



(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 201516017 A

(43)公開日：中華民國 104 (2015) 年 05 月 01 日

(21)申請案號：103128842

(22)申請日：中華民國 103 (2014) 年 08 月 21 日

(51)Int. Cl. : **C04B20/00 (2006.01)**
E04C1/00 (2006.01)

C04B28/04 (2006.01)

(30)優先權：2013/08/21 美國

61/868,155

(71)申請人：索利迪亞科技股份有限公司 (美國) SOLIDIA TECHNOLOGIES, INC. (US)
美國

(72)發明人：戴奧歐卡爾 DEO, OMKAR (IN)；王大衛 VUONG, DAVID (US)；瑞庫瑪迪巴克
RAVIKUMAR, DEEPAK (IN)；薩胡撒達南達 SAHU, SADANANDA (IN)；阿塔坎
瓦希特 ATAKAN, VAHIT (TR)

(74)代理人：蔡坤財；李世章

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：13 共 65 頁

(54)名稱

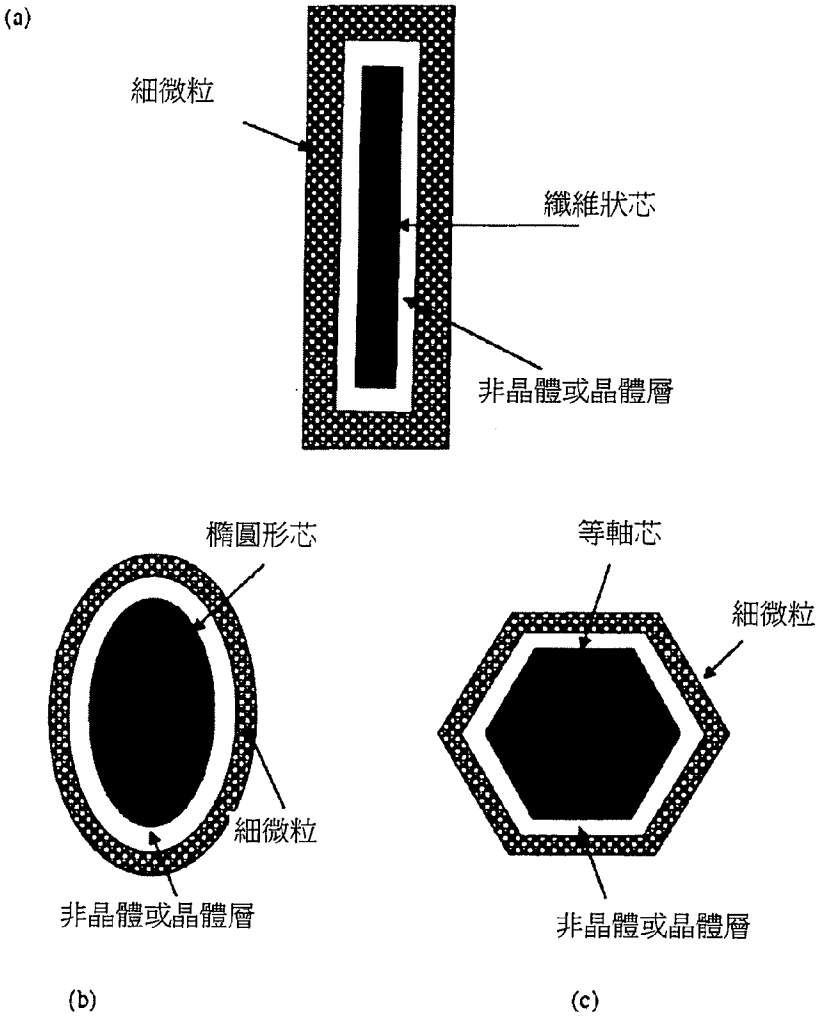
充氣複合材料及該充氣複合材料之生產與使用方法

AERATED COMPOSITE MATERIALS, METHODS OF PRODUCTION AND USES THEREOF

(57)摘要

本發明提供具有充氣混凝土之優良物理特性及效能特性之新穎充氣複合材料，及該充氣複合材料之生產與使用方法。此等複合材料可容易地藉由適於以經改良之能量消耗、更合乎要求之碳排放量及最小環境影響大規模生產之製程使用廣泛可得之低成本原材料生產。

The invention provides novel aerated composite materials that possess excellent physical and performance characteristics of aerated concretes, and methods of production and uses thereof. These composite materials can be readily produced from widely available, low cost raw materials by a process suitable for large-scale production with improved energy consumption, desirable carbon footprint and minimal environmental impact.



第11圖

發明摘要

※ 申請案號：103128842

C04B 20/00 (2006.01)

※ 申請日：103 年 8 月 21 日

C04B 28/04 (2006.01)

※IPC 分類：

E04C 1/00 (2006.01)

【發明名稱】（中文/英文）

充氣複合材料及該充氣複合材料之生產與使用方法

AERATED COMPOSITE MATERIALS, METHODS OF
PRODUCTION AND USES THEREOF

【中文】

本發明提供具有充氣混凝土之優良物理特性及效能特性之新穎充氣複合材料，及該充氣複合材料之生產與使用方法。此等複合材料可容易地藉由適於以經改良之能量消耗、更合乎要求之碳排放量及最小環境影響大規模生產之製程使用廣泛可得之低成本原材料生產。

【英文】

The invention provides novel aerated composite materials that possess excellent physical and performance characteristics of aerated concretes, and methods of production and uses thereof. These composite materials can be readily produced from widely available, low cost raw materials by a process suitable for large-scale production with improved energy consumption, desirable carbon footprint and minimal environmental impact.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（11）圖。

【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

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】(中文/英文)

充氣複合材料及該充氣複合材料之生產與使用方法

AERATED COMPOSITE MATERIALS, METHODS OF
PRODUCTION AND USES THEREOF

【優先權主張及相關專利申請案】

【0001】 本申請案主張於 2013 年 8 月 21 日提出申請之美國臨時申請案第 61/868,155 號之優先權的權益，該申請案之全部內容以引用之方式全部併入本文中。

【技術領域】

【0002】 本發明大體而言係關於充氣複合材料及充氣混凝土。更特定言之，本發明係關於新穎充氣複合材料，以及該等充氣複合材料之製造與使用之配方及方法。此等充氣複合材料適於在建築、防火與隔火、風景設計及基礎設施中之多種應用。

【先前技術】

【0003】 蒸壓充氣混凝土係在高溫及高壓下使用諸如水泥、細骨料（諸如，砂或其他填料材料）、石灰、水及充氣劑之原材料形成之一類型之輕質預澆鑄混凝土。充氣劑致使在基質中形成氣孔且增加材料之孔隙率，此舉可伴有材料之體積增大與密度減小。

【0004】 充氣混凝土產品提供優於習知混凝土之多個優點，

該等優點包括其優良強度、輕質、耐火、耐腐蝕、抗蟻、抗黴菌，以及優良隔熱及隔音性質。由於充氣混凝土之輕質及尺寸精確性，可以最小浪費組裝充氣混凝土，從而在建構及組裝中減少對額外設備之需要。充氣混凝土提供高耐久性且需要最少維護。充氣混凝土之輕質亦有助於降低運輸成本。

【0005】 儘管充氣混凝土與混凝土相比係有利的，但最習知之充氣混凝土係藉由具有許多不足之製程製備。習知充氣混凝土之製程涉及專用設備、大能量消耗及過多二氧化碳排放，引起不利碳排放量。舉例而言，充氣混凝土通常在範圍自 150°C 至 190°C 之溫度下且在範圍自 110 psi 至 180 psi 之壓力下於蒸壓釜中固化，以產生穩定形式之雪矽鈣石。雪矽鈣石係充氣混凝土中之主要黏合元素。另外，充氣混凝土由於高完成成本、難以再循環等而相對昂貴。

【0006】 存在對於匹配或超過充氣混凝土之物理特性及效能特性之可以較低成本大量生產且具有經改良能量消耗及更合乎要求之碳排放量之新穎充氣複合材料的持續需求。

【發明內容】

【0007】 本發明部分地基於具有充氣混凝土之優良物理特性及效能特性之新穎充氣複合材料之意外發現。此等複合材料可容易地藉由適於以經減少之設備需要、經改良之能量消耗及更合乎要求之碳排放量大規模生產之製程使用廣泛可得之低成本原材料生產。

【0008】 本發明之充氣複合材料之配方需要具有最小環境影響之通常容易獲得且低成本之材料。原材料包括前驅物材

料，諸如微粒矽酸鈣（例如，粉狀矽灰石(CS)、假矽灰石、矽鈣石(C₃S₂)、鈣黃長石(C₂AS)、矽酸二鈣(C₂S)，以及矽酸三鈣(C₃S)，根據水泥化學家符號(CCN)，其中「C」係指氧化鈣或石灰，其中「S」係指二氧化矽或矽石，「A」係指氧化鋁或鈮土）以及變成黏結元素之某些微量雜質，以及微粒填料材料（例如，含氧化鈣材料（諸如，石灰石、硬矽鈣石、微矽石(micro-silica)及石英)、輕質骨料(諸如，珍珠岩或蛭石)，或甚至工業廢棄材料（諸如，飛灰、爐底灰及礦渣）。為獲得高孔隙度之材料，使用充氣劑（例如，鋁粉或鋁粉漿）。亦提供流體組分作為在生產中作為活性物種消耗且最後埋存於最終產品中之反應介質，該反應介質包含液態水及/或水汽及試劑、二氧化碳(CO₂)。黏結元素在可控溫度及壓力下使用水合製程反應或使用水汽及 CO₂ 反應，在水合製程中，反應在水與水汽之間發生。

【0009】 取決於最終使用者要求，亦可使用各種其他添加劑，該等添加劑諸如分散、流變改質摻合物（以提高混合物一致性）、著色顏料、緩速劑及加速劑。添加劑材料可包括天然或再循環材料及富碳酸鈣及富碳酸鎂材料，以及至流體組分之添加劑，諸如水溶性分散劑。

【0010】 另外，可使用有效氣體輔助水熱液相燒結(HLPS)製程以低成本、較低設備需求且以經大程度改良之能量消耗及碳排放量生產本發明之充氣複合材料。

【0011】 在一個態樣中，本發明通常係關於一種用於生產充氣複合材料製品之製程。該製程包括以下步驟：(1)形成一濕

混合物，其中該濕混合物包含：水、粉狀矽酸鈣、填料微粒及充氣劑；(2)將該濕混合物澆鑄於模具中；(3)允許該充氣劑產生一氣態產物，從而致使該濕混合物體積膨脹；(4)在自約 20°C 至約 100°C 之範圍內之一溫度下於水與 CO₂ 之氣氛中預固化該經膨脹混合物達一時間，該時間足以產生適於達成脫模及/或切割所需之足夠早期強度之經預固化物件；(5)將該經預固化物件脫模及/或切割成所要尺寸；及(6)在自約 20°C 至約 100°C 之範圍內之溫度下於水汽與 CO₂ 之氣氛中進一步固化該經脫模及/或切割之預固化物件達約 6 小時至約 60 小時，以產出該製品。該粉狀矽酸鈣具有在自約 0.25 μm 至約 5 μm 之範圍內之 d₁₀、在自約 5 μm 至約 20 μm 之範圍內之 d₅₀ 及在自約 25 μm 至約 100 μm 之範圍內之 d₉₀ 之一特定粒度。該等填料微粒包含氧化鈣或矽石且具有在自約 0.25 μm 至約 200 μm 之範圍內之一粒度(d₅₀)。該粉狀矽酸鈣包括合成矽灰石、假矽灰石、矽鈣石、鈣黃長石、矽酸二鈣及矽酸三鈣中之一或更多者。

【0012】 在另一態樣中，本發明通常係關於一種藉由根據本發明之一製程生產之製品。

【0013】 在又一態樣中，本發明通常係關於一種充氣複合材料，該充氣複合材料包括：(1)複數個黏結元素，該等黏結元素以在自約 0.25 μm 至約 5 μm 之範圍內之 d₁₀、在自約 5 μm 至約 20 μm 之範圍內之 d₅₀ 及在自約 25 μm 至約 100 μm 之範圍內之 d₉₀ 之一特定粒度為特徵；(2)複數個填料微粒，該等填料微粒具有在自約 0.5 μm 至約 500 μm 之範圍內之粒度；及(3)

複數個孔隙。每一黏結元素包含：主要包含矽酸鈣之芯、富矽石第一或內層及富碳酸鈣第二或外層。該複數個黏結元素及該複數個填料微粒一起形成一或更多個黏結基質，且該等黏結元素及該等填料微粒係實質上均勻分散於該等黏結基質中且黏結在一起。該複數個孔隙係氣泡狀的及/或互連通道佔該複合材料之約 50 體積%至約 80 體積%。該充氣複合材料展現自約 300 kg/m³ 至約 1500 kg/m³ 之密度、自約 2.0 MPa 至約 8.5 MPa 之壓縮強度以及自約 0.4 MPa 至約 1.7 MPa 之撓曲強度。

【圖式簡單說明】

【0014】 可參照如下所述之圖式及申請專利範圍更透徹地理解本發明之目標及特徵結構。圖式不必按比例繪示，而是通常將重點放在圖示本發明之原理上。在圖式中，在各個視圖中使用相同元件符號指示相同部件。

【0015】 第 1 圖係圖示存在於可逆反應 $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \leftrightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$ (矽灰石) + CO_2 中之相之壓力溫度相圖。

【0016】 第 2 圖係圖示存在於可逆反應 $3\text{CaCO}_3 + 2\text{CaSiO}_3 \leftrightarrow 2\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2$ 中之相之壓力溫度相圖。

【0017】 第 3 圖係在 1 千巴之壓力下之 $\text{CaO-SiO}_2\text{-CO}_2$ 系統之相圖。

【0018】 第 4 圖係圖示存在於可逆反應 $\text{MgO} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{MgCO}_3$ 中之相之壓力溫度相圖。

【0019】 第 5 圖係圖示隨在惰性氣體中之 CO_2 的比例而變之

可逆反應 $\text{MgO} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{MgCO}_3$ 之平衡曲線之壓力溫度相圖。

【0020】 第 6 圖係圖示 CaCO_3 - MgCO_3 系統中之各個相之穩定區之溫度-組合物相圖。

【0021】 第 7 圖係圖示化合物 CaO 、 MgO 、 SiO_2 與 CO_2 間的相關關係且圖示在 Cc-Di-Wo 及 Cc-Wo-Mo 平面（陰影）下方缺 CO_2 區之四面體圖，其中 Cc 表示方解石、Wo 表示矽灰石、Ak 表示鎂黃長石、Di 表示透輝石且 Mo 表示鈣鎂橄欖石 (CaMgSiO_4)。

【0022】 第 8 圖係圖示化合物 CaO 、 MgO 、 SiO_2 與 CO_2 間的相關關係之壓力溫度相圖，其中自四元不變點發出之單變曲線涉及相方解石 (Cc)、透輝石 (Di)、鎂橄欖石 (Fo)、鈣鎂橄欖石 (Mo)、鎂黃長石 (Ak) 及 CO_2 。插圖係 CaCO_3 、 MgO 及 SiO_2 之三個化合物系統之相圖。

【0023】 第 9 圖係根據本發明之原理提供增濕之 CO_2 複合材料固化腔室之示意圖。

【0024】 第 10 圖係根據本發明之原理具有多個濕度控制方法以及使用恆流或壓力調節控制及再裝滿 CO_2 之能力且可控制溫度之固化腔室之示意圖。

【0025】 第 11(a)-11(c) 圖係根據本發明之示例性實施例之黏結元素之剖面之示意圖，該等示意圖包括三個示例性核心形態：(a) 纖維狀的，(b) 橢圓形的，及 (c) 等軸的。

【0026】 第 12(a)-12(f) 圖係根據本發明之示例性實施例之複合材料之側視圖及剖面示圖之示意圖，該等示意圖圖示：(a) 稀疏黏結基質（黏結元素不接觸）中之經一維 (1-dimensional; 1D) 定向之纖維狀黏結元素，(b) 稀疏黏結基質（黏結元素不接

觸)中之經二維定向之片狀黏結元素，(c)稀疏黏結基質(黏結元素不接觸)中之經三維定向之片狀黏結元素，及(d)稀疏黏結基質(黏結元素不接觸)中之經隨機定向之片狀黏結元素，其中複合材料包括黏結基質及填料組分，諸如聚合物、金屬、無機微粒、骨料等，(e)黏結元素之密集黏結基質(具有足以建立滲透網路之體積分數)，其中該基質經三維定向，及(f)經隨機定向黏結元素之密集黏結基質(具有足以建立滲透網路之體積分數)，其中可包括填料組分(諸如聚合物、金屬、無機微粒、骨料等)。

【0027】 第 13 圖圖示使用合成矽灰石製成之經切割充氣混凝土樣本(出於演示目的為 4 吋×4 吋×4 吋)之實例。

【實施方式】

【0028】 本發明提供新穎充氣複合材料及由該複合材料製造之產品，該等產品具有充氣混凝土之優良物理特性及效能特性但可容易地藉由適於以經改良之能量消耗、經減少之設備需要(例如，不需要蒸壓釜)及更合乎要求之碳排放量大規模生產之製程使用廣泛可得之低成本原材料生產。

【0029】 本發明之充氣複合材料可用於承載或非承載應用中。與習知充氣混凝土相比，本發明之充氣複合材料之孔結構之均質性質亦給予優越隔熱及隔音性質。另外，本發明之充氣複合材料可容易地製備成大尺寸，諸如大的牆壁、地板或頂板及風景設計塊體。

【0030】 本發明之充氣複合材料展現優良隔離品質(隔熱及隔音品質兩者)以及防火性。可以與習知充氣混凝土相比經

很大程度提高之能量效率及更合乎要求之碳排放量大規模生產本發明之充氣複合材料。

【0031】 充氣複合材料之生產消耗 CO_2 ，造成 CO_2 淨埋存，從而使碳中和且自財務及環境保護角度係格外有效的。另外，此等充氣複合材料之固態及均質孔結構產生氣密性建築物外體，最小化不受控之換氣，同時有助於維持所要室內溫度且最大化 HVAC 設備之效率。由本發明之獨特充氣複合材料帶來之額外益處係減少材料使用，能夠使用再生產品，且避免毒氣排放。

【0032】 在一個態樣中，本發明大體係關於一種用於產生充氣複合材料製品之製程。該製程包括：(1)形成一濕混合物，其中該濕混合物包含：水、粉狀矽酸鈣、填料微粒及充氣劑；(2)將該濕混合物澆鑄於模具中；(3)允許該充氣劑產生一氣態產物，從而致使該濕混合物體積膨脹；(4)在自約 20°C 至約 100°C 之範圍內之溫度下於水與 CO_2 之氣氛中預固化該經膨脹混合物達一時間，該時間足以產生適於達成脫模及/或切割所需之足夠早期強度之經預固化物件；(5)將該經預固化物件脫模及/或切割至所要尺寸；及(6)在自約 20°C 至約 100°C 之範圍內之溫度下於水汽與 CO_2 之氣氛（若需要）中進一步固化該經脫模及/或切割之經預固化物件達約 6 小時至約 60 小時，以產出該製品。該粉狀矽酸鈣具有在自約 $0.25\ \mu\text{m}$ 至約 $5\ \mu\text{m}$ 之範圍內之 d_{10} 、在自約 $5\ \mu\text{m}$ 至約 $20\ \mu\text{m}$ 之範圍內之 d_{50} 及在自約 $25\ \mu\text{m}$ 至約 $100\ \mu\text{m}$ 之範圍內之 d_{90} 之一特定粒度。該等填料微粒包含氧化鈣或矽石且具有在自約 $0.25\ \mu\text{m}$ 至約 $200\ \mu\text{m}$ 之

範圍內之一粒度(d_{50})。該粉狀矽酸鈣包括合成矽灰石、假矽灰石、矽鈣石、鈣黃長石、矽酸二鈣及矽酸三鈣中之一或更多者。

【0033】 在某些實施例中，該濕混合物進一步包括：控凝劑、氣泡穩定劑及分散/黏性改質劑。在某些實施例中，該濕混合物進一步包括選自分散、流變改質摻合物、顏料、緩速劑及加速劑之添加劑。

【0034】 在某些實施例中，形成濕混合物之步驟包含以下步驟（以指定添加次序混合以下成分）：添加一預定部分之水；添加且混合控凝摻合物；添加且混合分散/黏性改質劑；添加且混合粉狀矽酸鈣；添加且混合填料微粒以形成均勻漿液；及添加且混合充氣劑。

【0035】 在某些實施例中，該濕混合物包含以指定百分比混合之以下成分（濕混合物之重量%）：約 40 重量%至約 95 重量%（例如，約 40 重量%至約 95 重量%、約 50 重量%至約 95 重量%、約 60 重量%至約 95 重量%、約 70 重量%至約 95 重量%、約 40 重量%至約 90 重量%、約 40 重量%至約 80 重量%、約 40 重量%至約 70 重量%、約 40 重量%至約 60 重量%）之粉狀矽酸鈣、約 0 重量%至約 30 重量%（例如，約 0 重量%至約 25 重量%、約 0 重量%至約 20 重量%、約 0 重量%至約 15 重量%、約 0 重量%至約 10 重量%、約 5 重量%至約 30 重量%、約 10 重量%至約 30 重量%、約 15 重量%至約 30 重量%、約 20 重量%至約 30 重量%）之填料微粒、約 0 重量%至約 0.05 重量%（例如，約 0 重量%至約 0.03 重量%、約 0 重量%至約

0.02 重量%、約 0.01 重量%至約 0.05 重量%、約 0.02 重量%至約 0.05 重量%、約 0.03 重量%至約 0.05 重量%) 之控凝摻合物、約 0.05 重量%至約 0.25 重量% (例如, 約 0.05 重量%至約 0.20 重量%、約 0.05 重量%至約 0.15 重量%、約 0.05 重量%至約 0.10 重量%、約 0.10 重量%至約 0.25 重量%、約 0.15 重量%至約 0.25 重量%、約 0.20 重量%至約 0.25 重量%) 之分散/黏性改質劑, 以及約 0.05 重量%至約 0.30 重量%(例如, 約 0.05 重量%至約 0.25 重量%、約 0.05 重量%至約 0.20 重量%、約 0.05 重量%至約 0.15 重量%、約 0.05 重量%至約 0.10 重量%、約 0.15 重量%至約 0.30 重量%、約 0.20 重量%至約 0.30 重量%、約 0.25 重量%至約 0.30 重量%) 之充氣劑。

【0036】 在某些實施例中, 第一部分之水佔濕混合物中之總水含量之約 60%至約 95% (例如, 約 60%至約 90%、約 60%至約 80%、約 60%至約 70%、約 70%至約 95%、約 80%至約 95%、約 90%至約 95%) 且第二部分之水佔濕混合物中之總水含量之約 5%至約 40% (例如, 約 5%至約 30%、約 5%至約 20%、約 5%至約 10%、約 10%至約 40%、約 15%至約 40%、約 20%至約 40%、約 30%至約 40%)。在某些實施例中, 第一部分之水佔濕混合物中之總水含量之約 90% 且第二部分之水佔濕混合物中之總水含量之約 10%。

【0037】 在某些實施例中, 在範圍自周圍大氣壓力至高於周圍大氣壓力約 30 psi 之壓力下且在範圍自約 25%至約 99.5% (例如, 自約 50%至約 99.5%、自約 60%至約 99.5%、自約 70%至約 99.5%、自約 80%至約 99.5%、自約 90%至約 99.5%、

自約 25%至約 99%、自約 25%至約 90%、自約 25%至約 80%、自約 50%至約 90%、自約 50%至約 80%、自約 50%至約 60%) 之 CO₂ 濃度下執行預固化經膨脹混合物之步驟以生產充氣複合材料。

【0038】 在某些實施例中，在包含水及 CO₂ 之蒸汽下於自約 20°C 至約 80°C（例如，自約 20°C 至約 70°C、自約 20°C 至約 60°C、自約 30°C 至約 80°C、自約 40°C 至約 80°C、自約 50°C 至約 80°C、自約 60°C 至約 80°C）之範圍內之溫度下執行預固化步驟達約 1 小時至約 10 小時（例如，約 1 小時至約 8 小時、約 1 小時至約 6 小時、約 1 小時至約 4 小時、約 2 小時至約 10 小時、約 4 小時至約 10 小時、約 6 小時至約 10 小時）。在某些實施例中，在包含水及 CO₂ 之蒸汽下於約 60°C 之溫度下執行預固化步驟達約 1 小時至約 5 小時（例如，約 2 小時、3 小時、4 小時、5 小時）。

【0039】 在某些實施例中，在包含水及 CO₂ 且具有在自約周圍大氣壓力至高於周圍大氣壓力約 30 psi（例如，自約周圍大氣壓力至高於周圍大氣壓力約 20 psi、自約周圍大氣壓力至高於周圍大氣壓力約 10 psi、自高於周圍大氣壓力約 10 psi 至高於周圍大氣壓力約 30 psi）之範圍內之壓力之蒸汽下在自約 20°C 至約 80°C（例如，自約 20°C 至約 70°C、自約 20°C 至約 60°C、自約 30°C 至約 80°C、自約 40°C 至約 80°C、自約 50°C 至約 80°C、自約 60°C 至約 80°C）之範圍內之溫度下執行進一步固化該經預固化物件之步驟達約 5 小時至約 40 小時（例如，約 5 小時至約 30 小時、約 5 小時至約 20 小時、約 5 小

時至約 15 小時、約 10 小時至約 40 小時、約 15 小時至約 40 小時、約 20 小時至約 40 小時）。

【0040】 在某些實施例中，在包含水及 CO₂ 且具有在自約周圍大氣壓力至高於周圍大氣壓力約 60 psi（例如，約周圍大氣壓力至高於周圍大氣壓力約 60 psi、約周圍大氣壓力至高於周圍大氣壓力約 50 psi、約周圍大氣壓力至高於周圍大氣壓力約 40 psi、約周圍大氣壓力至高於周圍大氣壓力約 30 psi、約周圍大氣壓力至約高於周圍大氣壓力 20 psi、高於周圍大氣壓力約 10 psi 至高於周圍大氣壓力約 60 psi、高於周圍大氣壓力約 20 psi 至高於周圍大氣壓力約 60 psi、高於周圍大氣壓力約 30 psi 至高於周圍大氣壓力約 60 psi、高於周圍大氣壓力約 40 psi 至高於周圍大氣壓力約 60 psi）之範圍內之壓力之蒸汽下在自約 30°C 至約 70°C（例如，自約 30°C 至約 60°C、自約 30°C 至約 50°C、自約 30°C 至約 40°C、自約 40°C 至約 70°C、自約 50°C 至約 70°C、自約 60°C 至約 70°C、自約 30°C 至約 60°C）之範圍內之溫度下執行進一步固化該經預固化物件之步驟達約 10 小時至約 30 小時（例如，約 10 小時至約 25 小時、約 10 小時至約 20 小時、約 10 小時至約 15 小時、約 15 小時至約 30 小時、約 20 小時至約 30 小時）。

【0041】 在某些實施例中，在動態 CO₂ 循環流條件下執行預固化及進一步固化步驟。

【0042】 固化製程之相對濕度環境可經調整以適合例如範圍自約 50%至約 98%（例如，自約 60%至約 98%、自約 70%至約 98%、自約 80%至約 98%、自約 90%至約 98%、自約 50%

至約 90%、自約 50%至約 80%、自約 50%至約 70%) 之所要產出以生產展現均勻、均質且高孔隙度結構之充氣複合材料。

【0043】 在某些實施例中，該製程進一步包含以下步驟：在固化經預固化物件之後，在自約 20°C 至約 110°C（例如，自約 20°C 至約 100°C、自約 20°C 至約 90°C、自約 20°C 至約 80°C、自約 20°C 至約 70°C、自約 20°C 至約 60°C、自約 30°C 至約 110°C、自約 40°C 至約 110°C、自約 50°C 至約 110°C、自約 60°C 至約 100°C）之範圍內之溫度下乾燥經固化物件達約 12 小時至約 96 小時（例如，約 12 小時至約 72 小時、約 12 小時至約 60 小時、約 12 小時至約 48 小時、約 12 小時至約 36 小時、約 12 小時至約 24 小時、約 24 小時至約 96 小時、約 36 小時至約 96 小時、約 36 小時至約 48 小時）以移除殘餘水。

【0044】 在某些實施例中，在該固化步驟結束時之強度給予組分主要由碳酸鈣（ CaCO_3 或方解石）以及非晶矽酸鈣相，及少量矽酸鈣水化物(C-S-H)凝膠及氫氧化鈣(CH)組成。

【0045】 因此，固化條件之各種組合可經設計以實現所要生產製程，包括經變化反應溫度、壓力及反應時長。

【0046】 在某些實施例中，粉狀矽酸鈣係選自矽灰石、假矽灰石、矽鈣石、矽酸二鈣及矽酸三鈣。

【0047】 在某些實施例中，粉狀矽酸鈣或合成矽灰石由均等、1:1 或 2:1 比例之粉狀矽灰石（CS）、假矽灰石、矽鈣石（ C_3S_2 ）、鈣黃長石（ C_2AS ）、矽酸二鈣（ C_2S ）及矽酸三鈣（ C_3S ）以及某些微量雜質組成，其中根據水泥化學家符號(CCN)，「C」係指氧化鈣或石灰，「S」係指二氧化矽或矽石，

「A」係指氧化鋁或鈰土。

【0048】 粉狀矽酸鈣之特徵在於在自約 0.25 μm 至約 5 μm （例如，自約 0.25 μm 至約 4 μm 、自約 0.25 μm 至約 3 μm 、自約 0.25 μm 至約 2 μm 、自約 0.25 μm 至約 1 μm 、自約 0.5 μm 至約 5 μm 、自約 1 μm 至約 5 μm 、自約 2 μm 至約 5 μm ）之範圍內之 d_{10} 、在自約 5 μm 至約 20 μm （例如，自約 5 μm 至約 15 μm 、自約 5 μm 至約 10 μm 、自約 10 μm 至約 20 μm 、自約 15 μm 至約 20 μm ）之範圍內之 d_{50} ，以及在自約 25 μm 至約 100 μm （例如，約 25 μm 至約 80 μm 、約 25 μm 至約 70 μm 、約 25 μm 至約 60 μm 、約 25 μm 至約 50 μm 、約 40 μm 至約 100 μm 、約 50 μm 至約 100 μm 、約 60 μm 至約 100 μm 、約 70 μm 至約 100 μm ）之範圍內之 d_{90} 。

【0049】 可使用任何適合填料微粒，例如含氧化鈣或或含矽石之材料。示例性填料微粒包括石灰、石英（包括砂）、矽灰石、硬矽鈣石、燃油頁岩、飛灰或火山灰、來自窯爐之煙囪塵、粉狀黏土、浮石塵。亦可使用諸如工業廢棄材料（例如，飛灰、礦渣、矽灰）之材料作為填料。在某些較佳實施例中，亦可使用輕質骨料（諸如，珍珠岩或蛭石）作為填料。在某些較佳實施例中，填料微粒由富氧化鈣材料（諸如，粉狀石灰）組成。

【0050】 如在本文中所使用，術語「石灰」係指其中氧化鈣或氫氧化鈣佔主導之天然生成或合成之無機材料。

【0051】 如在本文中所使用，術語「石英」係指任何基於 SiO_2 之材料，包括常用之砂（建築施工及磚石工程），以及玻璃

及回收玻璃。該術語亦包括含有顯著量的 SiO_2 之任何其他回收、天然及合成材料（例如，有時化學式為 $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$ 之雲母）。

【0052】 填料微粒包含氧化鈣或矽石且具有在自約 $0.25\ \mu\text{m}$ 至約 $200\ \mu\text{m}$ （例如，自約 $0.25\ \mu\text{m}$ 至約 $150\ \mu\text{m}$ 、自約 $0.25\ \mu\text{m}$ 至約 $100\ \mu\text{m}$ 、自約 $0.25\ \mu\text{m}$ 至約 $50\ \mu\text{m}$ 、自約 $0.25\ \mu\text{m}$ 至約 $20\ \mu\text{m}$ 、自約 $0.25\ \mu\text{m}$ 至約 $10\ \mu\text{m}$ 、自約 $0.5\ \mu\text{m}$ 至約 $200\ \mu\text{m}$ 、自約 $1\ \mu\text{m}$ 至約 $200\ \mu\text{m}$ 、自約 $5\ \mu\text{m}$ 至約 $200\ \mu\text{m}$ 、自約 $10\ \mu\text{m}$ 至約 $200\ \mu\text{m}$ 、自約 $20\ \mu\text{m}$ 至約 $200\ \mu\text{m}$ 、自約 $50\ \mu\text{m}$ 至約 $200\ \mu\text{m}$ ）之範圍內之粒度(d_{50})。

【0053】 在某些實施例中，填料微粒係選自具有範圍自約 $0.5\ \mu\text{m}$ 至約 $300\ \mu\text{m}$ （例如，自約 $1\ \mu\text{m}$ 至約 $300\ \mu\text{m}$ 、自約 $5\ \mu\text{m}$ 至約 $300\ \mu\text{m}$ 、自約 $10\ \mu\text{m}$ 至約 $300\ \mu\text{m}$ 、自約 $50\ \mu\text{m}$ 至約 $300\ \mu\text{m}$ 、自約 $100\ \mu\text{m}$ 至約 $300\ \mu\text{m}$ 、自約 $0.5\ \mu\text{m}$ 至約 $200\ \mu\text{m}$ 、自約 $0.5\ \mu\text{m}$ 至約 $100\ \mu\text{m}$ 、自約 $0.5\ \mu\text{m}$ 至約 $50\ \mu\text{m}$ 、自約 $0.5\ \mu\text{m}$ 至約 $20\ \mu\text{m}$ 、自約 $0.5\ \mu\text{m}$ 至約 $10\ \mu\text{m}$ 、自約 $0.5\ \mu\text{m}$ 至約 $5\ \mu\text{m}$ ）之粒度之飛灰、爐底灰、礦渣。

【0054】 在某些實施例中，填料微粒係選自具有範圍自約 $1\ \mu\text{m}$ 至約 $500\ \mu\text{m}$ （例如，自約 $1\ \mu\text{m}$ 至約 $400\ \mu\text{m}$ 、自約 $1\ \mu\text{m}$ 至約 $300\ \mu\text{m}$ 、自約 $1\ \mu\text{m}$ 至約 $200\ \mu\text{m}$ 、自約 $1\ \mu\text{m}$ 至約 $100\ \mu\text{m}$ 、自約 $1\ \mu\text{m}$ 至約 $50\ \mu\text{m}$ 、自約 $1\ \mu\text{m}$ 至約 $30\ \mu\text{m}$ 、自約 $5\ \mu\text{m}$ 至約 $500\ \mu\text{m}$ 、自約 $10\ \mu\text{m}$ 至約 $500\ \mu\text{m}$ 、自約 $20\ \mu\text{m}$ 至約 $500\ \mu\text{m}$ 、自約 $50\ \mu\text{m}$ 至約 $500\ \mu\text{m}$ 、自約 $100\ \mu\text{m}$ 至約 $500\ \mu\text{m}$ 、自約 $200\ \mu\text{m}$ 至約 $500\ \mu\text{m}$ ）之粒度之石灰石、微矽石及石英。

【0055】 在某些實施例中，填料微粒係選自具有範圍自約 20 μm 至約 500 μm （例如，自約 20 μm 至約 400 μm 、自約 20 μm 至約 300 μm 、自約 20 μm 至約 200 μm 、自約 20 μm 至約 100 μm 、自約 50 μm 至約 500 μm 、自約 100 μm 至約 500 μm 、自約 200 μm 至約 500 μm 、自約 300 μm 至約 500 μm ）之粒度之輕質骨料。

【0056】 在某些實施例中，控凝摻合物係選自葡萄糖酸鹽及蔗糖。在某些實施例中，分散性/黏性改質劑係基於聚羧酸鹽之材料。

【0057】 在示例性實施例中，粉狀矽酸鈣係粉狀矽灰石，填料微粒包含粉狀石灰石及矽石，活化劑係粉狀石灰，控凝摻合物係葡萄糖酸鹽，黏性改質劑係基於聚羧酸鹽之材料，且充氣劑係鋁漆料。

【0058】 複數個孔隙用於減小充氣複合材料之總體密度，同時提供促進複合材料之均勻及快速固化之三維多孔網路。複數個孔隙可佔充氣複合材料之總體積之任何適合分數（取決於所要性質及即將之應用）。舉例而言，複數個孔隙可佔充氣複合材料之總體積之約 50 體積%至約 80 體積%（例如，自約 60 體積%至約 80 體積%、自約 65 體積%至約 80 體積%、約 60%、約 65%、約 70%、約 75%、約 80%）。

【0059】 複數個孔隙係由充氣劑產生之氣態材料致使。在某些較佳實施例中，充氣劑包括能夠與酸反應以產生氣態氫之金屬。示例性充氣劑包括：鋁粉或漿糊、鐵粉、鋅粉、碳化鈣粉及過氧化氫，或以上之混合物。充氣劑可具有任何適合

大小，例如範圍自約 10 μm 至約 50 μm （例如，自約 10 μm 至 40 μm 、自約 10 μm 至 30 μm 、自約 10 μm 至 20 μm 、自約 15 μm 至 40 μm 、自約 15 μm 至 30 μm 、自約 20 μm 至 40 μm 、大於約 40 μm ）。

【0060】 在另一態樣中，本發明大體係關於一種藉由根據本發明之製程生產之製品。

【0061】 充氣複合材料及/或製品可以自約 300 kg/m^3 至約 1500 kg/m^3 （例如，約 300 kg/m^3 至 1200 kg/m^3 、約 300 kg/m^3 至 1000 kg/m^3 、約 300 kg/m^3 至 900 kg/m^3 、約 400 kg/m^3 至 1200 kg/m^3 、約 400 kg/m^3 至 1000 kg/m^3 、約 400 kg/m^3 至 900 kg/m^3 、約 500 kg/m^3 至 1200 kg/m^3 、約 500 kg/m^3 至 1000 kg/m^3 ）之密度為特徵。

【0062】 本發明之充氣複合材料展現優良壓縮強度。舉例而言，充氣複合材料及/或製品可以自約 2.0 MPa 至約 8.5 MPa（例如，自約 2.0 MPa 至約 6.0 MPa、自約 2.0 MPa 至約 5.0 MPa、自約 3.0 MPa 至約 8.5 MPa、自約 3.0 MPa 至約 6.0 MPa、自約 3.0 MPa 至約 5.0 MPa、自約 4.0 MPa 至約 8.5 MPa）之壓縮強度為特徵。

【0063】 本發明之充氣複合材料亦展現優良撓曲強度。舉例而言，充氣複合材料及/或製品可以自約 0.4 MPa 至約 1.7 MPa（例如，自約 0.7 MPa 至約 1.7 MPa、自約 1.0 MPa 至約 1.7 MPa、自約 1.2 MPa 至約 1.7 MPa、自約 1.0 MPa 至約 1.5 MPa、自約 1.2 MPa 至約 1.5 MPa）之撓曲強度為特徵。

【0064】 在示例性實施例中，充氣複合材料展現自約 400

kg/m³ 至 1200 kg/m³ 之密度、自約 3.0 MPa 至約 6.0 MPa 之壓縮強度，以及自約 0.66 MPa 至約 1.32 MPa 之撓曲強度。在某些實施例中，充氣複合材料展現自約 500 kg/m³ 至 1000 kg/m³ 之密度、自約 4.0 MPa 至約 6.0 MPa 之壓縮強度，以及自約 0.88 MPa 至約 1.32 MPa 之撓曲強度。

【0065】 可製備充氣複合材料以展現所要密度及機械性質（例如，滿足或超過根據 ASTM C1693-11 之用於充氣混凝土之強度等級之規範）。

表 1. ASTM 分類			
強度等級	壓縮強度 psi (MPa) 最小	標稱乾燥容 積密度 kg/m ³ 下限	密度極限 kg/m ³ 上限
AAC-2	290 (2.0)	350	550
AAC-3	435 (3.0)	450	650
AAC-4	580 (4.0)	450	650
AAC-5	725 (5.0)	550	750
AAC-6	870 (6.0)	550	750

【0066】 在又一態樣中，本發明通常係關於一種充氣複合材料，該充氣複合材料包括：（1）複數個黏結元素，該等黏結元素以在自約 0.25 μm 至約 5 μm 之範圍內之 d₁₀、在自約 5 μm 至約 20 μm 之範圍內之 d₅₀ 及在自約 25 μm 至約 100 μm 之範圍內之 d₉₀ 之特定粒度為特徵；（2）複數個填料微粒，該等填料微粒具有在自約 0.5 μm 至約 500 μm 之範圍內之粒度；及（3）複數個孔隙。每一黏結元素包含：包含主要矽酸鈣之芯、富矽石第一或內層，以及富碳酸鈣第二或外層。該複數

個黏結元素及該複數個填料微粒一起形成一或更多個黏結基質，且該等黏結元素及該等填料微粒係實質上均勻分散於該等黏結基質中且黏結在一起。該複數個孔隙係氣泡狀的及/或互連通道佔該複合材料之約 50 體積%至約 80 體積%。該充氣複合材料展現自約 300 kg/m³ 至約 1500 kg/m³ 之密度、自約 2.0 MPa 至約 8.5 MPa 之壓縮強度以及自約 0.4 MPa 至約 1.7 MPa 之撓曲強度。

【0067】 在某些實施例中，該複數個黏結元素係藉由經由受控制水熱液相燒結製程使前驅物矽酸鈣（而非矽灰石）與 CO₂ 反應自該前驅物矽酸鈣化學上轉化。在某些實施例中，該複數個黏結元素係自包含鋁、鎂及鐵中之一或更多者之前驅物矽酸鈣化學上轉化。

【0068】 充氣複合材料可進一步包括一或更多個添加劑以將產品之外觀、物理或機械性質改質。示例性添加劑包括流變改質摻合物、顏料、緩速劑及加速劑。

【0069】 在某些實施例中，取決於所要複合材料，顏料可均勻分散於或實質上不均勻分散於黏結基質中。顏料可為任何適合顏料，包括例如各種金屬之氧化物（例如，黑色氧化鐵、氧化鈷及氧化鉻）。顏料可具有任何一個或多個色彩，例如選自黑色、白色、藍色、灰色、粉紅色、綠色、紅色、黃色及棕色之色彩。取決於所要複合材料，顏料可以任何適合量存在，例如以按重量計範圍自約 0.0%至約 10%（例如，約 0.0%至約 8%、約 0.0%至約 6%、約 0.0%至約 5%、約 0.0%至約 4%、約 0.0%至約 3%、約 0.0%至約 2%、約 0.0%至約 1%、約 0.0%

至約 0.5%、約 0.0%至約 0.3%、約 0.0%至約 2%、約 0.0%至約 0.1%) 之量存在。

【0070】 本發明之充氣複合材料可用於製造各種大小及尺寸之大範圍產品，該等產品包括例如標準塊體、夾芯塊體、包層塊體、爐壁及擋火塊體、過梁塊體、凹凸槽塊體、壁板、地板、頂板、板材、側線、門框、圍牆、裝飾及風景設計產品、停車場等。各種產品可藉由不需要蒸壓釜且適於持續大規模生產之製程使用廣泛可得之低成本原材料生產。生產方法與習知充氣混凝土相比在經濟及環境影響方面經很大程度改良。

黏結元素、黏結材料及複合材料

化學論述

【0071】 本發明提供用於製造主要藉由 CO_2 消耗反應固化之新穎複合材料之設備及方法。材料展現有用性質且可容易地藉由適於以最小環境影響大規模生產之製程使用廣泛可得之低成本前驅物材料生產。前驅物材料包括廉價且豐富之富矽酸鈣材料、細微粒及粗微粒。富矽酸鈣材料可由粉狀矽灰石組成。細微粒及粗微粒可由粉狀石灰石或其他基於碳酸鈣材料、粉狀石英或其他基於 SiO_2 材料、砂及經壓碎岩石組成。細微粒及粗微粒亦可由經壓碎礦物（諸如，花崗岩、雲母及長石）組成。其他製程組分包括水及 CO_2 。各種添加劑可用於改質及微調所得之複合材料之實體外觀及/或機械性質，該等添加劑諸如選自顏料（例如，黑色氧化鐵、氧化鈷及氧化鉻）、著色玻璃及/或著色石英中之一或更多者之添加劑。亦

可使用關於水用量減少且流變學改變之添加劑。

【0072】 如本文所揭示，可使用能量高效之水熱液相燒結 (HLPS) 製程生產複合材料以產生將複合材料之各種組分固持在一起之黏結元素。可以低成本及有利環境影響製造複合材料。舉例而言，在本發明之較佳實施例中，CO₂ 用作反應性物種，造成在所生產之複合材料中埋存 CO₂ 且產生黏結元素，其中碳排放量優勢係任何現有生產技術無法匹敵的。HLPS 製程由一或更多個化學反應之自由能及晶體生長致使之表面能（面積）之降低而熱力學地驅動。由於使用溶液（水溶液或非水溶液）而非使用高熔點流體或高溫固態介質來輸送反應性物種，因此 HLPS 製程之動力學在低溫下以合理速率進行。

【0073】 對 HLPS 之各種特徵結構之論述可在以下申請案中發現：美國專利第 8,114,367 號、美國公開案第 US 2009/0143211 號（申請案序列號 12/271,566）、美國公開案第 US 2011/0104469 號（申請案序列號 12/984,299）、美國公開案第 2009/0142578 號（申請案序列號 12/271,513）、美國公開案第 2013/0122267 號（申請案序列號 13/411,218）、美國公開案第 2012/0312194 號（申請案序列號 13/491,098）、WO 2009/102360 (PCT/US2008/083606)、WO 2011/053598 (PCT/US2010/054146)、WO 2011/090967 (PCT/US2011/021623)、於 2012 年 10 月 1 日提出申請之美國臨時專利申請案第 61/708,423 號，以及均於 2013 年 10 月 3 日提出申請之美國專利申請案第 14/045,758、14/045,519、14/045,766、14/045,540 號、於 2014 年 3 月 12 日提出申請之美

國專利申請案第 14/207,413、14/207,421 號、於 2014 年 3 月 13 日提出申請之美國專利申請案第 14/207,920、14/209,238 號、於 2014 年 6 月 4 日提出申請之美國專利申請案第 14/295,601、14/295,402 號，以上申請案中之每一者出於所有目的以全文引用之方式明確併入本文中。

【0074】 如在本文中所使用，術語「矽酸鈣」係指由包括以下各項之含鈣-矽化合物之群組中之一或更多者組成之天然生成礦物或合成材料： CS （矽灰石或假矽灰石，且有時化學式為 CaSiO_3 或 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ）、 C_3S_2 （矽鈣石，且有時化學式為 $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ 或 $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ）、 C_2S （矽酸二鈣、 $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ 或斜矽鈣石、 $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ 或變矽灰石、 $\alpha\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ 或 $\gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ ，且有時化學式為 Ca_2SiO_4 或 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ）、富矽酸鈣非晶相，以上材料中之每一者可包括一或更多個其他金屬離子及氧化物（例如，鋁、鎂、鐵或錳氧化物）或以上之摻合物，或可包括按重量計範圍自微量(1%)至約 50%或更多之一定量之天然生成或合成型式之矽酸鎂。第 1 圖至第 8 圖係展示所描述之材料中之一些材料間之各種相之相互關係之相圖。

【0075】 含鈣-矽化合物亦可包括晶態及非晶態矽酸鈣相，該含鈣-矽化合物亦可由基於鐵、氧化鎂、鉀、鈉及氧化鋁之其他化合物組成。

【0076】 應理解，採用本文所揭示之組合物及方法使用矽酸鎂代替矽酸鈣或除矽酸鈣之外亦使用矽酸鎂。如在本文中所使用，術語「矽酸鎂」係指由包括以下各項之含鎂-矽化合物之群組中之一或更多者組成之天然生成礦物或合成材料：例

如， Mg_2SiO_4 （亦稱為「鎂橄欖石」）、 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ （亦稱為「滑石」）及 CaMgSiO_4 （亦稱為「鈣鎂橄欖石」），以上材料中之每一者可包括一或更多個其他金屬離子及氧化物（例如，鈣、鋁、鐵或錳氧化物）或以上之摻合物，或可包括按重量計範圍自微量(1%)至約 50%或更多之一定量之天然生成或合成型式之矽酸鈣。

【0077】 如在本文中所使用，術語「石英」係指基於 SiO_2 之任何材料，包括常見砂（建築施工及磚石工程），以及玻璃及回收玻璃。該術語亦包括含有顯著量之 SiO_2 之任何其他回收、天然及合成材料（例如，有時化學式為 $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ 之雲母）。

【0078】 在某些較佳實施例中，藉由經由氣體輔助之 HLPS 製程使粉狀矽酸鈣組合物與 CO_2 反應自該粉狀矽酸鈣組合物之化學轉化製備複數個黏結元素。

【0079】 在某些實施例中，複合材料之特徵在於自約 90 MPa 至約 175 MPa（例如，約 90 MPa 至約 150 MPa、約 90 MPa 至約 140 MPa、約 90 MPa 至約 130 MPa、約 90 MPa 至約 120 MPa、約 90 MPa 至約 110 MPa、約 100 MPa 至約 175 MPa、約 120 MPa 至約 175 MPa、約 130 MPa 至約 175 MPa、約 140 MPa 至約 175 MPa、約 150 MPa 至約 175 MPa、約 160 MPa 至約 175 MPa）之壓縮強度。

【0080】 在某些實施例中，複合材料之特徵在於自約 5 MPa 至約 30 MPa（例如，約 5 MPa 至約 25 MPa、約 5 MPa 至約 20 MPa、約 5 MPa 至約 15 MPa、約 5 MPa 至約 10 MPa、約

10 MPa 至約 30 MPa、約 20 MPa 至約 30 MPa、約 25 MPa 至約 30 MPa) 之撓曲強度。

【0081】 在某些實施例中，複合材料之特徵在於小於約 10% (例如，小於約 8%、5%、4%、3%、2%,或 1%) 之吸水率。

【0082】 複合材料可顯示所要紋理、圖案及實體性質中之一或更多者，特定而言係天然石之特性之彼等紋理、圖案及物理性質。在某些較佳實施例中，複合材料展現類似於天然石之視覺圖案。其他特性包括顏色 (例如，黑色、白色、藍色、粉紅色、灰色 (淺灰至深灰)、綠色、紅色、黃色、褐色、青色 (藍綠色) 或紫色) 及紋理。

設備及製程論述

CO₂ 控制

【0083】 在所描述之實施例中，使用由多個不同工業用氣公司 (諸如Praxair, Inc.、Linde AG、Air Liquide及其他) 提供之約99%純度之工業級CO₂。此供應可以在一溫度下經調節使得維持約300 PSIG之蒸氣壓之液態二氧化碳形式儲存在大的經加壓儲罐中。隨後將此氣體用管道輸送至CO₂固化之外殼或腔室。在最簡單之系統中，CO₂以足以置換外殼中之周圍空氣之速率流經該外殼。一般而言，沖洗時間將取決於外殼之大小及提供CO₂氣體之速率。在諸多系統中，可以分鐘量測之時間執行空氣之沖洗外殼之此製程以使CO₂濃度達到合理位準，使得其後可執行固化。在簡單系統中，隨後以預定速率饋送CO₂氣體至系統中，以便維持足以驅動固化反應之CO₂濃度。

【0084】 舉例而言，現在描述一種用於在反應期間保持二氧化碳濃度之方法，該方法非常適於保持高度一致之濃度，儘管該方法係趨向於最昂貴技術之「閉環」製程。此方法使用對系統中之 CO_2 濃度之直接量測，且此方法採用諸如 PLC 之控制器來利用電子/自動控制閥控制設定點處之 CO_2 濃度。應較佳地採用直接量測 CO_2 之量測技術（諸如，NDIR）。在 NDIR 量測方法中，經由低流泵自系統抽取氣體取樣流。冷卻器用於在 NDIR 工具取樣氣流之前自該氣流移除水分。因而，由分析器提供之量測正在錯失氣流之水汽組分且需要經調整以計及已經自測試樣本移除之濕氣。可使用幹球-濕球濕度計技術、使用幹球-濕球濕度量測裝置或使用不同類型之水分感測器執行對系統氣流中之濕度之量測。可使用電腦控制系統或 PLC 計算真實 CO_2 濃度。一旦真實 CO_2 濃度係已知的，當幹 CO_2 已經消耗且變為在彼時所要的設定點以下時，經致動比例控制閥便可將該幹 CO_2 添加至系統中。在各種實施例中，該設定點可基於複合材料樣品之特定固化組合物、形狀及大小之經驗而隨時間變化（必要時）。

濕度控制

【0085】 第 9 圖係根據本發明之原理的提供增濕之 CO_2 複合材料固化腔室之示意圖。在第 9 圖中，提供水源且將水汽添加至在固化腔室內循環之氣氛。水可為任何便利之飲用水源。在一些實施例中，使用普通自來水。在一些實施例中，水可藉由流經彌霧噴嘴或霧化噴霧噴嘴、電蒸汽產生器、燃氣蒸汽產生器或藉由在腔室中加熱至高於氣體溫度以便自液

態水源蒸發而轉化為蒸汽，一實例係具有浸沒式加熱器之鼓式反應器。在又一實施例中，CO₂源可在經由經加熱水源起泡之後流至系統中以增加進氣流之相對濕度，一實例係經配置用於「流經」或「開環」處理之鼓式反應器。

【0086】 相對濕度係傳統混凝土固化以及 CO₂ 複合材料固化兩者中之重要參數。在傳統固化腔室中，存在主要由氮氣、氧氣及水汽組成之潮濕空氣氣氛。在此等系統中，相對濕度最常見地由標準電容感測器技術量測。然而，CO₂ 固化腔室具有主要地由與此等感測器中之一些類型感測器不相容之二氧化碳組成的氣氛。感測技術（諸如，利用二氧化碳與水汽之濕度比之幹球-濕球技術，或偶極極化水汽量測儀錶，或冷鏡式濕度計，或電容性濕度感測器）可用於本文描述之 CO₂ 複合材料固化系統中。

【0087】 取決於被固化產品之類型及幾何形狀、腔室之設計及腔室中之產品之充填效率，濕度可能需要經減少或增加及調節至指定設定點。設定點可在自 1%至 99%的相對濕度之範圍內之任何處。可在可組合至單個系統中之 CO₂ 複合材料固化製程中存在用於濕度控制之三種不同方法。在 CO₂ 固化系統之一個實施例中之一種增濕方法表示於**第 9 圖**中。另一方法允許自系統移除濕氣以利用 CO₂ 固化複合材料產品。降低相對濕度之簡單方法係藉由用乾燥氣體（諸如，二氧化碳）置換系統中之潮濕氣體。在又一實施例中，可降低相對濕度且因而藉由非沖洗方法（在一個較佳實施例中，該方法係執行水萃取之冷卻式熱交換器）自氣體移除水汽。

【0088】 第 10 圖係根據本發明之原理具有多個濕度控制方法以及使用恆流或壓力調節控制及再裝滿 CO₂ 之能力且可控制溫度之固化腔室之示意圖。此系統係可提供閉環控制或使用回饋之控制之系統之實例，在此實例中，提供在製程循環中之特定時間處所要之操作參數（諸如，CO₂ 濃度、濕度及溫度）之設定值，且採取量測以瞭解所控制之參數之實際值是否係所要值。若量測到與所要值偏離，則採取校正動作以使參數值與所要值一致。此等控制系統可係昂貴的及複雜的，且可對於高價值產品或要求非常精確製程條件之產品係有用的。

溫度控制

【0089】 在一些實施例中，利用諸如熱電偶或 RTD 之感測器量測溫度。將量測信號引導回到能夠將能量調節至熱交換器中且從而隨時間調整整個系統之溫度之控制器或電腦。鼓風機係加熱裝置之重要組件，此乃因該鼓風機能夠有助於將熱能傳遞至氣體，該氣體傳遞至產品及腔室本身，係樣本之受控制濕氣之重要部分。加熱方法可係電的或燃氣的。套式加熱器可用於控制流經與加熱套接觸之腔室之 CO₂ 的溫度，可使用任何便利熱源。外部加熱之手段可包括（但不限於）電加熱、熱水加熱或熱油加熱。對於 CO₂ 固化腔室，至今已利用間接燃氣系統，且避免直接燃氣燃燒器，此乃因該等直接燃氣燃燒器將空氣及燃燒產物引進系統中，從而稀釋 CO₂ 且使得控制 CO₂ 濃度成為問題。一些較小尺寸系統（諸如，鼓式反應器）利用電套式加熱器來加熱腔室之整個表面而非腔

室內之加熱元件。

氣流控制

【0090】 另一控制參數係跨將在系統中固化之材料之氣體速度。氣體速度可很大程度上取決於製程設備變量，包括（但不限於）腔室設計、擋板設計、風扇大小、風扇速度/功率、風扇數、系統內之溫度梯度、系統內之支架設計及系統內之樣本幾何形狀。控制腔室內之氣體速度之最簡單方法係藉由調整鼓風機速度(RPM's)，通常藉由利用變頻驅動器來完成以允許控制鼓風機馬達速度。鼓風機可用於使氣體以所要速度在固化腔室中循環。在系統中經由多種不同技術（包括（但不限於）皮託管量測及雷射多普勒偵測系統）來量測系統中之氣體速度。可將氣體速度之量測信號發送回至電腦系統或可程式設計邏輯控制器且用作固化輪廓中之控制參數。

製備複合材料之製程

【0091】 描述一種用於製備複合材料之製程。該製程包括：混合微粒組合物與液體組合物以產生漿液混合物；藉由將漿液澆鑄至模具中、按壓模具中之漿液、按壓振盪模具中之漿液、擠壓漿液、滑動成型漿液或使用混凝土生產中常見之任何其他形狀成型方法來使漿液混合物形成為所要形狀，且在自約 20°C 至約 150°C 之範圍內之溫度下在包含水及 CO₂ 且具有在自約周圍大氣壓力至高於周圍大氣壓力約 50 psi 之範圍內之壓力且具有範圍自約 10%至約 90%之 CO₂ 濃度之蒸汽下固化經成型漿液混合物達約 1 小時至約 80 小時以生產展現紋理及/或圖案以及與壓縮強度、撓曲強度、密度、耐降級性等

有關之所要物理性質之複合材料。

【0092】 微粒組合物包括具有在自約 1 μm 至約 100 μm 之範圍內之中值粒度之粉狀矽酸鈣。另外，微粒組合物可包括具有在自約 3 μm 至約 25 μm 之範圍內之中值粒度之粉狀碳酸鈣或 SiO_2 攜載材料。液體組合物包括水且可包括水溶性分散劑。

【0093】 該製程可進一步包括以下步驟：在固化經澆鑄混合物之前，乾燥該經澆鑄混合物。微粒組合物進一步包含如本文所論述之顏料或著色劑。

【0094】 在某些實施例中，在自約 30°C 至約 120°C 之範圍內之溫度下在包含水及 CO_2 且具有在自約周圍大氣壓力至高於周圍大氣壓力約 30 psi 之範圍內之壓力之蒸汽下執行固化經成型漿液混合物之步驟達約 1 小時至約 70 小時。

【0095】 在某些實施例中，在自約 60°C 至約 110°C 之範圍內之溫度下在包含水及 CO_2 且具有在自約周圍大氣壓力至高於周圍大氣壓力約 30 psi 之範圍內之壓力之蒸汽下執行固化經成型漿液混合物之步驟達約 1 小時至約 70 小時。

【0096】 在某些實施例中，在自約 80°C 至約 100°C 之範圍內之溫度下在包含水及 CO_2 且具有在自約周圍大氣壓力至高於周圍大氣壓力約 30 psi 之範圍內之壓力之蒸汽下執行固化經成型漿液混合物之步驟達約 1 小時至約 60 小時。

【0097】 在某些實施例中，在等於或低於約 60°C 之溫度下在包含水及 CO_2 且具有周圍大氣壓力之蒸汽下執行固化經成型漿液混合物之步驟達約 1 小時至約 50 小時。

【0098】 舉例而言，在某些實施例中，粉狀矽酸鈣具有自約 1 μm 至約 100 μm （例如，約 1 μm 、10 μm 、15 μm 、20 μm 、25 μm 、30 μm 、40 μm 、50 μm 、60 μm 、70 μm 、80 μm 、90 μm 、100 μm ）之中值粒度、自約 0.5 g/mL 至約 3.5 g/mL（疏鬆的，例如，0.5 g/mL、1.0 g/mL、1.5 g/mL、2.0 g/mL、2.5 g/mL、2.8 g/mL、3.0 g/mL、3.5 g/mL）及約 1.0 g/mL 至約 1.2 g/mL（敲緊的）之容積密度、自約 150 m^2/kg 至約 700 m^2/kg （例如，150 m^2/kg 、200 m^2/kg 、250 m^2/kg 、300 m^2/kg 、350 m^2/kg 、400 m^2/kg 、450 m^2/kg 、500 m^2/kg 、550 m^2/kg 、600 m^2/kg 、650 m^2/kg 、700 m^2/kg ）之布萊恩表面積。

【0099】 在某些較佳實施例中，液體組合物包括水及包含具有自約 0.1% w/w 至約 2% w/w 之液體組合物濃度之聚合物鹽（例如，丙烯酸均聚物鹽）之水溶性分散劑。

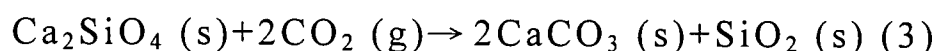
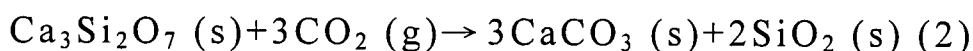
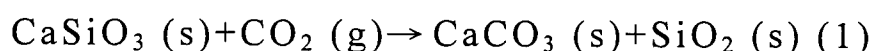
【0100】 根據本文揭示之製程製備之複合材料可展現自約 3.0 MPa 至約 30.0 MPa（例如，約 3 MPa、5 MPa、10 MPa、15 MPa、20 MPa、25 MPa、30 MPa）之壓縮強度及自約 0.3 MPa 至約 4.0 MPa（例如，約 0.3 MPa、0.5 MPa、1.0 MPa、1.5 MPa、2.0 MPa、2.5 MPa、3.0 MPa、3.5 MPa、4.0 MPa）之撓曲強度。

【0101】 亦闡述由複合材料製成之一或更多個製品。

【0102】 可採用任何適合前驅物材料，該等前驅物材料包括例如由 CS（矽灰石或假矽灰石，且有時化學式為 CaSiO_3 或 CaO SiO_2 ）、 C_3S_2 （矽鈣石，且有時化學式為 $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ 或 $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ）、 C_2S （矽酸二鈣、 $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ 或斜矽鈣石、 $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$

或「變矽灰石」、 α - Ca_2SiO_4 或 γ - Ca_2SiO_4 ，且有時化學式為 Ca_2SiO_4 或 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ）以及富矽酸鈣非晶相形成之矽酸鈣組合物微粒。誠信，自矽酸鈣組合物微粒濾取鈣陽離子且鈣陽離子將矽酸鈣組合物微粒之週邊部分轉化成缺鈣狀態。隨著繼續自微粒之週邊部分濾取鈣陽離子，週邊部分之結構最後變得不穩定且分解，從而將微粒之缺鈣週邊部分轉化成爲主要富矽石之第一層。同時，自水沉澱主要係碳酸鈣之第二層。

【0103】 更特定言之，第一層及第二層可根據以下反應(1-3)之由前驅物微粒形成，該等以下反應可使用水作爲反應介質而非作爲試劑（亦即，不消耗水）：



【0104】 舉例而言，在諸如與矽酸鈣組合物之矽酸鹽礦物碳化反應中，引入溶解至滲入流體（諸如，水）中之爲氣相之 CO_2 。 CO_2 之溶解形成造成溶液中之 pH 值減小之酸性含碳物種（諸如，碳酸、 H_2CO_3 ）。弱酸性溶液不一致地溶解來自矽酸鈣相之鈣物種。可經由類似機制自含鈣非晶相濾取鈣。經釋放鈣陽離子及經溶解碳酸鹽物種導致不溶性碳酸鹽之沉澱。富矽石層被認爲繼續保持礦物微粒作爲鈣耗盡層。

【0105】 因此，根據本發明之較佳實施例， CO_2 優先地與矽酸鈣組合物前驅物芯之鈣陽離子反應，從而將前驅物芯之週邊部分轉化成爲富矽石第一層及富碳酸鈣第二層。同時，存

在於芯上之第一層及第二層充當對矽酸鈣與二氧化碳之間之進一步反應的障壁，產生具有芯、第一層及第二層之黏結元素。

【0106】 在一些實施例中，具有除了 Ca 之外或除了 Ca 之外亦包括金屬之矽酸鹽材料（例如，鎂橄欖石(Mg_2SiO_4)、透輝石($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$)及滑石($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)）可與溶於水中之二氧化碳以類似於如上所述的矽酸鈣之反應之方式反應。威信，根據本發明之原理，此等矽酸鹽材料可單獨使用、組合使用及/或與矽酸鈣組合使用以用作黏結元素之前驅物。

【0107】 較佳地，氣體輔助 HLPS 製程利用經部分滲透之孔空間，以便使氣體擴散能夠快速地滲透多孔預成型件且用經溶解 CO_2 浸透孔中之液體介面溶劑薄膜。基於 CO_2 之物種具有溶於純水之低溶解度（在 25°C 之溫度及 1 個大氣壓下為 1.5 g/L ）。因此，大量 CO_2 必須連續供應至多孔預成型件且遍及整個多孔預成型件分佈以實現顯著碳酸鹽轉化。利用氣相擴散與在相等時間內擴散可溶性 CO_2 相比提供擴散長度之巨大（約 100 倍）增大。（「Handbook of chemistry and physics」，編者：D. R. Lide，第 6 章及第 8 章，2006-2007 第 87 版，CRC。）此部分滲透狀態使反應能夠在固定時間段內進行至高度碳化。

【0108】 孔中之液態水使反應速率加速，因為該液態水提供用於離子化碳酸及鈣物種兩者之介質。然而，水含量需要足夠低，以使得 CO_2 氣體可在溶解於孔結合水相中之前擴散至多孔基質中。此外，活性溶解多孔預成型件充當用於可膨脹

反應性晶體生長之模板。因此，黏結元素及基質可形成有最小變形及殘餘應力。此使得能夠生成諸如基礎設施及建築材料以及諸多其他應用所需之大而複雜的形狀。

【0109】 因此，固化條件（包括變化的反應溫度、反應壓力及長度）之各種組合可經設計以實現所要生產製程。在第一示例性實施例中，在前驅物材料中存在水（例如，如來自先前混合步驟之殘餘水）且提供液態水以及 CO₂ 至前驅物材料（例如，以維持水含量及/或控制蒸發水之損失），且在約 90 °C 之溫度及約 20 psig（亦即，高於周圍壓力的 20 psi）之壓力下執行固化製程達範圍自約 2 小時至 90 小時之時間。

【0110】 在第二示例性實施例中，在前驅物材料中存在水（例如，如來自先前混合步驟之殘餘水）且提供水汽以及 CO₂ 至前驅物材料（例如，以維持水含量及/或控制蒸發水之損失），且在約 90 °C 之溫度及約 20 psig（亦即，高於周圍壓力的 20 psi）之壓力下執行固化製程達範圍自約 2 小時至 90 小時之時間。

【0111】 在第三示例性實施例中，在前驅物材料中存在水（例如，如來自先前混合步驟之殘餘水）且提供水汽以及 CO₂ 至前驅物材料（例如，以維持水含量及/或控制蒸發水之損失），且在約 25 °C 至 90 °C 之溫度下及 0 psig（亦即，在周圍大氣壓力下）之壓力下執行固化製程達約 2 小時至 72 小時。

【0112】 在以上實施例中，固化複合材料物件所需之時間藉由水汽及 CO₂ 氣體擴散遍及整個物件之能力來判定。一般而言，較厚物件比較薄物件所花費之固化時間長。類似地，具有高密度（以及較少個開孔空間）之物件比具有低密度（以

及較多個開孔空間）之物件所花費之固化時間長。以下表提供固化時間如何可相對於正在製造之物件之三維之最小厚度（或壁厚度或剖面厚度）及體積密度而變化之實例。

表 2. 固化時間及最小厚度之實例

複合材料最小厚度(mm)	複合材料容積密度(g/cm ³)	近似固化時間(h)
10	2.4	2
25	1.6-2.3	8-12
75	2.1-2.3	16
100	0.4-0.8	8-12
200	1.5	72
200	2.4	72

經製造微結構之論述

【0113】 如在第 11(a)-11(c)圖中所示意性地圖示，黏結元素包括芯（由黑色內部部分表示）、第一層（由白色中間部分表示）及第二或封裝層（由外部部分表示）。第一層可包括唯一一個層或多個子層且可完全地或部分地覆蓋芯。第一層可以晶相、非晶相或以上之混合形式存在，且可在連續相中或作為離散微粒。第二層可包括唯一一個層或多個子層且亦可完全地或部分地覆蓋第一層。第二層可包括複數個微粒或可具有具最少離散微粒之連續相。

【0114】 黏結元素可展現任何大小及任何規則或不規則、實心或空心形態（取決於預期應用）。示例性形態包括：立方體、長方體、棱柱體、盤狀、棱錐形、多面體或多層面微粒、圓柱狀、球形、圓錐體、環狀、管狀、新月狀、針狀、纖維

狀、絲狀、片狀、球狀、半球狀、珠狀、葡萄狀、粒狀、長橢圓形、棒條狀、波紋狀等。

【0115】 一般而言，如在本文更詳細地論述，經由轉化製程自反應性前驅物材料（例如，前驅物微粒）生產黏結元素。前驅物微粒可具有任何大小與形狀，只要該等前驅物微粒滿足預期應用之需要即可。轉化製程通常導致對應黏結元素具有前驅物微粒之類似大小及形狀。

【0116】 在黏結基質內，黏結元素可相對於彼此定位於多個方位中之任何一者中。第 12(a)圖至第 12(f)圖示意性地圖示包括在不同方位中之可能藉由併入填料金屬而稀釋（如由黏結元素之間的間距所表示）之纖維狀或片狀黏結元素之示例性黏結基質。第 12(a)圖（例如）圖示包括在一維（「1-D」）方位中經對準（例如，相對於 x 方向對準）之纖維狀黏結元素之黏結基質。第 12(b)圖圖示包括在二維（「2-D」）方位中經對準（例如，相對於 x 方向及 y 方向對準）之片狀黏結元素之黏結基質。第 12(c)圖圖示包括在三維（「3-D」）方位中經對準（例如，相對於 x、y 及 z 方向對準）之片狀黏結元素之黏結基質。第 12(d)圖圖示包括隨機方位中之片狀黏結元素之黏結基質，其中該等黏結元素不相對於任何特定方向對準。第 12(e)圖圖示包括在 3-D 方位中對準之相對較高濃度之片狀黏結元素之黏結基質。第 12(f)圖圖示位於隨機方位（滲透網路）中之相對較低濃度之片狀黏結元素之黏結基質。第 12(f)圖之複合材料實現滲透臨限值，此乃因一大部分黏結元素彼此接觸以使得自材料之一端至另一端形成接觸之連續網

絡。滲透臨限值係臨界濃度，高於該臨界濃度時，黏結元素展示與有序（例如，第 12(e)圖）或隨機方位（例如，第 12(f)圖）之黏結元素的長程連接性。連接性型樣之實例可在（例如）Newnham 等人之「Connectivity and piezoelectric-pyroelectric composites」（Mat. Res. Bull.，第 13 卷，第 525-536 頁，1978 年）中發現。

【0117】 複數個黏結元素可自任何適合前驅物材料（例如，自任何適合矽酸鈣組合物前驅物）化學上轉化。前驅物矽酸鈣組合物亦可包括鋁、鎂及鐵之一或更多個化學元素。

【0118】 複數個黏結元素可具有任何適合中值粒度及大小分佈（取決於所要複合材料）。在某些實施例中，該複數個黏結元素具有在自約 1 μm 至約 100 μm （例如，約 1 μm 至約 80 μm 、約 1 μm 至約 60 μm 、約 1 μm 至約 50 μm 、約 1 μm 至約 40 μm 、約 1 μm 至約 30 μm 、約 1 μm 至約 20 μm 、約 1 μm 至約 10 μm 、約 5 μm 至約 90 μm 、約 5 μm 至約 80 μm 、約 5 μm 至約 70 μm 、約 5 μm 至約 60 μm 、約 5 μm 至約 50 μm 、約 5 μm 至約 40 μm 、約 10 μm 至約 80 μm 、約 10 μm 至約 70 μm 、約 10 μm 至約 60 μm 、約 10 μm 至約 50 μm 、約 10 μm 至約 40 μm 、約 10 μm 至約 30 μm 、約 10 μm 至約 20 μm ）之範圍內之中值粒度。

【0119】 在一些示例中，複合材料包括：複數個黏結元素及複數個填料微粒。每一黏結元素包括：主要包含矽酸鈣之一芯、富矽石第一或內層及富碳酸鈣第二或外層。複數個黏結元素與複數個填料微粒一起形成一或更多個黏結基質，且黏

結元素與填料微粒實質上均勻地分散於該一或更多個黏結基質中且黏結在一起，藉以複合材料展現一或更多個紋理、圖案及物理性質。在一些示例中，黏結元素可具有矽酸鎂之芯，以及富矽石第一或內層，以及富碳酸鎂第二或外層。矽酸鎂可包括鋁、鈣、鐵或錳氧化物。

【0120】 複數個填料微粒可具有任何適合中值粒度及大小分佈。在某些實施例中，複數個填料微粒具有在自約 5 μm 至約 7 mm (例如，約 5 μm 至約 5 mm、約 5 μm 至約 4 mm、約 5 μm 至約 3 mm、約 5 μm 至約 2 mm、約 5 μm 至約 1 mm、約 5 μm 至約 500 μm 、約 5 μm 至約 300 μm 、約 20 μm 至約 5 mm、約 20 μm 至約 4 mm、約 20 μm 至約 3 mm、約 20 μm 至約 2 mm、約 20 μm 至約 1 mm、約 20 μm 至約 500 μm 、約 20 μm 至約 300 μm 、約 100 μm 至約 5 mm、約 100 μm 至約 4 mm、約 100 μm 至約 3 mm、約 100 μm 至約 2 mm、約 100 μm 至約 1 mm) 之範圍內之中值粒度。

【0121】 在某些較佳實施例中，填料微粒由富碳酸鈣材料(諸如，石灰石(例如，粉狀石灰石))製成。在某些材料中，填料微粒由基於 SiO_2 或基於矽酸鹽材料(諸如，石英、雲母、花崗岩及長石(例如，粉狀石英、粉狀雲母、粉狀花崗岩、粉狀長石))中之一或更多者製成。

【0122】 在某些實施例中，填料微粒可包括天然、合成及回收材料，諸如玻璃、回收玻璃、煤渣、富碳酸鈣材料及富碳酸鎂材料。

【0123】 (黏結元素：填料微粒)之重量比可係任何適合比

（取決於所要複合材料），例如在約（10 至 50）：約（50 至 90）之範圍內。

【0124】 在某些實施例中，此等複合材料可顯示各種圖案、紋理及其他特性（諸如，各種顏色之視覺圖案）。另外，本發明之複合材料展現類似於習知混凝土或對應天然材料之壓縮強度、撓曲強度及吸水性質。

【0125】 在某些實施例中，複合材料進一步包括顏料。顏料可均勻地分散於或實質上不均勻地分散於黏結基質中（取決於所要複合材料）。顏料可係任何適合顏料，包括（例如）各種金屬之氧化物（例如，氧化鐵、氧化鈷、氧化鉻）。顏料可具有（例如）選自黑色、白色、藍色、灰色、粉紅色、綠色、紅色、黃色及褐色之任何一或更多個顏色。顏料可以任何適合量存在（取決於所要複合材料），例如以範圍自按重量計約 0.0%至約 10%（例如，約 0.0%至約 8%、約 0.0%至約 6%、約 0.0%至約 5%、約 0.0%至約 4%、約 0.0%至約 3%、約 0.0%至約 2%、約 0.0%至約 1%、約 0.0%至約 0.5%、約 0.0%至約 0.3%、約 0.0%至約 2%、約 0.0%至約 0.1%）之量存在。

實例

實例 1. 使用合成矽灰石製成之充氣複合材料

原材料

【0126】 合成矽灰石，中國東海縣之 Donghai Golden Resources Industries(東海縣富豐源工貿有限公司)；氧化鈣，Austin, TX (Capitol Brand)；鋁漆料，美國新澤西州之 Eckrat America Corporation；美國新澤西州 BASF Glenium 7500，填

料材料及葡糖酸鹽，多個來源。

表 3. 混合物比例（13.56 kg 批量大小）

固體組分：	70.64%	9.356 kg
合成矽灰石(SC-C2)	63.62%	8.630 kg
石灰（氧化鈣）	5.17%	0.702 kg
葡糖酸鹽	0.03%	0.005 kg
鋁漆料	0.14%	0.028 kg
液體組分：	29.36%	4.210 kg
自來水	29.23%	4.310 kg
Glenium 7500	0.123%	0.016 kg

混合程序

1. 量測及裝載所有液體組分至實驗室尺寸混合器中。
2. 將 0.016 kg 之黏性改質摻合物(Glenium 7500)添加於水中且輕輕地攪拌。
3. 量測及裝載 8.630 kg 之第一固體組分（該固體組分係合成矽灰石(SC-C2)）至濕混合物中。
4. 量測及裝載 0.702 kg 之第二固體組分（係石灰（氧化鈣））至混合器中且以約 40 轉/分(revolution per minute; RPM)混合兩個組分達五分鐘或以上之持續時間，直至形成均勻漿液為止。
5. 量測及裝載剩餘 0.005 kg 之葡糖酸鹽至漿液中且以相同速率繼續混合達約二分鐘。
6. 量測及裝載 0.028 kg 之鋁漆料（最後固體組分）至漿液中且以較低 rpm 速率(30 RPM)繼續混合達約三十秒，之後以較高 rpm 速率(50 RPM)混合達另一個三十秒。此舉產生濕混合物。

澆鑄程序

1. 使用 WD-40 或油脂潤滑每一模具之內表面以降低濕混合物與模具之內表面之間的摩擦，以及避免濕混合物在脫模期間黏住模具表面之可能性。
2. 將濕混合物自混合器傾注至一或更多個模具中至模具高度之大約一半處。在大多數情況中，不需要外部振動；然而，若模具大小很小，則需要輕微搖動或擾動以使混合均勻。
3. 將具有濕混合物之模具傳遞至預固化腔室以用於反應。

固化程序

1. 在設定於 60°C 及 0.3 psi 之 CO₂ 氣體之預固化腔室中使樣本反應達 3 小時。
2. 在 3 個小時之固化之後，自預固化腔室取出樣本，將樣本脫模且放置於 7 呎直徑、12 呎長之水平固化腔室內部。用 CO₂ 氣體沖洗固化腔室達 12 分鐘。隨後將固化腔室之溫度設定為 60°C，且使 70°C 之熱水在固化腔室之底部循環以保持腔室以水汽飽和。隨後，將固化腔室內部之樣品在此等條件下固化或反應達 20 小時，引起經硬化或經固化陶瓷體之產生。
3. 隨後自固化腔室移除經固化樣品。隨後將樣品置放於乾燥烘箱中且設定在 90°C 下以移除任何殘餘水。基於在反應期間之重量增益計算反應之程度。對於使用在表 3 中述及之混合物比例製備之樣本，假定鋁與黏合劑及石灰完全反應，則反應程度近似 40%至近似

60%。

【0127】 像片：第 13 圖圖示使用合成矽灰石製成之經切割充氣混凝土樣本（出於演示目的為 4 吋 x4 吋 x4 吋）之實例。

效能特性：

【0128】 依據初步試驗及配方研究，已使用先前述及之原材料及製程生產充氣混凝土，該等充氣混凝土對於高達 4 MPa 之對應壓縮強度具有約 525 kg/m^3 至 725 kg/m^3 之最小密度。同時，已證實對於近似 850 kg/m^3 之密度之高達 5.0 MPa 之壓縮強度。儘管此等密度及壓縮強度對於充氣混凝土係典型的，但基於特定強度等級之此等材料之分類受限制。可進一步最佳化反應條件以達成經改良機械及效能特性。

【0129】 用於執行評定材料效能之數個試驗之樣本的尺寸係 2 吋及 4 吋立方體，以及 4 吋x4 吋x14 吋棱柱狀樣品。

【0130】 在本說明書及隨附申請專利範圍中，除非上下文清楚地指示，否則單數形式「一(a)」、「一(an)」及「該(the)」包括複數個引用。

【0131】 除非另有定義，否則本文所使用之所有技術及科學術語具有與如由一般技術者通常理解之相同意義。儘管類似於或等效於本文描述之方法及材料之任何方法及材料亦可用於實踐或測試本揭示案，但現在描述了較佳方法及材料。除了所揭示之特定次序，亦可以邏輯上可能之任何次序執行本文所述之方法。

以引用方式之併入

【0132】 已在本揭示案中作出對其他文件（諸如，專利、專

利申請案、專利公開案、雜誌、書籍、論文、網頁內容）之參考及引用。所有此等文件藉此出於所有目的以全文引用方式併入本文。據稱以引用方式併入本文中但與本文明確闡明之現有定義、聲明或其他揭示材料衝突之任何材料或該材料之部分僅在彼經併入之材料與本揭示案之材料之間不發生衝突之程度上併入。在有衝突之情況下，則在有利於作為較佳揭示案之本揭示案之前提下解決衝突。

等效物

【0133】 本文所揭示之代表性實例意欲幫助說明本發明，而不意欲（亦不應解釋為）限制本發明之範疇。實際上，除了本文所圖示及描述之實施例，本發明之各種修改及本發明之諸多進一步實施例亦將對熟習此項技術者在閱讀此文件之完整內容（該等內容包括隨後之實例及對本文引用之科學及專利文獻之參考）後而變得顯而易見。以下實例包含在其各種實施例及其等效物中可適應於本發明之實踐之重要額外資訊、例證及嚮導。

【符號說明】

無

【生物材料寄存】

國內寄存資訊【請依寄存機構、日期、號碼順序註記】

無

國外寄存資訊【請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記】

無

【序列表】 (請換頁單獨記載)

無

.

.

.

.

申請專利範圍

1. 一種用於生產一充氣複合材料之一製品之製程，該製程包含以下步驟：

形成一濕混合物，其中該濕混合物包含：

水，

一粉狀矽酸鈣，該粉狀矽酸鈣包含合成矽灰石、假矽灰石、矽鈣石、鈣黃長石、矽酸二鈣及矽酸三鈣中之一或更多者，該粉狀矽酸鈣具有在自約 $0.25\ \mu\text{m}$ 至約 $5\ \mu\text{m}$ 之範圍內之 d_{10} 、在自約 $5\ \mu\text{m}$ 至約 $20\ \mu\text{m}$ 之範圍內之 d_{50} 及在自約 $25\ \mu\text{m}$ 至約 $100\ \mu\text{m}$ 之範圍內之 d_{90} 之一特定粒度，

填料微粒，該等填料微粒包含氧化鈣或矽石且具有在自約 $0.25\ \mu\text{m}$ 至約 $200\ \mu\text{m}$ 之範圍內之一粒度(d_{50})，及

一充氣劑，

將該濕混合物澆鑄於一模具中；

允許該充氣劑產生一氣態產物，從而致使該濕混合物體積膨脹；

在自約 20°C 至約 100°C 之範圍內之一溫度下在水與 CO_2 之一氣氛中預固化該經膨脹混合物達一時間，該時間足以產生適於達成脫模及/或切割所需之足夠早期強度之一經預固化物件；

將該經預固化物件脫模及/或切割成所要尺寸；及

在自約 20°C 至約 100°C 之範圍內之一溫度下於水汽與 CO_2 之一氣氛中進一步固化該經脫模及/或切割之經預固化物件達約 6 小時至約 60 小時，以產出該製品。

2. 如請求項 1 所述之製程，其中該濕混合物進一步包含：
一控凝劑；
一氣泡穩定劑；及
一分散/黏性改質劑。
3. 如請求項 1 所述之製程，進一步包含以下步驟：在固化該經預固化物件之後，
在自約 20°C 至約 110°C 之範圍內之一溫度下乾燥該經固化物件達約 12 小時至約 96 小時以移除殘餘水。
4. 如請求項 1 所述之製程，其中在包含水及 CO₂ 之一蒸汽下於自約 20°C 至約 80°C 之範圍內之一溫度下執行該預固化步驟達約 1 小時至約 10 小時。
5. 如請求項 2 所述之製程，其中形成一濕混合物之步驟包含以下步驟（以指定添加次序混合以下成分）：
添加一經計算部分之水；
添加且混合該控凝摻合物；
添加且混合該分散/黏性改質劑；
添加且混合粉狀矽酸鈣；
添加且混合該等填料微粒以形成一均勻漿液；及
添加且混合該充氣劑。

6. 如請求項 1 所述之製程，其中在自約 20℃ 至約 80℃ 之範圍內之一溫度下於一蒸汽下執行進一步固化該經預固化物件之步驟達約 5 小時至約 40 小時，該蒸汽包含水及 CO₂ 且具有在自約周圍大氣壓力至高於周圍大氣壓力約 30 psi 之範圍內之一壓力。

7. 請求項 1 所述之製程，其中該粉狀矽酸鈣係選自矽灰石、假矽灰石、矽鈣石、矽酸二鈣及矽酸三鈣。

8. 如請求項 1 所述之製程，其中該等填料微粒係選自飛灰、爐底灰、礦渣、石灰石、微矽石、石英及輕質骨料。

9. 如請求項 1 所述之製程，其中該充氣劑係選自粉末及/或漿糊形式之鋁、鐵、鋅或該充氣劑係液態形式之過氧化氫。

10. 如請求項 5 所述之製程，其中

該粉狀矽酸鈣包含粉狀矽灰石、假矽灰石、矽鈣石、矽酸二鈣及矽酸三鈣；

該等填料微粒包含粉狀石灰石及矽石；

該活化劑包含粉狀石灰；

該控凝摻合物係一葡萄糖酸鹽；

該黏性改質劑包含一基於聚羧酸鹽之材料；及

該充氣劑包含鋁漆料。

11. 如請求項 2 所述之製程，其中在該固化步驟結束時，強度給予組分主要由碳酸鈣及非晶矽酸鈣相、矽酸鈣水化物凝膠及氫氧化鈣組成。

12. 一種藉由如請求項 1 至 11 中任一項所述之一製程生產之製品。

13. 如請求項 12 所述之製品，該製品展現自約 300 kg/m^3 至 1500 kg/m^3 之一密度、自約 2.0 MPa 至約 8.5 MPa 之一壓縮強度以及自約 0.4 MPa 至約 1.7 MPa 之一撓曲強度。

14. 如請求項 12 所述之製品，該製品選自由以下各者組成之群組：標準塊體、夾芯塊體、包層塊體、爐壁及擋火塊體、過梁塊體、凹凸槽塊體、壁板、地板、頂板、板材、側線、門框、圍牆、裝飾及風景設計產品及停車場。

15. 一種充氣複合材料，該材料包含：

複數個黏結元素，該等黏結元素以在自約 $0.25 \text{ }\mu\text{m}$ 至約 $5 \text{ }\mu\text{m}$ 之範圍內之 d_{10} 、在自約 $5 \text{ }\mu\text{m}$ 至約 $20 \text{ }\mu\text{m}$ 之範圍內之 d_{50} 及在自約 $25 \text{ }\mu\text{m}$ 至約 $100 \text{ }\mu\text{m}$ 之範圍內之 d_{90} 之一特定粒度為特徵，其中每一黏結元素包含：

主要包含矽酸鈣之一芯，
一富矽石第一或內層，及
一富碳酸鈣第二或外層；

複數個填料微粒，該等填料微粒具有在自約 $0.5\ \mu\text{m}$ 至約 $500\ \mu\text{m}$ 之範圍內之粒度；及

複數個孔隙，

其中

該複數個黏結元素及該複數個填料微粒一起形成一或更多個黏結基質，且該等黏結元素及該等填料微粒係實質上均勻分散於該等黏結基質中且黏結在一起；及

該複數個孔隙係氣泡狀的及/或互連通道佔該複合材料之約 50 體積%至約 80 體積%，

藉以

該充氣複合材料展現自約 $300\ \text{kg/m}^3$ 至約 $1500\ \text{kg/m}^3$ 之一密度、自約 2.0 MPa 至約 8.5 MPa 之一壓縮強度以及自約 0.4 MPa 至約 1.7 MPa 之一撓曲強度。

16. 如請求項 15 所述之充氣複合材料，其中該等填料微粒係選自飛灰、爐底灰、礦渣、石灰石、微矽石及石英。

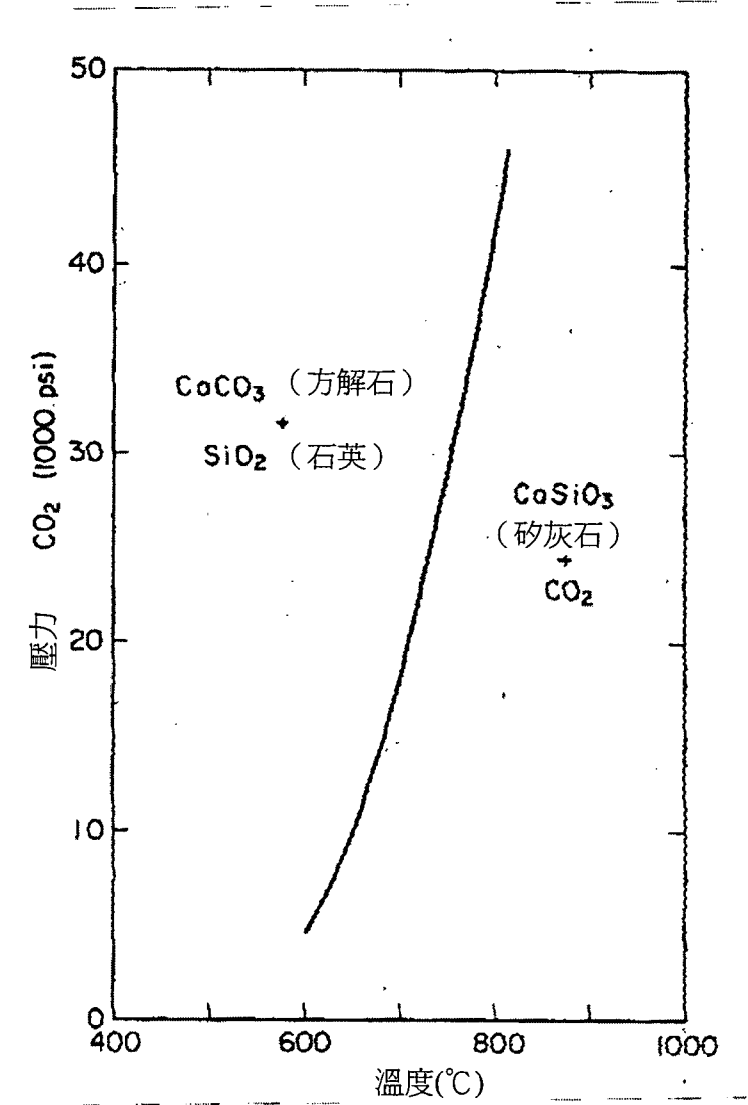
17. 如請求項 15 所述之充氣複合材料，其中該等填料微粒係選自具有範圍自約 $20\ \mu\text{m}$ 至約 $500\ \mu\text{m}$ 之粒度之輕質骨料。

18. 如請求項 15 所述之充氣複合材料，其中該複數個黏結元素係藉由經由一受控制水熱液相燒結製程使粉狀矽灰石與 CO_2 反應自該粉狀矽灰石化學上轉化。

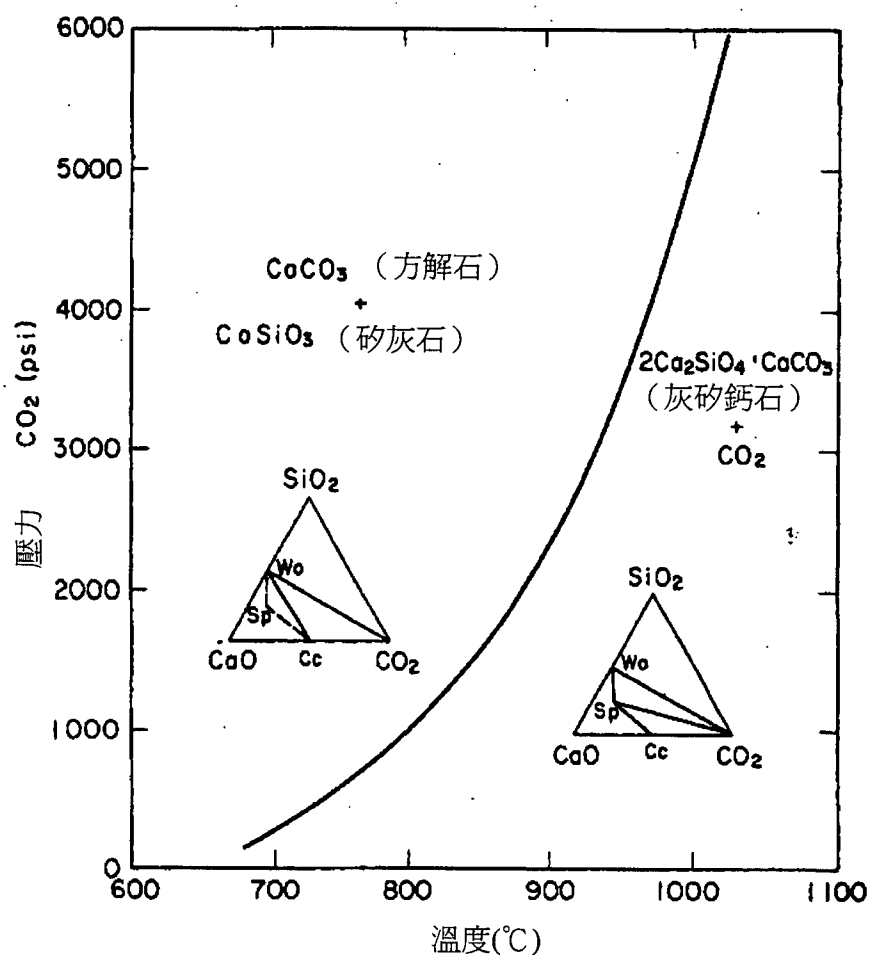
19. 如請求項 15 所述之充氣複合材料，其中該複數個黏結元素係自包含鋁、鎂及鐵中之一或更多者之一前驅物矽酸鈣化學上轉化。

20. 如請求項 15 所述之充氣複合材料，該充氣複合材料展現自約 400 kg/m^3 至 1200 kg/m^3 之一密度、自約 3.0 MPa 至約 6.0 MPa 之一壓縮強度以及自約 0.66 MPa 至約 1.32 MPa 之一撓曲強度，其中該複數個孔隙係由藉由使一充氣劑與一基劑反應生產之氣態氫致使，且該複數個孔隙佔該充氣複合材料之約 50 體積%至約 80 體積%。

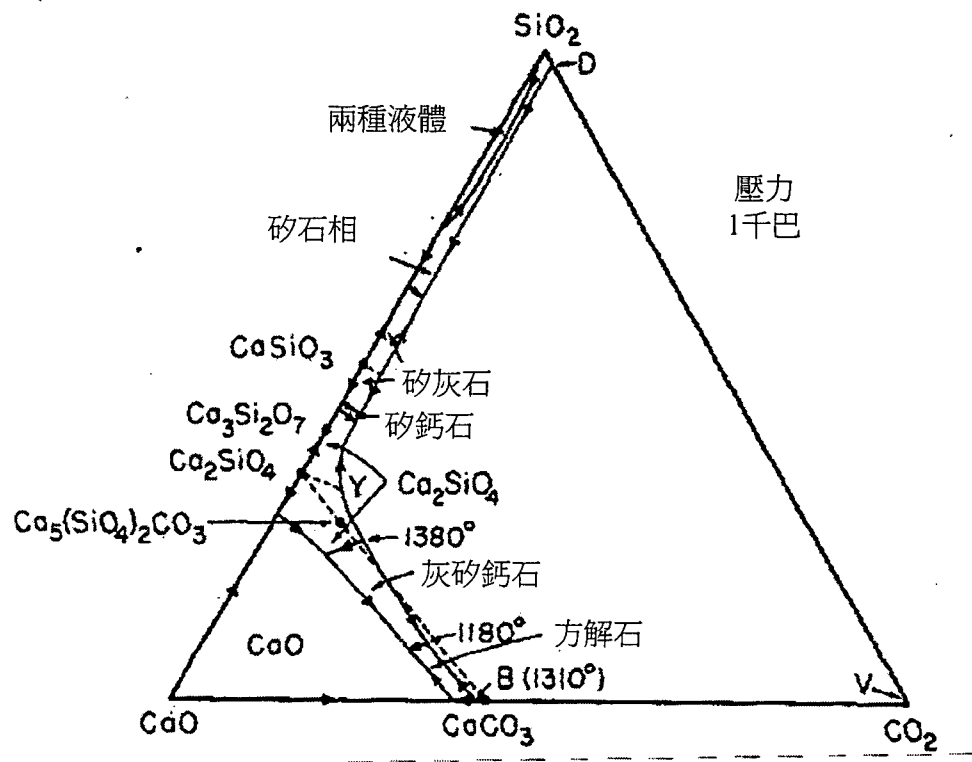
圖式



第1圖
先前技術

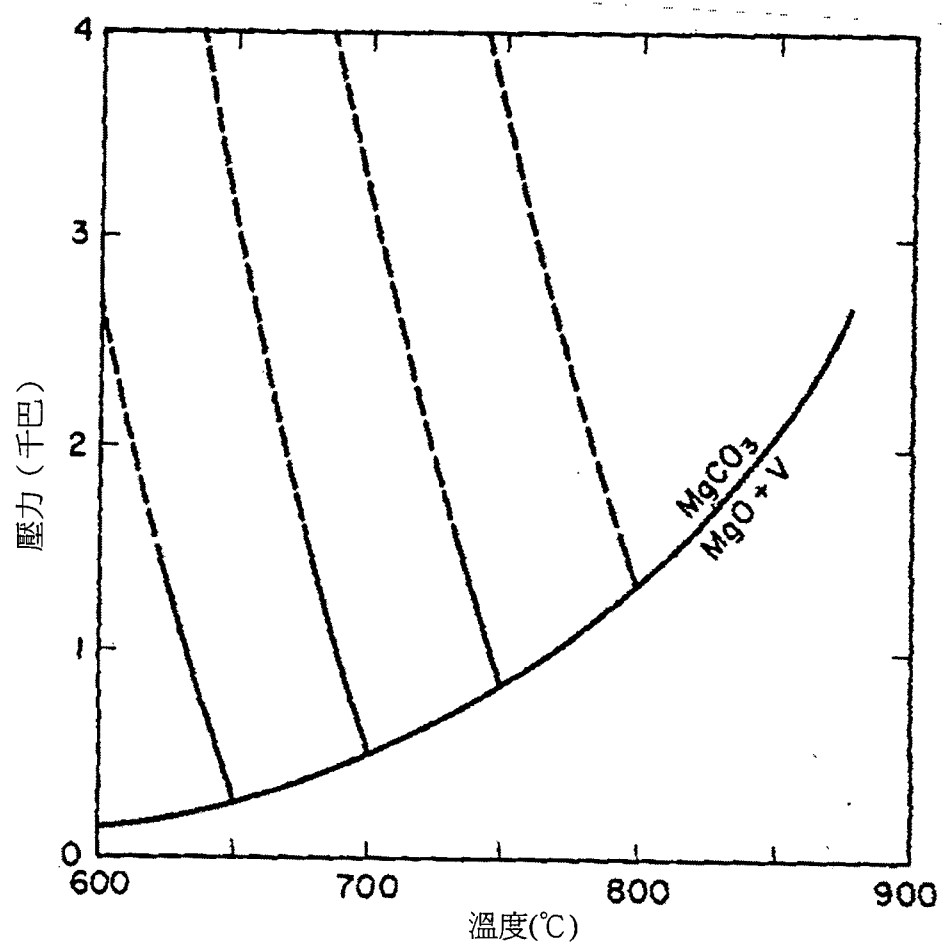


第2圖
先前技術

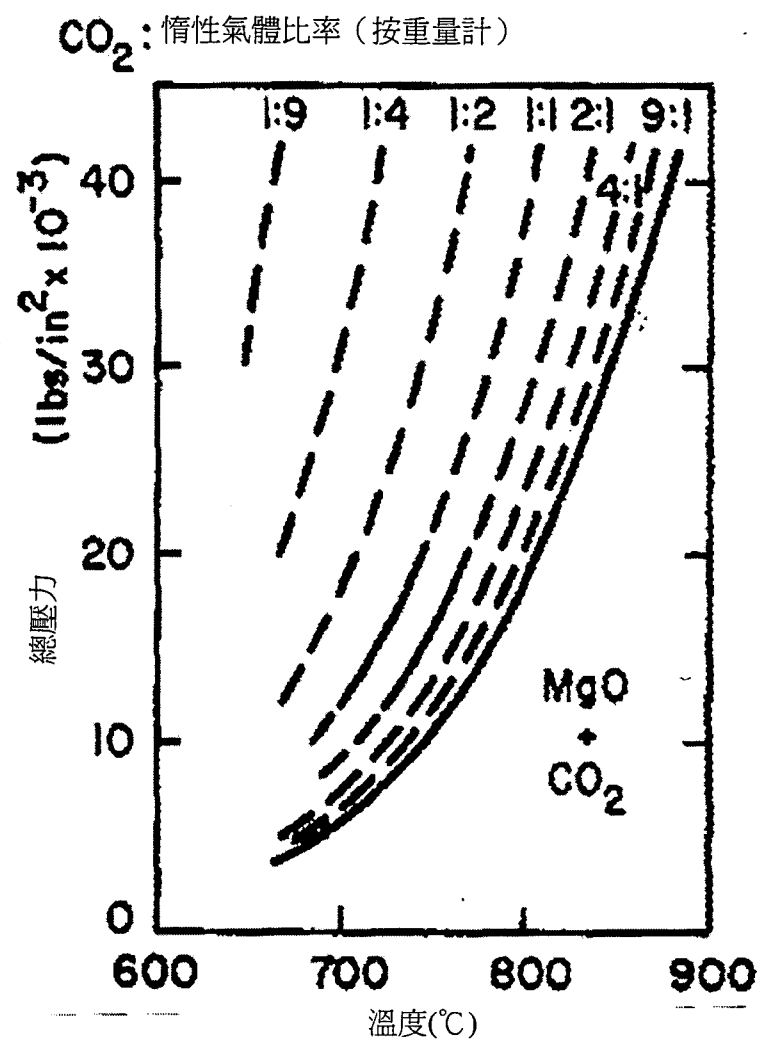


第3圖

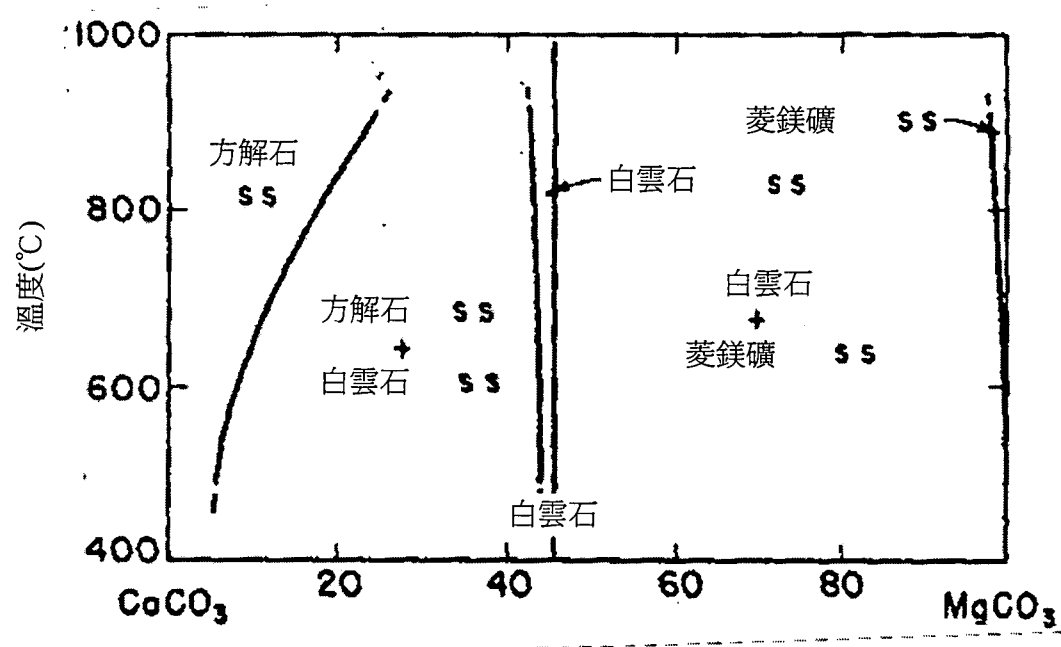
先前技術



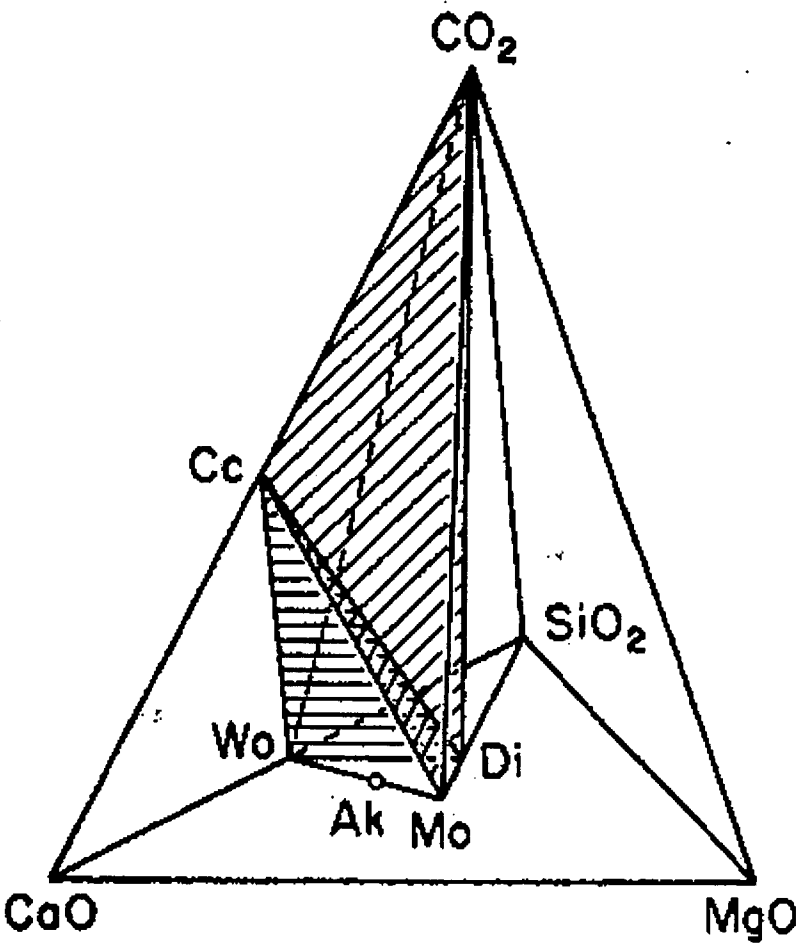
第4圖
先前技術



第5圖
先前技術

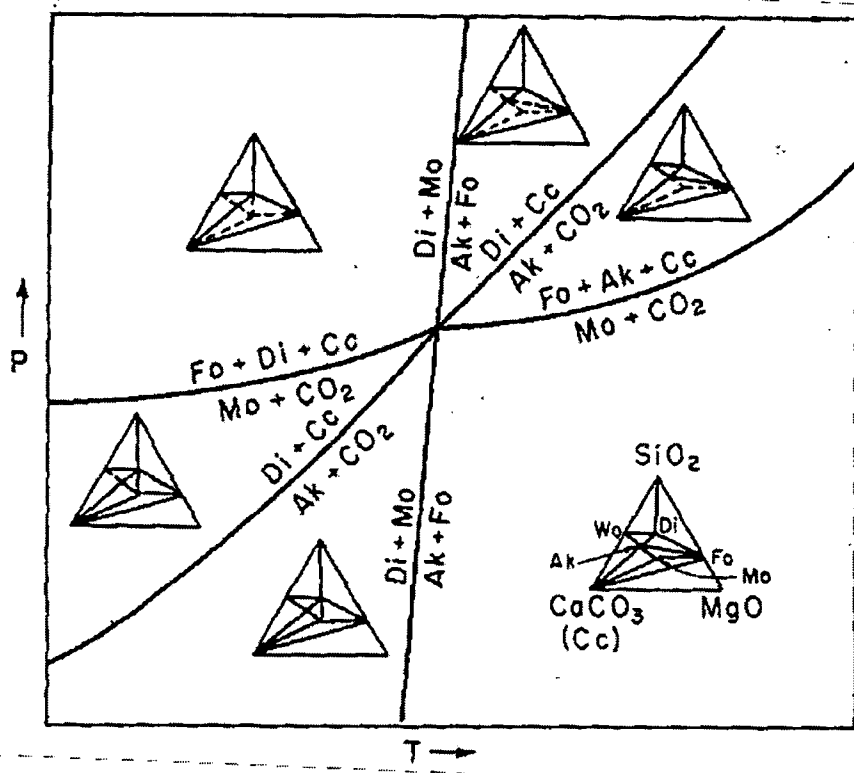


第6圖
先前技術

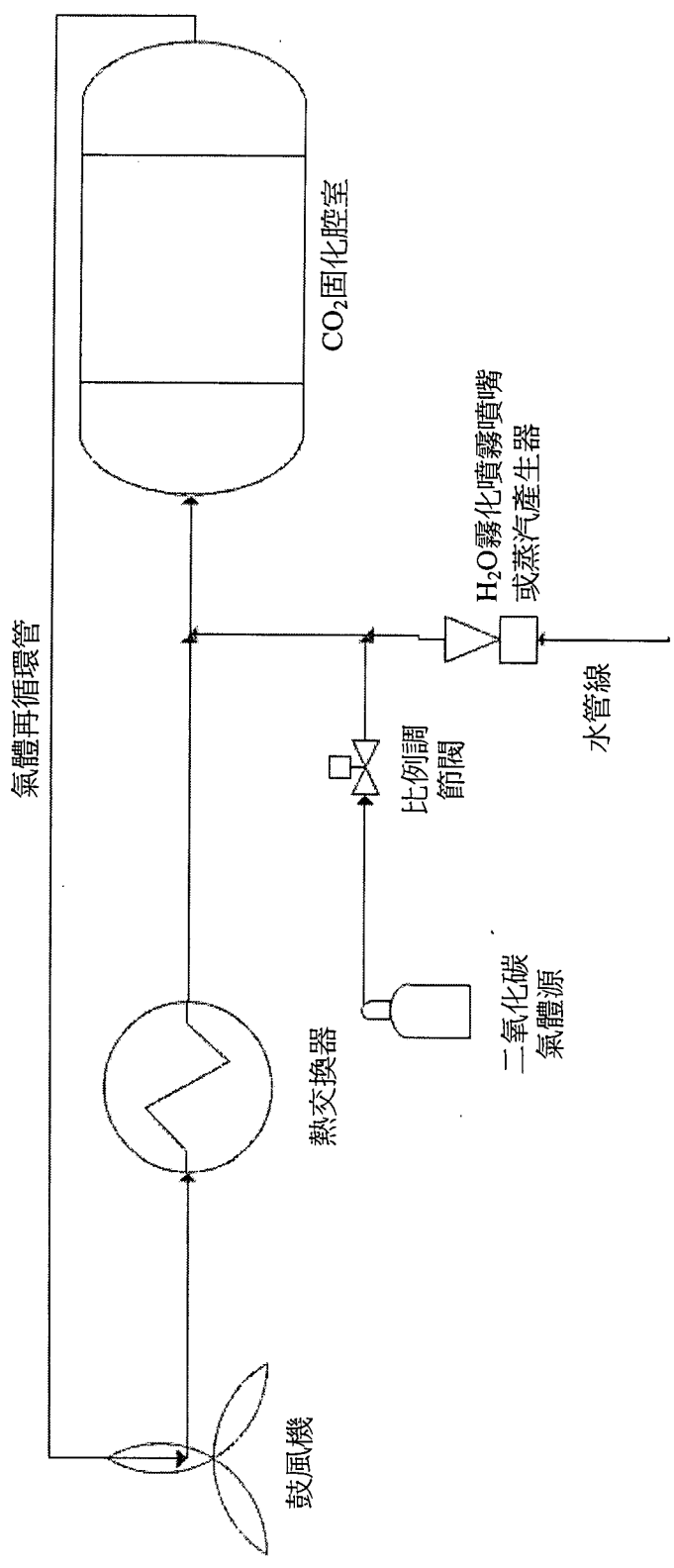


第7圖

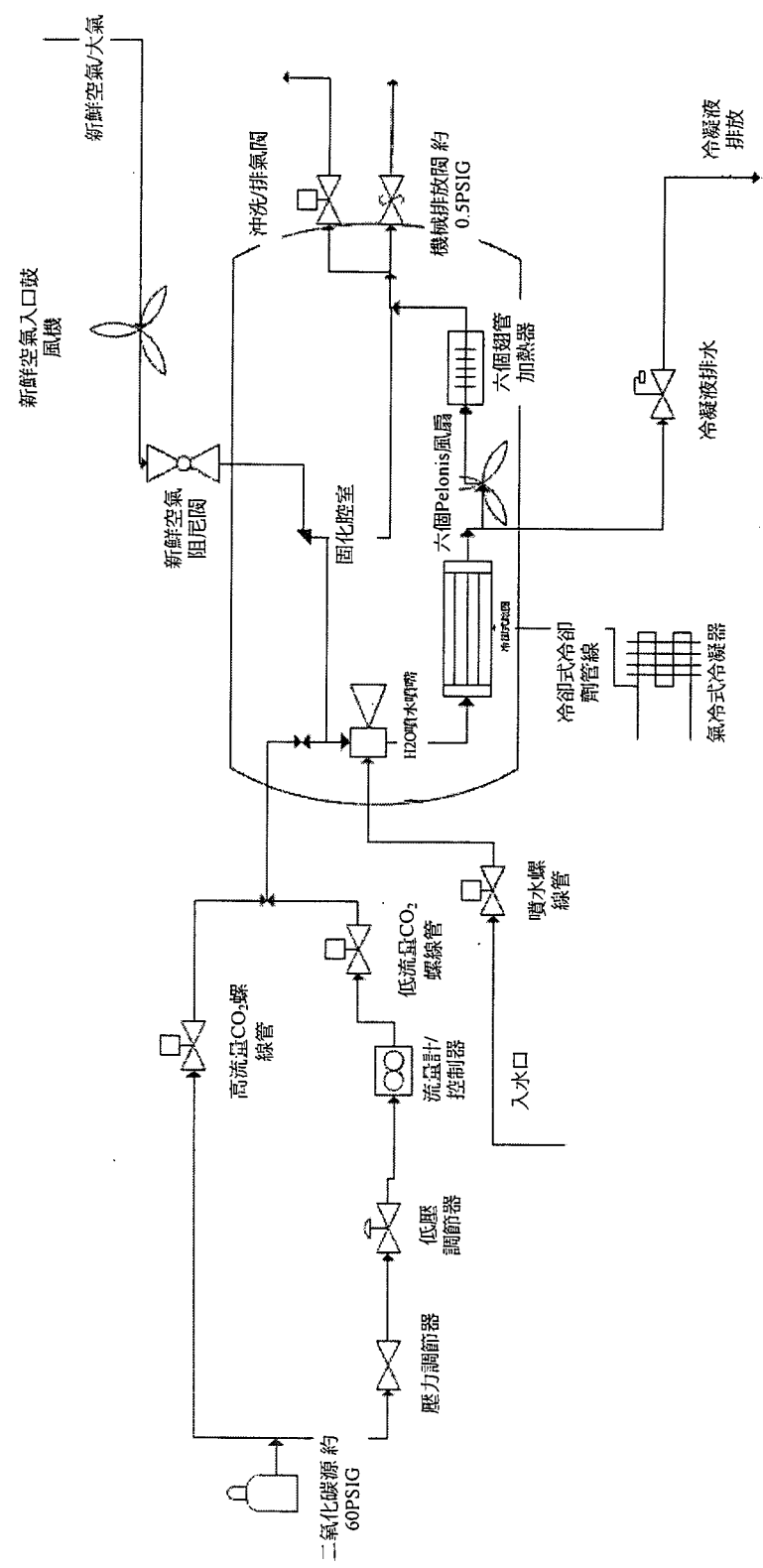
先前技術



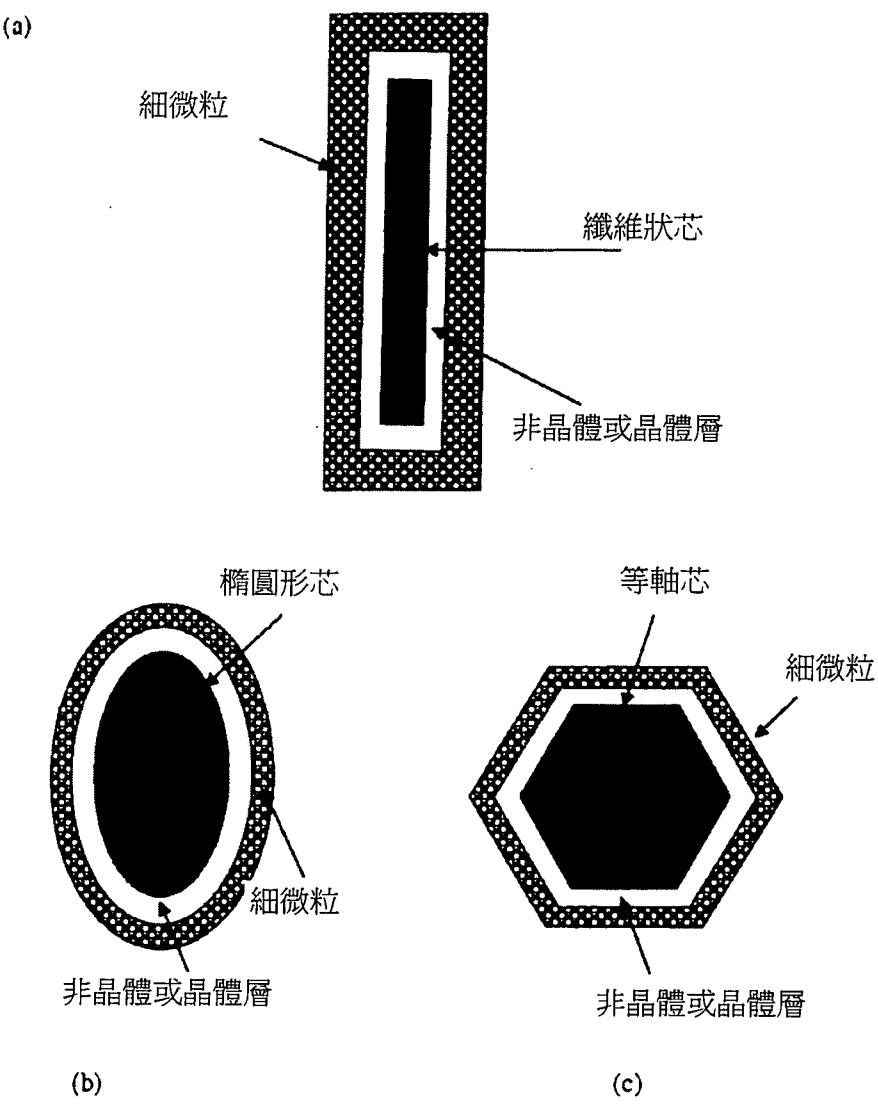
第8圖
先前技術



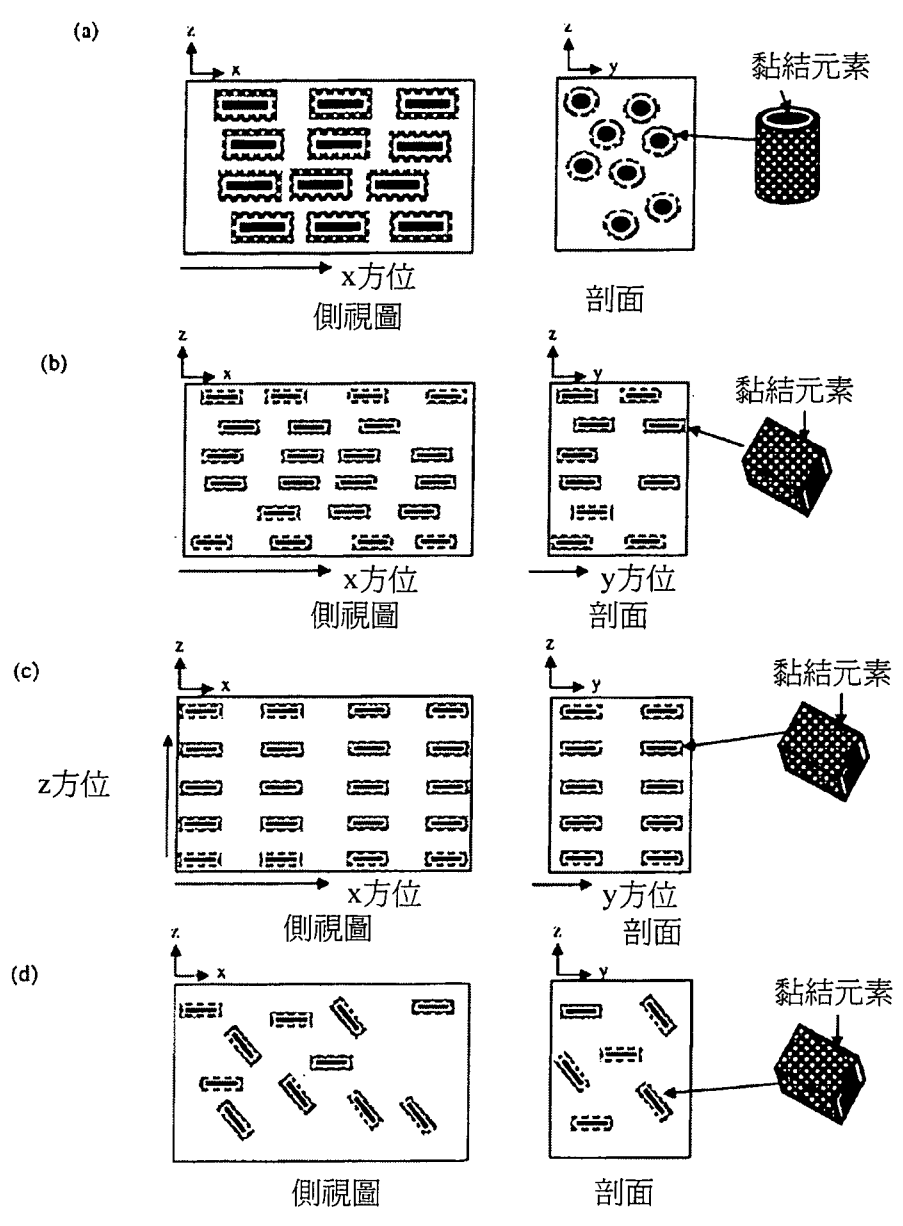
第9圖



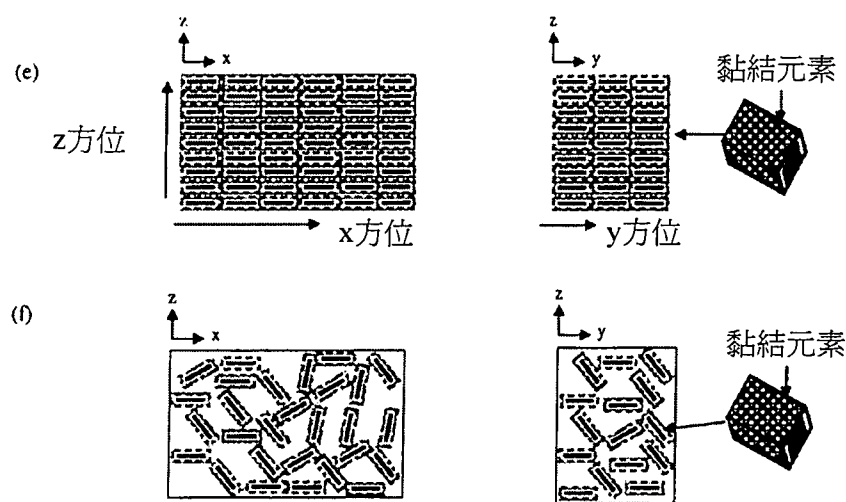
第10圖



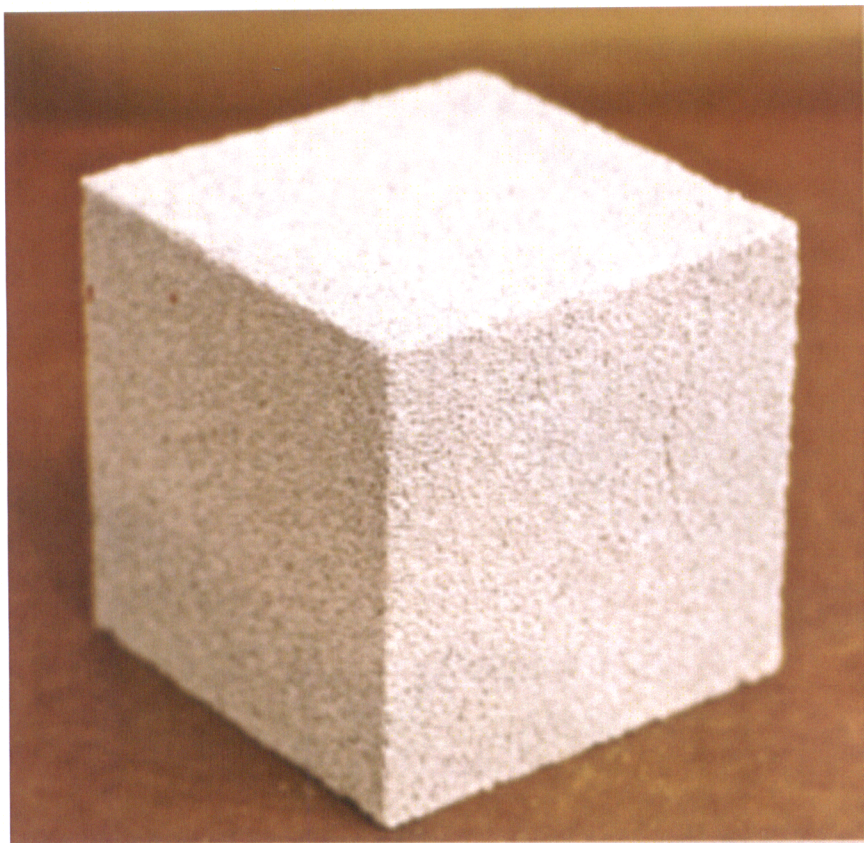
第11圖



第12圖



第12圖



第13圖