



(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 201311338 A1

(43)公開日：中華民國 102 (2013) 年 03 月 16 日

(21)申請案號：101125262 (22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 07 月 13 日
(51)Int. Cl. : **B01D53/26 (2006.01)** **F26B21/08 (2006.01)**
B02B1/08 (2006.01) **A23L3/40 (2006.01)**
(30)優先權：2011/07/14 美國 61/507,731
(71)申請人：道康寧公司(美國) DOW CORNING CORPORATION (US)
美國
(72)發明人：漢 東川 AHN, DONGCHAN (US)；赫拉巴爾 詹姆斯 S HRABAL, JAMES S.
(US)；格雷納 亞倫 J GREINER, AARON J. (US)
(74)代理人：洪武雄；陳昭誠
申請實體審查：無 申請專利範圍項數：10 項 圖式數：0 共 60 頁

(54)名稱

藉由經膜除濕空氣之乾燥材料的方法

METHOD OF DRYING MATERIAL BY MEMBRANE DEHUMIDIFIED AIR

(57)摘要

本發明的各個實施方案涉及一種乾燥原料氣體混合物的方法。該方法包括使一個或多個膜的第一側與原料氣體混合物接觸。該原料氣體混合物包含至少水和第二氣體組分。使該一個或多個膜的第一側與所述原料氣體混合物接觸，在該一個或多個膜的第二側產生滲透氣體混合物，並在該一個或多個膜的第一側產生阻留物氣體混合物。該滲透氣體混合物富含水，且該阻留物混合物貧含水。該一個或多個膜在室溫具有至少約 25,000 Barrer 的 H₂O 蒸氣滲透係數。本發明的各個實施方案涉及一種乾燥材料的方法。該方法包括使材料與阻留物氣體混合物接觸，以提供經乾燥的材料。各個實施方案也涉及可用於進行該乾燥方法的膜，可進行該乾燥方法的設備或機器，以及藉由該乾燥方法乾燥的材料。



(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 201311338 A1

(43)公開日：中華民國 102 (2013) 年 03 月 16 日

(21)申請案號：101125262 (22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 07 月 13 日
(51)Int. Cl. : **B01D53/26 (2006.01)** **F26B21/08 (2006.01)**
B02B1/08 (2006.01) **A23L3/40 (2006.01)**
(30)優先權：2011/07/14 美國 61/507,731
(71)申請人：道康寧公司 (美國) DOW CORNING CORPORATION (US)
美國
(72)發明人：漢 東川 AHN, DONGCHAN (US) ; 赫拉巴爾 詹姆斯 S HRABAL, JAMES S.
(US) ; 格雷納 亞倫 J GREINER, AARON J. (US)
(74)代理人：洪武雄；陳昭誠
申請實體審查：無 申請專利範圍項數：10 項 圖式數：0 共 60 頁

(54)名稱

藉由經膜除濕空氣之乾燥材料的方法

METHOD OF DRYING MATERIAL BY MEMBRANE DEHUMIDIFIED AIR

(57)摘要

本發明的各個實施方案涉及一種乾燥原料氣體混合物的方法。該方法包括使一個或多個膜的第一側與原料氣體混合物接觸。該原料氣體混合物包含至少水和第二氣體組分。使該一個或多個膜的第一側與所述原料氣體混合物接觸，在該一個或多個膜的第二側產生滲透氣體混合物，並在該一個或多個膜的第一側產生阻留物氣體混合物。該滲透氣體混合物富含水，且該阻留物混合物貧含水。該一個或多個膜在室溫具有至少約 25,000 Barrer 的 H₂O 蒸氣滲透係數。本發明的各個實施方案涉及一種乾燥材料的方法。該方法包括使材料與阻留物氣體混合物接觸，以提供經乾燥的材料。各個實施方案也涉及可用於進行該乾燥方法的膜，可進行該乾燥方法的設備或機器，以及藉由該乾燥方法乾燥的材料。

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：101125262

※ 申請日：101. 7. 13

※IPC 分類：B01D 53/56 (2006.01)

F26B 2/08 (2006.01)

B02B 1/08 (2006.01)

A23L 3/40 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

藉由經膜除濕空氣之乾燥材料的方法

METHOD OF DRYING MATERIAL BY MEMBRANE DEHUMIDIFIED AIR

二、中文發明摘要：

本發明的各個實施方案涉及一種乾燥原料氣體混合物的方法。該方法包括使一個或多個膜的第一側與原料氣體混合物接觸。該原料氣體混合物包含至少水和第二氣體組分。使該一個或多個膜的第一側與所述原料氣體混合物接觸，在該一個或多個膜的第二側產生滲透氣體混合物，並在該一個或多個膜的第一側產生阻留物氣體混合物。該滲透氣體混合物富含水，且該阻留物混合物貧含水。該一個或多個膜在室溫具有至少約 25,000 Barrer 的 H₂O 蒸氣滲透係數。本發明的各個實施方案涉及一種乾燥材料的方法。該方法包括使材料與阻留物氣體混合物接觸，以提供經乾燥的材料。各個實施方案也涉及可用於進行該乾燥方法的膜，可進行該乾燥方法的設備或機器，以及藉由該乾燥方法乾燥的材料。

三、英文發明摘要：

Various embodiments of the present invention relate to a method of drying a feed gas mixture. The method includes contacting a first side of one or more membranes with a feed gas mixture. The feed gas mixture includes at least water and a second gas component. Contacting the first side of the one or more membranes with the feed gas mixture produces a permeate gas mixture on a second side of the one or more membranes and a retentate gas mixture on the first side of the one or more membranes. The permeate gas mixture is enriched in water, and the retentate mixture is depleted in water. The one or more membranes have a H₂O vapor permeability coefficient of at least about 25,000 Barrer at room temperature. Various embodiments of the present invention relate to a method of drying a material. The method includes contacting a material with the retentate gas mixture, to provide a dried material. Various embodiments also relate to membranes useful for performing the drying method, devices or machines that can perform the drying method, and materials dried by the drying method.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：本案無圖式。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：無。

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

本案無化學式。

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種乾燥原料氣體混合物的方法，用於進行該乾燥方法的膜、進行該乾燥方法的設備或機器以及藉由該乾燥方法乾燥的材料。

【先前技術】

作為許多常規工業操作的部分，水需要從許多不同的材料(包括氣體、固體和液體)中大規模地去除。例如，在化學工業中，特定的加工步驟可能要求某些氣體的濕含量在某一濃度以下。在另一實例中，建築物可能要求經除濕空氣以保持其居住者舒適。玉米和其他穀物、咖啡和其他食品、煤、煙草、木材、木料、化學品、沙、灰泥、廢水污泥、氣體(包括空氣)和塗料均為從其中大規模去除水或大規模降低水濃度的非氣態材料的實例。然而，乾燥氣體、液體和固體的現有方法可能是昂貴、耗時、效率低和不便的。

例如，在 2010 年美國玉米農作物估計為在八千萬英畝土地上生長 134 億蒲式耳(bushel)。大多數玉米和其他農作物使用來自氣體加熱器的經加熱的空氣進行乾燥。估計加熱器的燃料需求為每英畝乾燥玉米大約 \$26 至 \$41 燃料，這意味著總共八千萬英畝的玉米需要大約 \$20 至 \$40 億乾燥燃料成本。

【發明內容】

本發明的各個實施方案涉及一種乾燥原料氣體混合物

的方法。該方法包括使一個或多個膜的第一側與原料氣體混合物接觸。該原料氣體混合物包含至少水和第二氣體組分。使該一個或多個膜的第一側與該原料氣體混合物接觸，在該一個或多個膜的第二側產生滲透氣體混合物，並在該一個或多個膜的第一側產生阻留物氣體混合物。該滲透氣體混合物富含水，且該阻留物混合物貧含水。該一個或多個膜在室溫具有至少約 25,000 Barrer 的 H₂O 蒸氣滲透係數。本發明的各個實施方案涉及一種乾燥材料的方法。該方法包括使材料與阻留物氣體混合物接觸，以提供經乾燥的材料。各個實施方案也涉及可用於進行該乾燥方法的膜，可進行該乾燥方法的設備或機器，以及藉由該乾燥方法乾燥的材料。

各個實施方案提供了優於其他乾燥方法的某些優點，這些優點中的一些是令人驚訝且出乎意料的。例如，相比於其他方法，本發明的方法可更有效地從氣體中去除水，包括使用更少能量、使用更少時間或花費更少金錢。在一些實施方案中，相比於其他方法，藉由氣體乾燥方法提供的經乾燥的空氣可用於更有效地乾燥材料，包括使用更少能量、使用更少時間或花費更少金錢。在一些實施例中，乾燥材料而無需高溫的能力或藉由使用顯著降低的溫度可降低產品的熱降解或熱氧化降解的可能性、降低燃料消耗和 CO₂ 排放，且該方法可以相對於常規高溫乾燥方法為更少的安全考慮而進行操作。例如，本發明的一些實施方案可以比現有方法更低的成本而提供乾燥農作物、穀物或食

品，包括玉米。在一些實施例中，減少乾燥時間的能力也可顯著降低黴菌或霉斑形成和經乾燥材料的其他損壞形式的可能性，尤其是在農作物、穀物等的情況中。

本發明提供了一種乾燥原料氣體混合物的方法。該方法包括使一個或多個膜的第一側與原料氣體混合物接觸。該原料氣體混合物包含至少水和第二氣體組分。使該一個或多個膜的第一側與該原料氣體混合物接觸，在該一個或多個膜的第二側產生滲透氣體混合物，並在該一個或多個膜的第一側產生阻留物氣體混合物。該滲透氣體混合物富含水。該阻留物氣體混合物貧含水。該一個或多個膜在室溫具有至少約 25,000 Barrer 的 H₂O 蒸氣滲透係數。

本發明提供了一種乾燥玉米、穀物或食品的方法。該方法包括使一個或多個膜的第一側與原料氣體混合物接觸。該原料氣體混合物包含至少水和空氣。使該一個或多個膜的第一側與該原料氣體混合物接觸，在該一個或多個膜的第二側產生滲透氣體混合物，並在該一個或多個膜的第一側產生滲餘物氣體混合物。該滲透氣體混合物富含水。該阻留物氣體混合物貧含水。該一個或多個膜在室溫具有至少 25,000 Barrer 的 H₂O 蒸氣滲透係數。該一個或多個膜具有至少 300 m² 的總表面積。該方法也包括使玉米、穀物或食品與該滲餘物氣體混合物接觸，以提供經乾燥的玉米、經乾燥的穀物或經乾燥的食品。

【實施方式】

現在將詳細參照所公開的主題的某些權利要求。儘管

所公開的主題將結合列舉的權利要求進行描述，但應瞭解它們不旨在將所公開的主題限制至那些權利要求。相反地，所公開的主題旨在涵蓋可包括於如申請專利範圍所限定的現在公開的主題的範圍內的所有替代方式、改變和等同形式。

說明書中提及“一個實施方案”、“實施方案”、“示例性實施方案”等表示所描述的實施方案可包括特定特徵、結構或特性，但每個實施方案可不必包括所述特定特徵、結構或特性。而且，這種短語不必指相同的實施方案。此外，當特定特徵、結構或特性結合實施方案描述時，無論是否明確描述，均認為影響與其他實施方案相關的這種特徵、結構或特性在本領域技術人員的知識範圍內。

以範圍的形式表示的值應以靈活的方式解釋為不僅包括明確記載為範圍的極限的數值，還包括在該範圍內涵蓋的所有單個數值或子範圍，如同明確記載每個數值和子範圍一樣。例如，“約 0.1%至約 5%”或“約 0.1%至 5%”的範圍應解釋為不僅僅包括約 0.1%至約 5%，還包括單獨的值（例如 1%、2%、3%和 4%）和在所指範圍內的子範圍（例如 0.1%至 0.5%、1.1%至 2.2%、3.3%至 4.4%）。

在本文中，術語“一”或“該”用於包括一種或多種，除非上下文清楚地另外指出。術語“或”用於指非排他的“或”，除非另外指出。另外，應瞭解本文所用的不另外限定的措辭和術語僅為了描述的目的，而不是為了限制的目的。部分標題的任何使用旨在協助本文的閱讀，

且不應解釋為限制性的；與部分標題相關的資訊可在該特定部分之內或之外存在。此外，在本文中引用的所有公開資料、專利和專利文件以全文引用的方式併入本文，如同被單獨以引用方式併入一樣。如果有在本文和以引用方式併入的那些文件之間不一致的用法，則應認為被引入的引文中的用法補充本文的用法，對於矛盾的不一致，則以本文的用法為準。

在本文描述的製造方法中，步驟可在不偏離本發明的原理下以任何順序進行，除了當明確敘述時間順序或操作次序時。此外，指定步驟可同時進行，除非明確的權利要求語言敘述它們分開進行。例如，進行 X 的所主張的步驟和進行 Y 的所主張的步驟可在單次操作內同時進行，且所得方法將落入所主張的方法的文字範圍內。

本文所用的術語“約”可允許數值或範圍內的一定程度的變化，例如，所述值或所述範圍極限的 10%之內，5%之內或 1%之內。當給出連續值的範圍或列表時，除非另外指出，也公開了在該範圍內的任何值或在給定連續值之間的任何值。

本文所用的術語“基本上”指大部分，或主要的，如至少約 50%、60%、70%、80%、90%、95%、96%、97%、98%、99%、99.5%、99.9%、99.99%，或至少約 99.999%或更多。

本文所用的術語“有機基團”指但不限於任何含碳官能基。實例包括醯基、環烷基、芳基、芳烷基、雜環基、雜芳基或雜芳基烷基、直鏈和/或支鏈基團，如烷基基團、

完全或部分經鹵素取代的鹵代烷基基團、烯基基團、炔基基團、丙烯酸酯和甲基丙烯酸酯官能基；以及其他有機官能基，如醚基、氰酸酯基團、酯基、羧酸鹽基團和經遮蔽的異氰基基團。

本文所用的術語“取代的”指本文限定的有機基團或分子，其中一個或多個與包含於其中的氫原子的鍵被一個或多個與非氫原子的鍵替換。本文所用的術語“官能基”或“取代基”指可為或被取代至分子上或有機基團上的基團。取代基或官能基的實例包括但不限於任何有機基團，鹵素(例如 F、Cl、Br 和 I)；在諸如硫醇基團、烷基硫化物和芳基硫化物基團、亞碲基團、碲基團、磺醯基基團和磺醯胺基團的基團中的硫原子；在諸如胺、羥基胺、脛、硝基、N-氧化物、醯肼、疊氮化物和烯胺的基團中的氮原子；以及在各種其他基團中的其他雜原子。

本文所用的術語“烷基”指具有 1 至約 20 個碳原子，通常具有 1 至 12 個碳原子或在一些實施方案中具有 1 至 8 個碳原子的直鏈和支鏈烷基基團和環烷基基團。直鏈烷基基團的實例包括具有 1 至 8 個碳原子者，如甲基、乙基、正丙基、正丁基、正戊基、正己基、正庚基和正辛基基團。支鏈烷基基團的實例包括但不限於異丙基、異丁基、第二丁基、第三丁基、新戊基、異戊基和 2,2-二甲基丙基基團。本文所用的術語“烷基”涵蓋烷基的所有支鏈形式。代表性的經取代烷基基團可用任何官能基(例如氨基、羥基、氰基、羧基、硝基、硫基、烷氧基和鹵素基團)取代一次或多

次。

本文所用的術語“烯基”指如本文限定的直鏈和支鏈和環狀的烷基基團，只是至少一個雙鍵存在於兩個碳原子之間。因此，烯基基團具有 2 至約 20 個碳原子，通常具有 2 至 12 個碳，或在一些實施方案中具有 2 至 8 個碳原子。實例包括但不限於乙烯基、 $-\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_3)$ 、 $-\text{CH}=\text{C}(\text{CH}_3)_2$ 、 $-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$ 、 $-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}(\text{CH}_3)$ 、 $-\text{C}(\text{CH}_2\text{CH}_3)=\text{CH}_2$ 、環己烯基、環戊烯基、環己二烯基、丁二烯基、戊二烯基和己二烯基等。

本文所用的術語“樹脂”指任何黏度的聚矽氧烷材料，其包含經由 Si-O-Si 鍵結合至三個或四個其他矽氧烷單體的至少一個矽氧烷單體。在一個實施例中，該聚矽氧烷材料包含 T 或 Q 基團，如本文所定義。

本文所用的術語“低聚物”指具有中間相對分子量的分子，其結構基本上包含少量實際上或概念上衍生自具有較低相對分子量的分子的單元。具有中間相對質量的分子可為一種分子，其具有在去除一個或一些單元時變化的性質。源於一個或多個單元的去除的性質變化可為顯著的變化。

本文所用的術語“輻射”指行進通過介質或空間的高能粒子。輻射的例子為可見光、紅外光、微波、無線電波、甚低頻波 (very low frequency wave)、極低頻波 (extremely low frequency wave)、熱輻射(熱量)和黑體輻射。

本文所用的術語“光”指在人眼可見的波長中或接近人眼可見的波長的電磁輻射，並包括約 10 nm 至約 300,000 nm 波長的紫外(UV)光和紅外光。

本文所用的術語“UV 光”指紫外光，其為具有約 10 nm 至約 400 nm 的波長的電磁輻射。

本文所用的術語“紅外光”指具有約 0.7 微米和約 300 微米之間的波長的電磁輻射。

本文所用的術語“固化”指暴露於任何形式的輻射、加熱，或允許發生導致硬化或黏度增加的物理或化學反應。

術語“孔穴”指在固體物體中任何尺寸或形狀的凹陷、狹縫或空穴。孔穴可貫穿物體，或部分貫穿物體。孔穴可與其他孔穴相交。

本文所用的術語“自支撐”或“非支撐”指一種膜，該膜的兩個主要側面中的每一個表面積的大部分不接觸基材，無論該基材是否為多孔的。在一些實施方案中，“自支撐”或“非支撐”的膜在兩個主要側面可 100% 未被支撐。“自支撐”或“非支撐”的膜可在邊緣處，或在膜的主要側面的任一個或兩個表面積的少部分(例如約 50% 以下)處被支撐。

本文所用的術語“支撐”指一種膜，其兩個主要側面中的至少一個表面積的大部分接觸基材，無論該基材是否為多孔的。在一些實施方案中，“支撐”的膜在至少一個側面可 100% 被支撐。“支撐”的膜可在膜的主要側面的任一個或兩個表面積的大部分(例如約 50% 以上)在任何合適

的位置處被支撐。

本文所用的術語“富含”指諸如液體、氣體或溶質的量或濃度的增加。例如，如果例如藉由將氣體 A 選擇性地滲透通過膜以將氣體 A 加至混合物，或例如藉由將氣體 B 選擇性地滲透通過膜以從所述混合物中移除氣體 B，而使得氣體 A 的濃度或量增加，則氣體 A 和 B 的混合物可為富含氣體 A。

本文所用的術語“貧含”指諸如液體、氣體或溶質的量或濃度的減少。例如，如果例如藉由將氣體 B 選擇性地滲透通過膜以從混合物中移除氣體 B，或例如藉由將氣體 A 選擇性地滲透通過膜以將氣體 A 加至混合物，而使得氣體 A 的濃度或量減少，則氣體 A 和 B 的混合物可貧含氣體 A。

本文所用的術語“溶劑”指可溶解固體、液體或氣體的液體。溶劑的非限制性的實例為聚矽氧烷(silicone)、有機化合物、水、醇、離子液體和超臨界流體。

本文所用的術語“選擇性”或“理想選擇性”指在室溫測得的較快滲透氣體與較慢滲透氣體的滲透率的比例。

本文所用的術語“滲透率”指物質 X 通過膜的滲透係數(P_x)，其中 $q_{mx} = P_x * A * \Delta p_x * (1/\Delta)$ ，其中 q_{mx} 為物質 X 通過膜的體積流量，A 為物質 X 流動通過的膜的一個主要側面(例如膜的非邊緣表面)的表面積， Δp_x 為穿過膜的物質 X 的分壓的壓差，且 Δ 為膜的厚度。

本文所用的術語“Barrer”或“Barrers”指滲透率的單位，其中 $1 \text{ Barrer} = 10^{-11} (\text{cm}^3 \text{ 氣體}) \text{ cm cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ mmHg}^{-1}$ ，

或 $10^{-10}(\text{cm}^3 \text{ 氣體})\text{cm cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ cm Hg}^{-1}$ ，其中“ $\text{cm}^3 \text{ 氣體}$ ”表示在標準溫度和壓力下佔據 1 立方釐米的氣體的量。

本文所用的術語“農作物”指衍生自植物的任何植物或材料，包括例如玉米、小麥、大豆、大麥、燕麥、咖啡豆、煙草等。

本文所用的術語“穀物”指衍生自農作物的任何種子材料。

本文所用的術語“食品”或“食物”指可由人類或動物消耗的任何產品，或包括可由人類或動物消耗的產品的產品，包括穀物。

本文所用的術語“空氣”指環境空氣。

本文所用的術語“乾燥”指從某物中去除水或濕度的動作，或指已使至少部分水(例如濕氣)從其中去除的某物。

本文所用的術語“更乾燥”指具有更少的水。

關於膜在本文所用的術語“總表面積”指暴露於原料氣體混合物的膜的側面的總表面積。

本文所用的術語“空氣”指氣體的混合物，其具有與通常在地面從大氣中獲取的氣體的天然組成大約相同的組成。在一些實施例中，空氣從周圍環境中獲取。空氣具有包含大約 78%的氮氣、21%的氧氣、1%的氬氣和 0.04%的二氧化碳以及少量其他氣體的組成。

本文所用的術語“室溫”指環境溫度，其可為例如約 15°C 和約 28°C 之間。

本文所用的術語“水”可指任何相的水，包括液體或

蒸氣，除非另外指出。

本發明的各個實施方案涉及一種乾燥原料氣體混合物的方法。該方法包括使一個或多個膜的第一側與原料氣體混合物接觸。該原料氣體混合物包含至少水和第二氣體組分。使該一個或多個膜的第一側與該原料氣體混合物接觸，在該一個或多個膜的第二側產生滲透氣體混合物，並在該一個或多個膜的第一側產生阻留物氣體混合物。該滲透氣體混合物富含水，且該阻留物混合物貧含水。該一個或多個膜在室溫具有至少約 25,000 Barrer 的 H₂O 蒸氣滲透係數。本發明的各個實施方案涉及一種乾燥材料的方法。該方法包括使材料與該阻留物氣體混合物接觸，以提供經乾燥的材料。各個實施方案也涉及可用於進行該乾燥方法的膜，可進行該乾燥方法的設備或機器，以及藉由該乾燥方法乾燥的材料。

乾燥原料氣體混合物的方法

在各個實施方案中，本發明提供了一種乾燥原料氣體混合物的方法。該方法可包括使一個或多個膜的第一側與原料氣體混合物接觸。該原料氣體混合物可包含至少水和第二氣體組分。使該一個或多個膜的第一側與所述原料氣體混合物接觸，可在該一個或多個膜的第二側產生滲透氣體混合物，並在該一個或多個膜的第一側產生阻留物氣體混合物。該滲透氣體混合物可富含水。該阻留物氣體混合物可貧含水。該一個或多個膜在室溫可具有至少約 25,000 Barrer 的 H₂O 蒸氣滲透係數。

原料氣體混合物可為至少包含水和氣體的任何合適的原料氣體混合物。例如，原料氣體混合物可包含氧氣、氮氣、氫氣、二氧化碳、氫氣、氫氣、甲烷、硫化氫、氫氣、空氣或它們的任意組合。原料氣體可包含本領域技術人員已知的任何合適的氣體。該一個或多個膜可對原料氣體中的任一氣體選擇地滲透，或對原料氣體中的任意數種氣體選擇地滲透。該一個或多個膜可對原料氣體中除了一種氣體之外的所有氣體選擇性地滲透。該一個或多個膜可對水蒸氣選擇性滲透。原料氣體混合物可由任何合適的來源得到。例如，原料氣體混合物可由供應罐得到。在另一實施例中，當原料氣體混合物包含空氣時，原料氣體混合物可由環境空氣得到。由於空氣為需要乾燥的常見介質，且由於乾燥空氣為可用於乾燥其他材料的便利的乾燥氣體，因此當原料氣體包含空氣時，本發明的實施方案可特別有用。然而，應瞭解本發明的實施方案擴展至包含水和任何氣體的原料氣體混合物。

原料氣體混合物可與該一個或多個膜接觸。原料氣體混合物可以以任何合適的方式與該一個或多個膜接觸。較佳地，在一定壓力下使原料氣體混合物接觸該一個或多個膜，使得在整個膜存在水分壓的正梯度，以驅使水蒸氣滲透至該膜的滲透物側。在一個實施例中，在環境壓力下使原料氣體混合物接觸該一個或多個膜。在另一實施例中，使原料氣體混合物接觸該一個或多個膜，使得在該一個或多個膜的第一側和第二側之間出現壓力差。該壓力差可為

使得(在該一個或多個膜的第一側的)原料氣體混合物的壓力大於在該一個或多個膜的第二側的壓力。在一個實施例中，該壓力差由在環境壓力以上的原料氣體混合物的壓力引起；在這種實施例中，可使用壓縮機將原料氣體混合物的壓力升高至環境壓力以上。在另一實施例中，壓力差由在環境壓力以下的該一個或多個膜的第二側的壓力引起；在這種實施例中，可使用任何合適的設備將原料氣體混合物的壓力降低至環境壓力以下。在其他實施例中，在該一個或多個膜的第二側低於環境壓力以及在該一個或多個膜的第一側高於環境壓力的組合有助於在該一個或多個膜的壓力差。在一些實施方案中，在該一個或多個膜的第一側的高於環境壓力可藉由如下方式實現：將原料氣體泵送至該一個或多個膜的第一側，並限制該阻留物氣體混合物從該一個或多個膜離開的通道。在一些實施例中，如果使該一個或多個膜的第二側的氣體中的水濃度達到某種程度，則水從原料氣體混合物分離的速率可被降低。在一些實施方案中，可使氣流流經該一個或多個膜的第二側，以降低在該第二側的水蒸氣的分壓，並協助包含經分離的水的滲透氣體混合物消散或被去除。這種氣流可稱為吹掃氣。防止在該一個或多個膜的第二側的氣體混合物中水濃度的增長可提高或保持分離效率。

在一些實施例中，該滲透氣體混合物相對於原料氣體混合物為富含水。例如，相比於原料氣體混合物，該滲透氣體混合物可具有更高的水濃度。在一些實施例中，該阻

留物氣體混合物相對於原料氣體混合物為貧含水。例如，相比於原料氣體混合物，該阻留物氣體混合物可具有更低的水濃度。在一些實施方案中，例如由於原料氣體混合物和阻留物或滲透物之間的壓力變化或溫度變化，即使阻留物相對於原料氣體混合物具有更低的水濃度，且即使滲透物相對於原料氣體混合物具有更高的水濃度，原料氣體混合物和阻留物和/或滲透物的相對濕度可為相同的或類似的；在這種情況中，由於阻留物和原料氣體混合物的相對濕度的類似性，因此阻留物氣體混合物的乾燥能力可與原料氣體混合物的乾燥能力相同或類似。然而，在一些實施方案中，阻留物氣體混合物的相對濕度低於原料氣體混合物的相對濕度，從而使阻留物氣體混合物比原料氣體混合物具有更大的乾燥能力。本領域技術人員將易於理解，在其中阻留物氣體混合物隨後用於乾燥材料的實施方案中，特別較佳為其中阻留物氣體混合物比原料氣體混合物具有更低的相對濕度的實施方案。

在一些實施方案中，該方法可包括用壓縮機、鼓風機或風扇加壓原料流。壓縮機、鼓風機或風扇可為任何合適的壓縮機、鼓風機或風扇。原料流的加壓可有助於在該一個或多個膜保持所需的壓力差。在一些實施方案中，該方法可包括用至少一個預過濾器處理原料流以去除顆粒。如果壓縮原料流，則用至少一個預過濾器處理原料流可在壓縮原料流之前或之後發生。過濾器可為從原料流中去除顆粒的任何合適的過濾器。在一些實施例中，該方法可視需

要地用吹掃氣(sweep gas)清洗滲透物流。在一些實施方案中，使用滲透物流的吹掃氣清洗。在一些實施方案中，不使用滲透物流的吹掃氣清洗。吹掃氣可為任何合適的吹掃氣。吹掃氣可外部提供，或可藉由將一部分滲餘物流再回送至膜的滲透物側而提供。吹掃氣可以任何流型供給。各種合適的流型可有益於膜的分離性能。例如，在一些實施方案中，有益的是以將逆流流型提供至原料的方式供應吹掃氣。清洗可協助減小緊鄰該膜的水濃度，這可協助加速水經過該膜的運動。可以以任何合適的速率將吹掃氣供給至該膜的滲透物側，使得濕空氣被至少部分從膜附近清除。

該一個或多個膜可為自支撐的，或由多孔基材支撐。在一些實施方案中，在該一個或多個膜的任一側的壓力可為大約相同。在其他實施方案中，在該一個或多個膜的一側和該一個或多個膜的另一側之間可存在壓力差。例如，在該一個或多個膜的原料和阻留物側的壓力可高於在該一個或多個膜的滲透物側的壓力。在其他實施例中，在該一個或多個膜的滲透物側的壓力可高於該一個或多個膜的阻留物側的壓力。

任何數目的膜可用於實現分離。例如，可使用一個膜。在其他實施例中，可使用約 2 個、3 個、4 個、5 個、6 個、7 個、8 個、9 個、10 個、100 個、1000 個、2000 個、5000 個、10,000 個、100,000、約 1,000,000 個或任何合適的數目的膜。膜可串聯、並聯或以其任意組合使用。該一個或多個膜無需都包含相同的反應產物。在一些實施方案

中，所有膜均包含相同的反應產物。膜可具有不同的性質，並可具有對特定氣體不同的滲透率。在其他實施方案中，膜具有相同的性質。可使用自支撐膜和支撐式膜的任意組合。可使用該一個或多個膜的任何合適的表面積。例如，每個膜的表面積或膜的總表面積可為約 0.01 m²、0.1、1、2、3、4、5、10、100、200、300、400、500、600、700、800、900、1000、1200、1400、1600、1800、2000、2200、2400、2600、2800、3000、3200、3400、3800、4000、5000、10,000、50,000、100,000、500,000 或約 1,000,000 m²。

該一個或多個膜可製造呈平面片材或呈纖維，並可被包裝為任何合適的多種模組，包括中空纖維、片材，或者中空纖維或片材的陣列。常見的模組形式包括中空纖維模組、螺旋卷式模組、板框式模組、管式模組和毛細管纖維模組。片材、纖維或小片(leaflet)可具有任何尺寸或縱橫比，並可在模組中呈現任何堆積密度。製備中空纖維模組和螺旋卷式模組的方法是本領域已知的，如在 Baker, R. W. *Membrane Technology and Applications*, 第二版; John Wiley & Sons Inc.: West Sussex, England, 2004 中和在美國專利 3,339,341 和 4,871,379(Maxwell 等人, Edwards 等人)和美國專利 5,034,126(Reddy 等人)中所描述。用於遞送原料氣體混合物以及回收滲透物和阻留物混合物的各種方法和構造也是本領域已知的。在一些情況中，可使用單個膜模組。在其他實施例中，可以以多種佈置使用多個模組，包括模組的串聯或並聯陣列，或任何佈

置的單個或多個模組的任意組合。

在一個實施例中，該一個或多個膜為一個或多個中空管或纖維膜。可使用任何數目的中空管或纖維膜。例如，1個中空管或纖維膜、2、3、4、5、10、20、50、100、500、1000、2000、5000、10,000、100,000 或約 1,000,000 個中空管或纖維膜可一起用作所述一個或多個膜。該一個或多個中空管或纖維膜可為模組匣的形式，使得該一個或多個膜可被容易地替換或保持。在一個實施方案中，該一個或多個中空管或纖維膜的內部可為該一個或多個膜的第一側，且該一個或多個中空管或纖維膜的外部可為該一個或多個膜的第二側。在另一實施方案中，該一個或多個中空管或纖維膜的外部可為該一個或多個膜的第一側，且該一個或多個中空管或纖維膜的內部可為該一個或多個膜的第二側。在一些實施例中，在該一個或多個中空管或纖維膜的第一側和第二側之間保持壓力差。

膜分離領域技術人員可確定對於給定的膜性能性質（如選擇性和流量）的組合的操作條件，以獲得基於資本和操作成本、工廠覆蓋區域、環境條件和維護和可靠性而最適化的所需分離程度。或者，可使用所需的分離和經濟條件來指導具有所需分離性質的材料開發。膜體系可與在膜體系的上游或下游的壓縮機、真空體系、預過濾器、加熱器、激冷器、冷凝器或任何其他類型的操作結合操作。該一個或多個膜的滲透物側可在有或無吹掃氣或吹掃液體的情況下，在正壓、環境壓力或負壓（例如真空）操作，如

在膜接觸器(例如允許穿過膜在氣相和液相之間質量傳遞而不使該相在彼此中分散的設備)中可見。吹掃氣可為任何氣體，並可源自該過程外部或可從該過程內再回送，或包括它們的混合。例如，中空纖維模組可在入口的任何位置從孔側或從殼側供給。原料氣體入口和滲透物氣體出口可設置為允許逆流、錯流或並流流型。

模組可作為單個膜模組操作，或進一步組織成模組的陣列或堆。單獨的膜模組或者模組的陣列或堆可被進一步構造成另外成級的超結構，如串聯、並流或級聯構造，以允許提高的流量或分離。滲透物或阻留物的部分再回送也可用於實現更有效的分離。例如，如果殘餘物流需要進一步純化，則可將其經過膜模組的第二堆以用於進一步分離。同樣地，如果滲透物流需要進一步濃縮，則可將其經過膜模組的第二堆以用於第二級分離。這種多級或多步驟過程及其變體是本領域技術人員熟知的，本領域技術人員將理解膜分離步驟可以以許多可能的方式構造，包括單級、多級、多步驟或串聯或級聯排列的兩個或更多個單元的更複雜的陣列。

乾燥材料的方法

本發明的各個實施方案提供了一種乾燥材料的方法。該方法可包括使該阻留物氣體混合物接觸材料，以提供經乾燥的材料。在一些實施方案中，該經乾燥的材料可具有小於在與該阻留物氣體混合物接觸之前在材料內的水濃度的任何水濃度。在一些實施例中，該經乾燥的材料可具有

比在將材料與該阻留物氣體混合物接觸之前所存在的水濃度小約 1%、2%、3%、4%、5%、10%、20%、40%、60%、80%、90%、95%、96%、97%、98%或小約 99%的水濃度。

在一些實施例中，該接觸可為直接的，使得該阻留物氣體混合物直接接觸材料以提供經乾燥的材料。例如，穀物、食品或農作物可與該阻留物氣體混合物直接接觸，從而提供經乾燥的食品、經乾燥的農作物或經乾燥的穀物。在其他實施例中，該接觸可為間接的，使得該阻留物氣體混合物不直接接觸材料以提供經乾燥的材料。在一個實施例中，穀物、食品或農作物在容器內，且使阻留物氣體混合物流入該容器的頂部或底部。當該阻留物氣體混合物進入容器時，其接觸已存在於該容器內的其他氣體。當阻留物氣體擴散至整個容器時，由於與阻留物氣體混合物結合，因此已存在於該容器內的氣體的水濃度減小，從而使容器內的材料變得乾燥。然而，由於該阻留物氣體混合物已與已存在於容器內的氣體混合物混合，因此本領域技術人員可能將最終接觸農作物、穀物或食品的氣體表徵為與該阻留物氣體混合物不同。在本文中，應瞭解這種間接接觸被認為是接觸材料。

待乾燥的材料可為任何合適的材料。可被乾燥的材料的一些實例包括農作物、穀物、食品、煤、粒子、粉末、煙草、木材、木料、化學品、沙、灰泥、廢水污泥、油料、覆料、清漆、油墨、農產品、肉類、氣體、紡織品、服裝、家具或它們的組合。可乾燥任何合適量的材料。待乾燥的

材料可以以任何合適的方式混合與阻留物接觸。例如，待乾燥的材料可被懸浮於容器的內部、外部、下部、中部或上部或它們的組合中的一種或多種，且該阻留物氣體混合物可從該容器的頂部、中部或底部或它們的組合注入該容器，以提供經乾燥的材料。所用的容器可為任何容器。例如，該容器可為圓柱形或方形，或該容器可具有任何合適的形狀。例如，該容器可為住宅、公寓、實驗室、穀倉、筒倉、設計用於農作物的常規熱風乾燥的任何合適的容器、儲存倉、屋棚、環境室、化學通風櫥，或任何尺寸的微反應器。該容器可再分割為任何合適數目的隔間，該隔間可以以任何合適的方式排列，並由任何合適類型的多孔或非多孔隔離物分隔。在一些實施例中，該隔間可由一系列通道分隔，以同心、交錯或螺旋方式排列，該阻留物氣流主要通過該通道流動。在一些實施例中，該容器可具有圓錐形成形的底部或頂部，或該容器可具有任何適當成形的底部或頂部。在一些實施例中，該容器可為儲存倉，如農業儲存倉，其具有將農作物、穀物或食品與空容積分隔的穿孔的內地板、牆壁或天花板，經乾燥的氣體或空氣可通過該空容積提供。例如，該容器可為玉米乾燥倉，其在地平面以上具有穿孔地板，以使經乾燥的空氣藉由鼓風機通過在該穿孔地板以下的倉的未佔據的下容積提供，然後向上經過該經佔據的容積，以降低玉米的濕度含量。在另一實施例中，該容器可為豎直或水平取向的玉米、穀物或食品乾燥裝置，其中來自膜的阻留物流被視需要地加熱，

並供給至一個或多個通道(或充氣室)中，經加熱的空氣通常通過該一個或多個通道(或充氣室)供給以乾燥玉米、穀物或食品。在一些實施例中，該容器包括一個或多個混合器、輸送機或螺旋鑽以將玉米、穀物或食品混合或輸送至容器中、混合或輸送出容器或在容器內混合或輸送。

在一些實施方案中，該一個或多個膜可形成膜體系，如模組堆，其中操作條件由反饋或前饋調控系統進行調控以獲得所需的濕度含量。例如，可使用濕氣或相對濕度感測器以及溫度計監測待乾燥的產品或大氣的濕度含量，並藉由具有合適硬體的程序調控器反饋，以調節原料或滲透物壓力或溫度；原料、滲透物或吹掃氣流量；或膜區域，從而藉由多種已知的程序調控演算法而獲得所需的濕度含量。這種演算法的實例包括但不限於比例調控、比例積分調控、比例微分和比例積分微分調控。該膜體系可在溫度、壓力和流量的任何合適的組合下操作。在一些實施例中，該膜體系的各種元件的溫度、壓力和各種流的流量在使水蒸氣的冷凝達到最少的條件下或消除水蒸氣的冷凝的條件下進行操作。在一些實施例中，將濕空氣(例如原料)供給至一個或多個中空纖維膜的內(孔)表面，滲透物流和視需要的吹掃氣存在於一個或多個中空纖維膜的外表面(殼側)，該一個或多個中空纖維膜容納於一個或多個罐中，該一個或多個罐可連續地或間歇地排空以從滲透物流中去除冷凝水。

膜

在一個實施方案中，本發明包括一個或多個膜，該一個或多個膜包含有機矽組合物的反應產物。本發明的一個或多個膜可包含任何合適的聚矽氧烷。在另一實施方案中，本發明提供了一種形成一個或多個膜的方法。本發明可包括形成一個或多個膜的步驟。該一個或多個膜可形成在基材的至少一個表面。對於認為是“在”基材的任何膜，該一個或多個膜可被附接(例如黏附)至基材，或者與基材接觸而不被黏附。該基材可具有任何表面結構，並可為多孔的或非多孔的。該基材可包括未以藉由形成一個或多個膜的步驟塗布一個或多個膜的表面。該基材的所有表面可藉由形成一個或多個膜的步驟進行塗布，可塗布一個表面，或可塗布任何數目的表面。

形成膜的步驟可包括兩個步驟。在第一步驟中，可將形成膜的組合物施用於該基材的至少一個表面。在第二步驟中，可將經施用的形成膜的組合物固化以形成膜。在一些實施方案中，組合物的固化過程可在將該組合物施用至表面上之前、過程中或之後開始。固化過程將形成膜的組合物轉化為膜。形成膜的組合物可為液態。膜可為固態。

可使用常規塗布技術施用形成膜的組合物，該常規塗布技術例如浸塗、旋塗、浸漬、噴塗、刷塗、輥塗、擠出、篩網印花、移印或噴墨印刷。

固化形成膜的組合物可包括加入固化劑或引發劑，例如氫化矽烷化催化劑。在一些實施方案中，該固化過程可在加入固化劑或引發劑時立即開始。固化劑或引發劑的加

入可不立即開始固化過程，並可需要另外的固化步驟。在其他實施方案中，固化劑或引發劑的加入可立即開始固化過程，且也可能需要另外的固化步驟。固化劑或引發劑的加入可開始固化過程，但不使該固化過程達到如下程度：組合物被固化至完全固化的程度，或被固化至不能使用的程度。因此，固化劑或引發劑可在塗布過程之前或過程中加入，且另外的加工步驟可完成所述固化以形成膜。

固化形成膜的組合物可包括多種方法，包括例如，有機矽組合物的固化可為氫化矽烷化固化、縮合固化、自由基固化、胺-環氧固化、輻射固化、蒸發固化、冷卻，或它們的任意組合。

本發明的一個或多個膜可具有任何合適的厚度。在一些實施例中，該一個或多個膜具有約 $1\ \mu\text{m}$ 至約 $20\ \mu\text{m}$ 的厚度。在一些實施例中，該一個或多個膜具有約 $0.1\ \mu\text{m}$ 至約 $200\ \mu\text{m}$ 的厚度。在其他實施例中，該一個或多個膜具有約 $0.01\ \mu\text{m}$ 至約 $2000\ \mu\text{m}$ 的厚度。

本發明的該一個或多個膜可為對一種物質相比於另一種選擇性滲透。在一個實施例中，該一個或多個膜對一種氣體相比於其他氣體或液體選擇性滲透。在另一實施例中，該一個或多個膜對超過一種氣體相比於其他氣體或液體選擇性滲透。在一個實施例中，該一個或多個膜對一種液體相比於其他液體或氣體選擇性滲透。在另一實施例中，該一個或多個膜對超過一種液體相比於其他液體選擇性滲透。在一個實施方案中，該一個或多個膜對水相比於

其他氣體或液體選擇性滲透。在一些實施例中，該一個或多個膜在室溫具有至少約 50，至少約 90，至少約 100，至少約 120，至少約 130，至少約 150，至少約 200 或至少約 250 的 H₂O 蒸氣/N₂ 理想選擇性。在一些實施方案中，該一個或多個膜在室溫具有至少約 10,000 Barrer，15,000 Barrer，20,000 Barrer，25,000 Barrer，27,500 Barrer，30,000 Barrer，32,500 Barrer，35,000 Barrer，40,000 Barrer，50,000 Barrer，60,000 Barrer，或至少約 70,000 Barrer 的 H₂O 蒸汽滲透係數。

本發明的該一個或多個膜可具有任何合適的形狀。在一些實施例中，本發明的該一個或多個膜為板框式膜、螺旋卷式膜、管式膜、毛細管纖維膜或中空纖維膜。在一些實施方案中，該一個或多個膜可與提高氣體輸送的液體結合使用，如在膜接觸器中（例如允許穿過膜在氣相和液相之間質量傳遞而不使該相在彼此中分散的設備）。

支撐式膜

在本發明的一些實施方案中，膜支撐在多孔基材或高滲透性非多孔基材。該基材可為任何合適的基材。支撐式膜具有接觸多孔基材或高滲透性非多孔基材的該膜的兩個主要側面中的至少一個的表面積的大部分。在多孔基材的支撐式膜可稱為複合材料膜，其中該膜為膜和多孔基材的複合材料。其上設置支撐式膜的多孔基材可允許氣體經過孔穴並到達膜。支撐式膜可附接（例如黏附）至多孔基材。支撐式膜可與基材接觸而不被黏附。多孔基材可部分整

合、完全整合或不整合至膜。

非支撐式膜

在本發明的一些實施方案中，該膜為非支撐的，也稱為自支撐的。自支撐的膜的兩個主要側面中的每一個的表面積的大部分未接觸基材，無論基材是否為多孔的。在一些實施方案中，自支撐的膜可為 100%非支撐的。“自支撐”的膜可在邊緣處，或在膜的主要側面的任一個或兩個的表面積的少部分(例如 50%以下)處被支撐。用於自支撐式膜的支撐可為多孔基材或非多孔基材。用於自支撐式膜的合適的支撐的實例可包括在如上部分支撐式膜中所給出的支撐的任何實例。自支撐式膜可具有任何合適的形狀，無論被支撐的自支撐式膜的百分比為多少。自支撐式膜的合適的形狀的實例包括例如，具有任何厚度(包括可變厚度)的方形、矩形、圓形、管形、立方體形、球形、錐形，和它們的平面部分。

在包括基材的實施例中，基材可為多孔或非多孔的。該基材可為任何合適的材料，並可為任何合適的形狀或尺寸，包括平面的、彎曲的、實心的、中空的或它們的任意組合。用於多孔或非多孔基材的合適材料包括適合用作支撐式膜中的多孔基材的上述任何聚合物。該基材可為藉由用水清洗而溶解的水溶性聚合物。該基材可為纖維或中空纖維，如 US 6,797,212 B2 中所述。在一些實例中，在形成膜之前，使用在膜形成時有利於膜的去除的材料塗布該基材。可選擇形成基材的材料以使膜和基材之間的黏著達

到最小。在一些實施例中，該膜可被加熱、冷卻、洗滌、蝕刻或另外處理以有利於從基材去除。在其他實施例中，可使用空氣壓力以有利於從基材去除膜。

有機矽組合物的固化產物

本發明的該一個或多個膜可包含有機矽組合物的固化產物。該有機矽組合物可為任何合適的有機矽組合物。有機矽組合物的固化提供有機矽組合物的固化產物。可固化矽氧組合物包含至少一種合適的聚矽氧烷化合物。該矽氧組合物包含合適的成分以允許該組合物可以以任何合適的方式固化。除了該至少一個合適的聚矽氧烷之外，該矽氧組合物可包含任何合適的另外的成分，包括任何合適的有機或無機組分，包括不含矽的組分，包括不含聚矽氧烷結構的組分。在一些實施例中，該矽氧組合物的固化產物包含聚矽氧烷。

該可固化矽組合物可包含分子組分，該分子組分具有允許該組合物被固化的性質。在一些實施方案中，允許該矽氧組合物被固化的性質為特定的官能基。在一些實施方案中，單獨的化合物含有官能基或具有允許該矽氧組合物藉由一種或多種固化方法而被固化的性質。在一些實施方案中，一種化合物可含有官能基或具有允許該矽氧組合物以一種方式被固化的性質，而另一種化合物可含有官能基或具有允許該矽氧組合物以相同或不同的方式被固化的性質。允許固化的官能基可位於化合物中的側基位置，或者(如果適用的話)端基位置。

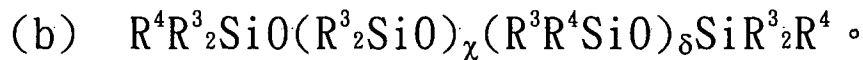
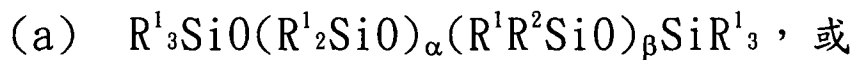
矽氧組合物可包含有機化合物。有機化合物可為任何合適的有機化合物。有機化合物可為例如有機矽化合物。有機矽化合物可為任何有機矽化合物。有機矽化合物可為例如有機矽烷、聚矽烷、矽氧烷或聚矽氧烷，如本領域已知的這種化合物中的任何合適的化合物。矽氧組合物可含有任何數目的合適的有機矽化合物，和任何數目的合適的有機化合物。有機矽化合物可包含允許固化的任何官能基。

在一些實施方案中，有機矽化合物可包含矽鍵合的氫原子，如有機氫矽烷或有機氫矽氧烷。在一些實施方案中，有機矽化合物可包含烯基基團，如有機烯基矽烷或有機烯基矽氧烷。在其他實施方案中，有機矽化合物可包含允許固化的任何官能基。有機矽烷可為單矽烷、二矽烷、三矽烷或聚矽烷。類似地，有機矽氧烷可為二矽氧烷、三矽氧烷或聚矽氧烷。有機矽化合物的結構可為直鏈的、支鏈的、環狀的或樹脂的。環矽烷和環矽氧烷可具有 3 至 12 個矽原子，或者 3 至 10 個矽原子，或者 3 至 4 個矽原子。

在一個實施例中，有機氫矽烷可具有式 $\text{HR}^1_2\text{Si}-\text{R}^2-\text{SiR}^1_2\text{H}$ ，其中 R^1 為 C_{1-10} 烴基或 C_{1-10} 鹵素取代的烴基，兩者均不含脂族不飽和，且為直鏈或支鏈的， R^2 為不含脂族不飽和的、具有選自單芳基(如 1,4-二取代苯基、1,3-二取代苯基)或雙芳基(如 4,4'-二取代-1,1'-聯苯基、3,3'-二取代-1,1'-聯苯基，或具有包含 1 至 6 個亞甲基基團的烴鏈的類似的雙芳基，該亞甲基基團將芳基基團彼此橋聯)的式的亞烴基基團。

有機矽化合物可為有機聚矽氧烷化合物。在一些實施例中，有機聚矽氧烷化合物具有平均至少 1 個、2 個或超過 2 個允許固化的官能基。有機聚矽氧烷化合物可具有直鏈、支鏈、環狀或樹脂結構。有機聚矽氧烷化合物可為均聚物或共聚物。有機聚矽氧烷化合物可為二矽氧烷、三矽氧烷或聚矽氧烷。

在一個實施例中，有機聚矽氧烷可包括具有下式的化合物：



在式(a)中， α 具有約 0 至約 2000 的平均值，且 β 具有約 2 至約 2000 的平均值。每個 R^1 獨立地為單價官能基。合適的單價官能基包括但不限於丙烯酸基團、烷基、鹵化烴基、烯基、炔基、芳基和氰烷基。每個 R^2 獨立地為允許聚矽氧烷組合物的固化的官能基或 R^1 。

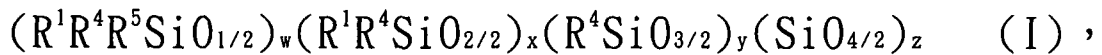
在式(b)中， χ 具有 0 至 2000 的平均值，且 δ 具有 0 至 2000 的平均值。每個 R^3 獨立地為單價官能基。合適的單價官能基包括但不限於丙烯酸基團、烷基、鹵化烴基、烯基、炔基、芳基和氰烷基。每個 R^4 獨立地為允許聚矽氧烷組合物的固化的官能基或 R^3 。

有機聚矽氧烷化合物可含有平均約 0.1 莫耳%至約 100 莫耳%的允許矽氧組合物的固化的官能基，以及其間的任何莫耳%範圍。允許在樹脂中的矽組合物的固化的官能基的莫耳百分比為具有允許矽氧組合物的固化的官能基的樹脂中

的矽氧烷單元的莫耳數與在有機聚矽氧烷中的矽氧烷單元的總莫耳數的比值乘以 100。

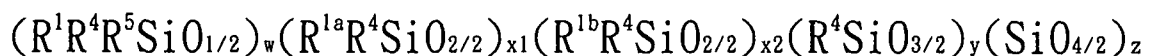
有機聚矽氧烷化合物可為單一有機聚矽氧烷或為包括兩種或更多種有機聚矽氧烷的組合，該兩種或更多種有機聚矽氧烷的不同在於如下性質的至少一種：結構、黏度、平均分子量、矽氧烷單元和序列。

有機聚矽氧烷的實例可包括具有如下平均單元式的化合物：



其中 R^1 為獨立地選自任何視需要進一步取代的 C_{1-15} 官能基 (包括 C_{1-15} 單價脂族烴基、 C_{4-15} 單價芳族烴基) 和單價環氧基取代的官能基者， R^4 為允許矽氧烷組合物的固化的官能基或 R^5 或 R^1 ， R^5 為 R^1 或 R^4 ， $0 \leq w < 0.95$ ， $0 \leq x < 1$ ， $0 \leq y < 1$ ， $0 \leq z < 0.95$ ，且 $w+x+y+z \approx 1$ 。在一些實施方案中， R^1 為 C_{1-10} 烴基或 C_{1-10} 鹵素取代的烴基，兩者均不含脂族不飽和，或者為 C_4 至 C_{14} 芳基。在一些實施方案中， w 為 0.01 至 0.6， x 為 0 至 0.5， y 為 0 至 0.95， z 為 0 至 0.4，且 $w+x+y+z \approx 1$ 。

在描述平均單元式，如式 I 中，下標 w 、 x 、 y 和 z 為莫耳分數。應瞭解本領域技術人員理解對於平均單元式 (I)，變數 R^1 、 R^4 和 R^5 可獨立地在單獨的矽氧烷式單元之間變化。或者，變數 R^1 、 R^4 和 R^5 可獨立地在單獨的矽氧烷式單元之間為相同的。例如，如上平均單元式 (I) 可包括如下平均單元式：



其中下標 $x_1+x_2 = x$ ，且其中 R^{1a} 不等於 R^{1b} 。或者， R^{1a} 可等於 R^{1b} 。

固化

膜的實施方案包括矽氧組合物的固化產物。可使用各種固化方法，包括任何合適的固化方法，包括例如氫化矽烷化固化、縮合固化、自由基固化、胺-環氧固化、輻射固化、冷卻，或它們的任意組合。經由一種固化方法而固化的組合物可藉由除了該一種固化方法之外的其他固化方法進行固化。矽氧組合物可包含具有允許一種固化方法的性質的分子，以及允許不同的固化方法的分子。在一些實施方案中，矽氧組合物可在相同分子上包括多個特徵，該多個特徵允許該組合物經由一種固化方法固化和經由其他固化方法固化，以及在一些實施方案中，矽氧組合物可包括允許其在一個分子上經由一種固化方法固化的特徵以及允許其在不同分子上經由其他固化方法固化的特徵。

經由一個特定方法可固化的矽氧組合物除了矽氧化合物之外可包含可經由該特定方法固化的其他化合物。在一些實施方案中，可經由該特定固化方法固化的其他化合物可在該特定固化方法的應用過程中加入可經由該特定固化方法固化的矽氧化合物。在其他實施方案中，可經由該特定固化方法固化的其他化合物在該特定固化方法的應用過程中不加入可經由該特定固化方法固化的矽氧化合物。

在氫化矽烷化固化中，例如，包含具有矽鍵合的氫原子的矽原子的有機矽化合物與不飽和基團(如烯基基團)反

應，從而在該不飽和基團上加成並導致該不飽和基團失去至少一個不飽和度(例如雙鍵轉化為單鍵)，使得矽原子結合至初始不飽和基團的一個碳原子，氫原子結合至初始不飽和基團的另一碳原子。在一個或多個分子具有平均至少兩個不飽和基團以及在一個或多個分子具有平均大於兩個矽鍵合的氫原子可有助於交聯發生。在另一實施例中，在一個或多個分子具有平均大於兩個不飽和基團以及在一個或多個分子具有平均至少兩個矽鍵合的氫原子可有助於交聯發生。在一個實施例中，可氫化矽烷化固化的可固化矽氧組合物可包含每分子具有平均至少兩個不飽和基團的化合物、每分子具有平均至少兩個矽鍵合的氫原子的有機矽化合物，和視需要的氫化矽烷化催化劑。在一些實施方案中，存在氫化矽烷化催化劑。在其他實施方案中，不存在氫化矽烷化催化劑。在一些實施方案中，該不飽和基團為烯基基團。

在一些實施方案中，氫化矽烷化催化劑可為任何氫化矽烷化催化劑，包括鉑族金屬或含有鉑族金屬的化合物。鉑族金屬可包括鉑、銻、鈦、鈹、鐵和銻。

氫化矽烷化催化劑的實例包括 Willing 在美國專利 No. 3,419,593 中公開的氯鉑酸與某些含乙烯基的有機矽氧烷的絡合物，如氯鉑酸和 1,3-二乙烯基-1,1,3,3-四甲基二矽氧烷的反應產物；微膠囊化的氫化矽烷化催化劑，包括包封於熱塑性樹脂中的鉑族金屬，如美國專利 No. 4,766,176 和美國專利 No. 5,017,654 中所示例；以及光

活化的氫化矽烷化催化劑，如雙(2,4-戊二酸)鉑(II)，如美國專利 No. 7,799,842 所例示。合適的氫化矽烷化催化劑的一個實例可包括 1,3-二乙烯基-1,1,3,3-四甲基二矽氧烷的鉑(IV)絡合物。

在另一實施方案中，氫化矽烷化催化劑可為至少一種光活化的氫化矽烷化催化劑。光活化的氫化矽烷化催化劑可為任何公知的氫化矽烷化催化劑，包括鉑族金屬或含有鉑族金屬的化合物。用於本發明的矽氧組合物中的特定光活化的氫化矽烷化催化劑的適用性可易於藉由常規實驗進行確定。

氫化矽烷化催化劑的濃度可為足以催化可固化矽氧組合物的氫化矽烷化，例如足以催化每分子具有平均至少兩個矽鍵合的氫原子的有機矽化合物與每分子具有平均至少兩個矽鍵合的烯基基團的有機聚矽氧烷的加成反應(氫化矽烷化)。通常，以未固化組合物的總重量計之，氫化矽烷化催化劑的濃度足以提供約 0.1 至約 1000 ppm 的鉑族金屬，約 0.5 至約 500 ppm 的鉑族金屬，更較佳地約 1 至約 100 ppm 的鉑族金屬。在約 0.1 ppm 以下的鉑族金屬，則固化速率可能極慢。使用超過 1000 ppm 的鉑族金屬是可能的，但由於催化劑成本而通常是不可取的。

在縮合固化中，例如，包含矽鍵合的可水解基團的有機矽化合物與水反應而形成羥基取代的矽原子。反應性羥基基團可隨後進攻其他矽原子(包括具有可水解基團或具有羥基基團的其他矽原子)，從而形成聚矽氧烷。在一些實

施方案中，被反應性羥基基團進攻的矽原子可具有質子化羥基基團或可水解基團，其中該質子化羥基基團或可水解基團為良好的離去基團。在一些實施方案中，不需要水使可水解基團水解，而是反應性羥基取代的有機矽已存在於可固化矽氧組合物中，其可進攻其他矽原子，包括具有羥基基團的矽原子或具有可水解基團的矽原子。酸催化劑或鹼催化劑為可縮合固化的矽氧組合物中的視需要組分，如任何合適的有機酸或無機酸，或任何合適的鹼。在一些實施方案中，存在酸催化劑或鹼催化劑。在其他實施方案中，不存在酸催化劑或鹼催化劑。

可縮合固化的矽氧組合物可包含具有至少一個矽取代的可水解基團或具有至少一個矽取代的羥基基團的有機矽。有機矽可為矽烷、聚矽烷、矽氧烷或聚矽氧烷。有機矽可包含每分子平均一個矽取代的可水解基團、每分子平均兩個矽取代的可水解基團，或更多。

可水解基團可為在數分鐘(例如 30 分鐘)內在室溫至 100°C 的任何溫度於催化劑不存在下，與水反應而形成矽醇(Si-OH)基團或另一羥基取代的基團的基團。可水解基團的實例可包括但不限於 -Cl、-Br、-OR⁷、-OCH₂CH₂OR⁷、CH₃C(=O)O-、Et(Me)C=N-O-、CH₃C(=O)N(CH₃)-和 -ONH₂，其中 R₇ 為 C₁ 至 C₈ 烴基或 C₁ 至 C₈ 鹵素取代的烴基。在一個實施例中，可縮合固化的矽氧組合物包含如下的一種或多種：Me₂ViSiCl、Me₃SiCl、MeSi(OEt)₃、PhSiCl₃、MeSiCl₃、Me₂SiCl₂、PhMeSiCl₂、SiCl₄、Ph₂SiCl₂、PhSi(OMe)₃、

$\text{MeSi}(\text{OMe})_3$ 、 $\text{PhMeSi}(\text{OMe})_2$ 和 $\text{Si}(\text{OEt})_4$ ，其中 Me 為甲基，Et 為乙基且 Ph 為苯基。

視需要地，可縮合固化的組合物可包含縮合催化劑。在一些實施方案中，存在縮合催化劑。在其他實施方案中，不存在縮合催化劑。縮合催化劑的實例包括例如胺，以及鉛、錫、鋅、鈦、鋯、鋁和鐵與羧酸的絡合物。在一個實施例中，該縮合催化劑可選自錫(II)和錫(IV)化合物(如二月桂酸錫、二辛酸錫和四丁基錫)以及鈦化合物(如四丁氧基鈦)。

在自由基固化中，例如，產生自由基。自由基隨後進攻可自由基聚合的官能基。該進攻基團與可自由基聚合的基團形成鍵，並向該可自由基聚合的基團轉移自由基。該可自由基聚合的官能基可隨後繼續進攻其他可自由基聚合的官能基。

可自由基固化的矽氧組合物可包含具有至少一個可自由基聚合的基團的有機矽。該有機矽可為矽烷、聚矽烷、矽氧烷或聚矽氧烷。該有機矽可包含每分子平均一個可自由基聚合的基團、每分子平均兩個可自由基聚合的基團，或更多。在一些實施方案中，可自由基固化的矽氧組合物可包含有機化合物為不含矽且具有至少一個可自由基聚合的基團的。該不含矽的有機化合物可包含每分子平均一個可自由基聚合的基團、每分子平均兩個可自由基聚合的基團，或更多。可自由基聚合的基團的實例包括例如烯基基團和炔基基團，以及諸如醚、酮、醛、羧酸酯、縮酮、縮

醛、氫基基團、硝基基團或鹵素的基團。

自由基可藉由任何合適的方法產生。自由基可藉由例如熱分解、光解、氧化還原反應、過硫酸鹽、電離輻射、電解、等離子體、聲波振蕩或它們的組合而引發。在一個實施例中，使用自由基引發劑產生自由基。自由基引發劑為視需要的成分。在一些實施方案中，存在自由基引發劑。在其他實施方案中，不存在自由基引發劑。在一個實施例中，自由基引發劑可為自由基光引發劑、有機過氧化物或藉由熱活化的自由基引發劑。此外，自由基光引發劑可為能夠在暴露於輻射(例如具有 200 至 800 nm 的波長)引發可自由基聚合的官能基的固化(交聯)的任何自由基光引發劑。在另一實施例中，自由基引發劑為有機硼烷自由基引發劑。在一個實施例中，自由基引發劑可為有機過氧化物。例如，高溫可使過氧化物分解並形成可引發自由基聚合的高反應性自由基。在一些實施例中，分解的過氧化物和它們的衍生物可為副產物。

自由基光引發劑可為單個自由基光引發劑，或為包含兩個或更多個不同的自由基光引發劑的混合物。自由基光引發劑的濃度以可自由基固化的矽氧組合物中的矽化合物的重量計之，可為 0.1 至 6% (w/w)，或者 1 至 3% (w/w)。

在胺-環氧固化中，例如，一級胺或二級胺與環氧化合物反應而產生例如胺基醇。含環氧基的化合物可為有機矽化合物，或為不包含矽的有機化合物。含一級胺或二級胺的化合物可為有機矽，或為不包含矽的有機化合物。胺官

能性化合物可為胺官能化的有機聚矽氧烷。

在一個實施例中，可胺-環氧固化的組合物包含環氧基官能性有機矽化合物和胺基官能固化劑。在一個實施例中，環氧基官能性有機矽化合物為聚矽氧烷化合物。環氧基官能性有機矽化合物可每分子具有平均或至少兩個矽鍵合的環氧基取代的官能基，且該固化劑可每分子具有平均或至少兩個氮鍵合的氫原子。

可用於輻射固化的輻射包括例如可見光、紅外光、微波、無線電波、甚低頻波、極低頻波、熱輻射(熱量)和黑體輻射。本文公開的任何固化方法可包括輻射固化，例如，本文公開的任何固化方法可包括應用熱或光。例如，可氫化矽烷化固化的組合物、可縮合固化組合物、可環氧-胺固化組合物，或可藉由冷卻固化的組合物、可自由基固化的組合物中的任一者可包括一個或多個步驟，該一個或多個步驟包括應用輻射，且將輻射應用於可固化組合物可引發、協助或導致作為固化過程的部分的化學或物理過程。在一些實施方案中，由於在固化過程中輻射的應用，氫化矽烷化固化、縮合固化、環氧-胺固化、自由基固化或經由冷卻的固化中的任一者也可被描述為輻射固化。在其他實施方案中，由於在固化過程中缺乏應用的輻射，氫化矽烷化固化、縮合固化、環氧-胺固化、自由基固化或經由冷卻的固化中的任一者不被描述為輻射固化。

在提供矽氧組合物的固化產物的冷卻的一個實施例中，將基本上具有液體可流動狀態的有機矽氧組合物至少

冷卻低至室溫，以提供基本上具有固體不可流動狀態的矽氧組合物。包含可表現為熱塑性塑膠的化合物的矽氧組合物為可被冷卻而提供矽組合物的固化產物的矽組合物的實例。可用作熱塑性塑膠的化合物可為聚合物。

包含鉑催化劑的組合物的一個實例為 Karstedt's 催化劑。可熱操作或使用光活化操作的自由基引發劑的一個實例為 VAROX DCBP-50，其包含在矽油中 50%的雙(2,4-二氯苯甲醯基)過氧化物。

視需要的成分

本文描述的任何視需要的成分可存在於膜中或存在於形成膜的組合物中；或者，本文描述的任何視需要的成分可不存在於膜中或不存在於形成膜的組合物中。這種視需要的另外的組分的實例無限制地包括表面活性劑、乳化劑、分散劑、聚合物穩定劑、交聯劑、聚合物的組合、交聯劑、可用於提供粒子的第二聚合或交聯的催化劑、流變改性劑、密度改性劑、氮丙啶穩定劑、固化改性劑(如對苯二酚和受阻胺)、自由基引發劑、聚合物、稀釋劑、酸受體、抗氧化劑、熱穩定劑、阻燃劑、清除劑、矽烷基化劑、泡沫穩定劑、溶劑、稀釋劑、增塑劑、填料和無機粒子、顏料、染料和乾燥劑。可視需要地使用液體。液體的例子包括水、有機溶劑、任何液體有機化合物、矽氧液體、有機油、離子液體和超臨界流體。其他視需要的成分包括每分子具有至少一個烯基基團的聚醚、增稠劑、填料和無機粒子、穩定劑、蠟或蠟狀材料、矽氧化物、有機官能性矽氧烷、

烷基甲基矽氧烷、矽氧烷樹脂、矽橡膠、矽氧甲醇(silicone carbinol)流體可為視需要的組分，水溶性或水分散性矽氧聚醚組合物、矽氧橡膠、氫化矽烷化催化劑抑制劑、黏合促進劑、熱穩定劑、UV 穩定劑和流動調節添加物。

藉由參考以舉例說明的方式提供的如下實施例，可更好地理解本發明。本發明不侷限於本文提供的實施例。

非假設實施例的一般方法。將包含在 120 標準立方尺/小時(scfh)和環境溫度(大約 22°C)的乾燥壓縮空氣的原料氣體濕潤至指定相對濕度(RH)，並用於乾燥在實驗室規模的玉米倉中的黃色馬齒種玉米的 600 g 樣品。使用數位相對濕度感測器(Omega)測量 RH 值。該玉米為黃色馬齒種雜交種(Pioneer Brand P1184HR，其在摩洛哥市、印第安那州在 2011 年 5 月 13 日種植，並在 16.3%濕基濕含量下在 2011 年 11 月 1 日聯合收割，然後藉由暴露於增濕器而人工再濕潤至大約 22%濕基濕含量)。藉由改變進入水起泡器的空氣與繞過該起泡器的空氣的比例並組合兩個流來調控 RH。將所得空氣流供給至定制實驗室規模的玉米乾燥器(8' 直徑，9' 高)的底部，該玉米乾燥器設計用於類比玉米乾燥倉。玉米樣品承載於穿孔網狀地板上，空氣在該穿孔網狀地板之下供給並向上吹掃通過通風屋頂。在各種乾燥時間段之後使用 Dickey-John Mini GAC1 穀物濕度計測量玉米濕含量，並記錄。實驗在環境實驗室溫度下進行。穀物的環境乾燥，實施例 1 至 3

實施例 1

根據一般方法，將空氣濕潤至 17%相對濕度(RH)並用於乾燥黃色馬齒種玉米的 600 g 樣品。表 1 包括在各種時間實驗性測定的濕基玉米濕含量 M_w 。

表 1. 使用 17% RH 空氣乾燥的實驗玉米濕含量。

時間，小時	實驗 M_w ，%
0	22.2
1	20.8
2	19.5
3.5	17.9
5	17.3
7	16.6
24	12.9

實施例 2

根據一般方法，將空氣濕潤至 34% RH 並用於乾燥黃色馬齒種玉米的 600 g 樣品。表 2 包括在各種時間實驗性測定的濕基玉米濕含量 M_w 。

表 2. 使用 34% RH 空氣乾燥的實驗玉米濕含量。

時間，小時	實驗 M_w ，%
0	23.1
1	21.8
2	20.9
3.5	19.0
5	18.5
6	18.0
8	16.9
9	16.2

實施例 3

根據一般方法，將空氣濕潤至 53% RH 並用於乾燥黃色馬齒種玉米的 600 g 樣品。表 3 包括在各種時間實驗性測定的濕基玉米濕含量 M_w 。

表 3. 使用 53% RH 空氣乾燥的實驗玉米濕含量。

時間，小時	實驗 M_w ，%
0	23.0
1	22.9
2	21.6
3.5	20.3
5	19.2
6	19.0
8	18.0

實施例 1 至 3 提供了降低空氣的 RH 導致在環境條件下更快的穀物乾燥的證據。

實施例 4. 使用矽氧中空纖維膜模組的穀物乾燥

100 scfh 的潮濕空氣通過經過 0.83 m² 矽氧中空纖維膜模組 (MedArray, Inc, Permselect 模組) 進行乾燥。乾燥空氣流首先通過經過水起泡器進行潤濕，並將濕潤的起泡器流出物供給至膜的內腔側。將大約 200 托的真空應用於膜的滲透物側。如在一般方法中所述，使用實驗室規模的玉米乾燥倉，用阻留物空氣乾燥玉米樣品。監測流向膜模組以及來自膜模組的原料流和阻留物流的 RH。在各種乾燥時間段之後，使用穀物濕度計測量玉米濕含量。實驗在環境實驗室溫度 (大約 22°C) 進行。

表 4 含有在各種時間的原料 RH、滲餘物 RH 和實驗玉米濕含量 M_w。

表 4. 膜原料 RH、阻留物 RH 和玉米濕含量。

時間，小時	原料 RH，%	阻留物 RH，%	M _w ，%
0	--	--	21.2
1	80.4	40.9	19.5
2	66.5	27.8	18.2
3.5	64.4	34.2	17.4
5	62.0	31.6	16.6
6.5	61.4	32.3	16.3
8	61.0	36.6	15.5

比較實施例 1

實驗與實施例 4 相同地進行，不同的是從裝置中移出膜，並將起泡器流出物直接供給至玉米乾燥倉。表 5 含有在各種時間的空氣 RH 和實驗玉米濕含量 M_w 。

表 5. 空氣 RH 和玉米濕含量。

時間，小時	空氣 RH，%	M_w ，%
0	--	21.7
1	59.2	21.3
2	56.1	20.7
3	58.2	19.6
4	55.6	19.2
5	55.0	18.5
6	54.6	18.0
7	54.1	17.4

實施例 4 和比較實施例 1 提供了如下證據：在相同空氣溫度，相比於使用未處理的空氣，經膜乾燥的空氣提供了顯著更快的穀物的乾燥。

假設實施例

在如下的乾燥估計中，在玉米中獲得某個濕含量所需的時間獲自薄層乾燥等式（“等式 1”）： $MR = ((M - M_e) / (M_i - M_e)) = \exp(-k * t^n)$ ，其中對於 $2.2 \leq T \leq 71.1$ ，玉米的 $k = \exp(-7.1735 + 1.2793 * \ln T + 0.137 * v)$ ，且對

於 $3 \leq rh \leq 83$ ， $n=0.811*\ln(rh) + 0.78*M_i$ ，其中 M =即時濕含量，九成乾基， M_e =平衡濕含量，九成乾基， M_i =初始濕含量，九成乾基， T =以 $^{\circ}\text{C}$ 計的溫度， rh =相對濕度(來自 Misra, M. K. 和 Brooker, D. B., 1980, Transactions of the ASAE 23(5): 1254-1260. Thin layer drying and rewetting equations for shelled yellow corn.)。平衡濕含量 M_e 獲自文獻中公知的表，該表將在各種溫度的玉米的平衡濕含量與相對濕度關聯。

可使用多種方法測量膜對特定氣體的滲透率。在一個實施例中，在二元氣體混合物中的氣體滲透係數和理想選擇性可使用滲透池進行測量，該滲透池包括上游室(原料/阻留物)和下游室(滲透物)，該上游室和下游室藉由膜分隔。上游室具有一個氣體入口和一個氣體出口。下游室具有一個氣體出口。上游室保持在 35 psig 壓力，並以 0 至 200 標準立方釐米/分鐘(sccm)之間的流量連續供給 H_2O 蒸氣和 N_2 氣體的合適混合物。在指定溫度和壓力的平衡條件下，藉由以 0 至 200 sccm 之間的流量引入 N_2 氣體而在起泡器設備中形成特定量的 H_2O 蒸氣。該起泡器填充 H_2O 液體，並進行溫度調控。可藉由調節起泡器溫度、壓力和/或 N_2 氣體流量而將起泡器出口的相對濕度調控至所需的程度。起泡器出口的相對濕度可進一步藉由與乾燥 N_2 氣體流組合而得以調控。相對濕度感測器位於起泡器出口和上游室之間。膜在玻璃纖維篩檢程式盤(Ace Glass)上支撐，該玻璃纖維篩檢程式盤具有 83 mm 的直徑和 10 至 20 μm 的最大孔

徑範圍。藉由將直徑為 50 mm 的丁基橡膠墊圈(Exotic Automatic & Supply)置於該膜的頂部來限定膜面積。下游室保持在 5 psig 壓力下，並以 20 sccm 的流量連續供給純 He 流。為了分析膜的滲透率和選擇性，將下游室的出口連接至 6 埠注射器，該 6 埠注射器配備 1-mL 注射環和相對濕度感測器。當命令時，6-埠注射器將 1-mL 樣品注射至配備熱導檢測器(TCD)的氣相色譜儀(GC)中。藉由校正 TCD 檢測器對感興趣的氣體的回應而計算滲透通過膜的氣體量。氣體滲透率和選擇性的報導值獲自在所述體系已達到穩態之後所採取的測量，在該穩態中，滲透物側氣體組合物變得隨時間不變。上游和下游室 H_2O 蒸氣莫耳分數由各自的相對濕度感測器資料進行計算。這些莫耳分數也可用於計算 H_2O 蒸氣滲透率。實驗在 H_2O 蒸氣露點以上的溫度進行以防止冷凝，或在適當升高的溫度進行以類比操作條件。在起泡器出口的下游的所有線路為絕緣的和/或溫度調控的，以防止 H_2O 蒸氣冷凝。

假設比較實施例 1

使用線性空氣速度為約 0.11 m/s(假設 15,000 scfm 體積流量吹過 9.1 m(大約 30 英尺)直徑的儲存倉)的風扇，藉由在 20°C 和 60%相對濕度(RH)等式 1 的乾燥時間估計，玉米的典型乾燥使用乾燥時間模型(參見表 6 至 8)評估為需要約 51.2 天，該玉米在約 20 wt%濕含量(濕基)收割，並乾燥至約 15%濕含量(濕基)以直接上市。

假設比較實施例 2

使用線性空氣速度為約 0.11 m/s(假設 15,000 scfm 體積流量吹過 9.1 m(大約 30 英尺)直徑的儲存倉)的風扇，藉由在 38°C 和 60%相對濕度(RH)等式 1 的乾燥時間估計，玉米的典型乾燥使用乾燥時間模型(參見表 6 至 8)評估為需要約 5.3 天，該玉米在約 20 wt%濕含量(濕基)收割，並乾燥至約 15%濕含量(濕基)以直接上市。假設使用諸如燃料或電力的能源將空氣加熱至 38°C。

假設比較實施例 3

用於加熱、通風和空氣調節應用的潮濕室外空氣的典型除濕要求在露點以上冷卻潮濕室外空氣以冷凝水蒸氣，由此去除水，隨後加熱以調節溫度和相對濕度，從而為建築物或結構內部的居住者確保舒適的工作或生活條件。據估計，使用熱交換器或冷卻操作形式，約 75 MJ/min 必須從 46,000 ft³/min 在 30°C、1.2 atm 和 85% RH 的潮濕空氣原料流中去除，以產生在約 13°C 和 1 atm 的飽和空氣。然後在該飽和空氣進入建築物或結構之前，加熱該飽和空氣以調控室內溫度，並將相對濕度降低至舒適程度。

假設實施例 1

使用 ASPEN/HYSYS 過程類比軟體(Membrane Unit Extension v3.0a)，將矽氧中空纖維膜體系設計為將在 20°C 和 60% RH 的環境空氣乾燥至 30% RH。將在 2 atm 和 20°C 的相對濕度為 60%的 15,000 SCFM 空氣供給至一個或多個膜，該一個或多個膜為氫化矽烷化固化的聚二甲基矽氧烷矽氧中空纖維膜模組，其具有 $(P_{11})_{H_2O} = 1150$ 氣體滲透

單元(GPU)， $(P11)_{O_2} = 20$ GPU，且 $(P11)_{N_2} = 10$ GPU 的滲透值，其中 $1 \text{ GPU} = 10^{-6} \text{ cm}^3(\text{STP})/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cm Hg})$ 。為了將該原料乾燥至 1.8 atm(0.8%階段縮減(stage cut))、20°C 和 30% RH 的 14,875 SCFM 乾燥空氣的滲餘物流，並產生 1.0 atm 和 20°C 的 125 SCFM 的滲透物流，ASPEN/HYSYS 模型要求 2130 m² 的總表面積。該中空纖維膜模組構造為具有壓縮機和預過濾器以去除灰塵和顆粒，並使用阻留物流將進氣供給至假設比較實施例 1 的相同儲存倉。等式 1 的乾燥時間模型表示，藉由將潮濕環境空氣經過矽氧中空纖維膜體系(其具有以約 1 atm 的跨膜壓降操作的大約 2200 m² 的區域)來除濕空氣，阻留物流可被乾燥至約 30% RH，並具有足夠的流量以供給鼓風機至 30 英尺直徑的儲存倉，從而將乾燥時間減小至約 20 天以下(比假設比較實施例 1 快約 2.6 倍)。

表 6. 玉米。

初始濕含量，濕基， M_{iW} (%)	20
初始濕含量，乾基， M_{iD} (九成)	0.25
所需濕含量，乾基， M_W (%)	15
所需濕含量，乾基， M_D (九成)	0.176

表 7. 情況 1. 自然空氣乾燥。

室外溫度(°F)	68
環境 RH (%)	60
平衡濕含量，濕基(M_{ew}) (%)	13.5
平衡濕含量，乾基(M_{ed}) (九成)	0.156
風扇流量(scfm)	15000
倉直徑(ft)	30
空氣速度(m/s)	0.108
乾燥等式：含水率，MR	0.217
乾燥等式：k (指數因數)	0.036
乾燥等式：n (指數)	0.527
時間(小時)	1229
時間(天)	51

表 8. 情況 2. 經乾燥的空氣乾燥。

室外溫度(°F)	68
經預乾燥的空氣 RH (%)	30
平衡濕含量，濕基(M_{ew}) (%)	8.8
平衡濕含量，乾基(M_{ed}) (九成)	0.096
風扇流量(scfm)	15000
倉直徑(ft)	30
空氣速度(m/s)	0.108
乾燥等式：含水率，MR	0.521
乾燥等式：k (指數因數)	0.036
乾燥等式：n (指數)	0.471
時間(小時)	472
時間(天)	19

假設實施例 2

使用 ASPEN/HYSYS 過程類比軟體 (Membrane Unit Extension v3.0a)，將矽氧中空纖維膜體系設計為將在 20 °C 和 60% RH 的環境空氣乾燥至 40% RH。將在 2 atm 和 20 °C 的相對濕度為 60% 的 15,000 SCFM 空氣供給至一個或多個膜，該一個或多個膜為氫化矽烷化固化的聚二甲基矽氧烷矽氧中空纖維膜模組，其具有 $(P11)_{H_2O} = 1150$ GPU， $(P11)_{O_2} = 20$ GPU 和 $(P11)_{N_2} = 10$ GPU 的滲透值。為了將該原料乾燥至 1.8 atm(0.5%階段縮減)、20°C 和 40% RH 的 14,930

SCFM 乾燥空氣的阻留物流，並產生 1.0 atm 和 20°C 的 70 SCFM 的滲透物流，ASPEN/HYSYS 模型要求 1150 m² 的總表面積。該中空纖維膜模組構造為具有壓縮機和預過濾器以去除灰塵和顆粒，並使用阻留物流將進氣供給至假設比較實施例 1 的相同儲存倉。等式 1 的乾燥時間模型表示，藉由將潮濕環境空氣經過矽氧中空纖維膜體系（其具有以約 1 atm 的跨膜壓降操作的大約 1200 m² 的區域）來除濕空氣，阻留物流可被乾燥至約 40% RH，並具有足夠的流量以將鼓風機供給至 30 英尺直徑的儲存倉，以將乾燥時間減小至約 22 天（比假設比較實施例 1 快約 2.3 倍）。

假設實施例 3

使用 ASPEN/HYSYS 過程類比軟體 (Membrane Unit Extension v3.0a)，將矽氧中空纖維膜體系設計為將在 20 °C 和 60% RH 的環境空氣乾燥至 50% RH。將在 2 atm 和 20 °C 的相對濕度為 60% 的 15,000 SCFM 空氣供給至一個或多個膜，該一個或多個膜為氫化矽烷化固化的聚二甲基矽氧烷矽氧中空纖維膜模組，其具有 $(P11)_{H_2O} = 1150$ GPU, $(P11)_{O_2} = 20$ GPU 和 $(P11)_{N_2} = 10$ GPU 的滲透值。為了將該原料乾燥至 1.8 atm (0.2% 階段縮減)、20 °C 和 50% RH 的 14,970 SCFM 乾燥空氣的阻留物流，並產生 1.0 atm 和 20 °C 的 30 SCFM 的滲透物流，ASPEN/HYSYS 模型要求 310 m² 的總表面積。該中空纖維膜模組構造為具有壓縮機和預過濾器以去除灰塵和顆粒，並使用阻留物流將進氣供給至假設比較實施例 1 的相同儲存倉。等式 1 的乾燥時間模型表示，藉由

將潮濕環境空氣經過矽氧中空纖維膜體系(其具有以約 1 atm 的跨膜壓降操作的大約 300 m² 的區域)來除濕空氣,阻留物流可被乾燥至約 50% RH,並具有足夠的流量以將鼓風機供給至 30 英尺直徑的儲存倉,以將乾燥時間減小至約 29 天(比假設比較實施例 1 快約 1.8 倍)。

假設實施例 4

使用 ASPEN/HYSYS 過程類比軟體(Membrane Unit Extension v3.0a),將矽氧中空纖維膜體系設計為將在 38 °C 和 60% RH 的環境空氣乾燥至 30% RH。將在 2 atm 和 38 °C 的相對濕度為 60% 的 15,000 SCFM 空氣供給至一個或多個膜,該一個或多個膜為氫化矽烷化固化的聚二甲基矽氧烷矽氧中空纖維膜模組,其具有 $(P11)_{H_2O} = 1150$ GPU, $(P11)_{O_2} = 20$ GPU 和 $(P11)_{N_2} = 10$ GPU 的滲透值。為了將該原料乾燥至 1.8 atm(1.5%階段縮減)、38°C 和 30% RH 的 14,777 SCFM 乾燥空氣的阻留物流,並產生 1.0 atm 和 38°C 的 223 SCFM 的滲透物流,ASPEN/HYSYS 模型要求 2330m² 的總面積。該中空纖維膜模組構造為具有壓縮機和預過濾器以去除灰塵和顆粒,並使用阻留物流將進氣供給至假設比較實施例 2 的相同儲存倉。等式 1 的乾燥時間模型表示,藉由將潮濕環境空氣經過矽氧中空纖維膜體系(其具有以約 1 atm 的跨膜壓降操作的大約 2400 m² 的區域)來除濕空氣,阻留物流可被乾燥至約 30% RH,並具有足夠的流量以供給鼓風機至 30 英尺直徑的儲存倉,從而將乾燥時間減小至約 2.8 天(比假設比較實施例 2 快約 1.9 倍)。

假設實施例 5

使用 ASPEN/HYSYS 過程類比軟體 (Membrane Unit Extension v3.0a)，將矽氧中空纖維膜體系設計為將在 38 °C 和 60% RH 的環境空氣乾燥至 40% RH。將在 2 atm 和 38 °C 的相對濕度為 60% 的 15,000 SCFM 空氣供給至一個或多個膜，該一個或多個膜為氫化矽烷化固化的聚二甲基矽氧烷矽氧中空纖維膜模組，其具有 $(P11)_{H_2O} = 1150 \text{ GPU}$ ， $(P11)_{O_2} = 20 \text{ GPU}$ 和 $(P11)_{N_2} = 10 \text{ GPU}$ 的滲透值。為了將該原料乾燥至 1.8 atm (0.8% 階段縮減)、38 °C 和 40% RH 的 14,875 SCFM 乾燥空氣的阻留物流，並產生 1.0 atm 和 38 °C 的 125 SCFM 的滲透物流，ASPEN/HYSYS 模型要求 1210 m² 的總表面積。該中空纖維膜模組構造為具有壓縮機和預過濾器以去除灰塵和顆粒，並使用阻留物流將進氣供給至假設比較實施例 2 的相同儲存倉。等式 1 的乾燥時間模型表示，藉由將潮濕環境空氣經過聚矽氧烷中空纖維膜體系 (其具有以約 1 atm 的跨膜壓降操作的大約 1200 m² 的區域) 來除濕空氣，阻留物流可被乾燥至約 40% RH，並具有足夠的流量以供給鼓風機至 30 英尺直徑的儲存倉，從而將乾燥時間減小至約 3.1 天 (比假設比較實施例 2 快約 1.7 倍)。

假設實施例 6

使用 ASPEN/HYSYS 過程類比軟體 (Membrane Unit Extension v3.0a)，將矽氧中空纖維膜體系設計為將在 38 °C 和 60% RH 的環境空氣乾燥至 50% RH。將在 2 atm 和 38 °C 的相對濕度為 60% 的 15,000 SCFM 空氣供給至一個或多

個膜，該一個或多個膜為氫化矽烷化固化的聚二甲基矽氧烷矽氧中空纖維膜模組，其具有 $(P11)_{H_2O} = 1150$ GPU, $(P11)_{O_2} = 20$ GPU 和 $(P11)_{N_2} = 10$ GPU 的滲透值。為了將該原料乾燥至 1.8 atm(0.3%階段縮減)、38°C 和 50% RH 下的 14,958 SCFM 乾燥空氣的阻留物流，並產生 1.0 atm 和 38°C 的 42 SCFM 的滲透物流，ASPEN/HYSYS 模型要求 320 m² 的總表面積。該中空纖維膜模組構造為具有壓縮機和預過濾器以去除灰塵和顆粒，並使用阻留物流將進氣供給至假設比較實施例 2 的相同儲存倉。等式 1 的乾燥時間模型表示，藉由將潮濕環境空氣經過聚矽氧烷中空纖維膜體系(其具有以約 1 atm 的跨膜壓降操作的大約 300 m² 的區域)來除濕空氣，阻留物流可被乾燥至約 50% RH，並具有足夠的流量以將鼓風機供給至 30 英尺直徑的儲存倉，以將乾燥時間減小至約 3.8 天(比假設比較實施例 2 快約 1.4 倍)。

假設實施例 7

使用 ASPEN/HYSYS 過程類比軟體(Membrane Unit Extension v3.0a)，將矽氧中空纖維膜體系設計為將在 30°C 和 85% RH 的潮濕室外空氣乾燥至 50% RH。將在 1.2 atm 和 30°C 的相對濕度為 85% 的 46,000 SCFM 空氣供給至一個或多個膜，該一個或多個膜為氫化矽烷化固化的聚二甲基矽氧烷矽氧中空纖維膜模組，其具有 $(P11)_{H_2O} = 1150$ GPU, $(P11)_{O_2} = 20$ GPU 和 $(P11)_{N_2} = 10$ GPU 的滲透值。為了將該原料乾燥至 1 atm(2%階段縮減)、30°C 和 50% RH 的 45,080 SCFM 乾燥空氣的阻留物流，並產生 0.2 atm 和 30°C 的 920

SCFM 的滲透物流，ASPEN/HYSYS 模型要求 $11,200 \text{ m}^2$ 的總表面積。該中空纖維膜模組構造為具有風扇和預過濾器以去除灰塵和顆粒以及滲透物側的真空，並使用阻留物流將進氣供給至與比較實施例 3 中相同的熱交換器或冷卻操作。所用的與比較實施例 3 相同的計算表示，藉由將潮濕室外空氣經過矽氧中空纖維膜體系(其具有以約 1 atm 的跨膜壓降操作的大約 $11,000 \text{ m}^2$ 的區域)來除濕空氣，阻留物流可被乾燥至約 50% RH，並將需要被去除以產生在約 13°C 和 1 atm 的飽和空氣的能量的量降低至 41 MJ/min (比比比較實施例 3 少約 1.8 的能量)。

已使用的術語和表述用作描述的術語而不是限制性的術語，且在這些術語和表述的使用中不旨在排除所示和所描述的特徵或其部分的任何等同替代，但應認識到在所要求保護的本發明的範圍內各種修改是可能的。因此，應瞭解儘管本發明已通過優選的實施方案和任選的特徵具體公開，但本領域技術人員可採取對所公開的本文的概念的修改和改變，且這些修改和改變被認為在由所附申請專利範圍所限定的本發明的範圍內。

【圖式簡單說明】

無。

【主要元件符號說明】

無。

七、申請專利範圍：

1. 一種乾燥原料氣體混合物的方法，該方法包括：使一個或多個膜的第一側接觸原料氣體混合物，以在該一個或多個膜的第二側產生滲透氣體混合物以及在該一個或多個膜的第一側產生阻留物氣體混合物，該原料氣體混合物包含至少水和第二氣體組分，其中該滲透氣體混合物富含水，且該阻留物氣體混合物貧含水，其中該一個或多個膜在室溫具有至少約 25,000 Barrer 的 H₂O 蒸氣滲透係數。
2. 一種乾燥材料的方法，其包括申請專利範圍第 1 項所述的方法，還包括使材料與該阻留物氣體混合物接觸以提供經乾燥的材料。
3. 如申請專利範圍第 1 至 2 項中任一項所述的方法，其中該第二氣體組分為環境空氣。
4. 如申請專利範圍第 1 至 3 中任一項所述的方法，其中相比於該原料氣體混合物，該阻留物氣體混合物具有更低的水濃度。
5. 如申請專利範圍第 2 至 4 項中任一項所述的方法，其中該材料包括如下中的至少一種：農作物、穀物、食品、煤、粒子、粉末、煙草、木材、木料、化學品、沙、灰泥、廢水污泥、塗料、覆料、清漆、油墨、農產品、肉類、氣體、紡織品、服裝和家具。
6. 如申請專利範圍第 1 至 5 項中任一項所述的方法，其中該一個或多個膜包含聚矽氧烷。

7. 如申請專利範圍第 1 至 6 項中任一項所述的方法，其中該一個或多個膜獨立地選自平板式膜、螺旋卷式膜、管式膜和中空纖維膜。
8. 如申請專利範圍第 1 至 7 項中任一項所述的方法，其中該一個或多個膜中的任何一個或多個獨立地包括非支撐式膜。
9. 如申請專利範圍第 1 至 8 項中任一項所述的方法，其中該一個或多個膜中的任何一個或多個還獨立地包括一個或多個基材，其中該一個或多個基材的任何一個或多個為多孔基材或非多孔高滲透性基材，其中該一個或多個膜中的任何一個或多個包括支撐式膜。
10. 一種乾燥玉米、穀物或食品的方法，該方法包括：使一個或多個膜的第一側與原料氣體混合物接觸，以在該一個或多個膜的第二側產生滲透氣體混合物以及在該一個或多個膜的第一側產生阻留物氣體混合物；以及使玉米、穀物或食品與該阻留物氣體混合物接觸，以提供經乾燥的玉米、經乾燥的穀物或經乾燥的食品，該原料氣體混合物包含至少水和空氣，其中該滲透氣體混合物富含水，且該阻留物氣體混合物貧含水，其中該一個或多個膜在室溫具有至少 25,000 Barrer 的 H₂O 蒸氣滲透係數和至少 300 m² 的總表面積。