

5 微晶玻璃、微晶玻璃制品及其制造方法

技术领域

本发明涉及一种微晶玻璃,尤其是涉及一种具有优异的机械性能的微晶玻璃、微晶玻璃制品及其制造方法。

10 背景技术

近年来,随着消费电子产品的不断兴起和发展,玻璃作为一种透明且性能良好的材料,大量应用于此类电子器件中。例如 LED 和 LCD 显示器以及电脑监测器等设备可具有“触摸”功能,这使得应用于其中的玻璃必须与各种物体(如用户的手指和/或手写笔装置)接触,这样,玻璃需要具有足够的牢固和化学稳定性,以经受常规接触而不损坏。

15 此外，此类玻璃还可应用到便携式电子产品中，如移动电话（手机）、平板电脑和个人媒体终端等，应用于其中的玻璃不仅需要能长时间承受来自应用中的常规“触摸”接触，还需要能承受在使用过程中可能发生的偶然弯折、划伤和冲击，这就对玻璃的相关性能提出了更高的要求。

微晶玻璃是一种通过对玻璃进行热处理而在玻璃内部析出结晶的材料，具有比常规的玻璃更优异的机械性能，在玻璃中形成微晶，其抗弯、耐磨以及抗摔等性能相对于常规玻璃都有明显的优势。另一方面，微晶玻璃还可以通过化学强化，进一步提高机械性能。基于以上优点，目前有将微晶玻璃或其处理后得到的微晶玻璃制品应用于抗摔、抗压、耐划等要求较高的显示设备或电子设备中，尤其在便携式电子设备（如手机、手表、PAD等）的前后盖应用中。

25 随着科技的发展,电子设备或显示设备对用于其中的玻璃材料的光学性能提出了更高的要求,光学性能是指物质对光线的吸收、反射和折射时所表现的性能,包括光透过率、雾度和折射率等。但是目前市面上的微晶玻璃存在化学强化性能差、雾度高和光透过率低等问题,难以应用于要求较高的显示设备或电子设备中。

因此，开发一款具有优异机械性能，且适用于显示设备或电子设备的微晶玻璃及微晶玻璃制品，成为了科技人员所追求的目标。

发明内容

本发明所要解决的技术问题是提供一种具有优异的机械性能的微晶玻璃和微晶玻璃制品。

本发明解决技术问题所采用的技术方案是：

35 (1) 微晶玻璃制品, 其组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 65~80%; Al_2O_3 : 小于 5%; Li_2O : 10~25%; ZrO_2 : 5~15%; P_2O_5 : 1~8%。

(2) 微晶玻璃制品, 其组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 55~80%; Al_2O_3 : 小于 10%; Li_2O : 8~25%; ZrO_2 : 5~15%; P_2O_5 : 1~8%。

(3) 根据(1)或(2)所述的微晶玻璃制品,其组分按重量百分比表示,还含有:
40 K_2O : 0~5%; 和/或 MgO : 0~3%; 和/或 ZnO : 0~3%; 和/或 Na_2O : 0~6%; 和/或 SrO : 0~5%; 和/或 BaO : 0~5%; 和/或 CaO : 0~5%; 和/或 TiO_2 : 0~5%; 和/或 B_2O_3 : 0~5%;

5 和/或 Y_2O_3 : 0~6%; 和/或澄清剂: 0~2%。

(4) 微晶玻璃制品, 其组分中含有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Li_2O 、 ZrO_2 和 P_2O_5 , 所述微晶玻璃制品含有硅酸锂晶相, 硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比。

(5) 微晶玻璃制品, 其组分中含有 SiO_2 、 Li_2O 、 ZrO_2 和 P_2O_5 , 1mm 以下厚度的微晶玻璃制品 400~800nm 的平均光 | B | 值为 0.9 以下。

10 (6) 微晶玻璃制品, 含有硅酸锂晶相, 所述微晶玻璃制品的落球试验高度为 1400mm 以上。

(7) 微晶玻璃制品, 其组分中含有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Li_2O 、 ZrO_2 和 P_2O_5 , 其组分按重量百分比表示, 其中 $Al_2O_3/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 1.2 以下, 所述微晶玻璃制品含有硅酸锂晶相, 微晶玻璃制品的落球试验高度为 1400mm 以上。

15 (8) 微晶玻璃制品, 其组分中含有 SiO_2 、 Li_2O 、 ZrO_2 和 P_2O_5 , 其组分按重量百分比表示, SiO_2/ZrO_2 为 4.0~15.8, 所述微晶玻璃制品含有硅酸锂晶相, 硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比。

(9) 根据 (4) ~ (8) 任一所述的微晶玻璃制品, 其组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 55~80%; 和/或 Li_2O : 8~25%; 和/或 ZrO_2 : 5~15%; 和/或 P_2O_5 : 1~8%。

20 (10) 微晶玻璃制品, 其组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 55~80%; Li_2O : 8~25%; ZrO_2 : 5~15%; P_2O_5 : 1~8%。

(11) 根据 (4) ~ (10) 任一所述的微晶玻璃制品, 其组分按重量百分比表示, 还含有: Al_2O_3 : 小于 10%; 和/或 K_2O : 0~5%; 和/或 MgO : 0~3%; 和/或 ZnO : 0~3%; 和/或 Na_2O : 0~6%; 和/或 SrO : 0~5%; 和/或 BaO : 0~5%; 和/或 CaO : 0~5%; 和/或
25 TiO_2 : 0~5%; 和/或 B_2O_3 : 0~5%; 和/或 Y_2O_3 : 0~6%; 和/或澄清剂: 0~2%。

(12) 根据 (1) ~ (11) 任一所述的微晶玻璃制品, 其组分按重量百分比表示, 满足以下 10 种情形中的一种或多种:

1) $Al_2O_3/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 1.2 以下, 优选 $Al_2O_3/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 1.0 以下, 更优选 $Al_2O_3/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 0.05~0.7;

30 2) SiO_2/ZrO_2 为 4.0~15.8, 优选 SiO_2/ZrO_2 为 4.5~12.0, 更优选 SiO_2/ZrO_2 为 5.0~9.5, 进一步优选 SiO_2/ZrO_2 为 6.0~9.0;

3) $P_2O_5+ZrO_2$: 6~21%, 优选 $P_2O_5+ZrO_2$: 7~18%, 更优选 $P_2O_5+ZrO_2$: 8~16%, 进一步优选 $P_2O_5+ZrO_2$: 10~16%;

4) $SiO_2/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 2.5~12.0, 优选 $SiO_2/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 3.0~10.0, 更优
35 选 $SiO_2/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 3.5~7.5, 进一步优选 $SiO_2/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 4.0~6.5;

5) $(ZrO_2+Li_2O)/Al_2O_3$ 为 2.0 以上, 优选 $(ZrO_2+Li_2O)/Al_2O_3$ 为 2.5 以上, 更优选 $(ZrO_2+Li_2O)/Al_2O_3$ 为 2.5~30.0;

6) $(SiO_2+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 4.0~16.0, 优选 $(SiO_2+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 4.5~12.0, 更优
选 $(SiO_2+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 5.0~10.0, 进一步优选 $(SiO_2+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 6.0~9.5;

40 7) $(Li_2O+ZrO_2)/SiO_2$ 为 0.19~0.55, 优选 $(Li_2O+ZrO_2)/SiO_2$ 为 0.2~0.5, 更优选 $(Li_2O+ZrO_2)/SiO_2$ 为 0.25~0.45, 进一步优选 $(Li_2O+ZrO_2)/SiO_2$ 为 0.25~0.4;

5 8)(MgO+ZnO)/ZrO₂为0.65以下,优选(MgO+ZnO)/ZrO₂为0.4以下,更优选(MgO+ZnO)/ZrO₂为0.2以下,进一步优选(MgO+ZnO)/ZrO₂为0.1以下;

9)(Li₂O+Al₂O₃)/ZrO₂为0.8~5.0,优选(Li₂O+Al₂O₃)/ZrO₂为1.0~4.0,更优选(Li₂O+Al₂O₃)/ZrO₂为1.2~3.0,进一步优选(Li₂O+Al₂O₃)/ZrO₂为1.5~2.5;

10 10) Li₂O/(ZrO₂+P₂O₅)为0.5~3.0,优选Li₂O/(ZrO₂+P₂O₅)为0.6~2.5,更优选Li₂O/(ZrO₂+P₂O₅)为0.7~2.0,进一步优选Li₂O/(ZrO₂+P₂O₅)为0.8~1.5。

(13) 根据(1)~(11)任一所述的微晶玻璃制品,其组分按重量百分比表示,其中: Al₂O₃/(Li₂O+ZrO₂+P₂O₅)为0.3以下,优选为Al₂O₃/(Li₂O+ZrO₂+P₂O₅)为0.25以下,更优选Al₂O₃/(Li₂O+ZrO₂+P₂O₅)为0.01~0.2,进一步优选Al₂O₃/(Li₂O+ZrO₂+P₂O₅)为0.01~0.1;和/或Al₂O₃/Li₂O为0.4以下,优选Al₂O₃/Li₂O为0.3以下,更优选Al₂O₃/Li₂O为0.2以下,进一步优选Al₂O₃/Li₂O为0.1以下。

(14) 根据(1)~(11)任一所述的微晶玻璃制品,其组分按重量百分比表示,含有: SiO₂: 68~78%, 优选SiO₂: 70~76%; 和/或Al₂O₃: 0.1~4.5%, 优选Al₂O₃: 0.5~3%; 和/或Li₂O: 12.5~22%, 优选Li₂O: 12.5~20%; 和/或ZrO₂: 6~12%, 优选ZrO₂: 7~12%; 和/或P₂O₅: 1.5~7%, 优选P₂O₅: 2~6%; 和/或K₂O: 0~4%, 优选K₂O: 0~2%; 20 和/或MgO: 0~2%, 优选MgO: 0~1%; 和/或ZnO: 0~2%, 优选ZnO: 0~1%; 和/或Na₂O: 0~4%, 优选Na₂O: 0.5~3%; 和/或SrO: 0~2%, 优选SrO: 0~1%; 和/或BaO: 0~2%, 优选BaO: 0~1%; 和/或CaO: 0~2%, 优选CaO: 0~1%; 和/或TiO₂: 0~2%, 优选TiO₂: 0~1%; 和/或B₂O₃: 0~3%, 优选B₂O₃: 0~2%; 和/或Y₂O₃: 0~4%, 优选Y₂O₃: 0~2%; 和/或澄清剂: 0~1%, 优选澄清剂: 0~0.5%。

25 (15) 根据(2)、(4)~(11)任一所述的微晶玻璃制品,其组分按重量百分比表示,其中: Al₂O₃/(Li₂O+ZrO₂+P₂O₅)为0.4以下,优选为Al₂O₃/(Li₂O+ZrO₂+P₂O₅)为0.3以下,更优选Al₂O₃/(Li₂O+ZrO₂+P₂O₅)为0.25以下; 和/或Al₂O₃/Li₂O为0.7以下,优选Al₂O₃/Li₂O为0.6以下,更优选Al₂O₃/Li₂O为0.5以下,进一步优选Al₂O₃/Li₂O为0.45以下; 和/或Al₂O₃/(P₂O₅+ZrO₂)为0.1~0.6; 和/或(ZrO₂+Li₂O)/Al₂O₃为3.0~20.0。

30 (16) 根据(2)、(4)~(11)任一所述的微晶玻璃制品,其组分按重量百分比表示,含有: SiO₂: 58~78%, 优选SiO₂: 60~76%; 和/或Al₂O₃: 0.1~8%, 优选Al₂O₃: 0.5~7%; 和/或Li₂O: 9~22%, 优选Li₂O: 10~20%; 和/或ZrO₂: 6~12%, 优选ZrO₂: 7~12%; 和/或P₂O₅: 1.5~7%, 优选P₂O₅: 2~6%; 和/或K₂O: 0~4%, 优选K₂O: 0~2%; 和/或MgO: 0~2%, 优选MgO: 0~1%; 和/或ZnO: 0~2%, 优选ZnO: 0~1%; 和/或Na₂O: 35 0~4%, 优选Na₂O: 0.5~3%; 和/或SrO: 0~2%, 优选SrO: 0~1%; 和/或BaO: 0~2%, 优选BaO: 0~1%; 和/或CaO: 0~2%, 优选CaO: 0~1%; 和/或TiO₂: 0~2%, 优选TiO₂: 0~1%; 和/或B₂O₃: 0~3%, 优选B₂O₃: 0~2%; 和/或Y₂O₃: 0~4%, 优选Y₂O₃: 0~2%; 和/或澄清剂: 0~1%, 优选澄清剂: 0~0.5%。

(17) 根据(1)~(11)任一所述的微晶玻璃制品,其组分按重量百分比表示, 40 还含有: La₂O₃+Gd₂O₃+Yb₂O₃+Nb₂O₅+WO₃+Bi₂O₃+Ta₂O₅+TeO₂+GeO₂: 0~5%, 优选La₂O₃+Gd₂O₃+Yb₂O₃+Nb₂O₅+WO₃+Bi₂O₃+Ta₂O₅+TeO₂+GeO₂: 0~2%, 更优选

5 $\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3+\text{Yb}_2\text{O}_3+\text{Nb}_2\text{O}_5+\text{WO}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Ta}_2\text{O}_5+\text{TeO}_2+\text{GeO}_2$: 0~1%。

(18) 根据(1)~(11)任一所述的微晶玻璃制品, 其组分中不含有 SrO ; 和/或不含有 BaO ; 和/或不含有 MgO ; 和/或不含有 CaO ; 和/或不含有 ZnO ; 和/或不含有 PbO ; 和/或不含有 As_2O_3 ; 和/或不含有 TiO_2 ; 和/或不含有 B_2O_3 ; 和/或不含有 Y_2O_3 ; 和/或不含有 F 。

10 (19) 根据(1)~(11)任一所述的微晶玻璃制品, 所述微晶玻璃制品的晶相含有硅酸锂晶相; 和/或磷酸锂晶相; 和/或透锂长石晶相; 和/或石英固溶体晶相。

(20) 根据(1)~(11)任一所述的微晶玻璃制品, 所述微晶玻璃制品的晶相含有硅酸锂晶相, 硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比, 优选硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 10~70%, 更优选硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 10~65%, 进一步优选硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 15~60%, 更进一步
15 优选硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 20~55%。

(21) 根据(1)~(11)任一所述的微晶玻璃制品, 所述微晶玻璃制品的晶相含有一硅酸锂晶相, 一硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比, 优选一硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 30~65%, 更优选一硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量
20 百分比为 35~60%, 进一步优选一硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 40~55%。

(22) 根据(1)~(11)任一所述的微晶玻璃制品, 所述微晶玻璃制品的晶相含有二硅酸锂晶相, 二硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比, 优选二硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 10~60%, 更优选二硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量
百分比为 15~50%, 进一步优选二硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 20~45%。

25 (23) 根据(1)~(11)任一所述的微晶玻璃制品, 所述微晶玻璃制品含有磷酸锂晶相, 磷酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 10%以下, 优选磷酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 5%以下。

(24) 根据(1)~(11)任一所述的微晶玻璃制品, 所述微晶玻璃制品含有石英固溶体晶相, 石英固溶体晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 10%以下, 优选石英固溶
30 体晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 5%以下。

(25) 根据(1)~(11)任一所述的微晶玻璃制品, 所述微晶玻璃制品含有透锂长石晶相, 透锂长石晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 18%以下, 优选透锂长石晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 15%以下, 更优选透锂长石晶相占微晶玻璃制品的重量
百分比为 10%以下, 进一步优选透锂长石晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 5%以下。

35 (26) 根据(1)~(11)任一所述的微晶玻璃制品, 所述微晶玻璃制品的四点弯曲强度为 600MPa 以上, 优选为 650MPa 以上, 更优选为 700MPa 以上; 和/或离子交换层深度为 20 μm 以上, 优选为 30 μm 以上, 更优选 40 μm 以上; 和/或落球试验高度为 1400mm 以上, 优选为 1500mm 以上, 更优选为 1600mm 以上; 和/或断裂韧性为 $1\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 以上, 优选为 $1.3\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 以上, 更优选为 $1.5\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 以上; 和/或维氏硬度为 $730\text{kgf}/\text{mm}^2$
40 以上, 优选为 $750\text{kgf}/\text{mm}^2$ 以上, 更优选为 $780\text{kgf}/\text{mm}^2$ 以上; 和/或介电常数 ϵ_r 为 5.4 以上, 优选为 5.8 以上, 更优选为 6.0 以上; 和/或介电损耗 $\tan\delta$ 为 0.05 以下, 优选

5 为 0.04 以下, 更优选为 0.02 以下, 进一步优选为 0.01 以下。

(27) 根据 (1) ~ (11) 任一所述的微晶玻璃制品, 所述微晶玻璃制品的结晶度为 50%以上, 优选为 60%以上, 更优选为 70%以上; 和/或晶粒尺寸为 80nm 以下, 优选为 50nm 以下, 更优选为 30nm 以下。

10 (28) 根据 (1) ~ (11) 任一所述的微晶玻璃制品, 1mm 以下厚度的微晶玻璃制品的雾度为 0.2%以下, 优选为 0.18%以下, 更优选为 0.15%以下; 和/或 400~800nm 波长的平均光透过率 87%以上, 优选为 89%以上, 更优选为 90%以上; 和/或 550nm 波长的光透过率为 88%以上, 优选为 90%以上, 更优选为 91%以上; 和/或 400~800nm 的平均光 |B| 值为 0.9 以下, 优选为 0.8 以下, 更优选为 0.7 以下。

15 (29) 根据 (28) 所述的微晶玻璃制品, 所述微晶玻璃制品的厚度为 0.2~1mm, 优选为 0.3~0.9mm, 更优选为 0.5~0.8mm, 进一步优选为 0.55mm 或 0.6mm 或 0.68mm 或 0.7mm 或 0.75mm。

(30) 根据 (1) ~ (11) 任一所述的微晶玻璃制品, 所述微晶玻璃制品含有着色剂。

20 (31) 根据 (30) 所述的微晶玻璃制品, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: NiO: 0~4%; 和/或 Ni_2O_3 : 0~4%; 和/或 CoO: 0~2%; 和/或 Co_2O_3 : 0~2%; 和/或 Fe_2O_3 : 0~7%; 和/或 MnO_2 : 0~4%; 和/或 Er_2O_3 : 0~8%; 和/或 Nd_2O_3 : 0~8%; 和/或 Cu_2O : 0~4%; 和/或 Pr_2O_3 : 0~8%; 和/或 CeO_2 : 0~4%。

25 (32) 根据 (30) 所述的微晶玻璃制品, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: NiO: 0.1~4%; 和/或 Ni_2O_3 : 0.1~4%; 和/或 CoO: 0.05~2%; 和/或 Co_2O_3 : 0.05~2%; 和/或 Fe_2O_3 : 0.2~7%; 和/或 MnO_2 : 0.1~4%; 和/或 Er_2O_3 : 0.4~8%; 和/或 Nd_2O_3 : 0.4~8%; 和/或 Cu_2O : 0.5~4%; 和/或 Pr_2O_3 : 0.4~8%; 和/或 CeO_2 : 0.5~4%。

30 (33) 根据 (30) 所述的微晶玻璃制品, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: NiO: 0.1~3%; 和/或 Ni_2O_3 : 0.1~3%; 和/或 CoO: 0.05~1.8%; 和/或 Co_2O_3 : 0.05~1.8%; 和/或 Fe_2O_3 : 0.2~5%; 和/或 MnO_2 : 0.1~3%; 和/或 Er_2O_3 : 0.4~6%; 和/或 Nd_2O_3 : 0.4~6%; 和/或 Cu_2O : 0.5~3%; 和/或 Pr_2O_3 : 0.4~6%; 和/或 CeO_2 : 0.5~3%。

(34) 根据 (30) 所述的微晶玻璃制品, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: NiO: 0.1~3%; 和/或 Ni_2O_3 : 0.1~3%。

(35) 根据 (30) 所述的微晶玻璃制品, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: CoO: 0.05~1.8%; 和/或 Co_2O_3 : 0.05~1.8%。

35 (36) 根据 (30) 所述的微晶玻璃制品, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: Cu_2O : 0.5~3%; 和/或 CeO_2 : 0.5~3%。

40 (37) 根据 (30) 所述的微晶玻璃制品, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: Fe_2O_3 : 0.2~5%、CoO: 0.05~0.3%; 或者 Fe_2O_3 : 0.2~5%、 Co_2O_3 : 0.05~0.3%; 或者 Fe_2O_3 : 0.2~5%、CoO: 0.05~0.3%、NiO: 0.1~1%; 或者 Fe_2O_3 : 0.2~5%、 Co_2O_3 : 0.05~0.3%、NiO: 0.1~1%。

(38) 根据 (30) 所述的微晶玻璃制品, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: Pr_2O_3 :

- 5 0.4~6%; 或者 Fe_2O_3 : 0.2~5%; 或者 MnO_2 : 0.1~3%; 或者 Er_2O_3 : 0.4~6%; 或者 Nd_2O_3 : 0.4~6%。

(39) 根据(30)所述的微晶玻璃制品, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: Er_2O_3 : 0.4~6%、 Nd_2O_3 : 0.4~4%、 MnO_2 : 0.1~2%。

- 10 (40) 微晶玻璃, 其组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 65~80%; Al_2O_3 : 小于 5%; Li_2O : 10~25%; ZrO_2 : 5~15%; P_2O_5 : 1~8%。

(41) 微晶玻璃, 其组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 55~80%; Al_2O_3 : 小于 10%; Li_2O : 8~25%; ZrO_2 : 5~15%; P_2O_5 : 1~8%。

- 15 (42) 根据(40)或(41)所述的微晶玻璃, 其组分按重量百分比表示, 还含有: K_2O : 0~5%; 和/或 MgO : 0~3%; 和/或 ZnO : 0~3%; 和/或 Na_2O : 0~6%; 和/或 SrO : 0~5%; 和/或 BaO : 0~5%; 和/或 CaO : 0~5%; 和/或 TiO_2 : 0~5%; 和/或 B_2O_3 : 0~5%; 和/或 Y_2O_3 : 0~6%; 和/或澄清剂: 0~2%。

(43) 微晶玻璃, 其组分中含有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Li_2O 、 ZrO_2 和 P_2O_5 , 所述微晶玻璃含有硅酸锂晶相, 硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比。

- 20 (44) 微晶玻璃, 其组分中含有 SiO_2 、 Li_2O 、 ZrO_2 和 P_2O_5 , 1mm 以下厚度的微晶玻璃 400~800nm 的平均光 |B| 值为 0.9 以下。

(45) 微晶玻璃, 含有硅酸锂晶相, 所述微晶玻璃的本体落球高度为 1700mm 以上。

(46) 微晶玻璃, 其组分中含有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Li_2O 、 ZrO_2 和 P_2O_5 , 其组分按重量百分比表示, 其中 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 1.2 以下, 所述微晶玻璃含有硅酸锂晶相, 微晶玻璃的本体落球高度为 1700mm 以上。

- 25 (47) 微晶玻璃, 其组分中含有 SiO_2 、 Li_2O 、 ZrO_2 和 P_2O_5 , 其组分按重量百分比表示, $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为 4.0~15.8, 所述微晶玻璃含有硅酸锂晶相, 硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比。

(48) 根据(43)~(47)任一所述的微晶玻璃, 其组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 55~80%; 和/或 Li_2O : 8~25%; 和/或 ZrO_2 : 5~15%; 和/或 P_2O_5 : 1~8%。

- 30 (49) 微晶玻璃, 含有硅酸锂晶相, 其组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 55~80%; Li_2O : 8~25%; ZrO_2 : 5~15%; P_2O_5 : 1~8%。

- (50) 根据(43)~(49)任一所述的微晶玻璃, 其组分按重量百分比表示, 还含有: Al_2O_3 : 小于 10%; 和/或 K_2O : 0~5%; 和/或 MgO : 0~3%; 和/或 ZnO : 0~3%; 和/或 Na_2O : 0~6%; 和/或 SrO : 0~5%; 和/或 BaO : 0~5%; 和/或 CaO : 0~5%; 和/或 TiO_2 : 35 0~5%; 和/或 B_2O_3 : 0~5%; 和/或 Y_2O_3 : 0~6%; 和/或澄清剂: 0~2%。

(51) 根据(40)~(50)任一所述的微晶玻璃, 其组分按重量百分比表示, 满足以下 10 种情形中的一种或多种:

1) $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 1.2 以下, 优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 1.0 以下, 更优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 0.05~0.7;

- 40 2) $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为 4.0~15.8, 优选 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为 4.5~12.0, 更优选 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为 5.0~9.5, 进一步优选 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为 6.0~9.0;

- 5 3) $P_2O_5+ZrO_2$: 6~21%, 优选 $P_2O_5+ZrO_2$: 7~18%, 更优选 $P_2O_5+ZrO_2$: 8~16%, 进一步优选 $P_2O_5+ZrO_2$: 10~16%;
- 4) $SiO_2/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 2.5~12.0, 优选 $SiO_2/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 3.0~10.0, 更优选 $SiO_2/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 3.5~7.5, 进一步优选 $SiO_2/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 4.0~6.5;
- 5) $(ZrO_2+Li_2O)/Al_2O_3$ 为 2.0 以上, 优选 $(ZrO_2+Li_2O)/Al_2O_3$ 为 2.5 以上, 更优选
- 10 $(ZrO_2+Li_2O)/Al_2O_3$ 为 2.5~30.0;
- 6) $(SiO_2+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 4.0~16.0, 优选 $(SiO_2+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 4.5~12.0, 更优选 $(SiO_2+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 5.0~10.0, 进一步优选 $(SiO_2+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 6.0~9.5;
- 7) $(Li_2O+ZrO_2)/SiO_2$ 为 0.19~0.55, 优选 $(Li_2O+ZrO_2)/SiO_2$ 为 0.2~0.5, 更优选 $(Li_2O+ZrO_2)/SiO_2$ 为 0.25~0.45, 进一步优选 $(Li_2O+ZrO_2)/SiO_2$ 为 0.25~0.4;
- 15 8) $(MgO+ZnO)/ZrO_2$ 为 0.65 以下, 优选 $(MgO+ZnO)/ZrO_2$ 为 0.4 以下, 更优选 $(MgO+ZnO)/ZrO_2$ 为 0.2 以下, 进一步优选 $(MgO+ZnO)/ZrO_2$ 为 0.1 以下;
- 9) $(Li_2O+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 0.8~5.0, 优选 $(Li_2O+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 1.0~4.0, 更优选 $(Li_2O+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 1.2~3.0, 进一步优选 $(Li_2O+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 1.5~2.5;
- 10) $Li_2O/(ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.5~3.0, 优选 $Li_2O/(ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.6~2.5, 更优选
- 20 $Li_2O/(ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.7~2.0, 进一步优选 $Li_2O/(ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.8~1.5。
- (52) 根据 (40)~(50) 任一所述的微晶玻璃, 其组分按重量百分比表示, 其中: $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.3 以下, 优选为 $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.25 以下, 更优选 $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.01~0.2, 进一步优选 $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.01~0.1; 和/或 Al_2O_3/Li_2O 为 0.4 以下, 优选 Al_2O_3/Li_2O 为 0.3 以下, 更优选 Al_2O_3/Li_2O 为
- 25 0.2 以下, 进一步优选 Al_2O_3/Li_2O 为 0.1 以下。
- (53) 根据 (40)~(50) 任一所述的微晶玻璃, 其组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 68~78%, 优选 SiO_2 : 70~76%; 和/或 Al_2O_3 : 0.1~4.5%, 优选 Al_2O_3 : 0.5~3%; 和/或 Li_2O : 12.5~22%, 优选 Li_2O : 12.5~20%; 和/或 ZrO_2 : 6~12%, 优选 ZrO_2 : 7~12%; 和/或 P_2O_5 : 1.5~7%, 优选 P_2O_5 : 2~6%; 和/或 K_2O : 0~4%, 优选 K_2O : 0~2%; 和
- 30 /或 MgO : 0~2%, 优选 MgO : 0~1%; 和/或 ZnO : 0~2%, 优选 ZnO : 0~1%; 和/或 Na_2O : 0~4%, 优选 Na_2O : 0.5~3%; 和/或 SrO : 0~2%, 优选 SrO : 0~1%; 和/或 BaO : 0~2%, 优选 BaO : 0~1%; 和/或 CaO : 0~2%, 优选 CaO : 0~1%; 和/或 TiO_2 : 0~2%, 优选 TiO_2 : 0~1%; 和/或 B_2O_3 : 0~3%, 优选 B_2O_3 : 0~2%; 和/或 Y_2O_3 : 0~4%, 优选 Y_2O_3 : 0~2%; 和/或澄清剂: 0~1%, 优选澄清剂: 0~0.5%。
- 35 (54) 根据 (41)、(43)~(50) 任一所述的微晶玻璃, 其组分按重量百分比表示, 其中: $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.4 以下, 优选为 $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.3 以下, 更优选 $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.25 以下; 和/或 Al_2O_3/Li_2O 为 0.7 以下, 优选 Al_2O_3/Li_2O 为 0.6 以下, 更优选 Al_2O_3/Li_2O 为 0.5 以下, 进一步优选 Al_2O_3/Li_2O 为 0.45 以下; 和/或 $Al_2O_3/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 0.1~0.6; 和/或 $(ZrO_2+Li_2O)/Al_2O_3$ 为 3.0~20.0。
- 40 (55) 根据 (41)、(43)~(50) 任一所述的微晶玻璃, 其组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 58~78%, 优选 SiO_2 : 60~76%; 和/或 Al_2O_3 : 0.1~8%, 优选 Al_2O_3 : 0.5~

5 7%; 和/或 Li_2O : 9~22%, 优选 Li_2O : 10~20%; 和/或 ZrO_2 : 6~12%, 优选 ZrO_2 : 7~12%;
和/或 P_2O_5 : 1.5~7%, 优选 P_2O_5 : 2~6%; 和/或 K_2O : 0~4%, 优选 K_2O : 0~2%; 和/或
10 MgO : 0~2%, 优选 MgO : 0~1%; 和/或 ZnO : 0~2%, 优选 ZnO : 0~1%; 和/或 Na_2O : 0~
4%, 优选 Na_2O : 0.5~3%; 和/或 SrO : 0~2%, 优选 SrO : 0~1%; 和/或 BaO : 0~2%,
优选 BaO : 0~1%; 和/或 CaO : 0~2%, 优选 CaO : 0~1%; 和/或 TiO_2 : 0~2%, 优选 TiO_2 :
0~1%; 和/或 B_2O_3 : 0~3%, 优选 B_2O_3 : 0~2%; 和/或 Y_2O_3 : 0~4%, 优选 Y_2O_3 : 0~2%;
和/或澄清剂: 0~1%, 优选澄清剂: 0~0.5%。

(56) 根据(40)~(50)任一所述的微晶玻璃, 其组分按重量百分比表示, 还
含有: $\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3+\text{Yb}_2\text{O}_3+\text{Nb}_2\text{O}_5+\text{WO}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Ta}_2\text{O}_5+\text{TeO}_2+\text{GeO}_2$: 0~5%, 优选
15 $\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3+\text{Yb}_2\text{O}_3+\text{Nb}_2\text{O}_5+\text{WO}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Ta}_2\text{O}_5+\text{TeO}_2+\text{GeO}_2$: 0~2%, 更优选
 $\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3+\text{Yb}_2\text{O}_3+\text{Nb}_2\text{O}_5+\text{WO}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Ta}_2\text{O}_5+\text{TeO}_2+\text{GeO}_2$: 0~1%。

(57) 根据(40)~(50)任一所述的微晶玻璃, 其组分中不含有 SrO ; 和/或不
含有 BaO ; 和/或不含有 MgO ; 和/或不含有 CaO ; 和/或不含有 ZnO ; 和/或不含有 PbO ;
和/或不含有 As_2O_3 ; 和/或不含有 TiO_2 ; 和/或不含有 B_2O_3 ; 和/或不含有 Y_2O_3 ; 和/或不
含有 F 。

20 (58) 根据(40)~(50)任一所述的微晶玻璃, 所述微晶玻璃的晶相含有硅酸
锂晶相; 和/或磷酸锂晶相; 和/或透锂长石晶相; 和/或石英固溶体晶相。

(59) 根据(40)~(50)任一所述的微晶玻璃, 所述微晶玻璃的晶相含有硅酸
锂晶相, 硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比, 优选硅酸锂晶相占微晶玻璃的
重量百分比为 10~70%, 更优选硅酸锂晶相占微晶玻璃的重量百分比为 10~65%, 进一
25 步优选硅酸锂晶相占微晶玻璃的重量百分比为 15~60%, 更进一步优选硅酸锂晶相占微
晶玻璃的重量百分比为 20~55%。

(60) 根据(40)~(50)任一所述的微晶玻璃, 所述微晶玻璃的晶相含有一硅
酸锂晶相, 一硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比, 优选一硅酸锂晶相占微晶
玻璃的重量百分比为 30~65%, 更优选一硅酸锂晶相占微晶玻璃的重量百分比为 35~
30 60%, 进一步优选一硅酸锂晶相占微晶玻璃的重量百分比为 40~55%。

(61) 根据(40)~(50)任一所述的微晶玻璃, 所述微晶玻璃的晶相含有二硅
酸锂晶相, 二硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比, 优选二硅酸锂晶相占微晶
玻璃的重量百分比为 10~60%, 更优选二硅酸锂晶相占微晶玻璃的重量百分比为 15~
50%, 进一步优选二硅酸锂晶相占微晶玻璃的重量百分比为 20~45%。

35 (62) 根据(40)~(50)任一所述的微晶玻璃, 所述微晶玻璃含有磷酸锂晶相,
磷酸锂晶相占微晶玻璃的重量百分比为 10%以下, 优选磷酸锂晶相占微晶玻璃的重量百
分比为 5%以下。

(63) 根据(40)~(50)任一所述的微晶玻璃, 所述微晶玻璃含有石英固溶体
晶相, 石英固溶体晶相占微晶玻璃的重量百分比为 10%以下, 优选石英固溶体晶相占微
40 晶玻璃的重量百分比为 5%以下。

(64) 根据(40)~(50)任一所述的微晶玻璃, 所述微晶玻璃含有透锂长石晶

- 5 相,透锂长石晶相占微晶玻璃的重量百分比为 18%以下,优选透锂长石晶相占微晶玻璃的重量百分比为 15%以下,更优选透锂长石晶相占微晶玻璃的重量百分比为 10%以下,进一步优选透锂长石晶相占微晶玻璃的重量百分比为 5%以下。

(65) 根据(40)~(50)任一所述的微晶玻璃,所述微晶玻璃的结晶度为 50%以上,优选为 60%以上,更优选为 70%以上;和/或晶粒尺寸为 80nm 以下,优选为 50nm
10 以下,更优选为 30nm 以下;和/或热膨胀系数为 $70 \times 10^{-7}/K \sim 90 \times 10^{-7}/K$;和/或折射率为 1.5520~1.5700。

(66) 根据(40)~(50)任一所述的微晶玻璃,所述微晶玻璃的本体落球高度为 1700mm 以上,优选为 1900mm 以上,更优选为 2000mm 以上;和/或维氏硬度为 630kgf/mm² 以上,优选为 650kgf/mm² 以上,更优选为 680kgf/mm² 以上;和/或介电常数为 5.4 以上,
15 优选为 5.8 以上,更优选为 6.0 以上;和/或介电损耗为 0.05 以下,优选为 0.04 以下,更优选为 0.03 以下,进一步优选为 0.01 以下;和/或表面电阻为 $1 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上,优选为 $1 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上,更优选为 $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上。

(67) 根据(40)~(50)任一所述的微晶玻璃,1mm 以下厚度的微晶玻璃的雾度为 0.2%以下,优选为 0.18%以下,更优选为 0.15%以下;和/或 400~800nm 波长的平均
20 光透过率 87%以上,优选为 89%以上,更优选为 90%以上;和/或 550nm 波长的光透过率为 88%以上,优选为 90%以上,更优选为 91%以上;和/或 400~800nm 的平均光 |B| 值为 0.9 以下,优选为 0.8 以下,更优选为 0.7 以下。

(68) 根据(67)所述的微晶玻璃,所述微晶玻璃的厚度为 0.2~1mm,优选为 0.3~0.9mm,更优选为 0.5~0.8mm,进一步优选为 0.55mm 或 0.6mm 或 0.68mm 或 0.7mm 或
25 0.75mm。

(69) 根据(40)~(50)任一所述的微晶玻璃,所述微晶玻璃含有着色剂。

(70) 根据(69)所述的微晶玻璃,所述着色剂按重量百分比表示,含有: NiO: 0~4%;和/或 Ni₂O₃: 0~4%;和/或 CoO: 0~2%;和/或 Co₂O₃: 0~2%;和/或 Fe₂O₃: 0~7%;和/或 MnO₂: 0~4%;和/或 Er₂O₃: 0~8%;和/或 Nd₂O₃: 0~8%;和/或 Cu₂O: 0~4%;和
30 /或 Pr₂O₃: 0~8%;和/或 CeO₂: 0~4%。

(71) 根据(69)所述的微晶玻璃,所述着色剂按重量百分比表示,含有: NiO: 0.1~4%;和/或 Ni₂O₃: 0.1~4%;和/或 CoO: 0.05~2%;和/或 Co₂O₃: 0.05~2%;和/或 Fe₂O₃: 0.2~7%;和/或 MnO₂: 0.1~4%;和/或 Er₂O₃: 0.4~8%;和/或 Nd₂O₃: 0.4~8%;和/或 Cu₂O: 0.5~4%;和/或 Pr₂O₃: 0.4~8%;和/或 CeO₂: 0.5~4%。

35 (72) 根据(69)所述的微晶玻璃,所述着色剂按重量百分比表示,含有: NiO: 0.1~3%;和/或 Ni₂O₃: 0.1~3%;和/或 CoO: 0.05~1.8%;和/或 Co₂O₃: 0.05~1.8%;和/或 Fe₂O₃: 0.2~5%;和/或 MnO₂: 0.1~3%;和/或 Er₂O₃: 0.4~6%;和/或 Nd₂O₃: 0.4~6%;和/或 Cu₂O: 0.5~3%;和/或 Pr₂O₃: 0.4~6%;和/或 CeO₂: 0.5~3%。

(73) 根据(69)所述的微晶玻璃,所述着色剂按重量百分比表示,含有: NiO: 0.1~3%;和/或 Ni₂O₃: 0.1~3%。
40

(74) 根据(69)所述的微晶玻璃,所述着色剂按重量百分比表示,含有: CoO:

5 0.05~1.8%; 和/或 Co_2O_3 : 0.05~1.8%。

(75) 根据 (69) 所述的微晶玻璃, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: Cu_2O : 0.5~3%; 和/或 CeO_2 : 0.5~3%。

(76) 根据 (69) 所述的微晶玻璃, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: Fe_2O_3 : 0.2~5%、 CoO : 0.05~0.3%; 或者 Fe_2O_3 : 0.2~5%、 Co_2O_3 : 0.05~0.3%; 或者 Fe_2O_3 : 0.2~
10 5%、 CoO : 0.05~0.3%、 NiO : 0.1~1%; 或者 Fe_2O_3 : 0.2~5%、 Co_2O_3 : 0.05~0.3%、 NiO : 0.1~1%。

(77) 根据 (69) 所述的微晶玻璃, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: Pr_2O_3 : 0.4~6%; 或者 Fe_2O_3 : 0.2~5%; 或者 MnO_2 : 0.1~3%; 或者 Er_2O_3 : 0.4~6%; 或者 Nd_2O_3 : 0.4~6%。

15 (78) 根据 (69) 所述的微晶玻璃, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: Er_2O_3 : 0.4~6%、 Nd_2O_3 : 0.4~4%、 MnO_2 : 0.1~2%。

(79) 基质玻璃, 其组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 65~80%; Al_2O_3 : 小于 5%; Li_2O : 10~25%; ZrO_2 : 5~15%; P_2O_5 : 1~8%。

(80) 基质玻璃, 其组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 55~80%; Al_2O_3 : 小于
20 10%; Li_2O : 8~25%; ZrO_2 : 5~15%; P_2O_5 : 1~8%。

(81) 基质玻璃, 其组分中含有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Li_2O 、 ZrO_2 和 P_2O_5 , 其组分按重量百分比表示, 其中 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 1.2 以下, 所述基质玻璃的热膨胀系数为 $65 \times 10^{-7}/\text{K} \sim 79 \times 10^{-7}/\text{K}$ 。

(82) 基质玻璃, 其组分中含有 SiO_2 、 Li_2O 、 ZrO_2 和 P_2O_5 , 其组分按重量百分比表
25 示, $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为 4.0~15.8。

(83) 根据 (81) 或 (82) 所述的基质玻璃, 其组分以重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 55~80%; 和/或 Al_2O_3 : 小于 10%; 和/或 Li_2O : 8~25%; 和/或 ZrO_2 : 5~15%; 和/或 P_2O_5 : 1~8%。

(84) 根据 (79) ~ (83) 任一所述的基质玻璃, 其组分按重量百分比表示, 还
30 含有: K_2O : 0~5%; 和/或 MgO : 0~3%; 和/或 ZnO : 0~3%; 和/或 Na_2O : 0~6%; 和/或 SrO : 0~5%; 和/或 BaO : 0~5%; 和/或 CaO : 0~5%; 和/或 TiO_2 : 0~5%; 和/或 B_2O_3 : 0~5%; 和/或 Y_2O_3 : 0~6%; 和/或澄清剂: 0~2%。

(85) 根据 (79) ~ (83) 任一所述的基质玻璃, 其组分按重量百分比表示, 满足以下 10 种情形中的一种或多种:

35 1) $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 1.2 以下, 优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 1.0 以下, 更优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 0.05~0.7;

2) $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为 4.0~15.8, 优选 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为 4.5~12.0, 更优选 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为 5.0~9.5, 进一步优选 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为 6.0~9.0;

3) $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$: 6~21%, 优选 $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$: 7~18%, 更优选 $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$: 8~16%, 进一
40 步优选 $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$: 10~16%;

4) $\text{SiO}_2/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 2.5~12.0, 优选 $\text{SiO}_2/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 3.0~10.0, 更优

- 5 选 $\text{SiO}_2/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 3.5~7.5, 进一步优选 $\text{SiO}_2/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 4.0~6.5;
- 5) $(\text{ZrO}_2+\text{Li}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 为 2.0 以上, 优选 $(\text{ZrO}_2+\text{Li}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 为 2.5 以上, 更优选 $(\text{ZrO}_2+\text{Li}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 为 2.5~30.0;
- 6) $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为 4.0~16.0, 优选 $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为 4.5~12.0, 更优选 $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为 5.0~10.0, 进一步优选 $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为 6.0~9.5;
- 10 7) $(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2)/\text{SiO}_2$ 为 0.19~0.55, 优选 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2)/\text{SiO}_2$ 为 0.2~0.5, 更优选 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2)/\text{SiO}_2$ 为 0.25~0.45, 进一步优选 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2)/\text{SiO}_2$ 为 0.25~0.4;
- 8) $(\text{MgO}+\text{ZnO})/\text{ZrO}_2$ 为 0.65 以下, 优选 $(\text{MgO}+\text{ZnO})/\text{ZrO}_2$ 为 0.4 以下, 更优选 $(\text{MgO}+\text{ZnO})/\text{ZrO}_2$ 为 0.2 以下, 进一步优选 $(\text{MgO}+\text{ZnO})/\text{ZrO}_2$ 为 0.1 以下;
- 9) $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为 0.8~5.0, 优选 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为 1.0~4.0, 更优选
- 15 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为 1.2~3.0, 进一步优选 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为 1.5~2.5;
- 10) $\text{Li}_2\text{O}/(\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.5~3.0, 优选 $\text{Li}_2\text{O}/(\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.6~2.5, 更优选 $\text{Li}_2\text{O}/(\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.7~2.0, 进一步优选 $\text{Li}_2\text{O}/(\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.8~1.5。
- (86) 根据 (79)~(83) 任一所述的基质玻璃, 其组分按重量百分比表示, 其中:
- $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.3 以下, 优选为 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.25 以下, 更
- 20 优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.01~0.2, 进一步优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.01~0.1; 和/或 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为 0.4 以下, 优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为 0.3 以下, 更优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为 0.2 以下, 进一步优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为 0.1 以下。
- (87) 根据 (79)~(83) 任一所述的基质玻璃, 其组分按重量百分比表示, 含有:
- SiO_2 : 68~78%, 优选 SiO_2 : 70~76%; 和/或 Al_2O_3 : 0.1~4.5%, 优选 Al_2O_3 : 0.5~3%;
- 25 和/或 Li_2O : 12.5~22%, 优选 Li_2O : 12.5~20%; 和/或 ZrO_2 : 6~12%, 优选 ZrO_2 : 7~12%; 和/或 P_2O_5 : 1.5~7%, 优选 P_2O_5 : 2~6%; 和/或 K_2O : 0~4%, 优选 K_2O : 0~2%; 和/或 MgO : 0~2%, 优选 MgO : 0~1%; 和/或 ZnO : 0~2%, 优选 ZnO : 0~1%; 和/或 Na_2O : 0~4%, 优选 Na_2O : 0.5~3%; 和/或 SrO : 0~2%, 优选 SrO : 0~1%; 和/或 BaO : 0~2%, 优选 BaO : 0~1%; 和/或 CaO : 0~2%, 优选 CaO : 0~1%; 和/或 TiO_2 : 0~2%, 优选 TiO_2 :
- 30 0~1%; 和/或 B_2O_3 : 0~3%, 优选 B_2O_3 : 0~2%; 和/或 Y_2O_3 : 0~4%, 优选 Y_2O_3 : 0~2%; 和/或澄清剂: 0~1%, 优选澄清剂: 0~0.5%。
- (88) 根据 (80)~(83) 任一所述的基质玻璃, 其组分按重量百分比表示, 其中:
- $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.4 以下, 优选为 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.3 以下, 更
- 35 优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.25 以下; 和/或 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为 0.7 以下, 优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为 0.6 以下, 更优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为 0.5 以下, 进一步优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为 0.45 以下; 和/或 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 0.1~0.6; 和/或 $(\text{ZrO}_2+\text{Li}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 为 3.0~20.0。
- (89) 根据 (80)~(83) 任一所述的基质玻璃, 其组分按重量百分比表示, 含有:
- SiO_2 : 58~78%, 优选 SiO_2 : 60~76%; 和/或 Al_2O_3 : 0.1~8%, 优选 Al_2O_3 : 0.5~7%; 和/或 Li_2O : 9~22%, 优选 Li_2O : 10~20%; 和/或 ZrO_2 : 6~12%, 优选 ZrO_2 : 7~12%; 和/或 P_2O_5 : 1.5~7%, 优选 P_2O_5 : 2~6%; 和/或 K_2O : 0~4%, 优选 K_2O : 0~2%; 和/或 MgO :
- 40 0~2%, 优选 MgO : 0~1%; 和/或 ZnO : 0~2%, 优选 ZnO : 0~1%; 和/或 Na_2O : 0~4%,

- 5 优选 Na_2O : 0.5~3%; 和/或 SrO : 0~2%, 优选 SrO : 0~1%; 和/或 BaO : 0~2%, 优选 BaO : 0~1%; 和/或 CaO : 0~2%, 优选 CaO : 0~1%; 和/或 TiO_2 : 0~2%, 优选 TiO_2 : 0~1%; 和/或 B_2O_3 : 0~3%, 优选 B_2O_3 : 0~2%; 和/或 Y_2O_3 : 0~4%, 优选 Y_2O_3 : 0~2%; 和/或澄清剂: 0~1%, 优选澄清剂: 0~0.5%。

- (90) 根据 (79) ~ (83) 任一所述的基质玻璃, 其组分按重量百分比表示, 还
10 含有: $\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3+\text{Yb}_2\text{O}_3+\text{Nb}_2\text{O}_5+\text{WO}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Ta}_2\text{O}_5+\text{TeO}_2+\text{GeO}_2$: 0 ~ 5%, 优选 $\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3+\text{Yb}_2\text{O}_3+\text{Nb}_2\text{O}_5+\text{WO}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Ta}_2\text{O}_5+\text{TeO}_2+\text{GeO}_2$: 0 ~ 2%, 更优选 $\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3+\text{Yb}_2\text{O}_3+\text{Nb}_2\text{O}_5+\text{WO}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Ta}_2\text{O}_5+\text{TeO}_2+\text{GeO}_2$: 0~1%。

- (91) 根据 (79) ~ (83) 任一所述的基质玻璃, 其组分中不含有 SrO ; 和/或不含有 BaO ; 和/或不含有 MgO ; 和/或不含有 CaO ; 和/或不含有 ZnO ; 和/或不含有 PbO ;
15 和/或不含有 As_2O_3 ; 和/或不含有 TiO_2 ; 和/或不含有 B_2O_3 ; 和/或不含有 Y_2O_3 ; 和/或不含有 F 。

(92) 根据 (79) ~ (83) 任一所述的基质玻璃, 所述基质玻璃的热膨胀系数为 $65 \times 10^{-7}/\text{K} \sim 80 \times 10^{-7}/\text{K}$; 和/或折射率为 1.5400~1.5600。

(93) 根据 (79) ~ (83) 任一所述的基质玻璃, 所述基质玻璃含有着色剂。

- 20 (94) 根据 (93) 所述的基质玻璃, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: NiO : 0~4%; 和/或 Ni_2O_3 : 0~4%; 和/或 CoO : 0~2%; 和/或 Co_2O_3 : 0~2%; 和/或 Fe_2O_3 : 0~7%; 和/或 MnO_2 : 0~4%; 和/或 Er_2O_3 : 0~8%; 和/或 Nd_2O_3 : 0~8%; 和/或 Cu_2O : 0~4%; 和/或 Pr_2O_3 : 0~8%; 和/或 CeO_2 : 0~4%。

- (95) 根据 (93) 所述的基质玻璃, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: NiO :
25 0.1~4%; 和/或 Ni_2O_3 : 0.1~4%; 和/或 CoO : 0.05~2%; 和/或 Co_2O_3 : 0.05~2%; 和/或 Fe_2O_3 : 0.2~7%; 和/或 MnO_2 : 0.1~4%; 和/或 Er_2O_3 : 0.4~8%; 和/或 Nd_2O_3 : 0.4~8%; 和/或 Cu_2O : 0.5~4%; 和/或 Pr_2O_3 : 0.4~8%; 和/或 CeO_2 : 0.5~4%。

- (96) 根据 (93) 所述的基质玻璃, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: NiO :
0.1~3%; 和/或 Ni_2O_3 : 0.1~3%; 和/或 CoO : 0.05~1.8%; 和/或 Co_2O_3 : 0.05~1.8%;
30 和/或 Fe_2O_3 : 0.2~5%; 和/或 MnO_2 : 0.1~3%; 和/或 Er_2O_3 : 0.4~6%; 和/或 Nd_2O_3 : 0.4~6%; 和/或 Cu_2O : 0.5~3%; 和/或 Pr_2O_3 : 0.4~6%; 和/或 CeO_2 : 0.5~3%。

(97) 根据 (93) 所述的基质玻璃, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: NiO : 0.1~3%; 和/或 Ni_2O_3 : 0.1~3%。

- (98) 根据 (93) 所述的基质玻璃, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: CoO :
35 0.05~1.8%; 和/或 Co_2O_3 : 0.05~1.8%。

(99) 根据 (93) 所述的基质玻璃, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: Cu_2O : 0.5~3%; 和/或 CeO_2 : 0.5~3%。

- (100) 根据 (93) 所述的基质玻璃, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: Fe_2O_3 : 0.2~5%、 CoO : 0.05~0.3%; 或者 Fe_2O_3 : 0.2~5%、 Co_2O_3 : 0.05~0.3%; 或者 Fe_2O_3 : 0.2~5%、 CoO : 0.05~0.3%、 NiO : 0.1~1%; 或者 Fe_2O_3 : 0.2~5%、 Co_2O_3 : 0.05~0.3%、 NiO : 0.1~1%。
40

5 (101) 根据(93)所述的基质玻璃,所述着色剂按重量百分比表示,含有: Pr_2O_3 : 0.4~6%; 或者 Fe_2O_3 : 0.2~5%; 或者 MnO_2 : 0.1~3%; 或者 Er_2O_3 : 0.4~6%; 或者 Nd_2O_3 : 0.4~6%。

(102) 根据(93)所述的基质玻璃,所述着色剂按重量百分比表示,含有: Er_2O_3 : 0.4~6%、 Nd_2O_3 : 0.4~4%、 MnO_2 : 0.1~2%。

10 (103) 微晶玻璃成形体,含有(40)~(78)任一所述的微晶玻璃。

(104) 玻璃盖板,含有(1)~(39)任一所述的微晶玻璃制品,和/或(40)~(78)任一所述的微晶玻璃,和/或(79)~(102)任一所述的基质玻璃,和/或(103)所述的微晶玻璃成形体。

(105) 玻璃元器件,含有(1)~(39)任一所述的微晶玻璃制品,和/或(40)~
15 (78)任一所述的微晶玻璃,和/或(79)~(102)任一所述的基质玻璃,和/或(103)所述的微晶玻璃成形体。

(106) 显示设备,含有(1)~(39)任一所述的微晶玻璃制品,和/或(40)~(78)任一所述的微晶玻璃,和/或(79)~(102)任一所述的基质玻璃,和/或(103)所述的微晶玻璃成形体,和/或(104)所述的玻璃盖板,和/或(105)所述的玻璃元
20 件。

(107) 电子设备,含有(1)~(39)任一所述的微晶玻璃制品,和/或(40)~(78)任一所述的微晶玻璃,和/或(79)~(102)任一所述的基质玻璃,和/或(103)所述的微晶玻璃成形体,和/或(104)所述的玻璃盖板,和/或(105)所述的玻璃元
25 件。

(108) 微晶玻璃制品的制造方法,所述方法包括以下步骤:形成基质玻璃,将基
质玻璃通过晶化工艺形成微晶玻璃,再将所述微晶玻璃通过化学强化工艺形成微晶玻璃
制品,所述微晶玻璃制品的组分按重量百分比表示,含有: SiO_2 : 65~80%; Al_2O_3 : 小
于 5%; Li_2O : 10~25%; ZrO_2 : 5~15%; P_2O_5 : 1~8%。

(109) 微晶玻璃制品的制造方法,所述方法包括以下步骤:形成基质玻璃,将基
30 质玻璃通过晶化工艺形成微晶玻璃,再将所述微晶玻璃通过化学强化工艺形成微晶玻璃
制品,所述微晶玻璃制品的组分按重量百分比表示,含有: SiO_2 : 55~80%; Al_2O_3 : 小
于 10%; Li_2O : 8~25%; ZrO_2 : 5~15%; P_2O_5 : 1~8%。

(110) 微晶玻璃制品的制造方法,所述方法包括以下步骤:形成基质玻璃,将基
质玻璃通过晶化工艺形成微晶玻璃,再将所述微晶玻璃通过化学强化工艺形成微晶玻璃
35 制品,所述微晶玻璃制品含有硅酸锂晶相,其组分按重量百分比表示,其中 Al_2O_3 /
($\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$) 为 1.2 以下。

(111) 微晶玻璃制品的制造方法,所述方法包括以下步骤:形成基质玻璃,将基
质玻璃通过晶化工艺形成微晶玻璃,再将所述微晶玻璃通过化学强化工艺形成微晶玻璃
制品,所述微晶玻璃制品含有硅酸锂晶相,硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分
40 比。

(112) 根据(110)或(111)所述的微晶玻璃制品的制造方法,所述微晶玻璃制

5 品的组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 55~80%; 和/或 Al_2O_3 : 小于 10%; 和/或 Li_2O : 8~25%; 和/或 ZrO_2 : 5~15%; 和/或 P_2O_5 : 1~8%。

(113) 根据 (108) ~ (112) 任一所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述微晶玻璃制品的组分按重量百分比表示, 还含有: K_2O : 0~5%; 和/或 MgO : 0~3%; 和/或 ZnO : 0~3%; 和/或 Na_2O : 0~6%; 和/或 SrO : 0~5%; 和/或 BaO : 0~5%; 和/或 CaO : 0~5%;
10 和/或 TiO_2 : 0~5%; 和/或 B_2O_3 : 0~5%; 和/或 Y_2O_3 : 0~6%; 和/或澄清剂: 0~2%。

(114) 根据 (108) ~ (113) 任一所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述微晶玻璃制品的组分按重量百分比表示, 满足以下 10 种情形中的一种或多种:

1) $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 1.2 以下, 优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 1.0 以下, 更优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 0.05~0.7;

15 2) $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为 4.0~15.8, 优选 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为 4.5~12.0, 更优选 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为 5.0~9.5, 进一步优选 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为 6.0~9.0;

3) $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$: 6~21%, 优选 $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$: 7~18%, 更优选 $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$: 8~16%, 进一步优选 $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$: 10~16%;

4) $\text{SiO}_2/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 2.5~12.0, 优选 $\text{SiO}_2/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 3.0~10.0, 更优选 $\text{SiO}_2/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 3.5~7.5, 进一步优选 $\text{SiO}_2/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为 4.0~6.5;

20 5) $(\text{ZrO}_2+\text{Li}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 为 2.0 以上, 优选 $(\text{ZrO}_2+\text{Li}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 为 2.5 以上, 更优选 $(\text{ZrO}_2+\text{Li}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 为 2.5~30.0;

6) $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为 4.0~16.0, 优选 $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为 4.5~12.0, 更优选 $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为 5.0~10.0, 进一步优选 $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为 6.0~9.5;

25 7) $(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2)/\text{SiO}_2$ 为 0.19~0.55, 优选 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2)/\text{SiO}_2$ 为 0.2~0.5, 更优选 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2)/\text{SiO}_2$ 为 0.25~0.45, 进一步优选 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2)/\text{SiO}_2$ 为 0.25~0.4;

8) $(\text{MgO}+\text{ZnO})/\text{ZrO}_2$ 为 0.65 以下, 优选 $(\text{MgO}+\text{ZnO})/\text{ZrO}_2$ 为 0.4 以下, 更优选 $(\text{MgO}+\text{ZnO})/\text{ZrO}_2$ 为 0.2 以下, 进一步优选 $(\text{MgO}+\text{ZnO})/\text{ZrO}_2$ 为 0.1 以下;

9) $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为 0.8~5.0, 优选 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为 1.0~4.0, 更优选 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为 1.2~3.0, 进一步优选 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为 1.5~2.5;

30 10) $\text{Li}_2\text{O}/(\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.5~3.0, 优选 $\text{Li}_2\text{O}/(\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.6~2.5, 更优选 $\text{Li}_2\text{O}/(\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.7~2.0, 进一步优选 $\text{Li}_2\text{O}/(\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.8~1.5。

(115) 根据 (108) ~ (112) 任一所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述微晶玻璃制品的组分按重量百分比表示, 其中: $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.3 以下, 优选为 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.25 以下, 更优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.01~0.2, 进一步优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.01~0.1; 和/或 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为 0.4 以下, 优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为 0.3 以下, 更优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为 0.2 以下, 进一步优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为 0.1 以下。

(116) 根据 (108) ~ (112) 任一所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述微晶玻璃制品的组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 68~78%, 优选 SiO_2 : 70~76%; 和/或 Al_2O_3 : 0.1~4.5%, 优选 Al_2O_3 : 0.5~3%; 和/或 Li_2O : 12.5~22%, 优选 Li_2O : 12.5~

5 20%; 和/或 ZrO_2 : 6~12%, 优选 ZrO_2 : 7~12%; 和/或 P_2O_5 : 1.5~7%, 优选 P_2O_5 : 2~6%;
和/或 K_2O : 0~4%, 优选 K_2O : 0~2%; 和/或 MgO : 0~2%, 优选 MgO : 0~1%; 和/或 ZnO :
0~2%, 优选 ZnO : 0~1%; 和/或 Na_2O : 0~4%, 优选 Na_2O : 0.5~3%; 和/或 SrO : 0~2%,
优选 SrO : 0~1%; 和/或 BaO : 0~2%, 优选 BaO : 0~1%; 和/或 CaO : 0~2%, 优选 CaO :
0~1%; 和/或 TiO_2 : 0~2%, 优选 TiO_2 : 0~1%; 和/或 B_2O_3 : 0~3%, 优选 B_2O_3 : 0~2%;
10 和/或 Y_2O_3 : 0~4%, 优选 Y_2O_3 : 0~2%; 和/或澄清剂: 0~1%, 优选澄清剂: 0~0.5%。

(117) 根据(109)~(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法, 其中: $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.4 以下, 优选为 $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.3 以下, 更优选 $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.25 以下; 和/或 Al_2O_3/Li_2O 为 0.7 以下, 优选 Al_2O_3/Li_2O 为 0.6 以下, 更优选 Al_2O_3/Li_2O 为 0.5 以下, 进一步优选 Al_2O_3/Li_2O 为 0.45 以下; 和/或 $Al_2O_3/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 0.1~0.6; 和/或 $(ZrO_2+Li_2O)/Al_2O_3$ 为 3.0~20.0。
15

(118) 根据(109)~(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述微晶玻璃制品的组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 58~78%, 优选 SiO_2 : 60~76%; 和/或 Al_2O_3 : 0.1~8%, 优选 Al_2O_3 : 0.5~7%; 和/或 Li_2O : 9~22%, 优选 Li_2O : 10~20%; 和/或 ZrO_2 : 6~12%, 优选 ZrO_2 : 7~12%; 和/或 P_2O_5 : 1.5~7%, 优选 P_2O_5 : 2~6%; 和/或 K_2O : 0~4%, 优选 K_2O : 0~2%; 和/或 MgO : 0~2%, 优选 MgO : 0~1%; 和/或 ZnO : 0~2%, 优选 ZnO : 0~1%; 和/或 Na_2O : 0~4%, 优选 Na_2O : 0.5~3%; 和/或 SrO : 0~2%, 优选 SrO : 0~1%; 和/或 BaO : 0~2%, 优选 BaO : 0~1%; 和/或 CaO : 0~2%, 优选 CaO : 0~1%; 和/或 TiO_2 : 0~2%, 优选 TiO_2 : 0~1%; 和/或 B_2O_3 : 0~3%, 优选 B_2O_3 : 0~2%; 和/或 Y_2O_3 : 0~4%, 优选 Y_2O_3 : 0~2%; 和/或澄清剂: 0~1%, 优选澄清剂: 0~0.5%。
20

(119) 根据(108)~(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述微晶玻璃制品的组分按重量百分比表示, 还含有: $La_2O_3+Gd_2O_3+Yb_2O_3+Nb_2O_5+WO_3+Bi_2O_3+Ta_2O_5+TeO_2+GeO_2$: 0~5%, 优选 $La_2O_3+Gd_2O_3+Yb_2O_3+Nb_2O_5+WO_3+Bi_2O_3+Ta_2O_5+TeO_2+GeO_2$: 0~2%, 更优选 $La_2O_3+Gd_2O_3+Yb_2O_3+Nb_2O_5+WO_3+Bi_2O_3+Ta_2O_5+TeO_2+GeO_2$: 0~1%。
25

(120) 根据(108)~(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述微晶玻璃制品的组分中不含有 SrO ; 和/或不含有 BaO ; 和/或不含有 MgO ; 和/或不含有 CaO ; 和/或不含有 ZnO ; 和/或不含有 PbO ; 和/或不含有 As_2O_3 ; 和/或不含有 TiO_2 ; 和/或不含有 B_2O_3 ; 和/或不含有 Y_2O_3 ; 和/或不含有 F。
30

(121) 根据(108)~(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述微晶玻璃制品的晶相含有硅酸锂晶相; 和/或磷酸锂晶相; 和/或透锂长石晶相; 和/或石英固溶体晶相。
35

(122) 根据(108)~(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述微晶玻璃制品的晶相含有硅酸锂晶相, 硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比, 优选硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 10~70%, 更优选硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 10~65%, 进一步优选硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 15~60%, 更进一步优选硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为 20~55%。
40

5 (123) 根据(108)～(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法,所述微晶玻璃制品的晶相含有一硅酸锂晶相,一硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比,优选一硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为30～65%,更优选一硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为35～60%,进一步优选一硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为40～55%。

10 (124) 根据(108)～(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法,所述微晶玻璃制品的晶相含有二硅酸锂晶相,二硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比,优选二硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为10～60%,更优选二硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为15～50%,进一步优选二硅酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为20～45%。

15 (125) 根据(108)～(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法,所述微晶玻璃制品含有磷酸锂晶相,磷酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为10%以下,优选磷酸锂晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为5%以下。

(126) 根据(108)～(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法,所述微晶玻璃制品含有石英固溶体晶相,石英固溶体晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为10%以下,优选石英固溶体晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为5%以下。

20 (127) 根据(108)～(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法,所述微晶玻璃制品含有透锂长石晶相,透锂长石晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为18%以下,优选透锂长石晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为15%以下,更优选透锂长石晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为10%以下,进一步优选透锂长石晶相占微晶玻璃制品的重量百分比为5%以下。

25 (128) 根据(108)～(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法,所述微晶玻璃制品的四点弯曲强度为600MPa以上,优选为650MPa以上,更优选为700MPa以上;和/或离子交换层深度为20 μ m以上,优选为30 μ m以上,更优选40 μ m以上;和/或落球试验高度为1400mm以上,优选为1500mm以上,更优选为1600mm以上;和/或断裂韧性为1MPa $\cdot$ m^{1/2}以上,优选为1.3MPa $\cdot$ m^{1/2}以上,更优选为1.5MPa $\cdot$ m^{1/2}以上;和/或维氏硬度为730kgf/mm²以上,优选为750kgf/mm²以上,更优选为780kgf/mm²以上;和/或介电常数为5.4以上,优选为5.8以上,更优选为6.0以上;和/或介电损耗为0.05以下,优选为0.04以下,更优选为0.02以下,进一步优选为0.01以下;和/或结晶度为50%以上,优选为60%以上,更优选为70%以上;和/或晶粒尺寸为80nm以下,优选为50nm以下,更优选为30nm以下。

30 (129) 根据(108)～(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法,1mm以下厚度的微晶玻璃制品的雾度为0.2%以下,优选为0.18%以下,更优选为0.15%以下;和/或400～800nm波长的平均光透过率87%以上,优选为89%以上,更优选为90%以上;和/或550nm波长的光透过率为88%以上,优选为90%以上,更优选为91%以上;和/或400～800nm的平均光|B|值为0.9以下,优选为0.8以下,更优选为0.7以下。

(130) 根据(129)所述的微晶玻璃制品的制造方法,所述微晶玻璃制品的厚度为

5 0.2~1mm, 优选为0.3~0.9mm, 更优选为0.5~0.8mm, 进一步优选为0.55mm或0.6mm或0.68mm或0.7mm或0.75mm。

(131) 根据(108)~(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述微晶玻璃制品含有着色剂, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: NiO: 0~4%; 和/或 Ni₂O₃: 0~4%; 和/或 CoO: 0~2%; 和/或 Co₂O₃: 0~2%; 和/或 Fe₂O₃: 0~7%; 和/或 MnO₂: 0~4%; 和/或 Er₂O₃: 0~8%; 和/或 Nd₂O₃: 0~8%; 和/或 Cu₂O: 0~4%; 和/或 Pr₂O₃: 0~8%; 和/或 CeO₂: 0~4%。

(132) 根据(131)所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: NiO: 0.1~4%; 和/或 Ni₂O₃: 0.1~4%; 和/或 CoO: 0.05~2%; 和/或 Co₂O₃: 0.05~2%; 和/或 Fe₂O₃: 0.2~7%; 和/或 MnO₂: 0.1~4%; 和/或 Er₂O₃: 0.4~8%; 和/或 Nd₂O₃: 0.4~8%; 和/或 Cu₂O: 0.5~4%; 和/或 Pr₂O₃: 0.4~8%; 和/或 CeO₂: 0.5~4%。

(133) 根据(131)所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: NiO: 0.1~3%; 和/或 Ni₂O₃: 0.1~3%; 和/或 CoO: 0.05~1.8%; 和/或 Co₂O₃: 0.05~1.8%; 和/或 Fe₂O₃: 0.2~5%; 和/或 MnO₂: 0.1~3%; 和/或 Er₂O₃: 0.4~6%; 和/或 Nd₂O₃: 0.4~6%; 和/或 Cu₂O: 0.5~3%; 和/或 Pr₂O₃: 0.4~6%; 和/或 CeO₂: 0.5~3%。

(134) 根据(131)所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: NiO: 0.1~3%; 和/或 Ni₂O₃: 0.1~3%。

(135) 根据(131)所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: CoO: 0.05~1.8%; 和/或 Co₂O₃: 0.05~1.8%。

25 (136) 根据(131)所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: Cu₂O: 0.5~3%; 和/或 CeO₂: 0.5~3%。

(137) 根据(131)所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: Fe₂O₃: 0.2~5%、CoO: 0.05~0.3%; 或者 Fe₂O₃: 0.2~5%、Co₂O₃: 0.05~0.3%; 或者 Fe₂O₃: 0.2~5%、CoO: 0.05~0.3%、NiO: 0.1~1%; 或者 Fe₂O₃: 0.2~5%、Co₂O₃: 0.05~0.3%、NiO: 0.1~1%。

(138) 根据(131)所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: Pr₂O₃: 0.4~6%; 或者 Fe₂O₃: 0.2~5%; 或者 MnO₂: 0.1~3%; 或者 Er₂O₃: 0.4~6%; 或者 Nd₂O₃: 0.4~6%。

35 (139) 根据(131)所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述着色剂按重量百分比表示, 含有: Er₂O₃: 0.4~6%、Nd₂O₃: 0.4~4%、MnO₂: 0.1~2%。

(140) 根据(108)~(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述晶化工艺包括以下步骤: 升温至规定的晶化处理温度, 在达到晶化处理温度之后, 将其温度保持一定的时间, 然后再进行降温, 该晶化处理温度为580~750℃, 优选为600~700℃, 在晶化处理温度下的保持时间为0~8小时, 优选为1~6小时。

40 (141) 根据(108)~(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法, 所述晶化工艺包括以下步骤: 在第1温度下进行成核工艺的处理, 然后在比成核工艺温度高的第2

5 温度下进行晶体生长工艺的处理。

(142) 根据(141)所述的微晶玻璃制品的制造方法,所述晶化工艺包括以下步骤:第1温度为470~580℃,第2温度为600~750℃;在第1温度下的保持时间为0~24小时,优选为2~15小时;在第2温度下的保持时间为0~10小时,优选为0.5~6小时。

10 (143) 根据(108)~(112)任一所述的微晶玻璃制品的制造方法,所述化学强化工艺包括:微晶玻璃浸没于350℃~470℃的温度的熔融Na盐的盐浴中1~36小时,优选温度范围为380℃~460℃,优选时间范围为2~24小时;和/或微晶玻璃浸没于360℃~450℃的温度下熔融K盐的盐浴中1~36小时,优选时间范围为2~24小时;和/或微晶玻璃浸没于360℃~450℃的温度下熔融K盐和Na盐的混合盐浴中1~36小时,
15 优选时间范围为2~24小时。

(144) 微晶玻璃的制造方法,所述方法包括以下步骤:形成基质玻璃,将基质玻璃通过晶化工艺形成微晶玻璃,所述微晶玻璃的组分按重量百分比表示,含有:SiO₂:65~80%;Al₂O₃:小于5%;Li₂O:10~25%;ZrO₂:5~15%;P₂O₅:1~8%。

(145) 微晶玻璃的制造方法,所述方法包括以下步骤:形成基质玻璃,将基质玻
20 璃通过晶化工艺形成微晶玻璃,所述微晶玻璃的组分按重量百分比表示,含有:SiO₂:55~80%;Al₂O₃:小于10%;Li₂O:8~25%;ZrO₂:5~15%;P₂O₅:1~8%。

(146) 微晶玻璃的制造方法,所述方法包括以下步骤:形成基质玻璃,将基质玻璃通过晶化工艺形成微晶玻璃,所述微晶玻璃含有硅酸锂晶相,其组分按重量百分比表示,其中Al₂O₃/(P₂O₅+ZrO₂)为1.2以下。

25 (147) 微晶玻璃的制造方法,所述方法包括以下步骤:形成基质玻璃,将基质玻璃通过晶化工艺形成微晶玻璃,所述微晶玻璃含有硅酸锂晶相,硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比。

(148) 根据(146)或(147)所述的微晶玻璃的制造方法,所述微晶玻璃的组分按重量百分比表示,含有:SiO₂:55~80%;和/或Al₂O₃:小于10%;和/或Li₂O:8~25%;
30 和/或ZrO₂:5~15%;和/或P₂O₅:1~8%。

(149) 根据(144)~(148)任一所述的微晶玻璃的制造方法,所述微晶玻璃的组分按重量百分比表示,还含有:K₂O:0~5%;和/或MgO:0~3%;和/或ZnO:0~3%;和/或Na₂O:0~6%;和/或SrO:0~5%;和/或BaO:0~5%;和/或CaO:0~5%;和/或TiO₂:0~5%;和/或B₂O₃:0~5%;和/或Y₂O₃:0~6%;和/或澄清剂:0~2%。

35 (150) 根据(144)~(149)任一所述的微晶玻璃的制造方法,所述微晶玻璃的组分按重量百分比表示,满足以下10种情形中的一种或多种:

1) Al₂O₃/(P₂O₅+ZrO₂)为1.2以下,优选Al₂O₃/(P₂O₅+ZrO₂)为1.0以下,更优选Al₂O₃/(P₂O₅+ZrO₂)为0.05~0.7;

2) SiO₂/ZrO₂为4.0~15.8,优选SiO₂/ZrO₂为4.5~12.0,更优选SiO₂/ZrO₂为5.0~
40 9.5,进一步优选SiO₂/ZrO₂为6.0~9.0;

3) P₂O₅+ZrO₂:6~21%,优选P₂O₅+ZrO₂:7~18%,更优选P₂O₅+ZrO₂:8~16%,进一

- 5 步优选 $P_2O_5+ZrO_2$: 10~16%;
- 4) $SiO_2/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 2.5~12.0, 优选 $SiO_2/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 3.0~10.0, 更优选 $SiO_2/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 3.5~7.5, 进一步优选 $SiO_2/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 4.0~6.5;
- 5) $(ZrO_2+Li_2O)/Al_2O_3$ 为 2.0 以上, 优选 $(ZrO_2+Li_2O)/Al_2O_3$ 为 2.5 以上, 更优选 $(ZrO_2+Li_2O)/Al_2O_3$ 为 2.5~30.0;
- 10 6) $(SiO_2+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 4.0~16.0, 优选 $(SiO_2+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 4.5~12.0, 更优选 $(SiO_2+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 5.0~10.0, 进一步优选 $(SiO_2+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 6.0~9.5;
- 7) $(Li_2O+ZrO_2)/SiO_2$ 为 0.19~0.55, 优选 $(Li_2O+ZrO_2)/SiO_2$ 为 0.2~0.5, 更优选 $(Li_2O+ZrO_2)/SiO_2$ 为 0.25~0.45, 进一步优选 $(Li_2O+ZrO_2)/SiO_2$ 为 0.25~0.4;
- 8) $(MgO+ZnO)/ZrO_2$ 为 0.65 以下, 优选 $(MgO+ZnO)/ZrO_2$ 为 0.4 以下, 更优选 $(MgO+ZnO)/ZrO_2$ 为 0.2 以下, 进一步优选 $(MgO+ZnO)/ZrO_2$ 为 0.1 以下;
- 15 9) $(Li_2O+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 0.8~5.0, 优选 $(Li_2O+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 1.0~4.0, 更优选 $(Li_2O+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 1.2~3.0, 进一步优选 $(Li_2O+Al_2O_3)/ZrO_2$ 为 1.5~2.5;
- 10) $Li_2O/(ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.5~3.0, 优选 $Li_2O/(ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.6~2.5, 更优选 $Li_2O/(ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.7~2.0, 进一步优选 $Li_2O/(ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.8~1.5。
- 20 (151) 根据 (144) ~ (149) 任一所述的微晶玻璃的制造方法, 所述微晶玻璃的组分按重量百分比表示, 其中: $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.3 以下, 优选为 $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.25 以下, 更优选 $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.01~0.2, 进一步优选 $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.01~0.1; 和/或 Al_2O_3/Li_2O 为 0.4 以下, 优选 Al_2O_3/Li_2O 为 0.3 以下, 更优选 Al_2O_3/Li_2O 为 0.2 以下, 进一步优选 Al_2O_3/Li_2O 为 0.1 以下。
- 25 (152) 根据 (144) ~ (149) 任一所述的微晶玻璃的制造方法, 所述微晶玻璃的组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 68~78%, 优选 SiO_2 : 70~76%; 和/或 Al_2O_3 : 0.1~4.5%, 优选 Al_2O_3 : 0.5~3%; 和/或 Li_2O : 12.5~22%, 优选 Li_2O : 12.5~20%; 和/或 ZrO_2 : 6~12%, 优选 ZrO_2 : 7~12%; 和/或 P_2O_5 : 1.5~7%, 优选 P_2O_5 : 2~6%; 和/或 K_2O : 0~4%, 优选 K_2O : 0~2%; 和/或 MgO : 0~2%, 优选 MgO : 0~1%; 和/或 ZnO : 0~2%, 优选 ZnO : 0~1%; 和/或 Na_2O : 0~4%, 优选 Na_2O : 0.5~3%; 和/或 SrO : 0~2%, 优选 SrO : 0~1%; 和/或 BaO : 0~2%, 优选 BaO : 0~1%; 和/或 CaO : 0~2%, 优选 CaO : 0~1%; 和/或 TiO_2 : 0~2%, 优选 TiO_2 : 0~1%; 和/或 B_2O_3 : 0~3%, 优选 B_2O_3 : 0~2%; 和/或 Y_2O_3 : 0~4%, 优选 Y_2O_3 : 0~2%; 和/或澄清剂: 0~1%, 优选澄清剂: 0~0.5%。
- 30 (153) 根据 (145) ~ (149) 任一所述的微晶玻璃的制造方法, 其中: $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.4 以下, 优选为 $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.3 以下, 更优选 $Al_2O_3/(Li_2O+ZrO_2+P_2O_5)$ 为 0.25 以下; 和/或 Al_2O_3/Li_2O 为 0.7 以下, 优选 Al_2O_3/Li_2O 为 0.6 以下, 更优选 Al_2O_3/Li_2O 为 0.5 以下, 进一步优选 Al_2O_3/Li_2O 为 0.45 以下; 和/或 $Al_2O_3/(P_2O_5+ZrO_2)$ 为 0.1~0.6; 和/或 $(ZrO_2+Li_2O)/Al_2O_3$ 为 3.0~20.0。
- 40 (154) 根据 (145) ~ (149) 任一所述的微晶玻璃的制造方法, 所述微晶玻璃的组分按重量百分比表示, 含有: SiO_2 : 58~78%, 优选 SiO_2 : 60~76%; 和/或 Al_2O_3 : 0.1~8%, 优选 Al_2O_3 : 0.5~7%; 和/或 Li_2O : 9~22%, 优选 Li_2O : 10~20%; 和/或 ZrO_2 : 6~

- 5 12%，优选 ZrO_2 ：7~12%；和/或 P_2O_5 ：1.5~7%，优选 P_2O_5 ：2~6%；和/或 K_2O ：0~4%，
优选 K_2O ：0~2%；和/或 MgO ：0~2%，优选 MgO ：0~1%；和/或 ZnO ：0~2%，优选 ZnO ：
0~1%；和/或 Na_2O ：0~4%，优选 Na_2O ：0.5~3%；和/或 SrO ：0~2%，优选 SrO ：0~1%；
和/或 BaO ：0~2%，优选 BaO ：0~1%；和/或 CaO ：0~2%，优选 CaO ：0~1%；和/或 TiO_2 ：
0~2%，优选 TiO_2 ：0~1%；和/或 B_2O_3 ：0~3%，优选 B_2O_3 ：0~2%；和/或 Y_2O_3 ：0~4%，
10 优选 Y_2O_3 ：0~2%；和/或澄清剂：0~1%，优选澄清剂：0~0.5%。

(155) 根据(144)~(149)任一所述的微晶玻璃的制造方法，所述微晶玻璃的
组分按重量百分比表示，还含有： $La_2O_3+Gd_2O_3+Yb_2O_3+Nb_2O_5+WO_3+Bi_2O_3+Ta_2O_5+TeO_2+GeO_2$ ：0~
5%，优选 $La_2O_3+Gd_2O_3+Yb_2O_3+Nb_2O_5+WO_3+Bi_2O_3+Ta_2O_5+TeO_2+GeO_2$ ：0~2%，更优选
 $La_2O_3+Gd_2O_3+Yb_2O_3+Nb_2O_5+WO_3+Bi_2O_3+Ta_2O_5+TeO_2+GeO_2$ ：0~1%。

- 15 (156) 根据(144)~(149)任一所述的微晶玻璃的制造方法，所述微晶玻璃的
组分中不含有 SrO ；和/或不含有 BaO ；和/或不含有 MgO ；和/或不含有 CaO ；和/或不含有
 ZnO ；和/或不含有 PbO ；和/或不含有 As_2O_3 ；和/或不含有 TiO_2 ；和/或不含有 B_2O_3 ；
和/或不含有 Y_2O_3 ；和/或不含有 F 。

- (157) 根据(144)~(149)任一所述的微晶玻璃的制造方法，所述微晶玻璃的
20 晶相含有硅酸锂晶相；和/或磷酸锂晶相；和/或透锂长石晶相；和/或石英固溶体晶相。

- (158) 根据(144)~(149)任一所述的微晶玻璃的制造方法，所述微晶玻璃的
晶相含有硅酸锂晶相，硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比，优选硅酸锂晶相
占微晶玻璃的重量百分比为 10~70%，更优选硅酸锂晶相占微晶玻璃的重量百分比为
10~65%，进一步优选硅酸锂晶相占微晶玻璃的重量百分比为 15~60%，更进一步优选
25 硅酸锂晶相占微晶玻璃的重量百分比为 20~55%。

- (159) 根据(144)~(149)任一所述的微晶玻璃的制造方法，所述微晶玻璃的
晶相含有一硅酸锂晶相，一硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比，优选一硅酸
锂晶相占微晶玻璃的重量百分比为 30~65%，更优选一硅酸锂晶相占微晶玻璃的重量百
分比为 35~60%，进一步优选一硅酸锂晶相占微晶玻璃的重量百分比为 40~55%。

- 30 (160) 根据(144)~(149)任一所述的微晶玻璃的制造方法，所述微晶玻璃的
晶相含有二硅酸锂晶相，二硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比，优选二硅酸
锂晶相占微晶玻璃的重量百分比为 10~60%，更优选二硅酸锂晶相占微晶玻璃的重量百
分比为 15~50%，进一步优选二硅酸锂晶相占微晶玻璃的重量百分比为 20~45%。

- (161) 根据(144)~(149)任一所述的微晶玻璃的制造方法，所述微晶玻璃含
35 有磷酸锂晶相，磷酸锂晶相占微晶玻璃的重量百分比为 10%以下，优选磷酸锂晶相占微
晶玻璃的重量百分比为 5%以下。

(162) 根据(144)~(149)任一所述的微晶玻璃的制造方法，所述微晶玻璃含
有石英固溶体晶相，石英固溶体晶相占微晶玻璃的重量百分比为 10%以下，优选石英固
溶体晶相占微晶玻璃的重量百分比为 5%以下。

- 40 (163) 根据(144)~(149)任一所述的微晶玻璃的制造方法，所述微晶玻璃含
有透锂长石晶相，透锂长石晶相占微晶玻璃的重量百分比为 18%以下，优选透锂长石晶

- 5 相占微晶玻璃的重量百分比为 15%以下,更优选透锂长石晶相占微晶玻璃的重量百分比为 10%以下,进一步优选透锂长石晶相占微晶玻璃的重量百分比为 5%以下。

(164) 根据 (144) ~ (149) 任一所述的微晶玻璃的制造方法,所述微晶玻璃的结晶度为 50%以上,优选为 60%以上,更优选为 70%以上;和/或晶粒尺寸为 80nm 以下,优选为 50nm 以下,更优选为 30nm 以下;和/或热膨胀系数为 $70 \times 10^{-7}/K \sim 90 \times 10^{-7}/K$;
10 和/或折射率为 1.5520~1.5700;和/或本体落球高度为 1700mm 以上,优选为 1900mm 以上,更优选为 2000mm 以上;和/或维氏硬度为 630kgf/mm² 以上,优选为 650kgf/mm² 以上,更优选为 680kgf/mm² 以上;和/或介电常数为 5.4 以上,优选为 5.8 以上,更优选为 6.0 以上;和/或介电损耗为 0.05 以下,优选为 0.04 以下,更优选为 0.03 以下,进一步优选为 0.01 以下;和/或表面电阻为 $1 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上,优选为 $1 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$
15 以上,更优选为 $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上。

(165) 根据 (144) ~ (149) 任一所述的微晶玻璃的制造方法,1mm 以下厚度的微晶玻璃的雾度为 0.2%以下,优选为 0.18%以下,更优选为 0.15%以下;和/或 400~800nm 波长的平均光透过率 87%以上,优选为 89%以上,更优选为 90%以上;和/或 550nm 波长的光透过率为 88%以上,优选为 90%以上,更优选为 91%以上;和/或 400~800nm 的平均光 |B| 值为 0.9 以下,优选为 0.8 以下,更优选为 0.7 以下。
20

(166) 根据 (165) 所述的微晶玻璃的制造方法,所述微晶玻璃的厚度为 0.2~1mm,优选为 0.3~0.9mm,更优选为 0.5~0.8mm,进一步优选为 0.55mm 或 0.6mm 或 0.68mm 或 0.7mm 或 0.75mm。

(167) 根据 (144) ~ (149) 任一所述的微晶玻璃的制造方法,所述微晶玻璃含有着色剂,所述着色剂按重量百分比表示,含有: NiO: 0~4%;和/或 Ni₂O₃: 0~4%;
25 和/或 CoO: 0~2%;和/或 Co₂O₃: 0~2%;和/或 Fe₂O₃: 0~7%;和/或 MnO₂: 0~4%;和/或 Er₂O₃: 0~8%;和/或 Nd₂O₃: 0~8%;和/或 Cu₂O: 0~4%;和/或 Pr₂O₃: 0~8%;和/或 CeO₂: 0~4%。

(168) 根据 (167) 所述的微晶玻璃的制造方法,所述着色剂按重量百分比表示,含有: NiO: 0.1~4%;和/或 Ni₂O₃: 0.1~4%;和/或 CoO: 0.05~2%;和/或 Co₂O₃: 0.05~2%;
30 和/或 Fe₂O₃: 0.2~7%;和/或 MnO₂: 0.1~4%;和/或 Er₂O₃: 0.4~8%;和/或 Nd₂O₃: 0.4~8%;和/或 Cu₂O: 0.5~4%;和/或 Pr₂O₃: 0.4~8%;和/或 CeO₂: 0.5~4%。

(169) 根据 (167) 所述的微晶玻璃的制造方法,所述着色剂按重量百分比表示,含有: NiO: 0.1~3%;和/或 Ni₂O₃: 0.1~3%;和/或 CoO: 0.05~1.8%;和/或 Co₂O₃:
35 0.05~1.8%;和/或 Fe₂O₃: 0.2~5%;和/或 MnO₂: 0.1~3%;和/或 Er₂O₃: 0.4~6%;和/或 Nd₂O₃: 0.4~6%;和/或 Cu₂O: 0.5~3%;和/或 Pr₂O₃: 0.4~6%;和/或 CeO₂: 0.5~3%。

(170) 根据 (167) 所述的微晶玻璃的制造方法,所述着色剂按重量百分比表示,含有: NiO: 0.1~3%;和/或 Ni₂O₃: 0.1~3%。

(171) 根据 (167) 所述的微晶玻璃的制造方法,所述着色剂按重量百分比表示,含有: CoO: 0.05~1.8%;和/或 Co₂O₃: 0.05~1.8%。
40

(172) 根据 (167) 所述的微晶玻璃的制造方法,所述着色剂按重量百分比表示,

5 含有： Cu_2O ：0.5~3%；和/或 CeO_2 ：0.5~3%。

（173）根据（167）所述的微晶玻璃的制造方法，所述着色剂按重量百分比表示，含有： Fe_2O_3 ：0.2~5%、 CoO ：0.05~0.3%；或者 Fe_2O_3 ：0.2~5%、 Co_2O_3 ：0.05~0.3%；或者 Fe_2O_3 ：0.2~5%、 CoO ：0.05~0.3%、 NiO ：0.1~1%；或者 Fe_2O_3 ：0.2~5%、 Co_2O_3 ：0.05~0.3%、 NiO ：0.1~1%。

10 （174）根据（167）所述的微晶玻璃的制造方法，所述着色剂按重量百分比表示，含有： Pr_2O_3 ：0.4~6%；或者 Fe_2O_3 ：0.2~5%；或者 MnO_2 ：0.1~3%；或者 Er_2O_3 ：0.4~6%；或者 Nd_2O_3 ：0.4~6%。

（175）根据（167）所述的微晶玻璃的制造方法，所述着色剂按重量百分比表示，含有： Er_2O_3 ：0.4~6%、 Nd_2O_3 ：0.4~4%、 MnO_2 ：0.1~2%。

15 （176）根据（144）~（149）任一所述的微晶玻璃的制造方法，所述晶化工艺包括以下步骤：升温至规定的晶化处理温度，在达到晶化处理温度之后，将其温度保持一定的时间，然后再进行降温，该晶化处理温度为580~750℃，优选为600~700℃，在晶化处理温度下的保持时间为0~8小时，优选为1~6小时。

（177）根据（144）~（149）任一所述的微晶玻璃的制造方法，所述晶化工艺包括以下步骤：在第1温度下进行成核工艺的处理，然后在比成核工艺温度高的第2温度下进行晶体生长工艺的处理。

（178）根据（177）所述的微晶玻璃的制造方法，所述晶化工艺包括以下步骤：第1温度为470~580℃，第2温度为600~750℃；在第1温度下的保持时间为0~24小时，优选为2~15小时；在第2温度下的保持时间为0~10小时，优选为0.5~6小时。

25 （179）微晶玻璃成形体的制造方法，所述方法包括将微晶玻璃研磨或抛光制成微晶玻璃成形体，或在一定温度下将基质玻璃或微晶玻璃通过热弯工艺或压型工艺制成微晶玻璃成形体。

（180）微晶玻璃成形体的制造方法，所述方法包括以下步骤：将基质玻璃进行一次晶化热处理过程，包括升温、保温核化、升温、保温晶化、降温至室温，形成预晶化玻璃；将预晶化玻璃进行热加工成型得到微晶玻璃成形体。

30 （181）微晶玻璃成形体的制造方法，所述方法包括以下步骤：

1）升温预热：将基质玻璃或预晶化玻璃或微晶玻璃放置于模具内，模具在热弯机中依次通过各个升温站点，并在各站点停留一定时间保温，预热区温度为400~800℃，压力为0.01~0.05MPa，时间为40~200s；

35 2）加压成型：模具在经过预热后转运到成型站点，热弯机对模具施加一定压力，压力范围为0.1~0.8Mpa，成型站点温度范围为650~850℃，成型时间范围40~200s；

3）保压降温：将模具转运至降温站点逐站降温，降温温度范围750~500℃，压力为0.01~0.05Mpa，时间为40~200s。

40 本发明的有益效果是：通过合理的组分设计，本发明获得的微晶玻璃或微晶玻璃制品具有优异的机械性能。

具体实施方式

5 本发明的微晶玻璃和微晶玻璃制品是具有晶相（有时候也称为晶体）和玻璃相的材料，其有别于非晶质固体。微晶玻璃和微晶玻璃制品的晶相可以通过 X 射线衍射分析的 X 射线衍射图案中出现的峰值角度进行辨别和/或通过 TEMEDX 测得。

本发明的发明人经过反复试验和研究，对于构成微晶玻璃和微晶玻璃制品的特定成分，通过将其含量以及含量比例规定为特定值并使其析出特定的晶相，以较低的成本得
10 到了本发明的微晶玻璃或微晶玻璃制品。

下面，对本发明基质玻璃、微晶玻璃及微晶玻璃制品的各组分（成分）的范围进行说明。在本说明书中，如果没有特殊说明，各组分的含量全部采用相对于换算成氧化物的组成的基质玻璃、或微晶玻璃、或微晶玻璃制品物质总量的重量百分比（wt%）表示。在这里，所述“换算成氧化物的组成”是指，作为本发明的基质玻璃、微晶玻璃或微晶
15 玻璃制品组成成分的原料而使用的氧化物、复合盐及氢氧化物等熔融时分解并转变为氧化物的情况下，将该氧化物的物质总量作为100%。此外，在本说明书中仅称为玻璃时为结晶化（即晶化工艺处理）前的基质玻璃，基质玻璃结晶化（即晶化工艺处理）后称为微晶玻璃，微晶玻璃制品是指微晶玻璃经化学强化后得到的产品。

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，“以上”
20 和“以下”包括端点值，以及在该范围内的所有整数和分数，而限于所限定范围时所列的具体值。本文所使用的术语“约”指配方、参数和其他数量以及特征不是、且无需是精确的，如有需要，可以近似和/或更大或更低，这反映公差、换算因子和测量误差等。本文所称“和/或”是包含性的，例如“A；和/或B”，是指只有A，或者只有B，或者同时有A和B。

25 在本发明微晶玻璃或微晶玻璃制品的晶相含有硅酸锂晶相；和/或磷酸锂晶相；和/或透锂长石晶相；和/或石英固溶体晶相。

在本发明的一些实施方式中，微晶玻璃或微晶玻璃制品中的晶相含有硅酸锂晶相（一硅酸锂和二硅酸锂中的一种或两种）。在一些实施方式中，硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比。在一些实施方式中，硅酸锂晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的
30 重量百分比为10~70%，优选硅酸锂晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为10~65%，更优选硅酸锂晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为15~60%，进一步优选硅酸锂晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为20~55%。一些实施方式中，硅酸锂晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为10%、11%、12%、13%、14%、
35 15%、16%、17%、18%、19%、20%、21%、22%、23%、24%、25%、26%、27%、28%、29%、30%、31%、32%、33%、34%、35%、36%、37%、38%、39%、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%、70%。

在本发明的一些实施方式中，微晶玻璃或微晶玻璃制品中的晶相含有一硅酸锂晶相。在一些实施方式中，一硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比。在一些实施
40 方式中，一硅酸锂晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为30~65%，优选一硅酸锂晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为35~60%，更优选一硅酸锂晶相占

5 微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为40~55%。一些实施方式中，一硅酸锂晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为30%、31%、32%、33%、34%、35%、36%、37%、38%、39%、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%。

10 在本发明的一些实施方式中，微晶玻璃或微晶玻璃制品中的晶相含有二硅酸锂晶相。在一些实施方式中，二硅酸锂晶相具有比其他晶相更高的重量百分比。在一些实施方式中，二硅酸锂晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为10~60%，优选二硅酸锂晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为15~50%，更优选二硅酸锂晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为20~45%。在一些实施方式中，二硅酸锂晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为10%、11%、12%、13%、14%、15%、16%、17%、15 18%、19%、20%、21%、22%、23%、24%、25%、26%、27%、28%、29%、30%、31%、32%、33%、34%、35%、36%、37%、38%、39%、40%、41%、42%、43%、44%、45%、46%、47%、48%、49%、50%、51%、52%、53%、54%、55%、56%、57%、58%、59%、60%。

在本发明的一些实施方式中，微晶玻璃或微晶玻璃制品中的晶相含有磷酸锂晶相，磷酸锂晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为10%以下，优选磷酸锂晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为5%以下。在一些实施方式中，磷酸锂晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为0%、大于0%、0.1%、0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%、20 3%、3.5%、4%、4.5%、5%、5.5%、6%、6.5%、7%、7.5%、8%、8.5%、9%、9.5%、10%。

在本发明的一些实施方式中，微晶玻璃或微晶玻璃制品中的晶相含有石英固溶体晶相，石英固溶体晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为10%以下，优选石英固溶体晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为5%以下。在一些实施方式中，石英固溶体晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为0%、大于0%、0.1%、0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%、3%、3.5%、4%、4.5%、5%、5.5%、6%、6.5%、7%、7.5%、8%、8.5%、25 9%、9.5%、10%。

在本发明的一些实施方式中，微晶玻璃或微晶玻璃制品中的晶相含有透锂长石晶相，透锂长石晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为18%以下，优选透锂长石晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为15%以下，更优选透锂长石晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为10%以下，进一步优选透锂长石晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为5%以下。在一些实施方式中，透锂长石晶相占微晶玻璃或微晶玻璃制品的重量百分比为0%、大于0%、0.1%、0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%、3%、3.5%、30 4%、4.5%、5%、5.5%、6%、6.5%、7%、7.5%、8%、8.5%、9%、9.5%、10%、10.5%、11%、11.5%、12%、12.5%、13%、13.5%、14%、14.5%、15%、15.5%、16%、16.5%、17%、17.5%、18%。

SiO₂是组成本发明玻璃的网络结构的必要组分，是热处理后形成晶体的主要组分之一，如果SiO₂的含量在55%以下，玻璃晶化处理后形成的微晶玻璃和微晶玻璃制品的透40 明度不高，且在微晶玻璃中形成晶体会变少，影响微晶玻璃的本体落球高度和微晶玻璃制品耐摔性。因此，SiO₂含量的下限为55%，优选下限为58%，更优选下限60%。在一些

5 实施方式中, 优选 SiO_2 含量的下限为65%, 更优选下限为68%, 进一步优选下限70%。另一方面, 若 SiO_2 的含量在80%以上, 玻璃成型困难, 不易形成玻璃, 微晶玻璃中形成晶体的种类数量发生改变, 提高微晶玻璃的弛垂温度(T_s), 影响玻璃和微晶玻璃的热弯, 并且对微晶玻璃制品表面应力和离子交换层深度有较大影响。因此, SiO_2 含量的上限为80%, 优选上限为78%, 更优选上限为76%。在一些实施方式中, 可包含约55%、55.5%、
10 56%、56.5%、57%、57.5%、58%、58.5%、59%、59.5%、60%、60.5%、61%、61.5%、62%、62.5%、63%、63.5%、64%、64.5%、65%、65.5%、66%、66.5%、67%、67.5%、68%、68.5%、69%、69.5%、70%、70.5%、71%、71.5%、72%、72.5%、73%、73.5%、74%、74.5%、75%、75.5%、76%、76.5%、77%、77.5%、78%、78.5%、79%、79.5%、80%的 SiO_2 。

Al_2O_3 可形成玻璃网络结构, 有利于玻璃的成型, 且有利于微晶玻璃的化学强化, 提
15 高微晶玻璃制品的耐摔性及抗弯强度; 若 Al_2O_3 的含量过多, 则容易在微晶玻璃和微晶玻璃制品中产生其它的晶体, 进而导致微晶玻璃和微晶玻璃制品的雾度升高。因此, 本发明中 Al_2O_3 的含量为小于10%, 优选为0.1~8%, 更优选为0.5~7%。在一些实施方式中, 优选 Al_2O_3 的含量为小于5%, 更优选为0.1~4.5%, 进一步优选为0.5~3%。在一些实施方式中, 可包含约0%、大于0%、0.05%、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%、
20 0.8%、0.9%、1%、1.1%、1.2%、1.3%、1.4%、1.5%、1.6%、1.7%、1.8%、1.9%、2%、2.1%、2.2%、2.3%、2.4%、2.5%、2.6%、2.7%、2.8%、2.9%、3%、3.1%、3.2%、3.3%、3.4%、3.5%、3.6%、3.7%、3.8%、3.9%、4%、4.1%、4.2%、4.3%、4.4%、4.5%、4.6%、4.7%、4.8%、4.9%、5%、5.1%、5.2%、5.3%、5.4%、5.5%、5.6%、5.7%、5.8%、5.9%、6%、6.1%、6.2%、6.3%、6.4%、6.5%、6.6%、6.7%、6.8%、6.9%、7%、7.1%、7.2%、7.3%、7.4%、
25 7.5%、7.6%、7.7%、7.8%、7.9%、8%、8.1%、8.2%、8.3%、8.4%、8.5%、8.6%、8.7%、8.8%、8.9%、9%、9.1%、9.2%、9.3%、9.4%、9.5%、9.6%、9.7%、9.8%、10%的 Al_2O_3 。

Li_2O 可促进玻璃的熔化, 降低玻璃的熔炼温度, 可降低 P_2O_5 的分相, 促进 P_2O_5 的溶解, 是微晶玻璃和微晶玻璃制品形成晶体的主要组分, 也是化学强化中主要与钠、钾离子进行置换的组分, 可增大微晶玻璃制品的表面应力, 提升微晶玻璃制品的落球试验高度,
30 并且可增加微晶玻璃和微晶玻璃制品的介电常数; 但如果 Li_2O 的含量不足8%, 则形成硅酸锂晶相的情况不佳, 并影响微晶玻璃制品的离子交换层深度, 影响微晶玻璃和微晶玻璃制品的落球试验高度和碎片。因此, Li_2O 含量的下限为8%, 优选下限为9%, 更优选下限为10%。在一些实施方式中, 进一步优选 Li_2O 含量的下限为12.5%。另一方面, 如果过多地含有 Li_2O , 玻璃在晶化处理时容易分相, 影响微晶玻璃和微晶玻璃制品的光透过率。
35 因此, Li_2O 含量的上限为25%, 优选上限为22%, 更优选上限为20%。在一些实施方式中, 可包含约8%、8.5%、9%、9.5%、10%、10.5%、11%、11.5%、12%、12.5%、13%、13.5%、14%、14.5%、15%、15.5%、16%、16.5%、17%、17.5%、18%、18.5%、19%、19.5%、20%、20.5%、21%、21.5%、22%、22.5%、23%、23.5%、24%、24.5%、25%的 Li_2O 。

通过发明人大量实验研究发现, 在本发明的一些实施方式中, 通过控制 Al_2O_3 的含量
40 与 Li_2O 的含量之间的比例 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 在0.7以下, 可以提高微晶玻璃和微晶玻璃制品的结晶度, 降低微晶玻璃和微晶玻璃制品的晶粒尺寸。因此, 优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为0.7以下, 更

5 优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为0.6以下。进一步的,在一些实施方式中,通过控制 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 在0.5以下,还可优化微晶玻璃和微晶玻璃制品的光透过率,降低微晶玻璃和微晶玻璃制品的雾度。因此,进一步优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为0.5以下,更进一步优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为0.45以下。在一些实施方式中,优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为0.4以下,更优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为0.3以下,进一步优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为0.2以下,更进一步优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 为0.1以下。在一些实施方式中, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Li}_2\text{O}$ 的值可为0、大于0、0.01、0.02、0.03、0.04、0.05、0.06、0.07、0.08、0.09、0.1、
10 0.11、0.12、0.13、0.14、0.15、0.16、0.17、0.18、0.19、0.2、0.21、0.22、0.23、0.24、0.25、0.26、0.27、0.28、0.29、0.3、0.31、0.32、0.33、0.34、0.35、0.36、0.37、0.38、0.39、0.4、0.41、0.42、0.43、0.44、0.45、0.46、0.47、0.48、0.49、0.5、0.55、0.6、0.65、0.7。

15 Na_2O 可以降低玻璃的熔炼温度,在微晶玻璃化学强化时可以有效降低Li与Na的交换速度,使化学强化工艺较易控制,优选 Na_2O 含量的下限为0.5%。另一方面,若过多地含有 Na_2O ,则影响微晶玻璃中晶体的形成,降低微晶玻璃和微晶玻璃制品的结晶度,导致微晶玻璃和微晶玻璃制品的强度降低。因此, Na_2O 的含量为0~6%,优选为0~4%,更优选为0.5~3%。在一些实施方式中,可包含约0%、大于0%、0.05%、0.1%、0.5%、1%、1.5%、
20 2%、2.5%、3%、3.5%、4%、4.5%、5%、5.5%、6%的 Na_2O 。

K_2O 可以降低玻璃的粘度,晶化工艺处理时可促进晶体的形成,但如果过多地含有 K_2O ,则容易使微晶玻璃和微晶玻璃制品的晶体粗化,降低微晶玻璃和微晶玻璃制品的光透过率和落球试验高度。因此, K_2O 含量的上限为5%,优选上限为4%,更优选上限为2%。在一些实施方式中,可包含约0%、大于0%、0.1%、0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%、3%、
25 3.5%、4%、4.5%、5%的 K_2O 。

P_2O_5 在本发明中可促进晶体的形成,提高微晶玻璃和微晶玻璃制品的结晶度,增加微晶玻璃和微晶玻璃制品的硬度和强度,降低微晶玻璃和微晶玻璃制品的雾度,本发明中 P_2O_5 含量的下限为1%,优选下限为1.5%,更优选下限为2%。另一方面,如果过多地含有 P_2O_5 ,玻璃成型时形成不均匀的晶体分布,热处理后微晶玻璃的雾度和强度难以控制,并降低玻璃的化学稳定性。因此, P_2O_5 含量的上限为8%,优选上限为7%,更优选上限为6%。在一些实施方式中,可包含约1%、1.5%、2%、2.5%、3%、3.5%、4%、4.5%、5%、5.5%、
30 6%、6.5%、7%、7.5%、8%的 P_2O_5 。

本发明中, ZrO_2 与 P_2O_5 相互配合可细化晶粒,降低微晶玻璃和微晶玻璃制品的雾度, ZrO_2 可增大玻璃的网络结构,有利于微晶玻璃的化学强化,增加微晶玻璃制品的离子交换层深度,提高微晶玻璃制品的落球试验高度。因此, ZrO_2 含量的下限为5%,优选下限为6%,更优选下限为7%。另一方面,如果过多地含有 ZrO_2 ,则玻璃熔化困难。因此, ZrO_2 含量的上限为15%,优选上限为12%。在一些实施方式中,可包含约5%、5.5%、6%、6.5%、
35 7%、7.5%、8%、8.5%、9%、9.5%、10%、10.5%、11%、11.5%、12%、12.5%、13%、13.5%、14%、14.5%、15%的 ZrO_2 。

40 在一些实施方式中,通过控制 SiO_2 与 ZrO_2 的含量之间的比例 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 在4.0~15.8范围内,可进一步优化微晶玻璃热处理(如热弯)后的雾度和|B|值,使热处理(如

5 热弯)后的微晶玻璃和微晶玻璃制品的雾度和|B|值更优异。因此,优选 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 范围为4.0~15.8,更优选 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为4.5~12.0。进一步的,在一些实施方式中,通过使 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 在5.0~9.5范围内,还可以增加微晶玻璃制品的离子交换层深度,提高微晶玻璃制品的耐摔性,因此进一步优选 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为5.0~9.5,更进一步优选 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 为6.0~9.0。在一些实施方式中, $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 的值可为4.0、4.5、5.0、5.5、6.0、6.5、7.0、7.5、
10 8.0、8.5、9.0、9.5、10.0、10.5、11.0、11.5、12.0、12.5、13.0、13.5、14.0、14.5、15.0、15.5、15.8。

在一些实施方式中, P_2O_5 和 ZrO_2 的合计含量 $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$ 在6~21%范围内,可降低微晶玻璃(包括热弯后的微晶玻璃)和微晶玻璃制品的雾度。因此,优选 $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$ 为6~21%,更优选 $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$ 为7~18%。进一步的,在一些实施方式中,通过使 $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$ 在8~16%范
15 围内,还可以增加微晶玻璃制品的断裂韧性。因此,进一步优选 $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$ 为8~16%,更进一步优选 $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$ 为10~16%。在一些实施方式中, $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$ 的值可为6%、6.5%、7%、7.5%、8%、8.5%、9%、9.5%、10%、10.5%、11%、11.5%、12%、12.5%、13%、13.5%、14%、14.5%、15%、15.5%、16%、16.5%、17%、17.5%、18%、18.5%、19%、19.5%、20%、20.5%、21%。

20 在一些实施方式中,通过控制 Al_2O_3 与 P_2O_5 和 ZrO_2 的合计含量 $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$ 之间的比例 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 在1.2以下,可以提高微晶玻璃中二硅酸锂的晶相含量,提高微晶玻璃的落球高度和微晶玻璃制品的落球试验高度。因此,优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为1.2以下,更优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为1.0以下,进一步优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为0.05~0.7。进一步的,在一些实施方式中,通过使 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 在0.1~0.6范围内,还可降低微晶玻璃和微晶玻璃制品的雾度,因此更进一步优选 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为0.1~
25 0.6。在一些实施方式中, $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 的值可为0、0.05、0.1、0.15、0.2、0.25、0.3、0.35、0.4、0.45、0.5、0.55、0.6、0.65、0.7、0.75、0.8、0.85、0.9、0.95、1.0、1.05、1.1、1.15、1.2。

在一些实施方式中,通过控制 SiO_2 的含量与 P_2O_5 和 ZrO_2 的合计含量 $\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2$ 的比例
30 $\text{SiO}_2/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 在2.5~12.0范围内,可促进微晶玻璃中硅酸锂晶相的形成并增加其含量,抑制其它晶相形成,可有效保证微晶玻璃的热处理的可热弯性,提高微晶玻璃的热弯性能。因此,优选 $\text{SiO}_2/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 的范围为2.5~12.0,更优选 $\text{SiO}_2/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为3.0~10.0。进一步的,在一些实施方式中,通过使 $\text{SiO}_2/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 在3.5~7.5范围内,还可提高微晶玻璃和微晶玻璃制品的结晶度,增大微晶玻璃制品断裂后的碎片。
35 因此,进一步优选 $\text{SiO}_2/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为3.5~7.5,更进一步优选 $\text{SiO}_2/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 为4.0~6.5。在一些实施方式中, $\text{SiO}_2/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$ 的值可为2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0、5.5、6.0、6.5、7.0、7.5、8.0、8.5、9.0、9.5、10.0、10.5、11.0、11.5、12.0。

在一些实施方式中,使 Li_2O 和 ZrO_2 的合计含量 $\text{ZrO}_2+\text{Li}_2\text{O}$ 与 Al_2O_3 的含量之间的比例
($\text{ZrO}_2+\text{Li}_2\text{O}$)/ Al_2O_3 在2.0以上,可增加微晶玻璃和微晶玻璃制品的介电常数,有利于后
40 续应用。因此,优选($\text{ZrO}_2+\text{Li}_2\text{O}$)/ Al_2O_3 范围为2.0以上,更优选($\text{ZrO}_2+\text{Li}_2\text{O}$)/ Al_2O_3 为2.5以上,进一步优选($\text{ZrO}_2+\text{Li}_2\text{O}$)/ Al_2O_3 为2.5~30.0。进一步的,在一些实施方式中,

5 通过使 $(\text{ZrO}_2 + \text{Li}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$ 在 3.0~20.0 范围内, 还可降低微晶玻璃和微晶玻璃制品的介电损耗。因此, 更进一步优选 $(\text{ZrO}_2 + \text{Li}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$ 为 3.0~20.0。在一些实施方式中, $(\text{ZrO}_2 + \text{Li}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$ 的值可为 2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0、5.5、6.0、6.5、7.0、7.5、8.0、8.5、9.0、9.5、10.0、10.5、11.0、11.5、12.0、12.5、13.0、13.5、14.0、14.5、15.0、15.5、16.0、16.5、17.0、17.5、18.0、18.5、19.0、19.5、20.0、
10 20.5、21.0、21.5、22.0、22.5、23.0、23.5、24.0、24.5、25.0、25.5、26.0、26.5、27.0、27.5、28.0、28.5、29.0、29.5、30.0、31.0、32.0、33.0、34.0、35.0、36.0、37.0、38.0、39.0、40.0、41.0、42.0、43.0、44.0、45.0、46.0、47.0、48.0、49.0、50.0、51.0、52.0、53.0、54.0、55.0、56.0、57.0、58.0、59.0、60.0。

在本发明的一些实施方式中, 使 SiO_2 、 Al_2O_3 的合计含量 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 与 ZrO_2 的含量之间的比例 $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{ZrO}_2$ 在 4.0~16.0 范围内, 可使微晶玻璃和微晶玻璃制品具有合适的表面电阻, 有利于后续的使用。因此, 优选 $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{ZrO}_2$ 为 4.0~16.0, 更优选 $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{ZrO}_2$ 为 4.5~12.0。进一步的, 在一些实施方式中, 通过控制 $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{ZrO}_2$ 在 5.0~10.0 范围内, 可降低微晶玻璃进一步热处理(如热弯)后晶相含量的变化, 有利于控制热处理(如热弯)后的微晶玻璃的尺寸, 利于后续的加工。因此, 进一步优
15 选 $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{ZrO}_2$ 为 5.0~10.0, 更进一步优选 $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{ZrO}_2$ 为 6.0~9.5。在一些实施方式中, $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{ZrO}_2$ 的值可为 4.0、4.5、5.0、5.5、6.0、6.5、7.0、7.5、8.0、8.5、9.0、9.5、10.0、10.5、11.0、11.5、12.0、12.5、13.0、13.5、14.0、14.5、15.0、15.5、16.0。

发明人大量实验研究发现, Al_2O_3 、 Li_2O 、 ZrO_2 和 P_2O_5 存在复杂的协同作用。在本发明
25 的一些实施方式中, 通过控制 $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$ 在 0.4 以下, 可以提高微晶玻璃和微晶玻璃制品的落球试验高度, 因此优选 $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.4 以下, 更优选 $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.3 以下, 进一步优选 $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.25 以下。在一些实施方式中, 通过控制 $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$ 在 0.01~0.2 范围内, 还可优化微晶玻璃和微晶玻璃制品的雾度和光透过率。因此, 更进一步优选 $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.01~
30 0.2, 再进一步优选 $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$ 为 0.01~0.1。在一些实施方式中, $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$ 的值可为 0、大于 0、0.01、0.02、0.03、0.04、0.05、0.06、0.07、0.08、0.09、0.1、0.11、0.12、0.13、0.14、0.15、0.16、0.17、0.18、0.19、0.2、0.21、0.22、0.23、0.24、0.25、0.26、0.27、0.28、0.29、0.3、0.31、0.32、0.33、0.34、0.35、0.36、0.37、0.38、0.39、0.4。

在本发明的一些实施方式中, 通过使 Li_2O 、 ZrO_2 的合计含量 $\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2$ 与 SiO_2 的含量之间的比例 $(\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2) / \text{SiO}_2$ 在 0.19~0.55 范围内, 可以提高微晶玻璃和微晶玻璃制品的硬度和落球试验高度。因此, 优选 $(\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2) / \text{SiO}_2$ 为 0.19~0.55, 更优选 $(\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2) / \text{SiO}_2$ 为 0.2~0.5。进一步的, 在一些实施方式中, 通过使 $(\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2) / \text{SiO}_2$ 在 0.25~0.45 范围内, 还可降低微晶玻璃和微晶玻璃制品的 |B| 值。因此, 更优选
40 $(\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2) / \text{SiO}_2$ 为 0.25~0.45, 进一步优选 $(\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2) / \text{SiO}_2$ 为 0.25~0.4。在一些实施方式中, $(\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2) / \text{SiO}_2$ 的值可为 0.19、0.2、0.21、0.22、0.23、0.24、0.25、

5 0.26、0.27、0.28、0.29、0.3、0.31、0.32、0.33、0.34、0.35、0.36、0.37、0.38、
0.39、0.4、0.41、0.42、0.43、0.44、0.45、0.46、0.47、0.48、0.49、0.5、0.51、
0.52、0.53、0.54、0.55。

在本发明的一些实施方式中，通过控制 Li_2O 、 Al_2O_3 的合计含量 $\text{Li}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3$ 与 ZrO_2 含量之间的比例 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 在0.8~5.0范围内，可提高微晶玻璃和微晶玻璃制品的弯曲强度。因此，优选 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为0.8~5.0，更优选 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为1.0~4.0。进一步的，通过控制 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为1.2~3.0，还可进一步优化微晶玻璃的化学强化性能，提高微晶玻璃制品的离子交换层深度和表面应力。因此，进一步优选 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为1.2~3.0，更进一步优选 $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 为1.5~2.5。在一些实施方式中， $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$ 的值可为0.8、0.9、1.0、1.1、1.2、1.3、1.4、
15 1.5、1.6、1.7、1.8、1.9、2.0、2.1、2.2、2.3、2.4、2.5、2.6、2.7、2.8、2.9、
3.0、3.1、3.2、3.3、3.4、3.5、3.6、3.7、3.8、3.9、4.0、4.1、4.2、4.3、4.4、
4.5、4.6、4.7、4.8、4.9、5.0。

在本发明的一些实施方式中，通过控制 Li_2O 的含量与 ZrO_2 和 P_2O_5 的合计含量 $\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5$ 的比例 $\text{Li}_2\text{O}/(\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 在0.5~3.0范围内，可降低微晶玻璃和微晶玻璃制品的|B|值和晶粒尺寸。因此，优选 $\text{Li}_2\text{O}/(\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为0.5~3.0，更优选 $\text{Li}_2\text{O}/(\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为0.6~2.5。进一步的，通过使 $\text{Li}_2\text{O}/(\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 在0.7~2.0范围内，还可优化微晶玻璃的化学强化性能，提高微晶玻璃制品的离子交换层深度和断裂韧性。因此，进一步优选 $\text{Li}_2\text{O}/(\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为0.7~2.0，更进一步优选 $\text{Li}_2\text{O}/(\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 为0.8~1.5。在一些实施方式中， $\text{Li}_2\text{O}/(\text{ZrO}_2+\text{P}_2\text{O}_5)$ 的值可为0.5、0.55、0.6、0.65、0.7、0.75、0.8、0.85、0.9、
25 0.95、1.0、1.05、1.1、1.15、1.2、1.25、1.3、1.35、1.4、1.45、1.5、1.55、1.6、
1.65、1.7、1.75、1.8、1.85、1.9、1.95、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、2.8、2.85、2.9、2.95、3.0。

ZnO 可降低玻璃的熔炼难度，含量过多时，可促进玻璃低温分相，降低微晶玻璃和微晶玻璃制品的结晶度，本发明中， ZnO 含量的上限为3%，优选上限为2%，更优选上限为1%，进一步优选不含有 ZnO 。在一些实施方式中，可包含约0%、大于0%、0.01%、0.05%、
30 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1%、1.1%、1.2%、1.3%、
1.4%、1.5%、1.6%、1.7%、1.8%、1.9%、2%、2.1%、2.2%、2.3%、2.4%、2.5%、2.6%、
2.7%、2.8%、2.9%、3%的 ZnO 。

MgO 可降低玻璃的熔炼难度，有利于增加微晶玻璃和微晶玻璃制品的落球试验高度，但 MgO 容易促进玻璃低温晶化，降低微晶玻璃和微晶玻璃制品的结晶度和光透过率。因此， MgO 的含量上限为3%，优选上限为2%，更优选上限为1%，进一步优选不含有 MgO 。在一些实施方式中，可包含约0%、大于0%、0.01%、0.05%、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、
35 0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1%、1.1%、1.2%、1.3%、1.4%、1.5%、1.6%、1.7%、1.8%、
1.9%、2%、2.1%、2.2%、2.3%、2.4%、2.5%、2.6%、2.7%、2.8%、2.9%、3%的 MgO 。

在本发明的一些实施方式中，通过控制 MgO 和 ZnO 的合计含量 $\text{MgO}+\text{ZnO}$ 与 ZrO_2 含量的比例 $(\text{MgO}+\text{ZnO})/\text{ZrO}_2$ 在0.65以下，可以提高微晶玻璃和微晶玻璃制品的硬度、弯曲强

5 度和断裂韧性。因此，优选 $(\text{MgO}+\text{ZnO})/\text{ZrO}_2$ 为 0.65 以下，更优选 $(\text{MgO}+\text{ZnO})/\text{ZrO}_2$ 为 0.4 以下，进一步优选 $(\text{MgO}+\text{ZnO})/\text{ZrO}_2$ 为 0.2 以下，更进一步优选 $(\text{MgO}+\text{ZnO})/\text{ZrO}_2$ 为 0.1 以下。在一些实施方式中， $(\text{MgO}+\text{ZnO})/\text{ZrO}_2$ 的值可为 0、大于 0、0.01、0.02、0.03、0.04、0.05、0.06、0.07、0.08、0.09、0.1、0.11、0.12、0.13、0.14、0.15、0.16、0.17、0.18、0.19、0.2、0.23、0.25、0.27、0.3、0.33、0.35、0.37、0.4、0.43、
10 0.45、0.47、0.5、0.53、0.55、0.57、0.6、0.63、0.65。

SrO 是提高玻璃的低温熔化性和抑制玻璃成型时析晶的任选组分，但含量过多时不利于玻璃成型。因此，本发明中 SrO 含量的范围为 0~5%，优选为 0~2%，更优选 0~1%，进一步优选不含有 SrO 。在一些实施方式中，可包含约 0%、大于 0%、0.01%、0.05%、0.1%、0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%、3%、3.5%、4%、4.5%、5% 的 SrO 。

15 BaO 是有助于提高玻璃的成玻性能的任选组分，含量过多时不利玻璃成型。因此，本发明中 BaO 含量的范围为 0~5%，优选为 0~2%，更优选 0~1%，进一步优选不含有 BaO 。在一些实施方式中，可包含约 0%、大于 0%、0.01%、0.05%、0.1%、0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%、3%、3.5%、4%、4.5%、5% 的 BaO 。

CaO 可以增加玻璃的硬度，含量过多时，玻璃成型时容易发乳。因此本发明中 CaO
20 含量的范围为 0~5%，优选为 0~2%，更优选 0~1%，进一步优选不含有 CaO 。在一些实施方式中，可包含约 0%、大于 0%、0.01%、0.05%、0.1%、0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%、3%、3.5%、4%、4.5%、5% 的 CaO 。

TiO_2 是一种有助于降低玻璃的熔化温度、提高化学稳定性的可选组分，本发明中含有 5% 以下的 TiO_2 ，可以使玻璃的晶化过程变得容易控制，优选 TiO_2 的含量为 2% 以下，更
25 优选为 1% 以下。在一些实施方式中，进一步优选不含有 TiO_2 。在一些实施方式中，可包含约 0%、大于 0%、0.05%、0.1%、0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%、3%、3.5%、4%、4.5%、5% 的 TiO_2 。

B_2O_3 可以改善玻璃的网络结构，调整微晶玻璃的化学强化性能，若其含量超过 5%，则不利于玻璃成型，在成型时容易析晶，因此 B_2O_3 含量上限为 5%，优选上限为 3%，更
30 优选上限为 2%，进一步优选不含有 B_2O_3 。在一些实施方式中，可包含约 0%、大于 0%、0.05%、0.1%、0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%、3%、3.5%、4%、4.5%、5% 的 B_2O_3 。

Y_2O_3 可促进 ZrO_2 的熔化，降低玻璃的熔炼难度，含量过多时会导致玻璃晶化时形成晶体困难，微晶玻璃和微晶玻璃制品的结晶度下降，微晶玻璃和微晶玻璃制品的落球试验高度下降。因此， Y_2O_3 含量的上限为 6%，优选上限为 4%，更优选上限为 2%。在一些
35 实施方式中，可包含约 0%、大于 0%、0.05%、0.1%、0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%、3%、3.5%、4%、4.5%、5%、5.5%、6% 的 Y_2O_3 。

在一些实施方式中，玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品还可含有 0~2% 的澄清剂，以提高玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品的除泡能力，这种澄清剂包括但不限于 Sb_2O_3 、 SnO_2 、 SnO 、 CeO_2 、F（氟）、Cl（氯）和 Br（溴）中的一种或多种，优选 Sb_2O_3 作为澄清剂。上
40 述澄清剂单独或组合存在时，其含量的上限优选为 1%，更优选为 0.5%。在一些实施方式中，上述澄清剂中的一种或多种的含量约为 0%、大于 0%、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、

5 0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1%、1.1%、1.2%、1.3%、1.4%、1.5%、1.6%、1.7%、1.8%、1.9%、2%。

在不影响本发明玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品的性能的情况下，可以适当添加上述未提及的其他组分，如 La_2O_3 、 Gd_2O_3 、 Yb_2O_3 、 Nb_2O_5 、 WO_3 、 Bi_2O_3 、 Ta_2O_5 、 TeO_2 、 GeO_2 等，但为维持本发明申请玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品的优异性能，优选 La_2O_3 、 Gd_2O_3 、 Yb_2O_3 、 Nb_2O_5 、 WO_3 、 Bi_2O_3 、 Ta_2O_5 、 TeO_2 、 GeO_2 的各自含量或合计含量为5%以下，更优选为2%以下，
10 进一步优选为1%以下，更进一步优选不含有。

PbO 和 As_2O_3 是有毒物质，即使少量的含有也不符合环保的要求，因此本发明在一些实施方式中优选不含有 PbO 和 As_2O_3 。

本发明的一些实施方式中，通过含有着色剂，可以制备出具有颜色的基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品，可使基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品呈现不同的颜色，着色剂含有： NiO ：0~4%；和/或 Ni_2O_3 ：0~4%；和/或 CoO ：0~2%；和/或 Co_2O_3 ：0~2%；和/或 Fe_2O_3 ：0~7%；和/或 MnO_2 ：0~4%；和/或 Er_2O_3 ：0~8%；和/或 Nd_2O_3 ：0~8%；和/或 Cu_2O ：0~4%；和/或 Pr_2O_5 ：0~8%；和/或 CeO_2 ：0~4%。其着色剂重量百分比含量及其作用详述如下：

20 本发明制备的褐色或绿色基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品，使用 NiO 、 Ni_2O_3 或 Pr_2O_5 为着色剂。 NiO 和 Ni_2O_3 为着色剂，用于制备褐色或绿色基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品，两种组分可以单独使用或者混合使用，其分别含量一般为4%以下，优选为3%以下，如果含量超过4%，着色剂不能很好溶于基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品中，其分别的含量下限在0.1%以上，如低于0.1%，基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品颜色不明显。在一些实施方式中，可包含约0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、
25 0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1.0%、1.1%、1.2%、1.3%、1.4%、1.5%、1.6%、1.7%、1.8%、1.9%、2.0%、2.1%、2.2%、2.3%、2.4%、2.5%、2.6%、2.7%、2.8%、2.9%、3.0%、3.1%、3.2%、3.3%、3.4%、3.5%、3.6%、3.7%、3.8%、3.9%、4.0%的 NiO 或 Ni_2O_3 。如混合使用时， NiO 和 Ni_2O_3 合计量一般为4%以下，合计量下限在0.1%以上。在一些实施方式中，
30 可包含约0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1.0%、1.1%、1.2%、1.3%、1.4%、1.5%、1.6%、1.7%、1.8%、1.9%、2.0%、2.1%、2.2%、2.3%、2.4%、2.5%、2.6%、2.7%、2.8%、2.9%、3.0%、3.1%、3.2%、3.3%、3.4%、3.5%、3.6%、3.7%、3.8%、3.9%、4.0%的 NiO 和 Ni_2O_3 。使用 Pr_2O_5 作为绿色基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品着色剂，单独使用，一般含量为8%以下，优选含量为6%以下，其含量下限在0.4%
35 以上，如低于0.4%，基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品颜色不明显。在一些实施方式中，可包含约0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%、1.4%、1.6%、1.8%、2.0%、2.2%、2.4%、2.6%、2.8%、3.0%、3.2%、3.4%、3.6%、3.8%、4.0%、4.2%、4.4%、4.6%、4.8%、5.0%、5.2%、5.4%、5.6%、5.8%、6.0%、6.2%、6.4%、6.6%、6.8%、7.0%、7.2%、7.4%、7.6%、7.8%、8.0%的 Pr_2O_5 。

40 本发明制备的蓝色基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品，使用 CoO 或 Co_2O_3 为着色剂，两种着色剂组分可以单独使用或者混合使用，其分别的含量都一般为2%以下，优

5 选为 1.8%以下, 如果含量超过了 2%, 着色剂不能很好溶于基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品中, 其分别的含量下限在 0.05%以上, 如低于 0.05%, 基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品颜色不明显。在一些实施方式中, 可包含约 0.05%、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1.0%、1.1%、1.2%、1.3%、1.4%、1.5%、1.6%、1.7%、1.8%、1.9%、2.0%的 CoO 或 Co_2O_3 。如混合使用时, CoO 和 Co_2O_3 合计量不超过 2%,
10 合计量下限在 0.05%以上。在一些实施方式中, 可包含约 0.05%、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1.0%、1.1%、1.2%、1.3%、1.4%、1.5%、1.6%、1.7%、1.8%、1.9%、2.0%的 CoO 和 Co_2O_3 。

本发明制备的黄色基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品, 使用 Cu_2O 或 CeO_2 为着色剂, 两种着色剂组分单独使用或者混合使用, 其分别的含量下限在 0.5%以上, 如低于
15 0.5%, 基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品颜色不明显, 单独使用 Cu_2O 为 4%以下, 优选为 3%以下, 如果含量超过 4%, 容易使基质玻璃析晶。在一些实施方式中, 可包含约 0.5%、0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1.0%、1.1%、1.2%、1.3%、1.4%、1.5%、1.6%、1.7%、1.8%、1.9%、2.0%、2.1%、2.2%、2.3%、2.4%、2.5%、2.6%、2.7%、2.8%、2.9%、3.0%、3.1%、3.2%、3.3%、3.4%、3.5%、3.6%、3.7%、3.8%、3.9%、4.0%的 Cu_2O 。单独使用
20 CeO_2 含量一般为 4%以下, 优选为 3%以下, 如含量超过 4%, 基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品光泽不好。在一些实施方式中, 可包含约 0.5%、0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1.0%、1.1%、1.2%、1.3%、1.4%、1.5%、1.6%、1.7%、1.8%、1.9%、2.0%、2.1%、2.2%、2.3%、2.4%、2.5%、2.6%、2.7%、2.8%、2.9%、3.0%、3.1%、3.2%、3.3%、3.4%、3.5%、3.6%、3.7%、3.8%、3.9%、4.0%的 CeO_2 。同时, 少量的 CeO_2 加入玻璃中具有除泡的效果,
25 果, CeO_2 在玻璃中还可以作为澄清剂使用, 作为澄清剂时其含量为 2%以下, 优选为 1%以下, 更优选为 0.5%以下。如果两种着色剂混合使用时, 其合计量一般为 4%以下, 合计量下限在 0.5%以上。在一些实施方式中, 可包含约 0.5%、0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1.0%、1.1%、1.2%、1.3%、1.4%、1.5%、1.6%、1.7%、1.8%、1.9%、2.0%、2.1%、2.2%、2.3%、2.4%、2.5%、2.6%、2.7%、2.8%、2.9%、3.0%、3.1%、3.2%、3.3%、3.4%、3.5%、3.6%、3.7%、3.8%、3.9%、4.0%的 CeO_2 和 Cu_2O 。
30

本发明制备的黑色或烟灰色基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品, 单独使用 Fe_2O_3 为着色剂; 或者使用 Fe_2O_3 和 CoO 两种混合使用的着色剂; 或者使用 Fe_2O_3 和 Co_2O_3 两种混合使用的着色剂; 或者使用 Fe_2O_3 、 CoO 和 NiO 三种混合使用的着色剂; 或者使用 Fe_2O_3 、 Co_2O_3 和 NiO 三种混合使用的着色剂。制备黑色和烟灰色基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品的着色剂主要使用 Fe_2O_3 着色, 含量为 7%以下, 优选为 5%以下, 其含量下限在
35 0.2%以上, 在一些实施方式中, 可包含约 0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1.0%、1.1%、1.2%、1.3%、1.4%、1.5%、1.6%、1.7%、1.8%、1.9%、2.0%、2.1%、2.2%、2.3%、2.4%、2.5%、2.6%、2.7%、2.8%、2.9%、3.0%、3.1%、3.2%、3.3%、3.4%、3.5%、3.6%、3.7%、3.8%、3.9%、4.0%、4.5%、5.0%、5.5%、6.0%、6.5%、7.0%的 Fe_2O_3 。
40 CoO 和 Co_2O_3 在可见光有吸收, 可以加深基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品的着色程度, 一般与 Fe_2O_3 混合使用时各自的含量为 0.6%以下, 下限在 0.2%以上。在一些实施方

5 式中,可包含约0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%的CoO和/或Co₂O₃。NiO在可见光有吸收,可以加深基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品的着色程度,一般混合使用时其含量为1%以下,合计量下限在0.2%以上。在一些实施方式中,可包含约0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1.0%的NiO。

10 本发明制备的紫色基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品,使用MnO₂为着色剂,使用含量一般为4%以下,优选在3%以下,其含量下限在0.1%以上,如低于0.1%,基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品颜色不明显。在一些实施方式中,可包含约0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1.0%、1.1%、1.2%、1.3%、1.4%、1.5%、1.6%、1.7%、1.8%、1.9%、2.0%、2.1%、2.2%、2.3%、2.4%、2.5%、2.6%、2.7%、2.8%、2.9%、3.0%、3.1%、3.2%、3.3%、3.4%、3.5%、3.6%、3.7%、3.8%、3.9%、4.0%的MnO₂。

15 本发明制备的粉色基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品,使用Er₂O₃为着色剂,使用含量一般为8%以下,优选在6%以下。由于稀土元素Er₂O₃着色效率低,当使用含量超过8%,也不能使基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品的颜色进一步的加深,反而增加成本,其含量下限在0.4%以上,如低于0.4%,基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品颜色不明显。在一些实施方式中,可包含约0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%、1.4%、1.6%、1.8%、2.0%、2.2%、2.4%、2.6%、2.8%、3.0%、3.2%、3.4%、3.6%、3.8%、4.0%、4.2%、4.4%、4.6%、4.8%、5.0%、5.2%、5.4%、5.6%、5.8%、6.0%、6.2%、6.4%、6.6%、6.8%、7.0%、7.2%、7.4%、7.6%、7.8%、8.0%的Er₂O₃。

25 本发明制备的紫红色基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品,使用Nd₂O₃为着色剂,使用含量一般为8%以下,优选在6%以下。由于稀土元素Nd₂O₃着色效率低,使用含量超过了8%,也不能使基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品的颜色进一步的加深,反而增加成本,其含量下限在0.4%以上,如低于0.4%,基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品颜色不明显。在一些实施方式中,可包含约0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%、1.4%、1.6%、1.8%、2.0%、2.2%、2.4%、2.6%、2.8%、3.0%、3.2%、3.4%、3.6%、3.8%、4.0%、4.2%、4.4%、4.6%、4.8%、5.0%、5.2%、5.4%、5.6%、5.8%、6.0%、6.2%、6.4%、6.6%、6.8%、7.0%、7.2%、7.4%、7.6%、7.8%、8.0%的Nd₂O₃。

30 本发明制备的红色基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品,使用Er₂O₃、Nd₂O₃和MnO₂混合着色剂,玻璃中Er离子在400-500nm有吸收,Mn离子主要在500nm处有吸收,Nd离子主要在580nm处有强的吸收,三种物质的混合,可以制备红色基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品,由于Er₂O₃和Nd₂O₃为稀土着色,着色能力比较弱,Er₂O₃使用量在6%以内,Nd₂O₃使用量在4%以内,MnO₂着色强,使用量在2%范围内,其使用混合着色剂合计量的下限在0.9%以上。

40 本文所记载的“不含有”“0%”是指没有故意将该化合物、分子或元素等作为原料添加到本发明基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品中;但作为生产基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品的原材料和/或设备,会存在某些不是故意添加的杂质或组分,会在最终的基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品中少量或痕量含有,此种情形也在本发明专利的保护范围内。

5 本发明的一些实施方式中，微晶玻璃和微晶玻璃制品中晶相含有一硅酸锂，为本发明微晶玻璃和微晶玻璃制品提供高的强度，微晶玻璃和微晶玻璃制品断裂韧性变高；微晶玻璃和微晶玻璃制品的落球试验高度和四点弯曲强度变大。本发明微晶玻璃化学强化性能优异，还可通过化学强化工艺处理以获得优异的机械强度。通过合理的组分设计，可使本发明微晶玻璃和微晶玻璃制品获得合适的晶粒大小，使本发明微晶玻璃和微晶玻璃制品具有高的强度。本发明中微晶玻璃和微晶玻璃制品具有良好的结晶度，使本发明微晶玻璃和微晶玻璃制品具有优异的机械性能。本文所称的结晶度是指结晶的完整程度，结晶完整的晶体内部质点的排列比较规则，衍射线强、尖锐且对称，衍射峰的半高宽接近仪器测量的宽度；结晶度差的晶体中有位错等缺陷，使衍射线峰形宽而弥散。结晶度越差，衍射能力越弱，衍射峰越宽，直到消失在背景之中。在一些实施方式中，微晶玻璃制品或微晶玻璃的结晶度为50%以上，优选为60%以上，更优选为70%以上。

10 本发明微晶玻璃或微晶玻璃制品中晶粒尺寸和种类会影响微晶玻璃或微晶玻璃制品的雾度和透过率，晶粒越小透过率越高；雾度越小，透过率越高。在一些实施方式中，1mm 以下厚度的微晶玻璃制品或微晶玻璃的雾度为 0.2% 以下，优选为 0.18% 以下，更优选为 0.15% 以下。在一些实施方式中，微晶玻璃制品或微晶玻璃的晶粒尺寸为 80nm 以下，优选为 50nm 以下，更优选为 30nm 以下。

20 在一些实施方式中，本发明微晶玻璃或微晶玻璃制品中晶相含量和折射率影响微晶玻璃或微晶玻璃制品的 |B| 值，在可见光范围观察微晶玻璃或微晶玻璃制品出现偏蓝或者偏黄，影响产品的光学性能，在 LAB（物质颜色的色度值）中用 |B| 值进行标示。微晶玻璃或微晶玻璃制品在可见光范围中呈现低 |B| 值，在一些实施方式中 1mm 以下厚度的微晶玻璃制品或微晶玻璃 400~800nm 的平均光 |B| 值为 0.9 以下，优选为 0.8 以下，更优选为 0.7 以下。

30 在一些实施方式中，本发明微晶玻璃或微晶玻璃制品在可见光范围中呈现高的透明度（即微晶玻璃或微晶玻璃制品是透明的）。微晶玻璃或微晶玻璃制品在可见光范围中呈现高的透过率，在一些实施方式中，1mm 以下厚度的微晶玻璃制品或微晶玻璃 400~800nm 的平均光透过率优选为 87% 以上。在一些优选的实施方式中，1mm 以下厚度的微晶玻璃制品或微晶玻璃 550nm 的光透过率优选为 88% 以上。

35 在一些实施方式中，可将抗微生物成分添加到基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品中。本文所述的微晶玻璃或微晶玻璃制品可用于例如厨房或餐饮工作台面的应用，其中很可能暴露于有害细菌。基质玻璃、微晶玻璃或微晶玻璃制品含有的抗微生物组分包括但不限 Ag, AgO, Cu, CuO, Cu₂O 等。在一些实施方式中，上述抗微生物组分的单独或组合含量为 2% 以下，优选为 1% 以下。

本发明的基质玻璃、微晶玻璃和微晶玻璃制品可以通过如下方法进行生产和制造：

生成基质玻璃：按照组分比例将原料混合均匀，将均匀的混合物放入铂制或石英制的坩埚中，根据玻璃组成的熔化难易度，在电炉或燃气炉中在 1250~1650℃ 的温度范围内进行 5~24 小时。熔化，搅拌使其均匀后，降至适当的温度并浇铸到模具中，缓慢冷却而成。

5 本发明的基质玻璃可以通过众所周知的方法进行成型。

本发明的基质玻璃，在成型后或成型加工后通过晶化工艺进行晶化处理，在玻璃内部均匀地析出结晶。该晶化处理可以通过1个阶段进行，也可以通过2个阶段进行，优选采用2个阶段进行晶化处理。在第1温度下进行成核工艺的处理，然后在比成核工艺温度高的第2温度下进行晶体生长工艺的处理。将在第1温度下进行的晶化处理称为第1晶化
10 处理，将在第2温度下进行的晶化处理称为第2晶化处理。

为了使微晶玻璃得到所期望的物理性质，优选的晶化工艺为：

上述通过1个阶段进行晶化处理，可以连续地进行核形成工艺与结晶生长工艺。即，升温至规定的晶化处理温度，在达到晶化处理温度之后，将其温度保持一定的时间，然后再进行降温。该晶化处理温度优选为580~750℃，为了能够析出所期望的晶相，更优选为600~700℃，在晶化处理温度下的保持时间优选为0~8小时，更优选为1~6小时。
15 上述通过2个阶段进行晶化处理时，第1温度优选为470~580℃，第2温度优选为600~750℃。在第1温度下的保持时间优选为0~24小时，更优选为2~15小时。在第2温度下的保持时间优选为0~10小时，更优选为0.5~6小时。

上述保持时间0小时，是指在达到该温度后不到1分钟又开始降温或升温。

20 在一些实施方式中，可通过各种工艺将本文所述的基质玻璃或微晶玻璃制造成形成体，所述形成体包括但不限于片材，所述工艺包括但不限于狭缝拉制、浮法、辊压和本领域公知的其他形成片材的工艺。或者，可通过本领域所公知的浮法或辊压法来形成基质玻璃或微晶玻璃。本发明所述形成体还包括透镜、棱镜等。

本发明的基质玻璃或微晶玻璃，可以采用研磨或抛光加工等方法制造片材的玻璃成形体或微晶玻璃成形体，但制造玻璃成形体或微晶玻璃成形体的方法，并不限于这些方法。
25

本发明的基质玻璃或微晶玻璃，可以在一定温度下采用热弯工艺或压型工艺等方法制备形成各种形状的玻璃成形体或微晶玻璃成形体，但并不限于这些方法。

30 在一些实施方式中，可以采用热弯工艺制成玻璃成形体或微晶玻璃成形体。所述热弯工艺是将2D或2.5D玻璃或微晶玻璃置放于模具中，在热弯机中依次进行包括升温预热、加压成型、保压降温等步骤制得3D曲面的玻璃成形体或微晶玻璃成形体的过程。

35 在一些实施方式中，微晶玻璃成形体具有2.5D或3D构造，即微晶玻璃成形体具有非平面构造。本文所述的“非平面构造”是指在一种2.5D或3D形状中，微晶玻璃成形体的至少一部分向外延伸或者沿着与由2D基质玻璃的原始、布局配置所限定的平面的夹角进行延伸。由基质玻璃形成的2.5D或3D微晶玻璃成形体可具有一个或多个凸起或弯曲部分。

40 在一些实施方式中，结合微晶玻璃中晶相的生长和晶相的转变等特性，微晶玻璃成形体的制造方法为热弯工艺方法。具体而言，所述方法包括预晶化和热加工成型。本发明所述的预晶化是将基质玻璃（即晶化前的玻璃）通过控制晶化工艺形成预晶化玻璃，所述预晶化玻璃的结晶度未达到目标微晶玻璃成型体的性能指标所需要的结晶度。预晶化玻璃再通过热加工成型工艺形成微晶玻璃成形体。

5 在一些实施方式中，微晶玻璃成形体的制造方法包括以下步骤：

1) 将基质玻璃进行一次晶化热处理过程，包括升温、保温核化、升温、保温晶化、降温至室温，形成预晶化玻璃；

2) 将预晶化玻璃进行热加工成型得到微晶玻璃成形体。

10 本发明所述的晶化热处理过程包括将基质玻璃在一定温度 T_h 和时间 t_h 下进行核化，再在一定温度 T_c 和时间 t_c 下进行晶化，所获得的预晶化玻璃的结晶度未达到目标微晶玻璃成形体的性能指标所需要的结晶度。应用 XRD 测试数据，通过 Rietveld 全谱拟合精修法计算出预晶化玻璃的结晶度中主晶相总含量为 I_{cl} 。本发明的预晶化从工艺过程上来说是一个完整过程，包含核化工艺一步，晶化工艺一段、两段或三段及以上等等，是一个完整的从升温、保温，再次升温、保温……，然后再按工艺降至室温的过程。区别于部分文献或专利中提及的一次晶化、二次晶化……，本发明实际上只是一个完整晶化工艺中的第一段晶化，第二段晶化……，其中间是连续的，并没有出现降至室温后再次升温晶化的过程。

20 本发明所述热加工成型，是指在一定温度、时间、压力等条件下，对所述预晶化玻璃经过热加工工艺成型处理，所述热加工成型包括一次以上的热加工工艺，所述热加工工艺包括但不限于在一定温度、时间、压力等条件下对预晶化玻璃进行压制成型、弯曲成型或拉制成型。在热加工成型过程中，有时形状复杂的成型体无法通过一次热加工完成，可能需要进行两次以上的多次热加工才能实现。

在一些实施方式中，微晶玻璃成形体的制造方法为热弯工艺方法。具体而言，在一些实施方式中，微晶玻璃成形体的制造方法包括以下步骤：

25 1) 升温预热：将基质玻璃或预晶化玻璃或微晶玻璃放置于模具内，模具在热弯机中依次通过各个升温站点，并在各站点停留一定时间保温。预热区温度为 $400\sim 800^{\circ}\text{C}$ ，压力为 $0.01\sim 0.05\text{MPa}$ ，时间为 $40\sim 200\text{s}$ 。在一些实施方式中，对于5个预热站点的热弯机来说，一般初始升温稳定设定在 500°C 左右，后续站点逐渐升高温度，相邻两站点间的温度梯度由低温向高温逐渐缩小，最后一个预热站与压型第一站点温度温差在 20°C 范围内即可。

2) 加压成型：模具在经过预热后转运到成型站点，热弯机对模具施加一定压力，压力范围为 $0.1\sim 0.8\text{MPa}$ ，压力大小根据玻璃厚度、弧度等因素确定，成型站点温度范围为 $650\sim 850^{\circ}\text{C}$ ，成型时间范围 $40\sim 200\text{s}$ 。

35 3) 保压降温：将模具转运至降温站点逐站降温。控制降温温度范围 $750\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，压力为 $0.01\sim 0.05\text{MPa}$ ，时间为 $40\sim 200\text{s}$ 。

微晶玻璃成形体采用热弯工艺成型除了需要控制如普通高铝玻璃的外观质量，同时还需要控制热弯过程中的晶体生长发育对微晶玻璃性能的影响，如用于显示设备或电子设备外壳的3D曲面微晶玻璃，需要密切关注热弯后的光透过率、雾度、 $|B|$ 值以及其均匀性等。

40 在一些实施方式中，预晶化玻璃的主晶相含有一硅酸锂、和/或二硅酸锂、和/或磷酸锂、和/或石英固溶体和/或透锂长石，晶相含量范围为 $20\sim 60\%$ ，其中透锂长石含量 $0\sim$

5 18%。通过热弯工艺成型后形成的微晶玻璃成形体的主晶相含有二硅酸锂，或二硅酸锂和透锂长石，晶相含量范围为40~70%，其中透锂长石含量0~18%。

在一些实施方式中，预晶化玻璃的主晶相含有一硅酸锂、和/或二硅酸锂、和/或磷酸锂、和/或石英固溶体和/或透锂长石，晶相含量范围为20~60%，其中透锂长石含量0~18%。通过热弯工艺成型后形成的微晶玻璃成形体的主晶相含有一硅酸锂和/或二硅酸
10 锂，晶相含量范围为40~70%。

热弯前后晶相变化量决定微晶玻璃成形体尺寸均匀性、量产可能性和成本控制等，本发明基质玻璃和微晶玻璃具有优异的热加工性能，在经过热弯成型后，晶相含量的变化量在20%以下，优选在15%以下，进一步优选10%以下，可保证热弯后得到的微晶玻璃成形体的雾度和|B|值等的均匀性。

15 本发明所述的基质玻璃、微晶玻璃和微晶玻璃制品可具有合理有用的任何厚度。

本发明的微晶玻璃除了通过析出结晶提高机械特性之外，还可以通过形成压缩应力层获得更优异的机械性能，从而制成微晶玻璃制品。

在一些实施方式中，可将基质玻璃或微晶玻璃加工成片材，和/或造型（如打孔、热弯等），定形后抛光和/或扫光，再通过化学强化工艺进行化学强化。

20 本发明所述的化学强化，即是离子交换法。在离子交换过程中，基质玻璃或微晶玻璃中的较小的金属离子被靠近基质玻璃或微晶玻璃的具有相同价态的较大金属离子置换或“交换”。用较大的离子置换较小的离子，在基质玻璃或微晶玻璃中构建压缩应力，形成压缩应力层。

在一些实施方式中，金属离子是单价碱金属离子(例如 Na^+ 、 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 等)，离子交
25 换通过将基质玻璃或微晶玻璃浸没在包含较大的金属离子的至少一种熔融盐的盐浴中进行，该较大的金属离子用于置换基质玻璃中的较小的金属离子。或者，其他单价金属离子例如 Ag^+ 、 Tl^+ 、 Cu^+ 等也可用于交换单价离子。用来化学强化基质玻璃或微晶玻璃的一种或更多种离子交换过程可包括但不限于：将其浸没在单一盐浴中，或者将其浸没在具有相同或不同组成的多个盐浴中，在浸没之间有洗涤和/或退火步骤。

30 在一些实施方式中，基质玻璃或微晶玻璃可通过在浸没于约350℃~470℃的温度的熔融Na盐（如 NaNO_3 ）的盐浴中约1~36小时来进行离子交换，优选温度范围为380℃~460℃，优选时间范围为2~24小时。在这种实施方式中，Na离子置换基质玻璃或微晶玻璃中的部分Li离子，从而形成表面压缩层且呈现高机械性能。在一些实施方式中，基质玻璃或微晶玻璃可通过在浸没于约360℃~450℃的温度下熔融K盐（如 KNO_3 ）的盐浴中
35 1~36小时来进行离子交换，优选时间范围为2~24小时。在一些实施方式中，基质玻璃或微晶玻璃可通过在浸没于约360℃~450℃的温度下熔融K盐和Na盐的混合盐浴中1~36小时来进行离子交换，优选时间范围为2~24小时。

本发明微晶玻璃和/或微晶玻璃制品和/或基质玻璃各项性能指标采用以下方法测试：

40 [雾度]

采用雾度测试仪美能达CM3600A，以1mm以下的样品制备，以GB2410-80为标准进行

5 测试。

[晶粒尺寸]

利用SEM扫描电镜进行测定，微晶玻璃通过在HF酸中进行表面处理，再对微晶玻璃表面进行喷金，在SEM扫描电镜下进行表面扫描，确定其晶粒的大小。

[光透过率]

10 本文所述的光透过率均为外部透过率，有时候简称透过率。

将样品加工成1mm以下并进行相对面平行抛光，利用日立U-41000形分光光度计测定400~800nm的平均光透过率。

将样品加工成1mm以下并进行相对面平行抛光，利用日立U-41000形分光光度计测定550nm的光透过率。

15 [结晶度]

将XRD衍射峰与数据库图谱进行对比，结晶度是通过计算结晶相衍射强度在整体图谱强度中所占比例所得，并且通过使用纯石英晶体进行内部标定。

[离子交换层深度]

利用玻璃表面应力仪SLP-2000进行离子交换层深度测定。

20 作为测定条件以样品的折射率为1.56、光学弹性常数为26[(nm/cm)/Mpa]进行计算。

[落球试验高度]

25 将145mm×67mm×0.7mm的微晶玻璃制品样品放置在玻璃承载夹具上，使132g的钢球从规定高度落下，样品不发生断裂而能够承受的冲击的最大落球试验高度。具体地说，试验从落球试验高度800mm开始实施，在不发生断裂的情况下，通过850mm、900mm、950mm、1000mm及以上依次改变高度。对于具有“落球试验高度”的实施例，以微晶玻璃制品为试验对象。在实施例中记录为1000mm的试验数据，表示即使从1000mm的高度使钢球落下微晶玻璃制品也不发生断裂而承受了冲击。本发明中落球试验高度有时候简称落球高度。

30 [本体落球高度]

35 将145mm×67mm×0.7mm的微晶玻璃样品放置在玻璃承载夹具上，使32g的钢球从规定高度落下，样品不发生断裂而能够承受的冲击的最大落球试验高度即为本体落球高度。具体地说，试验从落球试验高度500mm开始实施，在不发生断裂的情况下，通过550mm、600mm、650mm、700mm及以上依次改变高度。对于具有“本体落球高度”的实施例，以微晶玻璃为试验对象，即为微晶玻璃的落球试验高度。在实施例中记录为1000mm的试验数据，表示即使从1000mm的高度使钢球落下微晶玻璃也不发生断裂而承受了冲击。

[断裂韧性]

40 使用直接测量压痕扩展裂纹尺寸的方法，试样规格为2mm×4mm×20mm，经过倒角、磨平和抛光，试样制备完成后，用维氏硬度压头在试样上加49N的力并维持30s的时间，打出压痕后，用三点弯曲的方法测定其断裂强度。

5 [四点弯曲强度]

采用微机控制电子万能试验机CMT6502, 样品规格为1mm以下厚度, 以ASTM C 158-2002为标准进行测试。本发明中有时将四点弯曲强度简称为弯曲强度。

[维氏硬度]

10 用相对面夹角为 136° 的金刚石四角锥压头在试验面上压入金字塔形状的凹陷时的负荷(N)除以通过凹陷的长度计算出的表面积(mm^2)的值表示。使试验负荷为100(N)、保持时间为15(秒)进行。本发明中有时将维氏硬度简称为硬度。

[|B|值]

15 使用美能达CM-700d进行B值检测。样品规格为1mm以下厚度, 用配套校正长筒和短筒分别进行仪器零位校准和白板校准, 校准后用长筒再进行对空测试, 判定仪器稳定校准可靠性($B \leq 0.05$), 仪器校正合格后将产品放置在零位长筒上进行测试。

|B|值是B值的绝对值。

[热膨胀系数]

热膨胀系数($\alpha_{20^\circ\text{C}-120^\circ\text{C}}$)按照GB/T7962.16-2010测试方法进行测试。

[折射率]

20 折射率(n_d)按照 GB/T7962.1-2010 方法测试。

[介电常数]

介电常数(ϵ_r)按照 GB 9622.9-1988 方法测试, 测试频率为1~7GHZ。

[介电损耗]

介电损耗($\tan \delta$)按照 GB 9622.9-1988 方法测试, 测试频率为1~7GHZ。

25 [表面电阻]

表面电阻按照 CS-157-2020 方法测试, 测试温度为20~40℃。

本发明微晶玻璃制品具有以下性能:

1)在一些实施方式中,微晶玻璃制品的四点弯曲强度为600MPa以上,优选为650MPa以上,更优选为700MPa以上。

30 2)在一些实施方式中,微晶玻璃制品的离子交换层深度为20 μm 以上,优选为30 μm 以上,更优选为40 μm 以上。

3)在一些实施方式中,微晶玻璃制品的落球试验高度为1400mm以上,优选为1500mm以上,更优选为1600mm以上。

35 4)在一些实施方式中,微晶玻璃制品的断裂韧性为 $1\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 以上,优选为 $1.3\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 以上,更优选为 $1.5\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 以上。

5)在一些实施方式中,微晶玻璃制品的维氏硬度(H_v)为730kgf/mm²以上,优选为750kgf/mm²以上,更优选为780kgf/mm²以上。

6)在一些实施方式中,微晶玻璃制品的结晶度为50%以上,优选为60%以上,更优选为70%以上。

40 7)在一些实施方式中,微晶玻璃制品的晶粒尺寸为80nm以下,优选为50nm以下,更优选为30nm以下。

5 8) 在一些实施方式中, 1mm以下厚度的微晶玻璃制品的雾度为0.2%以下, 优选为0.18%以下, 更优选为0.15%以下。该厚度优选为0.2~1mm, 更优选为0.3~0.9mm, 进一步优选为0.5~0.8mm, 更进一步优选为0.55mm或0.6mm或0.68mm或0.7mm或0.75mm。

9) 在一些实施方式中, 1mm以下厚度的微晶玻璃制品, 400~800nm波长的平均光透过率87%以上, 优选为89%以上, 更优选为90%以上。该厚度优选为0.2~1mm, 更优选为
10 0.3~0.9mm, 进一步优选为0.5~0.8mm, 更进一步优选为0.55mm或0.6mm或0.68mm或0.7mm或0.75mm。

10) 在一些实施方式中, 1mm以下厚度的微晶玻璃制品, 550nm波长的光透过率为88%以上, 优选为90%以上, 更优选为91%以上。该厚度优选为0.2~1mm, 更优选为0.3~0.9mm, 进一步优选为0.5~0.8mm, 更进一步优选为0.55mm或0.6mm或0.68mm或0.7mm或0.75mm。

15 11) 在一些实施方式中, 1mm以下厚度的微晶玻璃制品, 400~800nm的平均光|B|值为0.9以下, 优选为0.8以下, 更优选为0.7以下。该厚度优选为0.2~1mm, 更优选为0.3~0.9mm, 进一步优选为0.5~0.8mm, 更进一步优选为0.55mm或0.6mm或0.68mm或0.7mm或0.75mm。

12) 在一些实施方式中, 微晶玻璃制品的介电常数(ϵ_r)为5.4以上, 优选为5.8
20 以上, 更优选为6.0以上。

13) 在一些实施方式中, 微晶玻璃制品的介电损耗($\tan \delta$)为0.05以下, 优选为0.04以下, 更优选为0.02以下, 进一步优选为0.01以下。

本发明微晶玻璃具有以下性能:

1) 在一些实施方式中, 微晶玻璃的结晶度为50%以上, 优选为60%以上, 更优选为
25 70%以上。

2) 在一些实施方式中, 微晶玻璃的晶粒尺寸为80nm以下, 优选为50nm以下, 优选为30nm以下。

3) 在一些实施方式中, 1mm以下厚度的微晶玻璃的雾度为0.2%以下, 优选为0.18%以下, 更优选为0.15%以下。该厚度优选为0.2~1mm, 更优选为0.3~0.9mm, 进一步优选为0.5~0.8mm, 更进一步优选为0.55mm或0.6mm或0.68mm或0.7mm或0.75mm。
30

4) 在一些实施方式中, 1mm以下厚度的微晶玻璃, 400~800nm波长的平均光透过率87%以上, 优选为89%以上, 更优选为90%以上。该厚度优选为0.2~1mm, 更优选为0.3~0.9mm, 进一步优选为0.5~0.8mm, 更进一步优选为0.55mm或0.6mm或0.68mm或0.7mm或0.75mm。

35 5) 在一些实施方式中, 1mm以下厚度的微晶玻璃, 550nm波长的光透过率为88%以上, 优选为90%以上, 更优选为91%以上。该厚度优选为0.2~1mm, 更优选为0.3~0.9mm, 进一步优选为0.5~0.8mm, 更进一步优选为0.55mm或0.6mm或0.68mm或0.7mm或0.75mm。

6) 在一些实施方式中, 微晶玻璃的本体落球高度为1700mm以上, 优选为1900mm以上, 更优选为2000mm以上。

40 7) 在一些实施方式中, 1mm以下厚度的微晶玻璃, 400~800nm的平均光|B|值为0.9以下, 优选为0.8以下, 更优选为0.7以下。该厚度优选为0.2~1mm, 更优选为0.3~

5 0.9mm, 进一步优选为0.5~0.8mm, 更进一步优选为0.55mm或0.6mm或0.68mm或0.7mm或0.75mm。

8) 在一些实施方式中, 微晶玻璃的维氏硬度 (H_v) 为630kgf/mm²以上, 优选为650kgf/mm²以上, 更优选为680kgf/mm²以上。

10 9) 在一些实施方式中, 微晶玻璃的热膨胀系数 ($\alpha_{20^\circ\text{C}-120^\circ\text{C}}$) 为 $70 \times 10^{-7}/\text{K} \sim 90 \times 10^{-7}/\text{K}$ 。

10) 在一些实施方式中, 微晶玻璃的折射率 (n_d) 为 1.5520~1.5700。

11) 在一些实施方式中, 微晶玻璃的介电常数 (ϵ_r) 为 5.4 以上, 优选为 5.8 以上, 更优选为 6.0 以上。

15 12) 在一些实施方式中, 微晶玻璃的介电损耗 ($\tan \delta$) 为 0.05 以下, 优选为 0.04 以下, 更优选为 0.03 以下, 进一步优选为 0.01 以下。

13) 在一些实施方式中, 微晶玻璃的表面电阻为 $1 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上, 优选为 $1 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上, 更优选为 $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上。

本发明基质玻璃具有以下性能:

20 1) 在一些实施方式中, 基质玻璃的热膨胀系数 ($\alpha_{20^\circ\text{C}-120^\circ\text{C}}$) 为 $65 \times 10^{-7}/\text{K} \sim 80 \times 10^{-7}/\text{K}$ 。

2) 在一些实施方式中, 基质玻璃的折射率 (n_d) 为 1.5400~1.5600。

本发明的微晶玻璃、微晶玻璃制品、基质玻璃、玻璃成型体、微晶玻璃成型体由于具有上述优异的性能, 可广泛制作成玻璃盖板或玻璃元器件; 同时, 本发明微晶玻璃、微晶玻璃制品、基质玻璃、玻璃成型体、微晶玻璃成型体可应用于电子设备或显示设备
25 中, 如手机、手表、电脑、触摸显示屏等, 用于制造移动电话、智能电话、平板电脑、笔记本电脑、PDA、电视机、个人电脑、MTA 机器或工业显示器的防护玻璃, 或用于制造触摸屏、防护窗、汽车车窗、火车车窗、航空机械窗、触摸屏防护玻璃, 或用于制造硬盘基材或太阳能电池基材, 或用于制造白色家电, 如用于制造冰箱部件或厨具。

实施例

30 为了进一步清楚地阐释和说明本发明的技术方案, 提供以下的非限制性实施例。本发明实施例经过诸多努力以确保数值(例如数量、温度等)的精确性, 但是必须考虑到存在一些误差和偏差。组成自身基于氧化物以重量%给出, 且已标准化成 100%。

<基质玻璃实施例>

35 本实施例采用上述基质玻璃的制造方法得到具有表 1~表 6 所示的组成的基质玻璃。另外, 通过本发明所述的测试方法测定各基质玻璃的特性, 并将测定结果表示在表 1~表 6 中。

表 1.

组分 (wt%)	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#
SiO ₂	70	71	72	73	74	75	76
Al ₂ O ₃	1	2	2	0.5	0.5	0.5	0.5
Li ₂ O	14	13	13	16	15	13	12.5

Na ₂ O	1.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5
P ₂ O ₅	4	6	4.5	3	3	3	3
ZrO ₂	9	7	7	7	7	8	7
K ₂ O	0	0.5	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0.5	0	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0
B ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
Sb ₂ O ₃	0.5	0	0	0	0	0	0.5
合计	100	100	100	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (Li ₂ O+ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	0.04	0.08	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02
(Li ₂ O+ZrO ₂) /SiO ₂	0.33	0.28	0.28	0.32	0.3	0.28	0.26
(MgO+ZnO) /ZrO ₂	0	0	0.07	0	0	0	0
(Li ₂ O+Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	1.67	2.14	2.14	2.36	2.21	1.69	1.86
Al ₂ O ₃ /Li ₂ O	0.07	0.15	0.15	0.03	0.03	0.04	0.04
Li ₂ O/ (ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	1.08	1	1.13	1.6	1.5	1.18	1.25
P ₂ O ₅ +ZrO ₂	13	13	11.5	10	10	11	10
SiO ₂ /ZrO ₂	7.78	10.14	10.29	10.43	10.57	9.38	10.86
Al ₂ O ₃ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	0.08	0.15	0.17	0.05	0.05	0.05	0.05
SiO ₂ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	5.38	5.46	6.26	7.3	7.4	6.82	7.6
(ZrO ₂ +Li ₂ O) /Al ₂ O ₃	23.0	10.0	10.0	46.0	44.0	42.0	39.0
(SiO ₂ +Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	7.89	10.43	10.57	10.50	10.64	9.44	10.93
折射率	1.5499	1.5415	1.5406	1.5459	1.5433	1.5419	1.5489
热膨胀系数 (×10 ⁻⁷ /K)	65	65	65	68	65	68	68

5 表 2.

组分 (wt%)	8#	9#	10#	11#	12#	13#	14#
SiO ₂	70.5	71.5	72.5	73.5	74.5	75.5	68
Al ₂ O ₃	0.5	0.5	0.5	1.5	0.5	0.5	1.5
Li ₂ O	18.5	12.5	12.5	13	13	13	20
Na ₂ O	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5
P ₂ O ₅	3	3	3	4	4	3	4
ZrO ₂	7	12	10	7	7	7	6
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0	0.5	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0

BaO	0	0	0	0	0	0	0
B ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0.5	0	0	0	0
Sb ₂ O ₃	0	0	0.5	0	0	0.5	0
合计	100	100	100	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (Li ₂ O+ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	0.02	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02	0.05
(Li ₂ O+ZrO ₂) /SiO ₂	0.36	0.34	0.31	0.27	0.27	0.26	0.38
(MgO+ZnO) /ZrO ₂	0	0	0	0.07	0	0	0
(Li ₂ O+Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	2.71	1.08	1.3	2.07	1.93	1.93	3.58
Al ₂ O ₃ /Li ₂ O	0.03	0.04	0.04	0.12	0.04	0.04	0.08
Li ₂ O/ (ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	1.85	0.83	0.96	1.18	1.18	1.3	2
P ₂ O ₅ +ZrO ₂	10	15	13	11	11	10	10
SiO ₂ /ZrO ₂	10.07	5.96	7.25	10.5	10.64	10.79	11.33
Al ₂ O ₃ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	0.05	0.03	0.04	0.14	0.05	0.05	0.15
SiO ₂ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	7.05	4.77	5.58	6.68	6.77	7.55	6.8
(ZrO ₂ +Li ₂ O) /Al ₂ O ₃	51.0	49.0	45.0	13.33	40.0	40.0	17.33
(SiO ₂ +Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	10.14	6.00	7.30	10.71	10.71	10.86	11.58
折射率	1.5442	1.5477	1.5401	1.5422	1.551	1.5512	1.5511
热膨胀系数 (×10 ⁻⁷ /K)	65	68	67	67	67	70	74

5 表 3.

组分 (wt%)	15#	16#	17#	18#	19#	20#	21#
SiO ₂	68.5	69	69.5	76.5	77	77.5	78
Al ₂ O ₃	1.5	3	4.5	0.5	0.5	1.5	0.5
Li ₂ O	18	16	14	12.5	12.5	12.5	12.5
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0.5
P ₂ O ₅	6	6	6	2.5	2.5	2.5	2.5
ZrO ₂	6	6	6	8	7.5	6	6
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0	0	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0
B ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
Sb ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
合计	100	100	100	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (Li ₂ O+ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	0.05	0.11	0.17	0.02	0.02	0.07	0.02
(Li ₂ O+ZrO ₂) /SiO ₂	0.35	0.32	0.29	0.27	0.26	0.24	0.24

(MgO+ZnO) /ZrO ₂	0	0	0	0	0	0	0
(Li ₂ O+Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	3.25	3.17	3.08	1.63	1.73	2.33	2.17
Al ₂ O ₃ /Li ₂ O	0.08	0.19	0.32	0.04	0.04	0.12	0.04
Li ₂ O/ (ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	1.5	1.33	1.17	1.19	1.25	1.47	1.47
P ₂ O ₅ +ZrO ₂	12	12	12	10.5	10	8.5	8.5
SiO ₂ /ZrO ₂	11.42	11.5	11.58	9.56	10.27	12.92	13.0
Al ₂ O ₃ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	0.13	0.25	0.38	0.05	0.05	0.18	0.06
SiO ₂ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	5.71	5.75	5.79	7.29	7.70	9.12	9.18
(ZrO ₂ +Li ₂ O) /Al ₂ O ₃	16.0	7.33	4.44	41.0	40.0	12.33	37.0
(SiO ₂ +Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	11.67	12.0	12.33	9.63	10.33	13.17	13.08
折射率	1.551	1.5508	1.5502	1.5426	1.545	1.5425	1.5478
热膨胀系数 (×10 ⁻⁷ /K)	73	70	71	65	66	68	69

5 表 4.

组分 (wt%)	22#	23#	24#	25#	26#	27#	28#
SiO ₂	65	65.5	66	66.5	67	67.5	78.5
Al ₂ O ₃	0	0.5	0	0	4.5	1	0
Li ₂ O	25	15	15	15	15	15	10
Na ₂ O	0	1.5	0	6	0.5	0.5	0
P ₂ O ₅	3	2	8	2	4	4	2
ZrO ₂	7	15	6	5.5	7	7	5
K ₂ O	0	0.5	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0	0	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	5	0	0	0	0
BaO	0	0	0	5	0	0	0
B ₂ O ₃	0	0	0	0	2	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	5	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	4.5
Sb ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
合计	100	100	100	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (Li ₂ O+ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	0	0.02	0	0	0.17	0.04	0
(Li ₂ O+ZrO ₂) /SiO ₂	0.49	0.46	0.32	0.31	0.33	0.33	0.19
(MgO+ZnO) /ZrO ₂	0	0	0	0	0	0	0
(Li ₂ O+Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	3.57	1.03	2.5	2.73	2.79	2.29	2
Al ₂ O ₃ /Li ₂ O	0	0.03	0	0	0.3	0.07	0
Li ₂ O/ (ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	2.5	0.88	1.07	2	1.36	1.36	1.43
P ₂ O ₅ +ZrO ₂	10	17	14	7.5	11	11	7
SiO ₂ /ZrO ₂	9.29	4.37	11.0	12.09	9.57	9.64	15.7
Al ₂ O ₃ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	0	0.03	0	0	0.41	0.09	0

SiO ₂ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	6.50	3.85	4.71	8.87	6.09	6.14	11.21
(ZrO ₂ +Li ₂ O) /Al ₂ O ₃	—	60.0	—	—	4.89	22.0	—
(SiO ₂ +Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	9.29	4.4	11.0	12.09	10.21	9.79	15.7
折射率	1.5432	1.5467	1.5411	1.5432	1.5488	1.5455	1.5466
热膨胀系数 (×10 ⁻⁷ /K)	74	73	72	72	71	71	65

5 表 5.

组分 (wt%)	29#	30#	31#	32#	33#	34#	35#
SiO ₂	79	78.5	78	60	60.5	61	61.5
Al ₂ O ₃	0	0	2	7.5	4.5	6	6.5
Li ₂ O	10	10	10	14	13	13	13
Na ₂ O	0	0	0	3	2.5	2	2
P ₂ O ₅	2	2	2	3	2.5	3.5	3
ZrO ₂	7	7	5	7	10	11	12
K ₂ O	0	0	0	0	0.5	1	0
ZnO	2	0	2	0	0	0	0.5
MgO	0	2	1	0	0.5	0	0.5
CaO	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	1	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0.5
B ₂ O ₃	0	0	0	0	0.5	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	1	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	5	5	0	0
Sb ₂ O ₃	0	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5
合计	100	100	100	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (Li ₂ O+ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	0	0	0.12	0.31	0.18	0.22	0.23
(Li ₂ O+ZrO ₂) /SiO ₂	0.22	0.22	0.19	0.35	0.38	0.39	0.41
(MgO+ZnO) /ZrO ₂	0.29	0.29	0.6	0	0.05	0	0.08
(Li ₂ O+Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	1.43	1.43	2.4	3.07	1.75	1.73	1.63
Al ₂ O ₃ /Li ₂ O	0	0	0.2	0.54	0.35	0.46	0.5
Li ₂ O/ (ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	1.11	1.11	1.43	1.4	1.04	0.9	0.87
P ₂ O ₅ +ZrO ₂	9	9	7	10	12.5	14.5	15
SiO ₂ /ZrO ₂	11.29	11.21	15.60	8.57	6.05	5.55	5.13
Al ₂ O ₃ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	0	0	0.29	0.75	0.36	0.41	0.43
SiO ₂ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	8.78	8.72	11.14	6.00	4.84	4.21	4.1
(ZrO ₂ +Li ₂ O) /Al ₂ O ₃	—	—	7.50	2.8	5.11	4.0	3.85
(SiO ₂ +Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	11.29	11.21	16.0	9.64	6.5	6.09	5.67
折射率	1.5489	1.544	1.5441	1.5549	1.5535	1.5535	1.5545
热膨胀系数 (×10 ⁻⁷ /K)	67	65	66	75	74	78	76

表 6.

组分 (wt%)	36#	37#	38#	39#	40#	41#	42#
----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

SiO ₂	62	62.5	63	63.5	64	64.5	65.5
Al ₂ O ₃	9.3	6.5	6	5.5	6.5	4.5	5.5
Li ₂ O	13.7	12	13	13	12	14	13.5
Na ₂ O	1	2	2	1	2	2.5	1.5
P ₂ O ₅	2.5	3	2.5	3.5	4	4	3.5
ZrO ₂	10	13	11	12	9	10	9.5
K ₂ O	0	0	0	0	1	0	0.5
ZnO	0	0	1	0	0	0	0
MgO	0	0.5	0	0	0	0	0
CaO	1	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0
B ₂ O ₃	0	0	1	0	0.5	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	1	0.5	0	0
Sb ₂ O ₃	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
合计	100	100	100	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (Li ₂ O+ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	0.35	0.23	0.23	0.19	0.26	0.16	0.21
(Li ₂ O+ZrO ₂) /SiO ₂	0.38	0.40	0.38	0.39	0.33	0.37	0.35
(MgO+ZnO) /ZrO ₂	0	0.04	0.09	0	0	0	0
(Li ₂ O+Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	2.3	1.42	1.73	1.54	2.06	1.85	2.0
Al ₂ O ₃ /Li ₂ O	0.68	0.54	0.46	0.42	0.54	0.32	0.41
Li ₂ O/ (ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	1.1	0.75	0.96	0.84	0.92	1.0	1.04
P ₂ O ₅ +ZrO ₂	12.5	16	13.5	15.5	13	14	13
SiO ₂ /ZrO ₂	6.2	4.81	5.73	5.29	7.11	6.45	6.89
Al ₂ O ₃ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	0.74	0.41	0.44	0.35	0.5	0.32	0.42
SiO ₂ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	4.96	3.91	4.67	4.1	4.92	4.61	5.04
(ZrO ₂ +Li ₂ O) /Al ₂ O ₃	2.55	3.85	4.00	4.55	3.23	5.33	4.18
(SiO ₂ +Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	7.13	5.31	6.27	5.75	7.83	6.9	7.47
折射率	1.5547	1.555	1.5545	1.554	1.5541	1.553	1.5538
热膨胀系数 (×10 ⁻⁷ /K)	77	70	78	74	72	78	79

5 <微晶玻璃实施例>

本实施例采用上述微晶玻璃的制造方法得到具有表 7～表 12 所示的组成的微晶玻璃。另外，通过本发明所述的测试方法测定各微晶玻璃的特性，并将测定结果表示在表 7～表 12 中，以下实施例中所述的室温即 25℃。

表 7.

组分 (wt%)	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#
SiO ₂	70	71	72	73	74	75	76
Al ₂ O ₃	1	2	2	0.5	0.5	0.5	0.5
Li ₂ O	14	13	13	16	15	13	12.5
Na ₂ O	1.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5

P ₂ O ₅	4	6	4.5	3	3	3	3
ZrO ₂	9	7	7	7	7	8	7
K ₂ O	0	0.5	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0.5	0	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0
B ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
Sb ₂ O ₃	0.5	0	0	0	0	0	0.5
合计	100	100	100	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (Li ₂ O+ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	0.04	0.08	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02
(Li ₂ O+ZrO ₂) /SiO ₂	0.33	0.28	0.28	0.32	0.3	0.28	0.26
(MgO+ZnO) /ZrO ₂	0	0	0.07	0	0	0	0
(Li ₂ O+Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	1.67	2.14	2.14	2.36	2.21	1.69	1.86
Al ₂ O ₃ /Li ₂ O	0.07	0.15	0.15	0.03	0.03	0.04	0.04
Li ₂ O/ (ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	1.08	1	1.13	1.6	1.5	1.18	1.25
P ₂ O ₅ +ZrO ₂	13	13	11.5	10	10	11	10
SiO ₂ /ZrO ₂	7.78	10.14	10.29	10.43	10.57	9.38	10.86
Al ₂ O ₃ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	0.08	0.15	0.17	0.05	0.05	0.05	0.05
SiO ₂ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	5.38	5.46	6.26	7.3	7.4	6.82	7.6
(ZrO ₂ +Li ₂ O) /Al ₂ O ₃	23.0	10.0	10.0	46.0	44.0	42.0	39.0
(SiO ₂ +Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	7.89	10.43	10.57	10.50	10.64	9.44	10.93
晶相	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂、磷 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂
折射率	1.5589	1.5534	1.5641	1.5525	1.5558	1.5588	1.5555
热膨胀系数 (×10 ⁻⁷ /K)	80	83	85	82	85	82	88
本体落球高度 (mm)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2500
结晶度 (%)	75	78	73	80	73	75	78
晶粒尺寸 (nm)	25	25	28	25	25	25	25
维氏硬度 (kgf/mm ²)	693	697	690	685	695	688	699
雾度 (%)	0.11	0.13	0.14	0.1	0.11	0.13	0.12
B 值	0.55	0.65	0.63	0.58	0.67	0.65	0.6
400~800nm 的平均光透 过率 (%)	91	91	91	91	91	91	91
550nm 波长的光透 过率 (%)	92	92	92	92	92	92	92
介电常数 (测试频率)	6.7	6.6	6.6	6.8	6.5	6.1	6.1

6.701GHz)							
介电损耗 (测试频率 6.701GHz)	0.0065	0.0047	0.005	0.007	0.0068	0.0064	0.0065
室温表面电阻 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	4×10^{12}	7×10^{12}	5×10^{12}	0.7×10^{12}	0.9×10^{12}	8×10^{12}	13×10^{12}

5 表 8.

组分 (wt%)	8#	9#	10#	11#	12#	13#	14#
SiO ₂	70.5	71.5	72.5	73.5	74.5	75.5	68
Al ₂ O ₃	0.5	0.5	0.5	1.5	0.5	0.5	1.5
Li ₂ O	18.5	12.5	12.5	13	13	13	20
Na ₂ O	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5
P ₂ O ₅	3	3	3	4	4	3	4
ZrO ₂	7	12	10	7	7	7	6
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0	0.5	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0
B ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0.5	0	0	0	0
Sb ₂ O ₃	0	0	0.5	0	0	0.5	0
合计	100	100	100	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (Li ₂ O+ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	0.02	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02	0.05
(Li ₂ O+ZrO ₂) /SiO ₂	0.36	0.34	0.31	0.27	0.27	0.26	0.38
(MgO+ZnO) /ZrO ₂	0	0	0	0.07	0	0	0
(Li ₂ O+Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	2.71	1.08	1.3	2.07	1.93	1.93	3.58
Al ₂ O ₃ /Li ₂ O	0.03	0.04	0.04	0.12	0.04	0.04	0.08
Li ₂ O/ (ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	1.85	0.83	0.96	1.18	1.18	1.3	2
P ₂ O ₅ +ZrO ₂	10	15	13	11	11	10	10
SiO ₂ /ZrO ₂	10.07	5.96	7.25	10.5	10.64	10.79	11.33
Al ₂ O ₃ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	0.05	0.03	0.04	0.14	0.05	0.05	0.15
SiO ₂ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	7.05	4.77	5.58	6.68	6.77	7.55	6.8
(ZrO ₂ +Li ₂ O) /Al ₂ O ₃	51.0	49.0	45.0	13.33	40.0	40.0	17.33
(SiO ₂ +Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	10.14	6.00	7.30	10.71	10.71	10.86	11.58
晶相	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂
折射率	1.5566	1.5578	1.5535	1.5525	1.5549	1.5578	1.5538
热膨胀系数 ($\times 10^{-7}/\text{K}$)	82	88	82	86	89	85	89
本体落球高度 (mm)	2000	2000	2000	2000	2500	2200	2000

结晶度 (%)	76	73	75	74	77	72	71
晶粒尺寸 (nm)	28	25	25	25	27	25	25
维氏硬度 (kgf/mm ²)	703	702	703	700	695	693	685
雾度 (%)	0.11	0.12	0.12	0.12	0.11	0.13	0.11
B 值	0.62	0.68	0.63	0.58	0.54	0.57	0.68
400~800nm 的平均光透过率 (%)	91	91	91	91	91	91	91
550nm 波长的光透过率 (%)	92	92	92	92	92	92	92
介电常数 (测试频率 6.701GHz)	7	6	6	6.5	6.1	6.1	7.3
介电损耗 (测试频率 6.701GHz)	0.0073	0.0064	0.0066	0.0047	0.0063	0.0068	0.0063
室温表面电阻 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	0.9×10^{12}	11×10^{12}	12×10^{12}	9×10^{12}	7×10^{12}	8×10^{12}	0.6×10^{12}

5 表 9.

组分 (wt%)	15#	16#	17#	18#	19#	20#	21#
SiO ₂	68.5	69	69.5	76.5	77	77.5	78
Al ₂ O ₃	1.5	3	4.5	0.5	0.5	1.5	0.5
Li ₂ O	18	16	14	12.5	12.5	12.5	12.5
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0.5
P ₂ O ₅	6	6	6	2.5	2.5	2.5	2.5
ZrO ₂	6	6	6	8	7.5	6	6
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0	0	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0
B ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
Sb ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
合计	100	100	100	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (Li ₂ O+ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	0.05	0.11	0.17	0.02	0.02	0.07	0.02
(Li ₂ O+ZrO ₂) /SiO ₂	0.35	0.32	0.29	0.27	0.26	0.24	0.24
(MgO+ZnO) /ZrO ₂	0	0	0	0	0	0	0
(Li ₂ O+Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	3.25	3.17	3.08	1.63	1.73	2.33	2.17
Al ₂ O ₃ /Li ₂ O	0.08	0.19	0.32	0.04	0.04	0.12	0.04
Li ₂ O/ (ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	1.5	1.33	1.17	1.19	1.25	1.47	1.47
P ₂ O ₅ +ZrO ₂	12	12	12	10.5	10	8.5	8.5
SiO ₂ /ZrO ₂	11.42	11.5	11.58	9.56	10.27	12.92	13.0
Al ₂ O ₃ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	0.13	0.25	0.38	0.05	0.05	0.18	0.06

SiO ₂ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	5.71	5.75	5.79	7.29	7.70	9.12	9.18
(ZrO ₂ +Li ₂ O) /Al ₂ O ₃	16.0	7.33	4.44	41.0	40.0	12.33	37.0
(SiO ₂ +Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	11.67	12.0	12.33	9.63	10.33	13.17	13.08
晶相	一硅酸 锂、二硅 酸锂、磷 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂、磷 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂、磷 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂
折射率	1.5522	1.5526	1.555	1.5525	1.561	1.5612	1.5605
热膨胀系数 (×10 ⁻⁷ /K)	90	80	83	75	76	78	75
本体落球高度 (mm)	2000	2000	2000	2100	2200	2100	2300
结晶度 (%)	73	75	63	71	75	73	78
晶粒尺寸 (nm)	29	29	35	29	29	25	26
维氏硬度 (kgf/mm ²)	695	700	685	685	685	695	685
雾度 (%)	0.12	0.12	0.16	0.11	0.12	0.12	0.12
B 值	0.63	0.68	0.65	0.57	0.63	0.72	0.75
400~800nm 的平均光透 过率 (%)	91	91	88	91	91	91	91
550nm 波长的光透过率 (%)	92	92	92	92	92	92	92
介电常数 (测试频率 6.701GHz)	7	6.8	6.4	6	6	6.5	6
介电损耗 (测试频率 6.701GHz)	0.0062	0.006	0.007	0.0063	0.0065	0.0047	0.0067
室温表面电阻 (Ω • cm)	0.7×10 ¹²	3×10 ¹²	7×10 ¹²	10×10 ¹²	11×10 ¹²	12×10 ¹²	9×10 ¹²

5 表 10.

组分 (wt%)	22#	23#	24#	25#	26#	27#	28#
SiO ₂	65	65.5	66	66.5	67	67.5	78.5
Al ₂ O ₃	0	0.5	0	0	4.5	1	0
Li ₂ O	25	15	15	15	15	15	10
Na ₂ O	0	1.5	0	6	0.5	0.5	0
P ₂ O ₅	3	2	8	2	4	4	2
ZrO ₂	7	15	6	5.5	7	7	5
K ₂ O	0	0.5	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0	0	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	5	0	0	0	0
BaO	0	0	0	5	0	0	0
B ₂ O ₃	0	0	0	0	2	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	5	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	4.5
Sb ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0

合计	100	100	100	100	100	100	100
$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$	0	0.02	0	0	0.17	0.04	0
$(\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2) / \text{SiO}_2$	0.49	0.46	0.32	0.31	0.33	0.33	0.19
$(\text{MgO} + \text{ZnO}) / \text{ZrO}_2$	0	0	0	0	0	0	0
$(\text{Li}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{ZrO}_2$	3.57	1.03	2.5	2.73	2.79	2.29	2
$\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Li}_2\text{O}$	0	0.03	0	0	0.3	0.07	0
$\text{Li}_2\text{O} / (\text{ZrO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$	2.5	0.88	1.07	2	1.36	1.36	1.43
$\text{P}_2\text{O}_5 + \text{ZrO}_2$	10	17	14	7.5	11	11	7
$\text{SiO}_2 / \text{ZrO}_2$	9.29	4.37	11.0	12.09	9.57	9.64	15.7
$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{P}_2\text{O}_5 + \text{ZrO}_2)$	0	0.03	0	0	0.41	0.09	0
$\text{SiO}_2 / (\text{P}_2\text{O}_5 + \text{ZrO}_2)$	6.50	3.85	4.71	8.87	6.09	6.14	11.21
$(\text{ZrO}_2 + \text{Li}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$	-	60.0	-	-	4.89	22.0	-
$(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{ZrO}_2$	9.29	4.4	11.0	12.09	10.21	9.79	15.7
晶相	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂、磷 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂
折射率	1.5525	1.5606	1.5559	1.5633	1.5549	1.5589	1.5642
热膨胀系数 ($\times 10^{-7}/\text{K}$)	75	76	77	77	83	85	86
本体落球高度 (mm)	1900	1700	1900	1900	1900	2000	1800
结晶度 (%)	71	75	73	72	78	76	74
晶粒尺寸 (nm)	25	25	28	25	29	25	27
维氏硬度 (kgf/mm^2)	685	680	680	680	680	680	685
雾度 (%)	0.14	0.14	0.14	0.14	0.18	0.14	0.14
B 值	0.78	0.79	0.56	0.65	0.68	0.67	0.84
400~800nm 的平均光透 过率 (%)	89	90	89	89	88	91	89
550nm 波长的光透过程 率 (%)	92	92	92	92	92	92	92
介电常数 (测试频率 6.701GHz)	7.5	6.6	6.6	6.6	7.1	7	5.8
介电损耗 (测试频率 6.701GHz)	0.0095	0.0082	0.0087	0.0088	0.0051	0.0052	0.0072
室温表面电阻 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	0.5×10^{12}	3×10^{12}	3×10^{12}	4×10^{12}	3×10^{12}	4×10^{12}	13×10^{12}

5 表 11.

组分 (wt%)	29#	30#	31#	32#	33#	34#	35#
SiO_2	79	78.5	78	60	60.5	61	61.5
Al_2O_3	0	0	2	7.5	4.5	6	6.5
Li_2O	10	10	10	14	13	13	13
Na_2O	0	0	0	3	2.5	2	2
P_2O_5	2	2	2	3	2.5	3.5	3

ZrO ₂	7	7	5	7	10	11	12
K ₂ O	0	0	0	0	0.5	1	0
ZnO	2	0	2	0	0	0	0.5
MgO	0	2	1	0	0.5	0	0.5
CaO	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	1	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0.5
B ₂ O ₃	0	0	0	0	0.5	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	1	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	5	5	0	0
Sb ₂ O ₃	0	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5
合计	100	100	100	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (Li ₂ O+ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	0	0	0.12	0.31	0.18	0.22	0.23
(Li ₂ O+ZrO ₂) /SiO ₂	0.22	0.22	0.19	0.35	0.38	0.39	0.41
(MgO+ZnO) /ZrO ₂	0.29	0.29	0.6	0	0.05	0	0.08
(Li ₂ O+Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	1.43	1.43	2.4	3.07	1.75	1.73	1.63
Al ₂ O ₃ /Li ₂ O	0	0	0.2	0.54	0.35	0.46	0.5
Li ₂ O/ (ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	1.11	1.11	1.43	1.4	1.04	0.9	0.87
P ₂ O ₅ +ZrO ₂	9	9	7	10	12.5	14.5	15
SiO ₂ /ZrO ₂	11.29	11.21	15.60	8.57	6.05	5.55	5.13
Al ₂ O ₃ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	0	0	0.29	0.75	0.36	0.41	0.43
SiO ₂ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	8.78	8.72	11.14	6.00	4.84	4.21	4.1
(ZrO ₂ +Li ₂ O) /Al ₂ O ₃	-	-	7.50	2.8	5.11	4.0	3.85
(SiO ₂ +Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	11.29	11.21	16.0	9.64	6.5	6.09	5.67
晶相	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	二硅酸 锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂
折射率	1.5579	1.5532	1.5567	1.5576	1.5571	1.5592	1.5618
热膨胀系数 (×10 ⁻⁷ /K)	88	82	86	79	78	75	75
本体落球高度 (mm)	1900	1800	1900	2000	2000	2000	2000
结晶度 (%)	77	72	71	80	85	83	79
晶粒尺寸 (nm)	27	29	26	25	25	25	27
维氏硬度 (kgf/mm ²)	644	649	648	704	722	725	705
雾度 (%)	0.14	0.14	0.14	0.1	0.12	0.9	0.13
B 值	0.76	0.73	0.75	0.7	0.34	0.6	0.66
400~800nm 的平均光透 过率 (%)	89	89	89	89	91	91	91
550nm 波长的光透过率 (%)	92	92	92	92	92	92	92
介电常数 (测试频率 6.701GHz)	5.8	5.8	6.3	6.7	6.8	6.7	6.5
介电损耗 (测试频率)	0.0076	0.0071	0.0044	0.0055	0.0047	0.0048	0.005

6.701GHz)							
室温表面电阻 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	14×10^{12}	12×10^{12}	11×10^{12}	8×10^{12}	5×10^{12}	3×10^{12}	4×10^{12}

5 表 12.

组分 (wt%)	36#	37#	38#	39#	40#	41#	42#
SiO ₂	62	62.5	63	63.5	64	64.5	65.5
Al ₂ O ₃	9.3	6.5	6	5.5	6.5	4.5	5.5
Li ₂ O	13.7	12	13	13	12	14	13.5
Na ₂ O	1	2	2	1	2	2.5	1.5
P ₂ O ₅	2.5	3	2.5	3.5	4	4	3.5
ZrO ₂	10	13	11	12	9	10	9.5
K ₂ O	0	0	0	0	1	0	0.5
ZnO	0	0	1	0	0	0	0
MgO	0	0.5	0	0	0	0	0
CaO	1	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0
B ₂ O ₃	0	0	1	0	0.5	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	1	0.5	0	0
Sb ₂ O ₃	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
合计	100	100	100	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (Li ₂ O+ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	0.35	0.23	0.23	0.19	0.26	0.16	0.21
(Li ₂ O+ZrO ₂) /SiO ₂	0.38	0.40	0.38	0.39	0.33	0.37	0.35
(MgO+ZnO) /ZrO ₂	0	0.04	0.09	0	0	0	0
(Li ₂ O+Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	2.3	1.42	1.73	1.54	2.06	1.85	2.0
Al ₂ O ₃ /Li ₂ O	0.68	0.54	0.46	0.42	0.54	0.32	0.41
Li ₂ O/ (ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	1.1	0.75	0.96	0.84	0.92	1.0	1.04
P ₂ O ₅ +ZrO ₂	12.5	16	13.5	15.5	13	14	13
SiO ₂ /ZrO ₂	6.2	4.81	5.73	5.29	7.11	6.45	6.89
Al ₂ O ₃ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	0.74	0.41	0.44	0.35	0.5	0.32	0.42
SiO ₂ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	4.96	3.91	4.67	4.1	4.92	4.61	5.04
(ZrO ₂ +Li ₂ O) /Al ₂ O ₃	2.55	3.85	4.00	4.55	3.23	5.33	4.18
(SiO ₂ +Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	7.13	5.31	6.27	5.75	7.83	6.9	7.47
晶相	一硅酸 锂、二硅 酸锂	二硅酸 锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	二硅酸 锂	二硅酸 锂	二硅酸 锂	二硅酸 锂
折射率	1.5619	1.5566	1.5569	1.5594	1.5602	1.5603	1.5618
热膨胀系数 ($\times 10^{-7}/\text{K}$)	71	72	73	75	78	82	72
本体落球高度 (mm)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
结晶度 (%)	76	85	84	82	78	81	80
晶粒尺寸 (nm)	25	25	25	29	25	25	25

维氏硬度 (kgf/mm ²)	741	756	725	747	733	745	740
雾度 (%)	0.12	0.1	0.9	0.12	0.1	0.9	0.9
B 值	0.65	0.57	0.63	0.63	0.65	0.42	0.54
400~800nm 的平均光透过率 (%)	89	90	91	91	91	91	91
550nm 波长的光透过率 (%)	92	92	92	92	92	92	92
介电常数 (测试频率 6.701GHz)	6.4	6.7	6.8	6.8	6.6	6.9	6.8
介电损耗 (测试频率 6.701GHz)	0.0051	0.0048	0.0049	0.0052	0.0045	0.0054	0.0053
室温表面电阻 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	8×10^{12}	6×10^{12}	7×10^{12}	8×10^{12}	5×10^{12}	7×10^{12}	9×10^{12}

5 <微晶玻璃制品实施例>

本实施例采用上述微晶玻璃制品的制造方法得到具有表 13~表 18 所示组成的微晶玻璃制品。另外,通过本发明所述的测试方法测定各微晶玻璃制品的特性,并将测定结果表示在表 13~表 18 中。

表 13.

组分 (wt%)	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#
SiO ₂	70	71	72	73	74	75	76
Al ₂ O ₃	1	2	2	0.5	0.5	0.5	0.5
Li ₂ O	14	13	13	16	15	13	12.5
Na ₂ O	1.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5
P ₂ O ₅	4	6	4.5	3	3	3	3
ZrO ₂	9	7	7	7	7	8	7
K ₂ O	0	0.5	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0.5	0	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0
B ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
Sb ₂ O ₃	0.5	0	0	0	0	0	0.5
合计	100	100	100	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (Li ₂ O+ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	0.04	0.08	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02
(Li ₂ O+ZrO ₂) /SiO ₂	0.33	0.28	0.28	0.32	0.3	0.28	0.26
(MgO+ZnO) /ZrO ₂	0	0	0.07	0	0	0	0
(Li ₂ O+Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	1.67	2.14	2.14	2.36	2.21	1.69	1.86
Al ₂ O ₃ /Li ₂ O	0.07	0.15	0.15	0.03	0.03	0.04	0.04
Li ₂ O/ (ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	1.08	1	1.13	1.6	1.5	1.18	1.25
P ₂ O ₅ +ZrO ₂	13	13	11.5	10	10	11	10

SiO ₂ /ZrO ₂	7.78	10.14	10.29	10.43	10.57	9.38	10.86
Al ₂ O ₃ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	0.08	0.15	0.17	0.05	0.05	0.05	0.05
SiO ₂ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	5.38	5.46	6.26	7.3	7.4	6.82	7.6
(ZrO ₂ +Li ₂ O) /Al ₂ O ₃	23.0	10.0	10.0	46.0	44.0	42.0	39.0
(SiO ₂ +Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	7.89	10.43	10.57	10.50	10.64	9.44	10.93
晶相	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂、磷 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂
结晶度 (%)	75	78	73	80	73	75	78
离子交换层深度 (μm)	78	68	79	68	75	65	75
落球试验高度 (mm)	1700	1700	1800	1700	1700	1700	1800
断裂韧性 (MPa•m ^{1/2})	1.6	1.7	1.8	1.7	1.6	1.9	1.7
四点弯曲强度 (MPa)	725	738	726	725	743	755	755
晶粒尺寸 (nm)	25	25	28	25	25	25	25
维氏硬度 (kgf/mm ²)	836	823	830	791	786	787	791
雾度 (%)	0.11	0.13	0.14	0.1	0.11	0.13	0.12
B 值	0.55	0.65	0.63	0.58	0.67	0.65	0.6
400~800nm 的平均光透 过率 (%)	91	91	91	91	91	91	91
550nm 波长的光透过率 (%)	92	92	92	92	92	92	92
介电常数 (测试频率 6.701GHz)	6.7	6.6	6.6	6.8	6.5	6.1	6.1
介电损耗 (测试频率 6.701GHz)	0.0065	0.0047	0.005	0.007	0.0068	0.0064	0.0065

5 表 14.

组分 (wt%)	8#	9#	10#	11#	12#	13#	14#
SiO ₂	70.5	71.5	72.5	73.5	74.5	75.5	68
Al ₂ O ₃	0.5	0.5	0.5	1.5	0.5	0.5	1.5
Li ₂ O	18.5	12.5	12.5	13	13	13	20
Na ₂ O	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5
P ₂ O ₅	3	3	3	4	4	3	4
ZrO ₂	7	12	10	7	7	7	6
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0	0.5	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0
B ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0

Y ₂ O ₃	0	0	0.5	0	0	0	0
Sb ₂ O ₃	0	0	0.5	0	0	0.5	0
合计	100	100	100	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (Li ₂ O+ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	0.02	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02	0.05
(Li ₂ O+ZrO ₂) /SiO ₂	0.36	0.34	0.31	0.27	0.27	0.26	0.38
(MgO+ZnO) /ZrO ₂	0	0	0	0.07	0	0	0
(Li ₂ O+Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	2.71	1.08	1.3	2.07	1.93	1.93	3.58
Al ₂ O ₃ /Li ₂ O	0.03	0.04	0.04	0.12	0.04	0.04	0.08
Li ₂ O/ (ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	1.85	0.83	0.96	1.18	1.18	1.3	2
P ₂ O ₅ +ZrO ₂	10	15	13	11	11	10	10
SiO ₂ /ZrO ₂	10.07	5.96	7.25	10.5	10.64	10.79	11.33
Al ₂ O ₃ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	0.05	0.03	0.04	0.14	0.05	0.05	0.15
SiO ₂ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	7.05	4.77	5.58	6.68	6.77	7.55	6.8
(ZrO ₂ +Li ₂ O) /Al ₂ O ₃	51.0	49.0	45.0	13.33	40.0	40.0	17.33
(SiO ₂ +Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	10.14	6.00	7.30	10.71	10.71	10.86	11.58
晶相	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂
结晶度 (%)	76	73	75	74	77	72	71
离子交换层深度 (μm)	74	55	60	67	55	70	41
落球试验高度 (mm)	1700	1700	1700	1800	1700	1700	1700
断裂韧性 (MPa•m ^{1/2})	1.8	1.9	1.6	1.7	1.7	1.8	1.6
四点弯曲强度 (MPa)	710	762	735	739	765	736	715
晶粒尺寸 (nm)	28	25	25	25	27	25	25
维氏硬度 (kgf/mm ²)	801	820	825	804	865	837	803
雾度 (%)	0.11	0.12	0.12	0.12	0.11	0.13	0.11
B 值	0.62	0.68	0.63	0.58	0.54	0.57	0.68
400~800nm 的平均光透 过率 (%)	91	91	91	91	91	91	91
550nm 波长的光透过率 (%)	92	92	92	92	92	92	92
介电常数 (测试频率 6.701GHz)	7	6	6	6.5	6.1	6.1	7.3
介电损耗 (测试频率 6.701GHz)	0.0073	0.0064	0.0066	0.0047	0.0063	0.0068	0.0063

5 表 15.

组分 (wt%)	15#	16#	17#	18#	19#	20#	21#
SiO ₂	68.5	69	69.5	76.5	77	77.5	78
Al ₂ O ₃	1.5	3	4.5	0.5	0.5	1.5	0.5
Li ₂ O	18	16	14	12.5	12.5	12.5	12.5
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0.5

P ₂ O ₅	6	6	6	2.5	2.5	2.5	2.5
ZrO ₂	6	6	6	8	7.5	6	6
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0	0	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0
B ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
Sb ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
合计	100	100	100	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ / (Li ₂ O+ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	0.05	0.11	0.17	0.02	0.02	0.07	0.02
(Li ₂ O+ZrO ₂) /SiO ₂	0.35	0.32	0.29	0.27	0.26	0.24	0.24
(MgO+ZnO) /ZrO ₂	0	0	0	0	0	0	0
(Li ₂ O+Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	3.25	3.17	3.08	1.63	1.73	2.33	2.17
Al ₂ O ₃ /Li ₂ O	0.08	0.19	0.32	0.04	0.04	0.12	0.04
Li ₂ O/ (ZrO ₂ +P ₂ O ₅)	1.5	1.33	1.17	1.19	1.25	1.47	1.47
P ₂ O ₅ +ZrO ₂	12	12	12	10.5	10	8.5	8.5
SiO ₂ /ZrO ₂	11.42	11.5	11.58	9.56	10.27	12.92	13.0
Al ₂ O ₃ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	0.13	0.25	0.38	0.05	0.05	0.18	0.06
SiO ₂ / (P ₂ O ₅ +ZrO ₂)	5.71	5.75	5.79	7.29	7.70	9.12	9.18
(ZrO ₂ +Li ₂ O) /Al ₂ O ₃	16.0	7.33	4.44	41.0	40.0	12.33	37.0
(SiO ₂ +Al ₂ O ₃) /ZrO ₂	11.67	12.0	12.33	9.63	10.33	13.17	13.08
晶相	一硅酸 锂、二硅 酸锂、磷 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂、磷 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂、磷 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂
结晶度 (%)	73	75	63	71	75	73	78
离子交换层深度 (μm)	43	45	45	63	59	71	65
落球试验高度 (mm)	1700	1700	1700	1700	1700	1600	1600
断裂韧性 (MPa•m ^{1/2})	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
四点弯曲强度 (MPa)	715	720	705	738	748	718	725
晶粒尺寸 (nm)	29	29	35	29	29	25	26
维氏硬度 (kgf/mm ²)	808	811	813	824	806	785	800
雾度 (%)	0.12	0.12	0.16	0.11	0.12	0.12	0.12
B 值	0.63	0.68	0.65	0.57	0.63	0.72	0.75
400~800nm 的平均光透 过率 (%)	91	91	88	91	91	91	91
550nm 波长的光透过率 (%)	92	92	92	92	92	92	92

介电常数（测试频率 6.701GHz）	7	6.8	6.4	6	6	6.5	6
介电损耗（测试频率 6.701GHz）	0.0062	0.006	0.007	0.0063	0.0065	0.0047	0.0067

5 表 16.

组分（wt%）	22#	23#	24#	25#	26#	27#	28#
SiO ₂	65	65.5	66	66.5	67	67.5	78.5
Al ₂ O ₃	0	0.5	0	0	4.5	1	0
Li ₂ O	25	15	15	15	15	15	10
Na ₂ O	0	1.5	0	6	0.5	0.5	0
P ₂ O ₅	3	2	8	2	4	4	2
ZrO ₂	7	15	6	5.5	7	7	5
K ₂ O	0	0.5	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0	0	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	5	0	0	0	0
BaO	0	0	0	5	0	0	0
B ₂ O ₃	0	0	0	0	2	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	5	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	4.5
Sb ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
合计	100	100	100	100	100	100	100
Al ₂ O ₃ /（Li ₂ O+ZrO ₂ +P ₂ O ₅ ）	0	0.02	0	0	0.17	0.04	0
（Li ₂ O+ZrO ₂ ）/SiO ₂	0.49	0.46	0.32	0.31	0.33	0.33	0.19
（MgO+ZnO）/ZrO ₂	0	0	0	0	0	0	0
（Li ₂ O+Al ₂ O ₃ ）/ZrO ₂	3.57	1.03	2.5	2.73	2.79	2.29	2
Al ₂ O ₃ /Li ₂ O	0	0.03	0	0	0.3	0.07	0
Li ₂ O/（ZrO ₂ +P ₂ O ₅ ）	2.5	0.88	1.07	2	1.36	1.36	1.43
P ₂ O ₅ +ZrO ₂	10	17	14	7.5	11	11	7
SiO ₂ /ZrO ₂	9.29	4.37	11.0	12.09	9.57	9.64	15.7
Al ₂ O ₃ /（P ₂ O ₅ +ZrO ₂ ）	0	0.03	0	0	0.41	0.09	0
SiO ₂ /（P ₂ O ₅ +ZrO ₂ ）	6.50	3.85	4.71	8.87	6.09	6.14	11.21
（ZrO ₂ +Li ₂ O）/Al ₂ O ₃	—	60.0	—	—	4.89	22.0	—
（SiO ₂ +Al ₂ O ₃ ）/ZrO ₂	9.29	4.4	11.0	12.09	10.21	9.79	15.7
晶相	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂、磷 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂
结晶度（%）	71	75	73	72	78	76	74
离子交换层深度（μm）	42	41	63	47	53	58	63

落球试验高度 (mm)	1500	1500	1600	1600	1600	1700	1500
断裂韧性 ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)	1.1	1.6	1.7	1.6	1.6	1.7	1.7
四点弯曲强度 (MPa)	705	725	735	745	755	735	748
晶粒尺寸 (nm)	25	25	28	25	29	25	27
维氏硬度 (kgf/mm^2)	805	795	816	811	805	804	798
雾度 (%)	0.14	0.14	0.14	0.14	0.18	0.14	0.14
B 值	0.78	0.79	0.56	0.65	0.68	0.67	0.84
400~800nm 的平均光透过率 (%)	89	90	89	89	88	91	89
550nm 波长的光透过率 (%)	92	92	92	92	92	92	92
介电常数 (测试频率 6.701GHz)	7.5	6.6	6.6	6.6	7.1	7	5.8
介电损耗 (测试频率 6.701GHz)	0.0095	0.0082	0.0087	0.0088	0.0051	0.0052	0.0072

5 表 17.

组分 (wt%)	29#	30#	31#	32#	33#	34#	35#
SiO_2	79	78.5	78	60	60.5	61	61.5
Al_2O_3	0	0	2	7.5	4.5	6	6.5
Li_2O	10	10	10	14	13	13	13
Na_2O	0	0	0	3	2.5	2	2
P_2O_5	2	2	2	3	2.5	3.5	3
ZrO_2	7	7	5	7	10	11	12
K_2O	0	0	0	0	0.5	1	0
ZnO	2	0	2	0	0	0	0.5
MgO	0	2	1	0	0.5	0	0.5
CaO	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	1	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0.5
B_2O_3	0	0	0	0	0.5	0	0
TiO_2	0	0	0	0	0	1	0
Y_2O_3	0	0	0	5	5	0	0
Sb_2O_3	0	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5
合计	100	100	100	100	100	100	100
$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$	0	0	0.12	0.31	0.18	0.22	0.23
$(\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2) / \text{SiO}_2$	0.22	0.22	0.19	0.35	0.38	0.39	0.41
$(\text{MgO} + \text{ZnO}) / \text{ZrO}_2$	0.29	0.29	0.6	0	0.05	0	0.08
$(\text{Li}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{ZrO}_2$	1.43	1.43	2.4	3.07	1.75	1.73	1.63
$\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Li}_2\text{O}$	0	0	0.2	0.54	0.35	0.46	0.5
$\text{Li}_2\text{O} / (\text{ZrO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$	1.11	1.11	1.43	1.4	1.04	0.9	0.87
$\text{P}_2\text{O}_5 + \text{ZrO}_2$	9	9	7	10	12.5	14.5	15
$\text{SiO}_2 / \text{ZrO}_2$	11.29	11.21	15.60	8.57	6.05	5.55	5.13

$\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$	0	0	0.29	0.75	0.36	0.41	0.43
$\text{SiO}_2/(\text{P}_2\text{O}_5+\text{ZrO}_2)$	8.78	8.72	11.14	6.00	4.84	4.21	4.1
$(\text{ZrO}_2+\text{Li}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$	-	-	7.50	2.8	5.11	4.0	3.85
$(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{ZrO}_2$	11.29	11.21	16.0	9.64	6.5	6.09	5.67
晶相	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	二硅酸 锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂
结晶度 (%)	77	72	71	79	78	75	75
离子交换层深度 (μm)	45	43	48	106	125	136	108
落球试验高度 (mm)	1600	1600	1500	1500	1500	1500	1500
断裂韧性 ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)	1.4	1.3	1.1	1.2	1.3	1.4	1.1
四点弯曲强度 (MPa)	705	715	705	789	772	765	735
晶粒尺寸 (nm)	27	29	26	25	25	25	27
维氏硬度 (kgf/mm^2)	785	790	785	793	801	809	783
雾度 (%)	0.14	0.14	0.14	0.1	0.12	0.9	0.13
B 值	0.76	0.73	0.75	0.7	0.34	0.6	0.66
400~800nm 的平均光透 过率 (%)	89	89	89	89	91	91	91
550nm 波长的光透过率 (%)	92	92	92	92	92	92	92
介电常数 (测试频率 6.701GHz)	5.8	5.8	6.3	6.7	6.8	6.7	6.5
介电损耗 (测试频率 6.701GHz)	0.0076	0.0071	0.0044	0.0055	0.0047	0.0048	0.005

5 表 18.

组分 (wt%)	36#	37#	38#	39#	40#	41#	42#
SiO_2	62	62.5	63	63.5	64	64.5	65.5
Al_2O_3	9.3	6.5	6	5.5	6.5	4.5	5.5
Li_2O	13.7	12	13	13	12	14	13.5
Na_2O	1	2	2	1	2	2.5	1.5
P_2O_5	2.5	3	2.5	3.5	4	4	3.5
ZrO_2	10	13	11	12	9	10	9.5
K_2O	0	0	0	0	1	0	0.5
ZnO	0	0	1	0	0	0	0
MgO	0	0.5	0	0	0	0	0
CaO	1	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0
B_2O_3	0	0	1	0	0.5	0	0
TiO_2	0	0	0	0	0	0	0
Y_2O_3	0	0	0	1	0.5	0	0
Sb_2O_3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

合计	100	100	100	100	100	100	100
$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$	0.35	0.23	0.23	0.19	0.26	0.16	0.21
$(\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2) / \text{SiO}_2$	0.38	0.40	0.38	0.39	0.33	0.37	0.35
$(\text{MgO} + \text{ZnO}) / \text{ZrO}_2$	0	0.04	0.09	0	0	0	0
$(\text{Li}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{ZrO}_2$	2.3	1.42	1.73	1.54	2.06	1.85	2.0
$\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Li}_2\text{O}$	0.68	0.54	0.46	0.42	0.54	0.32	0.41
$\text{Li}_2\text{O} / (\text{ZrO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$	1.1	0.75	0.96	0.84	0.92	1.0	1.04
$\text{P}_2\text{O}_5 + \text{ZrO}_2$	12.5	16	13.5	15.5	13	14	13
$\text{SiO}_2 / \text{ZrO}_2$	6.2	4.81	5.73	5.29	7.11	6.45	6.89
$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{P}_2\text{O}_5 + \text{ZrO}_2)$	0.74	0.41	0.44	0.35	0.5	0.32	0.42
$\text{SiO}_2 / (\text{P}_2\text{O}_5 + \text{ZrO}_2)$	4.96	3.91	4.67	4.1	4.92	4.61	5.04
$(\text{ZrO}_2 + \text{Li}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$	2.55	3.85	4.00	4.55	3.23	5.33	4.18
$(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{ZrO}_2$	7.13	5.31	6.27	5.75	7.83	6.9	7.47
晶相	一硅酸 锂、二硅 酸锂	二硅酸 锂	一硅酸 锂、二硅 酸锂	二硅酸 锂	二硅酸 锂	二硅酸 锂	二硅酸 锂
结晶度 (%)	71	72	73	75	78	82	72
离子交换层深度 (μm)	127	126	106	125	103	124	110
落球试验高度 (mm)	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
断裂韧性 ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)	1.2	1.1	1.3	1.1	1.5	1.4	1.6
四点弯曲强度 (MPa)	749	758	736	749	758	763	772
晶粒尺寸 (nm)	25	25	25	29	25	25	25
维氏硬度 (kgf/mm^2)	795	816	821	794	806	798	802
雾度 (%)	0.12	0.1	0.9	0.12	0.1	0.9	0.9
B 值	0.65	0.57	0.63	0.63	0.65	0.42	0.54
400~800nm 的平均光透 过率 (%)	89	90	91	91	91	91	91
550nm 波长的光透 过率 (%)	92	92	92	92	92	92	92
介电常数 (测试频率 6.701GHz)	6.4	6.7	6.8	6.8	6.6	6.9	6.8
介电损耗 (测试频率 6.701GHz)	0.0051	0.0048	0.0049	0.0052	0.0045	0.0054	0.0053