



(21) 申請案號：112111922 (22) 申請日：中華民國 112 (2023) 年 03 月 29 日

(51) Int. Cl. : C03B32/00 (2006.01) C03B23/023 (2006.01)
 C03C21/00 (2006.01) C03B25/00 (2006.01)

(30) 優先權：2022/04/01 美國 63/326,308

(71) 申請人：美商康寧公司 (美國) CORNING INCORPORATED (US)
 美國

(72) 發明人：博圖 凡卡特許 BOTU, VENKATESH (IN)；蔡嶺 CAI, LING (CN)；菲金斯 西
 斯艾倫 FILKINS, HEATH AARON (US)；藍伯森 里沙安 LAMBERSON, LISA
 ANN (US)；李 艾澤 LI, AIZE (US)；史密斯 夏琳瑪莉 SMITH, CHARLENE
 MARIE (US)；熊 麗萍 SMITH, LIPING XIONG (US)

(74) 代理人：李世章；彭國洋

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：15 項 圖式數：32 共 88 頁

(54) 名稱

分相玻璃

(57) 摘要

一種使用包括富含氧化矽的第一相和富含硼的第二相的相分離矽酸鹽玻璃製作玻璃製品的方法。相分離氧化矽玻璃用蝕刻劑進行蝕刻以除去第二相的至少一部分並獲得高氧化矽含量的多孔玻璃製品。多孔玻璃製品可進行熱處理以固結該多孔玻璃製品從而封閉該多孔玻璃製品的孔並獲得具有非常低介電性質的經固結的玻璃製品。揭示藉由調幅分解而相分離的各種玻璃組合物。

A method of making a glass article using a phase separated silicate glass including a silica rich first phase and a boron rich second phase. The phase separated silica glass is etched with an etchant to remove at least a portion of the second phase and obtain a high silica content porous glass article. The porous glass article may be heat treated to consolidate the porous glass article to close the pores of the porous glass article and obtain a consolidated glass article with very low dielectric properties. Various glass compositions are disclosed that phase separate via spinodal decomposition.

指定代表圖：

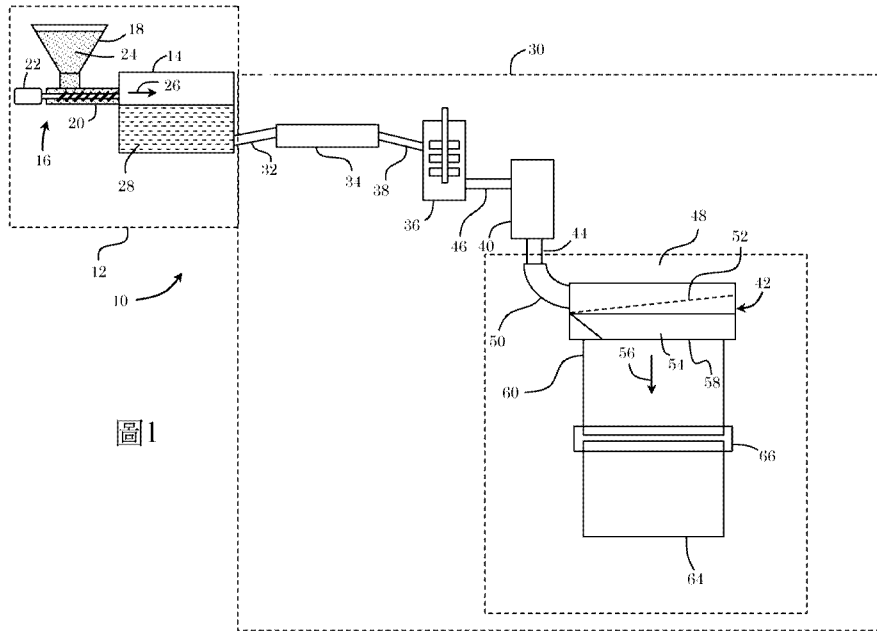


圖1

符號簡單說明：

10:玻璃製造設備

12:玻璃熔化爐

14:熔化容器

16:上游玻璃製造設備

18:原材料儲存倉

20:原材料遞送裝置

22:馬達

24:原材料

26:箭頭

28:熔融玻璃

30:下游玻璃製造設備

32:第一連接導管

34:澄清容器

36:混合設備

38:第二連接導管

40:遞送容器

42:成形體

44:出口導管

46:第三連接導管

48:成形設備

50:進口導管

52:槽

54:成形表面

56:拉製方向

58:底部邊緣

60:玻璃帶

64:玻璃片材

66:刻痕設備

【發明摘要】

【中文發明名稱】分相玻璃

【英文發明名稱】PHASE SEPARATED GLASSES

【中文】

一種使用包括富含氧化矽的第一相和富含硼的第二相的相分離矽酸鹽玻璃製作玻璃製品的方法。相分離氧化矽玻璃用蝕刻劑進行蝕刻以除去第二相的至少一部分並獲得高氧化矽含量的多孔玻璃製品。多孔玻璃製品可進行熱處理以固結該多孔玻璃製品從而封閉該多孔玻璃製品的孔並獲得具有非常低介電性質的經固結的玻璃製品。揭示藉由調幅分解而相分離的各種玻璃組合物。

【英文】

A method of making a glass article using a phase separated silicate glass including a silica rich first phase and a boron rich second phase. The phase separated silica glass is etched with an etchant to remove at least a portion of the second phase and obtain a high silica content porous glass article. The porous glass article may be heat treated to consolidate the porous glass article to close the pores of the porous glass article and obtain a consolidated glass article with very low dielectric properties. Various glass compositions are disclosed that phase separate via spinodal decomposition.

【指定代表圖】第（ 1 ）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

1 0 : 玻璃製造設備

1 2 : 玻璃熔化爐

1 4 : 熔化容器

- 16: 上游玻璃製造設備
- 18: 原材料儲存倉
- 20: 原材料遞送裝置
- 22: 馬達
- 24: 原材料
- 26: 箭頭
- 28: 熔融玻璃
- 30: 下游玻璃製造設備
- 32: 第一連接導管
- 34: 澄清容器
- 36: 混合設備
- 38: 第二連接導管
- 40: 遞送容器
- 42: 成形體
- 44: 出口導管
- 46: 第三連接導管
- 48: 成形設備
- 50: 進口導管
- 52: 槽
- 54: 成形表面
- 56: 拉製方向
- 58: 底部邊緣
- 60: 玻璃帶
- 64: 玻璃片材

6 6 : 刻 痕 設 備

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】分相玻璃

【英文發明名稱】PHASE SEPARATED GLASSES

【技術領域】

相關申請的交叉引用

【0001】 本案主張於2022年4月1日提出申請的美國臨時申請序號63/326308的優先權權益，依靠其內容並藉由引用將其內容作為整體併入本文。

【0002】 本案內容大體上涉及具有至少兩個不同玻璃相的相分離玻璃。本文中公開的相分離玻璃可熔合成形並且可進行進一步加工以提供具有非常低的介電常數和損耗角正切的玻璃製品。

【先前技術】

【0003】 數位技術不斷擴展，特別是在資料連接和處理速率方面。例如，1 Gbits/s量級的處理速率正在擴展到幾十Gbits/s量級的速率。實現這些資料速率的相應電子裝置技術可能會導致在1 GHz的量級上信號傳輸和接收頻率膨脹至10 GHz的量級，在某些情況下甚至高達約100 GHz。

【0004】 隨著這些信號頻率增加以適應資料處理速率的增加，涉及與這些裝置中使用的絕緣材料相關的吸收損耗的技術規範和要求變得更加重要。儘管存在在大於10 GHz的頻率下具有低損耗角正切的可用材料，但這些材料的加工特性可能限制它們使用某些成形製程進行製造的能力。

【0005】 存在被用作 PCB 中的絕緣層的商品可得的材料。例如，在 PCB 應用中被用作絕緣層的一種常見的玻璃環氧樹脂層壓體在 10 GHz 的信號頻率下具有 0.0058 的損耗角正切。然而，隨著行業向越來越高的信號頻率發展，這種絕緣層壓體具有受限的損耗角正切。已經發現其他層壓體，諸如熔合氧化矽 / 聚合物層壓體，其在 10 GHz 或更高的頻率下表現出低損耗特性。然而，熔合氧化矽和聚合物層的力學性質限制了這些層壓體在某些製程中的使用，因為熔合氧化矽層在後加工期間可能開裂。

【0006】 諸如 Radome 熱陶瓷、高純度熔合氧化矽、藍寶石、氧化鋁、和氧化矽之類的材料在大於 10 GHz 的頻率下可能具有低損耗角正切。然而，這些材料在成形溫度下可能具有如此高的黏度，使得它們使用諸如狹槽拉製和溢流下拉之類的標準片材成形製程進行加工的能力可能受到限制。也存在在大於 10 GHz 的頻率下具有低損耗角正切的無鹼玻璃和玻璃陶瓷材料，其示例包括 $B_2O_3 - P_2O_5 - SiO_2$ 三元 (BPS) 和 $MgO - Al_2O_3 - SiO_2$ (MAS) 系統。然而，這些系統典型地具有對於常見成形方法而言太低的液相黏度。

【發明內容】

【0007】 揭示一種製作玻璃製品的方法，包括：形成熔融玻璃，所述熔融玻璃經歷調幅分解以產生包括第一相、第二相、以及在從約 59 mol% 至約 69 mol% 的範圍內的總 SiO_2 含量和在從約 9 mol% 至約 20 mol% 的範圍內的

B₂O₃含量的相分離熔融玻璃；將所述相分離熔融玻璃拉製成玻璃片材；和在約60°C至約95°C之間的溫度下將所述玻璃片材暴露於第一酸溶液在約16小時至約24小時的範圍內的時間以從所述玻璃片材除去所述第二相的至少一部分並獲得包括大於約95 mol%的總氧化矽含量的多孔玻璃片材，所述第一酸溶液包括約5 wt%至約40 wt%的無機酸或有機酸。例如，所述第一酸溶液可包括HCl、H₂SO₄、HNO₃、HF、或H₃PO₄中的至少一者。在各態樣中，所述第一酸溶液可包括檸檬酸或乙酸中的至少一者。

【0008】 經計算的所述多孔玻璃片材的開孔孔隙度可大於約28%。

【0009】 在一些態樣中，第一酸溶液可包括HCl，例如約5 wt%的HCl。

【0010】 所述方法可包括在從約500°C至約700°C的範圍內的溫度下熱處理所述多孔玻璃片材在從約45分鐘至約75分鐘的範圍內的時間。

【0011】 在各態樣中，所述方法可包括將所述多孔玻璃片材加熱至在從約900°C至約1100°C的範圍內的溫度在從約1小時至約24小時的範圍內的時間以固結所述多孔玻璃片材並獲得經固結的玻璃片材，當使用分離媒體諧振器在1.0 GHz下測量時所述經固結的玻璃片材包括小於約4.0的介電常數D_k。

【0012】 在各態樣中，所述經固結的玻璃片材的D_k可小於約3.5。

【0013】 在各態樣中，當使用分離媒體諧振器在10 GHz下測量時所述經固結的玻璃片材可包括小於約0.0075的損耗角正切 D_f 。

【0014】 在一些態樣中，所述固結的溫度大於或等於約1000°C，並且其中當使用分離媒體諧振器在10 GHz下測量時所述經固結的玻璃片材可包括小於約0.003的損耗角正切 D_f 。在一些態樣中，當使用分離媒體諧振器在10 GHz下測量時 D_f 可小於約0.001。

【0015】 所述方法可進一步包括在熱處理之前將所述多孔玻璃片材暴露於包括HF的第二酸溶液1分鐘至15分鐘的時間段。

【0016】 在各態樣中，將所述熔融玻璃拉製成所述玻璃片材可包括使所述熔融玻璃作為分離的熔融玻璃流流過成形體的會聚的成形表面，所述分離的熔融玻璃流沿著所述成形體的底部邊緣匯合。在一些態樣中，所述拉製可包括使所述熔融玻璃從定位在容器的底部中的狹槽流出。

【0017】 在各態樣中，描述了一種玻璃製品，包括含第一相和第二相的經調幅分解的玻璃，所述玻璃在氧化物基礎上包括：從約57 mol%至約70 mol%的 SiO_2 ，從約4.7 mol%至約10.5 mol%的 Al_2O_3 ，從約11.2 mol%至約15.2 mol%的 B_2O_3 ，從約1.2 mol%至約7.4 mol%的 ZnO ；總計從約3.7 mol%至約20 mol%的一或多個鹼土金屬氧化物（RO），其中RO選自 MgO 、 CaO 、 SrO 、和 BaO 。

【0018】 所述玻璃可包括從約 0.09 mol% 至約 0.15 mol% 的 SnO。

【0019】 在各態樣中，所述玻璃可包括從約 1.5 mol% 至約 9.6 mol% 的 MgO。

【0020】 在各態樣中，MgO/ZnO 可以為從約 0 至約 3.7。

【0021】 在各態樣中，B₂O₃/ZnO 可以為從約 1.6 至約 12.6。

【0022】 所述玻璃的介電常數 D_k 可以為從約 4.5 至約 6.3。

【0023】 所述玻璃的損耗角正切 D_f 可以為從約 0.002 至約 0.005。

【0024】 在各態樣中，所述玻璃製品可以小於約 3.0 mol% 的量包括 La₂O₃、Y₂O₃、或 Li₂O 中的至少一者。

【0025】 在各態樣中，所述玻璃製品可包括從約 0.05 mol% 至約 4.8 mol% 的 CaO。

【0026】 在其他態樣中，揭示一種玻璃製品，包括含第一相和第二相的經調幅分解的玻璃，所述玻璃在氧化物基礎上包括：從約 59 mol% 至約 69 mol% 的 SiO₂；從約 3 mol% 至約 13 mol% 的 Al₂O₃；從約 9.8 mol% 至約 20 mol% 的 B₂O₃；和總計從約 3.9 mol% 至約 11.5 mol% 的一或多個鹼土金屬氧化物 (RO)，其中 RO 選自 MgO、CaO、SrO、和 BaO。

【0027】 在各態樣中，所述玻璃的 B₂O₃/(Al₂O₃ + SiO₂) 可以為從約 0.12 至約 0.3。

【0028】 在各態樣中，所述玻璃可包括在從約 68.0 mol% 至約 69.0 mol% 的範圍內的 SiO_2 。

【0029】 所述玻璃的介電常數 D_k 可以為從約 4.7 至約 5.4。

【0030】 所述玻璃的損耗角正切 D_f 可以為從約 0.002 至約 0.004。

【0031】 在又另一態樣中，描述了一種玻璃片材，包括：大於 95 mol% 的 SiO_2 ；小於 1 mol% 的 Al_2O_3 ；小於約 3 mol% 的 B_2O_3 ；總計小於約 0.5 mol% 的一或多個鹼土金屬氧化物 (RO)，其中 RO 選自 MgO 、 CaO 、 SrO 、和 BaO 。

【0032】 所述玻璃片材可包括大於約 340 mm 的寬度和大於約 440 mm 的長度，例如大於約 680 mm 的寬度和大於約 880 mm 的長度、或者大於約 1500 mm 的寬度和大於約 1800 mm 的長度。

【0033】 在一些態樣中，當使用分離媒體諧振器在 10 GHz 下測量時所述玻璃片材包括小於約 0.005 的損耗角正切 D_f 、例如當在 10 GHz 下測量時小於約 0.004、小於約 0.003、小於約 0.002、或者小於約 0.001。當使用分離媒體諧振器在 10 GHz 下測量時所述玻璃片材可包括小於約 4.0 的介電常數。

【0034】 在各態樣中，所述玻璃片材可以是具有大於 28% 的開孔孔隙度的多孔玻璃片材。當藉由壓汞法測量時所述多孔玻璃片材的直徑大於 3 nm 的孔可構成小於所述玻璃片材的全部孔的約 8.7%。所述多孔玻璃片材的孔的中位數 d_{50} 孔直徑可小於約 0.05 μm 。

【0035】 另外的特徵和優點將在隨後的詳細描述中進行闡述，其藉由該描述而對本領域技藝人士而言將顯而易見、或者藉由實踐如本文所描述的包括隨後的詳細描述、申請專利範圍、以及隨附的附圖在內的實施方式而將認識到。

【0036】 要理解的是，前述的一般描述和下述的詳細描述均僅為示例性的，且意圖提供概述或框架以理解申請專利範圍的本質和特徵。包括隨附的附圖以提供進一步的理解，這些隨附的附圖被併入並構成本說明書的一部分。附圖圖示了一或多個實施方式，並與該描述一起用以解釋本案內容的原理和操作。

【圖式簡單說明】

【0037】 圖 1 是示例性熔合下拉玻璃製造設備的示意圖；

【0038】 圖 2 是根據本案內容的示例性相分離玻璃的照片；

【0039】 圖 3 是表示示出玻璃中沒有結晶化的 X 射線衍射 (XRD) 資料的圖表，證實了在兩個玻璃相之間的相分離；

【0040】 圖 4 是示出作為波長的函數的兩個玻璃、商品可得的非相分離玻璃 (Corning Eagle XG) 和示例性相分離玻璃的光學透射率的圖表；

【0041】 圖 5 是示出作為波長的函數的圖 4 的 Corning Eagle XG 和示例性相分離玻璃之間的反射率的圖表；

【0042】 圖 6 是 (a) 圖 4 的示例性相分離玻璃的初拉製 (as-drawn) 的樣品的應變範圍圖像和 (b) 示例性相分離玻璃的 SEM 圖像；

【0043】 圖 7 是 (a) 在 720°C 下熱處理 2 小時之後圖 4 的示例性相分離玻璃樣品的應變範圍圖像和 (b) 熱處理之後的示例性相分離玻璃的 SEM 圖像；

【0044】 圖 8 是 (a) 在 720°C 下第二熱處理 2 小時之後圖 7 的示例性相分離玻璃樣品的應變範圍圖像和 (b) 第二熱處理之後相同的示例性相分離玻璃樣品的 SEM 圖像；

【0045】 圖 9 是在 745°C 下熱處理 24 小時之後圖 4 的示例性相分離玻璃的樣品的 SEM 圖像；

【0046】 圖 10 是在 800°C 下熱處理 24 小時之後圖 4 的示例性相分離玻璃的樣品的 SEM 圖像；

【0047】 圖 11 是在 850°C 下熱處理 24 小時之後圖 4 的示例性相分離玻璃的樣品的 SEM 圖像；

【0048】 圖 12 是在 900°C 下熱處理 24 小時之後圖 4 的示例性相分離玻璃的樣品的 SEM 圖像；

【0049】 圖 13 是用於評價來自相分離玻璃的資料的傅裡葉變換的座標系統的示意性表示；

【0050】 圖 14 是對應從 x 表面測量的樣品的二維傅裡葉變換 (2 D F T) ；

【0051】 圖 15 是針對 $r\theta$ 座標系統中繪製的示例性相分離玻璃樣品的三個表面的傅裡葉變換資料，其中 (a) 表示 x 截面，(b) 表示 y 截面，(c) 表示 z 截面；

【0052】 圖 16 是示出當玻璃組合物在製造程序期間從商品可得的玻璃 (Corning Eagle XG) 轉變為示例性相分

離玻璃時圖 16 的玻璃片材中的角應力、並示出在轉變期內應力逐漸增加的圖表；

【0053】 圖 17 是示出沿著獲得圖 16 的應力測量值的玻璃片材的邊緣部分的點的玻璃片材的示意性表示；

【0054】 圖 18 是示出作為時間的函數的由從商品可得的非相分離玻璃組合物至示例性相分離玻璃組合物成形的玻璃表現出的損耗角正切的圖表，並示出逐步降低的損耗角正切；

【0055】 圖 19 是示出作為時間的函數的在從商品可得的非相分離玻璃組合物轉變至示例性相分離玻璃組合物期間當熔融玻璃中的比例 $(B_2O_3 + MgO) / CaO$ (用 wt% 計算) 改變時從熔融玻璃產生的玻璃片材中的應力的圖表；

【0056】 圖 20 是對於示例性相分離玻璃作為用 ZnO 替代 MgO 的函數的介電常數的圖表；

【0057】 圖 21 是對於圖 20 的示例性相分離玻璃作為用 ZnO 替代 MgO 的函數的損耗角正切的圖表；

【0058】 圖 22 是對於示例性相分離玻璃作為用 ZnO 替代 MgO 的函數、作為 ZnO 替代 B_2O_3 的示例性相分離玻璃中總 RO (或 R_2O) 的函數的介電常數的圖表；

【0059】 圖 23 是對於圖 22 的示例性相分離玻璃作為用 ZnO 替代 MgO 的函數、作為 Zn 替代 B_2O_3 的示例性相分離玻璃中總 RO (或 R_2O) 的函數的損耗角正切的圖表；

【0060】 圖 24 是對於 GS57 和 GS17 電阻率作為溫度 ($^{\circ}C$) 的函數的電阻率的圖表；

【0061】 圖 2 5 是當 La_2O_3 取代玻璃組合物 GS 7 2 中的 BaO 時作為 mol% La_2O_3 的函數的介電常數的圖表；

【0062】 圖 2 6 是當 La_2O_3 取代玻璃組合物 GS 7 2 中的 Ba 時作為 mol% La_2O_3 的函數的損耗角正切的圖表；

【0063】 圖 2 7 是當添加至含 Sr - Ba 的鋁硼矽酸鹽玻璃時作為 mole% La_2O_3 或 Y_2O_3 的函數的介電常數的圖表；

【0064】 圖 2 8 是當添加至含 Sr - Ba 的鋁硼矽酸鹽玻璃時作為 mole% La_2O_3 或 Y_2O_3 的函數的損耗角正切的圖表；

【0065】 圖 2 9 是當作為玻璃組合物 GS 1 7 中 CaO 的替代物添加時作為 mol% 過渡金屬氧化物的函數的 10 GHz 下的 D_k 的圖表；

【0066】 圖 3 0 是當作為玻璃組合物 GS 1 7 中 CaO 的替代物添加時作為 mol% 過渡金屬氧化物的函數的 10 GHz 下的 D_f 的圖表；

【0067】 圖 3 1 是當作為 B_2O_3 的替代物添加時作為 mole% F - 的函數的 10 GHz 下的 D_k 的圖表；和

【0068】 圖 3 2 是當作為 B_2O_3 的替代物添加時作為 mole% F - 的函數的 10 GHz 下的 D_f 的圖表。

【實施方式】

【0069】 在下述的詳細描述中，為瞭解釋而非限制的目 的，闡述了公開具體細節的示例實施方式以提供對本案內 容的各種原理的徹底理解。然而，對於已具有本案內容的 益處的本領域技藝人士所會顯而易見的是，本案內容可以 以脫離本文中公開的具體細節的其他實施方式來實踐。而

且，已知的裝置、方法、和材料的描述可以省略，以防止使本案內容的各種原理的描述難以理解。最終，在任何可適用的情況下，類似的參考數字指類似的元件。

【0070】 範圍在本文中可被表示為從「約」一個特定值起、及/或至「約」另一個特定值。當表述這種範圍時，另一實施方式包括從該特定值起及/或至該另一特定值。類似地，當藉由使用先行詞「約」而將數值表示為近似時，要理解的是，該特定值形成了另一實施方式。進一步要理解的是，每個範圍的端點無論與另一端點相關還是獨立於另一端點均是顯著的。

【0071】 除非另外明確指出，否則所有組合物均以該批（即，成分含量）摩爾百分比（mol%）表示。正如將為本領域技藝人士所理解，各種熔體成分（例如，氟、鹼金屬、硼等）在成分的熔化期間可進行不同位準的揮發（例如，作為蒸氣壓、熔化時間、及/或熔化溫度的函數）。正因如此，與本文中提供的該批組合物相比，當測量最終製品時涉及這些成分的術語「約」意圖包括在約1 mol%內的值。考慮到前述情況，預期最終製品和該批組合物之間存在實質上的成分等同性。

【0072】 除非另外明確聲明，否則絕不意圖本文中闡述的任何方法被解讀為要求其步驟以具體順序來執行。因此，在方法請求項實際上並未記載其步驟所要遵循的順序的情況下，或者在申請專利範圍或描述中並未另外具體聲明這些步驟受限於具體順序的情況下，在任一方面中都絕非意

圖要推斷順序。這適用於任何可能的非明確的解釋基礎，包括與步驟或操作流程的佈置有關的邏輯問題、從語法組織或標點符號中衍生的普通含義、及/或說明書中描述的實施方式的數量或類型。

【0073】 本文中描述的玻璃組合物的構成組分（例如， SiO_2 、 Al_2O_3 、和類似者）的濃度在氧化物基礎上以摩爾百分比（mol%）提供，除非另外明確指出。

【0074】 各種製程可被用來成形本文中描述的玻璃製品，沒有限制地包括熔合製程、狹槽拉製製程、和浮法玻璃製程。

【0075】 如本文中所用，單數形式的不定冠詞和定冠詞包括複數對象，除非上下文另外清楚地指定。因此，例如，提及「部件」包括具有兩個或更多個該部件的態樣，除非上下文另外清楚地指定。

【0076】 如本文中所用，術語「CTE」是指在從約 20°C 至約 300°C 的溫度範圍內平均的本案內容中的玻璃材料、元件、或類似者的熱膨脹係數，除非另外明確指出。

【0077】 術語「介電常數（ D_k ）」是指本案內容的玻璃結構、設計、或製品的介電常數。

【0078】 本案內容中的術語「損耗角正切」是指由與本案內容各態樣相關的特定玻璃、層、或層壓結構提供的電磁能（例如，熱）的固有耗散。介電損耗（例如，能量的作為熱量失去的部分）越低，該介電材料就越有效。損耗角正切可就損耗角 δ 或者相應的損耗角正切 $\tan\delta$ 而進行參數

化。介電常數是諸如本案內容的玻璃之類的物質在外部電場的存在下儲存電能的能力。進一步地，術語「介電常數（permittivity）」和術語「介電常數（ D_k ）」在本案內容內可互換地使用。介電常數是測量物質在電場中儲存電能的能力的參量。介電常數是複數參量，因為它描述了極化相對於振盪場的相位和量級。術語「介電常數（ D_k ）」和「相對介電常數（ ϵ_r ）」在本案內容內可互換地使用，並且被定義為該複數介電常數的實部（絕對介電常數）與自由空間的介電常數（真空介電常數）之間的比例。 $\epsilon_r > 1$ 的材料被認為是介電材料和不良導體。具有低介電常數的材料可在沒有介電擊穿的情況下耐受更強的靜電場。介電擊穿造成導通電流的材料，該電流在絕大多數固體材料中可造成對該材料的損害。「損耗角正切」表示為複數介電常數的虛部和實部之間的比例。一般而言，材料的介電常數和損耗角正切取決於外部場的頻率。因此，在kHz範圍中測量的介電性質可能無法表示在微波頻率下的介電性質。進一步地，除非另外指出，否則本案內容的玻璃的「損耗角正切」和「介電常數（ D_k ）」屬性可按照本案內容的領域中具有普通技能者所理解的技術根據分離媒體諧振器（split post dielectric resonator, SPDR）或開腔諧振器配置在1 GHz或更大的頻率下進行測量。選定的具體方法可基於樣品厚度和其側向尺寸進行選擇。

【0079】 如本文中所用，熔融玻璃是指藉由在熔化容器中加熱批料形成的熔融材料，其在冷卻時可形成玻璃。「熔

融玻璃」具有在從約1千泊（ $kPoise$ ）至約200千泊的範圍內的黏度。

【0080】 如本文中所用，調幅分解是指一種相變，在其中具有單一熱力學相的材料（例如玻璃材料）（例如自發地）分離成多個共存但分離的相（例如兩相）而沒有成核。分離的相可藉由玻璃進行分散，例如進行纏繞。分離的相可以大約相等的比例存在並且佔據大約相等的體積。相應地，如本文中所用的術語「相分離玻璃」是指已經歷調幅分解以產生具有至少兩個穩定的、纏繞的相的玻璃，其中互連的第二相分散在整個互連的第一相中。一個相（例如，第一相或主要相）可富含第一化學物種（例如， SiO_2 ），而第二（例如，次級）相可富含第二化學物種（例如， B_2O_3 ）。即，第一相例如可主要包括全部的 SiO_2 ，而第二相主要包括全部的 B_2O_3 。

【0081】 如本文中所用，固結（例如，將固結）是指此類程序：藉由該程序多孔材料經受適於使該材料達到至少軟化溫度、例如熔化溫度的加熱條件，由此多孔材料的孔封閉且該材料不再多孔並變成固體製品、例如沒有到處分佈的孔的固體玻璃製品。例如，加熱條件可以是大於該材料的玻璃化轉變溫度 T_g 的溫度。

【0082】 本案內容的玻璃和玻璃製品可適於電子裝置、電子裝置基板、和其他類似應用，這些類似應用能夠在裝置中進行更高頻率的通訊而不會顯著降低效能，因為它涉及其他非電氣裝置要求。例如，由於更高頻率通訊信號被用

於這些裝置中，因而這些信號必須穿過否則衰減或阻擋這些信號的各種物理屏障。正因如此，本案內容的玻璃及/或玻璃製品可非常適於用作這些屏障。這些物理屏障的示例包括電子電路和信號傳輸結構的製造中使用的電絕緣基板、裝置罩蓋、和可被採用來容納在高信號頻率下操作的電子裝置中使用的電路和其他電子裝置部件的其他相關結構。

【0083】 在一些實施方式中，本案內容的玻璃可適於用作印刷電路板（PCB）中的基板。PCB典型地包括與銅膜層壓的絕緣層。在一些實現方案中，本案內容的玻璃的特徵在於適於用作PCB中的絕緣層的低損耗角正切和力學性質，可選地與一或多個聚合物基板層組合。可選地，本案內容的玻璃可實質上不含鹼金屬以降低在加工期間離子遷移的可能性。

【0084】 本案內容的一些態樣也涉及例如具有適於製造、特別是適於諸如狹槽拉製製程和溢流熔合拉製製程（overflow fusion drawing）之類的成形製程的性質的玻璃。熔合拉製製程是一種已被用於大規模製造薄玻璃片材、例如具有小於約3 mm、例如小於約1 mm、小於約0.7 mm、或者甚至小於約0.1 mm的厚度的片材的工業技術。相較於諸如浮法製程或狹槽拉製製程之類的其他平板玻璃製造技術，熔合拉製製程出產具有高平坦度和表面品質的薄玻璃片材。結果，熔合拉製製程通常是製造薄玻璃

基板（例如，用於液晶顯示器、以及用於各種個人電子裝置的罩蓋玻璃）的主要製造技術。

【0085】 圖 1 中示出的是示例性玻璃製造設備 10。玻璃製造設備 10 包括含有熔化容器 14 的玻璃熔化爐 12。除了熔化容器 14，玻璃熔化爐 12 可選擇性地包括一或多個附加部件，諸如被配置為加熱原材料並將原材料轉化為熔融材料、下文中熔融玻璃的加熱元件（例如，燃燒器及 / 或電極）。例如，熔化容器 14 可以是電助推熔化容器，其中能量藉由兩個燃燒器並藉由直接加熱而添加至原材料，其中電流穿過原料，該電流由此藉由原材料的焦耳加熱來添加能量。

【0086】 玻璃熔化爐 12 可包括減少來自熔化容器的熱損失的其他熱管理裝置（例如，隔熱部件）。玻璃熔化爐 12 可包括促進將原材料熔化成玻璃熔體的電子裝置及 / 或機械裝置。玻璃熔化爐 12 可包括支撐結構（例如，支撐底架、支撐構件等）或其他部件。

【0087】 熔化容器 14 可由耐火材料、例如包括氧化鋁或氧化鋯的耐火陶瓷材料形成，儘管該耐火陶瓷材料可包括可替換地或以任何組合使用的其他耐火材料，諸如鈮（例如，氧化鈮、氧化鈮穩定的氧化鋯、磷酸鈮）、鋯石（ $ZrSiO_4$ ）、或者氧化鋁 - 氧化鋯 - 氧化矽、甚至鉻氧化物。在一些示例中，熔化容器 14 可由耐火陶瓷磚構建。

【0088】 玻璃熔化爐 12 可作為被配置為製造玻璃製品、例如玻璃帶的玻璃製造設備的部件而被併入，儘管該玻璃製

造設備可沒有限制地被配置為成形其他玻璃製品，諸如玻璃棒、玻璃管、玻璃泡（*envelope*）（例如，用於照明裝置、例如燈泡的玻璃泡）、和玻璃透鏡。在一些示例中，玻璃熔化爐12可被包括在玻璃製造設備中，所述玻璃製造設備包括狹槽拉製（*slot draw*）設備、浮浴（*float bath*）設備、下拉（*down-draw*）設備（例如，熔合下拉設備）、上拉（*up-draw*）設備、壓制（*pressing*）設備、軋製（*rolling*）設備、管拉（*tube drawing*）設備、或將從本案內容獲益的任何其他玻璃製造設備。藉由示例的方式，圖1示意性地圖示了作為用於為了隨後加工成單獨的玻璃片材或者將玻璃帶軋製成捲軸而熔合拉製玻璃帶的熔合下拉玻璃製造設備10的部件的玻璃熔化爐12。如本文中所示，熔合拉製包括使熔融玻璃流過成形體的傾斜的、例如會聚的側表面，其中所得的熔融材料流在成形體的底部匯合、或者「熔合」以形成玻璃帶。

【0089】 玻璃製造設備10可選擇性地包括位於熔化容器14上游的上游玻璃製造設備16。在一些示例中，上游玻璃製造設備16的一部分或全部可作為玻璃熔化爐12的一部分而被併入。

【0090】 如圖1中所示，上游玻璃製造設備16可包括原材料儲存倉18、原材料遞送裝置20，和連接至原材料遞送裝置20的馬達22。原材料儲存倉18可被配置為儲存可如箭頭26所示藉由一或多個進料埠進料至玻璃熔化爐12的熔化容器14的原材料24。原材料24典型地包括一或多個形成玻

璃的金屬氧化物和一或多個改性劑。在一些示例中，原材料遞送裝置 20 可由馬達 22 推動以將預定量的原材料 24 從原材料儲存倉 18 遞送至熔化容器 14。在進一步的示例中，馬達 22 可推動原材料遞送裝置 20 以基於從相對於熔融玻璃流動方向的熔化容器 14 下游感測的熔融玻璃位準以受控的速率引入原材料 24。熔化容器 14 內部的原材料 24 之後可被加熱而形成熔融玻璃 28。典型地，原材料作為顆粒、例如作為各種「砂」被添加至熔化容器。原材料 24 也可包括來自之前熔化及/或成形操作的碎片玻璃（例如，玻璃屑）。燃燒器可被用來開始熔化程序。在電助推熔化程序中，一旦原材料的電阻被燃燒器充分地降低，電助推就可藉由提高定位成與原材料接觸的電極之間的電位來開始，由此建立穿過原材料的電流，原材料典型地進入、或者處於熔融狀態。

【0091】 玻璃製造設備 10 也可包括相對於熔融玻璃 28 的流動方向定位在玻璃熔化爐 12 下游的下游玻璃製造設備 30。在一些示例中，下游玻璃製造設備 30 的一部分可作為玻璃熔化爐 12 的一部分而被併入。例如，以下討論的第一連接導管 32、或者下游玻璃製造設備 30 的其他部分可作為玻璃熔化爐 12 的一部分而被併入。

【0092】 下游玻璃製造設備 30 可包括諸如澄清容器 34 之類的第一調節室，其位於熔化容器 14 的下游並藉由上述的第一連接導管 32 的方式耦接至熔化容器 14。在一些示例中，熔融玻璃 28 可藉由第一連接導管 32 的方式從熔化容器

14 重力進料至澄清容器 34。相應地，第一連接導管 32 提供用於熔融玻璃 28 從熔化容器 14 至澄清容器 34 的流動路徑。然而，其他調節室可位於熔化容器 14 的下游，例如熔化容器 14 和澄清容器 34 之間。在一些實施方式中，可在熔化容器和澄清室之間採用調節室。例如，來自初級熔化容器的熔融玻璃可在進入澄清室之前在次級熔化（調節）容器中被進一步加熱或者在次級熔化容器中被冷卻至低於初級熔化容器中熔融玻璃的溫度。

【0093】 可藉由各種技術從熔融玻璃 28 除去氣泡。例如，原材料 24 可包括在被加熱時經歷化學還原反應並釋放氧的多價化合物（即，澄清劑），諸如錫氧化物。其他合適的澄清劑可沒有限制地包括砷、銻、鐵、及 / 或鈾，儘管使用砷和銻因它們的毒性而在一些應用中出於環境原因不被鼓勵。澄清容器 34 被加熱至例如高於熔化容器內部溫度的溫度，由此將澄清劑加熱至用於化學還原的足夠的反應溫度。由溫度誘導的熔融玻璃中包括的一或多個澄清劑的化學還原產生的氧可擴散至在熔化程序期間產生的氣泡中。然後浮力增加的擴大的氣泡上升至澄清容器內的熔融玻璃的自由表面，並在之後例如藉由與自由表面上方的大氣流體連通的通氣管從澄清容器排出。

【0094】 下游玻璃製造設備 30 可進一步包括另一調節室，諸如用於混合在澄清容器 34 下游流動的熔融玻璃的混合設備 36，例如攪拌容器。混合設備 36 可被用於提供均質的玻璃熔體組合物，由此減少否則可存在於離開澄清容器

的熔融玻璃內部的化學及/或熱不均質性。如圖所示，澄清容器 34 可藉由第二連接導管 38 的方式耦接至混合設備 36。相應地，熔融玻璃 28 可藉由第二連接導管 38 從澄清容器 34 重力進料至混合設備 36。典型地，混合設備 36 內部的熔融玻璃包括自由表面，自由（例如，氣態）體積在該自由表面與混合設備的頂部之間延伸。儘管混合設備 36 示出為相對於熔融玻璃 28 的流動方向在澄清容器 34 的下游，但在其他實施方式中混合設備 36 也可定位在澄清容器 34 的上游。下游玻璃製造設備 30 可包括多個混合設備，例如位於澄清容器 34 上游的混合設備和位於澄清容器 34 下游的混合設備。在使用時，多個混合設備可以是相同的設計，或者它們可以是彼此不同的設計。本文中公開的容器及/或導管中的一或多個可包括定位在其中的靜態混合葉片以進一步促進混合和隨後的熔融材料的均質化。

【0095】 下游玻璃製造設備 30 可進一步包括另一調節室，諸如位於混合設備 36 下游的遞送容器 40。遞送容器 40 可充當累積器及/或流動控制器以提供藉由出口導管 44 的方式將熔融玻璃 28 恆定流動至成形體 42。在一些實施方式中，遞送容器 40 內的熔融玻璃可包括自由表面，其中自由體積從自由表面至遞送容器的頂部向上延伸。如圖所示，混合設備 36 可藉由第三連接導管 46 的方式耦接至遞送容器 40，其中熔融玻璃 28 可藉由第三連接導管 46 從混合設備 36 重力進料至遞送容器 40。

【0096】 下游玻璃製造設備 30 可進一步包括被配置為成形玻璃製品、例如玻璃帶的成形設備 48。相應地，成形設備 48 可包括下拉設備，諸如溢流下拉（例如，熔合）設備，其中出口導管 44 定位成將熔融玻璃 28 從遞送容器 40 遞送至成形體 42 的入口導管 50。熔合下拉玻璃製造設備中的成形體可包括定位在該成形體的上表面中的槽 52 和沿著該成形體的底部邊緣（底部）58 在拉製方向 56 上會聚的相對的會聚成形表面 54。經由遞送容器 40、出口導管 44、和進口導管 50 遞送至成形體槽 52 的熔融玻璃溢出槽 52 的壁並作為分離的熔融玻璃流沿著會聚的成形表面 54 下降。分離的熔融玻璃流沿著底部 58 並在底部 58 下方匯合以產生藉由將向下的拉力施加至熔融玻璃帶、諸如藉由重力和相對的、反向旋轉牽拉輥 62 而從底部 58 在拉製方向 56 上拉製的熔融玻璃的帶。所施加的向下的拉力、和熔融玻璃的溫度可被用來隨著熔融玻璃冷卻和熔融玻璃的黏度增加而控制玻璃帶的尺寸。相應地，熔融玻璃帶經歷黏度轉變，從黏性狀態到黏彈性狀態，再到彈性狀態，並獲取給予玻璃帶 60 穩定尺寸特性的力學性質。然後玻璃帶 60 可進行刻痕、然後分成較短的長度，諸如使用刻痕設備 66 分成玻璃片材 64。

【0097】 下游玻璃製造設備 30 的部件，包括連接導管 32、38、46、澄清容器 34、混合設備 36、遞送容器 40、出口導管 44、或入口導管 50 中的任一或多個，可由貴金屬形成。合適的貴金屬包括選自由鉑、銱、銻、鐵、鈦、和鈮構成的群組的鉑族金屬、或其合金。例如，玻璃製造設備

的下游部件可由含從約 70 wt% 至約 90 wt% 的鉑和約 10 wt% 至約 30 wt% 的銻的鉑銻合金形成。

【0098】 為了促進熔合拉製加工，玻璃可取地具有足夠高的液相黏度（即，熔融玻璃在液相溫度下的黏度）。高液相黏度可促進藉由下拉製程、諸如熔合成形來成形玻璃。可熔合成形的玻璃的液相黏度可大於約 140 千泊。除此之外，熔合拉製製程可在一定範圍的黏度下操作。玻璃典型地在對應約 20,000 - 35,000 泊的黏度下被遞送至成形體的槽並在對應約 100,000 泊或更大的黏度下作為黏性帶離開成形體的底部。對應 35,000 泊黏度的溫度通常被用作用於玻璃被遞送至用於熔合拉製的成形體的槽的溫度的指導。本案內容的玻璃可具有例如大於約 1250 °C 的藉由熔合拉製製程促進成形的對應 35,000 泊溫度（在下文中被稱為「35,000 泊溫度」）的溫度。典型地，期望低的 35,000 泊溫度以將不期望的成形體耐火材料隨時間的潛變最小化。

【0099】 對應 200 泊黏度的溫度通常被用作合適的玻璃熔化溫度的指導方針。在一些實現方案中，本案內容的玻璃的特徵可在於高的 200 泊溫度，也被稱為泊融化點（在本文中也被稱為「200 泊融化點」），以促進成形。優選地，200 泊溫度和 35,000 泊溫度之間的差值小於或等於約 450 °C、例如小於或等於約 420 °C、諸如小於或等於約 400 °C。

【0100】 本案內容的相分離玻璃可包括在從約 57 mol% 至約 71 mol% 的範圍內、例如在從約 59 mol% 至約 68

mol% 的範圍內、在從約 59 mol% 至約 67 mol% 的範圍內、在從約 59 mol% 至約 66 mol% 的範圍內、在從約 59 mol% 至約 65 mol% 的範圍內、在從約 59 mol% 至約 64 mol% 的範圍內、在從約 59 mol% 至約 63 mol% 的範圍內、在從約 59 mol% 至約 62 mol% 的範圍內、在從約 59 mol% 至約 61 mol% 的範圍內、在從約 59 mol% 至約 61 mol% 的範圍內、在從約 59 mol% 至約 60 mol% 的範圍內、在從約 60 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 61 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 62 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 63 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 64 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 65 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 66 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 67 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 68 mol% 至約 69 mol% 的範圍內的 SiO₂ 的總量，包括其間的所有範圍和子範圍。 在一些實施方式中，本案內容的玻璃可包括在從約 67 mol% 至約 71 mol% 的範圍內、例如在從約 67.2 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 67.4 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 67.6 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 67.8 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 68.0 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 68.2 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 68.4 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 68.6 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 68.8 mol% 至約 69 mol% 的範圍內、在從約 67 mol% 至約 68.6 mol% 的

範圍內、在從約 67 mol% 至約 68.4 mol% 的範圍內、在從約 67 mol% 至約 68.2 mol% 的範圍內、在從約 67 mol% 至約 68.0 mol% 的範圍內、在從約 67 mol% 至約 67.8 mol% 的範圍內、在從約 67 mol% 至約 67.6 mol% 的範圍內、在從約 67 mol% 至約 67.4 mol% 的範圍內的 SiO₂ 的總量，包括其間的所有範圍和子範圍。如本文中所示，相分離玻璃的語境中的術語「總量」是指相分離玻璃中化學物種的量而不考慮該化學物種在玻璃中存在的任意單獨相中的位置。因此，例如，包括兩相的相分離玻璃中的 SiO₂ 的總量是指可存在於兩相中的 SiO₂ 的組合量。

【0101】 本案內容的相分離玻璃可包括在從約 3 mol% 至約 13 mol% 的範圍內、例如在從約 3 mol% 至約 12 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 11 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 10 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 9 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 8 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 7 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 5 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 4 mol% 的範圍內、在從約 4 mol% 至約 13 mol% 的範圍內、在從約 5 mol% 至約 13 mol% 的範圍內、在從約 6 mol% 至約 13 mol% 的範圍內、在從約 7 mol% 至約 13 mol% 的範圍內、在從約 8 mol% 至約 13 mol% 的範圍內、在從約 8 mol% 至約 13 mol% 的範圍內、在從約 9 mol% 至約 13 mol% 的範圍內、在從約 10 mol% 至約 13 mol% 的範圍內、在從約 11 mol% 至

約 13 mol% 的範圍內、或者在從約 12 mol% 至約 13 mol% 的範圍內的 Al_2O_3 的總量，包括其間的所有範圍和子範圍。在一些實施方式中，本案內容的玻璃可包括在從約 7.6 mol% 至約 8.7 mol% 的範圍內、例如在從約 7.6 mol% 至約 8.6 mol% 的範圍內、在從約 7.6 mol% 至約 8.5 mol% 的範圍內、在從約 7.6 mol% 至約 8.4 mol% 的範圍內、在從約 7.6 mol% 至約 8.3 mol% 的範圍內、在從約 7.6 mol% 至約 8.2 mol% 的範圍內、在從約 7.6 mol% 至約 8.1 mol% 的範圍內、在從約 7.6 mol% 至約 8.0 mol% 的範圍內、在從約 7.6 mol% 至約 7.9 mol% 的範圍內、在從約 7.6 mol% 至約 7.8 mol% 的範圍內、在從約 7.6 mol% 至約 7.7 mol% 的範圍內、在從約 7.7 mol% 至約 8.7 mol% 的範圍內、在從約 7.8 mol% 至約 8.7 mol% 的範圍內、在從約 7.8 mol% 至約 8.7 mol% 的範圍內、在從約 7.9 mol% 至約 8.7 mol% 的範圍內、在從約 8.0 mol% 至約 8.7 mol% 的範圍內、在從約 8.1 mol% 至約 8.7 mol% 的範圍內、在從約 8.2 mol% 至約 8.7 mol% 的範圍內、在從約 8.3 mol% 至約 8.7 mol% 的範圍內、在從約 8.4 mol% 至約 8.7 mol% 的範圍內、在從約 8.5 mol% 至約 8.7 mol% 的範圍內、在從約 8.6 mol% 至約 8.7 mol% 的範圍內的 Al_2O_3 的總量，包括其間的所有範圍和子範圍。

【0102】 本案內容的相分離玻璃可包括在從約 9 mol% 至約 20 mol% 的範圍內、例如在從約 10 mol% 至約 20

mol% 的範圍內、在從約 11 mol% 至約 20 mol% 的範圍內、在從約 12 mol% 至約 20 mol% 的範圍內、在從約 13 mol% 至約 20 mol% 的範圍內、在從約 14 mol% 至約 20 mol% 的範圍內、在從約 15 mol% 至約 20 mol% 的範圍內、在從約 16 mol% 至約 20 mol% 的範圍內、在從約 17 mol% 至約 20 mol% 的範圍內、在從約 28 mol% 至約 20 mol% 的範圍內、在從約 19 mol% 至約 20 mol% 的範圍內、在從約 19 mol% 至約 9 mol% 的範圍內、在從約 18 mol% 至約 9 mol% 的範圍內、在從約 17 mol% 至約 9 mol% 的範圍內、在從約 16 mol% 至約 9 mol% 的範圍內、在從約 15 mol% 至約 9 mol% 的範圍內、在從約 14 mol% 至約 9 mol% 的範圍內、在從約 13 mol% 至約 9 mol% 的範圍內、在從約 12 mol% 至約 9 mol% 的範圍內、在從約 11 mol% 至約 9 mol% 的範圍內、在從約 10 mol% 至約 9 mol% 的範圍內的 B₂O₃ 的總量，包括其間的所有範圍和子範圍。在一些實施方式中，本案內容的玻璃可包括在從約 11.9 mol% 至約 14.1 mol% 的範圍內、例如在從約 11.9 mol% 至約 13.8 mol% 的範圍內、在從約 11.9 mol% 至約 13.6 mol% 的範圍內、在從約 11.9 mol% 至約 13.4 mol% 的範圍內、在從約 11.9 mol% 至約 13.2 mol% 的範圍內、在從約 11.9 mol% 至約 13.0 mol% 的範圍內、在從約 11.9 mol% 至約 12.8 mol% 的範圍內、在從約 11.9 mol% 至約 12.6 mol% 的範圍內、在從約 11.9 mol% 至約 12.4 mol% 的範圍內、在從約 11.9 mol% 至

約 12.2 mol% 的範圍內、在從約 12.0 mol% 至約 14.1 mol% 的範圍內、在從約 12.2 mol% 至約 14.1 mol% 的範圍內、在從約 12.3 mol% 至約 14.1 mol% 的範圍內、在從約 12.4 mol% 至約 14.1 mol% 的範圍內、在從約 12.5 mol% 至約 14.1 mol% 的範圍內、在從約 12.6 mol% 至約 14.1 mol% 的範圍內、在從約 12.8 mol% 至約 14.1 mol% 的範圍內、在從約 13.0 mol% 至約 14.1 mol% 的範圍內、在從約 13.2 mol% 至約 14.1 mol% 的範圍內、在從約 13.4 mol% 至約 14.1 mol% 的範圍內、在從約 13.6 mol% 至約 14.1 mol% 的範圍內、或者在從約 13.8 mol% 至約 14.1 mol% 的範圍內的 B_2O_3 的總量，包括其間的所有範圍和子範圍。

【0103】 增加 SiO_2 的量可降低玻璃在 10 GHz 或更大的頻率下的介電常數和損耗角正切，然而，增加 SiO_2 的量可降低玻璃的可成形性、特別是藉由下拉製程的可成形性。例如，隨著 SiO_2 的量增加，玻璃的液相溫度可增加。純 SiO_2 具有低 CTE，並且，由於其高熔化溫度而與下拉製程不相容。可添加 B_2O_3 以降低玻璃的黏度並降低液相溫度從而促進玻璃的特別是藉由下拉製程的成形。 B_2O_3 可具有相較於黏度更迅速地降低液相溫度的效果，並因此可改善用於藉由下拉製程成形的液相黏度。 Al_2O_3 可降低液相溫度並因此增加液相黏度。因此， SiO_2 、 B_2O_3 、和可選的 Al_2O_3 的量可根據本案內容進行選擇以平衡玻璃期望的介電性質和可成形性。

【0104】 在本案內容的一些態樣中，玻璃中 SiO_2 、 B_2O_3 、和 Al_2O_3 的總量可進行選擇使得 $\text{B}_2\text{O}_3 : (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)$ 的比例為從約 0.1 至約 0.3、例如在從約 0.12 至約 0.3 的範圍內、在從約 0.14 至約 0.3 的範圍內、在從約 0.16 至約 0.3 的範圍內、在從約 0.18 至約 0.3 的範圍內、在從約 0.2 至約 0.3 的範圍內、在從約 0.22 至約 0.3 的範圍內、在從約 0.24 至約 0.3 的範圍內、在從約 0.26 至約 0.3 的範圍內、或者在從約 0.28 至約 0.3 的範圍內，包括其間的所有範圍和子範圍。在一些態樣中， $\text{B}_2\text{O}_3 : (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)$ 的比例可以為從約 0.16 至約 0.18、約 0.16 至約 0.17、或者在從約 0.17 至約 0.18 的範圍內。

【0105】 在一些態樣中， SiO_2 和 B_2O_3 的總量可進行選擇使得 SiO_2 加 B_2O_3 的和為從約 77 mol% 至約 84 mol%、例如在從約 78 mol% 至約 84 mol% 的範圍內、在從約 79 mol% 至約 84 mol% 的範圍內、在從約 80 mol% 至約 84 mol% 的範圍內、在從約 81 mol% 至約 84 mol% 的範圍內、在從約 82 mol% 至約 84 mol% 的範圍內、在從約 83 mol% 至約 84 mol% 的範圍內、在從約 77 mol% 至約 83 mol% 的範圍內、在從約 77 mol% 至約 82 mol% 的範圍內、在從約 77 mol% 至約 81 mol% 的範圍內、在從約 77 mol% 至約 80 mol% 的範圍內、在從約 77 mol% 至約 79 mol% 的範圍內、或者在從約 77 mol% 至約 78 mol% 的範圍內，包括其間的所有範圍和子範圍。

【0106】 在一些態樣中，本文中公開的相分離玻璃中 SiO_2 、 B_2O_3 、和 Al_2O_3 的總量可進行選擇使得 SiO_2 加 B_2O_3 加 Al_2O_3 的和為從約 85 mol% 至約 93 mol%、例如在從約 86 mol% 至約 93 mol% 的範圍內、在從約 87 mol% 至約 93 mol% 的範圍內、在從約 88 mol% 至約 93 mol% 的範圍內、在從約 89 mol% 至約 93 mol% 的範圍內、在從約 90 mol% 至約 93 mol% 的範圍內、在從約 91 mol% 至約 93 mol% 的範圍內、在從約 92 mol% 至約 93 mol% 的範圍內、在從約 85 mol% 至約 92 mol% 的範圍內、在從約 85 mol% 至約 91 mol% 的範圍內、在從約 85 mol% 至約 90 mol% 的範圍內、在從約 85 mol% 至約 89 mol% 的範圍內、在從約 85 mol% 至約 88 mol% 的範圍內、在從約 85 mol% 至約 88 mol% 的範圍內、在從約 85 mol% 至約 87 mol% 的範圍內、或者在從約 85 mol% 至約 86 mol% 的範圍內，包括其間的所有範圍和子範圍。

【0107】 根據一些態樣，當存在時，相分離玻璃可包括一或多個鹼土金屬氧化物 (RO)，其中 RO 是 MgO 、 CaO 、 BaO 、及 / 或 SrO 。

【0108】 本案內容的相分離玻璃可包括在從約 4 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、例如在從約 4 mol% 至約 5.8 mol% 的範圍內、在從約 4 mol% 至約 5.6 mol% 的範圍內、在從約 4 mol% 至約 5.4 mol% 的範圍內、在從約 4 mol% 至約 5.2 mol% 的範圍內、在從約 4 mol% 至約 5 mol% 的範圍內、在從約 4 mol% 至約 4.8 mol% 的範圍內、在從約 4

mol% 至約 4.6 mol% 的範圍內、在從約 4 mol% 至約 4.4 mol% 的範圍內、在從約 4 mol% 至約 4.2 mol% 的範圍內、在從約 4.2 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 4.4 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、例如在從約 4.6 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 4.8 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 5 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 5.2 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 5.4 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 5.6 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、或者在從約 5.8 mol% 至約 6 mol% 的範圍內的 MgO 的總量，包括其間的所有範圍和子範圍。

【0109】 本案內容的相分離玻璃可包括在從約 3 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、例如在從約 3.2 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 3.4 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 3.6 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 3.8 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 4 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 4.2 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 4.4 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 4.6 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 4.8 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 5 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 5.2 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 5.4 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 5.6 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 5.8 mol% 至約 6 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 5.8 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 5.6 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 5.4 mol% 的範圍

內、在從約 3 mol% 至約 5.2 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 5 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 4.8 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 4.6 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 4.4 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 4.4 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 4.2 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 4 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 3.8 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 3.6 mol% 的範圍內、在從約 3 mol% 至約 3.4 mol% 的範圍內、或者在從約 3 mol% 至約 3.2 mol% 的範圍內的 CaO 的總量，包括其間的所有範圍和子範圍。

【0110】 本案內容的相分離玻璃可包括小於約 0.2 mol%、例如在從約 0% 至約 0.2 mol% 的範圍內、例如在從約 0.02 mol% 至約 0.2 mol% 的範圍內、在從約 0.04 mol% 至約 0.2 mol% 的範圍內、在從約 0.06 mol% 至約 0.2 mol% 的範圍內、在從約 0.08 mol% 至約 0.2 mol% 的範圍內、在從約 0.1 mol% 至約 0.2 mol% 的範圍內、在從約 0.12 mol% 至約 0.2 mol% 的範圍內、在從約 0.14 mol% 至約 0.2 mol% 的範圍內、在從約 0.16 mol% 至約 0.2 mol% 的範圍內、在從約 0.18 mol% 至約 0.2 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.18 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.16 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.14 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.12 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.1 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.08 mol% 的範圍內、在從約 0

mol% 至約 0.06 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.04 mol% 的範圍內、或者在從約 0 mol% 至約 0.02 mol% 的範圍內的 SrO 的總量，包括其間的所有範圍和子範圍。

【0111】 本案內容的相分離玻璃可選擇性地包括小於約 1 mol%、例如在從約 0% 至約 1 mol% 的範圍內、諸如在從約 0.1 mol% 至約 1 mol% 的範圍內、在從約 0.2 mol% 至約 1 mol% 的範圍內、在從約 0.3 mol% 至約 1 mol% 的範圍內、在從約 0.4 mol% 至約 1 mol% 的範圍內、在從約 0.5 mol% 至約 1 mol% 的範圍內、在從約 0.6 mol% 至約 1 mol% 的範圍內、在從約 0.7 mol% 至約 1 mol% 的範圍內、在從約 0.8 mol% 至約 1 mol% 的範圍內、在從約 0.9 mol% 至約 1 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.9 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.8 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.7 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.6 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.5 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.4 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.3 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.2 mol% 的範圍內、或者在從約 0 mol% 至約 0.1 mol% 的範圍內的 BaO 的總量，包括其間的所有範圍和子範圍。

【0112】 在一些態樣中，所述一或多個鹼土金屬氧化物可以從約 4.6 mol% 至約 14.2 mol%、例如在從約 4.8 mol% 至約 14.2 mol% 的範圍內、在從約 5 mol% 至約 14.2

mol% 的範圍內、在從約 5.4 mol% 至約 14.2 mol% 的範圍內、在從約 5.8 mol% 至約 14.2 mol% 的範圍內、在從約 6.2 mol% 至約 14.2 mol% 的範圍內、在從約 7.2 mol% 至約 14.2 mol% 的範圍內、在從約 8.2 mol% 至約 14.2 mol% 的範圍內、在從約 9.2 mol% 至約 14.2 mol% 的範圍內、在從約 10.2 mol% 至約 14.2 mol% 的範圍內、在從約 11.2 mol% 至約 14.2 mol% 的範圍內、在從約 12.2 mol% 至約 14.2 mol% 的範圍內、在從約 13.2 mol% 至約 14.2 mol% 的範圍內、在從約 4.6 mol% 至約 13.6 mol% 的範圍內、在從約 4.6 mol% 至約 12.6 mol% 的範圍內、在從約 4.6 mol% 至約 11.6 mol% 的範圍內、在從約 4.6 mol% 至約 10.6 mol% 的範圍內、在從約 4.6 mol% 至約 9.6 mol% 的範圍內、在從約 4.6 mol% 至約 8.6 mol% 的範圍內、在從約 4.6 mol% 至約 7.6 mol% 的範圍內、在從約 4.6 mol% 至約 6.6 mol% 的範圍內、或者在從約 4.6 mol% 至約 5.6 mol% 的範圍內的組合量存在，包括其間的所有範圍和子範圍。

【0113】 根據本案內容的一些態樣，相分離玻璃可包括 MgO 和選自 CaO、BaO、和 SrO 的至少一種附加鹼土金屬氧化物 (RO)。在一些示例中，MgO 和至少一種附加 RO 的組合可導致相較於僅包括 MgO 或者另一種 RO 的玻璃具有更低的介電常數及 / 或損耗角正切的玻璃。

【0114】 在一些態樣中，MgO 的總量和附加 RO 的總量如前述進行選擇並與玻璃中存在的 Al₂O₃ 的總量一致使得

$R O_{總}$ 相對於 $A l_2 O_3$ 的比例 ($R O_{總} : A l_2 O_3$) 大於 1。提供比例 $R O_{總} : A l_2 O_3$ 大於 1 的玻璃可促進成形可使用一般玻璃成形製程進行拉製的可製造的玻璃。

【0115】 在一些態樣中， $M g O$ 的總量相對於 $R O_{總}$ 的比例 ($M g O : R O_{總}$) 可在從約 0.3 至約 4.7 的範圍內、例如在從約 0.3 至約 4.5 的範圍內、在從約 0.3 至約 0.4 的範圍內、在從約 0.3 至約 3.5 的範圍內、在從約 0.3 至約 3 的範圍內、在從約 0.3 至約 2.5 的範圍內、在從約 0.3 至約 2 的範圍內、在從約 0.5 至約 1.5 的範圍內、在從約 0.5 至約 4.7 的範圍內、在從約 1 至約 4.7 的範圍內、在從約 1.5 至約 4.7 的範圍內、在從約 2 至約 4.7 的範圍內、在從約 2.5 至約 4.7 的範圍內、在從約 3 至約 4.7 的範圍內、在從約 3.5 至約 4.7 的範圍內、或者在從約 4 至約 4.7 的範圍內，包括其間的所有範圍和子範圍。

【0116】 對於給定的相分離玻璃，可藉由降低玻璃中存在的單一 $R O$ 物種的濃度而在玻璃中實現更低的介電常數及 / 或損耗角正切。進一步地，據信對於給定的 $R O_{總}$ 濃度，相較於衍生自具有類似的 $R O_{總}$ 濃度但僅包括單一的 $R O$ 物種的前驅體組合物的玻璃，可藉由將 $M g O$ 與諸如 $C a O$ 、 $S r O$ 、及 / 或 $B a O$ 之類的至少一種附加 $R O$ 物種組合而在玻璃樣品中實現降低的介電常數及 / 或損耗角正切。例如，對於給定的 $R O_{總}$ 濃度，根據本案內容的包括 $M g O$ 加 $C a O$ 、 $S r O$ 、及 / 或 $B a O$ 的組合的玻璃可具有比僅包括選自 $M g O$ 、 $C a O$ 、 $S r O$ 、或 $B a O$ 的單一 $R O$ 物種的玻璃更低的

介電常數。在另一示例中，對於給定的 R O 濃度，根據本案內容的包括 M g O 加 C a O 、 S r O 、及 / 或 B a O 的組合的玻璃可具有比僅包括選自 C a O 、 S r O 、或 B a O 的單一 R O 物種的玻璃更低的損耗角正切。

【0117】 不希望被理論束縛，據信對於衍生自具有單一 R O 物種的前驅體組合物的玻璃，隨著單一 R O 物種的濃度降低，該衍生的玻璃的如用 10 GHz 的信號測量的介電常數和損耗角正切也降低。

【0118】 在一些態樣中，相分離玻璃中鹼土金屬氧化物的量可與諸如 B_2O_3 和可選的 Al_2O_3 之類的其他材料組合進行選擇以提供具有期望特性的相分離玻璃。例如，增加鹼土金屬氧化物相對於 SiO_2 和 Al_2O_3 的量可具有降低玻璃熔體的黏度的效果並且可增加熔化和成形溫度。鹼土金屬氧化物也可增加玻璃的 CTE 和密度，並且也可影響諸如彈性模量之類的其他性質。鹼土金屬氧化物也可降低液相溫度。因此，在一些態樣中，鹼土金屬氧化物、 B_2O_3 、和 Al_2O_3 的總量可根據本案內容進行選擇以平衡玻璃期望的物理性質和可成形性。

【0119】 本案內容的相分離玻璃可選擇性地包括小於約 2 mol%、例如在從約 0 mol% 至約 1.5 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 1 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.5 mol% 的範圍內、在從約 0.5 mol% 至約 2 mol% 的範圍內、在從約 1 mol% 至約 2 mol% 的範圍內、或者在從約

1.5 mol% 至約 2 mol% 的範圍內的 ZnO 的總量，包括其間的所有範圍和子範圍。

【0120】 在一些態樣中，鹼土金屬氧化物、 B_2O_3 、和 Al_2O_3 的總量可進行選擇使得玻璃中 $RO_{總} : (Al_2O_3 + B_2O_3)$ 的比例為從約 0.2 至約 0.6。在一些態樣中， $RO_{總} : (Al_2O_3 + B_2O_3)$ 的比例為從約 0.2 至約 0.6、約 0.2 至約 0.5、約 0.2 至約 0.4、約 0.3 至約 0.6、約 0.3 至約 0.5、約 0.3 至約 0.4、約 0.4 至約 0.6、約 0.4 至約 0.5、或者約 0.5 至約 0.6。在一些態樣中， $RO_{總} : (Al_2O_3 + B_2O_3)$ 的比例為約 0.2，約 0.24、約 0.25，約 0.28、約 0.29，約 0.3、約 0.32，約 0.35、約 0.36，約 0.4、約 0.5，約 0.55、約 0.58、約 0.6、或者這些值之間的任意值。

【0121】 本案內容的相分離玻璃可選擇性地包括一或多個澄清劑，諸如，藉由非限制性示例的方式， SnO_2 、 Sb_2O_3 、 As_2O_3 、及 / 或一者或多者鹵素鹽、包括氟鹽、氯鹽、或者溴鹽。當一或多個澄清劑存在於玻璃中時，該澄清劑可以小於約 1 mol% 的總量存在。在一些態樣中，澄清劑可以約 0.01 mol% 至約 1 mol% 的量、例如在從約 0.01 mol% 至約 1 mol% 的範圍內、在從約 0.01 mol% 至約 0.09 mol% 的範圍內、在從約 0.01 mol% 至約 0.08 mol% 的範圍內、在從約 0.01 mol% 至約 0.07 mol% 的範圍內、在從約 0.01 mol% 至約 0.06 mol% 的範圍內、在從約 0.01 mol% 至約 0.05 mol% 的範圍內、在從約 0.01 mol% 至約 0.04 mol% 的範圍內、在從約 0.01 mol% 至

約 0.03 mol% 的範圍內、在從約 0.01 mol% 至約 0.02 mol% 的範圍內、在從約 0.02 mol% 至約 0.1 mol% 的範圍內、在從約 0.02 mol% 至約 0.01 mol% 的範圍內、在從約 0.03 mol% 至約 0.1 mol% 的範圍內、在從約 0.04 mol% 至約 0.1 mol% 的範圍內、在從約 0.05 mol% 至約 0.1 mol% 的範圍內、在從約 0.06 mol% 至約 0.1 mol% 的範圍內、在從約 0.07 mol% 至約 0.1 mol% 的範圍內、在從約 0.08 mol% 至約 0.1 mol% 的範圍內、在從約 0.08 mol% 至約 0.1 mol% 的範圍內、或者在從約 0.09 mol% 至約 0.1 mol% 的範圍內的量存在。然而，在其他實施方式中，澄清劑可以在從約 0.01 mol% 至約 0.5 mol% 的範圍內的量存在。

【0122】 當相分離玻璃中澄清劑的含量太大時，澄清劑可進入玻璃結構並影響各種玻璃性質。然而，當澄清劑的含量太低時，相分離玻璃可能難以成形。根據本案內容的一個態樣， SnO_2 可作為澄清劑以在從約 0 mol% 至約 0.3 mol% 的範圍內的總量來包括。例如， SnO_2 可以在從約 0 mol% 至約 0.3 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.2 mol% 的範圍內、在從約 0 mol% 至約 0.1 mol% 的範圍內、在從約 0.05 mol% 至約 0.3 mol% 的範圍內、在從約 0.05 mol% 至約 0.2 mol% 的範圍內、或者在從約 0.05 mol% 至約 0.1 mol% 的範圍內的總量存在。

【0123】 相分離玻璃可選擇性地包括污染物或無意的添加劑，諸如 TiO_2 或 ZrO_2 。這些附加材料當存在時典型地以

小於約 0.5 mol%、例如在從 0 至約 0.4 mol% 的範圍內、在從 0 至約 0.4 mol% 的範圍內、在從 0 至約 0.3 mol% 的範圍內、在從 0 至約 0.3 mol% 的範圍內、在從 0 至約 0.2 mol% 的範圍內、或者在從 0 至約 0.1 mol% 的範圍內的非常低或者痕量的總量存在。

【0124】 在一些態樣中，本案內容的相分離玻璃可實質上不含鹼金屬。如本文中所用，短語「實質上不含」被定義為意指僅僅痕量的材料——在這種情況下，鹼金屬氧化物——存在、例如僅僅約 0.5 mol%、僅僅 0.4 mol%、僅僅 0.3 mol%、僅僅約 0.2 mol%、或者僅僅約 0.1 mol% 的總量。痕量的鹼金屬氧化物可因製造中的污染或者局限而存在。如以上所討論，在一些實現方案中，本案內容的玻璃可在沒有添加鹼金屬的情況下進行製備使得這些玻璃實質上不含鹼金屬以降低在熱處理從該玻璃成形的製品期間離子遷移的可能性。降低或者最小化離子遷移的可能性可在一些應用中是有利的，諸如當玻璃被用作離子遷移可並非可取的電子裝置中的基板時。

【0125】 在一些態樣中，本案內容的相分離玻璃可包括至少一種鹼金屬氧化物 (R_2O)，其中 R_2O 是 Li_2O 、 Na_2O 、及 / 或 K_2O 。在一些態樣中，一或多個鹼金屬氧化物可單獨存在或者以從 0 mol% 至約 1 mol% 的組合量存在。在一些態樣中，一或多個鹼金屬氧化物可單獨存在或者以從 0 mol% 至約 1 mol%、0 mol% 至約 0.9 mol%、0 mol% 至約 0.8 mol%、0 mol% 至約 0.7 mol%、0 mol% 至約

0.6 mol% 的組合量存在。例如， Na_2O 可以從 0 mol% 至約 0.05 mol%、0 mol% 至約 0.01 mol%、0 mol% 至約 0.005 mol%、0 mol% 至約 0.001 mol%、約 0.001 mol% 至約 0.05 mol%、約 0.001 mol% 至約 0.01 mol%、或者 0.001 mol% 至約 0.005 mol% 的總量存在。在另一示例中， K_2O 可以從 0 mol% 至約 2 mol%、0 mol% 至約 1 mol%、0 mol% 至約 0.5 mol%、約 0.1 mol% 至約 2 mol%、約 0.1 mol% 至約 1 mol%、約 0.1 mol% 至約 0.5 mol%、約 0.5 mol% 至約 2 mol%、或者約 0.5 mol% 至約 1 mol% 的總量存在。

【0126】 在一些態樣中，本案內容的相分離玻璃的特徵可在於如用 10 GHz 的信號測量的約 10 或更小的介電常數 D_k 。在一些實現方案中，相分離玻璃可具有如用 10 GHz 的信號測量的約 6 或更小、諸如約 5 或更小的介電常數 D_k 。在一些實現方案中，相分離玻璃可具有如用 10 GHz 的信號測量的約 4.5 至約 6 的介電常數 D_k 。

【0127】 在一些態樣中，本案內容的相分離玻璃的特徵可在於如用 10 GHz 的信號測量的約 0.004 或更小的損耗角正切 D_f 。在一些態樣中，本案內容的相分離玻璃的特徵可在於如用 10 GHz 的信號測量的約 0.003 或更小的損耗角正切。在一些態樣中，本案內容的相分離玻璃的特徵可在於如用 10 GHz 的信號測量的約 0.0029 至約 0.004 的損耗角正切。除非另外明確指出，否則在 3"×3" 且小於 1 mm 厚的經拋光、原樣製作 (as-made) 的玻璃樣品上測量介

電性質 D_k 和 D_f 。測試頻率在從 2.7 GHz 至 50 GHz 的範圍內。樣品在小於或等於 10 GHz 的信號頻率下用分離媒體諧振器或者在大於 10 GHz 的信號頻率下用開腔諧振器進行測試。在每種情況下，介電常數和損耗角正切從共振峰的位移和展寬來測量。

【0128】 本案內容的相分離玻璃可適於用在 PCB 應用中。PCB 層壓體典型地包括層壓至銅膜上的絕緣層，例如，絕緣層設置在覆銅膜之間。絕緣層優選具有低介電損耗，例如在 10 GHz 下的小於 0.005，和足夠的力學強度和斷裂韌性以允許產品環境中的處理和後加工。絕緣層也應當能夠耐受鑽孔而沒有損壞或者斷裂，並且取決於應用，可在約 100 至 700 微米厚的範圍內。除此之外，絕緣層可耐受直至 260 °C 的溫度 30 秒同時保持尺寸穩定性。這一溫度通常基於 PCB 板的後加工中回流焊接所需的溫度。焊膏通常用於將電學部件附接至它們的導電接觸焊盤。然後將元件暴露於高溫（通常 260 °C 30 秒）以使焊料回流並產生永久性焊點。因此，PCB 的絕緣層應當優選是也可耐受 PCB 加工中典型使用的焊接回流溫度且幾乎沒有至沒有軟化或尺寸改變的低介電損耗材料。

【0129】 已觀察到，在拉製製程期間，其中相分離玻璃例如在下拉製程中被放置在拉力下並例如拉製成玻璃片材，如藉由使用偏振光的應變範圍測量所示的橫跨玻璃片材的應力所證實，可在相分離玻璃片材中產生光學延遲。退火

已被示出增加光學延遲。退貨時間越長，光學延遲可能就越大。

【0130】 圖 5、圖 6、和圖 7 圖示了 (1) 相分離玻璃片材的大約 3 釐米 (cm) × 3 cm 樣品的應變範圍圖像 (5 (a)、6 (a)、和 7 (a)) 和 (2) 示出這些玻璃樣品的相的來自掃描電子顯微鏡 (SEM) 的照片 (圖 5 (b)、圖 6 (b)、和圖 7 (b))。圖 5 的樣品是玻璃的初拉製 (as-drawn) 樣品，沒有隨後的退火。圖 6 的樣品是在 720 °C 下退火 2 小時之後的樣品。圖 7 圖示了在退火第二時間、在 720 °C 下額外 2 小時 (即，總計 4 小時) 之後圖 6 的樣品。藉由應變範圍測量的增加的陰影、特別是圖 7 (a) 的樣品的增加的陰影表示增加的光學延遲。此外，當比較圖 5 至圖 7 的 SEM 圖像時，第二相的尺寸隨著樣品進行退火而明顯增加。

【0131】 圖 8 至圖 11 圖示了在於越來越高的溫度下退火之後圖 5 的相分離玻璃組合物的樣品的 SEM 照片。例如，圖 8 的樣品在約 745 °C 的溫度下退火約 12 小時的時段。表示相分離的特徵非常細微並在視覺上難以看出。圖 9 的樣品在約 800 °C 的溫度下退火約 12 小時。在此，玻璃的兩相在視覺上變得不同，儘管仍然較小。圖 10 的樣品在約 850 °C 的溫度下退火約 12 小時的時段。不同的相清晰可見。圖 11 的樣品在約 900 °C 的溫度下退火約 12 小時的時段。很明顯，玻璃的分離的相容易地得到區分。類似於圖 5、圖 6、圖 7 的結果，退火溫度越高，相分離的程度就越大，如藉由第二

相的生長所證實。圖 8 中的第二相幾乎無法看出，但第二相在圖 11 的圖像中清晰可見。

【0132】 使用二維傅裡葉變換技術分析類似於圖 8 至圖 11 的那些的圖像。這些樣品用一系列不同的蝕刻時間進行蝕刻，試圖強調兩相的空間分佈。圖像的仔細檢查表明，更加緩慢蝕刻的材料相的邊緣比更快蝕刻的相更亮，從 SEM 圖像提供了與這些相的空間取向相關的信號。可使用下述等式在數學上描述二維傅裡葉變換。

$$F(u, v) = \iint_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp[2\pi i(ux + vy)] dx dy$$

其中 x 和 y 是物理結構的座標， $f(x, y)$ 是來自待分析的物理結構的信號（在這種情況下，反向散射 SEM 圖像的強度）， u 和 v 是傅裡葉域中的座標，並且 $F(u, v)$ 是函數 $f(x, y)$ 的傅裡葉變換。

【0133】 為了理解傅裡葉變換如何有助於辨識這些相的空間取向，查看了幾個說明性示例。首先，考慮這些相取向成交替垂直線的情形。二維傅裡葉變換會由傅裡葉平面的水平方向上的一系列峰構成。這些峰之間の間隔會提供有關這些相的垂直區域的寬度的資訊。這些峰的寬度會提供有關垂直區域的寬度的變化的資訊。如果這些相以交替水平線取向則預期了類似的回應，不同之處在於傅裡葉變換中的峰會在垂直方向、而非水平方向上。在兩種情況下，傅裡葉域中的峰的振幅會提供有關有多少域具有特定的取向的資訊。

【0134】 如果這些材料相在物理平面中垂直地、水平地、和以每一個方位角無規地取向，但具有幾乎恆定的寬度，則傅裡葉變換會由環構成，其中傅裡葉域中的峰位置會與該相域寬度成反比。峰的寬度會提供有關該相域寬度的分佈的資訊。

【0135】 SEM 圖像可使用圖 1 2 中示出的座標系統進行描述。拉製方向（由圖中的箭頭 5 6 表示）沿著 y 軸（在 $-y$ 方向上）延伸，玻璃片材的厚度在 z 方向上，並且 x 方向與拉伸方向和厚度方向中的每一個正交。如果取樣表面的表面法線與 x 方向平行，則該樣品被稱為 x 截面圖像。

【0136】 圖 1 4 中圖示對應從 x 表面測量的樣品的二維傅裡葉變換（2 D F T）。中心點周圍的淡暈是對應圖 1 1 中示出的相分離特徵（即，第二相）的特徵寬度的圓環。其在半徑和寬度的均勻性表明對於這一 2 D 截面該結構是幾乎各向同性的。然而，如果我們在 $r\theta$ 空間、而非 uv 空間中繪製圖像，其中 $r = \sqrt{u^2 + v^2}$ 和 $\theta = \tan^{-1}[y/x]$ ，則在某種程度上更容易看到非均勻性。

【0137】 在這一 $r\theta$ 座標系統中繪製的來自三個表面的樣品資料示出在圖 1 5（a）至圖 1 5（c）中的灰階中。垂直軸是方位角方向， θ 。水平維度是 xy 傅裡葉平面中的徑向方向， r 。該結果示出這兩相的結構在方位角方向（垂直軸）上是各向同性的，但 $3.1 \mu\text{m}^{-1}$ 的空間頻率表明這些相的寬度幾乎是均勻的，寬度為大約 3.2 nm 。儘管來自 x 樣品的 2 D F T 截面示出非常小的各向異性，但在 y 和 z 表面中的樣品（其表

面法線分別沿著拉製方向和沿著厚度方向) 示出更大的方位角變化，以及峰寬度的更寬變化，表示這些材料相區域正在受壓縮(更高的空間頻率表示更小的域寬度)。這些結果表示，相分離材料的材料相的空間分佈的各向異性可改變得更強烈，取決於材料相對於拉製和厚度方向的取向，而不是垂直於那些方向的方向——即，在玻璃片材內，但垂直於拉製方向。

【0138】 與可進行處理後成形以誘導相分離(諸如藉由熱處理玻璃)的其他玻璃不同，據信本案內容的相分離玻璃在熔融玻璃流經下游玻璃製造設備30的同時、例如在熔融玻璃穿過熔化容器下游的各種連接導管和容器且在成形體之前時藉由自發的調幅分解而相分離。這種看法受到從成形體拉製熔融玻璃對這些相的取向所具有的效果支援。也就是說，為了拉製拉力影響相取向必須已經發生相分離。

【0139】 圖16圖示了當玻璃組合物從商品可得的非相分離玻璃(即，Corning® Eagle™ XG®)改變為相分離玻璃組合物時作為時間的函數的在熔合下拉製程中拉製的玻璃帶中的應力。在大約一個月的時間裡發生轉變。該轉變藉由緩慢地改變玻璃組合物、同時努力保持穩定的玻璃密度來實現。在玻璃片材的邊緣(即，角和邊——參見圖17)處收集應力資料。該資料示出，應力(磅/平方吋，psi)從轉變開始時(例如，大約第3天，這會從商品可得玻璃預期)幾乎沒有應力差異逐漸變化到轉變完成時超過 ± 250 磅/平方吋(psi)的應力，並且到第45天高達 ± 300 psi。

【0140】 圖 18 是示出在玻璃片材（參照圖 16）的各種位置處在從 Corning® Eagle™ XG® 玻璃轉變至相分離玻璃期間作為時間的函數的用應力（以 psi）的 \log_{10} 繪製的損耗角正切 D_f 的曲線圖。該資料示出導致固有雙折射的應力增加和損耗角正切降低（例如，從約 0.0065 至約 0.0045）兩者。

【0141】 圖 19 是在轉變期間在片材（參照圖 16）上的數個位置處用應力（以 psi）共同繪製的比例 $(B_2O_3 + MgO) / CaO$ （當單獨的成分以 mole% 表示時）的圖表，示出介電性質隨組成改變而改變。

【0142】 本文中公開的相分離玻璃的主要玻璃相富含 SiO_2 ，而第二相富含硼（例如， B_2O_3 ）。如前述，相分離玻璃中 SiO_2 的量越大，作為用於電子電路的部件的介電性質（例如，介電常數， D_k ，和損耗角正切， D_f ）就越有利。即，介電常數及 / 或損耗角正切可藉由增加 SiO_2 的量來降低。然而，增加玻璃中 SiO_2 的量使玻璃不太可藉由一般片材成形手段、例如熔合下拉製程來成形。另一方面，由於 PCB 中這種電子（例如，介電）部件的首要形式是作為薄片材，因而高總量生產方法可提供有利降低的成本。相應地，描述了玻璃的相分離中間體片材的組成的改性方法，其中玻璃的相中 SiO_2 的量可在成形玻璃片材之後極大地增加。因此，可利用高總量生產方法來成形中間體玻璃片材，由此該中間體玻璃片材被進一步加工以生產具有富含 SiO_2 相的玻璃製品。

【0143】 根據本案內容，相分離玻璃製品可用合適的蝕刻劑進行蝕刻以實質上除去全部的富含硼的第二相、同時留下包括富含氧化矽的主要相的富含氧化矽的多孔玻璃製品。在一些實施方式中，多孔玻璃製品隨後可被加熱以將多孔玻璃製品固結成富含氧化矽的固體玻璃製品、例如玻璃片材。

【0144】 相應地，描述了一種方法，其包括成形玻璃片材的第一步驟，所述玻璃片材包括含至少第一相和第二相的相分離玻璃、諸如如本文中所述的相分離玻璃。相分離玻璃片材可包括大於約340 mm的寬度和大於約440 mm的長度、大於約680 mm的寬度和大於約880 mm的長度、或者大於約1500 mm的寬度和大於約1500 mm的長度，儘管預期了更小或者更大的尺寸，並且可以使用例如熔合下拉製程，諸如本文中描述的熔合下拉製程。

【0145】 相分離玻璃片材可具有富含 SiO_2 的第一相和富含 B_2O_3 的第二相。相分離玻璃片材在隨後的步驟之前可選擇性地進行洗滌。例如，相分離玻璃可在洗滌劑中進行洗滌。超音波浴可被用於洗滌。例如，相分離玻璃可藉由將該相分離玻璃浸泡在包括清潔劑、例如含4 wt% Semiclean的水溶液的超音波浴中在從約2分鐘至約6分鐘的範圍內的時間、諸如約4分鐘來進行洗滌。

【0146】 在第二步驟中，可將相分離玻璃片材暴露於蝕刻劑、例如適於從該玻璃片材蝕刻第二相的酸。該酸可以是包括無機酸或者有機酸的水溶液。取決於選擇的酸和應當

被除去的第二相的量，該酸可以從約 5 wt% 至約 40 wt% 的量存在。合適的無機酸可包括 HCl、H₂SO₄、HNO₃、HF、或 H₃PO₄ 中的至少一者。有機酸的示例可包括檸檬酸及/或乙酸。蝕刻劑可在從約 60 °C 至約 100 °C 的範圍內的溫度下，暴露時間在從約 1 小時至約 6 小時的範圍內、例如在從約 2 小時至約 4 小時的範圍內。酸溶液的強度和蝕刻劑的溫度將決定適於從相分離玻璃片材蝕刻掉第二相的時間長度。從相分離玻璃片材除去第二相產生主要或者全部包括第一（基質）相、例如富含 SiO₂ 的相的多孔玻璃片材。經計算的多孔玻璃片材的開孔孔隙度可大於約 28%。只有約 8.7% 的孔具有大於約 3 nm 的直徑，意味著大多數孔的直徑小於約 3 nm。多孔玻璃片材的孔的中位數（d₅₀）孔直徑可小於約 1 μm、例如小於約 0.5 μm、小於約 0.1 μm、小於約 0.05 μm、小於約 0.025 μm、或者小於約 0.02 μm。使用汞侵入孔中進行直接孔隙度測量。然而，這一技術受限於超過 3 nm 的孔尺寸。相應地，孔隙度也基於密度進行計算。

【0147】 在蝕刻之後可選的隨後步驟中，從蝕刻得到的多孔玻璃製品可在去離子水、例如 18 Mohm 去離子水中進行潤洗。

【0148】 從上述蝕刻程序得到的多孔玻璃製品可以在除電子應用以外發現單獨的用途。例如，由於第二相互連，因而可能非常小（例如，小於約 100 nm、小於約 75 nm、小於約 50 nm、小於約 25 nm，或者，例如，在直徑上小

至或小於約3奈米)的藉由蝕刻留下的孔可延伸穿過多孔玻璃片材的厚度。儘管有多孔玻璃片材的多孔結構，但多孔玻璃片材仍然透明。多孔玻璃片材可用於多樣應用，諸如奈米過濾、反滲透、和水處理應用。孔的表面可進行處理(例如，塗佈)使得多孔製品可用於微反應器(例如，奈米反應器)應用(其中可以非常小的規模執行化學反應)中。孔表面可塗佈有催化劑。在一些實施方式中，孔可用奈米尺寸的顆粒進行浸漬以提供附加的功能性。

【0149】 在該方法的第三步驟中，多孔玻璃製品可藉由將該多孔玻璃製品加熱至高於該玻璃的玻璃化轉變溫度 T_g 的合適溫度而固結。多孔玻璃片材的固結可藉由防止水分子攝入孔中來穩定該玻璃片材的效能。由於水是高度極化的分子，因而玻璃中的水分可不利地影響玻璃的介電性質。在各實施方式中，多孔玻璃製品可選擇性地被預加熱至在從約 100°C 至約 300°C 的範圍內的溫度在從約1小時至約2小時的範圍內的時間以在固結之前乾燥多孔玻璃製品。經乾燥的多孔玻璃製品可選擇性地被進一步加熱至在從約 500°C 至約 700°C 的範圍內的溫度、例如在從約 550°C 至約 650°C 的範圍內的溫度以除去(燒除)可已經污染多孔玻璃製品的任意有機污染物、例如碳。污染物可包括來自處理的油、或者其他環境污染物。經乾燥的多孔玻璃製品可被加熱在從約30分鐘至約2小時的範圍內的時間、在從約45分鐘至約75分鐘的範圍內的時間。

【0150】 為了固結多孔玻璃製品，多孔玻璃製品可被加熱至在從約900°C至約1100°C的範圍內、例如在從約920°C至約1100°C的範圍內、或者在從約940°C至約1100°C的範圍內、在從約960°C至約1100°C的範圍內、在從約980°C至約1100°C的範圍內、在從約1000°C至約1100°C的範圍內、在從約1020°C至約1100°C的範圍內、在從約1040°C至約1100°C的範圍內、在從約1060°C至約1100°C的範圍內、或者在從約1080°C至約1100°C的範圍內的固結溫度，包括其間的所有範圍和子範圍。多孔玻璃製品可被加熱至固結溫度在從約1小時至約4小時的範圍內的時間，儘管預期了更長的固結時間，例如在從約1小時至約24小時的範圍內、在從約1小時至約20小時的範圍內、在從約1小時至約16小時的範圍內、在從約1小時至約12小時的範圍內、或者在從約1小時至約8小時的範圍內，包括其間的所有範圍和子範圍。當加熱至固結溫度時，多孔玻璃製品中的孔封閉並且取決於選擇的溫度和期望的固結量，該玻璃的至少一部分或者全部變成實心。SEM和飛行時間(ToF)次級離子質譜(SIMS)分析已示出在蝕刻程序之後殘留的多孔玻璃主要由SiO₂構成(參見表2)。介電性質測量已示出，一旦多孔玻璃固結，D_k和D_f值與高純度熔合氧化矽(HPFS)的相當。然而，不同於HPFS，相分離玻璃可例如藉由熔合下拉製程被拉製成大型玻璃片材、蝕刻、然後固結以產生具有類似HPFS的介電性質的高氧化矽玻璃片材。

【0151】 表1說明根據使用包括5 wt% HCl的水性酸溶液的以上蝕刻程序蝕刻的相分離玻璃樣品(GS17, 參見表5)。所有樣品均為GS17的2"×2"試樣(參見表5), 在超音波浴中用4% Semiclean洗滌劑溶液在65°C下洗滌2分鐘, 然後在110°C下在烘箱中乾燥1小時(試驗C除外, 其未進行乾燥)。所有蝕刻在95°C下在5 wt% HCl的溶液中執行。以供參考, 蝕刻之前的玻璃具有4.6的 D_k 和0.0037的 D_f 。表1中列出的試驗涉及(A-DD), 第一熱處理(1st HT)表示為溫度(T_p , °C)/時間(T_m , 小時), 第二熱處理(2nd HT)表示為溫度(T_p , °C)/時間(T_m , 小時), 第一固結(1st Con.)表示為溫度(T_p , °C)/時間(T_m , 小時), 第二固結(2nd Con.)溫度(T_p , °C)/時間(T_m , 小時), 用氫氟酸(HF)的表面處理表示為「熱處理之前」(B)或者「最後固結之後」(A), 在85°C/85%相對濕度環境中的環境浸泡表示為時間(小時), 並且介電性質介電常數 D_k , 和損耗角正切 D_f 。介電常數和損耗角正切在10 GHz下進行測量, 除了包括星號的那些。包括星號的介電性質在5 GHz下進行測量(樣品的翹曲阻止了在10 GHz下測量)。在介電性質之後包括撇號(')的樣品表示該樣品在用於介電性質的測量之前暴露於實驗室環境(72°C, 20% RH)大約24小時。在介電性質之後包括十字標記(+)的樣品在用於介電性質的測量之前暴露於實驗室環境大約60小時。

【0152】 來自試驗 D D 的玻璃對於介電性質在固結之後進行第一次測量，並在 85 °C / 85 % R H 浸泡之後進行第二次測量。雙破折號表示未執行加工步驟。相應地，藉由示例的方式，試驗 A 至 C 的樣品進行蝕刻，但未進行熱處理、固結、經受 H F 處理、或者在用於介電性質的測量之前暴露於 85 °C / 85 % R H 環境。當將試驗 A 至 C 的玻璃樣品與例如在蝕刻後簡單經受加熱至 200 °C 的溫度 1 小時而沒有進一步加熱的益處的試驗 D 的玻璃樣品進行比較時，資料示出介電性質 D_k 和 D_f 明顯降低。據信作為從在蝕刻之後獲得的多孔樣品除去水分的結果而發生了這種介電性質的降低。類似地，試驗 E 的玻璃樣品的介電性質藉由包括其中該樣品經受 820 °C 的溫度 1 小時的固結步驟而進一步降低。對於其他樣品也可觀察到類似的結果，其中添加進一步的加熱，或者藉由一或多個熱處理步驟，或者一或多個固結步驟，可導致介電性質的降低。試驗 D D 的玻璃樣品因這一事實而呈現兩條線：該樣品對於 D_k 和 D_f 在蝕刻和固結（包括在固結之前多孔玻璃製品的 H F 處理）之後進行測量，然後在經固結的玻璃製品暴露於 85 °C / 85 % R H 環境 24 小時之後進行第二次測量。在 85 °C / 85 % R H 暴露之前和之後兩者的 D_k 和 D_f 的值顯著地一致，示出即使在水分的存在下也穩定的介電性質。

【0153】 表 1

	蝕刻 時間 (hrs)	1 st HT Tp/Tm (°C/hrs)	2 nd HT Tp/Tm (°C/hrs)	1 st Con. Tp/Tm (°C/hrs)	2 nd Con. Tp/Tm (°C/hrs)	H F 處理	85°C/ 85RH (hrs)	D_k	D_f
A	16	--	--	--	--	--	--	4.47	0.067

B	24	--	--	--	--	--	--	4.38	0.065
C	24	--	--	--	--	--	--	4.4	0.076
D	24	620/2	2	--	--	--	--	3.43	0.02
E	24	620/2	2	820/2	--	--	--	3.31	0.01
F	24	--	--	820/2	960/2	--	--	3.44	0.0012
G	24	--	--	960/2	--	--	--	3.63*	0.001*
H	24	--	--	960/2	--	--	--	3.63	0.0018
I	24	--	--	960/4	--	--	--	3.69'	0.0064'
J	24	200/1	600/1	960/4	--	--	--	3.68	0.0046
K	24	200/1	600/1	960/4	--	B	--	3.65	0.0012
L	24	200/1	600/1	960/4	--	A	--	3.68	0.0061
M	24	200/1	600/1	960/4	--	--	4	3.72	0.0073
N	24	--	--	960/12	--	--	--	3.63*	0.001*
O	24	--	--	960/12	--	--	--	3.62*+	0.0013*+
P	24	200/1	600/1	1000/2	--	--	--	3.78	0.0016
Q	24	200/1	600/1	1000/2	--	B	--	3.8	0.0011
R	24	200/1	600/1	1000/2	--	--	--	3.82+	0.00289+
S	24	200/1	600/1	1000/2	--	B	--	3.79+	0.00169+
T	24	--	--	1000/4	--	--	--	3.62*	0.00091*
U	24	--	--	1000/4	--	--	--	3.69*+	0.00163*+
V	24	--	--	1040/2	--	--	--	3.69*	0.00045*
W	16	--	--	1040/2	--	--	--	3.74*	0.00048*
X	24	--	--	1040/2	--	--	--	3.67*	0.00059*'
Y	16	--	--	1040/2	--	--	--	3.74*	0.00053*'
Z	24	--	--	1040/2	--	--	--	3.81*	0.00058*+
AA	16	--	--	1040/2	--	--	--	3.85*	0.00056*+
BB	24	--	--	1040/2	--	--	24	3.7*	0.00176*
CC	16	--	--	1040/2	--	--	24	3.89*	0.00102*
DD	24	200/1	600/1	1040/4	--	B	--	3.81	0.00085
DD	在85°C/85% RH之後採取的第二次測量						24	3.77	0.000786

【0154】 表 2 列出了在 95 °C 下在 5 wt % HCl 中蝕刻之前和之後熔合成形的 GS17 玻璃樣品的之前和之後的組成。用 ToF SIMS 執行組成分析以精確地評價在 HCl 蝕刻之後殘留的玻璃組成。用橫跨樣品整個厚度的 500 微米 × 500 微米的視野執行分析。之前的組成成分反映了總量（包括相分離玻璃樣品的兩個相）。所有分量以 mol % 提供。資料示出在從樣品除去顯著部分的富含硼的第二相之後 SiO₂ 的比例量顯著增加，導致了不可能藉由熔合下拉製程成形的接近純的 SiO₂ 片材。沒有跡象表明存在組成梯度。預計本

文中描述的其他相分離玻璃組合物將提供類似的蝕刻後結果。

【0155】 表 2

成分	蝕刻之前的GS17	蝕刻之後的GS17
SiO ₂	68.82	96.8
Al ₂ O ₃	7.66	0.62
B ₂ O ₃	13.91	2.19
MgO	5.52	0.14
CaO	3.90	0.24
SrO	0.03	
SnO ₂	0.08	0.08

【0156】 以下表 3 至表 9 說明了根據本案內容的示例性相分離玻璃，以摩爾百分比 (mol%) 表示，如在來自該批玻璃（從其衍生該玻璃的玻璃前驅體組合物）的氧化物基礎上所計算。玻璃樣品進行分批並在生產熔合拉製設備中拉製為玻璃帶，並分成尺寸為 1500 毫米 (mm) × 1850 mm 的玻璃片材。藉由 SEM 決定相分離。玻璃片材具有 0.7 mm 的厚度。

【0157】 表 3

玻璃樣品	GS1	GS2	GS3	GS4	GS5	GS6	GS7	GS8
SiO ₂	68.26	68.23	68.14	68.22	68.26	68.34	68.39	68.48
Al ₂ O ₃	8.64	8.57	8.55	8.49	8.47	8.41	8.39	8.33
B ₂ O ₃	11.95	12.08	12.17	12.2	12.28	12.38	12.42	12.54
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
Na ₂ O	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
MgO	4.87	4.95	4.99	4.98	4.92	4.81	4.77	4.68
CaO	5.94	5.85	5.84	5.79	5.76	5.74	5.72	5.67
SrO	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15
BaO	0	0	0	0	0	0	0	0
SnO ₂	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0
ZrO ₂	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
La ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0

Li ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
10 GHz 下的D _k								
10 GHz 下的D _f								

【0158】 表 4

玻璃樣 品	GS9	GS10	GS11	GS12	GS13	GS14	GS15	GS16
SiO ₂	68.63	68.72	68.76	68.85	68.91	68.81	68.88	68.75
Al ₂ O ₃	8.26	8.14	8.05	7.9	7.84	7.83	7.7	7.63
B ₂ O ₃	12.66	12.95	13.19	13.42	13.52	13.68	13.8	14.02
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
Na ₂ O	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
MgO	4.54	4.4	4.48	4.84	5.06	5.19	5.43	5.57
CaO	5.62	5.53	5.27	4.78	4.48	4.29	4.01	3.85
SrO	0.14	0.11	0.09	0.06	0.04	0.04	0.03	0.02
BaO	0	0	0	0	0	0	0	0
SnO ₂	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0
ZrO ₂	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
La ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
Li ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
10 GHz 下的D _k								
10 GHz 下的D _f								

【0159】 表 5

玻璃 樣品	GS17	GS18	GS19	GS20	GS21	GS22	GS23	GS24
SiO ₂	68.82	68.82	68.82	68.82	68.82	68.82	68.82	68.82
Al ₂ O ₃	7.66	9.66	10.16	11.16	7.66	7.66	7.66	7.66
B ₂ O ₃	13.91	11.91	11.41	10.41	13.91	13.91	13.91	13.91
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
Na ₂ O	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
MgO	5.52	5.52	5.52	5.52	3.53	3.33	3.03	5.52
CaO	3.90	3.90	3.90	3.90	5.90	6.10	6.40	3.40

SrO	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
BaO	0	0	0	0	0	0	0	0.50
SnO ₂	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0
ZrO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
La ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
Li ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
10 GHz 下的D _k								
10 GHz 下的D _f								

【0160】 表 6

玻璃樣品	GS25	GS26	GS27	GS28	GS29	GS30	GS31
SiO ₂	68.82	68.82	68.82	68.82	68.82	68.82	68.82
Al ₂ O ₃	7.66	7.66	11.16	11.50	11.75	5.00	3.00
B ₂ O ₃	13.91	13.91	10.41	10.07	9.82	13.91	13.91
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0
MgO	5.52	5.02	5.52	5.52	5.52	5.52	5.52
CaO	2.90	3.90	3.90	3.90	3.90	6.56	8.56
SrO	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
BaO	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SnO ₂	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0
ZrO ₂	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
La ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
Li ₂ O	0	0	0	0	0	0	0
10 GHz下 的D _k							
10 GHz下 的D _f							

【0161】 表 7

玻璃樣 品	GS32	GS33	GS34	GS35	GS36	GS37	GS38	GS39
SiO ₂	68.82	68.32	68.00	68.07	67.57	67.57	67.57	67.57
Al ₂ O ₃	11.00	11.00	11.00	12.50	13.00	13.00	11.00	9.00
B ₂ O ₃	9.82	9.82	9.82	9.82	9.82	9.82	13.82	16.00
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
Na ₂ O	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
MgO	5.52	5.52	5.84	5.52	5.52	2.33	0.00	0.00
CaO	4.65	5.15	5.15	3.90	3.90	7.12	1.57	1.57
SrO	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00	5.55	5.55
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33
SnO ₂	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0
ZrO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
La ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
Li ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
10 GHz 下的D _k							4.92	4.77
10 GHz 下的D _f							0.0034	0.0029

【0162】 表 8

玻璃樣 品	GS40	GS41	GS42	GS43	GS44	GS45	GS46	GS47
SiO ₂	67.57	67.57	67.57	67.57	67.57	67.29	67.57	63.65
Al ₂ O ₃	13.00	9.00	13.00	13.00	13.00	12.95	13.00	11.00
B ₂ O ₃	11.82	11.82	11.82	11.82	11.82	11.77	11.82	17.82
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
MgO	1.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	4.57	0.00	1.57	1.57	1.56	1.57	1.57
SrO	5.55	6.55	5.55	2.78	2.78	5.53	5.05	5.55
BaO	0.33	0.33	0.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
SnO ₂	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	1.90	0	0	0	0	0
ZrO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
La ₂ O ₃	0	0	0	2.78	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	2.78	0	0	0

Li ₂ O	0	0	0	0	0	0.50	0.50	0
10 GHz 下的D _k	5.04	5.27	4.98	5.36	5.25	5.12	5.05	4.93
10 GHz 下的D _f	0.0039	0.0038	0.0036	0.0033	0.0033	0.004	0.0039	0.0030

【0163】 表 9

玻璃樣品	GS48	GS49	GS50	GS51	GS52	GS53
SiO ₂	61.65	61.65	59.65	62.65	63.65	61.65
Al ₂ O ₃	11	11	11	10	10	11.00
B ₂ O ₃	17.82	17.82	19.82	18.82	17.82	17.82
K ₂ O	0	0	0	0	0	0
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0
MgO	0.00	0	0	0	0	3.57
CaO	3.57	3.57	3.57	3.07	3.07	0.00
SrO	3.55	4.05	5.55	5.05	5.05	5.55
BaO	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
SnO ₂	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0
ZnO	2.00	0	0	0	0	0
ZrO ₂	0	0	0	0	0	0
La ₂ O ₃	0	1.5	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0
Li ₂ O	0	0	0	0	0	0
10 GHz下 的D _k	4.97	5.27	5.06	4.90	4.91	4.99
10 GHz下 的D _f	0.0032	0.0034	0.0032	0.0030	0.0030	0.0034

【0164】 為了獲得低介電常數（D_k）和介電損耗角正切（D_f）以及增加的玻璃耐久性，調查了數個不同的氧化物。表 10 和表 11 列出了添加有 ZnO 的玻璃的組成和測量的 D_k 和 D_f 資料。圖 20 和圖 21 是示出在 GS17 中用 ZnO 替換 MgO 對 D_k 和 D_f 的影響的圖表。如在圖表中可見，D_k 隨著

針對 MgO 添加 ZnO 而增加， D_f 隨著添加 ZnO 而降低。然而，當作為玻璃中 B_2O_3 的替代物添加 ZnO 時， D_k 和 D_f 看起來並未改變。這示出在圖 2 2 和圖 2 3 中。在圖 2 2 和圖 2 3 中，開口圓是用 ZnO 替代 B_2O_3 的玻璃，並且由此可見，開口圓覆蓋了與沒有 ZnO 的玻璃相同的黑色圓。這表示 D_k 和 D_f 受 B_2O_3 含量影響但根本不受 ZnO 含量影響。這些資料表明，ZnO 對於藉由降低與這些類型的玻璃中的 B_2O_3 含量相關的電阻率來進一步降低玻璃的 D_f 或者保持相同的 D_k 和 D_f 同時潛在地改善玻璃的可溶性是一個很好的選項。具有大約 4 mol% 的 ZnO 的 GS57 的玻璃熔體電阻率示出在圖 2 4 中。顯然玻璃樣品 GS57 相較於玻璃樣品 GS17 具有更低的電阻率。注意，GS57 沒有 CaO 而 GS17 具有大約 5 mol% 的 CaO。GS17 在沒有 CaO 的情況下示出低電阻率的事實表明 ZnO 在降低電阻率、由此改善可溶性的有效性。

【0165】 表 1 0

玻璃 樣品	GS54	GS55	GS56	GS57	GS58	GS659	GS60	GS61	GS62
SiO ₂	68.95	68.80	68.00	68.47	68.16	69.92	66.60	66.62	57.00
Al ₂ O ₃	6.93	6.70	6.73	8.67	7.71	7.92	10.47	6.68	4.77
B ₂ O ₃	13.29	13.19	11.27	11.72	11.29	13.15	12.37	12.35	14.28
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	
MgO	2.73	3.23	3.57	3.71	3.58	4.31	2.91	4.78	9.59
CaO	4.84	3.71	3.96	0	3.97	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	1.06	1.15	3.15	1.15	1.37	2.83	4.75	9.52
SnO ₂	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	
ZnO	3.16	3.20	5.22	4.18	4.03	3.24	4.74	4.73	4.75
ZrO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	
La ₂ O ₃	0	0	0	2.78	0	0	0	0	

Y ₂ O ₃	0	0	0	0	2.78	0	0	0	
Li ₂ O	0	0	0	0	0	0.50	0.50	0	
10 GHz 下的 D _k	4.71	4.66	4.91	4.89	4.88	4.59	4.9	5.07	6.31
10 GHz 下的 D _f	0.0027	0.0025	0.0031	0.0033	0.0032	0.0027	0.0034	0.0038	0.0049

【0166】 表 1 1

玻璃 樣品	GS63	GS64	GS65	GS66	GS67	GS68	GS69	GS70	GS71
SiO ₂	68.47	68.47	68.47	67.39	67.84	68.80	67.07	68.80	68.80
Al ₂ O ₃	8.67	8.67	8.67	8.52	8.61	6.70	6.94	7.59	7.59
B ₂ O ₃	11.72	11.72	11.72	11.47	12.52	15.19	15.02	14.10	14.10
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MgO	3.71	3.71	3.71	7.46	5.84	3.53		3.55	1.55
CaO	0	0	0	0.05	0.05	3.43	0	3.84	3.84
SrO	0	0	0	0	0	1.06	3.93	0	0
BaO	3.15	1.58	0	2.96	2.98	0	3.93	0	0
SnO ₂	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.11	0.08	0.08
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZnO	4.18	5.76	7.34	2.04	2.06	1.20	3.00	2.00	4.00
ZrO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Li ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 GHz 下的 D _k	4.9	4.76	4.64	4.9	4.94	4.57	5.1	4.57	4.57
10 GHz 下的 D _f	0.0036	0.0033	0.0029	0.0037	0.0036	0.0025	0.0031	0.0024	0.0024

【0167】 稀土氧化物已示出降低玻璃的 D_f 的潛力。表 12 提供了添加 La_2O_3 或者 Y_2O_3 製作的數個玻璃的組成和在 10 GHz 下測量的那些玻璃的 D_k 和 D_f 資料。圖 25 和圖 26 是分別作為已用 La 替代 Ba 的玻璃中的 mole% La_2O_3 的函數的 D_k 和 D_f 的圖表。這些圖表清楚地示出隨著 La_2O_3 以 BaO 為代價而在玻璃中增加， D_k 增加而 D_f 降低。然而，當 La_2O_3 或者 Y_2O_3 被添加至玻璃組合物的頂部上（未取代特定的氧化物）時， D_k 和 D_f 均相較於不含稀土元素的母體玻璃增加。圖 27 和圖 28 示出對於含有 La_2O_3 或者 Y_2O_3 的玻璃 D_k 和 D_f 兩者均增加，其中稀土氧化物是基礎玻璃組成的補充（ La_2O_3 及 / 或 Y_2O_3 不是另一成分的替代品）。該資料表明，為了降低玻璃的 D_f ，反而應當添加稀土氧化物作為玻璃中較大鹼土金屬氧化物之一的替代品。

【0168】 表 12

玻璃	GS72	GS73	GS74	GS75	GS76	GS77	GS78	GS79	GS80
SiO ₂	70.89	70.40	70.40	69.14	67.07	67.07	68.80	67.07	67.07
Al ₂ O ₃	7.06	7.00	7.00	7.16	6.94	6.94	7.59	6.94	6.94
B ₂ O ₃	16.08	16.65	16.65	15.49	15.02	15.02	14.10	15.02	15.02
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MgO	4.43	4.47	4.47	0	0	0	2.55	0	0
CaO	0.04	0	0	0	0	0	3.84	3.93	3.93
SrO	0.04	0	0	4.05	3.93	3.93	0	0	3.93
BaO	1.35	0.69	0.00	4.05	3.93	3.93	0	3.93	0
SnO ₂	0.11	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.08	0.11	0.11
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZnO	4.18	5.76	7.34	2.04	2.06	1.20	3.00	2.00	4.00
ZrO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La ₂ O ₃	0	0.70	1.39	0	0	3.00	3.00	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	3.00	0	0	3.00	3.00
Li ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0

10 GHz 下的 D_k	4.32	4.4	4.47	4.9	5.43	5.63	5.08	5.38	5.23
10 GHz 下的 D_f	0.0021	0.002	0.0019	0.0033	0.0038	0.0035	0.0027	0.0039	0.0035

【0169】 過渡金屬（例如，Co、Mn、Ni、Cu）相較於其他金屬氧化物具有相對低的極化性，因此據信這應當導致玻璃的 D_k 和 D_f 中的任一者或兩者降低。表 13 和表 14 列出了添加有各種過渡金屬氧化物的數個玻璃的組成和那些玻璃各自在 10 GHz 下所得經測量的 D_k 和 D_f 。該資料表明過渡金屬（除了 Co）當取代 CaO 時提供了降低鹼土金屬鋁硼矽酸鹽玻璃中的 D_k 的手段，如圖 29 中所示。然而，圖 30 中示出的資料表明過渡金屬可能不會降低玻璃的 D_f 而是相較於母體玻璃可導致 D_f 保持實質上恆定或者增加。過渡金屬也可用於給玻璃上色。

【0170】 表 13

玻璃	GS81	GS82	GS83	GS84	GS85	GS86	GS87	GS88	GS89
SiO ₂	68.65	68.65	68.65	68.65	68.65	68.65	68.65	68.65	68.65
Al ₂ O ₃	7.61	7.61	7.61	7.61	7.61	7.61	7.61	7.61	7.61
B ₂ O ₃	14.65	14.65	14.65	14.65	14.65	14.65	14.65	14.65	14.65
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MgO	3.59	3.59	3.59	3.59	3.59	3.59	3.59	3.59	3.59
CaO	0.04	0	0	0	0	0	3.84	3.93	3.93
CuO	0	0	0	0	0	0	1.00	2.50	4.00
NiO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Co ₃ O ₄	0	0	0	1.00	2.50	4.00	0	0	0
MnO ₂	1.00	2.50	4.00	0	0	0	0	0	0
SnO ₂	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	1.11	0.11	0.11
10 GHz 下	4.6	4.55	4.52	4.6	4.76	4.84	4.53	4.47	4.4

的 D_k									
10 GHz下的 D_f	0.0026	0.0026	0.0026	0.0028	0.0032	0.0037	0.0029	0.0038	0.0049

【0171】 表 1 4

玻璃	GS90	GS91	GS92
SiO ₂	68.65	68.65	68.65
Al ₂ O ₃	7.61	7.61	7.61
B ₂ O ₃	14.65	14.65	14.65
K ₂ O	0	0	0
Na ₂ O	0	0	0
MgO	3.59	3.59	3.59
CaO	0.04	0	0
CuO	0	0	0
NiO	1.00	2.50	4.00
Co ₃ O ₄	0	0	0
MnO ₂	0	0	0
SnO ₂	0.11	0.11	0.11
10 GHz下的 D_k	4.54	4.47	4.45
10 GHz下的 D_f	0.0025	0.0025	0.0025

【0172】 氟是已被用於玻璃熔化中以降低玻璃熔體的黏度以及有助於玻璃熔體的澄清的鹵族元素。當取代 B₂O₃ 時，其可提供降低 D_f 同時保持與基礎玻璃實質上相同的 D_k 。表 1 5 示出三種針對 B₂O₃ 添加 F⁻ 的鹼土金屬鋁硼矽酸鹽玻璃組合物和在 10 GHz 下的 D_k 和 D_f 的資料。圖 3 1 和圖 3 2 示出分別作為添加為 B₂O₃ 的替代物的 mole% F⁻ 的函數的 D_k 和 D_f 。該資料清楚地示出 D_k 保持與用 4.5 mole% F⁻ 替代 B₂O₃ 的玻璃實質上相同，同時 D_f 降低。這不僅有助於降低玻璃的 D_f ，還有助於降低玻璃的 B₂O₃ 含量，由此降低諸如氧化矽結 (knots) 之類的熔化缺陷，並降低玻璃熔

體的黏度，因其需要更少的能量來熔化而使得熔化玻璃更容易。F - 也可有助於減少因玻璃的未充分澄清導致的氣泡或晶種。

【0173】 表 1 5

玻璃	GS94	GS95	GS96
SiO ₂	71.16	70.28	69.68
Al ₂ O ₃	5.32	5.20	5.20
B ₂ O ₃	19.03	17.77	16.15
K ₂ O	0	0	0
Na ₂ O	0	0	0
MgO	3.26	3.24	3.28
CaO	1.15	1.13	1.10
F	0	2.30	4.51
SnO ₂	0.09	0.09	0.08
10 GHz下的D _k	4.09		4.09
10 GHz下的D _f	0.0014		0.0011

【0174】 對於本領域技藝人士將顯而易見的是，在不脫離本案內容的精神和範圍的情況下，可對本案內容的實施方式做出各種改進和變形。因此意圖本案內容覆蓋這些改進和變形，只要它們落入隨附的申請專利範圍和它們的均等物的範圍內即可。

【符號說明】

【0175】

1 0 : 玻璃製造設備

1 2 : 玻璃熔化爐

1 4 : 熔化容器

1 6 : 上游玻璃製造設備

1 8 : 原材料儲存倉

- 20: 原材料遞送裝置
- 22: 馬達
- 24: 原材料
- 26: 箭頭
- 28: 熔融玻璃
- 30: 下游玻璃製造設備
- 32: 第一連接導管
- 34: 澄清容器
- 36: 混合設備
- 38: 第二連接導管
- 40: 遞送容器
- 42: 成形體
- 44: 出口導管
- 46: 第三連接導管
- 48: 成形設備
- 50: 進口導管
- 52: 槽
- 54: 成形表面
- 56: 拉製方向
- 58: 底部邊緣
- 60: 玻璃帶
- 64: 玻璃片材
- 66: 刻痕設備

【生物材料寄存】

國內寄存資訊(請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

國外寄存資訊(請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記)

無

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種製作一玻璃製品的方法，包括以下步驟
形成一熔融玻璃，該熔融玻璃經歷調幅分解以產生包括一第一相、一第二相、以及在從 59 mol% 至 69 mol% 的一範圍內的一總 SiO₂ 含量和在從 9 mol% 至 20 mol% 的一範圍內的一 B₂O₃ 含量的一相分離熔融玻璃；

將該相分離熔融玻璃拉製成一玻璃片材；和

在 60 °C 至 95 °C 之間的一溫度下將該玻璃片材暴露於一第一酸溶液 16 小時至 24 小時以從該玻璃片材除去該第二相的至少一部分並獲得包括大於 95 mol% 的一總氧化矽含量的一多孔玻璃片材。

【請求項2】 根據請求項1之方法，其中該多孔玻璃片材的一開孔孔隙度大於 28%。

【請求項3】 根據請求項1之方法，其中該第一酸溶液包括 5 wt% 至 40 wt% 的 HCl、H₂SO₄、HNO₃、HF、或 H₃PO₄ 中的至少一者。

【請求項4】 根據請求項1之方法，進一步包括以下步驟：
將該多孔玻璃片材加熱至 900 °C 至 1100 °C 之間的一溫度 1 小時至 24 小時以固結該多孔玻璃片材並獲得一經固結的玻璃片材，當使用一分離媒體諧振器在 10 GHz 下測量時該經固結的玻璃片材包括小於 4.0 的一介電常數 D_k。

【請求項5】 根據請求項4之方法，其中當使用該分離媒

體諧振器在 10 GHz 下測量時該經固結的玻璃片材包括小於 0.0075 的一損耗角正切 D_f 。

【請求項 6】 根據請求項 4 之方法，其中該固結的溫度大於或等於 1000 °C。

【請求項 7】 根據請求項 6 之方法，其中當使用該分離媒體諧振器在 10 GHz 下測量時該經強化的玻璃片材包括小於 0.003 的一損耗角正切 D_f 。

【請求項 8】 根據請求項 7 之方法，其中當使用該分離媒體諧振器在 10 GHz 下測量時 D_f 小於 0.001。

【請求項 9】 一種玻璃製品，包括含一第一相和一第二相的一經調幅分解的玻璃，該玻璃在一氧化物基礎上包括：

從約 57 mol% 至約 70 mol% 的 SiO_2

從約 4.7 mol% 至約 10.5 mol% 的 Al_2O_3

從約 11.2 mol% 至約 15.2 mol% 的 B_2O_3

從約 1.2 mol% 至約 7.4 mol% 的 ZnO ；和

總計從 3.7 mol% 至 20 mol% 的一或多個鹼土金屬氧化物 (RO)，其中 RO 選自 MgO 、 CaO 、 SrO 、和 BaO 。

【請求項 10】 根據請求項 9 之玻璃製品，其中該玻璃包括從 0.09 mol% 至 0.15 mol% 的 SnO 。

【請求項 11】 根據請求項 9 之玻璃製品，其中該玻璃包括從 1.5 mol% 至 9.6 mol% 的 MgO 。

【請求項 12】 根據請求項 11 之玻璃製品，其中

MgO/ZnO 為從 0 至 3.7。

【請求項 13】根據請求項 11 之玻璃製品，其中
B₂O₃/ZnO 為從 1.6 至 12.6。

【請求項 14】根據請求項 9 之玻璃製品，進一步以小於
3.0 mol% 的一量包括 La₂O₃、Y₂O₃、或 Li₂O 中的
至少一者。

【請求項 15】根據請求項 9 之玻璃製品，進一步包括從
0.05 mol% 至 4.8 mol% 的 CaO。

【發明圖式】

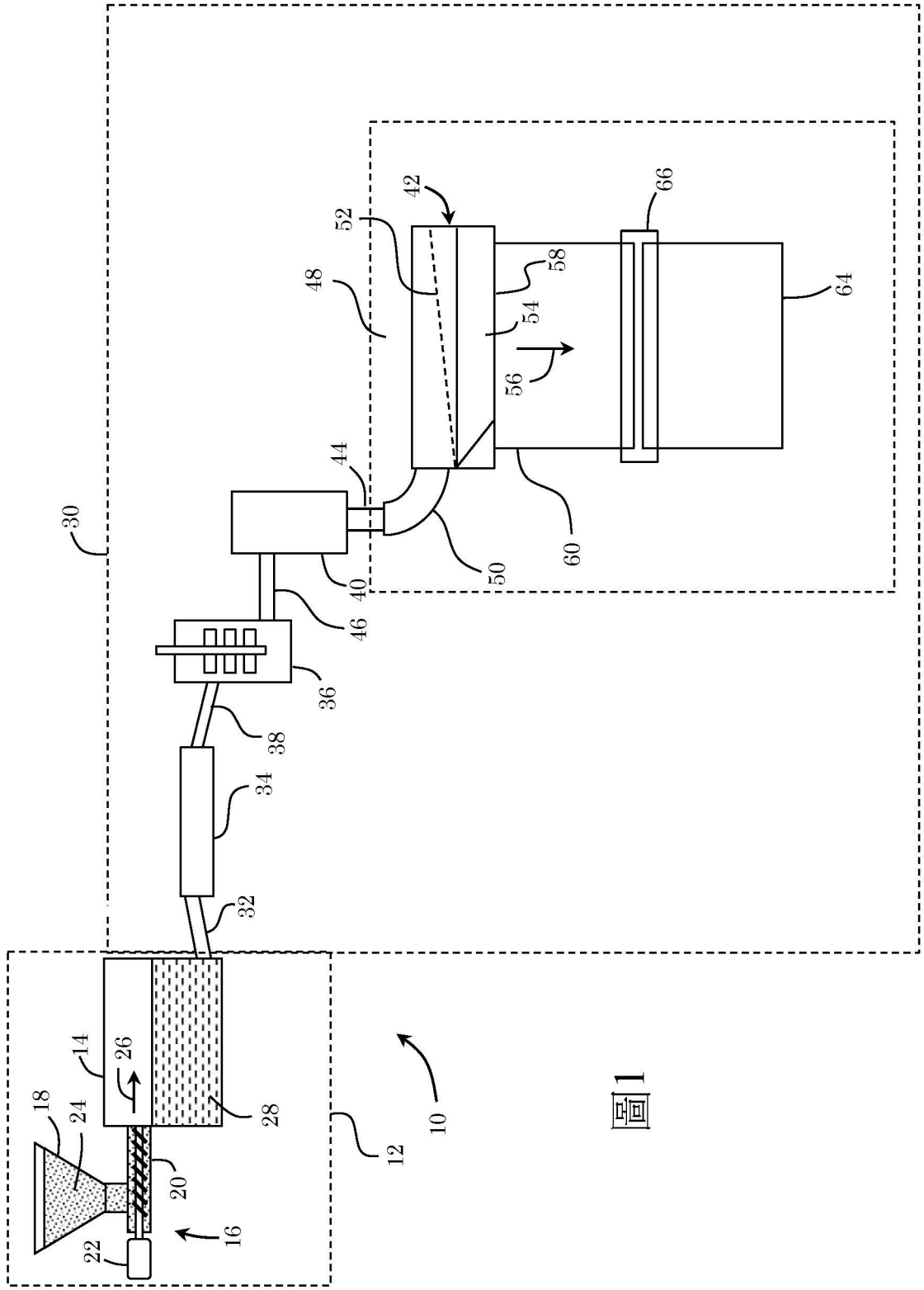
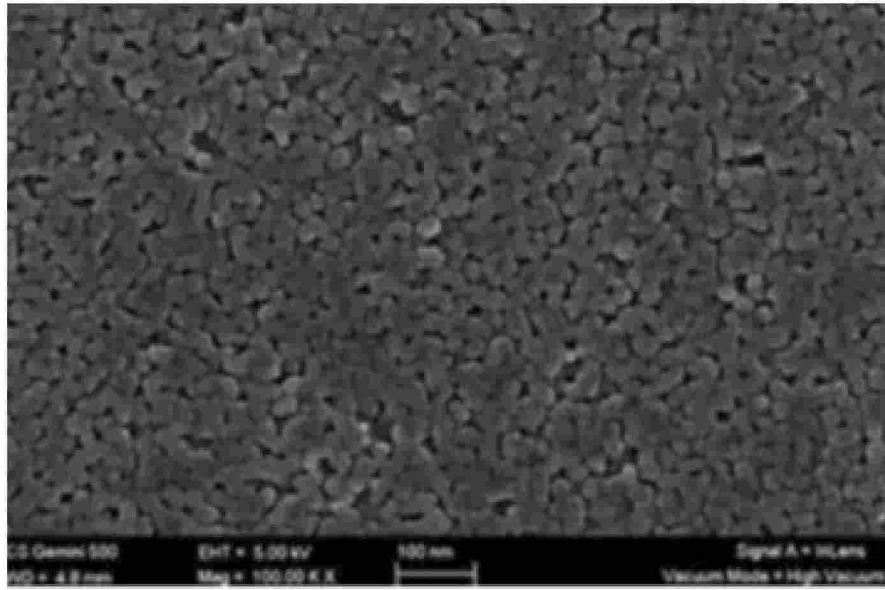


圖1



100 nm

圖2

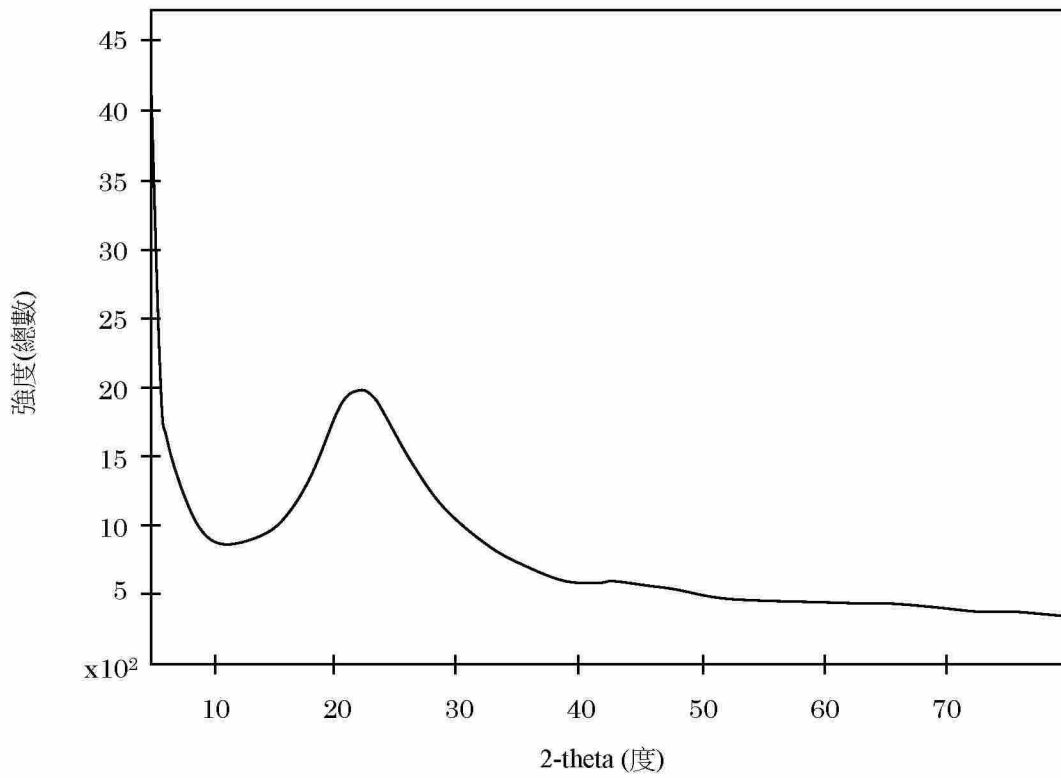


圖3

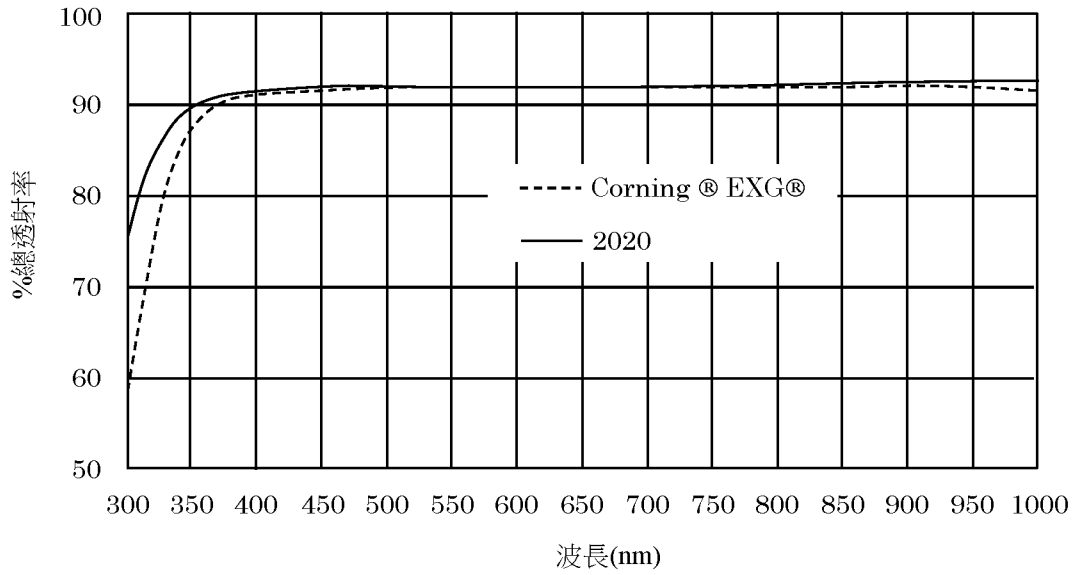


圖4

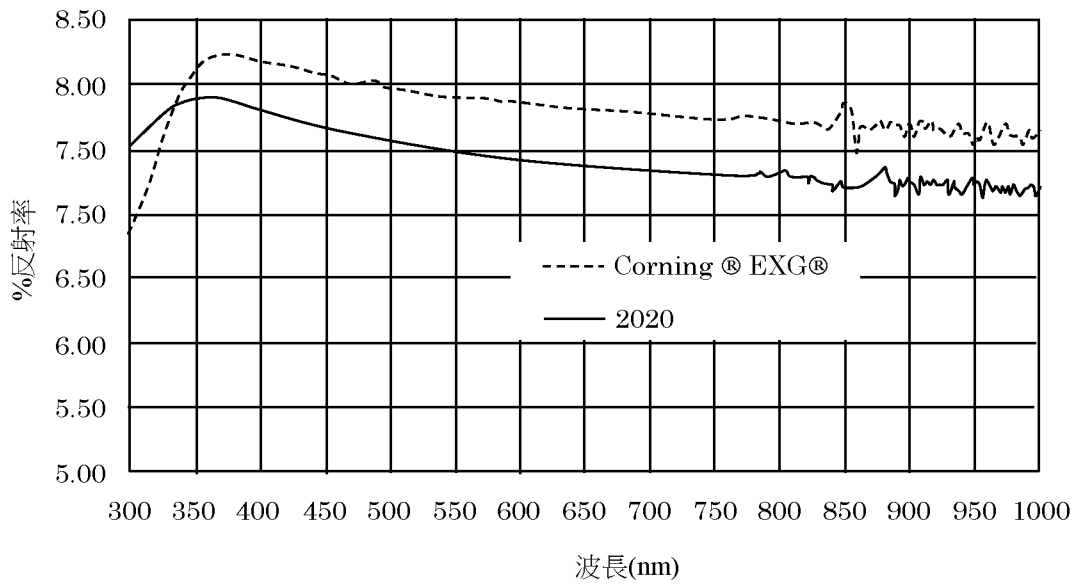
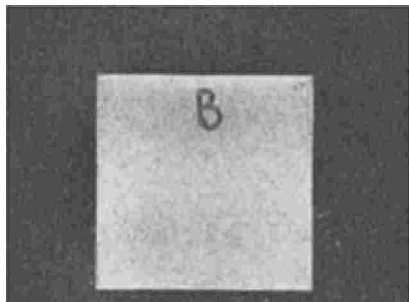
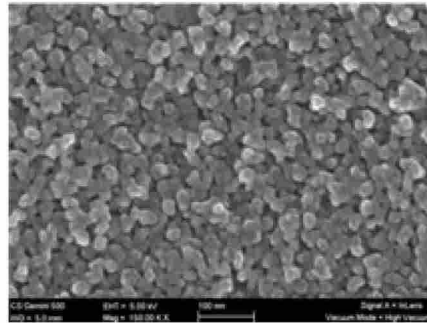


圖5

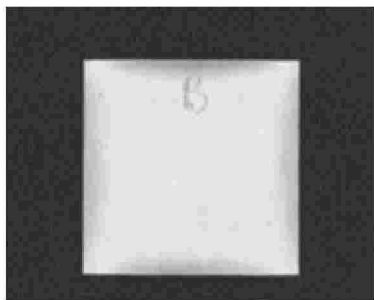


(a)

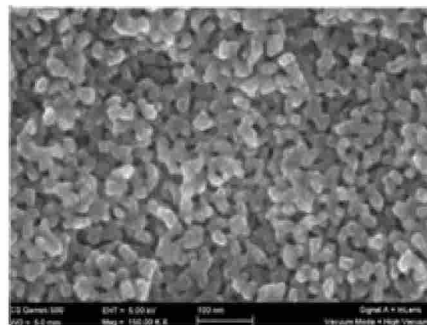


(b)

圖6

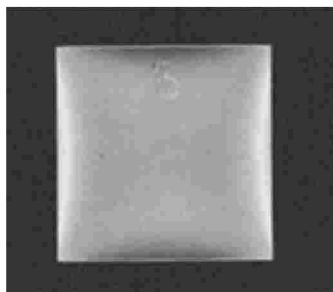


(a)

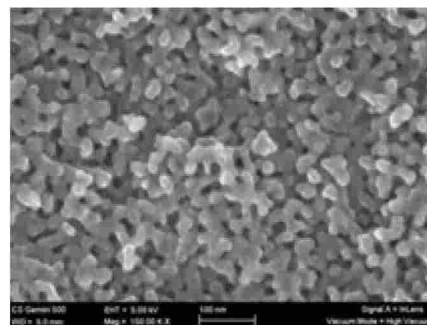


(b)

圖7



(a)



(b)

圖8

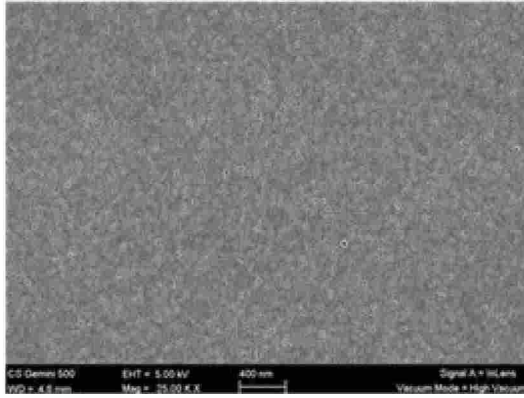


圖9

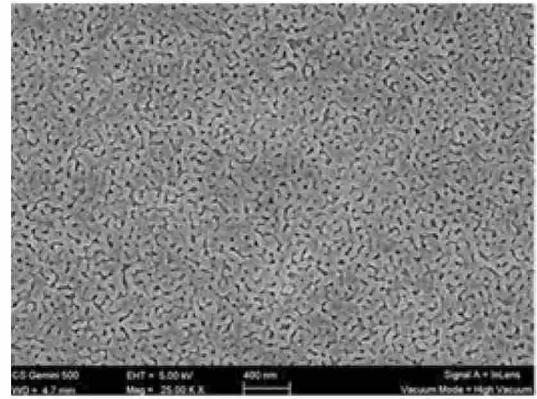


圖10

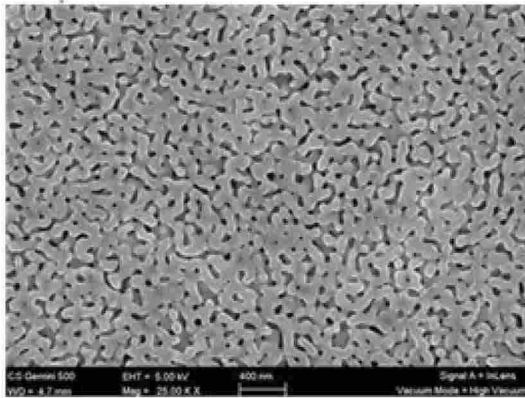


圖11

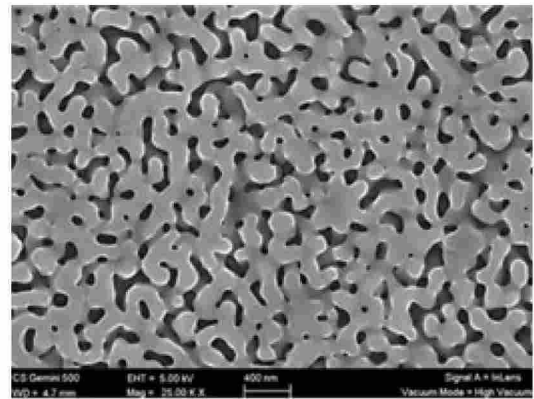


圖12

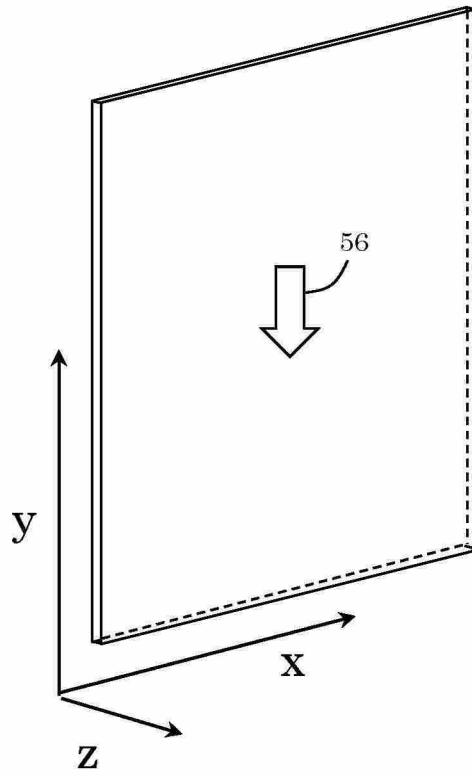


圖13

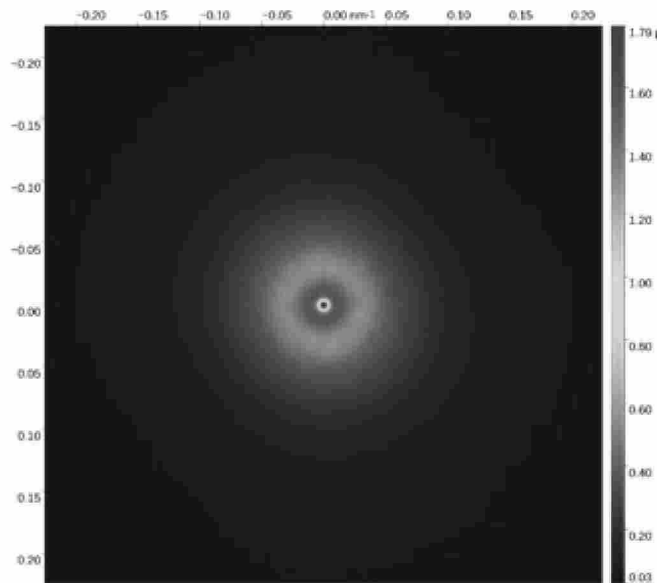
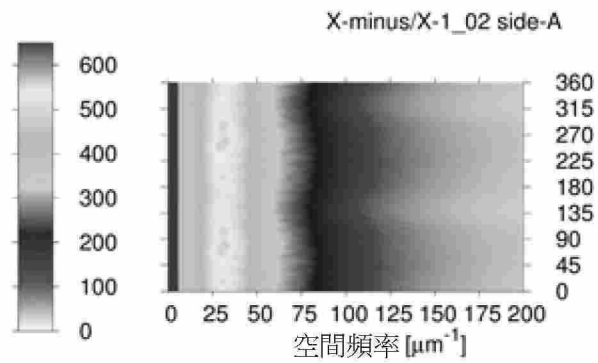
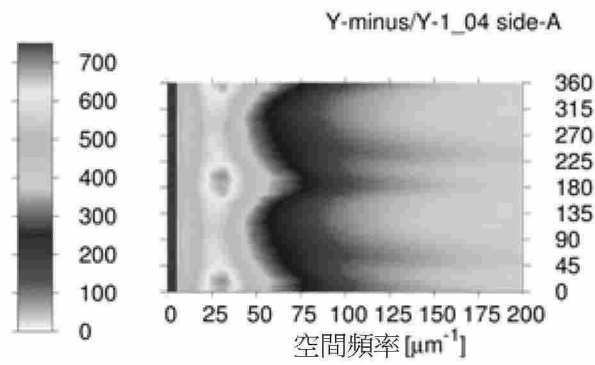


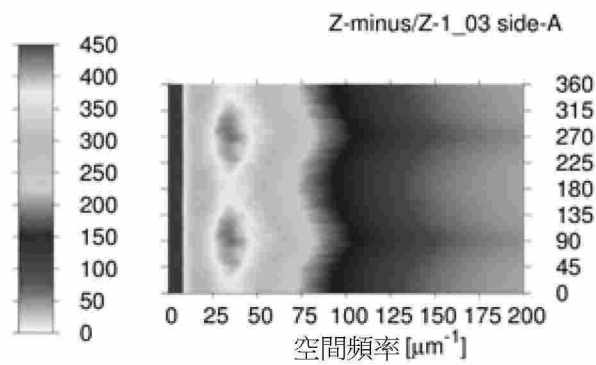
圖14



(a)



(b)



(c)

圖15

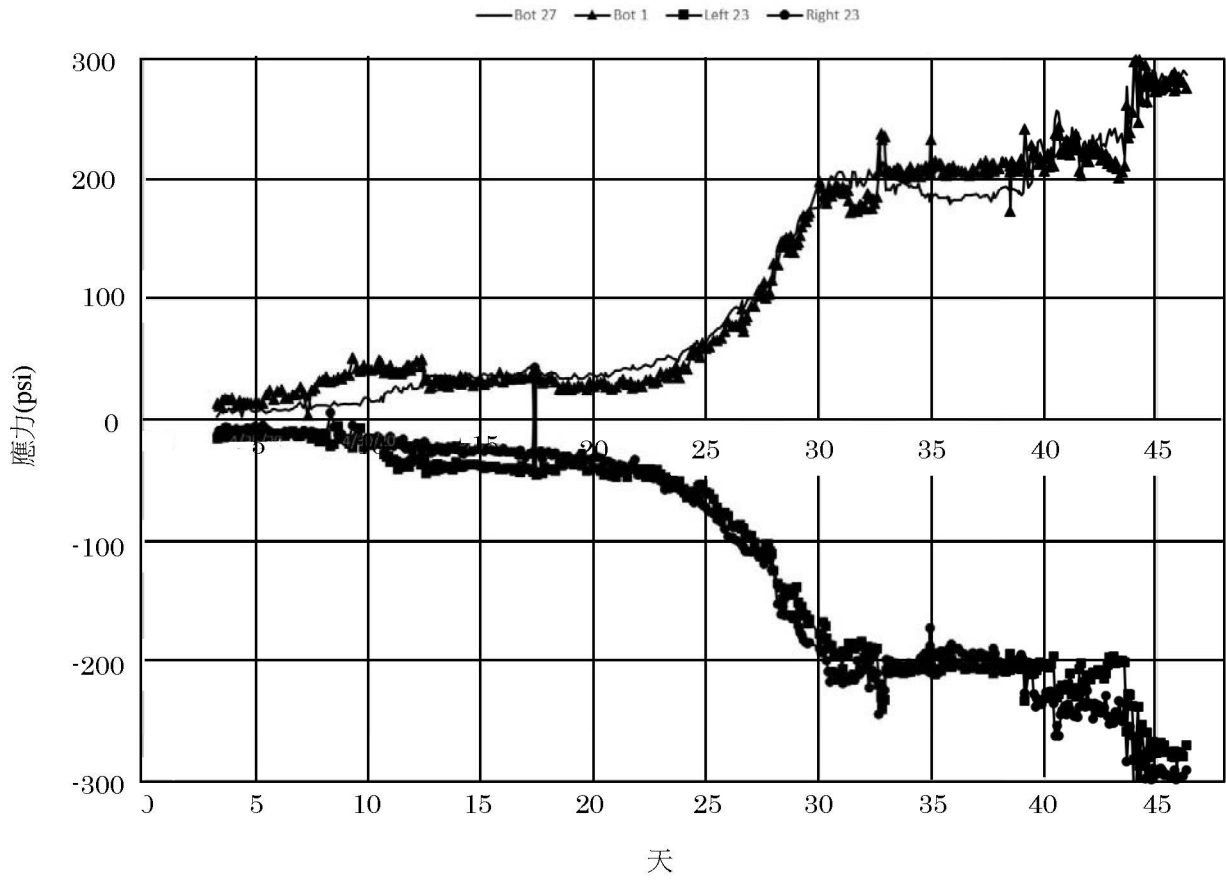


圖 16

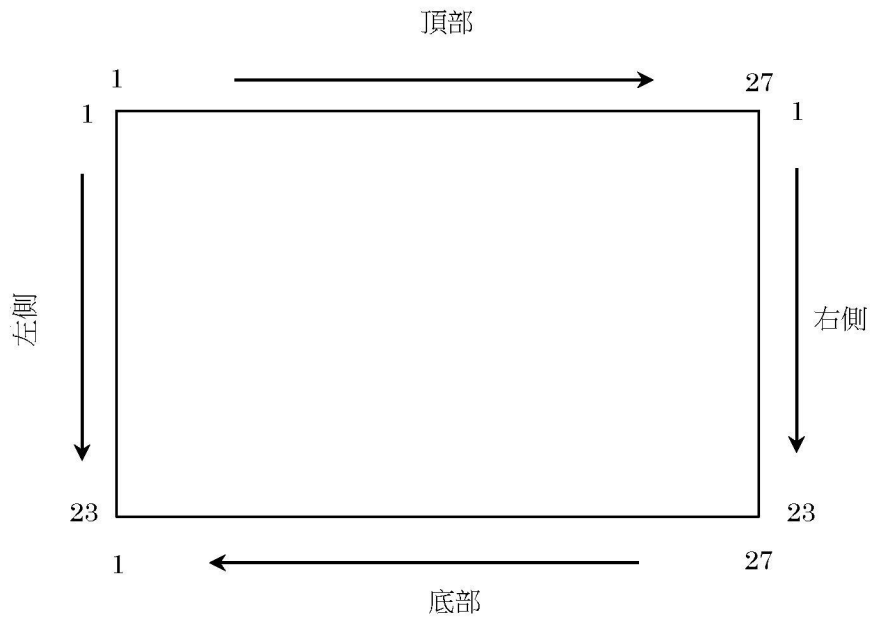


圖 17

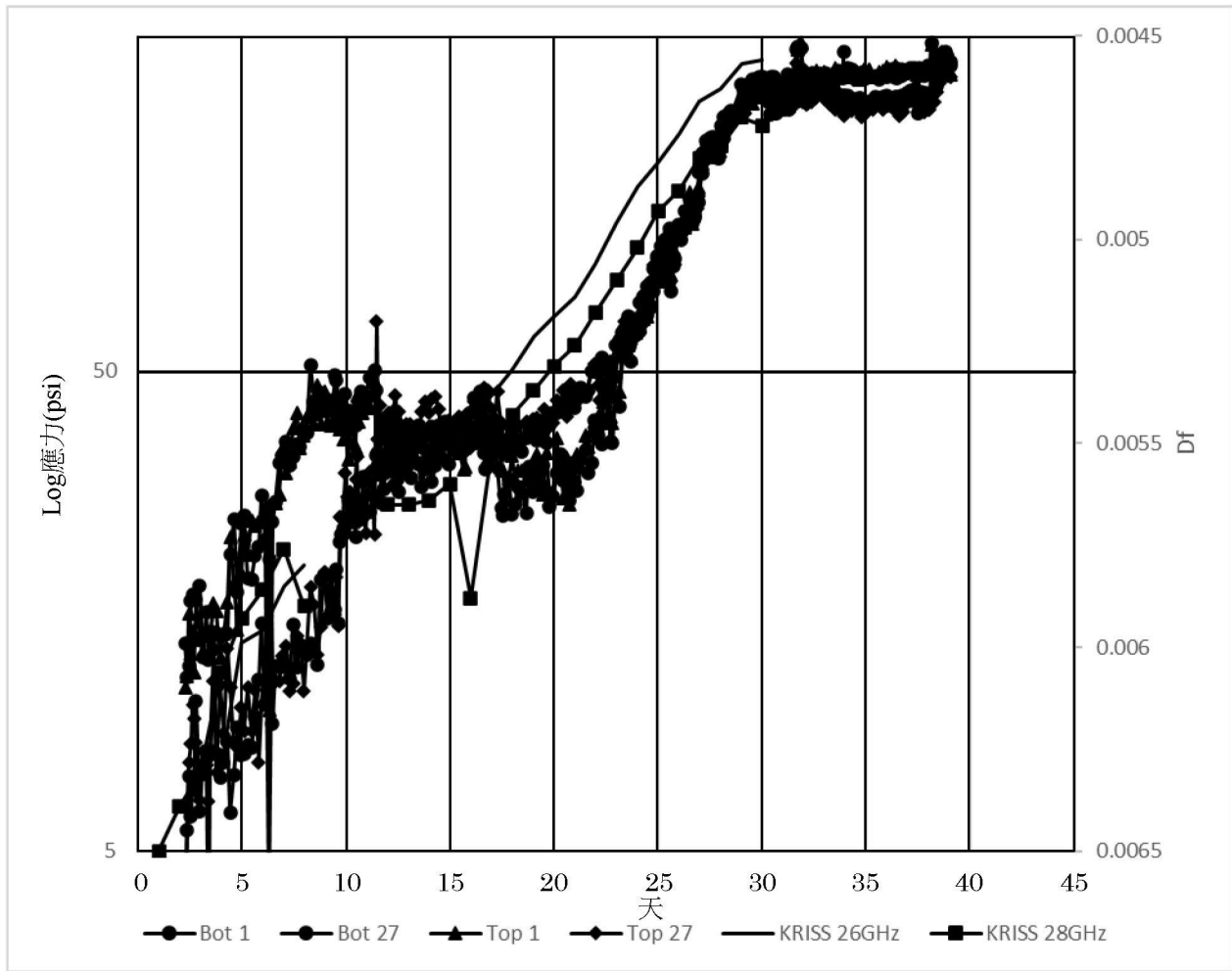


圖18

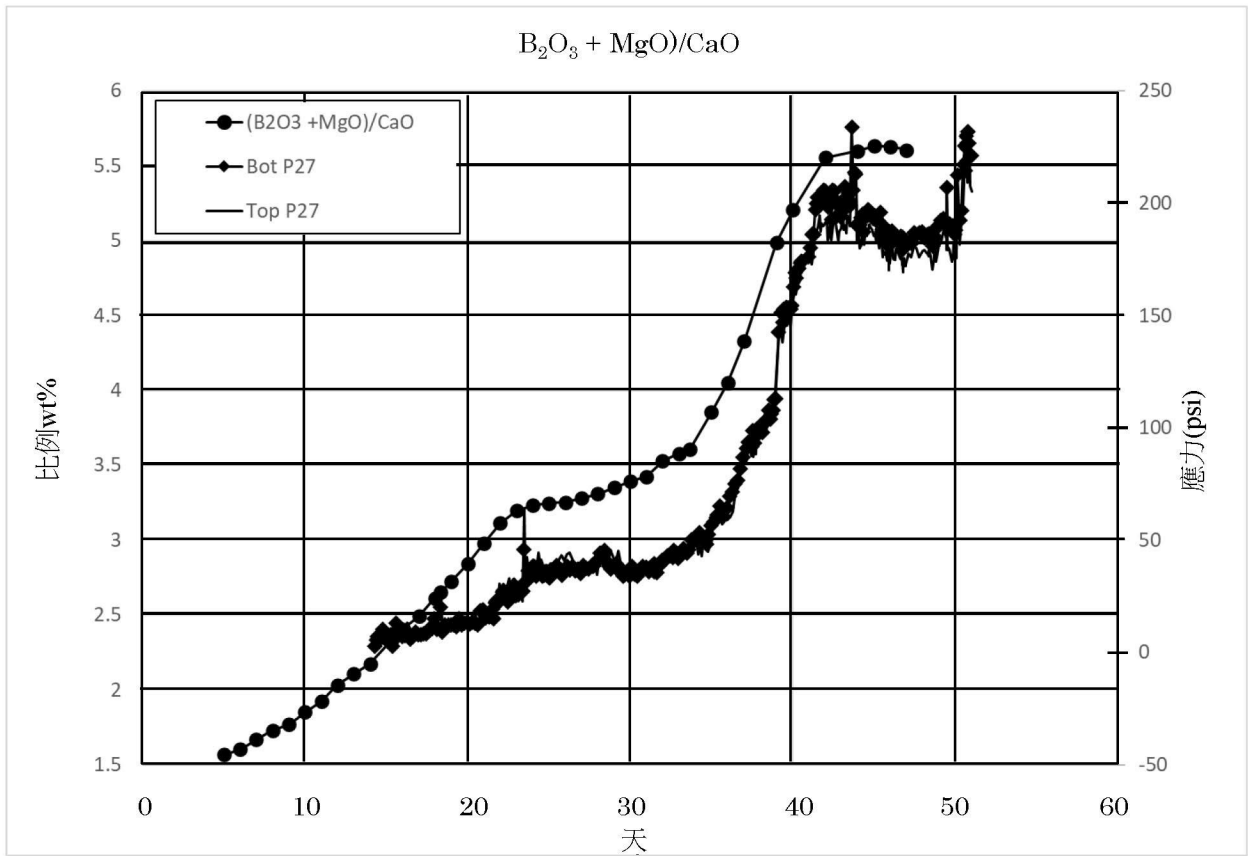


圖19

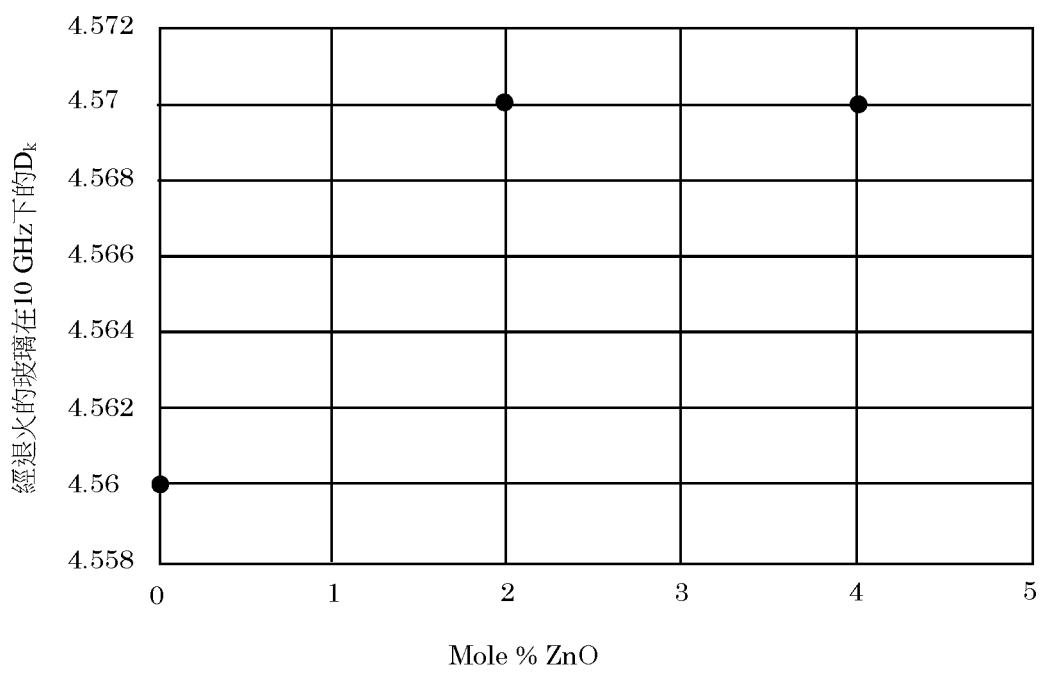


圖20

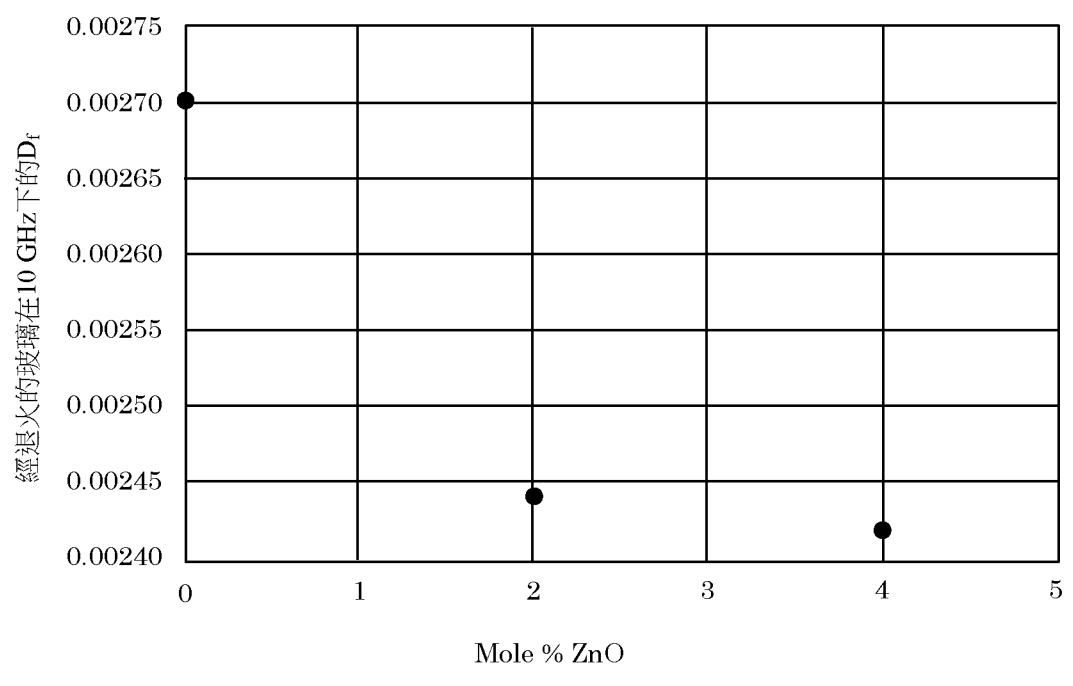


圖21

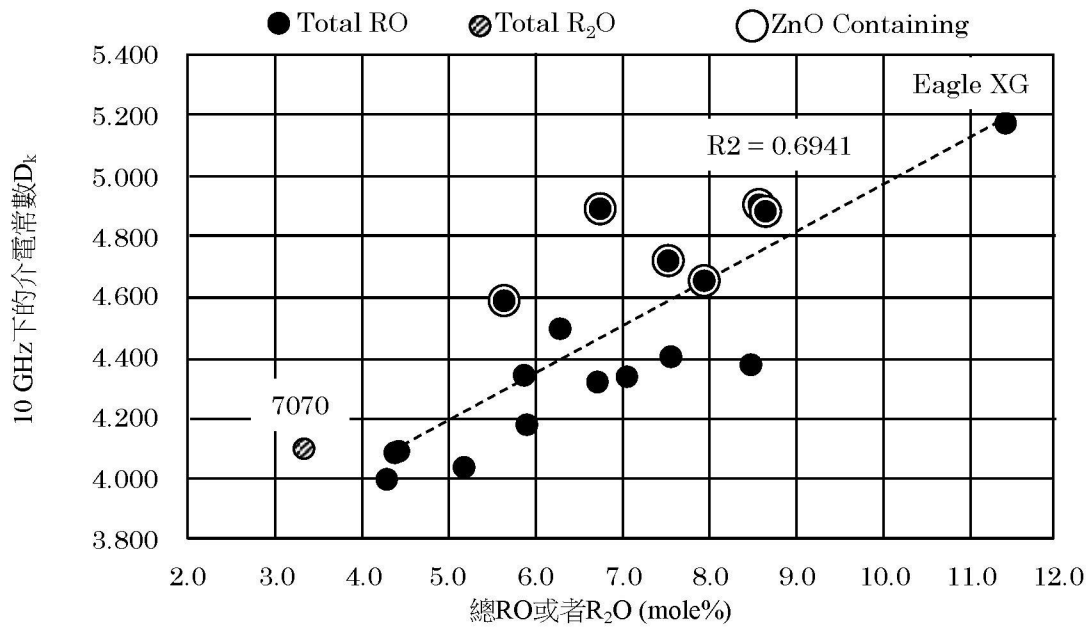


圖22

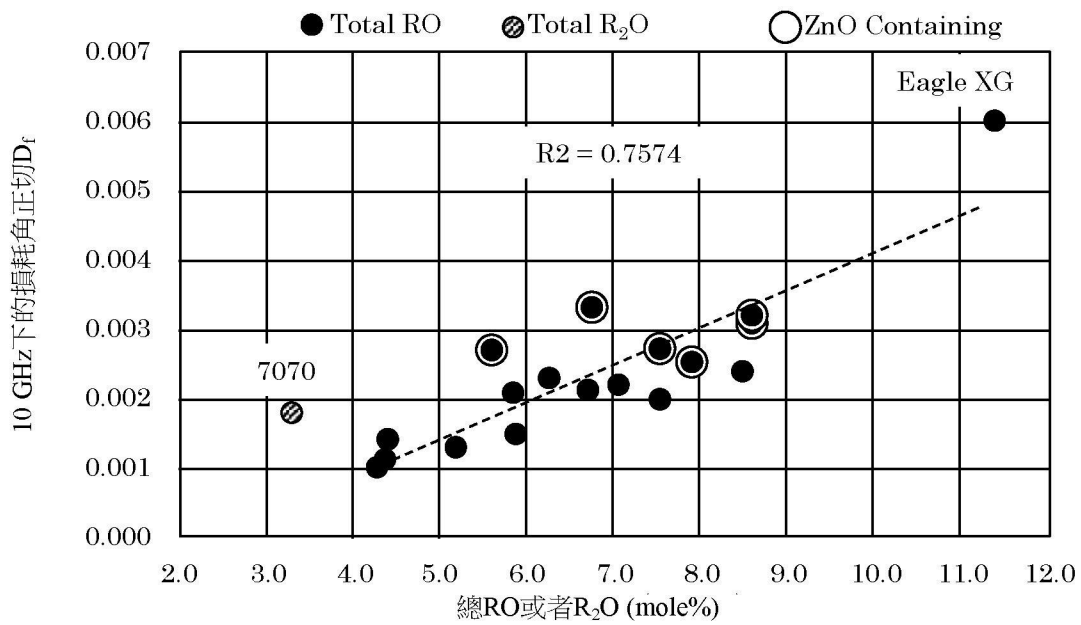


圖23

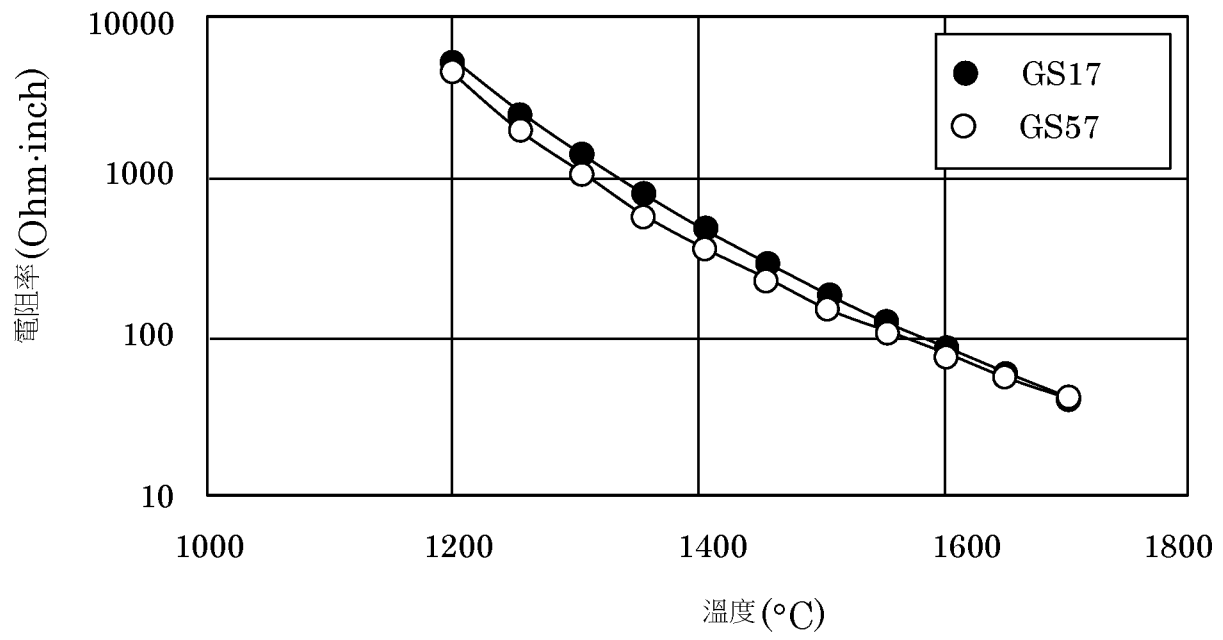


圖24

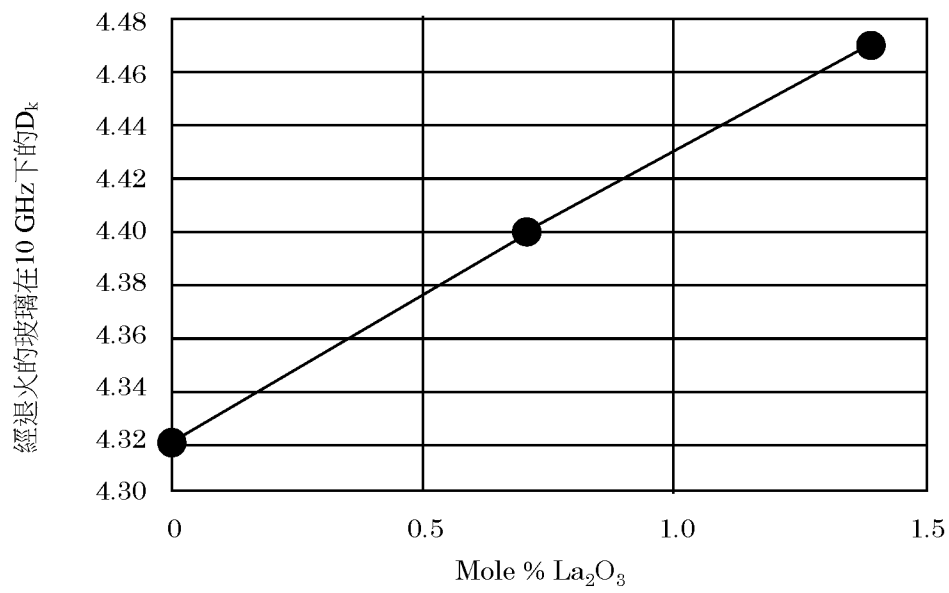


圖25

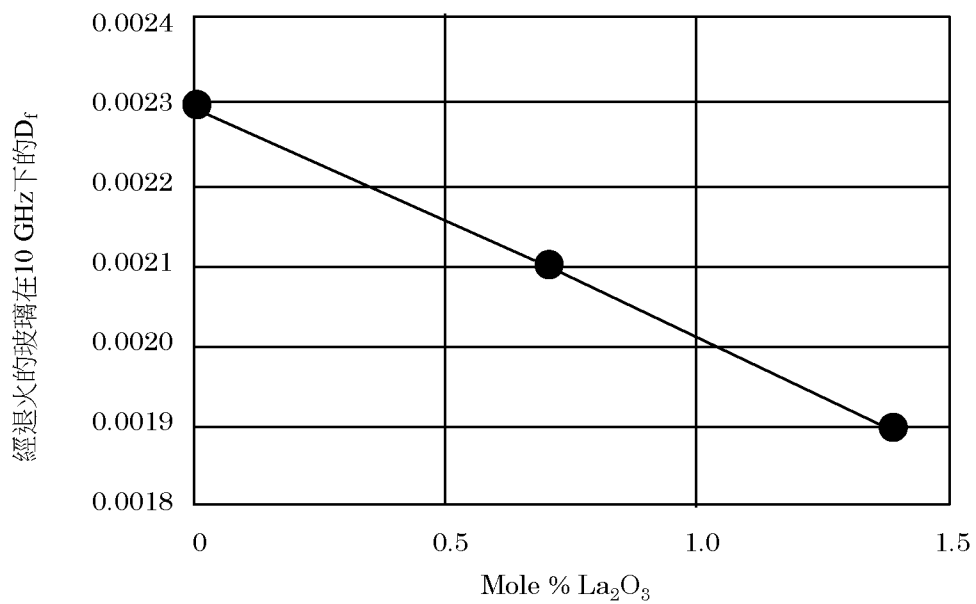


圖26

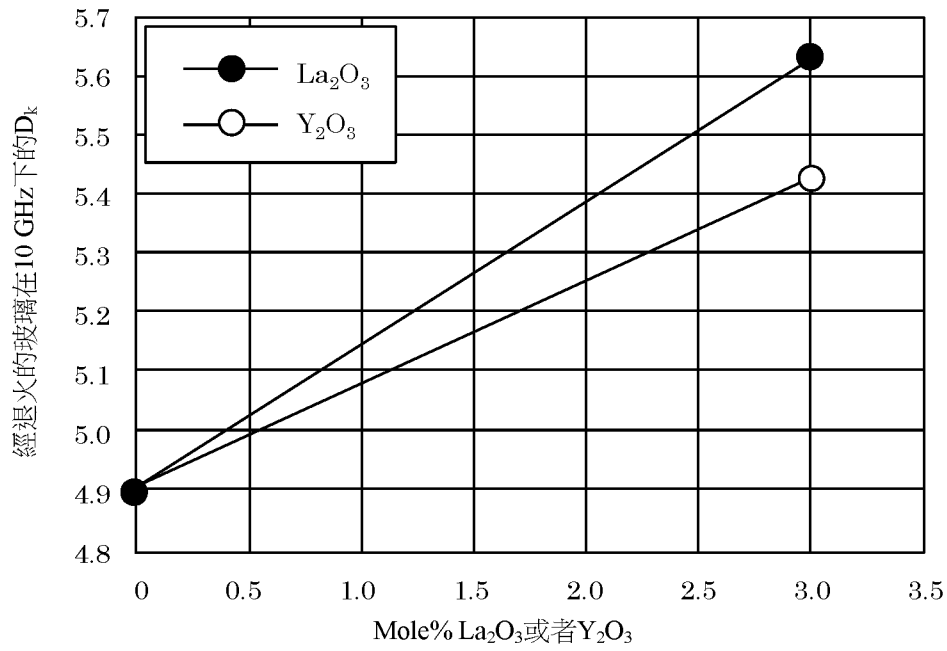


圖27

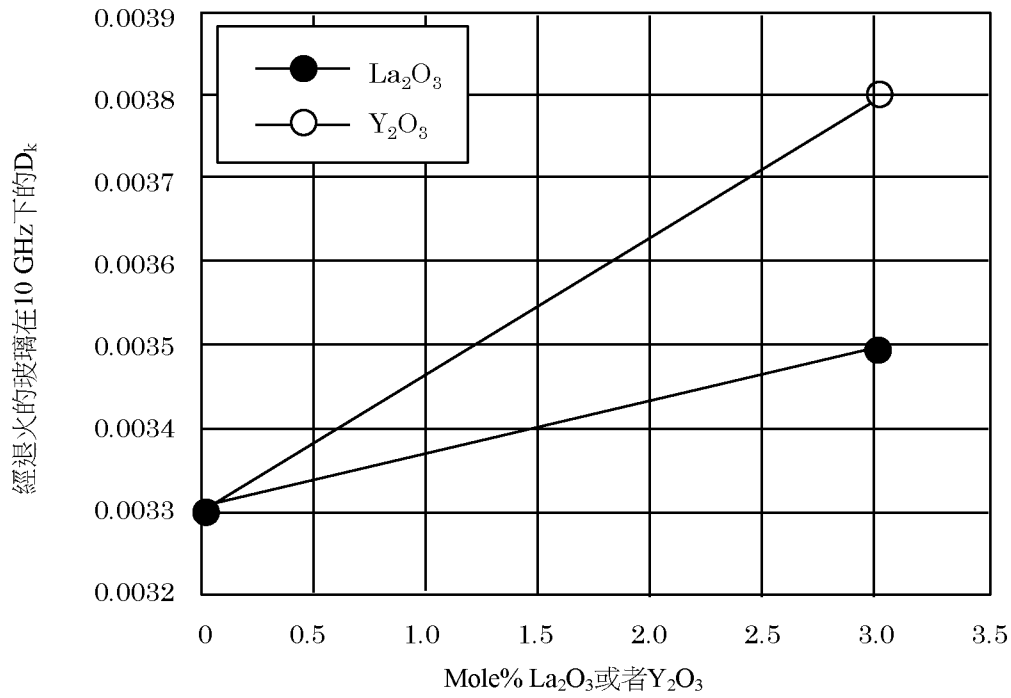


圖28

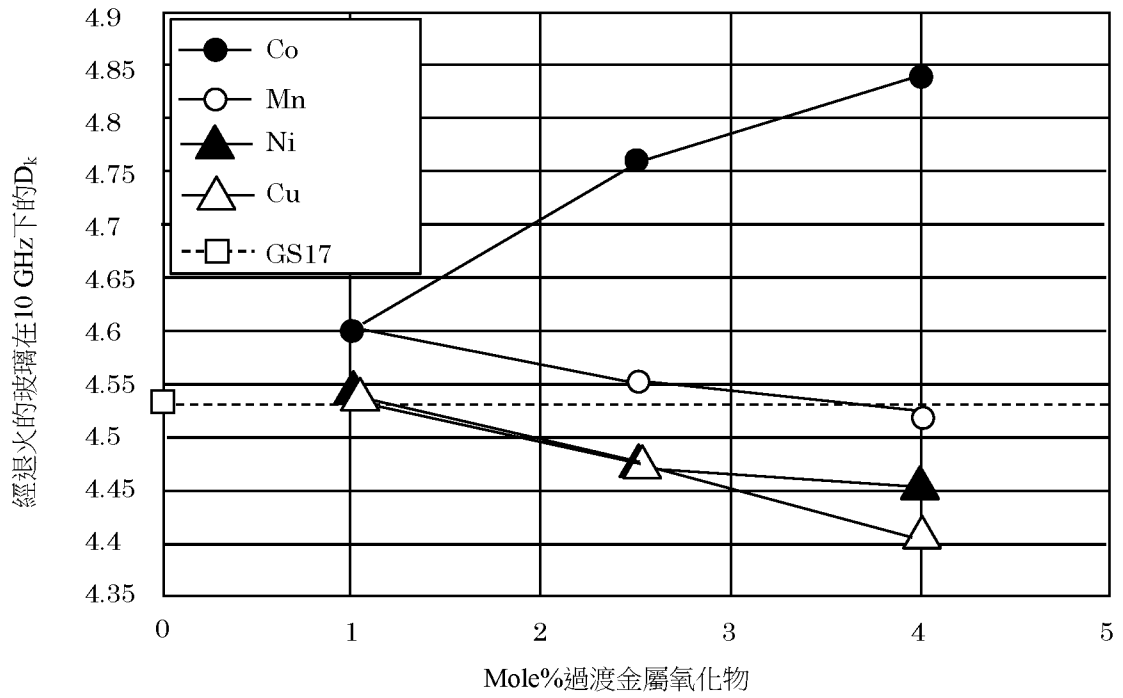


圖29

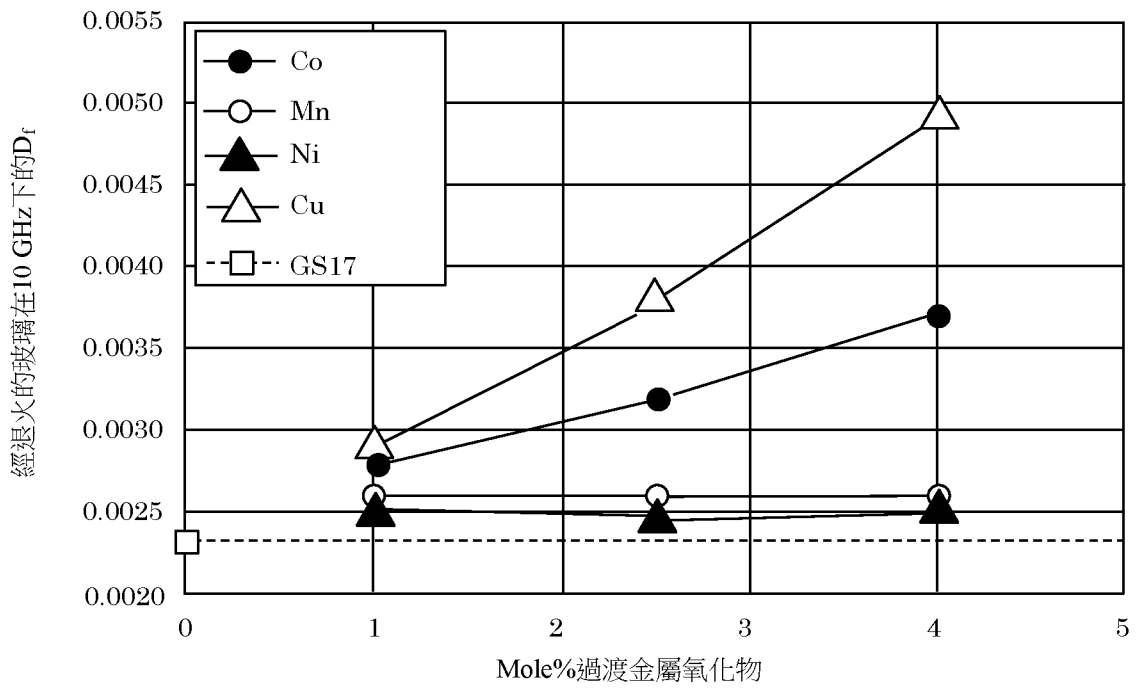


圖30

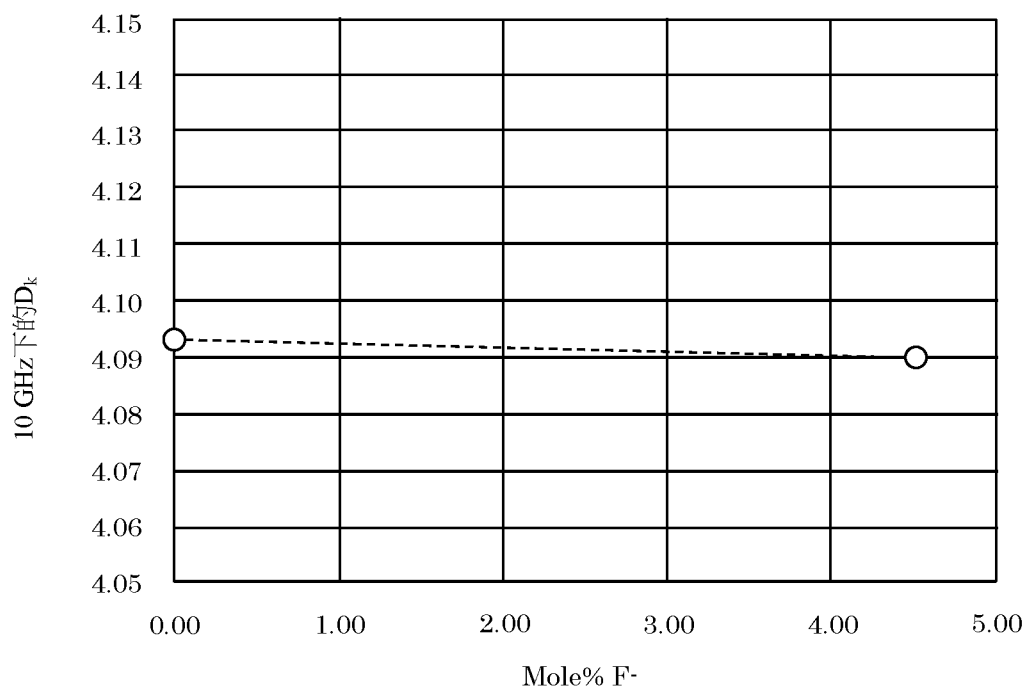


圖31

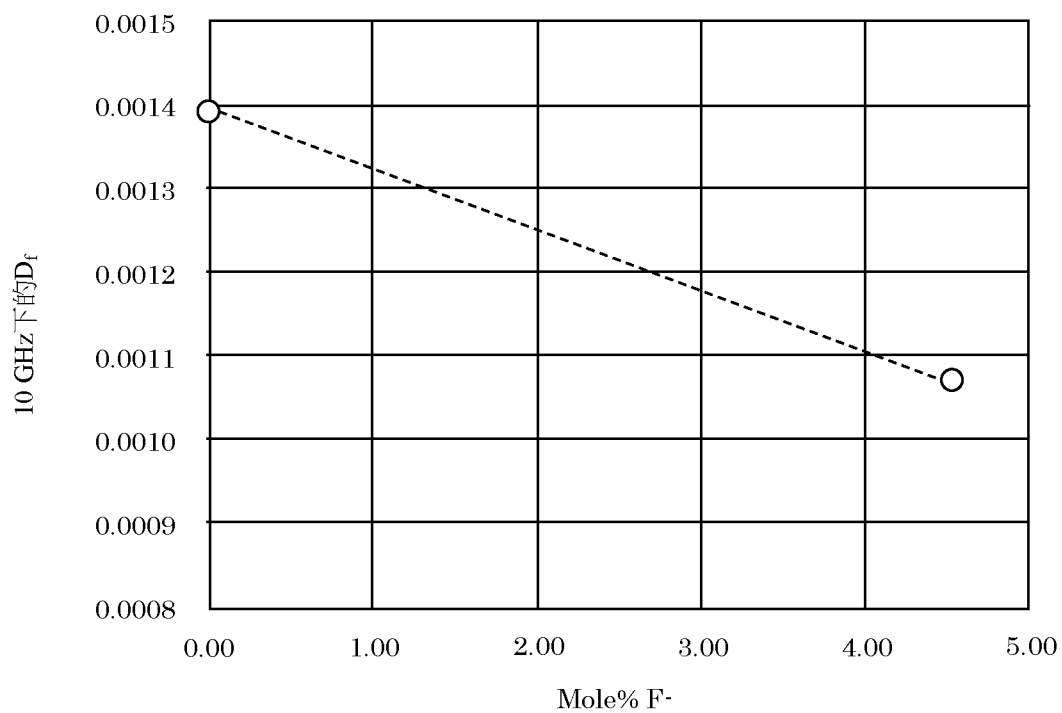


圖32