

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2016 年 10 月 20 日 (20.10.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/165530 A2

- (51) 国际专利分类号: 无分类
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/076884
- (22) 国际申请日: 2016 年 3 月 21 日 (21.03.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201610147905.0 2016 年 3 月 15 日 (15.03.2016) CN
- (71) 申请人: 巨石集团有限公司 (JUSHI GROUP CO., LTD.) [CN/CN]; 中国浙江省桐乡市经济开发区文华南路 669 号巨石科技大楼, Zhejiang 314500 (CN)。
- (72) 发明人: 章林 (ZHANG, Lin); 中国浙江省桐乡市经济开发区文华南路 669 号巨石科技大楼, Zhejiang 314500 (CN)。 曹国荣 (CAO, Guorong); 中国浙江省桐乡市经济开发区文华南路 669 号巨石科技大楼, Zhejiang 314500 (CN)。 张毓强 (ZHANG, Yuqiang); 中国浙江省桐乡市经济开发区文华南路 669 号巨石科技大楼, Zhejiang 314500 (CN)。 邢文忠 (XING, Wenzhong); 中国浙江省桐乡市经济开发区文华南路 669 号巨石科技大楼, Zhejiang 314500 (CN)。 顾桂江 (GU, Guijiang); 中国浙江省桐乡市经济开发区文华南路 669 号巨石科技大楼, Zhejiang 314500 (CN)。
- (74) 代理人: 北京名华博信知识产权代理有限公司 (BOXIN CHINA INTELLECTUAL PROPERTY); 中

国北京市海淀区清河强佑新城翠微 A 座 1536, Beijing 100085 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 根据申请人的请求, 在条约第 21 条(2)(a)所规定的期限届满之前进行。
- 不包括国际检索报告, 在收到该报告后将重新公布(细则 48.2(g))。

(54) Title: HIGH PERFORMANCE GLASS FIBRE COMPOSITION, AND GLASS FIBRE AND COMPOSITE MATERIAL THEREOF

(54) 发明名称: 一种高性能玻璃纤维组合物及其玻璃纤维和复合材料

(57) Abstract: Provided are a high performance glass fibre composition, and a glass fibre and a composite material thereof. The content, given in weight percentage, of each component of the glass fibre composition is as follows: 53-64% of SiO₂, more than 19% and less than 25% of Al₂O₃, 0.05-7% of Y₂O₃ + La₂O₃ + Gd₂O₃, less than or equal to 1% of Li₂O + Na₂O + K₂O, 10-24% of CaO + MgO + SrO, 1.5-12% of CaO, less than 2% of TiO₂, and less than 1.5% of Fe₂O₃. The composition significantly improves the elastic modulus and the chemical stability of glass, and on this basis, overcomes the problem that traditional high performance glass has a high risk of crystallisation and a high clarification difficulty, and the problem of it being difficult to perform high efficiency tank furnace production. The composition significantly reduces the liquidus temperature and the forming temperature of high performance glass, and under equal conditions, significantly reduces the crystallisation rate of glass. The composition is particularly suitable for the tank furnace production of a high performance glass fibre having excellent chemical stability.

(57) 摘要: 本发明提供一种高性能玻璃纤维组合物及其玻璃纤维和复合材料。其中, 玻璃纤维组合物各组分的含量以重量百分比表示如下: SiO₂ 为 53-64%, Al₂O₃ 为大于 19% 且小于 25%, Y₂O₃+La₂O₃+Gd₂O₃ 为 0.05-7%, Li₂O+Na₂O+K₂O 为小于等于 1%, CaO+MgO+SrO 为 10-24%, CaO 为 1.5-12%, TiO₂ 为小于 2%, Fe₂O₃ 为小于 1.5%。该组合物能大幅提高玻璃的弹性模量和化学稳定性, 在此基础上, 克服了传统高性能玻璃析晶风险高、澄清难度大, 难于进行高效率池窑生产的问题, 能显著降低高性能玻璃的液相线温度和成型温度, 同等条件下大幅降低玻璃的析晶速率, 特别适合用于池窑化生产化学稳定性优异的高性能玻璃纤维。



WO 2016/165530 A2

一种高性能玻璃纤维组合物及其玻璃纤维和复合材料

本申请要求在2016年3月15日提交中国专利局、申请号为201610147905.0、发明名称为“一种高性能玻璃纤维组合物及其玻璃纤维和复合材料”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

本发明涉及一种高性能玻璃纤维组合物，尤其涉及一种能作为先进复合材料增强基材的高性能玻璃纤维组合物及其玻璃纤维和复合材料。

背景技术

玻璃纤维属于无机纤维材料，用它增强树脂可制得性能优良的复合材料。高性能玻璃纤维作为先进复合材料的增强基材，最初主要应用于航空、航天、兵器等国防军工领域。随着科技的进步及经济的发展，高性能玻璃纤维在风力叶片、高压容器、海洋管道、汽车制造等民用工业领域得到了广泛应用。

最早的高性能玻璃成分以 $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系统为主体，典型方案如美国 OC 公司开发的 S-2 玻璃，模量在 89-90GPa，但是它的生产难度过大，其玻纤成型温度高达 1571°C ，液相线温度高达 1470°C ，难于实现大规模池窑化生产。因此，OC 公司主动放弃了生产 S-2 玻璃纤维，将其专利权转让给了美国 AGY 公司。

随后，OC 公司还开发了 HiPer-tex 玻璃，模量在 87-89GPa，这是一种以牺牲部分玻璃性能以降低生产难度的折衷策略，不过由于设计方案只是对 S-2 玻璃的简单改进，造成玻纤成型温度和液相线温度依然很高，生产难度还是很大，难于实现大规模池窑化生产。因此，OC 公司也放弃了生产 HiPer-tex 玻璃纤维，将其专利权转让给了欧洲 3B 公司。

法国圣戈班公司开发过一种以 $\text{MgO-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系统为主体的 R 玻璃，模量在 86-89GPa。但是传统 R 玻璃的硅铝总含量较高，又缺乏改善玻璃析晶性能的有效方案，钙镁比例也不合理，造成玻璃成型困难、析晶风险高，同时玻璃液的表面张力大、澄清难度高，其玻纤成型温度达到 1410°C ，液相线温度达到 1350°C ，这都造成玻璃纤维高效拉制上的困难，同样难于实现大规模池窑化生产。

在国内，南京玻璃纤维研究设计院开发过一种 HS2 玻璃，模量在 84-87GPa，其主要成分

也包括 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO ，同时还引入部分 Li_2O 、 B_2O_3 、 CeO_2 和 Fe_2O_3 ，它的成型温度只有 1245°C ，液相线温度为 1320°C ，两者的温度均比 S 玻璃低得多，但其成型温度比液相线温度低 ΔT 值为负，极不利于玻璃纤维的高效拉制，必须提高拉丝温度，采用特殊形式的漏嘴，以防止拉丝过程中发生玻璃失透现象，这造成温度控制上的困难，也难于实现大规模池窑化生产。

综上所述，我们发现，现阶段的各类高性能玻璃纤维在实际生产中均存在池窑化生产难度大的普遍问题，具体表现为玻璃的液相线温度偏高、析晶速率快，成型温度偏高、澄清难度大， ΔT 值小甚至为负。为此，大部分公司往往以牺牲部分玻璃性能的方式来降低生产难度，这造成上述玻璃纤维的性能水平无法与生产规模同步提升，也一直无法突破 S 玻璃的模量瓶颈。

发明内容

本发明旨在解决上面描述的问题。本发明的目的是提供一种高性能玻璃纤维组合物，该组合物能大幅提高玻璃的弹性模量和化学稳定性，在此基础上，克服了传统高性能玻璃析晶风险高、澄清难度大，难于进行高效率池窑生产的问题，能显著降低高性能玻璃的液相线温度和成型温度，同等条件下大幅降低玻璃的析晶速率，特别适合用于池窑化生产化学稳定性优异的高性能玻璃纤维。

根据本发明的一个方面，提供一种高性能玻璃纤维组合物，所述玻璃纤维组合物含有下述组分，各组分的含量以重量百分比表示如下：

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19%且<25%
$\text{RE}_2\text{O}_3=\text{Y}_2\text{O}_3+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
$\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	$\leq 1\%$
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

其中，进一步限定重量百分比的比值 $C1=\text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 0.5。

其中，进一步限定 Li_2O 的含量，以重量百分比表示为 0.05-0.85%。

其中，进一步限定 $\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 的含量，以重量百分比表示为小于 0.97%。

其中, 进一步限定 Li_2O 的含量, 以重量百分比表示为大于等于 0.05% 且小于 0.55%。

其中, 进一步限定 Li_2O 的含量, 以重量百分比表示为 0.1-0.5%。

其中, 进一步限定重量百分比的比值 $C2 = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 的范围为大于 1.8。

其中, 进一步限定重量百分比的比值 $C2 = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 的范围为大于 1.95。

其中, 进一步限定 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 的含量, 以重量百分比表示为小于 80.4%。

其中, 进一步限定 $\text{RE}_2\text{O}_3 = \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3 + \text{Gd}_2\text{O}_3$ 的含量, 以重量百分比表示为 0.5-6%。

其中, 各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19% 且 <25%
$\text{RE}_2\text{O}_3 = \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3 + \text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
$\text{R}_2\text{O} = \text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	$\leq 1\%$
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

并且, 重量百分比的比值 $C1 = \text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 0.5。

其中, 各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19% 且 <25%
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	<82%
$\text{RE}_2\text{O}_3 = \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3 + \text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
$\text{R}_2\text{O} = \text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	$\leq 1\%$
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

并且, 重量百分比的比值 $C1 = \text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 0.5。

其中, 各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19%且<25%
$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$	<80.4%
$\text{RE}_2\text{O}_3=\text{Y}_2\text{O}_3+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
$\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	<0.97%
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

并且, 重量百分比的比值 $C1=\text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 0.5。

其中, 进一步限定 $\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 的含量, 以重量百分比表示为小于等于 0.95%。

其中, 进一步限定 $\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 的含量, 以重量百分比表示为小于等于 0.85%。

其中, 各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19%且<25%
$\text{RE}_2\text{O}_3=\text{Y}_2\text{O}_3+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
$\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	$\leq 1\%$
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

并且, 重量百分比的比值 $C1=\text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 0.5, 重量百分比的比值 $C2=\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 的范围为大于 1.8。

其中, 各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19%且<25%

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	<82%
$\text{RE}_2\text{O}_3 = \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3 + \text{Gd}_2\text{O}_3$	0.5-6%
$\text{R}_2\text{O} = \text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	$\leq 1\%$
Li_2O	$\geq 0.05\%$ 且 $< 0.55\%$
$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

并且, 重量百分比的比值 $C1 = \text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 0.5, 重量百分比的比值 $C2 = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 的范围为大于 1.8。

其中, 各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	$> 19\%$ 且 $< 25\%$
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	<82%
$\text{RE}_2\text{O}_3 = \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3 + \text{Gd}_2\text{O}_3$	0.5-6%
$\text{R}_2\text{O} = \text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	<0.97%
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

并且, 重量百分比的比值 $C1 = \text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 0.5, 重量百分比的比值 $C2 = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 的范围为大于 1.95。

其中, 各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	54-62%
Al_2O_3	$> 19\%$ 且 $\leq 23\%$
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	<80.4%
$\text{RE}_2\text{O}_3 = \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3 + \text{Gd}_2\text{O}_3$	0.5-6%
$\text{R}_2\text{O} = \text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	$\leq 1\%$

Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

并且,重量百分比的比值 $C1 = \text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 1,重量百分比的比值 $C2 = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 的范围为大于 1.95。

其中,进一步限定 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 的含量,以重量百分比表示为小于 0.7%。

其中,进一步限定 TiO_2 的含量,以重量百分比表示为小于等于 0.75%。

其中,进一步限定 Al_2O_3 的含量,以重量百分比表示为大于 19%且小于等于 19.4%。

其中,进一步限定 Al_2O_3 的含量,以重量百分比表示为大于 19.4%且小于等于 23%。

其中,进一步限定 SrO 的含量,以重量百分比表示为 0.1-2%。

其中,进一步限定 Gd_2O_3 的含量,以重量百分比表示为 0.05-1%。

其中,各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19%且<25%
$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$	<82%
$\text{RE}_2\text{O}_3=\text{Y}_2\text{O}_3+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
$\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.1-3%
$\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	$\leq 1\%$
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	$\leq 0.75\%$
Fe_2O_3	<1.5%

并且,重量百分比的比值 $C1 = \text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 0.5。

其中,各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19%且<25%

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	<82%
$\text{RE}_2\text{O}_3 = \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3 + \text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
Y_2O_3	0.5-5%
$\text{R}_2\text{O} = \text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	<0.97%
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

并且,重量百分比的比值 $C1 = \text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 0.5,重量百分比的比值 $C2 = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 的范围为大于 1.8。

其中,进一步限定重量百分比的比值 $C1 = \text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为 1.5-5。

其中,进一步限定重量百分比的比值 $C2 = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 的范围为 2-2.45。

其中,进一步限定 CaO 的含量,以重量百分比表示为 5-10%。

其中,进一步限定 MgO 的含量,以重量百分比表示为 8.1-12%。

其中,进一步限定 La_2O_3 的含量,以重量百分比表示为 0.1-2%。

其中,所述高性能玻璃纤维组合物还含有 F_2 ,其含量以重量百分比表示为 0-1.2%。

其中,所述高性能玻璃纤维组合物还含有 B_2O_3 ,其含量以重量百分比表示为 0-2%。

其中,所述高性能玻璃纤维组合物还含有 CeO_2 ,其含量以重量百分比表示为 0-1%。

根据本发明的另一个方面,提供一种玻璃纤维,所述玻璃纤维由上述的玻璃纤维组合物制成。

根据本发明的第三方面,提供一种复合材料,所述复合材料包括上述的玻璃纤维。

根据本发明的高性能玻璃纤维组合物,主要创新点是在引入高含量氧化铝和低含量碱金属氧化物的基础上,引入稀土氧化物 Y_2O_3 、 La_2O_3 和 Gd_2O_3 中的一种或多种,利用稀土氧化物、碱金属氧化物与氧化铝之间的协同效应,并控制 $\text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 的比值,合理配置 Al_2O_3 、 R_2O 、 Li_2O 、 Y_2O_3 、 La_2O_3 、 Gd_2O_3 、 CaO 和 $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SrO}$ 的含量范围,以及利用 CaO 、 MgO 、 SrO 的混合碱土效应,此外还可以选择性引入适量 F_2 、 B_2O_3 和 CeO_2 等。

具体来说,根据本发明的高性能玻璃纤维组合物含有下述组分,且各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19%且<25%
$\text{RE}_2\text{O}_3=\text{Y}_2\text{O}_3+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
$\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	$\leq 1\%$
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

该玻璃纤维组合物中各组分的作用及含量说明如下:

SiO_2 是形成玻璃骨架的主要氧化物, 并且起稳定各组分的作用。在本发明的玻璃纤维组合物中, 限定 SiO_2 的重量百分比含量范围为 53-64%。优选地, 可以限定 SiO_2 的重量百分比含量范围为 54-62%。

Al_2O_3 也是形成玻璃骨架的氧化物, 与 SiO_2 结合时可对玻璃的机械性能起到实质性的作用, 并且在抗水、耐酸腐蚀方面起着重要作用。为了玻璃能获得足够高的机械性能和抗水、耐酸腐蚀性能, 希望 Al_2O_3 含量高一些, 但 Al_2O_3 含量太高会使玻璃粘度过高从而导致澄清困难, 同时玻璃易于析晶甚至分相。在一实施方案中, 发明人意外发现, 当控制 Al_2O_3 的重量百分比含量大于 19%且小于 25%, $\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 的重量百分比含量小于等于 1%, 并引入适量稀土氧化物时, 玻璃能获得特别优异的弹性模量、化学稳定性、抗析晶能力及成型范围 ΔT 值。因此, 在本发明的玻璃纤维组合物中, 限定 Al_2O_3 的重量百分比含量范围为大于 19%且小于 25%。优选地, 可以限定 Al_2O_3 的重量百分比含量范围为大于 19%且小于等于 23%。进一步地, 在一实施方案中, 可以限定 Al_2O_3 的重量百分比含量范围为大于 19%且小于等于 19.4%; 在另一实施方案中, 可以限定 Al_2O_3 的重量百分比含量范围为大于 19.4%且小于等于 23%。此外, 进一步地, 可以限定 $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ 的重量百分比含量范围为小于 82%。优选地, 可以限定 $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ 的重量百分比含量范围为小于 80.4%。

在玻璃结构中, Al_2O_3 一般存在四配位 $[\text{AlO}_4]$ 和六配位 $[\text{AlO}_6]$ 两种结构形式。发明人发现, 在引入高含量氧化铝和低含量碱金属氧化物的基础上, 引入稀土氧化物 Y_2O_3 、 La_2O_3 和 Gd_2O_3 中的一种或多种, 利用稀土氧化物具有较强的碱性能提供可观非桥氧的特性, 可以使结构中铝氧四配位的数量明显增多, 促进 Al^{3+} 进入玻璃网络, 有利于提高玻璃骨架的紧密度。而且, 上述三种稀土离子均很难进入玻璃网络, 一般处于网络空隙间作为网络外离子, 它们配位数高、电荷高、场强大, 积聚能力强, 能进一步增强玻璃结构的稳定性, 提高玻璃的机械性能

和化学稳定性。同时，它们还能有效阻止其他离子的移动排列或交换，达到降低玻璃析晶倾向和提高化学稳定性的目的。

发明人还发现，当单独使用它们时，在提高玻璃模量及抑制玻璃析晶方面， Y_2O_3 的作用会优于 La_2O_3 和 Gd_2O_3 。而且，当同时使用两种及以上稀土氧化物并控制它们的比值在合适数值时，它们的协同效应显著，在提高玻璃模量及抑制玻璃析晶方面的作用优于单独使用一种稀土氧化物，获得了意想不到的效果。发明人认为，第一方面，多种稀土氧化物能提供更丰富的网络外离子配位结构，有利于提高玻璃结构的稳定性，从而提高玻璃模量；第二方面，当温度降低时，多种不同半径的稀土离子产生规则排列的机率也会减少，这有利于显著降低晶体的生长速率，从而进一步提高玻璃的抗析晶能力。

在本发明的玻璃纤维组合物中，限定 $RE_2O_3=Y_2O_3+La_2O_3+Gd_2O_3$ 的重量百分比含量范围为 0.05-7%。优选地，可以限定 $RE_2O_3=Y_2O_3+La_2O_3+Gd_2O_3$ 的重量百分比含量范围为 0.5-6%。进一步地，可以限定 $La_2O_3+Gd_2O_3$ 的重量百分比含量范围为 0.1-3%。进一步地，可以限定 Y_2O_3 的重量百分比含量范围为 0.5-5%。进一步地，可以限定 La_2O_3 的重量百分比含量范围为 0.1-2%。进一步地，可以限定 Gd_2O_3 的重量百分比含量范围为 0.05-1%。

K_2O 和 Na_2O 均能降低玻璃粘度，是良好的助熔剂。同 Na_2O 和 K_2O 相比， Li_2O 不仅能显著地降低玻璃粘度，从而改善玻璃熔制性能，并且对提高玻璃的机械性能有明显帮助。同时，少量 Li_2O 就能提供可观的非桥氧，有利于更多的铝离子形成四配位，增强玻璃体系的网络结构。但由于碱金属离子过多会显著降低玻璃的化学稳定性，故引入量不宜多。因此，在本发明的玻璃纤维组合物中，限定 $Li_2O+Na_2O+K_2O$ 的重量百分比含量范围为小于等于 1%。优选地， $Li_2O+Na_2O+K_2O$ 的重量百分比含量范围为小于 0.97%；优选地， $Li_2O+Na_2O+K_2O$ 的重量百分比含量范围为小于等于 0.95%；优选地， $Li_2O+Na_2O+K_2O$ 的重量百分比含量范围为小于等于 0.85%。进一步地，可以限定 Li_2O 的重量百分比含量范围为 0.05-0.85%。优选地，可以限定 Li_2O 的重量百分比含量范围为大于等于 0.05%且小于 0.55%；优选地，可以限定 Li_2O 的重量百分比含量范围为 0.1-0.5%。进一步地，可以限定 Na_2O+K_2O 的含量以重量百分比表示为小于 0.7%。

进一步地，为了让碱金属氧化物提供的非桥氧能够更有效地被稀土离子积聚，促进它们以 $[AlO_4]$ 形式进入玻璃网络结构。在本发明的玻璃纤维组合物中，可以限定重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 的范围为大于 0.5。优选地，可以限定重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 的范围为大于 1；优选地，可以限定重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 的范围为 1.5-5。

CaO 、 MgO 和 SrO 主要起控制玻璃析晶、调节玻璃粘度的作用。尤其是在控制玻璃析晶

方面,发明人通过控制它们的引入量和比例关系获得了意想不到的效果。一般来说,以MgO-CaO-Al₂O₃-SiO₂系统为主体的高性能玻璃,其玻璃析晶后所包含的晶相主要包括透辉石(CaMgSi₂O₆)和钙长石(CaAl₂Si₂O₈)。为了有效抑制两种晶相的析晶倾向,降低玻璃的液相线温度和析晶速率,本发明中通过合理控制CaO+MgO+SrO的含量范围及各组份间的比例关系,利用混合碱土效应形成更紧密的堆积结构,使其晶核形成和长大时需要更多的能量,从而达到抑制玻璃析晶倾向的目的。而且,引入适量氧化锶所形成的玻璃结构更加稳定,有利于玻璃性能的进一步提升。在本发明的玻璃纤维组合物中,限定CaO+MgO+SrO的重量百分比含量范围为10-24%。CaO作为重要的网络外体氧化物,其含量过高会增大玻璃的析晶倾向,造成从玻璃中析出钙长石、硅灰石等晶体的危险。进一步地,可以限定CaO的重量百分比含量范围为1.5-12%。优选地,可以限定CaO的重量百分比含量范围为5-10%。MgO在玻璃中的作用与CaO大体类似,但Mg²⁺的场强更大,对提高玻璃模量起重要的作用。进一步地,可以限定MgO的重量百分比含量范围为8.1-12%。进一步地,可以限定SrO的重量百分比含量范围为小于3%。优选地,可以限定SrO的重量百分比含量范围为0.1-2%。

进一步地,为了有效控制玻璃析晶,在本发明的玻璃纤维组合物中,可以限定重量百分比的比值 $C2=Al_2O_3/MgO$ 的范围为大于1.8。优选地,可以限定重量百分比的比值 $C2=Al_2O_3/MgO$ 的范围为大于1.95;优选地,可以限定重量百分比的比值 $C2=Al_2O_3/MgO$ 的范围为2-2.45。

TiO₂具有助熔作用,还能显著提高玻璃的化学稳定性,对降低玻璃液的表面张力也有一定作用。但由于Ti⁴⁺过多会使玻璃产生不合适的着色,故引入量也不宜多。在本发明的玻璃纤维组合物中,限定TiO₂的重量百分比含量范围为小于2%。优选地,可以限定TiO₂的重量百分比含量范围为小于等于0.75%。

Fe₂O₃有利于玻璃的熔制,也能改善玻璃的析晶性能。但由于铁离子和亚铁离子具有着色作用,故引入量不宜多。因此,在本发明的玻璃纤维组合物中,限定Fe₂O₃的重量百分比含量范围为小于1.5%。

在本发明的玻璃纤维组合物中,还可以选择性引入适量F₂、B₂O₃和CeO₂,以进一步改善玻璃的析晶倾向和澄清效果。在本发明的玻璃纤维组合物中,可以限定F₂的重量百分比含量范围为0-1.2%,可以限定B₂O₃的重量百分比含量范围为0-2%,可以限定CeO₂的重量百分比含量范围为0-1%。

此外,本发明的玻璃纤维组合物中还允许含有少量其他组分,重量百分比总含量一般不超过2%。

本发明的玻璃纤维组合物中，选择各组分含量的上述范围的有益效果在后面会通过实施例给出具体实验数据来说明。

下面是根据本发明的玻璃纤维组合物中所包括的各组分的优选取值范围示例。根据下述优选示例，由该组合物形成的玻璃纤维的弹性模量为大于 90GPa。

优选示例一

根据本发明的高性能玻璃纤维组合物含有下述组分，且各组分的含量以重量百分比表示如下：

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19%且<25%
$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$	<82%
$\text{RE}_2\text{O}_3=\text{Y}_2\text{O}_3+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
$\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	$\leq 1\%$
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

并且，重量百分比的比值 $C1=\text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 0.5。

优选示例二

根据本发明的高性能玻璃纤维组合物含有下述组分，且各组分的含量以重量百分比表示如下：

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19%且<25%
$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$	<80.4%
$\text{RE}_2\text{O}_3=\text{Y}_2\text{O}_3+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
$\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	<0.97%
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SrO}$	10-24%

CaO	1.5-12%
TiO ₂	<2%
Fe ₂ O ₃	<1.5%

并且,重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 的范围为大于 0.5。

优选示例三

根据本发明的高性能玻璃纤维组合物含有下述组分,且各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO ₂	53-64%
Al ₂ O ₃	>19%且<25%
RE ₂ O ₃ =Y ₂ O ₃ +La ₂ O ₃ +Gd ₂ O ₃	0.05-7%
R ₂ O=Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O	≤1%
Li ₂ O	0.1-0.5%
CaO+MgO+SrO	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO ₂	<2%
Fe ₂ O ₃	<1.5%

并且,重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 的范围为大于 0.5,重量百分比的比值 $C2=Al_2O_3/MgO$ 的范围为大于 1.8。

优选示例四

根据本发明的高性能玻璃纤维组合物含有下述组分,且各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO ₂	53-64%
Al ₂ O ₃	>19%且<25%
SiO ₂ +Al ₂ O ₃	<82%
RE ₂ O ₃ =Y ₂ O ₃ +La ₂ O ₃ +Gd ₂ O ₃	0.5-6%
R ₂ O=Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O	≤1%
Li ₂ O	≥0.05%且<0.55%
CaO+MgO+SrO	10-24%
CaO	1.5-12%

TiO ₂	<2%
------------------	-----

Fe ₂ O ₃	<1.5%
--------------------------------	-------

并且, 重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 的范围为大于 0.5, 重量百分比的比值 $C2=Al_2O_3/MgO$ 的范围为大于 1.8。

优选示例五

根据本发明的高性能玻璃纤维组合物含有下述组分, 且各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO ₂	53-64%
Al ₂ O ₃	>19%且<25%
SiO ₂ +Al ₂ O ₃	<82%
RE ₂ O ₃ =Y ₂ O ₃ +La ₂ O ₃ +Gd ₂ O ₃	0.5-6%
R ₂ O=Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O	<0.97%
Li ₂ O	0.05-0.85%
CaO+MgO+SrO	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO ₂	<2%
Fe ₂ O ₃	<1.5%
Gd ₂ O ₃	0.05-1%

并且, 重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 的范围为大于 0.5, 重量百分比的比值 $C2=Al_2O_3/MgO$ 的范围为大于 1.95。

优选示例六

根据本发明的高性能玻璃纤维组合物含有下述组分, 且各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO ₂	54-62%
Al ₂ O ₃	>19%且≤23%
SiO ₂ +Al ₂ O ₃	<80.4%
RE ₂ O ₃ =Y ₂ O ₃ +La ₂ O ₃ +Gd ₂ O ₃	0.5-6%
R ₂ O=Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O	≤0.95%
Li ₂ O	0.05-0.85%

CaO+MgO+SrO	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO ₂	<2%
Fe ₂ O ₃	<1.5%

并且，重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 的范围为大于 1，重量百分比的比值 $C2=Al_2O_3/MgO$ 的范围为大于 1.95。

优选示例七

根据本发明的高性能玻璃纤维组合物含有下述组分，且各组分的含量以重量百分比表示如下：

SiO ₂	53-64%
Al ₂ O ₃	>19%且<25%
SiO ₂ +Al ₂ O ₃	<82%
RE ₂ O ₃ =Y ₂ O ₃ +La ₂ O ₃ +Gd ₂ O ₃	0.05-7%
La ₂ O ₃ +Gd ₂ O ₃	0.1-3%
R ₂ O=Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O	≤0.85%
Li ₂ O	0.05-0.85%
CaO+MgO+SrO	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO ₂	≤0.75%
Fe ₂ O ₃	<1.5%

并且，重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 的范围为大于 0.5。

优选示例八

根据本发明的高性能玻璃纤维组合物含有下述组分，且各组分的含量以重量百分比表示如下：

SiO ₂	53-64%
Al ₂ O ₃	>19%且<25%
SiO ₂ +Al ₂ O ₃	<82%
RE ₂ O ₃ =Y ₂ O ₃ +La ₂ O ₃ +Gd ₂ O ₃	0.05-7%
Y ₂ O ₃	0.5-5%

$R_2O=Li_2O+Na_2O+K_2O$	<0.97%
Li_2O	0.05-0.85%
$CaO+MgO+SrO$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

并且,重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 的范围为大于 0.5,重量百分比的比值 $C2=Al_2O_3/MgO$ 的范围为大于 1.8。

优选示例九

根据本发明的高性能玻璃纤维组合物含有下述组分,且各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19%且 $\leq 19.4\%$
$SiO_2+Al_2O_3$	<82%
$RE_2O_3=Y_2O_3+La_2O_3+Gd_2O_3$	0.5-6%
$R_2O=Li_2O+Na_2O+K_2O$	<0.97%
Li_2O	0.05-0.85%
$CaO+MgO+SrO$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

并且,重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 的范围为大于 0.5,重量百分比的比值 $C2=Al_2O_3/MgO$ 的范围为大于 1.95。

优选示例十

根据本发明的高性能玻璃纤维组合物含有下述组分,且各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	54-62%
Al_2O_3	>19.4%且 $\leq 23\%$
$SiO_2+Al_2O_3$	<80.4%

$\text{RE}_2\text{O}_3=\text{Y}_2\text{O}_3+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.5-6%
$\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	$\leq 1\%$
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	$<0.7\%$
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	$<2\%$
Fe_2O_3	$<1.5\%$

并且, 重量百分比的比值 $\text{C1}=\text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 1, 重量百分比的比值 $\text{C2}=\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 的范围为大于 1.95。

优选示例十一

根据本发明的高性能玻璃纤维组合物含有下述组分, 且各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	$>19\%$ 且 $<25\%$
$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$	$<82\%$
$\text{RE}_2\text{O}_3=\text{Y}_2\text{O}_3+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
$\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.1-3%
$\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	$\leq 1\%$
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	$\leq 0.75\%$
Fe_2O_3	$<1.5\%$
SrO	0.1-2%
F_2	0-1.2%

并且, 重量百分比的比值 $\text{C1}=\text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为 1.5-5。

优选示例十二

根据本发明的高性能玻璃纤维组合物含有下述组分, 且各组分的含量以重量百分比表示

如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19%且<25%
$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$	<82%
$\text{RE}_2\text{O}_3=\text{Y}_2\text{O}_3+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
$\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.1-3%
$\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	$\leq 1\%$
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	$\leq 0.75\%$
Fe_2O_3	<1.5%
B_2O_3	0-2%
CeO_2	0-1%

并且,重量百分比的比值 $\text{C1} = \text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 0.5,重量百分比的比值 $\text{C2} = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 的范围为 2-2.45。

优选示例十三

根据本发明的高性能玻璃纤维组合物含有下述组分,且各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19%且<25%
$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$	<80.4%
$\text{RE}_2\text{O}_3=\text{Y}_2\text{O}_3+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
$\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	<0.97%
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SrO}$	10-24%
CaO	5-10%
MgO	8.1-12%
TiO_2	<2%

Fe_2O_3 <1.5%

La_2O_3 0.1-2%

并且,重量百分比的比值 $C1=\text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 0.5。

根据优选示例十三,由该组合物形成的玻璃纤维的弹性模量为大于 95GPa。

具体实施方式

为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互任意组合。

本发明的基本思想是,玻璃纤维组合物的各组分含量以重量百分比表示为: SiO_2 为 53-64%, Al_2O_3 为大于 19%且小于 25%, $\text{Y}_2\text{O}_3+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$ 为 0.05-7%, $\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 为小于等于 1%, $\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SrO}$ 为 10-24%, CaO 为 1.5-12%, TiO_2 为小于 2%, Fe_2O_3 为小于 1.5%。该组合物能大幅提高玻璃的弹性模量和化学稳定性,在此基础上,克服了传统高性能玻璃析晶风险高、澄清难度大,难于进行高效率池窑生产的问题,能显著降低高性能玻璃的液相线温度和成型温度,同等条件下大幅降低玻璃的析晶速率,特别适合于池窑化生产化学稳定性优异的高性能玻璃纤维。

选取本发明的玻璃纤维组合物中 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 SrO 、 Y_2O_3 、 La_2O_3 、 Gd_2O_3 、 F_2 和 CeO_2 具体含量值作为实施例,与 S 玻璃、传统 R 玻璃和改良 R 玻璃的性能参数进行对比。在性能对比时,选用六个性能参数:

- (1) 成型温度,对应于玻璃熔体在粘度为 10^3 泊时的温度。
- (2) 液相线温度,对应于玻璃熔体冷却时晶核开始形成的温度,即玻璃析晶的上限温度。
- (3) ΔT 值,成型温度与液相线温度之差,表示拉丝成型的温度范围。
- (4) 析晶峰温度,DTA 测试过程中对应于玻璃析晶最强峰的温度。一般情况下,该温度越高,表明晶核长大所需能量越多,玻璃的析晶倾向越小。
- (5) 弹性模量,是沿纵向的弹性模量,表征玻璃抵抗弹性变形的能力,按 ASTM2343 测试。

(6) 粉末失重率,大致方法为:将熔制好的玻璃试样进行适度破碎和碾磨,然后进行筛分,取 60 目筛下和 80 目筛上 0.4-0.6mm 的玻璃粉备用。称取 3 份质量 3g 的玻璃粉样品,分

别放入定量的 10%HCL 溶液中，在 95℃条件下水浴 24 小时。通过计算玻璃粉在高温酸液中的平均失重率，从而表征玻璃的化学稳定性。

上述六个参数及其测定方法是本领域技术人员所熟知的，因此采用上述参数能够有力地说明本发明的玻璃纤维组合物的性能。

实验的具体过程为：各组分可从适当的原料中获取，按比例将各种原料进行混合，使各组分达到最终的预期重量百分比，混合后的配合料进行熔化并澄清，然后玻璃液通过漏板上的漏嘴被拉出从而形成玻璃纤维，玻璃纤维被牵引绕到拉丝机旋转机头上形成原丝饼或纱团。当然，这些玻璃纤维可用常规方法进行深加工以符合预期要求。

下面给出根据本发明的玻璃纤维组合物的具体实施例。

实施例一

SiO ₂	58.0%
Al ₂ O ₃	19.1%
CaO	7.9%
MgO	9.4%
Y ₂ O ₃	3.6%
Na ₂ O	0.18%
K ₂ O	0.31%
Li ₂ O	0.45%
Fe ₂ O ₃	0.44%
TiO ₂	0.43%

并且，重量百分比的比值 C1=RE₂O₃/R₂O 为 3.83，重量百分比的比值 C2= Al₂O₃/MgO 为 2.03。

在实施例一中测定的六个参数的数值分别是：

成型温度	1300℃
液相线温度	1204℃
△T 值	96℃
析晶峰温度	1030℃
弹性模量	95.7GPa
粉末失重率	0.98%

实施例二

SiO ₂	58.0%
Al ₂ O ₃	19.1%
CaO	7.2%
MgO	9.4%
Y ₂ O ₃	3.6%
Na ₂ O	0.18%
K ₂ O	0.31%
Li ₂ O	0.45%
Fe ₂ O ₃	0.44%
TiO ₂	0.43%
SrO	0.7%

并且,重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 为 3.83,重量百分比的比值 $C2=Al_2O_3/MgO$ 为 2.03。

在实施例二中测定的六个参数的数值分别是:

成型温度	1302℃
液相线温度	1201℃
△T 值	101℃
析晶峰温度	1032℃
弹性模量	96.5GPa
粉末失重率	0.95%

实施例三

SiO ₂	56.9%
Al ₂ O ₃	21.0%
CaO	5.3%
MgO	10.4%
Y ₂ O ₃	3.5%
La ₂ O ₃	0.5%
Na ₂ O	0.11%

K ₂ O	0.24%
Li ₂ O	0.61%
Fe ₂ O ₃	0.44%
TiO ₂	0.74%

并且,重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 为 4.17,重量百分比的比值 $C2=Al_2O_3/MgO$ 为 2.02。

在实施例三中测定的六个参数的数值分别是:

成型温度	1306℃
液相线温度	1216℃
△T 值	90℃
析晶峰温度	1023℃
弹性模量	97.6GPa
粉末失重率	0.95%

实施例四

SiO ₂	56.1%
Al ₂ O ₃	21.6%
CaO	6.2%
MgO	9.0%
Y ₂ O ₃	3.8%
La ₂ O ₃	0.4%
Na ₂ O	0.12%
K ₂ O	0.28%
Li ₂ O	0.54%
Fe ₂ O ₃	0.44%
TiO ₂	0.62%
SrO	0.5%

并且,重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 为 4.47,重量百分比的比值 $C2=Al_2O_3/MgO$ 为 2.40。

在实施例四中测定的六个参数的数值分别是:

成型温度	1305℃
液相线温度	1220℃
△T 值	85℃
析晶峰温度	1022℃
弹性模量	99.2GPa
粉末失重率	0.8%

实施例五

SiO ₂	58.1%
Al ₂ O ₃	19.2%
CaO	7.3%
MgO	9.3%
Y ₂ O ₃	2.0%
La ₂ O ₃	1.6%
Na ₂ O	0.18%
K ₂ O	0.21%
Li ₂ O	0.51%
Fe ₂ O ₃	0.44%
TiO ₂	0.95%

并且，重量百分比的比值 C1=RE₂O₃/R₂O 为 4.0，重量百分比的比值 C2= Al₂O₃/MgO 为 2.06。

在实施例五中测定的六个参数的数值分别是：

成型温度	1296℃
液相线温度	1199℃
△T 值	97℃
析晶峰温度	1033℃
弹性模量	94.7GPa
粉末失重率	0.85%

实施例六

SiO ₂	58.3%
------------------	-------

Al ₂ O ₃	19.3%
CaO	7.3%
MgO	8.9%
Y ₂ O ₃	3.7%
La ₂ O ₃	0.4%
Na ₂ O	0.23%
K ₂ O	0.18%
Li ₂ O	0.54%
Fe ₂ O ₃	0.44%
TiO ₂	0.51%

并且，重量百分比的比值 C1=RE₂O₃/R₂O 为 4.32，重量百分比的比值 C2= Al₂O₃/MgO 为 2.17。

在实施例六中测定的六个参数的数值分别是：

成型温度	1303℃
液相线温度	1204℃
△T 值	99℃
析晶峰温度	1030℃
弹性模量	97.4GPa
粉末失重率	0.9%

下面进一步通过列表的方式，给出本发明玻璃纤维组合物的上述实施例以及其他实施例与S玻璃、传统R玻璃和改良R玻璃的性能参数的对比。其中，玻璃纤维组合物的含量以重量百分比表示。需要说明的是，实施例组分总含量略微小于100%，可以理解为残余量是微量杂质或不能分析出的少量组分。

表 1A

		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
组分	SiO ₂	58.0	58.0	58.0	58.0	58.3	58.0	57.8
	Al ₂ O ₃	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1	19.4	20.0
	CaO	7.9	7.2	7.2	7.6	8.3	8.0	8.1
	MgO	9.4	9.4	9.4	9.2	10.2	9.0	9.2
	Y ₂ O ₃	3.6	3.6	3.3	4.1	1.8	3.6	-
	La ₂ O ₃	-	-	0.5	-	-	-	1.7
	Gd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	0.3
	Na ₂ O	0.18	0.18	0.18	0.18	0.22	0.18	0.13
	K ₂ O	0.31	0.31	0.31	0.31	0.20	0.31	0.22
	Li ₂ O	0.45	0.45	0.45	0.45	0.54	0.45	0.61
	Fe ₂ O ₃	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
	TiO ₂	0.43	0.43	0.43	0.43	0.71	0.43	1.2
	SrO	-	0.7	0.5	-	-	-	-
比值	C1	3.83	3.83	4.04	4.36	1.88	3.83	2.08
	C2	2.03	2.03	2.03	2.08	1.87	2.16	2.17
参数	成型温度/°C	1300	1302	1298	1298	1295	1304	1308
	液相线温度/°C	1204	1201	1199	1197	1212	1202	1210
	△T 值/°C	96	101	99	101	83	103	98
	析晶峰温度/°C	1030	1032	1034	1034	1024	1032	1028
	弹性模量/GPa	95.7	96.5	97.0	97.9	93.1	95.8	92.8
	粉末失重率/%	0.98	0.95	0.93	0.9	1.05	0.95	0.98

表 1B

		A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
组分	SiO ₂	58.1	58.1	56.1	58.3	58.3	58.5	57.4
	Al ₂ O ₃	19.2	19.2	21.6	19.1	19.3	19.3	20.3
	CaO	6.7	7.3	6.2	6.8	7.3	7.0	7.0
	MgO	9.3	9.3	9.0	9.2	8.9	8.9	9.2
	Y ₂ O ₃	1.6	2.0	3.8	4.0	3.7	3.7	2.4
	La ₂ O ₃	2.0	1.6	0.4	0.4	0.4	0.4	-
	Na ₂ O	0.18	0.18	0.12	0.26	0.23	0.12	0.12
	K ₂ O	0.26	0.21	0.28	0.40	0.18	0.29	0.29
	Li ₂ O	0.51	0.51	0.54	0.30	0.54	0.54	0.54
	Fe ₂ O ₃	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
	TiO ₂	0.41	0.95	0.62	0.60	0.51	0.41	0.75
	SrO	1.1	-	0.5	-	-	-	1.4
	F ₂	-	-	-	-	-	0.2	-
比值	C1	3.79	4.0	4.47	4.58	4.32	4.32	2.53
	C2	2.06	2.06	2.40	2.08	2.17	2.17	2.18
参数	成型温度/°C	1297	1296	1305	1298	1303	1300	1301
	液相线温度/°C	1201	1199	1220	1199	1204	1197	1205
	△T 值/°C	96	97	85	99	99	103	96
	析晶峰温度/°C	1032	1033	1022	1034	1030	1034	1028
	弹性模量/GPa	94.3	94.7	99.2	98.5	97.4	97.1	94.8
	粉末失重率/%	0.95	0.85	0.8	0.9	0.9	0.95	0.9

表 1C

		A15	A16	A17	A18	S 玻璃	传统 R 玻璃	改良 R 玻璃
组分	SiO ₂	58.2	58.2	58.0	56.9	65	60	60.75
	Al ₂ O ₃	19.2	19.2	19.1	21.0	25	25	15.80
	CaO	8.1	7.8	6.4	5.3	-	9	13.90
	MgO	9.4	9.7	9.1	10.4	10	6	7.90
	Y ₂ O ₃	-	2.0	4.5	3.5	-	-	-
	La ₂ O ₃	2.0	-	-	0.5	-	-	-
	Na ₂ O	0.14	0.11	0.14	0.11	微量	微量	0.73
	K ₂ O	0.31	0.30	0.30	0.24	微量	微量	
	Li ₂ O	0.40	0.50	0.50	0.61	-	-	0.48
	Fe ₂ O ₃	0.44	0.44	0.44	0.44	微量	微量	0.18
	TiO ₂	0.75	0.49	0.46	0.74	微量	微量	0.12
	SrO	0.7	0.7	0.7	-	-	-	-
	CeO ₂	-	0.2	-	-	-	-	-
比值	C1	2.35	2.20	4.79	4.17	0	0	0
	C2	2.04	1.98	2.10	2.02	2.5	4.17	2
参数	成型温度/°C	1302	1298	1297	1306	1571	1430	1278
	液相线温度/°C	1204	1200	1198	1216	1470	1350	1210
	△T 值/°C	97	98	99	90	101	80	68
	析晶峰温度/°C	1027	1031	1033	1023	-	1010	1016
	弹性模量/GPa	92.2	93.4	98.6	97.6	89	88	87
	粉末失重率/%	0.85	0.9	0.9	0.95	-	1.25	1.5

由上述表中的具体数值可知，与 S 玻璃、传统 R 玻璃相比，本发明的玻璃纤维组合物拥有以下优势：（一）具有高得多的弹性模量；（二）具有低得多的液相线温度，这有利于降低玻璃的析晶风险、提高纤维的拉丝效率；具有较高的析晶峰温度，这表明玻璃在析晶过程中晶核的形成和长大需要更多的能量，也就是说同等条件下本发明玻璃的析晶速率更小。

同时，与改良 R 玻璃相比，本发明的玻璃纤维组合物拥有以下优势：（一）具有高得多的弹性模量；（二）具有较高的析晶峰温度，这表明玻璃在析晶过程中晶核的形成和长大需要更多的能量，也就是说同等条件下本发明玻璃的析晶速率更小；（三）失重率明显降低，

这表明玻璃的化学稳定性得到了显著改善。

S 玻璃和传统 R 玻璃均无法实现池窑化生产，改良 R 玻璃通过牺牲部分性能的方式来降低液相线温度和成型温度，以降低生产难度实现池窑化生产。与之不同的是，本发明组合物不仅拥有足够低的液相线温度和更小的析晶速率，可以进行池窑化生产，同时还实现了玻璃模量和化学稳定性的大幅提升，打破了 S 级和 R 级玻璃纤维的性能水平无法与生产规模同步提升的技术瓶颈。

由根据本发明的玻璃纤维组合物可制成具有上述优良性能的玻璃纤维。

根据本发明的玻璃纤维组合物与一种或多种有机和/或无机材料结合可制备得到性能优良的复合材料，例如，玻纤增强基材。

最后应说明的是：在本文中，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包含一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个...”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

以上实施例仅用以说明本发明的技术方案，而非对其限制。尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

工业实用性

本发明组合物不仅拥有足够低的液相线温度和更小的析晶速率，可以进行池窑化生产，同时还实现了玻璃模量和化学稳定性的大幅提升，打破了 S 级和 R 级玻璃纤维的性能水平无法与生产规模同步提升的技术瓶颈，与目前主流的高性能玻璃相比，本发明的玻璃纤维组合物在弹性模量、析晶性能和化学稳定性方面取得了突破性的进展，同等条件下玻璃的弹性模量大幅提升、析晶风险显著下降、化学稳定性明显提升，整体技术方案特别适合于池窑化生产化学稳定性优异的高性能玻璃纤维。

权 利 要 求

1、一种高性能玻璃纤维组合物，其特征在于，所述玻璃纤维组合物含有下述组分，各组分的含量以重量百分比表示如下：

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19%且<25%
$\text{RE}_2\text{O}_3=\text{Y}_2\text{O}_3+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
$\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	$\leq 1\%$
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

2、根据权利要求1所述的高性能玻璃纤维组合物，其特征在于，重量百分比的比值 $\text{C1}=\text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于0.5。

3、根据权利要求1所述的高性能玻璃纤维组合物，其特征在于， Li_2O 的含量以重量百分比表示为0.05-0.85%。

4、根据权利要求1所述的高性能玻璃纤维组合物，其特征在于， $\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 的含量以重量百分比表示为小于0.97%。

5、根据权利要求1所述的高性能玻璃纤维组合物，其特征在于， Li_2O 的含量以重量百分比表示为大于等于0.05%且小于0.55%。

6、根据权利要求1所述的高性能玻璃纤维组合物，其特征在于， Li_2O 的含量以重量百分比表示为0.1-0.5%。

7、根据权利要求1所述的高性能玻璃纤维组合物，其特征在于，重量百分比的比值 $\text{C2}=\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 的范围为大于1.8。

8、根据权利要求1所述的高性能玻璃纤维组合物，其特征在于，重量百分比的比值 $\text{C2}=\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 的范围为大于1.95。

9、根据权利要求1所述的高性能玻璃纤维组合物，其特征在于， $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ 的含量以重量百分比表示为小于80.4%。

10、根据权利要求1所述的高性能玻璃纤维组合物，其特征在于， $\text{RE}_2\text{O}_3=\text{Y}_2\text{O}_3+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$ 的含量以重量百分比表示为0.5-6%。

11、根据权利要求 1 所述的高性能玻璃纤维组合物，其特征在于，所述玻璃纤维组合物含有下述组分，各组分的含量以重量百分比表示如下：

SiO ₂	53-64%
Al ₂ O ₃	>19%且<25%
RE ₂ O ₃ =Y ₂ O ₃ +La ₂ O ₃ +Gd ₂ O ₃	0.05-7%
R ₂ O=Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O	≤1%
Li ₂ O	0.05-0.85%
CaO+MgO+SrO	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO ₂	<2%
Fe ₂ O ₃	<1.5%

并且，重量百分比的比值 $C1 = RE_2O_3/R_2O$ 的范围为大于 0.5。

12、根据权利要求 1 所述的高性能玻璃纤维组合物，其特征在于，所述玻璃纤维组合物含有下述组分，各组分的含量以重量百分比表示如下：

SiO ₂	53-64%
Al ₂ O ₃	>19%且<25%
SiO ₂ +Al ₂ O ₃	<82%
RE ₂ O ₃ =Y ₂ O ₃ +La ₂ O ₃ +Gd ₂ O ₃	0.05-7%
R ₂ O=Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O	≤1%
Li ₂ O	0.05-0.85%
CaO+MgO+SrO	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO ₂	<2%
Fe ₂ O ₃	<1.5%

并且，重量百分比的比值 $C1 = RE_2O_3/R_2O$ 的范围为大于 0.5。

13、根据权利要求 1 所述的高性能玻璃纤维组合物，其特征在于，所述玻璃纤维组合物含有下述组分，各组分的含量以重量百分比表示如下：

SiO ₂	53-64%
Al ₂ O ₃	>19%且<25%

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	<80.4%
$\text{RE}_2\text{O}_3 = \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3 + \text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
$\text{R}_2\text{O} = \text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	<0.97%
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

并且, 重量百分比的比值 $C1 = \text{RE}_2\text{O}_3 / \text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 0.5。

14、根据权利要求 1 或 11 所述的高性能玻璃纤维组合物, 其特征在于, $\text{R}_2\text{O} = \text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 的含量以重量百分比表示为小于等于 0.95%。

15、根据权利要求 1 或 11 所述的高性能玻璃纤维组合物, 其特征在于, $\text{R}_2\text{O} = \text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 的含量以重量百分比表示为小于等于 0.85%。

16、根据权利要求 1 所述的高性能玻璃纤维组合物, 其特征在于, 所述玻璃纤维组合物含有下述组分, 各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19%且<25%
$\text{RE}_2\text{O}_3 = \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3 + \text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
$\text{R}_2\text{O} = \text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	$\leq 1\%$
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

并且, 重量百分比的比值 $C1 = \text{RE}_2\text{O}_3 / \text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 0.5, 重量百分比的比值 $C2 = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{MgO}$ 的范围为大于 1.8。

17、根据权利要求 1 所述的高性能玻璃纤维组合物, 其特征在于, 所述玻璃纤维组合物含有下述组分, 各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
----------------	--------

Al_2O_3	$>19\%$ 且 $<25\%$
$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$	$<82\%$
$\text{RE}_2\text{O}_3=\text{Y}_2\text{O}_3+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.5-6%
$\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	$\leq 1\%$
Li_2O	$\geq 0.05\%$ 且 $<0.55\%$
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	$<2\%$
Fe_2O_3	$<1.5\%$

并且,重量百分比的比值 $C1=\text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 0.5,重量百分比的比值 $C2=\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 的范围为大于 1.8。

18、根据权利要求 1 所述的高性能玻璃纤维组合物,其特征在于,所述玻璃纤维组合物含有下述组分,各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	$>19\%$ 且 $<25\%$
$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$	$<82\%$
$\text{RE}_2\text{O}_3=\text{Y}_2\text{O}_3+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Gd}_2\text{O}_3$	0.5-6%
$\text{R}_2\text{O}=\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	$<0.97\%$
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	$<2\%$
Fe_2O_3	$<1.5\%$

并且,重量百分比的比值 $C1=\text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 0.5,重量百分比的比值 $C2=\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 的范围为大于 1.95。

19、根据权利要求 1 所述的高性能玻璃纤维组合物,其特征在于,所述玻璃纤维组合物含有下述组分,各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	54-62%
Al_2O_3	$>19\%$ 且 $\leq 23\%$

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	<80.4%
$\text{RE}_2\text{O}_3 = \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3 + \text{Gd}_2\text{O}_3$	0.5-6%
$\text{R}_2\text{O} = \text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	$\leq 1\%$
Li_2O	0.05-0.85%
$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SrO}$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	<2%
Fe_2O_3	<1.5%

并且, 重量百分比的比值 $C1 = \text{RE}_2\text{O}_3/\text{R}_2\text{O}$ 的范围为大于 1, 重量百分比的比值 $C2 = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 的范围为大于 1.95。

20、根据权利要求 1 或 4 所述的高性能玻璃纤维组合物, 其特征在于, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 的含量以重量百分比表示为小于 0.7%。

21、根据权利要求 4 或 19 所述的高性能玻璃纤维组合物, 其特征在于, TiO_2 的含量以重量百分比表示为小于等于 0.75%。

22、根据权利要求 4 或 18 所述的高性能玻璃纤维组合物, 其特征在于, Al_2O_3 的含量以重量百分比表示为大于 19%且小于等于 19.4%。

23、根据权利要求 4 或 19 所述的高性能玻璃纤维组合物, 其特征在于, Al_2O_3 的含量以重量百分比表示为大于 19.4%且小于等于 23%。

24、根据权利要求 1 或 4 所述的高性能玻璃纤维组合物, 其特征在于, SrO 的含量以重量百分比表示为 0.1-2%。

25、根据权利要求 1 或 11 所述的高性能玻璃纤维组合物, 其特征在于, Gd_2O_3 的含量以重量百分比表示为 0.05-1%。

26、根据权利要求 1 所述的高性能玻璃纤维组合物, 其特征在于, 所述玻璃纤维组合物含有下述组分, 各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	>19%且<25%
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	<82%
$\text{RE}_2\text{O}_3 = \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3 + \text{Gd}_2\text{O}_3$	0.05-7%
$\text{La}_2\text{O}_3 + \text{Gd}_2\text{O}_3$	0.1-3%

$R_2O=Li_2O+Na_2O+K_2O$	$\leq 1\%$
Li_2O	0.05-0.85%
$CaO+MgO+SrO$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	$\leq 0.75\%$
Fe_2O_3	$< 1.5\%$

并且, 重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 的范围为大于 0.5。

27、根据权利要求 1 所述的高性能玻璃纤维组合物, 其特征在于, 所述玻璃纤维组合物含有下述组分, 各组分的含量以重量百分比表示如下:

SiO_2	53-64%
Al_2O_3	$> 19\%$ 且 $< 25\%$
$SiO_2+Al_2O_3$	$< 82\%$
$RE_2O_3=Y_2O_3+La_2O_3+Gd_2O_3$	0.05-7%
Y_2O_3	0.5-5%
$R_2O=Li_2O+Na_2O+K_2O$	$< 0.97\%$
Li_2O	0.05-0.85%
$CaO+MgO+SrO$	10-24%
CaO	1.5-12%
TiO_2	$< 2\%$
Fe_2O_3	$< 1.5\%$

并且, 重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 的范围为大于 0.5, 重量百分比的比值 $C2=Al_2O_3/MgO$ 的范围为大于 1.8。

28、根据权利要求 13 或 26 所述的高性能玻璃纤维组合物, 其特征在于, 重量百分比的比值 $C1=RE_2O_3/R_2O$ 的范围为 1.5-5。

29、根据权利要求 13 或 26 所述的高性能玻璃纤维组合物, 其特征在于, 重量百分比的比值 $C2=Al_2O_3/MgO$ 的范围为 2-2.45。

30、根据权利要求 13 所述的高性能玻璃纤维组合物, 其特征在于, CaO 的含量以重量百分比表示为 5-10%。

31、根据权利要求 1 或 30 所述的高性能玻璃纤维组合物, 其特征在于, MgO 的含量以

重量百分比表示为 8.1-12%。

32、根据权利要求 1 或 13 所述的高性能玻璃纤维组合物，其特征在于， La_2O_3 的含量以重量百分比表示为 0.1-2%。

33、根据权利要求 1 或 26 所述的高性能玻璃纤维组合物，其特征在于，所述高性能玻璃纤维组合物还含有 F_2 ，其含量以重量百分比表示为 0-1.2%。

34、根据权利要求 1 或 26 所述的高性能玻璃纤维组合物，其特征在于，所述高性能玻璃纤维组合物还含有 B_2O_3 ，其含量以重量百分比表示为 0-2%。

35、根据权利要求 1 或 26 所述的高性能玻璃纤维组合物，其特征在于，所述高性能玻璃纤维组合物还含有 CeO_2 ，其含量以重量百分比表示为 0-1%。

36、一种玻璃纤维，其特征在于，所述玻璃纤维由如权利要求 1-35 中任一项所述的玻璃纤维组合物制成。

37、一种复合材料，其特征在于，所述复合材料包括如权利要求 36 所述的玻璃纤维。