

一种微晶玻璃及其制备方法和应用

相关申请的交叉引用

5 本申请要求于 2024 年 02 月 02 日提交中国专利局的申请号为 202410151202.X、名称为“一种微晶玻璃及其制备方法和应用”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及微晶玻璃技术领域，尤其涉及一种以二硅酸锂晶相作为主要晶相的、容易进行化学蚀刻的微晶玻璃及其制备方法和应用。

10 背景技术

随着智能时代的到来，微晶玻璃在电子行业中的应用越来越广泛，例如，手机、电子书阅读器、平板、车载中控屏和各类可穿戴电子设备等，而市场对触摸屏微晶玻璃盖板的厚度要求越来越薄，这使得微晶玻璃盖板的超薄化逐渐成为微晶玻璃的重要发展趋势之一。另外，随着人们对消费电子产品多样化的需求，微晶玻璃盖板逐渐趋向定制化，例如，厚度不等、形状不一，并且微晶玻璃磨砂材质做成的手机后盖越来越受到消费者的青睐。可见，提高微晶玻璃的化学蚀刻减薄速率，有利于提高超薄微晶玻璃制品或定制微晶玻璃制品的生产效率，进而提高其经济效益。

15 另外，目前的微晶玻璃常用的化学减薄技术、AG（抗反射/防眩光）刻蚀技术通常是采用蚀刻液或者蒙砂液，如，采用较高浓度的氢氟酸或与其他酸的混合液，进行刻蚀，这种工艺在生产过程中，需要使用高浓度的酸性液体，使用时间越长，对于操作人员健康和环境的危害也会越大。

20 发明内容

本申请的目的在于提供一种以二硅酸锂晶相作为主要晶相的、容易化学蚀刻减薄的微晶玻璃及其制备方法和应用。本申请的微晶玻璃能够在较低浓度的酸性液体中达到较为优异的化学蚀刻减薄效果，不仅有利于提高微晶玻璃的化学蚀刻减薄速率，利于提高超薄微晶玻璃制品或定制微晶玻璃制品等的生产效率，而且能够避免使用高浓度酸性液体来进行蚀刻减薄，从而能更好地减少蚀刻液对于操作人员健康和环境的危害。

25 本申请提供的技术方案包括：

第一方面，提供了一种微晶玻璃，其中，微晶玻璃中包含二硅酸锂晶相，其中，二硅酸锂晶相的含量大于微晶玻璃中其他晶相的含量；按照氧化物基准的摩尔百分比表示，微晶玻璃包含如下组分：

30 SiO_2 :55.00~65.00mol%、 P_2O_5 :1.00~3.00mol%、 ZrO_2 :2.00~5.00mol%、 Li_2O :25.00~32.00mol%、 Al_2O_3 :0~2.00mol%、 MgO :0~2.00mol%、 Na_2O :0~3.00mol%、 K_2O :0~1.00mol%、 CaO :0~2.00mol%、 SrO :0~2.00mol%、 Ta_2O_5 :0~1.00mol%、 La_2O_3 :0~1.00mol%；

以氧化物基准的摩尔百分比表示的含量计，微晶玻璃的组成满足： $2 \times \text{Li}_2\text{O} + 9 \times \text{ZrO}_2 + 1.2 \times \text{CaO} \geq 88.00\text{mol}\%$ ，可选地 $2 \times \text{Li}_2\text{O} + 9 \times \text{ZrO}_2 + 1.2 \times \text{CaO} \geq 90.00\text{mol}\%$ ，式中，各氧化物化学式分别表示对应组分在微晶玻璃组成中的摩尔百分比含量。示例性的， Li_2O 的摩尔百分比计的含量为 28%，则将 28%代入公式进行计算。

35 在本申请的一些实施方案中，按照氧化物基准的摩尔百分比表示的含量计算，微晶玻璃中 SiO_2 的含量和 Li_2O 的含量满足如下条件：

$\text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{O} = 89.00 \sim 96.00\text{mol}\%$ ；可选地， $\text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{O} = 90.00 \sim 95.00\text{mol}\%$ 。

在本申请的一些实施方案中，按照氧化物基准的摩尔百分比表示的含量计算，微晶玻璃中 SiO_2 的含量和 Li_2O 的含量满足如下条件：

$\text{SiO}_2 / \text{Li}_2\text{O} = 2.00 \sim 2.50$ ；可选地， $\text{SiO}_2 / \text{Li}_2\text{O} = 2.00 \sim 2.30$ 。

40 在本申请的一些实施方案中，按照氧化物基准的摩尔百分比表示的含量计算，微晶玻璃中的组分含量还满足如下条件：

$(\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \geq 0.50$ ；可选地， $(\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$ 的取值为 0.50~0.60，式中，各氧化物化学式分别表示对应组分在微晶玻璃组成中的摩尔百分比含量。

在本申请的一些实施方案中，按照氧化物基准的摩尔百分比表示的含量计算，微晶玻璃中的组分含量还满足如下条件：

45 $(2 \times \text{Li}_2\text{O} - 6 \times \text{P}_2\text{O}_5) / \text{SiO}_2 \geq 0.70$ ，可选地， $(2 \times \text{Li}_2\text{O} - 6 \times \text{P}_2\text{O}_5) / \text{SiO}_2$ 的取值为 0.70~1.00，式中，各氧化物化学式分别表示对应组分在微晶玻璃组成中的摩尔百分比含量。

在本申请的一些实施方案中，按照氧化物基准的摩尔百分比表示：微晶玻璃中包含 58.00~65.00mol% 的 SiO_2 ，可选地，包含 60.00~64.00mol% 的 SiO_2 和/或，微晶玻璃中包含 26.00~32.00mol% 的 Li_2O ，可选地，包含 27.00~31.00mol% 的 Li_2O ；

50 和/或，微晶玻璃中包含 2.50~5.00mol% 的 ZrO_2 ，可选地，包含 3.00~5.00mol% 的 ZrO_2 ；

和/或，微晶玻璃中包含 1.50~3.00mol% 的 P_2O_5 ，可选地，包含 1.50~2.50mol% 的 P_2O_5 。

在本申请的一些实施方案中，按照氧化物基准的摩尔百分比表示，微晶玻璃包含如下组分：

55 SiO_2 :60.50~64.00mol%、 P_2O_5 :1.50~2.50mol%、 ZrO_2 :4.00~5.00mol%、 Li_2O :28.00~31.00mol%、 Al_2O_3 :0~1.50mol%、 MgO :0~2.00mol%、 Na_2O :0~3.00mol%、 K_2O :0~1.00mol%、 CaO :0~2.00mol%、 SrO :0~2.00mol%、 Ta_2O_5 :0~1.00mol%、 La_2O_3 :0~1.00mol%。

在本申请的一些实施方案中，微晶玻璃的结晶度 $\geq 60.00\text{wt}\%$ ，可选地，结晶度为 60.00wt%~90.00wt%。

在本申请的一些实施方案中，微晶玻璃中，平均晶体尺寸小于等于 100nm，可选地，平均晶体尺寸小于等于 50nm，

更可选地,平均晶体尺寸为10~40nm。

在本申请的一些实施方案中,微晶玻璃的密度 $\geq 2.50\text{g/cm}^3$,可选地,密度为 $2.50\text{g/cm}^3\sim 2.70\text{g/cm}^3$ 。

在本申请的一些实施方案中,微晶玻璃的折射率 ≤ 1.60 ,可选地,折射率为 $1.50\sim 1.60$ 。

在本申请的一些实施方案中,微晶玻璃的杨氏模量 $\geq 100\text{GPa}$,可选地,杨氏模量为 $108\sim 130\text{GPa}$,更可选地,杨氏模量为 $114\sim 130\text{GPa}$ 。

在本申请的一些实施方案中,微晶玻璃在可见光范围内是透明的;在微晶玻璃为 0.5mm 厚度时,对于 550nm 波长的光而言,微晶玻璃的透过率 $\geq 85.00\%$,可选地,微晶玻璃的透过率 $\geq 90.00\%$ 。

在本申请的一些实施方案中,在微晶玻璃为 0.5mm 厚度时,微晶玻璃的光学 b 值 ≤ 1.0 ,可选地,光学 b 值 ≤ 0.8 。

在本申请的一些实施方案中,在质量浓度为 10% 的氢氟酸水溶液中于 20°C 静置 20min ,微晶玻璃单位面积质量的变化大于等于 28.00mg/cm^2 ,可选地,微晶玻璃单位面积质量的变化为 $30.00\sim 50.00\text{mg/cm}^2$ 。

在本申请的一些实施方案中,取两主表面中有一面设置有保护膜的微晶玻璃,置于 20°C 的混酸溶液中进行蚀刻减薄,微晶玻璃的刻蚀速率 $\geq 7.00\mu\text{m/min}$,可选地,微晶玻璃的刻蚀速率 $\geq 9.00\mu\text{m/min}$,混酸溶液中:氢氟酸的质量浓度为 $10\text{wt}\%$,硝酸的质量浓度为 $10\text{wt}\%$,磷酸的质量浓度为 $8\text{wt}\%$,表面活性剂的质量浓度为 $1\text{wt}\%$,二乙烯三胺五乙酸的质量浓度为 $0.5\text{wt}\%$,余量为水。具体地,这里的采用如下公式计算刻蚀速率,刻蚀速率=(蚀刻前微晶玻璃样品的厚度-蚀刻后微晶玻璃样品的厚度)/蚀刻时间。本申请中,可选地,表面活性剂包括十二烷基磺酸钠。本申请中,可选地,在倒边条件下进行蚀刻减薄,确保未设置保护膜的一面实现均匀蚀刻。

在本申请的一些实施方案中,前述微晶玻璃通过化学蚀刻处理,可制得防眩光微晶玻璃或抗反射微晶玻璃,防眩光微晶玻璃或抗反射微晶玻璃的深度的中心处的组成与微晶玻璃相同。

在本申请的一些实施方案中,前述微晶玻璃通过化学强化处理,可制得化学强化微晶玻璃,化学强化微晶玻璃的中心处的组成与微晶玻璃相同。

第二方面,提供了一种前述微晶玻璃的制备方法,其中,包括如下步骤:

提供基材玻璃,基材玻璃按照氧化物基准的摩尔百分比表示,包含如下组分: SiO_2 : $55.00\sim 65.00\text{mol}\%$ 、 P_2O_5 : $1.00\sim 3.00\text{mol}\%$ 、 ZrO_2 : $2.00\sim 5.00\text{mol}\%$ 、 Li_2O : $25.00\sim 32.00\text{mol}\%$ 、 Al_2O_3 : $0\sim 2.00\text{mol}\%$ 、 MgO : $0\sim 2.00\text{mol}\%$ 、 Na_2O : $0\sim 3.00\text{mol}\%$ 、 K_2O : $0\sim 1.00\text{mol}\%$ 、 CaO : $0\sim 2.00\text{mol}\%$ 、 SrO : $0\sim 2.00\text{mol}\%$ 、 Ta_2O_5 : $0\sim 1.00\text{mol}\%$ 、 La_2O_3 : $0\sim 1.00\text{mol}\%$,其中,以氧化物基准的摩尔百分比表示的含量计,基材玻璃的组成满足: $2\times\text{Li}_2\text{O}+9\times\text{ZrO}_2+1.2\times\text{CaO}\geq 88.00\text{mol}\%$;

将基材玻璃进行热处理析晶,获得微晶玻璃,微晶玻璃中包含二硅酸锂晶相,其中,二硅酸锂晶相的含量大于微晶玻璃中其他晶相的含量。

在本申请的一些实施方案中,热处理包括核化处理和晶化处理,其中,核化处理温度为 $500\sim 700^\circ\text{C}$,核化处理时间为 $10\sim 1440\text{min}$,晶化处理温度为 $600\sim 750^\circ\text{C}$,晶化处理时间为 $5\sim 1440\text{min}$ 。

在本申请的一些实施方案中,热处理过程的升温速率为 $3\sim 15^\circ\text{C/min}$,可选地,升温速率为 $3\sim 10^\circ\text{C/min}$ 。

第三方面,提供了一种电子设备,电子设备包括前述任一实施方案中的微晶玻璃,或者包括由前述任一实施方案中微晶玻璃经过化学强化制得的化学强化微晶玻璃,该化学强化微晶玻璃的深度中心处的组成与本申请微晶玻璃的组成相同。电子设备包括但不限于手机、平板电脑、电视机、电脑显示屏或智能穿戴设备等。

与现有技术相比,本申请的一个或多个技术方案包括如下有益效果:

本申请对微晶玻璃的组分进行了优化调整,通过使微晶玻璃满足特定的组成和结构,保证微晶玻璃中含有大量的二硅酸锂晶相,不仅确保微晶玻璃具有了高的本征强度和优异的光学性能,而且明显改善微晶玻璃的化学蚀刻减薄效果,使微晶玻璃能够在较低浓度的酸性液体中达到较为优异的化学蚀刻减薄效果,有利于提高微晶玻璃的化学蚀刻减薄速率,进而利于提高超薄微晶玻璃制品或定制微晶玻璃制品等的生产效率。采用本申请的微晶玻璃进行化学蚀刻减薄,能够避免使用高浓度酸性液体,从而能更好地减少蚀刻液对于操作人员健康和环境的危害。

附图说明

图1为本申请中微晶玻璃进行化学蚀刻减薄的流程示意图。

图2为实施例3、实施例6、实施例8、对比例1和对比例6的微晶玻璃的XRD图谱的对比图。

图3为实施例8和对比例6的基材玻璃的DSC曲线的对比图。

图4为实施例8的微晶玻璃的透过率曲线图。

图5为对比例6的微晶玻璃的透过率曲线图。

具体实施方式

本申请将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。本领域普通技术人员基于本申请所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

本申请中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出的具体值。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。

一、对本申请涉及的部分相关术语进行如下解释说明

1、基材玻璃:是指未被核化处理、晶化处理以及强化处理的玻璃,或也称基础玻璃。

2、微晶玻璃:又称玻璃陶瓷,是通过将基材玻璃有目标地受控热处理而制备出的一类同时包含玻璃相和微晶相(或也称晶体相、结晶相)的固体复合材料。

3、核化:通过热处理使玻璃中成核物质生长出小晶核。

4、晶化:玻璃通过热处理在晶核的基础上成长某种晶体。

5、透过率:一定波长的光照射到玻璃表面,光会发生反射、吸收和透过,其中透过部分的强度与入射光强度的

比值即为透过率。

6、结晶度：是指微晶玻璃中晶相或晶体的总质量占微晶玻璃质量的百分比，或也称微晶玻璃中的晶相总含量。

7、光学b值：用于表征材料的黄蓝值。本申请中的光学b值为透射光b值，光学b值为正表示材料偏蓝色。

5 8、折射率：折射率指光在真空中的传播速度与光在该介质中的传播速度之比。

9、主表面：是指玻璃砖或玻璃片中表面积最大的面，如盖板玻璃的上表面或下表面。

10、化学强化微晶玻璃的中心处：包括化学强化微晶玻璃中心深度处及靠近中心深度处的位置。

11、主晶相：或也称主要晶相，是指具有比微晶玻璃中存在的其它晶相更高的重量含量的晶相。

二、本申请所涉及的相关检测方法

10 1、同步热分析测试

将基材玻璃粉碎后，研磨并过200目筛分，得到样品，然后称取20mg左右的样品，采用差热分析仪器，在氮气的保护氛围下，以10℃/min的升温速率从室温加热到1100℃，以获得样品的DSC测试曲线。本申请采用的差热分析仪器为梅特勒托利多TGA/DSC3+热重及同步热分析仪，测试所用标准物为 α - Al_2O_3 粉末，放置样品的容器为铂金坩埚，仪器放置的环境温度为24℃，空气湿度 $\leq 40\%$ 。

15 2、XRD测试

(1) 测试步骤

将微晶玻璃粉碎，研磨成粒径小于75 μm 的样品，利用X射线衍射仪对研磨所得样品进行测试，得到XRD衍射峰曲线和XRD衍射数据。

X射线衍射仪为岛津XRD-6100， $2\theta=10\sim 50^\circ$ ，扫描速度为6°/min，工作电压为40kV，工作电流为30mA。

20 (2) 晶相的确定

利用Jade软件(JADE Standard 8.6)分析XRD衍射数据，确定微晶玻璃样品中的晶相。

(3) 结晶度的确定

将XRD的测试结果(RAW格式)导入X射线衍射数据Rietveld精修软件Jade中进行拟合、计算，即可确定微晶玻璃样品的结晶度。具体地，拟合的晶相峰面积与拟合的全部峰面积的比值记为微晶玻璃样品的结晶度。

25 (4) 平均晶体尺寸的确定

采用XRD测试得到的结果数据，根据Scherrer公式 $D=K\lambda/(\beta\cos\theta)$ ，可以计算出样品的平均晶体尺寸。其中， λ 为X射线波长， $\lambda=0.154056\text{nm}$ ， β 为衍射峰半高宽， $K=0.89$ ， θ 为布拉格衍射角。具体地，将XRD仪器输出的RAW格式的文件在Jade软件中进行曲线拟合，Jade输出拟合报告，根据拟合报告中每个衍射峰对应的角度 2θ 值和Peak FWHM值，将Peak FWHM值转化为弧度制： $\beta=(\text{FWHM}/180\times 3.14)$ ，通过Scherrer公式 $D=K\lambda/(\beta\cos\theta)$ 计算出每个衍射峰的晶体尺寸后进行平均，得到样品中的平均晶体尺寸。

30 3、厚度测试

采用千分尺测试微晶玻璃的厚度。

4、光学性能测试

35 参考国家标准《GB/T 7962.12-2010 无色光学玻璃测试方法 第12部分：光谱内透射比》，采用雾度仪测试本申请微晶玻璃的透过率和光学b值。具体地，利用雾度仪测试同一批次5片微晶玻璃对不同波长的光的透过率及其光学b值。取5片微晶玻璃所测得的在550nm波长光下的透过率的平均值，记为微晶玻璃在550nm波长光下的透过率结果。取5片微晶玻璃所测得的光学b值的平均值，记为微晶玻璃的光学b值结果。

本申请测试所采用的雾度仪为日本柯尼卡美能达分光测色计CM-3600A，受光光学系为透射，分光方式为平面回折光栅，波长范围为360nm~740nm，波长间距为10nm，照明光源为脉冲氙灯 $\times 4$ ，仪器放置的环境温度为24℃，空气湿度为40%。

40 5、杨氏模量测试

采用UMS-100超声材料表征系统，通过声波测试微晶玻璃的杨氏模量。

6、化学蚀刻效果测试

(1) 氢氟酸(HF)水溶液、HCl水溶液或NaOH水溶液的蚀刻测试

45 本申请中，按照GB/T 32644-2016《平板显示器基板玻璃化学耐久性的试验方法》，测试微晶玻璃在HF水溶液、HCl水溶液或NaOH水溶液中的蚀刻效果，并分别计算出各测试条件下，微晶玻璃单位面积质量的变化。

本申请测试采用的HF水溶液的质量浓度为10wt%或5wt%，测试条件为：测试温度为20℃、蚀刻时间或反应时间为20min。

50 本申请测试采用的HCl水溶液的质量浓度为5wt%，测试条件为：测试温度为95℃、蚀刻时间或反应时间为24h。

本申请测试采用的NaOH水溶液的质量浓度为5wt%，测试条件为：测试温度为95℃、蚀刻时间或反应时间为6h。

(2) 混酸溶液的蚀刻测试

55 本申请采用的混酸溶液中：氢氟酸的质量浓度为10wt%，硝酸的质量浓度为10wt%，磷酸的质量浓度为8wt%，表面活性剂的质量浓度为1wt%，二乙烯三胺五乙酸的质量浓度为0.5wt%，余量为水。其中，表面活性剂为十二烷基磺酸钠。

配置混酸溶液的上述试剂，来源如下：表面活性剂：十二烷基磺酸钠，纯度为 $\geq 40\%$ ；二乙烯三胺五乙酸，纯度为 $\geq 13.0\%$ ；氢氟酸，纯度为 $\geq 40\%$ ；磷酸，纯度为 $\geq 85\%$ ；硝酸，纯度为 $\geq 65\%$ 。

本申请采用混酸溶液进行蚀刻处理的测试条件：测试温度为20℃、蚀刻时间或反应时间为30min。具体地：先

将微晶玻璃样品中两个主表面的其中一个附上保护膜,并测试其厚度(T1),然后将覆膜的微晶玻璃样品放入喷涂设备中,设置喷涂设备的喷淋流量为 500L/min,使喷涂设备向微晶玻璃样品未覆膜的一面持续不断地喷淋上述混酸溶液,在此过程中,每隔 15 分钟,将样品进行倒边处理,将样品旋转 180°,确保样品蚀刻的均匀性。记录初始放样时间,待喷涂设备喷淋微晶玻璃样品 30min 之后,将微晶玻璃样品取出,再测试其厚度(T2)。刻蚀速率=(T1-T2)/30。

5 7、密度测试

本申请采用日本 ALFA MIRAGE 的电子密度天平 SD-200L 测试微晶玻璃的密度。

8、折射率测试

本申请采用中国上海力辰邦西仪器科技的阿贝折射仪 WYA-2WAJ 测试微晶玻璃的折射率。

三、微晶玻璃及其制备方法和应用方案

10 现有技术中,为了提高对微晶玻璃的化学蚀刻效率,通常会选择采用高浓度蚀刻溶液与高温协同作用,以增加蚀刻溶液对微晶玻璃的蚀刻速度。但高温条件不仅会导致工作环境的恶化,也会使得蚀刻溶液沸腾并蒸发,不仅会进一步加重高浓度蚀刻液的消耗量,而且对于操作人员健康和环境也会带来危害。

15 为了避免出现前述问题,本申请提供了一种能够在较低浓度的酸性液体中达到较为优异的化学蚀刻效果的微晶玻璃,这不仅降低了蚀刻溶液中酸性液体的使用量,也降低了化学蚀刻时的工作温度,避免蚀刻溶液蒸发而导致的工作环境恶化,还能够进一步减少蚀刻溶液中酸性液体的用量。本申请通过对微晶玻璃的组分进行了优化调整,通过使微晶玻璃满足特定的组成和结构,保证微晶玻璃中含有大量的二硅酸锂晶相,不仅确保微晶玻璃具有了高的本征强度和优异的光学性能,而且明显改善了微晶玻璃的化学蚀刻减薄效果,使微晶玻璃能够在较低浓度的酸性液体中达到较为优异的化学蚀刻减薄效果,有利于提高微晶玻璃的化学蚀刻减薄速率,进而利于提高超薄微晶玻璃制品或定制微晶玻璃制品等的生产效率。该微晶玻璃能够与低浓度的蚀刻溶液快速进行蚀刻反应,并且蚀刻速率较快,20 即便在常温下该微晶玻璃也能够实现较快的蚀刻速率,可以在有效改善蚀刻条件的同时加快蚀刻速率,降低对蚀刻溶液的消耗。同时,采用本申请的微晶玻璃进行化学蚀刻减薄,能够避免使用高浓度酸性液体,从而能更好地减少蚀刻液对于操作人员健康和环境的危害。

在本申请的一些实施方式中,提供了一种微晶玻璃,其中,微晶玻璃中包含二硅酸锂晶相,并且,二硅酸锂晶相的含量大于微晶玻璃中其他晶相的含量;按照氧化物基准的摩尔百分比表示,微晶玻璃包含如下组分:

25 SiO_2 : 55.00~65.00mol%、 P_2O_5 : 1.00~3.00mol%、 ZrO_2 : 2.00~5.00mol%、 Li_2O : 25.00~32.00mol%、 Al_2O_3 : 0~2.00mol%、 MgO : 0~2.00mol%、 Na_2O : 0~3.00mol%、 K_2O : 0~1.00mol%、 CaO : 0~2.00mol%、 SrO : 0~2.00mol%、 Ta_2O_5 : 0~1.00mol%、 La_2O_3 : 0~1.00mol%;

以氧化物基准的摩尔百分比表示的含量计,微晶玻璃的组成满足: $2 \times \text{Li}_2\text{O} + 9 \times \text{ZrO}_2 + 1.2 \times \text{CaO} \geq 88.00\text{mol}\%$, 可选地 $\geq 90.00\text{mol}\%$, 式中,各氧化物化学式分别表示对应组分在微晶玻璃组成中的摩尔百分比含量。通过优化微晶玻璃的组成,使微晶玻璃中各组分满足特定的含量和含量关系,发挥各组分之间的协同配合作用,从而确保使微晶玻璃内部能够形成特定的结构,进而在保证微晶玻璃中含有大量二硅酸锂晶相,确保微晶玻璃具有了高的本征强度和优异的光学性能的同时,也明显改善了微晶玻璃的化学蚀刻减薄效果,使微晶玻璃能够在较低浓度、较低温度的酸性液体中达到较为优异的化学蚀刻减薄效果,有利于提高微晶玻璃的化学蚀刻减薄速率,进而利于提高超薄微晶玻璃制品或定制微晶玻璃制品等的生产效率。

35 二硅酸锂($\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$)晶相是基于 $[\text{Si}_2\text{O}_5]$ 四面体阵列的斜方晶体,晶体的形状是扁平或是板状的。在微晶玻璃的内部,二硅酸锂晶体为无规取向的互锁的微观结构,迫使裂纹通过晶体时路径发生扭曲,从而阻止了裂纹的扩展,提高了微晶玻璃的强度和断裂韧度。与此同时,二硅酸锂晶体的光折射系数与玻璃基质(如,制备微晶玻璃的基材玻璃)接近,是理想的制备高透明微晶玻璃的晶相。本申请中,微晶玻璃包含以二硅酸锂为主要晶相的结构,能够确保其获得高的本征强度(或也称固有强度)和优异的光学性能。同时,本申请的微晶玻璃,相较于其他微晶玻璃,更易进行化学蚀刻减薄。

40 在本申请中, SiO_2 作为玻璃网络的形成体氧化物,是构成玻璃网络结构不可缺少的成分,同时, SiO_2 作为二硅酸锂晶相的重要组成部分,也是必不可少的。但是过量的 SiO_2 会提高玻璃液的粘度,造成玻璃熔融困难。因此,为满足玻璃成形性要求,并实现本申请期望的晶化效果, SiO_2 含量控制在 55.00~65.00mol%。

45 在本申请的一些实施方式中,微晶玻璃中, SiO_2 的含量可以为 55.00~65.00mol%、58.00~64.00mol%、60.00~65.00mol%、60.50~63.50mol%、58.00~65.00mol%或 60.00~64.00mol%。在一些实施方式中,微晶玻璃中, SiO_2 的含量可以为 55.00mol%、56.00mol%、57.00mol%、58.00mol%、59.00mol%、60.00mol%、60.50mol%、60.74 mol%、61.00mol%、61.15 mol%、61.72 mol%、61.76 mol%、61.83mol%、62.00 mol%、62.58 mol%、63.00mol%、63.17 mol%、63.50mol%、64.17 mol%、64.50mol%或 65.00 mol%,或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是,在具体实施方案中,任意上述范围可以与任意其他范围相结合,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

50 在本申请中, Al_2O_3 作为可选组分,是玻璃形成的中间体氧化物,适量的 Al_2O_3 可以稳定网络结构,但是过量的 Al_2O_3 会造成玻璃液粘度的增加,导致透锂长石等其他晶相的析出,会降低主要晶相二硅酸锂晶相的含量。因此,在本申请中为了满足期望的晶相结构,控制 Al_2O_3 含量为 0~2.00mol%。

55 在本申请的一些实施方式中,微晶玻璃中, Al_2O_3 的含量可以为 0~2.00mol%、0.10~1.80mol%、0~1.50mol%、0.20~1.60mol%、0.00~0.50mol%或 1.30~1.50mol%。在一些实施方式中, Al_2O_3 的含量可以为 0.00 mol%、0.10 mol%、0.30 mol%、0.50 mol%、0.70 mol%、0.80 mol%、0.90 mol%、1.00 mol%、1.10 mol%、1.20 mol%、1.30 mol%、1.36 mol%、1.37 mol%、1.38 mol%、1.39 mol%、1.40 mol%、1.42 mol%、1.45 mol%、1.50 mol%、1.60mol%、1.70 mol%或 2.0 mol%,或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是,在具体实施方案中,任意上述范围可以与任意其他范围相结合,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请中, P_2O_5 为成核剂, 是必不可少的成分, 其含量过少或者过多时, 都会导致晶化效果不好, 难以保证得到满足期望光学性能和本征强度的微晶玻璃, 例如, 可能导致微晶玻璃不够透明。因此, 为了确保获得本申请所期望的、满足特定结构的微晶玻璃, 控制 P_2O_5 含量为 1.00~3.00mol%。

在本申请的一些实施方式中, 微晶玻璃中, P_2O_5 的含量可以为 1.00~3.00mol%、1.50~2.50mol%、1.80~1.90mol%、1.60~2.00mol%或 1.50~3.00mol%, 在一些实施方式中, P_2O_5 的含量可以为 1.00mol%、1.20 mol%、1.40 mol%、1.50 mol%、1.60 mol%、1.70 mol%、1.80mol%、1.87 mol%、1.86 mol%、1.85 mol%、1.83 mol%、1.89 mol%、1.82 mol%、1.90mol%、2.00mol%、2.10mol%、2.20mol%、2.30mol%、2.40mol%、2.50mol%、2.60mol%、2.70mol%、2.80mol%、2.90mol%或 3.00mol%, 或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围, 只要能得到本申请所需性能

的微晶玻璃即可。应理解的是, 在具体实施方案中, 任意上述范围可以与任意其他范围相结合, 只要能得到本申请所需性能

的微晶玻璃即可。在本申请中, ZrO_2 是玻璃形成的中间体氧化物, 也是必不可少的成分, 增加一定的 ZrO_2 的含量, 可以提高微晶玻璃的耐碱性能, 但耐酸性会降低。适量的 ZrO_2 利于实现微晶玻璃在酸溶液中的高效化学蚀刻减薄, 同时还能够起到减小晶体尺寸和增加微晶玻璃韧性的作用。但当其含量过高时, 会导致基材玻璃的熔制难度增大, 导致玻璃中出现大量白色沉淀物。因此, 为了保证玻璃的可成型性, 使微晶玻璃具有较高的本征强度和光学性能, 同时改善微晶玻璃的化学蚀刻效果, 控制 ZrO_2 含量为 2.00~5.00mol%。

在本申请的一些实施方式中, 微晶玻璃中, ZrO_2 的含量可以为 2.00~5.00mol%、3.00~4.50mol%、2.50~5.00mol%、4.50~5.00mol%或 3.00~5.00mol%。在一些实施方式中, ZrO_2 的含量可以为 2.00mol%、2.50mol%、3.00mol%、3.10mol%、3.31 mol%、3.50mol%、3.72 mol%、4.00mol%、4.21 mol%、4.44 mol%、4.50mol%、4.57 mol%、4.61 mol%、4.63 mol%、4.66 mol%、4.68 mol%、4.72 mol%或 5.00mol%, 或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围, 只要能得到本申请所需性能

的微晶玻璃即可。应理解的是, 在具体实施方案中, 任意上述范围可以与任意其他范围相结合, 只要能得到本申请所需性能

的微晶玻璃即可。在本申请中, MgO 作为可选组分, 可起到调节微晶玻璃中玻璃相成分的作用, 但是过量 MgO 会影响晶体的生长, 从而影响微晶玻璃的结构, 影响微晶玻璃的机械强度或光学性能等, 因此, 为了确保微晶玻璃满足期望的结构, 控制 MgO 含量为 0~2.00mol%。

在本申请的一些实施方式中, 微晶玻璃中, MgO 的含量可以为 0~2.00mol%、0.10~1.80mol%、0~1.34mol%、0.50~1.60mol%、0.00~0.50mol%或 1.60~1.80mol%。在一些实施方式中, MgO 的含量可以为 0、0.10mol%、0.20mol%、0.30mol%、0.40mol%、0.46mol%、0.50mol%、0.60mol%、0.70mol%、0.80mol%、0.87mol%、0.90mol%、1.00mol%、1.06mol%、1.10mol%、1.20mol%、1.30mol%、1.34mol%、1.40mol%、1.50mol%、1.57mol%、1.60mol%、1.70mol%、1.80mol%、1.89mol%或 2.00mol%, 或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围, 只要能得到本申请

所需性能

的微晶玻璃即可。应理解的是, 在具体实施方案中, 任意上述范围可以与任意其他范围相结合, 只要能得到本申请所需性能

的微晶玻璃即可。在本申请中, Na_2O 作为可选组分, 属于网络外体氧化物, 可提供游离氧。适量的 Na_2O 利于改善玻璃的粘度, 促进玻璃液的熔化和澄清, 但过量的 Na_2O 会影响玻璃的网络结构, 进而影响微晶玻璃的性能。因此, 为了确保微晶玻璃满足期望的结构, 控制 Na_2O 含量为 0~3.00mol%。

在本申请的一些实施方式中, 微晶玻璃中, Na_2O 的含量可以为 0~3.00mol%、0.10~2.80mol%、0.50~2.50mol%、1.00~2.00mol%、0~0.50mol%或 0.50~2.59mol%。在一些实施方式中, Na_2O 的含量可以为 0、0.10mol%、0.20mol%、0.30mol%、0.40mol%、0.50mol%、0.56mol%、0.80mol%、1.00mol%、1.48mol%、1.50mol%、2.00mol%、2.50mol%、2.59mol%、2.80mol%或 3.00mol%, 或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围, 只要能得到本申请

所需性能

的微晶玻璃即可。应理解的是, 在具体实施方案中, 任意上述范围可以与任意其他范围相结合, 只要能得到本申请所需性能

的微晶玻璃即可。在本申请中, Li_2O 是二硅酸锂晶相 ($Li_2Si_2O_5$) 的必要成分, 会直接影响微晶玻璃中含有的二硅酸锂晶相的含量, 且其作为玻璃形成的网络外体氧化物, 可提供游离氧, 改善玻璃液的粘度, 促进玻璃液的熔化和澄清, 同时, 其还能提供锂离子, 用以与熔融盐浴进行离子交换, 是影响微晶玻璃可获得的应力水平的一大重要因素。但过量的 Li_2O 加入, 可能导致玻璃结晶过程稳定性变差, 甚至引起其他晶相的析出, 影响微晶玻璃的结构。因此, 为了确保微晶玻璃满足期望的结构, 具有优异的光学性能和

和高本征强度, 同时改善微晶玻璃的化学蚀刻减薄效果, 控制 Li_2O 含量在 25.00~32.00mol%。

在本申请的一些实施方式中, 微晶玻璃中, Li_2O 的含量可以为 25.00~32.00mol%、27.00~30.00mol%、26.00~32.00mol%、28.00~30.00mol%、27.00~31.00mol%、29.00~32.00mol%或 25.00~30.00mol%。在一些实施方式中, Li_2O 的含量可以为 25.00mol%、26.00mol%、27.00mol%、28.00mol%、28.59mol%、29.00mol%、29.80 mol%、29.52 mol%、29.93 mol%、29.25 mol%、29.30 mol%、29.66 mol%、29.52 mol%、29.05 mol%、30.00mol%、30.22 mol%、31.00mol%、31.07mol%或 32.00mol%, 或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围, 只要能得到本

申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是,在具体实施方案中,任意上述范围可以与任意其他范围相结合,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请中,CaO 为可选组分,适量的 CaO 能够降低玻璃液的高温粘度,有利于玻璃成型,同时能够增强网络结构和玻璃的密度,但是过量的 CaO 会导致玻璃的结晶度急剧下降,使微晶玻璃的本征强度受到影响,还会影响微晶玻璃的化学蚀刻减薄效果,因此,为了确保微晶玻璃获得期望的本征强度,同时实现期望的化学蚀刻减薄效果,控制 CaO 含量为 0~2.00mol%。

在本申请的一些实施方式中,微晶玻璃中,CaO 的含量可以为 0~2.00mol%、0.10~1.90mol%、0~1.83mol%、0.5~1.50mol%、0.60~1.00mol%、0.80~2.00mol%或 0~0.80mol%。在一些实施方式中,CaO 的含量可以为 0、0.10mol%、0.30mol%、0.50mol%、0.60mol%、0.80mol%、0.90mol%、0.92mol%、0.93 mol%、0.94mol%、1.00mol%、1.50mol%、1.80mol%、1.83mol%、1.90mol%或 2.00mol%,或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是,在具体实施方案中,任意上述范围可以与任意其他范围相结合,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请中,SrO 为可选组分,其为碱土金属氧化物,适量 SrO 能起到调节微晶玻璃中玻璃相成分的作用,利于增加微晶玻璃的密度及降低微晶玻璃的膨胀软化点,进而利于热弯成型。但引入过量的 SrO 会使微晶玻璃光学性能变差。因此,为了使微晶玻璃满足优异的光学性能和高本征强度,兼顾改善微晶玻璃的热弯成型效果,控制 SrO 的含量为 0~2.00mol%。

在本申请的一些实施方式中,微晶玻璃中,SrO 的含量可以为 0~2.00mol%、0.10~1.90mol%、0~0.40mol%、0.40~2.00mol%、0~0.46mol%、0.46~1.83mol%或 0.40~1.90mol%。在一些实施方式中,SrO 的含量可以为 0、0.10mol%、0.20mol%、0.30mol%、0.40mol%、0.46mol%、0.50mol%、0.60mol%、0.70mol%、0.80mol%、0.90mol%、0.92mol%、1.00mol%、1.10mol%、1.20mol%、1.30mol%、1.40mol%、1.50mol%、1.60mol%、1.70mol%、1.80mol%、1.83mol%、1.90mol%或 2.00mol%,或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是,在具体实施方案中,任意上述范围可以与任意其他范围相结合,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请中,Ta₂O₅ 是一种能够提高玻璃机械强度的可选成分。但过量的 Ta₂O₅ 容易导致玻璃的耐失透性下降。因此,为了使微晶玻璃满足优异的光学性能和高本征强度,控制 Ta₂O₅ 含量为 0~1.00mol%。在本申请的一些实施方式中,微晶玻璃中,Ta₂O₅ 的含量可以为 0~1.00mol%、0.5~0.9mol%、0~0.50mol%、0.3~0.80mol%或 0~0.46mol%。在一些实施方式中,Ta₂O₅ 的含量可以为 0、0.10mol%、0.20mol%、0.30mol%、0.40mol%、0.46mol%、0.50mol%、0.60mol%、0.70mol%、0.80mol%、0.90mol%、0.98mol%或 1.00mol%,或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是,在具体实施方案中,任意上述范围可以与任意其他范围相结合,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请中,La₂O₃ 是一种能够提高玻璃密度和杨氏模量的可选成分。但过量的 La₂O₃ 容易导致玻璃透过率降低。因此,为了使微晶玻璃满足优异的光学性能和高本征强度,控制 La₂O₃ 含量为 0~1.00mol%。

在一些实施方式中,La₂O₃ 的含量可以为 0~1.00mol%、0.10~0.90mol%、0~0.60mol%、0.20~0.80mol%、0.30~0.70mol%、0~0.53mol%或 0.60~1.00mol%。在一些实施方式中,La₂O₃ 的含量可以为 0、0.10mol%、0.20mol%、0.27mol%、0.30mol%、0.40mol%、0.50mol%、0.53mol%、0.60mol%、0.70mol%、0.80mol%、0.89mol%、0.90mol%或 1.00mol%,或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是,在具体实施方案中,任意上述范围可以与任意其他范围相结合,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请中,还对微晶玻璃的组分进行优化调整,使微晶玻璃的组分满足 $2 \times \text{Li}_2\text{O} + 9 \times \text{ZrO}_2 + 1.2 \times \text{CaO} \geq 88.00\text{mol}\%$, 可选地, $2 \times \text{Li}_2\text{O} + 9 \times \text{ZrO}_2 + 1.2 \times \text{CaO} \geq 90.00\text{mol}\%$, 式中,各氧化物化学式分别表示对应组分在微晶玻璃组分中摩尔百分比含量。通过使微晶玻璃的组成满足这一关系,在确保微晶玻璃获取高的本征强度和优异的光学性能的情况下,可明显改善微晶玻璃的化学蚀刻减薄效果,使微晶玻璃能够在较低浓度的酸性液体中达到较为优异的化学蚀刻减薄效果。

在本申请的一些实施方式中,微晶玻璃中,以氧化物的摩尔百分比计算, $2 \times \text{Li}_2\text{O} + 9 \times \text{ZrO}_2 + 1.2 \times \text{CaO}$ 的值可以为 88.00mol%~105.00mol%、90.00mol%~99.00mol%、89.00mol%~104.00mol%、90.00mol%~103.00mol%、99.00~105.00mol%、88.00mol%~105.00mol%、92.00mol%~105.00mol%、94.00mol%~104.00mol%、98.00mol%~103.00mol%或 88.00mol%~98.00mol%。在一些实施方式中, $2 \times \text{Li}_2\text{O} + 9 \times \text{ZrO}_2 + 1.2 \times \text{CaO}$ 的值可以为 88.00mol%、89.00 mol%、90.00 mol%、90.18 mol%、91.00mol%、92.00 mol%、93.00 mol%、94.00 mol%、94.23 mol%、95.00mol%、96.00mol%、97.00 mol%、97.75 mol%、98.00mol%、98.08 mol%、99.00mol%、99.63 mol%、100.00 mol%、100.41mol%、100.55 mol%、101.00 mol%、101.02 mol%、101.09 mol%、101.49 mol%、101.66 mol%、101.83 mol%、102.00 mol%、103.00 mol%或 105.00mol%,或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是,在具体实施方案中,任意上述范围可以与任意其他范围相结合,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请的一些实施方式中,按照氧化物基准的摩尔百分比表示的含量计算,微晶玻璃中 SiO₂ 的含量和 Li₂O 的含量满足如下条件: $\text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{O} = 89.00 \sim 96.00\text{mol}\%$ 。通过使微晶玻璃满足该关系式的组成,利于保证微晶玻璃中析出期望含量的二硅酸锂晶体,并能有效降低其他晶体,如透锂长石晶体的析出,有利于确保微晶玻璃获得较高的本征强度和优异的光学性能,也有利于使微晶玻璃在化学强化后获得较高的应力水平,同时,还利于保证基材玻璃在热处理制备微晶玻璃时不失透,或者保证基材玻璃在熔制过程中不失透。

在一些实施方式中,微晶玻璃中,以氧化物的摩尔百分比计算, $\text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{O}$ 的值可以为 89.00~96.00mol%、

90.00~95.00mol%、91.00~93.00mol%、90.50~93.50mol%、90.00~92.00mol%或91.00~95.00mol%。在一些实施方式中， $\text{SiO}_2+\text{Li}_2\text{O}$ 的值可以为 89.00mol%、89.79 mol%、90.00mol%、90.40 mol%、90.50mol%、91.00mol%、91.18mol%、91.24 mol%、91.56 mol%、91.63 mol%、91.66 mol%、92.00mol%、92.52 mol%、92.47 mol%、93.00mol%、93.39 mol%、94.00mol%、95.00mol%或96.00mol%，或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是，在具体实施方案中，任意上述范围可以与任意其他范围相结合，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请的一些实施方式中，按照氧化物基准的摩尔百分比表示的含量计算，微晶玻璃中 SiO_2 的含量和 Li_2O 的含量满足如下条件： $\text{SiO}_2/\text{Li}_2\text{O}=2.00\sim2.50$ 。通过使微晶玻璃满足该关系式的组成，利于降低微晶玻璃的晶体尺寸，使微晶玻璃的光学性能得到提升；同时，有利于保证主要晶相二硅酸锂晶体的析出，并能有效降低其他晶相，如透锂长石晶体的析出，有利于确保微晶玻璃获得较高的本征强度，也有利于使微晶玻璃在化学强化后获得较高的应力水平。

在一些实施方式中，微晶玻璃中，以氧化物的摩尔百分比计算， $\text{SiO}_2/\text{Li}_2\text{O}$ 的值可以为 2.00~2.50、2.05~2.25、2.00~2.30 或 2.10~2.35。在一些实施方式中， $\text{SiO}_2/\text{Li}_2\text{O}$ 的值可以为 2.00、2.05、2.07、2.08、2.09、2.10、2.16、2.19、2.20、2.25、2.30、2.35、2.40、2.45 或 2.50，或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是，在具体实施方案中，任意上述范围可以与任意其他范围相结合，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请的一些实施方式中，按照氧化物的摩尔百分比表示的含量计算，微晶玻璃中的组分含量还满足如下条件： $(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2)/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO})\geq 0.50$ ；通过使微晶玻璃满足该关系式的组成，利于在确保微晶玻璃形成特定的网络结构，具有较高本征强度的情况下，进一步改善其化学蚀刻减薄效果。

在一些实施方式中，微晶玻璃中，以氧化物的摩尔百分比计算， $(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2)/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO})$ 的值可以为 0.50~0.60、0.51~0.59、0.55~0.60、0.50~0.55、0.52~0.58、0.53~0.57、0.54~0.56 或 0.51~0.55。在一些实施方式中， $(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2)/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO})$ 的值可以为 0.50、0.51、0.52、0.54、0.53、0.55、0.56、0.57、0.58、0.59 或 0.60，或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是，在具体实施方案中，任意上述范围可以与任意其他范围相结合，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请的一些实施方式中，按照氧化物的摩尔百分比表示的含量计算，微晶玻璃中的组分含量还满足如下条件： $(2\times\text{Li}_2\text{O}-6\times\text{P}_2\text{O}_5)/\text{SiO}_2\geq 0.70$ 。通过使微晶玻璃满足该关系式的组成，利于确保微晶玻璃中析出期望含量的二硅酸锂晶相，进而利于保证微晶玻璃具有高的本征强度。

在一些实施方式中，微晶玻璃中，以氧化物的摩尔百分比计算， $(2\times\text{Li}_2\text{O}-6\times\text{P}_2\text{O}_5)/\text{SiO}_2$ 的值可以为 0.70~1.00、0.80~0.90、0.70~0.80 或 0.90~1.00。在一些实施方式中， $(2\times\text{Li}_2\text{O}-6\times\text{P}_2\text{O}_5)/\text{SiO}_2$ 的值可以为 0.70、0.73、0.75、0.78、0.80、0.90 或 1.00，或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是，在具体实施方案中，任意上述范围可以与任意其他范围相结合，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请的一些实施方式中，按照氧化物基准的摩尔百分比表示，微晶玻璃包含如下组分： SiO_2 ：60.50~64.00mol%、 P_2O_5 ：1.50~2.50mol%、 ZrO_2 ：4.00~5.00mol%、 Li_2O ：28.00~31.00mol%、 Al_2O_3 ：0~1.50mol%、 MgO ：0~2.00mol%、 Na_2O ：0~3.00mol%、 K_2O ：0~1.00mol%、 CaO ：0~2.00mol%、 SrO ：0~2.00mol%、 Ta_2O_5 ：0~1.00mol%、 La_2O_3 ：0~1.00mol%。

在本申请的一些实施方式中，微晶玻璃的结晶度 $\geq 60.00\text{wt}\%$ ，可选地，60.00~90.00wt%。这里的“微晶玻璃的结晶度”是指微晶玻璃中所有晶相/或晶体的含量占微晶玻璃质量的百分比。较高含量的微晶相更有利于提高微晶玻璃的机械强度性能，从而确保微晶玻璃具有更为优异的本征强度。在一些实施方式中，微晶玻璃的结晶度可以为 70.00~90.00wt%、65.00~85.00wt%、60.00~90.00wt%或70.00~80.00wt%。在一些实施方式中，微晶玻璃的结晶度可以为 60.00wt%、65.00wt%、65.40wt%、70.00wt%、70.10wt%、70.40wt%、79.50wt%、75.00wt%、76.70wt%、76.60wt%、79.50wt%、79.10wt%、74.30wt%、70.50wt%、73.50wt%、72.10wt%、73.30wt%、78.30wt%、80.00wt%、85.00wt%或90.00wt%，或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是，在具体实施方案中，任意上述范围可以与任意其他范围相结合，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请的一些实施方式中，“二硅酸锂晶相作为主要晶相”或者“二硅酸锂晶相的含量大于微晶玻璃中其他晶相的含量”等类似表述指的是二硅酸锂晶相占了根据本申请实施方式的微晶玻璃的所有晶相的大于约 70 重量百分比(重量%)。

在本申请的一些实施方式中，微晶玻璃中其他可能的晶相的非限制性例子包括但不限于：透锂长石晶相和/或磷酸锂晶相。在一些实施方式中，微晶玻璃中还包含透锂长石晶相，可选地透锂长石晶相占微晶玻璃的重量百分比小于或等于 20%，更可选地，透锂长石晶相占微晶玻璃的重量百分比可以为小于或等于 15%、小于或等于 10%，或小于或等于 5%。

在本申请的一些实施方式中，微晶玻璃中，平均晶体尺寸 $\leq 100.00\text{nm}$ ，可选地，平均晶体尺寸小于等于 50nm。满足较小的平均晶体尺寸，有利于保证微晶玻璃的优异光学性能。在一些实施方式中，微晶玻璃中，平均晶体尺寸可以为 5~100nm、10~90nm、5~30nm、10~40nm、5~50nm、18.70~26.80nm、20.10~25.60nm、22.80~23.00nm 或 10~30nm。在一些实施方式中，微晶玻璃中，平均晶体尺寸可以为 5.00nm、10.00nm、15.00nm、18.00nm、18.70nm、19.00nm、20.00nm、20.10 nm、21.00nm、22.20nm、22.80nm、23.00 nm、23.30 nm、25.00nm、25.60nm、26.80 nm、30.00nm、35.00nm、40.00nm、45.00nm、50.00nm、60.00nm、70.00nm、80.00nm、90.00nm 或 100.00nm，或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是，在具体实施方案

中,任意上述范围可以与任意其他范围相结合,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请的一些实施方式中,微晶玻璃的密度 $\geq 2.50\text{ g/cm}^3$,较高的密度利于确保微晶玻璃满足高的本征强度。在一些实施方式中,微晶玻璃的密度可以为 $2.50\sim 2.70\text{ g/cm}^3$ 、 $2.51\sim 2.65\text{ g/cm}^3$ 或 $2.50\sim 3.00\text{ g/cm}^3$ 。在一些实施方式中,微晶玻璃的密度可以为 2.50 g/cm^3 、 2.51 g/cm^3 、 2.52 g/cm^3 、 2.53 g/cm^3 、 2.56 g/cm^3 、 2.57 g/cm^3 、 2.58 g/cm^3 、 2.59 g/cm^3 、 2.61 g/cm^3 、 2.64 g/cm^3 、 2.65 g/cm^3 、 2.68 g/cm^3 、 2.70 g/cm^3 或 2.75 g/cm^3 ,或者可以为上述任意2个具体数值之间的所有范围和子范围,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是,在具体实施方案中,任意上述范围可以与任意其他范围相结合,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请的一些实施方式中,微晶玻璃的杨氏模量 $\geq 100.00\text{ GPa}$ 。具有较高的杨氏模量,表明该微晶玻璃具有较高的本征强度,有利于其获得较高的机械强度性能。在一些实施方式中,微晶玻璃的杨氏模量可以为 $100.00\sim 130.00\text{ GPa}$ 、 $105.00\sim 125.00\text{ GPa}$ 、 $108\sim 130\text{ GPa}$ 、 $110.00\sim 125.00\text{ GPa}$ 、 $114\sim 130\text{ GPa}$ 或 $110.00\sim 120.00\text{ GPa}$ 。在一些实施方式中,微晶玻璃的杨氏模量可以为 100.00 GPa 、 102.00 GPa 、 105.00 GPa 、 108.00 GPa 、 110.00 GPa 、 112.73 GPa 、 113.92 GPa 、 114.27 GPa 、 114.62 GPa 、 115.00 GPa 、 115.87 GPa 、 115.95 GPa 、 116.05 GPa 、 116.71 GPa 、 117.07 GPa 、 117.45 GPa 、 118.95 GPa 、 119.04 GPa 、 120.00 GPa 、 125.00 GPa 或 130.00 GPa ,或者可以为上述任意2个具体数值之间的所有范围和子范围,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是,在具体实施方案中,任意上述范围可以与任意其他范围相结合,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请的一些实施方式中,微晶玻璃的折射率 ≤ 1.60 ,可选地,折射率为 $1.50\sim 1.60$ 。

在本申请的一些实施方式中,微晶玻璃在可见光范围内是透明的;在 0.5 mm 厚度时,对于 550 nm 波长的光而言,微晶玻璃的透过率 $\geq 85.00\%$;在微晶玻璃为 0.5 mm 厚度时,对于 550 nm 波长的光而言,微晶玻璃的透过率 $\geq 90.00\%$;进一步可选地,在微晶玻璃为 0.5 mm 厚度时,对于 550 nm 波长的光而言,微晶玻璃的透过率为 $90.00\sim 93.00\%$ 。满足较高透过率的微晶玻璃,能够确保具有较好的透光性,透明效果较好,适合用在对显示效果有要求的显示屏盖板玻璃中。在一些实施方式中,在 0.5 mm 厚度时,对于 550 nm 波长的光而言,微晶玻璃的透过率可以为 85.00% 、 86.00% 、 87.00% 、 88.00% 、 89.00% 、 90.00% 、 90.22% 、 90.33% 、 90.35% 、 90.37% 、 90.40% 、 90.44% 、 90.46% 、 90.47% 、 90.50% 、 90.57% 、 90.61% 、 90.74% 、 91.00% 、 91.50% 、 92.00% 、 92.50% 或 93.00% ,或者可以为上述任意2个具体数值之间的所有范围和子范围,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是,在具体实施方案中,任意上述范围可以与任意其他范围相结合,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请的一些实施方式中,在微晶玻璃为 0.5 mm 厚度时,微晶玻璃的光学 b 值小于或等于 1.00 ;可选地,在微晶玻璃为 0.5 mm 厚度时,微晶玻璃的光学 b 值小于 0.80 。在一些实施方式中, 0.5 mm 厚的微晶玻璃的光学 b 值可以为 0.10 、 0.20 、 0.30 、 0.31 、 0.32 、 0.35 、 0.40 、 0.41 、 0.44 、 0.48 、 0.50 、 0.56 、 0.59 、 0.60 、 0.69 、 0.70 、 0.76 、 0.80 、 0.90 或 1.00 ,或者可以为上述任意2个具体数值之间的所有范围和子范围,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是,在具体实施方案中,任意上述范围可以与任意其他范围相结合,只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

在本申请的一些实施方案中,取两主表面中有一面设置有保护膜微晶玻璃,置于 20°C 的混酸溶液中与它接触,从而实现蚀刻减薄,微晶玻璃的蚀刻速率 $\geq 7.00\mu\text{m/min}$,可选地,微晶玻璃的蚀刻速率 $\geq 9.00\mu\text{m/min}$,混酸溶液中:氢氟酸的质量浓度为 $10\text{ wt}\%$,硝酸的质量浓度为 $10\text{ wt}\%$,磷酸的质量浓度为 $8\text{ wt}\%$,表面活性剂的质量浓度为 $1\text{ wt}\%$,二乙烯三胺五乙酸的质量浓度为 $0.5\text{ wt}\%$,余量为水。具体地,这里的采用如下公式计算蚀刻速率,蚀刻速率=(蚀刻前微晶玻璃样品的厚度-蚀刻后微晶玻璃样品的厚度)/蚀刻时间。“接触”是指可致使至少一个被触碰到实体发生物理变化、化学变化、或两者的紧密物理接触。微晶玻璃的一个或更多个主表面,例如可涉及使用蚀刻溶液进行选择性的部分或完全浸渍、喷射、浸没、及类似处理、或多种处理的组合。在一些实施方式中,经由将溶液喷射到一个或更多个主表面之上,使蚀刻溶液与一个或更多个主表面接触。在一些实施方式中,经由将微晶玻璃浸没到容纳蚀刻溶液(例如,浴)的容器中,使蚀刻溶液与一个或更多个主表面接触。若需要一个或更多个主表面中的一个或更多个主表面不与溶液接触,在微晶玻璃与蚀刻溶液接触之前,可将保护膜置于该表面之上,隔绝蚀刻溶液与微晶玻璃的接触,同时,保护膜在与蚀刻溶液接触后仍然存在,且可很容易地被去除。可使用任何适用方法,如使保护膜与溶解性液体接触、加热保护膜使其液化并排出、及类似的方法及材料,或其组合,达成保护膜的去除。在本申请中,可选地,表面活性剂包括十二烷基磺酸钠。本申请中,可选地,在倒边条件下进行蚀刻减薄,确保未设置保护膜的一面实现均匀蚀刻,但不局限于这样的蚀刻工艺,本领域常用的化学蚀刻减薄工艺均能够用于本申请的微晶玻璃。本申请的微晶玻璃即便在较低温度下(20°C),蚀刻速率也能够达到 $7.00\mu\text{m/min}$ 以上, $8.00\mu\text{m/min}$ 以上, $9.00\mu\text{m/min}$ 以上, $10.00\mu\text{m/min}$ 以上或 $11.00\mu\text{m/min}$ 以上等,这表明本申请的微晶玻璃能实现较高效的化学蚀刻减薄效果。

在本申请的一些实施方式中,在质量浓度为 10% 的氢氟酸水溶液中于 20°C 静置 20 min ,微晶玻璃单位面积质量的变化大于等于 28.00 mg/cm^2 ,可选地,微晶玻璃单位面积质量的变化为 $30.00\sim 50.00\text{ mg/cm}^2$ 。在一些实施方式中,前述条件下,微晶玻璃的单位面积质量的变化可以为 28.00 mg/cm^2 、 29.00 mg/cm^2 、 30.00 mg/cm^2 、 32.00 mg/cm^2 、 35.00 mg/cm^2 、 38.00 mg/cm^2 、 40.00 mg/cm^2 、 42.00 mg/cm^2 、 45.00 mg/cm^2 、 48.00 mg/cm^2 或 50.00 mg/cm^2 ,或者可以为上述任意2个具体数值之间的所有范围和子范围。这表明,在化学蚀刻溶液中酸含量较低时,微晶玻璃仍然具有较高效的化学蚀刻减薄效果,利于提高蚀刻减薄效率。

本申请中,还提供了一种前述微晶玻璃的制备方法,其中,包括如下步骤:

提供基材玻璃,基材玻璃按照氧化物基准的摩尔百分比表示,包含如下组分: SiO_2 : $55.00\sim 65.00\text{ mol}\%$ 、 P_2O_5 : $1.00\sim 3.00\text{ mol}\%$ 、 ZrO_2 : $2.00\sim 5.00\text{ mol}\%$ 、 Li_2O : $25.00\sim 32.00\text{ mol}\%$ 、 Al_2O_3 : $0\sim 2.00\text{ mol}\%$ 、 MgO : $0\sim 2.00\text{ mol}\%$ 、 Na_2O : $0\sim 3.00\text{ mol}\%$ 、 K_2O : $0\sim 1.00\text{ mol}\%$ 、 CaO : $0\sim 2.00\text{ mol}\%$ 、 SrO : $0\sim 2.00\text{ mol}\%$ 、 Ta_2O_5 : $0\sim 1.00\text{ mol}\%$ 、 La_2O_3 : $0\sim 1.00\text{ mol}\%$,其中,以氧化物基准的摩尔百分比表示的含量计,基材玻璃的组成满足: $2\times\text{Li}_2\text{O}+9\times\text{ZrO}_2+1.2\times\text{CaO}\geq 88.00\text{ mol}\%$;

将基材玻璃进行热处理析晶,获得微晶玻璃,微晶玻璃中包含二硅酸锂晶相,其中,二硅酸锂晶相的含量大于

微晶玻璃中其他晶相的含量。应理解的是，微晶玻璃由基材玻璃经热处理制备得到，因此，以氧化物的摩尔百分比计，采用的基材玻璃的组成与微晶玻璃的组成相同或基本相同。

在本申请的一些实施方式中，以氧化物的摩尔百分比计算，基材玻璃的组成还满足： $\text{SiO}_2+\text{Li}_2\text{O}=89.00\sim 96.00\text{mol}\%$ ，可选地， $\text{SiO}_2+\text{Li}_2\text{O}=90.00\sim 95.00\text{mol}\%$ ；和/或，

5 $\text{SiO}_2/\text{Li}_2\text{O}=2.00\sim 2.50$ ，可选地， $\text{SiO}_2/\text{Li}_2\text{O}=2.00\sim 2.30$ ；和/或，

$(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2)/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO})\geq 0.50$ ，可选地， $(\text{Li}_2\text{O}+\text{ZrO}_2)/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO})$ 的取值为 $0.50\sim 0.60$ ；和/或，

$(2\times\text{Li}_2\text{O}-6\times\text{P}_2\text{O}_5)/\text{SiO}_2\geq 0.70$ ，可选地， $(2\times\text{Li}_2\text{O}-6\times\text{P}_2\text{O}_5)/\text{SiO}_2$ 的取值为 $0.70\sim 1.00$ ；

上述关系式中，各氧化物化学式分别表示对应组分在基材玻璃组成中的摩尔百分比含量。

10 本申请中，基材玻璃可以采用常规制备方法制得，例如，基材玻璃的成型方式可以包括但不限于：浮法、溢流、压延或浇铸等。示例性地，在本申请的基材玻璃制备方法中，先将各原料组分和澄清剂混匀后，在 $1550^\circ\text{C}\sim 1680^\circ\text{C}$ 熔化，熔化时间为 5h 及以上，之后将熔化后得到的玻璃液浇铸到成型模具中，冷却至 $850^\circ\text{C}\sim 950^\circ\text{C}$ ，然后将所得的成型冷却的玻璃样品放入 $450^\circ\text{C}\sim 500^\circ\text{C}$ 的退火炉中退火 12~48h，再冷却至室温，制得基材玻璃样品。可选地，澄清剂可以包括但不限于氯化钠、氧化锡或氧化铈等中的一种或多种，澄清剂添加量可以为各原料物质总量的 0-1wt%。

15 在本申请的一些实施方式中，热处理包括核化处理和晶化处理。其中，核化处理温度为 $500\sim 700^\circ\text{C}$ ，核化处理时间为 10~1440min，晶化处理温度为 $600\sim 750^\circ\text{C}$ ，晶化处理时间为 5~1440min。

在一些实施方式中，核化处理温度可以为 500°C 、 520°C 、 545°C 、 550°C 、 560°C 、 565°C 、 570°C 、 590°C 、 600°C 、 650°C 或 700°C ，或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。在一些实施方式中，晶化处理温度可以为 600°C 、 655°C 、 670°C 、 680°C 、 685°C 、 700°C 、 705°C 或 750°C ，

20 或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。在一些实施方式中，核化处理时间可以为 10min、180min、240min、300min、1200min 或 1440min，或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。在一些实施方式中，晶化处理时间可以为 5min、10min、180min、240min、300min、1200min 或 1440min，或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。应理解的是，在实施方案中，任意上述范围可以与任意其他范围相结合，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

25 在本申请的一些实施方式中，热处理过程的升温速率为 $3\sim 15^\circ\text{C}/\text{min}$ ，可选地，升温速率为 $3\sim 10^\circ\text{C}/\text{min}$ 。例如，以 $3\sim 15^\circ\text{C}/\text{min}$ 的升温速率从室温升温至核化处理温度，和/或，以 $3\sim 15^\circ\text{C}/\text{min}$ 的升温速率从核化处理温度升温至晶化处理温度。在一些实施方式中，热处理过程的升温速率可以为 $3^\circ\text{C}/\text{min}$ 、 $4^\circ\text{C}/\text{min}$ 、 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 、 $6^\circ\text{C}/\text{min}$ 、 $7^\circ\text{C}/\text{min}$ 、 $8^\circ\text{C}/\text{min}$ 、 $9^\circ\text{C}/\text{min}$ 、 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 或 $15^\circ\text{C}/\text{min}$ ，或者可以为上述任意 2 个具体数值之间的所有范围和子范围，只要能得到本申请所需性能的微晶玻璃即可。

30 在本申请的一些实施方式中，前述微晶玻璃通过化学蚀刻处理，可制得防眩光微晶玻璃或抗反射微晶玻璃，防眩光微晶玻璃或抗反射微晶玻璃的深度的中心处的组成与微晶玻璃相同。

在本申请的一些实施方式中，前述微晶玻璃通过化学强化处理，可制得化学强化微晶玻璃，化学强化微晶玻璃的深度的中心处的组成与微晶玻璃相同。应理解的是，相较于化学强化前的微晶玻璃而言，在进行了化学强化之后，微晶玻璃制品的表面处的组成可能不同于化学强化前的微晶玻璃（未经过离子交换过程）的组成。这是由于，在进行化学强化时，刚形成的微晶玻璃（化学强化前的微晶玻璃）中，微晶玻璃表面处的一种类型的碱金属离子（例如， Li^+ 或 Na^+ ）会分别被较大的碱金属离子（例如， Na^+ 或 K^+ ）所替代。但是，在实施方式中，在微晶玻璃制品的深度中心处或者靠近深度中心处的玻璃组成和相集合，仍然会具有刚形成的微晶玻璃的组成和相集合。也就是说，本申请中，进行了化学强化的化学强化微晶玻璃的中心处的组成（如，张应力层的组成）和相集合，与刚形成的微晶玻璃相同或基本相同。

40 本申请中，微晶玻璃具有高的本征强度和优异光学性能，采用微晶玻璃制备获得的化学强化微晶玻璃或防眩光微晶玻璃也具有优异的性能，可用于电子设备或电子产品中，主要是需要安装玻璃制品的电子设备及电子产品，电子设备或电子产品包括但不限于手机、平板电脑、电视机、电脑显示屏和智能穿戴设备。

本申请所提供的具有优异性能微晶玻璃或由其制得的化学强化微晶玻璃，可以用于电子设备，包括但不限于手机、平板电脑、掌上游戏机、便携式数码装置（例如数码相机）、车载中控、电子白板玻璃、智能家居、电视机、电脑显示屏和智能穿戴设备（例如智能手环、智能手表等），还可以用于车辆、飞行器或航行器，还可以用于任意所需微晶玻璃的玻璃器件。例如可以用于电子设备的显示屏、盖板玻璃、触摸屏、玻璃内屏或者内框等；例如可以用于车辆、飞行器或航行器的挡风玻璃，如前挡风玻璃或者侧挡风玻璃。例如可以用于工作台面、其它表面、电器门、地砖、壁板或储存容器等。其它表面可以包括但不限于外墙表面、楼梯踏板表面、立柱贴面或柜台表面等，储存容器可以包括但不限于杯子、盘子、药瓶或饮料瓶等。

50 四、下面通过具体实施例对本申请的技术方案加以说明

实施例 1

步骤 1：基材玻璃制备

按照原料配比配置 1000g 原料（原料按照表 1 中的实施例 1 的配方配置），并向配置好的原料中加入 5g 氯化钠，后用 V 型混合机混合 30 分钟，混匀后将原料转移至铂金坩埚中，后在 1650°C 升降炉中熔化 5 小时，之后倒在成型模具中成型冷却为玻璃砖，冷却至 900°C 左右，后放入 460°C 退火炉中退火 12 小时，之后随炉冷却至室温，即可得到基材玻璃砖。

步骤 2：微晶玻璃制备

对步骤 1 所得的基材玻璃砖依次进行核化处理和晶化处理，核化处理和晶化处理的工艺条件见表 3，即可制备得

到透明微晶玻璃砖。以氧化物的摩尔百分比计，制得的微晶玻璃的组成与基材玻璃相同，参见表 1。

具体地，将基材玻璃砖放入晶化炉内，先以 10℃/min 的升温速率从室温升温至核化处理温度，核化处理的温度为 520℃，核化处理时间为 4h，之后以 10℃/min 的升温速率升温至晶化处理温度，晶化温度为 720℃，晶化处理时间为 1.5h。此处，核化处理时间指的是将晶化炉按设定的升温速率升温至设定的核化处理温度后，保温的时间。晶

5

化处理时间指的是将晶化炉按设定的升温速率升温至设定的晶化处理温度后，保温的时间。

步骤 3：微晶玻璃样品加工

对步骤 2 所得的微晶玻璃样砖经过整形、切割、抛光后，可以得到期望尺寸的微晶玻璃样品，本申请制备的微

晶玻璃样品为 50mm×50mm×0.5mm 的微晶玻璃抛光片。

参照实施例 1，实施例 2~12 和对比例 1~6 分别采用表 1~2 中的组分进行配制，制备得到对应的基材玻璃。之后

10

分别按照表 3~4 进行核化处理和晶化处理，得到对应的微晶玻璃。随后进行化学蚀刻减薄测试，测试结果分别见表

5~6。

表 1

组成 (mol)	实施 例 1	实施 例 2	实施 例 3	实施 例 4	实施 例 5	实施 例 6	实施 例 7	实施 例 8	实施 例 9	实施 例 10	实施 例 11	实施 例 12
SiO ₂	62.58 %	61.82 %	61.72 %	61.76 %	62.59 %	61.15 %	63.17 %	62.01 %	61.72 %	61.15 %	60.74 %	63.16 %
Al ₂ O ₃	0.00 %	1.40 %	1.38 %	1.40 %	1.40 %	1.37 %	0.00 %	1.39 %	1.38 %	1.37 %	1.36 %	1.42 %
P ₂ O ₅	1.87 %	1.86 %	1.85 %	1.86 %	1.87 %	1.83 %	1.89 %	1.85 %	1.85 %	1.83 %	1.82 %	1.89 %
ZrO ₂	4.68 %	4.66 %	4.61 %	3.72 %	4.21 %	4.57 %	4.72 %	4.63 %	4.61 %	4.57 %	4.44 %	3.31 %
MgO	1.34 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
Na ₂ O	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	2.59 %	0.00 %
K ₂ O	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.92 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
Li ₂ O	28.59 %	29.80 %	29.52 %	29.80 %	29.93 %	29.25 %	29.30 %	29.66 %	29.52 %	29.25 %	29.05 %	30.22 %
CaO	0.94 %	0.00 %	0.92 %	0.93 %	0.00 %	1.83 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
SrO	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.46 %	0.92 %	1.83 %	0.00 %	0.00 %
La ₂ O ₃	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.53 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
Ta ₂ O ₅	0.00 %	0.46 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
合计	100.0 0%	100.0 0%	100.0 0%	100.0 0%	100.0 0%	100.0 0%	100.0 0%	100.0 0%	100.0 0%	100.0 0%	100.0 0%	100.0 0%
SiO ₂ +Li ₂ O	91.17 %	91.62 %	91.24 %	91.56 %	92.52 %	90.4 %	92.47 %	91.67 %	91.24 %	90.4 %	89.79 %	93.38 %
SiO ₂ /Li ₂ O	2.19	2.07	2.09	2.07	2.09	2.09	2.16	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09
2×Li ₂ O+9×ZrO ₂ + 1.2×CaO	100.4 3%	101.5 4%	101.6 3%	94.20 %	97.75 %	101.8 3%	101.0 8%	100.9 9%	100.5 3%	99.63 %	98.06 %	90.23 %
(Li ₂ O+ZrO ₂) / (SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +C aO)	0.52	0.55	0.53	0.52	0.53	0.53	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.52
(2×Li ₂ O-6×P ₂ O ₅) /SiO ₂	0.73	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.75	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78

注：表 1 中，氧化物含量为“0.00%”表示未在初始的配料过程中主动或故意地将该组分加入玻璃组合物中，但

该组分可能作为杂质存在；表 1 中，各氧化物含量关系式，是以氧化物摩尔百分比计的含量百分比代入各公式的。

15

表 2

组成 (mol)	对比例 1	对比例 2	对比例 3	对比例 4	对比例 5	对比例 6
SiO ₂	63.77%	60.96%	61.58%	61.73%	61.87%	60.36%
Al ₂ O ₃	1.43%	1.50%	1.52%	1.47%	1.41%	1.49%
P ₂ O ₅	1.91%	2.00%	2.02%	1.96%	1.88%	1.98%
ZrO ₂	2.38%	2.50%	2.53%	2.45%	3.16%	2.48%
MgO	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Na ₂ O	0.00%	1.00%	0.00%	0.98%	2.60%	0.99%
K ₂ O	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Li ₂ O	25.17%	26.43%	26.69%	25.91%	29.08%	26.16%
CaO	5.34%	5.61%	5.66%	5.50%	0.00%	5.55%
SrO	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.99%
La ₂ O ₃	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Ta ₂ O ₅	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
合计	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
SiO ₂ +Li ₂ O	88.94%	87.39%	88.27%	87.64%	90.95%	86.52%
SiO ₂ /Li ₂ O	2.53	2.31	2.31	2.38	2.13	2.31
2×Li ₂ O+9×ZrO ₂ +1.2×CaO	78.17%	82.09%	82.94%	80.47%	86.60%	81.30%
(Li ₂ O+ZrO ₂) / (SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +CaO)	0.39	0.43	0.42	0.41	0.51	0.42
(2×Li ₂ O-6×P ₂ O ₅) /SiO ₂	0.61	0.67	0.67	0.65	0.76	0.67

注：表 2 中，氧化物含量为“ 0.00%” 表示未在初始的配料过程中主动或故意地将该组分加入玻璃组合物中，但该组分可能作为杂质存在；表 2 中，各氧化物含量关系式，是以氧化物摩尔百分比计的含量百分比代入各公式的。

表 3

微晶玻璃	实施例 1	实施例 2	实施例 3	实施例 4	实施例 5	实施例 6	实施例 7	实施例 8	实施例 9	实施例 10	实施例 11	实施例 12
核化温度 (℃)	520	520	520	535	530	540	520	520	520	525	520	520
核化保温时间 (h)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
晶化温度 (℃)	720	710	690	715	730	700	715	690	690	700	680	680
晶化保温时间 (h)	1.5	1.0	1.5	1.5	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5
主晶相	二硅酸锂	二硅酸锂	二硅酸锂	二硅酸锂	二硅酸锂	二硅酸锂	二硅酸锂	二硅酸锂	二硅酸锂	二硅酸锂	二硅酸锂	二硅酸锂
结晶度	70.10 %	76.70 %	76.60 %	79.50 %	79.10 %	74.30 %	70.50 %	73.5%	72.1%	70.4%	73.3%	78.30 %
平均晶体尺寸 (nm)	25.60	22.80	23.00	20.10	23.30	26.80	26.80	18.7	22.2	25.6	20.1	21.00
光学 b 值	0.59	0.56	0.41	0.32	0.50	0.76	0.69	0.35	0.44	0.60	0.48	0.31
透过率 @550nm	90.47 %	90.40 %	90.46 %	90.74 %	90.61 %	90.22 %	90.33 %	90.57%	90.44%	90.35%	90.50%	90.37 %
密度 (g/cm ³)	2.57	2.57	2.58	2.58	2.56	2.59	2.57	2.59	2.61	2.64	2.58	2.53
折射率	1.57	1.57	1.57	1.57	1.56	1.57	1.56	1.57	1.57	1.58	1.57	1.56
杨氏模量 (GPa)	116.71	117.07	114.27	114.62	115.95	119.04	117.45	115.87	116.05	118.95	113.92	112.73

表 4

微晶玻璃	对比例 1	对比例 2	对比例 3	对比例 4	对比例 5	对比例 6
核化温度 (℃)	520	515	520	515	520	520
核化保温时间 (h)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
晶化温度 (℃)	680	685	680	675	735	690
晶化保温时间 (h)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5
主晶相	二硅酸锂	二硅酸锂	二硅酸锂	二硅酸锂	二硅酸锂	二硅酸锂
结晶度	68.50%	72.60%	72.50%	70.30%	80.40%	70.60%

平均晶体尺寸 (nm)	25.80	39.40	30.60	36.60	19.70	35.60
光学 b 值	0.68	4.65	1.55	2.57	0.48	3.21
透过率@550nm	90.20%	84.77%	89.15%	88.02%	90.71%	87.34%
密度 (g/cm ³)	2.57	2.57	2.57	2.57	2.55	2.56
折射率	1.56	1.56	1.57	1.56	1.56	1.56
杨氏模量 (GPa)	103.69	108.52	107.75	107.94	115.23	108.38

表 5

化学蚀刻减薄测试	实施 例 1	实施 例 2	实施 例 3	实施 例 4	实施 例 5	实施 例 6	实施 例 7	实施 例 8	实施 例 9	实施 例 10	实施 例 11	实施 例 12
测试条件: 20℃, 10%HF, 20min, 单位面积 质量的变化 (mg/cm ²)	41.3 1	44.4 3	45.3 1	32.4 6	37	46.3 9	43.3 4	43.6	42.0 8	40.0 1	37.9 3	28.7 5
测试条件: 20℃, 5%HF, 20min, 单位面积质量的变化 (mg/cm ²)	19.9 8	21.0 9	22	14.8 7	17.7 7	22.8 5	20.7 2	20.8 3	20.4 6	18.9 9	18.1 4	13.6 2
测试条件: 20℃, 混酸, 刻蚀速率 (μm/min)	9.67	10.3 3	10.7 3	7.67	8.33	11.6 7	10.3 3	10.3 3	9.67	9.33	8.67	7.00
测试条件: 95℃, 5%HCl, 24h, 单位面积 质量的变化 (mg/cm ²)	0.11	0.04	0.08	0.06	0.07	0.09	0.12	0.07	0.07	0.06	0.08	0.05
测试条件: 95℃, 5%NaOH, 6h, 单位面 积质量的变化 (mg/cm ²)	0.10	0.03	0.06	0.06	0.08	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.06

表 6

化学蚀刻减薄测试	对比例 1	对比例 2	对比例 3	对比例 4	对比例 5	对比例 6
测试条件: 20℃, 10%HF, 20min, 单位面积质量的变化 (mg/cm ²)	14.94	19.75	20.92	17.92	25.83	18.94
测试条件: 20℃, 5%HF, 20min, 单位面积质量的变化 (mg/cm ²)	6.86	8.15	8.6	7.76	12.74	7.85
测试条件: 20℃, 混酸, 刻蚀速率 (μm/min)	3.67	5.67	6.00	5.00	6.67	5.53
测试条件: 95℃, 5%HCl, 24h, 单位面积质量的变化 (mg/cm ²)	0.04	0.07	0.04	0.04	0.07	0.06
测试条件: 95℃, 5%NaOH, 6h, 单位面积质量的变化 (mg/cm ²)	0.18	0.17	0.18	0.18	0.07	0.16

- 从上表以及附图可以看出：
- 5 实施例 1-12 通过对微晶玻璃的组分进行了调整,不仅能够确保制备获得具有较高结晶度和较大密度的微晶玻璃,确保制得的微晶玻璃能够同时具有高杨氏模量和高本征强度,使微晶玻璃能够有效控制其在破碎时裂纹的扩展,而且能够保证微晶玻璃具有优异的光学透过率和较低的 b 值,这有利于提升微晶玻璃的商业应用。
- 10 从图 2 可以看出,实施例和对比例得到的微晶玻璃中主晶相均为二硅酸锂。由图 4 和图 5 对比可知,由实施例 8 的玻璃配方方案制得的微晶玻璃的光学透过率优于对比例 6。由表 5 和表 6 对比可知,实施例 1-12 的微晶玻璃在 10%或 5%的 HF 溶液中的化学蚀刻减薄效果,均优于对比例 1-6。这表明,相较于不满足本申请配方方案的对比例 1-6,实施例 1-12 的微晶玻璃所具有的化学蚀刻减薄效果有了非常明显的提高。另外,通过在 HCl 溶液和 NaOH 溶液中的测试,实施例 1-12 的微晶玻璃的单位面积质量的变化与对比例 1-6 的微晶玻璃近似,都较低,这表明,实施例的微晶玻璃在改善了化学蚀刻减薄效果的情况下,即便在较高温度中,依然保持了较好的耐酸碱碱性。
- 15 由上述测试可知,本申请的微晶玻璃能够在较低浓度的 HF 溶液中实现高效的化学蚀刻减薄,不仅有利于提高微晶玻璃的化学蚀刻减薄速率,进而利于提高超薄微晶玻璃制品或定制微晶玻璃制品等的生产效率,而且能够避免使用高浓度酸性液体,从而能更好地减少蚀刻液对于操作人员健康和环境的危害。
- 最后需要说明的是,以上实施例仅用以说明本申请的技术方案而非限制技术方案,本领域的普通技术人员应当理解,那些对本申请的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本技术方案的宗旨和范围,均应涵盖在本申请的权利要求范围当中。
- 20 工业实用性
- 本申请对微晶玻璃的组分进行了优化调整,通过使微晶玻璃满足特定的组成和结构,保证微晶玻璃中含有大量的二硅酸锂晶相,不仅确保微晶玻璃具有了高的本征强度和优异的光学性能,而且明显改善微晶玻璃的化学蚀刻减薄效果,使微晶玻璃能够在较低浓度的酸性液体中达到较为优异的化学蚀刻减薄效果,有利于提高微晶玻璃的化

学蚀刻减薄速率，进而利于提高超薄微晶玻璃制品或定制微晶玻璃制品等的生产效率。而且，采用本申请的微晶玻璃进行化学蚀刻减薄，能够避免使用高浓度酸性液体，从而能更好地减少蚀刻液对于操作人员健康和环境的危害。

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

权利要求书

1. 一种微晶玻璃，其特征在于，所述微晶玻璃中包含二硅酸锂晶相，其中，二硅酸锂晶相的含量大于所述微晶玻璃中其他晶相的含量；按照氧化物基准的摩尔百分比表示，所述微晶玻璃包含如下组分：

- 5
10
15
- SiO₂ : 55.00~65.00mol%、
P₂O₅ : 1.00~3.00mol%、
ZrO₂ : 2.00~5.00mol%、
Li₂O : 25.00~32.00mol%、
Al₂O₃ : 0~2.00mol%、
MgO : 0~2.00mol%、
Na₂O : 0~3.00mol%、
K₂O : 0~1.00mol%、
CaO : 0~2.00mol%、
SrO : 0~2.00mol%、
Ta₂O₅ : 0~1.00mol%、
La₂O₃ : 0~1.00mol%；

以氧化物基准的摩尔百分比表示的含量计，所述微晶玻璃的组成满足： $2 \times \text{Li}_2\text{O} + 9 \times \text{ZrO}_2 + 1.2 \times \text{CaO} \geq 88.00\text{mol}\%$ ，可选地， $2 \times \text{Li}_2\text{O} + 9 \times \text{ZrO}_2 + 1.2 \times \text{CaO} \geq 90.00\text{mol}\%$ ；式中，各氧化物化学式分别表示对应组分在所述微晶玻璃组成中的摩尔百分比含量。

- 20
2. 根据权利要求1所述微晶玻璃，其特征在于，按照氧化物基准的摩尔百分比表示的含量计算，所述微晶玻璃中SiO₂的含量和Li₂O的含量满足如下条件： $\text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{O} = 89.00 \sim 96.00\text{mol}\%$ ，可选地， $\text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{O} = 90.00 \sim 95.00\text{mol}\%$ 。

3. 根据权利要求1或2所述微晶玻璃，其特征在于，按照氧化物基准的摩尔百分比表示的含量计算，所述微晶玻璃中SiO₂的含量和Li₂O的含量满足如下条件： $\text{SiO}_2/\text{Li}_2\text{O} = 2.00 \sim 2.50$ ，可选地， $\text{SiO}_2/\text{Li}_2\text{O} = 2.00 \sim 2.30$ 。

- 25
4. 根据权利要求1-3中任一项所述微晶玻璃，其特征在于，按照氧化物基准的摩尔百分比表示的含量计算，所述微晶玻璃中的组分含量还满足如下条件： $(\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \geq 0.50$ ，可选地， $(\text{Li}_2\text{O} + \text{ZrO}_2) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$ 的取值为0.50~0.60，式中，各氧化物化学式分别表示对应组分在所述微晶玻璃组成中的摩尔百分比含量。

- 30
5. 根据权利要求1-4中任一项所述微晶玻璃，其特征在于，按照氧化物基准的摩尔百分比表示的含量计算，所述微晶玻璃中的组分含量还满足如下条件： $(2 \times \text{Li}_2\text{O} - 6 \times \text{P}_2\text{O}_5) / \text{SiO}_2 \geq 0.70$ ，可选地， $(2 \times \text{Li}_2\text{O} - 6 \times \text{P}_2\text{O}_5) / \text{SiO}_2$ 的取值为0.70~1.00，式中，各氧化物化学式分别表示对应组分在所述微晶玻璃组成中的摩尔百分比含量。

- 35
6. 根据权利要求1-5中任一项所述微晶玻璃，其特征在于，按照氧化物基准的摩尔百分比表示：所述微晶玻璃中包含58.00~65.00mol%的SiO₂，可选地，包含60.00~64.00mol%的SiO₂；

和/或，所述微晶玻璃中包含26.00~32.00mol%的Li₂O，可选地，包含27.00~31.00mol%的Li₂O；

和/或，所述微晶玻璃中包含2.50~5.00mol%的ZrO₂，可选地，包含3.00~5.00mol%的ZrO₂；

- 40
- 和/或，所述微晶玻璃中包含1.50~3.00mol%的P₂O₅，可选地，包含1.50~2.50mol%的P₂O₅。
7. 根据权利要求1-6中任一项所述微晶玻璃，其特征在于，按照氧化物基准的摩尔百分比表示，所述微晶玻璃包含如下组分：

SiO₂ : 50.50~64.00mol%、P₂O₅ : 1.50~2.50mol%、ZrO₂ : 4.00~5.00mol%、Li₂O : 28.00~31.00mol%、Al₂O₃ : 0~1.50mol%、MgO : 0~2.00mol%、Na₂O : 0~3.00mol%、K₂O : 0~1.00mol%、CaO : 0~2.00mol%、SrO : 0~2.00mol%、Ta₂O₅ : 0~1.00mol%、La₂O₃ : 0~1.00mol%。

- 45
8. 根据权利要求1-7中任一项所述微晶玻璃，其特征在于，所述微晶玻璃的结晶度 $\geq 60.00\text{wt}\%$ ，可选地，结晶度为60.00wt%~90.00wt%；

和/或，所述微晶玻璃中，平均晶体尺寸小于等于100nm，可选地，平均晶体尺寸小于等于50nm，进一步可选地，平均晶体尺寸为10~40nm。

- 50
9. 根据权利要求1-8中任一项所述微晶玻璃，其特征在于，所述微晶玻璃的密度 $\geq 2.50\text{g}/\text{cm}^3$ ，可选地，密度为2.50g/cm³~2.70g/cm³；和/或，所述微晶玻璃的折射率 ≤ 1.60 ，可选地，折射率为1.50~1.60。

10. 根据权利要求1-9中任一项所述微晶玻璃，其特征在于，所述微晶玻璃的杨氏模量 $\geq 100\text{GPa}$ ，可选地，杨氏模量为108~130GPa，进一步可选地，杨氏模量为114~130GPa。

- 55
11. 根据权利要求1-10中任一项所述微晶玻璃，其特征在于，所述微晶玻璃在可见光范围内是透明的；在0.5mm厚度时，对于550nm波长的光而言，所述微晶玻璃的透过率 $\geq 85.00\%$ ，可选地，微晶玻璃的透过率 $\geq 90.00\%$ ；和/或，在0.5mm厚度时，所述微晶玻璃的光学b值 ≤ 1.0 ，可选地，光学b值 ≤ 0.8 。

12. 根据权利要求1-11中任一项所述微晶玻璃，其特征在于，在质量浓度为10%的氢氟酸水溶液中于20℃静置20min，所述微晶玻璃单位面积质量的变化大于等于28.00mg/cm²，可选地，所述微晶玻璃单位面积质量的变化为30.00~50.00mg/cm²。

13. 一种如权利要求1~11任一项所述微晶玻璃的制备方法，其特征在于，包括如下步骤：

提供基材玻璃，所述基材玻璃按照氧化物基准的摩尔百分比表示，包含如下组分：SiO₂ : 55.00~65.00mol%、P₂O₅ : 1.00~3.00mol%、ZrO₂ : 2.00~5.00mol%、Li₂O : 25.00~32.00mol%、Al₂O₃ : 0~2.00mol%、MgO : 0~2.00mol%、Na₂O : 0~3.00mol%、K₂O : 0~1.00mol%、CaO : 0~2.00mol%、SrO : 0~2.00mol%、Ta₂O₅ : 0~1.00mol%、La₂O₃ : 0~1.00mol%，其中，以氧化物基准的摩尔百分比表示的含量计，所述基材玻璃的组成满足： $2 \times \text{Li}_2\text{O} + 9 \times \text{ZrO}_2 + 1.2 \times \text{CaO} \geq 88.00\text{mol}\%$ ；

将所述基材玻璃进行热处理析晶，获得微晶玻璃，所述微晶玻璃中包含二硅酸锂晶相，其中，二硅酸锂晶相的含量大于所述微晶玻璃中其他晶相的含量。

14. 根据权利要求 13 所述微晶玻璃的制备方法，其特征在于，所述热处理包括核化处理和晶化处理，其中，核化处理温度为 500~700℃，核化处理时间为 10~1440min，晶化处理温度为 600~750℃，晶化处理时间为 5~1440min。

5 15. 一种电子设备，其特征在于，所述电子设备包括权利要求 1~12 中任一项所述的微晶玻璃，或者包括由权利要求 1~12 中任一项所述微晶玻璃经过化学强化制得的化学强化微晶玻璃。

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55