201821587

(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本 (11)公開編號：TW 201821587 A

(43)公開日： 中華民國 107 (2018) 年 06 月 16 日

(21)申請案號：106128687 (22)申請日： 中華民國 106 (2017) 年 08 月 24 日

(51)Int. Cl.： *C09K5/14 (2006.01)* *H01B3/52 (2006.01)*
D21H13/18 (2006.01) *D21H13/26 (2006.01)*
D21H17/37 (2006.01) *D21H17/67 (2006.01)*
D21H17/68 (2006.01) *D21H21/14 (2006.01)*
D21H21/50 (2006.01)

(30)優先權：2016/08/25 美國 62/379,514

(71)申請人：美商３Ｍ新設資產公司 (美國) 3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY (US)
美國

(72)發明人：黃 蜜雪兒 岑德 HUANG, MITCHELLE TSENG-TEH (US)；圖聘 羅伯特 漢彌爾頓 TURPIN, ROBERT HAMILTON (US)

(74)代理人：陳長文

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：31 項 圖式數：2 共 32 頁

(54)名稱

導熱電絕緣材料

THERMALLY CONDUCTIVE ELECTRICAL INSULATION MATERIAL

(57)摘要

所描述者是一種導熱、電絕緣紙，其具有高於 0.4W/m-K 的導熱率。該導熱、電絕緣紙是一不織紙，其包含聚芳醯胺纖維、聚芳醯胺紙漿、以及黏合劑材料；及導熱填料之一協同摻合物，其中該協同摻合物包含一主要導熱填料；以及一次要導熱填料。

A thermally conductive, electrical insulating paper having a thermal conductivity greater than 0.4 W/m-K is described. The thermally conductive, electrical insulating paper is a nonwoven paper that comprises aramid fibers, an aramid pulp, a binder material; and a synergistic blend of thermally conductive fillers, wherein the synergistic blend comprises a primary thermally conductive filler; and a secondary thermally conductive filler.

指定代表圖：

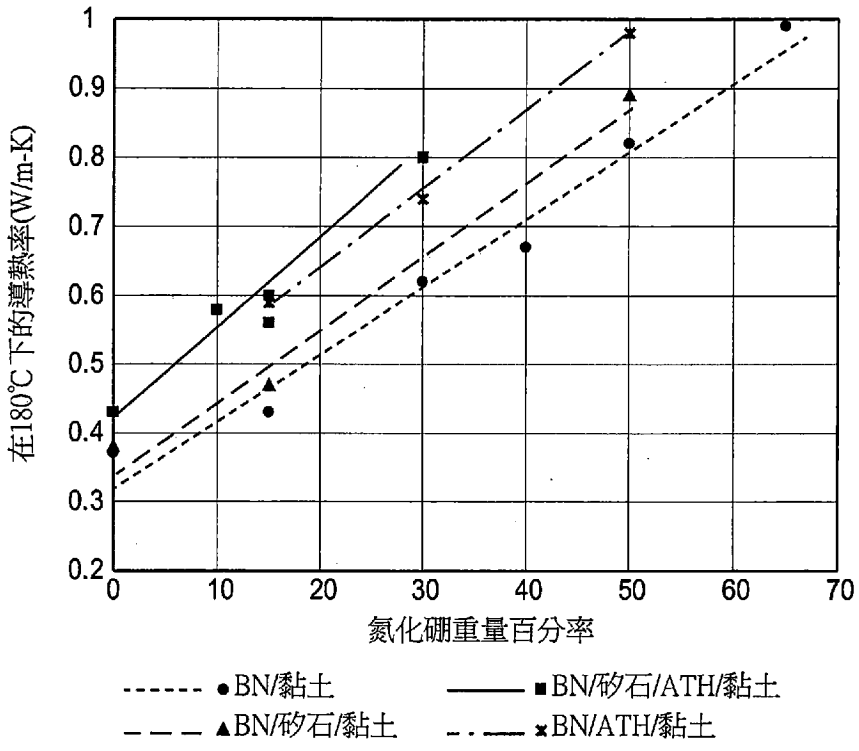

在180℃下的導熱率(W/m-K)
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0
10
20
30
40
50
60
70
氮化硼重量百分率
●BN/黏土
■BN/矽石/ATH/黏土
▲BN/矽石/黏土
×BN/ATH/黏土

圖1

發明專利說明書

（本說明書格式、順序，請勿任意更動）

【發明名稱】 導熱電絕緣材料

THERMALLY CONDUCTIVE ELECTRICAL INSULATION MATERIAL

【技術領域】

【0001】 本發明係關於適合用於電絕緣應用之材料。具體而言，本發明係關於電絕緣材料，其適合用於變壓器、馬達、發電機、以及其他電子裝置。具體而言，本技術係關於一導熱電絕緣材料，其具有導熱填料之一協同摻合物。

【先前技術】

【0002】 熱是電子變壓器、馬達、發電機、以及其他電子裝置的一非所欲副產物。較高的操作溫度一般會降低裝置之壽命和可靠度，並對實際的裝置設計施以設計限制。用於電子變壓器、馬達、以及發電機之電絕緣材料（諸如習知的電絕緣紙）經常是不良的導熱體，並可限制裝置的熱散逸。

【0003】 改善電子裝置的熱轉移性能可以習知電子裝置設計來提供較低之溫度增加，或可實現新的較小電子裝置之設計。根據 Arrhenius 方程式，較低的裝置操作溫度提供了經改善之可靠度，該方程式推論，操作溫度增加 10℃將使絕緣材料之壽命縮短一半。較低的裝置操作溫度亦可藉由減少電阻（焦耳熱）損失來改善電子裝置的效率。較低的裝置操作溫度亦可使電子裝置以更高的功率水平運行，或提供較高的過載容量。較低的溫度提升亦能使裝置重新設計成更精巧

的裝置尺寸，並藉由使用較少量的金屬來更有效地使用原料，其可降低裝置系統總成本。

【0004】 藉由將熱轉移介質改變為具有較高導熱率的熱轉移介質，或藉由將具有較高熱阻之材料替換為具有較低熱阻或較高導熱率的材料，可改善熱轉移性能。

【0005】 被用在電絕緣的紙張包括：牛皮紙或基於纖維素的紙、有機紙、無機/有機混成紙、以及無機紙。適合用於本發明的市售不織紙實例包括：可獲自 3M Company, USA 者（商標名為 CeQUIN），包括但不受限於：CeQUIN I（約 90%的無機物含量）、CeQUIN II [CeQUIN I 的雙層(ply)複合物]、CeQUIN X（用於 B 階應用的增強濕強度）、以及 CeQUIN 3000（約 74%的無機含量加有機纖維強化）；ThermaVolt 無機絕緣紙、ThermaVolt AR 無機絕緣紙、FLAME BARRIER FRB，包括但不受限於：FLAME BARRIER-FRB-NT 壓延絕緣紙和 FLAME BARRIER FRB-NC 未壓延絕緣紙。來自 DuPont (www2.dupont.com) 的市售電絕緣材料實例可獲自商標名為 NOMEX，包括但不受限於：NOMEX 紙類型 410、類型 411（較低密度版）、類型 414、類型 418（包括雲母）、類型 419（類型 418 的較低密度版）、以及類型 E56。來自 SRO Group (China) Limited 的市售電絕緣材料實例可以商標名 X-FIPER 獲得；及來自 Yantai Metastar Special Paper Co., Ltd., China，其可以商標名 METASTAR 獲得。

【0006】 一般將許多這些習知的紙用於高溫電絕緣應用中，其中這些紙的熱穩定性、電性質、以及機械性質是重要的。

【0007】 習知的電絕緣紙一般具有 0.25 W/m-K 或更低的導熱率。當這些紙被用於電磁線圈繞組時，導體中所產生的熱累積，且線圈的溫度升高，其原因在於不能將熱有效地運輸至線圈繞組之外。由於熱積聚的緣故（由於習知電絕緣紙之相對低的導熱率），線圈的功率密度受到限制。

【0008】 因此，需要電絕緣紙較高的導熱率，其可改善熱散逸，並對以下提供較低的裝置操作和熱點溫度：電子變壓器、馬達、發電機、以及其他電子裝置。

【發明內容】

【0009】 在特定電絕緣應用中需要具有較高導熱率性的材料，其在電子設備應用中達到適合的性能。

【0010】 本發明之材料適合用於使以下之電子組件絕緣：電子變壓器、馬達、發電機、以及其他需要電子組件絕緣的裝置。

【0011】 本發明的至少一些實施例提供了一導熱、電絕緣紙。該導熱、電絕緣紙是一不織紙，其包含聚芳醯胺纖維、聚芳醯胺紙漿、以及黏合劑材料；及導熱填料之一協同摻合物，其中該協同摻合物包含一主要導熱填料；以及一次要導熱填料。紙可額外包括以下之至少一者：丙烯酸纖維、一低導熱無機填料（諸如高嶺黏土）、以及一阻燃劑。

【0012】 在其他實施例中，導熱、電絕緣紙包含：20 wt.%至 30 wt.%的有機組分，其中一部分的該有機組分為纖維性；70 wt.%至 80 wt.%的無機組分，其中一部分的該無機組分是導熱填料之一協同摻合

物，其中該協同摻合物包含一主要導熱填料；以及一次要導熱填料。有機組分包含以下之組合：聚合物纖維、聚合物紙漿、以及黏合劑材料。且在一些態樣中，紙包括以下之組合：對聚芳醯胺纖維、丙烯酸纖維；對聚芳醯胺紙漿以及丙烯酸乳膠黏合劑材料。在一些實施例中，無機組分進一步包括以下之至少一者：低導熱填料、無機阻燃劑、以及無機顏料。

【0013】 在一個例示性態樣中，第一導熱填料是具有高於或等於 40 W/m-K 的導熱率的一高導熱率填料，且第二導熱填料是具有低於 40 W/m-K 的導熱率的一低導率熱填料。在一些實施例中，第一導熱填料是氮化硼，且第二導熱填料是以下之至少一者：矽石、氧化鋁、以及 ATH。在本文中所述之例示性紙的導熱率高於 0.4 W/m-K。

【0014】 在一個例示性態樣中，例示性紙不含纖維素，且紙因而具有適合用於以下電絕緣系統熱等級的高熱穩定性：熱等級 155（等級 F）、180（等級 H）、200（等級 N）、以及 220（等級 R）。

【0015】 當用於本說明書中時：

「不含纖維素(cellulose free)」意指僅含有痕量之基於纖維素的材料，例如：含有少於 0.5 wt.%之基於纖維素的材料，較佳的是含有少於 0.1 wt.%之基於纖維素的材料，更佳的是未含有基於纖維素的材料；

「直接熔融(directly fused)」意指未具有諸如黏著劑層的中介層；

「不織紙(nonwoven paper)」意指主要包含短纖維的一片材材料；

「短纖維(short fibers)」意指小於一吋長的纖維；

「MD」或「機器方向(machine direction)」指的是平行於連續材料片材之繞緊方向的方向；以及

「其他無機填料(other inorganic filler)」是具有小於 0.6 W/m-K 的導熱率之一無機填料。

【0016】 本文中所述之不織紙的至少一個實施例之優點是其在相同整體導熱填料濃度之下，達到比具有單一高導熱率填料之材料更高的導熱率，同時具有充分的介電強度和良好的機械強度。所揭示之不織紙的另一特質包括高溫熱穩定性，舉例而言，例示性材料適合用於以下電絕緣系統熱等級：熱等級 155（等級 F）、180（等級 H）、200（等級 N）、以及 220（等級 R）。例示性絕緣紙表現出良好的可撓性，以在線圈內實現捲繞或成形，其能使該等絕緣紙被使用於電子變壓器、馬達、發電機、以及其他需要電子組件絕緣的裝置。

【0017】 以上之本發明概述並非意欲說明本發明所揭露的各實施例或是每一個實施方案。下方之詳述更具體地說明了本發明的實施例。

【圖式簡單說明】

【0018】 以下將部分參照本發明中的非限制性實例並參照圖式來描述本發明，其中：

圖 1 是顯示導熱率增強的圖，該增強係由於根據本發明之例示性導熱、電絕緣紙中之導熱填料的協同摻合物。

圖 2 是藉由比較經計算和測量的相對導熱率因子、顯示根據本發明之例示性導熱、電絕緣紙的導熱率改善圖。

【0019】 雖然本發明可具有各種修改與替代形式，但已在圖式中以實例方式顯示其中細節且將詳細描述。不過，應瞭解，並未意圖將本發明限制於所描述的具體實施例。相反地，本發明應涵蓋所有落於如隨附申請專利範圍所定義的本發明之範疇內之修改例、均等例與替代例。

【實施方式】

【0020】 在以下說明書中，要理解的是，其他實施例係經設想並可加以實現，而不偏離本發明的範疇。因此，以下之詳細敘述並非作為限定之用。

【0021】 除非另有所指，本說明書及申請專利範圍中用以表達特徵之尺寸、數量、以及物理特性的所有數字，皆應理解為在所有情況下以用語「約(about)」修飾之。因此，除非另有相反指示，否則在本說明書以及隨附申請專利範圍中所提出的數值參數係近似值，其可依據所屬技術領域中具有通常知識者運用本文所揭示之教示所欲獲得的所欲特性而有所不同。按端點使用之數字範圍包括在該範圍內的所有數字和任何值（例如：1 至 5 包括：1、1.5、2、2.75、3、3.80、4、以及 5）。

【0022】 改善材料之導熱率的習知手段是將最高裝載的最高導熱填料放進材料中。高導熱率填料包括具有大於 50 W/m-K 之導熱率的

填料，且包括碳奈米管、金剛石粒子、以及氮化硼。在絕緣紙中例行性使用這些高導熱率填料可能是昂貴的。

【0023】 本發明之至少一些實施例中的不織電絕緣紙包含由短纖維所製成的片材材料，例如：小於 1 吋（2.54 cm）長的纖維、較佳的是小於二分之一吋（1.27 cm）的纖維。在本發明的至少一個實施例中，不織紙中大部分的纖維是有機的。然而，例示性不織紙可包括小量的無機纖維(< 5 wt.%)。

【0024】 例示性不織紙可包括約 15 wt.%至約 50 wt.%、較佳為約 20 wt.%至約 30 wt.%之有機組分，其中一部分的有機組分為纖維性；以及約 50 wt.%至約 85 wt.%、較佳為約 70 wt.%至約 80 wt.%之無機組分。有機組分可包括有機纖維和黏合劑材料。一部分的無機組分包含導熱填料之一協同摻合物，其中該協同摻合物包含一主要導熱填料；以及一次要導熱填料。無機組分亦能包括：其他導熱填料、低導熱填料、其他無機填料、無機阻燃劑、無機顏料、以及其類似物。

【0025】 不織電絕緣紙包括導熱填料之一協同摻合物，其中該協同摻合物包含一主要導熱填料；以及一次要導熱填料。物品可經形成為用於電子設備的一絕緣紙，該電子設備諸如：變壓器、馬達、以及發電機。熱是電子變壓器、馬達、以及發電機的一非所欲副產物。可將本發明之絕緣紙用於層間絕緣，以使電子變壓器之相同繞組內的電導體連續層絕緣。線圈繞組內之導體和絕緣紙的多個交替層是在電子變壓器內之熱散逸為一挑戰的一個區域。在電子馬達或發電機中，槽

襯墊電絕緣係位於發熱導體線和更導熱的金屬材料之間。低導熱槽襯墊材料將是馬達或發電機內可限制熱散逸的一區域。

【0026】 本文中所述之例示性絕緣紙的較高導熱率可改善向電子裝置外的熱散逸，其導致較低的操作溫度。此外，來自較高導熱紙的改善熱散逸可允許裝置/線圈尺寸之減小，其中來自較高導熱紙的改善熱散逸/較低操作溫度可有助於補償裝置尺寸減小所導致的升高操作溫度，而不顯著改變裝置的操作溫度，其造成具有較低總系統材料成本的較小尺寸變壓器。

【0027】 關於如本文中所述之例示性導熱紙，或包括例示性導熱紙的導熱層壓體亦具有在電子馬達/發電機應用中用作槽襯墊的潛力，其中該槽襯墊係經用手/手動插入。馬達製造商為了馬達/發電機的改善熱散逸而希望有較高導熱率的槽襯墊絕緣材料。為了作為槽襯墊，絕緣材料必須具有足夠的可撓性，使得它可經彎曲和成形，以用於插入馬達定子及/或轉子中的插槽。

【0028】 舉例而言，導熱絕緣層壓體材料可包括本揭露之一導熱、電絕緣紙，其經層壓至聚合物膜表面。在一個例示性實施例中，聚合物膜可以是一導熱聚合物膜，諸如美國臨時專利申請案第 62/541,920 號和第 62/541,929 號中所描述者，其係藉由引用而將其全文併入本文中。在另一態樣中，導熱聚合物膜可以是一定向膜，其包括由聚對苯二甲酸乙二酯或聚萘二甲酸乙二酯所形成之定向層，還有分散在定向層內的實質球形氧化鋁粒子。氧化鋁粒子可以定向膜之自 20 wt.%至 40 wt.%的量存在。氧化鋁粒子具有以下 D99 值：20 微米

或更小、或 15 微米或更小、或 10 微米或更小，以及在以下範圍內之中值大小值：自 1 至 7 微米、或自 1 至 5 微米、或自 1 至 3 微米。

【0029】 在一個替代實施例中，導熱絕緣材料可具有導熱、電絕緣紙，其係經層壓至導熱聚合物膜的兩個表面。可選地，可將層壓黏著劑層配置在導熱、電絕緣紙和導熱聚合物膜之間，以將該等層接合在一起。

【0030】 在一些實施例中，可考慮較高水平的層壓體結構，其包括複數個交替的導熱、電絕緣紙和導熱聚合物膜層。

【0031】 適合的不織紙可包括有機纖維，諸如但不受限於：聚芳醯胺纖維，包括：間聚芳醯胺纖維和對聚芳醯胺纖維；聚苯硫(PPS)纖維；聚酯纖維；聚醯胺纖維、丙烯酸纖維、三聚氰胺纖維、聚二醚酮(PEEK)纖維、聚醯亞胺纖維、或其組合。有機纖維可組成不織紙之有機組分的約 40%至 80%。在一個例示性態樣中可使用纖維的組合。纖維之化學組成和尺寸可變化，並可經選擇以改善例示性不織紙的可製造性和最終性質。在一些實施例中，可組合種聚芳醯胺纖維（例如對聚芳醯胺纖維）和非聚芳醯胺纖維，以形成本揭露之不織紙。聚芳醯胺纖維與非聚芳醯胺纖維的比例可以是自約 15:1 至約 8:1。

【0032】 至少一部分的纖維性組份可具有高質量表面積(surface area per mass)，具有大於 10 m^2/g 的表面積。舉例而言，高表面積紙漿可促進在紙張形成過程中的紙漿體保留。為了增加不織紙中所用之纖維的表面積，可能所欲的是使一部分的纖維原纖化或紙漿化，以形成一紙漿。舉例而言，可用聚芳醯胺纖維紙漿來取代例示性不織紙的

一部分聚芳醯胺纖維。舉例而言，可用聚芳醯胺紙漿來取代例示性紙之聚芳醯胺纖維的 60%至 80%。

【0033】 在一些態樣中，電絕緣不織紙的無機組分可可選地包括一高表面積無機纖維，諸如具有平均直徑約 0.6 μm 或更小的玻璃微纖維。

【0034】 在本發明的至少一個實施例中，不織紙的有機組分亦包含一聚合黏合劑。聚合黏合劑可組成約 25%至 60%的有機組分。一適合的聚合物黏合劑可包括一基於乳膠的材料。在另一態樣中，適合的聚合物黏合劑可包括但不受限於：丙烯酸、丙烯酸共聚物、腈、苯乙烯乳膠、瓜爾膠、澱粉、以及天然橡膠乳膠。在一個實例中，電絕緣紙包含約 7 重量%至約 25 重量%的聚合物黏合劑。

【0035】 如上方所提及，電絕緣紙包含導熱填料之一協同摻合物，其中該協同摻合物包含一主要或第一導熱填料；以及一次要或第二導熱填料。第一導熱填料是具有高於或等於 40 W/m-K 的導熱率的一高導熱率填料。

【0036】 舉例而言，氮化硼經廣泛地分類為一高導熱填料，然而，取決於所參考的尺寸，氮化硼粒子的各向異性導致根本上不同的導熱率。六方氮化硼小板(platelet)粒子擁有各向異性導熱率，具有以下報導值：在(xy)底面方向上為 400 W/m-K，還有在(z)小板厚度方向為 2 W/m-K。在一經氮化硼粒子填充的複合材料中，小板定向和粒子對粒子的堆疊特性可影響所測量的複合材料導熱率。在文獻(P. Bujard et al, Thermal Phenomena in the Fabrication and Operation of

Electronic Components: I-THERM '88, InterSociety Conference, pp. 41-49, 1988)中已報導了一個 50 W/m-K 的各向異性導熱率。

【0037】 其他高導熱率填料包括氮化鋁(170 W/m-K)、以及碳化矽(360 W/m-K)。雖然金屬粒子（諸如：銅粒子、鐵粒子、鉛粒子、以及銀粒子，僅以此為例）都具有超過 100 W/m-K 的導熱率，但是將它們使用在本文中所述之例示性絕緣紙是不可能的，其原因在於它們的導電率。同樣地，不能將石墨和奈米碳管用在本發明的絕緣紙。

【0038】 具有小於 40 W/m-K 之較低導熱率的第二傳導填料可經選自熔融非晶形矽石(1.5 W/m-K)、二氧化鋯(~2 W/m-K)、氧化鋅(21 W/m-K)、以及氧化鋁(26 W/m-K)。

【0039】 此外，電絕緣不織紙的無機組分可包括另一無機填料。在一個態樣中，適合的其他無機填料包括但不受限於：高嶺黏土、滑石、雲母、碳酸鈣、微晶高嶺石、膨潤石、膨土、伊利石、綠泥石、海泡石、綠坡縷石、禾樂石、蛭石、合成鋰皂石、累托石、珍珠岩、以及其組合。此等其他無機填料可經表面處理，以促進將它們併入例示性紙中。適合類型的高嶺黏土包括但不受限於：水洗高嶺黏土；分層高嶺黏土；鍛燒高嶺黏土；以及經表面處理的高嶺黏土。在一個實例中，電絕緣紙包含自約 5 重量%至約 20 重量%的高嶺黏土。

【0040】 電絕緣不織紙的無機組分可可選地包括一無機阻燃劑。無機阻燃劑可以是任何適合的材料。適合的無機阻燃劑材料實例包括金屬氫氧化物，例如：氫氧化鎂(MgOH)和三水合氧化鋁(ATH)。無機阻燃劑可包含多達約 20 wt.%、較佳為多達約 15 wt.%的不織紙。在本

發明的一些態樣中，無機阻燃劑可具有充分高的導熱率，使得可將它用作第二導熱填料，或者是用作三級或第三導熱填料。舉例而言，ATH 具有在 10-30 W/m-K 之間的導熱率。

【0041】 可將本發明之不織紙（含有無機纖維和無機粒子中的一或兩者）稱為基於無機的紙。舉例而言，與完全基於有機的間聚芳醯胺紙相較之下，基於無機的紙提供了在電暈/局部放電存在之下而經改善的長期耐壓能力，其原因在於已知無機材料比有機材料更耐電暈得多。（參見例如 The Electrical Insulation Conference (EIC)/Electrical Manufacturing and Coil Winding (EMCW) Expo 2001, Cincinnati, Ohio 10/15-10/18/2001, High Temperature Electrical Insulation Short Course, p. 21）。舉例而言，與完全基於有機的間聚芳醯胺紙相較之下，基於無機的紙亦可提供較大的大小穩定性和較高的導熱率，為了改善熱散逸。

【0042】 在許多實施例中，電絕緣紙係經形成為一不織電絕緣紙，其可透過一標準紙製程而形成。舉例而言，配方的組分可在水中混合成漿體、在製紙篩上進行除水、以及進行乾燥。可壓延不織電絕緣紙以生產高密度紙，且/或可堆疊和壓延數種電絕緣紙片材，以直接熔化相鄰片材並產生一較厚的高密度紙。其結果是一可適合用於電子設備的不織、導熱、電絕緣紙，諸如用於在變壓器、馬達、發電機、或其他電子裝置內的電絕緣。

【0043】 在一些實施例中，例示性絕緣材料可進一步包括膜或篩孔的強化。在一個態樣中，與本文中所述之例示性電絕緣、導熱紙的

厚度相較之下，可將一相對薄的非導熱膜層壓至例示性紙，以用於機械或介電之強化，且與習知的絕緣紙層壓體相較之下，仍導致經改善的層壓體導熱率。舉例而言，可將一薄聚酯膜層壓至本文中所述之例示性紙的一或兩側。層壓可以是將膜對紙的直接層壓，或可進一步包含一層薄黏著劑層，以將膜接合至例示性紙。

【0044】 在替代態樣中，可將導熱膜層壓至本文中所述的例示性導熱紙，以最大化層壓體的導熱率。市售的導熱膜包括：可獲自 Fastel Adhesive Products (San Clemente, CA)的 Devinall THB 500 聚醯亞胺和 Devinall THB 300 聚醯亞胺，及可獲自 DuPont (Wilmington, DE)的 Kapton 200 MT 聚醯亞胺膜、Kapton 300 MT 醯亞胺膜。

實例

【0045】 以下實例及比較例係提供以幫助理解本發明，不應當被解讀為限制其範疇。除非另外指出，否則所有之份數及百分比係基於重量。以下測試方法及方案係用來評估以下之說明性實例及比較例。

材料

丙烯酸乳膠	可獲自 The Lubrizol Corp. (Cleveland, OH)的 Hycar 26362
丙烯酸纖維	可獲自 Mitsubishi Rayon Co. (Japan)的 VONNEL 1 MVP
p-聚芳醯胺紙漿	可獲自 Teijin Aramid (Netherlands)的 TWARON®聚芳醯胺紙漿 1094
p-聚芳醯胺纖維	可獲自 Teijin Aramid (Netherlands)的 TWARON®聚芳醯胺纖維 1080
hBN	可獲自 ESK Ceramics GmbH & Co. KG（一間 3M 之公司 (Kempten, Germany)）的 3M™氮化硼粉末等級 S3
FS-20	可獲自 3M Company (St. Paul, MN)的 3M™熔融矽石 20

FS-44C	可獲自 Imerys Refractory Materials (Greeneville, TN)的 Teco-sil 44C 熔融矽石
高嶺土	可獲自 KaMin, LLC (Macon, GA)之 HYDRAPRINT 的分層高嶺黏土
氧化鋁	可獲自 Almatis, Inc. (Leetsdale, PA)的管狀氧化鋁 T60/64 - 325 LI
ATH	可獲自 J.M. Huber Corporation (Atlanta, GA)的 Micral 9400D
碳酸鈣	可獲自 J.M. Huber Corporation (Atlanta, GA)的 Hubercarb W3N

樣本製備：

【0046】 用所屬技術領域中已知的方法製作例示性電絕緣不織紙，該方法如下：

用水將表 1 至 5 中所提供之一以下的混合物加以分散：10 wt.%的 p-聚芳醯胺紙漿（比表面積 12 至 15 m^2/g）、1.5 wt.%的丙烯酸纖維 (0.1 dtex × 3 mm)、3.5 wt.%的 p-聚芳醯胺纖維(1.7 丹尼× 6 mm)、以及 10 wt.%的丙烯酸乳膠和 75 wt.%的填料，以形成固體含量為約 0.06 重量%至 0.9 重量%的水性漿體。透過一製紙篩和加壓機來進行除水（Williams 標準紙漿測試設備)。接著對紙進行乾燥。

【0047】 在壓力 1000 PLI (179 kg/cm)和溫度約 370°F(188℃)至 380°F(193℃)之下，藉由在鋼輥之間以 3 ft/min (0.9 m/min)的速度壓延而形成壓延紙。表 1 至 6 提供了例示性紙的組成資訊和所測量性質。

製備不織/聚合物膜層壓體

【0048】 使用一邁耶棒(mayer rod) (#20 線大小)將一層壓黏著劑塗佈至一聚合物膜的表面上，接著在 250°F(121℃)之下，在一個實驗

室烘箱中對該聚合物膜進行乾燥 1 分鐘。接著以可獲自(Dow Chemical Company, Midland MI)的 ROBOND™ L-330/CR 9-101 層壓黏著劑、在一個實驗室熱軋層壓機中以 250°F(121℃)和 5 ft/min 將一壓延紙層層壓至該膜。重複此製程以將一第二壓延紙層施加至聚合物膜的另一側，以產生一紙/聚合物膜/紙層壓體。

測試方法

導熱率

【0049】 根據 ASTM E-1530，以一 Unitherm 模型 2021 防護熱流計來測量導熱率值。在 180℃下進行測量。不使用任何界面流體/材料來測量樣品，以避免界面流體/材料滲透電絕緣紙之多孔區域的任何潛在複雜化。在不使用界面流體的情況下，測試板表面和樣品材料表面之間的界面熱損失將被包括在導熱率測量中，其可使此處所報導的測量導熱率值低於實際固有材料的導熱率。將較薄的樣品堆疊在一起，直到熱電阻在儀器的校正範圍內為止。已發現到可獲自 DuPont Advanced Fibers Systems (Richmond, VA)之一習知 Nomex®紙類型 410 的導熱率為 0.10 W/m-K，且已發現到可獲自 3M Company (St. Paul, MN)之一習知 3M™ ThermaVolt 壓延無機絕緣紙層壓體的導熱率為 0.2 W/m-K。

纏繞可撓性

【0050】 目視評估纏繞可撓性，其係藉由將電絕緣材料纏繞於一直徑 2.54 mm (0.1")的桿，以觀察是否有充分的可撓性來纏繞於桿上而無任何破裂。

濕氣吸收

【0051】 樣品係經放置於一個環境室中，並經暴露於如表 9 中所提供的特定老化條件下 24 小時。判定水含量百分率，其係藉由重力分析，還有一個乾燥樣品與一個特定暴露後之樣品的比較。

額外測試方法

【0052】 根據以下標準測試程序來測量額外的機械性質、電子性質、以及物理性質。

性質	測試方法	標題
介電強度	ASTM D149-09	在商業電力頻率下之固體電氣絕緣材料的介電擊穿電壓及介電擊穿強度的標準測試方法 (Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Breakdown Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies)
MD 拉伸強度	ASTM D-828-97 (2002)	使用恆定速率伸長設備之紙與紙板拉伸性質的標準測試方法
伸長率(MD)	ASTM D-828-97 (2002)	使用恆定速率伸長設備之紙與紙板拉伸性質的標準測試方法
撕裂強度(CD)	ASTM D-689	紙之內撕裂抵性的標準測試方法
孔隙率	TAPPI T-460	紙之空氣阻力測試器的標準測試方法（Gurley 法）

【0053】 表 1 提供了一系列絕緣紙的組成和測量性質，該等絕緣紙具有不同量的單一高導熱填料（即氮化硼）和另一無機填料（即高嶺黏土）。已發現到高嶺黏土在除水期間有助於紙漿體的保留，因此在例示性和比較實例配方兩者中都包括了少量。

表 1.具氮化硼和黏土的導熱紙

（以 wt.% / vol.%提供組成）

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
p-聚芳醯胺紙漿	10/14.5	10/14.2	10/13.9	10/13.7	10/13.5	10/13.3
p-聚芳醯胺纖維	3.5/5.1	3.5/5.0	3.5/4.9	3.5/4.8	3.5/4.8	3.5/4.6
丙烯酸纖維	1.5/2.7	1.5/2.6	1.5/2.6	1.5/2.6	1.5/2.5	1.5/2.5
丙烯酸乳膠	10/17.4	10/17	10/16.7	10/16.5	10/16.2	10/15.9
氮化硼(S-3)	0/0	15/13.9	30/27.3	40/35.9	50/44.3	65/56.4
高嶺黏土	75/60.3	60/47.2	45/34.6	35/26.6	25/18.7	10/7.3
厚度(caliper)（密耳）	4.5	4.1	5.0	5.0	5.1	5.1
基礎重量（克/cm^2）	189	163	200	196	203	195
拉伸強度(lbs/in.)	30.3	25.2	29.1	25.7	22.6	23.6
伸長率(%)	1.61	1.52	1.51	1.51	1.31	1.4
介電強度（伏特/密耳）	602	643	765	847	987	1162
導熱率(W/m-K)	0.37	0.43	0.62	0.67	0.82	0.99
Gurley 孔隙率（sec/100 cc 空氣）	240	200	240	200	200	270
纏繞可撓性	是	是	是	是	是	是

【0054】 表 2 提供了一系列絕緣紙的組成和測量性質，該等絕緣紙在恆定量的另一無機填料（即高嶺黏土）存在之下，具有兩種熱填料之一協同摻合物。改變高導熱填料（即氮化硼）和低導熱填料（即矽石）的量，同時保持紙中的總無機物含量為恆定。

表 2.具氮化硼、熔融矽石、以及黏土的導熱紙

（以 wt.%/vol.%提供組成）

	實例 1	實例 2	實例 3
p-聚芳醯胺紙漿	10/13.3	10/13.3	10/13.3
p-聚芳醯胺纖維	3.5/4.6	3.5/4.6	3.5/4.6
丙烯酸纖維	1.5/2.5	1.5/2.5	1.5/2.5
丙烯酸乳膠	10/15.9	10/15.9	10/15.9
氮化硼(S-3)	0/0	15/13.0	50/43.4
FS-20	65/56.4	50/43.4	15/13.0
高嶺黏土	107.3	10/7.3	10/7.3
厚度(caliper)（密耳）	5.1	4.8	4.9
基礎重量（克/cm^2）	197	199	195
拉伸強度(lbs/in.)	26.3	27.5	25.8
伸長率(%)	1.83	1.60	1.66
介電強度（伏特/密耳）	274	400	911
導熱率(W/m-K)	0.38	0.47	0.89
Gurley 孔隙率（sec/100 cc 空氣）	184	184	220
纏繞可撓性	是	是	是

【0055】 表 3 提供了一系列絕緣紙的組成和測量性質，該等絕緣紙在恆定量的另一無機填料（即高嶺黏土）和 ATH 存在之下，具有兩種熱填料之一協同摻合物。改變高導熱填料（即氮化硼）和低導熱填料（即矽石）的量，同時保持紙中的總無機物含量為恆定。

表 3.具氮化硼、熔融矽石、ATH、以及黏土的導熱紙

（以 wt.%/vol.%提供組成）

	實例 4	實例 5	實例 6	實例 7	實例 8
p-聚芳醯胺紙漿	10/13.4	10/13.4	10/13.4	10/13.4	10/13.4
p-聚芳醯胺纖維	3.5/4.7	3.5/4.7	3.5/4.7	3.5/4.7	3.5/4.7
丙烯酸纖維	1.5/2.5	1.5/2.5	1.5/2.5	1.5/2.5	1.5/2.5
丙烯酸乳膠	10/16.1	10/16.1	10/16.0	1016.0	10/16.0
氮化硼(S-3)	0/0	10/8.8	15/13.1	15/13.1	30/26.2
FS-20	50/43.9	40/35.1	40/35.0	0/0	25/21.9
FS-44C	0/0	0/0	0/0	40/35.0	0/0

ATH	15/12.0	15/12.0	10/7.9	10/7.9	10/7.9
高嶺黏土	10/7.4	10/7.4	10/7.4	107.4	10/7.4
厚度(caliper)（密耳）	4.8	4.9	5.1	5.2	5.53
基礎重量（克/cm^2）	187	189	208	207	212
拉伸強度(lbs/in.)	26.8	26.0	27.0	27.8	25.7
伸長率(%)	1.82	1.76	1.50	1.60	1.52
介電強度（伏特/密耳）	299	349	391	355	439
導熱率(W/m-K)	0.43	0.58	0.56	0.60	0.80
Gurley 孔隙率（sec/100 cc 空氣）	185	201	186	162	244
纏繞可撓性	是	是	是	是	是

【0056】 表 4 提供了一系列絕緣紙的組成和測量性質，該等絕緣紙在恆定量的另一無機填料（即高嶺黏土）存在之下，具有兩種熱填料之一協同摻合物。改變高導熱填料（即氮化硼）和低導熱率填料/阻燃劑（即 ATH）的量，同時保持紙中的總無機物含量為恆定。

表 4.具氮化硼、ATH、以及黏土的導熱紙

（以 wt.%/vol.%提供組成）

	實例 9	實例 10	實例 11
p-聚芳醯胺紙漿	10/13.7	10/13.5	10/13.1
p-聚芳醯胺纖維	3.5/4.8	3.5/4.7	3.5/4.6
丙烯酸纖維	1.5/2.5	1.5/2.5	1.5/2.5
丙烯酸乳膠	10/16.5	10/16.2	10/15.8
氮化硼(S-3)	15/14.1	30/27.7	50/45.0
ATH	50/40.8	35/28.0	15/11.7
高嶺黏土	10/7.6	10/7.4	107.3
厚度(caliper)（密耳）	4.9	4.9	5.1
基礎重量（克/cm^2）	195	189	203
拉伸強度(lbs/in.)	25.4	21.7	25.2
伸長率(%)	1.73	1.51	1.66
介電強度（伏特/密耳）	406	469	923
導熱率(W/m-K)	0.59	0.74	0.98
Gurley 孔隙率（sec/100 cc 空氣）	228	240	256
纏繞可撓性	是	是	是

【0057】 表 5 提供了一系列絕緣紙的組成和測量性質，該等絕緣紙在恆定量的另一無機填料（即高嶺黏土）和 ATH 存在之下，具有兩種熱填料之一協同摻合物。改變高導熱填料（即氮化硼）和低導熱填料（即氧化鋁）的量，同時保持紙中的總無機物含量為恆定。已發現到黏土有助於紙漿體的保留，因此在配方中包括了少量。

表 5.具氮化硼、氧化鋁、ATH、以及黏土的導熱紙

（以 wt.%/vol.%提供組成）

	實例 12	實例 13
p-聚芳醯胺紙漿	10/15.6	10/13.9
p-聚芳醯胺纖維	3.5/5.5	3.5/4.9
丙烯酸纖維	1.5/2.9	1.5/2.6
丙烯酸乳膠	10/18.8	10/16.7
氮化硼(S-3)	15/16.1	40/38.2
氧化鋁	40/23.1	15/7.7
ATH	10/9.3	10/8.3
高嶺黏土	10/8.7	10/7.7
厚度(caliper)（密耳）	4.7	5.1
基礎重量（克/cm^2）	212	210
拉伸強度(lbs/in.)	23.9	20.9
伸長率(%)	1.6	1.44
介電強度（伏特/密耳）	362	631
導熱率(W/m-K)	0.61	0.68
Gurley 孔隙率（sec/100 cc 空氣）	235	280
纏繞可撓性	是	是

【0058】 表 6 提供了一系列絕緣紙的組成和測量性質，該等絕緣紙在另一無機填料（即高嶺黏土）存在之下，具有兩種熱填料之一協

同摻合物。改變高導熱填料（即氮化硼）和低導熱填料（即碳酸鈣、或碳酸鈣和 ATH）的量，同時保持紙中的總無機物含量為恆定。

表 6.具氮化硼、碳酸鈣、ATH、以及黏土的導熱紙；

氮化硼、碳酸鈣、以及黏土（以 wt. %/vol.%提供組成）

	實例 14	實例 15
p-聚芳醯胺紙漿	10.0/14.2	10/13.6
p-聚芳醯胺纖維	3.5/5.0	3.5/4.7
丙烯酸纖維	1.5/2.7	1.5/2.5
丙烯酸乳膠	10/17.1	10/16.3
氮化硼(S-3)	10/9.8	40/37.2
碳酸鈣	30/22.8	20/14.5
ATH	15/12.7	0/0
高嶺黏土	20/15.8	15/11.3
厚度(caliper)（密耳）	4.7	4.7
基礎重量（克/cm^2）	195	178
拉伸強度(lbs/in.)	33.3	30
伸長率(%)	2.0	2.1
介電強度（伏特/密耳）	647	938
導熱率(W/m-K)	0.56	0.80
Gurley 孔隙率（sec/100 cc 空氣）		320
纏繞可撓性	是	是

【0059】 表 7 顯示三種紙/聚合物膜/紙層壓體結構（實例 16 至實例 18）的數據，該紙/聚合物膜/紙層壓體結構係藉由將實例 14 的導熱紙層壓至指定聚合物膜而製成。所使用的膜是標準聚酯(PET)膜，諸如：可獲自 Mitsibushi Polyester Film (Greer, South Carolina) 的 Hostaphan 2262、可獲自 JBF RAK LLC (United Arab Emerites)的 ARYAPET A460、以及來自 3M Company (St. Paul, MN)的 777 和 860 系列聚酯膜；高導熱率聚酯膜(HTCD PET)膜，諸如美國臨時專利申

請案號 62/541,920 中所描述者，係藉由引用而將其併入本文中；以及聚醯亞胺膜，諸如可獲自 Fastel Adhesive & Substrate Products (San Clemente, CA)的 Devinall™ 500 THB 聚醯亞胺膜。

表 7.導熱紙/聚合物膜/紙層壓體材料

	實例 16	實例 17	實例 18
膜層	PET	HTCD PET	PI
膜厚度（密耳/μm）	2.0/51	2.0/51	5.0/127
層壓體厚度（密耳）	8.0	7.2	12
基礎重量（克/cm^2）	295	279	466
拉伸強度(lbs/in.)	74	51	108
伸長率(%)	6.7	5.6	6.1
CD 撕裂強度	336	208	400
介電強度（伏特/密耳）	1352	1219	1017
導熱率(W/m-K)	0.29	0.39	0.37

【0060】 表 8 顯示市售、基於無機的紙層壓體之性質。表 8 所包括的商業性紙層壓體是可獲自 3M Company (St. Paul, MN)的 3M™ ThermaVolt TvFTv 可撓式層壓體。作為參考，測量到額外電絕緣層壓體具有 0.12 W/m-K 的導熱率值，該電絕緣層壓體諸如可獲自 Dupont (Wilmington, DE)的 Nomex-Mylar-Nomex (3-3-3)（諸如 NMN 333 NOMEX®層壓體類型 NMN）。

表 8.商業性、基於無機的紙層壓體之選擇性質

物理性質	TvFTv 3-1-3	TvFTv 4-2-4	TvFTv 3-3-3
標稱厚度（密耳）	7	10	9
基本重量(lbs/yd^2)	254	388	327
機器方向拉伸(lbs/in.)	52	87	101
交叉方向拉力(lbs/in.)	33	63	77
機器方向伸長率(%)	2	3	3
交叉方向伸長率(%)	3	3	3
機器方向撕裂(g)	170	400	480
交叉方向撕裂(g)	200	498	588
濕氣吸收(%)	< 1	< 1	< 1
介電崩潰電壓(kV)	7.6	11	11
導熱率(W/m-K)	0.19	0.21	

【0061】 測定以下的濕氣（水）吸收含量：例示性紙（實例 14）和例示性層壓體結構（實例 17），還有習知的紙（NOMEX®類型 410 - 3 密耳）和習知的層壓體材料（NMN 333 NOMEX®層壓體類型 NMN），兩者皆可獲自 Dupont (Wilmington, DE)。

表 9.例示性導熱絕緣紙和層壓材料與習知絕緣紙和層壓材料的濕氣吸收比較

	老化條件		
	相對溼度	溫度	濕氣吸收
實例 14	45%	22℃	0.6%
實例 14	95%至 99%	26℃	1.4%
實例 17	95%至 99%	26℃	1.7%
Nomex™ 410	45%	22℃	2.7%
Nomex™ 410	45%	26℃	6.6%
NMN 333	95%至 99%	26℃	2.6%

【0062】 圖 1 是一張顯示所選數據的圖，其說明與類似的紙相較之下，第一和第二導熱填料的摻合物與表 2 至 5 中之不織紙之導熱率的協同效應，該類似的紙具有一單一高導熱填料（即表 1 中之氮化硼）其隨著存在於紙中之氮化硼體積百分率而變動。比起可從僅單獨具有氮化硼之紙配方所獲得的導熱率，以下組合實現了在較低氮化硼裝載下的較高導熱率：氮化硼和氧化鋁、氮化硼和矽石、以及氮化硼和 ATH。由於氮化硼是昂貴的，所以在較低裝載下獲得較高導熱率值之能力是有用的。

【0063】 針對包含至少兩種導熱填料之組合的例示性電絕緣紙，所計算總導熱率係數等於各個別組分的體積分率乘以各個別組分的導熱率之總和，或 $k_p = \Sigma (V_{f,i} \times k_i)$，其中 k_p 是例示性紙的總導熱率係數，$V_{f,i}$ 是給定組分的體積分率，i，本例示性紙，k_i 是組分 i 的導熱率係數。針對比較實例所代表的各種紙（即包括一單一導熱填料的導熱紙）重複類似方法。

【0064】 由針對例示性紙材料的所計算總導熱率係數，計算出計算相對導熱率因子，並藉由所計算之含有一單一導熱填料（即比較實例中所提供的氮化硼）之紙的總導熱率係數來進行該因子的正規化。相對導熱係數因子等於一例示性紙（具有至少兩種導熱填料）的經計算總導熱係數，減去僅單獨具有氮化硼之紙的經計算總導熱係數，除以具有氮化硼之紙的經計算總導熱係數。

【0065】 接著計算一例示性紙材料（包含至少兩種導熱填料的組合）之實際測量導熱率的測量相對導熱率因子，並將該因子正規化成

導熱紙（包含一單一導熱填料，氮化硼）的測量導熱率。藉由取例示性紙（包含至少兩種導熱填料）之一的測量導熱率，並減去以氮化硼作為唯一導熱填料之紙的測量導熱率，且除以在大致相同的氮化硼裝載下、減去以氮化硼作為唯一導熱填料之紙的測量導熱率，會發現到一例示性紙材料（包含至少兩種導熱填料的組合）的測量相對導熱率因子。

【0066】 圖 2 在相當的氮化硼體積分率裝載下，比較了所測量之相對導熱率因子和所計算之相對導熱率因子。圖顯示出當考慮不同粒子組分的體積裝載差異時，具有至少兩種導熱填料之紙的測量的相對導熱率因子（三角形符號）高於計算的相對導熱率因子（圓形符號）。實心符號代表具有導熱填料（氮化硼、熔融矽石、以及三水合氧化鋁）的一三級摻合物的例示性紙的數據且空心符號代表具有導熱填料（氮化硼和三水合氧化鋁）的一二元摻合物的例示性紙的數據。

【0067】 雖在本文中為了敘述較佳實施例之目的以具體實施例進行說明及敘述，但所屬技術領域中具有通常知識者將瞭解可以替代及/或均等實施來替換所示及所描述的具體實施例，而不偏離本發明的範疇。本申請案意欲涵括本文所討論之較佳實施例的任何調適形式或變化形式。因此，本發明意圖僅受限於申請專利範圍及其均等者。

201821587

發明摘要

※ 申請案號：

※ 申請日：　　※IPC分類：

【發明名稱】 導熱電絕緣材料

THERMALLY CONDUCTIVE ELECTRICAL INSULATION MATERIAL

【中文】

所描述者是一種導熱、電絕緣紙，其具有高於 0.4 W/m-K 的導熱率。該導熱、電絕緣紙是一不織紙，其包含聚芳醯胺纖維、聚芳醯胺紙漿、以及黏合劑材料；及導熱填料之一協同摻合物，其中該協同摻合物包含一主要導熱填料；以及一次要導熱填料。

【英文】

A thermally conductive, electrical insulating paper having a thermal conductivity greater than 0.4 W/m-K is described. The thermally conductive, electrical insulating paper is a nonwoven paper that comprises aramid fibers, an aramid pulp, a binder material; and a synergistic blend of thermally conductive fillers, wherein the synergistic blend comprises a primary thermally conductive filler; and a secondary thermally conductive filler.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：圖 1

【本代表圖之符號簡單說明】：

無

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

申請專利範圍

1. 一種導熱、電絕緣紙，其包含：

聚芳醯胺纖維；

一聚芳醯胺紙漿；

一黏合劑材料；以及

導熱填料之一協同摻合物，其中該協同摻合物包含一第一導熱填料；以及一次要導熱填料。

2. 如請求項 1 之紙，其進一步包含丙烯酸纖維。

3. 如請求項 1 之紙，其進一步包含一其他無機填料。

4. 如請求項 3 之紙，其中該其他無機填料包含以下之至少一者：高嶺黏土、滑石、雲母、碳酸鈣、三水合氧化鋁、微晶高嶺石(montmorillonite)、膨潤石(smectite)、膨土(bentonite)、伊利石(illite)、綠泥石(chlorite)、海泡石(sepiolite)、綠坡縷石(attapulgite)、禾樂石(halloysite)、蛭石(vermiculite)、合成鋰皂石(laponite)、累托石(rectorite)、珍珠岩(perlite)、以及其組合。

5. 如請求項 3 之紙，其中該其他無機填料包含高嶺黏土。

6. 如請求項 1 之紙，其進一步包含一三級導熱填料。

7. 如請求項 1 至 6 中任一項之紙，其中該第一導熱填料是具有高於或等於 40 W/m-K 的一導熱率的一高導熱率填料，且該第二導熱填料是具有低於 40 W/m-K 的一導熱率的一低導熱率填料。

8. 如請求項 1 至 6 中任一項之紙，其中該第一導熱填料是氮化硼，且該第二導熱填料是以下之至少一者：矽石、氧化鋁、碳酸鈣、以及三水合氧化鋁。

9. 如請求項 1 至 6 中任一項之紙，其中該黏合劑材料是一聚合物乳膠材料，且其中該聚合物乳膠是以下之至少一者：一丙烯酸乳膠、一

丙烯酸共聚物乳膠、一腈乳膠、以及一苯乙烯乳膠。

10. 如請求項 1 至 6 中任一項之紙，其中該黏合劑材料是一丙烯酸乳膠。

11. 如請求項 1 至 6 中任一項之紙，其中該紙的該導熱率高於 0.4 W/m-K。

12. 如請求項 1 至 6 中任一項之紙，其中該聚芳醯胺纖維是具有小於 0.5 in 之一長度的對聚芳醯胺纖維。

13. 如請求項 1 至 6 中任一項之紙，其中該聚芳醯胺紙漿是一對聚芳醯胺紙漿。

14. 如請求項 1 至 6 中任一項之紙，其中該紙不含纖維素。

15. 一種導熱、電絕緣紙，其包含：

20 wt.%至 30 wt.%的有機組分，其中一部分的該等有機組分為纖維性；以及

70 wt.%至 80 wt.%的無機組分，其中一部分的該無機組分為導熱填料之一協同摻合物，其中該協同摻合物包含一第一導熱填料；以及一次要導熱填料。

16. 如請求項 15 之紙，其中該等有機組分包含以下之一組合：聚合物纖維、一聚合物紙漿、以及黏合劑材料。

17. 如請求項 16 之紙，其中該等聚合物纖維包含以下之至少一者：聚芳醯胺纖維、聚苯硫(PPS)纖維、聚酯纖維、聚醯胺纖維、丙烯酸纖維、三聚氰胺纖維、聚二醚酮(PEEK)纖維；且該黏合劑材料是一聚合物乳膠材料，其中該聚合物乳膠是以下之至少一者：一丙烯酸乳膠、一腈乳膠、以及一苯乙烯乳膠。

18. 如請求項 16 之紙，其中該等有機組分包含以下之一組合：對聚芳醯胺纖維、丙烯酸纖維；一對聚芳醯胺紙漿以及一丙烯酸乳膠黏合劑材料。

19. 如請求項 15 至請求項 18 中任一項之紙，其中該等無機組分進一步包含以下之至少一者：其他無機填料、無機阻燃劑、以及無機顏料。
20. 如請求項 15 之紙，其進一步包含一其他無機填料。
21. 如請求項 20 之紙，其中該其他無機填料是高嶺黏土。
22. 如請求項 15 至請求項 18 中任一項之紙，其中該第一導熱填料是具有高於或等於 40 W/m-K 的一導熱率的一高導熱率填料，且該第二導熱填料是具有低於 40 W/m-K 的一導熱率的一低導熱率填料。
23. 如請求項 15 至請求項 18 中任一項之紙，其中該第一導熱填料是氮化硼，且該第二導熱填料是以下之至少一者：矽石、氧化鋁、碳酸鈣、以及三水合氧化鋁。
24. 如請求項 15 之紙，其中該物品實質上不含纖維素。
25. 一種用於電子設備的電絕緣材料，其中該電絕緣材料包含如請求項 1 或請求項 15 之紙。
26. 如請求項 25 之絕緣系統，其中該電子設備包含以下之一者：一變壓器、一馬達、以及一發電機。
27. 一種導熱絕緣材料，其包含：

    如請求項 1 至請求項 6、請求項 15 至請求項 18 或請求項 20 至請求項 21 中任一項之導熱、電絕緣紙，其經層壓至一聚合物膜的一表面。
28. 如請求項 27 之導熱絕緣材料，其中該聚合物膜是一導熱聚合物膜。
29. 如請求項 27 之導熱絕緣材料，其中該導熱、電絕緣紙經層壓至該導熱聚合物膜的兩個表面。
30. 如請求項 27 之導熱絕緣材料，其進一步包含一層壓黏著劑層，其經配置在該導熱、電絕緣紙與該導熱聚合物膜之間。
31. 一種用於電子設備的電絕緣材料，其中該電絕緣材料包含如請求項 27 之導熱絕緣材料。

圖式

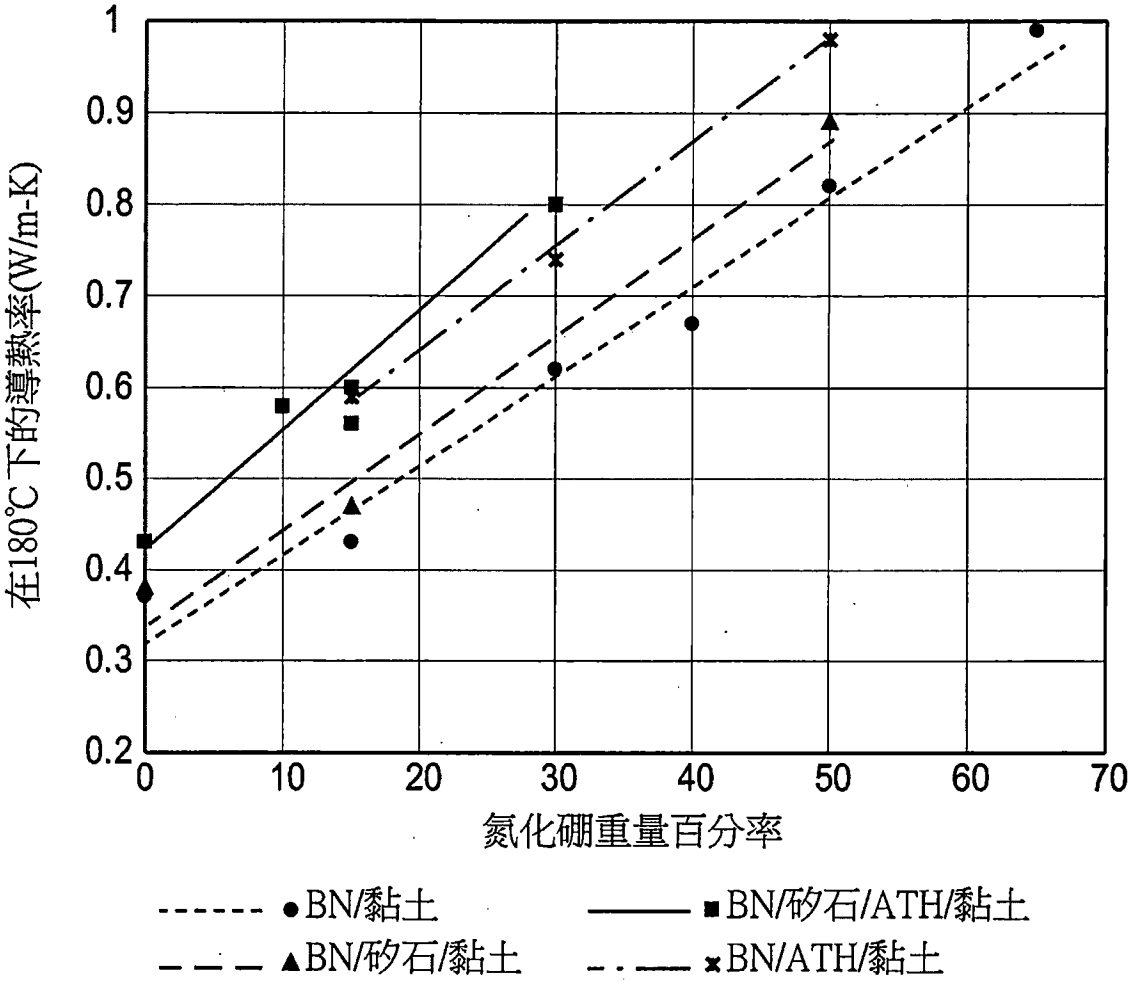

在180°C下的導熱率(W/m-K)
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0
10
20
30
40
50
60
70
氮化硼重量百分率
●BN/黏土
■BN/矽石/ATH/黏土
▲BN/矽石/黏土
×BN/ATH/黏土

圖1

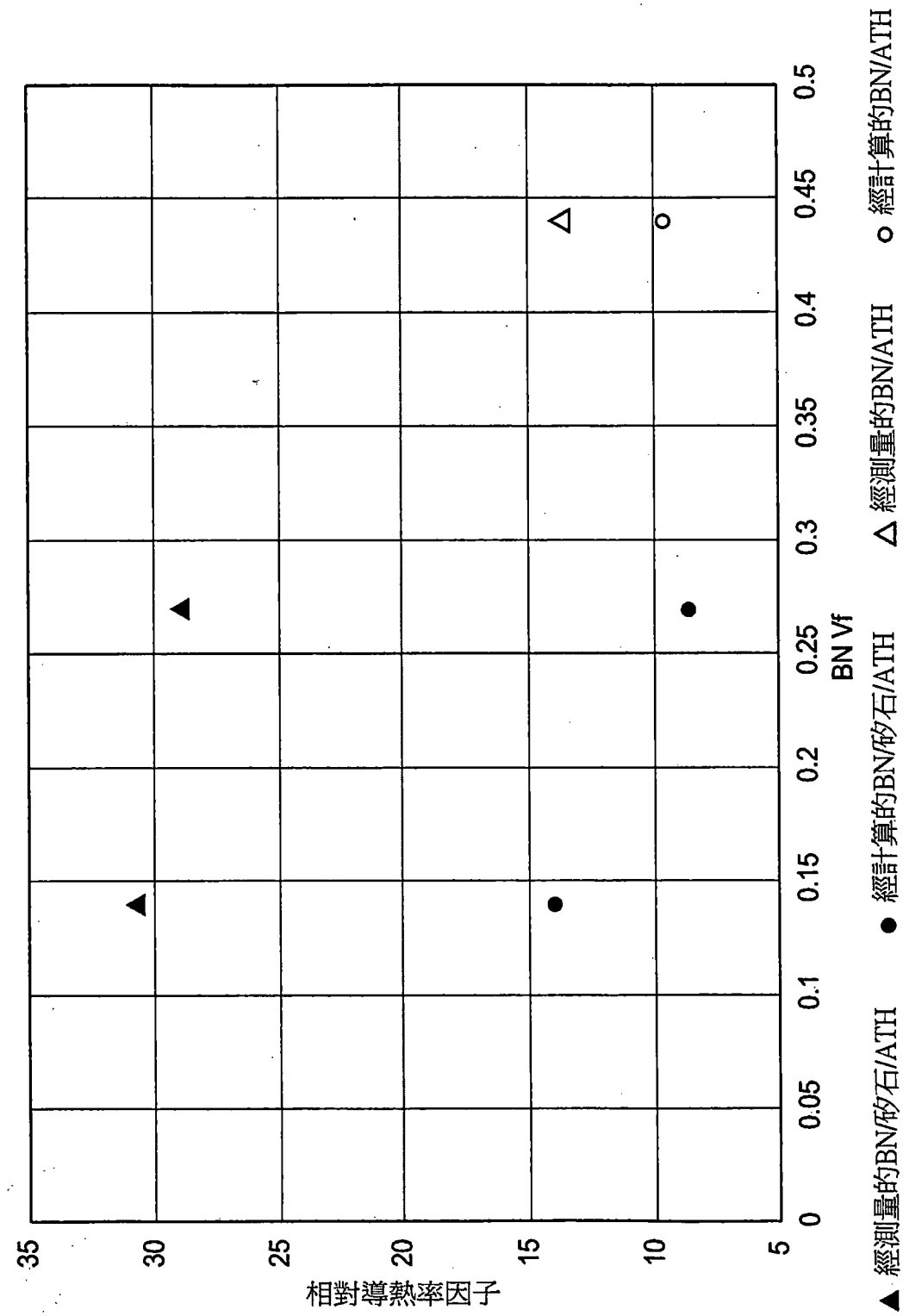

相對導熱率因子
35
30
25
20
15
10
5
0
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35
0.4
0.45
0.5
BN Vf
▲ 經測量的BN/矽石/ATH
● 經計算的BN/矽石/ATH
△ 經測量的BN/ATH
o 經計算的BN/ATH

圖2

發明專利說明書

（本說明書格式、順序，請勿任意更動）

【發明名稱】 導熱電絕緣材料

THERMALLY CONDUCTIVE ELECTRICAL INSULATION MATERIAL

【技術領域】

【0001】 本發明係關於適合用於電絕緣應用之材料。具體而言，本發明係關於電絕緣材料，其適合用於變壓器、馬達、發電機、以及其他電子裝置。具體而言，本技術係關於一導熱電絕緣材料，其具有導熱填料之一協同摻合物。

【先前技術】

【0002】 熱是電子變壓器、馬達、發電機、以及其他電子裝置的一非所欲副產物。較高的操作溫度一般會降低裝置之壽命和可靠度，並對實際的裝置設計施以設計限制。用於電子變壓器、馬達、以及發電機之電絕緣材料（諸如習知的電絕緣紙）經常是不良的導熱體，並可限制裝置的熱散逸。

【0003】 改善電子裝置的熱轉移性能可以習知電子裝置設計來提供較低之溫度增加，或可實現新的較小電子裝置之設計。根據 Arrhenius 方程式，較低的裝置操作溫度提供了經改善之可靠度，該方程式推論，操作溫度增加 10℃將使絕緣材料之壽命縮短一半。較低的裝置操作溫度亦可藉由減少電阻（焦耳熱）損失來改善電子裝置的效率。較低的裝置操作溫度亦可使電子裝置以更高的功率水平運行，或提供較高的過載容量。較低的溫度提升亦能使裝置重新設計成更精巧

的裝置尺寸，並藉由使用較少量的金屬來更有效地使用原料，其可降低裝置系統總成本。

【0004】 藉由將熱轉移介質改變為具有較高導熱率的熱轉移介質，或藉由將具有較高熱阻之材料替換為具有較低熱阻或較高導熱率的材料，可改善熱轉移性能。

【0005】 被用在電絕緣的紙張包括：牛皮紙或基於纖維素的紙、有機紙、無機/有機混成紙、以及無機紙。適合用於本發明的市售不織紙實例包括：可獲自 3M Company, USA 者（商標名為 CeQUIN），包括但不受限於：CeQUIN I（約 90%的無機物含量）、CeQUIN II [CeQUIN I 的雙層(ply)複合物]、CeQUIN X（用於 B 階應用的增強濕強度）、以及 CeQUIN 3000（約 74%的無機含量加有機纖維強化）；ThermaVolt 無機絕緣紙、ThermaVolt AR 無機絕緣紙、FLAME BARRIER FRB，包括但不受限於：FLAME BARRIER-FRB-NT 壓延絕緣紙和 FLAME BARRIER FRB-NC 未壓延絕緣紙。來自 DuPont (www2.dupont.com) 的市售電絕緣材料實例可獲自商標名為 NOMEX，包括但不受限於：NOMEX 紙類型 410、類型 411（較低密度版）、類型 414、類型 418（包括雲母）、類型 419（類型 418 的較低密度版）、以及類型 E56。來自 SRO Group (China) Limited 的市售電絕緣材料實例可以商標名 X-FIPER 獲得；及來自 Yantai Metastar Special Paper Co., Ltd., China，其可以商標名 METASTAR 獲得。

【0006】 一般將許多這些習知的紙用於高溫電絕緣應用中，其中這些紙的熱穩定性、電性質、以及機械性質是重要的。

【0007】 習知的電絕緣紙一般具有 0.25 W/m-K 或更低的導熱率。當這些紙被用於電磁線圈繞組時，導體中所產生的熱累積，且線圈的溫度升高，其原因在於不能將熱有效地運輸至線圈繞組之外。由於熱積聚的緣故（由於習知電絕緣紙之相對低的導熱率），線圈的功率密度受到限制。

【0008】 因此，需要電絕緣紙較高的導熱率，其可改善熱散逸，並對以下提供較低的裝置操作和熱點溫度：電子變壓器、馬達、發電機、以及其他電子裝置。

【發明內容】

【0009】 在特定電絕緣應用中需要具有較高導熱率性的材料，其在電子設備應用中達到適合的性能。

【0010】 本發明之材料適合用於使以下之電子組件絕緣：電子變壓器、馬達、發電機、以及其他需要電子組件絕緣的裝置。

【0011】 本發明的至少一些實施例提供了一導熱、電絕緣紙。該導熱、電絕緣紙是一不織紙，其包含聚芳醯胺纖維、聚芳醯胺紙漿、以及黏合劑材料；及導熱填料之一協同摻合物，其中該協同摻合物包含一主要導熱填料；以及一次要導熱填料。紙可額外包括以下之至少一者：丙烯酸纖維、一低導熱無機填料（諸如高嶺黏土）、以及一阻燃劑。

【0012】 在其他實施例中，導熱、電絕緣紙包含：20 wt.%至 30 wt.%的有機組分，其中一部分的該有機組分為纖維性；70 wt.%至 80 wt.%的無機組分，其中一部分的該無機組分是導熱填料之一協同摻合

物，其中該協同摻合物包含一主要導熱填料；以及一次要導熱填料。有機組分包含以下之組合：聚合物纖維、聚合物紙漿、以及黏合劑材料。且在一些態樣中，紙包括以下之組合：對聚芳醯胺纖維、丙烯酸纖維；對聚芳醯胺紙漿以及丙烯酸乳膠黏合劑材料。在一些實施例中，無機組分進一步包括以下之至少一者：低導熱填料、無機阻燃劑、以及無機顏料。

【0013】 在一個例示性態樣中，第一導熱填料是具有高於或等於 40 W/m-K 的導熱率的一高導熱率填料，且第二導熱填料是具有低於 40 W/m-K 的導熱率的一低導率熱填料。在一些實施例中，第一導熱填料是氮化硼，且第二導熱填料是以下之至少一者：矽石、氧化鋁、以及 ATH。在本文中所述之例示性紙的導熱率高於 0.4 W/m-K。

【0014】 在一個例示性態樣中，例示性紙不含纖維素，且紙因而具有適合用於以下電絕緣系統熱等級的高熱穩定性：熱等級 155（等級 F）、180（等級 H）、200（等級 N）、以及 220（等級 R）。

【0015】 當用於本說明書中時：

「不含纖維素(cellulose free)」意指僅含有痕量之基於纖維素的材料，例如：含有少於 0.5 wt.%之基於纖維素的材料，較佳的是含有少於 0.1 wt.%之基於纖維素的材料，更佳的是未含有基於纖維素的材料；

「直接熔融(directly fused)」意指未具有諸如黏著劑層的中介層；

「不織紙(nonwoven paper)」意指主要包含短纖維的一片材材料；

「短纖維(short fibers)」意指小於一吋長的纖維；

「MD」或「機器方向(machine direction)」指的是平行於連續材料片材之繞緊方向的方向；以及

「其他無機填料(other inorganic filler)」是具有小於 0.6 W/m-K 的導熱率之一無機填料。

【0016】 本文中所述之不織紙的至少一個實施例之優點是其在相同整體導熱填料濃度之下，達到比具有單一高導熱率填料之材料更高的導熱率，同時具有充分的介電強度和良好的機械強度。所揭示之不織紙的另一特質包括高溫熱穩定性，舉例而言，例示性材料適合用於以下電絕緣系統熱等級：熱等級 155（等級 F）、180（等級 H）、200（等級 N）、以及 220（等級 R）。例示性絕緣紙表現出良好的可撓性，以在線圈內實現捲繞或成形，其能使該等絕緣紙被使用於電子變壓器、馬達、發電機、以及其他需要電子組件絕緣的裝置。

【0017】 以上之本發明概述並非意欲說明本發明所揭露的各實施例或是每一個實施方案。下方之詳述更具體地說明了本發明的實施例。

【圖式簡單說明】

【0018】 以下將部分參照本發明中的非限制性實例並參照圖式來描述本發明，其中：

圖 1 是顯示導熱率增強的圖，該增強係由於根據本發明之例示性導熱、電絕緣紙中之導熱填料的協同摻合物。

圖 2 是藉由比較經計算和測量的相對導熱率因子、顯示根據本發明之例示性導熱、電絕緣紙的導熱率改善圖。

【0019】 雖然本發明可具有各種修改與替代形式，但已在圖式中以實例方式顯示其中細節且將詳細描述。不過，應瞭解，並未意圖將本發明限制於所描述的具體實施例。相反地，本發明應涵蓋所有落於如隨附申請專利範圍所定義的本發明之範疇內之修改例、均等例與替代例。

【實施方式】

【0020】 在以下說明書中，要理解的是，其他實施例係經設想並可加以實現，而不偏離本發明的範疇。因此，以下之詳細敘述並非作為限定之用。

【0021】 除非另有所指，本說明書及申請專利範圍中用以表達特徵之尺寸、數量、以及物理特性的所有數字，皆應理解為在所有情況下以用語「約(about)」修飾之。因此，除非另有相反指示，否則在本說明書以及隨附申請專利範圍中所提出的數值參數係近似值，其可依據所屬技術領域中具有通常知識者運用本文所揭示之教示所欲獲得的所欲特性而有所不同。按端點使用之數字範圍包括在該範圍內的所有數字和任何值（例如：1 至 5 包括：1、1.5、2、2.75、3、3.80、4、以及 5）。

【0022】 改善材料之導熱率的習知手段是將最高裝載的最高導熱填料放進材料中。高導熱率填料包括具有大於 50 W/m-K 之導熱率的

填料，且包括碳奈米管、金剛石粒子、以及氮化硼。在絕緣紙中例行性使用這些高導熱率填料可能是昂貴的。

【0023】 本發明之至少一些實施例中的不織電絕緣紙包含由短纖維所製成的片材材料，例如：小於 1 吋（2.54 cm）長的纖維、較佳的是小於二分之一吋（1.27 cm）的纖維。在本發明的至少一個實施例中，不織紙中大部分的纖維是有機的。然而，例示性不織紙可包括小量的無機纖維(< 5 wt.%)。

【0024】 例示性不織紙可包括約 15 wt.%至約 50 wt.%、較佳為約 20 wt.%至約 30 wt.%之有機組分，其中一部分的有機組分為纖維性；以及約 50 wt.%至約 85 wt.%、較佳為約 70 wt.%至約 80 wt.%之無機組分。有機組分可包括有機纖維和黏合劑材料。一部分的無機組分包含導熱填料之一協同摻合物，其中該協同摻合物包含一主要導熱填料；以及一次要導熱填料。無機組分亦能包括：其他導熱填料、低導熱填料、其他無機填料、無機阻燃劑、無機顏料、以及其類似物。

【0025】 不織電絕緣紙包括導熱填料之一協同摻合物，其中該協同摻合物包含一主要導熱填料；以及一次要導熱填料。物品可經形成為用於電子設備的一絕緣紙，該電子設備諸如：變壓器、馬達、以及發電機。熱是電子變壓器、馬達、以及發電機的一非所欲副產物。可將本發明之絕緣紙用於層間絕緣，以使電子變壓器之相同繞組內的電導體連續層絕緣。線圈繞組內之導體和絕緣紙的多個交替層是在電子變壓器內之熱散逸為一挑戰的一個區域。在電子馬達或發電機中，槽

襯墊電絕緣係位於發熱導體線和更導熱的金屬材料之間。低導熱槽襯墊材料將是馬達或發電機內可限制熱散逸的一區域。

【0026】 本文中所述之例示性絕緣紙的較高導熱率可改善向電子裝置外的熱散逸，其導致較低的操作溫度。此外，來自較高導熱紙的改善熱散逸可允許裝置/線圈尺寸之減小，其中來自較高導熱紙的改善熱散逸/較低操作溫度可有助於補償裝置尺寸減小所導致的升高操作溫度，而不顯著改變裝置的操作溫度，其造成具有較低總系統材料成本的較小尺寸變壓器。

【0027】 關於如本文中所述之例示性導熱紙，或包括例示性導熱紙的導熱層壓體亦具有在電子馬達/發電機應用中用作槽襯墊的潛力，其中該槽襯墊係經用手/手動插入。馬達製造商為了馬達/發電機的改善熱散逸而希望有較高導熱率的槽襯墊絕緣材料。為了作為槽襯墊，絕緣材料必須具有足夠的可撓性，使得它可經彎曲和成形，以用於插入馬達定子及/或轉子中的插槽。

【0028】 舉例而言，導熱絕緣層壓體材料可包括本揭露之一導熱、電絕緣紙，其經層壓至聚合物膜表面。在一個例示性實施例中，聚合物膜可以是一導熱聚合物膜，諸如美國臨時專利申請案第 62/541,920 號和第 62/541,929 號中所描述者，其係藉由引用而將其全文併入本文中。在另一態樣中，導熱聚合物膜可以是一定向膜，其包括由聚對苯二甲酸乙二酯或聚萘二甲酸乙二酯所形成之定向層，還有分散在定向層內的實質球形氧化鋁粒子。氧化鋁粒子可以定向膜之自 20 wt.%至 40 wt.%的量存在。氧化鋁粒子具有以下 D99 值：20 微米

或更小、或 15 微米或更小、或 10 微米或更小，以及在以下範圍內之中值大小值：自 1 至 7 微米、或自 1 至 5 微米、或自 1 至 3 微米。

【0029】 在一個替代實施例中，導熱絕緣材料可具有導熱、電絕緣紙，其係經層壓至導熱聚合物膜的兩個表面。可選地，可將層壓黏著劑層配置在導熱、電絕緣紙和導熱聚合物膜之間，以將該等層接合在一起。

【0030】 在一些實施例中，可考慮較高水平的層壓體結構，其包括複數個交替的導熱、電絕緣紙和導熱聚合物膜層。

【0031】 適合的不織紙可包括有機纖維，諸如但不受限於：聚芳醯胺纖維，包括：間聚芳醯胺纖維和對聚芳醯胺纖維；聚苯硫(PPS)纖維；聚酯纖維；聚醯胺纖維、丙烯酸纖維、三聚氰胺纖維、聚二醚酮(PEEK)纖維、聚醯亞胺纖維、或其組合。有機纖維可組成不織紙之有機組分的約 40%至 80%。在一個例示性態樣中可使用纖維的組合。纖維之化學組成和尺寸可變化，並可經選擇以改善例示性不織紙的可製造性和最終性質。在一些實施例中，可組合種聚芳醯胺纖維（例如對聚芳醯胺纖維）和非聚芳醯胺纖維，以形成本揭露之不織紙。聚芳醯胺纖維與非聚芳醯胺纖維的比例可以是自約 15:1 至約 8:1。

【0032】 至少一部分的纖維性組份可具有高質量表面積(surface area per mass)，具有大於 10 m^2/g 的表面積。舉例而言，高表面積紙漿可促進在紙張形成過程中的紙漿體保留。為了增加不織紙中所用之纖維的表面積，可能所欲的是使一部分的纖維原纖化或紙漿化，以形成一紙漿。舉例而言，可用聚芳醯胺纖維紙漿來取代例示性不織紙的

一部分聚芳醯胺纖維。舉例而言，可用聚芳醯胺紙漿來取代例示性紙之聚芳醯胺纖維的 60%至 80%。

【0033】 在一些態樣中，電絕緣不織紙的無機組分可可選地包括一高表面積無機纖維，諸如具有平均直徑約 0.6 μm 或更小的玻璃微纖維。

【0034】 在本發明的至少一個實施例中，不織紙的有機組分亦包含一聚合黏合劑。聚合黏合劑可組成約 25%至 60%的有機組分。一適合的聚合物黏合劑可包括一基於乳膠的材料。在另一態樣中，適合的聚合物黏合劑可包括但不受限於：丙烯酸、丙烯酸共聚物、腈、苯乙烯乳膠、瓜爾膠、澱粉、以及天然橡膠乳膠。在一個實例中，電絕緣紙包含約 7 重量%至約 25 重量%的聚合物黏合劑。

【0035】 如上方所提及，電絕緣紙包含導熱填料之一協同摻合物，其中該協同摻合物包含一主要或第一導熱填料；以及一次要或第二導熱填料。第一導熱填料是具有高於或等於 40 W/m-K 的導熱率的一高導熱率填料。

【0036】 舉例而言，氮化硼經廣泛地分類為一高導熱填料，然而，取決於所參考的尺寸，氮化硼粒子的各向異性導致根本上不同的導熱率。六方氮化硼小板(platelet)粒子擁有各向異性導熱率，具有以下報導值：在(xy)底面方向上為 400 W/m-K，還有在(z)小板厚度方向為 2 W/m-K。在一經氮化硼粒子填充的複合材料中，小板定向和粒子對粒子的堆疊特性可影響所測量的複合材料導熱率。在文獻(P. Bujard et al, Thermal Phenomena in the Fabrication and Operation of

Electronic Components: I-THERM '88, InterSociety Conference, pp. 41-49, 1988)中已報導了一個 50 W/m-K 的各向異性導熱率。

【0037】 其他高導熱率填料包括氮化鋁(170 W/m-K)、以及碳化矽(360 W/m-K)。雖然金屬粒子（諸如：銅粒子、鐵粒子、鉛粒子、以及銀粒子，僅以此為例）都具有超過 100 W/m-K 的導熱率，但是將它們使用在本文中所述之例示性絕緣紙是不可能的，其原因在於它們的導電率。同樣地，不能將石墨和奈米碳管用在本發明的絕緣紙。

【0038】 具有小於 40 W/m-K 之較低導熱率的第二傳導填料可經選自熔融非晶形矽石(1.5 W/m-K)、二氧化鋯(~2 W/m-K)、氧化鋅(21 W/m-K)、以及氧化鋁(26 W/m-K)。

【0039】 此外，電絕緣不織紙的無機組分可包括另一無機填料。在一個態樣中，適合的其他無機填料包括但不受限於：高嶺黏土、滑石、雲母、碳酸鈣、微晶高嶺石、膨潤石、膨土、伊利石、綠泥石、海泡石、綠坡縷石、禾樂石、蛭石、合成鋰皂石、累托石、珍珠岩、以及其組合。此等其他無機填料可經表面處理，以促進將它們併入例示性紙中。適合類型的高嶺黏土包括但不受限於：水洗高嶺黏土；分層高嶺黏土；鍛燒高嶺黏土；以及經表面處理的高嶺黏土。在一個實例中，電絕緣紙包含自約 5 重量%至約 20 重量%的高嶺黏土。

【0040】 電絕緣不織紙的無機組分可可選地包括一無機阻燃劑。無機阻燃劑可以是任何適合的材料。適合的無機阻燃劑材料實例包括金屬氫氧化物，例如：氫氧化鎂(MgOH)和三水合氧化鋁(ATH)。無機阻燃劑可包含多達約 20 wt.%、較佳為多達約 15 wt.%的不織紙。在本

發明的一些態樣中，無機阻燃劑可具有充分高的導熱率，使得可將它用作第二導熱填料，或者是用作三級或第三導熱填料。舉例而言，ATH 具有在 10-30 W/m-K 之間的導熱率。

【0041】 可將本發明之不織紙（含有無機纖維和無機粒子中的一或兩者）稱為基於無機的紙。舉例而言，與完全基於有機的間聚芳醯胺紙相較之下，基於無機的紙提供了在電暈/局部放電存在之下而經改善的長期耐壓能力，其原因在於已知無機材料比有機材料更耐電暈得多。（參見例如 The Electrical Insulation Conference (EIC)/Electrical Manufacturing and Coil Winding (EMCW) Expo 2001, Cincinnati, Ohio 10/15-10/18/2001, High Temperature Electrical Insulation Short Course, p. 21）。舉例而言，與完全基於有機的間聚芳醯胺紙相較之下，基於無機的紙亦可提供較大的大小穩定性和較高的導熱率，為了改善熱散逸。

【0042】 在許多實施例中，電絕緣紙係經形成為一不織電絕緣紙，其可透過一標準紙製程而形成。舉例而言，配方的組分可在水中混合成漿體、在製紙篩上進行除水、以及進行乾燥。可壓延不織電絕緣紙以生產高密度紙，且/或可堆疊和壓延數種電絕緣紙片材，以直接熔化相鄰片材並產生一較厚的高密度紙。其結果是一可適合用於電子設備的不織、導熱、電絕緣紙，諸如用於在變壓器、馬達、發電機、或其他電子裝置內的電絕緣。

【0043】 在一些實施例中，例示性絕緣材料可進一步包括膜或篩孔的強化。在一個態樣中，與本文中所述之例示性電絕緣、導熱紙的

厚度相較之下，可將一相對薄的非導熱膜層壓至例示性紙，以用於機械或介電之強化，且與習知的絕緣紙層壓體相較之下，仍導致經改善的層壓體導熱率。舉例而言，可將一薄聚酯膜層壓至本文中所述之例示性紙的一或兩側。層壓可以是將膜對紙的直接層壓，或可進一步包含一層薄黏著劑層，以將膜接合至例示性紙。

【0044】 在替代態樣中，可將導熱膜層壓至本文中所述的例示性導熱紙，以最大化層壓體的導熱率。市售的導熱膜包括：可獲自 Fastel Adhesive Products (San Clemente, CA)的 Devinall THB 500 聚醯亞胺和 Devinall THB 300 聚醯亞胺，及可獲自 DuPont (Wilmington, DE)的 Kapton 200 MT 聚醯亞胺膜、Kapton 300 MT 醯亞胺膜。

實例

【0045】 以下實例及比較例係提供以幫助理解本發明，不應當被解讀為限制其範疇。除非另外指出，否則所有之份數及百分比係基於重量。以下測試方法及方案係用來評估以下之說明性實例及比較例。

材料

丙烯酸乳膠	可獲自 The Lubrizol Corp. (Cleveland, OH)的 Hycar 26362
丙烯酸纖維	可獲自 Mitsubishi Rayon Co. (Japan)的 VONNEL 1 MVP
p-聚芳醯胺紙漿	可獲自 Teijin Aramid (Netherlands)的 TWARON®聚芳醯胺紙漿 1094
p-聚芳醯胺纖維	可獲自 Teijin Aramid (Netherlands)的 TWARON®聚芳醯胺纖維 1080
hBN	可獲自 ESK Ceramics GmbH & Co. KG（一間 3M 之公司 (Kempten, Germany)）的 3M™氮化硼粉末等級 S3
FS-20	可獲自 3M Company (St. Paul, MN)的 3M™熔融矽石 20

FS-44C	可獲自 Imerys Refractory Materials (Greeneville, TN)的 Teco-sil 44C 熔融矽石
高嶺土	可獲自 KaMin, LLC (Macon, GA)之 HYDRAPRINT 的分層高嶺黏土
氧化鋁	可獲自 Almatis, Inc. (Leetsdale, PA)的管狀氧化鋁 T60/64 - 325 LI
ATH	可獲自 J.M. Huber Corporation (Atlanta, GA)的 Micral 9400D
碳酸鈣	可獲自 J.M. Huber Corporation (Atlanta, GA)的 Hubercarb W3N

樣本製備：

【0046】 用所屬技術領域中已知的方法製作例示性電絕緣不織紙，該方法如下：

用水將表 1 至 5 中所提供之一以下的混合物加以分散：10 wt.%的 p-聚芳醯胺紙漿（比表面積 12 至 15 m^2/g）、1.5 wt.%的丙烯酸纖維 (0.1 dtex × 3 mm)、3.5 wt.%的 p-聚芳醯胺纖維(1.7 丹尼× 6 mm)、以及 10 wt.%的丙烯酸乳膠和 75 wt.%的填料，以形成固體含量為約 0.06 重量%至 0.9 重量%的水性漿體。透過一製紙篩和加壓機來進行除水（Williams 標準紙漿測試設備)。接著對紙進行乾燥。

【0047】 在壓力 1000 PLI (179 kg/cm)和溫度約 370°F(188℃)至 380°F(193℃)之下，藉由在鋼輥之間以 3 ft/min (0.9 m/min)的速度壓延而形成壓延紙。表 1 至 6 提供了例示性紙的組成資訊和所測量性質。

不織/聚合物膜層壓體之製備

【0048】 使用一邁耶棒(mayer rod) (#20 線大小)將一層壓黏著劑塗佈至一聚合物膜的表面上，接著在 250°F(121℃)之下，在一個實驗

室烘箱中對該聚合物膜進行乾燥 1 分鐘。接著以可獲自(Dow Chemical Company, Midland MI)的 ROBOND™ L-330/CR 9-101 層壓黏著劑、在一個實驗室熱軋層壓機中以 250°F(121℃)和 5 ft/min 將一壓延紙層層壓至該膜。重複此製程以將一第二壓延紙層施加至聚合物膜的另一側，以產生一紙/聚合物膜/紙層壓體。

測試方法

導熱率

【0049】 根據 ASTM E-1530，以一 Unitherm 模型 2021 防護熱流計來測量導熱率值。在 180℃下進行測量。不使用任何界面流體/材料來測量樣品，以避免界面流體/材料滲透電絕緣紙之多孔區域的任何潛在複雜化。在不使用界面流體的情況下，測試板表面和樣品材料表面之間的界面熱損失將被包括在導熱率測量中，其可使此處所報導的測量導熱率值低於實際固有材料的導熱率。將較薄的樣品堆疊在一起，直到熱電阻在儀器的校正範圍內為止。已發現到可獲自 DuPont Advanced Fibers Systems (Richmond, VA)之一習知 Nomex®紙類型 410 的導熱率為 0.10 W/m-K，且已發現到可獲自 3M Company (St. Paul, MN)之一習知 3M™ ThermaVolt 壓延無機絕緣紙層壓體的導熱率為 0.2 W/m-K。

纏繞可撓性

【0050】 目視評估纏繞可撓性，其係藉由將電絕緣材料纏繞於一直徑 2.54 mm (0.1”)的桿，以觀察是否有充分的可撓性來纏繞於桿上而無任何破裂。

濕氣吸收

【0051】 樣品係經放置於一個環境室中，並經暴露於如表 9 中所提供的特定老化條件下 24 小時。判定水含量百分率，其係藉由重力分析，還有一個乾燥樣品與一個特定暴露後之樣品的比較。

額外測試方法

【0052】 根據以下標準測試程序來測量額外的機械性質、電子性質、以及物理性質。

性質	測試方法	標題
介電強度	ASTM D149-09	在商業電力頻率下之固體電氣絕緣材料的介電擊穿電壓及介電擊穿強度的標準測試方法 (Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Breakdown Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies)
MD 拉伸強度	ASTM D-828-97 (2002)	使用恆定速率伸長設備之紙與紙板拉伸性質的標準測試方法
伸長率(MD)	ASTM D-828-97 (2002)	使用恆定速率伸長設備之紙與紙板拉伸性質的標準測試方法
撕裂強度(CD)	ASTM D-689	紙之內撕裂抵性的標準測試方法
孔隙率	TAPPI T-460	紙之空氣阻力測試器的標準測試方法（Gurley 法）

【0053】 表 1 提供了一系列絕緣紙的組成和測量性質，該等絕緣紙具有不同量的單一高導熱填料（即氮化硼）和另一無機填料（即高嶺黏土）。已發現到高嶺黏土在除水期間有助於紙漿體的保留，因此在例示性和比較實例配方兩者中都包括了少量。

表 1.具氮化硼和黏土的導熱紙

（以 wt.% / vol.%提供組成）

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
p-聚芳醯胺紙漿	10/14.5	10/14.2	10/13.9	10/13.7	10/13.5	10/13.3
p-聚芳醯胺纖維	3.5/5.1	3.5/5.0	3.5/4.9	3.5/4.8	3.5/4.8	3.5/4.6
丙烯酸纖維	1.5/2.7	1.5/2.6	1.5/2.6	1.5/2.6	1.5/2.5	1.5/2.5
丙烯酸乳膠	10/17.4	10/17	10/16.7	10/16.5	10/16.2	10/15.9
氮化硼(S-3)	0/0	15/13.9	30/27.3	40/35.9	50/44.3	65/56.4
高嶺黏土	75/60.3	60/47.2	45/34.6	35/26.6	25/18.7	10/7.3
厚度(caliper)（密耳）	4.5	4.1	5.0	5.0	5.1	5.1
基礎重量（克/cm^2）	189	163	200	196	203	195
拉伸強度(lbs/in.)	30.3	25.2	29.1	25.7	22.6	23.6
伸長率(%)	1.61	1.52	1.51	1.51	1.31	1.4
介電強度（伏特/密耳）	602	643	765	847	987	1162
導熱率(W/m-K)	0.37	0.43	0.62	0.67	0.82	0.99
Gurley 孔隙率（sec/100 cc 空氣）	240	200	240	200	200	270
纏繞可撓性	是	是	是	是	是	是

【0054】 表 2 提供了一系列絕緣紙的組成和測量性質，該等絕緣紙在恆定量的另一無機填料（即高嶺黏土）存在之下，具有兩種熱填料之一協同摻合物。改變高導熱填料（即氮化硼）和低導熱填料（即矽石）的量，同時保持紙中的總無機物含量為恆定。

表 2.具氮化硼、熔融矽石、以及黏土的導熱紙

（以 wt.%/vol.%提供組成）

	實例 1	實例 2	實例 3
p-聚芳醯胺紙漿	10/13.3	10/13.3	10/13.3
p-聚芳醯胺纖維	3.5/4.6	3.5/4.6	3.5/4.6
丙烯酸纖維	1.5/2.5	1.5/2.5	1.5/2.5
丙烯酸乳膠	10/15.9	10/15.9	10/15.9
氮化硼(S-3)	0/0	15/13.0	50/43.4
FS-20	65/56.4	50/43.4	15/13.0
高嶺黏土	107.3	10/7.3	10/7.3
厚度(caliper)（密耳）	5.1	4.8	4.9
基礎重量（克/cm^2）	197	199	195
拉伸強度(lbs/in.)	26.3	27.5	25.8
伸長率(%)	1.83	1.60	1.66
介電強度（伏特/密耳）	274	400	911
導熱率(W/m-K)	0.38	0.47	0.89
Gurley 孔隙率（sec/100 cc 空氣）	184	184	220
纏繞可撓性	是	是	是

【0055】 表 3 提供了一系列絕緣紙的組成和測量性質，該等絕緣紙在恆定量的另一無機填料（即高嶺黏土）和 ATH 存在之下，具有兩種熱填料之一協同摻合物。改變高導熱填料（即氮化硼）和低導熱填料（即矽石）的量，同時保持紙中的總無機物含量為恆定。

表 3.具氮化硼、熔融矽石、ATH、以及黏土的導熱紙

（以 wt.%/vol.%提供組成）

	實例 4	實例 5	實例 6	實例 7	實例 8
p-聚芳醯胺紙漿	10/13.4	10/13.4	10/13.4	10/13.4	10/13.4
p-聚芳醯胺纖維	3.5/4.7	3.5/4.7	3.5/4.7	3.5/4.7	3.5/4.7
丙烯酸纖維	1.5/2.5	1.5/2.5	1.5/2.5	1.5/2.5	1.5/2.5
丙烯酸乳膠	10/16.1	10/16.1	10/16.0	1016.0	10/16.0
氮化硼(S-3)	0/0	10/8.8	15/13.1	15/13.1	30/26.2
FS-20	50/43.9	40/35.1	40/35.0	0/0	25/21.9
FS-44C	0/0	0/0	0/0	40/35.0	0/0

ATH	15/12.0	15/12.0	10/7.9	10/7.9	10/7.9
高嶺黏土	10/7.4	10/7.4	10/7.4	107.4	10/7.4
厚度(caliper)（密耳）	4.8	4.9	5.1	5.2	5.53
基礎重量（克/cm^2）	187	189	208	207	212
拉伸強度(lbs/in.)	26.8	26.0	27.0	27.8	25.7
伸長率(%)	1.82	1.76	1.50	1.60	1.52
介電強度（伏特/密耳）	299	349	391	355	439
導熱率(W/m-K)	0.43	0.58	0.56	0.60	0.80
Gurley 孔隙率（sec/100 cc 空氣）	185	201	186	162	244
纏繞可撓性	是	是	是	是	是

【0056】 表 4 提供了一系列絕緣紙的組成和測量性質，該等絕緣紙在恆定量的另一無機填料（即高嶺黏土）存在之下，具有兩種熱填料之一協同摻合物。改變高導熱填料（即氮化硼）和低導熱率填料/阻燃劑（即 ATH）的量，同時保持紙中的總無機物含量為恆定。

表 4.具氮化硼、ATH、以及黏土的導熱紙

（以 wt.%/vol.%提供組成）

	實例 9	實例 10	實例 11
p-聚芳醯胺紙漿	10/13.7	10/13.5	10/13.1
p-聚芳醯胺纖維	3.5/4.8	3.5/4.7	3.5/4.6
丙烯酸纖維	1.5/2.5	1.5/2.5	1.5/2.5
丙烯酸乳膠	10/16.5	10/16.2	10/15.8
氮化硼(S-3)	15/14.1	30/27.7	50/45.0
ATH	50/40.8	35/28.0	15/11.7
高嶺黏土	10/7.6	10/7.4	107.3
厚度(caliper)（密耳）	4.9	4.9	5.1
基礎重量（克/cm^2）	195	189	203
拉伸強度(lbs/in.)	25.4	21.7	25.2
伸長率(%)	1.73	1.51	1.66
介電強度（伏特/密耳）	406	469	923
導熱率(W/m-K)	0.59	0.74	0.98
Gurley 孔隙率（sec/100 cc 空氣）	228	240	256
纏繞可撓性	是	是	是

【0057】 表 5 提供了一系列絕緣紙的組成和測量性質，該等絕緣紙在恆定量的另一無機填料（即高嶺黏土）和 ATH 存在之下，具有兩種熱填料之一協同摻合物。改變高導熱填料（即氮化硼）和低導熱填料（即氧化鋁）的量，同時保持紙中的總無機物含量為恆定。已發現到黏土有助於紙漿體的保留，因此在配方中包括了少量。

表 5.具氮化硼、氧化鋁、ATH、以及黏土的導熱紙

（以 wt.%/vol.%提供組成）

	實例 12	實例 13
p-聚芳醯胺紙漿	10/15.6	10/13.9
p-聚芳醯胺纖維	3.5/5.5	3.5/4.9
丙烯酸纖維	1.5/2.9	1.5/2.6
丙烯酸乳膠	10/18.8	10/16.7
氮化硼(S-3)	15/16.1	40/38.2
氧化鋁	40/23.1	15/7.7
ATH	10/9.3	10/8.3
高嶺黏土	10/8.7	10/7.7
厚度(caliper)（密耳）	4.7	5.1
基礎重量（克/cm^2）	212	210
拉伸強度(lbs/in.)	23.9	20.9
伸長率(%)	1.6	1.44
介電強度（伏特/密耳）	362	631
導熱率(W/m-K)	0.61	0.68
Gurley 孔隙率（sec/100 cc 空氣）	235	280
纏繞可撓性	是	是

【0058】 表 6 提供了一系列絕緣紙的組成和測量性質，該等絕緣紙在另一無機填料（即高嶺黏土）存在之下，具有兩種熱填料之一協

同摻合物。改變高導熱填料（即氮化硼）和低導熱填料（即碳酸鈣、或碳酸鈣和 ATH）的量，同時保持紙中的總無機物含量為恆定。

表 6.具氮化硼、碳酸鈣、ATH、以及黏土的導熱紙；

氮化硼、碳酸鈣、以及黏土（以 wt. %/vol.%提供組成）

	實例 14	實例 15
p-聚芳醯胺紙漿	10.0/14.2	10/13.6
p-聚芳醯胺纖維	3.5/5.0	3.5/4.7
丙烯酸纖維	1.5/2.7	1.5/2.5
丙烯酸乳膠	10/17.1	10/16.3
氮化硼(S-3)	10/9.8	40/37.2
碳酸鈣	30/22.8	20/14.5
ATH	15/12.7	0/0
高嶺黏土	20/15.8	15/11.3
厚度(caliper)（密耳）	4.7	4.7
基礎重量（克/cm^2）	195	178
拉伸強度(lbs/in.)	33.3	30
伸長率(%)	2.0	2.1
介電強度（伏特/密耳）	647	938
導熱率(W/m-K)	0.56	0.80
Gurley 孔隙率（sec/100 cc 空氣）		320
纏繞可撓性	是	是

【0059】 表 7 顯示三種紙/聚合物膜/紙層壓體結構（實例 16 至實例 18）的數據，該紙/聚合物膜/紙層壓體結構係藉由將實例 14 的導熱紙層壓至指定聚合物膜而製成。所使用的膜是標準聚酯(PET)膜，諸如：可獲自 Mitsibushi Polyester Film (Greer, South Carolina)的 Hostaphan 2262、可獲自 JBF RAK LLC (United Arab Emerites)的 ARYAPET A460、以及來自 3M Company (St. Paul, MN)的 777 和 860 系列聚酯膜；高導熱率聚酯膜(HTCD PET)膜，諸如美國臨時專利申

請案號 62/541,920 中所描述者，係藉由引用而將其併入本文中；以及聚醯亞胺膜，諸如可獲自 Fastel Adhesive & Substrate Products (San Clemente, CA)的 Devinall™ 500 THB 聚醯亞胺膜。

表 7.導熱紙/聚合物膜/紙層壓體材料

	實例 16	實例 17	實例 18
膜層	PET	HTCD PET	PI
膜厚度（密耳/μm）	2.0/51	2.0/51	5.0/127
層壓體厚度（密耳）	8.0	7.2	12
基礎重量（克/cm^2）	295	279	466
拉伸強度(lbs/in.)	74	51	108
伸長率(%)	6.7	5.6	6.1
CD 撕裂強度	336	208	400
介電強度（伏特/密耳）	1352	1219	1017
導熱率(W/m-K)	0.29	0.39	0.37

【0060】 表 8 顯示市售、基於無機的紙層壓體之性質。表 8 所包括的商業性紙層壓體是可獲自 3M Company (St. Paul, MN)的 3M™ ThermaVolt TvFTv 可撓式層壓體。作為參考，測量到額外電絕緣層壓體具有 0.12 W/m-K 的導熱率值，該電絕緣層壓體諸如可獲自 Dupont (Wilmington, DE)的 Nomex-Mylar-Nomex (3-3-3)（諸如 NMN 333 NOMEX®層壓體類型 NMN）。

表 8.商業性、基於無機的紙層壓體之選擇性質

物理性質	TvFTv 3-1-3	TvFTv 4-2-4	TvFTv 3-3-3
標稱厚度（密耳）	7	10	9
基本重量(lbs/yd^2)	254	388	327
機器方向拉伸(lbs/in.)	52	87	101
交叉方向拉力(lbs/in.)	33	63	77
機器方向伸長率(%)	2	3	3
交叉方向伸長率(%)	3	3	3
機器方向撕裂(g)	170	400	480
交叉方向撕裂(g)	200	498	588
濕氣吸收(%)	< 1	< 1	< 1
介電崩潰電壓(kV)	7.6	11	11
導熱率(W/m-K)	0.19	0.21	

【0061】 測定以下的濕氣（水）吸收含量：例示性紙（實例 14）和例示性層壓體結構（實例 17），還有習知的紙（NOMEX®類型 410 - 3 密耳）和習知的層壓體材料（NMN 333 NOMEX®層壓體類型 NMN），兩者皆可獲自 Dupont (Wilmington, DE)。

表 9.例示性導熱絕緣紙和層壓材料與習知絕緣紙和層壓材料的濕氣吸收比較

	老化條件		
	相對溼度	溫度	濕氣吸收
實例 14	45%	22℃	0.6%
實例 14	95%至 99%	26℃	1.4%
實例 17	95%至 99%	26℃	1.7%
Nomex™ 410	45%	22℃	2.7%
Nomex™ 410	45%	26℃	6.6%
NMN 333	95%至 99%	26℃	2.6%

【0062】 圖 1 是一張顯示所選數據的圖，其說明與類似的紙相較之下，第一和第二導熱填料的摻合物與表 2 至 5 中之不織紙之導熱率的協同效應，該類似的紙具有一單一高導熱填料（即表 1 中之氮化硼）其隨著存在於紙中之氮化硼體積百分率而變動。比起可從僅單獨具有氮化硼之紙配方所獲得的導熱率，以下組合實現了在較低氮化硼裝載下的較高導熱率：氮化硼和氧化鋁、氮化硼和矽石、以及氮化硼和 ATH。由於氮化硼是昂貴的，所以在較低裝載下獲得較高導熱率值之能力是有用的。

【0063】 針對包含至少兩種導熱填料之組合的例示性電絕緣紙，所計算總導熱率係數等於各個別組分的體積分率乘以各個別組分的導熱率之總和，或 $k_p = \Sigma (V_{f,i} \times k_i)$，其中 k_p 是例示性紙的總導熱率係數，$V_{f,i}$ 是給定組分的體積分率，i，本例示性紙，k_i 是組分 i 的導熱率係數。針對比較實例所代表的各種紙（即包括一單一導熱填料的導熱紙）重複類似方法。

【0064】 由針對例示性紙材料的所計算總導熱率係數，計算出計算相對導熱率因子，並藉由所計算之含有一單一導熱填料（即比較實例中所提供的氮化硼）之紙的總導熱率係數來進行該因子的正規化。相對導熱係數因子等於一例示性紙（具有至少兩種導熱填料）的經計算總導熱係數，減去僅單獨具有氮化硼之紙的經計算總導熱係數，除以具有氮化硼之紙的經計算總導熱係數。

【0065】 接著計算一例示性紙材料（包含至少兩種導熱填料的組合）之實際測量導熱率的測量相對導熱率因子，並將該因子正規化成

導熱紙（包含一單一導熱填料，氮化硼）的測量導熱率。藉由取例示性紙（包含至少兩種導熱填料）之一的測量導熱率，並減去以氮化硼作為唯一導熱填料之紙的測量導熱率，且除以在大致相同的氮化硼裝載下、減去以氮化硼作為唯一導熱填料之紙的測量導熱率，會發現到一例示性紙材料（包含至少兩種導熱填料的組合）的測量相對導熱率因子。

【0066】 圖 2 在相當的氮化硼體積分率裝載下，比較了所測量之相對導熱率因子和所計算之相對導熱率因子。圖顯示出當考慮不同粒子組分的體積裝載差異時，具有至少兩種導熱填料之紙的測量的相對導熱率因子（三角形符號）高於計算的相對導熱率因子（圓形符號）。實心符號代表具有導熱填料（氮化硼、熔融矽石、以及三水合氧化鋁）的一三級摻合物的例示性紙的數據且空心符號代表具有導熱填料（氮化硼和三水合氧化鋁）的一二元摻合物的例示性紙的數據。

【0067】 雖在本文中為了敘述較佳實施例之目的以具體實施例進行說明及敘述，但所屬技術領域中具有通常知識者將瞭解可以替代及/或均等實施來替換所示及所描述的具體實施例，而不偏離本發明的範疇。本申請案意欲涵括本文所討論之較佳實施例的任何調適形式或變化形式。因此，本發明意圖僅受限於申請專利範圍及其均等者。