



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 202212829 A

(43)公開日：中華民國 111 (2022) 年 04 月 01 日

(21)申請案號：110122138

(22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 06 月 17 日

(51)Int. Cl. : **G01Q60/38 (2010.01)**

(30)優先權：2020/06/18 美國 63/041,048

(71)申請人：美商布魯克奈米公司(美國) BRUKER NANO, INC. (US)
美國(72)發明人：王 衛傑 WANG, WEIJIE (US)；胡水清 HU, SHUIQING (CN)；歐斯柏 傑森
OSBORNE, JASON (US)；蘇 全民 SU, CHANMIN (US)

(74)代理人：林志剛

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：17 項 圖式數：7 共 22 頁

(54)名稱

用於從樣品表面機械性清除奈米尺度碎屑的裝置和製造方法

(57)摘要

使用原子力顯微鏡(AFM)探針從樣品表面移除奈米尺度碎屑之機械性方法。將探針塑形為包括當探針橫側地運動至樣品表面時於碎屑上提供鏟式作用的邊緣。有利地係，探針能夠在不損壞碎屑之情況下升高碎屑，用於更有效地清除表面。邊緣較佳係藉由聚焦離子束(FIB)銑削尖端的金剛石頂點所製成。

A mechanical method of removing nanoscale debris from a sample surface using an atomic force microscope (AFM) probe. The probe is shaped to include an edge that provides shovel-type action on the debris as the probe is moved laterally to the sample surface. Advantageously, the probe is able to lift the debris without damaging the debris for more efficient cleaning of the surface. The edge is preferably made by focused ion beam (FIB) milling the diamond apex of the tip.

指定代表圖：

符號簡單說明：

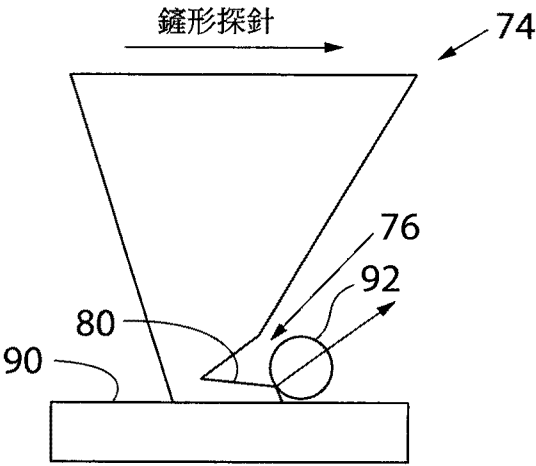
74:尖端

76:凹口

80:上表面

90:表面

92:碎屑



【圖 5】

【發明摘要】

【中文發明名稱】

用於從樣品表面機械性清除奈米尺度碎屑的裝置和製造方法

【英文發明名稱】

DEVICE, AND METHOD OF MANUFACTURE, FOR USE IN
MECHANICALLY CLEANING NANOSCALE DEBRIS FROM A
SAMPLE SURFACE

【中文】

使用原子力顯微鏡 (AFM) 探針從樣品表面移除奈米尺度碎屑之機械性方法。將探針塑形為包括當探針橫側地運動至樣品表面時於碎屑上提供鏟式作用的邊緣。有利地係，探針能夠在不損壞碎屑之情況下升高碎屑，用於更有效地清除表面。邊緣較佳係藉由聚焦離子束 (FIB) 銑削尖端的金剛石頂點所製成。

【英文】

A mechanical method of removing nanoscale debris from a sample surface using an atomic force microscope (AFM) probe. The probe is shaped to include an edge that provides shovel-type action on the debris as the probe is moved laterally to the sample surface. Advantageously, the probe is able to lift the debris without damaging the debris for more efficient cleaning of the surface. The edge is preferably made by focused ion beam (FIB) milling the diamond apex of the tip.

【指定代表圖】圖 5

【代表圖之符號簡單說明】

74:尖端

76:凹口

80:上表面

90:表面

92:碎屑

【特徵化學式】無

【發明說明書】

【中文發明名稱】

用於從樣品表面機械性清除奈米尺度碎屑的裝置和製造方法

【英文發明名稱】

DEVICE, AND METHOD OF MANUFACTURE, FOR USE IN
MECHANICALLY CLEANING NANOSCALE DEBRIS FROM A
SAMPLE SURFACE

【技術領域】

【0001】較佳實施例針對用於計量儀器的探針裝置及對應之製造方法，且更特別地，設計用於機械性清除表面上的奈米尺度碎屑之探針裝置，如同使用於半導體製作的微影光罩。它們另外地針對使用此探針裝置之方法及具有此探針裝置的儀器。

[相關申請案的交叉引用]

【0002】本申請案在35 USC §1.119(e)之下主張對2020年6月18日提交的美國臨時專利申請案第63/041,048號之優先權。本申請案的主題全部以引用之方式併入本文中。

【先前技術】

【0003】半導體製作典型採用需要複雜設備及昂貴部件之製程。在一個此範例中，微影製程中所使用的光罩係複雜之昂貴部件，其生產成本可高達數萬且甚至數十萬美元。於使用期間，這些光罩通常在它們的表面上留下奈米尺度之碎屑，使得除非清除此碎屑，否則不適合用於重複使用這些光罩。

【0004】在已知的清除方式中，採用電子束(EB)或雷射光束。EB或雷射技術為此目的可為有用的，但有其局限性。例如，藉由電子束所產生之動能可燒毀此光罩，於此案例中，光罩不可恢復地毀壞。再者，EB技術需要使用基於化學成分的知識及其目標之可能的其他特徵所選擇之先質。然而，碎屑的特徵係未知的，使得此技術無效。

【0005】適當調諧之雷射光束可使用於噴除碎屑顆粒，但表面的火速熔化可導致造成有瑕疵之零件。

【0006】最後，已知這些技術可清除在使用之後殘留的約20%之碎屑。這對於半導體製作中所使用的部件是不可接受-光罩理想地需要本質上100%沒有碎屑來重複使用。

【0007】因此，至少本質上將奈米尺度表面顆粒刮乾淨之機械性清除技術將為較佳的。一種選項係使用掃描探針顯微鏡(SPM)、如同原子力顯微鏡(AFM)之探針。

【0008】作為背景資訊，AFM係用於高分辨率及低力量而使用尖銳尖端(半徑小於10nm)，以將樣品表面特徵化直至原子尺度的裝置。通常，將SPM探針之尖端引導進入

樣品表面以偵測樣品特徵中的變化。藉由提供尖端與樣品之間的相對掃描運動，可在樣本之特定區域上獲取表面特徵資料，並可生成樣本的對應圖。

【0009】AFM及其操作之概述如下。圖1中示意性說明典型的AFM系統10，其採用包括具有懸臂15之探針14的探針裝置12。於測量探針-樣品相互作用之同時，掃描器24產生探針14與樣品22之間的相對運動。以此方式，可獲得樣品之影像或其他測量值。掃描器24典型由一個以上的致動器所構成，這些致動器通常在三個正交方向(XYZ)中產生運動。通常，掃描器24係單一整合式單元，其包括一個以上之致動器以於所有三軸中運動樣品或探針，例如壓電管致動器。二者擇一地，掃描器可為多個分開的致動器之總成。一些AFM將掃描器分成多個部件，例如運動樣品的XY掃描器及運動探針之分開的Z致動器。因此，此儀器能夠在探針與樣品之間創建相對動作，同時測量樣品的形貌或一些其他表面特性，例如於Hansma等人之美國專利第RE 34,489號；埃林斯等人的美國專利第5,266,801號；及Elings等人之美國專利第5,412,980號中所述。

【0010】在常見組構中，探針14通常耦接至振盪致動器或驅動器16，其使用於在懸臂15的共振頻率處或附近驅動探針14。替代配置測量懸臂15之偏轉、扭轉、或另一動作。探針14通常係帶有整合式尖端17的微製作懸臂。

【0011】通常，於SPM控制器20的控制之下由AC信號源18施加電子信號以造成致動器16(或二者擇一地掃描器

24)驅動探針14振盪。探針-樣品相互作用典型藉由控制器20經由反饋來控制。值得注意的是，致動器16可為耦接至掃描器24及探針14，但是可為與探針14之懸臂15一體地形成作為自行致動的懸臂/探針之一部分。

【0012】通常，當藉由偵測探針14的振盪之一個以上的特徵之變化來監測樣品特徵時，選定的探針14被振盪並帶入與樣品22接觸，如上所述。於此態樣中，典型採用偏轉偵測設備25將光束引導朝探針14之背面，然後光束被反射朝偵測器26。當光束平移橫越偵測器26時，在方塊28處理適當的信號，以例如決定RMS偏轉並將其傳輸至控制器20，此控制器20處理信號以決定探針14之振盪中的變化。大致上，控制器20生成控制信號，以維持尖端與樣品之間的相對恆定相互作用(或槓桿15之偏轉)，典型維持探針14的振盪之設定點特徵。更特別地是，控制器20可包括PI增益控制方塊32及高電壓放大器34，其調節藉由與電路30比較所獲得之誤差信號、對應於藉由針尖-樣品與設定點相互作用所造成的探針偏轉之信號。例如，控制器20經常使用於將振盪幅度維持在設定點值AS，以確保尖端與樣品之間的力量大致上恆定。二者擇一地，可使用設定點相位或頻率。

【0013】於控制器20及／或分開之控制器或連接或獨立控制器的系統中亦提供工作站40，其由控制器接收所收集之資料並操縱在掃描期間所獲得的資料以施行點選擇、曲線擬合、及距離決定操作。

【0014】AFM探針為奈米表面清除供給還不錯之選擇，但具有其缺點。翻至圖2，由於探針50的規則探針尖端52之稜錐形狀，當此尖端橫側地推動在表面瑕疵/碎屑56上(例如，於晶圓54上)時，施加在瑕疵56上的力量具有向下推動此瑕疵之顯著分量。這可輕易地將瑕疵56粉碎成小碎片及／或增加將碎屑固持抵靠著此表面的黏著力。其結果是，當AFM尖端52推動瑕疵以清除表面時，可能留下殘留物(未示出)。此殘留物很難清除。使用AFM尖端之表面清除遭受以下事實的進一步阻礙：可使用於將碎屑由表面升高之僅只升高力量係尖端與碎屑之間的相當低之黏著力。因此，AFM尖端歷來無法可靠地達成100%的清除度。

【0015】鑑於上面觀點，因此想要一種由敏感表面機械性移除奈米尺度碎屑之改進方法。能夠在保有表面完整性的同時移除整體碎屑之裝置/方法將尤其有用。

【0016】請注意，「SPM」及用於特定類型的SPM之縮寫字在本文中可使用於意指顯微鏡設備、或相關聯技術，例如「原子力顯微鏡」。

【發明內容】

【0017】較佳實施例藉由提供移除碎屑的方法來克服先前解決方案之缺點，此方法能夠本質上將碎屑整個挖起以將碎屑由表面運送遠離，以完全且可靠地清除表面而幾乎沒有殘留物或無殘留物。此方法較佳為採用獨特的探針

以由堅硬但敏感之表面、如同半導體製作中所使用的微影光罩上升高顆粒。

【0018】亦提供對應之探針製造方法。

【0019】金剛石AFM探針長期以來已使用於硬質材料表面的奈米凹痕及奈米變質。將金剛石尖端頂點修改為適合施行升高操作之獨特形狀尤其適合用於最先進的半導體工業晶圓廠之光罩修復(清除)。在較佳實施例中，聚焦離子束(FIB)技術採用於Ga⁺離子銑削稜錐金剛石頂點的表面中之凹口以形成用於樣品表面清除的刀片形表面。金剛石尖端作用類似於鏟子，以由樣品表面移除不想要之硬質材料(殘留物)，且因此修復光罩。尖端亦可保留足夠尖銳，以在開始清除操作之前對樣品表面成像以辨識瑕疵。

【0020】根據較佳實施例的第一態樣，用於從樣品表面移除奈米尺度碎屑的機械性裝置，包括建構為接觸碎屑之底部並當橫側運動至樣品表面時升高碎屑的表面(嚙合部分)。

【0021】根據較佳實施例之另一態樣，機械性裝置係具有尖端的原子力顯微鏡探針，且此表面界定尖端的一部分。此尖端較佳係金剛石尖端，且此表面界定形成在尖端的近側端與遠側端之間的凹口。尖端係金剛石尖端，且表面界定形成於尖端的近側端與遠側端之間的凹口。

【0022】在此實施例之另一態樣中，凹口係藉由聚焦離子束(FIB)銑削所形成，且樣品表面係半導體製作中所使用的微影光罩之表面。

【0023】根據較佳實施例的另一態樣，清除方法包括於向量中橫側地運動此尖端，且接著垂直地運動以捕獲碎屑，導致以鏟狀運動由樣品表面挖起碎屑。

【0024】在較佳實施例之另一態樣中，製作從樣品表面清除奈米尺度碎屑的裝置之方法包括提供具有金剛石尖端的探針。製作方法包括修改此尖端，使得當探針橫側地運動至樣品表面並與奈米尺度碎屑相互作用時，修改後之尖端接觸碎屑的底部以便向碎屑提供向上(或升高)力量。

【0025】亦提供具有尖端之SPM儀器及操作此SPM的方法，此尖端具有至少一些上述特徵。

【0026】本發明之這些及其他目的、特色、及優點對於熟諳本技術領域之那些人員將由以下詳細敘述及附圖而變得顯而易見。然而，應當理解，雖然指示本發明的較佳實施例，但是詳細敘述及特定實施例係藉由說明而非限制之方式所給與。在不脫離本發明的精神之情況下，可於本發明的範圍內作出許多改變及修改，且本發明包括所有此等修改。

【圖式簡單說明】

【0027】在附圖中說明本發明之較佳示範性實施例，其中相像的參考數字始終代表相像零件，且其中：

【0028】[圖1]係先前技術領域之原子力顯微鏡的示意圖解；

【0029】[圖2]係先前技術領域方法中所使用之清除

樣品表面的碎屑之標準稜錐形AFM探針尖端的示意性側視圖；

【0030】[圖3]係具有由金剛石所製成之稜錐形尖端的先前技術領域AFM探針之示意性側視圖；

【0031】[圖4]係探針的示意性側視圖，由圖3的先前技術領域探針開始，接著為根據較佳實施例銑削之聚焦離子束(FIB)；

【0032】[圖5]係類似於圖2的探針之示意性側視圖，但使用圖4的探針來說明在較佳實施例之升高操作期間施加於碎屑上的力量；

【0033】[圖6]係根據較佳實施例之使用圖4中所顯示的探針清除奈米尺度碎屑之表面的方法之流程圖；及

【0034】[圖7A-7E]係一系列示意性側視圖，說明根據較佳實施例的方法從樣品表面移除碎屑。

【實施方式】

【0035】最初參考圖3，探針60顯示為具有典型使用於AFM中之懸臂62及稜錐形尖端64，類似於圖2中所顯示者。尖端64可由金剛石所製成。由此探針開始，較佳實施例的探針70包括支撐尖端74之懸臂72，此尖端74塑形為具有界定凹口76的表面且具有不鋒利之遠側端78，如圖4中所顯示。此表面係圖4中的尖端74之外表面，但可為內表面或甚至側表面。不鋒利的遠側端78不如使用於對樣品之亞奈米特徵成像的典型AFM尖端那麼鋒利，但足以在清除

之前對表面成像並提供碎屑圖，如下文結合對應方法進一步敘述者。

【0036】於較佳實施例中，聚焦離子束(FIB)銑削使用於形成表面，故其建構為在藉由AFM掃描器提供相對橫側運動時升高碎屑。如圖4中所顯示，探針70的凹口76於其底部邊緣藉由楔形“刀片”之上表面80所毗鄰。當在側面中觀看時，此刀片具有形成尖端的不鋒利底部之相當平坦的下表面78及向上傾斜之上表面80，此上表面更向內運動至尖端的本體或圖4中之後部。於此實施例中，凹口在於其上邊緣藉由向下傾斜的尖端表面82所毗鄰，此尖端表面82更向內運動至尖端之本體或圖4中的後部。因此，凹口大致上呈現側向「v」之形狀。由此產生的修改後之尖端能夠「鏟」或挖起並帶走碎屑。由於AFM在清除製程期間提供相對動作，因此碎屑可黏著及／或楔入凹口76。

【0037】翻至圖5，顯示較佳實施例的探針之尖端74，因為它清除碎屑92的表面90。與圖2中的探針尖端52及碎屑56之間的相互作用相比較，於此案例中，當尖端表面之凹口76的底部80嚙合碎屑顆粒92之底部時，碎屑92被挖起。所顯示的箭頭指示瑕疵/碎屑上之力量本質上係向上，而與用傳統的AFM尖端之類似操作成對比，其中當此二者彼此相遇(圖2)時，此力量會推動瑕疵，並可能將碎屑粉碎成碎片。當較佳實施例的鏟形探針70施加側向力量時，它嚙合瑕疵/碎屑，且尖端提供升高力量。升高力量不僅可將瑕疵92保留為一整體，而且可將瑕疵運動進入尖

端內之凹口，而改進移除效率。

【0038】圖6說明根據較佳實施例的方法100。使用圖4中所顯示之探針收集碎屑及周圍區域的修復前之形態影像，並在步驟102中的修復前影像中辨識待移除碎屑之位置。於AFM啟動之後，為清除樣品表面，在步驟104中啟動嚙合子程式。這將探針尖端的平坦底部表面帶入與樣品表面小心接觸。接下來，於步驟106中，AFM方法提供相對橫側動作以將尖端移向瑕疵。隨著繼續相對動作，藉由探針尖端之刀片施加在碎屑上的力量對瑕疵施加升高力量，且接著鬆開瑕疵並在步驟108中開始將其升高。繼續相對動作(沿著掃描軌跡向前)，故尖端、且更特別地是凹口於步驟110中升高瑕疵，並在步驟112中固定瑕疵。

【0039】更特別地是，經過鏈接至修復控制之圖形使用者界面(GUI)於修復前影像中決定及設定用於碎屑移除的向量方向。此向量方向相對所有其他表面特徵定位，以便避免與除了要移除之碎屑以外的表面特徵之任何意外相互作用。對於任何碎屑移除作用，修復區域中通常有數個平行的向量。

【0040】位置標記放置在修復前影像中，以界定與待使用控制GUI移除之碎屑相關聯的修復向量之路徑中的前緣位置。主要向量方向典型平行於樣品表面之XY平面，並提供相對橫側(X-Y)動作，直至在修復向量運動期間抵達此前緣位置觸發器。

【0041】於抵達前緣觸發器位置之後，修復向量方向

變為正交於樣品XY平面，並提供動作，以致探針在Z中向上運動遠離樣品表面的XY平面，較佳至預定之高度。於完成此向上動作之後，修復向量方向返回至與XY樣本平面平行，且如果前緣觸發器放置之後仍留有任何距離，繼續完成修復向量的請求長度。

【0042】然後，AFM例如升高探針並返回至用於所界定之下一修復向量的起始位置，此修復向量為一系列修復向量運動者。

【0043】在圖7A-7E中更詳細地說明此製程。於圖7A中，在AFM將探針橫側及正交於樣品表面運動之系統中，將尖端向下帶至樣品表面。然後將此尖端向前運動朝碎屑(圖7B)。然後，在嚙合碎屑之後，由於碎屑與尖端上的楔形刀片之嚙合，尖端進一步向前運動以向瑕疵提供升高力量，如圖7C中所顯示。此升高力量使碎屑鬆動。接下來，在圖7D中，升高此尖端。這對碎屑施加向上力量，將碎屑從樣品表面升高。當尖端再次向前運動時，將碎屑固定於凹口中。如圖7E中所顯示，操作AFM以升高瑕疵，故可藉由尖端清除及收集碎屑後丟棄碎屑。

【0044】注意，在聚焦離子束(FEB)製程中，最佳化Ga⁺束(離子電流)的能階以銑削此凹口，並使用明確界定之銑削光罩來達成最終的金剛石幾何形狀。將樣品(金剛石尖端)安裝於適當之樣品夾具上並以一定角度傾斜以調節此離子銑削製程。在此已呈現者係較佳的幾何形狀，但請注意，可使用已知技術創建任意數目之刀片形狀。

【0045】儘管上面揭示藉由實行本發明的本發明人所設想之最佳方式，但本發明的實踐不限於此。將很明顯的是，在不脫離下面之發明構思的精神及範圍之情況下，可對本發明的特徵進行諸多添加、修改及重新配置。

【符號說明】

【0046】

10:原子力顯微鏡系統

12:探針裝置

14:探針

15:懸臂

16:致動器或驅動器

17:尖端

18:AC信號源

20:SPM控制器

22:樣品

24:掃描器

25:偏轉偵測設備

26:偵測器

28:方塊

30:電路

32:PI增益控制方塊

34:高電壓放大器

40:工作站

50:探針

52:探針尖端

54:晶圓

56:表面瑕疵/碎屑

60:探針

62:懸臂

64:尖端

70:探針

72:懸臂

74:尖端

76:凹口

78:遠側端

80:上表面

82:尖端表面

90:表面

92:碎屑

【發明申請專利範圍】

【請求項1】一種用於從樣品表面移除奈米尺度碎屑的機械性裝置，包含：

表面，其建構為接觸該碎屑之底部並當橫側運動至該樣品表面時升高該碎屑。

【請求項2】如請求項1的裝置，其中該機械性裝置係具有尖端之原子力顯微鏡探針，且該表面界定該尖端的一部分。

【請求項3】如請求項2的裝置，其中該尖端係金剛石尖端，且該表面界定形成在該尖端的近側端與遠側端之間的凹口。

【請求項4】如請求項1的裝置，其中該凹口係藉由聚焦離子束(FIB)銑削所形成。

【請求項5】如請求項1的裝置，其中該樣品表面係半導體製造中所使用之微影光罩的表面。

【請求項6】一種原子力顯微鏡，具有請求項1之探針。

【請求項7】一種從樣品表面清除奈米尺度碎屑的方法，該方法包含：

機械性裝置，包括表面，該表面建構為接觸該碎屑之底部並當橫側運動至該樣品表面時升高該碎屑。

【請求項8】如請求項7的方法，其中該機械性裝置係具有尖端之原子力顯微鏡探針，且該表面界定該尖端的一部分。

【請求項9】如請求項8的方法，更包含在具有橫側及垂直分量之向量中運動該尖端，導致由該樣品表面收集該碎屑。

【請求項10】如請求項8的方法，更包含：

將該尖端嚙合至該表面；及

在該表面與該尖端之間提供相對橫側運動，以致該表面將該碎屑牢固抵靠著該尖端並升高該碎屑。

【請求項11】如請求項10的方法，更包含於嚙合步驟之前對該樣品表面進行原子力顯微鏡成像，以辨識該碎屑。

【請求項12】如請求項8的方法，更包含在該探針與該樣品之間提供相對正交動作，以使用該尖端將該碎屑升高至預定高度。

【請求項13】一種製造從樣品表面清除奈米尺度碎屑之裝置的方法，該方法包含：

提供包括金剛石尖端之探針；及

修改該尖端，使得當該探針橫側地運動至該樣品表面並與該奈米尺度碎屑相互作用時，該經修改的尖端接觸該碎屑之底部，以便將向上力量提供至該碎屑。

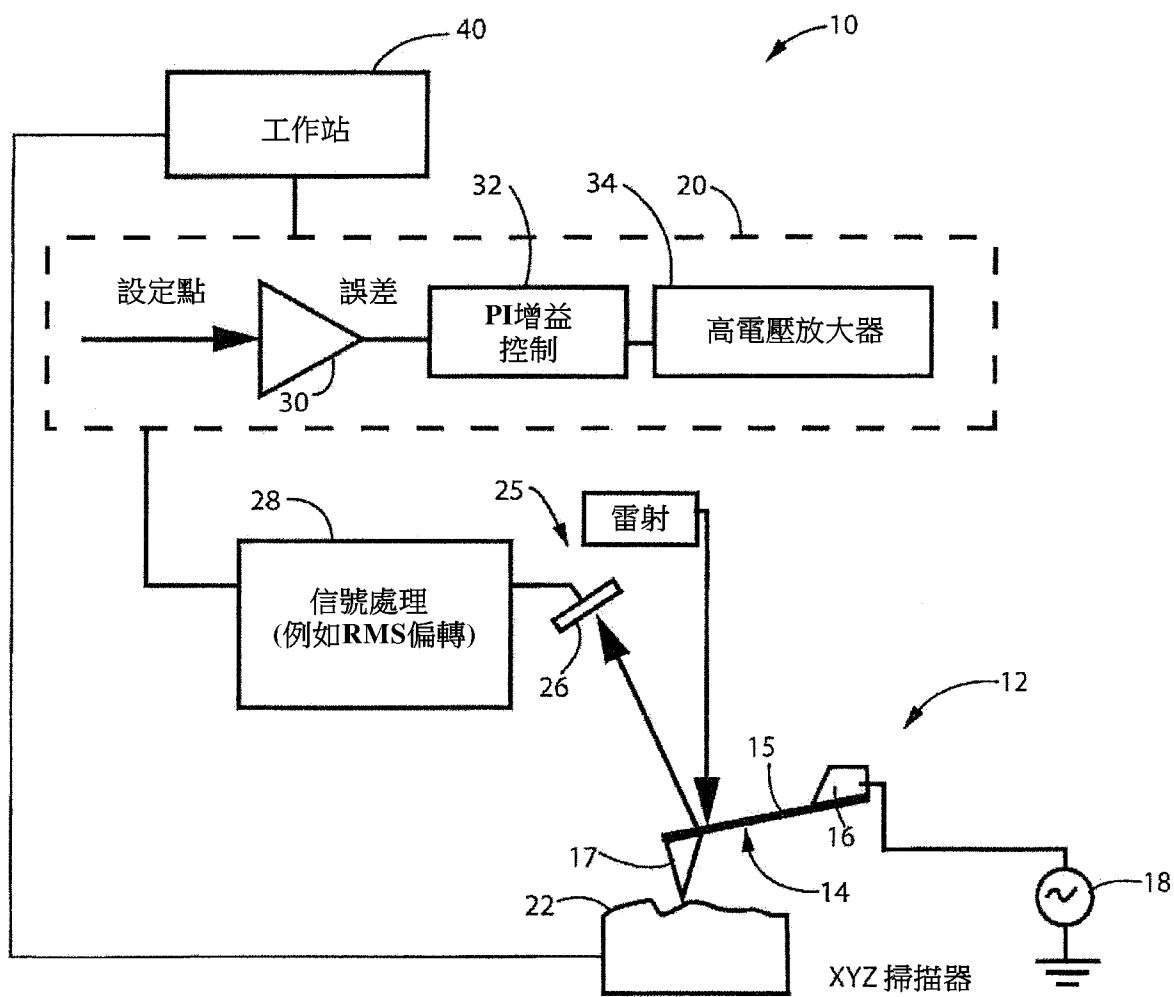
【請求項14】如請求項13的方法，其中該尖端具有第一端部及第二端部，且其中修改步驟包含於該第一端部與第二端部之間的該尖端之表面中切割凹口。

【請求項15】如請求項14的方法，其中，在修改之前，該尖端的形狀大致為圓錐形。

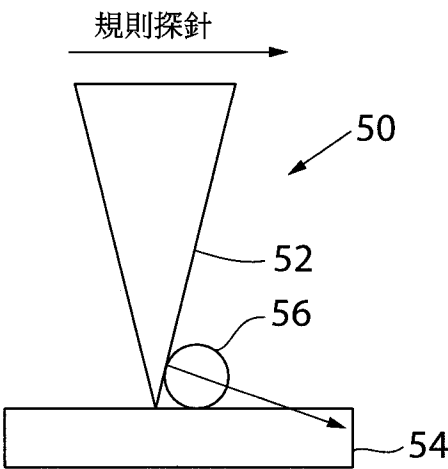
【請求項 16】如請求項 14 的方法，其中該修改步驟包括對該尖端進行聚焦離子束(FIB)銑削。

【請求項 17】一種原子力顯微鏡探針，由請求項 13 的方法所製成。

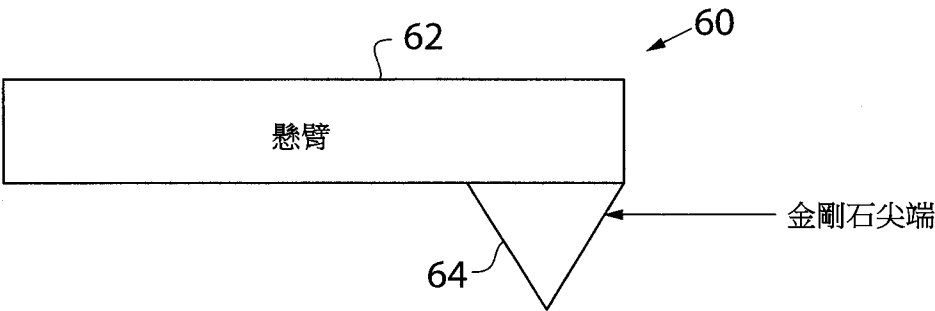
【發明圖式】



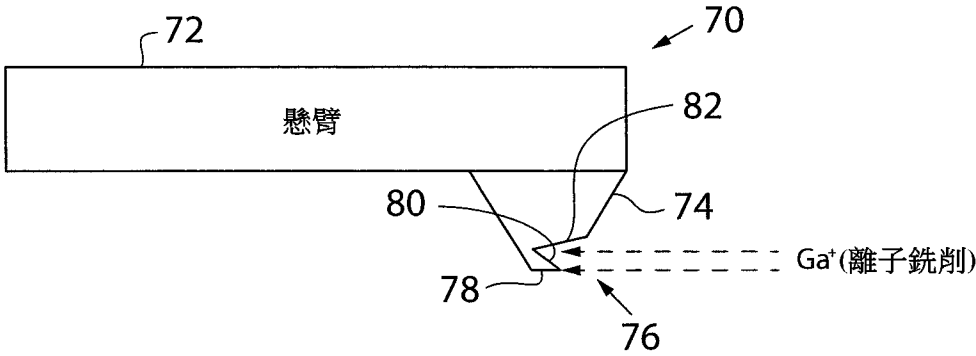
【圖 1】
先前技術領域



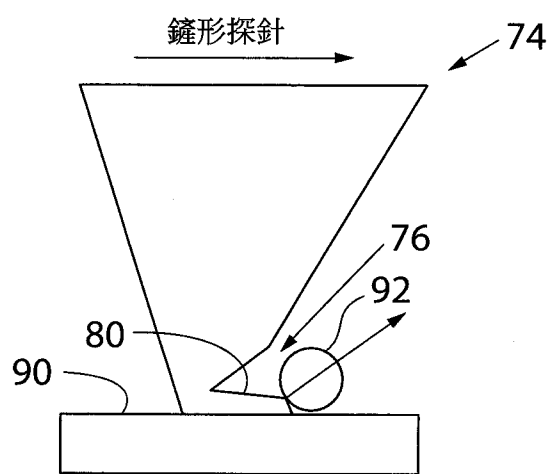
【圖 2】
先前技術領域



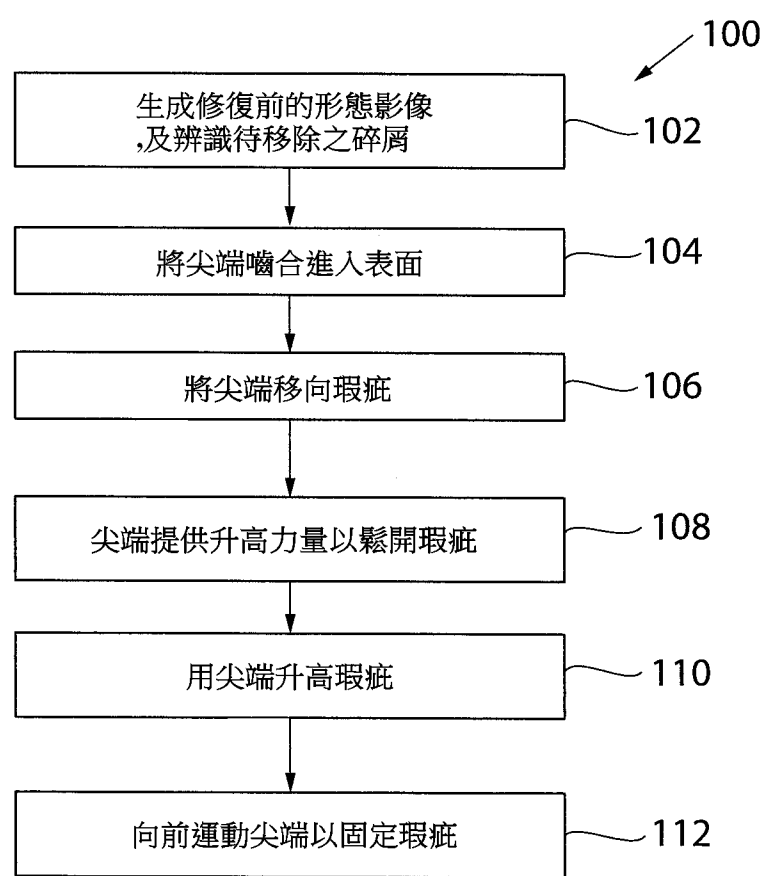
【圖 3】
先前技術領域



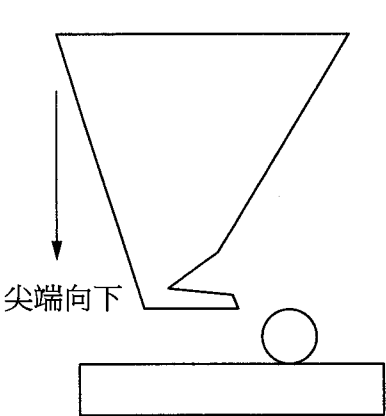
【圖 4】



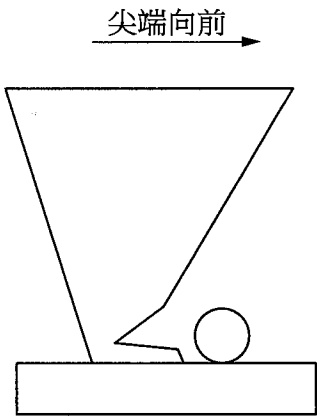
【圖 5】



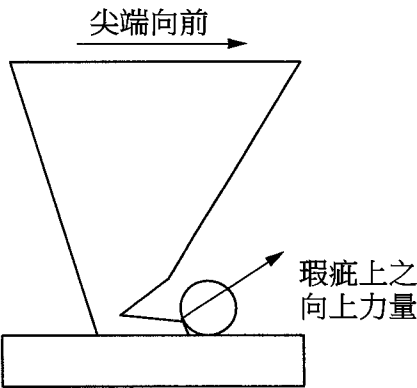
【圖 6】



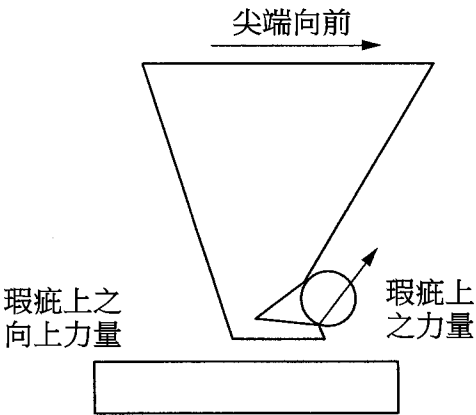
【圖 7A】



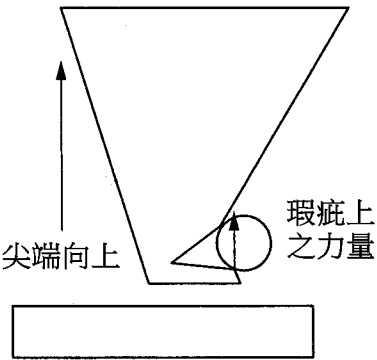
【圖 7B】



【圖 7C】



【圖 7D】



【圖 7E】