

場感測探針顯微術的針尖修飾進展—由專利分析觀點出發

The Recent Development of Tip Modification of Field Sensitive Scanning Probe Microscopy—A Prospect from Patent Analysis

林峻霆、游明翰、陳柏荔、蘇健穎、蕭銘華、張茂男

Chun-Ting Lin, Ming-Han Yu, Po-Li Chen, James Su, Ming-Hua Shiao, Mao-Nan Chang

場感測探針顯微術是研究奈微米材料的重要手段，其探針針尖修飾更直接決定了場感測能力。在另一技術領域，專利分析與技術探勘是研發初期不可或缺的利器。從各技術領域的專利數目，可以窺見該領域發展的成熟度；從專利訴訟案件中，更可窺見各專利權人於其所屬技術領域中影響力的消長。本論文除了技術介紹外，更聚焦在應用於場感測顯微術之金屬針尖修飾技術的美國專利。研究範圍涵蓋 1990 年至 2012 年的美國專利公開案與獲證案，並透過專利管理圖、生命週期圖、專利地圖等方法分析此技術領域現有的重要發明人、所有權人及布局策略，最後對於此技術的未來發展方向提出建議。

Field sensitive scanning probe microscopy (FS-SPM) is a crucial approach in the study of micro-nano materials. Also, the modification of the tip apexes in FS-SPM directly determines the capability of field-sensing. In another field of technology, patent analysis and technology mining are powerful tools in early-stage research and development activities. The maturity of any specific technological field can be assessed by the number of patents; the change of impact from patent holders can also be evaluated from patent litigations. In this study, we focus on the recent development of metal tip modification of FS-SPM. The scope of this research covers early publication of patents and issued patents from 1990 to 2012 in the United States. Patent management plots, life cycle analysis, patent maps are utilized to identify important inventors, patentees, and trends. Finally, we proposed several suggestions to the future development of this technology.

一、前言

在尖端材料的研究上，最主要的議題之一乃是在奈米尺度的二維光、電、磁、機械性質量測。場感測掃描探針顯微術 (field sensitive scanning

probe microscopy, FS-SPM)，雖然可以提供材料的局部表面電場、磁場、電位等性質，但是量測奈米尺度的各項性質時，卻受限於空間解析度 (space resolution) 的限制。傳統的 FS-SPM 乃是由原子力顯微鏡 (atomic force microscopy, AFM) 探針針尖

鍍上一導電金屬薄膜而成，因針尖的有效場感測截面積過大，因而無法避免雜散場效應 (stray field effect) 的影響，導致空間解析度的下降⁽¹⁾。為降低雜散場效應，近年來許多探針針尖修飾的方法已經被提出，包含化學氣相沉積於針尖成長奈米碳管 (carbon nanotubes, CNTs)^(2, 3)、電子束沉積 (electron beam induced deposition, EBID)⁽⁴⁾、局部電沉積 (localized electrodeposition)⁽⁵⁻⁷⁾ 等，各有其優勢與限制。

在另一技術領域中，專利分析成為近期學研界投入應用科學研發先期的重要工具^(8, 9)。專利乃是發明人透過向政府揭露其發明技術內容，以換取在一定時間、一定範圍內於市場上的排他權 (exclusive right)。在新興技術領域，各大研發單位或企業無不在研發階段搶先布局專利，以利其日後的商業競爭。從各類技術領域的專利數量，可發現該技術領域發展的成熟度；又從專利訴訟案件中，更可窺見專利權人在其所屬技術領域中影響力的消長。透過專利除了可以收集市場資訊之外，在科學研究上，專利分析亦可以提供研究人員一個技術發展的全貌，以利其決定研究方向，並瞭解特定技術內容的市場應用趨勢。特別在應用科學領域，專利布局的速度絕對不會落後於學術期刊論文的發表。

儀器自主化一直是台灣科技產業向上提升所努力的目標，本中心數十年來在當中即扮演著關鍵的角色。又儀器屬於產品端，其相較於製程端，更有專利布局的價值。最新的儀器研究趨勢在專利布局的表現，相較於物理現象的探討或製程技術的改良，更可以明顯地被觀察到；一項儀器發明伴隨許多個專利家族 (patent family) 的保護亦是常見的專利布局策略。本文一開始先介紹場感測探針針尖修飾技術，再利用專利分析技巧探討應用於場感測顯微術金屬針尖修飾技術之近期發展，透過專利管理分析與關鍵字專利地圖分析討論此技術領域現有的重要發明人、所有權人及佈局策略，最後對於此新興技術領域的未來發展做出建議。

二、場感測探針針尖修飾

隨著奈微米技術的發展，材料表面如形貌、磁

場、電場、電容等的奈、微米尺度感測需求亦日趨漸長，許多新型態的奈米元件如量子點 (quantum dots)、多層膜超級透鏡 (multilayered super lenses) 或其他於積體電路內的奈米結構皆需要空間解析度更高的量測工具⁽¹⁰⁻¹⁷⁾。承上節，為降低雜散場現象，許多針尖修飾態樣已經被提出，依製程主要可分為以下兩大類。

1. 電子束引致沉積

電子束引致沉積探針 (electron beam induced deposition probe, EBIDP)，為利用高能電子束破壞前驅物 (precursor) 分子結構，並使分子片段沉積於探針尖端形成奈米結構，而前驅物會直接影響該奈米結構的元素組成。高能電子束所產生的電子 (一次電子, primary electron) 入射探針時會再激發出能量較低的電子 (二次電子, secondary electron)，一次電子會先破壞前驅物結構形成無數分子碎片，分子碎片再與由探針表面激發出來的二次電子結合並沉積於探針尖端，形成高深寬比的導電探針，製程示意圖如圖 1 所示⁽¹⁸⁾。圖 2(a) 及圖 2(b) 為利用 EBID 修飾白金製程前後的針尖影像，高深寬比之奈米白金柱狀結構被預期可以大幅提升空間解析度並降低雜散場效應。圖 2(c) 為白金奈米針尖於金屬-氧化物多層膜堆疊試片截面之凱文顯微術 (scanning Kelvin probe microscopy, SKPM) 影像⁽¹⁹⁾。本電子束沉積技術雖然易於控制沉積物表面形貌，可以完成金屬或碳材的針尖修飾，卻需要於高真空環境下進行，並不利於大量生產^(2, 4, 6, 14, 15, 18-21)。

2. 濕式化學沉積

濕式化學探針修飾可以初步分為電鍍及無電鍍兩種方式。林宏旻先生等人以輕敲式 (tapping mode) 的掃描方式使探針尖端與陽極氧化鋁 (anodic aluminum oxide, AAO) 基材內的電解液作接觸後，同時施加一偏壓使電解液內的金屬離子因電場的作用沉積於探針的尖端，形成金屬球團結構，並展示以 AAO 基材的孔洞大小、反應時間等參數控制金屬球團的體積大小⁽⁶⁾，其製程示意圖如圖 3 所示。圖 4(a) 為利用上述電化學沉積方式，以四氯化金酸為前驅物搭配陽極氧化鋁基材侷限針尖與電解質

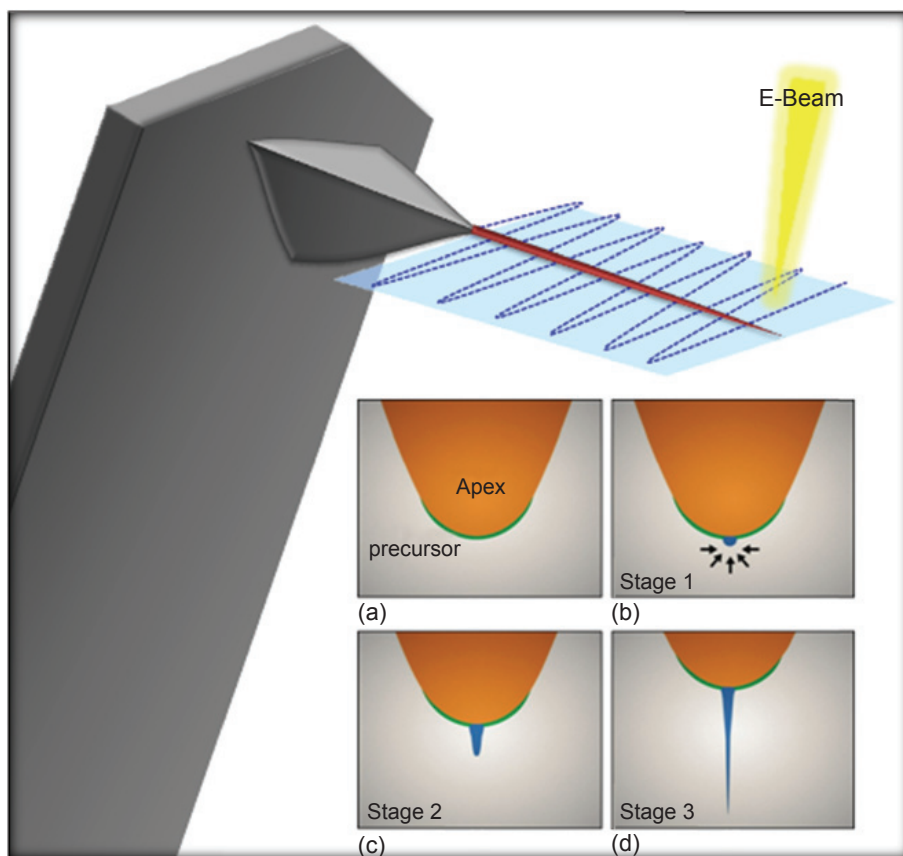


圖 1. 電子束引致沉積製程示意圖，(a) 含碳前驅物附著於針尖，(b) 電子束引致碳材成核，(c) 碳材結構成長，(d) 針尖修飾完成⁽¹⁸⁾。

圖 2. (a) 未修飾前的 n+ 型矽探針，(b) EBID 修飾過後之白金奈米柱探針，長度約 450 nm⁽¹⁹⁾，(c) 用 EBID 修飾探針於金屬-氧化物多層膜試片所量測之 SKPM 影像。

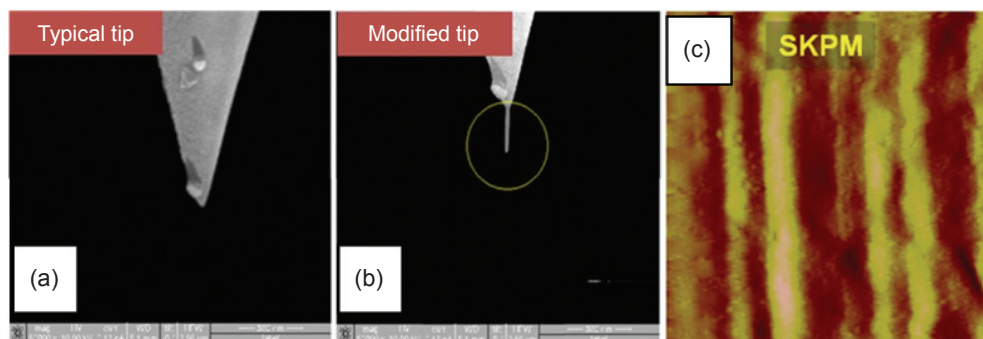
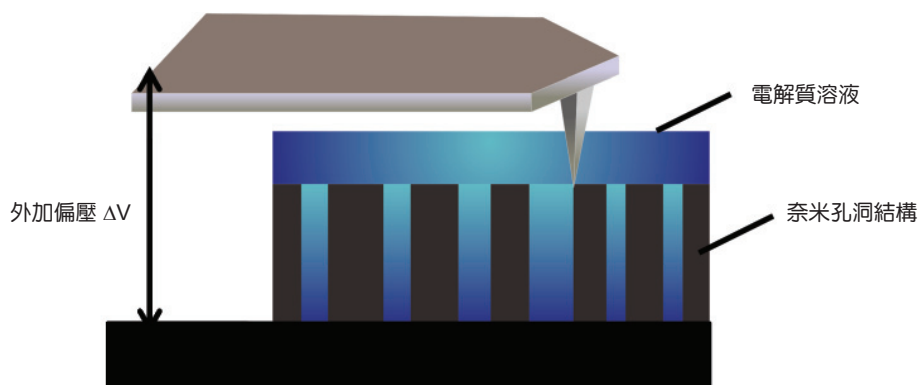


圖 3. 利用奈米結構侷限電解質溶液進行針尖金屬電鍍製程示意圖。



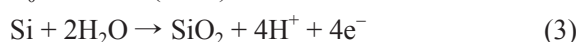
溶液接觸範圍，在探針上所完成的奈米金球針尖修飾。另外，為簡化製程並增加製程穩定度，本團隊更進一步開發無電鍍金屬探針針尖修飾製程，利用金屬前驅物溶液中加入微量的氫氟酸液體，同樣以 AAO 基材限制反應區域，配合輕敲的方式使探針與 AAO 基材表面的液體薄膜接觸。此時氫氟酸會蝕刻矽探針表面的氧化層與其本體，在探針尖端部分形成電子充裕區域，則電解液中的金屬離子會自組裝於探針尖端，其反應式如式 (1) 至式 (3)。



$$E_0 = +0.79 \text{ V (NHE)}$$



$$E_0 = -1.2 \text{ V (NHE)}$$



$$E_0 = -0.84 \text{ V (NHE)}$$

圖 4(b) 為在硝酸銀及氫氟酸環境中，利用上述無電鍍法修飾而得的奈米銀球團針尖形貌影像，其修飾之金屬球團直徑約為 26 nm。

三、專利制度

1. 專利權種類

專利權為國家授予發明人或創作人在一定時間內的排他權。各國的專利審查機關單獨行使職權，各國所認可的權利保護標的，即適格性 (eligibility) 認定標準亦略有差異。例如動、植物在台灣不適用專利法保護，在美國卻可以申請動、植物專利。依據我國專利法之規定，專利可分為發明，新型，設計三種，其保護標的、權利保護期間、權利取得程序等皆有顯著的差異。

(1) 發明專利

發明專利指利用自然法則之技術思想之創作 (專利法第 21 條)，包括物品、物質以及方法 (製造方法、使用方法)。其權利存續期間原則上為自申請日起算 20 年。審查上採用先形式後實體審查，再配合早期公開制度，權利取得程序較繁瑣，自申請日起算需時至少 2 至 3 年。於公告後，專利所有

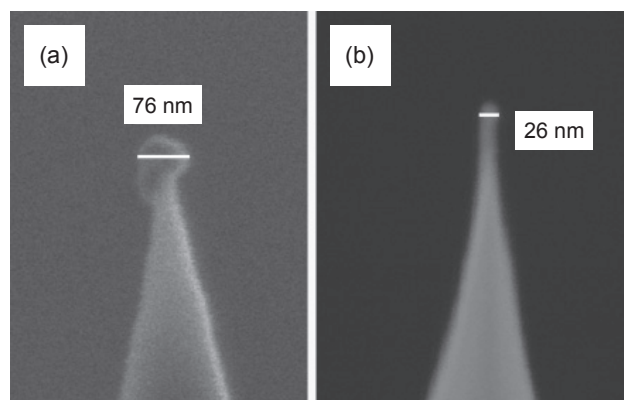


圖 4. (a) 利用侷限區域電鍍製程所得到的電鍍型奈米金球團探針針尖，(b) 以無電鍍方法所得到的奈米銀球團探針之 SEM 影像。

權人取得一個較確定的權利保護範圍。在轉讓、授權、質押等皆財商業活動中仍以發明專利為主要標的，實務上研發單位也多以申請發明專利為主。

(2) 新型專利

新型專利指利用自然法則之技術思想，對物品之形狀、構造或組合之創作 (專利法第 104 條)，其標的限於物品，不包括物質與方法。權利存續期間為自申請日起算 10 年。審查上只採用形式審查，專利所有權人所獲得的權利範圍，由於未經過審查官的評價，有效性仍不無疑義。故專利法對新型專利權人在權利行使前施加提示新型專利技術報告的義務。然而，因為新型專利權的取得速度較快 (半年內)，且成本相對發明較低，多用於保護生命週期短的產品。

(3) 設計專利

設計專利指對物品之形狀、花紋、色彩或其結合，透過視覺訴求之創作 (專利法第 121 條第一項)，其標的從物品延伸至圖形化使用者介面。其權利存續期間為自申請日起算 12 年。審查上同發明專利，形式審與實體審查並行的精神。

2. 專利權人權能

專利權能屬於排他權已經成為各國立法例通說，依我國專利法之規定：發明專利權人，除本法

另有規定外，專有排除他人未經其同意而實施該發明之權。專利法第 58 條規定物之發明之實施，指製造、為販賣之要約、販賣、使用或為上述目的而進口該物之行為。方法發明之實施，指下列各款行為：

- (1) 使用該方法。
- (2) 使用、為販賣之要約、販賣或為上述目的而進口該方法直接製成之物。

承上，縱然獲得了某項物品的專利權，亦不保證專利權人可以適法地為製造、販賣、進口、使用等行為，專利權人只有消極排除他人為上述行為的權利，所以交互授權 (cross license) 或是專利聯盟 (patent pool) 已經成為產業界常見的智慧財產活動。

3. 國際專利分類 (IPC 分類)

根據世界智慧財產組織 (World Intellectual Property Organization, WIPO) 對於專利的國際專利分類碼 (The International Patent Classification, IPC)，將專利分為八大類，依序為：

- A：人類生活需要。
- B：作業、運輸。
- C：化學；冶金。
- D：紡織；造紙。
- E：固定建築物。
- F：機械工程；照明；供熱；武器；爆破。
- G：物理。
- H：電學。

分類下又有多階層之次類，以方便專利檢索及所屬技術領域判斷。其包含：部／類／次類／目／次目，如日亞化學所擁有的白光 LED 基礎專利 US5998925 在 IPC 的分類為 H01L33/50：

- (1) H 部：電學 (electricity)。
- (2) H01 類：基礎電學元件 (basic electric elements)。
- (3) H01L 次類：半導體元件 (semiconductor devices) 等。
- (4) H01L33 目：用於發光之半導體元件具有至少一個能階差或表面屏障 (semiconductor devices with at least one potential-jump barrier or surface barrier specially adapted for light emission) 等。

- (5) H01L33/50 次目：波長轉換材料 (wavelength conversion elements)。

4. 主要國家專利資料庫介紹

(1) 美國專利局 (United States Patent and Trademark Office, USPTO)

USPTO 最大特色係其獨特以技術導向的編碼方式 (US Patent Classification, USPC)。同前例 US5998925 在 USPC 的分類為 313/503，其中 313 為主類 (class)，定義為電燈與放電裝置 (electric lamp and discharge devices)；503 為次類 (subclass)，定義為含有特定磷光或電極材料 (with particular phosphor or electrode material)。USPC 主類由 D01 (可食用產品 (edible product))，至 987 (含有 Bi, Sb, As, P 等原子有機化合物)。依循上述主分類與次分類方式，檢索者可以縮小查詢範圍，更精確地找出標的物的專利布局。

(2) 歐洲專利局 (European Patent Office, EPO)

EPO 資料庫編碼方式原則依循 IPC 編碼方式，卻在 IPC 分類下將專利做更細微的區隔；如在 H01L33/50 下更細分為：

- H01L33/50B：有摻雜特徵 (characterized by the doping materials)。
- H01L33/50B2：波長轉換材料 (wavelength conversion materials)。
- H01L33/50B2B：具有兩種以上波長轉換材料之原件 (elements with two or more wavelength conversion materials)。另外，EPO 在 IPC 八大分類外另建立 Y 分類，命名為 General tagging of new technological developments，可利於研發人員查詢新興科技的專利申請或公告案。

(3) 日本專利局 (Japanese Patent Office, JPO)

JPO 最大特色為專利地圖 (patent map) 的資訊，在特許電子圖書館 (Industrial Property Digital Library, IPDL) 中，透過日本特有專利分類方法 F-term 的查詢可以一覽各技術領域的專利布局趨勢。惟許多技術細節資料皆以日文表示，造成無法閱讀日語人士取得專利地圖之障礙。

四、分析範圍與分析方法

本專利分析範圍為申請日自 1990 年 1 月至 2012 年 4 月之美國專利公開案與獲證案，以 Thomson Innovation 商用資料庫為檢索工具，檢索關鍵字為：(EFM OR Electric Force Microscopy OR SKPM OR Scanning Kelvin Probe Microscopy OR SPM OR Scanning Probe Microscopy) AND (tip* OR probe* OR apex*) AND (metal* OR silver OR gold OR platinum OR Au OR Ag OR Pt)，共收錄 356 篇美國專利與早期公開案。分析內容包含：所有權人、發明人、申請趨勢圖、IPC 分類趨勢圖、關鍵字專利地圖等。本專利地圖原理係利用統計專利 claims + abstract + title 之所有單字出現頻率定義而成。圖上每一點代表一篇專利，連接而成之等高線圖越密集處，代表其技術用語被使用次數愈多。

五、結果與討論

1. 所有權人分析—以學校實驗室與大型企業為主

圖 5(a) 為本專利搜尋條件下前 10 大所有權人分析圖。其中大學所有權人包含 Univ. Northwestern、Univ. Illinois、Univ. California、Univ. New York State；企業所有權人如 IBM、Samsung、Intel、Advanced Micro Device 等均為大型企業。由所有權人結構分析可以推論此技術尚屬於實驗室開發階段。圖 5(b) 為前 10 大發明人分析圖。Resasco、Alvarz 與 Kitiyanan 來自 Univ. Oklahoma，其主要技術為奈米碳管修飾針尖應用於場感測技術；Mirkin、Piner 與 Hong 來自 Univ. Northwestern，其主要技術為針尖修飾高分子材料應用於奈米製造；Yamakawa、Su 等人來自於 Intel，技術特徵以核酸定序為主。

2. 技術—週期矩陣—屬新興技術領域

圖 6(a) 為公開數量對公開日分析圖，由專利公開量判斷，探針修飾技術相關專利從 1992 年開始至今 2010 年穩定成長 (2012 年統計至 4 月為止)。圖 6(b) 為技術週期矩陣 (專利所有人—專利

數量分析)，由技術週期矩陣模型發現此技術尚未出現專利權人數量收斂行為，代表針尖修飾技術的專利布局仍屬於新興技術領域。

3. IPC 分類變化—以 G01Q 為歷年大宗

圖 7(a) 為 IPC 分類號分析，圖 7(b) 為歷年 IPC 變化圖。分類號以 G01Q 為最大宗，其定義為：掃描探針裝置；掃描探針應用，如掃描探針顯微術 (scanning-probe techniques or apparatus; applications of scanning-probe techniques, e.g. scanning-probe microscopy)，又其中 G01Q 70/16 針尖製造 (probe manufacture)、G01Q 80/00 SPM 以外應用 (applications, other than SPM, of scanning-probe techniques)、C01B 31/02 碳修飾針尖 (preparation of carbon by using ultra-high pressure, e.g. for the formation of diamonds)、B82B 3/00 針尖奈米修飾 (manufacture or treatment of nano-structures by manipulation of individual atoms or molecules, or limited collections of atoms or molecules as discrete units)，皆為 2001 年起的新興技術領域。另檢索條件中雖然未加入碳相關之關鍵字，但碳管之成長常有以金屬做為催化機制，故一併被收入資料範圍中 (22)。

4. 專利地圖分析

圖 8 為 Themescape 專利地圖，由地圖可以判斷三大金屬針尖修飾方法：區域 A 為化學氣相沉積針尖修飾，其代表專利為 IBM 的 US20090293162⁽²³⁾，其係利用熱化學氣相沉積 (thermal Chemical vapor deposition, CVD) 方式在針尖成長奈米碳管，如圖 9(a) 所示，再利用非等向性離子蝕刻去除與懸臂非垂直的碳管，如圖 9(b) 所示。與懸臂垂直碳管因為頂部觸媒金屬顆粒保護得以保存。

區域 B 為離子束針尖修飾，其代表專利為 Olympus 的 US7735357 專利⁽²⁴⁾，名稱為 SPM 懸臂之製造與應用 (SPM cantilever and manufacturing method thereof)，其係利用電子束、離子束或其他能量束方式輔助化學氣相沉積以金屬為觸媒在針尖成長奈米碳管，如圖 10 所示。

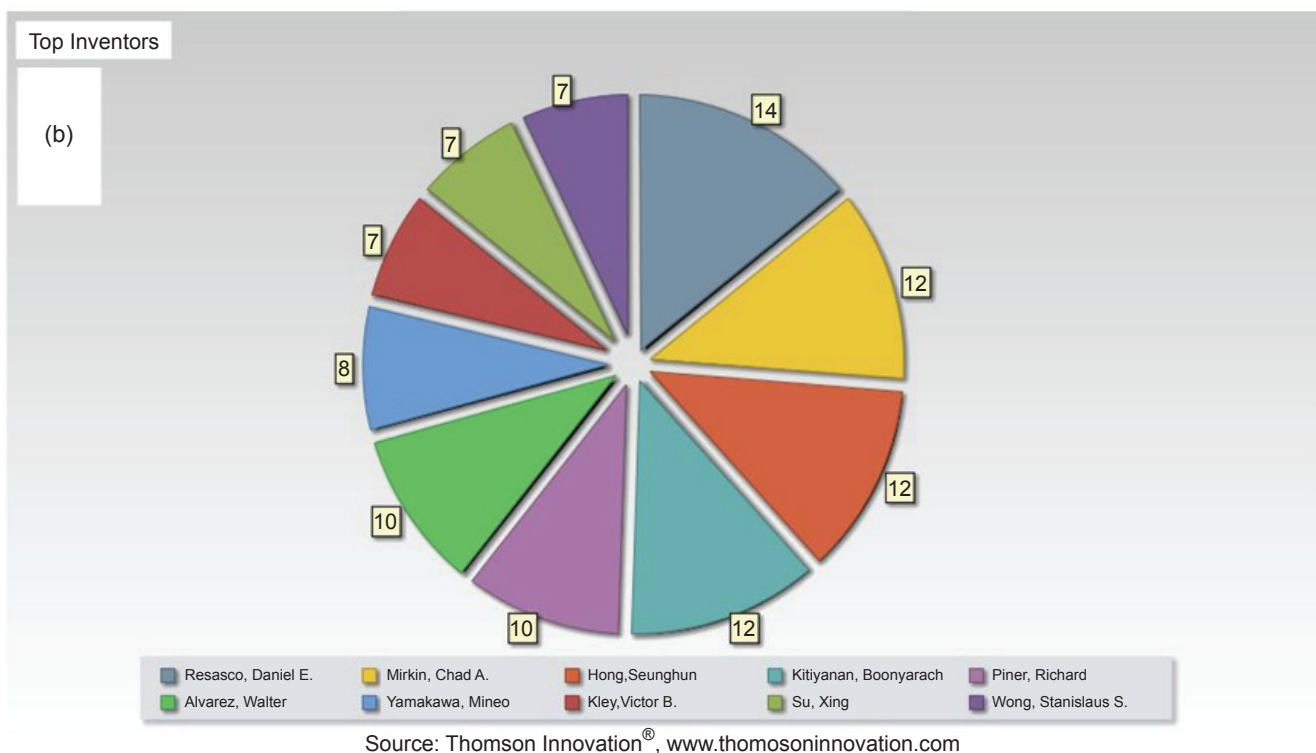
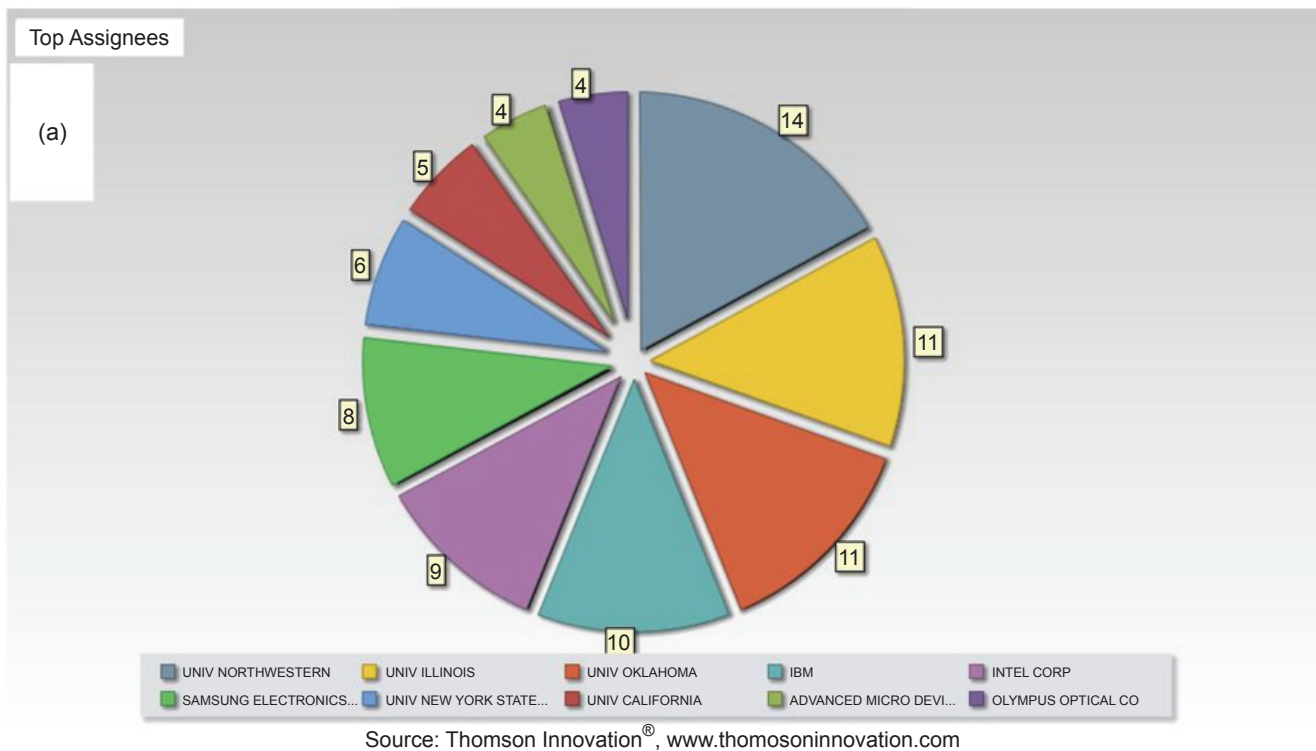


圖 5. (a) 前 10 大專利所有權人分析圖，(b) 前 10 大發明人分析圖。(分析範圍為申請日自 1990 年 1 月至 2012 年 4 月之美國專利公開案與獲證案，以 Thomson Innovation 商用資料庫為檢索工具，檢索關鍵字為：(EFM OR Electric Force Microscopy OR SKPM OR Scanning Kelvin Probe Microscopy OR SPM OR Scanning Probe Microscopy) AND (tip* OR probe* OR apex*) AND (metal* OR silver OR gold OR platinum OR Au OR Ag OR Pt)。

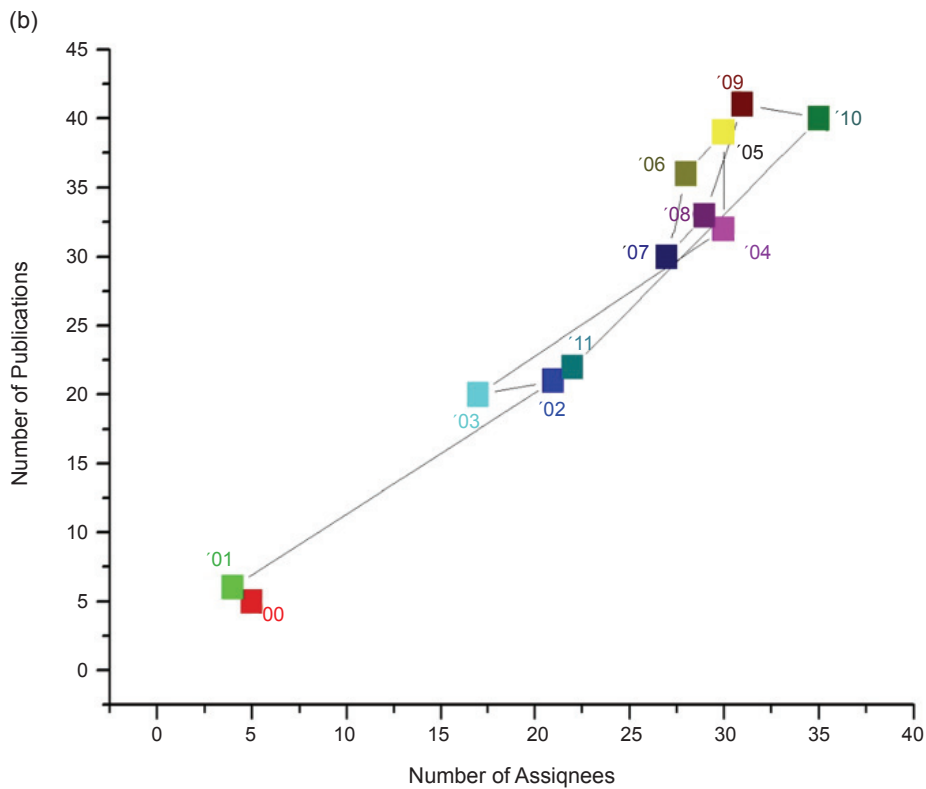
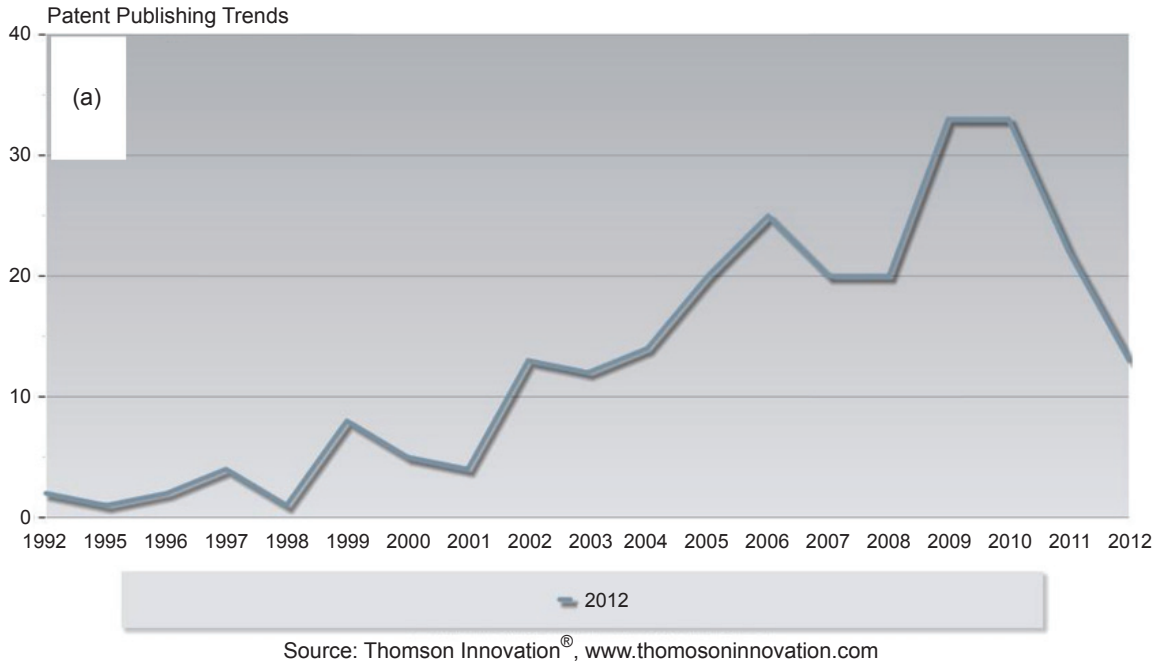
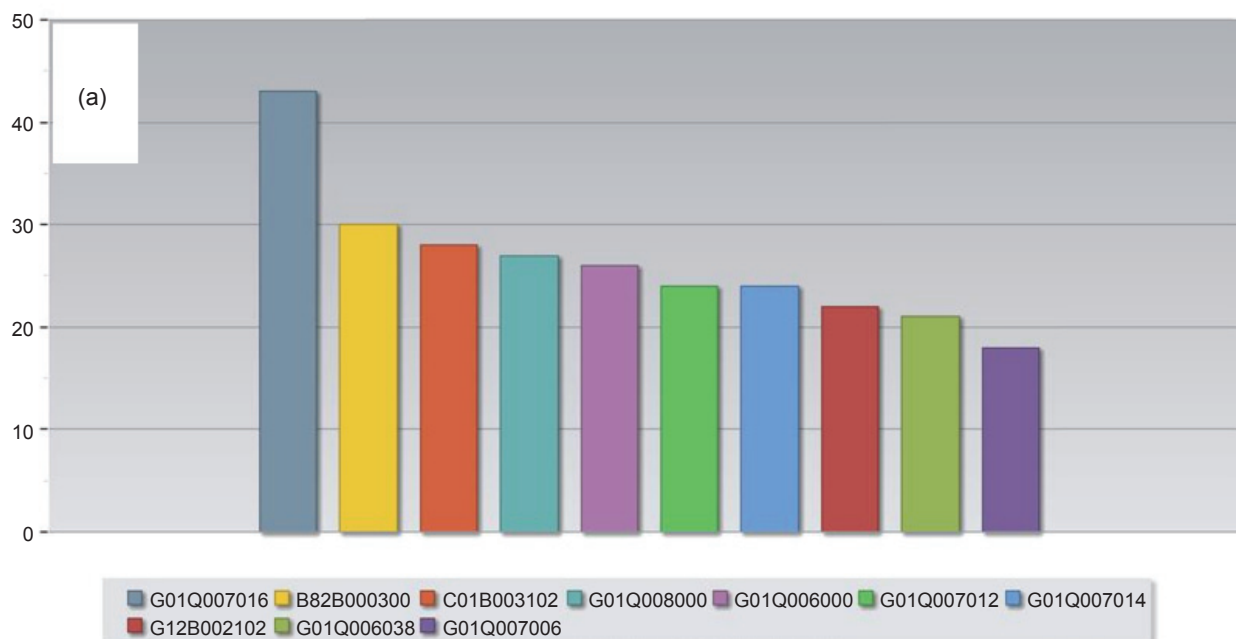


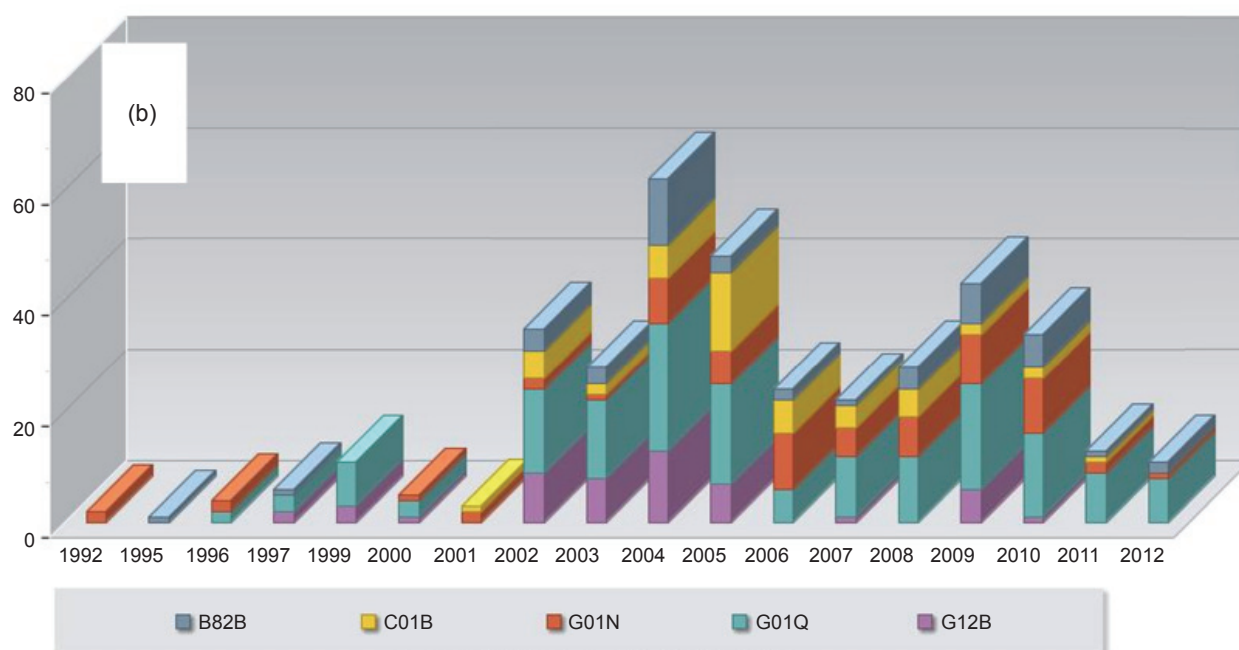
圖 6. (a) 專利公開數量對公開日分析圖；(b) 技術週期矩陣。(分析範圍為申請日自 1990 年 1 月至 2012 年 4 月之美國專利公開案與獲證案，以 Thomson Innovation 商用資料庫為檢索工具，檢索關鍵字為：(EFM OR Electric Force Microscopy OR SKPM OR Scanning Kelvin Probe Microscopy OR SPM OR Scanning Probe Microscopy) AND (tip* OR probe* OR apex*) AND (metal* OR silver OR gold OR platinum OR Au OR Ag OR Pt)

Top IPCs



Source: Thomson Innovation®, www.thomsoninnovation.com

Top IPCs by Year



Source: Thomson Innovation®, www.thomsoninnovation.com

圖 7. (a) IPC 分類號分析圖，(b) 歷年 IPC 變化圖。(分析範圍為申請日自 1990 年 1 月至 2012 年 4 月之美國專利公開案與獲證案，以 Thomson Innovation 商用資料庫為檢索工具，檢索關鍵字為：(EFM OR Electric Force Microscopy OR SKPM OR Scanning Kelvin Probe Microscopy OR SPM OR Scanning Probe Microscopy) AND (tip* OR probe* OR apex*) AND (metal* OR silver OR gold OR platinum OR Au OR Ag OR Pt)。

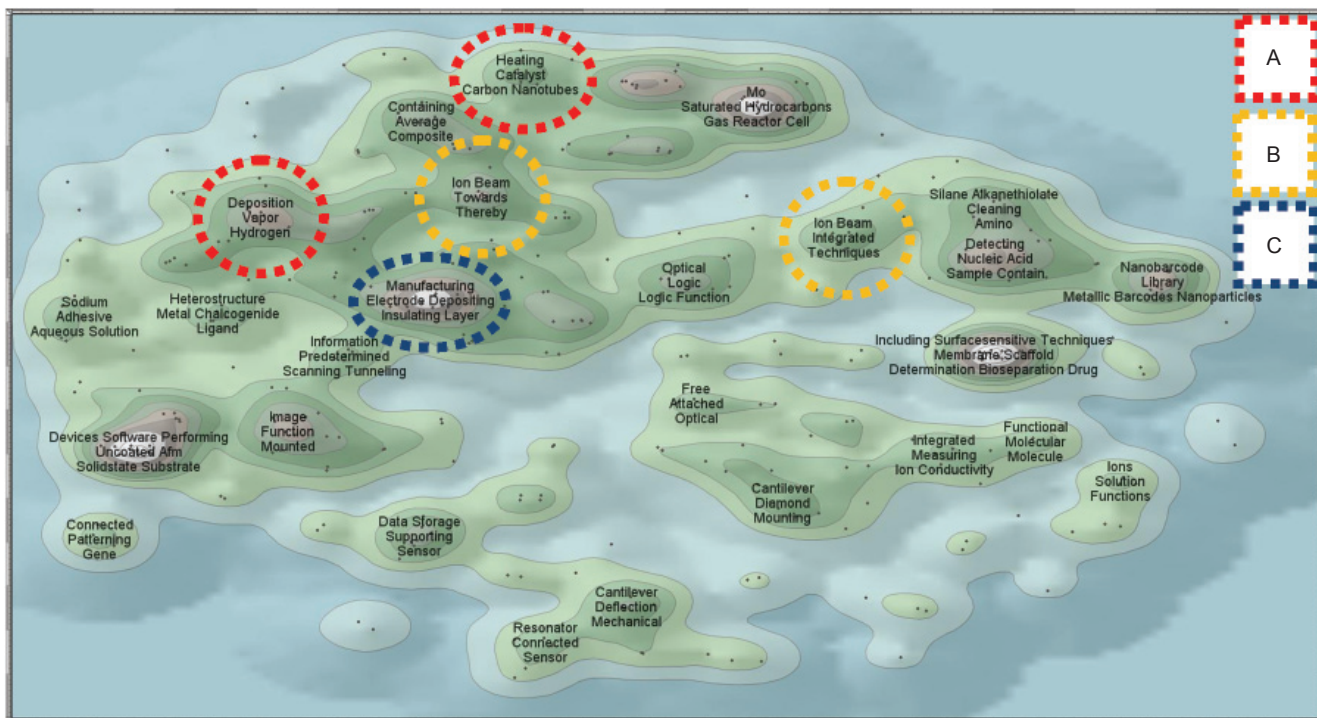


圖 8. 專利地圖 (區域 A：化學氣相沉積成長類；區域 B：離子束修飾類；區域 C：電化學修飾類)。

區域 C 為電化學修飾類，係利用電沉積方式在針尖上修飾金屬奈米結構，代表專利為我國中研院的 US7507320，係將針尖保護後置於低濃度金屬前驅物水溶液中電鍍，並搭配電鍍後退火形成奈米金屬針尖。其製程示意圖如圖 11 所示。另 Illinois 大學的 US7955486⁽²⁵⁾ 藉由控制針尖與電鍍液的液面相對位置後施加電壓，將奈米金屬結構電鍍於針尖上，其相較於 EBID 或 CVD 方式製程簡化許多，也具備大量製造的優勢。

六、結論

本研究以專利分析方法探討金屬修飾針尖應用於場感測顯微術之近期發展，分析 356 篇美國專利及公開案，透過專利管理分析與專利地圖建構討論此技術領域現有的重要發明人、擁有人與布局策略。本技術領域對於採針修飾的主軸技術仍集中於 EBID 成長奈米金屬或碳管、碳纖維結構，但近年新興的電沉積化學修飾方式如 Illinois 大學的 US7955486、台灣中央研究院的 US7507320 有低成本與大量製造的優勢，預計將會吸引更多更多該領域研究資源投入。

參考文獻

1. G. M. Sacha, A. Verdager, J. Martinez, J. J. Saenz, D. F. Ogletree, and M. Salmeron, *Applied Physics Letters*, **86** (12), 123101 (2005).
2. O. Takahito, M. Hidetoshi, and E. Masayoshi, *Nanotechnology*, **13** (1), 62 (2002).
3. S. Hofmann, M. Cantoro, M. Kaempgen, D. J. Kang, V. B. Golovko, H. W. Li, Z. Yang, J. Geng, W. T. S. Huck, B. F. G. Johnson, S. Roth, and J. Robertson, *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, **81** (8), 1559 (2005).
4. L. Martinez, M. Tello, M. Diaz, E. Roman, R. Garcia, and Y. Huttel, *Review of Scientific Instruments*, **82** (2), 023710 (2011).
5. D. Hofmann, W. Schindler, and J. Kirschner, *Electrodeposition of nanoscale magnetic structures* (AIP, 1998).
6. H.-M. Lin, M.-N. Chang, Y.-S. Lin, and C.-C. Cheng, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, **10** (7), 4459 (2010).
7. W. Schindler, D. Hofmann, and J. Kirschner, *Journal of The Electrochemical Society*, **148** (2), C124 (2001).
8. S. Lee, B. Yoon, C. Lee, and J. Park, *Technological Forecasting and Social Change*, **76** (6), 769 (2009).
9. Y. G. Kim, J. H. Suh, and S. C. Park, *Expert Systems with Applications*, **34** (3), 1804 (2008).
10. P. S. Weiss, *Journal of the American Chemical Society*, **123** (39), 9725 (2001).
11. M. Nonnenmacher, M. P. Oboyle, and H. K. Wickramasinghe, *Applied Physics Letters*, **58** (25), 2921 (1991).
12. K. L. Sorokina and A. L. Tolstikhina, *Crystallogr. Rep.*, **49** (3), 476 (2004).

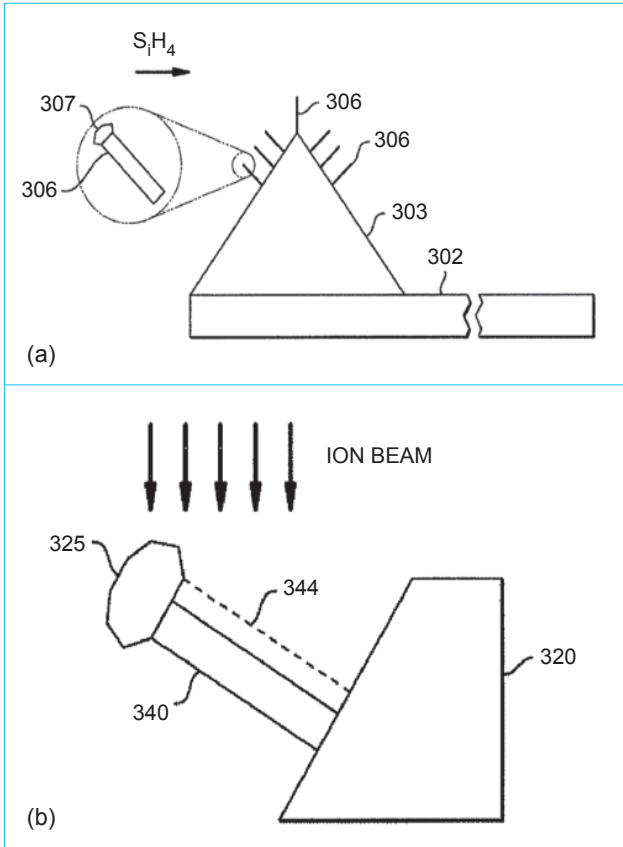


圖 9. 美國專利公開號 US20090293162。(a) 利用 thermal CVD 方式在針尖成長奈米碳管。(b) 利用非等向性離子蝕刻去除與懸臂非垂直的碳管⁽²³⁾。(302：懸臂；303：矽針尖；306：奈米線；307、325：金屬觸媒；340：部分遭蝕刻之奈米線；344：被蝕刻部分)

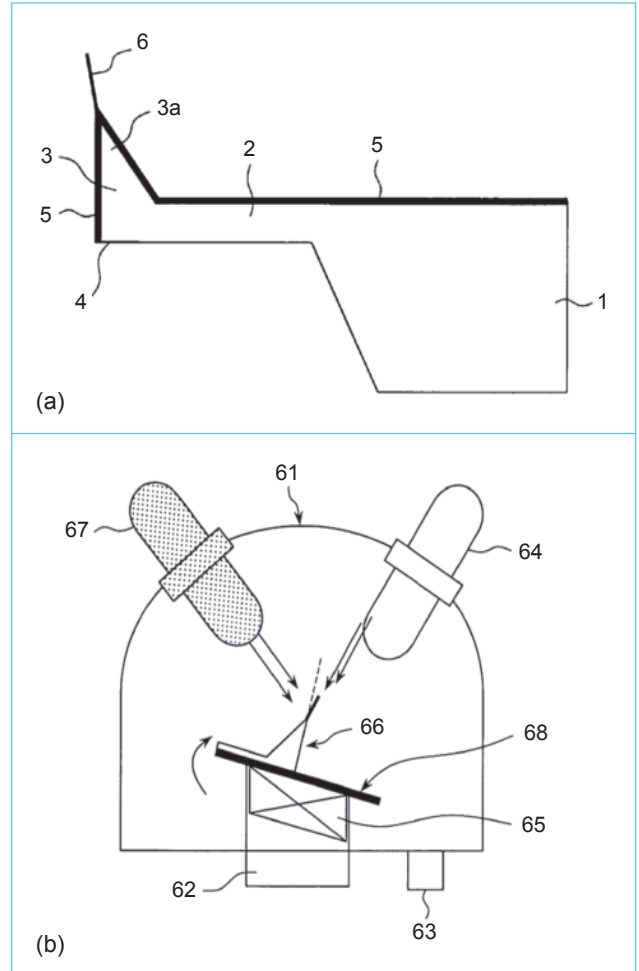


圖 10. 美國專利號 US7735357。(a) 利用離子束方式在針尖成長之奈米碳管。(b) 裝置示意圖⁽²⁴⁾。(2：懸臂；3：針尖；3a：針尖頂端；4：懸臂之一端；5：石墨膜；6：碳奈米纖維；61：真空裝置；62控制單元；63：氣體排出口；64、67：離子槍；65：加熱單元；66懸臂；68：樣品台。)

13. J. A. Nichols, D. J. Gundlach, and T. N. Jackson, *Applied Physics Letters*, **83** (12), 2366 (2003).
 14. Z. Minhua, S. Vaneet, W. Haoyan, R. B. Robert, A. S. Jeffrey, P. Fotios, and D. H. Bryan, *Nanotechnology*, **19** (23), 235704 (2008).
 15. D. P. Burt, N. R. Wilson, J. M. R. Weaver, P. S. Dobson, and J. V. Macpherson, *Nano Letters*, **5** (4), 639 (2005).
 16. A. B. H. Tay and J. T. L. Thong, *Review of Scientific Instruments*, **75** (10), 3248 (2004).
 17. L. Chang, C. Yang-Kyu, D. Ha, P. Ranade, X. Shiyong, J. Bokor, H. Chenming, and T. J. King, *Proceedings of the IEEE*, **91** (11), 1860 (2003).
 18. 古硯涵, 國立中興大學碩士論文 (2012).
 19. P. L. Chen, J. Su, M. H. Shiao, M. N. Chang, C. H. Lee, and C. W. Liu, presented at the Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS), 2012 7th *IEEE International Conference on*,

2012 (unpublished).
 20. K. I. Schiffmann, *Nanotechnology*, **4** (3), 163 (1993).
 21. J. H. Hafner, C.-L. Cheung, T. H. Oosterkamp, and C. M. Lieber, *The Journal of Physical Chemistry B*, **105** (4), 743 (2001).
 22. J. H. Hafner, M. J. Bronikowski, B. R. Azamian, P. Nikolaev, A. G. Rinzler, D. T. Colbert, K. A. Smith, and R. E. Smalley, *Chemical Physics Letters*, **296** (1-2), 195 (1998).
 23. 美國專利公開號 US20090293162
 24. 美國專利號 US7735357
 25. 美國專利號 US7507320

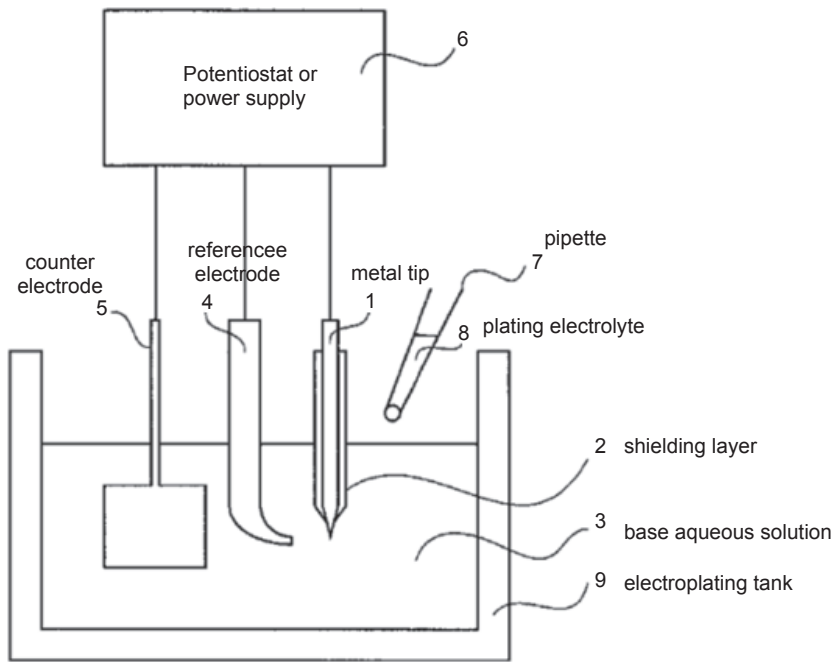


圖 11.
美國專利號 US7507320 利用電化學沉積
修飾探針針尖示意圖⁽²⁵⁾。



林峻霆先生為國立清華大學工程與系統科學碩士，現為國家實驗研究院儀器科技研究中心助理研究員。

Chun-Ting Lin received his M.E. in engineering and system science from National Tsing Hua University. He is currently an assistant researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



游明翰先生為中興大學奈米科學研究所碩士班學生，現任中興大學奈米科學研究所研究助理。

Ming-Han Yu is currently a M.S. student and research assistant in the Institute of Nanoscience at National Chung Hsing University.



陳柏荔小姐為國立清華大學動力機械工程學系博士，現為國家實驗研究院儀器科技研究中心副研究員。

Po-Li Chen received her Ph.D. in power mechanical engineering from National Tsing Hua University. She is currently an associate researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



蘇健穎先生為國立交通大學博士候選人，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心副研究員。

James Su is a Ph.D. candidate at National Chiao Tung University. He is currently an associate researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



蕭銘華先生為國立中興大學材料科學與工程學系博士，現為國家實驗研究院儀器科技研究中心研究員兼任真空科技與奈米製程組副組長。

Ming-Hua Shiao received his Ph.D. in material science and engineering from National Chung Hsing University. He is currently a researcher and the deputy division manager of vacuum technology and nanofabrication division at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



張茂男先生為國立中央大學電機工程研究所博士，現任中興大學物理學系副教授。

Mao-Nan Chang received his Ph.D. in electrical engineering from National Central University. He is currently an associate professor in the Department of Physics at National Chung Hsing University.