



(21)申請案號：111133678

(22)申請日：中華民國 111 (2022) 年 09 月 06 日

(51)Int. Cl.：H01L21/302 (2006.01)H01L21/67 (2006.01)

(30)優先權：2021/09/07美國63/260,945

(71)申請人：美商蘭姆研究公司 (美國) LAM RESEARCH CORPORATION (US)
美國

(72)發明人：費雪 安德里斯 FISCHER, ANDREAS (US)；盧特詹 亞倫 琳恩 ROUTZAHN, AARON LYNN (US)；立爾 托爾斯滕 貝恩德 LILL, THORSTEN BERND (US)

(74)代理人：許峻榮

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：36 項 圖式數：11 共 88 頁

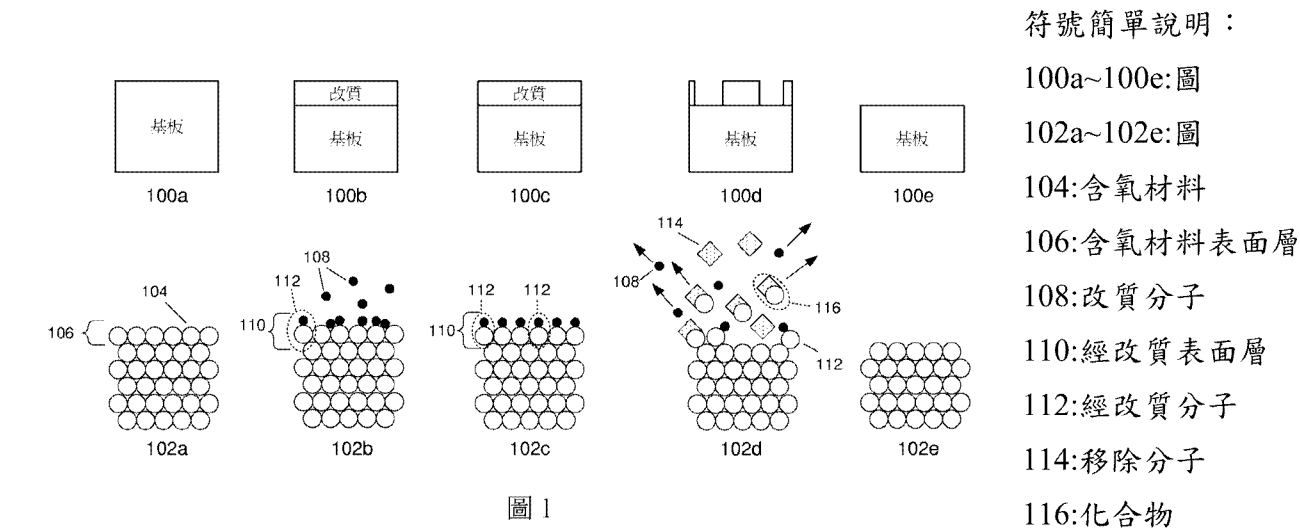
(54)名稱
使用三氯化硼的原子層蝕刻

(57)摘要

本文所提供的是在原子層蝕刻期間使用三氯化硼對材料進行蝕刻的方法及設備。

Methods and apparatuses for etching materials using boron trichloride during atomic layer etching are provided.

指定代表圖：



【發明摘要】

【中文發明名稱】 使用三氯化硼的原子層蝕刻

【英文發明名稱】 ATOMIC LAYER ETCHING USING BORON

TRICHLORIDE

【中文】

本文所提供的是在原子層蝕刻期間使用三氯化硼對材料進行蝕刻的方法及設備。

【英文】

Methods and apparatuses for etching materials using boron trichloride during atomic layer etching are provided.

【指定代表圖】 圖 1

【代表圖之符號簡單說明】

100a~100e:圖

102a~102e:圖

104:含氧材料

106:含氧材料表面層

108:改質分子

110:經改質表面層

112:經改質分子

114:移除分子

116:化合物

【發明說明書】

【中文發明名稱】 使用三氯化硼的原子層蝕刻

【英文發明名稱】 ATOMIC LAYER ETCHING USING BORON

TRICHLORIDE

【技術領域】

【0001】 本發明整體上是關於使用三氯化硼的原子層蝕刻。

【先前技術】

【0002】 半導體裝置的製造涉及形成對蝕刻處理(例如，對於高能物種的暴露)可具有敏感性的結構，以及形成對於氧化、濕氣，以及在蝕刻後對於高能物種的額外暴露可具有敏感性的結構。因此，一些結構會進行蝕刻後處理以解決蝕刻及對於環境的暴露所造成的損害。然而，一些蝕刻後處理方法及相應設備可能無法充分解決這些結構的損害及暴露，還可能進一步損害這些結構。

【0003】 此處所提供之先前技術描述係為了一般性呈現本揭露之背景的目的。本案列名發明人的工作成果、至此先前技術段落的所述範圍、以及申請時可能不適格作為先前技術的實施態樣，均不明示或暗示承認為對抗本揭露內容的先前技術。

【發明內容】

【0004】 一種態樣涉及一種晶圓處理方法，包括：提供晶圓至處理腔室，該晶圓具有含氧材料；暴露該含氧材料至含鹵素氣體，以在該晶圓的表面上形成

經改質含氧層；以及暴露該經改質含氧層至三氯化硼，以將該經改質層從該晶圓的該表面移除。

【0005】 在各種實施例中，暴露該經改質含氧層係在無電漿環境中執行。

【0006】 在各種實施例中，暴露該經改質含氧層係形成揮發性氧氯化物。

【0007】 在各種實施例中，暴露該經改質含氧層係造成配位基交換。

【0008】 在各種實施例中，暴露該含氧材料至該含鹵素氣體，以及暴露該經改質含氧層係透過原子層蝕刻以交替脈衝方式進行。

【0009】 在上述實施例的任何者中，該經改質含氧層可包括氧化硼。

【0010】 在上述實施例的任何者中，該含氧材料可為金屬氧化物。舉例而言，在一些實施例中，該金屬氧化物包括從鋁、矽、鍺、銻、銦、鉛、碲、錫、鎵、鋅、鉬、鈾、碲及其組合所構成的群組中選擇的金屬。

【0011】 在上述實施例的任何者中，該含氧材料可選擇自氧化鋁及氧化銦鎵鋅所構成的群組。

【0012】 在上述實施例的任何者中，該含氧材料可選擇自氧化鍺、氧化鈾及氧化鈾鎵所構成的群組。

【0013】 在上述實施例的任何者中，該含氧材料可為藉由將碳化物或氮化物氧化而形成的該碳化物或該氮化物。

【0014】 在上述實施例的任何者中，該含氧材料可為經摻雜的。

【0015】 在各種實施例中，暴露待蝕刻的該含氧材料至該含鹵素氣體係包括點燃該含鹵素氣體以形成含鹵素電漿。舉例而言，在一些實施例中，該含氧材料包括金屬。

【0016】 在各種實施例中，該含鹵素電漿係在遠端產生。

【0017】 在各種實施例中，該含鹵素電漿係在位產生。

【0018】 在各種實施例中，該含鹵素電漿包括氟。

【0019】 在各種實施例中，該含鹵素電漿包括三氟化氮。

【0020】 另一態樣涉及一種晶圓處理方法，包括：提供晶圓至處理腔室，該晶圓具有含氧材料；暴露該含氧材料至含鹵素氣體，以在該晶圓的表面上形成經改質含氧層；以及暴露該經改質層至含硼及氯的氣體，以將該經改質含氧層從該晶圓的該表面移除。

【0021】 在各種實施例中，暴露該經改質含氧層係在無電漿環境中執行。

【0022】 在各種實施例中，暴露該經改質含氧層係形成揮發性氧氯化物。

【0023】 在各種實施例中，暴露該經改質含氧層係造成配位基交換。

【0024】 在各種實施例中，暴露該含氧材料至該含鹵素氣體，以及暴露該經改質含氧層係透過原子層蝕刻以交替脈衝方式進行。

【0025】 在上述實施例的任何者中，該經改質含氧層可包括氧化硼。

【0026】 在上述實施例的任何者中，該含氧材料可為金屬氧化物。舉例而言，在一些實施例中，該金屬氧化物包括從鋁、矽、鍺、銻、銻、銻、銻、錫、鎵、鋅、鋁、鉛、碲及其組合所構成的群組中選擇的金屬。

【0027】 在上述實施例的任何者中，該含氧材料可選擇自氧化鋁及氧化銻鎵鋅所構成的群組。

【0028】 在上述實施例的任何者中，該含氧材料可選擇自氧化鍺、氧化鉛及氧化鉛鎵所構成的群組。

【0029】 在上述實施例的任何者中，該含氧材料可為藉由將碳化物或氮化物氧化而形成的該碳化物或該氮化物。

【0030】 在上述實施例的任何者中，該含氧材料可為經摻雜的。

【0031】 在各種實施例中，暴露待蝕刻的該含氧材料至該含鹵素氣體係包括點燃該含鹵素氣體以形成含鹵素電漿。舉例而言，在一些實施例中，該含氧材料包括金屬。

【0032】 在各種實施例中，該含鹵素電漿係在遠端產生。

【0033】 在各種實施例中，該含鹵素電漿係在原位產生。

【0034】 在各種實施例中，該含鹵素氣體包括氟。

【0035】 在各種實施例中，該含鹵素氣體包括三氟化氮。

【0036】 另一態樣涉及一種晶圓處理方法，包括：提供晶圓至處理腔室，該晶圓具有待蝕刻材料；暴露該待蝕刻材料至含鹵素氣體，以在該晶圓的表面上形成經改質層；以及在無電漿環境中，暴露該經改質層至含硼及氯的氣體，以將該經改質層從該晶圓的該表面移除。

【0037】 在各種實施例中，該待蝕刻材料係選擇自氧化物、碳化物、氮化物、經摻雜氧化物、經摻雜碳化物、經摻雜氮化物及其組合所構成的群組。

【0038】 在各種實施例中，該含硼及氯的氣體為三氯化硼。

【0039】 在各種實施例中，該待蝕刻材料包括氧。

【0040】 在各種實施例中，該待蝕刻材料為介電質。

【0041】 在各種實施例中，暴露該待蝕刻材料至含鹵素氣體係包括點燃該含鹵素氣體以形成含鹵素電漿。舉例而言，在一些實施例中，該待蝕刻材料包括金屬。在一些實施例中，該待蝕刻材料在被暴露至該含鹵素電漿之前先被氧化。

【0042】 在各種實施例中，該含鹵素電漿係在遠端產生。

【0043】 在各種實施例中，該含鹵素電漿係在原位產生。

【0044】 在各種實施例中，該含鹵素氣體包括氟。

【0045】 在各種實施例中，該含鹵素氣體包括三氟化氮。

【0046】 另一實施例涉及一種晶圓處理方法，包括：提供晶圓至處理腔室，該晶圓具有金屬氧化物；暴露該金屬氧化物至氟化氫或三氟化氮，以在該晶圓的表面上形成經改質金屬氧化物層；以及在無電漿環境中，暴露該經改質層至三氯化硼，以將該經改質金屬氧化物層從該晶圓的該表面移除。

【0047】 在各種實施例中，該金屬氧化物係選擇自氧化鋁、氧化鉛及氧化銦鎵鋅所構成的群組。

【0048】 在各種實施例中，暴露該金屬氧化物至該氟化氫或該三氟化氮係包括點燃該氟化氫或該三氟化氮以形成含氟電漿。舉例而言，在一些實施例中，該含氟電漿係在遠端產生。在一些實施例中，該含氟電漿係在原位產生。

【0049】 在各種實施例中，形成該經改質層及移除該經改質金屬氧化物層係在不破真空的情況下進行。

【0050】 在各種實施例中，形成經改質金屬氧化物層及移除該經改質金屬氧化物層係在大於約 170°C 的溫度進行。

【0051】 另一實施例涉及一種晶圓處理方法，包括：提供晶圓至處理腔室，該晶圓具有一不含錫材料；暴露待蝕刻的該不含錫材料至含氟氣體，以在該晶圓的表面上形成經改質的不含錫層；以及在無電漿環境中，暴露該經改質的不含錫層至無自燃性含氯氣體，以將該經改質的不含錫層從該晶圓的該表面移除。

【0052】 另一實施例涉及一種半導體處理設備，包括：第一處理腔室，包括第一內部及第一處理站，該第一處理站具有第一晶圓支撐件及第一晶圓加熱單元，該第一晶圓支撐件係配置以支撐該第一內部中的晶圓，該第一晶圓加熱單

元係配置以對該第一晶圓支撐件所支撐的該晶圓進行加熱；處理氣體單元，配置以：將包括氟的第一化學物種流動至位於該第一處理腔室中的該第一處理站處的該晶圓上，以及將三氯化硼流動至位於該第一處理腔室中的該第一處理站處的該晶圓上；以及控制器，具有執行下列步驟的指令：驅使晶圓被提供至該第一處理腔室中的該第一處理站，該晶圓具有硫族化物材料層，驅使該第一晶圓加熱單元將該晶圓加熱至第一溫度，以及當該晶圓處於該第一溫度時，驅使該處理氣體單元流動該第一化學物種至位於該第一處理腔室中的該第一處理站處的該晶圓上，從而對材料的表面進行改質以形成經改質層，以對該晶圓上的該材料進行蝕刻；以及在未使用電漿的情況下，驅使該處理氣體單元流動該三氯化硼至位於該第一處理腔室中的該第一處理站處的該晶圓上，以移除該經改質層。

【0053】 這些及其他態樣將參照圖式而進一步敘述於下。

【圖式簡單說明】

【0054】 圖 1 繪示根據某些所揭示實施例的原子層蝕刻的示意圖。

【0055】 圖 2 繪示用於執行根據某些所揭示實施例的操作的示例處理流程圖。

【0056】 圖 3A 至 3C 繪示根據某些所揭示實施例的示例氣體流動順序。

【0057】 圖 4 示意性顯示根據某些所揭示實施例的處理站的實施例，其中該處理站可用以沉積材料。

【0058】 圖 5 繪示根據某些所揭示實施例的用於蝕刻材料的晶圓處理腔室的示例。

【0059】 圖 6 繪示根據某些所揭示實施例的示例設備的橫截面側視圖。

【0060】圖 7 繪示晶圓加熱器的俯視圖，其中該晶圓加熱器具有複數 LED。

【0061】圖 8 繪示根據某些所揭示實施例的第一示例處理設備。

【0062】圖 9 繪示根據某些所揭示實施例的第二示例處理設備。

【0063】圖 10 顯示根據某些所揭示實施例的使用三氯化硼及氟化氫的蝕刻速率/原子層蝕刻循環，以及僅暴露至三氯化硼的結果。

【0064】圖 11A 顯示 ALE 蝕刻處理的氧化鉛、氧化鋁、矽、矽氧化物、氮化矽、氮化鈦及鎢的相對蝕刻量。

【0065】圖 11B 顯示根據某些所揭示實施例所執行的 ALE 蝕刻處理的氧化鉛、氧化鋁、矽、矽氧化物、氮化矽、氮化鈦及鎢的相對蝕刻量。

【實施方式】

【0066】在下方敘述中，數具體細節係闡述以提供對所呈現實施例的透徹理解。所揭露實施例可在不具一些或所有這些具體細節的情況下實施。在其他實施例中，並未詳細描述習知的處理操作以免不必要地模糊所揭露的實施例。雖然所揭露實施例將結合特定實施例進行描述，但將能理解的是這些特定實施例的用意並非在於限制所揭露的實施例。

【0067】半導體製造處理經常涉及各種材料(例如，金屬氧化物)的蝕刻。一些材料在暴露於基於電漿的蝕刻處理時可能容易受到損害。然而，一些熱處理處理可能無法充分蝕刻某些材料，或是在某些情況下工具的溫度限制可能會限制某些熱處理處理的可應用性。在一些情況下，熱處理或無電漿處理可用於蝕刻材料，但一些處理可能是難以控制的，特別是對於蝕刻特定厚度的材料或在蝕刻期間實現對於其他暴露表面的選擇性。

【0068】 本文提供使用三氯化硼以蝕刻各種材料的技術及設備。某些所揭示實施例涉及使用含硼及氯的氣體以蝕刻各種材料。某些所揭示實施例涉及在無電漿環境中使用三氯化硼作為移除氣體的原子層蝕刻。三氯化硼可被使用作為二甲基氯化鋁(DMAC)的替代品，其可用於蝕刻各種材料，包括但不限於氧化鋁、氧化鉛、氧化鋯、氧化鉛矽、摻雜矽的氧化鉛、氧化銦鎵鋅、氧化鉛鋯、鉛及鋯所製成的合金氧化物，以及硫族化物材料(例如，銻、硒及碲)。三氯化硼的另一優點在於其為容易取得的較便宜氣體、不需要被揮發，也不會起火。

【0069】 某些所揭示實施例使用含硼及氯的氣體，例如三氯化硼，以進行熱性原子層蝕刻或無電漿原子層蝕刻。某些所揭示實施例可用於各種蝕刻應用，包括但不限於蝕刻一或更多硫族化物材料層、蝕刻氧化銦鎵鋅，以及蝕刻金屬氧化物(例如，氧化鋁、氧化鉛或氧化鋯)。

【0070】 三氯化硼可被使用作為移除氣體，其中將基板表面進行改質所用的改質氣體或物種會在基板表面上形成鍵結，該鍵結會使得該表面在熱力學有利的反應中暴露於三氯化硼時被以熱性移除。三氯化硼可被用以透過原子層蝕刻而等向性移除材料。

【0071】 如更詳細解釋於下，熱原子層蝕刻可藉由將具有鹵素的第一化學物種流動至晶圓上以產生改質材料層，從而對材料層的表面進行改質，以及可藉由將具有硼及氯的第二化學物種(例如，三氯化硼)流動至晶圓上，以在不使用電漿的情況下移除改質材料層，而這可藉由配位基交換機制而執行。

【0072】 根據某些所揭示實施例，原子層蝕刻(ALE)可用於蝕刻材料。ALE處理是使用按序性自限制反應以移除材料薄層。一般而言，ALE 循環是用於執行蝕刻處理一次(例如，蝕刻單層)的最小操作組。一次 ALE 循環的結果是將晶

圓表面上的至少一些薄膜層進行蝕刻。通常，ALE 循環包括形成反應層的改質操作，隨後是僅移除或蝕刻該反應層的移除操作。該循環可包括某些輔助操作，例如移除反應物或副產物的其中一者，以及用以將處理腔室的表面上堆積的殘留物移除的清潔操作。通常，一個循環包含一個獨特操作序列的實例。

【0073】舉例而言，ALE 循環可包括下列操作：(i)輸送作為反應物氣體的第一處理氣體，(ii)將腔室中的反應物氣體吹除，(iii)輸送作為移除氣體的第二處理氣體，以及任選的電漿，以及(iv)將該腔室吹淨。改質操作(上述第(ii)項)通常會形成薄的反應性表面層，其具有比未經改質材料小的厚度，例如一、二或三個原子層厚，或是比一循環中的整個原子層小。

【0074】本文所述的蝕刻處理可依賴於化學反應，以及將晶圓保持在特定溫度或溫度範圍以驅動改質操作及/或移除操作中的化學反應，這些化學反應可被視為「熱 ALE」或「熱蝕刻」。在一些實施例中，熱蝕刻或熱 ALE 可被視為等向性蝕刻。在一些實施例中，在將晶圓保持在第一溫度時可利用化學性吸附(下文稱為「化學吸附」)且無利用電漿以對晶圓的一或多層進行改質，於此之後，當晶圓處於第二溫度時，可利用解吸附且無利用電漿以將晶圓的一或更多經改質層移除。一些實行例可任選地在改質操作期間使用電漿，且在移除操作期間未使用電漿。在一些實施例中，第一溫度及第二溫度可為相同的，而在一些其他實施例中它們可彼此不同。

【0075】化學吸附及解吸附是溫度相依的化學反應，這些化學反應可發生在不同的溫度範圍內，可發生在部分重疊的溫度範圍內，或者可發生在相同的溫度範圍內。因此，本文所述的一些熱蝕刻技術在改質及移除操作期間將晶圓的溫度保持在相同或實質相同(例如，彼此相差約 10%或 5%內)的溫度。一些其他實

施例會在改質及移除操作之間調節晶圓的溫度，而在改質操作所用的一溫度下實現且利用化學吸附，以及在移除操作所用的不同溫度下實現且利用解吸附。

【0076】 在本文提供的一些熱蝕刻處理中，是在將晶圓保持在第一溫度時藉由化學吸附對一或更多表面材料層進行改質；這可產生晶圓的一或更多經改質表面層。晶圓包括材料層及暴露表面層，其可為均勻材料層，或者可為包括不同分子及元素的不均勻層。具有改質分子的第一處理氣體可被流動至晶圓上，且該晶圓被保持在第一溫度。在一些實施例中，如下所述，改質分子可包括氟或氯，從而將晶圓上的分子氟化或氯化。第一處理氣體還可包括承載氣體，例如氮(N_2)、氬(Ar)、氦(He)及氖(Ne)。該第一溫度允許改質分子與暴露材料表面中的至少一些分子之間的化學吸附。

【0077】 當晶圓保持在第二溫度時可將一或更多經改質表面層移除。在一些實施例中，第二溫度可獨自實現且導致經改質分子從晶圓解吸附，從而將經改質分子從晶圓移除。在一些實施例中，具有移除分子的第二處理氣體可被流動至晶圓上，包括流動至晶圓的暴露表面上。第二處理氣體也可包括上述的承載氣體。這些移除分子可與改質分子反應，以形成不同的揮發性分子，而這些不同的揮發性分子可被視為已揮發分子。當晶圓處於第二溫度時，這種已揮發分子可藉由解吸附而從晶圓移除。在一些實施例中，這種第二處理氣體的流動可為移除操作的一部分，或者可為在對晶圓進行加熱之前、之後或期間所發生的單獨操作。

【0078】 在一些實施例中，熱 ALE 可為等向性的，且因此是非指向性的。在一些其他實施例中，當在蝕刻處理中(例如，在改質操作期間)使用指向性離子時，熱 ALE 不是等向性的。

【0079】其他熱蝕刻可被執行，其中改質分子及移除分子至少被共同流動至晶圓上，因此改質操作及移除操作會至少部分重疊。在此等處理期間，可將包含改質分子及移除分子二者的一或更多處理氣體同時流動至晶圓上。在這種熱蝕刻的許多實行例中，改質分子及移除分子已被限制為不會對彼此造成不良反應，使得其可共同流動至晶圓上。在一些情況下，這種共同流動可在所有蝕刻中進行，而在其他情況下這種共同流動可能僅在部分蝕刻中進行。在僅具有部分重疊流動的一些示例中，可在將移除分子流動至晶圓上之前先將改質分子流動至晶圓上，之後可將改質分子及移除分子同時流動至晶圓上。在一些情況下，改質分子及移除分子的流動可實質同時停止(例如，在彼此的約 10%或 5%內)；在其他情況下，可將改質分子的流動停止，並且可將移除分子流動至晶圓上。

【0080】本文所提供的技術還可將一或多封裝材料沉積至經蝕刻的硫族化物上。這可包括在與執行蝕刻的處理腔室分隔開的處理腔室中使用化學氣相沉積(CVD)、電漿增強 CVD (PECVD)或原子層沉積(ALD)沉積封裝材料。一些實施例可在不將晶圓暴露於大氣壓力的情況下在這些處理腔室之間傳輸晶圓，使得在兩個處理腔室中以及在處理腔室之間的傳輸期間使晶圓保持在真空壓力下。在一些實施例中，當晶圓保持在執行蝕刻的處理腔室中時可將第一封裝材料層沉積在經蝕刻的硫族化物上，而該第一封裝材料可包括鋁，例如氧化鋁。在沉積第一封裝材料之後，可將晶圓轉移到另一處理腔室以在該處理腔室中將額外封裝材料沉積於晶圓上。

【0081】所描述的一些蝕刻實行例是利用圖 1 進行進一步解釋，其中圖 1 繪示根據所揭示實施例的原子層蝕刻的示意圖。圖 100a-100e 顯示 ALE 循環。在 100a 中，提供一晶圓，其中該晶圓具有待蝕刻的一或更多含氧材料層。在 100b

中，含氧材料的表面被改質。在 100c 中，準備下一個操作；該準備可包括流動第二處理氣體，或是將該腔室吹淨。在 100d 中，將晶圓暴露於移除分子，這些移除分子會與經改質層反應，使其從晶圓解吸附並據此從晶圓移除。在 100e 中，已移除所欲材料。

【0082】 在圖 102a-102e 中，從晶圓蝕刻出單層的含氧材料。在 102a 中，提供一晶圓，該晶圓具有一或更多含氧材料 104 層，其中各分子是以無陰影圓圈所表示。含氧材料的頂層可被視為含氧材料表面層 106。在 102b 中，將具有改質分子 108(實心黑色圓圈)的第一處理氣體導引至晶圓，這些改質分子 108 包括氟化物或氯化物，該第一處理氣體使含氧材料表面層 106 改質以形成氟化含氧材料或氯化含氧材料。102b 中的示意圖顯示其中一些改質分子 108 被吸附到含氧材料表面層 106 的含氧材料 104 的分子上以產生經改質表面層 110，該經改質表面層 110 包括經改質分子 112(在 102b 中的虛線橢圓內標示出一個經改質分子 112)。如上所述，改質分子 108 可為具有氟的物種(例如，氟化氫)，或是具有氯化物的物種(例如，氯化氫)。對於一些熱 ALE 技術，圖 102b 可在將晶圓保持在上述第一溫度時進行，而該第一溫度例如使改質分子能夠化學吸附在含氧材料的表面上。

【0083】 在圖 102c 中，已在 102b 中產生經改質分子 112 及經改質表面層 110 之後，可任選地將第一處理氣體從腔室移除。

【0084】 在圖 102d 中，將移除分子 114 引進處理腔室，且在一些實施例中這可藉由將具有第二物種(即，具有移除分子 114)的第二處理氣體流動至晶圓上而進行，該第二物種可包括具有硼及氯的化合物，例如三氯化硼。圖 102d 進一步說明移除分子 114(顯示為陰影菱形)與氟化硫族化物或氯化含氧材料(即，經改

質分子 112)反應，這會導致含氧材料 104 及分子 108(其可為氟化物或氯化物)從晶圓解吸附，並因此從晶圓移除。在一些實施例中，移除分子 114 及經改質分子 112 之間的反應會導致改質分子 108 從晶圓解吸附，並造成移除分子及含氧材料形成從晶圓解吸附的另一化合物 116(由無陰影圓圈的含氧材料 104 及陰影菱形的移除分子 114 的組合所繪示)。在一些未繪示的其他實施例中，移除分子及經改質分子會一起形成被驅使從晶圓解吸附的另一化合物。

【0085】 在一些熱 ALE 實施例中，此移除操作可在第二溫度下進行，在該第二溫度下會發生經改質表面層 110 的經改質分子 112 從晶圓解吸附；在這些移除操作中未使用電漿。在一些實施例中，第二溫度及第一溫度是相同或實質相同的(例如，彼此相差約 10%或 5%以內)。在其他實施例中，第一溫度及第二溫度可彼此不同，且在這些實施例中可藉由加熱或冷卻晶圓以將溫度從第一溫度改變至第二溫度。在一些情況下，在一或更多操作中的溫度可能會逐漸升高。

【0086】 在 102e 中，經改質分子 112 及據此經改質表面層 110 已從晶圓移除。

【0087】 圖 2 繪示用於執行根據所揭示實施例的操作的示例處理流程圖。在操作 201 中，將晶圓提供至處理腔室，該處理腔室是配置以執行晶圓蝕刻。該晶圓可包括待蝕刻材料。該待蝕刻材料可為介電質材料。該待蝕刻材料可為含氧材料。該待蝕刻材料可為金屬材料。該待蝕刻材料可不含鎢。該待蝕刻材料可為非鎢金屬材料。該待蝕刻材料可為不含鎢的金屬材料。該待蝕刻材料可為氧化物。該待蝕刻材料可為半導體氧化物。該待蝕刻材料可為半導體材料，例如矽、矽鍺、鍺或其組合。該待蝕刻材料可為金屬氧化物。金屬氧化物可為氧化鈣、氧

化鎢、氧化鉬、氧化鋁、氧化鋅、氧化鎵、氧化銦、氧化錫、氧化硒、氧化碲或其組合。在一些實施例中，該晶圓包括過渡金屬氧化物。

【0088】 該待蝕刻材料可藉由將金屬表面暴露於含氧反應物而形成。在一些實施例中，操作 201 包括將金屬表面暴露於含氧反應物。示例金屬表面包括鉛、鎢、鉬、鋁、鋅、鎵、銦、錫、硒、碲等。在一些實施例中，金屬表面包括過渡金屬。在一些實施例中，金屬表面包括元素金屬。其他材料包括砷化銦鎵(InGaAs)、砷化銦鋁(InAlAs)、磷化銦(InP)及其組合。在一些實施例中，金屬表面包括類金屬。在一些實施例中，該晶圓包括硫族化物。硫族化物可為本文中所表列的硫族化物的其中任何者。在一些實行例中，硫族化物可為相變材料，例如鍺(Ge)銻(Sb)碲(Te)(統稱為 GST 或 GeSbTe)材料。相變材料也可包括 n 型摻雜的 GeSbTe 化合物(N-GST)、Sb₂Te 及摻雜 Ag 及 In 的 Sb₂Te(AIST)。如上所述，相變材料有利於形成記憶體裝置，原因例如在於金屬硫族化物的相態決定位元狀態。在一些實施例中，硫族化物可包括相態不改變的那些硫族化物，例如雙向閾值切換(OTS)材料，該 OTS 材料可包括具有鍺、砷及硒(GeAsSe)的化合物，或是含有鍺、銻、硒及氮(GeSb、Se、N)等的化合物。

【0089】 在一些實施例中，位於晶圓上的待蝕刻材料為非氧化物。該待蝕刻材料可為氮化物。該待蝕刻材料可為碳化物。該待蝕刻材料可為經摻雜的氮化物。該待蝕刻材料可為經摻雜的碳化物。該待蝕刻材料可為經摻雜的氧化物。該待蝕刻材料可包括摻質，其例如但不限於碳。

【0090】 在操作 201 期間，在將晶圓提供至腔室之後，可將該晶圓加熱至第一溫度，該第一溫度可被視為是本文所提供的特定溫度，或者可為一溫度範圍。在一些實施例中，第一溫度例如可為約 20°C 至約 500°C、約 20°C 至約 150°C、

約 20°C 至約 80°C、約 20°C 至約 100°C、約 100°C 至約 450°C、約 100°C 至約 400°C、約 150°C 至約 400°C、約 200°C 至約 600°C、約 200°C 至約 500°C、約 200°C 至約 400°C、約 200°C 至約 350°C 或約 350°C 至約 500°C，或至少約為 120°C，或是小於約 170°C。如更詳細敘述於下，可在蝕刻、改質操作及/或移除操作的全部或實質全部(例如，至少 80%、90% 或 95%)期間將晶圓維持在第一溫度。

【0091】在操作 203 中，將含鹵素物種引進該腔室。在各種實施例中，在操作 203 中，將氧化物表面暴露於該含鹵素物種。在一些實施例中，將氧化物表面暴露於含氟物種。在一些實施例中，將金屬氧化物表面暴露於含氟物種。在一些實施例中，將金屬氧化物表面暴露於三氟化氮。含鹵素物種與晶圓表面產生反應或將其進行改質，以形成經改質表面。作為反應或改質的結果，經改質表面可包括一或更多鹵素末端基。含鹵素物種可為含鹵素氣體，或是已蒸發的含鹵素物種。示例包括含氟物種，例如氟化氫(例如，HF)、氟化硫(例如，四氟化硫、六氟化硫或硫酰氟(SO₂F₂))、氟化氮(例如，三氟化氮(NF₃))，以及氟化氫(例如，二氟化氫)；以及含氯物質，例如氯化氫(例如，HCl)、氯化硫(例如，二氯化硫、四氯化硫或硫酰氯(SO₂Cl₂))，或是氯化氮(例如，三氯胺(NCl₃))。所使用的改質氣體是取決於在操作 207 中使用含硼及氯的氣體(例如，三氯化硼)的熱力學有利移除而進行選擇。在一些實施例中，使用氟物種或氯物種來改質待蝕刻材料層的表面會產生獨特的反應性化合物，該反應性化合物能夠且允許在移除分子存在時將所有材料移除，原因在於氟及氯會與該表面形成非常強的鍵結，並弱化與底層的鍵結。在一些實施例中，所使用的改質氣體是含氟氣體。第一化學物種得以蒸氣形式流動至晶圓上，並且可作為處理氣體的一部分進行流動，其中該處理氣體可任選地包括例如氮、氫、氦或氖的承載氣體。

【0092】 在操作 203 期間，氧化物層的表面被改質，即該操作代表為改質操作。操作 203 包括將第一處理氣體流動至晶圓上，該第一處理氣體包括第一化學物種，而該第一化學物種具有氟化物或氯化物。第一處理氣體中的第一化學物種可為本文提供的那些化學物種中的任何者，包括下列非限制性示例中的一或多者：氟化氫(例如，HF)、氟化硫(例如，四氟化硫、六氟化硫或硫酰氟)、氟化氮(例如，三氟化氮)，以及氟化氬(例如，二氟化氬)、氯化氫(例如，HCl)、氯化硫(例如，二氯化硫、四氯化硫或硫酰氯)，或是氯化氮(例如，三氯胺(NCl₃))。第一處理氣體亦得以蒸氣形式流動至晶圓上，並且可任選地包括例如 N₂、Ar、He 或 Ne 的承載氣體。操作 203 的改質操作可藉由將第一處理氣體往晶圓的流動停止而停止。

【0093】 在一些實施例中，可提供活化能，以協助克服使改質分子吸附在晶圓上所需的活化障壁。該活化能可利用熱能、自由基能量及/或紫外光子而提供，而在一些情況下這可包括加熱晶圓及/或產生電漿或光子。改質分子在第一材料上的這種吸附可被視為是化學性吸附或「化學吸附」，其中該化學吸附是能量相依(例如，溫度相依)的化學反應。對於某些熱蝕刻技術，改質操作期間的這種化學吸附可能僅發生在特定溫度範圍內，該溫度範圍能夠克服材料層中的分子及所輸入的改質分子的活化障壁，而這允許在這些分子與改質分子中的吸附物之間的解離和化學鍵結。在此溫度範圍之外，化學吸附可能不會發生，或者可能會以非所欲的(例如，緩慢的)速率進行。

【0094】 因此，操作 203 的一些實行例僅使用熱活化能來改質氧化物的表面層，而未使用電漿。第一處理氣體被流動至晶圓上，該晶圓被維持在第一溫度，而該提供第一溫度活化能，且該氧化物是藉由化學吸附而被改質以形成經改質

氧化物層。舉例而言，該第一溫度可為本文所提供的任何溫度或溫度範圍，例如約 20°C 至約 500°C、約 20°C 至約 150°C、約 20°C 至約 80°C、約 20°C 至約 100°C、約 100°C 至約 450°C、約 100°C 至約 400°C、約 150°C 至約 400°C、約 200°C 至約 600°C、約 200°C 至約 500°C、約 200°C 至約 350°C 或約 350°C 至約 500°C，或是至少約 120°C，或是小於約 170°C。另外，可在改質操作的全部或實質全部(例如，至少 80%、90% 或 95%)期間將晶圓維持在第一溫度。改質操作的持續時間可為對晶圓上的實質所有(例如，至少 80%、90% 或 95%)的所欲被暴露的分子進行改質的持續時間。舉例而言，這可介於約 0.5 秒至約 600 秒、約 0.5 秒至約 400 秒、約 0.5 秒至約 300 秒、約 0.5 秒至約 10 秒、約 0.5 秒至約 5 秒、約 1 秒至約 5 秒，或約 5 秒至約 300 秒。

【0095】 在一些實施例中，在操作 203 中可藉由點燃含鹵素物種以產生電漿。該電漿可在原地或在遠端產生。在各種實施例中，當待蝕刻材料包括金屬時可使用電漿。在各種實施例中，當待蝕刻材料是經氧化金屬時可使用電漿。

【0096】 在一些實行例中，離子能量(例如，源自於電漿)可用於驅使操作 203 的改質操作。在一些情況下，可點燃電漿，且氟或氯可與晶圓產生反應，或是可吸附至該晶圓的表面上。可藉由在容納晶圓的處理腔室中形成電漿而直接產生由電漿所產生的物種，或者這些物種可在未容納晶圓的處理腔室中遠端產生，並可被供應至容納晶圓的處理腔室中。

【0097】 在操作 205 中，可任選地將該腔室進行吹淨。可藉由將過量的副產物或氣體泵抽出腔室，或是藉由流動吹淨氣體(例如，惰性氣體)，或是兩者皆進行，從而執行該吹淨。

【0098】 在操作 207 中，在無電漿環境中將三氯化硼或另一含硼及氯的氣體引進腔室，以移除經改質表面。在操作 207 中所使用的化學物種的化合物會與經氟化材料或經氯化材料產生反應，使這些材料的元素變得具有揮發性而從晶圓解吸附。舉例而言，此交換反應在能量上是有利的，且因此經氟化材料或經氯化材料能夠例如藉由氯的轉移而與化合物形成揮發性化合物；或者例如對於蝕刻硫族化物材料來說，經氟化材料或經氯化材料能夠經由結合而形成含有氟化物及氯化物的組合的揮發性鍺、銻及碲化合物。三氯化硼亦得以蒸氣形式流動至晶圓上，且可作為處理氣體的一部分流動，該處理氣體可任選地包括對移除材料的反應無反應性的承載氣體；示例性承載氣體例如可包括氮、氬、氦或氖。在一些實施例中，在操作 207 中可使用三氟化硼代替三氯化硼。在一些實施例中，可使用其他化學物種代替三氟化硼或三氯化硼。示例性化學物種可包括中心原子是鋁、硼、矽或鍺，且具有至少一個氯原子的化合物。操作 207 中所使用的物種的選擇可取決於在操作 203 中所改質的物種及表面。

【0099】 在一些實施例中，操作 207 可在此等蝕刻得以實行的各種處理條件下執行。除了上方提供的溫度範圍之外，一些實行例可在蝕刻期間將晶圓保持在例如約 20°C 至約 500°C、約 20°C 至約 150°C、約 20°C 至約 80°C、約 20°C 至約 100°C、約 100°C 至約 450°C、約 100°C 至約 400°C、約 150°C 至約 400°C、約 200°C 至約 600°C、約 200°C 至約 500°C、約 200°C 至約 350°C，或約 350°C 至約 500°C，或至少約 120°C，或小於約 170°C。該蝕刻亦可在處理腔室被保持在約 10 毫托(mTorr)至約 100 Torr 或約 20 毫托至 760 Torr (1 atm)的壓力下時進行，該壓力包括約 20 mTorr 至 600 mTorr、約 30 mTorr 至 500 mTorr，以及約 40 mTorr 至 400 mTorr，以及約 3 Torr 至 8 Torr、約 4 Torr 至 8 Torr、2 Torr 至 10

Torr，以及 100 Torr 至 760 Torr。如更詳細地討論於下，一些實行例是在實質恆定的處理條件(例如，具有較小的偏差，例如所設定條件的約 10%或 5%的偏差)下執行蝕刻，而其他實行例可改變蝕刻期間的一或更多處理條件。

【0100】 在操作 207 中，將經改質氧化物(即，經氟化氧化物或經氯化氧化物)從晶圓移除。操作 207 包括在無電漿環境中使三氯化硼流動至晶圓上。如本文所述，三氯化硼是一種不昂貴、易於取得且不可燃的氣態前驅物，可用於各種熱 ALE 應用。不受限於特定理論，三氯化硼可用於在配位基交換機制中移除經改質層，藉由該配位基交換機制，在先前利用含氟氣體進行改質的經改質表面上的氯氟交換在熱力學上是有利的。三氯化硼會與經氟化氧化物或經氯化氧化物反應，使其成分從晶圓上解吸附，從而從該晶圓移除。三氯化硼亦可使用例如氫、氫、氫或氬及/或任何惰性氣體的承載氣體進行流動。移除操作 207 可藉由將三氯化硼往晶圓的流動停止而被停止。

【0101】 對於解吸附而言，特定溫度範圍得以克服經改質分子的活化障壁，而允許經改質層從晶圓釋出。在一些示例中，進行化學吸附及解吸附的溫度範圍不重疊，而在其他示例中這些溫度範圍可能部分或完全重疊。因此，為了使用化學吸附及解吸附而從晶圓移除分子，一些實行例可在移除操作期間及改質操作期間將晶圓保持在相同或實質相同(例如，彼此相差約 10%或 5%內)的溫度。為了使用不同溫度型態內所進行的化學吸附及解吸附而從晶圓移除分子，操作 203 可在第一溫度範圍內進行，而移除操作 207 可在第二不同溫度範圍內進行，其中該第二不同溫度範圍可高於或低於該第一溫度。一些這樣的實施例可執行複數循環，以藉由在移除操作及改質操作期間將晶圓保持在相同或實質相同的

溫度而移除複數材料層；而其他實施例可在化學吸附及解吸附所用的兩個溫度型態之間重複加熱及冷卻晶圓。

【0102】 在使用不同溫度型態的一些實施例中，在操作 207 期間或之前可使晶圓的溫度達到第二溫度，該第二溫度不同於該晶圓在操作 207 期間所保持的第一溫度。在一些其他實施例中，第二溫度與第一溫度是相同或實質相同的(例如，彼此相差約 10%或 5%)。該第二溫度可為一或更多經改質表面層發生解吸附的溫度。在一些實施例中，第二溫度可高於第一溫度，且在這些實施例中，操作 207 可包括將晶圓從第一溫度加熱至第二溫度。在一些其他實施例中，第二溫度可低於第一溫度，且在這些實施例中，晶圓可被主動從第一溫度冷卻到第二溫度。

【0103】 可使用輻射加熱、對流加熱、固體至固體的熱傳輸或電漿來加熱晶圓。另外，可加熱晶圓的頂部、底部或兩者。在一些實施例中，晶圓的加熱亦得以進一步討論於下的非線性方式進行。同樣如下所述，得以各種方式主動冷卻晶圓。在一些情況下，可藉由將晶圓放置在兩個分開的晶圓支撐件(例如，經加熱的基座)上，這兩個晶圓支撐件各自被保持在彼此不同的溫度，從而將晶圓加熱至兩個不同的溫度。因此，可藉由將晶圓在這兩個不同的晶圓支撐件之間轉移及放置，而將其加熱至兩個不同的溫度。

【0104】 在操作 207 中，可在無電漿環境中使用三氯化硼移除一或更多經改質表面層。在一些實施例中，操作 207 是在將晶圓保持在第二溫度時執行。在一些實施例中，第二溫度與操作 203 期間所使用的溫度相同。在一些實施例中，單獨的第二溫度可實現及驅使經改質分子從晶圓解吸附，從而從該晶圓移除經改質分子。

【0105】 在一些實施例中，第二溫度可為約 20°C 至約 500°C、約 20°C 至約 150°C、約 20°C 至約 80°C、約 20°C 至約 100°C、約 100°C 至約 450°C、約 100°C 至約 400°C、約 150°C 至約 400°C、約 200°C 至約 600°C、約 200°C 至約 500°C、約 200°C 至約 350°C，或約 350°C 至約 500°C，或至少約 120°C，或小於約 170°C。另外，可在移除操作的全部或實質全部(例如，至少 80%、90%或 95%)期間將晶圓維持在該溫度。移除操作的持續時間可為該晶圓上的實質所有(例如，至少 80%、90%或 95%)的所欲分子進行解吸附的持續時間。該持續時間例如可介於約 0.5 秒至約 600 秒、約 0.5 秒至約 400 秒、約 0.5 秒至約 300 秒、約 0.5 秒至約 10 秒、約 0.5 秒至約 5 秒、約 1 秒至約 5 秒，或是約 5 秒至約 300 秒。

【0106】 在一些實施例中，操作 203 及操作 207 是等溫執行。在一些實施例中，操作 203 及操作 207 是等壓執行。在一些實施例中，操作 203 及操作 207 是等溫且等壓執行。在各種實施例中，操作 203 至 211 是在不破真空的情況下執行。在各種實施例中，操作 203 至 211 是在同一腔室中執行。在各種實施例中，操作 203 至 211 是在腔室的同一站中執行。

【0107】 操作 203 及操作 207 的執行可被視為是單一熱 ALE 循環。在一些實行例中，可重複進行操作 203 及操作 207，從而執行複數循環且移除原子單層、次單層(sub-monolayer)，以及複數含氧材料層或氧化物材料層。一些實施例是在一循環中移除單層的一部分，因為一些蝕刻速率可能會比正在被蝕刻的材料晶格常數低。這可包括進行例如約 1 至約 1000 個循環、約 1 至約 500 個循環、約 1 至約 100 個循環、約 1 個循環至約 30 個循環，或是約 1 至約 20 個循環。可包括任何合適數量的 ALE 循環以蝕刻所期望的膜量。在一些實施例中，ALE 是循環式執行，以蝕刻晶圓上的表面層的約 1 埃(Å)至約 50 Å。在一些實施

例中，ALE 循環會蝕刻晶圓上的表面層的約 $2 \text{ \AA}$ 至約 $50 \text{ \AA}$ 。在一些實施例中，每一個 ALE 循環可蝕刻至少約 $0.1 \text{ \AA}$ 、 $0.5 \text{ \AA}$ 、 $1 \text{ \AA}$ 、 $2 \text{ \AA}$ 或 $3 \text{ \AA}$ 。如圖 2 中進一步所繪示，操作 205 及 207，以及在一些實行例中方格 207 的任選吹淨，可針對 N 個 ALE(或蝕刻)循環重複進行。在操作 211 中，若判斷已經執行 N 個 ALE 循環，則可完成該蝕刻並因此可結束該蝕刻。

【0108】 在一些操作中，任選吹淨操作 205 可在改質操作 203 之後且在移除操作 207 之前執行。在吹淨操作中，未表面鍵結的活性改質分子(例如，氟物種或氯物種)，及/或其他殘留物或微粒可從處理腔室、腔室壁、腔室氣體容積及/或晶圓移除。可藉由吹淨及/或抽空處理腔室，以在不移除吸附層的情況下移除活性物種或其他元素而完成此吹淨操作。可藉由停止電漿且允許剩餘物種衰變，並任選地結合腔室吹掃及/或排空，從而將在該電漿中產生的物種移除。可使用任何惰性氣體(例如， N_2 、Ar、Ne、He 及其組合)進行吹淨。吹淨也可在本文所提供的任何操作、方格或步驟後進行，包括在改質操作之後、移除操作之後，或兩者之後。由於吹淨是任選的，因此一些實行例可能未進行任何吹淨。

【0109】 一些實行例會分別變更改質操作 203 及移除操作 207 的處理條件，例如各操作的持續時間、溫度及壓力。在一些實施例中，操作 203 及 207 可被執行約相同的時間(例如，彼此相差約 10%或 5%內)；而在其他實施例中，它們可被執行不同的時間。舉例而言，操作 203 比起操作 207 可被執行更短或更長的時間段。各方格的不同時間段例如可介於約 0.5 秒至約 600 秒、約 0.5 秒至約 400 秒、約 0.5 秒至約 300 秒、約 0.5 秒至約 10 秒、約 0.5 秒至約 5 秒、約 1 秒至約 5 秒，或約 5 秒至約 300 秒。

【0110】雖然在圖 2 中繪示操作 201-211，但將能理解，在一些實施例中，除了操作 201-211 之外可使用額外操作及暴露，或是可在操作 201-211 的任何者之間或之前使用額外操作及暴露。

【0111】在蝕刻氧化鋁、氧化鉛或氧化銻的一示例中，根據圖 2 的示例處理流程可包括在操作 203 中引進氟化氫或三氟化氮，並在操作 207 中引進 BCl_3 ，隨後還任選地引進氫電漿。

【0112】在蝕刻摻雜矽的氧化鉛、氧化銻鎢銻、鉛及銻的合金氧化物，或是硫族化物的另一示例中，根據圖 2 的示例處理流程可包括在操作 203 中引進氟化氫，並在操作 207 中引進 BCl_3 。

【0113】圖 3A 至 3C 繪示根據各種實施例的示例氣體流動順序。在圖 3A 中，具有第一物種的第一處理氣體及具有第二物種的第二處理氣體是在沒有任何重疊的情況下流動至晶圓上，並且可被視為關於圖 2 所述的那些氣流。在此，第一處理氣體從時間 t_1 流動至時間 t_2 ，之後被關閉；這可被視為改質操作 203。在一些情況下，任選的吹淨操作可在時間 t_2 與時間 t_3 之間執行，例如任選的操作 205。在時間 t_3 ，第二處理氣體被流動至晶圓上，直到時間 t_4 才停止；此時間段可被視為是移除操作 207。

【0114】在圖 3B 中，第一處理氣體及第二處理氣體僅在蝕刻的一部分重疊。在時間 t_1 時，第一處理氣體流動至晶圓上，而第二處理氣體未流動至晶圓上，這持續進行直到時間 t_2 。這也可被視為是改質操作 203。在時間 t_2 時，第二處理氣體流動至晶圓上，而第一處理氣體同時流動至該晶圓上。在時間 t_2 與時間 t_3 之間，第一處理氣體及第二處理氣體均流動至晶圓上；這可被視為是第一處理氣體及第二處理氣體的重疊或共流時段。在圖 3B 的時間 t_3 時，第一處理氣

體停止流動，第二處理氣體繼續流動直到時間 t_4 停止。這時間也可被視為操作 207 的移除操作。

【0115】 在一些實施例中，可在圖 3B 所繪示的蝕刻期間調整晶圓的溫度。舉例而言，晶圓可在時間 t_1 與 t_2 之間被保持在第一溫度，在時間 t_2 時調整至第二溫度，並且被保持在該第二溫度直到時間 t_3 或 t_4 。在一些這樣的實行例中，可在時間 t_3 將溫度調節到第三溫度，直到時間 t_4 。在一些其他實施例中，可將該溫度從時間 t_1 到時間 t_3 保持在第一溫度，接著將其調節到第二溫度。在一些實施例中，這可被視為溫度斜升或斜降序列，其中第二溫度大於或小於第一溫度，且在適用時第三溫度大於或小於第二溫度。這些溫度可為上方提供的那些溫度中的任何者。在本文所提供的任何蝕刻期間調整溫度可允許化學吸附及解吸附的額外控制及使用。在一些其他實施例中，晶圓可在圖 3B 的蝕刻期間被保持在實質恆定的溫度(例如，在設定溫度的約 10%或 5%內)。

【0116】 類似地，晶圓溫度可在改質、移除或兩者期間被增加或降低。例如參照圖 3A，在時間 t_1 與時間 t_2 之間的改質操作期間，晶圓溫度可從第一溫度升高至較高的第二溫度，或者從第一溫度降低至較低的第三溫度。替代地或額外地，在時間 t_3 與 t_4 之間的移除操作期間，晶圓溫度亦可被增加或降低。

【0117】 替代地或額外地，可在圖 3B 的蝕刻期間調整腔室壓力。舉例而言，腔室可在時間 t_1 與 t_2 之間被保持在第一壓力，在時間 t_2 被調整至第二壓力，且保持在該第二壓力直到時間 t_3 或 t_4 。在一些這樣的實行例中，壓力可在時間 t_3 被調節至第三壓力，直到時間 t_4 。在一些其他實施例中，壓力可從時間 t_1 至時間 t_3 被保持在第一壓力，接著被調整至第二壓力。在一些實施例中，這可被視為壓力斜升或斜降序列，其中第二壓力大於或小於第一壓力，且在適用時

第三壓力大於或小於第二壓力。這些壓力可為上方提供的那些壓力中的任何者。在本文所提供的任何蝕刻期間調整壓力可允許化學吸附及解吸附的額外控制及使用，以及減少腔室中非所欲的殘留物堆積。在一些其他實施例中，在圖 3B 的蝕刻期間該壓力可為實質恆定的(例如，在設定壓力的約 10%或 5%內)。

【0118】 類似地，可以在改質、移除或兩者期間執行腔室壓力的增加或減少。例如參照圖 3A，在時間 t1 與時間 t2 之間的改質操作期間，腔室壓力可從第一壓力被增加到較大的第二壓力，或者從第一壓力被減少到較低的第二壓力。替代地或額外地，在時間 t3 與 t4 之間的移除操作期間，腔室壓力亦可被增加或減少。

【0119】 在圖 3C 中，第一物種及第二物種被共同流動或同時流動至晶圓上，以進行實質所有的蝕刻。由於氣體輸送系統的設計、實施、公差及操作缺陷，這些氣體可能是意圖在確切的相同時間共同流動，但在實行時可能不會那麼準確。在圖 3C 中，第一物種及第二物種從時間 t1 至 t2 是被同時流動至晶圓上，而在此之後其流動皆停止。在一些實行例中，第一物種及第二物種可處於相同的處理氣體中，該處理氣體與任選的承載氣體一起被流動至晶圓上。在一些其他實行例中，第一物種可為第一處理氣體的一部分，而第二物種可為不同第二處理氣體的一部分，如上所述，且這些第一處理氣體及第二處理氣體都從時間 t1 至時間 t2 被共同流動至晶圓上。

【0120】 在一些實行例中，將第一物種及第二物種保持分離，直到它們進入處理腔室可能具有優勢。這可避免第一物種及第二物種之間的交叉反應。因此，第一物種及第二物種可在不同管線中流動，並經由不同端口進入處理腔室，

例如經由雙氣室噴淋頭或經由不同噴嘴。這可允許兩種化學品僅在晶圓表面相遇。

【0121】 在一些實施例中，可在圖 3C 及圖 4 所繪示的蝕刻期間調整晶圓溫度。舉例而言，晶圓可在時間 t_1 與 t_a 之間被保持在第一溫度，在時間 t_a 時被調整至第二溫度，並且保持在該第二溫度直到時間 t_2 。在一些這樣的實行例中，可在整個蝕刻過程中將溫度調整至第三溫度或其他溫度。在一些實施例中，這可被視為溫度斜升或斜降順序，其中例如第二溫度大於或小於第一溫度，且當適用時第三溫度大於或小於第二溫度。這些溫度可以是上文所提供的那些溫度中的任何者。在一些其他實施例中，晶圓可在圖 3C 的蝕刻期間被保持在實質恆定的溫度。

【0122】 替代地或額外地，可在圖 3C 的蝕刻期間調整腔室壓力。舉例而言，可在時間 t_1 與 t_2 之間將腔室保持在第一壓力，在時間 t_2 時調整至第二壓力，並且保持在該第二壓力直到時間 t_3 。在一些實施例中，這可被視為壓力斜升或斜降順序，其中例如第二壓力大於或小於第一壓力。這些壓力可以是上文所提供的那些壓力中的任何者。在一些其他實施例中，壓力在圖 3C 的蝕刻期間可為實質恆定的。

設備

【0123】 本文所揭示的某些實施例可在任何合適的設備(包括單晶圓設備及多晶圓設備)上執行。某些所揭示的實施例可在 4 站設備上執行。各站可如下所述進行配置。在一些實施例中，在 4 站設備中，其中二個站可被配置為執行原子層蝕刻(ALE)處理的改質，而其中二個站被配置為執行 ALE 的熱移除操作。

舉例而言，其中二個站可被配置為輸送含氟物種(例如，揮發的氟化氫)，而其中二個站可被配置為在無電漿環境中輸送三氯化硼。可使用多站設備，使得各站或其中一或更多站被設置在不同的溫度，這可允許有效率的改質及移除。在一些實施例中，該設備被配置成在複數壓力之間切換，或是在複數操作之間將漸壓力斜升及斜降，或在整個過程中都在相同壓力下運行。在一些實施例中，改質及移除是在同一站中執行。在一些實施例中，該站被配置成具有改質氣體及移除氣體，其中這些氣體是待藉由噴淋頭而引進腔室。進一步的示例是參照圖 4 至 9 而描述於下。

【0124】圖 4 示意性顯示處理站 400 的實施例，其中該處理站 400 可使用原子層沉積(ALD)及/或化學氣相沉積(CVD)以沉積材料，其中 ALD 或 CVD 的任一者可為經電漿增強的。在各種所揭示的實施例中，處理站 400 可被用於以原子層蝕刻來蝕刻材料。為簡潔起見，處理站 400 係被繪示為獨立處理站，其具有維持低壓力環境所用的處理腔室本體 402。然而，將能理解的是，複數處理站 400 可被包括在公共處理工具環境中。此外，將能理解的是，在一些實施例中，可藉由一或更多電腦控制器以編程方式調整處理站 400 的一或更多硬體參數，包括詳細描述於下的那些硬體參數。

【0125】處理站 400 係與反應物輸送系統 401 流體連通以將處理氣體輸送至噴淋頭 406。反應物輸送系統 401 包括混合容器 404，用於將輸送至噴淋頭 406 的處理氣體進行混合及/或調節。一或更多混合容器輸入口閥 420 可控制對於混合容器 404 的處理氣體引進。類似地，噴淋頭輸入口閥 405 可控制對於噴淋頭 406 的處理氣體引進。

【0126】 某些反應物得以液體形式儲存，並在汽化後接著輸送至處理站。舉例而言，可將氟化氫汽化。舉例而言，圖 4 的實施例包括汽化點 403，用於將待供應至混合容器 404 的液體反應物汽化。在一些實施例中，汽化點 403 可為加熱式汽化器。從此種汽化器產生的反應物蒸汽可在下游輸送管路中冷凝。將不相容的氣體暴露於冷凝反應物可產生小微粒。這些小微粒可能會使管路堵塞、妨礙閥操作、使基板汙染等。解決這些問題的一些方法涉及將該輸送管路進行掃除及/或抽空，以移除殘留的反應物。然而，將該輸送管路進行掃除可能會增加處理站的循環時間，使處理站產量降低。因此，在一些實施例中，可對汽化點 403 下游的輸送管路進行熱追跡。在一些示例中，亦可對混合容器 404 進行熱追跡。在一非限制性示例中，汽化點 403 下游的管路具有從大約 100°C 延伸至混合容器 404 處的大約 150°C 的上升溫度輪廓。

【0127】 在一些實施例中，可在液體注射器處將反應物液體汽化。舉例而言，液體注射器可將液體反應物的脈衝注入混合容器上游的承載氣流中。在一方案中，液體注射器可藉由將液體從較高壓力閃現至較低壓力使反應物汽化。在另一方案中，液體注射器可將液體原子化為分散微滴，而該等分散微滴後續在加熱式輸送管路中被汽化。將能理解的是，較小的液滴比起較大的液滴可更快速地被汽化，而這減低液體注射與完全汽化之間的延遲。較快的汽化可減低汽化點 403 下游的管道長度。在一方案中，液體注射器可直接安裝至混合容器 404。在另一方案中，液體注射器可直接安裝至噴淋頭 406。

【0128】 在一些實施例中，可提供位在汽化點 403 上游的液體流量控制器，用於控制汽化及輸送至處理站 400 所用的液體質量流。舉例而言，液體流量控制器(LFC)可包括位於該 LFC 下游的熱性質量流計(MFM)。接著，可響應於回饋控

制信號而調整該 LFC 的柱塞閥，其中該回饋控制信號係由與該 MFM 電性連通的比例-積分-微分(PID)控制器提供。然而，使用回饋控制來穩定液體流動可能需耗費一或更多秒。這可能會延長液體反應物的配劑時間。因此，在一些實施例中，可將該 LFC 在回饋控制模式與直接控制模式之間動態切換。在一些實施例中，可藉由使該 LFC 的感測管及該 PID 控制器失效，以將該 LFC 從回饋控制模式動態切換至直接控制模式。

【0129】 噴淋頭 406 將處理氣體分佈朝向基板 412。示例處理氣體包括但不限於氟化氫、三氟化氮及三氯化硼。在圖 4 中顯示的實施例中，基板 412 位於噴淋頭 406 下方，並被顯示為坐落在基座 408 上。該基座可為靜電卡盤。基座可被加熱至約 150°C 至約 500°C 或約 200°C 至約 400°C 的溫度。將能理解的是，噴淋頭 406 可具有任何合適的形狀，並可具有任何合適的埠口數量及配置，以將處理氣體分佈至基板 412。

【0130】 在一些實施例中，微容積 407 位於噴淋頭 406 下方。在微容積中(而不是處理站的整體容積中)進行處理可減低反應物暴露及掃除次數、可減低處理條件(例如，壓力、溫度等)的變更改數、可限制處理站機器人對於處理氣體的暴露等。示例性的微容積尺寸包括但不限於約 0.1 公升與約 2 公升之間的容積。此種微容積亦對生產量造成影響。當每循環的沉積速率降低時，循環時間同時減少。在某些情況下，對於給定的目標膜厚度來說，後者的影響是足夠劇烈以改善模組的總生產量。

【0131】 在一些實施例中，可將基座 408 升起或降下，以將基板 412 暴露至微容積 407，及/或以改變微容積 407 的容量。舉例而言，在基板轉移階段，可將基座 408 降下以允許將基板 412 裝載於基座 408 上。在沉積處理階段期間，可

將基座 408 升起以將基板 412 定位在該微容積 407 內。在一些實施例中，在沉積處理期間微容積 407 可完全包圍著基板 412，以及基座 408 的一部分，以產生高流量阻抗區域。

【0132】 任選地，在沉積處理的部分期間可將基座 408 在微容積 407 內降下及/或升起，以調節處理壓力、反應物濃度等。在沉積處理期間將處理腔室本體 402 維持在基本壓力的一方案中，使基座 408 降下可允許將微容積 407 抽真空。微容積比處理腔室容積的示例比率包括但不限於約 1:2000 至約 1:10 的容積比。將能理解的是，在一些實施例中，可藉由合適的電腦控制器以編程方式調整基座高度。

【0133】 在另一方案中，調整基座 408 的高度可允許在熱 ALE 處理的改質操作中的電漿操作期間改變電漿密度。在沉積處理階段結束時，可在另一基板轉移階段期間將基座 408 降下，以允許將基板 412 從基座 408 移除。

【0134】 雖然本文所述的示例性微容積變更例指的是可調整高度的基座，但將能理解的是，在一些實施例中，可調整噴淋頭 406 相對於基座 408 的位置以改變微容積 407 的容量。此外，將能理解的是，可藉由本揭露範圍內的任何合適機制來變更基座 408 及/或噴淋頭 406 的垂直位置。在一些實施例中，基座 408 可包括轉動軸，用於轉動該基板 412 的位向。將能理解的是，在一些實施例中，可藉由一或更多合適的電腦控制器以編程方式執行這些示例性調整的一或更多者。

【0135】 在一些實施例中，圖 400 中的處理腔室不使用電漿進行熱 ALE，因此不具有電漿進相關設備。在一些其他實施例中，可使用電漿，或是反應器可具有這種電漿相關設備。舉例而言，噴淋頭 406 及基座 408 係與 RF 電源 414 及

匹配網路 416 電性連通而為電漿供電。在一些實施例中，可藉由控制處理站壓力、氣體濃度、RF 來源功率、RF 來源頻率及電漿功率脈衝時間的其中一或更多者而控制電漿能量。舉例而言，可在任何合適功率操作 RF 電源 414 及匹配網路 416，以形成具有所欲自由基物種組成的電漿。合適功率的示例包括上述功率。同樣地，RF 電源 414 可提供任何合適頻率的 RF 功率。在一些實施例中，可將 RF 電源 414 配置以彼此獨立地控制高頻率及低頻率 RF 功率源。示例性低頻率 RF 頻率可包括但不限於約 50 kHz 與約 2000 kHz 之間的頻率。示例性高頻率 RF 頻率可包括但不限於約 1.8 MHz 與約 2.45 GHz 之間的頻率。將能理解的是，可分開或連續地調整任何合適的參數以提供表面反應而用的電漿能量。在一非限制性示例中，可將電漿功率間歇地進行脈衝，以相對於連續供電的電漿而減低對於基板表面的離子轟擊。

【0136】 在一些實施例中，可藉由一或更多電漿監測器而原位監測電漿。在一方案中，可藉由一或更多電壓、電流感測器(例如，VI 探針)而監測電漿功率。在另一方案中，可藉由一或更多光學發射光譜(OES)感測器而測量電漿密度及/或處理氣體濃度。在一些實施例中，可基於得自此種原位電漿監測器的量測值而以編程方式調整一或更多電漿參數。舉例而言，可將 OES 感測器用於回饋迴路中以提供對於電漿功率的編程控制。將能理解的是，在一些實施例中，可使用其他監測器來監測電漿及其他處理的特性。此種監測器可包括但不限於紅外線(IR)監測器、聲學監測器及壓力轉換器。

【0137】 在一些實施例中，可經由輸入/輸出控制(I/O)序列指令而控制電漿。在一示例中，設定電漿處理階段的電漿條件所用的指令可被包括在沉積處理配方的相應電漿活化配方階段中。在一些情況下，可將處理配方階段依序編排，

使得用於特定處理階段的所有指令係與該處理階段同時執行。在一些實施例中，用於設定一或更多電漿參數的指令可被包括在電漿處理階段之前的配方階段中。舉例而言，第一配方階段可包括用於設定惰性氣體及/或反應物氣體的流率的指令、用於將電漿產生器設定至功率設定點的指令，以及用於該第一配方階段的時間延遲指令。後續的第二配方階段可包括用於啟動電漿產生器的指令，以及用於該第二配方階段的時間延遲指令。第三配方階段可包括用於停用電漿產生器的指令，以及用於該第三配方階段的時間延遲指令。將能理解的是，這些配方階段可在本揭露的範圍內以任何合適的方式進一步細分及/或重複。

【0138】 在一些沉積處理中，電漿擊打持續數秒以上的一段時間。在某些實行例中，可使用非常短暫的電漿擊打。這些非常短暫的電漿擊打為 10 ms 至 1 秒的量級，通常約為 20 至 80 ms，其中 50 ms 為具體示例。此種非常短暫的 RF 電漿擊打需要極快速地穩定電漿。為達成此事項，可將電漿產生器進行配置，使得阻抗匹配係預設至特定電壓，同時允許頻率浮動。習慣上，高頻率電漿係在約 13.56 MHz 的 RF 頻率產生。在本文所揭露的各種實施例中，該頻率係被允許浮動至與標準值不同的數值。透過准許該頻率浮動同時將阻抗匹配固定於預定電壓，可非常快速地穩定電漿，其結果對於在使用與一些沉積循環類型相關的非常短暫電漿擊打時可為重要的。

【0139】 在一些實施例中，可經由加熱器 410 對基座 408 進行溫度控制。在一些實施例中，加熱器 410 可與上述及圖 5-7 中所繪示的加熱器單元相同，例如一加熱器單元，其包括用於加熱晶圓的複數 LED。此外，在一些實施例中，可藉由蝶形閥 418 提供對沉積處理站 400 的壓力控制。如圖 4 的實施例中顯示，蝶形閥 418 調節由下游真空幫浦(未顯示)所提供的真空。然而，在一些實施例中，

還可藉由改變被引進處理站 400 的一或更多氣體的流率而調整處理站 400 的壓力控制。

【0140】雖然圖 4 被繪示為單一站，但將能理解的是，處理室可具有複數的此種站，而這些站共享氣體輸送系統或其他設備。舉例而言，如圖 8 及 9 所顯示，腔室 804、806、902 及 904 包括四個處理站。各站可包括關於圖 4-7 中的單一站所描述的任何及所有特徵。腔室 804 及 902 中的站可用於蝕刻，而腔室 806 及 904 中的站可用於在晶圓上沉積材料。舉例而言，腔室 804 及 902 的各站可用於在特定處理站處，對於被固持在晶圓固持器(例如，基座)中的晶圓執行熱蝕刻，例如熱 ALE；類似地，腔室 806 及 904 的各站可用於在特定處理站處，對於被固持在晶圓固持器中的晶圓執行沉積，例如 ALD 及熱 ALD。其他類似的多站處理設備可具有更多或更少的處理站，這取決於實施方式，例如並行晶圓處理的期望水平、尺寸/空間限制、成本限制等。

【0141】對於一些處理腔室，例如分別在圖 8 及 9 中的沉積腔室 806 及 904，RF 子系統 890 及 990 可產生 RF 功率，並且經由射頻輸入端口將 RF 功率傳送到積體電路製造腔室 806 及 904。在特定實施例中，積體電路製造腔室 806 及 904 除了射頻輸入端口之外，還可包括輸入端口。因此，積體電路製造腔室 806 及 904 可使用 8 個 RF 輸入端口。在特定實施例中，積體電路製造腔室 806 及 904 的站 882A-D 及 982A-D 可各自利用第一及第二輸入端口，其中第一輸入端口可傳送第一頻率的信號，而其中第二輸入端口可傳送第二頻率的信號。在一些實施例中，這些站(例如，站 882A-D 及 982A-D)可利用兩個以上的輸入端口；各輸入端口可傳送不同頻率的信號。在一些實施例中，可使用複數 RF 產生器。

使用雙重頻率可得到經增強的電漿特性。在各種實施例中，複數電極可位於基板支撐件中。在一些實施例中，額外的電極可位於邊緣環中。

【0142】 如上文所提供，系統控制器可用於本文所述的工具，以控制蝕刻及/或沉積期間的處理條件。控制器(例如，圖 8 中的 829 及圖 9 中的 929)通常包括一或更多記憶體裝置及一或更多處理器。控制器 829 可控制工具 800 及/或 900 的所有活動。在一些實行例中，控制器 829 及/或 929 是系統的一部分，該系統可為上述示例的一部分。這樣的系統可包括半導體處理設備，包括一或更多處理工具、一或更多腔室、一或更多處理平台及/或特定處理構件(晶圓基座、氣流系統等)。這些系統可與電子元件整合在一起，以在半導體晶圓或基板的處理之前、期間及之後控制這些電子元件的操作。

【0143】 控制器被配置為執行上述任何技術。舉例而言，參考圖 8 的工具 800 或圖 9 的工具 900，以及圖 2 的技術，在一些實施例中控制器 829 及/或 929 被配置成驅使基板加熱單元將被定位在基板支撐件上的晶圓帶到(即，加熱)第一溫度，並且使處理氣體單元將第一處理氣體流動至晶圓。如上所述，在一些實施例中，第一處理氣體被配置成在不使用電漿的情況下藉由化學吸附而改質晶圓上的一或更多表面材料層，同時將晶圓保持在第一溫度。控制器還可被配置成使處理氣體單元如本文所述地將第二處理氣體或三氯化硼流動至基板上，以移除經改質材料層。控制器還被配置成驅使晶圓傳輸單元(包括任何機械手臂)在這些處理站中的任何者之間傳輸晶圓，以及控制壓力單元 816 和 916(其可包括一或更多真空幫浦)以控制工具及腔室內的壓力。

【0144】 雖然已針對所繪示的實施例具體描述本文所揭示的標的主體，但將能理解的是，可基於本揭示而進行各種變更、修改及改編，且這些變更、修改

及改編是旨在落入本發明的範圍內。應當理解，本實施方式不限於所揭示的實施例；反而，本實施方式涵蓋在申請專利範圍內所包括的各種修改及均等配置。

【0145】 本揭示包括上方及下方提供的設備。現在參照圖 5，其顯示根據本揭示的用於蝕刻材料的基板處理腔室的示例。雖然顯示及描述特定的基板處理腔室，但是本文所述方法可在其他類型的基板處理系統上實施。在各種實施例中，用於處理某些所揭示實施例的合適裝置或腔室包括以下構件的其中一或多者：陽極化腔室主體、陽極化頂板、陽極化襯墊、陶瓷或陽極化鋁基座、能夠被加熱以輸送三氯化硼的輸送管線、具有高鎳含量的不銹鋼低壓構件，以及氧化釔塗層。

【0146】 圖 5 繪示根據所揭示實施例的用於半導體處理(包括熱原子層蝕刻)的示例設備 520；該設備 520 包括腔室 522、處理氣體單元 524、基板加熱單元 526 及基板冷卻單元 528。處理腔室 522 具有腔室壁 530，其至少被部分劃出邊界，且界定出腔室內部 532(其可被視為氣室容積)。

【0147】 處理氣體單元 524 被配置成使處理氣體流動至腔室內部 532 中的基板 534 上，其中所述處理氣體可包括液體及/或氣體，例如反應物、改質分子、轉化分子或移除分子。處理氣體單元 524 還包括一或更多流動特徵部 542(例如，孔洞、噴嘴(繪示其中兩個)或噴淋頭)，其中所述流動特徵部 542 被配置成使第一處理氣體流動至基板 534 上。該一或更多流動特徵部 542 可被定位在腔室內部 532 內的上方、下方、側面或位置組合，例如在處理腔室壁、頂部及底部上。處理氣體單元 524 可包括混合容器，用於混合及/或調合處理氣體以供輸送至腔室內部 532。一或更多混合容器入口閥可控制處理氣體向混合容器的引進。

【0148】處理氣體單元 524 可包括第一處理氣體源 536、第一處理液體源 538、可將第一液體蒸發成氣體的蒸發點(未繪示)，以及承載氣體源 540。某些反應物得以液體形式儲存，並在汽化後接著輸送至腔室 522。在一些實施例中，第一處理氣體可包括氯或氟，其被配置成在不使用電漿的情況下對基板上的一個或多個材料層進行改質；第二處理氣體可包括如上所述位於第二處理腔室中的晶圓上的具有硼及氯的化合物，例如三氯化硼。

【0149】在一些實行例中，汽化點可為經加熱的液體注入模組。在一些其他實行例中，汽化點可為經加熱的汽化器。在一些其他實施例中，可藉由在包含液體試劑的容器上方抽真空，從而產生蒸汽。在又其他實行例中，可將汽化點從處理站移除。在一些實行例中，可提供位於汽化點上游的液體流量控制器(LFC)，以控制液體的質量流，從而汽化及輸送至腔室內部 532。承載氣體源 540 包括可與處理氣體一起流動的一或更多承載氣體或液體；這些可為惰性氣體，例如， N_2 、Ar、Ne、He。設備 520 還可包括真空幫浦 533，該真空幫浦 533 被配置成將腔室內部抽至低壓，例如具有 1 mTorr 或 10 Torr 壓力的真空。

【0150】腔室內部 532 包括基板支撐特徵部 535，其被配置成對該腔室中的基板 534 予以支撐及熱漂浮。基板支撐特徵部 535 例如可包括在腔室內部 532 中支撐基板 534 所用的夾具、水平銷或支撐件、垂直銷或支撐件，以及半圓形環。這些特徵部被配置成支撐基板 534，使得該基板 534 的熱質量盡可能地被減少到僅為該基板的熱質量。因此，各基板支撐特徵部 535 可與基板 534 具有最小接觸，並且可為在處理期間充分支撐基板(例如，為了支撐基板的重量並防止基板的非彈性變形)所需的最少特徵部數量。舉例而言，與基板接觸的一基板支撐

特徵部 535 的表面積可小於基板的背側的總表面積的約 1%、0.5%、0.1%、0.05% 或 0.01%；此外，例如可使用 2、3 或 4 個特徵部。

【0151】 在一示例中，基板支撐特徵部 535 可包括二或更多垂直銷，所述垂直銷具有沿垂直縱軸而纏繞或盤旋的凹槽，且所述垂直銷從該縱軸偏移不同的距離並被配置以支撐基板。當垂直銷沿其縱軸旋轉，且基板的邊緣位於該凹槽中時，該凹槽的邊緣及基板的邊緣會移動遠離該縱軸。當使用複數垂直銷支撐基板時，垂直銷的旋轉會驅使凹槽在垂直於該縱軸的方向中對肝基板施加支撐力。

【0152】 在一些實施例中，腔室 522 可包括晶圓支撐基座，該晶圓支撐基座包括基板升降銷。在一些實施例中，晶圓支撐基座由陶瓷所製成。在熱 ALE 處理期間，升降銷可支撐著基板，並將其定位在遠離基座的位置，使得在該基座與該基板之間實質上沒有熱能傳遞(例如，小於兩者之間傳遞的能量的 10%、5%、1%、0.5% 或 0.1%)。在一些其他實施例中，腔室 522 可能不具有基座。在一些實施例中可使用靜電卡盤(ESC)，該 ESC 包含基板加熱單元 526，而該基板加熱單元 526 是配置以將基板加熱至本文提供的溫度，例如介於約 20°C 與 500°C 之間。

【0153】 基板加熱單元 526 被配置成將基板加熱至複數溫度，並且將該溫度保持例如至少 1 秒、5 秒、10 秒、30 秒、1 分鐘、2 分鐘或 3 分鐘。在一些實施例中，基板加熱單元 526 被配置成在至少兩個溫度範圍之間加熱基板，其中第一範圍介於約 20°C 與 150°C 之間，而第二範圍介於約 200°C 與 600°C 之間，以及基板加熱單元 526 被配置為將基板保持在這些範圍內的溫度例如至少 1 秒、5 秒或 10 秒。另外，在一些實施例中，基板加熱單元 526 被配置為在小於例如約 250 毫秒、150 毫秒、100 毫秒或 50 毫秒的時間內將基板從第一溫度範圍加熱至第二溫度範圍。

【0154】 在一些實施例中，基板加熱單元 526 由陶瓷所製成。基板加熱單元 526 可利用輻射加熱、對流加熱、雷射加熱、電漿加熱、固體之間的熱傳遞(例如，將經加熱靜電卡盤或基座中的一或更多加熱元件所產生的熱量傳遞支撐至該卡盤或基座所支撐或其上方的基板)，或是這些項目的組合。對於輻射加熱，基板加熱單元 526 可用於放射光加熱、紫外加熱、微波加熱、射頻加熱及感應加熱。舉例而言，基板加熱單元 526 可包括發光二極體(LED)，這些 LED 會發射可見光，而可見光的波長可包括且介於 400 奈米(nm)與 800 nm 之間。基板加熱單元 526 也可包括例如加熱燈、發光二極體(例如，LED)、陶瓷加熱器、石英加熱器，或是連接至光能來源的複數梯度折射率(GRIN)透鏡。GRIN 透鏡被配置成以均勻的方式將熱能(熱或光)從光能來源傳遞至基板；光源可為雷射或高強度光源，所述雷射或高強度光源是經由導管(例如，光纖電纜)將熱能傳輸至 GRIN 透鏡。基板加熱單元 526 所使用的加熱元件可位於基板 534 的上方、下方、側邊，或是這些位置的組合，且這些基板加熱單元 526 可位於腔室內部 532 的內部、外部或兩者。在圖 5 中，基板加熱單元 526 所使用的加熱元件包括位於基板 534 上方及下方的複數 LED 526A；下部加熱元件位在腔室內部 532 的內側，而上部加熱元件位在腔室內部 532 的外側。在一些實施例中，對於位於腔室 522(也可將其稱為「處理腔室」)外側的一些加熱元件，腔室 522 可具有窗部 554 而允許將輻射傳輸至腔室內部 532 及傳輸至基板 534 上。在一些實施例中，該窗部 554 可為光學級石英板，而在其他實施例中可為透明的氧化銦錫(ITO)窗部。在一些實施例中，基板加熱單元 526 包括複數 LED 526A，該等 LED 526A 可僅位於基板 534 下方，該等 LED 526A 可被包括在基座或 ESC 內部，該基座或 ESC 也可包括窗部，這些 LED 所發出的光可通過該窗部到達基板的背側。在各種實施例中，

位於 MFC 下游的低壓構件由不銹鋼所製成，伴隨著由哈氏合金(Hastelloy)所製得的高鎳含量。

【0155】對於固體之間的熱傳遞，基板加熱單元 526 可具有一或更多加熱表面，所述加熱表面是配置以接觸腔室內部的基板並對其進行加熱。在一些實施例中，基板加熱單元 526 可具有加熱平台(例如，平坦表面，或是基板基座的表面)，其中該加熱平台是配置為接觸基板的後表面，並且加熱該基板。該加熱平台可具有加熱元件(例如，加熱線圈、加熱流體或上述輻射加熱)，該加熱元件可對加熱平台的表面進行加熱。當基板的背面與加熱平台直接接觸，或是雖然偏離該加熱平台但足夠靠近以從該加熱平台接收熱能時，該基板可被加熱。當使用這種固體之間的熱傳遞來加熱基板時，該基板會在冷卻時與加熱平台分離。雖然一些習知的 ALE 設備可具有的基板基座會同時包括加熱元件及冷卻元件，但這些設備無法在熱 ALE 的那些溫度之間快速(例如，在 250 毫秒之下)循環，原因在於被重複加熱及冷卻的該基座的熱質量是大的。舉例而言，將基座從第一溫度範圍(例如，20°C 至 100°C)加熱至第二溫度範圍(例如，200°C 至 500°C)可能需要數秒或數分鐘，而將該基座從該第二溫度範圍冷卻至可將基板冷卻至第一溫度範圍的較低溫度也可能需要數秒或數分鐘。因此，在使用這種固體之間的加熱技術之後會將加熱平台及基板彼此分離，而這例如可藉由將基板及/或加熱平台彼此移開而完成。若缺少這種分離，需要進行基板的熱質量及加熱平台二者的冷卻，這會增加冷卻時間而降低基板的產量。在一些實施例中，一 ESC 或基座，其具有基板加熱單元及用於冷卻的帕爾帖元件，可實現快速的加熱及冷卻時間(例如，以約 30 秒將基板冷卻至期望溫度)。在一些實施例中，這可在低壓下執行，例如小於 1 Torr，包括例如小於 50 mTorr。

【0156】圖 5 的基板冷卻單元 528 是配置為主動冷卻基板。在一些實施例中，基板冷卻單元 528 使冷卻氣體流動至基板 534 上，而這會主動冷卻基板 534。基板冷卻單元 528 可包括冷卻流體源 548 及冷卻器 550，該冷卻流體源 548 可容納冷卻流體(氣體或液體)，而該冷卻器 550 是配置成將冷卻流體冷卻至所欲溫度，例如小於或等於 0°C、-50°C、-100°C、-150°C、-170°C、-200°C 及-250°C。基板冷卻單元 528 包括管道及冷卻劑流動特徵部(未顯示)，例如噴嘴或孔洞，這些管道及冷卻劑流動特徵部是配置成使冷卻劑流體流入腔室內部 532。在一些實施例中，流體在流動至腔室 522 時可處於液態，而例如若腔室內部 532 是處於低壓狀態(例如，1 Torr)，則流體在到達腔室內部 532 時可變成氣態。冷卻流體可為惰性元素，例如氮、氬、氦。在一些實施例中，冷卻流體進入腔室內部 532 的流率例如可為至少 10 升/秒、50 升/秒、100 升/秒、150 升/秒、200 升/秒、250 升/秒及 300 升/秒。

【0157】各種因素可提高冷卻流體冷卻基板的能力。經由各種實驗發現，冷卻流體的流率越高，基板就冷卻得越快。在一示例實驗中發現到，約為-196°C 且以 1 升/秒的流率流動至基板上的冷卻氣體會在約 5000 毫秒內將基板的溫度從約 220°C 降低至約 215°C，而流率 10 升/秒的相同冷卻氣體會在約 5000 毫秒內將基板的溫度從約 220°C 降低至約 195°C。還發現到，基板與腔室頂部之間的間隙也可能會影響基板的冷卻；間隙越小，冷卻越強。在一實施例中發現到，與腔室的頂部隔開約 50 微米間隙的基板，在使用約-196°C 的冷卻氣體的情況下會在約 5000 毫秒內從約 220°C 冷卻至約 215°C；而與腔室頂部隔開約 5 毫米間隙的基板，在使用相同的冷卻氣體的情況下會在約 5000 毫秒內從約 220°C 冷卻至約 209°C。因此，發現流率越高且間隙越小，基板就冷卻得越快。

【0158】 在一些實施例中，基板冷卻單元 528 可使用固體之間的熱傳遞以主動冷卻基板 534。在這些實施例的其中一些中，可使用冷卻平台(例如，平坦的經冷卻表面)接觸基板的底部，並冷卻該基板。可透過使冷卻流體在平台上流動、流過該平台或在該平台下方流動而冷卻該平台。當使用這種固體之間的冷卻時，類似於上述固體之間的加熱，在加熱基板期間例如是透過升降銷將基板抬起，而例如將基板從冷卻平台移開，從而將基板與該冷卻平台分離。在缺乏這種分離的情況下，基板的熱質量及冷卻平台的熱質量都會被冷卻，這需要更多的冷卻，並因此增加處理時間並使產量下降。在一些實施例中，基板頂部的輻射加熱或基板底部的電漿加熱可與固體之間的冷卻結合使用。

【0159】 在一些實施例中，基板冷卻單元 528 可使用雷射冷卻以冷卻基板。這能實現以 Navier-Stokes 反應冷卻基板，其中該基板至少在其暴露表面上包括鈹分子。舉例而言，基板的溫度會表現在聲子中，而雷射冷卻將光子發射到基板表面，這些光子會與鈹中的聲子產生相互作用並拾取聲子，接著以更高的能階與來自鈹的聲子一起離開基板。這些聲子的移除會導致基板溫度降低。可將鈹摻雜到基板的表面上以實現這種雷射冷卻，且這種摻雜可被併進上方表列的技術，例如發生在任何操作(例如，移除操作)之後或之前。

【0160】 如上所述，該設備的一些實施例可包括電漿源，該電漿源被配置以在腔室內部產生電漿。這些電漿源可為電容耦合電漿(CCP)、感應耦合電漿(ICP)、上部遠端電漿及下部遠端電漿。

【0161】 在一些實施例中，本文所述的設備可包括控制器，該控制器被配置以控制該設備的各個方面，從而執行本文所述的技術。舉例而言，在圖 5 中，設備 520 包括控制器 566(其可包括一或更多實體或邏輯控制器)，該控制器 566

與處理腔室通信連接，並控制該處理腔室的其中一些或所有操作。控制器 566 可包括一或更多記憶體裝置 568 及一或更多處理器 570。在一些實施例中，該設備包括切換系統，例如在執行所揭示實施例時用於控制流率及持續時間、基板加熱單元、基板冷卻單元、腔室中的基板裝載及卸載、基板的熱漂浮，以及處理氣體單元。在一些實施例中，該設備可具有高達約 500 ms 或高達約 550 ms 的切換時間。切換時間可取決於流動化學品、所選擇的配方、反應器架構及其他因素。

【0162】 在一些實行例中，控制器 566 為設備或系統的一部份，且該設備或系統可為上述示例的一部分。此等系統或設備可包括半導體處理配備，而該半導體處理配備包括一或更多處理工具、一或更多腔室、一或更多處理平台，及/或特定處理構件(氣體流動系統、基板加熱單元、基板冷卻單元等)。可將這些系統與電子元件進行整合以在處理半導體晶圓或基板之前、期間及之後控制它們的操作。所述電子元件可被稱為「控制器」，其可控制一或更多系統的各種構件或子部件。取決於處理參數及/或系統類型，可將控制器 566 進行編程以控制本文所揭露的任何處理，包括處理氣體的輸送、溫度設定(例如，加熱及/或冷卻)、壓力設定、真空設定、功率設定、射頻(RF)產生器設定、RF 匹配電路設定、頻率設定、流率設定、流體輸送設定、定位及操作設定，與特定系統連接或接合的一工具及其他傳輸工具及/或負載鎖室的晶圓傳輸進出。

【0163】 廣義來說，控制器 566 可被定義成具有各種積體電路、邏輯、記憶體及/或軟體的電子元件，以接收指令、發送指令、控制操作、啟用清潔操作、啟用端點測量等。所述積體電路包括以韌體形式儲存程式指令的晶片、數位信號處理器(DSP)、定義為特殊應用積體電路(ASIC)的晶片，及/或執行程式指令(例如，軟體)的一或更多微處理器或微控制器。程式指令得為以各種獨立設定(或程

式檔案)形式而被傳送至控制器的指令，定義出用於在半導體晶圓上、或針對半導體晶圓或對系統執行特定步驟的操作參數。在一些實施例中，操作參數可為製程工程師所定義之配方的一部分，以在一或更多層、材料、金屬、氧化物、矽、二氧化矽、表面、電路及/或晶圓的晶粒的製造期間完成一或更多的處理步驟。

【0164】 在一些實行例中，控制器 566 可為電腦的一部分，或是耦接至該電腦，所述電腦係整合並耦接至所述系統，或以其他方式與所述系統網路連接，或是其組合。例如，控制器可位於「雲端」，或是位於 FAB 主電腦系統的全部或一部分中，而可允許對基板處理的遠端存取。電腦可以使對系統的遠端存取能夠監控加工操作的當前進程、檢視過去加工操作的歷史、檢視來自複數加工操作的趨勢或性能度量、變更當前處理的參數、設定當前處理之後的處理步驟，或是開始新的處理。在一些示例中，遠端電腦(例如，伺服器)可透過網路向系統提供處理配方，其中該網路可包括區域網路或網際網路。遠端電腦可包括使用者介面，而能夠對參數及/或設定進行輸入或編程，所述參數及/或設定則接著從遠端電腦傳送至系統。在一些示例中，控制器 566 接收數據形式的指令，其中所述指令係指明一或更多操作期間待執行之各處理步驟所用的參數。應當理解的是，所述參數可特定於待執行的步驟類型，以及控制器所配置以連接或控制的工具類型。因此，如上所述，控制器 566 可例如藉由包括一或更多離散控制器而進行分佈，其中所述離散控制器係彼此以網路連接且朝向共同的目的(例如本文所述的步驟與控制)而運作。為此目的所分佈的控制器之示例將係位於腔室上的一或更多積體電路，其與遠端設置(例如，位於平台層或作為遠端電腦的一部分)且結合以控制腔室上之處理的一或更多積體電路連通。

【0165】如上所述，取決於該設備待執行的一或更多處理操作，控制器 566 可連通至一或更多其他設備電路或模組、其他工具構件、群集式工具、其他工具介面、相鄰工具、鄰近工具、遍布於工廠的工具、主電腦、另一控制器，或材料輸送中所使用而將基板的容器帶進及帶出半導體製造工廠的工具位置及/或裝載埠口的工具。

【0166】同樣如上所述，控制器被配置以執行上述任何技術。舉例而言，參照圖 5 的設備 520 及圖 2 的技術，在一些實施例中控制器 566 被配置成使基板加熱單元 526 將定位在基板支撐特徵部 535 上的基板 534 處於(即，加熱至)第一溫度，並且驅使處理氣體單元 524 將第一處理氣體流動至基板 534。如上所述，在一些實施例中，第一處理氣體被配置以在基板被保持在第一溫度時，藉由化學吸附對基板 534 上的一或更多表面材料層進行改質，但不使用電漿。控制器 566 可被進一步配置成使處理氣體單元如本文所述地將第二處理氣體流動至基板 534 上，從而移除經改質材料層。一些實行例包括控制器 566，且該控制器 566 本文所述地驅使一或更多封裝材料層沉積至基板 534 上。

【0167】如上所述，在本文中執行的一些蝕刻可溫度控制處理室的特徵部，例如其側壁、頂部及/或底部，以及噴淋頭及氣體輸送系統。圖 6 繪示根據所揭示實施例的示例設備的橫截面側視圖。如下詳述，設備 600 能夠快速且精確地控制基板的溫度，包括執行熱蝕刻操作。設備 600 包括處理腔室 602、基座 604 及氣體分佈單元 610，該基座 604 具有基板加熱器(未顯示)，以及配置以支撐基板 618 的複數基板支撐件 608。

【0168】處理腔室 602 包括側壁 612A、頂部 612B 及底部 612C，其至少部分界定出腔室內部 614，而該腔室內部 614 可被視為氣室容積。如本文所述，

在一些實施例中可能會期望能主動控制腔室壁 612A、頂部 612B 及底部 612C 的溫度，以防止在它們的表面上出現非所欲的冷凝。一些新興半導體處理操作會使蒸汽(例如，水及/或醇類蒸汽)流動至基板上，這些蒸汽會吸附在基板上，但它們也可能會非期望地吸附在腔室內部表面上。這會在腔室內部表面上產生非所欲的沉積及蝕刻，這些沉積及蝕刻可能會損害腔室表面，並使微粒剝落至基板上而導致基板缺陷產生。為了減少及防止腔室內部表面上的非所欲冷凝，腔室壁、頂部及底部的溫度可被保持在處理操作中所使用的化學品不會冷凝的溫度。

【0169】 這種腔室表面的主動溫度控制可藉由使用加熱器來加熱腔室壁 612A、頂部 612B 及底部 612C 而實現。如圖 6 中所繪示，腔室加熱器 616A 被定位在腔室壁 612A 上，並且被配置以加熱腔室壁 612A；腔室加熱器 616B 被定位在頂部 612B 上，並且被配置以加熱頂部 612B；而腔室加熱器 616C 被定位在底部 612C 上，並且被配置以加熱底部 612C。腔室加熱器 616A-616C 可為電阻加熱器，其中電阻加熱器是配置以在電流流過電阻元件時產生熱。腔室加熱器 616A-616C 亦可為流體導管，其中熱傳輸流體(例如，加熱流體，其中該加熱流體可包括熱水)可流經所述流體導管。在某些情況下，腔室加熱器 616A-616C 可為加熱流體與電阻加熱器的組合。腔室加熱器 616A-616C 被配置以產生熱，使腔室壁 612A、頂部 612B 及底部 612C 各自的內部表面達到所欲溫度，其中所欲溫度的範圍可介於約 40°C 與約 150°C 之間，例如包括 80°C 與約 130°C 之間、約 90°C 或約 120°C。已發現在某些條件下，在溫度被保持在約 90°C 以上的表面上，水及醇類蒸汽不會冷凝。

【0170】 腔室壁 612A、頂部 612B 及底部 612C 亦可由各種材料所組成，其中所述材料能夠承受處理技術中所使用的化學品。這些腔室材料可包括例如

鋁、經陽極化鋁、具有聚合物(例如，塑膠)的鋁、具有氧化釷塗層的金屬或金屬合金、具有氧化鋯塗層的金屬或金屬合金，以及具有氧化鋁塗層的金屬或金屬合金；在某些情況下，所述塗層的材料可被混合，或是可為不同材料組合的層，例如氧化鋁及氧化釷的交替層，或氧化鋁及氧化鋯的交替層。在一些實施例中，腔室包括經陽極化鋁襯墊。這些材料係配置以承受處理技術中所使用的化學品，例如無水 HF、水蒸氣、甲醇、異丙醇、氯氣、氟氣、氮氣、氫氣、氬氣及其混合物。

【0171】設備 600 也可被配置成在真空或接近真空下執行處理操作，例如在約 0.1 Torr 至約 100 Torr、或約 20 Torr 至約 200 Torr，或是約 0.1 Torr 至約 10 Torr 的壓力下。這可包括真空幫浦 684，該真空幫浦 684 是配置以將腔室內部 614 抽至低壓，例如壓力約 0.1 Torr 至約 100 Torr 的真空，包括約 0.1 Torr 至約 10 Torr，以及約 20 Torr 至約 200 Torr，或約 0.1 Torr 至約 10 Torr。

【0172】現在將討論基座 604 的各種特徵。基座 604 包括基板加熱器 622 (由圖 6 中的虛線矩形所涵括)，該基板加熱器 622 具有複數 LED 624，該等 LED 624 被配置成發射波長介於 400 nm 與 800 nm 之間，包括 450 nm 的可見光。加熱器的 LED 將此可見光發射至基板背側，從而加熱基板。波長約為 400 nm 至 800 nm 的可見光能夠快速且有效地將矽晶圓從環境溫度(例如，約 20°C)加熱至約 600°C，因為矽會吸收該範圍內的光。反而，輻射(包括紅外輻射)加熱可能無法將矽有效地加熱至高達約 400°C 的溫度，因為矽在低於約 400°C 的溫度是傾向對紅外線具穿透性。傳統的「加熱板」加熱器依賴於基板與加熱平台(例如，具有加熱線圈的基座)之間的固體之間熱傳遞，加熱及冷卻速率相對較慢，且提供的加熱不均勻，其中加熱不均勻可能是由於基板翹曲，以及與加熱平台的接觸不一

致所引起。舉例而言，將傳統基座加熱至所欲溫度，以及從第一溫度到較高的第二溫度，以及將基座冷卻到較低溫度可能需要數分鐘。

【0173】 加熱器的複數 LED 得以各種方式進行配置、電性連接及電性控制。各 LED 可被配置以發射可見藍光及/或可見白光。在某些實施例中是使用白光(使用 EM 光譜的可見部分中的一系列波長所產生)。在一些半導體處理操作中，白光可減少或防止非所欲的薄膜干擾。舉例而言，一些基板具有背側膜，而這些背側膜對於不同光波長會反射不同量，而造成不均勻且可能效率低下的加熱。使用白光可藉由在白光所提供的寬廣可見光譜範圍內使薄膜干涉平均化，從而減少這種非所欲的反射差異。在一些情況下，取決於基板背面的材料，使用可見非白光(例如，波長 450 nm 的藍光)以例如提供單一或窄的波長帶可能會是有利的，對於比起白光會更佳吸收窄波長帶的一些基板而言，單一或窄的波長帶可對這些基板提供更有效率、更具作用且直接的加熱。

【0174】 可使用各種類型的 LED。示例包括板上晶片(chip on board，COB)LED 或表面安裝二極體(surface mounted diode，SMD)LED。對於 SMD LED 而言，LED 晶片可被熔合於印刷電路板(PCB)，而該 PCB 可具有複數電性接點而允許控制該晶片上的各個二極體。舉例而言，單一 SMD 晶片通常會被侷限於具有三個可單獨控制以產生不同的顏色的二極體(例如，紅色、藍色或綠色)。SMD LED 晶片的尺寸範圍很廣，例如為 2.8 x 2.5 mm、3.0 x 3.0 mm、3.5 x 2.8 mm、5.0 x 5.0 mm 及 5.6 x 3.0 mm。對於 COB LED 而言，各晶片可具有三個以上被印刷在同一 PCB 上的二極體，例如 9 個、12 個、數十個、數百個或更多。無論二極管的數量為何，COB LED 晶片通常具有一個電路及兩個接點，從而提供簡單

的設計及有效率的單一色彩應用。LED 加熱基板的能力及效能可藉由各 LED 所發出的熱的瓦特而測量；這些瓦特的熱對於基板的加熱可產生直接的貢獻。

【0175】圖 18 繪示基板加熱器的俯視圖，其中該基板加熱器具有複數 LED。該基板加熱器 622 包括印刷電路板(PCB)626 及複數 LED 624，其中一些 LED 有被標示；所描繪複數 LED 包括約 1300 個 LED。外部連接件 628 係藉由軌跡線進行連接，從而為該複數 LED 624 供電。如圖 18 所繪示，LED 可沿著從基板加熱器 622 的中心 630 徑向偏移不同半徑的數個弧進行配置；在各弧中，該等 LED 可彼此等距間隔開。舉例而言，其中一弧 632 被部分陰影點的形狀所包圍，且包括 16 個 LED 624，以及是圍繞著中心 630 延伸且半徑為 R 的圓的一部分。這 16 個 LED 624 可被視為沿著該弧 632 彼此等距間隔開。

【0176】在一些實施例中，該複數 LED 可包括至少約 1000 個 LED，包括例如約 1200、1500、2000、3000、4000、5000，或是多於 6000 個。在一些情況下，各 LED 可被配置成在 100%功率下使用 4 瓦以下，包括在 100%功率下使用 3 瓦，以及在 100%功率下使用 1 瓦。這些 LED 可被設置複數可獨立控制區域中，並與其等電性連接，以實現整個基板的溫度調整及微調。在一些情況下，這些 LED 可被分組為例如至少 20 個可獨立控制區域，例如包括至少約 25、50、75、80、85、90、95 或 100 個區域。這些區域可允許在徑向及方位角(即，角度)方向中進行溫度調整。這些區域可被配置成所定義的圖案，例如矩形網格、六邊形網格或產生所欲溫度曲線所用的其他合適圖案。這些區域還可具有不同的形狀，例如正方形、梯形、矩形、三角形、長圓形(obround)、橢圓形、圓形、環形(例如，環)、部分環形(即，環狀扇形)、弧形、弓形，以及一扇型，該扇型可置中在加熱器的中心，且半徑小於或等於基板加熱器的 PCB 的總半徑。這些區

域能夠調整整個晶圓的多個位置的溫度，以產生更均勻的溫度輪廓以及所需的溫度輪廓，例如基板邊緣周圍的溫度高於基板中心的溫度。這些區域的獨立控制還可包括各區域的功率輸出的控制能力。舉例而言，各區域可具有至少 15、20 或 25 個可調整的功率輸出。在一些情況下，各區域可以具有一個 LED，使各 LED 能夠被獨立控制及調整，這可在基板上產生更均勻的加熱輪廓。因此，在一些實施例中，基板加熱器中的該複數 LED 的各 LED 可以是可獨立控制的。

【0177】 在某些實施例中，基板加熱器 622 係配置以將基板加熱到複數溫度，並且將此等溫度各自維持不同的持續時間。這些持續時間可包括以下非限制性示例：至少約 1 秒、至少約 5 秒、至少約 10 秒、至少約 30 秒、至少約 60 秒、至少約 90 秒、至少約 120 秒，至少約 150 秒或至少約 180 秒。基板加熱器可被配置成將基板加熱至約 50°C 與 600°C 之間，例如包括約 50°C 與 150°C 之間，包括約 130°C，或介於約 150°C 與 350°C 之間。基板加熱器可被配置成將基板保持在這些範圍內的溫度各種持續時間，包括以下非限制性示例：例如至少約 1 秒、至少約 5 秒、至少約 10 秒、至少約 30 秒、至少約 60 秒、至少約 90 秒、至少約 120 秒、至少約 150 秒或至少約 180 秒。此外，在一些實施例中，基板加熱器 622 被配置成在例如小於約 60 秒、小於約 45 秒、小於約 30 秒或小於約 15 秒內將基板加熱至這些範圍內的任何溫度。在某些實施例中，基板加熱器 622 被配置成以一或更多加熱速率加熱基板，所述速率例如介於至少約 0.1°C/秒與至少約 20°C/秒之間。

【0178】 基板加熱器可藉由驅使 LED 以一或更多功率層級(包括至少約 80%、至少約 90%、至少約 95%或至少約 100%的層級)發射可見光，從而提高基板溫度。在一些實施例中，基板加熱器被配置成發出約 10 W 與 4000 W 之間的

功率，包括至少約 10 W、至少約 30W、至少約 0.3 千瓦(kW)、至少約 0.5 kW、至少約 2 kW、至少約 3 kW 或至少約 4 kW。該設備被配置以向基座提供約 0.1 kW 與 9 kW 之間的功率；電源係經由基座而連接至基板加熱器，但未繪示於圖中。在溫度斜升降期間，基板加熱器可在高功率下運行，以及可在較低功率層級下運行(例如，包括約 5 W 與約 0.5 kW 之間)，以維持經加熱基板的溫度。

【0179】 在一些實施例中，基板加熱器還可包括基座冷卻器，該基座冷卻器與該等 LED 熱性連接，使得由該複數 LED 所產生的熱可以從該等 LED 傳輸至該基座冷卻器。這種熱連接使得熱可以沿著這些構件之間的一或更多熱流動路徑而從該複數 LED 傳輸至基座冷卻器。在一些情況下，基座冷卻器係與基板加熱器的一或更多元件直接接觸；而在其他情況下，其他傳導元件(例如，導熱板(例如，其包含金屬))係插置在基板加熱器與基座冷卻器之間。參照回圖 6，基板加熱器包括與 PCB 626 的底部直接接觸的基座冷卻器 636。熱被配置成從該等 LED 流動至 PCB 626，以及流動至基座冷卻器 636。基座冷卻器 636 還包括複數流體導管 638，熱傳輸流體(例如，水)被配置成進行流動，從而接收熱並因此使基板加熱器 622 中的該等 LED 冷卻。流體導管 638 可與腔室外部的儲存槽及幫浦(未繪示)連接。在一些情況下，基座冷卻器可被配置成將經冷卻的水(例如，介於約 5°C 與 20°C 之間)進行流動。

【0180】 如本文所提供，主動加熱處理腔室 602 的外表面可能是有利的。在一些情況下，加熱基座 604 的外表面以防止在其外表面上非所欲的冷凝及沉積可能是類似有利的。如圖 6 中所繪示，基座 604 可更包括位於該基座 604 內部的基座加熱器 644，該基座加熱器 644 被配置以加熱基座 604 的外表面，包括其側部 642A 及底部 642B。基座加熱器 644 可包括一或更多加熱元件，例如一或

更多電阻加熱元件，以及加熱流體在內部流動的流體導管。在一些情況下，基座冷卻器及基座加熱器二者都可具有流體導管，且這些流體導管係彼此流體連接，使同一熱傳輸流體可在基座冷卻器及基座加熱器兩者中流動。在這些實施例中，流體可被加熱到介於 50°C 與 130°C 之間，包括約 90°C 及 120°C。

【0181】 基座還可以包括窗部，用以保護基板加熱器，包括該複數 LED，免於因暴露於處理操作期間所使用的處理化學品及壓力所造成的損害。如圖 6 中所繪示，窗部 650 可被定位在基板加熱器 622 上方，並且可被密封於基座 604 的側壁 649，從而在基座內產生與腔室內部流體隔絕的氣室容積。該氣室容積也可以被認為是碗部 646 的內側。窗部可由一或更多材料所組成，這些材料對於 LED 發出的可見光(包括波長在 400 nm 至 800 nm 範圍內的光)具有透光性。在一些實施例中，該材料可為石英、藍寶石、具有藍寶石塗層的石英，或是氟化鈣(CaF)。窗部內也可能不具任何孔洞或開口。在一些實施例中，加熱器可具有 15 至 30 mm(包括 20 mm 及 25 mm)的厚度。

【0182】 如圖 6 所顯示，基座 604 的基板支撐件 608 係配置以將基板 618 支撐於上方，且該基板支撐件 608 係偏離於該窗部 650 及基板加熱器 622。在某些實施例中，可藉由將腔室內的基板熱浮動或熱隔離，從而迅速且精確地控制基板的溫度。基板的加熱及冷卻係針對基板的熱質量，以及與該基板接觸的其他物件的熱質量。舉例而言，若基板與大型物體熱接觸(例如，如同許多習知蝕刻設備，基板的整個背側係坐落在基座或靜電卡盤的大表面上)，則該物體係充當基板的散熱器，而該散熱器會影響基板溫度的準確控制能力，並且降低基板加熱及冷卻的敏銳度。因此，會希望將基板進行定位，以對最小的熱質量進行加熱及冷

卻。該熱浮動被配置以定位基板，使其與腔室中的其他物體具有最小的熱接觸(包括直接接觸及輻射)。

【0183】 因此，在一些實施例中，基座 604 係配置以藉由將腔室內部 614 內的基板熱浮動或熱隔離，從而支撐該基板 618。該基座 604 的複數基板支撐件 608 被配置以支撐基板 618，使得該基板 618 的熱質量盡可能地被減少到僅剩基板 618 的熱質量。各基板支撐件 608 可具有基板支撐表面 620，該基板支撐表面 620 提供與基板 618 的最小接觸。基板支撐件 608 的數量範圍可從至少 3 個至例如至少 6 個以上。這些支撐表面 620 的表面積亦可為在處理操作期間充分支撐基板所需(例如，為了支撐基板的重量且防止該基板的非彈性變形)的最小面積。在一些實施例中，一個支撐表面 620 的表面積例如可小於約 0.1%、小於約 0.075%、小於約 0.05%、小於約 0.025%或小於約 0.01%。

【0184】 基板支撐件還配置以防止基板與基座的其他元件接觸，包括位於基板下方的基座的表面及特徵部。基板 618 也偏離基板加熱器 622(如在一些情況下係從基板加熱器 622 的頂表面所測量的，而該頂表面可為 LED 624 的頂表面)一距離，該距離可影響基板 618 加熱的許多層面。

【0185】 如上所述，基板支撐件 608 係配置以將基板 618 支撐在窗部上方。在一些實施例中，這些基板支撐件是靜止的且被固定在原位；這些基板支撐件可能不是升降銷或支撐環。在一些實施例中，各基板支撐件 608 的至少一部分(其包括支撐表面 620)可由至少使 LED 624 發射的光能透過的材料所構成。在某些情況下，此材料可能是石英或藍寶石。這些基板支撐件 608 的透光度可以使基板加熱器 622 的 LED 發出的可見光能夠穿過基板支撐件 608 並到達基板 618，使得基板支撐件 608 不會阻擋該光，並且基板 618 可以在其被支撐的區域中被加

熱。與包含可見光無法透過的材料の基板支撐件相比，上述配置可對基板 618 提供更均勻の加熱。在一些其他實施例中，基板支撐件 608 可由不透明材料(例如，二氧化鋯， ZrO_2)所構成。

【0186】 返回參照圖 6，在一些實施例中，基座還被配置成垂直移動。這可包括移動基座，使得介於氣體分佈單元 610 の面板 676 與基板 618 之間の隙 686 能夠介於 2 mm 與 70 mm 之間の範圍內。如下方更詳細地提供，將基座垂直移動可因為在氣體分佈單元 610 與基板 618 之間產生の體積小，從而實現基板の主動冷卻，以及處理操作(包括氣體流動及吹淨)的快速循環時間。這種移動還能夠在基板與氣體分佈單元之間產生小の處理體積，這可造成較小の吹淨及處理體積，並因此減少吹淨及氣體移動時間且增加產量。

【0187】 氣體分佈單元 610 被配置以使處理氣體流動至腔室內部 614 中の基板 618 上，該處理氣體可包括液體及/或氣體，例如反應物、改質分子、轉化分子或移除分子。如圖 6 中所見，氣體分佈單元 610 包括一或更多流體入口 670，所述流體入口 670 係流體連接於一或更多氣體源 672 及/或一或更多蒸汽源 674。在一些實施例中，可將氣體管線及混合腔室進行加熱，以防止在其中流動の蒸汽及氣體の非所欲冷凝。這些管線可被加熱到至少約 40°C、至少約 80°C、至少約 90°C、至少約 120°C、至少約 130°C 或至少約 150°C。該一或更多蒸汽源可包括一或更多氣體源及/或經汽化液體源。該汽化可為直接注入式汽化器、流經式汽化器或兩者。氣體分佈單元 610 還包括面板 676，該面板 676 包括複數貫穿孔 678，該等貫穿孔 678 將氣體分佈單元 610 與腔室內部 614 流體連接。這些貫穿孔 678 與一或更多流體入口 670 流體連接，並且還延伸穿過面板 676 の前表面

677，其中該前表面 677 係配置成面向基板 618。在一些實施例中，氣體分佈單元 610 可被視為頂板；而在一些其他實施例中，其可被視為噴淋頭。

【0188】貫穿孔 678 得以各種方式進行配置，從而將均勻的氣流輸送至基板上。在一些實施例中，這些貫穿孔都可具有相同的外徑，例如介於約 0.03 英寸與 0.05 英寸之間，包括約 0.04 英寸(1.016 mm)。這些面板貫穿孔也可被配置在面板各處，從而產生從該面板流出的均勻流。

【0189】返回參照圖 6，氣體分佈單元 610 還可包括與面板 676 熱連接的單元加熱器 680，使得熱量可在該面板 676 與該單元加熱器 680 之間傳遞。單元加熱器 680 可包括流體導管，而熱傳輸流體可在該流體導管中流動。類似上述，熱傳輸流體可被加熱至例如約 20°C 與 120°C 的溫度範圍。在一些情況下，單元加熱器 680 可用於加熱氣體分佈單元 610，從而防止蒸汽及氣體的非所欲冷凝；在一些這樣的情況下，此溫度可至少約為 90°C 或 120°C。

【0190】在一些實施例中，氣體分佈單元 610 可包括第二單元加熱器 682，而該第二單元加熱器 682 係配置以加熱面板 676。第二單元加熱器 682 可包括一或更多電阻加熱元件、用於流動加熱流體的流體導管，或是兩者皆俱。在氣體分佈單元 610 中使用兩種加熱器 680 及 682 可實現氣體分佈單元 610 內的各種熱傳輸。這可包括使用第一單元加熱器 680 及/或第二單元加熱器 682 加熱面板 676 以提供上述的經溫度控制腔室，以減少或防止在氣體分佈單元 610 的元件上的非所欲冷凝。

【0191】設備 600 也可被配置以冷卻基板。此冷卻可包括使冷卻氣體流動至基板上；將基板移動以靠近面板，從而允許該基板與該面板之間的熱傳輸，或是兩者。主動冷卻基板能夠實現更精確的溫度控制及更快的溫度轉換，從而減少

處理時間並提高產量。在一些實施例中，第一單元加熱器 680(其使熱傳輸流體流動通過流體導管)可藉由將從基板 618 傳輸的熱再從面板 676 傳輸出去，從而冷卻基板 618。因此，可藉由將基板 618 定位在靠近面板 676 例如小於或等於 5 mm 或 2 mm 的間隙 686，以冷卻基板 618，使得基板 618 中的熱被輻射傳輸至面板 676，並且透過第一單元加熱器 680 中的熱傳輸流體而傳輸離開面板 676，從而進行基板 618 的冷卻。因此，面板 676 可被視為基板 618 的散熱器，從而冷卻該基板 618。

【0192】 在一些實施例中，設備 600 可更包括冷卻流體源 673 及冷卻器(未繪示)，該冷卻流體源 673 可包含冷卻流體(氣體或液體)，而該冷卻器係配置以將冷卻流體冷卻至所欲溫度，例如小於或等於至少約 90°C、至少約 70°C、至少約 50°C、至少約 20°C、至少約 10°C、至少約 0°C、至少約 -50°C、至少約 -100°C、至少約 -150°C、至少約 -190°C、至少約 -200°C 或至少約 -250°C。設備 600 包括管道及氣體分佈單元 610，該管道係用以將冷卻流體輸送至該一或更多流體入口 670，而該氣體分佈單元 610 係配置以將冷卻流體流動至基板上。在一些實施例中，流體在流動至處理腔室 602 時可處於液態，而在到達腔室內部 614 時可轉變為蒸汽態，例如若腔室內部 614 處於低壓狀態，例如上述的介於約 0.1 Torr 與 10 Torr 之間，或介於約 0.1 Torr 與 100 Torr 之間，或介於約 20 Torr 與 200 Torr 之間。冷卻流體可為惰性元素，例如氦、氬或氖。在一些情況下，冷卻流體可包括或可僅具有非惰性元素或混合物，例如氫氣。在一些實施例中，冷卻流體進入腔室內部 614 的流率可為至少約 0.25 升/分鐘、至少約 0.5 升/分鐘、至少約 1 升/分鐘、至少約 5 升/分鐘、至少約 10 升/分鐘、至少約 50 升/分鐘或至少約 100 升/分鐘。在某些實施例中，該設備可被配置成以一或更多冷卻速率對基板進行冷

卻，所述冷卻速率係例如至少約 5°C/秒、至少約 10°C/秒、至少約 15°C/秒、至少約 20°C/秒、至少約 30°C/秒或至少約 40°C/秒。

【0193】 在一些實施例中，設備 600 可藉由將基板移動靠近面板且將冷卻氣體流動到該基板上，從而主動冷卻該基板。在某些情況下，藉由在基板緊鄰面板時流動冷卻氣體可使該主動冷卻更有效率。冷卻氣體的有效性也可能取決於所使用氣體的類型。

【0194】 因此，本文提供的設備可快速加熱及冷卻基板。圖 19 提供示例性溫度控制序列。在時間 0 時，基板約為 20 或 25°C，本文所提供的基板加熱器的 LED 發出波長在 400 nm 與 800 nm 之間的可見光，使基板溫度在大約 30 秒內升高至約 400°C。此加熱是使用介於 1 kW 與 2 kW 之間的加熱功率所完成，其中該加熱功率係藉由對基板加熱器供應約 9 kW 的功率而提供。從大約 30 秒到大約 95 秒，基板加熱器 622 使用較少的功率將基板保持在 400°C，其中該較少的功率例如係由大約 2 kW 的供應功率所提供的 0.3 到大約 0.5kW 的加熱功率。在大約 30 到 60 秒期間係使用被流動至基板上的冷卻氣體(例如，氫或氦)及對於面板的熱傳輸二者，從而將基板主動冷卻。在冷卻後，基板加熱器使用由約 100 W 的供應功率所提供的介於約 10 W 與 30 W 之間的加熱功率對基板進行加熱，將基板溫度保持在大約 70°C。各種處理技術可一次性或重複地使用此類型的序列以處理基板。

【0195】 在一些實施例中，設備 600 可包括混合氣室，該混合氣室係用於在處理氣體到達流體入口 670 之前將其進行混合及/或調節，以進行輸送。一或更多混合氣室入口閥可控制處理氣體往該混合氣室的引進。在一些其他實施例中，氣體分佈單元 610 可包括位於該氣體分佈單元 610 內的一或更多混合氣室。

氣體分佈單元 610 還可以包括與貫穿孔 678 流體連接的一或更多環形流動路徑，其中該一或更多環形流動路徑可將所接收到的流體平均分配至貫穿孔 678，從而將均勻流動提供至基板上。

【0196】設備 600 包括控制器 631，其可以與控制器 631 相同，並且可包括一或更多實體或邏輯控制器，其與處理腔室通信連接並控制該處理腔室的其中一些或所有操作，且能夠執行本文中所述的任何處理。控制器 631 可包括一或更多記憶體裝置 633 及一或更多處理器 635。

【0197】晶圓的傳輸係利用圖 8 作進一步解釋，其中圖 8 繪示根據所揭示實施例的第一示例處理設備。工具 800 的額外特徵將更詳細地討論於下，且各種特徵係參照所述技術的其中一些進行討論。工具 800 包括第一處理腔室 802、第二處理腔室 804 及第三處理腔室 806。在一些實行例中，第一處理腔室 802 係配置以在晶圓上執行蝕刻操作，例如 RIE 或其它離子輔助蝕刻，而第二處理腔室 804 係配置以執行熱蝕刻，包括熱 ALE。第二處理腔室 804 還包括複數處理站：四個站 880A-D，其中各處理站可處理晶圓。第一處理腔室 802 及第二處理腔室 804 可被視為蝕刻腔室。第三處理腔室 806 被配置以在晶圓上進行沉積，並且可被視為沉積腔室。第三處理腔室 806 還包括複數處理站：四個站 882A-D，各自可處理晶圓。第二處理腔室 804 及第三處理腔室 806 可被視為多站處理腔室。

【0198】工具 800 還包括晶圓傳輸單元，該晶圓傳輸單元係配置以將一或更多晶圓在工具 800 內傳輸。舉例而言，當晶圓在第一處理腔室 802 中進行蝕刻過後，晶圓傳輸單元能夠將該晶圓從第一處理腔室 802 傳輸至第二處理腔室 804，而在該第二處理腔室 804 處可對於在一或更多晶圓執行本文所述的熱蝕刻。在進行第二處理腔室 804 中的此熱蝕刻過後，晶圓傳輸單元可將一或更多晶圓從

第二處理腔室 804 傳輸至第三處理腔室 806，而在該第三處理腔室 806 處可將一或更多封裝材料層沉積在一或更多晶圓上。

【0199】 在圖 8 中，晶圓傳輸單元包括第一晶圓傳輸模組 810 中的第一機械臂單元 808，以及第二晶圓傳輸模組 814 中的第二機械臂單元 812。第一機械臂單元 808 係配置以將晶圓在第一處理腔室 802 與第二機械臂單元 812 之間傳輸，第二機械臂單元 812 係配置以將晶圓在第一機械臂單元 808、第二處理腔室 804 與第三處理腔室 806 之間傳輸。在一個實行例中，機器人臂單元 808 及 812 各自可具有一個臂，而在另一實行例中，其各自可具有兩個臂，其中各臂具有拾取基板以進行輸送的端效器。位於大氣傳輸模組(ATM)822(例如，設備前端模組，EFEM)中的前端機器人 820 可用以將基板從晶舟或前開式晶圓傳送盒(FOUP)824 傳輸至氣室 818。

【0200】 第一晶圓傳輸模組及第二晶圓傳輸模組可各自為真空傳輸模組(VTM)。氣室 818(也稱為負載鎖室或傳輸模組)係如圖所示，且可被單獨優化以執行各種製造處理。工具 800 還包括壓力單元 816，該壓力單元 816 係配置以將工具 800 的壓力降低至真空或低壓(例如，介於約 1 mTorr 與約 10 Torr 之間)，並且將工具 800 保持在該壓力。這包括將第一、第二及第三處理腔室 802-1006、第一晶圓傳輸模組 810 及第二機械臂單元 812 保持在真空或低壓。

【0201】 當晶圓在工具各處傳輸時，它能夠處在被保持於真空或低壓的環境中。舉例而言，當晶圓從第一處理腔室 802 傳輸進入第一晶圓傳輸模組 810、到達第二晶圓傳輸模組 814、到達第二處理腔室 804 時，該晶圓暴露於且被保持在真空或低壓，因此不會暴露於大氣壓力。類似地，當晶圓從第二處理腔室 804

傳輸到第二晶圓傳輸模組 814 及到達第三處理模組 806 時，該晶圓暴露於且被保持在真空或低壓，且不會暴露於大氣壓力。

【0202】在進一步示例中，基板被放置在這些 FOUP 824 的其中一者中，前端機器人 820 將該基板從該 FOUP 824 傳輸至對準器，這允許該基板在被蝕刻或沉積之前適當地置中或以其他方式進行處理。在對準之後，基板被前端機器人 820 移動到氣室 818 中。由於氣室模組具有匹配 ATM 與 VTM 之間的環境的能力，因此基板能夠在這兩種壓力環境之間移動而不會受損。基板被第一機械臂單元 808 從氣室 818 移動通過第一晶圓傳輸模組 810 或 VTM 810，並進入第一處理腔室 802。為了實現這種基板移動，第一機器人臂單元 808 使用其各臂上的端效器。

【0203】在使用圖 8 的工具 800 的一些實行例中，蝕刻操作可在多於一個處理腔室中進行。舉例而言，可在處理腔室 802 中進行例如 RIE 或其他離子輔助蝕刻的蝕刻操作，而熱蝕刻(例如，熱 ALE)可在不同的處理腔室(例如，第二處理腔室 804)中進行。使用兩個不同的蝕刻處理腔室可在晶圓上使用不同的蝕刻技術。舉例而言，可在第一處理腔室 802 中進行熱原子層蝕刻，並且可在第二處理腔室 804 中進行熱蝕刻清潔操作。

【0204】在一些實施例中，並非使用 RIE 蝕刻或其他離子輔助蝕刻以從基板表面移除材料，而是可使用熱蝕刻以蝕刻材料。材料的熱蝕刻技術可與上方提供的技術相同，但清潔操作可能是不必要的，原因在於並未執行 RIE 或離子輔助蝕刻。在熱蝕刻之後，可將晶圓轉移至沉積腔室以將封裝材料沉積在晶圓上。

【0205】本文提供的一些熱蝕刻可以包括蝕刻複數層，例如同時蝕刻複數材料層。這可包括位於材料堆疊內的複數層。舉例而言，晶圓可具有複數溝槽、

孔洞或通孔，其各自具有側壁，且側壁具有複數材料層及不同幾何。為了形成各種裝置，可將材料沉積到這些溝槽、孔洞或通孔中，並且可利用本文所述的熱蝕刻的等向性本質以在各種結構內蝕刻材料。

【0206】各種設備可用以執行熱蝕刻。舉例而言，在圖 8 的工具 800 中，第二處理腔室 804 可用於此種熱蝕刻，而第三處理腔室 806 可用於沉積封裝材料。在另一示例中，可使用具有兩個處理腔室的設備。圖 9 繪示根據所揭示實施例的第二示例處理設備。工具 900 包括第一處理腔室 902 及第二處理腔室 904。工具 900 不包括圖 8 的工具 800。第一處理腔室 902 包括複數處理站：四個站 980A-D，各自可處理晶圓。第一處理腔室 902 係配置以在晶圓上執行熱蝕刻操作，包括材料的熱蝕刻，例如熱 ALE。第二處理腔室 904 係配置以在晶圓上進行沉積，並且可被視為沉積腔室。第二處理腔室 904 包括複數處理站：四個站 982A-D，各自可處理晶圓。第一處理腔室 902 及第二處理腔室 904 可被視為多站處理腔室。在一些實施例中，處理腔室 902 及 904 可與圖 8 中的處理腔室 804 及 806 相同。

【0207】工具 900 還包括晶圓傳輸單元，該晶圓傳輸單元係配置以將一或更多晶圓在工具 900 內傳輸。工具 900 的額外特徵將更詳細地討論於下，且各種特徵係參照所述技術的其中一些進行討論。在所繪示的圖中，晶圓傳輸單元包括第一晶圓傳輸模組 910 中的第一機械臂單元 908，以及第二晶圓傳輸模組 914 中的第二機械臂單元 912，其可被視為設備前端模組(EFEM)，配置成晶圓的接收容器，例如前開式晶圓傳送盒(FOUP)916。第一機械臂單元 908 係配置以將晶圓在第一處理腔室 902 與第二處理腔室 904 之間，以及第二機械臂單元 912 之間傳輸。第二機械臂單元 912 係配置以將晶圓在 FOUP 與第一機械臂單元 908 之

間傳輸。在第一處理腔室 902 中使用熱蝕刻(例如，熱 ALE)蝕刻晶圓之後，晶圓傳送單元能夠將晶圓從第一處理腔室 902 傳輸到第二處理腔室 904，在該第二處理腔室 904 處可將一或更多封裝材料層沉積在一或更多晶圓上。

【0208】 類似上述，第一晶圓傳輸模組 910 可為真空傳輸模組(VTM)。氣室 920(也稱為負載鎖室或傳輸模組)係如圖所示，且可被單獨優化以執行各種製造處理。工具 900 還包括 FOUP 916，該 FOUP 916 係配置以將工具 900 的壓力降低至真空或低壓(例如，介於約 1 mTorr 與約 10 Torr 之間)，並且將工具 900 保持在該壓力。這包括將第一處理腔室 902 及第二處理腔室 904，以及第一晶圓傳輸模組 910 保持在真空或低壓。第二晶圓傳輸模組 914 可處於不同的壓力，例如大氣壓。當晶圓在工具 900 各處傳輸時，它因此被保持於真空或低壓。舉例而言，當晶圓從第一處理腔室 902 傳輸進入第一晶圓傳輸模組 910 且到達第二處理腔室 904 時，該晶圓暴露於且被保持在真空或低壓，且不會暴露於大氣壓力。在進一步示例中，基板被放置在這些 FOUP 918 的其中一者中，第二機械臂單元 912 或前端機器人將該基板從該 FOUP 918 傳輸至對準器，這允許該基板在其上方被蝕刻或沉積之前適當地置中或以其他方式進行處理。在對準之後，基板被前端機器人 912 移動到氣室 920 中。由於氣室模組具有匹配 ATM 與 VTM 之間的環境的能力，因此基板能夠在這兩種壓力環境之間移動而不會受損。基板被第一機械臂單元 908 從氣室 920 移動通過第一晶圓傳輸模組 910 或 VTM 910，並進入第一處理腔室 902。為了實現這種基板移動，第一機器人臂單元 908 使用其各臂上的端效器。

實驗

實驗 1

【0209】 本實驗係在 60 mTorr 下，使用 250°C 的基板溫度進行 20 個原子層蝕刻暴露循環。將包含氧化鉛、氧化鋁及氧化銦鎵鋅(IGZO)的毯覆式晶圓暴露於含氟化氫的三氯化硼，以及不含氟化氫的三氯化硼。將包含氧化鉛、氧化鋁及氧化銦鎵鋅的毯覆式晶圓暴露於二甲基氯化鋁(DMAC)。對於氧化鉛及 IGZO，使用三氯化硼的蝕刻速率/循環大於 DMAC 的蝕刻速率/循環；而對於氧化鋁，使用三氯化硼的蝕刻速率/循環小於 DMAC 的蝕刻速率/循環。單獨使用三氯化硼不會導致氧化鋁及氧化鉛的大量蝕刻。，單獨使用三氯化硼會導致 IGZO 的較小程度蝕刻，其中蝕刻速率與使用 HF/BCL₃ 相比大約小一個數量級。

實驗 2

【0210】 本實驗係在 275°C 及 110 mTorr 的條件下進行 5、10、20 及 40 次原子層蝕刻暴露循環。在循環式 ALE 中將包括氧化鉛、氧化鋁、矽、二氧化矽、氮化矽、氮化鈦及鎢的毯覆式晶圓暴露於氟化氫及二甲基氯化鋁(DMAC)。在 5、10、20 及 40 個循環後測量蝕刻量，並繪製在圖 11A 中。在循環式 ALE 中將包括氧化鉛、氧化鋁、矽、二氧化矽、氮化矽、氮化鈦及鎢的毯覆式晶圓暴露於三氯化硼。在 5、10、20 及 40 個循環後測量蝕刻量，並繪製在圖 11B 中。

【0211】 使用三氯化硼在 5、10、20 及 40 個 ALE 循環時對氧化鋁達成較多蝕刻。使用三氯化硼對氧化鉛達成相對類似的蝕刻，但此等結果也表明在蝕刻期間使用三氯化硼的可行性。如圖所示，使用三氯化硼蝕刻對其他幾種材料也有效。

【0212】 表 1 總結使用 DMAC 對上 BCl₃ 的 ALE 蝕刻量。表 2 總結使用 DMAC 對上 BCl₃ 的 ALE 的蝕刻/循環，以及相對於氧化鉛的選擇性。

[表 1]：DMAC 及 BCl₃ ALE 的每 5、10、20 及 40 個循環的蝕刻量。

蝕刻劑	循環	蝕刻量 (Å)						
		HfO ₂	Al ₂ O ₃	Si	SiO ₂	SiN	TiN	W
DMAC	5*	4.2	44.7	-0.1	3	0.6	6.8	6.2
	10	11	68.3	0	3.6	0.8	7.3	7
	20	25.5	88.9	0.1	4.1	1.1	5.8	7.1
	40	56.2	93.3	0.3	4.3	1.5	3.3	6.7
BCl ₃	5*	3.4	28.3	0	1.5	0.4	11.7	22.9
	10	10.2	39.3	0	1.4	0.5	12.8	25
	20	26.6	55.1	0	1.4	0.7	13.9	27.2
	40	63.7	72.6	0.2	1.4	0.8	15.1	29.8

*表示初始損失(initial loss)

[表 2]：在 ALE 中對於 DMAC 及 BCl₃ 的蝕刻/循環及選擇性。

性質	蝕刻劑	HfO ₂	Al ₂ O ₃	Si	SiO ₂	SiN	TiN	W
蝕刻/循環 (Å)	DMAC	1.5	0.7	0	0	0	0	0
	BCl ₃	1.8	1.1	0	0	0	0.1	0.2
相 對 於 HfO ₂ 的選 擇性	DMAC	x	2	>200	78	65	>100	>100
	BCl ₃	x	1.7	>200	>100	>100	24	11

結論

【0213】 在本申請案中，術語「半導體晶圓」、「晶圓」、「基板」、「晶圓基板」及「部分製造積體電路」可互換使用。本發明所屬技術領域中具有通常知識者將能理解的是，術語「部分製造積體電路」可指的是在上方進行積體電路製造的許多階段的任何者期間的矽晶圓。在半導體裝置工業中使用的晶圓或基板通常具有 200 mm、300 mm 或 450 mm 的直徑。實施方式係假設所揭示實施例

在晶圓上實施。然而，某些所揭示的實施例不限於此。工件可為各種形狀、尺寸及材料。除了半導體晶圓之外，可利用所揭露實施例的其他工件包括各種製品，例如印刷電路板、磁性記錄媒體、磁性記錄感測器、鏡體、光學元件、微機械裝置等。某些所揭示實施例也可能與從廢品混合物中回收某些材料有關。舉例而言，在一些實施例中，某些所揭示實施例可用於移除某些貴金屬而不實質移除其他材料。

【0214】 雖然前述實施例已為了清楚理解的目的而描述些許細節，但將顯而易知的是，可在隨附申請專利範圍的範疇內進行某些變更及修改。應注意的是，存在著許多實行所呈現實施例之處理、系統及設備的替代方法。因此，所呈現實施例係被視為說明性而非限制性的，且實施例並不受限於本文所給定的細節。

【符號說明】

【0215】

100a～100e:圖

102a～102e:圖

104:含氧材料

106:含氧材料表面層

108:改質分子

110:經改質表面層

112:經改質分子

114:移除分子

116:化合物

201~211:操作

400:處理站

401:反應物輸送系統

402:處理腔室本體

403:汽化點

404:混合容器

405:噴淋頭輸入口閥

406:噴淋頭

407:微容積

408:基座

410:加熱器

412:基板

414:RF 電源

416:匹配網路

418:蝶形閥

420:混合容器輸入口閥

520:設備

522:腔室

524:處理氣體單元

526:基板加熱單元

526A:LED

528:基板冷卻單元

530:腔室壁

532:腔室內部

533:真空幫浦

534:基板

535:基板支撐特徵部

536:第一處理氣體源

538:第一處理液體源

540:承載氣體源

542:流動特徵部

548:冷卻流體源

550:冷卻器

566:控制器

568:記憶體裝置

570:處理器

600:設備

602:處理腔室

604:基座

608:基板支撐件

610:氣體分佈單元

612A:側壁

612B:頂部

612C:底部

614:腔室內部

616A:腔室加熱器

616B:腔室加熱器

616C:腔室加熱器

618:基板

620:基板支撐表面

622:基板加熱器

624:LED

626:印刷電路板(PCB)

628:外部連接件

630:中心

631:控制器

632:弧

633:記憶體裝置

635:處理器

636:基座冷卻器

638:流體導管

642A:側部

642B:底部

644:基座加熱器

646:碗部

649:側壁

650:窗部

670:流體入口

672:氣體源

673:冷卻流體源

674:蒸汽源

676:面板

677:前表面

678:貫穿孔

680:單元加熱器

682:第二單元加熱器

684:真空幫浦

686:間隙

800:工具

802:第一處理腔室

804:第二處理腔室

806:第三處理腔室

808:第一機械臂單元

810:第一晶圓傳輸模組

812:第二機械臂單元

814:第二晶圓傳輸模組

816:壓力單元

818:氣室

820:前端機器人

822:大氣傳輸模組(ATM)

824:前開式晶圓傳送盒(FOUP)

829:控制器

880A～880D:處理站

882A～882D:處理站

890:RF 子系統

900:工具

902:第一處理腔室

904:第二處理腔室

908:第一機械臂單元

910:第一晶圓傳輸模組

912:第二機械臂單元

914:第二晶圓傳輸模組

916:壓力單元

918:FOUP

920:氣室

929:控制器

980A～980D:處理站

982A～982D:處理站

990:RF 子系統

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種晶圓處理方法，包括：

提供晶圓至處理腔室，該晶圓具有含氧材料；

暴露該含氧材料至含鹵素氣體，以在該晶圓的表面上形成經改質含氧層；以及

暴露該經改質含氧層至三氯化硼，以將該經改質層從該晶圓的該表面移除。

【請求項2】 一種晶圓處理方法，包括：

提供晶圓至處理腔室，該晶圓具有含氧材料；

暴露該含氧材料至含鹵素氣體，以在該晶圓的表面上形成經改質含氧層；以及

暴露該經改質層至含硼及氯的氣體，以將該經改質含氧層從該晶圓的該表面移除。

【請求項3】 如請求項 1 或 2 之晶圓處理方法，其中暴露該經改質含氧層係在無電漿環境中執行。

【請求項4】 如請求項 1 或 2 之晶圓處理方法，其中暴露該經改質含氧層係形成揮發性氧氯化物。

【請求項5】 如請求項 1 或 2 之晶圓處理方法，其中暴露該經改質含氧層係造成配位基交換。

【請求項6】 如請求項 1 或 2 之晶圓處理方法，其中暴露該含氧材料至該含鹵素氣體，以及暴露該經改質含氧層係透過原子層蝕刻以交替脈衝方式進行。

【請求項7】 如上述請求項之任何者的方法，其中該經改質含氧層包括氧化硼。

【請求項8】如上述請求項之任何者的方法，其中該含氧材料為金屬氧化物。

【請求項9】如請求項8之晶圓處理方法，其中該金屬氧化物包括從鋁、矽、鍺、銻、銮、鎢、錒、鋅、鉬、鈦、碲及其組合所構成的群組中選擇的金屬。

【請求項10】 如上述請求項之任何者的方法，其中該含氧材料係選擇自氧化鋁及氧化銦鎵鋅所構成的群組。

【請求項11】 如上述請求項之任何者的方法，其中該含氧材料係選擇自氧化鋅、氧化鉛及氧化鉛鋅所構成的群組。

【請求項12】 如上述請求項之任何者的方法，其中該含氧材料係藉由將碳化物或氮化物氧化而形成的該碳化物或該氮化物。

【請求項13】 如上述請求項之任何者的方法，其中該含氧材料係經摻雜的。

【請求項14】如請求項1或2之晶圓處理方法，其中暴露待蝕刻的該含氧材料至該含鹵素氣體係包括點燃該含鹵素氣體以形成含鹵素電漿。

【請求項15】 如請求項 14 之晶圓處理方法，其中該含氧材料包括金屬。

【請求項 16】一種晶圓處理方法，包括：

提供晶圓至處理腔室，該晶圓具有待蝕刻材料；

暴露該待蝕刻材料至含鹵素氣體，以在該晶圓的表面上形成經改質層；以及

在無電漿環境中，暴露該經改質層至含硼及氯的氣體，以將該經改質層從該晶圓的該表面移除。

【請求項 17】如請求項 16 之晶圓處理方法，其中該待蝕刻材料係選擇自氧化物、碳化物、氮化物、經摻雜氧化物、經摻雜碳化物、經摻雜氮化物及其組合所構成的群組。

【請求項 18】如請求項 16 之晶圓處理方法，其中該含硼及氯的氣體為三氯化硼。

【請求項 19】如請求項 16 之晶圓處理方法，其中該待蝕刻材料包括氧。

【請求項 20】如請求項 16 之晶圓處理方法，其中該待蝕刻材料為介電質。

【請求項 21】如請求項 16 之晶圓處理方法，其中暴露該待蝕刻材料至含鹵素氣體係包括點燃該含鹵素氣體以形成含鹵素電漿。

【請求項 22】如請求項 21 之晶圓處理方法，其中該待蝕刻材料包括金屬。

【請求項 23】如請求項 21 之晶圓處理方法，其中該待蝕刻材料在被暴露至該含鹵素電漿之前先被氧化。

【請求項 24】如請求項 14 或 21 之晶圓處理方法，其中該含鹵素電漿係在遠端產生。

【請求項 25】如請求項 14 或 21 之晶圓處理方法，其中該含鹵素電漿係在原位產生。

【請求項 26】如請求項 14 或 21 之晶圓處理方法，其中該含鹵素氣體包括氟。

【請求項 27】如請求項 21 或 26 之晶圓處理方法，其中該含鹵素氣體包括三氟化氮。

【請求項 28】一種晶圓處理方法，包括：

提供晶圓至處理腔室，該晶圓具有金屬氧化物；

暴露該金屬氧化物至氟化氫或三氟化氮，以在該晶圓的表面上形成經改質金屬氧化物層；以及

在無電漿環境中，暴露該經改質層至三氯化硼，以將該經改質金屬氧化物層從該晶圓的該表面移除。

【請求項 29】如請求項 28 之晶圓處理方法，其中該金屬氧化物係選擇自氧化鋁、氧化鈺及氧化銦鎵鋅所構成的群組。

【請求項 30】如請求項 28 之晶圓處理方法，其中暴露該金屬氧化物至該氟化氫或該三氟化氮係包括點燃該氟化氫或該三氟化氮以形成含氟電漿。

【請求項 31】如請求項 30 之晶圓處理方法，其中該含氟電漿係在遠端產生。

【請求項 32】如請求項 30 之晶圓處理方法，其中該含氟電漿係在原位產生。

【請求項 33】如上述請求項之任何者的方法，其中形成該經改質層及移除該經改質金屬氧化物層係在不破真空的情況下進行。

【請求項 34】如上述請求項之任何者的方法，其中形成該經改質金屬氧化物層及移除該經改質金屬氧化物層係在大於約 170°C 的溫度進行。

【請求項 35】一種晶圓處理方法，包括：

提供晶圓至處理腔室，該晶圓具有一不含錫材料；

暴露待蝕刻的該不含錫材料至含氟氣體，以在該晶圓的表面上形成經改質的不含錫層；以及

在無電漿環境中，暴露該經改質的不含錫層至無自燃性含氯氣體，以將該經改質的不含錫層從該晶圓的該表面移除。

【請求項 36】一種半導體處理設備，包括：

第一處理腔室，包括第一內部及第一處理站，該第一處理站具有第一晶圓支撐件及第一晶圓加熱單元，該第一晶圓支撐件係配置以支撐該第一內部中的晶圓，該第一晶圓加熱單元係配置以對該第一晶圓支撐件所支撐的該晶圓進行加熱；

處理氣體單元，配置以：

將包括氟的第一化學物種流動至位於該第一處理腔室中的該第一處理站處的該晶圓上，以及

將三氯化硼流動至位於該第一處理腔室中的該第一處理站處的該晶圓上；以及

控制器，具有執行下列步驟的指令：

驅使晶圓被提供至該第一處理腔室中的該第一處理站，該晶圓具有硫族化物材料層，

驅使該第一晶圓加熱單元將該晶圓加熱至第一溫度，以及

當該晶圓處於該第一溫度時，驅使該處理氣體單元流動該第一化學物種至位於該第一處理腔室中的該第一處理站處的該晶圓上，從而對材料的表面進行改質以形成經改質層，以對該晶圓上的該材料進行蝕刻；以及在不使用電漿的情況下，驅使該處理氣體單元流動該三氯化硼至位於該第一處理腔室中的該第一處理站處的該晶圓上，以移除該經改質層。

【發明圖式】

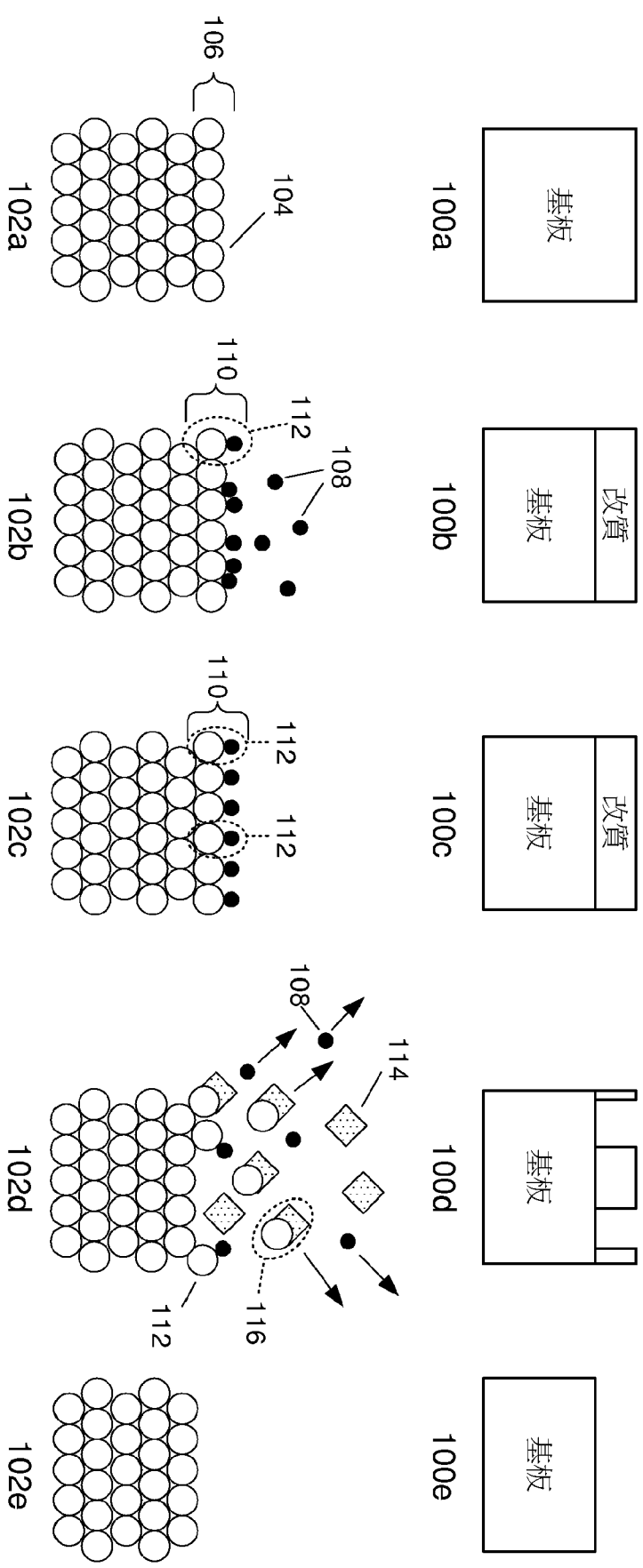


圖 1

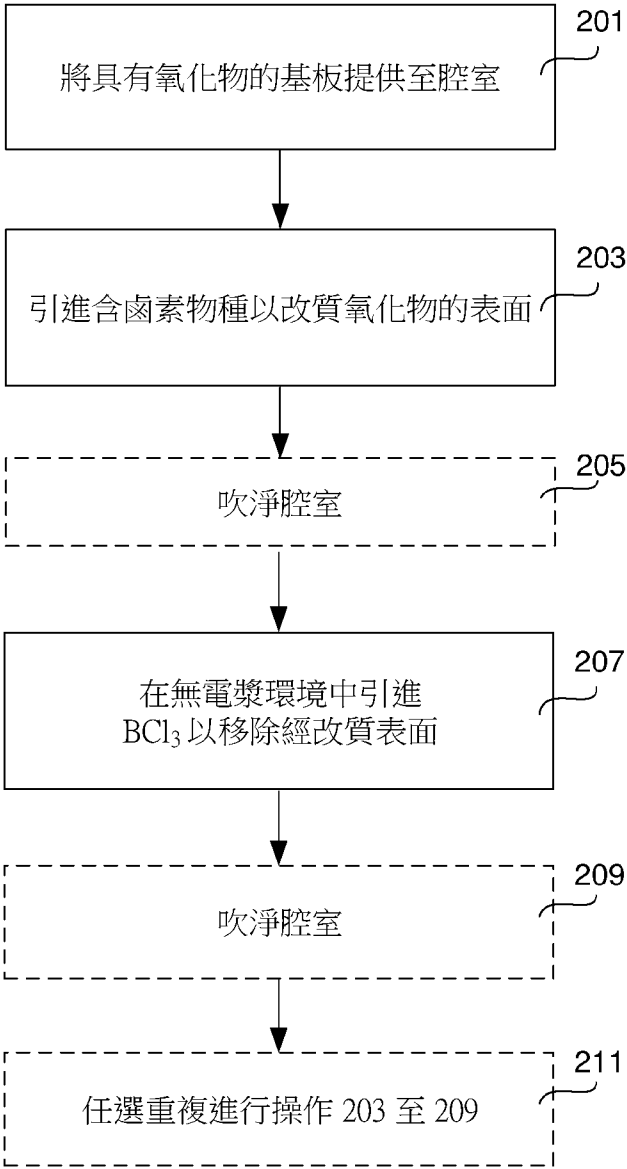


圖 2

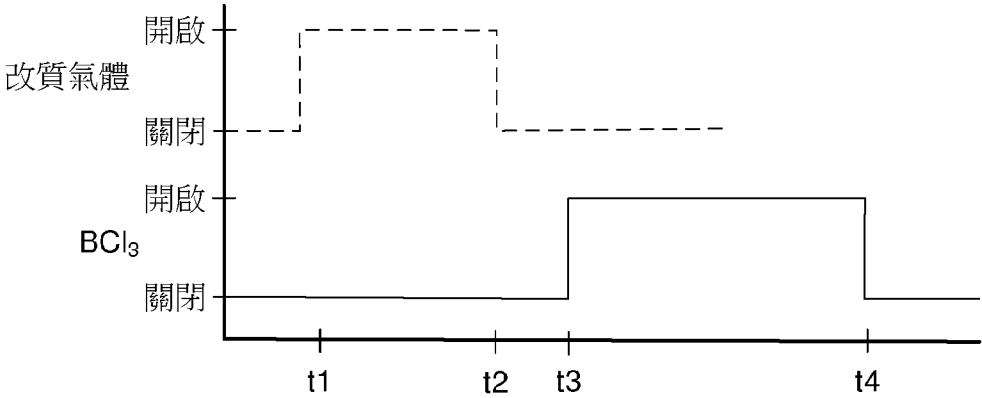


圖 3A

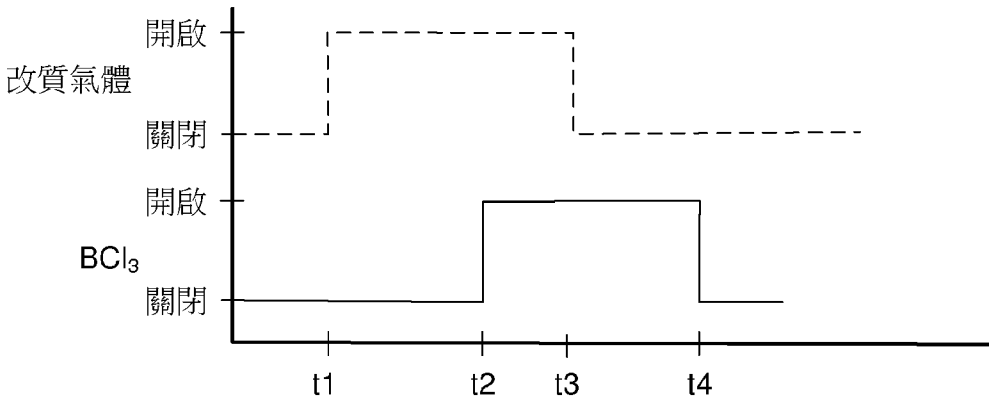


圖 3B

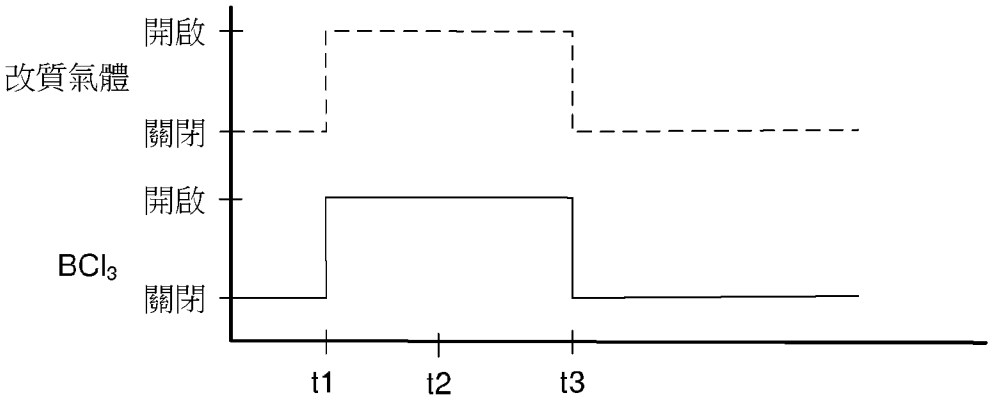


圖 3C

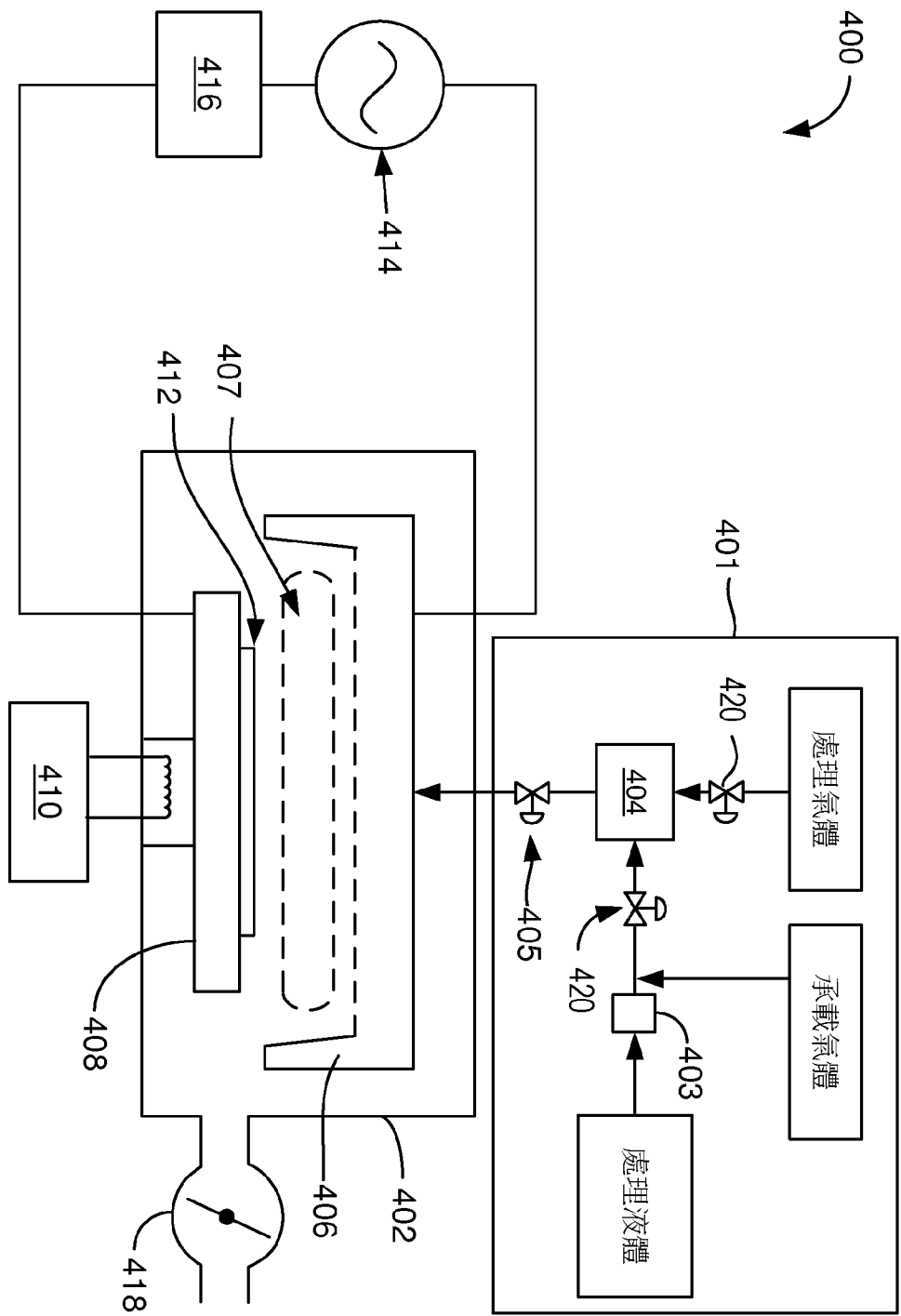


圖 4

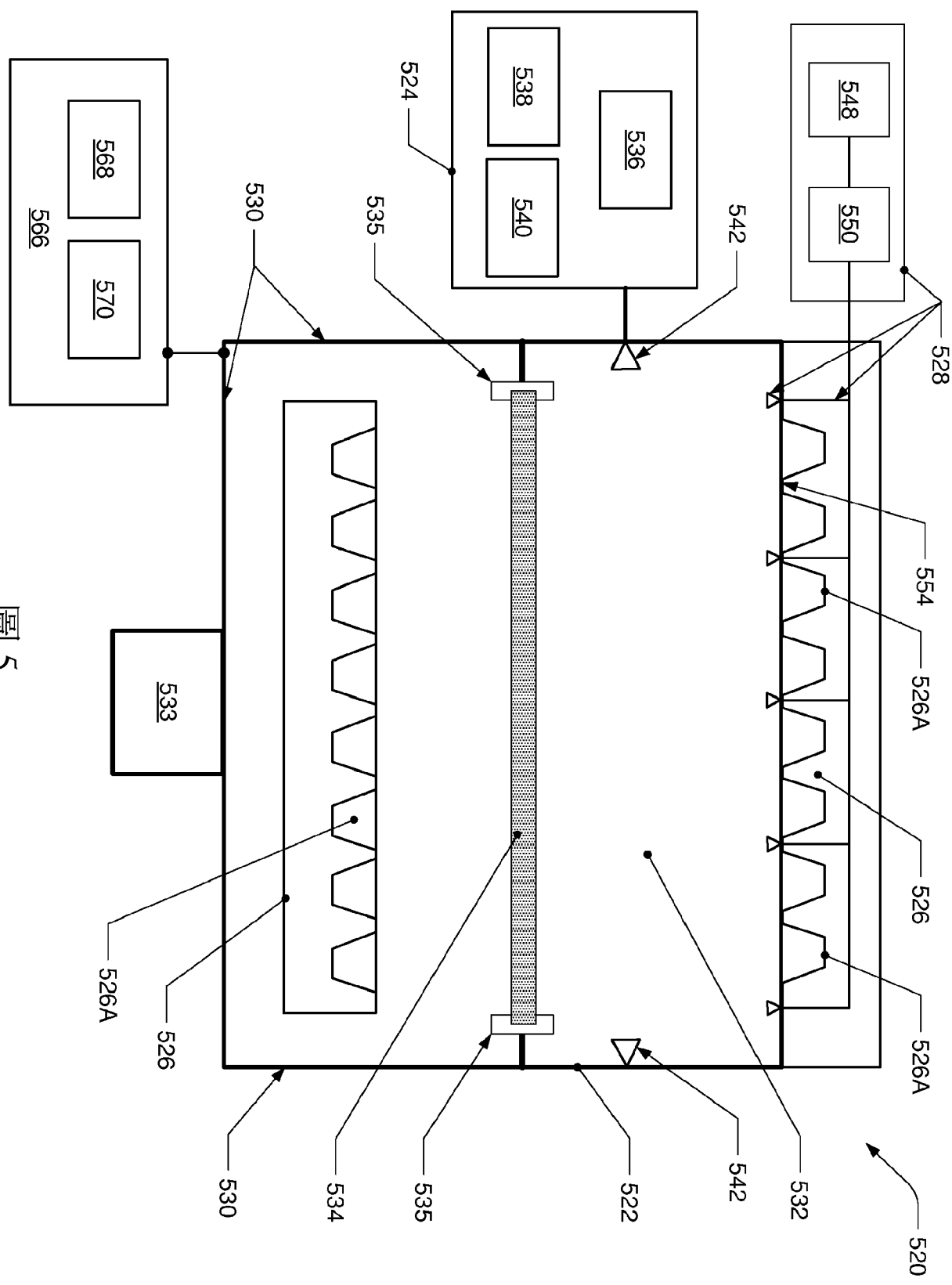
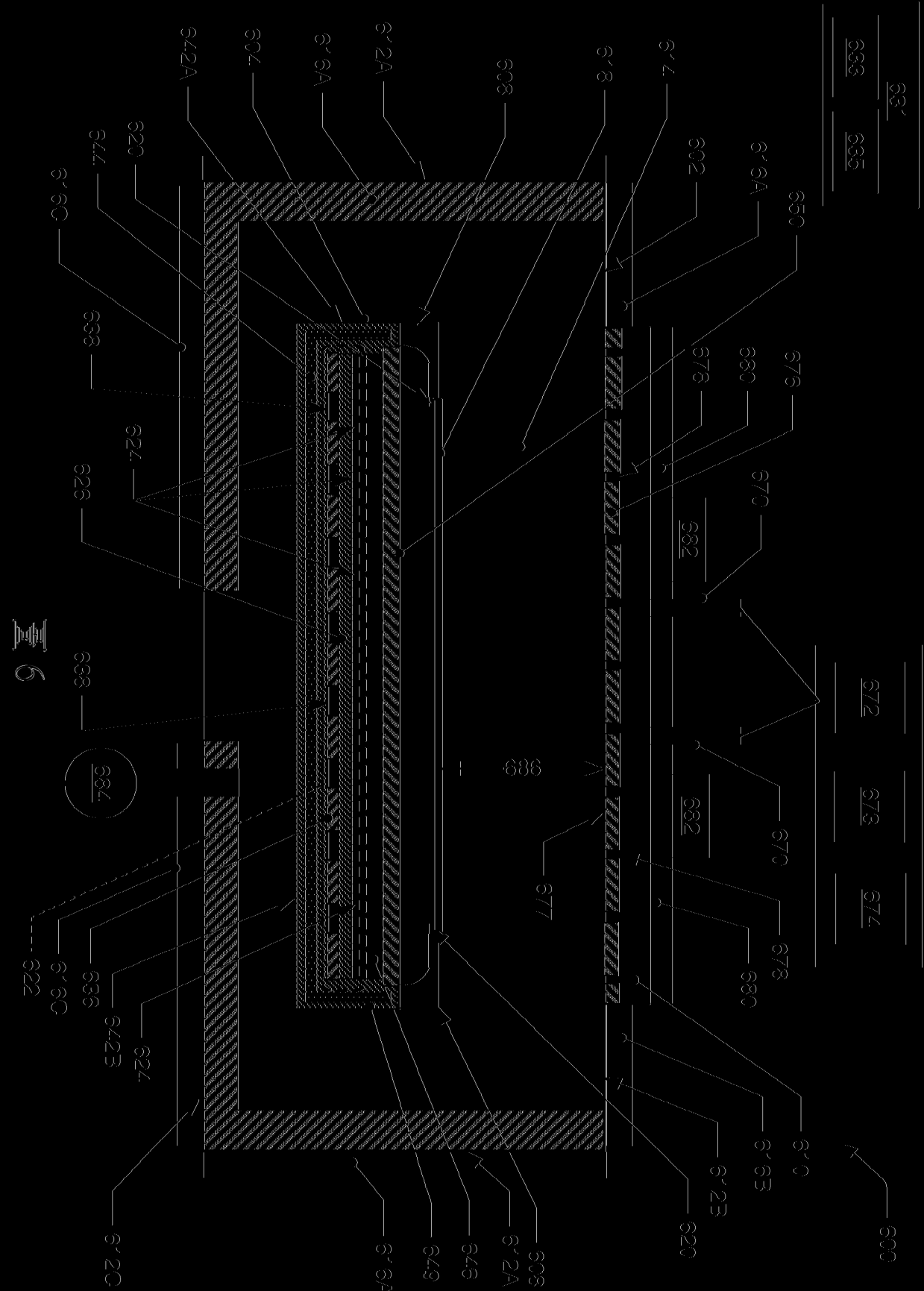


圖 5



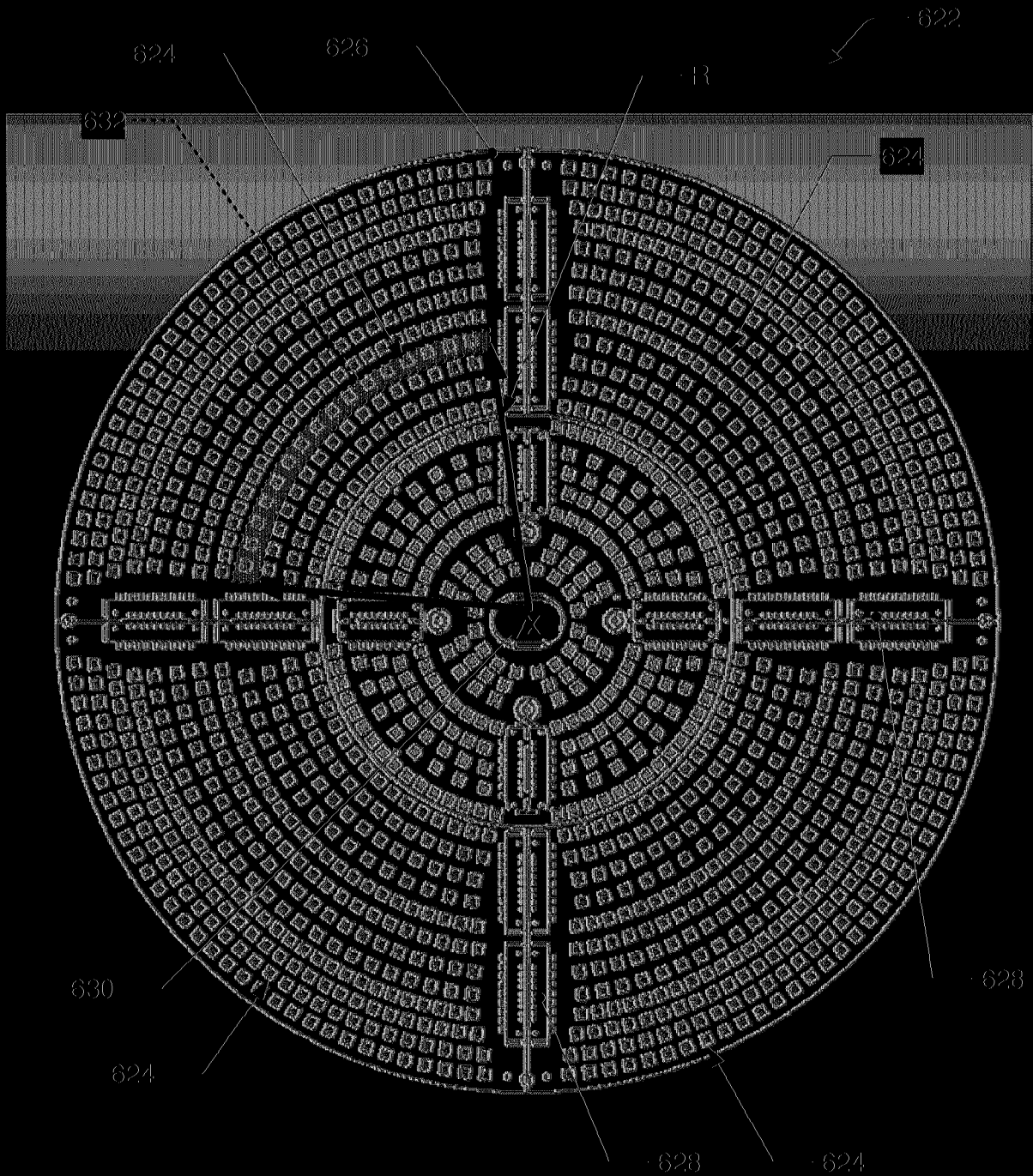


Fig. 1

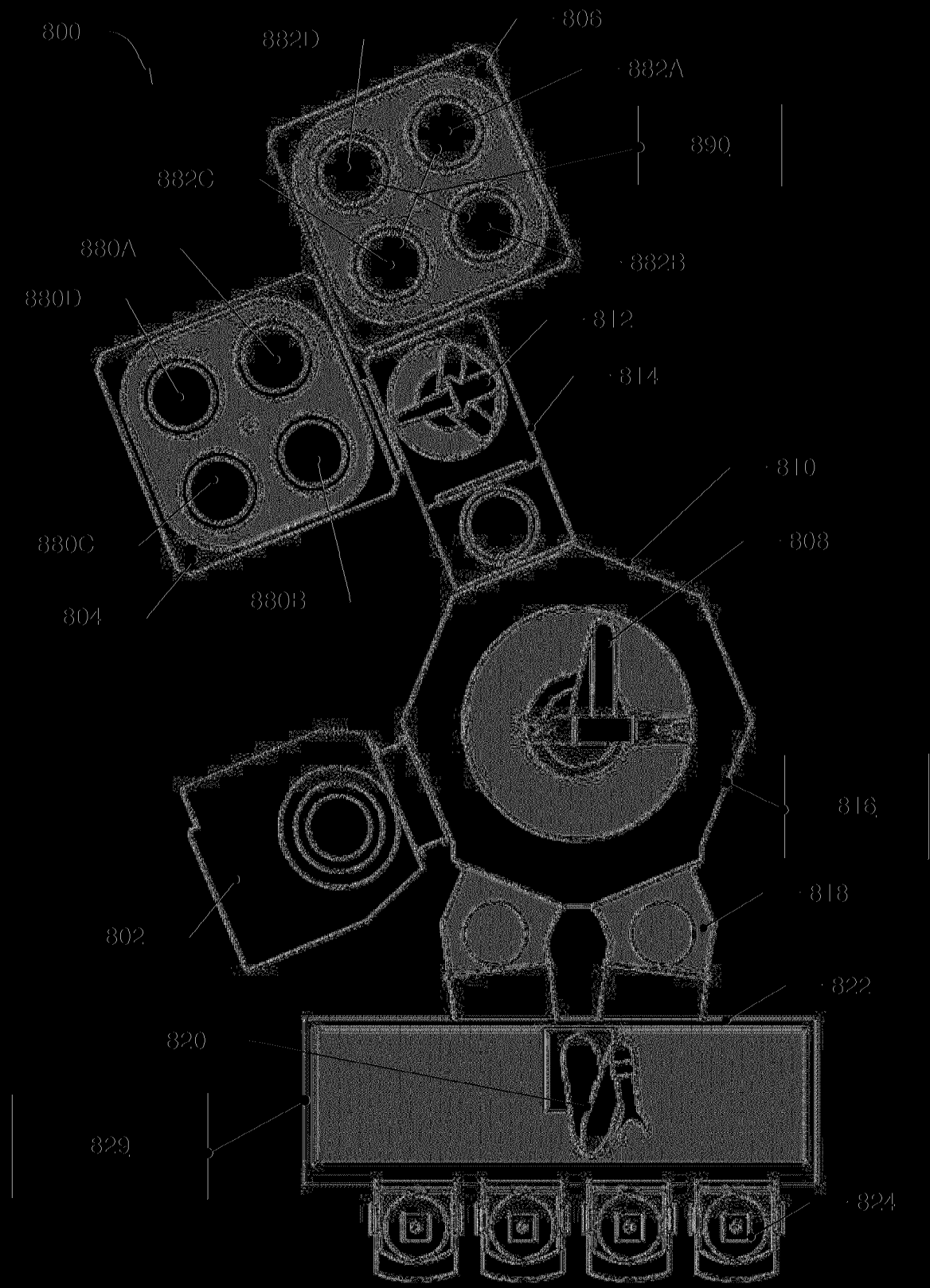


圖 8

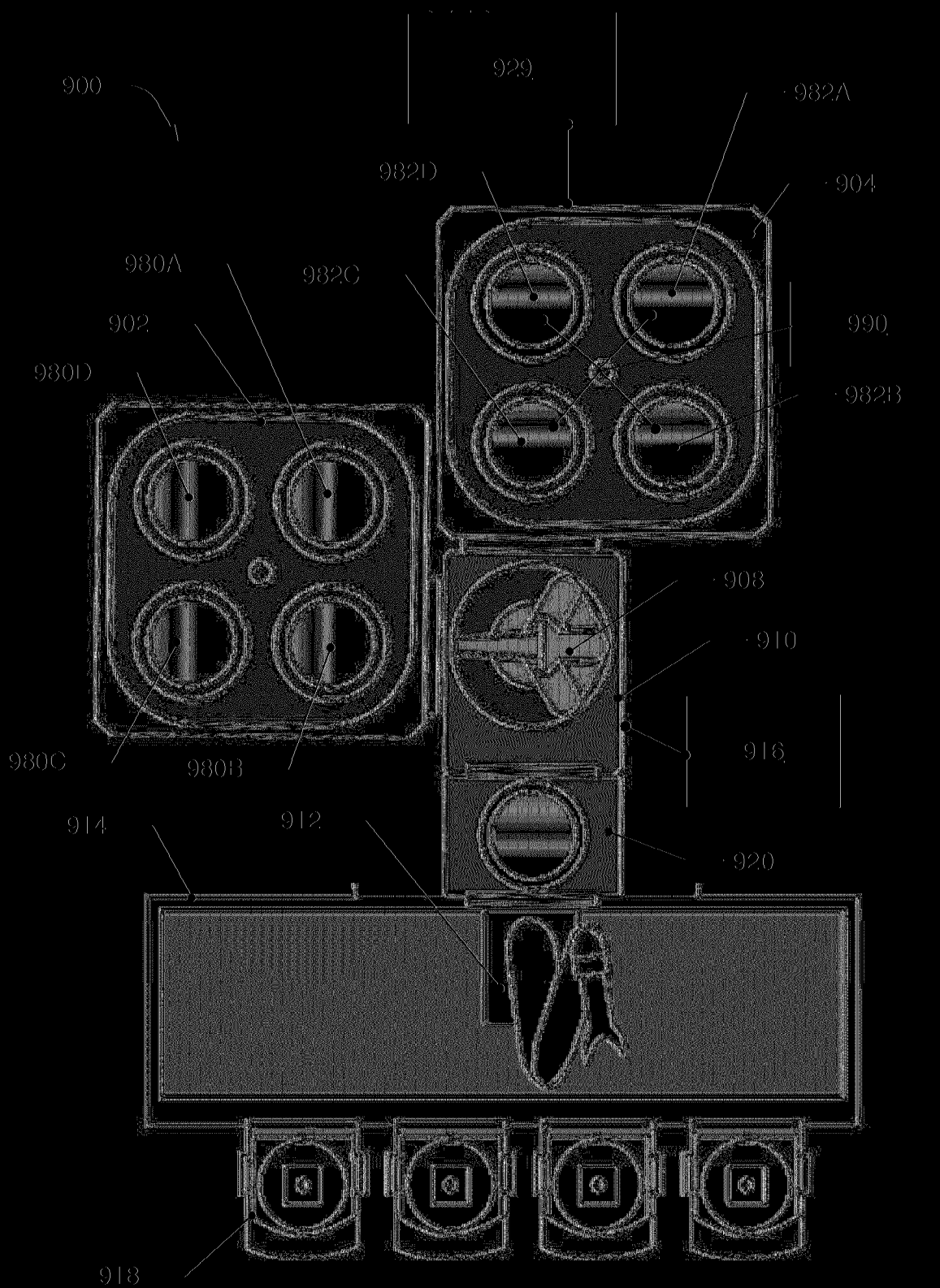
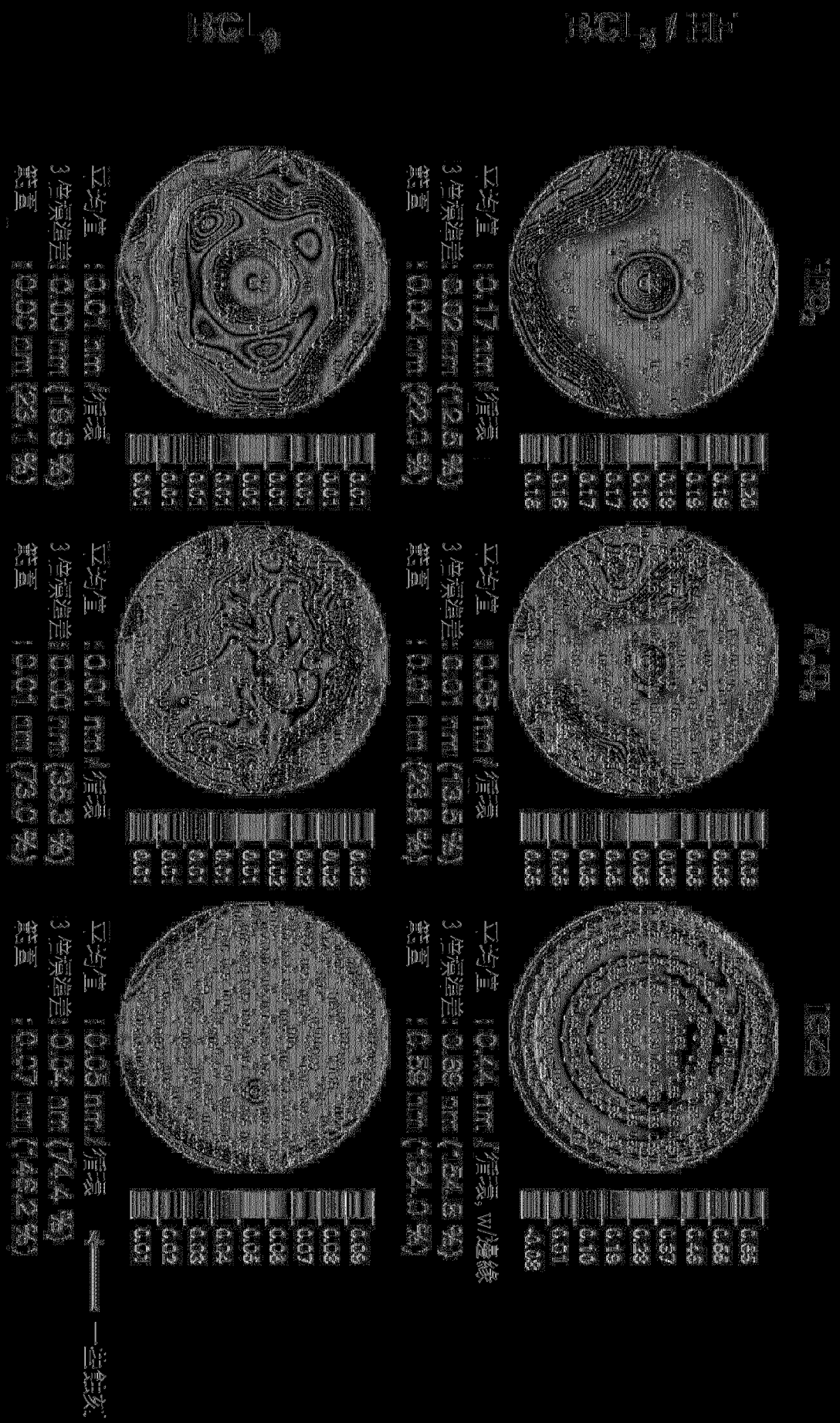


Fig 9

圖 10



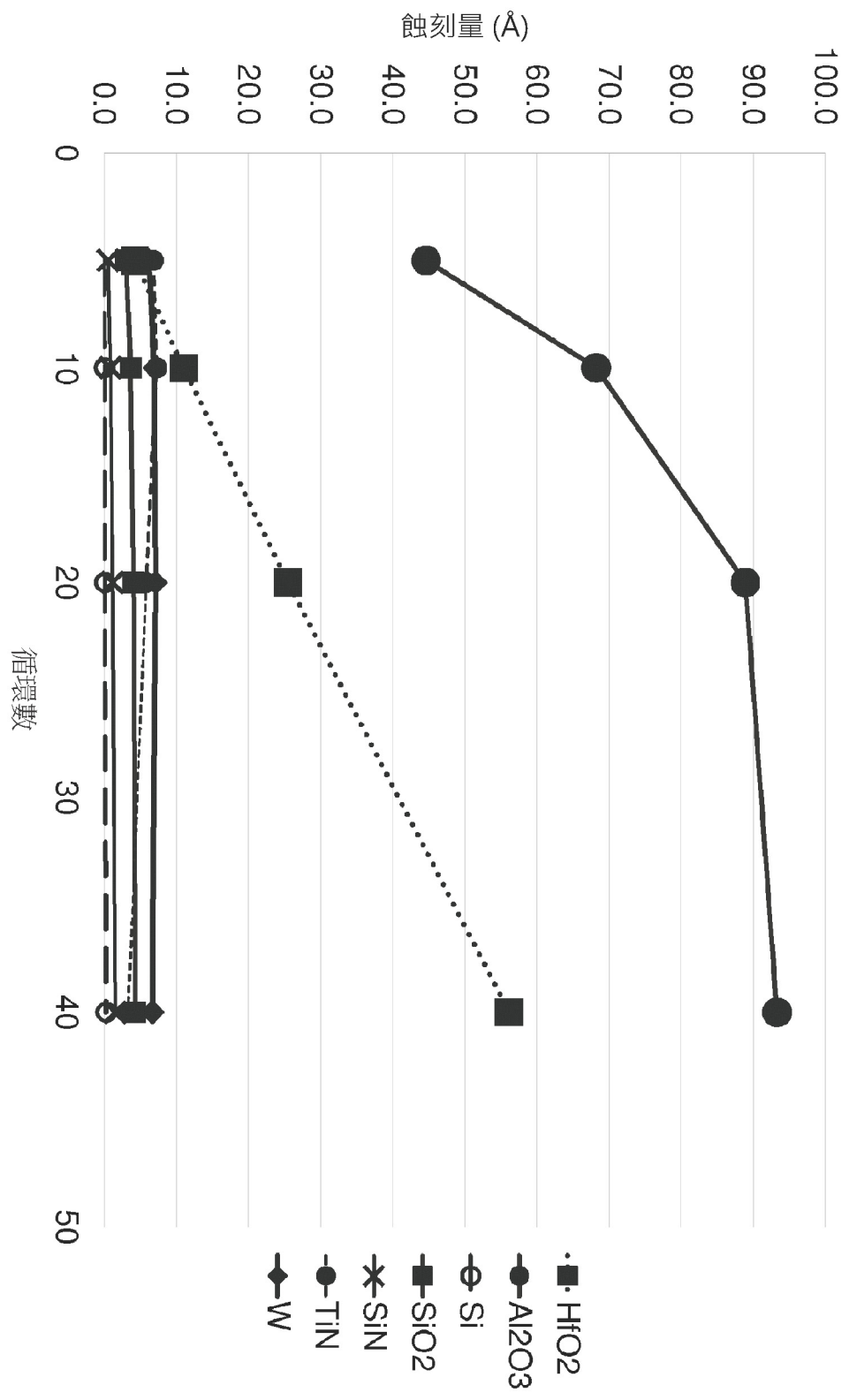


圖 11A

