



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109867443 A

(43)申请公布日 2019.06.11

(21)申请号 201811445343.3

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2018.11.29

C03C 3/097(2006.01)

(30)优先权数据

H05K 5/02(2006.01)

62/591,953 2017.11.29 US

(71)申请人 康宁公司

地址 美国纽约

(72)发明人 蒂莫西·迈克尔·格罗斯 郭小菊

彼得·约瑟夫·莱齐

亚历山德拉·赖·清·考·安得

烈·米歇尔

罗切斯拉夫·瓦切夫·鲁塞夫

(74)专利代理机构 北京律诚同业知识产权代理

有限公司 11006

代理人 徐金国 吴启超

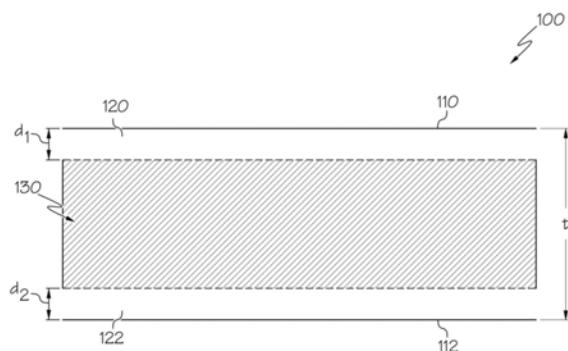
权利要求书3页 说明书42页 附图2页

(54)发明名称

具有低额外改性剂含量的玻璃

(57)摘要

一种玻璃组合物，包括：55.0mol%至70.0mol%的SiO₂；12.0mol%至20.0mol%的Al₂O₃；5.0mol%至15.0mol%的Li₂O；和4.0mol%至15.0mol%的Na₂O。所述玻璃组合物具有以下关系： $-8.00\text{mol}\% \leq R_2\text{O} + R_0 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_5 - \text{P}_2\text{O}_5 \leq -1.75\text{mol}\%$ ， $9.00 \leq (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Li}_2\text{O}) / \text{Na}_2\text{O}$ ，以及 $(\text{Li}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{P}_2\text{O}_5) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{B}_2\text{O}_3) \leq 3.50$ 。所述玻璃组合物可以用于玻璃制品或者消费电子产品中。



1. 一种玻璃组合物，包括：

大于或等于55.0mol%至小于或等于70.0mol%的SiO₂；
大于或等于12.0mol%至小于或等于20.0mol%的Al₂O₃；
大于或等于5.0mol%至小于或等于15.0mol%的Li₂O；和
大于或等于4.0mol%至小于或等于15.0mol%的Na₂O，
其中：

-8.00mol%≤R₂O+R₀-Al₂O₃-B₂O₃-P₂O₅≤-1.75mol%，

9.10≤(SiO₂+Al₂O₃+Li₂O)/Na₂O，以及

(Li₂O+Al₂O₃+P₂O₅)/(Na₂O+B₂O₃)≤3.50。

2. 如权利要求1所述的玻璃组合物，其中

-7.50mol%≤R₂O+R₀-Al₂O₃-B₂O₃-P₂O₅≤-2.50mol%。

3. 如权利要求1或2所述的玻璃组合物，其中

9.10≤(SiO₂+Al₂O₃+Li₂O)/Na₂O≤16.00。

4. 如权利要求1或2所述的玻璃组合物，其中

9.20≤(SiO₂+Al₂O₃+Li₂O)/Na₂O≤15.50。

5. 如权利要求1或2所述的玻璃组合物，其中

1.50≤(Li₂O+Al₂O₃+P₂O₅)/(Na₂O+B₂O₃)≤3.50。

6. 如权利要求1或2所述的玻璃组合物，其中

1.80≤(Li₂O+Al₂O₃+P₂O₅)/(Na₂O+B₂O₃)≤3.35。

7. 如权利要求1或2所述的玻璃组合物，其中B₂O₃+P₂O₅大于0.0mol%。

8. 如权利要求1或2所述的玻璃组合物，其中

1.00≤(Li₂O+Al₂O₃)/(Na₂O+B₂O₃+P₂O₅)≤2.75。

9. 如权利要求1或2所述的玻璃组合物，其中Al₂O₃+Li₂O大于21.4mol%。

10. 如权利要求1或2所述的玻璃组合物，其中Al₂O₃+Li₂O+Na₂O大于25.0mol%。

11. 如权利要求1或2所述的玻璃组合物，其中

0.90<Al₂O₃/(R₂O+R₀)<1.20。

12. 如权利要求1或2所述的玻璃组合物，其中

1.0<(Al₂O₃+B₂O₃+P₂O₅)/(R₂O+R₀)。

13. 如权利要求1或2所述的玻璃组合物，其中

6.96Al₂O₃-1.90B₂O₃+2.16CaO+3.30MgO-1.50Na₂O+12.74Li₂O-1.10SrO-14.50K₂O-1.87La₂O₃+6.13ZrO₂-76.40mol%>50.00mol%。

14. 一种玻璃制品，包括：

第一表面；

与所述第一表面相对的第二表面，其中所述玻璃制品的厚度(t)是用所述第一表面和所述第二表面之间的距离来表示；和

压应力层，所述压应力层从所述第一表面和所述第二表面中的至少一者延伸到所述玻璃制品的厚度(t)，其中

所述玻璃制品的中心张力大于或等于60MPa，

所述压应力层的压缩深度大于或等于0.15t至小于或等于0.25t，并且

所述玻璃制品是由玻璃形成的,所述玻璃包括:

大于或等于55.0mol%至小于或等于70.0mol%的SiO₂;

大于或等于12.0mol%至小于或等于20.0mol%的Al₂O₃;

大于或等于5.0mol%至小于或等于15.0mol%的Li₂O;和

大于或等于4.0mol%至小于或等于15.0mol%的Na₂O,

其中:

-8.00mol%≤R₂O+R₀-Al₂O₃-B₂O₃-P₂O₅≤-1.75mol%,

9.00≤(SiO₂+Al₂O₃+Li₂O)/Na₂O,以及

(Li₂O+Al₂O₃+P₂O₅)/(Na₂O+B₂O₃)≤3.50。

15. 如权利要求14所述的玻璃制品,其中所述玻璃制品的中心张力大于或等于80MPa。

16. 如权利要求14或15所述的玻璃制品,其中所述玻璃制品的中心张力大于或等于90MPa。

17. 如权利要求14或15所述的玻璃制品,其中所述压应力层的压缩深度大于或等于0.18t至小于或等于0.22t。

18. 如权利要求14或15所述的玻璃制品,其中所述玻璃制品的液相粘度大于或等于20kPa至小于1000kPa。

19. 一种消费电子产品,包括:

壳体,所述壳体包括前表面、后表面和侧表面;

至少部分地位于所述壳体内的电气部件,所述电气部件至少包括控制器、存储器和显示器,所述显示器位于所述壳体的所述前表面处或附近;和

设置在所述显示器上方的覆盖基板,

其中所述壳体和所述覆盖基板中的至少一者的至少一部分包括权利要求14或15所述的玻璃制品。

20. 一种玻璃制品,包括:

第一表面;

与所述第一表面相对的第二表面,其中所述玻璃制品的厚度(t)是用所述第一表面和所述第二表面之间的距离来表示;和

压应力层,所述压应力层从所述第一表面和所述第二表面中的至少一者延伸到所述玻璃制品的厚度(t),其中

所述玻璃制品的中心张力大于或等于60MPa,

所述压应力层的压缩深度大于或等于0.15t至小于或等于0.25t,并且

所述玻璃制品具有在所述玻璃制品的中心深度处的组成,所述组成包括:

大于或等于55.0mol%至小于或等于70.0mol%的SiO₂;

大于或等于12.0mol%至小于或等于20.0mol%的Al₂O₃;

大于或等于5.0mol%至小于或等于15.0mol%的Li₂O;和

大于或等于4.0mol%至小于或等于15.0mol%的Na₂O,

其中:

-8.00mol%≤R₂O+R₀-Al₂O₃-B₂O₃-P₂O₅≤-1.75mol%,

9.00≤(SiO₂+Al₂O₃+Li₂O)/Na₂O,以及

$(\text{Li}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{P}_2\text{O}_5) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{B}_2\text{O}_3) \leq 3.50$ 。

21. 一种玻璃组合物,包括:

大于或等于60.0mol%至小于或等于70.0mol%的SiO₂;
大于或等于12.0mol%至小于或等于18.0mol%的Al₂O₃;
大于或等于5.0mol%至小于或等于10.0mol%的Li₂O;
大于或等于4.0mol%至小于或等于10.0mol%的Na₂O;和
大于或等于0.75mol%的P₂O₅,

其中:

Li₂O/Na₂O大于或等于1.00,和
Al₂O₃+Li₂O小于或等于25.25mol%。

22. 一种玻璃制品,包括:

第一表面;

与所述第一表面相对的第二表面,其中所述玻璃制品的厚度(t)是用所述第一表面和所述第二表面之间的距离来表示;和

压应力层,所述压应力层从所述第一表面和所述第二表面中的至少一者延伸到所述玻璃制品的厚度(t),其中

所述玻璃制品的中心张力大于或等于60MPa,

所述压应力层的压缩深度大于或等于0.15t至小于或等于0.25t,并且

所述玻璃制品是由根据权利要求21所述的玻璃形成的。

23. 如权利要求22所述的玻璃制品,其中所述玻璃制品的中心张力大于或等于80MPa。

24. 如权利要求22或23所述的玻璃制品,其中所述玻璃制品的中心张力大于或等于90MPa。

25. 如权利要求22或23所述的玻璃制品,其中所述压应力层的压缩深度大于或等于0.18t至小于或等于0.22t。

26. 如权利要求22或23所述的玻璃制品,其中所述玻璃制品的液相粘度大于或等于20kP至小于1000kP。

27. 一种消费电子产品,包括:

壳体,所述壳体包括前表面、后表面和侧表面;

至少部分地位于所述壳体内的电气部件,所述电气部件至少包括控制器、存储器和显示器,所述显示器位于所述壳体的所述前表面处或附近;和

设置在所述显示器上方的覆盖基板,

其中所述壳体和所述覆盖基板中的至少一者的至少一部分包括权利要求22或23所述的玻璃制品。

具有低额外改性剂含量的玻璃

[0001] 相关申请

[0002] 本申请主张2017年11月29日提交的序列号为62/591,953的美国临时申请的优先权的权益,依赖该申请的内容并通过引用将该申请的内容作为整体结合在此。

技术领域

[0003] 本说明书通常涉及适用于作为电子装置用的覆盖玻璃(cover glass)的玻璃组合物。更具体地,本说明书涉及含锂的铝硅酸盐玻璃,其可通过熔融拉制(fusion drawing)而形成为电子装置用的覆盖玻璃。

背景技术

[0004] 诸如智能电话、平板电脑、便携式媒体播放器、个人电脑和照相机之类的便携式装置的移动属性使得这些装置特别容易意外掉落在诸如地面的坚硬表面上。这些装置通常包括覆盖玻璃,其在与坚硬表面撞击时可能受损。在许多这些装置中,覆盖玻璃起到显示屏盖的作用,并且可结合触摸功能,如此使得当覆盖玻璃受损时装置的使用受到负面影响。

[0005] 当相关的便携式装置掉落在坚硬表面上时,覆盖玻璃存在两种主要的故障模式。其中一种模式是弯曲故障(flexure failure),这是当装置受到与坚硬表面撞击的动态载荷时由玻璃的弯曲引起的。另一种模式是尖锐接触故障(sharp contact failure),这是由于玻璃表面引入损坏引起的。玻璃与粗糙的坚硬表面(例如沥青、花岗岩等)的撞击会导致在玻璃表面中的尖锐压痕。这些压痕成为玻璃表面中的故障位置,裂缝可能从该故障位置而发展和传播开来。

[0006] 通过离子交换技术可以使玻璃更加耐受弯曲故障,这包括在玻璃表面中引起压应力。然而,经离子交换的玻璃仍然容易受到动态尖锐接触的影响,这是因为由尖锐接触造成的玻璃中局部压痕所致的高度应力集中。

[0007] 玻璃制造商和手持装置制造商一直在努力改善手持装置对尖锐接触故障的耐受性。解决方案的范围从覆盖玻璃上的涂层到面板:当装置掉落在坚硬表面上时,这些解决方案防止覆盖玻璃直接撞击坚硬表面。然而,由于美学和功能需求的限制,很难完全地防止覆盖玻璃撞击坚硬表面。

[0008] 还希望便携式装置尽可能薄。因此,除了强度之外,还希望将用作便携式装置中的覆盖玻璃的玻璃制造得尽可能薄。因此,除了增加覆盖玻璃的强度之外,还希望玻璃具有使其通过能够制造薄玻璃制品(例如薄玻璃片)的工艺而成型所需的机械特性。

[0009] 因此,存在对这样一种玻璃的需求,所述玻璃能够例如通过离子交换而被增强,并且所述玻璃具有使它们成型为薄玻璃制品所需的机械性能。

发明内容

[0010] 根据第一实施方式,一种玻璃组合物,包括:大于或等于55.0mol%至小于或等于70.0mol%的SiO₂;大于或等于12.0mol%至小于或等于20.0mol%的Al₂O₃;大于或等于

5.0mol%至小于或等于15.0mol%的Li₂O;和大于或等于4.0mol%至小于或等于15.0mol%的Na₂O,其中: $-8.00\text{mol}\% \leq R_2O + R_0 - Al_2O_3 - B_2O_3 - P_2O_5 \leq -1.75\text{mol}\%$, $9.00 \leq (SiO_2 + Al_2O_3 + Li_2O) / Na_2O$,以及 $(Li_2O + Al_2O_3 + P_2O_5) / (Na_2O + B_2O_3) \leq 3.50$ 。

[0011] 根据第二实施方式,一种玻璃制品,包括:第一表面;与所述第一表面相对的第二表面,其中所述玻璃制品的厚度(t)是用所述第一表面和所述第二表面之间的距离来表示;和压应力层,所述压应力层从所述第一表面和所述第二表面中的至少一者延伸到所述玻璃制品的厚度(t),其中所述玻璃制品的中心张力大于或等于60MPa,所述压应力层的压缩深度大于或等于 $0.15t$ 至小于或等于 $0.25t$,并且所述玻璃制品是由玻璃形成的,所述玻璃包括:大于或等于55.0mol%至小于或等于70.0mol%的SiO₂;大于或等于12.0mol%至小于或等于20.0mol%的Al₂O₃;大于或等于5.0mol%至小于或等于15.0mol%的Li₂O;和大于或等于4.0mol%至小于或等于15.0mol%的Na₂O,其中: $-8.00\text{mol}\% \leq R_2O + R_0 - Al_2O_3 - B_2O_3 - P_2O_5 \leq -1.75\text{mol}\%$, $9.00 \leq (SiO_2 + Al_2O_3 + Li_2O) / Na_2O$,以及 $(Li_2O + Al_2O_3 + P_2O_5) / (Na_2O + B_2O_3) \leq 3.50$ 。

[0012] 根据第三实施方式,一种玻璃制品,包括:第一表面;与所述第一表面相对的第二表面,其中所述玻璃制品的厚度(t)是用所述第一表面和所述第二表面之间的距离来表示;和压应力层,所述压应力层从所述第一表面和所述第二表面中的至少一者延伸到所述玻璃制品的厚度(t),其中所述玻璃制品的中心张力大于或等于60MPa,所述压应力层的压缩深度大于或等于 $0.15t$ 至小于或等于 $0.25t$,并且所述玻璃制品具有在所述玻璃制品的中心深度处的组成,所述组成包括:大于或等于55.0mol%至小于或等于70.0mol%的SiO₂;大于或等于12.0mol%至小于或等于20.0mol%的Al₂O₃;大于或等于5.0mol%至小于或等于15.0mol%的Li₂O;和大于或等于4.0mol%至小于或等于15.0mol%的Na₂O,其中: $-8.00\text{mol}\% \leq R_2O + R_0 - Al_2O_3 - B_2O_3 - P_2O_5 \leq -1.75\text{mol}\%$, $9.00 \leq (SiO_2 + Al_2O_3 + Li_2O) / Na_2O$,以及 $(Li_2O + Al_2O_3 + P_2O_5) / (Na_2O + B_2O_3) \leq 3.50$ 。

[0013] 根据第四实施方式,一种玻璃组合物,包括:大于或等于60.0mol%至小于或等于70.0mol%的SiO₂;大于或等于12.0mol%至小于或等于18.0mol%的Al₂O₃;大于或等于5.0mol%至小于或等于10.0mol%的Li₂O;大于或等于4.0mol%至小于或等于10.0mol%的Na₂O;和大于或等于0.75mol%的P₂O₅,其中:Li₂O/Na₂O大于或等于1.00,和Al₂O₃+Li₂O小于或等于25.25mol%。

[0014] 另外的特征和优点将在下面的详细描述中进行阐述,并且在某种程度上对于本领域技术人员来说将是显而易见的,或者通过实践本文描述的实施方式(包括下面的详细描述、权利要求书以及附图)而被认可。

[0015] 应理解,前面的一般性描述和以下的详细描述均描述了各种实施方式,并且均旨在提供概述或框架用于理解所要求保护主题的属性和特性。包括附图以提供对各种实施方式的进一步理解,并且附图被并入到本说明书中和构成本说明书的一部分。附图图解了本文描述的各种实施方式,并且与说明书一起用于解释所要求保护主题的原理和操作。

附图说明

[0016] 图1示意性地示出了根据本文公开和描述的实施方式在其表面上具有压应力层的玻璃的横截面;

[0017] 图2A是包含本文公开的任何玻璃制品的示例性电子装置的平面图;和

[0018] 图2B是图2A的示例性电子装置的透视图。

具体实施方式

[0019] 现在根据各种实施方式将详细地参考碱金属铝硅酸盐玻璃。碱金属铝硅酸盐玻璃具有良好的离子可交换性，并且已经使用化学增强工艺以在碱金属铝硅酸盐玻璃中实现高强度和高韧性性能。铝硅酸钠玻璃是高度可离子交换的玻璃，具有高的玻璃成型性和品质。Al₂O₃置换到硅酸盐玻璃网络中增加了在离子交换期间一价阳离子的互扩散率。通过在熔融盐浴（例如，KNO₃和/或NaNO₃）中的化学增强，能够实现具有高强度、高韧性和高抗压痕裂缝性的玻璃。

[0020] 因此，具有良好的物理性能、化学耐久性和离子可交换性的碱金属铝硅酸盐玻璃作为覆盖玻璃的使用已引起人们的关注。特别地，本文提供了具有较低退火和软化温度、较低热膨胀系数(CTE)值和快速离子可交换性的含锂铝硅酸盐玻璃。通过不同的离子交换工艺，能够实现更大的中心张力(CT)、压缩深度(DOC)和高压应力(CS)。然而，在碱金属铝硅酸盐玻璃中加入锂可降低玻璃的熔点、软化点或液相粘度(liquidus viscosity)。

[0021] 用于形成玻璃制品（诸如，例如玻璃片）的拉制工艺是合乎需要的，因为它们允许形成具有很少缺陷的薄玻璃制品。先前认为，玻璃组合物需要具有相对高的液相粘度—例如液相粘度大于1000kP、大于1100kP、或大于1200kP—以便通过拉制工艺（诸如，例如熔融拉制或狭缝拉制）来成型。然而，拉制工艺的发展使得具有较低液相粘度的玻璃可用于拉制工艺。因此，在拉制工艺中使用的玻璃可包括比先前认为的更多的氧化锂，并且可包括更多的玻璃网络形成组分，诸如，例如SiO₂、Al₂O₃和B₂O₃。因此，本文提供了各种玻璃组分的平衡，这种平衡允许玻璃实现了将锂和玻璃网络形成剂添加到玻璃组合物中的益处，但是不会对玻璃组合物产生负面影响。

[0022] 在本文所述的玻璃组合物的实施方式中，除非另有说明，否则构成组分（例如，SiO₂、Al₂O₃、Li₂O等）的浓度是以氧化物为基准以摩尔百分比(mol%)给出。下面分别地讨论根据各实施方式的碱金属铝硅酸盐玻璃组合物的组分。应当理解，一个组分的任意各种所述范围可以单独地与任何其他组分的任意各种所述范围进行组合。

[0023] 在本文公开的碱金属铝硅酸盐玻璃组合物的实施方式中，SiO₂是最多的组分，例如，SiO₂是由玻璃组合物形成的玻璃网络的主要组分。纯SiO₂具有相对低的CTE并且不含碱金属。但是，纯SiO₂具有高的熔点。因此，如果玻璃组合物中SiO₂的浓度太高，则玻璃组合物的可成型性可能会降低，因为较高浓度的SiO₂会增加熔融玻璃的难度，这反过来又会对玻璃的可成型性产生不利影响。在实施方式中，玻璃组合物通常包括大于或等于55.0mol%至小于或等于70.0mol%的量的SiO₂，以及前述值之间的所有范围和子范围的量的SiO₂。在一些实施方式中，玻璃组合物包括大于或等于58.0mol%的量的SiO₂，例如大于或等于60.0mol%、大于或等于62.0mol%、大于或等于64.0mol%、大于或等于66.0mol%、或者大于或等于68.0mol%。在实施方式中，玻璃组合物包括小于或等于68.0mol%的量的SiO₂，例如小于或等于66.0mol%、小于或等于64.0mol%、小于或等于62.0mol%、小于或等于60.0mol%、或者小于或等于58.0mol%。应当理解，在各实施方式中，任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。在实施方式中，玻璃组合物包括大于或等于58.0mol%至小于或等于68.0mol%的量的SiO₂，例如大于或等于60.0mol%至小于或等于66.0mol%、或者大于或

等于62.0mol%至小于或等于64.0mol%，以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0024] 各实施方式的玻璃组合物可进一步包括Al₂O₃。Al₂O₃可用作为玻璃网络形成剂，类似于SiO₂。Al₂O₃因其在由玻璃组合物形成的玻璃熔体中的四面体配位之故可增加玻璃组合物的粘度，当Al₂O₃的量太大时降低玻璃组合物的可成型性。然而，当Al₂O₃的浓度与玻璃组合物中的SiO₂的浓度和碱金属氧化物的浓度相平衡时，Al₂O₃能够降低玻璃熔体的液相温度，从而提高液相粘度并改善玻璃组合物与诸如熔融成型工艺之类的某些成型工艺的相容性。在实施方式中，玻璃组合物通常包括大于或等于12.0mol%至小于或等于20.0mol%的浓度的Al₂O₃，以及前述值之间的所有范围和子范围的浓度的Al₂O₃。在一些实施方式中，玻璃组合物包括大于或等于13.0mol%的量的Al₂O₃，例如大于或等于14.0mol%、大于或等于15.0mol%、大于或等于16.0mol%、大于或等于17.0mol%、或者大于或等于18.0mol%。在实施方式中，玻璃组合物包括小于或等于19.0mol%的量的Al₂O₃，例如小于或等于18.0mol%、小于或等于17.0mol%、小于或等于16.0mol%、小于或等于15.0mol%、小于或等于14.0mol%、或者小于或等于13.0mol%。应当理解，在各实施方式中，任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。在实施方式中，玻璃组合物包括大于或等于13.0mol%至小于或等于19.0mol%的量的Al₂O₃，例如大于或等于14.0mol%至小于或等于18.0mol%、或者大于或等于15.0mol%至小于或等于17.0mol%，以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0025] 与SiO₂和Al₂O₃类似，可以将P₂O₅作为网络形成剂添加到玻璃组合物中，从而降低玻璃组合物的可熔性和可成型性。因此，P₂O₅可以以不过度降低这些性能的量进行添加。P₂O₅的添加还可增加离子交换处理期间玻璃组合物中离子的扩散性，从而提高这些处理的效率。在实施方式中，玻璃组合物可包括大于或等于0.0mol%至小于或等于5.0mol%的量的P₂O₅，以及前述值之间的所有范围和子范围的量的P₂O₅。在一些实施方式中，玻璃组合物可包括大于或等于0.5mol%的量的P₂O₅，例如大于或等于1.0mol%、大于或等于1.5mol%、大于或等于2.0mol%、大于或等于2.5mol%、大于或等于3.0mol%、大于或等于3.5mol%、大于或等于4.0mol%、或者大于或等于4.5mol%。在实施方式中，玻璃组合物可包括小于或等于4.5mol%的量的P₂O₅，例如小于或等于4.0mol%、小于或等于3.5mol%、小于或等于3.0mol%、小于或等于2.5mol%、小于或等于2.0mol%、小于或等于1.5mol%、小于或等于1.0mol%、或者小于或等于0.5mol%。应当理解，在各实施方式中，任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。在实施方式中，玻璃组合物可包括大于或等于0.5mol%至小于或等于4.5mol%的量的P₂O₅，例如大于或等于1.0mol%至小于或等于4.0mol%、大于或等于1.5mol%至小于或等于3.5mol%、或者大于或等于2.0mol%至小于或等于3.0mol%，以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0026] 与SiO₂、Al₂O₃和P₂O₅类似，可以将B₂O₃作为网络形成剂添加到玻璃组合物中，从而降低玻璃组合物的可熔性和可成型性。因此，B₂O₃可以以不过度降低这些性能的量进行添加。在实施方式中，玻璃组合物可包括大于或等于0.0mol%至小于或等于8.0mol%的量的B₂O₃，以及前述值之间的所有范围和子范围的量的B₂O₃。在一些实施方式中，玻璃组合物可包括大于或等于0.5mol%的量的B₂O₃，例如大于或等于1.0mol%、大于或等于1.5mol%、大于或等于2.0mol%、大于或等于2.5mol%、大于或等于3.0mol%、大于或等于3.5mol%、大于或等于4.0mol%、大于或等于4.5mol%、大于或等于5.0mol%、大于或等于5.5mol%、大于或等于6.0mol%、大于或等于6.5mol%、大于或等于7.0mol%、或者大于或等于

7.5mol%。在实施方式中,玻璃组合物可包括小于或等于7.5mol%的量的B₂O₃,例如小于或等于7.0mol%、小于或等于6.5mol%、小于或等于6.0mol%、小于或等于5.5mol%、小于或等于5.0mol%、小于或等于4.5mol%、小于或等于4.0mol%、小于或等于3.5mol%、小于或等于3.0mol%、小于或等于2.5mol%、小于或等于2.0mol%、小于或等于1.5mol%、小于或等于1.0mol%、或者小于或等于0.5mol%。应当理解,在各实施方式中,任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。在实施方式中,玻璃组合物包括大于或等于0.5mol%至小于或等于7.5mol%的量的B₂O₃,例如大于或等于1.0mol%至小于或等于7.0mol%、大于或等于1.5mol%至小于或等于6.5mol%、大于或等于2.0mol%至小于或等于6.0mol%、大于或等于2.5mol%至小于或等于5.5mol%、或者大于或等于3.0mol%至小于或等于5.0mol%,以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0027] 在一些实施方式中,玻璃组合物包括B₂O₃和P₂O₅中的至少一者作为玻璃网络形成元素。因此,在实施方式中,B₂O₃+P₂O₅大于0.0mol%,例如大于或等于0.5mol%、大于或等于1.0mol%、大于或等于1.5mol%、大于或等于2.0mol%、大于或等于2.5mol%、大于或等于3.0mol%、大于或等于3.5mol%、大于或等于4.0mol%、大于或等于4.5mol%、大于或等于5.0mol%、大于或等于5.5mol%、大于或等于6.0mol%、大于或等于6.5mol%、大于或等于7.0mol%、大于或等于7.5mol%、或者大于或等于8.0mol%,以及前述值之间的所有范围和子范围。在实施方式中,B₂O₃+P₂O₅小于或等于7.5mol%,例如小于或等于7.0mol%、小于或等于6.5mol%、小于或等于6.0mol%、小于或等于5.5mol%、小于或等于5.0mol%、小于或等于4.5mol%、小于或等于4.0mol%、小于或等于3.5mol%、小于或等于3.0mol%、小于或等于2.5mol%、小于或等于2.0mol%、小于或等于1.5mol%、小于或等于1.0mol%、或者小于或等于0.5mol%。应当理解,在各实施方式中,任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。在实施方式中,玻璃组合物包括大于或等于0.5mol%至小于或等于7.5mol%的量的B₂O₃+P₂O₅,例如大于或等于1.0mol%至小于或等于7.0mol%、大于或等于1.5mol%至小于或等于6.5mol%、大于或等于2.0mol%至小于或等于6.0mol%、大于或等于2.5mol%至小于或等于5.5mol%、或者大于或等于3.0mol%至小于或等于5.0mol%,以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0028] 以上讨论了Li₂O在玻璃组合物中的作用,并在下面进一步详细讨论。在某种程度上,在玻璃中添加锂允许更好地控制离子交换过程并进一步降低玻璃的软化点。在实施方式中,玻璃组合物通常包括大于或等于5.0mol%至小于或等于15.0mol%的量的Li₂O,以及前述值之间的所有范围和子范围的量的Li₂O。在一些实施方式中,玻璃组合物包括大于或等于5.5mol%的量的Li₂O,例如大于或等于6.0mol%、大于或等于6.5mol%、大于或等于7.0mol%、大于或等于7.5mol%、大于或等于8.0mol%、大于或等于8.5mol%、大于或等于9.0mol%、大于或等于9.5mol%、大于或等于10.0mol%、大于或等于10.5mol%、大于或等于11.0mol%、大于或等于11.5mol%、大于或等于12.0mol%、大于或等于12.5mol%、大于或等于13.0mol%、大于或等于13.5mol%、大于或等于14.0mol%、或者大于或等于14.5mol%。在一些实施方式中,玻璃组合物包括小于或等于14.5mol%的量的Li₂O,例如小于或等于14.0mol%、小于或等于13.5mol%、小于或等于13.0mol%、小于或等于12.5mol%、小于或等于12.0mol%、小于或等于11.5mol%、小于或等于11.0mol%、小于或等于10.5mol%、小于或等于10.0mol%、小于或等于9.5mol%、小于或等于9.0mol%、小于

或等于8.5mol%、小于或等于8.0mol%、小于或等于7.5mol%、小于或等于7.0mol%、小于或等于6.5mol%、小于或等于6.0mol%、或者小于或等于5.5mol%。应当理解，在各实施方式中，任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。在实施方式中，玻璃组合物包括大于或等于5.5mol%至小于或等于14.5mol%的量的Li₂O，例如大于或等于6.0mol%至小于或等于14.0mol%、大于或等于6.5mol%至小于或等于13.5mol%、大于或等于7.0mol%至小于或等于13.0mol%、大于或等于7.5mol%至小于或等于12.5mol%、大于或等于8.0mol%至小于或等于12.0mol%、大于或等于8.5mol%至小于或等于11.5mol%、或者大于或等于9.0mol%至小于或等于10.0mol%，以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0029] 除了作为玻璃网络形成组分之外，Al₂O₃还有助于提高玻璃组合物的离子可交换性。因此，在实施方式中，Al₂O₃和可进行离子交换的其他组分的量可以相对较高。例如，Li₂O是可离子交换的组分。在一些实施方式中，玻璃组合物中Al₂O₃+Li₂O的量可以大于21.4mol%，例如大于或等于22.0mol%、大于或等于22.5mol%、大于或等于23.0mol%、大于或等于23.5mol%、大于或等于24.0mol%、大于或等于24.5mol%、大于或等于25.0mol%、大于或等于25.5mol%、或者大于或等于26.0mol%，以及前述值之间的所有范围和子范围。在一些实施方式中，Al₂O₃+Li₂O的量小于或等于26.5mol%，例如小于或等于26.0mol%、小于或等于25.5mol%、小于或等于25.0mol%、小于或等于24.5mol%、小于或等于24.0mol%、小于或等于23.5mol%、小于或等于23.0mol%、小于或等于22.5mol%、或者小于或等于22.0mol%，以及前述值之间的所有范围和子范围。应当理解，在各实施方式中，任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。在实施方式中，Al₂O₃+Li₂O的量为大于或等于21.5mol%至小于或等于26.5mol%，例如大于或等于22.0mol%至小于或等于26.0mol%、大于或等于22.5mol%至小于或等于25.5mol%、大于或等于23.0mol%至小于或等于25.0mol%、或者大于或等于23.5mol%至小于或等于24.5mol%，以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0030] 根据实施方式，玻璃组合物还可包括不同于Li₂O的碱金属氧化物，例如Na₂O。Na₂O有助于玻璃组合物的离子可交换性，并且还提高玻璃组合物的熔点并改善玻璃组合物的可成型性。但是，如果向玻璃组合物中加入太多的Na₂O，则CTE可能太低，并且熔点可能太高。在实施方式中，玻璃组合物通常包括大于4.0mol%至小于或等于15mol%的量的Na₂O，以及前述值之间的所有范围和子范围的量的Na₂O。在一些实施方式中，玻璃组合物包括大于或等于4.5mol%的量的Na₂O，例如大于或等于5.0mol%、大于或等于5.5mol%、大于或等于6.0mol%、大于或等于6.5mol%、大于或等于7.0mol%、大于或等于7.5mol%、大于或等于8.0mol%、大于或等于8.5mol%、大于或等于9.0mol%、大于或等于9.5mol%、大于或等于10.0mol%、大于或等于10.5mol%、大于或等于11.0mol%、大于或等于11.5mol%、大于或等于12.0mol%、大于或等于12.5mol%、大于或等于13.0mol%、大于或等于13.5mol%、大于或等于14.0mol%、或者大于或等于14.5mol%。在一些实施方式中，玻璃组合物包括小于或等于14.5mol%的量的Na₂O，例如小于或等于14.0mol%、小于或等于13.5mol%、小于或等于13.0mol%、小于或等于12.5mol%、小于或等于12.0mol%、小于或等于11.5mol%、小于或等于11.0mol%、小于或等于10.5mol%、小于或等于10.0mol%、小于或等于9.5mol%、小于或等于9.0mol%、小于或等于8.5mol%、小于或等于8.0mol%、小于或等于7.5mol%、小于或等于7.0mol%、小于或等于6.5mol%、小于或等于6.0mol%、小于或等于5.5mol%、

小于或等于5.0mol%、或者小于或等于4.5mol%。应当理解，在各实施方式中，任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。在实施方式中，玻璃组合物包括大于或等于4.5mol%至小于或等于14.5mol%的量的Na₂O，例如大于或等于5.0mol%至小于或等于14.0mol%、大于或等于5.5mol%至小于或等于13.5mol%、大于或等于6.0mol%至小于或等于13.0mol%、大于或等于6.5mol%至小于或等于12.5mol%、大于或等于7.0mol%至小于或等于12.0mol%、大于或等于7.5mol%至小于或等于11.5mol%、或者大于或等于8.0mol%至小于或等于10.0mol%，以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0031] 如上所述，Al₂O₃有助于提高玻璃组合物的离子可交换性。因此，在实施方式中，Al₂O₃和可进行离子交换的其他组分的量可以相对较高。例如，Li₂O和Na₂O是可离子交换的组分。在一些实施方式中，玻璃组合物中Al₂O₃+Li₂O+Na₂O的量可大于25.0mol%，例如大于或等于25.5mol%、大于或等于26.0mol%、大于或等于26.5mol%、大于或等于27.0mol%、大于或等于27.5mol%、大于或等于28.0mol%、大于或等于28.5mol%、大于或等于29.0mol%、或者大于或等于29.5mol%，以及前述值之间的所有范围和子范围。在一些实施方式中，Al₂O₃+Li₂O+Na₂O的量小于或等于30.0mol%，例如小于或等于29.5mol%、小于或等于29.0mol%、小于或等于28.5mol%、小于或等于28.0mol%、小于或等于27.5mol%、小于或等于27.0mol%、小于或等于26.5mol%、小于或等于26.0mol%、或者小于或等于25.5mol%，以及前述值之间的所有范围和子范围。应当理解，在各实施方式中，任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。在实施方式中，Al₂O₃+Li₂O+Na₂O的量为大于或等于25.0mol%至小于或等于30.0mol%，例如大于或等于25.5mol%至小于或等于29.5mol%、大于或等于26.0mol%至小于或等于29.0mol%、大于或等于26.5mol%至小于或等于28.5mol%、或者大于或等于27.0mol%至小于或等于28.0mol%，以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0032] 与Na₂O类似，K₂O也促进离子交换并增加压应力层的DOC。但是，添加K₂O可能导致CTE可能过低，且熔点可能过高。在实施方式中，玻璃组合物不含或基本上不含钾。如本文所用，术语“基本上不含”是指该组分并非作为批料的组分进行添加，尽管该组分可能作为杂质以非常少的量（例如小于0.01mol%）存在于最终玻璃中。在实施方式中，K₂O可以小于1mol%的量存在于玻璃组合物中。

[0033] MgO降低玻璃的粘度，这提高了可成型性、应变点和杨氏模量，并且可以改善离子交换能力。然而，当向玻璃组合物中加入太多的MgO时，则玻璃组合物的密度和CTE增加。在实施方式中，玻璃组合物通常包括大于或等于0.0mol%至小于或等于2.0mol%的浓度的MgO，以及在前述值之间的所有范围和子范围的浓度的MgO。在一些实施方式中，玻璃组合物包括大于或等于0.2mol%的量的MgO，例如大于或等于0.4mol%、大于或等于0.6mol%、大于或等于0.8mol%、大于或等于1.0mol%、大于或等于1.2mol%、大于或等于1.4mol%、大于或等于1.6mol%、或者大于或等于1.8mol%。在一些实施方式中，玻璃组合物包括小于或等于1.8mol%的量的MgO，例如小于或等于1.6mol%、小于或等于1.4mol%、小于或等于1.2mol%、小于或等于1.0mol%、小于或等于0.8mol%、小于或等于0.6mol%、小于或等于0.4mol%、或者小于或等于0.2mol%。应当理解，在各实施方式中，任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。在实施方式中，玻璃组合物包括大于或等于0.2mol%至小于或等于1.8mol%的量的MgO，例如大于或等于0.4mol%至小于或等于1.6mol%、大于或等于

0.6mol%至小于或等于1.4mol%、或者大于或等于0.8mol%至小于或等于1.2mol%，以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0034] CaO降低玻璃的粘度，这提高了可成型性、应变点和杨氏模量，并且可以改善离子交换能力。然而，当向玻璃组合物中加入太多的CaO时，则玻璃组合物的密度和CTE增加。在实施方式中，玻璃组合物通常包括大于或等于0.0mol%至小于或等于3.0mol%的浓度的CaO，以及前述值之间的所有范围和子范围的浓度的CaO。在一些实施方式中，玻璃组合物包括大于或等于0.2mol%的量的CaO，例如大于或等于0.4mol%、大于或等于0.6mol%、大于或等于0.8mol%、大于或等于1.0mol%、大于或等于1.2mol%、大于或等于1.4mol%、大于或等于1.6mol%、大于或等于1.8mol%、大于或等于2.0mol%、大于或等于2.2mol%、大于或等于2.4mol%、大于或等于2.6mol%、或者大于或等于2.8mol%。在一些实施方式中，玻璃组合物包括小于或等于2.8mol%的量的CaO，例如小于或等于2.6mol%、小于或等于2.4mol%、小于或等于2.2mol%、小于或等于2.0mol%、小于或等于1.8mol%、小于或等于1.6mol%、小于或等于1.4mol%、小于或等于1.2mol%、小于或等于1.0mol%、小于或等于0.8mol%、小于或等于0.6mol%、小于或等于0.4mol%、或者小于或等于0.2mol%。应当理解，在各实施方式中，任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。在实施方式中，玻璃组合物包括大于或等于0.2mol%至小于或等于2.8mol%的量的CaO，例如大于或等于0.4mol%至小于或等于2.6mol%、大于或等于0.6mol%至小于或等于2.4mol%、或者大于或等于0.8mol%至小于或等于2.2mol%、大于或等于1.0mol%至小于或等于2.0mol%、大于或等于1.2mol%至小于或等于1.8mol%、或者大于或等于1.4mol%至小于或等于1.6mol%，以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0035] 在实施方式中，玻璃组合物可任选地包括一种或多种澄清剂。在一些实施方式中，澄清剂可包括例如SnO₂。在这样的实施方式中，SnO₂可以以小于或等于0.2mol%的量存在于玻璃组合物中，例如大于或等于0.0mol%至小于或等于0.1mol%，以及前述值之间的所有范围和子范围。在实施方式中，SnO₂可以以大于或等于0.0mol%至小于或等于0.2mol%、或者大于或等于0.1mol%至小于或等于0.2mol%的量，以及前述值之间的所有范围和子范围的量存在于玻璃组合物中。在一些实施方式中，玻璃组合物可以不含或基本上不含SnO₂。

[0036] ZnO增强玻璃的离子交换性能，例如通过提高玻璃的压力。然而，添加太多的ZnO可能会增加密度并导致相分离。在实施方式中，玻璃组合物可包括大于或等于0.0mol%至小于或等于1.5mol%的量的ZnO，例如大于或等于0.2mol%至小于或等于1.0mol%，以及前述值之间的所有范围和子范围。在一些实施方式中，玻璃组合物可包括大于或等于0.3mol%的量的ZnO，例如大于或等于0.4mol%、或者大于或等于0.5mol%。在实施方式中，玻璃组合物可包括小于或等于1.0mol%的量的ZnO，例如小于或等于0.8mol%、或者小于或等于0.6mol%。应当理解，在各实施方式中，任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。

[0037] SrO降低本文公开的玻璃制品的液相温度。在实施方式中，玻璃组合物可包括大于或等于0.0mol%至小于或等于1.5mol%的量的SrO，例如大于或等于0.2mol%至小于或等于1.0mol%，以及前述值之间的所有范围和子范围。在一些实施方式中，玻璃组合物可包括大于或等于0.2mol%或者大于或等于0.4mol%的量的SrO。在实施方式中，玻璃组合物可包括小于或等于0.8mol%的量的SrO，例如小于或等于0.6mol%、或者小于或等于0.4mol%。应当理解，在各实施方式中，任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。

[0038] 除了上述各个组分之外,根据本文公开的实施方式的玻璃组合物可包括大于或等于0.0mol%至小于或等于5.0mol%的量的二价阳离子氧化物(在本文中称为R0),以及前述值之间的所有范围和子范围的量的R0。如本文所用,二价阳离子氧化物(R0)包括但不限于MgO、CaO、SrO、BaO、FeO和ZnO。在一些实施方式中,玻璃组合物可包括大于或等于0.2mol%的量的R0,例如大于或等于0.5mol%、大于或等于1.0mol%、大于或等于1.5mol%、大于或等于2.0mol%、大于或等于2.5mol%、大于或等于3.0mol%、大于或等于3.5mol%、大于或等于4.0mol%、或者大于或等于4.5mol%。在实施方式中,玻璃组合物可包括小于或等于4.5mol%的量的R0,例如小于或等于4.0mol%、小于或等于3.5mol%、小于或等于3.0mol%、小于或等于2.5mol%、小于或等于2.0mol%、小于或等于1.5mol%、小于或等于1.0mol%、或者小于或等于0.5mol%。应当理解,在各实施方式中,任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。在实施方式中,玻璃组合物可包括大于或等于0.2mol%至小于或等于4.5mol%的量的R0,例如大于或等于0.5mol%至小于或等于4.0mol%、大于或等于1.0mol%至小于或等于3.5mol%、大于或等于1.5mol%至小于或等于3.0mol%、或者大于或等于2.0mol%至小于或等于2.5mol%,以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0039] 在实施方式中,Al₂O₃/ (R₂O+R0) 的mol%关系为大于0.90,其中R0是二价阳离子氧化物的总和,R₂O是碱金属氧化物的总和。如本文所用,R₂O包括Li₂O、Na₂O、K₂O、Rb₂O、Cs₂O和Fr₂O。在实施方式中,Al₂O₃/ (R₂O+R0) 为大于0.90至小于1.20。具有增加的Al₂O₃对R₂O+R0的比例改善了玻璃制品的液相温度和粘度。该比例导致更致密的玻璃,其更不易碎并且具有更高的抗损伤性。在一些实施方式中,Al₂O₃/ (R₂O+R0) 的摩尔比大于或等于0.95,例如大于或等于1.00、大于或等于1.05、大于或等于1.08、大于或等于1.10、或者大于或等于1.15。在实施方式中,Al₂O₃/ (R₂O+R0) 的摩尔比小于或等于1.20,例如小于或等于1.50、小于或等于1.00、小于或等于0.98、小于或等于0.95、或者小于或等于0.92。应当理解,在各实施方式中,任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。在实施方式中,Al₂O₃/ (R₂O+R0) 的摩尔比为大于或等于0.90至小于或等于1.50,例如大于或等于0.95至小于或等于1.20、大于或等于0.98至小于或等于1.15、或者大于或等于1.00至小于或等于1.10,以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0040] 在实施方式中,网络形成组分(例如,Al₂O₃+SiO₂+B₂O₃+P₂O₅)的总量大于或等于80mol%,例如大于或等于82mol%、大于或等于84mol%、大于或等于86mol%、大于或等于88mol%、或者大于或等于90mol%。具有大量的网络形成组分增加了玻璃的密度,这使其不易碎并提高抗损伤性。在实施方式中,网络形成组分的总量小于或等于94mol%,例如小于或等于92mol%、小于或等于90mol%、小于或等于88mol%、小于或等于86mol%、小于或等于84mol%、或者小于或等于82mol%。应当理解,在各实施方式中,任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。在实施方式中,网络形成组分的总量为大于或等于80mol%至小于或等于94mol%,例如大于或等于82mol%至小于或等于92mol%、大于或等于84mol%至小于或等于90mol%、或者大于或等于86mol%至小于或等于88mol%,以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0041] 在一个或多个实施方式中,碱金属铝硅酸盐玻璃制品包括以mol%计的关系-8.00≤R₂O+R0-Al₂O₃-B₂O₃-P₂O₅≤-1.75。不受任何特定理论的束缚,在玻璃组合物中具有过量的R₂O和R0能够导致在该玻璃中高浓度的非桥接氧(non-bridging oxygen)。在玻璃中存在过

量的非桥接氧可能导致对点接触损坏的耐抗性降低。另一方面,如果非桥接氧的量太低,则玻璃的熔融质量受到损害。因此,在实施方式中,可能希望的是,限制在玻璃组合物中非桥接氧的量,而不是完全除去它。据信,Al₂O₃、B₂O₃和P₂O₅将与玻璃组合物中的R₂O和R₀组分进行反应,由此限制了玻璃组合物中非桥接氧的量。因此,在实施方式中,可能希望的是,玻璃组合物中Al₂O₃、B₂O₃和P₂O₅的摩尔百分比接近玻璃组合物中R₂O和R₀的摩尔百分比,如上述不等式所反映的那样。在一个或多个实施方式中,-7.50≤R₂O+R₀-Al₂O₃-B₂O₃-P₂O₅≤-2.50,例如-6.50≤R₂O+R₀-Al₂O₃-B₂O₃-P₂O₅≤-3.00,-5.50≤R₂O+R₀-Al₂O₃-B₂O₃-P₂O₅≤-3.50、或者-4.50≤R₂O+R₀-Al₂O₃-B₂O₃-P₂O₅≤-3.50,以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0042] 在一个或多个实施方式中,碱金属铝硅酸盐玻璃制品包括以mol%计的关系9.00≤(SiO₂+Al₂O₃+Li₂O)/Na₂O。不受任何特定理论的束缚,Na⁺阳离子具有比Si⁴⁺、Al³⁺和Li⁺阳离子更低的场强,而包括更高场强阳离子的玻璃通常具有更高的堆积密度,从而能够实现更高的存储的拉伸应力(CT)。相对于低场强阳离子的氧化物而言,应增加高场强阳离子的氧化物以改善CT,但是也需要一定量的低场强阳离子的氧化物来降低液相温度。在实施方式中,9.00≤(SiO₂+Al₂O₃+Li₂O)/Na₂O≤16.00,例如9.20≤(SiO₂+Al₂O₃+Li₂O)/Na₂O≤15.50、9.50≤(SiO₂+Al₂O₃+Li₂O)/Na₂O≤15.00、10.00≤(SiO₂+Al₂O₃+Li₂O)/Na₂O≤14.50、或者10.50≤(SiO₂+Al₂O₃+Li₂O)/Na₂O≤14.00,以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0043] 在一些实施方式中,碱金属铝硅酸盐玻璃制品包括以mol%计的关系(Li₂O+Al₂O₃+P₂O₅)/(Na₂O+B₂O₃)≤3.50。不受任何特定理论的束缚,据信,Na₂O改性剂氧化物优于Li₂O改性剂氧化物,以改善自由体积和相应的抗压痕裂缝性。同样地,B₂O₃网络形成氧化物优于Al₂O₃和P₂O₅网络形成氧化物,以改善自由体积和相应的抗压痕裂缝性。因此,在实施方式中,可能希望的是,玻璃组合物中具有增加的Na₂O和B₂O₃相对于Li₂O、Al₂O₃和P₂O₅的量的百分比。因此,在一个或多个实施方式中,1.50≤(Li₂O+Al₂O₃+P₂O₅)/(Na₂O+B₂O₃)≤3.50,例如1.80≤(Li₂O+Al₂O₃+P₂O₅)/(Na₂O+B₂O₃)≤3.35、2.00≤(Li₂O+Al₂O₃+P₂O₅)/(Na₂O+B₂O₃)≤3.20、2.20≤(Li₂O+Al₂O₃+P₂O₅)/(Na₂O+B₂O₃)≤3.00、或者2.40≤(Li₂O+Al₂O₃+P₂O₅)/(Na₂O+B₂O₃)≤2.80,以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0044] 在一个或多个实施方式中,玻璃组合物中Al₂O₃和Li₂O的量可以相对于其他玻璃网络形成剂和Na₂O以增加玻璃的抗损伤性而不影响CTE和玻璃的可成型性的量被包括在玻璃组合物中。因此,在一些实施方式中,玻璃组合物具有以mol%计的关系1.00≤(Li₂O+Al₂O₃)/(Na₂O+B₂O₃+P₂O₅)≤2.75,例如1.25≤(Li₂O+Al₂O₃)/(Na₂O+B₂O₃+P₂O₅)≤2.50、1.50≤(Li₂O+Al₂O₃)/(Na₂O+B₂O₃+P₂O₅)≤2.25、或者1.75≤(Li₂O+Al₂O₃)/(Na₂O+B₂O₃+P₂O₅)≤2.00,以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0045] 在一些实施方式中,Al₂O₃、B₂O₃和P₂O₅玻璃网络形成组分的量可以与玻璃组合物的其他组分(例如,R₂O和R₀)相平衡。在一些实施方式中,玻璃组合物可具有以mol%计的关系1.0<(Al₂O₃+B₂O₃+P₂O₅)/(R₂O+R₀),例如1.0<(Al₂O₃+B₂O₃+P₂O₅)/(R₂O+R₀)<1.8、1.1<(Al₂O₃+B₂O₃+P₂O₅)/(R₂O+R₀)<1.7、1.2<(Al₂O₃+B₂O₃+P₂O₅)/(R₂O+R₀)<1.6、或者1.3<(Al₂O₃+B₂O₃+P₂O₅)/(R₂O+R₀)<1.5,以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0046] 在实施方式中,玻璃制品可基本上不含砷和锑中的一者或两者。在实施方式中,玻璃制品可不含砷和锑中的一者或两者。

[0047] 在一个实施方式中,玻璃组合物可满足以下以mol%计的关系6.96Al₂O₃-1.90B₂O₃

+2.16CaO+3.30MgO-1.50Na₂O+12.74Li₂O-1.10SrO-14.50K₂O-1.87La₂O₃+6.13ZrO₂-76.40>50.00。

[0048] 现在将讨论如上公开的碱金属铝硅酸盐玻璃组合物的物理性质。通过改变碱金属铝硅酸盐玻璃组合物的组分含量能够实现这些物理性质,如将参考实施例更加详细地讨论的那样。

[0049] 根据实施方式的玻璃组合物可具有大于或等于2.20g/cm³至小于或等于2.50g/cm³的密度,例如大于或等于2.25g/cm³至小于或等于2.50g/cm³、大于或等于2.30g/cm³至小于或等于2.50g/cm³、大于或等于2.35g/cm³至小于或等于2.50g/cm³、大于或等于2.40g/cm³至小于或等于2.50g/cm³、或者大于或等于2.45g/cm³至小于或等于2.50g/cm³。在实施方式中,玻璃组合物可具有大于或等于2.20g/cm³至小于或等于2.45g/cm³的密度,例如大于或等于2.20g/cm³至小于或等于2.40g/cm³、大于或等于2.20g/cm³至小于或等于2.35g/cm³、大于或等于2.20g/cm³至小于或等于2.30g/cm³、或者大于或等于2.20g/cm³至小于或等于2.25g/cm³,以及前述值之间的所有范围和子范围。通常,在碱金属铝硅酸盐玻璃组合物中,随着诸如Na⁺或K⁺之类的较大、较稠密的碱金属阳离子被诸如Li⁺之类的较小的碱金属阳离子代替,玻璃组合物的密度降低。因此,玻璃组合物中锂的量越高,玻璃组合物将越不稠密。本公开内容中所述的密度值是指通过ASTM C693-93(2013)的浮力法测量的值。

[0050] 在实施方式中,液相粘度小于或等于1000kP,例如小于或等于800kP、小于或等于600kP、小于或等于400kP、小于或等于200kP、小于或等于100kP、或者小于或等于75kP。在实施方式中,液相粘度大于或等于20kP,例如大于或等于40kP、大于或等于60kP、大于或等于80kP、大于或等于100kP、大于或等于120kP、大于或等于140kP、或者大于或等于160kP。应当理解,在各实施方式中,任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。在实施方式中,液相粘度为大于或等于20kP至小于或等于1000kP,例如大于或等于40kP至小于或等于900kP、大于或等于60kP至小于或等于800kP、或者大于或等于80kP至小于或等于700kP,以及前述值之间的所有范围和子范围。液相粘度是根据ASTM C829-81(2010)测量的。

[0051] 向玻璃组合物中添加锂也会影响玻璃组合物的杨氏模量、剪切模量和泊松比。在实施方式中,玻璃组合物的杨氏模量可以为大于或等于65GPa至小于或等于85GPa,例如大于或等于67GPa至小于或等于82GPa、大于或等于70GPa至小于或等于80GPa、大于或等于72GPa至小于或等于78GPa、或者大于或等于74GPa至小于或等于76GPa,以及前述值之间的所有范围和子范围。在其他实施方式中,玻璃组合物的杨氏模量可以为大于或等于66GPa至小于或等于85GPa,例如大于或等于68GPa至小于或等于85GPa、大于或等于70GPa至小于或等于85GPa、大于或等于72GPa至小于或等于85GPa、大于或等于74GPa至小于或等于85GPa、大于或等于76GPa至小于或等于85GPa、大于或等于78GPa至小于或等于85GPa、大于或等于80GPa至小于或等于85GPa、或者大于或等于82GPa至小于或等于85GPa,以及前述值之间的所有范围和子范围。在实施方式中,杨氏模量可以大于或等于65GPa至小于或等于84GPa,例如大于或等于65GPa至小于或等于82GPa、大于或等于65GPa至小于或等于80GPa、大于或等于65GPa至小于或等于78GPa、大于或等于65GPa至小于或等于76GPa、大于或等于65GPa至小于或等于74GPa、大于或等于65GPa至小于或等于72GPa、大于或等于65GPa至小于或等于70GPa、大于或等于65GPa至小于或等于68GPa、或者大于或等于65GPa至小于或等于10GPa,以及前述值之间的所有范围和子范围。本公开内容中所述的杨氏模量值是指通过

ASTM E2001-13中所阐述的一般类型的共振超声光谱技术,即题为“用于金属和非金属零件中的缺陷检测的共振超声光谱的标准指南”而测量的值。

[0052] 根据一些实施方式,玻璃组合物可具有大于或等于25GPa至小于或等于35GPa的剪切模量,例如大于或等于26GPa至小于或等于34GPa、大于或等于27GPa至小于或等于33GPa、大于或等于28GPa至小于或等于32GPa、或者大于或等于29GPa至小于或等于31GPa,以及前述值之间的所有范围和子范围。在实施方式中,玻璃组合物可具有大于或等于26GPa至小于或等于35GPa的剪切模量,例如大于或等于27GPa至小于或等于35GPa、大于或等于28GPa至小于或等于35GPa、大于或等于29GPa至小于或等于35GPa、大于或等于30GPa至小于或等于35GPa、大于或等于31GPa至小于或等于35GPa、大于或等于32GPa至小于或等于35GPa、大于或等于33GPa至小于或等于35GPa、或者大于或等于34GPa至小于或等于35GPa,以及前述值之间的所有范围和子范围。在实施方式中,玻璃组合物可具有大于或等于25GPa至小于或等于34GPa的剪切模量,例如大于或等于25GPa至小于或等于33GPa、大于或等于25GPa至小于或等于32GPa、大于或等于25GPa至小于或等于31GPa、大于或等于25GPa至小于或等于30GPa、大于或等于25GPa至小于或等于29GPa、大于或等于25GPa至小于或等于28GPa、大于或等于25GPa至小于或等于27GPa、或者大于或等于25GPa至小于或等于26GPa,以及前述值之间的所有范围和子范围。本公开内容中所述的剪切模量值是指通过ASTM E2001-13中所阐述的一般类型的共振超声光谱技术,即题为“用于金属和非金属零件中的缺陷检测的共振超声光谱的标准指南”而测量的值。

[0053] 根据以上所述,根据实施方式的玻璃组合物可以通过任何合适的方法来形成,所述方法诸如狭缝成型、浮法成型、轧制工艺、熔融成型工艺等。

[0054] 玻璃制品的特征可在于其形成方式。例如,玻璃制品的特征可在于可浮法成型的(即,通过浮法工艺所形成的)、可下拉成型的、且特别是可熔融成型的或可狭缝拉制成型的(即,通过诸如熔融拉制工艺或狭缝拉制工艺之类的下拉工艺所形成的)。

[0055] 本文所述的一些实施方式的玻璃制品可通过下拉工艺来形成。下拉工艺生产出具有均匀厚度的且拥有相对洁净的表面的玻璃制品。因为玻璃制品的平均弯曲强度是由表面瑕疵的数量和尺寸所调控,所以具有最小接触的洁净表面具有较高的初始强度。此外,下拉玻璃制品具有非常平坦光滑的表面,无需昂贵的研磨和抛光即可用于其最终的应用中。

[0056] 一些实施方式的玻璃制品可描述为可熔融成型的(即,可使用熔融拉制工艺成型的)。熔融工艺使用拉制槽,该拉制槽具有用于接收熔融玻璃原料的通道。该通道具有在通道两侧上沿着通道长度在顶部开口的堰。当通道充满熔融材料时,熔融玻璃溢出堰。由于重力作用,熔融玻璃从拉制槽的外表面流下成为两个流动的玻璃膜。拉制槽的这些外表面向下和向内延伸,使得它们在拉制槽下方的边缘处连接。两个流动的玻璃膜在该边缘处连接以熔合并形成单个流动的玻璃制品。熔融拉制方法的优点在于,由于流过通道的两个玻璃膜熔合在一起,所得玻璃制品的外表面都不与设备的任何部分接触。因此,熔融拉制玻璃制品的表面性质不受这种接触的影响。

[0057] 本文所述的一些实施方式的玻璃制品可通过狭缝拉制工艺形成。狭缝拉制工艺不同于熔融拉制方法。在狭缝拉制工艺中,将熔融的原料玻璃提供给拉制槽。拉制槽的底部有一个带有喷嘴的开槽,所述喷嘴延长了槽的长度。熔融玻璃流过狭缝/喷嘴并向下拉制为连续的玻璃制品和进入退火区域。

[0058] 在一个或多个实施方式中,本文所述的玻璃制品可呈现无定形微结构,并且可以基本上不含晶体或微晶。换句话说,在一些实施方式中,玻璃制品不包括玻璃-陶瓷材料。

[0059] 如上所述,在实施方式中,碱金属铝硅酸盐玻璃组合物例如通过离子交换能够得以增强,使得玻璃对于诸如但不限于用于显示屏盖的玻璃的应用具有抗损伤性。参考图1,玻璃具有在压应力下的第一区域(例如,图1中的第一压缩层120和第二压缩层122),其从表面延伸到玻璃的压缩深度(DOC);和第二区域(例如,图1中的中心区域130),其在拉伸应力或中心张力(CT)下从DOC延伸到玻璃的中心或内部区域。如本文所用,DOC是指玻璃制品内应力从压缩变为拉伸处的深度。在DOC处,应力从正(压缩)应力跨越到负(拉伸)应力,因此表现出应力值为0。

[0060] 根据本领域通常使用的惯例,压缩或压应力表示为负(<0)应力,张力或拉伸应力表示为正(>0)应力。然而,在整个说明书中,CS表示为正值或绝对值,即,如本文所述,CS=|CS|。压应力(CS)在玻璃表面处或附近具有最大值,并且CS根据函数随着距表面的距离d而变化。再次参考图1,第一区段120从第一表面110延伸到深度 d_1 ,第二区段122从第二表面112延伸到深度 d_2 。这些区段一起限定出玻璃100的压缩或CS。使用市售仪器例如由Orihara工业有限公司(日本)制造的FSM-6000通过表面应力计(FSM)测量压应力(包括表面CS)。表面应力测量取决于应力光学系数(SOC)的精确测量,SOC与玻璃的双折射率相关。根据ASTM标准C770-16中所述的程序C(玻璃盘法),即题为“用于玻璃应力-光学系数测量的标准试验方法”来依次测量SOC,其内容通过引用整体并入本文。

[0061] 在一些实施方式中,CS大于或等于400MPa至小于或等于800MPa,例如大于或等于425MPa至小于或等于775MPa、大于或等于450MPa至小于或等于750MPa、大于或等于475MPa至小于或等于725MPa、大于或等于500MPa至小于或等于700MPa、大于或等于525MPa至小于或等于675MPa、大于或等于550MPa至小于或等于650MPa、或者大于或等于575MPa至小于或等于625MPa,以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0062] 在一个或多个实施方式中, Na^+ 和 K^+ 离子被交换到玻璃制品中,并且 Na^+ 离子比 K^+ 离子扩散到玻璃制品中更深的深度。 K^+ 离子的渗透深度(“钾DOL”)与DOC不同,因为它代表了离子交换过程中钾的渗透深度。对于本文所述的制品,钾DOL通常小于DOC。使用表面应力计,诸如由Orihara工业有限公司(日本)制造的市售的FSM-6000表面应力计来测量钾DOL,这取决于应力光学系数(SOC)的精确测量,如以上参考CS测量所述。第一压缩层120和第二压缩层122中的每一个的钾DOL为大于或等于5 μm 至小于或等于30 μm ,例如大于或等于6 μm 至小于或等于25 μm 、大于或等于7 μm 至小于或等于20 μm 、大于或等于8 μm 至小于或等于15 μm 、或者大于或等于9 μm 至小于或等于10 μm ,以及前述值之间的所有范围和子范围。在实施方式中,第一压缩层120和第二压缩层122中的每一个的钾DOL为大于或等于6 μm 至小于或等于30 μm ,例如大于或等于10 μm 至小于或等于30 μm 、大于或等于15 μm 至小于或等于30 μm 、大于或等于20 μm 至小于或等于30 μm 、或者大于或等于25 μm 至小于或等于30 μm ,以及前述值之间的所有范围和子范围。在实施方式中,第一压缩层120和第二压缩层122中的每一个的钾DOL为大于或等于5 μm 至小于或等于25 μm ,例如大于或等于5 μm 至小于或等于20 μm 、大于或等于5 μm 至小于或等于15 μm 、或者大于或等于5 μm 至小于或等于10 μm ,以及前述值之间的所有范围和子范围值。

[0063] 两个主表面(图1中的110、112)的压应力通过玻璃的中心区域(130)中存储的张力

来平衡。使用本领域已知的散射光偏光镜 (SCALP) 技术测量最大中心张力 (CT) 和DOC值。折射近场 (RNF) 法或SCALP可用于测量应力分布。当利用RNF法测量应力分布时, SCALP提供的最大CT值被用于RNF法。特别地,由RNF测量的应力分布是力平衡的并且校准到由SCALP测量提供的最大CT值。在题为“用于测量玻璃样品的分布特征的系统和方法”的美国专利第8,854,623号中描述了RNF法,通过引用将其全部内容并入本文。特别地,RNF法包括将玻璃制品放置在参照块附近,产生以1Hz和50Hz之间的速率在正交偏振之间切换的偏振切换光束,测量偏振切换光束中的功率量并产生偏振切换参照信号,其中在每个正交偏振中测到的功率量都在彼此的50%之内。该方法还包括将偏振切换光束在不同深度通过玻璃样品和参照块透射到玻璃样品中,然后使用中继光学系统将透射的偏振切换光束中继到信号光电检测器,利用信号光电检测器产生偏振切换检测器信号。该方法还包括将检测器信号除以参照信号以形成归一化的检测器信号,并从该归一化的检测器信号确定玻璃样品的分布特征。

[0064] 在实施方式中,玻璃组合物可具有大于或等于60MPa的最大CT,例如大于或等于70MPa、大于或等于80MPa、大于或等于90MPa、大于或等于100MPa、大于或等于110MPa、大于或等于120MPa、大于或等于130MPa、大于或等于140MPa、或者大于或等于150MPa,以及前述值之间的所有范围和子范围。在一些实施方式中,玻璃组合物可具有小于或等于200MPa的最大CT,例如小于或等于190MPa、小于或等于180MPa、小于或等于170MPa、小于或等于160MPa、小于或等于150MPa、小于或等于140MPa、小于或等于130MPa、小于或等于120MPa、小于或等于110MPa、小于或等于100MPa、小于或等于90MPa、或者小于或等于80MPa,以及前述值之间的所有范围和子范围。应当理解,在各实施方式中,任何上述范围可以与任何其他范围进行组合。在实施方式中,玻璃组合物可具有大于或等于60MPa至小于或等于200MPa的最大CT,例如大于或等于70MPa至小于或等于190MPa、大于或等于80MPa至小于或等于180MPa、大于或等于90MPa至小于或等于170MPa、大于或等于100MPa至小于或等于160MPa、大于或等于110MPa至小于或等于150MPa、或者大于或等于120MPa至小于或等于140MPa,以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0065] 如上所述,使用本领域已知的散射光偏光镜 (SCALP) 技术测量DOC。在本文的一些实施方式中,提供DOC作为玻璃制品的厚度 (t) 的一部分。在实施方式中,玻璃组合物可具有大于或等于 $0.15t$ 至小于或等于 $0.25t$ 的压缩深度 (DOC),例如大于或等于 $0.18t$ 至小于或等于 $0.22t$ 、或者大于或等于 $0.19t$ 至小于或等于 $0.21t$,以及前述值之间的所有范围和子范围。在实施方式中,玻璃组合物可具有大于或等于 $0.16t$ 至小于或等于 $0.2t$ 的DOC,例如大于或等于 $0.17t$ 至小于或等于 $0.25t$ 、大于或等于 $0.18t$ 至小于或等于 $0.25t$ 、大于或等于 $0.19t$ 至小于或等于 $0.25t$ 、大于或等于 $0.20t$ 至小于或等于 $0.25t$ 、大于或等于 $0.21t$ 至小于或等于 $0.25t$ 、或者大于或等于 $0.22t$ 至小于或等于 $0.25t$ 、大于或等于 $0.23t$ 至小于或等于 $0.25t$ 、或者大于或等于 $0.24t$ 至小于或等于 $0.25t$,以及前述值之间的所有范围和子范围。在实施方式中,玻璃组合物可具有大于或等于 $0.15t$ 至小于或等于 $0.24t$ 的DOC,例如大于或等于 $0.15t$ 至小于或等于 $0.23t$ 、大于或等于 $0.15t$ 至小于或等于 $0.22t$ 、大于或等于 $0.15t$ 至小于或等于 $0.21t$ 、大于或等于 $0.15t$ 至小于或等于 $0.20t$ 、大于或等于 $0.15t$ 至小于或等于 $0.19t$ 、大于或等于 $0.15t$ 至小于或等于 $0.18t$ 、大于或等于 $0.15t$ 至小于或等于 $0.17t$ 、或者大于或等于 $0.15t$ 至小于或等于 $0.16t$,以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0066] 通过将玻璃暴露于离子交换溶液,可以在玻璃中形成压应力层。在实施方式中,离

子交换溶液可以是熔融的硝酸盐。在一些实施方式中，离子交换溶液可以是熔融的KNO₃、熔融的NaNO₃、或其组合。在实施方式中，离子交换溶液可包括约90%熔融的KNO₃、约80%熔融的KNO₃、约70%熔融的KNO₃、约60%熔融的KNO₃、或者约50%熔融的KNO₃。在实施方式中，离子交换溶液可包括约10%熔融的NaNO₃、约20%熔融的NaNO₃、约30%熔融的NaNO₃、或者约40%熔融的NaNO₃。在实施方式中，离子交换溶液可包括约80%熔融的KNO₃和约20%熔融的NaNO₃、约75%熔融的KNO₃和约25%熔融的NaNO₃、约70%熔融的KNO₃和约30%熔融的NaNO₃、约65%熔融的KNO₃和约35%熔融的NaNO₃、或者约60%熔融的KNO₃和约40%，以及前述值之间的所有范围和子范围。在实施方式中，其他钠盐和钾盐可用于离子交换溶液，诸如，例如亚硝酸钠或亚硝酸钾、磷酸盐或硫酸盐。在一些实施方式中，离子交换溶液可包括锂盐，例如LiNO₃。

[0067] 通过将由玻璃组合物制成的玻璃制品浸入离子交换溶液浴中、将离子交换溶液喷射到由玻璃组合物制成的玻璃制品上、或者以其他方式将离子交换溶液物理地施加到由玻璃组合物制成的玻璃制品上，可将玻璃组合物暴露于离子交换溶液中。当暴露于玻璃组合物时，根据实施方式，离子交换溶液可处于大于或等于400℃至小于或等于500℃的温度，例如大于或等于410℃至小于或等于490℃、大于或等于420℃至小于或等于480℃、大于或等于430℃至小于或等于470℃、或者大于或等于440℃至小于或等于460℃，以及前述值之间的所有范围和子范围。在实施方式中，玻璃组合物可暴露于离子交换溶液持续大于或等于4小时至小于或等于48小时，例如大于或等于8小时至小于或等于44小时、大于或等于12小时至小于或等于40小时、大于或等于16小时至小于或等于36小时、大于或等于20小时至小于或等于32小时、或者大于或等于24小时至小于或等于28小时，以及前述值之间的所有范围和子范围。

[0068] 离子交换工艺可在提供改善的压力分布的处理条件下在离子交换溶液中进行，例如，如美国专利申请公开第2016/0102011号中所公开的，其通过引用整体并入本文。

[0069] 在进行离子交换工艺之后，应理解的是，玻璃制品的表面处的组合物可以不同于原生的(as-formed)玻璃制品(即，玻璃制品在经历离子交换工艺之前)的组成。这是由于在原生的玻璃中诸如例如Li⁺或Na⁺的一种碱金属离子分别被诸如例如Na⁺或K⁺的较大的碱金属离子取代。然而，在实施方式中，在玻璃制品的深度的中心处或附近的玻璃组合物仍将具有用于形成玻璃制品的原生(非离子交换)玻璃的组成。

[0070] 本文公开的玻璃制品可被包含到另一制品中，例如具有显示器的制品(或显示制品)(例如，消费电子产品，包括移动电话、平板电脑、计算机、导航系统等)、建筑制品、运输制品(例如，汽车、火车、飞机、海上航行器等)、器具制品、或需要一定透明度、抗划伤性、耐磨性或其组合的任何制品。包含本文公开的任何玻璃制品的示例性制品示于图2A和图2B中。具体而言，图2A和2B示出了消费电子装置200，其包括：具有前表面204、后表面206和侧表面208的壳体202；电气部件(未示出)，其至少部分地位于壳体内或完全地位于壳体内，并且至少包括控制器、存储器和显示器210，显示器210位于壳体前表面处或附近；和覆盖基板212，其位于壳体的前表面上或上方以使得它位于显示器上方。在一些实施方式中，覆盖基板212的一部分和/或壳体202的一部分可包括本文公开的任何玻璃制品。

[0071] 第一项包括一种玻璃组合物，其包括：大于或等于55.0mol%至小于或等于70.0mol%的SiO₂；大于或等于12.0mol%至小于或等于20.0mol%的Al₂O₃；大于或等于

5.0mol%至小于或等于15.0mol%的Li₂O;和大于或等于4.0mol%至小于或等于15.0mol%的Na₂O,其中: $-8.00\text{mol\%} \leq R_2O + R_0 - Al_2O_3 - B_2O_3 - P_2O_5 \leq -1.75\text{mol\%}$, $9.00 \leq (SiO_2 + Al_2O_3 + Li_2O) / Na_2O$,以及 $(Li_2O + Al_2O_3 + P_2O_5) / (Na_2O + B_2O_3) \leq 3.50$ 。

[0072] 第二项包括如第一项所述的玻璃组合物,其中 $-7.50\text{mol\%} \leq R_2O + R_0 - Al_2O_3 - B_2O_3 - P_2O_5 \leq -2.50\text{mol\%}$ 。

[0073] 第三项包括如第一项和第二项中任一项所述的玻璃组合物,其中 $9.00 \leq (SiO_2 + Al_2O_3 + Li_2O) / Na_2O \leq 16.00$ 。

[0074] 第四项包括如第一项至第三项中任一项所述的玻璃组合物,其中 $9.20 \leq (SiO_2 + Al_2O_3 + Li_2O) / Na_2O \leq 15.50$ 。

[0075] 第五项包括如第一项至第四项中任一项所述的玻璃组合物,其中 $1.50 \leq (Li_2O + Al_2O_3 + P_2O_5) / (Na_2O + B_2O_3) \leq 3.50$ 。

[0076] 第六项包括如第一项至第五项中任一项所述的玻璃组合物,其中 $1.80 \leq (Li_2O + Al_2O_3 + P_2O_5) / (Na_2O + B_2O_3) \leq 3.35$ 。

[0077] 第七项包括如第一项至第六项中任一项所述的玻璃组合物,其中B₂O₃+P₂O₅大于0.0mol%。

[0078] 第八项包括如第一项至第七项中任一项所述的玻璃组合物,其中 $1.00 \leq (Li_2O + Al_2O_3) / (Na_2O + B_2O_3 + P_2O_5) \leq 2.75$ 。

[0079] 第九项包括如第一项至第八项中任一项所述的玻璃组合物,其中Al₂O₃+Li₂O大于21.4mol%。

[0080] 第十项包括如第一项至第九项中任一项所述的玻璃组合物,其中Al₂O₃+Li₂O+Na₂O大于25.0mol%。

[0081] 第十一项包括如第一项至第十项中任一项所述的玻璃组合物,其中 $0.90 < Al_2O_3 / (R_2O + R_0) < 1.20$ 。

[0082] 第十二项包括如第一项至第十一项中任一项所述的玻璃组合物,其中 $1.0 < (Al_2O_3 + B_2O_3 + P_2O_5) / (R_2O + R_0)$ 。

[0083] 第十三项包括如第一项至第十二项中任一项所述的玻璃组合物,其中 $6.96Al_2O_3 - 1.90B_2O_3 + 2.16CaO + 3.30MgO - 1.50Na_2O + 12.74Li_2O - 1.10SrO - 14.50K_2O - 1.87La_2O_3 + 6.13ZrO_2 - 76.40\text{mol\%} > 50.00\text{mol\%}$ 。

[0084] 第十四项包括一种玻璃制品,包括:第一表面;与所述第一表面相对的第二表面,其中所述玻璃制品的厚度(t)是用所述第一表面和所述第二表面之间的距离来表示;和应力层,所述应力层从所述第一表面和所述第二表面中的至少一者延伸到所述玻璃制品的厚度(t),其中所述玻璃制品的中心张力大于或等于60MPa,所述应力层的压缩深度大于或等于0.15t至小于或等于0.25t,并且所述玻璃制品是由玻璃形成的,所述玻璃包括:大于或等于55.0mol%至小于或等于70.0mol%的SiO₂;大于或等于12.0mol%至小于或等于20.0mol%的Al₂O₃;大于或等于5.0mol%至小于或等于15.0mol%的Li₂O;和大于或等于4.0mol%至小于或等于15.0mol%的Na₂O,其中: $-8.00\text{mol\%} \leq R_2O + R_0 - Al_2O_3 - B_2O_3 - P_2O_5 \leq -1.75\text{mol\%}$, $9.00 \leq (SiO_2 + Al_2O_3 + Li_2O) / Na_2O$,以及 $(Li_2O + Al_2O_3 + P_2O_5) / (Na_2O + B_2O_3) \leq 3.50$ 。

[0085] 第十五项包括如第十四项所述的玻璃制品,其中所述玻璃制品的中心张力大于或等于80MPa。

[0086] 第十六项包括如第十四项和第十五项中任一项所述的玻璃制品，其中所述玻璃制品的中心张力大于或等于90MPa。

[0087] 第十七项包括如第十四项至第十六项中任一项所述的玻璃制品，其中所述压应力层的压缩深度大于或等于0.18t至小于或等于0.22t。

[0088] 第十八项包括如第十四项至第十七项中任一项所述的玻璃制品，其中所述玻璃制品的液相粘度大于或等于20kP至小于1000kP。

[0089] 第十九项包括一种消费电子产品，包括：壳体，所述壳体包括前表面、后表面和侧表面；至少部分地位于所述壳体内的电气部件，所述电气部件至少包括控制器、存储器和显示器，所述显示器位于所述壳体的所述前表面处或附近；和设置在所述显示器上方的覆盖基板，其中所述壳体和所述覆盖基板中的至少一者的至少一部分包括如第十四项至第十八项中任一项所述的玻璃制品。

[0090] 第二十项包括一种玻璃制品，包括：第一表面；与所述第一表面相对的第二表面，其中所述玻璃制品的厚度(t)是用所述第一表面和所述第二表面之间的距离来表示；和压应力层，所述压应力层从所述第一表面和所述第二表面中的至少一者延伸到所述玻璃制品的厚度(t)，其中所述玻璃制品的中心张力大于或等于60MPa，所述压应力层的压缩深度大于或等于0.15t至小于或等于0.25t，并且所述玻璃制品具有在所述玻璃制品的中心深度处的组成，所述组成包括：大于或等于55.0mol%至小于或等于70.0mol%的SiO₂；大于或等于12.0mol%至小于或等于20.0mol%的Al₂O₃；大于或等于5.0mol%至小于或等于15.0mol%的Li₂O；和大于或等于4.0mol%至小于或等于15.0mol%的Na₂O，其中： $-8.00\text{mol\%} \leq R_{20} + R_0 - Al_2O_3 - B_2O_3 - P_2O_5 \leq -1.75\text{mol\%}$, $9.00 \leq (SiO_2 + Al_2O_3 + Li_2O) / Na_2O$, 以及 $(Li_2O + Al_2O_3 + P_2O_5) / (Na_2O + B_2O_3) \leq 3.50$ 。

[0091] 第二十一项包括一种玻璃组合物，包括：大于或等于60.0mol%至小于或等于70.0mol%的SiO₂；大于或等于12.0mol%至小于或等于18.0mol%的Al₂O₃；大于或等于5.0mol%至小于或等于10.0mol%的Li₂O；大于或等于4.0mol%至小于或等于10.0mol%的Na₂O；和大于或等于0.75mol%的P₂O₅，其中：Li₂O/Na₂O大于或等于1.00，和Al₂O₃+Li₂O小于或等于25.25mol%。

[0092] 第二十二项包括一种玻璃制品，包括：第一表面；与所述第一表面相对的第二表面，其中所述玻璃制品的厚度(t)是用所述第一表面和所述第二表面之间的距离来表示；和压应力层，所述压应力层从所述第一表面和所述第二表面中的至少一者延伸到所述玻璃制品的厚度(t)，其中所述玻璃制品的中心张力大于或等于60MPa，所述压应力层的压缩深度大于或等于0.15t至小于或等于0.25t，并且所述玻璃制品是由根据第二十一项所述的玻璃形成的。

[0093] 第二十三项包括如第二十二项所述的玻璃制品，其中所述玻璃制品的中心张力大于或等于80MPa。

[0094] 第二十四项包括如第二十二项和第二十三项中任一项所述的玻璃制品，其中所述玻璃制品的中心张力大于或等于90MPa。

[0095] 第二十五项包括如第二十二项至第二十四项中任一项所述的玻璃制品，其中所述压应力层的压缩深度大于或等于0.18t至小于或等于0.22t。

[0096] 第二十六项包括如第二十二项至第二十五项中任一项所述的玻璃制品，其中所述

玻璃的液相粘度大于或等于20kP至小于1000kP。

[0097] 第二十七项包括一种消费电子产品,包括:壳体,所述壳体包括前表面、后表面和侧表面;至少部分地位于所述壳体内的电气部件,所述电气部件至少包括控制器、存储器和显示器,所述显示器位于所述壳体的所述前表面处或附近;和设置在所述显示器上方的覆盖基板,其中所述壳体和所述覆盖基板中的至少一者的至少一部分包括如第二十二项至第二十六项中任一项所述的玻璃制品。

[0098] 实施例

[0099] 通过以下实施例进一步阐明实施方式。应当理解,这些实施例不受限于上述实施方式。

[0100] 通过常规的玻璃形成方法制备具有下表1中列出的组分的玻璃组合物。在表1中,所有组分均以mol%计,并且根据本说明书中公开的方法测量玻璃组合物的各种性质。

[0101] 表1

[0102]

样品	1	2	3	4
SiO ₂	64.94	63.55	63.22	61.97
Al ₂ O ₃	16.26	16.12	16.09	15.69
Li ₂ O	7.67	7.18	7.20	7.01
Na ₂ O	7.94	9.34	9.26	9.11
K ₂ O				
MgO	0.51	0.22	0.21	0.21
ZnO				
CaO				
SrO				
B ₂ O ₃	0.00	0.94	1.37	3.47
P ₂ O ₅	2.46	2.47	2.46	2.37
SnO ₂	0.05	0.05	0.05	0.05
总计	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (R ₂ O + RO)	1.01	0.96	0.97	0.96
Al ₂ O ₃ + Li ₂ O	23.93	23.30	23.29	22.70
Na ₂ O +Li ₂ O+Al ₂ O ₃ +RO	32.38	32.86	32.76	32.02
Al ₂ O ₃ +MgO+ZnO	16.77	16.34	16.30	15.90
Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃	16.26	17.06	17.46	19.16
(Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃ +P ₂ O ₅)/(R ₂ O+RO)	1.16	1.17	1.19	1.32

[0103] 表1-接续

[0104]

样品	1	2	3	4
VFT 粘度系数				
A	-3.66	-3.55	-3.41	-3.18
B	9500.8	9429.9	9138.3	8488.6
To	67.7	14.9	38.2	40.2
在固定粘度下的温度 (P)				
200	1661	1628	1638	1589
35000	1226	1181	1187	1139
200000	1128	1081	1087	1041
10^{11} Poise 温度 (°C)				
密度 (g/cm ³)	2.400	2.402	2.400	2.389
CTE ($\times 10^{-7}$ (1/°C))	70.6	76.7	75.7	75.1
纤维伸长应变点 (°C)	606	569	565	530
纤维伸长退火点 (°C)	661	622	616	580
纤维伸长软化点 (°C)	926.4	884.5	877.9	832.5
光束弯曲粘度应变点(°C)				
光束弯曲粘度退火点 (°C)				
光束弯曲粘度软化点 (°C)				
液相温度 (°C) - 内部	1105	1060	1080	1015
液相-初级相	锂辉石	锂辉石	锂辉石	锂辉石
液相粘度(kP) - 内部	315	301	230	338
测量锆石击穿温度(°C)	1270			
应力光学系数(nm/mm/MPa)	3.002	3.012	3.046	3.121
折射率	1.5041	1.5034	1.5030	1.5030
泊松比	0.213			
E (杨氏模量, GPa)	77.8			
G (剪切模量, GPa)	32.1			
*纤维陶瓷化的				
IOX				
最大 CT (Mpa)	88.5	80.8	82.6	81.1
对于 IOX 的 K%	80	80	80	80
DOL (um)	13.9	18.9	20.0	15.5
CS (Mpa)	623	627	622	610

[0105] 表1-接续

样品	5	6	7	8
SiO ₂	61.15	63.08	63.74	63.66
Al ₂ O ₃	15.49	15.98	16.83	16.53
Li ₂ O	6.87	7.06	7.46	7.38
Na ₂ O	9.01	9.27	9.24	8.17
K ₂ O				
MgO	0.22	0.22		0.22
ZnO				
CaO				0.33
SrO				0.20
B ₂ O ₃	4.72	1.36		1.35
P ₂ O ₅	2.36	2.86	2.50	2.01
SnO ₂	0.05	0.05	0.05	0.04
总计	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (R ₂ O + RO)	0.96	0.97	1.01	1.01
Al ₂ O ₃ + Li ₂ O	22.36	23.04	24.29	23.91
Na ₂ O +Li ₂ O+Al ₂ O ₃ +RO	31.59	32.53	33.53	32.83
Al ₂ O ₃ +MgO+ZnO	15.71	16.20	16.83	16.75
Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃	20.21	17.34	16.83	17.88
(Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃ +P ₂ O ₅)/(R ₂ O+RO)	1.40	1.22	1.16	1.22

[0106] 表1-接续

[0108]

样品	5	6	7	8
VFT 粘度系数				
A	-3.31	-3.32	-3.34	-3.24
B	8868.2	8814.9	8646.9	8372.7
To	-9.5	63.0	126.2	122.8
在固定粘度下的温度 (P)				
200	1572	1631	1659	1634
35000	1120	1184	1223	1198
200000	1021	1085	1127	1103
10^{11} Poise 温度 (°C)				
密度 (g/cm ³)	2.383	2.398	2.407	2.405
CTE (*10 ⁻⁷ (1/°C))	73.9	75.5	76	70.9
纤维伸长应变点 (°C)	516	561	608	585
纤维伸长退火点 (°C)	564	613	661	638
纤维伸长软化点 (°C)	813.7	878.0	924.0	897.8
光束弯曲粘度应变点(°C)				
光束弯曲粘度退火点 (°C)				
光束弯曲粘度软化点 (°C)				
液相温度 (°C) - 内部	985	1050	1095	1080
液相-初级相	锂辉石	锂辉石	锂辉石	锂辉石
液相粘度(kP) - 内部	409	408	384	321
测量锆石击穿温度(°C)	1250	1260		
应力光学系数 (nm/mm/MPa)	3.172	3.065	3.010	3.057
折射率	1.5023	1.5013	1.5044	1.5055
泊松比			0.211	0.218
E (杨氏模量, GPa)			77.4	77.2
G (剪切模量, GPa)			32.0	31.7
*纤维陶瓷化的				
IOX				
最大 CT (Mpa)	75.4	77.2	70.0	78.0
对于 IOX 的 K%	80	80	80	80
DOL (um)	13.8	19.2		
CS (Mpa)	591	628		

[0109] 表1-接续

[0110]

样品	9	10	11	12
SiO ₂	63.65	62.69	62.75	62.89
Al ₂ O ₃	16.20	16.01	15.82	15.42
Li ₂ O	7.32	6.86	6.93	6.91
Na ₂ O	7.12	8.58	7.60	5.78
K ₂ O				
MgO	0.41		0.22	0.61
ZnO				
CaO	0.62		0.33	0.91
SrO	0.41		0.21	0.61
B ₂ O ₃	2.60	3.18	4.04	5.72
P ₂ O ₅	1.52	2.45	1.97	1.01
SnO ₂	0.04	0.04	0.04	0.04
总计	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (R ₂ O + RO)	1.02	1.04	1.04	1.04
Al ₂ O ₃ + Li ₂ O	23.52	22.87	22.75	22.34
Na ₂ O +Li ₂ O+Al ₂ O ₃ +RO	32.09	31.45	31.10	30.24
Al ₂ O ₃ +MgO+ZnO	16.62	16.01	16.04	16.03
Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃	18.80	19.19	19.86	21.14
(Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃ +P ₂ O ₅)/(R ₂ O+RO)	1.28	1.40	1.43	1.49

[0111] 表1-接续

[0112]

样品	9	10	11	12
VFT 粘度系数				
A	-3.12	-3.66	-3.69	-3.22
B	8031.5	9526.4	9520.6	8130.5
To	129.2	20.4	15.6	99.2
在固定粘度下的温度 (P)				
200	1610	1618	1606	1573
35000	1177	1181	1173	1147
200000	1083	1083	1075	1054
10^{11} Poise 温度 (°C)				
密度 (g/cm ³)	2.403	2.384	2.386	2.392
CTE ($\times 10^{-7}$ (1/°C))	66.5	72.4	68.7	60.6
纤维伸长应变点 (°C)	572	550	552	555
纤维伸长退火点 (°C)	624	603	604	607
纤维伸长软化点 (°C)		868.9	863.3	855.4
光束弯曲粘度应变点(°C)				
光束弯曲粘度退火点 (°C)				
光束弯曲粘度软化点 (°C)				
液相温度 (°C) - 内部	1095	1040	1050	1050
液相-初级相	锂辉石	锂辉石	锂辉石	锂辉石
液相粘度(kPa) - 内部	156	480	330	216
测量锆石击穿温度(°C)				
应力光学系数 (nm/mm/MPa)	3.076	3.153	3.176	3.165
折射率	1.5068	1.5017	1.5034	1.5073
泊松比	0.218	0.213	0.215	0.218
E (杨氏模量, GPa)	76.8	73.8	74.3	75.7
G (剪切模量, GPa)	31.6	30.5	30.6	31.1
*纤维陶瓷化的				
IOX				
最大 CT (Mpa)	94.7	71.0	73.0	90.7
对于 IOX 的 K%	60	80	80	60
DOL (um)				
CS (Mpa)				

[0113] 表1-接续

样品	13	14	15	16
SiO ₂	62.67	62.75	62.72	62.73
Al ₂ O ₃	15.99	15.68	15.70	15.70
Li ₂ O	6.83	6.79	6.80	6.80
Na ₂ O	8.93	9.23	8.91	8.94
K ₂ O				
MgO			0.32	
ZnO				0.30
CaO				
SrO				
B ₂ O ₃	2.89	2.91	2.90	2.89
P ₂ O ₅	2.48	2.45	2.47	2.44
SnO ₂	0.05	0.05	0.05	0.05
总计	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (R ₂ O + RO)	1.01	0.98	0.98	0.98
Al ₂ O ₃ + Li ₂ O	22.82	22.47	22.50	22.50
Na ₂ O +Li ₂ O+Al ₂ O ₃ +RO	31.75	31.70	31.73	31.74
Al ₂ O ₃ +MgO+ZnO	15.99	15.68	16.02	16.00
Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃	18.88	18.58	18.60	18.59
(Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃ +P ₂ O ₅)/(R ₂ O+RO)	1.36	1.31	1.31	1.31

[0114]

[0115] 表1-接续

[0116]

样品	13	14	15	16
VFT 粘度系数				
A	-3.13	-3.54	-3.60	-3.65
B	8356.9	9466.9	9566.8	9754
To	85.6	-3.7	-7.0	-28.0
在固定粘度下的温度 (P)				
200	1626	1618	1613	1611
35000	1175	1168	1167	1162
200000	1077	1067	1067	1062
10^{11} Poise 温度 (°C)				
密度 (g/cm ³)	2.386	2.388	2.389	2.392
CTE (*10 ⁻⁷ (1/°C))	73.2	75	73.5	74
纤维伸长应变点 (°C)	552	549	549	540
纤维伸长退火点 (°C)	603	598	598	590
纤维伸长软化点 (°C)	863.6	856.7	856.1	848.6
光束弯曲粘度应变点(°C)				
光束弯曲粘度退火点 (°C)				
光束弯曲粘度软化点 (°C)				
液相温度 (°C) - 内部	1045	1030	1020	1020
液相-初级相	锂辉石	锂辉石	锂辉石	锂辉石
液相粘度(kPa) - 内部	385	417	514	453
测量锆石击穿温度(°C)				
应力光学系数 (nm/mm/MPa)	3.175	3.135	3.118	3.150
折射率	1.5020	1.5023	1.5026	1.5029
泊松比	0.212	0.215	0.216	0.210
E (杨氏模量, GPa)	73.7	73.7	74.1	73.8
G (剪切模量, GPa)	30.4	30.3	30.5	30.5
*纤维陶瓷化的				
IOX				
最大 CT (Mpa)	67.9	69.2	72.7	63.1
对于 IOX 的 K%	80	80	80	80
DOL (um)	8.5	12.2	11.4	8.4
CS (Mpa)	612	596	602	600

[0117] 表1-接续

样品	17	18	19	20
SiO ₂	62.78	62.70	63.46	63.42
Al ₂ O ₃	15.41	15.39	15.32	15.23
Li ₂ O	6.79	6.84	6.43	6.63
Na ₂ O	9.20	9.23	8.26	6.94
K ₂ O				
MgO	0.32		0.41	0.60
ZnO		0.29	0.68	0.46
CaO			0.62	0.92
SrO			0.41	0.60
B ₂ O ₃	2.87	2.89	2.79	4.09
P ₂ O ₅	2.45	2.46	1.48	0.99
SnO ₂	0.05	0.05	0.04	0.03
总计	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (R ₂ O + RO)	0.94	0.94	0.91	0.94
Al ₂ O ₃ + Li ₂ O	22.20	22.23	21.75	21.86
Na ₂ O +Li ₂ O+Al ₂ O ₃ +RO	31.72	31.75	32.13	31.37
Al ₂ O ₃ +MgO+ZnO	15.73	15.68	16.42	16.28
Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃	18.28	18.28	18.11	19.32
(Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃ +P ₂ O ₅)/(R ₂ O+RO)	1.27	1.27	1.17	1.26

[0118] [0119] 表1-接续

[0120]

样品	17	18	19	20
VFT 粘度系数				
A	-4.02	-2.78	-4.02	-2.78
B	10772.8	7764.8	10772.8	7764.8
To	-98.8	94.6	-98.8	94.6
在固定粘度下的温度 (P)				
200	1606	1622	1606	1622
35000	1160	1154	1160	1154
200000	1057	1055	1057	1055
10^{11} Poise 温度 (°C)				
密度 (g/cm ³)	2.391	2.395	2.391	2.395
CTE (*10 ⁻⁷ (1/°C))	75	74.6	75	74.6
纤维伸长应变点 (°C)	538	538	538	538
纤维伸长退火点 (°C)	586	586	586	586
纤维伸长软化点 (°C)	843.3	841.2	843.3	841.2
光束弯曲粘度应变点(°C)				
光束弯曲粘度退火点 (°C)				
光束弯曲粘度软化点 (°C)				
液相温度 (°C) - 内部	1015	1015	1015	1015
液相-初级相	锂辉石	锂辉石	锂辉石	锂辉石
液相粘度(kP) - 内部	452	449	452	449
测量锆石击穿温度(°C)				
应力光学系数 (nm/mm/MPa)	3.127	3.137	3.127	3.137
折射率	1.5026	1.5028	1.5026	1.5028
泊松比	0.217	0.214	0.217	0.214
E (杨氏模量, GPa)	74.1	73.9	74.1	73.9
G (剪切模量, GPa)	30.5	30.4	30.5	30.4
*纤维陶瓷化的				
IOX				
最大 CT (Mpa)	66.7	70.1	66.7	70.1
对于 IOX 的 K%	80	80	80	80
DOL (um)	8.5	11.9	8.5	11.9
CS (Mpa)	601	580	601	580

[0121] 表1-接续

样品	21	22	23	24
SiO ₂	63.50	63.56	65.31	64.75
Al ₂ O ₃	15.12	15.03	15.36	15.34
Li ₂ O	6.69	6.46	7.14	7.19
Na ₂ O	5.63	6.22	8.07	8.09
K ₂ O				
MgO	0.79	0.59	0.23	0.23
ZnO	0.23	0.46		
CaO	1.22	0.93	0.36	0.36
SrO	0.81	0.60	0.21	0.21
B ₂ O ₃	5.40	5.05	1.20	1.20
P ₂ O ₅	0.51	0.99	1.99	2.48
SnO ₂	0.03	0.04	0.04	0.04
总计	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (R ₂ O + RO)	0.98	0.99	0.96	0.95
Al ₂ O ₃ + Li ₂ O	21.81	21.48	22.50	22.53
Na ₂ O +Li ₂ O+Al ₂ O ₃ +RO	30.48	30.28	31.36	31.42
Al ₂ O ₃ +MgO+ZnO	16.13	16.07	15.59	15.57
Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃	20.52	20.07	16.56	16.54
(Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃ +P ₂ O ₅)/(R ₂ O+RO)	1.37	1.38	1.16	1.18

[0122] 表1-接续

[0124]

样品	21	22	23	24
VFT 粘度系数				
A	-3.27	-3.08	-3.43	-3.65
B	8264.6	7920.8	9196.3	9772.5
To	76.4	100.2	53.5	11.1
在固定粘度下的温度 (P)				
200	1560	1573	1658	1654
35000	1134	1140	1207	1204
200000	1041	1046	1107	1103
10^{11} Poise 温度 (°C)				
密度 (g/cm ³)	2.407	2.402	2.400	2.398
CTE (*10 ⁻⁷ (1/°C))	60.2	61.1	70.8	71.3
纤维伸长应变点 (°C)	550	549	575	575
纤维伸长退火点 (°C)	599	598	629	628
纤维伸长软化点 (°C)	840.0	844.6	895.6	893.5
光束弯曲粘度应变点(°C)				
光束弯曲粘度退火点 (°C)				
光束弯曲粘度软化点 (°C)				
液相温度 (°C) - 内部	1055	1045	1085	1080
液相-初级相	锂辉石	锂辉石	锂辉石	锂辉石
液相粘度(kP) - 内部	150	203	307	313
测量锆石击穿温度(°C)				
应力光学系数 (nm/mm/MPa)	3.177	3.199	3.054	3.063
折射率	1.5101	1.5080	1.5040	1.5036
泊松比	0.218	0.221	0.210	0.210
E (杨氏模量, GPa)	75.9	75.5	76.4	76.0
G (剪切模量, GPa)	31.1	30.9	31.6	31.4
*纤维陶瓷化的				
IOX				
最大 CT (Mpa)			75.8	71.4
对于 IOX 的 K%			80	80
DOL (um)			14.3	15
CS (Mpa)			641	625

[0125] 表1-接续

样品	25	26	27	28
SiO ₂	64.27	65.34	64.78	64.33
Al ₂ O ₃	15.35	15.37	15.35	15.35
Li ₂ O	7.16	7.12	7.18	7.14
Na ₂ O	8.13	7.68	7.72	7.74
K ₂ O				
MgO	0.23	0.24	0.23	0.23
ZnO				
CaO	0.36	0.36	0.36	0.36
SrO	0.21	0.21	0.21	0.21
B ₂ O ₃	1.19	1.20	1.20	1.18
P ₂ O ₅	2.97	1.99	2.48	2.97
SnO ₂	0.04	0.04	0.04	0.04
总计	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (R ₂ O + RO)	0.95	0.98	0.98	0.98
Al ₂ O ₃ + Li ₂ O	22.51	22.49	22.53	22.49
Na ₂ O +Li ₂ O+Al ₂ O ₃ +RO	31.44	30.98	31.05	31.03
Al ₂ O ₃ +MgO+ZnO	15.58	15.61	15.58	15.58
Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃	16.53	16.57	16.55	16.53
(Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃ +P ₂ O ₅)/(R ₂ O+RO)	1.21	1.19	1.21	1.24

[0126] 表1-接续

[0128]

样品	25	26	27	28
VFT 粘度系数				
A	-3.55	-3.39	-3.92	-3.60
B	9513.8	9158.6	10489.9	9622.5
To	22.0	55.1	-33.9	19.7
在固定粘度下的温度 (P)				
200	1647	1664	1652	1651
35000	1197	1209	1205	1202
200000	1097	1109	1104	1101
10 ¹¹ Poise 温度 (°C)				
密度 (g/cm ³)	2.397	2.399	2.396	2.395
CTE (*10 ⁻⁷ (1/°C))	70.4	71.1	71.5	71.5
纤维伸长应变点 (°C)	566	578	569	563
纤维伸长退火点 (°C)	618	631	621	616
纤维伸长软化点 (°C)	883.9	897.6	890.2	883.0
光束弯曲粘度应变点(°C)				
光束弯曲粘度退火点 (°C)				
光束弯曲粘度软化点 (°C)				
液相温度 (°C) - 内部	1060	1080	1080	1070
液相-初级相	锂辉石	锂辉石	锂辉石	锂辉石
液相粘度(kP) - 内部	411	349	314	367
测量锆石击穿温度(°C)				
应力光学系数 (nm/mm/MPa)	3.066	3.053	3.045	3.056
折射率	1.5028	1.5039	1.5032	1.5023
泊松比	0.213	0.208	0.208	0.211
E (杨氏模量, GPa)	75.7	76.3	75.7	75.4
G (剪切模量, GPa)	31.2	31.6	31.3	31.1
*纤维陶瓷化的				
IOX				
最大 CT (Mpa)	71.5	77.7	72.4	68.7
对于 IOX 的 K%	80	80	80	80
DOL (um)	10.8	15.1	15.8	17.2
CS (Mpa)	631	634	625	610

[0129] 表1-接续

样品	29	30	31	32
SiO ₂	65.67	65.72	61.76	61.88
Al ₂ O ₃	14.96	14.98	16.76	16.46
Li ₂ O	8.44	8.09	7.20	6.67
Na ₂ O	7.10	7.41	9.79	9.92
K ₂ O				
MgO			1.93	1.42
ZnO				
CaO				
SrO				
B ₂ O ₃	1.22	1.20	0.50	3.54
P ₂ O ₅	2.47	2.47	1.94	0.00
SnO ₂	0.03	0.03	0.03	0.03
总计	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (R ₂ O + RO)	0.96	0.97	0.89	0.91
Al ₂ O ₃ + Li ₂ O	23.41	23.07	23.96	23.13
Na ₂ O +Li ₂ O+Al ₂ O ₃ +RO	30.51	30.48	35.68	34.47
Al ₂ O ₃ +MgO+ZnO	14.96	14.98	18.69	17.88
Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃	16.18	16.18	17.26	20.00
(Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃ +P ₂ O ₅)/(R ₂ O+RO)	1.20	1.20	1.01	1.11

[0130] 表1-接续

[0131] 表1-接续

[0132]

样品	29	30	31	32
VFT 粘度系数				
A	-3.11	-3.62	-3.44	-3.83
B	8482.5	9733.5	8733.9	9765
To	93.8	10.5	78	-29.5
在固定粘度下的温度 (P)				
200	1661	1656	1600	1564
35000	1202	1203	1172	1137
200000	1102	1102	1078	1040
10 ¹¹ Poise 温度 (°C)				
密度 (g/cm ³)				
CTE (*10 ⁻⁷ (1/°C))				
纤维伸长应变点 (°C)			586	541
纤维伸长退火点 (°C)			636	590
纤维伸长软化点 (°C)			880.5	834.5
光束弯曲粘度应变点(°C)				
光束弯曲粘度退火点 (°C)				
光束弯曲粘度软化点 (°C)				
液相温度 (°C) - 内部	1120	1110	1050	1025
液相-初级相	锂辉石	锂辉石	锂辉石	锂辉石
液相粘度(kP) - 内部	143	173	354	271
测量锆石击穿温度(°C)				
应力光学系数 (nm/mm/MPa)				
折射率				
泊松比				
E (杨氏模量, GPa)				
G (剪切模量, GPa)				
*纤维陶瓷化的				
IOX				
最大 CT (Mpa)			85	80
对于 IOX 的 K%			80	80
DOL (um)			14.24	10.72
CS (Mpa)			680	720

[0133] 表1-接续

[0134]

样品	33	34	35	36
SiO ₂	67.79	66.81	66.25	65.77
Al ₂ O ₃	14.75	14.40	14.77	15.18
Li ₂ O	6.25	7.79	7.83	7.82
Na ₂ O	8.80	3.06	4.25	5.41
K ₂ O				
MgO	2.29			
ZnO				
CaO				
SrO				
B ₂ O ₃	0.00	4.11	3.37	2.57
P ₂ O ₅	0.00	3.64	3.34	3.05
SnO ₂	0.03	0.05	0.04	0.04
总计	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (R ₂ O + RO)	0.85	1.33	1.22	1.15
Al ₂ O ₃ + Li ₂ O	21.00	22.19	22.60	22.99
Na ₂ O +Li ₂ O+Al ₂ O ₃ +RO	32.09	25.25	26.85	28.41
Al ₂ O ₃ +MgO+ZnO	17.04	14.40	14.77	15.18
Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃	14.75	18.51	18.14	17.75
(Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃ +P ₂ O ₅)/(R ₂ O+RO)	0.85	2.04	1.78	1.57

[0135] 表1-接续

[0136]

样品	33	34	35	36
VFT 粘度系数				
A	-3.59	-3.52	-3.29	-3.46
B	9618	9361.4	8722.1	9190.6
To	38.1	64.6	110.1	67.8
在固定粘度下的温度 (P)				
200	1672	1673	1671	1662
35000	1221	1226	1224	1215
200000	1120	1126	1126	1116
10^{11} Poise 温度 ($^{\circ}\text{C}$)				
密度 (g/cm^3)				
CTE ($*10^{-7}$ ($1/\text{ }^{\circ}\text{C}$))				
纤维伸长应变点 ($^{\circ}\text{C}$)	598			
纤维伸长退火点 ($^{\circ}\text{C}$)	650			
纤维伸长软化点 ($^{\circ}\text{C}$)				
光束弯曲粘度应变点($^{\circ}\text{C}$)				
光束弯曲粘度退火点 ($^{\circ}\text{C}$)				
光束弯曲粘度软化点 ($^{\circ}\text{C}$)				
液相温度 ($^{\circ}\text{C}$) - 内部	1075	1135	1130	1125
液相-初级相	锂辉石	锂辉石	锂辉石	锂辉石
液相粘度(kP) - 内部	489	169	184	170
测量锆石击穿温度($^{\circ}\text{C}$)				
应力光学系数 ($\text{nm}/\text{mm}/\text{MPa}$)				
折射率				
泊松比				
E (杨氏模量, GPa)				
G (剪切模量, GPa)				
*纤维陶瓷化的				
IOX				
最大 CT (Mpa)	80			
对于 IOX 的 K%	80			
DOL (um)	9.76			
CS (Mpa)	662			

[0137] 表1-接续

样品	37	38	39	40
SiO ₂	65.27	64.62	64.28	62.46
Al ₂ O ₃	15.58	15.94	14.98	15.98
Li ₂ O	7.85	7.85	7.86	7.85
Na ₂ O	6.58	7.92	4.82	4.82
K ₂ O				
MgO				
ZnO				
CaO				
SrO				
B ₂ O ₃	1.77	0.99	4.90	4.78
P ₂ O ₅	2.75	2.47	2.96	3.93
SnO ₂	0.04	0.04	0.05	0.04
总计	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (R ₂ O + RO)	1.08	1.01	1.18	1.26
Al ₂ O ₃ + Li ₂ O	23.43	23.79	22.84	23.82
Na ₂ O +Li ₂ O+Al ₂ O ₃ +RO	30.01	31.71	27.66	28.64
Al ₂ O ₃ +MgO+ZnO	15.58	15.94	14.98	15.98
Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃	17.35	16.93	19.88	20.76
(Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃ +P ₂ O ₅)/(R ₂ O+RO)	1.39	1.23	1.80	1.95

[0138]

表1-接续

[0140]

样品	37	38	39	40
VFT 粘度系数				
A	-3.20	-3.27	-3.73	-3.42
B	8563.4	8725.8	9716.3	8763.3
To	112.5	97	4.2	67.3
在固定粘度下的温度 (P)				
200	1669	1664	1616	1600
35000	1218	1214	1179	1168
200000	1120	1115	1080	1073
10 ¹¹ Poise 温度 (°C)				
密度 (g/cm ³)				
CTE (*10 ⁻⁷ (1/°C))				
纤维伸长应变点 (°C)				
纤维伸长退火点 (°C)				
纤维伸长软化点 (°C)				
光束弯曲粘度应变点(°C)				
光束弯曲粘度退火点 (°C)				
光束弯曲粘度软化点 (°C)				
液相温度 (°C) - 内部	1125	1105	1080	1110
液相-初级相	锂辉石	锂辉石	锂辉石	锂辉石
液相粘度(kP) - 内部	181	245	202	98
测量锆石击穿温度(°C)				
应力光学系数 (nm/mm/MPa)				
折射率				
泊松比				
E (杨氏模量, GPa)				
G (剪切模量, GPa)				
*纤维陶瓷化的				
IOX				
最大 CT (Mpa)				
对于 IOX 的 K%				
DOL (um)				
CS (Mpa)				

[0141] 表1-接续

样品	41	42	43	44
SiO ₂	60.47	63.41	64.52	63.18
Al ₂ O ₃	16.92	14.97	15.22	15.65
Li ₂ O	7.86	7.85	8.46	7.61
Na ₂ O	4.81	4.78	3.65	4.75
K ₂ O				
MgO				
ZnO				
CaO				
SrO				
B ₂ O ₃	4.87	4.91	3.45	3.32
P ₂ O ₅	4.88	3.89	4.51	5.30
SnO ₂	0.04	0.04	0.04	0.04
总计	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (R ₂ O + RO)	1.34	1.19	1.26	1.27
Al ₂ O ₃ + Li ₂ O	24.78	22.81	23.68	23.26
Na ₂ O +Li ₂ O+Al ₂ O ₃ +RO	29.59	27.59	27.33	28.01
Al ₂ O ₃ +MgO+ZnO	16.92	14.97	15.22	15.65
Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃	21.79	19.88	18.67	18.96
(Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃ +P ₂ O ₅)/(R ₂ O+RO)	2.11	1.88	1.91	1.96

[0142] 表1-接续

[0144]

样品	41	42	43	44
VFT 粘度系数				
A	-3.20	-3.68	-3.29	-3.31
B	8138.4	9752.6	8715.6	8803.5
To	112.6	-5.6	93.8	83
在固定粘度下的温度 (P)				
200	1591	1624	1652	1651
35000	1163	1180	1206	1203
200000	1070	1080	1108	1105
10 ¹¹ Poise 温度 (°C)				
密度 (g/cm ³)				
CTE (*10 ⁻⁷ (1/°C))				
纤维伸长应变点 (°C)				
纤维伸长退火点 (°C)				
纤维伸长软化点 (°C)				
光束弯曲粘度应变点(°C)				
光束弯曲粘度退火点 (°C)				
光束弯曲粘度软化点 (°C)				
液相温度 (°C) - 内部	1065	1065	1120	1070
液相-初级相	锂辉石	锂辉石	锂辉石	锂辉石
液相粘度(kP) - 内部	220	266	159	404
测量锆石击穿温度(°C)				
应力光学系数 (nm/mm/MPa)				
折射率				
泊松比				
E (杨氏模量, GPa)				
G (剪切模量, GPa)				
*纤维陶瓷化的				
IOX				
最大 CT (Mpa)				
对于 IOX 的 K%				
DOL (um)				
CS (Mpa)				

[0145] 表1-接续

样品	45	46	47
SiO ₂	63.64	63.66	63.61
Al ₂ O ₃	15.39	16.19	16.22
Li ₂ O	8.10	8.07	7.99
Na ₂ O	7.30	8.11	8.20
K ₂ O		0.52	0.52
MgO		0.33	0.32
ZnO			
CaO			
SrO			
B ₂ O ₃	1.95	0.38	0.39
P ₂ O ₅	3.58	2.67	2.67
SnO ₂	0.05	0.05	0.05
总计	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (R ₂ O + RO)	1.00	0.95	0.95
Al ₂ O ₃ + Li ₂ O	23.49	24.26	24.21
Na ₂ O +Li ₂ O+Al ₂ O ₃ +RO	30.79	32.70	32.73
Al ₂ O ₃ +MgO+ZnO	15.39	16.53	16.55
Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃	17.34	16.58	16.62
(Al ₂ O ₃ +B ₂ O ₃ +P ₂ O ₅)/(R ₂ O+RO)	1.36	1.13	1.13

[0146]

[0147] 表1-接续

样品	45	46	47
VFT 粘度系数			
A	-3.74	-2.91	-3.53
B	10098.8	7803.3	9361
To	-29.6	146.2	28.1
在固定粘度下的温度 (P)			
200	1642.37	1643.95	1634.58
35000	1189.61	1193.19	1188.07
200000	1087.52	1096.66	1088.59
10^{11} Poise 温度 (°C)			
密度 (g/cm ³)	2.370		
CTE (*10 ⁻⁷ (1/°C))	70.7		
纤维伸长应变点 (°C)	543		
纤维伸长退火点 (°C)	597		
纤维伸长软化点 (°C)	867.9		
光束弯曲粘度应变点(°C)			
[0148] 光束弯曲粘度退火点 (°C)			
光束弯曲粘度软化点 (°C)			
液相温度 (°C) - 内部	1070	1100	1115
液相-初级相			
液相粘度(kP) - 内部	279	187	122
测量锆石击穿温度(°C)			
应力光学系数 (nm/mm/MPa)			
折射率			
泊松比			
E (杨氏模量, GPa)			
G (剪切模量, GPa)			
*纤维陶瓷化的			
IOX			
最大 CT (Mpa)	72		
对于 IOX 的 K%	70		
DOL (um)	10		
CS (Mpa)	570		

[0149] 除非另有说明,否则本说明书中描述的所有组成成分、关系和比例均以mol% 提供。本说明书中公开的所有范围包括广泛公开的范围所涵盖的任何和所有的范围和子范

围,无论是否在公开范围之前或之后明确说明。

[0150] 对于本领域技术人员将显而易见的是,在不背离所要求保护主题的精神和范围的情况下,能够对本文描述的实施方式进行各种修改和变化。因此,本说明书旨在覆盖本文描述的各种实施方式的修改和变化,只要这些修改和变化落入所附权利要求书及其等同物的范围内。

[0151] 如本文所用,数字中的尾随0旨在表示该数字的有效数位。例如,数字“1.0”包括两个有效数位,而数字“1.00”包括三个有效数位。

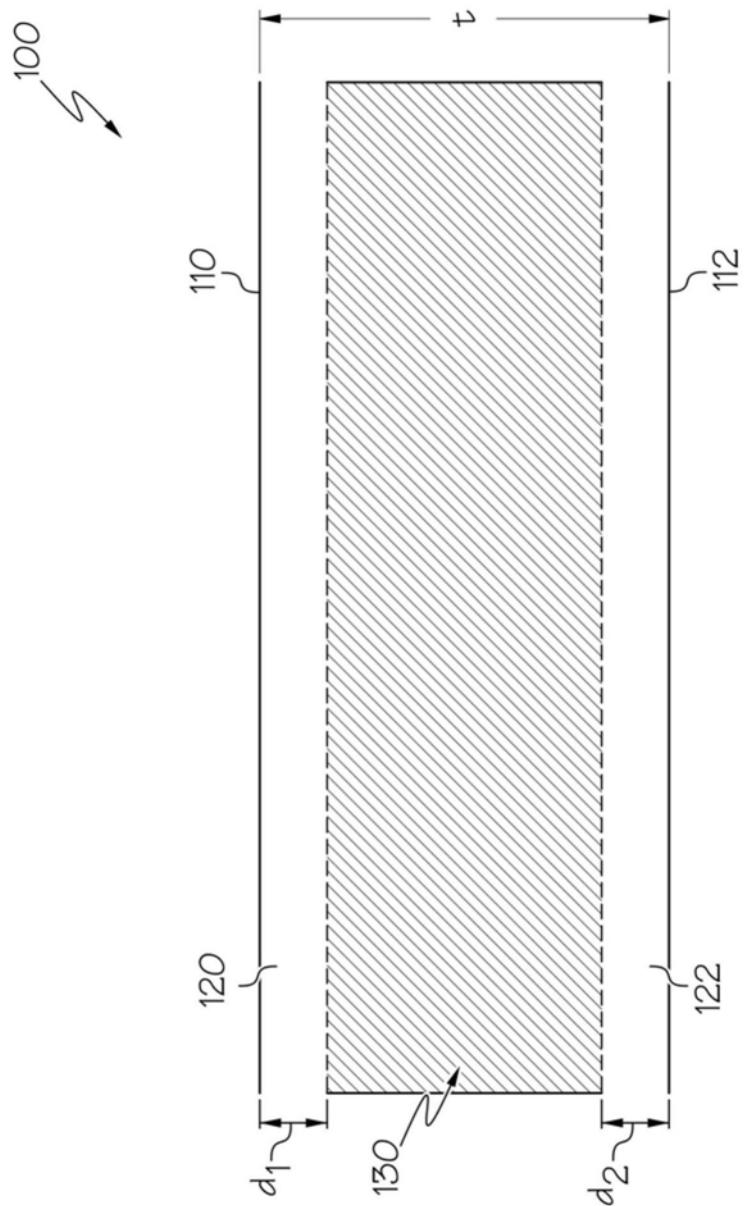


图1

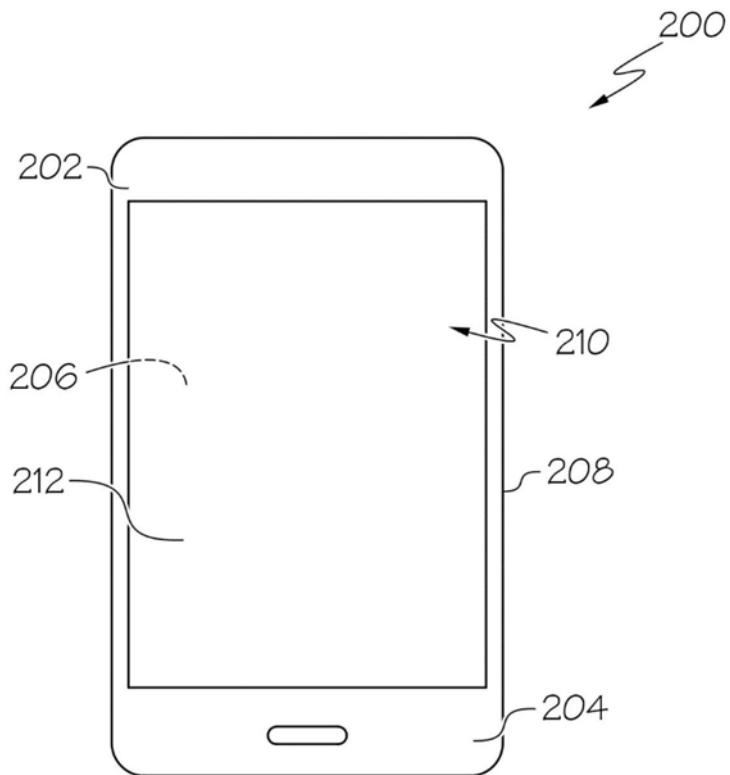


图2A

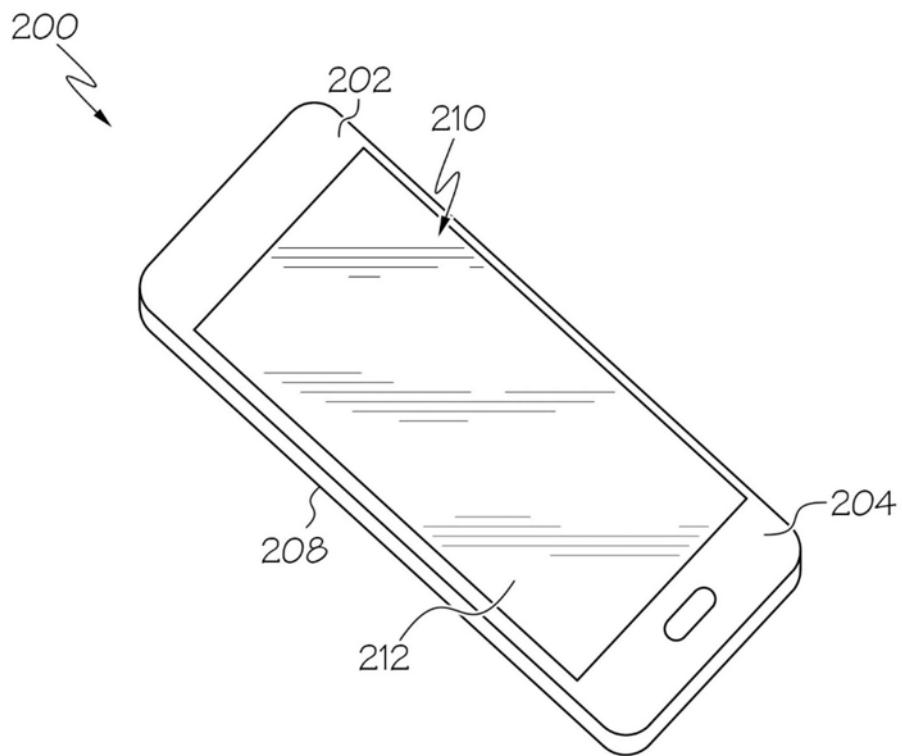


图2B