0,709	0,709	0,719
Môđun Young (GPa)	69,50	69,77	69,91	69,57	69,57	69,50	69,43

	% Mol thành phần						
ID thành phần	36	37	38	39	40	41	42
SiO₂	67,378	70,725	63,113	63,643	63,075	63,756	64,583
Al₂O₃	13,373	12,641	13,943	14,048	13,352	13,470	13,645
B₂O₃	6,857	3,866	7,013	7,362	7,216	7,336	7,258

P₂O₅	3,311	0,029	3,214	3,244	3,179	3,198	3,249
Li₂O	6,025	6,632	9,889	8,878	9,871	8,924	7,919
Na₂O	2,385	2,441	2,607	2,618	2,539	2,558	2,587
K₂O	0,034	0,034	0,046	0,041	0,045	0,042	0,037
MgO	0,494	2,736	0,026	0,023	0,568	0,568	0,580
CaO	0,042	0,055	0,049	0,045	0,053	0,048	0,044
ZnO	0,000	0,690	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
SnO₂	0,064	0,102	0,053	0,052	0,054	0,053	0,054
ZrO₂	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
TiO₂	0,009	0,008	0,006	0,006	0,006	0,007	0,007
HfO₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe₂O₃	0,017	0,019	0,025	0,022	0,025	0,022	0,020
MnO₂	0,005	0,013	0,011	0,010	0,011	0,010	0,007
SrO	--	--	--	--	--	--	--
R₂O-Al₂O₃	-4,930	-3,534	-1,402	-2,512	-0,897	-1,947	-3,102
R₂O+RO-Al₂O₃	-4,395	-0,053	-1,327	-2,443	-0,276	-1,331	-2,475
R₂O+RO+P₂O₅-Al₂O₃	-1,084	-0,024	1,887	0,801	2,903	1,867	0,774
Li₂O/R₂O	0,714	0,728	0,788	0,770	0,793	0,774	0,751
Nhiệt độ biến dạng (°C)	553	590	510	521	506	520	530
Nhiệt độ ủ (°C)	609	643	560	574	556	571	583
Nhiệt độ hóa mềm (°C)	898,9	909,5	809,7	834	799,4	822,9	849,7
CTE (10⁻⁷ °C⁻¹)	43,4	45,2	55,1	52,8	56,2	52,8	49,9
Khối lượng riêng (g/cm³)	2,299	2,371	2,316	2,311	2,32	2,313	2,309
Nhiệt độ chất lỏng (°C)	1005	1175	1090	1075	1075	1065	1060
Độ nhớt chất lỏng (kP)	2250,7	66,2	76,3	134,0	70,9	159,9	304,1
Độ bền chống nứt vỡ (MPa·m^{1/2})	0,702	0,799	0,766	0,7	0,692	0,718	0,704
Môđun Young (GPa)	69,50	79,01	69,77	69,64	70,53	70,05	69,84

	% Mol thành phần						
ID thành phần	43	44	45	46	47	48	49
SiO ₂	65,216	65,163	65,169	65,217	65,135	65,247	70,846
Al ₂ O ₃	13,585	13,599	13,593	13,609	13,592	13,559	12,592
B ₂ O ₃	4,707	4,687	4,658	4,664	4,728	4,691	4,108
P ₂ O ₅	3,837	3,821	3,836	3,847	3,854	3,855	0,003
Li ₂ O	7,705	7,758	7,761	7,714	7,711	7,664	6,466
Na ₂ O	1,876	1,907	1,945	1,874	1,878	1,876	2,417
K ₂ O	0,040	0,038	0,039	0,039	0,039	0,040	0,003
MgO	1,937	1,942	0,982	0,971	1,933	0,975	2,773
CaO	0,997	0,054	0,048	1,963	0,067	0,076	0,718
ZnO	0,000	0,936	1,872	0,000	0,000	0,000	0,000
SnO ₂	0,052	0,052	0,052	0,052	0,051	0,049	0,052
ZrO ₂	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001
TiO ₂	0,007	0,008	0,007	0,008	0,007	0,007	0,008
HfO ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ₂ O ₃	0,022	0,021	0,021	0,023	0,021	0,022	0,005
MnO ₂	0,010	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	0,000
SrO	0,001	0,000	0,000	0,002	0,969	1,926	0,001
R ₂ O-Al ₂ O ₃	-3,964	-3,896	-3,848	-3,983	-3,963	-3,978	-3,705
R ₂ O+RO-Al ₂ O ₃	-1,030	-0,964	-0,946	-1,048	-1,963	-2,927	-0,214
R ₂ O+RO+P ₂ O ₅ - Al ₂ O ₃	2,807	2,857	2,889	2,799	1,891	0,928	-0,211
Li ₂ O/R ₂ O	0,801	0,800	0,796	0,801	0,801	0,800	0,728
Nhiệt độ biến dạng (°C)	549	542	553	553	545	546	559
Nhiệt độ ủ (°C)	600	593	604	604	597	598	612
Nhiệt độ hóa mềm (°C)	858,9	853,7	862,4	857	858,3	861	875,4
CTE (10 ⁻⁷ °C ⁻¹)	46,9	46,8	50,3	49,5	49	50,5	53,3

Khối lượng riêng (g/cm³)	2,347	2,358	2,339	2,343	2,352	2,37	2,331
Nhiệt độ đường lỏng (°C)	1115	1120	1120	1110	1105	1100	1140
Độ nhớt đường lỏng (kP)	104,7	93,2	101,6	120,0	132,5	146,2	94,6
Độ bền chống nứt vỡ (MPa·m^{1/2})	--	--	--	--	--	--	0,722
Môđun Young (GPa)	73,50	72,81	73,50	72,95	73,02	72,88	72,95

	% Mol thành phần						
ID thành phần	50	51	52	53	54	55	56
SiO₂	70,699	70,828	70,725	70,751	72,113	70,846	70,699
Al₂O₃	13,080	13,608	13,561	13,580	12,914	12,592	13,080
B₂O₃	4,220	4,035	4,230	4,168	4,061	4,108	4,220
P₂O₅	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004
Li₂O	6,470	6,489	6,491	6,495	6,151	6,466	6,470
Na₂O	2,419	2,424	2,416	3,409	2,299	2,417	2,419
K₂O	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
MgO	2,307	1,799	0,796	0,791	0,763	2,773	2,307
CaO	0,725	0,734	1,701	0,724	1,618	0,718	0,725
ZnO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SnO₂	0,052	0,054	0,053	0,052	0,050	0,052	0,052
ZrO₂	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
TiO₂	0,008	0,008	0,007	0,008	0,009	0,008	0,008
HfO₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe₂O₃	0,005	0,005	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005
MnO₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SrO	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
R₂O-Al₂O₃	-4,188	-4,692	-4,650	-3,673	-4,460	-3,705	-4,188

$R_2O+RO-Al_2O_3$	-1,156	-2,159	-2,154	-2,157	-2,079	-0,214	-1,156
$R_2O+RO+P_2O_5-Al_2O_3$	-1,153	-2,156	-2,150	-2,153	-2,075	-0,211	-1,153
Li_2O/R_2O	0,728	0,728	0,728	0,656	0,728	0,728	0,728
Nhiệt độ biến dạng (°C)	552	572	582	554	583	598	601
Nhiệt độ ủ (°C)	605	625	632	609	635	650	654
Nhiệt độ hóa mềm (°C)	863,6	879,8	872,5	877,2	884,6	915	917
CTE ($10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	59,7	48,2	50,4	60,9	50,6	46	45
Khối lượng riêng (g/cm^3)	2,349	2,341	2,37	2,347	2,367	2,36	2,361
Nhiệt độ chất lỏng (°C)	1145	1140	1160	1145	1165	1180	1210
Độ nhớt đường lỏng (kP)	62,1	82,9	37,5	90,6	46,6	63,2	45,9
Độ bền chống nứt vỡ ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)	0,741	0,742	0,73	0,733	0,73	0,766	0,758
Môđun Young (GPa)	74,05	73,91	77,29	73,70	76,81	78,53	79,15

	% Mol thành phần						
ID thành phần	57	58	59	60	61	62	63
SiO_2	68,275	66,556	67,259	67,294	65,469	66,423	67,059
Al_2O_3	13,943	14,777	14,426	14,936	14,687	14,374	14,115
B_2O_3	4,976	4,924	3,979	2,992	3,222	4,192	5,106
P_2O_5	2,942	3,876	3,924	3,920	2,755	2,836	2,910
Li_2O	7,789	7,815	7,821	7,766	7,295	7,437	7,616
Na_2O	1,952	1,929	1,964	1,951	5,866	4,232	2,864
K_2O	0,003	0,003	0,003	0,004	0,032	0,033	0,033
MgO	0,015	0,017	0,027	0,037	0,017	0,018	0,017
CaO	0,020	0,019	0,505	1,010	0,035	0,036	0,037
ZnO	0,001	0,001	0,001	0,001	0,507	0,294	0,116
SnO_2	0,052	0,051	0,052	0,051	0,077	0,087	0,084
ZrO_2	0,008	0,010	0,010	0,010	0,014	0,012	0,014

TiO ₂	0,010	0,009	0,009	0,010	0,000	0,000	0,000
HfO ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	--	--	--
Fe ₂ O ₃	0,005	0,005	0,005	0,006	0,018	0,019	0,019
MnO ₂	0,003	0,000	0,000	0,002	0,006	0,008	0,010
SrO	--	--	--	--	--	--	--
R ₂ O-Al ₂ O ₃	-4,200	-5,031	-4,639	-5,216	-1,495	-2,672	-3,602
R ₂ O+RO-Al ₂ O ₃	-4,164	-4,994	-4,106	-4,167	-0,937	-2,324	-3,433
R ₂ O+RO+P ₂ O ₅ -Al ₂ O ₃	-1,222	-1,118	-0,182	-0,247	1,818	0,512	-0,523
Li ₂ O/R ₂ O	0,799	0,802	0,799	0,799	0,553	0,636	0,724
Nhiệt độ biến dạng (°C)	577	582	573	585	550	548	553
Nhiệt độ ủ (°C)	633	639	630	641	604	603	608
Nhiệt độ hóa mềm (°C)	916	915,3	916,2	931,6	--	892,6	--
CTE (10 ⁻⁷ °C ⁻¹)	46,1	45,8	46,9	47	--	53,8	--
Khối lượng riêng (g/cm ³)	2,312	2,311	2,319	2,334	--	2,336	--
Nhiệt độ đường lỏng (°C)	1160	1195	1140	1180	1095	1105	1105
Độ nhớt đường lỏng (kP)	129,0	58,3	199,1	105,5	237,9	193,0	213,9
Độ bền chống nứt vỡ (MPa·m ^{1/2})	0,722	0,712	0,732	0,712	--	--	--
Môđun Young (GPa)	72,05	71,64	72,33	74,33	73,22	72,60	71,91

	% Mol thành phần						
ID thành phần	64	65	66	67	68	69	70
SiO ₂	67,580	67,720	67,076	66,660	66,588	66,233	66,389
Al ₂ O ₃	13,908	13,907	13,767	13,660	13,609	13,653	13,628
B ₂ O ₃	5,603	5,436	5,531	5,394	5,287	5,417	5,321
P ₂ O ₅	2,953	2,944	3,156	3,318	3,373	3,364	3,365
Li ₂ O	7,810	7,840	7,753	7,743	7,744	7,796	7,773

Na₂O	1,937	1,917	1,906	1,894	1,908	1,912	1,916
K₂O	0,032	0,033	0,032	0,032	0,032	0,011	0,003
MgO	0,018	0,020	0,624	1,133	1,284	1,473	1,478
CaO	0,036	0,038	0,042	0,045	0,046	0,030	0,023
ZnO	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SnO₂	0,081	0,099	0,075	0,080	0,087	0,090	0,087
ZrO₂	0,012	0,018	0,010	0,011	0,014	0,013	0,014
TiO₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HfO₂	--	--	--	--	--	--	--
Fe₂O₃	0,019	0,020	0,019	0,020	0,020	0,009	0,005
MnO₂	0,008	0,010	0,008	0,010	0,009	0,000	0,000
SrO	--	--	--	--	--	--	--
R₂O-Al₂O₃	-4,129	-4,118	-4,077	-3,991	-3,926	-3,933	-3,937
R₂O+RO-Al₂O₃	-4,073	-4,060	-3,410	-2,813	-2,596	-2,431	-2,436
R₂O+RO+P₂O₅- Al₂O₃	-1,120	-1,116	-0,255	0,506	0,777	0,933	0,929
Li₂O/R₂O	0,799	0,801	0,800	0,801	0,800	0,802	0,802
Nhiệt độ biến dạng (°C)	556	562	552	548	548	555	554
Nhiệt độ ủ (°C)	611	618	606	602	602	608	608
Nhiệt độ hóa mềm (°C)	--	--	--	--	885,8	--	--
CTE (10⁻⁷ °C⁻¹)	--	--	--	--	44,9	--	--
Khối lượng riêng (g/cm³)	2,306	2,307	2,309	--	2,314	--	--
Nhiệt độ đường lỏng (°C)	1140	1160	1075	1095	1080	1095	1095
Độ nhót đường lỏng (kP)	130,7	99,3	380,6	241,5	320,2	226,6	227,0
Độ bền chống nứt vỡ	--	--	--	--	--	--	--

(MPa·m ^{1/2})							
Môđun Young (GPa)	71,36	72,12	71,50	72,74	72,05	71,91	72,46

	% Mol thành phần						
ID thành phần	71	72	73	74	75	76	77
SiO₂	66,295	65,647	65,470	65,706	66,240	66,626	67,088
Al₂O₃	13,375	13,363	13,402	13,724	13,786	13,811	14,051
B₂O₃	5,288	4,975	4,868	4,817	4,930	4,985	5,007
P₂O₅	3,462	3,710	3,826	3,818	3,826	3,847	3,876
Li₂O	7,754	7,710	7,509	7,738	7,672	7,731	7,905
Na₂O	1,920	1,895	1,891	1,910	1,945	1,953	1,978
K₂O	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002
MgO	1,782	2,570	2,937	2,197	1,520	0,967	0,028
CaO	0,024	0,028	0,028	0,026	0,022	0,018	0,014
ZnO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SnO₂	0,084	0,084	0,044	0,042	0,037	0,038	0,035
ZrO₂	0,009	0,010	0,015	0,014	0,015	0,016	0,010
TiO₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HfO₂	--	--	--	--	--	--	--
Fe₂O₃	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004
MnO₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SrO	--	--	--	--	--	--	--
R₂O-Al₂O₃	-3,698	-3,756	-3,999	-4,073	-4,166	-4,124	-4,166
R₂O+RO-Al₂O₃	-1,892	-1,157	-1,033	-1,850	-2,625	-3,140	-4,123
R₂O+RO+P₂O₅- Al₂O₃	1,570	2,553	2,793	1,968	1,201	0,707	-0,247
Li₂O/R₂O	0,801	0,803	0,799	0,802	0,798	0,798	0,800
Nhiệt độ biến dạng (°C)	552	553	554	554	557	560	561
Nhiệt độ ủ (°C)	606	605	605	607	611	615	618
Nhiệt độ hóa mềm (°C)	--	--	878,9	--	--	--	--
CTE (10⁻⁷ °C⁻¹)	--	--	44,5	--	--	--	--

Khối lượng riêng (g/cm³)	--	--	2,323	2,319	2,312	--	2,299
Nhiệt độ đường lỏng (°C)	1080	1105	1110	1095	1105	1085	1100
Độ nhớt đường lỏng (kP)	287,5	159,0	132,3	212,7	218,4	386,7	371,4
Độ bền chống nứt vỡ (MPa·m^{1/2})	--	--	--	--	--	--	--
Môđun Young (GPa)	72,74	73,02	73,36	73,02	73,43	72,05	71,15

	% Mol thành phần						
ID thành phần	78	79	80	81	82	83	84
SiO ₂	67,141	67,052	67,879	68,890	69,710	70,794	70,029
Al ₂ O ₃	14,181	14,128	13,897	13,534	13,241	12,979	13,370
B ₂ O ₃	5,134	5,085	4,646	4,431	4,336	4,060	3,953
P ₂ O ₅	3,977	3,987	3,068	2,022	1,268	0,011	0,474
Li ₂ O	8,236	8,587	8,290	7,652	7,015	6,202	6,690
Na ₂ O	1,236	1,062	1,255	1,556	1,786	2,156	2,588
K ₂ O	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003
MgO	0,018	0,023	0,467	0,960	1,325	1,930	1,462
CaO	0,013	0,013	0,428	0,897	1,251	1,808	1,382
ZnO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SnO ₂	0,045	0,046	0,049	0,040	0,040	0,045	0,039
ZrO ₂	0,011	0,011	0,015	0,010	0,021	0,006	0,005
TiO ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HfO ₂	--	--	--	--	--	--	--
Fe ₂ O ₃	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006	0,005
MnO ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SrO	--	--	--	--	--	--	--
R ₂ O-Al ₂ O ₃	-4,705	-4,477	-4,349	-4,323	-4,436	-4,617	-4,089
R ₂ O+RO-Al ₂ O ₃	-4,674	-4,440	-3,454	-2,465	-1,860	-0,880	-1,245
R ₂ O+RO+P ₂ O ₅ -Al ₂ O ₃	-0,697	-0,453	-0,386	-0,443	-0,593	-0,868	-0,771

Li₂O/R₂O	0,869	0,890	0,868	0,831	0,797	0,742	0,721
Nhiệt độ biến dạng (°C)	565	564	571	581	585	601	595
Nhiệt độ ủ (°C)	620	619	626	636	639	654	649
Nhiệt độ hóa mềm (°C)	--	907,4	--	--	--	--	--
CTE (10⁻⁷ °C⁻¹)	--	43,6	--	--	--	--	--
Khối lượng riêng (g/cm³)	--	2,297	--	--	--	2,359	--
Nhiệt độ chất lỏng (°C)	1120	1125	1140	1140	1170	1160	1170
Độ nhớt chất lỏng (kP)	206,3	190,3	132,4	139,6	80,3	101,0	86,3
Độ bền chống nứt vỡ (MPa·m^{1/2})	--	--	--	--	--	--	--
Môđun Young (GPa)	71,08	70,74	73,02	74,88	76,46	78,88	78,19

	% Mol thành phần						
ID thành phần	85	86	87	88	89	90	91
SiO₂	69,183	67,958	67,657	67,562	67,122	66,929	66,957
Al₂O₃	14,117	15,142	14,961	14,522	14,255	14,107	14,019
B₂O₃	3,602	3,011	3,567	4,337	5,309	5,635	5,545
P₂O₅	1,079	1,951	2,285	2,739	3,317	3,454	3,382
Li₂O	7,106	7,856	7,812	7,924	8,071	8,223	8,393
Na₂O	3,129	3,900	3,604	2,814	1,829	1,543	1,609
K₂O	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
MgO	0,894	0,062	0,026	0,023	0,020	0,020	0,015
CaO	0,837	0,061	0,024	0,019	0,017	0,017	0,016
ZnO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SnO₂	0,039	0,043	0,048	0,046	0,044	0,050	0,045
ZrO₂	0,006	0,009	0,008	0,008	0,010	0,016	0,013
TiO₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HfO₂	--	--	--	--	--	--	--

Fe₂O₃	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005
MnO₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SrO	--	--	--	--	--	--	--
R₂O-Al₂O₃	-3,880	-3,383	-3,543	-3,781	-4,352	-4,339	-4,014
R₂O+RO-Al₂O₃	-2,148	-3,259	-3,493	-3,739	-4,316	-4,302	-3,984
R₂O+RO+P₂O₅-Al₂O₃	-1,069	-1,308	-1,207	-1,000	-0,999	-0,849	-0,602
Li₂O/R₂O	0,694	0,668	0,684	0,738	0,815	0,842	0,839
Nhiệt độ biến dạng (°C)	593	595	584	573	563	560	556
Nhiệt độ ủ (°C)	648	651	640	629	619	615	612
Nhiệt độ hóa mềm (°C)	--	--	--	--	--	--	--
CTE (10⁻⁷ °C⁻¹)	--	--	--	--	--	--	--
Khối lượng riêng (g/cm³)	2,351	2,344	--	--	--	2,3	2,3
Nhiệt độ chất lỏng (°C)	1185	1180	1185	1160	1155	1140	1155
Độ nhớt chất lỏng (kP)	71,1	91,3	76,1	107,0	97,9	121,6	95,0
Độ bền chống nứt vỡ (MPa·m^{1/2})	--	--	--	--	--	--	--
Môđun Young (GPa)	77,01	75,70	74,67	73,15	71,64	71,08	71,22

	% Mol thành phần						
ID thành phần	92	93	94	95	96	97	98
SiO₂	66,882	67,005	66,936	66,907	67,010	66,976	66,996
Al₂O₃	14,012	14,157	14,150	14,117	13,974	14,129	14,122
B₂O₃	5,660	5,417	5,608	5,121	4,581	3,897	3,514
P₂O₅	2,857	2,050	1,752	2,000	2,600	3,219	3,451
Li₂O	8,290	8,200	8,071	8,271	8,222	8,178	8,354
Na₂O	2,191	3,073	3,380	3,489	3,509	3,490	3,462
K₂O	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
MgO	0,020	0,020	0,016	0,015	0,016	0,020	0,018

CaO	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
ZnO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SnO ₂	0,052	0,048	0,053	0,049	0,052	0,051	0,050
ZrO ₂	0,014	0,009	0,013	0,012	0,013	0,017	0,011
TiO ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HfO ₂	--	--	--	--	--	--	--
Fe ₂ O ₃	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
MnO ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SrO	--	--	--	--	--	--	--
R ₂ O-Al ₂ O ₃	-3,527	-2,882	-2,697	-2,354	-2,239	-2,458	-2,304
R ₂ O+RO-Al ₂ O ₃	-3,493	-2,848	-2,666	-2,325	-2,208	-2,423	-2,271
R ₂ O+RO+P ₂ O ₅ -Al ₂ O ₃	-0,636	-0,797	-0,915	-0,326	0,392	0,796	1,180
Li ₂ O/R ₂ O	0,791	0,727	0,705	0,703	0,701	0,701	0,707
Nhiệt độ biến dạng (°C)	553	555	554	556	554	559	557
Nhiệt độ ủ (°C)	608	609	608	610	608	614	612
Nhiệt độ hóa mềm (°C)	--	885,4	--	--	--	--	--
CTE (10 ⁻⁷ °C ⁻¹)	--	50,8	--	--	--	--	--
Khối lượng riêng (g/cm ³)	--	2,319	2,323	2,324	--	--	--
Nhiệt độ đường lỏng (°C)	1145	1140	1130	1135	1135	1135	1115
Độ nhớt đường lỏng (kP)	98,2	93,0	104,6	100,3	116,3	138,4	197,7
Độ bền chống nứt vỡ (MPa·m ^{1/2})	--	--	--	--	--	--	--
Môđun Young (GPa)	71,43	82,87	73,15	73,02	72,33	72,60	72,88

	% Mol thành phần				
ID thành phần	99	100	101	102	103
SiO ₂	67,305	67,833	68,613	69,083	69,867
Al ₂ O ₃	14,017	13,832	13,418	13,260	12,943

B₂O₃	3,676	3,674	3,842	3,985	4,098
P₂O₅	3,102	2,609	1,944	1,222	0,449
Li₂O	8,051	7,793	7,481	7,101	6,709
Na₂O	3,479	3,516	3,484	3,617	3,645
K₂O	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
MgO	0,152	0,351	0,597	0,853	1,127
CaO	0,144	0,322	0,555	0,812	1,088
ZnO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SnO₂	0,049	0,051	0,046	0,047	0,043
ZrO₂	0,018	0,013	0,010	0,011	0,022
TiO₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HfO₂	--	--	--	--	--
Fe₂O₃	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005
MnO₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SrO	--	--	--	--	--
R₂O-Al₂O₃	-2,484	-2,520	-2,450	-2,538	-2,585
R₂O+RO-Al₂O₃	-2,188	-1,848	-1,297	-0,873	-0,370
R₂O+RO+P₂O₅-Al₂O₃	0,914	0,761	0,647	0,349	0,079
Li₂O/R₂O	0,698	0,689	0,682	0,662	0,648
Nhiệt độ biến dạng (°C)	562	562	568	572	577
Nhiệt độ ủ (°C)	617	616	622	626	631
Nhiệt độ hóa mềm (°C)	--	--	--	--	903,3
CTE (10⁻⁷ °C⁻¹)	--	--	--	--	49,9
Khối lượng riêng (g/cm³)	2,327	--	2,336	--	2,35
Nhiệt độ đường lỏng (°C)	1135	1140	1135	1145	1150
Độ nhớt đường lỏng (kP)	140,5	131,2	147,5	120,6	110,1
Độ bền chống nứt vỡ (MPa·m^{1/2})	--	--	--	--	--

Môđun Young (GPa)	74,19	73,50	74,19	75,70	76,95
------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------

Ví dụ 2

Hai nhóm mẫu của mỗi một trong ba hợp phần thủy tinh được lấy làm ví dụ (các hợp phần 26, 65, và 77) được gia công tiếp và được gia cường bằng cách trao đổi ion. Các hợp phần trước khi trao đổi ion đối với mỗi trong số ba hợp phần thủy tinh được nêu dưới đây trên bảng 2. Một nhóm các mẫu cho mỗi một trong số các hợp phần thủy tinh lấy làm ví dụ của ví dụ 2 được hư cấu hóa (fictivated) bằng cách xử lý nhiệt các mẫu này trong 4 phút ở nhiệt độ mà tại đó độ nhớt của hợp phần thủy tinh là 10^{11} poa và sau đó làm lạnh các mẫu trong luồng không khí ở nhiệt độ môi trường. Các mẫu được hư cấu hóa này được ký hiệu bằng hậu tố “-F” trong bảng 2 dưới đây. Việc xử lý nhiệt này mô phỏng lịch sử nhiệt của thủy tinh được nung chảy mà được làm nguội. Nhóm mẫu thứ hai của mỗi hợp phần thủy tinh được lấy làm ví dụ của ví dụ 2 được ủ đơn giản. Các mẫu này được nêu trên bảng 2 với hậu tố “-A.”

Các mẫu sau đó được trao đổi ion để tạo ra profin ứng suất parabol trong mỗi một trong số các mẫu. Mỗi một trong số các mẫu của các hợp phần thủy tinh trong ví dụ 2 có độ dày là 0,8 mm. Các mẫu 26-F2, 65-A, 65-F, 77-A, và 77-F được trao đổi ion trong bể muối nóng chảy chứa 80 phần trăm khối lượng (% khối lượng) KNO_3 và 20 % khối lượng NaNO_3 . Mẫu 26-F1 được trao đổi ion trong bể muối nóng chảy chứa 100 % khối lượng NaNO_3 . Các mẫu được trao đổi ion ở nhiệt độ 430 °C trong thời gian ngâm đủ để đạt được profin ứng suất parabol. Thời gian ngâm cho mỗi mẫu được nêu trong bảng 2 dưới đây.

Bảng 2: Thành phần và các đặc tính của các hợp phần thủy tinh của ví dụ 2

Mẫu số	26-F1	26-F2	65-A	65-F	77-A	77-F
Số tham chiếu trên FIG. 2	120	122	130	132	140	142
SiO_2	67,097	67,097	67,72	67,72	67,088	67,088
Al_2O_3	13,971	13,971	13,91	13,91	14,051	14,051
Li_2O	7,919	7,919	7,84	7,84	7,905	7,905
Na_2O	1,931	1,931	1,92	1,92	1,978	1,978
K_2O	0,040	0,040	,03	,03	--	--
B_2O_3	4,890	4,890	5,44	5,44	5,007	5,007
P_2O_5	3,966	3,966	2,94	2,94	3,876	3,876

MgO	0,025	0,025	,02	,02	0,028	0,028
CaO	0,046	0,046	,04	,04	0,014	0,014
R ₂ O-Al ₂ O ₃	-4,81	-4,81	-4,12	-4,12	-4,17	-4,17
(R ₂ O+RO-Al ₂ O ₃)	-4,00	-4,00	-4,06	-4,06	-4,12	-4,12
R ₂ O+RO+P ₂ O ₅ -Al ₂ O ₃	-0,04	-0,04	-1,12	-1,12	-0,25	-0,25
Li ₂ O/R ₂ O	0,80	0,80	,80	,80	0,80	0,80
Các đặc tính của các hợp phần thủy tinh						
Xử lý	được hư cấu hóa	được hư cấu hóa	được ủ	được hư cấu hóa	được ủ	được hư cấu hóa
Nhiệt độ kéo căng (°C)	566	566	562	562	561	561
Nhiệt độ ủ (°C)	623	623	618	618	618	618
Nhiệt độ làm mềm (°C)	--	--	--	--	--	--
CTE (10 ⁻⁷ /°C)	47	47	--	--	--	--
Khối lượng riêng (g/cc)	2,31	2,31	2,31	2,31	2,30	2,30
Nhiệt độ ở thể lỏng (°C)	1100	1100	1160	1160	1100	1100
Độ nhớt ở thể lỏng (kP)	384,4	384,4	99,3	99,3	371,4	371,4
Môđun Young (GPa)	70,88	70,88	72,12	72,12	71,15	561
Na:K trong bể trao đổi ion	100:0	20:80	20:80	20:80	20:80	20:80
Nhiệt độ bể (°C)	430	430	430	430	430	430
Thời gian trao đổi ion (giờ)	3	3	5	3,5	4	3
CS (MPa)	-	401	434	403	425	413
DOL (μm)	-	12,8	10,9	11,4	11,6	12,3
DOC (μm)	163	163	143	158	159	158
CT (MPa)	67	67	90	67	82	65

Tham chiếu đến FIG. 1, profin ứng suất đối với các mẫu 77-A và 77-F là hàm của vị trí qua độ dày của các mẫu thủy tinh được minh họa. Thủy tinh được ủ của mẫu 77-A (số tham chiếu 140 trên FIG. 1) đạt được lực kéo đúng tâm lớn hơn (CT) bằng 81,7 MPa, như được thể hiện trên FIG. 1, nhưng có thời gian ngâm trao đổi ion lâu hơn để đạt được CT đỉnh. Hợp phần thủy tinh được chế tạo của mẫu 77-F (số tham chiếu 142 trên FIG. 1) đạt CT đỉnh trong thời gian ngâm ngắn hơn chỉ là 3 giờ so với 4 giờ đối với mẫu 77-A. Tuy nhiên, mẫu được chế tạo 77-F thể hiện CT đỉnh thấp hơn là 61,6 MPa. Các kết quả trên FIG. 1 là đối với các mẫu được trao đổi ion trong bể trao đổi ion chứa 80 % khối lượng KNO_3 và 20 % khối lượng NaNO_3 . Các hợp phần thủy tinh giống nhau đạt được CT đỉnh lớn hơn 90 MPa khi được trao đổi ion trong 100% NaNO_3 , nhưng với ứng suất nén thấp hơn tại bề mặt.

Giờ đây nên hiểu rằng các hợp phần thủy tinh được mô tả ở đây thể hiện độ bền hóa học cũng như độ bền cơ học sau khi trao đổi ion. Các tính chất này làm cho các hợp phần thủy tinh rất thích hợp để sử dụng trong các ứng dụng khác nhau bao gồm, nhưng không giới hạn, vật liệu bao gói dược phẩm.

Người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này sẽ hiểu rằng các cải biến và các thay đổi khác nhau có thể được tạo ra cho các phương án thực hiện được mô tả ở đây mà không tách khỏi tinh thần hoặc phạm vi của các 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 thủy tinh chứa hợp phần, trong đó hợp phần này bao gồm:

lớn hơn hoặc bằng 50 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 80 % mol SiO_2 ;

lớn hơn hoặc bằng 7 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 25 % mol Al_2O_3 ;

lớn hơn hoặc bằng 2 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 14 % mol Li_2O ;

lớn hơn hoặc bằng 0,4 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 10 % mol P_2O_5 ;

lớn hơn hoặc bằng 1 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 6 % mol Na_2O ; và

nhỏ hơn hoặc bằng 0,5 % mol ZrO_2 ,

trong đó $(\text{Al}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol}) - \text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol}) - \text{RO} (\% \text{ mol}))$ lớn hơn 0, trong đó $\text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol})$ là tổng lượng mol của Li_2O , Na_2O , K_2O , Rb_2O , và Cs_2O trong hợp phần và $\text{RO} (\% \text{ mol})$ là tổng lượng mol của BeO , MgO , CaO , SrO , BaO , và ZnO trong hợp phần,

trong đó $(\text{Al}_2\text{O}_3 (\% \text{ mol}) - \text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol}) - \text{RO} (\% \text{ mol}) - \text{P}_2\text{O}_5 (\% \text{ mol}))$ lớn hơn hoặc bằng

-2 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 2 % mol;

trong đó R_2O nhỏ hơn hoặc bằng 12 % mol; và

trong đó vật phẩm thủy tinh có độ bền chống nứt gãy lớn hơn $0,77 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

2. Vật phẩm thủy tinh theo điểm 1, trong đó tỷ lệ mol của $(\text{Li}_2\text{O} (\% \text{ mol})) / (\text{R}_2\text{O} (\% \text{ mol}))$ lớn hơn hoặc bằng 0,5.

3. Vật phẩm thủy tinh theo điểm 1, còn chứa lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 4 % mol TiO_2 .

4. Vật phẩm thủy tinh theo điểm 1, trong đó hợp phần có nhiệt độ đường lỏng nhỏ hơn hoặc bằng 1300°C .

5. Vật phẩm thủy tinh theo điểm 1, trong đó hợp phần có độ nhớt đường lỏng lớn hơn 20 kP.

6. Vật phẩm thủy tinh theo điểm 1, trong đó hợp phần có độ nhớt đường lỏng lớn hơn 250 kP.

7. Vật phẩm thủy tinh theo điểm 1, trong đó hợp phần chứa lớn hơn hoặc bằng 7 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 12 % mol R_2O .

8. Vật phẩm thủy tinh theo điểm 1, trong đó hợp phần còn chứa nhỏ hơn hoặc bằng 2,5 % mol K_2O .

9. Vật phẩm thủy tinh theo điểm 1, trong đó hợp phần còn chứa lớn hơn hoặc bằng 3 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 15 % mol B_2O_3 .

10. Vật phẩm thủy tinh theo điểm 9, trong đó (Li_2O (% mol) + Al_2O_3 (% mol)) lớn hơn hoặc bằng hai lần B_2O_3 (% mol).
11. Vật phẩm thủy tinh theo điểm 1, trong đó hợp phần còn chứa lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 5 % mol MgO .
12. Vật phẩm thủy tinh theo điểm 1, trong đó hợp phần còn chứa lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 5 % mol ZnO .
13. Vật phẩm thủy tinh theo điểm 1, trong đó hợp phần còn chứa lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 4 % mol CaO .
14. Vật phẩm thủy tinh theo điểm 1, trong đó hợp phần còn chứa lớn hơn 0 % mol và nhỏ hơn hoặc bằng 4 % mol SrO .
15. Vật phẩm thủy tinh theo điểm 1, trong đó hợp phần còn chứa nhỏ hơn hoặc bằng 0,35 % mol SnO_2 .
16. Vật phẩm thủy tinh theo điểm 1, trong đó hợp phần về cơ bản không chứa BaO .
17. Sản phẩm điện tử tiêu dùng, bao gồm:

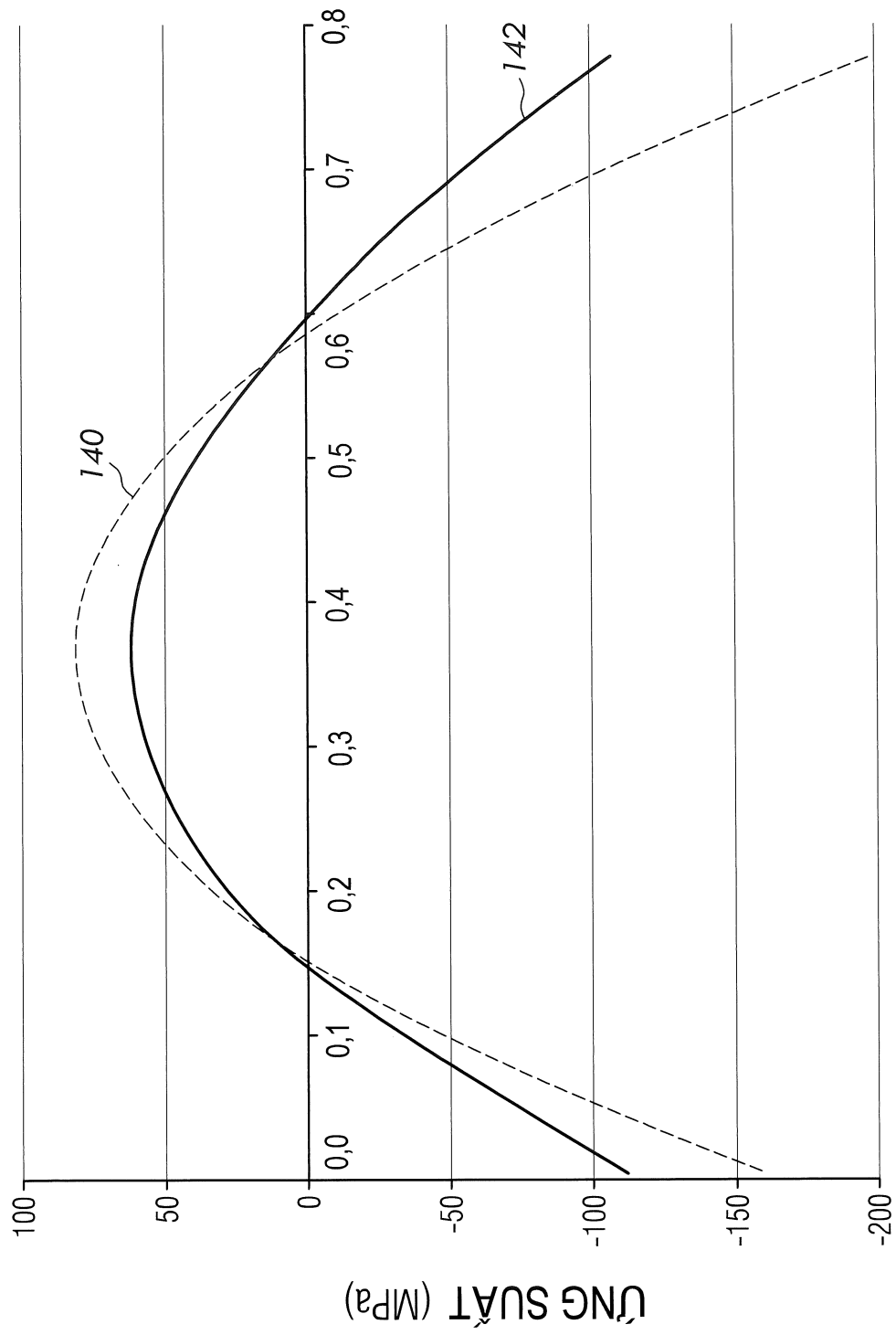
vỏ có bề mặt trước, bề mặt sau và các bề mặt bên;

các linh kiện điện được cung cấp ít nhất một phần bên trong vỏ, các linh kiện điện này bao gồm ít nhất là bộ điều khiển, bộ nhớ và màn hiển thị, màn hiển thị này được cung cấp tại hoặc liền kề bề mặt trước của vỏ; và

nền che phủ được bố trí trên màn hiển thị,

trong đó ít nhất một phần của vỏ hoặc nền bao gồm vật phẩm thủy tinh theo điểm 1.

1 / 2



KHOẢNG CÁCH QUA ĐỘ DÀY (mm)

FIG. 1

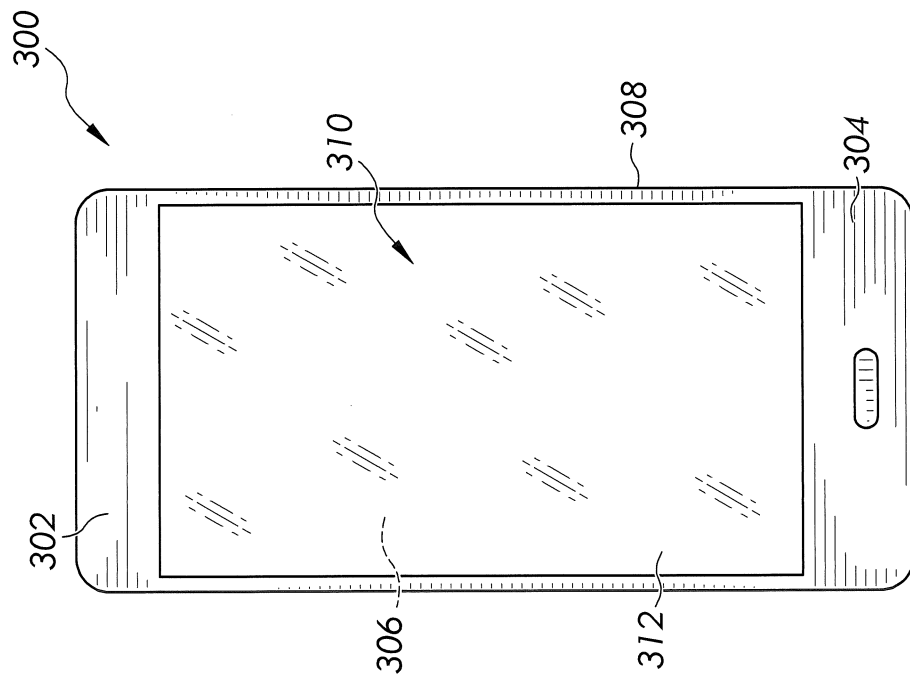


FIG. 2A

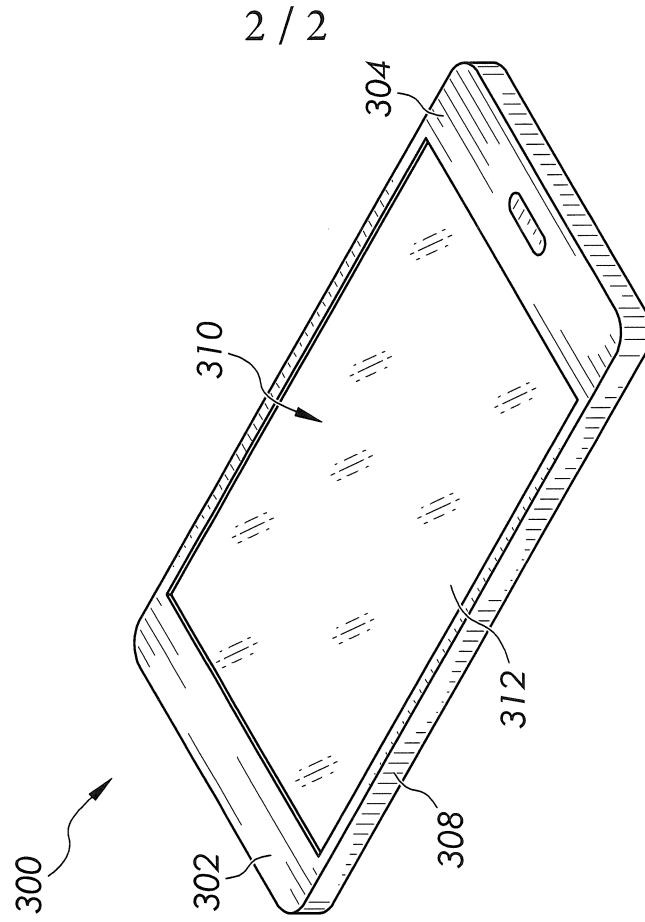


FIG. 2B

2 / 2