



(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 I850760 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 08 月 01 日

(21)申請案號：111133659

(22)申請日：中華民國 111 (2022) 年 09 月 06 日

(51)Int. Cl. : H01J37/244 (2006.01)

H01J37/28 (2006.01)

H01J37/22 (2006.01)

(30)優先權：2021/09/17 德國

10 2021 124 099.9

(71)申請人：德商卡爾蔡司多重掃描電子顯微鏡有限公司(德國) CARL ZEISS MULTISEM GMBH
(DE)

德國

(72)發明人：舒伯特 斯特凡 SCHUBERT, STEFAN (AT)

(74)代理人：李宗德

(56)參考文獻：

TW 202107507A

TW 202133210A

JP 2011-192498A

US 2017/0316912A1

US 2019/0355544A1

審查人員：王志成

申請專利範圍項數：28 項 圖式數：15 共 59 頁

(54)名稱

以散焦束導引在對比操作模式操作一多束粒子顯微鏡的方法與電腦程式產品以及多束粒子顯微鏡

(57)摘要

本發明揭示一種用於在對比操作模式操作多束粒子顯微鏡的方法，該方法包含以下步驟：用複數個帶電的第一個別粒子束照射一物件，其中每個第一個別粒子束以掃描方式照射該物件的個別場區域；收集由於該等第一個別粒子束而從該物件出現或發出的第二個別粒子束；將該等第二個別粒子束散焦投影到一偵測單元的偵測區域上，使得從兩不同個別場區域出現或發出的該等第二個別粒子束投影到不同的偵測區域上，其中將複數個偵測通道指定給每個偵測區域，其中該等偵測通道之每一者編碼該第二個別粒子束從該物件開始時的角度資訊及/或方向資訊；及基於藉由來自具有其個別指定偵測通道的該等偵測區域之每一者的信號所獲得或已獲得的資料，產生該等個別場區域之每一者的個別影像。

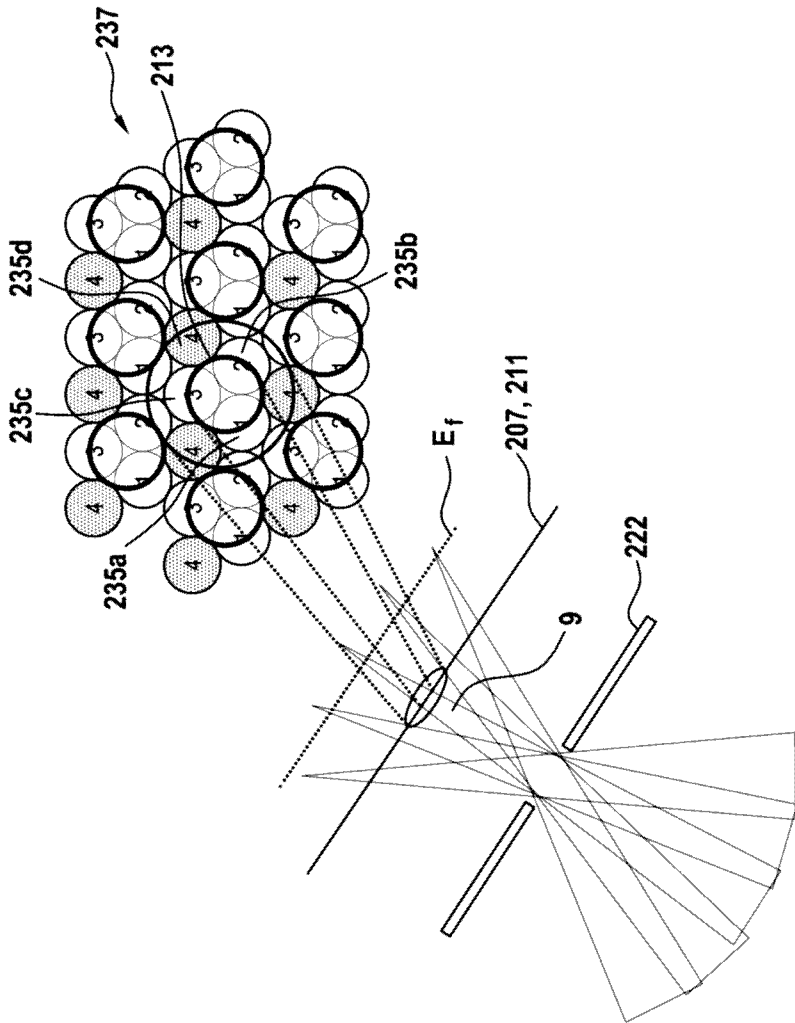
The invention discloses a method for operating a multi-beam particle microscope in a contrast operating mode, comprising the following steps: irradiating an object with a multiplicity of charged first individual particle beams, wherein each first individual particle beam irradiates a separate individual field region of the object in a scanning fashion; collecting second individual particle beams which emerge or emanate from the object on account of the first individual particle beams; defocused projecting of the second individual particle beams onto detection regions of a detection unit in such a way that the second individual particle beams emerging or emanating from two different individual field regions are projected onto different detection regions, wherein a plurality of detection channels are assigned to each detection region, wherein the detection channels each encode angle information and/or direction information of the second individual particle beams when starting from the object; and generating individual images of each of the individual

field regions on the basis of data which are obtained or have been obtained by means of signals from each of the detection regions with their respectively assigned detection channels.

指定代表圖：

符號簡單說明：

- 9:二次粒子射束
- 207:閃爍器板
- 211:偵測平面
- 213:二次粒子或相關光子束的入射位置、束斑
- 222:對比孔徑
- 235:光接收表面、信號入射表面、偵測通道
- 237:光偵測系統
- E_f:焦平面



【圖8】



I850760

【發明摘要】

【中文發明名稱】 以散焦束導引在對比操作模式操作一多束粒子顯微鏡的方法與電腦程式產品以及多束粒子顯微鏡

【英文發明名稱】 METHOD FOR OPERATING A MULTI-BEAM PARTICLE MICROSCOPE IN A CONTRAST OPERATING MODE WITH DEFOCUSED BEAM GUIDING, COMPUTER PROGRAM PRODUCT AND MULTI-BEAM PARTICLE MICROSCOPE

【中文】

本發明揭示一種用於在對比操作模式操作多束粒子顯微鏡的方法，該方法包含以下步驟：用複數個帶電的第一個別粒子束照射一物件，其中每個第一個別粒子束以掃描方式照射該物件的個別場區域；收集由於該等第一個別粒子束而從該物件出現或發出的第二個別粒子束；將該等第二個別粒子束散焦投影到一偵測單元的偵測區域上，使得從兩不同個別場區域出現或發出的該等第二個別粒子束投影到不同的偵測區域上，其中將複數個偵測通道指定給每個偵測區域，其中該等偵測通道之每一者編碼該第二個別粒子束從該物件開始時的角度資訊及/或方向資訊；及基於藉由來自具有其個別指定偵測通道的該等偵測區域之每一者的信號所獲得或已獲得的資料，產生該等個別場區域之每一者的個別影像。

【英文】

The invention discloses a method for operating a multi-beam particle microscope in a contrast operating mode, comprising the following steps: irradiating an object with a multiplicity of charged first individual particle beams, wherein each first individual particle beam irradiates a separate individual field region of the object in a scanning

fashion; collecting second individual particle beams which emerge or emanate from the object on account of the first individual particle beams; defocused projecting of the second individual particle beams onto detection regions of a detection unit in such a way that the second individual particle beams emerging or emanating from two different individual field regions are projected onto different detection regions, wherein a plurality of detection channels are assigned to each detection region, wherein the detection channels each encode angle information and/or direction information of the second individual particle beams when starting from the object; and generating individual images of each of the individual field regions on the basis of data which are obtained or have been obtained by means of signals from each of the detection regions with their respectively assigned detection channels.

【指定代表圖】 圖8

【代表圖之符號簡單說明】

- 9 二次粒子射束
- 207 閃爍器板
- 211 偵測平面
- 213 二次粒子或相關光子束的入射位置、束斑
- 222 對比孔徑
- 235 光接收表面、信號入射表面、偵測通道
- 237 光偵測系統
- Ef 焦平面

【發明說明書】

【中文發明名稱】 以散焦束導引在對比操作模式操作一多束粒子顯微鏡的方法與電腦程式產品以及多束粒子顯微鏡

【英文發明名稱】 METHOD FOR OPERATING A MULTI-BEAM PARTICLE MICROSCOPE IN A CONTRAST OPERATING MODE WITH DEFOCUSED BEAM GUIDING, COMPUTER PROGRAM PRODUCT AND MULTI-BEAM PARTICLE MICROSCOPE

【技術領域】

【0001】 本發明係關於一種以散焦束導引在對比操作模式操作多束粒子顯微鏡的方法，也關於相關電腦程式產品及也關於多束粒子顯微鏡。

【先前技術】

【0002】 隨著諸如半導體組件之類越來越小並且更複雜的微結構不斷發展，需要進一步開發和最佳化平面生產技術，以及用於小尺寸微結構的生產和檢測之檢測系統。舉例來說，半導體組件的開發和生產需要監控測試晶片的設計，而平面生產技術需要流程最佳化，以實現高產量的可靠生產。再者，最近還需要分析用於逆向工程的半導體晶圓和客戶專屬、個別的半導體組件配置。因此，需要能夠以高產量、以高精度檢查晶圓上微結構的檢測器件。

【0003】 用於生產半導體組件的典型矽晶圓之直徑可達300 mm（毫米），每個晶圓細分為30至60個重複區域（「晶粒」），最大尺寸為800 mm²。半導體裝置包含通過平面整合技術在晶圓表面上分層生產的複數個半導體結構。由於生產處理的原因，半導體晶圓通常具有一平坦表面。在此情況下已整合的半導體結構之結構尺寸從幾 μm （微米）擴展到5 nm（奈米）的臨界尺寸（CD），其中結構尺寸在不久的將來會變得更小；未來，預計結構尺寸或臨界尺寸（CD）

將小於3 nm，例如2 nm，甚至小於1 nm。在結構尺寸較小的情況下，必須在非常大的區域內快速識別出臨界尺寸的大小缺陷。對於幾種應用，由檢測裝置提供對測量精度的規格要求甚至更高，例如兩或一倍數量級。舉例來說，半導體部件的寬度必須以低於1 nm，例如0.3 nm或甚至更細的精度來測量，並且半導體結構的相對位置必須以低於1 nm，例如0.3 nm或甚至更細的覆蓋精度來確定。

【0004】 MSEM多束掃描電子顯微鏡是帶電粒子系統領域相對較新的發展（帶電粒子顯微鏡，CPM）。舉例來說，在專利案US 7 244 949 B2和US 2019/0355544 A1中揭示一多束掃描電子顯微鏡。在多束電子顯微鏡或MSEM的情況下，樣品被多個個別電子束同時照射，這些電子束以場或網格方式配置。舉例來說，可提供4至10,000個個別電子束當成一次輻射，每個個別電子束與相鄰的個別電子束分開1至200微米的間距。舉例來說，MSEM具有約100個個別電子束（「小射束」），例如配置成六邊形光柵，其中個別電子束以約10 μm 的間距分開。複數個帶電個別粒子射束（一次射束）通過共用物鏡，聚焦在待檢驗樣品的表面上。舉例來說，樣品可為固定到組裝在可移動台上的晶圓支架之半導體晶圓。在用帶電一次個別粒子射束照射晶圓表面期間，相互作用產物，例如二次電子或背散射電子，從晶圓表面發出。其起點對應於每一個複數個二次個別粒子射束聚焦在樣品上的那些位置。相互作用產物的數量和能量取決於材料成分和晶圓表面的形貌。相互作用產物形成多個二次個別粒子射束（二次射束），其由共用物鏡收集並通過多束檢測系統的投影成像系統入射到配置於偵測平面上的偵測器。偵測器包含複數個偵測區域，每個區域都包括複數個偵測像素，並且偵測器捕捉該等二次個別粒子射束中每一者的強度分佈。在該處理中獲得例如100 μm （微米） $\times$ 100 μm 的像場。

【0005】 先前技術的多束電子顯微鏡包含一系列靜電元件和磁性元件。至少一些靜電元件和磁性元件可設定，以調整複數個帶電個別粒子射束的焦點位置和像散。先前技術具有帶電粒子的多束系統更包含一次或二次帶電個別粒子射束的至少一交叉平面。此外，先前技術的系統包含偵測系統以使設定更容易。

先前技術的多束粒子顯微鏡包含至少一束偏轉器（「偏轉掃描器」），用於通過複數個一次個別粒子射束集體掃描樣品表面的區域，以獲得樣品表面的像場。關於多束電子顯微鏡及其操作方法的更多細節都說明於2020年5月28日所提交申請案第102020206739.2號的德國專利申請案中及相關專利系列文獻中，其揭露內容通過引用方式整個併入本專利申請案供參考。

【0006】具體取決於應用或樣品，使用多束電子顯微鏡或更一般的多束粒子顯微鏡之檢測任務必須滿足不同的要求。舉例來說，目標可為高速獲得樣品的概觀影像（例如，在正常操作模式或正常檢測模式中）。然而，也可更仔細檢查樣品中特別感興趣的區域。這裡的問題有關例如邊緣的確切路線（布局對比或邊緣對比）、樣品中的材料邊界（材料對比）或樣品上的局部電荷積累（電荷對比）。在所謂的對比操作模式中，對比孔徑配置在二次射束的束交叉（交叉；光瞳平面）的區域中多束粒子顯微鏡的投影路徑或二次路徑內，並且使得從樣品開始或發出的二次粒子能夠根據其起始角度或更一般根據其軌跡來過濾。可通過選擇及/或組合不同的對比孔徑，來檢查不同的對比。在通過對比孔徑之後，二次粒子或第二個別粒子束分別以聚焦的方式撞擊偵測器的偵測區域。例如在專利案DE 2015 202 172 B4中描述這方面的更多細節，其揭露內容通過引用整個併入本專利申請案供參考。

【0007】根據先前技術，需要以不同的設定進行多次記錄，以獲得不同的對比資訊（邊緣對比、材料對比、電壓對比）。對獲得邊緣對比有利或必要的設定與獲得材料對比或電壓對比的設定不同。此外，通常希望進一步改進對比記錄。

【0008】Martin Kienle, Aufbau und Erprobung eines außeraxialen Vielkanalspektrometers für Sekundärelektronen [Setup and testing of an off-axis multi-channel spectrometer for secondary electrons]，論文，圖賓根大學，2002年，揭示在調整多通道光譜儀期間二次粒子在光導上的散焦入射。

【發明內容】

【0009】 因此，本發明之目的之一係提出一種用於在對比操作模式下操作多束粒子顯微鏡的改良方法。該方法旨在促進及/或改良特別是對比資訊的產生。此外，旨在使得原則上可通過單次掃描/單次記錄獲得不同的對比資訊。

【0010】 通過獨立請求項所述的技術內容可達成該目的。根據附屬請求項可明白本發明的有利具體實施例。

【0011】 本專利申請案主張2021年9月17日申請專利案第10 2021 124 099.9號的德國專利申請案之優先權，其揭露整個內容通過引用方式併入本申請案供參考。

【0012】 本發明實施例尤其基於這樣的考慮，即二次粒子射束的角頻譜包含迄今為止已經存在的對比操作模式中未使用之對比資訊。在將二次光束聚焦成像到偵測器期間，此對比資訊會丟失。本發明實施例允許使用來自角頻譜的此資訊。更準確來說，本發明實施例不僅可使用來自角頻譜的角度資訊，還可使用方向資訊。如果二次粒子射束在偵測器上的成像有意以散焦而非聚焦的方式進行，並且如果將不同的偵測通道指定給偵測器上由此產生的增加的入射區域（偵測區域），則此資訊變成可存取，如此該偵測通道的相應信號允許對角度資訊及/或方向資訊進行評估。

【0013】 本發明實施例的一第一態樣關於一種用於操作多束粒子顯微鏡的方法，該方法包括下列步驟：

以一對比操作模式操作多束粒子顯微鏡，包括下列步驟：

用複數個帶電的第一個別粒子束照射一物件，其中每個第一個別粒子束以掃描方式照射該物件的個別場區域；

收集由於該複數個第一個別粒子束而從該物件出現或發出的複數個第二個別粒子束；

將該複數個第二個別粒子束散焦投影到一偵測單元的偵測區域上，使得從兩個不同個別場區域出現或發出的該第二個別粒子束投影到不同的偵測區域上，其中

將複數個偵測通道指定給每個偵測區域，其中該等偵測通道分別編碼該複數個第二個別粒子束從該物件開始時的角度資訊及/或方向資訊；及

基於藉由來自具有其個別指定偵測通道的每個偵測區域之信號所獲得或已獲得的資料，產生該等個別場區域之每一者的個別影像。

【0014】 該等第一個別粒子束可為例如電子、正電子、介子或離子或其他帶電粒子。該物件已經指定給每個第一個別粒子束的該個別場區域以掃描方式被加以掃描，例如逐行或逐列掃描。在此情況下，較佳是該個別場區域彼此相鄰或者以平鋪方式覆蓋該物件或其一部分。該個別場區域基本上彼此分離，但其也可在邊緣區域中彼此重疊。這樣，可獲得盡可能完整和連續的物件影像。較佳是，該個別場區域具體實施為矩形或正方形，因為這對於借助粒子輻射的掃描處理而言是最容易實現的。較佳是，個別場區域配置成不同行中的矩形，一個在另一個上面，以總體上形成六邊形結構。如果在六邊形情況下，粒子射束的數量是 $3n(n-1)+1$ ，其中 n 是任意自然數，則是有利的。該個別場區域的其他配置，例如在方形或矩形網格中，同樣是可能的。

【0015】 該等第二個別粒子束可為背散射電子或二次電子。在此情況下，針對分析目的，較佳將低能二次電子用於影像產生。然而，也可將鏡像離子/鏡像電子用來當成第二個別粒子束，即直接在物件上游或在物件處經歷反轉的第一個別粒子束。

【0016】 本發明實施例有關將該等第二個別粒子束散焦投影到一偵測單元的偵測區域上，使得從兩不同個別場區域出現或發出的該等第二個別粒子束投影到不同的偵測區域上，其中將複數個偵測通道指定給每個偵測區域，其中該等偵測通道分別編碼該等第二個別粒子束從該物件開始時的角度資訊及/或方向資訊。同樣在該等第二個別粒子束散焦投影到偵測單元的偵測區域上之情況下，因此避免該等第二個別粒子束之間的干擾，正如在正常操作模式/檢測模式下多束粒子顯微鏡中已知的那樣。然而，散焦擴大實際的入射區域，並因此擴大每一第二個別粒子束的偵測區域。因此，在偵測期間可保持存在於該等第二

個別粒子束的角頻譜中之資訊。為此目的重要的是提供複數個偵測通道，這可為例如每個偵測區域兩、三、四、五、六或更複數個偵測通道。然後，這些偵測通道具有的特性是，其分別對從物件發出的該等第二個別粒子束之角度資訊及/或方向資訊進行編碼。具體上，該等第二個別粒子束根據起始方向及/或起始角度入射在不同的偵測通道上。進行空間解析偵測。例如，如果偵測通道配置成使得該等第二個別粒子束的粒子入射可細分為例如在頂部、底部、左側和右側（對應四個扇區）或左上角斜線、右上角斜線或底部中央（三個扇區），則可參考方向敏感的偵測。在這情況下，該等偵測通道可通過偵測區域的扇形化來形成。在此脈絡中，術語偵測通道有關該偵測區域的入射表面。然而，在此脈絡中，術語偵測通道也可包含偵測過程中的信號評估。具體而言，原則上針對每個偵測通道個別產生信號。因此，對於每個偵測區域，從相應的複數個偵測通道產生複數個信號。例如通過徑向敏感的偵測通道，例如通過圓形或同心環狀配置的通道（殼結構的實例），可獲得關於從物件出發的該等第二個別粒子束之角度資訊。根據一較佳具體實施例，該等偵測通道允許對方向資訊和角度資訊進行編碼；然後其為方向敏感和徑向敏感。這方面的實例在下面進一步更詳細闡述。

【0017】 根據本發明實施例，基於藉由來自具有其個別指定偵測通道的每個偵測區域之信號所獲得或已獲得的資料，產生該等個別場區域之每一者的個別影像。因此，個別影像的產生不僅僅是通過將整個偵測區域的偵測通道之所有信號相加，來整體受到來自每個偵測區域信號的影響，而是根據合適的算法通過使用來自每個偵測區域的每個偵測通道信號來產生該個別影像。在這情況下，實際上可立即產生個別影像，但也可儲存資料並僅在稍後從中產生個別影像。因此，一旦存在資料或信號，也可針對不同的對比模式獲得不同的個別影像。

【0018】 根據本發明的一較佳具體實施例，在對比操作模式下，根據本發明的方法更包括下列步驟：

定義來自每個偵測通道的信號權重；及

混合來自該等偵測通道的該等信號，以基於加權形成該已指定偵測區域的一混合信號。

【0019】 因此，可根據目的對來自每個偵測通道的信號進行不同的加權，從而考慮信號的空間解析度。可相應處理角度資訊及/或方向資訊。例如，混合信號使得來自不同偵測通道的信號能夠以有針對性的方式彼此相加或相減。也可確定平均值或中間值；同樣可確定最大值或最小值。因此，視情況而定，偵測區域的混合信號係基於其偵測通道的信號所構成。原則上，混合信號的技術在先前技術中已知。例如在專利案US 10,192,716 B2和US 10,186,399 B2中可找到此態樣的更詳細解釋。從Ludwig Reimer的教科書「Scanning Electron Microscopy」，Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1985, 1998中也已知關於單束系統中二次電子的角度相依偵測之簡單基本原理。

【0020】 根據本發明的一較佳具體實施例，在對比操作模式下，該方法更包括下列步驟：

選擇一對比孔徑，該對比孔徑已經或配置在該等第二個別粒子束的射束交叉點的區域的多束粒子顯微鏡的二次路徑中。

【0021】 對比孔徑可為例如圓形孔徑或環形孔徑、明場孔徑或暗場孔徑。不僅可提供一個而是多個相同或不同的對比孔徑，第二個別粒子束相繼通過這些對比孔徑。可能的是，對比孔徑已經位於第二個別粒子束的束路徑中，並且可選擇因此偏轉的第二個別粒子束。這例如可通過第二個別粒子束在二次路徑中的平行偏移來完成。然而，對比孔徑也可僅引入束路徑中，例如移動或旋轉到期望的位置中。選擇對比孔徑，然後可包括將特別選擇的對比孔徑（或多個對比孔徑）移動到束路徑中。不同的對比孔徑可例如在其直徑及/或其環形寬度方面不同。在任何情況下，對比孔徑或對比光闌都具有根據第二個別粒子束與物平面的起始角度來過濾第二個別粒子束之任務。從第二個別粒子束的束交叉中切出從/直至特定起始角範圍內的第二個別粒子束。有關對比孔徑的重要性及

其可能組態的更多詳細資訊，例如可從2020年9月9日申請的申請案第10 2020 123 567.4號德國專利申請案及德國專利案第2015 202 172 B4獲得，其揭露內容通過引用整個併入本專利申請案供參考。

【0022】 根據本發明的一進一步較佳具體實施例，在對比操作模式下，該方法更包括下列步驟：

設定該等第二個別粒子束在入射到該偵測單元上時的散焦，特別是基於所選定的對比孔徑。因此，所選定的散焦程度可能更大或更小。選擇的散焦程度越大，可越詳細偵測該等第二個別粒子束的角度資訊及/或方向資訊。然而，相對地，每個偵測通道的信號隨後也變得更弱，並且偵測單元的面積需求隨著使用相同數量的個別粒子束而增加。根據該偵測單元的資訊要求及/或組態，因此可相應地選擇散焦。這可由使用者手動執行，但是散焦的設定也可基於有關樣品/檢測目標的已知或已儲存參數自動執行。散焦本身的設置可通過多束粒子射束顯微鏡的二次路徑中投影透鏡系統之相應控制來進行。

【0023】 根據本發明的一進一步較佳具體實施例，在對比操作模式下，該方法更包括下列步驟：

為每個偵測區域選擇偵測通道的數目。

【0024】 在這情況下，選擇偵測通道的數目可以但不必與該設定散焦相關聯。這尤其取決於偵測單元的物理實現。例如，偵測單元可總體上由複數個偵測通道構成。在正常操作模式中，例如，偵測區域然後可指定給每個偵測通道或與其對應。在對比操作模式中，另一方面，複數個偵測通道組合形成一偵測區域。在此情況下，這樣的偵測單元在物理上沒有改變，只是偵測通道至偵測區域的指定改變了。為每個偵測區域選擇偵測通道的數目增加根據本發明的方法之靈活性。每個偵測區域使用的角度及/或方向敏感偵測通道的數量越多，在成像期間可獲得的角度及/或方向敏感資訊的量就越多。在一極端情況下，所有可用的偵測通道都可組合成一偵測區域 - 然而，成像也僅基於個別粒子束，因此該方法速度較慢。因此，在大多數實際應用中，所有個別粒子束中的相當大比

例，例如約三分之一、四分之一或五分之一的所有可用個別粒子束，將用於成像，並導致以散焦方式入射到偵測器上。在另一極端情況下，所有可用的個別粒子束都可用於成像，並以散焦方式入射到偵測器上。然而，然後必須保持相應大量可用的偵測通道。此示範具體實施例可為特別有利的，特別是在第一個個別粒子束的小對比孔徑及/或大間距之情況下。

【0025】 根據本發明的另一較佳具體實施例，在對比操作模式下，該方法更包括下列步驟：

基於所選定的對比孔徑及/或所設定的散焦及/或所選擇的每個偵測區域之偵測通道數目，設定該等第二個別粒子束在入射到偵測單元上時的間距。在這情況下，該等第二個別粒子束的間距例如可設定，使得在可用的偵測通道中使用盡可能多的偵測通道。結果盡可能最佳使用偵測單元的總偵測區域。此外，基於所設定的散焦來設定間距，確保不同的第二個別粒子束成像到不同的偵測區域上。例如，如果偵測通道不是通過相互連接的偵測像素所產生，而是通過物理上分離的和極小的偵測單元所產生，則設定間距會自動伴隨選擇偵測通道的數目。因此，一方面是偵測通道數目的參數，另一方面是間距大小的參數兩者可能彼此不嚴格獨立。然而，散焦的該等第二個別粒子束之間可存在或設定間隙，而有些偵測通道因此也可保持未使用。

【0026】 此外，可執行散焦的該等第二個別粒子束與偵測單元的總對齊(total alignment)，使得個別粒子束的中心點基本上精確地與偵測通道對齊，或者在偵測通道的人射表面之間基本上對稱居中對齊。這最後一點是有利的，例如給每個偵測區域三個偵測通道，其中三個偵測通道可具有圓形入射表面並且可以「三角形」方式配置或盡可能彼此靠近。其他形狀的入射表面也是可能的，例如六邊形入射表面。

【0027】 散焦的第二個別粒子束之總對準可例如通過二次路徑中的多束偏轉器實現，例如通過偵測單元上游的所謂反掃描(anti-scan)。因此可使第二個別粒子束在偵測單元上平行移動，直到實現第二個別粒子束的期望總對準。

【0028】 間距本身可通過一次路徑及/或二次路徑中擴大的設定來設定。當在一次路徑中產生多個個別粒子束時，也可使用具有不同孔配置或孔間距的多孔板。

【0029】 根據本發明的一較佳具體實施例，在對比操作模式下，該方法更包括下列步驟：

選擇在該對比操作模式下入射到該偵測單元上的個別粒子束，；及/或屏蔽掉所有其他個別粒子束。

【0030】 可能僅單一個別粒子束旨在入射於該偵測單元上。在另一極端情況下，所有個別粒子束都中選，但相應數量的偵測通道必須保持可用。然而，較佳是兩或多個個別粒子束入射到偵測單元上，例如所有個別粒子束的約三分之一、四分之一或五分之一。當選擇以散焦方式入射到偵測器上的個別粒子束數量時，目的之一應該是盡可能多的理論上可用偵測通道也用於獲得信號。如果沒有足夠的偵測通道可供使用或者如果偵測單元的所需區域不夠大，則剩餘的或過剩的個別粒子束將不再能夠入射到偵測單元或偵測通道上。這可能是有利的，因為可以使用針對性的方式屏蔽掉多餘的個別粒子束。在這情況下，可在一次路徑及/或二次路徑中實現屏蔽。較佳是，其已在一次路徑中實現，例如在產生多個個別粒子束之後不久，在粒子光束路徑中相對遠的上方。舉例來說，束選擇器可設置在粒子光束路徑中。額外地或選擇性地，還可同時傳送未用於散焦偵測的個別粒子束，並且通過該等束以有針對性的方式在樣品上產生帶電效應。

【0031】 根據本發明的一進一步較佳具體實施例，該方法更包括下列步驟：

對準以散焦方式入射到該偵測單元上的該等第二個別粒子束，使得該等第二個別粒子束的主射線基本上準確置中對準一偵測通道；或者

對準以散焦方式入射到該偵測單元上的該等第二個別粒子束，使得該第二個別粒子束的主射線基本上準確對稱置中於偵測通道的人射表面之間。

【0032】與偵測通道的中心對準特別適用於獲得角度資訊，因為這種對準有助於偵測通道的殼狀配置。入射表面之間的置中對稱對準對於獲得方向資訊特別有利。然而，這分別不排除也附加產生方向資訊或附加產生角度資訊。

【0033】根據本發明的一進一步較佳具體實施例，在對比操作模式下，後者更包括下列步驟：

基於來自該些偵測區域及/或該些偵測通道的信號，以一假色碼(false color code)對個別影像進行編碼。

【0034】例如可基於所使用的角度資訊及/或方向資訊，通過色碼來區分升緣和降緣。例如，可將不同顏色的升緣和降緣或左緣和右邊緣表示為假色碼。這幫助獲得影像資料的解析。

【0035】根據本發明的一進一步較佳具體實施例，在對比操作模式下，該方法更包括下列步驟：

在透視(perspective)呈現或3D呈現中表示個別影像的呈現。透視呈現有時也稱為2.5D呈現。借助傳統的2D顯示器件，透視呈現能夠對所表示內容產生良好的空間印象。3D呈現可例如通過3D顯示器獲得，例如通過智慧型眼鏡或增強實境或虛擬實境顯示器，其中使用者可移動或改變其視角。全像呈現也可實施。

【0036】根據本發明的另一較佳具體實施例，在對比操作模式下，該方法更包括下列步驟：

提供方向敏感及/或徑向敏感的偵測通道配置。可為每個偵測區域提供這種偵測通道配置。因此，可在偵測期間從物平面或物件開始時獲得第二個別粒子射束之方向資訊及/或角度資訊。

【0037】根據本發明的一進一步較佳具體實施例，該方法更包含下列步驟：

以一正常檢測模式操作一多束粒子顯微鏡，其包含下列步驟：

用複數個帶電的第一個別粒子束照射一物件，其中每個第一個別粒子束以掃描方式照射該物件的個別個別場區域；

收集由於該複數個第一個別粒子束而從該物件出現或發出的複數個第二個別粒子束；

將該複數個第二個別粒子束聚焦投影到一偵測單元的偵測區域上，使得從兩不同個別場區域出現或發出的該第二個別粒子束投影到不同的偵測區域上，其中每個偵測區域恰好指定一個偵測通道；及

基於藉由來自具有其個別指定偵測通道的每個偵測區域之信號所獲得或已獲得的資料，產生該等個別場區域之每一者的個別影像。

【0038】 因此，在正常檢測模式下操作多束粒子顯微鏡原則上描述如先前技術中已知來操作多束粒子顯微鏡。在這情況下重要的是第二個別粒子束以傳統方式聚焦投影到該偵測單元上。在此情況下，在對比操作模式中使用的該偵測單元可為在正常檢測模式中也使用的相同偵測單元。然而，然後該偵測區域具有不同的大小和位置，並且發生偵測區域到偵測通道的不同派；在正常檢測模式下，每個偵測區域只指定給單一偵測通道。

【0039】 根據本發明的一較佳具體實施例，該方法在以對比操作模式和以正常檢測模式操作多束粒子顯微鏡之間改變。在此情況下，可在兩種模式之間嚴格交替。然而，例如也可首先在正常檢測模式中掃描相對大的樣品區域，並且隨後在對比操作模式中掃描樣品的複數個部分區域。因此，特別感興趣的樣品區域可在對比操作模式中再次經過更仔細檢查。

【0040】 根據本發明的一進一步較佳具體實施例，具有相關操作參數的各種對比操作模式都儲存在多束粒子顯微鏡的控制器中，並且該方法更包括下列步驟：

選擇一對比操作模式並在此對比操作模式下操作多束粒子顯微鏡。不同的對比操作模式可在例如所使用的對比孔徑、設定的散焦、入射在偵測器上或用於在對比操作模式中成像的第二個別粒子束數量、每個偵測區域的偵測通道或每一個別粒子束之數量、個別粒子束的束電流強度、著陸能量、束間距、樣品材料等方面不同。然後，可選擇的對比操作模式另可以應用相關方式包括以下

模式：邊緣對比操作模式、材料對比操作模式、電荷對比操作模式以及方向邊緣對比操作模式。與僅分析邊緣存在的傳統邊緣對比操作模式不同，方向邊緣對比操作模式可根據邊緣的性質（升緣、降緣、左側、右側等）分辨不同的邊緣類型。這除了角度資訊之外還需要方向資訊，並且因此需要在對比操作模式中對第二個別粒子束進行方向敏感偵測。

【0041】 本發明的上述具體實施例可全部或部分彼此組合，只要結果不出現技術上的矛盾即可。

【0042】 根據本發明的一第二態樣，後者有關一種具有程式碼的電腦程式產品，該程式碼用於在多個具體實施例變體中執行上述方法。

【0043】 根據本發明的一第三態樣，後者有關一種多粒子射束顯微鏡，其包含下列：

一多束粒子源，其配置成產生複數個帶電第一個別粒子束的一第一場；

一第一粒子光學單元，其具有一第一粒子光束路徑，配置成將產生的該複數個第一個別粒子束成像到一物平面上，使得該複數個第一個別粒子束在入射位置處入射一物件，這形成一第二場；

一偵測系統，其具有形成一第三場的複數個偵測區域；

一第二粒子光學單元，其具有一第二粒子光束路徑，配置成將從該第二場中該入射位置處發出的複數個第二個別粒子束成像到該偵測系統的該偵測區域內該第三場上；

尤其是一磁性物鏡，該複數個第一個別粒子束和該複數個第二個別粒子束都通過該物鏡；

一射束開關，其配置在該多束粒子源與該物鏡之間的該第一粒子光束路徑中，並且其設置在該物鏡與該偵測系統之間的該第二粒子光束路徑中；

一模式選擇器件，其配置成在一正常操作模式與一對比操作模式之間進行選擇；及

一控制器；

其中該複數個第二個別粒子束的射束交叉點配置在該射束開關與該偵測系統之間的該第二粒子光束路徑中，

其中用於根據該複數個第二個別粒子束與物平面的起始角度來過濾該複數個第二個別粒子束的對比孔徑配置在該射束交叉點的區域中，其中該控制器設置成在正常操作模式下控制該第二粒子光學單元，使得該複數個第二個別粒子束基本上以聚焦方式入射在該偵測區域上，其中在該正常操作模式中，每個偵測區域都恰好指定給一個偵測通道以用於信號評估，並且其中該控制器設置成在對比操作模式下控制該第二粒子光學單元，使得至少一或一些或所有該第二個別粒子束以散焦方式入射在該偵測區域上，其中在該對比操作模式中，每個偵測區域都指定給複數個偵測通道以用於信號評估，

其中，複數個偵測通道中的每一者都配置成使得該複數個第二個別粒子束的角度相依及/或方向相依之偵測可在該對比操作模式中發生。

【0044】 根據本發明實施例的多束粒子顯微鏡特別適合於根據本發明執行根據本發明第一態樣的所述方法。在這情況下，用於描述多束粒子顯微鏡的術語對應於用來描述根據本發明方法之術語。

【0045】 根據本發明的一較佳具體實施例，該偵測系統包含一或多個粒子偵測器或者該偵測系統由一或多個粒子偵測器組成。根據一較佳具體實施例，該偵測系統包含一或多個粒子偵測器並且也包含在其下游的複數個光偵測器。舉例來說，該偵測系統可包含具有複數個偵測區域及/或偵測通道的閃爍器板作為粒子偵測器。在此情況下，借助合適的粒子光學單元，例如通過投影透鏡系統和集體掃描偏轉器（所謂的反掃描），將相互作用產物投影到粒子偵測器的偵測區域/偵測通道上。然後，由粒子偵測器發射的光信號以合適的方式傳遞到一光偵測器，其指定給粒子偵測器的相應偵測區域或偵測通道。例如，由粒子偵測器的偵測區域發射的光可通過相應的光學單元耦合到光纖中，該光纖又連接到實際的光偵測器。光偵測器包括例如光電倍增管、光電二極體、雪崩光電二極體或其他類型合適的光偵測器。例如，偵測區域可結合指定給其的光纖並

又結合指定給該光纖的光偵測器一起形成偵測通道（在信號意義上）。替代上，光偵測器可不包含光纖。例如，可提供光敏偵測器陣列（例如光電倍增管、光電二極體、雪崩光電二極體等）而不是光纖束，直接作為信號入口表面。在此情況下，可以說，每個光纖可取代成一或多個光偵測器像素。

【0046】 根據本發明的替代具體實施例，偵測系統由一或多個粒子偵測器組成。換句話說，然後偵測系統包含一或多個粒子偵測器，但沒有光偵測器。然後可直接偵測二次個別粒子束，而無需繞過光子，例如通過將其注入半導體的耗盡層，由此可再次引發電子雪崩。這於是需要相對結構的半導體偵測器，其包括用於每個束的至少一獨立轉換單元。

【0047】 根據本發明的一較佳具體實施例，每個偵測通道恰包含一根光纖，不同的偵測通道包括不同的光纖。換句話說，這裡存在一對一的指定。誠然，先前技術另揭示多通道光纖，例如通過光纖的扇形結構來分別傳輸不同的信號。然而，目前不同通道之間不需要的混合/模式耦合仍然是一個挑戰；然而，舉例來說，指定給相同偵測區域的偵測通道間之部分或逐漸混合可能是可接受的。

【0048】 通過將粒子偵測器的偵測區域指定給特定偵測通道或光偵測器，具體而言，指定給光纖束的信號入射面，如上所述，信號入射面的幾何配置也獲得進一步的意義。光纖相對於彼此配置或包裝的方式很重要。為了獲得良好的解析度，將光纖與其各自信號入射表面盡可能彼此靠近封裝是有利的。

【0049】 根據本發明的一較佳具體實施例，每個偵測通道具有圓形或三角形或六邊形的信號入口表面。三角形情況較佳有關等腰三角形或最佳有關等邊三角形。信號入射表面可為粒子偵測器上的入射表面或光纖上光子的入射表面。在偵測系統包含一或多個粒子偵測器以及配置在其下游的多個光偵測器之情況下，每個通道因此選擇性具有兩信號入射表面，即在一個實例中用於粒子偵測並且隨後在另一實例中用於光偵測。對於至少一信號入射表面，根據此具體實施例變體滿足圓形或三角形的標準；最好滿足光偵測。

【0050】根據本發明的一較佳具體實施例，偵測通道的信號入射表面呈六邊形密封裝配置及/或信號入射表面整體呈六邊形配置。這種六邊形密封裝配置及/或總體呈六邊形配置可特別利用偵測通道的上述圓形或三角形或六邊形信號入射表面來實現。然而，偵測通道的信號入射表面也可為矩形或正方形，並且信號入射表面整體上可為矩形或正方形。儘管信號評估期間的複雜性隨後增加，也可設想其他幾何形狀。

【0051】根據本發明的一較佳具體實施例，恰好三個或恰好四個或恰好六個偵測通道指定給對比操作模式中的偵測區域。在正好三個偵測通道的情況下，每個偵測通道的信號入射表面例如可為圓形或六角形，三個偵測通道呈「三角形」且彼此密堆疊。此配置使得能夠對每個偵測通道進行方向敏感側。如果恰好四個偵測通道指定給一個偵測區域，這可例如通過整體排列為正方形的四個全等直角等腰三角形來實現。因此，三角形的角在正方形的中心點相交。在此具體實施例中，借助四個扇區也可很容易地實現方向敏感性。如果偵測區域恰好包含六個偵測通道，則這六個偵測通道可例如由六個整體配置成六邊形的等邊三角形來實現。此具體實施例變體也確保方向敏感性。然而，當然也可選擇其他形式的配置，例如恰好四個偵測通道，其信號入射表面分別具體實施為正方形，然後四個偵測通道總體上同樣配置為正方形。

【0052】根據本發明的一較佳具體實施例，信號入射表面的同心殼狀配置之至少兩殼指定給對比操作模式中的偵測區域。信號入射表面的這種殼狀同心配置使得可獲得徑向敏感資訊或角度資訊，較佳除了獲得方向敏感資訊之外。在此情況下，內殼層包含關於中心角範圍的資訊，因此光束在偵測器上的入射相對陡峭；第二殼包含較大的角度偏差，因此光束在偵測表面上的入射較淺。可恰好提供兩個殼，但也可提供多於兩個殼。

【0053】根據本發明的一較佳具體實施例，偵測通道的信號入射表面配置為六邊形，並且最內殼層包含恰好1、恰好7或恰好19個偵測通道。在此情況下，偵測通道的各個信號入射表面例如為圓形或六角形，並且最內殼層包括例如一

中央偵測通道和圍繞其配置成環形或六角形的另外六個偵測通道，或者，在總共19個偵測通道的情況下，另外12個偵測通道再次圍繞所描述的1+6=7個偵測通道配置。

【0054】根據本發明的一進一步較佳具體實施例，偵測通道的信號入射表面配置為六邊形，並且最內殼層包括恰好6或恰好24個偵測通道。信號入射表面例如以等邊三角形的形式構成。在剛好有六個偵測通道作為最內殼層的情況下，這六個三角形信號入射表面則以三角形的一個角所形成的中心點為中心，呈六重旋轉對稱。在恰好有24個偵測通道的情況下，所描述的六個六邊形單元用於構造一更大的六邊形，總共有24個偵測通道。

【0055】根據本發明的一進一步較佳具體實施例，偵測通道的信號入射表面配置為矩形，並且最內殼層包括恰好1、恰好9或恰好16個偵測通道。在恰好九個偵測通道的情況下，例如九個矩形或正方形相對於彼此配置，使得其依次產生矩形或正方形。在恰好16個偵測通道的情況下，附加的七個偵測通道再次圍繞九個矩形或九個正方形來配置，從而導致更大的矩形或正方形。

【0056】也可將多組偵測通道相互連接，例如彼此間以雷射焊接。這有助於最大限度減少信號損失，否則信號損失會因偵測通道之間的二次粒子入射而導致。連接或特別是雷射焊接是可能的，特別是如果連接的或雷射焊接的偵測通道各自指定給相同的偵測區域。由於連接而可能發生的偵測通道間之干擾於是更少或根本沒有干擾。

【0057】熟習該項技藝者將明白有利於實際應用的其他幾何構造。

【0058】根據本發明第三態樣描述的具體實施例可全部或部分地彼此組合，只要結果不出現技術上的矛盾即可。

【0059】也可將根據本發明第一、第二及/或第三態樣的具體實施例可全部或部分地彼此組合，只要結果不出現技術上的矛盾即可。

【圖式簡單說明】

【0060】 參考附圖將更能夠理解本發明，其中：

圖1顯示多束粒子顯微鏡（MSEM）的示意圖；

圖2a示意性顯示多束粒子顯微鏡的偵測系統；

圖2b顯示偵測系統的替代具體實施例變體；

圖3示意性比較在聚焦和散焦偵測情況下第二個別粒子束的角度分佈影響；

圖4例示本發明的一個應用實例（邊緣對比）；

圖5例示本發明的一個應用實例（電壓對比）；

圖6示意性顯示在正常檢測模式下聚焦二次射束的偵測；

圖7示意性顯示在對比操作模式下散焦二次射束的偵測；

圖8示意性顯示每個偵測區域具有三個偵測通道的散焦二次光束之偵測；

圖9示意性顯示每個偵測區域具有七個偵測通道的散焦二次光束之偵測；

圖10示意性例示偵測區域和偵測通道的各種幾何形狀；

圖11示意性例示偵測區域和偵測通道的幾何形狀；

圖12示意性例示偵測區域和偵測通道的各種幾何形狀；

圖13示意性例示偵測區域和偵測通道的幾何形狀；

圖14示意性顯示偵測區域和偵測通道的另一具體實施例變體；及

圖15顯示其中使用根據本發明方法的示範工作流程。

【實施方式】

【0061】 圖1是採用多粒子射束的多束粒子顯微鏡1形式之粒子射束系統1的示意圖。粒子射束系統1產生撞擊在待試驗物件上的多粒子射束，以在此產生相互作用產品，例如二次電子，這些產品從該物件發出並接著被偵測到。粒子射束系統1為一掃描式電子顯微鏡（SEM，scanning electron microscope），其使用複數個一次粒子射束3入射到複數個位置5上物件7之表面，並且在此產生複數個彼此隔開的電子束斑或光斑（spots）。待試驗的物件7可為任意類型，例如半

導體晶圓或生物樣品，以及包含小型化元件的配置等等。物件7的該表面排列在一物鏡系統100的物鏡102之第一平面101（物平面）內。

【0062】圖1的放大細節I1顯示物平面101的平面圖，其具有形成於第一平面101的入射位置5之一般矩形場103。在圖1中，入射位置的數量為25，形成為5 x 5場103。為了簡化起見，所以選擇入射位置數25。在實踐中，可選擇明顯更大的束數量以及入射位置數量，例如20×30、100×100等。

【0063】在例示的具體實施例中，入射位置5的場103大體上為一般矩形場，其在相鄰入射位置之間具有恆定間隔P1。間隔P1的多個示範值為1微米、10微米以及40微米。不過，場103也可具有其他對稱性，諸如，例如六角對稱。

【0064】在第一平面101內形成的粒子射束斑直徑可很小，該直徑的示範值為1奈米、5奈米、10奈米、100奈米以及200奈米。利用物鏡系統100執行用於形成粒子射束斑5的粒子射束3之聚焦。

【0065】該等一次粒子入射到該物件上而產生相互作用產品，例如二次電子、背散射電子或因為其他因素而經歷逆向運動的一次粒子，其從物件7的表面或從第一平面101發出。從物件7表面冒出的該等相互作用產品由物鏡102形成二次粒子射束9。粒子射束系統1提供一粒子射束路徑11，以將複數個二次粒子射束9引導到偵測器系統200。偵測器系統200包含一粒子光學單元，其具有一投影透鏡205，用於將二次粒子射束9引導到一粒子多偵測器209上。

【0066】圖1的細節I2顯示平面211的平面圖，其中定位粒子多偵測器209的個別偵測區域，其上二次粒子射束9入射到位置213上。入射位置213位於一場217內，彼此之間具有一常規間隔P2。間隔P2的示範值為10微米、100微米以及200微米。

【0067】束產生裝置300中產生一次粒子射束3，該裝置包含至少一粒子來源301（例如一電子來源）、至少一準直透鏡303、一多孔配置305及一場透鏡307。粒子來源301產生一發散粒子射束309，其利用準直透鏡303準直或大體上準直，以形成束311照射多孔配置305。

【0068】圖1的細節I3顯示多孔徑配置305的平面圖。多孔徑配置305包含一多孔徑板313，其內形成複數個開口或孔徑315。開口315的中點317配置在一場319內，其對應到物平面101內粒子射束斑5所形成的場103。孔徑315的中點317間之間隔P3可具有5微米、100微米和200微米的示範值。孔徑315的直徑D小於該等孔徑中點間之距離P3，該直徑D的示範值為 $0.2 \times P3$ 、 $0.4 \times P3$ 和 $0.8 \times P3$ 。

【0069】照明粒子射束311的粒子通過孔徑315，並形成粒子射束3。入射在多孔徑板313上的照明粒子射束311之粒子會被多孔徑板吸收，因此不會用於形成粒子射束3。

【0070】由於所施加的靜電場，使得多孔徑配置305將粒子射束3聚焦，如此在平面325內形成束焦點323。替代上，束焦點323可為虛擬。粒子射束焦點323的直徑可為例如10奈米、100奈米以及1微米。

【0071】場透鏡307和物鏡102將用於讓平面325（其中形成焦點323）成像的第一成像粒子光學單元設置於第一平面101上，如此在其形成入射位置5的一場103或粒子射束斑。物件7的表面應配置在該第一平面內，該等粒子射束斑據此形成於該物件表面上。

【0072】物鏡102和投影透鏡配置205提供一第二成像粒子光學單元，以將第一平面101成像至偵測平面211上。如此，物鏡102是一透鏡，其為該第一與該第二粒子光學單元兩者之一部分，而場透鏡307只屬於該第一粒子光學單元，且投影透鏡205只屬於該第二粒子光學單元。

【0073】粒子射束開關400配置於多孔徑配置305與物鏡系統100之間該第一粒子光學單元之該光束路徑內。粒子射束開關400也是物鏡系統100與偵測器系統200之間的該粒子射束路徑中的該第二光學單元之一部分。

【0074】從國際專利申請案WO 2005/024881 A2、WO 2007/028595 A2、WO 2007/028596 A1、WO 2011/124352 A1和WO 2007/060017 A2當中以及德國專利申請案DE 10 2013 016 113 A1和DE 10 2013 014 976 A1當中，可獲得本文內

所使用有關這種多束系統及所使用組件的進一步資訊，例如粒子來源、多孔徑平板以及透鏡，其揭示內容整個併入本專利申請案供參考。

【0075】該多粒子射束系統更包含一電腦系統10，其配置成控制該多粒子射束系統的該等單粒子光學組件，以及用於評估與分析使用多偵測器209或偵測器單元209獲得的該等信號。其可亦用於執行根據本發明的方法。電腦系統10可由複數個個別的電腦或組件構成。

【0076】在根據圖1的圖示中，第二個別粒子束9以聚焦方式入射偵測平面211。此圖示或此種操作對應於多束粒子顯微鏡在正常操作模式或正常檢測模式中的已知操作。在根據本發明的方法來操作多束粒子顯微鏡期間，該方法包含在對比操作模式操作顯微鏡，第二個別粒子束在偵測平面211上的入射改變；在對比操作模式下，入射以散焦的方式發生。這將在以下更詳細解釋。

【0077】圖2a為用於舉例說明偵測器209的實現之示意圖；首先重新參考正常操作模式。在此情況下，偵測器209包含一作為粒子偵測器的閃爍器板207，例如二次電子束的相互作用產物由電子光學單元引導到該閃爍器板上。如果該電子光學單元整合到圖1的多束粒子顯微鏡中，則該電子光學單元包含粒子光學單元的電子光學組件，其對電子束9進行整形，即例如，物鏡102，其將電子束9引向偵測器209，諸如，例如射束開關400，其將電子束9聚焦在閃爍器板207（諸如，例如鏡頭205）的表面上。電子束9在入射位置213處入射到閃爍器板207上。即使電子束9聚焦在閃爍器板207的表面上，在該表面上也形成直徑不是任意小的束斑。束斑的中點可認為是入射位置213，其配置在彼此距離P2（參見圖1）處。

【0078】閃爍器板207包含閃爍器材料，其由電子束9的入射電子激發以發射光子。每個入射位置213因此形成光子源。圖2a僅例示從所例示的五個電子束9之中心電子束入射位置213發出的單一相對束路徑221。束路徑221通過光學單元223，在顯示的實例中光學單元包括第一透鏡225、反射鏡227、第二透鏡229和第三透鏡231，然後入射到光偵測系統237的光接收表面235（信號入射表面

235)。光接收表面235由光纖239的端面形成，光子的至少一部分耦合到該端面中並引導到光偵測器241。光偵測器241包括例如光電倍增管、雪崩光電二極體、光電二極體或其他類型合適的光偵測器。光學單元223設置成使得將閃爍器板207的表面208光學成像到配置有光接收表面235的區域243中。由於該光學成像，在區域243中產生入射位置213的光學影像。在區域243中，將光偵測系統237的個別光接收表面235提供給該等入射位置213的每一者。該等進一步光接收表面235（信號入射表面235）的每一者由光導239的端面形成，其將耦合到端面中的光引導到光偵測器241。由於光學成像，光接收表面235指定給每個入射位置213，其中進入相應光接收表面235的光由個別的光偵測器241偵測。光偵測器241通過信號線245輸出電信號。該電信號表示粒子射束9的強度。因此，在閃爍器板207的表面上成像到光偵測器241之光接收表面上的位置定義了不同偵測點或偵測區域。由於上述電子光學單元，使得從物件的兩不同個別場區域發出的相互作用產物，例如電子，也投影到閃爍器板207的不同偵測區域上。在此解釋的示範具體實施例中，光偵測器241配置在距離光接收表面235一定距離處，光學單元223將閃爍器板207成像到光接收表面235上，並且接收到的光通過光纖239引導到光偵測器241。然而，光偵測器241也可直接配置在光學單元產生閃爍器板的影像之位置，並且光偵測器的光敏表面因此形成光接收表面。

【0079】 在這情況下，圖2a僅示意性闡明偵測器209的一些細節。其應仍指出，由於一次粒子射束在物件或樣品上的掃描運動，樣品的許多點經過照射或掃描。在此情況下，每個一次粒子射束3全部或部分掃過物件的個別場區域。在此情況下，每個一次粒子射束3在該物件上有專屬個別場區域。然後從物件7的這些個別場區域，相互作用產物(例如二次電子)又從物件7中發出。然後將相互作用產物投影到粒子偵測器的偵測區域或閃爍器板207上，使得從兩不同個別場區域發出的相互作用產物投影到閃爍器板207的不同偵測區域上。當相互作用產物，例如二次電子，入射到該偵測區域上時，閃爍器板207的每個偵測區域發射光信號，其中每個偵測區域發射的光信號都饋送到指定給相應偵測區域的光

偵測器241。換句話說，每個一次粒子射束3包含在閃爍器207上的其自己的偵測區域以及其自己的光偵測器241，其一起形成正常檢測模式中的偵測通道。

【0080】在對比操作模式中，第二個別粒子束9以散焦方式入射到閃爍器板207上。由於散焦，增加粒子射束9照射的偵測區域；指定給粒子射束9的偵測區域215變大。然而，射出光子在光接收表面235上的光學成像原則上保持不變，使得對於每個第二個別粒子束，此時有9個光子進入複數個光接收表面235或具有已連接光偵測器241的光纖中。換句話說，複數個偵測通道235指定給相對於個別粒子束定義的偵測區域215。

【0081】圖2b顯示偵測系統209的替代具體實施例變體。在此變體中，沒有提供光纖239；相反，從閃爍器板207發出的光子在光學成像之後直接入射具有光敏偵測器241的陣列，例如含有光電倍增器、光電二極體或雪崩光電二極體的陣列。

【0082】不同於圖2a和圖2b所示的偵測架構也適用於執行根據本發明的方法，用於在根據本發明的正常操作模式和對比操作模式下操作多束粒子顯微鏡1。例如，參考直接電子偵測（DED）的方法，其在沒有光偵測器的情況下進行並且其中二次電子被直接轉換成電流信號。

【0083】圖3示意性比較在聚焦和散焦偵測情況下第二個別粒子束9的角度分佈影響。圖3例示兩不同的情況：在情況a中，假定偵測到從平坦樣品7發出的第二個別粒子束9。第二個別粒子束9等向性地從樣品發出。在情況b中，假設第二個別粒子束9或二次射束從結構化樣品7發出。第二個別粒子束異向性地從樣品發出，即具有異向性的方向分佈及/或角度分佈。圖3中的例示然後顯示偵測過程中的兩不同情況。

【0084】在情況a中，在偵測過程中，二次電子的角度分佈相對於與偵測平面正交配置的軸線A對稱。在圖3a中的Y軸上繪出由I指定的二次電子產率。此外，示意性描繪束錐280。二次光束在偵測表面207上的聚焦入射例示於圖3a的描繪底部，而散焦入射例示於圖的頂部。在聚焦入射到偵測表面207的情況下，

沒有獲得關於第二個別粒子束角度分佈的附加資訊；其在聚焦偵測過程中幾乎遺失。另一方面，在散焦的情況下，存在第二個別粒子束的角度分佈，並且在偵測期間，其再現於偵測器或偵測表面207上的空間分佈中。

【0085】在平坦樣品的情況下，二次電子產量對於軸線A是等向性，而在結構化樣品的情況下，二次電子產量1是異向性，在顯示的實例中，最大值在對稱軸線A的左側。因此，原則上，二次射束的散焦偵測使得可在從物件7開始時獲得第二個別粒子束9的角度資訊及/或方向資訊。由於使用光偵測器241對二次射束9或指定光子進行空間解析偵測，則第二個別粒子束9的角度資訊及/或方向資訊變得可存取。

【0086】圖4例示本發明的一應用實例。在這情況下，圖4a以側視圖顯示結構化樣品7，凸起7a和凹陷7b交替配置在該樣品中。凸起7a的寬度由b表示，該寬度b通常必須在檢測半導體樣品期間確定。潛在的問題有關所謂的邊緣對比（布局對比（topography contrast））。相關電子光學獲得的影像如圖4b所示：在此記錄期間，二次電子束以聚焦方式成像到偵測器209上。因此，根據圖4b的影像交替顯示寬條帶502和窄條帶501。然而，在聚焦成像期間，不可能區分寬條帶502是要指定給凸起7a還是指定給凹陷7b。

【0087】與之相比，多束粒子顯微鏡1採用本發明的對比操作方法時之情況有所不同：圖4c示意性顯示結構化樣品7和從樣品7中出現的二次射束或第二個別粒子束9。二次粒子在圖4c中用箭頭表示。首先考慮樣品7的左緣7c處之情況：從邊緣7c處樣品7開始的二次電子9具有角度分佈。向左開始的二次電子9可能傾向於在不被樣品7阻擋的情況下開始，並且向右開始或起始的二次電子9傾向於被樣品7的凸起7a遮蔽或吸收。因此，在左緣7c處，二次電子9傾向於包括從樣品開始向左的更多粒子。相反的情況出現在樣品7的邊緣7d處：在此，二次電子9也可從側面7d出現，並且從樣品7發出的二次電子之角頻譜因此傾向於包含向右偏轉的二次粒子9多於向左偏轉的二次粒子9。

【0088】 然後圖4d顯示電子光學記錄，其中以散焦和空間解析的方式偵測到二次射束：通過使用第二個別粒子束9從物件7發出時的角度資訊及/或方向資訊，可在記錄時將窄區域503和504彼此區分開來：顯示為深色的條帶503各自對應於圖4a中的降緣，並且亮條帶504之每一者對應於圖4a中的升緣。因此，使用根據本發明的方法可在掃描樣品7時獲得改善的對比資訊，或者獲得根據先前技術迄今無法獲得的對比資訊。

【0089】 圖5例示本發明的一進一步應用實例，具體在偵測帶電樣品的情況下。在確定所謂的電壓對比過程中進行樣品7上之電荷積累檢驗。後者在所謂的電響應測量情況下尤其重要。這是因為某些類型的缺陷（電阻缺陷、漏電缺陷）無法通過常規檢測方法（聚焦偵測）偵測出來。這在第二個別粒子束9的散焦偵測和每個偵測區域使用多個空間解析的偵測通道之情況下並不相同。具體上，在電荷於樣品上累積之情況下，從樣品開始的二次電子或第二個別粒子束9之角頻譜發生變化。這示意說明於圖5內：圖5a顯示具有不同區域505、506和507的樣品7，其中沒有區域帶電。從這些區域或其表面發出不同的二次電子；在此圖中，該二次電子在每種情況下垂直開始並且具有不同的能量。在顯示的實例中，這些是具有5 eV、3 eV和1 eV的電子；不同的能量由圖5中箭頭所用不同類型的破折號編碼。以其他角度（未示出）開始的二次電子同樣受到影響，因此根據電荷差異出現二次電子的不對稱角度分佈。

【0090】 在圖5b中，樣品區域505和507帶負電，在例示範例中為-1V。因此，在區域505和506及506和507之間產生電場E。從樣品開始的二次電子9由該電場E定向偏轉，並且在帶負電的樣品區域505和507處另外發生偏移（偏移由短虛線箭頭指示）。從樣品7發出的二次粒子9之角頻譜（位置及/或方向資訊）因此由於樣品7上的電荷積累而改變。在散焦偵測的情況下，來自角頻譜的資訊轉換為位置資訊，並且在相應的多通道測量期間使其可測量或可用。

【0091】 圖6原則上示意性顯示在從先前技術已知的正常檢測模式中已對焦二次射束9的偵測。粒子源301發射發散粒子射束，在顯示的實例中，該粒子

射束通過聚光透鏡系統303a、303b，並且在顯示的實例中，以準直方式入射多束粒子產生器305，並通過多束粒子產生器305。該多束粒子產生器305可包括例如具有後續反電極的多孔板，但是其他具體實施例變體也是可能的。理論上當然也可直接使用多束粒子源301，使得第一個別粒子束3不必由多束粒子產生器305個別形成。

【0092】 在進一步粒子光束路徑中，在例示的實例中，第一個別粒子束3通過具有場透鏡307a、307b和307c的場透鏡系統。然後，其通過射束開關400以及特別是磁物鏡102，然後第一個別粒子束3以聚焦方式入射到物平面101中的物件7上。第一個別粒子束3的入射觸發第二個別粒子束9從樣品或物件7中出現。該第二個別粒子束同樣通過物鏡102和射束開關400，並且在所顯示範例中隨後通過投影透鏡系統205a、205b、205c。在投影透鏡系統205中，對比孔徑222配置在第二個別粒子束9的束交叉中。該對比孔徑222可為例如圓形孔徑或環形孔徑，其可為明場孔徑或暗場孔徑。對比孔徑具有根據第二個別粒子束9與物平面101的起始角度來過濾第二個別粒子束之任務。從第二個別粒子束9的束交叉中切出從/直至特定起始角範圍內的第二個別粒子束9。這在圖6中放大視圖內以圓圈示意性說明。圖6中的束路徑 - 如前所述 - 只是示意性說明，因此必須以大幅簡化的方式來說明。在圖6所示的正常檢測模式中，第二個別粒子束9以聚焦方式入射到偵測平面207或閃爍器207上。光偵測器237配置在閃爍器207下游，其在圖6中由偵測通道1至37的六邊形配置示意性示出，其剖面或信號入射表面235在此設置成圓形。在圖6例示的成像之情況下，狀況是物平面101以聚焦方式成像到閃爍器207或平面Ef上。此外，狀況使得較佳係，所有個別粒子束3、9用於成像，以在成像期間實現盡可能高的產量。

【0093】 然後，圖7示意性顯示根據本發明多束粒子顯微鏡1在對比操作模式下已散焦二次光束9之偵測。圖6和圖7在很大程度上彼此相同；因此，以下僅討論圖7與圖6的不同之處。圖7中的二次路徑例如通過投影透鏡系統205a、205b、205c設定，使得第二個別粒子束9以散焦而非聚焦方式入射在偵測表面

上，或者在顯示的實例中，入射在閃爍器207上。在這情況下，圖7顯示通過僅使用一個別粒子束9來散焦的實例；實際上，較佳係使用多個第二個別粒子束；以下給出這方面的進一步解釋。第二個別粒子束9在多個第二個別粒子束9之間的（理論上）交叉點處通過對比孔徑222。然後，已散焦的第二個別粒子束9入射到閃爍器207上；由於投影透鏡205b、205c的相應設定，偵測平面/閃爍器207的位置不再與焦平面Ef的位置相同。由於散焦，第二個別粒子束9在偵測器上的入射面積也增加；即偵測區域215的大小發生變化。然而，實體偵測器207、209仍然相同；較佳為空間固定式。因此，從閃爍器板207釋放的光子現在入射光偵測器237的複數個偵測通道。圖7藉由範例顯示當光子入射到光偵測器237內光纖束的信號入射表面/光接收表面235上時之照射斑213。然而，當然也可使用其他偵測系統。圖7僅顯示這方面的原理。

【0094】再者，根據圖7，較佳選擇在對比操作模式中入射於偵測單元207、209上的多個第二個別粒子束9，並且屏蔽掉所有剩餘的個別粒子束。在顯示的實例中，這已通過束選擇器510在一次路徑中完成。後者可選擇性較早在一次路徑中就屏蔽單一、兩、三或任何其他個數的個別粒子束3。額外地或是選擇性地，也可在二次路徑中，從二次路徑中屏蔽掉一或多個第二個別粒子束9。

【0095】根據應用，可設定第二個別粒子束在入射到偵測單元上時的散焦，特別是基於所選定的對比孔徑。也可連續提供多個對比孔徑。此外，對比孔徑可移動到該束路徑中，或者可提供具有不同光闌的扇形對比孔徑，第二個別粒子束可選擇性通過該光闌。為此，扇形對比孔徑例如可旋轉式安裝，或者可相應改變第二個別粒子束的路徑，以通過特定扇形。

【0096】此外，可選擇或固定每個偵測區域或每個二次粒子束9的偵測通道的數目。額外地或是選擇性地，可基於所選定的對比孔徑222及/或所設定的散焦及/或所選定的每偵測區域215之偵測通道235之數目，設定第二個別粒子束9在入射到偵測單元207、209上時的間距。此外，可在正常檢測模式（聚焦偵測）和對比操作模式（散焦偵測）中交替操作多束粒子顯微鏡。可能的是，具有關

聯操作參數的不同對比操作模式儲存在多束粒子顯微鏡1的控制器10中，並且選擇多個所儲存的對比操作模式之一者並且多束粒子顯微鏡1在此選擇的對比操作模式中操作。

【0097】圖8示意性顯示每個偵測區域215具有三個偵測通道235的已散焦二次光束9之偵測。該圖顯示從粒子偵測器（在此為閃爍器板207）到具有光纖束239的信號入射表面235之光偵測器237的投影。投影由圖8中的虛線表示。偵測通道235到光纖237的指定由編號1、2、3、4指示。數字1、2、3表示主動偵測通道235，數字4表示非主動偵測通道235。舉例來說，235a、235b和235c表示由束斑213覆蓋的三個偵測通道。圖8顯示七個第二個別粒子束9的總體偵測。其另外表明，待指定給第二個別粒子束9中每一者的束斑213彼此不重疊。結果避免了不同偵測區域215之間的干擾(crosstalk)。相應設定入射到偵測器207上的第二個別粒子束9之束間距。可在主動偵測通道1、2、3之間の間隙中使用原則上非主動偵測通道4，來偵測可能發生的干擾。此外，可使用偵測通道4中可能出現的任何信號來檢查射束與偵測器的對準是否正確。在顯示的實例中，射束中心正好對準偵測通道1、2和3之間的中間區域。如果隨後在通道4中另外偵測到信號，則射束與偵測器209的對準不是最佳並且必須校正。

【0098】圖9示意性顯示每個偵測區域215具有七個偵測通道235的已散焦二次光束9之偵測。在此情況下，每個射束的束斑213入射在光纖237的七個信號入射表面235上。在顯示的實例中，七個第二個別粒子束9分別用於偵測。偵測區域215的六邊形圖案總體上出現在所例示的實例中。其餘參考有關圖8的說明。

【0099】圖10示意性例示偵測區域215和偵測通道235的各種幾何形狀。在此情況下，圖10a、b和c顯示偵測區域215，其偵測通道235以方向敏感的方式配置。根據圖10a中的實例，偵測通道235或信號入射表面235為圓形，偵測區域215形成三角形。在圖10b中，偵測通道235具體化為等腰三角形，偵測區域215包含四個扇區並且總體上出現正方形作為偵測區域215。圖10c顯示含有六個扇區的六邊形偵測區域215，每個通道235由等邊三角形235所形成。

【0100】圖10d和10e分別顯示偵測通道235的徑向敏感配置。在圖10d中，最裡面的偵測通道235a具體實施為圓形。偵測通道235b的環形同心圍繞該圓235a定位。在圖10e中，一進一步環形偵測通道235c同心定位於另外兩偵測通道235a、235b周圍。通過偵測通道235的徑向敏感配置或通過相應構造的偵測區域215，可在從物件7開始時對第二個別粒子束9的角度資訊進行編碼。

【0101】圖10f和10g顯示偵測通道235的方向敏感和徑向敏感配置。在圖10f中，七個圓形偵測通道235置放成緊密封裝配置，因此整體上導致偵測通道235的六邊形配置。其可共同形成偵測區域215。圖10g顯示一進一步殼層，原則上：此處，由偵測通道235組成的進一步殼層配置在圖10f的七個偵測通道235周圍外側。可互連偵測通道235，以形成具有恰好七個偵測通道的最內殼層及具有進一步十二個偵測通道的進一步殼層，以形成偵測區域215。然而，也可能有其他或擴展的組合。

【0102】圖11示意性例示偵測區域215和偵測通道235的其他幾何形狀。在例示的實例中，每一個個別偵測通道235組合以形成六邊形偵測區域215的等邊三角形所形成。六邊形偵測區域215又可組合在一起，形成六邊形的整體配置；此處的圖11僅顯示這方面的細節。

【0103】圖12示意性例示偵測區域215和偵測通道235的進一步各種幾何形狀。在根據圖12a的實例中，偵測通道235為矩形。在此情況下，九個矩形形成偵測區域215a。在偵測區域215的殼層配置之情況下，後者可視為最內層的殼層。作為殼層215b的恰好16個進一步偵測通道235係配置在該最內層殼215a的周圍。圖12b顯示偵測通道235的不同配置，其同樣為矩形。後者分別組合成矩形偵測區域215，其總體上為六邊形配置。圖12B舉例顯示十九個偵測區域215，其中每一者都為徑向敏感和方向敏感。然而，也可能有其他配置與組合。

【0104】圖13示意性例示偵測區域215的偵測通道235之其他幾何形狀。在顯示的實例中，個別偵測通道235具體實施為正方形或矩形，並且偵測區域215整體為六邊形。圖13中的不同陰影表示偵測區域215的可能殼狀構造。

【0105】圖14示意性例示偵測區域215和偵測通道235的另外具體實施例變體。圖14a顯示具有圓形或水滴形信號入口表面的不同光纖239，其在每種情況下形成偵測通道235。在顯示的實例中，三個水滴形偵測通道235在每種情況下於連接點236處相互連接，在此通過雷射焊接。在顯示的實例中，只有那些在對比操作模式中將指定給相同偵測區域215的偵測通道235或光纖239彼此連接。因此，已連接偵測通道之間可能的干擾對偵測區域215的整體信號幾乎沒有任何影響。然而，另外也可能將所有光纖239或偵測通道235彼此連接或至少在接縫處熔合在一起，只要由此產生的干擾是可容忍的即可。

【0106】圖14b示意性顯示作為光偵測系統，具有光敏偵測器單元241的陣列，其在所顯示範例中不包括任何光纖239。相反，可有關於包括光電倍增管、光電二極體或雪崩光電二極體等的陣列。個別的光敏偵測器單元241已扇區化（在此：三個扇區或通道）。例如，光敏偵測器單元241之間的死區238為佈線提供空間。

【0107】圖14c示意性顯示六邊形偵測通道235的配置。原則上，後者可通過鑲嵌而無間隙地連接在一起。在顯示的實例中，三個偵測通道在每種情況下組合以形成偵測區域215。偵測區域215之間的死區238用於減少干擾。

【0108】對於圖10至14中所示的所有偵測區域215和偵測通道235，適用於其可指定給粒子偵測器及/或光偵測器，即使通過粒子偵測器與下游光偵測器的組合可特別好地實現許多範例。所描述的具體實施例變型應當理解為在這方面並非限制。

【0109】圖15顯示其中使用根據本發明方法的示範工作流程。第一方法步驟S1有關在對比操作模式下記錄樣品，其中僅使用一個散焦的第二個別粒子束或僅幾個散焦的第二個別粒子束，其中每個第二個別粒子束都具有盡可能多的偵測通道。這種對比操作模式也可以稱為對比回顧模式。這種記錄包含非常多的角度資訊及/或方向資訊，但是相對地比較耗時。

【0110】 在一進一步方法步驟S2中，在圖形使用者介面上顯示不同類型的對比影像。該等對比影像全都基於對比回顧模式下的記錄。然而，偵測通道23的信號進行差異評估，由此能夠通過一次記錄產生不同的對比資訊。

【0111】 在一進一步方法步驟S3中，例如通過輸入，然後多束粒子顯微鏡的使用者可標記使用者特別感興趣的一（或複數個）呈現。因此，步驟S3涉及選擇一對比呈現。

【0112】 在一進一步方法步驟S4中，例如，儲存在控制器中的演算法計算操作參數，通過這些操作參數可盡可能快及/或以最佳方式產生所選定的對比。因此在步驟S4中最佳化對比檢測任務。

【0113】 步驟S5涉及記錄具有最佳化操作參數的樣品7。因此，可最佳支援多束粒子顯微鏡1的使用者。

【符號說明】

- 1 多束粒子顯微鏡
- 3 一次粒子射束（個別粒子束）
- 5 束斑，入射位置
- 7 物件，樣品
- 7a 凸起
- 7b 凹陷
- 7c 邊緣，側面
- 7d 邊緣，側面
- 8 樣品台
- 9 二次粒子射束
- 10 電腦系統，控制器
- 11 二次粒子射束路徑
- 13 一次粒子射束路徑

100	物鏡系統
101	物平面
102	物鏡
103	發明領域
110	孔徑
200	偵測器系統
205	投影透鏡
207	閃爍器板
208	用於調整的偏轉器
209	偏轉系統，粒子多偵測器
211	偵測平面
213	二次粒子或相關光子束的入射位置、束斑
215	偵測區域
217	場
221	光束路徑
222	對比孔徑
223	:光學單元
225	透鏡
227	反射鏡
229	透鏡
231	透鏡
235	光接收表面、信號入射表面、偵測通道
236	連接點
237	光偵測系統
238	死區
239	光纖，光導

241	光偵測器
243	閃爍器表面的光學成像區域
245	線
280	束錐
300	束產生裝置
301	粒子源
303	準直透鏡系統
305	多孔徑配置
306	微光學裝置
307	場透鏡系統
309	發散粒子射束
310	多束產生器
311	照明粒子射束
313	多孔徑板
314	多場透鏡
315	:多孔徑板內的開口
317	開口的中點
319	場
320	多像散器
323	焦點
325	中間影像平面
330	多焦修正器件
380	正電荷累積
381	負電荷累積
400	粒子射束開關
501	窄條帶

502	寬條帶
503	代表降緣的暗條帶
504	代表降緣的亮條帶
505	樣品區域
506	樣品區域
507	樣品區域
510	束選擇器
A	軸線
Ef	焦平面
B	結構寬度
S1	使用盡可能少的已散焦第二個別粒子束和盡可能多的每一第二個別粒子束偵測通道來記錄樣品
S2	產生並代表不同對比影像 S3:選擇所要的對比或對比影像
S4	最佳化對比檢測任務
S5	記錄具有最佳化操作參數的樣品

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種用於操作多束粒子顯微鏡（1）的方法，該方法包括下列步驟：

在一對比操作模式操作該多束粒子顯微鏡（1），其包含下列步驟：

用複數個帶電的第一個別粒子束（3）照射一物件（7），其中每個第一個別粒子束（3）以掃描方式照射該物件（7）的一個別場區域；

收集由於該等第一個別粒子束（3）而從該物件（7）出現或發出的複數個第二個別粒子束（9）；

將該等第二個別粒子束（9）散焦投影到一偵測單元（207、209）的複數個偵測區域（215）上，使得從兩不同個別場區域出現或發出的該等第二個別粒子束（9）投影到不同的偵測區域（215）上，其中將複數個偵測通道（235）指定給每個偵測區域（215），其中該等偵測通道（235）之每一者編碼該等第二個別粒子束（9）從該物件（7）開始時的角度資訊及/或方向資訊；及

基於藉由來自具有其個別指定偵測通道（235）的該等偵測區域（215）之每一者的信號所獲得或已獲得的資料，產生該等個別場區域之每一者的個別影像。

【請求項2】 如請求項1所述之方法，其在該對比操作模式更包括下列步驟：

定義來自每個偵測通道（235）的信號之權重；及

混合來自該等偵測通道（235）的該等信號，以基於該等加權形成該已指定偵測區域（215）的一混合信號。

【請求項3】 如請求項1所述之方法，其在該對比操作模式更包括下列步驟：

選擇一對比孔徑（222），該對比孔徑已經或配置在該第二個別粒子束（9）的射束交叉點的區域的該多束粒子顯微鏡（1）的一二次路徑（11）中。

【請求項4】 如請求項1所述之方法，其在該對比操作模式更包括下列步驟：

設定該等第二個別粒子束（9）在入射到該偵測單元（207、209）上時的散焦，特別是基於所選定的該對比孔徑（222）。

【請求項5】 如請求項1所述之方法，其在該對比操作模式更包括下列步驟：

為每個偵測區域（215）選擇偵測通道（235）的數目。

【請求項6】 如前述請求項3至5中任一項所述之方法，其在該對比操作模式更包括下列步驟：

基於所選定的對比孔徑（222）及/或所設定的散焦及/或所選擇的每偵測區域（215）之偵測通道（235）的數目，設定該等第二個別粒子束（9）在入射到該偵測單元（207、209）上時的間距。

【請求項7】 如請求項1所述之方法，其在該對比操作模式更包括下列步驟：

選擇多個第二個別粒子束（9），其在該對比操作模式下係入射到該偵測單元（207、209）上；及/或

屏蔽掉所有其他的第二個別粒子束（9）。

【請求項8】 如請求項1所述之方法，其在該對比操作模式更包括下列步驟：

對準以散焦方式入射到該偵測單元（207、209）上之該等第二個別粒子束（9），使得該等第二個別粒子束（9）的主射線基本上準確置中對準偵測通道（235）；或者

對準以散焦方式入射到該偵測單元（207、209）上之該等第二個別粒子束（9），使得該等第二個別粒子束（9）的主射線基本上準確對稱置中於複數個偵測通道（235）的入射表面之間。

【請求項9】 如請求項1所述之方法，其在該對比操作模式更包括下列步驟：

基於來自該等偵測區域（215）及/或該等偵測通道（235）的信號，以假色碼對該等個別影像進行編碼。

【請求項10】 如請求項1所述之方法，其在該對比操作模式更包括下列步驟：

以透視呈現或3D呈現來呈現該等個別影像。

【請求項11】 如請求項1所述之方法，在該對比操作模式更包括下列步驟：

提供方向敏感及/或徑向敏感的偵測通道（235）配置。

【請求項12】 如請求項1所述之方法，其更包括下列步驟：

以一正常檢測模式操作該多束粒子顯微鏡（1），其包含下列步驟：

用該等帶電的第一個別粒子束（3）照射該物件（7），其中每個第一個別粒子束以掃描方式照射該物件（7）的該個別場區域；

收集由於該第一個別粒子束（3）而從該物件（7）出現或發出的該複數個第二個別粒子束（9）；

將該等第二個別粒子束（9）聚焦投影到該偵測單元（207、209）的該等偵測區域（215）上，使得從兩不同個別場區域出現或發出的該等第二個別粒子束（9）投影到不同的偵測區域（215）上，其中每個偵測區域（215）恰好指定一偵測通道（235）；及

基於藉由來自具有其相對指定偵測通道（235）的該等偵測區域（215）之每一者的信號所獲得或已獲得的資料，產生該等個別場區域之每一者的個別影像。

【請求項13】 如請求項12所述之方法，

其中該方法在以該對比操作模式和以該正常檢測模式操作該多束粒子顯微鏡（1）之間切換。

【請求項14】 如請求項1所述之方法，

其中具有相關操作參數的各種對比操作模式儲存在該多束粒子顯微鏡（1）的一控制器（10）中，並且其中該方法更包括下列步驟：

選擇該對比操作模式並在該對比操作模式下操作該多束粒子顯微鏡（1）。

【請求項15】 一種含有用於執行如請求項1所述之方法的程式碼之電腦程式產品。

【請求項16】 一種多束粒子顯微鏡（1），其包含下列：

一多束粒子源（305），其配置成產生多個帶電第一個別粒子束（3）的一第一場（319）；

一第一粒子光學單元，其具有一第一粒子光束路徑（13），其配置成將該產生的該複數個第一個別粒子束（3）成像到一物平面（101）上，使得該複數個第一個別粒子束（3）在入射位置（5）處入射一物件（7），以形成一第二場（103）；

一偵測系統（207、209），其具有形成一第三場（217）的多個偵測區域（215）；

一第二粒子光學單元，其具有一第二粒子光束路徑（11），其配置成將從該第二場（103）中從該入射位置（5）處發出的複數個第二個別粒子束（9）成像到該偵測系統（207、209）的該等偵測區域（215）中的該第三場（217）上；

一磁性物鏡（102），該複數個第一個別粒子束（3）和該複數個第二個別粒子束（9）兩者通過該磁性物鏡；

一射束開關（400），其配置在該多束粒子源（305）與該物鏡（102）之間的該第一粒子光束路徑（13）中，且其配置在該物鏡（102）與該偵測系統（207、209）之間的該第二粒子光束路徑（11）中；

一模式選擇器件，其配置成在一正常操作模式與一對比操作模式之間進行選擇；及

一控制器（10）；

其中該複數個第二個別粒子束（9）的射束交叉點配置在該射束開關（400）與該偵測系統（207、209）之間的該第二粒子光束路徑（11）中，

其中根據該複數個第二個別粒子束（9）與該物平面（101）的起始角度來過濾該複數個第二個別粒子束的一對比孔徑（222）配置在該射束交叉點的區域中，

其中該控制器（10）配置成在該正常操作模式下控制該第二粒子光學單元，使得該複數個第二個別粒子束（9）基本上以聚焦方式入射在該偵測區域（215）上，其中在該正常操作模式中，每個偵測區域（215）恰好指定給一個偵測通道（235）以用於信號評估，且

其中該控制器（10）配置成在該對比操作模式下控制該第二粒子光學單元，使得至少一或一些或所有第二個別粒子束（9）以散焦方式入射在該偵測區域（215）上，其中在該對比操作模式中，每個偵測區域指定複數個偵測通道以用於信號評估，

其中，該等複數個偵測通道（235）中的每一者配置成使得該複數個第二個別粒子束（9）的角度相依及/或方向相依之偵測可在該對比操作模式中發生。

【請求項17】 如請求項16所述之多束粒子顯微鏡（1），

其中該偵測系統（207、209）包含一或多個粒子偵測器或由一或多個粒子偵測器組成。

【請求項18】 如請求項16或17中任一項所述之多束粒子顯微鏡（1），其中該偵測系統（207、209）包含一或多個粒子偵測器以及複數個配置於其下游的光偵測器。

【請求項19】 如請求項18所述之多束粒子顯微鏡（1），

其中每個偵測通道（235）包含恰好一光纖（239），並且其中不同的偵測通道（235）包含不同的光纖（239）。

【請求項20】 如請求項19所述之多束粒子顯微鏡（1），

其中複數個偵測通道（235）至少部分彼此連接，尤其是通過雷射焊接，其中該等已連接的偵測通道（235）可指定給在該對比操作模式的相同偵測區域（215）。

【請求項21】 如請求項18之多束粒子顯微鏡（1），

其中一偵測通道（235）不包含光纖，並且其中提供光敏偵測器陣列，特別是含有光電倍增管、光電二極體或雪崩光電二極體的陣列，作為該光偵測系統。

【請求項22】如請求項16所述之多束粒子顯微鏡（1），其中每一偵測通道（235）具有圓形或三角形或六邊形的一信號入射表面。

【請求項23】如請求項22所述之多束粒子顯微鏡（1），
其中該等偵測通道（235）的該信號入射表面呈六邊形密封裝配置及/
或該信號入射表面整體配置為六邊形。

【請求項24】如請求項16所述之多束粒子顯微鏡（1），其中三或四或六個偵測通道（235）指定給在該對比操作模式的一個偵測區域（215）。

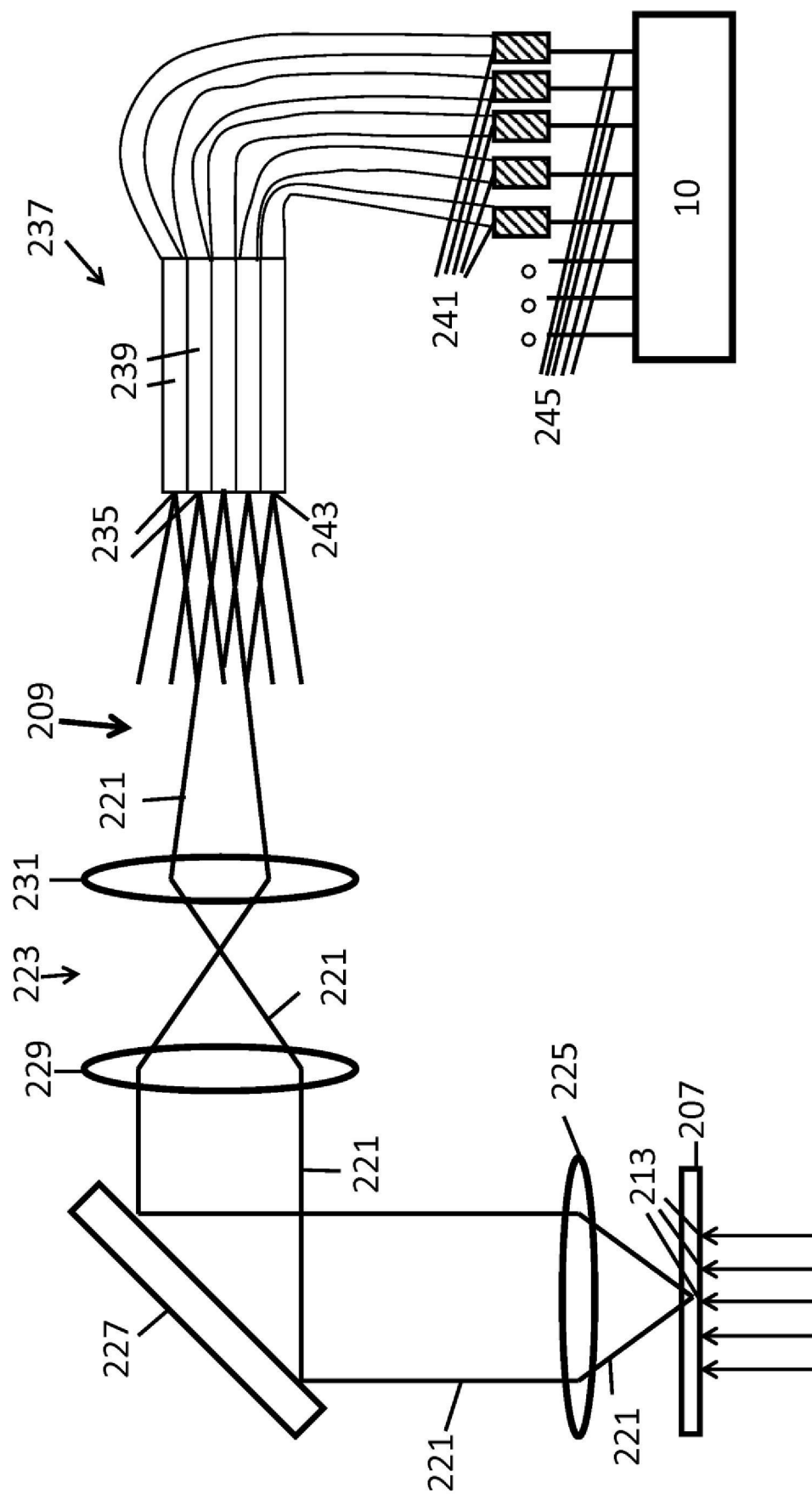
【請求項25】如請求項16所述之多束粒子顯微鏡（1），其中信號入射表面的一同心殼狀配置之至少兩殼層已指定給在該對比操作模式的一個偵測區域（215）。

【請求項26】如請求項25所述之多束粒子顯微鏡（1），其中該等偵測通道（235）的該信號入射表面配置為六邊形，並且該最內殼層包含恰好1、恰好7或恰好19個偵測通道（235）。

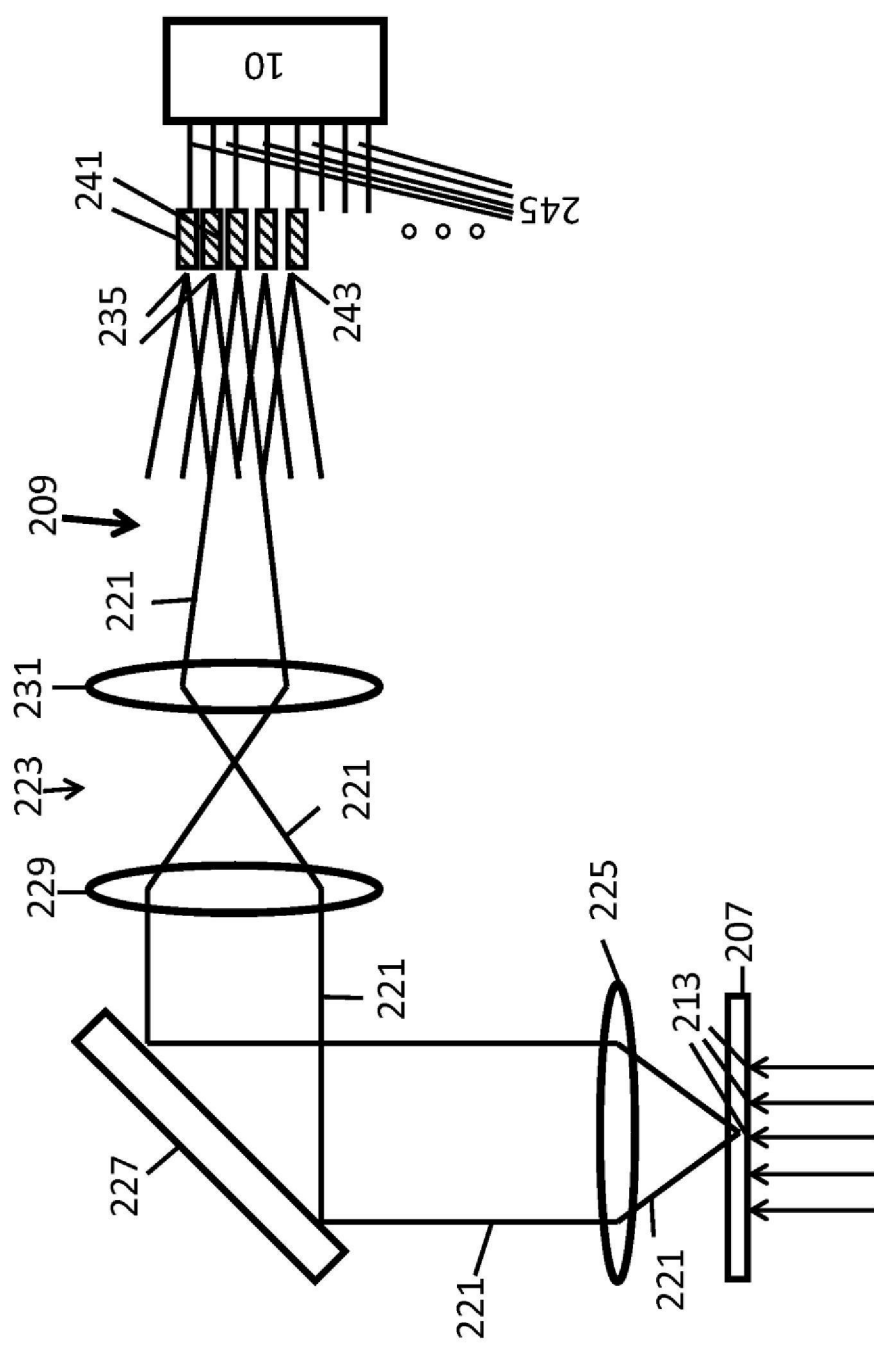
【請求項27】如請求項25所述之多束粒子顯微鏡（1），其中該等偵測通道（235）的該信號入射表面配置為六邊形，並且該最內殼層包含恰好6或恰好24個偵測通道（235）。

【請求項28】如請求項25所述之多束粒子顯微鏡（1），其中該等偵測通道（235）的該信號入射表面配置為矩形，並且該最內殼層包含恰好1、恰好9或恰好16個偵測通道（235）。

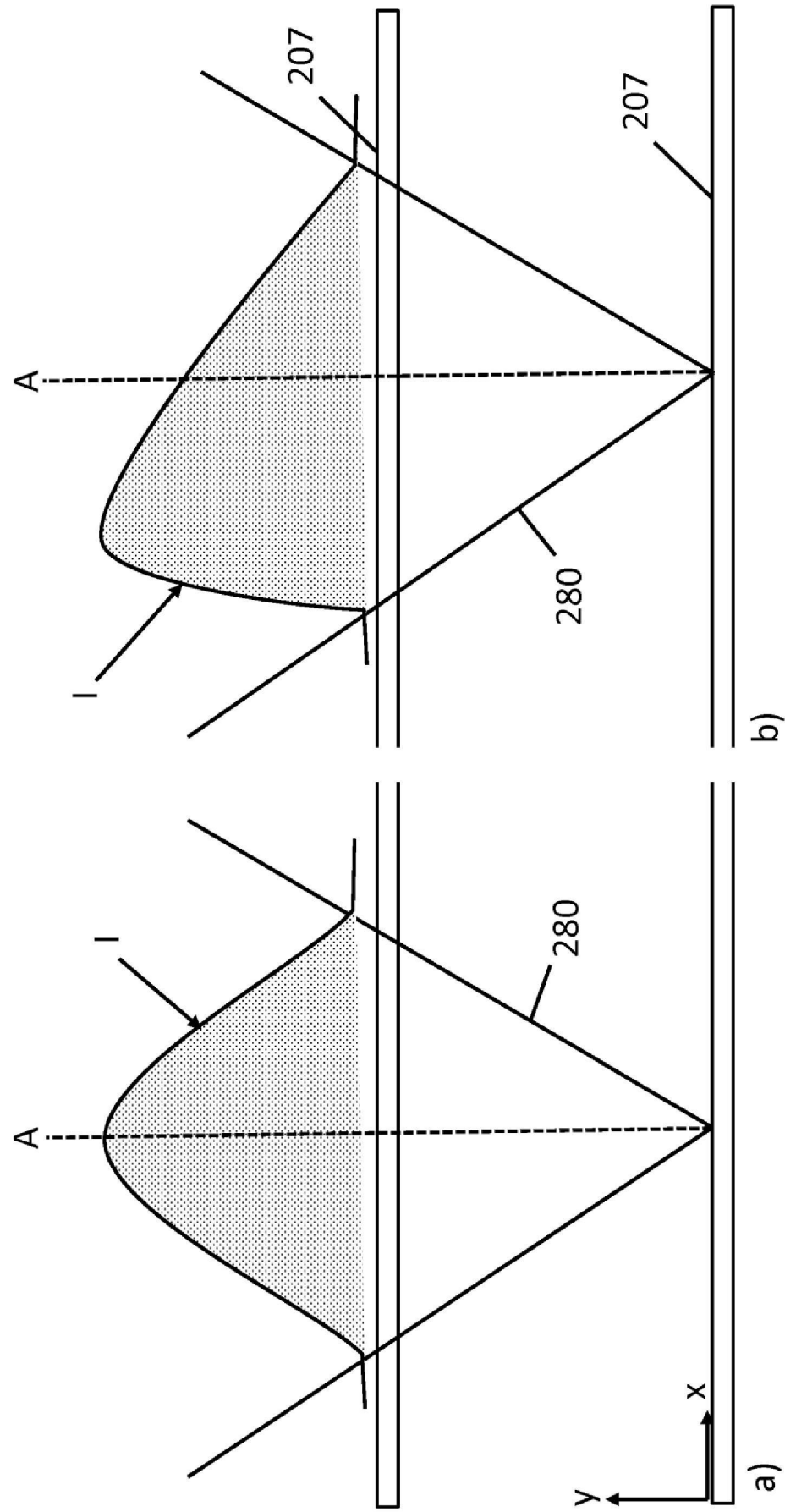




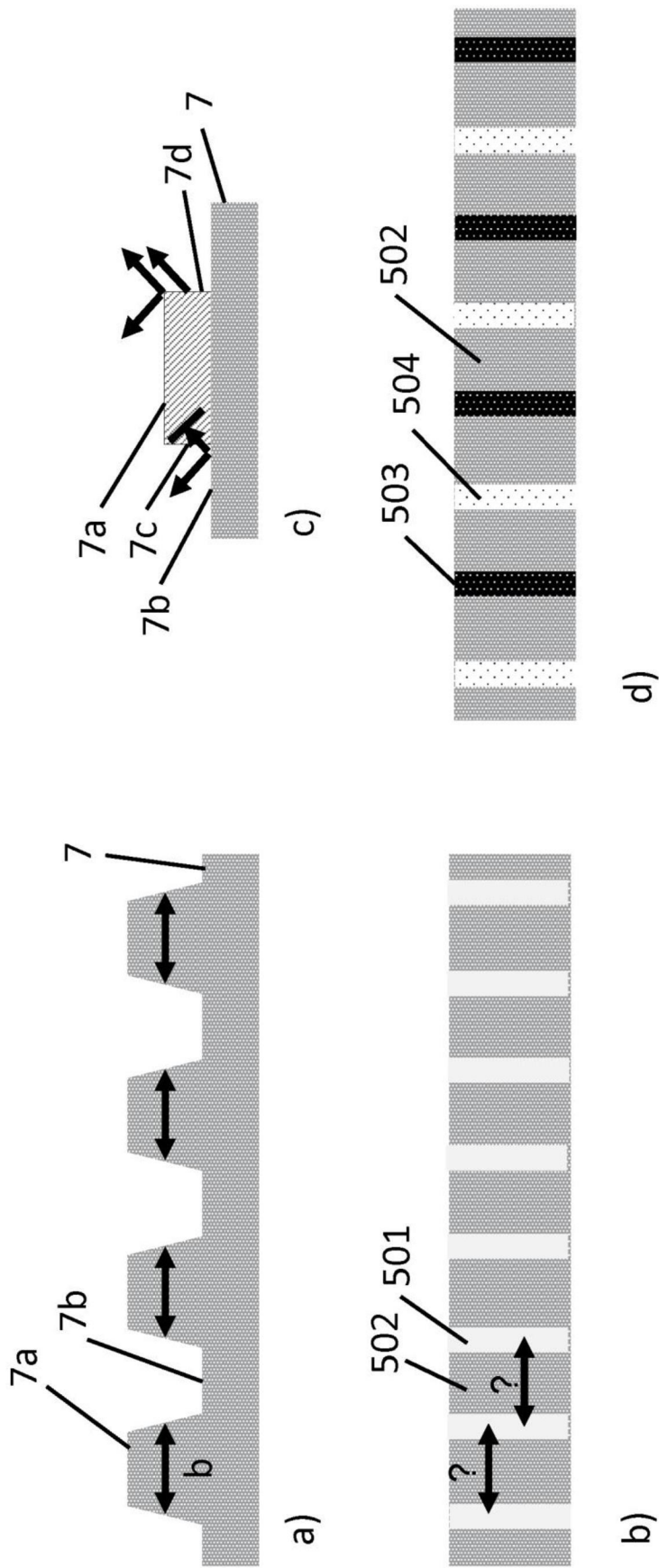
【圖2a】



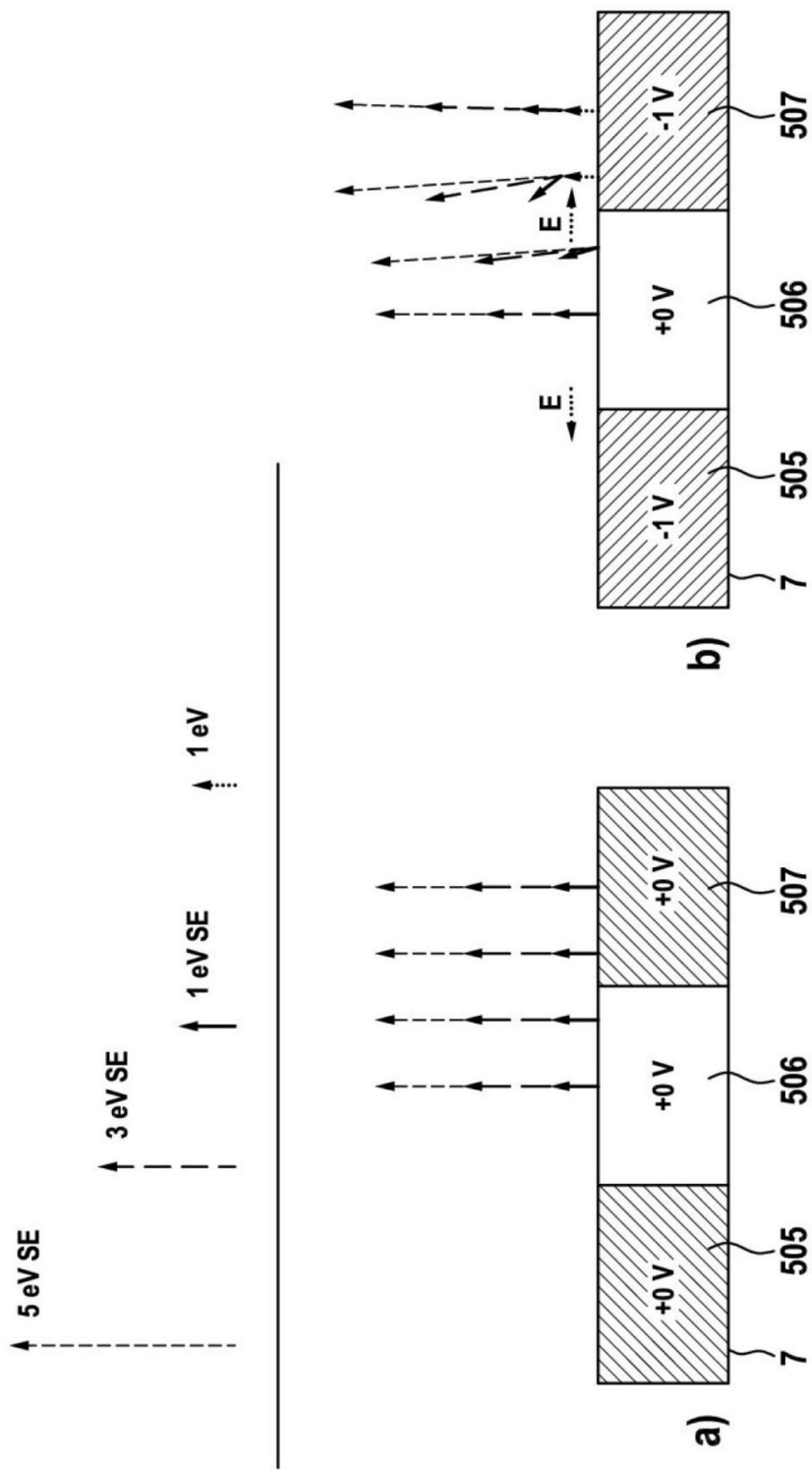
【圖2b】



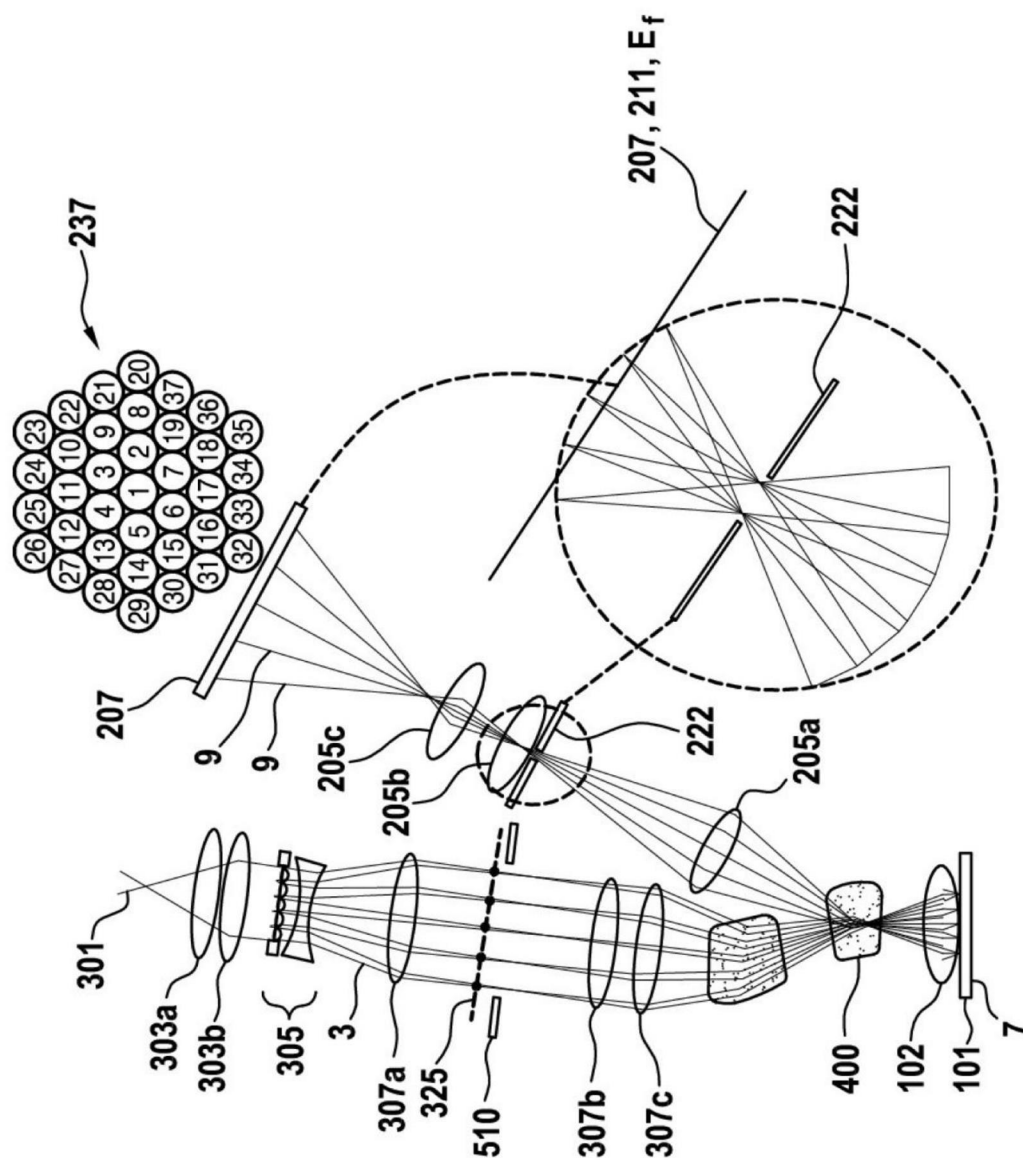
【圖3】



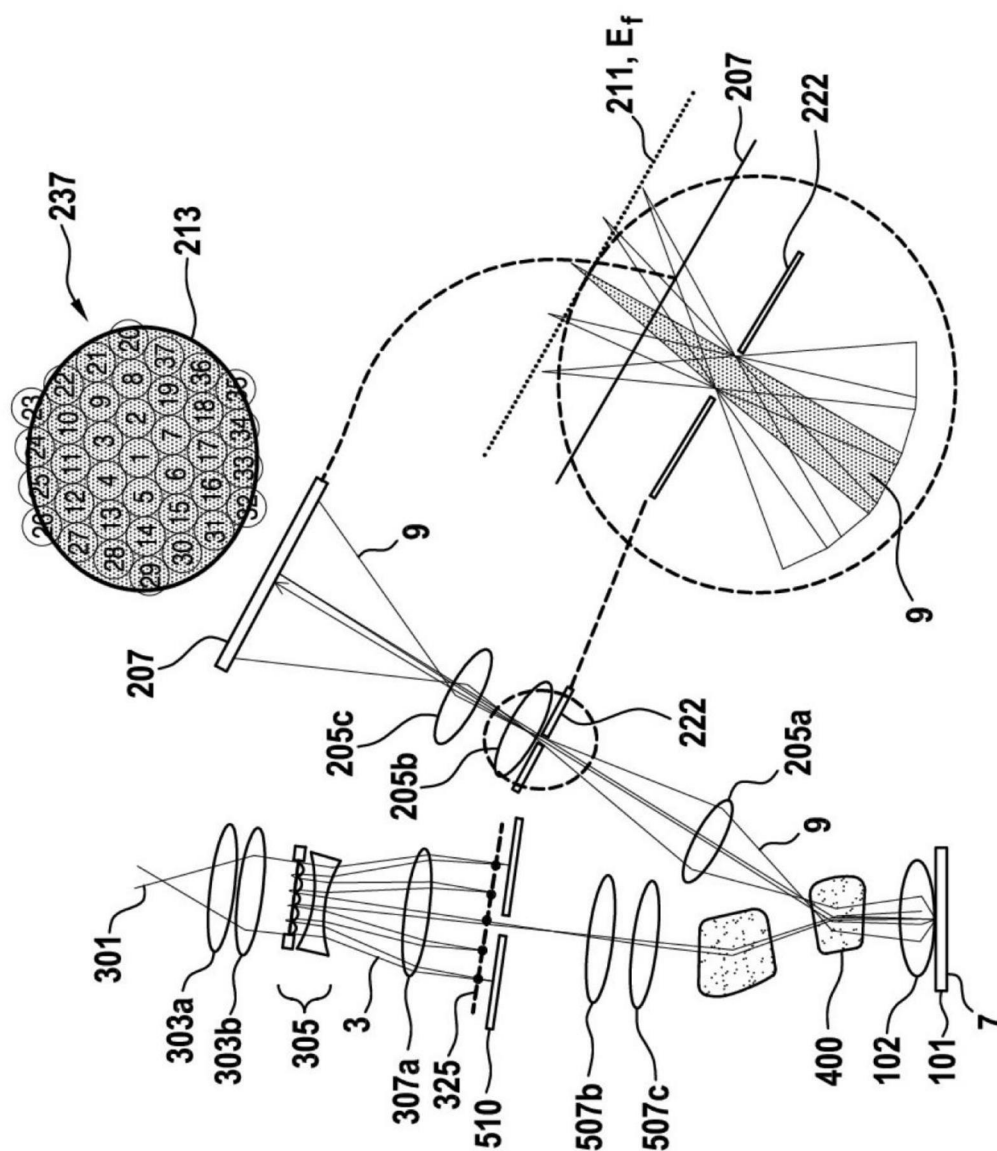
【圖4】



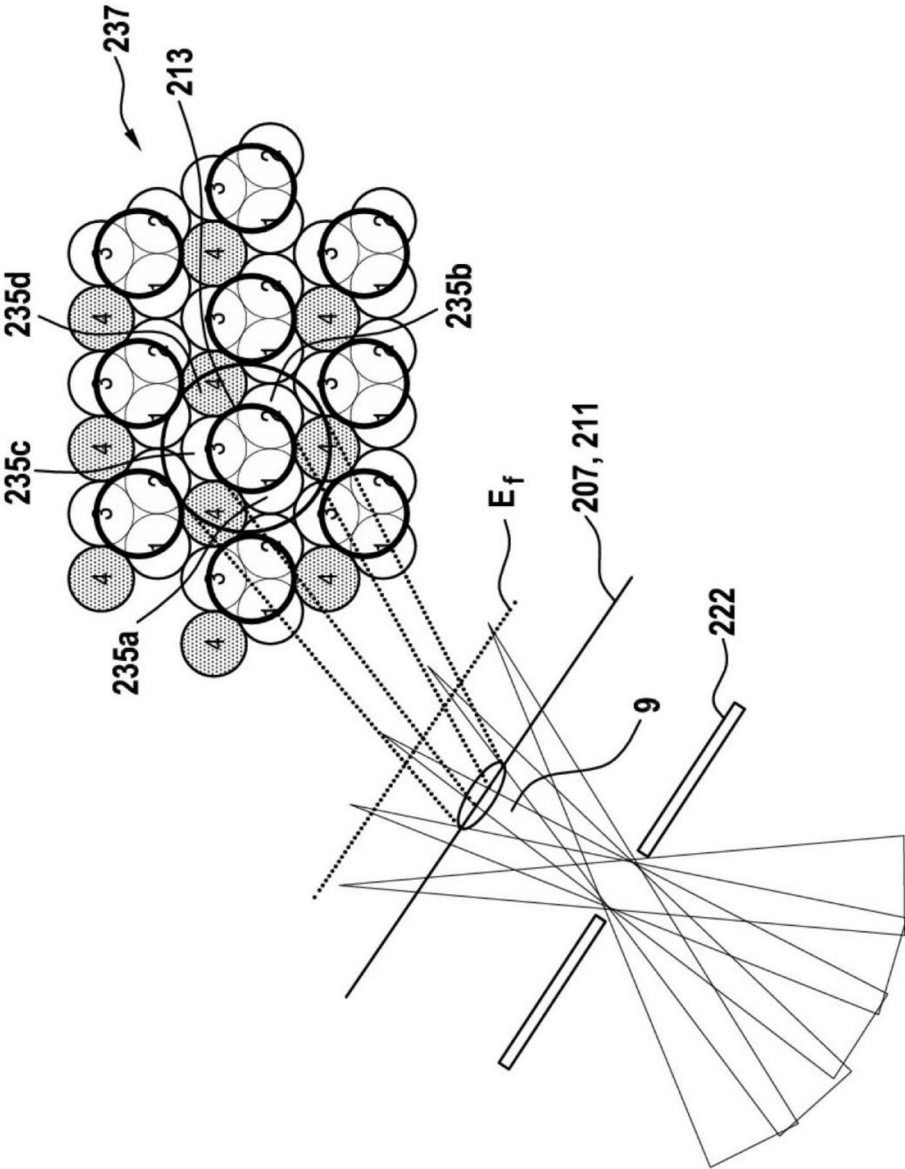
【圖5】



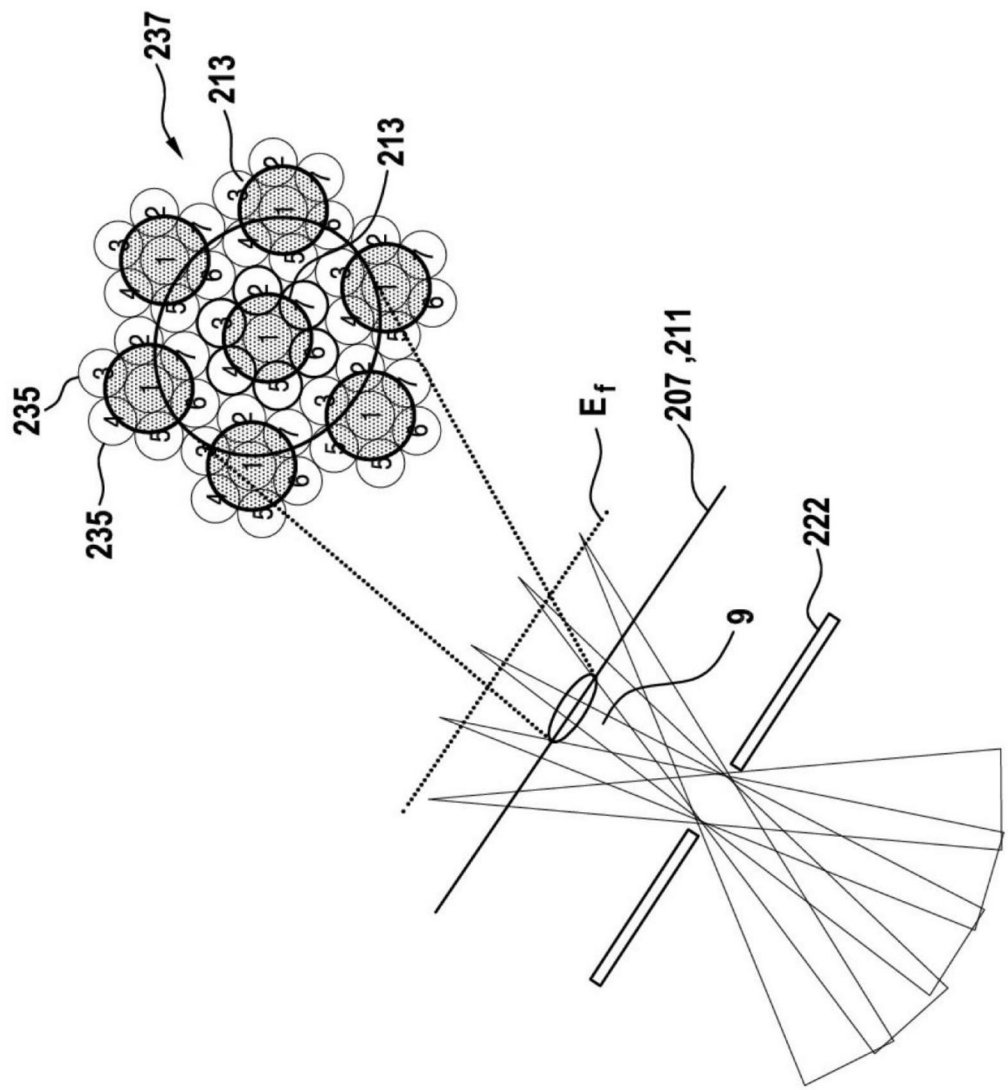
【圖6】



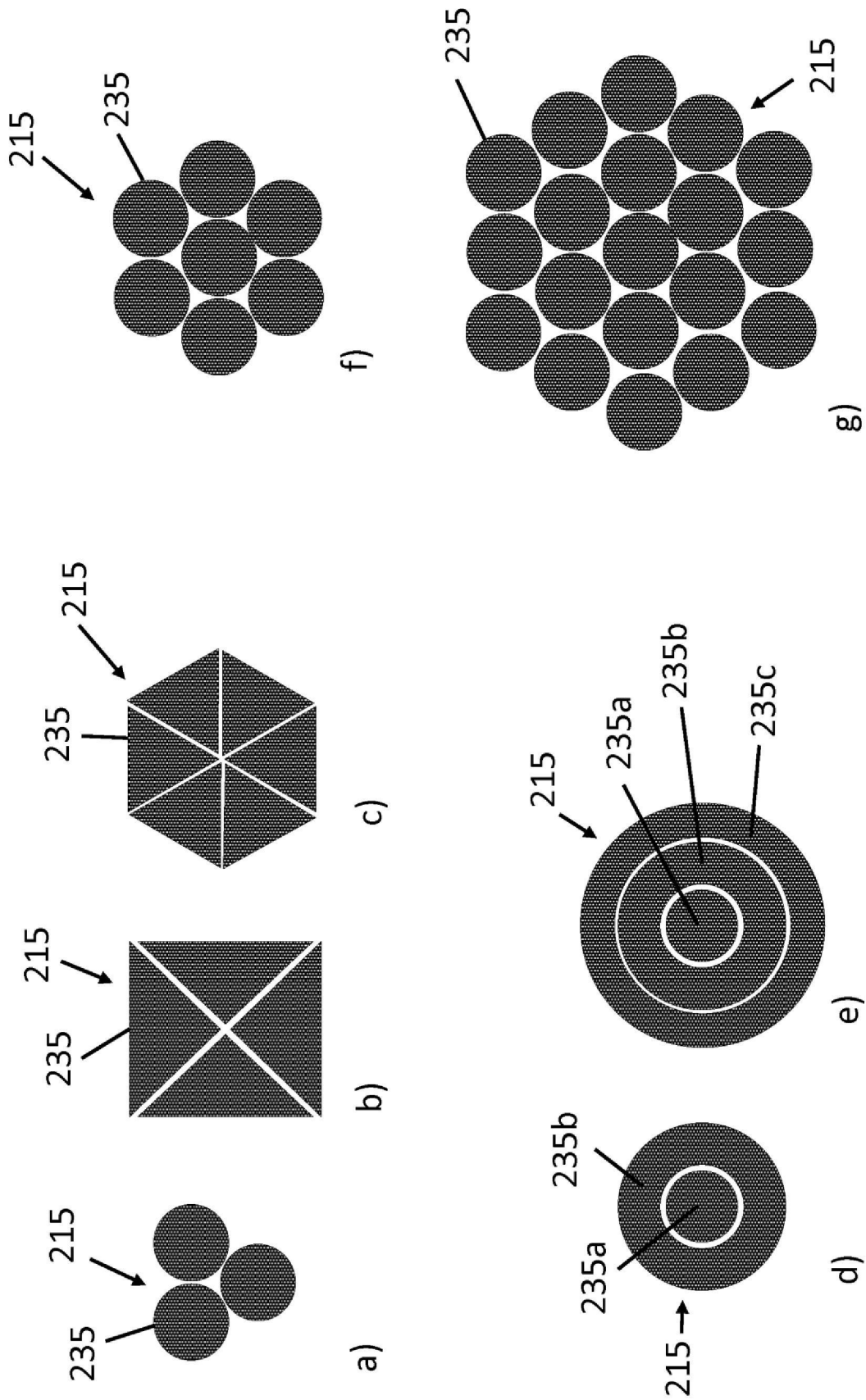
【圖7】



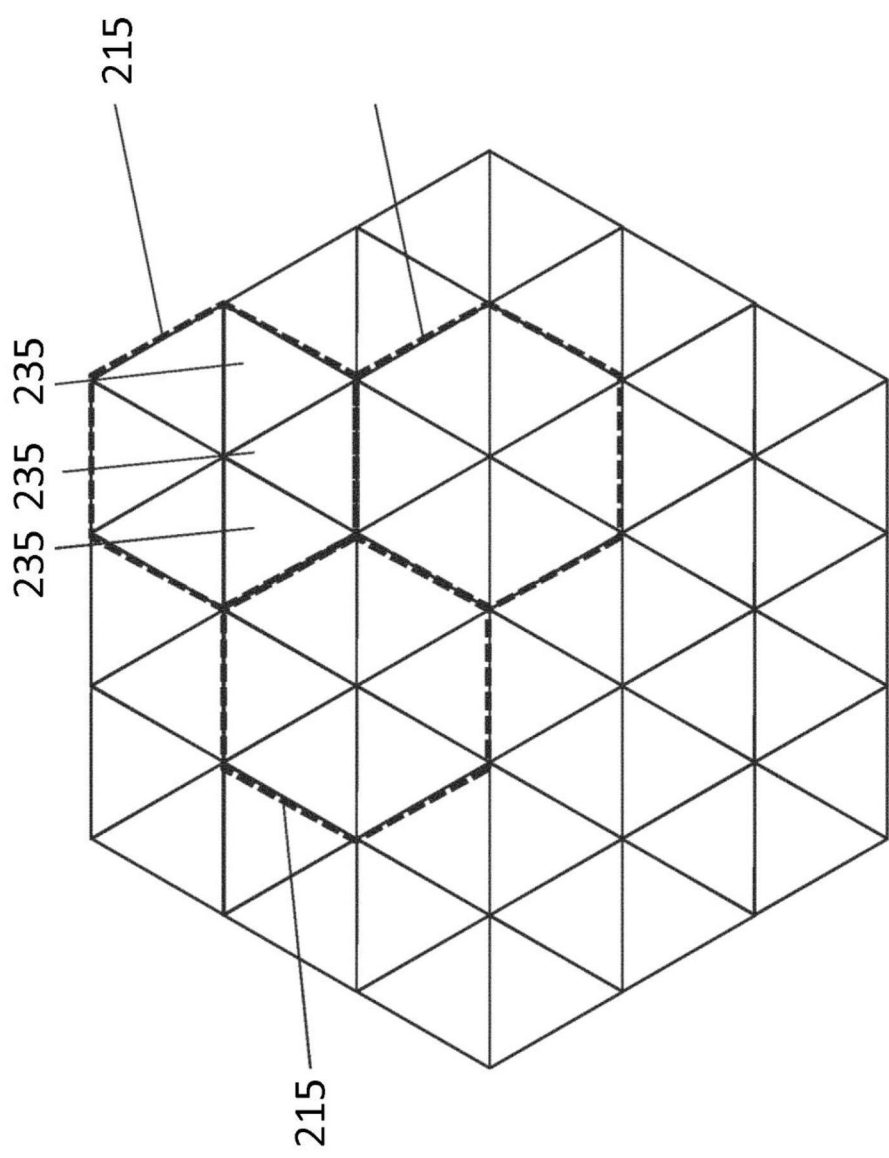
【圖8】



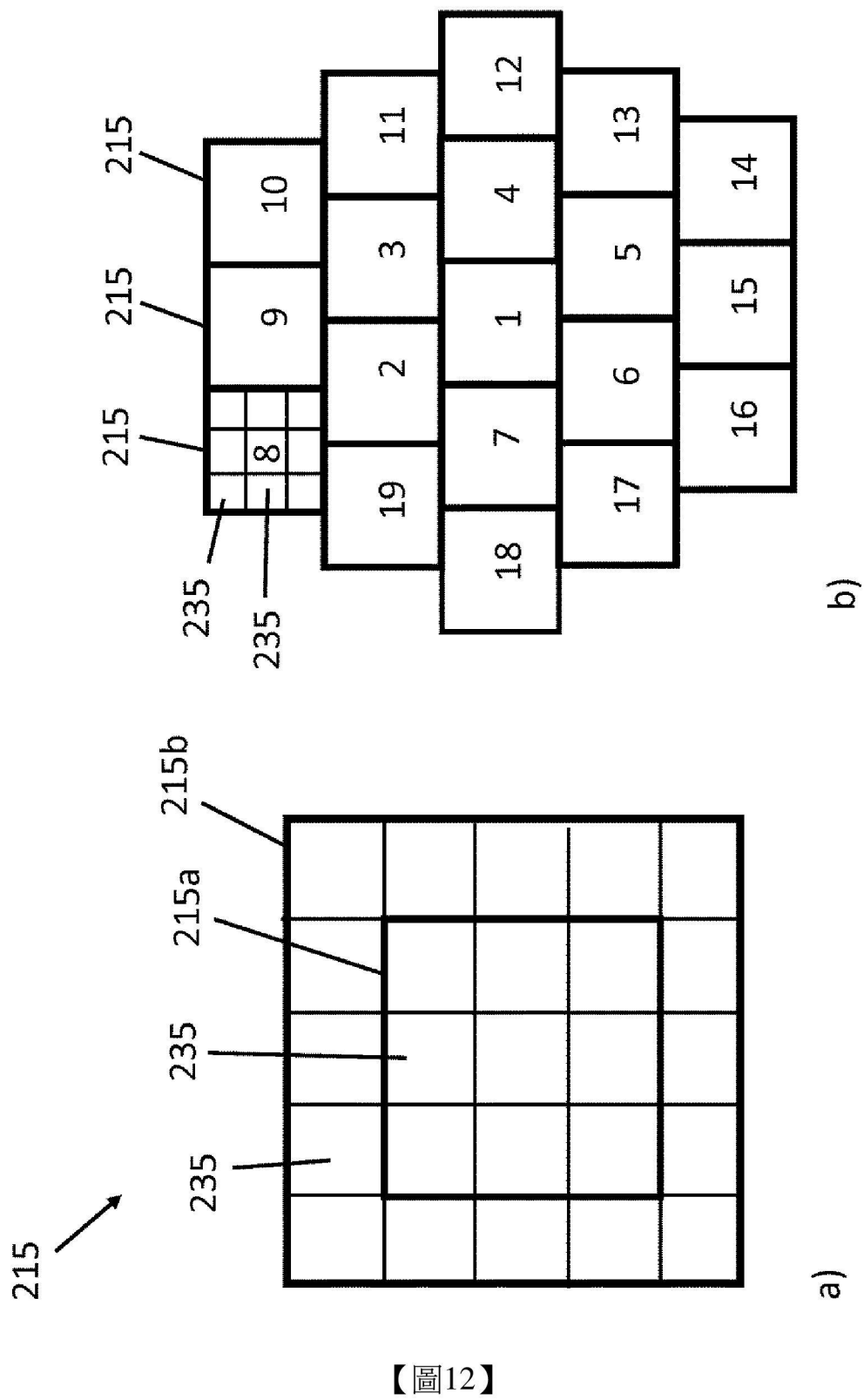
【圖9】



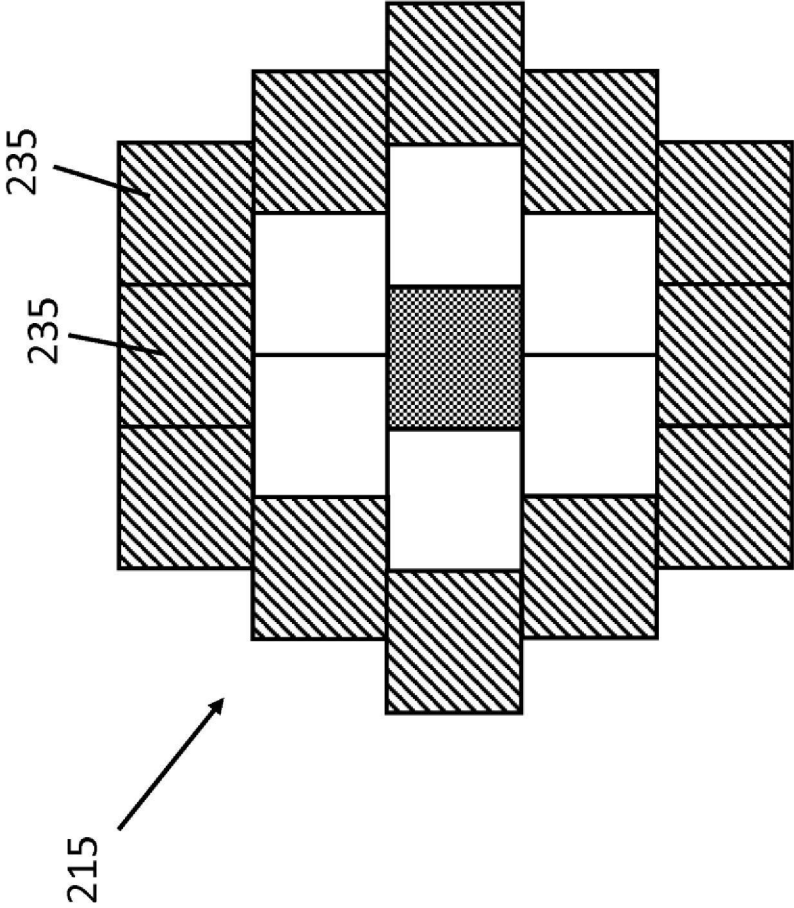
【圖10】



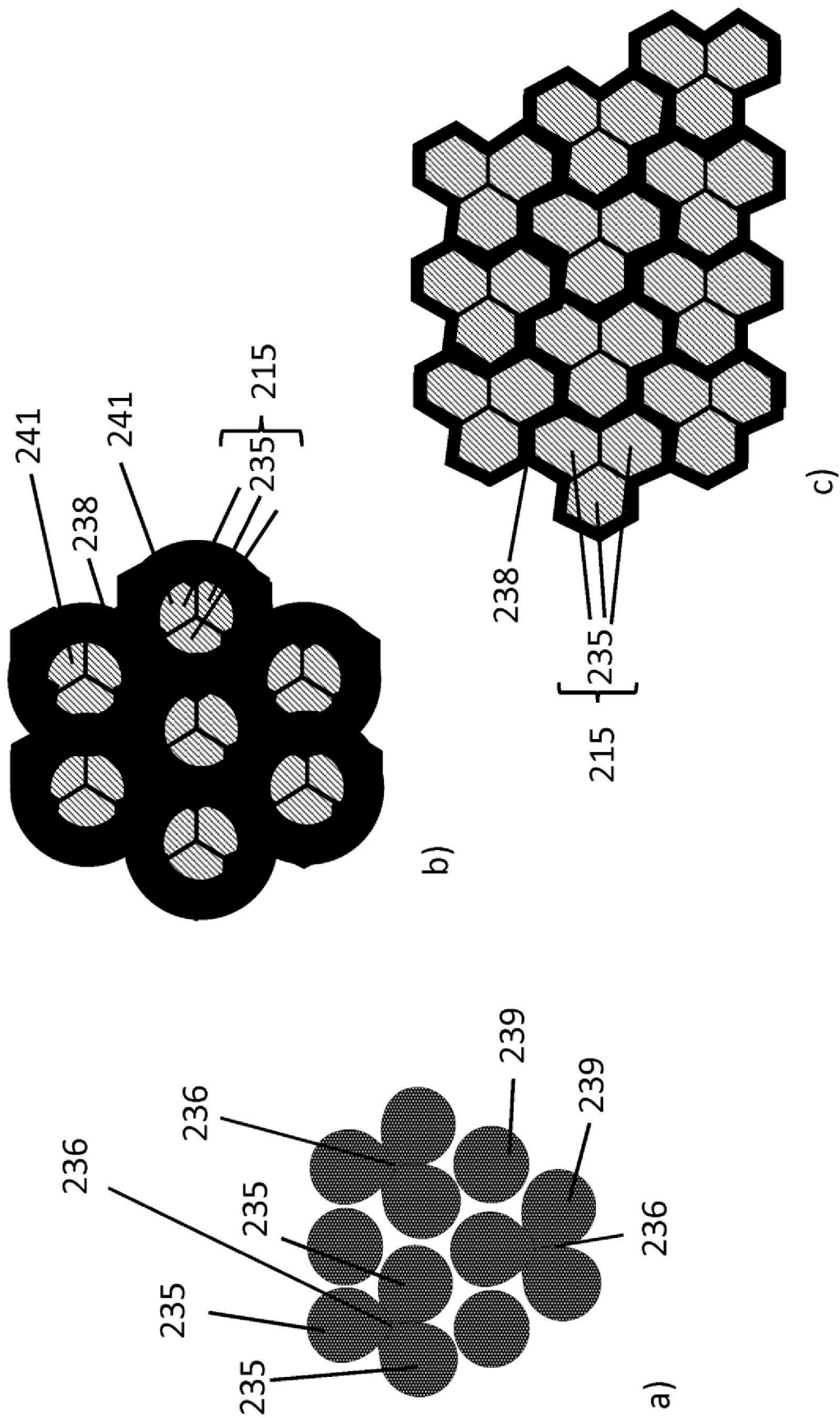
【圖11】



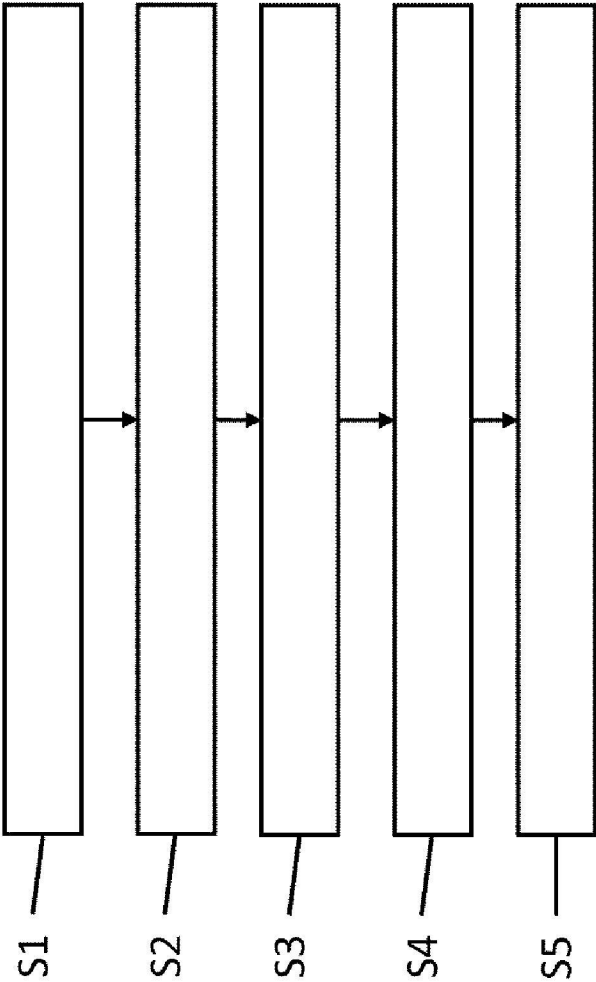
【圖12】



【圖13】



【圖14】



【圖15】