



(21)申請案號：105109322 (22)申請日：中華民國 105 (2016) 年 03 月 24 日

(51)Int. Cl. : G01Q30/02 (2010.01) G01N23/203 (2006.01)
G01Q30/04 (2010.01)

(30)優先權：2015/03/24 美國 62/137,229
2015/05/27 美國 62/166,682
2015/09/04 美國 62/214,737
2016/01/12 美國 62/277,670
2016/03/24 美國 15/079,046

(71)申請人：美商克萊譚克公司 (美國) KLA-TENCOR CORPORATION (US)
美國

(72)發明人：馬薩納海提 道格拉斯 K MASNAGHETTI, DOUGLASK. (US)；托斯 蓋伯 TOTH, GABOR (US)；泰瑞斯 大衛 TREASE, DAVID (GB)；布思拉 羅希 BOTHRA, ROHIT (IN)；陳 葛瑞斯 淑玲 CHEN, GRACE HSIU-LING (US)；克尼普梅耶 瑞尼爾 KNIPPELMEYER, RAINER (DE)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

US	2007/0221846A1	US	2014/0124666A1
US	2014/0175277A1	US	2014/0353498A1
US	2015/0034836A1		

審查人員：黃是衡

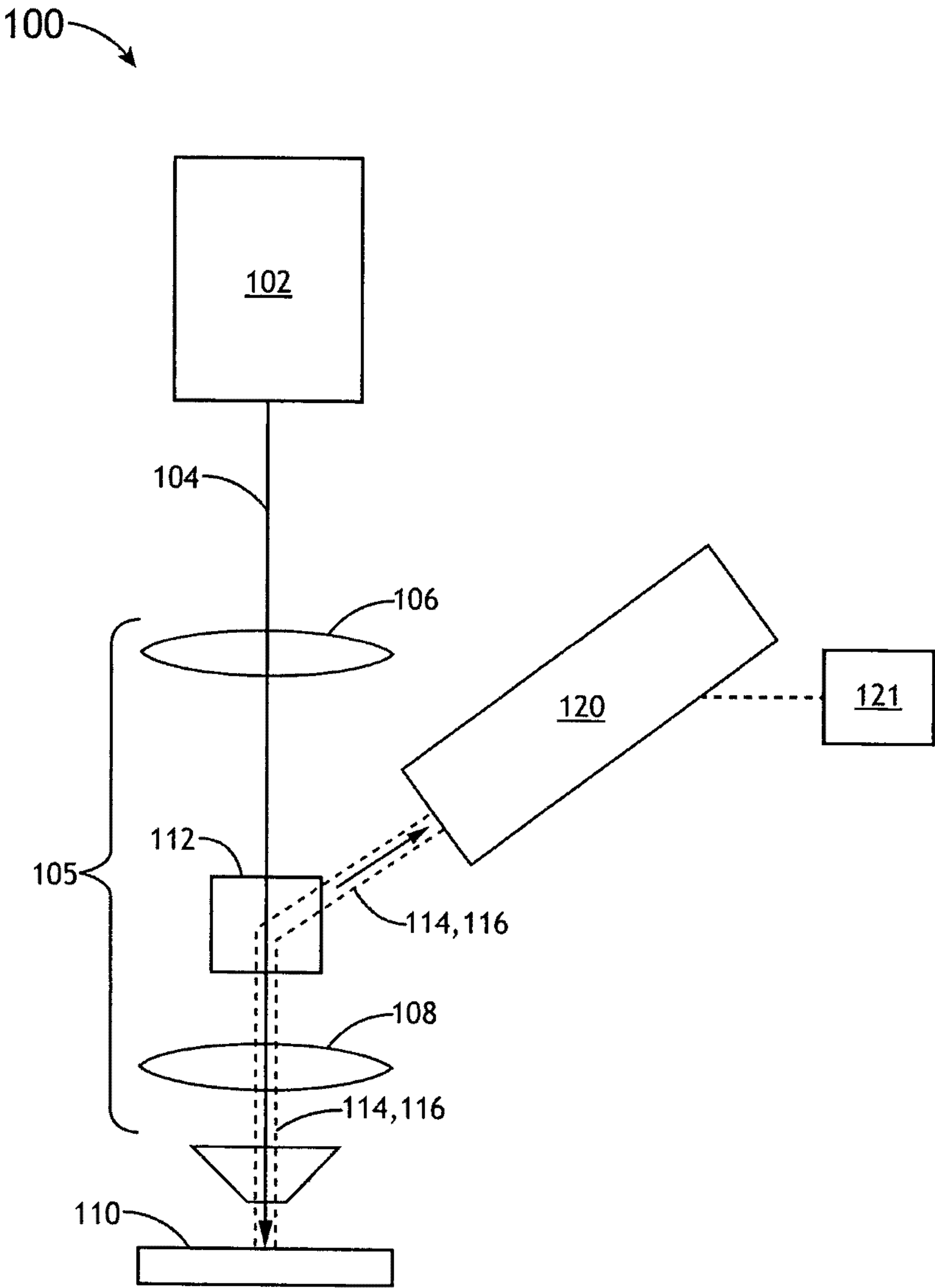
申請專利範圍項數：28 項 圖式數：6 共 75 頁

(54)名稱
用於具有改良之影像光束穩定性及詢問之帶電粒子顯微鏡之方法及系統

(57)摘要
本發明揭示一種具有改良之影像束穩定性之掃描電子顯微鏡系統。該系統包含經組態以產生一電子束之一電子束源，及將該電子束之至少一部分引導至樣本之一部分上的一組電光元件。該系統包含一射度分析器總成。該系統包含經組態以將由樣本之一表面發射之至少一部分次級電子及/或反向散射電子引導至該射度分析器總成之一分光器元件。該射度分析器總成經組態以成像次級電子及/或反向散射電子之至少一者。

A scanning electron microscopy system with improved image beam stability is disclosed. The system includes an electron beam source configured to generate an electron beam and a set of electron-optical elements to direct at least a portion of the electron beam onto a portion of the sample. The system includes an emittance analyzer assembly. The system includes a splitter element configured to direct at least a portion secondary electrons and/or backscattered electrons emitted by a surface of the sample to the emittance analyzer assembly. The emittance analyzer assembly is configured to image at least one of the secondary electrons and/or the backscattered electrons.

指定代表圖：



符號簡單說明：

- 100 . . . 帶電粒子成像系統
- 102 . . . 電子束源
- 104 . . . 初級光束/初級電子束
- 105 . . . 電光管柱
- 106 . . . 聚光透鏡/電光管柱
- 108 . . . 物鏡
- 110 . . . 樣本
- 112 . . . 分光器元件
- 114 . . . 反向散射電子/反向散射電子束/反向散射電子錐/影像束/影像束路徑
- 116 . . . 次級電子/次級電子束/次級電子錐/影像束/影像束路徑
- 120 . . . 射度分析器總成
- 121 . . . 控制器

圖1A

發明摘要

I693405

※ 申請案號：

※ 申請日：

※IPC 分類：

【發明名稱】

用於具有改良之影像光束穩定性及詢問之帶電粒子顯微鏡之方法及系統

METHOD AND SYSTEM FOR CHARGED PARTICLE
MICROSCOPY WITH IMPROVED IMAGE BEAM
STABILIZATION AND INTERROGATION

【中文】

本發明揭示一種具有改良之影像束穩定性之掃描電子顯微鏡系統。該系統包含經組態以產生一電子束之一電子束源，及將該電子束之至少一部分引導至樣本之一部分上的一組電光元件。該系統包含一射度分析器總成。該系統包含經組態以將由樣本之一表面發射之至少一部分次級電子及/或反向散射電子引導至該射度分析器總成之一分光器元件。該射度分析器總成經組態以成像次級電子及/或反向散射電子之至少一者。

【英文】

A scanning electron microscopy system with improved image beam stability is disclosed. The system includes an electron beam source configured to generate an electron beam and a set of electron-optical elements to direct at least a portion of the electron beam onto a portion of the sample. The system includes an emittance analyzer assembly. The system includes a splitter element configured to direct at least a portion secondary electrons and/or backscattered electrons emitted by a surface of the sample to the emittance analyzer assembly. The emittance analyzer assembly is configured to image at least one of the secondary electrons and/or the backscattered electrons.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 1A ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

- | | |
|-----|--------------------------------------|
| 100 | 帶電粒子成像系統 |
| 102 | 電子束源 |
| 104 | 初級光束/初級電子束 |
| 105 | 電光管柱 |
| 106 | 聚光透鏡/電光管柱 |
| 108 | 物鏡 |
| 110 | 樣本 |
| 112 | 分光器元件 |
| 114 | 反向散射電子/反向散射電子束/反向散射電子錐/影像束
/影像束路徑 |
| 116 | 次級電子/次級電子束/次級電子錐/影像束/影像束路徑 |
| 120 | 射度分析器總成 |
| 121 | 控制器 |

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

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】

用於具有改良之影像光束穩定性及詢問之帶電粒子顯微鏡之方法及系統

METHOD AND SYSTEM FOR CHARGED PARTICLE
MICROSCOPY WITH IMPROVED IMAGE BEAM
STABILIZATION AND INTERROGATION

【相關申請案之交叉參考】

本申請案依據35 U.S.C. § 119(e)主張以下美國臨時申請案之權利且構成以下美國臨時申請案之一正式(非臨時)專利申請案：2015年3月24日申請之美國臨時申請案第62/137,229號；2015年5月27日申請之美國臨時申請案第62/166,682號；2015年9月4日申請之美國臨時申請案第62/214,737號；及2016年1月12日申請之美國臨時申請案第62/277,670號，該等申請案各以引用之方式併入本文。

【技術領域】

本發明通常係關於帶電粒子顯微鏡，且更特定言之，本發明係關於具有影像束之改良之穩定性及詢問之一掃描電子顯微鏡系統。

【先前技術】

製作諸如邏輯及記憶體裝置之半導體裝置通常包含使用大量半導體製程處理一基板(諸如一半導體晶圓)以形成該等半導體裝置之各種特徵及多重層。隨著半導體裝置之尺寸變得越來越小，發展增強之晶圓檢測及檢視裝置及程序變得尤其重要。因而，提供一種提供樣本(諸如半導體晶圓)之改良之電子成像之系統及方法係有利的。

【發明內容】

根據本發明之一或多項實施例揭示一種掃描電子顯微鏡(SEM)設備。在一項繪示性實施例中，該SEM設備包含經組態以產生一電子束之一電子束源。在另一繪示性實施例中，該SEM設備包含一組電光元件，以將電子束之至少一部分引導至樣本之一部分上。在另一繪示性實施例中，該SEM設備包含一射度分析器總成(emittance analyzer assembly)。在另一繪示性實施例中，該SEM設備包含一分光器元件，該分光器元件經組態以將由樣本之一表面發射之次級電子或反向散射電子之至少一者之至少一部分引導至射度分析器總成。在另一繪示性實施例中，該射度分析器總成經組態以成像次級電子或反向散射電子之至少一者。在另一繪示性實施例中，該射度分析器總成包含：一組偏轉光學器件；一第一電光透鏡；一第一電子偵測器，其包含一中心孔，其中該第一電子偵測器經組態以收集次級電子之一部分或反向散射電子之一部分之至少一者；一第一網狀元件，其安置於該第一電子偵測器之下游；一第二網狀元件，其安置於該第一網狀元件之下游，其中該第一電子偵測器及該第一網狀元件形成一減速區域，其中該第一網狀元件及該第二網狀元件形成一漂移區域；一能量過濾器，其安置於第二接地網狀元件之下游；一第二電光透鏡；及一第二電子偵測器，其經組態以收集次級電子之一額外部分或反向散射電子之一額外部分之至少一者。

在另一繪示性實施例中，射度分析器經組態以在次級電子及反向散射電子成像模式中操作。在另一繪示性實施例中，該射度分析器經組態以在反向散射電子及高深寬比電子成像模式中操作。在另一繪示性實施例中，射度分析器經組態以在僅反向散射電子成像模式中操作。在另一繪示性實施例中，該射度分析器經組態以在次級電子及反向散射電子成像模式、反向散射電子及高深寬比電子成像模式與僅反向散射電子成像模式之間切換。

在另一繪示性實施例中，電子源及/或一泛射式電子槍經組態以將一原位泛射預填施加至樣本。

在另一繪示性實施例中，該設備包含經組態以將射度分析器總成之一或多個組件鎖定至樣本之表面電位之一閘控積分器。

應瞭解，以上【發明內容】及以下【實施方式】僅為例示及解釋且不必如所主張之限制本發明。併入且構成說明書之一部分之隨附圖式繪示本發明之實施例以及【發明內容】且用於解釋本發明之原理。

【圖式簡單說明】

熟習技術者藉由參考隨附圖式可更佳地理解本發明之數個優勢，其中：

圖1A至圖6C繪示根據本發明之具有影像束之改良之穩定性及詢問之一掃描電子顯微鏡系統之一或多項實施例。

【實施方式】

現在將詳細參考在隨附圖式中繪示之所揭示之標的。

大體上參考圖1A至圖6C，根據本發明揭示一種用於執行具有影像束之改良之穩定性及詢問之掃描電子顯微鏡之系統及方法。

本發明之實施例係關於一種射度分析器總成，其自來自一樣本表面之一電子影像束提取資訊。此外，該射度分析器總成可組態成各種組態中。如在本發明中所討論，本發明之射度分析器總成可在一次級電子/反向散射電子(SE-BSE)模式、一反向散射電子/高深寬比(BSE-HAR)模式及/或一僅BSE模式中操作，藉以該系統能夠在各種分析器模式之間切換。本發明之射度分析器亦允許在任何成像模式期間之即時晶圓表面電位擷取。此外，當成像發展表面電壓之晶圓時，本發明之射度分析器允許產生控制信號以穩定極角鑑別漂移及影像束位置漂移。

本發明之額外實施例係關於為了改良影像品質之目的而經組態以將影像路徑光學元件鎖定至一給定樣本之表面電位之一閘控積分器。本發明之額外實施例係關於實施原位泛射以及射度分析器總成及/或閘控積分器以穩定影像束。

本發明包含至少部分在以下美國專利中討論之實施例：5210487、6483120、6570154、6784425、6844550、6897458、7041976、7075078、7683317、7705301、7141791、7656171、7714287、8203119、8263934、8274048、8288724、8421027、8884224、8890068、8946649、8963083、9000395、9048062、9048063及9165742，該等案之各者以引用之方式併入本文中。本發明包含至少部分在以下美國專利公開案中討論之實施例：2007/0090288、2012/0273690、2013/0032729、2014/0299767及2014/029967，該等公開案之各者以引用之方式併入本文中。本發明包含至少部分在美國專利申請案14/696122中討論之實施例，該案之全文以引用之方式併入本文中。

圖1A繪示根據本發明之一項實施例之經配置以經由收集次級電子及/或反向散射電子而成像一樣本之一帶電粒子成像系統100。

在一項實施例中，系統100包含一電子束源102、一電光管柱105、一分光器元件112、一射度分析器總成120及控制器121。

射度分析器總成120用於自關於顯微鏡系統100之射度之影像束提取資訊。該影像束包含回應於入射初級光束104而由樣本110之表面發射之反向散射電子114及/或次級電子116。

在一項實施例中，電子束源102經組態以產生一或多個初級電子束104。電子束源102可包含此項技術中已知之任何電子源。例如，電子束源102可包含(但不限制於)一或多個電子槍。例如，電子束源102可包含用於產生一單一初級電子束104之一單一電子槍。在另一例項

中，電子束源102可包含用於產生多個初級電子束104之多個電子槍。

在另一實施例中，電光管柱105可包含一組電光元件。該組電光元件可將電子束104之至少一部分引導通過至樣本110 (例如，半導體晶圓)之一所選擇之部分上。電光管柱105之該組電光元件可包含此項技術中已知之適合用於將電子束104聚焦及/或引導至樣本110之一所選擇之部分上之任何電光元件。在一項實施例中，該組電光元件包含一或多個電光透鏡。例如，電光透鏡可包含(但不限制於)用於自電子束源102收集電子之一或多個聚光透鏡106。舉另一實例，電光透鏡可包含(但不限制於)用於將電子束104聚焦至樣本110之一所選擇之區域上之一或多個物鏡108。

在另一實施例中，電光管柱106之電光元件組包含一或多個電子束掃描元件(圖中未展示)。例如，一或多個電子束掃描元件可包含(但不限制於)適合用於控制電子束104相對於樣本110之表面的一位置之一或多個電磁掃描線圈或靜電偏轉器。在此方面，一或多個掃描元件可用於使電子束104依一所選擇之圖案中掃描遍及樣本110。

為了簡潔性目的，在圖1A中描繪一單一電光管柱106。在本文中應注意，此組態不應解譯為對本發明之一限制。例如，系統100可包含多個電光管柱106。

在另一實施例中，分光器元件112經配置以將由樣本110之表面發射之次級電子及/或反向散射電子偏轉至射度分析器總成120之入口。例如，分光器元件112可包含一電子速度選擇器，諸如(但不限制於)一維因過濾器(Wien filter)。在另一實施例中，系統100可包含一韋乃特圓柱(Wehnelt cylinder)。

圖1B繪示用於習知透鏡後暗場成像之次級電子分佈111及使用本發明之射度分析器成像之次級電子分佈113。圖表111及113表示在1 eV、2 eV、5 eV及10 eV處之模擬之偵測器之平面中之次級電子分

佈。如圖表111中所展示，遍及次級電子能量範圍之極角對準不佳。相比而言，如圖表113中所展示，在本發明之射度分析器做法之情況中改良遍及次級電子能量範圍之極角對準。

圖1C繪示根據本發明之一項實施例之組態成SE-BSE成像模式之一射度分析器總成120之一方塊圖。

系統100藉由將次級電子116自樣本110快速移動至射度分析器120之入口而操作。例如，此可藉由以下操作來執行：運用一大型電場，當自樣本110發射次級電子116時加速次級電子116；接著，採用一透鏡在總成120之分析部分之入口處形成一共軛點；在次級電子116返回至其等初始動能(漂移入口)之過程中使其減速；且接著，設計分析光學器件，猶如自入口處之共軛點發射次級電子116至漂移區域。應注意，需要一高「萃取場」以不僅用於最小化極性鑑別中之轉變時間誤差，且亦用於防止由物鏡之高磁場引入之大方位鑑別誤差。

在一項實施例中，射度分析器總成120包含一組偏轉光學器件124。在一項實施例中，該組偏轉光學器件定位於射度分析器總成120之一或多個額外組件之前或上游。該組偏轉光學器件經組態以使包含反向散射電子114及/或次級電子116之影像束對準射度分析器總成120之一或多個組件。例如，偏轉光學器件124可用於去掃描(de-scan)影像束且對準待相對於射度分析器總成120之額外組件之一或多者而共軸之影像束114、116。應進一步注意，可利用該組偏轉光學器件124抵消自初級光束掃描元件加諸於反向散射電子114及/或次級電子116之橫向速度分量。

該組偏轉光學器件可包含一或多組偏轉元件。例如，該組偏轉光學器件124可包含(但不限制於)一或多個四極元件、一或多個八極元件或一或多個較高階電光偏轉元件。在一項實施例中，該組偏轉光學器件124包含一或多個靜電偏轉器。在另一實施例中，該組偏轉光

學器件124包含一或多個磁性偏轉器。例如，該一或多個靜電或磁性偏轉器可安置於一高電位加速襯套內且在該襯套電位處浮動。

在另一實施例中，射度分析器總成120包含一或若干第一電光透鏡126。在一項實施例中，第一電光透鏡126安置於該組偏轉光學器件124之下游。例如，第一電光透鏡126可安置接近於該組偏轉光學器件124。在一例項中，第一電光透鏡126可用於端接含有該組偏轉光學器件124之一高電位襯套之輸出。

在一項實施例中，第一電光透鏡126包含一靜電透鏡。例如，第一電光透鏡126可包含(但不限制於)經組態以加速影像束之反向散射電子114及/或次級電子116之一靜電透鏡。舉另一實例，第一電光透鏡126可包含(但不限制於)經組態以減速影像束之反向散射電子114及/或次級電子116之一靜電透鏡。在另一實施例中，第一電光透鏡126包含一磁性透鏡。

在一項實施例中，射度分析器總成120包含一第一電子偵測器128，該第一電子偵測器包含一中心孔130。應注意，在本發明中，中心孔130可被稱為射度分析器總成120之分析部分之入口。在SE-BSE成像之情況中，第一電子偵測器128經組態以用於量測反向散射電子114。

例如，第一電光透鏡126用於形成在第一偵測器128之平面中具有大於1之一縮小之一次級電子共軛點130。由允許亮場及暗場反向散射成像之偵測器128 (例如，分段式偵測器)收集大部分反向散射電子114。次級電子116及大部分軸向反向散射電子114通過第一偵測器128孔，而最小化SE光束之BSE污染。

第一電子偵測器128可包含此項技術中已知之任何電子偵測器。例如，第一電子偵測器128可包含(但不限制於)一固態偵測器。舉另一實例，第一電子偵測器128可包含(但不限制於)一多通道板。舉另

一實例，第一電子偵測器128可包含(但不限制於)一閃爍器類型之電子偵測器。在一項實施例中，第一電子偵測器128分段為兩個或兩個以上片段(例如，圖1D中展示之分段式偵測器)。在一項實施例中，偵測器128之片段自偵測器中之中心孔偏移達介於偵測器128之平面中之反向散射電子114光束中心與次級電子116光束中心之間之距離。在另一實施例中，第一電子偵測器128包含安置於第一電子偵測器128之偵測部分後之一磁性屏蔽元件(例如，磁性材料之層)。

在一項實施例中，射度分析器總成120形成一減速區域134及一漂移區域136。在一項實施例中，射度分析器總成120包含安置於第一偵測器128之下游之一或多個網狀元件133。在一項實施例中，第一網狀元件133包含一平坦網孔。第一電子偵測器128可保持於接地電位處，其中第一接地網狀元件133保持於(或接近)與樣本110 (例如虛擬接地)之表面相同之電位處。依此方式，電子減速區域133形成於偵測器128與第一網狀元件133之間。在通過偵測器孔之後，次級電子116及軸向反向散射電子114快速減速至樣本電位。應注意，偵測器128與漂移區域136之入口(由第一網狀元件133之部分界定)之間之距離可經選擇以控制(例如，最小化)次級電子116之減速時間，此幫助最小化在此時間期間引入之誤差且同時亦防止大多數反向散射電子114進入射度分析器總成120之漂移區域136。

在另一實施例中，射度分析器總成120可包含一分離管132，其中減速區域133之入口與出口之間之電表面電阻形成減速電壓梯度之一襯套。此一組態幫助確保減速區域133之入口與出口之間之等電位係平坦且一致的。

在另一實施例中，射度分析器總成120包含一或多個第二網狀元件135。在一項實施例中，第二網狀元件135包含一半球形金屬絲網。第二網狀元件135亦可保持於(或接近)與樣本110之表面相同之電位。

在此方面，第一網狀元件133及第二網狀元件135保持於相同電位處，藉此形成電子漂移區域136。應注意，次級電子116及反向散射電子114進入漂移區域136且遵循原始動量向量、利用最初動量向量自樣本110出射。在此漂移時間期間，次級電子116及反向散射電子114之極角對準。應注意，次級電子116及反向散射電子114之一較長漂移時間導致較小剩餘極角對準誤差。

在另一實施例中，射度分析器總成120包含一能量過濾器138。在一項實施例中，能量過濾器138包含置於次級電子116光束路徑中之一共軛點上中央之一半球形網孔，以確保來自能量過濾器之阻滯電場等電位經配置成垂直於次級電子116之軌跡(不管極角)。應注意，可改變能量過濾器138之臨限值且幾乎不影響電子114、116之極角。次級電子116及軸向反向散射電子114可自垂直於網狀表面之漂移區域136之第二網狀元件135 (例如凹面網孔)出射。在次級電子116及軸向反向散射電子114自第二網狀元件135 (其端接漂移區域136)出射之後，當次級電子116及軸向反向散射電子114朝向能量過濾器138 (例如，能量過濾器網孔)行進時開始減速。由能量過濾器138對次級電子116及軸向反向散射電子114之垂直攔截幫助確保總成120鑑別電子114、116之總能量且不僅僅係電子114、116之總能量之一分量。

在一些實施例中，第一網狀元件133、第二網狀元件135及/或能量過濾器138之網孔可由一磁性材料形成。應注意，將一磁性網孔用於第一網狀元件133、第二網狀元件135及/或能量過濾器138能夠屏蔽減速區域134及/或漂移區域136使其等免受雜散磁場。在另一實施例中，射度分析器總成120可包含環繞減速區域134及/或漂移區域136之軸向對稱磁性屏蔽，其亦用以屏蔽減速區域134及/或漂移區域136使其等免受雜散磁場。

在另一實施例中，射度分析器總成120包含一減速管132，減速

管132含有或連接至一或多個第一網狀元件133及/或一或多個第二網狀元件135。

在另一實施例中，射度分析器總成120包含一或若干第二電光透鏡140。在一項實施例中，第二電光透鏡140安置於能量過濾器138之下游。在一項實施例中，第二電光透鏡140可用於端接漂移區域136或能量過濾器138。在一項實施例中，能量過濾器138之一部分、漂移區域136之終端(例如，第二網狀元件135)或第二電子偵測器142(下文討論)可形成第二電光透鏡140之一部分。

在一項實施例中，第二電光透鏡140包含一靜電透鏡。例如，第二電光透鏡140可包含(但不限制於)經組態用於加速影像束之反向散射電子114及/或次級電子116之一靜電透鏡。舉另一實例，第二電光透鏡140可包含(但不限制於)經組態用於減速影像束之反向散射電子114及/或次級電子116之一靜電透鏡。在另一實施例中，第二電光透鏡140包含一磁性透鏡。

在另一實施例中，射度分析器總成120包含一第二電子偵測器。在此實施例中，第二電子偵測器142經組態以收集次級電子116及/或軸向反向散射電子114。例如，當反向散射電子114及/或次級電子116自能量過濾器138出射時，其等加速通過第二電光透鏡140，第二電光透鏡140用於縮小第二電子偵測器142之平面中之影像束。

第二電子偵測器142可包含此項技術中已知之任何電子偵測器。例如，第二電子偵測器142可包含(但不限制於)一固態偵測器。舉另一實例，第二電子偵測器142可包含(但不限制於)一多通道板。舉另一實例，第二電子偵測器142可包含(但不限制於)一閃爍器類型之電子偵測器。在一項實施例中，第二電子偵測器142分段為兩個或兩個以上片段(例如，圖1D中展示之分段式偵測器)。在另一實施例中，第二電子偵測器142包含安置於第二電子偵測器142之偵測部分後之一磁

性屏蔽元件(例如，磁性材料之層)。

圖1D繪示根據本發明之一或多項實施例之適合用作為第一電子偵測器128之一分段式電子偵測器之一示意圖。如圖1D中所展示，分段式電子偵測器128 (例如，分段式固態偵測器)包含四個象限偵測部分Q1、Q2、Q3及Q4。此外，分段式電子偵測器128包含一中心偵測部分C。此外，孔146穿過中心偵測部分C之中心。孔146允許次級電子116傳輸通過偵測器128，而由象限偵測部分Q1、Q2、Q3及Q4收集高角度反向散射電子114。

圖1E繪示根據本發明之一或多項實施例之適合用作為第一電子偵測器128之一高密度陣列電子偵測器之一示意圖。如圖1E中所展示，高密度陣列電子偵測器包含用於收集且解析電子之位置之一高密度陣列144。高密度陣列偵測器128包含孔146，孔146再次允許次級電子116傳輸通過偵測器128，而由陣列144收集高角度反向散射電子114。

應注意，亦可在偵測器142之情況下實施圖1D至圖1E中描繪之偵測器組態，儘管一孔146對偵測器142來說係不必要的。在其中偵測器142係一分段式偵測器(例如，分段式固態偵測器)或一高密度陣列偵測器之情況中，可由總成120形成亮場及/或暗場影像。

圖1F繪示根據本發明之一替代實施例之一射度分析器150。在此實施例中，射度分析器150消除第一偵測器藉此犧牲反向散射電子之同步偵測。在另一實施例中，射度分析器150包含一孔板158。孔板158用於阻擋反向散射電子到達偵測器142。在此方面，偵測器142將僅偵測次級電子或近軸反向散射電子。

圖1G繪示根據本發明之一項實施例之組態成BSE-HAR成像模式之射度分析器總成120。如本文先前所提及，系統100可自圖1C之SE-BSE組態切換至圖1G之BSE-HAR組態。在一些實施例中，一或多個

控制器121可用於調整系統100之各種組件以自一個組態轉變至一不同組態。

應注意，當分光器112 (例如維因過濾器)用於使得次級電子束116及反向散射電子束114偏轉通過不同角度時，入射次級電子束116及反向散射電子束114不係同心的。在一項實施例中，該組偏轉元件124可將反向散射電子錐114置中於第一偵測器128之孔上。在此方面，僅大部分軸向反向散射電子通過孔146，如圖1G中所展示。

在一項實施例中，能量過濾器128經設定以拒斥次級電子使得第二偵測器142僅使用近軸反向散射電子(通過孔146)同時產生亮場及暗場影像以用於高深寬比結構成像。在此方面，控制器121 (或另一控制器)可調整能量過濾器128以拒斥次級電子，藉此將射度分析器總成120自SE-BSE模式轉換為BSE-HAR模式。

在另一實施例中，能量過濾器128經設定以僅傳遞最高能量反向散射電子至第二電子偵測器142，藉此增強利用系統100收集之一或若干影像之解析度。在另一實施例中，第二電光透鏡140用於選擇電子之極角鑑別比率。

在另一實施例中，可利用第一電子偵測器128獲得較大極角反向散射電子(即，不傳輸通過孔146之電子)之亮場及/或暗場影像。在此方面，連同使用第二電子偵測器142用近軸反向散射電子形成之影像同時可獲得較大極角反向散射電子之影像。

圖1H繪示根據本發明之一項實施例之組態成僅BSE模式之射度分析器總成120。如本文先前所提及，系統100可自圖1G之BSE-HAR組態切換至圖1H之僅BSE組態。

在一項實施例中，該組偏轉元件124可將反向散射電子錐114置中於第一偵測器128之孔146上。在另一實施例中，第一電光透鏡126用於聚焦反向散射電子114，以在第一偵測器128之平面中之反向散射電

子束路徑中形成一共軛點。在此方面，反向散射電子114之全部或一大部分通過第一偵測器128。

在另一實施例中，能量過濾器128經設定(例如，由控制器121設定)以拒斥次級電子116。因而，第二電子偵測器142可用於同時產生亮場及暗場反向散射電子影像。在另一實施例中，能量過濾器128經設定(例如，由控制器121設定)以傳遞高能量反向散射電子(即，高於一所選擇之臨限值之反向散射電子)至第二電子偵測器142，以增強影像解析度。在另一實施例中，第二電光透鏡140用於選擇電子之極角鑑別比率。射度分析器總成120之漂移區域136可如其對準次級電子極角般有效地對準反向散射電子極角。然而應注意，反向散射電子由於自樣本110傳送至總成120而具有比次級電子更大之一初始極角誤差。

在另一實施例中，第一電子偵測器128用於產生部分亮場次級電子影像。

應再次注意，射度分析器總成120可在圖1C、圖1G及圖1H中描繪之SE-BSE、BSE-HAR及僅BSE模式之間快速切換。在一些實施例中，一或多個控制器121可用於調整系統100之各種組件以在SE-BSE、BSE-HAR及僅BSE模式之間轉變。在此方面，模式之各者之設定點可經預校準且儲存於記憶體(例如，控制器121之記憶體)中。此外，設定點可由控制器121重新叫用，控制器121接著使用該等設定點建立較佳模式。

圖2繪示根據本發明之一或多項實施例之實施兩個射度分析器總成120a、120b以形成一帶通能量過濾器之一系統200之一方塊圖，其中同時擷取高通及帶通影像。在一項實施例中，系統200包含一第一射度分析器120a及一第二射度分析器120b。在另一實施例中，系統200包含一分光器元件202(例如，維因過濾器)。

在本文中應注意，系統200可經實施以分析次級電子及/或反向散

射電子。儘管以下描述著重於在次級電子之內容背景中系統200之實施，但此不係對本發明之一限制。應注意，系統200及以下描述之實施例及組件可延伸至一反向散射電子內容背景。

在一項實施例中，使用射度分析器總成120a之偏轉以移除藉由照明掃描光學器件而加諸於影像束上之橫向動量向量。在另一實施例中，使用第一射度分析器總成120a之偏轉光學器件124a以使次級電子錐置中成與光學影像路徑平軸。在另一實施例中，第一射度分析器總成120a之第一電光透鏡126a在減速區域入口處形成在偵測器128a之平面中與次級電子束路徑中之樣本(圖中未展示)上之次級電子發射點共軛之一點，以阻擋反向散射電子且與足夠大以使得次級電子通過之板中之一孔開口重合。

在一項實施例中，一加速管204浸沒自照明/影像分光器202至處於一正高電壓之第一射度分析器總成120a中之減速區域之入口之影像路徑。在另一實施例中，第一射度分析器總成120a之第一電光透鏡126a縮小次級電子束114。

在另一實施例中，第一射度分析器總成120a之第二電光透鏡140a選擇用於暗場次級電子成像之次級電子極角鑑別臨限值。

在另一實施例中，第一射度分析器總成120a之能量過濾器138a僅傳遞高能量次級電子且拒斥低能量次級電子。

在另一實施例中，分光器元件202使得傳入次級電子影像束與由第一射度分析器總成120a拒斥之次級電子分離。

在另一實施例中，分光器元件202包含一或多組磁性偏轉線圈。在另一實施例中，分光器係一維因過濾器。在另一實施例中，加速襯管204可沿第一射度分析器總成120a與第二射度分析器總成120b之間之影像路徑延伸。

在另一實施例中，第二射度分析器總成120b可包含在第二射度

分析器總成120b之減速區域入口處之一孔板。例如，該孔板可為一磁性板。

在另一實施例中，第二射度分析器總成120b之偏轉光學器件124b將次級電子束錐置中於減速區域入口處之第二射度分析器總成120b之孔板上。

在另一實施例中，第二射度分析器總成120b之第二電光透鏡126b在減速區域入口處的孔板上與偵測器128b的平面中形成一共軛點，該共軛點置中於減速區域入口處之孔板上。

在另一實施例中，第二射度分析器總成120b之能量過濾器138b用於僅傳遞自第一射度分析器總成120a拒斥之最高能量次級電子。

在另一實施例中，第二射度分析器總成120b之第二電光透鏡126b設定次級電子極角鑑別臨限值。

在另一實施例中，系統200同時產生以下各者：使用具有比第一射度分析器總成120a之能量過濾器設定更大之能量之次級電子，同時產生次級高通、亮場及暗場影像；使用第一射度分析器總成120a之能量過濾器設定與第二射度分析器總成120b之能量過濾器設定之間之能量，同時產生帶通、亮場及暗場次級電子影像；及亮場及暗場反向散射電子影像。

圖3繪示根據本發明之一或多項實施例之實施三個射度分析器總成120a、120b及120c以捕獲低通、帶通及高通頻帶中之完整電子能量光譜之一系統300之一方塊圖。

在本文中應注意，系統300可經實施以分析次級電子及/或反向散射電子。儘管以下描述著重於在次級電子之內容背景中系統300之實施，但此不係對本發明之一限制。應注意，系統300及以下描述之實施例及組件可延伸至一反向散射電子內容背景。

在一項實施例中，系統300包含一第一射度分析器總成120a、一第二射度分析器總成120b及一第三射度分析器總成120c。在另一實施

例中，系統300包含一第一分光器元件302a及一第二分光器元件302b。在另一實施例中，系統300包含一個三臂加速襯套(304、306、308)。

在一項實施例中，使用射度分析器總成120a之偏轉以移除藉由照明掃描光學器件加諸於影像束上之橫向動量向量。在另一實施例中，使用第一射度分析器總成120a之偏轉以使次級電子錐置中成與光學影像路徑平軸。在另一實施例中，第一射度分析器總成120a之第一電光透鏡126a在減速區域入口處形成在偵測器128之平面中與次級電子束路徑中之樣本(圖中未展示)上之次級電子發射點共軛之一點，以阻擋反向散射電子且與足夠大以使得次級電子通過之板中之一孔開口重合。

在一項實施例中，一加速管204浸沒自照明/影像分光器202至處於一正高電壓之第一射度分析器總成120a中之減速區域之入口之影像路徑。在另一實施例中，第一射度分析器總成120a之第一電光透鏡126a縮小次級電子束114。

在另一實施例中，第一射度分析器總成120a之第二電光透鏡140a選擇用於暗場次級電子成像之次級電子極角鑑別臨限值。

在另一實施例中，第一射度分析器總成120a之能量過濾器138a僅傳遞高能量次級電子且拒斥低能量次級電子。

在另一實施例中，分光器元件202使得傳入次級電子影像束與由第一射度分析器總成120a拒斥之次級電子分離。

在另一實施例中，分光器元件202包含一或多組磁性偏轉線圈。在另一實施例中，分光器係一維因過濾器。在另一實施例中，加速襯管204可沿第一射度分析器總成120a與第二射度分析器總成120b之間之影像路徑延伸。

在另一實施例中，第二射度分析器總成120b可包含在第二射度

分析器總成120b之減速區域之入口處之一孔板。例如，該孔板可為一磁性板。

在另一實施例中，第二射度分析器總成120b之偏轉光學器件124b將次級電子束錐置中於減速區域之入口處之第二射度分析器總成120b之孔板上。

在另一實施例中，第二射度分析器總成120b之第二電光透鏡126b在減速區域之入口處在孔板上之平面中形成一共軛點，該共軛點置中於減速區域之入口處之孔板上。

在另一實施例中，第二射度分析器120b之能量過濾器僅傳遞自第一射度分析器120a拒斥之最高能量次級電子且同時使用次級電子(其等能量處於第一射度分析器120a之能量過濾器設定與第二射度分析器120b之能量過濾器設定之間)演現亮場及暗場影像。

在另一實施例中，第二射度分析器120b之第二電光透鏡設定次級電子極角鑑別臨限值。在另一實施例中，使用沿第一射度分析器120a與第二射度分析器120b之間之影像路徑之加速襯管304、308。

在另一實施例中，分光器元件302b使得進入第二射度分析器120b之次級電子與由第二射度分析器120b拒斥之次級電子分離。

在另一實施例中，加速襯管306、308沿第二射度分析器120b與第三射度分析器120c之間之影像路徑。

在另一實施例中，系統300包含在第三射度分析器120c之減速區域之入口處之一孔板(例如磁性)。

在另一實施例中，第三射度分析器120c之偏轉光學器件用於將次級電子束錐置中於減速區域之入口處之第三射度分析器120c之孔板上。

在另一實施例中，第三射度分析器120c之第一電光透鏡在減速區域之入口處在孔板上之平面中形成一共軛點，該共軛點置中於減速區域之入口處之孔板上。

在另一實施例中，第三射度分析器120c之能量過濾器傳遞自第二射度分析器120b拒斥之所有次級電子且同時使用次級電子(其等能量處於第一射度分析器120a之能量過濾器設定與第二射度分析器120b之能量過濾器設定之間)演現亮場及暗場影像。

在另一實施例中，第三射度分析器120c之第二電光透鏡設定次級電子極角鑑別臨限值。

在另一實施例中，系統300同時產生以下各者：使用具有比第一射度分析器120a之能量過濾器設定更大之能量之次級電子的次級電子高通、亮場及暗場影像；使用第一射度分析器120a之能量過濾器設定與第二射度分析器120b之過濾器設定之間之能量同時產生帶通、亮場及暗場次級電子影像；使用具有比第二射度分析器120b之能量過濾器設定更少之能量之次級電子同時產生亮場及暗場影像；及亮場及暗場反向散射電子影像。

圖4A至圖4H繪示根據本發明之一或多項實施例之在影像擷取期間之晶圓表面充電及光束漂移之效應。

應注意，為了以完整效能權限操作本發明之射度分析器總成120，影像束位置及影像束錐半角必須不受局部電荷場之影響及其他外部影響。來自第一電子光學器件透鏡124之影像束聚焦平面在出現一充電樣本110之情況中應保持穩定且在第一電子光學器件透鏡124交越之平面中之影像束位置應穩定且與射度分析器總成120共軸。應注意，高萃取場、原位泛射及偵測器輸出反饋之組合可用於使得影像束位置及由樣本充電引起之圓錐角度漂移穩定。

圖4A繪示根據本發明之一或多項實施例之在一低萃取場環境中之影像擷取期間由一初級光束引起之樣本表面充電之一概念圖400。由於電荷建立於樣本110 (例如晶圓)上，所以次級電子在視域(FOV)之邊緣處經歷每米達百萬伏之強橫向場，從而使得次級電子錐116相對

於光學軸自零度(402)偏轉至一非零度(404)對準。跨次級電子能量光譜之偏轉係不對稱的，其中較慢之次級電子由於較長之相互作用時間而經歷一較大偏轉。在此實例中，電場係對稱的且FOV之中間之次級電子未偏轉。因此，次級電子影像束偏轉角度根據FOV中之位置而改變。除了次級電子束不穩定性，局部電荷呈現對次級電子(例如，圖4A之實例中之5 V)之一電位屏障。因此，在此實例中，具有小於5 eV能量之所有次級電子未能到達射度分析器總成120 (在圖4A中未展示)。

圖4B繪示根據本發明之一或多項實施例之局部電荷場等電位及大萃取場等電位之一概念圖410。圖4C繪示根據本發明之一或多項實施例之局部電荷場及大萃取場之疊加之一概念圖420。應注意，萃取場減少由電荷場呈現至次級電子之電位屏障且顯著減少FOV之邊緣處之橫向場強度。因此，影像束116不像在FOV之邊緣處強烈地偏轉且更多影像信號到達射度分析器總成120之一或若干偵測器。圖4D描繪自其中在影像擷取期間發生次級電子束漂移之一樣本110獲得之一影像430。如所展示，影像430顯示跨影像對角地變更之大量對比變動，此係因為成像期間之影像束漂移。

應注意，使用原位泛射預填可減少電荷電位屏障及由表面充電引起之橫向場。

圖4E繪示根據本發明之一或多項實施例之一泛射電荷之效應之一概念圖440。例如，如所展示，其施加一10 μm 區域之原位泛射電荷。描繪環繞一1 μm 影像區域之一原位預填中之電荷等電位及一大萃取場(1.5 kV/ μm)中之等位線。所使用之泛射場應充滿待成像之絕緣材料。依此方式，由初級光束104在成像期間加入之電荷應不會顯著改變樣本110之表面電位。

圖4F繪示根據本發明之一或多項實施例之原位泛射電荷場及萃

取視圖之疊加之一概念圖450。在以上實例中，呈現至次級電子之電位屏障減少至 $<0.5V$ 且在影像FOV之邊緣處幾乎消除橫向場。因此，一最大影像束到達偵測器且影像束位置在整個影像FOV上更穩定。藉由減少與局部充電相關之局部場強度而顯著減少藉由局部充電之影像束之透鏡化。

圖4G繪示根據本發明之一或多項實施例之配備有原位泛射能力之系統100之一方塊圖。一原位泛射做法可用於與本發明之射度分析器總成120組合以幫助消除由表面充電引起之極性誤差鑑別誤差。此外，歸因於使用一原位泛射程序獲取之影像束之穩定性而增強射度分析器總成120之效能。

在一項實施例中，如圖4G中所展示，系統100可包含經組態以利用一經選擇之電荷量來預填樣本110之表面之一專屬泛射式電子槍455。在另一實施例中，圖4G中未展示，該系統可使用來自電子源102之初級光束104預填樣本110之表面。

在一項實施例中，藉由利用射度分析器總成120偵測樣本之表面電位已充電至一預定值而判定原位泛射時間。在另一實施例中，一旦判定樣本110之表面電位已充電至一預定值，系統100即可利用初級光束104或一專屬泛射式電子槍455預填樣本之表面。例如，控制器121可自射度分析器總成120接收樣本110之表面電位量測。接著，控制器121可判定樣本110之表面是否已充電至一預定值或臨限值。繼而，在其中樣本110之表面展示充電高於預定值之情況中，控制器121可引導電子源102或專屬泛射式電子槍455對樣本110之表面施加一預填。

在另一實施例中，緊接在影像擷取前，系統100可經由一原位泛射式電子槍455將樣本110預填至一預定電壓，接著在開始影像擷取期間，在確立控制迴圈之前之一預定時間內將射度分析器總成120保持於該電壓處。

在另一實施例中，一加速襯管沿影像束路徑114、116共軸地放置以最小化次級電子116至射度分析器總成120之轉變時間且減少平移至極角誤差之軸向位移。

圖4H繪示根據本發明之一或多項實施例之一分段式電子偵測器142上之次級電子之著陸圖案462。

在剩餘影像束位置漂移存在之情況中，可使用來自射度分析器總成120之反饋來減少(或完全消除)此漂移。例如，當影像束經適當對準且由第二電子偵測器142 (例如，見圖1A)攔截之電流穩定時，一五段式偵測器(圖4G中展示)之任何兩個對置外象限之間之差值應為零。若影像束偏移，則對置外象限之間之差值將變為非零且可用作為一誤差信號以經由射度分析器總成120之偏轉光學器件124 (例如，偏轉板)驅動一合適校正。在此方面，以下關係式可用於偏轉校正：

$$(Q1-Q3)/(C+Q1+Q2+Q3+Q4)) \quad \text{方程式1}$$

$$(Q2-Q4)/(C+Q1+Q2+Q3+Q4)) \quad \text{方程式2}$$

其中Q1、Q2、Q3、Q4及C表示由一五段式多段偵測器之Q1、Q2、Q3、Q4及C偵測部分量測之信號。應注意，將該等差值除以總信號幫助使得此等誤差信號能夠抵抗影像束電流中之小變化，此可起因於初級光束104之變動及隨樣本而異之次級發射之變動。

圖4I繪示根據本發明之一或多項實施例之描繪用於校正射度分析器120 (或一類似組態)中之光束錯位之一方法之一流程圖470。在步驟472中，自多段偵測器142之Q1、Q2、Q3、Q4及C部分取得信號。例如，控制器121可接收自多段偵測器142之Q1、Q2、Q3、Q4及C部分量測之信號。在步驟474中，可針對影像束判定一或多個偏轉校正。例如，控制器121可應用以上描述之方程式1及/或方程式2以判定用於對準入射於偵測器142上之影像束所需要之一偏轉校正。在步驟476中，基於經判定之偏轉校正而調整影像束對準。例如，控制器121可

基於使用方程式1及/或方程式2計算之偏轉校正而引導該組偏轉光學器件124校正影像束之位置。

應注意，儘管在射度分析器總成120之內容背景中描述圖4H（或圖1A）之分段式偵測器142，但此不係對圖4H中描繪之偵測器之用途之一限制。在本文中應意識到，可在任何電子分析裝置之內容背景中實施圖4H之分段式偵測器，諸如(但不限制於)一射度分析器或一漂移管/能量過濾器系統。

應進一步注意，一或多個大型偵測器陣列可用作為射度分析器總成120中之一或多個偵測器以改良方位及極角鑑別。在一項實施例中，一大型偵測器陣列可用於獲得一影像抓取中之各影像像素之極性及方位角分佈。在另一實施例中，繼擷取極性及方位角分佈映射後，可演現樣本之表面拓撲之3D影像。在另一實施例中，極性及方位角分佈可用於提供關於樣本110之3D度量衡資訊。

在另一實施例中，射度分析器總成120可掃描能量過濾器128，同時取得極性及方位角資訊從而提取關於極性及方位角分佈係如何根據次級電子能量而變化之資訊。

在另一實施例中，運用極性及方位角資訊，射度分析器總成120可僅利用具有高於可程式化能量過濾器臨限值之能量之次級電子演現表面拓撲之影像。

在另一實施例中，射度分析器總成120可取得兩個影像(運用一不同能量過濾器臨限值取得各影像)且減去該兩個影像，以僅使用具有兩個能量過濾器設定點之間之能量的次級電子演現暗場影像。

在另一實施例中，射度分析器總成120可取得高於由能量過濾器128設定之臨限值的次級電子之極性及方位角資訊，且同時亦取得樣本110之經掃描之區域之平均表面電位。

圖5A繪示在能量鑑別期間由於藉由初級光束對樣本之表面充電

而引入之誤差之一概念圖500。

在一些實施例中，射度分析器120之控制電壓參考樣本110之表面電位。在絕緣之情況中，可執行為晶圓充電、追蹤影像束發射點之表面電位。

曲線502描繪自一中性表面(即，表面電位為0 V)獲得之次級電子能量光譜。曲線504描繪自一帶電表面獲得之次級電子能量光譜。應注意，自一表面電壓加諸於次級電子上之電位能量使得次級電子能量分佈偏移。此外，在絕緣表面之成像期間充電將使得次級電子能量光譜隨時間而改變。此效應在所要能量鑑別臨限值中引入誤差。例如，如圖5A中所展示，一能量鑑別臨限值經設定以拒斥5 eV及以下之次級電子。在其中次級電子發射表面充電2.5 V正電壓之情況中，能量過濾器鑑別分佈臨限值偏移該量(2.5 V)且在所要之5 eV臨限值中引入2.5 eV之一誤差。

在美國專利公開案2013/0032729及美國專利第7,141,791號中大體上描述控制電壓參考樣本表面電位，該等案以引用之方式併入本文中。

圖5B繪示根據本發明之一或多項實施例之配備有一閘控積分器512之系統500之一方塊圖。在一項實施例中，閘控積分器512用於封閉樣本表面電位與影像路徑光學器件之間之控制迴圈以消除電荷引發之影像假影。在此方面，能量過濾器臨限值偏移可鎖定至樣本表面電位。

應注意，術語「閘控」用於提及一輸入可與積分器之輸入「斷開」以忽略非所要之表面電壓資訊。例如，可期望在下列操作設定之一或多者期間閘控斷開輸入：在成像掃描圖框之邊緣期間；在返馳期間；當光束被消隱及類似者時。

成像光學器件可包含(但不限制於)一組偏轉光學器件503、一第

一電光透鏡505、一能量過濾器507、一第二電光透鏡509及一偵測器511 (例如，分段式偵測器)。在一項實施例中，利用閘控積分器512形成控制迴圈之影像路徑光學器件包含能量過濾器507。能量過濾器507可包含(但不限制於)一平坦網孔、一半球形/凹面網孔或多個網孔。

在一項實施例中，閘控積分器512包含一前端及混合模組528及一D/A模組530。在一項實施例中，由前端及混合模組528接收一偵測器輸出。例如，將一多通道分段式偵測器(諸如偵測器142)之各者之輸出傳輸至前端及混合模組528。繼而，自模組前端及混合模組528傳輸總偵測器電流至差值模組532。此外，前端及混合模組528可提供一視訊輸出。偵測器電流之預期平均值自D/A模組530傳輸至差值模組532。接著，差值模組532針對一特定能量臨限值來比較偵測器電流(例如，一分段式偵測器142之所有通道之總和)與偵測器電流之預期平均值。應注意，偵測器電流之預期值與偵測器電流之實際總值之間之差值指示比預期更多或更少之電子正通過能量過濾器。接著，將差值模組532之輸出傳輸至閘控/積分模組534。接著，由閘控/積分模組534搭配一預定時間常數積分差值模組532中之差值。因此，該輸出追蹤樣本之表面電位。

繼而，將閘控/積分模組534之輸出傳輸至一或多個信號處理元件536 (例如，處理電路、轉換器、驅動器及類似者)。接著，處理元件536將偏移自閘控/積分模組534饋入至能量過濾器507而作為一偏移，藉此保留能量過濾器鑑別臨限值。此外，處理元件536提供一樣本表面電位輸出。

在一項實施例中，積分時間常數可設定為取決於所要平均量之值之一範圍。在另一實施例中，積分器可經閘控，其中當經閘控時，該積分器之輸出保持於該值處以在返馳期間忽略偵測器或將控制迴圈僅鎖定於影像區域之部分上。在一項實施例中，閘控積分器512利用

來自視域外部之一預掃描區域之一信號鎖定且使用該預掃描鎖定值開始封閉迴圈影像擷取。在另一實施例中，閘控積分器512利用來自影像區域外部之一預掃描區域之一信號鎖定且在影像擷取期間保持該鎖定值。在另一實施例中，閘控積分器512使用僅來自影像區域之一部分之一信號且閘控或阻擋來自該影像之其他區域之信號。在另一實施例中，閘控積分器512使用在光束返馳期間產生之一閘控信號。在另一實施例中，系統510儲存對應於一程式庫(recipe)中之不同影像點之閘控積分器512之一或多個鎖定值且迫使閘控積分器512在執行程式庫期間開始各影像擷取時使用彼等鎖定值。

在另一實施例中，閘控積分器512可將一或多個控制信號傳輸至控制電路514、516、518、520、522、524及526以回應於閘控積分器512之輸出而控制電光系統500之各種組件。

應注意，圖5B中描繪之做法之一缺點係隨晶圓而異之次級電子發射中之小變化及初級光束電流或偵測器增益中隨著時間之推移之變化可在預定偵測器電流中引入引起不正確能量過濾器臨限值設定點之誤差。可部分在一程式庫開始時或載台在影像點之間移動期間由一自動校準程序減輕此缺點。在一第一步驟中，該校準程序可包含將能量過濾器設定為0 V。在一第二步驟中，該校準程序可包含量測偵測器電流。在一第三步驟中，基於次級電子分佈之先前知識，該校準程序可包含計算用於所選擇之能量過濾器鑑別臨限值之一預期偵測器電流值。

圖5C繪示根據本發明之一或多項實施例之配備有用於建立一多光束能量過濾器陣列之控制迴圈之閘控積分器512之系統540之一方塊圖。

在一項實施例中，系統540包含多光束電光系統541。在一項實施例中，系統539包含一陰極542及一多光束孔543以形成N個初級光

束544。回應於N個初級光束544，樣本110發射N個次級電子束545。電光系統539進一步包含分析器光學器件541。在一項實施例中，分析器光學器件539包含一或多個偏轉光學器件546、一第一電光透鏡547、一能量過濾器陣列549、一偵測器陣列550及一組N個偵測器前置放大器551。

在一項實施例中，射束能量過濾器549係通用的且經控制作為一群組。應注意，在其中全域控制射束能量過濾器549之設定中，所有初級射束電流之總和可用於鎖定提供一顯著減少之鎖定時間之控制迴圈。在另一實施例中，分開控制多重能量過濾器549之各射束能量過濾器。在此方面，單獨控制各射束能量過濾器549。

應注意，在圖5B之閘控積分器512之內容背景中描述之控制步驟一般可延伸至圖5C之多重射束內容背景。此外，處理電路536可經由直接高電壓供應538而調整能量過濾器孔549之電位。

在一項實施例中，系統540可使用一第二能量過濾器設定且採用第一影像集合與第二影像集合之間之差值而獲得一多光束影像集合，以獲得一帶通多光束影像集合。在另一實施例中，系統540可使用依一控制-保持-控制-保持序列之控制迴圈，使得利用控制迴圈運行獲取影像圖框之僅一部分。

在另一實施例中，系統540在程式庫建立期間使用能量過濾器來記錄一表面電荷剖面，同時影像經擷取且當執行程式庫時在影像擷取期間使用此剖面來控制能量過濾器電位。替代地，系統540可當執行程式庫時在影像擷取期間偏置控制迴圈。

應注意，漂移管/能量過濾器及射度分析器總成受益於需要其等控制電壓參考晶圓表面電位。然而，由於其等皆採用一漂移區域，所以控制參考電壓中之誤差引起偵測器之平面中之次級電子之徑向分佈之大變化。

圖5D繪示不具有迴圈控制之一帶電表面之偵測器之平面中之一次級電子分佈560。圖5E繪示一帶電表面之偵測器之平面中之一次級電子分佈561，其中該帶電表面具有晶圓表面電位與射度分析器總成120之間之一閉合迴圈。藉由使用第二偵測器142中之(中心通道)/(外部通道)之比率產生一閘控積分器之一誤差信號，可穩定歸因於充電之極角鑑別漂移(見圖表561)。

圖5E繪示描繪漂移區域電位誤差與中心通道除以四個外象限之總和的比率變化之間之關係之圖表550。自偵測器通道之比率導出之一誤差信號將免受初級光束電流變化、次級發射變化及視訊鏈中之增益變化中之誤差。

例如，若假定次級電子束中有一1 nA電流，則由(中心通道)/(外部通道)組成之一信號之信雜比具有圖5F之圖表560中展示之泰勒級數近似(Taylor series approximation)。圖表560亦描繪所有通道Q1至Q4及C之總和。

圖5G繪示用於將射度分析器120釘紮於樣本110之表面電位之伺服系統580。應注意，本文先前相對於閘控積分器512描述之實施例及組件應解譯為延伸至圖5G中繪示之實施例。在一項實施例中，搭配閘控積分器512形成控制迴圈之影像路徑光學器件包含射度分析器總成120。例如，自減速區域入口至偵測器之各物可充當影像路徑光學器件，藉以由閘控積分器512判定用於此等組件之參考電位。在另一實施例中，閘控積分器可使用控制電路組件581至589來控制各種組件之電位。

在另一實施例中，系統580包含坐落於自分光器元件112至射度分析器減速區域之入口之影像路徑周圍之一加速襯套590以最小化影像束之轉變時間。應注意，加速襯套可縮減極角鑑別中之轉變時間引發誤差。

在本文中應注意，在射度分析器120之內容背景中實施之閘控積分器方案產出樣本110之即時(在控制迴圈之頻寬內)表面電位。在一項實施例中，系統580之射度分析器120可用於建構樣本表面之電位映射。

圖5H繪示由閘控積分器512控制或「伺服」之射度分析器120之元件。該方案可為影像束呈現一靜態電位環境。在一項實施例中，第一偵測器128與第二偵測器142之間之所有元件(包含第一偵測器128及第二偵測器142)在樣本110之表面電位處浮動。應注意，樣本110中之次級電子116當離開樣本110時加速且其等能量由於表面充電而變化較小。在一項實施例中，射度分析器總成120之一或多個組件經伺服具有樣本表面電荷電壓，使得呈現至次級電子之電場環境即使在存在充電表面電壓之情況下亦係恆定的。

圖5I繪示根據本發明之一或多項實施例之配備有一閘控積分器512之系統591之一方塊圖。在一項實施例中，閘控積分器512用於關閉含有一漂移管579之控制迴圈。應注意，本文先前相對於閘控積分器512描述之實施例及組件應解譯為延伸至圖5I中繪示之實施例。在美國專利第7,141,791號中大體上描述用於圖5I之實施例中之一漂移管，該案之全文引用之方式併入本文中。

在另一實施例中，閘控積分器可使用控制電路組件592至599控制各種組件之電位。

圖6A繪示根據本發明之一或多項實施例之配備有本文先前描述之原位泛射、閘控積分器及射度分析器能力之一系統600。在一項實施例中，系統600包含射度分析器總成120及閘控積分器512。在另一實施例中，系統600包含一原位泛射式電子槍602及一泛射式電子槍控制器601。在一替代性實施例中，如本文先前所討論，可使用電子源102提供原位泛射。

原位泛射式電子槍602及控制器601 (或電子源102)可經組態以與射度分析器總成120組合，而在泛射期間使用自射度分析器總成120之反饋可靠且重覆地將樣本110預填至一預定電壓。

在一項實施例中，在粗載台行進期間，可將射度分析器總成120高電壓設定為在程式庫建立期間判定之一值。在另一實施例中，在粗載台安定期間，供能給泛射式電子槍602及泛射束偏轉器604且關閉射度分析器總成120中之第一電子偵測器128。此外，由分光器元件112將來自泛射束之次級電子投送至偏轉器。如圖6B中所展示，第一電子偵測器128消除大部分原位次級電子，藉此保護第二電子偵測器142免於飽和。隨著樣本110之表面充電，次級電子能量接近能量過濾器138之截止能量。在此模式中，能量過濾器128無需正確無誤，但必須精確且可重複。隨著次級電子開始被能量過濾器128拒斥，由閘控積分器512感測偵測器電流之下降，繼而將一信號發送至泛射式電子槍控制器601且關閉泛射式電子槍。

在細載台安定期間，將射度分析器總成120設定為接近樣本110之表面電位且僅需要FOV外部之一小預掃描來鎖定閘控積分器512。之後開始鎖定閘控積分器512影像擷取。

應注意，在半導體經充電以用於使得射度分析器總成120依一穩定方式操作之情況中，可需要一大型區域原位預填。

圖6C繪示電荷建立與樣本110之層厚度之間之關係之一概念圖610。樣本110包含一半導體裝置樣本，該半導體裝置樣本包含一矽層及一聚乙烯層及在一SiO₂層中塗佈之一金屬層。此外， I_p 表示與初級光束相關之初始電流612。 I_c 表示與保持於表面中之電荷相關之電流比重。 I_L 表示與自著陸點洩漏之電荷相關之洩漏電流。 $I_{SE,BSE}$ 係與由樣本表面發射之次級電子及反向散射電子相關之電流。應注意，藉由用初級光束104輻射一已知區域且允許射度分析器總成120追蹤晶圓表

面電位，可獲得充電率。此外，利用在程式庫建立期間之程序及特性之先前知識可導出層臨界尺寸(CD)。

在一項實施例中，一或多個控制器(例如，控制器121)或其他類似控制系統可包含通信地耦合至一輸出裝置(例如，偵測器142)及記憶體之一或多個處理器。在一項實施例中，一或多個處理器經組態以執行維持在記憶體中之一組程式指令。

控制器之一或多個處理器可包含此項技術中已知之任何一或多個處理元件。在此方面，一或多個處理器可包含經組態以執行演算法及/或指令之任何微處理器裝置。在一項實施例中，一或多個處理器可由一桌上電腦、大型電腦系統、工作站、影像電腦、平行處理器或經組態以執行一程式(經組態以操作各種系統及子系統實施例之一或多個部分)之其他電腦系統(例如，網路電腦)組成，如本發明所描述。應意識到，在本發明中描述之步驟可由一單一電腦系統實施或替代地由多個電腦系統實施。一般而言，術語「處理器」可廣泛地定義以涵蓋具有執行一非暫時性記憶體媒體中之程式指令之一或多個處理元件之任何裝置。再者，一或若干系統之不同子系統可包含適合用於實施本發明描述之步驟之至少一部分之處理器或邏輯元件。因此，以上描述不應解譯為對本發明之一限制而僅是一繪示。

記憶體可包含此項技術中已知之適合用於儲存由相關一或多個處理器可執行之程式指令之任何儲存媒體。例如，該記憶體可包含一非暫時性記憶體媒體。例如，該記憶體可包含(但不限制於)一唯讀記憶體、一隨機存取記憶體、一磁性或光學記憶體裝置(例如，磁碟)、一磁帶、一固態磁碟機及類似者。在另一實施例中，在本文中應注意，記憶體經組態以儲存各種系統/子系統及/或本文描述之各種步驟之輸出中之一或多個結果。應進一步注意，記憶體可容置於包含有一或多個處理器之一共同控制器中。在一替代性實施例中，記憶體可相

對於處理器及控制器之實體位置而遠端放置。例如，控制器之一或多個處理器可存取透過一網路(例如，網際網路、內部網路及類似者)可存取之一遠端記憶體(例如伺服器)。在另一實施例中，該記憶體儲存用於使得一或多個處理器實施透過本發明描述之各種步驟之程式指令。

熟習技術者將意識到先進技術已進展至其中系統之態樣之硬體與軟體實施之間幾乎不存在區別之點；硬體或軟體之使用通常(但不總是，此係因為在特定內容背景中硬體與軟體之間之選擇可變得十分重要)係表示成本與效率取捨之一設計選擇。熟習技術者將明白存在本文描述之程序及/或系統及/或其他技術可受其影響之各種運載工具(例如，硬體、軟體及/或韌體)，且較佳運載工具將根據其中部署之程序及/或系統及/或其他技術之內容背景而不同。例如，若一實施者判定速度及精確度係最高的，則該實施者可選擇一主要硬體及/或韌體運載工具；替代地，若靈活性係最高的，則該實施者可選擇一主要軟體實施；或替代地，該實施者可選擇硬體、軟體及/或韌體之一些組合。因此，存在本文描述之程序及/或裝置及/或其他技術可受其影響之一些可能之運載工具，在該等運載工具中沒有一者固然優於另一者，此係因為待使用之任何運載工具係取決於其中將部署之運載工具及實施者之特定考量(例如，速度、靈活性或可預測性)之內容背景之一選擇，該等運載工具之任何者可不同。熟習技術者將意識到實施之光學態樣通常將採用光學定向硬體、軟體及/或韌體。

熟習技術者將意識到在此項技術中通常以本文提及之方式描述裝置及/或程序，且其後使用工程實踐來將此等所描述之裝置及/或程序整合成資料處理系統。即，本文描述之裝置及/或程序之至少一部分可經由一合理之實驗量整合成一資料處理系統。熟習技術者將意識到一典型資料處理系統通常包含一系統單元之一或多者，該系統單元

包含一視訊顯示裝置、一記憶體(諸如揮發性及非揮發性記憶體)、處理器(諸如微處理器及數位信號處理器)、運算實體(諸如作業系統、磁碟機、圖形使用者介面及應用程式)、一或多個互動裝置(諸如一觸控板或螢幕)及/或包含反饋環路及控制馬達(例如，用於感測位置及/或速度之反饋；用於移動及/或調整組件及/或數量之控制馬達)之控制系統。可使用任何適合之商用組件實施一典型資料處理系統，諸如通常在資料運算/通信及/或網路運算/通信系統中發現之彼等組件。

據信，將藉由以上描述理解本發明及其諸多伴隨優勢，且將明白，在不違背所揭示之標的或不犧牲本發明之所有關鍵優勢之情況下可對組件之形式、建構及配置作出各種改變。所描述之形式僅為解釋且以下申請專利範圍意欲涵蓋且包含此等改變。

【符號說明】

100	帶電粒子成像系統
102	電子束源
104	初級光束/初級電子束
105	電光管柱
106	聚光透鏡/電光管柱
108	物鏡
110	樣本
111	次級電子分佈/圖表
112	分光器元件
113	次級電子分佈/圖表
114	反向散射電子/反向散射電子束/反向散射電子錐/影像束/影像束路徑
116	次級電子/次級電子束/次級電子錐/影像束/影像束路徑

120	射度分析器總成/射度分析器
120a	第一射度分析器總成/射度分析器
120b	第二射度分析器總成/射度分析器
120c	第三射度分析器總成/射度分析器
121	控制器
124	偏轉光學器件
124a	偏轉光學器件
124b	偏轉光學器件
126	第一電光透鏡
126a	第一電光透鏡
126b	第二電光透鏡
128	第一電子偵測器/分段式電子偵測器/能量過濾器
128a	偵測器
128b	偵測器
130	中心孔/次級電子共軛點
132	分離管
133	第一網狀元件/第一接地網狀元件/電子減速區域
134	減速區域
135	第二網狀元件/漂移區域
136	漂移區域
138	第一偵測器/能量過濾器
138a	能量過濾器
138b	能量過濾器
140	第二電光透鏡
140a	第二電光透鏡
142	第二電子偵測器/分段式偵測器

144	高密度陣列
146	孔
150	射度分析器
158	孔板
200	系統
202	分光器元件
204	加速管
300	系統
302a	第一分光器元件
302b	第二分光器元件
304	加速襯管/臂
306	加速襯管/臂
308	加速襯管/臂
400	概念圖
402	零度
404	非零度
410	概念圖
420	概念圖
430	影像
440	概念圖
450	概念圖
455	專屬泛射式電子槍
462	著陸圖案
470	流程圖
472	步驟
474	步驟

476	步驟
500	概念圖
502	曲線
503	偏轉光學器件
504	曲線
505	第一電光透鏡
507	能量過濾器
509	第二電光透鏡
510	系統
511	偵測器
512	閘控積分器
514	控制電路
516	控制電路
518	控制電路
520	控制電路
522	控制電路
524	控制電路
526	控制電路
528	前端及混合模組
530	D/A模組
532	差值模組
534	閘控/積分模組
536	信號處理元件
538	直接高電壓供應
539	系統/電光系統/分析器光學器件
540	系統

541	多光束電光系統/分析器光學器件
542	陰極
543	多光束孔
544	初級光束
545	次級電子束
546	斜光學器件
547	第一電光透鏡
549	能量過濾器陣列/射束能量過濾器/多重能量過濾器/ 能量過濾器孔
550	偵測器陣列
551	偵測器前置放大器
560	次級電子分佈
561	次級電子分佈
579	漂移管
580	系統
581	控制電路組件
582	控制電路組件
583	控制電路組件
584	控制電路組件
585	控制電路組件
586	控制電路組件
587	控制電路組件
588	控制電路組件
589	控制電路組件
590	加速襯套
591	系統

592	控制電路組件
593	控制電路組件
594	控制電路組件
595	控制電路組件
596	控制電路組件
597	控制電路組件
598	控制電路組件
599	控制電路組件
600	系統
601	泛射式電子槍控制器
602	原位泛射式電子槍
604	泛射束偏轉器
610	概念圖
612	初始電流
Q1至Q4	四個象限偵測部分
C	中心偵測部分

申請專利範圍

1. 一種掃描電子顯微鏡設備，其包括：
 - 一電子束源，其經組態以產生一電子束；
 - 一組電光元件，其將該電子束之至少一部分引導至樣本之一部分上；
 - 一射度分析器總成；
 - 一分光器元件，其經組態以將由該樣本之一表面發射之次級電子或反向散射電子之至少一者之至少一部分引導至該射度分析器總成，其中該射度分析器總成經組態以成像該等次級電子或該等反向散射電子之至少一者，其中該射度分析器總成包含：
 - 一組偏轉光學器件；
 - 一第一電光透鏡；
 - 一第一電子偵測器，其包含一中心孔，其中該第一電子偵測器經組態以收集該等次級電子之一部分或該等反向散射電子之一部分之至少一者；
 - 一第一網狀元件，其安置於該第一電子偵測器之下游；
 - 一第二網狀元件，其安置於該第一網狀元件之下游，其中該第一電子偵測器及該第一網狀元件形成一減速區域，其中該第一網狀元件及該第二網狀元件形成一漂移區域；
 - 一能量過濾器，其安置於該第二網狀元件之下游；
 - 一第二電光透鏡；及
 - 一第二電子偵測器，其經組態以收集該等次級電子之一額外部分或該等反向散射電子之一額外部分之至少一者。
2. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該組偏轉光學器件經組

態以使一影像束對準該射度分析器總成之一或多個組件。

3. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該組偏轉光學器件包含一組靜電偏轉器或磁性偏轉器之至少一者。
4. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該組偏轉光學器件安置於一加速襯套內。
5. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該第一電光透鏡安置於該組偏轉光學器件之下游。
6. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該第一電光透鏡包括：
一靜電透鏡或一磁性透鏡之至少一者。
7. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該第一電子偵測器保持於接地處。
8. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該第一網狀元件安置於該第一電子偵測器之下游且保持於與該樣本之表面電位等同之一電位處。
9. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該第二網狀元件安置於該第一網狀元件之下游且保持於與該樣本之表面電位等同之一電位處。
10. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該第一網狀元件包括一平坦金屬絲網。
11. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該第二網狀元件包括一半球形金屬絲網。
12. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該能量過濾器包括一半球形金屬絲網。
13. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該第一電子偵測器或該第二電子偵測器之至少一者包括：
一多通道板偵測器、一固態偵測器或一閃爍器偵測器之至少

一者。

14. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該第一電子偵測器或該第二電子偵測器之至少一者分段為兩個或兩個以上片段。
15. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該射度分析器總成經組態以在次級電子及反向散射電子成像模式中操作。
16. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該射度分析器總成經組態以在反向散射電子及高深寬比電子成像模式中操作。
17. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該射度分析器總成經組態以在僅反向散射電子成像模式中操作。
18. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其中該電子束源經組態以將一原位泛射預填施加至該樣本。
19. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其進一步包括：
 - 一泛射式電子槍，其經組態以將一原位泛射預填施加至該樣本。
20. 如請求項1之掃描電子顯微鏡設備，其進一步包括：
 - 一閘控積分器。
21. 如請求項20之掃描電子顯微鏡設備，其中該閘控積分器經組態以將該射度分析器總成之一或多個組件鎖定至該樣本之表面電位。
22. 一種射度分析器總成，其包括：
 - 一組偏轉光學器件；
 - 一第一電光透鏡；
 - 一第一電子偵測器，其包含一中心孔，其中該第一電子偵測器經組態以收集次級電子之一部分或反向散射電子之一部分之至少一者；
 - 一第一網狀元件，其安置於該第一電子偵測器之下游；

一第二網狀元件，其安置於該第一網狀元件之下游，其中該第一電子偵測器及該第一網狀元件形成一減速區域，其中該第一網狀元件及該第二網狀元件形成一漂移區域；

一能量過濾器，其安置於該第二網狀元件之下游；

一第二電光透鏡；及

一第二電子偵測器，其經組態以收集該等次級電子之一額外部分或該等反向散射電子之一額外部分之至少一者。

23. 如請求項22之射度分析器總成，其中該射度分析器總成經組態以在次級電子及反向散射電子成像模式中操作。

24. 如請求項22之射度分析器總成，其中該射度分析器總成經組態以在反向散射電子及高深寬比電子成像模式中操作。

25. 如請求項22之射度分析器總成，其中該射度分析器總成經組態以在僅反向散射電子成像模式中操作。

26. 如請求項22之射度分析器總成，其中該射度分析器總成經組態以在一次級電子及反向散射電子成像模式、一反向散射電子及高深寬比電子成像模式及一僅反向散射電子成像模式之間切換。

27. 一種系統，其包括：

一第一射度分析器總成；及

一第二射度分析器總成，其中該第一射度分析器總成或該第二射度分析器之至少一者包括：

一組偏轉光學器件；

一第一電光透鏡；

一第一電子偵測器，其包含一中心孔，其中該第一電子偵測器經組態以收集次級電子之一部分或反向散射電子之一部分之至少一者；

一第一網狀元件，其安置於該第一電子偵測器之下游；

一第二網狀元件，其安置於該第一網狀元件之下游，其中該第一電子偵測器及該第一網狀元件形成一減速區域，其中該第一網狀元件及該第二網狀元件形成一漂移區域；

一能量過濾器，其安置於該第二網狀元件之下游；

一第二電光透鏡；及

一第二電子偵測器，其經組態以收集該等次級電子之一額外部分或該等反向散射電子之一額外部分之至少一者。

28. 一種系統，其包括：

一第一射度分析器總成；

一第二射度分析器總成，及

一第三射度分析器總成，其中該第一射度分析器總成、該第二射度分析器總成或該第三射度分析器總成之至少一者包括：

一組偏轉光學器件；

一第一電光透鏡；

一第一電子偵測器，其包含一中心孔，其中該第一電子偵測器經組態以收集次級電子之一部分或反向散射電子之一部分之至少一者；

一第一網狀元件，其安置於該第一電子偵測器之下游；

一第二網狀元件，其安置於該第一網狀元件之下游，其中該第一電子偵測器及該第一網狀元件形成一減速區域，其中該第一網狀元件及該第二網狀元件形成一漂移區域；

一能量過濾器，其安置於該第二網狀元件之下游；

一第二電光透鏡；及

一第二電子偵測器，其經組態以收集該等次級電子之一額外部分或該等反向散射電子之一額外部分之至少一者。

圖式

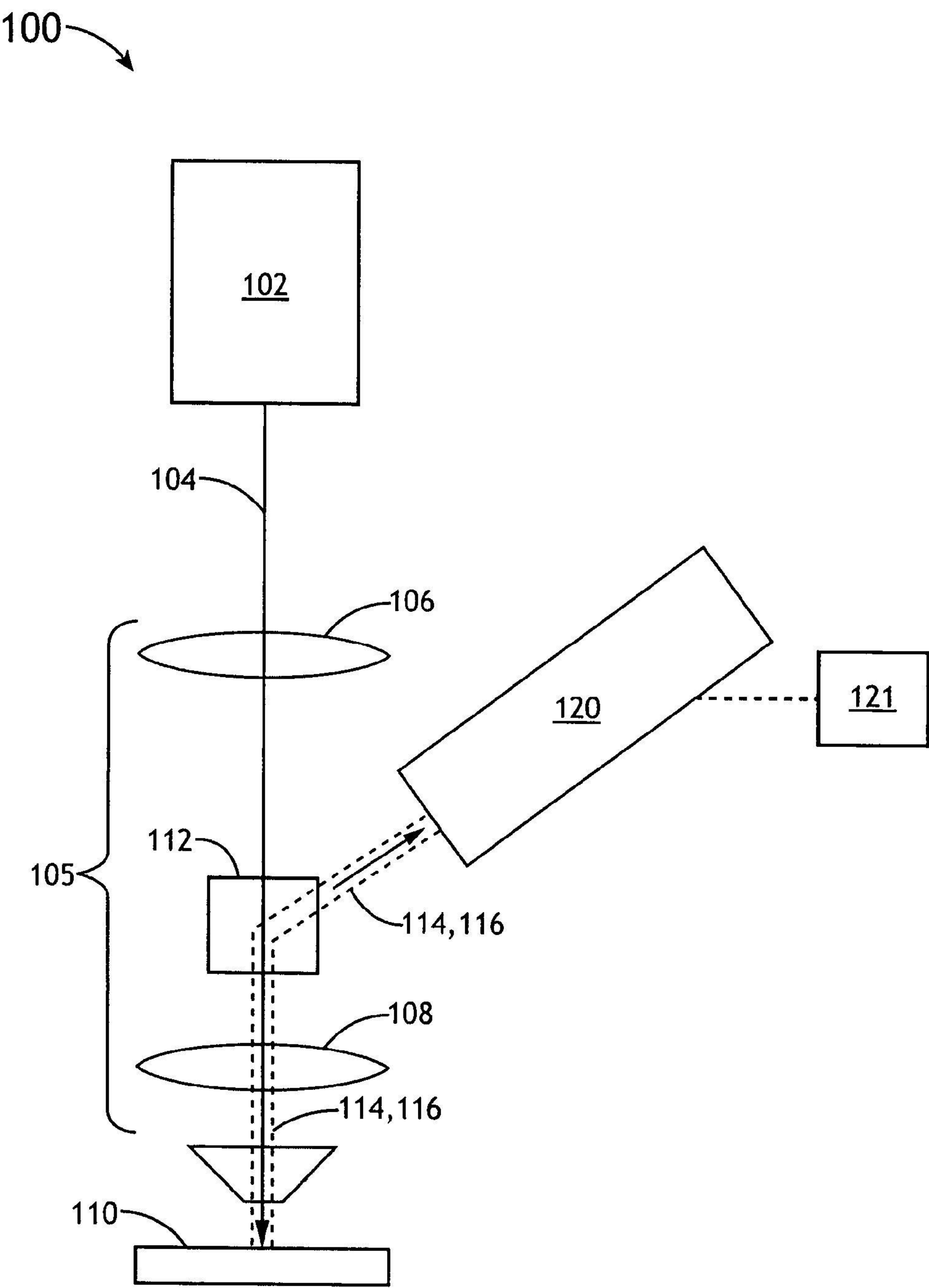
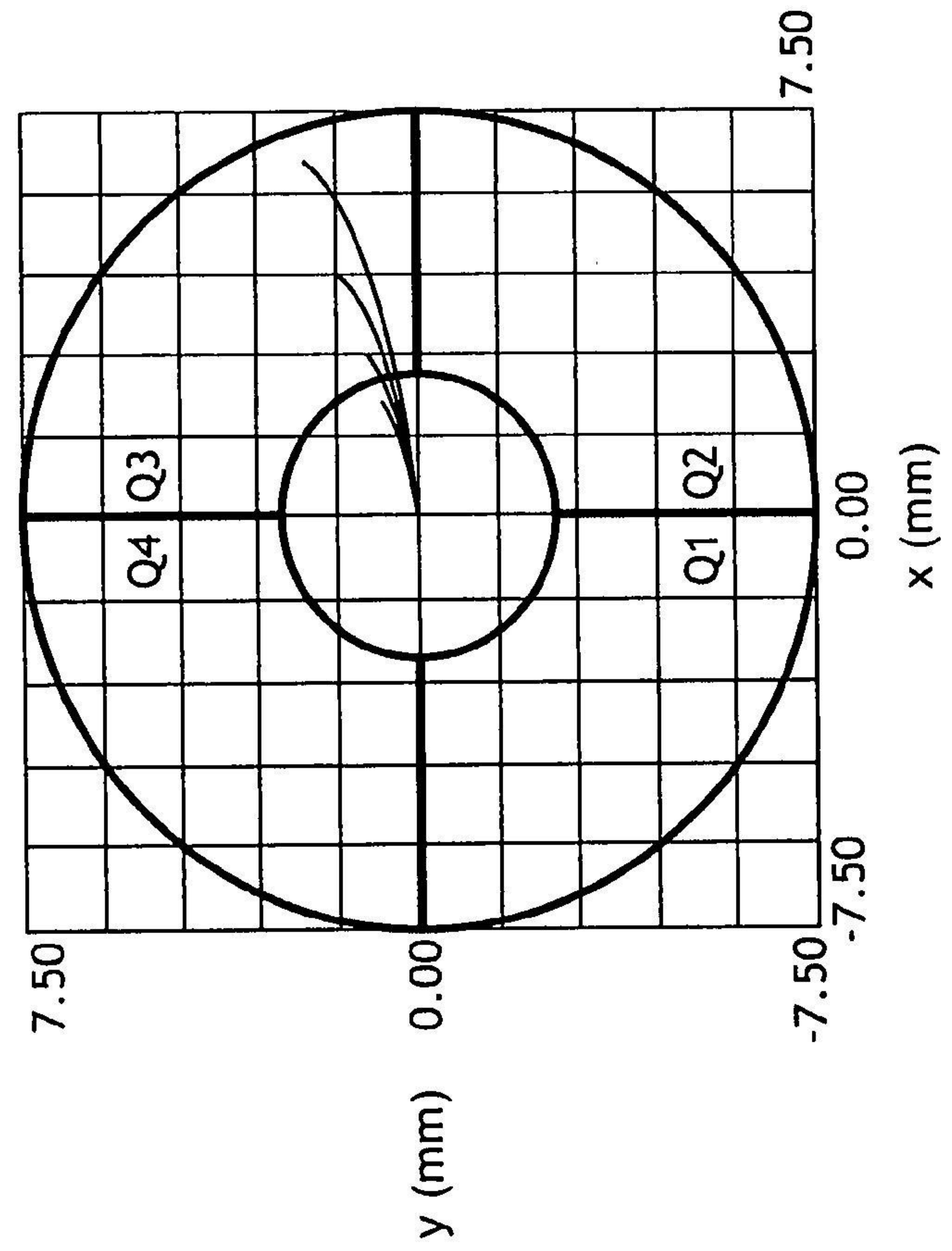


圖1A

111

偵測器之平面中之次級電子分佈



113

偵測器之平面中之次級電子分佈

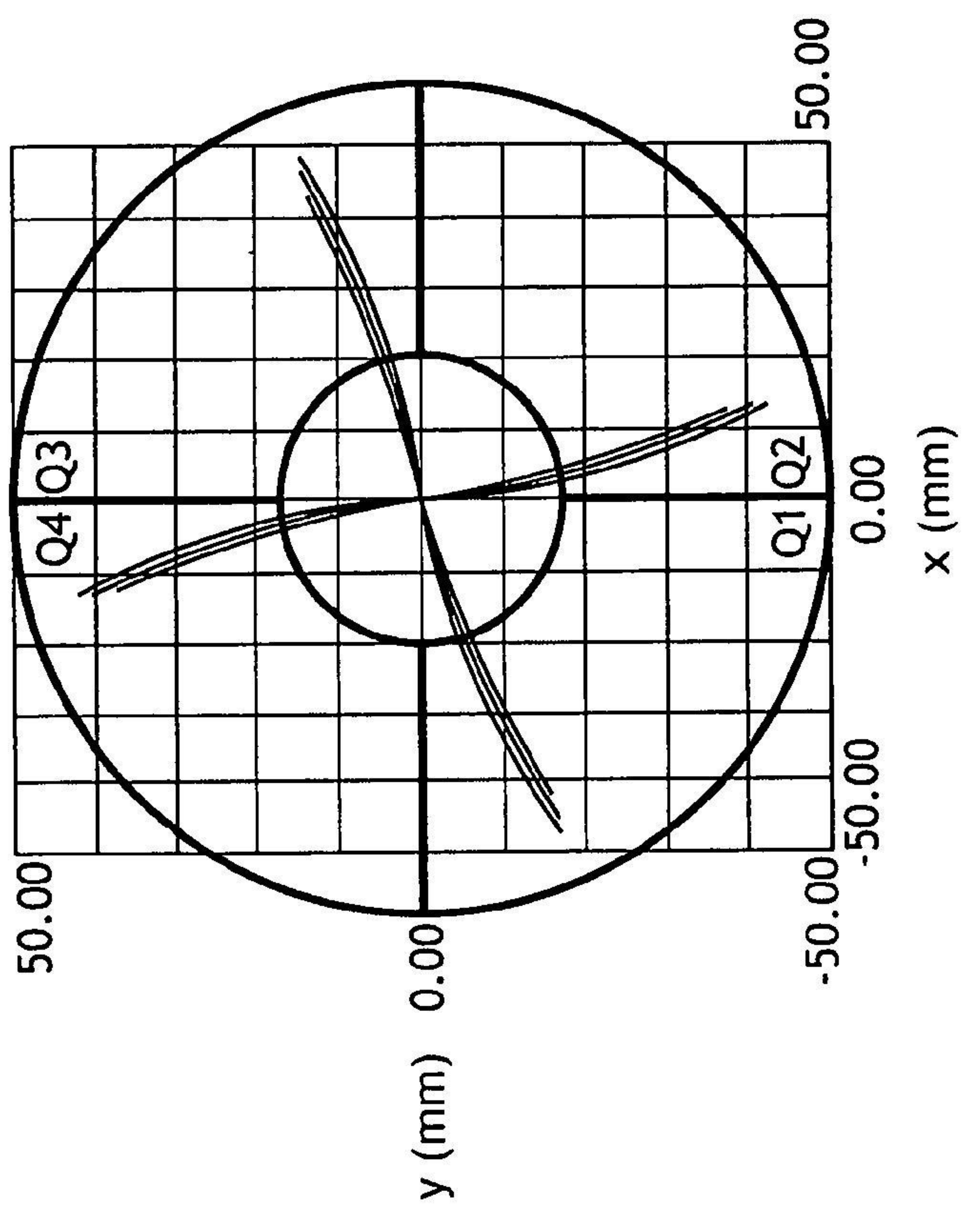


圖1B

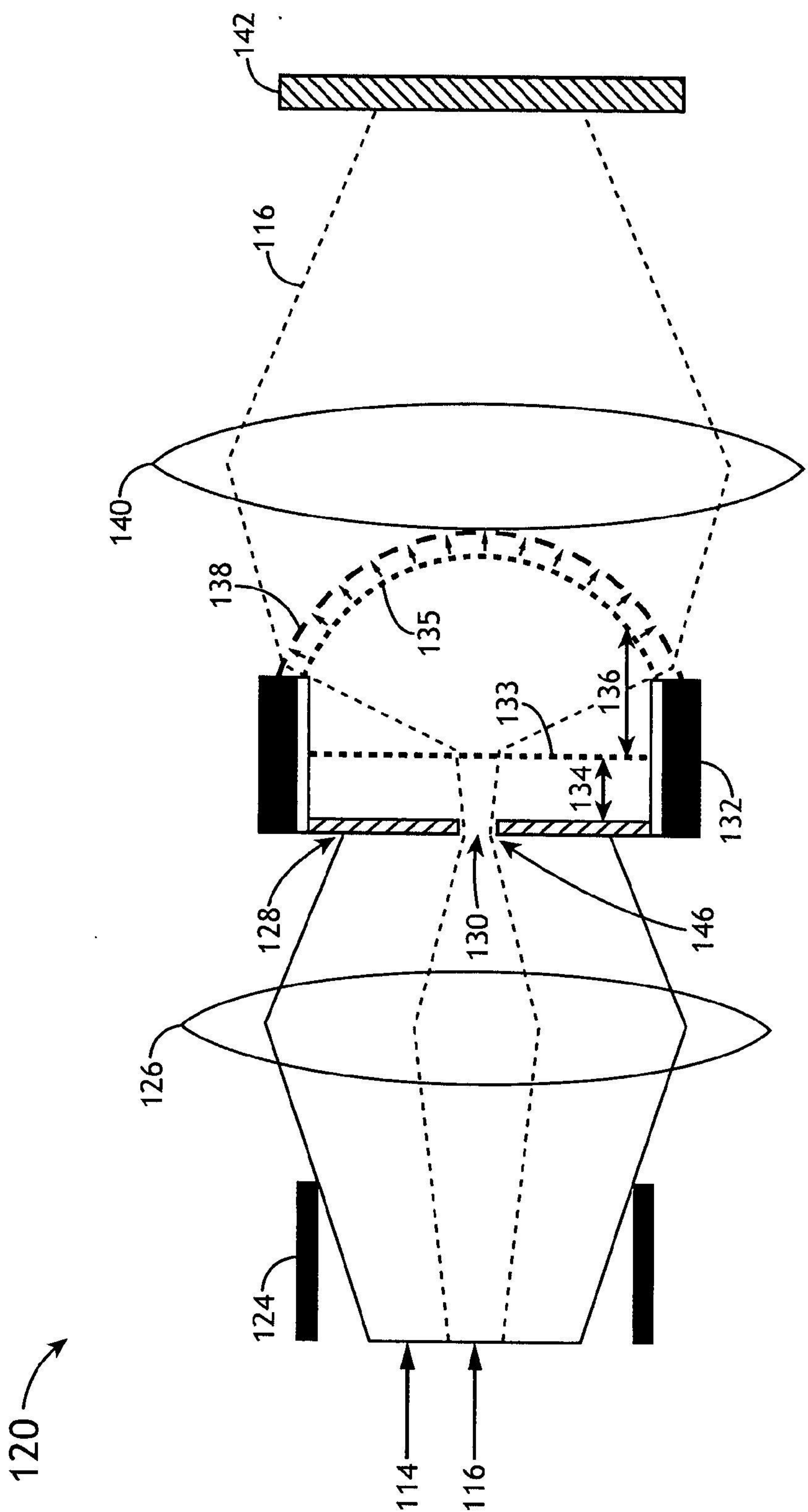


圖1C

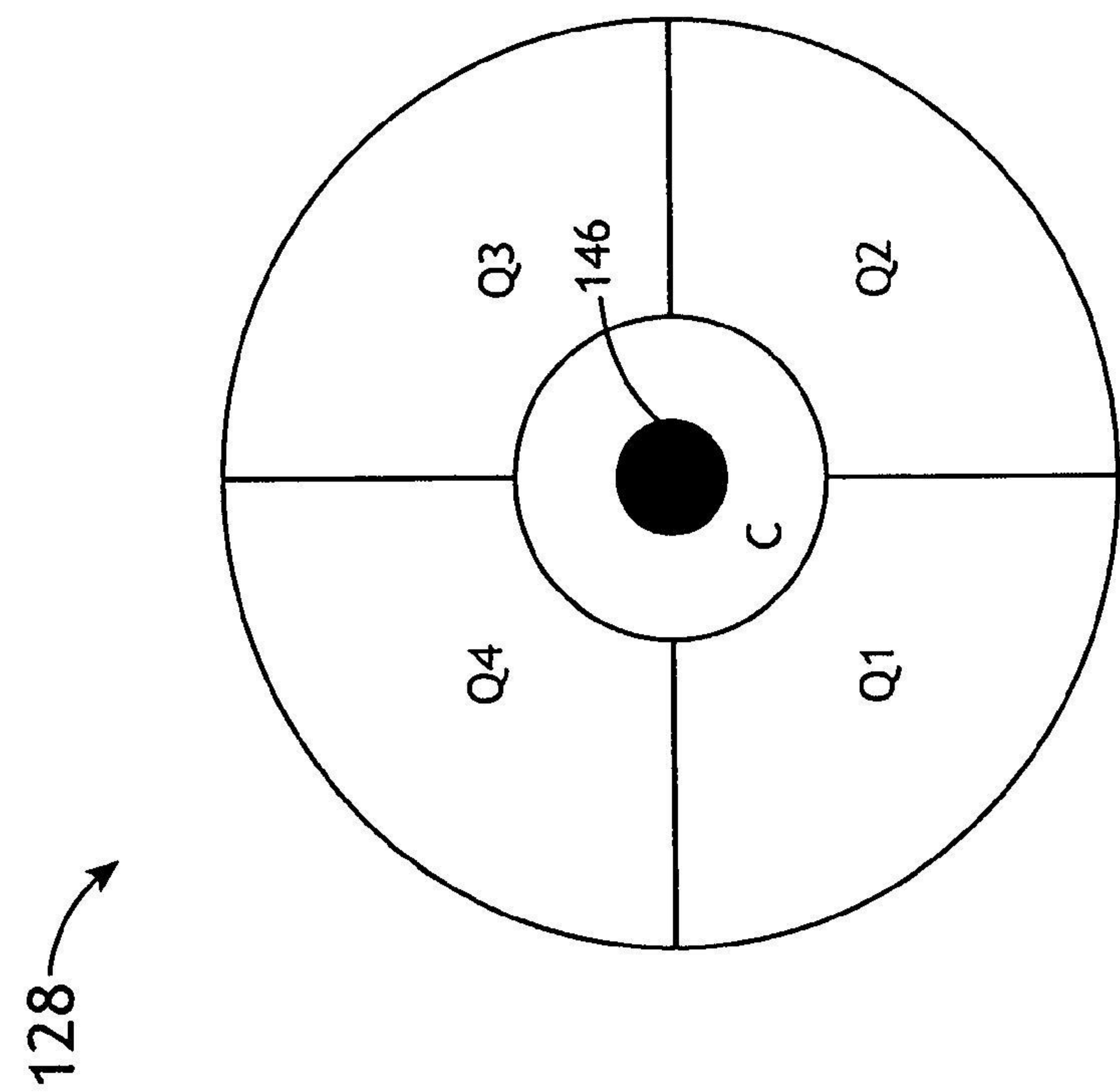


圖1D

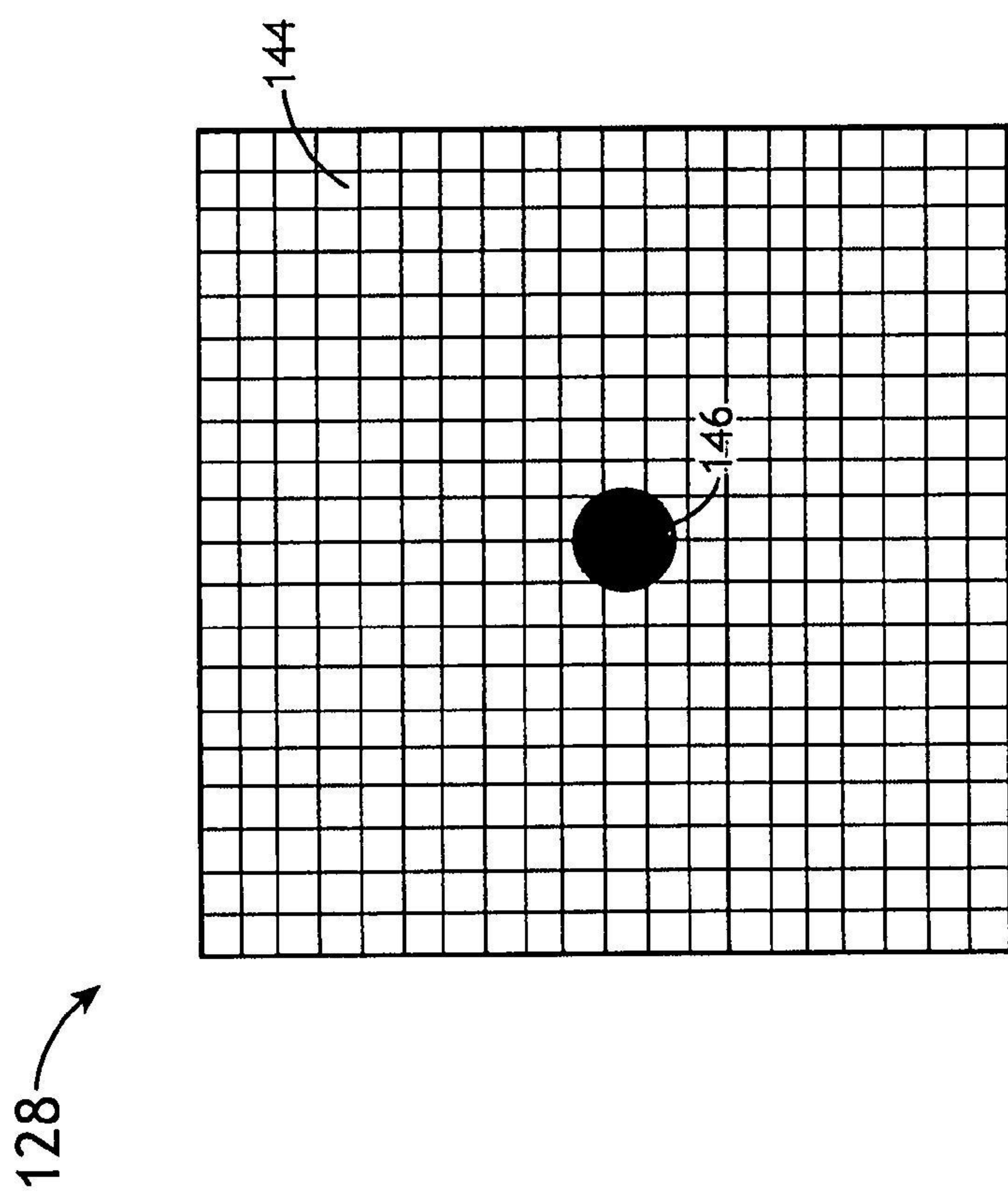


圖1E

150

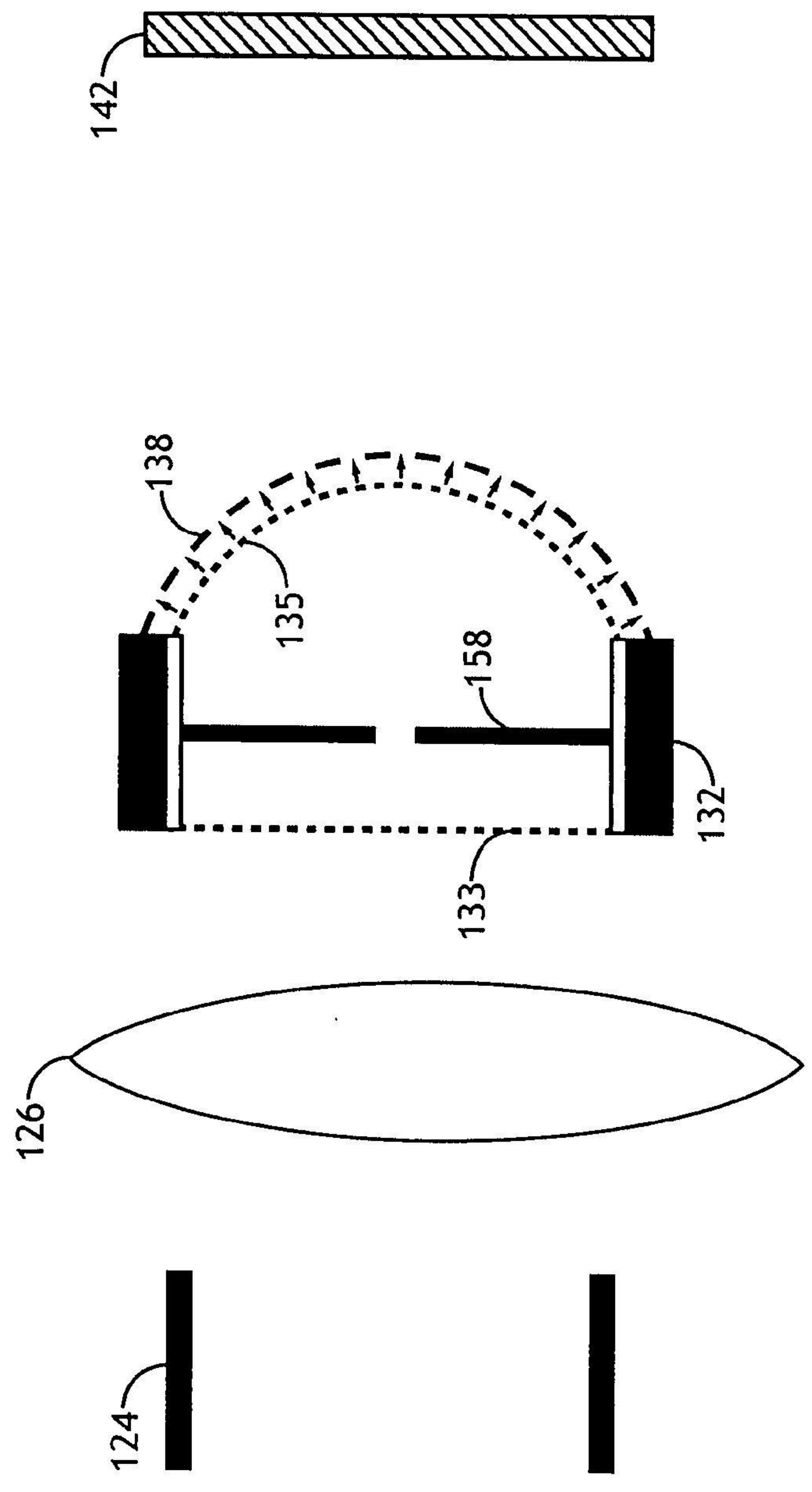


圖1F

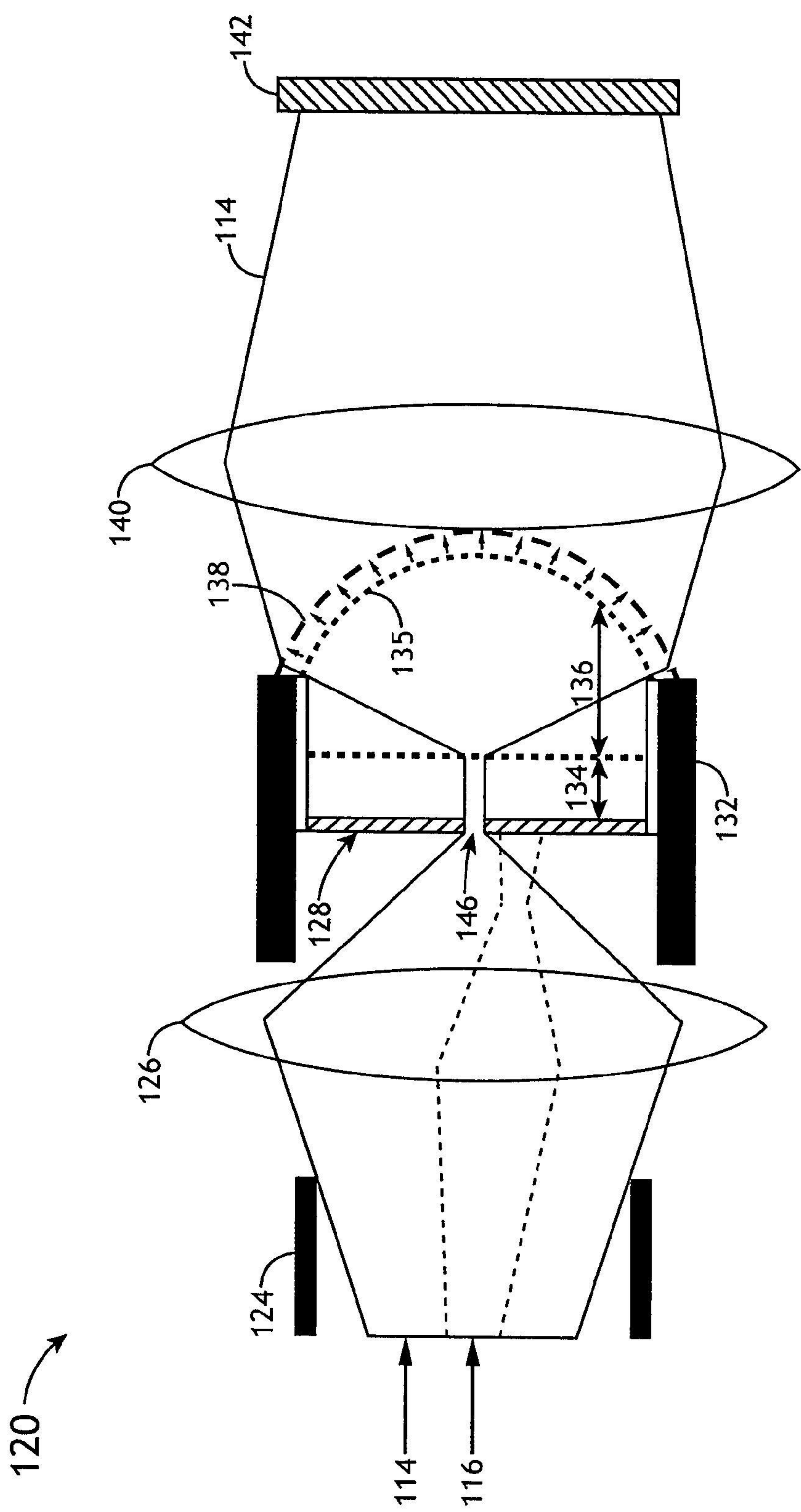


圖 1H

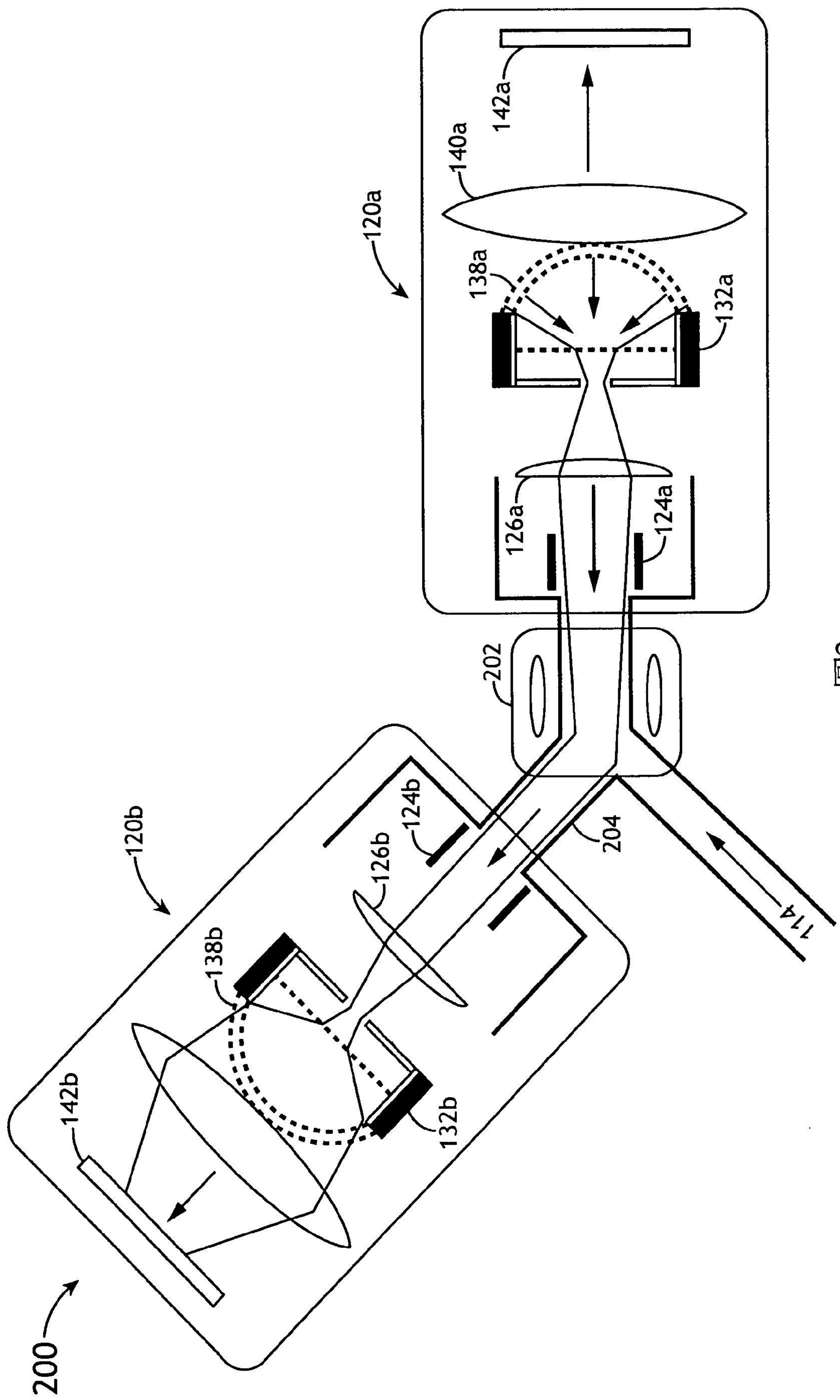


圖2

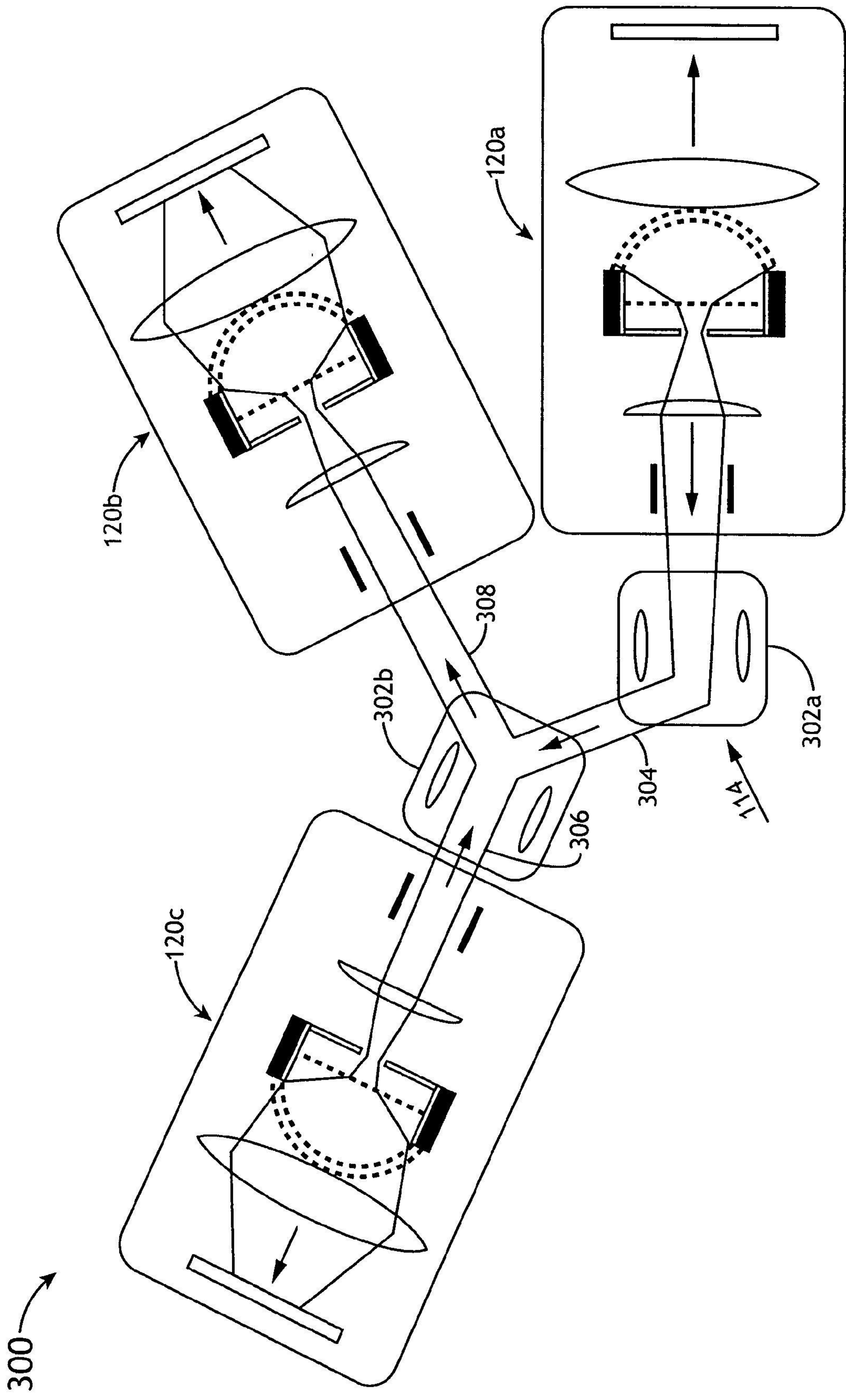


图3

400

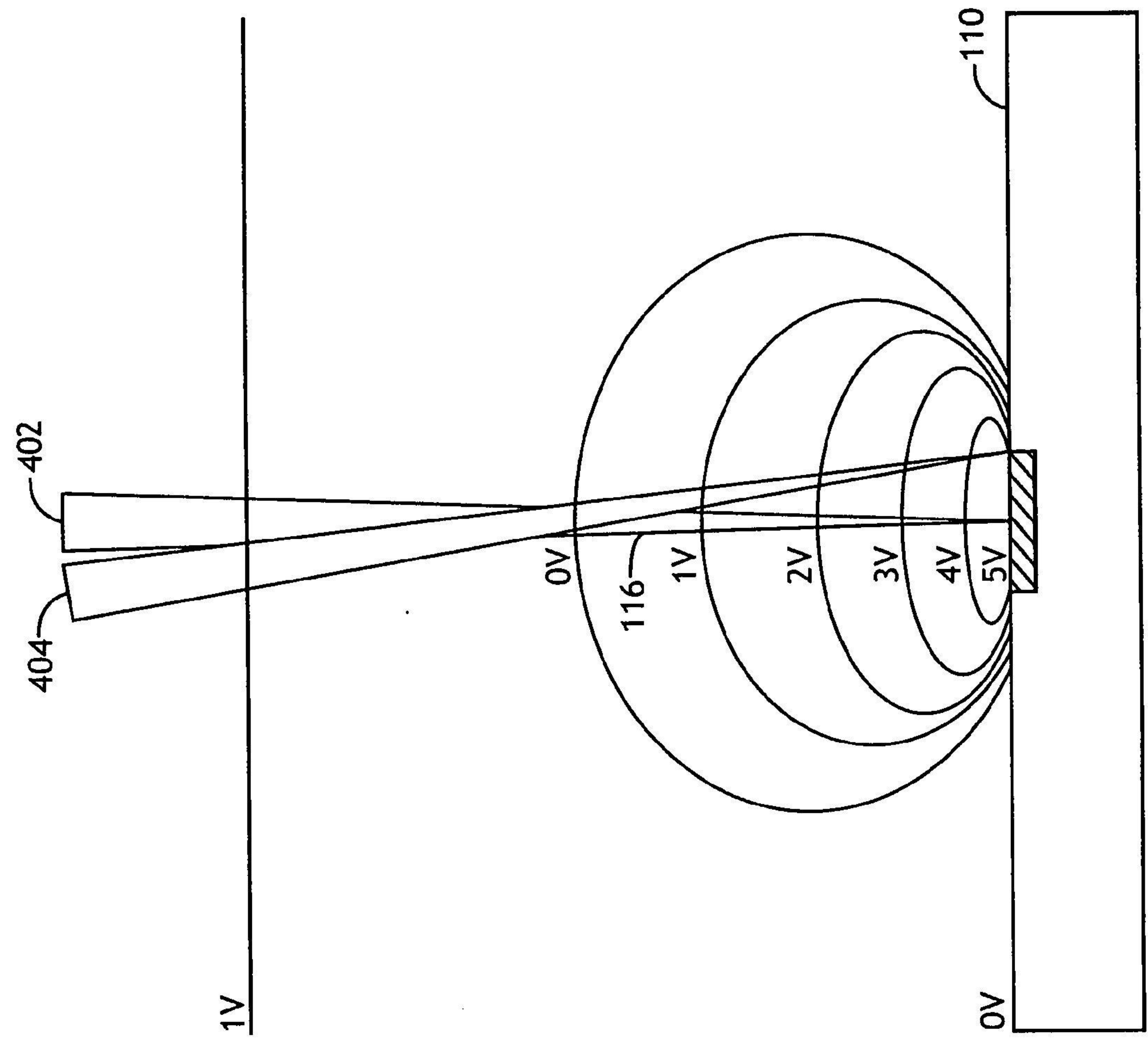


圖4A

410

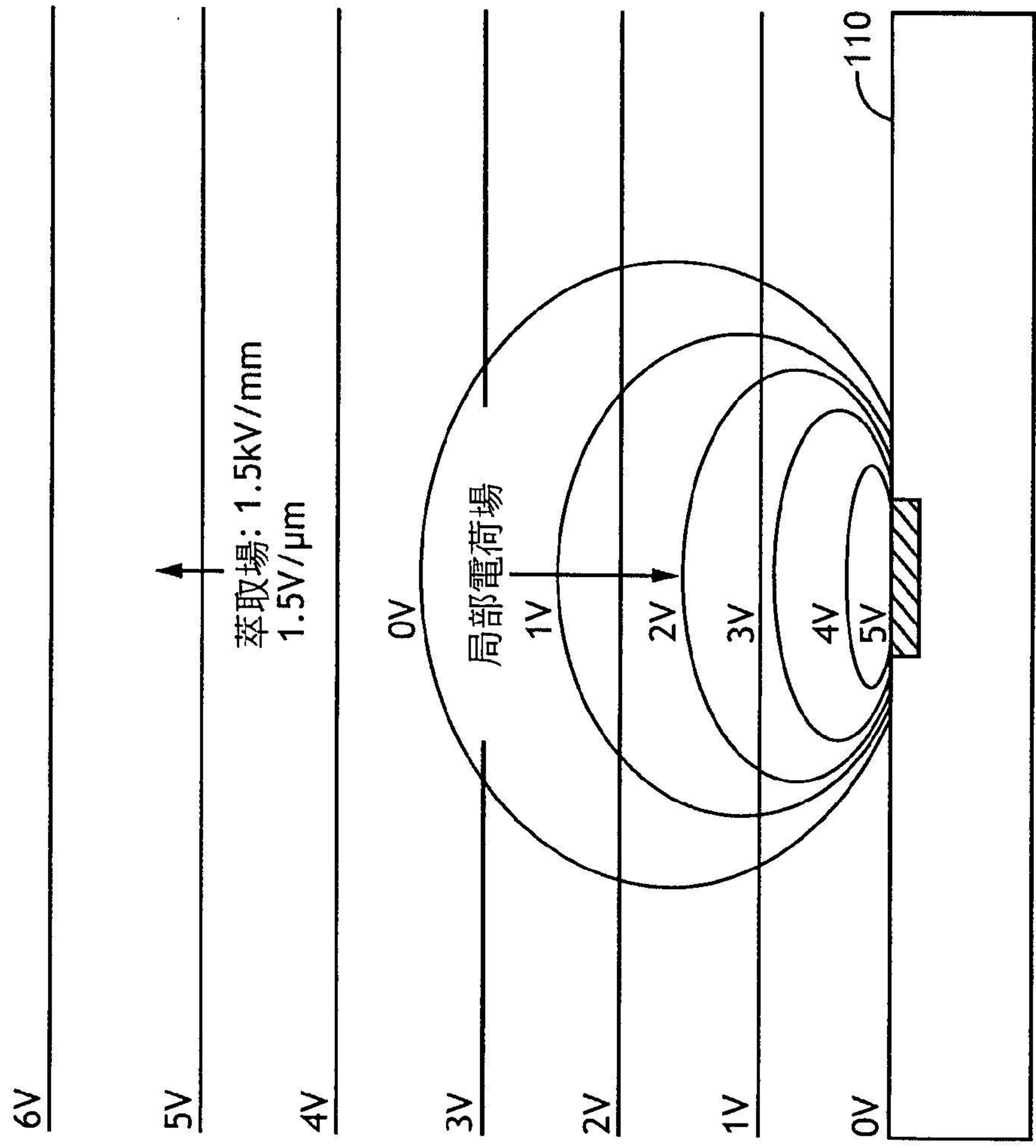
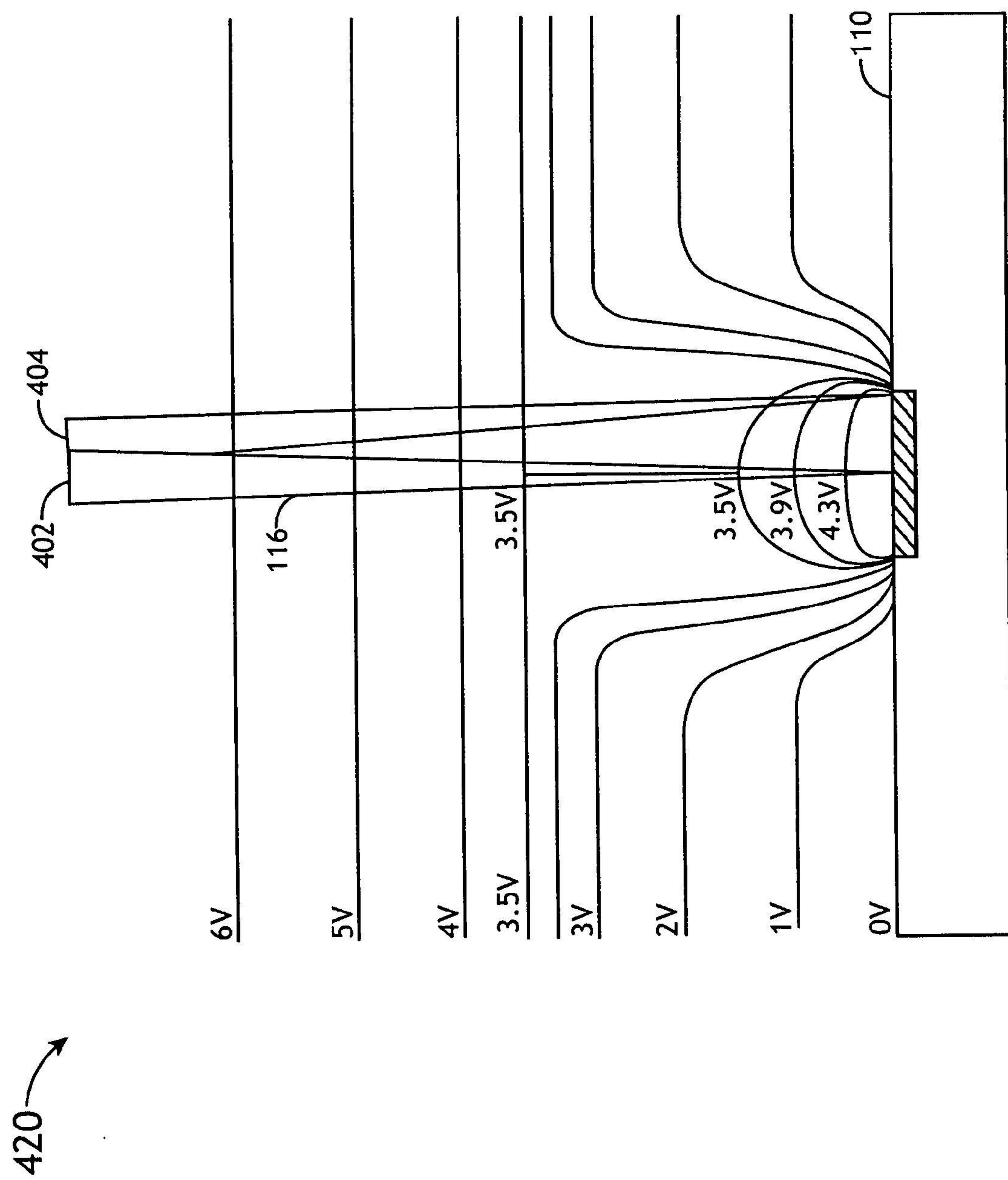


圖4B

4C
回回

430

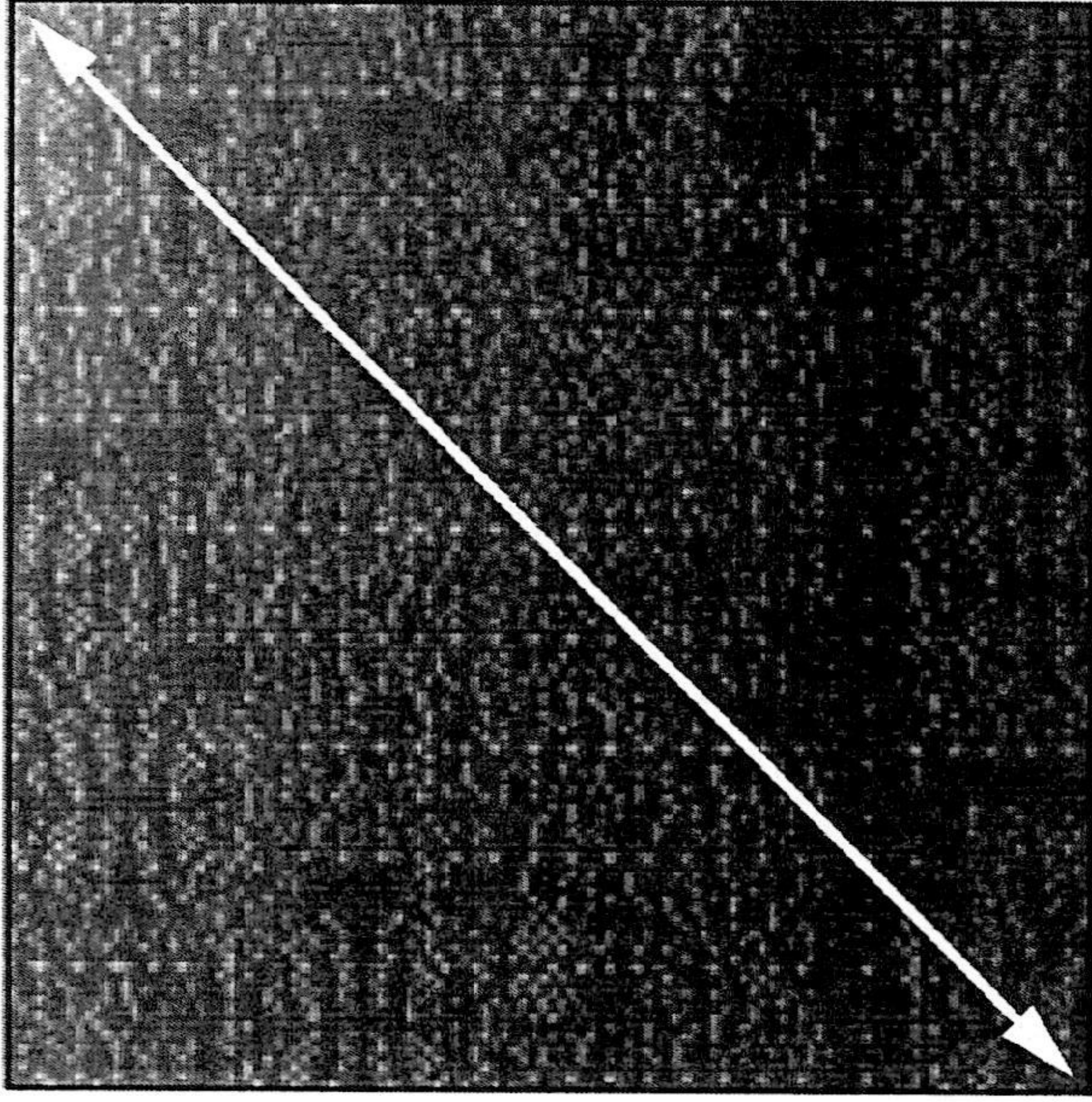


圖4D

440

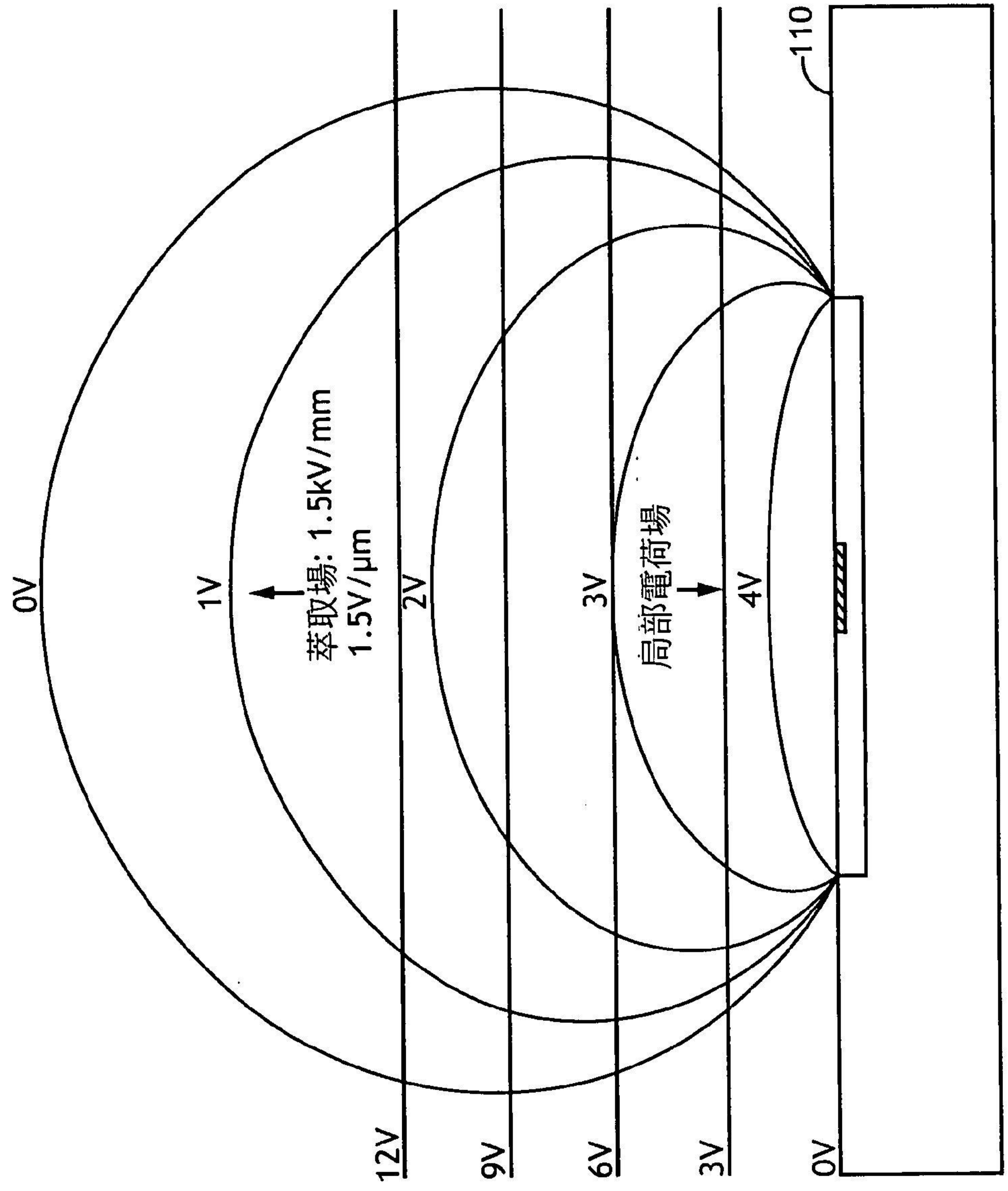


圖4E

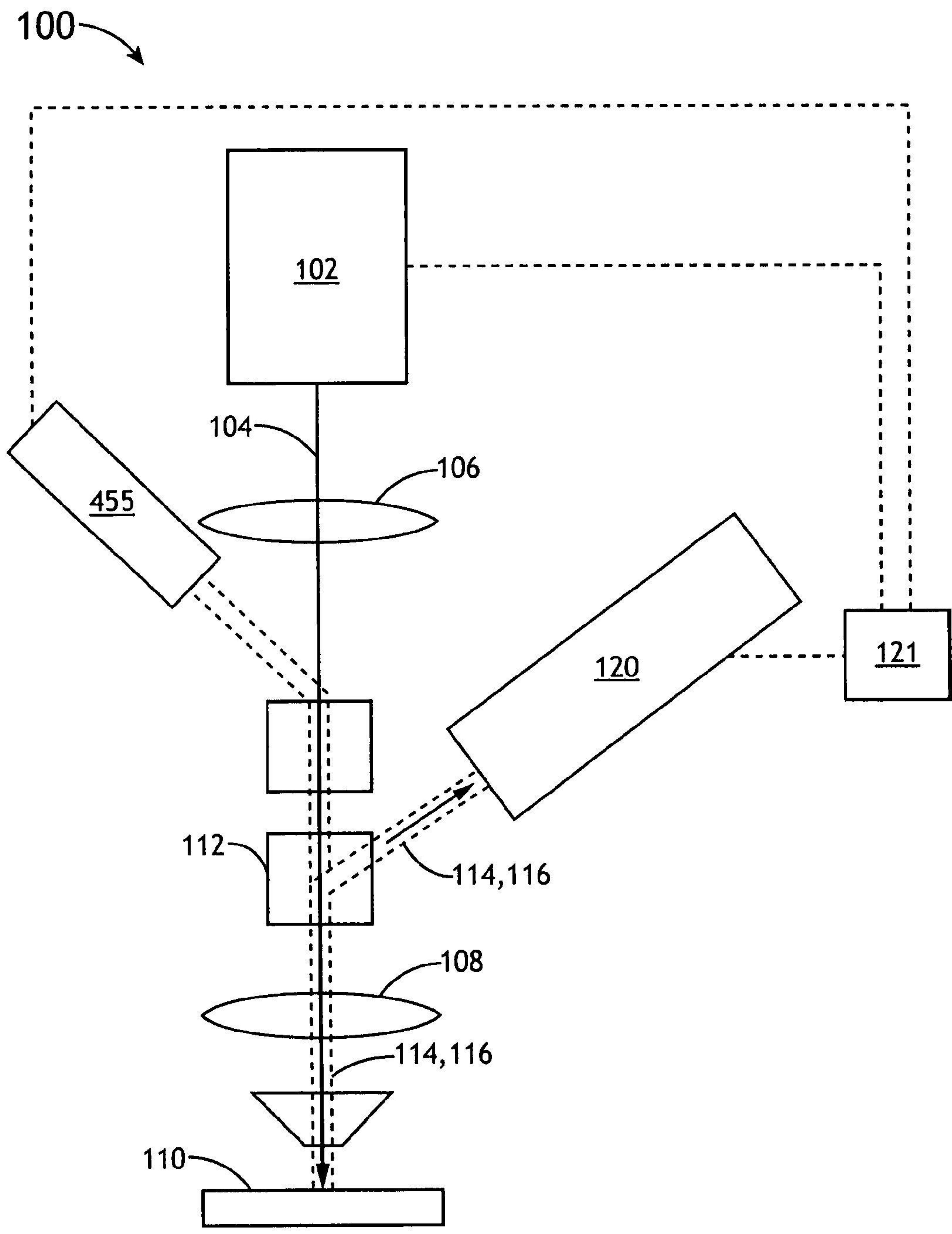


圖4G

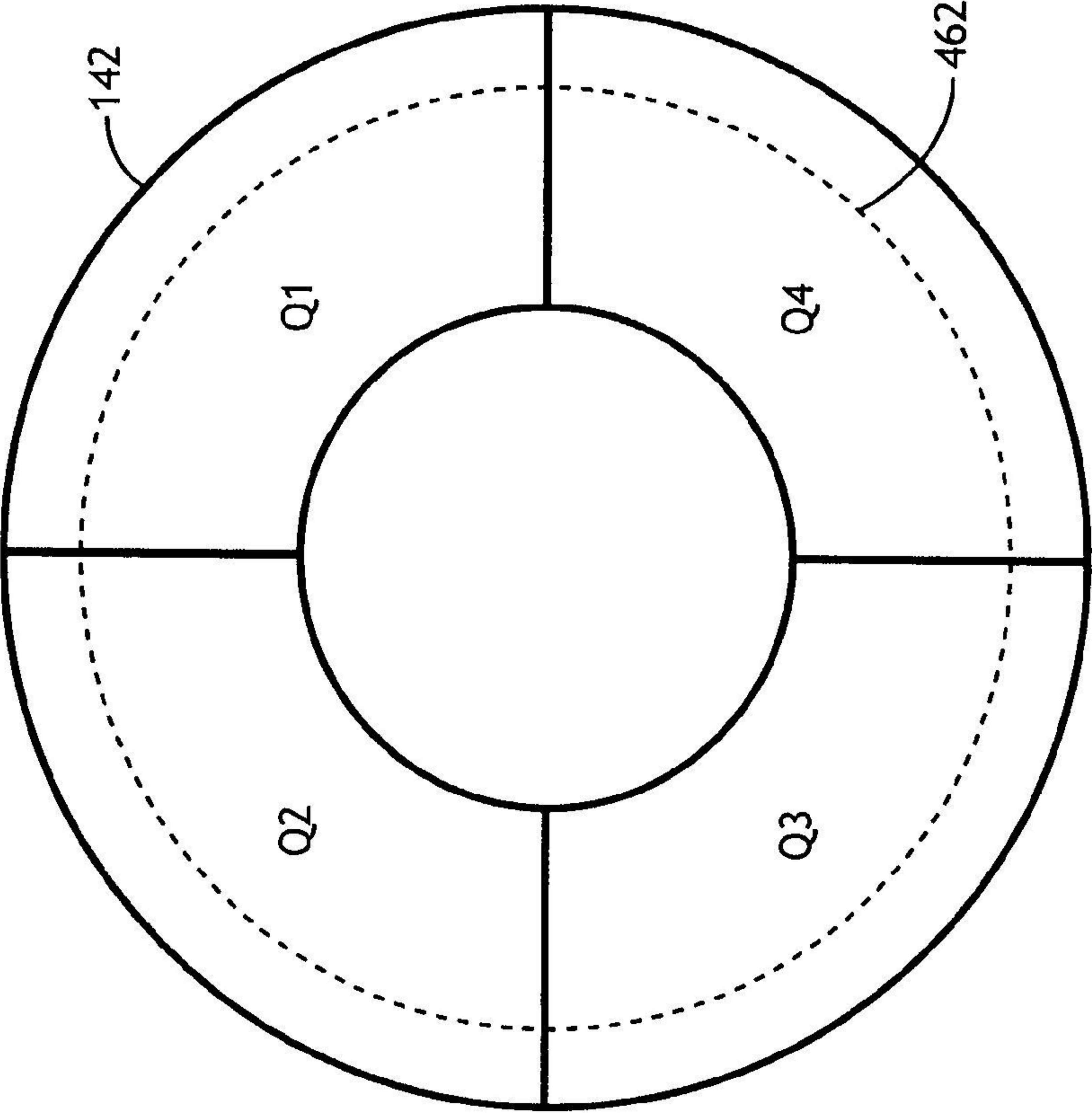


圖4H

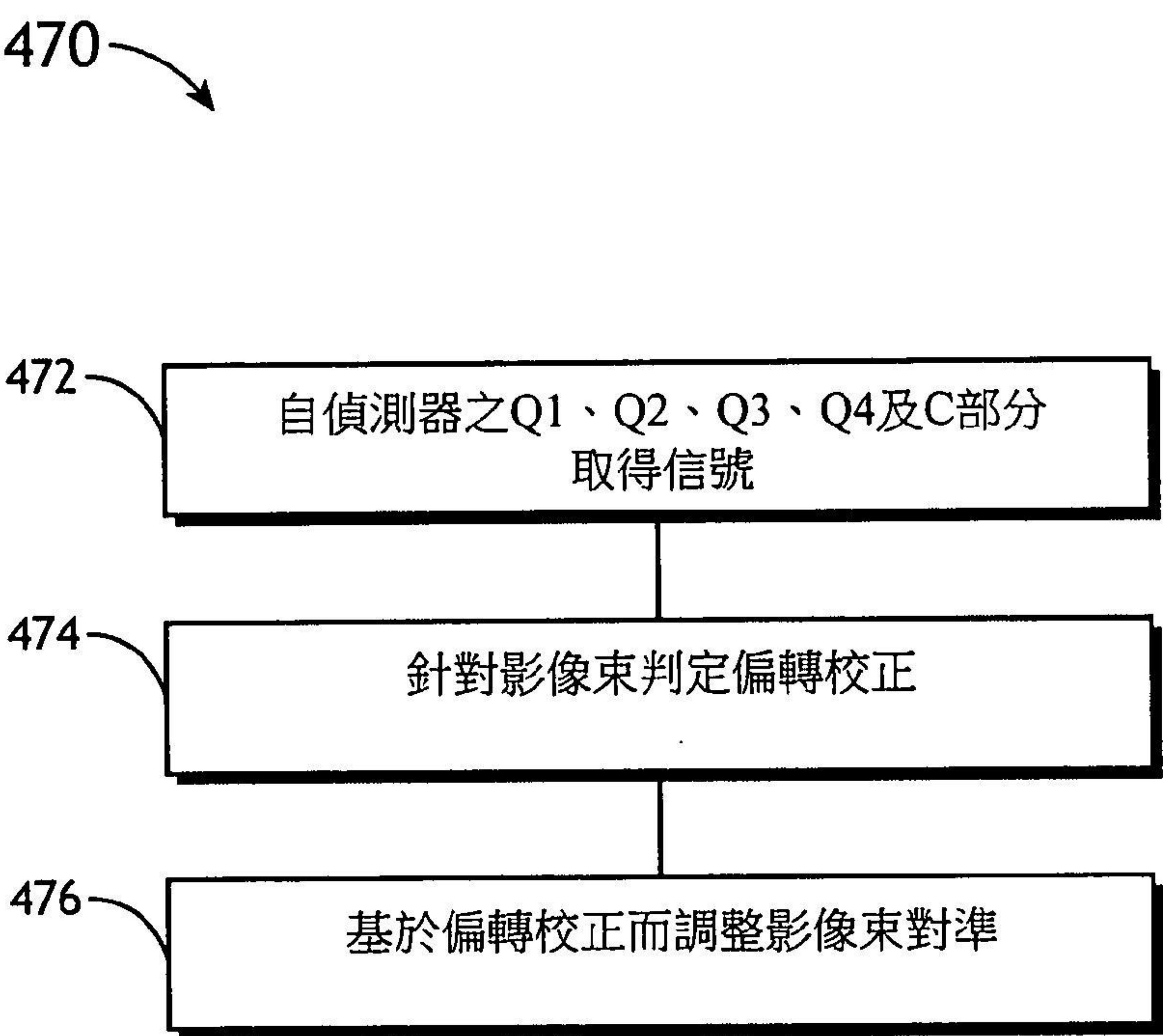


圖4I

500

能量過濾器
鑑別限值

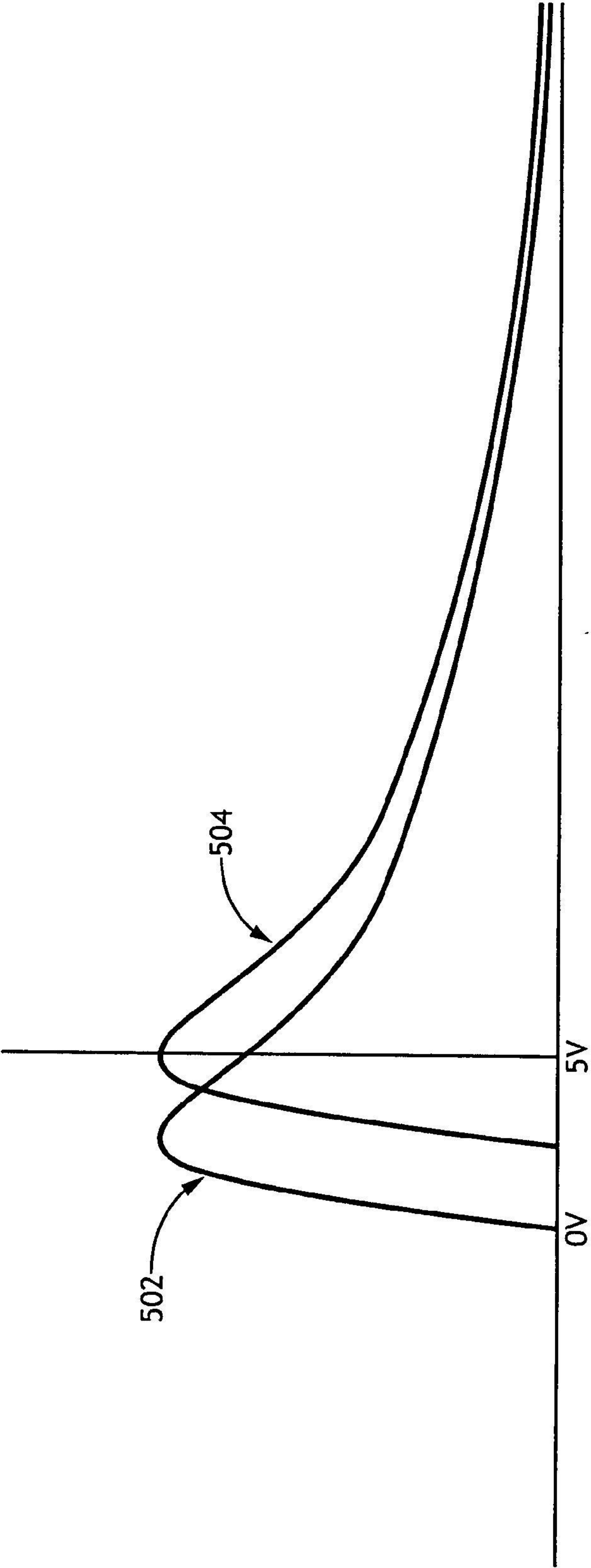


圖5A

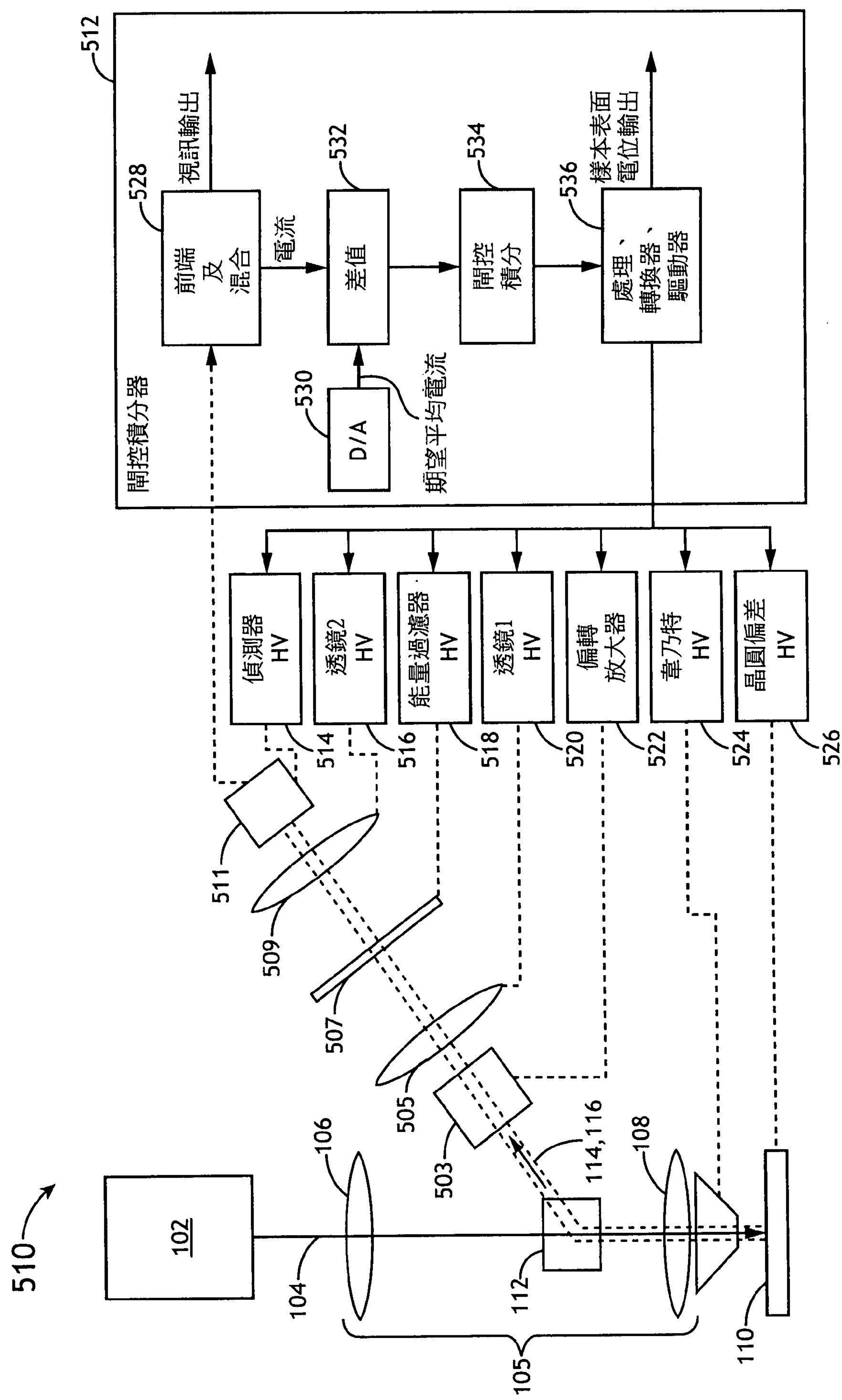


圖5B

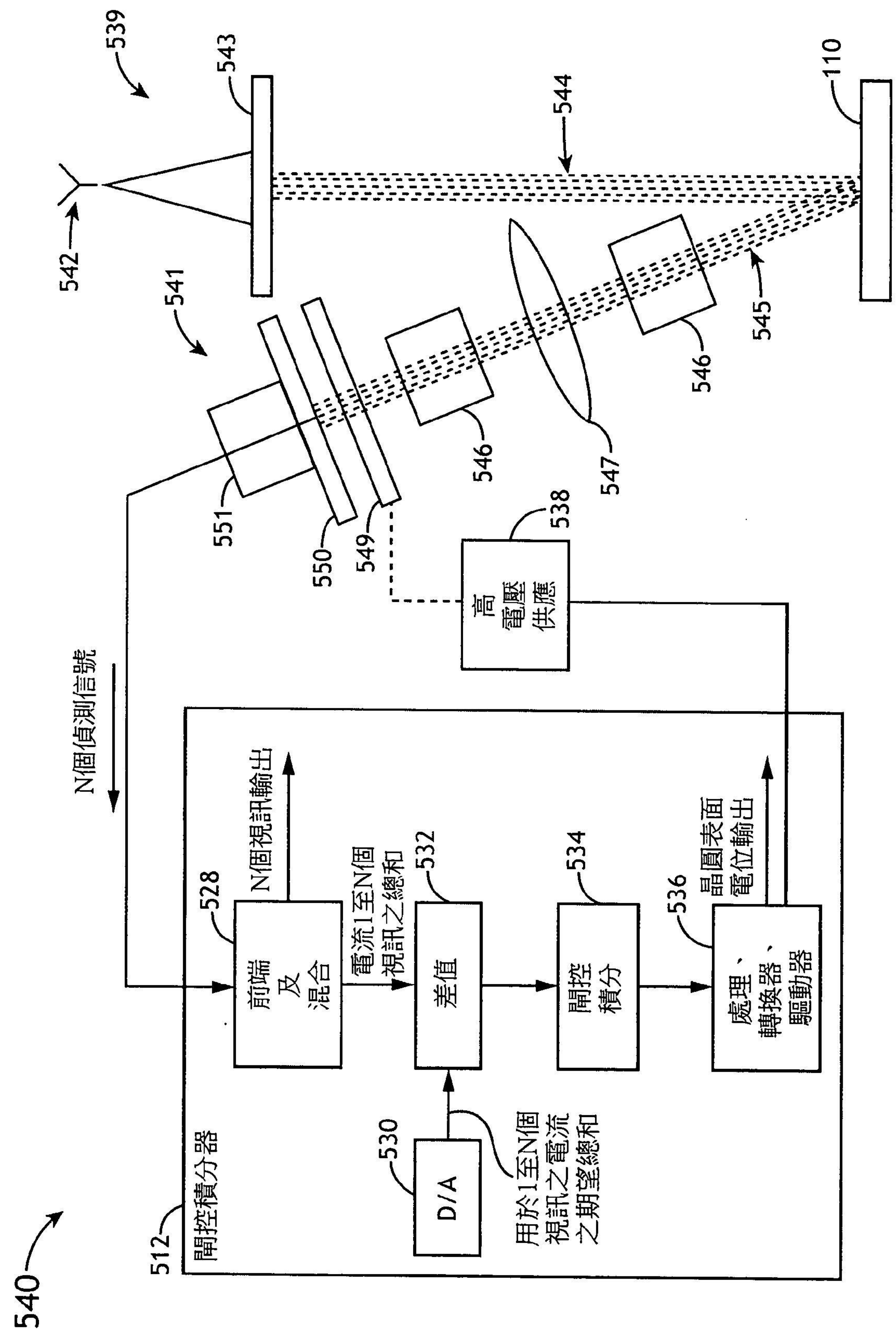
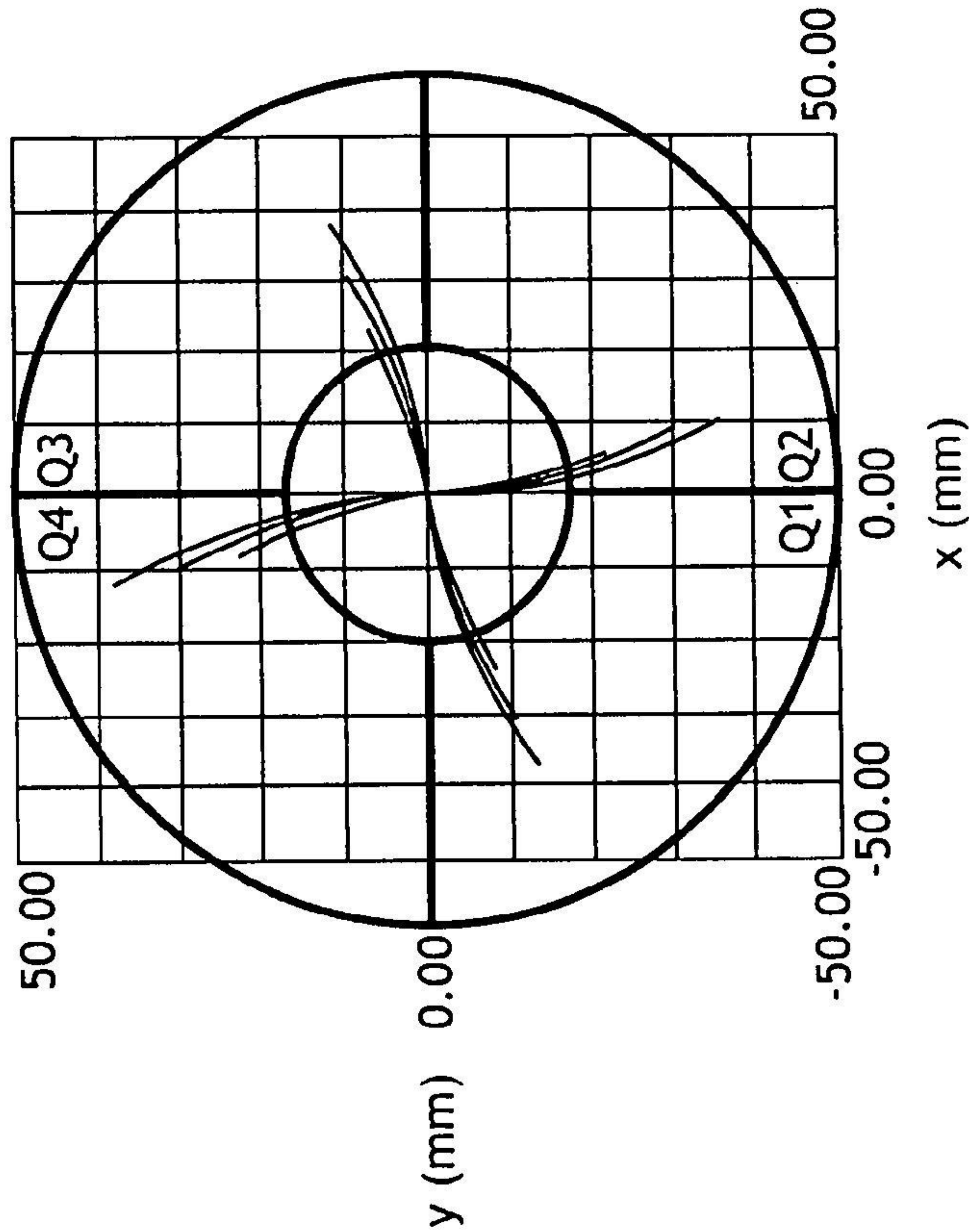


圖5C

560

偵測器之平面中之次級電子分佈



561

偵測器之平面中之次級電子分佈

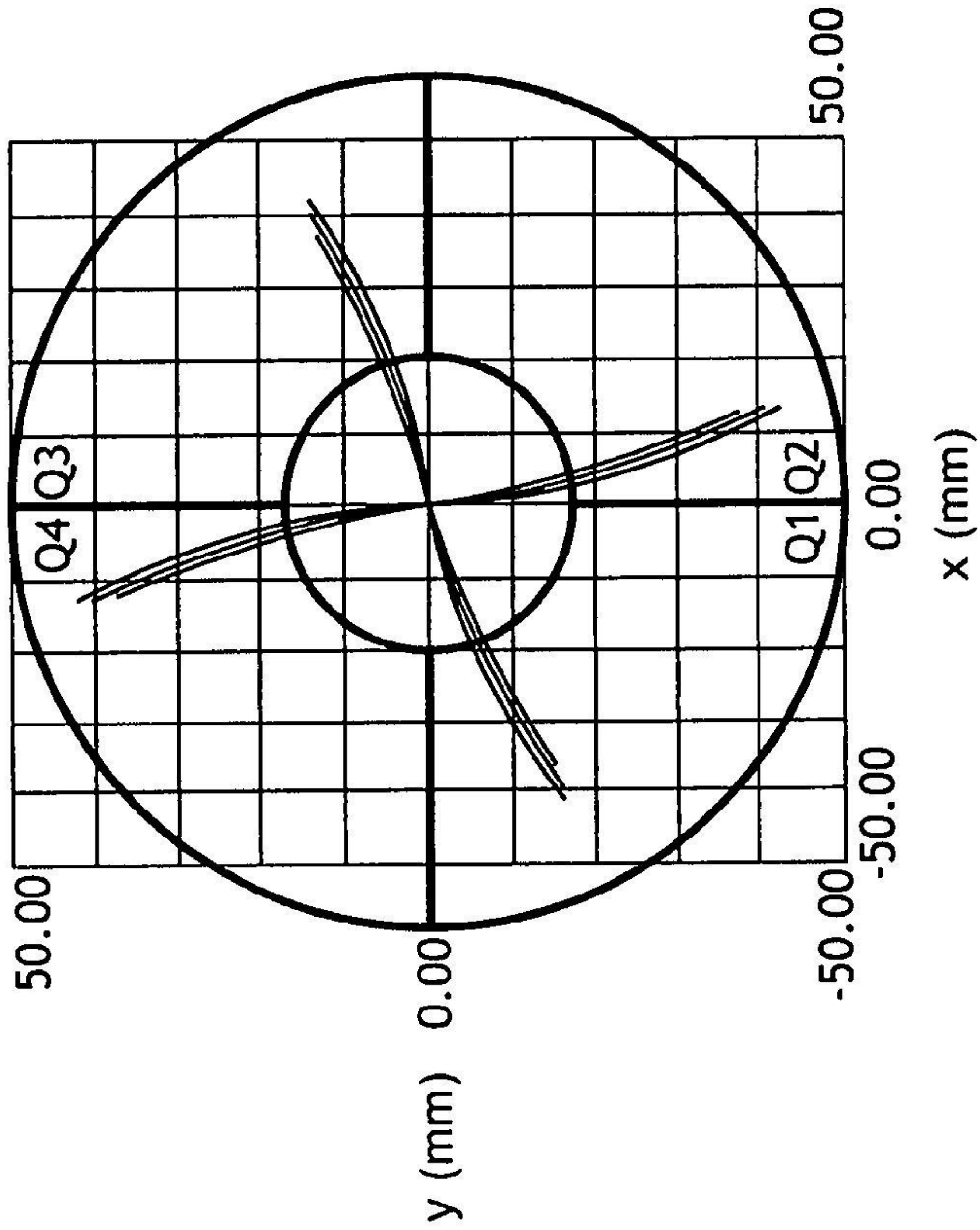


圖5D

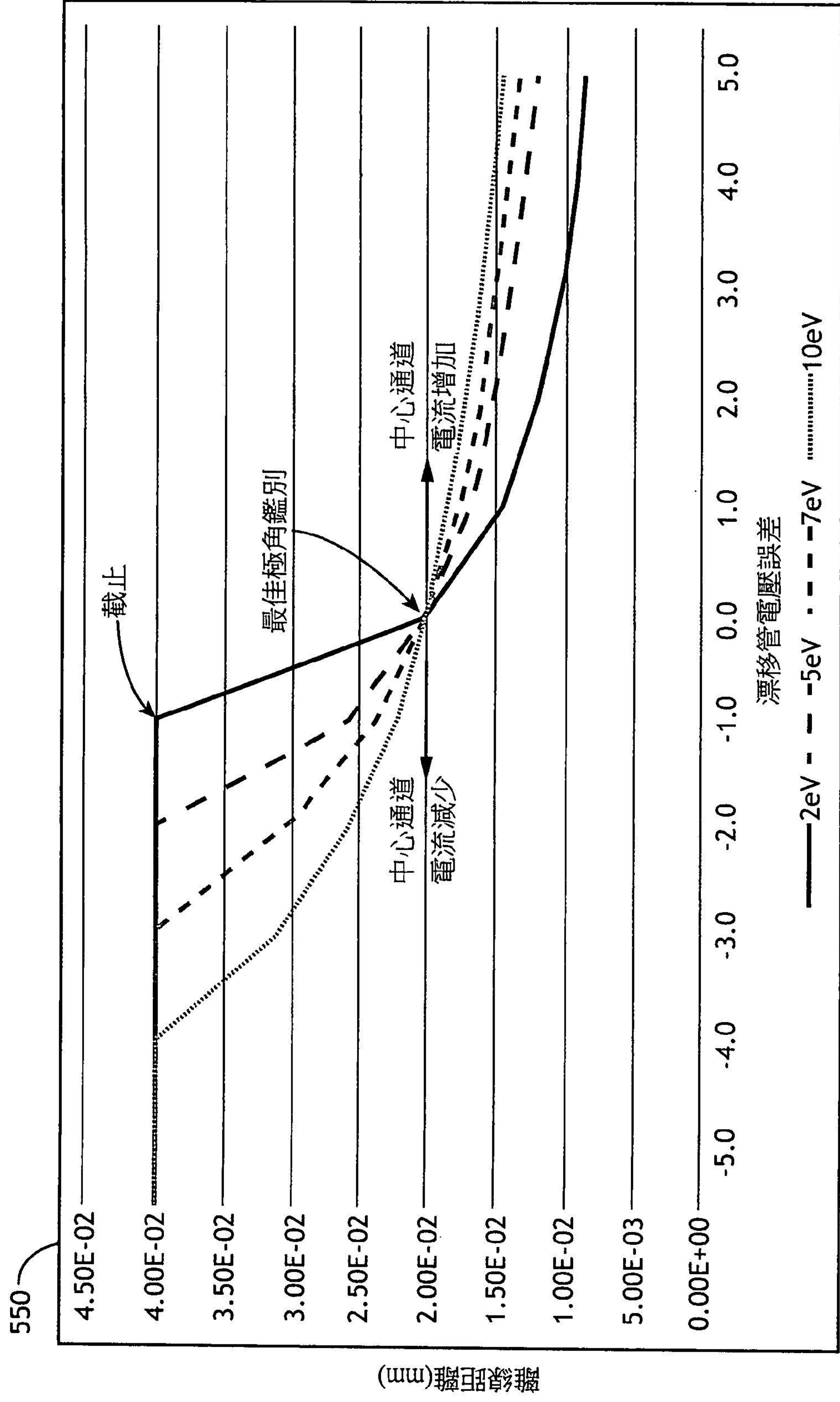


圖5E

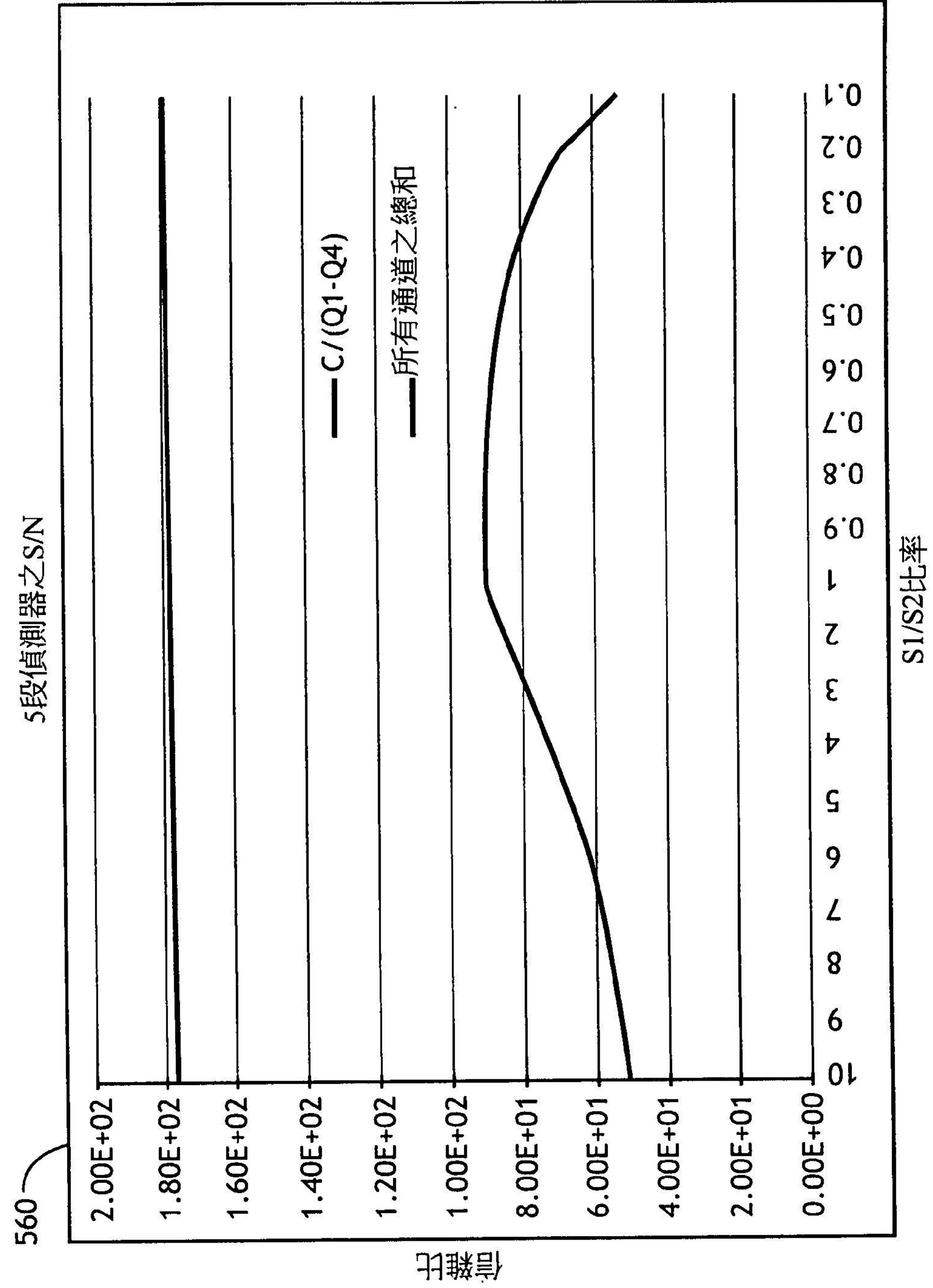


圖5F

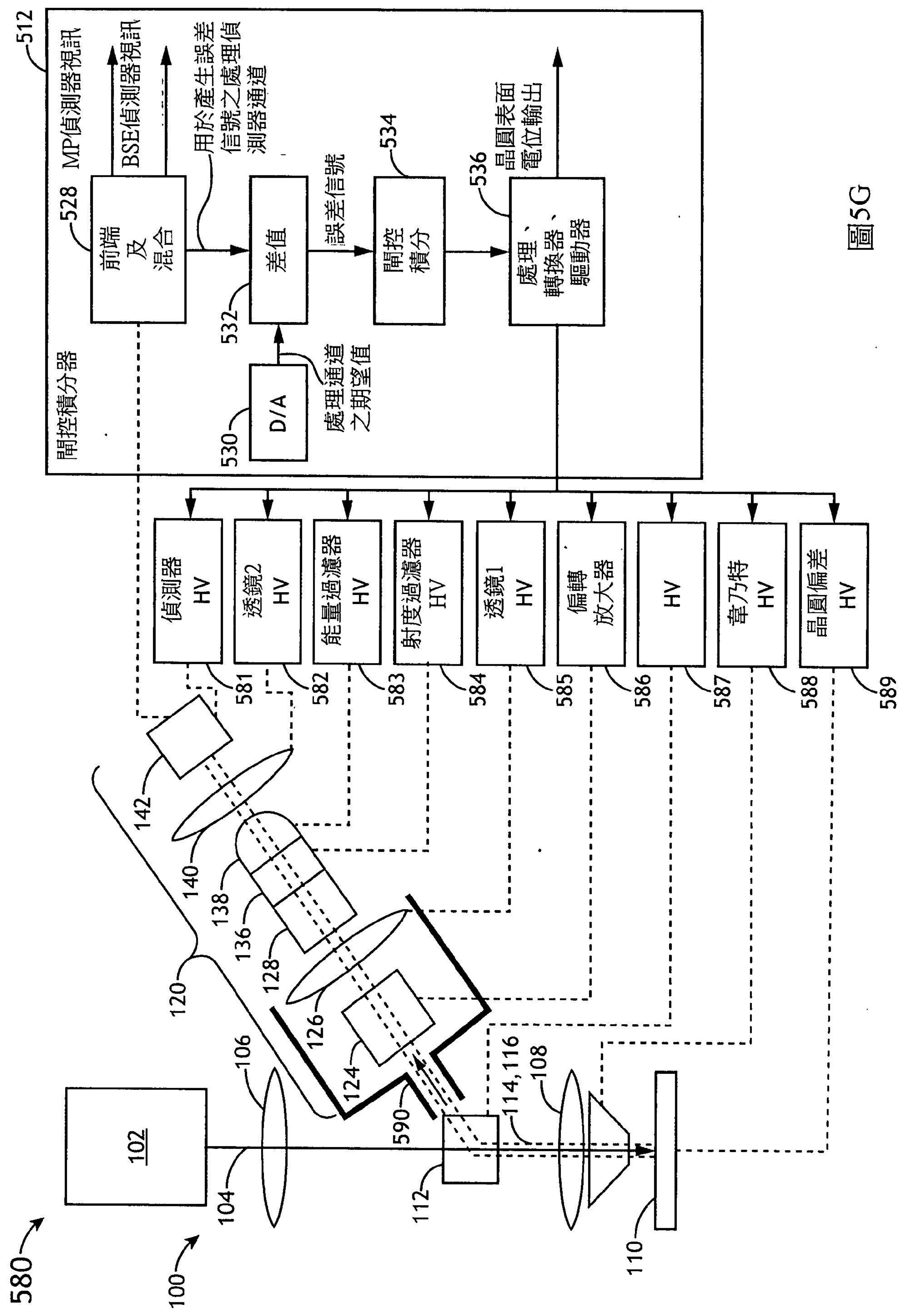


圖5G

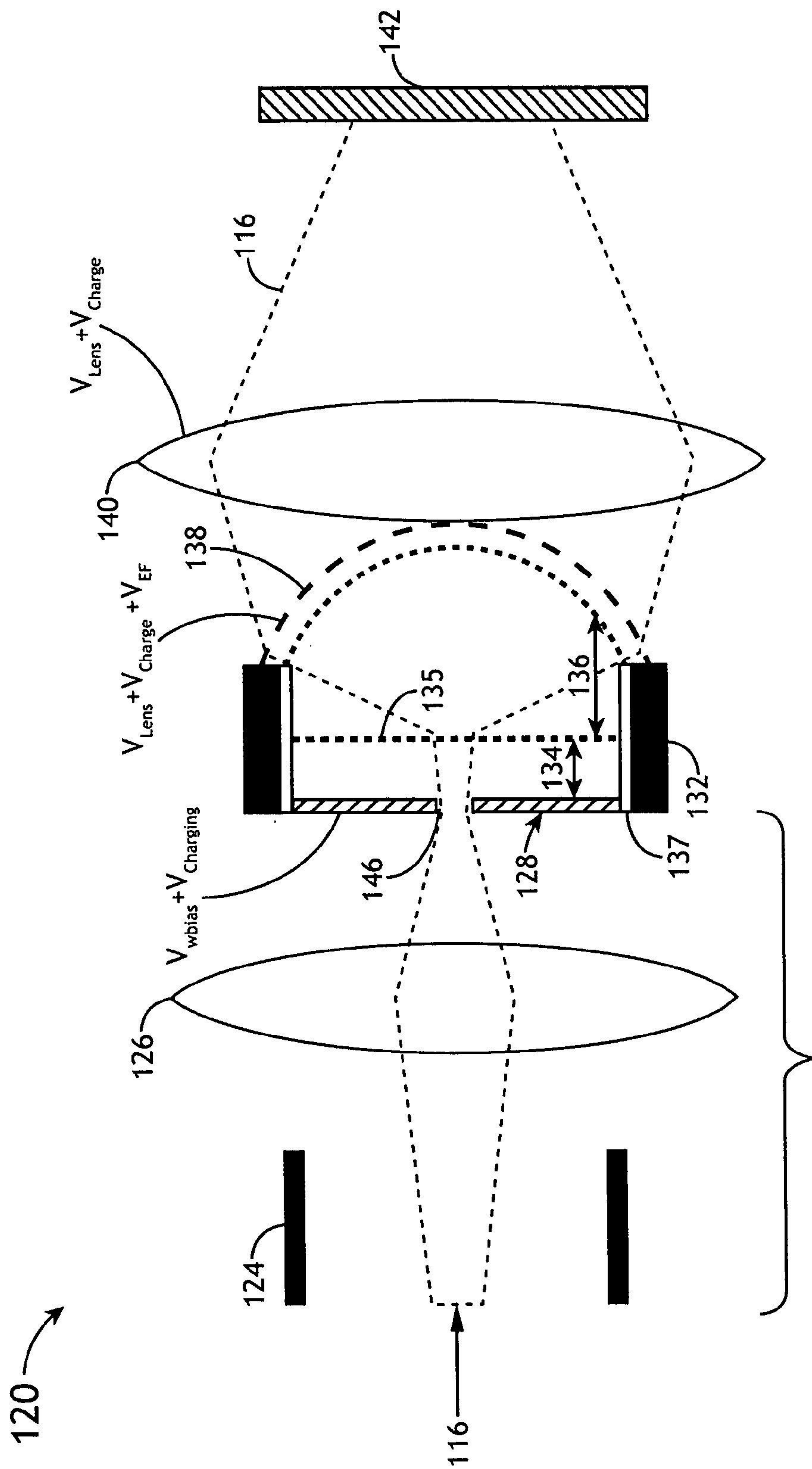


圖 5H

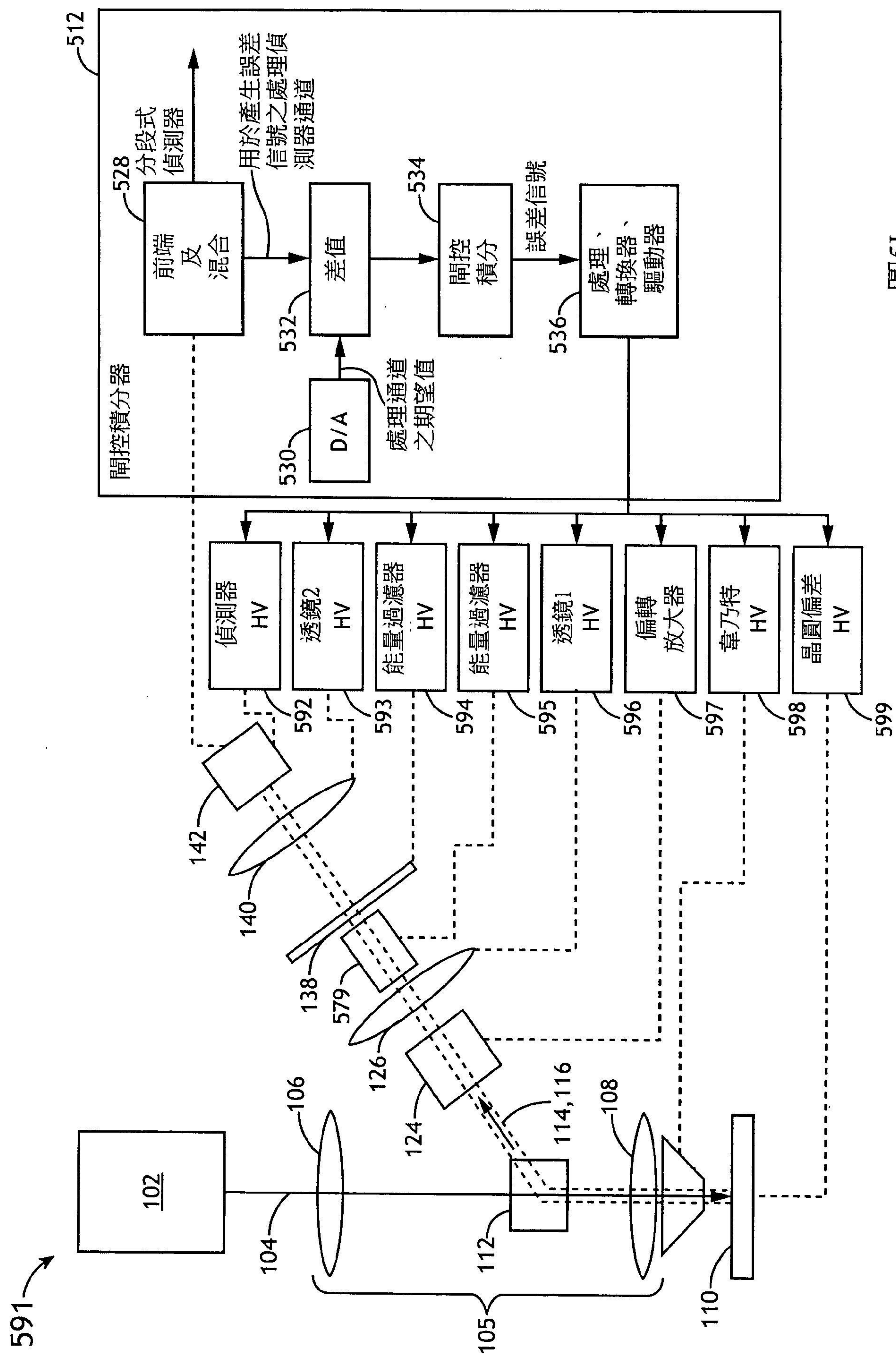


圖 51

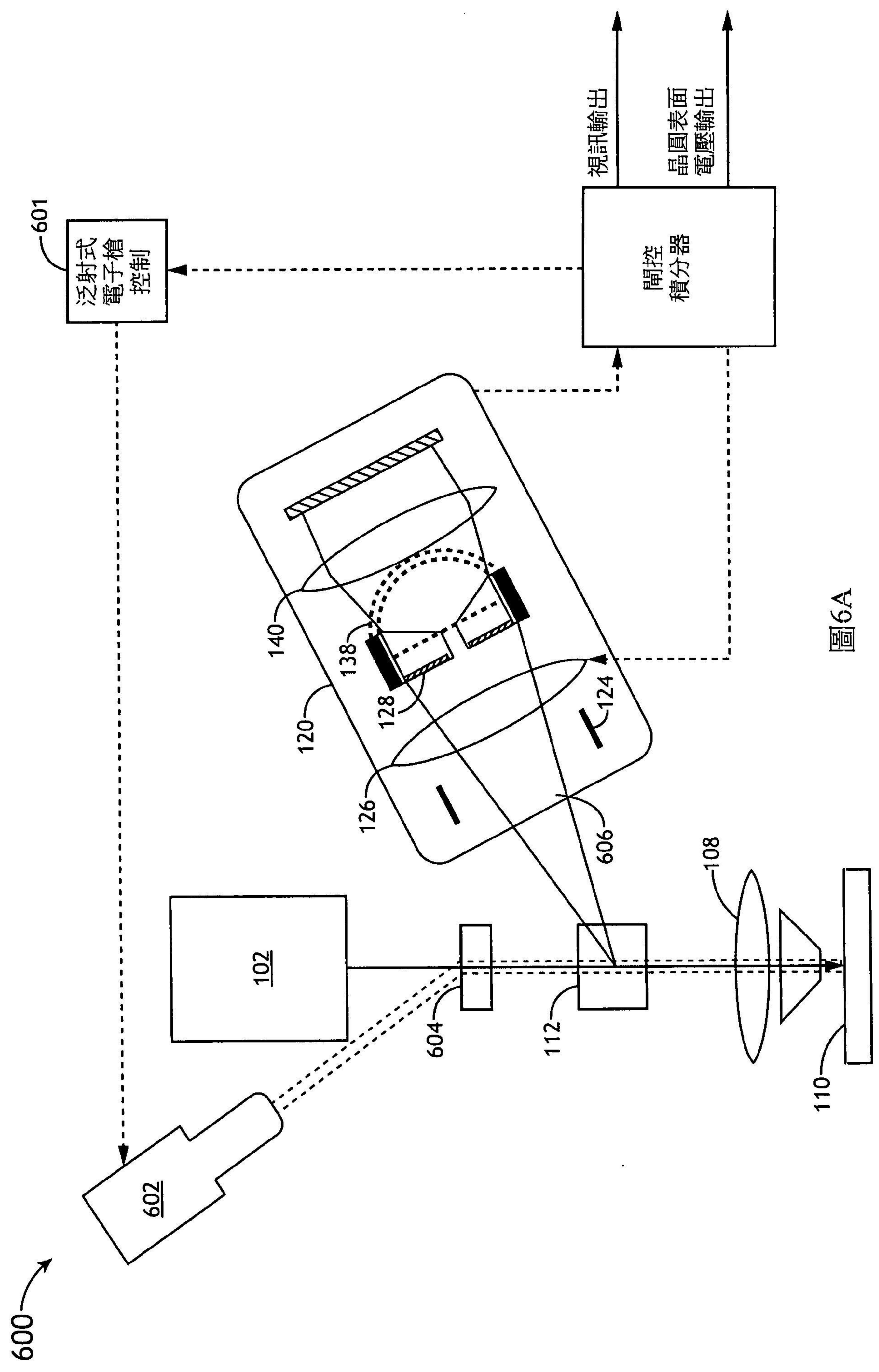
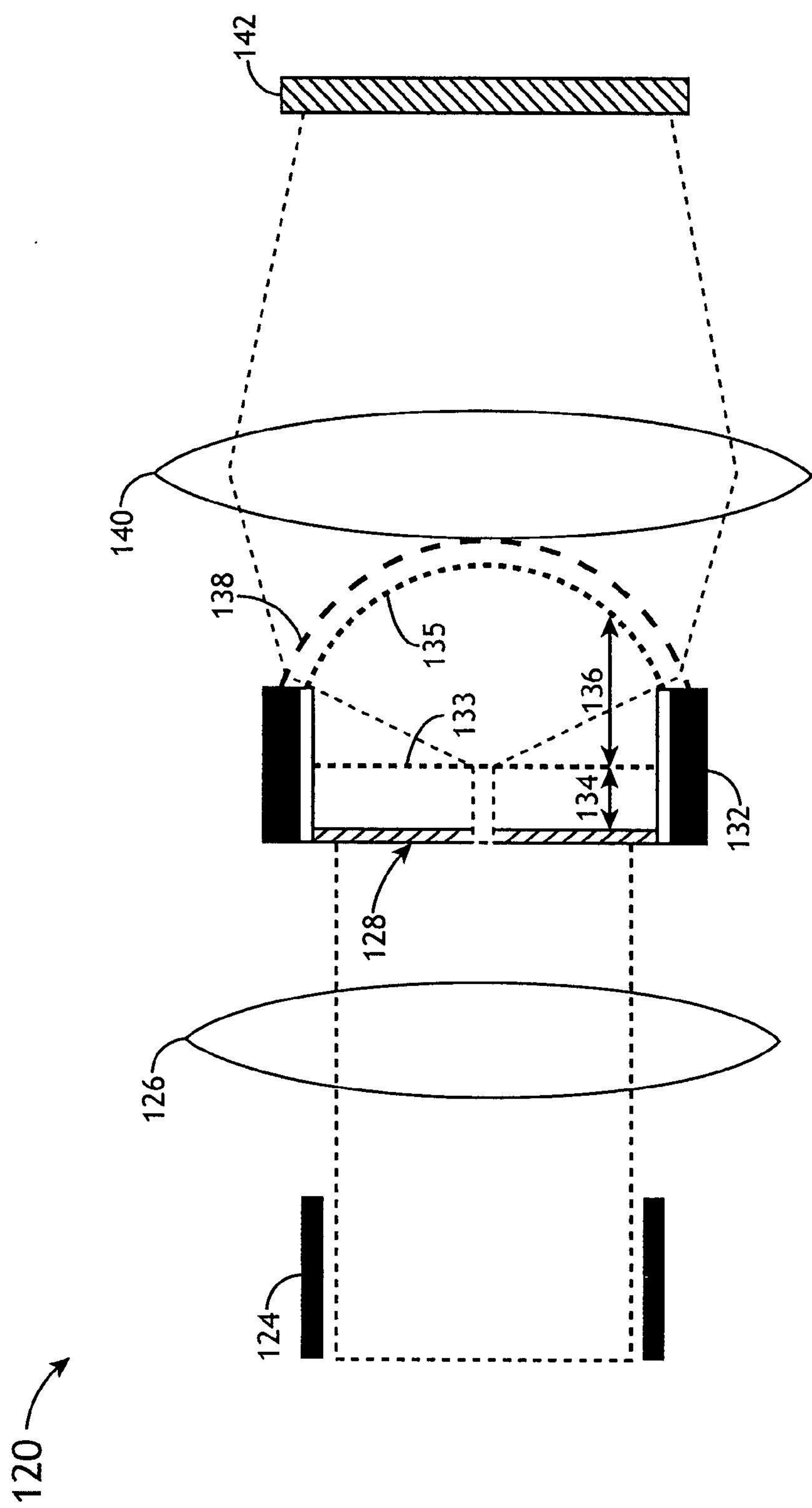


圖6A

6B
回回

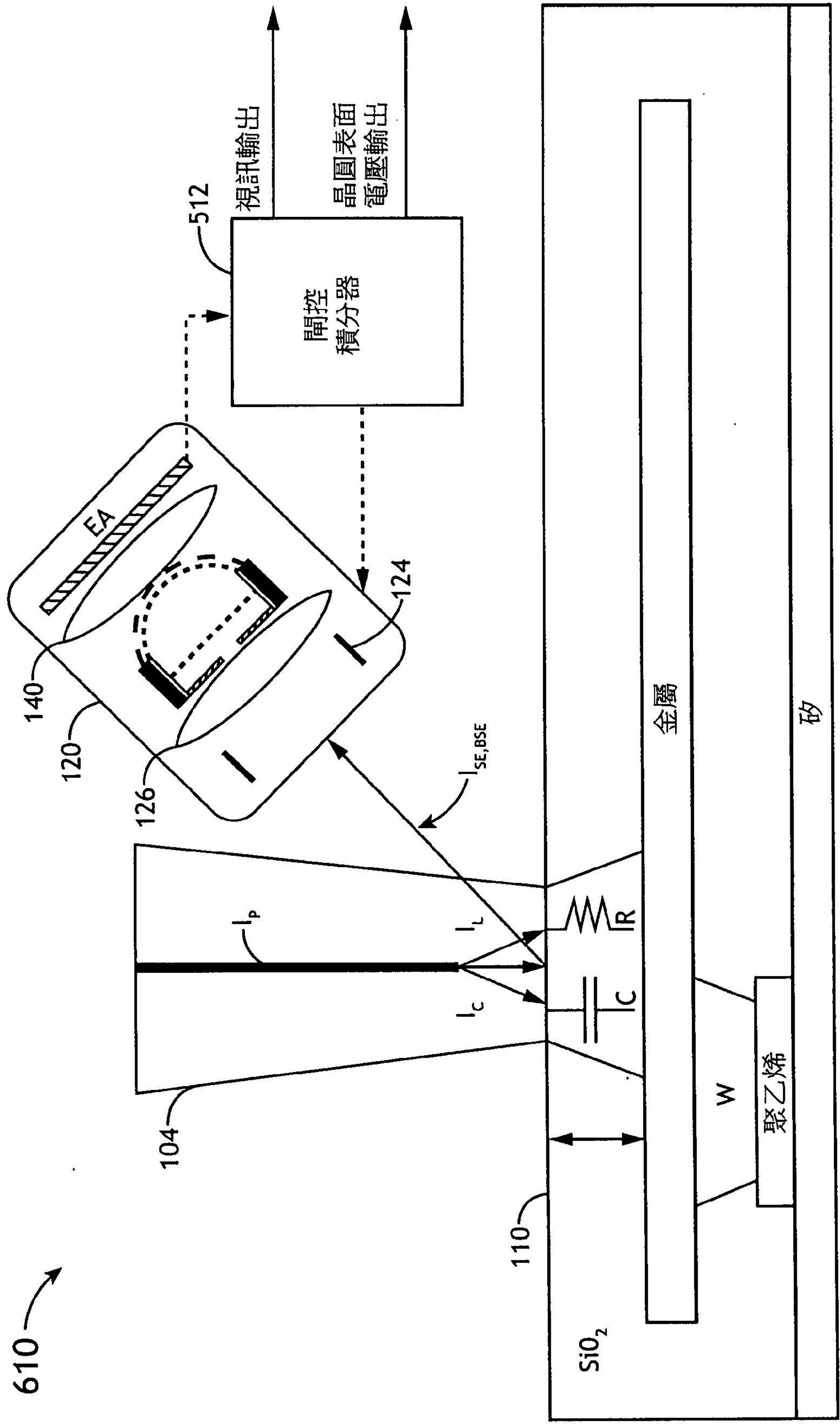


圖6C