



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110002745 B

(45) 授权公告日 2022. 10. 11

(21) 申请号 201910294436.9

(22) 申请日 2012.11.15

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110002745 A

(43) 申请公布日 2019.07.12

(30) 优先权数据
61/560,434 2011.11.16 US

(62) 分案原申请数据
201280067101.X 2012.11.15

(73) 专利权人 康宁股份有限公司
地址 美国纽约州

(72) 发明人 T·M·格罗斯

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公
司 31100

专利代理师 沙永生

(51) Int.Cl.

C03C 3/097 (2006.01)

C03C 4/02 (2006.01)

C03C 14/00 (2006.01)

C03C 21/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 101522584 A, 2009.09.02

CN 1290665 A, 2001.04.11

CN 1450010 A, 2003.10.22

CN 1312582 A, 2001.09.12

JP 2011026186 A, 2011.02.10

JP 2010059038 A, 2010.03.18

JP 2008050182 A, 2008.03.06

JP 2009007194 A, 2009.01.15

CN 1417145 A, 2003.05.14

CN 1207086 A, 1999.02.03

审查员 高梦娇

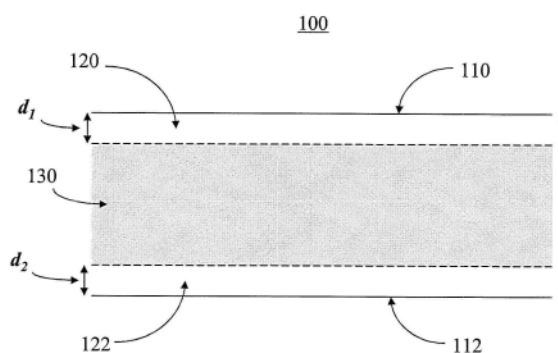
权利要求书1页 说明书68页 附图2页

(54) 发明名称

具有高裂纹引发阈值的可离子交换玻璃

(57) 摘要

提供了碱性铝硅酸盐玻璃,其防尖锐冲击导致的损坏,并且其能够进行快速离子交换。玻璃包含至少4摩尔%的 P_2O_5 ,并且在离子交换后,具有至少约7kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。



1. 一种碱性铝硅酸盐玻璃, 它包含40-70摩尔%的 SiO_2 ; 11-25摩尔%的 Al_2O_3 ; 4-15摩尔%的 P_2O_5 ; 13-20摩尔%的 Na_2O ; 小于1摩尔%的 B_2O_3 ; 以及 MgO ; 不含 Li_2O 和 K_2O , 其中:

i. 所述碱性铝硅酸盐玻璃包含 R_2O , R_2O 是选自 Na_2O 、 Rb_2O 和 Cs_2O 的单价阳离子氧化物; 以及

ii. $1.3 < [(\text{P}_2\text{O}_5 + \text{R}_2\text{O}) / \text{M}_2\text{O}_3] \leq 2.3$,

其中 $\text{M}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_2\text{O}_3$ 。

2. 如权利要求1所述的碱性铝硅酸盐玻璃, 其特征在于, 该玻璃满足:

$1.5 < [(\text{P}_2\text{O}_5 + \text{R}_2\text{O}) / \text{M}_2\text{O}_3] \leq 2.0$ 。

3. 如权利要求1所述的碱性铝硅酸盐玻璃, 其特征在于, 所述碱性铝硅酸盐玻璃在410℃的钾/钠互扩散系数至少为 $2.4 \times 10^{-10} \text{cm}^2/\text{s}$ 最高至 $1.5 \times 10^{-9} \text{cm}^2/\text{s}$ 。

4. 如权利要求1所述的碱性铝硅酸盐玻璃, 其特征在于, 该玻璃在至少10 μm 的层深度进行离子交换, 且该玻璃具有从玻璃表面延伸到层深度的压缩层, 其中所述压缩层处于至少300MPa的压缩应力下。

5. 如权利要求1所述的碱性铝硅酸盐玻璃, 其特征在于, 该碱性铝硅酸盐玻璃在至少10 μm 的层深度进行离子交换; 经过离子交换的碱性铝硅酸盐玻璃的维氏压痕裂纹开裂负荷至少为12kgf。

6. 如权利要求1所述的碱性铝硅酸盐玻璃, 其特征在于, 所述碱性铝硅酸盐玻璃包含50-65摩尔%的 SiO_2 ; 14-20摩尔%的 Al_2O_3 ; 4-10摩尔%的 P_2O_5 ; 以及14-20摩尔%的 Na_2O 。

7. 如权利要求1所述的碱性铝硅酸盐玻璃, 其特征在于, 该碱性铝硅酸盐玻璃能离子交换到至少10 μm 的层深度。

8. 一种电子器件, 它包含前述权利要求中任一项所述的碱性铝硅酸盐玻璃。

9. 一种对碱性铝硅酸盐玻璃进行强化的方法, 该方法包括:

a. 提供权利要求1的碱性铝硅酸盐玻璃, 以及

b. 将碱性铝硅酸盐玻璃浸入离子交换浴中一段高至24小时的时间, 以形成压缩层, 该压缩层从碱性铝硅酸盐玻璃的表面延伸到至少10 μm 的层深度。

10. 如权利要求9所述的方法, 其特征在于, 该玻璃满足:

$1.5 < [(\text{P}_2\text{O}_5 + \text{R}_2\text{O}) / \text{M}_2\text{O}_3] \leq 2.0$ 。

11. 如权利要求9所述的方法, 其特征在于, 所述玻璃在410℃的钾/钠互扩散系数为 $2.4 \times 10^{-10} \text{cm}^2/\text{s}$ 至最高至 $1.5 \times 10^{-9} \text{cm}^2/\text{s}$; 或该玻璃具有从玻璃表面延伸到层深度的压缩层, 其中所述压缩层处于至少300MPa的压缩应力下; 或经过离子交换的玻璃的维氏压痕裂纹开裂负荷至少为12kgf。

具有高裂纹引发阈值的可离子交换玻璃

[0001] 本申请是申请人康宁股份有限公司提交的申请号为201280067101.X、申请日为2012年11月15日、发明名称为“具有高裂纹引发阈值的可离子交换玻璃”的发明专利申请的分案申请。所述原申请是基于国际申请PCT/US2012/065263提交的,于2014年7月15日进入中国国家阶段。

[0002] 本申请根据35U.S.C.§119,要求2011年11月16日提交的美国临时申请系列第61/560,434号的优先权,本文以该申请为基础并将其全文通过引用结合于此。

背景技术

[0003] 本发明涉及防损坏玻璃。更具体地,本发明涉及任选地通过离子交换进行强化的防损坏玻璃。甚至更具体地,本发明涉及任选地通过离子交换进行强化的防损坏的含磷酸盐玻璃。

发明内容

[0004] 提供了碱性铝硅酸盐玻璃,其在强化后是防尖锐冲击导致的损坏的,并且其能够进行快速离子交换。玻璃包含至少4摩尔%的 P_2O_5 ,并且在离子交换后,具有至少约7kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。

[0005] 因此,本发明的一个方面包括:包含至少约4%的 P_2O_5 的碱性铝硅酸盐玻璃,其中,该碱性铝硅酸盐玻璃在至少约10 μ m的层深度进行了离子交换,并且其中:

[0006] i. $0.6 < [M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}] < 1.4$; 或者

[0007] ii. $1.3 < [(P_2O_5 + R_2O) / M_2O_3] \leq 2.3$;

[0008] 其中 $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$, R_xO 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的单价和二价阳离子氧化物的总和, R_2O 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的单价阳离子氧化物的总和。在一些实施方式中,玻璃满足 $0.6 < [M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}] < 1.4$ 。在一些实施方式中,玻璃满足 $0.6 < [M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}] < 1$ 。在一些实施方式中,玻璃满足 $1.3 < [(P_2O_5 + R_2O) / M_2O_3] \leq 2.3$ 。在一些实施方式中,玻璃满足 $1.5 < [(P_2O_5 + R_2O) / M_2O_3] \leq 2.0$ 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃还包含少于1摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃还包含少于1摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,单价和二价阳离子氧化物选自下组: Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O 、 Rb_2O 、 Cs_2O 、 MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 和 ZnO 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃在410℃的钾/钠互扩散系数至少约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。在一些实施方式中,在410℃的钾/钠互扩散系数约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 至最高至约 $1.5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。在一些实施方式中,玻璃具有从玻璃表面延伸到层深度的压缩层,其中所述压缩层处于至少约300MPa的压缩应力下。在一些实施方式中,玻璃具有至少约7kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。在一些实施方式中,玻璃具有至少约12kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。

[0009] 本发明的另一个方面包括碱性铝硅酸盐玻璃,其包含约40-70摩尔%的 SiO_2 ;约11-25摩尔%的 Al_2O_3 ;约4-15摩尔%的 P_2O_5 ;以及约13-25摩尔%的 Na_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含约50-65摩尔%的 SiO_2 ;约14-20摩尔%的 Al_2O_3 ;约4-10摩尔%的

P_2O_5 ; 以及约14-20摩尔%的 Na_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃还包含少于1摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃还包含少于1摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,单价和二价阳离子氧化物选自下组: Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O 、 Rb_2O 、 Cs_2O 、 MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 和 ZnO 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃在410℃的钾/钠互扩散系数至少约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。在一些实施方式中,在410℃的钾/钠互扩散系数约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 至最高至约 $1.5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。在一些实施方式中,玻璃具有从玻璃表面延伸到层深度的压缩层,其中所述压缩层处于至少约300MPa的压缩应力下。在一些实施方式中,玻璃具有至少约7kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。在一些实施方式中,玻璃具有至少约12kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。

[0010] 本发明的另一个方面包括一种对碱性铝硅酸盐玻璃进行强化的方法,该方法包括提供包含至少约4%的 P_2O_5 的碱性铝硅酸盐玻璃,其中:

[0011] i. $0.6 < [M_2O_3 (\text{摩尔}\%) / R_xO (\text{摩尔}\%)] < 1.4$; 或者

[0012] ii. $1.3 < [(P_2O_5 + R_2O) / M_2O_3] \leq 2.3$;

[0013] 其中 $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$, R_xO 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的单价和二价阳离子氧化物的总和, R_2O 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的二价阳离子氧化物的总和,以及将碱性铝硅酸盐玻璃浸入离子交换浴中一段高至约24小时的时间,以形成压缩层,该压缩层从碱性铝硅酸盐玻璃的表面延伸到至少约10 μm 的层深度。在一些实施方式中,玻璃满足 $0.6 < [M_2O_3 (\text{摩尔}\%) / R_xO (\text{摩尔}\%)] < 1.4$ 。在一些实施方式中,玻璃满足 $0.6 < [M_2O_3 (\text{摩尔}\%) / R_xO (\text{摩尔}\%)] < 1$ 。在一些实施方式中,玻璃满足 $1.3 < [(P_2O_5 + R_2O) / M_2O_3] \leq 2.3$ 。在一些实施方式中,玻璃满足 $1.5 < [(P_2O_5 + R_2O) / M_2O_3] \leq 2.0$ 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含少于1摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含少于1摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,压缩层处于至少约300MPa的压缩应力下。在一些实施方式中,离子交换的玻璃具有至少约7kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。在一些实施方式中,离子交换的玻璃具有至少约12kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。

[0014] 本发明的另一个方面包括碱性铝硅酸盐玻璃,其包含至少约4摩尔%的 P_2O_5 ,其中 $[M_2O_3 (\text{摩尔}\%) / R_xO (\text{摩尔}\%)] < 1.4$,其中 $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 并且 R_xO 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的单价和二价阳离子氧化物的总和。在一些实施方式中, $[M_2O_3 (\text{摩尔}\%) / R_xO (\text{摩尔}\%)] < 1.2$ 。在一些实施方式中, $[M_2O_3 (\text{摩尔}\%) / R_xO (\text{摩尔}\%)] < 1$ 。在一些实施方式中,单价和二价阳离子氧化物选自下组: Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O 、 Rb_2O 、 Cs_2O 、 MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 和 ZnO 。

[0015] 在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含约40-70摩尔%的 SiO_2 ; 约11-25摩尔%的 Al_2O_3 ; 约4-15摩尔%的 P_2O_5 ; 以及约13-25摩尔%的 Na_2O 。在其他实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含约50-65摩尔%的 SiO_2 ; 约14-20摩尔%的 Al_2O_3 ; 约4-10摩尔%的 P_2O_5 ; 以及约14-20摩尔%的 Na_2O 。

[0016] 在一些实施方式中,组合物还包含少于1摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,组合物还包含约0摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,组合物还包含少于1摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,组合物还包含约0摩尔%的 B_2O_3 。

[0017] 实施方式可以是离子交换的。在一些实施方式中,玻璃在至少约10 μm 的层深度进行离子交换。在一些实施方式中,玻璃在至少约20 μm 的层深度进行离子交换。在其他实施方式中,玻璃在至少约40 μm 的层深度进行离子交换。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃具

有从玻璃表面延伸到层深度的压缩层,其中所述压缩层处于至少约300MPa的压缩应力下。在其他实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃具有从玻璃表面延伸到层深度的压缩层,其中所述压缩层处于至少约500MPa的压缩应力下。在其他实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃具有从玻璃表面延伸到层深度的压缩层,其中所述压缩层处于至少约750MPa的压缩应力下。在一些实施方式中,离子交换的碱性铝硅酸盐玻璃具有至少约7kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。在其他实施方式中,离子交换的碱性铝硅酸盐玻璃具有至少约15kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。在其他实施方式中,离子交换的碱性铝硅酸盐玻璃具有至少约20kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃在410℃的钾/钠互扩散系数至少约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。在一些实施方式中,在410℃的钾/钠互扩散系数约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 至最高至约 $1.5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。

[0018] 本发明的另一个方面是提供含有至少约4摩尔%的 P_2O_5 的碱性铝硅酸盐玻璃。碱性铝硅酸盐玻璃在至少约10 μm 的层深度进行离子交换,其中 $0.6 < [\text{M}_2\text{O}_3 \text{ (摩尔\%)} / \text{R}_x\text{O (摩尔\%)}] < 1.4$,其中 $\text{M}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_2\text{O}_3$ 并且 R_xO 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的单价和二价阳离子氧化物的总和。在一些实施方式中, $0.6 < [\text{M}_2\text{O}_3 \text{ (摩尔\%)} / \text{R}_x\text{O (摩尔\%)}] < 1.2$ 。在一些实施方式中, $0.6 < [\text{M}_2\text{O}_3 \text{ (摩尔\%)} / \text{R}_x\text{O (摩尔\%)}] < 1$ 。在一些实施方式中, $0.8 < [\text{M}_2\text{O}_3 \text{ (摩尔\%)} / \text{R}_x\text{O (摩尔\%)}] < 1$ 。在一些实施方式中,单价和二价阳离子氧化物选自下组: Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O 、 Rb_2O 、 Cs_2O 、 MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 和 ZnO 。

[0019] 在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含约40-70摩尔%的 SiO_2 ;约11-25摩尔%的 Al_2O_3 ;约4-15摩尔%的 P_2O_5 ;以及约13-25摩尔%的 Na_2O 。在其他实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含约50-65摩尔%的 SiO_2 ;约14-20摩尔%的 Al_2O_3 ;约4-10摩尔%的 P_2O_5 ;以及约14-20摩尔%的 Na_2O 。

[0020] 在一些实施方式中,组合物还包含少于1摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,组合物还包含约0摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,组合物还包含少于1摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,组合物还包含约0摩尔%的 B_2O_3 。

[0021] 本发明的所述方面的实施方式可进行离子交换。在一些实施方式中,玻璃在至少约10 μm 的层深度进行离子交换。在一些实施方式中,玻璃在至少约20 μm 的层深度进行离子交换。在其他实施方式中,玻璃在至少约40 μm 的层深度进行离子交换。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃具有从玻璃表面延伸到层深度的压缩层,其中所述压缩层处于至少约300MPa的压缩应力下。在其他实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃具有从玻璃表面延伸到层深度的压缩层,其中所述压缩层处于至少约500MPa的压缩应力下。在其他实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃具有从玻璃表面延伸到层深度的压缩层,其中所述压缩层处于至少约750MPa的压缩应力下。在一些实施方式中,离子交换的碱性铝硅酸盐玻璃具有至少约7kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。在其他实施方式中,离子交换的碱性铝硅酸盐玻璃具有至少约15kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。在其他实施方式中,离子交换的碱性铝硅酸盐玻璃具有至少约20kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃在410℃的钾/钠互扩散系数至少约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。在一些实施方式中,在410℃的钾/钠互扩散系数约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 至最高至约 $1.5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。

[0022] 本发明的另一个方面是提供一种对碱性铝硅酸盐玻璃进行强化的方法。所述方法包括:提供碱性铝硅酸盐玻璃,所述碱性铝硅酸盐玻璃包含至少约4摩尔%的 P_2O_5 ,其中:

[0023] i. $0.6 < [M_2O_3(\text{摩尔}\%) / R_xO(\text{摩尔}\%)] < 1.4$; 或者

[0024] ii. $1.3 < [(P_2O_5 + R_2O) / M_2O_3] \leq 2.3$;

[0025] 其中 $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$, R_xO 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的单价和二价阳离子氧化物的总和, R_2O 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的二价阳离子氧化物的总和, 以及将碱性铝硅酸盐玻璃浸入离子交换浴中一段高至约24小时的时间, 以形成压缩层, 该压缩层从碱性铝硅酸盐玻璃的表面延伸到至少约10 μ m的层深度。在一些实施方式中, 玻璃满足 $0.6 < [M_2O_3(\text{摩尔}\%) / R_xO(\text{摩尔}\%)] < 1.4$ 。在一些实施方式中, 玻璃满足 $0.6 < [M_2O_3(\text{摩尔}\%) / R_xO(\text{摩尔}\%)] < 1$ 。在一些实施方式中, 玻璃满足 $1.3 < [(P_2O_5 + R_2O) / M_2O_3] \leq 2.3$ 。在一些实施方式中, 玻璃满足 $1.5 < [(P_2O_5 + R_2O) / M_2O_3] \leq 2.0$ 。在一些实施方式中, 碱性铝硅酸盐玻璃包含少于1摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中, 碱性铝硅酸盐玻璃包含少于1摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中, 压缩层处于至少约300MPa的压缩应力下。在一些实施方式中, 离子交换的玻璃具有至少约7kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。在一些实施方式中, 离子交换的玻璃具有至少约12kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。在一些实施方式中, 压缩层从表面延伸到至少约70 μ m的层深度。

[0026] 在一些实施方式中, 碱性铝硅酸盐玻璃具有从玻璃表面延伸到层深度的压缩层, 其中所述压缩层处于至少约300MPa的压缩应力下。在其他实施方式中, 碱性铝硅酸盐玻璃具有从玻璃表面延伸到层深度的压缩层, 其中所述压缩层处于至少约500MPa的压缩应力下。在其他实施方式中, 碱性铝硅酸盐玻璃具有从玻璃表面延伸到层深度的压缩层, 其中所述压缩层处于至少约750MPa的压缩应力下。在一些实施方式中, 离子交换的碱性铝硅酸盐玻璃具有至少约7kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。在其他实施方式中, 离子交换的碱性铝硅酸盐玻璃具有至少约15kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。在其他实施方式中, 离子交换的碱性铝硅酸盐玻璃具有至少约20kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。在一些实施方式中, 碱性铝硅酸盐玻璃在410 $^{\circ}$ C的钾/钠互扩散系数至少约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{cm}^2/\text{s}$ 。在一些实施方式中, 在410 $^{\circ}$ C的钾/钠互扩散系数约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{cm}^2/\text{s}$ 至最高至约 $1.5 \times 10^{-9} \text{cm}^2/\text{s}$ 。

[0027] 在一些实施方式中, 用于该方法的碱性铝硅酸盐玻璃玻璃包含选自下组的单价和二价阳离子氧化物: Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O 、 Rb_2O 、 Cs_2O 、 MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 和 ZnO 。

[0028] 在一些实施方式中, 用于该方法的碱性铝硅酸盐玻璃包含约40-70摩尔%的 SiO_2 ; 约11-25摩尔%的 Al_2O_3 ; 约4-15摩尔%的 P_2O_5 ; 以及约13-25摩尔%的 Na_2O 。在一些实施方式中, 用于该方法的碱性铝硅酸盐玻璃包含约50-65摩尔%的 SiO_2 ; 约14-20摩尔%的 Al_2O_3 ; 约4-10摩尔%的 P_2O_5 ; 以及约14-20摩尔%的 Na_2O 。

[0029] 在一些实施方式中, 用于该方法的组合物还包含少于1摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中, 用于该方法的组合物还包含约0摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中, 用于该方法的组合物还包含少于1摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中, 用于该方法的组合物还包含约0摩尔%的 B_2O_3 。

[0030] 从以下详细描述、附图和所附权利要求书能明显地看出本发明的上述及其他方面、优点和显著特征。

[0031] 附图简要说明

[0032] 图1是通过离子交换强化的玻璃片的截面示意图; 以及

[0033] 图2是对于在700 $^{\circ}$ C退火并且在410 $^{\circ}$ C的熔融 KNO_3 盐浴中进行离子交换的0.7mm厚的样品的层深度与压缩应力的函数关系图。

[0034] 发明详述

[0035] 揭示了材料、化合物、组合物以及组分，它们可用于所揭示的方法和组合物，可结合所揭示的方法和组合物使用，可用于制备所揭示的组合物，或者是所揭示的方法和组合物的实施方式。在本文中公开了这些和其他的材料，应理解当公开了这些材料的组合、子集、相互作用、组等等而未明确地具体揭示这些化合物的每个不同的单独和共同组合以及排列时，在本文中具体设想和描述了它们中的每一种情况。

[0036] 因此，如果公开了一类取代物A、B、和C并且还公开了一类取代物D、E、和F和组合的实施方式A-D的实例，则可单独地和共同地设想每一个。因此，在本例中，具体设想了以下组合A-E、A-F、B-D、B-E、B-F、C-D、C-E和C-F中的每一个，应认为以上这些都是从A、B和/或C；D、E和/或F；以及实例组合A-D的内容揭示的。同样，也具体设想并揭示了上述的任何子集或这些子集的组合。因此，例如，具体设想了A-E、B-F和C-E的亚组，并应认为它们是从A、B和/或C；D、E和/或F；以及实例组合A-D的内容揭示的。这种概念应用于本内容的所有方面，包括但不限于组合物的任何组分以及所揭示组合物的制备方法和使用方法中的各步骤。因此，如果存在可进行的多个附加步骤，应当理解可通过所公开方法的任一特定实施方式或实施方式的组合来进行这些附加步骤中的每一个，而且可具体设想每一个这样的组合且应当认为它是公开的。

[0037] 此外，每当将一个组描述为包含一组要素中的至少一个要素和它们的组合时，应将其理解为所述组可以单个要素或相互组合的形式包含任何数量的这些所列要素，或者主要由它们组成，或者由它们组成。类似地，每当将一个组描述为由一组要素中的至少一个要素或它们的组合组成时，应将其理解为所述组可以单个要素或相互组合的形式由任何数量的这些所列要素组成。

[0038] 除非在具体情况下另外指出，本文所列出的数值范围包括上限和下限值，且旨在包括范围的端点，该范围之内的所有整数和分数。本发明的范围并不限于定义范围时所列举的具体值。此外，当以范围、一种或更多种优选范围、或者优选的数值上限以及优选的数值下限的形式表述某个量、浓度或其它值或参数的时候，应当理解相当于具体揭示了通过将任意一对范围上限或优选数值与任意范围下限或优选数值结合起来的任何范围，而不考虑这种成对结合是否具体揭示。最后，当使用术语“约”来描述范围的值或端点时，应理解本发明包括所参考的具体值或者端点。

[0039] 如本文所使用，术语“约”指数量、尺寸、公式、参数和其它数量和特征不是精确的或无需精确的，但可以按照要求是接近的和/或更大或者更小，如反射公差、转化因子、四舍五入、测量误差等等，以及本领域技术人员所知的其它因子。一般的，不管是否明确说明，数量、尺寸、公式、参数或其它数量或特征都是“约”或“接近”。

[0040] 如本文所使用，术语“或”是包括端值的；具体来说，相“A或B”指“A，B，或者同时包括A和B”。本文中，排他性的“或”通过术语如“要么A要么B”和“A或B之一”来指定。

[0041] 使用不定冠词“一个”或“一种”对本发明的实施方式的元件和部件进行描述。使用这些冠词时指存在一种或至少一种这些元件或组件。尽管这些冠词通常用于预示修饰的名词是单数名词，但除非另有说明，本文所用的冠词“一个”或“一种”也包括复数。类似的，同样除非另有说明，如本文所使用，定冠词“该”也预示修饰的名词可以是单数或复数。

[0042] 出于描述本发明的实施方式的目的，应注意的是，本文涉及的一个变量是一个参

数或另一变量的“函数”并不旨在表示该变量仅仅是所列出的参数或变量的函数。相反，本文涉及的一个变量是所列出的参数的“函数”是开放式的，从而该变量可以是单个参数或者多个参数的函数。还应理解，除非另外说明，否则，术语如“顶部”、“底部”、“向外”、“向内”等是方便用语，不应视为限制性用语。

[0043] 应当指出，本文所用的诸如“优选”、“常用”和“通常”之类的词语不是用来限制本发明的范围，也不表示某些特征对本发明所述实施方式的结构或者功能来说是重要的、关键的、或者甚至是必不可少的。相反地，这些术语仅仅用来表示本发明实施方式的特定方面，或者强调可以或者不可以用于本发明特定实施方式的替代的或附加的特征。

[0044] 出于描述和限定本发明的实施方式的目的，应当指出，词语“基本上”和“约”在本文中用来表示可归属于任何定量比较、数值、测量或其他表达的固有不确定程度。词语“基本上”和“约”在本文中还表示数量的表达值与所述的参比值的偏离程度，这种偏离不会导致所讨论的主题的基本功能发生改变。

[0045] 应注意，权利要求书中的一项或多项权利要求使用术语“其特征在于”作为过渡语。出于限定本发明的实施方式目的，应当指出，在权利要求中用该术语作为开放式过渡短语来引出对一系列结构特征的描述，应当对其作出与更常用的开放式引导语“包括”类似的解释。

[0046] 作为生产玻璃组合物的原材料和/或设备的结果，会在最终的玻璃组合物中存在某些不是故意添加的杂质或组分。此类物质在玻璃组合物中以微量存在，在本文中称作“混入物”。

[0047] 如本文所使用，玻璃组合物包括0重量%或0摩尔%的化合物定义为没有故意将该化合物、分子或元素添加到该组合物中，但该组合物可能仍然包括该化合物，通常是以不确定的数量或痕量的方式。类似的，“不含钠”、“不含碱金属”、“不含钾”等定义为没有故意将该化合物、分子或元素添加到该组合物中，但该组合物可能仍然包括钠、碱金属或钾，但是是以接近不确定的数量或痕量的方式。除非另有说明，否则本文所引用的所有组分的浓度是以摩尔百分比(摩尔%)表示。

[0048] 通过如下方式来进行本文所述的维氏压痕裂纹阈值测量：向玻璃表面施加压痕负荷，然后以0.2mm/分钟的速率移除该压痕负荷。最大压痕负荷保持10秒。压痕裂纹阈值定义为10次压痕中的50%显示出任意数量的径向/中间裂纹从凹痕印记角落延伸出来的压痕负荷。对于给定的玻璃组合物，增加最大负荷直至达到阈值负荷。所有的压痕测量都是在50%相对湿度和室温下进行。

[0049] 从总体上参见附图，并具体参见图1，应理解举例说明是为了描述本发明的具体实施方式的，这些举例说明不是用来限制本发明的说明书或所附权利要求书的。为了清楚和简明起见，附图不一定按比例绘制，所示的附图的某些特征和某些视图可能按比例放大显示或以示意性方式显示。

[0050] 具有高防损坏性(即，维氏开裂阈值大于15千克力(kgf))，并且，在一些实施方式中，大于20kgf的化学强化的碱性铝硅酸盐玻璃通常具有如下组成，其满足以下规则：
$$[(Al_2O_3(\text{摩尔}\%) + B_2O_3(\text{摩尔}\%)) / (\Sigma \text{改性剂氧化物}(\text{摩尔}\%))] > 1$$
，其中改性剂氧化物包括碱性氧化物和碱土氧化物。在2010年8月18日提交的Kristen L. Barefoot等人的题为“Crack and Scratch Resistant Glass and Enclosures Made Therefrom(抗裂和耐刮擦

玻璃以及由其制造的外壳)”的美国专利申请第12/858,490号中已经描述过此类玻璃。

[0051] 在2010年11月30日提交的Dana Craig Bookbinder等人的题为“Ion Exchangeable Glass with Deep Compressive Layer and High Modulus (具有深压缩层和高模量的可离子交换玻璃)”的美国临时专利申请第61/417,941号中已经描述过含 P_2O_5 的碱性铝硅酸盐玻璃的增强的防损坏性。本文所述的玻璃含有与 Al_2O_3 和 B_2O_3 分批配料(batched with)的磷酸盐,以分别形成 $AlPO_4$ 和 BP_4 ,并遵循如下组成规则:

[0052] $0.75 \leq [(P_2O_5 \text{ (摩尔\%)} + R_2O \text{ (摩尔\%)}) / M_2O_3 \text{ (摩尔\%)}] \leq 1.3$,

[0053] 其中 $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 。

[0054] 本文所述的实施方式包括含 P_2O_5 的碱性铝硅酸盐玻璃以及由其制造的制品,在通过离子交换化学强化后,它们实现至少约7kgf、8kgf、9kgf、10kgf、11kgf、12kgf、13kgf、14kgf、15kgf、16kgf、17kgf、18kgf、19kgf,以及在一些实施方式中,至少约20kgf的维氏开裂阈值。通过加入至少约4摩尔%的 P_2O_5 ,增强了这些玻璃和玻璃制品的防损坏性。在一些实施方式中,通过加入至少约5摩尔%的 P_2O_5 增强了防损坏性。在一些实施方式中, P_2O_5 的浓度范围约为4摩尔%至最高至约10摩尔%,在其他实施方式中,约为4摩尔%至最高至约15摩尔%。

[0055] 本文所述的实施方式通常落在美国临时专利申请第61/417,941号所述的组合物空间的玻璃和玻璃制品的范围之外。此外,本文所述的玻璃标称主要包含四面体配位的磷酸盐(PO_4^{3-})基团,其每个四面体磷结构单元含有一个双键氧。

[0056] 在一些实施方式中, M_2O_3 与 ΣR_xO 的比例为玻璃提供了有益的熔融温度、粘度和/或液相线温度。一些实施方式可描述成如下比例: $(M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / \Sigma R_xO \text{ (摩尔\%)}) < 1.4$,其中 $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$,并且 ΣR_xO 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的单价和二价阳离子氧化物的总和。在一些实施方式中,本文所述的玻璃和玻璃制品包含大于4摩尔%的 P_2O_5 ,其中 $(M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / \Sigma R_xO \text{ (摩尔\%)})$ 的比例小于1.4,其中 $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$,并且其中 ΣR_xO 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的单价和二价阳离子氧化物的总和。在一些实施方式中, $(M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / \Sigma R_xO \text{ (摩尔\%)})$ 的比例小于1.0。在一些实施方式中, $(M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / \Sigma R_xO \text{ (摩尔\%)})$ 的比例小于1.4、1.35、1.3、1.25、1.2、1.15、1.1、1.05、1.0、0.95、0.9、0.85、0.8、0.75或者0.7。在一些实施方式中, $0.6 < (M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}) < 1.4$ 。在一些实施方式中, $0.6 < (M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}) < 1.2$ 。在一些实施方式中, $0.6 < (M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}) < 1$ 。在一些实施方式中, $0.8 < (M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}) < 1.4$ 。在一些实施方式中, $0.8 < (M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}) < 1.2$ 。在一些实施方式中, $0.8 < (M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}) < 1.0$ 。在一些实施方式中, $Y < (M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}) < Z$,其中Y约为0.6、0.65、0.7、0.75、0.8、0.85、0.9、0.95、1.0、1.05、or 1.1,X独立地约为1.4、1.35、1.3、1.25、1.2、1.15、1.1、1.05、1.0、0.95、0.9、0.85、0.8,并且其中 $X > Y$ 。此类单价和二价氧化物包括但不限于,碱金属氧化物(Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O 、 Rb_2O 、 Cs_2O),碱土氧化物(MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO)以及过渡金属氧化物(例如但不限于 ZnO)。

[0057] 在一些实施方式中,本文所述的玻璃满足如下不等式:

[0058] $[(Al_2O_3 \text{ (摩尔\%)} + B_2O_3 \text{ (摩尔\%)}) / (\Sigma \text{改性剂氧化物 (摩尔\%)})] < 1.0$ 。

[0059] 在一些实施方式中,玻璃可以具有足够的 P_2O_5 ,以实现如下玻璃结构,其中使得 P_2O_5 存在于结构中,而不是 MP_4 ,或者作为 MP_4 的补充。在一些实施方式中,此类结构可描述

成如下比例： $[(P_2O_5(\text{摩尔}\%) + R_2O(\text{摩尔}\%)) / M_2O_3(\text{摩尔}\%)] > 1.24$ ，其中 $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ ， P_2O_5 大于或等于4摩尔%，并且其中 R_2O 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的二价阳离子氧化物的总和。在一些实施方式中，本文所述的玻璃和玻璃制品包含大于4摩尔%的 P_2O_5 ，其中 $[(P_2O_5(\text{摩尔}\%) + R_2O(\text{摩尔}\%)) / M_2O_3(\text{摩尔}\%)]$ 的比例大于1.24，其中 $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ ，并且其中 R_2O 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的二价阳离子氧化物的总和。在一些实施方式中， $[(P_2O_5(\text{摩尔}\%) + R_2O(\text{摩尔}\%)) / M_2O_3(\text{摩尔}\%)]$ 的比例大于1.3。在一些实施方式中，比例如下： $1.24 \leq [(P_2O_5(\text{摩尔}\%) + R_2O(\text{摩尔}\%)) / M_2O_3(\text{摩尔}\%)] \leq 2.8$ 。在一些实施方式中，本文所述的玻璃和玻璃制品包含大于4摩尔%的 P_2O_5 ，并且通过如下比例进行描述：

[0060] $S \leq [(P_2O_5(\text{摩尔}\%) + R_2O(\text{摩尔}\%)) / M_2O_3(\text{摩尔}\%)] \leq V$

[0061] 其中S独立地约为1.5、1.45、1.4、1.35、1.3、1.25、1.24、1.2或者1.15，V独立地约为2.0、2.05、2.1、2.15、2.2、2.25、2.3、2.35、2.4、2.45、2.5、2.55、2.6、2.65、2.7、2.75或者2.8。

[0062] 本文所述的碱性铝硅酸盐玻璃和制品包含许多化学组分。 SiO_2 ，涉及玻璃成形的一种氧化物，其起了使玻璃的网络结构稳定化的作用。在一些实施方式中，玻璃组合物可包含约40-70摩尔%的 SiO_2 。在一些实施方式中，玻璃组合物可包含约50-70摩尔%的 SiO_2 。在一些实施方式中，玻璃组合物可包含约55-65摩尔%的 SiO_2 。在一些实施方式中，玻璃组合物可包含约40-70摩尔%、约40-65摩尔%、约40-60摩尔%、约40-55摩尔%、约40-50摩尔%、约40-45摩尔%、50-70摩尔%、约50-65摩尔%、约50-60摩尔%、约50-55摩尔%、约55-70摩尔%、约60-70摩尔%、约65-70摩尔%、约55-65摩尔%或者约55-60摩尔%的 SiO_2 。在一些实施方式中，玻璃组合物可包含约40、41、42、43、44、45、46、47、48、49、50、51、52、53、54、55、56、57、58、59、60、61、62、63、64、65、66、67、68、69或者70摩尔%的 SiO_2 。

[0063] 可以提供 Al_2O_3 以具有其他益处：a) 维持最低可能的液相线温度，b) 降低膨胀系数，或者c) 增强应变点。在一些实施方式中，玻璃组合物可包含约11-25摩尔%的 Al_2O_3 。在一些实施方式中，玻璃组合物可包含约14-20摩尔%的 Al_2O_3 。在一些实施方式中，玻璃组合物可包含约11-25摩尔%、约11-20摩尔%、约11-18摩尔%、约11-15摩尔%、约12-25摩尔%、约12-20摩尔%、12-18摩尔%、约12-15摩尔%、约14-25摩尔%、约14-20摩尔%、约14-18摩尔%、约14-15摩尔%、约18-25摩尔%、约18-20摩尔%或者约20-25摩尔%的 Al_2O_3 。在一些实施方式中，玻璃组合物可包含约11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24或者25摩尔%的 Al_2O_3 。

[0064] 在实施方式中存在 B_2O_3 可改进防损坏性，但是对于压缩应力和扩散性也是有害的。本文所述的玻璃通常不含，或者不含 B_2O_3 。在一些实施方式中，可能存在约0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1、2、3或者4摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中，可能存在小于4、3、2或者1摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中，可能存在不确定量的 B_2O_3 。在一些实施方式中，玻璃组合物可包含约0摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中， B_2O_3 的量是小于或等于0.5摩尔%，小于或等于0.25摩尔%，小于或等于0.1摩尔%，小于或等于约0.05摩尔%，小于或等于0.001摩尔%，小于或等于0.0005摩尔%，或者小于或等于0.0001摩尔%。根据一些实施方式，玻璃组合物不含故意加入的 B_2O_3 。

[0065] 已经发现以 P_2O_5 将磷加入到玻璃改善了防损坏性并且不会阻碍离子交换。在一些实施方式中，将磷加入到玻璃中产生了这样一种结构，其中，二氧化硅(玻璃中的 SiO_2)被磷

酸铝 (AlPO_4) 和/或磷酸硼 (BPO_4) 替代,所述磷酸铝 (AlPO_4) 是由四面体配位的铝和磷构成的,所述磷酸硼 (BPO_4) 是由四面体配位的硼和磷构成的。本文所述的玻璃通常含有大于4摩尔%的 P_2O_5 。在一些实施方式中,玻璃可包含约4-15摩尔%的 P_2O_5 。在一些实施方式中,玻璃可包含约4-12摩尔%的 P_2O_5 。在一些实施方式中,玻璃可包含约4-10摩尔%的 P_2O_5 。在一些实施方式中,玻璃可包含约6-10摩尔%的 P_2O_5 。在一些实施方式中,玻璃组合物可包含约4-15摩尔%、约6-15摩尔%、约8-15摩尔%、约10-15摩尔%、约12-15摩尔%、约4-12摩尔%、4-10摩尔%、约4-8摩尔%、约4-6摩尔%、约6-12摩尔%、约6-10摩尔%、约6-8摩尔%、约8-12摩尔%、约8-10摩尔%,约10-12摩尔%。在一些实施方式中,玻璃组合物可包含约4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14或者15摩尔%的 P_2O_5 。

[0066] Na_2O 可用于具体玻璃的离子交换。在一些实施方式中,玻璃可包含约13-25摩尔%的 Na_2O 。在一些实施方式中,玻璃可包含约13-20摩尔%的 Na_2O 。在一些实施方式中,玻璃组合物可包含约13-25摩尔%,约13-20摩尔%,约13-18摩尔%,约13-15摩尔%,约15-25摩尔%,约15-20摩尔%,约15-18摩尔%,约18-25摩尔%,约18-20摩尔%或者约20-25摩尔%。在一些实施方式中,玻璃可包含约13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24或者25摩尔%的 Na_2O 。

[0067] R_xO 通常描述为碱性铝硅酸盐玻璃中存在的单价和二价阳离子氧化物。存在的 R_xO 可为玻璃的离子交换提供益处。此类单价和二价氧化物包括但不限于,碱金属氧化物 (Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O 、 Rb_2O 、 Cs_2O),碱土氧化物 (MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO) 以及过渡金属氧化物 (例如但不限于 ZnO)。在一些实施方式中,组合物中的 R_xO 的量描述为下式: $(\text{M}_2\text{O}_3 \text{ (摩尔\%)} / \sum \text{R}_x\text{O (摩尔\%)}) < 1.4$ 。在一些实施方式中,组合物中的 R_xO 的量描述为下式: $(\text{M}_2\text{O}_3 \text{ (摩尔\%)} / \sum \text{R}_x\text{O (摩尔\%)}) < 1.0$ 。在一些实施方式中,组合物中的 R_xO 的量描述为下式: $0.6 < (\text{M}_2\text{O}_3 \text{ (摩尔\%)} / \sum \text{R}_x\text{O (摩尔\%)}) < 1.4$ 。在一些实施方式中,组合物中的 R_xO 的量描述为下式: $0.6 < (\text{M}_2\text{O}_3 \text{ (摩尔\%)} / \sum \text{R}_x\text{O (摩尔\%)}) < 1.0$ 。在一些实施方式中,玻璃组合物可包含约7-30摩尔%的 Al_2O_3 。在一些实施方式中,玻璃组合物可包含约14-25摩尔%的 Al_2O_3 。在一些实施方式中,玻璃组合物可包含约7-30摩尔%,约7-25摩尔%,约7-22摩尔%,约7-20摩尔%,约7-18摩尔%,约7-15摩尔%,约7-10摩尔%,约10-30摩尔%,约10-25摩尔%,约10-22摩尔%,约10-18摩尔%,约10-15摩尔%,约15-30摩尔%,约15-25摩尔%,约15-22摩尔%,约15-18摩尔%,约18-30摩尔%,约18-25摩尔%,约18-22摩尔%,约18-20摩尔%,约20-30摩尔%,约20-25摩尔%,约20-22摩尔%,约22-30摩尔%,约22-25摩尔%,或者约25-30摩尔%。在一些实施方式中,玻璃组合物可包含约8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24、25、26、27、28、29或者30摩尔%的 R_xO 。

[0068] M_2O_3 描述了组合物中 Al_2O_3 和 B_2O_3 的量。在一些实施方式中,玻璃组合物可包含约11-30摩尔%的 M_2O_3 。在一些实施方式中,玻璃组合物可包含约14-20摩尔%的 M_2O_3 。在一些实施方式中,玻璃组合物可包含约11-30摩尔%、约11-25摩尔%、约11-20摩尔%、约11-18摩尔%、约11-15摩尔%、约12-30摩尔%、约12-25摩尔%、约12-20摩尔%、约12-18摩尔%、约12-15摩尔%、约14-30摩尔%、约14-25摩尔%、约14-20摩尔%、约14-18摩尔%、约14-15摩尔%、约18-25摩尔%、约18-20摩尔%或者约20-25摩尔%的 M_2O_3 。在一些实施方式中,玻璃组合物可包含约11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24、25、26、27、28、29或者30摩尔%的 M_2O_3 。

[0069] 一些实施方式中的 K_2O 可用于离子交换,但是对压缩应力会是有害的。在一些实施方式中,玻璃组合物不含 K_2O 。玻璃组合物基本不含 K_2O ,例如当 K_2O 的含量小于或等于0.5摩尔百分比,小于或等于0.25摩尔%,小于或等于0.1摩尔%,小于或等于约0.05摩尔%,小于或等于0.001摩尔%,小于或等于0.0005摩尔%或者小于或等于0.0001摩尔%。根据一些实施方式,玻璃片不含故意加入的钠。在一些实施方式中,玻璃可包含约0-1摩尔%的 K_2O 。在其他实施方式中,玻璃可包含大于0至约1摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,玻璃组合物可包含0至约2摩尔%,0至约1.5摩尔%,0至约1摩尔%,0至约0.9摩尔%,0至约0.8摩尔%,0至约0.7摩尔%,0至约0.6摩尔%,0至约0.5摩尔%,0至约0.4摩尔%,0至约0.3摩尔%,0至约0.2摩尔%或者0至约0.1摩尔%。在一些实施方式中,玻璃可包含约0.01、0.02、0.03、0.04、0.05、0.06、0.07、0.08、0.09、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9或者1摩尔%的 K_2O 。

[0070] 可以向玻璃组合物中结合额外的组分以提供额外的益处。例如,额外的组分可以作为澄清剂(例如,用来促进从用于生产玻璃的熔融批料除去气态夹杂物)和/或其他目的加入。在一些实施方式中,玻璃可包含用作紫外辐射吸收剂的一种或多种化合物。在一些实施方式中,玻璃可包含小于或等于3摩尔%的 TiO_2 、 MnO 、 ZnO 、 Nb_2O_5 、 MoO_3 、 Ta_2O_5 、 WO_3 、 ZrO_2 、 Y_2O_3 、 La_2O_3 、 HfO_2 、 CdO 、 SnO_2 、 Fe_2O_3 、 CeO_2 、 As_2O_3 、 Sb_2O_3 、 Cl 、 Br 或其组合。在一些实施方式中,玻璃可包含0至约3摩尔%,0至约2摩尔%,0至约1摩尔%,0-0.5摩尔%,0-0.1摩尔%,0-0.05摩尔%或者0-0.01摩尔%的 TiO_2 、 MnO 、 ZnO 、 Nb_2O_5 、 MoO_3 、 Ta_2O_5 、 WO_3 、 ZrO_2 、 Y_2O_3 、 La_2O_3 、 HfO_2 、 CdO 、 SnO_2 、 Fe_2O_3 、 CeO_2 、 As_2O_3 、 Sb_2O_3 、 Cl 、 Br 或其组合。在一些实施方式中,玻璃可包含0至约3摩尔%,0至约2摩尔%,0至约1摩尔%,0至约0.5摩尔%,0至约0.1摩尔%,0至约0.05摩尔%或者0至约0.01摩尔%的 TiO_2 、 CeO_2 或者 Fe_2O_3 或其组合。

[0071] 根据一些实施方式,玻璃组合物(例如任意上文所述的玻璃)可以包含 F 、 Cl 或 Br ,例如,玻璃包含 Cl 和/或 Br 作为澄清剂的情况。

[0072] 根据一些实施方式,玻璃组合物可包含 BaO 。在某些实施方式中,玻璃可包含小于约5、小于约4、小于约3、小于约2、小于约1、小于约0.5或者小于约0.1摩尔%的 BaO 。

[0073] 在一些实施方式中,玻璃可基本不含 Sb_2O_3 、 As_2O_3 或其组合。例如,玻璃可包含小于或等于0.05摩尔%的 Sb_2O_3 或者 As_2O_3 或其组合,玻璃可包含0摩尔%的 Sb_2O_3 或者 As_2O_3 或其组合,或者玻璃可以,例如不含任意故意加入的 Sb_2O_3 、 As_2O_3 或其组合。

[0074] 根据一些实施方式,玻璃还可以包含在商业制备的玻璃中通常出现的污染物。作为附加或者替代,可以加入各种其它的氧化物(例如 TiO_2 、 MnO 、 ZnO 、 Nb_2O_5 、 MoO_3 、 Ta_2O_5 、 WO_3 、 ZrO_2 、 Y_2O_3 、 La_2O_3 以及 P_2O_5 等),尽管对其它的玻璃组分进行了调整,但是不会使得玻璃组合物的熔融特性或者成形特性变差。根据一些实施方式,在玻璃还包含此类其他氧化物的情况下,此类其他氧化物分别通常以不超过约3摩尔%、约2摩尔%或者约1摩尔%的量存在,并且它们的总浓度通常小于或等于约5摩尔%、约4摩尔%、约3摩尔%、约2摩尔%或者约1摩尔%。在一些情况下,可以使用更高的量,只要用量不使得组合物落在上文所述的范围之外即可。根据一些实施方式,所述玻璃还包含与批料相关的污染物和/或由生产玻璃所用的熔融、澄清和/或成形设备引入的污染物(如 ZrO_2)。

[0075] 在一些实施方式中,本文所述的碱性铝硅酸盐玻璃和制品包含约40-70摩尔%的 SiO_2 ;约11-25摩尔%的 Al_2O_3 ;约4-15摩尔%的 P_2O_5 ;以及约11-25摩尔%的 Na_2O 。

[0076] 在一些实施方式中,玻璃组合物具有高防损坏性。在一些实施方式中,玻璃组合物具有大于7千克力(kgf)的维氏开裂阈值。在一些实施方式中,玻璃组合物具有大于12kgf的维氏开裂阈值。在一些实施方式中,玻璃组合物具有大于15kgf的维氏开裂阈值。在一些实施方式中,玻璃组合物具有大于20kgf的维氏开裂阈值。在一些实施方式中,玻璃组合物具有大于6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24或25kgf的维氏开裂阈值。

[0077] 具体玻璃(其中玻璃厚度为0.7mm)的非限制性例子见表1所示。

[0078] 表1:玻璃组成和性质

[0079]

样品	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
SiO ₂ (摩尔%)	61	59	57	62	60	58	60	60	60	60	60	60
B ₂ O ₃ (摩尔%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃ (摩尔%)	15.5	16.5	17.5	15.5	16.5	17.5	16	16	16	16	16	16
P ₂ O ₅ (摩尔%)	7	7	7	6	6	6	5	5	6	6	7	7
Na ₂ O (摩尔%)	16.5	17.5	18.5	16.5	17.5	18.5	16	16	16	16	16	16
MgO (摩尔%)	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	1	0
ZnO (摩尔%)	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	1
密度(g/cm ³)	2.388	2.401	2.412	2.393	2.406	2.416						
摩尔体积 (cm ³ /摩尔)	30.41	30.43	30.47	30.01	30.03	30.08						
应变点(°C)	615	620	625	633	638	640						
退火点(°C)	675	678	682	693	697	699						
软化点(°C)	963	958	951	973	978	969						
T200P (°C)	1732	1708	1683	1752	1720	1698						
T35000P (°C)	1284	1274	1260	1304	1289	1275						
T160000P (°C)	1195	1186	1176	1215	1202	1191						
液相线温度 (°C)	775	740	730	770	790	770						
0.7 mm 厚部分退火												
410°C, 8 小时 压缩应力 (MPa)	665	超过 FSM 限值	超过 FSM 限值	超过 FSM 限值	超过 FSM 限值	超过 FSM 限值						
410°C, 8 小时 层深度(μm)	113	超过 FSM 限值	超过 FSM 限值	超过 FSM 限值	超过 FSM 限值	超过 FSM 限值						
410°C, 1 小时 压缩应力 (MPa)	764	806	866	805	863	922						
410°C, 1 小时 层深度(μm)	40	38	38	39	37	36						
410°C, 4 小时 压缩应力 (MPa)	706	747	804	745	805	超过 FSM 限值						
410°C, 4 小时 层深度(微米)	80	82	80	77	77	超过 FSM 限值						
410°C, 4 小时 维氏裂纹开裂 负荷(kgf)	>25	>20	>20	>15	>25	>15						
470°C, 6 分钟 压缩应力 (MPa)	736	780	837	778	836	894						
470°C, 6 分钟 层深度(μm)	23	23	23	23	23	23						

[0080]

样品	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
(Al ₂ O ₃ + B ₂ O ₃) / R _x O	0.94	0.94	0.95	0.94	0.94	0.95	0.84	0.84	0.89	0.89	0.94	0.94
(P ₂ O ₅ + R _x O) / M ₂ O ₃	1.52	1.48	1.46	1.45	1.42	1.40	1.5	1.5	1.5	1.5	1.54	1.5
在 410°C 的退火部分中的 K ⁺ /Na ⁺ 的离子交换互扩散系数 x 10 ⁻¹⁰ (cm ² /s)	5.78	5.65	5.50	5.43	5.16	4.69						

[0081] 具体玻璃(其中玻璃厚度为1.0mm)的非限制性例子见表2所示(对于离子交换数据,如果没有提供SOC,则默认使用的是3.0,采用1.0mm厚的离子交换的部分)。

[0082] 表2:玻璃组成和性质

[0083]

实施例编号	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂ 单位: 摩尔%	61.0	59.0	57.0	62.0	60.0	58.0	58.0
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	15.5	16.5	17.5	15.5	16.5	17.5	17.4
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	7.0	7.0	7.0	6.0	6.0	6.0	6.1
Na ₂ O 单位: 摩尔%	16.5	17.5	18.5	16.5	17.5	18.5	18.5
MgO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CaO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(M ₂ O ₃)/R _x O 单位: 摩尔%	0.94	0.94	0.95	0.94	0.94	0.95	0.95
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.52	1.48	1.46	1.45	1.42	1.40	1.41
(P ₂ O ₅ + R _x O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.52	1.48	1.46	1.45	1.42	1.40	1.40
SiO ₂ 单位: 重量%	50.5	48.5	46.6	51.9	49.9	48.0	48.0
Al ₂ O ₃ 单位: 重量%	21.8	23.0	24.3	22.0	23.3	24.6	24.4
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	13.7	13.6	13.5	11.9	11.8	11.7	11.8
Na ₂ O 单位: 重量%	14.1	14.8	15.6	14.2	15.0	15.8	15.8
MgO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZnO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CaO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	无	无	无	无	无	无	XRF
密度(g/cm ³)	2.388	2.401	2.412	2.393	2.406	2.416	2.416
摩尔体积(cm ³ /摩尔)	30.41	30.43	30.47	30.01	30.03	30.08	30.08

[0084]

实施例编号	1	2	3	4	5	6	7
应变点 (°C)	615	620	625	633	638	640	640
退火点 (°C)	675	678	682	693	697	699	699
软化点 (°C)	963	958	951	973	978	969	969
200 P 粘度的温度 (°C)	1732	1708	1683	1752	1720	1698	1698
35 kP 粘度的温度 (°C)	1284	1274	1260	1304	1289	1275	1275
160 kP 粘度的温度 (°C)	1195	1186	1176	1215	1202	1191	1191
液相线温度(°C)	775	740	730	770	790	770	890
液相线粘度(P)	2.91E+10	8.74E+10	4.40E+11	1.67E+11	2.46E+10	2.04E+11	7.09E+08
锆石分解温度(°C)							
锆石分解粘度(P)							
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)							
近似假想温度(°C)	675	678	682	693	697	699	795
410°C, 1 小时压缩应力(MPa)	777	820	881	819	878	938	804
410°C, 1 小时层深度(mm)	40	38	38	39	37	36	43
410°C, 1 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 2 小时压缩应力(MPa)							
410°C, 2 小时层深度(mm)							
410°C, 2 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 3 小时压缩应力(MPa)							
410°C, 3 小时层深度(mm)							
410°C, 4 小时压缩应力(MPa)	718	760	818	758	819	超过	
410°C, 4 小时层深度(mm)	80	82	80	77	77	超过	
410°C, 4 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)	>25	>20	>20	>15	>25	>15	
410°C, 8 小时压缩应力(MPa)	678	超过	超过	超过	超过	超过	
410°C, 8 小时层深度(mm)	113	超过	超过	超过	超过	超过	
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 1 小时	5.7E-10	5.1E-10	5.1E-10	5.4E-10	4.9E-10	4.6E-10	6.6E-10
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 2 小时							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 3 小时							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 4 小时	5.7E-10	6.0E-10	5.7E-10	5.3E-10	5.3E-10		
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 8 小时	5.7E-10						

[0085]

实施例编号	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂ 单位: 摩尔%	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	62.0
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	15.0
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	5.0	5.0	6.0	6.0	7.0	7.0	5.0
Na ₂ O 单位: 摩尔%	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	15.0
MgO 单位: 摩尔%	3.0	0.0	2.0	0.0	1.0	0.0	3.0
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	3.0	0.0	2.0	0.0	1.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CaO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(M ₂ O ₃)/R ₂ O 单位: 摩尔%	0.84	0.84	0.89	0.89	0.94	0.94	0.83
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.31	1.31	1.38	1.38	1.44	1.44	1.33
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.53
SiO ₂ 单位: 重量%	51.1	50.2	50.3	49.8	49.6	49.4	53.1
Al ₂ O ₃ 单位: 重量%	23.1	22.7	22.8	22.5	22.5	22.3	21.8
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	10.1	9.9	11.9	11.8	13.7	13.6	10.1
Na ₂ O 单位: 重量%	14.0	13.8	13.8	13.7	13.7	13.6	13.3
MgO 单位: 重量%	1.7	0.0	1.1	0.0	0.6	0.0	1.7
ZnO 单位: 重量%	0.0	3.4	0.0	2.2	0.0	1.1	0.0
SnO ₂ 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CaO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	无	无	无	无	无	无	无
密度(g/cm ³)	2.417	2.453	2.406	2.428	2.393	2.404	2.423
摩尔体积(cm ³ /摩尔)	29.21	29.28	29.76	29.83	30.35	30.38	28.95
应变点 (°C)	643	621	623	619	611	621	680
退火点 (°C)	696	681	684	681	675	683	730
软化点 (°C)	964	954.3	963.5	963.4	965	967.4	989.1
200 P 粘度的温度 (°C)	1668	1677	1695	1698	1714	1713	1676
35 kP 粘度的温度 (°C)	1247	1252	1268	1265	1280	1277	1252
160 kP 粘度的温度 (°C)	1162	1166	1181	1178	1193	1190	1167
液相线温度(°C)	960						1100
液相线粘度(P)	1.85E+07						6.28E+05
铅石分解温度(°C)	1240						>1265
铅石分解粘度(P)	39255						<28281
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)	3.015	3.132	3.055	3.122			2.999
近似假想温度(°C)	798	754	767	745	778	778	824
410°C, 1 小时压缩应力(MPa)	932	963	833	895	817	820	970
410°C, 1 小时层深度 (mm)	32	28	33	32	39	39	33
410°C, 1 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)							

[0086]

实施例编号	8	9	10	11	12	13	14
410°C, 2 小时压缩应力(MPa)	901	959	813	874	797	796	959
410°C, 2 小时层深度(mm)	44	38	48	46	54	53	44
410°C, 2 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)	>30	>20	>20	>20	>20	>20	>20
410°C, 3 小时压缩应力(MPa)	895	949	808	868	787	781	
410°C, 3 小时层深度(mm)	54	46	57	55	65	65	
410°C, 4 小时压缩应力(MPa)	884	942	792	842	770	772	
410°C, 4 小时层深度(mm)	63	54	64	63	76	76	
410°C, 4 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 8 小时压缩应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深度(mm)							
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 1 小时	3.6E-10	2.8E-10	3.9E-10	3.6E-10	5.4E-10	5.4E-10	3.9E-10
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 2 小时	3.4E-10	2.6E-10	4.1E-10	3.7E-10	5.2E-10	5.0E-10	3.4E-10
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 3 小时	3.4E-10	2.5E-10	3.8E-10	3.6E-10	5.0E-10	5.0E-10	
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 4 小时	3.5E-10	2.6E-10	3.6E-10	3.5E-10	5.1E-10	5.1E-10	
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 8 小时							

实施例编号	15	16	17	18	19	20	21
SiO ₂ 单位: 摩尔%	61.0	63.1	61.2	61.3	60.8	60.9	60.3
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	14.8	13.9	15.9	15.8	16.0	15.8	15.7
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	4.9	5.0	5.0	4.9	4.9	4.9	5.5
Na ₂ O 单位: 摩尔%	15.3	13.9	15.8	16.0	16.1	15.8	16.0
MgO 单位: 摩尔%	3.8	4.1	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 摩尔%	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(M ₂ O ₃)/R ₁ O 单位: 摩尔%	0.77	0.77	0.90	0.88	0.88	0.86	0.85
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.36	1.36	1.30	1.32	1.31	1.31	1.37
(P ₂ O ₅ + R ₁ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.63	1.65	1.43	1.45	1.44	1.47	1.53
SiO ₂ 单位: 重量%	52.5	54.6	52.0	52.1	51.7	51.9	51.0
Al ₂ O ₃ 单位: 重量%	21.6	20.4	23.0	22.7	23.1	22.8	22.5

[0087]

实施例编号	15	16	17	18	19	20	21
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	10.0	10.2	10.0	9.8	9.8	9.8	10.9
Na ₂ O 单位: 重量%	13.6	12.4	13.8	14.0	14.1	13.9	13.9
MgO 单位: 重量%	2.2	2.4	1.1	1.1	1.1	1.4	1.4
ZnO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 重量%	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
CaO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.411	2.404	2.413	2.415	2.417	2.418	2.416
摩尔体积(cm ³ /摩尔)	28.98	28.89	29.32	29.26	29.28	29.17	29.38
应变点 (°C)	659	672	631	630	628	630	631
退火点 (°C)	709	734	689	687	685	683	685
软化点 (°C)	980.3	999.4	977.9	973.6	969.2	968.2	960.6
200 P 粘度的温度 (°C)	1695	1711	1704	1699	1698	1691	1687
35 kPa 粘度的温度 (°C)	1260	1270	1285	1273	1274	1268	1263
160 kPa 粘度的温度 (°C)	1173	1183	1197	1187	1188	1182	1177
液相线温度(°C)			970				
液相线粘度(P)			2.97E+07				
锆石分解温度(°C)			>1260				
锆石分解粘度(P)			<52623				
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)			3.095				3.014
近似假想温度(°C)	797	831	787	784	781	775	782
410°C, 1 小时压缩应力(MPa)	919	875		918	966	954	
410°C, 1 小时层深度 (mm)	36	32		37	35	35	
410°C, 1 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 2 小时压缩应力(MPa)	917	863	879	906	926	942	912
410°C, 2 小时层深度 (mm)	48	45	47	49	46	48	47
410°C, 2 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)	>20	15-20	>20	15-20	15-20	15-20	15-20
410°C, 3 小时压缩应力(MPa)	881	855	856	906	924	910	878
410°C, 3 小时层深度 (mm)	56	56	57	59	55	56	55
410°C, 4 小时压缩应力(MPa)	874	854	858	869	898	896	
410°C, 4 小时层深度 (mm)	65	65	66	67	64	65	
410°C, 4 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 8 小时压缩应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深度 (mm)							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 1 小时	4.6E-10	3.6E-10		4.9E-10	4.3E-10	4.3E-10	

实施例编号	15	16	17	18	19	20	21
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 2 小时	4.1E-10	3.6E-10	3.9E-10	4.3E-10	3.7E-10	4.1E-10	3.9E-10
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 3 小时	3.7E-10	3.7E-10	3.8E-10	4.1E-10	3.6E-10	3.7E-10	3.6E-10
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 4 小时	3.7E-10	3.7E-10		4.0E-10	3.6E-10	3.7E-10	
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 8 小时							

[0088]

实施例编号	22	23	24	25	26	27	28
SiO ₂ 单位: 摩尔%	60.3	62.3	61.3	60.8	60.5	62.2	62.1
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔 %	15.9	14.7	15.7	16.0	15.9	14.6	14.6
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	5.5	4.9	5.0	5.0	5.2	5.0	5.0
Na ₂ O 单位: 摩尔%	16.2	15.0	16.0	16.1	16.3	15.1	15.2
MgO 单位: 摩尔%	1.9	2.0	1.9	2.0	2.0	3.1	0.1
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 摩尔%	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
(M ₂ O ₃)/R ₁ O 单位: 摩尔%	0.88	0.82	0.87	0.88	0.87	0.80	0.80
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单 位: 摩尔%	1.36	1.36	1.34	1.32	1.35	1.37	1.38
(P ₂ O ₅ + R ₃ O)/(M ₂ O ₃) 单 位: 摩尔%	1.48	1.56	1.46	1.45	1.47	1.59	1.59
SiO ₂ 单位: 重量%	50.9	53.3	52.1	51.6	51.2	53.4	52.4
Al ₂ O ₃ 单位: 重量 %	22.8	21.3	22.6	23.0	22.9	21.2	20.9
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	10.9	10.0	10.0	10.0	10.4	10.1	9.9
Na ₂ O 单位: 重量%	14.1	13.2	14.0	14.1	14.2	13.3	13.2
MgO 单位: 重量%	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.8	0.0
ZnO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4
SnO ₂ 单位: 重量%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

[0089]

实施例编号	22	23	24	25	26	27	28
CaO 单位: 重量%	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.415	2.415	2.414	2.417	2.416	2.413	2.449
摩尔体积(cm ³ /摩尔)	29.49	29.07	29.30	29.31	29.40	29.02	29.10
应变点 (°C)	632	644	638	639	636	652	614
退火点 (°C)	688	695	694	696	694	702	671
软化点 (°C)	965.7	980.7	975.7	972.1	970.6	977.2	950
200 P 粘度的温度 (°C)	1690	1699	1703	1698	1691	1704	1702
35 kP 粘度的温度 (°C)	1267	1267	1278	1275	1269	1263	1253
160 kP 粘度的温度 (°C)	1181	1179	1191	1189	1183	1178	1167
液相线温度(°C)							
液相线粘度(P)							
铅石分解温度(°C)							
铅石分解粘度(P)							
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)	3.058	3.045	3.029	3.045	3.041	3.044	3.156
近似假想温度(°C)	773	795	780	782	769	796	762
410°C, 1 小时压缩应力(MPa)						873	901
410°C, 1 小时层深度(mm)						33	29
410°C, 1 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 2 小时压缩应力(MPa)	900	858	902	906	909	870	862
410°C, 2 小时层深度(mm)	47	47	47	47	46	47	41
410°C, 2 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)	>20	15-20	15-20	15-20	>20	>20	15-20
410°C, 3 小时压缩	896	846	890	906	900	862	880

[0090]

实施例编号	22	23	24	25	26	27	28
应力(MPa)							
410°C, 3 小时层深度(mm)	55	56	56	55	53	55	49
410°C, 4 小时压缩应力(MPa)						864	870
410°C, 4 小时层深度(mm)						61	54
410°C, 4 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 8 小时压缩应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深度(mm)							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 1 小时						3.9E-10	3.0E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 2 小时	3.9E-10	3.9E-10	3.9E-10	3.9E-10	3.7E-10	3.9E-10	3.0E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 3 小时	3.6E-10	3.7E-10	3.7E-10	3.6E-10	3.3E-10	3.6E-10	2.8E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 4 小时						3.3E-10	2.6E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 8 小时							

实施例编号	29	30	31	32	33	34	35
SiO ₂ 单位: 摩尔%	62.2	60.3	60.0	60.0	59.9	60.7	60.3
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	14.8	15.6	15.6	15.8	15.7	15.4	15.5
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.9	5.4

[0091]

实施例编号	29	30	31	32	33	34	35
Na ₂ O 单位: 摩尔%	15.3	15.9	16.2	16.4	16.3	15.9	15.8
MgO 单位: 摩尔%	2.5	3.0	0.0	2.6	2.9	2.9	3.0
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 摩尔%	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
(M ₂ O ₃)/R ₂ O 单位: 摩尔%	0.83	0.82	0.81	0.83	0.82	0.82	0.82
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.37	1.34	1.36	1.35	1.35	1.35	1.37
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.54	1.54	1.56	1.52	1.54	1.54	1.56
SiO ₂ 单位: 重量%	53.2	51.4	50.3	51.0	51.0	51.8	51.2
Al ₂ O ₃ 单位: 重量%	21.5	22.5	22.1	22.8	22.7	22.4	22.3
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	10.0	10.1	9.8	10.0	10.1	10.0	10.8
Na ₂ O 单位: 重量%	13.5	14.0	14.0	14.4	14.3	14.0	13.8
MgO 单位: 重量%	1.5	1.7	0.0	1.5	1.7	1.7	1.7
ZnO 单位: 重量%	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 重量%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CaO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.411	2.424	2.46	2.423	2.426	2.422	2.422
摩尔体积(cm ³ /摩尔)	29.12	29.07	29.15	29.17	29.08	29.06	29.20
应变点 (°C)	642	646	618	641	633	630	625
退火点 (°C)	696	696	674	693	682	681	676
软化点 (°C)	972.7	960.3	941.8	960	952.8	957.2	950.7
200 P 粘度的温度 (°C)	1713	1664	1668	1676	1670	1673	1672
35 kP 粘度的温度 (°C)	1271	1240	1238	1246	1243	1250	1241
160 kP 粘度的温度	1185	1155	1153	1162	1160	1164	1157

[0092]

实施例编号	29	30	31	32	33	34	35
(°C)							
液相线温度(°C)						995	975
液相线粘度(P)						6.97E+06	1.21E+07
锆石分解温度(°C)						1240	1265
锆石分解粘度(P)						41251	23823
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)	3.05	2.938	3.112	3.009	2.994	3.018	3.266??
近似假想温度(°C)	795	794	749	791	779	775	772
410°C, 1 小时压缩 应力(MPa)			921	927			
410°C, 1 小时层深 度(mm)			28	33			
410°C, 1 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 2 小时压缩 应力(MPa)	868	943	921	946	948	890	834
410°C, 2 小时层深 度(mm)	48	46	41	48	46	44	48
410°C, 2 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)	>20	>20	15-20	10-15	10-15	>20	>20
410°C, 3 小时压缩 应力(MPa)	862	941	895	921	936	885	818
410°C, 3 小时层深 度(mm)	55	54	47	55	51	55	52
410°C, 4 小时压缩 应力(MPa)			894	924		875	
410°C, 4 小时层深 度(mm)			52	61		63	
410°C, 4 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 8 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深 度(mm)							

实施例编号	29	30	31	32	33	34	35
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 1 小时			2.8E-10	3.9E-10			
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 2 小时	4.1E-10	3.7E-10	3.0E-10	4.1E-10	3.7E-10	3.4E-10	4.1E-10
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 3 小时	3.6E-10	3.4E-10	2.6E-10	3.6E-10	3.1E-10	3.6E-10	3.2E-10
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 4 小时			2.4E-10	3.3E-10		3.5E-10	
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 8 小时							

[0093]

实施例编号	36	37	38	39	40	41	42
SiO ₂ 单位: 摩尔%	60.0	60.4	60.2	62.8	61.3	61.1	60.9
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	15.6	15.6	15.5	14.4	15.1	15.2	15.3
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	5.5	5.0	4.9	4.1	4.7	4.8	4.9
Na ₂ O 单位: 摩尔%	16.3	16.4	16.4	15.6	15.7	15.8	15.8
MgO 单位: 摩尔%	2.5	2.5	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
(M ₂ O ₃)/R _x O 单位: 摩尔%	0.83	0.83	0.80	0.77	0.81	0.81	0.81
(P ₂ O ₅ + R _x O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.39	1.37	1.38	1.37	1.35	1.35	1.35
(P ₂ O ₅ + R _x O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.55	1.53	1.57	1.58	1.55	1.55	1.55
SiO ₂ 单位: 重量%	50.8	51.4	51.4	54.5	52.6	52.3	52.1
Al ₂ O ₃ 单位: 重量%	22.4	22.5	22.4	21.1	22.0	22.1	22.2
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	10.9	10.1	9.9	8.3	9.5	9.7	9.9
Na ₂ O 单位: 重量%	14.2	14.4	14.4	14.0	13.9	13.9	13.9
MgO 单位: 重量%	1.4	1.4	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
ZnO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 重量%	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
CaO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF

[0094]

实施例编号	36	37	38	39	40	41	42
密度(g/cm ³)	2.419	2.421	2.427	2.422	2.422	2.422	2.422
摩尔体积(cm ³ /摩尔)	29.35	29.17	29.00	28.58	28.92	28.98	29.03
应变点 (°C)	619	624	632	653	635	634	632
退火点 (°C)	672	677	680	704	685	684	682
软化点 (°C)	954.2	956.8	952.6	977.4	963.1	961.8	957.4
200 P 粘度的温度 (°C)	1675	1680	1659	1709	1693	1690	1689
35 kP 粘度的温度 (°C)	1246	1255	1229	1263	1257	1256	1254
160 kP 粘度的温度 (°C)	1161	1169	1145	1176	1170	1170	1168
液相线温度(°C)	985	990					
液相线粘度(P)	1.00E+07	9.03E+06					
锆石分解温度(°C)	1260	1240					
锆石分解粘度(P)	27805	45159					
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)	2.986	3.005	3.008				
近似假想温度(°C)	767	768	778	793	773	772	770
410°C, 1 小时压缩应力(MPa)		925		979	973	967	967
410°C, 1 小时层深度 (mm)		34		30	30	29	29
410°C, 1 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 2 小时压缩应力(MPa)	903	928	934	980	978	975	948
410°C, 2 小时层深度 (mm)	46	46	46	42	41	41	41
410°C, 2 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)	15-20	10-15	15-20	15-20	15-20	15-20	10-15
410°C, 3 小时压缩应力(MPa)		923	943	930	934	927	925
410°C, 3 小时层深度 (mm)		54	53	53	51	51	51
410°C, 4 小时压缩应力(MPa)		920		949	948	943	941
410°C, 4 小时层深度 (mm)		59		59	57	57	57
410°C, 4 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)				15-20	15-20	15-20	10-15
410°C, 8 小时压缩应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深度 (mm)							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 1 小时		4.1E-10		3.2E-10	3.2E-10	3.0E-10	3.0E-10
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 2 小时	3.7E-10	3.7E-10	3.7E-10	3.1E-10	3.0E-10	3.0E-10	3.0E-10
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 3 小时		3.4E-10	3.3E-10	3.3E-10	3.1E-10	3.1E-10	3.1E-10
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 4 小时		3.1E-10		3.1E-10	2.9E-10	2.9E-10	2.9E-10

[0095]

实施例编号	43	44	45	46	47	48	49
SiO ₂ 单位: 摩尔%	60.4	60.2	60.1	60.0	59.9	60.1	59.3
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	15.5	15.6	15.6	15.6	15.7	15.6	15.3
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.2	5.7
Na ₂ O 单位: 摩尔%	15.9	16.0	16.0	16.0	16.1	16.1	16.5
MgO 单位: 摩尔%	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(M ₂ O ₃)/R ₂ O 单位: 摩尔%	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.79
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.37	1.46
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.54	1.55	1.55	1.54	1.54	1.55	1.65
SiO ₂ 单位: 重量%	51.5	51.3	51.2	51.1	51.0	51.2	50.2
Al ₂ O ₃ 单位: 重量%	22.4	22.5	22.6	22.6	22.7	22.5	22.0
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	10.1	10.2	10.2	10.2	10.3	10.4	11.4
Na ₂ O 单位: 重量%	14.0	14.0	14.0	14.1	14.1	14.1	14.5
MgO 单位: 重量%	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.7
ZnO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 重量%	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
CaO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.423	2.424	2.425	2.424	2.424	2.423	2.424
摩尔体积(cm ³ /摩尔)	29.09	29.10	29.10	29.11	29.14	29.14	29.27
应变点 (°C)	628	629	633	630	629	615	603
退火点 (°C)	680	680	680	681	680	664	651
软化点 (°C)	954	952.8	956.5	953.3	953	944.5	929.6
200 P 粘度的温度 (°C)	1684	1678	1676	1681	1678	1681	1665
35 kP 粘度的温度 (°C)	1257	1245	1248	1249	1251	1242	1225
160 kP 粘度的温度 (°C)	1171	1160		1163	1166	1158	1141
液相线温度(°C)							
液相线粘度(P)							
铅石分解温度(°C)							
铅石分解粘度(P)							
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)							
近似假想温度(°C)	770	769	765	770	769	752	737
410°C, 1 小时压缩应力(MPa)	975	964	992				
410°C, 1 小时层深度 (mm)	29	29	27				
410°C, 1 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)							

[0096]

实施例编号	43	44	45	46	47	48	49
410°C, 2 小时压缩应力(MPa)	960	955	990	945	948	939	905
410°C, 2 小时层深度(mm)	41	40	38	38	38	38	39
410°C, 2 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)	25-30	25-30	>20	>20	>20	15-20	10-15
410°C, 3 小时压缩应力(MPa)	930	933	970				
410°C, 3 小时层深度(mm)	50	50	53				
410°C, 4 小时压缩应力(MPa)	948	940					
410°C, 4 小时层深度(mm)	56	56					
410°C, 4 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)	25-30	20-25					
410°C, 8 小时压缩应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深度(mm)							
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 1 小时	3.0E-10	3.0E-10	2.6E-10				
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 2 小时	3.0E-10	2.8E-10	2.6E-10	2.6E-10	2.6E-10	2.6E-10	2.7E-10
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 3 小时	3.0E-10	3.0E-10	3.3E-10				
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 4 小时	2.8E-10	2.8E-10					
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 8 小时							

实施例编号	50	51	52	53	54	55	56
SiO ₂ 单位: 摩尔%	61.8	56.9	60.1	60.2	60.1	61.1	61.0
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	13.5	13.4	15.0	15.4	15.2	14.6	14.9
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	5.0	10.0	6.0	5.4	5.7	5.4	5.5
Na ₂ O 单位: 摩尔%	19.5	19.6	15.7	15.9	15.9	15.2	15.5
MgO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	3.0	3.0	3.0	3.5	3.1
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
(M ₂ O ₃)/R ₂ O 单位: 摩尔%	0.69	0.68	0.80	0.81	0.80	0.78	0.80

[0097]

实施例编号	50	51	52	53	54	55	56
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.82	2.21	1.44	1.38	1.42	1.41	1.41
(P ₂ O ₅ + R ₃ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.82	2.21	1.64	1.58	1.62	1.65	1.62
SiO ₂ 单位: 重量%	52.9	46.0	50.9	51.2	50.9	52.2	51.9
Al ₂ O ₃ 单位: 重量%	19.5	18.4	21.6	22.2	21.9	21.2	21.5
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	10.1	19.1	11.9	10.7	11.3	10.9	11.0
Na ₂ O 单位: 重量%	17.2	16.3	13.7	13.9	13.9	13.4	13.6
MgO 单位: 重量%	0.0	0.0	1.7	1.7	1.7	2.0	1.7
ZnO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 重量%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CaO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.426	2.408	2.413	2.419	2.416	2.415	2.415
摩尔体积(cm ³ /摩尔)	28.96	30.85	29.45	29.23	29.34	29.10	29.21
应变点 (°C)	574	522	626	637	630	649	639
退火点 (°C)	625	568	679	688	681	701	689
软化点 (°C)	872.9	825.1	947.3	955.1	949.9	969.4	961
200 P 粘度的温度 (°C)	1651	1587	1686	1679	1684	1678	1698
35 kP 粘度的温度 (°C)	1162	1126	1248	1253	1248	1248	1256
160 kP 粘度的温度 (°C)	1075	1040	1162	1169	1163	1163	1172
液相线温度(°C)	990	915	1000				
液相线粘度(P)	9.59E+05	2.61E+06	6.34E+06				
铅石分解温度(°C)	1235	>1245	1275	>1270		>1300	
铅石分解粘度(P)	11856	<6194	22653	<26470		<15377	
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)			3.069	3.107	2.986	3.089	3.064

[0098]

实施例编号	50	51	52	53	54	55	56
近似假想温度(°C)	710	650	769	776	769	790	777
410°C, 1 小时压缩 应力(MPa)			850	891	870	852	867
410°C, 1 小时层深 度(mm)			47	37	38	37	38
410°C, 1 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 2 小时压缩 应力(MPa)	501	496	857	873	848	841	829
410°C, 2 小时层深 度(mm)	90	88	52	49	52	50	50
410°C, 2 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)	>20	>20	20-30	>20	>20	>20	10-15
410°C, 3 小时压缩 应力(MPa)			842	863	834	836	832
410°C, 3 小时层深 度(mm)			59	64	63	63	64
410°C, 4 小时压缩 应力(MPa)			828	859	842	826	835
410°C, 4 小时层深 度(mm)			70	72	70	73	72
410°C, 4 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 8 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深 度(mm)							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \cdot (Dt)^{0.5}$, 410°C, 1 小时			7.8E-10	4.9E-10	5.1E-10	4.9E-10	5.1E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \cdot (Dt)^{0.5}$, 410°C, 2 小时	1.4E-09	1.4E-09	4.8E-10	4.3E-10	4.8E-10	4.4E-10	4.4E-10
D FSM DOL ~			4.1E-10	4.8E-10	4.7E-10	4.7E-10	4.8E-10

实施例编号	50	51	52	53	54	55	56
1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 3 小时							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 4 小时			4.3E-10	4.6E-10	4.3E-10	4.7E-10	4.6E-10
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 8 小时							

[0099]

实施例编号	57	58	59	60	61	62	63
SiO ₂ 单位: 摩尔%	60.2	60.2	60.3	60.4	60.3	60.4	60.2
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	15.0	15.3	15.1	15.5	15.3	15.4	15.1
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	5.5	6.0	5.9	5.9	5.9	5.9	6.0
Na ₂ O 单位: 摩尔%	15.6	15.4	15.1	15.4	15.3	15.4	15.2
MgO 单位: 摩尔%	3.5	3.0	3.6	2.5	3.1	2.8	3.4
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 摩尔%	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
(M ₂ O ₃)/R _x O 单位: 摩尔%	0.78	0.83	0.81	0.86	0.83	0.85	0.81
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.41	1.40	1.39	1.38	1.39	1.38	1.40
(P ₂ O ₅ + R _x O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.65	1.59	1.63	1.54	1.59	1.56	1.63
SiO ₂ 单位: 重量%	51.3	50.9	51.1	50.9	51.0	50.9	50.9
Al ₂ O ₃ 单位: 重量%	21.7	21.9	21.7	22.2	21.9	22.1	21.7
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	11.0	11.9	11.7	11.8	11.8	11.8	11.9
Na ₂ O 单位: 重量%	13.8	13.4	13.2	13.4	13.3	13.4	13.3
MgO 单位: 重量%	2.0	1.7	2.0	1.4	1.7	1.6	1.9
ZnO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

[0100]

实施例编号	57	58	59	60	61	62	63
SnO ₂ 单位: 重量%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CaO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.42	2.41	2.42	2.41	2.42	2.41	2.41
摩尔体积(cm ³ /摩尔)	29.13	29.49	29.32	29.57	29.43	29.50	29.41
应变点 (°C)	647	627	634	624	627	625	627
退火点 (°C)	697	682	684	680	680	679	679
软化点 (°C)	962.8	952	959.1	954.6	951	951.6	954.9
200 P 粘度的温度 (°C)	1677	1728	1679	1693	1685	1687	1673
35 kP 粘度的温度 (°C)	1247	1257	1246	1259	1253	1257	1235
160 kP 粘度的温度 (°C)	1163	1173	1160	1173	1168	1171	1151
液相线温度(°C)			1090				
液相线粘度(P)			6.79E+05				
铅石分解温度(°C)			1265				>1250
铅石分解粘度(P)			25644				<27583
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)	3.046		3.092		3.085		3.037
近似假想温度(°C)	784	776	778	779	779	773	787
410°C, 1 小时压缩应力(MPa)	883						
410°C, 1 小时层深度(mm)	37						
410°C, 1 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 2 小时压缩应力(MPa)	870	879	910	878	869	885	885
410°C, 2 小时层深度(mm)	52	46	45	47	50	46	45
410°C, 2 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)	>20	30-40	30-40	30-40	20-30	20-30	30-40

[0101]

实施例编号	57	58	59	60	61	62	63
410°C, 3 小时压缩 应力(MPa)	861						
410°C, 3 小时层深 度(mm)	63						
410°C, 4 小时压缩 应力(MPa)	853						
410°C, 4 小时层深 度(mm)	71						
410°C, 4 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 8 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深 度(mm)							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 1 小时	4.9E-10						
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 2 小时	4.8E-10	3.8E-10	3.6E-10	3.9E-10	4.4E-10	3.7E-10	3.6E-10
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 3 小时	4.7E-10						
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 4 小时	4.5E-10						
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 8 小时							

实施例编号	64	65	66	67	68	69	70
SiO ₂ 单位: 摩尔%	59.9	60.0	60.1	60.1	60.2	60.2	57.1
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔 %	15.5	15.3	15.5	15.2	15.4	15.0	17.5

[0102]

实施例编号	64	65	66	67	68	69	70
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	5.4	5.3	3.6	5.6	5.8	5.8	6.8
Na ₂ O 单位: 摩尔%	15.9	15.6	15.5	15.4	15.4	15.2	18.4
MgO 单位: 摩尔%	3.1	3.6	3.1	3.6	3.0	3.6	0.1
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(M ₂ O ₃)/R ₂ O 单位: 摩尔%	0.81	0.80	0.83	0.80	0.83	0.80	0.95
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单 位: 摩尔%	1.38	1.37	1.24	1.38	1.39	1.40	1.44
(P ₂ O ₅ + R ₁ O)/(M ₂ O ₃) 单 位: 摩尔%	1.58	1.60	1.44	1.61	1.58	1.63	1.45
SiO ₂ 单位: 重量%	50.9	51.2	53.1	51.1	50.9	51.2	46.8
Al ₂ O ₃ 单位: 重量 %	22.3	22.1	23.1	21.9	22.0	21.7	24.2
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	10.8	10.7	7.6	11.2	11.7	11.6	13.2
Na ₂ O 单位: 重量%	14.0	13.7	14.1	13.5	13.5	13.3	15.5
MgO 单位: 重量%	1.8	2.1	1.8	2.0	1.7	2.0	0.0
ZnO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 重量%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CaO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.419	2.421	2.417	2.419	2.415	2.416	2.41
摩尔体积(cm ³ /摩 尔)	29.23	29.12	28.17	29.23	29.43	29.29	30.41
应变点 (°C)	637	640	631	638	629	634	619
退火点 (°C)	689	689	683	687	681	684	679
软化点 (°C)	958	962.4	956.3	962.4	954.1	959.7	953.7
200 P 粘度的温度 (°C)	1680	1670	1675	1665	1681	1676	1680
35 kP 粘度的温度 (°C)	1253	1249	1245	1240	1253	1247	1246

[0103]

实施例编号	64	65	66	67	68	69	70
160 kP 粘度的温度 (°C)	1168	1165	1159	1155	1167	1162	1165
液相线温度(°C)							855
液相线粘度(P)							1.99E+09
铅石分解温度(°C)							1225
铅石分解粘度(P)							50768
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)							2.997
近似假想温度(°C)	778	776	773	774	771	772	776
410°C, 1 小时压缩 应力(MPa)							808
410°C, 1 小时层深 度(mm)							43
410°C, 1 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							>50
410°C, 2 小时压缩 应力(MPa)	929	925	914	914	898	900	
410°C, 2 小时层深 度(mm)	48	47	49	48	50	48	
410°C, 2 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)	>20	>20	>20	>20	>20	>20	
410°C, 3 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 3 小时层深 度(mm)							
410°C, 4 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 4 小时层深 度(mm)							
410°C, 4 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 8 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深							

实施例编号	64	65	66	67	68	69	70
度(mm)							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 1 小时							6.6E-10
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 2 小时	4.1E-10	3.9E-10	4.3E-10	4.1E-10	4.4E-10	4.1E-10	
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 3 小时							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 4 小时							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 8 小时							

[0104]

实施例编号	71	72	73	74	75	76	77
SiO ₂ 单位: 摩尔%	56.4	55.5	56.2	56.3	57.4	57.3	56.4
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	17.4	17.4	16.5	14.5	16.6	14.5	16.5
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	8.0	8.9	8.0	7.9	7.0	6.9	7.9
Na ₂ O 单位: 摩尔%	18.1	18.0	18.1	18.0	17.8	18.1	19.0
MgO 单位: 摩尔%	0.1	0.1	1.0	3.1	1.0	3.0	0.0
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(M ₂ O ₃)/R ₁ O 单位: 摩尔%	0.96	0.97	0.86	0.69	0.88	0.69	0.87
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.50	1.54	1.59	1.79	1.50	1.72	1.62
(P ₂ O ₅ + R ₃ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.50	1.55	1.65	2.00	1.56	1.93	1.62

[0105]

实施例编号	71	72	73	74	75	76	77
位：摩尔%							
SiO ₂ 单位：重量%	45.6	44.4	45.8	46.7	47.3	48.0	45.9
Al ₂ O ₃ 单位：重量%	23.9	23.7	22.8	20.4	23.2	20.6	22.8
P ₂ O ₅ 单位：重量%	15.2	16.8	15.4	15.5	13.6	13.8	15.1
Na ₂ O 单位：重量%	15.1	14.9	15.2	15.4	15.2	15.6	16.0
MgO 单位：重量%	0.0	0.0	0.6	1.7	0.5	1.7	0.0
ZnO 单位：重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位：重量%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CaO 单位：重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.41	2.41	2.42	2.43	2.42	2.43	2.42
摩尔体积(cm ³ /摩尔)	30.82	31.19	30.54	29.86	30.16	29.49	30.58
应变点 (°C)	603	591	586	571	601	588	586
退火点 (°C)	661	648	642	619	658	634	642
软化点 (°C)	932.5	916.5	909.5	877.4	928.3	900.7	906.5
200 P 粘度的温度 (°C)	1653	1660	1641	1603	1660	1616	1644
35 kP 粘度的温度 (°C)	1227	1224	1214	1171	1233	1183	1212
160 kP 粘度的温度 (°C)	1142	1138	1128	1086	1148	1098	1126
液相线温度(°C)	800						
液相线粘度(P)	2.74E+09						
锆石分解温度(°C)	1265						
锆石分解粘度(P)	18914						
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)	3.038		3.005	2.998	2.992	2.977	
近似假想温度(°C)	756	742	735	703	752	717	734
410°C, 1 小时压缩应力(MPa)	888			734	816	809	
410°C, 1 小时层深度(mm)	43			44	49	45	

[0106]

实施例编号	71	72	73	74	75	76	77
410°C, 1 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)	40-50						
410°C, 2 小时压缩 应力(MPa)		731	706	706	804	775	711
410°C, 2 小时层深 度(mm)		62	62	60	58	59	68
410°C, 2 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)		>40	>40	>20	30-40	>20	>20
410°C, 3 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 3 小时层深 度(mm)							
410°C, 4 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 4 小时层深 度(mm)							
410°C, 4 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 8 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深 度(mm)							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 1 小时	6.6E-10			6.9E-10	8.5E-10	7.2E-10	
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 2 小时		6.9E-10	6.8E-10	6.4E-10	5.9E-10	6.2E-10	8.3E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 3 小时							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 4 小时							

实施例编号	71	72	73	74	75	76	77
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 8 小时							

[0107]

实施例编号	78	79	80	81	82	83	84
SiO ₂ 单位: 摩尔%	56.3	57.2	57.6	50.4	56.4	55.9	55.4
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	15.5	16.5	15.5	19.8	18.1	18.1	18.1
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	7.9	6.9	6.8	9.8	7.2	7.7	7.7
Na ₂ O 单位: 摩尔%	20.0	19.1	20.0	19.9	18.2	18.2	18.1
MgO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(M ₂ O ₃)/R ₂ O 单位: 摩尔%	0.78	0.86	0.78	0.99	0.99	0.99	0.96
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.80	1.58	1.73	1.50	1.41	1.43	1.43
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.80	1.58	1.73	1.50	1.41	1.43	1.46
SiO ₂ 单位: 重量%	46.1	47.0	47.7	39.4	45.8	45.2	44.9
Al ₂ O ₃ 单位: 重量%	21.5	23.0	21.7	26.3	24.9	24.8	24.8
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	15.3	13.5	13.3	18.1	13.9	14.7	14.7
Na ₂ O 单位: 重量%	16.9	16.2	17.0	16.0	15.2	15.1	15.1
MgO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
ZnO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 重量%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CaO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.42	2.42	2.43	2.42	2.41	2.41	2.42
摩尔体积(cm ³ /摩	30.36	30.22	29.94	31.72	30.65	30.81	30.74

[0108]

实施例编号	78	79	80	81	82	83	84
尔)							
应变点 (°C)	572	601	582	588	617	610	607
退火点 (°C)	624	658	634	644	676	670	664
软化点 (°C)	879.4	924.2	888.5	904	951.4	947.1	939.1
200 P 粘度的温度 (°C)	1623	1659	1634	1603	1672	1660	1664
35 kP 粘度的温度 (°C)	1180	1224	1190	1192	1254	1250	1233
160 kP 粘度的温度 (°C)	1093	1138	1104	1111	1170	1166	1152
液相线温度(°C)					865	800	
液相线粘度(P)					5.74E+08	5.51E+09	
铅石分解温度(°C)					1215	1245	
铅石分解粘度(P)					69204	38105	
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)	2.97		2.935	2.999	3.051	3.028	3.044
近似假想温度(°C)	692	751	699	716	750	750	740
410°C, 1 小时压缩 应力(MPa)	694		750	796	909	887	843
410°C, 1 小时层深 度(mm)	64		60	46	41	42	41
410°C, 1 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)				30-40	>50	>50	
410°C, 2 小时压缩 应力(MPa)	680	751	732	749			837
410°C, 2 小时层深 度(mm)	81	66	75	63			56
410°C, 2 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)	>20	>20	>30	30-40			>40
410°C, 3 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 3 小时层深 度(mm)							
410°C, 4 小时压缩							

[0109]

实施例编号	78	79	80	81	82	83	84
应力(MPa)							
410°C, 4 小时层深度(mm)							
410°C, 4 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 8 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深度(mm)							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 1 小时	1.5E-09		1.3E-09	7.5E-10	6.0E-10	6.3E-10	6.0E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 2 小时	1.2E-09	7.8E-10	1.0E-09	7.0E-10			5.6E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 3 小时							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 4 小时							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 8 小时							

实施例编号	85	86	87	88	89	90	91
SiO ₂ 单位: 摩尔%	58.3	58.3	58.6	58.3	58.4	58.4	59.2
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔 %	15.8	15.6	15.4	15.6	15.4	15.1	15.3
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	6.8	6.7	6.7	6.8	6.7	6.7	6.8
Na ₂ O 单位: 摩尔%	15.9	15.7	15.2	15.6	15.4	15.1	15.5
MgO 单位: 摩尔%	3.1	3.0	3.1	3.5	3.5	3.5	3.1
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.5	0.9	0.0	0.5	1.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

[0110]

实施例编号	85	86	87	88	89	90	91
CaO 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
(M ₂ O ₃)/R ₂ O 单位: 摩尔%	0.83	0.81	0.80	0.81	0.79	0.77	0.82
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.43	1.43	1.42	1.44	1.44	1.45	1.45
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.63	1.66	1.68	1.67	1.70	1.75	1.66
SiO ₂ 单位: 重量%	48.6	48.6	48.9	48.8	48.8	48.9	49.5
Al ₂ O ₃ 单位: 重量%	22.4	22.1	21.9	22.1	21.8	21.5	21.7
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	13.4	13.2	13.1	13.4	13.3	13.3	13.4
Na ₂ O 单位: 重量%	13.6	13.5	13.1	13.5	13.3	13.1	13.4
MgO 单位: 重量%	1.7	1.7	1.7	2.0	2.0	2.0	1.7
ZnO 单位: 重量%	0.0	0.5	1.0	0.0	0.5	1.1	0.0
SnO ₂ 单位: 重量%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CaO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.42	2.42	2.43	2.42	2.42	2.43	2.41
摩尔体积(cm ³ /摩尔)	29.81	29.70	29.62	29.72	29.63	29.52	29.78
应变点 (°C)	612	614	611	615	614	616	612
退火点 (°C)	664	666	661	666	663	664	666
软化点 (°C)	932.6	935.5	928.4	934	932.5	932.8	942.5
200 P 粘度的温度 (°C)	1660	1656	1654	1655	1651	1650	1675
35 kP 粘度的温度 (°C)	1235	1231	1226	1232	1227	1220	1244
160 kP 粘度的温度 (°C)	1150	1147	1141	1147	1143	1136	1158
液相线温度(°C)							975
液相线粘度(P)							1.07E+07
铅石分解温度(°C)							>1300

[0111]

实施例编号	85	86	87	88	89	90	91
铅石分解粘度(P)							<14599
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)	3.109	3.112	3.069	3.049	3.082	3.021	3.03
近似假想温度(°C)	753	755	748	754	749	749	758
410°C, 1 小时压缩 应力(MPa)							873
410°C, 1 小时层深 度(mm)							33
410°C, 1 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 2 小时压缩 应力(MPa)	861	862	861	850	881	874	853
410°C, 2 小时层深 度(mm)	49	47	46	47	46	45	45
410°C, 2 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)	>40	>40	>40	>40	>40	>40	>50
410°C, 3 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 3 小时层深 度(mm)							
410°C, 4 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 4 小时层深 度(mm)							
410°C, 4 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 8 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深 度(mm)							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 1 小时							3.9E-10
D FSM DOL ~	4.3E-10	3.9E-10	3.7E-10	3.9E-10	3.7E-10	3.6E-10	3.6E-10

实施例编号	85	86	87	88	89	90	91
1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 2 小时							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 3 小时							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 4 小时							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 8 小时							

[0112]

实施例编号	92	93	94	95	96	97	98
SiO ₂ 单位: 摩尔%	59.2	59.3	59.3	59.3	59.2	59.3	58.4
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	15.0	14.8	15.1	14.8	14.6	15.1	16.0
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.7	6.8
Na ₂ O 单位: 摩尔%	15.2	14.9	15.1	14.9	14.8	15.2	15.9
MgO 单位: 摩尔%	3.1	3.0	3.5	3.6	3.6	3.6	2.7
ZnO 单位: 摩尔%	0.5	1.0	0.0	0.5	1.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
(M ₂ O ₃)/R ₂ O 单位: 摩尔%	0.80	0.78	0.81	0.78	0.75	0.80	0.86
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.46	1.47	1.45	1.46	1.48	1.45	1.41
(P ₂ O ₅ + R ₃ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.71	1.74	1.69	1.74	1.80	1.69	1.58
SiO ₂ 单位: 重量%	49.6	49.6	49.7	49.8	49.7	49.9	48.7
Al ₂ O ₃ 单位: 重量%	21.3	21.0	21.5	21.1	20.7	21.5	22.7
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	13.4	13.4	13.5	13.4	13.4	13.3	13.3

[0113]

实施例编号	92	93	94	95	96	97	98
Na ₂ O 单位: 重量%	13.2	12.9	13.1	12.9	12.8	13.2	13.7
MgO 单位: 重量%	1.7	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5
ZnO 单位: 重量%	0.6	1.1	0.0	0.6	1.1	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 重量%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
CaO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.43	2.41	2.41	2.42	2.43	2.411	2.414
摩尔体积(cm ³ /摩尔)	29.61	29.79	29.71	29.59	29.48	29.64	29.87
应变点 (°C)	615	613	617	620	620	616	612
退火点 (°C)	669	663	668	671	669	669	666
软化点 (°C)	936.3	934.5	939.7	938.2	942.5	940.7	940.2
200 P 粘度的温度 (°C)	1667	1666	1663	1670	1657	1666	1661
35 kP 粘度的温度 (°C)	1241	1234	1233	1235	1216	1240	1243
160 kP 粘度的温度 (°C)	1156	1148	1147	1151	1133	1153	1158
液相线温度(°C)							
液相线粘度(P)							
铅石分解温度(°C)							
铅石分解粘度(P)							
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)	3.067	3.117	3.08	3.115	3.091		
近似假想温度(°C)	760	751	757	759	756	760	758
410°C, 1 小时压缩应力(MPa)						864	896
410°C, 1 小时层深度(mm)						29	30
410°C, 1 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 2 小时压缩应力(MPa)	831	844	832	850	838	870	889
410°C, 2 小时层深	46	44	45	47	44	43	42

[0114]

实施例编号	92	93	94	95	96	97	98
度(mm)							
410°C, 2 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)	>40	>40	>40	>40	>40	40-50	>50
410°C, 3 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 3 小时层深 度(mm)							
410°C, 4 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 4 小时层深 度(mm)							
410°C, 4 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 8 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深 度(mm)							
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 1 小时						3.0E-10	3.2E-10
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 2 小时	3.7E-10	3.4E-10	3.6E-10	3.9E-10	3.4E-10	3.3E-10	3.1E-10
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 3 小时							
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 4 小时							
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 8 小时							

实施例编号	99	100	101	102	103	104	105
-------	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

[0115]

实施例编号	99	100	101	102	103	104	105
SiO ₂ 单位: 摩尔%	58.2	59.4	56.6	56.3	59.9	60.5	60.9
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	15.6	16.0	16.0	16.1	15.1	15.1	15.0
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	6.8	6.8	7.6	7.7	6.8	6.8	6.8
Na ₂ O 单位: 摩尔%	15.8	16.0	15.9	16.2	15.1	15.0	15.1
MgO 单位: 摩尔%	3.6	1.7	3.7	3.6	3.1	2.6	2.1
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(M ₂ O ₃)/R ₂ O 单位: 摩尔%	0.80	0.90	0.82	0.81	0.83	0.86	0.88
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.45	1.43	1.47	1.48	1.45	1.44	1.46
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.68	1.53	1.70	1.71	1.66	1.61	1.59
SiO ₂ 单位: 重量%	48.7	49.3	46.8	46.5	50.2	50.7	50.9
Al ₂ O ₃ 单位: 重量%	22.1	22.6	22.5	22.6	21.4	21.4	21.3
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	13.4	13.3	14.9	15.0	13.5	13.4	13.5
Na ₂ O 单位: 重量%	13.6	13.8	13.6	13.8	13.0	13.0	13.0
MgO 单位: 重量%	2.0	1.0	2.1	2.0	1.7	1.4	1.2
ZnO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 重量%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.415	2.406	2.417	2.417	2.405	2.4	2.396
摩尔体积(cm ³ /摩尔)	29.70	30.05	30.04	30.08	29.78	29.87	29.98
应变点 (°C)	612	613	596	598	607	607	613
退火点 (°C)	664	671	649	652	663	663	671
软化点 (°C)	937.7	951.1	918.5	919.9	945.2	949.4	955.8
200 P 粘度的温度	1658	1698	1631	1637	1682	1695	1709

[0116]

实施例编号	99	100	101	102	103	104	105
(°C)							
35 kP 粘度的温度 (°C)	1235	1262	1215	1219	1251	1262	1271
160 kP 粘度的温度 (°C)	1150	1176	1131	1135	1164	1174	1182
液相线温度(°C)							
液相线粘度(P)							
铅石分解温度(°C)							
铅石分解粘度(P)							
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)							
近似假想温度(°C)	754	767	739	743	758	759	768
410°C, 1 小时压缩 应力(MPa)	895	889	855	853	839	823	817
410°C, 1 小时层深 度(mm)	29	32	28	28	30	31	31
410°C, 1 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 2 小时压缩 应力(MPa)	890	843	865	856	846	820	803
410°C, 2 小时层深 度(mm)	43	49	41	42	44	45	46
410°C, 2 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)	>50	>50	>50	>50	40-50	40-50	40-50
410°C, 3 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 3 小时层深 度(mm)							
410°C, 4 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 4 小时层深 度(mm)							
410°C, 4 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							

[0117]

实施例编号	99	100	101	102	103	104	105
410°C, 8 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深 度(mm)							
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 1 小时	3.0E-10	3.6E-10	2.8E-10	2.8E-10	3.2E-10	3.4E-10	3.4E-10
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 2 小时	3.3E-10	4.3E-10	3.0E-10	3.1E-10	3.4E-10	3.6E-10	3.7E-10
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 3 小时							
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 4 小时							
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 8 小时							

实施例编号	106	107	108	109	110	111	112	113
SiO ₂ 单位: 摩尔%	56.8	55.8	55.7	55.9	56.0	55.8	55.8	59.9
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	17.9	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	15.7
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	7.2	7.8	7.8	7.7	7.7	7.7	7.8	5.4
Na ₂ O 单位: 摩尔%	17.9	16.1	16.3	16.6	16.6	17.0	17.0	16.2
MgO 单位: 摩尔%	0.1	2.0	0.1	1.5	0.1	1.3	0.1	2.6
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	2.0	0.0	1.4	0.0	1.2	0.0
SnO ₂ 单位:	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

[0118]

实施例编号	106	107	108	109	110	111	112	113
摩尔%								
CaO 单位:								
摩尔%	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
(M ₂ O ₃)/R ₅ O								
单位: 摩尔%	0.99	0.99	0.98	0.99	1.00	0.99	0.98	0.83
(P ₂ O ₅ +								
R ₂ O)/(M ₂ O ₃)								
单位: 摩尔%	1.40	1.33	1.34	1.35	1.35	1.37	1.38	1.38
(P ₂ O ₅ +								
R ₁ O)/(M ₂ O ₃)								
单位: 摩尔%	1.41	1.44	1.45	1.44	1.43	1.44	1.45	1.55
SiO ₂ 单位:								
重量%	46.3	45.3	44.8	45.3	45.1	45.3	44.9	50.7
Al ₂ O ₃ 单位:								
重量%	24.7	24.9	24.6	24.8	24.6	24.8	24.6	22.5
P ₂ O ₅ 单位:								
重量%	13.9	14.9	14.7	14.8	14.6	14.8	14.8	10.9
Na ₂ O 单位:								
重量%	15.0	13.5	13.5	13.9	13.8	14.2	14.1	14.2
MgO 单位:								
重量%	0.0	1.1	0.0	0.8	0.0	0.7	0.0	1.5
ZnO 单位:								
重量%	0.0	0.0	2.1	0.0	1.6	0.0	1.4	0.0
SnO ₂ 单位:								
重量%	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CaO 单位:								
重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.409	2.411	2.436	2.411	2.430	2.411	2.427	2.419
摩尔体积								
(cm ³ /摩尔)	30.63	30.69	30.69	30.71	30.70	30.72	30.74	29.34
应变点 (°C)	617	621	609	618	604	617	613	629
退火点 (°C)	677	679	666	676	663	676	671	684
软化点 (°C)	956.5	950.7	935.8	949.4	939	949.5	941.5	953

[0119]

实施例编号	106	107	108	109	110	111	112	113
200 P 粘度的 温度(°C)	1673	1651	1650	1655	1659	1661	1681	1681
35 kP 粘度的 温度(°C)	1259	1247	1238	1247	1242	1250	1256	1256
160 kP 粘度 的温度(°C)	1174	1164	1154	1164	1161	1167	1171	1171
液相线温度 (°C)								
液相线粘度 (P)								
锆石分解温 度(°C)								
锆石分解粘 度(P)								
应力光学系 数 (nm·Mpa ⁻¹ · mm ⁻¹)		3.088	3.118	3.127	3.183	3.036	3.124	3.147
近似假想温 度(°C)	775	751	742	755	736	751	745	775
410°C, 1 小 时压缩应力 (MPa)		869	916	912	921	899	922	969
410°C, 1 小 时层深度 (mm)		29	29	32	32	33	32	30
410°C, 1 小 时维氏裂纹 开裂负荷 (kgf)								
410°C, 2 小 时压缩应力 (MPa)	854	884	895	892	901	868	889	933
410°C, 2 小	59	42	44	46	46	49	49	46

[0120]

实施例编号	106	107	108	109	110	111	112	113
时层深度 (mm)								
410°C, 2 小 时维氏裂纹 开裂负荷 (kgf)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	20-30
410°C, 3 小 时压缩应力 (MPa)								
410°C, 3 小 时层深度 (mm)								
410°C, 4 小 时压缩应力 (MPa)								
410°C, 4 小 时层深度 (mm)								
410°C, 4 小 时维氏裂纹 开裂负荷 (kgf)								
410°C, 8 小 时压缩应力 (MPa)								
410°C, 8 小 时层深度 (mm)								
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$, 410°C, 1 小时		3.0E-10	3.0E-10	3.6E-10	3.6E-10	3.9E-10	3.6E-10	3.2E-10
D FSM DOL	6.2E-10	3.1E-10	3.4E-10	3.7E-10	3.7E-10	4.3E-10	4.3E-10	3.7E-10

[0121]

实施例编号	106	107	108	109	110	111	112	113
~ 1.4*2*(Dt)^0. 5, 410°C, 2 小时								
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0. 5, 410°C, 3 小时								
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0. 5, 410°C, 4 小时								
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0. 5, 410°C, 8 小时								

实施例编号	114	115	116	117	118	119	120
SiO ₂ 单位: 摩尔%	59.2	58.4	57.9	57.1	56.5	56.8	57.4
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	16.1	16.5	16.8	17.2	17.6	16.8	16.6
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	5.8	6.2	6.5	6.9	7.3	7.1	7.1
Na ₂ O 单位: 摩尔%	16.6	17.0	17.3	17.7	18.0	17.1	16.7
MgO 单位: 摩尔%	2.2	1.7	1.3	0.9	0.5	2.1	2.1
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 摩尔%	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
(M ₂ O ₃)/R _x O 单位: 摩尔%	0.86	0.88	0.90	0.93	0.95	0.88	0.88
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单	1.39	1.40	1.42	1.43	1.44	1.44	1.43

[0122]

实施例编号	114	115	116	117	118	119	120
位：摩尔%							
(P ₂ O ₅ + R _x O)/(M ₂ O ₃) 单 位：摩尔%	1.53	1.51	1.49	1.48	1.47	1.56	1.56
SiO ₂ 单位：重量%	49.7	48.7	47.9	46.9	46.0	46.8	47.4
Al ₂ O ₃ 单位：重量 %	22.9	23.3	23.6	24.0	24.4	23.5	23.3
P ₂ O ₅ 单位：重量%	11.5	12.2	12.8	13.5	14.0	13.8	13.8
Na ₂ O 单位：重量%	14.4	14.6	14.8	15.0	15.2	14.5	14.2
MgO 单位：重量%	1.2	1.0	0.7	0.5	0.3	1.1	1.2
ZnO 单位：重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位：重量%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CaO 单位：重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.418	2.415	2.416	2.416	2.414	2.419	2.415
摩尔体积(cm ³ /摩 尔)	29.58	29.86	30.07	30.30	30.54	30.14	30.14
应变点 (°C)	624	618	616	616	615	609	610
退火点 (°C)	681	677	675	674	674	666	666
软化点 (°C)	954.9	950.5	948.1	947.9	949.3	930.8	940.6
200 P 粘度的温度 (°C)	1680	1673	1676	1670	1667	1654	1660
35 kP 粘度的温度 (°C)	1257	1253	1254	1250	1249	1235	1240
160 kP 粘度的温度 (°C)	1171	1168	1169	1166	1164	1151	1156
液相线温度(°C)		955					
液相线粘度(P)		2.67E+07					
铅石分解温度(°C)							
铅石分解粘度(P)							
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)	3.038	3.050	3.080	3.004	3.093		
近似假想温度(°C)	764	750	745	765	747	746	741
410°C, 1 小时压缩	942	953	918	899	888	921	900

[0123]

实施例编号	114	115	116	117	118	119	120
应力(MPa)							
410°C, 1 小时层深度(mm)	30	31	34	36	38	34	34
410°C, 1 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)		>50					
410°C, 2 小时压缩 应力(MPa)	945	924	901	868	853	913	895
410°C, 2 小时层深度(mm)	46	47	50	54	50	46	45
410°C, 2 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)	20-30	>50	>50	>40	>50	>50	30-40
410°C, 3 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 3 小时层深度(mm)							
410°C, 4 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 4 小时层深度(mm)							
410°C, 4 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 8 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深度(mm)							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \cdot (Dt)^{0.5}$, 410°C, 1 小时	3.2E-10	3.4E-10	4.1E-10	4.6E-10	5.1E-10	4.1E-10	4.1E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \cdot (Dt)^{0.5}$, 410°C, 2 小时	3.7E-10	3.9E-10	4.4E-10	5.2E-10	4.4E-10	3.7E-10	3.6E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \cdot (Dt)^{0.5}$, 410°C, 3 小时							

实施例编号	114	115	116	117	118	119	120
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 4 小时							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 8 小时							

[0124]

实施例编号	121	122	123	124	125	126	127
SiO ₂ 单位: 摩尔%	57.9	57.0	57.4	58.0	59.0	58.9	58.9
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	16.4	16.7	16.6	16.2	15.5	15.7	16.0
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	7.1	7.3	7.3	7.4	6.4	6.5	6.4
Na ₂ O 单位: 摩尔%	16.5	16.7	16.5	16.3	15.4	15.7	16.0
MgO 单位: 摩尔%	2.1	2.0	2.0	2.0	3.5	3.0	2.5
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
(M ₂ O ₃)/R ₁ O 单位: 摩尔%	0.88	0.89	0.89	0.88	0.82	0.84	0.86
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.44	1.43	1.44	1.46	1.41	1.41	1.40
(P ₂ O ₅ + R ₃ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.56	1.56	1.57	1.59	1.64	1.60	1.56
SiO ₂ 单位: 重量%	47.8	46.9	47.2	47.8	49.6	49.4	49.2
Al ₂ O ₃ 单位: 重量%	23.0	23.4	23.1	22.6	22.1	22.4	22.7
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	13.8	14.2	14.3	14.4	12.8	12.8	12.7
Na ₂ O 单位: 重量%	14.0	14.2	14.0	13.8	13.4	13.6	13.8
MgO 单位: 重量%	1.1	1.1	1.1	1.1	2.0	1.7	1.4
ZnO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 重量%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1

[0125]

实施例编号	121	122	123	124	125	126	127
CaO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.411	2.415	2.412	2.409	2.415	2.414	2.413
摩尔体积(cm ³ /摩尔)	30.16	30.26	30.27	30.26	29.59	29.70	29.79
应变点 (°C)	609	607	607	605	617	612	613
退火点 (°C)	667	663	663	662	669	666	669
软化点 (°C)	941.6	937.7	936.6	940.1	940.6	941.4	948.7
200 P 粘度的温度 (°C)	1670	1658	1661	1665	1666	1669	1677
35 kP 粘度的温度 (°C)	1247	1238	1241	1244	1241	1244	1250
160 kP 粘度的温度 (°C)	1161	1154	1156	1159	1156	1159	1165
液相线温度(°C)							
液相线粘度(P)							
铅石分解温度(°C)							
铅石分解粘度(P)							
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)					3.056	3.038	3.055
近似假想温度(°C)	742	742	739	730	765	755	754
410°C, 1 小时压缩应力(MPa)	885	889	876	857			
410°C, 1 小时层深度(mm)	34	35	34	35			
410°C, 1 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 2 小时压缩应力(MPa)	874	870	861	838	907	889	896
410°C, 2 小时层深度(mm)	46	47	47	47	43	44	45
410°C, 2 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)	>50	>50	>50	40-50	40-50	30-40	40-50
410°C, 3 小时压缩							

[0126]

实施例编号	121	122	123	124	125	126	127
应力(MPa)							
410°C, 3 小时层深度(mm)							
410°C, 4 小时压缩应力(MPa)							
410°C, 4 小时层深度(mm)							
410°C, 4 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 8 小时压缩应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深度(mm)							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 1 小时	4.1E-10	4.3E-10	4.1E-10	4.3E-10			
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 2 小时	3.7E-10	3.9E-10	3.9E-10	3.9E-10	3.3E-10	3.4E-10	3.6E-10
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 3 小时							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 4 小时							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 8 小时							

实施例编号	128	129	130	131	132	133	134
SiO ₂ 单位: 摩尔%	58.2	57.8	57.9	56.8	56.9	56.9	56.8
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	16.1	16.5	16.3	16.5	16.8	17.0	17.5

[0127]

实施例编号	128	129	130	131	132	133	134
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	6.3	6.5	6.4	6.5	6.4	6.4	6.4
Na ₂ O 单位: 摩尔%	15.9	16.5	16.3	16.5	16.8	17.1	17.1
MgO 单位: 摩尔%	3.5	2.6	3.0	3.6	3.1	2.5	2.0
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
CaO 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
(M ₂ O ₃)/R ₂ O 单位: 摩尔%	0.83	0.86	0.84	0.82	0.84	0.86	0.91
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单 位: 摩尔%	1.38	1.39	1.39	1.40	1.38	1.38	1.34
(P ₂ O ₅ + R ₁ O)/(M ₂ O ₃) 单 位: 摩尔%	1.60	1.55	1.58	1.62	1.56	1.53	1.46
SiO ₂ 单位: 重量%	48.8	48.2	48.3	47.5	47.4	47.3	47.0
Al ₂ O ₃ 单位: 重量 %	22.9	23.4	23.1	23.3	23.8	24.0	24.6
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	12.5	12.7	12.7	12.8	12.5	12.5	12.5
Na ₂ O 单位: 重量%	13.7	14.2	14.0	14.2	14.4	14.6	14.6
MgO 单位: 重量%	1.9	1.4	1.7	2.0	1.7	1.4	1.1
ZnO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 重量%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.421	2.419	2.420	2.426	2.426	2.424	2.420
摩尔体积(cm ³ /摩 尔)	29.58	29.82	29.72	29.64	29.70	29.81	30.00
应变点 (°C)	615	616	616	615	615	623	624
退火点 (°C)	666	671	670	666	669	679	681
软化点 (°C)	937.8	945.7	941.6	930.6	933.9	949.7	952.4
200 P 粘度的温度 (°C)	1655	1658	1658	1641	1646	1646	1657
35 kP 粘度的温度 (°C)	1235	1236	1236	1224	1233	1236	1246

[0128]

实施例编号	128	129	130	131	132	133	134
160 kP 粘度的温度 (°C)	1152	1154	1154	1141	1151	1152	1162
液相线温度(°C)							
液相线粘度(P)							
铅石分解温度(°C)							
铅石分解粘度(P)							
应力光学系数 ($\text{nm} \cdot \text{Mpa}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$)	3.021	3.007	3.015				
近似假想温度(°C)	763	743	764	760	760	748	748
410°C, 1 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 1 小时层深 度(mm)							
410°C, 1 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 2 小时压缩 应力(MPa)	925	925	927	978	981	975	983
410°C, 2 小时层深 度(mm)	43	45	44	40	40	41	41
410°C, 2 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)	20-30	30-40	20-30	>30	>30	>30	>30
410°C, 3 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 3 小时层深 度(mm)							
410°C, 4 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 4 小时层深 度(mm)							
410°C, 4 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 8 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深							

实施例编号	128	129	130	131	132	133	134
度(mm)							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 1 小时							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 2 小时	3.3E-10	3.6E-10	3.4E-10	2.8E-10	2.8E-10	3.0E-10	3.0E-10
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 3 小时							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 4 小时							
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt)^0.5, 410°C, 8 小时							

[0129]

实施例编号	135	136	137	138	139	140	141
SiO ₂ 单位: 摩尔%	57.8	58.8	55.8	55.9	55.8	57.8	56.9
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	17.0	16.5	17.0	18.0	18.1	17.0	16.9
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	6.4	6.4	7.6	7.7	7.7	6.6	7.0
Na ₂ O 单位: 摩尔%	16.6	16.2	17.3	16.2	16.7	17.2	17.0
MgO 单位: 摩尔%	2.0	2.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	2.0	2.0	1.5	1.2	2.0
(M ₂ O ₃)/R ₂ O 单位: 摩尔%	0.91	0.90	0.88	0.98	0.99	0.92	0.88
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.36	1.37	1.46	1.33	1.35	1.40	1.43
(P ₂ O ₅ +	1.48	1.49	1.59	1.45	1.44	1.48	1.55

[0130]

实施例编号	135	136	137	138	139	140	141
$R_xO/(M_2O_3)$ 单位: 摩尔%							
SiO_2 单位: 重量%	48.0	49.0	45.5	45.2	45.1	47.6	46.7
Al_2O_3 单位: 重量%	23.9	23.3	23.5	24.7	24.8	23.8	23.5
P_2O_5 单位: 重量%	12.6	12.6	14.7	14.8	14.8	12.8	13.6
Na_2O 单位: 重量%	14.2	13.9	14.5	13.5	13.9	14.6	14.4
MgO 单位: 重量%	1.1	1.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
ZnO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO_2 单位: 重量%	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CaO 单位: 重量%	0.0	0.0	1.5	1.5	1.1	0.9	1.5
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm^3)	2.416	2.410	2.421	2.429	2.419	2.423	2.427
摩尔体积(cm^3 /摩尔)	29.96	29.93	30.46	30.56	30.71	30.09	30.16
应变点 ($^{\circ}C$)	619	620	623	607	620	622	615
退火点 ($^{\circ}C$)	676	677	680	660	676	679	669
软化点 ($^{\circ}C$)	948.8	957.8	947.1	916.9	944.6	946.4	928
200 P 粘度的温度 ($^{\circ}C$)	1673	1684	1638	1652	1650	1674	1656
35 kP 粘度的温度 ($^{\circ}C$)	1254	1261	1214	1238	1242	1248	1230
160 kP 粘度的温度 ($^{\circ}C$)	1171	1176	1130	1156	1157	1163	1147
液相线温度($^{\circ}C$)							
液相线粘度(P)							
锆石分解温度($^{\circ}C$)							
锆石分解粘度(P)							
应力光学系数 ($nm \cdot Mpa^{-1} \cdot mm^{-1}$)							
近似假想温度($^{\circ}C$)	754	755	730	753	750	749	753
410 $^{\circ}C$, 1 小时压缩应力(MPa)							
410 $^{\circ}C$, 1 小时层深							

[0131]

实施例编号	135	136	137	138	139	140	141
度(mm)							
410°C, 1 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 2 小时压缩 应力(MPa)	953	922	895	898	896	925	906
410°C, 2 小时层深 度(mm)	42	42	45	38	43	45	45
410°C, 2 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
410°C, 3 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 3 小时层深 度(mm)							
410°C, 4 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 4 小时层深 度(mm)							
410°C, 4 小时维氏 裂纹开裂负荷(kgf)							
410°C, 8 小时压缩 应力(MPa)							
410°C, 8 小时层深 度(mm)							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 1 小时							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 2 小时	3.1E-10	3.1E-10	3.6E-10	2.6E-10	3.3E-10	3.6E-10	3.6E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 3 小时							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$,							

实施例编号	135	136	137	138	139	140	141
410°C, 4 小时							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$, 410°C, 8 小时							

[0132]

实施例编号	142	143	144	145
SiO ₂ 单位: 摩尔%	57.5	58.1	58.2	58.4
Al ₂ O ₃ 单位: 摩尔%	16.7	16.0	16.0	16.0
P ₂ O ₅ 单位: 摩尔%	6.9	6.2	6.2	6.2
Na ₂ O 单位: 摩尔%	16.7	16.0	16.1	16.1
MgO 单位: 摩尔%	0.1	3.6	3.4	3.1
ZnO 单位: 摩尔%	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 摩尔%	0.1	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 摩尔%	2.0	0.1	0.0	0.0
(M ₂ O ₃)/R _x O 单位: 摩尔%	0.89	0.81	0.82	0.83
(P ₂ O ₅ + R ₂ O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.42	1.39	1.40	1.40
(P ₂ O ₅ + R _x O)/(M ₂ O ₃) 单位: 摩尔%	1.54	1.62	1.61	1.59
SiO ₂ 单位: 重量%	47.3	48.8	48.9	49.0
Al ₂ O ₃ 单位: 重量%	23.3	22.8	22.8	22.8
P ₂ O ₅ 单位: 重量%	13.5	12.4	12.3	12.3
Na ₂ O 单位: 重量%	14.2	13.9	14.0	14.0
MgO 单位: 重量%	0.1	2.0	1.9	1.7
ZnO 单位: 重量%	0.0	0.0	0.0	0.0
SnO ₂ 单位: 重量%	0.2	0.1	0.1	0.1
CaO 单位: 重量%	1.5	0.0	0.0	0.0
组成分析	XRF	XRF	XRF	XRF
密度(g/cm ³)	2.425	2.422	2.421	2.418
摩尔体积(cm ³ /摩尔)	30.12	29.52	29.54	29.61

[0133]

实施例编号	142	143	144	145
应变点 (°C)	615	621	619	616
退火点 (°C)	669	672	671	670
软化点 (°C)	930.1	938.5	938.9	941.3
200 P 粘度的温度(°C)	1655	1652	1662	1664
35 kP 粘度的温度(°C)	1232	1232	1240	1243
160 kP 粘度的温度(°C)	1147	1148	1157	1159
液相线温度(°C)				
液相线粘度(P)				
锆石分解温度(°C)				
锆石分解粘度(P)				
应力光学系数 (nm·Mpa ⁻¹ ·mm ⁻¹)				
近似假想温度(°C)	750	765	772	770
410°C, 1 小时压缩应力 (MPa)				
410°C, 1 小时层深度(mm)				
410°C, 1 小时维氏裂纹开 裂负荷(kgf)				
410°C, 2 小时压缩应力 (MPa)	902	961	953	948
410°C, 2 小时层深度(mm)	48	40	42	41
410°C, 2 小时维氏裂纹开 裂负荷(kgf)	>30	>30	>30	>30
410°C, 3 小时压缩应力 (MPa)				
410°C, 3 小时层深度(mm)				
410°C, 4 小时压缩应力 (MPa)				
410°C, 4 小时层深度(mm)				

[0134]

实施例编号	142	143	144	145
410°C, 4 小时维氏裂纹开裂负荷(kgf)				
410°C, 8 小时压缩应力(MPa)				
410°C, 8 小时层深度(mm)				
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 1 小时				
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 2 小时	4.1E-10	2.8E-10	3.1E-10	3.0E-10
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 3 小时				
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 4 小时				
D FSM DOL ~ 1.4*2*(Dt) ^{0.5} , 410°C, 8 小时				

[0135] 离子交换被广泛地用于对消费者电子产品、汽车应用、电器、建筑构件以及其他需要高水平的防损坏性的领域中使用的玻璃制品进行化学强化。在离子交换过程中,将含第一金属离子(例如, Li_2O 、 Na_2O 等中的碱金属阳离子)的玻璃制品至少部分浸泡在含第二金属离子的离子交换浴或介质中,或者以任意其他方式与其接触,所述第二金属离子大于或小于存在于玻璃中的第一金属离子。第一金属离子从玻璃表面扩散进入离子交换浴/介质,而来自离子交换浴/介质的第二金属离子在玻璃表面下方的层深度内代替了玻璃中的第一金属离子。较大离子取代玻璃中的较小离子在玻璃表面处产生压缩应力,而较小离子取代玻璃中的较大离子通常在玻璃表面处产生拉伸应力。在一些实施方式中,第一金属离子和第二金属离子是单价碱金属离子。但是,其他单价金属离子例如 Ag^+ 、 Tl^+ 、 Cu^+ 等也可用于离子交换过程。在 Ag^+ 和 Cu^+ 中的至少一种交换了玻璃中的金属离子的情况下,此类玻璃可特别适用于抗病毒和/或抗微生物应用。

[0136] 如图1示意性所示是通过离子交换强化的一部分玻璃片(即,玻璃片的端部未示出)的截面图。在图1所示的非限制性例子中,强化的玻璃片100的厚度为 t ,具有基本相互平行的第一表面110和第二表面120,以及中心部分130。压缩层120、122分别从第一表面110和

第二表面112延伸到各表面下方的层深度 d_1 、 d_2 。压缩层120、122处于压缩应力下,而中心部分130处于拉伸应力下,或者处于拉伸状态。中心部分130中的拉伸应力平衡了压缩层120、122中的压缩应力,因此维持了强化玻璃板100中的平衡。在一些实施方式中,可以对本文所述的玻璃和玻璃制品进行离子交换,以实现至少约300MPa的压缩应力和/或至少约10 μ m的压缩层深度。在一些实施方式中,可以对本文所述的玻璃和玻璃制品进行离子交换,以实现至少约500MPa的压缩应力和/或至少约40 μ m的压缩层深度。在一些实施方式中,对玻璃进行离子交换以实现至少约200、300、400、500、600、700、800、900或1000MPa的压缩应力。在一些实施方式中,对玻璃进行离子交换以实现至少约10 μ m、20 μ m、30 μ m、40 μ m、50 μ m、60 μ m、70 μ m、80 μ m、90 μ m、100 μ m或者110 μ m或更大的层深度。

[0137] 除了高的防损坏性,可对本文所述的玻璃进行离子交换,以在较短时间内实现所需水平的压缩应力和压缩深度。例如,在410℃下,在熔融KNO₃盐中离子交换4小时之后,可以在这些玻璃中实现压缩应力大于约700MPa的压缩层,和大于约75 μ m的压缩层深度。在一些实施方式中,可以在约400℃、410℃、420℃、430℃、440℃、450℃、460℃、470℃、480℃、490℃、500℃、510℃、520℃、530℃、540℃或者550℃或更高下完成离子交换。在一些实施方式中,离子交换进行约0.5、1、2、3、4、5、6、7、8、9、10或者超过10小时。

[0138] 图2是表1中的样品a-f的层深度与压缩应力的函数关系图。0.7mm厚的样品在700℃退火,并在410℃的熔融KNO₃盐浴中进行离子交换,持续时间为1小时至最高至8小时(图2中的组“b-d”)或者在470℃下进行6分钟(图2中的组“a”)。在470℃下进行6分钟的离子交换的样品展现出远低于易碎性限值(即,玻璃样品应该或者可能展现出易碎性行为的点,如图2中线1所示)的压缩应力和层深度。在410℃下,0.7mm厚的样品实现易碎性限值所需的离子交换时间略大于1小时。在具有较高假想温度以及对应约10¹¹泊的粘度的样品(即,未退火,刚下拉样品)中,易碎性限值也在类似的短时间内符合易碎性限值,但是压缩应力会较低并且层深度会大于退火的样品。进行1小时离子交换的样品(组“b”)展现出略低于易碎性限值的压缩应力和层深度,进行4或8小时离子交换的样品(分别为组“c”和“d”)展现出超过易碎性限值的压缩应力和层深度。

[0139] 对本文所述的玻璃进行离子交换的能力可至少部分归因于如下事实:这些玻璃的钾和钠的互扩散系数明显地高于用于防损坏性(通过玻璃的维氏裂纹开裂阈值表征)是有利特性的应用中的其他碱性铝硅酸盐玻璃的钾和钠的互扩散系数。在410℃,本文所述的玻璃的钾/钠互扩散系数至少约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $3.0 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $4.0 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $4.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $6.0 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $7.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $9.0 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $1.0 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $1.2 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $1.5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$,在一些实施方式中,约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $3.0 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $4.0 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 或者 $4.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 至最高约 $7.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $9.0 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $1.0 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $1.2 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 或者 $1.5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。不同于这些玻璃,美国专利申请第12/858,490号、第12/856,840号和第12/392,577号中所述的碱性铝硅酸盐玻璃的钾/钠互扩散系数小于 $1.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。

[0140] 本发明的一个实施方式包括碱性铝硅酸盐玻璃,其包含至少约4摩尔%的P₂O₅,其中 $[M_2O_3(\text{摩尔}\%)/R_xO(\text{摩尔}\%)] < 1.4$,其中 $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 并且 R_xO 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的单价和二价阳离子氧化物的总和。在一些实施方式中, $[M_2O_3(\text{摩尔}\%)/R_xO(\text{摩尔}\%)] < 1$ 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃还包含少于1摩尔%的K₂O。在一些实施方式中,

碱性铝硅酸盐玻璃包含0摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含少于1摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含0摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,单价和二价阳离子氧化物选自下组: Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O 、 Rb_2O 、 Cs_2O 、 MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 和 ZnO 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃在410℃的钾/钠互扩散系数至少约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。在一些实施方式中,在410℃的钾/钠互扩散系数约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 至最高至约 $1.5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。

[0141] 本发明的一个实施方式包括碱性铝硅酸盐玻璃,其包含 $0.6 < [M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}] < 1.4$,其中 $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 并且 R_xO 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的单价和二价阳离子氧化物的总和。在一些实施方式中, $0.8 < [M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}] < 1.4$ 。在一些实施方式中, $0.8 \leq [M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}] \leq 1.0$ 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃还包含少于1摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含0摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含少于1摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含0摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,单价和二价阳离子氧化物选自下组: Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O 、 Rb_2O 、 Cs_2O 、 MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 和 ZnO 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃在410℃的钾/钠互扩散系数至少约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。在一些实施方式中,在410℃的钾/钠互扩散系数约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 至最高至约 $1.5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。

[0142] 本发明的另一个实施方式包括碱性铝硅酸盐玻璃,其包含至少约4%的 P_2O_5 ,其中,所述碱性铝硅酸盐玻璃在至少约20 μm 的层深度进行离子交换,其中 $0.6 < [M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}] < 1.4$,其中 $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 并且 R_xO 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的单价和二价阳离子氧化物的总和。在一些实施方式中, $0.6 < [M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}] < 1.0$ 。在一些实施方式中, $0.8 < [M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}] < 1.4$ 。在一些实施方式中, $0.8 \leq [M_2O_3 \text{ (摩尔\%)} / R_xO \text{ (摩尔\%)}] \leq 1.0$ 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃还包含少于1摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含0摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含少于1摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含0摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,单价和二价阳离子氧化物选自下组: Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O 、 Rb_2O 、 Cs_2O 、 MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 和 ZnO 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃在410℃的钾/钠互扩散系数至少约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。在一些实施方式中,在410℃的钾/钠互扩散系数约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 至最高至约 $1.5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。

[0143] 本发明的另一个实施方式包括碱性铝硅酸盐玻璃,其包含至少约4摩尔%的 P_2O_5 ,其中 $1.3 < [(P_2O_5 + R_2O) / M_2O_3] \leq 2.3$,其中 $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 并且 R_2O 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的单价阳离子氧化物的总和。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃还包含少于1摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含0摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含少于1摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含0摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,单价和二价阳离子氧化物选自下组: Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O 、 Rb_2O 、 Cs_2O 、 MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 和 ZnO 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃在410℃的钾/钠互扩散系数至少约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。在一些实施方式中,在410℃的钾/钠互扩散系数约为 $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 至最高至约 $1.5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。

[0144] 在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含约40-70摩尔%的 SiO_2 ;约11-25摩尔%的 Al_2O_3 ;约4-15摩尔%的 P_2O_5 ;以及约13-25摩尔%的 Na_2O 。在一些实施方式中,碱性铝

硅酸盐玻璃包含约50-65摩尔%的 SiO_2 ;约14-20摩尔%的 Al_2O_3 ;约4-10摩尔%的 P_2O_5 ;以及约14-20摩尔%的 Na_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃还包含少于1摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含0摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含少于1摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含0摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,单价和二价阳离子氧化物选自下组: Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O 、 Rb_2O 、 Cs_2O 、 MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 和 ZnO 。

[0145] 在一些实施方式中,上文所述的碱性铝硅酸盐玻璃在至少约20 μm 的层深度进行离子交换。在一些实施方式中,玻璃在至少约40 μm 的层深度进行离子交换。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃具有从玻璃表面延伸到层深度的压缩层,其中所述压缩层处于至少500MPa的压缩应力下。在一些实施方式中,压缩应力至少为750MPa。在一些实施方式中,压缩应力层约为500-2000MPa。在一些实施方式中,离子交换的碱性铝硅酸盐玻璃具有至少约8kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。在一些实施方式中,离子交换的碱性铝硅酸盐玻璃具有至少约12kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。

[0146] 本发明的一个实施方式包括对碱性铝硅酸盐玻璃进行强化的方法,所述方法包括:提供如上所述的碱性铝硅酸盐玻璃,并将碱性铝硅酸盐玻璃浸入离子交换浴中,持续一段最高至约24小时的时间,以形成从碱性铝硅酸盐玻璃的表面延伸到至少约20 μm 的层深度的压缩层。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含至少约4摩尔%的 P_2O_5 ,其中 $[\text{M}_2\text{O}_3(\text{摩尔}\%)/\text{R}_x\text{O}(\text{摩尔}\%)] < 1.4$,其中 $\text{M}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_2\text{O}_3$ 并且 R_xO 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的单价和二价阳离子氧化物的总和。在一些实施方式中, $[\text{M}_2\text{O}_3(\text{摩尔}\%)/\text{R}_x\text{O}(\text{摩尔}\%)] < 1$ 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含 $0.6 < [\text{M}_2\text{O}_3(\text{摩尔}\%)/\text{R}_x\text{O}(\text{摩尔}\%)] < 1.4$,其中 $\text{M}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_2\text{O}_3$ 并且 R_xO 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的单价和二价阳离子氧化物的总和。在一些实施方式中, $0.8 < [\text{M}_2\text{O}_3(\text{摩尔}\%)/\text{R}_x\text{O}(\text{摩尔}\%)] < 1.4$ 。在一些实施方式中, $0.8 \leq [\text{M}_2\text{O}_3(\text{摩尔}\%)/\text{R}_x\text{O}(\text{摩尔}\%)] \leq 1.0$ 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含至少约4摩尔%的 P_2O_5 ,其中 $1.3 < [(\text{P}_2\text{O}_5 + \text{R}_2\text{O})/\text{M}_2\text{O}_3] \leq 2.3$,其中 $\text{M}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_2\text{O}_3$ 并且 R_2O 是碱性铝硅酸盐玻璃中存在的单价阳离子氧化物的总和。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含约40-70摩尔%的 SiO_2 ;约11-25摩尔%的 Al_2O_3 ;约4-15摩尔%的 P_2O_5 ;以及约13-25摩尔%的 Na_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含约50-65摩尔%的 SiO_2 ;约14-20摩尔%的 Al_2O_3 ;约4-10摩尔%的 P_2O_5 ;以及约14-20摩尔%的 Na_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃还包含少于1摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含0摩尔%的 K_2O 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含少于1摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃包含0摩尔%的 B_2O_3 。在一些实施方式中,单价和二价阳离子氧化物选自下组: Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O 、 Rb_2O 、 Cs_2O 、 MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 和 ZnO 。

[0147] 在一些实施方式中,上文所述的碱性铝硅酸盐玻璃在至少约20 μm 的层深度进行离子交换。在一些实施方式中,玻璃在至少约40 μm 的层深度进行离子交换。在一些实施方式中,碱性铝硅酸盐玻璃具有从玻璃表面延伸到层深度的压缩层,其中所述压缩层处于至少500MPa的压缩应力下。在一些实施方式中,压缩应力至少为750MPa。在一些实施方式中,压缩应力层约为500-2000MPa。在一些实施方式中,离子交换的碱性铝硅酸盐玻璃具有至少约8kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。在一些实施方式中,离子交换的碱性铝硅酸盐玻璃具有至少约12kgf的维氏压痕裂纹开裂负荷。

[0148] 虽然为了说明给出了典型的实施方式,但是前面的描述不应被认为是对本说明书或所附权利要求书的范围的限制。因此,在不偏离本说明书或者所附权利要求书的精神和范围的情况下,本领域的技术人员可想到各种改进、修改和替换形式。

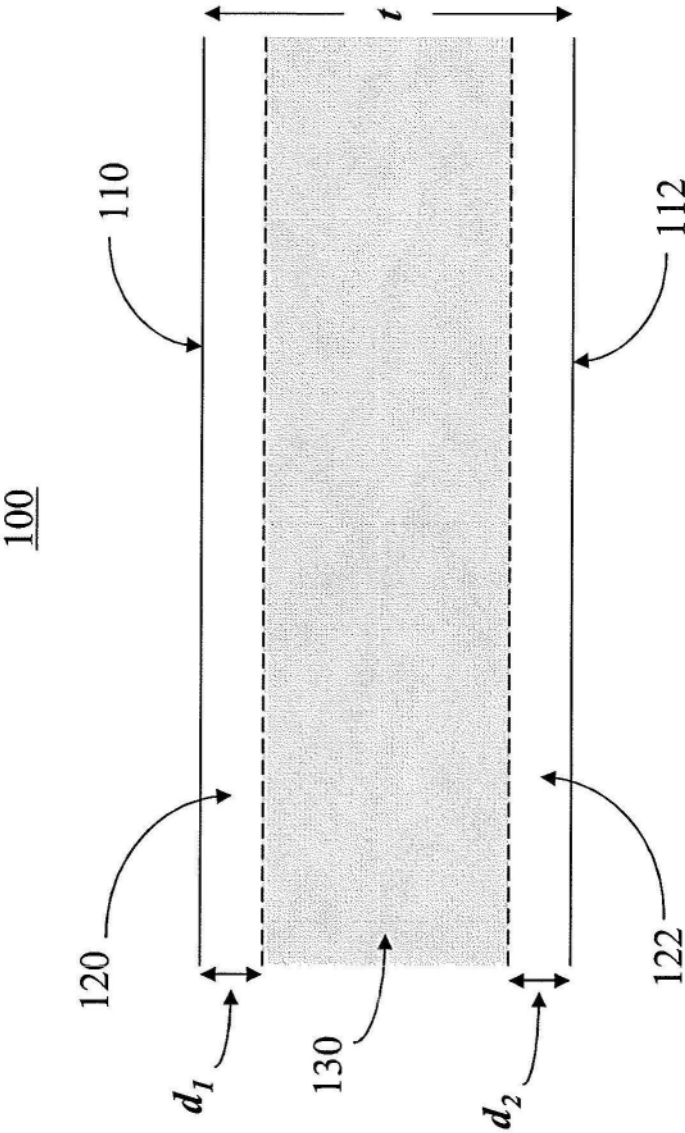


图1

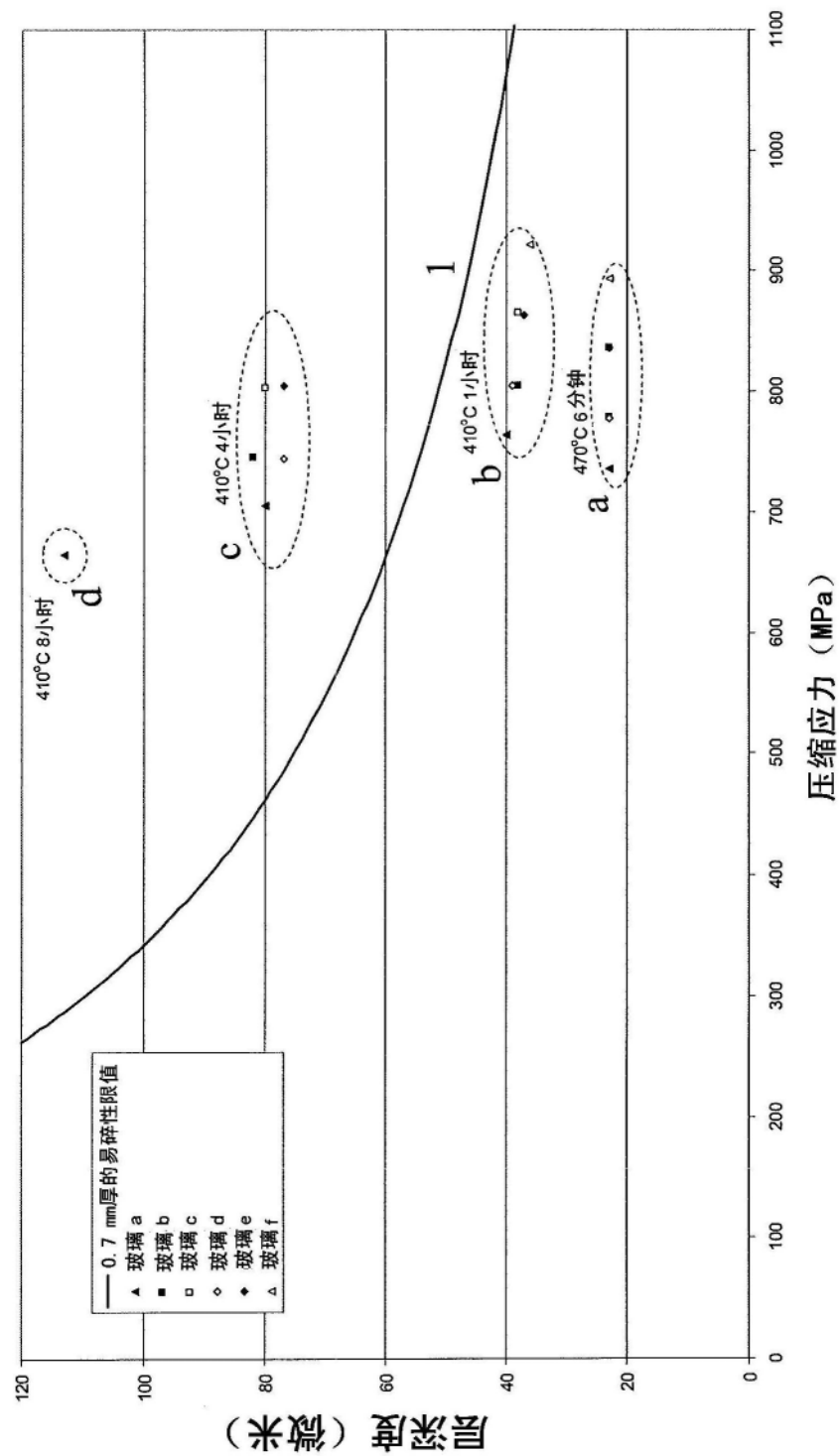


图2