



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公開本 (11) 公開編號：TW 202013422 A

(43) 公開日：中華民國 109 (2020) 年 04 月 01 日

(21) 申請案號：108135214 (22) 申請日：中華民國 108 (2019) 年 09 月 27 日

(51) Int. Cl. : H01J37/28 (2006.01) H01J37/36 (2006.01)

(30) 優先權：2018/09/28 德國 10 2018 124 044.9

(71) 申請人：德商卡爾蔡司顯微鏡有限責任公司 (德國) CARL ZEISS MICROSCOPY GMBH

(DE)

德國

(72) 發明人：列德雷 迪瑞克 ZEIDLER, DIRK (DE) ; 德勒曼 格雷果 DELLEMANN, GREGOR (DE) ; 舒納特 剛瑟 SCHEUNERT, GUNTHER (DE)

(74) 代理人：李宗德

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：26 項 圖式數：10 共 40 頁

## (54) 名稱

用於操作多射束粒子束顯微鏡之方法

## (57) 摘要

本發明揭示一種用於操作多射束粒子束顯微鏡之方法，包括使多個粒子束在物體上掃描；將從該等粒子束在該物體處的撞擊位置發出的電子束引導到電子轉換器上；在第一時間段期間，藉由第一檢測系統的多個檢測元件來檢測由該電子轉換器中的撞擊電子所產生的第一信號；在第二時間段期間，藉由第二檢測系統的多個檢測元件來檢測由該電子轉換器中的撞擊電子所產生的第二信號；並且尤其是基於在該第二時間段期間藉由該第二檢測系統的檢測元件檢測到的檢測信號，將在該第一時間段期間藉由該第一檢測系統的檢測元件檢測到的信號分配給該等撞擊位置。

A method for operating a multi-beam particle beam microscope comprises scanning a multiplicity of particle beams over an object; directing electron beams emanating from impingement locations of the particle beams at the object onto an electron converter; detecting first signals generated by impinging electrons in the electron converter by means of a plurality of detection elements of a first detection system during a first time period; detecting second signals generated by impinging electrons in the electron converter by means of a plurality of detection elements of a second detection system during a second time period; and assigning to the impingement locations the signals which were detected by means of the detection elements of the first detection system during the first time period, specifically on the basis of the detection signals which were detected by means of the detection elements of the second detection system during the second time period.

指定代表圖：

202013422

TW 202013422 A

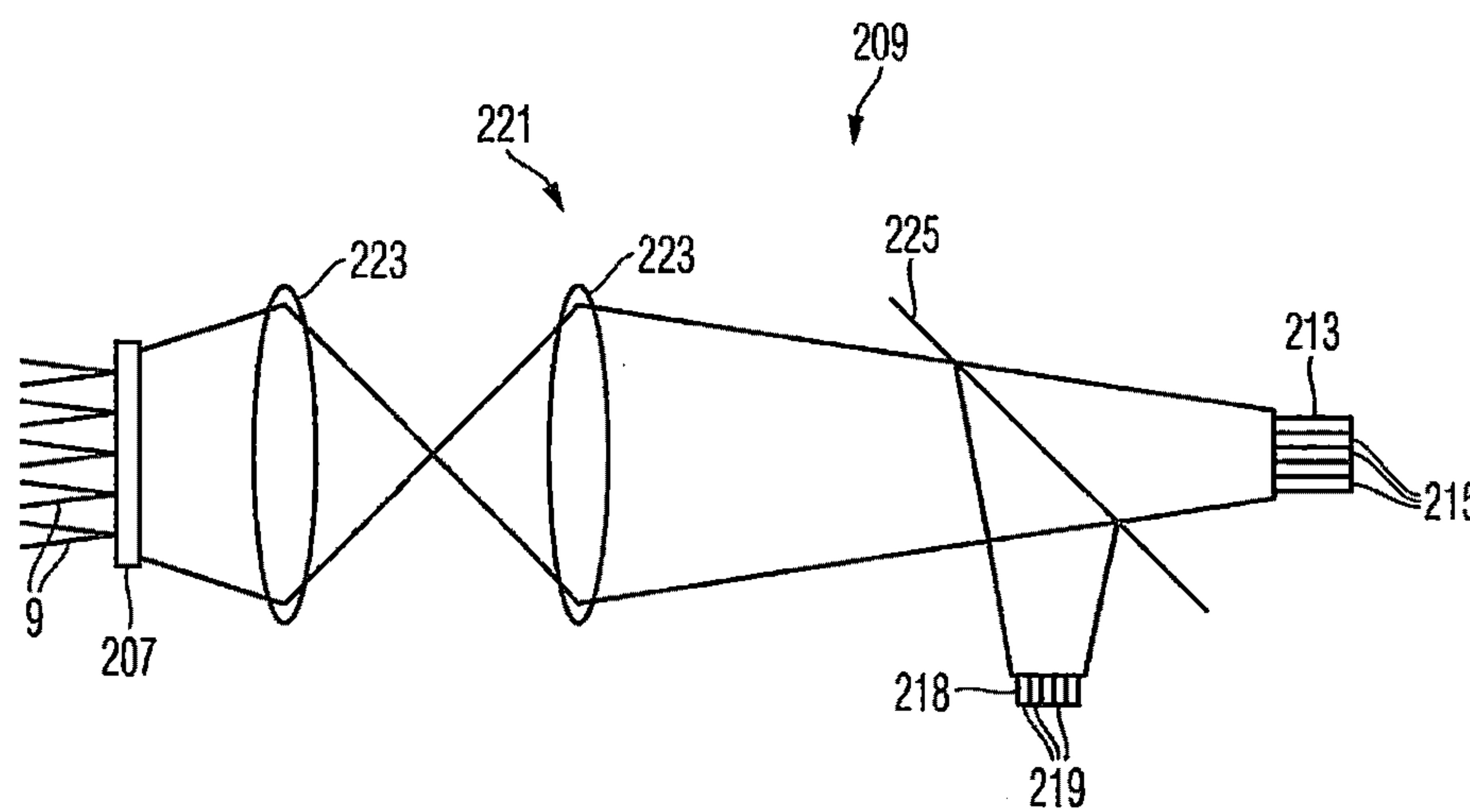


圖2

符號簡單說明：

- 9 . . . 電子束
- 207 . . . 電子轉換器
- 209 . . . 電子檢測器
- 213 . . . 第一檢測系統
- 215 . . . 檢測器元件陣列
- 218 . . . 第二檢測系統
- 219 . . . 檢測器元件陣列
- 221 . . . 光學成像系統
- 223 . . . 透鏡
- 225 . . . 分束鏡

202013422

202013422

## 發明摘要

※ 申請案號：

※ 申請日：

※ I P C 分類：

### 【發明名稱】(中文/英文)

用於操作多射束粒子束顯微鏡之方法

METHOD FOR OPERATING A MULTI-BEAM PARTICLE BEAM MICROSCOPE

### 【中文】

本發明揭示一種用於操作多射束粒子束顯微鏡之方法，包括使多個粒子束在物體上掃描；將從該等粒子束在該物體處的撞擊位置發出的電子束引導到電子轉換器上；在第一時間段期間，藉由第一檢測系統的多個檢測元件來檢測由該電子轉換器中的撞擊電子所產生的第一信號；在第二時間段期間，藉由第二檢測系統的多個檢測元件來檢測由該電子轉換器中的撞擊電子所產生的第二信號；並且尤其是基於在該第二時間段期間藉由該第二檢測系統的檢測元件檢測到的檢測信號，將在該第一時間段期間藉由該第一檢測系統的檢測元件檢測到的信號分配給該等撞擊位置。

### 【英文】

A method for operating a multi-beam particle beam microscope comprises scanning a multiplicity of particle beams over an object; directing electron beams emanating from impingement locations of the particle beams at the object onto an electron converter; detecting first signals generated by impinging electrons in the electron converter by means of a plurality of detection elements of a first detection system during a first time period; detecting second signals

generated by impinging electrons in the electron converter by means of a plurality of detection elements of a second detection system during a second time period; and assigning to the impingement locations the signals which were detected by means of the detection elements of the first detection system during the first time period, specifically on the basis of the detection signals which were detected by means of the detection elements of the second detection system during the second time period.

**【代表圖】**

【本案指定代表圖】：圖 2。

【本代表圖之符號簡單說明】：

9	電子束
207	電子轉換器
209	電子檢測器
213	第一檢測系統
215	檢測器元件陣列
218	第二檢測系統
219	檢測器元件陣列
221	光學成像系統
223	透鏡
225	分束鏡

【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】(中文/英文)

用於操作多射束粒子束顯微鏡之方法

METHOD FOR OPERATING A MULTI-BEAM PARTICLE BEAM MICROSCOPE

## 【技術領域】

【0001】 本發明涉及用於操作多射束粒子束顯微鏡之方法。

## 【先前技術】

【0002】 US 2015/0083911 A1 揭露了一種多射束粒子束顯微鏡，其中多個粒子束被引導到物體上並在那裡聚焦，使得用粒子束照射撞擊位置的陣列。粒子束產生二次電子，該等二次電子從撞擊位置離開物體。提供一種投射系統，用於收集二次電子並將它們饋送到檢測系統。在這種情況下，從每個撞擊位置發出的二次電子被成形為形成相應的電子束，該電子束被饋送到檢測系統的恰好一個檢測器元件。因此，所述檢測器元件的檢測信號可以分配給電子束之一，並因此分配給粒子束在物體處的多個撞擊位置之一。為了記錄粒子-顯微圖像，使多個粒子束在物體表面上平行地掃描，使得每個粒子束照射多個撞擊位置。因此，在這種情況下檢測到的檢測信號可以藉由相應的掃描位置分配給多個粒子束的多個撞擊位置，以便產生粒子-顯微圖像的空間分辨圖像數據。

【0003】 已經發現，以這種方式產生的粒子-顯微圖像在一些使用情況下表現出不期望的不清晰度和偽像。

## 【發明內容】

【0004】因此，本發明的目的是提出一種多射束粒子束顯微鏡及其操作方法，利用該顯微鏡和該操作方法可以在一些使用情況下產生更清晰的圖像。

【0005】根據本發明的實施方式，多射束粒子束顯微鏡包括電子轉換器、被配置為用多個粒子束照射物體處的撞擊位置的陣列的照射系統、以及被配置為將從撞擊位置發出的電子束引導到該電子轉換器上的投射系統。電子轉換器被配置為將被引導到電子轉換器上的電子束的電子的能量轉換成隨後被檢測的信號。電子的能量所轉換成的信號可以是任何可直接或間接檢測的類型的信號。舉例來說，電子轉換器可以包括閃爍體材料，該閃爍體材料將電子束的能量轉換成隨後被檢測的光子。在這種情況下，可以進而藉由光子在半導體材料中產生電子-電洞對而間接地檢測光子，所述電子-電洞對進而產生電壓信號，該等電壓信號被轉換成數位信號並代表檢測到的信號。用於此的合適的半導體元件係例如雪崩光電二極體。此外，光子可以藉由將它們經由光波導被引導到電子倍增器來檢測，例如，所述電子倍增器將光子高效地轉換成電壓信號。電子轉換器還可以包括半導體材料，例如，被引導到電子轉換器上的電子穿透該半導體材料並產生電子-電洞對作為直接信號，該等直接信號進而產生電壓信號。

【0006】根據示例性實施方式，多射束粒子束系統包括：第一檢測系統，該第一檢測系統具有被配置為檢測由該電子轉換器中的撞擊電子所產生的第一信號的多個檢測元件；以及第二檢測系統，該第二檢測系統具有被配置為檢測由該電子轉換器中的撞擊電子產生的第二信號的多個檢測元件。檢測元件係檢測系統的組件，該檢測系統被配置為檢測信號，其方式為使得相對應的檢測結果可分配給檢測元件。在這方面，作為示例，基於兩個不同檢測元件的檢測結果，可以判斷啟動檢測結果的信號是否被一個檢測元件或另一個檢測元件檢測到。然而，例如，基於單個檢測元件的檢測結果，不可能確定係在檢測元件的檢測體積內的哪個點檢測到信號。根

據示例性實施方式，第一檢測系統及/或第二檢測系統包括 CCD 檢測器，並且 CCD 檢測器的圖元係檢測元件。

【0007】 根據示例性實施方式，第一檢測系統和第二檢測系統在各個檢測元件檢測信號的速率方面及/或在各個檢測系統的檢測元件的數量方面係不同的。

【0008】 根據示例性實施方式，第一檢測系統及/或第二檢測系統包括光檢測器，該光檢測器具有被配置為檢測由電子轉換器中的撞擊電子所產生的信號的檢測器元件陣列，其中信號係光子。然後，檢測系統還可以包括光學成像系統，該光學成像系統被配置為將電子轉換器的表面光學地成像到檢測系統的檢測元件陣列上。

【0009】 特別地，投射系統可以被配置為對物體的表面進行成像並且因此將粒子束在物體處的多個撞擊位置成像到電子轉換器的表面上。

【0010】 藉由光學成像系統將電子轉換器的表面光學地成像到光檢測器的檢測器元件陣列上，在光檢測器的檢測器元件陣列處產生多個粒子束在物體處的撞擊位置的圖像。

【0011】 根據示例性實施方式，第一檢測系統的檢測器元件包括光電倍增器。光電倍增器包括例如光電陰極以及連接在下游的二次電子倍增器。光電倍增器適合用於以有高檢測概率和高時間解析度來檢測光信號。另一方面，光電倍增器係佔據顯著結構空間的昂貴裝置，結果係如果第一檢測系統的檢測器元件係光電倍增器，則第一檢測系統的檢測器元件的數量以及因此其空間解析度會在實踐中受到限制。

【0012】 根據示例性實施方式，第二檢測系統的檢測器元件包括光電二極體。藉由微影方法，可以產生光電二極體陣列，該等光電二極體陣列提供高密度的檢測器元件並且因此提供高空間解析度。這種類型的檢測系統的示例係具有數十萬個檢測器元件或圖元的 CCD 感測器。然而，這種類型的檢測系統的缺點係它們可用相對較低的速率進行讀取並因此相對緩

慢，這就是為什麼僅藉由 CCD 感測器檢測由電子轉換器產生的光信號通常不用於在多射束粒子束顯微鏡的情況下的實踐。

【0013】 在傳統的多射束粒子束顯微鏡中，包括光電倍增器作為檢測器元件的檢測系統具有的檢測器元件的數量等於由照射系統引導到物體上的粒子束的數量。在那裡所述粒子束各自被分配給檢測系統的恰好一個檢測器元件，並且給檢測系統的每個檢測器元件分配恰好一個粒子束。然後將檢測系統的每個給定檢測器元件的檢測信號分配給粒子束，該粒子束被分配給給定檢測器元件，然後將檢測信號進一步分配給所述粒子束在物體處的撞擊位置，使該粒子束在物體表面上掃描期間被引導到該物體上，而不是產生引發檢測信號的二次電子。

【0014】 這種傳統的檢測原理假定投射系統和光學成像系統能夠共同地產生以下效果：由撞擊在物體上的給定粒子束產生的二次電子產生基本上被分配給給定粒子的那個檢測器元件的檢測信號，從給定粒子束的撞擊位置發出的二次電子不會產生檢測系統的其他檢測器元件的檢測信號。

【0015】 發明人已經認識到，這種假設在實踐中並不總是合理的，並且在一些情況下，由物體處的給定粒子束引發的二次電子也導致光檢測器的與被分配給給定粒子束的檢測器元件不同的檢測器元件的檢測信號增加。這種效果可以稱為「串擾」。

【0016】 根據本發明的示例性實施方式，第二檢測系統的檢測器元件的檢測信號用於將第一檢測系統的檢測器元件的檢測信號分配給撞擊在物體上的粒子束。特別地，第二檢測系統的檢測器元件的檢測信號用於將第一檢測系統的檢測信號分配給粒子束在物體處的撞擊位置。

【0017】 根據本發明的示例性實施方式，用於操作如上所述的多射束粒子束顯微鏡之方法例如包括：使多個粒子束在物體上掃描以便對粒子束在物體處的撞擊位置陣列進行照射並使其移位，並且將從該等粒子束在物體處的撞擊位置發出的電子束引導到電子轉換器上。該方法還包括：在第

一時間段期間，藉由第一檢測系統的多個檢測元件來檢測由該電子轉換器中的撞擊電子所產生的第一信號；在第二時間段期間，藉由第二檢測系統的多個檢測元件來檢測由該電子轉換器中的撞擊電子所產生的第二信號；並且尤其是基於在該第二時間段期間藉由該第二檢測系統的檢測元件檢測到的檢測信號，將在該第一時間段期間藉由該第一檢測系統的檢測元件檢測到的信號分配給該等撞擊位置。

**【0018】** 根據示例性實施方式，藉由第一檢測系統的檢測元件來檢測第一信號係以大於極限頻率的速率執行的，並且藉由第二檢測系統的檢測元件來檢測第二信號係以小於所述極限頻率的 0.5 倍的速率執行的。這意味著第二檢測系統的檢測元件可比第一檢測系統的檢測元件明顯更慢地讀取。

**【0019】** 根據示例性實施方式，第二檢測系統的檢測元件的數量大於該第一檢測系統的檢測元件的數量的大小的兩倍。這意味著第二檢測系統可以實現比第一檢測系統明顯更高的空間解析度。

**【0020】** 根據示例性實施方式，投射系統被配置為藉由從物體發出的電子束而將粒子束在物體處的撞擊位置成像到電子轉換器的表面上。雖然撞擊在物體上的粒子束可以非常好地聚焦在物體處並在物體處產生小的射束焦點，但實際上不可能藉由投射系統將該等小的射束焦點成像到電子束在電子轉換器表面的非常小的射束焦點上。這係因為形成電子束的電子從具有寬能譜的物體發出，使得電子從物體成像到電子轉換器的表面上（該成像由投射系統提供）由於電子的能量寬度而已經係錯誤的。從物體處的撞擊位置發出的電子因此撞擊在電子轉換器表面處的廣泛區域上。然而，投射系統可以被實施為使得從不同粒子束在物體處的相互鄰近的撞擊位置發出的電子在各自情況下在電子轉換器的表面處照射廣泛區域，但是電子轉換器的表面處相互不同的廣泛區域不會重疊或僅輕微重疊。在傳統的多射束粒子束顯微鏡中，假設所述區域彼此不重疊，然後光學成像系統的光

學成像將所述區域成像到第一檢測系統的檢測器元件陣列上。

**【0021】** 發明人已經認識到，電子轉換器的表面（在該表面上對從物體處相互鄰近的撞擊位置發出的電子束的電子進行撞擊）處的相互鄰近的區域可以隨時間改變，並且尤其是可以在藉由使多個粒子束在物體上掃描來記錄粒子-顯微圖像的持續時間內改變。

**【0022】** 借助於第二檢測系統（其可以具有比第一檢測系統更高的空間解析度）的檢測器元件的檢測信號的評估，可以檢測由電子束在電子轉換器的表面處照射的區域的重疊類型。這種檢測可以包括對由第二檢測系統檢測的圖像進行的圖像分析。

**【0023】** 根據示例性實施方式，在第一時間段期間藉由第一檢測系統的檢測器元件的給定檢測器元件檢測到的檢測信號被分配給至少兩個不同的撞擊位置。與由第一檢測系統的給定檢測元件檢測到的光信號不正確地僅分配給被分配給給定檢測器元件的粒子束的傳統方法相比，根據在此描述的實施方式的方法允許實現更靈活的檢測信號分配，其考慮了當前情況和由投射系統提供的成像中給出的可能的當前的不足之處。舉例來說，基於對第二檢測系統的檢測器元件的檢測信號的評估，顯然可以例如將第一檢測系統的給定檢測器元件的 90%的檢測信號分配給被分配給給定探測器元件的粒子束，同時 10%的檢測信號被分配給與被分配給給定探測器元件的粒子束相鄰的撞擊在物體上的特定粒子束。將檢測信號分配給粒子束並因此分配給物體處的撞擊位置（此分配在某些方面更正確）可以用於產生具有相對更好的圖像特性的粒子-顯微圖像。

**【0024】** 發明人已經認識到，在此描述的方法尤其有利的是在被檢查物體處存在均勻地分佈在表面上的表面電荷。特別是表面電荷的延伸範圍和所述表面電荷的有效範圍小於或明顯小於物體處的由全部粒子束成像的那個區域的延伸範圍的情況。物體處的表面電荷尤其是可以藉由掃描物體的粒子束本身產生，因此物體處的表面電荷的配置可以隨時間改變。局部

存在的表面電荷可以具有以下效果：從粒子束在物體處的撞擊位置發出的一個或多個電子束在特定的完全不同的方向上偏轉，而其他電子束不會被偏轉或者被不同地偏轉，其效果隨著距離表面電荷的距離而減小。這樣具有如下效果：在電子轉換器的表面處由給定電子束照射的區域的配置可以在形狀和尺寸方面隨時間改變。然而，可以藉由對第二檢測系統的檢測信號進評估而在電子轉換器處的照射區域的配置中檢測這種隨時間的變化（該等區域進而藉由光學成像系統被成像到第一檢測系統的檢測器元件上），並且可以在將第一檢測系統的檢測器元件的檢測信號分配給粒子束並因此分配給撞擊位置時考慮所述變化。

**【0025】** 根據示例性實施方式，在多個第一時間段期間，重複藉由該第一檢測系統的檢測元件對檢測信號進行檢測，其中，在該多個第一時間段中的一個時間段中由該第一檢測系統的給定檢測元件檢測到的檢測信號至少部分地被分配給給定的粒子束，並且其中，在該多個第一時間段中的另一個時間段中由該第一檢測系統的該給定檢測元件檢測到的檢測信號均不分配給該給定的撞擊位置。這意味著將檢測器元件及其檢測信號分配給粒子束可以例如在粒子-顯微圖像的記錄期間改變。這種分配的變化係基於藉由第二檢測系統的檢測元件檢測到的檢測信號實現的，該等檢測信號在此期間同樣發生變化。

**【0026】** 第一檢測系統的檢測元件的數量可以等於在物體上掃描的粒子束的數量。然而，第一檢測系統的檢測元件的數量也可以大於在物體上掃描的粒子束的數量。特別地，第一檢測系統的檢測元件的數量可以等於在物體上掃描的粒子束的數量的整數倍。舉例來說，第一檢測系統的檢測元件的數量可以等於粒子束的數量的四倍或 16 倍。

### 【圖式簡單說明】

**【0027】** 下文將參考附圖來更詳細地說明本發明的示例性實施方

式。在圖中：

**【0028】** 圖 1 示出了多射束粒子束顯微鏡的示意性圖示；

**【0029】** 圖 2 示出了圖 1 所示的多射束粒子束顯微鏡的電子檢測器的示意性圖示；

**【0030】** 圖 3 示出了圖 2 所示的電子檢測器的第一檢測系統的示意性圖示；

**【0031】** 圖 4 示出了圖 3 所示的第一檢測系統的檢測器元件陣列的示意性圖示；

**【0032】** 圖 5 示出了圖 2 所示的電子檢測器的第二檢測系統的檢測器元件陣列的平面圖的示意性圖示；

**【0033】** 圖 6 示出了圖 4 的檢測器元件陣列的放大的局部圖示，用於闡明根據一個實施方式的方法；

**【0034】** 圖 7 示出了用於闡明參考圖 6 闡明的方法的框圖；

**【0035】** 圖 8 示出了參考圖 6 和圖 7 闡明的方法的掃描路徑的圖示；

**【0036】** 圖 9 示出了用於闡明參考圖 6 至圖 8 闡明的方法的另一框圖；以及

**【0037】** 圖 10 示出了可用於圖 1 所示的多射束粒子束顯微鏡的電子檢測器的示意性圖示。

## 【實施方式】

**【0038】** 圖 1 級使用多個帶電粒子束的多射束粒子束顯微鏡之示意性圖示。多射束粒子束顯微鏡產生多個帶電粒子束，該等帶電粒子束撞擊在待檢查物體上，以便在那裡產生從該物體發出並隨後被檢測的二次電子。多射束粒子束顯微鏡 1 級掃描電子顯微鏡 (SEM) 類型，其使用多個初級電子束 3 以便在物體 7 的表面上產生多個電子束斑點 5。待檢查物體 7 可以是任何期望的類型並且例如包括半導體晶圓、生物樣本和小型化元件

的佈置等。物體 7 的表面被佈置在物鏡系統 100 的物鏡 102 的物平面 101 中。

**【0039】** 圖 1 中的放大摘圖 I1 示出了物體 7 的表面 101 的平面圖，其具有粒子束 3 在物體 7 的表面 101 上的撞擊位置 5 的規則矩形陣列 103。在圖 1 中，撞擊位置的數量為 25 個，其被佈置為  $5 \times 5$  陣列 103。粒子束 3 或撞擊位置的數量為 25 個係為了簡化說明而選擇的較小數量。在實踐中，射束斑點的數量可以被選擇為顯著更大，例如  $20 \times 30$ 、 $100 \times 100$  等。

**【0040】** 在所示的實施方式中，撞擊位置 5 的陣列 103 係基本上規則的矩形陣列，其在相鄰的撞擊位置 5 之間具有恒定的距離 P1。距離 P1 的示例性值係  $1 \mu\text{m}$  和  $10 \mu\text{m}$ 。然而，陣列 103 也可以例如具有比如六邊形對稱性等其他對稱性。

**【0041】** 粒子束 3 可以非常精細地聚焦在撞擊位置 5 上。形成在物體表面處的射束焦點的直徑可以是例如  $1 \text{ nm}$ 、 $5 \text{ nm}$ 、 $100 \text{ nm}$  和  $200 \text{ nm}$ 。用於使射束斑點 5 成形的粒子束 3 的聚焦由物鏡系統 100 執行。

**【0042】** 撞擊在物體上的粒子束 3 的粒子在那裡產生了從物體 7 的表面發出的電子。從物體 7 的表面發出的電子被物鏡 102 提供的電場加速，並且被成形為形成電子束 9。多射束粒子束顯微鏡 1 包括由物鏡 102 和另外的電子透鏡 205 形成的投射系統。投射系統 102、205 提供電子束路徑 11，以便將多個電子束 9 飽送到電子檢測器 209。電子檢測器 209 包括電子轉換器 207，電子束 9 由投射系統 102、205 引導到該電子轉換器上，並且電子轉換器被配置為在電子束 9 的電子撞擊時產生光子作為信號。所述光子由光檢測器檢測，如下所述。電子轉換器 207 的材料可以包括閃爍體材料，例如，以色列的 El Mul Technologies 的以產品名稱 R42 銷售的磷光體材料。

**【0043】** 圖 1 中的摘圖 I2 示出了電子束 9 撞擊的電子轉換器 207 的表面 211 的平面圖。附圖標記 213 表示撞擊電子束的中心所佈置的位置。在圖 1 所示的理想情況下，中心 213 以彼此之間的規則距離 P2 佈置成陣列

217。距離 P2 的示例性值係  $10 \mu\text{m}$ 、 $100 \mu\text{m}$  和  $200 \mu\text{m}$ 。

**【0044】** 粒子束 3 由照射系統 300 產生，該照射系統包括至少一個電子源 301、至少一個準直透鏡 303、多孔裝置 305 和場鏡 307。電子源 301 產生發散電子束 309，該發散電子束由準直透鏡 303 準直以形成照射多孔裝置 305 的射束 311。

**【0045】** 圖 1 中的摘圖 I3 示出了多孔裝置 305 的平面圖。多孔裝置 305 包括多孔板 313，在該多孔板中形成多個開口或孔 315。開口 315 的中點 317 被佈置成圖案 319，該圖案對應於由粒子束 3 在物體 7 處的撞擊位置 5 形成的圖案 103。孔 315 的中點 317 彼此之間的距離 P3 可以具有  $5 \mu\text{m}$ 、 $100 \mu\text{m}$  和  $200 \mu\text{m}$  的示例性值。孔 315 的直徑 D 小於孔的中點之間的距離 P3。直徑 D 的示例性值係  $0.2 \times P3$ 、 $0.4 \times P3$  和  $0.8 \times P3$ 。

**【0046】** 照射射束 311 的電子穿過孔 315 並形成電子束 3。撞擊在板 313 上的照射射束 311 的電子被該板吸收，並且不會有助於形成電子束 3。

**【0047】** 多孔裝置 305 聚焦電子束 3，其形式為使得射束焦點 323 形成在平面 325 中。圖 1 中的摘圖 I4 示出了平面 325 的平面圖，其中焦點 323 被佈置成圖案 327。圖案 327 的焦點 323 之間的距離 P4 可以等於多孔板 313 的圖案 319 中的距離 P3 或者與其不同。焦點 323 的直徑可以是例如  $10 \text{ nm}$ 、 $100 \text{ nm}$  和  $1 \mu\text{m}$ 。

**【0048】** 場鏡 307 和物鏡 102 提供成像系統，用於將其中形成有焦點 323 的平面 325 成像到物體平面 101 上，使得在那裡形成位於物體 7 的表面處的撞擊位置 5 的陣列 103。

**【0049】** 射束開關 400 佈置在多孔裝置 305 與物鏡系統 100 之間的射束路徑中。射束開關 400 也是物鏡系統 100 與電子檢測器 209 之間的射束路徑 11 的一部分。

**【0050】** 關於這樣的多射束檢查系統和其中使用的部件（例如，粒子源、多孔板和透鏡）的更多資訊可以從專利申請 WO 2005/024881 A2、WO

2007/028595 A2 、 WO 2007/028596 A1 、 WO 2007/060017 A2 、 US 2015/0083911 A1 和 WO 2016/124648 A1 中獲得，上述專利申請全部範圍的揭露內容藉由引用併入在本申請中。

**【0051】** 圖 2 示出了電子檢測器 209 的進一步細節。除了電子轉換器 207 之外，電子檢測器 209 還包括具有檢測器元件陣列 215 的第一檢測系統 213 以及具有檢測器元件陣列 219 的第二檢測系統 218。第一檢測系統 213 包括光檢測器，並且第二檢測系統同樣包括所示實施方式中的光檢測器。光學成像系統 221 被配置為將光電子轉換器 207 的表面 211 光學地成像到第一檢測系統 213 的檢測器元件 215 的陣列上和第二檢測系統 218 的檢測器元件 219 的陣列上。為此目的，光學成像系統 221 包括多個透鏡 223 和分束鏡 225，該分束鏡允許撞擊在其上的光的一部分穿其而過並到達第一檢測系統 213、並且將撞擊在其上的光的另一部分朝向第二檢測系統 218 反射。

**【0052】** 在電子轉換器 207 處產生並穿過分束鏡 225 的光子因此形成由第一檢測系統 213 檢測的第一信號，並且在電子轉換器 207 處產生並在分束鏡 225 處反射的光子形成由第二檢測系統 218 檢測的第二信號。

**【0053】** 然而，撞擊在第一檢測系統 213 上的光也可以在分束鏡 225 處被反射，而撞擊在第二檢測系統 218 上的光穿過分束鏡 225。在這種情況下，可以規定分束鏡 225 被設計成使得撞擊在其上並饋送到第一檢測系統 213 上的光的比例係饋送到第二檢測系統 218 的比例的五倍、十倍或 50 倍。

**【0054】** 第一檢測系統 213 的細節在圖 3 中示意性地示出。第一檢測系統 213 包括多個光電倍增器 227。光電倍增器 227 的數量可以對應於粒子束 3 的數量，但是也可以更多。每個光電倍增器 227 連接到光波導 229 的一端，以便將待檢測光饋送到光電倍增器 227。光波導 229 的相應另一端組合在框架 231 中，以便將光波導 229 的端部佈置成陣列，該陣列的幾何形狀對應於由位於電子轉換器 207 的表面上的撞擊電子束 9 形成的陣列 217（圖 1 中的 I2）的幾何形狀。藉由光學成像系統 221 將電子轉換器 207 的

表面上的陣列 217 成像到光波導 229 端部的陣列上。圖 4 示出了由保持在框架 231 中的光波導 229 的端部形成的陣列的平面圖。

**【0055】** 撞擊在電子轉換器 207 上的電子束 9 的電子產生光子，一部分光子在朝向光學成像系統 221 的方向上從電子轉換器 207 出射。光學成像系統 221 使用所述光子以便將電子束 9 的撞擊位置 213 成像到光波導 229 的端部上。一部分光子進入光波導 229 並且藉由所述光波導饋送到光電倍增器 227。光電倍增器 227 將入射光子轉換成電子信號，該等電子信號經由信號線 233 饋送到控制器 235。因此，控制器 235 能夠檢測給定光電倍增器 227 的檢測信號，其中，檢測信號的強度基本上與分配給相應的光電倍增器 227 的電子束 9 之一的強度成比例。

**【0056】** 圖 5 示出了第二檢測系統 218 的檢測器元件 219 的平面圖。檢測器元件 219 由 CCD 感測器 237 的光電二極體形成，其中光電二極體 219 被佈置成矩形陣列。第二檢測系統 218 的檢測器元件 219 的數量可以是例如  $128 \times 128$ 、 $1024 \times 1024$  或其他值。CCD 感測器 237 的檢測器元件 219 經由來自檢測器元件 219 的陣列的線 239 被逐行讀取，並且信號被傳輸到控制器 235。

**【0057】** 圖 6 係圖 4 中所示的光波導 229 的端部的陣列的放大局部圖示。在此僅示出了佈置在圖 4 的陣列中的左上方的四個光波導。光波導 229 的該等端部可以由陣列索引  $(1, 1)$ 、 $(2, 1)$ 、 $(1, 2)$  和  $(2, 2)$  指定。由間斷線 241 表示的圓包圍一個區域，在以上概述的理想情況下，在該區域內 90% 的光子將撞擊到具有陣列索引  $(1, 1)$  的光波導 229 的端部，在這種情況下每個粒子束被分配給第一檢測系統的恰好一個檢測器元件，並且給第一檢測系統的每個檢測器元件分配恰好一個粒子束 3。特別地，在這種情況下，粒子束將照射佈置在陣列 101 中的左上方的撞擊位置 5（參見圖 1 中的 I1）並且產生被成形為形成電子束 9 的二次電子，該電子束照射佈置在電子轉換器 207 的表面 211 上的陣列 211 的左上方的區段（參見圖 1 中

的 I<sub>2</sub>) 並且在那裡產生藉由成像光學單元 221 成像到光波導 (1, 1) 的端部上的光子。如果係這種情況，則由連接到光波導 (1, 1) 的光電倍增器 227 檢測到的所有檢測信號都可以被分配給佈置在陣列 101 中左上方的粒子束。

**【0058】** 與這種理想情況不同，在實踐中發生以下情況：由這一個粒子束引發的 90% 的光子沒有落在圓 241 中，而是落在相對於其偏移佈置的圓 243 中，這個圓由圖 6 中的實線表示。這種位移可以歸因於例如以下事實：在物體 7 的表面處存在電荷，該電荷使二次電子束 9 偏離其理想路徑，使得在電子轉換器 207 處由此光束引發的光子在大部分情況下落在圓 243 中。這意味著所述光子的一部分進入光纖端 (2, 1)，另一部分進入光纖端 (1, 2)。在圖 6 所示情形的情況下，可以假設要解釋的歸於粒子束 3 的檢測信號係由不同光電倍增器 227 檢測到的檢測信號之和產生的。對於圖 6 所示的情形，待分配給所述粒子束 3 的檢測信號的強度 I 例如可以如下產生：

$$I = 0.8 \times I(1, 1) + 0.15 \times I(2, 1) + 0.05 \times I(1, 2)$$

**【0059】** 因子 0.8、0.15 和 0.05 係由關於圓 243 與光纖 229 的端部區域的重疊的幾何考慮產生的。如果合適，這種考慮也可以考慮到光子在圓內的強度的不均勻分佈。所述強度的分佈通常遵循具有高的中心最大值並且異常值還延伸到圓 243 外部的高斯函數。

**【0060】** 僅藉由第一檢測系統不能確定圓 243 的位置。然而，可以藉由第二檢測系統 218 來檢測圓 243 的位置，第二檢測系統接收與第一檢測系統相同的光強度分佈，但是由於其更多數量的檢測器元件而提供了更好的空間解析度。因此，對由第二檢測系統 218 檢測的圖像進行的圖像分析使得可以針對每個粒子束 3 確定在光纖 229 端部的區域上分配給其的圓 243。基於所述圓 243 與光纖 229 的端部的重疊，然後可以確定將第一檢測系統的各個檢測器元件的檢測信號分配給哪些粒子束 3 的比例。

**【0061】** 藉由以上示例選擇的因子係在假設檢測器元件 (1, 1)、(2,

1) 和 (1, 2) 不接收源自除了圓 243 所代表的粒子束之外的粒子束的信號的情況下產生的。通常，有必要求解方程組，以便獲得檢測信號對粒子束的正確分配。如果第一檢測系統的檢測元件的數量大於粒子束 3 的數量，則簡化了這種方程組的解。

**【0062】** 在此解釋的方法因此可以為每個粒子束 3 分配由第一檢測系統 213 的多個檢測器元件 215 檢測到的檢測信號。這係基於對由第二檢測系統 218 記錄的圖像進行的圖像分析實現的。此方法使得圖像具有更高的對比度和更少的偽象，因為並非所有由第一檢測系統 213 的給定檢測器元件 215 檢測到的檢測信號僅被分配給粒子束 3 中的恰好一個粒子束。

**【0063】** 以下參考圖 7 中的框圖再次解釋此方法。其中的附圖標記 251 表示在第一時間段內由第一檢測系統 213 的 25 個檢測器元件 215 檢測到的信號強度  $I_1, I_2, \dots, I_{25}$  的向量。在第二時間段（其可以在時間上在第一時間段之前，其可以在時間上在第一時間段之後，其可以比第一時間段更短或更長並且可以位於第一時間段內或者可以包含第一時間段）期間，藉由第二檢測系統 218 記錄圖像，該圖像進行圖像分析 253。基於所述圖像分析 253，確定將由第一檢測系統 213 的檢測器元件 215 檢測到的檢測信號分配給各個粒子束 3 的比例。所述比例可以表示為矩陣，例如，向量 251 乘以該矩陣以獲得向量 255，該向量的元素  $I'_1, I'_2, \dots, I'_{25}$  表示分配到各個射束的檢測強度。如上所述，為了獲得所述矩陣，可能需要例如方程組的解或比如迭代計算等一些其他複雜計算的解。在第一檢測系統的檢測器元件的數量大於粒子束的數量的情況下，向量 251 具有與第一檢測系統的檢測器元件的數量相等的多個分量，而向量 255 的分量的數量等於粒子束的數量。如果使用矩陣以便從向量 251 獲得向量 255，則此矩陣因此將是非正方形的。

**【0064】** 圖 7 中的箭頭 257 表示由檢測器元件檢測到的檢測信號被分配給多個射束的事實。在這方面，舉例來說，由第一檢測器元件  $I_1$  檢測到

的強度被分配給射束 1、2 和 6，但不分配給其餘的射束。

**【0065】** 該方法還包括使粒子束 3 在物體表面上掃描。為此目的，舉例來說，控制器 235 可以包括提供合適的掃描信號 259 的掃描發生器。基於掃描信號 259，向射束偏轉器提供時間上可變的電壓，所述射束偏轉器佈置在例如在物鏡 102 中或附近的射束路徑 13 的區域中，以便基於掃描信號使粒子束 3 的束共同偏轉，使得粒子束 3 在物體 7 的表面上的撞擊位置 5 移位。

**【0066】** 在這方面，舉例來說，在預定義時間段過去之後，粒子束 3 在物體 7 的表面上的撞擊位置 5 可以逐步地移位到新的撞擊位置 5，該時間段可以等於第一時間段，使得用粒子束 3 連續照射非常多的多個撞擊位置 5。最後，將檢測到的檢測信號分配給所述撞擊位置，以便形成粒子-顯微圖像。圖 7 示出了表示在第一時間間隔  $i$  期間以這樣的時間步長分配給撞擊位置  $(1i, 1i), (2i, 2i) \dots$  的檢測信號強度  $I''$  的向量 261。在這種情況下，變數  $i$  表示連續實現的時間步長的索引。將被分配給各個粒子束 3 的向量 255 的檢測信號分配成被分配給各個撞擊位置的向量 261 的檢測信號係基於掃描發生器的掃描信號 259 執行的。

**【0067】** 以下參考圖 8 解釋掃描發生器的操作以及掃描信號 259 的產生的一個示例。該圖示出了物體 7 的表面以及在所實施的時間步驟內在掃描的情況下連續照射的撞擊位置 5 的平面圖。由第一粒子束 3 連續照射的 255 個撞擊位置由  $(11, 11), (12, 12), \dots, (1225, 1225)$  表示。它們位於物體表面的方形區域 263 內，該區域包含 225 個撞擊位置。由掃描連續產生的撞擊位置在圖 8 中藉由表示粒子束的掃描路徑的線而彼此連接。明顯的是，掃描路徑以曲折的方式前進。特別地，物體 7 的表面的區域 263 包含九個區域 265，每個區域包含 25 個撞擊位置，該等撞擊位置連續地包含在掃描路徑中。物體的表面的區域 265 顯著小於物體的表面的區域 263。為了正確地評估區域 263 與區域 265 的尺寸比，在各自情況下考慮分別包

含在區域 263 和區域 265 中的撞擊位置的凸包絡。一組撞擊位置的凸包絡係具有包含所有所述撞擊位置的凸邊緣的最小可能區域。

**【0068】** 位於表面區域 265 中的撞擊位置的凸包絡的最大橫向範圍由圖 8 中的 I1 表示，所述撞擊位置的最小橫向範圍由 I2 表示，並且包含在表面區域 263 中的撞擊位置的凸包絡的最大橫向範圍由圖 8 中的 L1 表示，而所述撞擊位置的最小橫向範圍用 L2 表示。很明顯，正確的是：

$$2 \times l1 < L1, \text{ 以及}$$

$$2 \times l2 < L2$$

**【0069】** 這意味著表面區域 265 在其橫向範圍方面顯著小於表面區域 263。

**【0070】** 以下參考圖 9 再次解釋掃描方法。掃描方法如下進行總結：掃描發生器產生的掃描信號 259 在第一時間段內不會改變。在第一時間段期間，各個粒子束 3 因此照射物體表面處的未改變的撞擊位置。記錄由在第一時間段期間由光電倍增器 227 檢測到的檢測信號組成的向量 251。在第一時間段期間發生的此措施由圖 9 中的框 281 表示。掃描信號隨後被改變，以便沿著它們的掃描路徑將粒子束在物體處的撞擊位置移位一個位置。在此重複框 281 的措施。在由圖 9 中的框 282 表示的 25 次這樣的重複之後，已經掃描了位於表面區域 265 之一中的所有 25 個撞擊位置。對表面區域 265 之一內的 25 個撞擊位置進行掃描的這種措施由圖 9 中的框 283 表示。執行框 283 的措施持續第二時間段，第二時間段係第一時間段的約 25 倍。

**【0071】** 在第二時間段期間，藉由第二檢測系統 218 的檢測器元件 219 另外記錄圖像。在此假設第二檢測系統的檢測器元件 219 的數量係 4096。圖像的記錄由圖 9 中的框 284 表示。藉由第二檢測系統記錄圖像的措施在第二時間段內重複一次，如圖 9 中的框 285 所示。執行與所述 283 指定的措施同時發生的記錄所述圖像的單次重複由圖 9 中的框 286 表示。由於第一檢測系統 213 和第二檢測系統 218 可以借由分束器 225 同時檢測

相互對應的信號，因此可以並行或同時執行措施 283 和 286。措施 283 和 286 的同時實現由圖 9 中的框 287 表示，並且首先包括檢測分配給佈置在區域 265 之一內的撞擊位置的檢測信號以及藉由第二檢測系統 218 檢測圖像。基於由第二檢測系統 218 檢測的圖像，即基於根據所述圖像執行的圖像分析 253，在第二時間段內獲得的所有 25 個向量 251 被轉換成分別表示分配給各個粒子束的檢測信號的 25 個向量 255。

**【0072】** 這意味著根據相同的分配將在 25 個連續實施的措施 281 中獲得的檢測信號分配給各個粒子束，其中此分配基於同樣在第二時間段期間在措施 284 中獲得的單個圖像，所述圖像藉由第二檢測系統記錄。

**【0073】** 通常，期望在每個第一時間段期間執行一次措施 284，並且因此藉由第二檢測系統記錄與所執行的措施 281 的數量完全相同的多個圖像。然而，在所述示例中不能用 CCD 檢測器以對應於第一時間段的頻率記錄和讀出圖像，這就是為什麼措施 284 僅執行一次，而措施 281 執行 25 次的原因。然而，反過來，CCD 檢測器具有足夠高的空間解析度，以藉由圖像分析確定第一檢測系統 213 的哪個檢測器元件 215 接收將被分配給各個粒子束的檢測信號。

**【0074】** 如框 289 所示，框 287 的措施重複九次，以便以每個粒子束連續掃描包含在表面區域 263 中的九個表面區域 265 之一。該等措施的總體由圖 9 中的框 290 指定，並且包括藉由 25 個粒子束獲得粒子-顯微圖像數據，所述粒子束在各自情況下被引導到 255 個撞擊位置，使得在各自情況下為 6375 個撞擊位置執行強度測量。

**【0075】** 在框 290 內，每個粒子束 225 照射佈置在連續掃描的九個不同物體區域 265 中的撞擊位置。在掃描每個表面區域 265 期間，第二檢測系統記錄圖像，該圖像可以作為確定由第一檢測系統的各個檢測元件檢測到的檢測信號對各個粒子束的分配的基礎。

**【0076】** 因此，對 225 個不同的連續獲得的檢測信號向量 251 使用九

種不同的分配。在這種情況下，選擇掃描路徑，使得考慮到包含在表面區域 263 中的撞擊位置的凸包絡的橫向範圍，應用相同分配的撞擊位置的凸包絡係盡可能小的。特別是藉由選擇曲折掃描路徑使這成為可能。掃描路徑的這種選擇基於以下考慮：檢測信號到粒子束的分配的變化係由表面局部存在的表面電荷引起的。所述表面電荷不是均勻地作用於所有粒子束，而是僅作用於其在物體上的撞擊位置靠近表面電荷的粒子束。此外，假設所述表面電荷在掃描期間緩慢變化。這種考慮證明對於在掃描路徑中連續佈置的多個撞擊位置使用檢測信號到粒子束的相同分配係合理的。

**【0077】** 以上已經基於以下各項的簡化值來解釋掃描方法：所使用的粒子束數的數量 25，包含在由粒子束掃描的表面區域 263 中的表面區域 265 的數量九，以及包含在表面區域 265 中的多個撞擊位置的數量 25。在實踐中，各個數值可以被選擇為顯著更大。

**【0078】** 在圖 7 的圖示中，在基於掃描發生器的掃描信號 259 將分配給各個粒子束的檢測信號分配到各個撞擊位置之前，實現基於圖像分析 253 將由第一檢測系統的各個檢測器元件檢測到的檢測信號分配給各個粒子束。此順序可以互換，並且可以在基於掃描信號 259 將各個粒子束分配到撞擊位置之後實現基於圖像分析 253 對各個粒子束的分配。

**【0079】** 圖 10 示出了電子檢測器 209 的另一變體，其在示意性圖示中可用於圖 1 中的多射束粒子束顯微鏡。電子檢測器 209 具有電子轉換器 207，電子束 9 在圖 10 中的圖示中從左側撞擊在電子轉換器的表面 211 上。電子束 9 的電子的能量被電子轉換器 207 轉換成兩種不同類型的信號，該等信號由兩個不同的檢測系統檢測。

**【0080】** 兩個檢測系統的第一檢測系統 213 包括作為半導體元件的檢測器元件 215，例如矽漂移檢測器和 PIN 二極體。該等也是電子轉換器的一部分，在半導體元件中，穿透它們的電子束 9 的電子被轉換成第一信號，即電子-電洞對（其在半導體元件中啟動電信號），該等信號在適當放大之後

輸出到多射束粒子束顯微鏡 1 的控制器 235。檢測器元件 215 的半導體元件係電子檢測器，其可以以高速率（例如 40 MHz 至 400 MHz）讀取並且將撞擊電子轉換成電信號。第一檢測系統 213 的檢測器元件 215 的數量可以大於或等於撞擊在電子轉換器 207 上的電子束 9 的數量。

**【0081】** 電子檢測器 209 的第二檢測系統 218 包括光檢測器 237（例如 CCD 感測器），其具有檢測器元件或圖元 219 的陣列。第二檢測系統 218 的檢測器元件 219 的數量顯著大於第一檢測系統 213 的檢測器元件 215 的數量。

**【0082】** 光學成像系統 221 設置在電子轉換器 207 與光檢測器 237 之間，所述光學成像系統將電子轉換器 207 的表面 211 光學成像到第二檢測系統 218 的檢測器元件 219 的陣列上。

**【0083】** 電子轉換器 207 由於其包括半導體元件 215 的配置而被設計成將撞擊在其上的電子束 9 的一部分電子轉換成由第一檢測系統 213 檢測的第一信號，即電子-電洞對。撞擊在電子轉換器 207 上的電子束 9 的另一部分電子被轉換成第二信號，即光子，它們從電子束 9 也撞擊的電子轉換器 207 的表面 211 出射。在圖 10 中的圖示中，所述光子從電子轉換器 207 向左射出。

**【0084】** 在電子轉換器 207 的表面 211 處射出的光子的一部分由光學成像系統 221 成像到光檢測器 237 上，並且由所述光檢測器的檢測元件 219 檢測。由光檢測器 237 檢測到的圖像被發送到控制器 235。

**【0085】** 由第二檢測系統 218 檢測到的信號可以是各種類型的光子。首先，撞擊在電子轉換器 207 的表面 211 上的電子束 9 導致那裡局部加熱。此局部加熱產生光子，該等光子可由光檢測器 237 在輻射光譜的紅外範圍內檢測到。例如，所述光子具有 1 meV 至 500 meV 的光子能量。

**【0086】** 為了檢測所述光子，光檢測器 237 和光學成像系統 221 有利地實施為紅外相機。藉由紅外相機，可以因此產生並且然後評估電子轉換

器 207 的表面 211 的熱圖像。熱圖像表示撞擊在電子轉換器 207 的表面 211 上的電子強度的分佈。光檢測器 237 的讀出速率顯著慢於第一檢測系統 213 的檢測元件 215 的讀出速率，但是反過來，第二檢測系統 218 的檢測元件 219 的數量顯著大於第一檢測系統 213 的檢測元件 215 的數量。如上所述，基於對由光檢測器 237 檢測的圖像進行的圖像分析，可以進行將由第一檢測系統 213 的檢測元件 215 檢測到的信號改進地分配給撞擊在電子轉換器 207 上的電子束 9，最後分配給粒子束 3 在物體 7 上的撞擊位置。

**【0087】** 作為光檢測器 237 和作為紅外相機的光學成像系統 221 的實施方式的替代方案，如果閃爍體材料層 271 設置在電子轉換器 207 的表面 211 處（所述層在圖 10 中用虛線示出），則也可以使用在光譜的可見光範圍內或在光譜的其他範圍內操作的相機。閃爍體材料將電子束 9 的一部分電子的能量轉換成例如能量為 1 eV 至 4 eV 的光子，因此該等光子大於由於電子轉換器 207 的表面 211 的加熱而產生的具有例如 1 meV 至 500 meV 的光子能量的熱輻射的能量。

**【0088】** 由閃爍體材料層 271 產生的光子在光檢測器 237 上的成像在那裡產生表示撞擊在電子轉換器 207 的表面 211 上的電子強度的分佈的圖像。該等圖像可以再次被讀出到控制器 235，並且用於將由第一檢測系統 213 的檢測元件 215 檢測到的信號分配給各個電子束 9，最後分配給粒子束 3 在物體 7 上的撞擊位置。

### 【符號說明】

1	多射束粒子束顯微鏡
2、6	射束
3	粒子束
7	物體
5	撞擊位置

9	電子束
11	電子束路徑
13	射束路徑
100	物鏡系統
101	物平面
102	物鏡
103	陣列
205	電子透鏡
207	電子轉換器
209	電子檢測器
211	表面
213	第一檢測系統
215	檢測器元件陣列
217	陣列
218	第二檢測系統
219	檢測器元件陣列
221	光學成像系統
223	透鏡
225	分束鏡
227	光電倍增器
229	光波導
231	框架
233	信號線
235	控制器
237	CCD 感測器
239	線

241、243	圓
251、255、261	向量
253	圖像分析
257	箭頭
259	掃描信號
263、265	區域
281~290	框
300	照射系統
301	電子源
303	準直透鏡
305	多孔裝置
307	場鏡
309	發散電子束
311	射束
313	多孔板
315	開口
317	中點
319	圖案
323	射束焦點
325	平面
327	圖案
400	射束開關

## 【生物材料寄存】

國內寄存資訊【請依寄存機構、日期、號碼順序註記】

202013422

國外寄存資訊【請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記】

**【序列表】**(請換頁單獨記載)

## 申請專利範圍

1. 一種用於操作多射束粒子束顯微鏡之方法，該方法包括：

使多個粒子束在物體上掃描；

將從該等粒子束在該物體處的撞擊位置發出的電子束引導到電子轉換器上；

在第一時間段期間，藉由第一檢測系統的多個檢測元件來檢測由該電子轉換器中的撞擊電子所產生的第一信號；

在第二時間段期間，藉由第二檢測系統的多個檢測元件來檢測由該電子轉換器中的撞擊電子所產生的第二信號，其中該第二檢測系統的檢測元件的數量大於該第一檢測系統的檢測元件的數量大小的兩倍；以及

尤其是基於在該第二時間段期間藉由該第二檢測系統的檢測元件檢測到的檢測信號，將在該第一時間段期間藉由該第一檢測系統的檢測元件檢測到的信號分配給該等撞擊位置。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，

其中藉由該第一檢測系統的多個檢測元件來檢測由該電子轉換器中的撞擊電子所產生的第一信號係以大於極限頻率的速率執行的，並且

其中藉由該第二檢測系統的多個檢測元件來檢測由該電子轉換器中的撞擊電子所產生的第二信號係以小於該極限頻率的 0.5 倍的速率執行的。

3. 如申請專利範圍第 1 或 2 項所述之方法，其中該第二時間段與該第一時間段不同。

4. 如申請專利範圍第 3 項所述之方法，其中該第一時間段比該第二時間段短。
5. 如申請專利範圍第 1 至 4 項中任一項所述之方法，其中在該第一時間段期間藉由該第一檢測系統的檢測元件中的單個檢測元件檢測到的檢測信號被分配給至少兩個不同的撞擊位置。
6. 如申請專利範圍第 1 至 5 項中任一項所述之方法，還包括：

在多個第一時間段期間，重複藉由該第一檢測系統的檢測元件對檢測信號進行檢測的過程；  
其中在該多個第一時間段中的一個時間段中由該第一檢測系統的給定檢測元件檢測到的檢測信號至少部分地被分配給給定的粒子束；  
並且  
其中在該多個第一時間段中的另一個時間段中由該第一檢測系統的該給定檢測元件檢測到的檢測信號均不分配給該給定的撞擊位置。
7. 如申請專利範圍第 1 至 6 項中任一項所述之方法，還包括：

在該第二時間段內的多個第一時間段期間，重複藉由該第一檢測系統的檢測元件對檢測信號進行檢測的過程；並且  
尤其是基於在該第二時間段期間藉由該第二檢測系統的檢測元件檢測到的檢測信號，將在該多個第一時間段中的每個時間段期間藉由該第一檢測系統的檢測元件檢測到的檢測信號分配給該等撞擊位置。
8. 如申請專利範圍第 1 至 7 項中任一項所述之方法，

其中該掃描包括在第三時間段內將該多個粒子束中的每個粒子束引導到該物體的表面的區域內的多個第一撞擊位置，該第三時間段比

該第二時間段長；

其中該等第一撞擊位置的凸包絡具有第一最大橫向範圍；

其中在該第二時間段期間，該粒子束被引導到第二撞擊位置上，該等第二撞擊位置係該等第一撞擊位置的子集，

其中該等第二撞擊位置的凸包絡具有第二最大橫向範圍；並且

其中該第一最大橫向範圍係該第二最大橫向範圍的至少兩倍大、尤其是至少十倍大。

9. 如申請專利範圍第 8 項所述之方法，

其中該等第一撞擊位置的凸包絡具有第一最小橫向範圍；

其中該等第二撞擊位置的凸包絡具有第二最小橫向範圍；並且

其中該第一最小橫向範圍係該第二最小橫向範圍的至少兩倍大、尤其是至少十倍大。

10. 如申請專利範圍第 1 至 9 項中任一項所述之方法，還包括：

將在該第一時間段期間藉由該第一檢測系統的檢測元件中的每個檢測元件所記錄的檢測信號分配給該多個粒子束中的一個或多個粒子束，

其中分配給該多個粒子束中的一個相同粒子束的檢測信號被分配給相同的撞擊位置。

11. 如申請專利範圍第 1 至 10 項中任一項所述之方法，

其中使該多個粒子束掃描包括基於隨時間變化的偏轉信號偏轉該等粒子束；並且

其中將在該第一時間段期間藉由該第一檢測系統的檢測元件檢測到的檢測信號分配給該等撞擊位置還基於該偏轉信號執行。

12. 如申請專利範圍第 1 至 11 項中任一項所述之方法，  
其中該第一檢測系統的檢測元件的數量大於該多個粒子束的數  
量，及/或  
其中該第一檢測系統的檢測元件的數量等於該多個粒子束的數量  
的整數倍，及/或  
其中該第一檢測系統的檢測元件的數量等於該多個粒子束的數量。
13. 如申請專利範圍第 1 至 12 項中任一項所述之方法，其中在該電子轉換  
器中產生的第一信號係光子。
14. 如申請專利範圍第 13 項所述之方法，  
其中該第一檢測系統的檢測元件彼此相鄰佈置成陣列，並且  
其中該方法還包括將該電子轉換器的表面光學地成像到該第一檢  
測系統的檢測元件的陣列上。
15. 如申請專利範圍第 13 或 14 項所述之方法，其中該第一檢測系統的檢  
測元件包括光電倍增器及/或雪崩光電二極體。
16. 如申請專利範圍第 1 至 15 項中任一項所述之方法，其中在該電子轉換  
器中產生的第一信號係電信號。
17. 如申請專利範圍第 1 至 16 項中任一項所述之方法，其中在該電子轉換  
器中產生的第二信號係光子。
18. 如申請專利範圍第 17 項所述之方法，

其中該第二檢測系統的檢測元件彼此相鄰佈置成陣列，並且其中該方法還包括將該電子轉換器的表面光學地成像到該第二檢測系統的檢測元件的陣列上。

19. 如申請專利範圍第 18 項所述之方法，還包括使用光子進行光學成像，該等光子在該等電子束撞擊在該電子轉換器上的一側從該電子轉換器出射。
20. 如申請專利範圍第 19 項所述之方法，其中由該第二檢測系統的檢測元件檢測到的光子具有 1 meV 至 500 meV 的能量。
21. 如申請專利範圍第 17 至 20 項中任一項所述之方法，其中該第二檢測系統的檢測元件包括光電二極體，其中該第二檢測系統尤其是包括 CCD。
22. 一種多射束粒子束系統，被配置為執行如申請專利範圍第 1 至 21 項中任一項所述之方法。
23. 一種多射束粒子束系統，尤其是與如申請專利範圍第 22 項所述之多射束粒子束系統相組合，該多射束粒子束系統包括：
  - 電子轉換器；
  - 照射系統，該照射系統被配置為用多個粒子束照射物體處的撞擊位置的陣列；以及
  - 投射系統，該投射系統被配置為將從該等撞擊位置發出的電子束引導到該電子轉換器上；
  - 第一檢測系統，該第一檢測系統具有被配置為檢測由該電子轉換器

中的撞擊電子所產生的第一信號的多個檢測元件；

第二檢測系統，該第二檢測系統具有彼此相鄰佈置成陣列並且被配置為檢測由該電子轉換器中的撞擊電子所產生的第二信號的多個檢測元件，其中該等第二信號係光子；以及

光學成像系統，該光學成像系統被配置為將該電子轉換器的表面光學地成像到該第二檢測系統的檢測元件的陣列上；

其中從該電子轉換器的將電子束還引導到其上的表面出射的光子被該光學成像系統引導到該第二檢測系統的檢測元件上。

24. 如申請專利範圍第 23 項所述之多射束粒子束系統，其中該電子轉換器包括閃爍體材料，該閃爍體材料將該等電子束的能量轉換成光子。

25. 如申請專利範圍第 24 項所述之多射束粒子束系統，其中由該第二檢測系統的檢測元件檢測到的光子具有 1 eV 至 4 eV 的能量。

26. 如申請專利範圍第 23 項所述之多射束粒子束系統，

其中該電子轉換器沒有將該等電子束的能量轉換成光子的閃爍體材料，並且

其中由該第二檢測系統的檢測元件檢測到的光子具有 1 meV 至 500 meV 的能量。

## 圖式

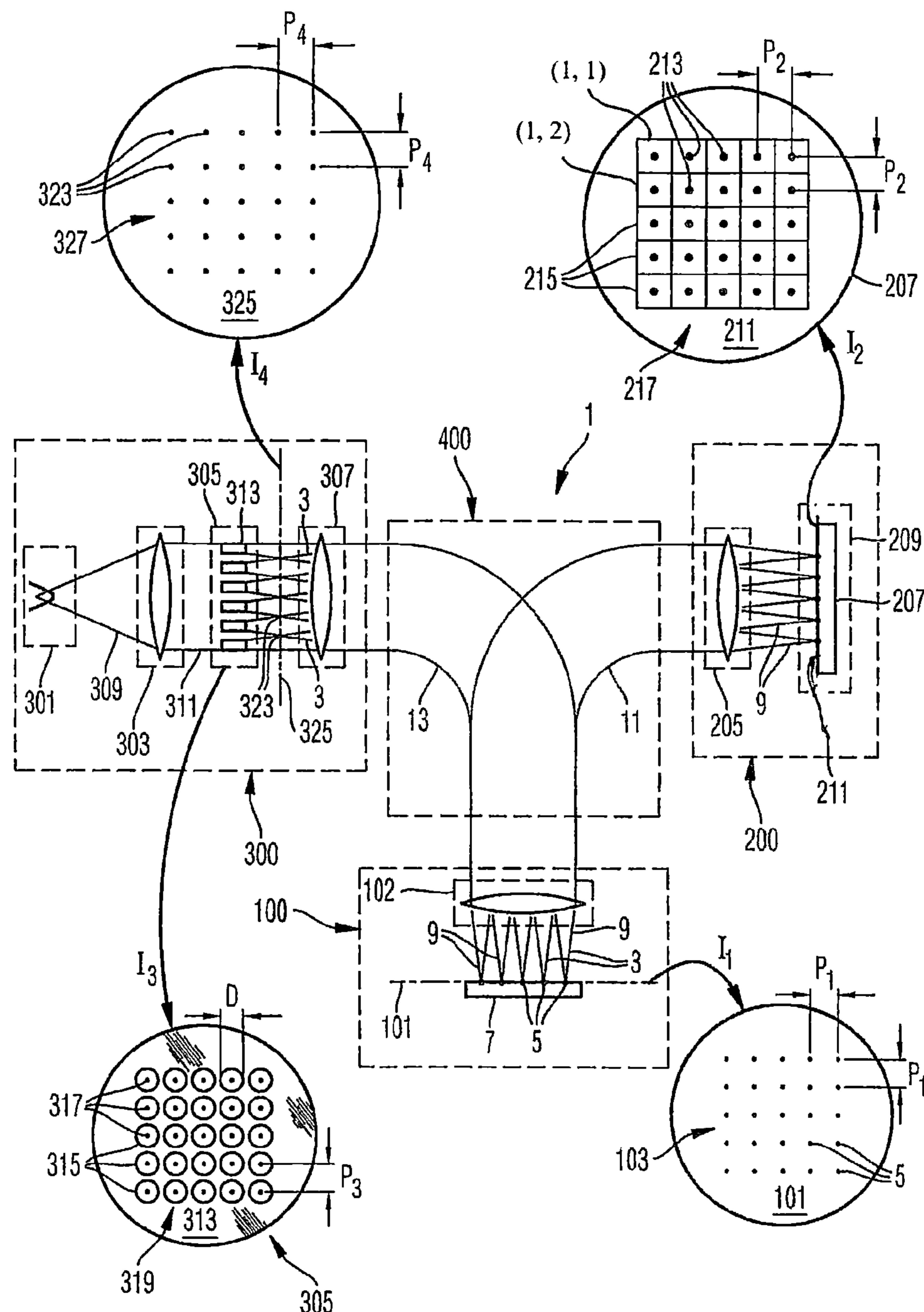


圖1

202013422

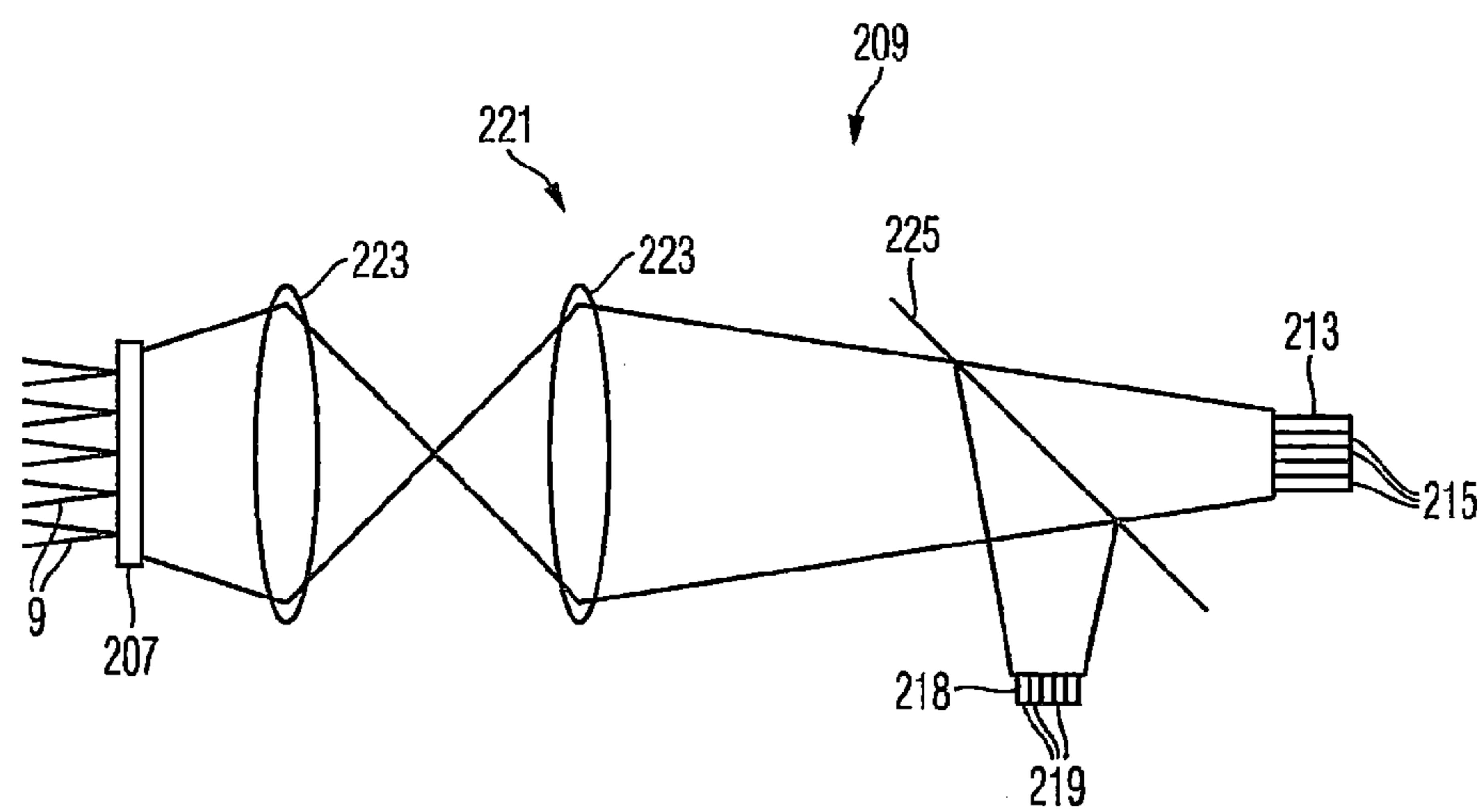


圖2

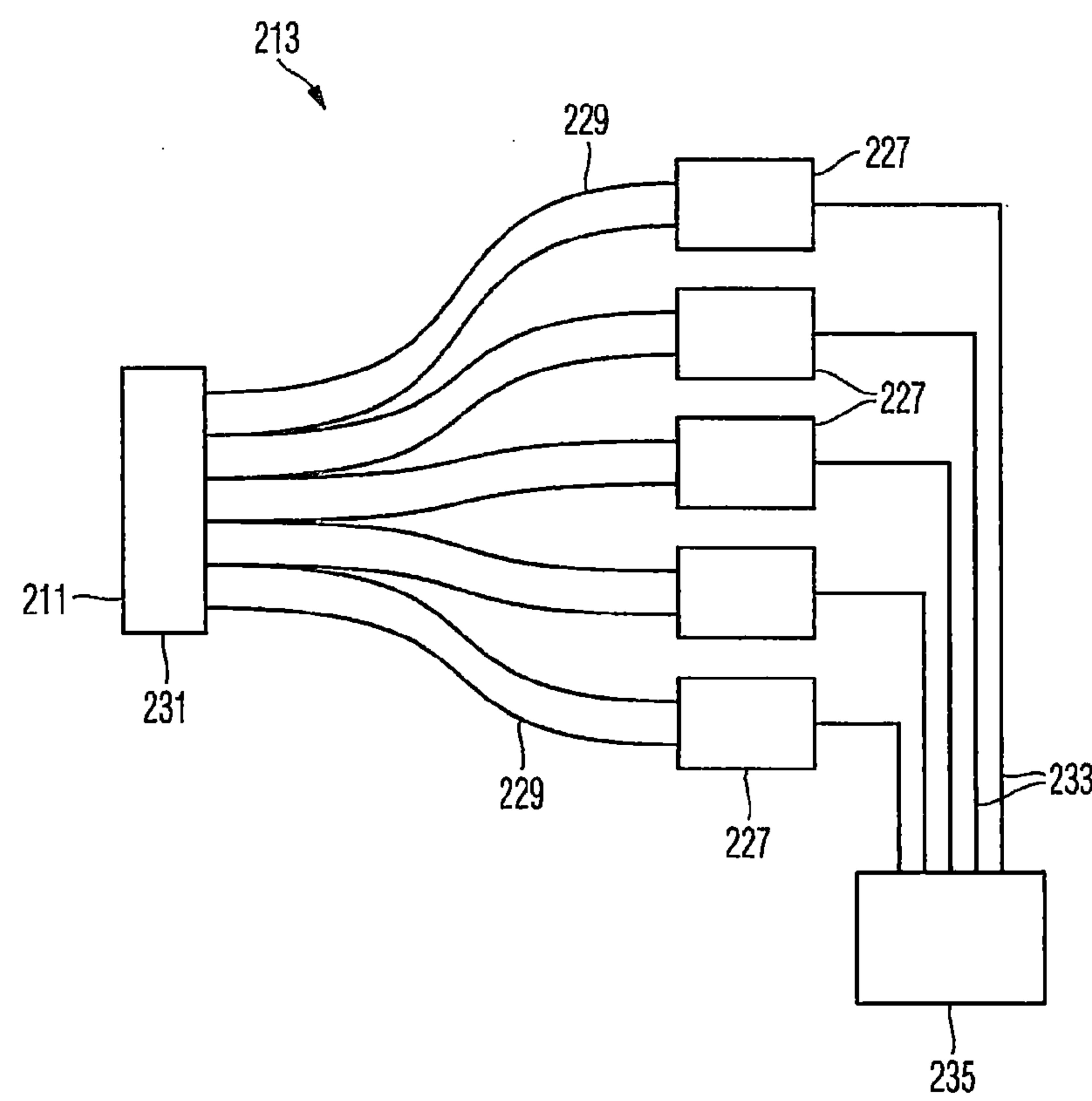


圖3

202013422

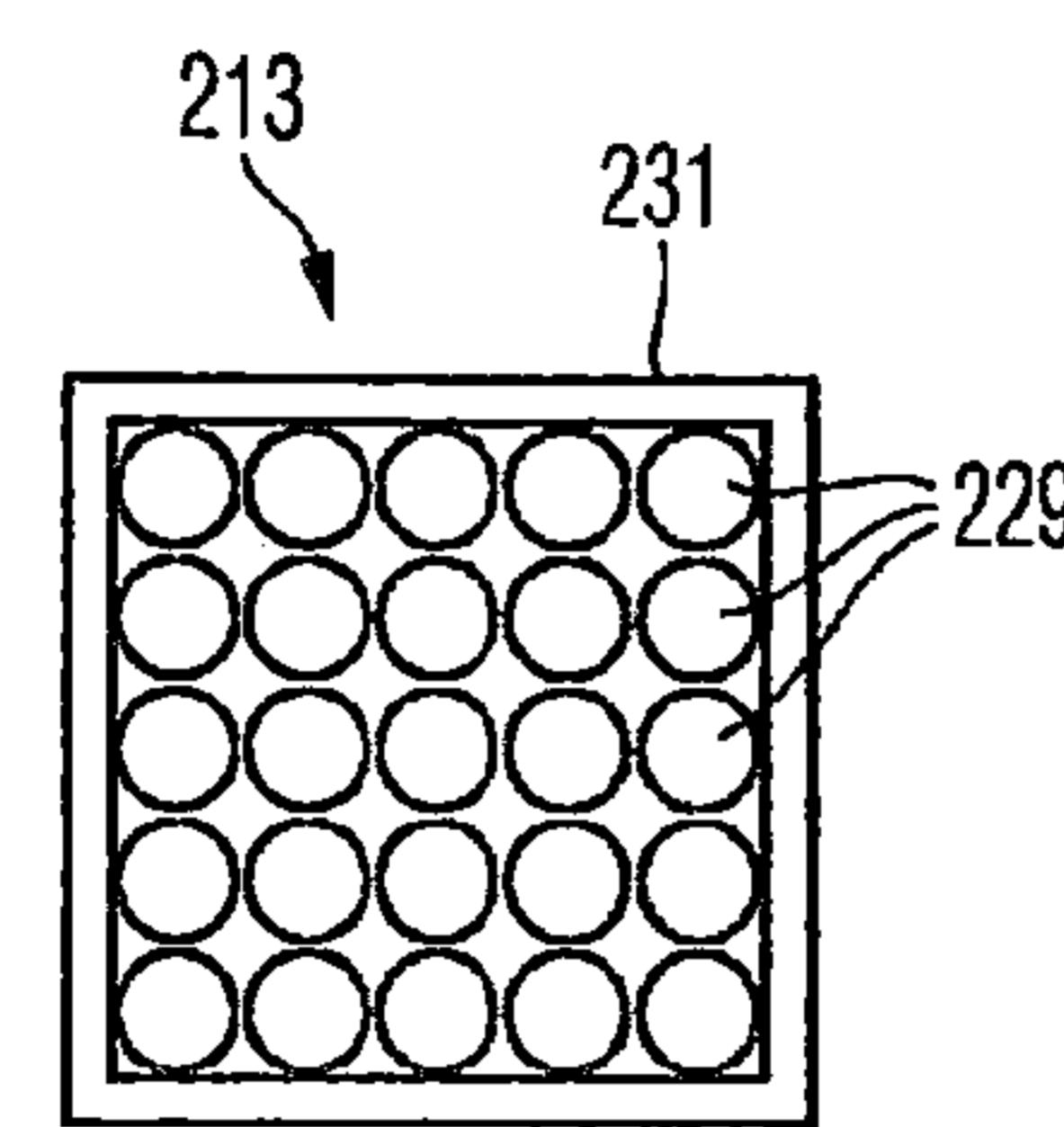


圖4

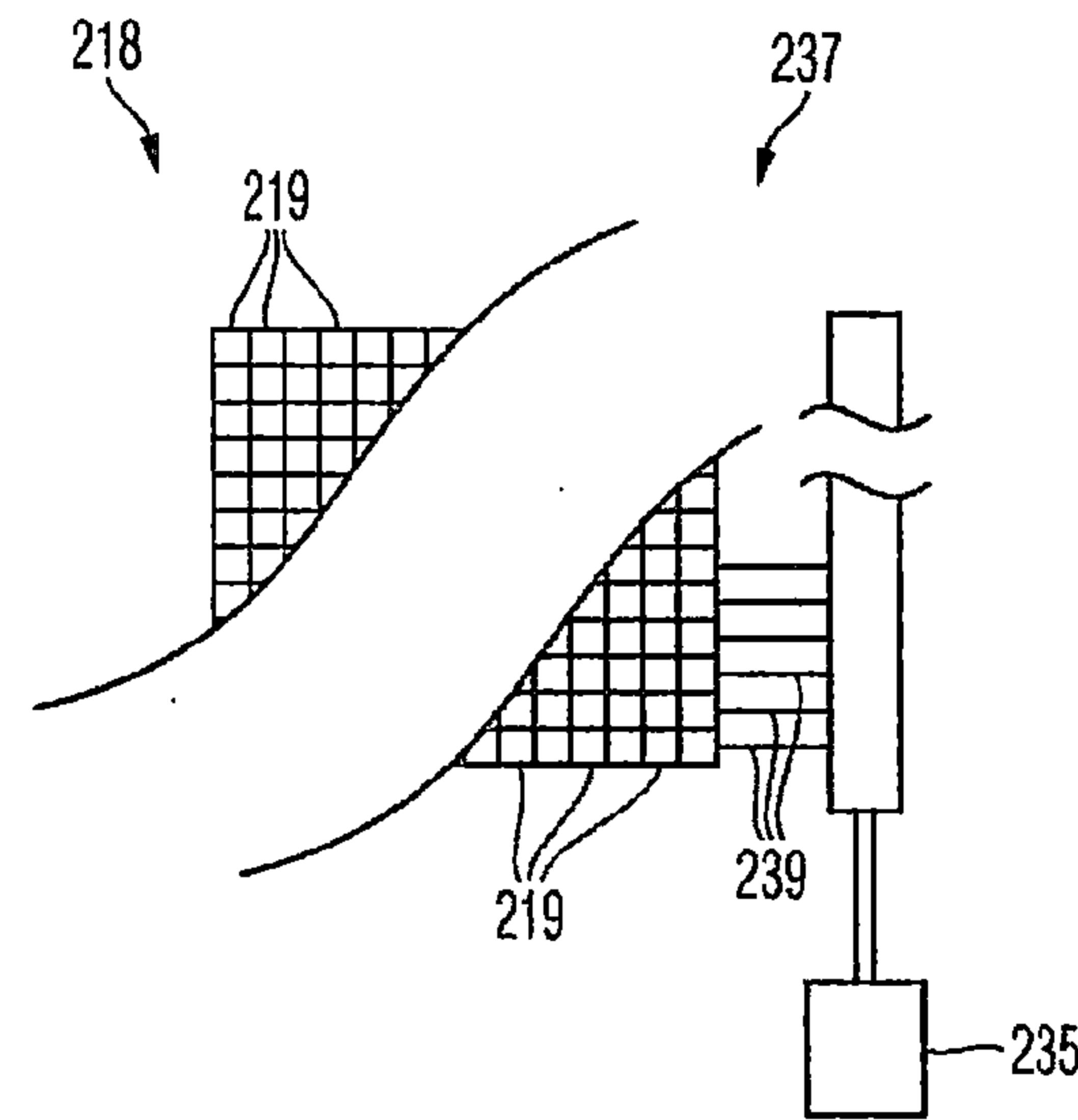


圖5

202013422

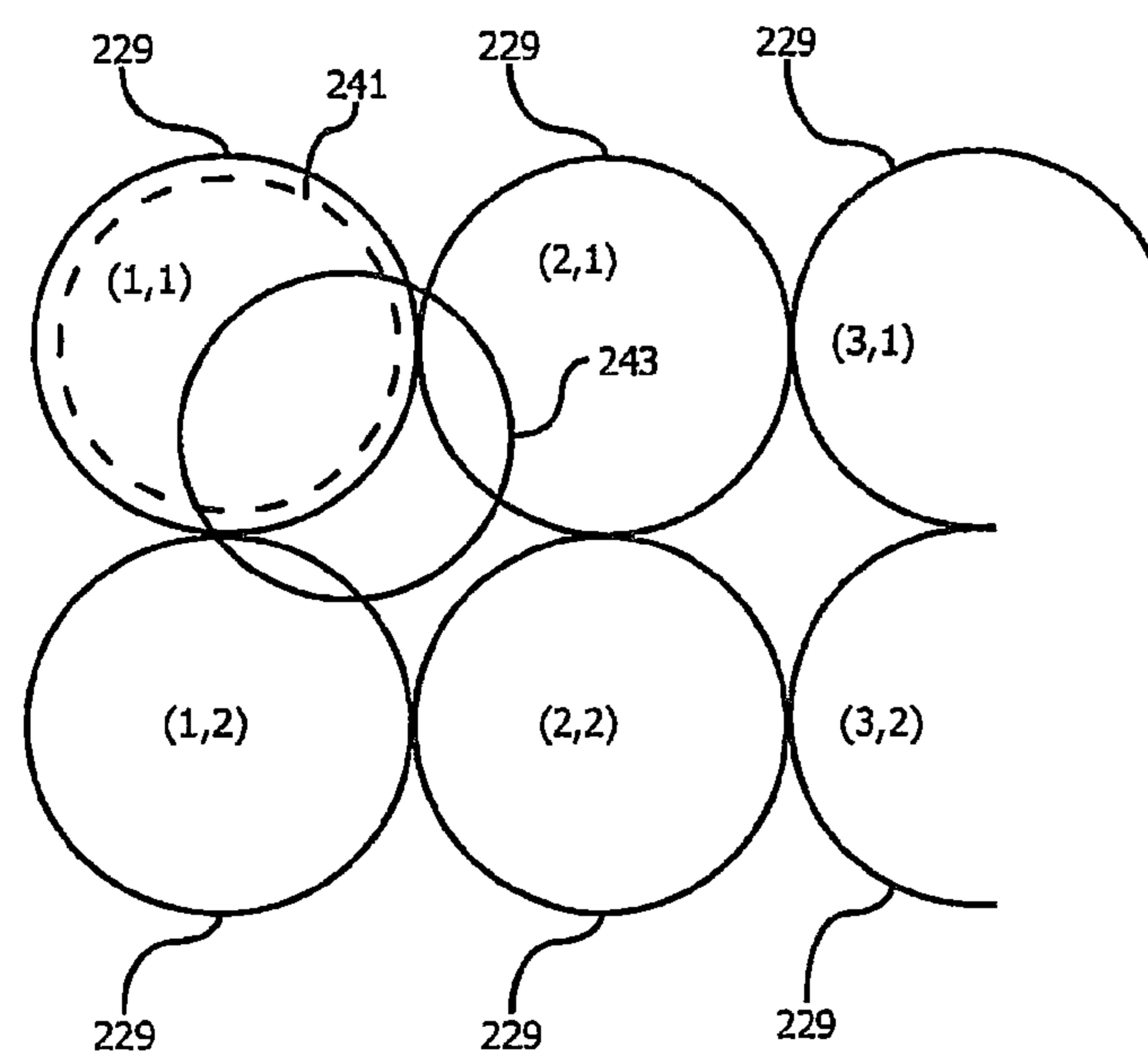


圖6

202013422

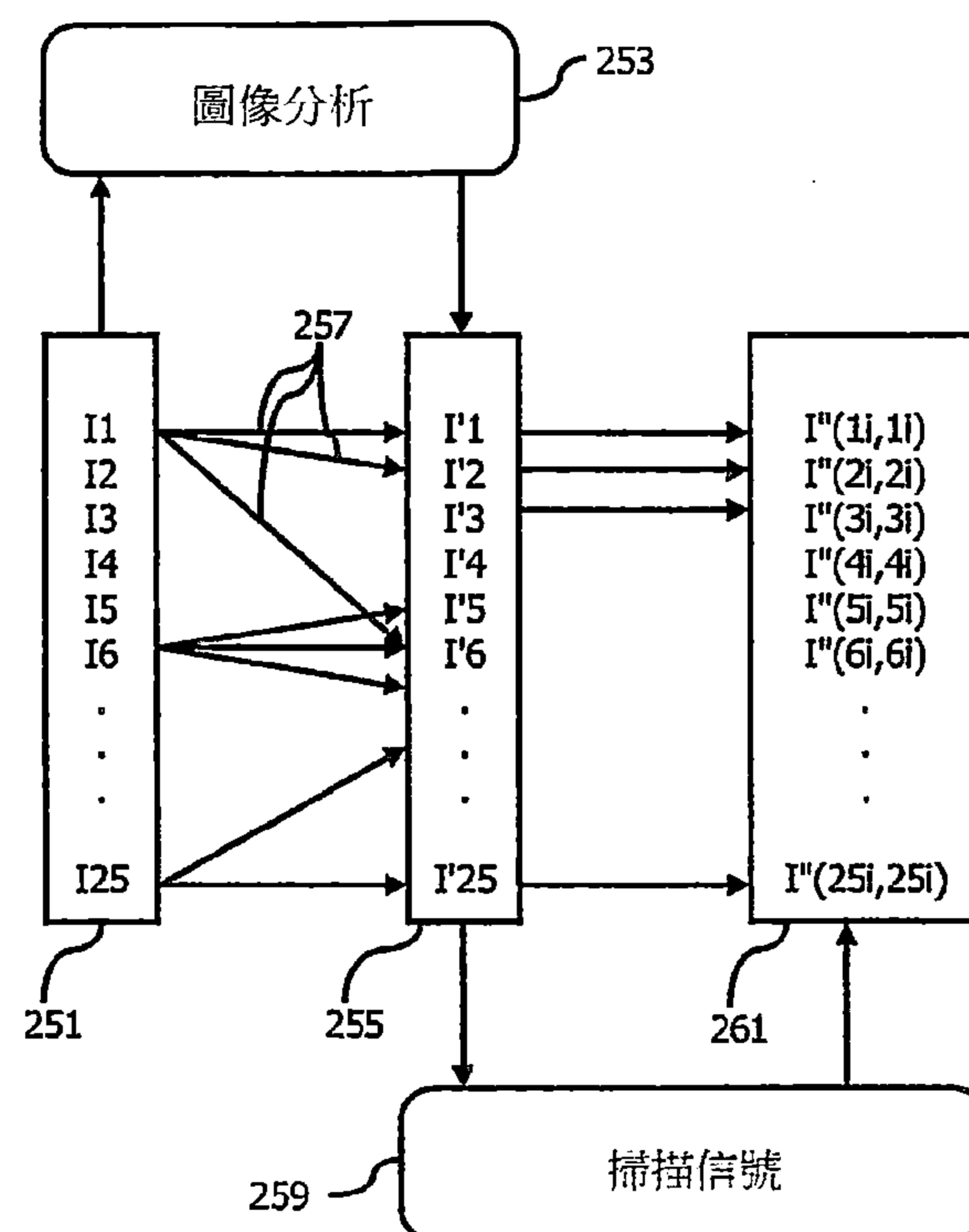


圖7

202013422

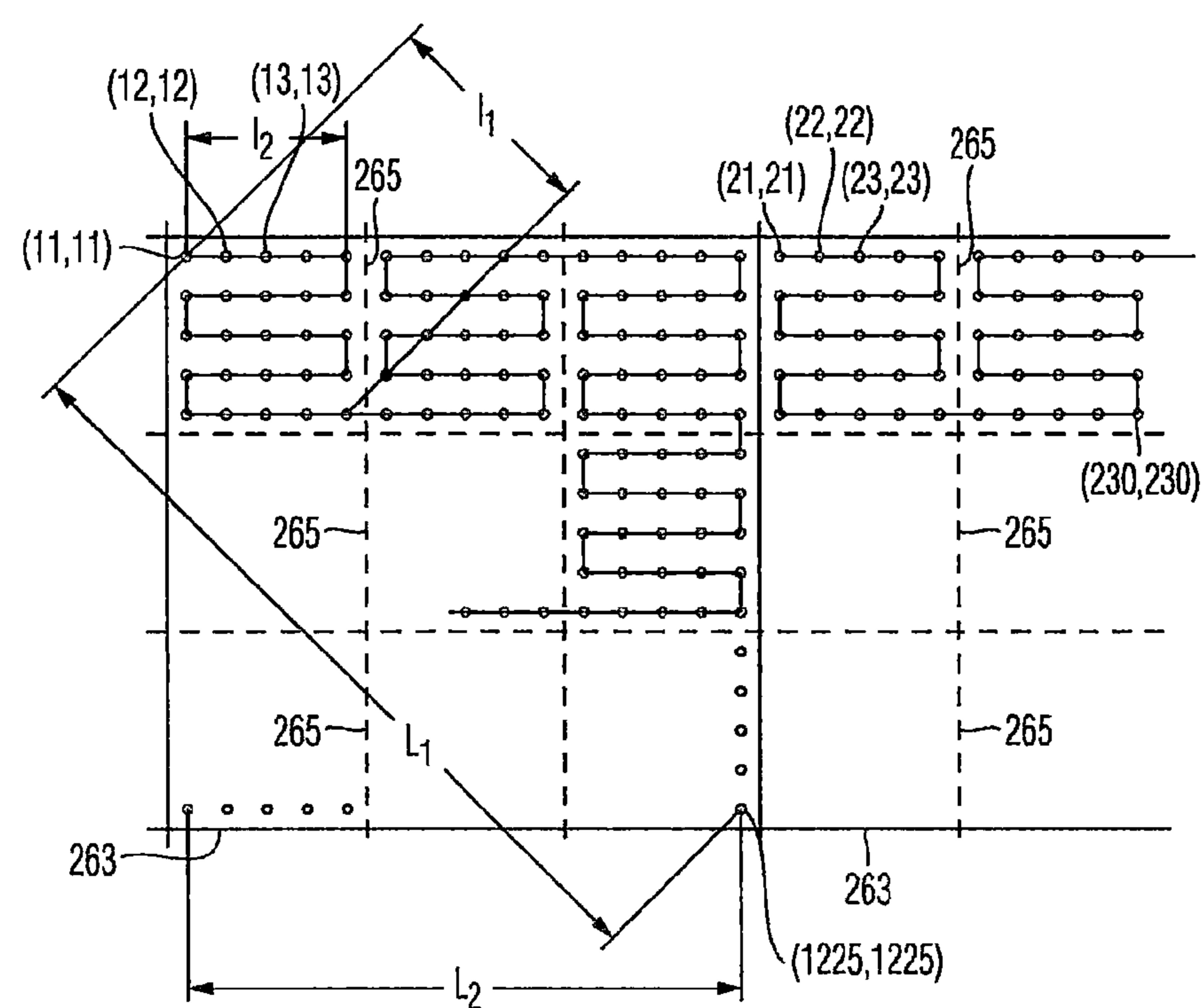


圖8

202013422

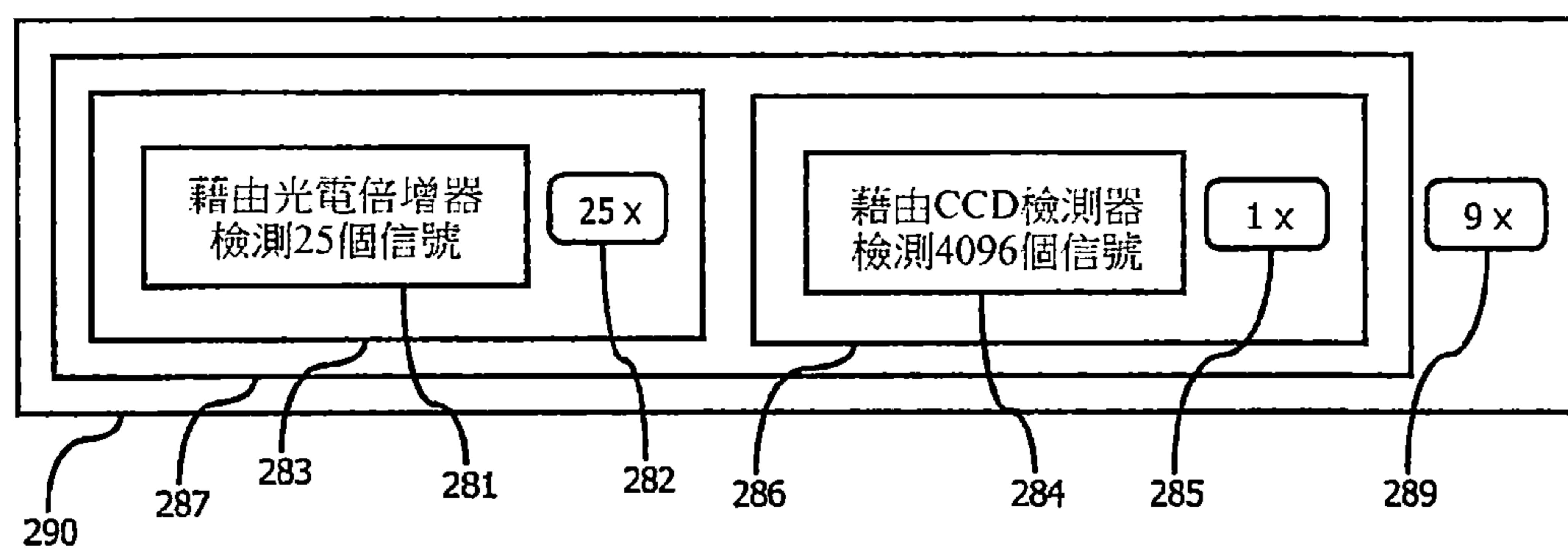


圖9

202013422

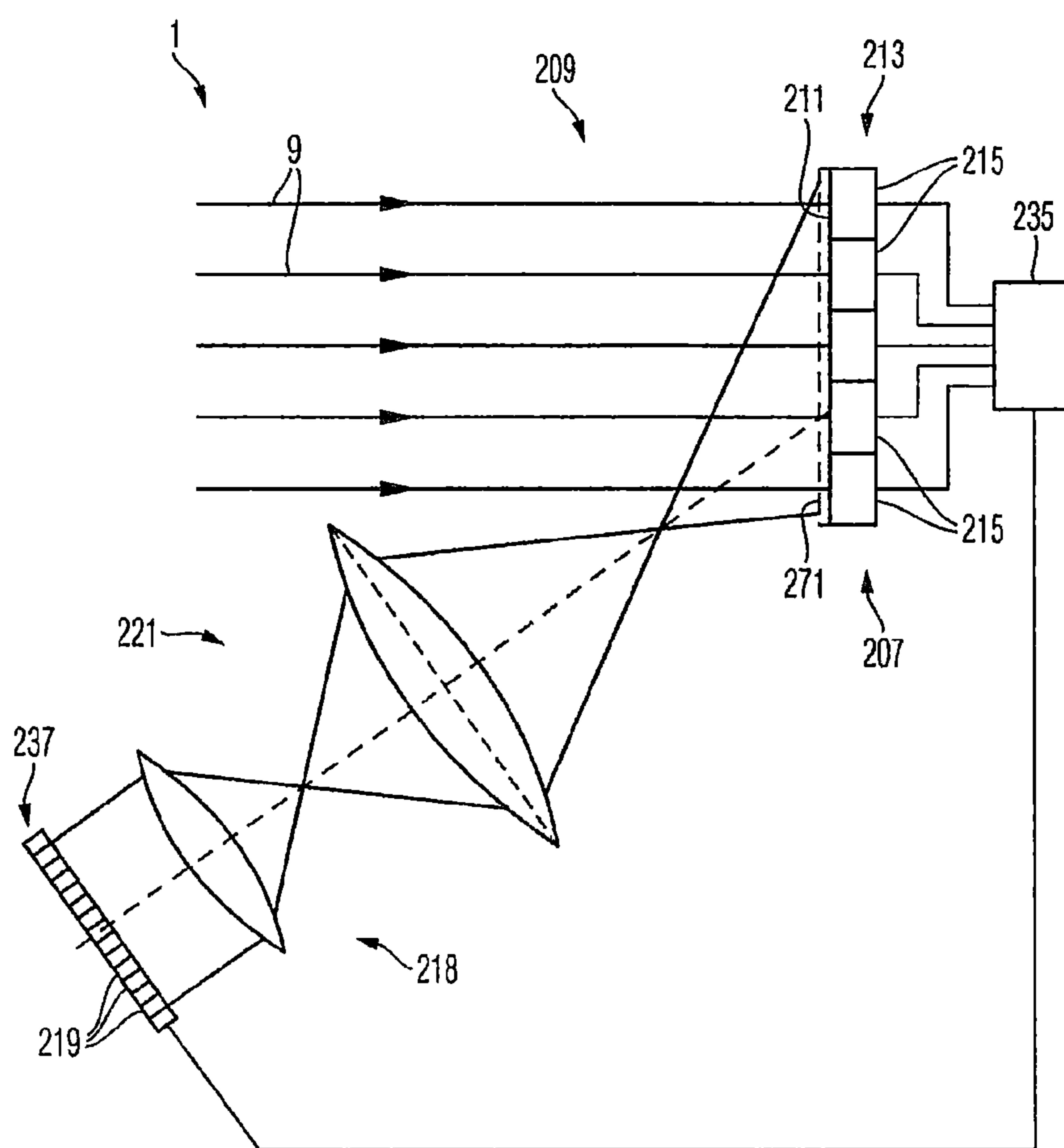


圖10