



(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 I607498 B

(45)公告日：中華民國 106 (2017) 年 12 月 01 日

(21)申請案號：102136309

(22)申請日：中華民國 102 (2013) 年 10 月 07 日

(51)Int. Cl. : H01L21/304 (2006.01)

H01L21/66 (2006.01)

(30)優先權：2012/10/05 美國

61/710,376

(71)申請人：F E I 公司 (美國) FEI COMPANY (US)

美國

(72)發明人：史東 史黛西 STONE, STACEY (US)；李相勳 LEE, SANG-HOON (KR)；布雷克
伍德 傑佛瑞 BLACKWOOD, JEFFREY (US)；西米德特 麥可 SCHMIDT,
MICHAEL (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

US 2005/0109956A1

US 2009/0242759A1

US 2011/0240852A1

審查人員：廖崑男

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：17 共 43 頁

(54)名稱

使用帶電粒子束曝露樣品中所關注特徵的方法及系統

BULK DEPOSITION FOR TILTED MILL PROTECTION

(57)摘要

為使檢視用之聚焦離子束所曝露之表面中的偽影減少，而鄰近於所關注區域來研磨渠溝，且填充渠溝以產生溝壁。導引離子束穿過溝壁以曝露所關注區域之一部分用於檢視。渠溝係利用(例如)帶電粒子束誘導式沈積來填充。渠溝典型地自上而下研磨且填充，且接著使離子束相對於樣品表面呈一定角度以曝露所關注區域。

To reduce artifacts in a surface exposed by a focused ion beam for viewing, a trench is milled next to the region of interest, and the trench is filled to create a bulkhead. The ion beam is directed through the bulkhead to expose a portion of the region of interest for viewing. The trench is filled, for example, by charged particle beam-induced deposition. The trench is typically milled and filled from the top down, and then the ion beam is angled with respect to the sample surface to expose the region of interest.

指定代表圖：

- 符號簡單說明：
- 302 . . . 樣品
 - 304 . . . 開孔
 - 404 . . . 所關注結構
 - 502 . . . 沈積材料

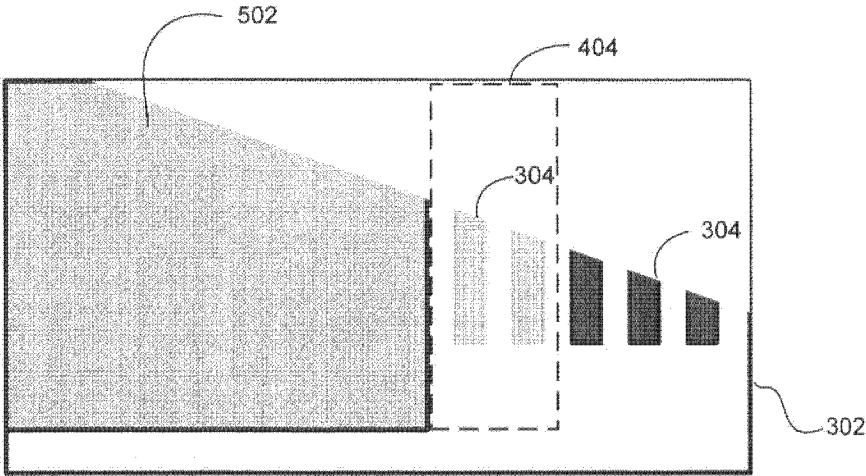


圖7B

圖式

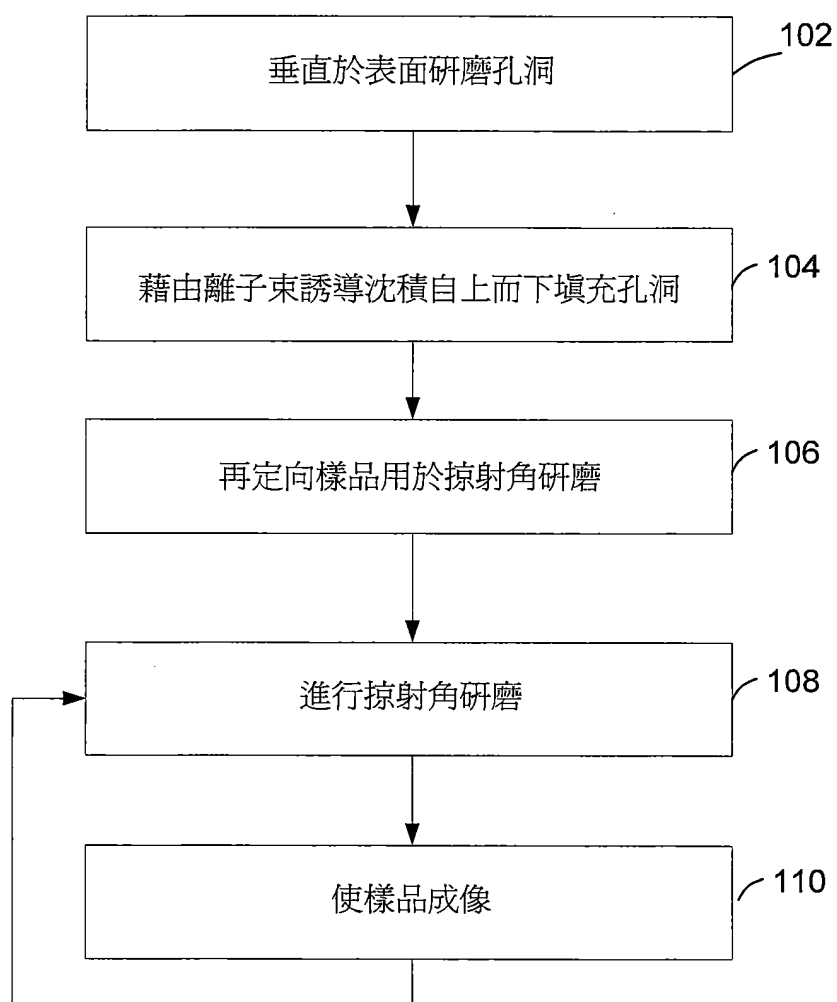


圖1

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】

使用帶電粒子束曝露樣品中所關注特徵的方法及系統

BULK DEPOSITION FOR TILTED MILL PROTECTION

【技術領域】

本發明係關於結構之帶電粒子束加工。

【先前技術】

製程監控及失效分析中之檢查微觀(包括奈米級)結構之一種常見方法為用聚焦離子束(FIB)在結構中切割一條渠溝以曝露正交於表面之橫截面，且接著用掃描電子顯微鏡(SEM)觀測該橫截面。另一技術為自結構中提取薄的樣品以在透射電子顯微鏡(TEM)上觀測。然而，離子束研磨偽影可能使所曝露之結構變形，從而電子束影像並不精確地顯示原始結構。

一種類型之偽影被稱作「垂落」，因為其可能看起來像簾幕。垂落出現於不同材料以不同速率移除時，諸如當構成樣品之材料被離子束以不同速率研磨時。未填充的孔洞可引起垂落，藉由高斯型離子束之「尾」研磨亦可引起垂落。垂落亦可出現於研磨具有不規則形狀之表面時。有時在所關注區域頂上沈積保護層以減少藉由高斯型束之尾研磨所引起之垂落，如例如美國專利公開案第20130143412號「Methods for Preparing Thin Samples for Tem Imaging」及美國專利公開案第20120199923號「Method and Apparatus for Controlling Topographical Variation on a Milled Cross-Section of a Structure」中所描述，該兩個公開案均讓渡給本發明之受讓人。

當曝露高度比其寬度大得多的特徵時，可能產生嚴重偽影。此

類結構被稱作「高縱橫比」特徵。舉例而言，高度為其寬度四倍之特徵被視為高縱橫比特徵。積體電路中的層間孔洞或觸點通常為高縱橫比結構，具高度為其寬度之若干倍。

隨著半導體製造方法使更多電路封裝進更小封裝中，積體電路設計正變得更加三維(3D)且併有更多高縱橫比特徵。分析3D積體電路(IC)結構(諸如3D NAND電路)之高縱橫比結構(尤其是未填充的接觸孔洞)時，習知離子束樣品製備造成不可接受之偽影，諸如變形及垂落。

當樣品上存在未填充的高縱橫比孔洞時，固體區域與鄰接於未填充孔洞之區域之間在研磨速率方面存在很大差異。研磨速率方面之巨大差異導致垂落或瀑布效應(另一種使孔洞形狀變形之偽影)。離子束研磨製程引起之結構損壞及偽影使得難以分析高縱橫比垂直結構。

程序工程師需要觀測之一種結構特徵為矽通孔(TSV)。橫截面TSV為半導體實驗室中表徵空隙及表面界面之一種常見實務。由於TSV的深度(典型地為50至300 nm)，因此用離子束研磨TSV之橫截面可能導致實質上垂落。

因為使用離子束研磨曝露特徵造成損壞及偽影，所以影像並不忠實地顯示製造程序之結果。偽影干擾量測且干擾對製造程序之評估，因為影像及量測顯示樣品製備之效果，以及原始製造程序之結果。

具有複合材料堆疊之高縱橫比孔洞或渠溝難以用其他已知方法量測，諸如散射術及臨界尺寸掃描電子顯微術(CD-SEM)。

需要一種方式來曝露所關注區域用於檢查及/或量測且產生精確影像，該精確影像反映製造程序而不損害所關注區域或在曝露表面中產生偽影。

【發明內容】

本發明之一個目標為曝露內埋式特徵用於檢查，同時使對彼等特徵之損壞減至最小。

本發明之實施例將材料移除以得到與所關注特徵相鄰的孔洞，且用沈積材料填充該孔洞以產生「溝壁」。經導引部分穿過沈積材料之離子束曝露所關注特徵的一部分。藉由導引波束穿過沈積材料，偽影得以減少，且所曝露表面更精確地表現結構，如同其在曝露之前一般。在一些實施例中，藉由以相對於表面之掠射角研磨來曝露所關注特徵部分。

前文已頗為廣泛地概述本發明之特徵及技術優勢以便更好地理解下文之本發明實施方式。下文將描述本發明之其他特徵及優勢。熟習此項技術者應瞭解，所揭示之概念及具體實施例可易於用作修改或設計用於實現本發明之相同目的之其他結構的基礎。熟習此項技術者亦應認識到，此等等效構造並不脫離如隨附申請專利範圍中所闡明之本發明之精神及範疇。

【圖式簡單說明】

為了更透徹地理解本發明及其優點，現結合隨附圖式參考以下描述，其中：

圖1為顯示本發明之方法之流程圖；

圖2A至2E顯示圖1之流程圖之作用；

圖3A顯示加工前之樣品之俯視圖；

圖3B顯示圖3A之樣品之橫截面圖；

圖4A顯示具有經研磨孔洞之樣品之俯視圖；

圖4B顯示圖4A之樣品之橫截面圖；

圖5A顯示具有填充有沈積材料之孔洞之樣品的俯視圖；

圖5B顯示圖5A之樣品之橫截面圖；

圖6A顯示對樣品進行之掠射角研磨之俯視圖；

圖6B顯示圖6A之樣品之橫截面圖；
圖7A顯示在額外掠射角研磨情況下圖6A之樣品的俯視圖；
圖7B顯示圖7A之樣品之橫截面圖；
圖8A顯示在額外掠射角研磨情況下圖7A之樣品的俯視圖；
圖8B顯示圖8A之樣品之橫截面圖；
圖9為使用有角沈積之本發明第二實施例的流程圖；
圖10A顯示進行性掠射角研磨之俯視圖；
圖10B、11及12顯示圖10A之橫截面圖；
圖13為顯示使用溝壁沈積保護及有角研磨之本發明第三實施例之步驟的流程圖；
圖14A顯示用於有角研磨之溝壁沈積保護之俯視圖；及
圖14B顯示用於有角研磨之溝壁沈積保護之橫截面圖。
圖14C顯示用於有角研磨之溝壁沈積保護之另一橫截面圖。
圖15顯示可實施本發明之實施例之典型雙束系統。
圖16顯示用於有效產生無偽影橫截面之溝壁。
圖17顯示非最佳溝壁。

【實施方式】

本發明之實施例使用離子束，鄰近於所關注區域或特徵，研磨出樣品的一部分，以產生其中沈積有「溝壁」之渠溝。「溝壁」為在研磨所關注區域之前，讓離子束穿過其間之材料。溝壁典型地為固體塊材料。鄰近於所關注區域而非在其頂上沈積係在研磨期間保護沿波束方向之所關注區域的邊緣。一些實施例提供傾斜角研磨與鄰近保護沈積之組合。儘管先前技術教示在特徵之現有表面上方沈積保護層，但本發明研磨之實施例產生一種新穎表面，該新穎表面上可供材料鄰近於所關注特徵而非在其上方沈積。術語「所關注區域」、「所關注結構」及「所關注特徵」在本文中可互換使用。

本發明之一些實施例針對具有高縱橫比孔洞或未填充渠溝之樣品提供特別優勢。一些實施例鄰近於待表徵之深孔用FIB研磨孔洞。用沈積材料填充經研磨孔洞。沈積材料充當遮罩，在穿過溝壁傾斜定向(掠射角或傾斜橫截面)研磨時防止垂落形成。沈積材料在整個溝壁中實質上均一，且因此減少垂落。

溝壁之實施例典型地為厚沈積物，其緊鄰於所關注區域之水平面安置，而非在所關注區域頂上，且材料典型地沈積於為此目的而研磨之孔洞或渠溝中。隨後曝露所關注區域之研磨並非自上而下，而是具有穿過溝壁之水平分量。儘管在以下實例中使用離子束誘導沈積，但可使用任何合適的沈積方法。舉例而言，可使用波束(諸如雷射光束或電子束)將前驅體分解以沈積材料之其他不同類型的誘導沈積，以及直接沈積，諸如叢集束沈積(cluster beam deposition)，其中無需分解前驅體就可沈積材料。

溝壁之較佳維度取決於研磨之深度及角度，其由正曝露之所關注特徵確定。溝壁之寬度至少應如同所關注區域之寬度。波束較佳在研磨所關注特徵之全部或實質部分之前穿過均一材料。若溝壁在研磨中於某些點處變得太薄，則可能出現垂落。溝壁之形狀較佳為在波束進入所關注區域之前向波束呈現均一材料之最小體積。亦即，溝壁應足夠長且深，使得當有角波束接觸所關注區域之底部時，波束仍穿過溝壁之實質長度。

溝壁不必為矩形盒子。傾斜圖案最有效，但製造起來更複雜。舉例而言，圖16顯示有效溝壁設計，其減少垂落而無過度沈積。樣品1602包括沈積溝壁1604及所關注特徵1606。如箭頭1608所示，當波束正研磨所關注特徵之底部時，波束正穿過溝壁。溝壁經由波束未穿過之區域(諸如區域1610)的任何延伸並不改良研磨且不必要地延長加工時間。圖17顯示具有非最佳溝壁1704及所關注特徵1706之樣品1702。

波束1708將在其路徑中於特徵1710之底部遇到不均一密度，造成溝壁之不均一研磨，該不均一研磨又可能造成溝壁另一側上之所關注特徵的不均一研磨。

涉及CD-SEM、散射術及TEM之現有方法由於分別涉及深度、太複雜/太多變數及樣品完整性之原因而不能表徵複合材料堆疊上之開孔維度。所描述之本發明實施例提供表徵複合材料堆疊上之開孔維度之能力。

用於空結構樣品製備之溝壁沈積之三項實施例描述如下：

- 1.斷層檢視型(slice and view-type)、掠射型研磨程序；
- 2.用於掠射型研磨之有角沈積程序；及
- 3.曝露用於觀測之垂直平面、而非掠射角平面之有角研磨程序。

方法1-在掠射角研磨情況下之斷層檢視

在下述程序中，SEM之電子鏡筒垂直安裝，且FIB以52度安裝。這樣一個系統顯示於圖15中且在下文中詳細描述。下述角度係相對於該組態而言。當使用其他組態時，將使用不同角度，但在一些實施例中，將使用相同的相對角度。

圖1為顯示本發明之一實施例之流程圖。圖2A至2E顯示各步驟之離子束及電子束。圖3A顯示將經歷製程之樣品302之俯視圖，且圖3B顯示經由圖3A之線3B—3B獲得之橫截面側視圖。本說明書中使用此約定鑑別橫截面。樣品302包括多個高縱橫比結構，諸如開孔304、渠溝或其他高縱橫比未填充結構。在步驟102中，使用如圖2A中所示之FIB，鄰近於所關注結構自上而下(亦即垂直於工作件表面)研磨孔洞。圖4A及4B顯示緊鄰於所關注結構404之孔洞402。圖4B中，在孔洞經研磨之區域之背景下可見開孔406。在步驟104中，使用例如圖2B中所示之離子束誘導沈積，在樣品中自上而下地填充孔洞。圖5A及5B顯示沈積材料502。一些沈積材料可能沈積於所關注區域上。可

用例如鎢、鉑、氧化物或可使用離子束誘導沈積法而沈積之其他材料填充孔洞。沈積材料較佳具有與工作件材料相同的蝕刻速率，例如在30%內，或比工作件材料低的蝕刻速率。沈積前驅體已熟知。

在步驟106中，樣品經再定向用於掠射角研磨，且經研磨。掠射角研磨詳細描述於2012年9月11日申請之美國專利申請案13/609,811「Glancing Angle Mill」中，其以引用之方式併入本文中。在步驟108中，進行掠射角研磨，如圖2C至2E中所示。掠射角較佳為 10° 或小於 10° ，更佳為 5° 或小於 5° ，甚至更佳為 3° 或小於 3° ，且在某些情況下小於 1° 。如本文所使用，掠射角研磨係指以離子束與頂表面之間 10° 或小於 10° 之角度研磨樣品。本發明不限於掠射角研磨。高達 45° 之波束角度或甚至更大之角度適用於某些應用。

所用實際角度將取決於所用系統上可獲得的組態及欲實現之量測深度。舉例而言，典型的銅互連渠溝為12 nm深。調節樣品台之傾斜角，使得離子束與樣品之間的角度在目標區域之遠端形成12 nm深的切口。亦即，可設定角度及深度以完全曝露特徵。儘管在圖2C至2E之實施例中，離子束導向樣品之最上層表面，但在某些較佳實施例中，波束可導入樣品更深處，以幾乎相同之方式曝露埋得更深的特徵。

圖6A及6B顯示掠射角研磨之結果。波束方向之水平分量由箭頭602顯示，且波束方向之垂直分量進入頁面。研磨深度自左向右增大，橫越溝壁沈積於所關注區域中，如圖6A之研磨區域中自左向右逐漸變暗之著色所示。在步驟108之掠射角研磨之後，在步驟110中使用SEM檢視橫截面以使樣品自上而下成像。SEM幾乎正交於結構定向，以藉由減小工作距離維持高品質影像。位於離沈積相對較遠處之研磨區域經受垂落效應，但離沈積區域較近之樣品區域極少顯示或不顯示垂落或其他變形。因此，需要溝壁極接近所關注特徵。

重複步驟108及110以進行「斷層檢視」，從而在特徵之各種深度提供影像，且可將影像組合以獲得三維資訊。圖2D顯示隨後的掠射角研磨自結構中移除更多材料，產生圖7A及7B中所示之結果。圖2E顯示隨後的掠射角研磨自結構中移除更多材料，產生圖8A及8B中所示之結果。

重複「斷層檢視」製程將提供不同深度處之資訊。隨後之各斷層曝露接近溝壁之所關注特徵的稍深部分。因為掠射角研磨沿波束方向產生更深的研磨，所以若存在一系列如圖5B至8B中所示之所關注特徵，則研磨使波束路徑中處於不同深度之所關注不同特徵曝露。然而，特徵離溝壁越遠，越容易產生更多偽影。最佳影像由最接近溝壁之特徵形成。使用多次「斷層檢視」步驟提供單一結構在不同深度處之影像。斷層檢視藉由較佳的結構圓度、直徑研磨大小中更大的控制而對研磨品質提供更好控制，且當研磨時產生更大的深度相關性。重複斷層檢視影像可組合以形成特徵之三維影像。

方法2-有角溝壁沈積

在某些樣品中，所關注區域具有多列相同特徵。如上文所示，舉例而言，在圖6B中，掠射角研磨使處於表面下之不同深度處之相同特徵中之不同者曝露。然而，不鄰近於溝壁之成列特徵將經受垂落。僅最接近溝壁之成列特徵產生最佳影像，且在前述實施例中彼等特徵全部切割至相同深度。

最接近所關注區域之溝壁邊緣被稱作「近端邊緣」。在一些實施例中，在研磨製程期間，離子束研磨使得近端邊緣經研磨，以使近端邊緣上之不同點具有位於原始表面下方之不同深度。在一些實施例中，近端邊緣之一些部分比其他部分離束源更遠，且因此呈角度進入工作件之波束促使離束源較遠之邊緣點比較近之部分研磨得更深。亦即，溝壁之近端邊緣不平行於離子束研磨在傾斜表面上所產生之相同

研磨深度線。在一些應用中，此意謂近端邊緣不平行於掠射角研磨束掃描方向。在研磨製程期間經研磨以使近端邊緣上之不同點具有位於原始表面下方之不同深度的溝壁被稱作「有角溝壁」，因為近端邊緣不垂直於波束方向。

若溝壁之近端邊緣之點研磨至不同深度，則鄰近於近端邊緣溝壁之各所關注特徵亦研磨至不同深度，從而自單次研磨操作中得到不同深度之無偽影檢視。

在此實施例中，FIB自孔洞上方研磨以產生經填充而產生有角溝壁的孔洞。此實施例允許在單次掠射角研磨之情況下，使特徵之特性(諸如圓度及直徑)與深度相關。此實施例亦可與斷層檢視一起使用，以提供相同特徵在不同深度處之影像。

圖9為顯示此方法步驟之流程圖，且圖10A、10B、11A、11B、12A及12B顯示含有後蝕刻、未填充結構1004作為待觀測之所關注區域1008的工作件1002。在步驟901中，與離子束掃描方向呈角度自上而下研磨孔洞。在步驟902中，藉由離子束誘導材料沈積自上而下填充孔洞以產生有角溝壁1006。在步驟903中，樣品針對掠射角研磨而經再定向。

在步驟904中，如上文根據第一實施例所描述進行掠射角研磨。圖10A顯示掠射角研磨結果之俯視圖。箭頭1010顯示波束方向之水平分量，該波束方向亦具有進入頁面之分量。箭頭1012顯示波束之掃描方向。圖上之垂直線對應於相同研磨深度線，如著色所示，研磨深度自左向右變深。溝壁之近端邊緣1016橫越相同研磨深度線(亦即相對於相同研磨深度線呈角度)切成。未填充結構1004A、1004B、1004C、1004D及1004E皆鄰近於溝壁，且其橫截面具有極少或不具有垂落偽影。其他未填充結構，諸如未填充結構1004F，因在溝壁與結構1004F之間存在其他兩個未填充結構而具有垂落。

圖10B、圖11及圖12顯示經由圖10A之不同平面獲得的橫截面。該等不同橫截面顯示，單次掠射角研磨步驟使位於表面以下不同深度之各未填充結構1004A、1004B、1004C、1004D及1004E曝露。不同於前述實施例，其中圖6至8顯示多個依序研磨步驟後之樣品，圖10A、圖10B、圖11及圖12顯示使用有角溝壁之單個研磨步驟後之樣品的不同橫截面。

在視情況存在之步驟905中，樣品經再定向用於在步驟906中藉由電子束成像。用於掠射角研磨之樣品定向不受SEM之定向限制。不同之所需掠射研磨角度允許相對於SEM之不同定向。本發明之一項實施例允許SEM進行俯視。SEM之垂直定向使得SEM鏡頭接近結構，以減少工作距離且提供更高品質成像。

利用此方法之益處允許在不同深度處以單次切割進行精確分析，且允許特徵之相關性，諸如圓度及直徑與深度之相關性。該實施例亦可與重複斷層檢視一起使用，以提供相同特徵在不同深度處之資訊。

方法3-用於有角研磨之溝壁沈積保護

圖13顯示本發明之另一實施例之步驟。圖14A顯示根據圖13之步驟所加工之工作件1402之俯視圖，且圖14B及14C顯示工作件1402之橫截面，該工作件1402包括多個高縱橫比結構，諸如開孔1406、渠溝或其他高縱橫比未填充結構。在步驟1301中，使用典型垂直於表面定向之離子束在樣品中研磨孔洞。在步驟1302中，用沈積材料填充鄰近於所關注區域1408定位之孔洞，以產生溝壁1404，如關於前述實施例所描述。

在前述實施例中，以掠射角相對於表面定向之研磨自上而下遍及研磨區域均一地進入工作件。亦即，波束橫越研磨區域來回掃描，其中在隨後掃描中掃描線向下移動至工作件的更深處，以產生逐漸變

深的有角渠溝。

在此實施例中，在所關注區域側面上研磨傾斜線至所需研磨深度，且接著用波束掃描使得研磨面朝向所關注區域側向前進。如前述實施例中那樣，沈積於所關注區域之前的波束路徑中的溝壁防止所關注區域中的垂落。該製程導致垂直面曝露，該垂直面顯示所關注特徵之側視圖，而非前述實施例之掠射角俯視圖。亦即，若所關注特徵為未填充管，則前述實施例曝露在一個深度處穿過該管之圓形切片，以便自上而下觀測，然而此實施例曝露穿過該管之縱向切片，該縱向切片遍及其全部長度顯示孔洞，以便自側面觀測。因為此實施例不生產自上而下視圖，所以相對於工作件表面之波束角度可更大。在步驟1303中，離子束穿過傾斜研磨定向研磨出橫截面。在步驟1304中，再定向樣品且用SEM觀測樣品。

圖14A顯示溝壁1404之俯視圖。箭頭1410顯示離子束之水平分量之方向，該離子束亦成角進入頁面。研磨在左邊較淺，且在右邊較深，如著色所示。圖14B顯示圖14A在線14B-14B處之橫截面，其中研磨完全，且所曝露特徵1406A及1406B準備好自垂直於頁面之位置觀測。圖14C顯示在已經研磨及在待觀測平面正對面之平面處獲得之橫截面。

圖14C之線1410顯示研磨渠溝底部處之平面，因此線1410直接上方不存在材料。研磨線以下之溝壁1404部分在研磨之後保留。在圖14C之背景中可看到未研磨溝壁1404及樣品未研磨部分，曝露該未研磨部分用於觀測包括經橫截面特徵1406A及1406B。

研磨較佳自離所關注區域足夠遠處開始，以在最終橫截面前方產生足夠大之渠溝，從而電子束可掃描該橫截面，且收集可逃脫渠溝之二級電子形成影像。當所關注區域自側面經研磨穿過時，可重複步驟1303及1304進行「斷層檢視」以獲得多張影像。

雙束系統

圖15顯示適合於實施本發明之典型雙束系統1510，其具有垂直安裝之SEM圓柱及偏離垂直約 52° 角安裝之FIB圓柱。合適的雙束系統可商購自例如FEI公司(Hillsboro, Oregon)，其為本申請案之受讓人。儘管下文提供合適硬體之實例，但本發明不限於在任何特定類型之硬體中實施。

雙束系統1510裝備有掃描電子顯微鏡1541連同電源供應及控制單元1545。藉由在陰極1552與陽極1554之間施加電壓而自陰極1552發射電子束1543。藉助聚光鏡1556及接物鏡1558將電子束1543聚焦至一小點。藉助偏轉線圈1560使電子束1543在樣品上進行二維掃描。聚光鏡1556、接物鏡1558及偏轉線圈1560之操作受電源供應及控制單元1545控制。

電子束1543可聚焦於基板1522上，該基板1522在下部腔室1526內之可移動置物台1525上。當電子束中電子撞擊在基板1522上時，發射出二級電子。此等二級電子被如下文所論述之二級電子偵測器1540偵測。

雙束系統1510亦包括聚焦離子束(FIB)系統1511，該系統包含真空腔室，該真空腔室具有上半部分1512，離子源1514及包括聚焦萃取器電極及靜電光學系統之圓柱1516位於該上半部分1512內。聚焦圓柱1516之軸線偏離電子圓柱之軸線 52° 傾斜。上半部分1512包括離子源1514、萃取電極1515、聚焦元件1517、偏轉元件1520及聚焦離子束1518。離子束1518自離子源1514穿過聚焦圓柱1516且在靜電偏轉件1520之間朝向基板1522，該基板1522包含例如安置於下部腔室1526內可移動置物台1525上之半導體裝置。

置物台1525可較佳在水平面(X及Y軸)中及垂直(Z軸)移動。置物台1525亦可傾斜約 60° 且圍繞Z軸旋轉。打開門1561以便將基板1522插

至X-Y置物台1525上，且亦以便運行內部氣體供應儲集器(若使用一個氣體供應儲集)。該門為聯鎖的以使得若系統在真空下則門無法打開。

採用離子泵(未圖示)抽空上半部分1512。在控制真空控制器1532下用渦輪分子及機械泵系統1530抽空腔室1526。真空系統在腔室1526內提供約 1×10^{-7} 托與 5×10^{-4} 托之間的真空。若使用助蝕刻氣體、延遲蝕刻氣體或沈積前驅氣體，則腔室背景壓力可能上升，典型地至約 1×10^{-5} 托。

高電壓電源供應器提供適當的加速電壓給離子束聚焦圓柱1516中之電極用於激勵及聚焦離子束1518。當離子束撞擊在基板1522上時，材料被濺鍍，亦即自樣品中實體地噴出。或者，離子束1518可分解前驅氣體以沈積材料。

高電壓電源供應器1534連接至液態金屬離子源1514以及連接至離子束聚焦圓柱1516中之適當電極，用於形成約1 keV至60 keV離子束1518且導引離子束1518朝向樣品。根據圖案產生器1538所提供之規定圖案操作之偏轉控制器及放大器1536耦接至偏轉板1520，從而可手動或自動控制離子束1518以描繪出基板1522上表面上相應的圖案。在一些系統中，偏轉板置放於最終鏡片前，如此項技術中所熟知。當遮沒控制器(未圖示)向遮沒電極施加遮沒電壓時，離子束聚焦圓柱1516內之波束遮沒電極(未圖示)使得離子束1518撞擊於遮沒孔隙(未圖示)而非基板1522上。

液態金屬離子源1514典型地提供鎔之金屬離子束。該源典型地能夠在基板1522處聚焦成小於十分之一微米寬的波束，用於藉由離子研磨、增強蝕刻、材料沈積使基板1522改質或出於使基板1522成像之目的。亦可使用其他離子源，諸如電漿離子源。

視情況存在之探針總成包括探針運動機械裝置1580及探針端部

1581，該探針端部1581允許在曝露導體處施加或感測電壓。探針端部可單獨地移動至理想位置且降低以接觸基板1522。儘管顯示了三個探針端部，但探針端部數目可變化。多個探針運動機械裝置可用於控制任何數目的探針。探針端部可在精確位置處向基板1522施加電壓或電流及/或可感測電壓或電流。

用於偵測二級離子或電子發射之帶電粒子偵測器1540，諸如Everhart-Thornley偵測器或多通道板，連接至視訊電路1542，該視訊電路1542向視訊監視器1544供應驅動信號且接收來自控制器1519之信號。下部腔室1526內帶電粒子偵測器1540之位置可在不同實施例中變化。舉例而言，帶電粒子偵測器1540可與離子束同軸且包括允許離子束穿過之孔洞。在其他實施例中，二級粒子可經由最終鏡片收集且接著轉離軸線以便收集。

光學顯微鏡1551允許觀測樣品1522及探針1581。光學顯微鏡可與帶電粒子束中之一者同軸，如例如美國專利第6,373,070號(Rasmussen)「Method apparatus for a coaxial optical microscope with focused ion beam」中所描述，本申請案之申請擁有該專利。

氣體傳送系統1546延伸進入下部腔室1526，用於將氣相引入及導引朝向基板1522。讓渡給本發明受讓人之美國專利第5,851,413號(Casella等人)「Gas Delivery Systems for Particle Beam Processing」描述一種合適的氣體傳送系統1546。另一種氣體傳送系統描述於美國專利第5,435,850號(Rasmussen)「Gas Injection System」中，該專利亦讓渡給本發明受讓人。舉例而言，可將金屬有機化合物傳送至波束撞擊點以在離子束或電子束撞擊時沈積金屬。可傳送前驅氣體，諸如用以沈積鉑之 $(\text{CH}_3)_3\text{Pt}(\text{C}_p\text{CH}_3)$ 或用以沈積鎢之六羰基鎢，以藉由電子束將其分解，從而在步驟108中得到保護層。

系統控制器1519控制雙束系統1510各種部分之操作。經由系統

控制器1519，使用者可經由輸入習知使用者介面(未圖示)之命令而使離子束1518或電子束1543以所需方式掃描。或者，系統控制器1519可根據程式化指令來控制雙束系統1510。較佳控制器與記憶體連通或包括記憶體，該記憶體儲存用於自動進行圖1、9或13之步驟的指令。系統控制器1519可用於控制探針運動總成1580。在一些實施例中，雙束系統1510合併有影像識別軟體(諸如可購自麻薩諸塞州(Massachusetts)內迪克(Natick)之Cognex公司的軟體)，以自動鑑別所關注區域，且接著系統可根據本發明，手動或自動曝露橫截面用於成像。舉例而言，系統可自動定位包括多個裝置之半導體晶圓上的相似特徵，且使不同(或相同)裝置上之所關注特徵曝露及形成影像。

本發明具有廣泛的適用性且可提供如以上實例中所描述及顯示的許多益處。實施例將取決於特定應用而發生很大變化，且並非每項實施例均將提供本發明所能實現的所有益處且滿足本發明所能實現的所有目標。適合於進行本發明之粒子束系統可商購自(例如)FEI公司，其為本申請案之受讓人。

本文中描述相對於晶圓或其他工作件而使用術語水平及垂直。應理解，「水平」典型地用於意謂平行於工作件表面及沈積於工作件上之導電平面，且「垂直」典型地用於意謂正交於工作件表面。

本發明具有廣泛的適用性且可提供如以上實例中所描述及顯示的許多益處。實施例將取決於特定應用而發生很大變化，且並非每項實施例均將提供本發明所能實現的所有益處且滿足本發明所能實現的所有目標。適合於進行本發明之粒子束系統可商購自例如FEI公司，其為本申請案之受讓人。

本說明書揭示一種方法及一種用於進行操作該方法之設備。該設備可針對所需目的而經過特殊建構，或可包含通用電腦或由儲存於電腦中之電腦程式選擇性啟動或重新組態之其他裝置。各種通用帶電

粒子束系統可與根據本文中之教示之程式一起使用。或者，可適當地建構更特殊的設備以進行所需方法步驟。

此外，本說明書亦含蓄地揭示了一種電腦程式，因為本文中所描述之方法之個體步驟可藉由電腦程式碼生效，此對於熟習此項技術者而言將為顯而易見的。電腦程式並不意欲限制於任何特定程式語言及其實現方式。應瞭解，多種程式語言及其編碼可用於實施包含於本文中之本發明之教示。此外，電腦程式並不意欲限制於任何特定控制流程。在不脫離本發明之精神或範疇之情況下，存在電腦程式之許多其他變化形式，該等變化形式可使用不同控制流程。

此類電腦程式可儲存於任何計算機可讀媒質上。計算機可讀媒質可包括儲存裝置，諸如磁碟或光碟、記憶體晶片或適合與通用電腦連接之其他儲存裝置。計算機可讀媒質亦可包括諸如網際網路系統中所例示之硬連線媒質，或GSM行動電話系統中所例示之無線媒質。電腦程式當載入且在此類通用電腦或帶電粒子束控制器上執行時，將有效產生實施該較佳方法之步驟之設備。

本發明亦可建構為硬體模組。更特定言之，就硬體意義而言，模組為設計用於與其他組件或模組一起使用之功能性硬體單元。舉例而言，模組可藉由使用離散電子組件建構，或其可形成全部電子電路之一部分，諸如特殊應用積體電路(ASIC)。存在大量其他可能性。熟習此項技術者應瞭解，該系統亦可建構為硬體與軟體模組之組合。

儘管許多前述描述係針對半導體晶圓，但本發明可應用於任何合適的基板或表面。此外，本文不論何時使用術語「自動的」、「自動化」或類似術語，彼等術語均應該理解為包括手動啟動自動的或自動化製程或步驟。在以下討論中及在申請專利範圍中，術語「包括」及「包含」以一種開放式方式使用，且由此應解釋為意指「包括(但不限於)」。

就本說明書中任何術語未特別定義而言，意圖為術語應被賦予其簡單及普通的含義。隨附圖式意欲輔助理解本發明，且除非另外指示，否則未按比例繪製。

術語「積體電路」係指圖案化於微晶片表面上之電子組件及其互連(統稱為內部電路元件)之集合。術語「半導體晶片」一般係指可與半導體晶圓一體化、與晶圓分隔開、或封裝用於電路板上之積體電路(IC)。術語「FIB」或「聚焦離子束」在本文中用於指任何準直離子束，包括由離子光學器件聚焦之波束及成形離子束。

以上實施例描述3D NAND型結構，但本發明不限於該等結構，且適用於例如DRAMs及表徵渠溝及其他結構，以及圓形孔洞。

就本說明書中任何術語未特別定義而言，意圖為術語應被賦予其簡單及普通的含義。隨附圖式意欲輔助理解本發明，且除非另外指示，否則未按比例繪製。

本發明之一些實施例提供一種使用帶電粒子束曝露所關注特徵之方法，包括：

- 鄰近於該所關注特徵研磨渠溝；

- 使用束誘導沈積以材料填充該渠溝；

- 導引離子束以自需要研磨穿過該沈積材料之角度曝露該所關注特徵；及

- 觀測該經曝露之所關注的特徵。

根據一些實施例，使用波束誘導沈積以材料填充該渠溝包含鄰近於但並非在該所關注特徵頂上沈積材料。

根據一些實施例，導引離子束以自需要研磨穿過沈積材料之角度曝露該所關注特徵：包括導引離子束以自小於10度之角度曝露該所關注特徵。

根據一些實施例：

該填充渠溝包含溝壁；

該溝壁具有最接近該所關注特徵的近端邊緣；且

該溝壁經組態，使得導引離子束以曝露該所關注特徵造成各點被研磨成不同深度。

根據一些實施例，該所關注區域含有多個相同特徵，且其中導引離子束曝露在一個曝露面之不同深度處鄰近於溝壁之多個所關注特徵。

根據一些實施例，導引離子束以自需要研磨穿過沈積材料之角度曝露該所關注特徵包含：曝露平行於束方向之垂直面，以提供所關注特徵之側視圖。

根據一些實施例，導引離子束以自需要研磨穿過沈積材料之角度曝露該所關注特徵包含：曝露與水平面成小於10度且平行於該束方向之面部，以提供所關注特徵之幾乎自上而下之視圖。

根據一些實施例，重複以下步驟：導引離子束以自需要研磨穿過沈積材料之角度曝露該所關注特徵；及觀測該經曝露之所關注的特徵，以提供關於特徵在原始表面下多個深度處之資訊。

本發明之一些實施例提供一種用帶電粒子束使樣品中之所關注特徵曝露的方法，該樣品包含第一材料，該方法包含：

鄰近於該所關注特徵研磨孔洞；

用第二材料填充該孔洞；及

導引離子束以自需要研磨穿過該沈積材料之角度曝露所關注特徵。

根據一些實施例，鄰近於該所關注特徵研磨孔洞包含：沿垂直於樣品表面之方向研磨孔洞。

根據一些實施例，用材料填充該孔洞包含：使用帶電粒子束沈積填充該孔洞。

根據一些實施例，導引離子束以曝露所關注特徵包含：進行掠射角研磨。

根據一些實施例，該方法進一步包含：

在進行掠射角研磨之前再定向樣品；及

用掃描電子顯微鏡使樣品成像。

根據一些實施例，用於填充孔洞之第二材料具有在第一材料之蝕刻速率30%內之蝕刻速率。

根據一些實施例，所關注特徵為高縱橫比結構。

根據一些實施例，用於填充孔洞之第二材料包含鎢、鉕或氧化物。

根據一些實施例，該方法進一步包含重複至少一次以下步驟：進行掠射角研磨及用掃描電子顯微鏡使樣品成像。

根據一些實施例，獲自使樣品成像之資訊經合併以產生樣品之三維資訊。

根據一些實施例，鄰近於該所關注特徵研磨孔洞包含：研磨具有近端邊緣之孔洞，該近端邊緣與該所關注區域之間有角度。

一些實施例提供一種用於曝露樣品中所關注特徵之系統，其包含：

離子光學圓柱，用於提供聚焦離子束；

電子光學圓柱，用於提供聚焦電子束；

粒子偵測器，用於偵測發射自樣品之二級粒子；及

控制器，其與電腦記憶體連通，該電腦記憶體儲存指令用於：

鄰近於該所關注特徵研磨孔洞；

使用帶電粒子束沈積以第二材料填充該孔洞；

導引離子束以自需要研磨穿過沈積材料之角度曝露該所關注特徵，其中研磨穿過沈積材料包含進行掠射角研磨及在進行該掠射角研

磨之前再定向該樣品；及

使用掃描電子顯微鏡使樣品成像。

儘管已詳細地描述了本發明及其優勢，但應理解，在不脫離如由隨附之申請專利範圍界定之本發明之精神及範疇之情況下，本文中可進行各種改變、替代及更改。此外，本申請案之範疇並不意欲限制於說明書中所描述之製程、機器、製造、組合物質、手段、方法及步驟之特定實施例。如一般熟習此項技術者將易於自本發明之揭示內容瞭解，根據本發明，可利用當前存在或日後將開發之執行與本文中所描述之相應實施例實質上相同功能或達成實質上相同結果之製程、機器、製造、組合物質、手段、方法或步驟。因此，隨附申請專利範圍意欲在其範疇中包括此等製程、機器、製造、組合物質、手段、方法或步驟。

【符號說明】

102	步驟
104	步驟
106	步驟
108	步驟
110	步驟
302	樣品
304	開孔
402	孔洞
404	所關注結構
406	開孔
502	沈積材料
602	箭頭
901	步驟

902	步驟
903	步驟
904	步驟
905	步驟
906	步驟
1002	工作件
1004	未填充結構
1004A	未填充結構
1004B	未填充結構
1004D	未填充結構
1004E	未填充結構
1004F	未填充結構
1006	有角溝壁
1008	所關注區域
1010	箭頭
1012	箭頭
1016	近端邊緣
1301	步驟
1302	步驟
1303	步驟
1304	步驟
1402	工作件
1404	溝壁
1406	開孔
1406A	經橫截面特徵
1406B	經橫截面特徵

1408	所關注區域
1410	箭頭/線
1510	雙束系統
1511	聚焦離子束(FIB)系統
1512	上半部分
1514	離子源/液態金屬離子源
1515	萃取電極
1516	圓柱/聚焦圓柱
1517	聚焦元件
1518	聚焦離子束/離子束
1519	系統控制器/控制器
1520	偏轉元件/靜電偏轉件/偏轉板
1522	基板/樣品
1525	可移動置物台/置物台
1526	腔室/下部腔室
1526	下部腔室
1530	渦輪分子及機械泵系統
1532	真空控制器
1534	高電壓電源供應器
1536	偏轉控制器及放大器
1538	圖案產生器
1540	二級電子偵測器
1540	帶電粒子偵測器
1541	掃描電子顯微鏡
1542	視訊電路
1543	電子束

1544	視訊監視器
1545	電源供應及控制單元
1546	氣體傳送系統
1551	光學顯微鏡
1552	陰極
1554	陽極
1556	聚光鏡
1558	接物鏡
1560	偏轉線圈
1561	門
1580	探針運動機械裝置/探針運動總成
1581	探針
1602	樣品
1604	沈積溝壁
1606	所關注特徵
1608	箭頭
1610	區域
1702	樣品
1704	非最佳溝壁
1706	所關注特徵
1708	波束
1710	特徵



申請日:

IPC分類:

公告本

發明摘要

※ 申請案號: 102136309

※ 申請日: 102年10月7日

※IPC 分類: H01L 21/304 (2006.01)

H01L 21/66 (2006.01)

【發明名稱】

使用帶電粒子束曝露樣品中所關注特徵的方法及系統

BULK DEPOSITION FOR TILTED MILL PROTECTION

【中文】

為使檢視用之聚焦離子束所曝露之表面中的偽影減少，而鄰近於所關注區域來研磨渠溝，且填充渠溝以產生溝壁。導引離子束穿過溝壁以曝露所關注區域之一部分用於檢視。渠溝係利用(例如)帶電粒子束誘導式沈積來填充。渠溝典型地自上而下研磨且填充，且接著使離子束相對於樣品表面呈一定角度以曝露所關注區域。

【英文】

To reduce artifacts in a surface exposed by a focused ion beam for viewing, a trench is milled next to the region of interest, and the trench is filled to create a bulkhead. The ion beam is directed through the bulkhead to expose a portion of the region of interest for viewing. The trench is filled, for example, by charged particle beam-induced deposition. The trench is typically milled and filled from the top down, and then the ion beam is angled with respect to the sample surface to expose the region of interest.

申請專利範圍

1. 一種使用一帶電粒子束曝露一樣品中所關注特徵的方法，其包括：
 - 在鄰近於一樣品表面中之該所關注特徵研磨一渠溝；
 - 使用束誘導沈積以一材料填充該渠溝；
 - 導引一離子束以自需要研磨穿過該沈積材料之角度曝露該所關注特徵，該角度係在該樣品表面與該離子束之間之角度，其小於或等於 45° ；及
 - 觀測該經曝露之所關注的特徵。
2. 如請求項1之方法，其中使用束誘導沈積以一材料填充該渠溝包含：鄰近於但非在該所關注特徵頂上沈積材料。
3. 如請求項1或請求項2之方法，其中該角度係在該樣品表面與該離子束之間之角度，其小於或等於 10° 。
4. 如請求項1或請求項2之方法，其中：
 - 經填充之該渠溝包含一溝壁；
 - 該溝壁具有最接近該所關注特徵之一近端邊緣；且
 - 該溝壁經組態使得導引一離子束以曝露該所關注特徵促使在該近端邊緣之各點被研磨至一不同深度。
5. 如請求項4之方法，其中該樣品含有多個相同特徵，且其中導引一離子束曝露在一個曝露面之不同深度處鄰近於該溝壁的多個所關注特徵。
6. 如請求項1或請求項2之方法，其中導引一離子束以自需要研磨穿過該沈積材料之角度曝露該所關注特徵包含：曝露平行於波束方向之垂直面，以提供該所關注特徵之側視圖。
7. 如請求項1或請求項2之方法，其中導引一離子束以自需要研磨

穿過該沈積材料之角度曝露該所關注特徵包含：曝露與水平面呈小於10度且平行於該波束方向之面，以提供該所關注特徵之幾乎自上而下的視圖。

8. 如請求項7之方法，其中重複以下步驟：導引一離子束以自需要研磨穿過該沈積材料之角度曝露該所關注特徵；及觀測該經曝露之所關注特徵，以提供關於該所關注特徵在原表面下多個深度處之資訊。
9. 一種用帶電粒子束曝露一樣品中所關注特徵之方法，該樣品包含一第一材料，該方法包含：
 - 在鄰近於一樣品之表面之該所關注特徵研磨一孔洞；
 - 用一第二材料填充該孔洞；及
 - 導引一離子束以自需要研磨穿過該沈積材料之角度曝露該所關注特徵，其中該角度係在該樣品表面與該離子束之間之角度，其小於或等於45°。
10. 如請求項9之方法，其中鄰近於該所關注特徵研磨一孔洞：包含以垂直於該樣品表面之方向研磨該孔洞。
11. 如請求項9或請求項10之方法，其中用一第二材料填充該孔洞包含：使用帶電粒子束沈積來填充該孔洞。
12. 如請求項9或請求項10之方法，其中導引一離子束以曝露該所關注特徵包含：進行一掠射角研磨。
13. 如請求項12之方法，進一步包含：
 - 在進行該掠射角研磨之前，再定向該樣品；及
 - 用一掃描電子顯微鏡使該樣品成像。
14. 如請求項9或請求項10之方法，其中用於填充該孔洞之該第二材料具有該第一材料之蝕刻速率30%內之一蝕刻速率。
15. 如請求項9或請求項10之方法，其中該所關注特徵為高縱橫比結

構。

16. 如請求項9或請求項10之方法，其中用於填充該孔洞之該第二材料包含鎢、鉑或氧化物。
17. 如請求項13之方法，進一步包含重複以下步驟至少一次：進行一掠射角研磨及用一掃描電子顯微鏡使該樣品成像。
18. 如請求項17之方法，其中獲自使該樣品成像之資訊經組合以產生該樣品之三維資訊。
19. 如請求項9之方法，其中鄰近於該所關注特徵研磨一孔洞包含：研磨該孔洞以具有相對於該樣品成一角度之一近端邊緣。
20. 一種用於曝露一樣品中一所關注特徵之系統，其包含：
 - 一離子光學柱，用於提供聚焦離子束；
 - 一電子光學柱，用於提供聚焦電子束；
 - 一粒子偵測器，用於偵測自該樣品發射之二級粒子；及
 - 一控制器，其與一電腦記憶體通信，該電腦記憶體儲存指令用於：
 - 在鄰近於一樣品表面中之該所關注特徵研磨一孔洞；
 - 使用帶電粒子束沈積以一第二材料填充該孔洞；
 - 藉由再定向該樣品，接著以一角度研磨穿過該沈積之第二材料導引一離子束以曝露該所關注特徵，該角度係在該樣品表面與該離子束之間之角度，其小於或等於 45° ；及
 - 使用掃描電子顯微鏡使該樣品成像。

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（7B）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

302	樣品
304	開孔
404	所關注結構
502	沈積材料

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

（無）