

## 一种高锂含量微晶玻璃、化学强化微晶玻璃及其应用

## 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 202410156329.0、名称为“一种高锂含量微晶玻璃、化学强化微晶玻璃及其应用”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

本申请属于微晶玻璃技术领域，具体涉及一种高锂含量微晶玻璃、化学强化微晶玻璃及其应用。

## 背景技术

10 微晶玻璃作为一种含微晶相和玻璃相的固体材料，因其所含有大量纳米级微小晶体可以阻碍微裂纹扩展，因此其整体强度性能较常规玻璃有明显的优势。目前，微晶玻璃已开始逐渐应用于便携式电子设备上，作为电子设备的盖板玻璃，例如显示屏保护玻璃或后盖玻璃。

15 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性。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。由此可见，具有二硅酸锂主晶相的微晶玻璃在电子产品或电子设备的盖板玻璃市场中具有很大的应用潜力。

## 发明内容

20 作为电子设备的盖板玻璃，尤其是便携式电子装置（如手机、手表、PAD 等）的盖板玻璃，厚度普遍低于 2mm，示例性地，电子设备的盖板玻璃的厚度可以约为 0.1mm-2.0mm。因此，为了满足抗摔、抗压、耐划、耐磨等高性能要求，通常需要对电子设备的盖板玻璃进行化学强化处理，以进一步提高其机械强度性能。这里所谓的“化学强化”是指将玻璃置于熔盐盐浴中，利用熔盐中离子半径大的碱金属离子与玻璃中的离子半径小的碱金属离子进行离子交换，进而使玻璃表面产生压应力。而为了提高化学强化处理的效率，降低生产成本，本领域普遍会考虑采用高温熔盐盐浴对玻璃进行化学强化。

25 但针对具有高锂含量且包含二硅酸锂主晶相的微晶玻璃，其在超过 480℃的高温熔盐盐浴中进行化学强化处理时，易出现“表面开裂”现象和/或“脱皮”现象。这里的“表面开裂”主要是指微晶玻璃在化学强化后，表面出现了大量不规则的裂纹，“脱皮”则主要是指微晶玻璃在化学强化后，最外表的一层从微晶玻璃中脱落，脱离的玻璃层厚度在几微米到几十微米之间。而“表面开裂”现象和/或“脱皮”现象，会导致微晶玻璃抗跌落性能和力学强度大幅度降低，甚至导致微晶玻璃在化学强化处理后表面失效，无法加以使用。

30 本申请的目的是为了克服具有高锂含量且包含二硅酸锂主晶相的微晶玻璃，在高温盐浴（如，盐浴温度在 480℃以上）环境中进行化学强化时，所存在的“表面开裂”和/或“脱皮”的缺陷，提供一种适合进行高温化学强化且主要晶相为二硅酸锂的高锂含量微晶玻璃、化学强化微晶玻璃及其应用，该高锂含量微晶玻璃在进行高温化学强化后，不仅克服了“表面开裂”和/或“脱皮”的问题，而且能够在高温化学强化后，制得具有高应力水平的化学强化微晶玻璃。通过采用该高锂含量微晶玻璃进行高温化学强化处理，以获得具有高应力水平和高机械强度性能的化学强化微晶玻璃，能够大大提高制备高强度化学强化微晶玻璃的效率。

35 为了实现上述目的，本申请提供了如下技术方案：

本申请提供一种高锂含量微晶玻璃，该高锂含量微晶玻璃包含二硅酸锂晶相，其中二硅酸锂晶相具有比高锂含量微晶玻璃中存在的其它晶相更高的重量百分数；

以氧化物的摩尔百分比计，高锂含量微晶玻璃的组成包括：

40  $\text{SiO}_2$  : 41.00mol%-69.50mol% ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 0.00mol%-2.00mol% ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  : 1.50mol%-3.00mol% ,  $\text{ZrO}_2$  : 2.00mol%-6.00mol% ,  $\text{MgO}$  : 0.00mol%-2.00mol% ,  $\text{ZnO}$  : 0.00mol%-2.00mol% ,  $\text{Na}_2\text{O}$  : 0.00mol%-3.00mol% ,  $\text{K}_2\text{O}$  : 0.00mol%-1.00mol% ,  $\text{Li}_2\text{O}$  : 27.00mol%-32.00mol% ,  $\text{CaO}$  : 0.00mol%-5.00mol% ,  $\text{B}_2\text{O}_3$  : 0.00mol%-1.00mol% ,  $\text{SrO}$  : 0.00mol%-2.00mol% ; 以高锂含量微晶玻璃组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计，高锂含量微晶玻璃的组成满足： $0.20 \leq 2.25 \times \text{Li}_2\text{O} - 8 \times \text{ZrO}_2 - 0.2 \times \text{CaO} \leq 0.41$ ，可选地， $0.21 \leq 2.25 \times \text{Li}_2\text{O} - 8 \times \text{ZrO}_2 - 0.2 \times \text{CaO} \leq 0.39$ 。通过优化玻璃配方，使各组成成分之间满足特定的含量关系，使各组成成分之间发挥相互作用，一方面，有利于确保析出期望含量的二硅酸锂晶相，限制其他晶相（如，透锂长石晶相）的析出，从而有助于确保获得具有高本征强度和优异光学性能的、以二硅酸锂为主要晶相的微晶玻璃，另一方面，有利于确保微晶玻璃满足特定的组成和结构，从而确保其能够实现高温化学强化，确保其在高温化学强化过程中，不会出现“表面开裂”和/或表面“脱皮”问题，进而有助于提高其化学强化效率，而且能够保证其制备获得的化学强化微晶玻璃，满足高的应力水平（如，具有高的  $\text{CS}_{50}$ 、 $|\text{CT}_{AV}|$ 、 $\text{DOL}_0$  等）和高的机械强度性能。

50 在本申请的一些实施方案中，以高锂含量微晶玻璃组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计，高锂含量微晶玻璃的组成还满足： $0.25 \leq (2.2 \times \text{ZrO}_2 + 0.35 \times \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}) / \text{Li}_2\text{O} \leq 0.45$ ；可选地， $0.27 \leq (2.2 \times \text{ZrO}_2 + 0.35 \times \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}) / \text{Li}_2\text{O} \leq 0.43$ 。通过使微晶玻璃的组成满足该关系式，利于在保证高锂含量微晶玻璃具有较高本征强度和优异光学性能的同时，避免微晶玻璃在高温熔盐盐浴中强化时出现“表面开裂”和/或“脱皮”的现象。

55 在本申请的一些实施方案中，以高锂含量微晶玻璃组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计，高锂含量微晶玻璃的组成满足：

$0 \leq (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{ZnO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{ZrO}_2 + \text{Li}_2\text{O}) \leq 0.15$ ；和/或，  
 $0.90 \leq \text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{O} \leq 0.95$ ；和/或，  
 $2.00 \leq \text{SiO}_2 / \text{Li}_2\text{O} \leq 2.30$ ；和/或，

$0 \leq (\text{CaO} + \text{SrO}) / \text{ZrO}_2 \leq 1.50$ ; 和/或,

$0 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) \leq 0.03$ 。通过使组成满足上述关系式的至少一个, 有利于进一步改善玻璃的结构, 从而有利于制得满足特定结构的、性能优异(尤其是光学性能、强度性能等)的高锂含量微晶玻璃, 还有利于保证该高锂含量微晶玻璃的化学强化效果, 确保该高锂含量微晶玻璃可通过化学强化的方式, 制备出具有高应力水平、机械强度性能优异、抗损坏性能优异的化学强化微晶玻璃。

需要指出的是, 本申请的上述各公式中, 是以摩尔百分比的含量百分比代入各公式的, 也即摩尔单位不参与公式的计算, 示例性的,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的摩尔百分比的含量为 2%, 则将 2% 代入公式计算。

在本申请的一些实施方案中, 以氧化物的摩尔百分比计, 高锂含量微晶玻璃中:

$\text{SiO}_2$  的含量为 60.00mol%-65.00mol%, 可选地,  $\text{SiO}_2$  的含量为 61.00mol%-63.50mol%; 和/或,  $\text{Li}_2\text{O}$  的含量为 27.50mol%-31.00mol%, 可选地,  $\text{Li}_2\text{O}$  的含量为 28.00mol%-30.50mol%; 和/或,  $\text{ZrO}_2$  的含量为 3.00mol%-6.00mol%, 可选地,  $\text{ZrO}_2$  的含量为 3.50mol%-6.00mol%; 和/或,  $\text{P}_2\text{O}_5$  的含量为 1.50mol%-2.50mol%, 可选地,  $\text{P}_2\text{O}_5$  的含量为 1.60mol%-2.10mol%; 和/或,  $\text{CaO}$  的含量为 0.00mol%-4.00mol%, 可选地,  $\text{CaO}$  的含量为 0.00mol%-2.00mol%。通过调整高锂含量微晶玻璃的组成, 利于使高锂含量微晶玻璃获得较高的机械强度性能和抗损坏性能。

在本申请的一些实施方案中, 以氧化物的摩尔百分比计, 高锂含量微晶玻璃的组成还包括:  $\text{Y}_2\text{O}_3$ : 0.00mol%-1.00mol%,  $\text{La}_2\text{O}_3$ : 0.00mol%-1.00mol%,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ : 0.00mol%-1.00mol%。在本申请中, 适量的选择性加入  $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$  或  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , 有助于提高高锂含量微晶玻璃的密度, 增加其杨氏模量, 但同时也可能增加高锂含量微晶玻璃的折射率, 使高锂含量微晶玻璃的光学性能降低。

在本申请的一些实施方案中, 以高锂含量微晶玻璃组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计, 高锂含量微晶玻璃的组成满足:

$0 \leq (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{ZnO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{ZrO}_2 + \text{Li}_2\text{O}) \leq 0.10$ ; 和/或,  
 $0.90 \leq \text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{O} \leq 0.93$ ; 和/或,

$0 \leq (\text{CaO} + \text{SrO}) / \text{ZrO}_2 \leq 1.00$ , 可选地,  $0 \leq (\text{CaO} + \text{SrO}) / \text{ZrO}_2 \leq 0.70$ 。通过使组成满足上述关系式的至少一个, 有利于进一步改善玻璃的结构, 更有利于制备获得应力水平更高的化学强化微晶玻璃, 进而有利于确保制得的化学强化微晶玻璃具有优异的机械强度性能和抗损坏性能。

在本申请的一些实施方案中, 高锂含量微晶玻璃的密度  $\rho \geq 2.54 \text{g/cm}^3$ , 折射率  $\leq 1.60$ 。满足该密度和折射率的高锂含量微晶玻璃, 能够确保具有较高本征强度和优异光学性能。

在本申请的一些实施方案中, 在高锂含量微晶玻璃为 0.5mm 厚度时, 高锂含量微晶玻璃的 b 值  $\leq 1.0$ , 可选地, b 值  $\leq 0.8$ 。满足该光学 b 值的高锂含量微晶玻璃, 能够确保具有较优的光学性能和显示效果, 适合用在对显示效果有要求的显示屏中。

在本申请的一些实施方案中, 高锂含量微晶玻璃在可见光范围内是透明的, 和/或, 在高锂含量微晶玻璃为 0.5mm 厚度时, 对于 550nm 波长光而言, 高锂含量微晶玻璃的透过率  $> 85.00\%$ , 可选地, 透过率  $\geq 90.00\%$ 。满足较高透过率的高锂含量微晶玻璃, 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中。

在本申请的一些实施方案中, 高锂含量微晶玻璃的结晶度为 30.00wt%-90.00wt%, 可选地, 结晶度为 50.00wt%-90.00wt%。较高含量的微晶相有利于提高高锂含量微晶玻璃的机械强度性能。

在本申请的一些实施方案中, 高锂含量微晶玻璃中, 平均晶体尺寸  $\leq 100 \text{nm}$ , 可选地, 平均晶体尺寸  $\leq 50 \text{nm}$ , 进一步可选地, 平均晶体尺寸为 15nm-45nm。满足较小的平均晶体尺寸, 有利于保证高锂含量微晶玻璃具有优异的光学性能。

在本申请的一些实施方案中, 高锂含量微晶玻璃的杨氏模量  $\geq 100.00 \text{GPa}$ , 可选地, 高锂含量微晶玻璃的杨氏模量  $\geq 110.00 \text{GPa}$ , 更可选地, 高锂含量微晶玻璃的杨氏模量为 114GPa-130GPa。具有较高的杨氏模量, 表明该高锂含量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和抗损坏性能。

在本申请的一些实施方案中, 高锂含量微晶玻璃的膨胀软化点在 750℃-820℃。适宜的膨胀软化点, 有利于该高锂含量微晶玻璃进行 3D 热弯成型, 以制得具有高强度性能的 3D 曲面微晶玻璃。

本申请还提供一种化学强化微晶玻璃, 该化学强化微晶玻璃的中心处的组成与前述的高锂含量微晶玻璃的组成相同, 化学强化微晶玻璃包含从化学强化微晶玻璃的表面延伸到压缩深度的压缩应力层区域, 并且在化学强化微晶玻璃的内部具有张应力。

在本申请的一些实施方案中, 化学强化微晶玻璃中包含二硅酸锂晶相, 其中二硅酸锂晶相具有比化学强化微晶玻璃中存在的其它晶相更高的重量百分数; 以氧化物的摩尔百分比计, 化学强化微晶玻璃的中心处的组成包括:

$\text{SiO}_2$ : 41.00mol%-69.50mol%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 0.00mol%-2.00mol%,  $\text{P}_2\text{O}_5$ : 1.50mol%-3.00mol%,  $\text{ZrO}_2$ : 2.00mol%-6.00mol%,  $\text{MgO}$ : 0.00mol%-2.00mol%,  $\text{ZnO}$ : 0.00mol%-2.00mol%,  $\text{Na}_2\text{O}$ : 0.00mol%-3.00mol%,  $\text{K}_2\text{O}$ : 0.00mol%-1.00mol%,  $\text{Li}_2\text{O}$ : 27.00mol%-32.00mol%,  $\text{CaO}$ : 0.00mol%-5.00mol%,  $\text{B}_2\text{O}_3$ : 0.00mol%-1.00mol%,  $\text{SrO}$ : 0.00mol%-2.00mol%;

以化学强化微晶玻璃的中心处的组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计, 化学强化微晶玻璃的中心处的组成满足:  $0.20 \leq 2.25 \times \text{Li}_2\text{O} - 8 \times \text{ZrO}_2 - 0.2 \times \text{CaO} \leq 0.41$ , 可选地,  $0.21 \leq 2.25 \times \text{Li}_2\text{O} - 8 \times \text{ZrO}_2 - 0.2 \times \text{CaO} \leq 0.39$ 。

在本申请的一些实施方案中, 化学强化微晶玻璃具有 0.20t-0.25t 的 DOL<sub>0</sub>, 可选地, 具有 0.22t-0.25t 的 DOL<sub>0</sub>, DOL<sub>0</sub> 为压缩应力层深度, t 为化学强化微晶玻璃的厚度。该化学强化微晶玻璃的 DOL<sub>0</sub> 在上述范围内, 说明化学强化微晶玻璃具有高的压缩应力层深度, 有利于其抵消驱使裂纹扩展的能量, 进而保证了其具有优异的抗损坏性能, 如优异的抗跌落性能。

在本申请的一些实施方案中, 化学强化微晶玻璃具有 80MPa-200MPa 的  $|\text{CT\_AV}|$ ,  $|\text{CT\_AV}|$  为平均张应力的绝对值; 可选地, 具有 90MPa-200MPa 的  $|\text{CT\_AV}|$ ; 更可选地, 具有 130MPa-200MPa 的  $|\text{CT\_AV}|$ 。该化学强化微晶玻璃

的 $|CT_{AV}|$ 在上述范围内,说明化学强化微晶玻璃具有较高的张应力水平,反映出其具有较高的表面压应力水平,而较高的表面压应力水平所能抵消的跌落、挤压、冲击或碰撞剩余能量会越多,进而保证了其具有优异的抗损坏性能。

在本申请的一些实施方案中,化学强化微晶玻璃具有50000MPa/mm-100000MPa/mm的 $CT_{LD}$ , $CT_{LD}$ 为张应力线密度;可选地,具有55000MPa/mm-100000MPa/mm的 $CT_{LD}$ ;更可选地,具有65000MPa/mm-100000MPa/mm的 $CT_{LD}$ 。该化学强化微晶玻璃的 $CT_{LD}$ 在上述范围内,说明化学强化微晶玻璃内部储存的张应力较密集,表明该化学强化微晶玻璃具有较高的表面压应力水平,进而保证了其具有优异的抗损坏性能,如优异的抗跌落性能。

在本申请的一些实施方案中,化学强化微晶玻璃具有150MPa-280MPa的 $CS_{50}$ , $CS_{50}$ 指自化学强化微晶玻璃主表面起算的深度为50 $\mu$ m处的压应力值;可选地,具有160MPa-280MPa的 $CS_{50}$ ;更可选地,具有180MPa-280MPa的 $CS_{50}$ 。该化学强化微晶玻璃的 $CS_{50}$ 在上述范围内,说明化学强化微晶玻璃从表面起算深度为50 $\mu$ m处的压应力高,表明该化学强化微晶玻璃具有较高的表面压应力水平,而较高的表面压应力水平所能抵消的跌落、挤压、冲击或碰撞剩余能量会越多,进而保证了其具有优异的抗损坏性能,如优异的抗跌落性能。

在本申请的一些实施方案中,采用80目砂纸,对厚度为0.5mm的化学强化微晶玻璃进行抗砂纸跌落测试,化学强化微晶玻璃的平均抗砂纸跌落高度 $\geq 1.0$ m,可选地,平均抗砂纸跌落高度 $\geq 1.2$ m,更可选地,平均抗砂纸跌落高度 $\geq 1.5$ m。这表明该化学强化微晶玻璃的抗跌落性能优异。

本申请又提供一种玻璃器件,其中,玻璃器件包含如前述的高锂含量微晶玻璃或包含如前述的化学强化微晶玻璃。

本申请另外还提供一种电子设备,其中,电子设备包括如前述的高锂含量微晶玻璃或包括如前述的化学强化微晶玻璃。

有益效果:

本申请通过使含主要晶相为二硅酸锂的高锂含量微晶玻璃满足特定的组成和结构,尤其是满足特定条件下的氧化物含量以及特定氧化物含量关系,不仅确保其能够实现高温化学强化,确保其在高温化学强化过程中,不会出现“表面开裂”和/或表面“脱皮”问题,提高了其化学强化效率,而且能够保证其制备获得的化学强化微晶玻璃,满足高的应力水平(如,具有高的 $CS_{50}$ 、 $|CT_{AV}|$ 、 $DOL_0$ 等)和高机械强度性能。采用本申请的高锂含量微晶玻璃,能够制得兼顾优异的光学性能和机械强度性能的化学强化微晶玻璃,有利于拓宽其应用场景和应用领域。

#### 附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,应当理解,以下附图仅示出了本申请的某些实施例,因此不应被看作是对范围的限定,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他相关的附图。

图1为实施例1的化学强化微晶玻璃在强光下的实物图。

图2为实施例2的化学强化微晶玻璃在强光下的实物图。

图3为实施例1的化学强化微晶玻璃沿厚度方向的断面在光学显微镜(放大200倍)下的形貌图;其中A指向实施例1的化学强化微晶玻璃的表面,B指向实施例1的化学强化微晶玻璃的内部。

图4为对比例1的化学强化微晶玻璃在强光照下的实物图,化学强化微晶玻璃出现有“表面开裂”现象;

图4A为对比例1的化学强化微晶玻璃沿厚度方向的断面在光学显微镜(放大200倍)下的形貌图;

图4B为对比例1的化学强化微晶玻璃主表面的局部区域在光学显微镜(放大50倍)下的形貌图;

图4A、图4B中,1指向对比例1的化学强化微晶玻璃的内部,2指向对比例1的化学强化微晶玻璃主表面上的“裂纹”区域,3指向空气。

图5为对比例12的化学强化微晶玻璃在自然光下的实物图,化学强化微晶玻璃出现有表面“脱皮”现象。

图6为对比例12的化学强化微晶玻璃沿厚度方向的断面在光学显微镜(放大50倍)下的形貌图;其中,4指向对比例12的化学强化微晶玻璃的内部,5指向对比例12的化学强化微晶玻璃的表面“脱皮”区域。

图7为实施例6的高锂含量微晶玻璃在360nm-740nm波段的透过率曲线。

图8为实施例6的高锂含量微晶玻璃的XRD图谱。

图9为对比例1中微晶玻璃在化学强化前后的XRD图谱;其中,A曲线为对比例1的微晶玻璃的XRD图谱,B曲线为对比例1的化学强化微晶玻璃的XRD图谱。

图10为实施例4中高锂含量微晶玻璃在化学强化前后的XRD图谱;其中,C曲线为实施例4的高锂含量微晶玻璃的XRD图谱,D曲线为实施例4的化学强化微晶玻璃的XRD图谱。

图11为实施例8的高锂含量微晶玻璃的热膨胀系数测试曲线,图中所示温度为高锂含量微晶玻璃的膨胀软化点温度。

#### 具体实施方式

在本文中所披露的范围的端点和任何值都不限于该精确的范围或值,这些范围或值应当理解为包含接近这些范围或值的值。对于数值范围来说,各个范围的端点值之间、各个范围的端点值和单独的点值之间,以及单独的点值之间可以彼此组合而得到一个或多个新的数值范围,这些数值范围应被视为在本文中具体公开。其中,术语“可选的”、“可选地”、“任选的”均是指可以包括,也可以不包括(或可以有,也可以没有)。

#### 名词解释和测试方法:

“表面开裂”现象:指化学强化后的玻璃(如,化学强化微晶玻璃)在强光照射下,表面呈现明显裂纹的现象。

表面“脱皮”现象:指化学强化后的玻璃(如,化学强化微晶玻璃)表面出现表层玻璃脱离玻璃本体的现象。

基材玻璃: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。

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

化学强化微晶玻璃：指微晶玻璃经过化学强化处理后，得到的固体复合材料。进行高温化学强化处理时，熔融盐浴中离子半径大的碱金属离子（如，钾离子或钠离子）会取代微晶玻璃中离子半径小的碱金属离子（如，钠离子或锂离子），从而产生交换离子体积差，在微晶玻璃表面产生压应力（或也称压缩应力）。

核化：通过热处理使玻璃中成核物质生长出小晶核。

晶化：玻璃通过热处理在晶核的基础上成长某种晶体。

晶相：晶相是结晶的微观结构，是由大量结晶态固相构成部分的统称，或也称晶体。

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。

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。

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。

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。

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。

SOC：光弹性系数。光弹性主要是指透明材料在受力后，出现各向异性产生双折射现象。通过光弹性系数以及双折射测量，可以获得材料内部残余应力（单位为 MPa）的值。

CT\_LD：是指张应力线密度，单位为 MPa/mm。应理解的是，微晶玻璃被置于熔融盐浴中进行离子交换后，微晶玻璃表面会形成压缩应力层（或也称压应力层），微晶玻璃内部则会形成张应力层（或也称拉伸应力层）。示例性地，在化学强化时，熔融盐浴中半径大的碱金属离子与微晶玻璃中半径小的碱金属离子进行离子交换，进而在微晶玻璃表面形成压缩应力层，并在微晶玻璃内部形成张应力层。本申请中通过下述公式计算得到 CT\_LD：

$$CT\_LD = |CT\_AV| \times \frac{(1000 \times t - 2 \times DOL\_0)}{t}$$

其中，t 为化学强化微晶玻璃的厚度，单位为 mm；DOL\_0 为化学强化微晶玻璃的压缩应力层深度，单位为  $\mu\text{m}$ ；|CT\_AV| 为化学强化微晶玻璃的平均张应力的绝对值，单位为 MPa。应理解的是，张应力线密度的计算公式中，是按上述单位要求将数据代入进行计算，并获得计算结果，单位不参与计算。

CS\_50：是指自化学强化微晶玻璃主表面起算的深度为 50 $\mu\text{m}$  处的压应力值，单位为 MPa。

|CT\_AV|：是指平均张应力的绝对值，单位为 MPa，具体指张应力层中所有张应力的平均值的绝对值，由 SLP-2000 应力仪测试获得。

DOL\_0：是指压缩应力层深度，或称为压应力层深度，具体指从化学强化微晶玻璃任一主表面到接近该表面的压应力为零的位置的距离，由 SLP-2000 应力仪测试获得。

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。

析晶上限温度：析晶上限温度指基材玻璃产生析晶的最高温度，高于这个温度，基材玻璃不会析出晶体。

玻璃的厚度：由千分尺测试得到。应理解的是，在厚度方向，离子交换程度由表面至中心呈梯度变化，而总体 Na-K 和/或 Li-Na 的交换量增量（质量）一般不超过样品总质量的 1.5%，故而在厚度方向上的膨胀效应极其轻微，可近似认为厚度基本没有变化。也即，化学强化前后，微晶玻璃的厚度变化非常小，可以忽略不计。

玻璃片尺寸规格测量：采用二次元测量机（仪器型号为 Miyu MY-YXCL-4030）测试。

XRD 测试：将本申请高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃粉碎，研磨成粒径小于 75 $\mu\text{m}$  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。本申请中采用的 X 射线衍射仪为岛津 XRD-6100， $2\theta=10^\circ-50^\circ$ ，扫描速度为  $6^\circ/\text{min}$ ，工作电压为 40kV，工作电流为 30mA。

晶相的确定：利用 Jade 软件（JADE Standard 8.6）分析 XRD 衍射数据，确定样品中的晶相组成。

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样品的结晶度。

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， $\lambda$  为 X 射线波长， $\lambda=0.154056\text{nm}$ ， $\beta$  为衍射峰半高宽， $K=0.89$ ， $\theta$  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  $2\theta$  值和 Peak FWHM 值，将 Peak FWHM 值转化为弧度制： $\beta=(FWHM/180\times 3.14)$ ，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。

透过率及光学 b 值的测试：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高锂含量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光学 b 值。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。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。其中，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  $24^\circ\text{C}$ ，空气湿度为 40%。

密度：本申请采用日本 ALFA MIRAGE 的电子密度天平 SD-200L 测试高锂含量微晶玻璃的密度。

折射率：本申请采用 WYA-2WAJ 型阿贝折射仪测定高锂含量微晶玻璃的折射率。

交换量：是指高锂含量微晶玻璃在化学强化前后的质量差值与化学强化前高锂含量微晶玻璃的质量的比值。

膨胀软化点温度：将样品制成直径为 5.5mm、长度为 20mm 的圆柱，使用热膨胀仪 LINSEIS L75VD1000 对样品进行测试，测试输出热膨胀系数测试曲线，当曲线开始随温度上升呈下降趋势，取曲线呈下降趋势的起始点所对应温度，记为该样品的膨胀软化点温度。

杨氏模量：采用 UMS-100 超声材料表征系统，通过声波测试高锂含量微晶玻璃的杨氏模量。

- 5 析晶上限温度：将基材玻璃敲碎成小块，然后放入长条石英槽中并铺满。将型号为 JKZC-XJY01 的梯度炉设定温度区间，如 1050℃-1225℃ 的温度区间，每段温度区间由高到低取至少 6 个温度点。待梯度炉达到预设温度区间后，将放有样品的长条石英槽放入梯度炉中，使 6 个温度点分别对应到长条石英槽中 6 处位置的玻璃样品，将长条石英槽置于梯度炉内恒温保温 60-70min 后，再将长条石英槽取出。用显微镜、放大镜观察长条石英槽中不同位置的玻璃样品情况，如果玻璃样品出现失透、发雾，则判定该处玻璃样品析晶，如果玻璃样品为透明，则判定该处玻璃样品未析晶。析晶上限温度范围在透明样品对应的温度点与相邻的失透或发雾样品对应温度点之间，取两温度点的平均值作为析晶上限温度。如果在梯度炉设定的温度区间内，长条石英槽内的玻璃样品全部析晶或全部不析晶，则重新设定梯度炉的温度区间，进行玻璃样品析晶上限温度的测定。

- 10 平均抗砂纸跌落高度测试：多片同一实施例或同一比例中的化学强化微晶玻璃样品中，每一样品所测得的抗砂纸跌落高度进行相加之和，除以所测样品数量所得的值，记为测试的化学强化微晶玻璃的平均抗砂纸跌落高度，用于表征化学强化微晶玻璃抗跌落损坏性能。每批次取至少 10 片样品进行测试，平均抗砂纸跌落高度

$$\langle h \rangle_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \text{ 其中, } n \text{ 为每批次测试的玻璃样品数量, } h_i \text{ 为单一样品测试的抗砂纸跌落高度;}$$

其中，单一样品抗砂纸跌落高度的测试方法为：

步骤 1：在 181g 的模型机下表面贴上 80 目砂纸，并将该模型机置于绿图 LT-SKDL-CD 型跌落机上；

- 20 步骤 2：在模型机正下方放置长宽厚为 50mm×50mm×0.5mm 的待测化学强化微晶玻璃样品，使化学强化微晶玻璃样品面向砂纸。使模型机以一定跌落高度冲击下落，冲击位于该模型机正下方的化学强化微晶玻璃样品。若化学强化微晶玻璃样品未出现破碎，则以一定规律提升模型机的跌落高度，使模型机继续冲击下落，冲击位于该模型机正下方的化学强化微晶玻璃样品，直至化学强化微晶玻璃样品破碎。比如，模型机的跌落高度从 0.4m 开始，对样品进行一次跌落冲击，如样品未破碎，则模型机的跌落高度提高 0.1m 高度，再次跌落，重复前述过程直至化学强化微晶玻璃样品破碎；

- 25 步骤 3：将化学强化微晶玻璃样品破碎前的上一次跌落高度，记为其抗砂纸跌落高度，比如，若采用每次跌落高度提升 0.1m 的方式，当样品破碎时的跌落高度为 0.5m，则样品的抗砂纸跌落高度就为 0.4m。

- 30 不受限于任何理论，推测微晶玻璃的化学强化过程通常会经历如下两步，一是微晶玻璃与熔盐接触的界面发生离子交换，熔盐中的离子半径较大的离子进入微晶玻璃中，二是微晶玻璃中交换进入的大半径离子向微晶玻璃更深处的迁移过程。然而，具有高锂含量且包含二硅酸锂主晶相的微晶玻璃，在高温盐浴（如，盐浴温度在 480℃ 以上）中进行化学强化处理时，表面离子交换（如，微晶玻璃中的锂离子  $\text{Li}^+$  与盐浴中的钠离子  $\text{Na}^+$  进行交换）的速度较快，而交换进入的大半径离子迁移速率却会受到微晶玻璃内部结构的限制。这种情况下，微晶玻璃表层产生的压缩应力就会迅速达到承受极限，进而易导致微晶玻璃表面发生“表面开裂”的现象，“表面开裂”现象主要会发生在微晶玻璃第一主表面和/或第二主表面，裂纹没有贯穿微晶玻璃的整个深度或厚度。

- 35 可选地，当化学强化处理是在更高温度下进行，具有高锂含量且包含二硅酸锂主晶相的微晶玻璃中，第一主表面或/和第二主表面甚至易发生“脱皮”现象，即，最外表的一层直接会从微晶玻璃中脱落，脱离层的厚度通常会在几微米到几十微米。

而化学强化过程中所发生的微晶玻璃“表面开裂”或/和表面“脱皮”现象，对微晶玻璃本身的性能是非常有害的，不仅会使微晶玻璃表面失效，而且会大大降低微晶玻璃的机械强度，使其无法满足使用要求。

- 40 有鉴于此，本申请中，提供一种适合进行高温化学强化且主要晶相为二硅酸锂的高锂含量微晶玻璃、化学强化微晶玻璃及其应用，该高锂含量微晶玻璃在进行高温化学强化后，不仅克服了“表面开裂”和/或表面“脱皮”的问题，而且能够在高温化学强化后获得具有高应力性能的化学强化微晶玻璃。通过采用该高锂含量微晶玻璃进行高温化学强化处理，以制备获得具有高应力水平和高机械强度性能的化学强化微晶玻璃，能够大大提高制备高强度化学强化微晶玻璃的效率。

- 45 如上所述，本申请的一些实施方式中，提供了一种高锂含量微晶玻璃，其中，高锂含量微晶玻璃包含二硅酸锂晶相，其中二硅酸锂晶相具有比高锂含量微晶玻璃中存在的其它晶相更高的重量百分数；以氧化物的摩尔百分比计，高锂含量微晶玻璃的组成包括： $\text{SiO}_2$ ：41.00mol%-69.50mol%， $\text{Al}_2\text{O}_3$ ：0.00mol%-2.00mol%， $\text{P}_2\text{O}_5$ ：1.50mol%-3.00mol%， $\text{ZrO}_2$ ：2.00mol%-6.00mol%， $\text{MgO}$ ：0.00mol%-2.00mol%， $\text{ZnO}$ ：0.00mol%-2.00mol%， $\text{Na}_2\text{O}$ ：0.00mol%-3.00mol%， $\text{K}_2\text{O}$ ：0.00mol%-1.00mol%， $\text{Li}_2\text{O}$ ：27.00mol%-32.00mol%， $\text{CaO}$ ：0.00mol%-5.00mol%， $\text{B}_2\text{O}_3$ ：0.00mol%-1.00mol%， $\text{SrO}$ ：0.00mol%-2.00mol%；以高锂含量微晶玻璃组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计，高锂含量微晶玻璃的组成满足： $0.20 \leq 2.25 \times \text{Li}_2\text{O} - 8 \times \text{ZrO}_2 - 0.2 \times \text{CaO} \leq 0.41$ 。

- 50 本申请中，通过优化玻璃配方，如，在较高含量的锂下，采用较高含量的锆、采用较低含量的铝，等等，同时使各组成成分之间满足特定的含量关系，使各组成成分之间发挥相互作用，一方面，有利于确保析出期望含量的二硅酸锂晶相，限制其他晶相（如，透锂长石晶相）的析出，从而有助于确保获得具有高本征强度和优异光学性能的、以二硅酸锂为主要晶相的微晶玻璃，另一方面，有利于确保微晶玻璃满足特定的组成和结构，从而确保其能够实现高温化学强化，确保其在高温化学强化过程中，不会出现“表面开裂”和/或表面“脱皮”问题，进而有助于提高其化学强化效率，而且能够保证其制备获得的化学强化微晶玻璃，具有高的应力水平（如，具有高的  $\text{CS}_{50}$ 、 $|\text{CT}_{\text{AV}}|$ 、

DOL<sub>0</sub>等)和高的机械强度性能。

在一些实施方式中,  $2.25 \times \text{Li}_2\text{O} - 8 \times \text{ZrO}_2 - 0.2 \times \text{CaO}$  的值例如可以为 0.20、0.21、0.22、0.23、0.24、0.25、0.26、0.27、0.28、0.29、0.30、0.31、0.32、0.33、0.34、0.35、0.36、0.37、0.38、0.39、0.40 或 0.41, 或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值, 只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是, 在具体实施方式中, 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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

在本申请中,  $\text{SiO}_2$  为玻璃网络的形成体氧化物, 是构成玻璃网络结构不可或缺的组分。适当提高  $\text{SiO}_2$  的含量可以增加玻璃的结构稳定性和机械强度, 但过量的  $\text{SiO}_2$  会增加基材玻璃的粘度, 使得玻璃熔制难度加大, 从而降低基材玻璃的可成型性。因此, 对  $\text{SiO}_2$  的摩尔百分比控制在 41.00mol%-69.50mol%, 可选地,  $\text{SiO}_2$  摩尔百分比在 60.00mol%-65.00mol%、更可选地, 在 61.00mol%-64.00mol%。

在一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃中, 可包含 41.00mol %-69.50mol %、42.00mol%-69.00mol %、50.00mol%-68.00mol %、55.00mol%-66.00mol %、60.00mol%-69.00mol %、60.00mol%-65.00mol %、61.00mol%-69.00mol %、61.00mol%-64.00mol %、62.00mol%-64.00mol %、63.00mol%-64.00mol %、61.00mol%-63.50mol%或63.00mol%-69.50mol %的  $\text{SiO}_2$ 。在一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃中, 可包含 41.00mol%、42.00mol%、43.00mol%、44.00mol%、45.00mol%、46.00mol%、47.00mol%、50.00mol%、53.00mol%、55.00mol%、58.00mol %、60.00mol %、61.00mol %、62.00mol %、63.00mol %、63.50mol %、64.00mol %、65.00mol %或 69.50 mol % 的  $\text{SiO}_2$ , 或者可包含处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的  $\text{SiO}_2$ , 只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是, 在具体实施方式中, 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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

在本申请中,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  作为可选组分, 适量  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的添加有助于一定程度上促进化学强化过程中离子的交换, 但是过量的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  会造成玻璃粘度的增加, 同时易导致其他晶相的析出, 如透锂长石等, 影响微晶玻璃的晶相结构。因此, 对  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的摩尔百分比控制在 0.00mol%-2.00mol%。

在一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃中, 可包含 0.00mol%-2.00mol%、0.00mol%-1.60mol%、0.00mol%-1.00mol%、0.50mol%-1.60mol%、0.50mol%-1.00mol%、0.00mol%-0.50mol%、1.20 mol %-1.60 mol %、0.00 mol %-1.30 mol %、0.00mol %-1.20 mol %或 1.00 mol %-2.00 mol %的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。在一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃中, 可包含 0.00mol%、0.50mol%、0.70mol%、0.85 mol %、0.95 mol %、1.00 mol %、1.10 mol %、1.20 mol %、1.30 mol %、1.40 mol %、1.50 mol %、1.60mol%、1.80mol%或 2.00mol%的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 或者可包含处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是, 在具体实施方式中, 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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

在本申请中,  $\text{P}_2\text{O}_5$  作为成核剂, 是必不可少的组分, 其含量过少或者过多时, 都会导致晶化效果不好, 影响获得的微晶玻璃的光学性能, 如, 导致微晶玻璃的透明性降低, 故, 对  $\text{P}_2\text{O}_5$  的摩尔百分比控制在 1.50mol%-3.00mol%, 可选地, 1.50mol%-2.10mol%。

在一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃中, 可包含 1.50mol%-3.00mol%、1.60mol%-2.80mol%、1.50mol%-2.50mol%、1.60mol%-2.10mol%、1.70mol%-2.20mol%、1.50mol%-1.60mol%、1.70mol%-3.00mol%、1.60mol%-2.50mol%、1.70mol%-2.30mol%、1.80mol%-2.00mol%、2.00mol%-3.00mol%、1.80mol%-1.90mol%、1.60 mol %-1.90mol %、1.70 mol %-1.90mol %、1.75mol %-1.95mol %或 1.50mol%-2.10mol%的  $\text{P}_2\text{O}_5$ 。在一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃, 可包含 1.50mol%、1.60mol%、1.70mol%、1.75mol%、1.80mol %、1.85 mol %、1.95 mol %、2.00 mol %、2.10 mol %、2.20 mol %、2.30 mol %、2.40 mol %、2.50 mol %、2.60mol%、2.80mol%或 3.00mol%的  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 或者可包含处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是, 在具体实施方式中, 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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

在本申请中,  $\text{ZrO}_2$  是玻璃形成的中间体氧化物, 适量的  $\text{ZrO}_2$  可以提高玻璃的化学稳定性, 增加玻璃的硬度以及玻璃的抗划伤、抗跌落能力, 同时由于  $\text{ZrO}_2$  阳离子电荷高、场强大, 对玻璃结构有较大的积聚作用, 在微晶玻璃中也常用作成核剂。在本申请中, 采用一定量的  $\text{ZrO}_2$ , 不但有利于微晶玻璃在化学强化后获取更高应力, 而且有利于微晶玻璃在强化过程抵抗“表面开裂”。但  $\text{ZrO}_2$  含量过高会导致玻璃分相或者不利于获得光学性能优异的微晶玻璃。因此, 对  $\text{ZrO}_2$  的摩尔百分比控制在 2.00mol%-6.00mol%, 可选为 3.00mol%-6.00mol%。

在一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃中, 可包含 2.00mol%-6.00mol%、2.30mol%-5.80 mol %、2.50mol%-5.50 mol %、2.80mol%-5.30 mol %、2.90mol%-5.10 mol %、3.00mol%-5.50 mol %、3.10mol%-4.80 mol %、4.80mol%-6.00 mol %、4.00mol%-5.80 mol %、3.20mol%-5.30 mol %、3.50mol%-5.00 mol %、3.50mol%-6.00mol%、3.50mol%-5.80 mol %、4.00mol%-5.00 mol %或 3.00mol%-6.00 mol %的  $\text{ZrO}_2$ 。在一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃中, 可包含 2.00mol%、2.30mol%、2.50mol%、2.70 mol %、2.90 mol %、3.00 mol %、3.10 mol %、3.30 mol %、3.50 mol %、4.00mol%、4.50mol%、5.00mol%、5.50mol%、5.80mol%或 6.00 mol %的  $\text{ZrO}_2$ , 或者可包含处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的  $\text{ZrO}_2$ , 只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是, 在具体实施方式中, 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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

在本申请中,  $\text{CaO}$  作为玻璃形成的网络外体氧化物的可选组分, 适量的  $\text{CaO}$  有助于降低玻璃的高温粘度, 增加玻璃的密度, 但是过量的  $\text{CaO}$  会使玻璃的料性变短, 脆性增加。本申请中, 适当加入少量的  $\text{CaO}$  有助于增加微晶玻璃在化学强化后所获得的应力, 同时也减缓了微晶玻璃的化学强化速率。因此, 对  $\text{CaO}$  的摩尔百分比控制在

0.00mol%-5.00mol%，可选地，控制在0.00mol%-4.00mol%。

在一些实施方式中，高锂含量微晶玻璃，可包含0.00mol%-5.00mol%、0.10mol%-4.00mol%、0.00 mol %-4.00 mol %、0.50mol%-3.80mol%、0.80mol%-2.00mol%、0.00mol%-1.60mol%、0.00mol%-1.00mol%、1.50mol%-4.00mol%、0.00 mol %-2.00 mol %、1.00 mol %-4.00 mol %或0.10 mol %-5.00 mol %的CaO。在一些实施方式中，高锂含量微晶玻璃中，可包含0.00mol%、0.10mol%、0.50mol%、0.70mol%、0.85 mol %、0.95 mol %、1.00 mol %、1.10 mol %、1.20 mol %、1.30 mol %、1.40 mol %、1.50 mol %、1.60mol%、1.80mol%、2.00mol%、3.00mol%、4.00mol%或5.00mol%的CaO，或者可包含处于上述任意2个具体数值作为端点构成的数值范围内的CaO，只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是，在具体实施方式中，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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

在本申请中， $\text{Li}_2\text{O}$  作为必要成分，是玻璃形成的网络外体氧化物，其不仅能够改善玻璃的粘度，促进玻璃液的熔化和澄清，而且是形成二硅酸锂晶体的主要成分之一，同时， $\text{Li}_2\text{O}$  还能够提供碱金属锂离子，用于与熔融盐浴的大半径离子进行离子交换，是影响化学强化微晶玻璃可获得的应力水平的一大重要因素。但过量的 $\text{Li}_2\text{O}$  会使微晶玻璃的光学性能变差，而且易使微晶玻璃在强化过程中产生“表面开裂”的现象。因此，对 $\text{Li}_2\text{O}$  的摩尔百分比控制在27.00mol%-32.00mol%，可选地，控制在27.00mol%-30.00mol%。

在一些实施方式中，高锂含量微晶玻璃中，可包含27.00mol%-32.00mol%、27.50 mol %-31.00 mol %、27.00 mol %-30.00 mol %、27.50 mol %-29.50 mol %、28.00mol%-32.00 mol %、28.50mol%-31.00 mol %、29.00mol%-30.50 mol %、28.00mol%-30.50mol%或29.50mol%-32.00 mol %的 $\text{Li}_2\text{O}$ 。在一些实施方式中，高锂含量微晶玻璃中，可包含27.00 mol %、27.50 mol %、28.00 mol %、28.50mol %、29.00 mol %、29.50mol %、30.00 mol %、30.50 mol %、31.00 mol %、31.50 mol %或32.00 mol %的 $\text{Li}_2\text{O}$ ，或者可包含处于上述任意2个具体数值作为端点构成的数值范围内的 $\text{Li}_2\text{O}$ ，只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是，在具体实施方式中，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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

在本申请中， $\text{MgO}$  作为可选组分，适量的 $\text{MgO}$  可起到调节微晶玻璃中玻璃相成分的作用，但是过量 $\text{MgO}$  会影响晶体的生长，影响微晶玻璃的晶相结构，故，控制 $\text{MgO}$  摩尔百分比在0.00mol%-2.00mol%。

在一些实施方式中，高锂含量微晶玻璃中，可包含0.00mol%-2.00mol%、0.00mol%-1.60mol%、0.50mol%-1.60mol%、0.80mol%-1.50mol%、0.00mol%-1.00mol%、0.00mol%-0.50mol%、0.10 mol %-1.10 mol %、0.10 mol %-1.50 mol %或0.00mol %-1.40 mol %的 $\text{MgO}$ 。在一些实施方式中，高锂含量微晶玻璃中，可包含0.00mol%、0.50mol%、0.70mol%、0.85 mol %、0.95 mol %、1.00 mol %、1.10 mol %、1.20 mol %、1.30 mol %、1.40 mol %、1.50 mol %、1.60mol%、1.80mol%或2.00mol%的 $\text{MgO}$ ，或者可包含处于上述任意2个具体数值作为端点构成的数值范围内的 $\text{MgO}$ ，只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是，在具体实施方式中，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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

在本申请中， $\text{ZnO}$  作为网络中间体，是可选组分之一。适量的 $\text{ZnO}$  可结合游离氧，调节玻璃结构，并可残留在微晶玻璃的玻璃相中，增加玻璃粘度，但是过量的 $\text{ZnO}$  会影响晶体的生长，影响微晶玻璃的晶相结构，故，控制 $\text{ZnO}$  摩尔百分比在0.00mol%-2.00mol%。

在一些实施方式中，高锂含量微晶玻璃中，可包含0.00mol%-2.00mol%、0.00mol%-1.70mol%、0.50mol%-1.60mol%、0.80mol%-1.50mol%、0.00mol%-1.00mol%、0.00mol%-0.50mol%、0.10 mol %-1.10 mol %、0.10 mol %-1.50 mol %或0.00mol %-1.40 mol %的 $\text{ZnO}$ 。在一些实施方式中，高锂含量微晶玻璃中，可包含0.00mol%、0.50mol%、0.70mol%、0.85 mol %、0.95 mol %、1.00 mol %、1.10 mol %、1.20 mol %、1.30 mol %、1.40 mol %、1.50 mol %、1.60mol%、1.80mol%或2.00mol%的 $\text{ZnO}$ ，或者可包含处于上述任意2个具体数值作为端点构成的数值范围内的 $\text{ZnO}$ ，只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是，在具体实施方式中，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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

在本申请中， $\text{Na}_2\text{O}$  作为可选组分，是网络外体氧化物。适量 $\text{Na}_2\text{O}$  可提供游离氧，改善玻璃的粘度，促进玻璃液的熔化和澄清，同时还能调节化学强化速率，但是过量的 $\text{Na}_2\text{O}$  不仅会导致微晶玻璃的结晶度降低，而且还会影响化学强化效果，故，控制 $\text{Na}_2\text{O}$  摩尔百分比在0.00mol%-3.00mol%。

在一些实施方式中，高锂含量微晶玻璃中，可包含0.00mol%-3.00mol%、0.00mol%-2.80mol%、0.00mol%-1.00mol%、0.10mol%-2.70mol%、0.50mol%-1.60mol%、0.60mol%-1.00mol%、2.50mol%-3.00mol%或0.00 mol %-0.50 mol %的 $\text{Na}_2\text{O}$ 。在一些实施方式中，高锂含量微晶玻璃中，可包含0.00mol%、0.50mol%、0.70mol%、0.85 mol %、0.95 mol %、1.00 mol %、1.10 mol %、1.20 mol %、1.30 mol %、1.40 mol %、1.50 mol %、1.60mol%、1.80mol%、2.00mol%、2.50mol%或3.00mol%的 $\text{Na}_2\text{O}$ ，或者可包含处于上述任意2个具体数值作为端点构成的数值范围内的 $\text{Na}_2\text{O}$ ，只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是，在具体实施方式中，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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

在本申请中， $\text{K}_2\text{O}$  为玻璃网络外体氧化物，是可选组分之一。适量 $\text{K}_2\text{O}$  能够提供游离氧，使玻璃结构中的氧硅比增加，但过多的 $\text{K}_2\text{O}$  会影响玻璃的网络结构，影响玻璃的光学性能、热稳定性、化学稳定性、机械强度以及玻璃的耐候性。故，控制 $\text{K}_2\text{O}$  摩尔百分比在0.00mol%-1.00mol%。

在一些实施方式中，高锂含量微晶玻璃中，可包含0.00mol%-1.00mol%、0.50mol%-1.00mol%、0.00mol%-0.50mol%、0.85 mol %-1.00 mol %或0.00 mol %-0.15mol %的 $\text{K}_2\text{O}$ 。在一些实施方式中，高锂含量微晶玻璃

中,可包含 0.00mol%、0.15mol%、0.50mol%、0.70mol%、0.85mol%、0.95mol%或 1.00mol% 的  $K_2O$ ,或者可包含处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的  $K_2O$ ,只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是,在具体实施方式中,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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

- 5 在本申请中, $B_2O_3$  作为可选组分,适量  $B_2O_3$  可用作助熔剂和/或软化剂,有助于改善玻璃的成型和热弯效果,但是过量的  $B_2O_3$  会导致析晶过程不可控,导致微晶玻璃的光学性能变差,故,控制  $B_2O_3$  摩尔百分比在 0.00mol%-1.00mol%。

- 10 在一些实施方式中,高锂含量微晶玻璃中,可包含 0.00mol%-1.00mol%、0.00mol%-0.50mol%、0.50mol%-1.00mol%、0.10mol%-0.85mol%、0.85mol%-1.00mol%或 0.25mol%-0.75mol% 的  $B_2O_3$ 。在一些实施方式中,高锂含量微晶玻璃中,可包含 0.00mol%、0.10mol%、0.25mol%、0.50mol%、0.60mol%、0.70mol%、0.75mol%、0.85mol%、0.95mol%或 1.00mol% 的  $B_2O_3$ ,或者可包含处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的  $B_2O_3$ ,只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是,在具体实施方式中,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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

- 15 在本申请中, $SrO$  作为可选组分,是碱土金属氧化物。适量  $SrO$  可起到调节微晶玻璃中玻璃相成分的作用,有助于增加微晶玻璃的密度,增加其杨氏模量。同时也利于降低微晶玻璃的膨胀软化点,进而利于微晶玻璃热弯成型为 3D 曲面微晶玻璃。但过量的  $SrO$  会使微晶玻璃的光学性能变差,因此,将  $SrO$  的摩尔百分比控制在 0.00mol%-2.00mol%。

- 20 在一些实施方式中,高锂含量微晶玻璃中,可包含 0.00mol%-2.00mol%、0.10mol%-2.00mol%、0.00mol%-1.00mol%、0.10mol%-1.00mol%、0.30mol%-1.90mol%、0.40mol%-1.20mol%、1.20mol%-2.00mol%、0.00mol%-0.30mol%、0.85mol%-1.40mol%、0.85mol%-1.90mol%、0.50mol%-1.20mol%或 1.00mol%-2.00mol% 的  $SrO$ 。在一些实施方式中,高锂含量微晶玻璃中,可包含 0.00mol%、0.30mol%、0.50mol%、0.70mol%、0.85mol%、0.95mol%、1.00mol%、1.10mol%、1.20mol%、1.30mol%、1.40mol%、1.50mol%、1.60mol%、1.80mol%或 2.00mol% 的  $SrO$ ,或者可包含处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的  $SrO$ ,只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是,在具体实施方式中,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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

- 25 在一些实施方式中,以氧化物的摩尔百分比计,高锂含量微晶玻璃的组成包括: $SiO_2$ :60.00mol%-65.00mol%, $Al_2O_3$ :0.00mol%-2.00mol%, $P_2O_5$ :1.50mol%-3.00mol%, $ZrO_2$ :2.00mol%-6.00mol%, $MgO$ :0.00mol%-2.00mol%, $ZnO$ :0.00mol%-2.00mol%, $Na_2O$ :0.00mol%-3.00mol%, $K_2O$ :0.00mol%-1.00mol%, $Li_2O$ :27.00mol%-32.00mol%, $CaO$ :0.00mol%-4.00mol%, $B_2O_3$ :0.00mol%-1.00mol%, $SrO$ :0.00mol%-2.00mol%。通过使微晶玻璃满足上述组成,不仅利于赋予以二硅酸锂为主要晶相的高锂含量微晶玻璃高的本征强度和优异的光学性能,还利于保证其化学强化效果,确保微晶玻璃在化学强化后获得较高的应力水平,进而获得较高的机械强度性能和抗损坏性能。

- 30 在一些实施方式中,本申请高锂含量微晶玻璃的组成在上述组成范围的基础上,还可以包括其他组分。例如,在一些具体实施方式中,以氧化物的摩尔百分比计,高锂含量微晶玻璃的组成还包括: $Y_2O_3$ :0.00mol%-1.00mol%, $La_2O_3$ :0.00mol%-1.00mol%, $Ta_2O_5$ :0.00mol%-1.00mol%。

- 35 在本申请中,适量的选择性加入  $Y_2O_3$ 、 $La_2O_3$  或  $Ta_2O_5$ ,有助于提高微晶玻璃的密度,增加其杨氏模量,但同时也可能会增加微晶玻璃的折射率,使微晶玻璃的光学性能降低,故,控制  $Y_2O_3$ 、 $La_2O_3$  或  $Ta_2O_5$  摩尔百分比在 0.00mol%-1.00mol%。

- 40 在一些实施方式中,高锂含量微晶玻璃中, $Y_2O_3$ 、 $La_2O_3$  或  $Ta_2O_5$  摩尔百分比可以为 0.00mol%、0.10mol%、0.20mol%、0.30mol%、0.40mol%、0.50mol%、0.60mol%、0.70mol%、0.80mol%、0.85mol%、0.90mol%、0.95mol%或 1.00mol%,或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值,只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是,在具体实施方式中,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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

- 45 在一些实施方式中,以氧化物的摩尔百分比计,高锂含量微晶玻璃的组成包括: $SiO_2$ :60.00mol%-65.00mol%, $Al_2O_3$ :0.00mol%-2.00mol%, $P_2O_5$ :1.50mol%-2.50mol%, $ZrO_2$ :3.00mol%-6.00mol%, $MgO$ :0.00mol%-2.00mol%, $ZnO$ :0.00mol%-2.00mol%, $Na_2O$ :0.00mol%-3.00mol%, $K_2O$ :0.00mol%-1.00mol%, $Li_2O$ :27.50mol%-31.00mol%, $CaO$ :0.00mol%-2.50mol%, $B_2O_3$ :0.00mol%-1.00mol%, $SrO$ :0.00mol%-2.00mol%, $Y_2O_3$ :0.00mol%-1.00mol%, $La_2O_3$ :0.00mol%-1.00mol%, $Ta_2O_5$ :0.00mol%-1.00mol%。通过使高锂含量微晶玻璃满足上述组成,有利于制备获得具有高应力水平的化学强化微晶玻璃,进而有利于确保制备的化学强化微晶玻璃具有高的机械强度性能和优异抗损坏性能。

- 50 在本申请的一些实施方式中,以高锂含量微晶玻璃组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计,高锂含量微晶玻璃的组成还满足: $0.25 \leq (2.2 \times ZrO_2 + 0.35 \times CaO + Na_2O) / Li_2O \leq 0.45$ 。通过使微晶玻璃的组成满足该关系式,利于在保证高锂含量微晶玻璃具有较高本征强度和优异光学性能的同时,避免微晶玻璃在高温熔盐熔浴中化学强化时出现“表面开裂”和/或“脱皮”的现象。在一些实施方式中, $(2.2 \times ZrO_2 + 0.35 \times CaO + Na_2O) / Li_2O$  的值例如可以为 0.25、0.26、0.27、0.28、0.29、0.30、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 或 0.45,或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值,只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是,在具体实施方式中,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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

- 55 在本申请的一些实施方式中,以高锂含量微晶玻璃组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计,高锂含量微晶

5 玻璃的组成还满足： $0.00 \leq (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{ZnO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{ZrO}_2 + \text{Li}_2\text{O}) \leq 0.15$ 。采用满足该关系式的组成和结构，会更利于提升高锂含量微晶玻璃在化学强化后产生的应力水平。在一些实施方式中， $(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{ZnO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{ZrO}_2 + \text{Li}_2\text{O})$  的值例如可以为 0.00、0.01、0.02、0.03、0.04、0.05、0.06、0.07、0.08、0.09、0.10、0.11、0.12、0.13、0.14 或 0.15，或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值，只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是，在具体实施方式中，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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

10 在本申请的一些实施方式中，以高锂含量微晶玻璃组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计，高锂含量微晶玻璃的组成还满足： $0.90 \leq \text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{O} \leq 0.95$ 。采用满足该关系式的组成和结构，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光学性能，也有利于使微晶玻璃在化学强化后获得高的应力水平，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， $\text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{O}$  的值例如可以为 0.900、0.904、0.905、0.910、0.915、0.920、0.925、0.930、0.935、0.940、0.945 或 0.950，或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值，只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是，在具体实施方式中，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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

15 在本申请的一些实施方式中，以高锂含量微晶玻璃组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计，高锂含量微晶玻璃的组成还满足： $2.00 \leq \text{SiO}_2 / \text{Li}_2\text{O} \leq 2.30$ 。采用满足该关系式的组成和结构，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高的应力水平。在一些实施方式中， $\text{SiO}_2 / \text{Li}_2\text{O}$  的值例如可以为 2.00、2.02、2.04、2.06、2.08、2.10、2.12、2.14、2.16、2.18、2.20、2.22、2.24、2.26、2.28 或 2.30，或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值，只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是，在具体实施方式中，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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

20 在本申请的一些实施方式中，以高锂含量微晶玻璃组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计，高锂含量微晶玻璃的组成还满足： $0 \leq (\text{CaO} + \text{SrO}) / \text{ZrO}_2 \leq 1.50$ 。采用满足该关系式的组成和结构，会更利于提升高锂含量微晶玻璃在化学强化后产生的应力水平。在一些实施方式中， $(\text{CaO} + \text{SrO}) / \text{ZrO}_2$  的值例如可以为 0.00、0.10、0.20、0.30、0.40、0.50、0.60、0.70、0.80、0.90、1.00、1.20、1.30、1.40 或 1.50，或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值，只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是，在具体实施方式中，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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

25 在本申请的一些实施方式中，以高锂含量微晶玻璃组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计，高锂含量微晶玻璃的组成还满足： $0 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) \leq 0.03$ 。采用满足该关系式的组成和结构，更利于确保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和光学性能，也有利于使微晶玻璃在化学强化后获得高的应力水平。在一些实施方式中， $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$  的值例如可以为 0.00、0.01、0.020、0.022、0.023、0.024、0.025 或 0.03，或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值，只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是，在具体实施方式中，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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

30 在本申请的一些实施方式中，以高锂含量微晶玻璃组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计，高锂含量微晶玻璃的组成满足：

40  $0 \leq (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{ZnO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{ZrO}_2 + \text{Li}_2\text{O}) \leq 0.10$ ；和/或，  
 $0.90 \leq \text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{O} \leq 0.93$ ；和/或，  
 $0 \leq (\text{CaO} + \text{SrO}) / \text{ZrO}_2 \leq 1.00$ ，可选为  $0 \leq (\text{CaO} + \text{SrO}) / \text{ZrO}_2 \leq 0.70$ 。通过使组成满足上述关系式的至少一个，有利于进一步改善玻璃的结构，更有利于制备获得更高应力水平的化学强化微晶玻璃，进而有利于确保制备的化学强化微晶玻璃具有高的机械强度性能和优异抗损坏性能。

45 本申请的高锂含量微晶玻璃，具有特定的组成和结构，能够实现高温化学强化，其在高温熔盐盐浴中进行化学强化时，不会出现“表面开裂”和/或“脱皮”现象。在本申请的一些实施方式中，在 500℃ 的混盐盐浴中，处理 1h-5h 后，高锂含量微晶玻璃的 X 射线衍射图谱中，在  $2\theta$  为 35.30°-35.90° 范围内无衍射峰；其中，混盐盐浴包括 29.99wt%NaNO<sub>3</sub>、69.98wt%KNO<sub>3</sub> 和 0.03wt%LiNO<sub>3</sub>。

50 需要指出的是，前述处理 1h-5h 后，高锂含量微晶玻璃的 X 射线衍射图谱中，在  $2\theta$  为 35.30°-35.90° 范围内无衍射峰，是指在处理 1h-5h 之间的任一时间时，X 射线衍射图谱中，在  $2\theta$  为 35.30°-35.90° 范围内均无衍射峰。

在本申请的一些实施方式中，高锂含量微晶玻璃的密度  $\rho \geq 2.54 \text{g/cm}^3$ ，折射率  $\leq 1.60$ 。满足该密度和折射率的高锂含量微晶玻璃，能够确保具有较高本征强度和优异光学性能。

55 在一些实施方式中，高锂含量微晶玻璃的密度  $\rho$  可以为 2.54g/cm<sup>3</sup>、2.55g/cm<sup>3</sup>、2.56g/cm<sup>3</sup>、2.57g/cm<sup>3</sup>、2.58g/cm<sup>3</sup>、2.59g/cm<sup>3</sup>、2.60g/cm<sup>3</sup>、2.61g/cm<sup>3</sup>、2.62g/cm<sup>3</sup>、2.63g/cm<sup>3</sup>、2.64g/cm<sup>3</sup> 或 2.65g/cm<sup>3</sup>，或可以为上述任意具体数值以上的数值，或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值，只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是，在具体实施方式中，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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

在一些实施方式中，高锂含量微晶玻璃的折射率可以为 1.50、1.51、1.52、1.53、1.54、1.55、1.56、1.57、1.58、

1.59 或 1.60, 或可以为上述任意具体数值以下的数值, 或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值, 只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是, 在具体实施方式中, 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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

5 在本申请的一些实施方式中, 在高锂含量微晶玻璃为 0.5mm 厚度时, 高锂含量微晶玻璃的  $b$  值 $\leq 1.0$ , 可选为  $b$  值 $\leq 0.8$ 。满足该光学  $b$  值的高锂含量微晶玻璃, 能够确保具有较优的光学性能和显示效果, 适合用在对显示效果有要求的显示屏中。在一些实施方式中, 在 0.5mm 厚度时, 高锂含量微晶玻璃的  $b$  值可以为 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9 或 1.0, 或可以为上述任意具体数值以下的数值, 或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值, 只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是, 在具体实施方式中, 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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

10 在本申请的一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃在可见光范围内是透明的, 和/或者, 在 0.5mm 厚度时, 对于 550nm 波长光而言, 高锂含量微晶玻璃的透过率 $\geq 85.00\%$ , 可选地, 透过率 $\geq 90.00\%$ 。满足该透过率的高锂含量微晶玻璃, 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中。这里的“可见光范围”指 360nm-740nm 波段的光。

15 在一些实施方式中, 在高锂含量微晶玻璃为 0.5mm 厚度时, 对于 550nm 波长光而言, 高锂含量微晶玻璃的透过率可以为 85.00%、86.00%、87.00%、88.00%、89.00%、90.00%、90.50%、91.00%或 92.00%, 或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值, 只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是, 在具体实施方式中, 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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

20 本申请的高锂含量微晶玻璃透过率较高,  $b$  值较低, 这都表明本申请高锂含量微晶玻璃的光学性能较优且均一性好, 为透明状态, 能够满足电子设备盖板玻璃的应用要求。

在本申请的一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃的结晶度为 30.00wt%-90.00wt%, 可选地, 结晶度为 50.00wt%-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。较高含量的微晶相有利于提高微晶玻璃的机械强度性能。在一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃的结晶度可以为 30.00wt%-90.00wt%、45.00wt%-85.00wt%、50.00wt%-90.00wt%、55.00wt%-85.00wt%、60.00wt%-85.00wt%、65.00wt%-90.00wt%、70.00wt%-90.00wt%或 68.00wt%-85.00wt%。在一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃的结晶度可以为 30.00wt%、35.00wt%、40.00wt%、45.00wt%、50.00wt%、55.00wt%、60.00wt%、65.00wt%、70.00wt%、75.00wt%、80.00 wt %、85.00 wt %或 90.00 wt %, 或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值, 只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是, 在具体实施方式中, 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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

30 在本申请的一些实施方式中, “主要晶相为二硅酸锂”或者“二硅酸锂晶相具有比高锂含量微晶玻璃中存在的其它晶相更高的重量百分数”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 70 重量百分比(重量%)。

35 在本申请的一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃中其他可能的晶相的非限制性例子包括: 透锂长石晶相, 和/或, 磷酸锂晶相。在一些实施方式中, 高锂含量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 $\leq 20\%$ , 更可选地, 透锂长石晶相占微晶玻璃的重量百分比可以 $\leq 15\%$ 、 $\leq 10\%$ , 或 $\leq 5\%$ 。

在本申请的一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃中, 平均晶体尺寸 $\leq 100\text{nm}$ , 可选地, 平均晶体尺寸 $\leq 50\text{nm}$ , 更可选地, 平均晶体尺寸为 15nm-45nm。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, 平均晶体尺寸可以为 10nm-100nm、20nm-90nm、30nm-80nm、40nm-60nm、10nm-30nm、10nm-20nm、5nm-35nm 或 15nm-35nm。在一些实施方式中, 平均晶体尺寸可以为 10nm、15nm、20nm、30nm、40nm、45nm、50nm、60nm、70nm、80nm、90nm 或 100nm, 或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值, 只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是, 在具体实施方式中, 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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

45 在本申请的一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃对应的基材玻璃的析晶上限温度在  $1000^{\circ}\text{C}$ - $1100^{\circ}\text{C}$ 。满足该析晶上限温度范围, 有利于实现高锂含量微晶玻璃的产业化量产制造。

在本申请的一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃的杨氏模量 $\geq 100.00\text{GPa}$ , 可选地, 高锂含量微晶玻璃的杨氏模量 $\geq 110.00\text{GPa}$ , 更可选地, 高锂含量微晶玻璃的杨氏模量为 114GPa-130GPa。具有较高的杨氏模量, 表明该高锂含量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, 高锂含量微晶玻璃的杨氏模量可以为 100.00GPa-150.00GPa、105.00GPa-140.00GPa、110.00GPa-130.00GPa 或 114.00GPa-125.00GPa。在一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃的杨氏模量可以为 100.00GPa、105.00GPa、110.00GPa、114GPa、115.00GPa、120.00GPa、125.00GPa、130.00GPa、140.00GPa 或 150.00GPa, 或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值, 只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是, 在具体实施方式中, 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高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃即可。

55 在本申请的一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃的膨胀软化点在  $750^{\circ}\text{C}$ - $820^{\circ}\text{C}$ 。适宜的膨胀软化点, 有利于该高锂含量微晶玻璃进行 3D 热弯成型, 以制得具有高强度性能的 3D 曲面微晶玻璃。在一些实施方式中, 高锂含量微晶玻璃的膨胀软化点可以为  $750^{\circ}\text{C}$ 、 $760^{\circ}\text{C}$ 、 $770^{\circ}\text{C}$ 、 $780^{\circ}\text{C}$ 、 $790^{\circ}\text{C}$ 、 $800^{\circ}\text{C}$ 、 $810^{\circ}\text{C}$ 或  $820^{\circ}\text{C}$ , 或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值, 只要能得到本申请所需性能的高锂含量微晶玻璃即可。应该理

解的是,在具体实施方式中,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高锂含量微晶玻璃即可。

本申请中,高锂含量微晶玻璃经过热弯处理后,可制备获得 3D 曲面微晶玻璃。以氧化物的摩尔百分比计,该 3D 曲面微晶玻璃的组成与高锂含量微晶玻璃相同或基本相同。

5 本申请的高锂含量微晶玻璃可通过基材玻璃经热处理制备得到,以氧化物的摩尔百分比计,采用的基材玻璃的组成与高锂含量微晶玻璃的组成相同或基本相同。

10 本申请中,可以采用现有技术中的成型方法制备基材玻璃,本申请对此没有任何限制,例如,成型方式可以包括但不限于:浮法、溢流、压延或浇铸等。示例性的,可将各原料物质和澄清剂混合均匀(均匀度在 98%以上),熔融成型后退火,制得基材玻璃,可选地,工艺参数可以包括:熔融温度为 1480℃-1680℃,退火温度为 450℃-650℃,退火温度下保温 10h-48h。可选地,澄清剂可以包括但不限于氯化钠、氧化锡、氧化铋或氧化砷等中的一种或多种,澄清剂添加量可以为各原料物质总量的 0-1wt%。

15 本申请中,对基材玻璃进行热处理以制备高锂含量微晶玻璃时,热处理例如可以在退火炉中进行,热处理的方式可以包括但不限于,一步热处理、两步热处理或者多步热处理,例如,可以包括先核化处理再晶化处理的两步热处理。热处理的工艺条件可以包括但不限于:核化温度可以为 500℃-600℃,核化保温时间可以为 120min-360min;晶化温度可以为 600℃-800℃,晶化保温时间可以为 60min-180min;整个过程升温速率可以为 5℃/min-20℃/min,降温速率可以为 0.1℃/min-3℃/min。在热处理之后,本领域技术人员还可以进行其他常规步骤,以获得满足所需规格或所需要的高锂含量微晶玻璃样品,例如可以进行切割处理、CNC 加工处理(computer numerical control,即数控机床)或抛光处理等步骤。

20 本申请中,还提供了一种化学强化微晶玻璃,其中,化学强化微晶玻璃的中心处的组成与前面的高锂含量微晶玻璃的组成相同,化学强化微晶玻璃包含从化学强化微晶玻璃的表面延伸到压缩深度的压缩应力层区域,并且在化学强化微晶玻璃的内部具有张应力。

25 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<sup>+</sup>或 Na<sup>+</sup>)会分别被较大的碱金属离子(例如,Na<sup>+</sup>或 K<sup>+</sup>)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,与刚形成的高锂含量微晶玻璃相同或基本相同。

30 本申请中,化学强化微晶玻璃中包含二硅酸锂晶相,其中二硅酸锂晶相具有比化学强化微晶玻璃中存在的其它晶相更高的重量百分数;以氧化物的摩尔百分比计,化学强化微晶玻璃的中心处的组成包括:SiO<sub>2</sub>: 41.00mol%-69.50mol%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0.00mol%-2.00mol%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 1.50mol%-3.00mol%, ZrO<sub>2</sub>: 2.00mol%-6.00mol%, MgO: 0.00mol%-2.00mol%, ZnO: 0.00mol%-2.00mol%, Na<sub>2</sub>O: 0.00mol%-3.00mol%, K<sub>2</sub>O: 0.00mol%-1.00mol%, Li<sub>2</sub>O: 27.00mol%-32.00mol%, CaO: 0.00mol%-5.00mol%, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0.00mol%-1.00mol%, SrO: 0.00mol%-2.00mol%;以化学强化微晶玻璃的中心处的组成中,各氧化物的摩尔百分比表示的含量计,化学强化微晶玻璃的中心处的组成满足: 0.20≤2.25×Li<sub>2</sub>O-8×ZrO<sub>2</sub>-0.2×CaO≤0.41,可选地, 0.21≤2.25×Li<sub>2</sub>O-8×ZrO<sub>2</sub>-0.2×CaO≤0.39。

35 在本申请的一些实施方式中,化学强化微晶玻璃具有 0.20t-0.25t 的 DOL<sub>0</sub>, DOL<sub>0</sub> 为压缩应力层深度, t 为化学强化微晶玻璃的厚度。在一些实施方式中,化学强化微晶玻璃的压缩应力层深度 DOL<sub>0</sub> 可以为 0.20t-0.25t、0.21t-0.24t、0.21t-0.25t 或 0.22t-0.25t。示例性的,当化学强化微晶玻璃的厚度为 0.5mm 时,化学强化微晶玻璃的 DOL<sub>0</sub> 可以为 0.100mm、0.105mm、0.110mm、0.112mm、0.113mm、0.114mm、0.115mm、0.116mm、0.117mm、0.118mm、0.119mm、0.120mm、0.121mm、0.122mm、0.123mm、0.124mm 或 0.125mm,或者可以为处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的数值,只要能得到本申请所需性能的化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是,在具体实施方式中,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化学强化微晶玻璃即可。该化学强化微晶玻璃的 DOL<sub>0</sub> 在上述范围内,说明化学强化微晶玻璃具有高的压缩应力层深度,越有利于其抵消驱使裂纹扩展的能量,进而保证了其具有优异的抗损坏性能,如优异的抗跌落性能。

40 在本申请的一些实施方式中,化学强化微晶玻璃具有 80MPa-200MPa 的|CT<sub>AV</sub>|, |CT<sub>AV</sub>|为平均张应力的绝对值;可选地,具有 90MPa-200MPa 的|CT<sub>AV</sub>|。在一些实施方式中,化学强化微晶玻璃具有 80MPa-200MPa、90MPa-200MPa、90MPa-180MPa、100MPa-150MPa、130MPa-180MPa、80MPa-100MPa、85MPa-120MPa、90MPa-150MPa、95MPa-180MPa、100MPa-140MPa 或 120MPa-140MPa 的|CT<sub>AV</sub>|。在一些实施方式中,化学强化微晶玻璃具有 80MPa、90MPa、100MPa、110MPa、120MPa、130MPa、140MPa、150MPa、160MPa、170MPa、180MPa、190MPa 或 200MPa 的|CT<sub>AV</sub>|,或者具有处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的|CT<sub>AV</sub>|,只要能得到本申请所需性能的化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是,在具体实施方式中,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化学强化微晶玻璃即可。该化学强化微晶玻璃的|CT<sub>AV</sub>|在上述范围内,说明化学强化微晶玻璃具有较高的张应力水平,反映出其具有较高的表面应力水平,而较高的表面压应力水平所能抵消的跌落、挤压、冲击或碰撞剩余能量会越多,进而保证了其具有优异的抗损坏性能。

50 在本申请的一些实施方式中,化学强化微晶玻璃具有 50000MPa/mm-100000MPa/mm 的 CT<sub>LD</sub>, CT<sub>LD</sub> 为张应力线密度;可选地,具有 55000MPa/mm-100000MPa/mm 的 CT<sub>LD</sub>。在一些实施方式中,化学强化微晶玻璃具有 50000MPa/mm-100000MPa/mm、55000MPa/mm-95000MPa/mm、60000MPa/mm-90000MPa/mm、65000MPa/mm-85000MPa/mm、70000MPa/mm-80000MPa/mm、65000MPa/mm-100000MPa/mm、60000MPa/mm-80000MPa/mm 或 60000MPa/mm-100000MPa/mm 的 CT<sub>LD</sub>。在一些实施方式中,化学强化微晶玻璃具有 50000MPa/mm、55000MPa/mm、60000MPa/mm、65000MPa/mm、70000MPa/mm、75000MPa/mm、80000MPa/mm、

85000MPa/mm、90000MPa/mm、95000MPa/mm 或 100000MPa/mm 的 CT\_LD, 或者具有处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的 CT\_LD, 只要能得到本申请所需性能的化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是, 在具体实施方式中, 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化学强化微晶玻璃即可。该化学强化微晶玻璃的 CT\_LD 在上述范围内, 说明化学强化微晶玻璃内部储存的张应力较密集, 表明该化学强化微晶玻璃具有较高的表面应力水平, 进而保证了其具有优异的抗损坏性能, 如优异的抗跌落性能。

在本申请的一些实施方式中, 化学强化微晶玻璃具有 150MPa-280MPa 的 CS\_50, CS\_50 指自化学强化微晶玻璃主表面起算的深度为 50 $\mu$ m 处的压应力值; 可选地, 具有 160MPa-280MPa 的 CS\_50。在一些实施方式中, 化学强化微晶玻璃具有 150MPa-280MPa、160MPa-270MPa、165MPa-265MPa、170MPa-260MPa、180MPa-280MPa、165MPa-250MPa 或 180MPa-200MPa 的 CS\_50。在一些实施方式中, 化学强化微晶玻璃具有 150MPa、160MPa、170MPa、180MPa、190MPa、200MPa、210MPa、220MPa、230MPa、240MPa、250MPa、260MPa、270MPa 或 280MPa 的 CS\_50, 或者具有处于上述任意 2 个具体数值作为端点构成的数值范围内的 CS\_50, 只要能得到本申请所需性能的化学强化微晶玻璃即可。应该理解的是, 在具体实施方式中, 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化学强化微晶玻璃即可。该化学强化微晶玻璃的抗跌落性能优异。在上述范围内, 说明化学强化微晶玻璃从表面起算深度为 50 $\mu$ m 处的压应力高, 表明该化学强化微晶玻璃具有较高的表面应力水平, 而较高的表面压应力水平所能抵消的跌落、挤压、冲击或碰撞剩余能量会越多, 进而保证了其具有优异的抗损坏性能, 如优异的抗跌落性能。

本申请中, 通过使化学强化微晶玻璃满足特定的应力特征, 能够确保化学强化微晶玻璃具有优异的力学强度性能、优异的机械强度性能以及优异的抗损坏性能, 尤其是优异的抗跌落损坏性能。

在本申请的一些实施方式中, 采用 80 目砂纸, 对厚度为 0.5mm 的化学强化微晶玻璃进行抗砂纸跌落测试, 化学强化微晶玻璃的平均抗砂纸跌落高度 $\geq$ 1.0m, 可选地, 平均抗砂纸跌落高度 $\geq$ 1.2m, 更可选地, 平均抗砂纸跌落高度 $\geq$ 1.5m。这表明本申请的化学强化微晶玻璃的抗跌落性能优异。在一些实施方式中, 采用 80 目砂纸, 对厚度为 0.5mm 的化学强化微晶玻璃进行抗砂纸跌落测试, 化学强化微晶玻璃的平均抗砂纸跌落高度可以为 1.0m、1.1m、1.2m、1.3m、1.4m、1.5m、1.6m、1.7m、1.8m、1.9m、2.0m 或者 2.1m 等。

本申请的化学强化微晶玻璃可以通过前面的高锂含量微晶玻璃进行化学强化处理获得, 化学强化过程可以参照现有技术中的过程进行, 只要能得到本申请所需性能的化学强化微晶玻璃即可, 例如可以包括: 先将含有一定钠离子浓度的熔盐升温至化学强化所需温度, 再将高锂含量微晶玻璃预热(预热中例如可以用 5 $^{\circ}$ C/min-100 $^{\circ}$ C/min 升温速率)至所需化学强化温度后放入熔盐中, 恒温处理至化学强化所需时间实现后, 取出, 冷却至室温后, 清洗表面附留盐分, 干燥后得到具有高应力水平的化学强化微晶玻璃。

在本申请的一些实施方式中, 化学强化处理用熔盐盐浴的温度可以为 400 $^{\circ}$ C-530 $^{\circ}$ C, 化学强化处理的时间可以为 0.5h-24h, 只要能得到本申请所需性能的化学强化微晶玻璃即可。在本申请的一些实施方式中, 以质量比计, 熔盐的成分包括 4.8wt%-100wt%的钠盐、0-95wt%的钾盐和 0-0.2wt%的锂盐, 可选地, 选用的钠盐、钾盐、锂盐各自独立地可以是硝酸盐、硫酸盐、磷酸盐或者碳酸盐等, 只要能得到本申请所需性能的化学强化微晶玻璃即可。在一些实施方式中, 化学强化处理完成后, 对化学强化微晶玻璃进行冷却时, 冷却速率可以为 1 $^{\circ}$ C/min-50 $^{\circ}$ C/min。本申请所提供的具有优异性能的高锂含量微晶玻璃或化学强化微晶玻璃, 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, 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。

下面详细描述本申请的实施例, 是示例性的, 仅用于解释本申请, 而不能理解为对本申请的限制。

下述表格的实例编号中 S 是指实施例, 如 S1 是指实施例 1; D 是指对比例, 如 D1 是指对比例 1。

#### 实施例 1

##### (1) 基材玻璃的制备:

配总质量为 1000g 的原料(原料按照表 1 中的 S1 的配方配置, 其各氧化物比例如表 2 所示), 并向配置好的原料中加入 5g 氯化钠, 在 V 型混料机内以 25r/min 的转速混合 30min, 并在 1650 $^{\circ}$ C 的铂金坩埚中熔融 5h, 之后倒入模具中成型为玻璃砖, 冷却至 900 $^{\circ}$ C 后, 放入 460 $^{\circ}$ C 退火炉中退火 12h, 之后随炉冷却至室温, 即可得到基材玻璃砖。

(2) 高锂含量微晶玻璃的制备: 将基材玻璃砖放入退火炉内, 由室温以 10 $^{\circ}$ C/min 升温速率升至 525 $^{\circ}$ C, 进行核化处理, 在此温度下保温处理 240min 后, 再以 10 $^{\circ}$ C/min 升温速率升至 685 $^{\circ}$ C, 进行晶化处理, 在此温度下保温处理 60min, 之后以 1 $^{\circ}$ C/min 降温速率降温至室温, 即可得到高锂含量微晶玻璃样砖。以氧化物的摩尔百分比计, 制得的高锂含量微晶玻璃的组成与基材玻璃的组成相同, 详见表 1-表 2。

对得到的高锂含量微晶玻璃样砖依次进行切割、CNC 加工(本申请采用的 CNC 仪器设备型号为: RCG500S)、抛光的冷加工处理后, 可制得满足所需规格和所需要的高锂含量微晶玻璃样品。在本申请中, 将高锂含量微晶玻璃样砖进行前述冷加工处理, 制成厚度为 0.50mm 的高锂含量微晶玻璃样品, 具体为, 制成 50mm $\times$ 50mm $\times$ 0.50mm 的微晶玻璃抛光片样品。

对 S1 所得高锂含量微晶玻璃样品进行测试的情况:

分别测试高锂含量微晶玻璃样品的主晶相组成、结晶度、平均晶体尺寸、密度、折射率、杨氏模量以及厚度为 0.5mm 的高锂含量微晶玻璃样品的光学 b 值、透过率(在 550nm 波长光下), 结果分别如表 3 所示。

(3) 化学强化微晶玻璃的制备: 将得到的高锂含量微晶玻璃样品放在强化炉腔体内预热 5min, 预热后迅速放入 500 $^{\circ}$ C 的熔盐内进行化学强化, 熔盐的组成为 29.99wt%NaNO<sub>3</sub>+69.98wt%KNO<sub>3</sub>+0.03wt%LiNO<sub>3</sub>, 化学强化 4.75h 后, 取出玻璃样品并放在强化炉炉体上缓慢冷却至室温后, 用清水洗掉包裹在玻璃表面的盐分, 对玻璃样品干燥处理后,

即可得到化学强化微晶玻璃。

对 S1 所得化学强化微晶玻璃进行测试的情况：

I、对化学强化微晶玻璃是否“表面开裂”进行判定：用 500-2000 流明灯光照射在玻璃表面，如图 4，若观察到光亮的丝缝存在，则说明该化学强化微晶玻璃“表面开裂”；或者化学强化微晶玻璃表面在光学显微镜下观察出大量不规则的裂纹，如图 4B，也可说明该化学强化微晶玻璃“表面开裂”，记为外观“表面开裂”。若玻璃表面不存在前述的光亮的丝缝和不规则的裂纹，则说明该化学强化微晶玻璃外观上不存在“表面开裂”，记为“好”。本实施例的化学强化微晶玻璃在强光照射下的效果如图 1 所示，该化学强化微晶玻璃沿厚度方向的断面在光学显微镜（放大 200 倍）下的形貌图如图 3 所示，可见不存在前述的光亮的丝缝，且玻璃内部和表面均不存在不规则的裂纹，其外观结果记录如表 4 所示。

II、若化学强化微晶玻璃表明不存在“表面开裂”，则将化学强化微晶玻璃在 SLP 2000 应力仪（其采用的光源波长为 518nm，SOC=25.5(nm/cm)/MPa，折射率根据微晶玻璃的折射率值进行设置，S1 的高锂含量微晶玻璃的折射率为 1.5600，曝光时间：300μsec）下，测定 CS<sub>50</sub>，DOL<sub>0</sub>，|CT<sub>AV</sub>|；再计算出张应力线密度（CT<sub>LD</sub>）值，结果如表 4 所示。

III、测试化学强化微晶玻璃的平均抗砂纸跌落高度，结果如表 4 所示。

实施例 2-实施例 14

其分别参照实施例 1 进行，不同之处在于，各实施例的原料组成、不同工艺参数及其相应测试结果分别如表 1-表 4 所示。

其中，实施例 2 的化学强化微晶玻璃在强光照射下的效果如图 2 所示，不存在光亮的丝缝，外观质量好。

实施例 4 的高锂含量微晶玻璃和由该高锂含量微晶玻璃制得的化学强化微晶玻璃的 XRD 图谱对比图，如图 10 所示，可见，实施例 4 的高锂含量微晶玻璃化学强化处理前后，XRD 图谱无明显区别。

实施例 6 中，所得高锂含量微晶玻璃在 360nm-740nm 波段的透过率如图 7 所示，该高锂含量微晶玻璃的 X 射线衍射图谱（即 XRD 图谱）如图 8 所示，可见，该高锂含量微晶玻璃的主要晶相为二硅酸锂晶相，其在可见光范围内透明，且透过率高。

实施例 8 中，所得高锂含量微晶玻璃的热膨胀系数测试曲线，如图 11 所示，可以看出该高锂含量微晶玻璃的膨胀软化点温度为 777℃，表明该高锂含量微晶玻璃更易进行 3D 热弯成型。

对比例 1-对比例 15

其分别参照实施例 1 进行，不同之处在于，各对比例的原料组成、不同工艺参数及其相应测试结果分别如表 5-表 8 所示。

其中，对比例 1 中，化学强化前后的微晶玻璃的 XRD 图谱的对比图，如图 9 所示，可见，对比例 1 中的微晶玻璃在高温盐浴进行化学强化制得化学强化微晶玻璃后，结构发生了明显的变化，具体表现在，在 2θ 为 35.30°-35.90° 范围内，化学强化前的微晶玻璃无衍射峰，但是其制备的化学强化微晶玻璃却出现了衍射峰。对比例 1 的化学强化微晶玻璃在强光照射下的效果如图 4 所示，在光学显微镜下的效果如图 4A 和图 4B 所示，可见，对比例 1 中的微晶玻璃在高温盐浴进行化学强化后，其出现了“表面开裂”的问题，即制得的化学强化微晶玻璃的表面存在大量“裂纹”。

对比例 12 的化学强化微晶玻璃表面出现“脱皮”现象，效果如图 5 所示；其在光学显微镜下的效果如图 6 所示，可见，其表面“脱皮”。

对比例 1-对比例 11 的化学强化微晶玻璃均出现“表面开裂”现象，对比例 12 的化学强化微晶玻璃表面出现“脱皮”现象，这样的化学强化微晶玻璃已明显不符合使用要求，故未进行应力分布数据和交换量的测试和计算。对比例 13 由于制得的微晶玻璃出现了失透的问题（即它在 550nm 处透过率低于 85%），故也没有进行后续测试和化学强化。

析晶上限温度测试：为了分析本申请高锂含量微晶玻璃的可产业化量产性，测试了部分实施例的基材玻璃的析晶上限温度，其中，S3 的基材玻璃的析晶上限温度为 1067.2℃，S4 的基材玻璃的析晶上限温度为 1053.5℃，均低于 1100℃，析晶上限温度在 1000℃-1100℃之间，表明本申请的高锂含量微晶玻璃是利于进行产业化批量生产制造的。

膨胀软化点测试：为了分析本申请高锂含量微晶玻璃的 3D 热弯效果，测试了部分实施例中高锂含量微晶玻璃的热膨胀系数测试曲线，获得了膨胀软化点，详见表 3，从测试结果可知，本申请高锂含量微晶玻璃的膨胀软化点均低于 820℃，在 750℃-820℃之间，表明本申请高锂含量微晶玻璃是利于进行 3D 热弯成型制备 3D 曲面微晶玻璃的。

表 1

| 组分<br>(mol%)                   | S1    | S2    | S3    | S4    | S5    | S6    | S7    | S8    | S9    | S10   | S11   | S12   | S13   | S14   |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 62.55 | 62.58 | 61.82 | 61.72 | 61.87 | 61.76 | 62.59 | 61.15 | 61.25 | 61.06 | 63.17 | 62.01 | 61.72 | 61.15 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.55  | 0     | 1.4   | 1.38  | 1.41  | 1.4   | 1.4   | 1.37  | 1.39  | 1.38  | 0     | 1.39  | 1.38  | 1.37  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 2.06  | 1.87  | 1.86  | 1.85  | 1.88  | 1.86  | 1.87  | 1.83  | 1.85  | 1.85  | 1.89  | 1.85  | 1.85  | 1.83  |
| ZrO <sub>2</sub>               | 2.58  | 4.68  | 4.66  | 4.61  | 3.16  | 3.72  | 4.21  | 4.57  | 5.1   | 5.54  | 4.72  | 4.63  | 4.61  | 4.57  |
| MgO                            | 0     | 1.34  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |

WO 2025/162193

PCT/CN2025/074426

|                                |       |       |      |       |       |      |       |       |       |       |      |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| ZnO                            | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     |
| Na <sub>2</sub> O              | 0     | 0     | 0    | 0     | 2.6   | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     |
| K <sub>2</sub> O               | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.92 | 0     | 0     | 0     |
| Li <sub>2</sub> O              | 27.54 | 28.59 | 29.8 | 29.52 | 29.08 | 29.8 | 29.93 | 29.25 | 29.66 | 29.52 | 29.3 | 29.66 | 29.52 | 29.25 |
| CaO                            | 3.72  | 0.94  | 0    | 0.92  | 0     | 0.93 | 0     | 1.83  | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     | 0.65  | 0    | 0     | 0     | 0     |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0.75  | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0.53 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     |
| Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0     | 0     | 0.46 | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     |
| SrO                            | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0.46  | 0.92  | 1.83  |

注：表 1 中，氧化物含量为“ 0” 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

|                                                                                        |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 各氧化物比例                                                                                 | S1      | S2      | S3      | S4      | S5      | S6      | S7      | S8      | S9      | S10     | S11     | S12     | S13     | S14     |
| SiO <sub>2</sub> +Li <sub>2</sub> O                                                    | 90.09 % | 91.17 % | 91.62 % | 91.24 % | 90.95 % | 91.56 % | 92.52 % | 90.40 % | 90.91 % | 90.58 % | 92.47 % | 91.67 % | 91.24 % | 90.40 % |
| SiO <sub>2</sub> /Li <sub>2</sub> O                                                    | 2.27    | 2.19    | 2.07    | 2.09    | 2.13    | 2.07    | 2.09    | 2.09    | 2.07    | 2.07    | 2.16    | 2.09    | 2.09    | 2.09    |
| 2.25×Li <sub>2</sub> O-8×ZrO <sub>2</sub> -0.2×CaO                                     | 40.58 % | 26.70 % | 29.77 % | 29.36 % | 40.15 % | 37.10 % | 33.66 % | 28.89 % | 25.94 % | 22.10 % | 28.17 % | 29.70 % | 29.54 % | 29.25 % |
| (2.2×ZrO <sub>2</sub> +0.35×CaO+Na <sub>2</sub> O)/Li <sub>2</sub> O                   | 0.253   | 0.372   | 0.344   | 0.354   | 0.328   | 0.286   | 0.309   | 0.366   | 0.378   | 0.413   | 0.354   | 0.343   | 0.344   | 0.344   |
| (CaO+MgO+ZnO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O)/(ZrO <sub>2</sub> +Li <sub>2</sub> O) | 0.124   | 0.069   | 0.000   | 0.027   | 0.081   | 0.028   | 0.000   | 0.054   | 0.000   | 0.000   | 0.027   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| (CaO+SrO)/ZrO <sub>2</sub>                                                             | 1.442   | 0.201   | 0.000   | 0.200   | 0.000   | 0.250   | 0.000   | 0.400   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.099   | 0.200   | 0.400   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )    | 0.024   | 0.000   | 0.022   | 0.022   | 0.022   | 0.022   | 0.022   | 0.022   | 0.022   | 0.022   | 0.000   | 0.022   | 0.022   | 0.022   |

注：表 2 中，是以氧化物摩尔百分比的含量百分比代入各公式的，也即摩尔单位不参与公式的计算。

5

表 3

|           |     |     |        |        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-----|-----|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 微晶玻璃      | S1  | S2  | S3     | S4     | S5  | S6  | S7  | S8  | S9  | S10 | S11 | S12 | S13 | S14 |
| 析晶上限温度（℃） | /   | /   | 1067.2 | 1053.5 | /   | /   | /   | /   | /   | /   | /   | /   | /   | /   |
| 核化温度（℃）   | 525 | 520 | 520    | 520    | 520 | 535 | 530 | 540 | 540 | 540 | 520 | 520 | 520 | 525 |
| 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 | 4.0 | 4.0 |
| 晶化温度（℃）   | 685 | 720 | 710    | 690    | 735 | 715 | 730 | 700 | 730 | 740 | 715 | 690 | 690 | 700 |
| 晶化保温时间（h） | 1.0 | 1.5 | 1.0    | 1.5    | 1.0 | 1.5 | 1.0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |

WO 2025/162193

PCT/CN2025/074426

| 主晶相                    |                | 二硅酸<br>锂 | 二硅酸<br>锂 | 二硅酸<br>锂 | 二硅酸<br>锂 | 二硅酸<br>锂 | 二硅酸<br>锂 | 二硅酸<br>锂 | 二硅酸<br>锂 | 二硅酸<br>锂 | 二硅酸<br>锂 | 二硅酸<br>锂 | 二硅酸<br>锂 | 二硅酸<br>锂 |         |
|------------------------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| 结晶度， wt%               |                | 73.3     | 70.1     | 76.7     | 76.6     | 80.4     | 79.5     | 79.1     | 74.3     | 75.1     | 74.4     | 70.5     | 73.5     | 72.1     | 70.4    |
| 平均晶体尺寸（nm）             |                | 20.2     | 25.6     | 22.8     | 23.0     | 19.7     | 20.1     | 23.3     | 26.8     | 25.7     | 28.5     | 26.8     | 18.7     | 22.2     | 25.6    |
| 光学性能<br>（0.5mm厚）       | b 值            | 0.39     | 0.59     | 0.56     | 0.41     | 0.48     | 0.32     | 0.5      | 0.76     | 0.58     | 0.79     | 0.69     | 0.35     | 0.44     | 0.60    |
|                        | 透过率<br>（550nm） | 90.74%   | 90.47%   | 90.40%   | 90.46%   | 90.71%   | 90.74%   | 90.61%   | 90.22%   | 90.37%   | 90.16%   | 90.33%   | 90.57%   | 90.44%   | 90.25%  |
| 膨胀软化点（℃）               |                | /        | /        | 797      | 796      | 810.5    | 792      | /        | 777      | /        | /        | /        | /        | 778.3    | /       |
| 密度（g/cm <sup>3</sup> ） |                | 2.5547   | 2.5723   | 2.5695   | 2.5826   | 2.5485   | 2.5785   | 2.5576   | 2.5858   | 2.5704   | 2.5880   | 2.5650   | 2.5872   | 2.6112   | 2.6385  |
| 折射率                    |                | 1.5600   | 1.5695   | 1.5670   | 1.5700   | 1.5610   | 1.5695   | 1.5620   | 1.5720   | 1.5685   | 1.5730   | 1.5645   | 1.5690   | 1.5705   | 1.5755  |
| 杨氏模量（GPa）              |                | 114.542  | 116.714  | 117.073  | 114.274  | 115.233  | 114.620  | 115.952  | 119.038  | 116.654  | 116.243  | 117.457  | 115.874  | 116.047  | 118.953 |

注：表 3 中，“/”表示未检测。

表 4

| 化学强化微晶玻璃     |                   | S1    | S2    | S3    | S4    | S5    | S6    | S7    | S8    | S9    | S10   | S11   | S12   | S13   | S14   |
|--------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 化学强化温度（℃）    |                   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   |
| 化学强化时间（h）    |                   | 4.75  | 1.75  | 1.50  | 2.25  | 2.00  | 2.75  | 1.50  | 2.75  | 1.50  | 1.50  | 1.50  | 1.75  | 2.50  | 3.75  |
| 应力分布         | CS_50（MPa）        | 173.6 | 225.6 | 227.0 | 230.1 | 177.3 | 213.5 | 195.4 | 242.2 | 224.2 | 226.5 | 206.5 | 244.8 | 247.2 | 255.7 |
|              | DOL_0（μm）         | 114.3 | 115.4 | 110.2 | 116.4 | 117.2 | 114.7 | 115.3 | 117.4 | 115.2 | 112.0 | 112.4 | 115.6 | 113.4 | 110.6 |
|              | CT_AV （MPa）       | 104.6 | 147.4 | 140.4 | 162.5 | 108.4 | 134.4 | 129.5 | 164.3 | 149.2 | 153.5 | 130.4 | 166.7 | 170.5 | 171.4 |
|              | CT_LD<br>（MPa/mm） | 56769 | 79360 | 78512 | 86840 | 57565 | 72743 | 69775 | 87145 | 80449 | 84732 | 71772 | 89618 | 93161 | 95573 |
| 交换量（wt%）     |                   | 1.14  | 1.34  | 1.29  | 1.20  | 1.09  | 1.18  | 1.25  | 1.09  | 1.35  | 1.30  | 1.20  | 1.14  | 1.06  | 1.02  |
| 化学强化微晶玻璃外观   |                   | 好     | 好     | 好     | 好     | 好     | 好     | 好     | 好     | 好     | 好     | 好     | 好     | 好     | 好     |
| 平均抗砂纸跌落高度（m） |                   | 1.25  | 1.88  | 1.80  | 1.96  | 1.33  | 1.78  | 1.75  | 1.97  | 1.90  | 1.92  | 1.78  | 1.98  | 2.02  | 2.05  |

表 5

| 组分<br>（mol%）                   | D1    | D2    | D3    | D4    | D5    | D6    | D7    | D8    | D9    | D10   | D11   | D12   | D13   | D14   | D15   |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 62.77 | 63.39 | 63.47 | 63.16 | 64.39 | 63.17 | 62.58 | 62    | 61.42 | 63.17 | 62.59 | 62.77 | 61.59 | 69.19 | 63.77 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.43  | 1.23  | 1.42  | 1.42  | 1.44  | 1.42  | 1.4   | 1.39  | 1.38  | 1.42  | 1.4   | 1.43  | 1.36  | 4.41  | 1.43  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 1.74  | 1.51  | 1.9   | 1.89  | 1.92  | 1.89  | 1.87  | 1.85  | 1.84  | 1.89  | 1.87  | 1.74  | 1.81  | 1.01  | 1.91  |
| ZrO <sub>2</sub>               | 2.18  | 2.36  | 2.85  | 3.31  | 2.41  | 2.36  | 2.34  | 2.32  | 2.3   | 2.36  | 2.34  | 2.18  | 6.25  | 2.24  | 2.38  |
| MgO                            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| ZnO                            | 1.67  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1.67  | 0     | 0     | 0     |
| Na <sub>2</sub> O              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.89  | 0     |
| K <sub>2</sub> O               | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.08  | 0     |
| Li <sub>2</sub> O              | 27.54 | 31.51 | 30.36 | 30.22 | 29.84 | 31.16 | 31.81 | 32.44 | 33.06 | 30.22 | 29.93 | 27.54 | 28.99 | 21.09 | 25.17 |

WO 2025/162193

PCT/CN2025/074426

|                                |      |   |   |   |   |   |   |   |   |      |      |      |   |      |      |
|--------------------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|------|------|------|---|------|------|
| CaO                            | 2.67 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.94 | 1.87 | 2.67 | 0 | 0.79 | 5.34 |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0 | 0.3  | 0    |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    |
| Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    |
| SrO                            | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    |

注：表 5 中，氧化物含量为“ 0” 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 6

|                                                                                        |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 各氧化物比例                                                                                 | D1      | D2      | D3      | D4      | D5      | D6      | D7      | D8      | D9      | D10     | D11     | D12     | D13     | D14     | D15     |
| SiO <sub>2</sub> +Li <sub>2</sub> O                                                    | 90.31 % | 94.90 % | 93.83 % | 93.38 % | 94.23 % | 94.33 % | 94.39 % | 94.44 % | 94.48 % | 93.39 % | 92.52 % | 90.31 % | 90.58 % | 90.28 % | 88.94 % |
| SiO <sub>2</sub> /Li <sub>2</sub> O                                                    | 2.28    | 2.01    | 2.09    | 2.09    | 2.16    | 2.03    | 1.97    | 1.91    | 1.86    | 2.09    | 2.09    | 2.28    | 2.12    | 3.28    | 2.53    |
| 2.25×Li <sub>2</sub> O-8×ZrO <sub>2</sub> -0.2×CaO                                     | 43.99 % | 52.02 % | 45.51 % | 41.52 % | 47.86 % | 51.23 % | 52.85 % | 54.43 % | 55.99 % | 48.93 % | 48.25 % | 43.99 % | 15.23 % | 29.37 % | 36.52 % |
| (2.2×ZrO <sub>2</sub> +0.35×CaO+Na <sub>2</sub> O)/Li <sub>2</sub> O                   | 0.208   | 0.165   | 0.207   | 0.241   | 0.178   | 0.167   | 0.162   | 0.157   | 0.153   | 0.183   | 0.194   | 0.208   | 0.474   | 0.289   | 0.282   |
| (CaO+MgO+ZnO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O)/(ZrO <sub>2</sub> +Li <sub>2</sub> O) | 0.146   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.029   | 0.058   | 0.146   | 0.000   | 0.075   | 0.194   |
| (CaO+SrO)/ZrO <sub>2</sub>                                                             | 1.225   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.398   | 0.799   | 1.225   | 0.000   | 0.353   | 2.244   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )    | 0.022   | 0.019   | 0.022   | 0.022   | 0.022   | 0.022   | 0.022   | 0.022   | 0.022   | 0.022   | 0.022   | 0.022   | 0.022   | 0.060   | 0.022   |

注：表 6 中，是以氧化物摩尔百分比计的含量百分比代入各公式的，也即摩尔单位不参与公式的计算。

5

表 7

|              |                        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |           |        |
|--------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
| 微晶玻璃         | D1                     | D2     | D3     | D4     | D5     | D6     | D7     | D8     | D9     | D10    | D11    | D12    | D13    | D14       | D15    |
| 核化温度（℃）      | 520                    | 520    | 520    | 520    | 515    | 520    | 515    | 515    | 515    | 520    | 530    | 520    | 550    | 565       | 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    | 4.0    | 4.0       | 4.0    |
| 晶化温度（℃）      | 670                    | 710    | 675    | 680    | 715    | 730    | 725    | 730    | 755    | 690    | 690    | 670    | 760    | 700       | 680    |
| 晶化保温时间（h）    | 1.0                    | 1.0    | 1.5    | 1.5    | 1.5    | 1.5    | 1.0    | 1.0    | 1.0    | 1.0    | 1.0    | 1.0    | 1.5    | 1.5       | 1.0    |
| 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   | 二硅酸锂   | 透锂长石、二硅酸锂 | 二硅酸锂   |
| 结晶度，wt%      | 76.8                   | 80.4   | 79.2   | 78.3   | 80.3   | 78.5   | 79.8   | 76.4   | 82.1   | 79.5   | 80.3   | 76.8   | 32.1   | 83.6      | 72.2   |
| 平均晶体尺寸（nm）   | 19.6                   | 19.5   | 19.6   | 21.0   | 19.2   | 22.3   | 30.2   | 35.9   | 37.5   | 20.4   | 21.9   | 19.6   | 65.2   | 19.8      | 23.8   |
| 光学性能（0.5mm厚） | b 值                    | 0.30   | 0.32   | 0.35   | 0.31   | 0.31   | 0.39   | 0.86   | 1.20   | 1.35   | 0.41   | 0.55   | 0.30   | 失透        | 0.48   |
|              | 透过率（550nm）             | 91.00% | 90.94% | 90.84% | 90.87% | 90.83% | 90.61% | 90.07% | 89.01% | 88.76% | 90.76% | 90.41% | 91.00% | 失透        | 90.86% |
|              | 密度（g/cm <sup>3</sup> ） | 2.5385 | 2.5106 | 2.5285 | 2.5303 | 2.5061 | 2.5080 | 2.5105 | 2.5133 | 2.5160 | 2.5141 | 2.5265 | 2.5385 | /         | 2.5108 |

|            |        |         |        |             |        |        |        |        |        |             |        |        |   |        |        |
|------------|--------|---------|--------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|--------|--------|---|--------|--------|
| 折射率        | 1.5590 | 1.5535  | 1.5595 | 1.5605      | 1.5550 | 1.5560 | 1.5575 | 1.5585 | 1.5605 | 1.5575      | 1.5595 | 1.5590 | / | 1.5465 | 1.5630 |
| 杨氏模量 (GPa) | 115.63 | 116.520 | /      | 115.73<br>2 | /      | /      | /      | /      | /      | 115.02<br>3 | /      | /      | / | /      | /      |

注：表 7 中，“/”表示未检测。

表 8

|               |                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |        |
|---------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|--------|
| 化学强化微晶玻璃      | D1             | D2   | D3   | D4   | D5   | D6   | D7   | D8   | D9   | D10  | D11  | D12  | D13  | D14    | D15    |
| 化学强化温度 (°C)   | 500            | 500  | 500  | 500  | 500  | 500  | 500  | 500  | 500  | 500  | 500  | 520  | /    | 500    | 500    |
| 化学强化时间 (h)    | 1.00           | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | /    | 4.50   | 8.50   |
| 应力分布          | CS_50 (MPa)    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | 105.2  | 134.6  |
|               | DOL_0 (μm)     | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | 118.5  | 114.2  |
|               | CT_AV   (MPa)  | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | 84.2   | 84.5   |
|               | CT_LD (MPa/mm) | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | 4428.9 | 4590.0 |
| 交换量 (wt%)     | /              | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | /    | 0.53 % | 1.15 % |
| 化学强化微晶玻璃外观    | 表面开裂           | 表面开裂 | 表面开裂 | 表面开裂 | 表面开裂 | 表面开裂 | 表面开裂 | 表面开裂 | 表面开裂 | 表面开裂 | 表面开裂 | 表面开裂 | 表面脱皮 | /      | 好      |
| 平均抗砂纸跌落高度 (m) | 0.45           | 0.52 | 0.55 | 0.75 | 0.45 | 0.44 | 0.45 | 0.47 | 0.43 | 0.45 | 0.65 | 0.40 | /    | 0.87   | 0.9    |

注：表 8 中，“/”表示未检测。

5 通过上述表 1-表 4 的实施例、表 5-表 8 的对比例结果可知，相对于对比例，采用本申请的实施例方案，在满足各氧化物含量范围的同时，还满足： $0.20 \leq 2.25 \times \text{Li}_2\text{O} - 8 \times \text{ZrO}_2 - 0.2 \times \text{CaO} \leq 0.41$  的组成特征，制得的高锂含量微晶玻璃适合高温化学强化，且能够在高温化学强化后获得高应力性能，化学强化微晶玻璃也不会出现“表面开裂”和/或“脱皮”，同时化学强化微晶玻璃兼顾优异的光学性能，具有较高的 CS\_50、|CT\_AV|、DOL\_0、CT\_LD，且具有优异的抗跌落性能。

10 而对比例 1-对比例 15 的方案中，其玻璃配方不同时满足：本申请各氧化物含量范围，以及  $0.20 \leq 2.25 \times \text{Li}_2\text{O} - 8 \times \text{ZrO}_2 - 0.2 \times \text{CaO} \leq 0.41$  的组成特征，制得的高锂含量微晶玻璃经高温化学强化后，所得化学强化微晶玻璃要么出现“表面开裂”和/或“脱皮”现象，要么光学性能或应力性能较差。其中，对比例 1-对比例 11 的方案中，所得化学强化微晶玻璃出现“表面开裂”现象，对比例 12 的化学强化微晶玻璃出现“脱皮”现象，对比例 13 的微晶玻璃出现失透，光学性能较差，对比例 14-对比例 15 的应力性能较差。

15 以上详细描述为本申请的优选实施方式，但是，本申请并不限于此。在本申请的技术构思范围内，可以对本申请的技术方案进行多种简单变型，包括各个技术特征以任何其它的合适方式进行组合，这些简单变型和组合同样应当视为本申请所公开的内容，均属于本申请的保护范围。  
工业实用性

20 本申请通过使含主要晶相为二硅酸锂的高锂含量微晶玻璃满足特定的组成和结构，尤其是满足特定的氧化物含量以及特定氧化物含量关系，不仅确保其能够实现高温化学强化，确保其在高温化学强化过程中，不会出现“表面开裂”和/或表面“脱皮”问题，提高了其化学强化效率，而且能够保证其制备获得的化学强化微晶玻璃，具有高的应力水平（如，具有较高的 CS\_50、|CT\_AV|、DOL\_0 等）和高的机械强度性能。采用本申请的高锂含量微晶玻璃，能够制得兼顾优异光学性能和优异机械强度性能的化学强化微晶玻璃，有利于拓宽其应用场景和应用领域。

25

30

## 权利要求书

1. 一种高锂含量微晶玻璃, 其特征在于, 所述高锂含量微晶玻璃包含二硅酸锂晶相, 其中二硅酸锂晶相具有比高锂含量微晶玻璃中存在的其它晶相更高的重量百分数;

以氧化物的摩尔百分比计, 所述高锂含量微晶玻璃的组成包括:

5  $\text{SiO}_2$ : 41.00mol%-69.50mol%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 0.00mol%-2.00mol%,  $\text{P}_2\text{O}_5$ : 1.50mol%-3.00mol%,  $\text{ZrO}_2$ : 2.00mol%-6.00mol%,  
 $\text{MgO}$ : 0.00mol%-2.00mol%,  $\text{ZnO}$ : 0.00mol%-2.00mol%,  $\text{Na}_2\text{O}$ : 0.00mol%-3.00mol%,  $\text{K}_2\text{O}$ : 0.00mol%-1.00mol%,  
 $\text{Li}_2\text{O}$ : 27.00mol%-32.00mol%,  $\text{CaO}$ : 0.00mol%-5.00mol%,  $\text{B}_2\text{O}_3$ : 0.00mol%-1.00mol%,  $\text{SrO}$ : 0.00mol%-2.00mol%;

以高锂含量微晶玻璃组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计, 所述高锂含量微晶玻璃的组成满足:  
 $0.20 \leq 2.25 \times \text{Li}_2\text{O} - 8 \times \text{ZrO}_2 - 0.2 \times \text{CaO} \leq 0.41$ , 可选地,  $0.21 \leq 2.25 \times \text{Li}_2\text{O} - 8 \times \text{ZrO}_2 - 0.2 \times \text{CaO} \leq 0.39$ 。

10 2. 根据权利要求1所述的高锂含量微晶玻璃, 其特征在于, 以高锂含量微晶玻璃组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计, 所述高锂含量微晶玻璃的组成还满足:  $0.25 \leq (2.2 \times \text{ZrO}_2 + 0.35 \times \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}) / \text{Li}_2\text{O} \leq 0.45$ ; 可选地,  $0.27 \leq (2.2 \times \text{ZrO}_2 + 0.35 \times \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}) / \text{Li}_2\text{O} \leq 0.43$ 。

3. 根据权利要求1或2所述的高锂含量微晶玻璃, 其特征在于, 以高锂含量微晶玻璃组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计, 所述高锂含量微晶玻璃的组成满足:

15  $0 \leq (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{ZnO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{ZrO}_2 + \text{Li}_2\text{O}) \leq 0.15$ ; 和/或,

$0.90 \leq \text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{O} \leq 0.95$ ; 和/或,

$2.00 \leq \text{SiO}_2 / \text{Li}_2\text{O} \leq 2.30$ ; 和/或,

$0 \leq (\text{CaO} + \text{SrO}) / \text{ZrO}_2 \leq 1.50$ ; 和/或,

$0 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) \leq 0.03$ 。

20 4. 根据权利要求1-3中任一项所述的高锂含量微晶玻璃, 其特征在于, 以氧化物的摩尔百分比计, 所述高锂含量微晶玻璃中:

$\text{SiO}_2$  的含量为 60.00mol%-65.00mol%, 可选地,  $\text{SiO}_2$  的含量为 61.00mol%-63.50mol%; 和/或,

$\text{Li}_2\text{O}$  的含量为 27.50mol%-31.00mol%, 可选地,  $\text{Li}_2\text{O}$  的含量为 28.00mol%-30.50mol%; 和/或,

$\text{ZrO}_2$  的含量为 3.00mol%-6.00mol%, 可选地,  $\text{ZrO}_2$  的含量为 3.50mol%-6.00mol%; 和/或,

25  $\text{P}_2\text{O}_5$  的含量为 1.50mol%-2.50mol%, 可选地,  $\text{P}_2\text{O}_5$  的含量为 1.60mol%-2.10mol%; 和/或,

$\text{CaO}$  的含量为 0.00mol%-4.00mol%, 可选地,  $\text{CaO}$  的含量为 0.00mol%-2.00mol%。

5. 根据权利要求4中任一项所述的高锂含量微晶玻璃, 其特征在于, 以氧化物的摩尔百分比计, 所述高锂含量微晶玻璃的组成还包括:  $\text{Y}_2\text{O}_3$ : 0.00mol%-1.00mol%,  $\text{La}_2\text{O}_3$ : 0.00mol%-1.00mol%,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ : 0.00mol%-1.00mol%。

6. 根据权利要求1-5中任一项所述的高锂含量微晶玻璃, 其特征在于, 以高锂含量微晶玻璃组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计, 所述高锂含量微晶玻璃的组成满足:

30  $0 \leq (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{ZnO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{ZrO}_2 + \text{Li}_2\text{O}) \leq 0.10$ ; 和/或,

$0.90 \leq \text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{O} \leq 0.93$ ; 和/或,

$0 \leq (\text{CaO} + \text{SrO}) / \text{ZrO}_2 \leq 1.00$ , 可选地,  $0 \leq (\text{CaO} + \text{SrO}) / \text{ZrO}_2 \leq 0.70$ 。

7. 根据权利要求1-6中任一项所述的高锂含量微晶玻璃, 其特征在于, 所述高锂含量微晶玻璃的密度  $\rho \geq 2.54 \text{g/cm}^3$ ,  
 35 折射率  $\leq 1.60$ 。

8. 根据权利要求1-7中任一项所述的高锂含量微晶玻璃, 其特征在于, 在 0.5mm 厚度时, 所述高锂含量微晶玻璃的 b 值  $\leq 1.0$ , 可选地, b 值  $\leq 0.8$ ; 和/或,

所述高锂含量微晶玻璃在可见光范围内是透明的, 和/或,

在 0.5mm 厚度时, 对于 550nm 波长光而言, 所述高锂含量微晶玻璃的透过率  $\geq 85.00\%$ , 可选地, 透过率  $\geq 90.00\%$ 。

40 9. 根据权利要求1-8中任一项所述的高锂含量微晶玻璃, 其特征在于, 所述高锂含量微晶玻璃的结晶度为 30.00wt%-90.00wt%, 可选地, 结晶度为 50.00wt%-90.00wt%; 和/或,

所述高锂含量微晶玻璃中, 平均晶体尺寸  $\leq 100 \text{nm}$ , 可选地, 平均晶体尺寸  $\leq 50 \text{nm}$ , 进一步可选地, 平均晶体尺寸为 15nm-45nm。

10. 根据权利要求1-9中任一项所述的高锂含量微晶玻璃, 其特征在于, 所述高锂含量微晶玻璃的杨氏模量  $\geq 100.00 \text{GPa}$ , 可选地, 所述高锂含量微晶玻璃的杨氏模量  $\geq 110.00 \text{GPa}$ , 进一步可选地, 所述高锂含量微晶玻璃的杨氏模量为 114GPa-130GPa。

11. 一种化学强化微晶玻璃, 其特征在于, 所述化学强化微晶玻璃的中心处的组成与权利要求1-10中任一项所述的高锂含量微晶玻璃的组成相同, 所述化学强化微晶玻璃包含从化学强化微晶玻璃的表面延伸到压缩深度的压缩应力层区域, 并且在化学强化微晶玻璃的内部具有张应力。

50 12. 根据权利要求11所述的化学强化微晶玻璃, 其特征在于, 所述化学强化微晶玻璃中包含二硅酸锂晶相, 其中二硅酸锂晶相具有比化学强化微晶玻璃中存在的其它晶相更高的重量百分数; 以氧化物的摩尔百分比计, 所述化学强化微晶玻璃的中心处的组成包括:

55  $\text{SiO}_2$ : 41.00mol%-69.50mol%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 0.00mol%-2.00mol%,  $\text{P}_2\text{O}_5$ : 1.50mol%-3.00mol%,  $\text{ZrO}_2$ : 2.00mol%-6.00mol%,  
 $\text{MgO}$ : 0.00mol%-2.00mol%,  $\text{ZnO}$ : 0.00mol%-2.00mol%,  $\text{Na}_2\text{O}$ : 0.00mol%-3.00mol%,  $\text{K}_2\text{O}$ : 0.00mol%-1.00mol%,  
 $\text{Li}_2\text{O}$ : 27.00mol%-32.00mol%,  $\text{CaO}$ : 0.00mol%-5.00mol%,  $\text{B}_2\text{O}_3$ : 0.00mol%-1.00mol%,  $\text{SrO}$ : 0.00mol%-2.00mol%;

以化学强化微晶玻璃的中心处的组成中各氧化物的摩尔百分比表示的含量计, 所述化学强化微晶玻璃的中心处的组成满足:  $0.20 \leq 2.25 \times \text{Li}_2\text{O} - 8 \times \text{ZrO}_2 - 0.2 \times \text{CaO} \leq 0.41$ , 可选地,  $0.21 \leq 2.25 \times \text{Li}_2\text{O} - 8 \times \text{ZrO}_2 - 0.2 \times \text{CaO} \leq 0.39$ 。

13. 根据权利要求11或12所述的化学强化微晶玻璃, 其特征在于, 所述化学强化微晶玻璃具有 0.20t-0.25t 的 DOL\_0, 可选地, 具有 0.22t-0.25t 的 DOL\_0, DOL\_0 为压缩应力层深度, t 为化学强化微晶玻璃的厚度。

14. 根据权利要求 11-13 中任一项所述的化学强化微晶玻璃，其特征在于，所述化学强化微晶玻璃具有 80MPa-200MPa 的 $|CT\_AV|$ ， $|CT\_AV|$ 为平均张应力的绝对值；可选地，具有 90MPa-200MPa 的 $|CT\_AV|$ ；进一步可选地，具有 130MPa-200MPa 的 $|CT\_AV|$ 。

5 15. 根据权利要求 11-14 中任一项所述的化学强化微晶玻璃，其特征在于，所述化学强化微晶玻璃具有 50000MPa/mm-100000MPa/mm 的  $CT\_LD$ ， $CT\_LD$  为张应力线密度；可选地，具有 55000MPa/mm-100000MPa/mm 的  $CT\_LD$ ；进一步可选地，具有 65000MPa/mm-100000MPa/mm 的  $CT\_LD$ 。

16. 根据权利要求 11-15 中任一项所述的化学强化微晶玻璃，其特征在于，所述化学强化微晶玻璃具有 150MPa-280MPa 的  $CS\_50$ ， $CS\_50$  指自化学强化微晶玻璃主表面起算的深度为 50 $\mu m$  处的压应力值；可选地，具有 160MPa-280MPa 的  $CS\_50$ ；进一步可选地，具有 180MPa-280MPa 的  $CS\_50$ 。

10 17. 根据权利要求 11-16 中任一项所述的化学强化微晶玻璃，其特征在于，采用 80 目砂纸，对厚度为 0.5mm 的所述化学强化微晶玻璃进行抗砂纸跌落测试，所述化学强化微晶玻璃的平均抗砂纸跌落高度 $\geq 1.0m$ ，可选地，平均抗砂纸跌落高度 $\geq 1.2m$ ，进一步可选地，平均抗砂纸跌落高度 $\geq 1.5m$ 。

18. 一种玻璃器件，其特征在于，所述玻璃器件包含如权利要求 1-10 中任一项所述的高锂含量微晶玻璃或包含如权利要求 11-17 中任一项所述的化学强化微晶玻璃。

15 19. 一种电子设备，其特征在于，所述电子设备包括如权利要求 1-10 中任一项所述的高锂含量微晶玻璃或包括如权利要求 11-17 中任一项所述的化学强化微晶玻璃。

20

25

30

35

40

45

50

55