I862544

(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本 **(11)證書號數：TW I862544 B**

(45)公告日： 中華民國 113 (2024) 年 11 月 21 日

(21)申請案號：109102871 (22)申請日： 中華民國 109 (2020) 年 01 月 30 日

(51)Int. Cl.： *C23C30/00 (2006.01)* *C23C4/067 (2016.01)*
C23C4/10 (2016.01) *C23C4/134 (2016.01)*
B22F3/11 (2006.01) *H05H1/30 (2006.01)*
H05H1/46 (2006.01)

(30)優先權：2019/07/02 美國 16/460,177
2019/09/20 美國 62/903,649
2019/06/28 美國 62/868,493
2019/04/29 美國 62/839,995
2019/01/27 美國 62/797,306

(71)申請人：美商萊登股份有限公司 (美國) LYTEN, INC. (US)
美國

(72)發明人：史托威爾 麥可 W STOWELL, MICHAEL W. (US)；蘭寧 布魯斯 LANNING, BRUCE (US)；威廉斯 彼得 T WILLIAMS, PETER TODD (US)；庫克 丹尼爾 COOK, DANIEL (US)

(74)代理人：劉法正；尹重君

(56)參考文獻：
US 2017/0298476A1

審查人員：林倞

申請專利範圍項數：24 項 圖式數：29 共 110 頁

(54)名稱

柯維提克(COVETIC)材料

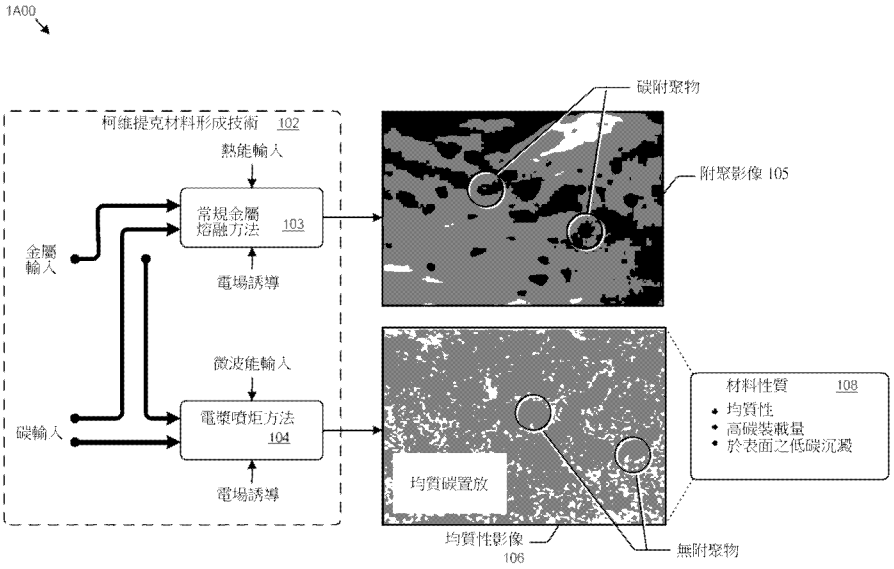
(57)摘要

本揭示內容提供了一種包括至少一第一、一第二和一第三材料性質區的漸變組成物，該第一、第二和第三材料性質區各具有相異於其他區的晶體構形。在一些實施方式中，該漸變組成物具有在一第一材料性質區內且包括一金屬的一第一材料，該第一材料由存在於該第一材料性質區內的金屬原子之間的金屬鍵構成；一第二材料，其與在該第一材料性質區內的該第一材料至少部分地重疊且包括碳，該第二材料由該第二材料中的該碳與該第一材料中的該金屬之間的共價鍵構成；一第三材料，其與包含碳的該第二材料性質區至少部分地重疊，該第三材料由該第三材料的該碳之間的共價鍵構成。各個晶體構形可包括立方晶體晶格、六方晶格、面心或體心立方晶格。

This disclosure provides a graded composition including at least a first, second, and third material property zone each having a crystallographic configuration distinct from other zones. In some implementations, the graded composition has a first material in the first material property zone including a metal, the first material composed of metallic bonds between metal atoms present in the first material property zone; a second material that at least partially overlaps the first material in the first material property zone including carbon, the second material composed of covalent bonds between the carbon in the second material and the metal in the first material; and, a third material that at least partially overlaps the second

material property zone including carbon, the third material composed of covalent bonds between the carbon of the third material. Each crystallographic configuration may include a cubic crystallographic lattice, a hexagonal lattice, a face or body-centered cubic lattice.

指定代表圖：



【圖1A】

符號簡單說明：

1A00:比對圖

102:柯維提克材料形成技術

103:習用金屬熔體方法

104:電漿噴炬方法

105:附聚影像

106:均質性影像

108:材料性質

公告本

I862544

【發明摘要】

【中文發明名稱】

柯維提克(COVETIC)材料

【英文發明名稱】

COVETIC MATERIALS

【中文】

本揭示內容提供了一種包括至少一第一、一第二和一第三材料性質區的漸變組成物，該第一、第二和第三材料性質區各具有相異於其他區的晶體構形。在一些實施方式中，該漸變組成物具有在一第一材料性質區內且包括一金屬的一第一材料，該第一材料由存在於該第一材料性質區內的金屬原子之間的金屬鍵構成；一第二材料，其與在該第一材料性質區內的該第一材料至少部分地重疊且包括碳，該第二材料由該第二材料中的該碳與該第一材料中的該金屬之間的共價鍵構成；一第三材料，其與包含碳的該第二材料性質區至少部分地重疊，該第三材料由該第三材料的該碳之間的共價鍵構成。各個晶體構形可包括立方晶體晶格、六方晶格、面心或體心立方晶格。

【英文】

This disclosure provides a graded composition including at least a first, second, and third material property zone each having a crystallographic configuration distinct from other zones. In some implementations, the graded composition has a first material in the first material property zone including a metal, the first material composed of metallic bonds between metal atoms present in the first material property zone; a second material that at least partially overlaps the first material in the first material property zone including carbon, the second material composed of covalent bonds between the carbon in the second material and the metal in the first material; and, a third material that at least partially overlaps the second material property zone including carbon, the third material composed of covalent bonds between the carbon of the third material. Each crystallographic configuration may include a cubic crystallographic lattice, a hexagonal lattice, a face or body-centered cubic lattice.

【指定代表圖】　圖1A

【代表圖之符號簡單說明】

1A00:比對圖

102:柯維提克材料形成技術

103:習用金屬熔體方法

104:電漿噴炬方法

105:附聚影像

106:均質性影像

108:材料性質

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】

柯維提克(COVETIC)材料

【英文發明名稱】

COVETIC MATERIALS

【技術領域】

相關申請案

【0001】本申請案為2019年7月2日所提申之美國專利申請案號16/460,177、標題為「電漿噴霧系統及方法」(“PLASMA SPRAY SYSTEMS AND METHODS”)的部分延續案；本申請案主張2018年8月21日所提申之美國臨時專利申請案號62/720,677、標題為「電漿噴霧系統及方法」(“PLASMA SPRAY SYSTEMS AND METHODS”)的優先權，並主張2018年8月2日所提申之美國臨時專利申請案號62/714,030、標題為「電漿噴霧沉積」(“PLASMA SPRAY DEPOSITION”)的優先權 ；以及本申請案主張2019年9月20日所提申之美國臨時專利申請號62/903,649的優先權；以及本申請案主張2019年6月28日所提申之美國臨時專利申請號62/868,493的優先權；以及本申請案主張2019年4月29日所提申之美國臨時專利申請號62/839,995的優先權；以及本申請案主張2019年1月27日所提申之美國臨時專利申請號62/797,306的優先權；以及在此將其等全部內容以參照方式整體併入。

發明領域

【0002】本揭示內容大致上關於製作及使用柯維提克(covetic)材料。

【先前技術】

發明背景

【0003】術語柯維提克材料是指經注入奈米級碳顆粒的金屬。柯維提克材

料在各種應用中是所欲的，因為柯維提克材料擁有許多超越傳統非碳注入材料之能力的物理、化學和電學性質。而且，習用的柯維提克材料生成技術所衍生的柯維提克材料無法實現前述之許多物理、化學和電學性質。

【0004】 即便面對著對於展現出上述物理、化學和電學性質的材料的強烈需求，許多技術挑戰也阻礙了製作及使用柯維提克材料的技術的發展。該些技術挑戰出現在多重領域，包括：(1)難以結合測量碳含量所需的分析方法和具有高度特異性的個別化合物的微米-或奈米-結構的定性；(2)迄今為止製造的樣本中的碳含量分佈的變異性相對地高；(3)性質測量中的變異性和潛在的不可預測性；(4)關於致使觀察到的碳顆粒及其周圍基質之間牢固結合的確切科學機制的不確定性。

【0005】 用於製造柯維提克碳-金屬複合物合金的習用金屬熔融方法係苦於轉換率不一致，導致觀察到的最終材料性質的廣泛變化。舉例而言，由於碳在熔體中的分散不勻所致，經常發生不想要的附聚物形成和不想要的成簇。碳在金屬中的此類分散不勻會導致形成裂紋和孔隙，最終造成所得材料過早失效。另外，碳在金屬中的高溶解度可能導致隨著金屬冷卻和固化，碳在該金屬表面的生長不均(例如，較厚)。此外，碳的溶解度在自由表面附近可能比在金屬主體中更高，其中較高的溶解度和熔體-空氣界面處的界面能結合係促使在熔體-空氣界面處之非所欲的沉澱。

【0006】 目前，製造柯維提克碳-金屬複合物合金的習用之基於熱的金屬熔融方法不能促進製程條件的調諧以俾使所得的柯維提克材料展現出一組所欲的調諧或目標性質。無法控制製程條件以俾使所得的柯維提克材料展現出一組調諧過的性質係導致(相應)無法將柯維提克材料應用於需要此組特定性質的特定用途。需要的是製造展現出一系列可調諧性質的所得柯維提克材料的技術。再者，需要的是能夠用於廣泛範圍的終端用途領域和應用(例如企業與企業之間或

消費者使用，範圍從材料強化到壽命延長性能增強等)的所得柯維提克材料。

【發明內容】

發明概要

【0007】 提供本發明內容是為了以簡化的形式介紹精選概念，該些概念將在下文的發明詳細說明中進一步說明。本發明內容既不意圖識別所主張標的之關鍵特徵或必要特徵，也不意圖限制所主張標的之範疇。而且，本揭示內容的系統、方法和裝置各具有數個創新態樣，其中沒有單一者全權負責本案揭示的期望屬性。

【0008】 本案揭示的標的之各種實施方式大致上關於設備、方法和碳-金屬複合物材料的各種組成物。所顯示和討論的設備可能與製造各種碳-金屬鍵結之物質組成物的電漿噴炬設備的受控使用有關，該碳-金屬鍵結之物質組成物在本揭示內容大致上稱作「柯維提克材料」。

【0009】 電漿噴炬的一個配置係體現為一種設備，該設備具有經配置成接收混合有複數個熔融金屬奈米級尺寸顆粒之烴製程氣體的反應室、可操作地耦接至該反應室以向其提供動力的微波能源，以及調節該微波能源以在反應室中創造條件以俾使該烴製程氣體解離成其構分碳原子的控制器，單層石墨烯(SLG)或數層石墨烯(FLG)係從該碳原子生長在該熔融金屬奈米級尺寸顆粒上，而形成複數個碳-金屬奈米級尺寸顆粒。在一些配置中，反應室中的條件造成：(i)第一溫度，在該第一溫度下，碳原子溶解於熔融金屬奈米級尺寸的顆粒中，以及(ii)第二溫度，在該第二溫度下，至少一些經溶解的碳原子以晶體構形與該熔融金屬結合。該設備的一些配置利用冷卻區將複數個碳-金屬奈米級尺寸顆粒冷卻成粉末狀形式，該粉末狀形式可被收集並儲存在與反應室相鄰並列的收納容器中。

【0010】 本揭示內容所述標的之一或多個實施方式的細節係於隨附圖式和下文說明中闡述。其他特徵、態樣和優點將由說明、圖式和申請專利範圍而變

得顯而易見。請注意，下列圖式的相對尺寸可能未按比例繪製。

【圖式簡單說明】

【0011】 本案所揭示標的之實施方式是藉由實例來例示，並不意圖受到隨附圖式之圖的限制。在圖式和說明書通篇中，類似符號代表類似元件。請注意，下列圖式的相對尺寸可能未按比例繪製。帶有彩色圖式的本專利或專利申請公開案的副本將由美國專利商標局依據要求並支付必要的費用來提供。

【0012】 圖1A是顯示根據一些實施方式的兩種不同柯維提克材料形成技術和分別得自各者應用的例示材料的比對圖。

【0013】 圖1B呈現根據一些實施方式的高解析度透射電子顯微鏡影像114和高解析度能量色散譜X射線影像116。

【0014】 圖2繪示根據一或多個揭示實施方式的用於使石墨烯生長到小型熔融顆粒上的製造方法。

【0015】 圖3繪示電漿能量狀態圖，其顯示了根據一或多個揭示實施方式的脈衝微波能量源如何用於使石墨烯生長到小型熔融顆粒上。

【0016】 圖4繪示根據一或多個揭示實施方式的用於使石墨烯生長到小型熔融顆粒上的電子溫度控制技術。

【0017】 圖5例示根據一或多個揭示實施方式的用於使石墨烯生長到小型熔融顆粒上的雙重電漿炬設備。

【0018】 圖6例示根據一或多個揭示實施方式的經調諧以使石墨烯生長到小型熔融顆粒上的脈衝微波電漿噴炬設備。

【0019】 圖7是繪示根據一或多個揭示實施方式與柯維提克(或相關材料)、電漿炬噴塗及/或堅固的合成複合物碳塗層相關的共同標的區域的交集圖。

【0020】 圖8A-B是繪示根據一或多個揭示實施方式的用於將碳顆粒噴塗到小型熔融顆粒上的電漿噴霧製程的示意圖。

【0021】 圖9是顯示根據一或多個揭示實施方式的將碳顆粒噴塗到小型熔融顆粒上的效果的掃描電子顯微鏡影像。

【0022】 圖10顯示根據一或多個揭示實施方式的繪示石墨烯生長溫度曲線圖和二元相圖。

【0023】 圖11是根據一或多個揭示實施方式的電漿焰設備的截面圖。

【0024】 圖12繪示根據一或多個揭示實施方式在石墨烯生長到小型熔融顆粒上時使用的脈衝微波製程流程。

【0025】 圖13是根據一或多個揭示實施方式的用於使石墨烯生長到小型熔融顆粒上的脈衝微波電漿噴霧波導設備的透視圖。

【0026】 圖14是根據一或多個揭示實施方式的用於使石墨烯生長到小型熔融顆粒上的微焊接技術的示意圖。

【0027】 圖15是根據一或多個揭示實施方式的同軸配置的電漿噴霧設備的示意圖。

【0028】 圖16是根據一或多個揭示實施方式顯示經由在一系列非平衡能量條件下加工的材料演變的電漿噴霧設備的示意圖。

【0029】 圖17繪示根據一或多個揭示實施方式的用於使石墨烯生長到熔融顆粒上的表面波電漿系統。

【0030】 圖18A1-2、圖18B、圖18C和圖18D繪示根據一或多個揭示實施方式的電漿噴霧反應器的各種配置。

【0031】 圖19是繪示根據一或多個揭示實施方式在脈衝開啟和脈衝關閉期間的能量對比於時間的圖。

【0032】 圖20A1是繪示根據一些揭示實施方式在使用電漿噴炬將碳和銅結合時發生的有機-金屬鍵結的影像。

【0033】 圖20A2是繪示根據一些揭示實施方式的漸變物質組成物的影

像，該漸變物質組成物被施加到基板材料中並顯示多個(例如三個)材料性質區。

【0034】 圖20B是繪示根據一或多個揭示實施方式在將碳添加到主體鋁中時發生的數個分層構形的材料演變圖。

【0035】 圖21A繪示根據實施方式將材料的熔融混合物噴塗到基板中的設備。

【0036】 圖21B繪示根據一或多個揭示實施方式將柯維提克材料噴塗到基板的方法。

【0037】 圖21C是繪示根據一或多個揭示實施方式的用於噴塗膜的電漿噴霧製程的示意圖。

【0038】 圖22A繪示根據一或多個揭示實施方式的用於以熔融金屬包裹碳顆粒的設備。

【0039】 圖22B繪示根據一或多個揭示實施方式的用於以熔融金屬包裹碳顆粒的方法。

【0040】 圖23A、圖23B、圖23C和圖23D繪示根據一或多個揭示實施方式的例示沉積技術。

【0041】 圖24A和圖24B繪示根據一或多個揭示實施方式的用於將材料放置在基板上的習用沉積技術。

【0042】 圖25A和圖25B繪示根據一或多個揭示實施方式在基板表面處產生共價鍵結的例示沉積技術。

【0043】 圖26A、圖26B、圖26C、圖26D和圖26E繪示了例示如何在鋁的面心立方結構的正方形內的部位與碳的某些晶體結構的六邊形內的部位之間形成共價鍵的示意圖。

【0044】 圖27A繪示根據一或多個揭示實施方式的用於製造粉末狀形式的柯維提克材料的例示設備。

【0045】 圖27B1/27B2繪示根據一或多個揭示實施方式的用於冷卻和處理流體中的粉末狀柯維提克材料的例示流化床設備。

【0046】 圖27C是繪示根據一或多個揭示實施方式的用於製造粉末狀柯維提克材料的電漿噴霧製程的示意圖。

【0047】 圖28繪示根據一些實施方式使用射出成型技術由粉末狀柯維提克材料製作組件的方法。

【0048】 圖29繪示柯維提克材料的各種性質。

【實施方式】

【0049】 本揭示內容的態樣使用噴塗技術而不是藉由將碳基板料混合到熔融金屬漿體中來產生柯維提克材料的方法。一些實施方式關於將隙間碳結構的尺寸減小到奈米(nm)級的技術。本案的附圖和討論呈現了用於創建「柯維提克」材料的例示環境、例示系統和的例示方法，在本案中已普遍理解並定義為意味著包含高濃度(>6 % wt)的碳，以俾使碳在熔融或磁控濺射期間不會分離出來的方式整合至金屬(或含金屬材料)。所得材料具有許多超越製造該所得材料之基底金屬的獨特改良性質。碳以數個有助於材料性質改良的方式分散遍佈金屬基質中。碳非常牢固地結合至柯維提克材料中，通常在偵測和定性其形式時會抵制許多標準方法。包括奈米級碳係提高熔點和表面張力。柯維提克具有較高的溫加工和冷加工優勢。

問題和機會的識別及重要性

【0050】 金屬基質複合材可由(至少)一金屬或金屬合金(指的是藉由合併兩個或更多個金屬元素製成的金屬，尤其是為了給予更大的強度或耐腐蝕性)基質所構成，並合併有更高強度模量的陶瓷、碳基強化材或呈連續或不連續的纖維、晶鬚或顆粒形式的微填料。強化材的尺寸很重要，因為微米級強化金屬可展現出超越基底合金的改良強度和剛度而達到可接受的位準。但是，由於在加工期

間顆粒之間的非所欲附聚，此類改良還可能伴隨著非所欲地差的延展性和非所欲地低的降伏強度、可加工性以及在閾值裝載量下的斷裂韌性。為了避免帶有不相容的微米級強化材的金屬基質複合材過早開裂和其他缺點，將強化相的尺寸減小至奈米級可能至關重要。另外，需要的是俾使強化相併入金屬合金基質中的方法。

【0051】 已觀察到機械、熱、電和摩擦學(指相對運動中相互作用表面的科學和工程學)性質的顯著提高與添加前述碳基強化材是相稱的。值得注意的是，因為強化材的尺寸從微米級減小到奈米級(例如<100 nm)，所以此類性質可能改變及/或改良，這是由於基質與顆粒之間的內聚力增加所致。性質的改良可歸因於形成促進有效強化機制的牢固界面。據報導，奈米尺寸的顆粒(~20 nm)對比於微米尺寸的顆粒(~3.5 μm)的抗拉強度和降伏強度係有所增強，儘管奈米尺寸顆粒對比於微米尺寸的顆粒的體積裝載量少了多達一個數量級。傳統技術於是可能無法提供奈米級的增強。據此，當前需要將其中內含隙間空位的碳結構減小至奈米級。

微波(MW)電漿炬反應器

【0052】 使用微波(MW)電漿炬反應器、初始3D數層石墨烯(FLG)顆粒可連續成核，例如含碳物種，例如在甲烷氣體的大氣壓蒸氣流中飛行，其中此類成核作用是從最初合成的碳基或含碳「種子」顆粒發生的。由多層FLG(例如5至15層)構成的華麗、高度結構化和可調諧的3D介孔碳基顆粒是由含碳物種長出連同伴隨摻入金屬元素或金屬基合金，以形成至少部分地共價鍵結的(以及至少部分地金屬鍵結的或離子鍵結的)碳-金屬複合材，在本案中也稱為「柯維提克」顆粒結構。在一些實施方式中，在所述MW炬反應器中提供或生成的「初始的」石墨烯(指稱沒有缺陷或極少缺陷的石墨烯)未被氧化，或者含有極少的(例如< 1%)氧含量。在一些實施方式中，金屬本身(在所得的柯維提克材料中)是藉由金屬鍵結

來保持在一起，而碳本身(在石墨烯或一些其他有組織的碳基的諸如基質或晶格之2D或3D結構中普遍存在)是藉由(主要)共價鍵來保持在一起。複合的碳-金屬結構可包括出現在金屬-碳界面處、在碳與金屬原子之間的共價鍵。

【0053】 當前揭示的基於微波電漿的反應器方法提供了一種反應和加工環境，其中氣-固反應可在非平衡條件下受到控制(指稱不處於熱力學平衡但可以代表用於指定系統處於熱力學平衡的變量外推的變量來描述的物理系統；非平衡熱力學係關於傳輸過程且關於化學反應速率，以及可由游離電位和動量連同熱能獨立地控制的金屬粉末初熔)。*原位*(指稱在反應器或反應室內就地)成核後，可將來自電漿炬的既有固態、實質上固態或半固態的碳基顆粒以添加劑、逐層方式沉積至控溫的基板(例如筒)上。可將排出顆粒噴塗並結合到特定的基板上。在某些情形下，不使用基板，而是將排出的半固體顆粒分組形成一或多個定向組織的、自立的、自支撐的結構。不像操作流量、功率和配置受到限制的標準電漿炬，當前揭示的微波電漿炬包括控制機制(例如流量控制、功率控制、溫度控制等)，以獨立地控制一或多個構分材料的溫度和氣-固反應化學，以創建具有偏好地出乎意料和極高均質性的獨特、華麗、高度組織化之共價鍵結的碳-金屬結構。

【0054】 藉由當前揭示的基於MW反應器的技術製造的柯維提克材料產生了各種競爭優勢，其在現有材料或產品中是無法獲得的。一個此類優勢關於固有的可擴展性和通用性，以調配獨特的、物理和化學上安定的、通用的金屬-碳複合材，其在下列的各式各樣配置及/或架構下皆展現出可預測的變形(指稱應力、應變、彈性或其他一些可確定的物理特性)，例如(但不限於)：(1)緻密的薄膜植入；(2)塗層，(3)厚條帶，以及(4)粉末狀顆粒，其可投至後續重熔和澆鑄及/或用於形成工程用金屬合金組件。相較於既有的母體金屬合金調配物，任何前述緻密薄膜MW-反應器製造的碳基金屬複合材植入及/或塗層及/或條帶及/或粉

末狀顆粒皆展現出增強的物理、化學和電氣性質。

總覽

【0055】 本案的揭示內容說明了以其固有的結構特性，例如高縱橫比和”2D”平面幾何形狀而聞名的低劑量奈米填料碳基板料，例如石墨烯與金屬的整合。石墨烯由於其面內sp^2 C=C鍵結(產生2D平面幾何形狀)而擁有驚人的良好的機械、物理、熱和電氣性質。因此，相較於諸如微填料聚丙烯腈(PAN)基碳纖維之替代品，石墨烯係適於金屬基質複合材的理想強化材。應該注意的是，即使在低石墨烯奈米片含量(裝載量)下，仍會形成帶有各向異性(指稱在不同方向上測量時具有不同值的物理性質的物體或物質)的3D網絡，其致使熱導率和電導率以及機械特徵的顯著改良。

【0056】 在金屬基質複合材中使用碳奈米填料時遇到的挑戰包括由於潤濕性差導致的分散困難(潤濕性指稱液體維持與固體表面接觸的能力，此係當兩者在一起時由分子間的相互作用所產生之；潤濕程度，稱作潤濕能力，是由黏合力和內聚力之間的力平衡決定的)。由於碳原子之間的凡得瓦力所致，奈米填料所呈現的表面積增加造成顆粒附聚成簇並扭曲。金屬基質複合材中的奈米填料的附聚物和成簇會導致形成非所欲的裂紋和孔洞，最終可能損害所得材料的結構完整性，進而在高裝載量或性能條件下過早失效。

【0057】 儘管已經(且目前也可能)使用了許多加工方法，例如習用粉末冶金、熱軋、澆鑄和增材製造來製造金屬基質複合材，但仍然有均勻分散奈米填料的挑戰。固結期間施加的應力對奈米填料的損害以及在燒結和澆鑄期間在高溫下與基質發生非所欲或無法控制的化學反應是試圖實現奈米填料分散所面臨的挑戰的一些例子。

【0058】 相較於石墨烯片材的側面和末端，無缺陷的石墨烯基面展現出非凡的良好化學安定性，其更易於與金屬相互作用而形成碳化物(根據吉布斯自由

能，在熱力學上是有利的)。然而，在加工期間，缺陷可能很容易在基面上形成，而導致碳化物的形成和對複合材性質的不利影響。是以，相對苛刻的加工條件，例如高溫和高壓可能會不利地影響碳奈米填料及其周圍金屬基基質之間的界面品質。明確地說，高溫和高壓可能會不利地影響潤濕能力、結構完整性，可能會不必要地影響碳化物的形成，並可能以其他方式造成其他有害的界面反應。

【0059】 一種稱作柯維提克(如前所述)的替代方法已成功用於將碳奈米填料併入金屬基質中。在柯維提克相關方法中，已顯示藉由使用外加電場在液態金屬中形成石墨烯「帶(ribbons)」和奈米顆粒的網絡，即使在重熔後，該網絡在金屬基質內也展現出非凡的安定性。相應地，複合材結構比母體金屬更有效地導熱和導電。

均勻分散

【0060】 由於將石墨烯併入金屬基質的挑戰之一是要實現均勻分散，故經由在外加電場(從碳電極或從碳添加劑的分解)中石墨烯帶及/或顆粒的伴隨剝落和潤濕，柯維提克加工克服了此問題。假設表面上有適當的感應電壓，可透過顆粒表面處的氧化還原反應管控諸如氧和氫之雜質，以促進潤濕/分散。挑戰是下列之一：控制石墨烯帶及/或顆粒的結構完整性和均勻性(例如尺寸、缺陷等的均勻性)、以及控制在高溫下與金屬的化學反應性、以及控制顆粒在主體以及在熔體表面的分佈。

額外複雜性

【0061】 儘管金屬(熱和電兩者)的基本能量傳導模式可(至少部分地)藉由電子進行，並受到晶度和諸如石墨烯之填充劑的雜質的控制，以增強金屬基質複合材的熱導率(透過石墨烯中的聲子傳導)，但有需要與金屬晶格(另外或另擇地稱作支架、基質或結構)的某種程度的配準及/或連貫性(例如整體結合的奈米級碳)，或需要最小片間隔(例如鄰近或網絡)閾值以供片之間(例如石墨烯將需要

是單層或僅數層且長度為數十奈米)的傳導。然而，關於強化金屬基質，可能需要將石墨烯化學地(或在某些情形下亦物理地)鍵結到基質，以供適當的裝載轉移(請注意，石墨烯的長度可大於~0.5 μm以供最大裝載轉移)。除了依賴於碳(石墨烯)奈米填料和金屬晶格之間的連貫及/或半連貫彈性應變的固溶強化之外，離散的石墨烯奈米顆粒可適於作為在晶粒邊界處的錯位堆積或釘扎的障礙(例如霍爾-貝曲(Hall Petch)晶粒精煉法，指稱藉由改變材料的平均微晶(晶粒)尺寸來強化材料的方法；其基於以下觀察：晶粒邊界是錯位的無法迄及邊界，並且晶粒內錯位的數量會影響應力如何累積在毗鄰晶粒中，其最終將激活錯位來源且於是也使相鄰晶粒變形；所以，藉由改變晶粒尺寸，吾人可影響在晶粒邊界處堆積的錯位數量和降伏強度)，其二者改善了機械性質。

【0062】 再次，由於其2D本質和高表面積所致，石墨烯除了沿著金屬結構內的滑動平面對齊外，還可沿著晶粒邊界區域取向。無論感興趣的性質是化學的、機械的、熱的或電氣的，奈米填料與周圍金屬基質的晶體結構(在原子位準上)的對齊性和配準越大，則金屬基質複合材結構的性質的增強以及安定性越大。

【0063】 從根本上而言，碳在金屬表面處的生長(非均質)或從熔體中的溶液沉澱出來(均質)取決於碳在金屬中的溶解度(依據圖10右側所示的二元相圖)。碳在純過渡金屬(與許多純金屬，一般而言)中的溶解度非常低，例如在金屬的熔點附近，儘管會隨著溫度增加到遠高於金屬的熔點(例如高達2,000°C以上)而升高。碳在鎳中的溶解度，例如在約2.5%的過共晶點附近是碳在純金屬中的較高溶解度之一。請注意，對金屬添加諸如氧、硼或氮的隙間雜質或置換原子可能會影響(例如有潛力增加)碳的溶解度。已顯示碳在金屬中的溶解度越高，或者熔融金屬的溫度越高，則隨著金屬的冷卻和固化，沉積在金屬表面的碳越厚。值得注意的重點是，碳在自由表面附近的溶解度更高，其與液-氣界面的界面能組合在一起係有助於固體碳在金屬熔體-空氣界面處沉澱。用於克服此現象帶來的

該等問題的裝備及操作該裝備的技術已在關於圖式和相應的討論中解決了。

圖式的定義和使用

【0064】 為了方便參照，下文定義了本說明中使用的若干術語。所呈現的術語及其各自的定義不嚴格地限於該些定義，術語可藉由該術語在本揭示內容中的使用來進一步定義。術語「例示性(exemplary)」在本案中用來表示適於作為例子、情形或例示。本案中被描述為「例示性」的任何態樣或設計不必被解讀成比其他態樣或設計更佳或更有利。而是，例示性詞語的使用係意圖以具體方式呈現概念。如在本申請案及所附申請專利範圍中使用的，術語「或」係意圖表示包含性的「或」而不是排他性的「或」。亦即，除非另有指明或從上下文可清楚地看出，否則「X運用A或B」係意圖表示任何自然的包含性排列。亦即，假使X運用A、X運用B或者X運用A和B兩者，則在任何前述情形下都滿足「X運用A或B」。如本案所用，A或B中的至少一者意指A中的至少一者，或B中的至少一者，或A和B兩者中的至少一者。換句話說，此用語是析取的。除非另有指明，或者從上下文中清楚地指向單數形式，否則在本申請案及所附申請專利範圍中使用的冠詞「一個(a/an)」一般應當被解讀成表示「一或多個」。

【0065】 本案參照圖式說明了各種實施方式。應當注意，圖式不一定按比例繪製，並且在整體圖式中，有時用類似的元件符號表示類似結構或功能的元件。還應注意，圖式僅意圖幫助所揭示實施方式的說明，該等並不代表所有可能實施方式的詳盡處理，並且該等無意於對申請專利範圍之範疇進行任何限制。此外，圖解實施方案無需繪示在任何特定環境中使用的所有態樣或優點。

【0066】 連同特定實施方式說明的態樣或優點不一定限於該實施方式，並且即使未依此圖示，也可在任何其他實施方式中實踐。本說明書通篇中對「一些實施方式」或「其他實施方式」的參照是指結合該實施方式說明為包括在至少一個實施方式中的特定特徵、結構、材料或特性。於是，在本說明書通篇中

各處出現的用語「在一些實施方式中」或「在其他實施方式中」不一定是指相同的實施方式。所揭示的實施方式並非意圖限制專利申請範圍。

例示實施方式的說明

【0067】 圖1A是顯示根據一些實施方式的兩種不同柯維提克材料形成技術102和分別得自各者應用的例示材料的比對圖1A00。

【0068】 在用以製造柯維提克材料的習用金屬熔體方法103的情況下，將固體碳添加至金屬熔體中。此習用金屬熔化技術係藉由在外加電流下、穿過固-液(例如碳-金屬)界面的碳化物形成和相互擴散的動力學支配，其提供了額外的能量來克服碳原子和金屬原子之間的堆積缺陷能量。依此，用於形成柯維提克加工的習用金屬熔體技術與諸如粉末冶金及/或熱軋的其他複合材加工方法沒有顯著不同，該複合材製程涉及使第二相顆粒固結到金屬基質中。該些習用複合材加工方法在分散及/或分佈、反應性和材料性質的變異性面臨許多挑戰。再者，習用柯維提克加工依賴於批次加工，經常產生不一致的轉換產率以及所得性質的廣泛變化。

【0069】 如附聚影像105所示，當使用習用金屬熔體方法103時，所得材料會受害於碳的極度附聚，其繼而：(1)限制碳強化晶格的角色；以及，(2)限制用於表面功能化的表面形態的可調諧性。為了比對，當使用當前揭示的技術時，所得材料展現出近乎均勻的均質性(例如無附聚物)，該均質性是由碳均勻分散於晶格中所產生的。此顯示在均質性影像106中。

【0070】 例如均質性影像106中所繪示的柯維提克材料可藉由許多所欲的材料性質108來定性，例如均勻性、高碳裝載量、表面處的低碳含量等。該等是使用習用金屬熔體方法103形成的材料所沒有展現出的高度所欲的材料性質。因此，所尋求的是克服習用金屬熔體方法103的缺點的改良方式。

【0071】 一個此類的改良方式涉及電漿噴炬方法104。電漿噴炬方法的應用

得到了柯維提克材料的一致產率，於是克服了習用金屬熔體方法的產率缺點。再者，電漿噴炬方法的應用得到了擁有前述改良的機械性質、改良的熱性質和改良的電氣性質的柯維提克材料，於是克服了習用金屬熔體方法的所得材料缺點。

改良方式

【0072】 如圖所示，電漿噴炬方法104可配置成使用引進的輸入材料(指稱以氣態形式提供含碳原料物種，例如甲烷，並透過應用引導經由甲烷氣體的MW能量對其進行供電等)。然而，藉由在高溫下解離含碳氣體(例如甲烷或其他烴源)，碳的自限性單層，尤其是初始石墨烯可在金屬(例如銅、金、鋅、錫和鉛)晶格上及/或內部生長。單層的數量至少部分取決於碳在金屬中的溶解度。石墨烯膜在金屬基板上的生長動力學、結合和最終結構取決於該金屬的價電子和對稱性(緊密堆積平面)。類似地，金屬可在碳上生長，偏好在碳的缺陷部位或在選擇性的氧或氫封端的部位成核並生長。隨後可製造單層碳和金屬的交替堆疊，以實現經石墨烯強化的金屬複合結構的增強性質。

【0073】 使用微波電漿反應器，初始3D數層石墨烯顆粒可從烴氣體源連續成核並生長。此外，可藉由將選擇性元素添加到電漿氣流中以將其併入3D石墨烯顆粒支架中。微波電漿反應器製程提供了一個獨特的反應環境，在該環境中，氣-固反應可在非平衡條件下受到控制(例如可藉由游離電位和動量連同熱能來獨立地控制化學反應)。可將反應物作為固體、液體或氣體插入電漿反應器區，以獨立地控制獨特的非平衡結構(例如金屬上的石墨烯以及石墨烯上的金屬)的成核和生長動力學。

【0074】 舉例來說，為了創建奈米級的整合石墨烯-金屬複合材，可將精細的奈米級金屬顆粒與例如甲烷的烴類氣體一起引進微波電漿炬中。甲烷解離成氫和碳(例如使用微波電漿的理想能量形成C和C_2)，其隨後可在金屬顆粒的半熔

融表面上成核並長成有序的石墨烯。非平衡能量條件可藉由調整製程條件來創建，以就碳反應性和對金屬表面的輸送來獨立地控制金屬的溫度。在經控制的低能量下，游離化的氫(或其他離子)可用於撞擊/濺射生長中的石墨烯-金屬表面的表面，而不會損壞石墨烯-金屬組成物的結構。此隨後促進了交替的石墨烯-金屬層的進一步生長。此外，取決於電漿反應區內的駐留時間和能量學，可創建帶有特定性質的金屬-石墨烯結構，當該金屬-石墨烯結構在受控溫度下噴塗到基板上即快速冷卻時，該等特定性質得以保留。在電漿內以受控的能量形成金屬-石墨烯結構以及控制基板的溫度提供了在該些柯維提克材料的整個演進中對於高能條件的獨立控制。

【0075】 可透過「濺射」將石墨烯施加(及/或沉積)到金屬或含金屬的材料層上(指稱在材料本身被電漿或氣體的高能顆粒轟擊後，固體材料的微觀顆粒從其表面噴出的現象；濺射可作用於極精細材料層的事實在科學和工業中經常被利用，在這種情況下，濺射可用於執行精確的蝕刻、進行分析技術並在製造光學塗層、半導體裝置和奈米技術產品等時沉積薄膜層)。如上所述，此類濺射在與目前討論的MW電漿反應器一起運用時可藉由控制電漿反應區內的駐留時間和能量學來控制，以促進交替的石墨烯-金屬層的生長。該些交替的石墨烯-金屬層係組織成規則的(例如晶體)構形的原子連貫平面。當石墨烯-金屬層迅速驟冷(在材料科學領域中，驟冷或迅速/快速驟冷是指工件在水、油或空氣中的受控快速冷卻，以獲得某些材料性質；一種熱處理，驟冷可藉由減少時間窗口來防止或控制非所欲的低溫過程，例如相變的發生，在該時間窗口期間，該些非所欲的反應在熱力學上是偏好的且在動力學上是可行的；舉例而言，驟冷可減少金屬和塑膠材料的晶粒尺寸、增加其硬度)到較冷的基板上時，此晶體構形得以保留。如上所述，迅速驟冷係適於將石墨烯基本上「凍結」(指稱滯留在實質上固體的狀態，而非僅僅按照從液體到固體的相變的傳統定義)至金屬，而成為形成

於電漿反應器內的所欲晶體構形。所得材料內部和表面處的均質性係極度均勻。此極度均勻的均質性可用於區別使用金屬熔體方法104形成的材料。此係因為金屬熔體方法104不能獨立於熱能來控制離子能量。更明確地說，因為金屬熔體方法104不能獨立於熱能而獲得所欲的更高離子能量，所以金屬熔體反應室中的溫度可能太高，以至於石墨烯-金屬層無法在所欲晶體構形中原子的連貫平面中變得組織化。

【0076】 因此，當使用金屬熔體方法104時，石墨烯-金屬的所欲晶體構形永遠不會發生，於是當該石墨烯-金屬層驟冷到較冷的基板上時，無法保留所欲的結晶構形。反之，當使用金屬熔體方法104時，會發生非所欲的碳沉澱(例如碳從熔體中沉澱出來)，其繼而導致不希望的附聚，其繼而導致所得物的不均勻性。所得物的此不均勻性可能導致所得材料中的化學及/或物理(機械)特性不甚理想，包括但不限於過早的機械失效。

【0077】 圖1B呈現高解析度透射電子顯微鏡影像114和高解析度能量色散譜X射線影像116。為了方便起見，這裡還顯示了圖1A的均質性影像106。

【0078】 如同此例示影像組所繪示，碳均勻分佈在整個金屬晶格中。在高解析度透射電子顯微鏡影像114中強調了這一點。而且，高解析度能量色散譜X射線影像116清楚地顯示金屬晶格中極高的碳裝載量。在此例子中，碳裝載量形成整體銅-碳晶格的大約60%。此顯示於高解析度能量色散譜X射線影像116。在此特定影像中，較暗的區域是碳，較亮的區域(顯示為點)是銅。

【0079】 從該影像可看出，尤其從高解析度能量色散譜X射線影像116的圖案可看出，碳和母體金屬(在這種情況下例如銅)係均勻地分散。如圖所示，此均勻的晶格級別分散係存在於表面處，再者，此均勻的晶格級別分散也存在於母體金屬的深處。柯維提克材料的其他影像在圖20A1、圖20A2和圖20B中給出，該等圖式緊接在討論(1)材料演變過程，(2)電漿噴炬設備和(3)電漿噴炬的各種配

置之後。

【0080】 在一種使用場景中，圖1B的柯維提克材料可使用以高速率和高體積製造整合的石墨烯-金屬複合膜的可調諧微波電漿炬來製得。現在簡單地討論一個特定的製造過程，在該過程期間，石墨烯生長到小型熔融金屬顆粒上。

【0081】 圖2繪示用於將石墨烯生長到小型熔融顆粒上的製造過程200。作為選項，製造過程200的一或多個變型或其任何態樣可在本案所述的實施方式的架構和功能性的背景下實施。製造過程200或其任何態樣可在任何環境中實施。

【0082】 一個可能的方法是使用「非平衡能」微波電漿炬提供對金屬溫度的非平衡控制而獨立於碳的創建。此電漿炬能量隨後被引導至熔融及/或半熔融的金屬顆粒表面。此技術容許在熔體上進行生長的時間。在炬內創建的熔體(或半熔體或核殼材料)上的生長將藉由主要電漿捲流流出遍及欲生長的金屬表面，然後迅速驟冷。此技術提供了生長厚膜的手段，該厚膜在分層時即可生長成均質的厚錠及/或生長在將要後加工或重熔成應用的組件部件之內或之上。

【0083】 此外，圖2係呈現以例示當使石墨烯生長到小型熔融顆粒上時獨立控制構分材料溫度和氣-固反應化學的效果。圖2顯示柯維提克材料製造的幾個過程中的演變；並呈現用於形成基於電漿炬的柯維提克材料的過程。

【0084】 如圖所示，從電漿炬排出的半固體顆粒可以添加劑、逐層方式沉積在溫度受控的基板上。不像操作流量以及功率的控制和其他配置受到限制的標準電漿炬，所討論的微波電漿炬可經操作以獨立地控制構分材料溫度以及氣-固反應化學。

【0085】 從以上揭示內容可看出，微波電漿源可得到(舉例來說)：(1)較高的電漿密度；(2)離子能量分佈較窄的離子能量；以及，(3)改良的塗層性質。此至少部分是由於在2.45 GHz下改善了功率耦合和(電磁能)吸收。取決於壓力，典型的電子溫度約為1 eV至15 eV等級，生成電漿密度>10^{11} cm^{-3}。如此低的電子溫

度不僅在控制電漿化學方面，而且在將離子能量限制於通常在5 eV至80 eV範圍內的基於氬的同軸微波電漿的離子能量方面也是有利的。使用該等高密度電漿形成的狹窄電漿鞘的結果是，防止了離子能量分佈的碰撞加寬，於是得到尖銳的離子能量分佈，其支持某些膜沉積製程的精細控制。此外，經由在微波電漿中使用脈衝功率，可形成並控制非平衡能量。在施加微波能量期間，功率在欲形成電漿的整個體積中傳遞，於是能量以逐步碰撞能量的方式累積。

【0086】 前述對圖2的討論包括用於施加微波能量的技術，該技術在下文進一步詳細揭示。

【0087】 圖3繪示電漿能量狀態圖300，其顯示脈衝微波能量源如何用於使石墨烯生長到小型熔融顆粒上。

【0088】 於2.45 GHz的改良之功率耦合和吸收的結果是，微波電漿源具有實現更高電漿密度、離子能量分佈更窄的離子能量及改良的塗層性質的潛力。取決於壓力之典型的電子溫度約為1 eV至15 eV等級，生成電漿密度>10^{11} cm^{-3}。如此低的電子溫度不僅在控制電漿化學方面，而且在將離子能量限制於通常在5 eV至80 eV範圍內的基於氬的同軸微波電漿的離子能量方面也是有利的。使用該等高密度電漿形成的狹窄電漿鞘的結果是，防止了離子能量分佈的碰撞加寬，進而得到尖銳的離子能量分佈，其就一些膜沉積製程的精細控制而言是必要的。此外，經由使用輸送至微波反應器中的脈衝功率，可形成並控制電漿非平衡能量。在施加微波能量期間，功率在欲形成電漿的整個體積中傳遞，於是能量以逐步碰撞能量的方式累積。

【0089】 一旦起始電漿在絕大部分體積中形成，能量最大的輸送天線將以高度局部化的方式繼續增加。附近的電漿密度會稍微降低，直到電漿收縮。關於製作和使用脈衝微波能量源的一般方式的進一步細節在2019年6月25日獲證的美國專利公告號10,332,726中有所描述，其全部內容以參照方式併入本案。

【0090】 圖3顯示，在非平衡狀態下，電漿的起始能量要高得多，直到其收縮到更低的安定溫度為止。更明確地說，電漿能量狀態圖繪示了從起始高能量非平衡狀態到較低能量安定的平衡狀態的轉變。一旦形成初始電漿，能量最大的輸送天線將以高度局部化的方式繼續增加，直到電漿收縮並由於能量遮蔽而在腔室的其餘部分丟失。

【0091】 可控制脈衝微波能量源，以最佳化用於使石墨烯生長到小型熔融顆粒上的電子溫度。這在壓力>>20托的情況下特別有效。為了確保電漿化學解離是均質的，並且材料的塗層也是均質的，必須控制腔室的環境。

【0092】 如圖3所示，能量分佈圖指示起始能量很高，而一段時間後，其收縮到較低的位準，並一直停留到斷電為止。電漿熄滅，並重新啟動後，再次依循能量循環。藉由減少從起始電漿點火到安定之間的時間，電漿主要維持留在系統的主體中，其中可能發生更均質的材料解離。可藉由控制脈衝的頻率和工作週期來縮短初始電漿點火到其安定時之間的時間。

【0093】 圖4顯示並說明了一種用於控制脈衝微波反應器中的電子溫度的技術。

【0094】 圖4繪示用於將石墨烯生長到小型熔融顆粒上的電子溫度控制技術400。作為選項，電子溫度控制技術400的一或多個變型或其任何態樣可在本案所述的實施方式的架構和功能性的背景下實施。電子溫度控制技術400或其任何態樣可在任何環境中實施。

【0095】 圖4例示了關於使數層石墨烯生長到熔融的奈米級尺寸顆粒上而不是將碳混合到熔融漿料的主體中的態樣。明確地說，該圖呈現出經由控制微波脈衝頻率來控制電漿溫度的貢獻。

藉由控制脈衝頻率控制電漿溫度

【0096】 如先前圖3所繪示，能量分佈圖指示起始能量很高，而一段時間

後，其收縮到較低的位準，並一直停留到斷電為止。電漿熄滅，並重新啟動後，再次依循能量循環。藉由減少從起始電漿點火與安定之間的時間，電漿主要維持留在系統的主體中，其中可能發生更均質的材料解離。

【0097】 如圖4所示，效果實質上取決於微波能量源的開啟/關閉週期的時間。藉由控制脈衝的頻率，可創建最佳的化學離解和均勻塗層。再者，藉由設定脈衝頻率，也可控制電漿的平均溫度。

微波電漿炬中的電漿溫度控制

【0098】 本案討論的整合微波電漿炬係用於針對形成帶有超越現有金屬合金和習用複合材加工方法之經增強的機械、熱和電氣性質的整合第二相碳-金屬複合結構。再者，微波電漿炬可用於直接在高價資產組件上形成碳-金屬複合塗層和顆粒。更進一步，前述方法和設備滿足許多清潔能源目標，這些目標關於改良的電力分配和有效的變壓器和熱交換器性能。

微波電漿炬實際應用

【0099】 使用整合的微波電漿炬技術，可經濟地(例如成本有效地)以快速的速率沉積及/或形成材料，並且可以各種不同的配置施加。此技術的受益者包括尤其是關於傳輸和儲存的各種能源製造業、運輸業、軍事設備行業以及許多其他製造業。作為一個特定的實際應用例子，飛機的金屬表面可藉由電漿噴霧來處理，以在金屬-空氣界面處創建柯維提克材料。該金屬表面於是變得不受腐蝕。此外，該表面附近的碳原子允許其他材料化學鍵結到該碳原子及/或黏附到該表面。可化學鍵結到該碳原子的前述其他材料可基於在各種實際應用中出現的需求來選擇。

【0100】 作為另一個特定的實際應用例子，空中載具(例如飛機、直升機、無人機、火箭、導彈等)的金屬表面可藉由電漿噴霧來處理，以創建作用為紅外線遮蔽劑(例如偵測反制)的柯維提克材料塗層。

【0101】 圖5例示用於使石墨烯生長到小型熔融顆粒上的雙重電漿炬設備500。作為選項，雙重電漿炬設備500的一或多個變型或其任何態樣可在本案所述的實施方式的架構和功能性的背景下實施。雙重電漿炬設備500或其任何態樣可在任何環境中實施。

【0102】 顯示的設備裝配係使用：(1)金屬電漿噴炬，用以將熔融金屬供應到加熱的基板(Al、Cu、Ag等)的表面，以及(2)微波電漿炬，用以將離子化的碳和電漿自由基傳送到該熔融表面，以致使柯維提克生長到熔融金屬上。

【0103】 該系統被插入惰性氣體環境或插入大氣控制室中，以提供對材料氧化的更佳控制。在一個實施方式中，圖5的炬的裝配和操作顯示於表1，以下討論其細節。

表1

步驟	裝配和操作說明
1	識別並選擇反應物材料
2	將標準的非微波電漿噴炬和微波電漿炬整合到雙重電漿炬中
3	定義電漿炬加工參數
4	操作雙重電漿炬以在半熔融顆粒表面上製造石墨烯生長

步驟D1：反應物材料識別和選擇

【0104】 可同時電漿噴塗任何數量的金屬連同亞穩態碳物種，以形成奈米-碳-金屬複合結構。當以超過熱力學溶解度極限的濃度形成2D石墨烯時，可使用具備高電導率和熱導率的不同金屬。在一些情況下，選擇兩種不同的金屬，各具有不同的碳溶解度極限及/或不同的熔點及/或不同的密度及/或不同的晶體結構。

步驟D2：微波和「標準」電漿噴炬的選擇、修改和驗證

【0105】 圖5的設備可(在某些實施方式中)實質上由「標準」、現成的電漿噴霧和微波電漿炬構成。具有兩個炬允許兩個不同的加工步驟，即：(1)金屬的初始熔融，以及(2)來自烴源的石墨烯片的成核/生長。兩個炬中的各個炬可彼此

獨立控制。

【0106】 如圖5所示，兩個炬是並列的，以供同時或依序操作。明確地說，具備低電子溫度和高電子密度的微波電漿可用於最佳化石墨烯的形成(包括碳過飽和閾值下的成核速率)，而標準電漿噴炬可用於將金屬粉末/顆粒加熱到熔融或半熔融狀態，然後將顆粒(以及成核離子化碳/石墨烯)朝向基板加速。可協調兩個獨立的流動流，以在半熔融的顆粒表面上達成精細級石墨烯生長。在一些情況下，雙重炬配置包含用以在炬的出口流處或附近以及基板表面的撞擊區域中和周圍維持惰性氣氛(例如覆蓋氣體)的構件。此係因為來自周遭空氣的污染物(例如氧、氮和濕氣)可能會影響碳原子與金屬原子之間的鍵結。因此，在某些實施方式中，雙重炬系統經配置成插入完全受控的惰性氣體環境(例如腔室)中，以提供對材料氧化的有效控制。

步驟D3：電漿加工參數的原理和定義

【0107】 反應物(例如烴)及惰性氣體和流量係經選擇，以確保電漿的安定性並確保控制電漿內的成核和生長製程(例如給定氣體混合物和流速的過飽和閾值)。在從電漿到基板的偏離期間，控制亞穩態碳的加速速率和溫度。相應地，標準電漿噴炬的製程條件係經設定，以創建固結的薄膜，碳可撞擊到該薄膜上並發生反應。表面溫度和局部氣相環境係經控制，以促進亞穩態碳相的相互作用和生長。

步驟D4：操作雙重(金屬和微波)電漿炬

【0108】 金屬和微波電漿炬兩者的加工窗口的各種參數經配置成獨立地受控，或者，在一些實施方式中，彼此共同地受控。在操作一或多個金屬和微波電漿炬(本案稱作「雙重電漿炬」)之前、期間和之後，用於整合的碳-金屬形成的加工窗口係經定性。再者，一或多個參數或參數組合係經選擇，觀察到碳-金屬沉積，並使用任何本領域習知技術，所沉積的樣本可相對於各種差異因素來

定性，包括(但不限於)：形態(例如使用掃描電子顯微鏡(SEM))、結構(例如透過X射線繞射(XRD)和透過拉曼光譜法)及/或物理和化學組成。

【0109】 圖6例示可經調諧以使石墨烯生長到小型熔融顆粒上的脈衝微波電漿噴炬設備600。作為例子，脈衝微波電漿噴炬設備600的一或多個變型或其任何態樣可在本案所述的實施方式的架構和功能性的背景下實施。脈衝微波電漿噴炬設備600(或其任何態樣)可在任何環境中實施。

【0110】 在此配置中，橫向電氣(TE)微波能量功率構件可被耦接到中央介電管上(或在一些實施方式中，也實質上滲透到中央介電管之內)，以將微波能量傳播到中央介電管之內並遍及中央介電管。供應到中心區域的氣體(在此例子中)可為吸收微波輻射的烴氣體，例如甲烷。供應金屬粉末(由實質上惰性的載氣攜帶)，以使其從源自電漿的熱能和外加的熱能的組合而在脈衝微波電漿噴炬設備600的主體(或主腔室)內加熱。在暴露於此類能量下，金屬粉末在達到熔融溫度時熔融，以製造黏性的可流動液體材料或液滴(可能含有半固體材料)或任何其他可思及的分散物(主要取決於伴隨的熔融條件)。

【0111】 隨著烴氣體分解成其構分元素物種，碳自由基在熔融的金屬液滴的暴露表面成核。微波的能量調諧設定和熱捲流溫度設定的組合可允許熔融溫度和脈衝微波電漿噴炬裝置600的中央區域中的電漿分解/離子化溫度之間的不同溫度。電漿噴炬裝置的中央腔室或區域內的非平衡條件(指稱溫度、壓力等)可允許(或以其他方式幫助)石墨烯/碳的內部晶格置放(指稱碳材料的合成晶格結構連同任何輸入金屬的定位，俾使個別碳原子和金屬原子可至少部分地對齊)，而迅速驟冷則創造了有利於柯維提克材料生長的條件。顯示內部晶格的圖係呈現於圖8A-B、圖12、圖26C和圖26D及於下文的相應書面說明，其中碳的晶格和金屬的晶格經取向為俾使碳原子和金屬原子至少部分地對齊。

【0112】 圖6的單一整合式微波電漿炬可如下表2所繪示來設定和操作，以

下說明其細節。

表2

步驟	設定/操作說明
1	佈置單一整合式微波電漿炬
2	操作該單一整合式微波電漿炬，以形成石墨烯裝載的金屬複合材合金
3	將所得物定性

步驟S1：佈置單一整合式微波電漿炬

【0113】 圖6繪示單一整合式微波電漿炬。該炬具有使用(舉例來說)小型惰性氣體或差壓抽真空以控制氣體流量來加工固體、液體和蒸氣反應物原料物種的能力。該炬可佈置在任何環境中(指稱實驗室、研究機構或大型工業機構等)。

步驟S2：操作該單一整合式微波電漿炬，以形成石墨烯裝載的金屬複合材(柯維提克)合金

【0114】 微波能量連同集中式氣體進料系統係以共線波導配置傳送，以有效吸收微波能量。微波能量源用於將金屬加熱到半熔融狀態。隨著CH_4(或其他烴源)在導入表面波電漿氣體離解管的排氣捲流中分解(成其構成物種)，碳自由基可透過電漿自由基(導向金屬液滴上)供電而在金屬液滴表面上成核(例如以組織化的逐層方式)。微波熱捲流溫度和電漿的能量調諧允許獨立控制熔體與發生在脈衝微波電漿噴炬設備600的中心區域內的電漿分解/離子化之間的溫度。

【0115】 製程條件係經測量且最佳化。所欲的製程條件係藉由或為了整合式微波電漿炬來控制，以在單一或多重階段電漿反應炬內直接形成裝載石墨烯的金屬複合材料。電漿炬可在表面波電漿的不同區域內調變，以增強共振(調變)時間並最佳化目標金屬-碳結構的形成。

【0116】 除了在所繪示位置處顯示的製程氣體端口(例如用於引進烴製程氣體605)之外，可在不同位置處設置附加端口604。此類附加端口可用於控制如何將製程氣體引進微波場以及引進其他製程氣體。作為例子，製程氣體也許是

SiH_4或NH_3。在一些實施方式中，可包括多於一個的氣體輸入端口或多於一個的顆粒輸入端口(例如一個用於碳，一個用於金屬)，其中該等輸入端口的位置可位於電漿炬的不同區中。

【0117】 前述的裝配和條件以及其他條件係經最佳化，以在基板表面處產生使撞擊顆粒能夠固結成膜的條件。根據以下步驟S3中概述的方法分析並定性所沉積的膜。

步驟S3：驗證/定性石墨烯(第二相)的金屬性質

【0118】 所沉積的整合碳-金屬複合結構的定性係使用數種技術達成。舉例來說，X射線光電子能譜(XPS)及/或SEM-EDS可用於測定化學組成、結合能量(奈米級碳偵測)和分佈。再者，能量色散X射線光譜(EDS)及/或SEM及/或拉曼光譜及/或XRD可用於測定形態及/或用於測量晶粒尺寸和結構態樣。可使用任何已知技術來評估複合材料的電氣和熱性質以及抗拉強度和模量。

結果

【0119】 前述技術使用微波電漿炬來連續製作金屬基質複合材。該加工需要材料成核並在電漿內形成生長區，接著是將材料固結到基板上的加速和衝擊區。各區提供對異樣材料合成/調配和整合的獨特控制；即，在電漿中選擇性和獨特地形成合金顆粒，其隨後經由在撞擊到基板上的期間控制動量(主要是動能)和熱能，以使獨特的加成製程能夠控制固結參數，例如孔隙率、缺陷密度、殘餘應力、化學和熱梯度、相變和各向異性。

【0120】 各種材料係經選擇，以在電漿操作環境中的廣泛範圍的生長動力學中使用。特別是，可經由脈衝能量電漿炬處理系統來加工具有特定的碳對氧和氫比例的不同烴氣體源以及具有不同的碳溶解度、熔點和晶體結構的固體金屬(或金屬合金)顆粒源。依此，可識別特定的電漿加工參數，以用於顆粒的伴隨初始表面熔融連同在金屬表面處成核/生長以及併入2D石墨烯和再次濺射的金

屬。

【0121】 在將石墨烯從微波電漿炬併入金屬中後，所沉積的材料/膜就「似柯維提克」性質定性。作為例子，該等似柯維提克性質可定性為(舉例來說)：(1)化學組成(例如偵測雜質及偵測碳的形式)；(2)碳的分佈(例如隙間，指稱碳原子或物種在金屬基質或晶格內之晶內和晶間的位置)；(3)電導率；以及，(4)材料的機械強度。定性可包括所裝載石墨烯對比於非合金化母體金屬之間的比對。另外，且嚴格地作為例子，使用微波電漿炬，所沉積的材料可展現在約3%至90%的整個範圍內(包含端值)之碳對金屬的比例。在一些狀況中，碳對金屬的比例在約10%至40%的整個範圍內(包括端值)。在一些狀況中，碳對金屬的比例在約40%至80%的整個範圍內(包括端值)。在一些狀況中，碳對金屬的比例在約80%至90%的整個範圍內(包括端值)。在一些狀況中，碳對金屬的比例大於90%(包括端值)。碳對金屬的比例會受到界定塗層製程的參數或規格(例如溫度、厚度、均質性等)影響(或進一步影響)。

【0122】 圖7是繪示塗層製程的圖700。該圖式指稱金屬基板，該基板係經受柯維提克材料的電漿炬噴塗，其繼而產生合成複合物碳塗層。金屬基板可能包含銅、鋁或其他主體金屬材料中的任何一或多者。柯維提克材料可能包含碳、石墨烯、奈米洋蔥、碳奈米管(CNT)、碳化物植入材料等的一或多者。

【0123】 電漿炬噴塗適於以沉積的材料塗覆輸入材料，並且可使用脈衝能量操作。如圖所示，沉積的(例如，藉由逐層濺射)材料可以是碳、金屬(例如Al、Cu、Ti、Ta等)及/或氧化物或氮化物中的任何一或多者。

【0124】 使用前述炬有幾個優點。其中最主要的是製程的擴充性和通用性的優點，以各種配置/架構配製獨特的安定金屬-碳複合材。該等配置/架構的範圍從完全緻密的薄膜塗層到厚條或顆粒以供後續的重熔和澆鑄/成型為工程金屬合金組件。相較於既有的母體金屬合金調配物，遍及前述範圍的該等物種中的各

者展現出非預期的有利(和所欲)的經增強的機械、熱和電氣性質。此外，超過熱力學溶解度閾值的金屬合金基質中的共價結合的2D石墨烯的濃度和分佈的可調諧性以及在非平衡電漿環境中逐層形成使得新穎類別的複合材料能夠被設計為對應於特定的應用及/或對應於特定的性質要求。而且，相較於其他技術，此可以顯著降低的成本來完成。

【0125】 經增強的機械、熱和電氣性質可應用於使用銅和鋁合金的大量應用。作為例子，此類應用包括(但不限於)：導線和高壓輸電電纜、微電子熱管理和熱交換器以及使用薄膜電導體的許多應用，例如電池組、燃料電池和光伏元件(photovoltaics)。特別是，微波電漿炬製程且能夠進行碳-金屬合金製造之組合可在製造中節省大量能源，以及提高熱效率並減少終端應用性能的電損耗。

【0126】 前述電漿噴霧技術僅繪示一類製作柯維提克材料的方法。另一類是將碳顆粒噴塗到小型熔融金屬顆粒上。此類和該類的各種物種係參照下列顯示及討論：圖8A-B、圖9、圖10、圖11、圖12、圖13和圖14，以及於本案圖式的討論。

【0127】 圖8A-B是繪示用於將碳顆粒噴塗到小型熔融顆粒上的電漿噴霧製程800的示意圖。作為選項，電漿噴霧製程800的一或多個變型(或其任何態樣)可在本案所述的實施方式的架構和功能性的背景下實施。電漿噴霧製程800或其任何態樣可在任何環境中實施。

【0128】 所顯示的電漿噴塗技術係用於各種塗覆製程，其中將加熱的材料噴塗到表面上。原料(例如塗層前體)係藉由電氣方式(例如電漿或電弧)及/或化學方式(例如透過燃燒焰)加熱。取決於製程和原料，使用此類電漿噴塗技術可提供厚度在約20 μm至約3 mm範圍內的塗層。該塗層可以大面積且高沉積速率來塗佈。使用前述技術，沉積速率遠高於藉由習用塗覆製程，例如電鍍或物理和化學氣相沉積所能實現的沉積速率。

【0129】 除了(或代替)以上例示材料外，可用於電漿噴塗的塗料類型包括金屬、合金、陶瓷、塑膠和複合材。將該等以粉末形式或線狀形式送入噴炬，然後加熱至熔融或半熔融狀態，並朝著微米級尺寸顆粒形式的基板加速。燃燒或電弧放電可用作電漿噴塗的能量源。最終的塗層是藉由堆積多層噴塗顆粒而製成的。在許多應用中，基板的表面不會顯著升溫，於是便於塗覆許多物質，包括大多數易燃物質。

【0130】 圖9是顯示將碳顆粒(例如具有從20 nm至40微米的顆粒尺寸)噴塗到小型熔融顆粒上的效果的掃描電子顯微鏡影像900。噴塗在小型熔融金屬顆粒上的碳顆粒可用於各種特規應用。舉例來說，電漿鋁-石墨複合材可特定地設計用於為渦輪引擎提供塗層。替代例包括使用鋁合金和鈦合金。此電漿噴塗材料的生長速率是拋物線形的。電漿噴塗材料在短時間內沉澱，該沉澱很大程度上與溫度無關。為了製備材料表面，某些製程包括材料的預熱。在一些實施方式中，還進行噴砂來製備材料表面。在一些實施方式中，噴塗到表面上的顆粒的某些部分仍然足夠熱而在基板的表面處形成柯維提克鍵。在其他情況下，小型熔融顆粒處於形成金屬-金屬鍵的溫度下。

【0131】 相較於使用習用炬，本案揭示的微波電漿炬技術的使用能夠創建改良的材料。明確地說，習用電漿炬固有的功率控制限制和其他配置侷限限制了習用電漿炬獨立控制輸入材料的能力以及製造碳所需的其他條件，其有效地創建了展現出足夠高品質和均質性的柯維提克材料。

【0132】 圖10顯示了繪示石墨烯生長溫度曲線圖1000和二元相圖。作為選項，石墨烯生長溫度曲線圖1000的一或多個變型或其任何態樣可在本案所述的實施方式的架構和功能性的背景下實施。石墨烯生長溫度曲線圖1000或其任何態樣可在任何環境中實施。該圖還顯示二元相圖，其中x軸是以原子百分比表示的所選金屬(如所示的銅)中的碳濃度。圖式的溫度曲線圖中的溫度也如相圖所

示。可使用各種金屬(例如銀、錫等)。在一些情況下，會形成合金。

【0133】 在熔融金屬上生長單層石墨烯(SLG)或數層石墨烯(FLG)的大致理念是，在一定溫度下將過渡金屬熔體內部的碳原子溶解，然後允許溶解的碳在較低的溫度下沉澱(指稱從溶液中創建固體)。

【0134】 該示意圖繪示石墨烯藉由下列而從熔融鎳長出，(舉例來說)：(1)在與石墨(作為碳源)接觸的同時熔化鎳，(2)在高溫下使碳溶解於熔體內部；以及(3)降低溫度以供石墨烯生長。

【0135】 如圖繪示，基於金屬-碳的二元相變，使熔體在給定溫度下與碳源接觸將引致熔體中的碳原子溶解及飽和。降低溫度後，碳在熔融金屬中的溶解度即降低，過量的碳將沉澱在熔體頂部。

【0136】 圖11是(習用)電漿焰設備1100的截面圖。該圖係呈現以區別傳統電漿焰設備的用途相較於本案揭示的微波電漿炬的用途。明確地說，儘管使用傳統電漿焰設備可在金屬表面上製造金剛石或類金剛石材料，但該製程需要大量時間來使碳材料溶解並擴散，以使最終材料沉澱出來到金屬表面上。在以當前揭示的實施方式如本案所揭示般創建金屬-碳複合材料期間，石墨烯被期望在金屬或含金屬的複合材料的多層(或在晶格或基質部位內)之間的隙間生長並鎖定。然而，為此，必須以高速率調節溫度。不幸的是，傳統電漿炬不能提供使隙間碳結構的尺寸減小至奈米級所需的溫度和其他條件(可如本案所期望的關於實現柯維提克材料般理想)充分的控制。

【0137】 相反地，圖12中顯示並說明了脈衝微波反應器(與先前介紹的當前揭示的實施方式有關)和相應製程，以提供使隙間碳結構的尺寸減小到奈米級所需的溫度和其他條件充分的詳細控制。

【0138】 圖12繪示在「生長」石墨烯時使用的脈衝微波製程流程1200，指稱在熔融金屬顆粒的實質上平坦的暴露表面上逐層系統地沉積或施加石墨烯。

作為選項，脈衝微波製程流程1200的一或多個變型或其任何態樣可在本案所述的實施方式的架構和功能性的背景下實施。脈衝微波製程流程1200或其任何態樣可在任何環境中實施。

【0139】 當使用所示的脈衝微波製程流程1200時，石墨烯生長在小型熔融顆粒上。此係藉由在入口1204(例如金屬粉末和載氣進入反應器腔室的入口)周圍發生的在脈衝微波反應器之內的相互作用來達成。除了入口1204外，製程氣體端口1202和附加端口(例如附加端口1203_1和附加端口1203_2)以不同的高度設置在反應器設備的側面。波導至少橫越了從反應器側面上的製程氣體端口1202的位置到反應器側面上的入口1204的位置的距離。下文進一步揭示如何製作並使用端口以將材料引進和持續供應到此類反應器中以用於使石墨烯生長到小型熔融顆粒上的細節。更明確地說，圖12的反應器的某些組件係顯示並說明為與圖13有關。

【0140】 圖13是用於使石墨烯生長到小型熔融顆粒上的脈衝微波電漿噴霧波導設備1300的透視圖。作為選項，脈衝微波電漿噴霧波導設備1300的一或多個變型或其任何態樣可在本案所述的實施方式的架構和功能性的背景下實施。脈衝微波電漿噴霧波導設備1300或其任何態樣可在任何環境中實施。

【0141】 在本實施方式中，微波輸送組件和脈衝電源被整合以形成”surfaguide”(或類似物)氣體反應器。如圖所示，使用微波電漿炬將該等組分的組合配置為有助於使石墨烯生長到小型熔融顆粒上。

【0142】 另擇方式是使用鎢惰性氣體(TIG)電漿源執行微焊接，以局部地或完全地熔融金屬。此類微焊接技術係顯示並說明為與圖14有關。

【0143】 圖14是用於使石墨烯生長到小型熔融顆粒上的微焊接技術1400的示意圖。作為選項，微焊接技術1400的一或多個變型或其任何態樣可在本案所述的實施方式的架構和功能性的背景下實施。微焊接技術1400或其任何態樣可

在任何環境中實施。

【0144】 具有訂製電漿容納區段的低功率、低流量TIG焊機電源和控制單元可有效地用於加熱所有類型的金屬顆粒。如圖所示，排氣捲流在插入表面波電漿氣體離解管時可使溫度保持足夠高，以供石墨烯生長。涉及控制由烴和在非平衡條件下形成的其他添加氣體構成的電漿自由基的此生長模式提供了許多調諧機會，而微波電漿噴霧設備的許多不同配置都可利用這些機會。圖15、圖18A、圖18B、圖18C和圖18D以及其他圖式和相應的書面說明揭示了電漿噴霧設備的例示配置。

【0145】 圖15是同軸配置1500的電漿噴霧設備的示意圖。作為選項，同軸配置1500的一或多個變型或其任何態樣可在本案所述的實施方式的架構和功能性的背景下實施。同軸配置1500或其任何態樣可在任何環境中實施。

【0146】 在同軸樣式的實施方式中，微波能量輸送是透過饋入天線的TEM波來實現的，同軸構件的外部是石英管，石英管的外部是流動的粉末狀金屬顆粒。在此例示中送入中心區域的氣體是烴氣體，例如甲烷，在該處其吸收微波輻射。粉末係藉由逸出中心區域的微波能量和藉由外部感應加熱來加熱，其造成金屬粉末(呈微粒形式)在展示反應室的傾斜部分或尖端附近熔化。隨著CH_4分解(成其構成物種、碳、氫及/或其衍生物)，碳自由基透過電漿自由基的能量在熔融金屬液滴表面上成核。微波工作週期的調整以及感應加熱的調整以及電漿特性的調整係有助於維持熔體與電漿分解/離子化區域之間的不同溫度。而且，非平衡溫度允許(有助於)石墨烯/碳的內部晶格置放，且迅速驟冷創造了有利於進一步的柯維提克材料生長的條件。

【0147】 圖16是顯示經由在一系列非平衡能量條件下加工的材料演變的電漿噴霧設備1600的示意圖。作為選項，電漿噴霧設備1600的一或多個變型(或其任何態樣)可在本案所述的實施方式的架構和功能性的背景下實施。電漿噴霧設

備1600或其任何態樣可在任何環境中實施。

【0148】該圖繪示了材料通過設備時的演變。明確地說，該圖繪示發生不同的演變的區域，使得在尖端附近的區域中，石墨烯生長在小型金屬熔體顆粒上。此材料沉積在基板上。

【0149】圖17繪示用於將石墨烯生長到熔融顆粒上的表面波電漿系統1700。作為選項，表面波電漿系統1700的一或多個變型或其任何態樣可在本案所述的實施方式的架構和功能性的背景下實施。表面波電漿系統1700或其任何態樣可在任何環境中實施。

【0150】在所示的配置中，供應氣體被饋入設備的中心區域。在此例子中，使用例如甲烷的烴氣體。烴氣體吸收微波輻射，該微波輻射提供熱源來加熱金屬粉末。於是，金屬粉末由以下兩者加熱：(1)從中心區域逸出的微波能量；以及，(2)外部感應加熱，以使尖端附近熔化並熔融。隨著烴氣體分解，碳自由基透過電漿自由基的能量在熔融金屬液滴的表面上成核。

【0151】圖18A1繪示電漿噴炬的軸向場配置1810。已經使用數種不同設備和相應製程討論了柯維提克材料的形成。前述設備和相應製程的任一者都可被調節以實現用於形成柯維提克材料的特定條件。在所示的特定軸向場配置中，該等製程包括在電極之間形成電場1804，以創造流經金屬的熔體和碳材料的電流。明確地說，且如圖所示，經特定配置的電漿炬具有外部控制電場，在該處，熔融的顆粒形成電漿，該電漿繼而變成間電極。電場的另一側上的電極由所示的生長板1803形成。柯維提克材料係經由加速區1821加速，然後沉積到表面上。所創造的合金和柯維提克材料繼續沉積在生長板上及/或在衝擊區1823中先前沉積的材料上。此沉積技術產生碳裝載量均質且濃度高的材料。

【0152】可選擇和改變輸入材料，以實現所展現材料的特定性質。舉例來說，且如圖所示，電漿噴炬的輸入可包括各種輸入氣體1812以及輸入金屬及/或

碳顆粒1818。前述輸入可被引進一或多個輸入端口1862。在一些情況下，輸入金屬及或碳顆粒被夾帶在輸入氣體1812之流內。再者，生長板可在正在進行的沉積期間改變其尺度和組成。舉例來說，且如圖所示，生長板1803最初可為基板1816，在其上方沉積有在炬流中的熱柯維提克材料，該炬流在柯維提克材料沉積時至少部分地熔融了基板。所沉積的熱柯維提克材料從熔融或部分熔融狀態冷卻，以形成驟冷層1824。

【0153】 以此方式，可形成任何數量的層。可控制基板處及/或最頂層或其附近的溫度，俾使當下一層材料降落在剛沉積的層的熔融金屬上時，新近沉積的層以側向方式生長，以製造此熔融金屬表面上的單層石墨烯。該機制與其他技術的區別至少在於，相對於與碳從熔融的金屬漿料中沉澱出來的習用金屬熔體方法103，本案揭示的電漿噴炬方法104的應用致使在短時間內驟冷，使得沒有足夠的時間讓碳從基質中沉澱出來。於是，在整個層中，柯維提克鍵保持完整。幾分鐘後，在驟冷已形成金屬固體和分散良好的碳後，在其頂部噴塗另一層，依此類推，藉此形成若干層的單層石墨烯，其生長、吸附並迅速驟冷而製造出真正的柯維提克材料，其基質內的碳裝載量極高。作為一個例子，當使用習用金屬熔體方法103(參見圖1A)時，碳裝載量可能達到6%碳金屬。相反地，當使用電漿噴炬方法104(參見圖1A)時，輕易達到60%的碳裝載量。在一些情況下，對電漿噴炬的輸入和製程參數及其環境的嚴密控制允許碳裝載量接近所得材料中高達90%的碳。

【0154】 使用電漿噴炬的實驗結果已顯示，可藉由至少兩種迅速驟冷(例如「濺擊(splat)」)方法形成高裝載、高度均勻的柯維提克層。第一種方法帶進碳顆粒以覆蓋(例如在電漿中的)金屬顆粒，並使生成的熱混合物噴塗到溫度低得多的基板上。第二種方法是在電漿中創造石墨烯，然後帶進覆蓋石墨烯的熔融金屬中。在兩者情況下，在電漿捲流中的同時發生真正的柯維提克鍵結(指稱共價鍵

結與金屬化學鍵結的組合)，而噴霧的迅速驟冷則將混合物吸引到有機金屬晶格中。

【0155】 藉由控制電漿焰1814與基板之間的距離及/或藉由控制基板處的溫度(例如高於或低於周遭)及/或藉由控制反應器內部和周圍的壓力，可使驟冷層的深度或厚度更厚或更薄。

【0156】 圖18B繪示電漿噴炬的徑向場配置1820。在此配置中，熔融的顆粒在炬內形成電漿，該電漿變成間電極。另一個電極在內壁的一側形成。

【0157】 圖18A與圖18B的前述配置僅是例子。在不脫離本案所揭示的電漿噴炬的一般性之下，涉及不同輸入材料和不同輸入端口配置的其他配置是可能的。而且，涉及不同輸入材料和不同輸入端口配置的不同配置可實現相同的預期結果。舉例來說，經調諧以實現相同所得材料的兩個不同配置係顯示並說明為與圖18C與圖18D有關。明確地說，圖18C與圖18D的例示配置可用於將陶瓷膜材料以電漿噴炬沉積在含碳顆粒(例如含石墨烯的顆粒)上。

【0158】 確實，含碳材料的薄膜沉積(例如透過大氣壓化學氣相沉積(APECVD)及/或化學氣相沉積(CVD)的其他變型)已經進入材料加工的許多領域。涉及此類含碳材料的各種複合材和塗層可展現出改良的物理性質(例如強度、防腐蝕性等)。各種2D和3D碳的形態學特性藉由含碳材料中的分子位準構形確保了複合材和塗層的該些改良的物理性質。在一些情況下，在複合材和塗層中使用2D和3D碳係大大地增加所得含碳材料對高溫的承受度；然而，在一些情況下，該些高溫升高到~2100°C以上，其足以燒掉2D和3D碳本身。不幸的是，破壞2D碳和3D碳反過來破壞了最初從複合材或塗層中的碳獲得的益處。因此，需要沉積技術(例如，電漿噴炬配置)來創建可承受甚至高於碳燃燒溫度的溫度的複合材或塗層。

【0159】 圖18C繪示嚴格地作為非限制性例子的此一配置。藉由調諧輸入

和各種反應器內條件，含石墨烯的材料可塗覆以由有機改性矽(ORMOSIL)製成的吸熱層。ORMOSIL陶瓷材料在含石墨烯的材料上的沉積可藉由幾種方法來實現，包括使用含矽前體1841(例如六甲基二矽氧烷)和例如氧氣之反應性氣體經由大氣、反應性電漿增強化學氣相沉積。使含矽前體和氧的此特定混合物在電漿內反應。在電漿焰內發生的分子解離致使氧化矽沉積在例如前述生長板1803的表面上。為達成此事，反應器內條件係經控制，俾使有機改質的矽陶瓷沉積在形成於反應器中的含碳顆粒表面上。反應器內生長和反應器內沉積的控制(例如藉由控制APECVD製程)致使在含碳顆粒周圍的薄石英塗層，其繼而沉積在基板上。石英薄塗層係作用為阻燃層，以避免含碳顆粒在高溫下燃燒。

【0160】 圖18D繪示嚴格地作為非限制性例子之替代配置。如圖所示，金屬及/或含碳材料被輸入到反應器中。微波能量1822係經控制，以至少達到解離含碳材料的溫度(例如圖10的T(c-dis)。將含矽前體1841(例如HMDSO、HMDSN等)引進電漿焰，並在電漿餘輝中降低溫度。隨著溫度降低，碳顆粒開始形成，並被氧化矽覆蓋。然後將塗覆有氧化矽的碳顆粒沉積到基板上。

【0161】 在一個實施方式中，該些3D材料的也許10 nm厚的薄層可沉積到基板上，其即使在1200°C時也不會燃燒或著火。這是因為初始碳(例如石墨烯)是結晶的，例如其不是非晶材料。而是，其已被還原成不再燃燒的狀態。

【0162】 在一個用途例子上，前述電漿噴炬技術可用於製造非共晶的新穎類型焊料。或者，作為另一個用途例子，電漿噴炬可將材料塗層直接噴塗到基板上，以防止底下的材料氧化。

【0163】 除了形成即使在大氣壓下1200°C時也不會燃燒的材料之外，將石英放在材料周圍通常會在應用時帶來巨大的優勢。

【0164】 除了有機改質矽之外，其他有機物質也可用於塗覆碳顆粒或碳層。塗層的特性可受到控制。作為一個例子，可將噴塗材料表面的孔洞調節為

液壓光滑的。

【0165】 電漿噴炬可用來形成由石墨烯和矽構成的吸熱、經玻璃塗覆、不可燃的石墨烯，其中矽覆蓋了石墨烯，俾使石墨烯能夠承受高於1600°C的溫度。此類吸熱、經玻璃塗覆、不可燃的石墨烯吸收紅外線能量。

【0166】 一種用於製造有機改質矽塗層的特定方法包含下列步驟(舉例來說)：(1)將含矽前體引進電漿噴炬設備中；(2)使該含矽前體與具有夾帶在該前體氣體中的碳顆粒的載氣合併；以及(3)用矽塗覆該碳顆粒。

【0167】 由圖18C及/或圖18D的電漿噴炬配置產生的阻燃劑和紅外線遮蔽材料的特性可至少部分地藉由控制經過反應器的時間-溫度路徑來調諧。更一般地，由圖18A、圖18B、圖18C或圖18D的電漿噴炬配置產生的材料的特性可至少部分地藉由控制(例如脈衝化)反應器內的微波能量來調諧。

【0168】 圖19是繪示在脈衝開啟和脈衝關閉期間的能量對比於時間的圖1900。更明確地說，該圖顯示從時間T=0到50微秒的一個完整的時間週期，其中微波係連續開啟，然後所示週期的其餘部分繪示了微波關閉的時間。繪製的曲線繪示(1)密度變化，以及(2)整個週期的溫度變化。在時間T = 0處，溫度處於最低點(例如，在圖表的原點所示)。溫度快速升高，然後降低，在該時間期間，電漿密度達到相對安定的值。當微波在時間T=50微秒被關閉時，電漿密度和瞬時電子溫度兩者皆快速下降。脈衝時間和工作週期可經控制，以在任何時間點達到特定的密度和溫度。

【0169】 圖20A1是繪示在使用電漿噴炬將碳和銅結合時發生的有機-金屬鍵結的影像。如圖所示，碳2052深埋在銅2054之內。如通常所理解並在本案中提及的，有機金屬化學意味著對於有機金屬化合物，含有在有機分子的碳原子與金屬，包括鹼金屬、鹼土金屬和過渡金屬而有時範圍也擴大到包括像是硼、矽及錫的類金屬之間的至少一化學鍵的化學化合物的研究。除了與有機基片段

或分子的鍵以外，與「無機」碳，像是一氧化碳(金屬羰)、氰化物或碳化物的鍵一般也視為有機金屬。相關化合物，例如過渡金屬氫化物和金屬膦錯合物可包括在有機金屬化合物的討論中，儘管嚴格地說，該等不一定是有機金屬。

【0170】 在有機金屬化學中，有機銅化合物含有碳與銅的化學鍵，並可擁有獨特的物理性質、合成和反應。有機銅化合物在結構和反應性上可能多變，但在氧化態上仍受限於銅(I)，例如以Cu^+表示。作為d^{10}金屬中心，其與Ni(0)有關，但由於其較高的氧化態，其參與的pi-反饋鍵合較少。Cu(II)和Cu(III)的有機衍生物可用作中間物，但很少被單離或甚至觀察不到。就幾何形狀而言，銅(I)採用對稱結構，與其球形電子外殼保持一致。通常，可採用三種配位幾何形狀之一：線性2-配位、三角3-配位和四面體4-配位。有機銅化合物與各式各樣的軟配位子，例如烷基膦(R_3P)、硫醚(R_2S)和氰化物(CN^-)形成複合物。

【0171】 藉由前述技術之任一者或多者，圖20A1和圖20A2中所繪示的碳是化學鍵結至銅的，而不是僅僅與銅並列透過凡得瓦力(例如，指稱原子或分子之間的與距離相關的相互作用)黏附在銅上。不像離子鍵或共價鍵，凡得瓦引力不是由化學電子鍵產生的；該等相對較弱，因此更容易受到干擾。而且，凡得瓦力在相互作用分子之間的較長距離處迅速消失。反之，期望的是金屬和碳之間的有機金屬鍵結。

【0172】 圖20A2繪示漸變物質組成物的影像，該漸變物質組成物被施加到基板材料中並顯示三個材料性質區。主體金屬區2066是該等三個材料性質區中的第一材料性質區。如圖所示，第一材料性質區包含呈第一晶體成形的金屬，第一晶體成形在存在於第一材料性質區中的金屬原子之間具有實質金屬鍵。第一材料性質區與第二材料性質區實質上毗鄰，第二材料性質區與第一材料性質區至少部分地重疊。柯維提克材料區2064包含呈第二晶體成形的至少一些碳原子，其中第二晶體成形在存在於第二材料性質區中的一些碳原子與存在於第一

材料性質區中的金屬原子之間具有至少一些共價鍵。頂面區2062是第三材料性質區，其與第二材料性質區至少部分地重疊。該頂面區包含以第三晶體成形取向的另外的碳原子。第三晶體成形的特徵在於在存在於第三材料性質區中的另外的碳原子中的個別一者之間具有至少一些共價鍵。在各種實施方式中，在任何區中可能有一些金屬原子，且在任何區中可能有一些碳原子，然而，此實施方式的特徵在於，較高金屬含量區2074與主體金屬區2066相鄰。在各種實施方式中，在任何區中可能有一些碳原子，且在任何區中可能有一些金屬原子，然而，此實施方式的特徵在於，較高碳含量區2072與主體金屬區2062相鄰。

【0173】 圖20B是繪示在將碳添加到主體鋁中時發生的數個分層構形的材料演變圖20B00。在這些實施方式中，將材料噴塗到既有的碳富集的柯維提克基板或碳化物層上，以經由碳燒結及/或金屬熔體封裝形成碳與碳的鍵，其繼而創建黏附物以形成複合膜。材料演變圖20B00僅是噴塗到鋁主體材料上的組合材料(碳化矽)的一個例子。可調整該製程以創建沉積在主體材料上的柯維提克或似柯維提克膜。然後可塗覆所得材料以創建功能化的頂層。將組合材料噴塗到基板上的設備的一個可能配置係於圖21A給出。

【0174】 圖21A繪示將材料的熔融混合物噴塗到基板上的設備。該圖式繪示在收納容器內包含多重區域的微波反應器。脈衝微波能量被傳送到收納容器中。烴製程氣體605係經由進入端口提供。微波能量將製程氣體加熱到足夠高的溫度以形成電漿。收納容器內的材料的膨脹創造電漿捲流。連續地添加材料到收納容器內與前述膨脹結合導致在捲流內部和周圍產生炬效應。由於電漿捲流內部和周圍的高溫所致，碳與氫解離，於是形成了數種不同的烴物種(例如CH_3、CH_2)。隨著溫度繼續升高(例如在第一區域2104中，如圖所示)，所有或近乎所有碳原子皆與氫解離。使用任何習知技術(例如使用氣分離器)，將僅氫物種與固態碳物種分離。

【0175】 在收納容器的第一區域2104與收納容器的第二區域2106之間的界面處，熔融金屬或熔融金屬複合物、或熔融陶瓷-金屬或金屬基質或任何種類的金屬混合物係經由第二入口引進收納容器內(如圖所示)。基於電漿捲流的尺度及/或在進入收納容器的入口點處的熔融金屬的溫度來選擇第二入口的位置。更明確地說，金屬熔體2108係在熔融金屬與碳物種混合的位置處被引進反應器內。當混合物(例如以高速率)流經收納容器時，混合物冷卻至較低溫度。流動的混合物以高速率離開收納器，俾使碳和熔融金屬的混合物噴出退出端口2110。將混合物沉積(例如透過噴塗材料2112噴塗)到目標基板2116上。用於控制噴塗材料2112及/或所得沉積材料2114的均勻性的各種機制係顯示並討論為與圖23A至圖23D有關。

【0176】 第二區域中的溫度足夠低，使得至少一些碳從混合物中沉澱出來。然而，大多數解離的碳仍與熔融金屬混合。當與碳混合的熔融金屬到達目標基板2116時，其冷卻成固體。在從熔融混合物過渡到固體沉積物的期間，碳被捕獲在金屬和碳的若干層之間。在某些溫度下，碳與金屬形成共價鍵，於是形成了柯維提克材料。由於金屬基質和碳之間的內聚力(例如共價鍵)增加所致，此柯維提克材料展現出一系列機械、熱、電氣和摩擦學性質。

【0177】 此類柯維提克材料是使用脈衝微波能量來控制反應器的第一區域和第二區域中的材料的構分的能量分佈的結果。更明確地說，反應器的第一區域和第二區域中的材料的構分的能量分佈可部分地藉由對微波進行脈衝來控制，以及部分地藉由將金屬顆粒在反應器腔室外部的環境中預熔來控制(例如以將完全熔融或局部熔融的金屬引進反應器腔室)。可單獨使用或組合使用任何習知技術來熔化金屬顆粒。依此可控制完全熔融或局部熔融的顆粒的程度及/或混合物。

【0178】 圖21B繪示將柯維提克材料噴塗到基板上的方法。該方法可連同

圖21A的設備使用。如圖所示，使用微波反應器來執行該方法，該微波反應器具有用於製程氣體的入口、及用於金屬熔體的入口、以及退出端口。在操作之前，配置微波反應器(操作21B02)。在操作21B10，該入口適於將烴製程氣體引進反應器的第一區域。利用微波能，反應器的第一區域中的溫度提高了，俾使烴製程氣體在到達金屬熔體之前解離成碳和氫物種。不同的入口適於將金屬熔體引進反應器的第二區域(操作21B20)。維持第二區域中的高溫，直到解離的碳與金屬熔體混合為止(操作21B30)。前述捲流的效應係操作以使混合物移動到反應器的第三區域中(操作21B40)。遠離微波能量源的移動具有降低混合物溫度的效應，直到至少一些碳從混合物中冷凝出來為止(操作21B50)。然而，即使溫度降低了，電漿炬效應也適於使混合物以高速率經由退出端口移動(操作21B60)。依此，將熔融混合物噴塗到基板上(操作21B70)。

【0179】 圖21C是繪示用於噴塗膜的電漿噴霧製程的示意圖。如圖所示，將碳自由基、多環芳香族、石墨烯片材和金屬顆粒在高溫下在電漿反應器中(例如參照所示的第一區域2104)混合。在該些高溫下發生成核，且隨著反應器內部的溫度降低(例如參照所示的第二區域2106)，生長和組裝開始。一個可能的生長機制是由亞微米尺寸的鋁顆粒被數層石墨烯塗覆來繪示。該些亞微米尺寸的鋁顆粒藉由金屬鍵、共價鍵和柯維提克鍵的組合而保持在一起。更明確地說，且如2 nm級所示，碳原子係鍵結至鋁原子。碳原子經組織成位於鋁基質中的連貫石墨烯平面。涉及鋁的前述討論僅是例子。可使用其他金屬。事實上，連貫石墨烯平面不僅可位於面心立方(FCC)金屬晶格中，而且可位於體心立方(BCC)金屬晶格中或六方密積(HCC)金屬晶格中。

【0180】 然後將前述塗覆顆粒燒結，以形成直徑為100微米量級的顆粒。然後將該些半熔融顆粒經由反應器加速，並撞擊到基板上(例如在第一輪)，或撞擊到先前沉積的撞擊顆粒層上(例如第二輪或第N輪)。

【0181】 圖22A繪示用於以熔融金屬包裹碳顆粒的設備。圖22A的設備配置不同於圖21A的設備配置之處至少在於，熔融金屬的引進是使用熔融設備2209來控制。金屬熔體係經控制，以製造熔融金屬，當將熔融金屬引進反應器中時，該熔融金屬包裹碳顆粒。

【0182】 圖22B繪示以熔融金屬包裹碳顆粒的方法。該方法不同於圖21B的方法之處至少在於，在操作22B30中，保持反應器的不同區域中的溫度，俾使一些碳顆粒物種從離解的碳形成。在操作22B50中，那些碳顆粒中的至少一些被熔融金屬包裹。在碳顆粒的構成原子與金屬熔體的原子之間形成一些鍵。在操作21B60中，被金屬包裹的碳顆粒經由出口移動，進一步降低了溫度。當將被金屬包裹的顆粒沉積到基板上時(操作21B70)，在被金屬包裹的碳與基板的金屬之間形成了再另外的鍵。

【0183】 圖23A、圖23B、圖23C和圖23D繪示根據一些實施方式的例示沉積技術。

【0184】 如圖23A所示，所沉積的材料具有彎曲的形狀，其特徵在於中間區域的高度較高且末端區域的高度較低。在一些情況下，此係沉積材料的斑點的理想形狀。在其他情況下，所欲的是將沉積的材料噴塗遍及更大的區域。此可藉由相對於噴霧移動基板或相對於基板移動噴霧來達成。圖23B繪示佈置在供應捲軸上的撓性基板2310。可將撓性基板拉到接納捲軸上和周圍。依此，在圖23B的配置中，噴霧均勻地將柯維提克材料沉積在移動的基板上。當控制噴塗材料2112與基板之間的相對運動時，所得沉積材料具有均勻的厚度。

【0185】 在一些狀況中，所欲的是在沉積材料的表面上具有非平坦但均勻的圖案化。在此類狀況中，基板的運動可經由一系列離散位置來步進，於是產生圖23C的圖案化。另外地或另擇地，可將槽式天線設置在噴塗材料2112與基板之間。槽式天線係藉由將噴霧均一地分佈在槽式天線的側向距離上來作用。使

用此類槽式天線，噴塗材料2112的單點可具有實質上如圖23D所示的厚度和表面均勻性。

【0186】 圖24A和圖24B繪示用於將材料沉積到基板上的習用技術。如圖24A所示，經由使用黏合劑(例如聚合物)將碳附聚保持在一起。此產生碳附聚和基板之間的界面處的弱結合。圖24B繪示使用黏合劑來塗覆在基板上的碳材料。使用黏合劑的習用沉積有剝離的缺點。而且，即使當基板的表面係經機械預處理及/或藉由黏合劑材料的沉積預處理時，基板與碳附聚之間的相互作用也很弱。

【0187】 如前所述，基於使用黏合劑及/或使用塗覆技術(例如，例如顯示及說明為與圖24A和圖24B有關者)將材料沉積到基板上的塗層有剝離、低強度性質及和其他非所欲的機械性質的缺點。基於電漿噴霧技術的改良係在圖25A和圖25B顯示並討論。

【0188】 圖25A和圖25B繪示根據一些實施方式在基板表面處產生共價鍵結的例示沉積技術。明確地說，且如圖所示，當使用本案揭示的技術時，柯維提克材料係藉由碳和基板之間的共價鍵形成。依此，不需要或使用黏合劑。再者，在基板和柯維提克材料之間的界面處形成的許多鍵是強的共價鍵。在一個特定情況下，其中基板為鋁，在鋁的面心立方結構中的原子與六邊形結構中的碳原子之間形成共價鍵。界面鍵結的示意圖繪示於圖25B。

【0189】 圖26A、圖26B、圖26C和圖26D呈現了繪示如何在鋁的面心立方結構的正方形內的部位與碳的某些晶體結構的六邊形內的部位之間形成共價鍵的示意圖。

【0190】 圖26A是顯示鋁的面心立方結構的正方形的正投影視圖。圖26B是顯示在鋁的某些晶體結構中出現的六邊形的正投影視圖。

【0191】 圖26C繪示出現在鋁的面心立方結構的正方形的頂部上之碳的某些晶體結構中的六邊形的一個可能的疊加。圖26D繪示在某些部位形成的共價

鍵。鋁的面心立方結構的例子僅僅是一個例子。具有其他晶體結構的其他金屬是可能的。

【0192】 圖26E是分層柯維提克材料26E00的例子，其中似石墨烯結構夾在金屬材料層之間。金屬材料的下層是基板層。金屬材料的頂層由驟冷材料形成，該材料先前在反應器中熔化。夾在金屬材料層之間的似石墨烯結構由於兩金屬層之間形成金屬-金屬鍵而被捕獲在兩金屬層之間。除了金屬鍵以外，還形成了其他鍵，其適於將似石墨烯材料包封在金屬層之間。在某些位置，碳晶格中有缺陷。在此類缺陷之間或附近形成各種類型的鍵結。

【0193】 用於形成柯維提克材料的前述技術中的任一者或全部可用於涉及許多不同類型的基板的許多應用中。而且，可控制噴霧和基板之間的相對運動，以得到任何厚度的沉積物。可使用任何習知技術來控制相對運動。舉例來說，退出端口可在靜止的基板上方移動。此可使用相對於靜止基板移動的手持式裝置或機器控制裝置來達成。在一些情況下，基板可經受偏置電壓，俾使從退出端口噴出的至少一些材料被靜電吸引到基板的表面。此在基板不均勻平坦的應用中具有適用性。作為例子，基板不均勻平坦的應用可包括：(1)經受腐蝕性苛刻條件的機械中使用的成型組件，(2)渦輪葉片，(3)熱交換器組件等，其中許多應用將在下文中進一步討論。

【0194】 在其他狀況中，可經由各種化學氣相沉積技術的使用及/或組合來增強沉積的特性(例如厚度、側向均勻性等)。嚴格地作為一個例子，可控制與本領域習知技術的電漿增強化學氣相沉積技術有關的態樣或參數，以最佳化所沉積的柯維提克材料之層的特性。作為另一個例子，並非將柯維提克材料沉積在表面上以形成膜或塗層，而是可將柯維提克材料形成顆粒(例如藉由噴塗到較低溫度的環境中)並將顆粒收集為粉末。以下簡要討論涉及粉末狀柯維提克材料的製造和使用的各種技術。

粉末狀柯維提克材料

【0195】在一些狀況中，並非將柯維提克材料形成在基板上或之內的膜或塗層，而是可將柯維提克材料以柯維提克材料粉末的形式輸送。此類粉末狀柯維提克材料可在其離開反應器時收集、冷卻至低於柯維提克材料的熔點的溫度，並收集為粉末。粉末繼而可在室溫下處理(例如儲存和運輸、傾倒、混合等)。然後可將粉末重熔並壓製成型，或重熔並再噴塗。作為例子，用於高腐蝕性環境的組件可使用注射成型或擠出由此類粉末狀柯維提克材料形成。可單獨使用或組合使用許多設備來形成和運送柯維提克材料粉末。例示設備係顯示並說明為與圖27A和圖27B1/27B2有關。

【0196】圖27A繪示例示設備27A00，其用於製造粉末狀柯維提克材料2710，該例示設備在噴霧被迫經過微波反應器的退出端口2110時使用冷卻區域2702來冷卻噴塗材料2112。任何組合中的任一個或多個冷卻技術可用來使冷卻區域2702中的柯維提克材料的溫度降低到低於柯維提克材料的熔點的溫度。冷卻區域2702可容納一或多個設備以造成冷卻。舉例來說，且如圖所示，收集容器2704可裝配有一或多個設備，以在收集容器中造成氣旋效應，藉此增加了降低柯維提克材料溫度的時間。在一些情況下，用於冷卻柯維提克材料的時間係經控制(例如，藉由增加或減少時間)，以允許柯維提克材料以高度規則的鍵結退火。在一些情況下，控制柯維提克材料冷卻期間的時間允許柯維提克材料結晶成高度規則的結晶結構，同時仍保持粉末形式。在一些實施方式中，機械式滾筒攪拌器可裝配在微波反應器的退出端口2110和收集容器2704之間。滾筒攪拌器可定期清潔或置換。

【0197】另擇地或另外地，而且在方便及/或必須在流體中含有及/或運送粉末狀柯維提克材料的狀況中，可使用流化床設備。舉例來說，為了避免粉末顆粒的附聚，可使粉末狀柯維提克材料保持在液體中。在一些實施方式中，流化

床設置可裝配在微波反應器的退出端口2110和收集容器2704之間。此類流化床設備的一個實施方式係顯示並說明與圖27B1/27B2有關。

【0198】 圖27B1/27B2繪示例示流化床設備27B00，其用於冷卻和處理流體中的粉末狀柯維提克材料。

【0199】 如圖所示，熔融金屬和碳混合物被迫經過反應器的退出端口並進入流化床2750的頂部。隨著熔融金屬和碳混合物被迫離開退出端口，其以形成顆粒的方式被冷卻。該等顆粒受到向下的重力作用(例如向下的方向，如圖所示)，而與此同時，製程流體2754從流化床的底部被迫產生向上的力。依此，該等顆粒以比局部重力的速度更慢的速度向流化床底部加速。流動動力學可藉由流化床的幾何形狀來部分地調節。舉例來說，且如圖所示，流化床的長度可形成錐形體2762，其中錐形體的第一端具有第一尺度D1，且其中錐形體的第二端具有第二尺度D2，並且其中D1 > D2。流化床的各個部分內的溫度可部分地由以線圈供電(如圖所示)的供電來源2752及/或由在製程流體進入流化床底部之前加熱製程流體2754的熱源2760來控制。

【0200】 在流化床中及在流化床的環境界面處的壓力與流速和其他條件係適於致使粉末和流體混合物一起表現為流體。該混合物展現出流體的許多特性和特徵，例如在重力下自由流動及/或使用流體處理技術進行泵送的能力。

【0201】 在圖27B1/27B2的實施方式中，流化床具有位於錐形體的不同高度的多重端口。如此，流體之第一粉末2756_1在特定的溫度/壓力下流出，而流體之第二粉末2756_2在第二個不同的特定溫度/壓力下流出。可控制流經多重端口的流量，俾使收集容器可接收任何比例或份量的流體之第一粉末2756_1和流體之第二粉末2756_2。

形成柯維提克材料的方法

【0202】 表3顯示用於形成粉末狀柯維提克材料的方法的一些非限制性例

子。

表3：粉末狀柯維提克材料的例示方法。

例示方法	命名
例示方法1	在基於微波反應器的電漿噴炬中的烴製程氣體解離之後製造有機金屬材料
例示方法2	在微波反應器內的輸入顆粒上生長碳同素異形體
例示方法3	在基於微波反應器的電漿噴炬中的替代製程氣體解離之後塗覆輸入材料

例示方法1

【0203】 在方法1的一些實施方式中，結構化的碳(例如碳同素異形體)形成在微波反應器的第一區域中(例如經由烴製程氣體解離)。在溫度低於第一區域的第二區域中，結構化的碳係經金屬裝飾，以形成金屬化碳材料(例如有機金屬材料)。使金屬化碳材料進一步冷卻至低於金屬熔點的溫度。在一些實施方式中，金屬化碳材料最初是裝飾有金屬的碳顆粒的形式。使該等顆粒進一步冷卻，以形成粉末。粉末可被收集並運送到應用設施。包含具有凸鍵的金屬化碳材料的粉末可被重熔並與任何已知的由粉末形成組分的技術結合使用。嚴格地作為例子，可藉由使用模壓且接著藉由重熔、等靜壓且接著藉由重熔、熱鍛、金屬射出成型、雷射燒結等從粉末形成組件。

例示方法2

【0204】 在此方法2中，將一或多個烴氣體(或在某些情況下，氣體和液體)輸入系統。嚴格地作為例子，可輸入系統的氣體及/或液體括含甲烷、乙烷、甲基乙炔-丙二烯丙烷(MAPP)和己烷。在第一溫度下的第一區域2104中，碳原子與其他原子解離(例如與氫解離)。將熔融金屬2108作為金屬顆粒引進反應器中。隨後，在第二區域2106中，在第一區域中製造的碳與金屬顆粒結合。碳可在金屬顆粒的表面上生長及/或在金屬顆粒的內部生長。在一些狀況中，及在某些條件下，碳生長包含金屬顆粒之上或之內的2D碳的生長。在其他狀況中及/或在其他

條件下，碳生長包含金屬顆粒之上或之內的3D碳的生長。在任何前述生長狀況中，該生長可以晶格所允許的最大範圍發生。舉例來說，熔融金屬可以是帶有面心立方(FCC)晶體結構的鋁，並且碳可與鋁形成固體溶液直至特定濃度為止。在一些實施方式中，碳與金屬形成溶液，直到濃度達到由金屬性質(例如晶體結構)測定的濃度，然後從金屬-碳溶液中沉澱出來，以在金屬顆粒之上及/或內部形成2D或3D碳。

【0205】 此方法2中的生長係在非平衡熱條件下進行。明確地說，要控制各種不同的熱條件(舉例來說)：(1)用以控制前述解離所需的第一區域中的第一溫度(例如較高溫度)，以及(2)第二區域中的第二溫度(例如較低溫度)，以控制第二區域中的金屬粉末的初始熔化及/或金屬-碳顆粒的形成和性質。此二區的溫度可獨立控制。使用此方法，所噴塗的材料是真正的柯維提克材料，其展現出真正的柯維提克行為。

例示方法3

【0206】 在又另外的非限制實例中，可從例如三甲胺(TMA)、三甲基甘胺酸(TMG)及甲基乙炔-丙二烯丙烷之混合材料創建或沉積輸入顆粒上之材料及/或塗層。顆粒可冷卻並收集為粉末。可在第一區中由目標材料創建的顆粒的一些例子是相位碳、碳化矽、金屬氧化物、金屬氮化物或金屬。在一些情況下，輸入顆粒是金屬，化合物膜(例如金屬氧化物或金屬氮化物)塗覆在金屬輸入顆粒上，而在其他情況下，輸入顆粒含有化合物材料，並且金屬塗層沉積在輸入顆粒上。可在第一區中由輸入氣體創建的顆粒的一些例子是碳同素異形體(例如，天然碳)、矽、ZnO、AlOx及NiO。

【0207】 在一些實施方式中，將包括各種非烴氣體的氣體或醇輸入第一區中，並且第一區包含濺射設備和電源，其中濺射設備經配置成從選定的目標材料生成複數個離子物種。該目標材料與離子物種結合以形成複數個微粒。電源

可為AC、DC、RF或高功率脈衝磁控濺射(HIPIMS)電源且可經配置以藉由調諧電源之功率、電壓、頻率、重複率及/或其他特性而自目標材料生成複數個離子物種。

【0208】 圖27C是繪示用於製造粉末狀柯維提克材料的電漿噴霧製程的示意圖。

粉末狀材料加工順序

【0209】 從烴裂解和顆粒成核(例如所示的第一區域2104)到石墨烯生長(例如所示的第二區域2106)、半熔融顆粒的冷卻(例如所示的冷卻區域)及粉末狀柯維提克材料的收集(例如在收集區域中，並進入收集容器2104中)的例示粉末狀材料加工順序的目視圖係顯示於圖27C。現在簡短討論作為例示粉末狀材料加工順序的功效基礎的機制。

【0210】 在不存在金屬前體(無論是金屬有機或顆粒形式)之下，微波電漿將甲烷解離以形成碳自由基(以及多環芳香族/乙炔)，其隨後分別形成數層(FL)石墨烯(或疊層)結構。然而，在電漿區(例如參照圖21A和圖22A的反應器)中存在金屬前體時，金屬(來自金屬有機核或顆粒)可適於作為異質碳(例如離子化自由基、石墨烯核或多環芳香族(乙炔)形式的碳)生長的種子部位。

【0211】 當使用低溶解度的金屬，例如Al或Cu時，石墨烯片會生長(例如經由吸附原子/單體或成簇)在金屬表面上。生長的特性至少部分地取決於金屬表面處的界面自由能的對稱性和最小化。依此，碳生長在金屬顆粒處發生，伴隨在表面處發生金屬原子的再濺射事件，以創建相互混合及/或分層的金屬/碳結構。如本領域所習知的，金屬顆粒的半徑(例如表面曲率)可能影響碳在金屬顆粒中的溶解度。作為例子，較小的半徑(例如對應於較高的曲率)增加了超過平衡(在平坦表面)的溶解度，該溶解度的增加可繼而影響石墨烯層的厚度。

【0212】 一旦粉末狀柯維提克材料2710已收集在收集容器中，該粉末狀柯

維提克材料就可使用習用技術(例如射出成型技術，使用粉末狀金屬的其他技術)進一步加工。

使用粉末狀柯維提克材料的製造技術

【0213】 圖28繪示使用射出成型技術由粉末狀柯維提克材料製作組件的方法。如圖所示，該方法在匯集將在特定應用及/或環境中使用的組件的一組性質(操作2810)後啟始，然後基於該應用或環境中的至少一種性質來選擇特定粉末狀柯維提克材料(操作2820)。該選擇可基於組件的所欲機械性質，及/或基於對應於其預期用途的環境中的組件的所欲的抗腐蝕性質，及/或其他所欲性質。該選擇可能基於多個所欲性質，在一些情況下，選擇工具會基於一組性質和目標函數來解決最佳化問題。

【0214】 一旦選擇了柯維提克材料(操作2820)，使選定的粉末狀柯維提克材料2825熔融(操作2830)並引進模具中(操作2840)。在模具內部維持規定的溫度和規定的壓力達一段規定的持續時間(操作2850)，在該持續時間後，使模具內部的溫度和壓力達到約30℃和約大氣壓(操作2860)。從模具釋放組件(操作2870)，並在預期的應用中佈置該組件(操作2880)。

【0215】 如前所述，特定柯維提克材料的選擇可能基於多個所欲性質，該等性質中的一些可用作目標函數的變量。在一些情況下，特定的柯維提克材料的選擇可能基於特定的主導性質(例如機械強度、重量、抗腐蝕性等)。在一些情況下，感興趣性質是其他性質，例如強度對重量、比熱對重量等的比例。)在一些情況下，主導性質將被最大化(或最小化)，其受到一或多個其他性質的約束。

【0216】 依此，粉末狀柯維提克材料可佈置在廣泛範圍的應用中。在許多情況下，由粉末狀柯維提克材料製成的所得組件要優於由其他材料製成的組件。與某些主導性質相關的一些例示應用係顯示並討論為與接下來的圖29有關。

【0217】 圖29繪示柯維提克材料的各種性質。顯示的性質包括機械屬性、

熱導率、抗氧化性、耐用性、高溫下的抗軟化性、抗疲勞性和電導率。當為特定應用選擇特定的柯維提克材料時，該等參數中的個別參數及/或組合將變為主導的。

【0218】 嚴格地作為例子，當選擇用於製作耐腐蝕閥門的柯維提克材料時，抗氧化性可能是主導參數。作為另一個例子，當選擇用於製造飛行器引擎渦輪的葉片的特定柯維提克材料時，受到強度最小約束的機械屬性，例如強度對重量比可能是主導的機械屬性。葉片可能還需要展現出非常高的抗疲勞性。

【0219】 通常，柯維提克材料不僅展現出前述性質，而且比起用於製作柯維提克粉末的金屬或合金也較不緻密。相較於在沒有碳裝載下由金屬或合金製成的相同組件，較低的密度通常對應於所形成組件的較低重量。依此，相較於用於製作柯維提克材料的基底金屬或合金，卡車零件(如所示的駕駛室組件)、汽車零件(例如擋泥板、車頂板等)、摩托車零件、自行車零件以及空中載具的各種組件(例如結構構件)，及/或船舶，及/或空基載具或平台可利用柯維提克材料的重量對強度比更低的優點。

【0220】 作為另一個例子，柯維提克材料通常展現出非凡的熱導率，俾使由柯維提克材料形成的結構構件可用於高溫應用中(例如電子產品的散熱器、工業熱交換器等)。

【0221】 作為再另一個例子，柯維提克材料通常展現出非凡的耐腐蝕性。更明確地說，使用前述技術製成的柯維提克層壓體即使在頂層(例如在組件與環境的界面處)也展現出極高的耐腐蝕性。當使用柯維提克材料製成的組件遭受惡劣環境時，此性質令人特別感興趣。

【0222】 作為又另外的例子，可調整柯維提克材料的表面光滑度。更明確地說，使用前述技術製造的柯維提克層壓體展現出極高的表面光滑度。當將柯維提克材料用作隔熱板時，此表面光滑度性質尤其令人關注，例如在表面處的

摩擦(例如，流體以高速流過表面時生成的摩擦)在表面處生成不想要的熱的應用中可能有所需求。藉由使用本案所揭示的技術，柯維提克材料的特定組成及/或藉由使用本案所揭示的用於沉積柯維提克材料的特定技術可產生液壓光滑的表面，其繼而可用於空中及/或空基載具。

【0223】 在某些實施方式中，一組性質可主導其他性質。舉例來說，可能要求空基載具(例如衛星)的表面實質上不反射一定範圍的電磁輻射(例如實質上不反射可見光)，而與此同時，空基載具的表面可能需要隔熱(例如不導熱)。前述調諧技術遷就此類狀況，其中即使以其他性質為代價，特定的所欲性質(例如不反射性)主導了電漿噴炬的調諧，以製造實質上不反射的表面。

【0224】 顯示並說明為與圖29有關的性質僅是例子。在各種應用中可能需要或期望附加的性質及/或性質的組合，並且基於電漿噴炬的輸入和控制的調諧，該等附加的性質係展現在所得材料中。嚴格地作為前述附加性質的例子，此類性質及/或性質組合可包括或關於強度對重量的度量、及/或比密度、及/或機械韌性、及/或剪切強度、及/或撓曲強度等。

【0225】 在前述說明書中，本揭示內容已參照其特定實施方式來說明。然而，將顯而易見的是，在不脫離本揭示內容的更廣泛的精神和範疇下，可對其進行各種修改和改變。舉例來說，上述製程流程係參照製程動作的特定順序來說明。然而，在不影響本揭示內容的範疇或操作下，可改變許多所述的製程動作的先後順序。說明書和圖式被視為是例示性的而非限制性的。

【符號說明】

【0226】

1,2:電極

1A00:比對圖

20B00:材料演變圖

21B02,21B10,21B20,21B30,21B40,21B50,21B60,21B70,22B30,22B50,22B60,2810,2820,2830,2840,2850,2860,2870,2880:操作

26E00:分層柯維提克材料

27A00:例示設備

27B00:例示流化床設備

102:柯維提克材料形成技術

103:習用金屬熔體方法

104:電漿噴炬方法

105:附聚影像

106:均質性影像

108:材料性質

114:高解析度透射電子顯微鏡影像

116:高解析度能量色散譜X射線影像

200:製造過程

300:電漿能量狀態圖

400:電子溫度控制技術

500:雙重電漿炬設備

600:脈衝微波電漿噴炬設備

604:附加端口

605:烴製程氣體

700:圖

800,800A,800B:電漿噴霧製程

900:掃描電子顯微鏡影像

1000:石墨烯生長溫度曲線圖

1100:電漿焰設備

1200:脈衝微波製程流程

1202:製程氣體端口

10231,12032:附加端口

1204:入口

1300:脈衝微波電漿噴霧波導設備

1400:微焊接技術

1500:同軸配置

1600:電漿噴霧設備

1700:表面波電漿系統

1803:生長板

1804:電場

1810:軸向場配置

1812:輸入氣體

1814:電漿焰

1816:基材

1818:碳顆粒

1820:徑向場配置

1821:加速區

1822:微波能量

1823:衝擊區

1824:驟冷層

1841:含矽前體

1862:輸入端口

1900:能量對比於時間的圖

2052:碳

2054:銅

2062:頂面區

2064:柯維提克材料區

2066:主體金屬區

2072:較高碳含量區

2074:較高金屬含量區

2104:第一區域

2106:第二區域

2108:金屬熔體

2110:退出端口

2112:噴塗材料

2114:沉積材料

2116:目標基材

2209:熔融設備

2310:撓性基材

2702:冷卻區域

2704:收集容器

2710,2825:粉末狀柯維提克材料

2750:流化床

2752:供電來源

2754:製程流體

27561:流體之第一粉末

27562:流體之第二粉末

2760:熱源

2762:錐形體

D1:第一尺度

D2:第二尺度

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種藉由複數個材料性質區界定的漸變組成物，該等複數個材料性質區各具有相異晶體構形，該漸變組成物包含：

一第一材料，其設置在一第一材料性質區內且包括一金屬及介於該金屬的原子之間的眾多金屬鍵；

一第二材料，其與該第一材料至少部分地重疊，該第二材料包括共價鍵結至該第一材料中的該金屬的碳；

一第三材料，其與該第二材料至少部分地重疊，該第三材料包括共價鍵結的碳；以及

一或多個高度均勻的柯維提克驟冷層。

【請求項2】 一種藉由複數個材料性質區界定的漸變組成物，該等複數個材料性質區各具有相異晶體構形，該漸變組成物包含：

一第一材料，其設置在一第一材料性質區內且包括一金屬及介於該金屬的原子之間的眾多金屬鍵；

一第二材料，其與該第一材料至少部分地重疊，該第二材料包括共價鍵結至該第一材料中的該金屬的碳；以及

一第三材料，其與該第二材料至少部分地重疊，該第三材料包括共價鍵結的碳； 且

其中至少該碳或該金屬係藉由一電漿焰噴塗。

【請求項3】 如請求項1或2之漸變組成物，其中該相異晶體構形各包括下列任一者或多者：立方晶體晶格、六方晶格、面心立方晶格或體心晶格、或六方密積(HCC)金屬晶格。

【請求項4】 如請求項1或2之漸變組成物，其中該碳為原子形式。

【請求項5】 如請求項4之漸變組成物，其中至少一些該碳原子被組織成一

連貫石墨烯平面。

【請求項6】 如請求項1或2之漸變組成物，其中該第一材料的該金屬經組織成一基質或一晶格。

【請求項7】 如請求項6之漸變組成物，其中該金屬包含銅。

【請求項8】 如請求項7之漸變組成物，其更包含藉由該碳與該銅之間的柯維提克鍵結形成的一銅-碳晶格。

【請求項9】 如請求項8之漸變組成物，其中該銅-碳晶格具有介於大約60%至90%之間的碳裝載量。

【請求項10】如請求項1或2之漸變組成物，其中該碳係以一均質方式裝載。

【請求項11】如請求項1之漸變組成物，其中該一或多個高度均勻的柯維提克驟冷層係基於一快速驟冷方法。

【請求項12】如請求項1之漸變組成物，其中至少該碳或該金屬係藉由一電漿焰噴塗。

【請求項13】如請求項12之漸變組成物，其中該驟冷層的一深度或一厚度係至少部分地基於該電漿焰與該漸變組成物的一基板之間的距離。

【請求項14】一種經注入奈米碳的金屬塗層，其被構形成施加至一基板上，該塗層包含：

一第一材料，其設置在一第一材料性質區內且鍵結至該基板，該第一材料包括碳原子，其以一第一晶體構形排列且共價鍵結至該基板；以及

一第二材料，其設置在一第二材料性質區內，該第二材料性質區與該第一材料性質區至少部分地重疊，該第二材料包括金屬原子與共價鍵結的碳原子，其以一第二晶體構形排列。

【請求項15】如請求項14之經注入奈米碳的金屬塗層，其中該第一晶體構形係不同於該第二晶體構形。

【請求項16】如請求項14之經注入奈米碳的金屬塗層，其中碳裝載量在大約10%與40%之間的範圍內。

【請求項17】如請求項14之經注入奈米碳的金屬塗層，其中碳裝載量在大約40%與80%之間的範圍內。

【請求項18】如請求項14之經注入奈米碳的金屬塗層，其中碳裝載量在大約80%與90%之間的範圍內。

【請求項19】如請求項14之經注入奈米碳的金屬塗層，其中該第二材料更包含一金屬合金。

【請求項20】如請求項14之經注入奈米碳的金屬塗層，其中該基板是一空中載具的一金屬表面。

【請求項21】如請求項14之經注入奈米碳的金屬塗層，其更包含一含矽陶瓷。

【請求項22】如請求項21之經注入奈米碳的金屬塗層，其中該含矽陶瓷係配置為一紅外線遮蔽劑。

【請求項23】一種物質組成物，該物質組成物包含：

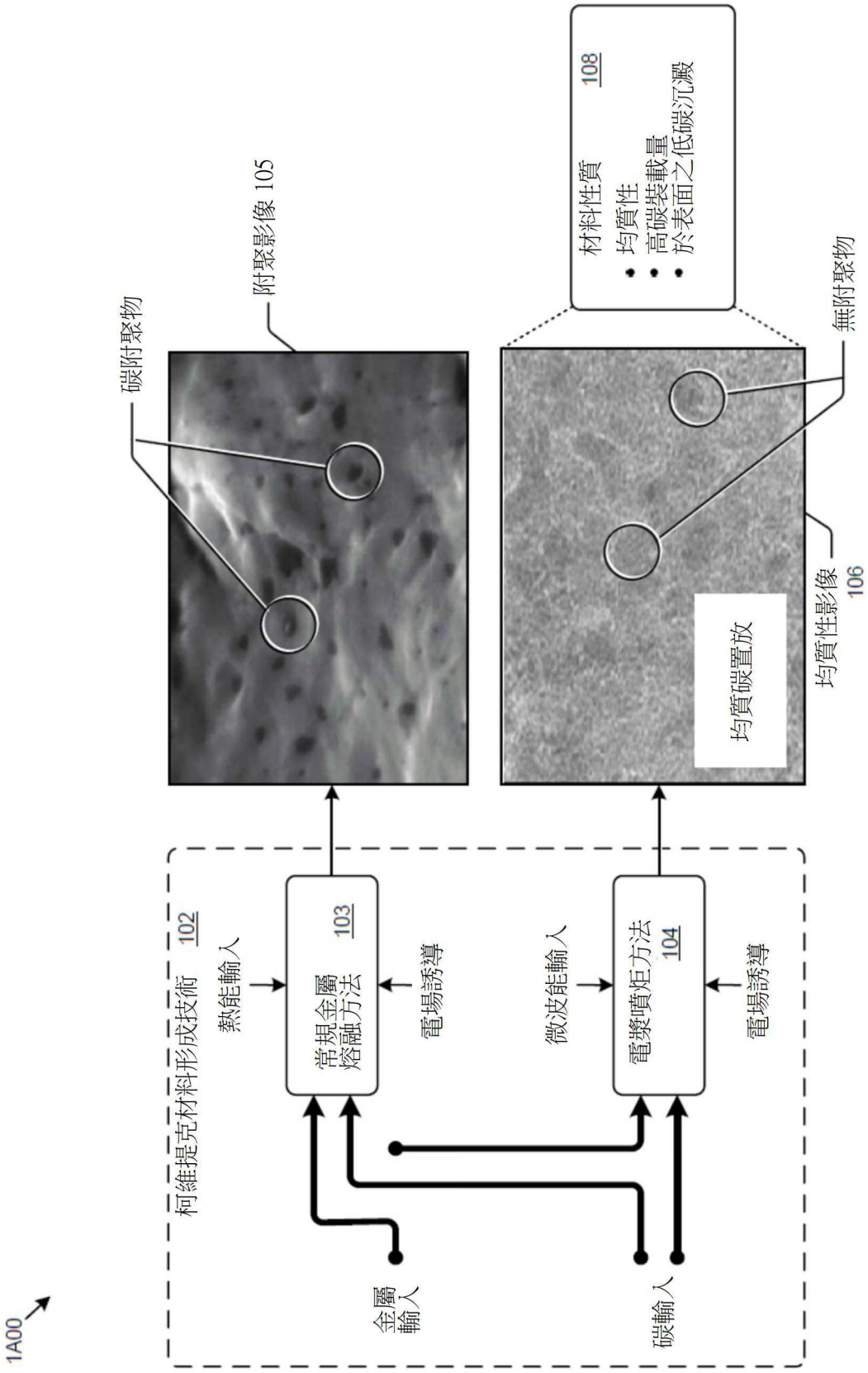
一第一主要基於碳之層，其由一第一晶體構形中的碳原子界定，在該碳原子與非碳原子之間具有共價鍵；

一第二層，實質上設置在該第一主要基於碳之層上方，該第二層具有非碳原子與一第二晶體構形中的另外碳原子；以及

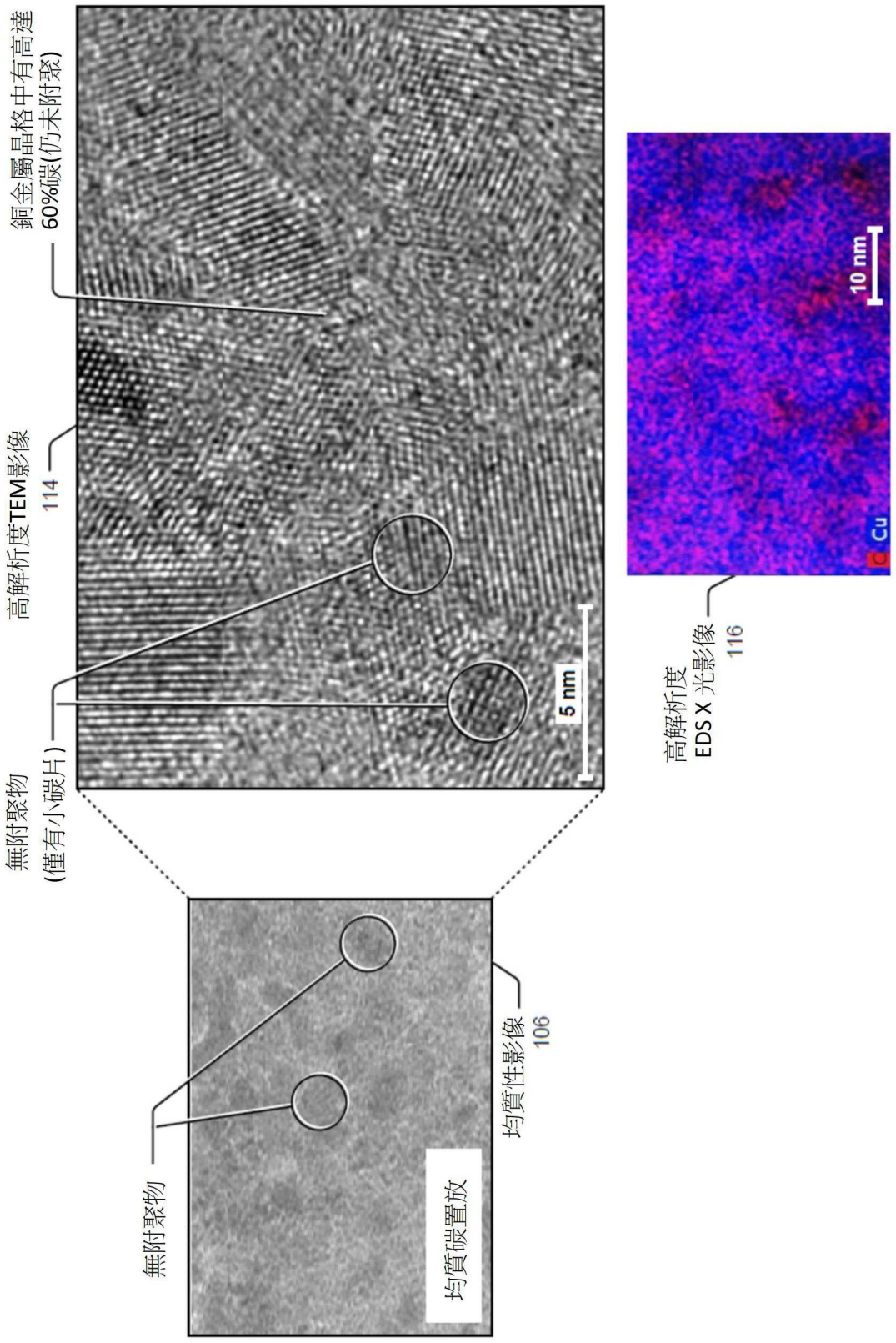
一界面，該第一主要基於碳之層的碳原子與基板在該界面處形成共價鍵。

【請求項24】如請求項23之物質組成物，其中該第一主要基於碳之層位在該物質組成物之一第一材料性質區內，且該第二層位在該物質組成物之一第二材料性質區內。

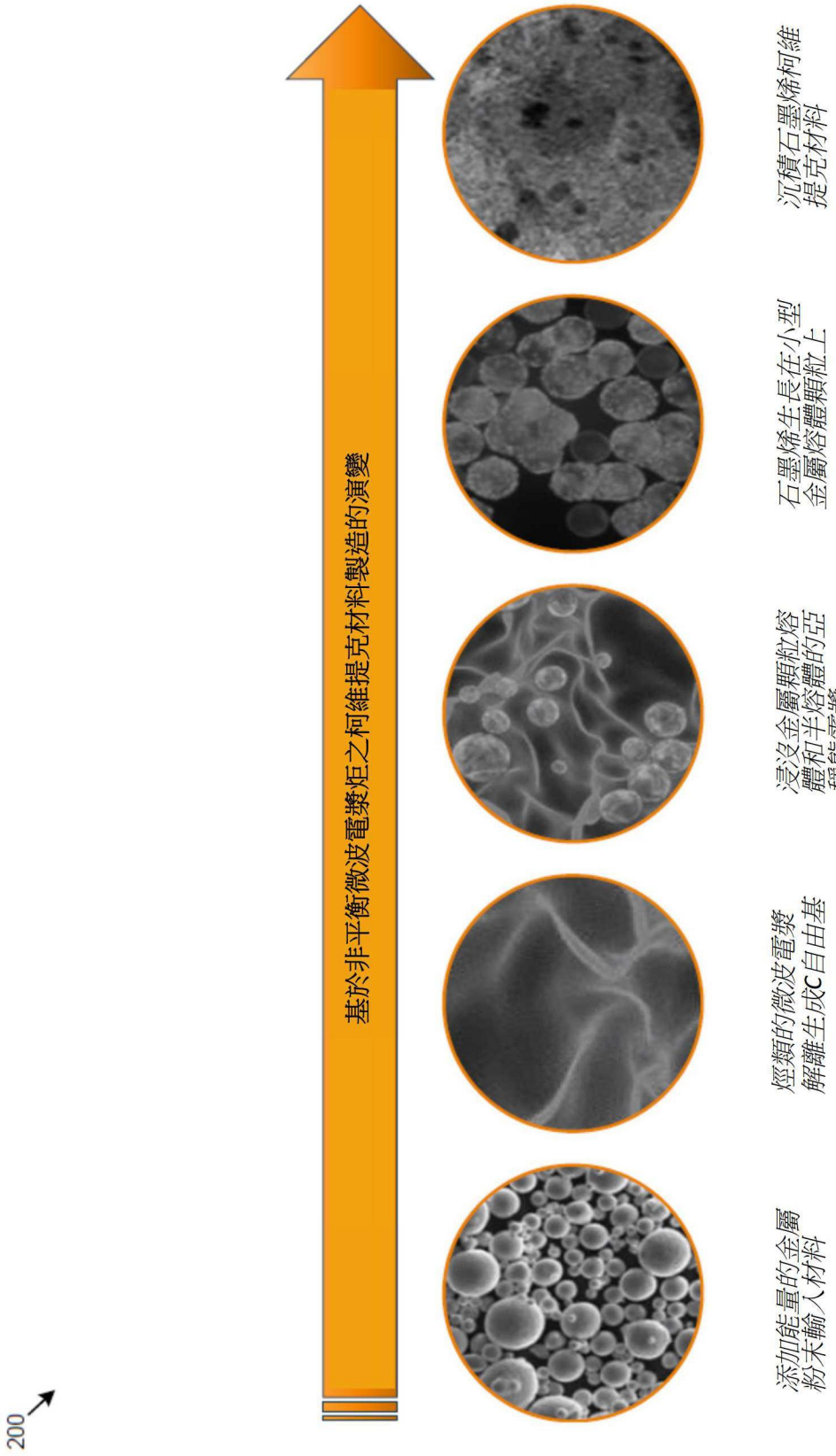
【發明圖式】


1A00
柯維提克材料形成技術 102
熱能輸入
常規金屬熔融方法 103
電場誘導
微波能輸入
電漿噴炬方法 104
電場誘導
金屬輸入
碳輸入
碳附聚物
附聚影像 105
材料性質 108
均質性
高碳裝載量
於表面之低碳沉澱
無附聚物
均質性影像 106
均質碳置放

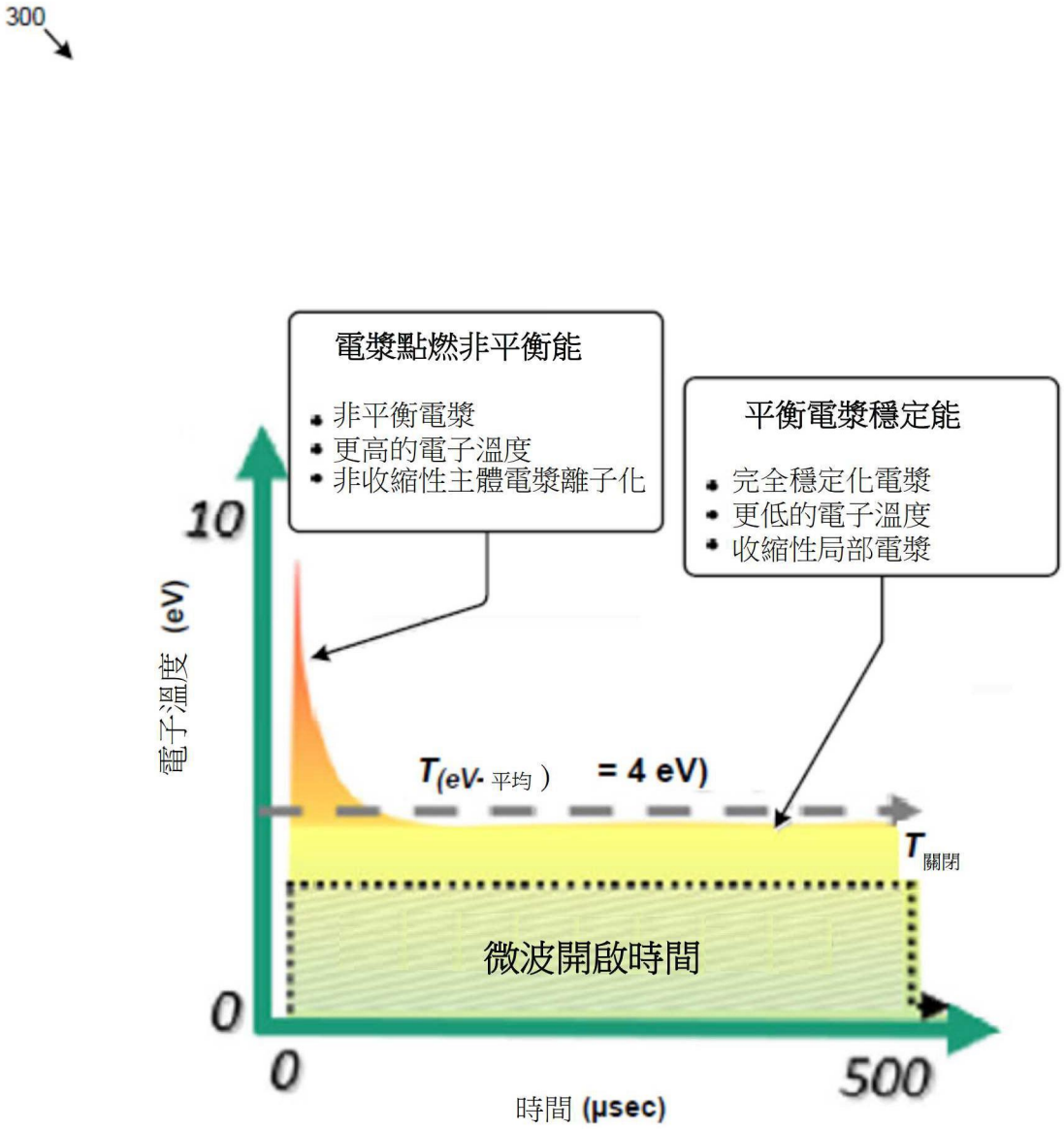
【圖1A】


銅金屬晶格中有高達
60%碳(仍未附聚)
高解析度TEM影像
114
無附聚物
(僅有小碳片)
5 nm
高解析度
EDS X 光影像
116
10 nm
Cu
均質碳置放
無附聚物
均質性影像
106

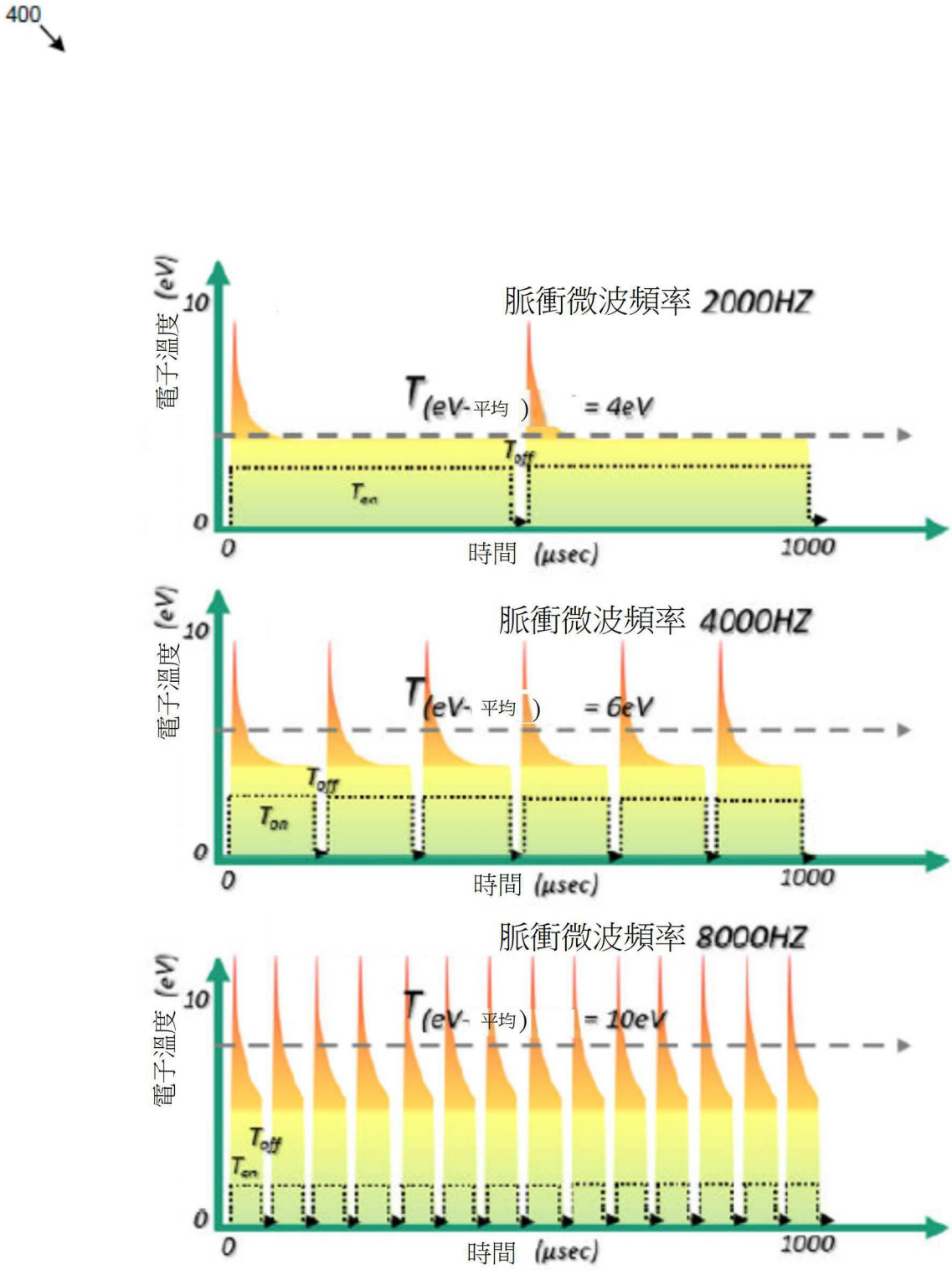
【圖1B】


200
基於非平衡微波電漿炬之柯維提克材料製造的演變
添加能量的金屬粉末輸入材料
烴類的微波電漿解離生成C自由基
浸沒金屬顆粒熔體和半熔體的亞穩態電漿
石墨烯生長在小型金屬熔體顆粒上
沉積石墨烯柯維提克材料

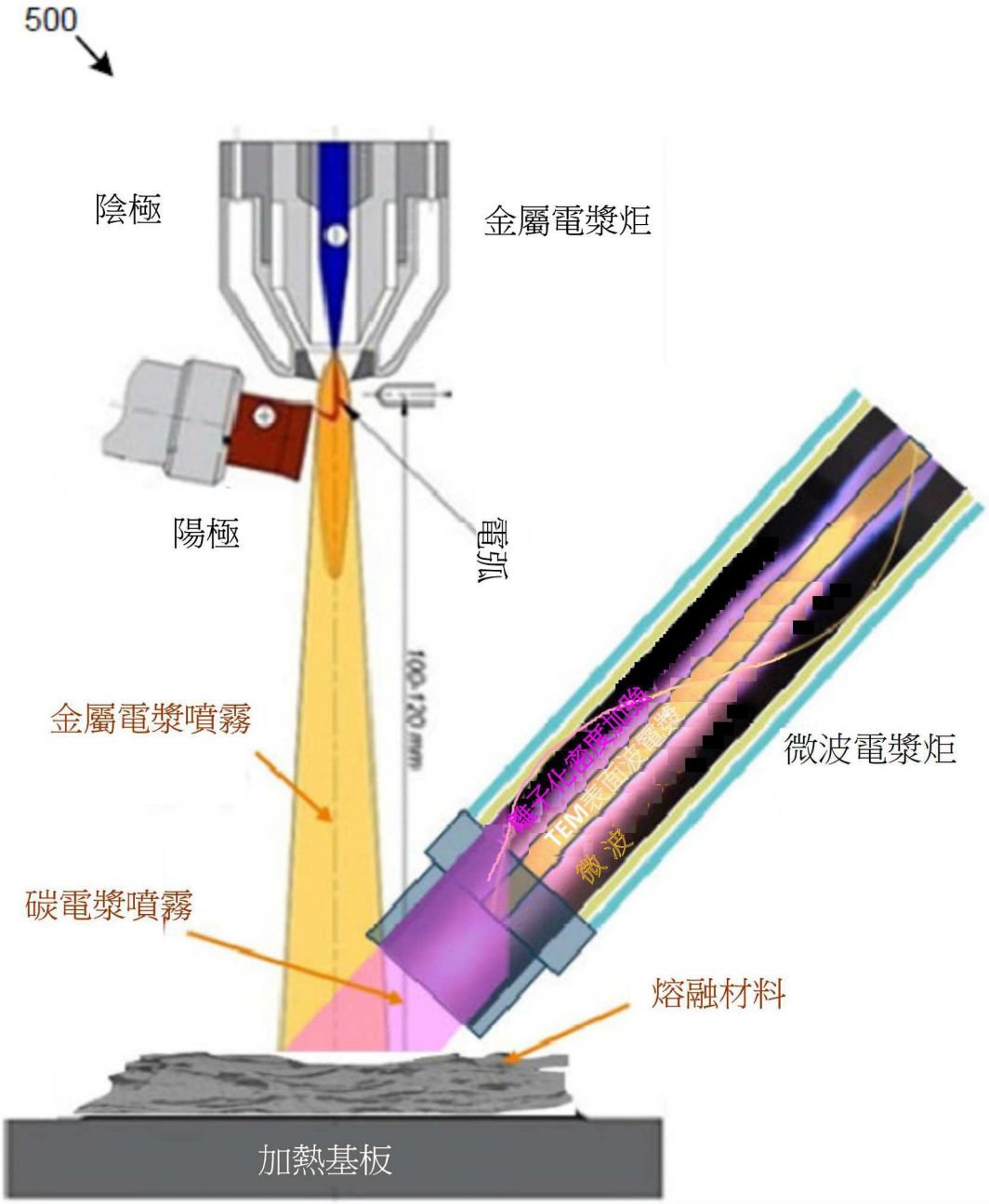
【圖2】


300
電漿點燃非平衡能
非平衡電漿
更高的電子溫度
非收縮性主體電漿離子化
平衡電漿穩定能
完全穩定化電漿
更低的電子溫度
收縮性局部電漿
10
電子溫度 (eV)
T(eV- 平均) = 4 eV)
T關閉
微波開啟時間
0
0
500
時間 (μsec)

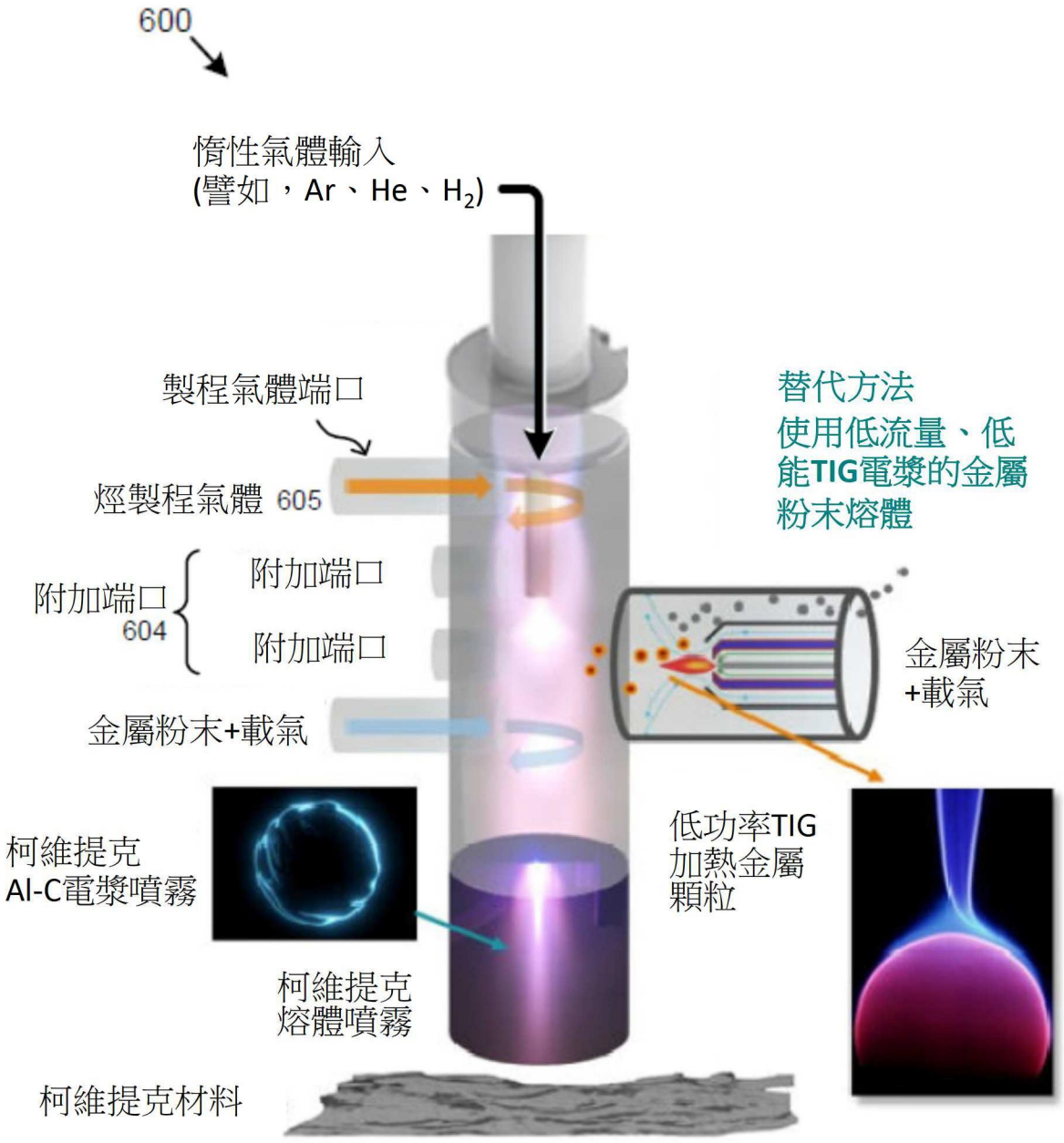
【圖3】


400
脈衝微波頻率 2000HZ
電子溫度 (eV)
10
0
$T_{(eV-平均)}$ = 4eV
T_{off}
T_{on}
0
時間 (μsec)
1000
脈衝微波頻率 4000HZ
電子溫度 (eV)
10
0
$T_{(eV-平均)}$ = 6eV
T_{off}
T_{on}
0
時間 (μsec)
1000
脈衝微波頻率 8000HZ
電子溫度 (eV)
10
0
$T_{(eV-平均)}$ = 10eV
T_{off}
T_{on}
0
時間 (μsec)
1000

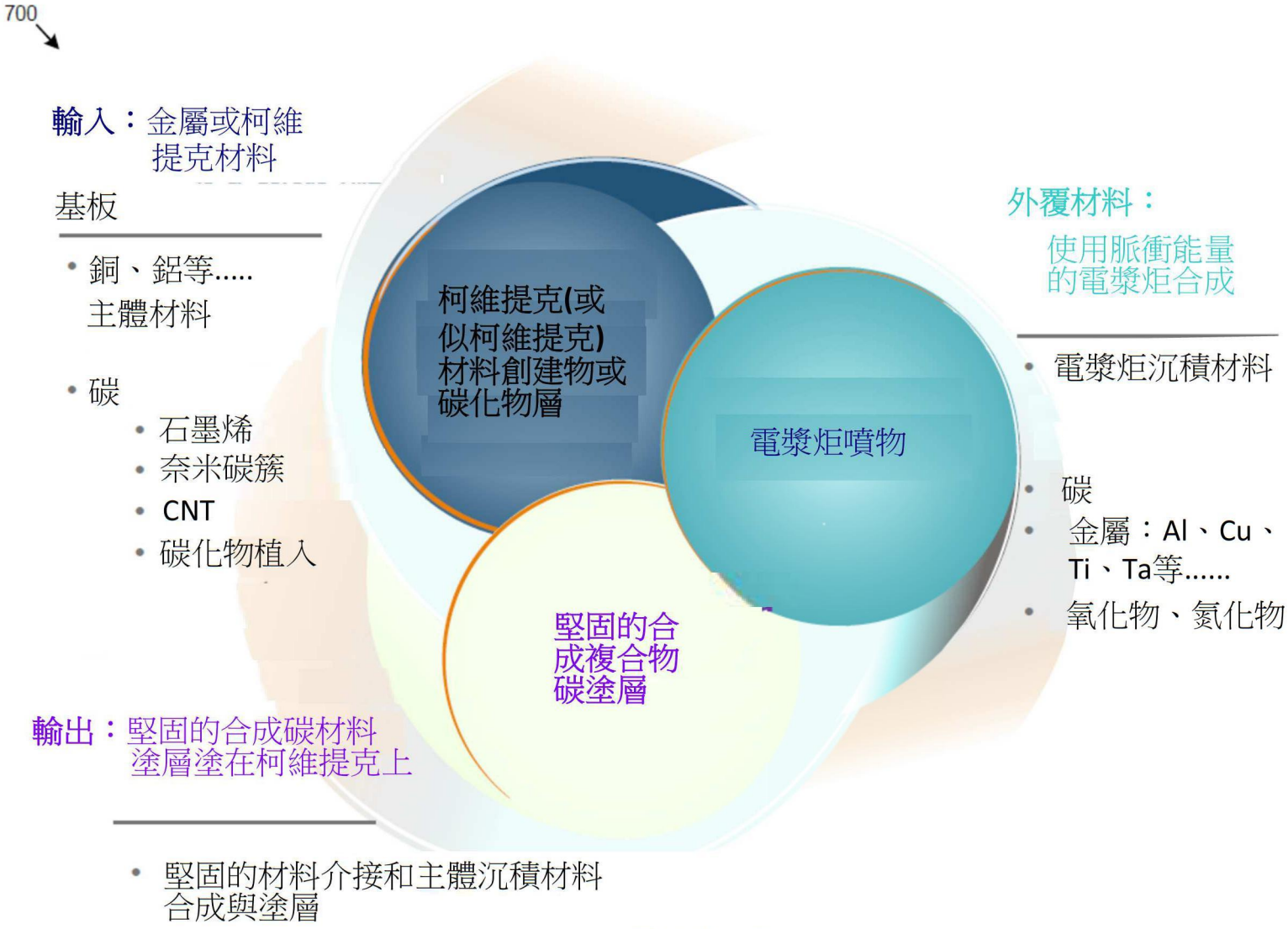
【圖4】



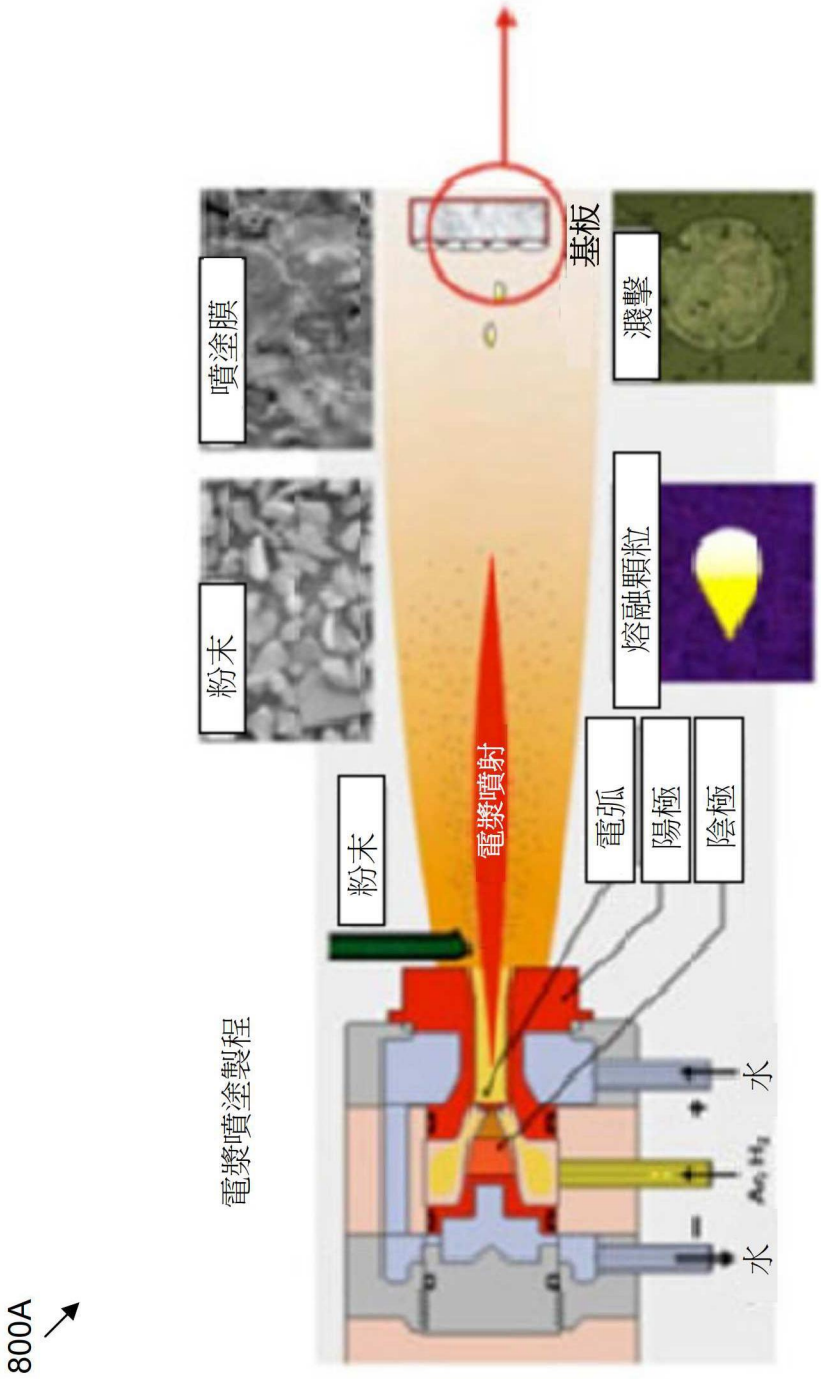
【圖5】


600
惰性氣體輸入
(譬如，Ar、He、H_2)
製程氣體端口
烴製程氣體 605
附加端口
604
附加端口
附加端口
金屬粉末+載氣
替代方法
使用低流量、低能TIG電漿的金屬粉末熔體
金屬粉末
+載氣
柯維提克
Al-C電漿噴霧
低功率TIG
加熱金屬
顆粒
柯維提克
熔體噴霧
柯維提克材料

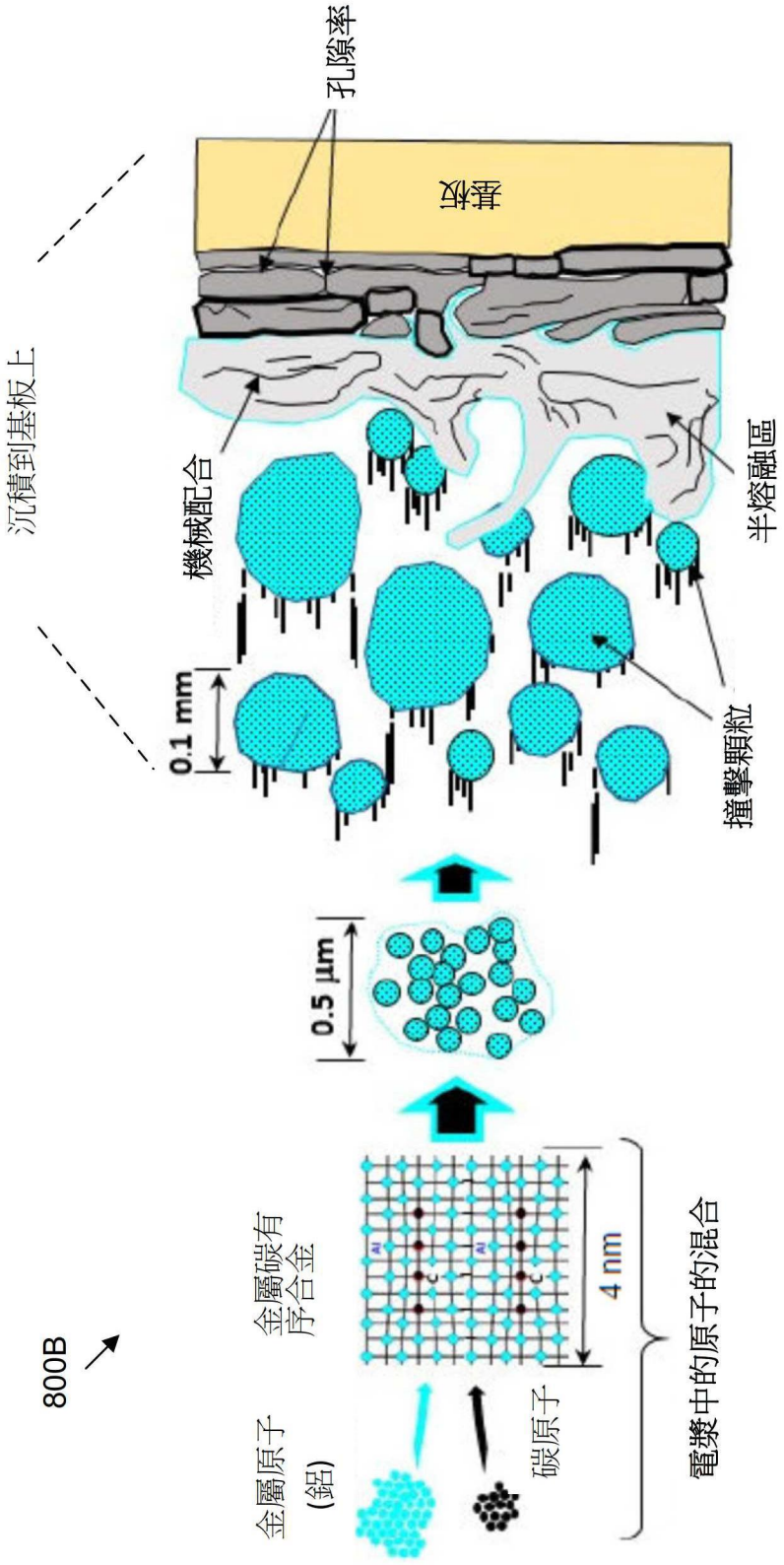
【圖6】


700
輸入：金屬或柯維提克材料
基板
• 銅、鋁等.....主體材料
• 碳
• 石墨烯
• 奈米碳簇
• CNT
• 碳化物植入
柯維提克(或似柯維提克)材料創建物或碳化物層
電漿炬噴物
堅固的合成複合物碳塗層
外覆材料：
使用脈衝能量的電漿炬合成
• 電漿炬沉積材料
• 碳
• 金屬：Al、Cu、Ti、Ta等.....
• 氧化物、氮化物
輸出：堅固的合成碳材料塗層塗在柯維提克上
• 堅固的材料介接和主體沉積材料合成與塗層

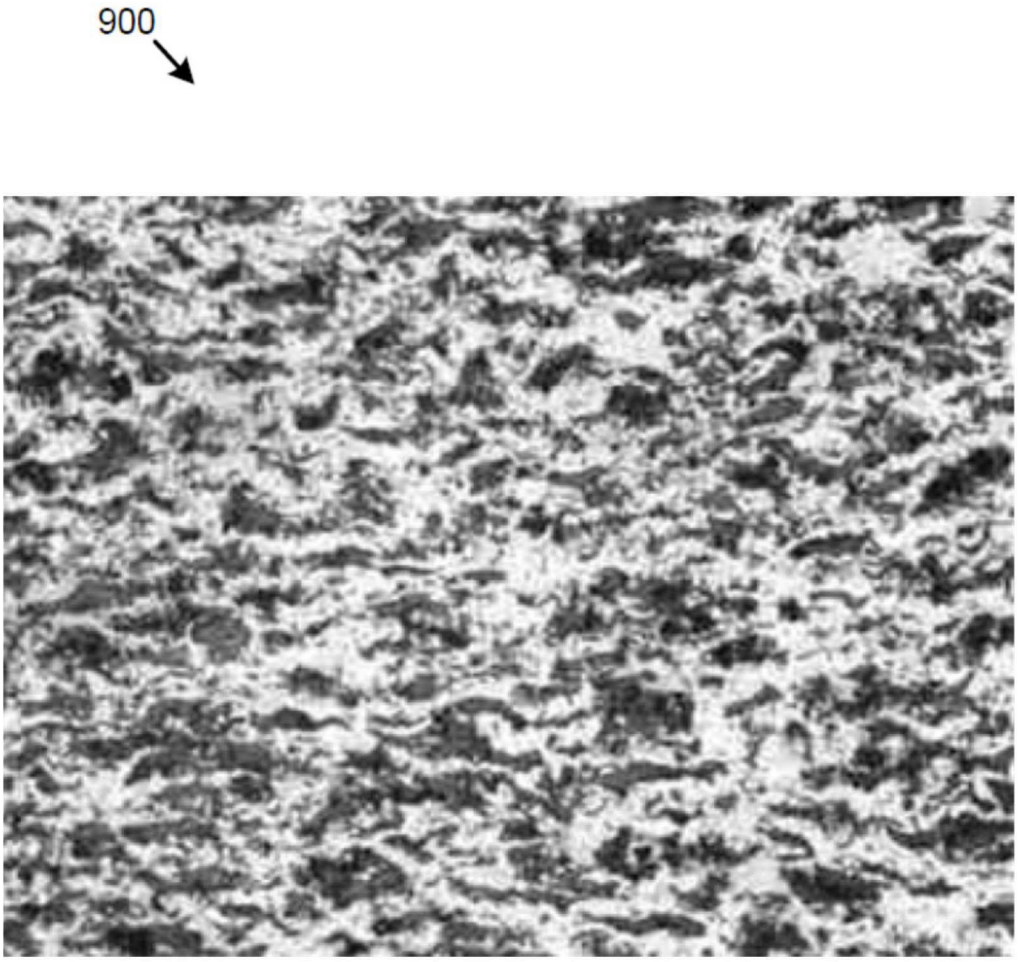
【圖7】



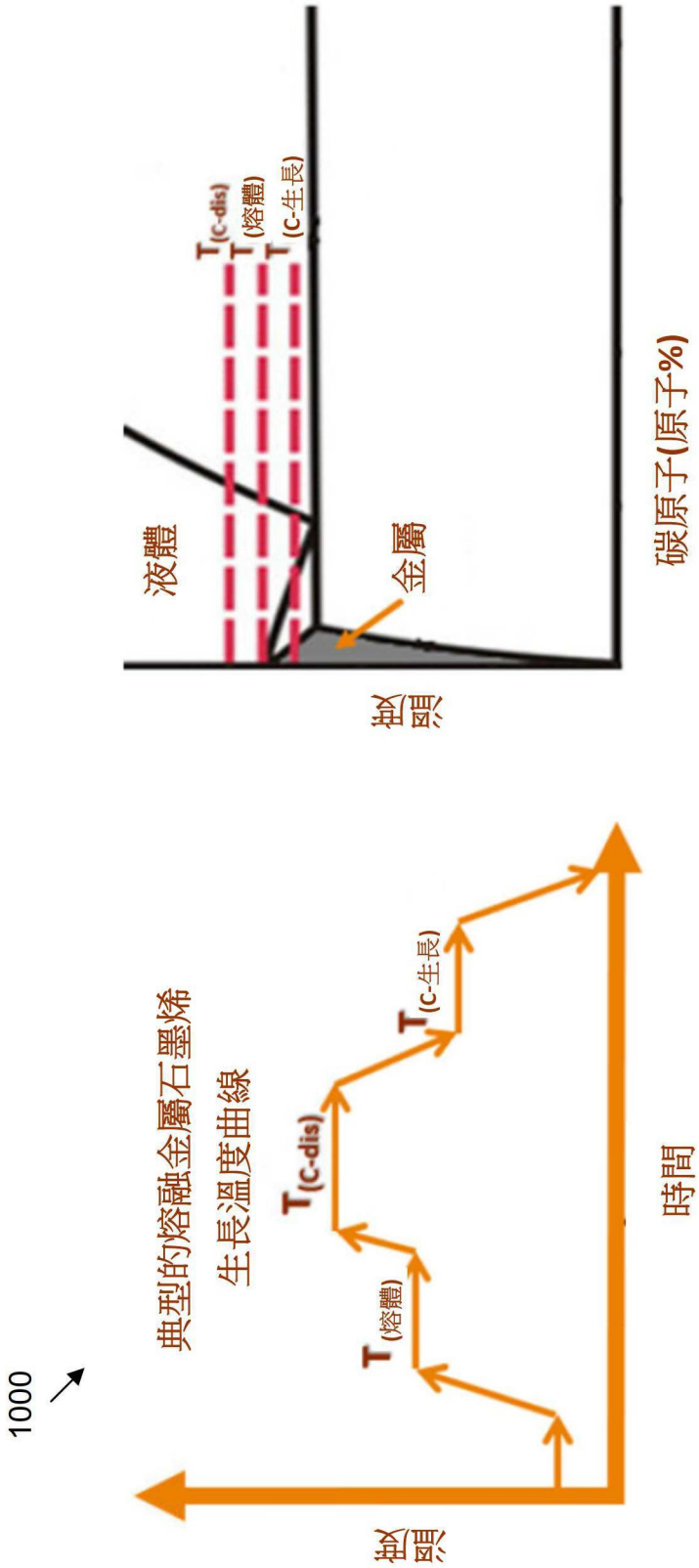
【圖8A】


800B
金屬原子
(鋁)
金屬碳有
序合金
碳原子
4 nm
電漿中的原子的混合
0.5 μm
0.1 mm
機械配合
沉積到基板上
孔隙率
基板
半熔融區
撞擊顆粒

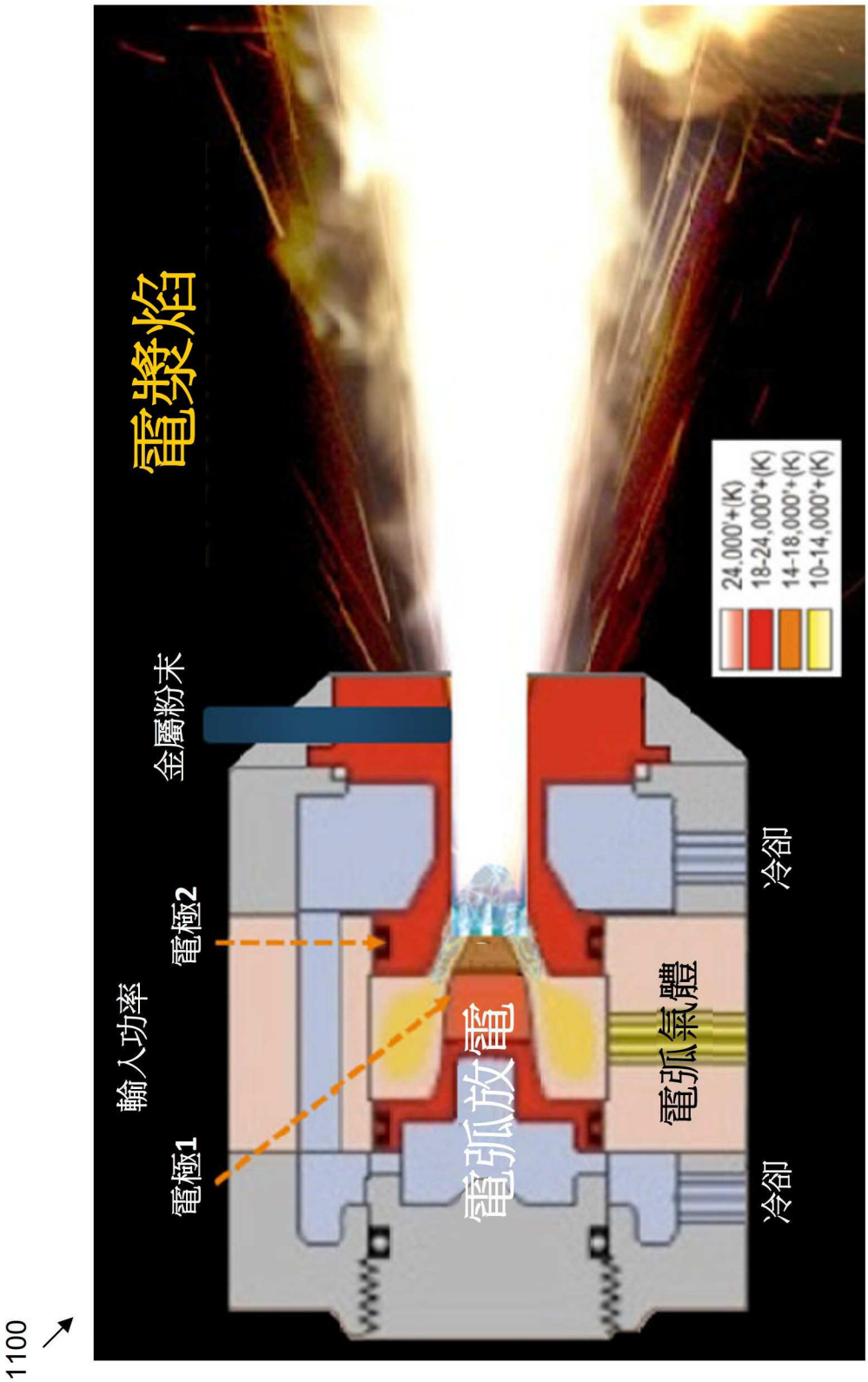
【圖8B】



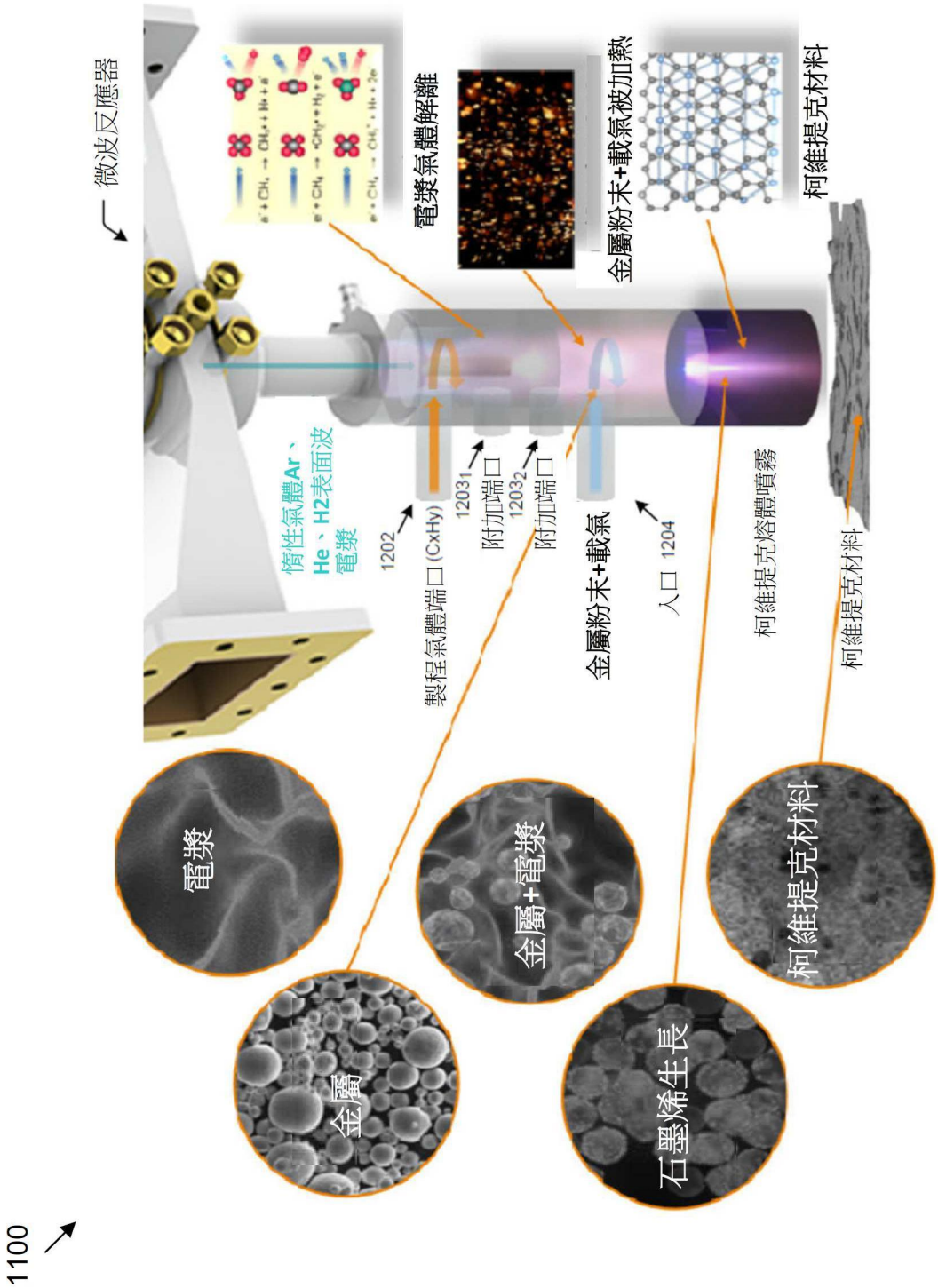
【圖9】


典型的熔融金屬石墨烯
生長溫度曲線
1000
T(熔體)
T(C-dis)
T(C-生長)
溫度
時間
液體
金屬
T(C-dis)
T(熔體)
T(C-生長)
溫度
碳原子(原子%)

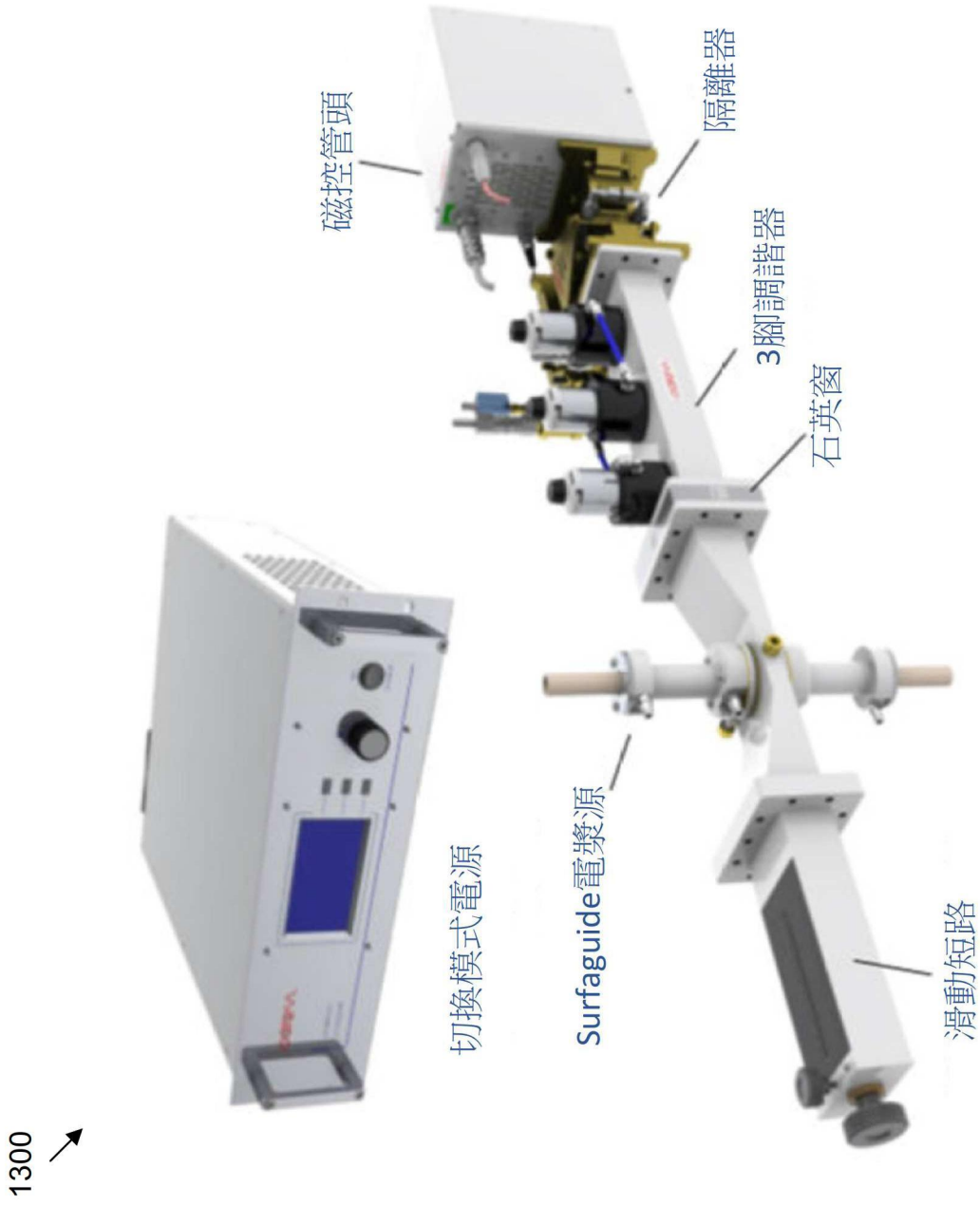
【圖10】


1100
電漿焰
金屬粉末
輸入功率
電極2
電極1
電弧放電
電弧氣體
冷卻
冷卻
24,000'+(K)
18-24,000'+(K)
14-18,000'+(K)
10-14,000'+(K)

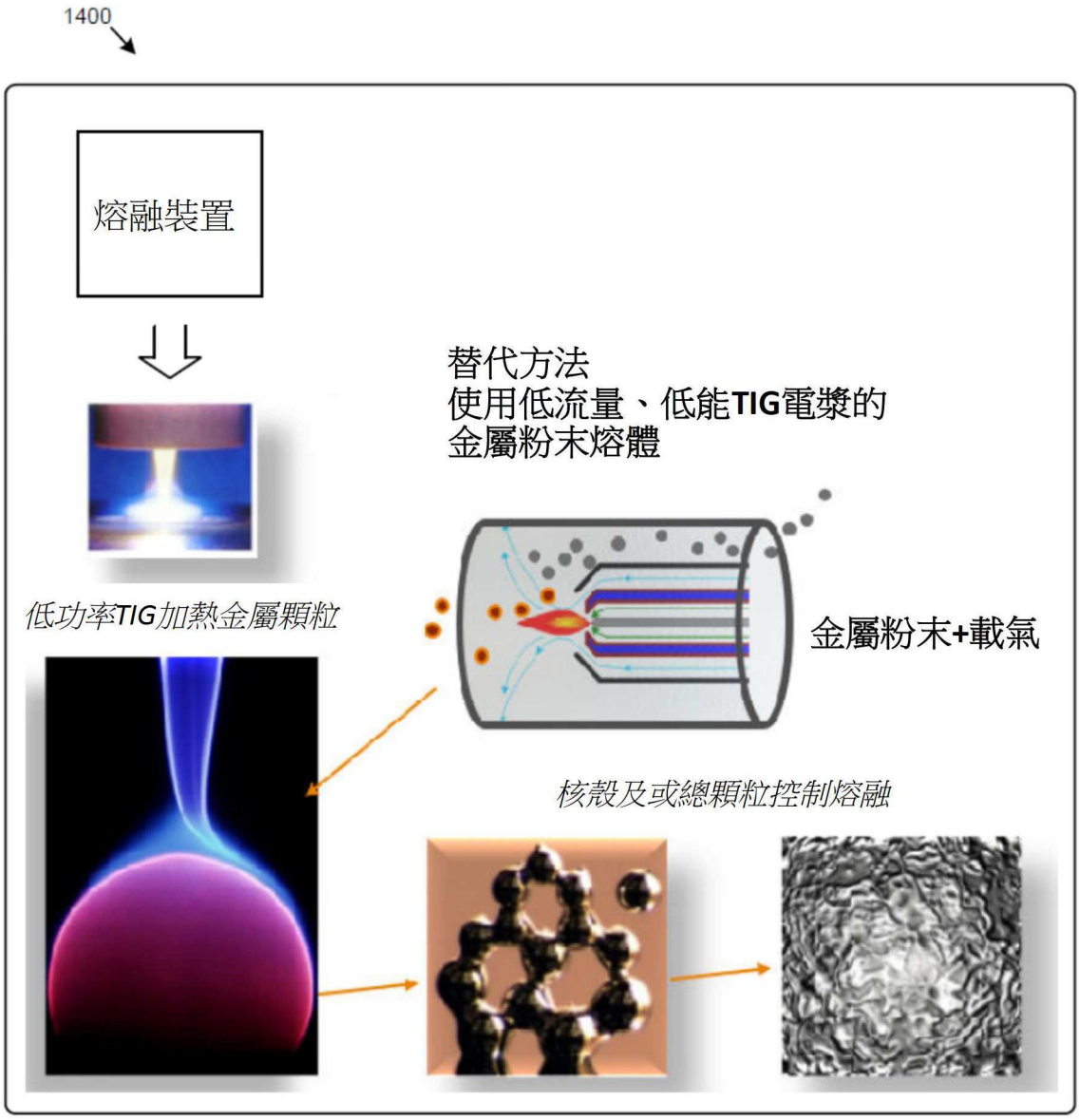
【圖11】


1100
微波反應器
電漿氣體解離
金屬粉末+載氣被加熱
柯維提克材料
惰性氣體Ar、
He、H2表面波
電漿
1202
製程氣體端口 (CxHy)
1203₁
附加端口
1203₂
附加端口
金屬粉末+載氣
入口 1204
柯維提克熔體噴霧
柯維提克材料
電漿
金屬+電漿
柯維提克材料
金屬
石墨烯生長

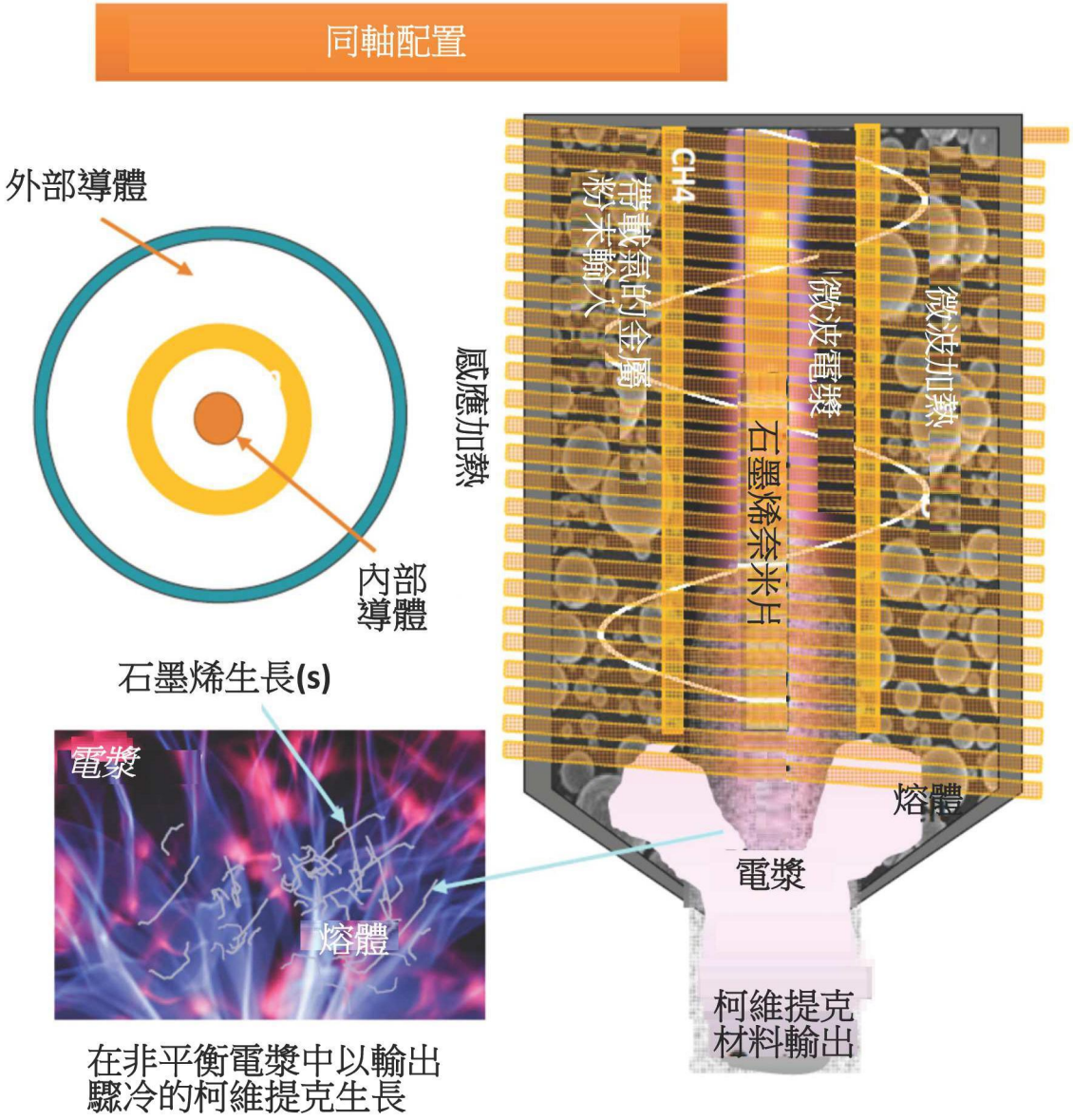
【圖12】



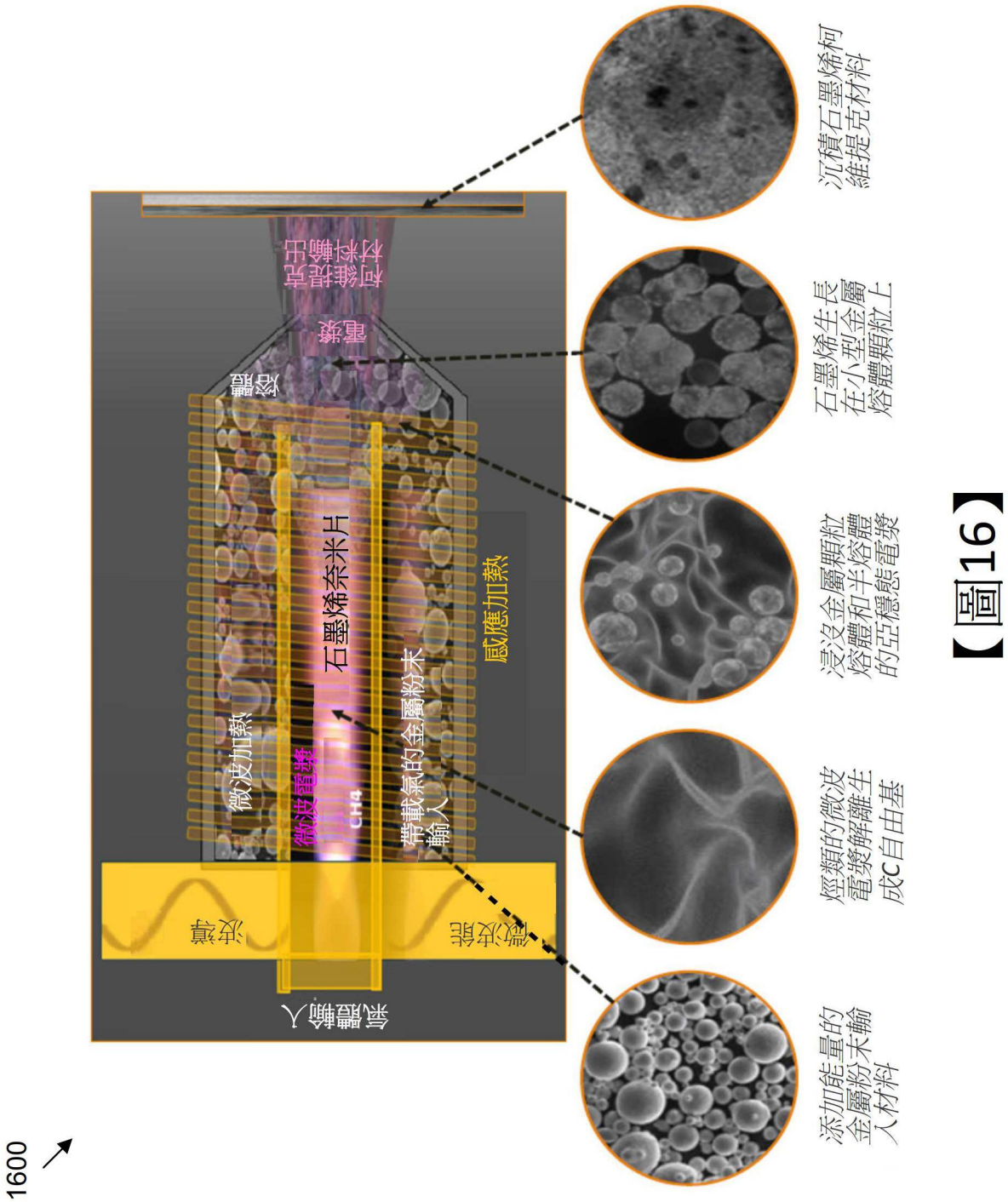
【圖13】


1400
熔融裝置
替代方法
使用低流量、低能TIG電漿的
金屬粉末熔體
低功率TIG加熱金屬顆粒
金屬粉末+載氣
核殼及或總顆粒控制熔融

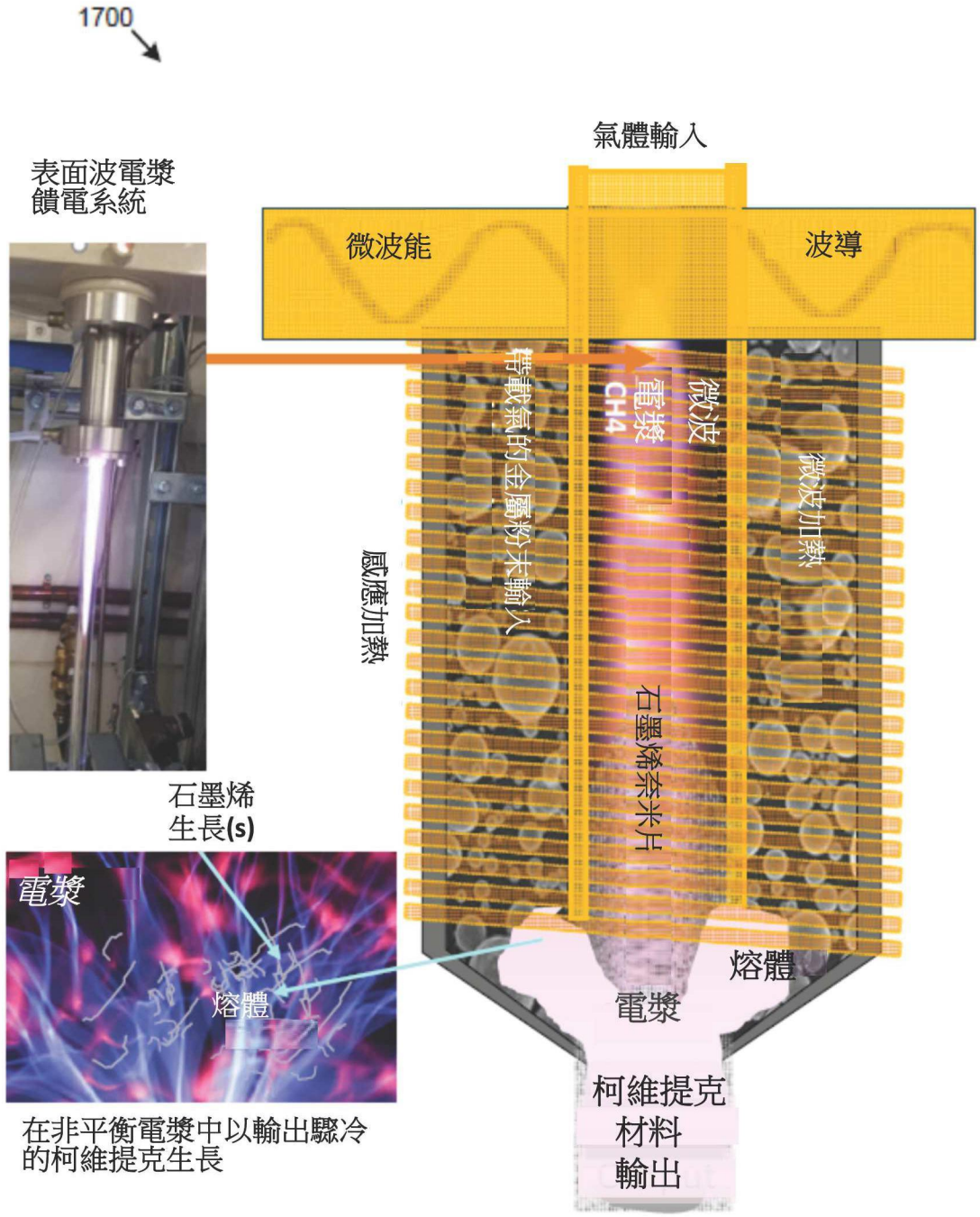
【圖14】


同軸配置
外部導體
內部導體
感應加熱
CH4
帶載氣的金屬粉末輸入
微波電漿
石墨烯奈米片
微波加熱
熔體
電漿
柯維提克材料輸出
石墨烯生長(s)
電漿
熔體
在非平衡電漿中以輸出驟冷的柯維提克生長

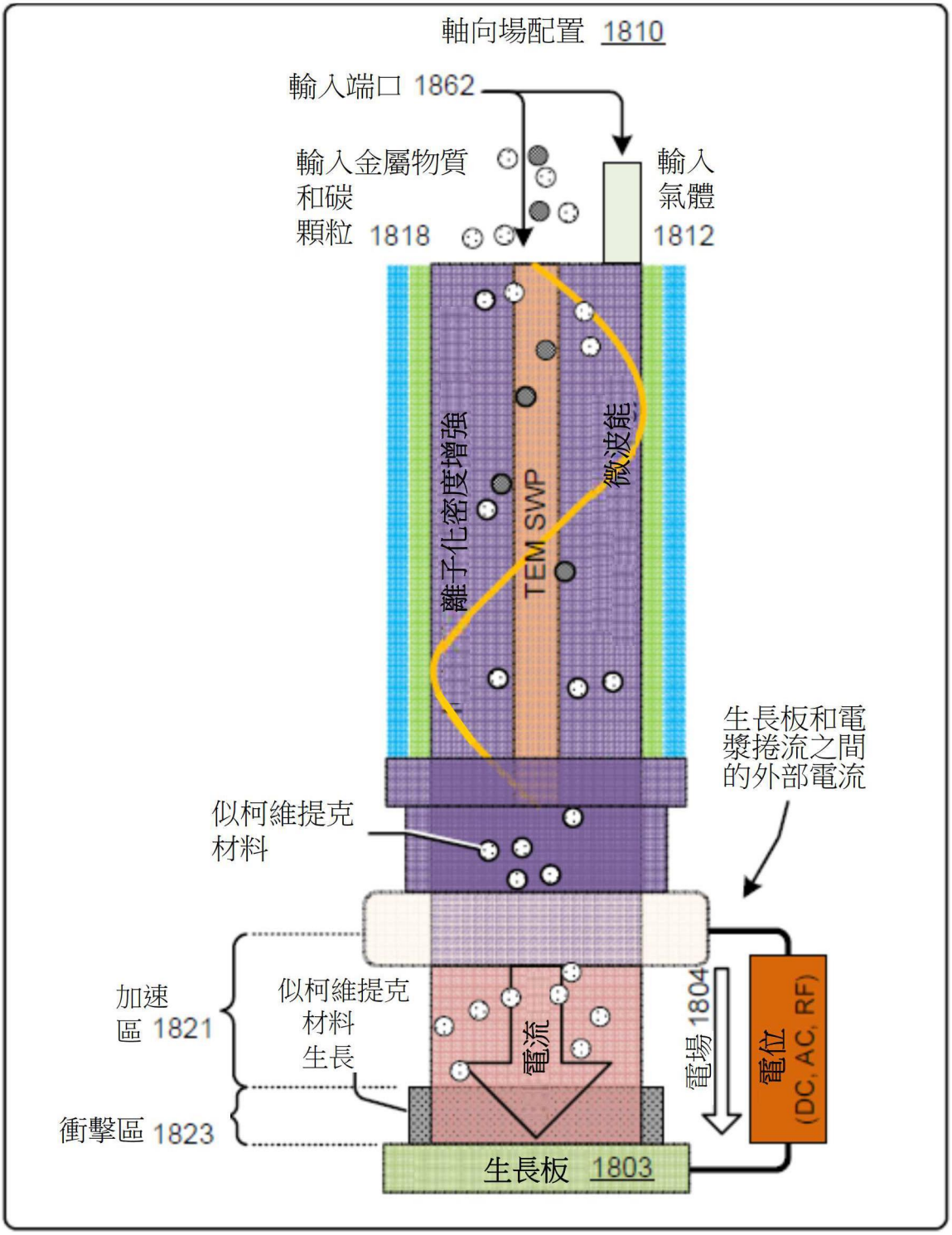
【圖15】


1600
氣體輸入
波導
微波吸附
微波加熱
微波電漿
CH4
石墨烯奈米片
帶載氣的金屬粉末
輸入
感應加熱
熔體
電漿
柯維提克
材料輸出
添加能量的
金屬粉末輸
入材料
經類的微波
電漿解離生
成C自由基
浸沒金屬顆粒
熔體和半熔體
的亞穩態電漿
石墨烯生長
在小型金屬
熔體顆粒上
沉積石墨烯柯
維提克材料

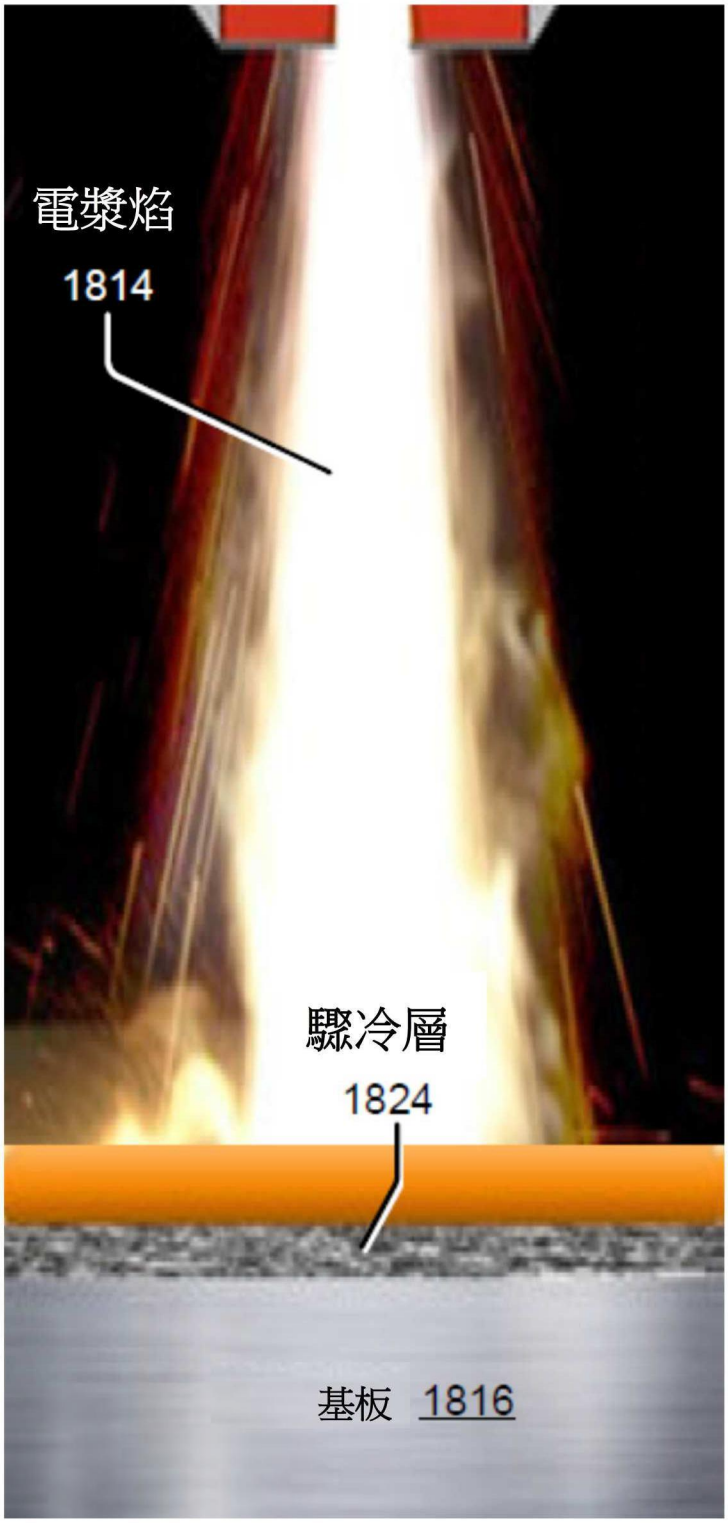
【圖16】


1700
氣體輸入
表面波電漿
饋電系統
微波能
波導
帶載氣的金屬粉末輸入
微波
電漿
CH4
微波加熱
感應加熱
石墨烯奈米片
石墨烯
生長(s)
電漿
熔體
熔體
電漿
柯維提克
材料
輸出
在非平衡電漿中以輸出驟冷
的柯維提克生長

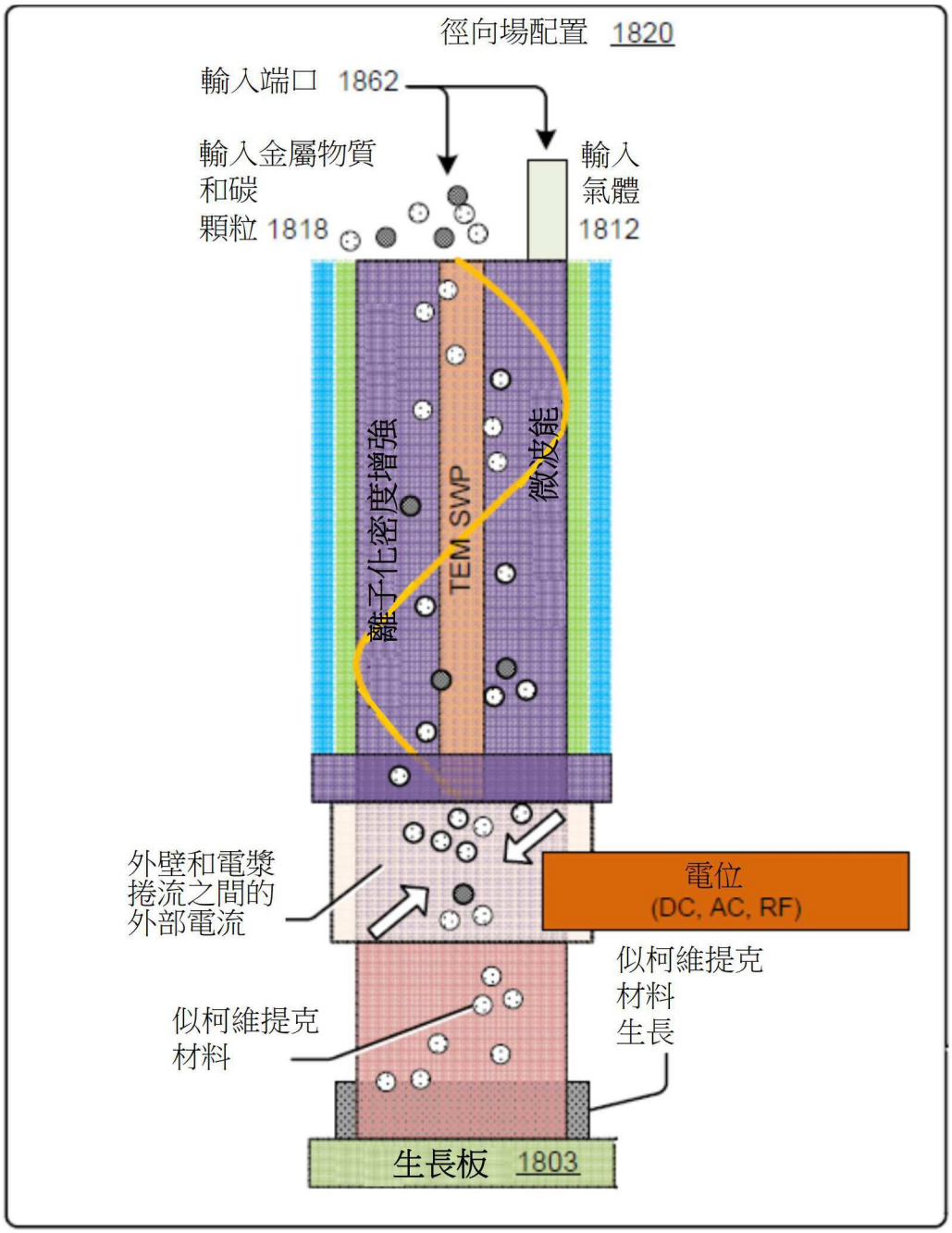
【圖17】


軸向場配置 1810
輸入端口 1862
輸入金屬物質
和碳
顆粒 1818
輸入
氣體
1812
離子化密度增強
TEM SWP
微波能
生長板和電
漿捲流之間
的外部電流
似柯維提克
材料
加速
區 1821
似柯維提克
材料
生長
衝擊區 1823
電流
電場 1804
電位
(DC, AC, RF)
生長板 1803

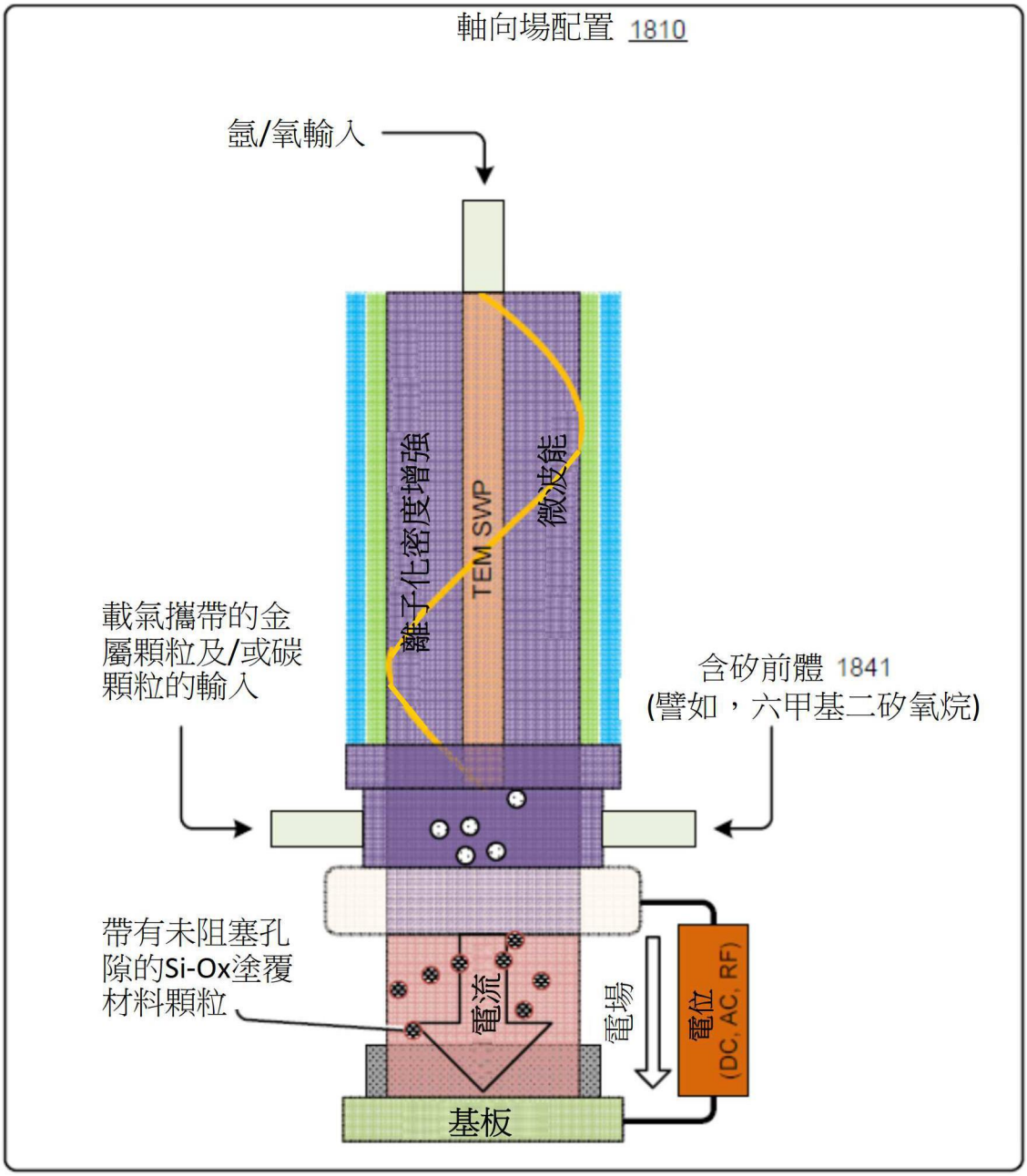
【圖18A1】



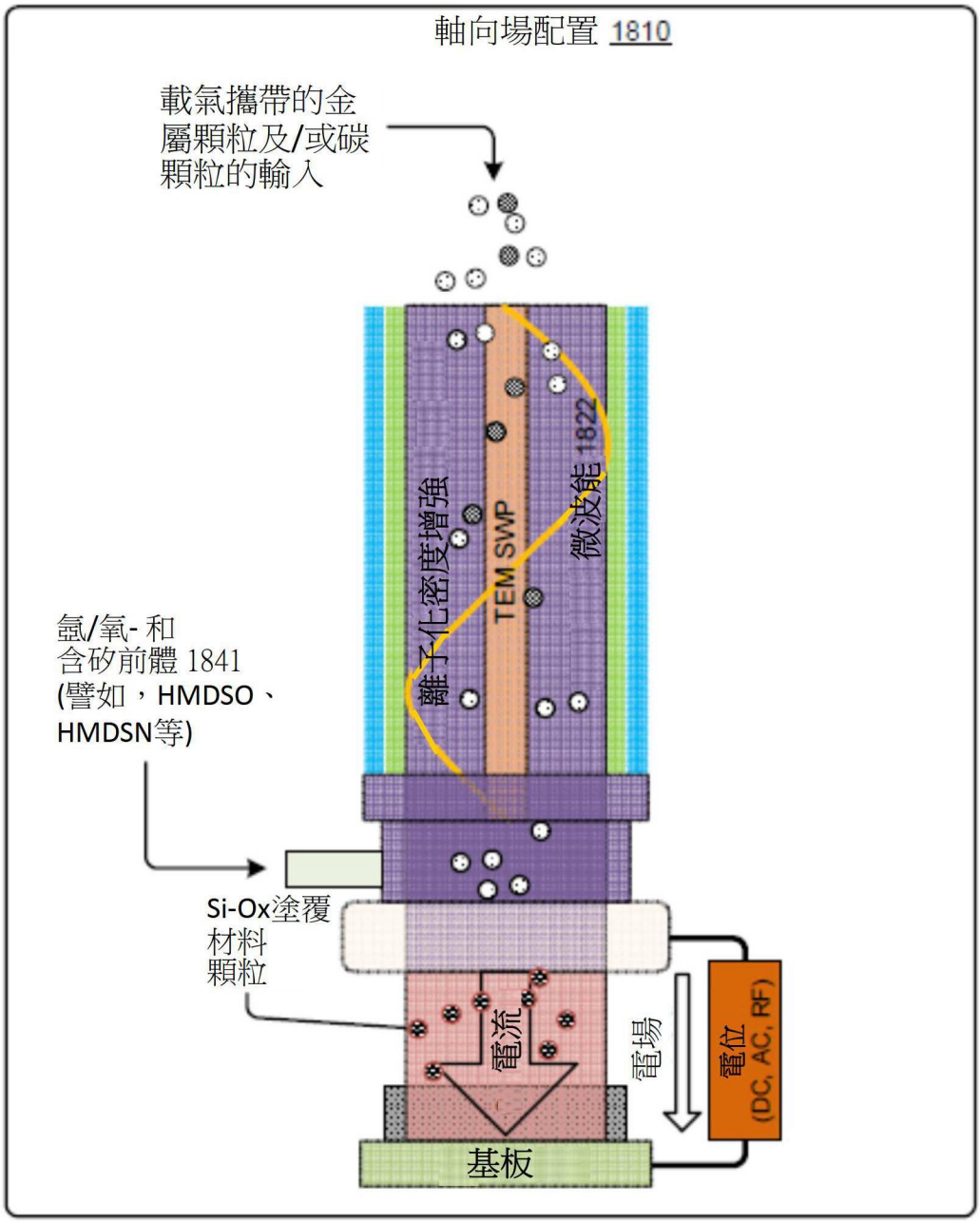
【圖18A2】


徑向場配置 1820
輸入端口 1862
輸入金屬物質
和碳
顆粒 1818
輸入
氣體
1812
離子化密度增強
TEM SWP
微波能
外壁和電漿
捲流之間的
外部電流
電位
(DC, AC, RF)
似柯維提克
材料
生長
似柯維提克
材料
生長板 1803

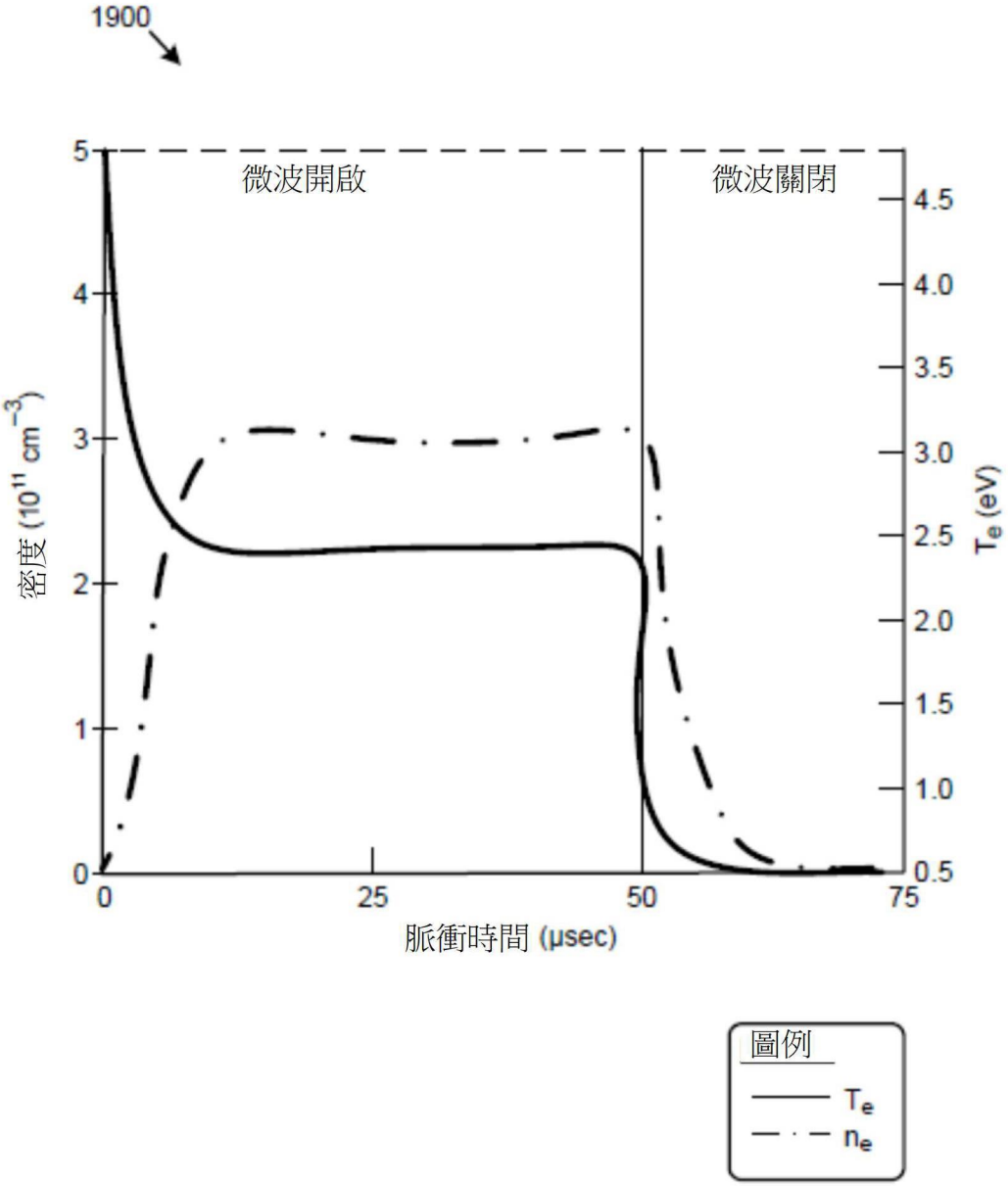
【圖18B】


軸向場配置 1810
氫/氧輸入
離子化密度增強
TEM SWP
微波能
載氣攜帶的金屬顆粒及/或碳顆粒的輸入
含矽前體 1841
(譬如，六甲基二矽氧烷)
帶有未阻塞孔隙的Si-Ox塗覆材料顆粒
電流
電場
電位
(DC, AC, RF)
基板

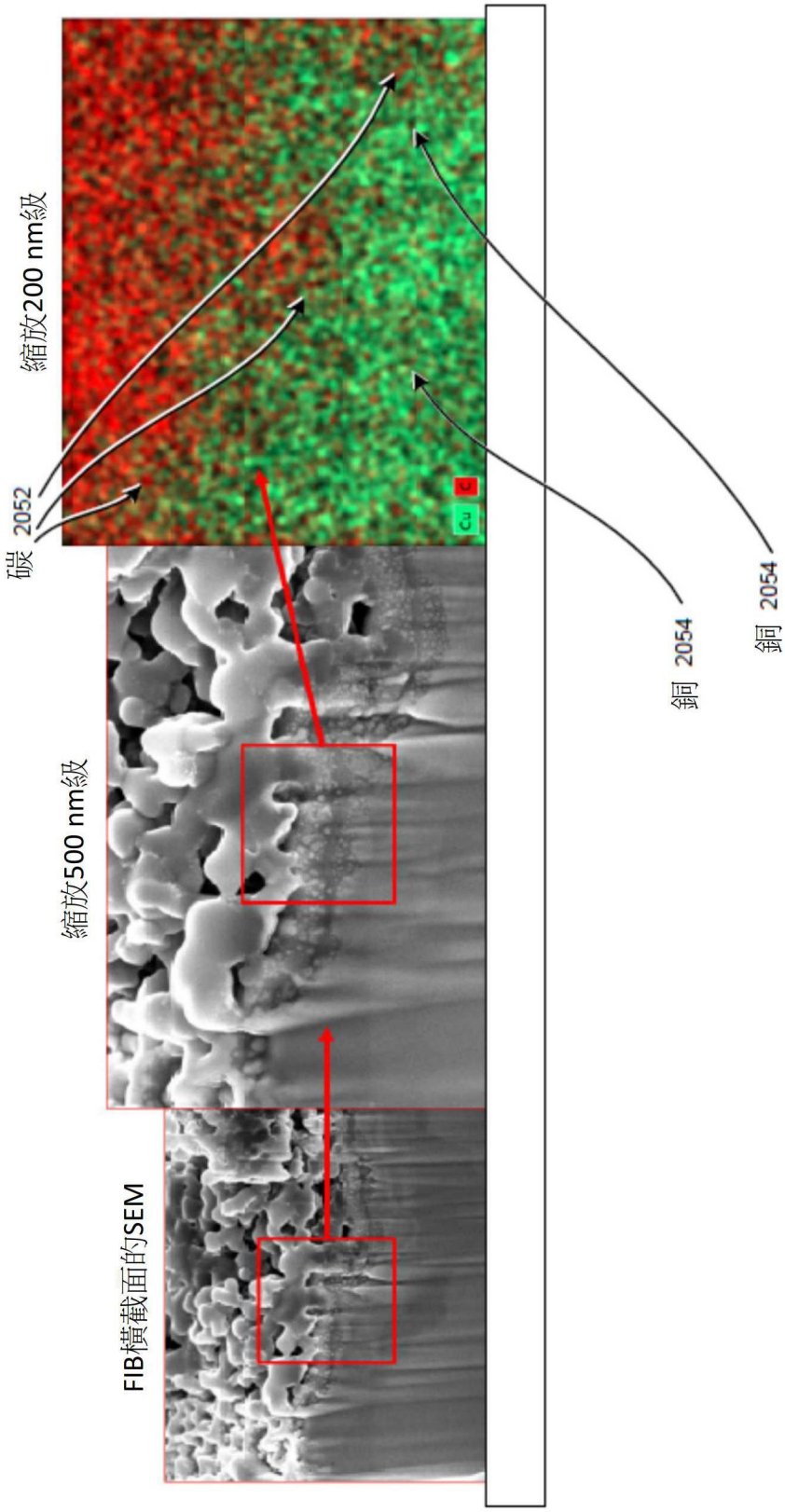
【圖18C】


軸向場配置 1810
載氣攜帶的金屬顆粒及/或碳顆粒的輸入
離子化密度增強
TEM SWP
微波能 1822
氫/氧- 和含矽前體 1841 (譬如，HMDSO、HMDSN等)
Si-Ox塗覆材料顆粒
電流
電場
電位 (DC, AC, RF)
基板

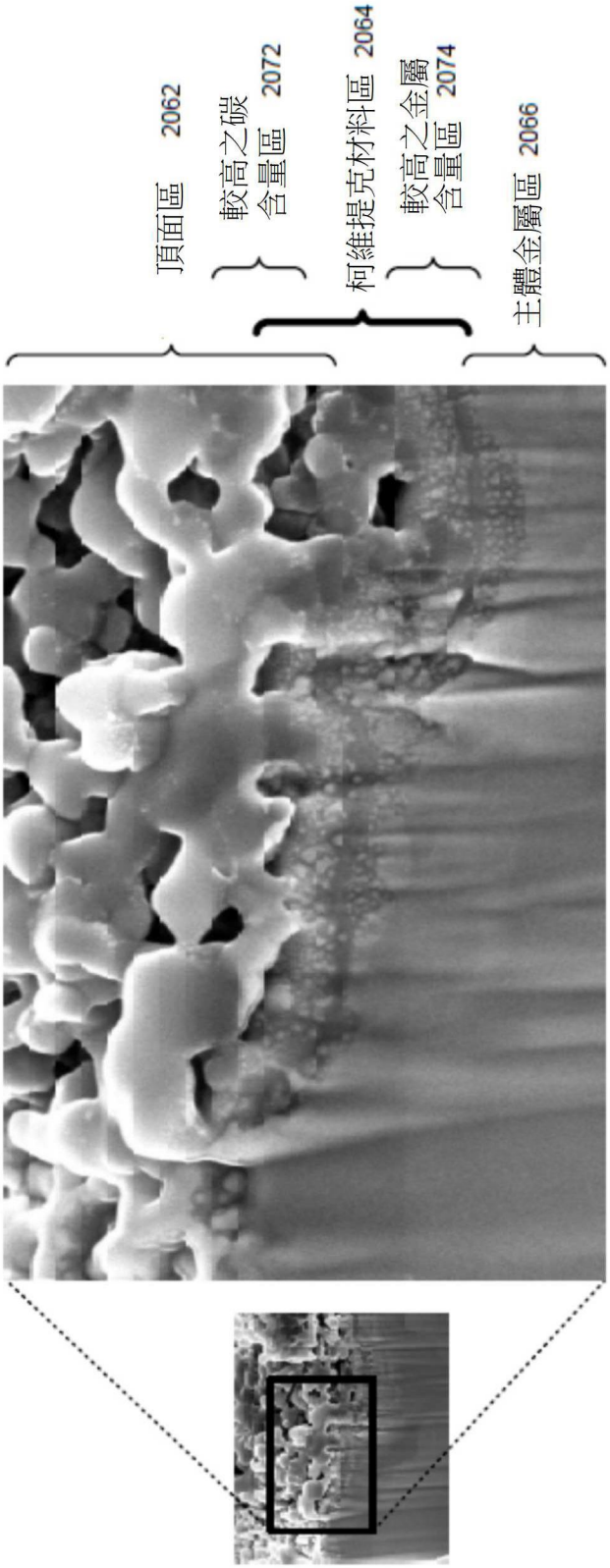
【圖18D】


1900
微波開啟
微波關閉
密度 (10^{11} cm^{-3})
T_e (eV)
脈衝時間 (μsec)
0
25
50
75
0
1
2
3
4
5
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
圖例
T_e
n_e

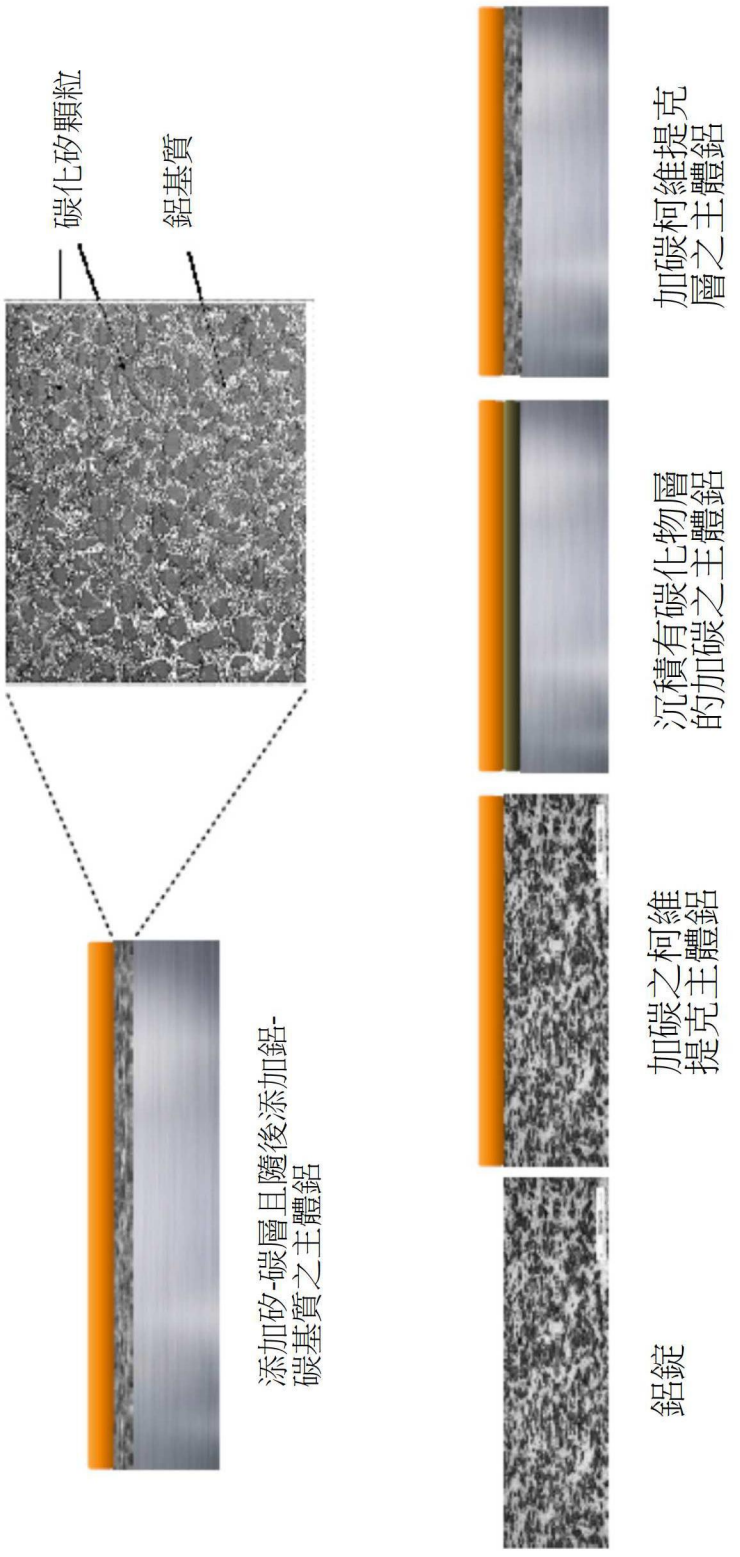
【圖19】



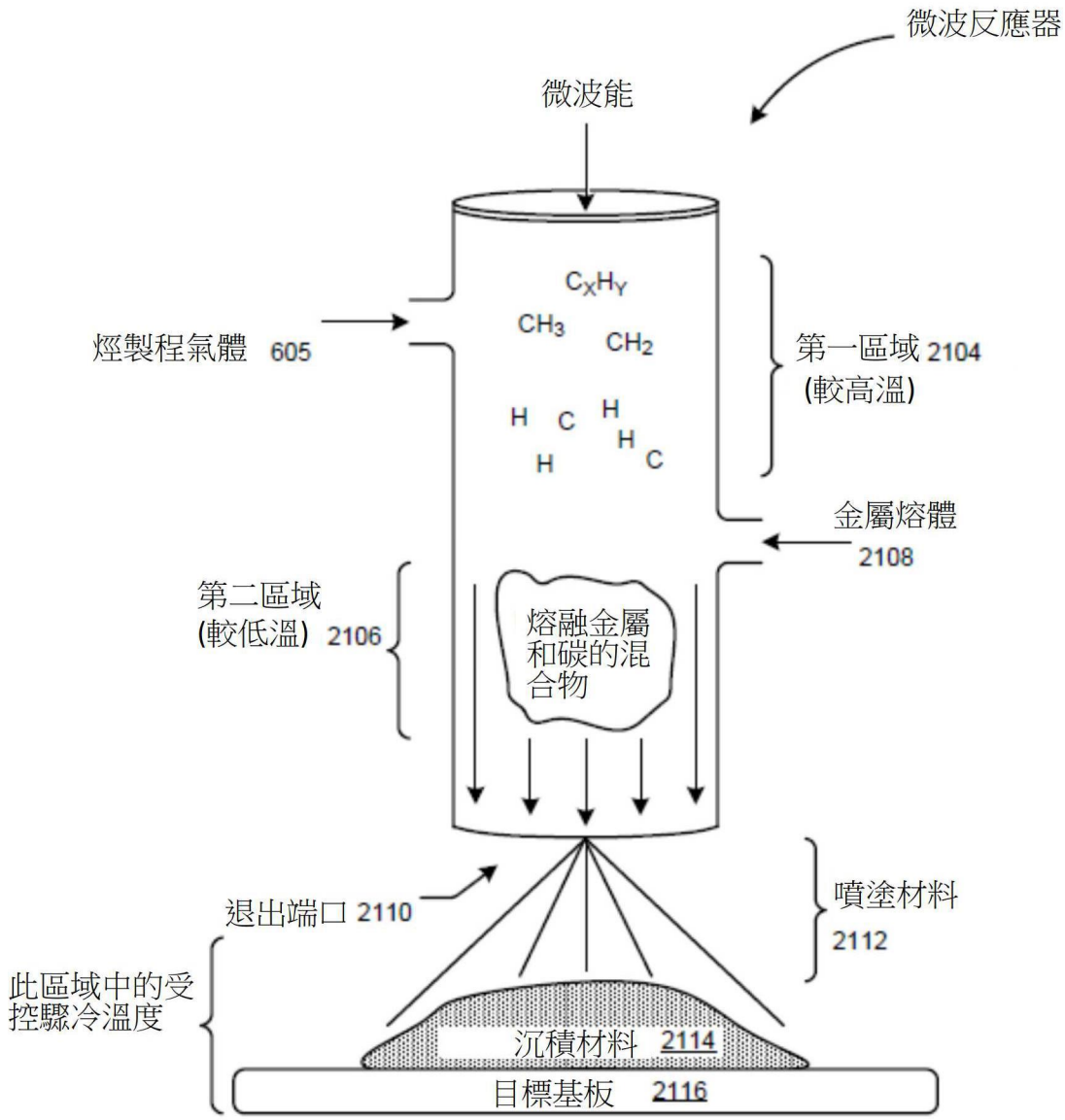
【圖20A1】


頂面區 2062
較高之碳含量區 2072
柯維提克材料區 2064
較高之金屬含量區 2074
主體金屬區 2066

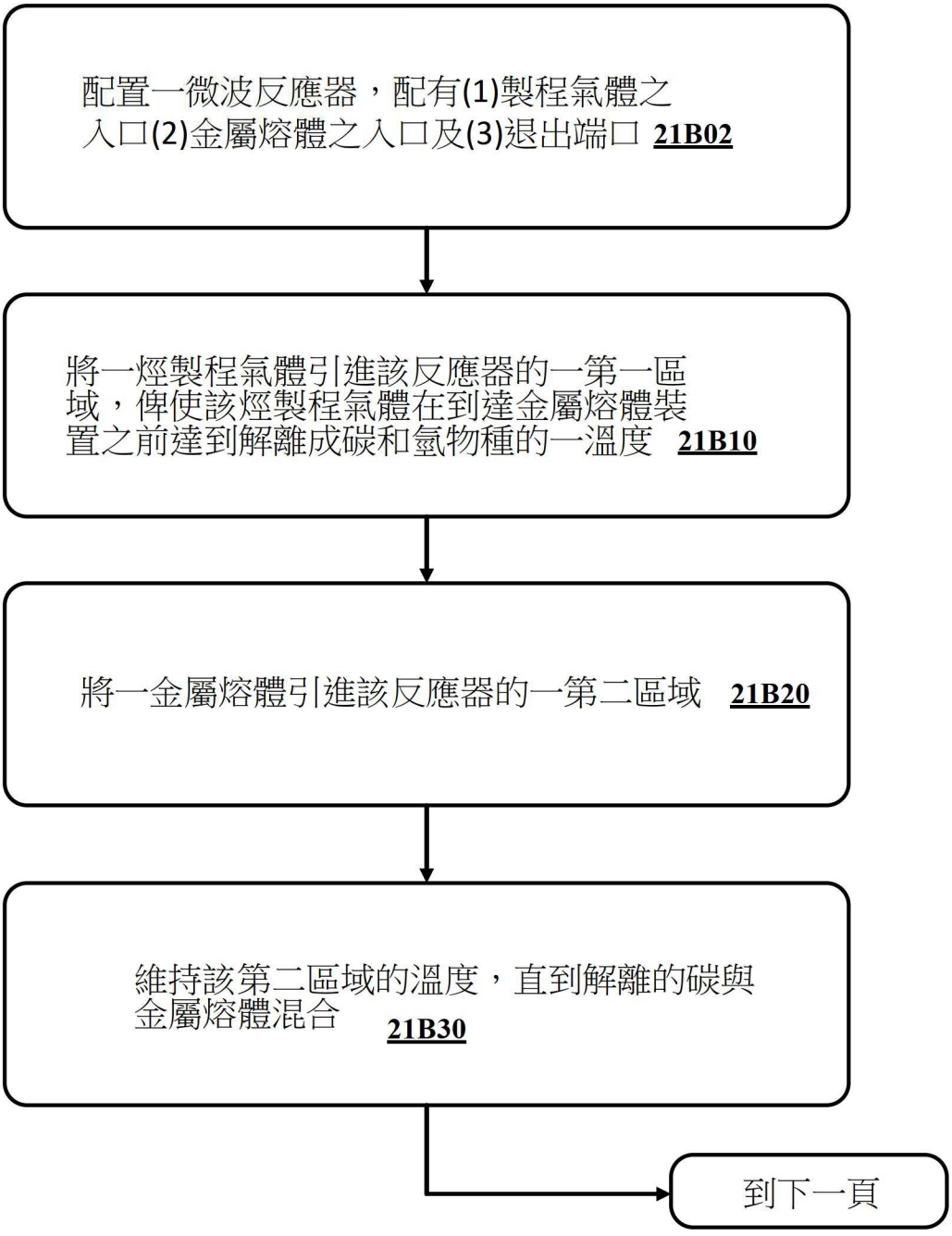
【圖20A2】


碳化矽顆粒
鋁基質
添加矽-碳層且隨後添加鋁-碳基質之主體鋁
鋁錠
加碳之柯維提克主體鋁
沉積有碳化物層的加碳之主體鋁
加碳柯維提克層之主體鋁

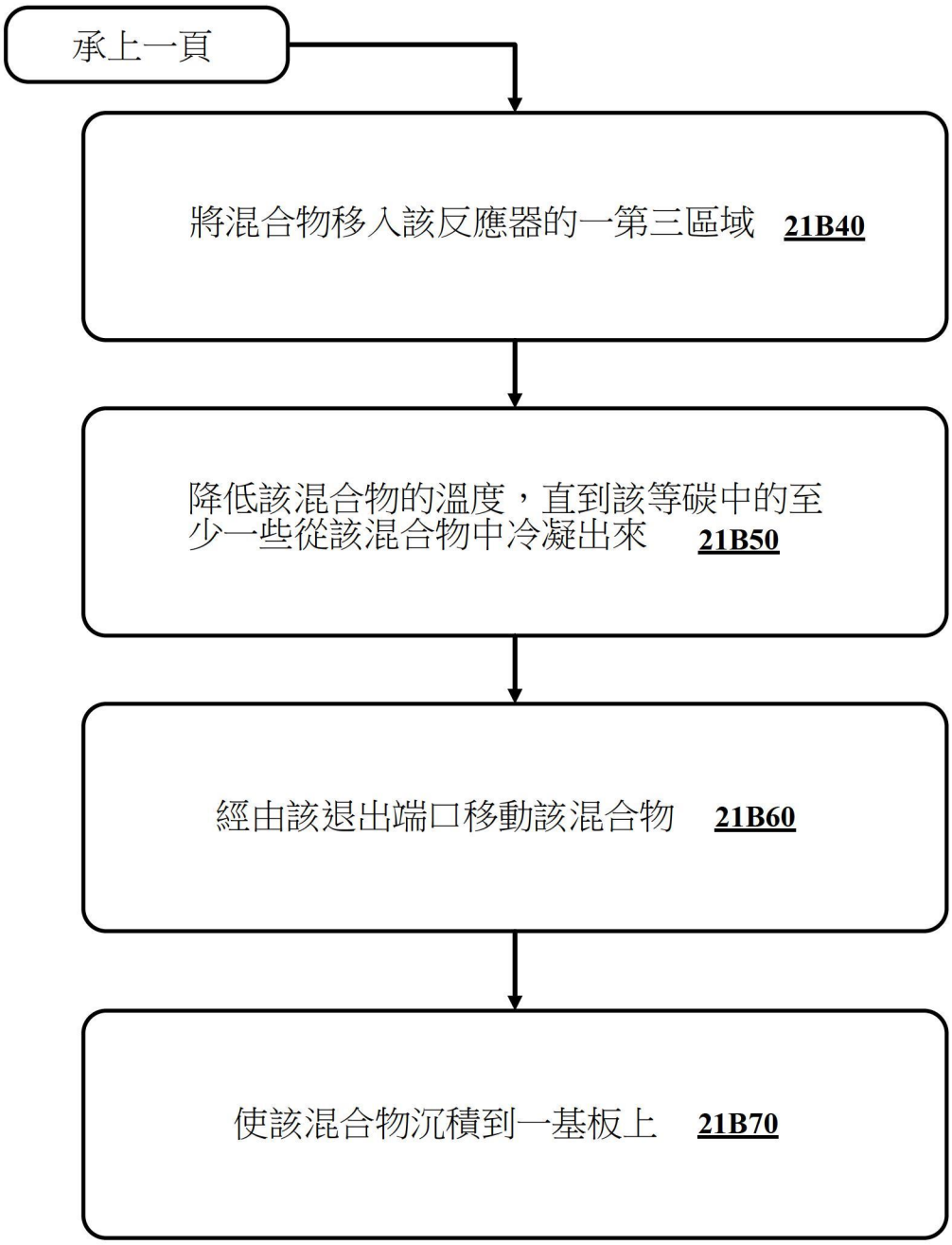
【圖20B】


微波反應器
微波能
C_XH_Y
CH_3
CH_2
烴製程氣體 605
第一區域 2104
(較高溫)
金屬熔體
2108
第二區域
(較低溫) 2106
熔融金屬
和碳的混
合物
退出端口 2110
噴塗材料
2112
此區域中的受
控驟冷溫度
沉積材料 2114
目標基板 2116

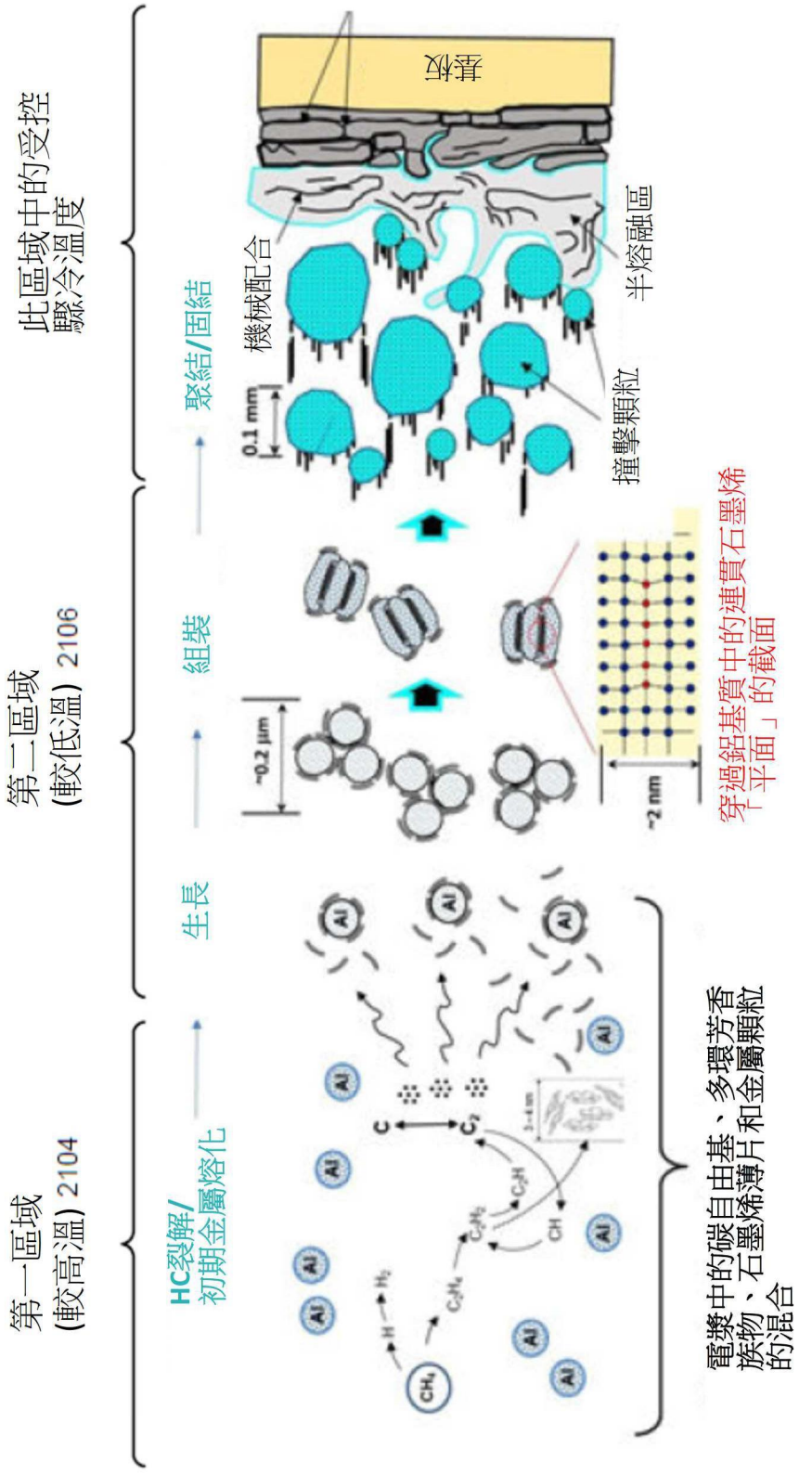
【圖21A】


配置一微波反應器，配有(1)製程氣體之入口(2)金屬熔體之入口及(3)退出端口 21B02
將一烴製程氣體引進該反應器的一第一區域，俾使該烴製程氣體在到達金屬熔體裝置之前達到解離成碳和氫物種的一溫度 21B10
將一金屬熔體引進該反應器的一第二區域 21B20
維持該第二區域的溫度，直到解離的碳與金屬熔體混合 21B30
到下一頁

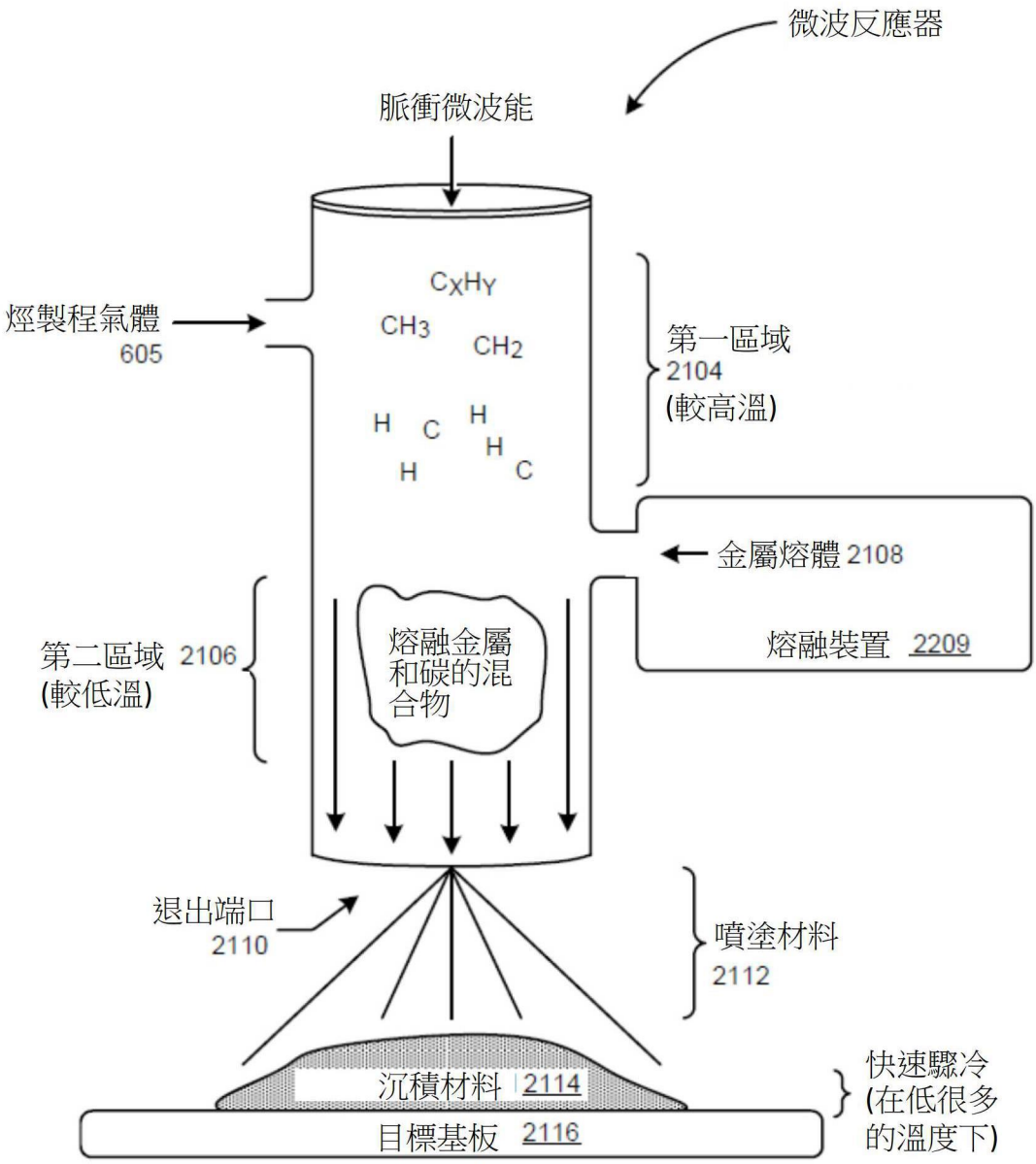
【圖21B】


承上一頁
將混合物移入該反應器的一第三區域 21B40
降低該混合物的溫度，直到該等碳中的至少一些從該混合物中冷凝出來 21B50
經由該退出端口移動該混合物 21B60
使該混合物沉積到一基板上 21B70

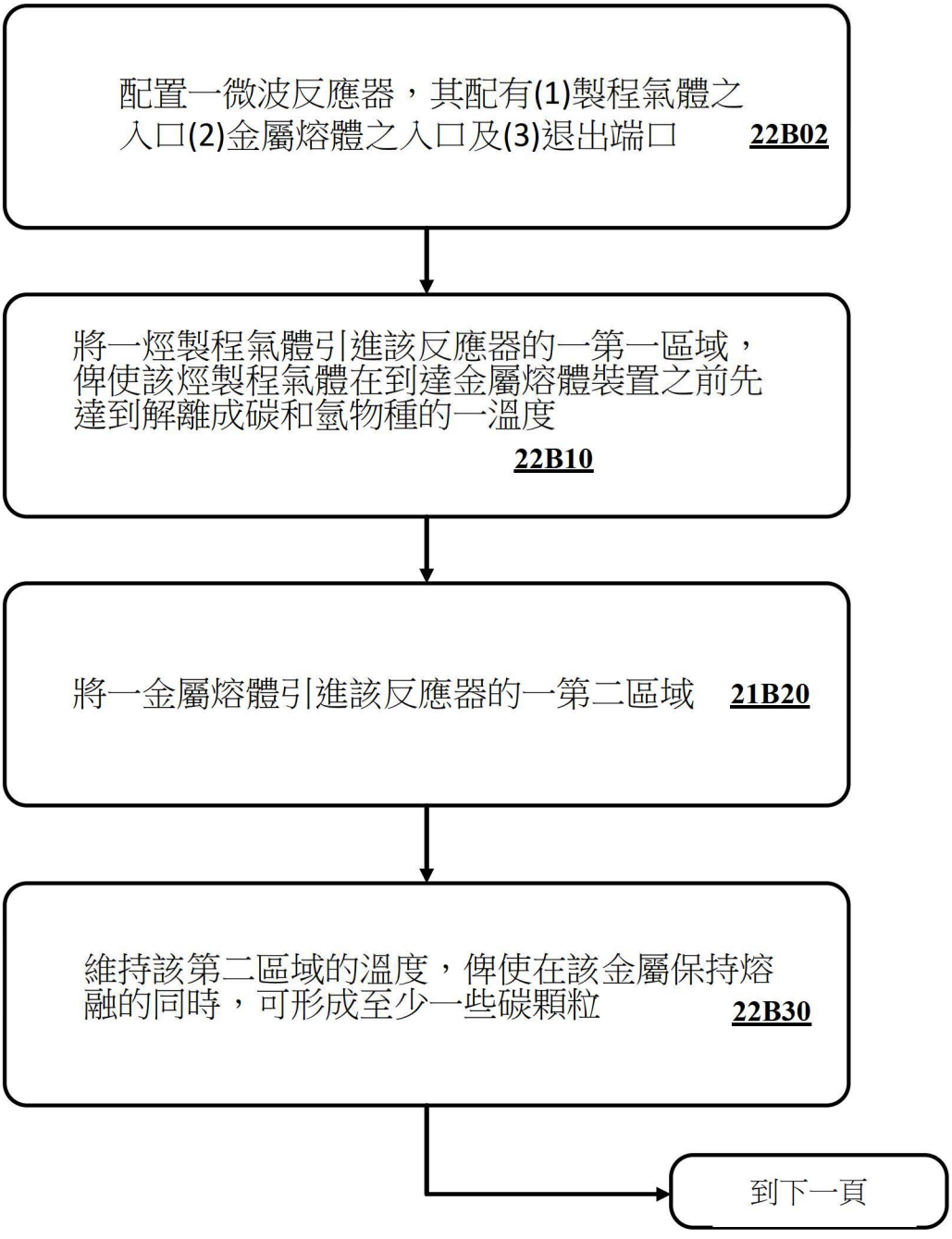
【圖21B】續


第一區域
(較高溫) 2104
第二區域
(較低溫) 2106
此區域中的受控
驟冷溫度
HC裂解/
初期金屬熔化
生長
組裝
聚結/固結
電漿中的碳自由基、多環芳香
族物、石墨烯薄片和金屬顆粒
的混合
~0.2 μm
~2 nm
0.1 mm
機械配合
撞擊顆粒
半熔融區
基板
穿過鋁基質中的連貫石墨烯
「平面」的截面

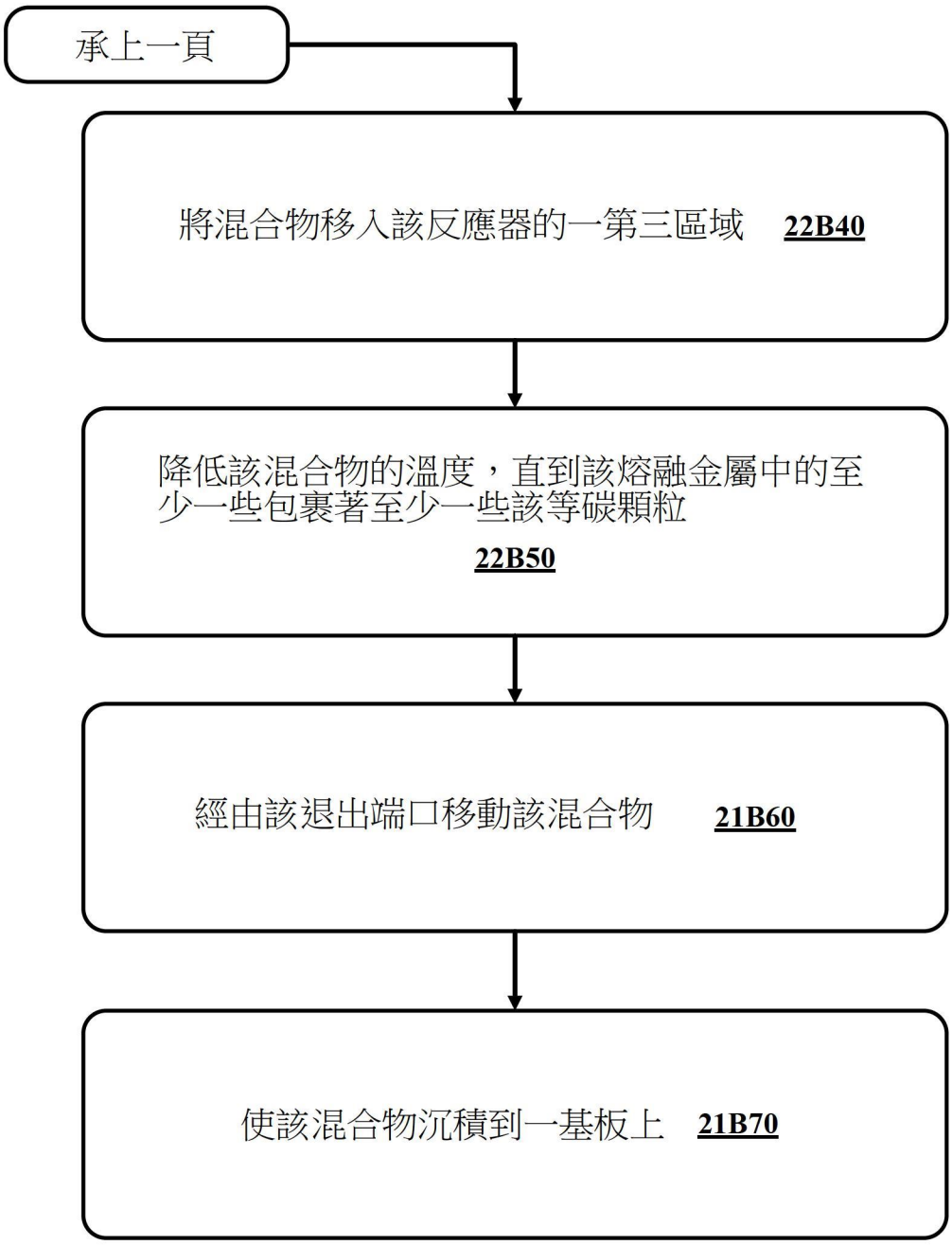
【圖21C】


微波反應器
脈衝微波能
烴製程氣體
605
CXHY
CH3
CH2
H C H
H C
第一區域
2104
(較高溫)
金屬熔體 2108
熔融裝置 2209
第二區域 2106
(較低溫)
熔融金屬和碳的混合物
退出端口
2110
噴塗材料
2112
沉積材料 2114
目標基板 2116
快速驟冷
(在低很多的溫度下)

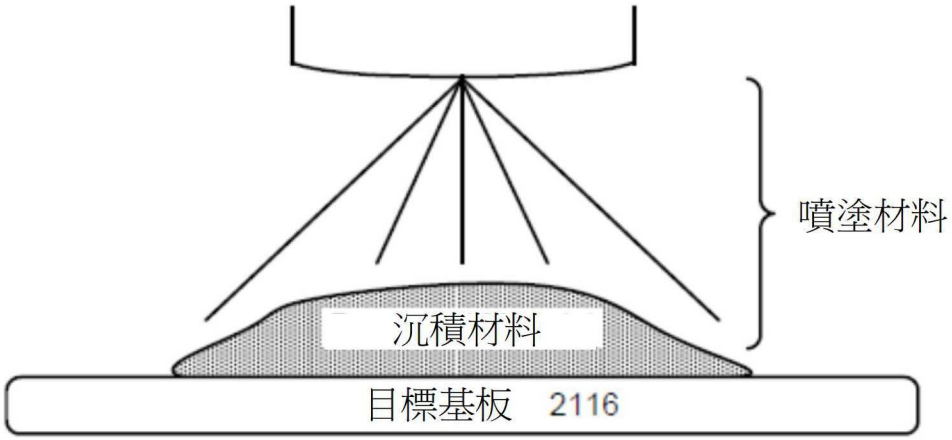
【圖22A】


配置一微波反應器，其配有(1)製程氣體之入口(2)金屬熔體之入口及(3)退出端口
22B02
將一烴製程氣體引進該反應器的一第一區域，俾使該烴製程氣體在到達金屬熔體裝置之前先達到解離成碳和氫物種的一溫度
22B10
將一金屬熔體引進該反應器的一第二區域
21B20
維持該第二區域的溫度，俾使在該金屬保持熔融的同時，可形成至少一些碳顆粒
22B30
到下一頁

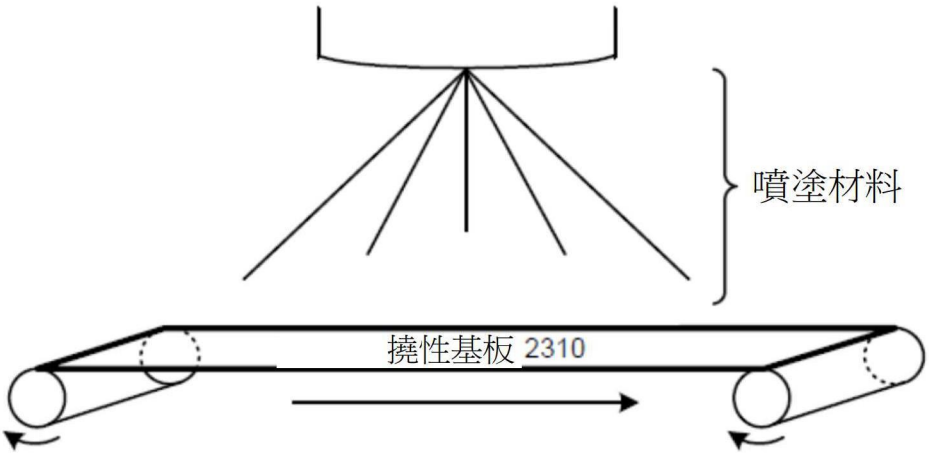
【圖22B】


承上一頁
將混合物移入該反應器的一第三區域 22B40
降低該混合物的溫度，直到該熔融金屬中的至少一些包裹著至少一些該等碳顆粒
22B50
經由該退出端口移動該混合物 21B60
使該混合物沉積到一基板上 21B70

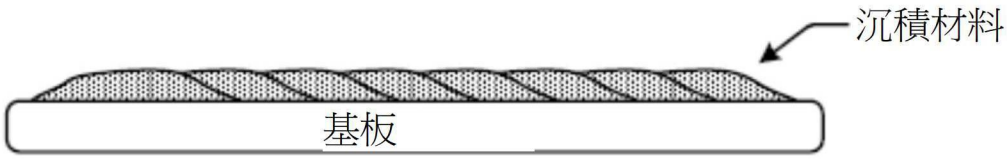
【圖22B】續



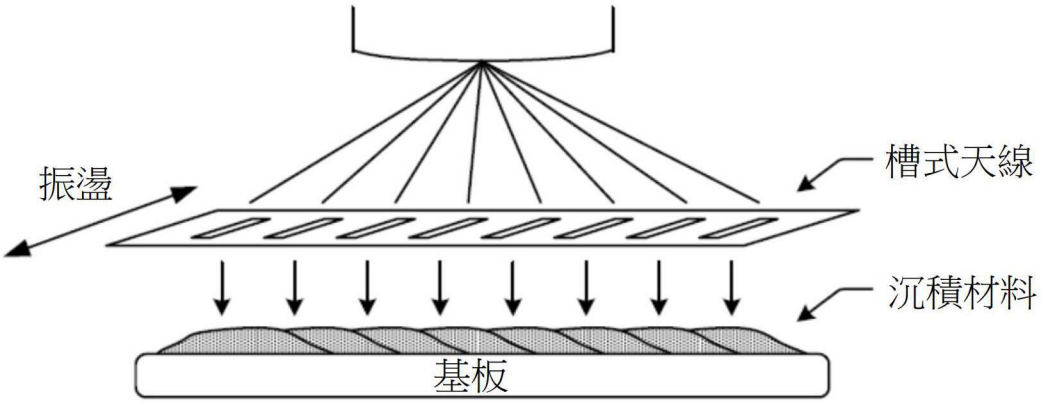
【圖23A】



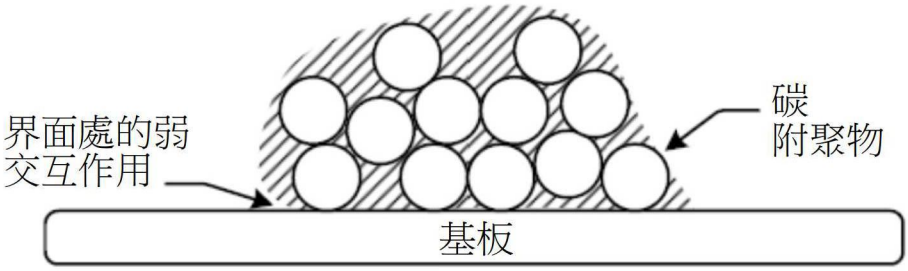
【圖23B】



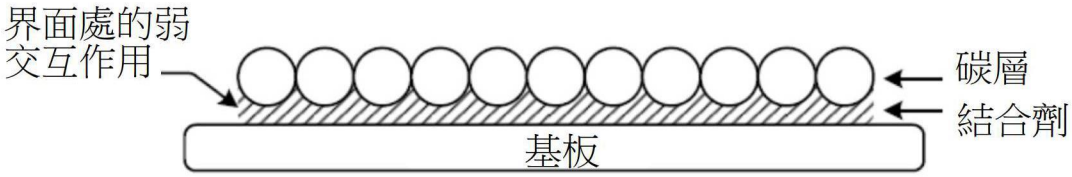
【圖23C】



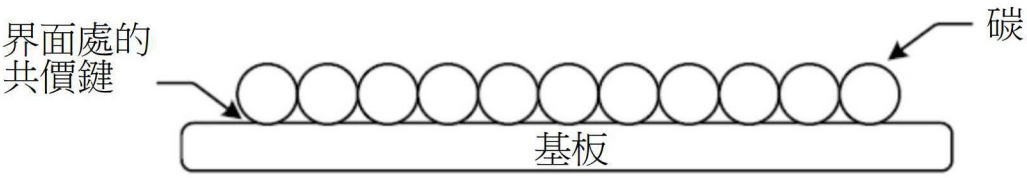
【圖23D】



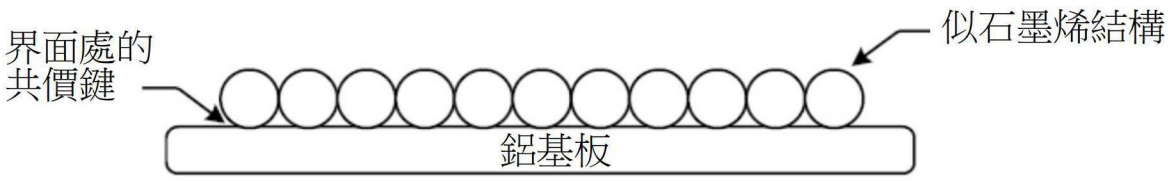
【圖24A】



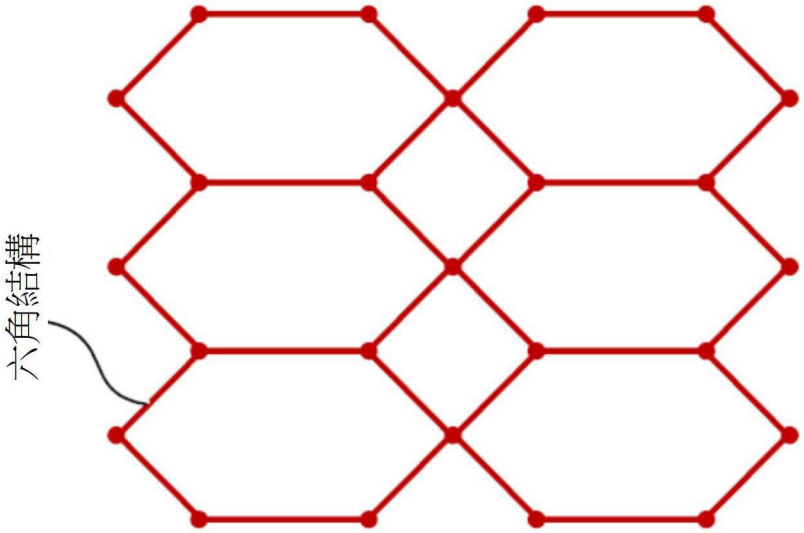
【圖24B】



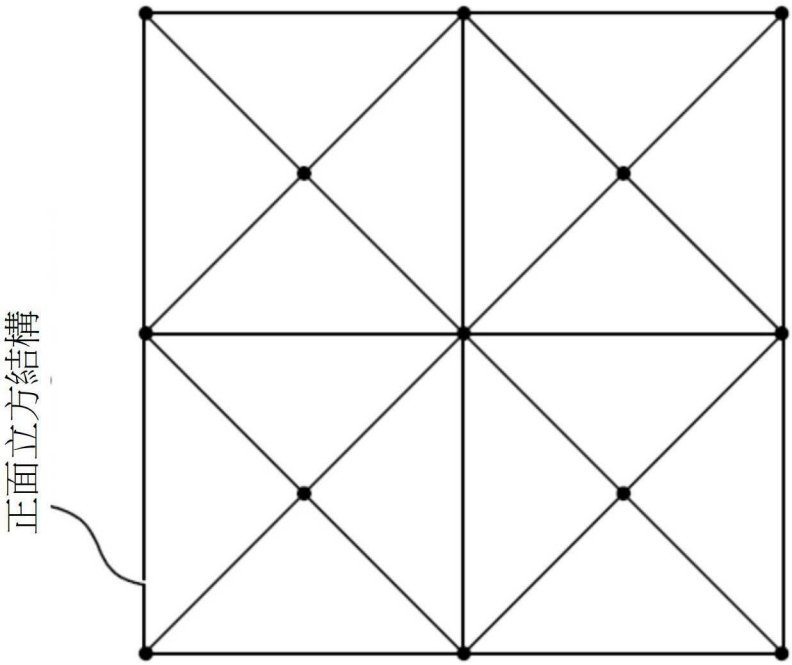
【圖25A】



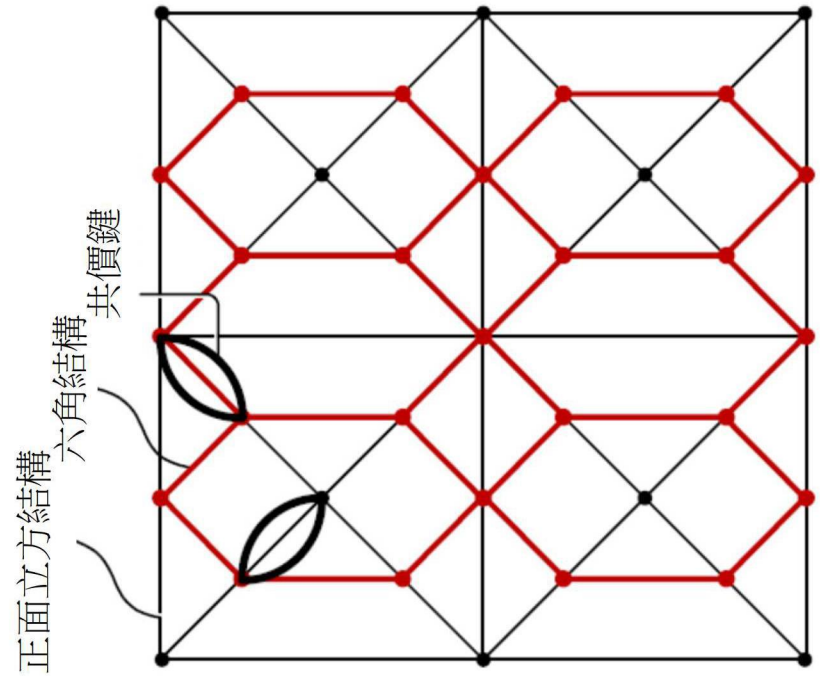
【圖25B】



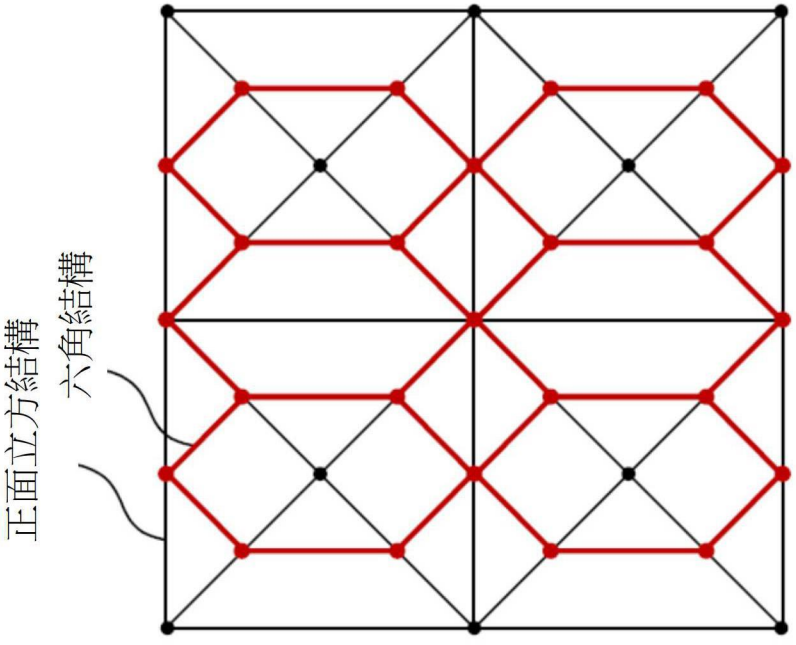
【圖26B】



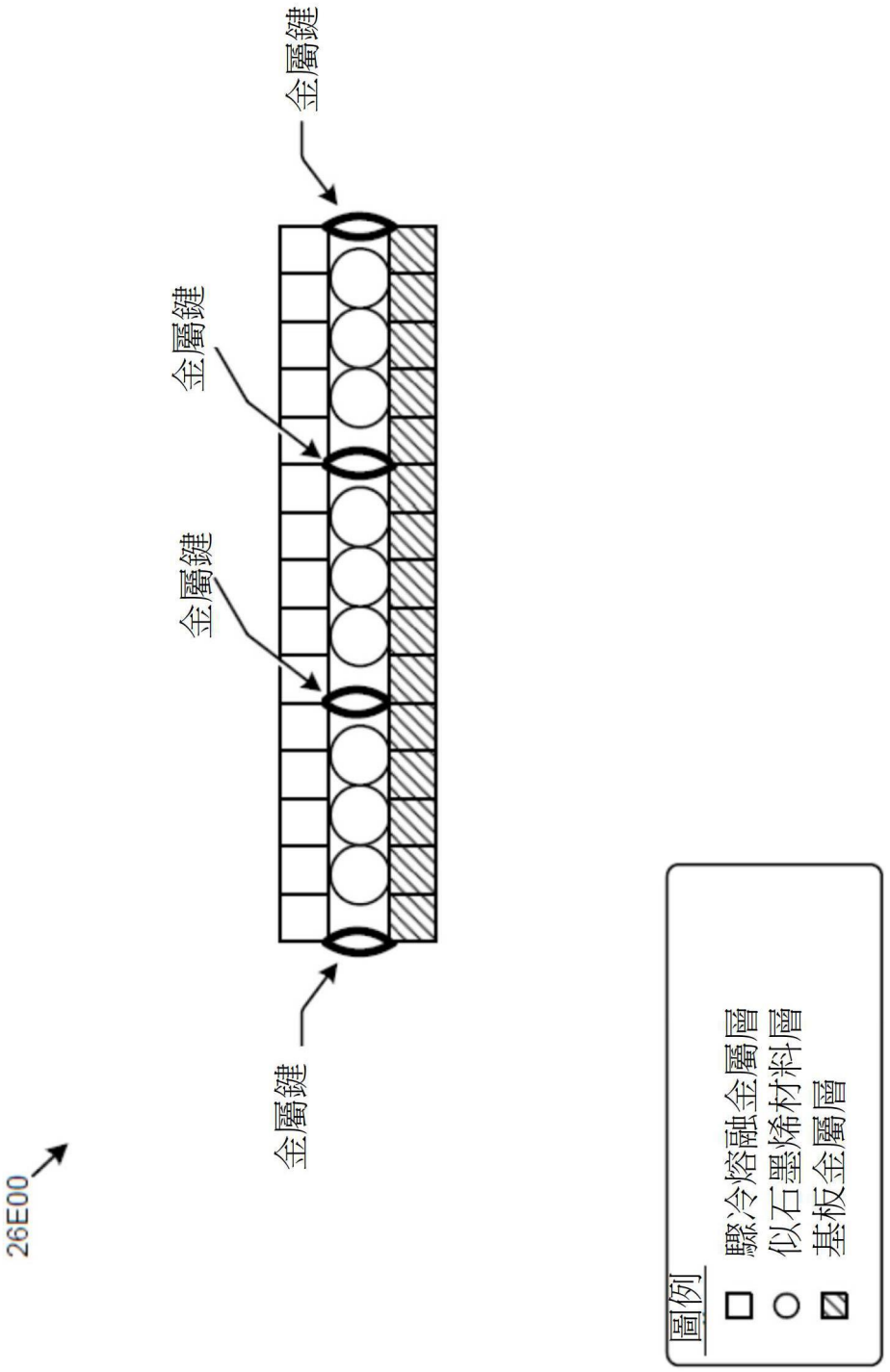
【圖26A】



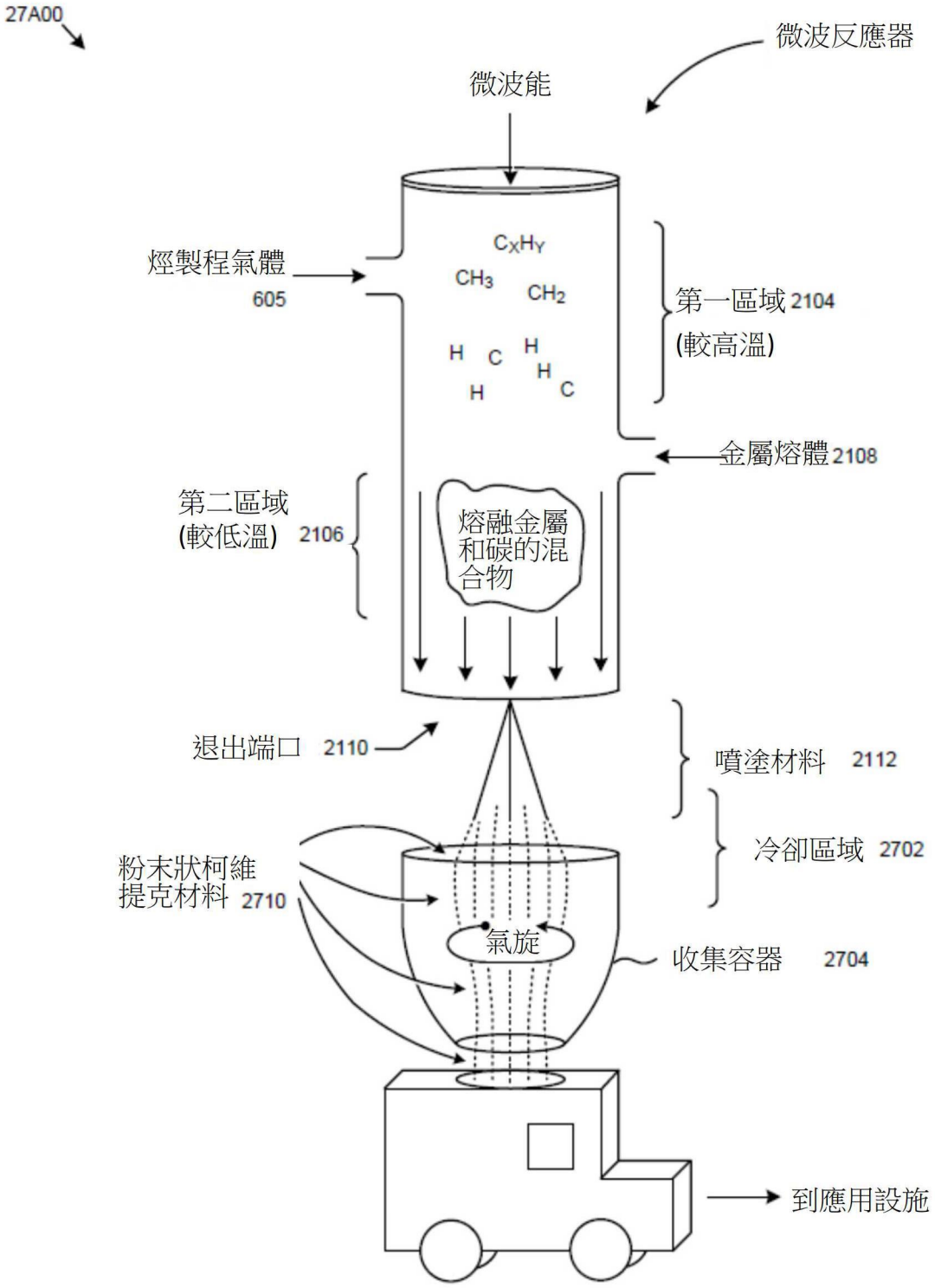
【圖26D】



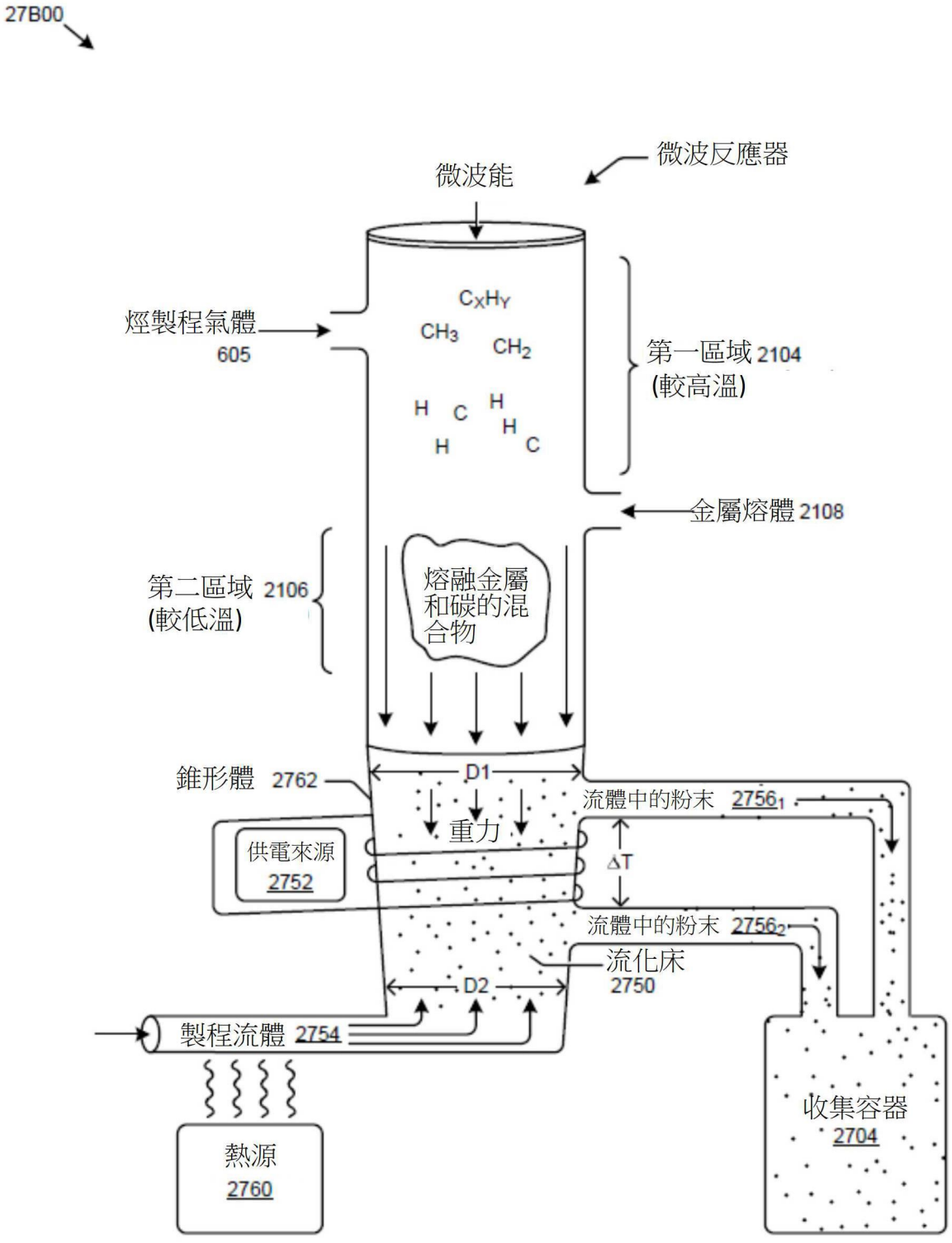
【圖26C】



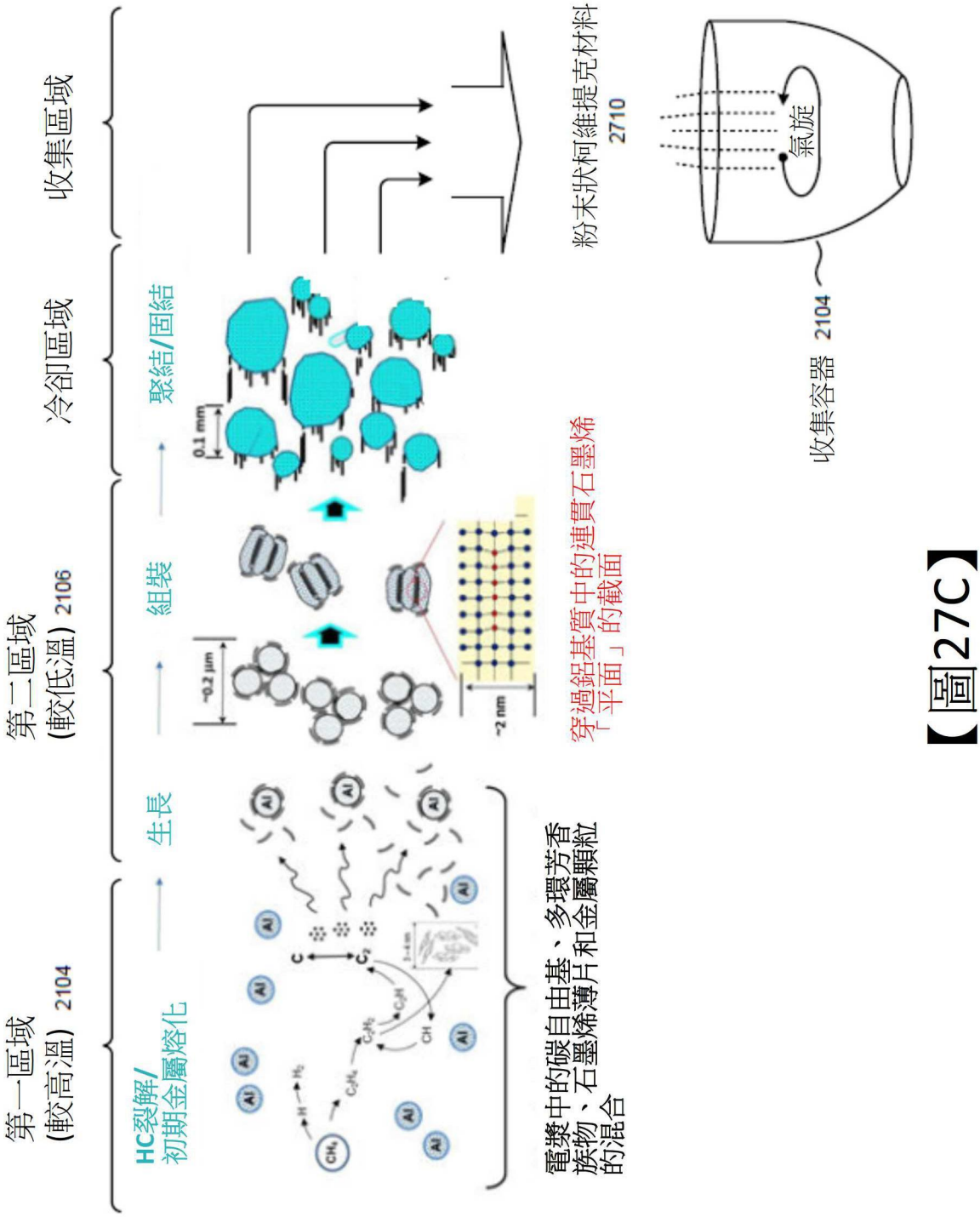
【圖26E】


27A00
微波反應器
微波能
烴製程氣體
605
C_XH_Y
CH_3
CH_2
第一區域 2104
(較高溫)
金屬熔體 2108
第二區域
(較低溫) 2106
熔融金屬和碳的混合物
退出端口 2110
噴塗材料 2112
冷卻區域 2702
粉末狀柯維提克材料 2710
氣旋
收集容器 2704
到應用設施

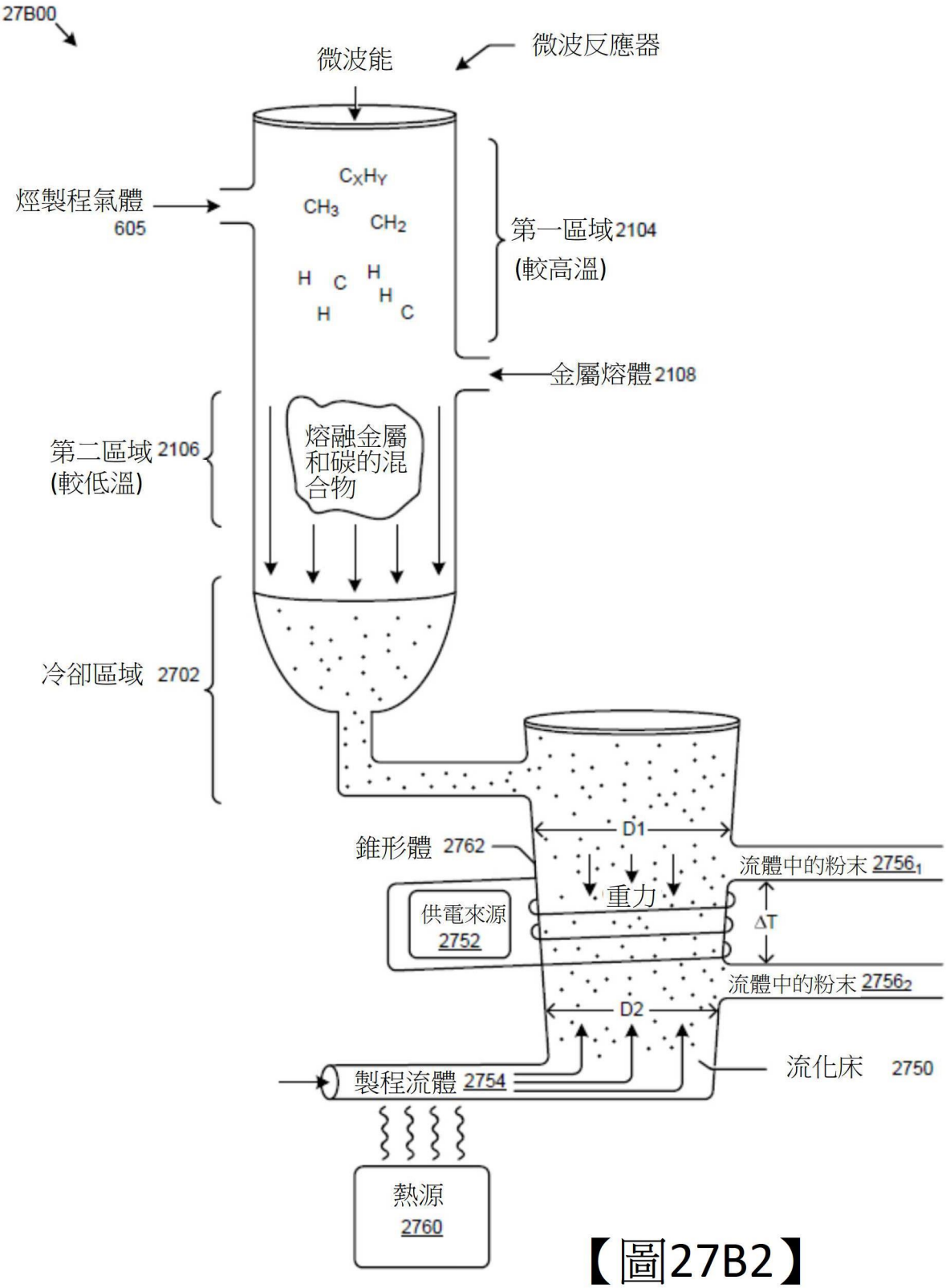
【圖27A】


27B00
微波能
微波反應器
烴製程氣體
605
C_XH_Y
CH_3
CH_2
第一區域 2104
(較高溫)
金屬熔體 2108
第二區域 2106
(較低溫)
熔融金屬
和碳的混
合物
錐形體 2762
D1
流體中的粉末 2756_1
重力
供電來源
2752
ΔT
流體中的粉末 2756_2
流化床
2750
D2
製程流體 2754
收集容器
2704
熱源
2760

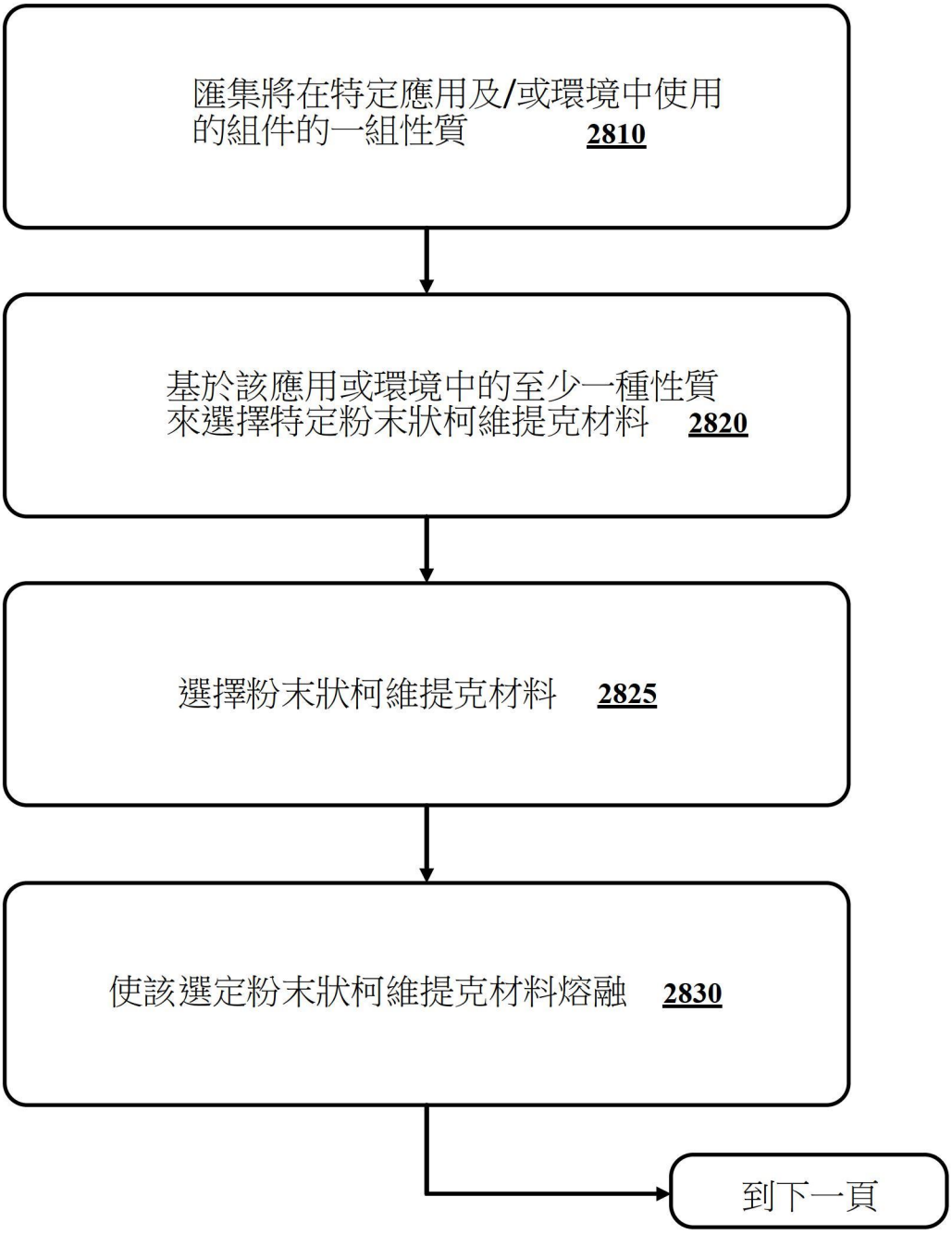
【圖27B1】


第一區域
(較高溫) 2104
第二區域
(較低溫) 2106
冷卻區域
收集區域
HC裂解/
初期金屬熔化
生長
組裝
聚結/固結
~0.2 μm
0.1 mm
~2 nm
電漿中的碳自由基、多環芳香族物、石墨烯薄片和金屬顆粒的混合
穿過鋁基質中的連貫石墨烯「平面」的截面
粉末狀柯維提克材料
2710
氣旋
收集容器 2104

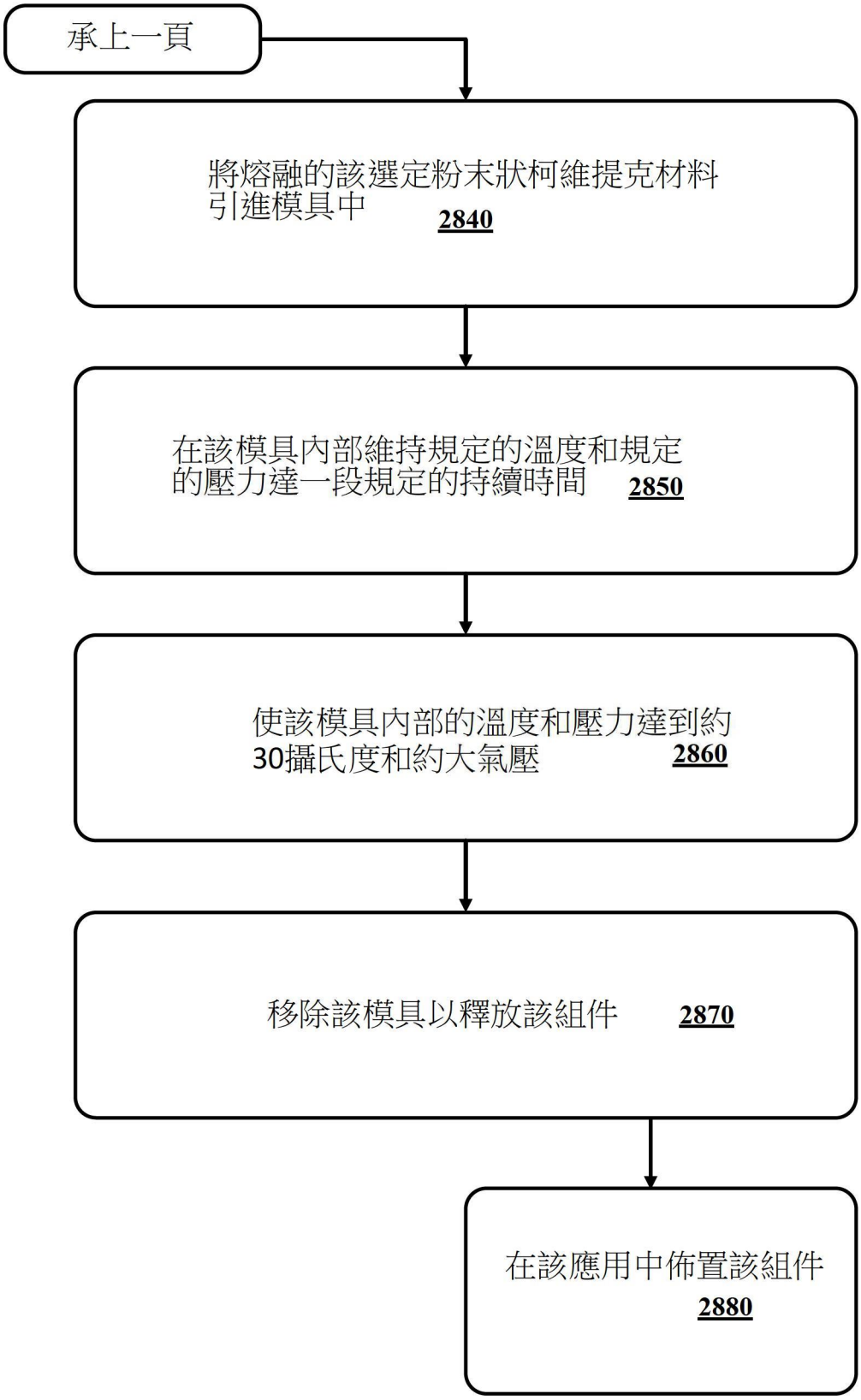
【圖27C】


27B00
微波能
微波反應器
烴製程氣體
605
C_XH_Y
CH_3
CH_2
第一區域2104
(較高溫)
金屬熔體2108
第二區域2106
(較低溫)
熔融金屬
和碳的混
合物
冷卻區域 2702
D1
錐形體 2762
流體中的粉末 2756_1
重力
供電來源
2752
ΔT
流體中的粉末 2756_2
D2
製程流體 2754
流化床 2750
熱源
2760

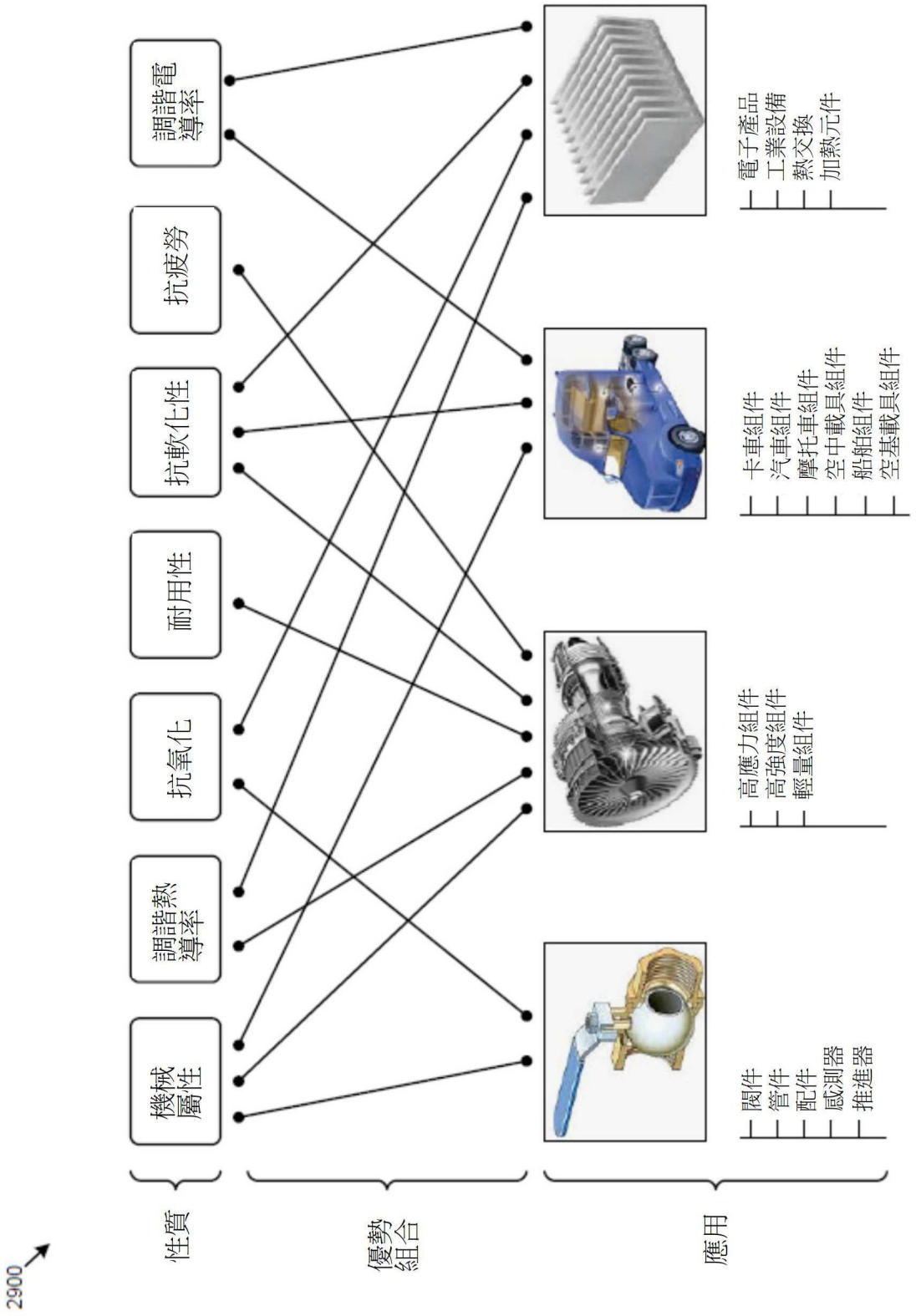
【圖27B2】


匯集將在特定應用及/或環境中使用的組件的一組性質 2810
基於該應用或環境中的至少一種性質來選擇特定粉末狀柯維提克材料 2820
選擇粉末狀柯維提克材料 2825
使該選定粉末狀柯維提克材料熔融 2830
到下一頁

【圖28】


承上一頁
將熔融的該選定粉末狀柯維提克材料引進模具中
2840
在該模具內部維持規定的溫度和規定的壓力達一段規定的持續時間
2850
使該模具內部的溫度和壓力達到約30攝氏度和約大氣壓
2860
移除該模具以釋放該組件
2870
在該應用中佈置該組件
2880

【圖28】續


2900
性質
機械屬性
調諧熱導率
抗氧化
耐用性
抗軟化性
抗疲勞
調諧電導率
優勢組合
應用
閥件
管件
配件
感測器
推進器
高應力組件
高強度組件
輕量組件
卡車組件
汽車組件
摩托車組件
空中載具組件
船舶組件
空基載具組件
電子產品
工業設備
熱交換
加熱元件

【圖29】