



(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 I875958 B

(45)公告日：中華民國 114 (2025) 年 03 月 11 日

(21)申請案號：110105713

(22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 02 月 19 日

(51)Int. Cl. : *H10N60/80 (2023.01)**H10N60/85 (2023.01)**H10N60/10 (2023.01)*

(30)優先權：2020/02/21 美國

62/980,079

(71)申請人：美商應用材料股份有限公司 (美國) APPLIED MATERIALS, INC. (US)

美國

(72)發明人：楊子浩 YANG, ZIHAO (CN)；朱明偉 ZHU, MINGWEI (CN)；曼吉普迪 雪莉拉姆 MANGIPUDI, SHRIRAM (IN)；喬德亨瑞 穆罕默德坎魯札曼 CHOWDHURY, MOHAMMAD KAMRUZZAMAN (BD)；拉凡 尚恩 LAVAN, SHANE (IE)；陳哲擘 CHEN, ZHEBO (US)；曹勇 CAO, YONG (CN)；帕遜邦德拉 納格 B PATIBANDLA, NAG B. (US)

(74)代理人：李世章；彭國洋

(56)參考文獻：

JP H2-39475A

US 10256392B1

US 2009/0312186A1

US 2019/0189816A1

US 2020/0036332A1

審查人員：陳融詳

申請專利範圍項數：8 項 圖式數：9 共 30 頁

(54)名稱

具有氧化物或氮氧化物晶種層的高臨界溫度金屬氮化物層

(57)摘要

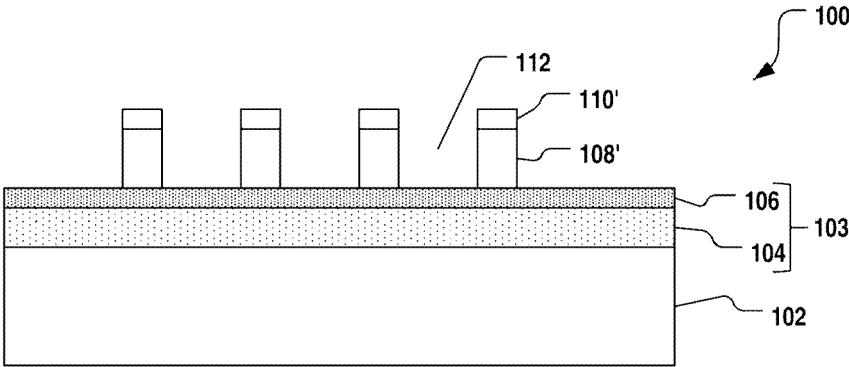
一種超導元件包括基板、在基板上之金屬氧化物或金屬氮氧化物晶種層，及直接安置在晶種層上之金屬氮化物超導層。晶種層為第一金屬之氧化物或氮氧化物，且超導層為不同的第二金屬之氮化物。

A superconducting device includes a substrate, a metal oxide or metal oxynitride seed layer on the substrate, and a metal nitride superconductive layer disposed directly on the seed layer. The seed layer is an oxide or oxynitride of a first metal, and the superconductive layer is a nitride of a different second metal.

指定代表圖：

符號簡單說明：

- 100:元件
- 102:支撐結構
- 103:晶種層結構
- 104:下部晶種層
- 106:上部晶種層
- 108':超導導線
- 112:溝槽



第2B圖



I875958

【發明摘要】

【中文發明名稱】具有氧化物或氮氧化物晶種層的高臨界溫度金屬氮化物層

【英文發明名稱】HIGH CRITICAL TEMPERATURE METAL NITRIDE LAYER
WITH OXIDE OR OXYNITRIDE SEED LAYER

【中文】

一種超導元件包括基板、在基板上之金屬氧化物或金屬氮氧化物晶種層，及直接安置在晶種層上之金屬氮化物超導層。晶種層為第一金屬之氧化物或氮氧化物，且超導層為不同的第二金屬之氮化物。

【英文】

A superconducting device includes a substrate, a metal oxide or metal oxynitride seed layer on the substrate, and a metal nitride superconductive layer disposed directly on the seed layer. The seed layer is an oxide or oxynitride of a first metal, and the superconductive layer is a nitride of a different second metal.

【指定代表圖】第(2B)圖

【代表圖之符號簡單說明】

100: 元件

102: 支撐結構

103: 晶種層結構

104: 下部晶種層

106: 上部晶種層

108': 超導導線

1 1 2 : 溝 槽

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】具有氧化物或氮氧化物晶種層的高臨界溫度金屬氮化物層

【英文發明名稱】HIGH CRITICAL TEMPERATURE METAL NITRIDE LAYER
WITH OXIDE OR OXYNITRIDE SEED LAYER

【技術領域】

【0001】 本揭示案涉及使用晶種層來提高金屬氮化物層之超導臨界溫度。

【先前技術】

【0002】 在超導性之上下文中，臨界溫度(T_c)代表材料變為超導狀態之溫度。氮化鈮(NbN)為一種可用於超導應用之材料，例如，用於量子資訊處理，CMOS、LIDAR中之缺陷分析等之超導奈米線單光子偵測器(superconducting nanowire single photon detector; SNSPD)。氮化鈮之臨界溫度取決於材料之結晶結構及原子比率。舉例而言，參考第1圖，立方 δ 相 NbN 由於其相對「高」的臨界溫度而具有一些優勢，該溫度例如，9.7 K至16.5 K（所指示之製程溫度係針對特定的製造製程，且未必適用於其他製程及沉積腔室設計）。

【0003】 氮化鈮可藉由物理氣相沉積(physical vapor deposition; PVD)沉積在工件上。舉例而言，可在存在氮氣的情況下使用鈮靶材執行濺射操作。可藉由在含有靶材及工件之反應器腔室中誘發電漿來執行濺射。

【發明內容】

【0004】 在一個態樣中，一種超導元件包括基板、在基板上之金屬氧化物或金屬氮氧化物晶種層，及直接安置在晶種層上之金屬氮化物超導層。晶種層為第一金屬之氧化物或氮氧化物，且超導層為不同的第二金屬之氮化物。

【0005】 在另一態樣中，一種超導元件包括基板、在基板上之下部晶種層、直接安置在下部晶種層上之上部晶種層，及直接安置在上部晶種層上之超導層。下部晶種層為第一金屬之氮化物，上部晶種層為第一金屬之氧化物或氮氧化物，且超導層為不同的第二金屬之氮化物。

【0006】 特徵可包括以下各項中之一或更多者。

【0007】 金屬氧化物或金屬氮氧化物晶種層可具有 0.1 nm 至 1 nm 之厚度。金屬氧化物或金屬氮氧化物晶種層可為一至五個原子層厚。金屬氧化物或金屬氮氧化物晶種層可具有約 5 nm 之厚度。金屬氮化物晶種層可具有 3 nm 至 5 nm 之厚度。超導層可包括至少一條超導導線。該元件可為超導奈米線單光子偵測器 (SNSPD)。金屬氮化物超導層可具有 4 nm 至 50 nm 之厚度。

【0008】 實施可提供但不限於以下優勢中之一或更多者。金屬氮化物層（例如，NbN 層）之臨界溫度可增大。此准許藉由具有更高臨界溫度之超導導線來製造元件，例如，SNSPD。工作溫度（2 K 至 3 K）與臨界溫度之間的較大

差異提供了優越的偵測效率、更低的暗計數，及可能更快的時間響應。

【0009】 應注意，「超導」指示材料在元件之工作溫度（例如，2 K至3 K）下變為超導的。在室溫或高於室溫之元件製造期間，或當未冷卻元件以用於操作時，該材料實際上並不超導。

【0010】 在隨附圖式及以下描述中闡述一或更多個實施之細節。其他可能態樣、特徵及優勢將自實施方式、圖式及申請專利範圍變得顯而易見。

【圖式簡單說明】

【0011】 第1圖為繪示作為處理溫度及氮原子百分比的函數之氮化鋰的相位之圖式。

【0012】 第2A圖為包括金屬氮化物下部晶種層、金屬氧化物或氮氧化物上部晶種層及超導金屬氮化物層之元件的示意性橫截面圖。

【0013】 第2B圖為第2A圖的元件之示意性橫截面圖，其中超導層已被蝕刻以形成超導導線。

【0014】 第3A圖至第3C圖為製造第2A圖或第2B圖的元件之方法的流程圖。

【0015】 第4A圖為包括金屬氧化物或氮氧化物晶種層及超導金屬氮化物層之元件的示意性橫截面圖。

【0016】 第4B圖為第4A圖的元件之示意性橫截面圖，其中超導層已被蝕刻以形成超導導線。

【0017】 第 5 圖 為 製 造 第 4 A 圖 或 第 4 B 圖 的 元 件 之 方 法 的 流 程 圖 。

【0018】 第 6 A 圖 為 包 括 金 屬 氮 化 物 晶 種 層 及 超 導 金 屬 氮 化 物 層 之 元 件 的 示 意 性 橫 截 面 圖 。

【0019】 第 6 B 圖 為 第 6 A 圖 的 元 件 之 示 意 性 橫 截 面 圖，其 中 超 導 層 已 被 蝕 刻 以 形 成 超 導 導 線 。

【0020】 第 7 圖 為 製 造 第 6 A 圖 或 第 6 B 圖 的 元 件 之 方 法 的 流 程 圖 。

【0021】 第 8 A 圖 為 包 括 分 散 式 布 拉 格 (B r a g g) 反 射 器 之 S N S P D 的 示 意 性 俯 視 圖 。

【0022】 第 8 B 圖 為 第 8 A 圖 之 元 件 的 示 意 性 橫 截 面 側 視 圖 。

【0023】 第 9 A 圖 為 包 括 波 導 之 S N S P D 的 示 意 性 俯 視 圖 。

【0024】 第 9 B 圖 為 第 9 A 圖 之 元 件 的 示 意 性 橫 截 面 側 視 圖 。

【0025】 第 9 C 圖 為 第 9 A 圖 的 元 件 之 另 一 實 施 的 示 意 性 橫 截 面 側 視 圖 。

【0026】 在 各 個 圖 式 中 之 相 同 元 件 符 號 及 名 稱 指 示 相 同 元 件 。

【實施方式】

【0027】 如 上 所 述，氮 化 鈮 (尤 其 δ 相 NbN) 作 為 超 導 材 料 具 有 一 些 優 勢。然 而， δ 相 NbN 可 能 難 以 以 令 人 滿 意 之 品 質 沉 積。此 外，工 作 溫 度 (2 K 至 3 K) 與 臨 界 溫 度 之 間

的差愈大，則元件效能愈佳。可使用氮化鋁(A1N)層作為晶種層以提高NbN層之臨界溫度。在不受任何特定理論限制的情況下，A1N晶種層可誘發NbN層中之結晶結構，其提供增大的臨界溫度。

【0028】 然而，已令人驚訝地發現，在沉積NbN層之前將A1N晶種層暴露於大氣並處於室溫下可實際上提供比在A1N晶種層上執行NbN層的沉積更高之臨界溫度，例如，高出約0.5 K，而不會破壞真空及降低基板溫度。再次，在不受任何特定理論限制的情況下，已提出兩種非排他性之可能性。第一，將A1N暴露於大氣可導致薄的氧化鋁或氮氧化鋁層在A1N層之表面上形成，其誘發NbN層中之優越結晶結構。第二，藉由將基板之溫度自針對A1N之第一沉積溫度（例如，400℃）降低至室溫（亦即，20℃至22℃）並接著將基板之溫度回升至針對NbN之第二沉積溫度（例如，400℃）來對A1N晶種層熱循環可能會影響A1N晶種層中之應力，此可能影響其結晶結構，繼而可影響NbN層之結晶結構。

【0029】 第2A圖為包括用作超導材料之金屬氮化物層108的元件100中之一些層的示意圖。第2B圖為元件100之示意圖，其中金屬氮化物層已形成為例如超導導線108'之特徵。元件100可為超導奈米線單光子偵測器(SNSPD)、超導量子干擾元件(superconducting quantum interference device; SQUID)、量子電腦

中之電路（例如，RF線路）等。第3A圖至第3C圖為製造方法200之流程圖。

【0030】 金屬氮化物層108係安置在支撐結構102上。支撐結構102可包括基板，例如，矽晶圓。該基板可為介電材料，例如，藍寶石、 SiO_2 、熔融二氧化矽或石英；或半導體材料，例如，矽、氮化鎵(GaN)或砷化鎵(GaAs)。儘管被繪示成單個方塊，但支撐結構102可包括多個下伏層。舉例而言，支撐結構102可包括分散式布拉格反射器(distributed Bragg reflector; DBR)，其包括由沉積在基板之上的高折射率及低折射率材料形成之多對層，或形成在基板上之波導。

【0031】 晶種層結構103形成在支撐結構102之上。晶種層結構103包括下部層晶種層104及上部層晶種層106。

【0032】 下部層晶種層104覆蓋支撐結構102之頂部，例如，與支撐結構102之頂表面直接接觸。下部晶種層104為金屬氮化物層。特定而言，下部晶種層104及超導層108為不同金屬的氮化物。下部晶種層104可為氮化鋁(AlN)。然而，氮化鈦(HfN)、氮化鉻(CrN)或鋁與鈦或鈦之合金的氮化物亦可能為適當的。

【0033】 下部晶種層104可具有約3 nm至50 nm之厚度，例如，為約5 nm或約10 nm或約20 nm之厚度。下部晶種層104可具有(002)c軸晶體取向。下部晶種層104不需要在元件100之工作溫度下超導。可藉由標準化學氣相沉積或物理氣相沉積製程沉積（步驟202）下部晶種層104。

沉積製程可藉由處於 200°C 至 500°C （例如， 400°C ）之溫度的基板進行。

【0034】 用於下部晶種層之例示性處理參數係施加至濺射靶材之為 1 KW 至 5 kW 的功率、其中氮氣及惰性氣體以 $3:100$ 與 $6:1$ 之間的比率（例如，約 $3:1$ ）供應之為 2 毫托至 20 毫托的總壓力（氮氣及惰性氣體）、 200°C 至 500°C 之晶圓溫度，及不向晶圓施加偏置電壓。

【0035】 上部晶種層 106 形成在下部晶種層 104 之頂部上，例如，與下部晶種層 104 之頂表面直接接觸（步驟 204 ）。上部晶種層 106 為金屬氧化物或金屬氮氧化物層。特定而言，上部晶種層 106 為與下部晶種層 104 中之金屬氮氧化物的金屬相同之金屬的氧化物或氮氧化物。上部晶種層 106 可為氧化鋁或氮氧化鋁，因為此看起來提高了 NbN 之臨界溫度，例如，比氮化鋁作為晶種層提高了約 0.5 K 。然而，氧化鈣或氮氧化鈣、氧化鉻或氮氧化鉻或鋁與鈣或鈦之合金的氮化物或氮氧化物亦可能為適當的。

【0036】 上部晶種層 106 可比下部晶種層 104 薄。取決於製造方法，上部晶種層 106 可為約 0.1 nm 至 3 nm 厚。在一些實施中，上部晶種層 106 僅為一至五個原子層厚，例如，二至三個原子層厚。上部晶種層 106 可具有 $(002)\text{c}$ 軸晶體取向。上部晶種層 106 不需要在元件 100 之工作溫度下超導。

【0037】 參考第 3 A 圖，可用以形成上部晶種層 106 之金屬氧化物或金屬氮氧化物的一種技術為將下部晶種層 104 暴

露於含氧及/或水之氣體中（步驟204a）。舉例而言，可將下部晶種層104暴露於空氣。作為另一實例，可將下部晶種層104暴露於純氧。作為另一實例，可將下部晶種層104暴露於氣體混合物，該氣體混合物含有20%至90%體積之氧及一或更多種其他氣體，諸如，氮氣及/或稀有氣體（例如，氬）。在一些實施中，氣體混合物包括水，例如，水汽或蒸汽。壓力可為1托至1個大氣壓，例如，0.8至1個大氣壓。

【0038】 參考第3B圖，可用以形成上部晶種層106之金屬氧化物或金屬氮氧化物的另一技術為將下部晶種層104暴露於含氧(O_2)電漿之氣體中（步驟204b）。舉例而言，可將下部晶種層104暴露於純氧電漿。舉例而言，可將氧氣導向至電漿處理腔室中，且可在約100 W之功率下形成氧電漿。壓力可為2毫托至500毫托。大體而言，用於氧電漿處理之專用腔室可使用相對較高之壓力，例如，100毫托至500毫托，而若在用於沉積下部晶種層之同一腔室中執行氧電漿處理，則可使用相對較低之壓力，例如，2毫托至15毫托。

【0039】 在不受任何特定理論限制的情況下，將A1N暴露於氧可導致熱氧化物或熱氮氧化物層（亦即，氧化鋁或氮氧化鋁層）在A1N層之表面上形成。

【0040】 在一些實施中，具有下部晶種層之基板自沉積下部晶種層之第一溫度（例如，300℃至500℃）降低至較低的第二溫度（例如，20℃至300℃）。下部晶種層在較低

的第二溫度下暴露於含氧氣體或電漿。第二溫度可比第一溫度至少低 200°C 。舉例而言，第二溫度可為室溫，亦即， 20°C 至 22°C 。基板接著上升至用於沉積超導層的金屬氮化物之升高的第三溫度。

【0041】 在一些實施中，具有下部晶種層之基板維持在高溫下，例如，處於 300°C 或高於 300°C ，例如，處於沉積下部晶種層之同一溫度（例如， 400°C ），且基板在該高溫下暴露於含氧氣體或電漿。

【0042】 在一些實施中，具有下部晶種層之基板自第一溫度降低至第二溫度，接著上升至升高的第三溫度（例如，處於 300°C 或高於 300°C ，例如， 300°C 至 500°C ），且下部晶種層在升高的第三溫度下暴露於含氧氣體或電漿。

【0043】 暴露時間可取決於壓力及溫度，且可自1秒至120分鐘。舉例而言，室溫下對於大氣之暴露時間可為約45分鐘。作為另一實例，對於氧電漿之暴露時間（其中基板處於沉積下部晶種層之同一溫度（例如，約 400°C ））可為約30秒。

【0044】 在第3A圖及第3B圖之技術中，上部晶種層 106 實際上為形成在下伏金屬氮化物層上之原生氧化物或原生氮氧化物，且因此預期為二至四個原子層厚。舉例而言，上部晶種層 106 可高達約1 nm厚。

【0045】 參考第3C圖，可用以形成上部晶種層 106 之金屬氧化物或金屬氮氧化物的另一技術為藉由物理氣相沉積來沉積上部晶種層 106 。用於上部晶種層之例示性處理參數

係施加至濺射靶材之為 1 kW 至 5 kW 的功率、其中氧氣及惰性氣體以 3:100 與 6:1 之間的比率供應之為 2 毫托至 20 毫托的總壓力（氧氣及惰性氣體）、200 °C 至 500 °C 之晶圓溫度。亦存在用以沉積氧化鋁或氮氧化鋁之 CVD 及 ALD 技術。

【0046】 在第 3 C 圖之技術中，上部晶種層 106 之厚度取決於處理時間或沉積製程之迭代次數。舉例而言，上部晶種層 106 之厚度可為 1 nm 至 2 nm。

【0047】 參考第 2 A 圖及第 2 B 圖，在上部晶種層 106 上沉積超導金屬氮化物層 108，例如，與上部晶種層 106 直接接觸。金屬氮化物層 108 由氮化鈮 (NbN)、氮化鈦 (TiN) 或鈮鈦氮化物 ($\text{Nb}_x\text{Ti}_{1-x}\text{N}$) 形成。超導層 108 可具有 4 nm 至 50 nm 之厚度，例如，約 5 nm 或約 10 nm 或約 20 nm。

【0048】 可使用標準化學氣相沉積或物理氣相沉積製程沉積金屬氮化物層 108。例示性處理參數係為 $1\text{e}-8$ 托之基本壓力、施加至靶材之為 1 kW 至 3 kW 的功率、在處理期間為 5 毫托至 7 毫托之總壓力、400 °C 之晶圓溫度、不向晶圓施加偏置電壓，及足以獲得立方 δ 相 NbN 之氣體（如 N_2 ）的百分比。在一些實施中，例如藉由切換新靶材，在用以沉積下部晶種層 104 及上部晶種層 106 之同一處理腔室中來沉積金屬氮化物層 108。此准許更高處理量的製造。或者，在不破壞真空的情況下，可將基板輸送至不同沉積腔室。此准許在不將晶種層暴露於大氣的情況下且以較低的污染風險來沉積金屬氮化物層。

【0049】 在沉積金屬氮化物層108之後，可在金屬氮化物層108上沉積覆蓋層110（步驟208）。覆蓋層110充當保護層，例如，用以防止金屬氮化物層108之氧化或其他類型之污染或損壞。覆蓋層110可為介電質，但不需要在元件100之工作溫度下為超導。覆蓋層110可為非晶矽（amorphous silicon, a-Si）。在一些實施中，覆蓋層110為與用於超導層108之金屬氮化物的金屬不同之材料的氮化物。用於覆蓋層110之材料的實例包括AlN、Al₂O₃、SiO₂及SiN。可藉由標準化學氣相沉積或物理氣相沉積製程沉積覆蓋層110。

【0050】 可使用蝕刻形成穿過至少金屬氮化物層108之溝槽112，以形成超導導線108'或元件100所需之其他結構（步驟210）。導線108'可具有約25 nm至250 nm之寬度，例如，約60 nm。儘管第2B圖將溝槽112繪示為延伸穿過金屬氮化物層108及覆蓋層110且不延伸至上部晶種層106中，但其他配置係可能的。作為實例，溝槽112可部分地延伸至上部晶種層106中或完全穿過上部晶種層106，或完全穿過上部晶種層106並部分地延伸至下部晶種層104中或完全穿過下部晶種層104。

【0051】 空氣可能含有污染物，因而對於上述製程中之任一者而言，可在不破壞真空的情況下在下部晶種層104上形成上部晶種層106，例如，不會自在其中沉積下部晶種層之沉積腔室移除基板，或不會在將基板自在其中沉積下部晶種層之沉積腔室傳送至在其中形成上部晶種層之腔室

期間破壞真空。類似地，可在不破壞真空的情況下在上部晶種層106上形成金屬氮化物超導層108。

【0052】 在藉由氧電漿處理(參見第3B圖)或藉由PVD(參見第3C圖)形成上部晶種層106的情況下，可使用具有脈衝PVD之應用材料Endura[®]。下部晶種層之沉積與氧化物或氮氧化物之氧電漿處理或PVD可在同一腔室內執行。NbN沉積可在同一Endura工具中之不同腔室中執行，但不會破壞真空。

【0053】 第4A圖為包括用作超導材料之金屬氮化物層108的元件100'中之一些層的示意圖。第4B圖為元件100'之示意圖，其中金屬氮化物層已形成為例如超導導線108'之特徵。元件100'類似於元件100，但元件100'之晶種層結構103具有單個金屬氧化物或金屬氮氧化物晶種層106'，而非具有下部晶種層及上部晶種層。除如下所論述以外，可如關於元件100所論述來配置及製造元件100'。第5圖為製造之方法200'的流程圖。

【0054】 晶種層106'安置在支撐結構102之頂部上。晶種層106'為金屬氧化物或金屬氮氧化物。特定而言，晶種層106'為與超導層108中之金屬氮化物的金屬不同之金屬的氧化物或氮氧化物。晶種層106'可為氧化鋁或氮氧化鋁(AlN)，因為如此似乎提高了NbN之臨界溫度，例如，比氮化鋁作為晶種層提高了約0.5 K。然而，氧化鉛、氮氧化鉛、氧化鎵或氮氧化鎵亦可為適當的。不同於元件100，

不存在與金屬氧化物或氮氧化物晶種層106'之底部直接接觸之同一金屬的金屬氮化物層。

【0055】 晶種層106'可具有約3 nm至50 nm之厚度，例如，為約5 nm或約10 nm或約20 nm之厚度。晶種層106'可具有(002)c軸晶體取向。晶種層106'不需要在元件100之工作溫度下超導。可藉由標準化學氣相沉積或物理氣相沉積製程沉積（步驟204'）晶種層106'。沉積製程可藉由處於200℃至500℃（例如，400℃）之溫度的基板進行。

【0056】 例示性處理參數係施加至濺射靶材之為1 kW至5 kW的功率、其中氮氣及惰性氣體以3:100與1:6之間的比率供應之為2毫托至20毫托的總壓力（氮及惰性氣體）、200℃至500℃之晶圓溫度，及不向晶圓施加偏置電壓。

【0057】 可將具有脈衝PVD之應用材料Endura[®]用於晶種層及超導層的沉積。舉例而言，可在第一腔室中執行氧化鋁的沉積，且可在同一工具中之不同腔室中執行NbN沉積，但不會破壞真空。

【0058】 可在晶種層106'及超導層108的沉積之間施加熱循環。舉例而言，具有晶種層106'之基板自第一溫度降低至第二溫度，接著上升至用於沉積金屬氮化物超導層108之升高的第三溫度，例如，處於300℃或高於300℃，例如，300℃至500℃。或者，具有晶種層106'之基板可維持在高溫下，例如，處於300℃或高於300℃，例如，處於沉積晶種層106'之同一溫度，直至沉積金屬氮化物超導層108為止。

【0059】 第 6 A 圖 為 包 括 用 作 超 導 材 料 之 金 屬 氮 化 物 層 108 的 元 件 100" 中 之 一 些 層 的 示 意 圖 。 第 6 B 圖 為 元 件 100" 之 示 意 圖 ， 其 中 金 屬 氮 化 物 層 已 形 成 為 例 如 超 導 導 線 108' 之 特 徵 。 元 件 100" 類 似 於 元 件 100' ， 但 元 件 100" 之 晶 種 層 結 構 103 包 括 已 經 歷 了 熱 循 環 之 金 屬 氮 化 物 的 單 個 層 ， 而 非 具 有 金 屬 氧 化 物 或 金 屬 氮 氧 化 物 之 晶 種 層 。 除 如 下 所 論 述 以 外 ， 可 如 關 於 元 件 100 及 100' 所 論 述 來 配 置 及 製 造 元 件 100" 。 第 7 圖 為 製 造 之 方 法 200" 的 流 程 圖 。

【0060】 晶 種 層 104' 安 置 在 支 撐 結 構 102 之 頂 部 上 。 晶 種 層 104' 為 金 屬 氮 化 物 。 特 定 而 言 ， 晶 種 層 104' 及 超 導 層 108 為 不 同 金 屬 的 氮 化 物 。 晶 種 層 104' 可 為 氮 化 鋁 。 然 而 ， 氮 化 鈐 或 氮 化 鎵 亦 可 為 適 當 的 。 不 同 於 元 件 100 ， 晶 種 層 104' 與 超 導 層 108 之 間 不 存 在 金 屬 氧 化 物 或 金 屬 氮 氧 化 物 。

【0061】 可 藉 由 標 準 化 學 氣 相 沉 積 或 物 理 氣 相 沉 積 製 程 直 接 在 支 撐 結 構 102 上 沉 積 （ 步 驟 204' ） 晶 種 層 104' 。 沉 積 製 程 可 藉 由 處 於 200℃ 至 500℃ （ 例 如 ， 400℃ ） 之 第 一 溫 度 的 基 板 進 行 。

【0062】 在 沉 積 之 後 ， 具 有 金 屬 氮 化 物 晶 種 層 之 基 板 經 歷 熱 循 環 （ 步 驟 205 ） 。 特 定 而 言 ， 具 有 晶 種 層 之 基 板 自 沉 積 晶 種 層 之 第 一 溫 度 （ 例 如 ， 200℃ 至 500℃ ） 降 低 至 較 低 的 第 二 溫 度 。 舉 例 而 言 ， 具 有 晶 種 層 104' 之 基 板 自 沉 積 晶 種 層 之 第 一 溫 度 （ 例 如 ， 300℃ 至 500℃ ） 降 低 至 較 低 的 第 二 溫 度 （ 例 如 ， 20℃ 至 300℃ ） 。 第 二 溫 度 可 比 第 一 溫 度

至少低 200°C 。舉例而言，第二溫度可為室溫，亦即， 20°C 至 22°C 。晶種層可在處於真空中時或在暴露於氮及 / 或惰性氣體（例如，氬氣）時經歷熱循環。基板接著上升至用於沉積超導層的金屬氮化物之升高的第三溫度，例如， 300°C 至 500°C 。熱循環可改變晶種層 104' 之結晶結構。

【0063】 在熱循環之後，可在晶種層 104' 上沉積超導層 108 的金屬氮化物。在不破壞真空或另外將晶種層暴露於氧或含氧蒸汽（例如， H_2O ）的情況下沉積超導層 108。

【0064】 第 8 A 圖及第 8 B 圖分別繪示被配置為超導奈米線單光子偵測器 (SNSPD) 之元件 100a 的俯視圖及側視圖。元件 100a 可使用上述晶種層 103 之任一配置。

【0065】 SNSPD 元件 100a 可包括安置在支撐結構 102 上之至少一個超導導線 108'。超導導線 108' 可連接在導電電極 120 之間。超導導線 108' 可以曲折圖案（例如，來回的平行線）佈置在支撐結構 102 上。在一些實施中，多個導線 108' 平行連接在電極 120 之間，其中每一導線 108' 覆蓋單獨的區域 152，但可能僅存在覆蓋了元件 100a 之整個偵測區域的單個導線 108'。另外，許多其他圖案係可能的，例如，之字形或雙螺旋形。

【0066】 支撐結構 102 包括基板 124 及分散式布拉格反射器 (DBR) 126，該分散式布拉格反射器 (DBR) 126 包括由高折射率及低折射率材料形成之多對層。

【0067】 SNSPD 元件 100a 藉由使光子（以光束 10 繪示）自元件 100a 之頂部靠近（例如，相對於基板 124 垂直入射）

來工作。SNSPD元件之工作原理為待偵測之光子自頂部進入並照射在SNSPD上。在初始撞擊時或自DBR反射後，光子的吸收會在NbN奈米線上形成熱點，該熱點使NbN之溫度上升至臨界溫度以上，使得導線的一部分不再處於超導狀態。熱點周圍之區域可能出現電流擁擠，從而導致電流密度高於臨界電流密度，此可能破壞整條導線之超導狀態。可藉由使電流流經元件並監控電極之間的電壓差而以電學方式偵測NbN導線自超導狀態至正常電阻狀態之改變。

【0068】 超導奈米線單光子偵測器(SNSPD)元件之另一形式包括波導，用以沿大體上平行於基板表面之軸將光子輸入至偵測器中。第9A圖及第9B圖繪示被配置為超導奈米線單光子偵測器(SNSPD)且具有波導138之元件100b。元件100b可使用上述晶種層103之任一配置。

【0069】 SNSPD元件100b可包括安置在支撐結構102上之至少一個超導導線108'。(若干)超導導線108'可經佈置而形成複數個平行線，其中相鄰的線在交替的端部連接。儘管第9A圖繪示出四條平行線，但該元件可僅具有兩條平行線(例如，U形導線)或更大數目條線。超導導線108'可連接在導電電極之間。

【0070】 支撐結構102可包括基板134、在基板134上之介電層136，及安置在介電層136上之波導138。介電層136為具有第一折射率之第一材料，且波導138為具有比第一折射率高的第二折射率之第二材料。

【0071】藉由光束10b示出之光子經由波導138自側面（例如，大體平行於基板134之頂表面）注入至元件中。特定而言，光子可沿大體平行於導線108'之平行線的軸（藉由箭頭A示出）進入。

【0072】另外，沿橫向於光傳播方向之軸，導線108'可位於波導138之中心附近。舉例而言，在元件之每一側上，在導線108'的外部邊緣與波導138的外部邊緣之間可存在縫隙130。此縫隙130可具有為波導之總寬度的約25%至30%之寬度。

【0073】大體而言，因為波導138下方之介電層136及波導138上方之空餘空間或空氣均具有比波導138低之折射率，所以波導138中之光子藉由全內反射被俘獲。然而，由於波導138與奈米線108'之間的光學耦合，光子可逃逸至奈米線108'中並因此被奈米線108'吸收。在此類型之元件中，光耦合效率可能非常高。

【0074】參考第9C圖，若波導138由適當的金屬氮化物（例如，氮化鋁）形成，則波導138之頂表面可提供下部晶種層，且可經處理以形成上部晶種層106，或上部晶種層106可直接形成在波導138上，亦即，不必沉積單獨的下部晶種層。

【0075】雖然已描述了特定實施，但可在不脫離本揭示案之基本範疇的情況下設計出其他及另外的實施。預期一個實施例之元件及特徵可有益地併入其他實施例中而無需進

一步敘述。然而，應注意，圖式僅繪示出例示性實施例。
本發明之範疇由以下申請專利範圍確定。

【符號說明】

【0076】

10a：光束

10b：光束

100：元件

100'：元件

100''：元件

100a：元件

100b：元件

102：支撐結構

103：晶種層結構

103/104'：晶種層

103/106'：晶種層

104：下部晶種層

104'：晶種層

106：上部晶種層

106'：晶種層

108：金屬氮化物層

108'：超導導線

110：覆蓋層

112：溝槽

1 2 0 : 導 電 電 極
1 2 4 : 基 板
1 2 6 : 分 散 式 布 拉 格 反 射 器 (D B R)
1 3 0 : 縫 隙
1 3 4 : 基 板
1 3 6 : 介 電 層
1 3 8 : 波 導
2 0 0 : 方 法
2 0 0 ' : 方 法
2 0 0 " : 方 法
2 0 2 : 步 驟
2 0 4 ' : 步 驟
2 0 4 a : 步 驟
2 0 4 b : 步 驟
2 0 4 c : 步 驟
2 0 5 : 步 驟
2 0 6 : 步 驟
2 0 8 : 步 驟
2 1 0 : 步 驟
A : 箭 頭

【生物材料寄存】

國內寄存資訊(請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

國外寄存資訊(請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記)

無

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種超導元件，包括：

一基板；

在該基板上之一金屬氧化物或金屬氮氧化物晶種層，
該晶種層為一第一金屬之一氧化物或氮氧化物；

直接安置在該晶種層上之一金屬氮化物超導層，該超導層為一不同的第二金屬之一氮化物；及

在該基板與該金屬氧化物或金屬氮氧化物晶種層之間
的一分散式布拉格反射器。

【請求項2】 如請求項1所述之元件，其中該第二金屬之
該氮化物為氮化鈮、氮化鈦或鈮鈦氮化物。

【請求項3】 如請求項2所述之元件，其中該金屬氮化物
超導層包括 δ 相NbN。

【請求項4】 如請求項2所述之元件，其中該第一金屬為
鋁。

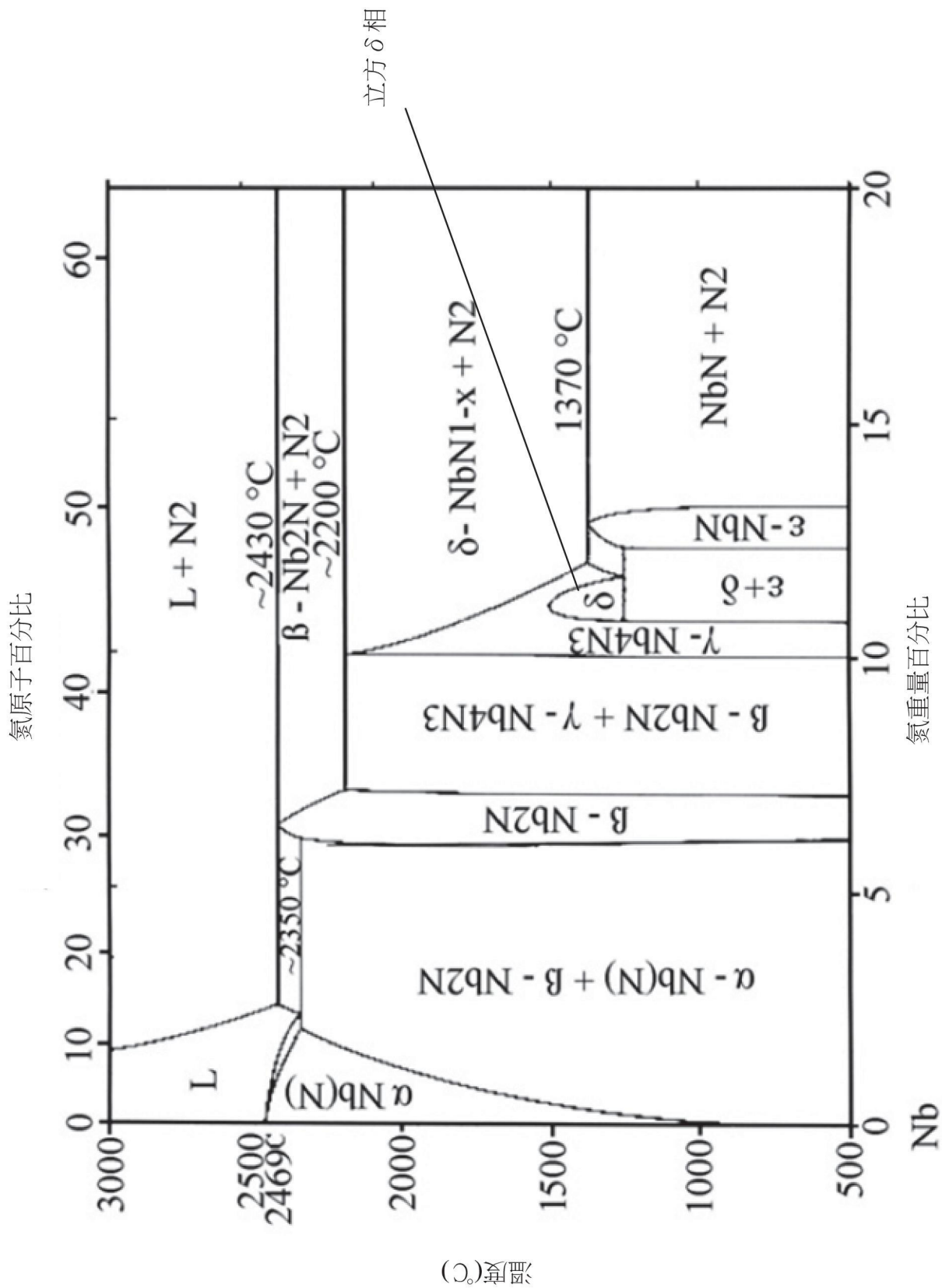
【請求項5】 如請求項1所述之元件，其中該金屬氧化物
或金屬氮氧化物晶種層具有小於2 nm之一厚度。

【請求項6】 如請求項1所述之元件，其中該金屬氧化物
或金屬氮氧化物晶種層具有3 nm至50 nm之一厚度。

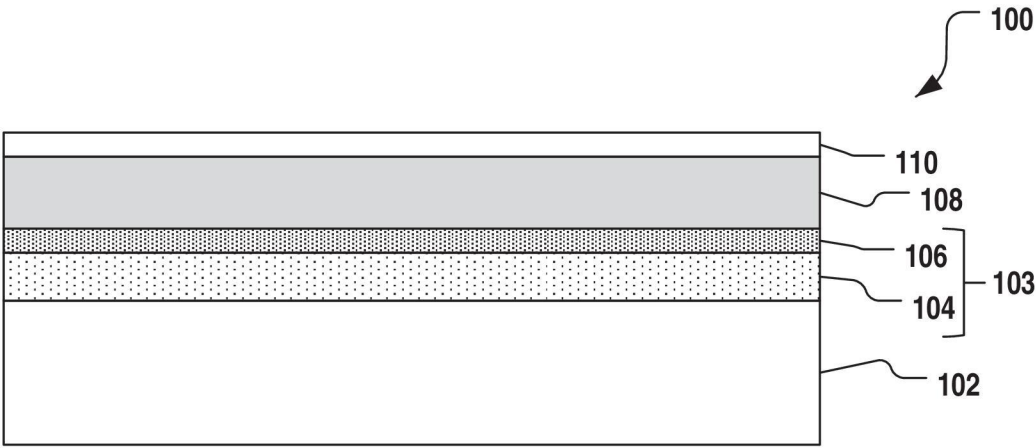
【請求項7】 如請求項1所述之元件，進一步包括在該超
導層上之一覆蓋層。

【請求項8】 如請求項1所述之元件，其中該金屬氮化物
超導層具有4 nm至50 nm之一厚度。

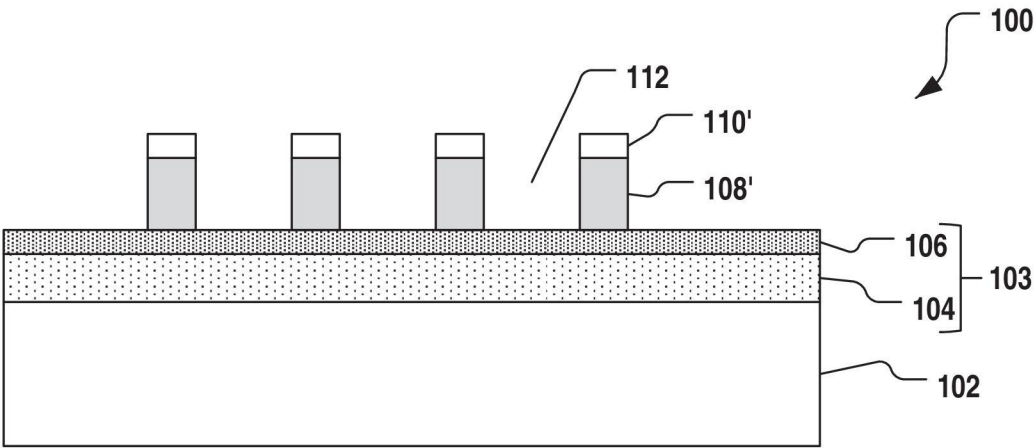
【發明圖式】



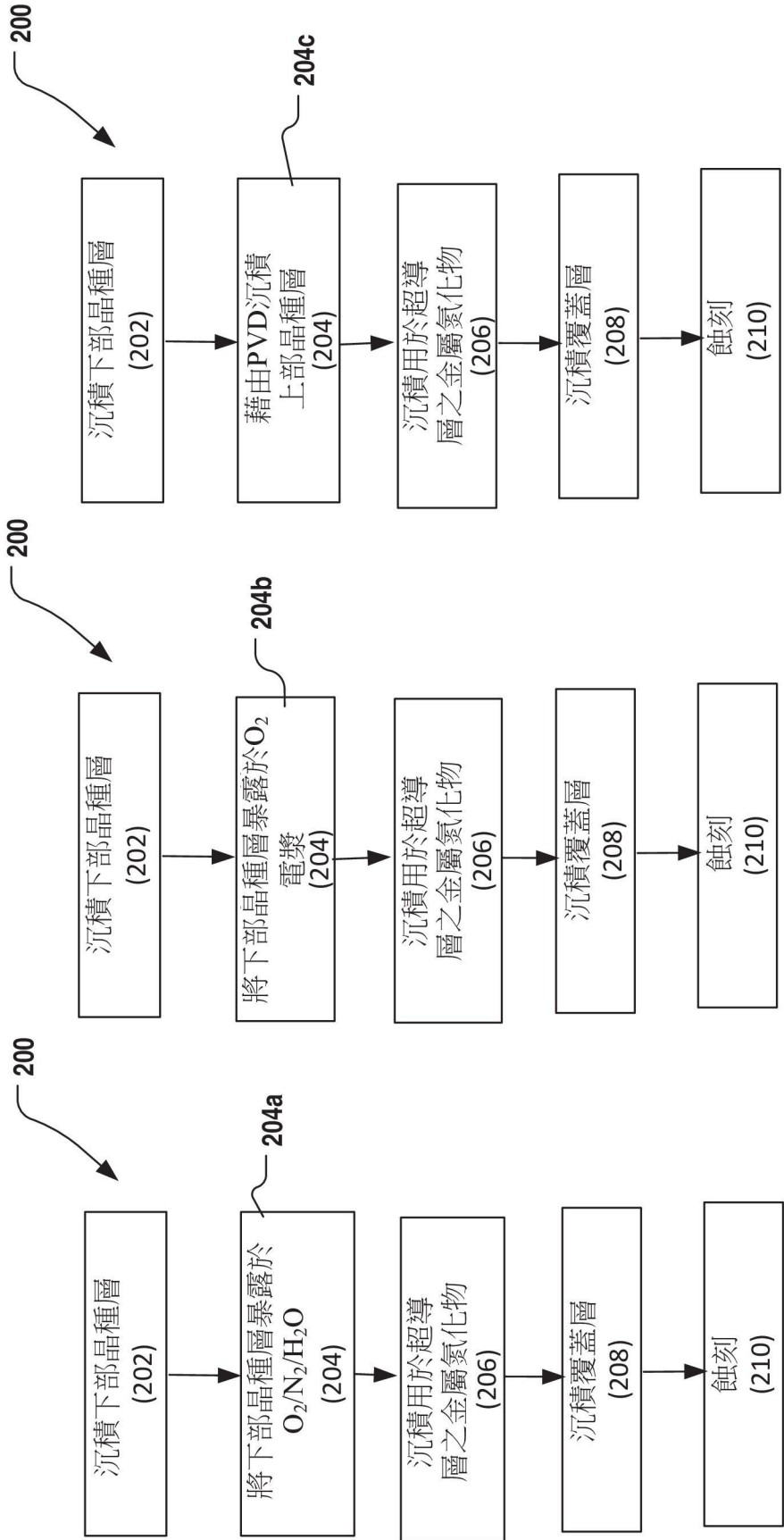
第1圖



第2A圖



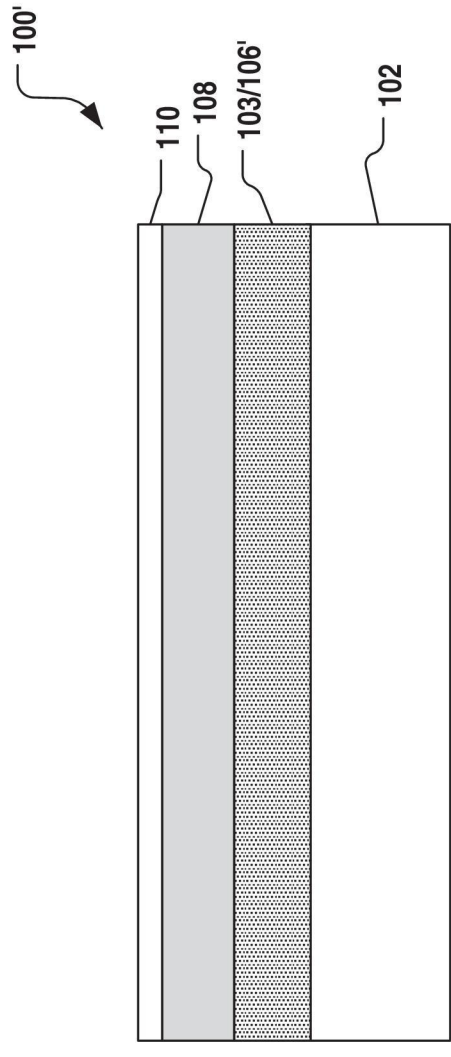
第2B圖



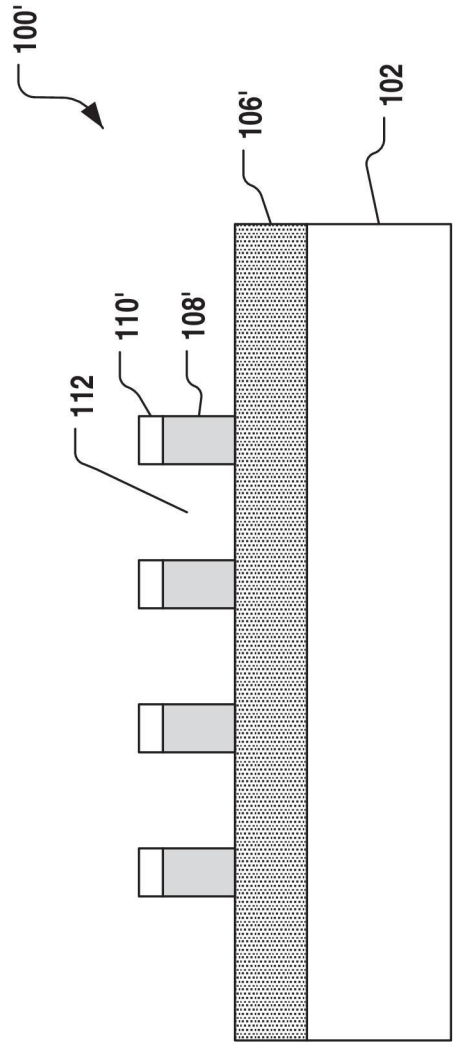
第3A圖

第3B圖

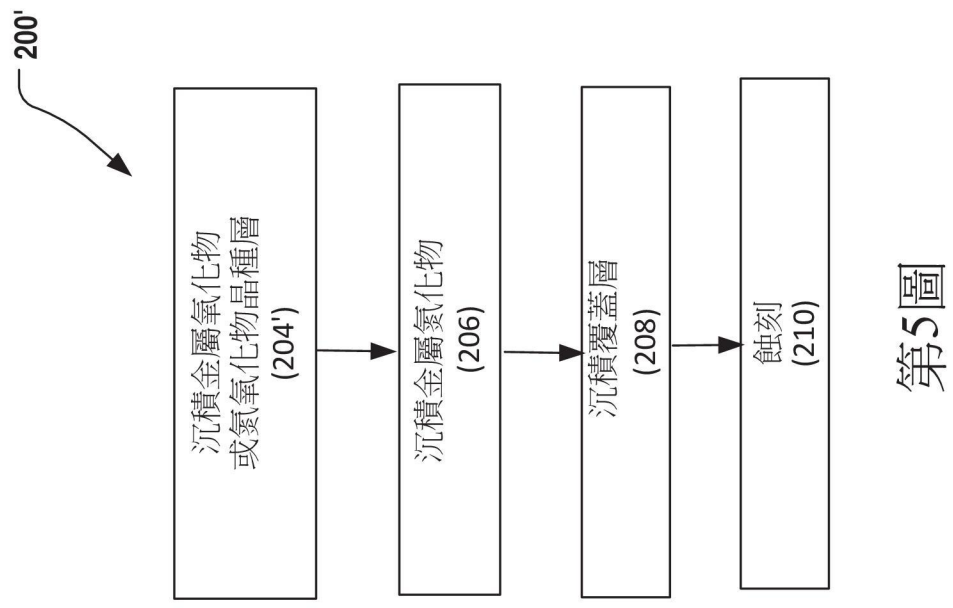
第3C圖



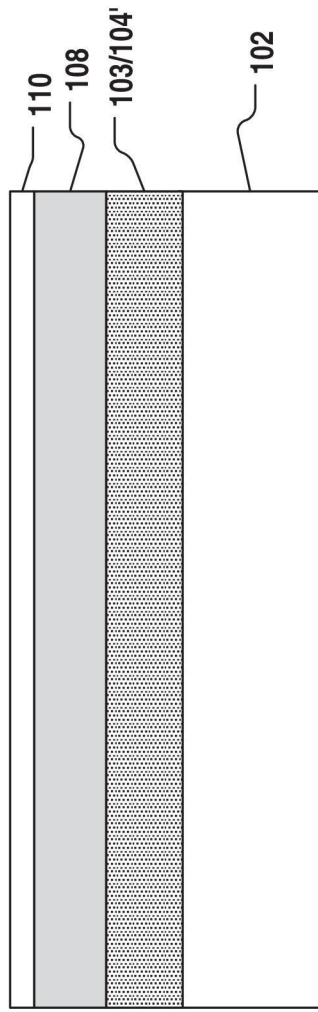
第4A圖



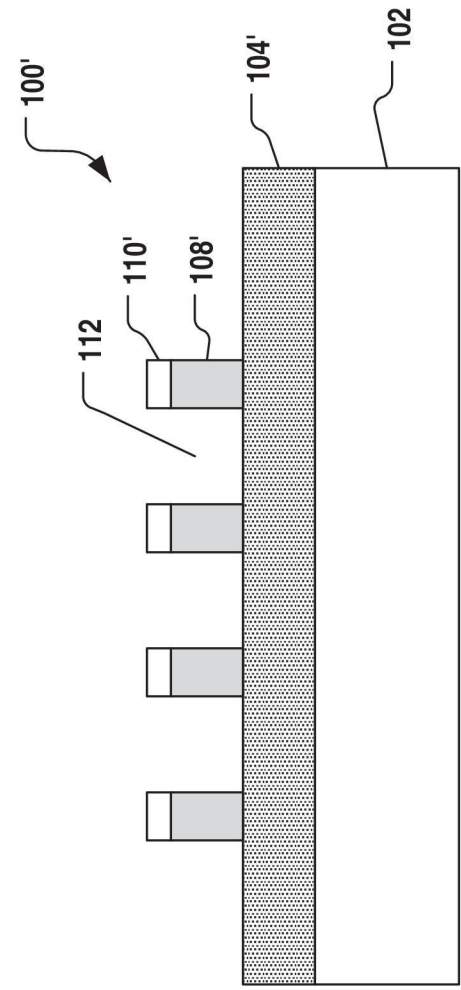
第4B圖



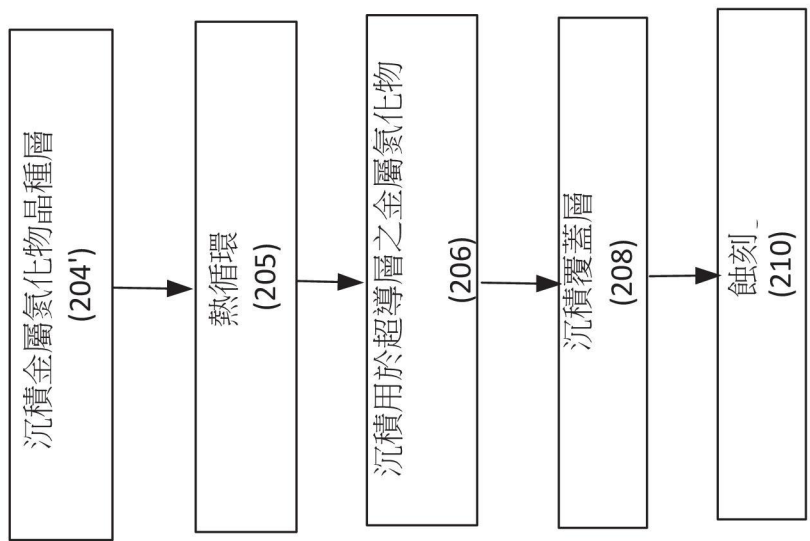
100'
200"



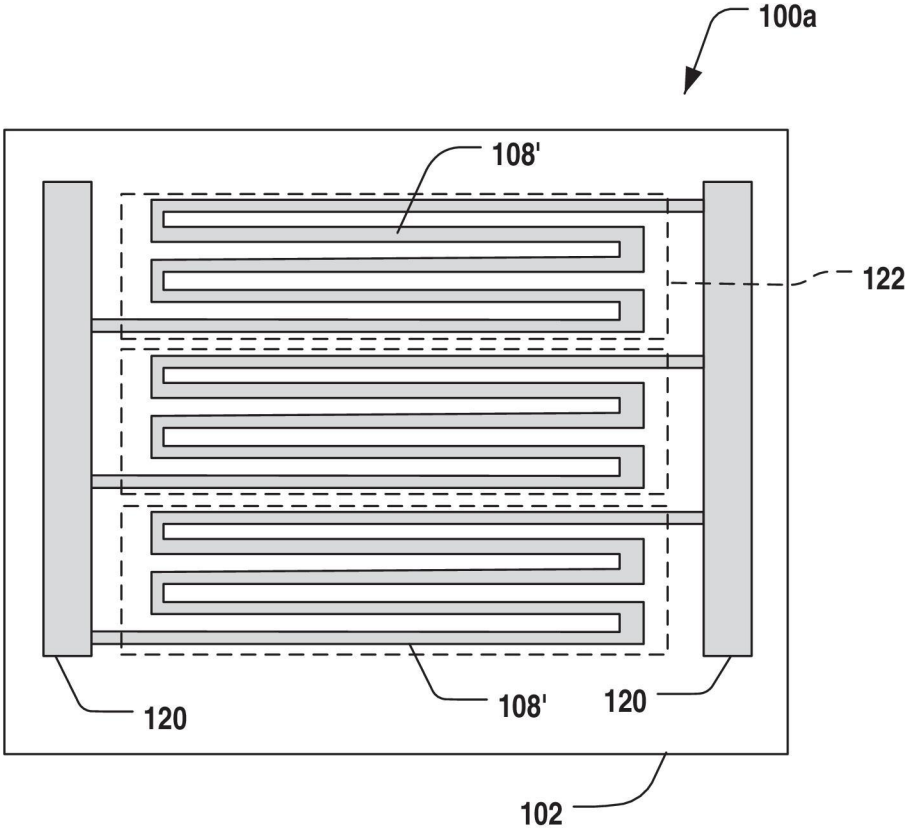
第6A圖



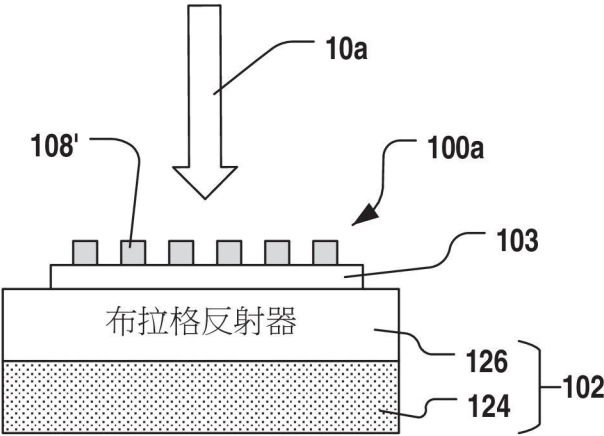
第6B圖



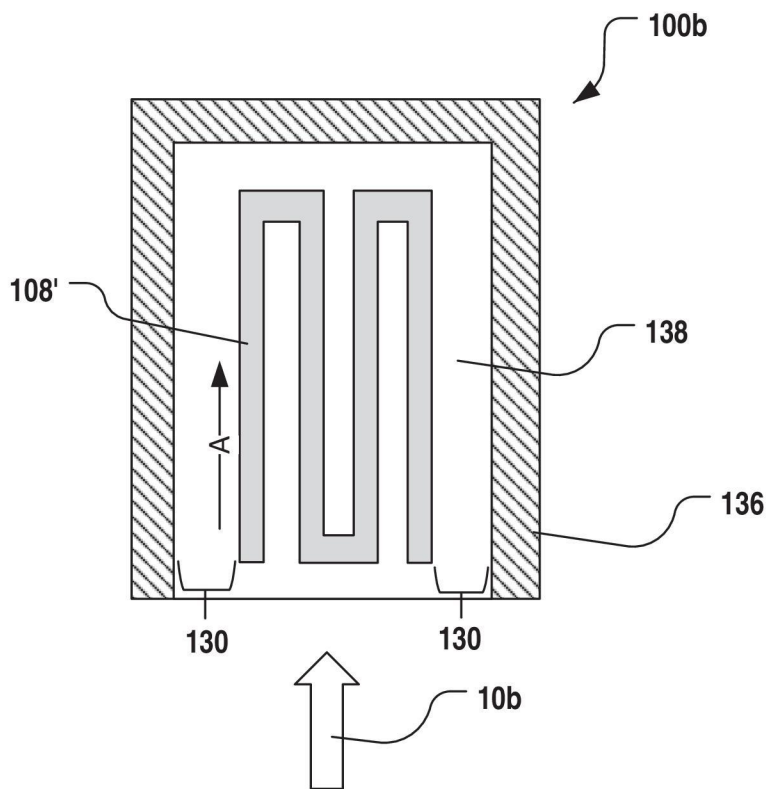
第7圖



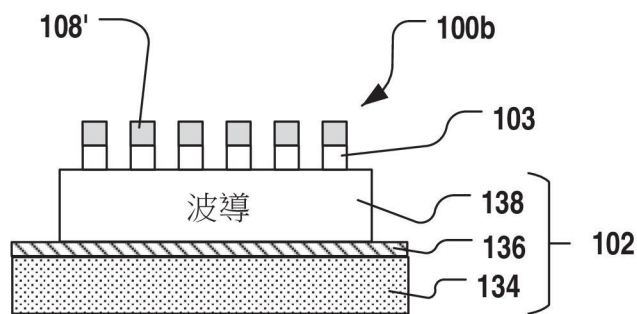
第8A圖



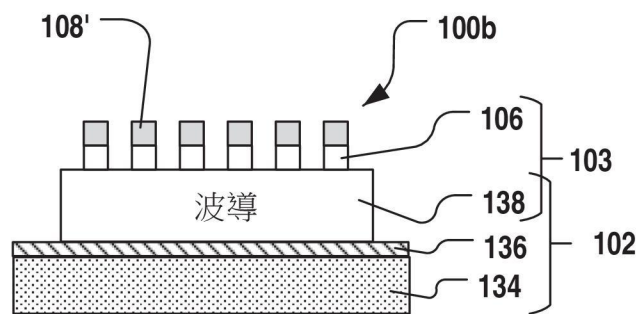
第8B圖



第9A圖



第9B圖



第9C圖