



(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 I787181 B

(45)公告日：中華民國 111 (2022) 年 12 月 21 日

(21)申請案號：106114454

(22)申請日：中華民國 106 (2017) 年 05 月 02 日

(51)Int. Cl. : **B08B7/00 (2006.01)** **G03F1/82 (2012.01)****G03F1/84 (2012.01)** **G03F7/20 (2006.01)**

(30)優先權：2016/05/20 美國 15/160,263

(71)申請人：美商瑞弗股份有限公司 (美國) RAVE LLC (US)

美國

(72)發明人：羅賓森 陶德伊凡 ROBINSON, TOD EVAN (US)；阿盧札 博內比 J ARRUZA, BERNABE J. (US)；羅斯勒 基尼斯吉伯特 ROESSLER, KENNETH GILBERT (US)；布林克里 大衛 BRINKLEY, DAVID (US)；勒克萊兒 傑弗瑞 E LECLAIRE, JEFFREY E. (US)

(74)代理人：閻啓泰；林景郁

(56)參考文獻：

TW 200924039A

JP 2005-84582A

JP 2009-265176A

審查人員：黃濟陽

申請專利範圍項數：8 項 圖式數：38 共 124 頁

(54)名稱

從高深寬比結構移除碎片

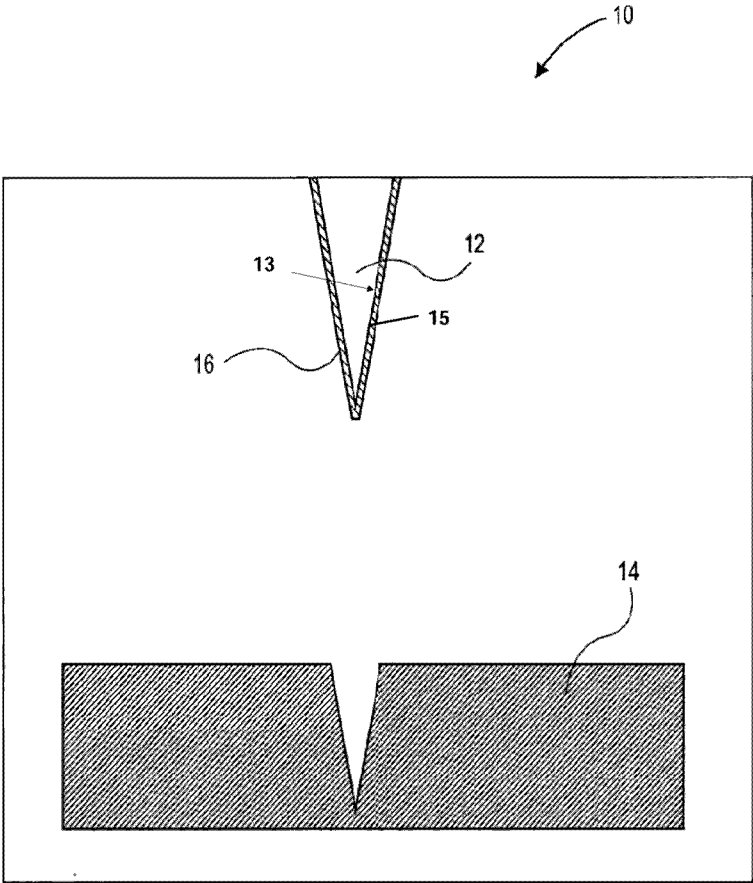
(57)摘要

本發明提供一種用於奈米加工製程之從尖端收集並分析碎片的碎片收集及計量系統，該系統包括照射源、照射偵測器、致動器及控制器。該照射源可操作以將入射照射引導至該尖端上，並且該照射偵測器可操作以從該尖端接收樣本照射，該樣本照射由於施加至該尖端上之該直接入射照射產生。該控制器可操作地耦接至致動器系統及照射偵測器，並且該控制器可操作以基於該照射偵測器對該樣本照射之第一回應接收第一信號，並且該控制器可操作以基於該第一信號實現在該尖端與該照射源和該照射偵測器中至少一者之間的相對運動。

A debris collection and metrology system for collecting and analyzing debris from a tip used in nanomachining processes, the system including an irradiation source, an irradiation detector, an actuator, and a controller. The irradiation source is operable to direct incident irradiation onto the tip, and the irradiation detector is operable to receive a sample irradiation from the tip, the sample irradiation being generated as a result of the direct incident irradiation being applied onto the tip. The controller is operatively coupled to an actuator system and the irradiation detector, and the controller is operable to receive a first signal based on a first response of the irradiation detector to the sample irradiation, and the controller is operable to effect relative motion between the tip and at least one of the irradiation source and the irradiation detector based on the first signal.

指定代表圖：

- 符號簡單說明：
- 10 . . . 裝置
 - 12 . . . 尖端
 - 13 . . . 尖端表面
 - 14 . . . 低表面能材料之貼片或貯器
 - 15 . . . 中間層
 - 16 . . . 塗層



第2圖



申請日: 106/05/02

IPC分類: B08B 7/00 (2006.01)
G03F 1/82 (2012.01)
G03F 1/84 (2012.01)
G03F 7/20 (2006.01)

I787181

【發明摘要】

【中文發明名稱】從高深寬比結構移除碎片

【英文發明名稱】DEBRIS REMOVAL FROM HIGH ASPECT STRUCTURES

【中文】

本發明提供一種用於奈米加工製程之從尖端收集並分析碎片的碎片收集及計量系統，該系統包括照射源、照射偵測器、致動器及控制器。該照射源可操作以將入射照射引導至該尖端上，並且該照射偵測器可操作以從該尖端接收樣本照射，該樣本照射由於施加至該尖端上之該直接入射照射產生。該控制器可操作地耦接至致動器系統及照射偵測器，並且該控制器可操作以基於該照射偵測器對該樣本照射之第一回應接收第一信號，並且該控制器可操作以基於該第一信號實現在該尖端與該照射源和該照射偵測器中至少一者之間的相對運動。

【英文】

A debris collection and metrology system for collecting and analyzing debris from a tip used in nanomachining processes, the system including an irradiation source, an irradiation detector, an actuator, and a controller. The irradiation source is operable to direct incident irradiation onto the tip, and the irradiation detector is operable to receive a sample irradiation from the tip, the sample irradiation being generated as a result of the direct incident irradiation being applied onto the tip. The controller is operatively coupled to an actuator system and the irradiation detector, and the controller is operable to receive a first signal based on a first response of the irradiation detector to the sample irradiation, and the controller is operable to effect relative motion between

the tip and at least one of the irradiation source and the irradiation detector based on the first signal.

【指定代表圖】第（ 2 ）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

1 0 裝 置

1 2 尖 端

1 3 尖 端 表 面

1 4 低表面能材料之貼片或貯器

1 5 中 間 層

1 6 塗 層

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】從高深寬比結構移除碎片

【英文發明名稱】DEBRIS REMOVAL FROM HIGH ASPECT STRUCTURES

【技術領域】

【0001】 此專利申請案係於2016年1月29日提交的共同未決之美國專利申請案第15/011,411號之部分繼續申請案並主張其優先權權益，美國專利申請案第15/011,411號係於2014年2月28日提交的美國專利申請案第14/193,725號之部分繼續申請，美國專利申請案第14/193,725號係於2012年10月15日提交的美國專利申請案第13/652,114號之分案（頒與為美國專利第8,696,818號），美國專利申請案第13/652,114號係於2007年9月17日提交的美國專利申請案第11/898,836號（頒與為美國專利第8,287,653號）之繼續申請案，以上全部申請案之全文以引用方式併入本文。

【0002】 本揭示一般係關於奈米加工製程。更特定言之，本揭示係關於在奈米加工製程期間及/或在奈米加工製程之後移除碎片。此外，可應用本揭示之碎片移除製程以移除對基板而言為外來之任何材料。

【先前技術】

【0003】 根據定義，奈米加工涉及從例如光微影遮罩、半導體基板/晶圓、或其上可進行掃描探針顯微鏡（scanning probe microscopy; SPM）之任何表面機

械移除奈米尺度體積之材料。出於此論述之目的，「基板」將指其上可進行奈米加工之任何物件。

【0004】 光微影遮罩之實例包括：標準光遮罩（193 nm波長，經浸漬或不經浸漬）、下一代微影遮罩（壓印、引導自組裝、等等）、超紫外線微影光遮罩（EUV或EUVL）及任何其他可行或有用遮罩技術。考慮作為基板之其他表面之實例係膜、薄膜、微電子/奈米電子機械系統MEMS/NEMS。在本揭示中所使用之術語，「遮罩（mask）」或「基板（substrate）」包括以上實例，儘管本領域一般技藝人士應瞭解其他光遮罩或表面亦可應用。

【0005】 在相關領域中奈米加工可藉由使用位於原子力顯微鏡（atomic force microscope; AFM）之懸臂上的尖端（例如，金剛石切削鑽頭）將力施加至基板表面來進行。更特別地，可首先將尖端插入基板之表面中，並且隨後可在平行於該表面之平面（亦即，xy平面）中拖動該尖端經過該基板。這導致材料從沿著其拖動該尖端的基板移位及/或移除材料。

【0006】 由於此奈米加工，碎片（其包括對基板表面而言為外來的任何材料）在該基板上產生。更特別地，由於從該基板移除材料，小粒子可在奈米加工製程期間形成。在一些情況中，一旦完成該奈米加工製程，此等粒子餘留在基板上。此等粒子通常發現於例如在基板上存在的溝槽及/或空穴中。

【0007】 為了移除碎片、粒子或對基板而言為外來的任何材料，特定言之在高深寬比光微影遮罩結構及電子電路系統中；已使用濕式清潔技術。更具體而言，可使用液態化學試劑及/或攪拌全部遮罩或電路系統。然而，化學方法及攪拌方法（諸如兆聲攪拌）均可不利地改變或破壞高深寬比結構及遮罩光學鄰近修正特徵（亦即，一般非常小使得此等特徵不成像而是形成由遮罩設計者有利地用以形成圖案之繞射圖案的特徵）二者。

【0008】 為了更好地理解高深寬比形狀及結構為何對化學試劑及攪拌破壞特別敏感；應記得根據定義，此等形狀及結構包括大量表面面積及由此係熱力學上非常不穩定的。因此，當施加化學試劑及/或機械能時，此等形狀及結構對分層及/或其他形式破壞高度敏感。

【0009】 值得注意的是使用薄膜以保持粒子脫離正複製之微影表面的壓印微影製程及EUV（或EUVL）當前係不可行的。不可使用薄膜之技術一般對阻止將圖案轉移至晶圓之能力的粒子污染引起之破損更為敏感。薄膜係在EUV遮罩之發展中，但DUV薄膜遮罩之先前經驗指示，使用薄膜僅減輕（但不完全防止）臨界粒子及其他污染物落到表面上並且任何隨後暴露至高能量光子將趨於使此等粒子固定至具有較大黏著性程度之遮罩表面。此外，此等技術可使用較小特徵大小（1至300 nm）實施，使此等對在可通常使用之標準濕式清潔實務期間之損壞更為敏感。在EUV或EUVL之特定情形中，該技術可需要在

使用期間且很可能在儲存等待使用期間基板處於真空環境中。為了使用標準濕式清潔技術，此真空將被破壞，這可輕易地導致進一步粒子污染。

【0010】 用於從基板移除碎片的其他當前可用方法利用低溫清潔系統及技術。例如，含有高深寬比形狀及/或結構之基板可使用二氧化碳粒子替代砂來有效「噴砂」。

【0011】 然而，亦已知在相關領域中甚至低溫清潔系統及製程不利地改變或破壞高深寬比特徵。此外，低溫清潔製程影響基板之相對大面積（例如，經處理的面積之跨度可係近似10毫米或更多以清潔具有奈米量級尺寸之碎片）。因此，可不需要自其移除碎片之基板面積無論如何經暴露至低溫清潔製程及暴露至與其關聯之潛在結構破壞能量。注意到，在奈米及微觀範圍之間存在數個物理區別，出於本文之目的，焦點將集中在有關奈米粒子清潔製程之差異上。在奈米及巨尺度清潔製程之間存在眾多相似性，但亦存在眾多關鍵差異。出於本揭示之目的，使用之奈米尺度之普遍定義係：此界定了1至100 nm之大小範圍。這條廣義範圍，因為本文綜述之眾多製程可在此範圍下（至原子尺度）發生並且能夠影響大於此範圍之粒子（至微米狀況）。

【0012】 在巨觀與奈米粒子清潔製程之間的一些物理差異包括運輸相關性質，其包括：表面面積、平均自由徑、熱及場效應。在此清單中前面二者與粒子之熱機械化學行為更為相關而後者同粒子與電磁場之相互作用更為有

關。傳熱現象交叉此等狀況二者，原因在於其亦係粒子周圍的熱機械物理化學作用及在紅外線波長範圍中粒子與電磁場之相互作用。為功能上闡明一些此等差異，提出於高深寬比線及空間結構（ 70 nm 深及 40 nm 寬 $\sim AR = 1.75$ ）之底部捕獲的奈米粒子之假想實驗實例。為了使用巨尺度製程清潔此粒子，移除該粒子所需之能量係與損壞在基板上之特徵或圖案所需之能量近似相同，由此不可能清潔高深寬比線及空間結構而無損壞。針對巨尺度清潔製程（含水、表面活性劑、聲波攪拌、等等），於移除奈米粒子之能階處，亦損壞周圍特徵或圖案。若吾人具有操縱奈米尖銳（或奈米尺度）結構（準確地在與奈米粒子之奈米距離內）的技術能力，則吾人可施加能量以將奈米粒子清潔為僅奈米粒子。針對奈米尺度清潔製程，將移除奈米粒子所需之能量僅施加至奈米粒子而非在基板上之周圍特徵或圖案。

【0013】 首先，觀察粒子之表面面積性質，由於理論粒子（本文模型化為理想球體）接近奈米尺度範圍，存在明顯數學縮放差異。材料之整體性質使用材料體積量測，而表面藉由外表面積量測。針對假定粒子，相對於粒子直徑，粒子體積以立方（三次冪）相反地降低而表面面積以平方降低。此差異意謂於巨觀及甚至微觀尺度直徑主導粒子行為之材料性質變得對奈米範圍（及更小）可忽略不計。此等性質之實例包括粒子之質量及慣性性質，該等性質係一些清潔技術諸如聲波攪拌或雷射震動的關鍵考慮。

【0014】 本文檢查之下一運輸性質係平均自由徑。針對巨觀至微觀範圍，可將流體（處於液體、氣體二者及混合狀態）之行為準確地模型化為連續流動。當考慮到藉由奈米尺度或更小之間隙分離的表面諸如AFM尖端及奈米粒子之表面時，此等流體不可被認為係連續體。這意謂流體不根據經典流動模型移動，但可更準確地關於稀薄氣體或甚至真空之彈道學原子運動。對於在標準溫度及壓力下氣體中平均原子或分子（直徑近似0.3 nm），所計算之平均自由徑（亦即，其中在分子將平均影響另一原子或分子之前分子將在直線中行進的距離）係近似94 nm，這係AFM掃描探針之較大距離。由於流體與氣體相比緻密得多，其等將具有小得多之平均自由徑，但必須注意到任何流體之平均自由徑不可小於原子或分子之直徑。若吾人比較上文給予典型尖端之0.3 nm之假設原子或分子直徑與可小至1 nm之在非接觸掃描模式期間之表面平均分離距離，因此除最為緻密之流體外，在AFM尖端頂點與正被掃描表面之間的流體環境將表現為從稀薄氣體至近真空之數個流體性質。在先前綜述中觀察對當從巨觀至奈米尺度縮放時闡明熱流體製程以根本不同方式表現係至關重要的。這影響各種製程態樣（諸如化學反應、將產物諸如鬆散粒子移除至環境中、充電或電荷中和及熱或熱能量運輸）之機制及動力學。

【0015】 從巨觀與奈米至亞奈米尺度之已知傳熱差異已由使用掃描熱探針顯微鏡之研究發現。所看到之一個較

早差異係熱能之運輸速率可係跨過奈米尺度距離小於巨尺度的數量級。這係掃描熱探針顯微鏡可如何使用加熱至有時數百度之溫度差（相對於在非接觸模式中掃描之表面）的奈米探針工作，其中尖端至表面間隔小至奈米或埃尺度。此較低傳熱之原因係在關於流體中平均自由徑之先前章節中暗示。然而，一種增強傳熱形式為黑體輻射。已經實驗顯示可於奈米尺度距離超出於給定溫度下黑體頻譜輻射之板條（P l a n k）限制。因此，不僅傳熱量值降低，而且從傳導/對流至保持稀薄至真空流體行為之黑體的主要傳輸類型亦改變。

【0016】 出於在此論述中之目的，場相互作用之差異（歸因於與其他可能實例相比其較長波長，本文電磁場係主要作為實例）可經進一步再分類為波長相關及其他量子效應（特定言之穿隧）。於奈米尺度，在來源（不論作為主要來源還是作為相對遠場來源之修改，本文預想為A F M尖端之頂點）與表面之間的電磁場行為將不經受對遠場來源將經受之對解析度的波長依賴繞射限制。將此行為（通常被稱為近場光學）用於掃描探針技術諸如近場掃描光學顯微鏡（n e a r f i e l d s c a n n i n g o p t i c a l m i c r o s c o p y ; N S O M）方面具有極大成功。在計量學方面之應用外，近場行為可影響彼此間隔奈米距離的全部奈米尺度物件之電磁相互作用。所提及之下一近場行為係量子穿隧，其中粒子、特定言之電子可跨過其經典力學中不可穿透之障壁而傳輸。此現象允許藉由於巨尺度無法看到

之方式運輸能量，並且用於掃描穿隧顯微鏡 (scanning tunneling microscopy; STM) 及一些固態電子裝置中。最後，存在常常（但不限於）奈米尺度之電磁場看到的更神秘之量子效應，諸如鄰近激發及感測電漿子共振，然而，本領域一般技藝人士應瞭解當前論述給出在巨觀與奈米尺度物理過程之間的基本差異之充分闡述。

【0017】在下文中，術語「表面能」可用於指表面之熱力學性質，該性質可用以做功（在此情形中，碎片分別至基板表面及尖端之黏著功）。一種經典的計算此之方式係吉布斯自由能，其如下給出：

$$G(p, T) = U + pV - TS$$

其中：

U = 內能；

p = 壓力；

V = 體積；

T = 溫度；以及

S = 熵。

由於當前實務不改變壓力、體積及溫度（儘管不需要為此，因為亦可等效地操縱此等參數以得到所要效應），將不詳細論述。因此，僅在以上方程式中操縱之項將係在下文論述之方法中作為驅動機制的內能及熵。由於與清潔之基板相比探針尖端表面意欲更清潔（亦即，無碎片或非意欲之表面污染物），熵天然地係熱力學驅動機制以優先污染在基板上方之尖端表面（並隨後污染軟材料之更清潔托

板)。內能係藉由其等各自表面能表徵之熱物理性質在托板、尖端、碎片及基板表面之間操縱。一種使微分表面能與吉布斯自由能相關之方式係尋求針對在單軸張力 P 下半徑 r 及長度 l 之圓柱而言工程材料於高溫（亦即，其溶點溫度之大部分）下之潛變性質的理論發展：

$$dG = -P \cdot dl - \gamma \cdot dA$$

其中

γ = 表面能密度 [J/m^2]；以及

A = 表面面積 [m^2]。

物件之應力及非固有表面能係在其吉布斯自由能中之因素的觀察誘導吾人相信此等因素（除表面能密度 γ 之外）亦可經操縱以進行將碎片可逆優先黏著至尖端（相對於基板）並且隨後黏著至軟托板。完成此之手段包括施加應力（無論外部還是內部施加）及溫度。應注意驅動過程意欲將通常導致具有淨 $\Delta G < 0$ 之一系列表面相互作用以提供微分表面能量梯度，進而優先去污染基板並隨後優先污染軟托板。這可被認為與優先向下傾斜滾動至較低能態的球類似（只不過，此處，熱力學表面能之傾斜亦包括整個系統或熵之全部無序）。第 6 圖圖示一組可能表面相互作用，其中本文所述之方法可提供下坡熱力學吉布斯自由能梯度以選擇性移除污染物並將其選擇性沉積在軟托板上。此順序係解釋使用具有中至低表面能尖端材料諸如金剛石的低表面能氟碳材料的當前實務態樣所考慮的理論機制之一。

【發明內容】

【0018】 至少鑒於以上內容，需要用於移除碎片、污染物、粒子或對基板表面而言為外來之任何材料的新穎設備及方法，並且特定言之，係關於能夠清潔具有高深寬比結構、光遮罩光學鄰近修正特徵、等等之基板而不在奈米尺度上破壞此等結構及/或特徵的新穎設備及方法。

【0019】 根據本揭示之一態樣，提供了一種用於偵測污染物之奈米尺度計量系統。該系統包括掃描探針顯微鏡 (scanning probe microscopy; SPM) 尖端、照射源、照射偵測器、致動器及控制器。該照射源經配置及排列以將入射照射引導至 SPM 尖端上。該照射偵測器經配置及排列以從 SPM 尖端接收樣本照射，該樣本照射由入射照射導致。該致動器系統可操作地耦接至奈米尺度計量系統並經配置以實現在 SPM 尖端與照射源和照射偵測器中至少一者之間的相對運動。該控制器可操作地耦接至致動器系統及照射偵測器，並且該控制器經配置以基於照射偵測器對樣本照射之第一回應接收第一信號，並且經配置以基於第一信號經由致動器系統實現在 SPM 尖端與照射偵測器和照射源中至少一者之間的相對運動。

【0020】 根據在本揭示中奈米尺度計量系統之一個態樣，該致動器系統可操作地耦接至 SPM 尖端，並且該致動器系統包括經配置以關於第一軸旋轉 SPM 尖端的旋轉致動器。

【0021】 根據在本揭示中奈米尺度計量系統之一個態樣，該照射源係x射線源、雷射、可見光源、紅外光源、紫外光源、或電子束源。

【0022】 根據在本揭示中奈米尺度計量系統之一個態樣，該控制器經進一步配置以基於第一信號產生樣本照射之第一頻域頻譜，藉由第一頻域頻譜減去背景頻域頻譜產生第二頻域頻譜，並基於第二頻域頻譜經由致動器系統實現在SPM尖端與照射偵測器和照射源中至少一者之間的相對運動。根據在本揭示中奈米尺度計量系統之一個態樣，該控制器經進一步配置以當SPM尖端基本上未被污染時基於照射偵測器對SPM尖端照射之回應產生背景頻域頻譜。

【0023】 根據在本揭示中奈米尺度計量系統之一個態樣，該控制器經進一步配置以基於照射偵測器對樣本照射之第二回應接收第二信號，並基於在第一信號與第二信號之間的差異經由致動器系統實現在SPM尖端與照射偵測器和照射源中至少一者之間的相對運動。根據在本揭示中奈米尺度計量系統之一個態樣，該控制器經進一步配置以基於在第一信號與第二信號之間的差異實現在SPM尖端與照射偵測器和照射源中至少一者之間的相對運動量。

【0024】 根據本揭示之一態樣，提供一種具有收集器之計量系統。該計量系統包括收集器、照射源、照射偵測器、掃描探針顯微鏡(scanning probe microscopy; SPM)尖端及致動器系統。該收集器可具有在收集器之第

一表面上的第一內邊緣、在收集器之第二表面上的第二內邊緣，該第二表面與該第一表面相對，並且內表面從該第一內邊緣延伸至該第二內邊緣，該內表面界定其中收集袋或收集通孔之至少一部分。該照射源經配置及排列以從收集器之內表面接收樣本照射，該樣本照射由入射照射導致。該致動器系統可操作地耦接至 S P M 尖端並經配置以相對於收集器移動 S P M 尖端以用於將至少一個粒子或碎片從 S P M 尖端轉移至收集器。

【0025】 根據在本揭示中計量系統之一個態樣，該收集通孔之寬度沿著從第一表面經過該收集器向第二表面之方向增加。

【0026】 根據在本揭示中計量系統之一個態樣，該第一內邊緣界定收集袋或收集通孔之矩形輪廓。根據本揭示之一個態樣，矩形輪廓之各個部分之長度小於或等於 10 m m 。

【0027】 根據在本揭示中計量系統之一個態樣，該第一內邊緣界定收集袋或收集通孔之三角形輪廓。根據本揭示之一個態樣，三角形輪廓之各個部分之長度小於或等於 10 m m 。

【0028】 根據在本揭示中計量系統之一個態樣，該第一內邊緣界定收集袋或收集通孔之弧形橫截面，並且該弧形橫截面係圓形、橢圓形或卵形輪廓。根據本揭示之一個態樣，該第一內邊緣界定圓形輪廓，並且該圓形輪廓之直徑係小於或等於 10 m m 。

【0029】 根據在本揭示中計量系統之一個態樣，該計量系統進一步包括可操作地耦接至致動器系統的控制器，該控制器經配置以藉由抵靠第一內邊緣拖動SPM尖端將粒子從SPM尖端轉移至收集器之收集袋或收集通孔。

【0030】 根據在本揭示中計量系統之一個態樣，該收集器之內表面形成通孔通路。根據本揭示之一個態樣，該通孔通路係截斷之四面體(tetrahedron)通路、截斷之圓錐形通路、截斷之四面體(tetrahedral)通路、或截斷之方錐形通路。

【0031】 根據在本揭示中計量系統之一個態樣，該SPM尖端包括四面體形狀、圓錐形狀、或方錐形狀。

【0032】 根據在本揭示中計量系統之一個態樣，該收集袋或收集通孔經可移除地安裝至該計量系統。

【0033】 根據本揭示之一態樣，提供一種粒子收集及計量系統。該粒子收集及計量系統包括掃描探針顯微鏡(scanning probe microscopy; SPM)尖端、經配置以支撐基板的平臺、致動系統、照射源、照射偵測器及控制器。該致動系統可操作地耦接至平臺及SPM尖端，該致動系統經配置以相對於該平臺移動SPM尖端。該照射源係與計量位置光學通訊，並且該照射偵測器係與該計量位置光學通訊。該控制器可操作地耦接至致動系統、照射源及照射偵測器。該控制器經進一步配置以將SPM尖端從靠近基板之位置移動至計量位置，並且用以從照射偵測器接收指示該照射偵測器對來自該計量位置之第一樣本

照射之回應的第一信號，該第一樣本照射由來自該照射源之第一人射照射導致。

【0034】 根據在本揭示中粒子收集及計量系統之一個態樣，該計量位置經設置在SPM尖端之至少一部分上，並且該控制器經進一步配置以藉由使用第一人射照射來照射該計量位置而導致第一樣本照射。

【0035】 根據在本揭示中粒子收集及計量系統之一個態樣，該粒子收集及計量系統進一步包括粒子收集器，該計量位置經設置在該粒子收集器之至少一部分上。該控制器經進一步配置以藉由使用第一人射照射來照射該計量位置而導致該第一樣本照射。

【0036】 根據在本揭示中粒子收集及計量系統之一個態樣，該控制器經進一步配置以經由SPM尖端將粒子從基板轉移至計量位置。

【0037】 根據在本揭示中粒子收集及計量系統之一個態樣，該粒子收集及計量系統進一步包括材料貼片，該材料具有之表面能低於該基板之表面能，其中該SPM尖端包括其上材料之奈米尺度塗層。

【0038】 根據在本揭示中粒子收集及計量系統之一個態樣，該控制器經進一步配置以實現在SPM尖端與貼片之間的接觸，藉以使用該材料塗佈該SPM尖端。

【0039】 根據在本揭示中粒子收集及計量系統之一個態樣，該致動系統包括可操作地耦接至SPM尖端的尖端致動系統及可操作地耦接至平臺的平臺致動系統。該尖端

致動系統經配置以相對於基底移動 S P M 尖端，且該平臺致動系統經配置以相對於基底移動該平臺。

【0040】 根據在本揭示中粒子收集及計量系統之一個態樣，該粒子收集器係收集袋或收集通孔。該粒子收集器包括至少第一內邊緣。該至少第一內邊緣界定三角形、矩形、圓形、橢圓形、或卵形輪廓之一。根據本揭示之一個態樣，該第一內邊緣界定三角形或矩形輪廓，並且其中該三角形或矩形輪廓之各個部分包括小於或等於 10 mm 之長度。根據本揭示之一個態樣，該第一內邊緣界定圓形輪廓，並且該圓形輪廓之直徑小於或等於 10 mm。

【0041】 根據在本揭示中粒子收集及計量系統之一個態樣，粒子收集器包括在該收集器之第一表面上的第一內邊緣、在該收集器之第二表面上的第二內邊緣，該第二表面與該第一表面相對，並且內表面從該第一內邊緣延伸至第二內。根據本揭示之一個態樣，該內表面形成通孔通路。該通孔通路係截斷之四面體通路、截斷之圓錐形通路、或截斷之方錐形通路。

【0042】 根據在本揭示中粒子收集及計量系統之一個態樣，該 S P M 尖端包括四面體形狀、圓錐形狀、或方錐形狀。

【0043】 根據在本揭示中粒子收集及計量系統之一個態樣，該貼片經可移除地安裝至該平臺。根據在本揭示中粒子收集及計量系統之一個態樣，該收集袋或收集通孔經可移除地安裝至該平臺。

【0044】 根據本揭示之一態樣，提供一種使用掃描探針顯微鏡(scanning probe microscopy; SPM)尖端決定粒子組成之方法。該方法包括將粒子轉移至SPM尖端；使用來自照射源之第一入射照射來照射該SPM尖端；使用照射偵測器來偵測由第一入射照射導致之第一樣本照射；以及基於來自照射偵測器對該第一樣本照射之回應的第一信號來實現在SPM尖端與照射源和照射偵測器中至少一者之間的相對運動。

【0045】 根據用於決定在SPM尖端上粒子組成之方法的一態樣，該方法進一步包括基於第一信號產生第一樣本照射之第一頻域頻譜；藉由第一頻域頻譜減去背景頻域頻譜產生第二頻域頻譜；以及基於第二頻域頻譜來實現在SPM尖端與照射源和照射偵測器中至少一者之間的相對運動。

【0046】 根據用於決定在SPM尖端上粒子組成之方法的一態樣，該方法進一步包括當SPM尖端基本上未被污染時基於照射偵測器對SPM尖端照射之回應產生背景頻域頻譜。

【0047】 根據用於決定在SPM尖端上粒子組成之方法之一態樣，該方法進一步包括使用來自照射源之第二入射照射來照射該SPM尖端；使用照射偵測器來偵測由第二入射照射導致之第二樣本照射；以及基於來自照射偵測器對第二樣本照射之回應的第二信號來實現在SPM尖端與照射源和照射偵測器中至少一者之間的相對運動。

【0048】 根據用於決定在SPM尖端上粒子組成之方法的一態樣，該方法進一步包括基於在第二信號與第一信號之間的差異實現在SPM尖端與照射源和照射偵測器中至少一者之間的相對運動。

【0049】 根據用於決定在SPM尖端上粒子組成之方法的一態樣，來自照射源之第一入射照射係x射線、可見光、紅外光、紫外光、電子束及雷射之至少一者。根據用於決定在SPM尖端上粒子組成之方法的一態樣，來自該照射源之第二入射照射係x射線、可見光、紅外光、紫外光、電子束及雷射之至少一者。第二入射照射係與第一入射照射不同之照射類型。在一個態樣中，該第一樣本照射係藉由第一入射照射與SPM尖端之相互作用來產生。在一個態樣中，該相互作用可包括由SPM尖端反射、折射、或吸收並重新發射第一入射照射的一或更多者。在一個態樣中，該第一樣本照射係藉由第一入射照射與設置在SPM尖端上之碎片相互作用來產生。在一個態樣中，該相互作用可包括由設置在SPM尖端上之碎片反射、折射、或吸收並重新發射第一入射照射的一或更多個。

【0050】 根據用於決定在SPM尖端上粒子組成之方法的一態樣，該方法進一步包括調節來自照射源之第一入射照射之強度或頻率。在一個態樣中，該方法進一步包括調節來自照射源之第二入射照射之強度或頻率。

【0051】 根據本揭示之一態樣，提供一種用於決定從基板移除之粒子組成之方法。該方法包括將粒子從基板轉移

至掃描探針顯微鏡(scanning probe microscopy; SPM)尖端；使用來自照射源之第一入射照射來照射該粒子；以及於照射偵測器從該粒子接收第一樣本照射，該第一樣本照射由該第一入射照射導致。

【0052】 根據用於決定從基板移除之粒子組成之方法的一態樣，來自該粒子之第一樣本照射係由照射偵測器接收而該粒子經設置在該SPM尖端上。

【0053】 根據用於決定從基板移除之粒子組成之方法的一態樣，將粒子從基板轉移至SPM尖端包括使該SPM尖端與該基板相接觸並相對於該基板移動該SPM尖端。

【0054】 根據用於決定從基板移除之粒子組成之方法的一態樣，該方法進一步包含使用SPM尖端將粒子轉移至計量位置。

【0055】 根據用於決定從基板移除之粒子組成之方法的一態樣，該方法進一步包括使用在粒子收集器上界定之計量位置將粒子從SPM尖端轉移至粒子收集器。來自粒子之第一樣本照射由照射偵測器接收而粒子經設置在該計量位置上。將粒子從SPM尖端轉移至粒子收集器包括使該SPM尖端抵靠該計量位置並相對於該計量位置移動該SPM尖端。

【0056】 根據用於決定從基板移除之粒子組成之方法的一態樣，該粒子收集器係收集袋或收集通孔，包括至少一個污染物收集邊緣，並且將粒子從SPM尖端轉移至粒子收集器包括操縱該SPM尖端以抵靠至少一個污染物收

集邊緣刷動或拖動。根據一個態樣，該操縱包括朝向並隨後遠離該至少一個污染收集邊緣移動 S P M 尖端。在一個態樣中，S P M 尖端之移動可包括刮削及 / 或擦拭運動。根據一個態樣，該操縱包括向上移動 S P M 尖端經過至少一個污染物收集邊緣，並且該操縱進一步包括移動 S P M 尖端向下經過至少一個污染物收集邊緣。根據一個態樣，該操縱包括向上並遠離粒子收集器中心移動 S P M 尖端。根據一個態樣，該操縱包括向下並朝向粒子收集器中心移動 S P M 。根據一個邊緣，該操縱包括在拋物線軌跡中移動 S P M 尖端。根據一個態樣，該操縱進一步包括旋轉 S P M 尖端以賦能將沉積在 S P M 尖端之不同部分上的碎片從該 S P M 尖端轉移至粒子收集器。

【0057】 根據本揭示之一態樣，提供了包含其上編碼指令以用於導致處理器決定在掃描探針顯微鏡 (s c a n n i n g p r o b e m i c r o s c o p y ; S P M) 上粒子組成之非暫時性機械可讀媒體之製品。製品之解碼指令可用於進行以下步驟：使用照射偵測器偵測第一樣本照射，該第一樣本照射回應於來自照射源之第一入射照射；以及基於來自照射偵測器對該第一樣本照射之回應的第一信號來實現在 S P M 尖端與照射源和照射偵測器中至少一者之間的相對運動。

【0058】 因此，在此相當寬泛地概述了本發明之某些態樣，使得可更好地理解本發明之詳細描述，並且使得更好地瞭解該技術之現有貢獻。當然，下文將對本發明之其他

態樣進行描述，並且這些態樣將形成所附申請專利範圍之標的。

【0059】 在此方面，在更詳細地解釋本揭示之各個態樣之前，應理解本發明不將其應用限於在以下描述中所闡述或在附圖中所說明之部件的構造細節及排列。除了所描述之彼等外，本發明亦具有其他實施例並且能夠以各種方式實踐並執行。此外，應理解本文所採用之措辭和術語以及摘要係出於描述之目的並且不應認為係限制。

【0060】 因此，熟習此項技術者應瞭解本揭示所基於之概念可容易作為設計用於執行本揭示之若干目的的其他結構、方法及系統之基礎採用。由此，應認為本申請專利範圍包括此等等效構造，只要其等不脫離本揭示之精神及範疇。

【圖式簡單說明】

【0061】 第1A圖至第1C圖說明根據本揭示之態樣在一系列表面相互作用期間碎片移除裝置之一部分的橫截面圖。

【0062】 第2圖說明根據本揭示之態樣的碎片移除裝置之一部分的橫截面圖。

【0063】 第3圖說明在第2圖中所說明之碎片移除裝置之另一部分的橫截面圖。

【0064】 第4圖說明在第2圖中所說明之碎片移除裝置之該部分的橫截面圖，其中正將粒子嵌入低能量材料之貼片或貯器中。

【0065】 第5圖說明在第4圖中所說明之碎片移除裝置之該部分的橫截面圖，其中該尖端不再與低能量材料之貼片或貯器相接觸。

【0066】 第6圖說明根據本揭示之態樣具有刷毛或原纖維之尖端的橫截面圖。

【0067】 第7A圖及第7B圖說明根據本揭示之態樣在堅硬原纖維與捲繞原纖維之間的一般差異。

【0068】 第8A圖至第8C圖說明根據本揭示之態樣使用單個堅硬原纖維從靶基板移走且移除奈米粒子之過程。

【0069】 第9A圖至第9C圖說明根據本揭示之態樣使用複數個堅硬原纖維從靶基板移走且移除奈米粒子之過程。

【0070】 第10A圖至第10C圖說明根據本揭示之態樣使用單個捲繞原纖維從靶基板移除奈米粒子之過程。

【0071】 第11A圖至第11D圖說明根據本揭示之態樣使用複數個捲繞原纖維從靶基板移除奈米粒子之過程。

【0072】 第12圖說明根據本揭示之態樣包括至少一個貼片的碎片收集設備之透視圖。

【0073】 第13圖說明根據本揭示之態樣包括至少兩個貼片的碎片收集設備之透視圖。

【0074】 第14圖說明根據本揭示之態樣包括控制器的碎片收集設備之透視圖。

【0075】 第15圖說明根據本揭示之態樣包括計量系統的碎片收集設備之透視圖。

【0076】 第16圖說明根據本揭示之態樣包括計量系統及控制器的碎片收集設備之透視圖。

【0077】 第17A圖及第17B圖分別說明根據本揭示之態樣包括計量設備的碎片收集設備之俯視圖及側視圖。

【0078】 第18A圖及第18B圖分別說明根據本揭示之態樣包括計量設備及控制器的碎片收集設備之俯視圖及側視圖。

【0079】 第19A圖及第19B圖分別說明根據本揭示之態樣包括計量設備及複數個貼片及/或碎片收集器的碎片收集設備之俯視圖及側視圖。

【0080】 第20A圖及第20B圖分別說明根據本揭示之態樣包括具有控制器之計量設備及複數個貼片及/或碎片收集器的碎片收集設備之俯視圖及側視圖。

【0081】 第21A圖及第21B圖分別說明根據本揭示之態樣包括機器人臂的碎片收集設備之俯視圖及側視圖。

【0082】 第22A圖及第22B圖分別說明機器人臂在第二位置中的第21A圖及第21B圖之碎片收集設備之俯視圖及側視圖。

【0083】 第23A圖及第23B圖分別說明根據本揭示之態樣尖端支撐組件之俯視圖及側視圖。

【0084】 第24A圖及第24B圖分別說明根據本揭示之態樣可使用四面體尖端的計量系統之仰視圖及側視圖。

【0085】 第25A圖及第25B圖分別說明碎片附接至四面體尖端的第24A圖及第24B圖之計量系統之仰視圖及側視圖。

【0086】 第26A圖及第26B圖分別說明根據本揭示之態樣可使用圓錐形尖端的計量系統之仰視圖及側視圖。

【0087】 第27A圖及第27B圖分別說明碎片附接至圓錐形尖端的第26A圖及第26B圖之計量系統之仰視圖及側視圖。

【0088】 第28A圖及第28B圖分別說明根據本揭示之態樣可使用方錐形尖端的計量系統之仰視圖及側視圖。

【0089】 第29A圖及第29B圖分別說明碎片附接至方錐形尖端的第28A圖及第28B圖之計量系統之仰視圖及側視圖。

【0090】 第30A圖及第30B圖分別說明根據本揭示之態樣具有收集袋的污染物收集器之橫截面側視圖及俯視圖，該收集袋具有三角形佈置。

【0091】 第31A圖及第31B圖分別說明根據本揭示之態樣具有收集袋的污染收集器之橫截面側視圖及俯視圖，該收集袋具有圓形佈置。

【0092】 第32A圖及第32B圖分別說明根據本揭示之態樣具有收集袋的污染收集器之橫截面側視圖及俯視圖，該收集袋具有方形佈置。

【0093】 第33A圖至第33C圖說明根據本揭示之態樣使用具有收集袋之污染物收集器的例示性碎片收集過程。

【0094】 第34A圖至第34C圖說明根據本揭示之態樣使用具有收集袋之污染物收集器的另一例示性碎片收集過程。

【0095】 第35A圖及第35B圖分別說明根據本揭示之態樣具有界定截斷四面體通路之收集通孔的污染物收集器之橫截面側視圖及俯視圖。

【0096】 第36A圖及第36B圖分別說明根據本揭示之態樣具有界定截斷之圓錐形通路之收集通孔的污染物收集器之橫截面側視圖及俯視圖。

【0097】 第37A圖及第37B圖分別說明根據本揭示之態樣具有界定截斷之方錐形通路之收集通孔的污染物收集器之橫截面側視圖及俯視圖。

【0098】 第38圖說明根據本揭示之態樣具有收集通孔及計量系統的污染物收集器之橫截面側視圖。

【實施方式】

【0099】 發明態樣現將參考附圖描述，其中全文中相同元件符號指相同部件。

【0100】 參考第1A圖、第1B圖、第1C圖、第2圖、第3圖、第4圖及第5圖，現將描述用於從基板移除粒子並將其轉移至貼片的例示性裝置。第1A圖至第1C圖說明根據本揭示之態樣在一系列表面相互作用期間碎片移除裝置1之一部分的橫截面圖。在附圖中圖示（從左至右移動）可選擇性從基板3黏附粒子2並隨後將其重新定位至軟貼片4的一系列潛在表面相互作用。在第1A圖中，粒子2污

染（相對）高表面能基板 3，這降低了其表面能並增加了整個系統中之熵。接著在第 1 B 圖中，具有擴散性移動低表面能塗層之尖端 5 隨後經驅動以塗佈（再次相對）較高表面能基板 3 及粒子 2，將其等剝離。隨後，低表面能材料之耗盡可具有輕微增加之尖端 5 之表面能（更接近其標稱未塗佈之值）使得存在能量梯度以將現在剝離之粒子 2 黏附至尖端之表面 6（此外，諸如氟碳化物之材料通常具有良好黏著力）。此等相互作用亦應增加系統之熵，尤其若尖端表面 6 與該基板相比更清潔時。最後，在第 1 C 圖中，粒子 2 經機械容納到軟貼片材料 4 中並且此機械作用亦用低表面能材料重新塗佈尖端表面 6，這應降低能量並增加系統的熵。

【0101】 第 2 圖說明根據本揭示之實施例的碎片移除裝置 10 之一部分的橫截面圖。裝置 10 包括位於低表面能材料之貼片或貯器 14 附近的奈米尺度之尖端 12。在貯器中低表面能材料可係固體、液體、半液體或半固體。

【0102】 塗層 16 在尖端 12 上形成。在形成塗層 16 之前，尖端 12 可經預塗佈或經另外表面處理以修改尖端 12 之表面能（例如，用以修改毛細管、濕潤效應及 / 或表面張力效應）。當經適當選擇時，與未經塗佈之尖端相比，塗層 16 允許尖端 12 在較長時期保持較為尖銳。例如，與未經塗佈之金剛石尖端相比，經 PTFE 塗佈之金剛石尖端可具有較長使用壽命。

【0103】 根據本揭示之某些態樣，塗層16可包括在低能量材料之貼片或貯器14中發現的相同低表面能材料。此外，根據本揭示之某些態樣，尖端12可與低能量材料之貼片或貯器14直接接觸並且塗層16可藉由使尖端12抵靠低能量材料之貼片或貯器14摩擦或接觸在尖端12之表面上形成（或補充）。此外，使尖端12抵靠低能量材料之貼片或貯器摩擦及/或刮擦墊片14可增強在尖端12之表面上方低表面能材料之表面擴散。

【0104】 根據本揭示之某些態樣，塗層16及低能量材料之貼片或貯器14均可由氯化及氟化含碳分子製備或至少可包括氯化及氟化含碳分子，諸如聚四氟乙烯（Polytetrafluoroethylene；PTFE）或其他相似材料諸如氟化乙烯丙烯（Fluorinated ethylene propylene；FEP）。根據本揭示之其他態樣，金屬材料、氧化物、金屬氧化物、或一些其他高表面能材料之中間層15可經設置在尖端12之表面與低表面能材料塗層16之間。中間層之一些代表性實例可包括但不限於銻（Cs）、銱（Ir）及其氧化物（以及氯化物、氟化物、等等）。此等兩種例示性元素金屬係分別具有低及高表面能之相對軟金屬，並且因此其等表示針對給定污染物、基板及周圍環境係最佳的表面能梯度之最佳化。另外或替代地，尖端12之表面可經粗糙化或經摻雜。高表面能材料或尖端處理通常用以更牢固地將低表面能材料塗層16結合至尖端12。由於尖端形狀亦影響局部表面能密度變化（亦即，

奈米尺度銳度將恰好於頂點大幅度增加表面能密度)，尖端12之形狀亦可經修改以增加粒子對尖端之選擇性黏著力。歸因於與粒子接觸之表面面積及潛在結合位點(dA)數量之增加，粗糙化尖端12之尖端表面13亦可提供更大黏著性。尖端表面13亦可經處理（可能藉由化學或電漿過程）使得尖端表面13含有可與粒子或一些中間塗層反應以增加黏著性的高度不穩定且化學活性之懸鍵。尖端表面13亦可經高表面面積材料如高密度碳(high density carbon; HDC)或類金剛石碳(diamond like carbon; DLC)塗佈以增加尖端12與粒子相互作用之表面面積。

【0105】根據本揭示之某些態樣，使用高表面能預處理而不具有低表面能塗層16。在此等態樣中，可使用與本文論述之彼等相似之方法將下文論述之粒子20嵌入一些其他軟靶（例如，Au、Al）中，或尖端12係可消耗的。此外，鑒於本揭示如本領域一般技藝人士應瞭解，可修改其他物理及/或環境參數（例如，溫度、壓力、化學試劑、濕度）以增強尖端處理及/或粒子拾取/掉落。

【0106】根據本揭示之某些態樣，在第2圖及第3圖中說明之全部組件包括在AFM中。在一些此等配置中，低能量材料之貼片或貯器14係基本上平坦的並且附接至支撐基板18的平臺。此外，根據本揭示之某些態樣，低能量材料之貼片或貯器14可從該平臺移除並且可經容易替代或容易再次填充。例如，可使用容易釋離之夾具或磁性

固定件（未說明）將低能量材料之貼片或貯器 14 附接至 A F M。

【0107】第3圖說明在第2圖中所說明之碎片移除裝置 10 之另一部分的橫截面圖。第3圖說明可通常位於第2圖所說明的低能量材料之貼片或貯器 14 附近的基板 18。第3圖亦說明可在基板 18 之表面上形成的溝槽 22 中存在的複數個粒子 20。粒子 20 可通常經由凡得瓦爾短程力附接至溝槽 22 之表面。在第3圖中，尖端 12 可移動並定位在基板 18 附近以將粒子 20 實體附接至尖端 12。為了到達溝槽 22 之底部，如第2圖及第3圖所說明之尖端 12 可係高深寬比尖端。儘管溝槽 22 在第3圖中說明，粒子 20 可附接至或在待清潔之其他結構上發現。

【0108】第4圖說明在第2圖中所說明之碎片移除裝置 10 之該部分的橫截面圖，其中粒子 20 可從尖端 12 轉移並可藉由將尖端 12 延伸至或抵靠低能量材料之貼片或貯器 14 之表面來嵌入低能量材料之貼片或貯器 14 中。隨後，如第5圖之橫截面圖所示，可縮回尖端 12 使得尖端 12 不再與低能量材料之貼片或貯器 14 相接觸。由於尖端 12 從低能量材料之貼片或貯器 14 縮回或抽出，先前在尖端 12 上之粒子 20 餘留在低能量材料之貼片或貯器 14 中。

【0109】根據本揭示之某些態樣，可採用在第2圖至第5圖中所說明之裝置 10 以實施碎片移除方法。應注意，在本文所論述之方法之前或按照本文所論述之方法，本揭示之某些態樣可與其他粒子清潔過程結合使用。應進一步注

意術語粒子、碎片、或污染物可交換使用以描述對基板表面而言為外來之任何材料。亦應注意，儘管在圖中僅論述並圖示一個尖端12，複數個尖端可同時使用以同時從多個結構移除粒子。此外，複數個尖端可平行並同時用於本文所論述之方法中。

【0110】 上文提及之碎片方法可包括將尖端12定位在說明為在第3圖之基板18上的一或更多個粒子20（亦即，碎片塊）附近。該方法可進一步包括亦如第3圖所說明將粒子20實體黏附（與靜電黏附相對）至尖端12以及當與粒子（等）20及周圍表面接觸時尖端12之一些可能重複運動。在將粒子20實體黏附至尖端12之後，該方法可包括藉由遠離基板18移動及/或抽出尖端12並將具有粒子20之尖端12移動至低能量材料之貼片或貯器14來從基板18移除粒子20，如第4圖所說明。

【0111】 根據本揭示之某些態樣，該方法可包括在尖端12之至少一部分上形成塗層16。在本揭示之某些態樣中，塗層16可包含與基板18之表面能相比具有較低表面能的塗層材料。另外或替代地，塗層16可包含與粒子20（其與基板18接觸）之表面面積相比具有較高表面面積的塗層材料。

【0112】 除上述之外，該方法之一些態樣可進一步包括將尖端12移動至基板18之至少第二位置使得尖端12在其他粒子或碎片（未說明）塊附近，使得其他粒子或碎片塊經實體附接至尖端12。其他粒子碎片塊可隨後藉由以

與第4圖所示者類似之方式移動尖端12遠離基板18來從基板18移除。

【0113】 一旦碎片（例如，上文論述之粒子20）已從基板18移除，根據本揭示之一些方法可包括將該碎片塊沉積在位於遠離該基板之材料塊中的步驟（例如，上文論述之低能量材料之貼片或貯器14）。

【0114】 因為尖端12可重複地使用以移除大量碎片，根據本揭示之某些態樣，該方法可包括藉由在低能量材料之貼片或貯器14中插入尖端12來補充塗層16。來自低能量材料之貼片或貯器之低表面能量材料可塗佈隨時間推移可在尖端12之塗層16中產生的任何孔洞或間隙。此補充可涉及在將尖端12插入到低能量材料之貼片或貯器14中、摩擦尖端12之表面、或改變尖端12及/或低能量材料之貼片或貯器14之物理參數（例如，溫度）之後，一或更多次在低能量材料之貼片或貯器14中橫向移動尖端12。

【0115】 應注意根據本揭示之某些方法可包括在修復之前將缺陷或粒子周圍之小面積暴露至低表面能材料以降低經移除之材料堆積在一起的可能性並在完成修復之後再次牢固地黏附至基板。例如，根據本揭示之某些態樣，缺陷/粒子及缺陷周圍近似1-2微米之區域可經PTFE或FEP預塗佈。在此等情況中，由低表面能材料（例如，PTFE或FEP尖端）塗佈或構造之尖端12可用於甚至當正在採用其他修復工具（雷射、電子束）時將過量低表面能

材料施加至修復面積。除在尖端 12 上之塗層 16 外，尖端 12 之一部分或整體可包含低能量材料諸如但不限於氯化及氟化之含碳分子。此等材料之實例可包括 PTFE 或 FEP。另外或替代地，可使用其他材料諸如金屬或其等化合物。一些代表性實例包括 Cs、Ir 及其氧化物（以及氯化物、氟化物、等等）。此等兩種例示性元素金屬係分別具有低及高表面能之相對軟金屬，並且因此其等表示針對給定污染物、基板及周圍環境係最佳的表面能梯度之最佳化。另外或替代地，可使用其他基於碳之化合物。一些代表性實例包括 HDC 或 DLC。

【0116】 根據本揭示之某些態樣，該方法包括使用低能量材料之貼片或貯器 14 以推動粒子遠離尖端 12 之頂點並朝向在頂點上方支撐尖端 12 的 AFM 懸臂（未說明）。此上推粒子 20 可騰出在尖端 12 之頂點附近的空間以實體黏附更多粒子 20。

【0117】 根據本揭示之某些態樣，尖端 12 係用於藉由交替地將尖端 12 浸漬、插入及 / 或壓入軟材料之托板（其可在低能量材料之貼片或貯器 14 中發現）來從高深寬比結構（諸如，例如，基板 18 之溝槽 22）移除奈米加工碎片。在選擇態樣中，低能量材料之貼片或貯器 14 之軟材料可具有柔軟或延展一致性。此軟材料可一般具有與對其自身相比對尖端 12 及 / 或碎片材料（例如，在粒子 20 中）之較大黏著性。該軟材料亦可經選擇以具有極性性質以將

奈米加工碎片粒子20靜電吸引至尖端12。例如，低能量材料之貼片或貯器14可包括移動表面活性劑。

【0118】除上述之外，根據本揭示之某些態樣，尖端12可包括一或更多個介電表面（亦即，電絕緣表面）。此等表面可在某些環境條件（例如，低濕度）下在相似介電表面上摩擦以促進歸因於靜電表面充電導致粒子拾取。此外，根據本揭示之某些態樣，塗層16可藉由一些其他短程機制吸引粒子，該等短程機制可包括但不限於氫鍵結、化學反應、增強表面擴散。

【0119】參考第6圖至第11圖，現將描述碎片移除尖端之例示性態樣。可使用強度足夠高且足夠堅硬以穿透（亦即，凹進）低能量材料之貼片或貯器14之軟托板材料的任何尖端。因此，非常高深寬比尖端幾何形狀（大於1:1）係在本揭示之範疇內。一旦該尖端足夠堅硬以穿透該軟（可能黏著性）材料，一般選擇強度高且具有撓性之高深寬比尖端而不選擇強度較弱及/或撓性較低之材料。因此，根據本揭示之某些態樣，該尖端可經摩擦至基板18之修復溝槽22之側面及拐角中而不損壞或改變溝槽22或基板18。此操作之粗糙巨尺度類比係在深內徑中移動的堅硬刷毛。亦應注意，根據本揭示之某些態樣，尖端12可包含複數個剛性或堅硬奈米原纖維刷毛，後文將更詳細描述。在第6圖所示之一個態樣中，複數個剛性或堅硬奈米原纖維刷毛30之各個刷毛可從尖端12直線延伸。在一個態樣中，複數個剛性或堅硬奈米原纖維刷毛30可使用

碳奈米管、金屬鬚晶、等等形成。尖端 12 可另外或替代地包含複數個撓性或捲繞之奈米原纖維，下文將更詳細描述。複數個撓性或捲繞之奈米原纖維可例如使用聚合物材料在尖端 12 上形成。其他材料及結構當然涵蓋在內。

【0120】 根據本揭示之某些態樣，偵測是否已拾取一或更多個粒子可藉由採用非接觸 AFM 掃描所關注區域 (region of interest; ROI) 來進行以偵測粒子。尖端 12 可隨後從基板 18 縮回而不重新掃描，直至於靶處理之後。然而，藉由尖端 12 拾取之碎片材料之總質量亦可藉由尖端諧振頻率之相對偏移來監控。此外，其他動力學可用於相同功能。

【0121】 尖端 12 不如上文論述並如第 5 圖所說明凹進軟材料以移除粒子 20，而是尖端 12 亦可經導向低能量材料之貼片或貯器 14 以移除粒子 20。因此，若尖端無意地拾取粒子 20，則粒子 20 可藉由進行另一修復來移除。特定言之當不同材料用來藉由導向而沉積粒子 20 時，則可使用軟金屬諸如金箔。

【0122】 除上述之外，可紫外 (ultra-violet; UV) 光固化之材料或相似地對化學不可逆反應敏感的一些其他材料可用以塗佈尖端 12 並用以形成塗層 16。在 UV 固化之前，材料從基板 18 拾取粒子 20。一旦尖端 12 從基板 18 移除，尖端 12 可經暴露至 UV 源，其中可改變材料性質以使粒子 20 較不易於黏附至尖端 12 並且更易於黏附至在低能量材料之貼片或貯器 14 中的材料，其中粒子 20 可

隨後從尖端 12 移除並使用低能量材料之貼片或貯器 14 沉積。進一步增強或實現粒子拾取及移除之選擇性的其他不可逆過程當然涵蓋在內。

【0123】 本揭示之某些態樣提供各種優點。例如，本揭示之某些態樣允許使用非常高深寬比 AFM 尖端幾何形狀（大於 1:1）從高深寬比溝槽結構主動移除碎片。此外，本揭示之某些態樣可藉由將低表面能或軟材料托板附接至 AFM 連同使用非常高深寬比尖端並實現對當前由 AFM 操作者使用之軟體修復序列相對較小調節來相對容易實施。此外，根據本揭示之某些態樣，可實施新穎奈米加工工具，該工具可用（如奈米鑷子）以從不可由任何其他方法清潔的遮罩表面選擇性移除粒子。這可與其中碎片可首先使用未經塗佈之尖端從表面移走隨後使用經塗佈之尖端拾取的更傳統之修復相結合。

【0124】 一般而言，應注意，儘管低表面能材料用於上文論述之局部清潔方法中，其他可能變化亦在本揭示之範疇內。通常，此等變化產生將粒子 20 吸引至尖端 12 並且可隨後藉由一些其他處理逆轉以從尖端 12 釋放粒子 20 的表面能梯度（亦即，吉布斯自由能梯度）。

【0125】 本揭示之一個態樣涉及將至少一個奈米原纖維附接至 AFM 尖端之工作端以在高深寬比結構中提供增強之能力同時亦允許對下層基板進行較低機械侵蝕性之過程。根據其機械性質及針對奈米粒子清潔之應用，此等原纖維可經分類在兩個不同標籤下，「堅硬」原纖維及「捲

繞」原纖維。為理解該等差異，第 7 A 圖及第 7 B 圖說明在此等 2 種類型之原纖維即附接至尖端 710 的堅硬原纖維 700 與附接至尖端 760 的捲繞原纖維 750 之間的差異。此外，吾人必須首先理解在 BitClean 粒子清潔中所需的兩種關鍵過程：從經污染之表面移走奈米粒子、結合並提取奈米粒子。利用所定義之此等最關鍵之步驟，在兩種不同原纖維之間的功能差異給出如下。

【0126】 參考第 7 A 圖，堅硬原纖維 700 更為依賴原纖維本身之機械行為及機械強度以移走奈米粒子。因此，其亦依賴剪切與彎曲強度及彈性模數以成功達成移走而無破壞。這意謂著存在非常少之可超過或甚至滿足單晶金剛石之強度及堅硬度（通常被稱為其硬度）的材料。在此等材料中係碳奈米管及石墨烯，因為二者均使用亦在金剛石中發現的碳-碳 sp^3 混成軌域原子間鍵（已知最牢固者之一）。其他涵蓋之材料包括具有可能超過金剛石之機械強度及堅硬度之性質的含硼化學試劑之某些相，因此亦可使用此等材料。一般而言，眾多材料（包括金剛石）可變得固有地更牢固且更堅硬，因為其維度降低（隨著堅硬度降低，由於結構接近原子尺度並且其形狀由熱擴散行為來決定）。這係在奈米結晶金屬中首先觀察到但亦已在分子模擬及一些實驗中確認單晶奈米柱亦出現的材料現象。此行為之一種領先假說指向塑性變形之缺陷擴散機制。於較大尺度，此等晶體缺陷（空穴、錯位、等等）擴散並在主體主導之動力學中相互作用。咸信於較小尺度（全部參數相

等諸如材料及溫度)，此等缺陷移動變得由遠高於在結晶主體中的表面擴散動力學來主導。當在材料連續近似中考慮，此較大表面擴散速率轉化為塑性變形（亦稱為屈服）及甚至於較低應力水平之材料斷裂。例如，利用Ti單晶奈米柱，已經顯示屈服應力隨著降低橫截面寬度直至約8至14 nm之範圍而增加（部分取決於應力方向及奈米柱之結晶取向），低於此範圍，行為經歷反曲點，此處屈服應力實際上隨著降低橫截面寬度而降低。

【0127】 第8A圖至第8C圖說明使用於AFM尖端810之頂點處或附近附接之單個堅硬原纖維800從靶基板移走且移除奈米粒子之例示性過程。尖端810使用與AFM掃描相同之原理而不利用堅硬原纖維來接近表面及掃描。本領域一般技藝人士應瞭解不同操作參數可鑒於附接至尖端810之頂點的單個堅硬原纖維800而施加。一旦定位粒子，尖端810朝向表面830移動並且堅硬原纖維800經彈性變形，如第8B圖一般圖示。在一個態樣中，堅硬原纖維800之變形可係壓縮、剪切、彎曲、拉伸或其組合並且亦可用於從表面830機械移走奈米粒子820。一旦移走奈米粒子820，在堅硬原纖維800、基板840及奈米粒子820表面之間的表面能及面積差異決定了當隨後從基板表面830提取該奈米粒子時奈米粒子820是否黏附至堅硬原纖維800。

【0128】 作為此之例外，對於堅硬原纖維奈米粒子清潔過程唯一者係當二或更多根堅硬原纖維於小於奈米粒子

直徑(但不小於由其剪切及彎曲模數及長寬比決定之針對堅硬原纖維之彈性變形限制)之距離處牢固地附接至尖端表面時，如在第9A圖至第9C圖中所說明。根據其中二或更多根堅硬原纖維900a、900b於小於奈米粒子直徑之距離處附接至尖端910的態樣，該順序與如上文參考第8A圖至第8C圖所論述的單個堅硬原纖維非常相似。該等差異開始於觀察到在奈米粒子920周圍存在更多應變或變形的堅硬原纖維900a、900b，因此增加一或更多根堅硬原纖維900a、900b將僅以針對給定清潔情況移走奈米粒子920所需之方式(力及施加力之角度)碰撞奈米粒子920的概率，如第9B圖一般圖示。在移走步驟之後，多原纖維尖端910可具有供粒子920黏附(亦即，濕潤)的更大潛在表面面積。由於尖端910從基板縮回，如第9C圖一般圖示，若原纖維之長度及間隔在正確範圍內，則出現另一差異。具有此配置之奈米粒子920具有在堅硬奈米原纖維900a、900b之間的空間內經機械俘獲的可能性，這可導致對多原纖維900a、900b之較高黏著性及從基板表面930提取奈米粒子920的較高概率。類似地，若期望將奈米粒子920沉積在另一表面上，則尖端910可重新接近表面並且堅硬原纖維900a、900b再次受力以釋放其對奈米粒子920之機械俘獲，因此增加奈米粒子920將沉積於所要表面位置處之可能性。如先前說明，這假設原纖維900a、900b之長度及間隔在正確範圍內，在一級模型上，此等範圍包括小於奈米粒子920之最小寬度的原纖維

間隔（假設將不碎裂之強奈米粒子），但足夠大使得原纖維 900 a、900 b 將不彎曲超出其剪切及彎曲強度限制（亦由原纖維之相對長度決定並假設原纖維附接之黏著強度不小於此限制），如本領域一般技藝人士鑒於本揭示應瞭解的。在選擇態樣中，二或更多根堅硬原纖維可具有不同且不相等長度。

【0129】 為界定何為堅硬原纖維（與捲繞原纖維相對），吾人必須能夠針對特定材料及奈米結構界定各向異性彈簧常數（關於有效剪切及彎曲模數）。由於這非常難以實踐完成，本文出於吾人之目的假設此等性質係與拉伸（亦稱為，楊氏）彈性模數及強度大致成比例。拉伸模數係在其中材料呈現彈性（亦即，類彈簧）機械性質之應力範圍內材料堅硬度之可能量度。其給出為應力除以應變，因此屈服單位與應力相同（因為將應變界定為最終尺寸與初始尺寸之變形比）。儘管其未特別地界定堅硬度，因為原纖維必須能夠施加充分力以移位奈米粒子而本身不斷裂並產生對基板表面之額外污染，拉伸強度亦係重要的。強度亦以應力單位（帕斯卡）給出。針對金剛石，固有拉伸模數係在 1.22×10^{12} 帕斯卡 (TPa) 之量級上而拉伸強度從 8.7 至 16.5 吉帕斯卡 (GPa) 變化並且此次提供吾人針對堅硬度及強度之一般參考量度（接近針對拉伸彈性模數之 0.5 TPa 之鎢值或超過此等值）。就其本質來說，由於碳奈米管不係固有實體，其拉伸模數對於獨立分子及其性質（例如，單壁或多壁（分別 SWNT 或 MWNT））、

對掌性、等等)係特定的。針對SWNT，其拉伸彈性模數可從1至5 TPa變化而其拉伸強度從13至53 GPa變化。為了與在此範圍中另一種類材料比較， $B_x N_y$ (各種化學計量之氮化硼化合物)具有從0.4至0.9 TPa變化之拉伸彈性模數。出於區別並界定在捲繞原纖維與堅硬原纖維間之邊界的目的，最為相關且可適用之標準機械材料性質係屈服應力。本文將堅硬原纖維界定為具有大於或等於0.5 GPa ($1 \text{ GPa} = 1 \times 10^9 \text{ N/m}^2$)之屈服應力的任何材料。因此，藉由消除，具有小於0.5 GPa屈服應力之任何材料應被認為係捲繞原纖維。應注意，特別地於奈米尺度，眾多材料可呈現各向異性機械性質，因此屈服應力特別針對橫貫原纖維之主要(亦即，最長)尺寸的剪切應力(或等效彎曲應力)來規定係重要的。

【0130】 與堅硬原纖維相反，捲繞原纖維將具有低得多之彈簧常數(本文指定為彈性拉伸模數)與充分高(相當)之拉伸強度。在捲繞原纖維之情形下，歸因於如何施加之差異，拉伸強度係直接關於其效能，因為施加拉伸力以從基板表面移走並提取奈米粒子。然而，應注意，在文獻中引用之大部分機械性質係針對主體材料，其應原則上幾乎完全無關於針對單分子原纖維之拉伸性質(或接近單分子尺度之奈米尺度原纖維)。例如，通常引用PTFE以在主體材料中具有非常低拉伸彈性模數及強度(分別為0.5 GPa及可能 $\ll 20 \text{ MPa}$)，但由於分子骨架係由碳碳sp混成軌域化學鍵構成，與眾多其他材料、碳奈米管及石墨

烯（全部含有相同類之化學鍵）相比，其單分子拉伸強度應與金剛石更為相當。由於主體材料機械性質係更關於與其鄰居相互作用的單分子鏈之行為，其應與凝聚分子及單分子彎曲及剪切模數更為相當。由於此等類型材料（聚合物）例示與塑性變形相關之機械性質，期望其分子根據呈現高撓性之更多熱擴散行為來變形。若用於堅硬原纖維之巨觀種類係玻璃裂片，用於捲繞原纖維之類似種類應係薄碳纖維（後者可於具有高拉伸強度之巨尺度呈現高撓性）。

【0131】 第10A圖至第10C圖圖示根據本揭示之一態樣使用附接至於頂點附近或頂點處之AFM尖端1010的捲繞（撓性）奈米原纖維1000的奈米粒子清潔序列。由於不存在使捲繞類型原纖維1000變形所需之壓縮應力，將尖端1010緊靠表面1030以針對短程表面能力將原纖維1000足夠緊靠奈米粒子表面，進而允許原纖維1000黏附至該奈米粒子表面。由於以原纖維1000、奈米粒子1020及基板表面1030之相對表面能為目標使得該原纖維應優先黏附至奈米粒子表面，一旦使原纖維1000與給定原纖維長度之足夠間隙相接觸，僅需要時間及施加之攪拌能（可能機械及/或熱）以允許原纖維1000圍繞粒子1020捲繞。來自更剛性尖端之機械能（不論藉由附接有原纖維1000之尖端1010，還是在先前處理流程中之另一尖端）可能經施加以最初移走粒子1120。一旦原纖維1000圍繞奈米粒子1020充分捲繞，如在第10B圖中一般圖示，隨後從基板表面1030提取尖端1010。在此階段期

間，若原纖維1000對奈米粒子1020之黏著性（其圍繞奈米粒子捲繞並纏繞越多則增強越多）、原纖維1000之拉伸強度及其對AFM尖端1010之黏著性係全部大於奈米粒子1020對基板1040之黏著性，則將使用尖端1010從基板1040提取奈米粒子1020，如在第10C圖中一般圖示。

【0132】 可用於製備捲繞奈米（或分子）尺度原纖維之可能材料之一些實例包括：RNA/DNA、肌動蛋白、類澱粉蛋白奈米結構及離子聚合物。由於其等表示相似化學試劑、製備及處理過程，一起描述RNA（核苷酸）及DNA（脫氧核苷酸）。近期，已利用已知技術（通俗地稱為「DNA-Origami」）取得顯著進步，該技術允許如何將DNA分子連接在一起的精確化學工程。據信應用至此等或相似化學試劑之相似過程可允許長聚合物鏈分子在佇列上脫離並連接在一起。給出最常見過程，特定DNA序列可經化學生產或商購自熟知單鏈病毒DNA序列，並且經適當化學官能化（諸如在化學力顯微鏡方法中完成）之AFM尖端1110浸入含水溶液中或放置成與含有DNA序列之表面AFM接觸使得後者根據設計結合。尖端1110可隨後經官能化以用於從基板表面1130移除粒子，如第11A圖至第11D圖所示。在附圖中從左至右移動，經官能化之尖端1110可經移動或致動以接近粒子1120及基板表面1130附近（與該長度之DNA鏈1100相比更靠近），如第11A圖所示。較高溫度（可能~90℃）可使用

活化化學試劑（亦商購之輔助DNA鏈或一些其他離子活化劑諸如鎂鹽）施加同時尖端1110在經移走之粒子1120附近，如第11B圖所示。該環境可隨後經冷卻（可能至 $\sim 20^{\circ}\text{C}$ ）以允許在鏈1100中經靶向序列以如第11C圖所示連接（連接鏈1100處於分子之相對自由端）。一旦DNA塗層1100已經固化至奈米粒子1120固定附接之點，尖端1110可隨後從基板表面1130提取，如第11D圖所示。於此等小尺度，可能描述在奈米粒子與機械尖端之間的此結合，然而若粒子係在分子尺度上，則亦可將其描述為立體鍵。立體效應可藉由於足夠靠近處之原子排斥產生。若原子或分子係在全部可能擴散方向中由原子圍繞，其將有效地被俘獲並且在其環境中不能與任何其他原子或分子發生化學物理相互作用。如本領域一般技藝人士鑒於本揭示應瞭解的，可相似地操縱RNA。

【0133】 下一可能捲繞奈米原纖維候選係在真核細胞中形成長絲的相似球狀多功能蛋白質族，已知其中一者為肌動蛋白。肌動蛋白在細胞內用於支撐、錨定、機械支撐及結合，這可指示其係高度適應及充分牢固之蛋白質長絲。肌動蛋白將在與上文論述之DNA-origami相關之過程非常相似的方法中應用並使用。實驗指示此蛋白質可經結晶至尺寸 $6.7 \times 4.0 \times 3.7 \text{ nm}$ 之分子。

【0134】 對某些海洋有機體（藤壺、海藻、海扁蟲、等等）可生物（直接）牢固結合至大範圍基板材料的機制之研究提供另一種捲繞原纖維候選。此等海洋有機體分泌普

遍稱為縮寫 D O P A (3 , 4 - 二 羥 基 苯 丙 胺 酸) 的 物 質 , 其結合至具有功能性類澱粉蛋白奈米結構的此等基板表面。類澱粉蛋白之黏著性質係歸因於 β - 鏈 , 其垂直於原纖維軸定向並經由緻密氫鍵結網路來連接。此網路導致超分子 β 層 , 其通常在數千分子單位上連續延伸。類似此之原纖維奈米結構具有若干優點 , 包括 : 水下黏著性、對環境劣化之容忍度、來自自身聚合之自身恢復及大原纖維表面面積。如先前論述 , 大原纖維表面面積藉由增加在藤壺之黏著斑中的接觸面積來增強黏著性。類澱粉蛋白奈米結構亦具有可能機械優點諸如與同屬類澱粉蛋白分子間 β 層結構相關的凝聚強度及與在類澱粉蛋白核心外部之黏著殘基有關的黏著強度。此等性質使類澱粉蛋白結構成為用於廣泛應用的有前途之新一代生物吸入黏著劑的基礎。在分子自組裝用途方面之進展已允許產生用於奈米技術應用之合成類澱粉蛋白及類澱粉蛋白類似物之黏著劑 , 儘管完全合理之設計尚未實驗上闡明 , 部分歸因於在理解潛在生物設計原理方面之限制。

【 0 1 3 5 】 捲繞原纖維材料之最後實例係已知為離子聚合物之一類聚合物。簡言之 , 存在於沿著分子鏈之靶離子帶電位點處牢固結合的長熱塑性聚合物分子。離子聚合物化學試劑之常見實例係聚 (乙 烯 - 共 - 甲 基 丙 烯 酸) 。根據本揭示之一個態樣 , 該離子聚合物可經官能化至掃描熱探針之表面。用於清潔奈米粒子之過程應隨後與針對上文論述之 D N A - o r i g a m i 過程所示者非常相似 , 只不過特別地當

使用掃描熱探針時含水環境並非必需。離子聚合物官能化塗層亦可與用於在含水（或類似溶劑）環境中優先共軛鏈接的離子表面活性劑配對。應當提到的是此等實例（特別地DNA/RNA及肌動蛋白）對在活體結構諸如細胞內部移除及操縱奈米微粒實體而言為高度生物相容的。

【0136】 例如，可使用之一個變化包括使用高表面能尖端塗層。另一變化包括使用低表面能材料預處理粒子以脫離該等粒子並隨後使該等粒子與高表面能尖端塗層（有時在不同尖端上）接觸。又一變化包括使用對應於在尖端表面塗層與粒子表面之間發生化學反應以結合二者的化學能梯度。這可進行直到尖端耗盡或利用其他處理逆轉。

【0137】 根據本揭示之其他態樣，黏著劑或黏性塗層與一或更多個上文列出之因素結合使用。此外，表面粗糙度或小尺度（例如，奈米尺度）紋理可經工程設計以最大化粒子清潔過程效率。

【0138】 除上述之外，通常當尖端12包括與拖把類似能夠機械纏結粒子20的原纖維時，可使用機械結合。根據本揭示之某些態樣，機械纏結係藉由表面能或利用接觸或環境之化學改變來驅動及/或增強。

【0139】 根據本揭示之其他態樣，尖端12可利用分子鑷子（亦即，分子夾）塗佈。此等鑷子可包含具有能夠結合客體（例如，上文論述之粒子20）之敞開空腔的非環狀化合物。鑷子之敞開空腔通常使用非共價結合來結合客體，該非共價結合包括氫鍵、金屬配位、疏水性力、凡得

瓦爾力、 $\pi - \pi$ 相互作用及 I 或靜電效應。此等鐮子有時與大環分子受體類似，不同之處在於結合客體分子之兩個臂通常僅於一端連接。

【0140】 除上述之外，粒子20可使用擴散結合或卡西米爾 (C a s m i r) 效應藉由尖端移除。此外，如在第6圖中所說明之態樣中，刷毛或原纖維30可附接至尖端12之末端。不論按策略還是隨機地放置，此等刷毛或原纖維30可以若干方式增強局部清潔。例如，表面面積之相關增加可用於表面（短程）結合至粒子。

【0141】 根據本揭示之一些態樣，原纖維30經工程設計為選擇性（例如，藉由表面或環境）圍繞粒子20盤繞並纏結粒子20的分子，因此最大化表面接觸。此外，通常當堅硬刷毛30附接至尖端12時，移走粒子20根據本揭示之某些態樣發生。然而，原纖維30亦可纏結粒子20並且藉由在粒子20上拉動來機械移走粒子20。相比之下，相對剛性刷毛30通常允許尖端12延伸到難以到達之裂隙中。隨後，藉由刷毛30之碰撞變形應力、藉由用以排斥粒子20之尖端12之表面修改、或藉由某種組合，移走粒子20。此外，本揭示之某些態樣將粒子20機械結合至尖端12。當原纖維在尖端12上時，一或更多個完整或磨損之原纖維之纏結可發生。當刷毛係在尖端12上時，粒子20可楔入（彈性）受應力刷毛之間。

【0142】 根據本揭示之其他態樣，碎片移除方法包括改變環境以促進局部清潔。例如，可引入氣體或液體介質或可改變化學及/或物理性質（例如，壓力、溫度及濕度）。

【0143】 除上文論述之組件外，本揭示之某些態樣包括識別待移除之碎片的影像識別系統。因此，自動碎片移除裝置亦在本揭示之範疇內。

【0144】 根據本揭示之某些態樣，相對軟之清潔尖端係用以避免對複雜形狀之內部輪廓、壁及/或底部的不期望損壞。適當時，較強力用於使相對軟尖端與表面更高強度接觸同時亦增加掃描速度。

【0145】 亦應注意，暴露至低表面能材料及/或經低表面能材料塗佈之尖端可出於除移除奈米水平結構之碎片（清潔）外之其他目的使用。例如，根據本揭示之某些態樣，此等尖端亦可用以週期性潤滑微米水平或更小裝置（如 MEMS / NEMS）以含有化學反應。

【0146】 此方法可根據應用需要在各種環境中進行並進一步增強從基板表面至低能量材料之貼片或貯器的粒子之差異黏著性。此等環境可包括但不限於真空、各種組成及壓力之保護氣體，及可變組成之流體（包括具有變化離子強度及/或 pH 之流體）。

【0147】 由於存在影響在基板、尖端、碎片及軟貼片之間的吉布斯自由能梯度的眾多其他因素，此等其他因素亦可經操縱以產生下坡梯度，進而將粒子從基板移動至軟貼片。一個因素係溫度。可能與基板溫度及軟貼片材料結合

地使用掃描熱探針以產生所要梯度。用於吉布斯自由能之基本方程式指示若隨後接觸碎片，則較高相對溫度之表面（由於 $T \cdot S$ 項在該方程式中係負的）可提供 $\Delta G < 0$ 之可能驅動力。從在高溫下變形棒之 ΔG 的方程式，吾人亦可看到另一因素係施加至尖端之應力可潛在地增加碎片黏著性。這可藉由外部硬體（亦即，具有不同熱膨脹係數之生物材料條帶）或藉由在低於奈米加工或尖端破裂之閾值情況下基板壓縮或剪切來達成。尖端材料之變形亦可提供碎片機械俘獲機制，尤其是其經粗糙化（或在奈米刷毛中覆蓋）及/或若其於表面處具有高微結構缺陷（亦即，空隙）密度時如此。將論述之最終因素將係化學勢能。可能修改尖端及/或軟貼片表面之化學狀態以產生優選化學反應，進而將碎片材料結合至尖端。此等化學鍵可具有共價或離子性質（具有最牢固 sp^3 混成軌域共價鍵）。碎片可經由化學試劑之靶向鎖鍵化學結合對之一種成分塗佈。尖端（或另一尖端）可用其他化學試劑塗佈並與碎片表面接觸以將其結合至尖端。鎖鍵對化學試劑之一個非限制性實例係通常用於化學力顯微鏡（Chemical Force Microscopy; CFM）實驗的抗生蛋白鏈菌素及生物素。使用離子鍵之另一實例應係兩種表面活性劑極性分子化學試劑，其中在碎片及尖端表面上經暴露之分子之極性端具有相反電荷。存在包括耗盡溶劑合作用之表面化學相互作用黏著機制及立體相互作用之塗層或表面的其他相關態樣。尖端表面之化學改變亦應允許其表面能之靶向改

變以及可圍繞（以最大化表面面積 dA ）並機械俘獲於尖端表面之碎片以與其結合的相改變（特定言之從流體至固體）。此等化學改變（不論對尖端材料表面還是一些中間塗層）可由外部能源諸如熱（溫度）、紫外光及帶電粒子束催化。

【0148】 轉到第12圖至第38圖，現將論述碎片偵測及收集系統之例示性態樣。第12圖說明根據本揭示之一態樣用於從基板18提取碎片20的碎片收集設備100之透視圖。設備100包括基板支撐組件102及尖端支撐組件104，各者由基底106支撐或耦接至該基底。基底106可係單一平板，諸如單一金屬平板、單一岩石平板、單一混凝土平板、或在本領域中已知之任何其他單一平板結構。或者，基底106可包括相對於彼此固定之複數個平板。複數個平板可包括金屬平板、岩石平板、混凝土平板、其組合、或在本領域中已知之任何其他平板組件。根據本揭示之一態樣，例如，基底106可係單一岩石平板，諸如單一花崗石平板或單一大理石平板。

【0149】 基板支撐組件102可包括經配置以支撐基板18、將基板18固定至基板支撐組件102、或二者的夾具108。基板支撐組件102可進一步包括經配置以相對於基底106移動夾具108的基板平臺組件110。基板平臺組件110可包括一或更多個運動平臺，諸如直線平移平臺、旋轉運動平臺、其組合、或在本領域中已知之任何其他運動平臺。例如，基板平臺組件110可經配置以在沿著x方向

112 平移時、在沿著 y 方向 114 平移時、在沿著 z 方向 116 平移時、在關於 x 方向 112 旋轉時、在關於 y 方向 114 旋轉時、在關於 z 方向 116 旋轉時、或其組合相對於基底 106 移動夾具 108。x 方向 112、y 方向 114 及 z 方向 116 可彼此相互正交，然而，應瞭解 x 方向 112、y 方向 114 及 z 方向 116 無需彼此相互正交。

【0150】 基板平臺組件 110 之一或更多個運動平臺可包括經配置以實現在夾具 108 與基底 106 之間的所要相對運動的一或更多個致動器 118。例如，一或更多個致動器 118 可包括經由螺桿或蝸輪耦接至基板平臺組件 110 的旋轉馬達、伺服馬達、經配置以經由磁場施加在基板平臺組件 110 上之力的磁性致動器、經由活塞桿耦接至基板平臺組件 110 的氣動或液壓活塞、壓電致動器、或在本領域中已知之任何其他運動致動器。一或更多個致動器 118 可固定至基底 106。

【0151】 根據本揭示之一態樣，基板平臺組件 110 可包括第一平臺 120 及第二平臺 122，其中第一平臺 120 經配置以經由第一致動器 124 相對於第二平臺 122 移動夾具 108，並且該第二平臺經配置以經由第二致動器 126 相對於基底移動第一平臺 120。第一致動器 124 可經配置以沿著 x 方向 112 平移第一平臺 120，並且第二致動器 126 可經配置以沿著 y 方向 114 平移第二平臺 122。然而，應瞭解第一平臺 120 及第二平臺 122 可經配置以在沿著其他

軸平移或關於其他軸旋轉以適應其他應用時相對於基底 106 移動。

【0152】 尖端支撐組件 104 可包括經由尖端懸臂 132 耦接至尖端平臺組件 130 之尖端 12。尖端 12 可係掃描探針顯微鏡 (Scanning Probe Microscopy; SPM) 尖端，諸如用於 AFM 或掃描穿隧顯微鏡 (Scanning Tunneling Microscopy; STM) 之尖端。應瞭解在第 12 圖中所說明之尖端 12 可體現本文先前論述之任何尖端結構或屬性。由此，尖端平臺組件 130 可係 SPM 掃描器組件。尖端平臺組件 130 可固定至基底 106，並且經配置以在沿著 x 方向 112 平移時、在沿著 y 方向 114 平移時、在沿著 z 方向 116 平移時、在關於 x 方向 112 旋轉時、在關於 y 方向 114 旋轉時、在關於 z 方向 116 旋轉時、或其組合相對於基底 106 移動尖端 12。

【0153】 與基板平臺組件 110 相似，尖端平臺組件 130 可包括一或更多個致動器 134 以實現尖端 12 相對於基底 106 之所要運動。根據本揭示之一態樣，一或更多個致動器可包括可操作地耦接至尖端 12 以關於第一軸旋轉尖端 12 的旋轉致動器系統。根據本揭示之一態樣，一或更多個致動器 134 可包括一或更多個壓電致動器，然而，應瞭解其他致動器結構可用於一或更多個致動器 134 以滿足特定應用需求而不脫離本揭示之範疇。

【0154】 基板平臺組件 110 可經配置以實現與由尖端平臺組件 130 實現之運動相比具有較大量值及較低準確

度的運動。因此，基板平臺組件110可經定製以實現在夾具108與尖端12之間的粗略相對運動，並且尖端平臺組件130可經定製以實現在夾具108與尖端12間的更精細相對運動。

【0155】 根據一個態樣，第12圖之設備100可包括設置在基板支撐組件102、基底106、或二者上的第一貼片142。根據另一態樣，如第13圖所示，設備100可包括設置在基板支撐組件102、基底106、或二者上的第一貼片142及第二貼片144。第一貼片142、第二貼片144、或二者可體現先前論述之貼片14之任何結構、材料、或屬性。根據本揭示之一態樣，第二貼片144可體現與第一貼片142之結構及材料相似或一致的結構及材料，其中第二貼片144主要用以接收並固定經由尖端12從基板18收集之碎片20，並且第一貼片主要用以處理或製備用於隨後從基板18收集碎片20的尖端12。或者，第二貼片144可體現與第一貼片142不同的結構或材料，使得第一貼片142可經較佳定製以在從基板18收集碎片20之前處理尖端12，並且第二貼片144可經較佳定製以接收並固定經由尖端12從基板18收集並沉積至第二貼片144上的碎片20。

【0156】 在一個態樣中，第二貼片144可經配置為用於從尖端12收集碎片或污染物的收集袋或收集通孔，此將參考第30圖至第37圖進一步詳細描述。然而，應瞭解，第一貼片142或第二貼片144可單獨使用以在從基板18

收集碎片 20 之前處理尖端 12 及用以接收並固定使用尖端 12 從基板 18 收集之碎片 20。如第 13 圖所示，第二貼片 144 可經設置或安裝至與第一貼片 142 相對之第一平臺 120。然而，第二貼片 144 可位於第一貼片 142 附近，或可位於第一平臺 120 之任何其他位置上或在碎片收集設備 100 上以當配置為收集袋或收集通孔時促進俘獲碎片。

【0157】 根據本揭示之態樣，如第 14 圖所示，分別來自第 12 圖或第 13 圖之碎片收集設備 100 的任何或全部用於基板平臺組件之致動器 118 及用於尖端平臺組件之致動器 134 可操作地耦接至用於其控制之控制器 136。由此，控制器 136 可經由分別控制致動器 118、134 來實現在夾具 108 與基底 106 及尖端 12 與基底 106 之間的相對運動。進而，控制器 136 可經由致動器 118、134 之控制來實現在尖端 12 與夾具 108 之間的相對運動。

【0158】 此外，控制器 136 可回應於使用者手動輸入 138、預程式化至控制器 136 之記憶體 140 中的程序或演算法、其組合、或在本領域中已知之任何其他控制輸入來實現在夾具 108 與基底 106 之間的相對運動。應瞭解用於控制器 136 的預程式化之控制演算法可包括閉合迴路演算法、開放迴路演算法、或二者。

【0159】 第 15 圖說明根據本揭示之一態樣用於從基板 18 提取碎片 10 並分析碎片 20 之性質的碎片收集及計量設備 200 之透視圖。與第 12 圖之碎片收集設備 100 相似，碎片收集及計量設備 200 包括基板支撐組件 102、尖端支

撐組件 104 及基底 106。然而，碎片收集及計量設備 200 進一步包括計量系統 202。根據本揭示之態樣，計量系統 202 可為奈米尺度計量系統。

【0160】計量系統 202 可包括能源 204 及能量偵測器 206。能源 204 可係 x 射線源、可見光源、紅外光源、紫外光源、電子束源、雷射源、其組合、或在本領域中已知之任何其他電磁能源。應瞭解可見光源可包括可見光雷射，紅外光源可包括紅外雷射，並且紫外光源可包括紫外雷射。

【0161】能源 204 可經導向尖端 12 並在該尖端上訓練使得由能源 204 產生之入射能量束 208 入射至尖端 12 上。入射能量束 208 之至少一部分可由尖端 12 或設置在尖端 12 上之碎片 20 反射、折射、或吸收並重新發射。根據本揭示之一態樣，能源 204 可係經配置及排列以將入射照射引導至尖端 12（諸如 SPM 尖端）上的照射源，並且能量偵測器 206 可係經配置及排列以從尖端 12 接收樣本照射的照射偵測器，該樣本輻射係由施加以及由尖端 12 或設置在尖端 12 上之碎片 20 反射、折射、或吸收並重新發射的入射照射來產生。

【0162】能量偵測器 206 亦可經導向尖端 12 並在該尖端上訓練使得樣本能量束 210 入射至能量偵測器 206 上。樣本能量束 210 可包括來自由尖端 12 或設置在尖端 12 上之碎片 20 反射、由尖端 12 或設置在尖端 12 上之碎片 20 折射、由尖端 12 或設置在尖端 12 上之碎片 20 吸收並重

新發射、其組合的入射能量束 208 或可由入射能量束 208 與尖端 12 或設置在尖端 12 上之碎片 20 之間的相互作用產生的任何其他能量束之貢獻。由此，能量偵測器 206 可係光偵測器，諸如光電倍增管或光二極體，例如，X 射線偵測器；電子束偵測器；其組合；或在本領域中已知之任何其他電磁輻射偵測器。

【0163】 根據本揭示之一態樣，能源 204 包括電子束源，並且能量偵測器 206 包括 x 射線偵測器。根據本揭示之另一態樣，能源 204 包括 x 射線源，並且能量偵測器 206 包括電子束偵測器。根據本揭示之另一態樣，能源 204 包括光源，其包括但不限於可見光及紅外光。

【0164】 能量偵測器 206 可經配置以基於樣本能量束 210 之強度、樣本能量束 210 之頻率、其組合、或在本領域中已知之樣本能量束 210 之任何其他電磁輻射性質產生輸出信號。此外，根據本揭示之態樣，能量偵測器 206 可經耦接至控制器 136，如第 16 圖所示，使得控制器 136 回應於樣本能量束從能量偵測器 206 接收輸出信號。由此，如本文後文所述，控制器 136 經配置以回應於樣本能量束 210 分析來自能量偵測器 206 之輸出信號並且識別尖端 12 或設置在尖端 12 上之碎片 20 之一或更多種材料屬性。可選地，能源 204 可操作地耦接至第 16 圖之控制器 136，使得控制器 136 可控制由能源 204 產生之入射能量束 208 之屬性，諸如但不限於入射能量束 208 之強度、入射能量束 208 之頻率、或二者。在一個態樣中，能源

204、樣本能量束210及/或能量偵測器206之方向可回應於來自能量偵測器206之輸出信號來調節。

【0165】 根據本揭示之一態樣，控制器136可操作地耦接至包括一或更多個致動器134及能量偵測器206的致動器系統，控制器136經配置以基於該能量偵測器對樣本照射（諸如樣本能量束210）之第一回應接收第一信號，並且經配置以基於第一信號經由一或更多個致動器134實現在尖端12與至少一個能量偵測器206之間的相對運動。在一個態樣中，控制器136可經配置以基於照射偵測器對樣本照射之第一回應產生樣本照射之第一頻域頻譜，並藉由第一頻域頻譜減去背景頻域頻譜產生第二頻域頻譜。回應於第二頻域頻譜，控制器136可經由一或更多個致動器134實現在尖端12與能源204和能量偵測器206中至少一者之間的相對運動。在一個態樣中，控制器136可經進一步配置以基於當尖端12不具有或基本上不具有污染時在尖端12上能量偵測器206之回應產生背景頻域。在一個態樣中，控制器136可經配置以基於能量偵測器206對樣本照射之第二回應接收第二信號，並且控制器136可經配置以基於在第一信號與第二信號之間的差異經由一或更多個致動器134實現在尖端12與能量偵測器206和能源204中至少一者之間的相對運動。在一個態樣中，控制器136經配置以基於在第一信號與第二信號之間的差異實現在尖端12與能量偵測器206和能源204中至少一者之間的相對運動量值。

【0166】 現參考第17A圖、第17B圖、第18A圖及第18B圖，根據本揭示之態樣，應瞭解第17A圖及第18A圖說明碎片收集及計量設備250之俯視圖，並且第17B圖及第18B圖說明碎片收集及計量設備250之側視圖。分別與第15圖及第16圖所說明之碎片收集及計量設備200相似，碎片收集及計量設備250可包括基板支撐組件102、尖端支撐組件104、基底106及計量系統202。然而，在碎片收集及計量設備250中，能源204及能量偵測器206可各者經導向貼片252而非尖端12並在該貼片上訓練。

【0167】 貼片252可體現先前論述之第一貼片142及第二貼片144之任何結構或屬性，或貼片252可包括或經配置為用於從尖端12收集碎片或污染物的收集袋或收集通孔，如將參考第30圖至第37圖進一步詳細描述。由此，碎片收集及計量設備250可經配置以使用計量系統202分析貼片252、設置在貼片252上之碎片20、或其組合之材料性質。

【0168】 致動及/或調節基板平臺組件110、尖端平臺組件130、或二者能夠實現使用碎片收集及計量設備250的至少三個程序。在第一程序期間，致動及/或移動基板平臺組件110、尖端平臺組件130、或二者實現在尖端12與設置在夾具108上之基板18之間的接觸，使得碎片20從基板18轉移至尖端12。在第二程序期間，致動及/或移動基板平臺組件110、尖端平臺組件130、或二者實現在尖端12與貼片252之間的接觸以將碎片20從尖端12轉

移至貼片 252。在第三程序期間，致動及/或移動基板平臺組件 110 將能源 204 及能量偵測器 206 各者引導並訓練至貼片 252 上，使得來自能源 204 之入射能量束 208 入射至貼片 252 上，並且從貼片 252 射出之樣本能量束 210 入射至能量偵測器 206 上。

【0169】 如第 18A 圖及第 18B 圖所示，能量偵測器 206 可經耦接至控制器 136，使得控制器 136 回應於樣本能量束從能量偵測器 206 接收輸出信號。由此，如本文後文所述，控制器 136 可經配置以回應於樣本能量束 210 分析來自能量偵測器 206 之輸出信號並識別貼片 252 或設置在貼片 252 上之碎片 20 的一或更多種材料屬性。可選地，能源 204 可操作地耦接至第 18A 圖及第 18B 圖之控制器 136，使得控制器 136 可控制由能源 204 產生之入射能量束 208 之屬性，諸如但不限於入射能量束 208 之強度、入射能量束 208 之頻率、或二者。在一個態樣中，能源 204、樣本能量束 210 及/或能量偵測器 206 之方向可回應於來自能量偵測器 206 之輸出信號來調節。

【0170】 現參考第 19A 圖、第 19B 圖、第 20A 圖及第 20B 圖，根據本揭示之態樣，應瞭解第 19A 圖及第 20A 圖說明碎片收集及計量設備 250 之俯視圖，並且第 19B 圖及第 20B 圖說明碎片收集及計量設備 250 之側視圖。與第 17A 圖、第 17B 圖、第 18A 圖及第 18B 圖之碎片收集及計量設備 250 相似，碎片收集及計量設備 250 可包括基板支撐組件 102、尖端支撐組件 104、基底 106、計量系統

202、能源204及能量偵測器206。第17A圖、第17B圖、第18A圖及第18B圖之碎片收集及計量設備250可進一步包括第一貼片252及第二貼片254。在一個態樣中，第一貼片252及第二貼片254可經設置在基板18之相對側上並安裝至夾具108。能源204及能量偵測器206各者可經導向第一貼片252及第二貼片254之至少一者並在該等貼片上訓練。第一貼片252及第二貼片254可體現先前所述之任何結構或屬性。另外或替代地，第一貼片252及第二貼片254可包括或可經配置為用於從尖端12收集碎片或污染物的收集袋或收集通孔，如將參考第30圖至第37圖進一步詳細描述。例如，碎片收集及計量設備250、能源204及能量偵測器206各者可經導向收集袋或收集通孔以使用計量系統202分析在收集袋或收集通孔上收集之碎片或污染物20之材料性質。

【0171】 致動及/或調節基板平臺組件110、尖端平臺組件130、或二者能夠實現使用碎片收集及計量設備250的至少三個程序。根據本揭示之一態樣，碎片可從基板18移除並使用收集袋或收集通孔收集，如將在下文進一步詳細描述。收集袋或收集通孔可係第一貼片252及第二貼片254之一部分，或可經安裝或定位於第一貼片252及第二貼片254之一位置。

【0172】 在第一程序期間，致動及/或移動基板平臺組件110、尖端平臺組件130、或二者實現在尖端12與設置在夾具108上之基板18之間的接觸，使得碎片從基板18

轉移至尖端 12。在第二程序期間，致動及/或移動基板平臺組件 110、尖端平臺組件 130、或二者實現在尖端 12 與第一貼片 252 之收集袋或收集通孔之間的接觸，藉以將碎片 20 從尖端 12 轉移至第一貼片 252 之收集袋或收集通孔。在一個態樣中，相對於第一貼片 252 之收集袋或收集通孔致動及/或移動尖端 12 可遵循預定軌跡，如後文參考第 33 圖及第 34 圖進一步詳細描述。在第三程序期間，致動及/或移動基板平臺組件 110 將能源 204 及能量偵測器 206 各者引導並訓練至第一貼片 252 之收集通孔上，使得來自能源 204 之入射能量束 208 入射至貼片 252 上，並且從貼片 252 射出之樣本能量束 210 入射至能量偵測器 206 上。

【0173】 轉到第 20A 圖及第 20B 圖，能量偵測器 206 可經耦接至控制器 136，使得控制器 136 回應於樣本能量束從能量偵測器 206 接收輸出信號。控制器 136 可經配置以回應於樣本能量束 210 分析來自能量偵測器 206 之輸出信號並識別第一貼片 252 之收集袋或收集通孔或設置在第一貼片 252 之收集袋或收集通孔上之碎片的一或更多種材料屬性。可選地，能源 204 可操作地耦接至第 20A 圖及第 20B 圖之控制器 136，使得控制器 136 可控制由能源 204 產生之入射能量束 208 之屬性，諸如但不限於入射能量束 208 之強度、入射能量束 208 之頻率、或二者。在一個態樣中，能源 204、樣本能量束 210 及/或能量偵測

器 206 之方向可回應於來自能量偵測器 206 之輸出信號來調節。

【0174】 現參考第 21A 圖及第 21B 圖，應瞭解第 21A 圖說明根據本揭示之一態樣碎片收集及計量設備 260 之俯視圖，並且第 21B 圖說明根據本揭示之一態樣碎片收集及計量設備 260 之側視圖。與第 15 圖至第 20 圖所說明之碎片收集及計量設備 200 及 250 相似，碎片收集及計量設備 260 包括基板支撐組件 102、尖端支撐組件 104、基底 106 及計量系統 202。然而，在碎片收集及計量設備 260 中，尖端支撐組件 104 進一步包括機器人 262。

【0175】 機器人 262 可包括馬達 264 及機器人臂 266。機器人臂 266 之近端可操作地經由馬達 264 耦接至基底 106，並且尖端平臺組件 130 可操作地耦接至機器人臂 266 之遠端，使得操作馬達 264 實現在尖端 12 與基底 106 之間的相對運動。根據本揭示之一態樣，操作馬達 264 實現關於機器人 262 之旋轉軸 268 而相對於基底 106 的尖端 12 之旋轉運動。

【0176】 計量系統 202 包括貼片 252 並且可包括用以支撐貼片 252 之計量平臺組件 270。或者，貼片 252 可經直接支撐在基底 106 上或藉由該基底支撐，而無計量平臺組件 270。計量平臺組件 270 可經配置以實現在沿著 x 方向 112 平移時、在沿著 y 方向 114 平移時、在沿著 z 方向 116 平移時、在關於 x 方向 112 旋轉時、在關於 y 方向 114 旋轉時、在關於 z 方向 116 旋轉時、其組合在貼片 252 與

基底 106 之間的相對運動或在本領域中已知之任何其他相對運動。此外，計量平臺組件 270 可體現先前針對基板平臺組件 110、尖端平臺組件 130、或二者所述之任何結構或屬性。

【0177】 在第 21A 圖及第 21B 圖中，機器人臂 266 圖示在第一位置中，使得尖端 12 位於夾具 108 附近。當機器人臂 266 位於第一位置時，基板平臺組件 110、尖端平臺組件 130、或二者之運動足夠實現在尖端 12 與安裝至夾具 108 之基板 18 之間的接觸。由此，當機器人臂 266 位於其第一位置時，碎片收集及計量設備 260 可實現碎片 20 從基板 18 至尖端 12 之轉移。

【0178】 在第 22A 圖及第 22B 圖中，機器人臂 266 圖示在第二位置中，使得尖端 12 位於計量系統 202 附近。當機器人臂 266 位於其第二位置時，尖端平臺組件 130 之運動、或尖端平臺組件 130 與計量平臺組件 270 之結合運動足夠實現在尖端 12 與貼片 252 之間的接觸。由此，當機器人臂 266 位於第二位置時，碎片收集及計量設備 270 可實現碎片 20 從尖端 12 至貼片 252 之轉移。根據本揭示之一態樣，貼片 252 可包括或經配置為用於從尖端 12 收集碎片或污染物之收集袋或收集通孔，如將參考第 30 圖至第 37 圖進一步詳細描述。儘管未在第 21A 圖及第 21B 圖中圖示，碎片收集及計量設備 270 可包括與第 17A 圖及第 17B 圖所說明之彼等相似或相同的能源 204 及導向貼片 252 並在該貼片上訓練之能量偵測器 206 以在貼片

252、設置在貼片252上之碎片20或二者上進行計量分析。

【0179】 根據本揭示之一態樣，在碎片收集及計量設備260中機器人262、基板平臺組件110、尖端平臺組件130及計量平臺組件270之任一者或更多個可操作地耦接至用於其控制之控制器136。由此，控制器136可經配置以致動機器人262來在第21A圖及第21B圖所示之先前提及之第一位置與第22A圖及第22B圖所示之第二位置之間切換配置。

【0180】 現參考第23A圖及第23B圖，應瞭解第23A圖說明根據本揭示之一態樣尖端支撐組件104之仰視圖，並且第23圖說明根據本揭示之一態樣沿著截面線23B-23B截取之尖端支撐組件104之部分橫截面側視圖。第23A圖及第23B圖所說明之尖端支撐組件104可特別適用於整合至機器人臂266中，如第21A圖、第21B圖、第22A圖及第22B圖所示。然而，如本領域一般技藝人士鑒於本揭示應瞭解的，尖端支撐組件104可有利地結合至其他碎片收集及/或計量系統中以滿足特定需求。

【0181】 第23A圖及第23B圖所說明之尖端支撐組件104包括z致動器280、照相機282、或二者，然而，應瞭解尖端支撐組件104可體現先前針對尖端支撐組件所論述之任何其他結構或屬性，不限於用於沿著x方向112或y方向114平移運動以及關於x方向112、y方向114及z方向116之任一者旋轉運動之構件。

【0182】 z致動器280之近端可操作地耦接至機器人臂266，並且z致動器280之遠端經由尖端懸臂132、照相機282、或二者可操作地耦接至尖端12。由此，操作z致動器280實現沿著z方向116在尖端12、照相機282、或二者之間的相對運動。z致動器280可包括旋轉馬達及螺桿結構、直線伺服馬達結構、氣動或液壓活塞結構、壓電結構、或在本領域中已知之任何其他直線致動器結構。

【0183】 應瞭解z致動器280可操作地耦接至控制器136以控制在機器人臂266與尖端12、照相機282、或二者之間的相對運動。此外，照相機282亦可耦接至控制器136以將靠近尖端12之基板的影像提供給使用者顯示器、用於控制尖端12之機器視覺演算法、或二者。

【0184】 現參考第24A圖及第24B圖，應瞭解第24A圖說明可與先前參考第15圖至第20圖所述之計量系統202相同或相似的計量系統202之仰視圖，儘管本領域一般技藝人士應瞭解第24A圖及第24B圖之計量系統202可表示包括至少尖端12、尖端平臺組件13、能源204及能量偵測器206的其他系統。第24B圖說明根據本揭示之一態樣計量系統202之側視圖。第24A圖及第24B圖所說明之計量系統202之結構可應用至第15圖及第16圖所說明之碎片收集及計量設備200，其中計量程序直接在尖端12、設置在尖端12上之碎片20、或二者上進行。然而，應瞭解第24A圖及第24B圖所說明之計量系統202可有利地應用至其他計量系統及設備。在一個態樣中，第24A

圖及第 24 B 圖所示之特定尖端 12 可包括四面體形狀。如第 24 A 圖及第 24 B 圖所示，具有四面體形狀之尖端 12 不具有任何碎片 20。由此，計量系統 202 可用以分析不存在附接至尖端 12 之任何碎片 20 的尖端 12 之屬性。

【0185】 能源 204 可經導向尖端 12 並在該尖端上訓練，使得由能源 204 產生之入射能量束 208 入射至尖端 12 上，並且能量偵測器 206 可經導向尖端 12 並在該尖端上訓練，使得回應於在尖端 12 上之入射能量束 208 產生之樣本能量束 210 由能量偵測器 206 接收。尖端平臺組件 130 可操作地耦接至尖端 12，使得尖端平臺組件 130 可在沿著 x 方向 112、y 方向 114 及 z 方向 116 之任一者平移或關於 x 方向 112、y 方向 114 及 z 方向 116 之任一者旋轉時相對於能源 204、能量偵測器 206、或二者移動尖端 12。根據本揭示之一態樣，尖端平臺組件 130 經配置以至少關於穿過尖端 12 延伸之尖端縱軸 284 旋轉尖端 12。根據本揭示之一態樣，在第 24 A 圖及第 24 B 圖中特別地說明之尖端 12 包括四面體形狀。

【0186】 尖端平臺組件 130、能源 204、能量偵測器 206、或其組合可操作地耦接至控制器 136 以對其控制。由此，控制器 136 可藉由致動尖端平臺組件 130 將入射能量束 208 選擇性引導至尖端 12 之不同表面上，並且控制器 136 可從能量偵測器 206 接收一或更多個信號，其指示所得樣本能量束 210 之屬性。如第 24 A 圖及第 24 B 圖所示，尖端 12 可不具有任何碎片 20。由此，計量系統 202

可用以分析不存在附接至尖端 12 之任何碎片 20 的尖端 12 之屬性。

【0187】 現參考第 25 A 圖及第 25 B 圖，應瞭解第 25 A 圖說明計量系統 202 之仰視圖，並且第 25 B 圖說明根據本揭示之一態樣計量系統 202 之側視圖。第 25 A 圖及第 25 B 圖所說明之計量系統 202 可體現針對第 15 圖至第 20 圖、第 24 A 圖及第 24 B 圖所說明之計量系統 202 所述之任何結構及屬性。然而，第 25 A 圖及第 25 B 圖所說明之計量系統 202 圖示附接至具有四面體形狀之尖端 12 之碎片 20。由此，計量系統 202 可用以分析尖端 12、附接至尖端 12 之碎片 20、或二者之屬性。

【0188】 現參考第 26 A 圖及第 26 B 圖，應瞭解第 26 A 圖說明計量系統 202 之仰視圖，並且第 26 B 圖說明根據本揭示之一態樣計量系統 202 之側視圖。第 26 A 圖及第 26 B 圖所說明之計量系統 202 可體現第 24 A 圖及第 24 B 圖所說明之計量系統 202 之任何結構或屬性。然而，與第 24 A 圖及第 24 B 圖不同，第 26 A 圖及第 26 B 圖所說明之特定尖端 12 包括圓錐形狀。如第 26 A 圖及第 26 B 圖所示，具有圓錐形狀之尖端 12 不具有任何碎片 20。由此，計量系統 202 可用以分析不存在附接至尖端 12 之任何碎片 20 的尖端 12 之屬性。

【0189】 現參考第 27 A 圖及第 27 B 圖，應瞭解第 27 A 圖說明計量系統 202 之仰視圖，並且第 27 B 圖說明根據本揭示之一態樣計量系統 202 之側視圖。第 27 A 圖及第 27 B

圖所說明之計量系統 202 可體現針對第 26 A 圖及第 26 B 圖所說明之計量系統 202 所述之任何結構或屬性。然而，第 27 A 圖及第 27 B 圖所說明之計量系統 202 圖示附接至具有圓錐形狀之尖端 12 之碎片 20。由此，計量系統 202 可用以分析尖端 12、附接至尖端 12 之碎片 20、或二者之屬性。

【0190】 現參考第 28 A 圖及第 28 B 圖，應瞭解第 28 A 圖說明根據本揭示之一態樣計量系統 202 之仰視圖，並且第 28 B 圖說明根據本揭示之一態樣計量系統 202 之側視圖。第 28 A 圖及第 28 B 圖所說明之計量系統 202 可體現第 24 A 圖及第 24 B 圖所說明之計量系統 202 的任何結構或屬性。然而，與第 24 A 圖及第 24 B 圖不同，第 28 A 圖及第 28 B 圖所說明之特定尖端 12 包括方錐形狀。如第 28 A 圖及第 28 B 圖所示，具有方錐形狀之尖端 12 不具有任何碎片 20。由此，計量系統 202 可用以分析不存在附接至尖端 12 之任何碎片 20 的尖端 12 之屬性。

【0191】 現參考第 29 A 圖及第 29 B 圖，應瞭解第 29 A 圖說明根據本揭示之一態樣計量系統 202 之仰視圖，並且第 29 B 圖說明根據本揭示之一態樣計量系統 202 之側視圖。第 29 A 圖及第 29 B 圖所說明之計量系統 202 可體現針對第 28 A 圖及第 28 B 圖所說明之計量系統 202 所述之任何結構或屬性。然而，第 29 A 圖及第 29 B 圖所說明之計量系統 202 圖示附接至具有方錐形狀之尖端 12 之碎片 20。

由此，計量系統 202 可用以分析尖端 12、附接至尖端 12 之碎片 20、或二者之屬性。

【0192】 轉到第 30 圖至第 37 圖，現將描述具有收集袋或收集通孔之例示性污染物收集器。現參考第 30A 圖及第 30B 圖，第 30A 圖說明用於從尖端 12 收集污染物樣本 33 的污染物收集器 30 之橫截面圖（於第 30B 圖之 30A-30A 截取），並且尖端 12 可與先前相對於例示性碎片偵測及收集系統所述之彼等相同或相似。污染物樣本 33 可包括一或更多塊上文所述之碎片或粒子 20。污染物收集器 30 可界定包括從第一上表面 36 延伸至第二上表面 38 的至少三個側壁 34 的收集袋 32。側壁 34 之高度 (h) 可經選擇使得尖端 12 之至少一部分可插入收集袋 32 之一深度。在一個態樣中，界定收集袋 32 之深度的側壁 34 之高度 (h) 可在尖端 12 之長度 (L) 25% 至 200% 之間。在一個態樣中，側壁之高度 (h) 可經選擇以促進頻譜學折射，進而分析可沉積在污染物收集器 30 中或上的污染物樣本 33。

【0193】 在一個態樣中，在第一上表面 36 與側壁 34 之間的交點形成第一組內邊緣，並且在第二上表面 38 與側壁 34 之間的交點形成第二組內邊緣。側壁 34 可界定從第一上表面 36 延伸至第二上表面 38 的至少一個內表面。在一個態樣中，照射源（諸如上文所述之能源 204）可經配置及排列以將入射照射引導至污染物收集器 30 之內表面或表面等上。在一個態樣中，照射偵測器（諸如上文所述之能量偵測器 206）可經配置及排列以從污染物收集器

30之一或更多個內表面接收樣本照射，由入射照射產生之樣本照射經引導至污染物收集器30之一或更多個內表面或表面等上並從該等表面上反射回。

【0194】如第30B圖所示，當從頂部觀察時，三個側壁34及對應第一內邊緣可形成等邊三角形輪廓。各組相鄰側壁34可形成一組污染物收集邊緣35。在一個態樣中，具有四面體形狀之尖端12可與第30A圖及第30B圖之污染物收集器30一起使用。尖端12之一或更多個邊緣13可在收集袋32之一或更多個污染物收集邊緣35附近、鄰近該邊緣、抵靠該邊緣刷動、或抵靠該邊緣拉動來操縱，使得污染物樣本33可從尖端12轉移至收集袋32。在選擇態樣中，污染物收集器30可包括三個側壁34，當從頂部觀察時該等側壁形成非等邊三角形輪廓（例如，等腰、不等邊、銳角、直角、或鈍角三角形）。如本領域一般技藝人士鑒於本揭示應瞭解的，非等邊三角形橫截面界定不相等之污染物收集邊緣35並且可由此適用於從各種大小及/或形狀之尖端提取污染物樣本33。在一個態樣中，污染物收集邊緣35之各個邊緣可具有小於或等於10 mm之長度以降低尖端12將污染物樣本33轉移至收集袋32所需的行程量，特定言之當污染物樣本33係奈米位準結構時。

【0195】現參考第31A圖及第31B圖，第31A圖說明用於從尖端12收集污染物樣本33的污染物收集器30之橫截面側視圖（於第31B圖之31A-31A截取），並且尖端12可與先前相對於例示性碎片偵測及收集系統所述之

彼等相同或相似。污染物收集器 30 可界定包括從第一上表面 36 延伸至第二上表面 38 之側壁 34 的收集袋 32。側壁 34 之高度 (h) 可經選擇使得尖端 12 之至少一部分可插入收集袋 32 之一深度。在一個態樣中，界定收集袋之深度的側壁 34 之高度 (h) 可在尖端 12 之長度 (L) 25% 至 200% 之間。在一個態樣中，側壁之高度 (h) 可經選擇以促進頻譜學折射，進而分析可沉積在污染物收集器 30 中或上的污染物樣本 33。

【0196】 在一個態樣中，如第 31B 圖所示，污染物收集器 30 可包括當從頂部觀察時形成圓形輪廓的圓柱形側壁 34。污染物收集內邊緣 35 可於第一上表面 36 與側壁 34 之間的交點處形成。在一個態樣中，具有圓錐形狀之尖端 12 可與第 31A 圖及第 31B 圖之污染物收集器 30 一起使用。圓錐尖端 12 之表面可在收集袋 32 之污染物收集邊緣 35 附近、鄰近該邊緣、抵靠該邊緣刷動、或抵靠該邊緣拉動來操縱，使得污染物樣本 33 可從尖端 12 轉移至收集袋 32。在選擇態樣中，如本領域一般技藝人士鑒於本揭示應瞭解的，污染物收集器 30 可包括當從頂部觀察時界定卵形或橢圓形輪廓的側壁 34，並且可由此適用於從各種大小及 / 或形狀之尖端提取污染物樣本 33。在一個態樣中，污染物收集邊緣 35 之直徑可小於 10 mm 寬。在選擇態樣中，污染物收集邊緣 35 之直徑可小於或等於 500 微米寬以降低尖端 12 將污染物樣本 33 轉移至收集袋 32 所

需的行進量，特定言之當污染物樣本 33 係奈米位準結構時如此。

【0197】 現參考第 32A 圖及第 32B 圖，第 32A 圖說明用於從尖端 12 收集污染物樣本 33 的污染物收集器 30 之橫截面側視圖（於第 32B 圖之 32A-32A 截取），並且尖端 12 可與先前相對於例示性碎片偵測及收集系統所述之彼等相同或相似。污染物收集器 30 可界定包括從第一上表面 36 延伸至第二上表面 38 之側壁 34 的收集袋 32。側壁 34 之高度 (h) 可經選擇使得尖端 12 之至少一部分可插入收集袋 32 之一深度。在一個態樣中，界定收集袋之深度的側壁 34 之高度 (h) 可在尖端 12 之長度 (L) 25% 至 200% 之間。在一個態樣中，側壁之高度 (h) 可經選擇以促進頻譜學折射，進而分析可沉積在污染物收集器 30 中或上的污染物樣本 33。

【0198】 在一個態樣中，如第 32B 圖所示，污染物收集器 30 可包括當從頂部觀察時形成矩形或方形輪廓的四個側壁 34。各組相鄰側壁 34 可形成污染物收集內邊緣 35。在一個態樣中，具有方錐形狀之尖端 12 可與第 32A 圖及第 32B 圖之污染物收集器 30 一起使用。尖端 12 之一或更多個邊緣 13 可在收集袋 32 之一或更多個收集內邊緣 35 附近、鄰近該邊緣、抵靠該邊緣刷動、或抵靠該邊緣拉動來操縱，使得污染物樣本 33 可從尖端 12 轉移至收集袋 32。在一個態樣中，污染物收集邊緣 35 之各個邊緣可具有小於或等於 10 mm 之長度以降低尖端 12 將污染物樣本

33 轉移至收集袋 32 所需的行進量，特定言之當污染物樣本 33 係奈米位準結構時如此。

【0199】 儘管上文參考第 30A 圖、第 30B 圖、第 31A 圖、第 31B 圖、第 32A 圖及第 32B 圖論述尖端與收集袋 32 形狀之特定對，應瞭解尖端 12 與收集袋 32 形狀之任何組合可一起或可互換地採用。例如，第 31A 圖及第 31B 圖之圓錐尖端 12 可與第 30A 圖及第 30B 圖之三角形污染物袋 32 一起使用。此外，儘管例示性三角形、矩形及圓形污染物收集器係在第 30 圖至第 32 圖圖示，亦可使用具有五個或更多個側壁之污染物收集器。

【0200】 轉到第 33A 圖至第 33C 圖，現將描述操縱尖端 12 及將污染物樣本 33 從尖端 12 轉移至污染物收集器 30 之例示性過程，諸如上文參考第 30 圖至第 32 圖所述之彼等。應瞭解相似步驟亦可用來將污染物樣本轉移至污染物收集器 40，如參考第 35 圖至第 37 圖一般描述。如第 33A 圖所示，尖端 12 可首先位於在 x 方向及 y 方向中收集袋 32 之開口上方中心處。尖端 12 可隨後在 z 方向中至少部分降低至收集袋 32 中而不接觸收集袋 32 之側壁 34。接著，如第 33B 圖所示，尖端 12 可隨後在 x 方向及 / 或 y 方向中朝向側壁 34 之一操縱。尖端 12 可同時在 z 方向中向上操縱使得污染物樣本 33 可抵靠收集袋 32 之污染物收集邊緣 35 刷動或與該邊緣緊密接觸，藉以污染物樣本 33 可從尖端 12 轉移至污染物收集邊緣 35 之至少一側部分。

【0201】 在一個態樣中，尖端12從第33A圖至第33B圖所示之位置行進可界定為二次函數使得尖端12經由拋物線軌跡、刮削運動及/或擦拭運動朝向污染物收集邊緣35移動並經過該邊緣。在操縱回到第33A圖所示之開始位置之前，尖端12可繼續從第33B圖所示之位置向上行進並至污染物收集邊緣35之右側。在一個態樣中，尖端12之行進可界定為取決於尖端12及收集袋32之大小及形狀的線性函數。用於尖端12之其他軌跡及行進路徑應為本領域一般技藝人士鑒於本揭示所瞭解。

【0202】 另外或替代地，如第34A圖至第34C圖所示，尖端12可最初在x方向及y方向中位於收集袋32之中心上方並從該中心偏移。尖端12可隨後在z方向中向下移動同時亦在x方向及/或y方向中向收集袋32之中心移動直至至少一部分尖端12至少部分位於收集袋32內。在將尖端12移動至收集袋32中時，污染物樣本33可抵靠收集袋32之污染物收集邊緣35刷動或與該邊緣緊密接觸，藉以污染物樣本33從尖端12轉移至污染物收集邊緣35之至少一頂部部分。

【0203】 在一個態樣中，尖端12從第34A圖至第34C圖所示之位置行進可界定為二次函數使得尖端12經由拋物線軌跡、刮削運動及/或擦拭運動朝向污染物收集邊緣35移動並經過該邊緣。在一個態樣，尖端12之行進可界定為取決於尖端12及收集袋32之大小及形狀的線性函

數。用於尖端 12 之其他軌跡及運行路徑應為本領域一般技藝人士鑒於本揭示所瞭解。

【0204】 根據本揭示之一態樣，可重複第 33 A 圖至第 33 C 圖及 / 或第 34 A 圖至 34 C 圖之上述尖端操縱使得尖端 12 接觸污染物收集邊緣 35 之不同部分。例如，其中污染物收集邊緣 35 具有圓形幾何形狀，如上文參考第 31 A 圖及 31 B 圖所述，尖端 12 可經操縱以接觸污染物收集邊緣 35 之 12 點鐘及 6 點鐘位置（基於第 31 B 圖所示之頂部視圖取向）以從尖端 12 之不同對應部分轉移污染物樣本 33。鑒於本揭示，本領域一般技藝人士應瞭解可重複尖端操縱以接觸污染物收集邊緣 35 之其他部分或全部部分。在一個態樣中，尖端 12 可經操縱以藉由於 12 點鐘、3 點鐘、6 點鐘及 9 點鐘位置抵靠污染物收集邊緣 35 刷動或與該邊緣緊密接觸將污染物樣本 33 從尖端 12 轉移至污染物收集邊緣 35。藉由在污染物收集邊緣 35 上於不同位置收集污染物樣本 33，源自尖端 12 之不同部分的經收集之污染物樣本之組成可藉由於污染物收集邊緣 35 之不同對應部分界定計量位置來決定。

【0205】 根據本揭示之一態樣，可重複第 33 A 圖至第 33 C 圖及 / 或第 34 A 圖至第 34 C 圖之上述尖端操縱使得尖端 12 之不同部分可與污染物收集邊緣 35 之相同位置接觸或緊密接觸，藉以將全部或大部分污染物樣本 33 從尖端 12 沉積至在污染物收集邊緣 35 上之相同位置。例如，在將污染物樣本 33 轉移至污染物收集邊緣 35 之後，尖端 12

可關於 z 軸旋轉，如第33B圖或第34B圖所示，並且隨後經操縱以經過在污染物收集邊緣35上之相同共同位置。另外或替代地，如第33B圖或第34B圖所示，在將污染物樣本33從尖端12轉移至污染物收集邊緣35之後，污染物收集邊緣35可關於 z 軸旋轉。此外，除本揭示所描述之收集袋32及收集通孔46（其具有完全環繞尖端12的收集邊緣）之外，亦可使用不完全環繞尖端12的收集邊緣或一組收集邊緣。例如，收集邊緣可由單個直線邊緣或單個C形邊緣組成。在其中使用一組收集邊緣之一個態樣中，收集邊緣可一起環繞小於75%之尖端12，並且在選擇態樣中，收集邊緣可一起環繞小於50%之尖端12。藉由於在污染物收集邊緣35上之相同共同位置收集污染物樣本33，從尖端12收集之污染物樣本33之完整組成可藉由將在污染物收集邊緣35上之共同位置界定為計量位置來決定。

【0206】 在一個態樣中，可結合並隨後使用第33A圖至第33C圖及/或第34A圖至第34C圖之上述尖端操縱使得向上及橫向向外運動之後可為進行向下及橫向向內運動，或反之亦然，以將污染物樣本33從尖端12轉移至污染物收集邊緣35。連續運動可有助於改良從尖端12收集污染物樣本33之速度。

【0207】 轉到第35圖至第37圖，現將描述具有收集通孔之例示性污染物收集器。現參考第35A圖及第35B圖，第35A圖說明用於從尖端12收集污染物樣本33的污染物

收集器 40 之橫截面圖（於第 35 B 圖之 35 A - 35 A 截取），並且尖端 12 可與先前相對於本揭示之例示性碎片偵測及收集系統所述之彼等相同或相似。污染物收集器 40 可至少包括支架 42 及平臺 44，並且平臺 44 可包括具有用以界定收集通孔 46 之側壁 45 的內部切口。在一個態樣中，平臺 44 可包括上表面 47 及下表面 48，並且側壁 45 可從上表面 47 延伸至下表面 48。收集唇緣 49 可於側壁 45 與上表面 47 之間的交點處界定。支架 42 及平臺 44 可固定在一起，或其等可作為單獨組件提供。

【0208】 在一個態樣中，污染物收集器 40 可從一個位置運輸至另一位置，特定言之當收集及計量系統係單獨單元、不整合在一起及 / 或不位於相同位置時如此。污染物收集器 40 或平臺 44 獨立地可從收集系統移動至計量系統用於分析經收集之污染物樣本 33。

【0209】 如第 35 A 圖及第 35 B 圖所示，可傾斜污染物收集器之側壁 45 使得收集通孔 46 在朝向尖端進入位置之方向中變窄。根據本揭示之一態樣，可傾斜側壁 45 使得通孔 46 界定當從上方觀察時具有一般三角形輪廓的截斷之四面體通路，如第 35 B 圖所示。在操作中，如第 35 A 圖及第 35 B 圖所示，四面體形狀尖端 12 可經定位以在 z 方向中從上方進入污染物收集器 40 之收集通孔 46。尖端 12 可在 z 方向中至少向下操縱以進入收集通孔 46 中。一旦尖端 12 之至少一部分已進入通孔 46，尖端 12 可隨後朝向污染物收集器 40 之側壁 45 及收集唇緣 49 在 x 方向及 / 或 y 方

向中橫向操縱。當橫向移動時，尖端 12 可同時在 z 方向中向上使操縱得污染物樣本 33 可抵靠收集唇緣 49 及 / 或側壁 45 刷動或與其等緊密接觸，藉以污染物樣本 33 從尖端 12 轉移至收集唇緣 49 及 / 或側壁 45。尖端 12 之軌跡及行進可與上文參考第 33A 圖至第 33C 圖所述之彼等相同或相似。

【0210】 另外或替代地，污染物樣本 33 可藉由最初在 z 方向中將尖端 12 定位在污染物收集器 40 之收集通孔 46 上方並在 x 方向及 / 或 y 方向中從通孔 46 之中心偏移而從尖端 12 移除。尖端 12 可隨後在 z 方向中向下移動同時亦在 x 方向及 / 或 y 方向中向通孔 46 之中心移動直至尖端 12 之至少一部分至少部分位於在通孔 46 內。在通孔 46 中移動尖端 12 時，污染物樣本 33 可抵靠通孔 46 之收集唇緣 49 刷動或與該唇緣緊密接觸，藉以污染物樣本 33 從尖端 12 轉移至收集唇緣 49 之至少一頂部分。尖端 12 之軌跡及運行可與上文參考第 34A 圖至第 34C 圖所述之彼等相同或相似。

【0211】 與第 35A 圖及第 35B 圖相似，第 36A 圖及第 36B 圖之污染物收集器 40 可至少包括支架 42 及平臺 44。然而，與第 35A 圖及第 35B 圖不同，其中側壁 45 界定具有截斷之四面體通路的通孔 46，第 36A 圖及第 36B 圖之平臺 44 包括具有側壁 45 之內部切口，該側壁界定截斷之圓錐通路，包括圓形、卵形及橢圓錐形通路。在操作中，從尖端 12 移除污染物樣本 33 應遵循與上文參考第

35 A 圖及第 35 B 圖所述者相同之程序，其中通路 46 由截斷之圓錐形通路替代。

【0212】 與第 36 A 圖及第 36 B 圖相似，第 37 A 圖及第 37 B 圖之污染物收集器 40 可至少包括支架 42 及平臺 44。然而，與第 36 A 圖及第 36 B 圖不同，其中側壁界定具有截斷之圓錐通路的通孔 46，第 37 A 圖及第 37 B 圖之平臺 44 包括具有用以界定收集通孔 46 之複數個側壁 45 的內部切口。根據本揭示之一態樣，平臺 44 可具有用以界定具有截斷之方錐性通路之通孔 46 的四個側壁 45。在操作中，從尖端 12 移除污染物樣本 33 將遵循與上文參考第 35 A 圖及第 35 B 圖所述者相同之過程序，其中通孔 46 由截斷之方錐形通路替代。

【0213】 儘管上文參考第 35 圖至第 37 圖描述截斷之四面體通路、截斷之圓錐形通路及截斷之方錐形通路，但涵蓋用於通孔 46 之其他通路形狀，並且該等通路形狀可基於尖端 12 之對應形狀來選擇，包括不均勻形狀並且其中該通孔可具有三或更多個側壁。當然，本領域一般技藝人士應顯而易見，其他形狀及大小之尖端可與第 35 圖至第 37 圖之污染物收集器 40 一起採用。

【0214】 第 30 圖至第 32 圖之收集袋 32 及 / 或第 35 圖至第 37 圖之污染物收集器 40 可與如上所述之第 12 圖至第 23 圖之碎片收集設備 100 一起使用，或者其等可使用獨立於尖端 12 和相關致動及控制機制的第 38 圖之污染分析系統 500 來檢查。如本領域一般技藝人士鑒於本揭示應瞭

解的，第30圖至第32圖之收集袋32及/或第35圖至第37圖之污染物收集器40可用以收集碎片同時經安裝於第一位置、移除、運輸至第二位置、在碎片偵測過程中分析、清潔及重新使用。

【0215】 如第38圖所示，污染分析系統500可包括能源50及能量偵測器52。當污染物收集器40準備好經檢查或分析時，污染物收集器40可經放置或安裝至支架42上。能源50及能量偵測器52可共同位於單個單元中，或其等可在單獨單元中提供。能源50及能量偵測器52可各者經耦接至一或更多個致動器以在x方向、y方向及z方向中一或更多個方向中移動能源50及能量偵測器52及/或關於x方向、y方向及z方向旋轉能源50及能量偵測器52。能源50及能量偵測器52可位於污染物收集器40上方、下方、或與該收集器並列使得能源50及能量收集器52可操作以在污染物收集器40之收集唇緣49或側壁45上訓練。

【0216】 在污染收集過程期間或之後，藉以污染物樣本33經收集在污染物收集器40之收集唇緣49及/或側壁45上，能源50可經導向收集唇緣49及/或側壁45並在其上訓練，使得由能源50產生之入射能量束51入射至唇緣49及/或側壁45上，並且能量偵測器52可經導向唇緣49及/或側壁45並在其上訓練，使得回應於在唇緣49及/或側壁45上的入射能量束51產生之樣本能量束53由能量偵測器52接收。

【0217】 根據本揭示之態樣，能源50、能量偵測器52、或其組合可操作地耦接至控制器56用於其控制。由此，控制器56可選擇性對準入射能量束51並藉由與能源50相關之一或更多個致動器將該入射能量束從能源50引導至唇緣49及/或側壁45之不同表面上。收集器56可進一步選擇性對準並且能量偵測器52朝向由入射能量束51暴露之不同表面以接收回應於入射能量束51產生之樣本能量束53。控制器56可從能量偵測器52接收指示所得樣本能量束53之屬性的一或更多個信號。

【0218】 本揭示之眾多特徵及優點從具體說明書顯而易見，並且因此，隨附申請專利範圍意欲覆蓋本發明之全部此等特徵及優點，該等特徵及優點落入本發明之真實精神及範疇內。應瞭解本揭示之各個態樣可結合並一起使用。此外，由於鑒於本發明數個修改及變化將為熟習此項技術者顯而易見，不期望將本發明限於所說明及描述之準確構造及操作，並且由此，全部適宜修改及等效可經採用以落入本發明之範疇內。

【符號說明】

【0219】

- 1 碎片移除裝置
- 2 粒子
- 3 基板
- 4 軟貼片
- 5 尖端

6 尖端表面

10 裝置

12 尖端

13 尖端表面

14 低表面能材料之貼片或貯器

15 中間層

16 塗層

18 基板

20 粒子

22 溝槽

23 B 圖

30 污染物收集器

30 A 圖

31 A 圖

32 收集袋

32 A 圖

33 污染物樣本

34 側壁

35 污染物收集邊緣

35 A 圖

36 第一上表面

36 A 圖

37 A 圖

38 第二上表面

- 4 0 污 染 物 收 集 器
- 4 2 支 架
- 4 4 平 臺
- 4 5 側 壁
- 4 6 收 集 通 孔
- 4 7 上 表 面
- 4 8 下 表 面
- 4 9 收 集 唇 緣
- 5 0 能 源
- 5 1 入 射 能 量 束
- 5 2 能 量 偵 測 器
- 5 3 樣 本 能 量 束
- 5 6 控 制 器
- 1 0 0 設 備
- 1 0 2 基 板 支 撐 組 件
- 1 0 4 尖 端 支 撐 組 件
- 1 0 6 基 底
- 1 0 8 夾 具
- 1 1 0 基 板 平 臺 組 件
- 1 1 2 x 方 向
- 1 1 4 y 方 向
- 1 1 6 z 方 向
- 1 1 8 致 動 器
- 1 2 0 第 一 平 臺

- 1 2 2 第二平臺
- 1 2 4 第一致動器
- 1 2 6 第二致動器
- 1 3 0 尖端平臺組件
- 1 3 2 尖端懸臂
- 1 3 4 致動器
- 1 3 6 控制器
- 1 3 8 使用者手動輸入
- 1 4 0 記憶體
- 1 4 2 第一貼片
- 1 4 4 第二貼片
- 2 0 0 碎片收集及計量設備
- 2 0 2 計量系統
- 2 0 4 能源
- 2 0 6 能量偵測器
- 2 0 8 入射能量束
- 2 1 0 樣本能量束
- 2 5 0 碎片收集及計量設備
- 2 5 2 第一貼片
- 2 5 4 第二貼片
- 2 6 0 收集及計量設備
- 2 6 2 機器人
- 2 6 4 馬達
- 2 6 6 機器人臂

2 6 8 旋 轉 軸
2 7 0 計 量 平 臺 組 件
2 8 0 z 致 動 器
2 8 2 照 相 機
2 8 4 尖 端 縱 軸
5 0 0 污 染 分 析 系 統
7 0 0 堅 硬 原 纖 維
7 1 0 尖 端
7 5 0 捲 繞 原 纖 維
7 6 0 尖 端
8 0 0 堅 硬 原 纖 維
8 1 0 尖 端
8 2 0 奈 米 粒 子
8 3 0 表 面
8 4 0 基 板
9 0 0 a 堅 硬 原 纖 維
9 0 0 b 堅 硬 原 纖 維
9 1 0 尖 端
9 2 0 奈 米 粒 子
9 3 0 基 板 表 面
1 0 0 0 奈 米 原 纖 維
1 0 1 0 尖 端
1 0 2 0 奈 米 粒 子
1 0 3 0 基 板 表 面

1 0 4 0 基 板

1 1 0 0 D N A 鏈

1 1 1 0 尖 端

1 1 2 0 粒 子

1 1 3 0 基 板 表 面

【生物材料寄存】

【 0 2 2 0 】 國內寄存資訊 (請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

【 0 2 2 1 】 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】一種用於從超紫外線微影光遮罩的表面移除碎片的方法，所述方法包括：

定位尖端以鄰近在所述超紫外線微影光遮罩上的所述碎片；

藉由帶電粒子束催化流體到固體的相變以在所述尖端的表面處俘獲所述碎片；以及

藉由移動所述尖端遠離所述超紫外線微影光遮罩來從所述基板的所述表面移除所述碎片。

【請求項 2】如請求項 1 所述的方法，其中所述尖端包括奈米原纖維。

【請求項 3】如請求項 1 或 2 所述的方法，其進一步包括從所述尖端移除所述碎片。

【請求項 4】一種用於從超紫外線微影光遮罩的表面移除碎片的碎片移除裝置，所述碎片移除裝置包括：

尖端，其經配置以從所述超紫外線微影光遮罩的所述表面移除所述碎片；以及

致動器，其經配置以提供所述尖端和所述超紫外線微影光遮罩的相對移動，

其中所述尖端藉由所述致動器定位以鄰近所述碎片，所述碎片是藉由使用帶電粒子束催化流體到固體的相變以在所述尖端的表面處俘獲，以及所述尖端藉由移動所述尖端遠離所述超紫外線微影光遮罩來從所述超紫外線微影光遮罩的所述表面移除所述碎片。

【請求項 5】如請求項 4 所述的碎片移除裝置，其中所述尖端包括奈米原纖維。

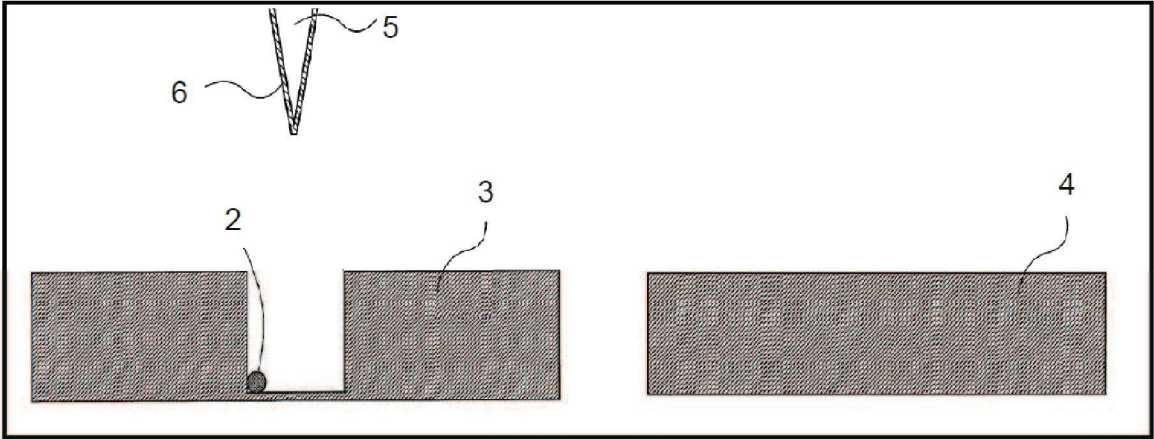
【請求項 6】如請求項 4 所述的碎片移除裝置，其進一步包括帶電粒子束，其經配置以完成所述催化步驟。

【請求項 7】如請求項 6 所述的碎片移除裝置，其中所述尖端包括奈米原纖維。

【請求項 8】如請求項 4 至 7 任一項所述的碎片移除裝置，其中從所述超紫外線微影光遮罩的所述表面移除的所述碎片是從所述尖端移除。

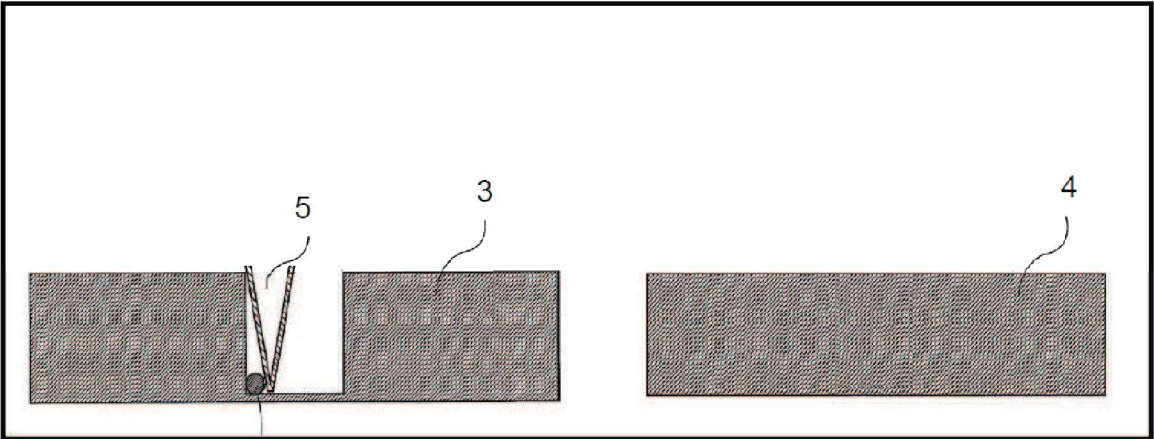
【發明圖式】

1



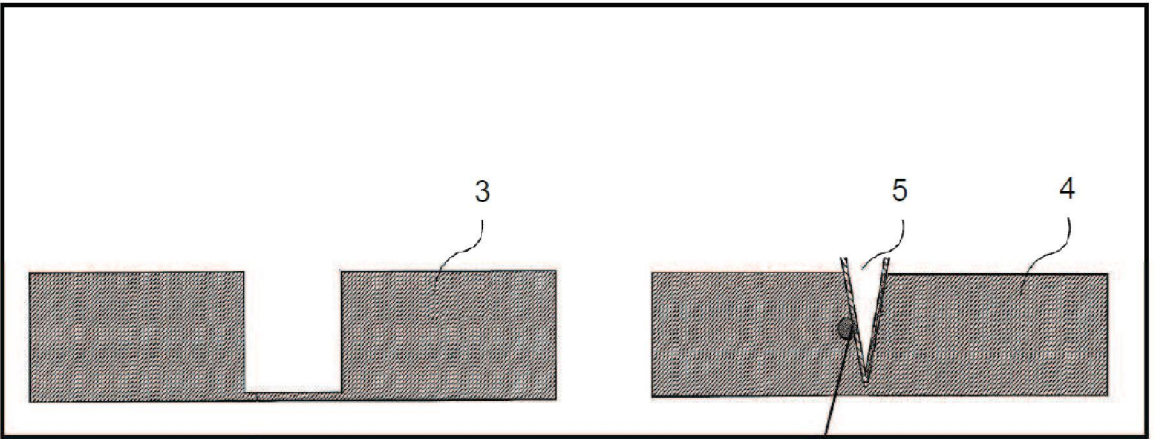
第1A圖

1

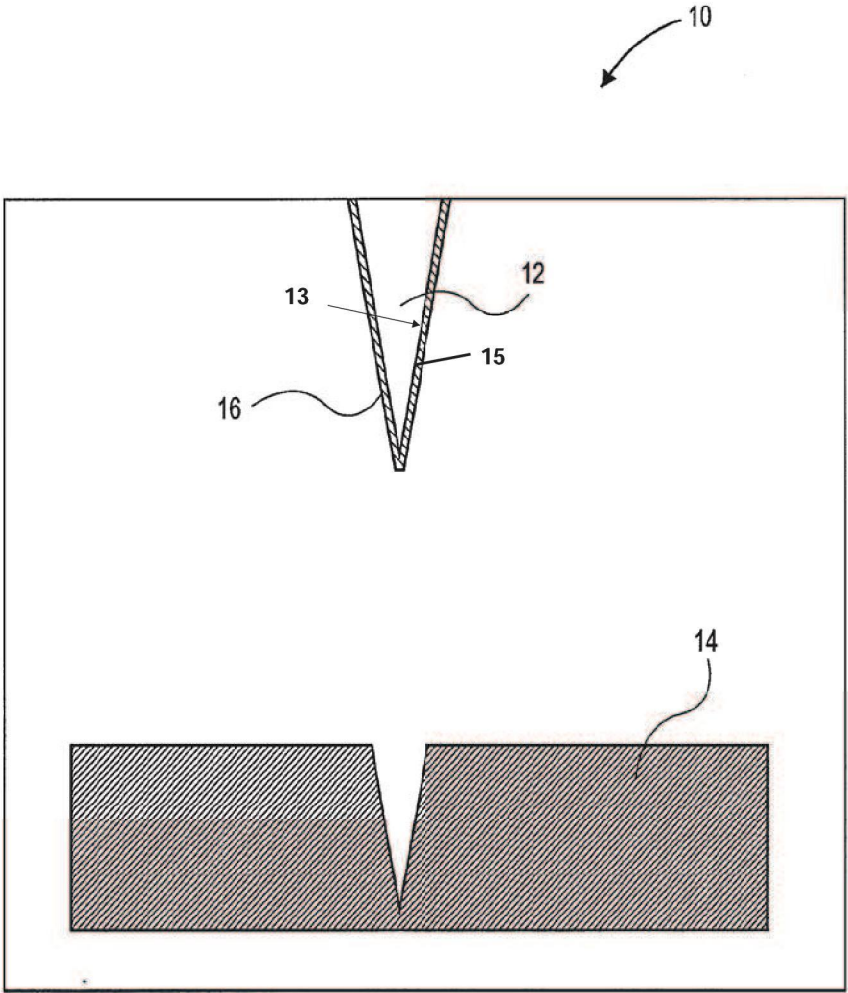


第1B圖

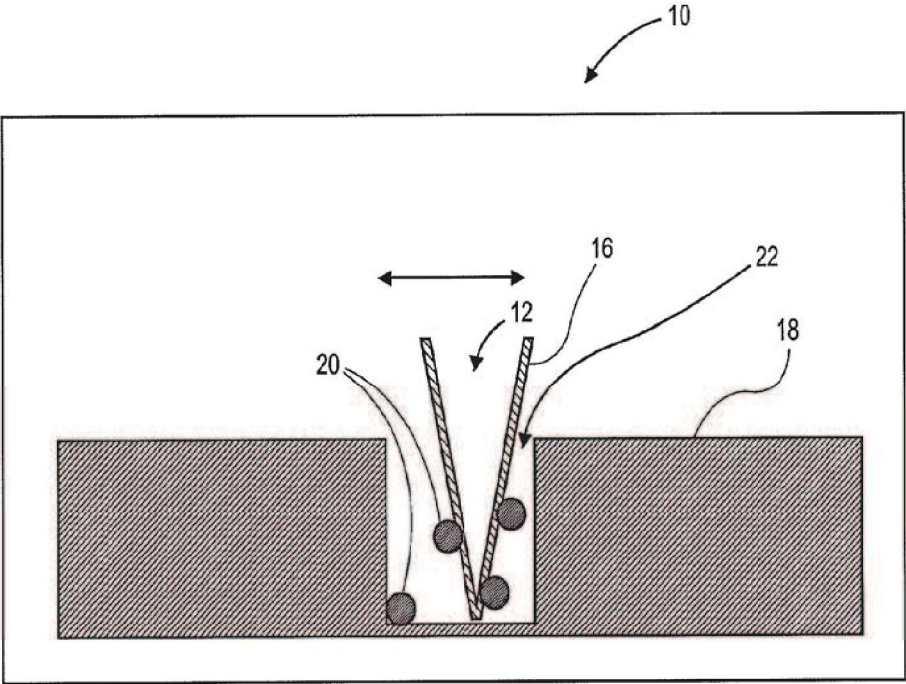
1



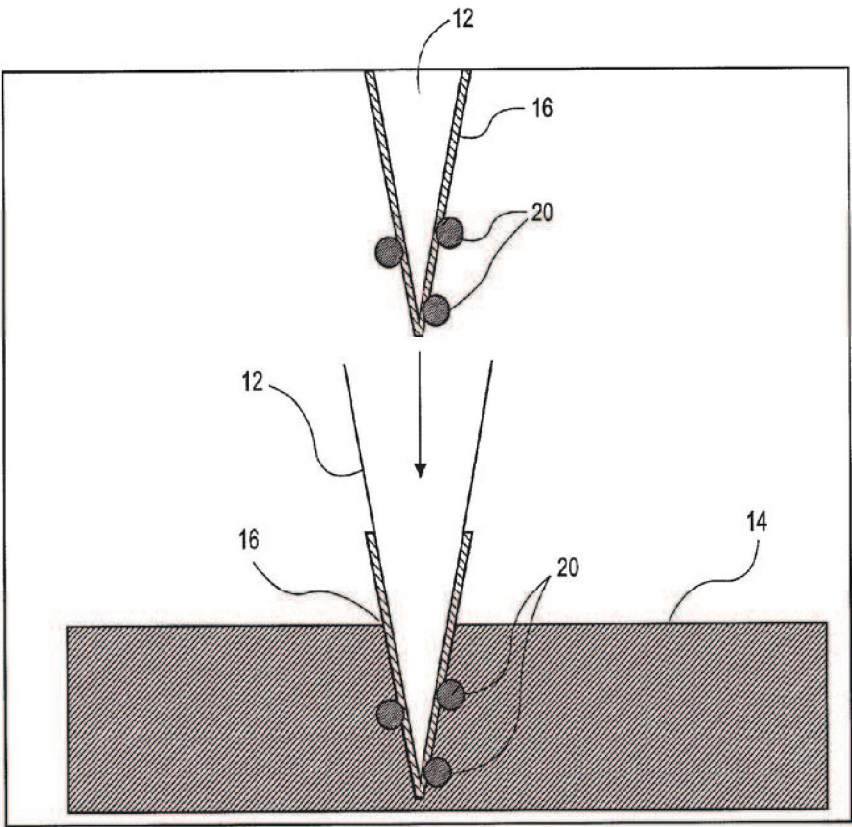
第1C圖



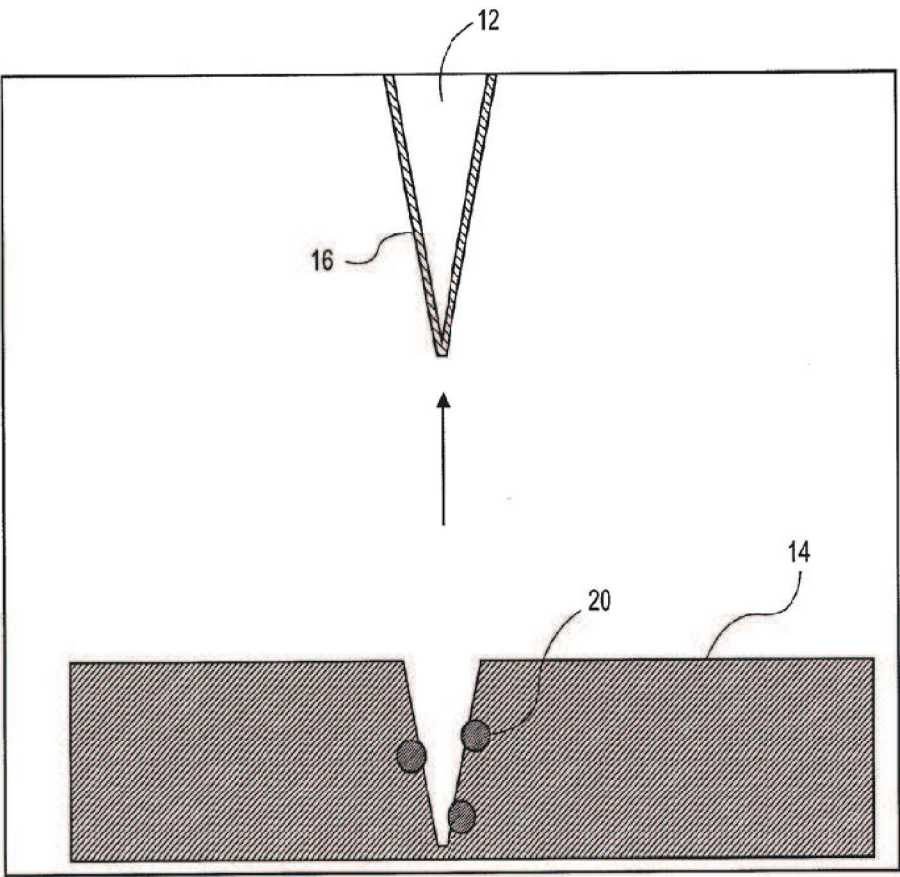
第2圖



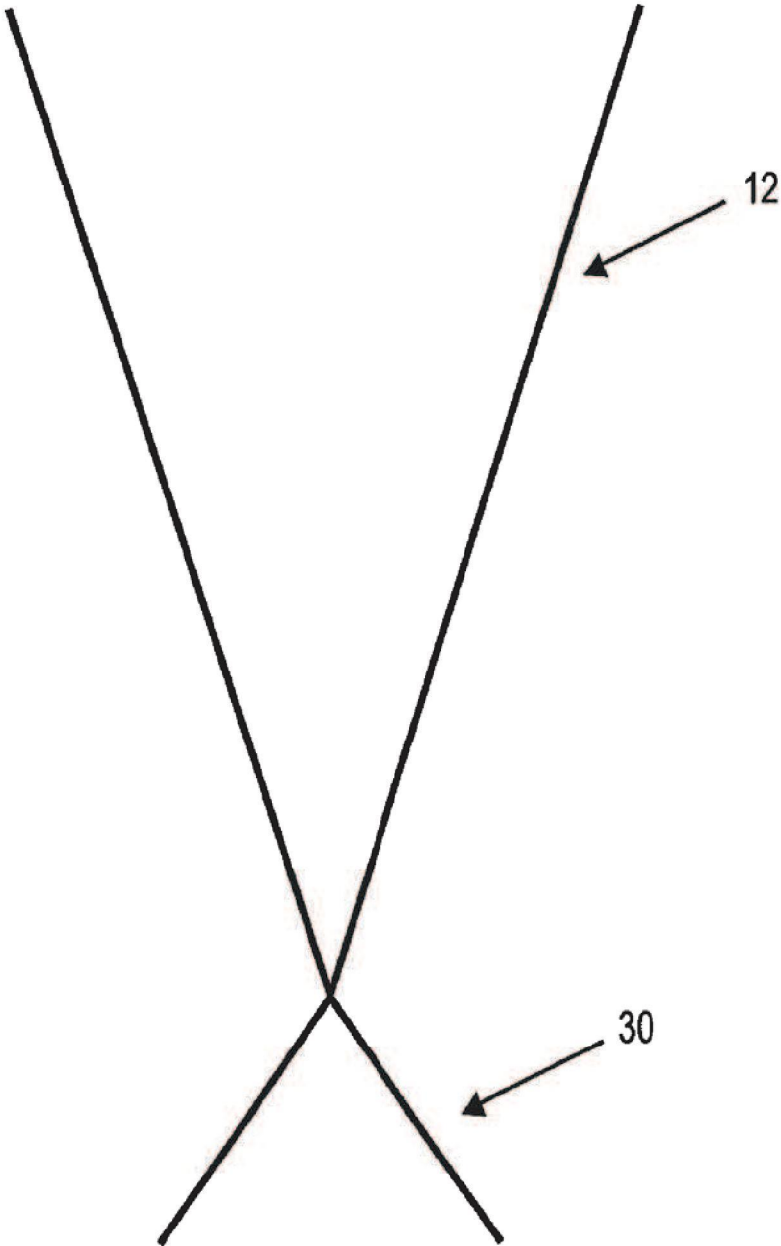
第3圖



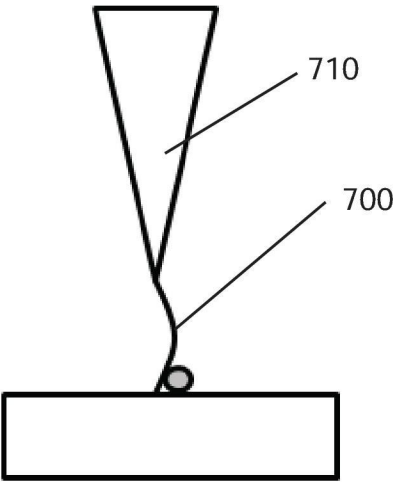
第4圖



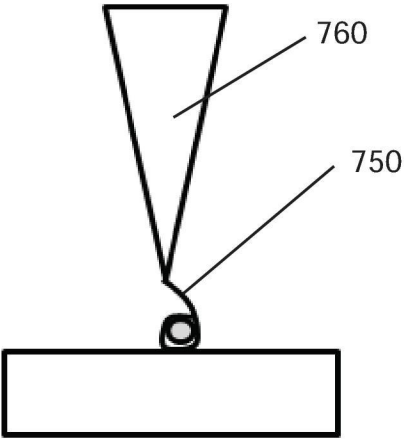
第5圖



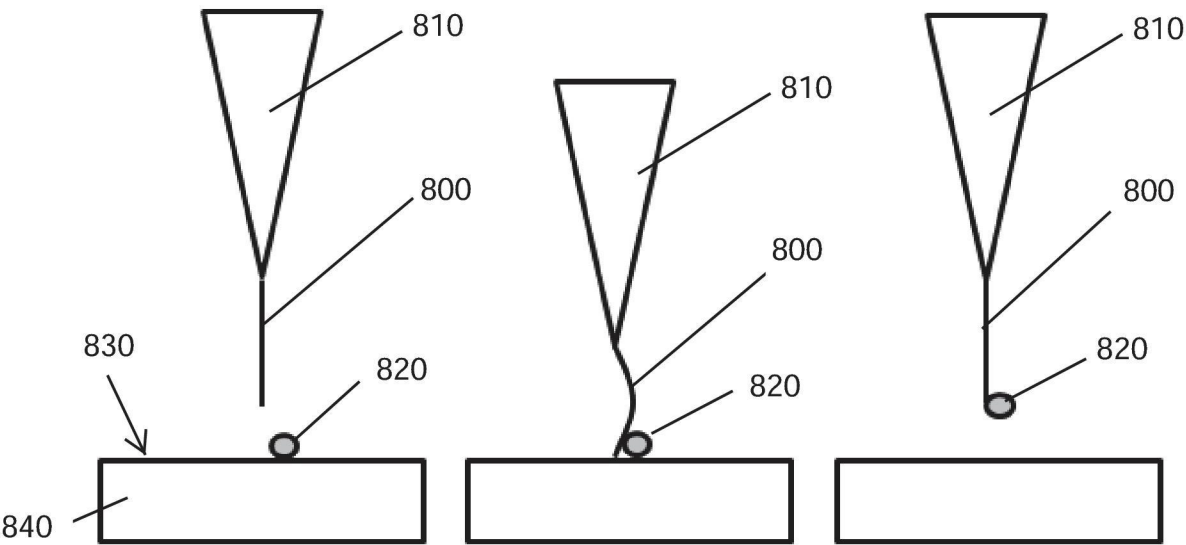
第6圖



第7A圖



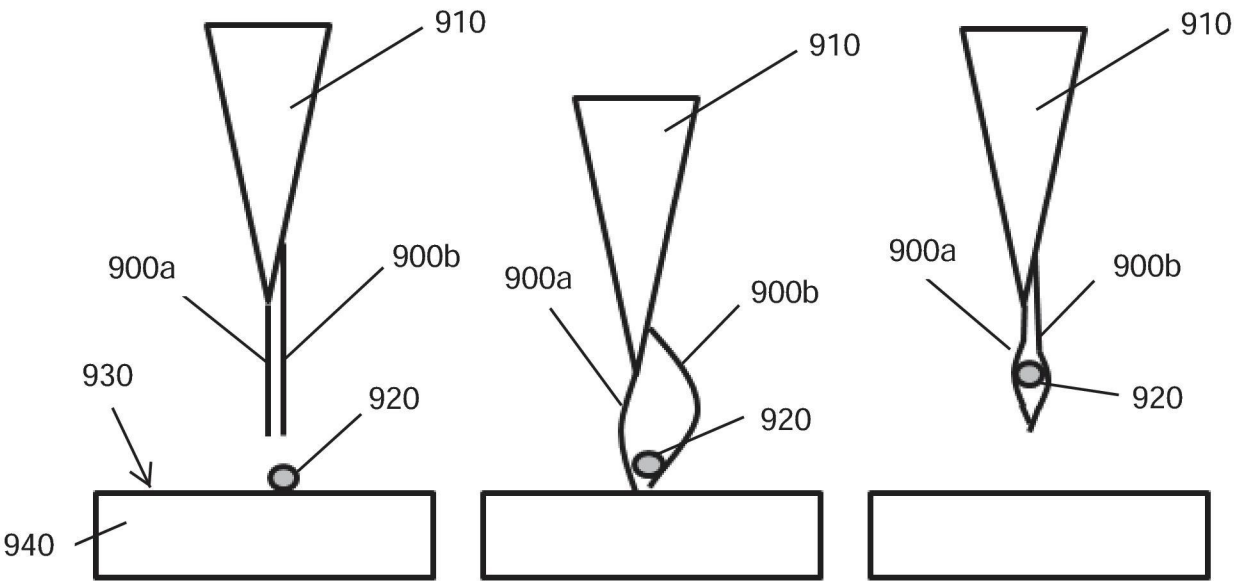
第7B圖



第8A圖

第8B圖

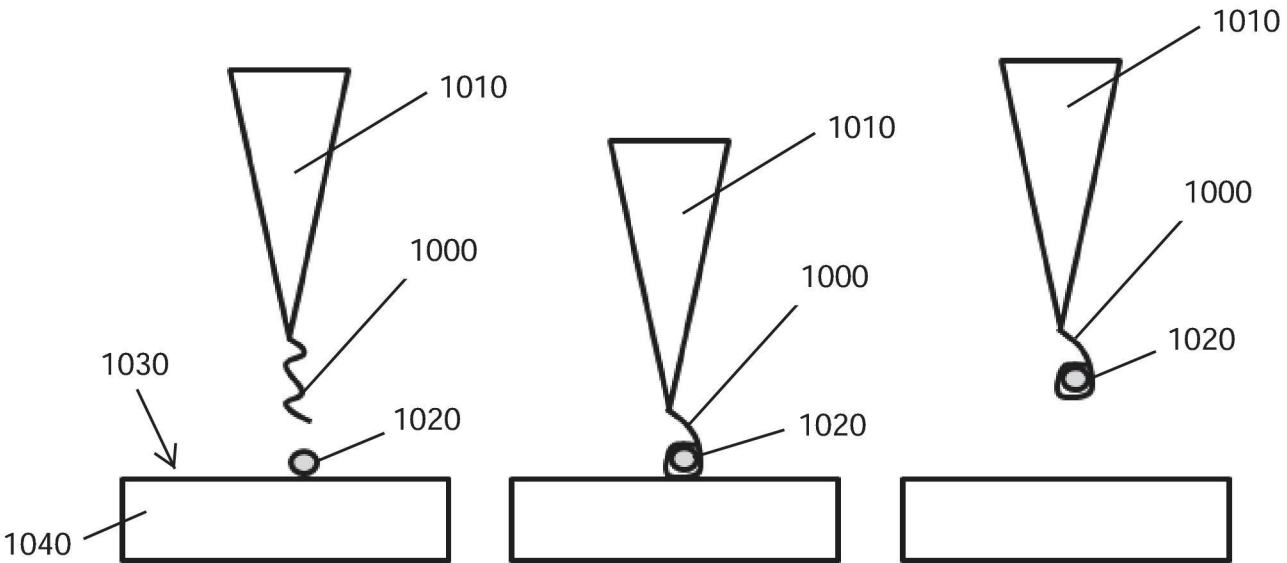
第8C圖



第9A圖

第9B圖

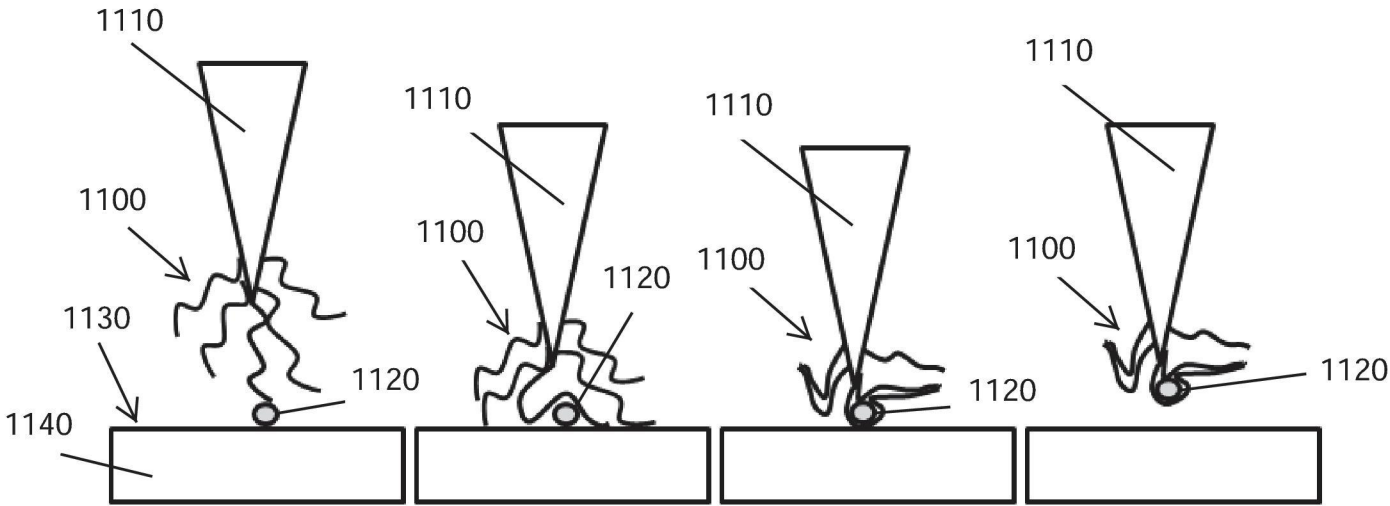
第9C圖



第10A圖

第10B圖

第10C圖

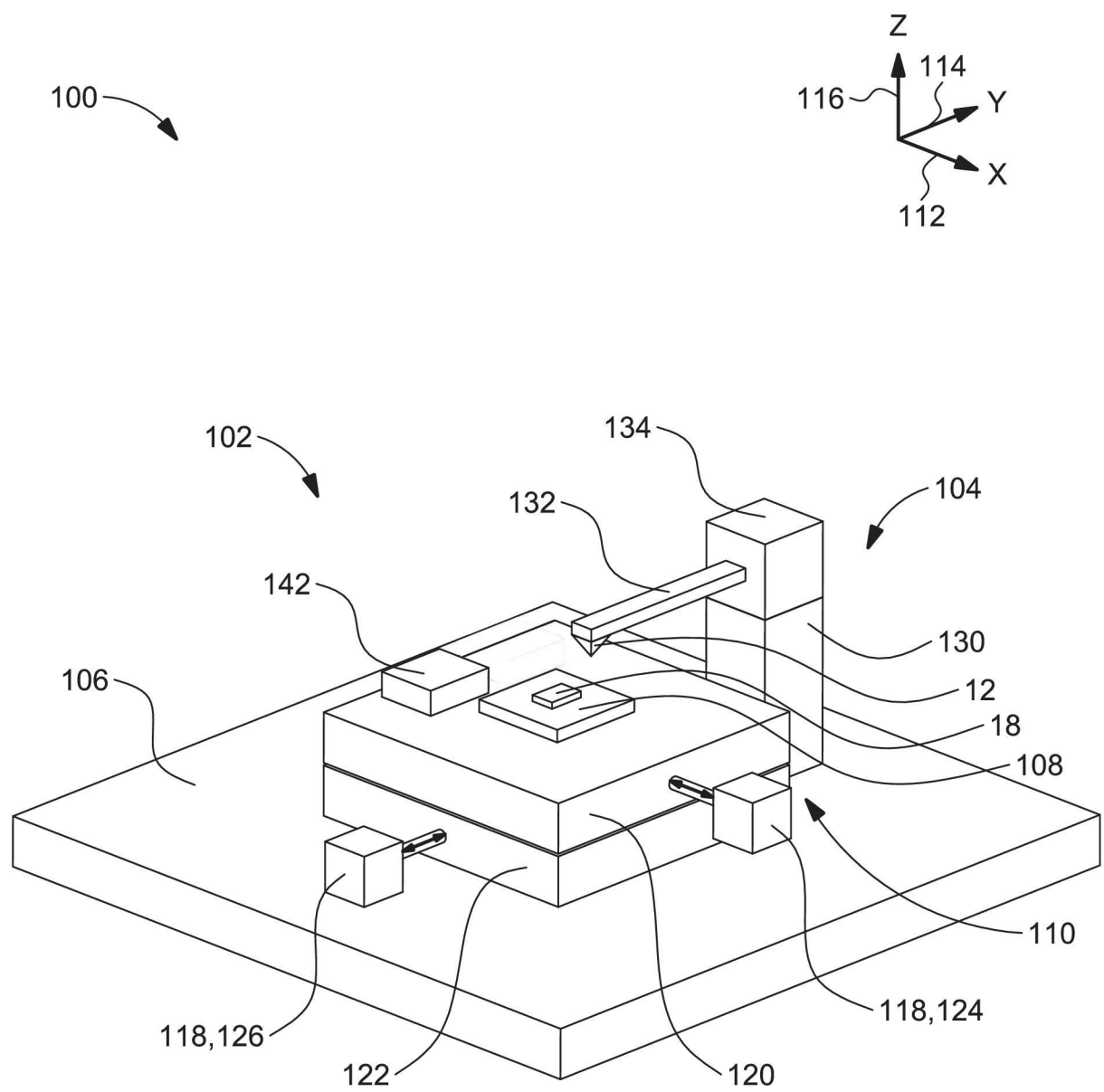


第11A圖

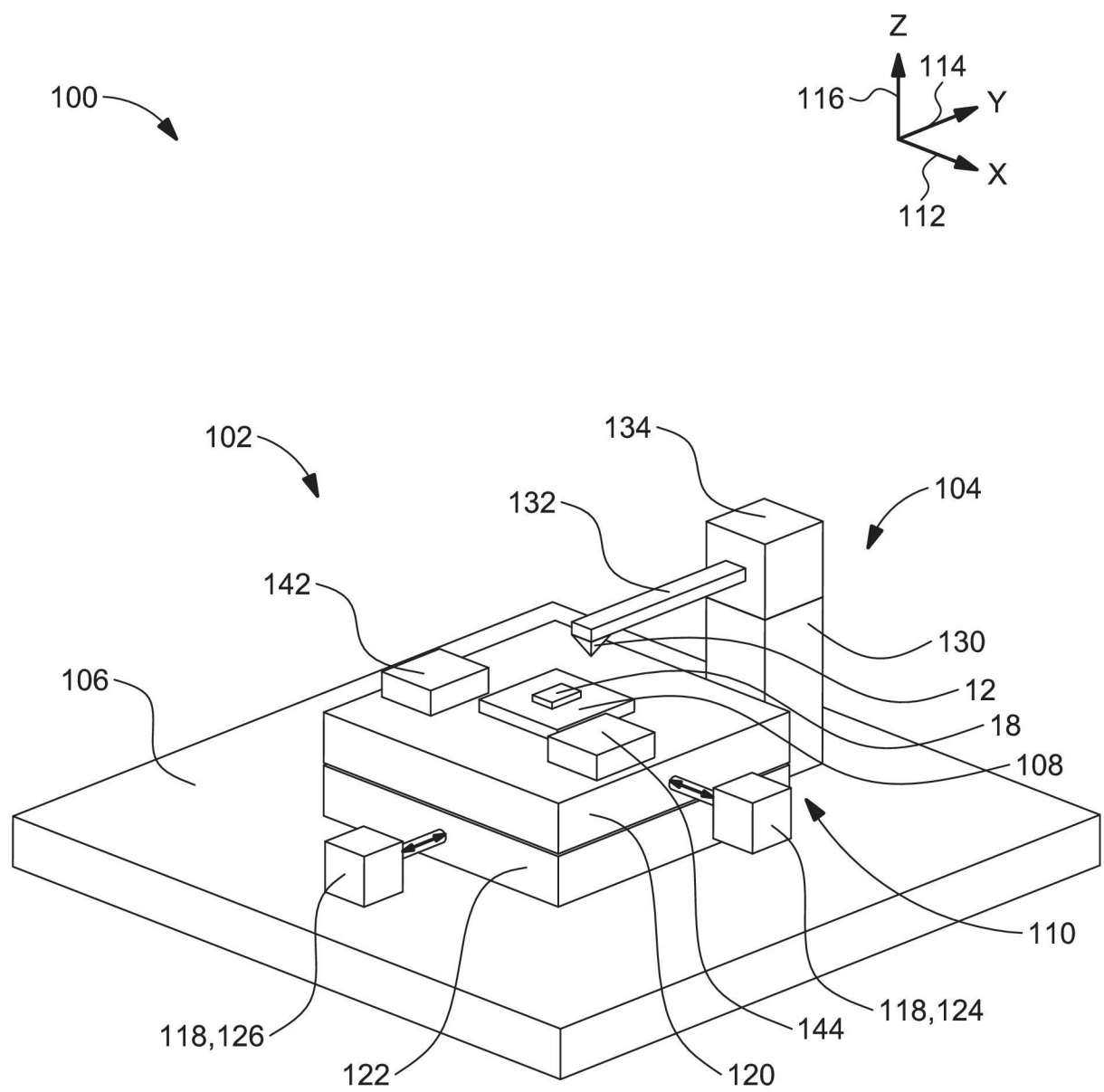
第11B圖

第11C圖

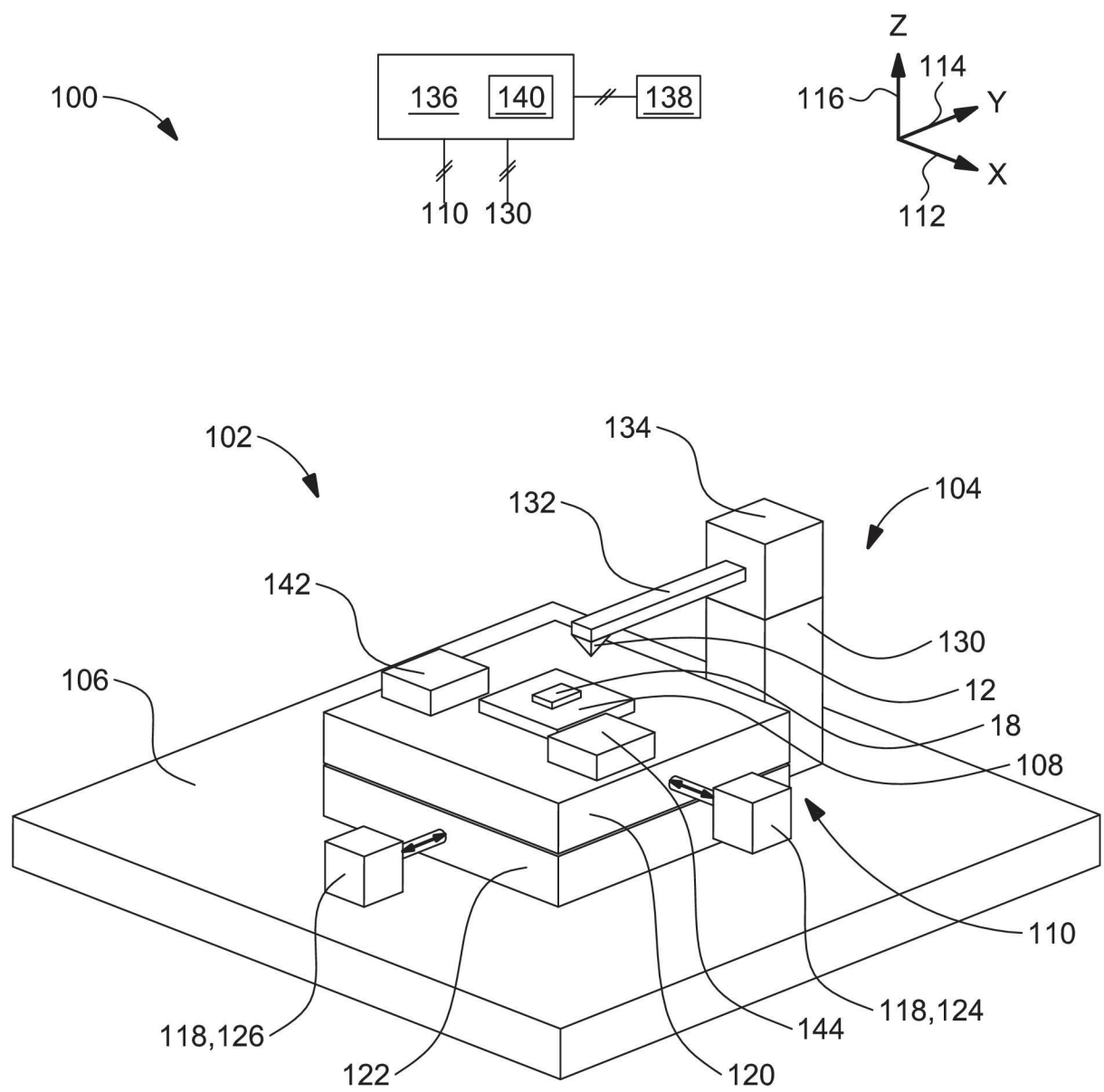
第11D圖



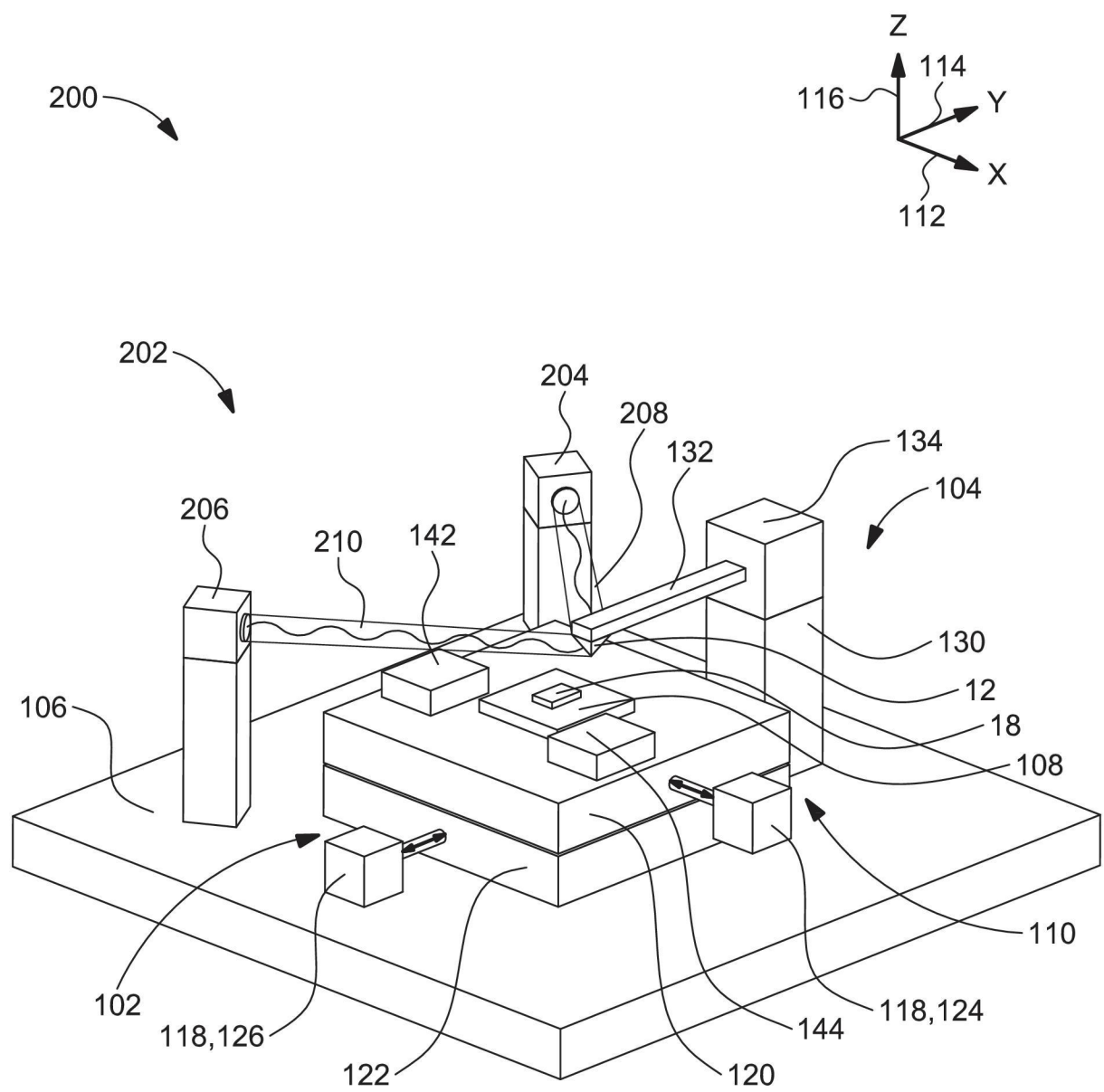
第12圖



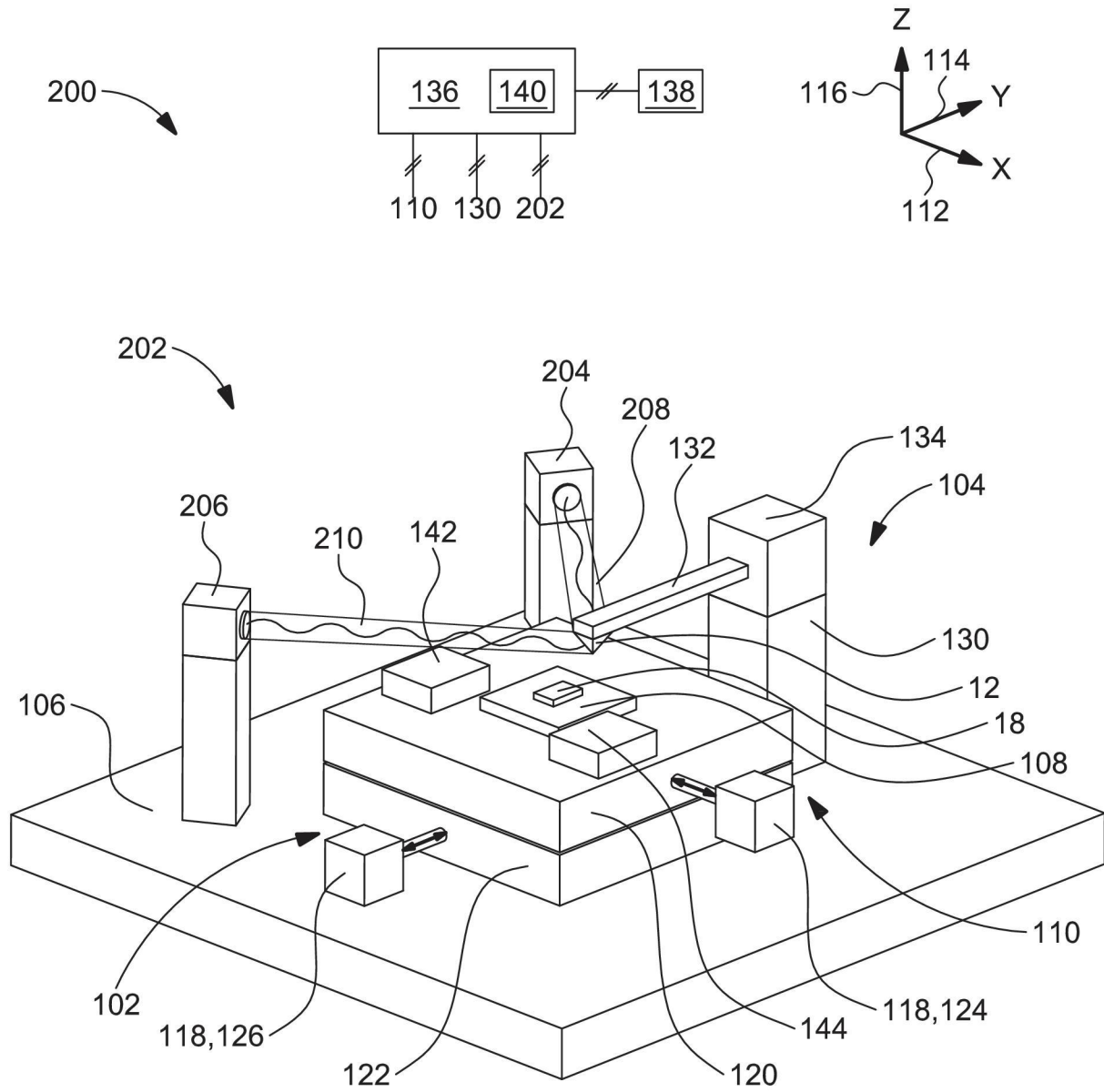
第13圖



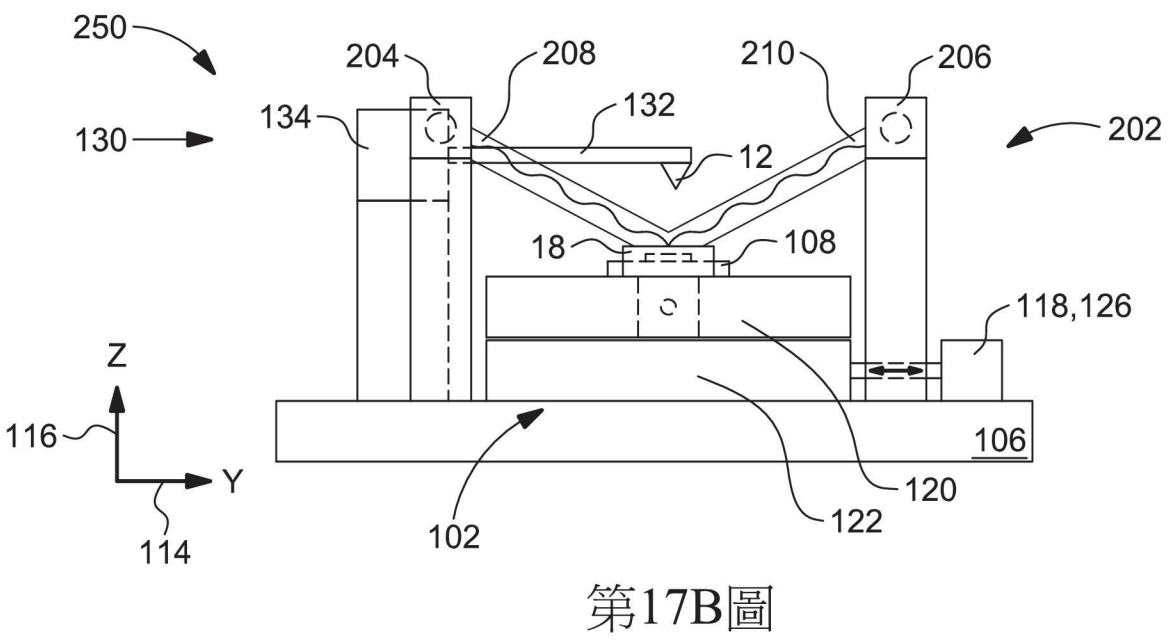
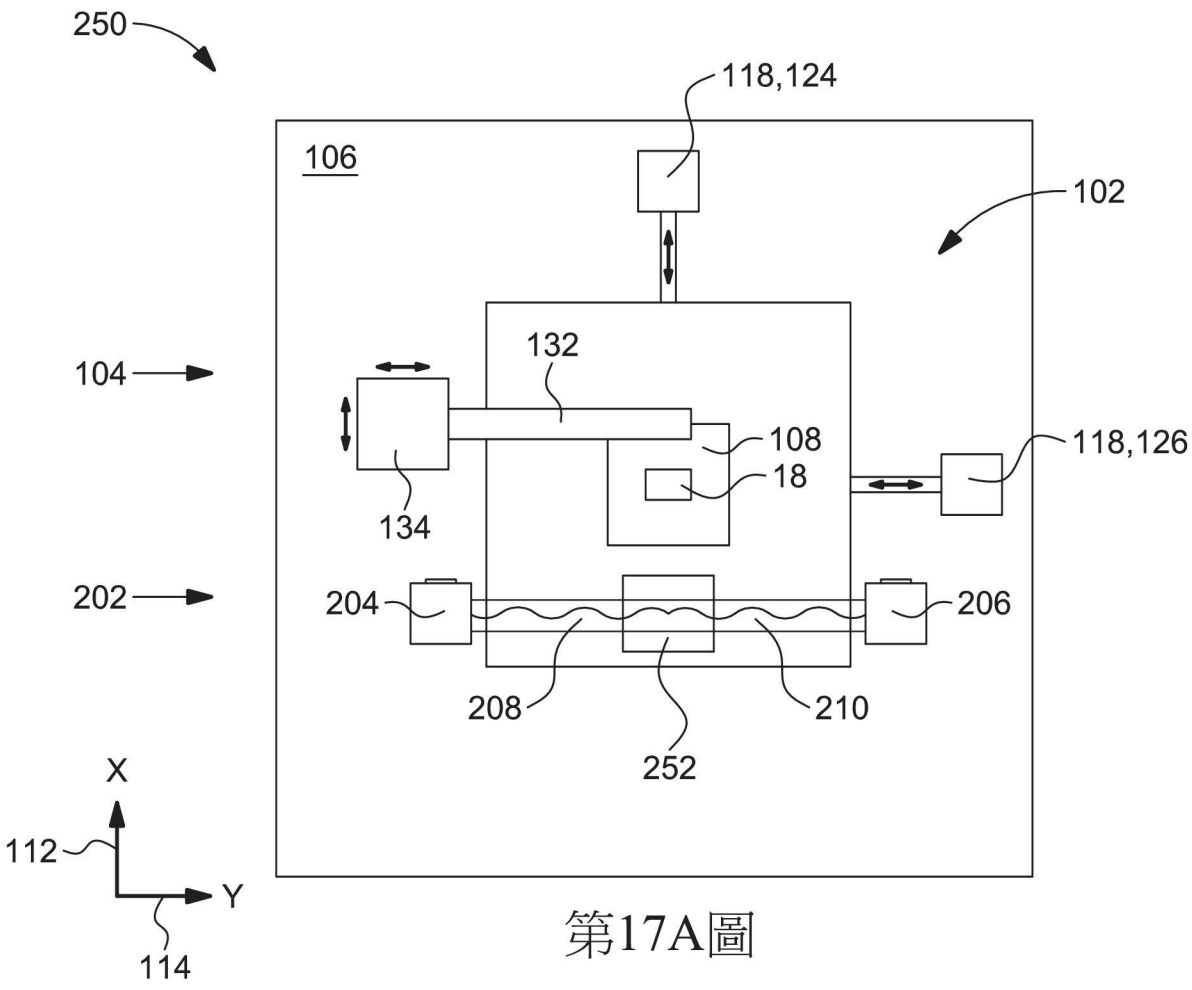
第14圖

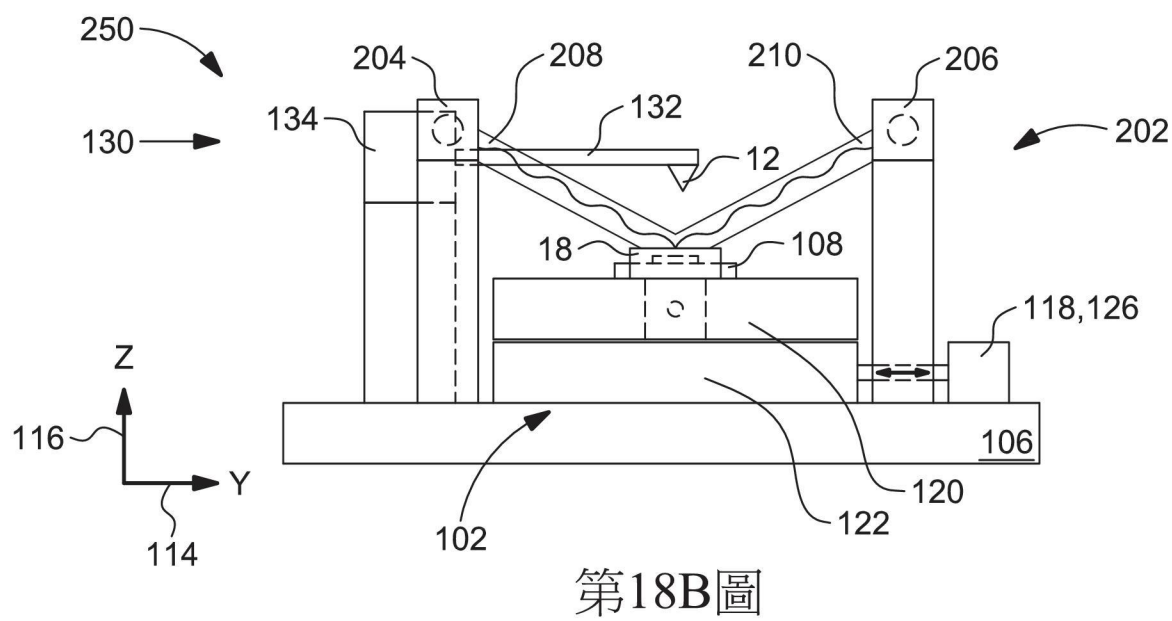
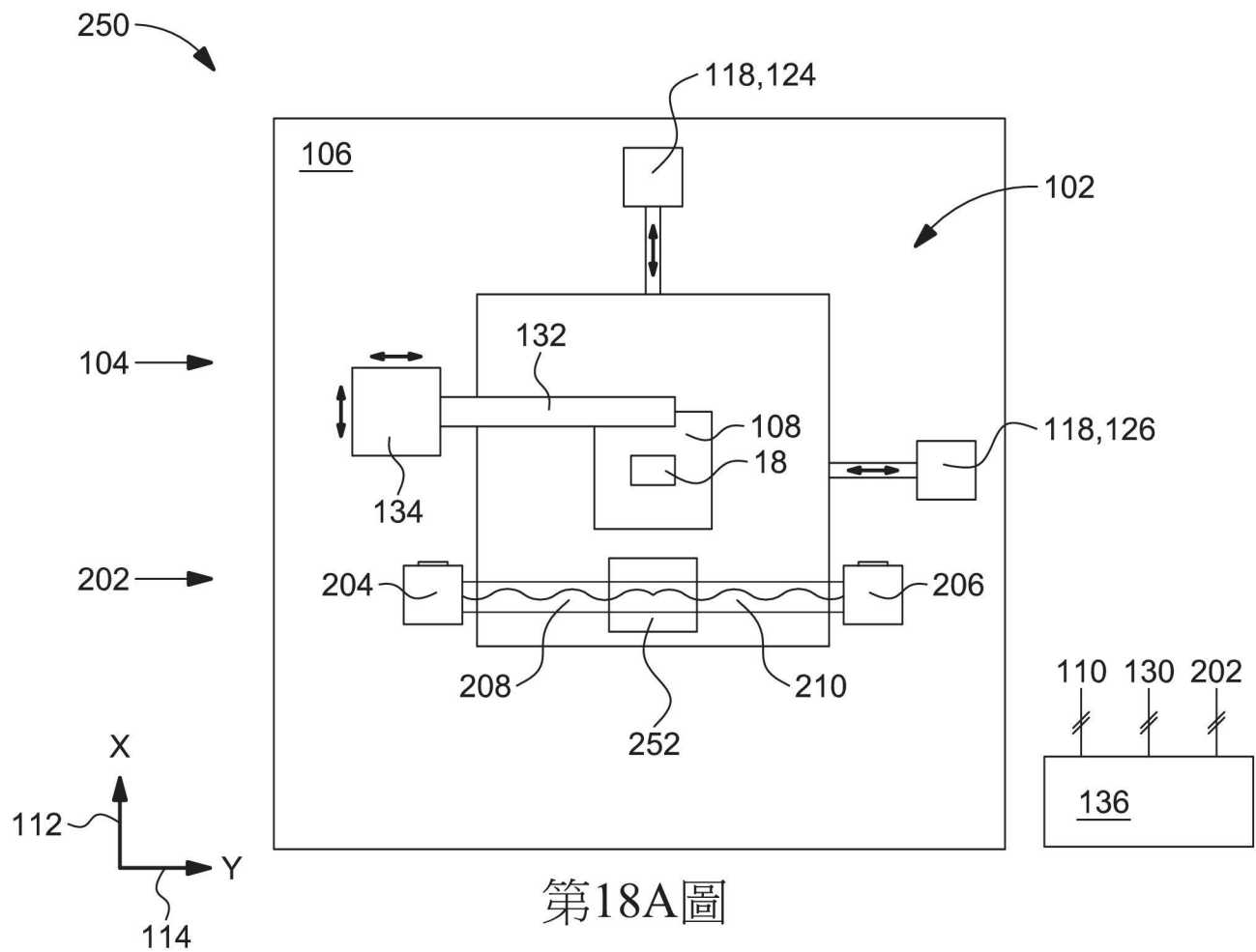


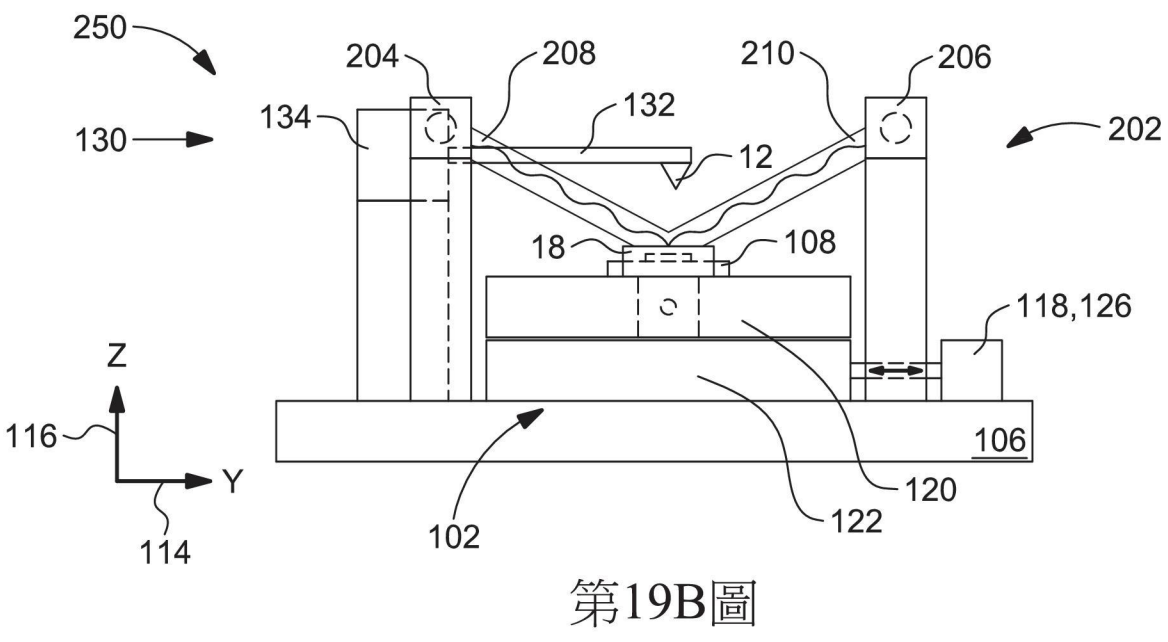
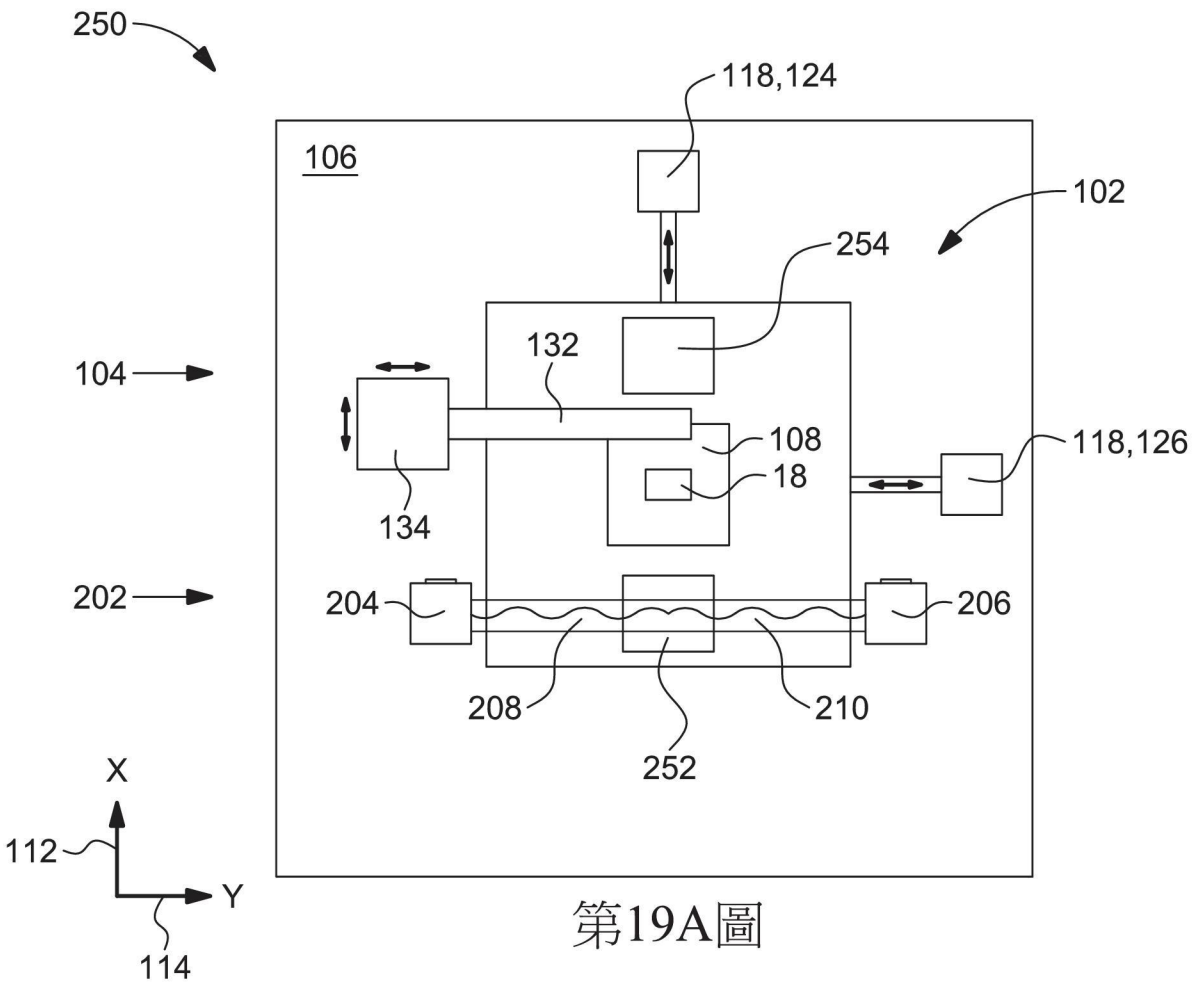
第15圖

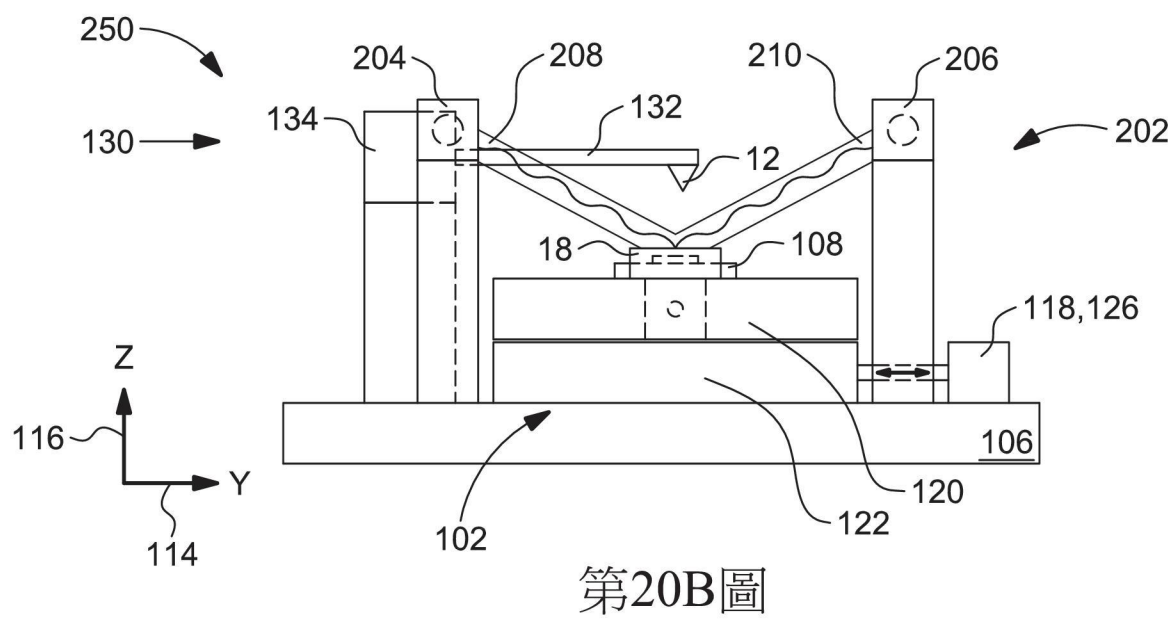
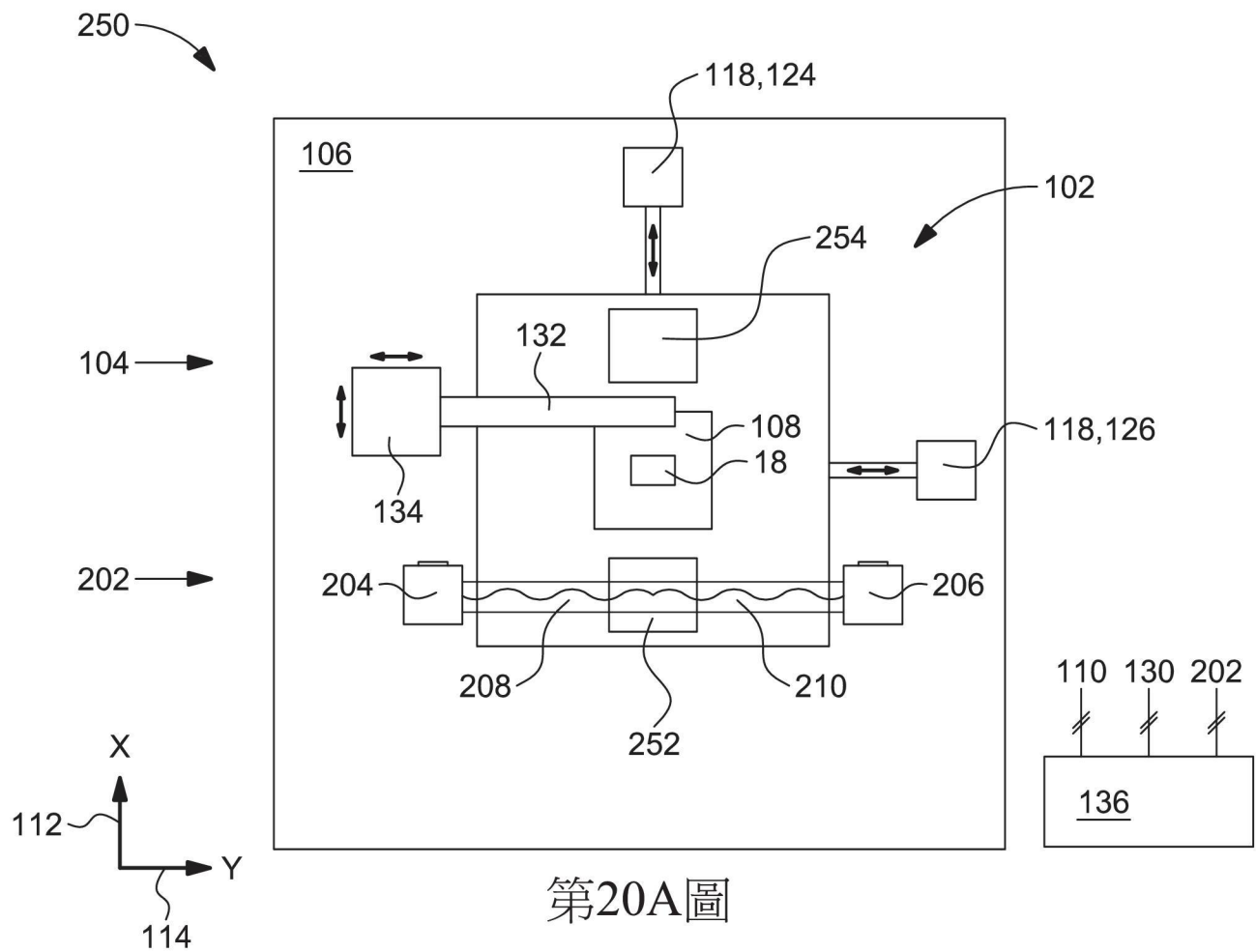


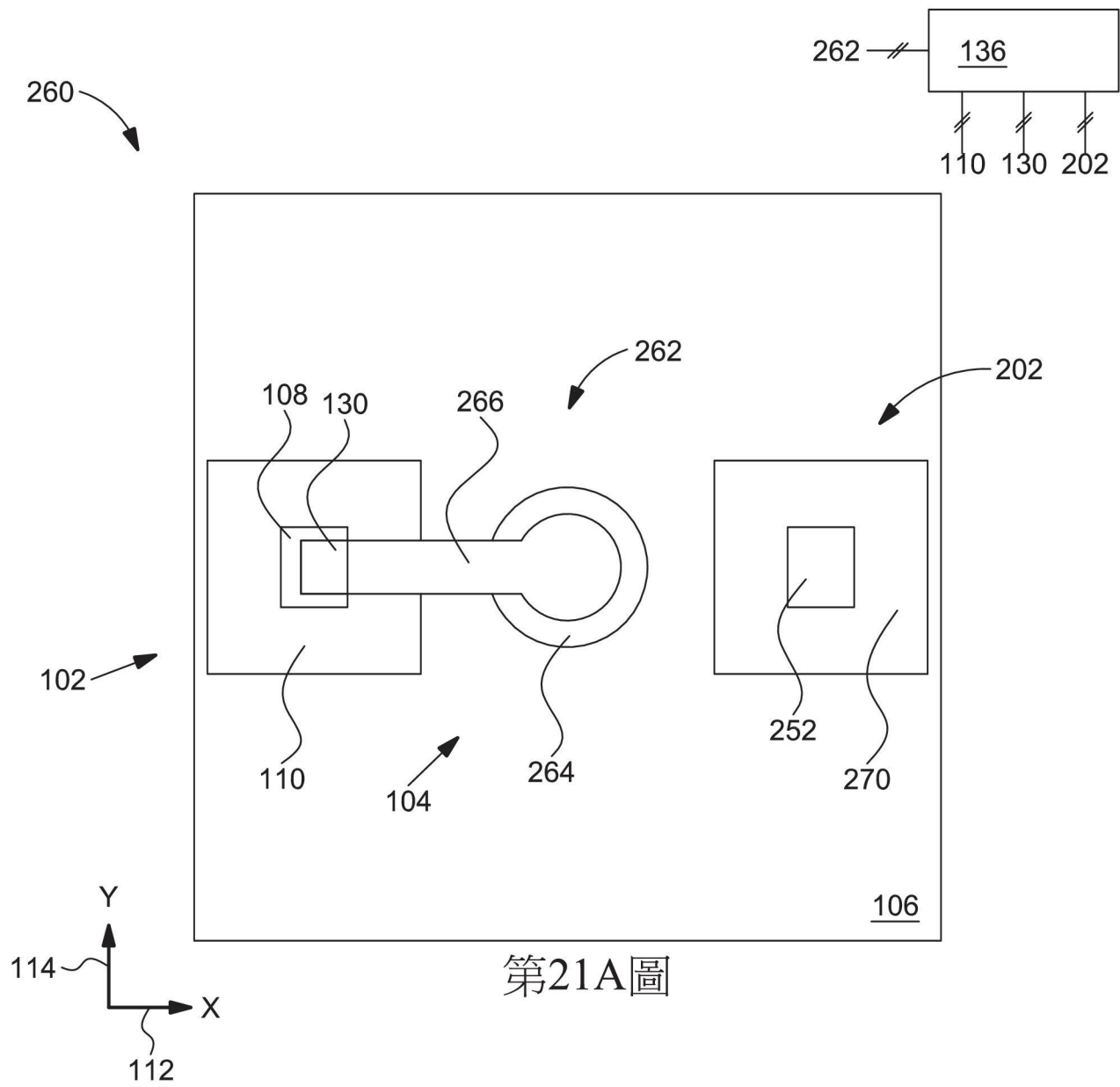
第16圖



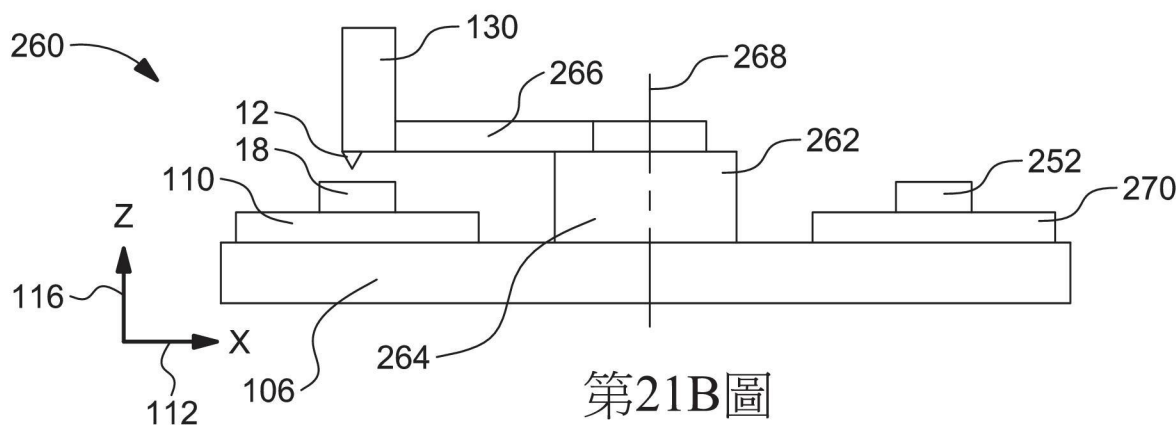




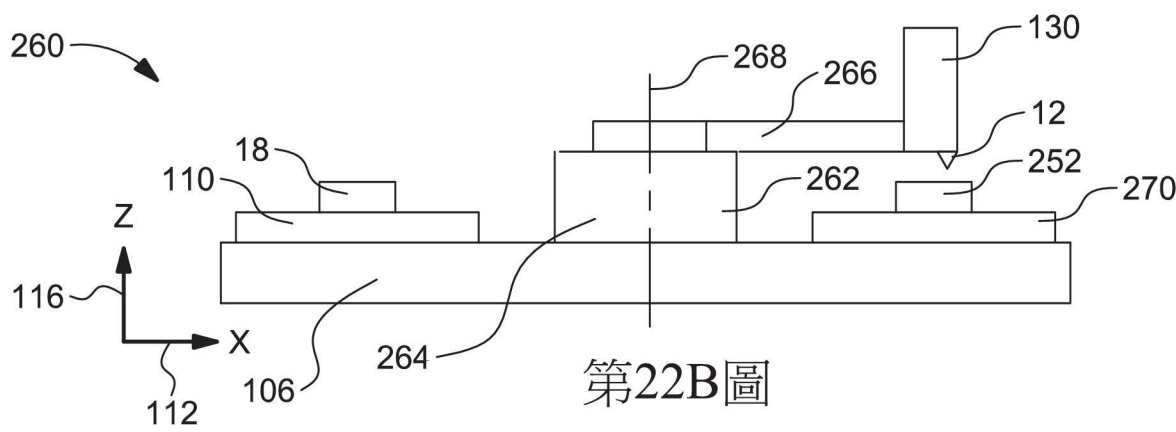
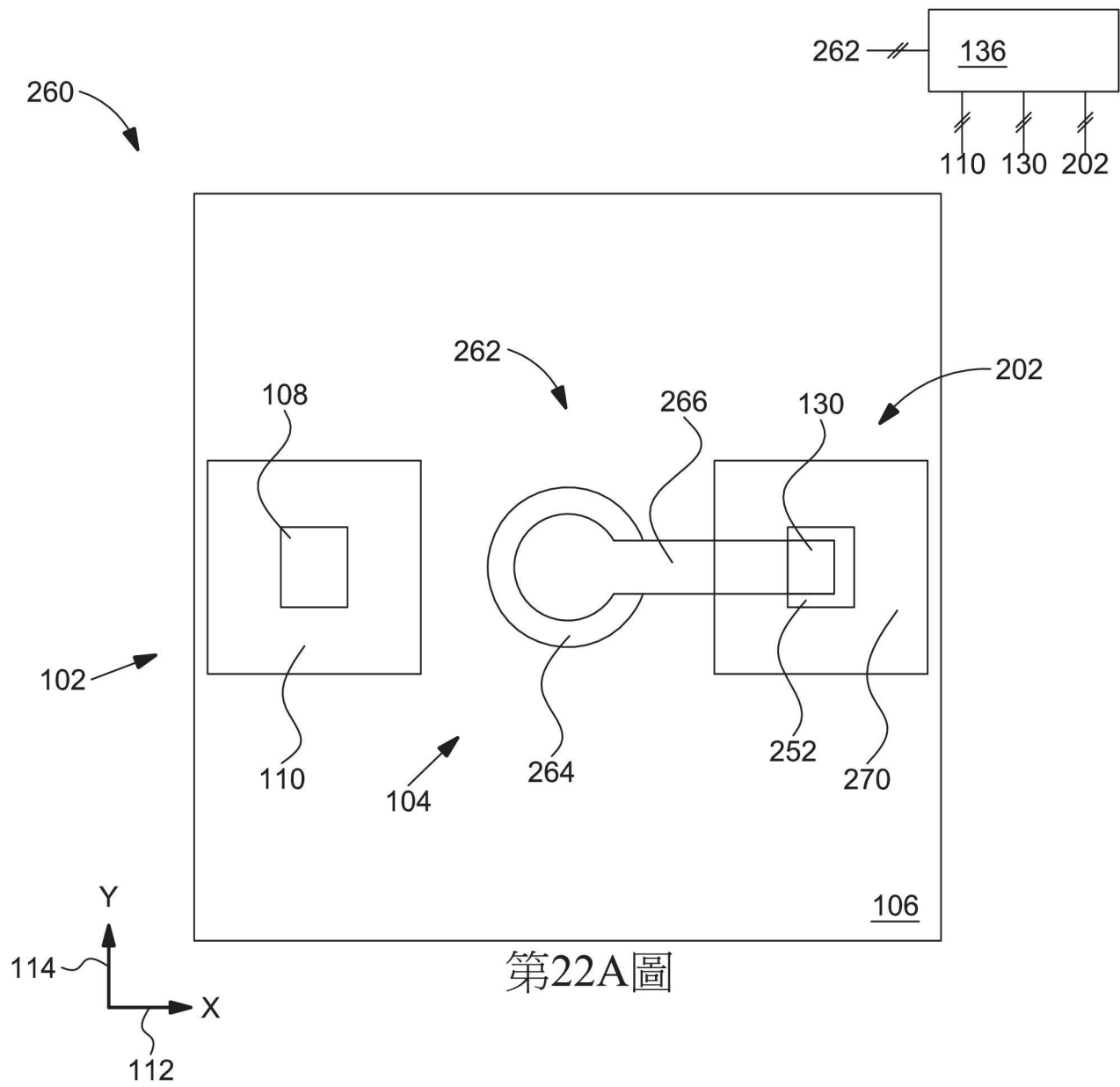


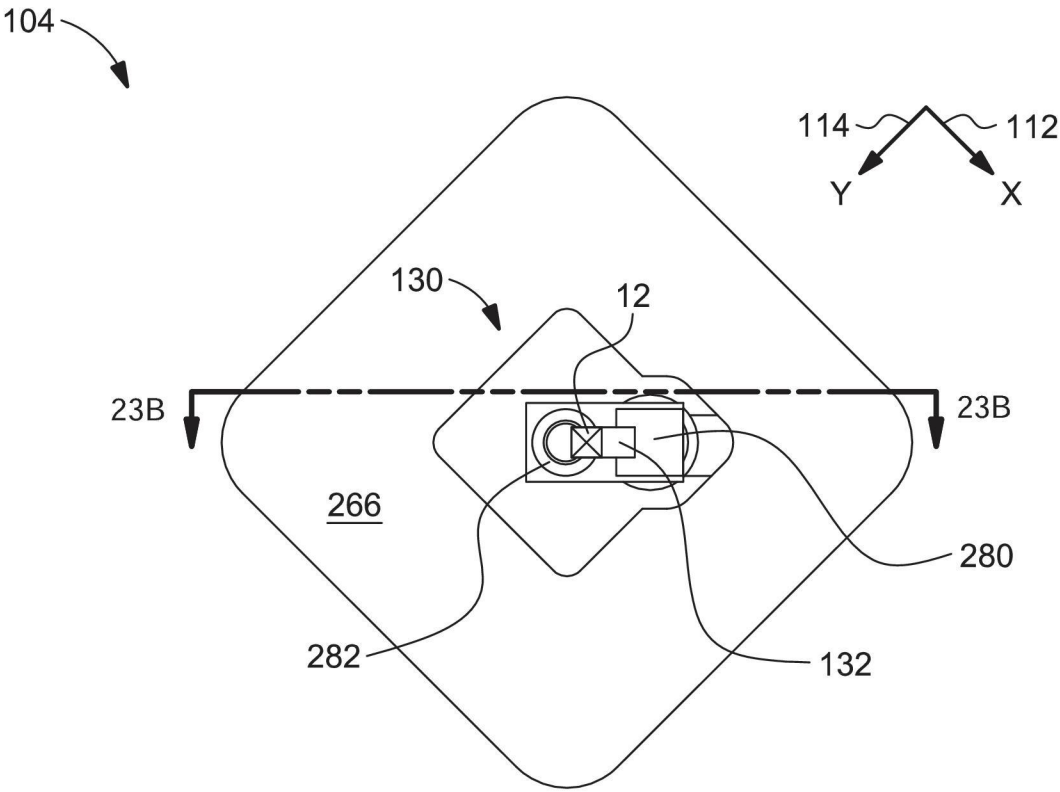


第21A圖

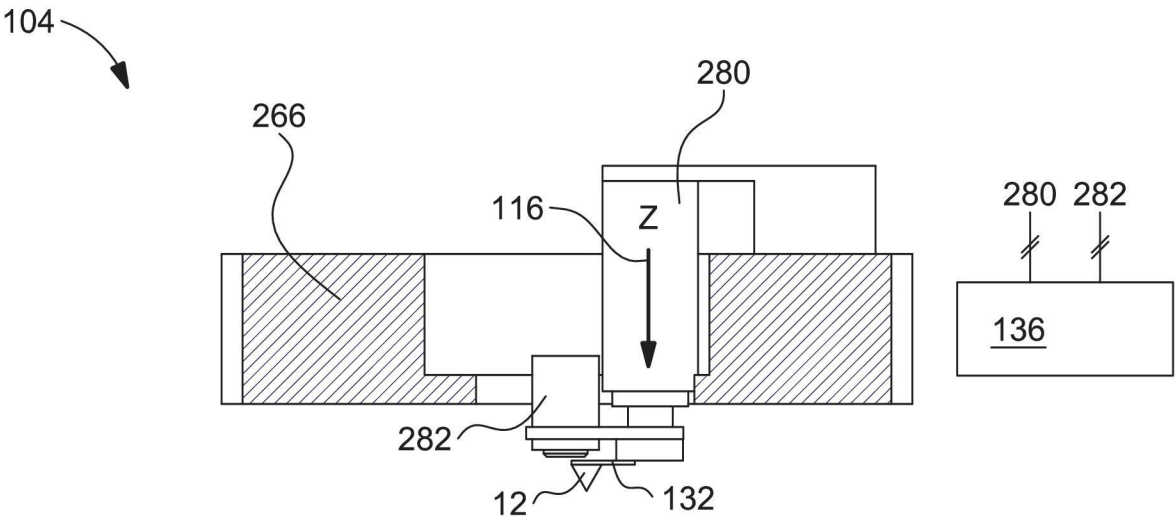


第21B圖

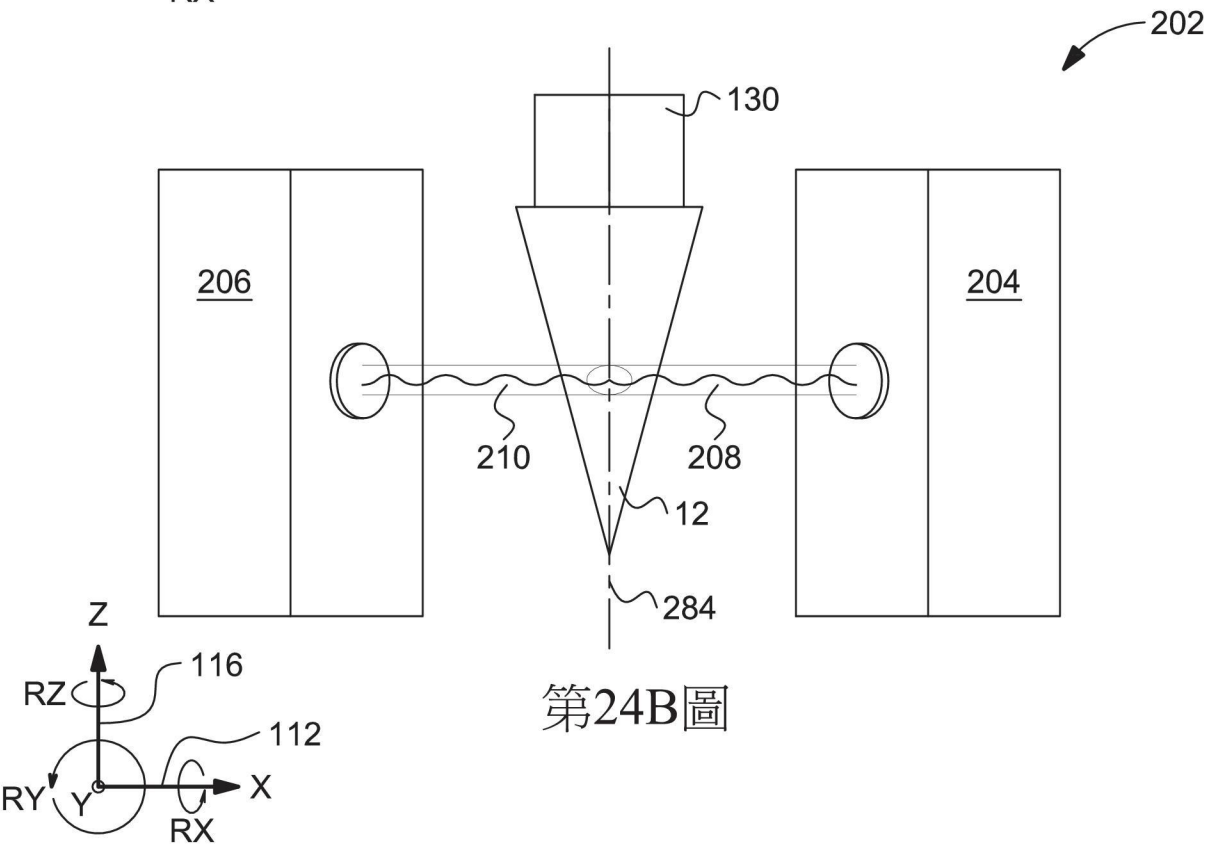
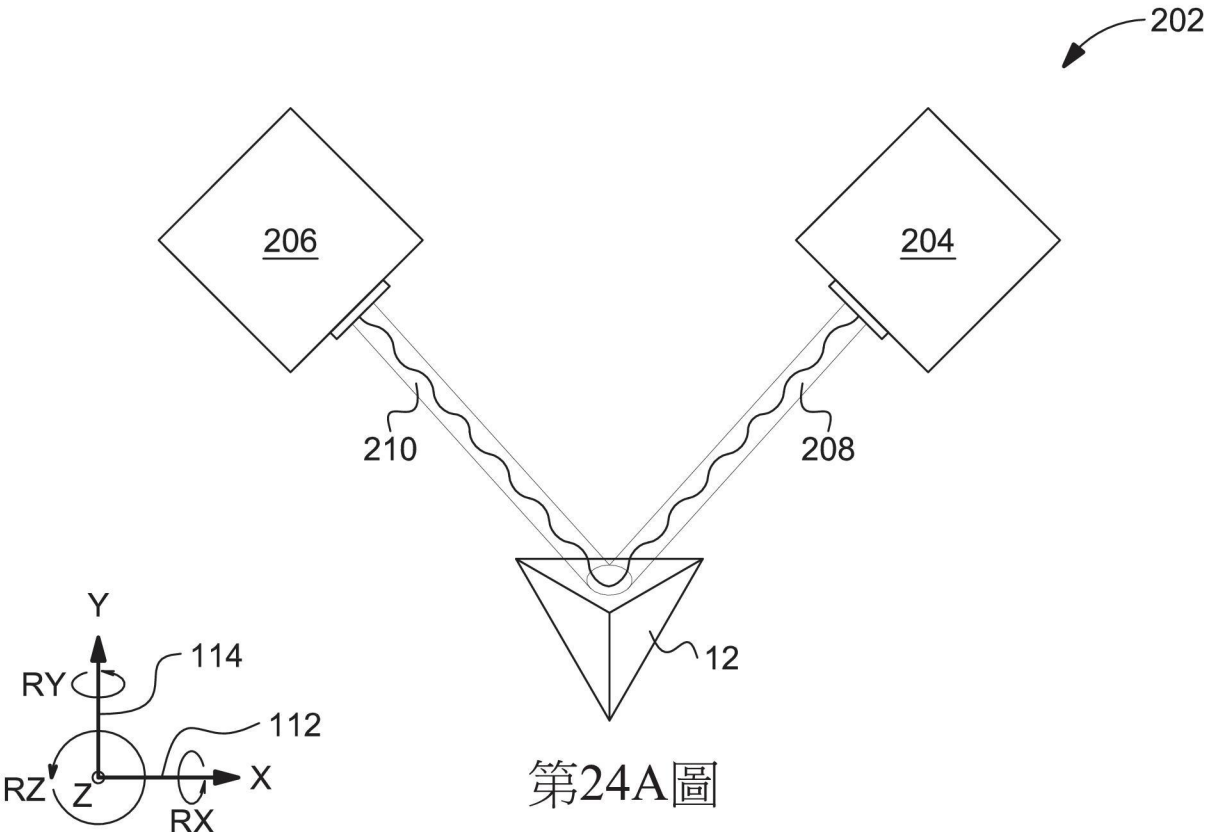


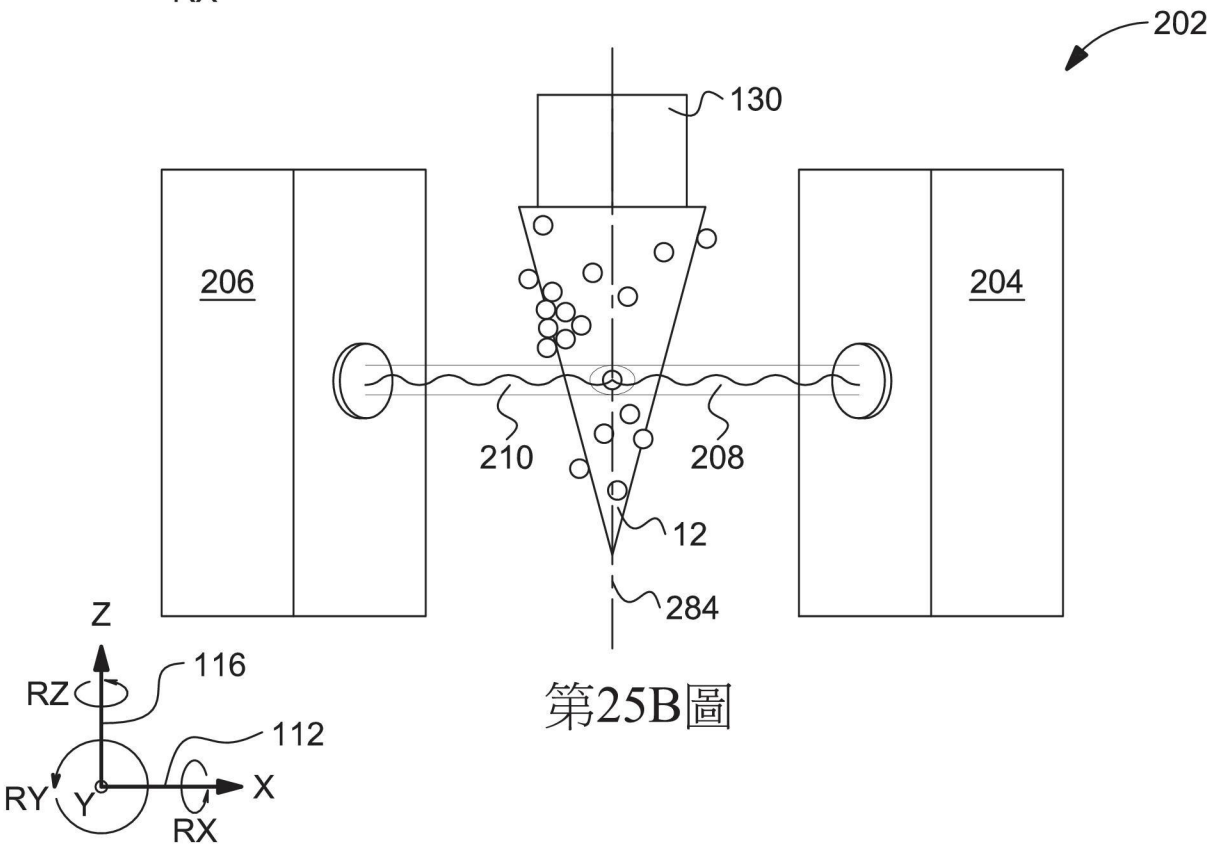
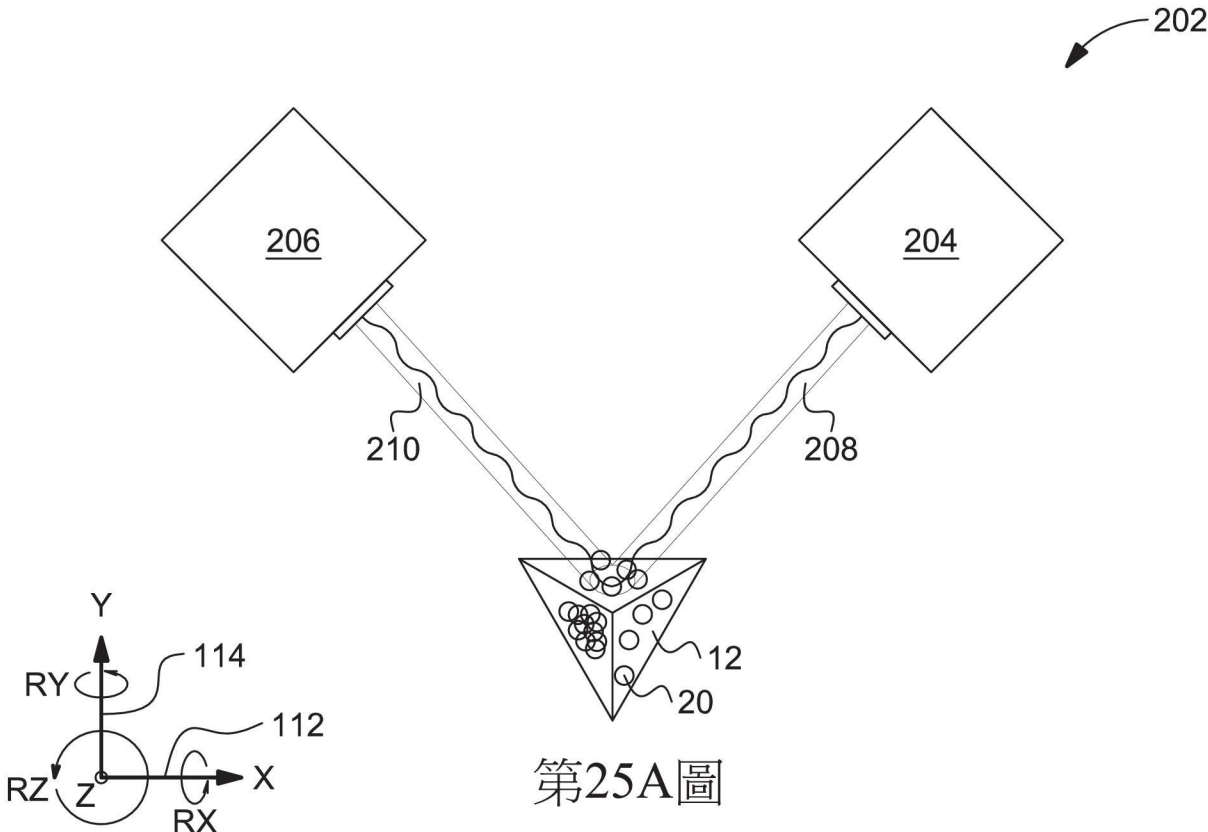


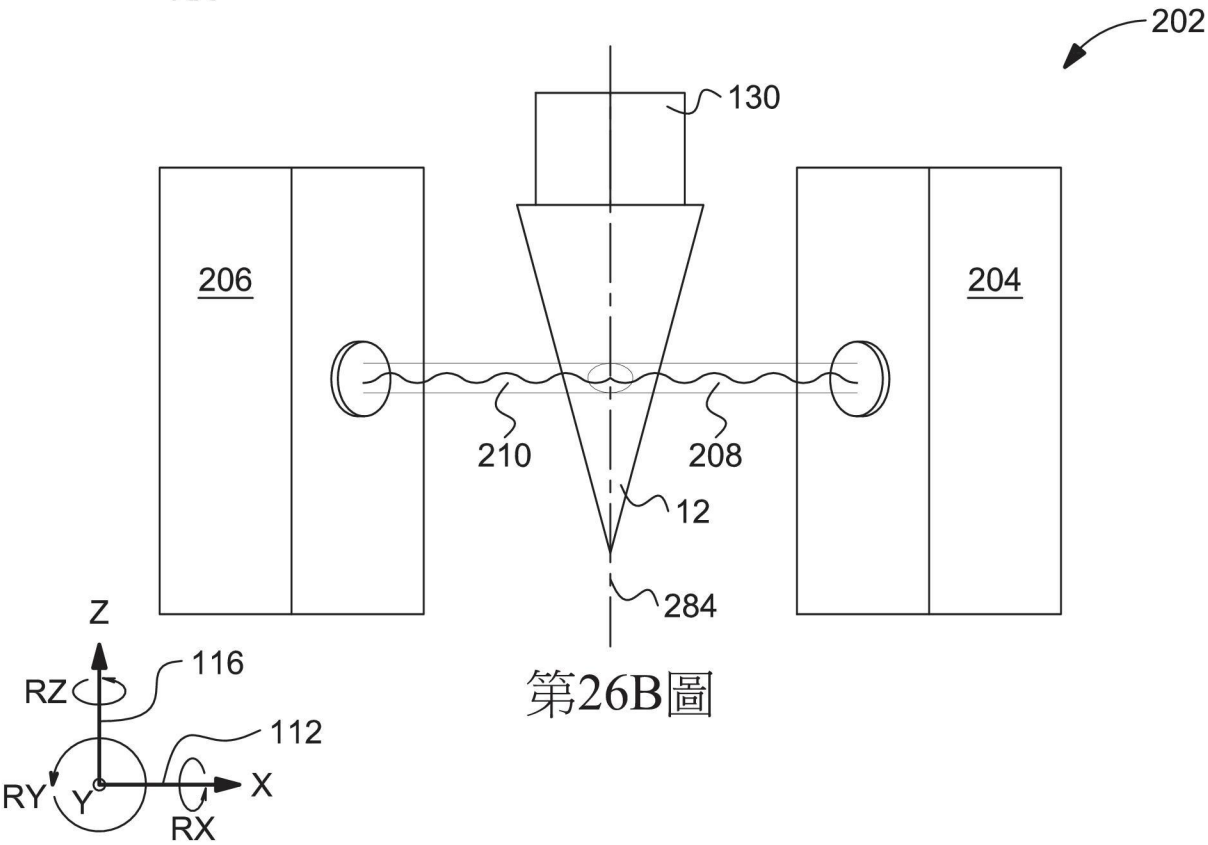
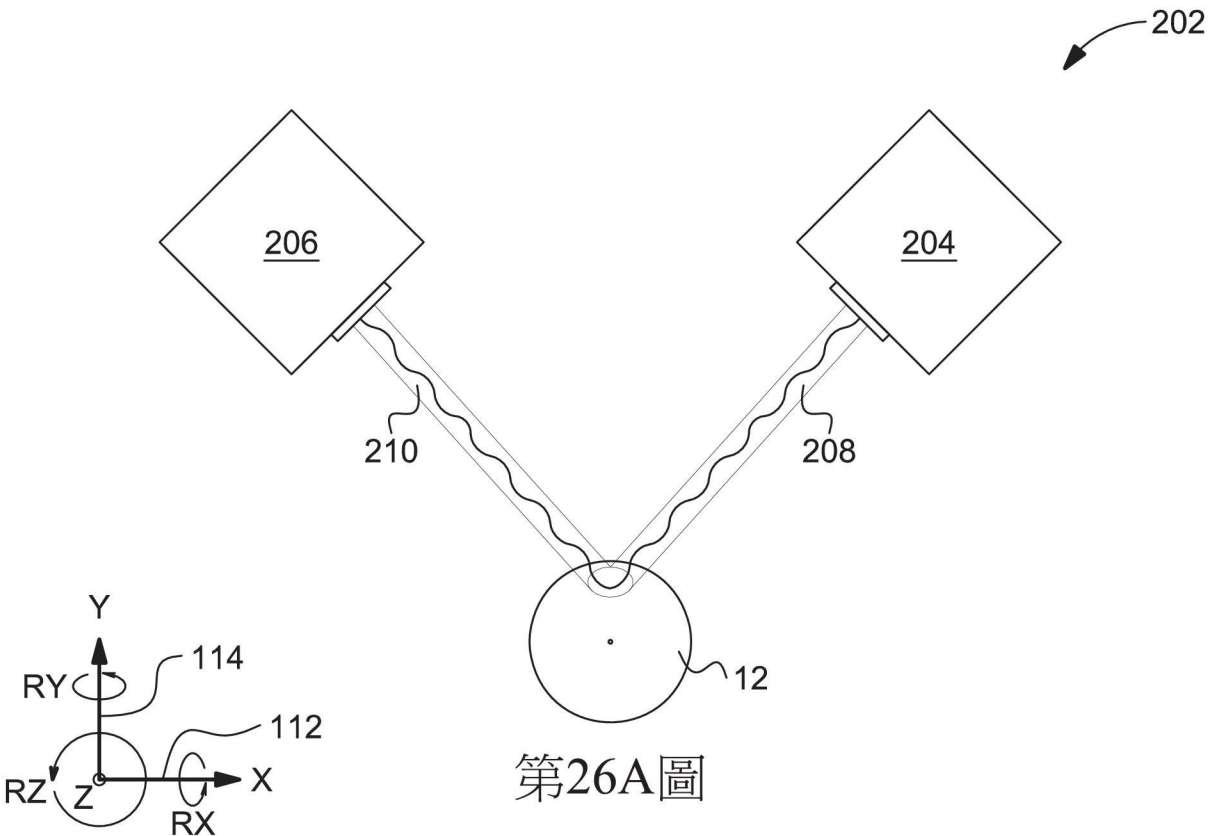
第23A圖

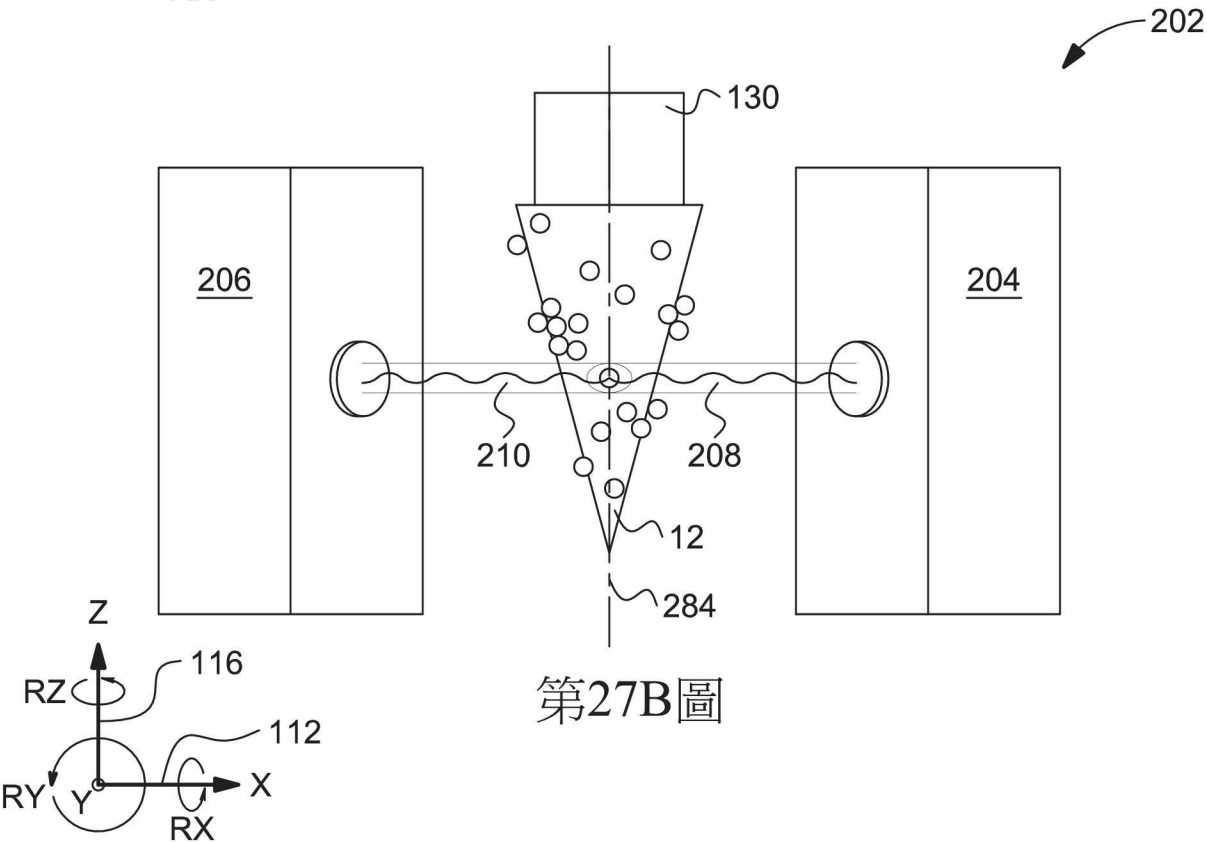
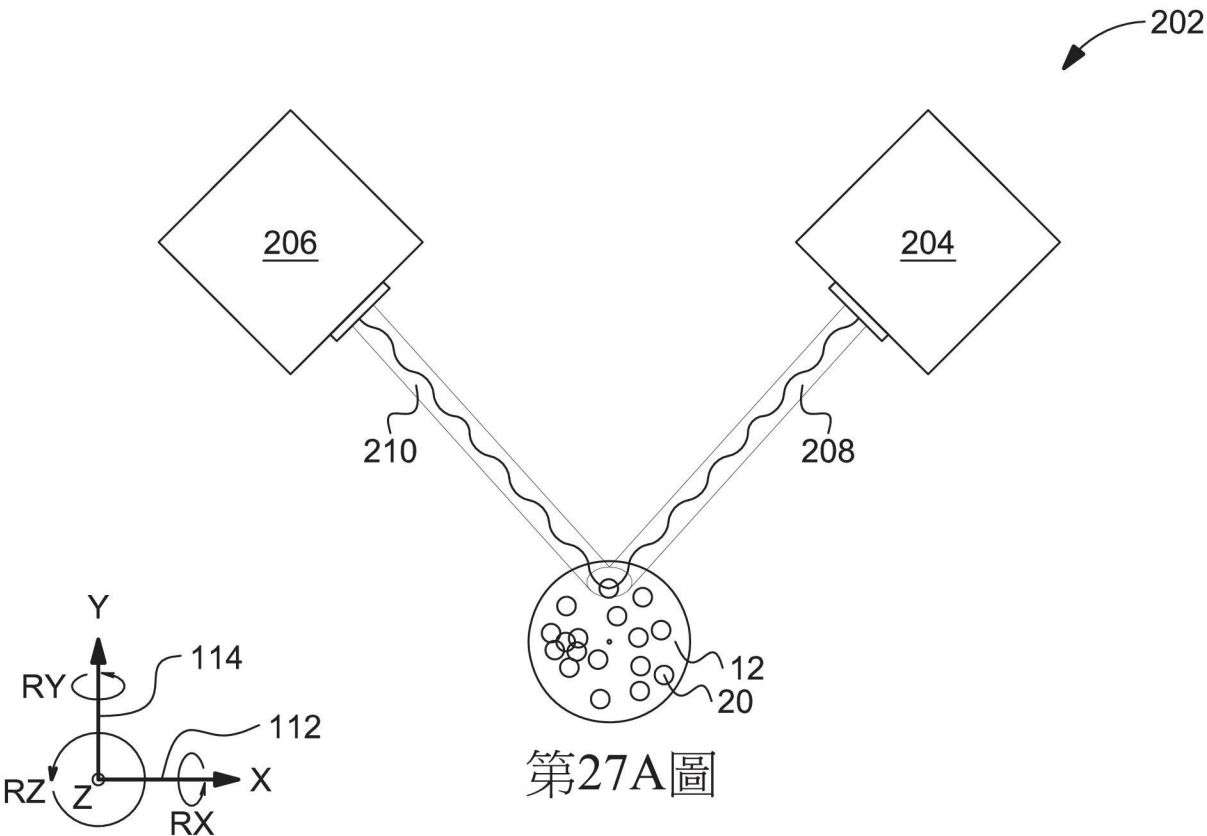


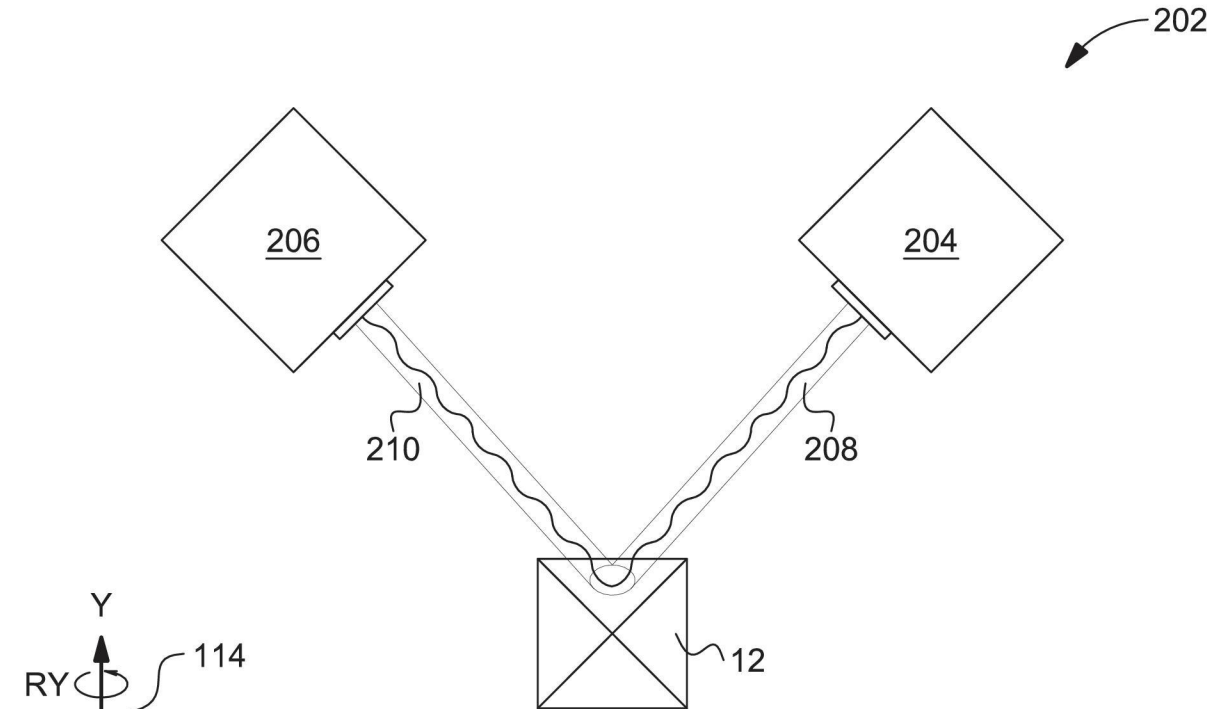
第23B圖



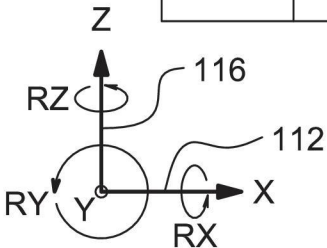
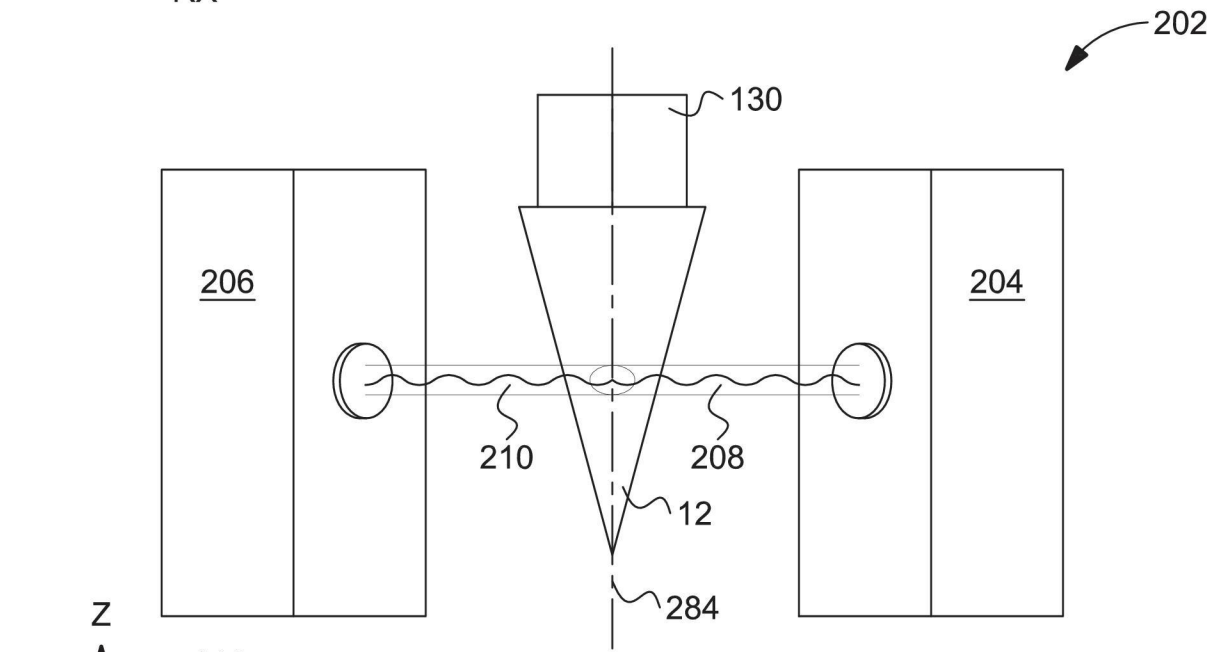




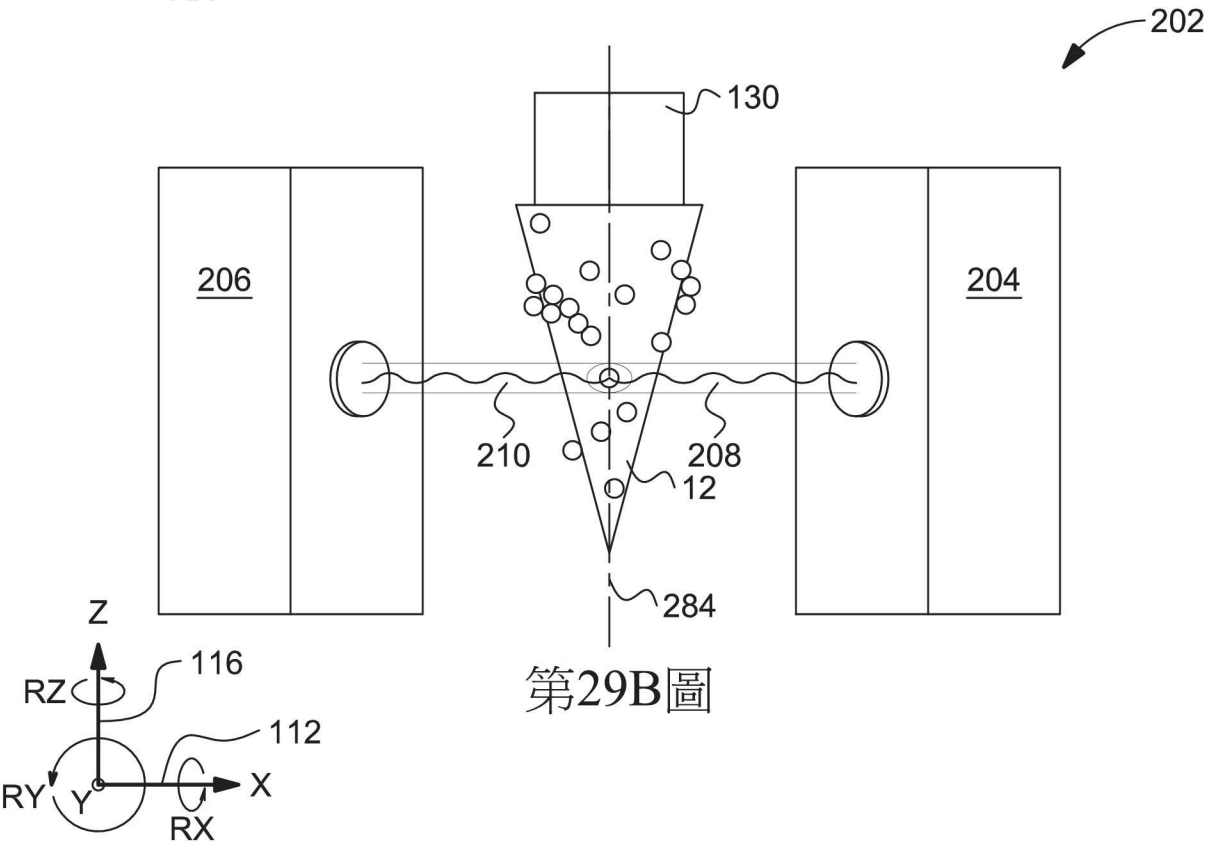
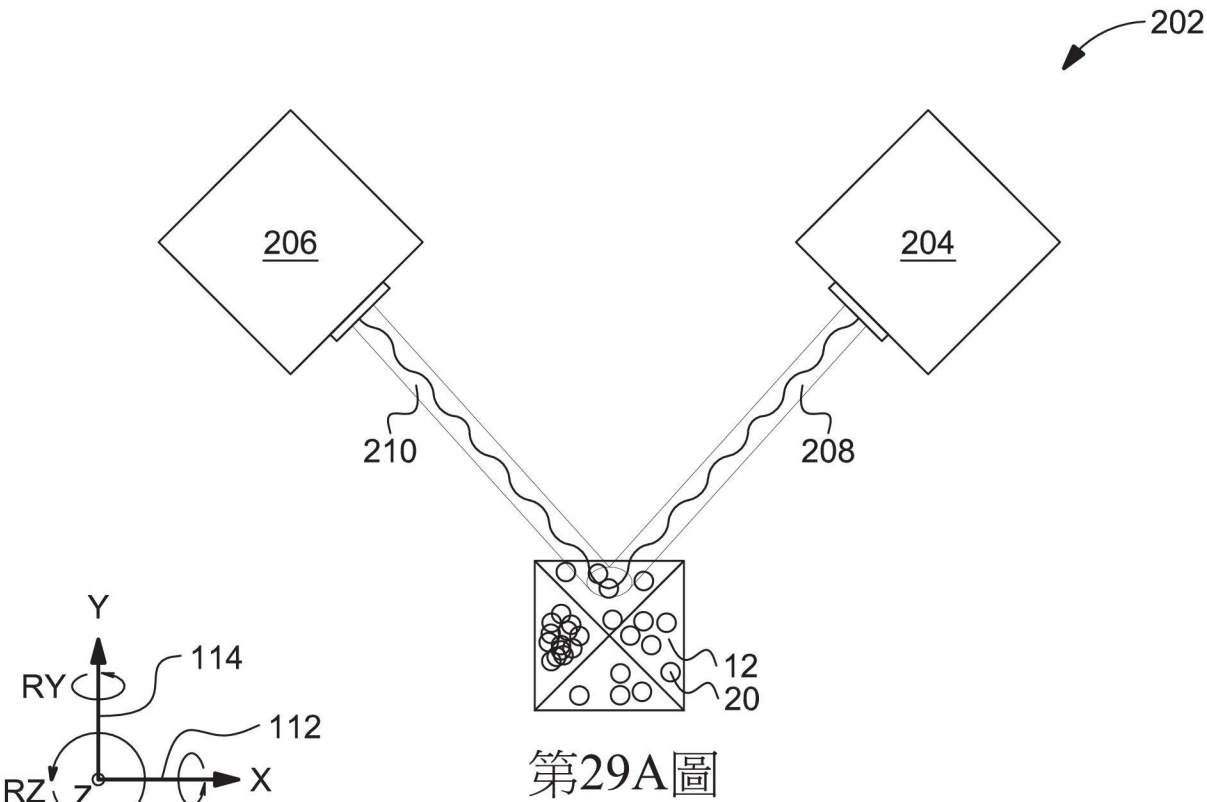


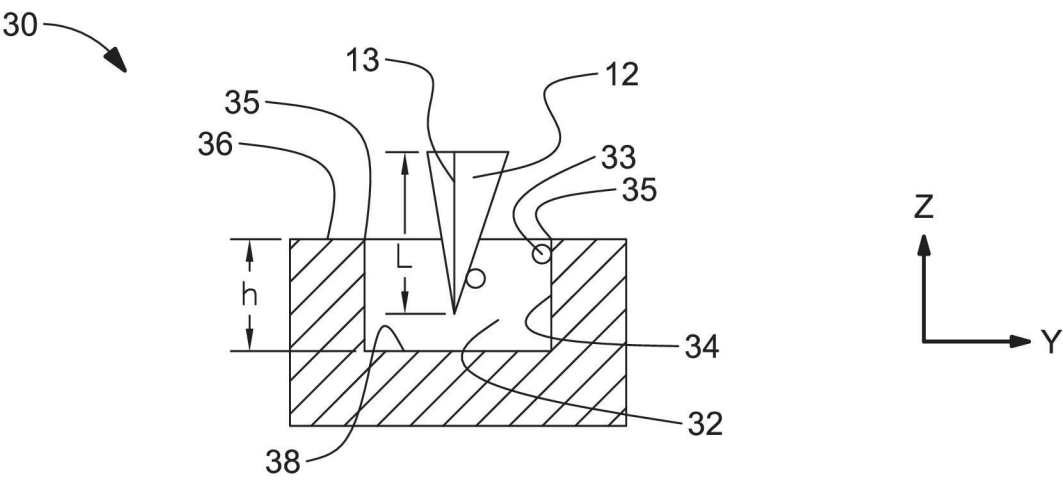


第28A圖

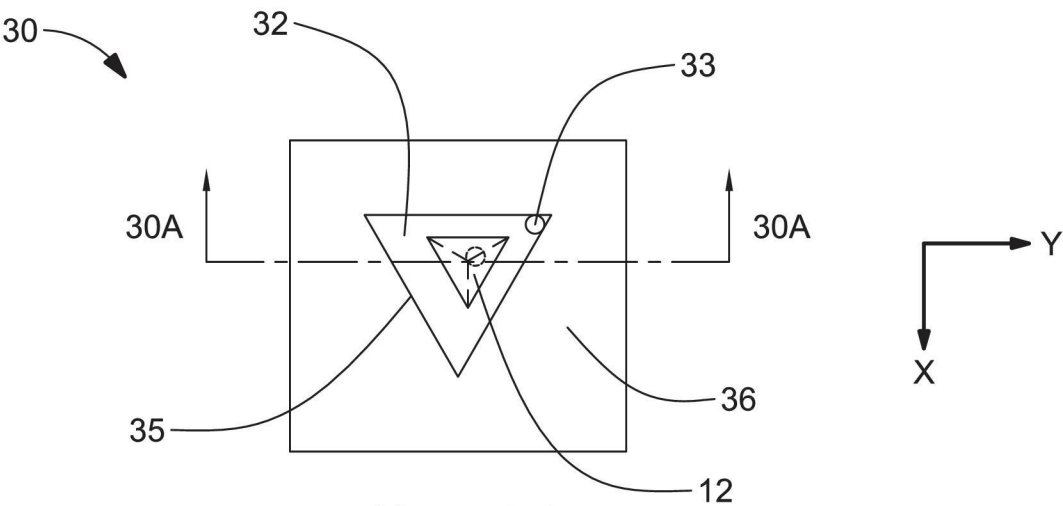


第28B圖

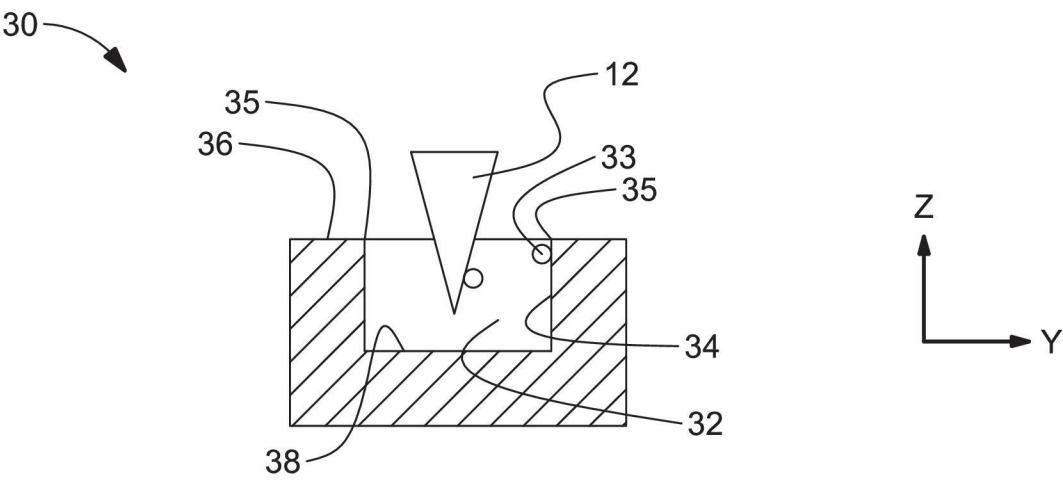




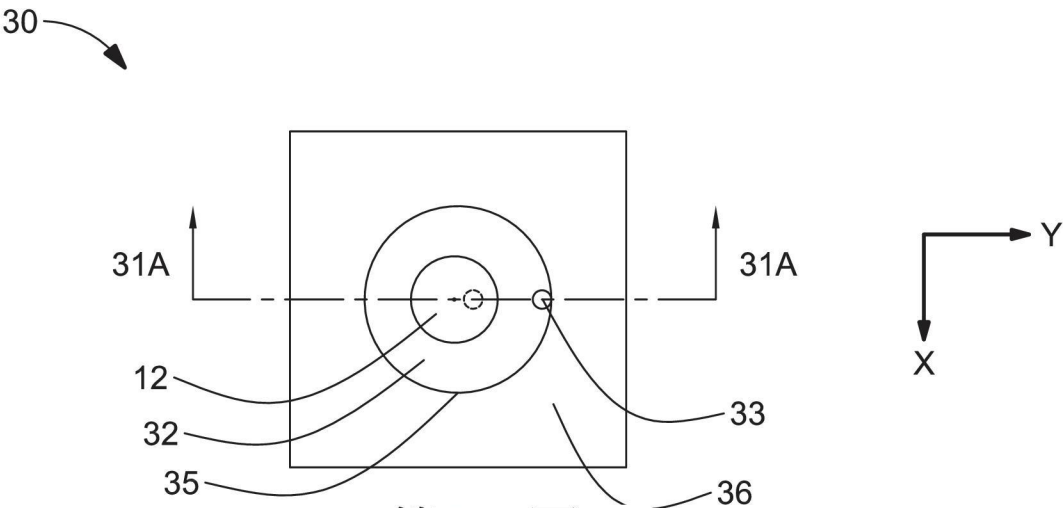
第30A圖



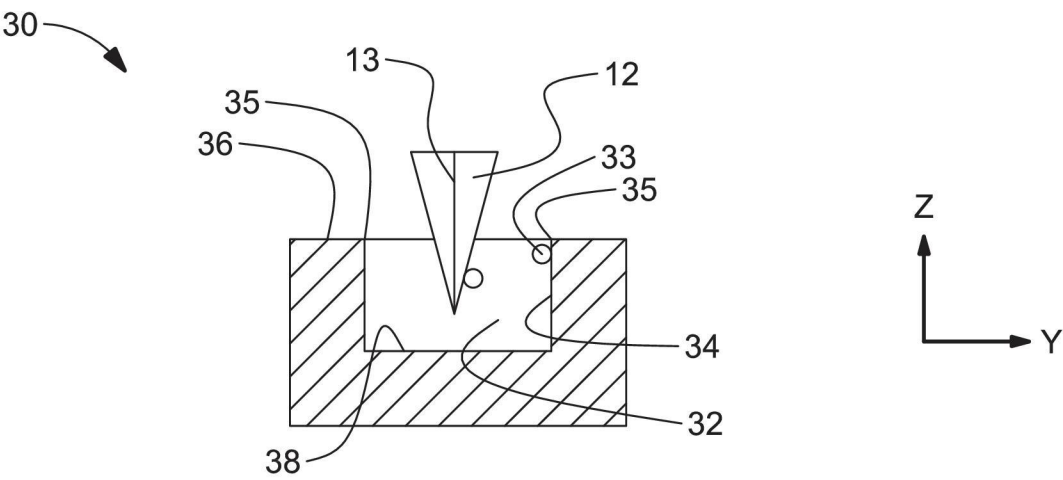
第30B圖



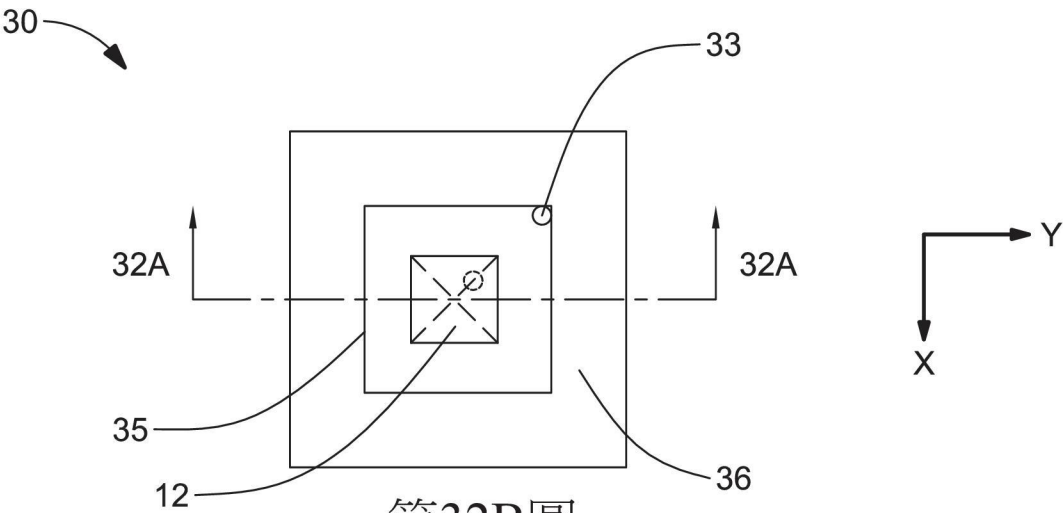
第31A圖



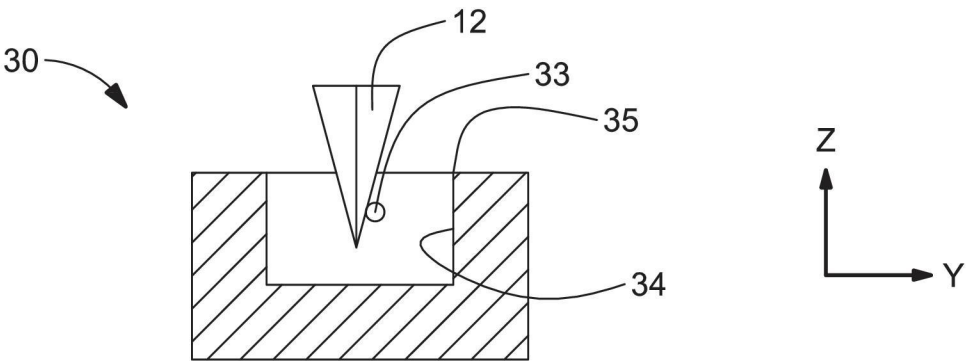
第31B圖



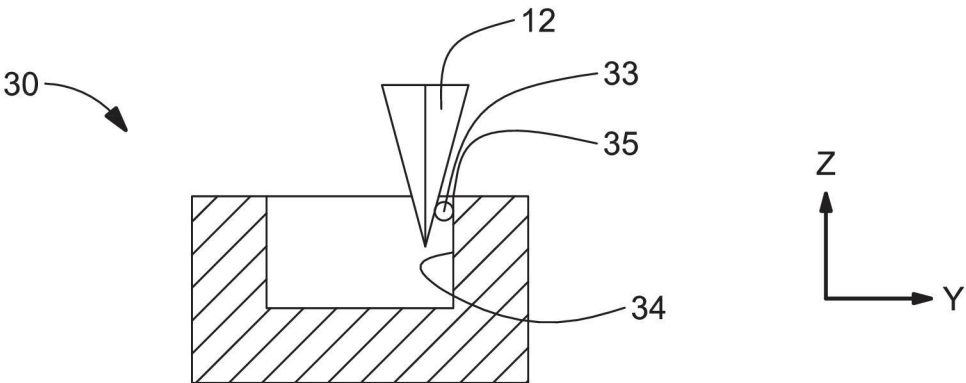
第32A圖



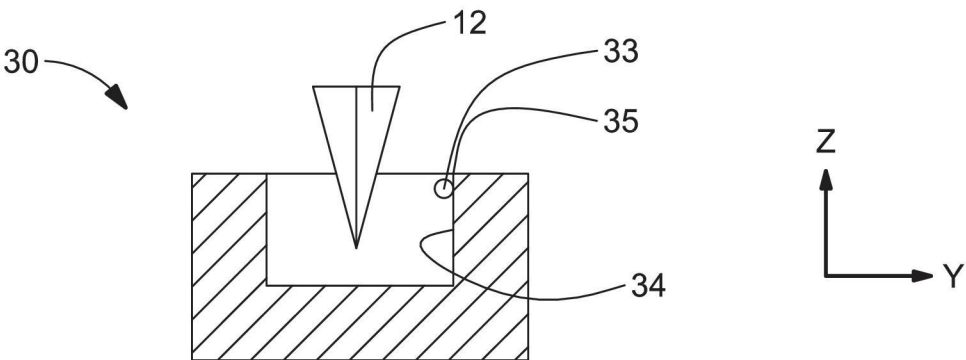
第32B圖



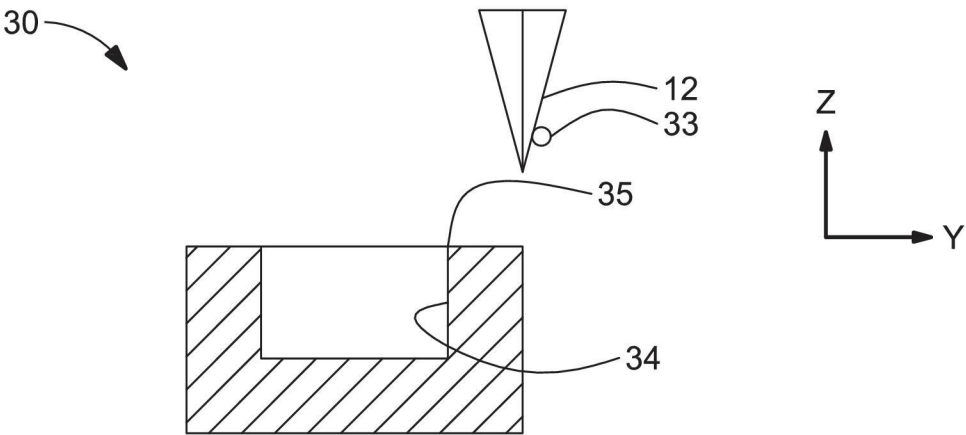
第33A圖



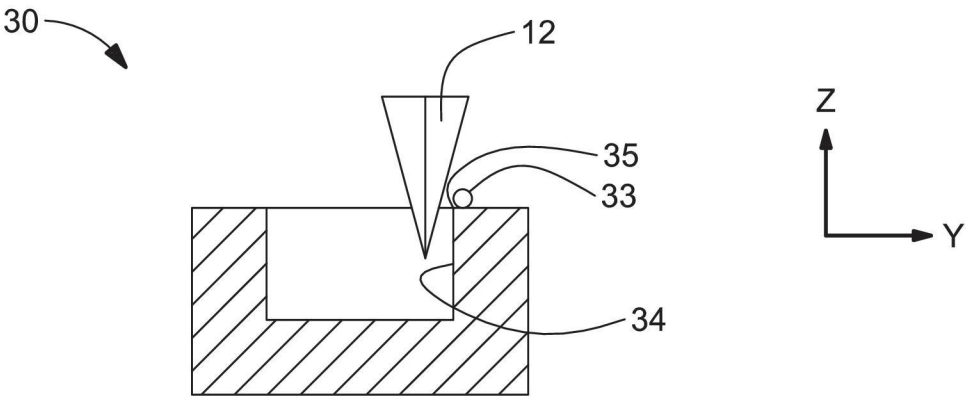
第33B圖



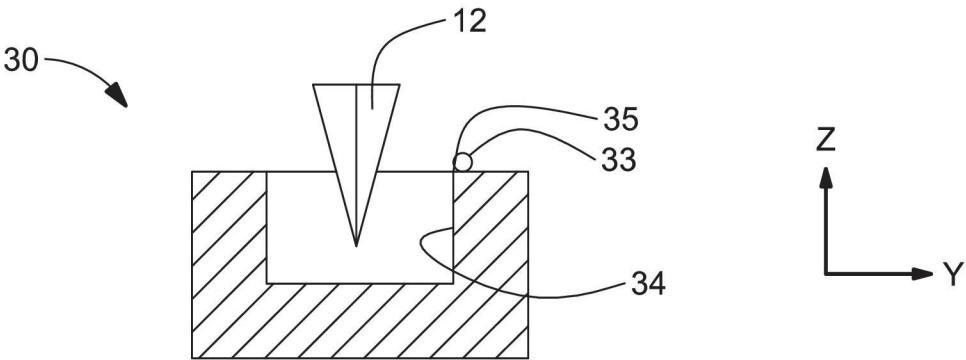
第33C圖



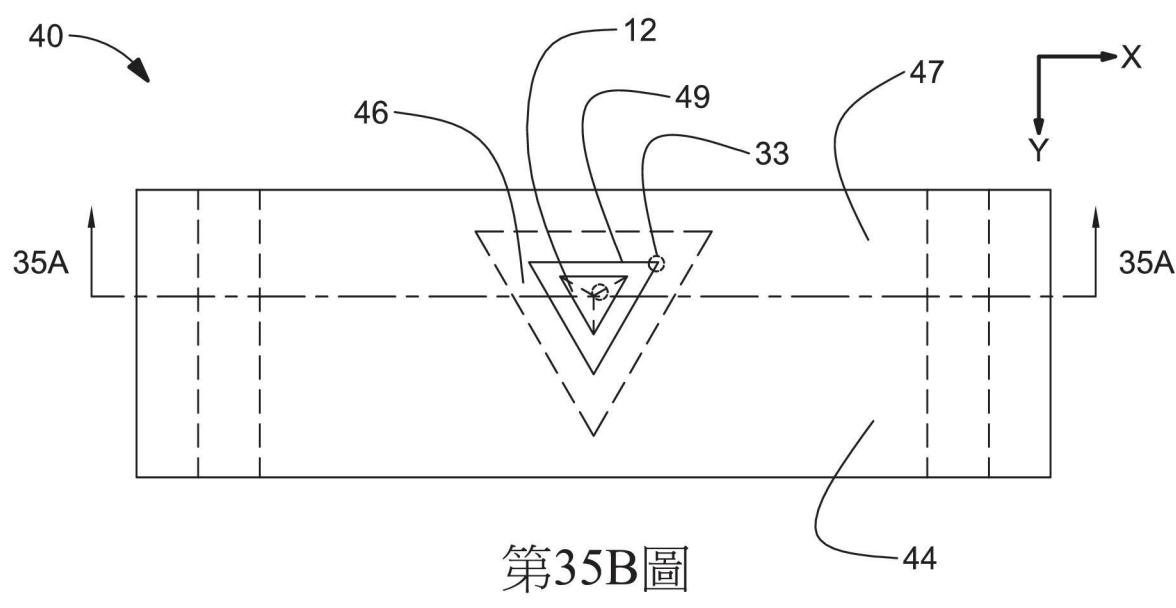
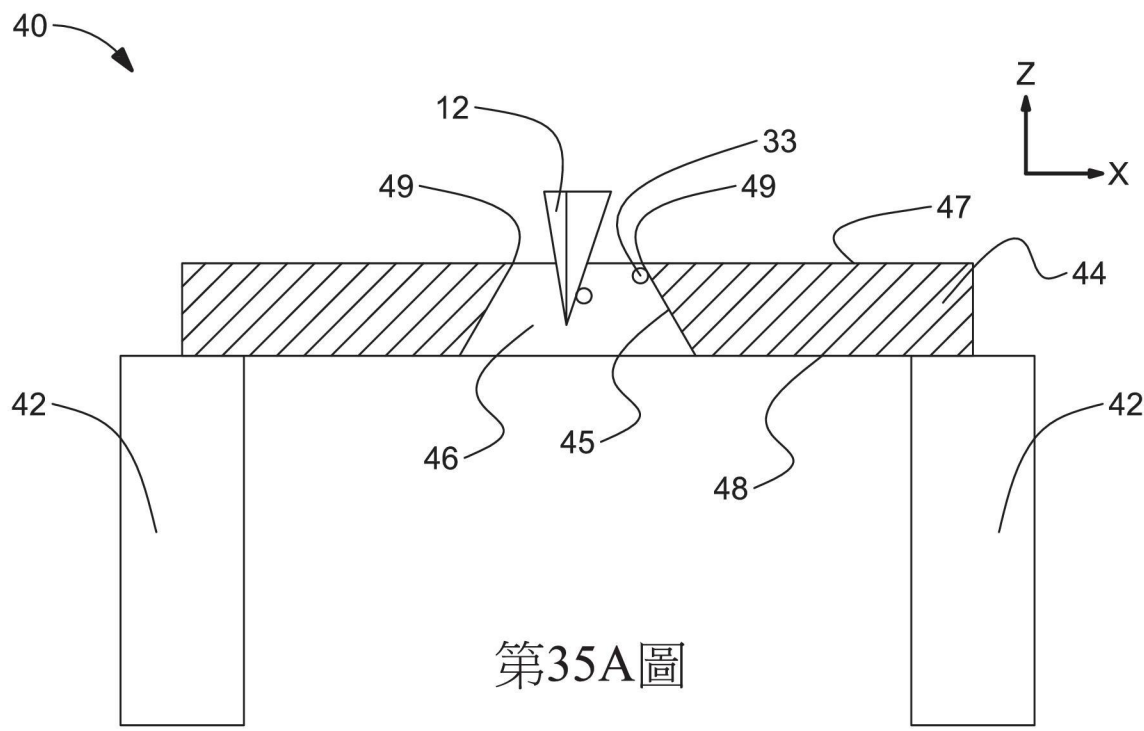
第34A圖

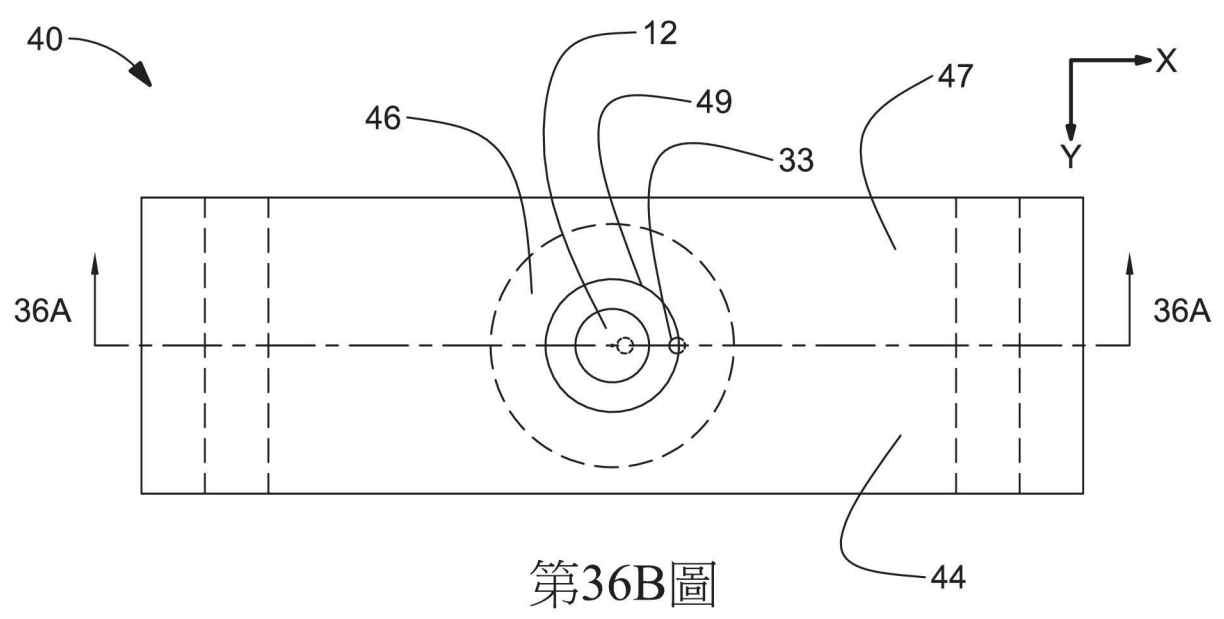
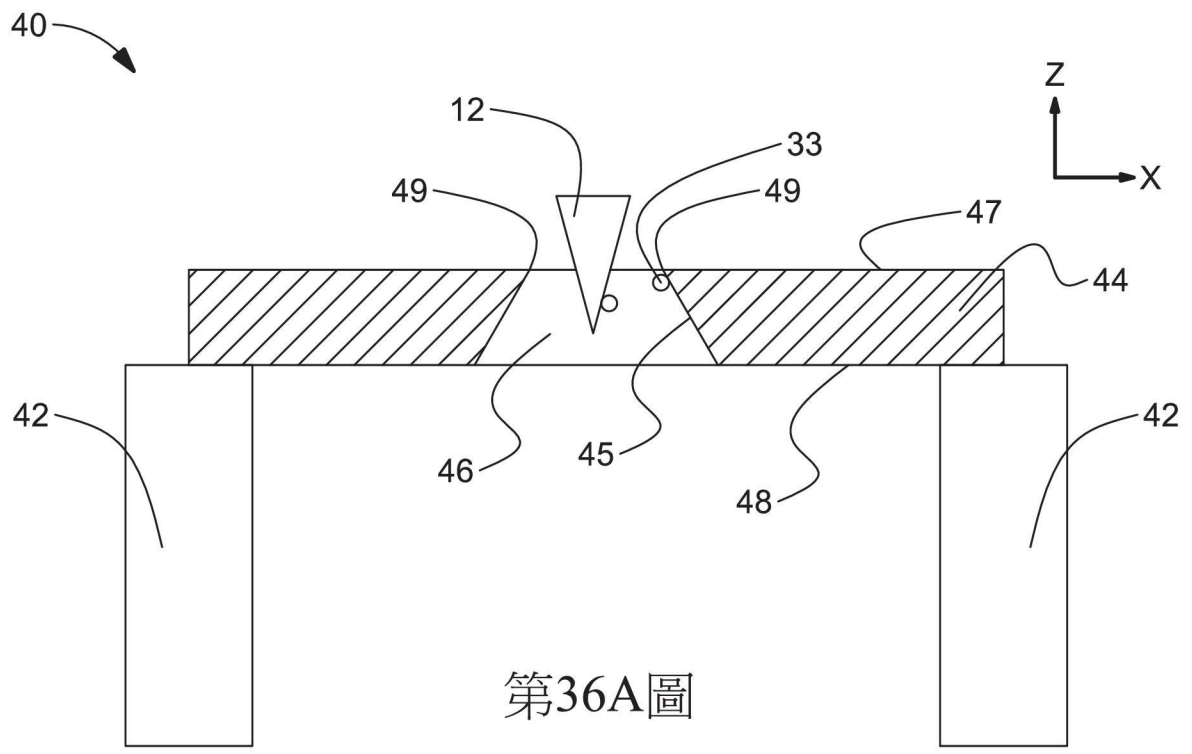


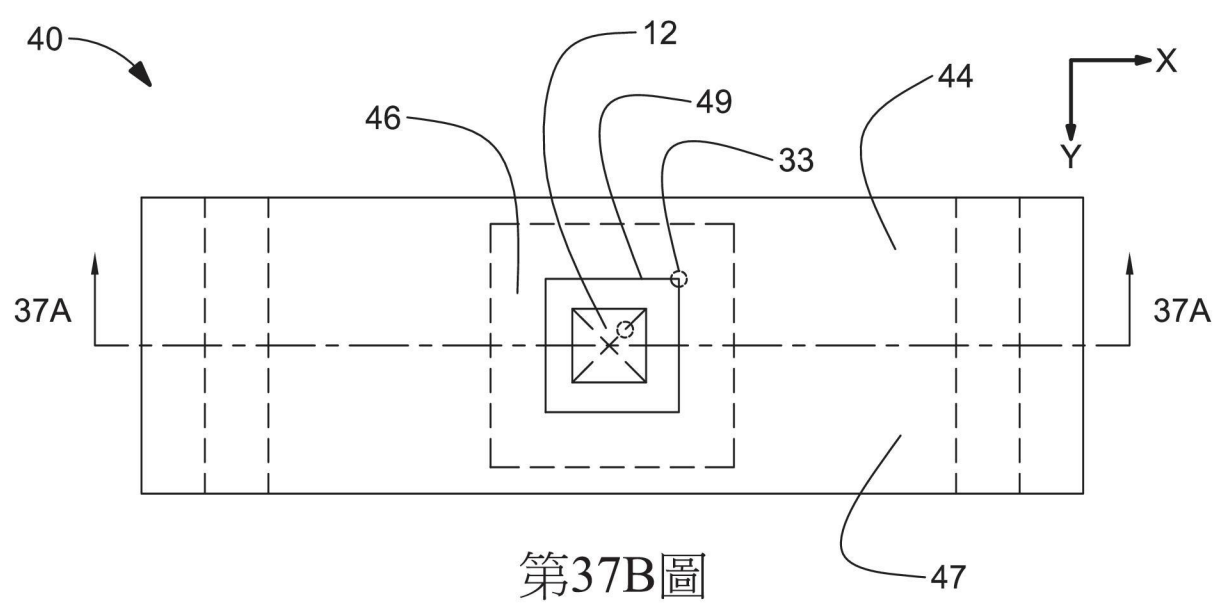
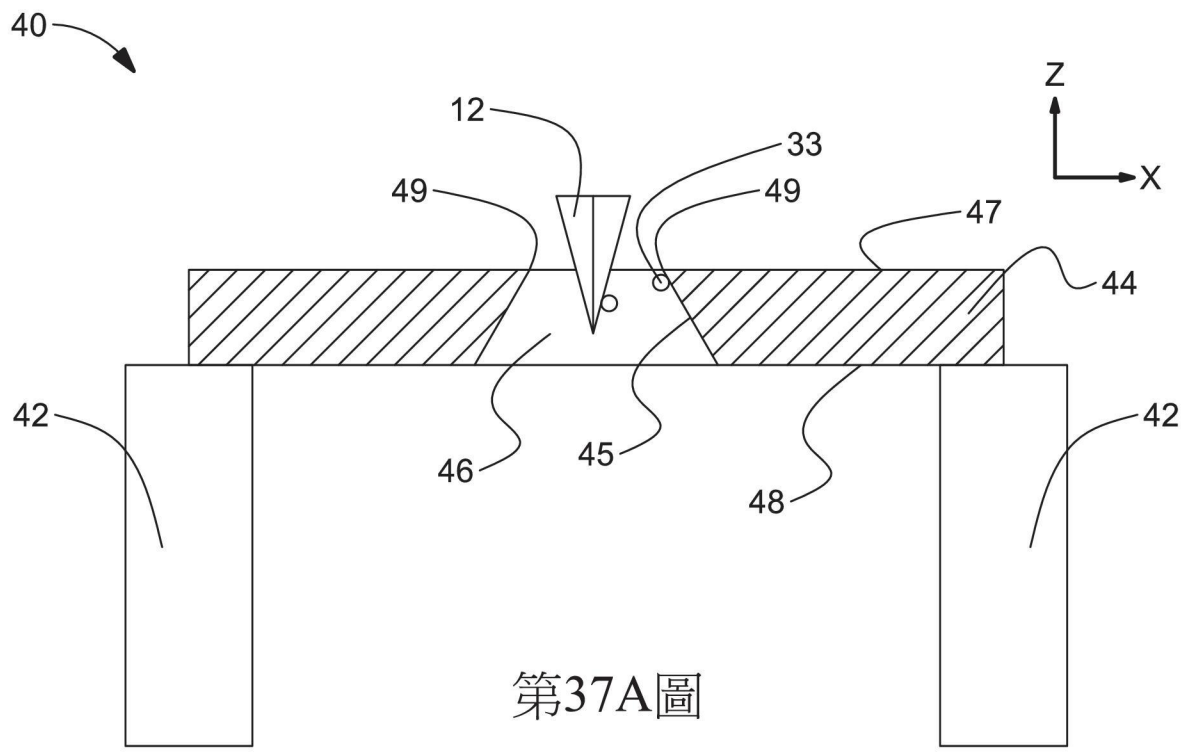
第34B圖

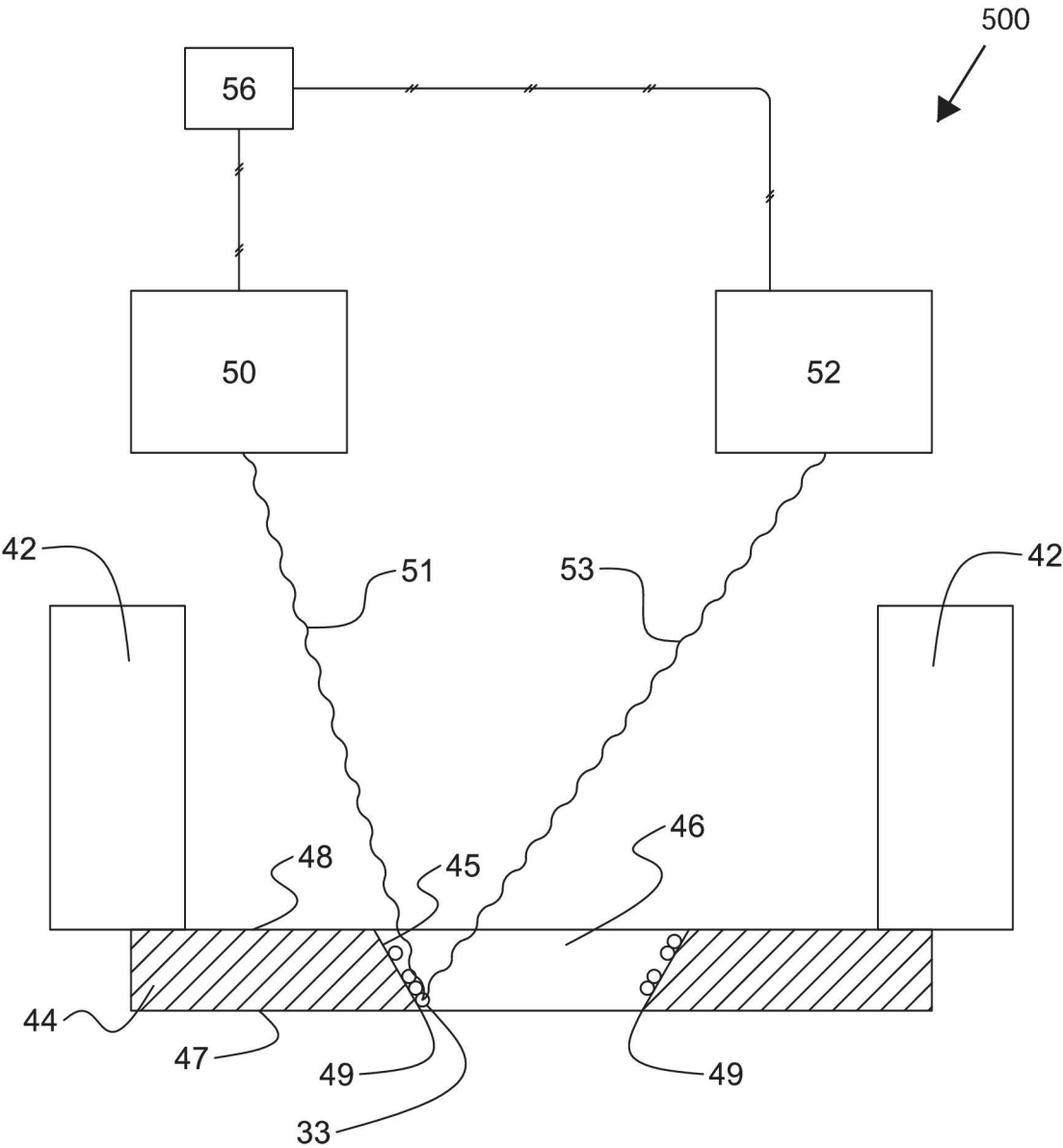


第34C圖









第38圖