



(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 201925296 A

(43)公開日： 中華民國 108(2019)年07月01日

(21)申請案號：107140522

(22)申請日： 中華民國 107(2018)年11月15日

(51)Int. Cl. : **C08J9/28 (2006.01)**

(30)優先權：2017/11/16 美國

62/587,053

(71)申請人：美商 3 M 新設資產公司 (美國) 3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY (US)
美國(72)發明人：丹 得瑞克 傑森 DEHN, DEREK JASON (US)；瓦勒 克林頓 皮爾斯 二世
WALLER, CLINTON PIERCE, JR. (US)；布魯斯 珍安那 瑪麗 BRUSS, JEANNE
MARIE (US)；阿取羅亞 貝特阿特 羅傑 ACHARYA, BHARAT RAJ (US)；巴
特林 布蘭登 亞倫 BARTLING, BRANDON ALAN (US)；葛蕾夫 麥可 史考
特 GRAFF, MICHAEL SCOTT (US)；善提 諾亞 歐莫 SHANTI, NOAH OMAR
(US)；史托曾柏格 菲比恩 STOLZENBURG, FABIAN (DE)；納亞爾 山汀德
庫瑪 NAYAR, SATINDER KUMAR (US)

(74)代理人：陳長文

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：10 項 圖式數：40 共 149 頁

(54)名稱

製造聚合物基質複合物之方法

METHOD OF MAKING POLYMER MATRIX COMPOSITES

(57)摘要

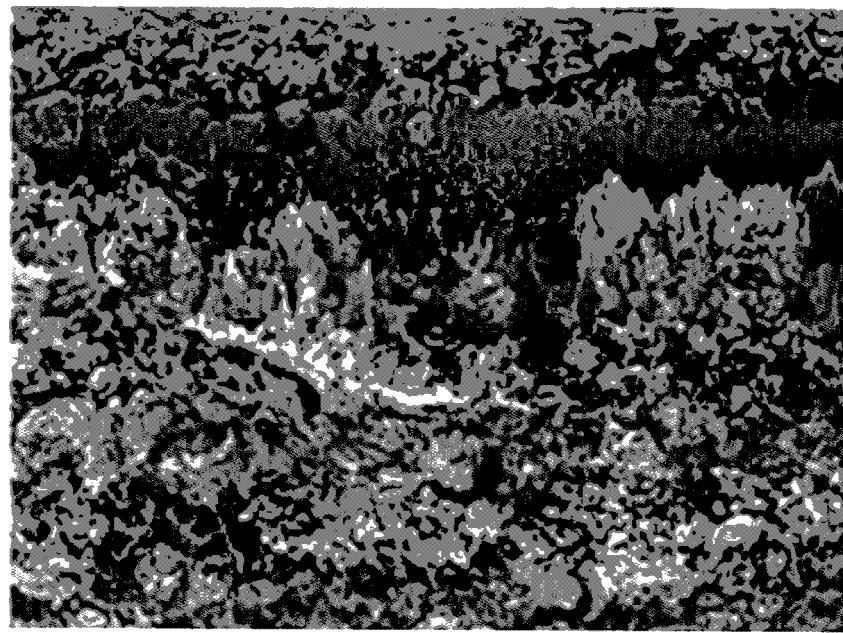
一種製造一聚合物基質複合物之方法，該聚合物基質複合物包含一多孔聚合網絡結構；及分布在該聚合網絡結構內之複數個粒子，該方法包含：組合一熱塑性聚合物、該熱塑性聚合物可溶於其中之一溶劑、及複數個粒子以提供一漿體；將該漿體形成為一物品；將該物品在一環境中加熱，以保留以該漿體中之該溶劑的重量計至少 90 重量百分比的該溶劑；及誘導該熱塑性聚合物自該溶劑之相分離以提供該聚合物基質複合物。

Method of making a polymer matrix composite comprising a porous polymeric network structure; and a plurality of particles distributed within the polymeric network structure, the method comprising: combining a thermoplastic polymer, a solvent that the thermoplastic polymer is soluble in, and a plurality of particles to provide a slurry; forming the slurry into an article; heating the article in an environment to retain at least 90 percent by weight of the solvent, based on the weight of the solvent in the slurry, and inducing phase separation of the thermoplastic polymer from the solvent to provide the polymer matrix composite.

指定代表圖：

201925296

TW 201925296 A



300 μm

圖4

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】 製造聚合物基質複合物之方法

METHOD OF MAKING POLYMER MATRIX
COMPOSITES

【相關申請案之交互參照】

【0001】 本申請案主張 2017 年 11 月 16 日申請之美國臨時專利申請案第 62/587053 號之優先權，其揭露係以全文引用方式併入本文中。

【技術領域】

【先前技術】

【0002】 一般而言，傳統粒子填充之複合物（緻密聚合膜、黏著劑等等）中所能達到的最大粒子裝載量不大於約 40 至 60 vol.%（以粒子及黏合劑之體積計）。將大於 60 vol.% 粒子併入傳統粒子填充之複合物中一般是無法達到的，因為此類高粒子裝載的材料無法經由塗佈或擠製方法進行加工，且/或所得複合物會變得非常脆。傳統複合物一般亦用黏合劑將粒子完全封裝，從而防止觸及粒子表面，並最小化可能的粒子與粒子接觸。

【0003】 高分子量聚合物（諸如超高分子量聚乙烯(UHMWPE) 及聚丙烯(UHMWPP)）是所欲的，因為其等提供優異的分子纏結及韌性。然而，諸如 UHMWPE（即，分子量平均超過 1,000,000 g/莫耳的聚乙烯）之聚合物傾向於難以經由擠製進行加工。即使在熔融狀態下，UHMWPE 仍具有相對高的黏度，需要大量的機械功才能成形。

UHMWPE 熔融加工所需的機械功會剪切聚合物並降低聚合物分子量。UHMWPE 熔融加工一般需要使用溶劑作為加工助劑，溶劑通常為烴（例如礦物油、十氫萘、或煤油）。當使用擠製設備加工時，即使添加了加工助劑，長絲聚乙烯分子的機械撕裂仍可發生。在聚合物熔體中併入高裝載量的粒子會進一步加劇擠製加工問題，諸如進料、混合、剪切、黏度、及磨損。因此，習知方法在其製造具有高粒子裝載量之物品的能力上有所限制。

【0004】 所欲的是能夠製造高粒子裝載的物品之改良方法及程序。

【發明內容】

【0005】 本揭露描述一種製造一聚合物基質複合物之方法，該聚合物基質複合物包含一多孔聚合網絡結構；及分布在該聚合網絡結構內之複數個粒子，該方法包含：

組合（例如，混合或摻合）一熱塑性聚合物、一溶劑、及複數個導熱粒子以提供一漿體；

將該漿體形成為一物品（例如，一層）；

將該物品在一環境中加熱，以在該物品中保留以該物品中之該溶劑的重量計至少 90（在一些實施例中，至少 91、92、93、94、95、96、97、98、99、或甚至至少 99.5）重量百分比的該溶劑，並溶解以該熱塑性聚合物之總重量計至少 50（在一些實施例中，至少 55、60、65、70、75、80、85、90、95、96、97、98、99、或甚至 100）百分比；及

誘導該熱塑性聚合物自該溶劑之相分離以提供該聚合物基質複合物。

【0006】 如本文中所使用，「可混溶(miscible)」係指物質以所有比例混合（即，以任何濃度互相完全溶解）從而形成溶液的能力，其中對於一些溶劑-聚合物系統而言，可能需要熱以使聚合物與溶劑混溶。相比之下，如果有顯著比例未形成溶液，則物質是不可混溶的。例如，丁酮會在水中顯著溶解，但這兩種溶劑是不可混溶的，因為其等無法以所有比例溶解。

【0007】 如本文中所使用，「相分離(phase separation)」係指從粒子均勻分散在均相聚合物-溶劑溶液中轉變成（例如，藉由溫度的改變）連續三維聚合物基質複合物的過程。所欲物品係在聚合物變得可與溶劑混溶之前形成，且相分離係熱誘導相分離(TIPS)過程。

【0008】 在 TIPS 過程中，使用升高溫度以使得非溶劑變成聚合物的溶劑，然後將溫度降低而使溶劑變回聚合物的非溶劑。當移除足夠的熱時，熱溶劑會有效地變成孔隙形成劑，且其會失去其溶劑合能力。TIPS 過程中所使用的溶劑可以是揮發性或非揮發性的。

【0009】 令人驚訝的是，在使用本文所述之方法製造聚合物基質複合物時，相對高的粒子裝載量讓可成形為一層之漿體得以製造，且在將溶劑加熱而變成可與聚合物混溶時，該層會維持其形態。所使用之溶劑通常係揮發性的且隨後會蒸發。

【0010】 一般而言，傳統粒子填充之複合物（緻密聚合膜、黏著劑等等）中所能達到的最大粒子裝載量不大於約 40 至 60 vol.%（以粒

子及黏合劑之體積計)。將大於 60 vol.% 粒子併入傳統粒子填充之複合物中一般是無法達到的，因為此類高粒子裝載的材料無法經由塗佈或擠製方法進行加工，且/或所得複合物會變得非常脆。傳統複合物一般亦用黏合劑將粒子完全封裝，從而防止觸及粒子表面，並最小化可能的粒子與粒子接觸。一般而言，來自粒子填充之複合物的回應（例如，熱、電、化學、生物）會隨著粒子裝載量增大，使得較高的粒子裝載量是所欲的。令人驚訝的是，使用本文所述之方法所獲得的高溶劑含量及相分離形態，會在相對低量之高分子量黏合劑下達成相對高的粒子裝載量。多穿孔性(through-porous)之相分離形態亦讓樣本在相對低至相對高粒子濃度下是可透氣的。高粒子裝載量亦有助於最小化可在相分離期間形成之薄的非多孔性聚合物層之形成。此外，使用本文所述之方法製備的聚合物基質複合物是相對可撓的，並傾向於不會使粒子脫落。雖然不想要受理論束縛，但據信使用本文所述之方法製備的聚合物基質複合物之實施例的另一項優點是，粒子未完全經黏合劑塗佈，從而實現高度的粒子表面接觸，不會因黏合劑的多孔本質而造成遮蔽。應注意的是，將層壓縮可顯著增強粒子與粒子接觸。即使在升高溫度（例如 135°C）下，高分子量黏合劑在不存在溶劑的情況下亦不容易流動。

【0011】 本文所述之方法之實施例可允許相對高的粒子裝載量與加工成所欲之有用物品。由本文所述之方法之實施例提供的相對高度填充物品之實施例可與填料粒子有相對低的黏合劑接觸，從而允許相對高度多孔物品。此開放性可顯著降低習知粒子結合系統中存在的遮

蔽效應，以及有利於相對高表面活性粒子或多孔物品中活性粒子暴露於液體或氣體。

【0012】 以本文所述之方法製造的聚合物基質複合物之實施例可用於例如導熱或隔熱膜；聲音啟動裝置(sound active device)；導電裝置；電絕緣裝置；具有高介電效率之電絕緣裝置；磁導介質；物理膨脹介質；吸收介質；過濾器；單塊體(monolith)；超低密度（剛性或可撓性）介質；催化劑擔體；層析介質；感測器；指示劑；發光介質；吸熱介質、及防火塊材料。

【圖式簡單說明】

【0013】

圖 1 糜本文所述之例示性聚合物基質複合物的示意圖。

圖 2 糜本文所述之另一例示性聚合物基質複合物的示意圖。

圖 3 糜本文所述之另一例示性聚合物基質複合物的示意圖。

圖 4 至圖 10 糜本文所述之例示性聚合物基質複合物（分別為實例 1、2、3、4、5、8、及 10）的剖面之掃瞄式電子顯微鏡(SEM)顯微照片。

圖 11 至圖 13 糜本文所述之例示性聚合物基質複合物（分別為實例 12、13、及 14）的剖面之掃瞄式電子顯微鏡(SEM)顯微照片。

圖 14、圖 16、及圖 18 顯示本文所述之例示性聚合物基質複合物（分別為實例 15、16、及 17）的剖面之掃瞄式電子顯微鏡(SEM)顯微照片。

圖 15A、圖 17A、及圖 19A 顯示本文所述之例示性未膨脹聚合物基質複合物（分別為實例 15、16、及 17）的俯視數位光學相片。

圖 15B、圖 17B、及圖 19B 顯示本文所述之例示性經膨脹聚合物基質複合物（分別為實例 15、16、及 17）的俯視數位光學相片。

圖 20A 及圖 20B 顯示本文所述之例示性聚合物基質複合物（實例 18）的剖面之掃瞄式電子顯微鏡(SEM)顯微照片。

圖 21A 及圖 21B 顯示本文所述之例示性聚合物基質複合物（實例 19）的剖面之掃瞄式電子顯微鏡(SEM)顯微照片。

圖 22 顯示本文所述之例示性聚合物基質複合物（實例 20）的剖面之掃瞄式電子顯微鏡(SEM)顯微照片。

圖 23 顯示本文所述之例示性聚合物基質複合物（實例 21）的剖面之掃瞄式電子顯微鏡(SEM)顯微照片。

圖 24 係顯示本文所述之例示性聚合物基質複合物（實例 22）的剖面之掃瞄式電子顯微鏡(SEM)顯微照片的示意圖。

圖 25 係顯示本文所述之例示性聚合物基質複合物（實例 34）的剖面之掃瞄式電子顯微鏡(SEM)顯微照片的示意圖。

圖 26 係顯示本文所述之例示性聚合物基質複合物（實例 35）的剖面之掃瞄式電子顯微鏡(SEM)顯微照片的示意圖。

圖 27 及圖 28 顯示本文所述之例示性聚合物基質複合物（分別為實例 38 及 39）的剖面之掃瞄式電子顯微鏡(SEM)顯微照片。

圖 29、圖 30A、圖 30B、圖 32、及圖 33 顯示本文所述之例示性聚合物基質複合物（分別為實例 42、43、44、及 45）的剖面之掃瞄式電子顯微鏡(SEM)顯微照片。

圖 31 顯示在將本文所述之聚合物基質複合物（實例 43）的圓盤放在 100 mL 的水中之後，水吸收的數位影像。

圖 34 至圖 37 顯示本文所述之例示性聚合物基質複合物（分別為實例 46、47、48、及 49）的剖面之掃瞄式電子顯微鏡(SEM)顯微照片。

圖 38 係用來判定本文所述之聚合物基質複合物（包含聲學活性粒子）的聲壓位準(SPL)之測試組態的示意圖。

圖 39 係顯示本文所述之例示性聚合物基質複合物（實例 50）的剖面之掃瞄式電子顯微鏡(SEM)顯微照片的示意圖。

圖 40 係顯示本文所述之例示性聚合物基質複合物（實例 53）的剖面之掃瞄式電子顯微鏡(SEM)顯微照片的示意圖。

【實施方式】

【0014】 本揭露描述一種製造一聚合物基質複合物之方法，該聚合物基質複合物包含一多孔聚合網絡結構；及分布在該聚合網絡結構內之複數個粒子，該方法包含：

組合（例如，混合或摻合）一熱塑性聚合物、一溶劑、及複數個粒子以提供一漿體；

將該漿體形成為一物品（例如，一層）；

將該物品在一環境中加熱，以在該物品中保留以該物品中之該溶劑的重量計至少 90（在一些實施例中，至少 91、92、93、94、95、96、97、98、99、或甚至至少 99.5）重量百分比的該溶劑，並溶解以該熱塑性聚合物之總重量計至少 50（在一些實施例中，至少 55、60、65、70、75、80、85、90、95、96、97、98、99、或甚至 100）百分比；及

誘導該熱塑性聚合物自該溶劑之相分離以提供該聚合物基質複合物。

【0015】 在一些實施例中，聚合網絡結構可包含至少一種熱塑性聚合物、基本上由至少一種熱塑性聚合物所組成、或由至少一種熱塑性聚合物所組成。例示性熱塑性聚合物包括聚胺甲酸酯、聚酯（例如，聚對苯二甲酸乙二酯、聚對苯二甲酸丁二酯、及聚乳酸）、聚醯胺（例如，耐綸 6、耐綸 6,6、及多勝肽）、聚醚（例如，聚氧化乙烯及聚氧化丙烯）、聚碳酸酯（例如，雙酚-A-聚碳酸酯）、聚醯亞胺、聚砜、聚醚砜、聚伸苯醚、聚丙烯酸酯（例如，自含有丙烯酸酯官能基之（一或多種）單體之加成聚合所形成的熱塑性聚合物）、聚甲基丙烯酸酯（例如，自含有甲基丙烯酸酯官能基之（一或多種）單體之加成聚合所形成的熱塑性聚合物）、聚烯烴（例如，聚乙烯及聚丙烯）、苯乙烯和基於苯乙烯之隨機及嵌段共聚物、氯化聚合物（例如，聚氯乙烯）、氟化聚合物（例如，聚二氟亞乙烯；四氟乙烯、六氟丙烯與二氟亞乙烯之共聚物；乙烯、四氟乙烯之共聚物；六氟丙烯；及聚四氟乙烯）、以及乙烯與三氟氯乙烯之共聚物。在一些實施例中，熱塑性聚合

物包括均聚物或共聚物（例如，嵌段共聚物或隨機共聚物）。在一些實施例中，熱塑性聚合物包括至少二種熱塑性聚合物類型之混合物（例如，聚乙烯與聚丙烯之混合物或聚乙烯與聚丙烯酸酯之混合物）。在一些實施例中，聚合物可係聚乙烯（例如，超高分子量聚乙烯）、聚丙烯（例如，超高分子量聚丙烯）、聚乳酸、聚(乙烯-共-三氟氯乙烯)、及聚二氟亞乙烯中之至少一者。在一些實施例中，熱塑性聚合物係單一熱塑性聚合物（即，其不是至少二種熱塑性聚合物類型之混合物）。在一些實施例中，熱塑性聚合物基本上由聚乙烯（例如，超高分子量聚乙烯）所組成、或由聚丙烯（例如，超高分子量聚丙烯）所組成。

【0016】 在一些實施例中，用來製造本文所述之聚合物基質複合物的熱塑性聚合物係具有小於 1000（在一些實施例中，在 1 至 10、10 至 30、30 至 100、100 至 200、200 至 500、500 至 1000 之範圍內）微米之粒徑的粒子。

【0017】 在一些實施例中，多孔聚合網絡結構包含下列中之至少一者：聚丙烯腈、聚胺甲酸酯、聚酯、聚醯胺、聚醚、聚碳酸酯、聚醯亞胺、聚矽、聚伸苯醚、聚丙烯酸酯、聚甲基丙烯酸酯、聚烯烴、苯乙烯或基於苯乙烯之隨機及嵌段共聚物、氯化聚合物、氟化聚合物、或乙烯與三氟氯乙烯之共聚物。在一些實施例中，多孔聚合網絡結構包含具有在 5×10^4 至 1×10^7 （在一些實施例中，在 1×10^6 至 8×10^6 、 2×10^6 至 6×10^6 、或甚至 3×10^6 至 5×10^6 之範圍內）g/mol 之範圍內之數量平均分子量的聚合物。出於本揭露之目的，數量平均分子量可藉由所屬技術領域中已知的技術（例如，凝膠滲透層析術

(GPC)）測量。可在適用於熱塑性聚合物之溶劑中、連同使用窄分子量分布聚合物標準品（例如，窄分子量分布聚苯乙烯標準品）進行 GPC。熱塑性聚合物通常係表徵為部分結晶的，展現一熔點。在一些實施例中，熱塑性聚合物可具有在 120 至 350（在一些實施例中，在 120 至 300、120 至 250、或甚至 120 至 200 之範圍內） $^{\circ}\text{C}$ 之範圍內的熔點。熱塑性聚合物的熔點可藉由所屬技術領域中已知的技術測量（例如，在微差掃描熱量法(DSC)測試中所測得之初始溫度(on-set temperature)，該測試使用 5 至 10 mg 樣本、以 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 之加熱掃描速率進行，同時樣本係處於氮氣氛下）。

【0018】 在一些實施例中，聚合網絡結構係連續網絡結構（即，聚合物相包含具有連續空隙或孔隙之開孔的結構，該等連續空隙或孔隙在空隙之間形成在整個結構中延伸的互連。在一些實施例中，至少 2（在一些實施例中，至少 5、10、20、30、40、50、60、70、80、90、95、或甚至 100）體積百分比的聚合物網絡結構可係連續聚合物網絡結構。應注意的是，出於本揭露之目的，不將聚合物基質複合物中由粒子所構成之體積部分視為聚合網絡結構之部分。在一些實施例中，聚合物網絡在兩個粒子之間延伸，從而形成互連粒子之網絡。

【0019】 溶劑（例如，第一溶劑）經選擇，使得其形成混溶聚合物-溶劑溶液。溶劑可係至少兩種個別溶劑之摻合物。在一些實施例中，當聚合物係聚烯烴（例如，聚乙烯及聚丙烯中之至少一者）時，溶劑可係例如下列中之至少一者：礦物油、四氫萘、十氫萘、鄰二氯苯、環己烷-甲苯混合物、十二烷、石蠟油/蠟、煤油、異石蠟流體、

對二甲苯/環己烷混合物(1/1 wt./wt.)、莰烯、1,2,4 三氯苯、辛烷、橙油、植物油、蓖麻油、或棕櫚仁油。在一些實施例中，當聚合物係聚二氟亞乙烯時，溶劑可係例如碳酸伸乙酯、碳酸伸丙酯、或 1,2,3 三乙醯氧基丙烷(1,2,3 triacetoxyp propane)中之至少一者。溶劑可例如藉由蒸發移除。高蒸氣壓溶劑尤其適用於此移除方法。然而，如果第一溶劑具有低蒸氣壓，則可能所欲的是具有較高蒸氣壓之第二溶劑，以萃取第一溶劑，接著蒸發第二溶劑。例如，在一些實施例中，當使用礦物油作為第一溶劑時，可使用升高溫度（例如，約 60°C）下之異丙醇或甲基九氟丁醚(C₄F₉OCH₃)、乙基九氟丁醚(C₄F₉OC₂H₅)、與反-1,2-二氯乙烯（可例如以商標名稱「NOVEC 72DE」購自 3M Company, St. Paul, MN）之摻合物作為第二溶劑以萃取第一溶劑，接著蒸發第二溶劑。在一些實施例中，當使用植物油或棕櫚仁油中之至少一者作為第一溶劑時，可使用升高溫度（例如，約 60°C）下之異丙醇作為第二溶劑。在一些實施例中，當使用碳酸伸乙酯作為第一溶劑時，可使用水作為第二溶劑。

【0020】 在一些實施例中，可將少量的其他添加劑添加至聚合物基質複合物中以賦予額外功能性或作為加工助劑。這些包括黏度改質劑（例如，發煙二氧化矽、嵌段共聚物、及蠟）、塑化劑、熱穩定劑（例如，諸如可例如以商標名稱「IRGANOX 1010」購自 BASF, Ludwigshafen, Germany）、抗微生物劑（例如，銀及四級銨）、阻燃劑、抗氧化劑、染料、顏料、及紫外線(UV)穩定劑。

【0021】 一般而言，將漿體連續混合或摻合，以防止或減少聚合物及/或粒子自溶劑中沉降或分離出來。在一些實施例中，漿體係使用所屬技術領域中已知用來移除包埋空氣之技術來除氣。

【0022】 可使用所屬技術領域中已知的技術來將漿體形成為物品，包括刮刀塗佈、輥塗（例如，透過已定義的輥隙(nip)進行輥塗）、及透過任何數量之具有適當尺寸或輪廓的不同模頭進行塗佈。

【0023】 在本文所述之方法的一些實施例中，組合係在低於聚合物熔點且低於溶劑沸點的溫度下進行。

【0024】 在本文所述之方法的一些實施例中，加熱係在高於混溶熱塑性聚合物-溶劑溶液之熔點、且低於溶劑沸點的至少一個溫度下進行。

【0025】 在本文所述之方法的一些實施例中，誘導相分離係在低於漿體中聚合物之熔點的至少一個溫度下進行。雖然不想要受到束縛，但據信在一些實施例中，用來與聚合物製成混溶摻合物之溶劑可在聚合物中造成熔點下降。本文所述之熔點包括低於聚合物溶劑系統之任何熔點下降。

【0026】 在本文所述之方法的一些實施例中，聚合網絡結構可在相分離期間形成。在一些實施例中，聚合網絡結構係藉由混溶熱塑性聚合物-溶劑溶液之誘導相分離提供。在一些實施例中，相分離係熱誘導的（例如，經由淬冷至低於加熱期間所使用之溫度所致之熱誘導相分離(TIPS)）。冷卻可例如在空氣、液體中或在固體界面上提供，並且可加以變化以控制相分離。聚合網絡結構可固有地係多孔的（即，具

有孔隙)。孔隙結構可係開放的，實現自聚合網絡結構之內部區域至聚合網絡結構之外表面的流體連通、及/或介於聚合網絡結構之第一表面與聚合網絡結構之相對第二表面之間的流體連通。

【0027】 在本文所述之方法之一些實施例中，溶劑對聚合物之重量比係至少 9:1。在一些實施例中，粒子對聚合物之體積比係至少 9:1。在一些實施例中，且為了易於製造，可能所欲的是在室溫下形成層。一般而言，在使用相分離之層形成期間，相對小的孔隙尤其容易在溶劑萃取期間塌縮。本文所述之方法可實現的相對高粒子對聚合物裝載量可減少孔隙塌縮並產生更均勻的無缺陷聚合物基質複合物。

【0028】 在如本文所述製造之聚合物基質複合物的一些實施例中，以聚合物基質複合物（不包括任何溶劑）之總重量計，粒子之存在量係在 1 至 99（在一些實施例中，在 15 至 99、25 至 98、50 至 98、75 至 98、或甚至 93 至 97 之範圍內）重量百分比之範圍內，並可取決於例如所使用之具體粒子。

【0029】 聚合網絡結構可描述為多孔聚合網絡或多孔相分離聚合網絡。通常而言，多孔聚合網絡（如製成時(as-made)）包括互連之多孔聚合網絡結構，該多孔聚合網絡結構包含複數個互連之形態（例如，下列中之至少一者：纖絲、結節、節點、開孔、閉孔、葉狀蕾絲、絲線、結節、球體、或蜂巢）。互連聚合結構可直接黏附至粒子表面，並作為粒子之黏合劑。就此而言，相鄰粒子（例如，粒子或黏聚粒子）之間的空間可包括聚合結構（而不是固體基質材料），藉以提供所欲之孔隙度。

【0030】 在一些實施例中，聚合網絡結構可包括 3 維網狀結構，其包括互連之聚合纖絲網絡。在一些實施例中，個別纖絲具有在 10 nm 至 100 nm（在一些實施例中，在 100 nm 至 500 nm、或甚至 500 nm 至 5 微米之範圍內）之範圍內的平均寬度。

【0031】 在一些實施例中，粒子係分散於聚合網絡結構內，使得粒子（例如，個別粒子或個別黏聚粒子）之個別單元的外部表面大部分未被聚合網絡結構接觸或塗佈。就此而言，在一些實施例中，以個別粒子之外部表面的總表面積計，聚合網絡結構在個別粒子之外部表面上的平均面積覆蓋百分比（即，與聚合網絡結構直接接觸之外部表面積的百分比）不大於 50（在一些實施例中，不大於 40、30、25、20、10、5、或甚至不大於 1）百分比。

【0032】 在一些實施例中，聚合網絡結構未穿透個別粒子（例如，個別粒子或個別黏聚粒子）之內部孔隙或內部表面區域，即大部分未被聚合網絡結構接觸或塗佈。

【0033】 例示性粒子包括聲學活性粒子、軟磁粒子、導熱粒子、隔熱粒子、膨脹型粒子、功能性粒子、介電粒子、指示劑粒子、極性溶劑可溶性粒子、極性溶劑可溶脹粒子、或吸熱粒子。

-聲學活性粒子

【0034】 如本文中所使用，「聲學活性粒子(acoustically active particle)」係指材料與對其衝擊或透過其傳播以引起波性質（例如，頻率、波長、振幅、速度）變化之時間變化壓力波（例如，聲波）交互

作用的能力，這係在含有該材料之產生聲音裝置（例如，揚聲器）之共振頻率及/或聲壓位準輸出的變化中展現。該等變化可根據本文中之測試方法測量，該等測試方法分別稱為「阻抗測試」（參見以下實例）及「聲壓位準(SPL)測試」（參見以下實例）。如本文中所使用，「聲學活性」材料係具有以下特性之材料：根據阻抗測試或聲壓位準(SPL)測試，在 1 cm³ 後腔體積(back volume)下將揚聲器系統之共振頻率(F₀)降低至少 10 Hz，或在 1 cm³ 後腔體積下將揚聲器系統之聲壓位準(SPL)在 200 至 500 Hz 之頻率範圍內平均改善至少 0.1 dB。

【0035】 在一些實施例中，以聲學活性粒子及聚合物（不包括任何溶劑）之總重量計，聲學活性粒子在聚合基質複合物中之存在量係在 50 至 99（在一些實施例中，在 70 至 98、80 至 95、或甚至 94 至 98 之範圍內）重量百分比之範圍內。

【0036】 例示性聲學活性粒子包括分子篩、富勒烯(fullerene)、及碳奈米管、以及包含金屬氧化物（例如，二氧化矽(SiO₂)、氧化鋁(Al₂O₃)、氧化鋯(ZrO₃)、氧化鎂(MgO)、及氧化鐵黑(Fe₃O₄)）之粒子。在一些實施例中，聲學活性材料可具有不含或實質上不含沸石及活性碳之組成物。

【0037】 在一些實施例中，聲學活性材料可具有內部孔隙度。如本文所使用，「內部孔隙度(internal porosity)」可係指聲學活性材料粒子或聲學活性材料黏聚物內之（一或多個）連續或不連續空隙體積。（一或多個）空隙體積可與聲學活性材料粒子或聲學活性材料粒子黏聚物之表面相交，或可完全容納在聲學活性材料粒子或聲學活性材料

粒子黏聚物內。(一或多個) 空隙體積可用空氣或另一種氣體或氣體混合物在大氣壓力、低於大氣壓力之壓力、或高於大氣壓力之壓力下填充。在一些實施例中，聲學活性材料可具有範圍介於 1 nm 與 100 微米之間的平均孔隙大小。在一些實施例中，活性材料之孔隙大小可具有雙峰分布，小的孔隙在 1 至 100 奈米之範圍內，且大的粒子間孔隙在 100 奈米至 100 微米之範圍內。可使用習知孔隙大小分析技術，包括剖面之成像（例如，光學顯微鏡、掃描式電子顯微鏡、或原子力顯微鏡），並使用適當軟體（例如，ImageJ 軟體（開放原始碼軟體，可在例如 <http://imagej.net> 線上取得）分析影像，以統計分析孔隙大小及孔隙大小分布。X 光顯微術及水銀測孔術亦可用於分析孔隙大小及/或孔隙大小分布。在一些實施例中，聲學活性材料可具有大於 50（在一些實施例中，大於 500；在一些實施例中，在 50 至 1000、300 至 1000、500 至 1000、或甚至 300 至 500 之範圍內） m^2/g 的比表面積。可使用習知比表面積分析技術（包括 Brunauer-Emmett-Teller (BET) 表面積或吸油量）以統計分析比表面積。

【0038】 在一些實施例中，聲學活性材料係疏水性的。材料可經表面處理或改質，以賦予其他親水性材料疏水性。在一些實施例中，表面處理包括基於矽烷或氟之表面處理。在一些實施例中，疏水性表面處理係以最小化活性表面位點之消耗同時仍然賦予疏水性的濃度施加。在一些實施例中，以根據表面位點之理論分布及測得之表面積計算、或者藉由諸如 O_2 化學吸附、醇吸收之技術或所屬技術領域中具有通常知識者已知之類似技術測量的活性表面位點之總數目計，疏水性

表面處理係附接至 0.1 至 10（在一些實施例中，在 0.1 至 5、0.1 至 3、或甚至 0.5 至 3 之範圍內）百分比之範圍內的活性表面位點。如本文中所使用，用語「活性表面位點(active surface site)」係指聲學活性材料表面上可用於離子或共價鍵結以修改化學性質之化學位點（例如，孤立氧原子）。

【0039】 在一些實施例中，聲學活性材料可係電絕緣的（即，具有至少 $1 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ 的電阻率）。

【0040】 在一些實施例中，聲學活性粒子具有在 100 nm 至 20 微米（在一些實施例中，在 500 nm 至 10 微米、100 nm 至 2 微米、500 nm 至 2 微米、1 微米至 10 微米、或甚至 1 微米至 5 微米之範圍內）之範圍內的平均粒徑（最長尺寸之平均長度）。在一些實施例中，聲學活性材料可呈黏聚粒子形式，其包含由例如內聚力、無機黏合劑、或有機黏合劑結合在一起之複數個較小粒子。

【0041】 包含聲學活性粒子之聚合物基質複合物可用於例如在電子裝置（例如，行動電話、平板電腦、及膝上型電腦）中作為聲學裝置（例如，揚聲器或麥克風）的一部分。當共振頻率在例如約 50 Hz 至約 1500 Hz 之範圍內時，聚合物基質複合物之實施例能夠降低腔體之共振頻率。在一些實施例中，聚合物基質複合物可以例如膜或墊之形式存在於腔體中，該膜或墊可係電絕緣且疏水性的。聚合物基質複合物亦可用作為例如醫療裝置、汽車裝置、及通訊裝置（諸如耳機）、及音頻-視訊裝置中的聲學活性材料。有關進一步細節，請參見例如具

有美國序號 62/519,560 之臨時專利申請案（2017 年 6 月 14 日提出申請），其揭露係以引用方式併入本文中。

-軟鐵磁粒子

如本文中所使用，「軟鐵磁粒子(soft ferromagnetic particle)」係指磁場定向性(magnetic field directional)材料。描述鐵磁顆粒材料之用語「軟(soft)」具有其在所屬技術領域中之傳統意義，且關於非磁性材料當放在磁場（例如，弱磁場）內時變成具有磁性之能力。當移除磁場時，軟鐵磁顆粒材料之感應磁性將實質上消失（即，材料在外加磁場中展現可逆轉之磁性）。在一些實施例中，軟磁顆粒材料之矯頑磁性(coercivity) H_c 不大於 1000 A/m（在一些實施例中，在 1 至 1000 之範圍內（在一些實施例中，在 10 至 1000、或甚至 30 至 1000 之範圍內)) A/m。軟鐵磁材料可具有窄的磁滯迴路(hysteresis loop)（即，低的矯頑磁性值，如以上連同超過 300 mT（在一些實施例中，500 mT、或甚至 1.0 T）之高磁性飽和感應(magnetic saturation induction)、大於 $100 \mu_0$ （在一些實施例中，大於 $1000 \mu_0$ 、或甚至 $10,000 \mu_0$ ）之高磁導率(permeability)所指示，其中 $\mu_0 =$ 真空磁導率 $4\pi \times 10^{-7} H/m$ ，且導電率足夠低以在操作頻率下讓外加場對於軟鐵磁粒子有可接受之透入。此可允許之最大導電率水準取決於輻射在粒子中的集膚深度(skin depth)，此在大多數情況下應該小於軟鐵磁粒子之厚度的約兩倍。以公尺計之集膚深度 δ 可自以下計算得到（全都使用 MKS 單位，且 等於薄片以西門子/m 計之導電率）

$$\delta = \sqrt{1/\pi\mu\sigma f}$$

【0042】 在一些實施例中，以軟鐵磁粒子及聚合物（不包括任何溶劑）之總重量計，軟鐵磁粒子在聚合基質複合物中之存在量係在 50 至 99（在一些實施例中，在 70 至 98、80 至 95、或甚至 94 至 98 之範圍內）重量百分比之範圍內。

【0043】 在一些實施例中，軟鐵磁顆粒材料包括下列鐵中之至少一者：Fe-Cr 合金、Fe-Si 合金（例如，Fe-Si-Al（可例如以商標名稱「SENDUST」購自 TianJin Ecotech Trade Co., Ltd., Tianjin, China）、及 Fe-Si-Cr)、FeCoB、基於 Fe 之非晶形合金、奈米晶形的基於 Fe 之氧化物、奈米晶形的基於 Fe 之氮化物、基於鎳之合金（例如，Ni-Fe 合金及 Ni-Si 合金)、CoNbZr、或基於硼之非晶形合金。

【0044】 在一些實施例中，軟鐵磁顆粒材料係呈薄片之形狀。可將薄片視為不規則形狀之板狀結構，其具有第一主表面及第二主表面以及厚度，該厚度實質上法向於該第一主表面及第二主表面中之至少一者。在一些實施例中，軟鐵磁顆粒材料係軟鐵磁顆粒薄片材料，其中各薄片具有第一主表面及最大厚度 T，該最大厚度法向於薄片之第一主表面。在一些實施例中，軟鐵磁顆粒薄片材料可藉由中值直徑 D_{50} （其與長度尺寸 L 相關）及最大厚度 T 表徵。在一些實施例中，軟鐵磁顆粒材料可係各向異性軟鐵磁顆粒材料。各向異性軟鐵磁顆粒之縱橫比(aspect ratio)可定義為中值直徑 D_{50} （如藉由例如粒徑分析所判定）除以各向異性顆粒之最大厚度（如例如自影像分析所判定）。針對

一組特定軟鐵磁顆粒材料，可採用最大厚度之值作為中值之值 T_m 。比率 $D_{50}:T_m$ 係中值縱橫比。在一些實施例中，中值縱橫比 $D_{50}:T_m$ 係在 5:1 至 1000:1 之範圍內（在一些實施例中，在 10:1 至 1000:1、20:1 至 1000:1、5:1 至 500:1、10:1 至 500:1、20:1 至 500:1、5:1 至 200:1、10:1 至 200:1、或甚至 20:1 至 200:1 之範圍內）。

【0045】 在一些實施例中，可採用薄片之影像長度 Li （如在聚合物複合物之剖面影像中所觀察及測量）作為薄片之長度，且可採用薄片之影像厚度 Ti 作為薄片之最大厚度（如在聚合物複合物之剖面影像中所觀察及測量）。影像可係例如光學顯微照片或掃描式電子顯微照片 (SEM)。針對於一組特定軟鐵磁顆粒薄片，可使用標準統計分析方法，採用 Li 及 Ti 之值作為薄片子組之平均值 Lia （平均影像長度）及 Tia （平均影像厚度）。在一些實施例中， Lia/Tia 係在 5:1 至 1000:1、10:1 至 1000:1、20:1 至 1000:1、5:1 至 500:1、10:1 至 500:1、20:1 至 500:1、5:1 至 200:1、10:1 至 200:1、或甚至 20:1 至 200:1 之範圍內。

【0046】 在一些實施例中， D_{50} 係在 5 至 5000（在一些實施例中，在 5 至 1000、5 至 500、5 至 200、10 至 5000、10 至 1000、10 至 500、10 至 200、25 至 5000、25 至 1000、25 至 500、或甚至 25 至 200 之範圍內）微米之範圍內。

【0047】 在一些實施例中，軟鐵磁顆粒薄片材料之薄片具有中值直徑 D_{50} ，且熱塑性聚合物網絡結構具有平均孔隙大小 P ，且 $D_{50} > 2P$ 。在一些實施例中， D_{50} 係在 25 微米至 5000 微米之範圍內， P 係在

50 奈米至 25 微米之間，且 $D_{50} > 2P$ (在一些實施例中， D_{50} 係在 10 微米至 5000 微米之範圍內，P 係在 50 奈米至 25 微米之範圍內，且 $D_{50} > 2P$ ； D_{50} 係在 25 微米至 5000 微米之範圍內，P 係在 50 奈米至 25 微米之範圍內，且 $D_{50} > 4P$ ； D_{50} 係在 10 微米至 5000 微米之範圍內，P 係在 50 奈米至 25 微米之範圍內，且 $D_{50} > 4P$ ； D_{50} 係在 25 微米至 5000 微米之範圍內，P 係在 50 奈米至 25 微米之範圍內，且 $D_{50} > 6P$ ，或甚至 D_{50} 係在 10 微米至 5000 微米之範圍內，P 係在 50 奈米至 25 微米之範圍內，且 $D_{50} > 6P$)。

【0048】 包含軟磁粒子之聚合物基質複合物可例如用於無線電力變換應用、或需要使磁場定向或保持遠離敏感電子組件及電池組的任何其他電子應用。有關進一步細節，請參見例如具有美國序號 15/382,834 之申請案（2016 年 12 月 19 日提出申請）、美國專利公開案第 2018/0174723 號（2018 年 6 月 21 日公開），其揭露係以引用方式併入本文中。

-導熱粒子

【0049】 如本文中所使用，「導熱粒子(thermally conductive particle)」係指具有大於 $2 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$ 之導熱率的粒子。在一些實施例中，以導熱粒子及聚合物（不包括任何溶劑）之重量計，導熱粒子在聚合基質複合物中之存在量係在 15 至 99（在一些實施例中，在 25 至 98、50 至 98、75 至 98、或甚至 93 至 97 之範圍內）重量百分比之範圍內。

【0050】 例示性導熱粒子包括金屬、半導體、及陶瓷。例示性導熱粒子包括下列中之至少一者：鋁、銅、銀、石墨、鑽石、SiC、 Si_3N_4 、AlN、BeO、MgO、 Al_2O_3 、氫氧化鋁、氧(氫氧)化鋁、六方氮化硼(h-BN)、立方氮化硼(c-BN)、ZnO、天然鋁矽酸鹽、或合成鋁矽酸鹽。

【0051】 導熱粒子之例示性大小係在大小為數百奈米至數百微米之範圍內。導熱粒子之例示性形狀包括不規則、板狀、針狀、球形、以及黏聚形式。黏聚物之大小可在例如幾微米到至多且包括幾毫米之範圍內。粒子可經混合以具有多峰大小分布，此可例如允許最佳的堆積密度。

【0052】 在一些實施例中，導熱粒子包含不導電粒子（例如，包含氮化硼、三水合鋁、碳化矽、及金屬氧化物（例如，鋁氧化物及氧化鐵）之陶瓷粒子）。

【0053】 在一些實施例中，導熱粒子包含導電粒子（例如，包含鋁、銅、鎳、及金之金屬粒子）。

【0054】 在一些實施例中，導熱粒子具有在 100 nm 至 2 mm 之範圍內（在一些實施例中，在 200 nm 至 1000 nm 之範圍內）的平均粒徑（最長尺寸之平均長度）。

【0055】 在一些實施例中，導熱粒子具有雙峰或三峰分布。粒子之多峰分布可允許更高之堆積效率，改善粒子與粒子接觸，從而改善導熱率。

【0056】 如製成時之包含導熱粒子的聚合物基質複合物（即，在任何壓縮或其他形成後緻密化之前），一般具有至少 0.3（在一些實施例中，至少 0.4、0.5、1、2、3、或甚至至少 4；在一些實施例中，在 0.3 至 7、1 至 6、2 至 5、或甚至 3 至 4 之範圍內） g/cm^3 的密度。

【0057】 在一些實施例中，包含導熱粒子之聚合物基質複合物的導熱率係藉由下列方式改善：將聚合物基質複合物壓縮，藉以增加聚合物基質複合物之密度。在一些實施例中，壓縮可在升高溫度（例如，高於聚合物基質之玻璃轉移溫度，或甚至在一些實施例中，高於聚合物基質之熔點）下發生。在一些實施例中，經壓縮之聚合物基質複合物具有至少 1（在一些實施例中，至少 2、3、4、5、6、7、8、9、或甚至至少 10；在一些實施例中，在 1 至 10、1 至 9、3 至 8、或甚至 4 至 7 之範圍內） g/cm^3 的密度。

【0058】 在一些實施例中，包含導熱粒子之聚合物基質複合物的導熱率係藉由下列方式改善：將聚合物基質複合物壓縮，藉以增加聚合物基質複合物之密度。在一些實施例中，壓縮可在升高溫度（例如，高於聚合物基質之玻璃轉移溫度，或甚至在一些實施例中，高於聚合物基質之熔點）下發生。在一些實施例中，經壓縮之聚合物基質複合物具有至少 1（在一些實施例中，至少 2、3、4、5、6、7、8、9、或甚至至少 10；在一些實施例中，在 1 至 10、1 至 9、3 至 8、或甚至 4 至 7 之範圍內） g/cm^3 的密度。

【0059】 在一些實施例中，包含導熱粒子之聚合物基質複合物具有小於 80（在一些實施例中，在 0 至 80、0 至 70、0 至 60、10 至

80、10 至 70、10 至 60、10 至 50、10 至 40、10 至 30、或甚至 5 至 20 之範圍內) 百分比的孔隙度。

【0060】 在一些實施例中，包含導熱粒子之聚合物基質複合物係呈一層之形式，該層之厚度係在 50 至 7000 微米之範圍內，其中該厚度不包括從該層之基部延伸之任何突起的高度。

【0061】 在一些實施例中，包含導熱粒子之經壓縮聚合物基質複合物的密度在壓縮後係至少 1 (在一些實施例中，至少 2、3、4、5、6、7、8、9、或甚至至少 10；在一些實施例中，在 1 至 10、1 至 9、3 至 8、或甚至 4 至 7 之範圍內) g/cm^3 。

【0062】 在一些實施例中，將包含導熱粒子之聚合基質複合物壓縮係藉由增加粒子與粒子接觸來增加其密度及導熱率。如果使用諸如銅之導電粒子，粒子與粒子接觸的增加可藉由電阻隨壓縮程度增加而降低來測量。在一些實施例中，未經壓縮之聚合基質複合物之電阻係在 14 百萬歐姆到至少 100 百萬歐姆之範圍內。在一些實施例中，經壓縮之聚合基質複合物之電阻係在 0.5 至 13,000 歐姆之範圍內。在一些實施例中，將聚合基質複合物壓縮會降低其電阻 (在一些實施例中，至少 8×10^9 百分比 (在一些實施例中， 2.5×10^9 百分比))。

【0063】 壓縮會增加密度，其固有地降低包含導熱粒子之聚合物基質複合物的絕緣空氣體積 (或孔隙度)，從而增加導熱率。同樣地，與導熱粒子之粒子與粒子接觸的增加可藉由導熱率的增加來測量。

【0064】 在一些實施例中，包含導熱粒子之未經壓縮之聚合物基質的穿透平面(through-plane)導熱率係在 0.2 至 0.8 $\text{W}/(\text{m} * \text{K})$ 之範圍

內，且面內(in-plane)導熱率係 0.73 至 2.5 W/(m * K)。在一些實施例中，經壓縮之聚合基質複合物之導熱率係在 0.4 至 11.4 W/(m * K)-穿透平面；0.87 至 74 W/(m * K)-面內之範圍內。

【0065】 在一些實施例中，將包含導熱粒子之聚合基質複合物壓縮會使其導熱率在穿透平面方向上增加至少 25（在一些實施例中，至少 100、1000、2000、3000、或甚至至少 3500）百分比，且在面內方向上增加至少 84（在一些實施例中，至少 1000、2000、3000、4000、5000、或甚至至少 5400）百分比。

【0066】 包含導熱粒子之聚合物基質複合物可用於例如作為熱界面材料（例如，電子裝置（例如，電池組、馬達、冰箱、電路板、太陽能電池、及加熱器）中的熱導體）。有關以本文所述之程序製造之包含導熱粒子的聚合物基質複合物之進一步細節，亦請參見具有美國臨時專利申請案號 62/587031 的同在審查中之申請案（2017 年 11 月 16 日提出申請），其揭露係以引用方式併入本文中。

-隔熱粒子

【0067】 如本文中所使用，「隔熱粒子(thermally insulating particle)」係指具有不大於 0.1 W/(m * K)之導熱率的粒子。在一些實施例中，以隔熱粒子及聚合物（不包括任何溶劑）之總重量計，隔熱粒子在聚合基質複合物中之存在量係在 15 至 99（在一些實施例中，在 5 至 98、50 至 98、75 至 98、或甚至 84 至 91 之範圍內）重量百分比之範圍內。

【0068】 例示性隔熱粒子包括陶瓷（包括玻璃、結晶陶瓷、及玻璃陶瓷）、聚合物、及金屬。例示性隔熱粒子包括陶瓷（例如，玻璃泡）、蛭石、珍珠岩、矽藻土、氣凝膠、或聚合物中之至少一者。

【0069】 隔熱粒子之例示性大小係在大小為數百奈米至數千微米之範圍內。隔熱粒子之例示性形狀包括不規則、板狀、針狀、球形、以及黏聚形式。黏聚物之大小可在例如幾微米到至多且包括幾毫米之範圍內。在一些實施例中，隔熱粒子係呈中空、氣泡、或多孔材料之形式，以包埋更多空氣從而提供更佳的隔熱。

【0070】 在一些實施例中，隔熱粒子具有在 100 nm 至 2 mm 之範圍內（在一些實施例中，在 15 微米至 125 微米、或甚至 30 微米至 60 微米之範圍內）的平均粒徑（最長尺寸之平均長度）。

【0071】 在一些實施例中，包含隔熱粒子之聚合物基質複合物具有至少 25（在一些實施例中，在 25 至 50、30 至 60、或甚至 40 至 90 之範圍內）百分比的孔隙度。

【0072】 在一些實施例中，包含隔熱粒子之聚合物基質複合物係呈一層之形式，該層之厚度係在 50 至 7000 微米之範圍內，其中該厚度不包括從該層之基部延伸之任何突起的高度。

【0073】 包含隔熱粒子之聚合物基質複合物可用於例如夾克、冰箱、及管道塗層中。有關以本文所述之程序製造之包含隔熱粒子的聚合物基質複合物之進一步細節，亦請參見具有美國臨時專利申請案號 62/587035 的同在審查中之申請案（2017 年 11 月 16 日提出申請），其揭露係以引用方式併入本文中。

-膨脹型粒子

【0074】 如本文中所使用，「膨脹型粒子(intumescent particle)」係指當暴露於熱時會膨脹的粒子。暴露於熱之結果為粒子體積增加及粒子密度降低。粒子體積及密度的變化可根據 ASTM 標準 E2786 (2015)測試，其揭露係以引用方式併入本文中。

【0075】 在一些實施例中，以膨脹型粒子及聚合物（不包括任何溶劑）之總重量計，膨脹型粒子在聚合基質複合物中之存在量係在 15 至 99（在一些實施例中，在 25 至 98、50 至 98、75 至 98、或甚至 93 至 97 之範圍內）重量百分比之範圍內。

【0076】 膨脹型粒子可採取聚合材料或無機材料中之至少一者的形式，且該材料能夠因暴露於高於其活化溫度之熱而顯著增加體積。示意性膨脹型粒子包含下列中之至少一者：矽酸鈉、夾層(intercalated)石墨、氫氧化鋁、氫氧化鎂、多磷酸銨、黏土、或蛭石。

【0077】 膨脹型粒子的選擇可取決於例如所欲之最終用途而變化。例如，針對約 500°C 之溫度，未膨脹蛭石材料係所欲的，因為其等一般在約 300 至約 340°C 之範圍內的溫度下開始膨脹，以填充例如在催化轉化器中的膨脹金屬外殼與單塊體(monolith)之間的膨脹間隙。針對在低於約 500°C 之使用（例如，在柴油單塊體或顆粒過濾器中），可膨脹石墨或可膨脹石墨與未膨脹蛭石材料之混合物可能是所欲的，

因為可膨脹石墨一般在約 210°C 下開始膨脹或腫脹。經處理蛭石亦為有用的且一般在約 290°C 之溫度下膨脹。

【0078】 有用之膨脹型材料亦包括未膨脹蛭石礦石、經處理之未膨脹蛭石礦石、部分脫水之蛭石礦石、可膨脹石墨（例如，可膨脹石墨薄片，其可例如以商標名稱「GRAFOIL GRADE 338-5O」購自 UCAR Carbon Co., Inc., Cleveland, OH）、可膨脹石墨與經處理及/或未經處理之未膨脹蛭石礦石的混合物、經加工之可膨脹矽酸鈉（例如，不可溶矽酸鈉，其可例如以商標名稱「EXPANTROL」購自 3M Company, St. Paul, MN）、及其混合物。

【0079】 經處理之未膨脹蛭石薄片或礦石包括以下列程序處理之未膨脹蛭石：諸如藉由以離子交換鹽（例如，磷酸二氫銨、硝酸銨、氯化銨、氯化鉀、及如所屬技術領域中已知之其他合適化合物）進行離子交換。

【0080】 併入聚合物基質複合物中之膨脹型材料的量及類型可對產品的成本有顯著貢獻。未經處理之膨脹型材料（諸如未膨脹蛭石）通常比經處理之膨脹型材料便宜，但可提供不同的膨脹溫度和膨脹量及膨脹速率。

【0081】 在一些實施例中，膨脹型粒子具有能夠容易剝落的層狀結構。在粒子的個別層內，可引入流體（例如硫酸）並緊緊地固持在層的表面（夾層化）。當使此類材料暴露於熱時，固持在層內之流體會膨脹。流體的膨脹會推動個別之層，使其等分開得更遠（剝落）。此行

為的一個觀察到結果是體積膨脹之主體膜。膨脹程度、及膨脹的發生溫度取決於例如夾入層間之流體類型。

【0082】 在一些實施例中，膨脹型材料係主要為固相之顆粒，其會轉變成包括固相及氣相兩者。例如，膨脹型粒子可含有受熱時會揮發的表面吸附物種。此類粒子之實例包括與水相聯繫者（例如，硫酸鈣脫水物）。當此類型的材料受熱時，一些與粒子表面相聯繫之水分子會從吸附物種變成蒸氣相。吸附物種的釋放導致包含粒子之聚合物基質複合物的體積變化。所產生之蒸氣會推動周圍的基質，造成結構體積的增加。

【0083】 在一些實施例中，膨脹型粒子包含不同（即，不同之活化溫度、組成、及/或微結構）之第一膨脹型粒子及第二膨脹型粒子。在一些實施例中，第一膨脹型粒子包含下列中之至少一者：矽酸鈉、夾層石墨、氫氧化鋁、氫氧化鎂、多磷酸銨、黏土、或蛭石。在一些實施例中，第二膨脹型粒子包含下列中之至少一者：矽酸鈉、夾層石墨、氫氧化鋁、氫氧化鎂、多磷酸銨、黏土、或蛭石。組合兩種不同之膨脹型粒子類型可提供更廣泛的熱活化範圍，並能夠在較低的起始溫度下進行更大的膨脹。

【0084】 在一些實施例中，第一膨脹型粒子具有在 500 nm 至 7000 微米（在一些實施例中，在 70 微米至 300 微米、300 微米至 800 微米、800 微米至 1500 微米、或甚至 1500 微米至 7000 微米之範圍內）之範圍內的平均粒徑（最長尺寸之平均長度）。在一些實施例中，第二膨脹型粒子具有在 500 nm 至 1500 微米（在一些實施例中，在 70

微米至 300 微米、300 至 800 微米、或甚至 1500 微米至 7000 微米之範圍內) 之範圍內的平均粒徑 (最長尺寸之平均長度)。

【0085】 在一些實施例中，以第一膨脹型粒子及第二膨脹型粒子之總重量計，第一膨脹型粒子之存在量係在 15 至 99 (在一些實施例中，在 25 至 98、50 至 98、75 至 98、或甚至 93 至 97 之範圍內) 重量百分比之範圍內，且第二膨脹型粒子之存在量係在 15 至 99 (在一些實施例中，在 25 至 98、50 至 98、75 至 98、或甚至 93 至 97 之範圍內) 重量百分比之範圍內。

【0086】 膨脹型粒子之例示性大小係在大小為數百奈米至數千微米之範圍內。膨脹型粒子之例示性形狀包括不規則、及板形、以及黏聚形式。黏聚物之大小可在例如幾微米到至多且包括數毫米之範圍內。粒子可經混合以具有多峰大小分布，此可例如允許最佳的堆積密度。

【0087】 如製成時之包含膨脹型粒子的聚合物基質複合物 (即，在任何壓縮或其他形成後緻密化之前)，一般具有至少 0.3 (在一些實施例中，在 0.3 至 2.3、0.3 至 2.1、0.3 至 1.5、或甚至 0.3 至 1 之範圍內) g/cm^3 的密度。

【0088】 在一些實施例中，包含膨脹型粒子之經壓縮聚合物基質複合物具有至少 0.3 (在一些實施例中，在 0.3 至 2.3、0.3 至 2.1、0.3 至 1.5、或甚至 0.3 至 1 之範圍內) g/cm^3 的密度。

【0089】 在一些實施例中，包含膨脹型粒子的聚合物基質複合物具有至少 5 (在一些實施例中，在 10 至 80、20 至 70、或甚至 30 至 60 之範圍內) 百分比的孔隙度。

【0090】 在一些實施例中，包含膨脹型粒子之聚合物基質複合物係呈一層之形式，該層之厚度係在 50 至 11000 微米之範圍內，其中該厚度不包括從該層之基部延伸之任何突起的高度。

【0091】 包含膨脹型粒子之聚合物基質複合物可用於例如作為填料、熱活化保險絲、及擋火裝置。有關一般擋火裝置之進一步細節，請參見例如美國專利第 6,820,382 號 (Chambers 等人)，其揭露係以引用方式併入本文中。有關一般填料之進一步細節，請參見例如美國專利第 6,458,418 號 (Langer 等人) 及第 8,080,210 號(Hornback, III)，其揭露係以引用方式併入本文中。有關以本文所述之程序製造之包含膨脹型粒子的聚合物基質複合物之進一步細節，亦請參見具有美國臨時專利申請案號 62/587039 的同在審查中之申請案 (2017 年 11 月 16 日提出申請)，其揭露係以引用方式併入本文中。

-功能性粒子

【0092】 如本文中所使用，「功能性粒子(functional particle)」係指包含至少一個官能基 G 之粒子，該官能基能夠提供吸收、吸附、錯合、催化、分離、或試劑功能中之至少一者給粒子。

【0093】 由於 (多個) 官能基 G 之存在，功能性粒子能夠與其等所接觸之流體或氣體內存在的目標物種交互作用。粒子可係有機的

或無機的、多孔或非多孔的、且球形或非球形的、或其（一或多種）組合，取決於所預期之最終用途「功能」。粒子一般係聚合的，雖然不一定如此（例如，其等可係金屬或玻璃）。（多個）官能基 G 可以直接附接至粒子表面，或者可附接至連結基團繼而附接至粒子。藉由所屬技術領域中熟知之各式方法，（多個）基團 G 可在粒子合成期間併入粒子中，或者可在粒子製備後附接至粒子。

【0094】 在一些實施例中，以功能性粒子及聚合物（不包括任何溶劑）之總重量計，功能性粒子在聚合基質複合物中之存在量係在 1 至 99（在一些實施例中，在 5 至 99、10 至 99、5 至 98、10 至 98、25 至 98、50 至 98、60 至 98、70 至 98、80 至 98、90 至 98、93 至 98、或甚至 95 至 98 之範圍內）重量百分比之範圍內。

【0095】 例示性功能性粒子包括層析粒子（例如，可用於純化化學或生物物種者）。例示性層析粒子包括有機及無機粒子，該等粒子包含可用於下列者之官能基：離子交換、親和、反相、正相、粒徑篩析、多峰、疏水性交互作用、金屬親和、金屬螯合、及掌性分離。例示性功能性粒子（包括層析粒子）可例如購自 Bio-Rad, Hercules, CA（例如，以商標名稱「UNOSPHERE」、「AFFIGEL」、「AFFI-PREP」、「MACRO-PREP」、「CFT」、及「CHT」）；GE Healthcare, Pittsburgh, PA（例如，以商標名稱「CAPTO」、「HITRAP」、「MABSELECT」、「SEPHACRYL」、「SEPHADEX」、「SEPHAROSE」、「SUPERDEX」及、「SUPEROSE」）；Millipore Sigma, St. Louis, MO,（例如，以商標名稱「ESHMUNO」、

「 PROSEP 」、「 FRACTOGEL 」、「 PHARMPREP 」、
「 LICHROPREP 」、及「 FLORISIL 」、以及標準矽膠及氧化鋁粒子)；
Tosoh Biosciences, Tokyo, Japan (例如，以商標名稱「 TSKGEL 」及
「 TOYOPEARL 」)；Pall, Port Washington, NY (例如，以商標名稱
「 HYPERD 」、「 HYPERCEL 」、「 KANEKA 」、「 TRISACRYL 」、及
「 ULTRAGEL 」)；Mitsubishi Chemical Corporation, Tokyo, Japan
(例如，以商標名稱「 DIAION 」)；及 Thermo-Fisher, Waltham, MA
(例如，以商標名稱「 POROS 」、「 CAPTURESELECT 」、及
「 ULTRALINK 」)。

【0096】 層析粒子亦可藉由所屬技術領域中已知之技術製造 (參見例如美國專利第 5,292,840 號 (Heilmann 等人)、第 6,379,952 號 (Rasmussen 等人)、第 7,674,835 號 (Rasmussen 等人)、第 7,674,836 號 (Rasmussen 等人)、第 8,367,198 號 (Wickert 等人)、第 8,592,493 號 (Shannon 等人)、第 8,710,111 號 (Wickert 等人)、第 9,018,267 號 (Shannon 等人)、及第 9,056,316 號 (Lawson 等人)，其等之揭露係以引用方式併入本文中。例示性功能性粒子亦包括直接共價反應性粒子 (參見例如美國專利第 5,993,935 號 (Rasmussen 等人)，其揭露係以引用方式併入本文中)。

【0097】 例示性功能性粒子亦包括可用於防污應用之保水性兩性離子凝膠電解質官能化粒子。官能化粒子可經正電荷及負電荷物種兩者接枝，以形成聚電解質分析物。

【0098】 例示性功能性粒子亦包括特徵為沉積的奈米金催化劑之高表面積催化粒子。沉積在高表面積 TiO_2 粒子上之奈米金會將一氧化碳催化成二氧化碳，將氫催化成水，並將甲醛催化成二氧化碳及水。

【0099】 例示性功能性粒子亦包括特徵為沉積的奈米金催化劑之低表面積催化粒子，其會優先將一氧化碳氧化成二氧化碳。此類選擇性反應可用於甲醇再形成，其中所欲的是氧化 CO 而不是 H_2 （例如，針對燃料電池）（參見例如美國專利第 8,314,046 號（Brady 等人）及第 7,955,570 號（Insley 等人），其等之揭露係以引用方式併入本文中）。

【0100】 例示性功能性粒子亦包括具有抗微生物性質之奈米銀或奈米銀塗佈粒子。其等亦可以作為指示劑，於硫化氫存在下會變成黑色。

【0101】 其他例示性功能性粒子包括胍官能性粒子。胍官能性粒子可用於捕獲生物物種，因為其等即使於高離子強度存在下亦會維持離子交互作用。有用之胍官能性粒子包括自胍官能性矽烷製備者（參見例如，美國專利第 9,657,038 號（Griesgraber 等人）、公開於 2018 年 2 月 8 日之美國專利公開案第 2018/0038862 號（Kshirsagar 等人）、以及藉由交聯胍官能性聚乙烯亞胺製備者（參見例如，美國專利公開案第 2017/0049926 號（Langer-Anderson 等人）），其等之揭露係以引用方式併入本文中）。

【0102】 在功能性粒子係多孔的該等實施例中，可能有利的是使用平均粒徑在 1 至 20 微米大小範圍內之粒子，因為此傾向於縮短目標物種擴散而與官能基 G 接觸所需的滯留時間。

【0103】 功能性粒子之例示性大小係在大小為數百奈米至數百微米之範圍內。功能性粒子之例示性形狀包括不規則、板狀、針狀、及球形、以及黏聚形式。黏聚物之大小可在例如幾微米到至多且包括幾毫米之範圍內。

【0104】 在一些實施例中，功能性粒子具有在 0.1 至 5000（在一些實施例中，在 1 至 500、1 至 120、40 至 200、或甚至 5 至 60 之範圍內）微米之範圍內的平均粒徑（最長尺寸之平均長度）。具有內部孔隙度之粒子可能是極為所欲的，這是由於表面積增加以及更具活性 G 部分(moiety)用於純化之潛力。此類大孔隙巨粒子之實例包括例如美國專利第 6,423,666 號（Liao 等人）中所述者。容量可藉由測量帶電荷材料可被吸附在離子交換粒子上之量來判定。使用大孔隙巨粒子的優點可係在過濾期間有較高之通量及減少留置時間。

【0105】 在一些實施例中，功能性粒子包含不同之第一功能性粒子及第二功能性粒子（即，疏水性交互作用或陽離子或陰離子或親和性），從而產生混合模式之分隔介質。在一些實施例中，第一功能性粒子包含衍生自胺基(甲基)丙烯酸酯單體或其衍生物之塗層或粒子，且第二功能性粒子包含疏水性功能性，如在色胺酸、苯丙胺酸、及白胺酸之胺基酸中所見。在一些實施例中，第一功能性粒子包含陰離子交換粒子，且第二功能性粒子包含陽離子交換粒子。在一些實施例中，

可將混合模式之功能性塗佈或聚合在相同之粒子上。在一些實施例中，包含弱鹼、強鹼、弱鹼之鹽、強鹼之鹽、或其組合的離子單體可用於製備離子交換粒子。混合模式介質有時可在僅具有一種交互作用模式的介質上針對目標物種提供增加之保留或分隔能力。有時可使用多於一種不同之功能性粒子來同時與二或更多種不同之目標物種交互作用。

【0106】 在一些實施例中，第一功能性粒子具有在 0.1 至 5000（在一些實施例中，在 1 至 500、1 至 120、40 至 200、或甚至 5 至 60 之範圍內）微米之範圍內的平均粒徑（最長尺寸之平均長度），且第二功能性粒子具有在 0.1 至 5000（在一些實施例中，在 1 至 500、1 至 120、40 至 200、或甚至 5 至 60 之範圍內）微米之範圍內的平均粒徑（最長尺寸之平均長度）。

【0107】 在一些實施例中，以第一功能性粒子及第二功能性粒子之總重量計，第一功能性粒子之存在量係在 1 至 99（在一些實施例中，在 5 至 99、10 至 99、5 至 98、10 至 98、25 至 98、50 至 98、60 至 98、70 至 98、80 至 98、90 至 98、93 至 98、或甚至 95 至 98 之範圍內）重量百分比之範圍內，且第二功能性粒子之存在量係在 1 至 99（在一些實施例中，在 5 至 99、10 至 99、5 至 98、10 至 98、25 至 98、50 至 98、60 至 98、70 至 98、80 至 98、90 至 98、93 至 98、或甚至 95 至 98 之範圍內）重量百分比之範圍內。

【0108】 在一些實施例中，包含功能性粒子之聚合物基質複合物進一步包含非功能性粒子（即，不是功能性粒子）。在一些實施例中，

非功能性粒子包含聚醯胺粒子（可例如以商標名稱「ORGASOL」購自 Arkema, Inc., King of Prussia, Pa）以用作為間隔物，如果粒子對溶解聚合物黏合劑所需之烴稀釋劑或熱敏感，則藉此防止對粒子進行加熱或乾燥步驟所造成的孔隙塌縮。非功能性粒子一般不參與自流體或氣體流中之至少一者移除目標部分(target moiety)。

【0109】 在一些實施例中，非功能性粒子具有在 0.1 至 5000（在一些實施例中，在 1 至 500、1 至 120、40 至 200、或甚至 5 至 60 之範圍內）微米之範圍內的平均粒徑（最長尺寸之平均長度）。

【0110】 在一些實施例中，以聚合基質複合物中之功能性粒子總重量計，非功能性粒子之存在量係在 1 至 99（在一些實施例中，在 5 至 99、10 至 99、5 至 98、10 至 98、25 至 98、50 至 98、60 至 98、70 至 98、80 至 98、90 至 98、93 至 98、或甚至 95 至 98 之範圍內）重量百分比之範圍內。

【0111】 在一些實施例中，聚合物基質複合物包含功能性粒子，該聚合物基質複合物在 25°C 下具有小於 300 秒/50 cm³/500 微米（在一些實施例中，小於 250 秒/50 cm³/500 微米、200 秒/50 cm³/500 微米、100 秒/50 cm³/500 微米、50 秒/50 cm³/500 微米、25 秒/50 cm³/500 微米、20 秒/50 cm³/500 微米、15 秒/50 cm³/500 微米、10 秒/50 cm³/500 微米、或甚至小於 5 秒/50 cm³/500 微米）之氣流阻力，如藉由實例中所述之「氣流阻力測試」所測量。

【0112】 在一些實施例中，包含功能性粒子之聚合物基質複合物具有至少 0.1（在一些實施例中，至少 0.15、0.2、0.25、0.5、或甚至

至少 1；在一些實施例中，在 0.1 至 2、0.1 至 1.5、0.1 至 1、或甚至 0.1 至 0.5 之範圍內） g/cm^3 的密度。

【0113】 在一些實施例中，包含功能性粒子之聚合物基質複合物具有至少 5（在一些實施例中，在 5 至 90、10 至 90、20 至 80、或甚至 30 至 60 之範圍內）百分比的孔隙度。

【0114】 在一些實施例中，包含功能性粒子之聚合物基質複合物具有至少 1（在一些實施例中，至少 5、10、15、20、30、40、或甚至至少 50；在一些實施例中，在 50 至 500、或甚至 200 至 800 之範圍內） m^2/g 的表面積。較大表面積之優點可係結合容量增加。具有相對大可用表面積之例示性粒子包括美國專利第 7,582,684 號（Rasmussen 等人）中所記述者，其揭露係以引用方式併入本文中。

【0115】 包含功能性粒子之聚合物基質複合物可例如用作為過濾器或純化裝置（例如，作為吸收劑、作為吸附劑、作為錯合劑、作為酶或其他蛋白質攜載擔體）、或作為層析物品。取決於具體應用，包含功能性粒子之聚合物基質複合物可係可重複使用的或拋棄式的。有關以本文所述之程序製造之包含功能性粒子的聚合物基質複合物之進一步細節，亦請參見同在審查中之美國臨時專利申請案第 62/587041 號（2017 年 11 月 16 日提出申請），其揭露係以引用方式併入本文中。

-介電粒子

【0116】 如本文中所使用，「介電粒子(dielectric particle)」係指具有 1.2 至 1800 之固有相對介電常數的粒子。

【0117】 在一些實施例中，以介電粒子及聚合物（不包括任何溶劑）之總重量計，介電粒子在聚合物基質複合物中之存在量係在 5 至 98（在一些實施例中，在 10 至 98、20 至 98、25 至 98、50 至 98、75 至 98、80 至 98、90 到 98、或甚至 95 至 98）重量百分比之範圍內。

【0118】 例示性介電粒子包括無機粒子、或經金屬及金屬氧化物塗佈（在一些實施例中，經鋁及鋁氧化物塗佈）之玻璃微球體或氣泡。例示性介電粒子包括無機（例如，陶瓷）介電粒子，包含鈦酸鋇、氧化鋁、二氧化鈦、或 $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ 中之至少一者。

【0119】 介電粒子之例示性大小係在大小為數十奈米至數百微米之範圍內。介電粒子之例示性形狀包括不規則、板狀、針狀、球形、以及黏聚形式。黏聚物之大小可在例如幾微米到至多且包括幾毫米之範圍內。粒子可經混合以具有多峰大小分布，此可例如允許最佳的堆積密度。

【0120】 在一些實施例中，介電粒子具有在 10 nm 至 120 微米（在一些實施例中，在 50 nm 至 100 nm、15 微米至 125 微米、或甚至 30 微米至 60 微米之範圍內）之範圍內的平均粒徑（最長尺寸之平均長度）。

【0121】 在一些實施例中，介電粒子具有雙峰或三峰分布。粒子的多峰分布可允許更高之堆積效率，改善粒子與粒子接觸。

【0122】 雖然不想受理論束縛，但據信填料對聚合物基質之相對介電常數的影響可藉由混合物規則預測（參見例如，Materials

Science and Polymers for Engineers , Oswald 等人 , pp. 494-496, 2012)。

$$\varepsilon_{eff} = \varepsilon_m \left(1 - 3\phi \frac{\varepsilon_m - \varepsilon_p}{2\varepsilon_m + \varepsilon_p} \right)$$

其中 ϕ 係介電粒子在基質中之體積分率 , ε_{eff} 、 ε_m 、及 ε_p 分別係聚合物基質複合物、聚合物基質、及介電粒子之相對介電常數。

【0123】 如製成時之包含介電粒子的聚合物基質複合物（即，在任何壓縮或其他形成後緻密化之前），一般具有在 0.05 至 6（在一些實施例中，在 0.05 至 3 、 0.05 至 2.5 、 0.05 至 2 、 0.05 至 1 、或甚至 0.05 至 0.2 之範圍內） g/cm^3 之範圍內的密度。

【0124】 在一些實施例中，包含介電粒子之經壓縮聚合物基質複合物具有至少 1（在一些實施例中，至少 4 、或甚至至少 6 ；在一些實施例中，在 1 至 6 、或甚至 4 至 6 之範圍內） g/cm^3 的密度。

【0125】 在一些實施例中，包含介電粒子之聚合物基質複合物具有至少 5（在一些實施例中，至少 10 、 20 、 30 、 35 、 40 、 45 、 50 、 55 、 60 、 65 、 70 、 75 、 80 、 85 、或甚至至少 90 ；在一些實施例中，在 25 至 90 之範圍內）百分比的孔隙度。

【0126】 包含介電粒子之聚合物基質複合物可例如用作為電場絕緣體。有關以本文所述之程序製造之包含介電粒子的聚合物基質複合物之進一步細節，亦請參見具有美國臨時專利申請案號 62/587045 的

同在審查中之申請案（2017 年 11 月 16 日提出申請），其揭露係以引用方式併入本文中。

-指示劑粒子

【0127】 如本文中所使用，「指示劑粒子(indicator particle)」係指在暴露於刺激物（例如，濕氣、pH、蛋白質、溫度、壓力、或氣體）後提供光學、紫外(UV)、紅外(IR)、機械、化學、或電氣性質中之至少一者之可偵測變化的粒子。

【0128】 在一些實施例中，以指示劑粒子及聚合物（不包括任何溶劑）之總重量計，指示劑粒子在聚合基質複合物中之存在量係在 1 至 99（在一些實施例中，在 1 至 99 之範圍內（在一些實施例中，在 5 至 99、10 至 99、5 至 98、10 至 98、25 至 98、50 至 98、60 至 98、70 至 98、80 至 98、90 至 98、93 至 98、或甚至 95 至 98 之範圍內））重量百分比之範圍內。

【0129】 例示性指示劑粒子包括變色粒子（例如，酚酞（pH 指示劑）、鹽（例如氯化鈷（濕氣指示劑）、硫酸銅 II（蛋白質指示劑）、乙酸鉛（硫化氫氣體偵測劑））、金屬（例如，銀（硫化氫氣體偵測劑））、金屬塗佈粒子（例如，銀塗佈粒子（硫化氫氣體偵測劑））、沸石、及活性碳（化學吸收，然後使用高效液相層析術(HPLC)、及氣相層析術(GC)進行分析測量以用於定量）。顏色變化可在普通可見光條件下係可見的，或者可在可見光條件之外（諸如在 UV 條件下）係可見的。例如，一些變色指示劑會造成僅在 UV 光下可見的螢光。

【0130】 指示劑粒子之例示性大小係在大小為數百奈米至數百微米之範圍內。指示劑粒子之例示性形狀包括不規則、板狀、針狀、球形、以及黏聚形式。黏聚物之大小可在例如幾微米到至多且包括幾毫米之範圍內。

【0131】 在一些實施例中，指示劑粒子具有在 1 至 5000（在一些實施例中，在 5 至 100、10 至 50、或甚至 20 至 40 之範圍內）微米之範圍內的平均粒徑（最長尺寸之平均長度）。

【0132】 在一些實施例中，指示劑粒子包含不同（即，不同之組成或微結構、或粒徑）之第一指示劑粒子及第二指示劑粒子。不同之指示劑粒子可能是所欲的，以允許更廣泛的應用偵測範圍（例如，測量 pH，其中所欲的是基於不同之 pH 範圍而具有不同之顏色反應）。在一些實施例中，所欲的是指示劑回應於來自多種分析物（例如，用作為呼吸器濾筒之使用壽命結束指示劑的有機蒸氣及酸氣體）之暴露。

【0133】 在一些實施例中，第一指示劑粒子包含變色粒子（例如，酚酞（pH 指示劑）、鹽（例如氯化鈷（濕氣指示劑）、硫酸銅 II（蛋白質指示劑）、乙酸鉛（硫化氫氣體偵測劑）、金屬（例如，銀（硫化氫氣體偵測劑）、金屬塗佈粒子（例如，銀塗佈粒子（硫化氫氣體偵測劑）、沸石、及活性碳（化學吸收），且其中第二指示劑粒子包含變色粒子（例如，酚酞（pH 指示劑）、鹽（例如氯化鈷（濕氣指示劑）、硫酸銅 II（蛋白質指示劑）、金屬（例如，銀（硫化氫氣體偵

測劑))、金屬塗佈粒子（例如，銀塗佈粒子（硫化氫氣體偵測劑））、沸石、及活性碳（化學吸收）。

【0134】 在一些實施例中，第一指示劑粒子具有在 1 至 5000（在一些實施例中，在 5 至 100、10 至 50、或甚至 20 至 40 之範圍內）微米之範圍內的平均粒徑（最長尺寸之平均長度），且第二指示劑粒子具有在 1 至 5000（在一些實施例中，在 5 至 100、10 至 50、或甚至 20 至 40 之範圍內）微米之範圍內的平均粒徑（最長尺寸之平均長度）。

【0135】 在一些實施例中，以第一指示劑粒子及第二指示劑粒子之總重量計，第一指示劑粒子之存在量係在 1 至 99（在一些實施例中，在 5 至 99、10 至 99、5 至 98、10 至 98、25 至 98、50 至 98、60 至 98、70 至 98、80 至 98、90 至 98、93 至 98、或甚至 95 至 98 之範圍內）重量百分比之範圍內，且第二指示劑粒子之存在量係在 99 至 1（在一些實施例中，在 95 至 1、90 至 1、95 至 2、90 至 2、75 至 2、50 至 2、40 至 2、30 至 2、20 至 2、10 至 2、7 至 2、或甚至 5 至 2 之範圍內）重量百分比之範圍內。

【0136】 在一些實施例中，包含指示劑粒子之聚合物基質複合物進一步包含非指示劑粒子。在一些實施例中，非指示劑粒子包含在暴露之後不提供可偵測變化的無機或有機材料中之至少一者。非指示劑粒子可用作為間隔物，以防止孔隙由於加熱或乾燥步驟而塌縮。其等亦可用來削弱指示劑粒子之回應。其等亦可作為增稠劑以在形成期間增加黏度。

【0137】 在一些實施例中，非指示劑粒子具有在 0.005 至 5000（在一些實施例中，在 0.005 至 500、0.1 至 200、或甚至 5 至 60 之範圍內）微米之範圍內的平均粒徑（最長尺寸之平均長度）。

【0138】 在一些實施例中，以聚合物基質複合物之總重量計，非指示劑粒子係以在 1 至 99 之範圍內的重量分率存在（在一些實施例中，在 1 至 90、1 至 50、1 至 20、或甚至 1 至 10 之範圍內）。

【0139】 如製成時之包含指示劑粒子的聚合物基質複合物（即，在任何壓縮或其他形成後緻密化之前），一般具有在 0.05 至 4（在一些實施例中，在 0.05 至 3、0.05 至 2.5、0.05 至 2、0.05 至 1、或甚至 0.05 至 0.2 之範圍內） g/cm^3 之範圍內的密度。

【0140】 在一些實施例中，包含指示劑粒子之經壓縮聚合物基質複合物具有至少 1（在一些實施例中，至少 4、或甚至至少 6；在一些實施例中，在 1 至 6、或甚至 4 至 6 之範圍內） g/cm^3 的密度。

【0141】 在一些實施例中，包含指示劑粒子之聚合物基質複合物具有至少 5（在一些實施例中，至少 10、20、30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、或甚至至少 90；在一些實施例中，在 25 至 90 之範圍內）百分比的孔隙度。

【0142】 包含指示劑粒子之聚合物基質複合物可例如用作為感測器（例如，呼吸器濾筒之使用壽命結束指示劑、蛋白質偵測、pH 測量、壓力感測、或濕度感測器）。有關以本文所述之程序製造之包含指示劑粒子的聚合物基質複合物之進一步細節，亦請參見同在審查中

之美國臨時專利申請案第 62/587046 號（2017 年 11 月 16 日提出申請），其揭露係以引用方式併入本文中。

-極性溶劑可溶性粒子及極性溶劑可溶脹粒子

【0143】 如本文中所使用，「可溶性粒子(soluble particle)」係指完全可溶於水中或至少形成水凝膠之粒子。可溶性粒子亦可能僅部分可溶於水中（即，在 20°C 下至少 75 重量百分比可溶於水中）。如本文中所使用，「可溶脹粒子(swellable particle)」係指當暴露於水時會交聯或形成水凝膠之粒子。例如，在去離子及蒸餾水中，可溶脹粒子可吸收高達 300 倍其重量（30 至 60 倍其自身體積）並可變成高達 99.9% 液體。在離子溶液中，吸收力可能降到大約 50 倍其重量。總吸收力及溶脹能力係受到用來製造凝膠之交聯劑類型及等級所控制。低密度之經交聯可溶脹粒子通常具有較高的吸收能力且會有較大程度的溶脹。高密度之經交聯可溶脹聚合物粒子展現出較低的吸收能力及較小的溶脹，但粒子凝膠強度更有力，且即使在中度壓力下亦可維持粒子形狀。

【0144】 在一些實施例中，一些粒子可能不是可溶的，但會隨著溫度或 pH 的變化而變得可溶。聚合物基質複合物中的一些粒子亦可能由於離子置換(ionic metathesis)反應、化學反應、或與界面活性劑接觸而改變溶解度。

【0145】 在一些實施例中，奈米粒子可從含有奈米粒子之可溶性或可溶脹粒子中釋出，即使奈米粒子本身可能不是可溶的。

【0146】 在一些實施例中，以可溶性粒子或可溶性粒子中之至少一者與聚合物（不包括任何溶劑）之總重量計，極性溶劑可溶性粒子或極性溶劑可溶脹粒子中之至少一者在聚合物基質複合物中之存在量係在 1 至 99（在一些實施例中，在 25 至 98、50 至 98、60 至 98、70 至 98、80 至 98、93 至 98、或甚至 95 至 98 之範圍內）重量百分比之範圍內。

【0147】 例示性可溶性粒子包括水溶性樹脂、鹽、無機及有機材料。例示性可溶性粒子包含下列中之至少一者：胺基酸、蛋白質、鹽、碳水化合物、水溶性聚合物、藥品、芳香劑、染料、維生素、肥料、殺蟲劑、清潔劑、潤滑劑、吸收劑（例如，超吸收劑）、水凝膠、凝結劑、消毒劑、絮凝劑、腐蝕抑制劑、營養素、酸、或鹼。

【0148】 例示性極性溶劑可溶脹粒子包括具有各種交聯密度之吸收劑和超吸收劑聚合物及鹽。例示性極性溶劑可溶脹粒子包含聚丙烯腈、聚(丙烯酸)之澱粉接枝共聚物、部分鈉鹽接枝聚(氧化乙烯)、聚丙烯醯胺共聚物、乙烯馬來酸酐共聚物、經交聯羧甲基纖維素、聚乙醇共聚物、經交聯聚氧化乙烯。

【0149】 可溶性粒子或可溶脹粒子之例示性大小係在大小為數百奈米至數百微米之範圍內。可溶性粒子或可溶脹粒子之例示性形狀包括不規則、板狀、針狀、球形、以及黏聚形式。黏聚物之大小可在例如幾微米到至多且包括幾毫米之範圍內。

【0150】 在一些實施例中，可溶性粒子或可溶脹粒子具有在 0.1 至 5000（在一些實施例中，在 1 至 500、1 至 120、40 至 200、或甚

至 5 至 60 之範圍內) 微米之範圍內的平均粒徑 (最長尺寸之平均長度)。

【0151】 在一些實施例中，可溶性粒子或可溶脹粒子中之至少一者包含不同之第一及第二類型 (例如，可溶性鹽及可溶脹水凝膠) 粒子。可能有利的是具有多於一種類型的粒子，例如就繩帶而言，可能希望具有可溶脹水凝膠粒子以吸收體液，以及第二可溶性粒子 (諸如消毒劑) 以消毒傷口。

【0152】 在一些實施例中，第一可溶性粒子包含下列中之至少一者：胺基酸、蛋白質、鹽、碳水化合物、水溶性聚合物、藥品、芳香劑、染料、維生素、肥料、殺蟲劑、清潔劑、潤滑劑、吸收劑、凝結劑、絮凝劑、腐蝕抑制劑、營養素、酸、或鹼，且不同之第二可溶性粒子包含下列中之至少一者：胺基酸、蛋白質、鹽、碳水化合物、水溶性聚合物、藥品、芳香劑、染料、維生素、肥料、殺蟲劑、清潔劑、潤滑劑、吸收劑、凝結劑、絮凝劑、腐蝕抑制劑、營養素、酸、或鹼。

【0153】 在一些實施例中，第一可溶脹粒子包含吸收劑 (例如，超吸收劑) 或水凝膠中之至少一者，且不同之第二可溶脹粒子包含吸收劑 (例如，超吸收劑) 或水凝膠中之至少一者。

【0154】 在一些實施例中，第一可溶性粒子包含下列中之至少一者：胺基酸、蛋白質、鹽、碳水化合物、水溶性聚合物、藥品、芳香劑、染料、維生素、肥料、殺蟲劑、清潔劑、潤滑劑、吸收劑、凝結

劑、絮凝劑、腐蝕抑制劑、營養素、酸、或鹼，且第二可溶脹粒子包含吸收劑（例如，超吸收劑）、或水凝膠中之至少一者。

【0155】 在一些實施例中，第一可溶性粒子或可溶脹粒子具有在 0.1 至 5000（在一些實施例中，在 1 至 500、1 至 120、40 至 200、或甚至 5 至 60 之範圍內）微米之範圍內的平均粒徑（最長尺寸之平均長度），且第二可溶性粒子或可溶脹粒子具有在 0.1 至 5000（在一些實施例中，在 1 至 500、1 至 120、40 至 200、或甚至 5 至 60 之範圍內）微米之範圍內的平均粒徑（最長尺寸之平均長度）。

【0156】 在一些實施例中，以第一指示劑粒子及第二指示劑粒子之總重量計，第一可溶性粒子之存在量係在 1 至 99（在一些實施例中，在 25 至 98、50 至 98、60 至 98、70 至 98、80 至 98、93 至 98、或甚至 95 至 98 之範圍內）重量百分比之範圍內，且其中第二可溶性粒子之存在量係在 1 至 99（在一些實施例中，在 25 至 98、50 至 98、60 至 98、70 至 98、80 至 98、93 至 98、或甚至 95 至 98 之範圍內）重量百分比之範圍內。

【0157】 在一些實施例中，包含極性溶劑可溶性粒子或極性溶劑可溶脹粒子中之至少一者的聚合物基質複合物進一步包含同時為不可溶性且不可溶脹之粒子。在一些實施例中，不可溶性/不可溶脹粒子包含至少一種奈米粒子，例如蛋白質、生物標示、及藥品。可能所欲的是例如將小的非水溶性粒子捕獲於較大的可溶性粒子內以作為遞送機制。當可溶性粒子溶解時，其將釋出不可溶性奈米粒子。

【0158】 在一些實施例中，不可溶性/不可溶脹粒子具有在 0.1 至 5000（在一些實施例中，在 1 至 500、1 至 120、40 至 200、或甚至 5 至 60 之範圍內）微米之範圍內的平均粒徑（最長尺寸之平均長度）。多孔粒子可例如呈任何各式不同形狀，包括中空、黏聚、管狀、及桿狀。在一些實施例中，多孔粒子具有範圍從中孔至大孔之孔隙，並具有至少 $1 \text{ m}^2/\text{g}$ 之表面積。

【0159】 如製成時之包含極性溶劑可溶性粒子或極性溶劑可溶脹粒子中之至少一者的聚合物基質複合物（即，在任何壓縮或其他形成後緻密化之前），一般具有至少 0.5（在一些實施例中，至少 0.5、1.0、2.0、3.0、或甚至至少 4；在一些實施例中，在 0.5 至 4、0.5 至 3、0.5 至 2、或甚至 0.5 至 1.0 之範圍內） g/cm^3 的密度。

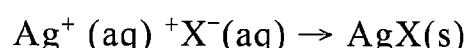
【0160】 在一些實施例中，包含極性溶劑可溶性粒子或極性溶劑可溶脹粒子中之至少一者的聚合物基質複合物具有至少 5（在一些實施例中，至少 10、20、30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、或甚至至少 90；在一些實施例中，在 25 至 90 之範圍內）百分比的孔隙度。

【0161】 包含極性溶劑可溶性粒子或極性溶劑可溶脹粒子中之至少一者的聚合物基質複合物可例如用於包含該聚合物基質複合物之遞送裝置中，其中可溶性粒子或可溶脹粒子中之至少一者包含劑型材料（例如，活性劑或離型（或可離型）劑中之至少一者），諸如下列中之至少一者：胺基酸、蛋白質、鹽、碳水化合物、水溶性聚合物、藥品、芳香劑、染料、維生素、肥料、殺蟲劑、清潔劑、界面活性劑、

潤滑劑、吸收劑（例如，超吸收劑）、水凝膠、凝結劑、絮凝劑、腐蝕抑制劑、營養素、酸、鹼、消毒劑、指示劑標記，或作為微生物生長培養基。包含極性溶劑可溶性粒子或極性溶劑可溶脹粒子中之至少一者的聚合物基質複合物是多用途的，能夠用作為獨立式培養基或裝配至裝置中。

【0162】 具體而言，包含極性溶劑可溶性粒子或極性溶劑可溶脹粒子中之至少一者的聚合物基質複合物能夠具有多於一種功能（例如，分析物、營養素、指示劑、或用於細胞培養物生長之結構）存在於多孔薄膜層中。此外，包含極性溶劑可溶性粒子或極性溶劑可溶脹粒子中之至少一者的聚合物基質複合物之實施例能夠吸收流體，並釋出諸如用於傷口敷料中之消毒劑的組分。75%硝酸銀與 25%硝酸鉀粒子組合（例如，嵌入聚合物基質複合物中）將引起會燒灼組織、並在與出血傷口接觸時破壞細菌的化學反應。

【0163】 在包含極性溶劑可溶性粒子或極性溶劑可溶脹粒子之至少一者的聚合物基質複合物中，硝酸銀粒子的其他用途包括引入常用來提取鹵化物之離子：



其中 X^- 、 Cl^- 、 Br^- 、或 I^- 。

沉澱物的顏色會隨鹵化物而變化：白色（氯化銀）、淡黃色/乳白色（溴化銀）、黃色（碘化銀）。

【0164】 由高分子量等級之水溶性樹脂（諸如以商標名稱「UCARFLOC」或「POLYOX」購自 The Dow Chemical Company, Midland, MI）所製成的聚合物基質複合物可有效吸附至許多膠態材料上並作為有效率的絮凝劑。粒子可對各式不同材料展現出高親和力，包括二氧化矽、黏土、氧化煤細粒、木質素、及紙細粒。有關以本文所述之程序製造之包含極性溶劑可溶性粒子或極性溶劑可溶脹粒子中之至少一者的聚合物基質複合物之進一步細節，亦請參見同在審查中之美國臨時專利申請案第 62/587048 號（2017 年 11 月 16 日提出申請），其揭露係以引用方式併入本文中。

-吸熱粒子

【0165】 如本文中所使用，「吸熱粒子(endothermic particle)」係指包含結合水(bound water)之粒子，其中結合水在至少 90°C 之溫度下脫附。

【0166】 在一些實施例中，以吸熱粒子及聚合物（不包括任何溶劑）之總重量計，吸熱粒子在包含吸熱粒子之聚合物基質複合物中之存在量係在 15 至 99（在一些實施例中，在 15 至 99、25 至 98、50 至 98、75 至 98、或甚至 93 至 97 之範圍內）重量百分比之範圍內。

【0167】 例示性吸熱粒子包含含有固相之吸熱材料，該吸熱材料會在加熱時轉變成同時有固相及氣相，此會導致熱的吸收。在一些實施例中，粒子會在吸收期間分解。「吸熱材料(endothermic material)」係指一般藉由下列方式吸收熱之化合物：藉由釋放水合水、藉由經歷

吸收熱之相變（即，液體至氣體）、或藉由其他化學變化（其中反應需要熱的淨吸收才能發生）。一般而言，吸熱粒子具有至少 200 J/g 之吸熱。例示性吸熱粒子包含下列中之至少一者：碳酸氫鈉、二水合硫酸鈣、三水合鋁、八水合硫酸鎂、草酸銨、或矽酸鈉。

【0168】 吸熱粒子之例示性大小係在大小為數百奈米至數百微米之範圍內。吸熱粒子之例示性形狀包括不規則、板狀、針狀、球形、以及黏聚形式。黏聚物之大小可在例如幾微米到至多且包括幾毫米之範圍內。粒子可經混合以具有多峰大小分布，此可例如允許最佳的堆積密度。

【0169】 在一些實施例中，吸熱粒子具有在 300 nm 至 700（在一些實施例中，在 5 至 300、5 至 150、或甚至 1 至 300 之範圍內）微米之範圍內的平均粒徑（最長尺寸之平均長度）。

【0170】 在一些實施例中，吸熱粒子包含不同（即，不同之組成或微結構、或粒徑）之第一吸熱粒子及第二吸熱粒子。在一些實施例中，第一吸熱粒子包含碳酸氫鈉、二水合硫酸鈣、三水合鋁、八水合硫酸鎂、草酸銨、或矽酸鈉，且其中第二吸熱粒子包含碳酸氫鈉、二水合硫酸鈣、三水合鋁、八水合硫酸鎂、草酸銨、或矽酸鈉。

【0171】 在一些實施例中，第一吸熱粒子具有在 300 nm 至 700 微米之範圍內（在一些實施例中，在 5 微米至 300 微米、5 微米至 150 微米、或甚至 1 微米至 300 微米之範圍內）的平均粒徑（最長尺寸之平均長度），且第二吸熱粒子具有在 300 nm 至 700 微米之範圍內（在

一些實施例中，在 5 微米至 300 微米、5 微米至 150 微米、或甚至 1 微米至 300 微米之範圍內）的平均粒徑（最長尺寸之平均長度）。

【0172】 在一些實施例中，以第一吸熱粒子及第二吸熱粒子之總重量計，吸熱粒子之存在量係在 15 至 99（在一些實施例中，在 25 至 98、50 至 98、75 至 98、或甚至 93 至 97 之範圍內）重量百分比之範圍內，且第二吸熱粒子之存在量係在 15 至 99（在一些實施例中，在 25 至 98、50 至 98、75 至 98、或甚至 93 至 97 之範圍內）重量百分比之範圍內。

【0173】 如製成時之包含吸熱粒子的聚合物基質複合物（即，在任何壓縮之前），一般具有至少 0.3（在一些實施例中，在 0.3 至 2、0.3 至 1.5、或甚至 0.3 至 1 之範圍內） g/cm^3 的密度。

【0174】 在一些實施例中，經壓縮聚合物基質複合物具有 0.3 至 2.5、或甚至 1.5 至 4 g/cm^3 的密度。

【0175】 在一些實施例中，包含吸熱粒子之聚合物基質複合物具有至少 5（在一些實施例中，至少 10、20、30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、或甚至至少 90；在一些實施例中，在 25 至 90 之範圍內）百分比的孔隙度。

【0176】 包含吸熱粒子之聚合物基質複合物可例如用作為填料、熱能吸收劑、及被動式電池組安全組件。有關以本文所述之程序製造之包含吸熱粒子的聚合物基質複合物之進一步細節，亦請參見同在審查中之美國臨時專利申請案第 62/587054 號（2017 年 11 月 16 日提出申請），其揭露係以引用方式併入本文中。

【0177】 在一些實施例中，聚合基質複合物所吸收之能量係藉由下列方式改善：將聚合基質複合物壓縮，藉以增加聚合物基質複合物之密度。

【0178】 在一些實施例中，本文所述之方法進一步包含在誘導熱塑性聚合物自溶劑之相分離後，將至少一部分（在一些實施例中，以所形成之物品中之溶劑的重量計，至少 5、10、15、20、25、30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95、96、97、98、99、99.5、或甚至 100 重量百分比的溶劑）的溶劑從所形成之物品移除。

【0179】 在本文所述之方法之些實施例中，以所形成之物品中之溶劑重量計，將至少 90 重量百分比的溶劑移除，在將至少 90 重量百分比的溶劑（以所形成之物品中之溶劑的重量計）移除前，溶劑之所形成之物品具有第一體積，在將至少 90 重量百分比的溶劑（以所形成之物品中之溶劑的重量計）移除後，所形成之物品具有第二體積，且第一體積與第二體積之間的差異（即，(第一體積減去第二體積) 除以第一體積乘以 100）小於 10（在一些實施例中，小於 9、8、7、6、5、4、3、2、1、0.75、0.5、或甚至小於 0.3）百分比。揮發性溶劑可例如藉由下列方式自聚合物基質複合物中移除：藉由讓溶劑自聚合物基質複合物之至少一個主表面蒸發。蒸發可例如藉由添加熱、真空、或氣流中之至少一者輔助。可燃性溶劑之蒸發可在溶劑額定(solvent rated)烘箱中達成。然而，如果第一溶劑具有低蒸氣壓，則可使用較高蒸氣壓之第二溶劑以萃取第一溶劑，接著蒸發第二溶劑。例如，在一

些實施例中，當使用礦物油作為第一溶劑時，可使用升高溫度（例如，約 60°C）下之異丙醇或甲基九氟丁醚($C_4F_9OCH_3$)、乙基九氟丁醚($C_4F_9OC_2H_5$)、與反-1,2-二氯乙烯（可以商標名稱「NOVEC 72DE」購自 3M Company, St. Paul, Minnesota）之摻合物作為第二溶劑以萃取第一溶劑，接著蒸發第二溶劑。在一些實施例中，當使用植物油或棕櫚仁油中之至少一者作為第一溶劑時，可使用升高溫度（例如，約 60°C）下之異丙醇作為第二溶劑。在一些實施例中，當使用碳酸伸乙酯作為第一溶劑時，可使用水作為第二溶劑。

【0180】 在本方法之些實施例中，物品具有第一主表面及第二主表面以及垂直於第一主表面及第二主表面之末端，且該等末端在溶劑移除期間係不受拘限的（即，在抽拉或拉伸期間不需要加以拘限）。此可例如藉由將一層的一部分在烘箱中乾燥而完成且不加以拘限。連續乾燥可例如藉由將支承在帶上之一層在將其輸送通過烘箱時將其一部分乾燥。替代地，為了促進非揮發性溶劑之移除，可例如將一層的一部分連續輸送通過相容揮發性溶劑的浴，從而交換溶劑並隨後讓該層乾燥且不加以拘限。然而，在溶劑交換期間並不需要將所有非揮發性溶劑自層中移除。少量非揮發性溶劑可留下並作為聚合物之塑化劑。

【0181】 在本方法之些實施例中，所形成且相分離的物品在溶劑移除後，具有至少 5（在一些實施例中，至少 10、20、30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、或甚至至少 90；在一些實施例中，在 25 至 90 之範圍內）百分比的孔隙度。此孔隙度係由

於聚合物自溶劑之相分離所造成，溶劑起初沒有留下未填充的空隙，因為聚合物基質複合物中的孔隙係以溶劑填充。在溶劑完全或部分移除後，或將物品拉伸後，聚合物基質複合物中的空隙空間即會暴露。粒子與粒子之交互作用能最小化由於溶劑乾燥程序所致之毛細作用誘導負壓而產生的多孔聚合物基質複合物塌縮或變形。

【0182】 在本方法之些實施例中，未將溶劑自所形成之物品移除（即使在誘導熱塑性聚合物自溶劑之相分離後）。此可例如藉由使用非揮發性溶劑（例如，礦物油或蠟）且不完成萃取/蒸發步驟來達成。如果含溶劑之複合物需要未填充的孔隙，則可選地可將其等拉伸以打開聚合物及溶劑基質內的孔隙。

【0183】 在本文所述之方法之些實施例中，誘導相分離包括熱誘導相分離。在熱誘導相分離（固體液體或液體液體）的情況下，相分離係藉由將摻合物冷卻至低於其熔點來誘導。冷卻可例如在空氣、液體中或在固體界面上提供，並且可加以變化以控制相分離。

【0184】 在誘導相分離後，所形成聚合網絡結構可經拉伸或壓縮，以例如微調聚合物基質複合物之氣流阻力。在一些實施例中，本方法進一步包含將聚合物基質複合物拉伸或壓縮中之至少一者。聚合物基質複合物之拉伸或壓縮可藉由所屬技術領域中已知之習知壓延或拉幅程序來達成。

【0185】 在一些實施例（其中至少藉由壓縮力使網絡結構塑性變形）中，可在施加壓縮力期間賦予振動能。在一些此等實施例中，聚合物複合物係呈不定長度條狀物之形式，且壓縮力之施加步驟係在條

狀物通過輶隙時執行。可在通過此一輶隙期間施加拉伸負荷。例如，輶隙可形成在兩個輶之間，該等輶中之至少一者施加振動能；形成在一輶與一桿之間，該輶與該桿中之至少一者施加振動能；或形成在兩個桿之間，該等桿中之至少一者施加振動能。壓縮力及振動能之施加可以連續輶對輶方式、或以分步重複方式達成。在其他實施例中，施加壓縮力步驟係在例如一板與一台板之間的離散層上執行，該板及該台板中之至少一者施加振動能。在一些實施例中，振動能係在超音波範圍內（例如 20 kHz），但亦將其他範圍視為是合適的。有關使網絡結構塑性變形之進一步細節，請參見 2018 年 6 月 21 日公開之美國專利公開案第 2018/0174723 號（Acharya 等人），其揭露係以引用方式併入。

【0186】 在一些實施例中，以本文所述之方法製造之聚合物基質複合物具有在 0.05 至 10（在一些實施例中，在 1 至 10、0.5 至 2、或甚至 3 至 6 之範圍內） g/cm^3 之範圍內的密度。

【0187】 在一些實施例中，以本文所述之方法製造之聚合物基質複合物，該聚合物基質複合物具有至少 5（在一些實施例中，至少 10、15、20、30、40、50、60、70、80、或甚至 90；在一些實施例中，在 20 至 90 之範圍內）百分比的孔隙度。

【0188】 在一些實施例中，聚合物基質複合物之粒子係呈一層之形式，該層之厚度係在 50 至 7000 微米之範圍內，其中該厚度不包括從該層之基部延伸之任何突起的高度。

【0189】 在一些實施例中，可將以本文所述之方法製造之聚合物基質複合物繞著 0.5 mm（在一些實施例中，0.6 mm、0.7 mm、0.8 mm、0.9 mm、1 mm、2 mm、3 mm、4 mm、5 mm、1 cm、5 cm、10 cm、25 cm、50 cm、或甚至 1 公尺）桿纏繞而不斷裂。

【0190】 在一些實施例中，本文所述之聚合物基質複合物具有相對之第一平坦主表面及第二平坦主表面。在一些實施例中，本文所述之聚合物基質複合物具有相對之第一主表面及第二主表面，其中第一主表面是非平坦的（例如，彎曲的或其間沒有平坦表面的突起）。參見圖 1，本文所述之例示性聚合物基質複合物 100 具有相對之第一及第二主表面 101、102。第一主表面 101 細非平坦的。

【0191】 平坦及非平坦主表面可例如藉由下列方式提供：將漿體塗佈至圖案化基材（例如，襯墊、帶、模具、或工具）上，防止溶劑蒸發，並藉由加熱活化聚合物。替代地，結構可例如藉由用圖案化工具模塑或使膜成形，而在相分離發生之後並在將溶劑移除之前及/或之後形成。

【0192】 在一些實施例中，本文所述之聚合物基質複合物具有從第一主表面向外延伸之第一突起，且在一些實施例中，具有從第二主表面向外延伸之第二突起。在一些實施例中，第一突起係與第一主表面成一整體，且在一些實施例中，第二突起係與第二主表面成一整體。例示性突起包括下列中之至少一者：柱體、軌道、鉤體、角錐體、連續軌道、連續多方向軌道、半球體、圓柱、或多葉形圓柱。在一些實施例中，突起具有呈下列中之至少一者的剖面：圓形、正方

形、矩形、三角形、五邊形、其他多邊形、正弦形、人字形、或多葉形。參見圖 2，本文所述之例示性聚合物基質複合物 200 具有從第一主表面 201 向外延伸的第一突起 205 及從第二主表面 202 向外延伸的第二突起 206。

【0193】 突起可例如藉由下列方式提供：將漿體塗佈在圖案化基材（例如，襯墊、帶、模具、或工具）之間，防止溶劑蒸發，並藉由加熱活化聚合物。替代地，結構可例如藉由在圖案化工具之間模塑或使膜成形，而在相分離發生之後並在將溶劑移除之前及/或之後形成。

【0194】 在一些實施例中，本文所述之聚合物基質複合物具有延伸至第一主表面中之第一凹陷，且在一些實施例中，具有延伸至第二主表面中之第二凹陷。例示性凹陷包括溝(groove)、槽(slot)、或倒置角錐體、孔洞（包括通孔或盲孔）、或壓凹中之至少一者。參見圖 3，本文所述之例示性聚合物基質複合物 300 具有延伸至第一主表面 301 中之第一凹陷 307 及延伸至第二主表面 302 中之第二凹陷 308。

【0195】 凹陷可例如藉由下列方式提供：將漿體塗佈在圖案化基材（例如，襯墊、帶、模具、或工具）之間，防止溶劑蒸發，並藉由加熱活化聚合物。替代地，結構可例如藉由在圖案化工具之間模塑或使膜成形，而在相分離發生之後並在將溶劑移除之前及/或之後形成。

【0196】 在一些實施例中，本文所述之聚合物基質複合物進一步包含強化物（例如，附接至聚合物基質複合物、部分位於其中、及/或位於其中）。例示性強化物包括纖維、絲線、非織物、織造材料、織物、網、及膜。例如，可將強化物以熱、黏著劑、或超音波層壓至聚

合物基質複合物。例如，可在塗佈程序期間將強化物嵌入聚合物基質複合物內。例如，強化物可在複合物的主表面之間、在一個主表面上、或在兩個表面上。可使用多於一種類型的強化物。

【0197】 在本文所述之方法之一些實施例中，多孔聚合網絡結構係藉由混溶熱塑性聚合物-溶劑溶液之誘導相分離來生產。在本文所述之方法之一些實施例中，誘導相分離係熱誘導相分離。

例示性實施例

1. 一種製造一聚合物基質複合物之方法，該聚合物基質複合物包含一多孔聚合網絡結構；及分布在該聚合網絡結構內之複數個粒子，該方法包含：

組合（例如，混合或摻合）一熱塑性聚合物、一溶劑、及複數個導熱粒子以提供一漿體；

將該漿體形成為一物品（例如，一層）；

將該物品在一環境中加熱，以在該物品中保留以該物品中之該溶劑的重量計至少 90（在一些實施例中，至少 91、92、93、94、95、96、97、98、99、或甚至至少 99.5）重量百分比的該溶劑，並溶解以該熱塑性聚合物之總重量計至少 50（在一些實施例中，至少 55、60、65、70、75、80、85、90、95、96、97、98、99、或甚至 100）百分比；及

誘導該熱塑性聚合物自該溶劑之相分離以提供該聚合物基質複合物。

2. 如例示性實施例 1 之方法，其進一步包含在誘導該熱塑性聚合物自該溶劑之相分離後，將至少一部分（在一些實施例中，至少 5、10、15、20、25、30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95、96、97、98、99、99.5、或甚至 100）重量百分比的該溶劑（以該溶劑之所形成之該物品中之該溶劑的重量計）從所形成之該物品移除。
3. 如例示性實施例 2 之方法，其中以所形成之該物品中之該溶劑的重量計，將至少 90 重量百分比的該溶劑移除，其中在將至少 90 重量百分比的該溶劑（以所形成之該物品中之該溶劑的重量計）移除前，該溶劑之所形成之該物品具有一第一體積，其中在將至少 90 重量百分比的該溶劑（以所形成之該物品中之該溶劑的重量計）移除後，所形成之該物品具有一第二體積，且其中該第一體積與該第二體積之間的差異（即，(該第一體積減去該第二體積) 除以該第一體積乘以 100）小於 10（在一些實施例中，小於 9、8、7、6、5、4、3、2、1、0.75、0.5、或甚至小於 0.3）百分比。
4. 如例示性實施例 3 之方法，其中該物品具有第一主表面及第二主表面以及垂直於該第一主表面及該第二主表面之末端，且其中該等末端在該溶劑移除期間係不受拘限的。
5. 如任何前述例示性實施例之方法，其中所形成且相分離的該物品在該溶劑移除後，具有至少 5（在一些實施例中，至少 10、20、30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、或甚至至少 90；在一些實施例中，在 25 至 90 之範圍內）百分比的孔隙度。

6. 如例示性實施例 1 之方法，其中未將溶劑自所形成之該物品移除（即使在誘導該熱塑性聚合物自該溶劑之相分離後）。
7. 如任何前述例示性實施例之方法，其中該誘導相分離包括熱誘導相分離。
8. 如任何前述例示性實施例之方法，其中該漿體中之該聚合物具有一熔點，其中該溶劑具有一沸點，且其中組合係在低於該漿體中之該聚合物之該熔點、且低於該溶劑之該沸點下進行。
9. 如任何前述例示性實施例之方法，其中該漿體中之該聚合物具有一熔點，且其中該誘導相分離係在低於該漿體中之該聚合物之該熔點下進行。
10. 如任何前述例示性實施例之方法，其進一步包含將該聚合物基質複合物拉伸或壓縮中之至少一者。
11. 如例示性實施例 1 至 9 中任一者之方法，其進一步包含在施加一壓縮力時同時向該聚合物基質複合物施加振動能。
12. 如任何前述例示性實施例之方法，其中該聚合物基質複合物具有在 0.05 至 10（在一些實施例中，在 1 至 10、0.5 至 2、或甚至 3 至 6 之範圍內） g/cm^3 之範圍內的一密度。
13. 如任何前述例示性實施例之方法，其中該聚合物基質複合物具有至少 5（在一些實施例中，至少 10、20、30、40、50、60、70、80、或甚至 90；在一些實施例中，在 20 至 90 之範圍內）百分比的一孔隙度。

14. 如任何前述例示性實施例之方法，其中該等粒子係聲學活性粒子。
15. 如例示性實施例 14 之方法，其中該等聲學活性粒子包含聲學活性金屬氧化物粒子。
16. 如例示性實施例 1 至 13 之方法，其中該等粒子係軟磁粒子。
17. 如任何前述例示性實施例之方法，其中該多孔聚合網絡結構包含下列中之至少一者：聚丙烯腈、聚胺甲酸酯、聚酯、聚醯胺、聚醚、聚碳酸酯、聚醯亞胺、聚砜、聚伸苯醚、聚丙烯酸酯、聚甲基丙烯酸酯、聚烯烴、苯乙烯或基於苯乙烯之隨機及嵌段共聚物、氯化聚合物、氟化聚合物、或乙烯與三氟氯乙烯之共聚物。
18. 如任何前述例示性實施例之方法，其中該多孔聚合網絡結構包含複數個互連之形態（例如，下列中之至少一者：纖絲、結節、節點、開孔、閉孔、葉狀蕾絲、絲線、結節、球體、或蜂巢）。
19. 如任何前述例示性實施例之方法，其中該多孔聚合網絡結構包含具有在 5×10^4 至 1×10^7 （在一些實施例中，在 1×10^6 至 8×10^6 、 2×10^6 至 6×10^6 、或甚至 3×10^6 至 5×10^6 之範圍內）g/mol 之範圍內之一數量平均分子量的一聚合物。
20. 如任何前述例示性實施例之方法，其中該聚合物基質複合物係呈一層之形式，該層具有在 50 至 7000 微米之範圍內的一厚度。
21. 如任何前述例示性實施例之方法，其中該多孔聚合網絡結構係藉由一混溶熱塑性聚合物-溶劑溶液之一誘導相分離來生產。

22. 如例示性實施例 21 之方法，其中該誘導相分離係熱誘導相分離。
23. 如任何前述例示性實施例之方法，其中以該聚合物基質複合物之總重量計，該等粒子係以在 15 至 99 之範圍內的一重量分率存在（在一些實施例中，在 25 至 98、50 至 98、75 至 98、或甚至 93 至 97 之範圍內）。
24. 如任何前述例示性實施例之方法，其中該聚合物基質複合物具有相對之第一平坦主表面及第二平坦主表面。
25. 如任何前述例示性實施例之方法，其中該聚合物基質複合物具有相對之第一主表面及第二主表面，其中該第一主表面是非平坦的（例如，彎曲的或其間沒有平坦表面的突起）。
26. 如例示性實施例 24 或 25 中任一者之方法，其中該第一主表面具有從該第一主表面向外延伸之第一突起。在一些實施例中，該等突起係與該第一主表面成一整體。
27. 如例示性實施例 26 之方法，其中該等第一突起係下列中之至少一者：一柱體、一軌道、一鉤體、一角錐體、一連續軌道、一連續多方向軌道、一半球體、一圓柱、或一多葉形圓柱。
28. 如例示性實施例 24 至 27 中任一者之方法，其中該第一主表面具有延伸至該第一主表面中之第一凹陷。
29. 如例示性實施例 28 之方法，其中該等第一凹陷係一溝、一槽、一倒置角錐體、一孔洞（包括一通孔或盲孔）、或一壓凹中之至少一者。

30. 如例示性實施例 26 至 29 中任一者之方法，其中該第二主表面具有從該第二主表面向外延伸之第二突起。
31. 如例示性實施例 30 之方法，其中該等第二突起係下列中之至少一者：一柱體、一軌道、一鉤體、一角錐體、一連續軌道、一連續多方向軌道、一半球體、一圓柱、或一多葉形圓柱。
32. 如例示性實施例 26 至 31 中任一者之方法，其中該第二主表面具有延伸至該第二主表面中之第二凹陷。
33. 如例示性實施例 32 之方法，其中該等第二凹陷係一溝、一槽、一倒置角錐體、一孔洞（包括一通孔或盲孔）、或一壓凹中之至少一者。
34. 如任何前述例示性實施例之方法，其中可將該聚合物基質複合物繞著一 0.5 mm（在一些實施例中，0.6 mm、0.7 mm、0.8 mm、0.9 mm、1 mm、2 mm、3 mm、4 mm、5 mm、1 cm、5 cm、10 cm、25 cm、50 cm、或甚至 1 公尺）桿纏繞而不斷裂。
35. 如任何前述例示性實施例之方法，其中該聚合物基質複合物包含下列中之至少一者：一黏度改質劑（例如，發煙二氧化矽、嵌段共聚物、及蠟）、一塑化劑、一熱穩定劑（例如，諸如可例如以商標名稱「IRGANOX 1010」購自 BASF, Ludwigshafen, Germany）、一抗微生物劑（例如，銀及四級銨）、一阻燃劑、一抗氧化劑、一染料、一顏料、或一紫外線(UV)穩定劑。

本發明之優點與實施例將以下列實例進一步闡述，然而在這些實例中所引述之特定材料與用量以及其他條件及細節，皆不應被視為

對本發明之過度限制。所有的份數及百分比都是以重量計，除非另有指明。

實例

測試方法

用於阻抗測試之方法

【0198】 共振頻率係使用標準 Thiele-Small 參數分析（如在 Small, R.H., 「Closed-Box Loudspeaker Systems」, J. Audio Eng. Soc., vol. 20, pp. 798 - 808 (1972 年 12 月) 中所述）並使用連接至 0.93 cm^3 腔體之 Knowles Electronics 2403-260-00001 11 × 15 × 3.5 mm 揚聲器（得自 Knowles Electronics, Itasca, IL）獲得。將音頻測試系統（以商標名稱「A DATS V2」得自 Dayton Audio, Springboro, OH）附接至揚聲器並運轉以收集隨音頻範圍（即，20 至 20,000 Hz）內之頻率而變動的阻抗。共振頻率被識別為阻抗達到峰值之頻率。收集與未填充之 0.93 cm^3 腔體接觸之揚聲器的共振頻率，並與腔體填充有測試材料之情況下的系統共振進行比較。藉由自空揚聲器模組之共振頻率中減去填充之揚聲器模組之共振頻率來計算共振頻率偏移。正的共振頻率偏移值係指共振頻率之降低（即，向較低頻率之偏移）。

用於聲壓位準(SPL)測試之方法

【0199】 聲壓位準(SPL)回應係藉由驅動連接至 0.93 cm^3 腔體之揚聲器（型號 2403-260-00001，得自 Knowles Electronics, Itasca,

IL) 獲得。驅動電壓係約 400 mV_{rms}，其以 100 至 3200 Hz 之帶限線性變頻(band-limited chirp)形式供應。所測試之各材料的電壓曲線均相同，且係藉由 PC 使用以商標名稱「LABVIEW 2016」得自 National Instruments, Austin, TX 之軟體來產生，該軟體使用基於以商標名稱「ADVANCED SIGNAL PROCESSING TOOLKIT TIME-SERIES ANALYSIS」(型號 NI-USB-4431) 得自 National Instruments 之模組 (24 位元類比 I/O DAQ) 的程序，並以低噪音/失真音頻放大器 (以商標名稱「AUDIOENGINE」(型號 N22) 得自 Audioengine, Austin, TX) 放大。此系統亦用於記錄來自電容式麥克風(condenser microphone) (型號 42AB；以商標名稱「G.R.A.S」得自 G.R.A.S. Sound & Vibration, Twinsburg, OH) 之 SPL，該電容式麥克風係位於距固定裝置約 2.54 cm 處。測試組態之示意圖係提供於圖 38 中。平均 SPL 改善係以下列方式來計算：首先收集具有空腔體之揚聲器模組的 SPL 曲線，接著收集在腔體中填充有測試材料之相同揚聲器模組的 SPL 曲線。從針對經填充揚聲器模組所獲得之 SPL 曲線中減去針對空揚聲器模組所獲得之 SPL 曲線，且針對 300 至 350 Hz 範圍計算平均 SPL 差異。

氣流阻力測試

【0200】 氣流阻力係使用具備定時器 (以型號 4320 得自 Gurley Precision Instruments) 之透氣度測定儀(densometer) (以型號 4110 得自 Gurley Precision Instruments, Troy, NY) 來測量。將樣本夾在測試

儀中。重置定時器及攝影眼(photo eye)並釋放圓筒，讓空氣能夠以 4.88 吋(12.4 cm)的水(1215 N/m²)之恆定力穿過 1 平方吋(6.5 cm²)圓。記錄使 50 cm³ 空氣通過之時間。在一些情況下，氣流阻力係藉由除膜厚度（以微米計）然後乘以 500 微米來正規化為 500 微米厚膜之氣流阻力。如下文在「用於密度及孔隙度之方法(Method for Density and Porosity)」段落中所述測量膜厚度。

泡點壓力測試

【0201】 泡點壓力為表徵化多孔膜中最大孔隙之常用技術。切出直徑 47 mm 之圓盤，然後將樣本浸泡於礦物油中以完全填充且浸透樣本內之孔隙。接著將濕樣本放在固持器 (47 mm ; Stainless Holder Part# 2220，來自 Pall Corporation, Port Washington, NY) 中。使用壓力控制器在樣本頂部緩慢增加壓力，且用氣體流量計在底部測量氣流。當流量自基線流速顯著增加時，記錄壓力。將此記述為每平方吋之泡點壓力磅數(psi) (公分水銀、cm Hg、或帕 Pa)。此技術係 ASTM F316-03 (2006) 「用於藉由泡點及平均流動孔隙測試針對薄膜過濾器之孔隙大小特性的標準測試方法(Standard Test Methods for Pore Size Characteristics of Membrane Filters by Bubble Point and Mean Flow Pore Test)」之修改，且包括自動壓力控制器及流量計以在達到泡點壓力時進行定量。使用下列等式按照 ASTM 計算孔隙大小：

限制孔隙直徑(μm) = (以達因/cm 計之表面張力* 0.415) / (以 psi 計之壓力)。

【0202】 由於壓力為 psi 單位，因此包括因子 0.415。將 34.7 達因/cm 之表面張力用於礦物油。

密度及孔隙度測試

【0203】 樣本之密度係使用類似於 ASTM F-1315-17 (2017)「用於片狀墊圈材料之密度的標準測試方法(Standard Test Method for Density of a Sheet Gasket Material)」之方法來計算得到，其揭露係以引用方式併入本文中，並且藉由切出 47 mm 直徑圓盤，在合適解析度（一般為 0.0001 克）之分析天平上稱重圓盤，且在厚度規（以型號 49-70 得自 Testing Machines, Inc., New Castle, DE）上以 7.3 psi (50.3 KPa) 之靜重及 0.63 吋(1.6 cm) 之平砧直徑，並以約 3 秒之留置時間及 +/-0.0001 吋之解析度來測量圓盤之厚度。接著密度可藉由將質量除以體積來計算，體積係藉由樣本之厚度及直徑來計算。用聚合物基質複合物之組分之已知密度及重量分率，藉由混合物之規則計算聚合物基質複合物之理論密度。使用理論密度及所測得密度，孔隙度係計算為：

【0204】 孔隙度 = [1 - (所測得密度/理論密度)] × 100%。

導熱率測試

【0205】 直接熱擴散率測量係使用根據 ASTM E1461 (2013) 之閃光分析方法來進行，其揭露係以引用方式併入本文中，並且使用閃光熱物理性質分析儀（以「HYPERFLASH LFA 467」得自 Netzsch Instruments North America LLC, Boston, MA）。各樣本組均包括參考樣本（以商標名稱「AXM-5Q POCO GRAPHITE」得自 Poco Graphite, Decatur, TX）作為擴散率測量之方法對照組。樣本係塗佈有 3 至 5 微米之噴上式石墨層（以商標名稱「DGF 123 DRY GRAPHITE FILM SPRAY」得自 Miracle Power Products Corporation, Cleveland, OH）在光衝擊側及偵測側上，以正規化所測試樣本之表面逸散率 (effusivity) 及吸收率。在單次測量（稱為「射擊」）中，使短持續時間之光脈衝（氙氣閃光燈，230 V，15 微秒持續時間）衝擊樣本之一側，並且記錄樣本相對側之溫度記錄圖（所測得溫度之時間描跡），如以 InSb IR 偵測器上之電壓所測量。擴散率係由將溫度記錄圖對 Cowan Plus Pulse Correction 模型針對穿透平面及面內各向異性加上面內熱損失進行適配來計算，而熱容量係藉由微差掃描熱量法(DSC) 使用 DSC 儀器（以商標名稱「Q2000 DSC」得自 TA Instruments, New Castle, DE），依照 ASTM E1269 (2011)「準等溫緩和 DSC」(Quasi-Isothermal Moderated DSC) 來計算，其揭露係以引用方式併入本文中。使用藍寶石作為 DSC 之參考物。穿透平面擴散率係使用 Cowan 方法並針對有限脈衝寬度進行額外修正來計算，而面內擴散率使用各向同性模型並在軟體（以商標名稱「PROTEUS」得自 Netzsch, Selb, Germany）協助下來計算。在 25 °C 下針對各樣品得到五次射

擊。所測得密度(ρ)（來自 2.54 cm (1 吋) 圓盤之幾何）、比熱容量(c_p)（以微差掃描熱量法）、及(α)擴散率之乘積即給出導熱率。亦即，

$$k \text{ (W/m/K)} = \rho \text{ (g/cm}^3\text{)} \times c_p \text{ (J/K/g)} \times \alpha \text{ (mm}^2/\text{s}) \text{。}$$

電阻測試

【0206】 電阻係使用導電率計（以商標名稱「WAVETEK DM25XT」得自 WaveTek Corporation, San Diego, CA）來測量。將導電率計的探針放在置於紙片上之 27 mm 直徑圓盤的邊緣上，並讓其平衡 5 分鐘。記錄所得電阻（歐姆）。

隔熱測試

【0207】 將樣本放在熱流計（以商標名稱「LASERCOMP FOX 50 HEAT FLOW METER」得自 TA Instruments, Waters Corporation, New Castle, DE）之測量室中。儀器會記錄夾在樣本室中之樣本厚度。平衡熱流測量結果係使用 70°C 之上板溫度及 50°C 之下板溫度來得到。然後所得平衡導熱率係藉由熱流計軟體來計算並記述為 W/(m * K)。

介電測試

【0208】 將樣本放在兩個鍍金電極之間。正電極係 2.54 cm (1 吋) 直徑，並且接地電極係 5.1 cm (2 吋) 直徑。將 1400 克砝碼放在電極上以獲得良好接觸。將正電極連接至電感電容電阻(LCR)計（以

型號 72-960 得自 Tenma, Tokyo, Japan) 之正端子並將接地電極連接至其負端子。將頻率選擇為在 1kHz 下，並且直接從顯示器記錄以 pF (微微法拉) 計之電容。

【0209】 介電常數(K)係由所測得電容(C)使用下列方程式來計算：

$$K = C * d / \epsilon_0 * A$$

其中 d 係以公尺計之樣本厚度，A 係以平方公尺計之截面積，且 $\epsilon_0 = 8.85 \text{ pF/m}$ ，自由空間之介電率。

吸熱測試

【0210】 使用微差掃描熱量計 (以商標名稱「DTG-60AH TGA/DTA」得自 Shimadzu Scientific Instruments, Columbia, MD) 來測量材料之吸熱性質。單元先前已使用以 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 運行之銦粉參考物來校準。使樣本以 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 之斜升率在 $20 \text{ ml}/\text{min}$ 之氮氣流下運行。將 10 毫克樣本放入銅盤中，並且使樣本在非密封條件下運行。記錄吸熱回應。利用曲線下之面積積分即能夠計算每單位重量複合物結構所移除之能量數量(J/g)。

體積膨脹測試

【0211】 使用剃刀刀片切出 $4.5 \text{ cm} \times 1.7 \text{ cm} \times$ 厚度(cm)起始樣本。將樣本裝入已達到 250°C 平衡溫度之常規實驗室烘箱中。將樣本

放在烘箱中 15 分鐘。取出樣本，讓其冷卻，然後重新測量。接著使用所測得之樣本尺寸來計算膨脹之前及之後的體積變化。

磁性測試

I. 靜態磁性質-磁性測試 I

【0212】 在磁性測量前，將聚合物複合物樣本切成 6 mm 圓片。使用振動樣本磁力計（以 7400-S 得自 Lake Shore Cryotronics, Westerville, OH）來記錄磁滯迴路（M-H 曲線）。在該等樣本之平面中施加磁化場 H。磁場跨度設定為 $H = \pm 4$ kOe 及在全飽和($|H| = 4$ kOe)測量飽和磁化 Ms。按 0.14 Oe 之步階測量磁化場 H，及基於在相鄰於 $M=0$ 之 M-H 曲線上的 6 個點，經由線性擬合在 $M = 0$ 之附近界定矯頑磁場 H_c 。

II. 動態磁性質-磁性測試 II

【0213】 將聚合物複合物樣本切成具有外直徑 18 mm 及內直徑 5 mm 之圓環。使用磁性測試固定裝置（以 16454A 得自 Keysight Technologies, Santa Clara, CA）及阻抗計（以 E4990A 得自 Keysight Technologies）來測量相對磁導率 μ_r 之實部及虛部。數據係根據 16454A 之手冊來分析。

實例 1

【0214】 於 120 毫升（4 盎司）玻璃廣口瓶中倒入 3 克的超高分子量聚乙烯(UHMWPE)（以商標名稱「GUR-2126」得自 Celanese Corporation, Irving, TX)、及 56.7 克的氮化硼（以商標名稱「3M BORON NITRIDE COOLING FILLER AGGLOMERATES 50」得自 3M Company, St. Paul, MN)，然後以聲學混合器（以商標名稱「 LABRAM RESONATACOUSTIC MIXER 」得自 Resodyn Inc., Butte, MT) 在 70%強度下振盪 1 分鐘。將 71.7 克的低氣味煤油（得自 Alfa Aesar, Ward Hill, MA) 添加至此混合物，然後用刮勺手動攪拌直到獲得均勻漿體。在室溫（約 25°C ）下，用小勺將漿體施加至 3 密耳（75 微米）熱穩定化之聚對苯二甲酸乙二酯(PET)襯墊（以商標名稱「COATED PET ROLL#33716020500」得自 3M Company），接著將 3 密耳（75 微米）熱穩定化之聚對苯二甲酸乙二酯(PET)襯墊（「COATED PET ROLL#33716020500」）施加在頂部上以夾置漿體。接著藉由使用設定為 36 密耳（914.4 微米）之間隙的切口棒將漿體在 PET 襯墊之間展開。切口棒軌道係寬於 PET 襯墊，以獲得 30 密耳（762 微米）之有效濕膜厚度。在使切口棒之向下壓力增加之情況下使用漸進性多次通過來使漿體變平。將夾置的所形成漿體放在鋁托盤上，然後放在 135°C(275°F) 之實驗室烘箱（以商標名稱「DESPATCH RFD1-42-2E」得自 Despatch, Minneapolis, MN ）中 5 分鐘以進行活化（即，讓 UHMWPE 溶入溶劑中從而形成單相）。將具有經活化之夾置的所形成漿體之托盤自烘箱中取出，然後讓其空氣冷卻至環境溫度（約 25°C ），從而形成溶劑填充之聚合物基質複合物。將頂部及底部

襯墊二者移除，從而使聚合物基質複合物暴露於空氣中。接著將聚合物基質複合物放回托盤上的 PET 襯墊（「 COATED PET ROLL#33716020500」）上，然後將托盤插入 100°C (215°F) 之實驗室烘箱（「 DESPATCH RFD1-42-2E」）歷時一小時。在蒸發後，將聚合物基質複合物自烘箱中取出，讓其冷卻至環境溫度並分析其特性。

【0215】 參照圖 4，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的掃瞄式電子顯微鏡(SEM) 數位影像，該影像係使用 SEM (以商標名稱「PHENOM」得自 FEI Company, Hillsboro, OR) 所拍攝得到。剖面樣本係藉由液態氮冷凍破碎，接著使用濺鍍塗佈機 (以商標名稱「EMITECH K550X」得自 Quorum Technologies, Laughton East Sussex, England) 進行金濺鍍塗佈來製備。

【0216】 所得聚合物基質複合物係 23.7 密耳 (603 微米) 厚且具有 0.524 g/cm³ 之測得密度 (如以「密度及孔隙度測試」所判定)、75.2% 之孔隙度 (如以「密度及孔隙度測試」所判定)、4 sec/50 cm³ 之 Gurley 空氣流量 (如以「氣流阻力測試」所判定)、2.2 微米之孔隙大小 (如以「泡點壓力測試」所判定)，並且具有 0.818 J/K/g 之比熱容量 (如以「導熱率測試」所判定)、3.440 mm²/s 之穿透平面熱擴散率、2.398 mm²/s 之面內熱擴散率 (如以「導熱率測試」所判定)、及 1.475 W/(m * K) 之穿透平面導熱率、1.028 W/(m * K) 之面內導熱率 (如以「導熱率測試」所判定)。

實例 2

【0217】 實例 2 經從實例 1 聚合物基質複合物所衝壓出來的 27 mm 直徑圓盤。將圓盤放在兩個離型襯墊之間，接著放在兩片金屬板之間。將樣本在液壓機（以商標名稱「WABASH-GENESIS MODEL G30H-15-LP」得自 Wabash MPI, Wabash, IN）中在 6804 公斤（7.5 噸）的壓力下在環境溫度（約 25°C）下壓縮 15 秒。

【0218】 參照圖 5，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0219】 如實例 1 中所述測試所得之經緻密化聚合物基質複合物。經緻密化聚合物基質複合物係 6.5 密耳（165 微米）厚且具有 1.547 g/cm^3 之測得密度、24.3% 之孔隙度，並且具有 0.850 J/K/g 之比熱容量、 $7.347 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之穿透平面熱擴散率和 $16.777 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之面內熱擴散率、及 9.657 W/(m * K) 之穿透平面導熱率和 22.051 W/(m * K) 之面內導熱率。

實例 3

【0220】 如針對實例 2 所述製備及測試實例 3，除了塗佈於 PET 襯墊（「COATED PET ROLL#33716020500」）之漿體係 1.25 克的 UHMWPE（「GUR-2126」）、23.74 克的鋁氧化物（以商標名稱「ALUMINUM OXIDE TRIMODAL SPHERICAL TA6T1」得自 Nippon Steel, Himeji City, Hyogo, Japan）、及 8 克的低氣味煤油。

【0221】 參照圖 6，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0222】 所得之經壓縮聚合物基質複合物係 21.7 密耳 (551 微米) 厚，並且具有 2.351 g/cm^3 之密度、35.7% 之孔隙度、 0.833 J/K/g 之比熱容量、 $0.563 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之穿透平面熱擴散率和 $1.489 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之面內熱擴散率、及 1.122 W/(m * K) 之穿透平面導熱率和 2.101 W/(m * K) 之面內導熱率。

實例 4

【0223】 如針對實例 2 所述製備及測試實例 4，除了漿體係 0.628 克的 UHMWPE (「GUR-2126」)、11.86 克的氫氧化鋁 (以商標名稱「MOLDX A110」得自 J.M. Huber Corporation, Atlanta, GA)、及 8 克的低氣味煤油。

【0224】 參照圖 7，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0225】 所得之經壓縮聚合物基質複合物係 16.0 密耳 (406.4 微米) 厚，並且具有 1.695 g/cm^3 之測得密度、29.7% 之孔隙度、 1.191 J/K/g 之比熱容量、 $1.006 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之穿透平面熱擴散率和 $2.228 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之面內熱擴散率、及 2.031 W/(m * K) 之穿透平面導熱率和 4.497 W/(m * K) 之面內導熱率。

實例 5

【0226】 如針對實例 2 所述製備及測試實例 5，除了漿體係 0.628 克的 UHMWPE (「GUR-2126」)、11.87 克的二氧化矽碳化物

(以商標名稱「ELECTROCARB 800W BLACK SIC」得自 Electro Abrasives, Buffalo, NY)、及 9.15 克的低氣味煤油。

【0227】 參照圖 8，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0228】 所得之經壓縮聚合物基質複合物係 18.0 密耳 (457.2 微米) 厚並具有 1.518 g/cm^3 之測得密度、50.8% 之孔隙度、 0.681 J/K/g 之比熱容量、 $0.449 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之穿透平面熱擴散率和 $1.969 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之面內熱擴散率、及 $0.477 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$ 之穿透平面導熱率和 $2.094 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$ 之面內導熱率。

實例 6

【0229】 如實例 1 中所述製備及測試實例 6，除了漿體係 0.628 克的 UHMWPE (「GUR-2126」)、11.85 克的二氧化矽碳化物 (以商標名稱「ELECTROCARB 1200/F BLACK SIC」得自 Electro Abrasives, Buffalo, NY)、及 9.0 克的低氣味煤油。

【0230】 所得之未經壓縮聚合物基質複合物係 29.2 密耳 (741.7 微米) 厚，並且具有 1.036 g/cm^3 之密度、67.2% 之孔隙度、 $16.2 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 空氣流量、 0.643 J/K/g 之比熱容量、 $0.312 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之穿透平面熱擴散率和 $1.444 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之面內熱擴散率、及 $0.208 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$ 之穿透平面導熱率和 $0.962 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$ 之面內導熱率。

實例 7

【0231】 如實例 6 中所述製備及測試實例 7，除了如實施例 2 中所述將其壓縮。

【0232】 所得之經壓縮聚合物基質複合物係 15.8 密耳 (401.3 微米) 厚，並且具有 1.546 g/cm^3 之密度、51.1% 之孔隙度、 0.678 J/K/g 之比熱容量、 $0.39 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之穿透平面熱擴散率和 $3.623 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之面內熱擴散率、及 $0.409 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$ 之穿透平面導熱率和 $3.802 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$ 之面內導熱率。

實例 8

【0233】 如實例 1 中所述製備及測試實例 8，除了漿體係 1.5 克的 UHMWPE (「GUR-2126」)、70 克的銅 (以商標名稱「COPPER POWDER, DENDRIDIC, 3MICRON, 99.7%」得自 Aldrich Chemical Company, St. Louis, MO)、及 36 克的低氣味煤油。

【0234】 參照圖 9，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0235】 所得之未經壓縮聚合物基質複合物係 31.2 密耳 (792.5 微米) 厚，並且具有 1.535 g/cm^3 之密度、79.9% 之孔隙度、 $4.8 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 空氣流量、2.1 微米之孔隙大小、 0.392 J/K/g 之比熱容量、 $0.530 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之穿透平面熱擴散率和 $2.240 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之面內熱擴散率、 $0.319 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$ 之穿透平面導熱率和 $1.348 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$ 之面內導熱率、及 14 百萬歐姆之電阻 (如以「電阻測試」所判定)。

實例 9

【0236】 如實例 8 中所述製備及測試實例 9，除了如實施例 2 中所述將其壓縮，並除了在 245°F(118°C)下將壓力提高至 27,215 公斤(30 噸)歷時 30 秒。

【0237】 所得之經壓縮聚合物基質複合物係 7.4 密耳(188.0 微米)厚，並且具有 6.003 g/cm^3 之密度、17.9%之孔隙度、 0.392 J/K/g 之比熱容量、 $4.723 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之穿透平面熱擴散率和 $30.047 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之面內熱擴散率、 11.357 W/(m * K) 之穿透平面導熱率和 70.718 W/(m * K) 之面內導熱率、及 0.5 歐姆之電阻。

實例 10

【0238】 如實例 1 中所述製備及測試實例 10，除了漿體係 1.5 克的 UHMWPE (“GUR-2126”)、55 克的合成鑽石（以商標名稱「LS-MA0 SYNTHETIC METAL BOND DIAMOND POWDER, UNCOATED, 100/120 MESH」得自 LANDS Superabrasives Co., New York, NY)、55 克的合成鑽石（以商標名稱「LS-MA0 SYNTHETIC METAL BOND DIAMOND POWDER, UNCOATED, 120/140 MESH」得自 LANDS Superabrasives Co.)、及 21 克的低氣味煤油。

【0239】 參照圖 10，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0240】 所得之未經壓縮聚合物基質複合物係 33.7 密耳(856 微米)厚，並且具有 2.052 g/cm^3 之密度、35.5%之孔隙度、 14.2 sec/50

cm^3 之 Gurley 空氣流量、6.0 微米之孔隙大小、0.525 J/K/g 之比熱容量、0.604 mm^2/s 之穿透平面熱擴散率和 2.331 mm^2/s 之面內熱擴散率、及 0.651 W/(m * K) 之穿透平面導熱率和 2.511 W/(m * K) 之面內導熱率。

實例 11

【0241】 如實例 10 中所述製備及測試實例 11，除了如實施例 2 中所述將其壓縮，並除了在 245°F(118°C)下將壓力提高至 27,215 公斤(30 噸)歷時 30 秒。

【0242】 所得之經壓縮聚合物基質複合物係 27.6 密耳(710 微米)厚，並且具有 2.052 g/cm³ 之密度、27.5% 之孔隙度、0.525 J/K/g 之比熱容量、0.986 mm^2/s 之穿透平面熱擴散率和 2.211 mm^2/s 之面內熱擴散率、及 1.065 W/(m * K) 之穿透平面導熱率和 2.382 W/(m * K) 之面內導熱率。

實例 12

【0243】 於 120 毫升(4 盎司)玻璃廣口瓶中倒入 1.5 克的 UHMWPE (「(GUR-2126)」)、及 15 克的玻璃泡(以商標名稱「3M S60 GLASS BUBBLES」得自 3M Company, St. Paul, MN)，然後以聲學混合器(「LABRAM RESONATACOUSTIC MIXER」)在 70%強度下振盪 1 分鐘。將 17.5 克的低氣味添加至此混合物，並用刮勺手動攪拌直到獲得均勻漿體。在室溫(約 25°C)下，用小勺將漿體施加至

3 密耳（75 微米）熱穩定化之聚對苯二甲酸乙二酯(PET)襯墊（「COATED PET ROLL#33716020500」），接著將 3 密耳（75 微米）熱穩定化之聚對苯二甲酸乙二酯(PET)襯墊（「COATED PET ROLL#33716020500」）施加在頂部上以夾置漿體。接著藉由使用設定為 36 密耳（914.4 微米）之間隙的切口棒將漿體在 PET 襯墊之間展開。切口棒軌道係寬於 PET 襯墊，以獲得約 30 密耳（762 微米）之有效濕膜厚度。在使切口棒之向下壓力增加之情況下使用漸進性多次通過來使漿體變平。將夾置的所形成漿體放在鋁托盤上，然後放在 135 °C(275°F)之實驗室烘箱（「DESPATCH RFD1-42-2E」）中 5 分鐘以進行活化（即，讓 UHMWPE 溶入溶劑中從而形成單相）。將具有經活化之夾置的所形成漿體之托盤自烘箱中取出，然後讓其空氣冷卻至環境溫度（約 25°C），從而形成溶劑填充之聚合物基質複合物。將頂部及底部襯墊二者移除，使聚合物基質複合物暴露於空氣中。接著將聚合物基質複合物放回托盤上的 PET 襯墊（「COATED PET ROLL#33716020500」）上，然後將托盤插入 100°C(215°F)之實驗室烘箱（「DESPATCH RFD1-42-2E」）歷時一小時。在蒸發後，將聚合物基質複合物自烘箱中取出，讓其冷卻至環境溫度並分析其特性。

【0244】 參照圖 11，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0245】 所得聚合物基質複合物係 30.4 密耳（770 微米）厚，具有 0.33 g/cm^3 之測得密度（如以「密度及孔隙度測試」所判定）、47.9% 之孔隙度（如以「密度及孔隙度測試」所判定）、及 20.2

$\text{sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 空氣流量（如以「氣流阻力測試」所判定）。在 580 微米之厚度下的導熱率係 $0.095 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$ （如以「隔熱測試」所判定）。

實例 13

【0246】 如實例 12 中所述製備及測試實例 13，除了漿體係 2 克的 UHMWPE（「GUR-2126」）、35.5 克的矽膠（以商標名稱「SILICA GEL 60, 0.036-0.071MM, L14004」得自 Alfa Aesar, Ward Hill, MA）、及 61 克的低氣味煤油。

【0247】 參照圖 12，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0248】 所得聚合物基質複合物係 34 密耳（863.6 微米）厚，並且具有 $0.4196 \text{ g}/\text{cm}^3$ 之密度、82.6% 之孔隙度、8.0 微米之孔隙大小（如以「泡點壓力」所判定）、及 $5.9 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 空氣流量。在 740 微米之厚度下的導熱率係 $0.1011 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$ 。

實例 14

【0249】 如實例 12 中所述製備及測試實例 14，除了漿體係 3 克的 UHMWPE（「GUR-2126」）、35.5 克的未膨脹蛭石（以商標名稱「VERMICULITE TYPE D」得自 3M Company）、及 30 克的低氣味煤油。

【0250】 參照圖 13，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0251】 所得聚合物基質複合物係 34 密耳 (863.6 微米) 厚，並且具有 1.05 g/cm^3 之密度、52.7% 之孔隙度、10.3 微米之孔隙大小、及 $129.2 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 空氣流量。在 740 微米之厚度下的導熱率係 $0.1217 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$ 。

實例 15

【0252】 於 120 毫升 (4 盎司) 玻璃廣口瓶中倒入 1.49 克的 UHMWPE (「GUR-2126」)、及 20.01 克的夾層結晶石墨 (以商標名稱 「GRAFGUARD 160-50N」 得自 GrafTech International Holdings Inc., Independence, OH)，然後以聲學混合器 (「LABRAM RESONATACOUSTIC MIXER」) 在 70% 強度下振盪 1 分鐘。將 14 克的低氣味煤油添加至此混合物然後用刮勺手動攪拌直到獲得均勻漿體。在室溫 (約 25°C) 下，用小勺將漿體施加至 3 密耳 (75 微米) 熱穩定化之 PET 襯墊 (「COATED PET ROLL#33716020500」)，接著將 3 密耳 (75 微米) 熱穩定化之 PET 襯墊 (「COATED PET ROLL#33716020500」) 施加在頂部上以夾置漿體。接著藉由使用設定為 36 密耳 (914.4 微米) 之間隙的切口棒將漿體在 PET 襯墊之間展開。切口棒軌道係寬於 PET 襯墊，以獲得 30 密耳 (762 微米) 之有效濕膜厚度。在使切口棒之向下壓力增加之情況下使用漸進性多次通過來使漿體變平。將夾置的所形成漿體放在鋁托盤上，然後放在 135°C

(275°F)之實驗室烘箱（「DESPATCH RFD1-42-2E」）中 5 分鐘以進行活化（即，讓 UHMWPE 溶入溶劑中從而形成單相）。將具有經活化之夾置的所形成漿體之托盤自烘箱中取出，然後讓其空氣冷卻至環境溫度（約 25°C），從而形成溶劑填充之聚合物基質複合物。將頂部及底部襯墊二者移除，使聚合物基質複合物暴露於空氣中。接著將聚合物基質複合物放回托盤上的 PET 襯墊（「COATED PET ROLL#33716020500」）上，然後將托盤插入 100°C(215°F)之實驗室烘箱（「DESPATCH RFD1-42-2E」）歷時一小時。在蒸發後，將聚合物基質複合物自烘箱中取出，讓其冷卻至環境溫度並分析其特性。

【0253】 參照圖 14，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0254】 所得聚合物基質複合物係 30.9 密耳 (784.9 微米) 厚且具有 0.8556 g/cm³ 之測得密度（如以「密度及孔隙度測試」所判定）、58.2% 之孔隙度（如以「密度及孔隙度測試」所判定）、及 615 mm³ 之體積（如以「體積膨脹測試」所判定）。

【0255】 接著將所得膜放在實驗室烘箱中 15 分鐘，烘箱已達 250°C 之平衡溫度。此會造成夾層之結晶石墨膨脹。所得體積膨脹係 63.5 倍（如以「體積膨脹測試」所判定）。

【0256】 參照圖 15A (膨脹前) 及 15B (膨脹後)，使用光學相機所拍攝得到之聚合物基質複合物之俯視圖的數位相片。

實例 16

【0257】 如實例 15 中所述製備及測試實例 16，除了漿體係 1.5 克的 UHMWPE (「GUR-2126」)、20.04 克的可膨脹石墨 (以商標名稱 「ASBURY 3772」 得自 Asbury Carbons, Inc., Asbury, NJ)、及 19 克的低氣味煤油。

【0258】 所得聚合物基質複合物係 37.6 密耳 (955 微米) 厚，並且具有 0.710 g/cm^3 之密度、65.5 之孔隙度、及 765 mm^3 之體積。

【0259】 參照圖 16，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的掃瞄式電子顯微鏡(SEM)數位影像。

【0260】 接著將所得膜放在實驗室烘箱中 15 分鐘，烘箱已達 250°C 之平衡溫度。此會造成夾層之結晶石墨膨脹。所得體積膨脹係 20.6 倍。

【0261】 參照圖 17A (膨脹前) 及 17B (膨脹後)，使用光學相機所拍攝得到之聚合物基質複合物之俯視圖的數位相片。

實例 17

【0262】 如實例 15 中所述製備及測試實例 17，除了漿體係 3 克的 UHMWPE (「GUR-2126」)、35.5 克的可膨脹蛭石 (以商標名稱 「TYPE D VERMICULITE」 得自 3M Company)、及 30 克的低氣味煤油。

【0263】 參照圖 8，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的掃瞄式電子顯微鏡(SEM)數位影像。

【0264】 所得聚合物基質複合物係 33.8 密耳 (858.5 微米) 厚，並且具有 1.045 g/cm^3 之密度、52.7 之孔隙度、及 661 mm^3 之體積。

【0265】 接著將所得膜放在實驗室烘箱中 15 分鐘，烘箱已達 350°C 之平衡溫度。此會造成夾層之結晶石墨膨脹。所得體積膨脹係 5.6 倍。

【0266】 參照圖 19A (膨脹前) 及 19B (膨脹後)，使用光學相機所拍攝得到之聚合物基質複合物之俯視圖的數位相片。

實例 18

【0267】 於 120 毫升 (4 盎司) 玻璃廣口瓶中倒入 1.5 克的 UHMWPE、及 15.0 克的官能性吖內酯(azlactone)粒子 (以商標名稱「EMPHAZE AB-1 BEADS」得自 3M Company)，然後以聲學混合器 (「LABRAM RESONATAACOUSTIC MIXER」) 在 70%強度下振盪 1 分鐘。將 47.0 克的低氣味煤油添加至此混合物然後用刮勺手動攪拌直到獲得均勻漿體。在室溫 (約 25°C) 下，用小勺將漿體施加至 3 密耳 (75 微米) 熱穩定化之 PET 襯墊 (「COATED PET ROLL#33716020500」)，接著將 3 密耳 (75 微米) 熱穩定化之 PET 襯墊 (「COATED PET ROLL#33716020500」) 施加在頂部以夾置漿體。接著藉由使用設定為 36 密耳 (914.4 微米) 之間隙的切口棒將漿體在 PET 襯墊之間展開。切口棒軌道係寬於 PET 襯墊，以獲得約 30 密耳 (762 微米) 之有效濕膜厚度。在使切口棒之向下壓力增加之情況下使用漸進性多次通過來使漿體變平。將夾置的所形成漿體放在鋁托盤

上，然後放在 135°C (275°F) 之實驗室烘箱（「DESPATCH RFD1-42-2E」）中 5 分鐘以進行活化（即，讓 UHMWPE 溶入溶劑中從而形成單相）。將具有經活化之夾置的所形成漿體之托盤自烘箱中取出，然後讓其空氣冷卻至環境溫度（約 25°C ），從而形成溶劑填充之聚合物基質複合物。將頂部及底部襯墊二者移除，從而使聚合物基質複合物暴露於空氣中。接著將聚合物基質複合物放回托盤上的 PET 襯墊（「COATED PET ROLL#33716020500」）上，然後將托盤插入 100°C (215°F) 之實驗室烘箱（「DESPATCH RFD1-42-2E」）歷時一小時。在溶劑蒸發後，將聚合物基質複合物自烘箱中取出，讓其冷卻至環境溫度並分析其特性。

【0268】 參照圖 20A 及圖 20B，所顯示的是使用 SEM 所拍攝得到之聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。所顯示之吖內酯官能性粒子係多孔的。包括來自粒子內部孔隙度之面積的表面積係約 $350 \text{ m}^2/\text{克}$ 。

【0269】 所得聚合物基質複合物係 33.9 密耳 (0.86 毫米) 厚且具有 0.29 g/cm^3 之密度（如以「密度及孔隙度測試」所判定）、 10.3 微米 之孔隙大小（如以「泡點壓力」所判定），並且具有 $4.5 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 空氣流量（如以「氣流阻力測試」所判定）。

實例 19

【0270】 如針對實例 18 所述製備實例 19，除了將官能性吖內脂粒子（「EMPHAZE AB-1 BEADS」）更換為 30 克的噴流研磨、經交聯

鳥苷酸化(guanylated)聚乙稀亞胺(G-PEI)（如美國專利公開案第2017/0049926號(Langer-Anderson等人)之實例(Examples)中所述製備，其揭露係以引用方式併入本文中)，並且將15克的5微米聚醯胺(以商標名稱「ORGASOL」得自Arkema, King of Prussia, PA)粒子加入，以及使用25克的低氣味煤油。

【0271】 參照圖21A及圖21B，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的掃瞄式電子顯微鏡(SEM)數位影像。原始官能性G-PEI粒子一開始並非多孔的。分散在基質中之較大及較深色的射流研磨G-PEI粒子在相分離過程中會至少部分溶解或溶脹，並且會被如所示之較小白色聚醯胺填料粒子所分隔。

【0272】 所得聚合物基質複合物係30.0密耳(0.76毫米)厚，並且具有6.3微米之孔隙大小。

【0273】 聚合物基質複合物樣本之靜態蛋白質結合容量係藉由在測試分析物中培養複合物之圓片過夜來分析。各圓片係藉由從聚合物基質複合物片體模頭衝壓出6-mm直徑圓片來製備。將各圓片放在5-mL離心管中，離心管中有4.5mL的牛血清白蛋白(BSA)挑戰溶液(challenge solution)(以目錄編號A-7906得自Sigma Aldrich, St. Louis, MO)，其濃度係約3.0mg/ml在25毫莫耳參(羥基甲基)胺基甲烷(TRIS)緩衝液中，50毫莫耳NaCl，pH 8.0。將管子加蓋，然後在旋轉混合器(以商標名稱「LABQUAKE」得自Thermal Scientific, Waltham, MA)上滾轉過夜(14小時)。上清液係使用UV-VIS光譜計在280 nm下(應用在325 nm下之背景校正)來分析。各基材之靜態

結合容量係藉由與起始 BSA 之吸收進行比較來判定，並且結果係計算為所結合 BSA 之 mg/複合物體積之 cm^3 。三個圓片係在兩個不同天的各天分析。BSA 結合容量（六次測量的平均值）係 133 mg/cm^3 。

實例 20

【0274】 如針對實例 18 所述製備實例 20，除了將官能性吖內脂粒子（「EMPHAZE AB-1 BEADS」）更換為 5 克的低密度玻璃泡（以商標名稱「3M GLASS BUBBLES K1」得自 3M Company），該等玻璃泡具有根據如美國專利第 8,698,394 號（McCutcheon 等人）中之實例(Examples)所述製造的奈米銀點狀圖案塗層，其揭露係以引用方式併入本文中，並且使用 23 克的低氣味煤油。

【0275】 參照圖 22，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的掃瞄式電子顯微鏡(SEM)數位影像。SEM 顯示圍繞經塗佈玻璃泡之葉狀蕾絲聚合物基質結構。

【0276】 所得聚合物基質複合物係 29.6 密耳 (0.75 毫米) 厚，具有 0.09 g/cm^3 之密度、4.1 微米之孔隙大小，並且具有 $5.9 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 空氣流量。

實例 21

【0277】 如針對實例 18 所述製備實例 21，除了將官能性吖內脂粒子更換為 25 克的鳥苷酸化珍珠岩粒子（以商標名稱「PERLITE 4106」得自 Sigma Aldrich Corp., St. Louis, MO，並且如公開於 2016

年 9 月 22 日之 PCT 公開案第 WO2016/149233 號 (Griesgraber 等人) 的實例 1 (Example 1) 中所述製備，其揭露係以引用方式併入本文中)，並且使用 40 克的低氣味煤油。

【0278】 參照圖 23，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的掃瞄式電子顯微鏡(SEM)數位影像。

【0279】 所得聚合物基質複合物係 29.1 密耳 (0.74 毫米) 厚，具有 0.49 g/cm^3 之密度、10.3 微米之孔隙大小，並且具有 $5.9 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 空氣流量。

實例 22

【0280】 於 120 毫升 (4 盎司) 玻璃廣口瓶中倒入 1.5 克的 UHMWPE、及 15 克的鋁和鋁氧化物塗佈玻璃泡 (該等玻璃泡係以商標名稱「3M SCOTCHLITE S60 GLASS BUBBLES」得自 3M Company)，並且如針對美國專利第 8,698,394 號 (McCutcheon 等人) 之實例(Examples)所述塗佈，其揭露係以引用方式併入本文中)，然後以聲學混合器 (「LABRAM RESONATACOUSTIC MIXER」) 在 70%強度下振盪 1 分鐘。將 17.5 克的低氣味煤油添加至此混合物然後用刮勺手動攪拌直到獲得均勻漿體。在室溫 (約 25°C) 下，用小勺將漿體施加至 3 密耳 (75 微米) 熱穩定化之 PET 襯墊 (「COATED PET ROLL#33716020500」)，接著將 3 密耳 (75 微米) 熱穩定化之 PET 襯墊施加在頂部中以夾置漿體。接著藉由使用設定為 36 密耳 (914.4 微米) 之間隙的切口棒將漿體在 PET 襯墊之間展開。切口棒軌道係寬於

PET 襯墊，以獲得 30 密耳 (762 微米) 之有效濕膜厚度。在使切口棒之向下壓力增加之情況下使用漸進性多次通過來使漿體變平。將夾置的所形成漿體放在鋁托盤上，然後放在 135°C (275°F) 之實驗室烘箱 (「DESPATCH RFD1-42-2E」) 中 5 分鐘以進行活化 (即，讓 UHMWPE 溶入溶劑中從而形成單相)。將具有經活化之夾置的所形成漿體之托盤自烘箱中取出，然後讓其空氣冷卻至環境溫度 (約 25°C)，從而形成溶劑填充之聚合物基質複合物。將頂部及底部襯墊二者移除，使聚合物基質複合物暴露於空氣中。接著將聚合物基質複合物放回托盤上的 PET 襯墊 (「COATED PET ROLL#33716020500」) 上，然後將托盤插入 100°C (215°F) 之實驗室烘箱 (「DESPATCH RFD1-42-2E」) 歷時一小時。在蒸發後，將聚合物基質複合物自烘箱中取出，讓其冷卻至環境溫度並分析其特性。

【0281】 參照圖 24，所顯示的是使用 SEM 所拍攝得到之聚合物基質複合物之剖面的掃瞄式電子顯微鏡(SEM)數位影像。

【0282】 所得聚合物基質複合物係 32.5 密耳 (826 微米) 厚，具有 0.36 g/cm^3 之測得密度 (如以「密度及孔隙度測試」所判定)、42.9% 之孔隙度 (如以「密度及孔隙度測試」所判定)、28.8 微米之孔隙大小 (如以「泡點壓力測試」所判定)、28.8 微米之孔隙大小 (如以「泡點壓力測試」所判定)、 $21.1 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 空氣流量 (如以「氣流阻力測試」所判定)、92 微微法拉之電容 (如以「介電測試」所判定)、及 17.0 之介電常數 (如以「介電測試」所判定)。下表 1 中記述前五個實例之介電特性分析數據。

表 1

實例編號	UHMWPE , g	經塗佈玻璃泡 , g	純「S60 Glass Bubbles , 」g	煤油 , g	厚度 , 微米 (密耳)	電容 , pf	介電常數
22	1.5	15	0	17.5	826 (32.5)	92	17
23	1.5	11.25	3.75	17.5	813 (32)	75	13.6
24	1.5	7.5	7.5	17.5	785 (30.9)	50	8.8
25	1.5	3.75	11.25	17.5	742 (29.2)	42	7
26	1.5	0	15	17.5	803 (31.6)	41	7.3

實例 23

【0283】如針對實例 22 所述製備及測試實例 23，除了將 25% 重量的經塗佈玻璃泡更換為未經塗佈玻璃泡 (「3M SCOTCHLITE S60 GLASS BUBBLES」)。

【0284】所得聚合物基質複合物係 32.0 密耳 (813 微米) 厚，具有 0.36 g/cm^3 之測得密度、42.9% 之孔隙度、36 微米之孔隙大小、 $52.1 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 空氣流量、及 13.6 之介電常數。實例 23 之介電特性分析數據係記述於上表 1 中。

實例 24

【0285】如針對實例 22 所述製備及測試實例 24，除了將 50% 重量的經塗佈玻璃泡更換為未經塗佈玻璃泡 (「3M SCOTCHLITE S60 GLASS BUBBLES」)。

【0286】所得聚合物基質複合物係 30.9 密耳 (785 微米) 厚，具有 0.36 g/cm^3 之測得密度、42.9% 之孔隙度、12 微米之孔隙大小、

56.8 sec/50 cm³ 之 Gurley 空氣流量、及 8.8 之介電常數。實例 24 之介電特性分析數據係記述於上表 1 中。

實例 25

【0287】 如針對實例 22 所述製備及測試實例 25，除了將 75% 重量的經塗佈玻璃泡更換為未經塗佈玻璃泡（「3M SCOTCHLITE S60 GLASS BUBBLES」）。

【0288】 所得聚合物基質複合物係 28.7 密耳（729 微米）厚，具有 0.35 g/cm³ 之測得密度、44.4% 之孔隙度、48 微米之孔隙大小、26.4 sec/50 cm³ 之 Gurley 空氣流量、及 6.75 之介電常數。實例 25 之介電特性分析數據係記述於上表 1 中。

實例 26

【0289】 如針對實例 22 所述製備及測試實例 26，除了所有的介電粒子皆係未經塗佈玻璃泡（「3M SCOTCHLITE S60 介電粒子」）。

【0290】 所得聚合物基質複合物係 30.4 密耳（772 微米）厚，具有 0.33 g/cm³ 之測得密度、47.9% 之孔隙度、6.9 微米之孔隙大小、20.2 sec/50 cm³ 之 Gurley 空氣流量、及 7.3 之介電常數。實例 26 之介電特性分析數據係記述於上表 1 中。

實例 27 至 31

【0291】 如針對實例 22 至 26 所述製備實例 27 至 31，除了將經塗佈玻璃泡更換為鈦酸鋇（以商標名稱「99% BaTiO₃ A0882」得自 GFS Chemicals, Columbus, OH），並且將未經塗佈玻璃泡更換為 60 微米聚醯胺粒子（以商標名稱「ORGASOL 2002 ES 6 NAT 3」得自 Arkema）。亦考慮粒子在體積及潤濕特性上的變化來調整廣口瓶中之黏合劑、粒子、及稀釋劑（漿體）的總重量。聚合物黏合劑、粒子、及稀釋劑的重量係於下表 2 中給出。

表 2

實例 編號	UHMWPE , g	BaTiO ₃ , g	聚醯胺粒子 , g	煤油 , g	厚度 , 微米 (密耳)	電容 pf	介電 常數
27	1.5	25	0	17.0	655 (25.8)	42.7	6.2
28	1.5	18.75	6.25	17.0	820 (32.3)	32.7	6.0
29	1.5	12.5	12.5	17.0	942 (37.1)	20.0	4.2
30	1.5	6.25	18.75	21.0	1029 (40.5)	20.6	4.7
31	1.5	0	25	24.0	1118 (44.0)	197	4.9

【0292】 來自聚合物基質複合物之介電測量及結果係記錄於表 2 (以上) 中，其等來自所衝壓出的 47 mm 圓片。

【0293】 接著將表 2 (以上) 中所製造及測試的樣本在液壓機（「WABASH-GENESIS MODEL G30H-15-LP」）中以 27,215 公斤 (30 噸) 壓力在不鏽鋼板之間在環境溫度 (約 25°C) 下壓縮 30 秒。再次測量厚度及介電常數，並且記錄於下表 3 中。

表 3

實例 編號	UHMWPE , g	BaTiO ₃ , g	聚醯胺粒子 , g	煤油 , g	厚度 , 微米 (密耳)	電容 pf	介電 常數
27	1.5	25	0	17.0	401 (15.8)	122.2	10.9
28	1.5	18.75	6.25	17.0	503 (19.8)	31.3	3.5
29	1.5	12.5	12.5	17.0	538 (21.2)	31.1	3.7
30	1.5	6.25	18.75	21.0	569 (22.4)	34.5	4.4
31	1.5	0	25	24.0	625 (24.6)	30.5	4.0

實例 32 及 33

【0294】如針對實例 27 所述製備及測試實例 32 及 33，除了如下表 4 中所示增加鈦酸鋇濃度。

表 4

實例 編號	UHMWPE , g	BaTiO ₃ , g	聚醯胺粒子 , g	煤油 , g	厚度 , 微米 (密耳)	電容 , pf	介電 常數
32	1.5	50	0	32.0	597 (23.5)	64.2	8.6
33	1.5	75	0	50.0	620 (24.4)	83.2	11.5

實例 34

【0295】如針對實例 22 所述製備實例 34，除了將低氣味煤油的重量更換為礦物油（以商標名稱「KAYDOL」（產品編號 637760）得自 Brenntag Great Lakes Inc., Wauwatosa, WI）。在蒸發步驟前，使用異丙醇交換礦物油。

【0296】參照圖 25，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0297】 所得聚合物基質複合物係 33.1.0 密耳（841 微米）厚且具有 50.5 sec/50 cm³ 之 Gurley 空氣流量。

實例 35

【0298】 如針對實例 22 所述製備實例 35，除了所使用之 UHMWPE（「GUR-2126」）重量係 21 克且低氣味煤油係 21 克。

【0299】 參照圖 26，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0300】 所得聚合物基質複合物係 33.0 密耳（838 微米）厚。

實例 36

【0301】 於 120 毫升（4 盎司）玻璃廣口瓶中倒入 1.5 克的 UHMWPE、及 74.0 克的硫酸鈣乾燥劑粒子（以商標名稱「DRIERITE DESICCANT-ANHYDROUS INDICATING DRIERITE」（庫存編號 23001）得自 W.A. Hammond Drierite Company LTD, Xenia, OH），硫酸鈣係使用研鉢和研杵手動搗碎成粉末，然後以聲學混合器（「LABRAM RESONATAcouSTIC MIXER」）在 70%強度下振盪 1 分鐘。將 25.0 克的低氣味煤油添加至此混合物然後用刮勺手動攪拌直到獲得均勻漿體。在室溫（約 25°C）下，用小勺將漿體施加至 3 密耳（75 微米）熱穩定化之 PET 襯墊（「COATED PET ROLL #33716020500」），接著將 3 密耳（75 微米）熱穩定化之 PET 襯墊（「COATED PET ROLL#33716020500」）施加在頂部上以夾置漿體。

接著藉由使用設定為 76 密耳（1930 微米）之間隙的切口棒將漿體在 PET 襯墊之間展開。切口棒軌道係寬於 PET 襯墊，以獲得約 70 密耳（1930 微米）之有效濕膜厚度。在使切口棒之向下壓力增加之情況下使用漸進性多次通過來使漿體變平。將夾置的所形成漿體放在鋁托盤上，然後放在 135°C(275°F)之實驗室烘箱（「DESPATCH RFD1-42-2E」）中 5 分鐘以進行活化（即，讓 UHMWPE 溶入溶劑中從而形成單相）。將具有經活化之夾置的所形成漿體之托盤自烘箱中取出，然後讓其空氣冷卻至環境溫度（約 25°C），從而形成溶劑填充之聚合物基質複合物。將頂部及底部襯墊二者移除，從而使聚合物基質複合物暴露於空氣中。接著將聚合物基質複合物放回托盤上的 PET 襯墊（「COATED PET ROLL#33716020500」）上，然後將托盤插入 100°C(215°F)之實驗室烘箱（「DESPATCH RFD1-42-2E」）歷時一小時。在溶劑蒸發後，將聚合物基質複合物自烘箱中取出，讓其冷卻至環境溫度並分析其特性。

【0302】 所得聚合物基質複合物係 69.4 密耳（1.76 毫米）厚，在溶劑蒸發後（在讓其吸收任何環境濕氣前）立即具有 1.18 g/cm^3 之密度（如以「密度及孔隙度測試」所判定），在讓其於環境濕度下平衡後密度係 1.26 g/cm^3 ，在變成完全以液體水飽和後密度係 1.38 g/cm^3 ，並且在溶劑蒸發後立即具有 $38.6 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 空氣流量（如以「氣流阻力測試」所判定）。

【0303】 在乾燥時聚合物基質複合物層膜係淺藍色，而在讓其於環境濕度下平衡並最後以液體水將其飽和後會變成灰白色至粉紅色色

調。在乾燥及再潤濕時，聚合物基質複合物之濕氣吸收及顏色變化是可逆的。

實例 37

【0304】 如針對實例 36 所述製備實例 37，除了將硫酸鋇乾燥劑粒子（「 DRIERITE DESICCANT-ANHYDROUS INDICATING DRIERITE 」）更換為 23.0 克的胺基酸 L-離胺酸單鹽酸鹽粒子（以商標名稱「 L-LYSINE MONOHYDROCHLORIDE, L-5626 」得自 Sigma, Saint Louis, MO ）並將 2 克的酚酞粒子（以商標名稱「 PHENOPHTHALEIN, PX0520-1 」得自 EMD Chemicals Inc., Gibbstown, NJ ）加入，並且使用 24 克的低氣味煤油以製造漿體。將切口棒間隙設定為 36 密耳（914.4 微米）。

【0305】 所得聚合物基質複合物係 31.1 密耳（0.79 毫米）厚。聚合物基質複合物具有 0.62 g/cm^3 之密度、4.2 微米之孔隙大小（如以「泡點壓力」所判定）、及 $19.0 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 空氣之 Gurley 空氣流量。

【0306】 聚合物基質複合物層係白色的，並且在暴露於 pH 大於 8 (0.1N 氢氧化鉀) 之水時會變成紅色色調。

實例 38

【0307】 如針對實例 36 所述製備實例 38，除了使用 20.0 克的胺基酸 L-離胺酸單鹽酸鹽粒子（「 L-LYSINE

MONOHYDROCHLORIDE, L-5626」) 並且省略酚酞粒子。使用 26 克的煤油以製造漿體。

【0308】 所得聚合物基質複合物係 29.6 密耳 (0.75 毫米) 厚。聚合物基質複合物具有 0.62 g/cm^3 之密度、及 $21.0 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 空氣之 Gurley 空氣流量。

【0309】 參照圖 27，所顯示的是實例 38 聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像，該複合物具有葉狀蕾絲黏合劑 401、酚酞 402、及 L-離胺酸單鹽酸鹽 403。

【0310】 聚合物基質複合物層係白色的，並且在暴露於 pH 大於 8 之水時不會變色。

實例 39

【0311】 如針對實例 36 所述製備實例 39，除了將硫酸鋇乾燥劑粒子 (「 DRIERITE DESICCANT-ANHYDROUS INDICATING DRIERITE 」) 更換為 8.0 克的低密度玻璃泡 (以商標名稱 「 3M GLASS BUBBLES K1 」 得自 3M Company)，並且如針對美國專利第 8,698,394 號 (McCutcheon 等人) 之實例(Examples)所述塗佈，其揭露係以引用方式併入本文中，並且使用 42 克的低氣味煤油。將切口棒間隙設定為 36 密耳 (914.4 微米)。

【0312】 所得聚合物基質複合物係 29.6 密耳 (0.75 毫米) 厚。聚合物基質複合物具有 0.09 g/cm^3 之密度、4.1 微米之孔隙大小、及 $5.9 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 空氣之 Gurley 空氣流量。

【0313】 參照圖 28，所顯示的是實例 39 聚合物基質複合物之剖面的掃瞄式電子顯微鏡(SEM)數位影像。

實例 40

【0314】 如針對實例 35 所述製備實例 40，除了將硫酸鋇乾燥劑粒子（「DRIERITE DESICCANT-ANHYDROUS INDICATING DRIERITE」）更換為 117.0 克的硫化鋅磷光粒子（以商標名稱「NATURAL GREEN EMITTING 6SSU」得自 United Mineral & Chemical Corporation, Lyndhurst, NJ），並且使用 30 克的低氣味煤油。將切口棒間隙設定為 36 密耳（914.4 微米）。

【0315】 所得聚合物基質複合物係 34.1 密耳（0.87 毫米）厚。聚合物基質複合物具有 1.85 g/cm^3 之密度、及 $3.0 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 空氣之 Gurley 空氣流量。

【0316】 使所得聚合物基質複合物暴露於正常辦公室燈光。接著關閉燈光，然後樣本即會發光。

實例 41

【0317】 如針對實例 40 所述製備實例 41，除了將濕式佈層樹脂黏合非織網（以商標名稱「UNIBLEND 135」得自 Midwest Filtration Corporation, Cincinnati, OH）放在底部襯墊上，漿體會被吸入非織物中從而在移除頂部襯墊後留下平滑的頂部表面。聚合物基質複合物的底部表面由於漿體流過時之非織物印痕而是粗糙的。

【0318】 所得聚合物基質複合物係 34.6 密耳 (0.88 毫米) 厚。

聚合物基質複合物具有 1.37 g/cm^3 之密度、及 $7.1 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 空氣之 Gurley 空氣流量。

實例 42

【0319】 於 120 毫升 (4 盎司) 玻璃廣口瓶中倒入 1.5 克的 UHMWPE、及 20.0 克的胺基酸 L-離胺酸單鹽酸鹽粒子（以商標名稱「L-5626」得自 Sigma, Saint Louis, MO），然後以聲學混合器（「LABRAM RESONATACOUSTIC MIXER」）在 70%強度下振盪 1 分鐘。將 26.0 克的低氣味添加至此混合物，並用刮勺手動攪拌直到獲得均勻漿體。在室溫（約 25°C ）下，用小勺將漿體施加至 3 密耳 (75 微米) 熱穩定化之 PET 襯墊（「COATED PET ROLL#33716020500」），接著將 3 密耳 (75 微米) 熱穩定化之 PET 襯墊施加在頂部上以夾置漿體。接著藉由使用設定為 36 密耳 (914 微米) 之間隙的切口棒將漿體在 PET 襯墊之間展開。切口棒軌道係寬於 PET 襯墊，以獲得約 30 密耳 (914 微米) 之有效濕膜厚度。在使切口棒之向下壓力增加之情況下使用漸進性多次通過來使漿體變平。將夾置的所形成漿體放在鋁托盤上，然後放在 135°C (275°F) 之實驗室烘箱（「DESPATCH RFD1-42-2E」）中 5 分鐘以進行活化（即，讓 UHMWPE 溶入溶劑中從而形成單相）。將具有經活化之夾置的所形成漿體之托盤自烘箱中取出，然後讓其空氣冷卻至環境溫度（約 25°C ），從而形成溶劑填充之聚合物基質複合物。將頂部及底部襯墊二者

移除，從而使聚合物基質複合物暴露於空氣中。接著將聚合物基質複合物放回托盤上的 PET 襯墊（「 COATED PET ROLL#33716020500 」）上，然後將托盤插入 100°C (215°F) 之實驗室烘箱（「 DESPATCH RFD1-42-2E 」) 歷時一小時。在溶劑蒸發後，將聚合物基質複合物自烘箱中取出，讓其冷卻至環境溫度並分析其特性。

【0320】 參照圖 29，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0321】 所得聚合物基質複合物係 29.6 密耳 (0.75 毫米) 厚，具有 0.62 g/cm^3 之密度 (如以「密度及孔隙度測試」所判定)、4.2 微米之孔隙大小 (如以「泡點壓力測試」) 所判定)、及 $21.0 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 空氣之 Gurley 空氣流量 (如以「氣流阻力測試」所判定)。

實例 43

【0322】 如針對實例 42 所述製造實例 43，除了將 L-離胺酸單鹽酸鹽粒子更換為 30 克的聚(丙烯酸)、部分鈉鹽接枝聚(氧化乙烯) (得自 Sigma-Aldrich)，並且使用 25 克的低氣味煤油。將切口棒間隙設定為 50 密耳 (1.27 mm)。

【0323】 所得聚合物基質複合物係 45.0 密耳 (0.76 毫米) 厚。聚合物基質複合物密度係 0.78 g/cm^3 。參照圖 30A 及圖 30B，超高分子量聚乙烯 UHMWPE (「 GUR-2126 」) 之剖面的 SEM 數位影像，並且使用 20 克的低氣味煤油。

【0324】 參照圖 32，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0325】 所得聚合物基質複合物係 36.7 密耳 (0.93 毫米) 厚。聚合物基質複合物密度係 1.14 g/cm^3 且具有 $7.3 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 空氣之 Gurley 空氣流量。孔隙度係計算為 66.4% (如以「密度及孔隙度測試」所判定)，並且孔隙大小係 5.5 微米 (如以「泡點壓力測試」所判定)。

實例 45

【0326】 如針對實例 44 所述製造實例 45，除了將無水硫酸銅 (II) 粒子更換為 45 克的五水合硫酸銅(II) (ACS, 98.0-102.0% 結晶，14178，得自 Alfa Aesar)。

【0327】 參照圖 33，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0328】 所得聚合物基質複合物係 40.6 密耳 (1.03 毫米) 厚，具有 1.06 g/cm^3 之密度且具有 $10.8 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 空氣之 Gurley 空氣流量。孔隙度係計算為 51.6% 並且孔隙大小係 5.0 微米。

實例 46

【0329】 於 120 毫升 (4 盎司) 玻璃廣口瓶中倒入 1.75 克的 UHMWPE (「GUR-2126」)、及 23.2 克的二水合硫酸銅 (以商標名稱 「CALCIUM SULFATE DIHYDRATE, ACS, 98.0-102.0% POWDER,

36700」得自 Alfa Aesar)，然後以聲學混合器 (「LABRAM RESONATACOUSTIC MIXER」) 在 70%強度下振盪 1 分鐘。將 23 克的低氣味煤油添加至此混合物然後用刮勺手動攪拌直到獲得均勻漿體。在室溫（約 25°C）下，用小勺將漿體施加至 3 密耳（75 微米）熱穩定化之 PET 襯墊 (「COATED PET ROLL#33716020500」)，接著將 3 密耳（75 微米）熱穩定化之 PET 襯墊 (「COATED PET ROLL#33716020500」) 施加在頂部以夾置漿體。接著藉由使用設定為 36 密耳（914.4 微米）之間隙的切口棒將漿體在 PET 襯墊之間展開。切口棒軌道條寬於 PET 襯墊，以獲得 30 密耳（762 微米）之有效濕膜厚度。在使切口棒之向下壓力增加之情況下使用漸進性多次通過來使漿體變平。將夾置的所形成漿體放在鋁托盤上，然後放在 135°C(275°F)之實驗室烘箱 (「DESPATCH RFD1-42-2E」) 中 5 分鐘以進行活化（即，讓 UHMWPE 溶入溶劑中從而形成單相）。將具有經活化之夾置的所形成漿體之托盤自烘箱中取出，然後讓其空氣冷卻至環境溫度（約 25°C），從而形成溶劑填充之聚合物基質複合物。將頂部及底部襯墊二者移除，從而使聚合物基質複合物暴露於空氣中。接著將聚合物基質複合物放回托盤上的 PET 襯墊 (「COATED PET ROLL#33716020500」) 上，然後將托盤插入 100°C(215°F)之實驗室烘箱 (「DESPATCH RFD1-42-2E」) 歷時一小時。在蒸發後，將聚合物基質複合物自烘箱中取出，讓其冷卻至環境溫度並分析其特性。

【0330】 參照圖 34，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0331】 所得聚合物基質複合物係 31.2 密耳 (792.5 微米) 厚且具有 0.873 g/cm^3 之測得密度 (如以「密度及孔隙度測試」所判定)、58.4% 之孔隙度 (如以「密度及孔隙度測試」) 所判定)、 $223 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 氣流阻力 (如以「氣流阻力測試」所判定)、1.9 微米之泡點孔隙大小 (如以「泡點壓力測試」所判定)、及 461 J/g 之能量移除 (如以「吸熱測試」所判定)。

實例 47

【0332】 如實例 46 中所述製備及測試實例 47，除了漿體係 3.5 克的 UHMWPE (「GUR-2126」)、46.5 克的碳酸氫鈉 (以商標名稱「SODIUM BICARBONATE, 7412-12」得自 Macron Fine Chemicals, Center Valley, PA)、及 19.5 克的低氣味煤油。

【0333】 參照圖 35，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0334】 所得聚合物基質複合物係 27.6 密耳 (701 微米) 厚，並且具有 0.664 g/cm^3 之密度、67% 之孔隙度、 $58 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 氣流阻力、3.3 微米之泡點孔隙大小、及 704 J/g 之能量移除。

實例 48

【0335】 如針對實例 46 所述製備及測試實例 48，除了漿體係 1.75 克的 UHMWPE (「GUR-2126」)、23.25 克的二水合硫酸鈣 (以商

標名稱「TERRA ALBA NO.1, CALCIUM SULFATE」得自 U.S. Gypsum Company, Chicago, IL)、及 17.5 克的低氣味煤油。

【0336】 參照圖 36，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0337】 所得聚合物基質複合物係 45.4 密耳 (1153 微米) 厚，並且具有 0.7729 g/cm^3 之密度、64.2% 之孔隙度、 $234 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 氣流阻力、1.9 微米之泡點孔隙大小、及 211 J/g 之能量移除。

實例 49

【0338】 如實例 46 中所述製備及測試實例 49，除了漿體係 3.5 克的 UHMWPE (「GUR-2126」)、46.5 克的三水合鋁 (以商標名稱 「SB30 ALUMINUM TRIHYDRATE」 得自 Huber Corporation, Atlanta, GA)、及 25 克的低氣味煤油。

【0339】 參照圖 37，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0340】 所得聚合物基質複合物係 46.5 密耳 (1181 微米) 厚，並且具有 0.995 g/cm^3 之密度、54.3% 之孔隙度、 $1 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 氣流阻力、24 微米之泡點孔隙大小、及 761 J/g 之能量移除。

實例 50

【0341】 於一加侖 (3.8 升) 桶中倒入 22 克的 UHMWPE (「GUR-2126」)、及 471 克的磁性金屬薄片 (以商標名稱

「SENDUST SP-3B」得自 Mate Co., LTD, Okayama, Japan)，然後使用混合器 (以商標名稱 「MIX-MASTER 5」 得自 INDCO Inc., New Albany, IN) 滾轉一小時。將 507 克的低氣味煤油添加至此混合物然後用刮勺手動攪拌直到獲得均勻漿體。在室溫 (約 25°C) 下，用小勺將漿體施加至 3 密耳 (75 微米) 厚、12 吋(30.5 cm) 寬、熱穩定化之聚對苯二甲酸乙二酯 (PET) 襯墊 (「 COATED PET ROLL#33716020500 」)，接著將 3 密耳 (75 微米)、12 吋(30.5 cm) 寬、熱穩定化之聚對苯二甲酸乙二酯(PET) 襯墊 (「 COATED PET ROLL#33716020500 」) 施加以夾置漿體。接著藉由將 PET 襯墊輸送通過間隙設定為 40 密耳 (1016 微米) 之軋輶來將漿體在移動中的 PET 襯墊之間展開。使用 2.3 kg (5 磅) 之張力從捲繞架拉伸 PET 襯墊，從而獲得約 35 密耳 (889 微米) 之有效濕膜厚度。將夾置的所形成漿體以每分鐘 5 呎 (每分鐘 1.5 公尺) 之速度輸送通過 4 區段、27 呎 (8.2 公尺) 長、瓦斯加熱之 135°C(275°F) 對流烘箱 (設置有空氣浮選，具備高度可調之噴嘴，得自 Advanced Systems Inc., Green Bay, WI) 以進行活化 (即，讓 UHMWPE 溶入溶劑中)。將經活化之夾置的所形成漿體從烘箱輸送出來，然後讓其空氣冷卻至環境溫度 (約 25 °C)，從而形成溶劑填充之聚合物基質複合物。將頂部及底部襯墊二者移除，使聚合物基質複合物暴露於空氣中。接著將聚合物基質複合物之樣本放在托盤上的 PET 襯墊 (「 COATED PET ROLL#33716020500 」) 上，然後將托盤插入 100°C(215°F) 之實驗室

烘箱（「DESPATCH RFD1-42-2E」）歷時一小時。在蒸發後，將聚合物基質複合物自烘箱中取出，讓其冷卻至環境溫度並分析其特性。

【0342】 參照圖 39，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0343】 所得聚合物基質複合物係 34.5 密耳（875 微米）厚且具有 0.77 g/cm^3 之測得密度（如以「密度及孔隙度測試」所判定）、83.1% 之孔隙度（如以「密度及孔隙度測試」所判定）、 $4.5 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 空氣流量（如以「氣流阻力測試」所判定）、在一百萬赫茲下 12.4 之相對磁導率（如以「磁性測試 II」所判定）、0.1 特斯拉之飽和感應（如以「磁性測試 I」所判定）、及 0.92 奧斯特（73.2 安培/公尺）之矯頑磁性（如以「磁性測試 I」所判定）。

實例 51

【0344】 如針對實例 50 所述製備及測試實例 51，除了衝壓出一片 18 mm 直徑聚合物基質複合物，將其放在兩個離型襯墊之間，然後放在兩片金屬板之間。將樣本在液壓機（「WABASH-GENESIS MODEL G30H-15-LP」）中在 9072 公斤（10 噸）的壓力下在環境溫度（約 25°C ）壓縮 15 秒。

【0345】 所得聚合物基質複合物係 7.5 密耳（190 微米）厚且具有 3.5 g/cm^3 之測得密度（如以「密度及孔隙度測試」所判定）、在一百萬赫茲下 75.0 之相對磁導率、0.5 特斯拉之飽和感應、及 4.4 奧斯特（350 安培/公尺）之矯頑磁性。

實例 52

【0346】 將氧化鋁粒子（以商標名稱「VERSAL V-250」得自 UOP LLC, Des Plaines, IL）藉由下列方式來進行熱處理：將其置於氧化鋁坩堝中，並將其在預熱窯（以商標名稱「DRAGON 24」得自 Paragon Industry, Mesquite, TX）中在 750°C 下加熱 1 小時，之後將其取出並讓其冷卻。接著如下對經熱處理之粒子進行矽烷處理。將配備有機械攪拌之 12-L 圓底燒瓶用氮使其惰性化，並且於熱電偶控制之加熱包中倒入 4800 克的去離子水及 1200 克的乙醇（得自 JT Baker, Center Valley, PA）。在適度攪拌之情況下，緩慢添加 1500 克經熱處理之氧化鋁粒子以形成均勻漿體。使用 1.0 N NaOH（得自 VWR, Radnor, PA）將所得混合物之 pH 調整至 9 至 10 之 pH。接著將 26.03 克異辛基矽烷（以「SILRES BS1316」獲自 Wacker Chemie AG, Munich, Germany）添加至混合物中。將混合物在攪拌之情況下加熱至 80°C 達 16 小時。將混合物冷卻且藉由使用布氏漏斗過濾來收集固體。將固體用 380 克乙醇洗滌，接著轉移至鋁盤中。將固體在烘箱中在 140°C 下乾燥隔夜。

【0347】 於塑膠混合杯（以商標名稱「MAX 60 CUP」得自 FlackTek, Inc., Landrum, SC Inc）中倒入 1.3 克的 UHMWPE（「GUR-2126」）、及 21.7 克的石蠟（以商標名稱「ISOPAR G」得自 Brenntag Great Lakes, Inc., Wauwatosa, WI）以用於快速混合器（以

商標名稱「SPEEDMIXER DAC600.2 VAC-P」得自 FlackTek, Inc.)，然後以 1000 rpm 混合 15 秒，接著以 2200 rpm 混合 120 秒。

【0348】 將 8 克經矽烷處理之氧化鋁粒子緩慢添加至塑膠混合杯 (「MAX 60 CUP」) 中且藉由手用刮勺攪拌直至獲得均勻漿體。接著將塑膠混合杯 (「MAX 60 CUP」) (連同通氣蓋來施加) 中之漿體在速度混合器上以 800 rpm 在 720 托下運行 15 秒，接著以 800 rpm 在 30 托下運行 180 秒。在混合後，在室溫 (約 25°C) 下，用小勺將漿體施加至 3 密耳 (75 微米) 熱穩定化之 PET 襯墊 (「COATED PET ROLL#33716020500」)，接著將 3 密耳 (75 微米) 熱穩定化之 PET 襯墊 (「COATED PET ROLL#33716020500」) 施加在頂部上以夾置漿體。接著藉由使用設定為 30 密耳 (762 微米) 之間隙的切口棒將漿體在 PET 襯墊之間展開。切口棒軌道寬於 PET 襯墊，以獲得 24 密耳 (610 微米) 之有效濕膜厚度。在使切口棒之向下壓力增加之情況下使用漸進性多次通過來使漿體變平。將夾置的所形成漿體放在鋁托盤上，然後放在 135°C (275°F) 之實驗室烘箱 (「DESPATCH RFD1-42-2E」) 中 5 分鐘以進行活化 (即，讓 UHMWPE 溶入溶劑中從而形成單相)。將具有活化夾心成形漿體之托盤自烘箱中移除，且使其進行空氣冷卻至環境溫度 (約 25°C)，從而形成溶劑填充之聚合物基質複合物。將頂部及底部襯墊二者移除，使聚合物基質複合物暴露於空氣中。接著將聚合物基質複合物放回托盤上的 PET 襯墊 (「COATED PET ROLL#33716020500」) 上，然後將托盤插入 107°C (225°F) 之實驗室烘箱 (「DESPATCH RFD1-42-2E」) 歷時兩小時又十分。在蒸發

後，將聚合物基質複合物自烘箱中取出，讓其冷卻至環境溫度並分析其特性。

【0349】 所得聚合物基質複合物係 21.6 密耳 (549 微米) 厚且具有 0.32 g/cm^3 之測得密度 (如以「密度及孔隙度測試」所判定)、91% 之孔隙度 (如以「密度及孔隙度測試」所判定)、 $7.7 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 空氣流量 (如以「氣流阻力測試」所判定)、及 2.8 微米之孔隙大小 (如以「泡點壓力測試」所判定)、261 赫茲之共振頻率偏移 (如以「阻抗測試之方法」所判定)、及 2.66 分貝之聲壓位準 (如以「聲壓位準(SPL)測試之方法」所判定)。

【0350】 接著將所得聚合物基質複合物暴露於 85°C 及 85% 相對濕度下 10 天。接著重新測試樣本之聲學性能，並且其具有 190 赫茲之共振頻率偏移 (如以「阻抗測試之方法」所判定)、及 2.65 分貝之聲壓位準 (如以「聲壓位準(SPL)測試之方法」所判定)。

實例 53

【0351】 於一加侖 (3.8 升) 金屬桶中倒入 1229 克的石蠟 (「ISOPAR G」)。使用空氣混合器將石蠟 (「ISOPAR G」) 緩慢攪拌，同時將 54.5 克的 UHMWPE (「GUR-2126」) 完全摻入，接著在仍攪拌的同時，將 400 克的經矽烷處理、熱處理之氧化鋁 (如實施例 52 中所述製造) 添加至混合物，然後用空氣混合器攪拌直至獲得均勻漿體。將桶子密封，然後使用 13 吋 (33 cm) 高容量實驗室罐磨機 (得自 Cole-Parmer Vernon Hills, IL) 讓其以 10 rpm 緩慢滾動過夜。接著

將漿體自桶中取出並放在 2 升圓底玻璃反應器燒瓶中，然後用反應燒瓶頭蓋上並且夾住。用配備有攪拌棒之電動空氣混合器在燒瓶中將取出的漿體劇烈攪拌並在-0.6 巴之真空下保持 5 分鐘。接著在室溫（約 25°C）下，用蠕動泵及軟管將漿體以線狀施加至 3 密耳（75 微米）、12 吋 (30.5-cm) 寬、熱穩定化之 PET 襯墊（「 COATED PET ROLL#33716020500」），接著將 3 密耳（75 微米）、12 吋 (30.5-cm) 寬、熱穩定化之(PET)襯墊（「 COATED PET ROLL#33716020500」）施加在頂部上以夾置漿體。接著藉由將 PET 襯墊輸送通過間隙設定為 31 密耳（787 微米）之切口棒來將漿體（形成為線狀）在移動中的 PET 襯墊之間展開。使用 5 磅(2.3 kg)之張力從捲繞架拉伸襯墊，從而獲得約 25 密耳（635 微米）之有效濕膜厚度。將夾置的所形成漿體以每分鐘 5 呎（每分鐘 1.5 公尺）之速度輸送通過 135°C(275°F)之空氣浮選烘箱（如實例 50 中所述）以進行活化（即，讓 UHMWPE 溶入溶劑中）。將經活化之夾置的所形成漿體從烘箱輸送出來，然後讓其空氣冷卻至 160°F(71°C)，從而形成溶劑填充之聚合物基質複合物。將頂部襯墊移除，從而使聚合物基質複合物暴露於空氣中。接著將聚合物基質複合物以每分鐘 5 呎（每分鐘 1.5 公尺）之速度輸送通過 220°F(104 °C)之空氣浮選烘箱。接著將來自連續製成之聚合物基質複合物的樣本自襯墊取下並放在托盤上的 PET 襯墊（「 COATED PET ROLL#33716020500」）上，然後將托盤插入 107°C(225°F)之實驗室烘箱（「 DESPATCH RFD1-42-2E」）歷時兩小時。在蒸發後，將聚合物基質複合物自烘箱中取出，讓其冷卻至環境溫度並分析其特性。

【0352】 參照圖 40，所顯示的是聚合物基質複合物之剖面的 SEM 數位影像。

【0353】 所得聚合物基質複合物係 29.6 密耳 (752 微米) 厚，並且具有 0.33 g/cm^3 之測得密度 (如以「密度及孔隙度測試」所判定)、90% 之孔隙度 (如以「密度及孔隙度測試」所判定)、 $12.9 \text{ sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 空氣流量 (如以「氣流阻力測試」所判定)、及 1.6 微米之孔隙大小 (如以「泡點壓力測試」所判定)、125.8 赫茲之共振頻率偏移 (如以「阻抗測試之方法」所判定)、及 1.57 分貝之聲壓位準 (如以「聲壓位準(SPL)測試之方法」所判定)。

【0354】 接著將所得聚合物基質複合物暴露於 65°C 及 90% 相對濕度下 5 天。接著重新測試樣本之聲學性能，並且其具有 118.4 赫茲之共振頻率偏移 (如以「阻抗測試之方法」所判定)、及 1.62 分貝之聲壓位準 (如以「聲壓位準(SPL)測試之方法」所判定)。

實例 54

【0355】 於一加侖 (3.8 升) 金屬桶中倒入 1196 克的石蠟 (「ISOPAR G」)。使用空氣混合器將石蠟緩慢攪拌，同時將 65.1 克的 UHMWPE (「GUR-2126」) 完全摻入，接著在仍攪拌的同時，將 400 克的經熱處理之氧化鋁 (如實施例 52 中所述製造) 加入。將桶子密封，然後讓其在 13 吋 (33 cm) 高容量實驗室罐磨機上緩慢滾動過夜。

【0356】 接著將漿體自桶中取出並放在 2 升圓底玻璃反應器中。用攪拌棒空氣混合器將取出的漿體劇烈攪拌並在 -0.6 巴之真空下保持

5 分鐘。接著在室溫（約 25°C）下，用蠕動泵及軟管泵送漿體並將其以線狀施加至 3 密耳（75 微米）、12 吋(30.5-cm)寬、熱穩定化之 PET 襯墊（「COATED PET ROLL#33716020500」），接著將 3 密耳（75 微米）、12 吋(30.5-cm)寬、熱穩定化之 PET（「COATED PET ROLL#33716020500」）施加在頂部上以夾置漿體。接著藉由將 PET 襯墊輸送通過間隙設定為 31 密耳（787 微米）之切口棒來將漿體在移動中的 PET 襯墊之間展開。使用 5 磅(2.3 kg)之張力從捲繞架拉伸 PET 襯墊，從而獲得約 25 密耳（635 微米）之有效濕膜厚度。將夾置的所形成漿體以每分鐘 5 呎之速度輸送通過 135°C(275°F)之空氣浮選烘箱（如實例 50 中所述）以進行活化（即，讓 UHMWPE 溶入溶劑中）。將經活化之夾置的所形成漿體從烘箱輸送出來，然後讓其空氣冷卻至 160°F(71°C)，從而形成溶劑填充之聚合物基質複合物。將頂部襯墊移除從而使聚合物基質複合物暴露於空氣中。接著將聚合物基質複合物以每分鐘 5 呎（每分鐘 1.5 公尺）之速度輸送通過 220°F(104°C)之空氣浮選烘箱。接著將聚合物基質複合物的樣本自襯墊取下並放在托盤上的 PET 襯墊（「COATED PET ROLL#33716020500」）上，然後將托盤插入 107°C(225°F)之實驗室烘箱（「DESPATCH RFD1-42-2E」）歷時兩小時。在蒸發後，將聚合物基質複合物自烘箱中取出，讓其冷卻至環境溫度並分析其特性。

【0357】 所得聚合物基質複合物係 27.7 密耳（704 微米）厚，並且具有 0.254 g/cm³ 之測得密度（如以「密度及孔隙度測試」所判定）、92.5% 之孔隙度（如以「密度及孔隙度測試」所判定）、2.7

$\text{sec}/50 \text{ cm}^3$ 之 Gurley 空氣流量（如以「氣流阻力測試」所判定）、及 2.3 微米之孔隙大小（如以「泡點壓力測試」所判定）、133.9 赫茲之共振頻率偏移（如以「阻抗測試之方法」所判定）、及 2.07 分貝之聲壓位準（如以「聲壓位準(SPL)測試之方法」所判定）。

【0358】 接著將所得聚合物基質複合物暴露於 65°C 及 90% 相對濕度下 5 天。接著重新測試樣本之聲學性能，並且其具有 96.9 赫茲之共振頻率偏移（如以「阻抗測試之方法」所判定）、及 1.36 分貝之聲壓位準（如以「聲壓位準(SPL)測試之方法」所判定）。

【0359】 在不悖離本發明之範疇與精神下，本揭露的可預見修改及變更對於所屬技術領域中具有通常知識者將為顯而易見者。本發明不應限於本申請案中出於說明目的所提出之實施例。

【符號說明】

【0360】

100...聚合物基質複合物

101...第一主表面

102...第二主表面

200...聚合物基質複合物

201...第一主表面

202...第二主表面

205...第一突起

206...第二突起

300...聚合物基質複合物

301...第一主表面

302...第二主表面

307...第一凹陷

308...第二凹陷

401...葉狀蕾絲黏合劑

402...酚酞

403...L-離胺酸單鹽酸鹽

201925296

201925296

發明摘要

※ 申請案號：

※ 申請日： ※IPC 分類：

【發明名稱】 製造聚合物基質複合物之方法

METHOD OF MAKING POLYMER MATRIX
COMPOSITES

【中文】

一種製造一聚合物基質複合物之方法，該聚合物基質複合物包含一多孔聚合網絡結構；及分布在該聚合網絡結構內之複數個粒子，該方法包含：

組合一熱塑性聚合物、該熱塑性聚合物可溶於其中之一溶劑、及複數個粒子以提供一漿體；

將該漿體形成為一物品；

將該物品在一環境中加熱，以保留以該漿體中之該溶劑的重量計至少 90 重量百分比的該溶劑；及

誘導該熱塑性聚合物自該溶劑之相分離以提供該聚合物基質複合物。

【英文】

Method of making a polymer matrix composite comprising a porous polymeric network structure; and a plurality of particles distributed within the polymeric network structure, the method comprising:

combining a thermoplastic polymer, a solvent that the thermoplastic polymer is soluble in, and a plurality of particles to provide a slurry;

forming the slurry in to an article;

heating the article in an environment to retain at least 90 percent by weight of the solvent, based on the weight of the solvent in the slurry, and

inducing phase separation of the thermoplastic polymer from the solvent to provide the polymer matrix composite.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：圖 4

【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. 一種製造一聚合物基質複合物之方法，該聚合物基質複合物包含一多孔聚合網絡結構；及分布在該聚合網絡結構內之複數個粒子，該方法包含：
 - 組合一熱塑性聚合物、一溶劑、及複數個導熱粒子以提供一漿體；
 - 將該漿體形成為一物品；
 - 將該物品在一環境中加熱，以在該物品中保留以該物品中之該溶劑的重量計至少 90 重量百分比的該溶劑，並溶解以該熱塑性聚合物之總重量計至少 50 重量百分比的該熱塑性聚合物；及誘導該熱塑性聚合物自該溶劑之相分離以提供該聚合物基質複合物。
2. 如請求項 1 之方法，其進一步包含在誘導該熱塑性聚合物自該溶劑之相分離後，將該溶劑之至少一部分從所形成之該物品移除。
3. 如請求項 2 之方法，其中以所形成之該物品中之該溶劑的重量計，將至少 90 重量百分比的該溶劑移除，其中在將以所形成之該物品中之該溶劑的該重量計至少 90 重量百分比的該溶劑移除前，該溶劑之所形成之該物品具有一第一體積，其中在將以所形成之該物品中之該溶劑的該重量計至少 90 重量百分比的該溶劑移除後，所形成之該物品具有一第二體積，且其中該第一體積與該第二體積之間的差異小於 10 百分比。
4. 如請求項 3 之方法，其中該物品具有第一主表面及第二主表面以及垂直於該第一主表面及該第二主表面之末端，且其中該等末端在該溶劑移除期間係不受拘限的。

5. 如請求項 1 或 2 之方法，其中該誘導相分離包括至少一種熱誘導相分離。
6. 如請求項 1 或 2 之方法，其中該漿體中之(a)該聚合物之一者具有一熔點，其中該溶劑具有一沸點，且組合係在低於該漿體中之該聚合物之該熔點，且低於該溶劑之該沸點下進行；或者該漿體中之該聚合物具有一熔點，且其中該誘導相分離係在小於該漿體中之該聚合物之該熔點下進行。
7. 如請求項 1 或 2 之方法，其進一步包含將該聚合物基質複合物拉伸或壓縮中之至少一者。
8. 如請求項 1 或 2 之方法，其中該多孔聚合網絡結構包含具有在 5×10^4 至 1×10^7 g/mol 之範圍內之一數量平均分子量的一聚合物，且其中該聚合物基質複合物係呈一片體之形式，該片體具有在 50 至 7000 微米之範圍內的一厚度。
9. 如請求項 1 或 2 之方法，其中該多孔聚合網絡結構係藉由一混溶熱塑性聚合物-溶劑溶液之一誘導相分離來生產。
10. 如請求項 9 之聚合物基質複合物，其中該誘導相分離係熱誘導相分離。

圖式

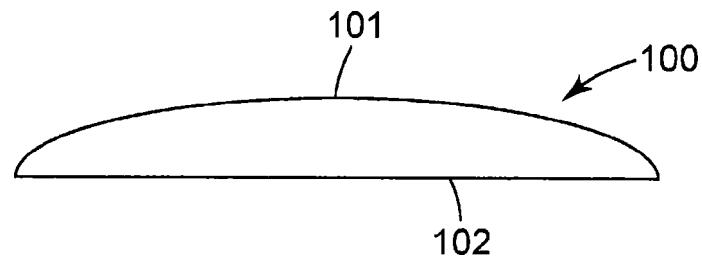


圖1

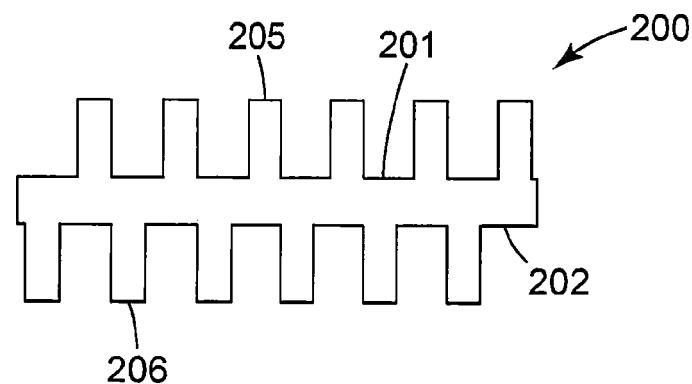


圖2

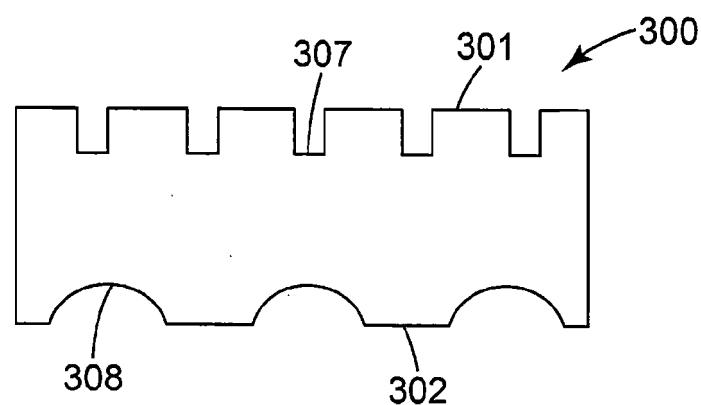


圖3

