(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 117597318 A
(43)申请公布日 2024.02.23

(21)申请号 202280047590.6
(22)申请日 2022.06.16
(30)优先权数据
63/212,145 2021.06.18 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.01.03
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2022/033704 2022.06.16
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2022/266274 EN 2022.12.22
(71)申请人 康宁公司
地址 美国纽约
(72)发明人 乔治·哈尔茜·比尔 付强
查伦·玛丽·史密斯
阿拉娜·玛丽·惠蒂尔
(74)专利代理机构 北京律诚同业知识产权代理有限公司 11006
专利代理师 徐金国 吴启超
(51)Int.Cl.
C03C 3/083(2006.01)

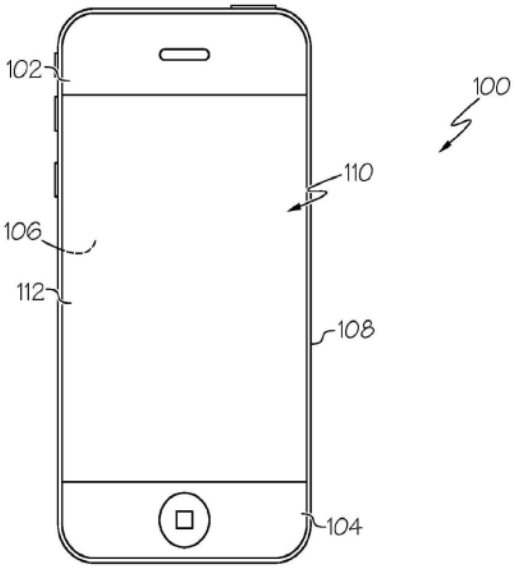
权利要求书5页 说明书37页 附图4页

(54)发明名称

前体玻璃及由其制成并有改进的机械耐久性的透明玻璃陶瓷制品

(57)摘要

一种玻璃-陶瓷制品包含60mol%至72mol% SiO_2;2.5mol%至8mol% Al_2O_3;17mol%至26mol% Li_2O;0.2mol%至4mol% ZrO_2;及0.5mol%至2mol% P_2O_5。玻璃-陶瓷制品中的碱土金属氧化物及过渡金属氧化物的总和可为0.1mol%至6mol%,其中碱土金属氧化物为CaO、MgO、SrO、及BaO的总和并且过渡金属氧化物为 La_2O_3、Y_2O_3、Ta_2O_5、及 GeO_2的总和。玻璃-陶瓷制品中的 P_2O_5及 ZrO_2的总和可为1mol%至6mol%。所述玻璃-陶瓷制品可包含包括二硅酸锂及透锂长石的结晶相。基于结晶相的总重量,玻璃-陶瓷制品的结晶相中的二硅酸锂及透锂长石的总量可大于50wt%。



CN 117597318 A

1.一种玻璃-陶瓷制品,其包括:

大于或等于60mol%并且小于或等于72mol%SiO_2;

大于或等于2.5mol%并且小于或等于8mol%Al_2O_3;

大于或等于17mol%并且小于或等于26mol%Li_2O;

大于或等于0.2mol%并且小于或等于4mol%ZrO_2;及

大于或等于0.5mol%并且小于或等于2mol%P_2O_5,其中:

碱土金属氧化物+过渡金属氧化物大于或等于0.1mol%并且小于或等于6mol%,其中碱土金属氧化物为CaO、MgO、SrO、及BaO的总和并且过渡金属氧化物为La_2O_3、Y_2O_3、Ta_2O_5、及GeO_2的总和;

P_2O_5+ZrO_2大于或等于1mol%并且小于或等于6mol%;

(SiO_2+Al_2O_3)/(P_2O_5+ZrO_2)大于或等于12mol%并且小于或等于34mol%;及

所述玻璃-陶瓷制品包含包括二硅酸锂及透锂长石的结晶相,其中基于所述结晶相的总重量,二硅酸锂及透锂长石的总量大于50wt%。

2.如权利要求1所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品包含大于或等于0.5mol%并且小于或等于4mol%ZrO_2。

3.如权利要求1或权利要求2所述的玻璃-陶瓷制品,其中碱土金属氧化物+过渡金属氧化物大于或等于0.1mol%并且小于或等于5mol%。

4.如权利要求1至3中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中P_2O_5+ZrO_2大于或等于2mol%并且小于或等于5mol%。

5.如权利要求1至4中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中(SiO_2+Al_2O_3)/(P_2O_5+ZrO_2)大于或等于14mol%并且小于或等于32mol%。

6.如权利要求1至5中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中Li_2O与Al_2O_3的摩尔比大于或等于2并且小于或等于12。

7.如权利要求6所述的玻璃-陶瓷制品,其中Li_2O与Al_2O_3的摩尔比大于或等于4并且小于或等于10。

8.如权利要求1至7中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中Li_2O与SiO_2的摩尔比大于或等于0.25并且小于或等于0.5。

9.如权利要求8所述的玻璃-陶瓷制品,其中Li_2O与SiO_2的摩尔比大于或等于0.25并且小于或等于0.4。

10.如权利要求1至9中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品包含大于或等于2.5mol%并且小于或等于6mol%Al_2O_3。

11.如权利要求1至10中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品包含大于或等于18mol%并且小于或等于24mol%Li_2O。

12.如权利要求1至11中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品包含大于或等于0.7mol%并且小于或等于1.75mol%P_2O_5。

13.如权利要求1至12中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中R_2O大于或等于17mol%并且小于或等于30mol%并且R_2O为Li_2O、Na_2O、及K_2O的总和。

14.如权利要求1至13中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品包含:

大于或等于0mol%并且小于或等于6mol%Na_2O;及

大于或等于0mol％并且小于或等于6mol％K_2O。

15.如权利要求1至14中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品包含:

大于或等于0mol％并且小于或等于8mol％CaO;

大于或等于0mol％并且小于或等于8mol％MgO;

大于或等于0mol％并且小于或等于8mol％SrO;及

大于或等于0mol％并且小于或等于8mol％BaO。

16.如权利要求1至15中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品包含:

大于或等于0mol％并且小于或等于4mol％La_2O_3;

大于或等于0mol％并且小于或等于6mol％Y_2O_3;

大于或等于0mol％并且小于或等于3mol％Ta_2O_5;及

大于或等于0mol％并且小于或等于2mol％GeO_2。

17.如权利要求1至16中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品包含大于或等于0mol％并且小于或等于8mol％B_2O_3。

18.如权利要求1至17中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品包含大于或等于0mol％并且小于或等于10mol％ZnO。

19.如权利要求1至18中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述结晶相的二硅酸锂及透锂长石的晶粒包含大于或等于10nm并且小于或等于100nm的晶粒大小。

20.如权利要求1至19中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品的结晶相进一步包含偏硅酸锂、β-石英、方硅石、或其组合。

21.如权利要求1至20中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中如在0.8mm的制品厚度下测量,在400nm至800nm的波长范围内,所述玻璃-陶瓷制品的平均透射率大于或等于50％并且小于或等于95％。

22.如权利要求1至21中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中如通过人字形缺口短棒方法来测量的玻璃-陶瓷制品的K_{Ic}断裂韧性大于或等于1.0MPa·$m^{1/2}$。

23.如权利要求1至22中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品的弹性模量大于或等于90GPa。

24.如权利要求1至23中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品在大于或等于350℃至小于或等于500℃的温度下,在离子交换浴中化学强化大于或等于2小时至小于或等于24小时的一段时间以形成离子交换玻璃-陶瓷制品。

25.如权利要求24所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述离子交换浴包含KNO_3。

26.如权利要求25所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述离子交换浴进一步包含$NaNO_3$。

27.如权利要求24至26中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品具有大于或等于30MPa的最大中心张力。

28.如权利要求24至27中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品具有大于或等于80MPa的表面压缩应力。

29.如权利要求24至28中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品具有大于或等于0.025t的压缩深度。

30.如权利要求24至29中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品具有大于或等于0.025t并且小于或等于0.28t的钠离子穿透深度。

31.如权利要求24至30中任一项所述的玻璃-陶瓷制品,其中所述玻璃-陶瓷制品具有大于或等于0t并且小于或等于0.01t的钾离子穿透深度。

32.一种玻璃组合物,其包括:

大于或等于60mol%并且小于或等于72mol%SiO_2;

大于或等于2.5mol%并且小于或等于8mol%Al_2O_3;

大于或等于17mol%并且小于或等于26mol%Li_2O;

大于或等于1.5mol%并且小于或等于4mol%ZrO_2;及

大于或等于0.5mol%并且小于或等于2mol%P_2O_5,其中:

碱土金属氧化物+过渡金属氧化物大于或等于0.1mol%并且小于或等于6mol%,其中碱土金属氧化物为CaO、MgO、SrO、及BaO的总和并且过渡金属氧化物为La_2O_3、Y_2O_3、Ta_2O_5、及GeO_2的总和;及

P_2O_5+ZrO_2大于或等于1mol%并且小于或等于6mol%。

33.如权利要求32所述的玻璃组合物,其中碱土金属氧化物+过渡金属氧化物大于或等于0.1mol%并且小于或等于5mol%。

34.如权利要求32或权利要求33所述的玻璃组合物,其中P_2O_5+ZrO_2大于或等于2mol%并且小于或等于5mol%。

35.如权利要求32至34中任一项所述的玻璃组合物,其中Li_2O与Al_2O_3的摩尔比大于或等于2并且小于或等于12。

36.如权利要求35所述的玻璃组合物,其中Li_2O与Al_2O_3的摩尔比大于或等于4并且小于或等于10。

37.如权利要求32至36中任一项所述的玻璃组合物,其中Li_2O与SiO_2的摩尔比大于或等于0.25并且小于或等于0.5。

38.如权利要求37所述的玻璃组合物,其中Li_2O与SiO_2的摩尔比大于或等于0.25并且小于或等于0.4。

39.如权利要求32至38中任一项所述的玻璃组合物,其中所述玻璃组合物包含大于或等于2.5mol%并且小于或等于6mol%Al_2O_3。

40.如权利要求32至39中任一项所述的玻璃组合物,其中所述玻璃组合物包含大于或等于18mol%并且小于或等于24mol%Li_2O。

41.如权利要求32至40中任一项所述的玻璃组合物,其中所述玻璃组合物包含大于或等于0.7mol%并且小于或等于1.75mol%P_2O_5。

42.如权利要求32至41中任一项所述的玻璃组合物,其中R_2O大于或等于17mol%并且小于或等于30mol%并且R_2O为Li_2O、Na_2O、及K_2O的总和。

43.如权利要求32至42中任一项所述的玻璃组合物,其中所述玻璃组合物包含:

大于或等于0mol%并且小于或等于8mol%CaO;

大于或等于0mol%并且小于或等于8mol%MgO;

大于或等于0mol%并且小于或等于8mol%SrO;及

大于或等于0mol%并且小于或等于8mol%BaO。

44.如权利要求32至43中任一项所述的玻璃组合物,其中所述玻璃组合物包含:

大于或等于0mol%并且小于或等于4mol%La_2O_3;

大于或等于0mol％并且小于或等于6mol％Y_2O_3；

大于或等于0mol％并且小于或等于3mol％Ta_2O_5；及

大于或等于0mol％并且小于或等于2mol％GeO_2。

45.如权利要求32至44中任一项所述的玻璃组合物，其中所述玻璃组合物包含大于或等于0mol％并且小于或等于8mol％B_2O_3。

46.如权利要求32至45中任一项所述的玻璃组合物，其中所述玻璃组合物包含大于或等于0mol％并且小于或等于10mol％ZnO。

47.一种形成玻璃-陶瓷制品的方法，所述方法包括：

将前体玻璃制品在烘箱中以大于或等于1℃/min并且小于或等于10℃/min的速率加热至成核温度，其中所述前体玻璃制品包含前体玻璃组合物，所述组合物包括：

大于或等于60mol％并且小于或等于72mol％SiO_2；

大于或等于2.5mol％并且小于或等于8mol％Al_2O_3；

大于或等于17mol％并且小于或等于26mol％Li_2O；

大于或等于0.5mol％并且小于或等于4mol％ZrO_2；及

大于或等于0.5mol％并且小于或等于2mol％P_2O_5，其中：

碱土金属氧化物+过渡金属氧化物大于或等于0.1mol％并且小于或等于6mol％，其中碱土金属氧化物为CaO、MgO、SrO、及BaO的总和并且过渡金属氧化物为La_2O_3、Y_2O_3、Ta_2O_5、及GeO_2的总和；

P_2O_5+ZrO_2大于或等于1mol％并且小于或等于6mol％；并且

$(SiO_2+Al_2O_3)/(P_2O_5+ZrO_2)$大于或等于12mol％并且小于或等于34mol％；

在所述烘箱中，将所述前体玻璃制品保持于所述成核温度下大于或等于0.1小时并且小于或等于8小时的时间以便产生有核可结晶玻璃制品；

在所述烘箱中，将所述有核可结晶玻璃制品以大于或等于1℃/min并且小于或等于10℃/min的速率加热至结晶温度；

将所述有核可结晶玻璃制品在所述烘箱中保持在所述结晶温度下大于或等于0.1小时并且小于或等于8小时的一段时间以便产生所述玻璃-陶瓷制品，其中所述玻璃-陶瓷制品包含包括二硅酸锂及透锂长石的结晶相，其中基于所述结晶相的总重量，二硅酸锂及透锂长石的总量大于50wt％；及

将所述玻璃-陶瓷制品冷却至室温。

48.如权利要求47所述的方法，其中如在0.8mm的制品厚度下测量，在400nm至800nm的波长范围内，所述玻璃-陶瓷制品的平均透射率大于或等于50％并且小于或等于95％。

49.如权利要求47或权利要求48所述的方法，其中如通过人字形缺口短棒方法来测量的玻璃-陶瓷制品的K_{Ic}断裂韧性大于或等于1.0MPa·$m^{1/2}$。

50.如权利要求47至49中任一项所述的方法，其中所述玻璃-陶瓷制品的弹性模量大于或等于90GPa。

51.如权利要求47至50中任一项所述的方法，进一步包括：在大于或等于350℃至小于或等于500℃的温度下，在离子交换浴中将玻璃-陶瓷制品强化大于或等于2小时至小于或等于12小时的一段时间以形成离子交换玻璃-陶瓷制品。

52.如权利要求51所述的方法，其中所述离子交换浴包含KNO_3。

53.如权利要求52所述的方法,其中所述离子交换浴进一步包含$NaNO_3$。

54.如权利要求51至53中任一项所述的方法,其中所述玻璃-陶瓷制品具有大于或等于30MPa的最大中心张力。

55.如权利要求51至54中任一项所述的方法,其中所述玻璃-陶瓷制品具有大于或等于80MPa的表面压缩应力。

56.如权利要求51至55中任一项所述的方法,其中所述玻璃-陶瓷制品具有大于或等于0.025t的压缩深度。

57.如权利要求51至56中任一项所述的方法,其中所述玻璃-陶瓷制品具有大于或等于0.025t并且小于或等于0.28t的钠离子穿透深度。

58.如权利要求51至57中任一项所述的方法,其中所述玻璃-陶瓷制品具有大于或等于0t并且小于或等于0.01t的钾离子穿透深度。

59.一种消费电子装置,其包括:

壳体,所述壳体具有前表面、后表面、及侧表面;

电气部件,所述电气部件至少部分地提供于所述壳体内,所述电气部件至少包括控制器、内存、及显示器,所述显示器提供于所述壳体的前表面处或附近;及

如权利要求1所述的玻璃-陶瓷制品,其中的至少一种安置于所述显示器上并且形成所述壳体的一部分。

前体玻璃及由其制成并有改进的机械耐久性的透明玻璃陶瓷制品

技术领域

[0001] 本申请案根据专利法请求2021年6月18日提交的美国临时申请案第63/212,145号的优先权益,其内容为本发明的基础并且以全文引用方式并入本文。

[0002] 本说明书涉及前体玻璃组合物及玻璃-陶瓷制品并且尤其涉及前体玻璃组合物及由其制成的可离子交换玻璃-陶瓷制品。

背景技术

[0003] 玻璃制品诸如玻璃盖、玻璃背板、壳体、及其类似制品用于消费及商业电子装置中,诸如智能型手机、平板计算机、可携式媒体播放器、个人计算机、及摄影机。此等便携设备的移动性质使得其中包含的装置及玻璃制品在意外掉落在硬质表面诸如地面上时尤其易损坏。另外,玻璃制品诸如玻璃盖可包括“触摸”功能,需要玻璃制品与包括用户手指及/或触控笔装置的各种物体接触。因此,玻璃制品必须足够坚固以便承受意外掉落及正常接触而不损坏,诸如刮痕。事实上,引入玻璃制品的表面中的刮痕可减少玻璃制品的强度,因为刮痕可充当导致玻璃严重报废的裂纹的启始点。

[0004] 另外,当玻璃制品以玻璃盖形式并入可携式电子装置中时,诸如玻璃制品的透射率的玻璃制品的光学特性可为重要考虑因素。

[0005] 因此,需要相对于玻璃,具有改进的机械性质,同时亦具有类似于玻璃的光学特性的替代材料。

发明内容

[0006] 根据第一方面A1,玻璃陶瓷制品可包含:大于或等于60mol%并且小于或等于72mol%SiO_2;大于或等于2.5mol%并且小于或等于8mol%Al_2O_3;大于或等于17mol%并且小于或等于26mol%Li_2O;大于或等于0.2mol%并且小于或等于4mol%ZrO_2;及大于或等于0.5mol%并且小于或等于2mol%P_2O_5,其中:碱土金属氧化物+过渡金属氧化物大于或等于0.1mol%并且小于或等于6mol%,其中碱土金属氧化物为CaO、MgO、SrO、及BaO的总和并且过渡金属氧化物为La_2O_3、Y_2O_3、Ta_2O_5、及GeO_2的总和;P_2O_5+ZrO_2大于或等于1mol%并且小于或等于6mol%;(SiO_2+Al_2O_3)/(P_2O_5+ZrO_2)大于或等于12mol%并且小于或等于34mol%;并且玻璃-陶瓷制品包含包括二硅酸锂及透锂长石的结晶相,其中基于结晶相的总重量,二硅酸锂及透锂长石的总量大于50wt%。

[0007] 第二方面A2包括根据第一方面A1的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品包含大于或等于0.5mol%并且小于或等于4mol%ZrO_2。

[0008] 第三方面A3包括根据第一方面A1或第二方面A2的玻璃-陶瓷制品,其中碱土金属氧化物+过渡金属氧化物大于或等于0.1mol%并且小于或等于5mol%。

[0009] 第四方面A4包括根据第一至第三方面A1-A3中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中P_2O_5+ZrO_2大于或等于2mol%并且小于或等于5mol%。

[0010] 第五方面A5包括根据第一至第四方面A1-A4中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中$(SiO_2+Al_2O_3)/(P_2O_5+ZrO_2)$大于或等于14mol%并且小于或等于32mol%。

[0011] 第六方面A6包括根据第一至第五方面A1-A5中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中Li_2O与Al_2O_3的摩尔比大于或等于2并且小于或等于12。

[0012] 第七方面A7包括根据第六方面A6的玻璃-陶瓷制品,其中Li_2O与Al_2O_3的摩尔比大于或等于4并且小于或等于10。

[0013] 第八方面A8包括根据第一至第七方面A1-A7中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中Li_2O与SiO_2的摩尔比大于或等于0.25并且小于或等于0.5。

[0014] 第九方面A9包括根据第八方面A8的玻璃-陶瓷制品,其中Li_2O与SiO_2的摩尔比大于或等于0.25并且小于或等于0.4。

[0015] 第十方面A10包括根据第一至第九方面A1-A9中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品包含大于或等于2.5mol%并且小于或等于6mol%Al_2O_3。

[0016] 第十一方面A11包括根据第一至第十方面A1-A10中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品包含大于或等于18mol%并且小于或等于24mol%Li_2O。

[0017] 第十二方面A12包括根据第一至第十一方面A1-A11中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品包含大于或等于0.7mol%并且小于或等于1.75mol%P_2O_5。

[0018] 第十三方面A13包括根据第一至第十二方面A1-A12中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中R_2O大于或等于17mol%并且小于或等于30mol%并且R_2O为Li_2O、Na_2O、及K_2O的总和。

[0019] 第十四方面A14包括根据第一至第十三方面A1-A13中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品包含:大于或等于0mol%并且小于或等于6mol%Na_2O;及大于或等于0mol%并且小于或等于6mol%K_2O。

[0020] 第十五方面A15包括根据第一至第十四方面A1-A14中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品包含:大于或等于0mol%并且小于或等于8mol%CaO;大于或等于0mol%并且小于或等于8mol%MgO;大于或等于0mol%并且小于或等于8mol%SrO;及大于或等于0mol%并且小于或等于8mol%BaO。

[0021] 第十六方面A16包括根据第一至第十五方面A1-A15中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品包含:大于或等于0mol%并且小于或等于4mol%La_2O_3;大于或等于0mol%并且小于或等于6mol%Y_2O_3;大于或等于0mol%并且小于或等于3mol%Ta_2O_5;及大于或等于0mol%并且小于或等于2mol%GeO_2。

[0022] 第十七方面A17包括根据第一至第十六方面A1-A16中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品包含大于或等于0mol%并且小于或等于8mol%B_2O_3。

[0023] 第十八方面A18包括根据第一至第十七方面A1-A17中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品包含大于或等于0mol%并且小于或等于10mol%ZnO。

[0024] 第十九方面A19包括根据第一至第十八方面A1-A18中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中结晶相的二硅酸锂及透锂长石的晶粒包含大于或等于10nm并且小于或等于100nm的晶粒大小。

[0025] 第二十方面A20包括根据第一至第十九方面A1-A19中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品的结晶相进一步包含偏硅酸锂、β-石英、方硅石、或其组合。

[0026] 第二十一方面A21包括根据第一至第二十方面A1-A20中的任一者的玻璃-陶瓷制

品,其中如在0.8mm的制品厚度下测量,在400nm至800nm的波长范围内,玻璃-陶瓷制品的平均透射率大于或等于50%并且小于或等于95%。

[0027] 第二十二方面A22包括根据第一至第二十一方面A1-A21中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中如通过人字形缺口短棒方法来测量的玻璃-陶瓷制品的K_{Ic}断裂韧性大于或等于1.0MPa·$m^{1/2}$。

[0028] 第二十三方面A23包括根据第一至第二十二方面A1-A22中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品的弹性模量大于或等于90GPa。

[0029] 第二十四方面A24包括根据第一至第二十三方面A1-A23中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品在大于或等于350℃至小于或等于500℃的温度下,在离子交换浴中化学强化大于或等于2小时至小于或等于24小时的一段时间以形成离子交换玻璃-陶瓷制品。

[0030] 第二十五方面A25包括根据第二十四方面A24的玻璃-陶瓷制品,其中离子交换浴包含KNO_3。

[0031] 第二十六方面A26包括根据第二十五方面A25的玻璃-陶瓷制品,其中离子交换浴进一步包含$NaNO_3$。

[0032] 第二十七方面A27包括根据第二十四至第二十七方面A24-A26中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品具有大于或等于30MPa的最大中心张力。

[0033] 第二十八方面A28包括根据第二十四至第二十七方面A24-A27中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品具有大于或等于80MPa的表面压缩应力。

[0034] 第二十九方面A29包括根据第二十四至第二十八方面A24-A28中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品具有大于或等于0.025t的压缩深度。

[0035] 第三十方面A30包括根据第二十四至第二十九方面A24-A29中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品具有大于或等于0.025t并且小于或等于0.28t的钠离子穿透深度。

[0036] 第三十一方面A31包括根据第二十四至第三十方面A24-A30中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品具有大于或等于0t并且小于或等于0.01t的钾离子穿透深度。

[0037] 根据第三十二方面A32,玻璃组合物可包含:大于或等于60mol%并且小于或等于72mol%SiO_2;大于或等于2.5mol%并且小于或等于8mol%Al_2O_3;大于或等于2.5mol%并且小于或等于8mol%Al_2O_3;大于或等于1.5mol%并且小于或等于4mol%ZrO_2;及大于或等于0.5mol%并且小于或等于2mol%P_2O_5,其中:碱土金属氧化物+过渡金属氧化物大于或等于0.1mol%并且小于或等于6mol%,其中碱土金属氧化物为CaO、MgO、SrO、及BaO的总和并且过渡金属氧化物为La_2O_3、Y_2O_3、Ta_2O_5、及GeO_2的总和;并且P_2O_5+ZrO_2大于或等于1mol%并且小于或等于6mol%。

[0038] 第三十三方面A33包括根据第三十二方面A32的玻璃组合物,P_2O_5+ZrO_2大于或等于1mol%并且小于或等于6mol%。

[0039] 第三十四方面A34包括根据第三十二方面A32或第三十三方面A33的玻璃组合物,其中P_2O_5+ZrO_2大于或等于2mol%并且小于或等于5mol%。

[0040] 第三十五方面A35包括根据第三十二至第三十四方面A32-A34中的任一者的玻璃组合物,其中Li_2O与Al_2O_3的摩尔比大于或等于2并且小于或等于12。

[0041] 第三十六方面A36包括根据第三十五方面A35的玻璃组合物,其中Li_2O与Al_2O_3的摩尔比大于或等于4并且小于或等于10。

[0042] 第三十七方面A37包括根据第三十二至第三十六方面A32-A36中的任一者的玻璃组合物,其中Li_2O与SiO_2的摩尔比大于或等于0.25并且小于或等于0.5。

[0043] 第三十八方面A38包括根据第三十七方面A37的玻璃组合物,其中Li_2O与SiO_2的摩尔比大于或等于0.25并且小于或等于0.4。

[0044] 第三十九方面A39包括根据第三十二至第三十八方面A32-A38中的任一者的玻璃组合物,其中玻璃组合物包含大于或等于2.5mol%并且小于或等于6mol%Al_2O_3。

[0045] 第四十方面A40包括根据第三十二至第三十九方面A32-A39中的任一者的玻璃组合物,其中玻璃组合物包含大于或等于18mol%并且小于或等于24mol%Li_2O。

[0046] 第四十一方面A41包括根据第三十二至第四十方面A32-A40中的任一者的玻璃组合物,其中玻璃组合物包含大于或等于0.7mol%并且小于或等于1.75mol%P_2O_5。

[0047] 第四十二方面A42包括根据第三十二至第四十一方面A32-A41中的任一者的玻璃组合物,其中R_2O大于或等于17mol%并且小于或等于30mol%并且R_2O为Li_2O、Na_2O、及K_2O的总和。

[0048] 第四十三方面A43包括根据第三十二至第四十二方面A32-A42中的任一者的玻璃组合物,其中玻璃组合物包含:大于或等于0mol%并且小于或等于8mol%CaO;大于或等于0mol%并且小于或等于8mol%MgO;大于或等于0mol%并且小于或等于8mol%SrO;及大于或等于0mol%并且小于或等于8mol%BaO。

[0049] 第四十四方面A44包括根据第三十二至第四十三方面A32-A43中的任一者的玻璃组合物,其中玻璃组合物包含:大于或等于0mol%并且小于或等于4mol%La_2O_3;大于或等于0mol%并且小于或等于6mol%Y_2O_3;大于或等于0mol%并且小于或等于3mol%Ta_2O_5;及大于或等于0mol%并且小于或等于2mol%GeO_2。

[0050] 第四十五方面A45包括根据第三十二至第四十四方面A32-A44中的任一者的玻璃组合物,其中玻璃组合物包含大于或等于0mol%并且小于或等于8mol%B_2O_3。

[0051] 第四十六方面A46包括根据第三十二至第四十五方面A32-A45中的任一者的玻璃组合物,其中玻璃组合物包含大于或等于0mol%并且小于或等于10mol%ZnO。

[0052] 根据第四十七方面A47,玻璃-陶瓷制品可包含:将前体玻璃制品在烘箱中以大于或等于1℃/min并且小于或等于10℃/min的速率加热至成核温度,其中前体玻璃制品包含前体玻璃组合物,该组合物包括:大于或等于60mol%并且小于或等于72mol%SiO_2;大于或等于2.5mol%并且小于或等于8mol%Al_2O_3;大于或等于17mol%并且小于或等于26mol%Li_2O;大于或等于0.5mol%并且小于或等于4mol%ZrO_2;及大于或等于0.5mol%并且小于或等于2mol%P_2O_5,其中:碱土金属氧化物+过渡金属氧化物大于或等于0.1mol%并且小于或等于6mol%,其中碱土金属氧化物为CaO、MgO、SrO、及BaO的总和并且过渡金属氧化物为La_2O_3、Y_2O_3、Ta_2O_5、及GeO_2的总和;P_2O_5+ZrO_2大于或等于1mol%并且小于或等于6mol%;并且(SiO_2+Al_2O_3)/(P_2O_5+ZrO_2)大于或等于12mol%并且小于或等于34mol%;将前体玻璃制品在烘箱中保持于成核温度下大于或等于0.1小时并且小于或等于8小时的时间以便产生有核可结晶玻璃;将有核可结晶玻璃制品在烘箱中以大于或等于1℃/min并且小于或等于10℃/min的速率加热至结晶温度;将有核可结晶玻璃制品在烘箱中保持在结晶温度下大于或等

于0.1小时并且小于或等于8小时的一段时间以便产生玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品包含包括二硅酸锂及透锂长石的结晶相,其中基于结晶相的总重量,二硅酸锂及透锂长石的总量大于50wt%;并且将玻璃-陶瓷制品冷却至室温。

[0053] 第四十八方面A48包括根据第四十七方面A47的玻璃-陶瓷制品,其中如在0.8mm的制品厚度下测量,在400nm至800nm的波长范围内,玻璃-陶瓷制品的平均透射率大于或等于50%并且小于或等于95%。

[0054] 第四十九方面A49包括根据第四十七方面A47或第四十八方面A48中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中如通过人字形缺口短棒方法来测量的玻璃-陶瓷制品的K_{Ic}断裂韧性大于或等于1.0MPa·$m^{1/2}$。

[0055] 第五十方面A50包括根据第四十七至第四十九方面A47-A49中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品的弹性模量大于或等于90GPa。

[0056] 第五十一方面A51包括根据第四十七至第五十方面A47-A50中的任一者的玻璃-陶瓷制品,进一步包括在大于或等于350℃至小于或等于500℃的温度下,在离子交换浴中将玻璃-陶瓷制品强化大于或等于2小时至小于或等于12小时的一段时间以形成离子交换玻璃-陶瓷制品。

[0057] 第五十二方面A52包括根据第五十一方面A51的玻璃-陶瓷制品,其中离子交换浴包含KNO_3。

[0058] 第五十三方面A53包括根据第五十二方面A52的玻璃-陶瓷制品,其中离子交换浴进一步包含$NaNO_3$。

[0059] 第五十四方面A54包括根据第五十一至第五十三方面A51-A53中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品具有大于或等于30MPa的最大中心张力。

[0060] 第五十五方面A55包括根据第五十一至第五十四方面A51-A54中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品具有大于或等于80MPa的表面压缩应力。

[0061] 第五十六方面A56包括根据第五十一至第五十五方面A51-A55中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品具有大于或等于0.025t的压缩深度。

[0062] 第五十七方面A57包括根据第五十一至第五十六方面A51-A56中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品具有大于或等于0.025t并且小于或等于0.28t的钠离子穿透深度。

[0063] 第五十八方面A58包括根据第五十一至第五十七方面A51-A57中的任一者的玻璃-陶瓷制品,其中玻璃-陶瓷制品具有大于或等于0t并且小于或等于0.01t的钾离子穿透深度。

[0064] 根据第五十九方面A59,消费电子装置可包含:具有前表面、后表面、及侧表面的壳体;至少部分地提供于壳体内的电气部件,电气部件至少包括控制器、内存、及显示器,显示器提供于壳体的前表面处或附近;及第一方面A1的玻璃-陶瓷制品,其中的至少一种安置于显示器上并且形成该壳体的一部分。

[0065] 本文所述玻璃-陶瓷制品的额外特征及优势在以下实施方式中阐明,并且部分地为所属领域的技术人员根据说明书容易显而易知或通过实施本文所述的实施方式,包括以下实施方式、权利要求、以及附图而认识到。

[0066] 应了解前述一般描述及以下实施方式描述各种实施方式并且意欲提供理解请求

目标物的性质及特征的概观或构架。包含附图以便提供各种实施方式的进一步理解,并且并入本说明书并且构成其一部分。附图示出本文所述的各种实施方式,并且与说明书一起用来解释请求目标物的原理及操作。

附图说明

[0067] 图1为并入根据本文所述的一或多个实施方式的玻璃-陶瓷制品中的任一者的电子装置的平面图;

[0068] 图2为图1的电子装置的立体图;

[0069] 图3为由比较玻璃组合物制成的比较玻璃-陶瓷制品及由根据本文所述的一或多个实施方式的前体玻璃组合物制成的示例性玻璃-陶瓷制品的中心张力图(x轴:离子交换时间;y轴:中心张力);

[0070] 图4为由比较玻璃组合物制成的比较玻璃-陶瓷制品及由根据本文所述的一或多个实施方式的前体玻璃组合物制成的示例性玻璃-陶瓷制品的中心张力图(x轴:离子交换时间;y轴:中心张力);及

[0071] 图5为由比较玻璃组合物制成的比较玻璃-陶瓷制品及由根据本文所述的一或多个实施方式的前体玻璃组合物制成的示例性玻璃-陶瓷制品的中心张力图(x轴:离子交换时间;y轴:中心张力)。

具体实施方式

[0072] 现在详细地参考前体玻璃组合物及由其制成的具有改进的机械耐久性的玻璃-陶瓷制品的各种实施方式。根据实施方式,玻璃-陶瓷制品包括大于或等于60mol%并且小于或等于72mol%SiO_2;大于或等于2.5mol%并且小于或等于8mol%Al_2O_3;大于或等于17mol%并且小于或等于26mol%Li_2O;大于或等于0.2mol%并且小于或等于4mol%ZrO_2;及大于或等于0.5mol%并且小于或等于2mol%P_2O_5。玻璃-陶瓷制品中的碱土金属氧化物及过渡金属氧化物的总和可大于或等于0.1mol%并且小于或等于6mol%,其中碱土金属氧化物为CaO、MgO、SrO、及BaO的总和并且过渡金属氧化物为La_2O_3、Y_2O_3、Ta_2O_5、及GeO_2的总和。玻璃-陶瓷制品中的P_2O_5及ZrO_2的总和可大于或等于1mol%并且小于或等于6mol%。玻璃-陶瓷制品可包含包括二硅酸锂及透锂长石的结晶相。基于结晶相的总重量,玻璃-陶瓷制品的结晶相中的二硅酸锂及透锂长石的总量可大于50wt%。前体玻璃组合物的各种实施方式及由其形成离子可交换玻璃-陶瓷制品的方法在本文中具体参考附图来提及。

[0073] 范围可在本文中表示为自“约”一个特定值,及/或至“约”另一个特定值。当表示此范围,另一个实施方式包括自一个特定值及/或至另一个特定值。类似地,当通过使用先行词“约”来将值表示为近似值时,应理解特定值形成另一个实施方式。应进一步理解范围中的每一者的端点在与其他端点有关,以及与其他端点无关两者方面皆为有效的。

[0074] 如本文使用的方向术语例如上、下、右、左、前、后、顶部、底部仅参考所绘制附图来产生并且不意欲暗示绝对定向。

[0075] 除非另外明确说明,否则决不希望本文阐明的任何方法被理解为要求其步骤以特定顺序来执行,亦不要求任何设备特定定向。因此,当方法权利要求实际上未叙述待由其步骤来遵循的顺序,或任何设备权利要求实际上未叙述个别部件的顺序或定向,或在权利要

求或说明书中未另外具体陈述该等步骤限于特定顺序,或未叙述设备部件的特定顺序或定向时,决不希望在任何方面推断顺序或定向。此适用于任何可能非明示解释基础,包括:关于步骤布置、操作流、部件顺序、或部件定向的逻辑;衍生自语法组织或标点的简单含义及说明书中描述的实施方式的数目或类型。

[0076] 除非上下文另有明确规定,否则如本文使用的单数形式"一(个/种)(a/an)"及"该(the)"包括多个指示物。因此,例如,提及"一"部件包括具有两个或两个以上此等部件的方面,除非上下文另外明确指示。

[0077] 术语"实质上不含",在用于描述前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的特定构成组分的浓度及/或不存在时,意谓构成组分不有意地添加至前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品。然而,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可含有少于0.1mol%的量的微量构成组分作为污染物或混入物。

[0078] 术语"0mol%"及"不含",在用于描述前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的特定构成组分的浓度及/或不存在时,意谓构成组分不存在于前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中。

[0079] 除非另外规定,否则在本文所述前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品的实施方式中,构成组分(例如,SiO_2、Al_2O_3、及其类似组分)的浓度基于氧化物的摩尔百分比(mol%)来规定。

[0080] 如本文使用的术语"断裂韧性(K_{1C})"表示玻璃组合物抵抗断裂的能力。断裂韧性对于非强化玻璃制品来测量,诸如在玻璃制品的离子交换(ion exchange;IOX)处理之前,测量K_{1C}值,由此表示IOX之前的玻璃基材的特征。本文所述断裂韧性测试方法不适合于暴露于IOX处理的玻璃。但是,如本文描述对于IOX处理之前的同一玻璃(例如,玻璃基板)来执行的断裂韧性测量与IOX处理之后的断裂韧性相关,并且因此按照原样来使用。用于测量K_{1C}值的人字形缺口短棒(chevron notched short bar;CNSB)方法公开于Reddy,K.P.R.等人"Fracture Toughness Measurement of Glass and Ceramic Materials Using Chevron-Notched Specimens,"J.Am.Ceram.Soc.,71[6],C-310-C-313(1988)中,除了Y^*_m使用Bubsey,R.T.等人"Closed-Form Expressions for Crack-Mouth Displacement and Stress Intensity Factors for Chevron-Notched Short Bar and Short Rod Specimens Based on Experimental Compliance Measurements,"NASA Technical Memorandum 83796,第1-30页(1992年10月)的方程5来计算以外。用于测量K_{1C}值的双重扭转方法及夹具描述于Shyam,A.及Lara-Curzio,E.,"The double-torsion testing technique for determination of fracture toughness and slow crack growth of materials:Areview,"J.Mater.Sci.,41,第4093-4104页,(2006)中。双重扭转测量方法通常产生稍微高于人字形缺口短棒方法的K_{1C}值。除非另外规定,否则所有断裂韧性值通过人字形缺口短棒(CNSB)方法来测量。

[0081] 透光率数据(总透射率及漫射透射率)使用由PerkinElmer Inc.(Waltham,Massachusetts USA)制造的Lambda 950UV/Vis分光亮度计来测量。Lambda950设备装配有150mm积分球。数据使用开束基线及Spectralon®参考反射盘来收集。对于总透射率(总Tx),将样品固定于积分球进入点处。对于漫射透射率(漫射Tx),将球体出口孔上方的

Spectralon®参考反射盘移除以便允许同轴光退出球体并且进入光阱。在没有样品的情况下,进行漫射部分的零点偏移测量以便确定光阱的效率。为了校正漫射透射率测量,使用以下方程,将零点偏移影响自样品测量结果中减去:漫射Tx＝漫射$_{测量}$-(零点偏移*(总Tx/100))。所有波长的散射比率测量为:(%漫射Tx/%总Tx)。

[0082] 如本文使用的术语“平均透射率”是指在给定波长范围内产生的透射率测量的平均值,其中各整数波长相等地加权。在本文所述实施方式中,“平均透射率”在400nm至800nm波长范围内(包含端点)报道。

[0083] 术语“透明”在用于描述由本文描述的前体玻璃组合物形成的玻璃-陶瓷制品时,意谓在0.8mm的制品厚度下、在400nm至800nm的波长范围内(包含端点)、在光垂直入射下测量时,玻璃-陶瓷制品具有大于或等于85%的平均透射率。

[0084] 术语“透明雾度(transparent haze)”在用于描述由本文描述的前体玻璃组合物形成的玻璃-陶瓷制品时,意谓在0.8mm的制品厚度下、在400nm至800nm的波长范围内(包含端点)、在光垂直入射下测量时,玻璃-陶瓷制品具有大于或等于50%并且小于85%的平均透射率。

[0085] 术语“半透明”在用于描述由本文描述的前体玻璃组合物形成的玻璃-陶瓷制品时,意谓在0.8mm的制品厚度下、在400nm至800nm的波长范围内(包含端点)、在光垂直入射下测量时,玻璃-陶瓷制品具有大于或等于20%并且小于50%的平均透射率。

[0086] 术语“不透明”在用于描述由本文描述的前体玻璃组合物形成的玻璃-陶瓷制品时,意谓在0.8mm的制品厚度下、在400nm至800nm的波长范围内(包含端点)、在光垂直入射下测量时,玻璃-陶瓷制品具有小于20%的平均透射率。

[0087] 如本文使用的术语“熔点”是指前体玻璃组合物的粘度为200泊的温度。

[0088] 如本文使用的术语“软化点”是指前体玻璃组合物的粘度为$1x10^{7.6}$泊的温度。软化点根据平行板粘度方法来测量,该方法测量随着温度而变化的10^7至10^9泊的无机玻璃的粘度,类似于ASTM C1351M。

[0089] 如本文使用的术语“液相粘度”是指在去玻璃化开始时(亦即,在如用根据ASTM C829-81的梯度炉方法来确定的液相温度下)的前体玻璃组合物的粘度。

[0090] 如本文使用的术语“液相温度”是指如用根据ASTM C829-81的梯度炉方法来确定的前体玻璃组合物开始去玻璃化的温度。

[0091] 如本文描述的玻璃-陶瓷制品的弹性模量(亦被称为杨氏模量)以吉帕斯卡(gigapascal;GPa)单位来提供并且根据ASTM C623来测量。

[0092] 如本文描述的玻璃-陶瓷制品的剪切模量以吉帕斯卡(GPa)单位来提供并且根据ASTM C623来测量。

[0093] 如本文描述的泊松比根据ASTM C623来测量。

[0094] 如本文描述的术语“线性热膨胀系数”及“CTE”在25℃至300℃的温度范围内、根据ASTM E228-85来测量并且按照“x 10^{-7}/℃”来表示。

[0095] 表面压缩应力用表面应力计(surface stress meter;FSM)来测量,诸如商购仪器诸如通过Orihara Industrial Co.,Ltd.(Japan)来制造的FSM-6000。表面应力测量依赖于与玻璃-陶瓷制品的双折射率相关的应力光学系数(stress optical coefficient;SOC)的测量。进而,SOC根据题为“Standard Test Method for Measurement of Glass Stress-

Optical Coefficient”的ASTM标准C770-16中描述的程序C(玻璃盘方法)来测量,其内容以全文引用方式并入本文。压缩深度(Depth of compression;DOC)使用FSM联合在此项技术中已知的散射光偏光镜(scatter light polariscope;SCALP)技术来测量。FSM测量钾离子交换的压缩深度并且SCALP测量钠离子交换的压缩深度。最大中心张力(central tension;CT)值使用在此项技术中已知的SCALP技术来测量。除非另外指示,否则在本文中对于中心张力(CT)报道的值是指最大中心张力。

[0096] 术语“压缩深度”及“DOC”是指压缩应力转变为拉伸应力的玻璃-陶瓷制品中的位置。

[0097] 如本文使用的术语“离子交换之后的钠离子穿透深度”是指玻璃-陶瓷制品内的深度(亦即,自玻璃-陶瓷制品表面至其内部区域的距离),在该深度处通过离子交换过程来引入的钠离子扩散至玻璃-陶瓷制品中的钠离子浓度达到最小值的位置处,如通过辉光放电—光发射光谱学(Glow Discharge—Optical Emission Spectroscopy;GD-OES)来确定。

[0098] 如本文使用的术语“离子交换之后的钾离子穿透深度”是指玻璃-陶瓷制品内的深度(亦即,自玻璃-陶瓷制品表面至其内部区域的距离),在该深度处通过离子交换过程来引入的钾离子扩散至玻璃-陶瓷制品中的钾离子浓度达到最小值的位置处,如通过GD-OES来确定。

[0099] 如本文使用的术语“晶粒大小”是指如使用如M.N.Rahaman,“Ceramic Processing,”CRC Press,2007,第107页所描述的扫描电子显微术来测量的晶粒的最大尺寸的平均大小。

[0100] 如本文使用的术语“纵横比”是指如使用如M.N.Rahaman,“Ceramic Processing,”CRC Press,2007,第107页)所描述的扫描电子显微术来测量的晶粒中的最大尺寸及与其正交的最小尺寸的平均比率。

[0101] 使用如本文描述的扫描电子显微术(scanning electron microscopy;SEM),使用ZEISS GeminiSEM 500扫描电子显微镜以4.7mm的工作距离(working distance;WD)、3.00的电子高压(electron high tension;EHT)、及高真空模式来获得电子绕射影像。

[0102] 如本文使用的术语“前体玻璃组合物”是指在热处理后形成前体玻璃制品或玻璃-陶瓷制品的玻璃组合物。

[0103] 如本文使用的术语“前体玻璃制品”是指含有一或多种成核剂的玻璃制品,该等成核剂在热处理后导致结晶相成核。

[0104] 如本文使用的术语“玻璃-陶瓷制品”是指对由前体玻璃组合物形成的玻璃制品热处理以便诱导结晶相成核所形成的制品。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品具有约1%至约99%结晶度。

[0105] 为了便于阅读,术语“前体玻璃组合物”在整个实施方式中提及。然而,应了解本文所述玻璃-陶瓷制品通过对由前体玻璃组合物形成的前体玻璃制品热处理来产生。

[0106] 由于存在阻碍裂纹增长的结晶颗粒,及玻璃-陶瓷制品的相对较高弹性模量,相对于由玻璃形成的制品,玻璃-陶瓷制品通常具有改进的断裂韧性。然而,由于玻璃-陶瓷制品内在的微观结构,可能难以达成所需透明性。另外,存在于前体玻璃组合物中的碱金属氧化物可包含于热处理之后的结晶相中并且不可用于离子交换。

[0107] 本文公开减轻前述问题的前体玻璃组合物及由其制成的玻璃-陶瓷制品。具体而

言,本文所述的前体玻璃组合物包含相对较高浓度的Li_2O、Al_2O_3、K_2O、P_2O_5、及ZrO_2,从而产生透明或透明雾度,含有二硅酸锂及透锂长石的玻璃-陶瓷制品具有存在于剩余玻璃相中的相对较高量的Li_2O。因此,剩余玻璃相可容易离子交换。另外,二硅酸锂及透锂长石纳米晶体具有联锁微观结构,其可有助于改进玻璃-陶瓷制品的断裂韧性。"联锁微观结构"意谓彼此接合及交织在一起的狭长及随机定向纳米晶体。此联锁结构产生阻碍裂纹传播的弯曲路径。与由单独玻璃形成的制品相比,Al_2O_3含量以及相对较大量的二硅酸锂及透锂长石(例如,基于结晶相的总重量,大于50wt%)可产生相对较高弹性模量。另外,本文所述的前体玻璃组合物包含碱土金属氧化物(亦即,CaO、MgO、SrO、BaO)及/或过渡金属氧化物(亦即,La_2O_3、Y_2O_3、Ta_2O_5、及GeO_2),其可基本上分配至剩余玻璃中并且可产生具有相对较高最大中心张力的玻璃-陶瓷制品。

[0108] 本文所述前体玻璃组合物及玻璃-陶瓷制品可描述为锂铝硅酸盐前体玻璃组合物及玻璃-陶瓷制品并且包含SiO_2、Al_2O_3、及Li_2O。除了SiO_2、Al_2O_3、及Li_2O以外,本文所述前体玻璃组合物及玻璃-陶瓷制品进一步包括ZrO_2及P_2O_5以便达成包括所需二硅酸锂及透锂长石相的结晶相。本文所述前体玻璃组合物及玻璃-陶瓷制品进一步包括碱土金属氧化物(亦即,CaO、MgO、SrO、及BaO)及/或过渡金属氧化物(亦即,La_2O_3、Y_2O_3、Ta_2O_5、及GeO_2)以便增加所得玻璃-陶瓷制品的最大中心张力。

[0109] SiO_2为本文所述的前体玻璃组合物中的主要玻璃成形剂并且可用于使玻璃-陶瓷制品的网络结构稳定。前体玻璃组合物中的SiO_2的浓度应足够高(例如,大于或等于60mol%)以便在前体玻璃组合物经受热处理来将前体玻璃组合物转化成玻璃-陶瓷制品时,形成包括二硅酸锂及透锂长石的结晶相。SiO_2的浓度可受到限制(例如,小于或等于72mol%)以便控制前体玻璃组合物的熔点,因为纯SiO_2或高SiO_2玻璃的熔融温度不合意地较高。因此,限制SiO_2的浓度可有助于改进所得玻璃-陶瓷制品的可熔性及可成形性。

[0110] 因此,在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于60mol%并且小于或等于72mol%SiO_2。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的SiO_2的浓度可大于或等于60mol%、大于或等于64mol%、或甚至大于或等于66mol%。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的SiO_2的浓度可小于或等于72mol%或甚至小于或等于70mol%。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的SiO_2的浓度可大于或等于60mol%并且小于或等于72mol%、大于或等于60mol%并且小于或等于70mol%、大于或等于64mol%并且小于或等于72mol%、大于或等于64mol%并且小于或等于70mol%、大于或等于66mol%并且小于或等于72mol%、或甚至大于或等于66mol%并且小于或等于70mol%、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0111] Al_2O_3为透锂长石的构成成分并且包含于本文所述的前体玻璃组合物中以便达成此结晶相。如同SiO_2,Al_2O_3亦可稳定玻璃网络并且另外向所得玻璃-陶瓷制品提供改进的机械性质及化学耐久性。Al_2O_3的浓度亦可定制以便控制前体玻璃组合物的粘度。然而,若Al_2O_3的浓度太高,则熔体的粘度可增加并且二硅酸锂纳米晶体的分率可减少至不可形成联锁结构的程度。Al_2O_3的浓度应足够高(例如,大于或等于2.5mol%)以使得所得玻璃-陶瓷制品具有二硅酸锂并且具有所需断裂韧性(例如,大于或等于1.0MPa·$m^{1/2}$)。然而,若Al_2O_3的浓度太高(例如,大于8mol%),则熔体的粘度可增加,由此减少所得玻璃-陶瓷制品的可成形性,并且二硅酸锂纳米晶体的分率可减少。

[0112] 在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于2.5mol%并且小于或等于8mol%Al_2O_3。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于2.5mol%并且小于或等于6mol%Al_2O_3。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Al_2O_3的浓度可大于或等于2.5mol%、大于或等于3mol%、或甚至大于或等于3.5mol%。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Al_2O_3的浓度可小于或等于8mol%、小于或等于6mol%、或甚至小于或等于4.5mol%。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Al_2O_3的浓度可大于或等于2.5mol%并且小于或等于8mol%、大于或等于2.5mol%并且小于或等于6mol%、大于或等于2.5mol%并且小于或等于4.5mol%、大于或等于3mol%并且小于或等于8mol%、大于或等于3mol%并且小于或等于6mol%、大于或等于3mol%并且小于或等于4.5mol%、大于或等于3.5mol%并且小于或等于8mol%、大于或等于3.5mol%并且小于或等于6mol%、或甚至大于或等于3.5mol%并且小于或等于4.5mol%、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0113] Li_2O为二硅酸锂及透锂长石中的构成成分并且包含于本文所述的前体玻璃组合物中以便达成此等所需相。Li_2O亦有助于所得玻璃-陶瓷制品的离子可交换性。Li_2O减少前体玻璃组合物的软化点,由此增加所得玻璃-陶瓷制品的可成形性。Li_2O的浓度应足够高(例如,大于或等于17mol%以使得基于结晶相的总重量,所得玻璃-陶瓷制品具有大于或等于50wt%的量的二硅酸锂及透锂长石。然而,若Li_2O的浓度太高(例如,大于26mol%),则熔体的粘度可不合意地增加,由此减少所得前体玻璃及玻璃-陶瓷制品的可成形性。

[0114] 因此,在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于17mol%并且小于或等于26mol%Li_2O。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于18mol%并且小于或等于24mol%Li_2O。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Li_2O的浓度可大于或等于17mol%、大于或等于18mol%、或甚至大于或等于20mol%。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Li_2O的浓度可小于或等于26mol%、小于或等于24mol%、或甚至小于或等于22mol%。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Li_2O的浓度可大于或等于17mol%并且小于或等于26mol%、大于或等于17mol%并且小于或等于24mol%、大于或等于17mol%并且小于或等于22mol%、大于或等于18mol%并且小于或等于26mol%、大于或等于18mol%并且小于或等于24mol%、大于或等于18mol%并且小于或等于22mol%、大于或等于20mol%并且小于或等于26mol%、大于或等于20mol%并且小于或等于24mol%、或甚至大于或等于20mol%并且小于或等于22mol%、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0115] 在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Li_2O的浓度与前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Al_2O_3的浓度(亦即,Li_2O(mol%)与Al_2O_3(mol%))的摩尔比可大于或等于2并且小于或等于12以便达成包括所需二硅酸锂及透锂长石的结晶相。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Li_2O与Al_2O_3的摩尔比可大于或等于4并且小于或等于10。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Li_2O与Al_2O_3的摩尔比可大于或等于2或甚至大于或等于4。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Li_2O与Al_2O_3的摩尔比可小于或等于12、小于或等于10、或甚至小于或等于8。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Li_2O与Al_2O_3的摩尔比可大于或等于2并且小于或等于12、大于或等于2并且小于或等于10、大于或等于2并且小于或

等于8、大于或等于4并且小于或等于12、大于或等于4并且小于或等于10、或甚至大于或等于4并且小于或等于8、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0116] 在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Li_2O的浓度与前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的SiO_2的浓度(亦即，Li_2O(mol％)与SiO_2(mol％))的摩尔比可大于或等于0.25并且小于或等于0.5以便达成包括所需二硅酸锂及透锂长石的结晶相。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Li_2O与SiO_2的摩尔比可大于或等于0.25并且小于或等于0.4。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Li_2O与SiO_2的摩尔比可大于或等于0.25或甚至大于或等于0.3。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Li_2O与SiO_2的摩尔比可小于或等于0.5、小于或等于0.4、或甚至小于或等于0.35。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Li_2O与SiO_2的摩尔比可大于或等于0.25并且小于或等于0.5、大于或等于0.25并且小于或等于0.4、大于或等于0.25并且小于或等于0.35、大于或等于0.3并且小于或等于0.5、大于或等于0.3并且小于或等于0.4、或甚至大于或等于0.3并且小于或等于0.35、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0117] 本文所述前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可进一步包含除了Li_2O以外的碱金属氧化物，诸如Na_2O及/或K_2O。除了有助于所得玻璃-陶瓷制品的离子可交换性以外，Na_2O减少所得玻璃-陶瓷制品的熔点并且改进可成形性。在实施方式中，前体玻璃组合物可及所得玻璃-陶瓷制品包含大于或0mol％并且小于或等于6mol％Na_2O。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Na_2O的浓度可大于或等于0mol％或甚至大于或等于1mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Na_2O的浓度可小于或等于6mol％、小于或等于5mol％、小于或等于4mol％、或甚至小于或等于3mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Na_2O的浓度可大于或等于0mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于4mol％、或甚至大于或等于1mol％并且小于或等于3mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含Na_2O。

[0118] K_2O促进离子交换、增加压缩深度并且减少熔点以便改进所得玻璃-陶瓷制品的可成形性。然而，添加K_2O可导致表面压缩应力及熔点太低。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或0mol％并且小于或等于6mol％K_2O。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的K_2O的浓度可大于或等于0mol％或甚至大于或等于1mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的K_2O的浓度可小于或等于6mol％、小于或等于5mol％、小于或等于4mol％、或甚至小于或等于3mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的K_2O的浓度可大于或等于0mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于4mol％、或甚至大于或等于1mol％并且小于或等于3mol％、或由任何此等端点形成的任何

及所有子范围。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含K_2O。

[0119] 如本文使用,R_2O为存在于前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Li_2O、Na_2O、及K_2O的总和(以mol%为单位)(亦即,$R_2O=Li_2O(mol\%)+Na_2O(mol\%)+K_2O(mol\%)$)。碱金属氧化物,诸如$Li_2O$、$Na_2O$、及$K_2O$,有助于降低前体玻璃组合物的软化点及模制温度,由此抵消由于前体玻璃组合物中的较高量的SiO_2而导致的前体玻璃组合物的软化点及模制温度的增加。软化点及模制温度的减少可通过在前体玻璃组合物中包括碱金属氧化物的组合(例如,两种或两种以上碱金属氧化物)来进一步降低,被称为"混合碱金属效应"的现象。然而,发现若碱金属氧化物的量太高,则前体玻璃组合物的平均热膨胀系数增加至大于100x 10^{-7}/℃,其可为不当的。

[0120] 在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的R_2O的浓度可大于或等于17mol%并且小于或等于30mol%。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的R_2O的浓度可大于或等于17mol%、大于或等于19mol%、或甚至大于或等于21mol%。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的R_2O的浓度可小于或等于30mol%、小于或等于27mol%、或甚至小于或等于25mol%。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的R_2O的浓度可大于或等于17mol%并且小于或等于30mol%、大于或等于17mol%并且小于或等于27mol%、大于或等于17mol%并且小于或等于25mol%、大于或等于19mol%并且小于或等于30mol%、大于或等于19mol%并且小于或等于27mol%、大于或等于19mol%并且小于或等于25mol%、大于或等于21mol%并且小于或等于30mol%、大于或等于21mol%并且小于或等于27mol%、或甚至大于或等于21mol%并且小于或等于25mol%、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0121] 本文所述前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品进一步包括ZrO_2。ZrO_2可有助于减少透锂长石晶粒大小,此对于形成透明或透明雾度玻璃-陶瓷制品而言可为至关重要的。如同SiO_2及Al_2O_3,ZrO_2可充当网络成形剂,由此通过在形成期间减少反玻璃化及减少液相温度来改进玻璃的稳定性。添加ZrO_2亦可改进所得玻璃-陶瓷制品的化学耐久性。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于0.2mol%并且小于或等于4mol%ZrO_2。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于0.5mol%并且小于或等于4mol%ZrO_2。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于1.5mol%并且小于或等于4mol%ZrO_2。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的ZrO_2的浓度可大于或等于0.2mol%、大于或等于0.5mol%、大于或等于1mol%、或甚至大于或等于1.5mol%。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的ZrO_2的浓度可小于或等于4mol%或甚至小于或等于3.5mol%。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的ZrO_2的浓度可大于或等于0.2mol%并且小于或等于4mol%、大于或等于0.2mol%并且小于或等于3.5mol%、大于或等于0.5mol%并且小于或等于4mol%、大于或等于0.5mol%并且小于或等于3.5mol%、大于或等于1mol%并且小于或等于4mol%、大于或等于1mol%并且小于或等于3.5mol%、大于或等于1.5mol%并且小于或等于4mol%、或甚至大于或等于1.5mol%并且小于或等于3.5mol%、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0122] 本文所述前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品进一步包括P_2O_5。P_2O_5充当在玻璃

中产生结晶相的整体成核的成核剂，由此将玻璃转化成玻璃-陶瓷制品。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于0.5mol％并且小于或等于2mol％P_2O_5。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于0.7mol％并且小于或等于1.75mol％P_2O_5。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的P_2O_5的浓度可大于或等于0.5mol％、大于或等于0.7mol％、或甚至大于或等于0.9mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的P_2O_5的浓度可小于或等于2mol％、小于或等于1.75mol％、小于或等于1.5mol％、或甚至小于或等于1.25mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的P_2O_5的浓度可大于或等于0.5mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于1.75mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于1.5mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于1.25mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于1.75mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于1.5mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于1.25mol％、大于或等于0.9mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.9mol％并且小于或等于1.75mol％、大于或等于0.9mol％并且小于或等于1.5mol％、或甚至大于或等于0.9mol％并且小于或等于1.25mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0123] 在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的P_2O_5及ZrO_2的总和(以mol％为单位)(亦即，P_2O_5(mol％)+ZrO_2(mol％))应足够高(例如，大于或等于1mol％)以便在玻璃中产生结晶相的整体成核，由此将玻璃转化成玻璃-陶瓷制品。P_2O_5及ZrO_2的总和可受到限制(例如，小于或等于6mol％)以便产生透明或透明雾度玻璃-陶瓷制品。因此，在实施方式中，P_2O_5及ZrO_2的总和可大于或等于1mol％并且小于或等于6mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的P_2O_5+ZrO_2可大于或等于2mol％并且小于或等于5mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的P_2O_5+ZrO_2可大于或等于1mol％或甚至大于或等于2mol％。在实施方式中前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的P_2O_5+ZrO_2可小于或等于6mol％、小于或等于5mol％、或甚至小于或等于4mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的P_2O_5+ZrO_2可大于或等于1mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于2mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于2mol％并且小于或等于5mol％、或甚至大于或等于2mol％并且小于或等于4mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0124] 在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的SiO_2及Al_2O_3的总和(以mol％为单位)(亦即，SiO_2(mol％)+Al_2O_3(mol％))与P_2O_5及ZrO_2的总和(以mol％为单位)(亦即，P_2O_5(mol％)+ZrO_2(mol％))的摩尔比，表示为(SiO_2(mol％)+Al_2O_3(mol％))/(P_2O_5(mol％)+ZrO_2(mol％))，可大于或等于12mol％并且小于或等于34mol％以便确保形成所需二硅酸锂及透锂长石相。虽然不希望受理论束缚，但是咸信前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中大于34mol％的(SiO_2(mol％)+Al_2O_3(mol％))/(P_2O_5(mol％)+ZrO_2(mol％))可导致形成其他结晶相，诸如石英相。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的(SiO_2(mol％)+Al_2O_3(mol％))/(P_2O_5(mol％)+ZrO_2(mol％))可大于或等于14mol％并且小于或等于32mol％，在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的(SiO_2(mol％)+Al_2O_3(mol％))/(P_2O_5(mol％)+ZrO_2(mol％))可大于或等于12mol％、大于或等于14mol％、大

于或等于16mol％、大于或等于18mol％、或甚至大于或等于20mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的(SiO_2(mol％)+Al_2O_3(mol％))/(P_2O_5(mol％)+ZrO_2(mol％))可小于或等于34mol％、小于或等于32mol％、小于或等于30mol％、或甚至小于或等于28mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的(SiO_2(mol％)+Al_2O_3(mol％))/(P_2O_5(mol％)+ZrO_2(mol％))可大于或等于12mol％并且小于或等于34mol％、大于或等于12mol％并且小于或等于32mol％、大于或等于12mol％并且小于或等于30mol％、大于或等于12mol％并且小于或等于28mol％、大于或等于14mol％并且小于或等于34mol％、大于或等于14mol％并且小于或等于32mol％、大于或等于14mol％并且小于或等于30mol％、大于或等于14mol％并且小于或等于28mol％、大于或等于16mol％并且小于或等于34mol％、大于或等于16mol％并且小于或等于32mol％、大于或等于16mol％并且小于或等于30mol％、大于或等于16mol％并且小于或等于28mol％、大于或等于18mol％并且小于或等于34mol％、大于或等于18mol％并且小于或等于32mol％、大于或等于18mol％并且小于或等于30mol％、大于或等于18mol％并且小于或等于28mol％、大于或等于20mol％并且小于或等于34mol％、大于或等于20mol％并且小于或等于32mol％、大于或等于20mol％并且小于或等于30mol％、或甚至大于或等于20mol％并且小于或等于28mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0125] 本文所述前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品进一步包括碱土金属氧化物及/或过渡金属氧化物。碱土金属氧化物及过渡金属氧化物可在结晶期间基本上分配至剩余玻璃相中，导致填充玻璃网络。虽然由于存在碱土金属氧化物及/或过渡金属氧化物而导致玻璃网络更高度填充，进而导致离子交换期间的碱金属扩散性可减缓，但是与具有更少填充的玻璃网络相比，离子交换至该玻璃网络中产生每个离子的相对更大应力。更大应力导致所得玻璃-陶瓷制品的最大中心张力增加。因此，在前体玻璃组合物中包括碱土金属氧化物及/或过渡金属氧化物可增加所得玻璃-陶瓷制品的最大中心张力。

[0126] “碱土金属氧化物”为存在于前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的CaO、MgO、SrO、及BaO的总和(以mol％为单位)(亦即，碱土金属氧化物＝CaO(mol％)+MgO(mol％)+SrO(mol％)+BaO(mol％))。“过渡金属氧化物”为存在于前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的La_2O_3、Y_2O_3、Ta_2O_5、及GeO_2的总和(以mol％为单位)(亦即，过渡金属氧化物＝La_2O_3(mol％)+Y_2O_3(mol％)+Ta_2O_5(mol％)+GeO_2(mol％))。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的碱土金属氧化物及过渡金属氧化物的总和(以mol％为单位)(亦即，碱土金属氧化物(mol％)+过渡金属氧化物(mol％))可大于或等于0.1mol％并且小于或等于6mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的碱土金属氧化物及过渡金属氧化物的总和可大于或等于0.1mol％并且小于或等于5mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的碱土金属氧化物及过渡金属氧化物的总和可大于或等于0.1mol％、大于或等于0.2mol％、大于或等于0.5mol％、大于或等于0.7mol％、或甚至大于或等于1mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的碱土金属氧化物及过渡金属氧化物的总和可小于或等于6mol％、小于或等于5mol％、小于或等于4mol％、小于或等于3mol％、或甚至小于或等于2mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的碱土金属氧化物及过渡金属氧化物的总和可大于或等于0.1mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于0.1mol％并且

小于或等于4mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于3mol％、或甚至大于或等于1mol％并且小于或等于2mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0127] 在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于0mol％并且小于或等于8mol％CaO。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的CaO的浓度可大于或等于0mol％、大于或等于1mol％、或甚至大于或等于2mol％。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的CaO的浓度可小于或等于8mol％、小于或等于7mol％、小于或等于6mol％、小于或等于5mol％、或甚至小于或等于4mol％。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的CaO的浓度可大于或等于0mol％并且小于或等于8mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于7mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于8mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于7mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于2mol％并且小于或等于8mol％、大于或等于2mol％并且小于或等于7mol％、大于或等于2mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于2mol％并且小于或等于5mol％、或甚至大于或等于2mol％并且小于或等于4mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含CaO。

[0128] 在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于0mol％及小于或等于8mol％MgO。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的MgO的浓度可大于或等于0mol％、大于或等于1mol％、或甚至大于或等于2mol％。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的MgO的浓度可小于或等于8mol％、小于或等于7mol％、小于或等于6mol％、小于或等于5mol％、或甚至小于或等于4mol％。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的MgO的浓度可大于或等于0mol％及小于或等于8mol％、大于或等于0mol％及小于或等于7mol％、大于或等于0mol％及小于或等于6mol％、大于或等于0mol％及小于或等于5mol％、大于或等于0mol％及小于或等于4mol％、大于或等于1mol％及小于或等于8mol％、大于或等于1mol％及小于或等于7mol％、大于或等于1mol％及小于或等于6mol％、大于或等于1mol％及小于或等于5mol％、大于或等于1mol％及小于或等于4mol％、大于或等于2mol％及小于或等于8mol％、大于或等于2mol％及小于

或等于7mol％、大于或等于2mol％及小于或等于6mol％、大于或等于2mol％及小于或等于5mol％、或甚至大于或等于2mol％及小于或等于4mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含MgO。

[0129] 在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于0mol％及小于或等于8mol％SrO。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的SrO的浓度可大于或等于0mol％、大于或等于1mol％、或甚至大于或等于2mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的SrO的浓度可小于或等于8mol％、小于或等于7mol％、小于或等于6mol％、小于或等于5mol％、或甚至小于或等于4mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的SrO的浓度可大于或等于0mol％并且小于或等于8mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于7mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于8mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于7mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于2mol％并且小于或等于8mol％、大于或等于2mol％并且小于或等于7mol％、大于或等于2mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于2mol％并且小于或等于5mol％、或甚至大于或等于2mol％并且小于或等于4mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含SrO。

[0130] 在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于0mol％及小于或等于8mol％BaO。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的BaO的浓度可大于或等于0mol％、大于或等于1mol％、或甚至大于或等于2mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的BaO的浓度可小于或等于8mol％、小于或等于7mol％、小于或等于6mol％、小于或等于5mol％、或甚至小于或等于4mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的BaO的浓度可大于或等于0mol％并且小于或等于8mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于7mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于8mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于7mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于2mol％并且小于或等于8mol％、大于或等于2mol％并且小于或等于7mol％、大于或等于2mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于2mol％并且小于或等于5mol％、或甚至大于或等于2mol％并且小于或等于4mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含BaO。

[0131] 在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的碱土金属氧化物的浓度可大于或等于0mol％、大于或等于0.1mol％、大于或等于0.2mol％、大于或等于0.5mol％、大于或等于0.7mol％、或甚至大于或等于1mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的碱土金属氧化物的浓度可小于或等于10mol％、小于或等于6mol％、小于或等于4mol％、小于或等于3mol％、或甚至小于或等于2mol％。在实施方式中，

前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的碱土金属氧化物的浓度可大于或等于0mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于3mol％、或甚至大于或等于1mol％并且小于或等于2mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含碱土金属氧化物。

[0132] 在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于0mol％及小于或等于4mol％La_2O_3。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的La_2O_3的浓度可大于或等于0mol％、大于或等于0.1mol％、大于或等于0.2mol％、或甚至大于或等于0.5mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的La_2O_3的浓度可小于或等于4mol％、小于或等于3mol％、小于或等于2mol％、或甚至小于或等于1mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的La_2O_3的浓度可大于或等于0mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于1mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于1mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于1mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于2mol％、或甚至大于或等于0.5mol％并且小于或等于1mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含La_2O_3。

[0133] 在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于0mol％及小于或等于6mol％Y_2O_3。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Y_2O_3的浓度可大于或等于0mol％、大于或等于0.1mol％、大于或等于0.5mol％、或甚至大于或等于1mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Y_2O_3的浓度可小于或等于6mol％、小于或等于5mol％、小于或等于4mol％、小于或等于3mol％、或甚至小于或等

于2mol％。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Y_2O_3的浓度可大于或等于0mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于5mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于3mol％、或甚至大于或等于1mol％并且小于或等于2mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含Y_2O_3。

[0134] 在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于0mol％及小于或等于3mol％Ta_2O_5。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Ta_2O_5的浓度可大于或等于0mol％、大于或等于0.1mol％、大于或等于0.2mol％、或甚至大于或等于0.5mol％。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Ta_2O_5的浓度可小于或等于3mol％、小于或等于2mol％、或甚至小于或等于1mol％。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的Ta_2O_5的浓度可大于或等于0mol％及小于或等于3mol％、大于或等于0mol％及小于或等于2mol％、大于或等于0mol％及小于或等于1mol％、大于或等于0.1mol％及小于或等于3mol％、大于或等于0.1mol％及小于或等于2mol％、大于或等于0.1mol％及小于或等于1mol％、大于或等于0.2mol％及小于或等于3mol％、大于或等于0.2mol％及小于或等于2mol％、大于或等于0.2mol％及小于或等于1mol％、大于或等于0.5mol％及小于或等于3mol％、大于或等于0.5mol％及小于或等于2mol％、或甚至大于或等于0.5mol％及小于或等于1mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含Ta_2O_5。

[0135] 在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于0mol％并且小于或等于2mol％GeO_2。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的GeO_2的浓度可大于或等于0mol％、大于或等于0.1mol％、大于或等于0.2mol％、或甚至大于或等于0.5mol％。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的GeO_2的浓度可小于或等于2mol％或甚至小于或等于1mol％。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的GeO_2的浓度可大于或等于0mol％及小于或等于2mol％、大于或等于0mol％及小于或等于1mol％、大于或等于0.1mol％及小于或等于2mol％、大于或等于0.1mol％及小于或等于1mol％、大于或等于0.2mol％及小于或等于2mol％、大于或等于0.2mol％及小于或等于1mol％、大于或等于0.5mol％及小于或等于2mol％、或甚至大于或等于0.5mol％及小于或等于1mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含GeO_2。

[0136] 在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的过渡金属氧化物的浓度可大于或等于0mol％、大于或等于0.1mol％、大于或等于0.2mol％、大于或等于

0.5mol％、大于或等于0.7mol％、或甚至大于或等于1mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的过渡金属氧化物的浓度可小于或等于10mol％、小于或等于6mol％、小于或等于4mol％、小于或等于3mol％、或甚至小于或等于2mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的过渡金属氧化物的浓度可大于或等于0mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于3mol％、或甚至大于或等于1mol％并且小于或等于2mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含过渡金属氧化物。

[0137] 在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于0mol％及小于或等于10mol％ZnO。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的ZnO的浓度可大于或等于0mol％或甚至大于或等于1mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的ZnO的浓度可小于或等于10mol％、小于或等于6mol％、小于或等于4、小于或等于3mol％、或甚至小于或等于2mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的ZnO的浓度可大于或等于0mol％及小于或等于10mol％、大于或等于0mol％及小于或等于6mol％、大于或等于0mol％及小于或等于4mol％、大于或等于0mol％及小于或等于3mol％、大于或等于0mol％及小于或等于2mol％、大于或等于1mol％及小于或等于10mol％、大于或等于1mol％及小于或等于6mol％、大于或等于1mol％及小于或等于4mol％、大于或等于1mol％及小于或等于3mol％、或甚至大于或等于1mol％及小于或等于2mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含ZnO。

[0138] 如本文使用，RO为存在于前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的CaO、MgO、ZnO、SrO、及BaO的总和(以mol％为单位)(亦即，RO＝CaO(mol％)+MgO(mol％)+ZnO(mol％)+SrO(mol％)+BaO(mol％))。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的RO的浓度可大于或等于0mol％、大于或等于0.1mol％、大于或等于0.2mol％、大于或等于0.5mol％、大于或等于0.7mol％、或甚至大于或等于1mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的RO的浓度可小于或等于10mol％、小于或等于6mol％、小于或

等于4mol％、小于或等于3mol％、或甚至小于或等于2mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的RO的浓度可大于或等于0mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.1mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.2mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.5mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于3mol％、大于或等于0.7mol％并且小于或等于2mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于10mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于6mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于4mol％、大于或等于1mol％并且小于或等于3mol％、或甚至大于或等于1mol％并且小于或等于2mol％、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含RO。

[0139] 本文所述前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可进一步包括B_2O_3。B_2O_3减少前体玻璃组合物的熔融温度。此外，在前体玻璃组合物中添加B_2O_3有助于在前体玻璃组合物经受热处理以形成玻璃-陶瓷制品时，达成联锁晶体微观结构。另外，B_2O_3亦可改进所得玻璃-陶瓷制品的抗破坏性。当热处理之后存在的剩余玻璃相中的硼未通过碱金属氧化物或二价阳离子氧化物(诸如MgO、CaO、SrO、BaO、及ZnO)来电荷平衡时，硼处于三角配位状态(或三配位硼)，从而将玻璃的结构打开。此等三个配位硼原子周围的网络不如四面体配位(或四配位)硼坚硬。不受理论约束，咸信与四配位硼相比，包括三配位硼的玻璃-陶瓷制品可在裂纹形成的前容许某种程度的变形。通过容许一些变形，维氏缺口裂纹发生临界值增加。包括三配位硼的玻璃-陶瓷制品的断裂韧性亦可增加。可包含B_2O_3(例如，大于或等于0mol％)以便改进所得玻璃-陶瓷制品的可成形性并且增加断裂韧性。然而，若B_2O_3的浓度太高，则化学耐久性及液相粘度可减少并且熔融期间B_2O_3的蒸发及汽化变得难以控制。因此，B_2O_3的浓度可受到限制(例如，小于或等于8mol％)以便保持前体玻璃组合物的化学耐久性及可制造性。

[0140] 在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可包含大于或等于0mol％并且小于或等于8mol％B_2O_3。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的B_2O_3的浓度可大于或等于0mol％、大于或等于1mol％、或甚至大于或等于3mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的B_2O_3的浓度可小于或等于8mol％或甚至小于或等于5mol％。在实施方式中，前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中的B_2O_3的浓度可大于或等于0mol％及小于或等于8mol％、大于或等于0mol％及小于或等于5mol％、大于或等于1mol％及小于或等于8mol％、大于或等于1mol％及小于或等于5mol％、大于或等于3mol％及小于或等于8mol％、或甚至大于或等于3mol％及小于或等于5mol％、或由任何此

等端点形成的任何及所有子范围。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含B_2O_3。

[0141] 在实施方式中,本文所述前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可进一步包括混入物材料诸如TiO_2、MnO、MoO_3、WO_3、CdO、As_2O_3、Sb_2O_3、基于硫的化合物诸如硫酸盐、卤素、或其组合。在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含个别混入物材料、混入物材料的组合、或所有混入物材料。例如,在实施方式中,前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品可实质上不含或不含TiO_2、MnO、MoO_3、WO_3、CdO、As_2O_3、Sb_2O_3、基于硫的化合物诸如硫酸盐、卤素、或其组合。

[0142] 在实施方式中,抗微生物组分、化学澄清剂、或其他额外组分可包含于前体玻璃组合物及所得玻璃-陶瓷制品中。

[0143] 在实施方式中,前体玻璃组合物的液相温度可大于或等于900℃或甚至大于或等于1000℃。在实施方式中,前体玻璃组合物的液相温度可小于或等于1200℃或甚至小于或等于1100℃。在实施方式中,前体玻璃组合物的液相温度可大于或等于900℃并且小于或等于1200℃、大于或等于900℃并且小于或等于1100℃、大于或等于1000℃并且小于或等于1200℃、或甚至大于或等于1000℃并且小于或等于1100℃、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0144] 如本文描述的前体玻璃制品或由其制成的玻璃-陶瓷制品可为任何合适厚度,该厚度可取决于玻璃-陶瓷制品的特定应用而变化。在实施方式中,前体玻璃组合物及由其形成的玻璃-陶瓷制品可具有厚度大于或等于250μm并且小于或等于6mm、大于或等于250μm并且小于或等于4mm、大于或等于250μm并且小于或等于2mm、大于或等于250μm并且小于或等于1mm、大于或等于250μm并且小于或等于750μm、大于或等于250μm并且小于或等于500μm、大于或等于500μm并且小于或等于6mm、大于或等于500μm并且小于或等于4mm、大于或等于500μm并且小于或等于2mm、大于或等于500μm并且小于或等于1mm、大于或等于500μm并且小于或等于750μm、大于或等于750μm并且小于或等于6mm、大于或等于750μm并且小于或等于4mm、大于或等于750μm并且小于或等于2mm、大于或等于750μm并且小于或等于1mm、大于或等于1mm并且小于或等于6mm、大于或等于1mm并且小于或等于4mm、大于或等于1mm并且小于或等于2mm、大于或等于2mm并且小于或等于6mm、大于或等于2mm并且小于或等于4mm、或甚至大于或等于4mm并且小于或等于6mm、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0145] 如在上文中论述,自本文所述的前体玻璃组合物形成的玻璃-陶瓷制品可具有增加断裂韧性以使得玻璃-陶瓷制品具有对于破坏的更大抵抗力。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品可具有如通过人字形缺口短棒方法来测量的K_{Ic}断裂韧性大于或等于1.0MPa·$m^{1/2}$。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品可具有如通过人字形缺口短棒方法来测量的K_{Ic}断裂韧性大于或等于1.0MPa·$m^{1/2}$、大于或等于1.1MPa·$m^{1/2}$、或甚至大于或等于1.2MPa·$m^{1/2}$。

[0146] 在实施方式中,玻璃-陶瓷制品的弹性模量可大于或等于90GPa。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品的弹性模量可大于或等于90GPa或甚至大于或等于100GPa。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品的弹性模量可小于或等于125GPa或甚至小于或等于115GPa。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品的弹性模量可大于或等于90GPa并且小于或等于125GPa、大于或等于90GPa并且小于或等于115GPa、大于或等于100GPa并且小于或等于125GPa、或甚至大于或等于100GPa并且小于或等于115GPa、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0147] 在实施方式中,玻璃-陶瓷制品的剪切模量可大于或等于30GPa或甚至大于或等于40GPa。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品的剪切模量可小于或等于55GPa或甚至小于或等于45GPa。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品的剪切模量可大于或等于30GPa并且小于或等于55GPa、大于或等于30GPa并且小于或等于45GPa、大于或等于40GPa并且小于或等于55GPa、或甚至大于或等于40GPa并且小于或等于45GPa、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0148] 在实施方式中,如在0.8mm的制品厚度下测量,在400nm至800nm的波长范围内,玻璃-陶瓷制品的平均透射率可为大于或等于50%并且小于或等于95%的光。在实施方式中,如在0.8mm的制品厚度下测量,在400nm至800nm的波长范围内,玻璃-陶瓷制品的平均透射率可为大于或等于50%、大于或等于60%、大于或等于70%、或甚至大于或等于80%的光。在实施方式中,如在0.8mm的制品厚度下测量,在400nm至800nm的波长范围内,玻璃-陶瓷制品的平均透射率可为小于或等于95%或甚至小于或等于90%的光。在实施方式中,如在0.8mm的制品厚度下测量,在400nm至800nm的波长范围内,玻璃-陶瓷制品的平均透射率可为大于或等于50%并且小于或等于95%、大于或等于50%并且小于或等于90%、大于或等于60%并且小于或等于95%、大于或等于60%并且小于或等于90%、大于或等于70%并且小于或等于95%、大于或等于70%并且小于或等于90%、大于或等于80%并且小于或等于95%、或甚至大于或等于80%并且小于或等于90%、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围的光。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品可为透明或透明雾度。

[0149] 在实施方式中,玻璃-陶瓷制品的泊松比可为大于或等于0.17或甚至大于或等于0.19。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品的泊松比可为小于或等于0.23或甚至小于或等于0.21。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品的泊松比可为大于或等于0.17并且小于或等于0.23、大于或等于0.17并且小于或等于0.21、大于或等于0.19并且小于或等于0.23、或甚至大于或等于0.19并且小于或等于0.21、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0150] 在实施方式中,玻璃-陶瓷制品的SOC可大于或等于2.5nm/mm/MPa或甚至大于或等于2.4nm/mm/MPa。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品的SOC可小于或等于2.8nm/mm/MPa或甚至小于或等于2.7nm/mm/MPa。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品的SOC可为大于或等于2.4nm/mm/MPa并且小于或等于2.8nm/mm/MPa、大于或等于2.4nm/mm/MPa并且小于或等于2.7nm/mm/MPa、大于或等于2.5nm/mm/MPa并且小于或等于2.8nm/mm/MPa、或甚至大于或等于2.5nm/mm/MPa并且小于或等于2.7nm/mm/MPa、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0151] 在实施方式中,本文所述玻璃-陶瓷制品可离子交换以便强化制品。在典型离子交换过程中,在接近于玻璃-陶瓷制品的外表面的层内,玻璃-陶瓷制品中的较小金属离子用相同原子价的较大金属离子来置换或“交换”。在玻璃-陶瓷制品的层内,较小离子用较大离子来置换产生压缩应力。在实施方式中,金属离子为单价金属离子(例如,Li^+、Na^+、K^+、及其类似离子),并且离子交换通过将玻璃-陶瓷制品浸没于包括较大金属离子的至少一种熔盐的浴中来完成,该较大金属离子置换玻璃-陶瓷制品中的较小金属离子。或者,其他单价离子诸如Ag^+、Tl^+、Cu^+、及其类似离子可交换单价离子。用于强化玻璃-陶瓷制品的一或多种离子交换过程可包括但不限于浸没于具有相同或不同组合物的单个浴或多个浴中,并且在浸没之间视情况进行洗涤及/或退火步骤。

[0152] 根据实施方式,在暴露于玻璃-陶瓷制品后,离子交换溶液(例如,KNO_3及/或$NaNO_3$

熔盐浴,其亦可含有$LiNO_3$)可在大于或等于350℃并且小于或等于500℃、大于或等于360℃并且小于或等于450℃、大于或等于370℃并且小于或等于440℃、大于或等于360℃并且小于或等于420℃、大于或等于370℃并且小于或等于400℃、大于或等于375℃并且小于或等于475℃、大于或等于400℃并且小于或等于500℃、大于或等于410℃并且小于或等于490℃、大于或等于420℃并且小于或等于480℃、大于或等于430℃并且小于或等于470℃、或甚至大于或等于440℃并且小于或等于460℃、或前述值之间的任何及所有子范围的温度下。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品可暴露于离子交换溶液大于或等于2小时并且小于或等于24小时、大于或等于2小时并且小于或等于12小时、大于或等于2小时并且小于或等于6小时、大于或等于8小时并且小于或等于24小时、大于或等于6小时并且小于或等于24小时、大于或等于6小时并且小于或等于12小时、大于或等于8小时并且小于或等于24小时、或甚至大于或等于8小时并且小于或等于12小时、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围的持续时间。

[0153] 在2小时离子交换时间后,在玻璃-陶瓷制品的表面上,所得压缩应力层可具有大于或等于100μm的深度(亦被称为"压缩深度(depth of compression)"或"DOC")。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品可离子交换以便达成大于或等于10μm、大于或等于20μm、大于或等于30μm、大于或等于40μm、大于或等于50μm、大于或等于60μm、大于或等于70μm、大于或等于80μm、大于或等于90μm、或甚至大于或等于100μm的压缩深度。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品具有厚度"t"并且可离子交换以便达成大于或等于0.25t、大于或等于0.27t、或甚至大于或等于0.30t的压缩深度。

[0154] 与非离子交换材料相比,此表面压缩层的开发有益于达成更好抗裂性及更高抗挠强度。与交换至玻璃-陶瓷制品的主体(亦即,不包括表面压缩的区域)中的离子的浓度相比,表面压缩层具有交换至玻璃-陶瓷制品中的离子的更高浓度。

[0155] 在实施方式中,由本文描述的前体玻璃组合物制成的玻璃-陶瓷制品可具有大于或等于80MPa、大于或等于100MPa、或甚至大于或等于250MPa的离子交换强化后的表面压缩应力。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品可具有小于或等于1GPa、小于或等于750MPa、或甚至小于或等于500MPa的离子交换强化后的表面压缩应力。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品可具有大于或等于80MPa并且小于或等于1GPa、大于或等于80MPa并且小于或等于750MPa、大于或等于80MPa并且小于或等于500MPa、大于或等于100MPa并且小于或等于1GPa、大于或等于100MPa并且小于或等于750MPa、大于或等于100MPa并且小于或等于500MPa、大于或等于250MPa并且小于或等于1GPa、大于或等于250MPa并且小于或等于750MPa、或甚至大于或等于250MPa并且小于或等于500MPa、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围的离子交换强化后的表面压缩应力。

[0156] 如本文描述,将碱土金属氧化物及/或过渡金属氧化物包括于前体玻璃组合物中可增加所得玻璃-陶瓷制品的最大中心张力。在实施方式中,由本文描述的前体玻璃组合物制成的玻璃-陶瓷制品可具有大于或等于30MPa、大于或等于50MPa、或甚至大于或等于100MPa的离子交换强化后的中心张力。在实施方式中,由本文描述的前体玻璃组合物制成的玻璃-陶瓷制品可具有小于或等于250MPa、小于或等于200MPa、或甚至小于或等于175MPa的离子交换强化后的中心张力。在实施方式中,由本文描述的前体玻璃组合物制成的玻璃-陶瓷制品可具有大于或等于30MPa并且小于或等于250MPa、大于或等于30MPa并且小于或等

于200MPa、大于或等于30MPa并且小于或等于175MPa、大于或等于50MPa并且小于或等于250MPa、大于或等于50MPa并且小于或等于200MPa、大于或等于50MPa并且小于或等于175MPa、大于或等于100MPa并且小于或等于250MPa、大于或等于100MPa并且小于或等于200MPa、或甚至大于或等于100MPa并且小于或等于175MPa、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围的离子交换强化后的中心张力。

[0157] 在实施方式中,玻璃-陶瓷制品可具有大于或等于0.025t、大于或等于0.1t、或甚至大于或等于0.2t的离子交换之后的钠离子穿透深度(亦被称为化学深度)。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品可具有小于或等于0.28t或甚至小于或等于0.25t的钠离子穿透深度。在实施方式中,玻璃-陶瓷制品可具有大于或等于0.025t并且小于或等于0.28t、大于或等于0.025t并且小于或等于0.25t、大于或等于0.1t并且小于或等于0.28t、大于或等于0.1t并且小于或等于0.25t、大于或等于0.2t并且小于或等于0.28t、或甚至大于或等于0.2t并且小于或等于0.25t、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围的钠离子穿透深度。

[0158] 在实施方式中,玻璃-陶瓷制品可具有大于或等于0t并且小于或等于0.01t的离子交换之后的钾离子穿透深度。

[0159] 在实施方式中,制得玻璃-陶瓷制品的过程包括在烘箱中,在一或多个预先选定的温度下,将由前体玻璃组合物形成的前体玻璃制品热处理一或多个预先选定的时间以便诱导一或多个结晶相(例如,具有一或多种组合物、量、形态、大小或大小分布等)的玻璃均质化及结晶(亦即,成核及生长)。在实施方式中,热处理可包括(i)在烘箱中,将前体玻璃制品以大于或等于1℃/min并且小于或等于10℃/min的速率加热至成核温度;(ii)在烘箱中,将前体玻璃制品保持于成核温度下大于或等于0.1小时并且小于或等于8小时的时间以便产生有核可结晶玻璃;(iii)在烘箱中,将有核可结晶玻璃制品以大于或等于1℃/min并且小于或等于10℃/min的速率加热至结晶温度;(iv)在烘箱中,将有核可结晶玻璃制品保持在结晶温度下大于或等于0.1小时并且小于或等于8小时的一段时间以便产生玻璃-陶瓷制品;及(v)将玻璃-陶瓷制品冷却至室温。

[0160] 在实施方式中,成核温度可大于或等于600℃并且小于或等于900℃。在实施方式中,成核温度可大于或等于600℃或甚至大于或等于650℃。在实施方式中,成核温度可小于或等于900℃或甚至小于或等于800℃。在实施方式中,成核温度可大于或等于600℃并且小于或等于900℃、大于或等于600℃并且小于或等于800℃、大于或等于650℃并且小于或等于900℃、或甚至大于或等于650℃并且小于或等于800℃、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0161] 在实施方式中,结晶温度可大于或等于700℃并且小于或等于1000℃。在实施方式中,结晶温度可大于或等于700℃或甚至大于或等于750℃。在实施方式中,结晶温度可小于或等于1000℃或甚至小于或等于900℃。在实施方式中,结晶温度可大于或等于700℃并且小于或等于1000℃、大于或等于700℃并且小于或等于900℃、大于或等于750℃并且小于或等于1000℃、或甚至大于或等于750℃并且小于或等于900℃、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0162] 如本文使用,加热速率、成核温度、及结晶温度是指对前体玻璃组合物或前体玻璃制品进行热处理的烘箱的加热速率及温度。

[0163] 除了前体玻璃组合物以外,加热至结晶温度并且将温度保持在结晶温度下的热处

理步骤的温度-时间概况应审慎地规定以便产生以下所需属性中的一或多者:玻璃-陶瓷制品的结晶相、一或多个主要结晶相及/或一或多个次要结晶相及剩余玻璃相的比例、一或多个占优势结晶相及/或一或多个次要结晶相及剩余玻璃相的晶体相组合、及一或多个主要结晶相及/或一或多个次要结晶相之间的晶粒大小或晶粒大小分布,该等属性进而可影响所得玻璃-陶瓷制品的最终完整性、质量、颜色、及/或不透明性。

[0164] 本文所述玻璃-陶瓷制品包括结晶相及剩余玻璃相。在实施方式中,结晶相可包含二硅酸锂及透锂长石。二硅酸锂$Li_2Si_2O_5$为基于$\{Si_2O_5\}$四面体阵列的波纹状薄片的斜方晶体。晶体通常在形状上为板状或板条样的,具有显著分裂平面。透锂长石$Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 8SiO_2$为基于$AlO_4$及$SiO_4$四面体的三维构架结构的单斜晶体,其含有通过$AlO_4$四面体来连接的$Si_4O_{10}$层。基于二硅酸锂及透锂长石的玻璃-陶瓷制品提供高度合意机械性质,包括高主体强度及断裂韧性,此归因于其随机定向联锁晶体的微观结构,亦即通过围绕此等晶体的弯曲路径,迫使裂纹在材料中传播的晶体结构。

[0165] 在实施方式中,结晶相中的二硅酸锂及透锂长石的总量基于结晶相的总重量可大于或等于50wt%、大于或等于60wt%、或甚至大于或等于70wt%。在实施方式中,结晶相中的二硅酸锂及透锂长石的总量基于结晶相的总重量可小于或等于99wt%、小于或等于90wt%、或甚至小于或等于85wt%。在实施方式中,结晶相中的二硅酸锂及透锂长石的总量基于结晶相的总重量可大于或等于50wt%并且小于或等于99wt%、大于或等于50wt%并且小于或等于90wt%、大于或等于50wt%并且小于或等于85wt%、大于或等于60wt%并且小于或等于99wt%、大于或等于60wt%并且小于或等于90wt%、大于或等于60wt%并且小于或等于85wt%、大于或等于70wt%并且小于或等于99wt%、大于或等于70wt%并且小于或等于90wt%、或甚至大于或等于70wt%并且小于或等于85wt%、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0166] 在实施方式中,结晶相中的二硅酸锂的量基于结晶相的总重量可大于或等于20wt%或甚至大于或等于30wt%二硅酸锂。在实施方式中,结晶相中的二硅酸锂的量基于结晶相的总重量可小于或等于60wt%或甚至小于或等于50wt%。在实施方式中,结晶相中的二硅酸锂的量基于结晶相的总重量可大于或等于20wt%并且小于或等于60wt%、大于或等于20wt%并且小于或等于50wt%、大于或等于30wt%并且小于或等于60wt%、或甚至大于或等于30wt%并且小于或等于50wt%、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0167] 在实施方式中,结晶相中的透锂长石的量基于结晶相的总重量可大于或等于20wt%或甚至大于或等于30wt%二硅酸锂。在实施方式中,结晶相中的透锂长石的量基于结晶相的总重量可小于或等于60wt%或甚至小于或等于50wt%。在实施方式中,结晶相中的透锂长石的量基于结晶相的总重量可大于或等于20wt%并且小于或等于60wt%、大于或等于20wt%并且小于或等于50wt%、大于或等于30wt%并且小于或等于60wt%、或甚至大于或等于30wt%并且小于或等于50wt%、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围。

[0168] 在实施方式中,除了二硅酸锂及透锂长石以外,玻璃-陶瓷制品的结晶相可进一步包含偏硅酸锂、β-石英、方硅石、或其组合。

[0169] 在实施方式中,结晶相的二硅酸锂及透锂长石的晶粒的晶粒大小可受到限制(例如,小于或等于100nm)以使得玻璃-陶瓷制品为透明或透明雾度。在实施方式中,结晶相的二硅酸锂及透锂长石的晶粒可包含大于或等于10nm、大于或等于25nm、或甚至大于或等于

50nm的晶粒大小。在实施方式中,结晶相的二硅酸锂及透锂长石的晶粒可包含小于或等于100nm或甚至小于或等于75nm的晶粒大小。在实施方式中,结晶相的二硅酸锂及透锂长石的晶粒可包含大于或等于10nm并且小于或等于100nm、大于或等于10nm并且小于或等于75nm、大于或等于25nm并且小于或等于100nm、大于或等于25nm并且小于或等于75nm、大于或等于50nm并且小于或等于100nm、或甚至大于或等于50nm并且小于或等于75nm、或由任何此等端点形成的任何及所有子范围的晶粒大小。

[0170] 在实施方式中,结晶相的二硅酸锂及透锂长石的晶粒可包含大于或等于2:1、大于或等于5:1、大于或等于10:1、大于或等于20:1、或甚至大于或等于25:1的纵横比。

[0171] 在实施方式中,玻璃-陶瓷制品可包括以玻璃-陶瓷制品的重量计(亦即,wt%)大于或等于50wt%的结晶相及小于或等于50wt%的剩余玻璃相、大于或等于60wt%的结晶相及小于或等于40wt%的剩余玻璃相、大于或等于70wt%的结晶相及小于或等于30wt%的剩余玻璃相、大于或等于80wt%的结晶相及小于或等于20wt%的剩余玻璃相、或甚至大于或等于90wt%的结晶相及小于或等于10wt%,或由任何此等端点形成的任何及所有子范围,如根据XRD光谱的Rietveld分析来确定。

[0172] 玻璃-陶瓷制品可以薄片形式提供,然后其可通过挤压、喷出、挠曲、下垂、真空成形、或其他手段来重新形成为均匀厚度的弯曲或挠曲工件。

[0173] 本文所述玻璃-陶瓷制品可用于各种应用中,包括例如消费或商业电子装置中的玻璃盖或玻璃底板应用,该等电子装置包括例如LCD及LED显示器、计算机监视器、及自动柜员机(automated teller machine;ATM);触控屏幕或触控传感器应用,可携式电子装置包括例如移动电话、个人媒体播放器、手表及平板计算机;集成电路应用包括,例如,半导体晶片;光伏应用;建筑玻璃应用;汽车或车辆玻璃应用;或商业或家用电器应用。在实施方式中,消费电子装置(例如,智能手机、平板计算机、手表、个人计算机、超极本、电视、及摄影机)、建筑玻璃、及/或汽车玻璃可包含如本文描述的玻璃-陶瓷制品。

[0174] 并入本文公开的任何玻璃-陶瓷制品的示例性电子装置展示于图1及图2中。具体而言,图1及图2标出消费电子装置100,该装置包括:具有前104、后106、及侧表面108的壳体102;电气部件(未展示),该等部件至少部分地在壳体内部或全部在壳体内并且至少包括控制器、内存、及在壳体的前表面处或附近的显示器110;及在壳体的前表面处或上的覆盖基材112以使得其在显示器上。在实施方式中,覆盖基材112及壳体102中的至少一种的至少一部分可包括本文公开的玻璃-陶瓷制品中的任一者。

[0175] 实例

[0176] 为了更容易理解各个实施方式,参考以下实例,其意欲示出本文所述前体玻璃组合物及玻璃-陶瓷制品的各个实施方式。

[0177] 表1示出示例性及比较前体玻璃组合物(以mol%为单位)及前体玻璃组合物的液相温度。表2示出达成示例性及比较玻璃-陶瓷制品的热处理时程,及玻璃-陶瓷制品的相应性质。形成具有表1列出的示例性前体玻璃组合物1-29及比较前体玻璃组合物C1-C9的玻璃-陶瓷制品。

[0178] 表1

[0179]

实例	1	2	3	4	5	6
SiO_2	68.2	67.6	67.6	68.2	67.6	66.9
B_2O_3	-	-	-	-	-	-
Al_2O_3	3.7	3.6	3.6	3.7	3.6	3.6
Li_2O	21.3	21.1	21.1	21.3	21.1	20.9
Na_2O	1.2	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1
K_2O	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
MgO	-	-	-	1.0	1.9	2.8
CaO	-	1.9	-	-	-	-
SrO	-	-	-	-	-	-
BaO	-	-	1.9	-	-	-
ZnO	-	-	-	-	-	-
GeO_2	-	-	-	-	-	-
La_2O_3	1.0	-	-	-	-	-
Y_2O_3	-	-	-	-	-	-
Ta_2O_5	-	-	-	-	-	-
P_2O_5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9
ZrO_2	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8
SnO_2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
R_2O	23.2	22.9	22.9	23.2	22.9	22.7
RO	0	1.9	1.9	1.0	1.9	2.8
碱土金属氧化物	0	1.9	1.9	1.0	1.9	2.8
过渡金属氧化物	1.0	0	0	0	0	0
碱土金属氧化物 + 过渡金属氧化物	1.0	1.9	1.9	1.0	1.9	2.8
$P_2O_5 + ZrO_2$	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.7
Li_2O/Al_2O_3	5.76	5.86	5.86	5.76	5.86	5.81
Li_2O/SiO_2	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
$(SiO_2 + Al_2O_3)/(P_2O_5 + ZrO_2)$	18.44	18.26	18.26	18.44	18.26	19.05
液相温度(℃)	1055	1055	1015	1040	1055	1065

[0180] 表1续

[0181]

实例	7	8	9	10	11	12
SiO_2	66.3	68.2	66.9	66.3	68.2	67.6
B_2O_3	-	-	-	-	-	-
Al_2O_3	3.6	3.7	3.6	3.6	3.7	3.6
Li_2O	20.7	21.3	20.9	20.7	21.3	21.1
Na_2O	1.1	1.2	1.1	1.1	1.2	1.1
K_2O	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
MgO	3.8	-	-	-	-	-
CaO	-	1.0	2.8	3.8	-	-
SrO	-	-	-	-	1.0	1.9

[0182]

BaO	-	-	-	-	-	-
ZnO	-	-	-	-	-	-
GeO_2	-	-	-	-	-	-
La_2O_3	-	-	-	-	-	-
Y_2O_3	-	-	-	-	-	-
Ta_2O_5	-	-	-	-	-	-
P_2O_5	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0
ZrO_2	2.8	2.9	2.8	2.8	2.9	2.9
SnO_2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
R_2O	22.5	23.2	22.7	22.5	23.2	22.9
RO	3.8	1.0	2.8	3.8	1.0	1.9
碱土金属氧化物	3.8	1.0	2.8	3.8	1.0	1.9
过渡金属氧化物	0	0	0	0	0	0
碱土金属氧化物 + 过渡金属氧化物	3.8	1.0	2.8	3.8	1.0	1.9
$P_2O_5 + ZrO_2$	3.7	3.9	3.7	3.7	3.9	3.9
Li_2O/Al_2O_3	5.75	5.76	5.81	5.75	5.76	5.86
Li_2O/SiO_2	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
$(SiO_2 + Al_2O_3)/(P_2O_5 + ZrO_2)$	18.89	18.44	19.05	18.89	18.44	18.26
液相温度(℃)	1080	1040	1040	1040	1035	1020

[0183] 表1续

[0184]

实例	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*
SiO_2	66.9	66.3	68.2	68.9	68.9	68.9
B_2O_3	-	-	-	-	-	-
Al_2O_3	3.6	3.6	3.7	2.7	2.7	2.7
Li_2O	20.9	20.7	21.3	21.5	21.5	21.5
Na_2O	1.1	1.1	1.2	1.0	1.0	1.0
K_2O	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
MgO	-	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-
SrO	2.8	3.8	-	-	-	-
BaO	-	-	1.0	-	-	-
ZnO	-	-	-	-	-	-
GeO_2	-	-	-	-	-	-
La_2O_3	-	-	-	-	-	-
Y_2O_3	-	-	-	0.5	0.7	1.0
Ta_2O_5	-	-	-	-	-	-
P_2O_5	0.9	0.9	1.0	1.2	1.2	1.2
ZrO_2	2.8	2.8	2.9	3.4	3.2	2.9
SnO_2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
R_2O	22.7	22.5	23.2	23.2	23.2	23.2
RO	2.8	3.8	1.0	0	0	0
碱土金属氧化物	2.8	3.8	1.0	0	0	0
过渡金属氧化物	0	0	0	0.5	0.7	1.0
碱土金属氧化物 + 过渡金属氧化物	2.8	3.8	1.0	0.5	0.7	1.0

[0185]

$P_2O_5 + ZrO_2$	3.7	3.7	3.9	4.6	4.4	4.1
Li_2O/Al_2O_3	5.81	5.75	5.76	7.96	7.96	7.96
Li_2O/SiO_2	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
$(SiO_2 + Al_2O_3)/(P_2O_5 + ZrO_2)$	19.05	18.89	18.44	15.57	16.27	17.46
液相温度(℃)	1015	1045	1035	1040	1025	1025

[0186] 表1续

实例	19	20	21	22	23	24
SiO_2	70.1	69.8	70.1	69.8	70.1	69.8
B_2O_3	-	-	-	-	-	-
Al_2O_3	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
Li_2O	21.3	21.2	21.3	21.2	21.3	21.2
Na_2O	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
K_2O	-	-	-	-	-	-
MgO	-	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-
SrO	-	-	-	-	-	-
BaO	0.2	0.7	-	-	-	-
ZnO	-	-	-	-	-	-
GeO_2	-	-	0.2	0.7	-	-
La_2O_3	-	-	-	-	0.2	0.7
Y_2O_3	-	-	-	-	-	-
Ta_2O_5	-	-	-	-	-	-
P_2O_5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZrO_2	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
SnO_2	-	-	-	-	-	-
R_2O	22.8	22.7	22.8	22.7	22.8	22.7
RO	0.2	0.7	0	0	0	0
碱土金属氧化物	0.2	0.7	0	0	0	0
过渡金属氧化物	0	0	0.2	0.7	0.2	0.7
碱土金属氧化物 + 过渡金属氧化物	0.2	0.7	0.2	0.7	0.2	0.7
$P_2O_5 + ZrO_2$	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Li_2O/Al_2O_3	5.07	5.05	5.07	5.05	5.07	5.05
Li_2O/SiO_2	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
$(SiO_2 + Al_2O_3)/(P_2O_5 + ZrO_2)$	28.58	28.46	28.58	28.46	28.58	28.46
液相温度(℃)	-	-	-	-	-	-

[0187]

[0188] 表1续

实例	25	26	27	28	29	C1
SiO_2	70.1	69.8	70.1	70.1	69.8	69.0
B_2O_3	-	-	-	-	-	-
Al_2O_3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	3.7
Li_2O	22.5	22.4	22.5	22.5	22.4	21.6
Na_2O	-	-	-	-	-	1.0

[0189]

[0190]

K_2O	-	-	-	-	-	0.7
MgO	-	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-
SrO	-	-	0.2	-	-	-
BaO	0.2	0.7	-	-	-	-
ZnO	-	-	-	-	-	-
GeO_2	-	-	-	-	-	-
La_2O_3	-	-	-	-	-	-
Y_2O_3	-	-	-	-	-	-
Ta_2O_5	-	-	-	0.2	0.7	-
P_2O_5	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0
ZrO_2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.9
SnO_2	-	-	-	-	-	0.1
R_2O	22.5	22.4	22.5	22.5	22.4	23.3
RO	0.2	0.7	0.2	0	0	0
碱土金属氧化物	0.2	0.7	0.2	0	0	0
过渡金属氧化物	0	0	0	0.2	0.7	0
碱土金属氧化物 + 过渡金属氧化物	0.2	0.7	0.2	0.2	0.7	0
$P_2O_5 + ZrO_2$	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	3.9
Li_2O/Al_2O_3	5.23	5.21	5.23	5.23	5.21	5.84
Li_2O/SiO_2	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31
$(SiO_2 + Al_2O_3)/(P_2O_5 + ZrO_2)$	26.57	26.46	26.57	26.57	26.46	18.64
液相温度(℃)	-	-	-	-	-	1050

[0191] 表1续

[0192]

实例	C2	C3	C4	C5	C6	C7
SiO_2	69.0	70.3	69.8	68.2	67.6	70.1
B_2O_3	-	-	-	-	-	-
Al_2O_3	2.7	4.3	4.3	3.7	3.6	4.2
Li_2O	21.6	22.6	22.4	21.3	21.1	21.3
Na_2O	1.0	-	2.0	1.2	1.1	1.5
K_2O	0.7	-	-	0.7	0.7	-
MgO	-	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-
SrO	-	-	-	-	-	-
BaO	-	-	-	-	-	-
ZnO	-	-	0.7	1.0	1.9	0.2
GeO_2	-	-	-	-	-	-
La_2O_3	-	-	-	-	-	-
Y_2O_3	-	-	-	-	-	-
Ta_2O_5	-	-	-	-	-	-
P_2O_5	1.0	0.8	0.8	1.0	1.0	0.9
ZrO_2	3.9	2.0	2.0	2.9	2.9	1.7
SnO_2	0.1	0.0	-	0.1	0.1	-
R_2O	23.3	22.6	24.4	23.2	22.9	22.8
RO	0	0	0.7	1.0	1.9	0.2

碱土金属氧化物	0	0	0	0	0	0
过渡金属氧化物	0	0	0	0	0	0
碱土金属氧化物 +过渡金属氧化物	0	0	0	0	0	0
$P_2O_5 + ZrO_2$	4.9	2.8	2.8	3.9	3.9	2.6
Li_2O/Al_2O_3	8.00	5.26	5.21	5.76	5.86	5.07
Li_2O/SiO_2	0.31	0.32	0.32	0.31	0.31	0.30
$(SiO_2 + Al_2O_3)/ (P_2O_5 + ZrO_2)$	14.63	26.64	26.46	18.44	18.26	28.58
液相温度(℃)	1070	-	-	1055	1045	-

[0193]

[0194] 表1续

实例	C8	C9
SiO_2	69.8	70.1
B_2O_3	-	-
Al_2O_3	4.2	4.3
Li_2O	21.2	22.5
NaO	1.5	-
K_2O	-	-
MgO	-	-
CaO	-	-
SrO	-	-
BaO	-	-
ZnO	0.7	0.2
GeO_2	-	-
La_2O_3	-	-
Y_2O_3	-	-
Ta_2O_5	-	-
P_2O_5	0.9	0.8
ZrO_2	1.7	2.0
SnO_2	-	-
R_2O	22.7	22.5
RO	0.7	0.2
碱土金属氧化物	0	0
过渡金属氧化物	0	0
碱土金属氧化物 + 过渡金属氧化物	0	0
$P_2O_5 + ZrO_2$	2.6	2.8
Li_2O/Al_2O_3	5.05	5.23
Li_2O/SiO_2	0.30	0.32
$(SiO_2 + Al_2O_3)/ (P_2O_5 + ZrO_2)$	28.46	26.57
液相温度(℃)	-	-

[0195]

[0196] 表2

[0197]

实例	1	2	3	4	5
成核保持	580℃持续4小时	560℃持续4小时	560℃持续4小时	580℃持续4小时	560℃持续4小时
结晶保持	750℃持续1小时	730℃持续1小时	730℃持续1小时	750℃持续1小时	730℃持续1小时
外观	透明雾度	透明	透明	透明	透明
相组合	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石
弹性模量(Gpa)	-	102.7	100.7	-	102
剪切模量(Gpa)	-	42.6	41.7	-	42.4
泊松比	-	0.204	0.207	-	0.203
K_{Ic} (CN) (MPa $m^{1/2}$)	-	1.279	1.113	-	1.109
SOC (nm/mm/MPa)	2.626	2.616	2.568	2.645	2.601

[0198] 表2续

[0199]

实例	6	7	8	9	10
成核保持	560℃持续4小时	560℃持续4小时	580℃持续4小时	580℃持续4小时	560℃持续4小时
结晶保持	710℃持续1小时	710℃持续1小时	750℃持续1小时	750℃持续1小时	730℃持续1小时
外观	透明	透明	透明	透明	透明
相组合	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石
弹性模量(Gpa)	-	-	-	-	102
剪切模量(Gpa)	-	-	-	-	42.4
泊松比	-	-	-	-	0.203
K_{Ic} (CN) (MPa·$m^{1/2}$)	-	-	-	-	1.109
SOC (nm/mm/MPa)	-	-	2.633	2.645	2.601

[0200] 表2续

[0201]

实例	11	12	13	14	15
成核保持	560℃持续4小时	560℃持续4小时	580℃持续4小时	560℃持续4小时	580℃持续4小时
结晶保持	710℃持续1小时	710℃持续1小时	750℃持续1小时	710℃持续1小时	750℃持续1小时

[0202]

外观	透明	透明	透明	透明	透明
相组合	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石
弹性模量(Gpa)	-	-	-	-	-
剪切模量(Gpa)	-	-	-	-	-
泊松比	-	-	-	-	-
K_{Ic} *(CN)* $(MPa \cdot m^{1/2})$	-	-	-	-	-
SOC (nm/mm/MPa)	-	-	2.633	2.528	2.616

[0203] 表2续

[0204]

实例	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*
成核保持	600℃持续4小时	600℃持续4小时	600℃持续4小时	560℃持续4小时	560℃持续4小时
结晶保持	740℃持续1小时	740℃持续1小时	740℃持续1小时	720℃持续1小时	720℃持续1小时
外观	透明	透明	透明	透明	透明
相组合	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石
弹性模量(Gpa)	99.8	100.1	100.3	-	-
剪切模量(Gpa)	41.5	41.5	41.7	-	-
泊松比	0.202	0.207	0.203	-	-
K_{Ic} *(CN)* $(MPa \cdot m^{1/2})$	1.132	1.109	1.157	-	-
SOC (nm/mm/MPa)	2.677	2.654	2.638	-	-

[0205] 表2续

[0206]

实例	*21*	*22*	*23*	*24*	*25*
成核保持	560℃持续4小时	560℃持续4小时	560℃持续4小时	560℃持续4小时	580℃持续4小时
结晶保持	720℃持续1小时	720℃持续1小时	720℃持续1小时	720℃持续1小时	760℃持续1小时
外观	透明	透明	透明	透明	透明
相组合	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石

[0207]

弹性模量(Gpa)	-	-	-	-	104.2
剪切模量(Gpa)	-	-	-	-	43.6
泊松比	-	-	-	-	0.195
K_{Ic} *(CN)* $(MPa\cdot m^{1/2})$	-	-	-	-	-
SOC (nm/mm/MPa)	-	-	-	-	2.558

[0208] 表2续

[0209]

实例	*26*	*27*	*28*	*29*
成核保持	580℃持续 4 小时	580℃持续 4 小时	580℃持续 4 小时	580℃持续 4 小时
结晶保持	760℃持续 1 小时	760℃持续 1 小时	760℃持续 1 小时	760℃持续 1 小时
外观	透明	透明	透明	透明雾度
相组合	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石、方硅石
弹性模量(Gpa)	104.3	104.3	104	104.1
剪切模量(Gpa)	43.6	43.6	43.5	43.6
泊松比	0.196	0.194	0.195	0.194
K_{Ic} *(CN)* $(MPa\cdot m^{1/2})$	-	-	-	-
SOC (nm/mm/MPa)	2.546	2.58	2.594	2.624

[0210] 表2续

[0211]

实例	*C1*	*C2*	*C3*	*C4*	*C5*
成核保持	580℃持续 4 小时	580℃持续 4 小时	580℃持续 4 小时	580℃持续 4 小时	580℃持续 4 小时
结晶保持	750℃持续 1 小时	750℃持续 1 小时	760℃持续 1 小时	760℃持续 1 小时	750℃持续 1 小时
外观	透明	透明	透明	透明	透明雾度
相组合	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	锂、透锂长石、偏硅酸锂	二硅酸锂、透锂长石
弹性模量(Gpa)	101.2	100.5	103.8	104	-
剪切模量(Gpa)	42.3	42	43.5	43.4	-
泊松比	0.198	0.197	0.193	0.195	-
KIc (CN) $(MPa\cdot m^{1/2})$	1.113	1.116	-	-	-
SOC (nm/mm/MPa)	2.664	2.707	2.576	2.602	2.684

[0212] 表2续

[0213]

实例	C6	C7	C8	C9
成核保持	560℃持续4小时	560℃持续4小时	560℃持续4小时	580℃持续4小时
结晶保持	730℃持续1小时	720℃持续1小时	720℃持续1小时	760℃持续1小时
外观	透明雾度	透明	透明	透明
相组合	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石	二硅酸锂、透锂长石
弹性模量(Gpa)	-	-	-	104
剪切模量(Gpa)	-	-	-	43.4
泊松比	-	-	-	0.197
KIc (CN) ($MPa \cdot m^{1/2}$)	-	-	-	-
SOC (nm/mm/MPa)	-	-	-	2.594

[0214] 如表1中的示例性前体玻璃组合物及表2中的玻璃-陶瓷制品指示,由本文所述前体玻璃组合物形成的玻璃-陶瓷制品可为具有改进断裂韧性及弹性模量的透明或透明雾度、二硅酸锂及透锂长石玻璃-陶瓷制品。

[0215] 现在参看图3,由示例性前体玻璃组合物2、3、5、及12及比较前体玻璃组合物C1形成的玻璃-陶瓷制品在470℃的温度下,经受100％ $NaNO_3$离子交换浴。如图3展示,将MgO(示例性前体玻璃组合物5(E5))、CaO(示例性前体玻璃组合物2(E2))、SrO(示例性前体玻璃组合物12(E12))、及BaO(示例性前体玻璃组合物3(E3))包含于前体玻璃组合物中导致如与由不包括任何碱土金属氧化物或过渡金属氧化物的比较前体玻璃组合物C1形成的比较玻璃-陶瓷制品的最大中心张力相比,示例性玻璃-陶瓷制品的最大中心张力增加。

[0216] 现在参看图4,由示例性前体玻璃组合物17及比较前体玻璃组合物C2形成的玻璃-陶瓷制品在470℃的温度下,经受100％ $NaNO_3$离子交换浴。如图4展示,将Y_2O_3(示例性前体玻璃组合物17(E17))包含于前体玻璃组合物中导致与由不包括任何Y_2O_3或任何其他过渡金属氧化物或碱土金属氧化物的比较前体玻璃组合物C2形成的比较玻璃-陶瓷制品的最大中心张力相比,示例性玻璃-陶瓷制品的最大中心张力增加。

[0217] 现在参看图5,由示例性前体玻璃组合物29及比较前体玻璃组合物C3及C4形成的玻璃-陶瓷制品在470℃的温度下,经受100％ $NaNO_3$离子交换浴。如图5展示,将Ta_2O_5(前体玻璃组合物29(E29))包含于前体玻璃组合物中导致如与由不包括任何Ta_2O_5或任何其他过渡金属氧化物或碱土金属氧化物的比较前体玻璃组合物C3及C4形成的比较玻璃-陶瓷制品的最大中心张力相比,示例性玻璃-陶瓷制品的最大中心张力增加。

[0218] 如图3-图5指示,将碱土金属氧化物及/或过渡金属氧化物包括在本文所述前体玻璃组合物中可导致如与由不包括碱土金属氧化物或过渡金属氧化物的前体玻璃组合物形成的玻璃-陶瓷制品相比,对于给定离子交换处理而言,玻璃-陶瓷制品具有增加的最大中心张力。

[0219] 另外,图3-图5指示目标中心张力可通过将某些碱土金属氧化物及/或过渡金属氧化物包括于如本文描述的前体玻璃组合物中来更迅速达成。例如,如图3展示,由前体玻璃

组合物5形成的玻璃-陶瓷制品在大约6小时离子交换之后达成100MPa的中心张力,而其他玻璃-陶瓷制品耗费更长时间来达成100MPa的中心张力。因为含有碱土金属氧化物及/或过渡金属氧化物的玻璃-陶瓷制品每个交换离子产生更大应力,从而缩短所需离子交换时间,所以目标中心张力更迅速地达成。更短离子交换时间减少成本并且具有降低可由高温暴露造成的应力松弛的益处。因此,本文所述的前体玻璃组合物可定制以便包括某些碱土金属氧化物及/或过渡金属氧化物,从而在一段相对较短时间中达成目标中心张力。

[0220] 所属领域的技术人员显而易知本文所述实施方式可产生各种修改及变化而不脱离所请求目标物的精神及范围。因此,规定本说明书涵盖本文所述各个实施方式的修改及变化,只要这样的修改及变化在随附权利要求及其等同物的范围内。

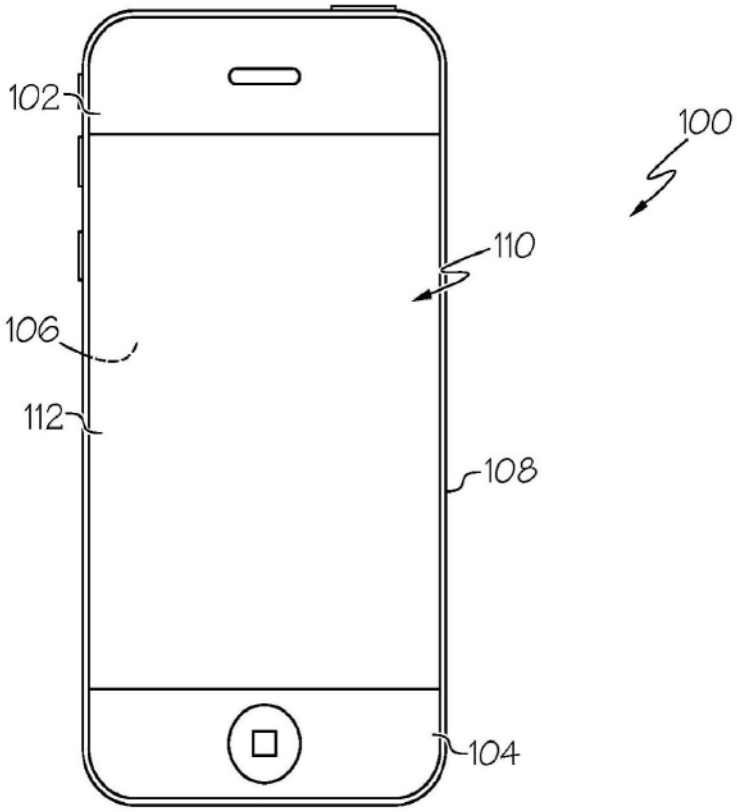


图1

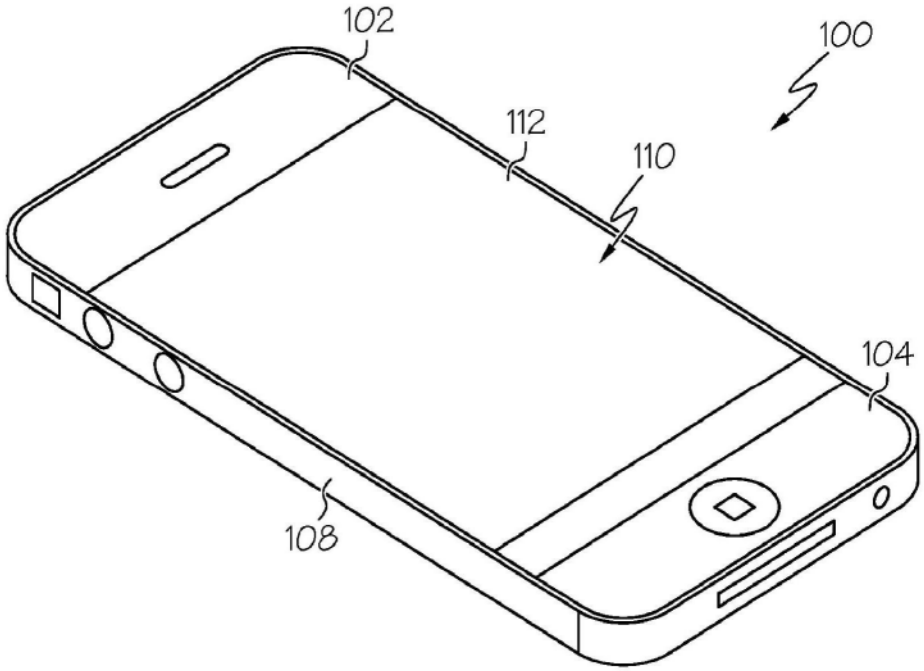


图2

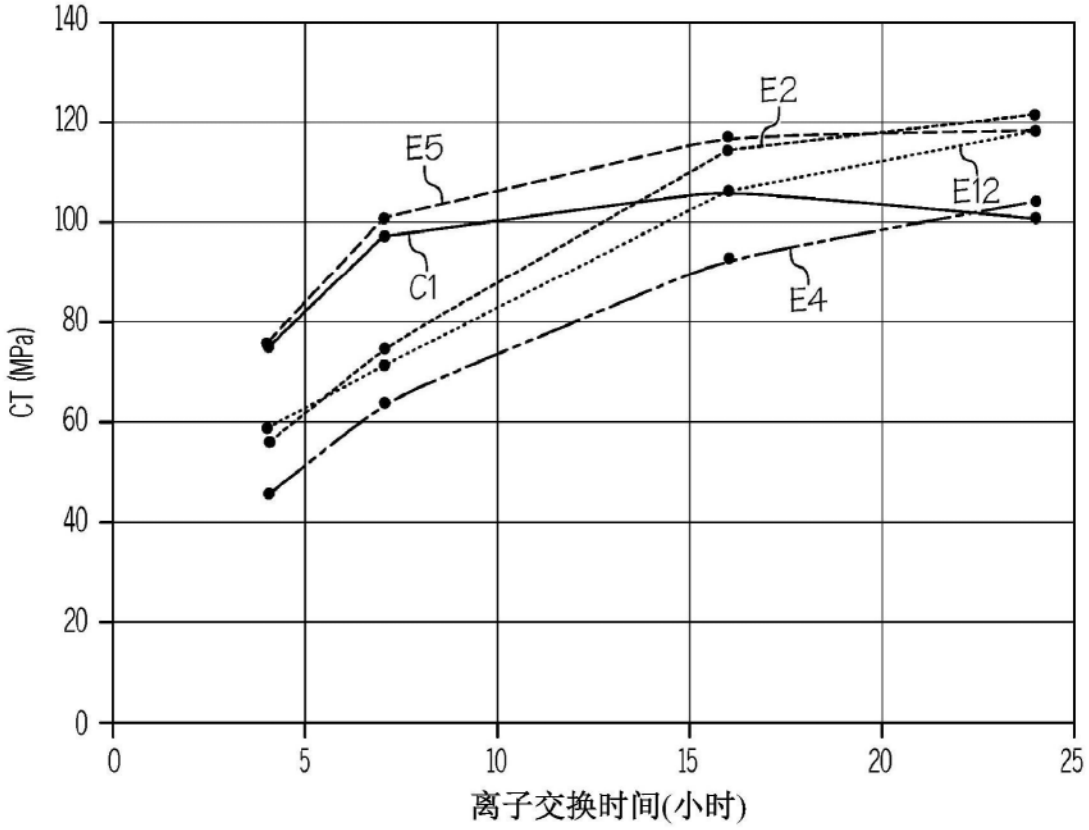

140
120
100
80
60
40
20
0
CT (MPa)
0
5
10
15
20
25
离子交换时间(小时)
E5
E2
E12
C1
E4

图3

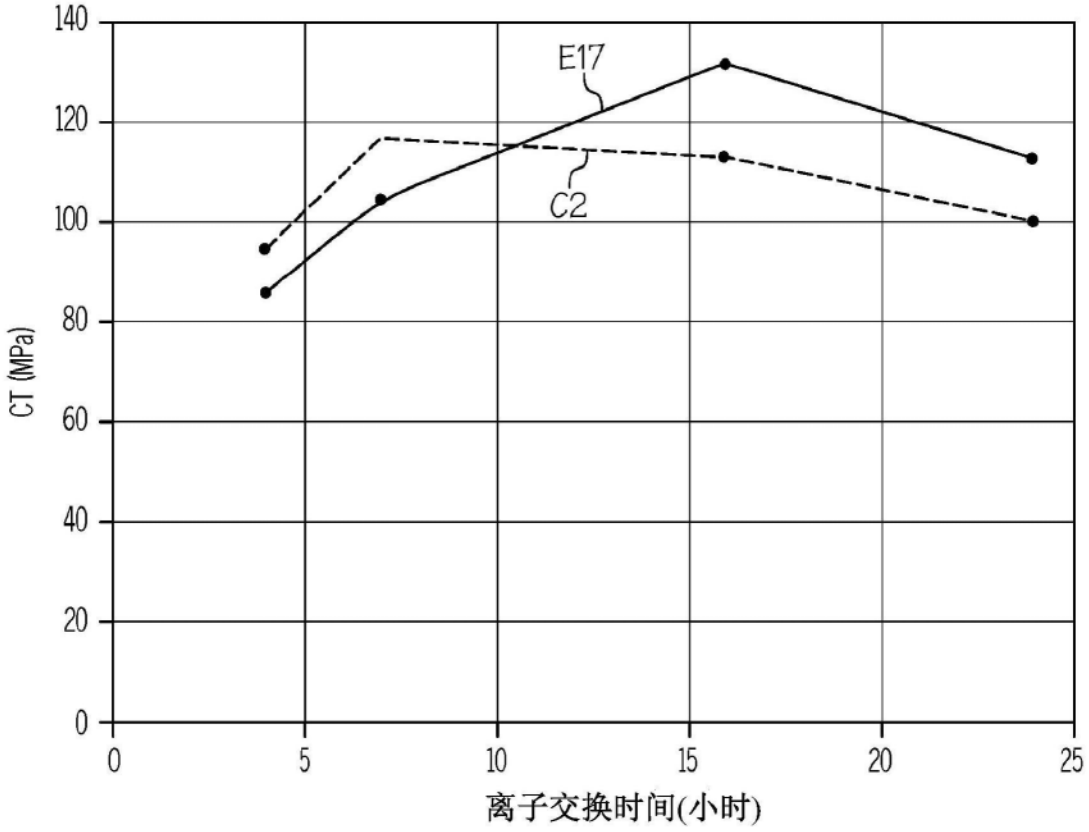


图4

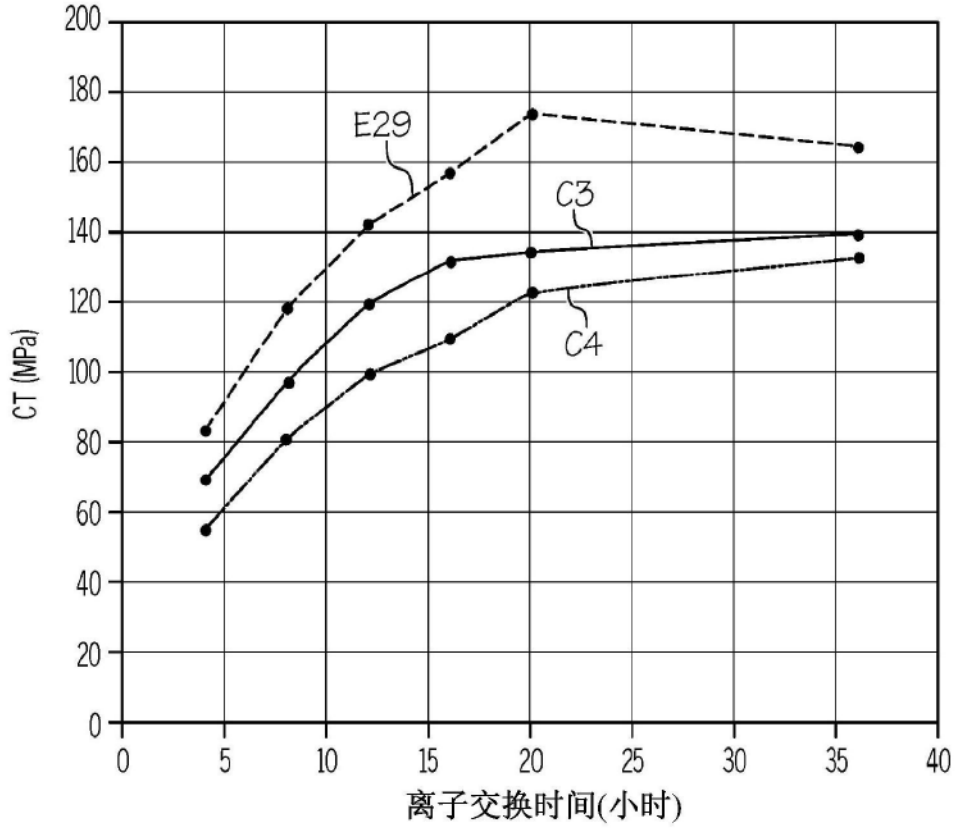

200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
CT (MPa)
E29
C3
C4
0
5
10
15
20
25
30
35
40
离子交换时间(小时)

图5