



(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 I686837 B

(45)公告日：中華民國 109 (2020) 年 03 月 01 日

(21)申請案號：107137808

(22)申請日：中華民國 102 (2013) 年 12 月 30 日

(51)Int. Cl. : **H01J37/305 (2006.01)**

(30)優先權：2012/12/31 美國 61/747,515

2012/12/31 美國 61/747,516

(71)申請人：美商 FEI 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)；金賢和 KIM, HYUN HWA (KR)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

JP 2012-146659A

US 3699334A

US 2008/0290291A1

US 2010/0288925A1

US 2012/0067718A1

審查人員：張嘉德

申請專利範圍項數：8 項 圖式數：11 共 37 頁

(54)名稱

用於具有一帶電粒子束之傾斜或偏斜研磨操作之基準設計

(57)摘要

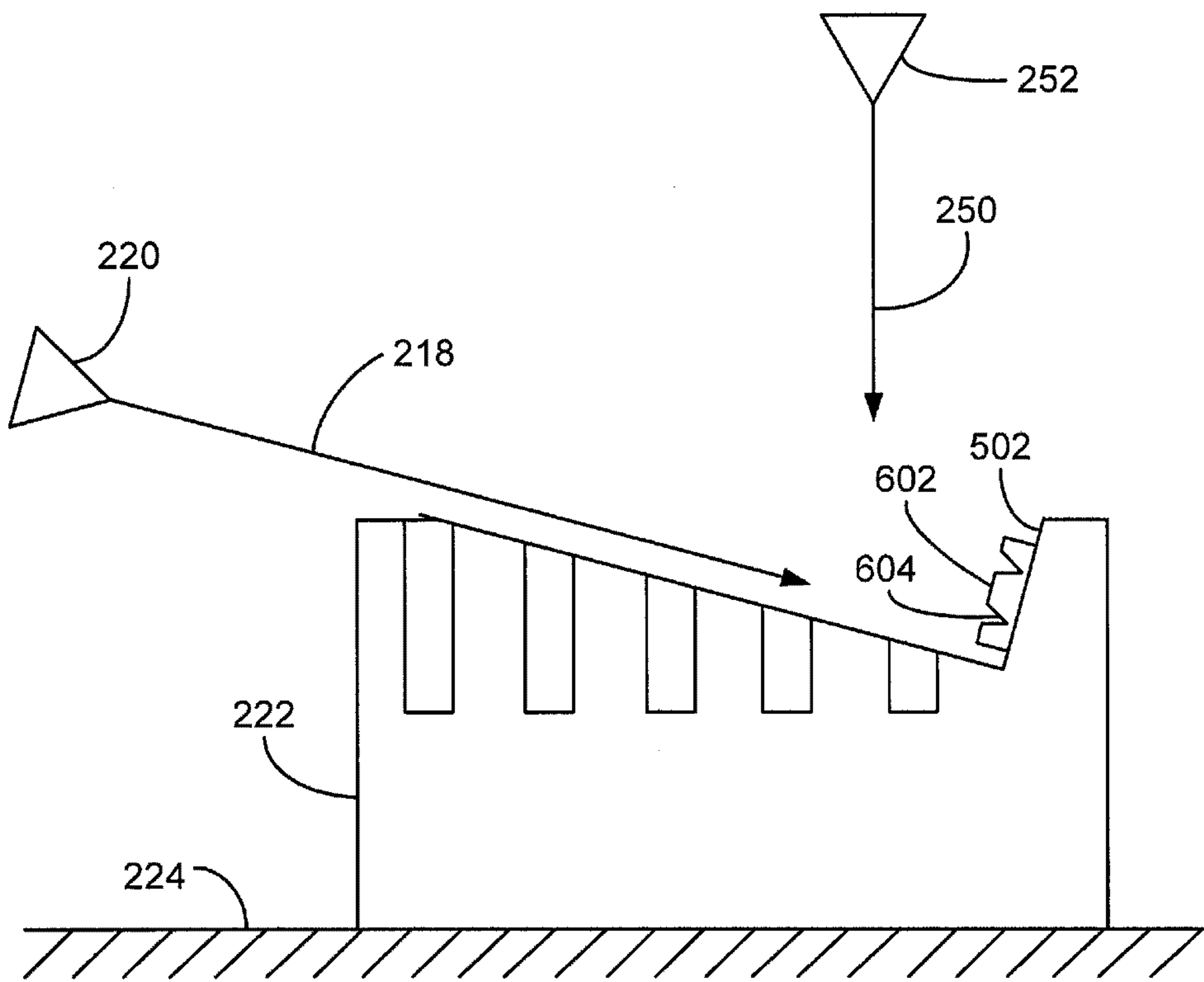
本發明揭示一種用於使用一帶電粒子束分析一樣本之方法，其包含：引導該帶電粒子束朝向樣本表面；研磨該表面以曝露該樣本中之一第二表面，其中與第一表面靠近離子源之端相比，該第二表面遠離離子源之端被研磨至相對於一參考深度之一更大深度；引導該帶電粒子束朝向該第二表面以形成該第二表面之一或多個影像；藉由偵測電子束與該第二表面之相互作用形成多個相鄰關注特徵之截面之影像；將該截面之影像組裝為該等關注特徵之一或多者之三維模型。本發明提出一種用於形成一改良基準並判定一奈米尺度三維結構中之一曝露特徵之深度之方法。

A method for analyzing a sample with a charged particle beam including directing the beam toward the sample surface; milling the surface to expose a second surface in the sample in which the end of the second surface distal to ion source is milled to a greater depth relative to a reference depth than the end of the first surface proximal to ion source; directing the charged particle beam toward the second surface to form one or more images of the second surface; forming images of the cross sections of the multiple adjacent features of interest by detecting the interaction of the electron beam with the second surface; assembling the images of the cross section into a three-dimensional model of one or more of the features of interest. A method for forming an improved fiducial and determining the depth of an exposed feature in a nanoscale three-dimensional structure is presented.

指定代表圖：

符號簡單說明：

- 218 . . . 離子束/射束
- 220 . . . 離子束源
- 222 . . . 樣本
- 224 . . . 樣本載物台
- 250 . . . 電子束
- 252 . . . 電子束源
- 502 . . . 面
- 602 . . . 三維基準
- 604 . . . 圖案



【圖6】



I686837

【發明摘要】

【中文發明名稱】

用於具有一帶電粒子束之傾斜或偏斜研磨操作之基準設計

【英文發明名稱】

FIDUCIAL DESIGN FOR TILTED OR GLANCING MILL
OPERATIONS WITH A CHARGED PARTICLE BEAM

【中文】

本發明揭示一種用於使用一帶電粒子束分析一樣本之方法，其包含：引導該帶電粒子束朝向樣本表面；研磨該表面以曝露該樣本中之一第二表面，其中與第一表面靠近離子源之端相比，該第二表面遠離離子源之端被研磨至相對於一參考深度之一更大深度；引導該帶電粒子束朝向該第二表面以形成該第二表面之一或多個影像；藉由偵測電子束與該第二表面之相互作用形成多個相鄰關注特徵之截面之影像；將該截面之影像組裝為該等關注特徵之一或多者之三維模型。本發明提出一種用於形成一改良基準並判定一奈米尺度三維結構中之一曝露特徵之深度之方法。

【英文】

A method for analyzing a sample with a charged particle beam including directing the beam toward the sample surface; milling the surface to expose a second surface in the sample in which the end of the second surface distal to ion source is milled to a greater depth relative to a reference depth than the end of the first surface proximal to ion source; directing the charged particle beam toward the second surface to form one or more images of the second surface; forming images of the

cross sections of the multiple adjacent features of interest by detecting the interaction of the electron beam with the second surface; assembling the images of the cross section into a three-dimensional model of one or more of the features of interest. A method for forming an improved fiducial and determining the depth of an exposed feature in a nanoscale three-dimensional structure is presented.

【指定代表圖】

圖6

【代表圖之符號簡單說明】

218	離子束/射束
220	離子束源
222	樣本
224	樣本載物台
250	電子束
252	電子束源
502	面
602	三維基準
604	圖案

【發明說明書】

【中文發明名稱】

用於具有一帶電粒子束之傾斜或偏斜研磨操作之基準設計

【英文發明名稱】

FIDUCIAL DESIGN FOR TILTED OR GLANCING MILL
OPERATIONS WITH A CHARGED PARTICLE BEAM

【技術領域】

本發明係關於帶電粒子束研磨，且特定言之係關於一種形成用於一掃描電子顯微鏡之一平坦截面圖之方法。

【先前技術】

帶電粒子束系統用於多種應用，包含微加工裝置(諸如積體電路、磁性記錄頭及光微影術遮罩)之製造、修復及檢驗。諸如可購自FEI公司(本發明之受讓人)之DualBeam儀器之雙射束系統通常包含可提供對靶材損壞最小之一高解析度影像之一掃描電子顯微鏡(SEM)及可用以變更基板並形成影像之一離子束系統(諸如一聚焦或塑形射束系統(FIB))。例如，Hill等人發表之美國專利第7,161,159號中描述此等雙射束系統，該案係以引用方式全部併入本申請案中。在一些雙射束系統中，FIB與垂面定向成諸如52度之一角度，且一電子束柱垂直定向。在其他系統中，電子束柱傾斜且FIB垂直定向或亦傾斜。在一些系統中，上面安裝樣本之載物台通常可傾斜至多達約60度。

一雙射束系統之一常見應用係分析微加工期間的缺陷及其他故障以進行故障檢修、調整並改良微加工程序。缺陷分析有用於包含設計驗證診斷、生產診斷之半導體生產之所有態樣及微電路研究及開發之其他態樣。

由於裝置幾何形狀繼續縮小並且引入新材料，如今的半導體之結構複雜度呈指數增長。使用此等新材料產生之許多結構呈凹狀，從而往回穿透先前層。因此，裝置故障之缺陷及結構原因通常遠遠隱藏在表面下方。

「反處理(deprocessing)」意謂移除結構以曝露下伏結構。反處理有時候為特徵化埋藏結構所必需。當前的反處理技術著重在以一平面方式(研磨經製作以產生正交於裝置表面之表面以容許成像、探測或其他定位技術)對該結構傳遞資料及出入。同樣，切割晶圓或平行研光反處理產生對該結構之一資訊/出入平面。當前成像及故障隔離技術(微探測、掃描-電容顯微法、電壓對比成像)出入此平坦表面以提供結構/計量資料或電資訊以進一步隔離該故障。

因此，缺陷分析通常需要進行橫切及基於三維檢視缺陷。能夠執行三維缺陷分析之更好的系統的重要性更勝於已往。這係因為存在更多被埋藏及/或更小的缺陷，且此外在許多情況下需要進行化學分析。此外，用於缺陷特徵化及故障分析之結構診斷解決方法需要以更少時間傳遞更可靠的結果，從而容許設計者及製造商確信地分析複雜結構故障、瞭解材料成份及缺陷來源並增加良率。

此外，雖然先前技術積體電路中之大部份關注區域局限於一通常平坦區域中之一小體積積體電路(IC)裝置(例如，一SRAM或NAND快閃單元佔據一不同X及Y位置，其中少量有效體積係在Z方向上)，但是進展中的新技術需要在三維中更清楚的隔離關注體積(VOI)。一當前技術關注區域(ROI)之識別通常涉及晶粒上之一X/Y位元位址、一閘極X/Y位址或某種其他基本X/Y定位資料，這係因為有效區域局限於基板晶圓表面。新興3D IC製造技術並未將有效區域限制於Z方向上之一平面。有效區域具有許多

層級的主動裝置。X、Y及Z座標資訊係必需的。

圖1展示用於使用如先前技術中已知之一雙射束SEM/FIB系統曝露一截面之一方法。通常，為分析樣本102內之一特徵，一聚焦離子束(FIB)曝露垂直於具有欲檢視隱藏特徵之樣本材料之表面112之頂部之一截面或面108。因為SEM射束軸106通常相對於FIB射束軸104成一銳角，所以較佳地移除樣本在該面前方的一部分使得SEM射束可出入以成像該面。先前技術方法之一問題係：通常必須沿溝槽長度曝露極多個截面以形成大小足以適當地特徵化溝槽之一組樣本。

對於比由FIB製成之開口更深的特徵，先前技術方法遭遇信雜比減小的問題。其狀況類似於將一閃光投向一深孔中以試圖形成孔之側之一影像。例如，一典型的銅互連溝槽係5奈米(nm)至8奈米(nm)寬乘以120奈米深。來自SEM之許多電子留在溝槽中且未被散射返回至偵測器。

例如，缺陷分析應用中之另一缺點係：必須沿特徵之長度取得許多截面以尋找一缺陷。這可能係一耗時程序。若缺陷位於截面之間，則可能遺漏該缺陷或必須取得更多截面，這增加驗證程序之時間長度。

當使用一離子束以曝露一3D IC或三維奈米尺度結構之一部分以供分析時，可為必要的是不僅精確地判定關注特徵之X-Y座標，而且亦判定Z座標，即特徵在工件表面以下的深度。對於處理奈米尺度的特徵，先前技術並不夠準確。

通常使用基準以定位一樣本工件上之一關注特徵。樣本上使用FIB在一定向下製成之基準並未提供當以另一傾斜定向檢視時用於成像及後續FIB研磨參考之最佳特徵。

【發明內容】

本發明之一實施例係針對一種用於使用一帶電粒子束分析一樣本之方法及系統。該方法之實施例包含：引導一帶電粒子束朝向一樣本之一表面；研磨該表面以曝露該樣本中之一第二表面，其中與第一表面靠近離子源之端相比，該第二表面遠離離子源之端被研磨至相對於一參考深度之一更大深度；引導該帶電粒子束朝向該第二表面以形成該第二表面之一或多個影像；藉由偵測電子束與該第二表面之相互作用形成多個相鄰關注特徵之截面之影像；及將該截面之影像組裝為該等關注特徵之一或多者之三維模型。

本發明之另一實施例係針對一種用於在一樣本上形成一基準之方法及系統。該方法之實施例包含：定位一樣本使得將一帶電粒子束引導至該樣本處以進行一第一研磨操作，該帶電粒子束係以實質上正交於一第二角度之一第一角度引導；將一帶電粒子束引導至該樣本處以在該樣本上研磨實質上平行於該帶電粒子束之一面；在該樣本上研磨實質上平行於該帶電粒子束之一面；在該樣本之研磨面上形成一基準；及定位該樣本使得將該帶電粒子束引導至該樣本處以進行一第二研磨操作，該帶電粒子束係以該第二角度引導，該第二角度相對於該樣本表面不大於10度。

在另一實施例中，使用曝露一奈米尺度三維結構中之一曝露特徵之切口角度及水平特徵相距切口邊緣或一參考標記之距離來判定該特徵之深度。

本發明之實施例亦包含用於執行上文提及方法之系統。該等系統包含一聚焦離子束系統、一掃描電子顯微鏡及一樣本載物台。

【圖式簡單說明】

為更徹底理解本發明及其優勢，現在結合隨附圖式參考下列描述，

其中：

圖1展示使用如先前技術中已知之一雙射束SEM/FIB系統曝露一截面之一方法；

圖2展示以一偏斜角研磨樣本222之頂面之一離子束；

圖3展示在對實質上相似之多個相鄰特徵執行一偏斜角研磨操作之後一樣本工件之一側視圖；

圖3A展示使用來自孔304、306、308及310及不同深度之量測形成之一「虛擬」孔312；

圖4展示在對實質上相似之多個相鄰特徵302至310執行一偏斜角研磨操作之後樣本工件222之一俯視圖；

圖5展示經定向以研磨將接近法向/垂直於最終研磨定向之一面502之樣本工件222之一側視圖；

圖6展示面502上形成三維基準602之樣本工件222之一側視圖；

圖7係展示形成適用於根據本發明之實施例之偏斜角研磨之一基準之步驟之一流程圖700；

圖8展示適用於實施本發明之一或多項實施例之一典型的雙射束FIB/SEM系統800；

圖9係展示執行根據本發明之一或多項實施例之一樣本分析之步驟之一流程圖900；

圖10展示具有三維奈米尺度結構之一工件；及

圖11係展示本發明之另一實施例之一流程圖。

【實施方式】

以引用方式全部併入本文之美國專利申請案第13/710,931號揭示一

種使用一偏斜角研磨技術(其中FIB經定向與樣本表面成一極小角度，較佳地不大於 10° 之一角度)而非使用一正交定向FIB以曝露一系列截面之樣本分析方法。因為離子束經定向相對於樣本表面成此一小角度，所以在離子源對面，研磨去除的樣本材料的量將更大。即，與最接近離子源之端相比，曝露表面在樣本離離子源最遠之端上研磨至一更大深度。這導致曝露表面相對於原始樣本表面具有一向下傾斜。一旦曝露傾斜樣本表面，接著可使用(例如)一電子束自上而下成像該曝露表面。就所提供的結構資訊而言，曝露傾斜表面之影像將基本上係一平面圖與多個截面圖之一組合。

圖2展示以一偏斜角研磨樣本222之頂面之一離子束。在圖2之實施例中，樣本222安裝在一標準 45° 預傾斜樣本座202，其繼而安裝在一離子束系統(諸如一雙射束SEM/FIB)中之一傾斜樣本載物台224上。電子束及離子束經定向使得電子束250法向於一未傾斜樣本載物台且離子束218傾斜成近似 52° 之一角度。在其他實施例中，未使用預傾斜樣本座202且由樣本載物台傾角及/或柱傾角設定樣本之傾角。

根據本發明之實施例，使用偏斜角研磨技術以在漸增深度下形成關注特徵之連續平坦截面圖。連續平坦截面圖接著經重新建構以在深度漸增之方向上形成關注特徵之三維模型(「3D」)。本發明之實施例尤其充分適用於形成實質上相似之多個相鄰特徵(諸如穿矽通孔(TSV))之連續平坦截面圖。材料相距射束源愈遠，一偏斜角研磨移除材料至一更大深度。對於實質上相似之多個相鄰特徵，與更接近射束源之特徵相比，離射束源最遠之特徵被研磨至一更大深度。可選取偏斜角研磨之角度使得形成於多個相鄰特徵之各者上之區段可經重新建構以形成一關注特徵之三維模型。即，可使用一研磨操作而非形成一關注特徵之連續加深截面並將該等截面重新

建構成一3D模型之多個研磨操作來製成該3D模型，從而實質上減小處理時間。

圖3展示在對實質上相似之多個相鄰特徵302至310執行一偏斜角研磨操作之後樣本工件222之一側視圖。聚焦離子束218以相對於樣本工件222之頂面成一偏斜角自離子束源220引導。因此，與特徵304相比，特徵310被研磨至一更大深度。電子束250以相對於樣本工件222之頂面成一近似正交角自電子束源252引導以形成多個相鄰特徵302至310之截面之影像。申請人已認識到，半導體製程通常被充分控制使得經設計以具有相同形狀之鄰近結構實際上基本相似。藉由組合多個基本上相似特徵之不同深度下的量測形成三維影像遠快於研磨單個特徵多次、以不同深度量測單個特徵。

因為多個相鄰特徵302至310實質上相似且在沿特徵之不同深度下製成多個相鄰特徵302至310之截面，所以可由電腦軟體組裝該等特徵之截面之影像以形成逼近特徵之一者之一3D模型。即，在曝露於傾斜表面上之不同深度下量測特徵302、304、306、308及310之直徑。圖3A展示使用來自孔304、306、308及310及不同深度之量測形成之一「虛擬」孔312。雖然虛擬孔312被展示為由四次量測形成之一實例，但是來自相似結構之實際量測次數可能更大。垂直解析度將取決於射束218切割工件之角度及相似特徵之間的距離。即，在一更淺角度下，相鄰結構之量測之間的深度差將更小。若需要較高垂直解析度，則可組合來自相似特徵之三維重新建構程序與額外研磨操作。例如，若來自曝露在不同深度下之相似結構之量測每隔50 nm深度提供一量測，則在初始量測之後，射束218可自傾斜表面研磨25 nm且可執行另一組量測，第二組中之每次量測係來自不

同於第一組中之量測之一深度。例如，第一組中之量測可能係來自深度 100 nm、150 nm、200 nm等。研磨之後的第二組中之測量可能係來自 125 nm、175 nm、225 nm等之深度。組合該兩組量測每隔25 nm垂直高度提供一量測，且可將量測組合成一虛擬特徵。特徵不限於一孔，而是可為重複之任何特徵。步驟基本上係以一淺角度研磨工件。沿研磨面量測曝露在不同深度下之實質上相似特徵之一尺寸。接著，組合不同特徵之量測以判定該等尺寸係一單個虛擬特徵之不同深度。視需要，執行額外研磨步驟及額外量測步驟以在不同深度下提供額外量測以改良虛擬特徵之量測之垂直解析度。

圖4展示在對實質上相似之多個相鄰特徵302至310執行一偏斜角研磨操作之後樣本工件222之一俯視圖。

取決於研磨角度及多個相鄰特徵之幾何形狀及間隔，可能必須在漸增深度下執行若干偏斜角研磨以獲得足夠多的截面以給3D模型提供足夠大解析度。例如，若研磨角度過於陡峭或多個相鄰特徵在水平方向上過於分開或二者皆是，則相鄰特徵之截面在垂直方向上可能過於分開。即，相鄰特徵之截面的深度可能不夠接近且兩個相鄰特徵之截面之間在垂直方向上可存在一間隙。可執行一後續偏斜角研磨操作以獲得一更大深度之第二組截面影像。

在一些半導體應用中，多個相鄰特徵可具有小於10奈米(nm)之尺寸。因此，後續偏斜角研磨操作可比先前偏斜角研磨操作僅深1 nm至2 nm。研磨操作之準確佈置對於獲得準確截面及一準確3D模型係至關重要。然而，因為FIB係以一偏斜角引導，所以使用關注特徵之影像來準確佈置射束存在困難。通常使用基準以定位一樣本工件上之特徵。然而，用

於定位一樣本工件上之特徵之典型的基準被佈置在樣本工件之頂面上以進行自上而下射束成像。佈置在樣本工件之頂面上之基準對於偏斜角研磨操作具有若干缺點。基準通常被佈置在樣本工件之頂面上。FIB之偏斜角使得由於射束佈置而難以使用FIB觀察樣本工件之頂面上之一基準。又，因為後續偏斜角研磨操作可比先前偏斜角研磨操作僅深1 nm至2 nm，所以樣本工件之頂面上之基準可能與研磨表面底部相距過遠而不能對準確射束佈置提供一參考。

根據本發明之實施例，在更法向於FIB之最終研磨位置之一定向下產生一基準。因此，這需要產生將接近法向/垂直於最終研磨定向之一研磨面，接著將樣本定向至研磨位置並在研磨面中產生基準。圖5展示經定向以研磨將接近法向/垂直於最終研磨定向之一面502之樣本工件222之一側視圖。樣本工件222可藉由使樣本載物台旋轉180度並使載物台傾斜而佈置在此定向上，使得離子束218在執行偏斜角研磨操作時實質上垂直或法向於離子束入射角。當執行偏斜角研磨操作時，面502亦實質上垂直或法向於離子束入射角，從而在射束成像及圖案化期間實現用於參考之一較高品質基準。接著在面502中研磨一基準。

替代地，可在面502上形成三維基準。以引用方式全部併入本文之美國專利申請案第13/112,981號揭示一樣本之一表面上將一可偵測範圍擴展至三維之三維基準。三維(「3D」)基準係可同時由不同角度辨識之一單個參考點。3D基準係藉由在一關注區域附近之一樣本上沈積一材料塊且接著將獨特圖案研磨至頂部及諸側而建立。此等圖案相對於背景塊材料將具有不同亮度及對比度值以容許影像辨識。可由一或多個射束及各個載物台傾角及旋轉位置辨識基準。3D基準容許使用影像辨識在一幾乎垂直平面

上進行FIB切割佈置。例如，可將一基準標記切割為一凸起鉑墊之頂部及側，從而容許由此偏斜角進行離子束影像辨識。

圖6展示在面502上形成三維基準602之樣本工件222之一側視圖。3D基準602係藉由使用電子束250或離子束218及已知沈積方法在面502上沈積一材料而形成。3D基準602可包含蝕刻在基準中之改良基準602之對比度及可讀性之一或多個圖案604。可使用基準602更精確引導離子束218，這係因為基準602實質上法向於離子束218。又，基準602及圖案604更接近使用偏斜角研磨操作而研磨之表面且提供優於頂面基準之一改良參考點。

圖7係展示形成適用於根據本發明之實施例之偏斜角研磨之一基準之步驟之一流程圖700。該方法開始於開始區塊702。在步驟704處，使樣本旋轉且傾斜使得將FIB引導至樣本處在樣本上產生在一偏斜角研磨操作期間實質上法向於FIB之一面。在步驟706處，將FIB引導至樣本處以在樣本上產生在一偏斜角研磨操作期間實質上法向於FIB之一面。在步驟708處，在樣本上在一偏斜角研磨操作期間實質上法向於FIB之面上沈積或蝕刻一基準。亦可使用一圖案蝕刻一沈積材料以改良對比度/辨識度。在步驟710處，使樣本旋轉且傾斜使得將FIB引導至樣本工件處執行一偏斜角研磨操作。

圖8展示用以實施本發明之一或多項實施例之一典型的雙射束FIB/SEM系統800。聚焦離子束系統800包含具有一上部頸部812之一抽空外殼811，其中定位一離子源814及包含提取器電極及一靜電光學系統之一聚焦柱816。離子束818自離子源814行進穿過柱816且在示意地指示為820之靜電偏轉構件之間行進朝向樣本822，樣本822包括(例如)位於下部

腔室826內之可移動樣本載物台824上之一半導體裝置。一離子泵828係用來抽空頸部812。使用渦輪分子及泵抽系統830在真空控制器832的控制下抽空腔室826。真空系統在腔室826內提供近似 1×10^{-7} Torr與 5×10^{-4} Torr之間之一真空。若使用一蝕刻輔助氣體、一蝕刻阻滯氣體或一沈積前驅體氣體，則腔室背景壓力通常可提高至約 1×10^{-5} Torr。

高電壓電源供應器834連接至離子源814及聚焦柱816中之適當電極以形成一離子束818且向下引導該離子束818。根據由圖案產生器838提供之一規定圖案操作之離子束偏轉控制器836耦合至偏轉板820，藉此可控制射束818以在樣本822之上表面上描繪出一對應圖案。如此項技術中已知，在一些系統中，在最後的透鏡前面佈置偏轉板。

離子源814通常提供銻之一金屬離子束，但是亦可使用其他離子源，諸如多交點或其他電漿離子源。離子源814通常能夠被聚焦至樣本822處之一亞十分之一微米寬射束中以藉由離子研磨、增強型蝕刻、材料沈積修改樣本822或用於成像樣本822之目的。用於偵測二次離子或電子發射以用於成像之一帶電粒子倍乘器840連接至放大器842。所放大信號藉由信號處理器單元843轉換為數位信號且經歷信號處理。所得數位信號將在監視器844上顯示工件822之一影像。

FIB系統800亦具有一掃描電子顯微鏡841連同掃描電子顯微鏡電源供應器及控制845。藉由在一陰極852與一陽極854之間施加電壓自陰極852發射一電子束850。電子束850藉由一聚光透鏡856及一物鏡858聚焦至一細斑點。藉由一偏轉線圈860在樣品上二維掃描電子束850。聚光透鏡856、物鏡858及偏轉線圈860之操作受控於掃描電子顯微鏡電源供應器及控制845。

電子束850可聚焦至工件822上，工件822係在下部腔室826內之樣本載物台824上。當電子束中之電子撞擊工件822時，發射二次電子。此等二次電子係由連接至一放大器842之二次電子偵測器840或反向散射電子偵測器862來偵測。所放大信號藉由信號處理器單元843轉換為數位信號且經歷信號處理。所得數位信號將在監視器844上顯示工件822之一影像。

一氣體傳遞系統846延伸至下部腔室826中以朝樣本822引入並引導一氣態水蒸汽。Casella等人發表之「Gas Delivery Systems for Particle Beam Processing」且讓渡給本發明之受讓人之美國專利第5,851,413號描述一合適的流體傳遞系統。Rasmussen發表之一「Gas Injection System」且亦讓渡給本發明之受讓人之美國專利第5,435,850號中描述另一氣體傳遞系統。

門870敞開以將樣本822插入至樣本載物台824 (其可被加熱或冷卻)上且亦維修一內部氣體供應貯存槽(若使用)。門經連鎖使得系統在真空下時不能敞開門。高電壓電源供應器將一適當加速電壓提供給離子束柱816中之電極以供能給且聚焦離子束818。例如，合適的雙射束FIB/SEM系統可購自俄勒岡州Hillsboro的FEI公司(本發明之受讓人)。

圖9係展示執行根據本發明之一或多項實施例之一樣本分析之步驟之一流程圖900。程序開始於區塊902。在步驟904處，將離子束218引導至樣本222之一第一表面處以研磨樣本222之至少一部分。基準602被用作離子束佈置之一參考。在一較佳實施例中，第一表面係樣本222之頂面且以一偏斜角而非以與頂面成一近似垂直角度將離子束218引導至頂面之一邊緣。在步驟906處，離子束218研磨第一表面以曝露樣本222中之一第二表

面，其中與第一表面靠近離子源814之端相比，第二表面遠離離子源814之端被研磨至相對於一參考深度之一更大深度。即，沿曝露第二表面之長度，與第二表面最接近射束源之端相比，第二表面離射束源最遠之端被研磨至一更大深度。歸因於射束相對於第一表面之角度產生深度差。因為該角度係一偏斜角，所以可使沿整個第二表面之深度差僅與待分析之特徵一樣深。在步驟908處，將來自SEM 841之電子束850引導至第二表面以形成第二表面之一影像。在步驟910處，藉由偵測電子束與第二表面之相互作用形成多個相鄰關注特徵之截面之影像。例如，可使用二次電子偵測器840或反向散射電子偵測器862以由當將電子束850引導至樣本822之第二表面處時發射之二次電子形成影像。在步驟912處，將形成於步驟910中之影像組合以形成關注特徵之三維模型。

當使用一FIB以一角度移除材料時，有利於在一給定位置處規定一深度。使用相距表面上之一位置之一偏差，可基於研磨角將材料移除至一目標高度。即，運用一聚焦離子束之一所得研磨角之一已知角度，可依據曝露面偏離表面標記/基準之位置計算曝露面之深度之位置。使用該計算，可定位FIB以使得其在以一角度研磨時跨一目標深度下之一給定點。

圖10展示其中將一斜面1004切割至一工件之一頂面1012中之一3D積體電路1002之一部分。精確地已知由聚焦離子束切割表面1004之角度 θ 。接著可使用相距傾斜開始之水平距離 X_1 準確地判定一特徵1020之深度。就三角學而言，深度 Z 等於 θ 的正切乘以 X_1 。 X_1 可能難以判定，這係因為指示傾斜開始之一線1008可能由於表面1004與表面1012之間的角度小而難以精確定位。諸如一基準標記1010之一參考特徵(而非使用線1008作為一參考特徵)可在頂面中研磨且用以由基準標記與線1008之間的已知距離

判定 X_2 (其接著可用以判定 X_1)。一現有特徵亦可在關注特徵附近被找到且用作一參考。參考特徵較佳地足夠接近關注特徵使得一電子束或離子束可在不移動載物台的情況下成像關注特徵及參考特徵二者。「水平距離」意謂在頂面1012之平面中且在法向於線1008之一方向上對一對應於法向於特徵之頂面平面之投射之一點至頂面平面上之距離。

圖11描述曝露一結構且判定曝露結構之表面以下的深度之一方法。在步驟1102中，定位一工件上之一關注區域。例如，使用電腦輔助設計(CAD)資料定位關注區域以在一晶圓座標系統中提供區域座標。在選用步驟1104中，研磨與關注區域相鄰之一基準標記。在步驟1106中，較佳地使用一聚焦離子束研磨一淺溝槽以曝露埋藏特徵。較佳地以相距基準或其他參考特徵之一規定距離研磨溝槽。在一些實施例中，可單單使用晶圓座標且不使用一局部參考標記來判定溝槽位置，但是使用一局部參考標記會增加準確度。

在步驟1106中研磨溝槽之後，在步驟1108中藉由量測溝槽開始與基準之間的距離 X_3 確認溝槽相對於基準之位置 X_3 。例如，這可藉由使用一SEM自上而下觀察基準及溝槽開始而執行，或樣本可傾斜以提供溝槽之一不同角度視圖。若在斜面上觀察到一特徵1020，則在步驟1110中可藉由量測平行於 X - Y 平面中之 Y 軸的自基準標記至特徵之距離來準確判定該特徵之深度。如上所述，接著可將特徵的深度計算為 θ 的正切乘以 X_1 ，其中 X_1 等於 X_2 (自基準至特徵之距離)減去基準與邊緣1008之間的距離。在步驟1112中，可使用步驟1110中之深度判定在一已知深度下執行額外處理。

本發明之實施例可用以指示深度以在一所要深度下執行額外研磨或

其他處理。即，相距基準之水平距離可用以判定一曝露特徵之深度或可用以判定執行額外處理之深度。

本發明之實施例係針對一種用於使用一帶電粒子束分析一樣本之方法。該方法包括：引導一帶電粒子束朝向一樣本之一第一表面；研磨該第一表面以曝露該樣本中之一第二表面，其中與該第一表面靠近離子源之端相比，該第二表面遠離離子源之端被研磨至相對於一參考深度之一更大深度；引導該帶電粒子束朝向該第二表面以形成該第二表面之一或多個影像；藉由偵測電子束與該第二表面之相互作用形成多個相鄰關注特徵之截面之影像；及將該截面之影像組裝為該等關注特徵之一或多者之三維模型。可由一離子束執行該研磨。可使用一電子束形成該等影像。

該方法可包含研磨該第二表面以曝露一第三表面，在該樣本內該第三表面深於該第二表面；引導該帶電粒子束朝向該第三表面以形成該第三表面之一或多個影像；藉由偵測該電子束與該第三表面之相互作用形成該多個相鄰關注特徵之截面之影像。可採用由該第二表面形成之影像及由該第三表面形成之影像形成該等關注特徵之一或多者之三維模型。

本發明之實施例係針對一種用於在一樣本上形成一基準之方法。該方法包括：定位一樣本使得將一帶電粒子束引導至該樣本處以進行一第一研磨操作，該帶電粒子束係以實質上正交於一第二角度之一第一角度引導；將一帶電粒子束引導至該樣本處以在該樣本上研磨實質上平行於該帶電粒子束之一面；在該樣本上研磨實質上平行於該帶電粒子束之一面；在該樣本之研磨面上形成一基準；及定位該樣本使得將該帶電粒子束引導至該樣本處以進行一第二研磨操作，該帶電粒子束係以該第二角度引導，該第二角度相對於該樣本表面不大於10度。在一些實施例中，該第二角度相

對於該樣本表面不大於5度。在其他實施例中，該第二角度相對於該樣本表面不大於1度。

本發明之實施例亦係針對一種分析三維顯微結構之方法，該方法包括：定位工件上之一關注區域；以一規定角度在該工件中切割一溝槽，該溝槽曝露一關注特徵；判定該溝槽邊緣與該關注特徵之間的水平距離；及由該規定角度及該水平距離判定該關注特徵在該工件表面之平面下方的深度。該方法可包含判定該溝槽邊緣與該關注特徵之間的水平距離，其包括判定一參考標記與該關注特徵之間的水平距離及判定該參考標記與該溝槽邊緣之間的水平距離。該方法可包含在該關注區域附近使用一聚焦離子束來研磨一參考標記。在一些實施例中，該參考標記係該工件上之一預先存在特徵。該方法可包含在由該等水平距離判定之一規定深度下處理該工件。

本發明之實施例亦係針對用於執行本文中描述之該等方法之任一者之系統，該系統包括一聚焦離子束系統、一電子顯微鏡及用於支撐一樣本之一樣本載物台。

本發明之較佳實施例亦使用一粒子束設備(諸如一FIB或SEM)以使用一粒子束成像一樣本。用以成像一樣本之此等粒子固有地與該樣本相互作用，從而導致一定程度的物理轉變。進一步言之，遍及本說明書，利用諸如「分析」、「計算」、「判定」、「量測」、「產生」、「偵測」、「形成」等等之術語之論述亦係指一電腦系統或類似電子裝置(將表示為該電腦系統內之物理數量之資料操控並轉變為類似地表示為該電腦系統或其他資訊儲存、傳輸或顯示裝置內之物理數量之其他資料)之動作及程序。

本發明具有廣泛適用性且可提供如上述實例中描述且展示之許多好處。實施例將取決於特定應用而大幅改變，且並非每一項實施例皆將提供所有好處並滿足可由本發明達成之所有目的。例如，適用於實行本發明之粒子束系統可購自FEI公司(本申請案之受讓人)。

雖然先前描述大部分係針對半導體晶圓，但是本發明亦可應用於任何合適的基板或表面。進一步言之，本文中無論何時使用術語「自動」、「自動化」或類似術語，應明白該等術語包含自動或自動化程序或步驟之手動起始。在下列描述及申請專利範圍中，術語「包含」及「包括」係以一開放式方式使用，且因此應被解譯為意謂「包含但不限於……」。術語「積體電路」係指一組電子組件及其圖案化在一微晶片之表面上之互連件(統稱為內部電路元件)。術語「半導體晶片」一般係指積體電路(IC)，其可與一半導體晶圓成一體、自一晶圓分割或經封裝以在一電路板上使用。術語「FIB」或「聚焦離子束」在本文中係用以指任何準直離子束，包含由離子光學器件聚焦之一射束及塑形離子束。

就本說明書中未具體定義任何術語而言，其用意係：術語被賦予其普通平常的意義。隨附圖式旨在輔助理解本發明且除非另有指示，否則隨附圖式並非按比例繪製。

雖然已詳細描述本發明及其優勢，但是應瞭解本文中可在不脫離如由隨附申請專利範圍定義之本發明之精神及範疇的情況下作出各種改變、替代及變更。此外，本申請案之範疇不旨在限於本說明書中描述之程序、機器、製造、組合物、手段、方法及步驟之特定實施例。如一般技術者將根據本發明之揭示內容容易明白，可根據本發明利用當前存在或後期開發之執行與本文中描述之對應實施例實質上相同功能或達成實質上相同結果

之程序、機器、製造、組合物、手段、方法或步驟。因此，隨附申請專利範圍旨在使此等程序、機器、製造、組合物、手段、方法或步驟包含在其等範疇內。

【符號說明】

102	樣本
104	聚焦離子束射束軸
106	掃描電子顯微鏡射束軸
108	截面/面
112	表面
202	樣本座
218	離子束/射束
220	離子束源
222	樣本
224	樣本載物台
250	電子束
252	電子束源
302	孔/特徵
304	孔/特徵
306	孔/特徵
308	孔/特徵
310	孔/特徵
312	虛擬孔
502	面

602	三維基準
604	圖案
700	流程圖
702	區塊
704	步驟
706	步驟
708	步驟
710	步驟
712	區塊
800	雙射束聚焦離子束/掃描電子顯微鏡系統
811	外殼
812	頸部
814	離子源
816	聚焦柱
818	離子束
820	靜電偏轉構件/偏轉板
822	樣本
824	樣本載物台
826	下部腔室
828	離子泵
830	泵抽系統
832	真空控制器
834	高電壓電源供應器

836	離子束偏轉控制器
838	圖案產生器
840	帶電粒子倍乘器/二次電子偵測器
841	掃描電子顯微鏡
842	放大器
843	信號處理器單元
844	監視器
845	掃描電子顯微鏡電源供應器及控制
846	氣體傳遞系統
850	電子束
852	陰極
854	陽極
856	聚光透鏡
858	物鏡
860	偏轉線圈
862	反向散射電子偵測器
870	門
900	流程圖
902	區塊
904	步驟
906	步驟
908	步驟
910	步驟

912	步驟
914	區塊
1002	積體電路
1004	斜面
1008	線/邊緣
1010	基準標記
1012	頂面/表面
1020	特徵
1102	步驟
1104	步驟
1106	步驟
1108	步驟
1110	步驟
1112	步驟
X ₁	水平距離
X ₂	自基準至特徵之距離
X ₃	溝槽開始與基準之間的距離

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種用帶電粒子束分析樣本之方法，該方法包括：

將一離子束由一離子束源導向一樣本的第一表面；

研磨該第一表面以暴露該樣本中的第二表面，其中該第二表面遠離該離子束源之端被研磨至相對於一參考深度比該第一表面遠離該離子束源之端之一更大深度；

將一電子束導向該第二表面以形成該第二表面的一個或多個影像；

藉由檢測該電子束與該第二表面的相互作用，形成多個相鄰的關注特徵的截面的影像；

將截面的影像組合成一個或多個關注特徵的三維模型。

【第2項】

如請求項1之方法，進一步包括：

銑削該第二表面以暴露一第三表面，該第三表面在樣品內比第二表面更深；

將該電子束導向該第三表面以形成該第三表面的一個或多個影像；

藉由檢測該電子束與該第三表面的相互作用，形成多個相鄰的關注特徵的截面的影像。

【第3項】

如請求項2之方法，其中，假設從第二表面形成的影像和從第三表面形成的影像形成一個或多個關注特徵的三維模型。

【第4項】

如請求項1之方法，其中該研磨藉由該離子束進行。

【第5項】

一種帶電粒子束系統，其被編程以執行以下步驟：

將一離子束由一離子束源導向一樣本之第一表面；

研磨該第一表面以暴露樣本中之第二表面，其中該第二表面遠離該離子束源之端被研磨至相對於一參考深度比該第一表面遠離該離子束源之端之一更大深度；

將一電子束導向該第二表面以形成該第二表面的一個或多個影像；

藉由檢測該電子束與該第二表面的相互作用，形成多個相鄰的關注特徵的截面的影像；

將截面的影像組合成一個或多個關注特徵的三維模型。

【第6項】

如請求項5之帶電粒子束系統，進一步被編程以執行以下步驟：

銑削該第二表面以暴露一第三表面，該第三表面在樣品內比第二表面更深；

將該電子束導向該第三表面以形成該第三表面的一個或多個影像；

藉由檢測該電子束與該第三表面的相互作用，形成多個相鄰的關注特徵的截面的影像。

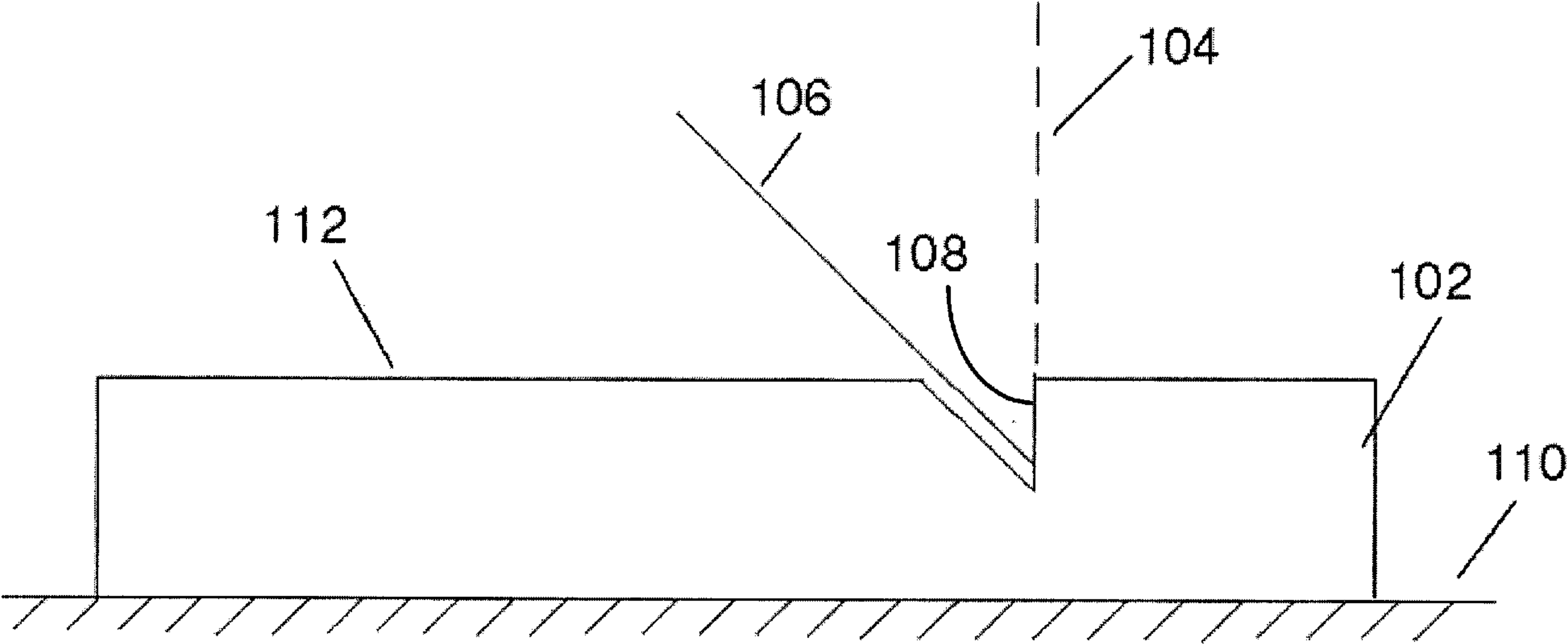
【第7項】

如請求項6之帶電粒子束系統，其中，假設從第二表面形成的影像和

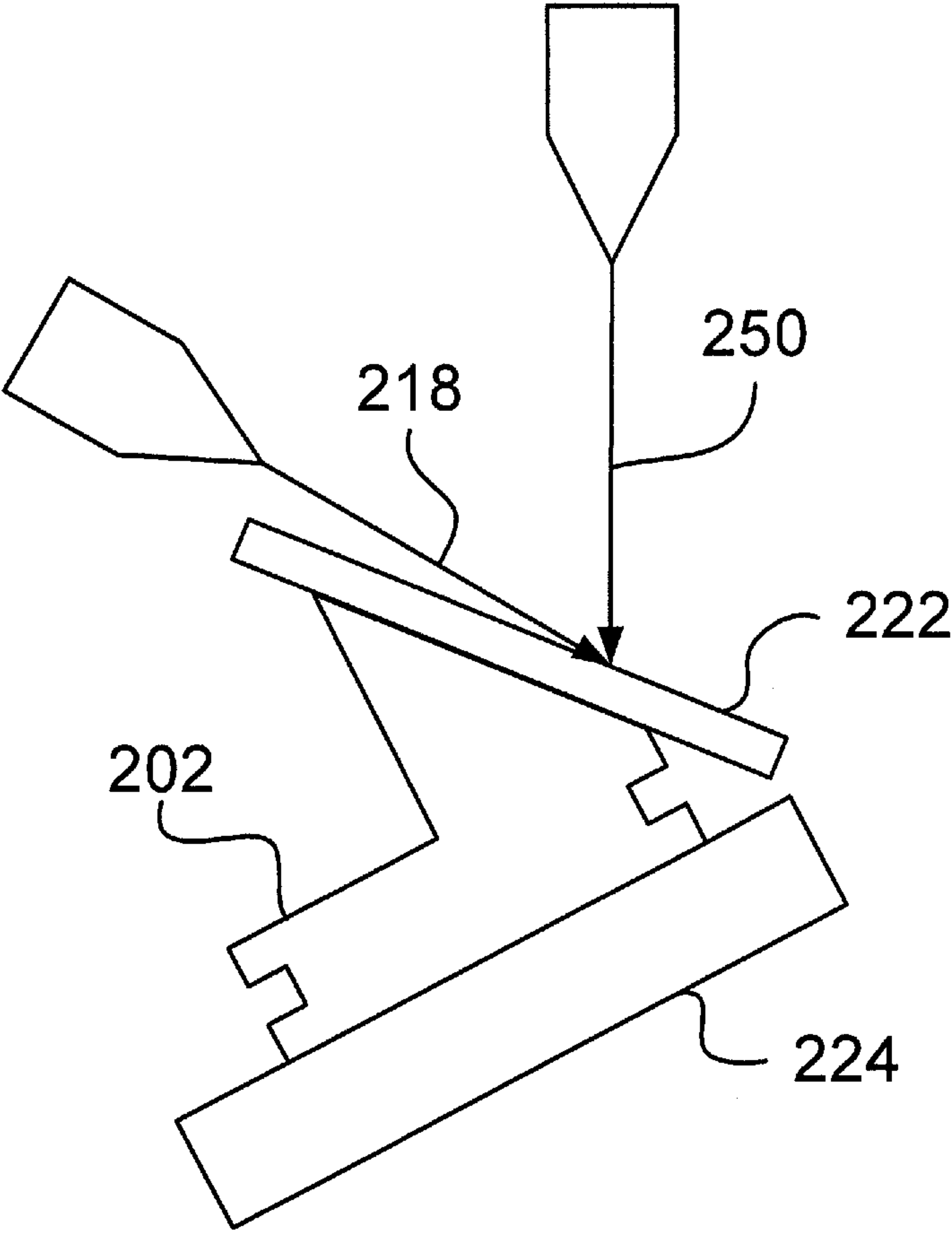
從第三表面形成的影像形成一個或多個關注特徵的三維模型。

【第8項】

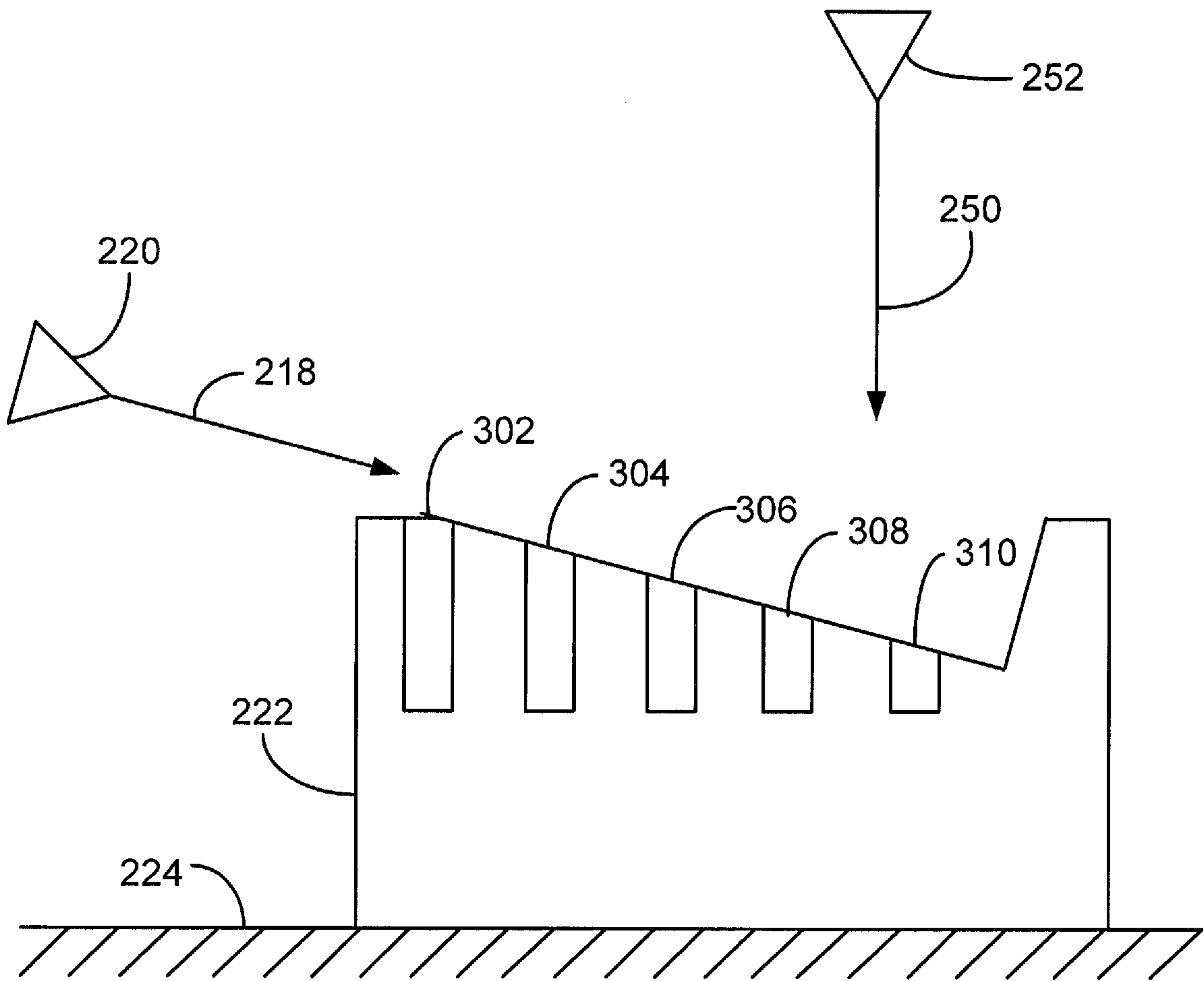
如請求項5之帶電粒子束系統，其中該研磨藉由該離子束進行。



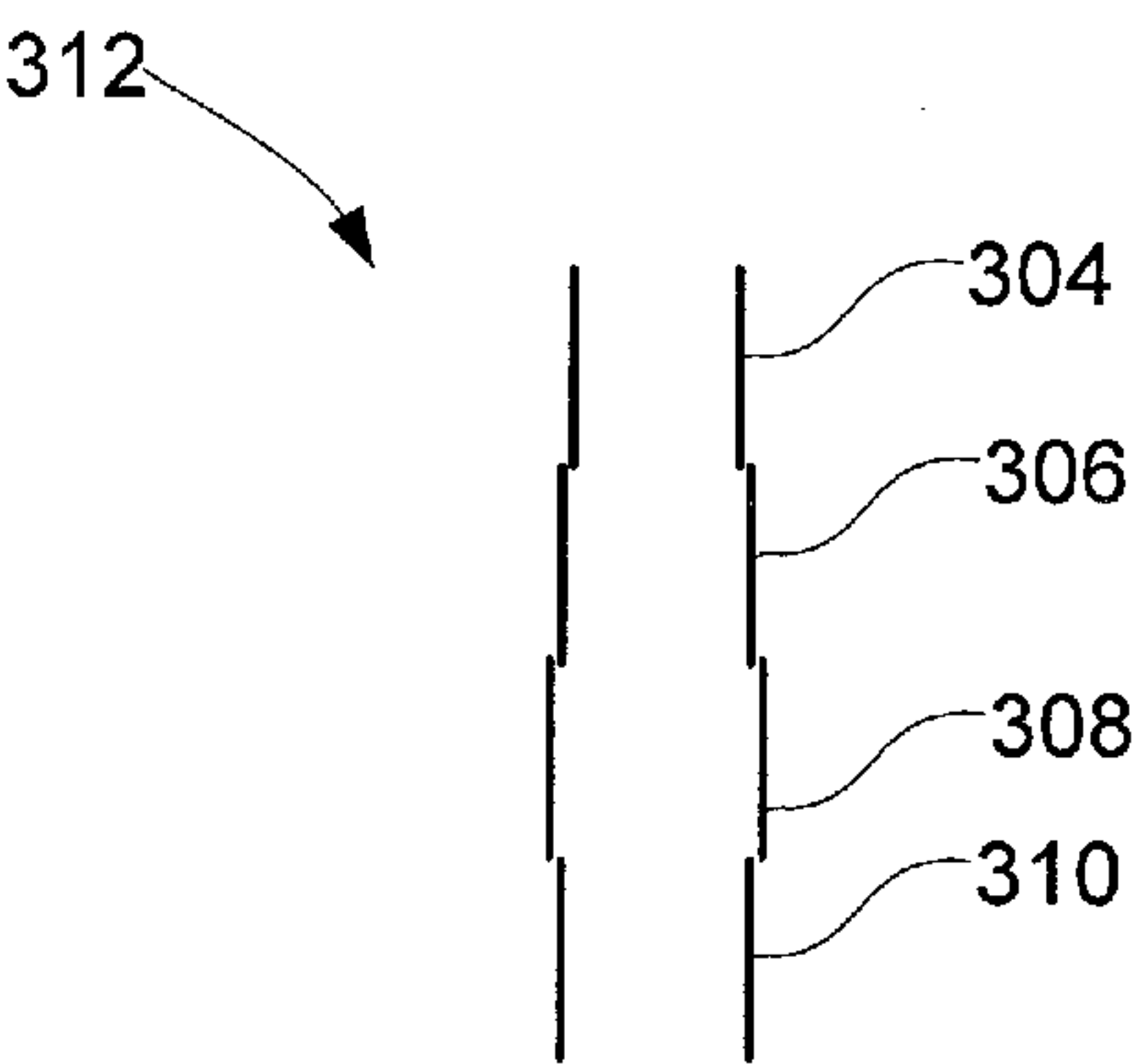
【圖1】



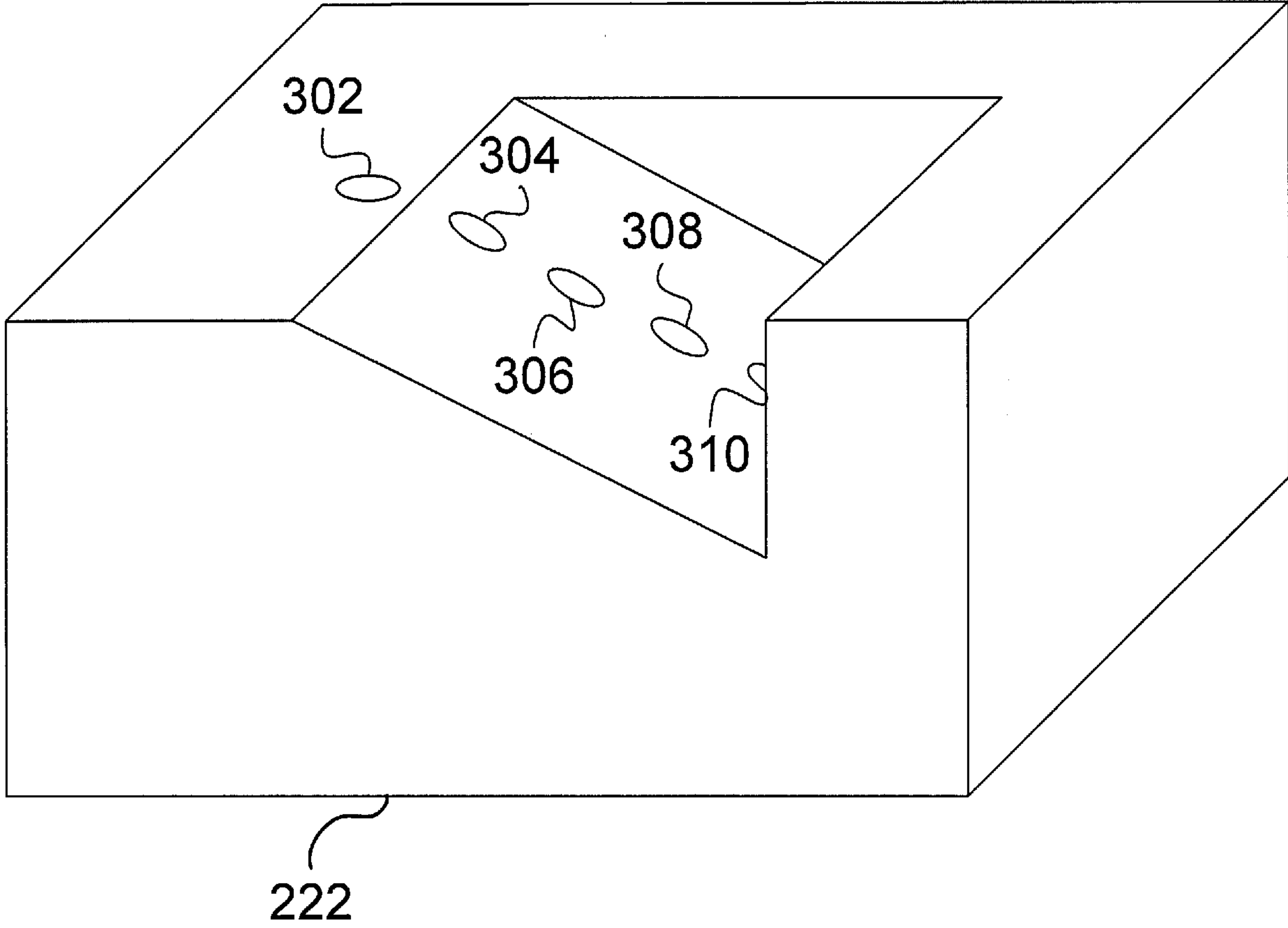
【圖2】



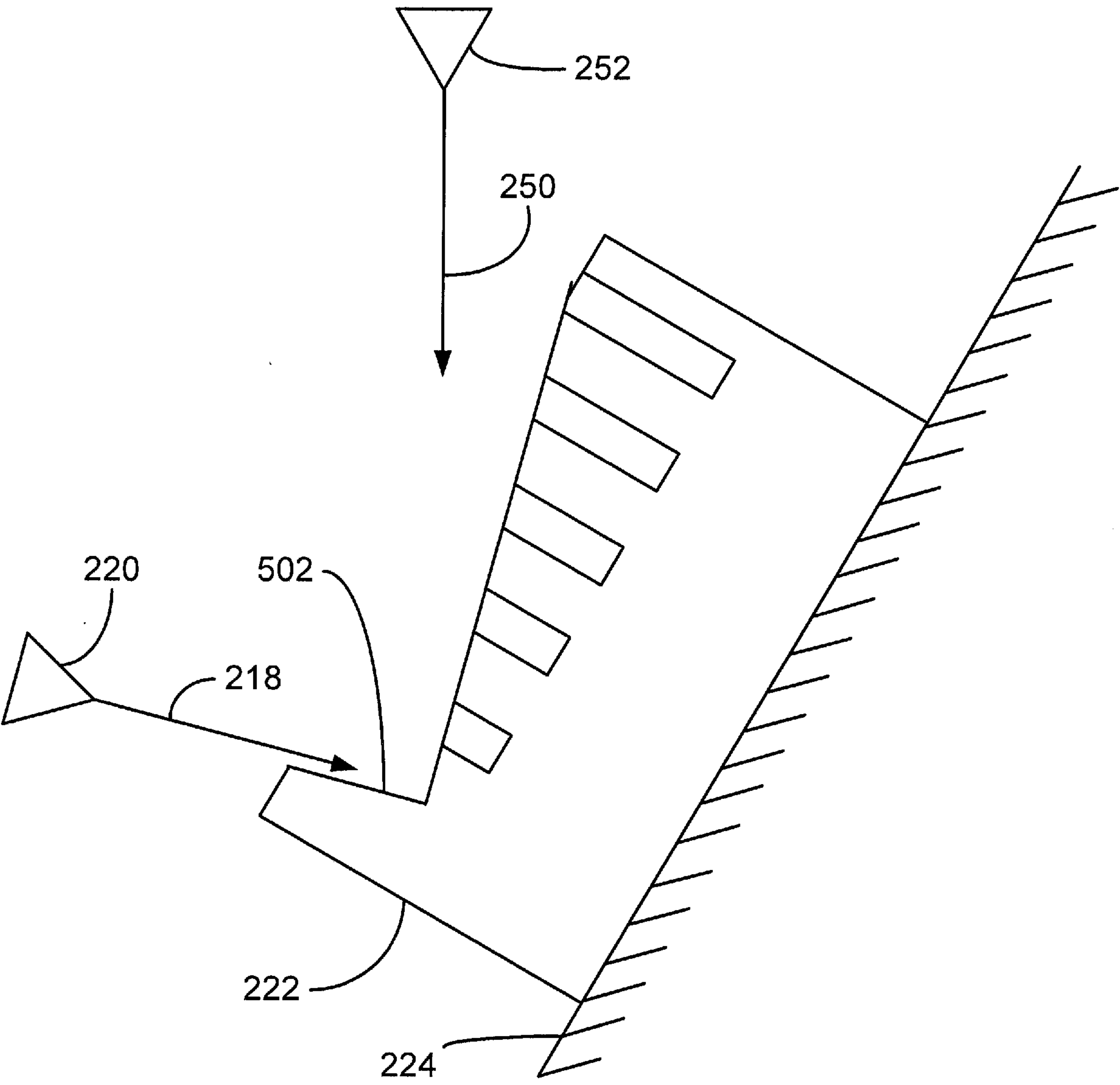
【圖3】



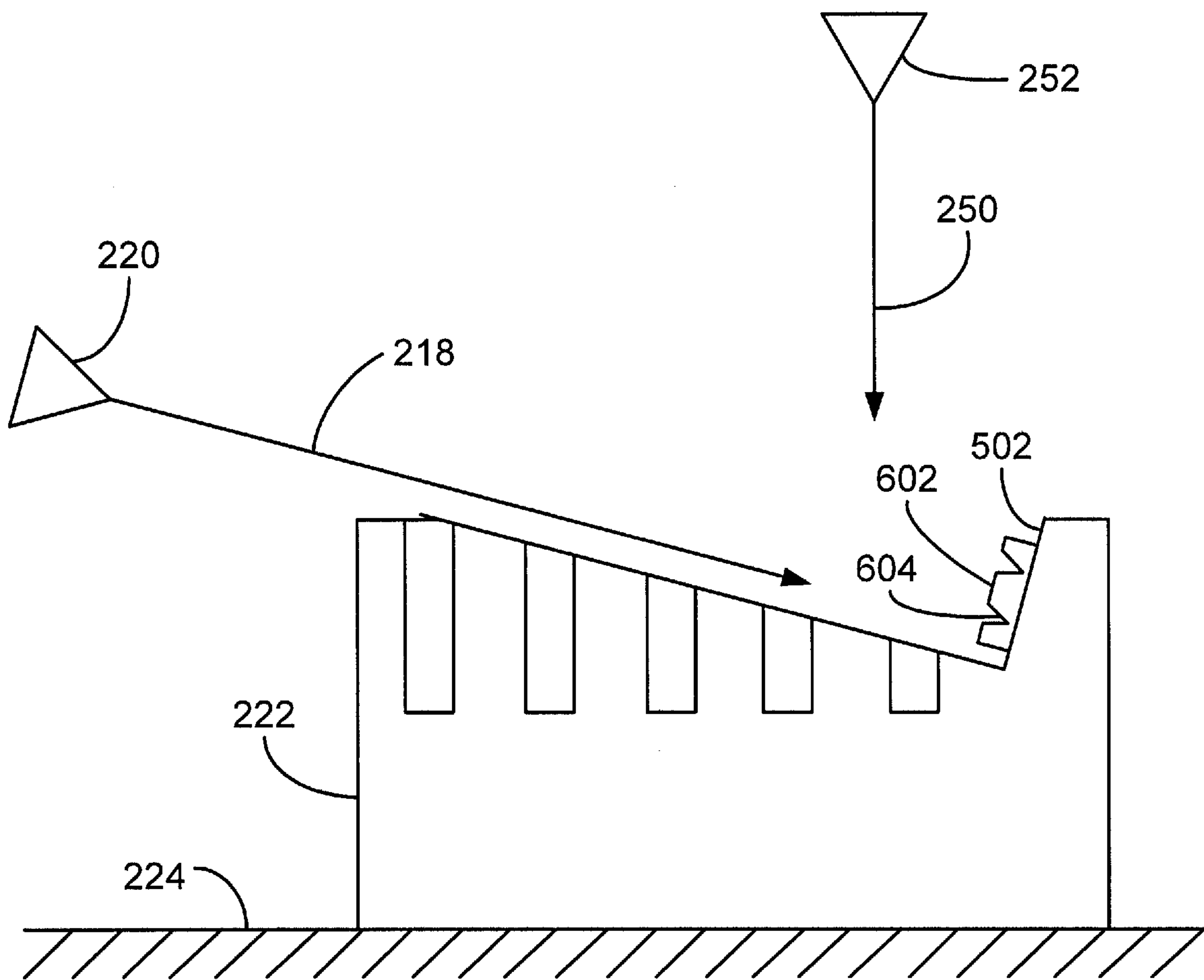
【圖3A】



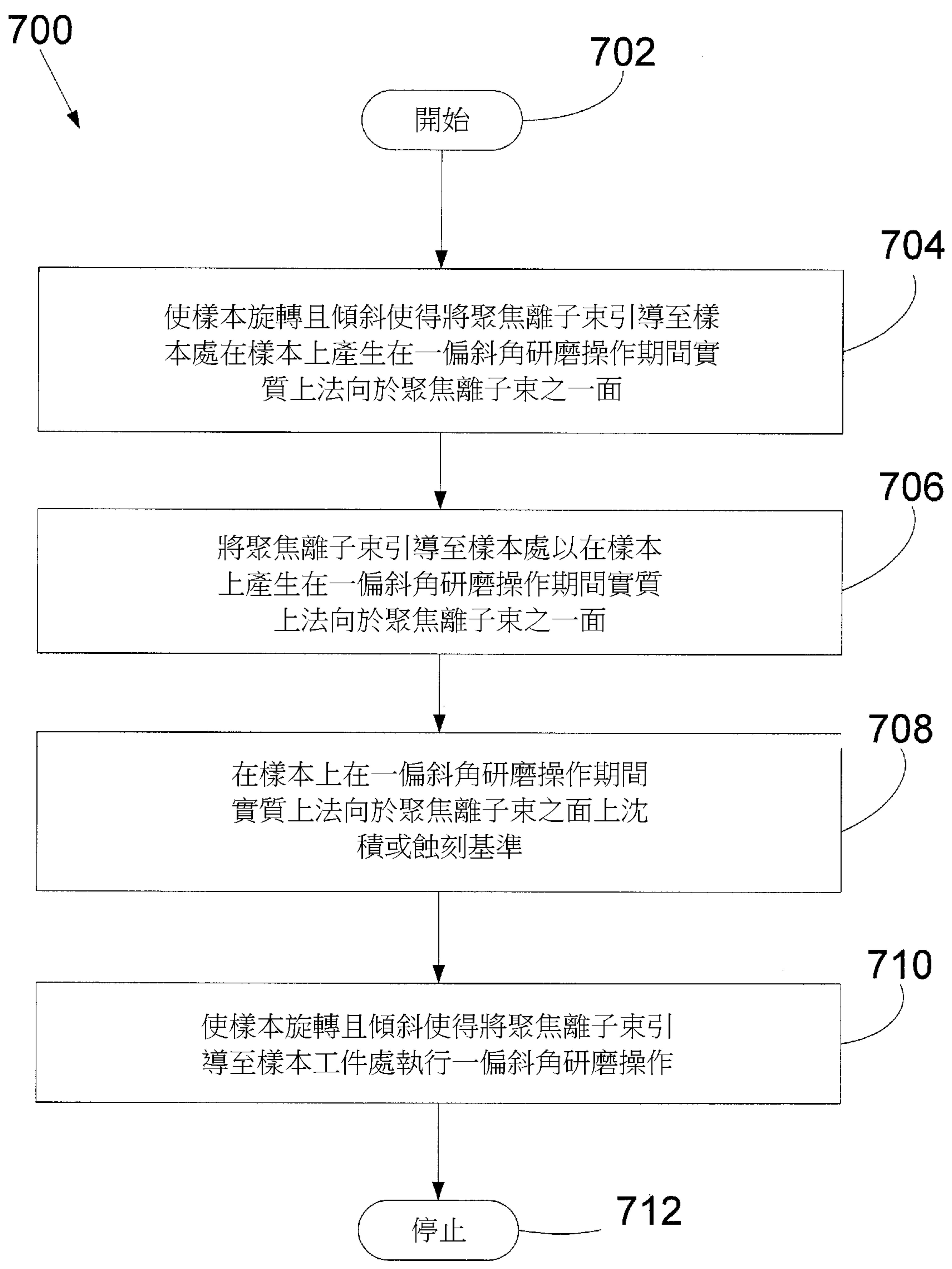
【圖4】



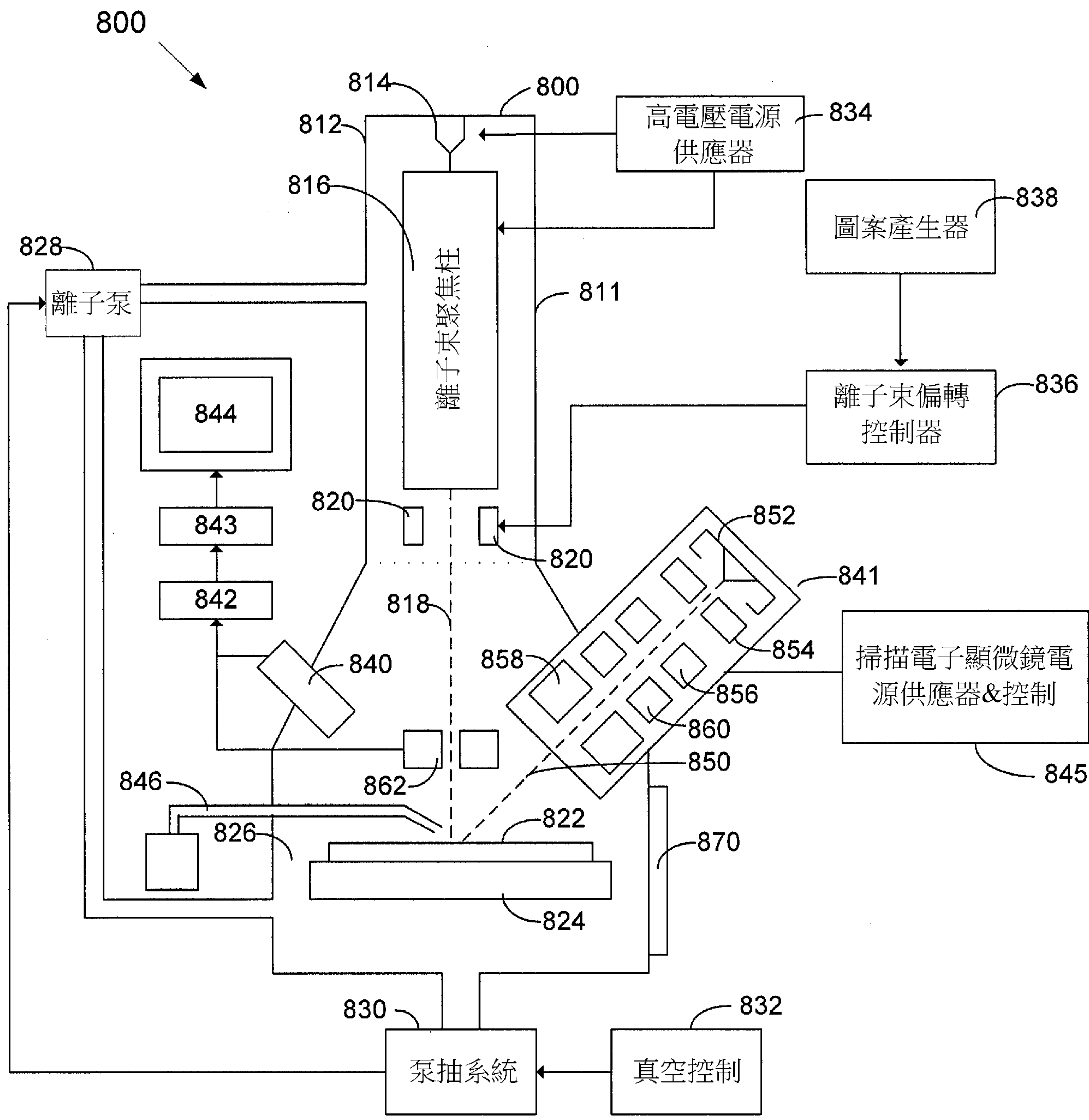
【圖5】



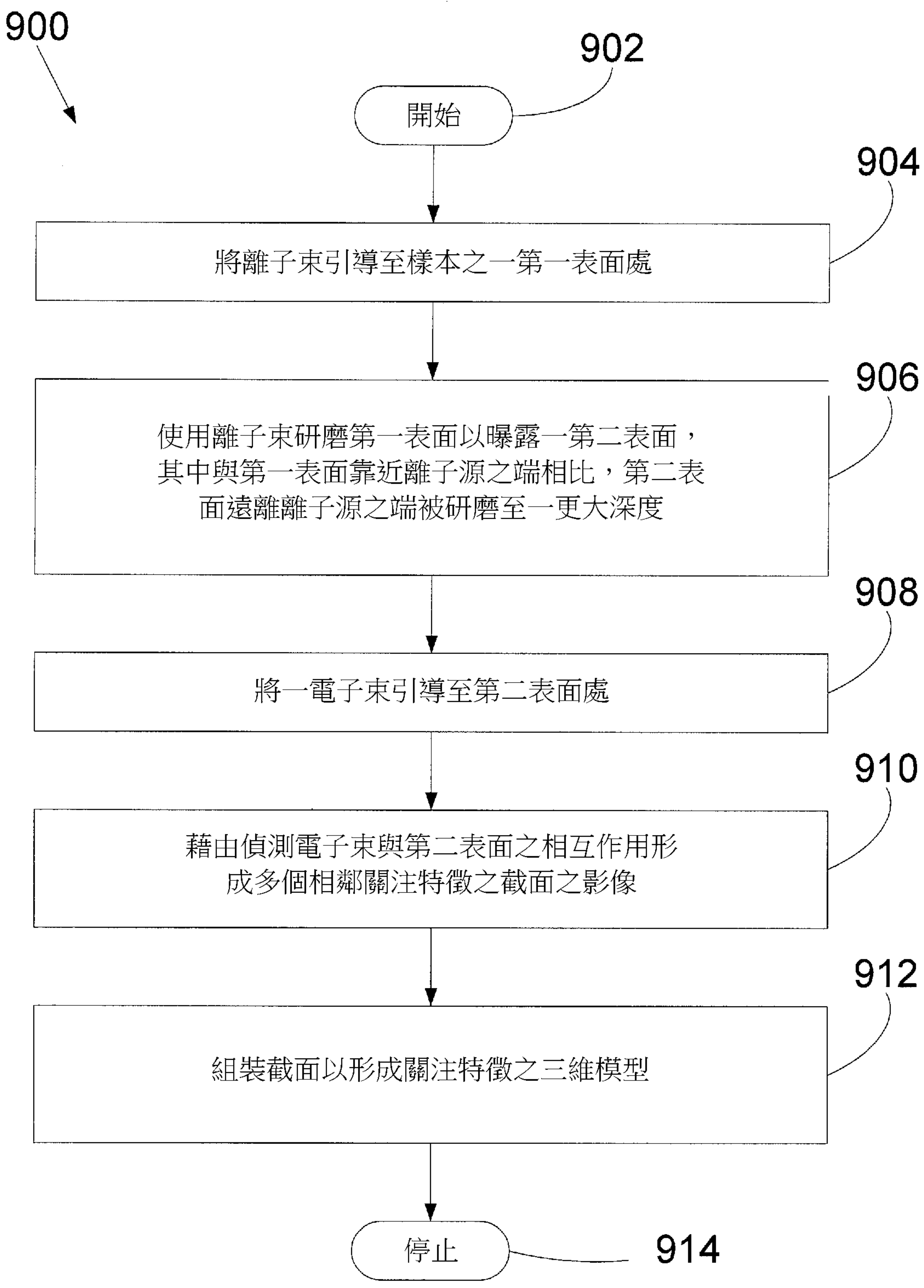
【圖6】



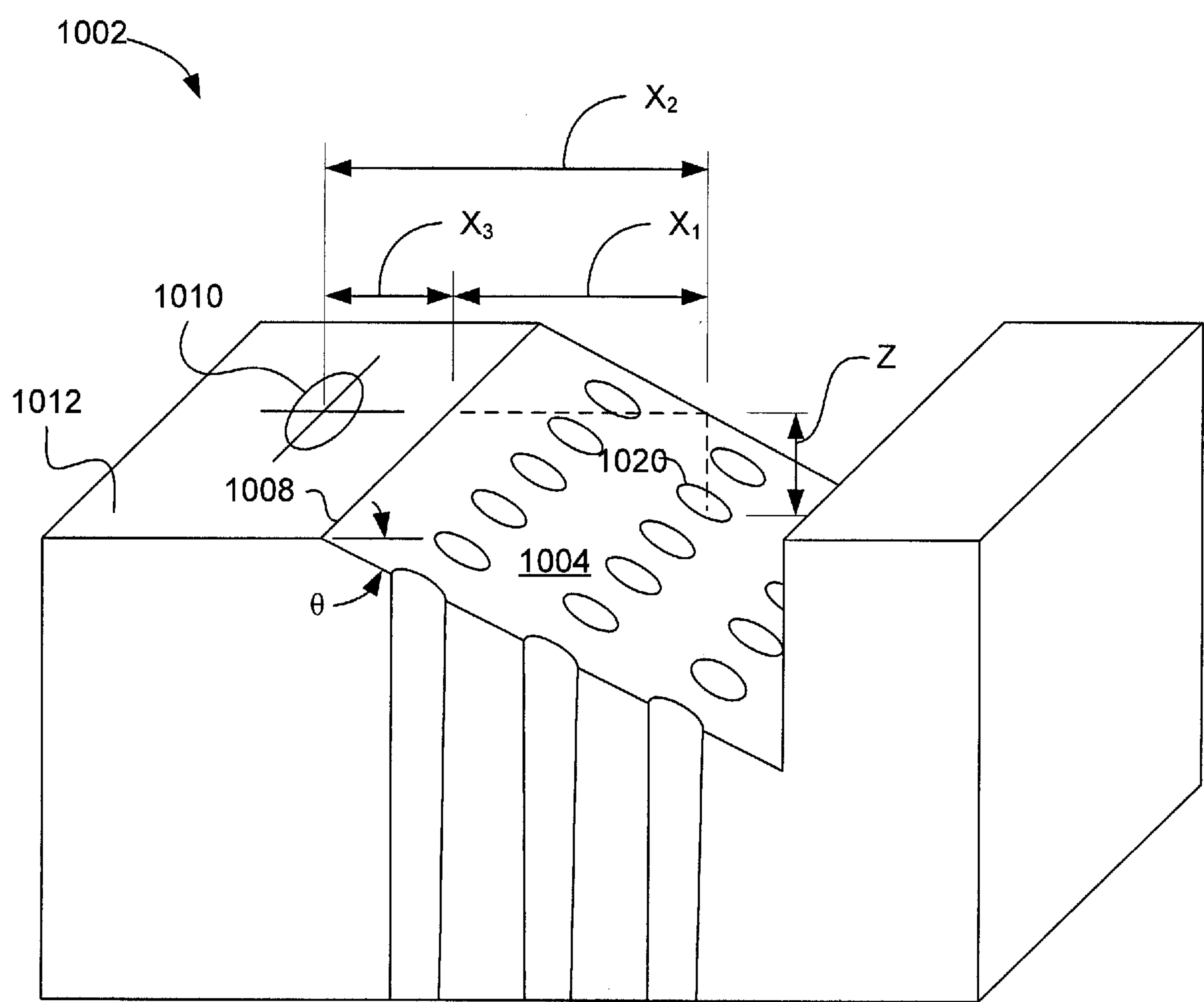
【圖7】



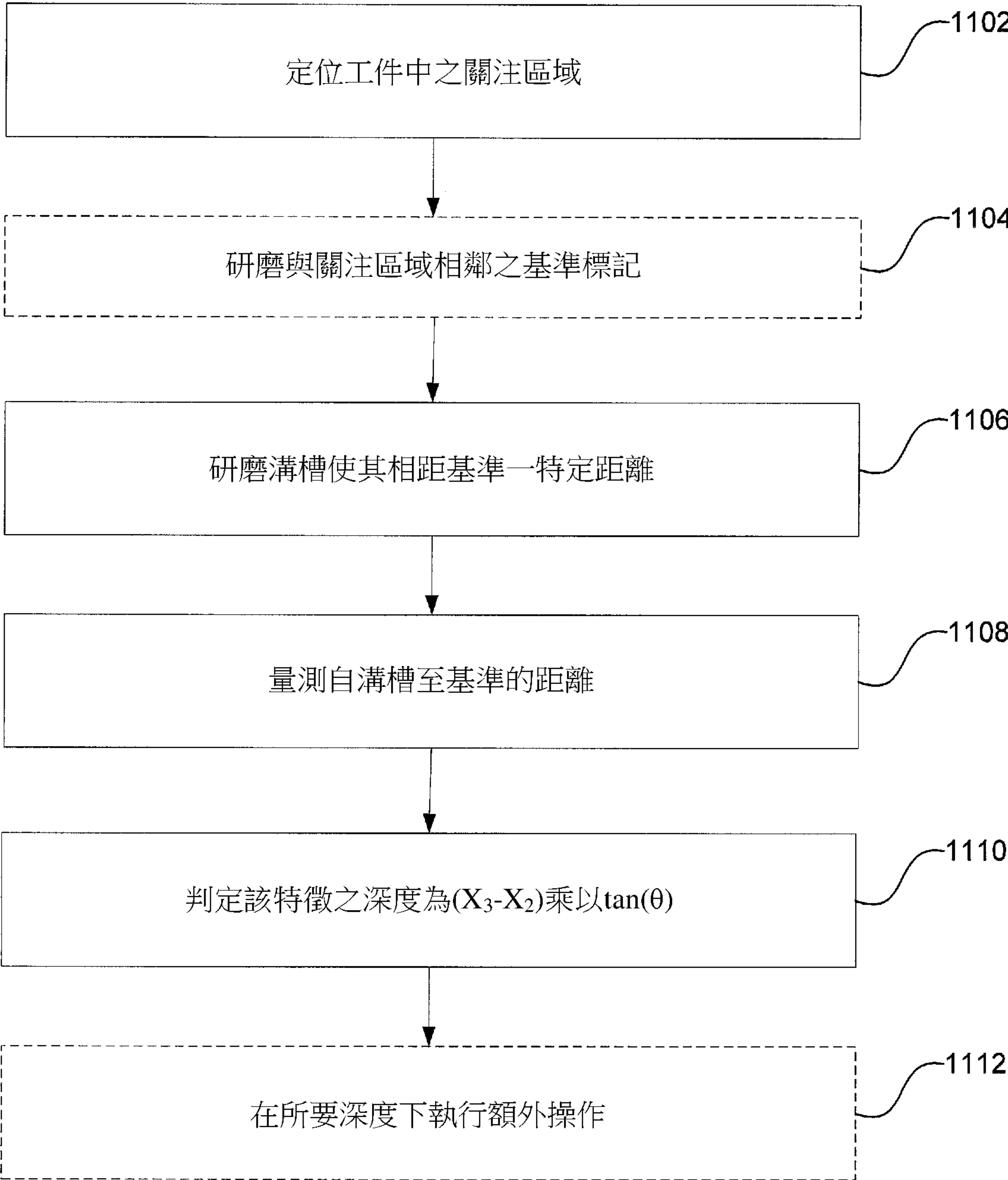
【圖8】



【圖9】



【圖10】



【圖11】