



(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 202301399 A

(43) 公開日：中華民國 112 (2023) 年 01 月 01 日

(21) 申請案號：110122125

(22) 申請日：中華民國 110 (2021) 年 06 月 17 日

(51) Int. Cl. : H01J37/09 (2006.01)

H01J37/244 (2006.01)

H01J37/28 (2006.01)

(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：列德雷 迪瑞克 ZEIDLER, DIRK (DE)；舒密特 湯瑪士 SCHMID, THOMAS (DE)

(74) 代理人：李宗德

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：64 項 圖式數：21 共 141 頁

(54) 名稱

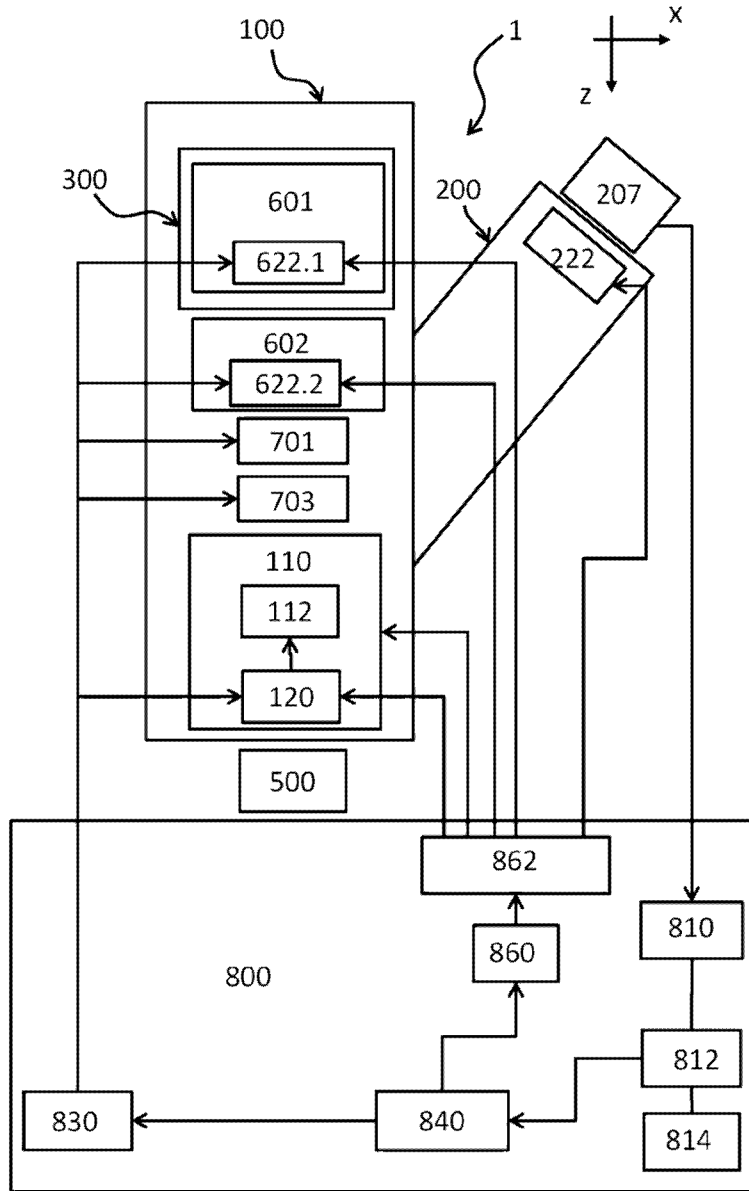
失真最佳化的多射束掃描系統

(57) 摘要

本發明揭示一種多射束帶電粒子檢測系統和一種操作具高產量、高解析度和高可靠性的多射束帶電粒子檢測系統以進行晶圓檢測之方法。該方法和該多射束帶電粒子束檢測系統包含用於減少和補償掃描所引起的像差之構件，諸如一用於以相對於該多射束帶電粒子檢測系統的光學軸的一定角度傳播的小射束之聚合多射束光柵掃描器的掃描失真。

A multi-beam charged particle inspection system and a method of operating a multi-beam charged particle inspection system for wafer inspection with high throughput and with high resolution and high reliability is provided. The method and the multi-beam charged particle beam inspection system comprises means for reduction and compensation of a scanning induced aberration, such as a scanning distortion of a collective multi-beam raster scanner for beamlets propagating at an angle with respect to the optical axis of the multi-beam charged particle inspection system.

指定代表圖：



【圖20】

符號簡單說明：

1:多小射束帶電粒子顯微系統

100:物體照射單元

110:第一多射束光柵掃描器

112:多射束光柵掃描器的校正元件

120:掃描校正控制模組

200:偵測單元

207:影像感測器

222:第二偏轉系統

300:帶電粒子多小射束產生器

500:樣品載台

601:第一掃描校正器或掃描失真補償器陣列

602:第二掃描校正器或遠心像差的掃描補償器陣列

701:第一靜態多射束偏轉系統

703:第二靜態多射束偏轉系統

800:控制單元

810:影像資料獲取單元

812:影像拼接單元

814:影像資料輸出

830:一次射束路徑控制模組

840:控制操作處理器

860:掃描偏轉控制模組

862:延遲線陣列

## 【發明摘要】

【中文發明名稱】 失真最佳化的多射束掃描系統

【英文發明名稱】 DISTORTION OPTIMIZED MULTI-BEAM SCANNING  
SYSTEM

### 【中文】

本發明揭示一種多射束帶電粒子檢測系統和一種操作具高產量、高解析度和高可靠性的多射束帶電粒子檢測系統以進行晶圓檢測之方法。該方法和該多射束帶電粒子束檢測系統包含用於減少和補償掃描所引起的像差之構件，諸如一用於以相對於該多射束帶電粒子檢測系統的光學軸的一定角度傳播的小射束之聚合多射束光柵掃描器的掃描失真。

### 【英文】

A multi-beam charged particle inspection system and a method of operating a multi-beam charged particle inspection system for wafer inspection with high throughput and with high resolution and high reliability is provided. The method and the multi-beam charged particle beam inspection system comprises means for reduction and compensation of a scanning induced aberration, such as a scanning distortion of a collective multi-beam raster scanner for beamlets propagating at an angle with respect to the optical axis of the multi-beam charged particle inspection system.

**【指定代表圖】 圖20****【代表圖之符號簡單說明】**

1	多小射束帶電粒子顯微系統
100	物體照射單元
110	第一多射束光柵掃描器
112	多射束光柵掃描器的校正元件
120	掃描校正控制模組
200	偵測單元
207	影像感測器
222	第二偏轉系統
300	帶電粒子多小射束產生器
500	樣品載台
601	第一掃描校正器或掃描失真補償器陣列
602	第二掃描校正器或遠心像差的掃描補償器陣列
701	第一靜態多射束偏轉系統
703	第二靜態多射束偏轉系統
800	控制單元
810	影像資料獲取單元
812	影像拼接單元
814	影像資料輸出
830	一次射束路徑控制模組
840	控制操作處理器
860	掃描偏轉控制模組
862	延遲線陣列



## 【發明說明書】

【中文發明名稱】 失真最佳化的多射束掃描系統

【英文發明名稱】 DISTORTION OPTIMIZED MULTI-BEAM SCANNING SYSTEM

### 【技術領域】

【0001】 本發明係關於多射束帶電粒子檢測系統、及一種操作多射束帶電粒子檢測系統之方法。尤其是，本發明有關一種用於晶圓檢測具有高解析度的多射束帶電粒子束檢測系統，所述高解析度通過一用於掃描複數個一次帶電粒子小射束偏轉的最佳化掃描器系統、及一用於以極低失真和高像散校正進行檢測的掃描校正器所提供。通過該方法和該多射束帶電粒子束檢測系統，能夠在大成像場上進行高精度的晶圓檢測。

### 【先前技術】

【0002】 隨著諸如半導體裝置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製造技術，及用於小尺寸微結構的製造和檢測之檢測系統。半導體裝置的開發和製造需要例如測試晶圓的設計驗證，而平面製造技術有關用於可靠高通量製造的處理最佳化。另外，最近需要對半導體晶圓進行分析，以用於半導體裝置的逆向工程和客製化、個性化設置。因此，需要用於以高精度試驗晶圓上微結構的高通量檢測工具。

【0003】 用於製造半導體裝置的典型矽晶片直徑最大為12英吋（300毫米）。每個晶圓分割成30至60個重複區域（「晶粒」），最大面積約為800平方毫米。半導體裝置包含通過平面整合技術在晶圓表面上分層製造的多個半導體結構。由於所有關的製程，半導體晶圓通常具有平坦表面。整合式半導體結構的部件尺寸在數個 $\mu\text{m}$ 範圍內向下延伸至5 nm的關鍵尺寸（CD），並且在不久的

將來甚至會逐漸減小特徵尺寸，例如3 nm以下（例如2 nm）的部件尺寸或關鍵尺寸（CD），或者甚至低於1 nm。利用前述小結構尺寸，必須在短時間內於很大區域中識別出關鍵尺寸的尺寸缺陷。對於數種應用，由檢測裝置提供對測量精度的規格要求甚至更高，例如兩倍或倍數數量級。例如，半導體特徵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】** 因此，本發明實施例目的是提供一種帶電粒子系統和高通量帶電粒子系統操作方法，其以低於1 nm、低於0.3 nm或甚至0.1 nm的精度對半導體特徵件進行高精度測量。

**【0005】** 帶電粒子顯微鏡（CPM）領域的最新發展為該多射束帶電粒子顯微鏡（MSEM），例如在專利案US7244949和US20190355544中揭露一種多射束掃描電子顯微鏡。在多射束電子顯微鏡中，樣品由包含例如4至高達10000個電子束（當成初級輻射）的電子小射束陣列所照射，從而每一電子束與其下一相鄰電子束之間分隔距離為1 – 200微米。例如，多射束帶電粒子顯微鏡具有配置成六邊形陣列的約100個分隔電子束或小射束，其中電子小射束分開約10 μm的距離。複數個一次帶電粒子小射束通過共用物鏡聚焦在受研究樣品的表面上，例如固定在晶圓盤上的半導體晶圓，該晶圓盤安裝在可移動平台上。在用一次帶電粒子小射束照射晶圓表面期間，相互作用產物（例如二次電子）起源於由一次帶電粒子小射束焦點形成的複數個交點，而相互作用產物的數量和能量則取決於晶圓表面的材料成分和形貌。相互作用產物形成複數個二次帶電粒子小射束，其由共用物鏡收集並通過多射束檢測系統的投影成像系統引導到配置於偵測器平面上的偵測器上。該偵測器包含複數個偵測區域，每一區域包含複數個偵測像素，並且偵測該等複數個二次帶電粒子小射束之每一者的強度分佈，並且獲得例如100 μm × 100 μm的影像圖塊。先前技術的多射束帶電粒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調整，藉此調整複數個二次帶電粒子束的焦點位置和像散。先前技術的多射束帶電粒子顯

微鏡包含一次或二次帶電粒子之至少一交叉平面。先前技術的多射束帶電粒子顯微鏡包含便於調整的偵測系統。先前技術的多射束帶電粒子顯微鏡至少包含一偏轉掃描器，用於在樣品表面的區域上整個掃描複數個一次帶電粒子小射束，以獲得樣品表面的影像圖塊。在2021年4月29日所申請的專利案PCT/EP2021/061216中揭露多射束帶電粒子顯微鏡和多射束帶電粒子顯微鏡操作方法的更多細節，其併入本文供參考。

**【0006】** 然而，在用於晶圓檢測的帶電粒子顯微鏡中，會希望保持成像條件穩定，從而能夠以高可靠性和高重複性進行成像。通量取決於數個參數，例如載台的速度和新測量點的重新對準、及每個獲取時間本身的測量面積，後者由停留時間、解析度和小射束數決定。此外，對於多射束帶電粒子顯微鏡，需要進行耗時的影像後置處理，例如多射束帶電粒子顯微鏡偵測系統產生的信號必須經過數位校正，然後才能將來自複數個影像子場域的影像圖塊拼接在一起。

**【0007】** 複數個一次帶電粒子小射束可從光柵組態（例如六邊形光柵組態）內的規律光柵位置劣化。此外，複數個一次帶電粒子小射束會從平面區段內光柵掃描操作的規律光柵位置劣化，並且多射束帶電粒子檢測系統的解析度可能不同，並且取決於複數個一次帶電粒子小射束中每個個別小射束的單獨掃描位置。迄今為止，尚未解決複數個一次帶電粒子小射束之間的這些掃描引起之失真差異。對複數個一次帶電粒子小射束而言，每個小射束以不同的角度入射到共用掃描偏轉器的相交體上，並且每個小射束偏轉至不同的出射角，並且每個小射束穿過不同路徑上共用掃描偏轉器的相交體(intersection volume)。因此，每個小射束在掃描操作期間會經歷不同的失真模式。先前技術的單束動態校正器不適用於減輕複數個一次小射束的任何掃描引起之失真。專利案US20090001267 A1例示包含五個一次帶電粒子小射束的多射束帶電粒子系統之一次射束佈局或靜態光柵圖案組態的校準。在此例示光柵圖案偏差的三個原因：一次射束佈局的旋轉、一次射束佈局的放大或縮小、整個一次射束佈局的偏移。因此，專利案US20090001267 A1考慮由複數個一次小射束的靜態焦點形

成的靜態一次射束光柵圖案之基本一階失真（旋轉、放大、全域偏移或位移）。此外，專利案US20090001267 A1包括聚合光柵掃描器的一階特性、偏轉寬度和偏轉方向之校準，用於對複數個一次小射束進行聚合光柵掃描。在此已討論在一次射束佈局中補償這些基本誤差的方法。對於靜態光柵圖案的高階失真，例如三階失真，沒有提供解決方案。即使在對一次射束佈局和選擇性也對二次電子束路徑進行校準之後，在每個單獨一次小射束中的掃描期間也會引入掃描失真，這不能通過校準複數個一次小射束的靜態光柵圖案來解決。

**【0008】** 專利案US20190088440 A1提出多射束產生單元中的多孔板，其包含具有複數個電極的複數個開口，用於控制複數個一次射束焦點的光斑尺寸和形狀。在此並未提供在影像掃描期間控制掃描失真像差的動態裝置。

**【0009】** 用於單束掃描系統的動態校正器在本領域中是眾所周知的。例如，在單個帶電粒子束掃描期間，如何動態補償單個掃描電子束的場曲或場相關像散是眾所周知的。通過在掃描偏轉器的線性掃描功率上增加三次校正場項，可補償單束掃描引起的三階失真。然而，利用先前技術方法，只是針對以相對於光學軸的單個入射角和單個出射角穿過具有單束路徑的掃描偏轉器相交體之單束校正動態像差。

**【0010】** 專利案WO2007028596 A1描述構造成用於複數個一次帶電粒子小射束的預定偏轉之多孔板組態。根據該組態，執行複數個小射束的聚合偏轉，並且例如可實現操作模式的快速切換。在一特定範例中，通過將複數個小射束偏轉到束光欄中，以改變一次小射束的數量。在一範例中，該等複數個一次小射束之每一者的單獨偏轉角由一對連續多孔板的機械佈局及在兩多孔板之間施加適當電壓差來確定。藉此，例如實現複數個小射束的預定遠心特性。然而，專利案WO2007028596 A1並沒有提供處理掃描所引起的失真的解決方案。專利案WO2007028596 A1提到所謂的消隱(blanking)孔徑陣列。類似於專利案WO2007028596 A1的模式切換操作，消隱孔徑陣列構造成用於小射束在開啟狀

態與關閉狀態之間快速二進制切換操作，而不提供用於以高精度進行單個和連續掃描偏轉之任何裝置。

【0011】 專利案US 6897458 B2顯示一種掃描偏轉器陣列，用於共同掃描多欄系統的複數個小射束之偏轉。專利案US20100248166A1顯示用於複數個一次小射束聚合掃描偏轉的聚合掃描偏轉器，與用於調整每個一次小射束位置的靜態偏轉器陣列結合。靜態偏轉器陣列用於調整靜態光柵組態之內的靜態焦點。

### 【發明內容】

【0012】 本發明實施例的一問題在於提供一種多射束帶電粒子檢測系統，其具有能夠以高通量實現高精度和高解析度影像獲取之構件。本發明實施例的另一問題為提供一種多射束帶電粒子檢測系統，該系統在測量任務的規範要求內實現平面區段的高精度影像獲取，該平面區段具有與預定光柵位置的偏差。

【0013】 隨著對解析度和通量的需求不斷增加，傳統的帶電粒子顯微鏡已達到極限。即使在單束校正帶電粒子顯微鏡中，掃描引起的像差，如殘留掃描引起的失真、掃描引起的像散或球面像差也會降低解析度和精度。因此本發明實施例的問題在於提供一帶電粒子檢測系統，其具有能夠以高通量實現高精度和高解析度影像獲取之構件。本發明實施例之另一目的為提供用於在使用多射束系統的聚合偏轉掃描器進行影像掃描操作期間，校正複數個一次小射束的掃描所引起的失真差異之構件。本發明實施例之另一目的為補償聚合偏轉掃描器或成像光學裝置的失真誤差變化，用於光柵掃描和將複數個一次射束聚焦在晶圓表面上。

【0014】 通過本發明的具體實施例，減少帶電粒子顯微鏡掃描所引起的像差。本發明提供一改進的多射束帶電粒子顯微鏡、一改進的多射束帶電粒子顯微鏡操作方法和一改進的多射束帶電粒子顯微鏡校準方法。通過改進，減少在多射束帶電粒子顯微鏡像場上複數個J一次帶電粒子小射束的聚合光柵掃描期間

所引起之掃描所引起的像差，諸如掃描所引起的失真。改進的多射束帶電粒子顯微鏡包含用於補償掃描所引起的像差的構件。用於補償掃描所引起的像差的構件包含至少一靜電校正元件，該元件構造成在使用期間影響複數個J一次帶電粒子小射束之至少一第一一次帶電粒子小射束；及控制構件，該構件在使用期間操作該靜電校正元件與複數個J一次帶電粒子小射束的聚合(collective)光柵掃描偏轉同步。改進的操作方法構造成將掃描所引起的像差降至最低，例如與使用聚合光柵掃描偏轉器對複數個J一次帶電粒子小射束之光柵掃描同步的掃描所引起的失真。聚合光柵掃描偏轉器經過構造及控制成在包含複數個J影像子場域的影像場上諸如晶圓這類物體的表面區域上，對複數個J一次帶電粒子小射束進行光柵掃描。該等複數個J一次小射束之每一者是在對應影像子場域上被光柵掃描。在橫向延伸約8  $\mu\text{m}$ 至12  $\mu\text{m}$ ，例如10  $\mu\text{m}$ 的每個影像子場域內，一次帶電粒子小射束與複數個J一次帶電粒子小射束同步偏轉掃描，以解析度為約0.5 nm至3 nm，例如1 nm或2 nm，以曝光複數個影像像素位置，並獲得表面積的影像資訊。運用本發明實施例，減少相對影像子場域內對每個一次帶電粒子小射束的掃描所引起的失真。對於相對影像子場域內每個一次帶電粒子小射束，掃描所引起的失真可不同。在一範例中，已減少複數個影像子場域內掃描所引起的失真之間的差異。在一範例中，通過改進的校準方法在複數個影像子場域之每一者中確定約0.1 nm至5 nm掃描所誘發的失真，並確定控制參數，可適用於操作具有已減少掃描所引起的失真的已改進多射束帶電粒子顯微鏡。在改進的多射束帶電粒子顯微鏡操作期間，應用控制參數以減少複數個J一次帶電粒子小射束的掃描所引起的失真。藉此，已減少複數個J影像子場域內的掃描所引起的失真。例如，已減少複數個影像子場域內掃描所引起的失真之間的差異。改進的校準方法構造成確定掃描所引起的失真，並導出控制構件的控制參數。然而，本發明不限於複數個一次帶電粒子小射束的掃描所引起的失真，還可應用於掃描所引起的像差，諸如掃描所引起像散的變化或差異、掃描所引起焦點位置改變的變化或差異、掃描所引起複數個J一次帶電粒子小射束的球面像差之變化或差異。

【0015】根據本發明的一些具體實施例之用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1）包含：一帶電粒子多小射束產生器（300），用於產生複數個一次帶電粒子小射束（3）；及一物體照射單元（100），用於藉由複數個J一次帶電粒子小射束（3）照射配置在物平面（101）中的晶圓表面（25）上的一影像圖塊（17.1），從而在使用期間產生從該晶圓表面（25）發出的複數個J二次電子小射束（9）；及一偵測單元（200），其具有一投影系統（205）和一影像感測器（207），用於將複數個J二次電子小射束（9）成像在影像感測器（207）上，並用於在使用期間獲取該晶圓表面（25）的該影像圖塊（17.1）之數位影像。影像圖塊（17.1）劃分為複數個J影像子場域（31），其中該等子場域之每一者對應一個一次帶電粒子小射束。該多射束帶電粒子顯微鏡（1）更包含一聚合多射束光柵掃描器（110），其包含至少一第一組偏轉電極和一相交體（189），該等複數個J一次帶電粒子小射束（3）在使用期間穿過該相交體（189）；及一控制單元（800），其構造成在使用期間將至少一第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 提供給第一組偏轉電極，用於在第一或p方向上對複數個J一次帶電粒子小射束（3）進行聚合光柵掃描。該多射束帶電粒子顯微鏡（1）更包含個別補償至少一第一一次帶電粒子小射束的殘餘掃描所引起的失真之構件。複數個J一次帶電粒子小射束包含至少以第一傾角 $\beta_1$ 入射在相交體（189）上的第一一次帶電粒子小射束和以第二傾角 $\beta_2$ （不同於第一傾角 $\beta_1$ ）入射在相交體（189）上的第二一次帶電粒子小射束。在影像掃描期間，該第一一次小射束由聚合多射束光柵掃描器（110）在第一影像子場域上被光柵掃描，第二一次小射束由聚合多射束光柵掃描器（110）在第二影像子場域上同步被光柵掃描。每一影像子場域具有大約 $5\ \mu\text{m}$ 至 $12\ \mu\text{m}$ 的直徑，例如 $8\ \mu\text{m}$ 或 $10\ \mu\text{m}$ 。通過該構件來補償至少一第一一次帶電粒子小射束的殘餘掃描所引起的失真，第一影像子場域與第二影像子場域之間掃描所引起的失真的差異降至最低。因此，第一和第二一次帶電粒子小射束的兩焦點在使用期間被光柵掃描於第一和第二子場域內的相對預定光柵坐標上，其偏差低於預定臨界，例如 $1\ \text{nm}$ 、低於 $0.3\ \text{nm}$ 或甚至低於 $0.1\ \text{nm}$ 。用於補償殘餘掃描

所引起的失真的構件構造成通過該聚合多射束光柵掃描器（110）而與複數個一次帶電粒子小射束的掃描偏轉同步操作。

【0016】 在一範例中，用於補償殘留掃描所引起的失真的構件包含掃描所引起的失真的補償器陣列，以個別補償包含第一一次帶電粒子小射束和第二一次帶電粒子小射束的複數個一次小射束之殘留掃描所引起的失真。

【0017】 在一範例中，用於補償殘餘掃描所引起的失真的構件包含聚合光柵掃描器（110）的構件，該構件構造成在相交體（189）中產生預定的非均勻掃描偏轉場分佈，用於減少因以偏離第一傾角 $\beta_1$ 的第二傾角 $\beta_2$ 入射到相交體（189）之複數個一次帶電粒子小射束(包含第一一次帶電粒子小射束和第二一次帶電粒子小射束)之掃描所引起的失真，。

【0018】 多射束帶電粒子顯微鏡包含用於至少一次帶電粒子小射束的長行程掃描偏轉之光柵掃描器，在使用期間向其提供掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 。掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 是隨時間變化的電壓差，例如電壓斜坡(voltage ramp)，施加到光柵掃描器電極用於複數個一次帶電粒子小射束的聚合掃描偏轉。多射束帶電粒子顯微鏡更包含至少一第一掃描校正器元件，在使用期間向其提供第一校正電壓差 $V_{C1}(t)$ 。校正電壓差 $V_{C1}(t)$ 是由靜電壓轉換單元根據掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 所產生，本質上是將掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 降低到校正電壓差 $V_{C1}(t)$ 至少一量級，最好是兩或多個量級。靜電壓轉換單元可包含一可編程電阻序列或陣列，其由複數個控制信號控制。因此，校正電壓差 $V_{C1}(t)$ 減小並與掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 成比例。從而可高速控制與聚合光柵掃描器同步的複數個掃描校正元件。通常，掃描偏轉具有大約80 MHz到200 MHz的時間頻率，例如100 MHz。利用根據本發明實施例的靜電壓轉換單元，可使用大約80 MHz到200 MHz的相同時間頻率以提供複數個已同步校正電壓差給多個校正元件。使用根據本發明實施例的靜電壓轉換單元，用於該等複數個一次帶電粒子小射束之每一者的長行程(long stroke)掃描偏轉，例如10  $\mu\text{m}$ 的掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 減小為校正電壓差 $V_{C1}(t)$ ，用於複數個一次帶電粒子小射束之每一者的短行程掃描偏轉，例如



5nm，從而減少一次帶電粒子小射束的個別掃描所引起的失真。因此，利用本發明的具體實施例，可在大行程偏轉的掃描電壓與複數個高達約100 mV的校正電壓差 $V_{Ci}(t)$ （與掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步並且具有例如100 MHz的相同掃描頻率）之間，使用大約例如100 MHz的掃描頻率產生大約-100 V到100 V的掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 。

**【0019】** 在一範例中，第一掃描校正器元件為第一掃描偏轉元件，構造成用於與長行程偏轉同步的至少一第一一次帶電粒子小射束之短行程偏轉。在一範例中，複數個帶電粒子小射束由第一長行程光柵掃描器在例如 $\pm 5 \mu\text{m}$ 的影像子場域D之維度上進行光柵掃描，並且與長行程光柵掃描器平行和同步，複數個一次小射束之每一者的掃描所引起的失真由複數個短行程光柵掃描器補償，形成掃描校正器陣列，最大掃描所引起的失真高達 $\pm 5 \text{ nm}$ 。用於減少個別小射束的掃描所引起的像差之每個短行程掃描偏轉元件與長行程掃描操作同步，掃描功率減少大約3個數量級。每個小射束由多射束帶電粒子顯微鏡的物鏡聚焦在預定掃描坐標上，精度比掃描坐標高3個數量級以上。例如，以低於3 nm、較佳低於0.3 nm或甚至低於0.1 nm的精度，實現 $5.0 \mu\text{m}$ 的影像子場域中最大影像高度處的預定最大掃描坐標。

**【0020】** 多射束帶電粒子顯微鏡可包含另外的掃描校正器元件，在使用期間向其提供與掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步且成比例的另外之校正電壓差 $V_{Ci}(t)$ 。藉此，在影像掃描期間減少掃描所引起的像差，諸如掃描所引起遠心像差或掃描所引起像散。除了用於一次小射束在第一或p方向的長行程掃描偏轉之掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 之外，可提供第二掃描偏轉電壓差 $V_{Sq}(t)$ 給長行程光柵掃描器，以用於在第二或q方向（垂直於p方向）的長行程掃描偏轉。在使用期間，將另外校正電壓差 $V_{Cj}(t)$ 提供給掃描校正器元件，其與第二掃描偏轉電壓差 $V_{Sq}(t)$ 同步並成比例。

**【0021】** 在一第一具體實施例中，多射束帶電粒子顯微鏡包含用於複數個一次帶電粒子小射束的長行程掃描偏轉之聚合多射束光柵掃描器。第一掃描校

正器元件配置在聚合多射束光柵掃描器內，並且聚合多射束光柵掃描器的掃描所引起的像差通過改進的光柵掃描器設計降至最低。通常，掃描所引起的像差隨著傳播通過聚合多射束光柵掃描器的相交體之小射束傳播角 $\beta$ 增加而增加。使用改進的偏轉掃描器設計，產生不均勻的可變靜電偏轉場，由此對於以角度 $\beta$ 傳播通過相交體的小射束，特別是對於以大角度 $\beta$ 傳播通過相交體的小射束，掃描所引起的像差降至最低。在一範例中，聚合多射束光柵掃描器包含一組偏轉電極和至少一第一組校正電極，其構造成在使用期間產生除掃描偏轉場之外的校正場。非均勻校正場是由提供給該組校正電極的掃描電壓差與提供給該組偏轉電極的掃描電壓差同步產生之掃描校正場。在一範例中，附加的掃描所引起的像差，例如在多射束帶電粒子顯微鏡的物鏡中所引起，通過預定的非均勻靜電偏轉場降至最低。該組校正電極和提供給該組校正電極的掃描電壓差構造成產生預定的非均勻靜電偏轉場，其與提供給該組偏轉電極的掃描電壓差同步，並且多射束帶電粒子顯微鏡的掃描所引起的像差降至最低。

**【0022】** 在第一具體實施例中，用於晶圓檢測的該多射束帶電粒子顯微鏡 (1) 包含一帶電粒子多小射束產生器 (300)，用於產生複數個一次帶電粒子小射束 (3)；及一物體照射單元 (100)，用於藉由複數個一次帶電粒子小射束 (3) 照射配置在物平面 (101) 中的晶圓表面 (25) 上的一影像圖塊 (17.1)，從而在使用期間產生從該晶圓表面 (25) 所發出的複數個二次電子小射束 (9)；及一偵測單元 (200)，其具有一投影系統 (205) 和一影像感測器 (207)，用於將多個二次電子小射束 (9) 成像在影像感測器 (207) 上，並用於在使用期間獲取該晶圓表面 (25) 的該影像圖塊 (17.1) 之數位影像。該多射束帶電粒子顯微鏡 (1) 更包含一聚合多射束光柵掃描器 (110)，其包含至少一第一組偏轉電極和一相交體 (189)，該等複數個一次帶電粒子小射束 (3) 在使用期間穿過該相交體 (189)；及一控制單元 (800)，其構造成在使用期間將至少一第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  提供給第一組偏轉電極，用於在第一或  $p$  方向內聚合光柵掃描複數個一次帶電粒子小射束 (3)。該聚合多射束光柵掃描器 (110) 構造

成在相交體（189）中產生預定的非均勻掃描偏轉場分佈，以偏離多射束帶電粒子顯微鏡（1）光學軸之傾角，減少入射在相交體（189）上的一次帶電粒子小射束之掃描所引起的像差。

【0023】 在一範例中，第一組偏轉電極的偏轉電極由兩空間相隔的電極構成，並且該控制單元（800）構造成在使用期間提供第一和第二掃描電壓差 $V_{Sp1}(t)$ 和 $V_{Sp2}(t)$ 到該等兩空間相隔電極，其中第一和第二掃描電壓差 $V_{Sp1}(t)$ 和 $V_{Sp2}(t)$ 不同。

【0024】 在一範例中，多射束帶電粒子顯微鏡（1）的聚合多射束掃描光柵掃描器（110）包含一第二組偏轉電極，用於在使用期間產生第二預定非均勻掃描偏轉場分佈，複數個一次帶電粒子小射束（3）穿過相交體（189）中的第二預定非均勻掃描偏轉場分佈，用於在垂直於第一方向的第二或 $q$ 方向上之複數個一次帶電粒子小射束（3）掃描偏轉，並且該控制單元（800）構造成在使用期間提供至少一第二掃描電壓差 $V_{Sq}(t)$ 給第二組偏轉電極。

【0025】 在一範例中，聚合多射束光柵掃描器（110）的至少一第一組或第二組偏轉電極之形狀和幾何形狀調適成複數個一次帶電粒子小射束（3）的相交體（189）之剖面。在一範例中，相交體（189）的剖面為六邊形，並且第一組或第二組偏轉電極配置在橢圓周邊上。在一範例中，相交體（189）的剖面為四邊形，並且第一組或第二組偏轉電極配置在四邊形周邊上。由此，可產生不均勻靜電場分佈的預定場不均勻性。

【0026】 在一範例中，在複數個一次帶電粒子小射束（3）的平均傳播方向上，第一組偏轉電極和第二組偏轉電極具有不同的長度。由此，可產生不均勻靜電場分佈的預定場不均勻性。

【0027】 在一範例中，聚合多射束光柵掃描器（110）更包含第一組校正電極（185、193），其構造成在使用期間產生對預定非均勻靜電場分佈有貢獻的預定掃描校正場。在一範例中，第一組校正電極的電極（185.1、185.2、185.3、185.4）配置在相交體（189）外部，第一組偏轉電極的電極與第二組偏轉電極的

電極間之空間中。在一範例中，聚合多射束光柵掃描器（110）更包含一第二組校正電極（187、195），其構造成在使用期間產生對預定非均勻靜電場分佈有貢獻的預定第二掃描校正場。

**【0028】** 在一範例中，聚合多射束光柵掃描器（110）構造成相對於相交體調整預定的非均勻掃描偏轉場分佈之橫向位置，並且控制單元（800）構造成在使用期間提供電壓偏移給該第一組偏轉電極或該第二組偏轉電極之至少一者。藉此，預定非均勻靜電場分佈的位置經過調整，並且將複數個一次帶電粒子小射束之間掃描所引起的像差差異降至最低。

**【0029】** 在一範例中，多射束帶電粒子顯微鏡（1）包含配置在帶電粒子多小射束產生器（300）與聚合多射束光柵掃描器（110）之間的第一靜態偏轉系統（701），其配置並構造成用於調整複數個一次帶電粒子小射束（3）相對於相交體（189）的橫向位置。藉此，複數個一次帶電粒子小射束相對於預定非均勻靜電場分佈的位置經過調整，並且將複數個一次帶電粒子小射束之間掃描所引起的像差差異降至最低。

**【0030】** 在一範例中，多射束帶電粒子顯微鏡（1）包含位於帶電粒子多射束帶發生器（300）與聚合多射束光柵掃描器（110）之間的第二靜態偏轉系統（701），其配置並構造成用於在相交體（189）的入口側調整複數個一次帶電粒子小射束（3）之平均入射角，而複數個一次帶電粒子小射束（3）的平均入射角為每個單獨一次小射束的複數個入射角之平均值。由此，將複數個一次帶電粒子小射束之間的掃描所引起的像差差異降至最低。

**【0031】** 在一第二具體實施例中，多射束帶電粒子顯微鏡的物體照射單元包含第一多射束掃描校正器或多射束掃描校正系統，例如掃描失真補償器陣列，用於個別補償光柵或影像掃描期間每個一次小射束的掃描所引起的像差。在使用長行程聚合多射束光柵掃描器進行聚合光柵掃描期間，第一多射束掃描校正系統控制樣本表面上聚合光柵掃描的位置。聚合多射束光柵掃描器在基板表面上各個影像子場域之上聚合偏轉複數個一次帶電粒子小射束，影像子場域

擴展約為 $D = 8 \mu\text{m}$ 或 $12 \mu\text{m}$ 。聚合多射束掃描偏轉器可為根據第一具體實施例的最佳化多射束掃描偏轉器。第一多射束掃描校正系統構造成具有複數個孔徑的陣列元件，並且在複數個孔徑處設置有複數個偏轉元件，並且複數個一次小射束的每一小射束可通過不同量的掃描偏轉進行個別掃描偏轉，與由聚合多射束光柵掃描器對複數個一次小射束的聚合光柵掃描同步。多射束掃描校正系統，例如掃描失真補償器陣列，針對每個小射束，將大約 $r = 1 \text{ nm}$ 至 $5 \text{ nm}$ 的殘餘掃描失真動態校正為低於 $0.3 \text{ nm}$ 之值，較佳低於 $0.2 \text{ nm}$ 或甚至低於 $0.1 \text{ nm}$ 。

【0032】根據本發明的第二具體實施例，一用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1）包含一帶電粒子多小射束產生器（300），用於產生複數個一次帶電粒子小射束（3）；一物體照射單元（100），用於藉由複數個一次帶電粒子小射束（3）照射配置在物平面（101）中的晶圓表面（25）上的一影像圖塊（17.1），從而在使用期間產生從該晶圓表面（25）所發出的多個二次電子小射束（9）；一偵測單元（200），其具有一投影系統（205）和一影像感測器（207），用於將複數個二次電子小射束（9）成像在影像感測器（207）上，並用於在使用期間獲取該晶圓表面（25）的該影像圖塊（17.1）之數位影像；及一聚合多射束光柵掃描器（110）。該多射束帶電粒子顯微鏡（1）更包含一多射束掃描校正系統，其構造成一掃描失真補償器陣列（601），其配置在聚合多射束光柵掃描器（110）上游的複數個一次帶電粒子傳播方向上，具有複數個孔徑，該等複數個孔徑之每一者構造成用於在使用期間傳輸複數個一次帶電粒子小射束中相對一次帶電粒子小射束，該等複數個孔徑之每一者包含第一偏轉元件，用於在第一或 $p$ 方向單獨偏轉每個相對一次帶電粒子小射束；及第二偏轉元件，用於在該第一方向垂直的第二或 $q$ 方向個別偏轉每個相對一次帶電粒子小射束；及一控制單元（800），其構造成在使用期間將至少一第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 提供給聚合多射束光柵掃描器（110），用於在第一或 $p$ 方向內掃描偏轉複數個一次帶電粒子小射束（3）。該掃描失真補償器陣列（601）更包含一掃描陣列控制單元（622），其具有一第一靜電壓轉換單元或陣列（611），構造成將複數個第一

校正電壓差提供給複數個第一偏轉元件；及一第二靜電壓轉換陣列（612），構造成將複數個第二校正電壓差提供給複數個第二偏轉元件，以補償複數個一次帶電粒子小射束（3）在沿著該第一方向的掃描偏轉期間之掃描所引起的像差。該第一靜電壓轉換陣列（611）與該第二靜電壓轉換陣列（612）耦接到控制單元（800），並構造成將與第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步的至少複數個第一電壓差分量提供給複數個第一和第二偏轉元件之每一者。

**【0033】** 在一範例中，該控制單元（800）構造成在使用期間將第二掃描電壓差 $V_{Sq}(t)$ 提供給聚合多射束光柵掃描器（110），用於在與該第一方向垂直的第二或 $q$ 方向內掃描偏轉複數個一次帶電粒子小射束（3）。該第一靜電壓轉換陣列（611）與該第二靜電壓轉換陣列（612）耦接到控制單元（800），並構造成將與第二掃描電壓差 $V_{Sq}(t)$ 同步的至少複數個第二電壓差分量提供給複數個第一和第二偏轉元件之每一者。在一範例中，第一靜電壓轉換陣列（611）耦接到控制單元（800），並構造成將與第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步的至少一第一電壓分量及與第二掃描電壓差 $V_{Sq}(t)$ 同步的第二電壓分量提供給複數個第一偏轉元件之每一者。

**【0034】** 在一範例中，第一或第二靜電壓轉換陣列（611、612）構造成一可編程電阻陣列。

**【0035】** 藉此，複數個一次帶電粒子小射束在物表面上的複數個焦點之掃描位置經過調整與影像掃描同步，並且將複數個一次帶電粒子小射束之間掃描所引起的失真差異降至最低。

**【0036】** 在一第三具體實施例中，該物體照射單元包含一第二多射束掃描校正系統，例如一用於補償掃描所引起遠心像差的掃描補償器陣列（602），其配置在第一多射束掃描校正系統和聚合多射束光柵掃描器之間，用於單獨控制樣品表面上每個單獨小射束的入射角。該第二掃描補償器陣列（602）用於補償掃描所引起遠心像差，其配置在多射束帶電粒子顯微鏡（1）的中間像平面（321）附近，具有複數個偏轉元件配置在複數個孔徑上和具有第二靜電壓轉換陣列的

第二掃描陣列控制單元（622.2），構造成將複數個第二校正電壓差提供給複數個偏轉元件之每一者，以補償影像掃描期間用於該等一次帶電粒子小射束（3）之每一者的掃描所引起遠心像差。藉此，複數個一次小射束中每個小射束可通過不同偏轉量個別偏轉，與由聚合多射束偏轉掃描器對複數個一次小射束的聚合偏轉掃描同步。藉此，複數個一次帶電粒子小射束在物表面上的入射角經過調整與影像掃描同步，並且將複數個一次帶電粒子小射束之每一者的掃描所引起的遠心誤差降至最低。

【0037】 在一範例中，多射束帶電粒子顯微鏡（1）包括一進一步多射束掃描校正系統，該系統構造成一掃描像散陣列或一掃描透鏡陣列，用於補償掃描所引起的像差，諸如掃描所引起像散，或在複數個一次帶電粒子小射束（3）的光柵掃描期間，複數個一次帶電粒子小射束（3）的每一小射束之焦平面偏差。藉此，複數個一次帶電粒子小射束之每一者在物表面上的成像像差，諸如像散，經過調整與影像掃描同步，並且將複數個一次帶電粒子小射束之每一者的掃描所引起的成像像差降至最低。

【0038】 在一第四具體實施例中，提供一種多射束帶電粒子顯微鏡的操作方法，包含通過測量掃描所引起的像差來校準帶電粒子顯微鏡之步驟。在進一步的步驟中，導出靜態控制參數或信號，並且產生用於校正電極或第一或第二掃描校正系統的驅動電壓差 $VC(t)$ 之縮小因數。靜態控制參數和縮小的驅動電壓差提供給第一或第二掃描校正系統。在影像掃描期間，掃描偏轉電壓差 $VS(t)$ 通過縮小因數縮小到至少一驅動或校正電壓差 $VC(t)$ ，並提供給校正電極，並且在帶電粒子顯微鏡操作期間縮小掃描所引起的像差。

【0039】 根據本發明的一第五具體實施例，一用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1）包含一帶電粒子多小射束產生器（300），用於產生複數個一次帶電粒子小射束（3）；一物體照射單元（100），用於藉由複數個一次帶電粒子小射束（3）照射配置在物平面（101）中的晶圓表面（25）上的一影像圖塊（17.1），從而在使用期間產生從該晶圓表面（25）發射的多個二次電子小射

束(9)；一偵測單元(200)，其具有一投影系統(205)和一影像感測器(207)，用於將複數個二次電子小射束(9)成像在影像感測器(207)上，並用於在使用期間獲取該晶圓表面(25)的該影像圖塊(17.1)之數位影像；及一聚合多射束光柵掃描器(110)，其具有至少一第一組偏轉電極和一相交體(189)，該等複數個一次帶電粒子小射束(3)穿過該相交體(189)。該多射束帶電粒子顯微鏡(1)更包含配置在帶電粒子多小射束產生器(300)與聚合多射束光柵掃描器(110)之間的第一靜態偏轉系統(701)，其構造成用於調整複數個一次帶電粒子小射束(3)相對於相交體(189)的橫向位置。一控制單元(800)構造成在使用期間將至少一第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 提供給聚合多射束光柵掃描器(110)，用於在第一或 $p$ 方向內掃描偏轉複數個一次帶電粒子小射束(3)。多射束帶電粒子顯微鏡的聚合多射束光柵掃描器構造成具有一相交體，在使用期間複數個一次帶電粒子小射束通過該相交體傳播。根據第一具體實施例，聚合多射束光柵掃描器構造成在相交體中產生非均勻靜電掃描偏轉場。殘餘掃描所引起的像差取決於複數個一次小射束在聚合多射束偏轉掃描器的相交體處之橫向移動位置和入射角。在第五具體實施例中，多射束帶電粒子顯微鏡包含聚合多射束偏轉掃描器上游的第一靜態偏轉器。利用該第一靜態偏轉器，在相交體處調節複數個一次帶電粒子小射束的橫向移動位置或入射角。在一範例中，多射束帶電粒子顯微鏡的物體照射單元包含一位於第一靜態偏轉器與聚合多射束光柵掃描器之間的第二靜態偏轉器，用於調整複數個一次小射束的橫向移動位置和入射角。在操作方法中，通過第一靜態偏轉器將相交體處的移動位置調整到預定位置，並且通過第二靜態偏轉器調整複數個一次小射束在相交體上的平均入射角。

**【0040】** 在一範例中，多射束帶電粒子顯微鏡(1)包含配置在帶電粒子多小射束產生器(300)與聚合多射束光柵掃描器(110)之間的第二靜態偏轉系統(703)，該聚合多射束光柵掃描器配置並構造成用於調整複數個一次帶電粒子小射束(3)在相交體(189)的入口側處之平均入射角。



【0041】 藉此，掃描所引起成像像差，諸如複數個一次帶電粒子小射束之每一者在物表面上的失真或像散，縮小、與影像掃描同步，並且將複數個一次帶電粒子小射束之每一者的掃描所引起成像像差降至最低。

【0042】 在一第六具體實施例中，改進的多射束帶電粒子顯微鏡設置有能夠橫向位移或傾斜的長行程光柵掃描器。在一範例中，通過附加校正電極相對於相交體橫向移動或傾斜靜電偏轉場，或通過將多個預定電壓偏移提供給本發明的第一具體實施例之偏轉電極和校正電極，以實現橫向位移或傾斜。在一替代範例中，長行程光柵掃描器包含機械構件，該機械構件包括一引導元件或載台和至少一致動器，用於調整偏轉電極和選擇性修正電極的橫向位置或傾斜角，以相對於交點體積位移該靜電偏轉場。

【0043】 藉此，掃描所引起成像像差，諸如複數個一次帶電粒子小射束之每一者在物表面上的失真或像散，縮小、與影像掃描同步，並且將複數個一次帶電粒子小射束之每一者的掃描所引起成像像差降至最低。

【0044】 在一第七具體實施例中，提供一種結合第五和第六具體實施例之改進的多射束帶電粒子顯微鏡。

【0045】 在一範例中，提供一種多射束帶電粒子顯微鏡的操作方法。在第一步驟1中，系統已校準，並且實際控制參數已儲存在記憶體中。在第二步驟2中，調整聚合多射束光柵掃描器的相交體處複數個一次小射束之束位置。在根據第五具體實施例的範例中，通過第一靜態偏轉器和選擇性第二靜態偏轉器實現調整。在根據第六具體實施例的範例中，通過將偏移信號提供給聚合多射束偏轉掃描器，以獲得非均勻偏轉場的橫向位移。在第三步驟中，提供控制信號。在一範例中，校正場由具有步驟1中所儲存實際控制參數的控制信號產生，並且掃描校正場由提供與掃描電壓差同步的校正電壓差之校正電極產生。在一範例中，複數個校正電壓差由靜態控制信號產生，並且該等小射束之每一者由多射束掃描校正系統個別偏轉。藉此，掃描所引起的成像像差(諸如複數個一次帶電

粒子小射束之每一者在物表面上的失真或像散)縮小並與影像掃描同步，並且將複數個一次帶電粒子小射束之每一者的掃描所引起的成像像差降至最低。

【0046】 在一第八具體實施例中，結合前述第一至第七具體實施例的裝置中的至少兩者，並且實現掃描所引起的像差進一步減小。

【0047】 在本發明的一第九具體實施例中，提供一種用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡，包含用於產生至少一第一一次帶電粒子小射束的小射束產生器，和用於照射由第一一次帶電粒子小射束和聚合光柵掃描器排列在物平面中的樣品表面影像子場域之物體照射單元。多射束帶電粒子顯微鏡更包含控制單元，其構造成在使用期間將至少一第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 提供給聚合光柵掃描器，用於影像子場域上在第一或 $p$ 方向掃描偏轉至少一第一一次帶電粒子小射束，該影像子場域具有至少 $5\ \mu\text{m}$ ，較佳 $8\ \mu\text{m}$ 或更大的橫向延伸，並且至少一第一掃描校正器構造成在使用期間產生用於影響第一一次帶電粒子小射束的第一掃描校正場。控制單元構造成將第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 提供給第一掃描校正器，並且第一掃描校正器構造成減少與複數個一次帶電粒子小射束的聚合掃描偏轉同步之第一一次帶電粒子小射束的掃描所引起的像差。第一掃描校正器包含一靜電壓轉換單元，用於將第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 轉換為至少一第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ ，其調適成產生與第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步的第一掃描校正場。靜電壓轉換單元可包含至少一可編程電阻序列，其構造成由複數個靜態控制信號編程，使得靜電壓轉換單元構造成產生與第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 成比例的第一掃描修正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 。控制單元可包含第一延遲線，其構造成使第一掃描校正場與由聚合光柵掃描器對複數個一次帶電粒子小射束的聚合光柵掃描同步。第一掃描校正器包含至少一第一偏轉元件，該元件構造成在使用期間將至少一第一一次帶電粒子小射束的大約 $0.5\ \text{nm}$ 至 $5\ \text{nm}$ 之掃描所引起的失真補償到低於 $0.3\ \text{nm}$ 、較佳低於 $0.2\ \text{nm}$ 或低於 $0.1\ \text{nm}$ 的減少量。同樣地，可減少多射束帶電粒子顯微鏡的其他掃描所引起的像差，例如掃描所引起的像散，其通常隨著第一一次帶電粒子小射束的影像子場域之場高增加而增加。在一範例中，掃描所引起的

像差為殘餘掃描所引起的失真，並且第一偏轉元件構造成在使用期間，個別補償第一次帶電粒子小射束在第一方向的掃描所引起的失真，其與複數個一次帶電粒子小射束通過聚合光柵掃描器在第一方向的掃描偏轉同步。第二偏轉元件可構造成在使用期間個別補償第一次帶電粒子小射束在第二方向的掃描所引起的失真，其與複數個一次帶電粒子小射束通過聚合光柵掃描器在與第二方向垂直的第一方向之掃描偏轉同步。通常，掃描所引起的像差為至少掃描所引起的失真、掃描所引起像散、掃描所引起遠心像差、掃描所引起球面像差或掃描所引起髮尾像差之一者。在一範例中，多射束帶電粒子顯微鏡包含用於校正色散、場曲或靜態球面像差的靜態校正系統。在一範例中，多射束帶電粒子顯微鏡更包含一第二掃描校正器，其構造成用於在第一一次帶電粒子小射束通過及和光柵掃描器進行光柵掃描期間減少第二掃描所引起的像差，該第二掃描所引起的像差為例如掃描所引起像散、掃描所引起遠心像差、掃描所引起球面像差或掃描所引起的髮尾像差(coma)。

**【0048】** 在本發明的一第十具體實施例中，提供一種多射束帶電粒子顯微鏡(1)的操作方法，該顯微鏡具有帶電粒子多小射束產生器(300)、物體照射單元(100)、偵測單元(200)、用於對複數個一次帶電粒子小射束(3)進行聚合光柵掃描的聚合多射束光柵掃描器(110)、及配置在該聚合多射束光柵掃描器(110)的複數個一次帶電粒子上游傳播方向上之掃描失真補償器陣列(601)、及一控制單元(800)。該方法包含下列步驟：

提供至少一第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 給掃描陣列控制單元(622)；

從至少一第一電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和複數個靜態控制信號中產生複數個電壓差分量；及

提供複數個電壓差分量給掃描失真補償器陣列(601)的複數個偏轉元件，以個別地掃描偏轉複數個一次帶電粒子小射束中的每一小射束，以補償在複數個一次帶電粒子小射束(3)的聚合光柵掃描期間的掃描所引起的失真。

【0049】 在一範例中，多射束帶電粒子顯微鏡（1）的操作方法更包含下列步驟：

通過在參考物體的影像圖塊上對複數個一次帶電粒子進行光柵掃描，以確定掃描所引起的失真；

擷取每個一次帶電粒子小射束的掃描所引起的失真的至少一線性部分的複數個振幅；

從複數個振幅之每一者導出複數個靜態控制信號；及

提供複數個靜態控制信號給掃描失真補償器陣列（601）的掃描陣列控制單元（622）。

【0050】 利用本發明的多個具體實施例，平行及同步於複數個一次小射束的聚合光柵掃描操作以補償個別一次小射束的掃描所引起的像差。個別一次小射束的掃描所引起的像差通過掃描校正器進行補償，該掃描校正器包含第一掃描校正器，其中產生複數個單獨電壓差。該等複數個單獨電壓差係根據光柵掃描器在第一掃描方向針對長行程光柵掃描產生的電壓差 $V_{Sp}(t)$ 所產生。因此，根據具體實施例之用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡包含用於產生複數個一次小射束的產生器，該等小射束包含至少一第一單獨小射束；一物體照射單元，用於由複數個一次小射束照射在配置於物平面中的樣品表面上的影像圖塊，從而在使用期間產生從該表面所發出的複數個二次電子小射束；及一具有投影系統和影像感測器的偵測單元，用於將複數個二次電子小射束成像到影像感測器，以在使用期間獲取樣品表面影像圖塊的數位影像。根據多個具體實施例利用於晶圓檢測的該多射束顯微鏡更包含一聚合多射束光柵掃描器，其包含至少一第一組偏轉電極和一相交體，該等複數個小射束橫過該相交體；至少一第一掃描修正器，其構造成在使用期間產生第一掃描靜電場，用於影響至少該第一單獨一次小射束；及一控制單元，其構造成在使用期間將至少一第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 提供給第一組偏轉電極，用於在第一或p方向內複數個一次小射束之聚合光柵掃描。該控制單元更構造成提供第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 給該第一掃描校正

器，該第一掃描校正器構造成減少至少該第一單獨小射束的掃描所引起的像差。在一範例中，多射束帶電粒子顯微鏡的第一掃描校正器包含第一靜電壓轉換單元，用於將第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 轉換為至少一第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ ，其調適成產生與第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步的第一掃描校正場。在一範例中，第一靜電壓轉換單元構造成產生與第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 成比例的第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 。在一範例中，靜電壓轉換單元包含至少一可編程電阻序列，其構造成由複數個靜態控制信號編程。在一範例中，該控制單元包含一第一延遲線，其構造成使第一掃描校正場與由聚合多射束光柵掃描器對複數個一次小射束的聚合光柵掃描同步。

**【0051】** 在一範例中，多射束帶電粒子顯微鏡的第一掃描校正器包含複數個偏轉元件，其構造成在使用期間補償複數個一次小射束之每一者的掃描所引起的失真。例如，複數個偏轉元件包含一第一偏轉元件，其構造成在使用期間個別補償第一單獨一次小射束在第一方向的掃描所引起的失真，該失真與聚合多射束光柵掃描器在該第一方向對複數個一次小射束之掃描偏轉同步；及一第二偏轉元件，其構造成在使用期間個別補償第一單獨一次小射束在第二方向的掃描所引起的失真，該失真與聚合多射束光柵掃描器在該第一方向對複數個一次小射束之掃描偏轉同步。該等複數個偏轉元件更包含一第三偏轉元件，其構造成在使用期間個別補償第二單獨一次小射束在第一方向的掃描所引起的失真，該失真與聚合多射束光柵掃描器在該第一方向對複數個一次小射束之掃描偏轉同步。該等複數個偏轉元件包含其他偏轉元件，其構造成在使用期間個別補償每個單獨一次小射束在第一方向的掃描所引起的失真，並且其他偏轉元件構造成在使用期間個別補償每個單獨一次小射束在第二方向的掃描所引起的失真，該失真與聚合多射束光柵掃描器在該第一方向對複數個一次小射束之掃描偏轉同步。在一範例中，靜電壓轉換單元包含複數個可編程電阻序列，每個可編程電阻序列電連接到複數個偏轉元件中的一偏轉元件，該等複數個可編程電阻序列形成由複數個靜態控制信號控制的可編程電阻陣列，構造成在使用期間

產生複數個掃描校正電壓差 $V_{Cap}(i,t)$ ，每個掃描校正電壓差與第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步。

**【0052】** 在一範例中，第一掃描校正器包含至少一校正電極，該電極構造成在使用期間有貢獻於在聚合多射束偏轉系統的相交體中產生之不均勻靜電場分佈，構造成減少以偏離多射束帶電粒子顯微鏡光學軸的傾角入射在相交體上的單獨初始小射束之掃描所引起的像差。

**【0053】** 一種根據具體實施例的多射束帶電粒子顯微鏡操作方法包含下列步驟：產生掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 並將掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 提供給聚合多射束光柵掃描器，以用聚合多射束光柵掃描器在第一方向聚合偏轉掃描複數個一次小射束。該方法更包含從掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 產生至少與掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步的第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ ，並將第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 提供給掃描校正器的偏轉元件，用於減少至少一單獨一次小射束的掃描所引起的像差。為了產生第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ ，該方法包括提供複數個靜態控制信號至掃描校正器，以產生第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 的步驟。為了使至少一一次小射束的掃描偏轉與至少一單獨小射束的掃描所引起的像差之減少同步，該方法更包含在第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 與掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 之間產生預定時間延遲的步驟。

**【0054】** 根據上述各具體實施例的多射束帶電粒子顯微鏡包含一靜電壓轉換陣列，其構造成根據影像或光柵掃描期間一像場內的掃描位置 $(p,q)$ ，提供至少一掃描校正電壓差給至少一掃描校正器或補償元件。靜電壓轉換陣列構造成提供來自至少一共用、長行程掃描電壓差的掃描校正電壓差，從而保持影像掃描期間掃描感應像差與影像場中掃描位置 $(p,q)$ 的依賴性。在一範例中，靜電壓轉換陣列可由複數個靜態控制信號編程。多射束帶電粒子顯微鏡更包含控制單元，用於提供複數個靜態控制信號給靜電壓轉換陣列。在一範例中，控制單元構造成從校準測量產生複數個靜態控制信號。在一範例中，控制單元構造成從校準測量產生複數個靜態控制信號。

【0055】該控制單元構造成在使用期間將至少一第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 提供給第一組偏轉電極，用於在第一或 $p$ 方向聚合光柵掃描複數個一次帶電粒子小射束。該控制單元更構造成提供第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 給該第一掃描校正器，該第一掃描校正器構造成減少至少該第一單獨一次小射束的掃描所引起的像差。在一範例中，多射束帶電粒子顯微鏡的第一掃描校正器包含第一靜電壓轉換單元，用於將第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 轉換為至少一第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ ，其調適成產生與第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步的第一掃描靜電場。第一靜電壓轉換單元構造成產生與第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 成比例的第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 。

【0056】一範例的靜電壓轉換陣列實現為一可編程電阻陣列，其構造成由複數個靜態控制信號編程。透過可編程電阻陣列，補償複數個小射束每一者的掃描失真所需的動態信號減少到僅兩掃描控制電壓差 $V_{Cp}(t)$ 和 $V_{Cq}(t)$ ，其是從掃描控制單元產生的掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 中獲得，用於驅動聚合多射束光柵掃描器。通過兩控制電壓差 $V_{Cp}(t)$ 和 $V_{Cq}(t)$ ，實現掃描所引起的像差的補償或校正，例如掃描所引起的失真、掃描所引起的遠心像差或掃描所引起的像散。在一範例中，該控制單元包含第一延遲線，其構造成使第一掃描校正器場與由聚合多射束光柵掃描器對複數個一次小射束的聚合光柵掃描同步。補償或校正通過延遲線直接連接，因此直接取決於掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ ，因此掃描引起像差的補償或校正與掃描操作同步，並與每一影像子場域的掃描坐標 $(p,q)$ 成比例。在一範例中，構成掃描所引起的像差主要部分的掃描所引起的像差線性部分通過控制電壓差 $V_{Cp}(t)$ 和 $V_{Cq}(t)$ 與掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 的比例來補償。對於複數個影像子場域和對應小射束之每一者，掃描所引起的像差的線性部分振幅不同，所需的控制信號來自共用控制電壓差 $V_{Cp}(t)$ 和 $V_{Cq}(t)$ ，例如通過可編程電阻陣列，如此對於每個電極，從共用控制電壓差 $V_{Cp}(t)$ 和 $V_{Cq}(t)$ 產生相對的比例電壓差。提供給例如掃描失真補償器陣列的電極或聚合多射束光柵掃描器的校正電極之每個單獨電壓差，經由可編程電阻陣列的可編程電阻序列，以直接耦接到共用控制電壓差 $V_{Cp}(t)$ 和 $V_{Cq}(t)$ 。例如，提供給電極以補償單獨小射束

的掃描所引起的像差之單獨電壓差由多個預定靜態控制信號控制，如此對每個可編程電阻序列進行編程。因此，單獨電壓差也與掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 成比例，因此與每個影像子場域中的掃描坐標 $(p,q)$ 成比例。通過對例如掃描失真補償器陣列的適當設計，包括至少一靜電壓轉換陣列及對每個單獨偏轉器電極的導電連接線，傳播效應（亦即不同偏轉器的時間延遲）減少並且具有50 MHz和更大動態範圍，例如大約80 MHz，甚至100 MHz的掃描所引起的像差之高動態補償是可能的。實施靜態延遲線，以將掃描所引起的像差的補償與複數個一次帶電粒子小射束的掃描偏轉與聚合多射束偏轉系統同步。此外，用於提供高動態校正電壓差給電極的導電連接可構造成高頻連接，並且例如由接地線屏蔽並且避免干擾或輻射損失。

**【0057】** 在一範例中，多射束帶電粒子顯微鏡的掃描校正器包含複數個偏轉元件，其構造成在使用期間補償複數個一次小射束之每一者的掃描所引起的失真。例如，複數個偏轉元件包含第一偏轉元件，其構造成在使用期間個別補償第一單獨小射束在第一方向的掃描所引起的失真，該失真與聚合多射束光柵掃描器在該第一方向對複數個一次小射束之掃描偏轉同步；及包含第二偏轉元件，其構造成在使用期間個別補償第一單獨一次小射束在第二方向的掃描所引起的失真，該失真與聚合多射束光柵掃描器在該第一方向對複數個一次小射束之掃描偏轉同步。該等複數個偏轉元件更包含一第三偏轉元件，其構造成在使用期間個別補償第二單獨小射束在第一方向的掃描所引起的失真，該失真與聚合多射束光柵掃描器在該第一方向對複數個一次小射束之掃描偏轉同步。在一範例中，靜電壓轉換單元包含複數個可編程電阻序列，每個可編程電阻序列連接到複數個偏轉元件中的一偏轉元件，該等複數個可編程電阻序列形成由複數個靜態控制信號控制的可編程電阻陣列，構造成在使用期間產生複數個掃描校正電壓差 $V_{Cap}(i,t)$ ，每個掃描校正電壓差與第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步。

**【0058】** 在一範例中，第一掃描校正器包含至少一校正電極，該電極構造成在使用期間有貢獻於在聚合多射束偏轉系統的相交體中產生之不均勻靜電場



分佈，構造成用於減少以偏離多射束帶電粒子顯微鏡光學軸的角度在相交體至少一部分中傳播之個別一次小射束的掃描所引起的像差。

**【0059】** 一種根據具體實施例的多射束帶電粒子顯微鏡操作方法包含下列步驟：產生掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 並將掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 提供給聚合多射束光柵掃描器，以用聚合多射束光柵掃描器在第一方向聚合偏轉掃描複數個一次小射束。該方法更包含從掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 產生至少與掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步的第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ ，並將第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 提供給掃描校正器的偏轉元件，用於減少複數個一次小射束的至少一單獨小射束之掃描所引起的像差。為了產生第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ ，該方法包括提供複數個靜態控制信號至掃描校正器，以產生第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 的步驟。為了使複數個一次小射束的聚合光柵掃描與至少一單獨小射束的掃描所引起的像差之減少同步，該方法更包含在第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 與掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 之間產生預定時間延遲的步驟。

**【0060】** 在一些範例中，通過第一聚合多射束光柵掃描器（110）僅在第一方向上實現對晶圓表面之上複數個一次帶電粒子小射束之掃描，並且晶圓由晶圓載台沿著第二方向連續移動。在此範例中，沿著第二方向的掃描電壓差 $V_{Sq}(t)$ 處於恆定電壓差或為零。

**【0061】** 根據第一具體實施例之用於聚合偏轉掃描複數個一次帶電粒子的聚合多射束光柵掃描器在使用期間產生縮小的掃描所引起的像差。通過聚合多射束光柵掃描器的最佳化設計，為偏轉掃描產生預定的非均勻場分佈，減少掃描所引起的像差。每個小射束的殘餘掃描所引起的像差並不同，因為對於每個小射束，通過聚合多射束光柵掃描器的相交體之傳播角是不同的。通常，即使例如對於與光學軸具有相似距離的多個帶狀場點最小化非線性掃描像差，對於對應於其他小射束的其他場點也將存在例如殘餘掃描失真。因此，本發明對於包含在不同對稱位置處穿過偏轉掃描器的一個以上的光束之多射束系統，及對於例如多射束掃描電子顯微鏡的大視野非常重要。掃描偏轉器處光束角的角

擴展對應於場補片大小除以物鏡焦距 $f$ 。由於物鏡焦距 $f$ 不能變得非常大，並且物鏡焦距 $f$ 受物鏡直徑的實際限制，因此與單束掃描器相比，多SEM掃描器的角擴展要大得多。相較於典型的單束SEM，場補片(field patch size)大小例如高出10倍。對於1 nm的疊加或絕對位置精度，聚合多射束光柵掃描器提供的比率為100.000:1。因此16位元解析度並不足，至少需要32位元對應於32位元DAC轉換，以產生偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 。

**【0062】** 通常，物鏡包含一厚磁透鏡。複數個一次帶電粒子小射束的穿越路徑對於所有場點是不同，並且在掃描過程中會發生變化。藉此，在掃描期間，物鏡導入殘餘像差和單獨小射束之間的像差差異。通過偏轉電極的改進設計，在影像掃描期間減少影像子場域中的掃描所引起的失真。例如，隨著偏轉電極分離成偏轉電極配對，具有修改的方位角或縱向延伸的偏轉電極，或者具有針對複數個一次帶電粒子小射束的光柵配置最佳化或調整之偏轉電極，影像子場域內的掃描所引起的失真減少。使用附加的校正電極，可進一步減少掃描的失真。在較佳範例中，偏轉系統的性能與諸如物鏡(102)等其他光學元件所引起成像像差一起最佳化，並且每個一次帶電粒子小射束的複數個影像子場域中掃描所引起的失真進一步減少。由於更多偏轉電極和校正電極的附加自由度，偏轉系統的製造公差或漂移可通過調整施加到多個偏轉電極和複數個校正電極之多個電壓來補償。根據第一具體實施例的已修改偏轉系統可將殘餘掃描所引起的失真減少例如至少15%、至少20%或甚至30%。相較於使用例如約2 nm的常規偏轉系統之未校正掃描失真，利用第一具體實施例實現例如低於1.5 nm的殘餘掃描失真。如此可實現進一步改進，但會增加對於對準誤差、噪訊和漂移的靈敏度。在第二具體實施例中描述成像性能的附加改進。從而掃描失真降低至少80%，實現小於0.3 nm的殘餘掃描所引起的失真。通過上述具體實施例的任何一構件，自聚合多射束光柵掃描器和其他光學元件(諸如物鏡)的掃描所引起的像差得到補償，並且因掃描所引起的像差有效地降至最低。通過結合第八具體實施

例所述的具體實施例，殘餘掃描失真降低至少90%，例如95%，實現殘餘掃描失真例如低於0.2 nm，較佳低於0.1 nm或甚至更低。

**【0063】** 利用本發明的多個具體實施例，與複數個一次小射束的聚合光柵掃描平行並同步補償單獨一次小射束的掃描所引起的像差。單獨一次小射束的掃描所引起的像差通過掃描校正器進行補償，該掃描校正器包含第一掃描校正器，其中提供複數個單獨電壓差或其中產生複數個單獨電壓差。用於校正或補償掃描所引起的像差的複數個單獨電壓差，係根據聚合多射束光柵掃描器為聚合光柵掃描而產生之電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 所產生。本發明實施例提供一種用於將掃描所引起的像差降至最低，尤其是多射束帶電粒子顯微鏡的掃描所引起的失真之解決方案。傳統多射束帶電粒子顯微鏡的成像性能因掃描失真 $[dp, dq]$ 而惡化，例如，掃描所引起的失真在晶圓表面的影像圖塊數位影像之上產生重疊誤差和像素間距或像素尺寸之變化。對於具有大量 $J$ 小射束的系統，掃描所引起的失真會增加，並且可達到2 nm至5 nm或更高值。除了掃描失真外，其他掃描所引起成像像差，如掃描像散或掃描散焦，會降低成像性能。本發明實施例的一態樣是，所需掃描校正係通過降低與掃描所引起的像差相對應的巨大資料速率來實現，並且可用高速補償掃描像差。掃描所引起的像差的校正或補償係通過在每個影像子場域的預定掃描所引起的像差向量組中擴展掃描誘發像差，確定複數個影像子場域之每一者的正常化掃描所引起的像差向量之複數個振幅來實現，從每個影像子場域的振幅中導出複數個靜電校正或補償控制信號，並且獲得靜電補償或校正元件的控制電壓差，該控制電壓差與每個影像子場域中的第一和第二掃描方向 $(p, q)$ 上的共用掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 、 $V_{Sq}(t)$ 成比例，藉此比例性係通過靜態校正或補償控制信號控制的靜電壓轉換陣列來實現。例如，複數個 $J$ 影像子場域中的複數個 $J$ 線性掃描失真，通過使用聚合多射束光柵掃描器掃描複數個 $J$ 一次帶電粒子小射束而平行掃描，至少通過用於每一小射束，由至少一靜電補償或校正元件產生的靜電校正場進行補償，從而該等 $J$ 小射束之每一者的至少一靜電補償或校正元件之每一校正電壓差由靜電壓轉換陣列提供。靜電壓轉

換陣列例如實現為一可編程電阻陣列，包含複數個可編程電阻序列，具有與共用掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 成比例的兩個高動態驅動信號，用於複數個J一次帶電粒子小射束使用聚合多射束光柵掃描器在第一和第二方向(p,q)之平行掃描。

【0064】進一步細節說明於具體實施例的範例內。進一步的具體實施例包含前述的多個範例和具體實施例之組合或變化。

### 【圖式簡單說明】

【0065】以下將參考附圖揭露更多細節。其示出：

圖1為根據一具體實施例的多射束帶電粒子顯微鏡系統之圖式。

圖2為包含第一和第二影像圖塊的第一檢測部位及第二檢測部位的坐標之圖式。

圖3為複數個一次帶電粒子小射束(3)的靜態失真偏移圖式。

圖4為掃描偏轉器處的掃描偏轉圖式，(a)用於軸向小射束和(b)具有傳播角 $\beta$ 的離軸小射束之掃描所引起的失真。

圖5為具有傳播角 $\beta$ 的離軸小射束之掃描所引起遠心像差圖式。

圖6為在具有影像子場域坐標(p,q)的影像子場域之上掃描期間單個小射束的典型掃描所引起的失真之圖式；a)掃描失真向量 $dp$ 、 $dq$ ；b)掃描失真振幅。

圖7為具有影像子場域中心坐標 $x_{ij}, y_{ij}$ 的複數個一次帶電粒子小射束的每一影像子場域之最大掃描失真向量圖式。

圖8為用於在複數個一次帶電粒子小射束的相交體內部，產生非均勻靜電偏轉場的聚合多射束光柵掃描器之偏轉電極和校正電極的兩個範例圖式。

圖9為掃描偏轉之依賴於掃描角 $\alpha$ 的電壓差；a)用於單個偏轉電極；b)用於由兩獨立電極所構造成的偏轉電極。

圖10為用於在複數個一次帶電粒子小射束的相交體內部，產生非均勻靜電偏轉場，配置在傳播方向的聚合多射束光柵掃描器之偏轉電極和校正電極的圖式。

圖11為用於在複數個一次帶電粒子小射束的相交體內部，產生非均勻靜電偏轉場的不同長度偏轉電極之圖式。

圖12為配置在多射束掃描失真補償器陣列或遠心像差掃描補償器陣列的複數個孔徑處之複數個偏轉元件圖式。

圖13係以掃描失真補償器陣列為例的掃描陣列控制單元之圖式。

圖14係以靜電壓轉換單元為例的可編程電阻陣列之圖式。

圖15係以掃描電壓差為例的驅動信號之範例。

圖16為具有減少掃描所引起的像差的多射束帶電粒子顯微鏡操作之方法圖式。

圖17a-h為四個線性失真向量SDV(i)的影像圖塊坐標(x,y)之上典型場相關性及其在具有子場域坐標(p,q)的影像子場域中之特徵的圖式。

圖18為包含用於調整的附加第一和第二靜態多射束偏轉系統的多射束帶電粒子顯微鏡之圖式。

圖19為對於具有未對準系統之掃描所引起的失真像差對影像圖塊坐標(x,y)的典型場相關性。

圖20為根據本發明的第八具體實施例的多射束帶電粒子顯微鏡。

圖21為具有相對於光學軸的傾斜角之掃描校正電極範例，用於在複數個一次帶電粒子小射束的相交體內產生非均勻靜電偏轉場。

### 【實施方式】

【0066】 在以下所述的示範具體實施例中，在功能和結構上相似的部件盡可能用同樣或相同的參考編號表示。

【0067】 圖1的示意圖示意說明根據本發明的一些具體實施例的多射束帶電粒子顯微鏡系統1之基本特徵和功能。要注意的是，圖中所使用的符號並不代表所例示部件的實體組態，而是已經過選擇來象徵其各自功能。所示系統類型為多射束掃描電子顯微鏡（MSEM或Multi-SEM），該系統使用複數個一次電子

小射束3在物體7的表面上，諸如具有頂表面25位於物鏡102的物平面101中的晶圓，產生複數個一次帶電粒子束斑點5。為簡單起見，僅顯示五個一次帶電粒子小射束3和五個一次帶電粒子束斑點5。可使用電子或其他類型的一次帶電粒子（例如離子，特別是氦離子），以實現多小射束帶電粒子顯微鏡系統1的特性和功能。

**【0068】** 顯微鏡系統1包含一物體照射單元100和一偵測單元200、及一用於將二次帶電粒子束路徑11與一次帶電粒子束路徑13分離的分束器單元400。物體照射單元100包含用於產生複數個一次帶電粒子小射束3並調適成將複數個一次帶電粒子小射束3聚焦在物平面101中的帶電粒子多射束產生器300，其中晶圓7的表面25由樣品台500定位。

**【0069】** 一次射束產生器300在中間影像表面321內產生複數個一次帶電粒子小射束斑點311，該表面通常是球面彎曲表面，以補償物體照射單元100的場曲。一次射束產生器300包含一次帶電粒子（例如電子）的來源301。一次帶電粒子源301發射一發散的一次帶電粒子束309，其由至少一準直透鏡303準直以形成準直束。準直透鏡303通常由一或多個靜電或磁性透鏡組成，或者由靜電和磁性透鏡組合而成。準直的一次帶電粒子束入射在初級多射束形成單元305上。多射束形成單元305基本上包含由一次帶電粒子束309照射的第一多孔板306.1。第一多孔板306.1包含於光柵組態下的複數個孔，用於產生複數個一次帶電粒子小射束3，這些小射束通過準直的一次帶電粒子束309透射過複數個孔而產生。多小射束形成單元305包含至少另外的多孔板306.2和306.3，其相對於電子束309中電子的運動方向位於第一多孔板306.1的下游。例如，一第二多孔板306.2具有微透鏡陣列的功能，並且較佳設定為已界定電位，從而調節中間影像表面321內的複數個一次小射束3之聚焦位置。第三主動多孔板配置306.3（未顯示）包含用於複數個孔之每一者的單獨靜電元件，以分別影響複數個小射束之每一者。主動多孔板配置306.3由具有靜電元件的一或多個多孔板組成，諸如用於微透鏡的圓形電極、多極電極或一系列多極電極以形成靜態偏轉器陣列、微

透鏡陣列或像差補償器（Stigmator）陣列。多小射束形成單元305由相鄰的第一靜電場透鏡307構成，並且與第二場透鏡308和第二多孔板306.2一起，將複數個一次帶電粒子小射束3聚焦在中間像平面321內或附近。在多小射束形成單元305的下游，可配置根據本發明的第二具體實施例的掃描失真補償器陣列601。以下更詳細描述掃描失真補償器陣列601。

【0070】在中間像平面321內或附近，靜態光束轉向(beam steering)多孔板390配置具有靜電元件（例如，偏轉器）的複數個孔，以分別操縱複數個帶電粒子小射束3之每一者。光束轉向多孔板390的孔徑構造成具有更大直徑，以允許複數個一次帶電粒子小射束3通過，即使在一次帶電粒子小射束3的焦點偏離中間像平面或其設計位置的情況下也是如此。在中間像平面附近，已配置根據本發明的第三具體實施例之用於補償掃描所引起遠心誤差的掃描補償器陣列602。下面更詳細描述用於補償掃描所引起遠心誤差的掃描補償器陣列602。在一範例中，光束轉向多孔板390和掃描補償器陣列602也可形成為單個多孔元件。

【0071】穿過中間像平面321的一次帶電粒子小射束3之複數個焦點在像平面101中由場透鏡組103和物鏡102成像，在像平面中定位有物體7的探討表面25。物體照射系統100更包含在第一光束交叉點108附近的一聚合多射束光柵掃描器110，如此複數個帶電粒子小射束3可沿著與光束傳播方向或物鏡102的光學軸105垂直之方向偏轉。在圖1的範例中，光學軸105與z方向平行。根據本發明的第一具體實施例的聚合多射束光柵掃描器110針對以不同傳播角 $\beta$ 通過聚合多射束光柵掃描器110的複數個一次帶電粒子之最低掃描所引起的失真進行最佳化。以下所述根據第一具體實施例的聚合多射束光柵掃描器110之細節。物鏡102和聚合多射束光柵掃描器110置中於與晶圓表面25垂直的多小射束帶電粒子顯微鏡系統1之光學軸105上。然後用聚合多射束光柵掃描器110光柵掃描配置在像平面101中的晶圓表面25。藉此在晶圓表面101上同步掃描形成光柵組態配置的複數個束斑5之複數個一次帶電粒子小射束3。在一範例中，複數個一次帶電粒子小射束3的焦點5之光柵組態為約一百個或多個一次帶電粒子小射束3的六邊

形光柵。一次射束斑5具有約6  $\mu\text{m}$ 至15  $\mu\text{m}$ 的距離，且直徑小於5 nm，例如3 nm、2 nm或甚至更小。在一範例中，束斑尺寸約為2 nm，且兩相鄰束斑之間的距離為8  $\mu\text{m}$ 。在該等複數個多個一次射束斑5之每一者的每一掃描位置處，分別產生複數個二次電子，以相同於一次射束斑5的光柵組態形成複數個二次電子小射束9。在每個束斑5處產生的二次帶電粒子之強度取決於撞擊的一次帶電粒子小射束3之強度、照亮相對斑以及束斑5下物體7的材料組成和形貌。二次帶電粒子小射束9在樣品帶電單元503所產生的靜電場作用下加速，並由物鏡102收集，由分束器400導向偵測單元200。偵測單元200將二次電子小射束9成像到影像感測器207上，以在其中形成複數個二次帶電粒子像斑15。該偵測器包含複數個偵測器像素或個別偵測器。對於複數個二次帶電粒子束斑15之每一者分別偵測強度，並以高通量對大影像圖塊以高解析度偵測晶圓表面25的材料成分。例如，對於具有8  $\mu\text{m}$ 間距的10 $\times$ 10小射束光柵，利用聚合多射束光柵掃描器110的一次影像掃描，影像解析度為例如2 nm或以下，產生大約88  $\mu\text{m}$   $\times$  88  $\mu\text{m}$ 的影像圖塊。例如，以一半的束斑尺寸對影像圖塊進行採樣，因此對於每個小射束，每個影像行的像素數為8000像素，從而呈現出由100個小射束所產生的影像圖塊之數位資料集包括64億像素。控制單元800收集影像資料，在德國專利申請案102019000470.1和美國專利案US 9.536.702中揭露使用例如平行處理的影像資料收集和處理之細節，其在此併入本文供參考。

**【0072】** 複數個二次電子小射束9通過第一聚合多射束光柵掃描器110，並由第一聚合多射束光柵掃描器110偏轉並由分束器單元400引導，以遵隨偵測單元200的二次粒子束路徑11。複數個二次電子小射束9與一次帶電粒子小射束3在相反方向上行進，並且分束器單元400構造成通常藉助於磁場或電磁場的組合，將二次粒子束路徑11與一級粒子束路徑13分開。選擇上，附加磁修正元件420存在於一次粒子束路徑或二次粒子束路徑中。投影系統205更包含至少一第二聚合光柵掃描器222，其連接到投影系統控制單元820。控制單元800構造成補償複數



個二次電子小射束9的複數個焦點15之位置上殘餘差(residual difference)，使得複數個二次電子焦點15的位置在影像感測器207上保持恆定。

【0073】偵測單元200的投影系統205包含複數個二次電子小射束9的附加靜電或磁性透鏡208、209、210及第二交叉點(cross over)212，孔徑214位於其中。在一範例中，孔徑214更包含一偵測器（未顯示），其連接至投影控制控制單元820。投影系統控制單元820進一步連接到至少一靜電透鏡206和第三偏轉單元218。投影系統205更包含至少一第一多孔修正器220，其具有用於分別影響複數個二次電子小射束9之每一者的孔徑和電極、及一選擇性進一步主動元件216，例如連接至控制單元800的多極元件。

【0074】影像感測器207由感測區域的陣列構成，而感測區域圖案相容於由投影透鏡205聚焦到影像感測器207上的二次電子小射束9之光柵配置。這使得能夠偵測與入射在影像感測器207上的其他二次電子小射束無關的每個單獨的二次電子小射束。建立複數個電信號並將其轉換為數位影像資料，並由控制單元800進行處理。在影像掃描期間，控制單元800構造成觸發影像感測器207，以預定時間間隔偵測來自複數個二次電子小射束9的複數個及時解析強度信號，並且影像圖塊的數位影像累積並從複數個一次帶電粒子小射束3的所有掃描位置拼接在一起。

【0075】圖1所示的影像感測器207可為電子靈敏度偵測器陣列，例如CMOS或CCD感測器。這種電子靈敏度偵測器陣列可包含電子到光子轉換單元，諸如閃爍體元件或閃爍體元件的陣列。在一範例中，影像感測器207可構造成配置在複數個二次電子粒子像斑15的焦平面中之電子到光子轉換單元或閃爍體板。在此範例中，影像感測器207可更包含一中繼光學系統，用於在諸如複數個光電倍增管或雪崩光電二極體（未顯示）之類專用光子偵測元件上的二次帶電粒子像斑15處，將由電子至光子轉換單元產生的光子成像並引導。在專利案US 9,536,702中揭露上面已引用的此影像感測器。在一範例中，中繼光學系統更包含一用於將光分離並引導至第一慢光偵測器和第二快速光偵測器的分束器。第

二快速光偵測器例如由諸如雪崩光電二極體的光電二極體陣列構成，該偵測器的速度足夠快來根據複數個一次帶電粒子小射束3的掃描速度，以解析複數個二次電子小射束9的影像信號。第一慢光檢測器較佳為CMOS或CCD感測器，其提供高解析度感測器資料信號，以監視焦點15或複數個二次電子小射束9並控制多射束帶電粒子顯微鏡的操作。

**【0076】** 在一範例中，一次帶電粒子源以電子源301的形式實現，該電子源具有發射器尖端和擷取電極。當使用除電子之外的一次帶電粒子時，例如氬離子，一次帶電粒子源301的配置可與所示的不同。一次帶電粒子源301和主動多孔板配置306.1...306.3及束轉向多孔板390由連接到控制單元800的一次小射束控制模組830所控制。

**【0077】** 在通過掃描複數個一次帶電粒子小射束3來擷取影像圖塊期間，較佳不移動平台500，並且在擷取影像圖塊之後，將平台500移動至下一要擷取的影像圖塊處。在替代具體實施方式中，平台500在第二方向上連續移動，同時通過利用一聚合多射束光柵掃描器110在第一方向上掃描複數個一次帶電粒子小射束3，以擷取影像。平台移動和平台位置由業界已知的感測器監測和控制，諸如雷射干涉儀、光柵干涉儀、共聚焦微透鏡陣列或類似儀器。

**【0078】** 圖2對於通過獲取影像圖塊來檢測晶圓的方法有更詳細說明。將晶圓以其晶圓表面25置放在複數個一次帶電粒子小射束3的聚焦平面中，並以第一影像圖塊17.1的中心21.1置放。影像圖塊17.1...k的預定位置對應於晶圓上用於半導體特徵檢測的檢測部位。該應用不限於晶圓表面25，而是例如也適用在用於半導體製造的微影光罩。因此，術語「晶圓」不應限於半導體晶圓，而是包含用於半導體製造或在半導體製造期間製造的一般物體。

**【0079】** 從標準檔案格式的檢測檔案中，載入第一檢測部位33和第二檢測部位35的預定位置。預定的第一檢測部位33分成多個影像圖塊，例如一第一影像圖塊17.1和一第二影像圖塊17.2，且第一影像圖塊17.1的第一中心位置21.1在多射束帶電粒子顯微鏡1的光學軸105下方對準，用於該檢測任務的第一影像擷

取步驟。選擇第一影像圖塊21.1的第一中心當成用於獲取第一影像圖塊17.1的第一局部晶圓坐標系統原點。對準晶圓7以註冊晶圓表面25並產生晶圓坐標的局部坐標系統之方法在本領域中是眾所周知的。

**【0080】** 複數個一次小射束3以規則的光柵組態分佈在每一影像圖塊17.1...k中，並且通過光柵掃描機構進行掃描，以產生影像圖塊的數位影像。在此範例中，複數個一次帶電粒子小射束3以矩形光柵組態配置，在具有N個束斑的第一行中具有N個一次射束斑5.11、5.12至5.1N，而第M行具有束斑5.11至束斑5.MN。為了簡單起見，僅示出了數量為 $M=5$ 乘上 $N=5$ 的束斑，但是束斑數量 $J=M$ 乘 $N$ 可更大，例如 $J=61$ 個子射束，或者大約100個子射束或更多，並且複數個束斑5.11至5.MN可具有不同光柵組態，例如六邊形或圓形光柵。

**【0081】** 每個一次帶電粒子小射束掃描於晶圓表面25上，如具有束斑5.11和5.MN並且掃描路徑27.11和掃描路徑27.MN的一次帶電粒子小射束範例所示。例如，沿著掃描路徑27.11...27.MN來回移動來執行複數個一次帶電粒子之每一者的掃描，並且多射束掃描偏轉器系統110使每個一次帶電粒子小射束的每個焦點5.11...5.MN從影像子場域線的起始位置開始沿著x方向共同移動，該影像子場域線在該範例中為例如影像子場域31.MN的最左側影像點。然後，通過將一次帶電粒子小射束3聚合掃描到正確位置，以聚合掃描每個焦點5.11...5.MN，然後聚合多射束光柵掃描器110將複數個帶電粒子小射束之每一者平行移動到每一個別子場域31.11...31.MN中下一線的線起始位置。返回到下一條掃描線的線起始位置之移動稱為返馳（flyback）。複數個一次帶電粒子小射束3在平行掃描路徑27.11至27.MN中遵隨，從而同時獲得各個子場域31.11至31.MN的複數個掃描影像。對於影像擷取，如前述，在焦點5.11至5.MN處發射複數個二次電子，並且產生複數個二次電子小射束9。複數個二次電子小射束9由物鏡102收集，通過第一聚合多射束光柵掃描器110，並受引導至偵測單元200，並由影像感測器207偵測。複數個二次電子小射束9之每一者的順序資料串流與多個2D資料集內掃描路徑27.11...27.MN同步變換，從而形成每一子場域的數位影像資料。最後，通過

影像拼接單元將複數個影像子場域的複數個數位影像拼接在一起，以形成第一影像圖塊17.1的數位影像。每個影像子場域構造成與相鄰影像子場域具有小的重疊區域，如子場域31.mn和子場域31.m(n+1)的重疊區域39所示。

**【0082】** 接下來，說明晶圓檢測任務的要求或規格。對於高通量晶圓檢測，每個影像圖塊17.1...k的影像擷取時間（包括影像後置處理所需的時間）必須要快。另一方面，必須保持嚴格的影像品質規格，例如影像解析度、影像精度和可重複性。例如，影像解析度的要求通常為2 nm或以下，並且具有很高的可重複性。影像精度也稱為影像傳真度，例如，部件的邊緣位置，通常部件的絕對位置精度將以高絕對精度來決定。通常，對位置精度的要求約為解析度要求的50%甚至更低。例如，測量任務需要半導體特徵件尺寸的絕對精度，其精度低於1 nm，低於0.3 nm甚至是0.1 nm。因此，複數個一次帶電粒子小射束3的每個焦點5之橫向位置精度必須小於1 nm，例如小於0.3 nm或甚至小於0.1 nm。在高影像可重複性下，應當理解，在相同區域的重複影像擷取下，產生第一和第二重複的數位影像，並且第一和第二重複數位影像之間的差低於預定臨界。例如，第一和第二重複數位影像之間的影像失真差異必須低於1 nm，例如0.3 nm，或甚至較佳低於0.1 nm，並且影像對比度差異必須低於10%。如此，即使通過重複成像操作也可獲得相似的影像結果。這對於例如影像擷取和不同晶圓晶粒中類似半導體結構的比較，或對於將獲得的影像與從CAD資料或資料庫或參考影像的影像模擬所獲得的代表性影像進行比較而言非常重要。

**【0083】** 晶圓檢測任務的要求或規格之一是通量。每擷取時間的測量面積由停留時間、解析度和小射束數決定。停留時間的典型範例在20 ns至80 ns之間。因此，快速影像感測器207處的像素速率在12 Mhz和50 MHz之間的範圍內，並且每分鐘可獲得大約15至20個影像圖塊或幀。對於100個小射束，像素尺寸為0.5 nm的高解析度模式下，通量的典型範例約為0.045 sqmm/min（平方毫米每分鐘），並且小射束的數量較大，例如10000個小射束和25 ns的停留時間，則通量可能超過7 sqmm/min。但是，在現有技術的系統中，對數位影像處理的要求極大地限

制了通量，例如，現有技術掃描失真的數位補償非常耗時，因此並不希望。在本發明的具體實施例中，降低影像後置處理的要求，並且提高具有高精度測量任務的通量。本發明的多個具體實施例實現晶圓檢測任務的高通量，同時將影像性能規格良好維持在前述要求內。

**【0084】** 帶電粒子顯微鏡1的成像性能受限於物體照射單元100的靜電或磁性元件之設計，以及高階像差和例如一次多小射束形成單元305的製造公差。成像性能受到像差的限制，例如複數個帶電粒子小射束的失真、聚焦像差、遠心度和像散。圖3以範例例示出像平面101中的複數個一次帶電粒子小射束3之典型靜態失真像差。複數個一次帶電粒子小射束3在像平面中聚焦，以形成光柵組態中的複數個一次帶電粒子束斑5（列出三個），在此範例中為六邊形光柵。在理想系統中，在聚合多射束光柵掃描器110關閉的情況下，每個束斑5形成於相對影像子場域31.mn的中心位置29.mn（見圖2）處（索引m用於行號並且n為欄號）。然而，在實際系統中，束斑5形成在略微偏離的位置，這些位置偏離理想光柵上的理想位置，如圖3中的靜態失真向量所示。對於主束斑141的例示範例，與六邊形光柵上理想位置的偏差由失真向量143描述。失真向量給定與理想位置的橫向差異[dx,dy]，失真向量的最大絕對值可在數個nm的範圍內，例如1 nm以上、2 nm甚至5 nm以上。通常，真實系統的靜態失真向量由靜態偏轉元件陣列測量和補償，例如任何主動多孔板配置306.2。此外，如2020年5月28日所申請的第102020206739.2號德國專利申請案中所述，考慮並補償靜態失真的漂移或動態變化，該申請通過引用併入本文中。像差的控制和補償係通過監控或偵測系統以及能夠在影像掃描期間例如多次驅動補償器的控制迴路來實現，從而補償多射束帶電粒子顯微鏡1的像差。

**【0085】** 然而，帶電粒子顯微鏡的成像性能不僅受物體照射單元100的靜電或磁性元件的設計像差和漂移像差之限制，而且特別受第一聚合多射束光柵掃描器110的限制。已經對單束顯微鏡的偏轉掃描系統及其特性進行深入研究。然而，對於多射束顯微鏡，用於掃描偏轉複數個帶電粒子小射束的常規偏轉掃

描系統表現出在先前技術中未公開的固有特性。圖4中通過偏轉掃描器的光束路徑更詳細說明固有特性。

【0086】圖4a例示單個一次帶電粒子束通過先前技術具有偏轉電極153.1和153.2以及電壓源的掃描偏轉器110之光束路徑。為了簡單起見，僅例示用於在第一方向上進行光柵掃描偏轉的偏轉掃描器電極。在使用期間，施加掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ ，並且用電極153.1和153.2之間的等電位線155形成靜電場。對應於具有與光學軸105重合的影像圖塊中心29.c之影像圖塊31.c的軸向帶電粒子小射束150a通過靜電場偏轉，並沿真實光束路徑151f穿過偏轉器電極153.1與153.2之間的相交體189。光束軌跡可通過第一階光束路徑150a和150f在樞軸點159處具有單個虛擬偏轉來近似。沿著路徑150z行進的帶電粒子小射束通過物鏡102聚焦在物平面101中，如圖4a的下部所示。在相對於子場域31.c的中心點29.c之相對坐標(p,q)中給出子場域坐標。

【0087】對於到坐標 $p_r$ 處的最大子場域點之最大偏轉，施加最大電壓差 $V_{Sp_{max}}$ ，並且對於入射小射束150a到距離 $p_z$ 處的子場域點之偏轉，施加相對的電壓 $V_{Sp}$ ，並且入射小射束150a在光束路徑150z的方向上通過偏轉角偏轉。通過確定偏轉角和偏轉器電壓差 $V_{Sp}$ 的函數相關性，以補償偏轉器的非線性。通過函數相關性 $V_{Sp}(\sin(\alpha))$ 的校準，實現用於單個一次帶電粒子小射束的近乎理想掃描器，具有用於單個帶電粒子小射束的偏轉掃描之單個共用樞軸點159。注意，像平面中束斑位置的橫向位移(p,q)與物鏡102的焦距f乘上 $\sin(\alpha)$ 成正比。例如區域場點， $p_z = f \sin(\alpha_z)$ 。對於小角度 $\alpha$ ，函數 $\sin(\alpha)$ 通常近似於 $\alpha$ 。如以下將更詳細描述，儘管可將單束顯微鏡的掃描所引起的失真最小化，但是其他掃描所引起的像差，例如像散、散焦、髮尾像差或球面像差會隨場大小增加而降低帶電粒子顯微鏡的解析度。此外，隨著場大小的增加，與虛擬樞軸點159的偏差變得越來越顯著。

【0088】在多射束系統中，根據函數相關性 $V_{Sp}(\sin(\alpha))$ ，使用相同偏轉掃描氣和相同電壓差，平行掃描複數個帶電粒子小射束。在圖4b中，複數個一次

帶電粒子小射束的交叉點108與軸向一次小射束150a的虛擬樞軸點159重合，並且每個帶電粒子小射束以不同的角度通過靜電場。例示入射角為 $\beta$ 的帶電粒子小射束157a，對應的子場域31.o具有影像子場域29.o的中心。該角度 $\beta$ 與中心坐標29.o到光學軸105的距離X由 $\sin(\beta) = X/f$ 相關，物鏡102的焦距為f。隨著偏轉掃描器110關閉( $V_{Sp}(t) = 0V$ )，小射束穿過路徑157a並且通過物鏡102聚焦到子場域31.o的中心點29.o。然而，如果施加電壓差，儘管偏轉掃描器對於如圖4a所示的軸向小射束近似理想，但對於入射角 $\beta$ 下的場小射束來說並不理想。由於偏轉場的厚度有限，對於不同入射角 $\beta$ 的每個人射小射束，通過靜電場的路徑長度不同，並且實際束路徑157z和157f偏離第一階理想光束路徑163z和163f。這針對坐標為 $p_z$ 和 $p_f$ 的兩個子場域點之光束路徑，以及實際光束路徑157z和157f進行說明。實際光束路徑157z和157f的角度偏離理想光束路徑163z和163f的角度，並且每個光束在不同的虛擬樞軸點161z和161f處虛擬偏轉，偏離光束交叉點108。例如，如果施加電壓 $V_{Sp}(\sin(\alpha_0))$ ，則一次帶電粒子小射束157a偏轉角度而不是角度 $\alpha_0$ ，並且沿著具有虛擬偏轉點161z的光束路徑157z。因此，帶電粒子束斑因局部失真向量 $dp_z$ 而失真。

**【0089】** 偏轉角的偏離隨著入射角增加而增加，並且由聚合多射束光柵掃描器110產生的掃描所引起的失真也隨之增加。在本發明的第一具體實施例中，通過聚合多射束光柵掃描器110的修改設計和操作來減少掃描所引起的失真。在本發明的第二具體實施例中，提供第一多射束掃描校正系統601，進一步減少殘留掃描所引起的失真。

**【0090】** 偏轉角的差異會產生掃描所引起的失真，虛擬樞軸點的位置差異是掃描所引起遠心像差的原因。圖5簡單例示掃描聚合多射束光柵掃描器110前面的系統171，複數個一次帶電粒子從該系統入射到第一聚合多射束光柵掃描器110上。複數個帶電粒子小射束由包括軸向帶電粒子小射束3.0和離軸小射束3.1的兩個小射束示出，其通過光柵掃描器110的相交體189並由物鏡102聚焦以形成複數個焦點，由晶圓7的表面25上之焦點5.0和5.1示出。當光柵掃描器110處於關

閉狀態並且沒有電壓差 $V_{Sp}$ 施加到電極153時，束斑5.0和5.1位於各個影像子場域的中心點29.0和29.1處。如果已施加電壓差 $V_{Sp}(\sin(\alpha_0))$ ，則小射束3.0遵循理想路徑150並且偏轉至帶狀場點 $Z_0$ 。在圖5的線性表示中，小射束3.0看起來在對應於圖4a的虛擬樞軸點159之光束交叉點108處偏轉。因此，小射束3.0以與中心位置29.0相同的入射角照射晶圓表面25。離軸小射束3.1已偏轉到相對影像子場域的相對帶狀場點 $Z_1$ 。離軸小射束3.1似乎在虛擬偏轉點161處沿著代表性光束路徑157偏轉，偏離光束交叉點108。因此，小射束3.1在掃描位置針對帶狀(zonal)場點 $Z_1$ 的遠心角偏離中心場29.1處的遠心角，除了對應於前述失真之外，還對應於小射束3.1的掃描所引起遠心像差。在本發明的一第三具體實施例中，第二多射束掃描校正系統602減少掃描所引起遠心像差。

**【0091】** 複數個帶電粒子小射束3之每一者的掃描位置處焦點位置之偏差由每個影像子場域31.11至31.MN的掃描失真向量場來描述。圖6例示影像子場域31.15（見圖7）範例中的掃描失真。在本文中，使用相對於每個影像子場域31.mn各自中心的影像子場域坐標 $(p,q)$ ，而掃描失真係由向量 $[dp,dq]$ 描述為每個單獨影像子場域31.mn的影像子場域坐標 $(p,q)$ 之函數。每個影像子場域的中心位置 $(p,q) = (0,0)$ ，以相對於光學軸105的 $(x,y)$ 坐標描述。每個影像中心坐標可以 $(x,y)$ 坐標函數的靜態偏移 $(dx,dy)$ 從預定的理想光柵組態失真，如圖3所示。靜態失真通常由靜態多孔板306.2補償，並且不在掃描失真 $[dp,dq]$ 中考慮。由於每個影像子場域31.11...31.MN中掃描失真不同，所以掃描失真一般用四維掃描失真向量 $[dp,dq] = [dp,dq](p,q;x_{ij},y_{ij})$ 來描述，具有局部影像子場域坐標 $(p,q)$ 和影像子場域的離散中心坐標 $(x_{ij},y_{ij})$ 。

**【0092】** 圖6顯示影像子場域31.15上的掃描失真向量 $[dp,dq]$ 。在此範例中，最大掃描失真位於最大影像子場域坐標 $p = q = 6\mu\text{m}$ ，具有掃描失真向量 $[dp,dq] = [2.7\text{nm}, -1.6\text{nm}]$ 。該影像子場域中最大掃描失真向量的長度為3.5 nm。影像子場域中典型的最大掃描失真像差在1 nm至4 nm的範圍內，但甚至可能超過5 nm。



【0093】圖7例示在完美對準常規多射束帶電粒子顯微鏡範例中每個影像子場域31.11至31.MN的最大掃描失真，其中具有六邊形光柵組態中的複數個 $J=61$ 一次帶電粒子小射束。每個影像子場域的最大掃描失真由圓圈面積表示。多射束帶電粒子顯微鏡光學軸上影像子場域31.55的最大掃描失真很小或幾乎為零。最大掃描失真隨影像子場域至光學軸的距離增加而增加，並且在影像子場域31.15或31.91處達到所有最大掃描失真的最大值，並且到光學軸的距離最大，因此相對於光學軸105在束交叉點108處具有最大傳播角 $\beta$ 。圓圈的面積代表每個子場域的最大掃描失真，圓圈的直徑隨著影像子場域中心到光學軸的距離呈線性增加，如線197所示。在一範例中，掃描失真具有主要部分，其與子場域坐標(p,q)呈線性相關性，並且與影像子場域中心位置(x,y)呈二次相關性(quadratic dependency)。

【0094】在圖7的範例中，聚合多射束光柵掃描器110構造成用於減少中心子場域31.55的軸向小射束處掃描所引起的失真，以及與對應至具有大入射角至相交體的一次小射束之子場域的最大掃描所引起的失真。在本發明的範例中，聚合多射束光柵掃描器110的掃描偏轉電壓 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 經過設置，以軸向小射束的掃描所引起的失真為代價來最小化最大掃描所引起的失真，使得中心子場域31.55的軸向小射束發生一些掃描所引起的失真，但最大掃描所引起的失真從例如5 nm減小到3 nm以下。

【0095】在本發明的一第一具體實施例中，含有多射束帶電粒子顯微鏡1的掃描失真之掃描成像像差通過聚合多射束光柵掃描器110的改進設計而降低。根據第一具體實施例的已改進聚合多射束光柵掃描器110通過產生橫向最佳化靜電偏轉場將掃描失真降至最低，使得在操作期間，以不同角度 $\beta$ 入射和傳播通過靜電場的一次小射束通過已校正偏轉角 $\alpha$ 偏轉，並且約略在對應於複數個一次帶電粒子小射束3的束交叉點之共用虛擬樞軸點處經過偏轉。改進的聚合多射束光柵掃描器110包括一組具有最佳化偏轉電極物理設計的偏轉電極，以及一組用於在複數個一次帶電粒子小射束掃描偏轉期間動態調整靜電偏轉場的校正電

極。在一範例中，該組校正電極包括配置在兩個偏轉電極之間的校正電極。在一範例中，一組校正電極包括在一次帶電粒子小射束的傳播方向上，配置在至少一偏轉電極的上游或下游之至少一校正電極。在第一具體實施例中，含有多射束帶電粒子顯微鏡的掃描失真在內之掃描成像像差通過最佳化多射束偏轉掃描器設計而減少，其中已對偏轉系統110的像差和帶電粒子顯微鏡（例如物鏡102）的附加掃描像差進行補償。

【0096】圖8a顯示第一具體實施例的一第一範例。一組掃描偏轉電極包含用於在第一方向上掃描偏轉複數個一次帶電粒子小射束的第一偏轉電極181.1和181.2、及用於在第二方向上掃描偏轉複數個一次帶電粒子小射束的第二偏轉電極183.1和183.2。例如由E.R. 韋德利奇（E.R. Weidlich）在Microelectronic Engineering Vol. 11, p.347-350 (1990) 內所發表「DESIGN OF A NON-EQUISECTORED 20-ELECTRODE DEFLECTOR FOR E-BEAM LITHOGRAPHY USING A FIELD EMISSION ELECTRON BEAM」，係針對單電子束系統描述了為產生均勻偏轉場而最佳的一組偏轉電極之設計，其在此併入本文供參考。複數個一次帶電粒子小射束以六邊形光柵組態配置，並且每個小射束通過與六邊形光柵中位置相對應的聚合多射束光柵掃描器110具有不同的傳播角( $\beta_x, \beta_y$ )。複數個一次帶電粒子小射束的相交體189之剖面因此近似為六邊形形狀。為了通過磁性物鏡102補償複數個一次帶電粒子小射束的旋轉，該組偏轉電極181和183以及相交體189相對於全局x-y坐標系統旋轉。圖7中所例示的最大掃描失真區域由箭頭191指示。已修改的偏轉掃描器設計包括偏離圓形形狀（虛線）的一組偏轉電極之組態。在一範例中，偏轉電極配置成橢圓形，在箭頭191所示的最大掃描失真區域方向上，偏轉電極與相交體189的距離更近。在一範例中，偏轉電極具有不同的方位角延伸。相較用於在具有方位角擴展 $\phi_1$ 的第一方向上偏轉掃描之偏轉電極181.1和181.2，用於在第二方向上偏轉掃描的偏轉電極183.1和183.2具有不同的方位角擴展 $\phi_3$ 。

【0097】此外，包括電極185.1、185.2、185.3、185.4的一組校正電極185配置在相交體189的外部，並且依序配置在該組偏轉電極之間。在使用期間，複數個校正電壓差 $VC(i=1...4, t)$ 施加到校正電極，與偏轉電極組的掃描電壓差 $VSp(t)$ 和 $VSq(t)$ 同步。在使用期間，校正電極185產生可變的校正偏轉場，該場新增至由該組偏轉電極181和183產生的偏轉場中。該組校正電極構造成在使用期間產生校正場，該校正場在掃描期間尤其作用於六邊形光柵組態的轉角中最大傳播角之小射束。在掃描期間，校正電壓差 $VC(i=1...4, t)$ 根據掃描失真而變化，如圖6所示。從而減少影像掃描過程中的掃描失真。

【0098】圖8b例示第一具體實施例的第二範例，其中已修改的聚合多射束光柵掃描器110適用於光柵組態的對稱性。在此範例中，複數個一次帶電粒子小射束以具有對應角度 $\beta_x, \beta_y$ 的笛卡爾或矩形光柵組態排列，並且相交體189的剖面具有近似矩形的形式。如圖8a中，圖8b的偏轉器系統110相對於全局坐標系統 $(x, y)$ 旋轉，以預補償由配置在聚合多射束光柵掃描器110下游的物鏡102（見圖1）之旋轉。用於產生用於複數個一次帶電粒子小射束的掃描偏轉之偏轉場的該組偏轉電極181和183配置成矩形，包含用於在第一方向偏轉或光柵掃描的偏轉電極181.11、181.12、181.21和181.22、及用於在第二方向偏轉或光柵掃描的偏轉電極183.11、183.12、183.21和183.22。聚合多射束光柵掃描器110更包含一第一組校正電極185，其包含配置在最大傳播角的小射束附近之第一校正電極185.1至185.4。第一組校正電極185構造成局部添加非均勻校正場，其特別作用於具有大角度並因此大掃描所引起的失真的一次帶電粒子小射束。接下來，聚合多射束光柵掃描器110更包含一第二組校正電極187.1至187.8，其配置在每對偏轉電極181或183與第一校正電極185之間。利用第二組校正電極，提供校正場產生的附加自由度，例如以控制由第一組校正電極產生的非均勻校正場覆蓋範圍。

【0099】在此範例中，用於在影像掃描期間產生偏轉場的每一偏轉電極構造成一對偏轉電極，例如第一對偏轉電極181.11和181.12及第二對偏轉電極181.21和181.22，用於在第一方向掃描偏轉。通過由一對兩或複數個電極配置偏

轉電極，提供進一步的自由度。例如，在使用偏轉電極181.11至181.22在第一方向的影像掃描期間，可產生可變非均勻掃描偏轉場，其在相交體190的中心區域中是均勻的，但是對於通過區域189的大傳播角之小束具有預定可變非均勻性。此外，在偏轉電極183.11至183.22在第二方向的影像掃描期間，偏轉電極181.11至181.22可在第一掃描方向的方向中產生預定可變非均勻掃描校正場，其與在第二方向的掃描偏轉同步，並且例如可補償具有較大傳播角的小射束之影像旋轉形式的掃描失真。此外，通過進一步的自由度，例如可補償真正的聚合多射束光柵掃描器110之製造公差。

**【0100】** 圖9例示根據圖8b的已改進偏轉掃描器的態樣，其中通過對聚合多射束光柵掃描器110的偏轉電極對電壓差之改進選擇，以最佳化偏轉掃描器性能。在一範例中，用於在第一方向偏轉掃描的偏轉電極181包含第一對偏轉電極181.11和181.12以及第二對偏轉電極181.21和181.22。在圖9a中，例示作為偏轉角 $V_{Sp}(\sin\alpha)$ 的函數所需電壓差，該偏轉掃描器具有單個偏轉電極。該曲線圖說明施加到兩單個偏轉電極181.1和181.2以在第一方向進行偏轉掃描所需之電壓差175。如前述的非線性效應通過電壓差175與線性線173之偏差來補償。圖9b內例示兩對偏轉電極的修正電壓差。在使用期間，第一電壓差177.1分別施加到符號相反的相對電極181.11和181.21，並且第二電壓差177.2分別施加到符號相反的相對電極181.12和181.22。施加到該對電極的平均電壓差與電壓差175相同。軸向小射束和靠近光學軸的小射束透射圖8b中之內部區域190。在此區域中，電壓差177.1和177.2產生的靜電場差幾乎沒有影響。剩餘旋轉可通過將可變偏移電壓179.1和179.2（未按比例示出）施加到該對電極183.11至183.22以在第二方向掃描來補償。因此，透射區域189的外部區域之小射束經歷稍微不均勻的偏轉場。因此，可減少掃描所引起的失真。

**【0101】** 圖10例示第一具體實施例的一其他範例。在此範例中，該組校正電極包括配置在複數個一次帶電粒子小射束3的傳播方向上在偏轉電極的上游或下游之電極。第一和第二偏轉電極181.11、181.12與第一和第二偏轉電極

181.31、181.32相對並構造成用於在第一方向X'偏轉掃描。由於複數個一次帶電粒子小射束的發散性，複數個小射束透射相交體189形成包括不同橫向延伸的z區段189.1至189.3之束管。在第一範例中，提供並設置一組第一校正電極195.1至195.4，以在複數個一次帶電粒子小射束的掃描偏轉期間添加校正場。校正電極配置在一次帶電粒子小射束的傳播方向上，在圖10中為z方向，位於偏轉電極181的上游和下游。在這些z位置處，具有較大傳播角的一次小射束，例如小射束3.1和3.2，到達光學軸105的距離較大，並且由校正電極產生的非均勻校正場之影響隨小射束的傳播角增加而增加。附加的第二組校正電極193.1至193.4提供附加的自由度，以最佳化相交體189中的該已修改非均勻掃描偏轉場。在圖10中以剖面例示校正電極193或195，並且沿一次小射束的圓周成段配置，用於局部影響複數個帶電粒子小射束，類似於圖8中所例示的校正電極。在使用期間，將可變校正電壓差施加到校正電極，並且在偏轉掃描期間，隨時間變化的非均勻校正場同步添加至掃描偏轉場。例如，在偏轉場中，一次帶電粒子小射束3.1向右偏轉並沿路徑3.1f傳播，並透射由校正電極193.2和195.2產生的校正場，而循著路徑3.2f的一次帶電粒子小射束3.2更遠離電極193.2和195.2，並且不會經歷非均勻校正場。藉此，可對不同影像子場域中不同局部掃描失真的變化進行校正。

【0102】圖11例示已改進的偏轉掃描系統110之另一態樣。通過將偏轉電極的長度或縱向延伸沿著z方向調整用於沿著第一方向掃描偏轉的偏轉電極181.1和181.2之長度Z1，以及用於沿著第二方向掃描偏轉的偏轉電極183.1和183.2之長度Z3，可減少四個角中增加的掃描失真，如圖8a中的箭頭191所示。

【0103】通過偏轉電極的已修改設計，在聚合多射束光柵掃描器110的相交體189內提供預定的非均勻靜電場。預定的非均勻靜電場隨時間變化，從而實現複數個一次帶電粒子小射束的偏轉掃描，從而將掃描所引起的像差降至最低，例如隨著與光學軸的角度增加而透射相交體的小射束之掃描所引起的失真。在第一範例中，偏轉電極構造成產生預定的非均勻靜電掃描偏轉場，其中隨著增加角度 $\beta$ ，增加一次小射束透射相交體189的非均勻性。在第一第二範例中，

提供附加校正電極用於在影像掃描期間產生隨著掃描偏轉角 $\alpha$ 的增加，一次小射束透射相交體189的可變增加之非均勻性。在多射束帶電粒子顯微鏡1的設計和模擬期間，對掃描電極的形狀和位置以及校正電極的形狀和位置進行最佳化。在一範例中，考慮光學系統的其他元件之附加像差。計算產生掃描偏轉場和掃描校正場所需的理論電壓差 $VS(t)$ 和 $VC(t)$ ，並將用於產生掃描校正電壓差 $VC(t)$ 的控制信號儲存在多射束帶電粒子顯微鏡1的控制單元800之記憶體內。在多射束帶電粒子顯微鏡1的調整與校準期間，掃描偏轉和校正場所需的電壓差 $VS(t)$ 和 $VC(t)$ 已調整並校準，並且已校準電壓差 $VS(t)$ 和用於產生掃描校正電壓差 $VC(t)$ 的控制信號儲存在多射束帶電粒子顯微鏡1的控制單元800之記憶體內。在影像掃描期間，產生校準電壓差 $VS(t)$ 和 $VC(t)$ 。以下所述產生與掃描電壓差 $VS(t)$ 同步的校正電壓差 $VC(t)$ 之範例。在一範例中，掃描偏轉場的非均勻性係沿著第一或第二掃描方向，用拋物線形狀或更高階形狀的校正場所產生。在一範例中，偏轉場的非均勻性由校正場產生，其在光學軸上具有鞍點形狀並且在第一和第二方向上顯示出相反符號的拋物線或更高階的不均勻性。

**【0104】** 圖21例示具有預定非均勻場分佈的聚合光柵掃描器110之另一範例。在此範例中，提供附加電極153.1a、153.1c和153.2a、153.2c，其與帶電粒子顯微鏡的光學軸形成一角度。藉此，在相交體189的帶電粒子小射束入口側和出口側，控制電場的傾斜角。利用與光學軸形成傾角的校正電極，可最佳化具有不同入射角的複數個小射束之掃描偏轉場效果，包含平行於光學軸的小射束3.0及具有與光學軸夾最大角度 $\beta_2$ 的小射束3.1。

**【0105】** 根據本發明的一第二具體實施例，多射束帶電粒子顯微鏡1包含一多射束掃描校正系統，諸如一掃描失真補償器陣列601，其構造成用於在影像掃描期間補償殘餘掃描所引起的失真（參見圖1）。利用一次帶電粒子束路徑中的掃描失真補償器陣列601，每個單獨的一次帶電粒子小射束個別地受影響，並且通過每一初級小射束的掃描偏轉，針對每個單獨影像子場域，補償由長行程聚合多射束光柵掃描器110所引起的掃描失真幾nm。掃描失真補償器陣列601例

示於圖12至圖15。短行程掃描失真補償器陣列601構造成多孔陣列620，並包含以複數個一次帶電粒子小射束3的光柵組態配置的複數個孔，在此範例中，其為六邊形光柵組態。圖12例示多孔陣列620的態樣。其中三個孔用參考編號685.1至685.3表示。在複數個孔之每一者的圓周上，配置複數個電極681.1 - 681.8，在此範例中，每個孔685的電極數量為八個，但是也可為其他數量，例如四或多個。電極681相對於彼此並且相對於多孔陣列620的載體電絕緣。每個電極通過導電線607電連接到一快速陣列掃描控制模組。

**【0106】** 儘管靜態多孔陣列620的設計原則上已知用於如圖3所述的靜態失真之靜態補償，但是使用習知方法不可能進行掃描校正或掃描所引起的像差的補償。對於與掃描操作同步的掃描校正，每個小射束至少有兩個高動態的掃描校正電壓差，例如產生八個掃描校正電壓差，並以全掃描速度進入真空來提供給J個一次小射束之每一者。通過將與影像光柵掃描同步的一系列預定掃描電壓差VCA(t)施加到該等電極681之每一者，通過該等孔685之一者的每個一次帶電粒子小射束經過掃描偏轉，與通過長行程聚合多射束光柵掃描器110的掃描偏轉同步。因此，影像子場域中掃描失真通過對應於影像子場域的單獨小射束在相反方向上之偏轉，補償例如高達3 nm的殘餘掃描所引起的失真量。由於僅有關靜電效應，透射相對孔685的帶電粒子小射束可單獨與長行程光柵掃描同步高速調整或改變。

**【0107】** 更多細節例示於孔685.3的範例內。在此提供一第一組電極687.1和687.2，用於在第一或p方向通過孔685.3的一次帶電粒子小射束之偏轉掃描。在此提供一第二組電極688.1和688.2，用於在第二或q方向通過孔685.3的一次帶電粒子小射束之偏轉掃描。在此可提供另外電極，用於帶電粒子小射束通過孔685.3的其他操縱，此等電極用於校正像散。

**【0108】** 施加到第一組和第二組偏轉電極的複數個掃描校正電壓差VCA(t)，與以約20 MHz至50 MHz的信號頻率提供給聚合多射束光柵掃描器110之光柵掃描電壓差VSp(t)和VSq(t)同步提供。圖13例示根據本發明的第二具體實

施例的掃描失真補償器陣列601之組態，其能夠偏轉掃描複數個 $J = M \times N$ 一次帶電粒子小射束，其中帶電粒子小射束的數量 $J$ 大於10個小射束，較佳約 $J = 61$ 個小射束或更多，例如 $J > 100$ 個小射束或甚至 $J > 1000$ 個小射束。考慮每個小射束至少有4個偏轉電極， $J$ 小射束偏轉掃描的驅動信號或電壓差 $V_{CA}(i=1 \dots 4J, t)$ 之數量至少為 $4J$ ， $4J$ 信號或電壓差 $V_{CA}(i = 1 \dots 4J, t)$ 每一者提供大約20 MHz到50 MHz甚至更高的信號頻率，根據每個像素處大約25 ns的駐留時間。因此，資料速率通常超過10 Gbit/秒。圖13和圖14例示在施加到聚合掃描電壓 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 的靜電壓轉換陣列611和612之範例中實現這種高資料速率的一範例。掃描失真補償器陣列601包括具有複數個孔685的多孔板620，和如圖12內所示的偏轉電極，以及掃描陣列控制單元622。用於在第一方向偏轉掃描的每個電極通過導電線607.1和第一多條導電線613連接至第一靜電壓轉換陣列或單元611之輸出。第一靜電壓轉換陣列611由掃描陣列控制單元622的操作控制記憶體626提供之第一靜態控制信號615所控制。用於複數個一次帶電粒子小射束之每一者在第一方向平行掃描偏轉的第一掃描偏轉電壓差 $V_{CAP}(t)$ 由掃描電壓發生器（未示出）經由第一電源線609提供。第一掃描偏轉電壓差 $V_{CAP}(t)$ 與由聚合多射束掃描偏轉器110產生用於偏轉掃描的聚合掃描電壓 $V_{Sp}(t)$ 成比例。第一方向是子場域坐標 $p$ 的方向，平行於影像平面中的 $x$ 方向。掃描陣列控制單元622包含用於儲存第一複數個控制信號615的記憶體626，包含用於在第一方向掃描校正的每組偏轉電極之靜態控制信號，例如圖12的電極687.1和687.2。第一靜電壓轉換陣列611產生多個適當電壓差 $V_{CAp}(u=1 \dots 2J, t)$ 給該組 $u$ 個偏轉電極，用於在第一方向與第一掃描偏轉電壓差 $V_{CAP}(t)$ 同步的每個帶電粒子小射束之掃描偏轉。施加到用於在第一方向偏轉的偏轉電極，例如電極687.1和687.2的每個電壓差與掃描偏轉電壓差 $V_{CAP}(t)$ 成比例，因此與聚合掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 成比例。

【0109】一第二組靜態控制信號616提供給第二靜電壓轉換陣列612，其經由導電線614和佈線607.2與用於在第二方向偏轉掃描的 $v$ 個第二電極之每一者連接，例如包含孔685.3的電極688.1和688.2，如圖12所示。第二靜電壓轉換陣列612



為 $v$ 個偏轉電極之每一者產生多個第二電壓差 $VCAq(v=1\dots 2J,t)$ ，用於通過從經由第二電源線610提供的第二掃描偏轉電壓差 $VCAq(t)$ 減小小射束在第二方向（此處為子場域坐標 $q$ 的方向，平行於影像平面中的 $y$ 方向）之掃描偏轉。施加到用於在第二方向偏轉的每一偏轉電極，例如電極688.1和688.2的每個電壓差與掃描偏轉電壓差 $VCAq(t)$ 成比例，因此與聚合掃描電壓差 $VSq(t)$ 成比例。

【0110】如圖6所示，影像子場域中的掃描失真向量 $[dp,dq]$ 通常在第一方向（此處為 $p$ 坐標）和第二方向（此處為 $q$ 坐標）上具有掃描失真向量分量。因此，在圖13的範例中，第一和第二電壓轉換單元611、612通過信號線618連接，並且除前述之外，產生與第一掃描偏轉電壓差 $VCAp(t)$ 成比例並用於在第二方向掃描偏轉的多個電壓差 $VCp(v,t)$ ，並提供給複數個電極來在第二方向掃描，對於 $VCAq(u,t)$ 反之亦然。藉此，第一方向 $dp(p,q)$ 和第二方向 $dq(p,q)$ 上的殘餘掃描失真向量分量與提供給聚合多射束光柵掃描器110的聚合掃描信號 $VSp(t)$ 和 $VSp(t)$ 同步補償。因為掃描失真振幅 $\|dp,dq\|$ 小，例如低於3 nm，或低於1.5 nm，對複數個帶電粒子小射束之每一者的掃描感應失真進行個別補償所需之電壓差非常低，例如低於100 mV，低於10 mV甚至更低。

【0111】靜電壓轉換陣列或單元611或612的一範例由可編程電阻陣列賦予，其產生與可變輸入電壓成比例的多個輸出電壓。圖14例示靜電壓轉換陣列611的範例。在此範例中，靜電壓轉換陣列611構造成可編程電阻陣列，用於將可變驅動電壓 $VCAp(t)$ 和 $VCAq(t)$ 單獨降低到複數個電壓差 $VCAp(u,t)$ 和 $VCAp(v,t)$ ，用於對複數個帶電粒子小射束之每一者的掃描所引起的失真 $(dp,dq)$ 進行個別補償。靜電壓轉換陣列611提供至少兩電壓差分量給 $u=1\dots 2J$ 校正偏轉電極之每一者，包括一同步於驅動電壓 $VCAp(t)$ 的第一電壓差 $VCAp(u,t)$ 及一同步於驅動電壓 $VCAq(t)$ 的第二電壓差 $VCAq(u,t)$ 。第一和第二驅動電壓 $VCAp(u,t)$ 和 $VCAq(u,t)$ 由電壓新增器641.u新增，並提供給相對的 $uth$ 電極，例如電極687.1，用於補償第一方向內單個一次小射束的掃描所引起的失真。對於 $j=1\dots 4J$ 偏轉電極之每一者，具有增加阻抗的第一電阻序列633.j，例如具有 $1\Omega$ 、 $2\Omega$ 、 $4\Omega$ 、 $8\Omega$ 的一序列

電阻係串聯與並聯每個電阻器，並配置一序列電晶體639.n。例如，對於偏轉電極687.1，一第一序列電阻633.11至633.14係與一第一序列電晶體639.11至639.14並聯配置，以降低在電源線609處提供的驅動電壓 $V_{CAp}(t)$ ，由此電壓降低量由提供給第一序列電晶體639.11至639.14之複數個靜態控制信號635.11至635.14控制。通過由提供給電阻633.13的閘極之控制信號635.13，將例如電晶體639.13從斷開狀態切換到導通狀態，橋接相對的電阻633.13並且電壓不被電阻633.13降低。如果電晶體639.11至639.14處於斷開狀態，則驅動電壓，例如掃描偏轉電壓差 $V_{Cap}(t)$ ，由相對的電阻633.11至633.14降低。如果所有電晶體切換到斷開狀態，則驅動電壓差 $V_{CAp}(t)$ 減小到最小值並且實現相對小射束的最小偏轉。如果所有電晶體切換到導通狀態，則完全掃描偏轉電壓差 $V_{CAp}(t)$ 供應給相對電極，並實現相對小射束的最大偏轉。藉此，例如小射束大約高達5 nm的掃描失真最大值得到補償。4個電阻串聯後，驅動電壓差 $V_{CAp}(t)$ 可降低到最大與最小電壓差之間的16個不同電壓電平，從而將5 nm左右的最大殘餘失真降低到0.3 nm左右。

**【0112】** 通過提供給電晶體639的序列之複數個靜態控制信號635用於切換電晶體並將電晶體保持在導通或斷開狀態，掃描偏轉電壓差 $V_{CAp}(t)$ 以預定方式針對多孔陣列620的複數個電極之每一者減小。提供給特定第u電極(例如圖12的電極687.1)之輸出電壓 $V_{CAp}(u,t)$  613.1包含與驅動電壓 $V_{CAp}(t)$ 同步的第一校正電壓分量 $V_{CAp}(u,t)$ ，其與第一掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 成比例，用於一次帶電粒子小射束在第一或p方向的長行程光柵掃描。

**【0113】** 在一範例中，第一方向(例如p方向)上的掃描校正取決於第二方向(例如q方向)上的掃描位置。因此，靜電壓轉換陣列611更包含電壓組合器641.1，其連接到可編程電阻陣列，該陣列包括由電源線610提供的第二掃描偏轉電壓差 $V_{CAq}(t)$ 驅動之電阻633.3。利用一組驅動信號637.11至637.14，產生與驅動電壓 $V_{CAq}(t)$ 同步的第二校正電壓分量 $V_{CAq}(u,t)$ 來與第二掃描偏轉電壓差

VCA<sub>q</sub>(t)成比例，並加到第一校正電壓分量與第二掃描偏轉電壓差VS<sub>q</sub>(t)成比例並同步，用於在第二或q方向的長行程光柵掃描。

【0114】 在一範例中，第二方向（例如q方向）上的掃描校正取決於第一方向（例如p方向）上的掃描位置。因此，靜電壓轉換陣列611包括其他可編程電阻陣列，該陣列由電源線609提供的第一掃描偏轉電壓差VCA<sub>p</sub>(t)驅動。使用一組驅動信號（未示出），與第一掃描偏轉電壓差VSp(t)成比例地產生與驅動電壓VCA<sub>p</sub>(t)同步的第二校正電壓分量VCA<sub>p</sub>(v,t)，但用於補償在第二或q方向的掃描失真向量分量dq(p,q)，與第一方向上的掃描位置成比例。

【0115】 用於將掃描偏轉電壓差減小到預定電壓差，以補償掃描感應失真的電阻、電晶體和靜態控制信號之數量L舉例說明為L=4，但數量L可更大。電壓組合器641還可連接到附加電壓差信號，例如提供單獨預定電壓偏移給每一孔685，以補償靜態失真偏移，如圖3所示。可編程電阻陣列是準靜電壓轉換器的一範例，通過它能夠產生大量資料速率，並可將其提供給掃描失真補償器陣列601的4J電極。等效實施也可能，例如可編程源極跟隨器(follower)電晶體陣列，其將每個源極跟隨器電晶體的驅動電壓差限制為與在每個源極跟隨器電晶體相對閘極處提供的靜態信號成比例之量。

【0116】 含有控制信號635.11至635.14和控制信號637.11至637.14之複數個靜態控制信號在校準步驟中確定，並儲存在掃描陣列控制單元622的記憶體626中，用於掃描失真補償器陣列601的至少4J個電極之每一者。在多射束帶電粒子顯微鏡的操作期間，例如在第一影像圖塊與第二影像圖塊的影像獲取之間，可修改儲存在記憶體626中的靜態控制信號。因此，掃描陣列控制單元622通過資料連接631（見圖13）連接到操作控制單元800。在一範例中，掃描陣列控制單元622已連接到時脈線624，以使掃描失真補償器陣列601的操作與聚合多射束光柵掃描器110同步。在影像圖塊的影像獲取期間，複數個靜態控制信號615和616是恆定的，並且通過將多個4J電壓差提供給4J偏轉電極，以校正每個影像子場域中的掃描失真，由此每個4J電壓差包括與第一和第二掃描偏轉電壓差

VCA<sub>p</sub>(t)和VCA<sub>q</sub>(t)成比例的第一和第二分量，其與提供給長行程聚合多射束光柵掃描器110的偏轉掃描器電極之掃描偏轉電壓差VSp(t)和VSq(t)同步。因此，根據第二具體實施例，由聚合多射束光柵掃描器110與諸如物鏡102的附加光學元件組合產生之掃描失真由掃描失真補償器陣列601補償。

【0117】 在一範例中，光柵組態中的一次帶電粒子小射束的數量J為J = 100。至少需要4個具有校正電壓差的電極來校正每個小射束之掃描所引起的失真[dp,dq]，因此可編程電阻陣列產生4J = 400個校正電壓差並提供給複數個電極。對於每個電極，電壓差是兩個分量的疊加，第一分量與第一掃描方向線性相關，第二分量與第二掃描方向線性相關，4J = 400 個電極產生 8J = 800 個電壓差分量需要 8J = 800 個可編程電阻序列。例如，通過依序使用4個電阻和用於產生每個電壓差分量的四個控制信號，實現將殘餘掃描失真減少多於10倍，例如高達16倍。複數個32J = 3200個靜態控制信號可由操作控制單元622的記憶體預先確定和提供。

【0118】 通過依序提供四個以上的可編程電阻，例如8個電阻，可實施進一步減少，由此可實現超過100倍的掃描所引起的失真減少，例如高達256倍。因此，掃描失真減少至少10倍，較佳減少100倍以上。

【0119】 典型的第二和第一掃描偏轉電壓VSp(t)和VSq(t)用於小射束在第一和第二方向的掃描偏轉，如圖15所示。為了在第一方向（每個子場域中的p坐標，平行於x坐標）使用聚合多射束光柵掃描器110進行掃描偏轉，產生一系列快速電壓斜坡VSp(t)，其偏離線性斜坡以補償偏轉掃描器的非線性效應，如前述。在第n行的時間間隔tl(n)之後，用於在第二方向（這裡為晶圓層面上的q方向，平行於y坐標）偏轉的掃描偏轉電壓VSq(t)改變，以偏轉下一行編號為(n+1)的小射束，並且將掃描偏轉電壓VSp(t)設置回VSp<sub>min</sub>。隨著時間間隔tl(n+1)期間的下一電壓斜坡，小射束在行(n+1)中偏轉掃描，直到達到行的末端，並具有VSp<sub>max</sub>。時間間隔tb為前述的返馳間隔。以逐步方式產生和提供兩電壓，例如第一電壓斜坡VSp(t)包括一系列恆定電壓，這些恆定電壓在每個像素的駐留時間td期間是恆

定的，直到電壓 $V_{Sp}(t)$ 更改為偏轉電壓，用於將光束偏轉到下一像素（參見放大細節部分）。

【0120】應該提到的是，在具有掃描晶圓載台的系統中，複數個帶電粒子小射束僅在第一方向掃描偏轉，而小射束在第二方向上的位置是恆定的。在此範例中， $V_{Sq}(t)$ 為恆定。

【0121】圖15所示的電壓差 $V_{Sp}(t)$ 、 $V_{Sq}(t)$ 為使用聚合多射束光柵掃描器110提供給複數個一次帶電粒子小射束的光柵掃描偏轉之電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 之代表。電壓差 $V_{Sp}(t)$ 、 $V_{Sq}(t)$ 也代表驅動電壓 $V_{CAp}(t)$ 和 $V_{CAq}(t)$ ，如提供給前述掃描失真補償器陣列601的電源線609和610。然而，最大和最小電壓差 $V_{CAp_{min}}$ 、 $V_{CAp_{max}}$ 和 $V_{CAq_{min}}$ 、 $V_{CAq_{max}}$ 至少相差兩個數量級。長行程聚合多射束光柵掃描器110的最大掃描電壓差通常約為 $V_{Sp_{max}} = 10\text{ V}$ 或更大，這取決於一次帶電粒子 $J$ 的數量。根據最大掃描失真，可確定用於補償掃描失真的最大驅動電壓差 $V_{CAp_{max}}$ ，例如用於補償大約低於 $5\text{ nm}$ ，例如 $2\text{ nm}$ 或 $1.5\text{ nm}$ 的最大掃描失真。因此，對於掃描失真補償器陣列601，根據圖15中電壓斜坡的最大電壓 $V_{Cap_{max}}$ 通常在 $10\text{ mV}$ 到 $100\text{ mV}$ 的範圍內，例如大約 $50\text{ mV}$ 。

【0122】通常，對於對稱掃描系統，掃描電壓差的最小值與最大掃描電壓差對稱。特別是對於掃描失真的線性部分，最小電壓差由 $V_{CAp_{min}} = -V_{CAp_{max}}$ ， $V_{CAq_{min}} = -V_{CAq_{max}}$ 給出。多射束帶電粒子顯微鏡的製造誤差或熱漂移可引起複數個一次帶電粒子小射束之每一者的附加靜態失真偏移，並且可通過如前述的靜態失真補償器306來補償。

【0123】在一範例中，提供給掃描失真補償器陣列601的驅動電壓 $V_{CAp}(t)$ 和 $V_{CAq}(t)$ ，可通過用於聚合多射束光柵掃描器110的相同掃描電壓產生器，與掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 同步產生，或者通過電阻從掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 減小到所需的最大電壓 $V_{CAp_{max}}$ 和 $V_{CAq_{max}}$ 。因此，由具有可編程電阻陣列的掃描失真補償器陣列601提供之掃描失真校正，直接與由聚合多射束光柵掃描器110產生的掃描偏轉連結。

【0124】圖15為簡化表示，僅說明四條線的掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 、 $V_{Sq}(t)$ ，但掃描線的數量更多，例如 $M = 5000$ 或更多。

【0125】用於提供與第一和第二掃描校正電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 成比例的複數個校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 和 $V_{Cq}(t)$ 之電壓轉換單元611或612之類似實現，也可用於根據第一具體實施例的聚合多射束光柵掃描器110之該組校正電極之控制，例如用於該組校正電極185.1至185.4、187.1至187.4或195.1至195.4的控制。由此，複數個校正電壓差提供給與驅動電壓差 $V_{Sp}(t)$ 、 $V_{Sq}(t)$ 同步的校正電極，用於偏轉電極的偏轉掃描。

【0126】在一範例中，使用掃描失真補償器陣列601另補償了其他掃描所引起的像差，例如掃描所引起像散或焦平面的變化。動態掃描失真通常與擾動和未擾動系統發生的動態光斑形狀像差有關。在一範例中，提供類似於掃描失真補償器陣列的掃描像散器陣列，並且每個像散器電極的校正電壓差由如前述的可編程電阻陣列或網路產生。複數個例如兩或三個此多孔板依序配置，具有用於補償諸如像散和散焦的像差之相對電極。根據驅動電壓差 $V_{Sp}(t)$ 、 $V_{Sq}(t)$ 以類似方式提供複數個校正電壓。例如，需要兩電壓差 $V_{CCp}(t)$ 和 $V_{CCq}(t)$ 用於像散校正。同樣地，遠心像差掃描補償器陣列620可經過設置和操作，如下文將更詳細描述。

【0127】掃描失真補償器陣列601的一些態樣例示於圖1中。在一範例中，掃描失真補償器陣列601設置在一次多小射束形成單元305之後的複數個一次帶電粒子小射束之傳播方向上，例如在一次多小射束形成單元305與第一場透鏡307之間。在一範例中，掃描失真補償器陣列601構造為主動多孔板配置306.1或306.2的附加元件，例如通過其補償諸如圖3中所示靜態失真偏移的靜態像差。在另一範例中，掃描失真補償器陣列601是一次多小射束形成單元305的元件。如前述，掃描失真補償器陣列601還可構造成補償靜態失真偏移，如圖3所示。使用掃描失真補償器陣列601，在影像或光柵掃描期間，中間像平面321中每個帶電粒子小射束焦點311的位置係與長行程光柵掃描同步改變，且方向與由使用聚

合多射束光柵掃描器110對複數個一次帶電粒子小射束進行聚合光柵掃描所導致的該掃描所引起的失真相反。

【0128】 在一第三具體實施例中，多射束帶電粒子顯微鏡包含一第二多射束掃描校正系統，諸如一用於補償如前述掃描遠心誤差的掃描補償器陣列。用於補償掃描遠心誤差的掃描補償器陣列602配置在中間像表面321附近。用於補償掃描遠心誤差的掃描補償器陣列602構造成類似於掃描失真補償器陣列601，並具有複數個用於補償掃描感應遠心誤差的控制信號。除了用於補償靜態遠心誤差的靜態補償器390之外，還可配置一用於補償掃描遠心誤差的掃描補償器陣列602，或可構造成另外提供複數個用於補償遠心誤差靜態偏轉的偏轉電壓。利用用於補償掃描遠心誤差的掃描補償器陣列602，通過調整中間像平面311附近每個小射束的單獨傳播角度來補償掃描所引起遠心誤差，使得在影像掃描期間，複數個一次帶電粒子小射束之每一者以90°的角度，偏差低於3 mrad或甚至更低，撞擊在晶圓表面25上。

【0129】 根據一第四具體實施例，提供一種具有減少掃描失真的多射束帶電粒子顯微鏡和一種具有減少掃描失真的多射束帶電粒子顯微鏡操作方法。為了最佳化和調整偏轉掃描器，以及為了導出例如掃描失真補償器陣列601的複數個控制信號，如圖6a所示每個影像子場域的掃描失真 $[dp, dq]$ 擴展為一強化序列的影像子場域坐標 $(p, q)$ ：

$$d\gamma = \sum_{a,b} c_{ab} \gamma^a \bar{\gamma}^b$$

其中根據下式的複數符號

$$\gamma = p + iq,$$

$$d\gamma = dp + idq$$

掃描失真中 $a + b = 1$ 的最低階或線性部分描述為

$$d\gamma = c_{10}\gamma + c_{01}\bar{\gamma}$$

並且可寫成

$$\begin{pmatrix} dp \\ dq \end{pmatrix} = \left[ M \cdot \begin{pmatrix} \cos\mu & 0 \\ 0 & \sin\mu \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & \omega \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos\rho & -\sin\rho \\ \sin\rho & \cos\rho \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} p \\ q \end{pmatrix}$$

【0130】其中混合角 $\mu$ 、正交性偏差 $\omega$ 和旋轉角 $\rho$ 。因此，描述四種線性掃描失真的一種方式由四種線性失真像差標度M、矩形度SQ、正交性OR和旋轉度ROT給出，其中

$$SQ = 1 - \cot(\mu),$$

$$OR = \frac{\pi}{2} - \arccos\left(\frac{\omega}{\sqrt{1+\omega^2}}\right),$$

$$ROT = \rho.$$

【0131】高階失真例如是像枕形(pincushion)失真那樣的三階失真。通常，每個子場域的線性失真像差佔總掃描所引起的失真的80%以上。利用根據第二具體實施例的掃描失真補償器陣列601，可通過提供給偏轉電極的多個電壓差來補償線性掃描失真，這些電壓差與掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 成比例，其與每一影像子場域內的掃描位置 $(p,q)$ 成比例。掃描失真的線性部分由四個正常化線性失真像差向量M、SQ、OR和ROT描述，每個影像子場域具有光柵坐標 $(n,m)$ 。從而補償了掃描失真 $(dp,dq)$ 的線性部分。

【0132】在一範例中，線性部分M、SQ、OR和ROT由四個正常化向量SDV(i)描述，其中SDV(1)代表M，SDV(2)代表SQ，SDV(3)代表OR以及SDV(4)表示ROT，掃描失真的線性部分由正常化掃描失真向量的複數個振幅 $A(i;n,m)$ 描述：

$$[dp,dq](p,q;n,m) = E \cdot \sum_i A(i;n,m) \cdot SDV(i;p,q)$$



【0133】 在一範例中，通過將每個線性失真向量SDV(i)的最大值設定為1 nm，並通過設定索引為(n,m)的所有子場域之最大振幅總和 $\max\{\sum_i A(i; n, m)\} = 1$ 來實現正常化。然後比例因子E為乘法因子，代表掃描所引起的失真的最大強度[dp,dq](p,q;n,m)。

【0134】 圖16說明具有減少掃描失真的多射束帶電粒子顯微鏡操作方法。在具有減少掃描失真的多射束帶電粒子顯微鏡1操作方法之第一步驟S1中，確定殘餘掃描失真的線性部分。該確定例如通過校準樣品處的掃描失真之校準測量來實現。校準樣品可包括在校準位置處的多個校準結構，並且設置於晶圓載台上。在一範例中，校準包含在類似於複數個帶電粒子小射束的光柵組態這類光柵組態中之複數個重複圖案，並且重複掃描失真校準測量，其中校準圖案的相對位移對應於第一與第二測量之間至少一影像子場域的長度。可導出第一和第二測量的差異，並且可確定對應於掃描失真的影像子場域間之相對差異。分析測量的掃描失真，並通過分解每個子場域 (nm) 的掃描失真誤差向量[dp, dq]，計算每個影像子場域(n,m)的線性部分M(nm)、SQ(nm)、OR(nm)和ROT(nm)。確定最大掃描失真向量，確定縮放因子E，並確定複數個振幅A(i;n,m)。

【0135】 在步驟S2中，根據縮放因子E確定掃描失真補償器陣列601所需的校正電壓差VCApmax、VCAqmax的最大值，並確定第一和第二減少因子F1和F2。確定減少因子F1和F2，以根據提供給聚合多射束光柵掃描氣110的掃描電壓差VSp(t)、VSq(t)，實現用於對複數個一次帶電粒子小射束進行掃描校正的校正電壓差VCAp(t)、VCAq(t)。

【0136】 在步驟S3中，根據線性失真向量SDV(i)的複數個振幅A(i;n,m)與影像子場域坐標(n,m)的相關性，導出用於控制可編程電阻陣列611和612的複數個控制信號635和637（參見圖12至圖14的參考編號）。對於掃描失真補償器陣列601的複數個孔685之每一者之偏轉電極687、688之每一者，分別用於每個小射束或坐標(n,m)的每個影像子場域，從複數個振幅A(i;n,m)中導出導出用於控制可編程電阻陣列611和612的多個（至少8個）控制信號635和637，並儲存在操作

控制單元622的記憶體中。控制信號來自坐標(n,m)的影像子場域中掃描所引起的失真之所需補償。將振幅A(i; n,m)縮放到任意單位的最大失真1，線性向量分量對應於矩陣元件，並且可通過矩陣乘法計算可編程電阻陣列的相對控制參數，並且根據串聯電阻數以位元長度進行二進位數轉換。

【0137】 在步驟S4中，在影像掃描期間，複數個控制信號635和637提供給可編程電阻陣列611和612。掃描電壓差VSp(t)和VSq(t)由減小因子F1和F2減小，並且將減小的校正電壓差VCAP(t)、VCAq(t)提供給可編程電阻陣列611的電源線609和610。藉此，在影像掃描期間，複數個一次帶電粒子小射束由聚合光柵掃描器110偏轉掃描，並且殘餘掃描失真的線性部分由掃描失真補償器陣列601補償。

【0138】 藉此，殘餘掃描失真減少至少80%，例如減了10倍，並且實現例如低於0.3 nm或甚至低於0.2 nm的殘餘掃描所引起的失真。

【0139】 圖17說明在多射束帶電粒子顯微鏡的範例中，線性掃描失真向量對複數個一次帶電粒子小射束的典型場相關性，其中J = 61小射束具有六邊形光柵組態。在影像17a、c、e和g中，正數用圓圈表示，負數用方塊表示，線性失真向量的最大值或最小值由圓圈或方塊的面積表示。圖17b顯示正常化線性標度SDV(1) ~ M，圖17a例示線性標度SDV(1)對J = 61小射束之每一者形成具有影像子場域中心坐標(x<sub>nm</sub>,y<sub>nm</sub>)的影像圖塊相關性。圖17d顯示正常化的方正度SDV(2) ~ SQ，其分佈在圖17c中的影像圖塊坐標(x<sub>nm</sub>,y<sub>nm</sub>)上。圖17f顯示影像子場域坐標(p,q)中影像子場域的典型正常化正交性SDV(3) ~ OR，其影像圖塊相關性如圖17e所示。圖17g顯示影像賭片坐標(x<sub>nm</sub>,y<sub>nm</sub>)的J = 61小射束之每一者的正常化旋轉ROT = SDV(4)，正常化旋轉如圖17h所示。

【0140】 在一範例中，線性失真向量SDV(i)的場相關性由以下振幅A(i;n,m)的多項式展開描述

$$A(i;n,m) = \sum_j \bar{A}(i;j) \cdot G(j; x,y)$$

【0141】其中多項式 $G(j; x, y)$ 描述線性掃描失真向量SDV與影像子場域中心位置的相關性。因此，掃描失真由兩多項式 $G$ 和SDV的乘積描述，振幅由矩陣 $\bar{A}(i; j)$ 描述

$$[dp, dq](p, q; n, m) = E \cdot \sum_{i, j} \bar{A}(i; j) \cdot G(j; x, y) \cdot SDV(i; p, q)$$

【0142】通常，失真振幅的場相關性主要部分由少數多項式 $G$ 給出，例如由多項式展開 $G$ 的拋物線項給出。在此範例中，殘餘掃描失真由例如 $3 \times 4$ 矩陣 $\bar{A}$ 描述。可在第一固定電阻陣列中實施 $G(j; x, y)$ 的每個拋物線項，並在第二固定電阻陣列中實施每個掃描失真向量SDV(i)，而不是具有至少 $8J$ 個可編程電阻序列的可編程電阻陣列，其中 $J$ 為一次帶電粒子的數量。第一和第二固定電阻陣列依序提供給掃描失真補償器陣列601的複數個電極之電壓差，由具有 $3 \times 4$ 振幅矩陣 $\bar{A}$ 的可編程電阻陣列控制。

【0143】利用圖14中描述的混合元件641，提供的校正電壓包含一第一分量，其與用於在影像子場域中 $p$ 坐標的第一方向上掃描之掃描電壓差 $VSp(t)$ 成比例；及一第二分量，其與用於在影像子場域中 $q$ 坐標的第二方向上掃描之掃描電壓差 $VSq(t)$ 成比例。從而補償了掃描所引起的像差的線性部分。根據驅動校正元件所需的最大驅動電壓差，可從掃描電壓差 $VSp(t)$ 和 $VSq(t)$ 中減去在電源線609和610處提供的驅動電壓差 $VCAp(t)$ 和 $VCAq(t)$ 。從而補償來自影像子場域坐標 $(p, q)$ 的線性影像子場域相關性之線性分量。每個影像子場域的校正或補償振幅例如由靜態可編程電阻陣列611提供，每個補償器或校正電極具有一系列電阻。高階部分具有與影像子場域坐標 $(p, q)$ 的掃描所引起的像差之更高階相關性，可通過添加更多電壓差分量來補償，例如與影像子場域坐標 $(p, q)$ 具有二次相關性的第三分量，例如 $p$ 和 $q$ 的乘積。在一範例中，靜電壓轉換陣列更包含非線性電壓降低單元或非線性電壓放大器，其產生與第一和第二驅動電壓差 $VCAp(t)$ 和 $VCAq(t)$ 的乘積成比例之第三驅動電壓差 $VCApq(t)$ 。範例非線性電壓降低單元包括源極跟隨器電晶體，其在閘極具有第一驅動電壓差 $VCAp(t)$ ，並且在汲極具有

第二驅動電壓差 $VCAq(t)$ ，連接到已知容量的偏轉電極。非線性電壓轉換單元的其他範例利用Zener二極體的非線性響應。

【0144】 通過類似設定，可補償對影像圖塊坐標 $(x_{ij}, y_{ij})$ 的相關性，每個影像子場域至少有一系列電阻。藉此，補償了來自影像圖塊坐標 $(x_{ij}, y_{ij})$ 的最大影像子場域失真之二次相關性或更高階相關性。

【0145】 通過類似的方法，在使用多射束帶電粒子顯微鏡期間，操作用於補償掃描遠心誤差的掃描補償器陣列602。掃描所引起遠心誤差以類似方式擴展為線性分量，並相對導出控制信號以補償掃描所引起遠心誤差。

【0146】 使用類似的方法，在使用多射束帶電粒子顯微鏡1期間，操作用於補償掃描像差（諸如像散或散焦）的掃描補償器陣列。掃描所引起的像差以類似的方式在線性分量中擴展，並導出用於多射束像散器陣列或多射束透鏡陣列的控制信號，以相對補償掃描所引起的像差。

【0147】 以類似的方法，可導出根據第一具體實施例的聚合多射束光柵掃描器110的複數個校正電極之校準校正電壓差 $VCp(t)$ 和 $VCq(t)$ ，並將其提供給聚合多射束光柵掃描器110的複數個校正電極。藉此，殘餘掃描失真減少至少10%，例如減少20%，並且實現例如低於1.5 nm的殘餘掃描所引起的失真。

【0148】 在一類似的方法中，根據第一具體實施例的聚合多射束光柵掃描器110的複數個校正電極之校準校正電壓差 $VCp(t)$ 和 $VCq(t)$ ，以及根據第二具體實施例之用於掃描失真補償器陣列601的偏轉電壓差 $VCAp(t)$ 和 $VCAq(t)$ ，導出並提供給用於校正或補償掃描失真的裝置，並且殘餘掃描失真減少至少90%，例如減少95%，並且實現例如低於0.2 nm，較佳低於0.1 nm的殘餘掃描所引起的失真。

【0149】 根據一第五具體實施例，提供一種具有減少掃描失真的已改進多射束帶電粒子顯微鏡和一種具有減少掃描失真的多射束帶電粒子顯微鏡已改進操作方法。已改進多射束帶電粒子顯微鏡包括根據第一具體實施例的聚合多射束光柵掃描器110，其具有預定非均勻靜電掃描偏轉場，以減少掃描失真。已改

進多射束帶電粒子顯微鏡1更包含至少一第一靜態聚合多射束偏轉系統701，用於在根據第一具體實施例的聚合多射束光柵掃描器110處調整複數個一次帶電粒子小射束的位置。因此，減少由於聚合多射束光柵掃描器110相對於複數個一次帶電粒子小射束光柵組態的未對準而導致的殘餘掃描所引起的失真。圖18用一範例說明已改進多射束帶電粒子顯微鏡1。一些參考編號與圖1中使用的相同。除了圖1中描述的元件之外，根據第五具體實施例的已改進多射束帶電粒子顯微鏡包含一第一靜態聚合偏轉系統701，用於在橫向（x/y方向）上偏轉複數個一次帶電粒子小射束3，從而調整光束交叉點108相對於聚合多射束光柵掃描器110的橫向位置。藉此，進一步減少由於聚合多射束光柵掃描器110相對於透射聚合多射束光柵掃描器110的複數個一次帶電粒子小射束之橫向未對準而產生的掃描失真。

**【0150】** 在一範例中，根據第五具體實施例的已改進多射束帶電粒子顯微鏡1更包含一第二靜態聚合偏轉系統703，用於在橫向（x/y方向）上偏轉複數個一次帶電粒子小射束，從而調整多個初級帶電小射束相對於光學軸的平均傳播角度。藉此，進一步減少由於聚合多射束光柵掃描器110相對於透射聚合多射束光柵掃描器110的複數個一次帶電粒子小射束之橫向未對準而產生的掃描失真。第一靜態偏轉系統701和第二靜態偏轉系統703連接到靜態調整控制單元870，該單元提供複數個靜電壓差，用於調整複數個一次帶電粒子小射束3通過聚合多射束光柵掃描器110的相交體189之位置和平均傳播方向。

**【0151】** 掃描失真對位置和傳播角度敏感，其中小射束傳播通過前述相交體中的靜電掃描偏轉場。特別是對於根據本發明的第一具體實施例的最佳化聚合多射束光柵掃描器110，殘餘掃描所引起的失真對於聚合多射束光柵掃描器110相對於複數個一次帶電粒子小射束3的光束交叉點108之橫向位置未對準敏感。通過第一靜態偏轉系統701和第二靜態偏轉系統703，可調整複數個一次帶電粒子小射束的橫向位置和傳播角度。

【0152】 在根據第五具體實施例的已改進多射束帶電粒子顯微鏡操作方法中，如根據第四具體實施例的步驟1中所述測量殘留掃描所引起的失真。分析殘餘掃描失真，並確定由未對準引起的掃描失真分量。靜電壓由調整單元870確定並提供給第一靜態偏轉系統701和第二靜態偏轉系統703，並且再次測量殘餘掃描失真。分析殘餘掃描失真，並確定由殘餘未對準引起的殘餘掃描失真分量。重複該程序，直到由殘餘未對準引起的殘餘掃描失真分量低於預定臨界。該調整方法可在多射束帶電粒子顯微鏡的操作過程中重複進行，例如可補償由多射束帶電粒子顯微鏡的漂移所引起之掃描所引起的像差。

【0153】 圖19說明由未對準所引起掃描失真的典型場相關性。通常，與完美對準的多射束帶電粒子顯微鏡之殘餘掃描失真相比，由未對準所引起掃描失真具有不同的場相關性。在一範例中，可確定元件相對於理想位置的位移對掃描失真的不同場相關性之靈敏度，並可從掃描失真測量以及掃描失真的場相關性確定中，推導出實現完美調整多射束帶電粒子顯微鏡之必要調整。

【0154】 在一第六具體實施例中，改進的多射束帶電粒子顯微鏡設置有能夠橫向位移或傾斜的聚合多射束光柵掃描器110。在一範例中，通過附加校正電極相對於相交體橫向移動或傾斜靜電偏轉場，或通過將複數個預定電壓偏移提供給本發明的第一具體實施例之偏轉電極和校正電極，以實現橫向位移或傾斜。在替代範例中，聚合多射束光柵掃描器包含機械構件，該機械構件包括引導元件或載台和至少一致動器，用於調整偏轉電極和選擇性修正電極的橫向位置或傾斜角，以相對於相交體189位移該靜電偏轉場。

【0155】 利用附加構件，提供非均勻偏轉場相對於相交體189的橫向位移或傾斜，從而實現非均勻偏轉場相對於複數個一次帶電粒子小射束的橫向位置和平均傳播角之調整。一種方法例如通過在聚合偏轉掃描器110中相交體189中產生四極或多極場來提供。四極或多極場可通過向偏轉電極施加預定電壓差來產生，例如提供給第一偏轉電極以用於在第一方向偏轉掃描的第一相同電壓差，以及提供給第二偏轉電極以用於在第二方向偏轉掃描的第二相同電壓差。

例如，第二電壓差由第一電壓差乘以-1給出。在對準或調整期間，用於產生四極或多極場的第一和第二電壓差被改變，並且監控沿帶電粒子顯微鏡1的光學軸105行進之中心一次小射束。然後通過改變第一和第二電壓差來改變四極或多極場的橫向位置或傾斜角，直到在四極或多極場改變期間中心一次小射束的焦點位置不改變。如果四極或多極場以光學軸為中心，當四極或多極場強度改變時，中心一次小射束不會在晶圓上移動。因此，殘餘掃描失真降至最低。

**【0156】** 在一第七具體實施例中，提供一種與第五和第六具體實施例結合的已改進多射束帶電粒子顯微鏡；因此，偏轉掃描器內的非均勻靜電偏轉場相對於相交體橫向位移，例如通過提供給複數個電極的預定偏移電壓，從而非均勻靜電偏轉場例如相對於多射束帶電粒子顯微鏡的物鏡進行調整。因此，由光柵掃描器110和例如物鏡102的未對準所引起的掃描像差得到補償。利用第一和第二靜態偏轉器，然後相對於非均勻靜電偏轉場分佈的調整位置橫向調整複數個一次帶電粒子小射束。

**【0157】** 根據本發明的多個具體實施例，提供一種已改進多小射束帶電粒子顯微系統1和多小射束帶電粒子顯微系統1之操作方法，以執行高精度和高通量的晶圓檢測任務。用於晶圓檢測的已改進多小射束帶電粒子顯微系統1具有補償或校正掃描所引起的像差，諸如掃描失真、掃描遠心像差或掃描所引起像散之構件。在一第八具體實施例中，結合前述具體實施例的構件，並且實現掃描所引起的像差的最大減小。圖20例示根據第八具體實施例之用於晶圓檢測的多小射束帶電粒子顯微鏡1。在第八具體實施例的範例中，描述已改進多小射束帶電粒子顯微系統1的進一步細節和前述每個具體實施例的操作方法。使用如先前圖式中的相同參考編號並且也參考先前的圖式。

**【0158】** 用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡1包含一用於產生複數個一次帶電粒子小射束3的帶電粒子多小射束產生器300。多射束帶電粒子顯微鏡1更包含一物體照射單元100，該單元包含一第一聚合多射束光柵掃描器110，用於在配置於物平面101中的晶圓表面25上掃描每個影像子場域中複數個一次帶

電粒子小射束3之每一者，以產生從晶圓表面發射的多個二次電子小射束9。複數個二次電子小射束9由偵測單元200和用於將複數個二次電子小射束9成像到影像感測器207上的第二聚合多射束光柵掃描器222成像，並在使用期間獲取晶圓表面25的第一影像圖塊17之數位影像。多射束帶電粒子顯微鏡1更包含一樣品載台500，用於在獲取第一影像圖塊17的數位影像期間將晶圓表面25定位和維持在物平面101中。

**【0159】** 多射束帶電粒子顯微鏡1包括一控制單元800。控制單元800更包含一一影像資料獲取單元810。在使用期間，電子靈敏度影像感測器207接收複數個二次電子強度值的影像感測器資料之大影像資料串流，並將影像資料饋送到控制單元800的影像資料獲取單元810。影像資料獲取單元810用於將影像感測器207的感測器信號提供給影像拼接單元812。通過減少掃描所引起的像差，例如根據本發明的具體實施例減少掃描所引起的失真，實現無需數位影像處理的快速影像拼接，並且將來自每個影像子場域的數位資料拼接在一起，以形成具有高速和低計算量的影像圖塊之數位影像。藉此，提高晶圓檢測任務的通量。由於影像拼接單元812構造成在沒有數位影像處理的情況下進行快速影像拼接，最終的數位影像直接提供給輸出單元814，其中例如分析數位影像中半導體特徵的缺陷或尺寸。

**【0160】** 複數個一次帶電粒子小射束3在使用期間，通過根據本發明的第一具體實施例的第一聚合多射束光柵掃描器110的相交體189傳播。第一聚合多射束光柵掃描器110的第一掃描電極在使用期間於相交體189中產生第一掃描偏轉場分佈，用於複數個一次帶電粒子小射束3的長行程掃描偏轉。第一聚合多射束光柵掃描器110的第二掃描電極在使用期間於相交體中產生第二掃描偏轉場分佈，用於複數個一次帶電粒子小射束3在第二方向或q方向（與第一方向垂直）的長行程掃描偏轉。控制單元800包含一掃描偏轉控制模組860，其構造成產生掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ ，用於複數個一次帶電粒子小射束3在第一或p方



向及第二或 $q$ 方向的掃描偏轉。掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 的一範例如圖15所示。

【0161】 控制單元800包含延遲線陣列862。掃描偏轉控制模組860構造成提供掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 給延遲線陣列862，其構造成產生具有時間延遲的掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 之複數個副本。例如，將具有第一時間延遲 $t_1$ 的掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 的第一副本提供給第一聚合多射束光柵掃描器110，用於在第一方向掃描偏轉複數個一次帶電粒子小射束3。

【0162】 第一聚合多射束光柵掃描器110更包含一校正元件112，該元件包含根據第一具體實施例的複數個校正電極，例如圖8和圖10所示的校正電極185、187、193或195。校正元件112構造成在相交體中產生靜電偏轉場分佈的可變非均勻性，以減少在複數個一次帶電粒子小射束3的掃描偏轉期間掃描所引起的失真。第一聚合多射束光柵掃描器110更包含具有靜電壓轉換陣列的掃描校正控制模組120，其通過延遲線陣列862中的一延遲線連接到掃描偏轉控制模組860。掃描校正控制模組120的設置類似於第二具體實施例的掃描陣列控制單元622。如前述，圖13和圖14中掃描陣列控制單元622的元件和特徵可類似應用於其他掃描校正元件，諸如校正元件112。

【0163】 延遲線陣列862構造成提供具有第二時間延遲 $t_2$ 的掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 之第二副本給掃描校正控制模組120。掃描校正控制模組120更包含一靜電壓降低單元，其將掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 的第二副本降低到第一校正電壓差 $V_{C1p}(t)$ 和 $V_{C1q}(t)$ ，用於產生靜電場分佈的預定非均勻性之所需。第一校正電壓差 $V_{C1p}(t)$ 例如至少比用於在第一或 $p$ 方向掃描偏轉的掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 小一數量級。掃描校正控制模組120的靜電壓轉換陣列由第一校正電壓差 $V_{C1p}(t)$ 和 $V_{C1q}(t)$ 產生複數個校正電壓差。在一範例中，靜電壓轉換陣列是可編程電阻陣列，如圖13和圖14所示。複數個校正電壓差構造成校正元件112的複數個校正電極。掃描校正控制模組120的可編程電阻陣列由複數個第一靜態

控制信號控制，該等信號儲存在掃描校正控制模組120的記憶體中。在校準步驟期間，通過一次射束路徑控制模組830可改變複數個第一靜態控制信號。

【0164】延遲線陣列862更構造成提供具有第三時間延遲 $t_3$ 的掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 之第三副本給第二聚合多射束光柵掃描器222，用於掃描複數個二次電子小射束9。藉此，二次電子小射束9的束斑在影像偵測器207處保持恆定。

【0165】根據本發明的第二具體實施例，多射束帶電粒子顯微鏡1包括一具有第一掃描陣列控制單元622.1的掃描失真補償器陣列601。第一掃描陣列控制單元622.1經由延遲線陣列862連接到掃描偏轉控制模組860。延遲線陣列862構造成提供具有第四時間延遲 $t_4$ 的掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 之第四副本給第一掃描陣列控制單元622.1。第一掃描陣列控制單元622.1包含一靜電壓降低單元，該單元將掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 的第四副本降低到第二校正電壓差 $VC_{2p}(t)$ 和 $VC_{2q}(t)$ ，用於通過掃描失真補償器陣列601產生小射束的預定最大偏轉之所需。第二校正電壓差 $VC_{2p}(t)$ 例如至少比用於在第一或 $p$ 方向掃描偏轉的掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 小兩個數量級。在上面的說明中， $V_{Cap}(t)$ 用來當成 $VC_{2p}(t)$ 的符號。

【0166】根據本發明的第三具體實施例，多射束帶電粒子顯微鏡1包括一用於補償掃描所引起遠心誤差的掃描補償器陣列602。掃描補償器陣列602包含一第二掃描陣列控制單元622.2。第二掃描陣列控制單元622.2經由延遲線陣列862連接到掃描偏轉控制模組860。延遲線陣列862構造成提供具有第五時間延遲 $t_5$ 的掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 之第五副本給第二掃描陣列控制單元622.2。第二掃描陣列控制單元622.2包含一靜電壓降低單元，其將掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和 $V_{Sq}(t)$ 的第五副本降低到第三校正電壓差 $VC_{3p}(t)$ 和 $VC_{3q}(t)$ ，用於通過掃描補償器陣列602產生小射束傳播角的預定最大校正以補償掃描所引起遠心誤差之所需。第三校正電壓差 $VC_{3p}(t)$ 例如至少比用於在第一或 $p$ 方向掃描偏轉的掃描偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 小兩個數量級。

【0167】 通過提供具有複數個預定時間延遲的掃描偏轉電壓差  $V_{Sp}(t)$  和  $V_{Sq}(t)$  之複數個副本，通過例如掃描失真補償器陣列601和遠心像差掃描補償器陣列602與複數個帶電粒子小射束3之掃描偏轉同步，以補償掃描所引起的像差。第一至第五時間延遲  $t_1 \dots t_5$  例如在設計期間確定，並在多射束帶電粒子顯微鏡1的設定或校準步驟中進行調整，並儲存在延遲線陣列862中。

【0168】 第八具體實施例的多射束帶電粒子顯微鏡1更包括根據本發明的第五具體實施例的一第一靜態偏轉器701，其連接到一次射束路徑控制模組830。圖18例示的靜態調整控制單元870可為一次射束路徑控制模組830的一部分。在校準步驟期間，確定複數個一次帶電粒子小射束在第一聚合多射束光柵掃描器110處的橫向位置。在使用期間，多射束帶電粒子顯微鏡1構造成調整複數個一次帶電粒子小射束在第一聚合多射束光柵掃描器110與第一靜態偏轉器701的相交體189處之橫向位置。多射束帶電粒子顯微鏡1包括一第二靜態偏轉器703，其連接到一次射束路徑控制模組830。在校準步驟期間，確定複數個一次帶電粒子小射束在第一聚合多射束光柵掃描器110處的平均入射角。在使用期間，多射束帶電粒子顯微鏡1構造成調整複數個一次帶電粒子小射束3在第一聚合多射束光柵掃描器110與第二靜態偏轉器703的相交體189處之平均入射角。

【0169】 掃描校正控制模組120和第一和第二掃描陣列控制單元622.1和622.2進一步連接到一次射束路徑控制模組830，其中根據校準結果或通過其他方式，調整用於靜電壓轉換單元的靜態控制信號，如本發明的第四具體實施例所述。一次射束路徑控制模組830連接到控制操作處理器840，其例如從根據第四具體實施例的校準測量導出來自校準步驟的一組實際靜態控制信號，包括掃描所引起的失真的測量步驟。

【0170】 在一範例中，影像拼接單元812連接到控制操作處理器840，且影像拼接單元812構造成導出並提供拼接品質參數給控制操作處理器840。如果拼接品質參數低於預定臨界，則控制操作處理器840構造成開始多射束帶電粒子顯微鏡1的校準，以產生用於補償掃描所引起的失真的一組實際控制信號。拼接

品質參數的範例為兩個相鄰影像子場域的重疊區域39中之影像對比度，如圖2所示。由於掃描所引起的像差降低到例如低於0.3 nm，較佳低於0.1 nm，沒有數位影像處理的影像拼接也是可能的，並且通過疊加來自重疊區域39中兩影像子場域的數位影像資料重疊的影像拼接產生高影像對比度。由例如多射束帶電粒子顯微鏡1的漂移或未對準引起的殘餘掃描所引起的失真，使重疊區域39中的影像對比度退化。重疊區域39中的影像對比度為拼接品質參數的範例，並可當成掃描所引起的像差的補償或校正品質的指標，因此當成例如多射束帶電粒子顯微鏡1的漂移或未對準的指標。在校準步驟中，針對每個影像子場域確定掃描所引起的像差。例如，控制操作處理器 840 構造成分析掃描所引起的失真  $[dp,dq](p,q;x_{ij},y_{ij})$ ，例如通過如第四具體實施例中所述的掃描所引起的失真的展開，並且控制操作處理器840構造成導出複數個實際靜態控制信號給聚合多射束光柵掃描器110的校正元件112、掃描失真補償器陣列601、遠心像差掃描補償器陣列602、第一靜態多射束偏轉系統701及第二靜態多射束偏轉系統703。控制操作處理器840構造成提供多個實際靜態控制信號給一次射束路徑控制模組830，該模組構造成提供多個實際靜態控制信號給多射束帶電粒子顯微鏡1的個別補償器或校正元件112、601、602、701或701。

**【0171】** 前述具體實施例較佳應用於一次射束路徑13，以補償掃描期間或複數個一次帶電粒子3期間的掃描所引起的像差。然而，亦可將具體實施例應用於二次射束路徑11，從而校正例如掃描所引起對比度變化。請即參考圖1。複數個二次電子小射束由第一聚合多射束光柵掃描器110和第二聚合多射束光柵掃描器222的組合偏轉掃描，並且影像對比度係例如由孔徑濾鏡214控制。二次射束路徑11中的掃描所引起的像差，例如二次電子小射束11的掃描所引起遠心像差導致掃描所引起對比度變化，可通過類似於第二或第三具體實施例的多射束掃描校正系統來補償，例如配置在元件220的位置處的二次射束路徑11中。

**【0172】** 利用多射束帶電粒子顯微鏡和多射束帶電粒子顯微鏡操作方法，例如補償掃描所引起的失真。聚合多射束光柵掃描器(110)形成相交體(189)

並構造成執行複數個一次小射束 (3) 的聚合光柵掃描，以形成影像圖塊 (17) 的影像掃描。複數個一次小射束包含至少至少在第一影像子場域 (31.55) 上掃描的第一一次小射束 (3.55) 和在影像圖塊 (17) 的第二影像子場域 (31.15) 上同步掃描之第二一次小射束 (3.15)。第一一次小射束以第一角度1穿過相交體 (189)，第二一次小射束以不同於第一角度1的第二角度2穿過相交體 (189)。因此，利用習知光柵掃描器和習知光柵掃描器操作方法，在第一小射束與第二小射束之間的掃描所引起的失真中產生顯著差異。第一掃描校正器 (601) 連接到控制單元 (800)，第一影像子場域 (31.55) 中的第一一次小射束 (3.55) 與第二影像子場域 (31.55) 中的第二一次小射束 (3.15) 之間的掃描所引起的失真差減少。此外類似於掃描所引起的失真差，第一影像子場域 (31.55) 中的第一一次小射束 (3.55) 與第二影像子場域 (31.15) 中的第二一次小射束 (3.15) 之間的掃描所引起遠心差得到遠心像差602的第二掃描補償器陣列之補償。

**【0173】** 第一聚合光柵掃描器110構造成用於在具有大約8  $\mu\text{m}$ 至12  $\mu\text{m}$ 的尺寸，例如 $D=10 \mu\text{m}$ ，掃描範圍為 $\pm 5 \mu\text{m}$ 的相對影像子場域上，對每個小射束進行長行程光柵掃描。第一掃描校正器 (601) 形成一第二短行程光柵掃描器，通過該掃描器以例如高達5 nm的小掃描範圍，個別校正每個小射束的掃描所引起的失真。藉此，減少掃描所引起的失真並且以優於3個數量級的精度實現光柵掃描坐標，例如對於5.0  $\mu\text{m}$ 的掃描坐標，具有更好的0.5 nm、較佳0.3 nm甚至更低的精度。

**【0174】** 當複數個一次帶電粒子小射束以不同角度穿過相交體時，本發明對於多射束帶電粒子系統很重要。多射束帶電粒子顯微鏡包含一用於產生複數個一次小射束的多小射束產生器。在此多射束帶電粒子顯微鏡 (1) 中，小射束產生器產生至少第一和第二一次帶電粒子小射 (3.0、3.1、3.2)，並且第一掃描校正器更包含複數個偏轉元件，該等偏轉元件構造成在使用期間個別補償例如第二一次帶電粒子小射束 (3.1或3.2) 的掃描所引起的失真。多射束帶電粒子顯微鏡更包含一物體照射單元，用於照明複數個影像子場域，通過複數個一次小

射束在配置於物平面中的樣品表面上一起形成影像圖塊，從而在使用期間產生從該表面發射的多個二次電子小射束；及一偵測單元，其具有一投影系統和一影像感測器，用以將複數個二次電子小射束成像到影像感測器，以在使用期間獲取樣品表面影像圖塊的數位影像。根據一具體實施例之用於晶圓檢測的多射束顯微鏡更包含一聚合多射束光柵掃描器。該聚合多射束光柵掃描器包含至少一第一組偏轉電極和一介於第一組偏轉電極之間的相交體，複數個一次小射束穿過該相交體。該相交體構造成用於傳輸以不同入射角入射在該相交體上的複數個一次小射束。多射束帶電粒子顯微鏡更包含至少一第一掃描校正器或補償元件，用於校正掃描所引起的像差。第一掃描校正器構造成在使用期間產生第一掃描靜電場，以影響至少該第一單獨小射束。

【0175】根據本發明的一具體實施例之多射束帶電粒子顯微鏡包含一用於產生複數個一次帶電粒子小射束之小射束產生器、一用於照射配置在物平面101中樣品7的表面25上影像子場域之物體照射單元100，從而在使用期間產生從每個影像子場域內一次小射束3的焦點5發射之多個二次電子小射束9。子場域通常具有至少5  $\mu\text{m}$ 、較佳8  $\mu\text{m}$ 、12  $\mu\text{m}$ 或更多的橫向延伸。物體照射單元100更包含第一至第三靜電或磁透鏡和物鏡102。多射束帶電粒子顯微鏡1更包含一偵測單元200，用於在使用期間獲取樣品表面上每個影像子場域的數位影像。偵測單元200包含一電子感測器207和選配的靜電或電磁偏轉元件222。多射束帶電粒子顯微鏡1更包含一電磁分束系統400，用於在一次射束路徑13引導一次小射束3，並且在二次射束路徑11引導二次小射束9。由物鏡102收集的二次小射束9與一次小射束3相對傳播，因此通過磁分束系統400與一次小射束3分離。

【0176】根據一具體實施例之用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡1更包含一長行程聚合光柵掃描器110，聚合光柵掃描器110包含至少第一組偏轉電極（181）和一介於第一組偏轉電極（181）之間的相交體189，複數個一次帶電粒子小射束3穿過相交體189。根據第九具體實施例之用於晶圓檢測的帶電粒子顯微鏡1更包含一控制單元800，其構造成在使用期間提供至少一第一掃描電壓

差 $V_{Sp}(t)$ 給第一組偏轉電極（181），用於在相交體189中產生靜電偏轉場，以用於複數個第一一次帶電粒子小射束3在第一或p方向的長行程掃描偏轉，從而在使用期間於整個影像子場域上以延伸超過 $1\ \mu\text{m}$ ，例如大約 $8\text{-}10\ \mu\text{m}$ ，掃描一次小射束。

**【0177】** 多射束帶電粒子顯微鏡1更包含至少一第一掃描校正器112，用於校正複數個一次帶電粒子小射束3的掃描所引起的像差。第一掃描校正器112構造成在使用期間產生第一掃描靜電場，以影響複數個一次小射束3，且控制單元800更構造成提供第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 給第一掃描校正器112，該第一掃描校正器構造成減少至少一第一一次帶電粒子小射束3.1的掃描所引起的像差。在一範例中，第一掃描校正器112包含一第一靜電壓轉換單元，用於將第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 轉換為至少一第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ ，其調適成通過掃描校正電極185產生與第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步的第一掃描校正場。如前述，該靜電壓轉換單元可包含至少一可編程電阻序列，其構造成由用於產生掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 的複數個靜態控制信號編程。因此，第一掃描校正器112連接到一次射束路徑控制模組830。在一範例中，第一靜電壓轉換單元構造成產生與第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 成比例或線性相關的第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 。為了同步掃描所引起的像差的校正，控制單元800更包含延遲線陣列862，包含至少一第一延遲線，其構造成使第一掃描校正場通過光柵掃描器（110）與複數個一次帶電粒子小射束3的多個長行程掃描偏轉同步。通過前述元件，包含至少一第一短行程偏轉元件185的第一掃描校正器112構造成在使用期間補償掃描所引起的像差，例如將大約 $0.5\ \text{nm}$ 至 $3\ \text{nm}$ 量的掃描所引起像散至低於 $0.3\ \text{nm}$ ，較佳低於 $0.2\ \text{nm}$ 或 $0.1\ \text{nm}$ 的殘餘掃描所引起像散。在一範例中，第一校正元件185構造成在使用期間個別補償第一一次帶電粒子小射束3.1的掃描所引起像散，以通過光柵掃描器1110在第一方向與第一一次帶電粒子小射束1003之掃描偏轉同步。

**【0178】** 在另一範例中，補償殘餘失真。當一次小射束3.1通過長行程掃描偏轉器110，在擴展超過 $1\ \mu\text{m}$ 的影像子場域上進行掃描時，第一掃描校正器112

在使用期間作為一同步短行程偏轉器，通過一次小射束3.1在掃描所引起的失真的相反方向之同步短行程掃描偏轉，以補償大約高達5 nm的掃描所引起的失真。在一範例中，第一掃描校正器112包含一第二校正元件187，其構造成在使用期間個別補償第一一次帶電粒子小射束3.1在第二方向的掃描所引起的失真，其與第一一次帶電粒子小射束3.1通過聚合光柵掃描器110在與該第二方向垂直的該第一方向之掃描偏轉同步。

【0179】 根據第九具體實施例具有減小掃描所引起的像差的多射束帶電粒子顯微鏡1包含一長行程偏轉系統110，用於複數個一次帶電粒子小射束3的長行程偏轉，由施加至偏轉系統110的偏轉電壓差 $V_{Sp}(t)$ 產生；及一掃描校正系統，用於校正複數個一次小射束的每個單獨小射束之掃描所引起的像差，其在使用期間提供校正電壓差 $V_C(t)$ 。校正電壓差 $V_C(t)$ 係利用由一組靜態控制信號控制的靜電壓轉換單元，例如可編程電阻序列或陣列，從偏轉電壓差 $V_p(t)$ 所產生。因此，例如0.5 nm到5 nm的小掃描所引起的像差被有效減少到低於0.3 nm、較佳低於0.2 nm或甚至低於0.1 nm的殘餘像差。

【0180】 本發明和一些具體實施例可通過使用以下多個子項來進一步描述。然而，本發明不應限於以下子項。

【0181】 子項1：一種用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1），其包含：

一帶電粒子多小射束產生器（300），用於產生複數個一次帶電粒子小射束（3）；

一物體照射單元（100），用於藉由複數個一次帶電粒子小射束（3）照射配置在物平面（101）中的晶圓表面（25）上的一影像圖塊（17.1），從而在使用期間產生從該晶圓表面（25）發出的複數個二次電子小射束（9），

一偵測單元（200），其具有一投影系統（205）和一影像感測器（207），用於將該複數個二次電子小射束（9）成像在該影像感測器（207）上，



並用於在使用期間獲取該晶圓表面 (25) 的該影像圖塊 (17.1) 之數位影像；

一聚合多射束光柵掃描器 (110)，其包含至少一第一組偏轉電極和一相交體 (189)，該等複數個一次帶電粒子小射束 (3) 在使用期間穿過該相交體 (189)；

一控制單元 (800)，其構造成在使用期間將至少一第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  提供給該第一組偏轉電極，用於在第一或  $p$  方向上掃描偏轉複數個一次帶電粒子小射束 (3)，

其中該聚合多射束光柵掃描器 (110) 構造成在該相交體 (189) 中產生預定的非均勻掃描偏轉場分佈，以減少以偏離多射束帶電粒子顯微鏡 (1) 光學軸之傾角而入射在該相交體 (189) 上的第一一次帶電粒子小射束之掃描所引起的像差。

**【0182】** 子項2：如子項1所述之多射束帶電粒子顯微鏡 (1)，其中該第一組偏轉電極的一偏轉電極由兩個空間相隔的電極構成，並且該控制單元 (800) 構造成在使用期間提供第一和第二掃描電壓差  $V_{Sp1}(t)$  和  $V_{Sp2}(t)$  到該等兩空間相隔的電極，其中第一和第二掃描電壓差  $V_{Sp1}(t)$  和  $V_{Sp2}(t)$  不同。

**【0183】** 子項3：如子項1或2所述之多射束帶電粒子顯微鏡 (1)，其中該聚合多射束掃描光柵掃描器 (110) 包含一第二組偏轉電極，用於在使用期間產生一第二預定非均勻掃描偏轉場分佈，複數個一次帶電粒子小射束 (3) 穿過該相交體 (189) 中的第二預定非均勻掃描偏轉場分佈，以在第二或  $q$  方向掃描偏轉該複數個一次帶電粒子小射束 (3)；及該控制單元 (800)，其構造成在使用期間提供至少一第二掃描電壓差  $V_{Sq}(t)$  給該第二組偏轉電極。

**【0184】** 子項4：如子項3所述之多射束帶電粒子顯微鏡 (1)，其中該聚合多射束光柵掃描器 (110) 的該至少一第一組或第二組偏轉電極之形狀和幾何形狀調適成該相交體 (189) 之剖面。

【0185】子項5：如子項3或4所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中在該複數個一次帶電粒子小射束（3）的平均傳播方向上，該第一組偏轉電極和該第二組偏轉電極具有不同的長度。

【0186】子項6：如子項1至5中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該聚合多射束光柵掃描器（110）更包含一第一組校正電極（185、193），其在使用期間產生對預定非均勻靜電場分佈有貢獻的一預定掃描校正場。

【0187】子項7：如子項6所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一組校正電極的電極（185.1、185.2、185.3、185.4）配置在該第一組偏轉電極的電極與該第二組偏轉電極的電極間之空間中的相交體（189）外部。

【0188】子項8：如子項6或7中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該聚合多射束光柵掃描器（110）更包含一第二組校正電極（187、195），其構造成在使用期間產生對該預定非均勻靜電場分佈有貢獻的一預定第二掃描校正場。

【0189】子項9：如子項1至8中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該聚合多射束光柵掃描器（110）構造成相對於該相交體調整預定的非均勻掃描偏轉場分佈之橫向位置，並且該控制單元（800）在使用期間提供一電壓偏移(voltage offset)給該第一組偏轉電極或該第二組偏轉電極之至少一者。

【0190】子項10：如子項1至9中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包含配置在該帶電粒子多小射束產生器（300）與該聚合多射束光柵掃描器（110）之間的一第一靜態偏轉系統（701），其構造成用於調整該複數個一次帶電粒子小射束（3）相對於該相交體（189）的橫向位置。

【0191】子項11：如子項1至10中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包含配置在該帶電粒子多小射束產生器（300）與該聚合多射束光柵掃描器（110）之間的一第二靜態偏轉系統（701），其用於調整該複數個一次帶電粒子小射束（3）在於該相交體（189）入口處上的平均入射角。

【0192】子項12：如子項1至11中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包含一掃描失真補償器陣列（601），其具有配置在複數個孔徑上的複數個偏轉元件和具有第一靜電壓轉換陣列的第一掃描陣列控制單元（622.1），用以將複數個第一校正電壓差提供給複數個偏轉元件之每一者，以補償影像掃描期間用於該等一次帶電粒子小射束（3）之每一者的掃描所引起的像差。

【0193】子項13：如子項12所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中通過該第一掃描陣列控制單元（622.1），複數個第一校正電壓差之每一者連接到掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 或 $V_{Sq}(t)$ 之至少一者，以藉由該聚合多射束光柵掃描器（110）掃描該複數個一次帶電粒子小射束（3）。

【0194】子項14：如子項1至13中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包含一掃描補償器陣列（602），用於補償掃描所引起的遠心像差，其配置在該多射束帶電粒子顯微鏡（1）的中間像平面（321）附近，該掃描補償器陣列（602）具有配置在複數個孔徑上的複數個偏轉元件和具有第二靜電壓轉換陣列的第二掃描陣列控制單元（622.2），用以將複數個第二校正電壓差提供給複數個偏轉元件之每一者，以補償影像掃描期間掃描該等一次帶電粒子小射束（3）之每一者所引起的遠心像差。

【0195】子項15：如子項14所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中複數個第二校正電壓差之每一者包括連接到掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 或 $V_{Sq}(t)$ 之至少一者之一電壓差，以藉由該聚合多射束光柵掃描器（110）掃描該複數個一次帶電粒子小射束（3）。

【0196】子項16：一種用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1），其包含：

一帶電粒子多小射束產生器（300），用於產生複數個一次帶電粒子小射束（3）；

一物體照射單元(100)，用於藉由該複數個一次帶電粒子小射束(3)照射配置在物平面(101)中的晶圓表面(25)上的一影像圖塊(17.1)，從而在使用期間產生從該晶圓表面(25)發出的複數個二次電子小射束(9)；

一偵測單元(200)，其具有一投影系統(205)和一影像感測器(207)，用於將該複數個二次電子小射束(9)成像在該影像感測器(207)上，並用於在使用期間獲取該晶圓表面(25)的該影像圖塊(17.1)之數位影像；

一聚合多射束光柵掃描器(110)；

一掃描失真補償器陣列(601)，具有複數個孔徑而配置在該複數個一次帶電粒子小射束傳播方向上該聚合多射束光柵掃描器(110)上游，該等複數個孔徑之每一者在使用期間傳輸該複數個一次帶電粒子小射束中相應的一個一次帶電粒子小射束，該等複數個孔徑包含複數個第一偏轉元件，用於在第一或p方向上個別地偏轉每個相應一次帶電粒子小射束；及該等複數個孔徑包含複數個第二偏轉元件，用於在與該第一方向垂直的第二或q方向上個別地偏轉每個相應一次帶電粒子小射束，該等複數個偏轉元件之每一者配置在該複數個孔徑每一者的周邊內；

一控制單元(800)，其在使用期間將至少一第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 提供給該聚合多射束光柵掃描器(110)，用於在該第一或p方向上掃描偏轉該複數個一次帶電粒子小射束(3)；

其中該掃描失真補償器陣列(601)更包含一掃描陣列控制單元(622)，其具有第一靜電壓轉換陣列(611)，構造成將複數個第一校正電壓差提供給複數個該第一偏轉元件，及具有第二靜電壓轉換陣列(612)，構造成將複數個第二校正電壓差提供給該複數個第二偏轉元件，以補償該複數個一次帶電粒子小射束(3)在該第一方向上的掃描偏轉期間之掃描所引起的像差。

【0197】子項17：如子項16所述之用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一靜電壓轉換陣列（611）耦接到該控制單元（800），並將與該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步的至少複數個第一電壓差分量提供給該複數個第一和第二偏轉元件之每一者。

【0198】子項18：如子項16或17所述之用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）在使用期間將一第二掃描電壓差 $V_{Sq}(t)$ 提供給該聚合多射束光柵掃描器（110），用於在該第二或 $q$ 方向上掃描偏轉該複數個一次帶電粒子小射束（3）。

【0199】子項19：如子項18所述之用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一靜電壓轉換陣列（611）和該第二靜電壓轉換陣列（612）耦接到該控制單元（800），並將與該第二掃描電壓差 $V_{Sq}(t)$ 同步的至少複數個第二電壓差分量提供給複數個第一和第二偏轉元件之每一者。

【0200】子項20：如子項18或19所述之用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一靜電壓轉換陣列（611）耦接到該控制單元（800），並將至少與該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步的一第一電壓差分量以及與該第二掃描電壓差 $V_{Sq}(t)$ 同步的一第二電壓差分量提供給複數個第一偏轉元件之每一者。

【0201】子項21：如子項16至20中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一或第二靜電壓轉換陣列（611、612）構造成一可編程電阻陣列。

【0202】子項22：如子項16至20中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該聚合多射束光柵掃描器（110）包含至少一第一組偏轉電極和相交體（189），該複數個一次帶電粒子小射束（3）穿過該相交體（189），其中該聚合多射束光柵掃描器（110）構造成在該相交體（189）中產生預定的非均勻掃描偏轉場分佈，以減少以偏離該多射束帶電粒子顯微鏡（1）的光學軸之傾角 $\beta$ 而入射到該相交體（189）上一個一次帶電粒子小射束的掃描所引起的像差。

【0203】子項23：如子項22所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一組偏轉電極的偏轉電極由兩個空間相隔的電極構成，並且該控制單元（800）在使用期間提供該第一掃描電壓差 $V_{Sp1}(t)$ 和該第二掃描電壓差 $V_{Sp2}(t)$ 到該等兩空間相隔的電極，其中該第一掃描電壓差 $V_{Sp1}(t)$ 和該第二掃描電壓差 $V_{Sp2}(t)$ 不同。

【0204】子項24：如子項22或23所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該聚合多射束掃描光柵掃描器（110）包含一第二組偏轉電極，用於在使用期間產生一第二預定非均勻掃描偏轉場分佈，複數個一次帶電粒子小射束（3）穿過該相交體（189）中的第二預定非均勻掃描偏轉場分佈，以在該第二或 $q$ 方向上掃描偏轉該複數個一次帶電粒子小射束（3）。

【0205】子項25：如子項24的多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該聚合多射束光柵掃描器（110）的該至少一第一組或第二組偏轉電極之形狀和幾何形狀調適成該相交體（189）之剖面。

【0206】子項26：如子項24或25所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中在該複數個一次帶電粒子小射束（3）的平均傳播方向上，該第一組偏轉電極和該第二組偏轉電極具有不同的長度。

【0207】子項27：如子項16至26中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該聚合多射束光柵掃描器（110）更包含一第一組校正電極（185、193），其在使用期間產生對該預定非均勻靜電場分佈有貢獻的一預定掃描校正場。

【0208】子項28：如子項27所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一組校正電極的電極（185.1、185.2、185.3、185.4）配置在第一組偏轉電極的電極與第二組偏轉電極的電極間之空間中。

【0209】子項29：如子項27或28中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該聚合多射束光柵掃描器（110）更包含第二組校正電極（187、195），

其在使用期間產生對該預定非均勻靜電場分佈有貢獻的一預定第二掃描校正場。

【0210】子項30：如子項16至29中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該聚合多射束光柵掃描器（110）構造成相對於該相交體調整預定的非均勻掃描偏轉場分佈之橫向位置，並且該控制單元（800）在使用期間提供一電壓偏移給該第一組偏轉電極或該第二組偏轉電極之至少一者。

【0211】子項31：如子項16至30中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包含配置在該帶電粒子多小射束產生器（300）與該聚合多射束光柵掃描器（110）之間的一第一靜態偏轉系統（701），其構造成用於調整該複數個一次帶電粒子小射束（3）相對於該相交體（189）的橫向位置。

【0212】子項32：如子項16至31中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包含配置在該帶電粒子多小射束產生器（300）與該聚合多射束光柵掃描器（110）之間的一第二靜態偏轉系統（701），其用於調整該複數個一次帶電粒子小射束（3）在於該相交體（189）入口處上的平均入射角。

【0213】子項33：如子項16至32中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包含一掃描補償器陣列（602），用於補償掃描所引起的遠心像差，其配置在該多射束帶電粒子顯微鏡（1）的中間像平面（321）附近；該掃描補償器陣列（602）具有配置在複數個孔徑上的複數個偏轉元件和具有一第二靜電壓轉換陣列的一第二掃描陣列控制單元（622.2），其用以將複數個第二校正電壓差提供給該複數個偏轉元件之每一者，以補償影像掃描期間掃描該等一次帶電粒子小射束（3）之每一者所引起的遠心像差。

【0214】子項34：如子項16至33中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包含另一掃描補償器陣列，用於補償掃描所引起的像差，諸如該等複數個一次帶電粒子小射束（3）之每一小射束的掃描所引起的像散或是焦平面偏差。

**【0215】** 子項35：一種用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1），其包含：

一帶電粒子多小射束產生器（300），用於產生複數個一次帶電粒子小射束（3）；

一物體照射單元（100），用於藉由該複數個一次帶電粒子小射束（3）照射配置在物平面（101）中的晶圓表面（25）上的一影像圖塊（17.1），從而在使用期間產生從該晶圓表面（25）發出的複數個二次電子小射束（9）；

一偵測單元（200），其具有一投影系統（205）和一影像感測器（207），用於將該複數個二次電子小射束（9）成像在該影像感測器（207）上，並用於在使用期間獲取該晶圓表面（25）的該影像圖塊（17.1）之數位影像；

一聚合多射束光柵掃描器（110），其具有至少一第一組偏轉電極和一相交體（189），該等複數個一次帶電粒子小射束（3）在使用期間穿過該相交體（189）；

一控制單元（800），其構造成在使用期間將至少一第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  提供給該聚合多射束光柵掃描器（110），用於在第一或  $p$  方向上掃描偏轉複數個一次帶電粒子小射束（3）；

一第一靜態偏轉系統（701），配置在該帶電粒子多小射束產生器（300）與該聚合多射束光柵掃描器（110）之間，其構造成用於調整該複數個一次帶電粒子小射束（3）相對於該相交體（189）的橫向位置。

**【0216】** 子項36：如子項35所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包含配置在該帶電粒子多小射束產生器（300）與該聚合多射束光柵掃描器（110）之間的一第二靜態偏轉系統（701），其用於調整該複數個一次帶電粒子小射束（3）在於該相交體（189）入口處上的平均入射角。



【0217】子項37：一種多射束帶電粒子顯微鏡（1）的操作方法，該顯微鏡具有帶電粒子多小射束產生器（300）、物體照射單元（100）、偵測單元（200）、用於對複數個一次帶電粒子小射束（3）進行聚合光柵掃描的聚合多射束光柵掃描器（110）、及配置在該複數個一次帶電粒子小射束傳播方向上該聚合多射束光柵掃描器（110）之上游之掃描失真補償器陣列（601）、及一控制單元（800），其包含下列步驟：

提供至少一第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 給一掃描陣列控制單元（622）；  
從至少該第一電壓差 $V_{Sp}(t)$ 和複數個控制信號中產生複數個電壓差分量；  
提供該複數個電壓差分量給該掃描失真補償器陣列（601）的複數個偏轉元件，以個別地掃描偏轉該複數個一次帶電粒子小射束的每一小射束，以補償在該複數個一次帶電粒子小射束（3）的掃描偏轉期間複數個掃描所引起的失真。

【0218】子項38：如子項37所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1）操作方法，其更包含下列步驟：

藉由在一參考物體的影像圖塊上掃描該複數個一次帶電粒子，以確定掃描所引起的失真；  
擷取每個一次帶電粒子小射束的複數個掃描所引起的失真之每一者的至少一線性部分的複數個振幅；  
從該等複數個振幅之每一者導出複數個控制信號；  
提供該複數個控制信號給該掃描失真補償器陣列（601）的該掃描陣列控制單元。

【0219】子項39：一種用於晶圓檢測的多射束顯微鏡（1），其包含：

一多小射束產生器（300），用於產生複數個一次小射束（3），其包含至少一第一個別小射束；

一物體照射單元(100)，用於通過該複數個一次小射束(3)照射配置在物平面(101)中樣品表面(25)上的一影像圖塊(17.1)，從而在使用期間產生從該表面(25)發出的複數個二次電子小射束(9)；  
一偵測單元(200)，其具有一投影系統(205)和一影像感測器(207)，用於將該複數個二次電子小射束(9)成像在該影像感測器(207)上，並用於在使用期間獲取該表面(25)的該影像圖塊(17.1)之數位影像；

一聚合多射束光柵掃描器(110)，其包含至少一第一組偏轉電極和一相交體(189)，該等複數個一次小射束(3)穿過該相交體(189)；  
至少一第一掃描校正器，其構造成在使用期間產生一第一掃描靜電場，以影響至少該第一個別小射束；

一控制單元(800)，其構造成在使用期間將至少一第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 提供給該第一組偏轉電極，用於在第一或 $p$ 方向上聚合光柵掃描該複數個一次小射束(3)，

其中該控制單元(800)更提供該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 給該第一掃描校正器，該第一掃描校正器減少至少該第一個別小射束的掃描所引起的像差。

**【0220】** 子項40：如子項39所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該第一掃描校正器包含一第一靜電壓轉換單元，用於將該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 轉換為至少一第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ ，其調適成產生與該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步的該第一掃描靜電場。

**【0221】** 子項41：如子項40所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該靜電壓轉換單元包含至少一可編程電阻序列，其構造成由複數個靜態控制信號編程。

**【0222】** 子項42：如子項40或41所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該第一靜電壓轉換單元產生與該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 成比例的該第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 。

【0223】子項43：如子項39至42中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）更包含一第一延遲線，其使該第一掃描校正器場與藉由該聚合多射束光柵掃描器（110）對該複數個一次小射束（3）的聚合光柵掃描同步。

【0224】子項44：如子項39至43中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一掃描校正器包含複數個偏轉元件，該等偏轉元件構造成在使用期間補償複數個一次小射束（3）中每個一次小射束的掃描所引起的失真。

【0225】子項45：如子項44所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該等複數個偏轉元件包含一第一偏轉元件，其在使用期間個別補償該第一個別小射束沿著該第一方向的掃描所引起的失真，該失真與聚合多射束光柵掃描器（110）在該第一方向上對該複數個一次小射束（3）之掃描偏轉同步。

【0226】子項46：如子項45所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該等複數個偏轉元件更包含一第二偏轉元件，其在使用期間個別補償該第一個別小射束在該第二方向的掃描所引起的失真，其與該聚合多射束光柵掃描器（110）在與該第二方向垂直的該第一方向上對該複數個一次小射束（3）之掃描偏轉同步。

【0227】子項47：如子項45或46所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該等複數個偏轉元件更包含一第三偏轉元件，其在使用期間個別補償該第二個別小射束在該第一方向的掃描所引起的失真，其與該聚合多射束光柵掃描器（110）在該第一方向上對該複數個一次小射束（3）之掃描偏轉同步。

【0228】子項48：如子項44至47中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該靜電壓轉換單元包括複數個可編程電阻序列，每個可編程電阻序列連接到複數個偏轉元件中的一偏轉元件，該等複數個可編程電阻序列形成由複數個靜態控制信號控制的可編程電阻陣列，其在使用期間產生複數個掃描校正電壓差 $V_{Cap}(i,t)$ ，每個掃描校正電壓差與該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步。

【0229】子項49：如子項39至43中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一掃描校正器包含至少一校正電極，該電極構造成在使用期間有貢獻於在該聚合多射束偏轉系統（110）的該相交體（189）中產生之不均勻靜電場分佈，減少以偏離該多射束帶電粒子顯微鏡（1）的光學軸的傾角 $\beta$ 入射在該相交體（189）上的個別一次小射束之掃描所引起的像差。

【0230】子項50：一種多射束帶電粒子顯微鏡（1）的操作方法，包括下列步驟：

產生一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ ；

將該掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 提供給聚合多射束光柵掃描器（110），以使用該聚合多射束光柵掃描器（110）在一第一方向上聚合偏轉掃描複數個一次小射束（3）；

從該掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 產生至少一第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ ，其與該掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步；

將該第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 提供給一掃描校正器的一偏轉元件，以減少該複數個一次小射束（3）中的至少一個別小射束的掃描所引起的像差。

【0231】子項51：如子項50所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1）操作方法，其更包含提供複數個靜態控制信號至該掃描校正器，以產生該第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 之步驟。

【0232】子項52：如子項50或51所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1）操作方法，其更包含在該第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 與該掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 之間產生預定時間延遲，以同步該複數個一次小射束（3）的聚合光柵掃描並減少該至少一個別小射束的掃描所引起的像差之步驟。

【0233】子項53：一種用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1、1001），包含：

一小射束產生器，用於產生至少一第一一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）；

一物體照射單元（100），用於通過該第一一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）照射配置在物平面（101）中的樣品表面（25）之像場；

一光柵掃描器（110），其包含至少一第一組偏轉電極（153）和一相交體（189），該第一一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）穿過該相交體（189）；

一控制單元（800），構造成在使用期間提供至少一第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  給該第一組偏轉電極（153），用於在該像場上在第一或  $p$  方向上該第一一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）的掃描偏轉，該像場的橫向延伸至少為  $5\ \mu\text{m}$ ，較佳為  $8\ \mu\text{m}$  或更多；

至少一第一掃描校正器（601、185、193），其構造成在使用期間產生用於影響該第一一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）的第一掃描校正場，

其中該控制單元（800）更構造成將個別地第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  提供給該第一掃描校正器（601、185、193），該第一掃描校正器（601、185、193）減少與該第一一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）的掃描偏轉同步之該第一一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）的掃描所引起的像差。

**【0234】** 子項54：如子項53所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一掃描校正器（601、185、193）包含一第一靜電壓轉換單元，用於將該第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  轉換為至少一第一掃描校正電壓差  $V_{Cp}(t)$ ，其調適成產生與該第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  同步的該第一掃描修正場。

**【0235】** 子項55：如子項54所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該靜電壓轉換單元包含至少一可編程電阻序列，其構造成由複數個靜態控制信號編程。

【0236】子項56：如子項54或55所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該靜電壓轉換單元產生與該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 成比例的該第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 。

【0237】子項57：如子項53至56中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）更包含一第一延遲線，其使該第一掃描校正器場與藉由該光柵掃描器（110）對該第一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）的光柵掃描同步。

【0238】子項58：如子項53至57中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一掃描校正器（601、185、193）包含至少一第一偏轉元件，該第一偏轉元件在使用期間將該第一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）的大約0.5 nm至5 nm之掃描所引起的像差補償到低於0.3 nm、較佳低於0.2 nm或低於0.1 nm的減少量。

【0239】子項59：如子項58所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該掃描所引起的像差為掃描所引起的失真。

【0240】子項60：如子項58或59所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一偏轉元件構造成在使用期間個別補償該第一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）沿著第一方向的掃描所引起的失真，其與藉由該光柵掃描器（110）沿著在該第一方向上對該第一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）的掃描偏轉同步。

【0241】子項61：如子項60所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），更包含一第二偏轉元件，其構造成在使用期間個別補償該第一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）沿著該第二方向的掃描所引起的失真，其與藉由該光柵掃描器（110）在與該第二方向垂直的該第一方向上對該第一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）的掃描偏轉同步。

【0242】子項62：如子項58所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該掃描所引起的像差為至少掃描所引起的失真、掃描所引起像散、掃描所引起遠心像差、掃描所引起球面像差或掃描所引起髮尾像差的群組之一者。

【0243】子項63：如子項53至62中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包含一小射束產生器，其用於產生至少一第二一次帶電粒子小射束（3.1或3.2）。

【0244】子項64：如子項63所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一掃描校正器更包含一第三偏轉元件，其在使用期間個別補償該第二一次帶電粒子小射束（3.1或3.2）的掃描所引起的像差。

【0245】子項65：如子項64所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該靜電壓轉換單元包含至少一第一可編程電阻序列，該可編程電阻序列連接到該第一偏轉元件並由複數個靜態控制信號控制，在使用期間產生與該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步的一掃描校正電壓差 $V_{CAp}(t)$ 。

【0246】子項66：如子項53至65中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包含一第二掃描校正器（602、187、195），其用於在該光柵掃描器（110）對至少一第一一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）的光柵掃描期間減少第二掃描所引起的像差。

【0247】子項67：一種用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1），其包含：

一多小射束產生器（300），用於產生複數個一次小射束（3），其包含至少一第一一次小射束和一第二一次小射束；

一物體照射單元（100），用於照射配置在物平面（101）中的晶圓表面（25）的一影像圖塊（17），從而在使用期間產生從該表面（25）發出的多個二次電子小射束（9）；

一聚合多射束光柵掃描器（110）形成一相交體（189），用於執行複數個一次小射束（3）的聚合光柵掃描，以形成該影像圖塊（17）的

影像掃描，其包含至少在一第一影像子場域(31.55)上掃描的該第一次小射束(3.55)和在該影像圖塊(17)的一第二影像子場域(31.15)上同步掃描的該第二次小射束(3.15)；

一偵測單元(200)，其具有一投影系統(205)和一影像感測器(207)，用於將複數個二次電子小射束(9)成像在該影像感測器(207)上，並用於在影像掃描期間獲取一數位影像；

一第一掃描校正器(601)，其連接到控制單元(800)並在影像掃描期間，減少該第一影像子場域(31.55)中的該第一次小射束(3.55)與該第二影像子場域(31.55)中的該第二次小射束(3.15)間之掃描所引起的失真差。

**【0248】** 子項68：如子項67所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該第一掃描校正器(601)在使用期間產生用於影響該複數個一次小射束的複數個掃描靜電場，其包括用於影響該第一次小射束(3.55)的一第一掃描靜電場和一用於獨立影響第二次小射束(3.15)的一第二掃描靜電場。

**【0249】** 子項69：如子項68所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該第一掃描校正器(601)包含複數個偏轉元件，其包括一第一偏轉元件和一第二偏轉元件，其在使用期間補償該複數個一次小射束(3)之每一者的複數個掃描所引起的失真，其包括該第一次小射子束(3.55)的一第一掃描所引起的失真和該第二次小射子束(3.15)的一第二掃描所引起的失真。

**【0250】** 子項70：如子項68至69中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該控制單元(800)在使用期間提供一第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 給該聚合多射束光柵掃描器(110)，其中該第一掃描校正器(601)包含一掃描陣列控制單元(622)，用於將該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 轉換為複數個掃描校正電壓差 $V_{CAp}(i,t)$ ，調適成在使用期間產生與該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步的複數個靜電場。



【0251】子項71：如子項70所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該掃描陣列控制單元（622）包含複數個靜電壓轉換單元（611、612），其在使用期間從該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 產生該複數個掃描校正電壓差 $V_{CAp}(i,t)$ 。

【0252】子項72：如子項71所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該等複數個靜電壓轉換單元（611、612）之每一者構造為一可編程電阻序列，其構造成由複數個靜態控制信號控制。

【0253】子項73：如子項68至72中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）更包含一第一延遲線，其使該第一掃描校正器（601）的掃描靜電場與藉由該聚合多射束光柵掃描器（110）對複數個一次小射束（3）的聚合光柵掃描同步。

【0254】子項74：如子項69至73中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一偏轉元件構造成在使用期間個別補償該第一次小射束（3.55）沿著第一方向的掃描所引起的失真，其與藉由該聚合多射束光柵掃描器（110）在該第一方向上對該複數個一次小射束（3）之掃描偏轉同步。

【0255】子項75：如子項74所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一偏轉元件更構造成在使用期間個別補償該第一次小射束（3.55）沿著第二方向的掃描所引起的失真，其與藉由該聚合多射束光柵掃描器（110）在與該第二方向垂直的該第一方向上對該複數個一次小射束（3）之掃描偏轉同步。

【0256】子項76：如子項74或75所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第二偏轉元件構造成在使用期間個別補償該第二次小射束沿著該第一方向的掃描所引起的失真，其與該聚合多射束光柵掃描器（110）在該第一方向上對該複數個一次小射束（3）之掃描偏轉同步。

【0257】子項77：如子項67至76所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中在使用期間該第一次小射束以一第一角度 $\beta_1$ 穿過該相交體（189），並且第二次小射束以不同於該第一角度 $\beta_1$ 的一第二角度 $\beta_2$ 穿過該相交體（189）。

【0258】子項78：如子項67至77所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包含一第二掃描校正器（602），其連接到一控制單元（800）並在影像掃描期間，減少該第一影像子場域（31.55）中的該第一次小射束（3.55）與該第二影像子場域（31.55）中的該第二次小射束（3.15）間之掃描所引起的遠心差。

【0259】子項79：一種多射束帶電粒子顯微鏡（1）的操作方法，其包含下列步驟：

產生一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ ；

將該掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 提供給聚合多射束光柵掃描器（110），以使用該聚合多射束光柵掃描器（110）在一第一方向上聚合偏轉掃描複數個一次小射束（3）；

通過複數個靜電壓轉換單元，從該掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 產生複數個掃描校正電壓差 $V_{CAp}(i,t)$ ，其與該掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步；

將複數個掃描校正電壓差 $V_{CAp}(i,t)$ 提供給掃描校正器的複數個偏轉元件，以減少該複數個一次小射束（3）的掃描所引起的失真。

【0260】子項80：如子項79所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1）操作方法，其更包含提供複數個靜態控制信號給該複數個靜電壓轉換單元，以產生該複數個掃描校正電壓差 $V_{CAp}(i,t)$ 之步驟。

【0261】子項81：如子項79或80中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1）操作方法，其更包含在該複數個掃描校正電壓差 $V_{CAp}(i,t)$ 與該掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 之間產生預定時間延遲，以同步該複數個一次小射束（3）的聚合光柵掃描並減少掃描所引起的失真之步驟。

【0262】子項82：如子項79所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1）操作方法，其更包含下列步驟：

藉由在一參考物體的影像圖塊上掃描複數個一次帶電粒子，以確定定掃描所引起的失真；

擷取每個一次帶電粒子小射束的掃描所引起的失真的至少一線性部分的複數個振幅；

- 從該等複數個振幅之每一者導出複數個靜態控制信號。

**【0263】** 子項83：一種用於晶圓檢測的多射束帶電粒子束顯微鏡（1），其包含：

一第一長行程光柵掃描器（110），用於執行複數個一次帶電粒子小射束（3）的光柵掃描，其包含至少一第一一次小射束（3.0、3.1、3.2），並在對應於一晶圓表面（25）上影像子場域（31）的延伸 $D = 5\ \mu\text{m}$ 至 $12\ \mu\text{m}$ 之掃描範圍內，聚合掃描偏轉該複數個一次帶電粒子小射束（3）之每一者；

一第二短行程光柵掃描器（601），其構造成個別地校正包括該第一一次小射束（3.0、3.1、3.2）的每個一次帶電粒子小射之掃描所引起的像差，該掃描所引起的像差為在該第一長行程光柵掃描器（110）的聚合掃描偏轉期間導入；

一控制單元（800），其構造成將該第二短行程光柵掃描器（601），以校正單獨掃描所引起的像差與該第一長行程光柵掃描器（110）的掃描偏轉同步。

**【0264】** 子項84：如子項83所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該掃描所引起的像差為掃描失真，並且其中該第二短行程光柵掃描器（601）在對應於一最大掃描失真 $rm$ 的掃描範圍內掃描偏轉每個一次小射束，其中 $|rm| < D/1000$ 。

**【0265】** 子項85：如子項83或84所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該帶電粒子束顯微鏡（1）包含一第三短行程光柵掃描器（602），用於對掃描所引起的遠心像差進行掃描校正，其校正該第一長行程光柵掃描器（110）對該複數個一次小射束（3）的掃描偏轉期間導入之掃描所引起的遠心像差，並且其中控制單元（800）將該第三短行程光柵掃描器（602）與以該第一長行程光

柵掃描器（110）對該複數個一次小射束之掃描偏轉以及以該第二短行程光柵掃描器（601）對該掃描所引起的像差之掃描校正同步。

【0266】子項86：如子項83至85中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包含至少一掃描陣列控制單元（622），其用於將一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 轉換為複數個掃描校正電壓差 $V_{Cap}(i,t)$ ，以進行掃描所引起的像差的掃描校正。

【0267】子項87：如子項86所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該掃描陣列控制單元（622）包含複數個靜電壓轉換單元（611、612），其在使用期間從該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 產生該複數個掃描校正電壓差 $V_{Cap}(i,t)$ 。

【0268】子項88：如子項87所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該等複數個靜電壓轉換單元（611、612）之每一者構造為一可編程電阻序列，其構造成由複數個靜態控制信號控制。

【0269】子項89：如子項83至88中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包含一小射束產生器（300）用於產生複數個一次小射波束（3）；及一物體照射單元（100），用於照射配置在物平面（101）中的物體（7）的表面（25）之複數個影像圖塊（17），從而在使用期間產生從表面（25）發出的複數個二次電子小射束（9）。

【0270】子項90：如子項89所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該小射束產生器（300）構造成用於產生至少一第一和第二一次小射束，並且該第一長行程光柵掃描器（110）在對應於晶圓表面上影像子場域擴展 $D$ 之掃描範圍上，聚合掃描偏轉該至少一第一和第二一次小射束之每一者，並且其中該第二短行程光柵掃描器（601）構造成個別地校正第一和第二一次小射束的掃描所引起的像差。

【0271】子項91：如子項83至90中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包含一偵測單元（200），其具有一投影系統（205）和一影像感測器（207），用於將複數個二次電子小射束（9）成像在影像感測器（207）上，並用於在影像掃描期間獲取一數位影像。

【0272】從說明書中將清楚了解，多個範例和具體實施例的組合及各種修改是可能，並可類似於多個具體實施例或範例來應用。一次光束帶電粒子可例如是電子，但亦可為其他帶電粒子，諸如氦離子。二次電子在狹義上包含此及電子，但亦包括通過一次帶電粒子子束與樣品相互作用而產生的任何其他二次帶電粒子，諸如由反向散射電子產生的反向散射電子或第二級二次電子。在另一範例中，可收集二次離子而不是二次電子。

### 【符號說明】

- 1 多小射束帶電粒子顯微系統
- 3 一次帶電粒子小射束，形成複數個一次帶電粒子小射束
- 5 一次帶電粒子束斑
- 7 物體
- 9 二次電子小射束，形成多個二次電子小射束
- 11 二次電子束路徑
- 13 一次射束路徑
- 15 二次帶電粒子像斑
- 17 影像圖塊
- 19 影像圖塊的重疊區域
- 21 影像圖塊中心位置
- 25 晶圓表面
- 27 一次小射束的掃描路徑
- 29 影像子場域的中心
- 31 影像子場域
- 33 第一檢測部位
- 35 第二檢測部位
- 39 子場域31的重疊區域

- 100 物體照射單元
- 101 物平面或像平面
- 102 物鏡
- 103 場透鏡群
- 105 多小射束帶電粒子顯微系統的光學軸
- 108 第一束交叉點
- 110 第一多射束光柵掃描器
- 112 多射束光柵掃描器的校正元件
- 120 掃描校正控制模組
- 141 一次射束斑位置的範例
- 143 一次射束斑的靜態位移向量
- 150 中心小射束
- 151 真實小射束軌道
- 153 偏轉器電極
- 155 靜電電位的等位線
- 157 離軸或場小射束
- 159 虛擬共用樞轉點
- 161 虛擬樞轉點
- 163 第一階束路徑
- 171 系統前面掃描器110
- 173 線性曲線
- 175 作為偏轉角函數的電壓差
- 177 作為偏轉角函數的電壓差施加到由電極對組成的偏轉電極上
- 179 作為偏轉角函數的偏移電壓施加到由電極對組成的偏轉電極上
- 181 沿著第一方向偏轉的偏轉電極
- 183 沿著第二方向偏轉的偏轉電極

185	第一組校正電極
187	第二組校正電極
189	行進束的相交體
190	相交體的內部區域
191	非對稱方向
193	第一組校正電極
195	第二組校正電極
197	例示線性相關性的線
200	偵測單元
205	投影系統
206	靜電透鏡
207	影像感測器
208	成像透鏡
209	成像透鏡
210	成像透鏡
212	第二交叉點
214	孔徑濾鏡
216	主動元件
218	第三偏轉系統
220	多孔校正器
222	第二偏轉系統
300	帶電粒子多小射束產生器
301	帶電粒子源
303	準直透鏡
305	一次多小射束形成單元
306	主動多孔板

- 307 第一場透鏡
- 308 第二場透鏡
- 309 電子束
- 311 初級電子小射束斑點
- 321 中間像平面
- 390 光束轉向多孔板
- 400 分束器單元
- 420 磁性元件
- 500 樣品載台
- 503 樣品電壓供應器
- 601 第一掃描校正器或掃描失真補償器陣列
- 602 第二掃描校正器或遠心像差的掃描補償器陣列
- 607 導電線
- 609 第一電源線
- 610 第二電源線
- 611 第一電壓轉換單元
- 612 第二電壓轉換單元
- 613 第一多個導電線
- 614 第二多個導電線
- 615 第一複數個控制信號
- 616 第二複數個控制信號
- 618 連接信號線
- 620 多孔板
- 622 掃描陣列控制模組
- 624 時脈線
- 626 操作控制記憶體



- 631 資料或電壓連接線
- 633 電阻序列
- 635 第一組控制信號
- 637 第二組控制信號
- 639 電晶體序列
- 641 電壓結合器
- 681 電極
- 685 孔或複數個孔
- 687 沿著第一方向偏轉的電極
- 688 沿著第二方向偏轉的電極
- 701 第一靜態多射束偏轉系統
- 703 第二靜態多射束偏轉系統
- 800 控制單元
- 810 影像資料獲取單元
- 812 影像拼接單元
- 814 影像資料輸出
- 820 投影系統控制模組
- 830 一次射束路徑控制模組
- 840 控制操作處理器
- 860 掃描偏轉控制模組
- 862 延遲線陣列
- 870 靜態調整控制模組

## 【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1），其包含：

一帶電粒子多小射束產生器（300），用於產生複數個一次帶電粒子小射束（3）；

一物體照射單元（100），用於通過該複數個一次帶電粒子小射束（3）照射配置在物平面（101）中物體（7）的一表面（25）上之一影像圖塊（17.1），從而在使用期間產生從該表面（25）發出的複數個二次電子小射束（9）；

一偵測單元（200），其具有一投影系統（205）和一影像感測器（207），用於將該複數個二次電子小射束（9）成像在該影像感測器（207）上，並用於在使用期間獲取該表面（25）的該影像圖塊（17.1）之數位影像；

一聚合多射束光柵掃描器（110）；

一掃描失真補償器陣列（601），具有複數個孔徑而配置在該複數個一次帶電粒子小射束傳播方向上該聚合多射束光柵掃描器（110）之上游，該等複數個孔徑之每一者在使用期間傳輸該複數個一次帶電粒子小射束（3）中相應的一個一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2），該等複數個孔徑之每一者包含一第一偏轉元件，用於在第一或 p 方向上個別地偏轉每個相應一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）；及該等複數個孔徑之每一者包含一第二偏轉元件，用於在與該第一方向垂直的第二或 q 方向上個別地偏轉每個相應一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）；

一控制單元（800），其在使用期間將至少一第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  提供給該聚合多射束光柵掃描器（110），以在該第一或 p 方向上掃描偏轉該複數個一次帶電粒子小射束（3），

其中該掃描失真補償器陣列（601）更包含一掃描陣列控制單元（622），其具有一第一靜電壓轉換陣列（611），其構造成將複數個第一校正電壓差提供給該複數個第一偏轉元件；及一第二靜電壓轉換陣列（612），其構造成將複數個第二校正電壓差提供給該複數個第二偏轉元件，以補償該複數個一次帶電粒子小射束（3）在該第一方向上的掃描偏轉期間之掃描所引起的像差。

**【請求項2】** 如請求項1所述之用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一靜電壓轉換陣列（611）耦接到該控制單元（800），並將與該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步的至少複數個第一電壓差分量提供給該複數個第一和第二偏轉元件之每一者。

**【請求項3】** 如請求項1或2所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）在使用期間將一第二掃描電壓差 $V_{Sq}(t)$ 提供給該聚合多射束光柵掃描器（110），用於在該第二或 $q$ 方向上掃描偏轉該複數個一次帶電粒子小射束（3）。

**【請求項4】** 如請求項3所述之用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一靜電壓轉換陣列（611）和該第二靜電壓轉換陣列（612）耦接到該控制單元（800），並將與該第二掃描電壓差 $V_{Sq}(t)$ 同步的至少複數個第二電壓差分量提供給複數個第一和第二偏轉元件之每一者。

**【請求項5】** 如請求項3或4所述之用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一靜電壓轉換陣列（611）耦接到該控制單元（800），並將至少與該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步的一第一電壓差分量及與該第二掃描電壓差 $V_{Sq}(t)$ 同步的一第二電壓差分量提供給複數個第一偏轉元件之每一者。

【請求項6】如請求項1至5中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一或第二靜電壓轉換陣列（611、612）構造成一可編程電阻陣列。

【請求項7】如請求項1至6中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該聚合多射束光柵掃描器（110）包含至少一第一組偏轉電極和一相交體（189），該複數個一次帶電粒子小射束（3）穿過該相交體（189），其中該聚合多射束光柵掃描器（110）在該相交體（189）中產生預定的非均勻掃描偏轉場分佈，以減少以偏離該多射束帶電粒子顯微鏡（1）的光學軸之傾角而入射到該相交體（189）上一個一次帶電粒子小射束的掃描所引起的像差。

【請求項8】如請求項7所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一組偏轉電極的一偏轉電極由兩個空間相隔的電極構成，並且該控制單元（800）在使用期間提供該第一掃描電壓差 $V_{Sp1}(t)$ 和該第二掃描電壓差 $V_{Sp2}(t)$ 到該等兩空間相隔的電極，其中該第一掃描電壓差 $V_{Sp1}(t)$ 和該第二掃描電壓差 $V_{Sp2}(t)$ 不同。

【請求項9】如請求項7或8所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該聚合多射束掃描光柵掃描器（110）包含一第二組偏轉電極，用於在使用期間產生一第二預定非均勻掃描偏轉場分佈，該等複數個一次帶電粒子小射束（3）穿過該相交體（189）中的第二預定非均勻掃描偏轉場分佈，以在該第二或 $q$ 方向上掃描偏轉該複數個一次帶電粒子小射束（3）。

【請求項10】如請求項9所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該聚合多射束光柵掃描器（110）的該至少一第一組或第二組偏轉電極之形狀和幾何形狀調適成該相交體（189）之剖面。

【請求項11】 如請求項9或10所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中在該複數個一次帶電粒子小射束（3）的平均傳播方向上，該第一組偏轉電極和該第二組偏轉電極具有不同的長度。

【請求項12】 如請求項7至11中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該聚合多射束光柵掃描器（110）更包含一第一組校正電極（185、193），其在使用期間產生對該預定非均勻靜電場分佈有貢獻的一預定掃描校正場。

【請求項13】 如請求項12所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一組校正電極的電極（185.1、185.2、185.3、185.4）配置在該第一組偏轉電極的一電極與該第二組偏轉電極的一電極間之空間中。

【請求項14】 如請求項11或12中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該聚合多射束光柵掃描器（110）更包含一第二組校正電極（187、195），其在使用期間產生對該預定非均勻靜電場分佈有貢獻的一預定第二掃描校正場。

【請求項15】 如請求項1至14中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該聚合多射束光柵掃描器（110）相對於該相交體調整該預定非均勻掃描偏轉場分佈之橫向位置，並且該控制單元（800）在使用期間提供一電壓偏移給該第一組偏轉電極或該第二組偏轉電極之至少一者。

【請求項16】 如請求項1至15中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包含配置在該帶電粒子多小射束產生器（300）與該聚合多射束光柵掃描器（110）之間的一第一靜態偏轉系統（701），其用於調整該複數個一次帶電粒子小射束（3）相對於該相交體（189）的橫向位置。

【請求項17】如請求項1至16中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其更包含配置在該帶電粒子多小射束產生器(300)與該聚合多射束光柵掃描器(110)之間的一第二靜態偏轉系統(701)，其用於調整該複數個一次帶電粒子小射束(3)在於該相交體(189)入口處上的平均入射角。

【請求項18】如請求項1至17中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其更包含一掃描補償器陣列(602)，用於補償掃描所引起的遠心像差，其配置在該多射束帶電粒子顯微鏡(1)的中間像平面(321)附近，該掃描補償器陣列(602)具有配置在複數個孔徑上的複數個偏轉元件和；具有一第二靜電壓轉換陣列之一第二掃描陣列控制單元(622.2)，其，用以將複數個第二校正電壓差提供給該複數個偏轉元件之每一者，以補償影像掃描期間掃描該等一次帶電粒子小射束(3)之每一者所引起的遠心像差。

【請求項19】如請求項1至18中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其更包含另一掃描補償器陣列，用於補償掃描所引起的像差，諸如該等複數個一次帶電粒子小射束(3)中的每一小射束的掃描所引起的像散或是焦平面偏差。

【請求項20】一種多射束帶電粒子顯微鏡(1)的操作方法，該顯微鏡具有一帶電粒子多小射束產生器(300)、一物體照射單元(100)、一偵測單元(200)、一用於對複數個一次帶電粒子小射束(3)進行聚合光柵掃描的聚合多射束光柵掃描器(110)、一配置在該複數個一次帶電粒子小射束傳播方向上該聚合多射束光柵掃描器(110)之上游之掃描失真補償器陣列(601)、及一控制單元(800)，其包括下列步驟：

提供至少一第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  給一掃描陣列控制單元(622)；

從至少該第一電壓差  $V_{Sp}(t)$  和複數個靜態控制信號 (635) 中產生複數個電壓差分量；

提供該複數個電壓差分量給該掃描失真補償器陣列 (601) 的複數個偏轉元件，以個別地掃描偏轉該複數個一次帶電粒子小射束 (3) 的每一小射束 (3.0、3.1、3.2)，以補償在該複數個一次帶電粒子小射束 (3) 的掃描偏轉期間複數個掃描所引起的失真。

**【請求項21】** 如請求項20所述之多射束帶電粒子顯微鏡 (1) 操作方法，其更包含下列步驟：

藉由在一參考物體的影像圖塊 (17) 上掃描該複數個一次帶電粒子 (3)，以確定掃描所引起的失真；

擷取每個一次帶電粒子小射束 (3.0、3.1、3.2) 的複數個掃描所引起的失真之每一者的至少一線性部分的複數個振幅；

從該等複數個振幅之每一者導出複數個控制信號 (635)；

提供該複數個控制信號 (635) 給該掃描失真補償器陣列 (601) 的該掃描陣列控制單元 (622)。

**【請求項22】** 一種用於晶圓檢測的多射束顯微鏡 (1)，其包含：

一多小射束產生器 (300)，用於產生複數個一次小射束 (3)，其包含至少一第一個別小射束；

一物體照射單元 (100)，用於通過該複數個一次小射束 (3) 照射配置在物平面 (101) 中物體 (7) 的表面 (25) 上之一影像圖塊 (17.1)，從而在使用期間產生從該表面 (25) 發出的複數個二次電子小射束 (9)；

一偵測單元 (200)，其具有一投影系統 (205) 和一影像感測器 (207)，用於將該複數個二次電子小射束 (9) 成像在該影像感測器 (207) 上，

並用於在使用期間獲取該表面 (25) 上該影像圖塊 (17.1) 之數位影像；

一聚合多射束光柵掃描器 (110)，其包含至少一第一組偏轉電極和一相交體 (189)，該等複數個一次小射束 (3) 穿過該相交體 (189)；至少一第一掃描校正器，其構造成在使用期間產生一第一掃描靜電場，以影響至少該第一個別小射束；

一控制單元 (800)，其構造成在使用期間將至少一第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  提供給該第一組偏轉電極，用於在第一或  $p$  方向上聚合光柵掃描該複數個一次小射束 (3)，

其中該控制單元 (800) 更提供該第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  給該第一掃描校正器，該第一掃描校正器減少至少該第一個別小射束的掃描所引起的像差。

**【請求項23】** 如請求項22所述之多射束帶電粒子顯微鏡 (1)，其中該第一掃描校正器包含一第一靜電壓轉換單元，用於將該第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  轉換為至少一第一掃描校正電壓差  $V_{Cp}(t)$ ，其調適成產生與該第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  同步的該第一掃描靜電場。

**【請求項24】** 如請求項23所述之多射束帶電粒子顯微鏡 (1)，其中該靜電壓轉換單元包含至少一可編程電阻序列，其構造成由複數個靜態控制信號 (635) 編程。

**【請求項25】** 如請求項22或23所述之多射束帶電粒子顯微鏡 (1)，其中該第一靜電壓轉換單元產生與該第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  成比例的該第一掃描校正電壓差  $V_{Cp}(t)$ 。



【請求項26】如請求項22至25中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該控制單元(800)更包含一第一延遲線，其使該第一掃描校正器場與藉由該聚合多射束光柵掃描器(110)對該複數個一次小射束(3)的聚合光柵掃描同步。

【請求項27】如請求項22至26中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該第一掃描校正器包含複數個偏轉元件，該等偏轉元件構造成在使用期間補償複數個一次小射束(3)中每個一次小射束的掃描所引起的失真。

【請求項28】如請求項27所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該等複數個偏轉元件包含一第一偏轉元件，其在使用期間個別補償該第一個別小射束沿著該第一方向的掃描所引起的失真，其與該聚合多射束光柵掃描器(110)在該第一方向上對該複數個一次小射束(3)之掃描偏轉同步。

【請求項29】如請求項28所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該等複數個偏轉元件更包含一第二偏轉元件，其在使用期間個別補償該第一個別小射束在該第二方向的掃描所引起的失真，其與該聚合多射束光柵掃描器(110)在與該第二方向垂直的該第一方向上對該複數個一次小射束(3)之掃描偏轉同步。

【請求項30】如請求項28或29所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該等複數個偏轉元件更包含一第三偏轉元件，其在使用期間個別補償該第二個別小射束在該第一方向的掃描所引起的失真，其與該聚合多射束光柵掃描器(110)在該第一方向上對該複數個一次小射束(3)之掃描偏轉同步。

【請求項31】如請求項27至30中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該靜電壓轉換單元包含複數個可編程電阻序列，每個可編程電阻序列連接

到複數個偏轉元件中的一偏轉元件，該等複數個可編程電阻序列形成由複數個靜態控制信號控制的可編程電阻陣列，其在使用期間產生複數個掃描校正電壓差 $V_{Cap}(i,t)$ ，每個掃描校正電壓差與該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步。

**【請求項32】** 一種多射束帶電粒子顯微鏡（1）的操作方法，其包含下列步驟：

產生一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$ ；

將該掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$ 提供給一聚合多射束光柵掃描器（110），以使用該聚合多射束光柵掃描器（110）在一第一方向上聚合偏轉掃描複數個一次小射束（3）；

從該掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$ 產生至少一第一掃描校正電壓差  $V_{Cp}(t)$ ，其與該掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$ 同步；

將該第一掃描校正電壓差  $V_{Cp}(t)$ 提供給一掃描校正器的一偏轉元件，以減少該複數個一次小射束（3）中至少一個別小射束的掃描所引起的像差。

**【請求項33】** 如請求項32所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1）操作方法，其更包含提供複數個靜態控制信號至該掃描校正器，以產生該第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 之步驟。

**【請求項34】** 如請求項32或33所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1）操作方法，其更包含在該第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 與該掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 之間產生預定時間延遲，以同步該複數個一次小射束（3）的聚合光柵掃描並減少該至少一個別小射束的掃描所引起的像差之步驟。

**【請求項35】** 一種用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1），其包含：

一小射束產生器（300），用於產生包含至少一第一一次帶電粒子小射束（3.0、3.1、3.2）的複數個一次帶電粒子小射束；

一物體照射單元（100），以該複數個一次帶電粒子小射束（3）照射配置在物平面（101）中的一樣品之一表面（25）之像場；

一聚合光柵掃描器（110），其包含至少一第一組偏轉電極（153）和一相交體（189），該等複數個一次帶電粒子小射束（3）穿過該相交體（189）；

一控制單元（800），其在使用期間提供至少一第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  給該第一組偏轉電極（153），用於在其對應像場上在第一或  $p$  方向上該等複數個一次帶電粒子小射束（3）之每一者的掃描偏轉，該像場的橫向延伸至少為  $5\ \mu\text{m}$ ，較佳為  $8\ \mu\text{m}$  或更多；

至少一第一掃描校正器（601、185、193），其構造成在使用期間產生用於個別地影響該等複數個一次帶電粒子小射束（3）的一第一掃描校正場，

其中該控制單元（800）更將該第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  提供給該第一掃描校正器（601、185、193），該第一掃描校正器（601、185、193）減少與該等複數個一次帶電粒子小射束（3）之每一者的掃描偏轉同步之該等複數個一次帶電粒子小射束（3）的掃描所引起的像差。

**【請求項36】** 如請求項35所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一掃描校正器（601、185、193）包含一第一靜電壓轉換單元，用於將該第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  轉換為至少一第一掃描校正電壓差  $V_{Cp}(t)$ ，其調適成產生與該第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  同步的該第一掃描修正場。

**【請求項37】** 如請求項36所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該靜電壓轉換單元包含至少一可編程電阻序列，其構造成由複數個靜態控制信號編程。

【請求項38】如請求項36或37所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該靜電壓轉換單元產生與該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 成比例的該第一掃描校正電壓差 $V_{Cp}(t)$ 。

【請求項39】如請求項35至38中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該控制單元(800)更包含一第一延遲線，其使該第一掃描校正器場與藉由該聚合光柵掃描器(110)對該第一次帶電粒子小射束(3.0、3.1、3.2)的光柵掃描同步。

【請求項40】如請求項35至39中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該第一掃描校正器(601、185、193)包含至少一第一偏轉元件，該第一偏轉元件在使用期間將該第一次帶電粒子小射束(3.0、3.1、3.2)的大約0.5 nm至5 nm之掃描所引起的像差補償到低於0.3 nm、較佳低於0.2 nm或低於0.1 nm的減少量。

【請求項41】如請求項40所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該掃描所引起的像差為掃描所引起的失真。

【請求項42】如請求項40或41所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該第一偏轉元件構造成在使用期間個別補償該第一次帶電粒子小射束(3.0、3.1、3.2)沿著該第一方向的掃描所引起的失真，其與藉由該光柵掃描器(110)在該第一方向上對該第一次帶電粒子小射束(3.0、3.1、3.2)的掃描偏轉同步。

【請求項43】如請求項42所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其更包含一第二偏轉元件，其構造成在使用期間個別補償該第一次帶電粒子小射束(3.0、

3.1、3.2) 沿著該第二方向的掃描所引起的失真，其與藉由該光柵掃描器 (110) 在與該第二方向垂直的該第一方向上對該第一一次帶電粒子小射束 (3.0、3.1、3.2) 的掃描偏轉同步。

【請求項44】 如請求項40所述之帶電粒子顯微鏡 (1)，其中該掃描所引起的像差為一掃描所引起的失真、一掃描所引起像散、一掃描所引起遠心像差、一掃描所引起球面像差或一掃描所引起髮尾像差的群組之至少一者。

【請求項45】 如請求項35至44中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡 (1、1001)，其中該小射束產生器 (300) 產生至少一第二一次帶電粒子小射束 (3.1或3.2)。

【請求項46】 如請求項45所述之多射束帶電粒子顯微鏡 (1)，其中該第一掃描校正器更包含一第三偏轉元件，其在使用期間個別補償該第二一次帶電粒子小射束 (3.1或3.2) 的掃描所引起的像差。

【請求項47】 如請求項36至46中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡 (1)，其中該靜電壓轉換單元包含至少一第一可編程電阻序列，該可編程電阻序列連接到該第一偏轉元件並由複數個靜態控制信號控制，其在使用期間產生與該第一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$  同步的一掃描校正電壓差  $V_{CAp}(t)$ 。

【請求項48】 如請求項35至47中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡 (1)，其更包含一第二掃描校正器 (602、187、195)，其用於在該光柵掃描器 (110) 對至少一第一一次帶電粒子小射束 (3.0、3.1、3.2) 的光柵掃描期間減少第二掃描所引起的像差。

**【請求項49】** 一種用於晶圓檢測的多射束帶電粒子顯微鏡（1），其包含：

- 一多小射束產生器（300），用於產生複數個一次小射束（3），其包含至少一第一一次小射束和一第二一次小射束；
- 一物體照射單元（100），用於照射配置在物平面（101）中晶圓（7）的一表面（25）之一影像圖塊（17），從而在使用期間產生從該表面（25）發出的複數個二次電子小射束（9）；
- 一聚合多射束光柵掃描器（110）形成一相交體（189），其用於執行複數個一次小射束（3）的聚合光柵掃描，以形成該影像圖塊（17）的影像掃描，其包含至少在一第一影像子場域（31.55）上掃描的該第一一次小射束（3.55）和在該影像圖塊（17）的一第二影像子場域（31.15）上同步掃描之該第二一次小射束（3.15）；
- 一偵測單元（200），其具有一投影系統（205）和一影像感測器（207），用於將複數個二次電子小射束（9）成像在該影像感測器（207）上，並用於在影像掃描期間獲取一數位影像；
- 一第一掃描校正器（601），其連接到一控制單元（800）並在影像掃描期間，減少該第一影像子場域（31.55）中的該第一一次小射束（3.55）與該第二影像子場域（31.55）中的該第二一次小射束（3.15）間之掃描所引起的失真差。

**【請求項50】** 如請求項49所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一掃描校正器（601）在使用期間產生用於影響該複數個一次小射束的複數個掃描靜電場，其包括一用於影響該第一一次小射束（3.55）的一第一掃描靜電場和一用於獨立影響該第二一次小射束（3.15）的一第二掃描靜電場。

**【請求項51】** 如請求項50所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一掃描校正器（601）包含複數個偏轉元件，該複數個偏轉元件包括一第一偏轉元

件和一第二偏轉元件，在使用期間補償該複數個一次小射束（3）之每一者的複數個掃描所引起的失真，該複數個掃描所引起的失真包括該第一一次小射子束（3.55）的第一掃描所引起的失真和該第二一次小射子束（3.15）的第二掃描所引起的失真。

【請求項52】 如請求項49至51中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）在使用期間提供一第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 給該聚合多射束光柵掃描器（110），其中該第一掃描校正器（601）包含一掃描陣列控制單元（622），用於將該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 轉換為複數個掃描校正電壓差 $V_{CAp}(i,t)$ ，調適成在使用期間產生與該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 同步的複數個靜電場。

【請求項53】 如請求項52所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該掃描陣列控制單元（622）包含複數個靜電壓轉換單元（611、612），其在使用期間從該第一掃描電壓差 $V_{Sp}(t)$ 產生該複數個掃描校正電壓差 $V_{CAp}(i,t)$ 。

【請求項54】 如請求項53所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該等複數個靜電壓轉換單元（611、612）之每一者構造為一可編程電阻序列，其構造成由複數個靜態控制信號控制。

【請求項55】 如請求項49至54中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）更包含一第一延遲線，其使該第一掃描校正器（601）的掃描靜電場與藉由該聚合多射束光柵掃描器（110）對複數個一次小射束（3）的聚合光柵掃描同步。

【請求項56】如請求項51至55中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該第一偏轉元件構造成在使用期間個別補償該第一次小射束(3.55)沿著第一方向的掃描所引起的失真，其與藉由該聚合多射束光柵掃描器(110)在該第一方向上對該複數個一次小射束(3)之掃描偏轉同步。

【請求項57】如請求項56所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該第一偏轉元件更構造成在使用期間個別補償該第一次小射束(3.55)沿著第二方向的掃描所引起的失真，其與藉由該聚合多射束光柵掃描器(110)在與該第二方向垂直的該第一方向上對該複數個一次小射束(3)之掃描偏轉同步。

【請求項58】如請求項56或57所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該第二偏轉元件構造成在使用期間個別補償該第二次小射束沿著該第一方向的掃描所引起的失真，其與該聚合多射束光柵掃描器(110)在該第一方向上對該複數個一次小射束(3)之掃描偏轉同步。

【請求項59】如請求項49至58任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中在使用期間該第一次小射束以一第一角度 $\beta_1$ 穿過該相交體(189)，並且該第二次小射束以不同於該第一角度 $\beta_1$ 的一第二角度 $\beta_2$ 穿過該相交體(189)。

【請求項60】如請求項49至59任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡(1)，其更包含一第二掃描校正器(602)，其連接到該控制單元(800)並在影像掃描期間，減少該第一影像子場域(31.55)中的該第一次小射束(3.55)與該第二影像子場域(31.55)中的該第二次小射束(3.15)間之掃描所引起的遠心差。



【請求項61】 一種多射束帶電粒子顯微鏡（1）的操作方法，其包含下列步驟：

產生一掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$ ；

將該掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$ 提供給一聚合多射束光柵掃描器（110），以該聚合多射束光柵掃描器（110）在一第一方向上聚合偏轉掃描複數個一次小射束（3）；

通過複數個靜電壓轉換單元，從該掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$ 產生複數個掃描校正電壓差  $V_{CAp}(i,t)$ ，其與該掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$ 同步；

將複數個掃描校正電壓差  $V_{CAp}(i,t)$ 提供給一掃描校正器的複數個偏轉元件，以減少該複數個一次小射束（3）的掃描所引起的失真。

【請求項62】 如請求項61所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1）操作方法，其更包含提供複數個靜態控制信號給該複數個靜電壓轉換單元，以產生該複數個掃描校正電壓差  $V_{CAp}(i,t)$ 之步驟。

【請求項63】 如請求項61或62中任一項所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1）操作方法，其更包含在該複數個掃描校正電壓差  $V_{CAp}(i,t)$ 與該掃描電壓差  $V_{Sp}(t)$ 之間產生預定時間延遲，以同步該複數個一次小射束（3）的聚合光柵掃描並減少掃描所引起的失真之步驟。

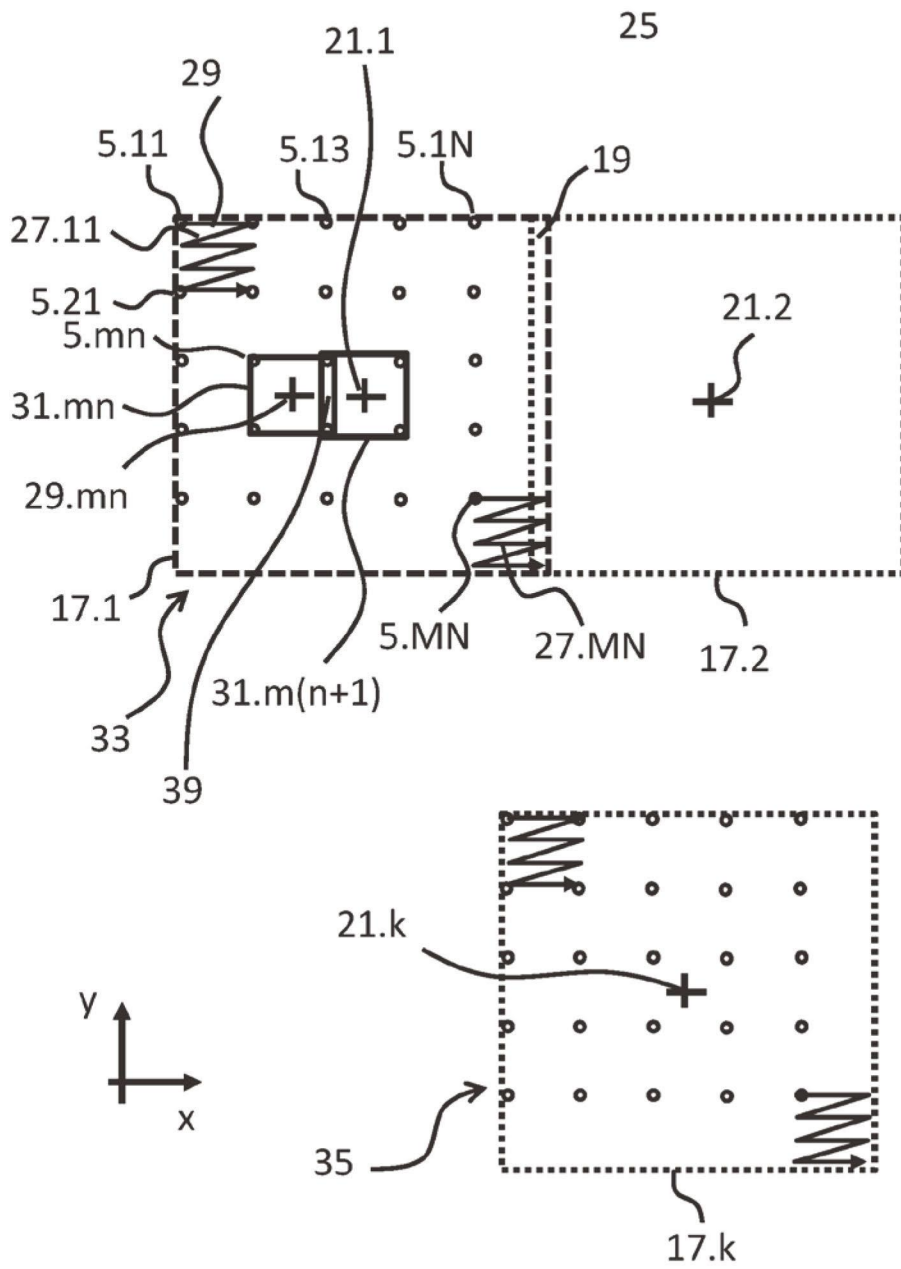
【請求項64】 如請求項62所述之多射束帶電粒子顯微鏡（1）操作方法，其更包含下列步驟：

藉由在一參考物體的影像圖塊上掃描複數個一次帶電粒子，以確定掃描所引起的失真；

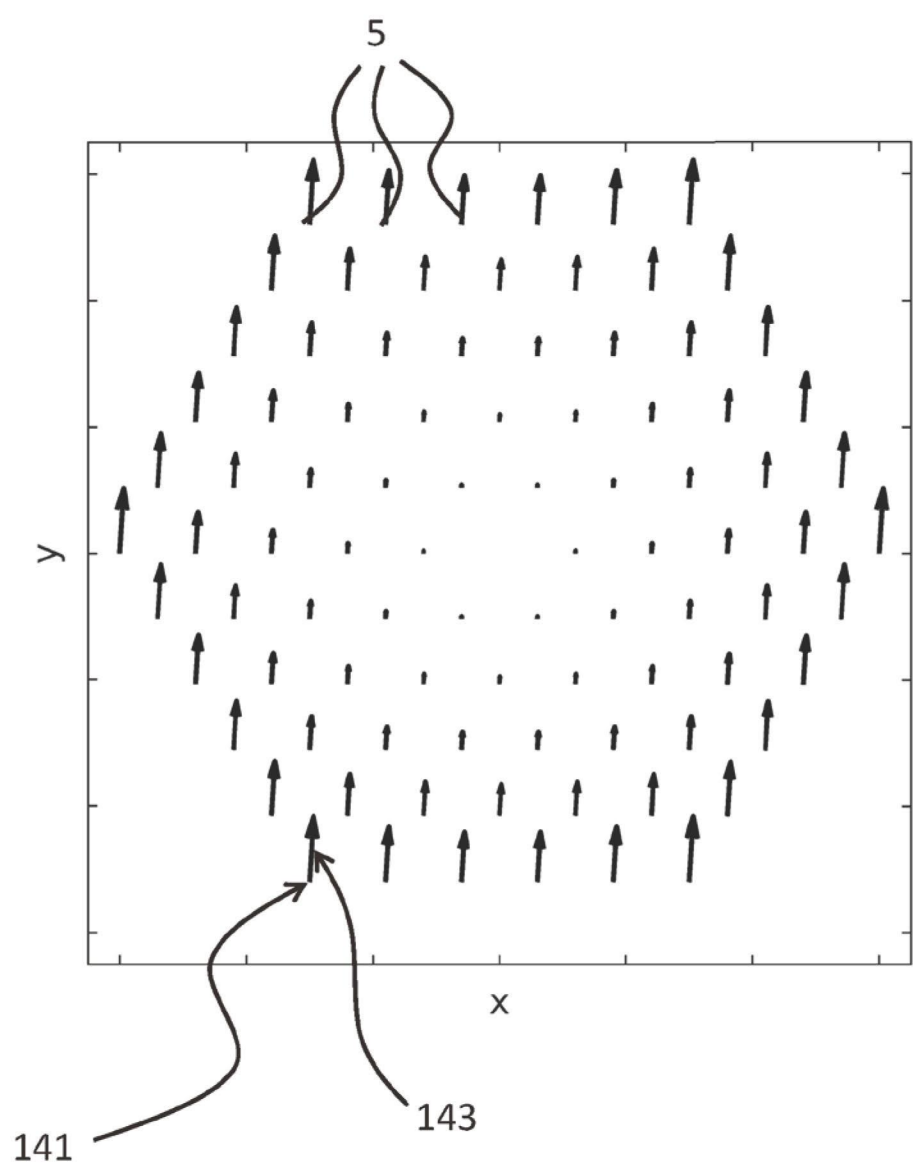
擷取每個一次帶電粒子小射束的掃描所引起的失真的至少一線性部分的複數個振幅；

從該等複數個振幅之每一者導出複數個靜態控制信號。

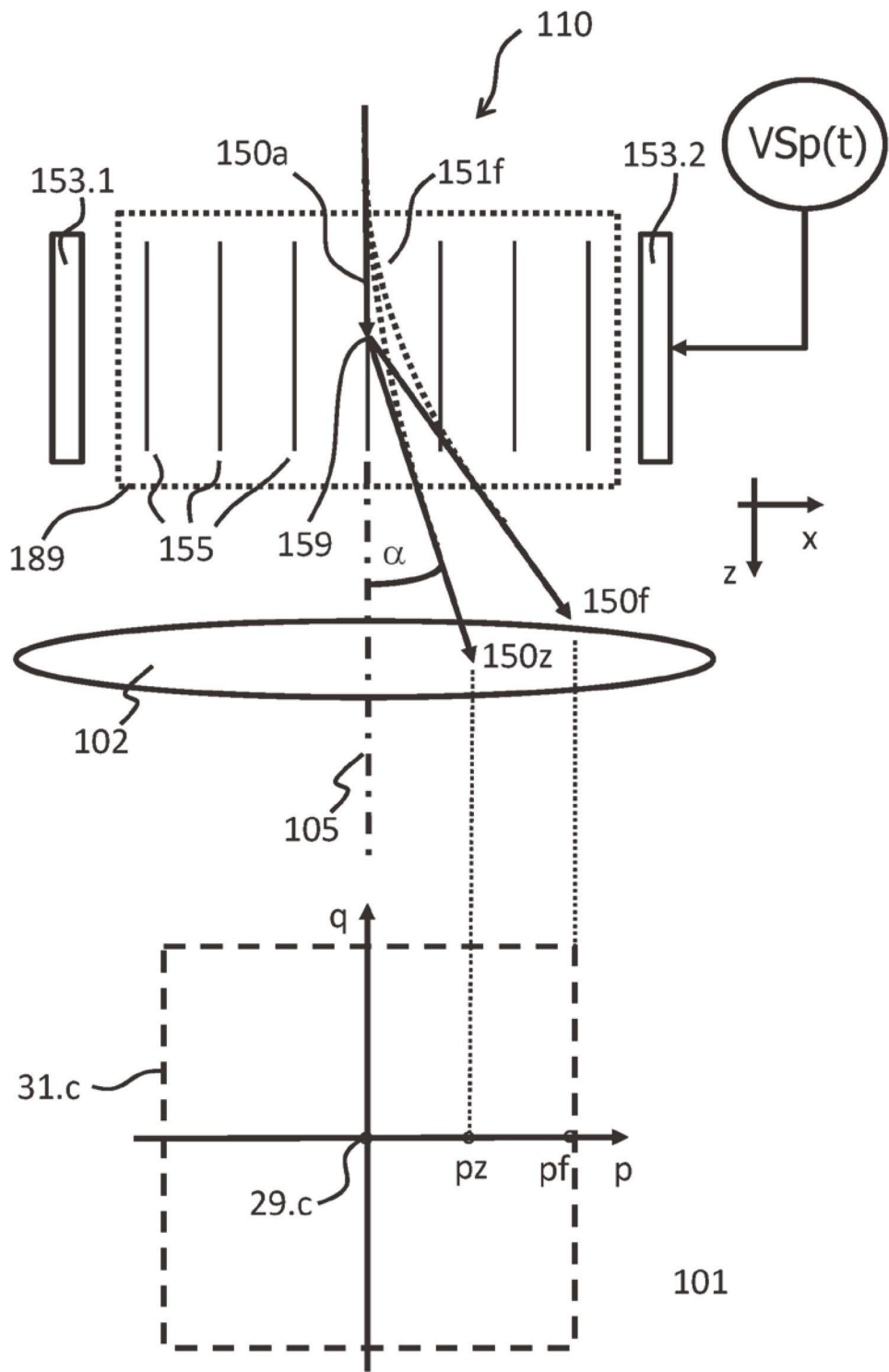




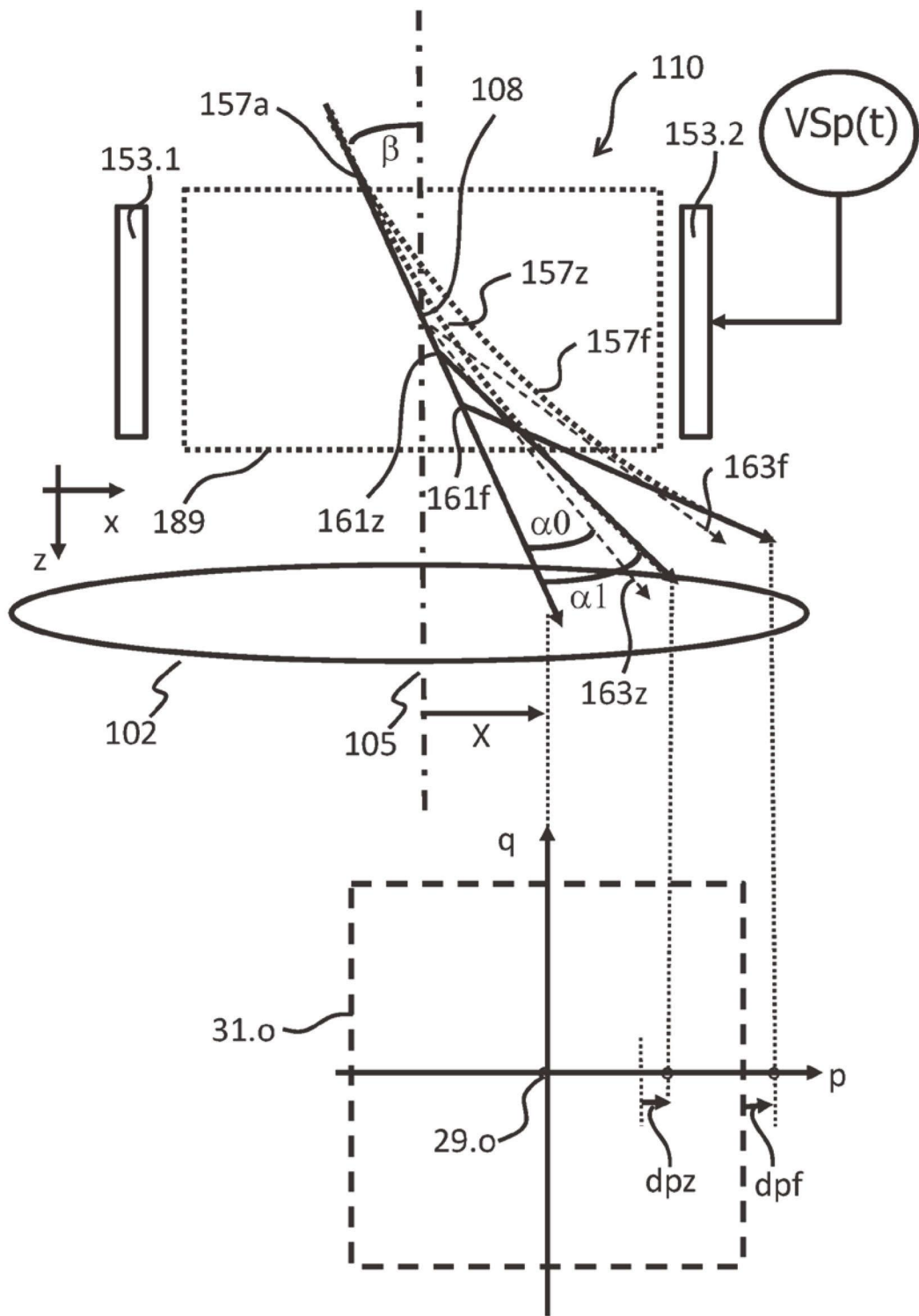
【圖2】



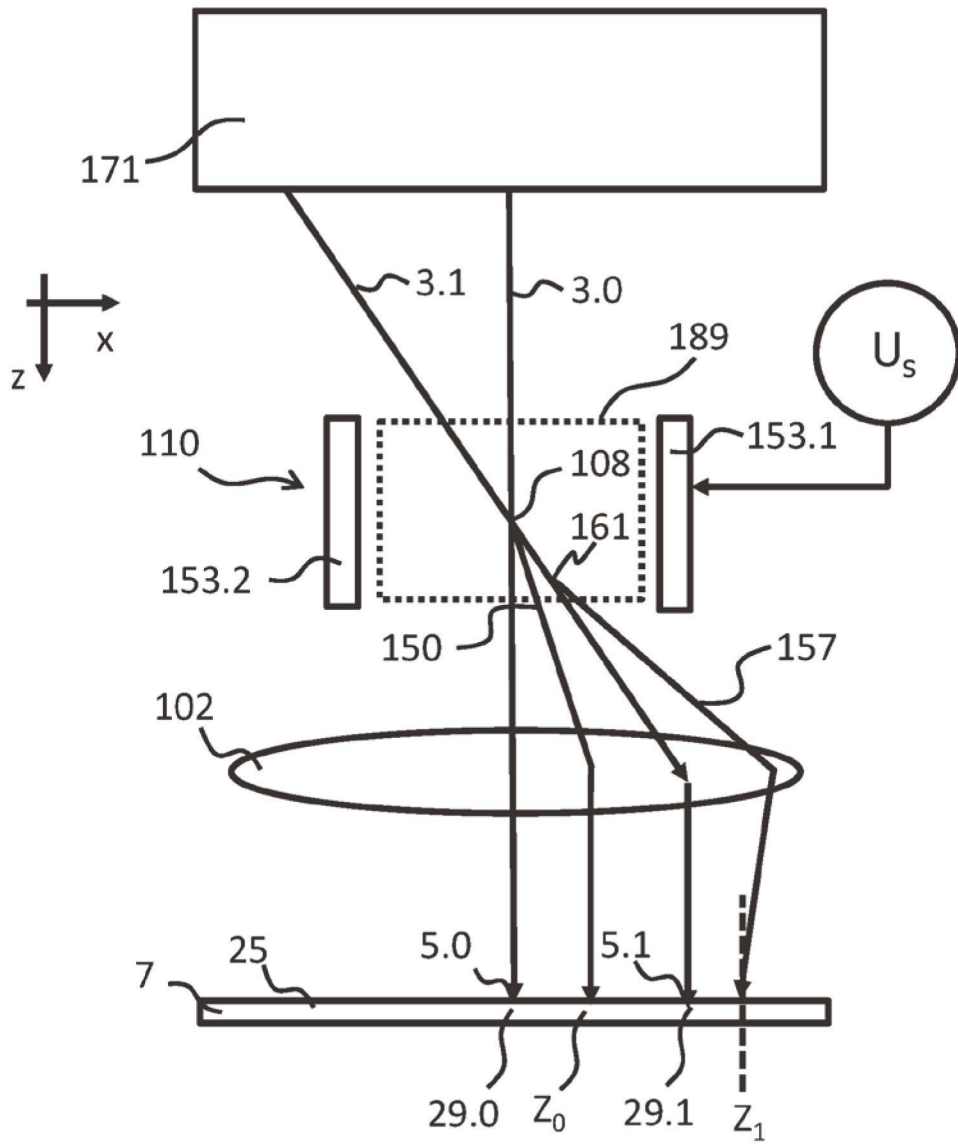
【圖3】



【圖4a】

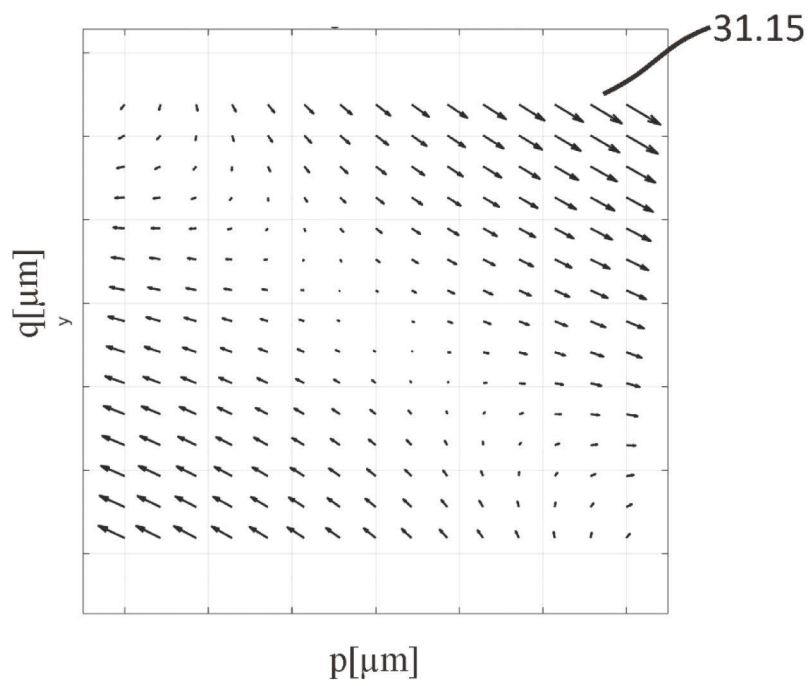


【圖4b】

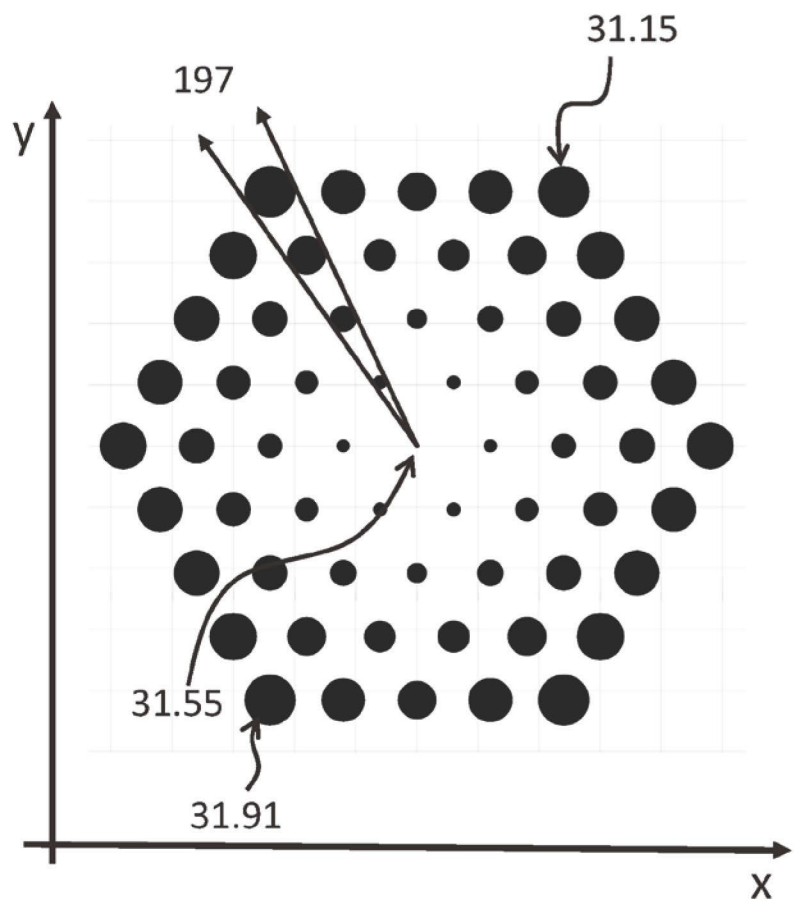


【圖5】

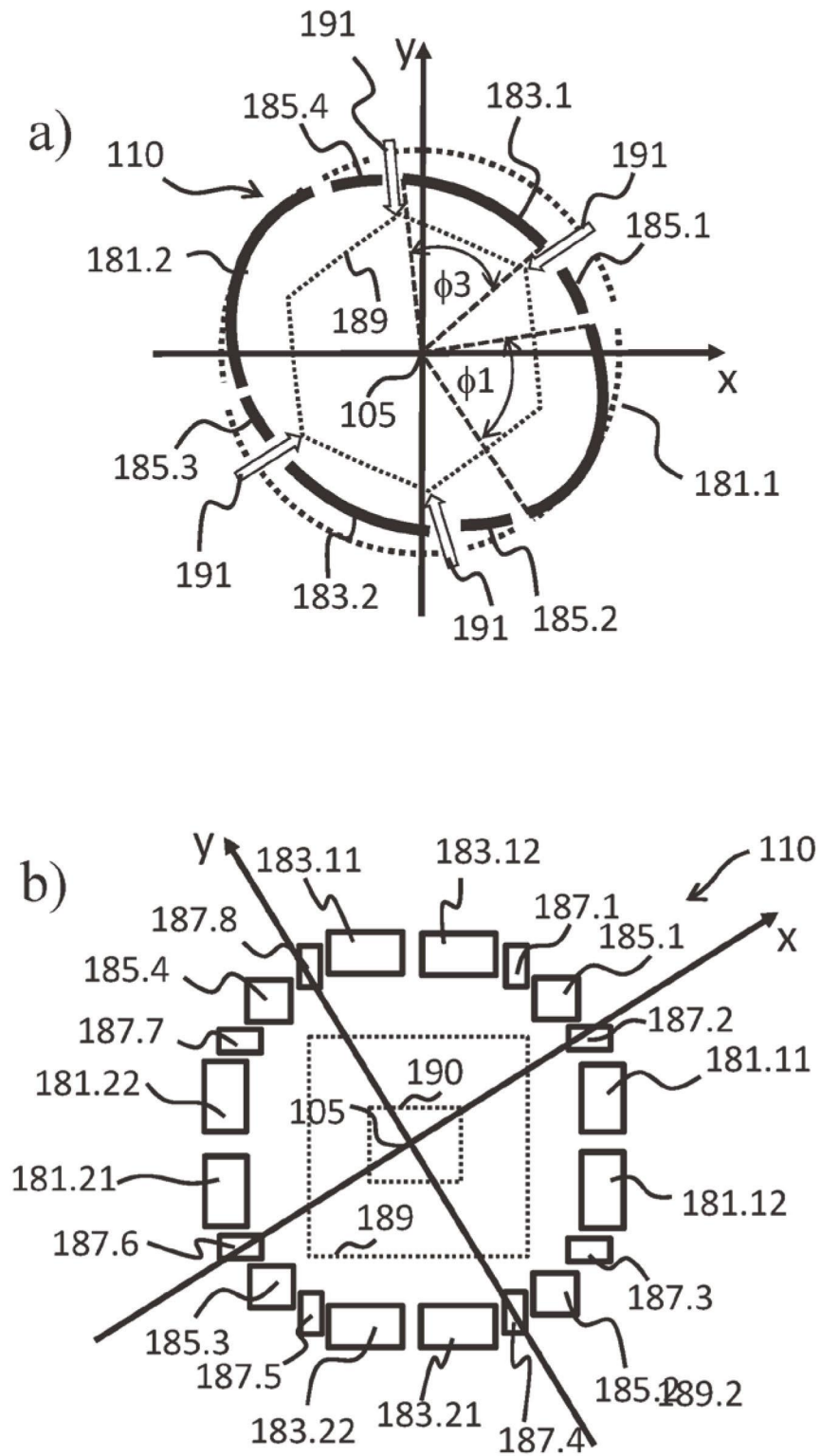




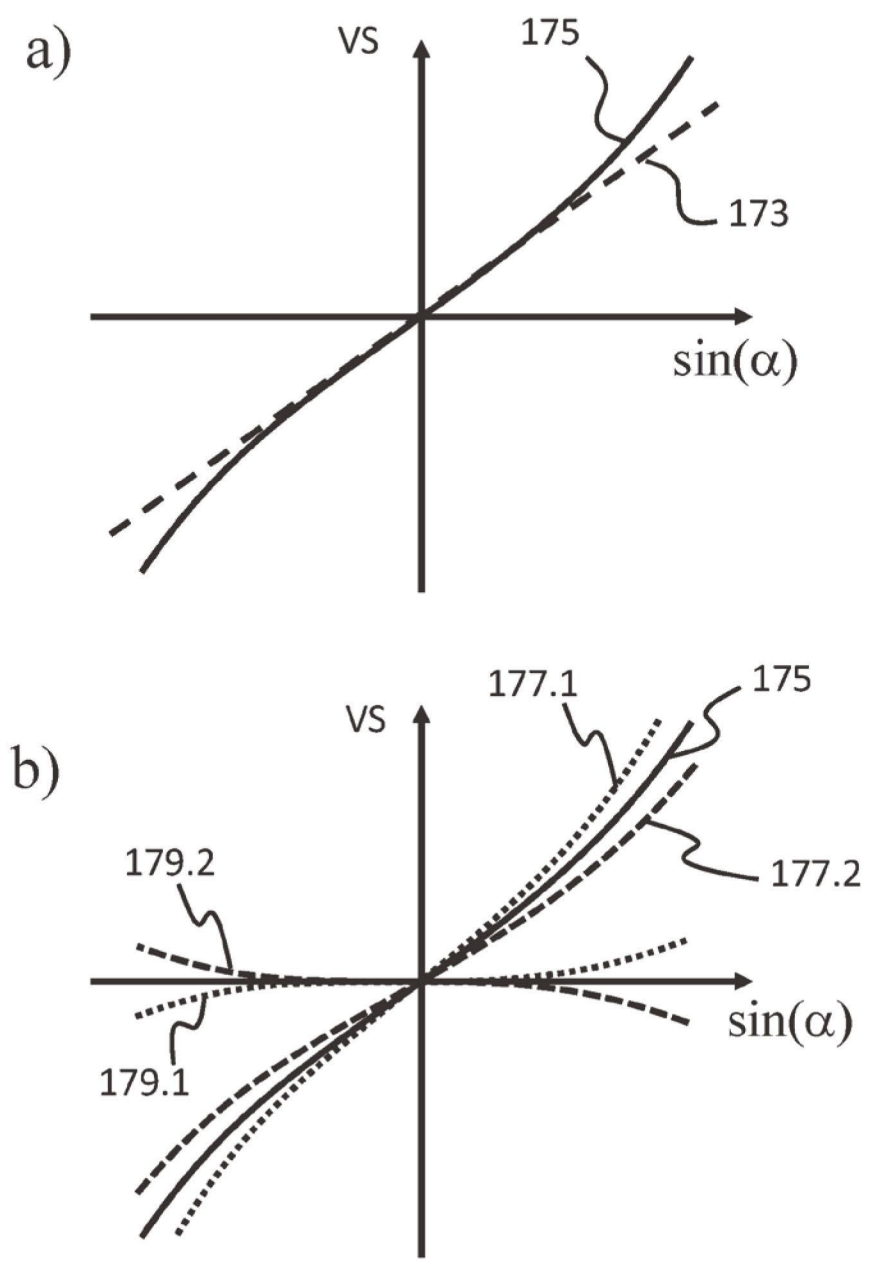
【圖6】



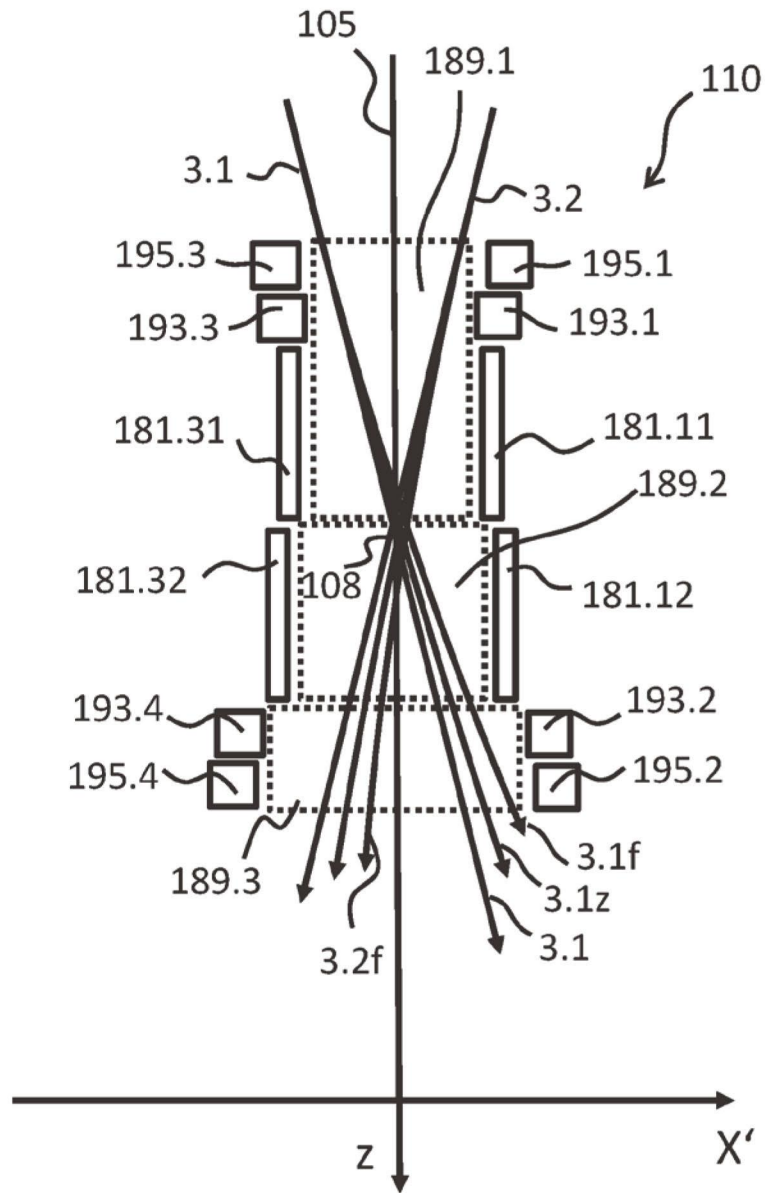
【圖7】



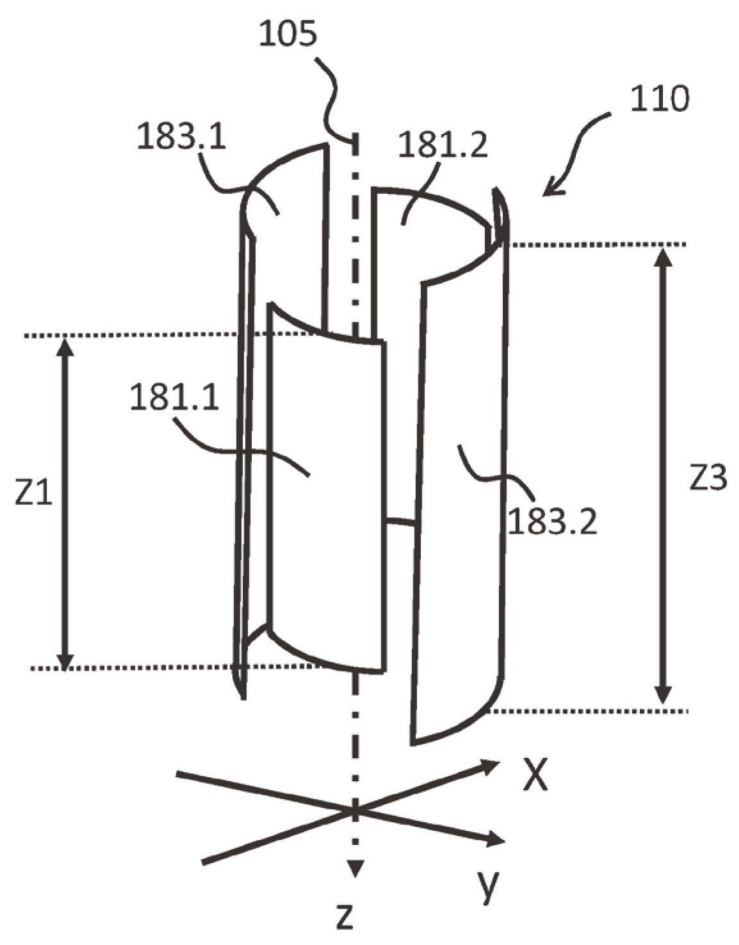
【圖8】



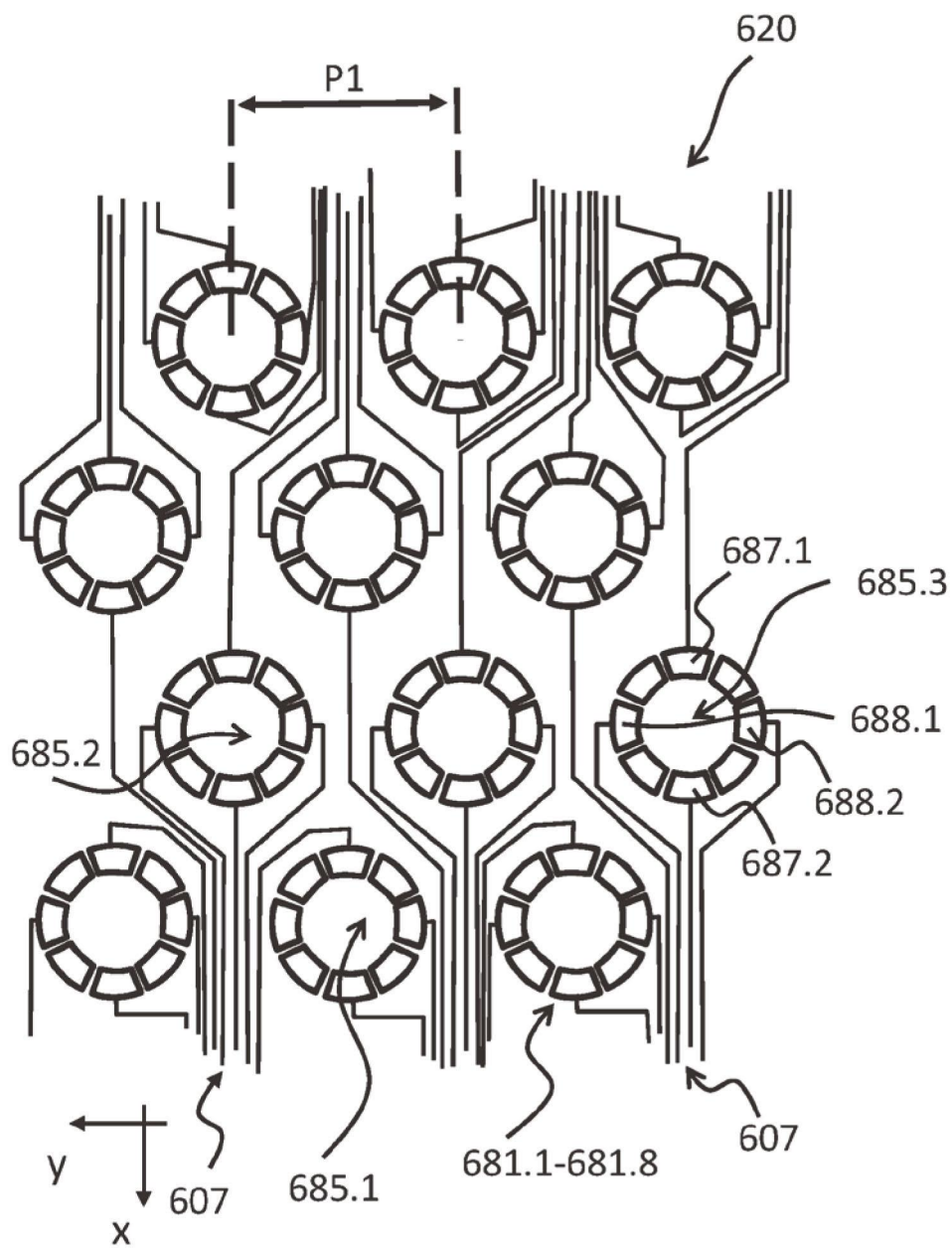
【圖9】



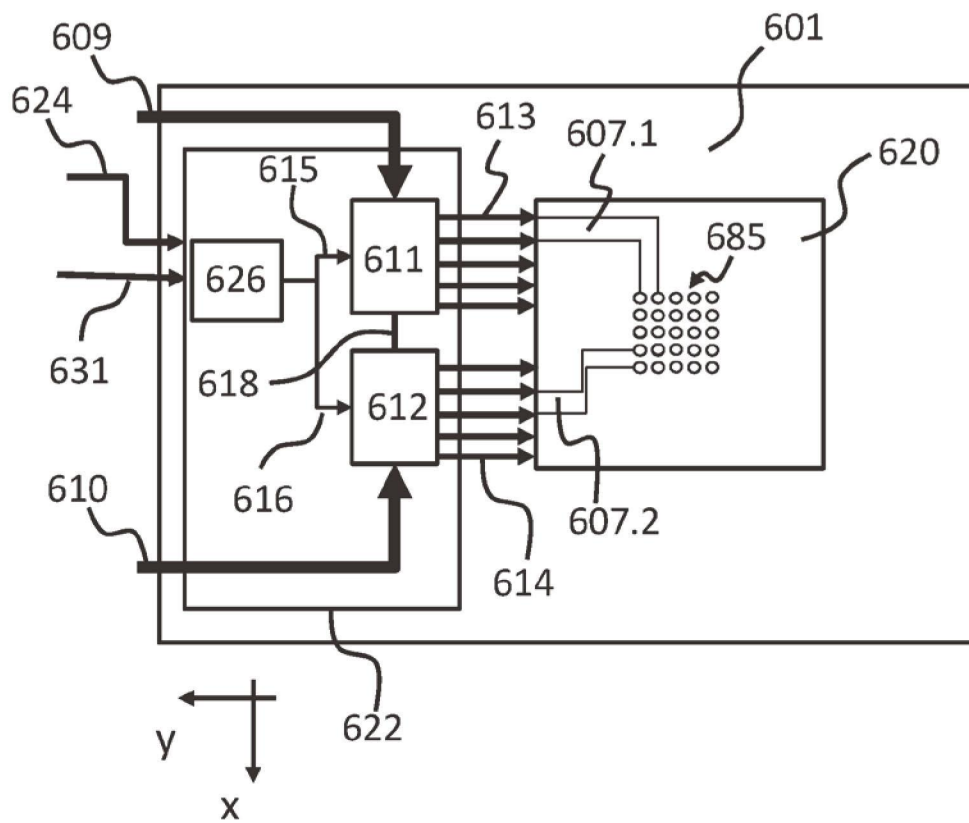
【圖10】



【圖11】

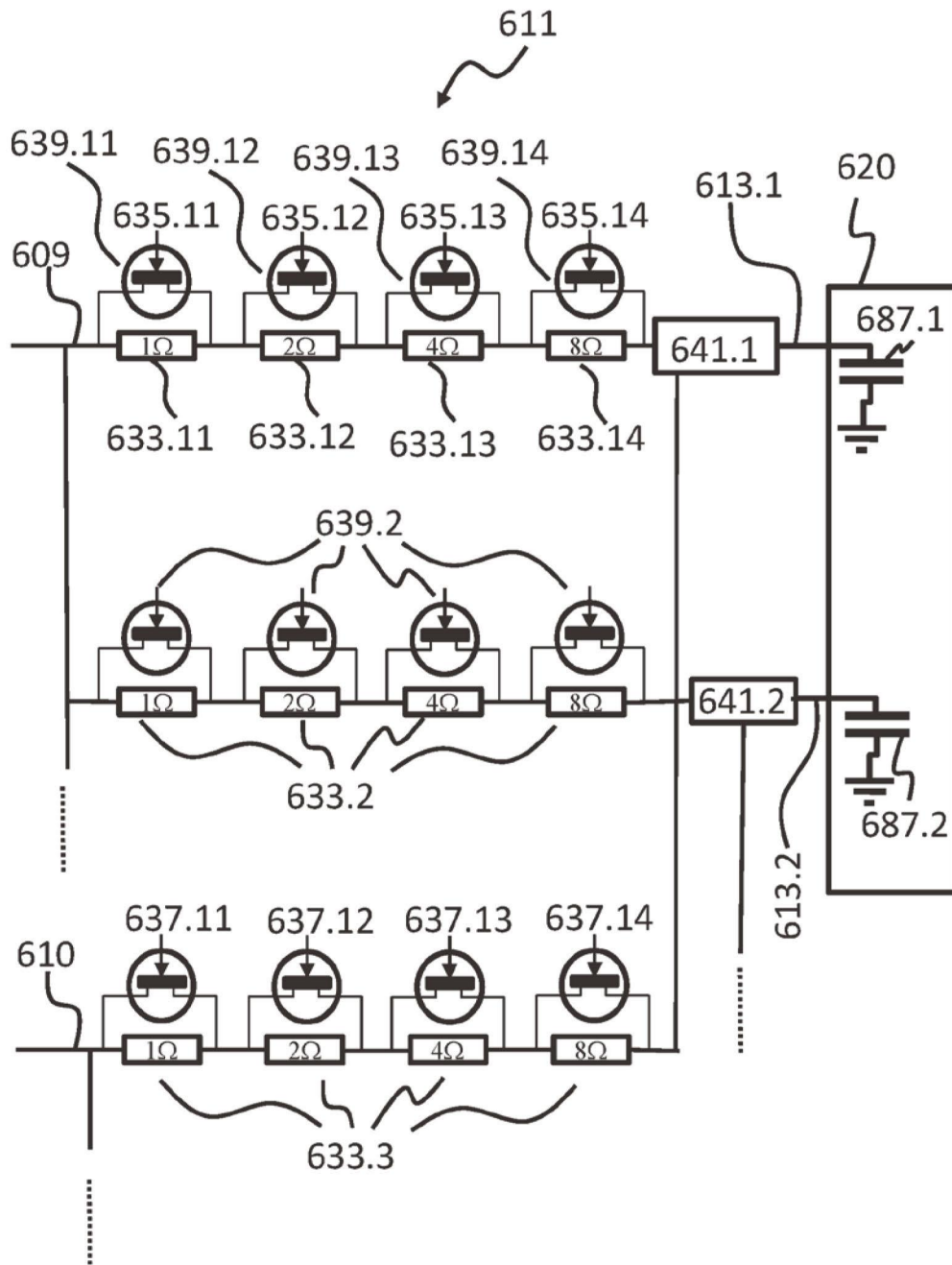


【圖12】

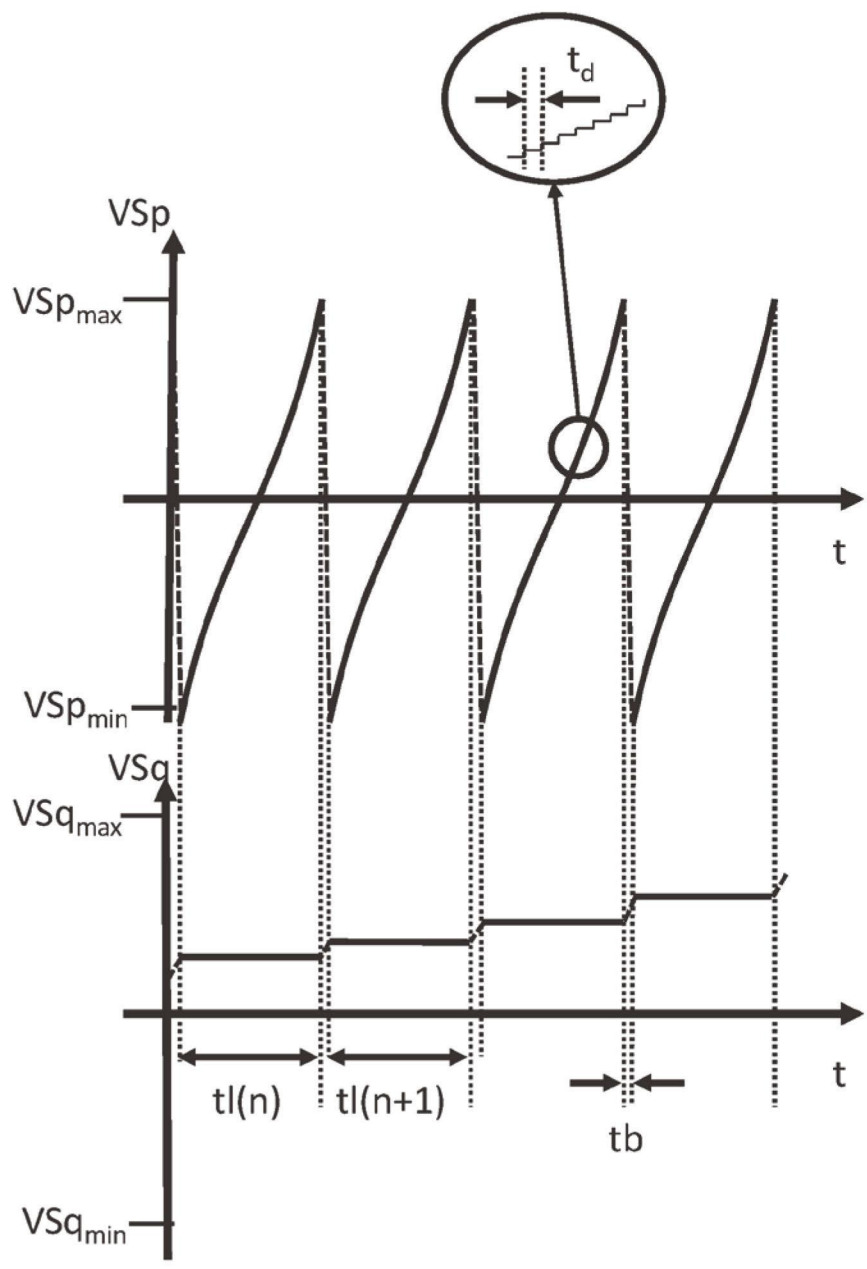


【圖13】

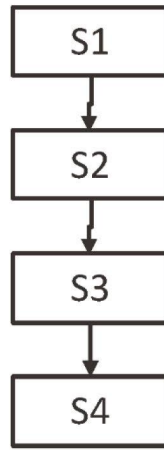




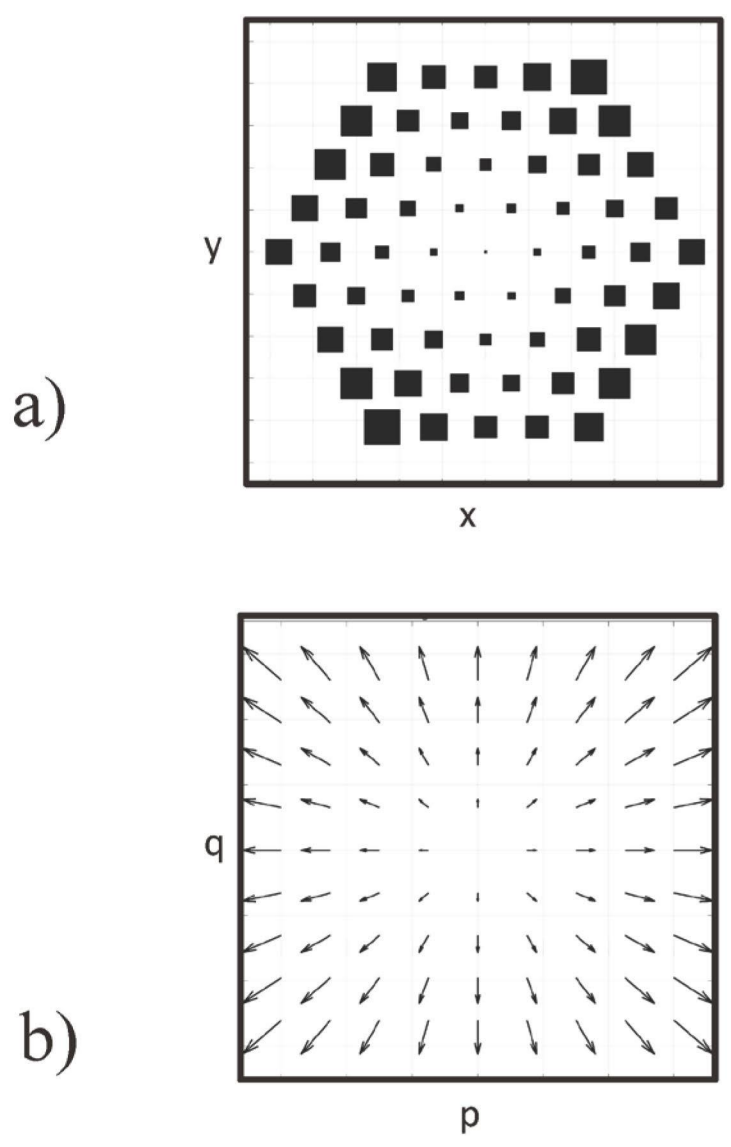
【圖14】



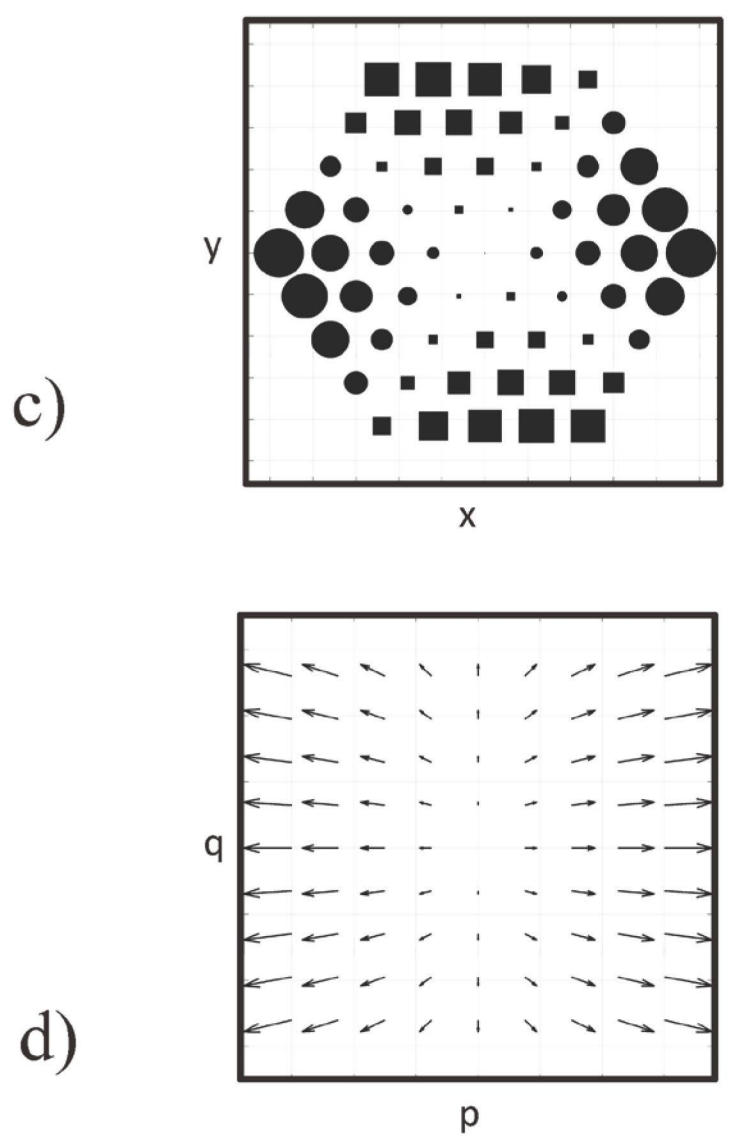
【圖15】



【圖16】

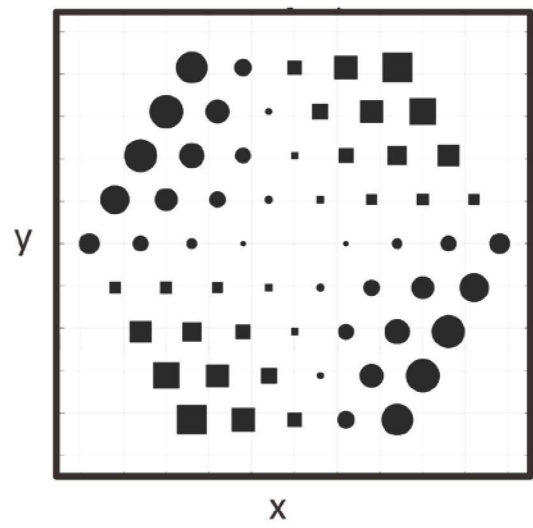


【圖17】

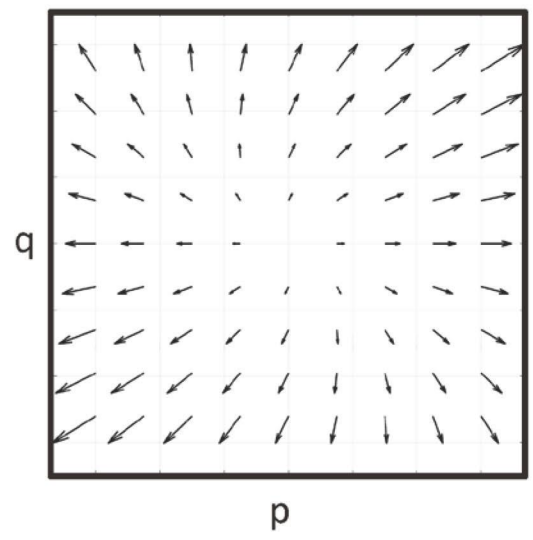


【圖17(續)】

e)

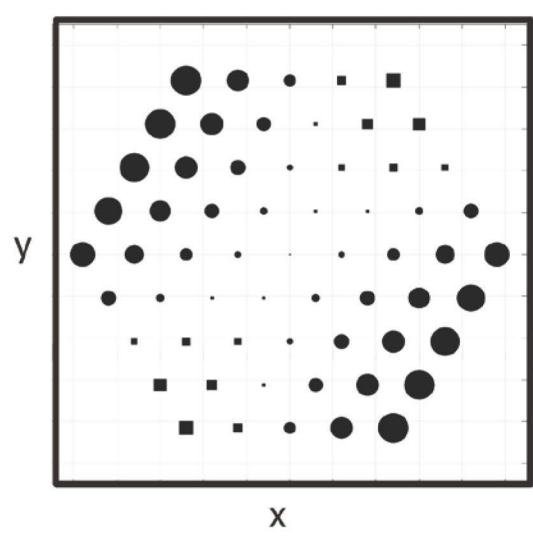


f)

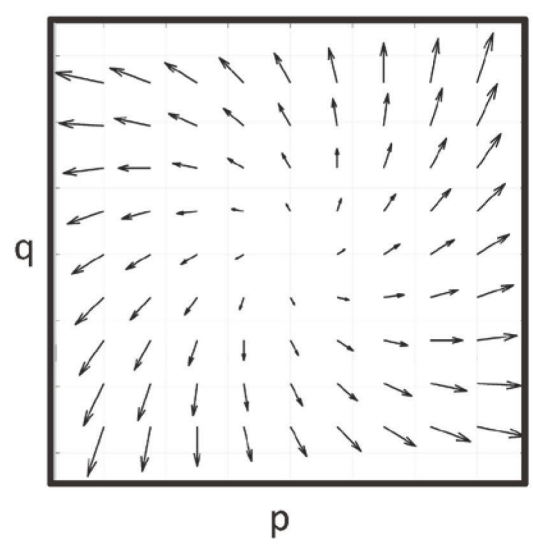


【圖17(續)】

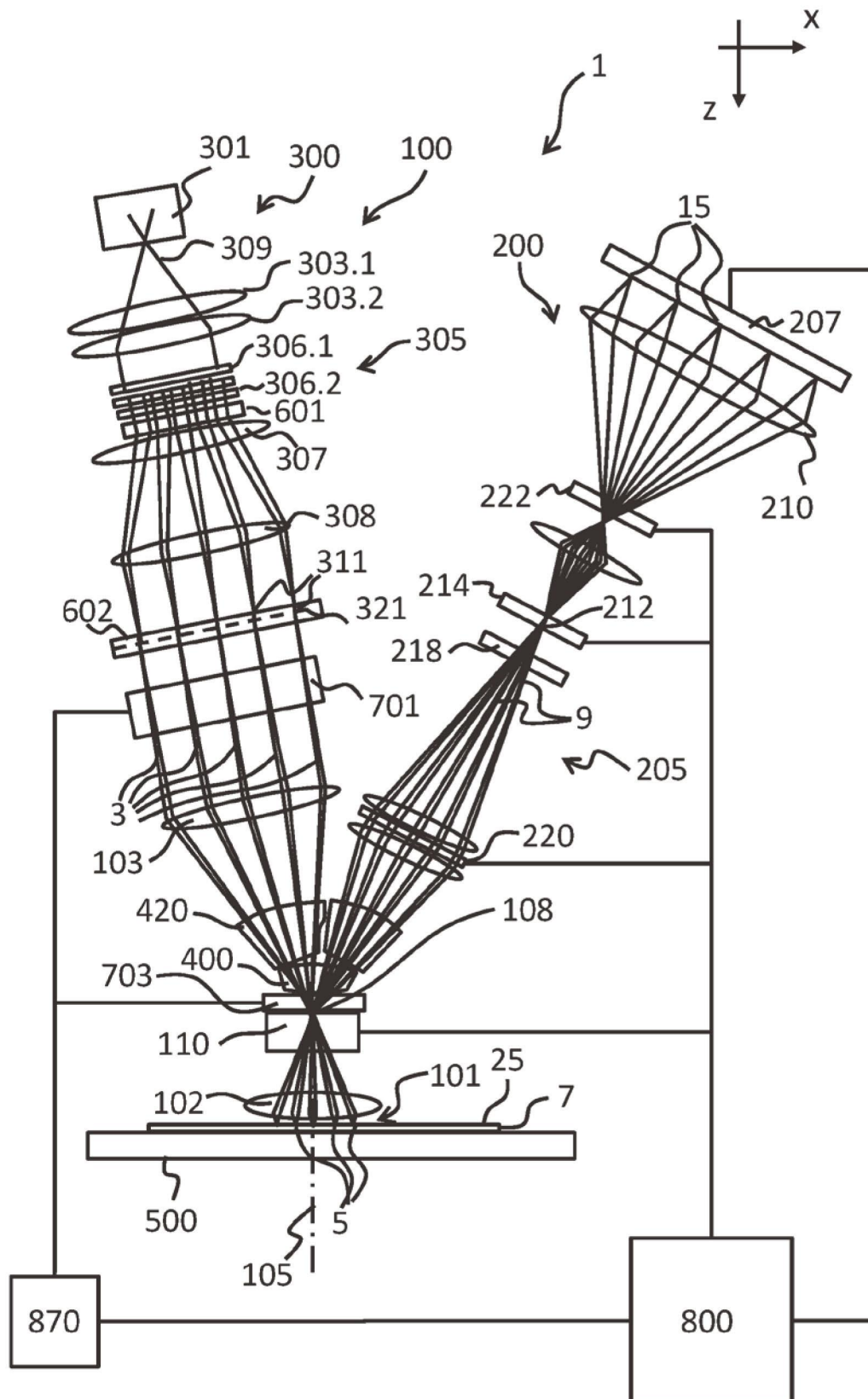
g)



h)

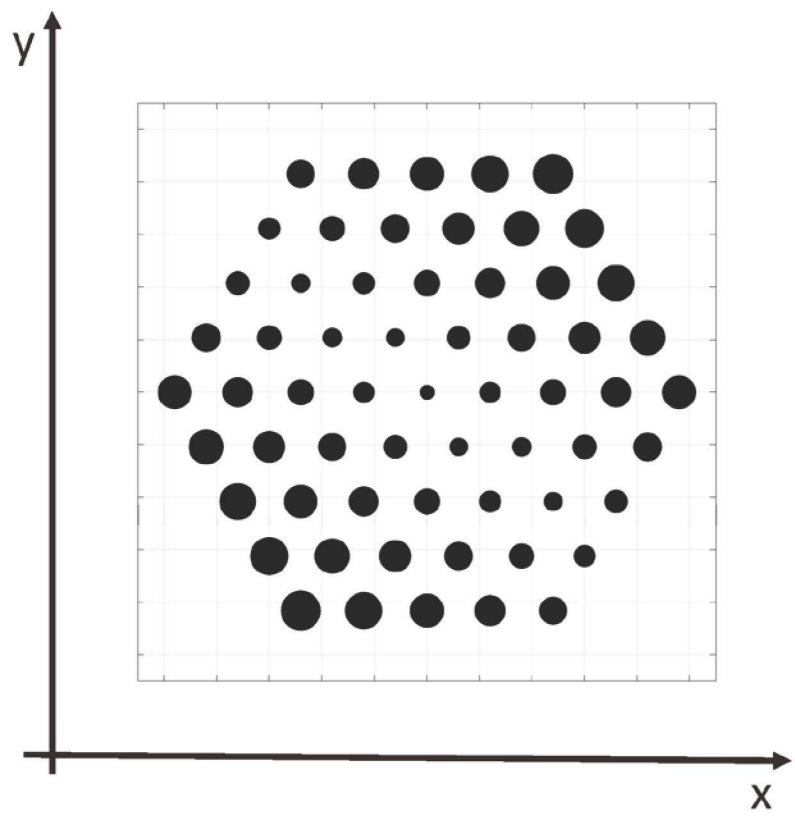


【圖17(續)】

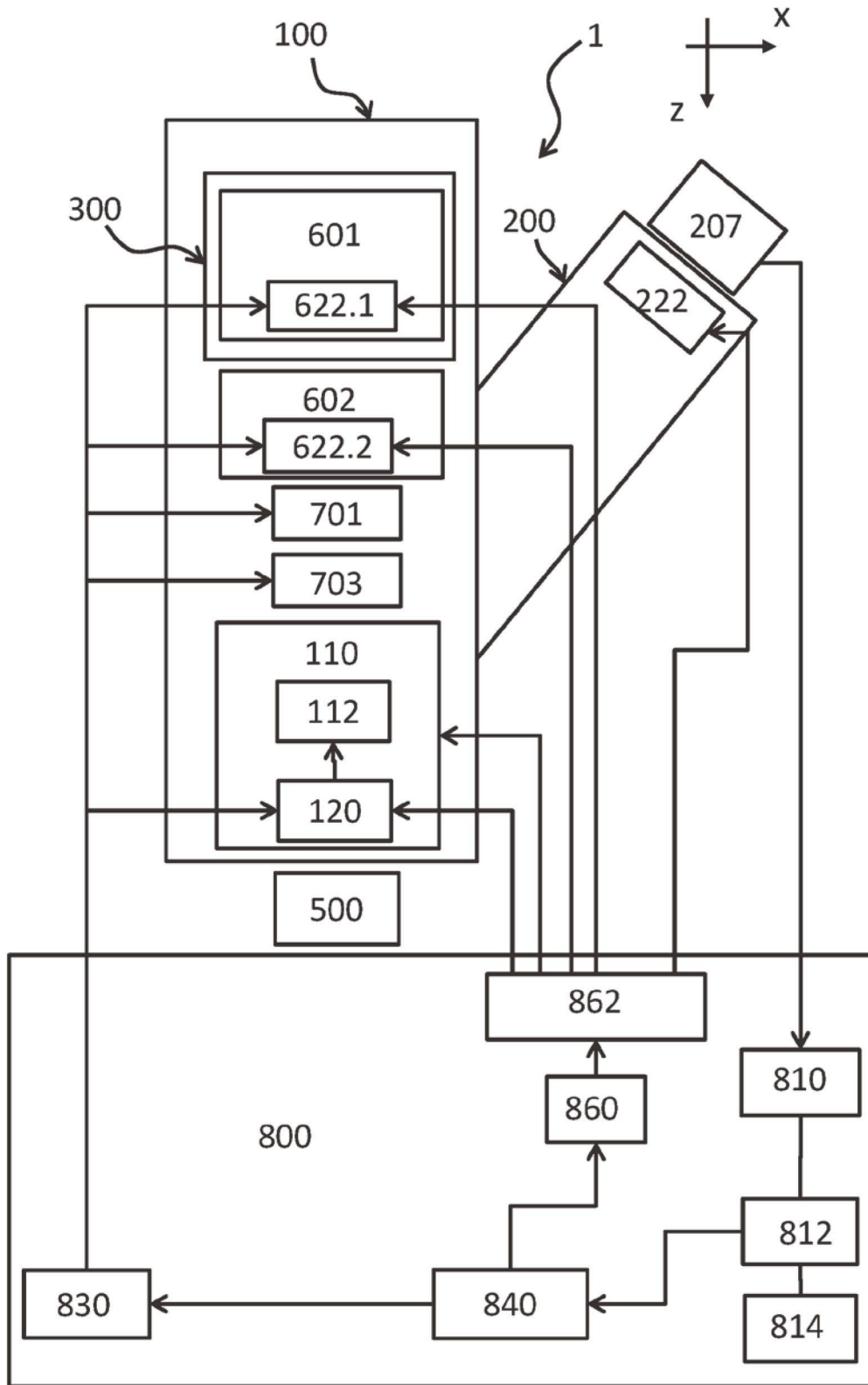


【圖18】

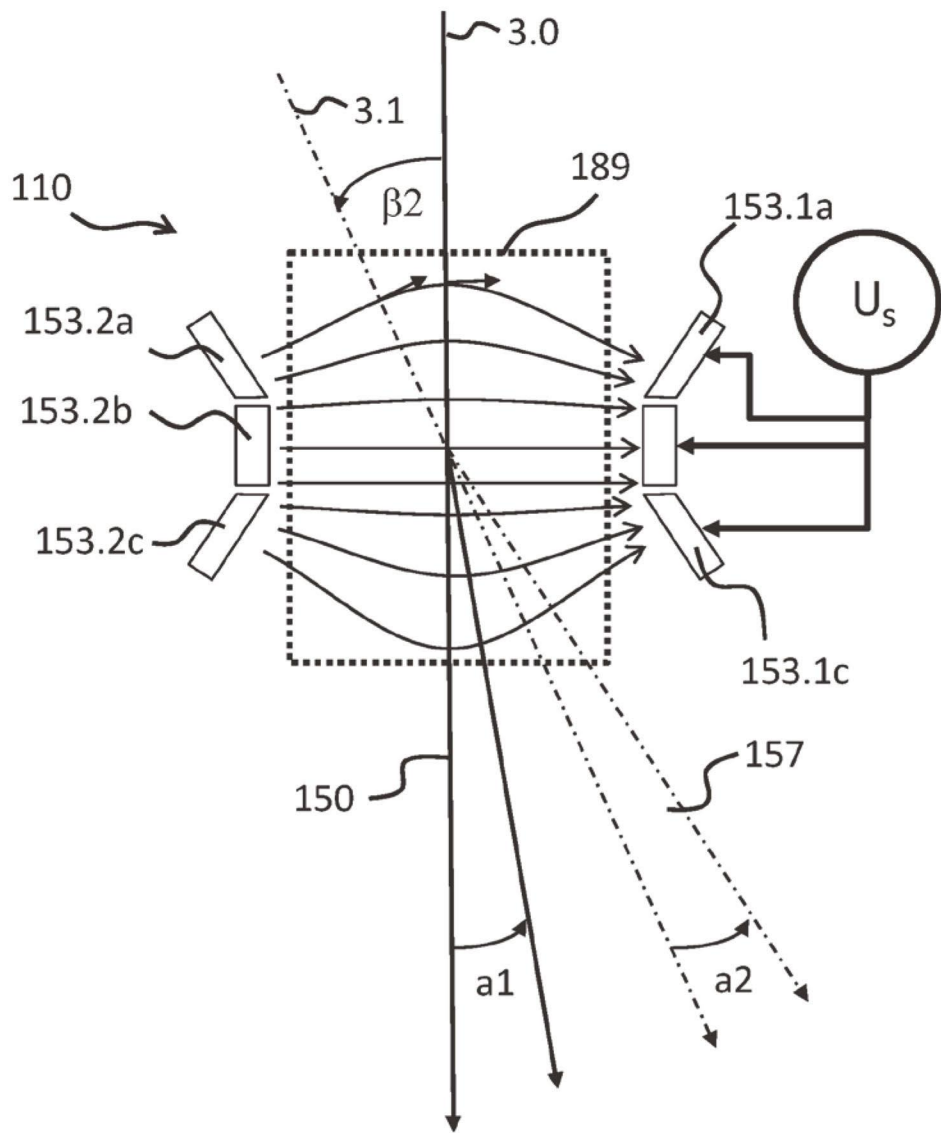




【圖19】



【圖20】



【圖21】