



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本 (11)證書號數：TW I606988 B

(45)公告日：中華民國 106 (2017) 年 12 月 01 日

(21)申請案號：101132409

(22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 09 月 05 日

(51)Int. Cl. : C03C3/091 (2006.01) C03C13/00 (2006.01)

(30)優先權：2011/09/09 美國 13/229,012

(71)申請人：片片堅俄亥俄州工業公司 (美國) PPG INDUSTRIES OHIO, INC. (US)
美國

(72)發明人：李鴻 LI, HONG (US) ; 理查爾斯 雪洛 A RICHARDS, CHERYL A. (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW 200837034A

審查人員：鐘文宏

申請專利範圍項數：52 項 圖式數：0 共 48 頁

(54)名稱

低介電玻璃及玻璃纖維

LOW DIELECTRIC GLASS AND FIBER GLASS

(57)摘要

本發明提供玻璃組合物，其可用於多種應用，包括(例如)電子應用、增強應用及其他應用。玻璃組合物之一些實施例可提供合意的介電常數、合意的耗散因子及/或合意的機械性質，同時亦具有合意的纖維成型性質。

Glass compositions are provided that are useful in a variety of applications including, for example, electronics applications, reinforcement applications, and others. Some embodiments of glass compositions can provide desirable dielectric constants, desirable dissipation factors, and/or desirable mechanical properties while also having desirable fiber forming properties.

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於可用於(例如)形成玻璃纖維之玻璃組合物。該等玻璃纖維可用於多種最終用途應用。

舉例而言，在一些實施例中，玻璃纖維適用於形成可用於增強包含印刷電路板(「PCB」)之複合基板之纖維。更具體而言，本發明之一些實施例係關於具有容許增強PCB性能之電性質之玻璃纖維增強物。

本申請案主張2011年9月09日申請之美國專利申請案第13/229,012號之優先權，美國專利申請案第13/229,012號係2010年11月05日申請之美國專利申請案第12/940,764號之部分接續申請案，美國專利申請案第12/940,764號係2006年12月14日申請之美國專利申請案第11/610,761號(現為2010年11月09日發佈之美國專利第7,829,490號)之接續申請案，該等申請案之全部內容特此以引用方式併入本文中。

【先前技術】

「 D_k 」係材料之介電常數，亦稱為「電容率」且係材料儲存電能之能力之量度。擬用作電容器之材料合意地具有相對較高之 D_k ，而擬用作PCB基板之一部分之材料合意地具有低 D_k ，尤其對於高速電路而言。 D_k 係兩個金屬板之間之給定材料之將儲存電荷(即，電容)與該相同兩個金屬板之間之空隙(空氣或真空)將儲存電荷之量的比率。「 D_f 」或耗散因子係在介電材料中功率損耗之量度。 D_f 係電流之

電阻損耗分量與電流之電容性分量之比率且等於損耗角之正切。對於高速電路，期望包含PCB基板之材料之 D_f 相對較低。

通常用「E-玻璃」家族之組合物之玻璃纖維來增強PCB，此係基於「Standard Specification for Glass Fiber Strands」D 578，美國材料試驗學會(American Society for Testing and Materials)。就此定義而言，用於電子應用之E-玻璃含有5重量%至10重量% B_2O_3 ，此表明人們已瞭解 B_2O_3 對玻璃組合物之介電性質之合意作用。用於電子應用之E-玻璃纖維在1 MHz頻率下通常具有在6.7至7.3範圍內之 D_k 。標準電子E-玻璃亦經調配以提供有益於實際製造之熔融及成型溫度。市售電子E-玻璃之成型溫度(黏度為1000泊之溫度)(在本文中亦稱為 T_F)用於通常係在1170°C至1250°C範圍內。

高性能印刷電路板需要 D_k 低於E-玻璃之基板增強物以對在電信及電子運算方面之應用達成更佳之性能(即，更少之雜訊信號傳輸)。視情況，電子工業亦期望減少相對於E-玻璃之 D_f 。同時，PCB工業需要低介電玻璃纖維，玻璃纖維增強物之製造需要解決經濟可行性問題以對低介電纖維達成成功商業化。為此，在先前技術中提出之一些低 D_k 玻璃組合物無法適當解決經濟問題。

先前技術中之一些低介電玻璃之特徵在於高 SiO_2 含量或高 B_2O_3 含量、或高 SiO_2 及高 B_2O_3 二者之組合。後者之一實例稱為「D-玻璃」。關於此方法對低 D_k 玻璃之詳細信息可

參見L. Navias及R. L. Green之文章「Dielectric Properties of Glasses at Ultra-High Frequencies and their Relation to Composition」 J. Am. Ceram. Soc., 29, 267-276 (1946)、美國專利申請案2003/0054936 A1 (S. Tamura)及專利申請案JP 3409806 B2 (Y. Hirokazu)。D-玻璃型SiO₂與玻璃之纖維已作為呈纖維形式之增強物用於PCB基板(例如，包含織造纖維及環氧樹脂之壓層)。儘管該兩種方法均成功地提供低D_k (有時低至約3.8或4.3)，但該等組合物之高熔融及成型溫度對該等纖維不合意地產生高成本。D-玻璃纖維通常需要超過1400°C之成型溫度，且SiO₂纖維需要約2000°C之數量級之成型溫度。此外，D-玻璃之特徵在於高B₂O₃含量(多達20重量%或更大)。由於B₂O₃係製造習用電子E-玻璃所需之最昂貴原料之一，故與E-玻璃相比，在D-玻璃中使用遠遠更大量之B₂O₃顯著增加其成本。因此，SiO₂或D-玻璃纖維均無法提供用於大規模製造高性能PCB基板材料之實際解決方案。

其他基於高B₂O₃濃度(即，11重量%至25重量%)以及其他相對昂貴成份(例如ZnO (高達10重量%)及BaO (高達10重量%))之低介電玻璃纖維已闡述於JP 3409806B2 (Hirokazu)中，其中在1 MHz下所報導D_k值係在4.8至5.6範圍內。由於成本以及環境原因，將BaO納入此等組合物中係有問題的。儘管此在參考文獻之組合物中昂貴B₂O₃之濃度高，但所揭示纖維成型溫度相對較高，例如，1355°C至1429°C。同樣，其他基於高B₂O₃濃度(即，14至20重量%)

以及相對昂貴 TiO_2 (高達5重量%)之低介電玻璃已闡述於美國專利申請案2003/0054936 A1 (Tamura)中，其中在1 MHz下 $D_k=4.6-4.8$ 且耗散因子 $D_f=0.0007-0.001$ 。在日本專利申請案JP 02154843A (Hiroshi等人)中，揭示在1 MHz下 D_k 在5.2至5.3範圍內之無硼低介電玻璃。儘管此等無硼玻璃提供低 D_k 且可能地相對較低原料成本，但其缺點係在1000泊熔融黏度下纖維成型溫度高(介於 1376°C 與 1548°C 之間)。另外，此等無硼玻璃具有極窄之形成窗(成型溫度與液相溫度之間之差)，通常為 25°C 或更低(在一些情形下為負數)，而在市售玻璃纖維工業中 55°C 或更高之窗將通常視為有利的。

為改良PCB性能同時控制成本的增加，有利地提供玻璃纖維組合物，其可相對於E-玻璃組合物顯著改良電性質(D_k 及/或 D_f)，且同時為上文論述之低介電玻璃提供比 SiO_2 及D-玻璃類型及其他先前技術方法低之實際成型溫度。為顯著降低原料成本，維持 B_2O_3 含量小於D-玻璃之 B_2O_3 含量(例如，低於13重量%或低於12%)將係合意的。在一些情況下，玻璃組合物亦可有利地屬於電子E-玻璃之ASTM定義，且因此需要不超過10重量% B_2O_3 。在玻璃纖維工業中在無需非習用之諸如 BaO 或 ZnO 等昂貴材料之情況下製造低 D_k 玻璃纖維將亦係有利的。另外，商業上實際玻璃組合物合意地容忍原料中之雜質，從而亦容許使用不太昂貴批料材料。

由於玻璃纖維在PCB複合物中之重要功能係提供機械強

度，故電性質之改良將最佳在不顯著犧牲玻璃纖維強度之情況下達成。玻璃纖維強度可以楊氏模數 (Young's modulus) 或原始抗拉強度表示。若將使用新的低介電玻璃纖維解決方案來製備 PCB 而無需所用樹脂之重大變化或至少無需實質上更昂貴樹脂 (如一些替代方法將需要) 亦將係合意的。

在一些實施例中，本發明玻璃組合物適用於成型為可在多種其他最終用途應用 (包括但不限於航天、航空、風能、壓層、天線罩及其他應用) 中用於增強其他聚合樹脂之纖維。在該等應用中，電性質 (例如彼等上文所論述者) 可能或可能不係重要的。在一些應用中，其他性質 (例如特定強度或特定模數或重量) 可能係重要的。在一些實施例中，可首先將玻璃纖維佈置於織物中。在一些實施例中，本發明之玻璃纖維可以其他形式提供，包括 (例如但不限於) 以短切股 (乾燥或潤濕)、紗線、布紋紙、預浸材等形式。簡言之，玻璃組合物 (及其所形成之任何纖維) 之各實施例可用於多種應用。

【發明內容】

本發明之實施例概言之係關於玻璃組合物及由玻璃組合物形成之玻璃纖維。在一些實施例中，玻璃纖維可用於多種應用，包括電應用 (例如，印刷電路板) 及增強應用 (例如，可用於多種應用之玻璃纖維增強複合物)。在一些實施例中，本發明之可纖維化玻璃組合物可提供相對於標準 E-玻璃改良之電性能 (即，低 D_k 及 / 或低 D_f)，同時提供比先

前技術低 D_k 玻璃方案更有益於商業上實際纖維成型之溫度-黏度關係。本發明之玻璃組合物或玻璃纖維之一些實施例可以相對較低原料批料成本商業上製備。在一些實施例中，本發明之玻璃纖維可提供合意及/或商業上可接受之機械性質。

在本發明之另一態樣中，可呈玻璃纖維形式之玻璃組合物可包含以下成份：

SiO_2	53.5-77重量%；
B_2O_3	4.5-14.5重量%；
Al_2O_3	4.5-18.5重量%；
MgO	4-12.5重量%；
CaO	0-10.5重量%；
Li_2O	0-4重量%；
Na_2O	0-2重量%；
K_2O	0-1重量%；
Fe_2O_3	0-1重量%；
F_2	0-2重量%；
TiO_2	0-2重量%；及
其他成份	總計0-5重量%。

在本發明之另一態樣中，可呈玻璃纖維形式之玻璃組合物可包含以下成份：

SiO_2	60-77重量%；
B_2O_3	4.5-14.5重量%；
Al_2O_3	4.5-18.5重量%；

MgO	8-12.5重量%；
CaO	0-4重量%；
Li ₂ O	0-3重量%；
Na ₂ O	0-2重量%；
K ₂ O	0-1重量%；
Fe ₂ O ₃	0-1重量%；
F ₂	0-2重量%；
TiO ₂	0-2重量%；及
其他成份	總計0-5重量%。

在本發明之一態樣中，可呈玻璃纖維形式之玻璃組合物可包含以下成份：

SiO ₂	60-68重量%；
B ₂ O ₃	7-13重量%；
Al ₂ O ₃	9-15重量%；
MgO	8-15重量%；
CaO	0-4重量%；
Li ₂ O	0-2重量%；
Na ₂ O	0-1重量%；
K ₂ O	0-1重量%；
Fe ₂ O ₃	0-1重量%；
F ₂	0-1重量%；及
TiO ₂	0-2重量%。

在本發明之另一態樣中，可呈玻璃纖維形式之玻璃組合物可包含以下成份：

SiO_2	至少 60 重量 % ；
B_2O_3	5-11 重量 % ；
Al_2O_3	5-18 重量 % ；
MgO	5-12 重量 % ；
CaO	0-10 重量 % ；
Li_2O	0-3 重量 % ；
Na_2O	0-2 重量 % ；
K_2O	0-1 重量 % ；
Fe_2O_3	0-1 重量 % ；
F_2	0-2 重量 % ；
TiO_2	0-2 重量 % ； 及
其他成份	總計 0-5 重量 % 。

在本發明之另一態樣中，可呈玻璃纖維形式之玻璃組合物可包含以下成份：

SiO_2	60-68 重量 % ；
B_2O_3	5-10 重量 % ；
Al_2O_3	10-18 重量 % ；
MgO	8-12 重量 % ；
CaO	0-4 重量 % ；
Li_2O	0-3 重量 % ；
Na_2O	0-2 重量 % ；
K_2O	0-1 重量 % ；
Fe_2O_3	0-1 重量 % ；
F_2	0-2 重量 % ；

TiO_2 0-2重量%；及

其他成份 總計0-5重量%。

在本發明之另一態樣中，可呈玻璃纖維形式之玻璃組合物可包含以下成份：

SiO_2 62-68重量%；

B_2O_3 7-9重量%；

Al_2O_3 11-18重量%；

MgO 8-11重量%；

CaO 1-2重量%；

Li_2O 1-2重量%；

Na_2O 0-0.5重量%；

K_2O 0-0.5重量%；

Fe_2O_3 0-0.5重量%；

F_2 0.5-1重量%；

TiO_2 0-1重量%；及

其他成份 總計0-5重量%。

在一些實施例中，本發明組合物之特徵在於相對較低含量的 CaO ，例如，相當於約0-4重量%之數量級。在又一些實施例中， CaO 含量可為約0-3重量%之數量級。在又一些實施例中， CaO 含量可為約0-2重量%之數量級。一般而言，最小化 CaO 含量以改良電性質，且在一些實施例中已將 CaO 含量減少至其可視為可選成份之低程度。在一些其他實施例中， CaO 含量可為約1-2重量%之數量級。

另一方面，此類玻璃之 MgO 含量相對較高，其中在一些

實施例中，MgO含量為CaO含量的兩倍(以重量%計)。本發明之一些實施例可具有大於約5.0重量%之MgO含量，且在其他實施例中MgO含量可大於8.0重量%。在一些實施例中，本發明組合物之特徵在於MgO含量，例如，約8-13重量%之數量級。在又一些實施例中，MgO含量可為約9-12重量%之數量級。在一些其他實施例中，MgO含量可為約8-12重量%之數量級。在又一些其他實施例中，MgO含量可為約8-10重量%之數量級。

在一些實施例中，本發明組合物之特徵在於(MgO+CaO)含量，舉例而言，其小於16重量%。在又一些實施例中，(MgO+CaO)含量小於13重量%。在一些其他實施例中，(MgO+CaO)含量為7-16重量%。在又一些其他實施例中，(MgO+CaO)含量可為約10-13重量%之數量級。

在又一些其他實施例中，本發明組合物之特徵在於(MgO+CaO)/(Li₂O+Na₂O+K₂O)含量之比率可為約9.0之數量級。在某些實施例中，Li₂O/(MgO+CaO)含量之比率可為約0-2.0之數量級。在又一些其他實施例中，Li₂O/(MgO+CaO)含量之比率可為約1-2.0之數量級。在某些實施例中，Li₂O/(MgO+CaO)含量之比率可為約1.0之數量級。

在一些其他實施例中，(SiO₂+B₂O₃)含量可為70-76重量%之數量級。在又一些實施例中，(SiO₂+B₂O₃)含量可為70重量%之數量級。在其他實施例中，(SiO₂+B₂O₃)含量可為73重量%之數量級。在又一些實施例中，Al₂O₃重量%與B₂O₃重量%之比率為1至3之數量級。在一些其他實施例

中， Al_2O_3 重量%與 B_2O_3 重量%之比率為1.5至2.5之數量級。在某些實施例中， SiO_2 含量為65-68重量%之數量級。

如上文所述，先前技術之一些低 D_k 組合物具有需要灌注大量 BaO 之缺點，且應注意，在本發明之玻璃組合物中無需 BaO 。儘管本發明之有利電性質及製造性質不排除 BaO 之存在，但 BaO 之非故意納入可視為本發明一些實施例之額外優點。因此，本發明之實施例之特徵可在於存在小於1.0重量% BaO 。在僅存在痕量雜質之彼等實施例中，可稱 BaO 含量不超過0.05重量%。

本發明組合物以小於依靠高 B_2O_3 達成低 D_k 之先前技術方法之量包括 B_2O_3 。該結果顯著節約了成本。在一些實施例中， B_2O_3 含量需不超過13重量%或不超過12重量%。本發明之一些實施例亦屬於電子E-玻璃之ASTM定義，即，不超過10重量% B_2O_3 。

在一些實施例中，本發明組合物之特徵在於 B_2O_3 含量，例如，約5-11重量%之數量級。在一些實施例中， B_2O_3 含量可為6-11重量%。在一些實施例中， B_2O_3 含量可為6-9重量%。在一些實施例中， B_2O_3 含量可為5-10重量%。在一些其他實施例中， B_2O_3 含量不大於9重量%。在又一些其他實施例中， B_2O_3 含量不大於8重量%。

在一些實施例中，本發明組合物之特徵在於 Al_2O_3 含量，例如，約5-18重量%之數量級。在一些實施例中， Al_2O_3 含量可為9-18重量%。在又一些實施例中， Al_2O_3 含量為約10-18重量%之數量級。在一些其他實施例中，

Al_2O_3 含量為約10-16重量%之數量級。在又一些其他實施例中， Al_2O_3 含量為約10-14重量%之數量級。在某些實施例中， Al_2O_3 含量為約11-14重量%之數量級。

在一些實施例中， Li_2O 係可選成份。在一些實施例中，本發明組合物之特徵在於 Li_2O 含量，例如約0.4-2.0重量%之數量級。在一些實施例中， Li_2O 含量大於 $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 含量。在一些實施例中， $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 含量不大於2重量%。在一些實施例中， $(\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 含量為約1-2重量%之數量級。

在某些實施例中，本發明組合物之特徵在於 TiO_2 含量，例如約0-1重量%之數量級。

在上文所述組合物中，該等成份經配比以得到介電常數低於標準E-玻璃介電常數之玻璃。參照標準電子E-玻璃進行比較，在1 MHz頻率下此可小於約6.7。在其他實施例中，在1 MHz頻率下介電常數(D_k)可小於6。在其他實施例中，在1 MHz頻率下介電常數(D_k)可小於5.8。其他實施例在1 MHz頻率下展示小於5.6或甚至更低之介電常數(D_k)。在其他實施例中，在1 MHz頻率下介電常數(D_k)可小於5.4。在又一些實施例中，在1 MHz頻率下介電常數(D_k)可小於5.2。在又一些實施例中，在1 MHz頻率下介電常數(D_k)可小於5.0。

上文所述之組合物具有有益於玻璃纖維實際商業製造之合意溫度-黏度關係。一般而言，與先前技術之D-玻璃類型的組合物相比，製造纖維需要更低之溫度。合意特性可

以多種方式表現，且其可藉由本文所述組合物單獨或組合獲得。一般而言，可製備在上文所述範圍內之玻璃組合物，該等玻璃組合物在1000泊黏度下展示不大於1370°C之成型溫度(T_F)。一些實施例之 T_F 不大於1320°C、或不大於1300°C、或不大於1290°C、或不大於1260°C、或不大於1250°C。此等組合物亦涵蓋成型溫度與液相溫度(T_L)之差為正數之玻璃，且在一些實施例中，成型溫度比液相溫度高至少55°C，此有利於自此等玻璃組合物商業製造纖維。

一般而言，最小化玻璃組合物之鹼金屬氧化物含量有助於降低 D_k 。在預計優化 D_k 減少之彼等實施例中，鹼金屬氧化物總含量不超過玻璃組合物之2重量%。在本發明組合物中，已發現最小化 Na_2O 及 K_2O 比 Li_2O 在此方面更有效。鹼金屬氧化物之存在通常使得成型溫度較低。因此，在提供相對較低成型溫度優先之本發明彼等實施例中，大量納入 Li_2O ，例如至少0.4重量%。出於此目的，在一些實施例中， Li_2O 含量大於 Na_2O 或 K_2O 含量，且在其他實施例中 Li_2O 含量大於 Na_2O 與 K_2O 含量之總和，在一些實施例中為其兩倍或更多倍。

在一些實施例中，可呈玻璃纖維形式之適於纖維成型之玻璃組合物可包含以下成份：

SiO_2	62-68重量%；
B_2O_3	小於約9重量%；
Al_2O_3	10-18重量%；
MgO	8-12重量%；及

CaO 0-4重量%；

其中該玻璃展示小於6.7之介電常數(D_k)及在1000泊黏度下不大於1370°C之成型溫度(T_F)。

在本發明之一些實施例中，可呈玻璃纖維形式之玻璃組合物可包含以下成份：

B₂O₃ 小於14重量%；

Al₂O₃ 9-15重量%；

MgO 8-15重量%；

CaO 0-4重量%；及

SiO₂ 60-68重量%；

其中該玻璃展示小於6.7之介電常數(D_k)及在1000泊黏度下不大於1370°C之成型溫度(T_F)。

在本發明之一些其他實施例中，可呈玻璃纖維形式之玻璃組合物可包含以下成份：

B₂O₃ 小於9重量%；

Al₂O₃ 11-18重量%；

MgO 8-11重量%；

CaO 1-2重量%；及

SiO₂ 62-68重量%；

其中該玻璃展示小於6.7之介電常數(D_k)及在1000泊黏度下不大於1370°C之成型溫度(T_F)。

在本發明之某些實施例中，可呈玻璃纖維形式之玻璃組合物可包含以下成份：

SiO₂ 60-68重量%；

B_2O_3	7-13 重量 % ;
Al_2O_3	9-15 重量 % ;
MgO	8-15 重量 % ;
CaO	0-3 重量 % ;
Li_2O	0.4-2 重量 % ;
Na_2O	0-1 重量 % ;
K_2O	0-1 重量 % ;
Fe_2O_3	0-1 重量 % ;
F_2	0-1 重量 % ; 及
TiO_2	0-2 重量 % ;

其中該玻璃展示小於5.9之介電常數(D_k)及在1000泊黏度下不大於1300°C之成型溫度(T_F)。

在本發明之一些實施例中，可呈玻璃纖維形式之玻璃組合物包含以下成份：

SiO_2	60-68 重量 % ;
B_2O_3	7-11 重量 % ;
Al_2O_3	9-13 重量 % ;
MgO	8-13 重量 % ;
CaO	0-3 重量 % ;
Li_2O	0.4-2 重量 % ;
Na_2O	0-1 重量 % ;
K_2O	0-1 重量 % ;
$(Na_2O+K_2O+Li_2O)$ 0-2 重量 % ;	
Fe_2O_3	0-1 重量 % ;

F_2 0-1重量%；及

TiO_2 0-2重量%。

除上文所述本發明之特徵以外或代替該等特徵，可利用本發明組合物之一些實施例來提供耗散因子(D_f)低於標準電子E-玻璃之玻璃。在一些實施例中，在1 GHz下 D_F 可不超過0.0150，且在其他實施例中在1 GHz下不超過0.0100。

在玻璃組合物之一些實施例中。在1 GHz下 D_F 不超過0.007，且在其他實施例中在1 GHz下不超過0.003，且在又一些實施例中在1 GHz下不超過0.002。

在一些實施例中，本發明之一個有利態樣依賴於玻璃纖維工業中習用之成份及避免大量原料來源昂貴之成份。對於本發明之此態樣而言，即使不需要，亦可納入除於本發明玻璃之組成定義中明確闡述之成份以外的成份，但總量不大於5重量%。此等可選成份包括熔融助劑、澄清助劑、著色劑、痕量雜質及其他熟習玻璃製造者已知之添加劑。相對於一些先前技術低 D_k 玻璃，本發明之組合物中無需BaO，但無法排除納入少量BaO（例如，至多約1重量%）。同樣，在本發明中無需大量ZnO，但在一些實施例中可納入少量（例如，至多約2.0重量%）。在可選成份最小化之本發明之彼等實施例中，可選成份之總量不超過2重量%或不超過1重量%。另一選擇為，據稱本發明之一些實施例可基本上由指定成份組成。

【實施方式】

為降低 D_k 及 D_f ，具有低電極化率者（包括 SiO_2 及 B_2O_3 ）可

用於本發明組合物。儘管 B_2O_3 自身可在低溫 ($350^{\circ}C$) 下熔融，但其對周圍空氣中之水分侵襲不穩定，且因此純 B_2O_3 纖維實際無法用於 PCB 壓層中。 SiO_2 及 B_2O_3 二者均係網絡成型物，且該兩者之混合物將達成顯著高於 E-玻璃之纖維成型溫度，如使用 D-玻璃之情形。為降低纖維成型溫度，包括 MgO 及 Al_2O_3 替代一些 SiO_2 。氧化鈣 (CaO) 及 SrO 亦可與 MgO 組合使用，但其不如 MgO 合意，此乃因二者均具有比 MgO 高之極化率。

為降低批料成本， B_2O_3 係以低於在 D-玻璃中之濃度使用。然而，包括足夠 B_2O_3 以防止在玻璃熔體中相分離，藉此為由組合物製成之玻璃纖維提供更佳之機械性質。

批料成份之選擇及其成本主要取決於其純度要求。例如用於 E-玻璃製造之典型市售成份含有呈各種化學形式之 Na_2O 、 K_2O 、 Fe_2O_3 或 FeO 、 SrO 、 F_2 、 TiO_2 、 SO_3 等雜質。此等雜質之大多數陽離子藉由與玻璃中之 SiO_2 及 / 或 B_2O_3 形成非橋接氧可增加玻璃之 D_k 。

硫酸鹽 (表示為 SO_3) 亦可作為精製劑存在。亦可存在少量來自原料或來自熔融製程期間污染之雜質，例如 SrO 、 BaO 、 Cl_2 、 P_2O_5 、 Cr_2O_3 或 NiO (不限於此等特定化學形式)。亦可存在其他精製劑及 / 或加工助劑，例如 As_2O_3 、 MnO 、 MnO_2 、 Sb_2O_3 或 SnO_2 (不限於此等特定化學形式)。此等雜質及精製劑 (若存在) 通常各自以小於總玻璃組合物之 0.5 重量 % 之量存在。視情況，可將元素週期表稀土族之元素添加至本發明之組合物中，包括原子序數 21 (Sc)、39

(Y)及57 (La)至71 (Lu)。此等可充當加工助劑或用以改良玻璃之電性質、物理性質(熱性質及光學性質)、機械性質及化學性質。考慮到原始化學形式及氧化態，可納入稀土添加劑。添加稀土元素被視為係可選的，尤其在具有最小化原料成本之目的之本發明之彼等實施例中，此乃因即使在低濃度下其亦會增加批料成本。在任一情形下，其成本通常將指定稀土組份(以氧化物形式量測)(若包括)以不大於總玻璃組合物之約0.1-1.0重量%之量存在。

將藉由以下系列之特定實施例來闡釋本發明。然而，熟習此項技術者應理解，本發明之原理涵蓋許多其他實施例。

此等實例中之玻璃係藉由在10% Rh/Pt坩堝中在介於1500°C與1550°C之間(2732°F至2822°F)之溫度下將試劑級化學品之混合物以粉末形式熔融4小時來製備。每一批料為約1200克。在4小時熔融期後，將熔融玻璃倒在鋼板上淬火。為補償 B_2O_3 之揮發損失(對於1200克批量而言，在實驗室批料熔融條件下通常為總目標 B_2O_3 濃度的約5%)，將批料計算中之硼滯留因子設定為95%。未調節批料中其他揮發性物質(例如氟化物及鹼金屬氧化物)之發射損失，此乃因其在玻璃中之濃度低。實例中之組合物代表分批組合物。由於在製備玻璃期間使用試劑級化學品並適當調節 B_2O_3 ，故將本發明中所闡釋之分批組合物視為接近所量測組合物。

藉由分別使用ASTM測試方法C965「Standard Practice

for Measuring Viscosity of Glass Above the Softening Point」及 C829 「Standard Practices for Measurement of Liquidus Temperature of Glass by the Gradient Furnace Method」來測定熔體黏度隨溫度及液相溫度之變化。

每一玻璃樣品皆使用具有 40 mm 直徑及 1-1.5 mm 厚度之經拋光盤來進行電性質及機械性質量測，該等玻璃樣品係由退火玻璃製成。藉由 ASTM 測試方法 D150 「Standard Test Methods for A-C Loss Characteristics and Permittivity (Dielectric Constant) of Solid Electrical Insulating Materials」自 1 MHz 至 1 GHz 測定每一玻璃之介電常數(D_k)及耗散因子(D_f)。根據該程序，在 25°C 及 50% 濕度下將所有樣品預處理 40 小時。使用 ASTM 測試方法 C729 「Standard Test Method for Density of Glass by the Sink-Float Comparator」對玻璃密度實施選擇性測試，其中所有樣品皆經退火。

對於所選組合物，使用微壓痕法來測定楊氏模數(在壓頭卸載循環中，來自壓痕負載-壓痕深度曲線之初始斜率)及微硬度(來自最大壓痕負載及最大壓痕深度)。對於該等測試，使用已測試 D_k 及 D_f 之同一盤樣品。實施 5 次壓痕量測以獲得平均楊氏模數及微硬度數據。使用市售標準參照玻璃磚(產品名 BK7)來校正微壓痕裝置。參照玻璃之楊氏模數係 90.1 GPa (具有 0.26 GPa 之一個標準偏差)且微硬度係 4.1 GPa (具有 0.02 GPa 之一個標準偏差)，其皆係基於 5 次量測。

實例中之所有組成值均以重量%表示。

表1組合物

實例 1 至 8 提供玻璃組合物(表 1) (以重量%計) : SiO_2 62.5-67.5%、 B_2O_3 8.4-9.4%、 Al_2O_3 10.3-16.0%、 MgO 6.5-11.1%、 CaO 1.5-5.2%、 Li_2O 1.0%、 Na_2O 0.0%、 K_2O 0.8%、 Fe_2O_3 0.2-0.8%、 F_2 0.0%、 TiO_2 0.0%及硫酸鹽(表示為 SO_3) 0.0%。

發現該等玻璃在 1 MHz 下具有 5.44 至 5.67 之 D_k 及 0.0006 至 0.0031 之 D_f ，且在 1 GHz 頻率下具有 5.47 至 6.67 之 D_k 及 0.0048 至 0.0077 之 D_f 。系列 III 組合物之電性質展示顯著低於標準 E-玻璃(即，改良)之 D_k 及 D_f ，標準 E-玻璃在 1 MHz 下 D_k 為 7.29 且 D_f 為 0.003 且在 1 GHz 下 D_k 為 7.14 且 D_f 為 0.0168。

就纖維成型性質而言，表 1 中組合物具有 1300°C 至 1372°C 之成型溫度(T_F)及 89°C 至 222°C 之成型窗(forming window) (T_F-T_L)。此可與 T_F 通常在 1170°C 至 1215°C 範圍內之標準 E-玻璃媲美。為防止在纖維成型期間玻璃失透，大於 55°C 之成型窗(T_F-T_L)係合意的。表 1 中所有組合物均展示令人滿意之成型窗。儘管表 1 組合物之成型溫度高於 E-玻璃，但其成型溫度顯著低於 D-玻璃(通常為約 1410°C)。

表 1

實例：	1	2	3	4	5	6	7	8
Al ₂ O ₃	11.02	9.45	11.64	12.71	15.95	10.38	10.37	11.21
B ₂ O ₃	8.55	8.64	8.58	8.56	8.46	8.71	9.87	9.28
CaO	5.10	5.15	3.27	2.48	1.50	2.95	2.01	1.54
CoO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62
Fe ₂ O ₃	0.39	0.40	0.39	0.39	0.39	0.53	0.80	0.27
K ₂ O	0.77	0.78	0.77	0.77	0.76	0.79	0.79	0.78
Li ₂ O	0.98	0.99	0.98	0.98	0.97	1.00	1.00	1.00
MgO	6.70	7.44	8.04	8.69	9.24	10.39	11.05	11.04
SiO ₂	66.48	67.16	66.32	65.42	62.72	65.26	64.12	64.26
性質								
D _k , 1 MHz	5.62	5.59	5.44	5.47	5.50	5.67	5.57	5.50
D _k , 1 GHz	5.65	5.62	5.46	5.47	5.53	5.67	5.56	5.50
D _f , 1 MHz	0.0010	0.0006	0.0016	0.0008	0.0020	0.0031	0.0012	0.0010
D _f , 1 GHz	0.0048	0.0059	0.0055	0.0051	0.0077	0.0051	0.0053	0.0049
T _L (°C)	1209	1228	1215	1180	1143	1219	1211	1213
T _F (°C)	1370	1353	1360	1372	1365	1319	1300	1316
T _F -T _L (°C)	161	125	145	192	222	100	89	103

表 2 組合物

實例 9 至 15 提供玻璃組合物： SiO_2 60.8-68.0%、 B_2O_3 8.6%及 11.0%、 Al_2O_3 8.7-12.2%、 MgO 9.5-12.5%、 CaO 1.0-3.0%、 Li_2O 0.5-1.5%、 Na_2O 0.5%、 K_2O 0.8%、 Fe_2O_3 0.4%、 F_2 0.3%、 TiO_2 0.2%及硫酸鹽(表示為 SO_3) 0.0%。

發現該等玻璃在 1 MHz 下具有 5.55 至 5.95 之 D_k 及 0.0002 至 0.0013 之 D_f ，且在 1 GHz 頻率下具有 5.54 至 5.94 之 D_k 及 0.0040 至 0.0058 之 D_f 。表 2 中組合物之電性質展示顯著低於標準 E-玻璃(改良)之 D_k 及 D_f ，標準 E-玻璃在 1 MHz 下 D_k 為 7.29 且 D_f 為 0.003 且在 1 GHz 下 D_k 為 7.14 且 D_f 為 0.0168。

就機械性質而言，表 2 組合物具有 86.5-91.5 GPa 之楊氏模數及 4.0-4.2 GPa 之微硬度，二者等於或高於標準 E 玻璃，標準 E 玻璃具有 85.9 GPa 之楊氏模數及 3.8 GPa 之微硬度。表 2 組合物之楊氏模數亦顯著高於 D-玻璃(基於文獻數據為約 55 GPa)。

就纖維成型性質而言，與 T_F 在 1170°C 至 1215°C 範圍內之標準 E-玻璃相比，表 2 組合物具有 1224°C 至 1365°C 之成型溫度(T_F)及 6°C 至 105°C 之成型窗(T_F-T_L)。一些(但非所有)表 2 組合物具有大於 55°C 之成型窗(T_F-T_L)，在一些情況下認為可較佳避免在商業纖維成型作業中玻璃失透。表 2 組合物之成型溫度低於 D-玻璃之成型溫度(1410°C)，但高於 E-玻璃。

表 2

實例：	9	10	11	12	13	14	15
Al ₂ O ₃	12.02	11.88	10.41	12.08	12.18	8.76	12.04
B ₂ O ₃	10.98	10.86	9.90	8.71	8.79	8.79	8.68
CaO	1.07	2.90	2.02	2.95	1.09	1.09	2.94
F ₂	0.32	0.31	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
Fe ₂ O ₃	0.40	0.39	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
K ₂ O	0.78	0.77	0.79	0.79	0.79	0.79	0.78
Li ₂ O	0.50	0.49	1.00	0.50	1.51	1.51	1.49
MgO	12.35	9.56	11.10	12.41	12.51	9.81	9.69
Na ₂ O	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
SiO ₂	60.87	62.13	63.35	61.14	61.68	67.80	62.95
TiO ₂	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
性質							
D _k , 1 MHz	5.69	5.55	5.74	5.84	5.95	5.60	5.88
D _k , 1 GHz	5.65	5.54	5.71	5.83	5.94	5.55	5.86
D _f , 1 MHz	0.0007	0.0013	0.0007	0.0006	0.0002	0.0002	0.0011
D _f , 1 GHz	0.0042	0.0040	0.0058	0.0043	0.0048	0.0045	0.0053
T _L (°C)	1214	1209	1232	1246	1248	1263	1215
T _F (°C)	1288	1314	1287	1277	1254	1365	1285
T _F -T _L (°C)	74	105	55	31	6	102	70
E (GPa)	90.5	87.4	86.8	86.5	89.6	87.2	91.5
H (GPa)	4.12	4.02	4.02	4.03	4.14	4.07	4.19

表 3

實例：	16	17	18	19	20
Al ₂ O ₃	10.37	11.58	8.41	11.58	12.05
B ₂ O ₃	8.71	10.93	10.66	8.98	8.69
CaO	2.01	2.63	3.02	1.78	2.12
F ₂	0.32	0.30	0.30	0.30	0.30
Fe ₂ O ₃	0.40	0.27	0.27	0.27	0.27
K ₂ O	0.79	0.25	0.25	0.16	0.10
Li ₂ O	0.50	1.21	1.53	0.59	1.40
MgO	11.06	10.04	9.65	11.65	10.57
Na ₂ O	0.52	0.25	0.57	0.35	0.15
SiO ₂	65.13	62.55	65.35	64.35	64.35
TiO ₂	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
總計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
D _k , 1 MHz	5.43	5.57		5.30	5.42
D _k , 1 GHz	5.33	5.48		5.22	5.33
D _f , 1 MHz	0.0057	0.0033		0.0031	0.0051
D _f , 1 GHz	0.0003	0.0001		0.0008	0.0014
T _L (°C)	1231	1161	1196	1254	1193
T _F (°C)	1327	1262	1254	1312	1299
T _F -T _L (°C)	96	101	58	58	106
T _M (°C)	1703	1592	1641	1634	1633
E (GPa)	85.3	86.1	85.7	91.8	89.5
Std E (GPa)	0.4	0.6	2.5	1.7	1.5
H (GPa)	3.99	4.00	4.03	4.22	4.13
Std H (GPa)	0.01	0.02	0.09	0.08	0.05

表 3(續)

實例：	21	22	23	24	25	26
Al ₂ O ₃	12.04	12.04	12.04	12.04	12.04	12.54
B ₂ O ₃	8.65	8.69	10.73	10.73	11.07	8.73
CaO	2.06	2.98	2.98	2.98	2.98	2.88
F ₂	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	2.00
Fe ₂ O ₃	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
K ₂ O	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.40
Li ₂ O	1.53	1.05	1.05	0.59	0.48	
MgO	10.47	10.62	9.97	11.26	11.26	11.26
Na ₂ O	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.50
SiO ₂	63.05	62.42	61.03	60.2	59.97	61.34
TiO ₂	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
總計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
D _k , 1 MHz	5.75	5.73	5.61	5.64	5.63	5.35
D _k , 1 GHz	5.68	5.61	5.55	5.54	5.49	5.38
D _f , 1 MHz	0.004	0.0058	0.0020	0.0046	0.0040	0.0063
D _f , 1 GHz	0.0021	0.0024	0.0034	0.0019	0.0023	0.0001
T _L (°C)	1185	1191	1141	1171	1149	1227
T _F (°C)	1256	1258	1244	1246	1249	1301
T _F -T _L (°C)	71	67	103	75	100	
T _M (°C)	1587	1581	1587	1548	1553	
E (GPa)						
Std E (GPa)						
H (GPa)						
Std H (GPa)						
σ _f (KPSI/GPa)			475.7/ 3.28	520.9/ 3.59	466.5/ 3.22	522.0
Std σ _f (KPSI/GPa)			37.3/ 0.26	18.3/ 0.13	41.8/ 0.29	18.70
密度(g/cm ³)			2.4209*	2.4324*	2.4348*	

表 4

實例：	27	28	E-玻璃
Al_2O_3	12.42	12.57	13.98
B_2O_3	9.59	8.59	5.91
CaO	0.11	0.10	22.95
F_2	0.35	0.26	0.71
Fe_2O_3	0.21	0.21	0.36
K_2O	0.18	0.18	0.11
Li_2O	0.80	1.01	0
MgO	10.25	10.41	0.74
Na_2O	0.15	0.18	0.89
SiO_2	65.47	65.96	54.15
TiO_2	0.17	0.17	0.07
D_k , 1 MHz	5.3	5.4	7.3
D_k , 1 GHz	5.3	5.4	7.1
D_f , 1 MHz	0.003	0.008	
D_f , 1 GHz	0.011	0.012	0.0168
T_L (°C)	1184	1201	1079
T_F (°C)	1269	1282	1173
$T_F - T_L$ (°C)	85	81	94
E (GPa)			
H (GPa)	3.195	3.694	

實例 29 至 62 提供玻璃組合物(表 5) (以重量%計) : SiO_2 53.74-76.97%、 B_2O_3 4.47-14.28%、 Al_2O_3 4.63-15.44%、 MgO 4.20-12.16%、 CaO 1.04-10.15%、 Li_2O 0.0-3.2%、 Na_2O 0.0-1.61%、 K_2O 0.01-0.05%、 Fe_2O_3 0.06-0.35%、 F_2 0.49-1.48%、 TiO_2 0.05-0.65%及硫酸鹽(表示為 SO_3)0.0-0.16%。

實例 29 至 62 提供玻璃組合物(表 5) (以重量%計)，其中 ($\text{MgO}+\text{CaO}$) 含量為 7.81-16.00%， CaO/MgO 之比率為 0.09-1.74%，($\text{SiO}_2+\text{B}_2\text{O}_3$) 含量為 67.68-81.44%， $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{B}_2\text{O}_3$ 之比率為 0.90-1.71%，($\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 含量為 0.03-3.38 %，且 $\text{Li}_2\text{O}/(\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 之比率為 0.00-0.95%。

就機械性質而言，表 5 組合物具有 2.331 g/cm^3 至 2.416 g/cm^3 之纖維密度及 3050 MPa 至 3578 MPa 之平均纖維抗拉強度(或纖維強度)。

為量測纖維抗拉強度，藉由 10Rh/90Pt 單頭式纖維牽伸單元製造玻璃組合物之纖維樣品。將約 85 克給定組合物之玻璃屑進給至套管式熔融單元中並在接近或等於 100 泊熔體黏度之溫度下處理 2 小時。隨後將熔體降低至接近或等於 1000 泊熔體黏度之溫度並在纖維牽伸前穩定 1 小時。藉由控制纖維牽伸捲繞機之速度來控制纖維直徑以製造直徑為約 $10 \mu\text{m}$ 之纖維。所有纖維樣品均係在空氣中捕獲而與外物無任何接觸。在受控濕度在 40% RH 與 45% RH 之間之房間中完成纖維牽伸。

使用配備有 Kawabata C 型荷重元之 Kawabata KES-

G1(Kato Tech有限公司, Japan)抗拉強度分析儀來量測纖維抗拉強度。使用樹脂黏著劑將纖維樣品安裝在紙框架條上。向纖維施加拉力直至破壞，藉此根據纖維直徑及斷裂應力來測定纖維強度。該測試係在室溫及介於40% RH至45% RH之間之受控濕度下實施。根據65至72纖維樣品大小來計算每一組合物之平均值及標準偏差。

發現玻璃在1 GHz下具有4.83至5.67之 D_k 及0.003至0.007之 D_f 。表5中組合物之電性質展示顯著低於標準E-玻璃(即，改良)之 D_k 及 D_f ，在1 GHz下標準E-玻璃 D_k 為7.14且 D_f 為0.0168。

就纖維成型性質而言，表5組合物具有1247°C至1439°C之成型溫度(T_F)及53°C至243°C之成型窗(T_F-T_L)。表5中組合物具有1058°C至1279°C之液相溫度(T_L)。此可與 T_F 通常在1170°C至1215°C範圍內之標準E-玻璃媲美。為防止在纖維成型期間玻璃失透，大於55°C之成型窗(T_F-T_L)有時係合意的。表5中所有組合物均展示令人滿意之成型窗。

表 5

wt%	29	30	31	32	33
SiO ₂	64.24	58.62	57.83	61.00	61.56
Al ₂ O ₃	11.54	12.90	12.86	12.87	12.82
Fe ₂ O ₃	0.28	0.33	0.33	0.33	0.32
CaO	1.70	1.04	2.48	2.48	1.08
MgO	11.69	11.63	12.16	9.31	10.69
Na ₂ O	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
B ₂ O ₃	8.96	14.28	13.15	12.81	12.30
F ₂	0.53	0.62	0.61	0.61	0.65
TiO ₂	0.40	0.54	0.54	0.54	0.54
Li ₂ O	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₃	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
總計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
(MgO+CaO)	13.39	12.67	14.64	11.79	11.77
CaO/Mg	0.15	0.09	0.20	0.27	0.10
MgO/(MgO+CaO)	0.87	0.92	0.83	0.79	0.91
SiO ₂ +B ₂ O ₃	73.20	72.90	70.98	73.81	73.86
Al ₂ O ₃ /B ₂ O ₃	1.29	0.90	0.98	1.00	1.04
(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0.64	0.03	0.03	0.03	0.03
Li ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00
T _L (°C)	1196	1228	1205	1180	1249
T _F (°C)	1331	1300	1258	1334	1332
T _F -T _L (°C)	135	72	53	154	83
在1 GHz下之D _k	5.26	***	***	5.30	***
在1 GHz下之D _f	0.0017	***	***	0.001	***
纖維密度(g/cm ³)	***	***	***	***	***
纖維強度(MPa)	***	***	***	***	***

表 5(續)

wt%	34	35	36	37	38
SiO ₂	63.83	65.21	66.70	60.02	53.74
Al ₂ O ₃	10.97	10.56	10.11	12.32	15.44
Fe ₂ O ₃	0.26	0.25	0.24	0.29	0.24
CaO	2.38	2.29	2.19	4.01	3.83
MgO	10.64	10.23	9.79	9.95	10.53
Na ₂ O	0.29	0.28	0.27	0.33	0.09
K ₂ O	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
B ₂ O ₃	9.32	8.96	8.57	10.48	13.94
F ₂	1.20	1.16	1.11	1.35	1.48
TiO ₂	0.36	0.35	0.33	0.41	0.65
Li ₂ O	0.70	0.67	0.64	0.79	0.02
SO ₃	0.14	0.14	0.13	0.16	0.14
總計	100.13	100.13	100.12	100.15	100.13
(MgO+CaO)	13.02	12.52	11.98	13.96	14.36
CaO/MgO	0.22	0.22	0.22	0.40	0.36
MgO/(MgO+CaO)	0.82	0.82	0.82	0.71	0.73
SiO ₂ +B ₂ O ₃	73.15	74.17	75.27	70.50	67.68
Al ₂ O ₃ /B ₂ O ₃	1.18	1.18	1.18	1.18	1.11
(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.02	0.98	0.94	1.15	0.14
Li ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0.69	0.68	0.68	0.69	0.16
T _L (°C)	1255	1267	1279	1058	1175
T _F (°C)	1313	1320	1333	1266	1247
T _F -T _L (°C)	58	53	54	208	72
在1 GHz下之D _k	***	5.46	5.43	5.56	5.57
在1 GHz下之D _f	***	0.0036	0.0020	0.0025	0.00437
纖維密度(g/cm ³)	2.402	2.408	2.352	2.416	***
纖維強度(MPa)	3310	3354	3369	3413	***

表 5(續)

wt%	39	40	41	42	43
SiO ₂	62.54	63.83	65.21	66.70	59.60
Al ₂ O ₃	11.36	10.97	10.56	10.11	13.52
Fe ₂ O ₃	0.27	0.26	0.25	0.24	0.33
CaO	2.47	2.38	2.29	2.19	1.80
MgO	11.02	10.64	10.23	9.79	9.77
Na ₂ O	0.31	0.29	0.28	0.27	0.10
K ₂ O	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
B ₂ O ₃	9.65	9.32	8.96	8.57	12.70
F ₂	1.25	1.20	1.16	1.11	1.21
TiO ₂	0.37	0.36	0.35	0.33	0.51
Li ₂ O	0.73	0.70	0.67	0.64	0.41
SO ₃	0.15	0.14	0.14	0.13	0.15
總計	100.14	100.13	100.13	100.12	100.14
(MgO+CaO)	13.49	13.02	12.52	11.98	11.57
CaO/MgO	0.22	0.22	0.22	0.22	0.18
MgO/(MgO+CaO)	0.82	0.82	0.82	0.82	0.84
SiO ₂ +B ₂ O ₃	72.19	73.15	74.17	75.27	72.30
Al ₂ O ₃ /B ₂ O ₃	1.18	1.18	1.18	1.18	1.06
(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.07	1.02	0.98	0.94	0.54
Li ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0.68	0.69	0.68	0.68	0.76
T _L (°C)	1238	1249	1266	1276	1083
T _F (°C)	1293	1313	1342	1368	1310
T _F -T _L (°C)	55	64	76	92	227
在1 GHz下之D _k	5.45	5.31	5.39	5.25	5.20
在1 GHz下之D _f	0.00531	0.00579	0.00525	0.00491	0.00302
纖維密度(g/cm ³)	2.403	***	***	***	***
纖維強度(MPa)	3467	***	***	***	***

表 5(續)

wt%	44	45	46	47	48
SiO ₂	59.90	60.45	62.68	65.30	65.06
Al ₂ O ₃	13.23	13.06	12.28	11.51	12.58
Fe ₂ O ₃	0.34	0.35	0.20	0.19	0.25
CaO	1.86	1.58	1.65	1.39	1.25
MgO	10.14	10.50	8.74	8.18	6.56
Na ₂ O	0.10	0.10	0.10	0.09	0.13
K ₂ O	0.03	0.03	0.02	0.02	0.05
B ₂ O ₃	12.40	12.29	12.69	11.89	10.03
F ₂	1.26	1.07	1.11	0.94	0.82
TiO ₂	0.53	0.55	0.51	0.48	0.07
Li ₂ O	0.20	0.00	0.00	0.00	3.20
SO ₃	0.15	0.16	0.15	0.14	0.11
總計	100.14	100.15	100.14	100.13	100.10
RO (MgO+CaO)	12.00	12.08	10.39	9.57	7.81
CaO/Mg	0.18	0.15	0.19	0.17	0.19
MgO/(MgO+CaO)	0.85	0.87	0.84	0.85	0.84
SiO ₂ +B ₂ O ₃	72.30	72.74	75.37	77.19	75.09
Al ₂ O ₃ /B ₂ O ₃	1.07	1.06	0.97	0.97	1.25
(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0.33	0.13	0.12	0.11	3.38
Li ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0.61	0.00	0.00	0.00	0.95
T _L (°C)	1129	1211	1201	1196	***
T _F (°C)	1303	1378	1378	1439	***
T _F -T _L (°C)	174	167	177	243	***
在1 GHz下之D _k	5.24	5.05	4.94	4.83	5.67
在1 GHz下之D _f	0.00473	0.00449	0.00508	0.00254	0.007
纖維密度(g/cm ³)	2.387	2.385	2.354	2.34	2.345
纖維強度(MPa)	3483	3362	3166	3050	3578

表 5(續)

wt%	49	50	51	52	53
SiO ₂	61.14	60.83	62.45	61.88	66.25
Al ₂ O ₃	12.90	13.02	12.52	12.72	10.60
Fe ₂ O ₃	0.27	0.28	0.26	0.28	0.18
CaO	1.72	1.74	1.59	1.63	3.33
MgO	9.25	9.36	8.98	9.13	5.98
Na ₂ O	0.10	0.10	0.10	0.10	0.86
K ₂ O	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
B ₂ O ₃	12.70	12.70	12.29	12.38	11.44
F ₂	1.16	1.17	1.08	1.10	0.90
TiO ₂	0.51	0.51	0.50	0.50	0.44
Li ₂ O	0.21	0.25	0.21	0.25	0.00
SO ₃	0.15	0.15	0.14	0.14	0.00
總計	100.14	100.14	100.13	100.13	100.00
(MgO+CaO)	10.97	11.10	10.57	10.76	9.31
CaO/Mg	0.19	0.19	0.18	0.18	0.56
MgO/(MgO+CaO)	0.84	0.84	0.85	0.85	0.64
SiO ₂ +B ₂ O ₃	73.84	73.53	74.74	74.26	77.69
Al ₂ O ₃ /B ₂ O ₃	1.02	1.03	1.02	1.03	0.93
(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0.34	0.38	0.34	0.38	0.88
Li ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0.62	0.66	0.62	0.66	0.00
T _L (°C)	1179	1179	1186	1191	***
T _F (°C)	1342	1340	1374	1366	***
T _F -T _L (°C)	163	161	188	175	***
在 1 GHz 下之 D _k	***	5.24	4.96	5.06	5.03
在 1 GHz 下之 D _f	***	0.0018	0.0015	0.0014	0.0027
纖維密度(g/cm ³)	2.358	2.362	2.338	***	2.331
纖維強度(MPa)	3545	3530	3234	***	3161

表 5(續)

wt%	54	55	56	57	58
SiO ₂	66.11	69.19	70.68	69.44	69.40
Al ₂ O ₃	10.58	10.37	8.87	7.20	7.21
Fe ₂ O ₃	0.18	0.18	0.16	0.13	0.14
CaO	5.31	5.20	5.50	5.57	10.15
MgO	4.20	7.13	7.54	10.39	5.85
Na ₂ O	0.86	0.55	0.59	0.59	0.59
K ₂ O	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
B ₂ O ₃	11.41	6.39	5.72	5.80	5.79
F ₂	0.90	0.53	0.55	0.55	0.55
TiO ₂	0.44	0.43	0.37	0.30	0.30
Li ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
總計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
(MgO+CaO)	9.51	12.33	13.04	15.96	16.00
CaO/Mg	1.26	0.73	0.73	0.54	1.74
MgO/(MgO+CaO)	0.44	0.58	0.58	0.65	0.37
SiO ₂ +B ₂ O ₃	77.52	75.58	76.40	75.24	75.19
Al ₂ O ₃ /B ₂ O ₃	0.93	1.62	1.55	1.24	1.25
(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0.88	0.57	0.61	0.61	0.61
Li ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T _L (°C)	***	***	***	***	***
T _F (°C)	***	***	***	***	***
T _F -T _L (°C)	***	***	***	***	***
在 1 GHz 下之 D _k	***	***	***	***	***
在 1 GHz 下之 D _f	***	***	***	***	***
纖維密度(g/cm ³)	2.341	***	***	***	***
纖維強度(MPa)	3372	***	***	***	***

表 5(續)

wt%	59	60	61	62
SiO ₂	69.26	71.45	74.07	76.97
Al ₂ O ₃	8.72	5.30	7.27	4.63
Fe ₂ O ₃	0.13	0.06	0.09	0.10
CaO	4.89	5.24	4.88	5.69
MgO	9.92	10.63	4.77	5.56
Na ₂ O	0.53	0.58	0.73	1.61
K ₂ O	0.03	0.02	0.03	0.01
B ₂ O ₃	5.09	4.96	6.39	4.47
F ₂	0.49	0.50	0.66	0.77
TiO ₂	0.27	0.05	0.17	0.19
Li ₂ O	0.69	1.20	0.95	0.00
SO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00
總計	100.00	100.00	100.00	100.00
(MgO+CaO)	14.81	15.87	9.65	11.25
CaO/Mg	0.49	0.49	1.02	1.02
MgO/(MgO+CaO)	0.67	0.67	0.49	0.49
SiO ₂ +B ₂ O ₃	74.35	76.41	80.46	81.44
Al ₂ O ₃ /B ₂ O ₃	1.71	1.07	1.14	1.04
(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.25	1.80	1.71	1.62
Li ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0.55	0.67	0.56	0.00
T _L (°C)	***	***	***	***
T _F (°C)	1358/1355	1331/1333	1493/1484	***
T _F -T _L (°C)	***	***	***	***
在 1 GHz 下之 D _k	***	***	***	***
在 1 GHz 下之 D _f	***	***	***	***
纖維密度(g/cm ³)	***	***	***	***
纖維強度(MPa)	***	***	***	***

實例 63 至 73 提供玻璃組合物(表 6) (以重量%計)：SiO₂ 62.35-68.35%、B₂O₃ 6.72-8.67%、Al₂O₃ 10.53-18.04%、MgO 8.14-11.44%、CaO 1.67-2.12%、Li₂O 1.07-1.38%、Na₂O 0.02%、K₂O 0.03-0.04%、Fe₂O₃ 0.23-0.33%、F₂ 0.49-0.60%、TiO₂ 0.26-0.61%及硫酸鹽(表示為SO₃)0.0%。

實例 63 至 73 提供玻璃組合物(表 6) (以重量%計)，其中 (MgO+CaO)含量為 9.81-13.34%，CaO/MgO之比率為 0.16-0.20，(SiO₂+B₂O₃)含量為 69.59-76.02%，Al₂O₃/B₂O₃之比率為 1.37-2.69，(Li₂O+Na₂O+K₂O)含量為 1.09-1.40%，且 Li₂O/(Li₂O+Na₂O+K₂O)之比率為 0.98。

就機械性質而言，表 6 組合物具有 2.371 g/cm³至 2.407 g/cm³之纖維密度及 3730 MPa至 4076 MPa之平均纖維抗拉強度(或纖維強度)。以與結合表 5 組合物量測之纖維抗拉強度相同之方式量測由表 6 組合物製成之纖維之纖維抗拉強度。

發現由該等組合物形成之纖維具有介於 73.84 GPa至 81.80 GPa之間之楊氏模數(E)值。使用音波模數法在纖維上量測該等纖維之楊氏模數(E)值。在購自 Panametrics 公司(Waltham, Massachusetts)之 Panatherm 5010 儀器上使用超音波聲波脈衝技術來測定自具有所敘述組合物之玻璃熔體牽伸之纖維之彈性模數值。使用 20 微秒持續時間、200 kHz 脈衝來獲得伸張波反射時間。量測樣品長度並計算各別的伸張波速度(V_E)。使用 Micromeritics AccuPyc 1330 比重計來量測纖維密度(ρ)。一般而言，每一組合物實施 20 次

量測並根據式 $E = V_E^2 * \rho$ 計算平均楊氏模數(E)。使用胡克定律(Hooke's Law)根據已知纖維強度及楊氏模數值來計算纖維破壞應變。

發現玻璃在1 GHz下具有5.20至5.54之 D_k 及0.0010至0.0020之 D_f 。表6中組合物之電性質展示顯著低於標準E-玻璃(即，改良)之 D_k 及 D_f ，標準E-玻璃在1 GHz下 D_k 為7.14且 D_f 為0.0168。

就纖維成型性質而言，表6中組合物具有1303°C至1388°C之成型溫度(T_F)及51°C至144°C之成型窗($T_F - T_L$)。

表 6

wt%	63	64	65	66	67
SiO ₂	64.25	65.35	66.38	67.35	68.35
Al ₂ O ₃	11.88	11.52	11.18	10.86	10.53
Fe ₂ O ₃	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23
CaO	2.12	2.05	1.99	1.93	1.87
MgO	10.50	10.17	9.87	9.58	9.29
Na ₂ O	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
K ₂ O	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
B ₂ O ₃	8.67	8.40	8.15	7.91	7.67
F ₂	0.60	0.58	0.56	0.54	0.53
TiO ₂	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26
Li ₂ O	1.38	1.33	1.29	1.26	1.22
SO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
總計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
(MgO+CaO)	12.61	12.22	11.86	11.51	11.16
CaO/MgO	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
MgO/(MgO+CaO)	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
SiO ₂ +B ₂ O ₃	72.92	73.75	74.53	75.26	76.02
Al ₂ O ₃ /B ₂ O ₃	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37
(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.40	1.36	1.32	1.28	1.24
Li ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
T _L (°C)	1241	1259	1266	1268	1287
T _F (°C)	1306	1329	1349	1374	1388
T _F -T _L (°C)	65	70	83	106	101
在1 GHz下之D _k	5.44	5.35	5.29	5.31	5.2
在1 GHz下之D _f	0.0013	0.0016	0.001	0.002	0.0013
纖維密度(g/cm ³)	2.395	2.385	2.384	2.375	2.371
纖維強度(MPa)	3730	3759	3813	3743	3738
楊氏模數(GPa)	***	***	***	74.25	***
纖維破壞應變(%)	***	***	***	5.04	***

表 6(續)

wt%	68	69	70	71	72	73
SiO ₂	64.39	63.63	62.87	65.45	65.61	62.35
Al ₂ O ₃	14.05	16.04	18.04	11.05	14.29	14.74
Fe ₂ O ₃	0.28	0.30	0.33	0.24	0.28	0.29
CaO	1.90	1.79	1.67	1.91	1.77	1.79
MgO	9.39	8.77	8.14	11.44	8.72	11.37
Na ₂ O	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
K ₂ O	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04
B ₂ O ₃	7.75	7.23	6.72	7.80	7.19	7.28
F ₂	0.54	0.51	0.49	0.54	0.51	0.51
TiO ₂	0.41	0.51	0.61	0.28	0.43	0.45
Li ₂ O	1.23	1.15	1.07	1.24	1.14	1.16
SO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
總計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
(MgO+CaO)	11.29	10.55	9.81	13.34	10.49	13.16
CaO/MgO	0.20	0.20	0.20	0.17	0.20	0.16
MgO/(MgO+CaO)	0.83	0.83	0.83	0.86	0.83	0.86
SiO ₂ +B ₂ O ₃	72.14	70.87	69.59	73.25	72.80	69.63
Al ₂ O ₃ /B ₂ O ₃	1.81	2.22	2.69	1.42	1.99	2.02
(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	1.25	1.17	1.09	1.26	1.16	1.18
Li ₂ O/(Li ₂ O+Na ₂ O+K ₂ O)	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
T _L (°C)	1231	1219	1236	1266	1235	1220
T _F (°C)	1349	1362	1368	1317	1379	1303
T _F -T _L (°C)	118	143	132	51	144	83
在1 GHz下之D _k	5.4	5.38	5.39	5.54	5.52	5.58
在1 GHz下之D _f	0.0016	0.0013	0.002	0.0015	0.0016	0.0015
纖維密度(g/cm ³)	2.393	2.398	2.407	***	***	***
纖維強度(MPa)	3954	3977	4076	***	***	***
楊氏模數(GPa)	73.84	80.34	81.57	80.69	81.80	***
纖維破壞應變(%)	5.36	4.95	5.00	4.68	4.72	***

應理解，本發明說明闡釋與本發明之清晰理解相關之本發明態樣。為簡化本發明說明，未展示熟習此項技術者將易知且因此將無法促進對本發明之更佳理解之本發明之某些態樣。儘管已結合某些實施例闡述本發明，但本發明不限於所揭示具體實施例，而意欲涵蓋在本發明之精神及範圍內之修改。

公告本**發明專利說明書**

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：101/32409

※申請日：101- 9 5

※IPC 分類：C03C ^{3/00} (2006.01)
_{13/00} (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

低介電玻璃及玻璃纖維

LOW DIELECTRIC GLASS AND FIBER GLASS

二、中文發明摘要：

本發明提供玻璃組合物，其可用於多種應用，包括(例如)電子應用、增強應用及其他應用。玻璃組合物之一些實施例可提供合意的介電常數、合意的耗散因子及/或合意的機械性質，同時亦具有合意的纖維成型性質。

三、英文發明摘要：

Glass compositions are provided that are useful in a variety of applications including, for example, electronics applications, reinforcement applications, and others. Some embodiments of glass compositions can provide desirable dielectric constants, desirable dissipation factors, and/or desirable mechanical properties while also having desirable fiber forming properties.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：(無)

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)

七、申請專利範圍：

1. 一種適用於纖維成型之玻璃組合物，其包含：

SiO_2 53.5-59.9或69.2-77重量%；

B_2O_3 4.5-14.5重量%；

Al_2O_3 4.5-18.5重量%；

MgO 4-12.5重量%；

CaO 0-10.5重量%；

Li_2O 0-4重量%；

Na_2O 0-2重量%；

K_2O 0-1重量%；

Fe_2O_3 0-1重量%；

F_2 0-2重量%；

TiO_2 0-2重量%；及

其他成份 總計0-5重量%。

2. 如請求項1之組合物，其包含：

B_2O_3 6-9重量%；

Al_2O_3 10-18重量%；及

MgO 8-12重量%。

3. 如請求項2之組合物，其中該 Li_2O 含量為1-2重量%。
4. 如請求項1之組合物，其中該 MgO 含量係大於5重量%。
5. 如請求項1之組合物，其中該 MgO 含量係大於8重量%。
6. 如請求項1之組合物，其中該 CaO 含量為0-3重量%。
7. 如請求項1之組合物，其中該 CaO 含量為至少1重量%。
8. 如請求項1之組合物，其中該 TiO_2 含量為0-1重量%。

9. 如請求項1之組合物，其中該 B_2O_3 含量為6-11重量%。
10. 如請求項1之組合物，其中該 B_2O_3 含量為6-9重量%。
11. 如請求項1之組合物，其中該 Al_2O_3 含量為9-18重量%。
12. 如請求項1之組合物，其中該 Al_2O_3 含量為至少15.4重量%。
13. 如請求項1之組合物，其中該 SiO_2 含量為69.2-77重量%。
14. 如請求項1之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1 GHz頻率下介電常數(D_k)小於6.7之玻璃。
15. 如請求項1之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1 GHz頻率下介電常數(D_k)小於6之玻璃。
16. 如請求項1之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1 GHz頻率下介電常數(D_k)小於5.6之玻璃。
17. 如請求項1之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1 GHz頻率下介電常數(D_k)小於5.2之玻璃。
18. 如請求項1之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1 GHz頻率下介電常數(D_k)小於5.0之玻璃。
19. 如請求項1之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1 GHz頻率下耗散因子(D_f)小於0.007之玻璃。
20. 如請求項1之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1 GHz頻率下耗散因子(D_f)小於0.003之玻璃。
21. 如請求項1之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1000泊黏度下不大於1370°C之成型溫度 T_F 。
22. 如請求項1之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1000泊黏度下不大於1320°C之成型溫度 T_F 。

23. 如請求項1之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1000泊黏度下不大於1300°C之成型溫度 T_F 。
24. 如請求項1之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1000泊黏度下不大於1290°C之成型溫度 T_F 。
25. 如請求項1之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1000泊黏度下不大於1260°C之成型溫度 T_F 。
26. 如請求項25之組合物，其中該等成份係經選擇以提供低於該成型溫度至少55°C之液相溫度(T_L)。
27. 如請求項1之組合物，其中該 Li_2O 含量為0.4-2.0重量%。
28. 如請求項1之組合物，其中該 Li_2O 含量係大於該(Na_2O+K_2O)含量。
29. 如請求項1之組合物，其中該($Li_2O+Na_2O+K_2O$)含量係小於2重量%。
30. 如請求項1之組合物，該組合物含有0-1重量% BaO 及0-2重量% ZnO 。
31. 如請求項1之組合物，其中該組合物基本上不含 BaO 且基本上不含 ZnO 。
32. 如請求項1之組合物，其中其他成份若存在則係以0-2重量%之總量存在。
33. 如請求項1之組合物，其中其他成份若存在則係以0-1重量%之總量存在。
34. 一種適用於纖維成型之玻璃組合物，其包含：
- | | |
|----------|-----------------------|
| SiO_2 | 53.5-59.9或69.2-77重量%； |
| B_2O_3 | 5-14重量%； |

Al_2O_3	5-18重量%；
MgO	5-12重量%；
CaO	0-10重量%；
Li_2O	0-3重量%；
Na_2O	0-2重量%；
K_2O	0-1重量%；
Fe_2O_3	0-1重量%；
F_2	0-2重量%；
TiO_2	0-2重量%；及
其他成份	總計0-5重量%。

35. 如請求項34之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1 GHz頻率下介電常數(D_k)小於6.7之玻璃。
36. 如請求項34之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1 GHz頻率下介電常數(D_k)小於6之玻璃。
37. 如請求項34之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1 GHz頻率下介電常數(D_k)小於5.6之玻璃。
38. 如請求項34之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1 GHz頻率下介電常數(D_k)小於5.2之玻璃。
39. 如請求項34之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1 GHz頻率下介電常數(D_k)小於5.0之玻璃。
40. 如請求項34之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1 GHz頻率下耗散因子(D_f)小於0.007之玻璃。
41. 如請求項34之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1 GHz頻率下耗散因子(D_f)小於0.003之玻璃。

42. 如請求項34之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1000泊黏度下不大於1370°C之成型溫度 T_F 。
43. 如請求項34之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1000泊黏度下不大於1320°C之成型溫度 T_F 。
44. 如請求項34之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1000泊黏度下不大於1300°C之成型溫度 T_F 。
45. 如請求項34之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1000泊黏度下不大於1290°C之成型溫度 T_F 。
46. 如請求項34之組合物，其中該等成份係經選擇以提供在1000泊黏度下不大於1290°C之成型溫度 T_F 。
47. 如請求項46之組合物，其中該等成份係經選擇以提供低於該成型溫度至少55°C之液相溫度(T_L)。
48. 如請求項34之組合物，其中該 Li_2O 含量為0.4-2.0重量%。
49. 如請求項34之組合物，其中該 Li_2O 含量係大於該(Na_2O+K_2O)含量。
50. 如請求項34之組合物，其中該($Li_2O+Na_2O+K_2O$)含量係小於2重量%。
51. 一種適用於纖維成型之玻璃組合物，其包含：
- | | |
|-----------|-----------------------|
| SiO_2 | 53.5-59.9或69.2-77重量%； |
| B_2O_3 | 5-14重量%； |
| Al_2O_3 | 10-18重量%； |
| MgO | 8-12重量%； |
| CaO | 0-4重量%； |

Li_2O	0-3 重量 % ;
Na_2O	0-2 重量 % ;
K_2O	0-1 重量 % ;
Fe_2O_3	0-1 重量 % ;
F_2	0-2 重量 % ;
TiO_2	0-2 重量 % ; 及
其他成份	總計 0-5 重量 % 。

52. 一種適用於纖維成型之玻璃組合物，其包含：

SiO_2	69.2-77 重量 % ;
B_2O_3	小於約 9 重量 % ;
Al_2O_3	10-18 重量 % ;
MgO	8-12 重量 % ; 及
CaO	0-4 重量 % ;

其中該玻璃展現小於 6.7 之介電常數 (D_k) 及在 1000 泊黏度下不大於 1370°C 之成型溫度 (T_F) 。