



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I787794 B

(45) 公告日：中華民國 111 (2022) 年 12 月 21 日

(21) 申請案號：110115043

(22) 申請日：中華民國 110 (2021) 年 04 月 27 日

(51) Int. Cl. : H01J37/20 (2006.01)

H01J37/26 (2006.01)

H01J37/28 (2006.01)

(30) 優先權：2020/05/28 德國

10 2020 206 739.2

(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)；比爾 尤瑞奇 BIHR, ULRICH (DE)；阿道夫 安卓亞斯 ADOLF, ANDREAS (DE)；高夫曼 尼可拉斯 KAUFMANN, NICOLAS (DE)；穆勒 英格 MUELLER, INGO (DE)；班克 麥可 BEHNKE, MICHAEL (DE)

(74) 代理人：李宗德

(56) 參考文獻：

TW 201820376A

US 2017/0315070A1

US 2018/0254167A1

US 2020/0051779A1

審查人員：陳淑敏

申請專利範圍項數：11 項 圖式數：8 共 115 頁

(54) 名稱

多重射束帶電粒子顯微鏡或系統與其操作方法

(57) 摘要

本發明揭示一種多重射束帶電粒子檢測系統、及一種操作具有高產量、高解析度和高可靠性之多重射束帶電粒子檢測系統以進行晶圓檢測之方法。該方法和該多重射束帶電粒子射束檢測系統係構造成從複數個感測器資料中擷取一組控制信號，以控制該多重射束帶電粒子射束檢測系統，並藉此維持包括晶圓檢測作業期間晶圓載台移動之成像規格。

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 are configured to extract from a plurality of sensor data a set of control signals to control the multi-beam charged particle beam inspection system and thereby maintain the imaging specifications including a movement of a wafer stage during the wafer inspection task.

指定代表圖：

符號簡單說明：

5:一次帶電粒子射束焦點

17:影像斑塊，例如第一或第二影像斑塊

17.1、17.2

21:影像斑塊中心位置

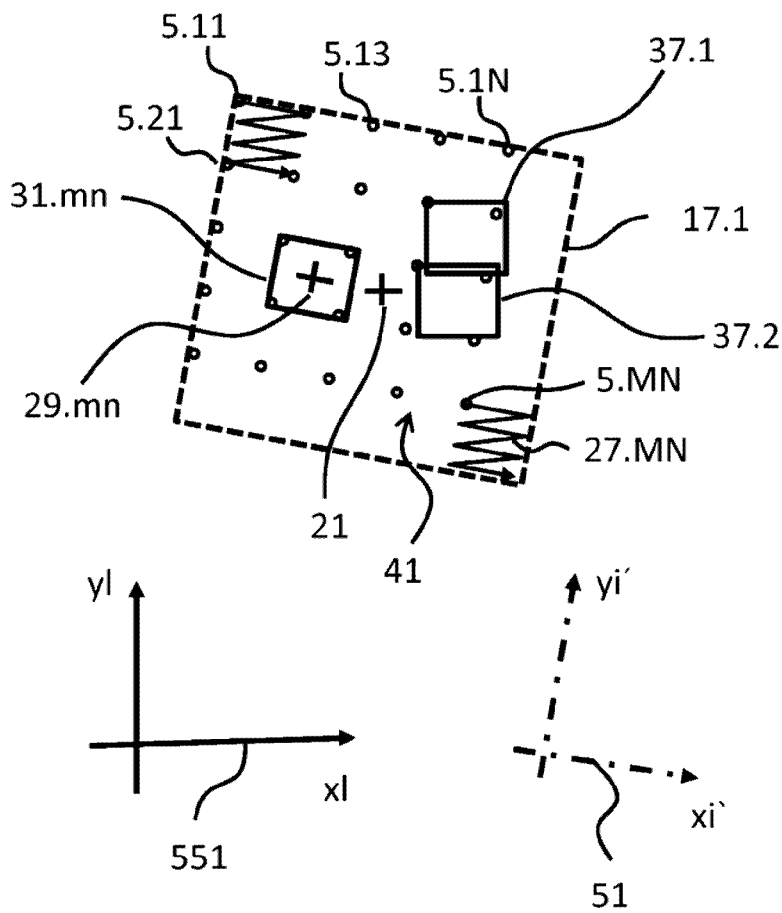
27:一次帶電粒子射束的掃描路徑

29:影像子場的中心

31:影像子場

37:掃描旋轉之後的影像子場

41:光柵組態



【圖3b】



公告本

I787794

【發明摘要】

【中文發明名稱】 多重射束帶電粒子顯微鏡或系統與其操作方法

【英文發明名稱】 MULTI-BEAM CHARGED PARTICLE MICROSCOPE OR SYSTEM AND METHOD OF OPERATING THE SAME

【中文】

本發明揭示一種多重射束帶電粒子檢測系統、及一種操作具有高產量、高解析度和高可靠性之多重射束帶電粒子檢測系統以進行晶圓檢測之方法。該方法和該多重射束帶電粒子射束檢測系統係構造成從複數個感測器資料中擷取一組控制信號，以控制該多重射束帶電粒子射束檢測系統，並藉此維持包括晶圓檢測作業期間晶圓載台移動之成像規格。

【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 are configured to extract from a plurality of sensor data a set of control signals to control the multi-beam charged particle beam inspection system and thereby maintain the imaging specifications including a movement of a wafer stage during the wafer inspection task.

【指定代表圖】 圖3b

【代表圖之符號簡單說明】

- | | |
|----|---------------------------|
| 5 | 一次帶電粒子射束焦點 |
| 17 | 影像斑塊，例如第一或第二影像斑塊17.1、17.2 |
| 21 | 影像斑塊中心位置 |
| 27 | 一次帶電粒子子射束的掃描路徑 |
| 29 | 影像子場的中心 |
| 31 | 影像子場 |
| 37 | 掃描旋轉之後的影像子場 |
| 41 | 光柵組態 |

【發明說明書】

【中文發明名稱】 多重射束帶電粒子顯微鏡或系統與其操作方法

【英文發明名稱】 MULTI-BEAM CHARGED PARTICLE MICROSCOPE OR SYSTEM AND METHOD OF OPERATING THE SAME

【技術領域】

【0001】 本發明係關於一種多重射束帶電粒子檢測系統、及一種操作多重射束帶電粒子檢測系統之方法。特別是，本發明係關於一種用於具有高通量、高解析度和高可靠度的晶圓檢測之多重射束帶電粒子射束檢測系統及一相關方法和一電腦程式產品。該方法和該多重射束帶電粒子射束檢測系統構造成從複數個感測器資料中擷取一組控制信號，以控制該多重射束帶電粒子射束檢測系統。

【先前技術】

【0002】 隨著諸如半導體器件之類越來越小並且更複雜的微結構不斷發展，需要進一步開發和最佳化平面製造技術，及用於小尺寸微結構的製造和檢測之檢測系統。半導體器件的開發和製造需要例如測試晶圓的設計驗證，而平面製造技術涉及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，以用於半導體器件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】 用於製造半導體器件的典型矽晶圓直徑最大為12英吋（300毫米）。每個晶圓劃分成30至60個重複區域（「晶粒（Die）」），最大面積約為800平方毫米。半導體包括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。由於所涉及的製程，半導體晶圓通常具有平坦表面。積體半導體結構的部件尺寸數個 μm 範圍內向下延伸到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。

【0004】 因此，本發明目的為提供一種帶電粒子系統和帶電粒子系統的操作方法，其允許在開發或製造過程中以至少關鍵尺寸的解析度對積體半導體部件進行高通量檢測，或用於半導體器件的逆向工程。另可擷取晶圓上一組特定位置的高解析度影像，例如僅用於所謂的處理控制監控PCM或關鍵區域。

【0005】 帶電粒子顯微鏡CPM領域的最新發展是MSEM，一種多重射束掃描電子顯微鏡，例如在美國專利案US20190355545或美國專利案US20190355544揭露一種多重射束帶電粒子射束顯微鏡。在諸如多重射束電子顯微鏡或MSEM的多重射束帶電粒子顯微鏡中，樣品由包括例如4至高達10000個電子射束（當成一次輻射）的電子子射束陣列所照射，藉使每一電子射束與其下一相鄰電子射束之間分隔距離為1 – 200微米。例如，MSEM具有配置成六邊形陣列的約100個分隔電子射束或子射束，其中電子子射束分開約10 μm的距離。複數個一次帶電粒子子射束通過共用物鏡聚焦在受研究樣品的表面上，例如固定在晶圓卡盤上的半導體晶圓，該卡盤安裝在可移動平台上。在用一次帶電粒子子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子射束焦點形成的多個交點，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子射束，其由共用物鏡收集並通過多重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。該偵測器包括多個偵測區域，每一區域包括多個偵測像素，並且偵測複數個二次帶電粒子子射束中每一者的強度分佈，並且獲得例如100 μm × 100 μm的影像斑塊。

【0006】 先前技術的多重射束帶電粒子顯微鏡包括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，以調整多個二次帶電粒子射束的焦點位置和像散。例如，美國專利案US10535494提出如果偵測到的二次帶電

粒子子射束的焦點強度分佈偏離預定強度分佈，則重新調整帶電粒子顯微鏡。如果偵測到的強度分佈符合預定強度分佈，則達成調整。二次帶電粒子子射束的強度分佈之全局位移或變形允許得出關於地形效應、樣品幾何形狀或傾斜或樣品充電效應之結論。美國專利案US9336982揭露一種帶有將二次帶電粒子轉換為光的閃爍器板的二次帶電粒子偵測器。為了減少閃爍器板的轉換效率損失，複數個二次帶電粒子子射束的焦點與閃爍器板的相對橫向位置可變，例如通過帶電粒子射束偏轉器或用於閃爍器板橫向位移的致動器。

【0007】 先前技術的多重射束帶電粒子顯微鏡包括一次或二次帶電粒子子射束之至少一交叉平面，先前技術的多重射束帶電粒子顯微鏡包括便於調整的偵測系統和方法。

【0008】 通常希望改變帶電粒子顯微鏡的成像設定。美國專利案US9799485揭露一種將多重射束帶電粒子顯微鏡的影像擷取設定從第一成像設定改變為不同的第二成像設定之方法。

【0009】 然而，在用於晶圓檢測的帶電粒子顯微鏡中，期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。通量取決於幾個參數，例如載台的速度和新測量點的重新對準，以及每個擷取時間本身的測量面積，後者由停留時間、解析度和子射束數決定。在擷取兩個影像斑塊之間，晶圓由晶圓載台橫向移到下一相關點。用於影像擷取的載台移動和精確對準下一位置為多光束檢測系統通量之限制因素之一。在高通量的影像擷取期間，不需要的載台移動或漂移會降低影像解析度。在高通量的影像擷取期間，預定的一次和二次帶電粒子射束路徑的漂移和偏差對影像品質和測量結果的可靠性具有負面影響。例如，複數個一次帶電粒子子射束可能從平面區域段內的光柵組態惡化，或者多重射束帶電粒子檢測系統的解析度可能改變。

【0010】 單束電子顯微鏡通常使用所謂的束誤差函數(BEF)，以改善電子射束的定位精度以及載物台移動。為此，BEF反饋來自將樣品固定到光束偏轉系統上的載台之（位置）信號。專利案WO2020/136094 A2中給出一最近的範例。

然而，多重射束帶電粒子顯微鏡更複雜，單束電子顯微鏡的簡單方法並不足夠。例如，先前技術無法補償複數個一次帶電粒子子射束的複數個焦點相對於晶圓載台之旋轉。此外，多重射束帶電粒子顯微鏡具有用於將複數個二次電子子射束成像到偵測器上的成像投影系統，並且必須保持對複數個二次電子的精確成像。此外，還必須分離並考慮二次光束路徑的像差。

【0011】 美國專利案US9530613揭露一種多重射束帶電粒子顯微鏡的聚焦控制方法。複數個帶電粒子子射束的子集以散光形式成形，並用於偵測焦點位置的偏差。根據散光形狀的子射束之相應橢圓形狀產生誤差信號，並且調整樣品載台的垂直位置或改變通過帶電粒子顯微鏡中一或多個透鏡的電流。藉此，最佳化複數個帶電粒子子射束的焦點。該方法與掃描電子顯微鏡的正常操作並行運作。然而，該方法僅提供用於聚焦控制的反饋迴路，並且既不提供預測控制也不考慮來自載台位置感測器的感測器信號。

【0012】 美國專利案US20190355544或US20190355545揭露一種多重射束帶電粒子顯微鏡，其具有可調節的投影系統以補償掃描期間樣品的帶電。因此，投影系統配置有快速靜電元件，以保持二次帶電粒子子射束從樣品到偵測器的正確成像。兩參考文獻使用影像偵測器來分析二次子射束的成像品質，並補償由於二次電子射束路徑中的樣品充電而導致的劣化。兩參考文獻描述用於控制二次電子射束路徑的方法和裝置，二次電子射束從樣品表面開始。然而，本發明的問題在於，在一次射束路徑內也存在誤差源，其為造成基材表面上的複數個一次帶電粒子子射束的束斑位置和束斑形狀惡化之原因。此外，額外的誤差源可能是定位誤差或基材載台的移動，導致所獲得的物體數位影像出現像差，而沒有任何主光束路徑惡化。這些額外的像差和誤差可在不同的時間比例上變化，例如緩慢變化的漂移，例如由於熱漂移。另一範例為快速變化的動態像差，例如由於聲音振動。這些誤差不能僅通過輔助光束路徑來補償。本發明的問題在於提供一種多重射束帶電粒子檢測系統，其具有能夠以高通量和高可靠性，實現高精度和高解析度影像擷取之器件。本發明的問題在於提供一種具有快速

載台的多重射束帶電粒子檢測系統，其具有將複數個一次帶電粒子射束的橫向位置和焦點保持在預定光柵配置內的預定位置精度之內，即使減少載台精確對準的時間。本發明的一個問題在於提供一種多重射束帶電粒子檢測系統，其具有以影像斑塊順序的高通量和高可靠性，在影像擷取期間保持高解析度和高影像對比度之器件。本發明的一個問題在於提供一種多重射束帶電粒子檢測系統，其具有具有高通量和高可靠性，具有將晶圓從第一檢測點移到第二檢測點的載台。本發明的一個問題在於提供一種多重射束帶電粒子檢測系統，其具有補償預定一次和二次帶電粒子射束路徑的漂移以及載台移動，例如寄生載台移動之器件。

【0013】 載台的加速、減速和振鈴等載台移動為多重射束檢測系統通量的限制因素之一。載台在短時間內加速和減速通常需要複雜且昂貴的載台。本發明的問題在於提供一種多重射束帶電粒子檢測系統，其具有能夠用降低技術複雜度和降低成本的載台，以高通量和高可靠性，實現高精度和高解析度影像擷取之器件。

【0014】 一般而言，會希望提供一種多重射束帶電粒子檢測系統，其用於以高通量和高可靠性，實現高精度和高解析度影像擷取之器件來進行晶圓檢測。

【發明內容】

【0015】 本發明的具體實施例通過包括一組補償器的多重射束帶電粒子顯微鏡解決本發明的目的，該補償器用於在影像斑塊的影像擷取期間補償誤差振幅之變化。多重射束帶電粒子顯微鏡包括複數個偵測器或感測器，以提供複數個感測器資料並從複數個感測器資料中擷取一組預定義的正常化誤差向量之一組實際誤差振幅。通過推導出正常化誤差向量，可分離來自不同誤差源的貢獻。不同的誤差源包括在一次帶電粒子射束路徑上、在二次電子射束路徑上和載台位置之內的誤差源。多重射束帶電粒子顯微鏡包括控制單元，該單元推導出驅動信號，用於驅動該組補償器補償與一組成像像差對應的一組誤差振

幅，從而在成像斑塊數位影像的影像擷取期間，讓實際誤差振幅保持低於一預定臨界。從代表來自不同誤差源貢獻的正常化誤差向量，推導出一組補償器的驅動信號，其包括一次帶電粒子射束路徑內的第一補償器和二次電子射束路徑內的第二補償器之至少一者。另一補償器可包括所獲得數位影像的計算影像後處理，或晶圓載台內的補償器。

【0016】 在一範例中，多重射束帶電粒子顯微鏡構造成預測該組誤差振幅中至少一誤差振幅的變化，並相應提供對應的驅動信號給該組補償器。在一範例中，複數個感測器資料包括來自載台位置感測器或載台加速度感測器的資料。在一範例中，該組補償器包括多重射束帶電粒子顯微鏡的第一和第二偏轉系統或偏轉掃描器。在另一範例中，該組補償器包括多重射束帶電粒子顯微鏡的偵測單元內之第三偏轉系統。在一範例中，該組補償器更包括至少一快速靜電補償器或一個多孔徑(multi-aperture)主動陣列元件。

【0017】 根據本發明的具體實施例，多重射束帶電粒子檢測系統配置有以高通量和高可靠性，實現高精度和高解析度影像擷取之器件。提供晶圓載台和控制該晶圓載台位置的器件，其中該晶圓載台構造成維持諸如晶圓這類樣品，並且可往x方向、y方向或z方向之至少一者移動。載台通常包括載台運動控制器，該控制器包括多個可獨立致動或控制的馬達或致動器。馬達或致動器可包括壓電馬達、壓電致動器或超音波壓電馬達之至少一者。其更包括構造成確定載台橫向和垂直位移或旋轉的位置感測系統，位置感測系統使用雷射干涉儀、電容感測器、共焦感測器陣列、光柵干涉儀或其組合之任一者。

【0018】 多重射束帶電粒子檢測系統配置有維持複數個一次帶電粒子子射束的焦點在晶圓表面上橫向(lateral)位置之器件，和維持複數個二次電子子射束的焦點橫向位置之器件，每一子射束在預定的光柵(raster)配置內，每一子射束在低於一組臨界的預定義位置精度內。從而，在一範例中，實現縮短載台精確對準之時間。在另一範例中，通過重疊影像擷取和晶圓載台移動所需的時間間隔，以進一步提高通量。額外器件包括用於掃描複數個一次帶電粒子子射束偏

轉的第一偏轉系統，及用於掃描複數個二次電子子射束偏轉的至少第二偏轉系統。

【0019】 根據本發明的具體實施例，一種多重射束帶電粒子檢測系統配置有以影像斑塊順序的高通量和高可靠性，在影像擷取期間保持高解析度和高影像對比度之器件。在第一和第二影像擷取期間，產生複數個感測器資料，其包括來自影像感測器和載台位置感測器的感測器資料。多重射束帶電粒子檢測系統包括控制單元，其構造成產生來自該等複數個感測器資料的一組控制信號。該組控制信號配置成控制模組，以控制一組補償器。根據本發明的具體實施例，多重射束帶電粒子檢測系統設有補償預定一次和二次帶電粒子射束路徑漂移以及載台移動之器件。

【0020】 根據一範例，多重射束帶電粒子射束系統包括控制器或控制單元，其構造成施加第一信號以偏轉入射在樣品上的複數個一次帶電粒子射束，以至少部分補償載台的橫向位移；並且施加第二信號以偏轉複數個二次電子子射束，以至少部分補償源自該樣品上已偏轉一次帶電粒子子射束位置的複數個二次電子子射束之位移。第一信號包括影響複數個一次帶電粒子子射束如何在至少X軸或Y軸之一者上偏轉之電信號。控制器更構造成在樣品上的複數個一次帶電粒子子射束的掃描期間，動態調整第一信號或第二信號之至少一者。控制器連接至載台運動控制器，且複數個馬達之每一者獨立控制以調整載台的傾斜度，使得載台基本垂直於一次帶電粒子射束的光軸。根據本發明的一具體實施例，多重射束帶電粒子顯微鏡系統包括帶電粒子源，其構造成在使用期間產生第一帶電粒子射束；及多重射束產生器，其構造成在使用期間產生來自該入射的第一帶電粒子射束之複數個一次帶電粒子子射束，其中複數個一次帶電粒子子射束的每一個別子射束與複數個帶電粒子子射束的所有其他子射束在空間上分開。多重射束帶電粒子顯微鏡系統更包括物體照射單元，該單元包括物鏡，該物鏡構造成以其中複數個帶電粒子子射束中的一第一個別一次子射束撞擊在該物平面中之第一影像子場與其中複數個一次帶電粒子子射束中第二個別一次

子射束撞擊在該物平面中之第二影像子場在空間上分離之方式，將入射的一次帶電粒子子射束聚焦在提供晶圓表面的物平面上。多重射束帶電粒子顯微鏡系統更包括偵測單元，該單元包括投影系統和影像感測器，該感測器包括多個個別的偵測器。由於一次帶電粒子撞擊到多個個別偵測器中的一第一個或第一組，投影系統構造成在物平面之內的第一影像子場中對離開晶圓的二次電子進行成像，並且由於一次帶電粒子撞擊到多個個別偵測器中第二個或第二組，投影系統構造成在物平面之內的第二影像子場中對離開晶圓的二次電子進行成像。

【0021】 在多重射束帶電粒子顯微鏡系統的具體實施例中，其包括提供誤差振幅動態變化快速補償的快速補償器之子集。快速補償器的子集包括靜電透鏡、靜電偏轉器、靜電像散器、靜電微透鏡陣列、靜電像散器陣列或靜電偏轉器陣列之至少一者。靜電元件，例如靜電偏轉器及/或靜電像散器，具有無渦流、無電感的優點，並提供低於10 μ s範圍內的調整時間，以補償誤差振幅的動態變化。

【0022】 提供動態變化快速補償的子部件可提供與掃描一次帶電粒子子射束的掃描頻率相當之調整頻率，即動態變化的快速補償可執行多次，即不止一次，而晶圓表面上影像斑塊的影像擷取則使用複數個一次帶電粒子子射束來執行。典型的行掃描頻率在1kHz到5kHz的數量級，動態補償元件的電驅動信號之頻寬可在0.1kHz到10kHz的範圍內，從而提供例如每50條掃描線或每條掃描線10倍之間的補償。

【0023】 在多重射束帶電粒子顯微鏡系統的具體實施例中，其包括提供對誤差振幅的緩慢變化或漂移之補償的緩慢作用補償器子集。緩慢作用補償器的子集包括磁透鏡、磁偏轉器、磁像散器或磁分射束器之至少一者。

【0024】 在一具體實施例中，提供一種用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡。用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡包括用於產生複數個一次帶電粒子子射束的帶電粒子多重子射束產生器，以及包括第一偏轉系統來使用複

數個一次帶電粒子子射束掃描配置在物平面中晶圓表面區域，以產生從晶圓表面發射的複數個二次電子子射束之物體照射單元。用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡更包括具有投影系統、第二偏轉系統和影像感測器的偵測單元，用於將複數個二次電子子射束成像到該影像感測器上，並在使用期間中擷取晶圓表面的第一影像斑塊之數位影像。用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡更包括具有載台位置感測器的樣品載台，用於在擷取第一影像斑塊的數位影像期間將晶圓表面定位和維持在物平面中。當晶圓由晶圓載台維持時，第一偏轉系統沿著晶圓表面上的預定掃描路徑掃描複數個一次帶電粒子子射束，並且第二偏轉系統沿著預定掃描路徑掃描複數個二次電子子射束，以保持複數個二次電子子射束的影像點在偵測單元的影像感測器處固定不變。用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡更包括控制單元和複數個偵測器，該偵測器包括一載台位置感測器和該影像感測器，其構造成在使用期間產生複數個感測器資料，該感測器資料包括以下樣品載台的位置和方向資料。用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡更包括一組補償器，該組補償器包括至少第一和第二偏轉系統。控制單元構造成從複數個感測器資料產生一組P控制信號 C_p ，以在擷取第一影像斑塊的數位影像期間控制該組補償器。該組補償器另可包括帶電粒子多重子射束產生器的補償器和偵測單元的補償器之至少一者。在一範例中，控制單元包括感測器資料分析系統，該系統構造成在使用期間分析複數個感測器資料，並在使用期間計算K個誤差向量的K個振幅 A_k 之集合。在一具體實施例中，控制單元更包括影像資料擷取單元，其構造成在使用期間將來自影像感測器的影像感測器資料減少到小於影像感測器資料的10%、較佳小於2%之影像感測器資料部分，並將影像感測器資料部分提供給該感測器資料分析系統。在一範例中，影像感測器資料部分包括在降低採樣率之下複數個二次電子子射束之數位影像資料。在一範例中，影像感測器資料部分包括降低二次電子子射束集合(9)之數位影像資料。

【0025】 在一範例中，感測器資料分析系統更構造成推導出或預測誤差向量中振幅 A_k 的集合內至少一振幅 A_n 之時間發展。

【0026】 在一範例中，控制單元更包括一控制運算處理器，用於根據誤差向量的振幅 A_k 之集合，以計算控制信號 C_p 的集合。在一範例中，多個或一組控制信號中之至少一者的擷取進一步基於載台的致動輸出之預測模型。

【0027】 在一範例中，感測器資料分析系統構造成從複數個感測器資料推導出長度為 L 的感測器資料向量 DV ，其中 $L \geq K$ 。

【0028】 在一範例中，控制單元構造成通過計算第一組控制信號 C_p 的至少一控制信號並將其提供給第一和第二偏轉系統，以補償樣品載台的位置或方位變化。樣品載台的位置或方位變化由載台的橫向位移賦予，對應於載台的當前位置和旋轉與載台的目標位置和旋轉之間於 XY 軸之至少一者內的差異。

【0029】 控制單元構造成從複數個感測器資料中推導出用於物體照射單元中的一第一補償器的驅動信號，以實現複數個一次帶電粒子子射束的掃描束斑位置(scanning spot position)之額外位移與晶圓表面的橫向位移同步。在一範例中，該額外位移包括複數個一次帶電粒子子射束的光柵組態旋轉。控制單元更構造成通過投影系統中的第二補償器，補償已位移晶圓表面上束斑位置的額外位移，其中該投影系統中的第二補償器構造成與物體照射單元中的第一補償器同步操作，從而使影像偵測器上的複數個二次電子子射束之束斑位置保持恆定。在一範例中，物體照射單元中的第一補償器為第一偏轉系統，並且控制單元構造成通過計算並將用於複數個一次帶電粒子子射束的掃描束斑位置之額外位移或旋轉的控制信號提供給第一偏轉系統，以補償樣品載台的位移或旋轉。在一範例中，第二補償器投影系統為第二偏轉系統，並且控制單元構造成通過計算並提供控制信號給該第二偏轉系統，以補償複數個一次帶電粒子子射束的掃描束斑位置在已位移晶圓表面上之額外位移或旋轉。因此，二次電子子射束的束斑位置在影像感測器處維持恆定，而與根據晶圓載台的位移或移動而修改之掃描路徑無關。

【0030】 在一具體實施例中，多重射束帶電粒子顯微鏡的帶電粒子多重子射束產生器更包括一快速補償器，且該控制單元構造成通過計算並提供第一組控制信號 C_p 的控制信號之至少一者給快速補償器，以引起複數個一次帶電粒子子射束的旋轉，以補償樣品載台的旋轉。在一實施例中，多重射束帶電粒子顯微鏡的控制單元更構造成產生第三控制信號，用於通過晶圓載台將晶圓表面移到物平面中第二影像斑塊的第二中心位置，進行第二影像斑塊的數位影像之影像擷取。在一具體實施例中，控制單元更構造成從複數個感測器資料計算第二組 P 控制信號 C_p ，以在晶圓載台移到第二影像斑塊的第二中心位置之時間間隔 T_r 期間，控制該組補償器。在一具體實施例中，控制單元更構造成在時間間隔 T_r 期間計算第二影像斑塊的影像擷取開始時間，並且在晶圓載台的減速時間間隔 T_d 期間開始第二影像斑塊的影像擷取，並且其中控制單元更構造成將至少在時間間隔 T_d 期間晶圓載台的預測偏移位置之一偏移信號提供給第一和第二偏轉系統。

【0031】 在一具體實施例中，提供一種使用多重射束帶電粒子顯微鏡檢測晶圓之方法。該方法的多重射束帶電粒子顯微鏡包括複數個偵測器，該等偵測器包括一影像感測器和一載台位置感測器；及一組補償器，該組補償器包括至少第一和第二偏轉系統。該方法包含下列步驟：

- a. 以該多重射束帶電粒子顯微鏡的視線，定位晶圓的晶圓表面並與局部晶圓坐標系統的位置對準；
- b. 執行一影像擷取，以擷取該晶圓表面的第一影像斑塊之數位影像；
- c. 在影像擷取步驟期間，從該等複數個偵測器收集複數個感測器資料；
- d. 從該等複數個感測器資料推導出一組 K 個誤差振幅 A_k ；及
- e. 從該組誤差振幅 A_k 中推導出一組 P 個控制信號 C_p ；
- f. 在影像擷取的步驟 **b** 期間將該組控制信號 C_p 提供給一組補償器。

【0032】 在一具體實施例中，該晶圓檢測方法更包括從該等複數個感測器資料推導出長度為 L 的感測器資料向量 DV 之步驟(g)，其中 $L \geq K$ 。在一具體實

施例中，該晶圓檢測方法更包括推導出該組誤差向量振幅 A_k 中至少一振幅 A_n 的時間發展之步驟(h)。在一具體實施例中，該晶圓檢測方法更包括通過將控制信號 C_p 提供給該第一和該第二偏轉系統，以補償該樣品載台的位置或方位變化之步驟(i)。在一具體實施例中，該晶圓檢測方法更包括從該組誤差振幅 A_k 中推導出第二組控制信號 C_p ，並在定位和對準該晶圓的晶圓表面之步驟(a)期間提供該第二組控制信號之步驟(j)。

【0033】 在本發明的一具體實施例中，提供一帶電粒子顯微鏡及一根據晶圓檢測任務的該成像規格要求以高通量和高解析度來操作帶電粒子顯微鏡之方法，其中一系列影像斑塊按影像擷取步驟順序成像，其包括在第一時間間隔 $Ts1$ 中的一第一影像斑塊的第一影像擷取以及在第二時間間隔 $Ts2$ 中第二影像斑塊的第二影像擷取，並且更包括用於將一樣品載台從該第一影像斑塊的第一中心位置移到該第二影像斑塊的第二中心位置之第三時間間隔 Tr ，使得該第一和該第二時間間隔 $Ts1$ 或 $Ts2$ 之至少一者與該第三時間間隔 Tr 具有一重疊。從該第一時間間隔 $Ts1$ 開始到該第二時間間隔 $Ts2$ 結束的總時間間隔小於三個時間間隔 $Ts1$ 、 Tr 和 $Ts2$ 的總和，並且實現高通量的快速晶圓檢測。在一範例中，在該第三時間間隔 Tr 結束之前，即當樣品載台已經完全停止時之前，開始該第二影像斑塊的第二影像擷取。在一示例中，當樣品移動的第三時間間隔 Tr 在該時間間隔 $Ts1$ 結束之前，即該第一影像斑塊的影像擷取完成時之前，啟動。在該方法的範例中，在該第一影像斑塊的影像擷取第一時間間隔 $Ts1$ 期間執行樣品移動的第三時間間隔 Tr 之開始時間之計算，使得該第一影像斑塊的第一中心位置與多重射束帶電粒子顯微鏡視線之位置偏差或該樣品載台的移動速度低於預定臨界。在該方法的範例中，在樣品載台移動的時間間隔 Tr 期間執行該第二影像擷取的第二時間間隔 $Ts2$ 之開始時間之計算，使得該第二影像斑塊的第二中心位置與多重射束帶電粒子顯微鏡視線之位置偏差或該樣品載台的移動速度低於預定臨界。

【0034】 在操作多重射束帶電粒子顯微鏡的方法範例中，該方法包括下列進一步步驟：

在該晶圓載台移動的時間間隔 T_r 期間，預測樣品載台位置的順序；

根據該預測樣品載台位置計算至少第一和第二控制信號；

將該第一控制信號提供給該多重射束帶電粒子顯微鏡的該一次射束路徑內第一偏轉系統，以及將該第二控制信號提供給該二次射束路徑內第二偏轉系統。

【0035】 在一範例中，帶電粒子顯微鏡包括一控制單元，該控制單元構造成計算在該第一影像斑塊的第一影像擷取期間，樣品載台從第一影像斑塊移到第二影像斑塊的開始時間。在本發明的範例中，帶電粒子顯微鏡包括一控制單元，該控制單元構造成計算樣品載台從第一影像斑塊移到第二影像斑塊的期間，擷取該第二影像斑塊的第二影像之開始時間。

【0036】 在一具體實施例中，描述一種構造成用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡操作方法，其包括下列準備步驟：

定義一組影像品質及一組描述與該組影像品質偏差的預定、正常化之誤差向量；

針對該組或正常化誤差向量的振幅確定一組臨界；

選擇一組多重射束帶電粒子顯微鏡的補償器；

根據線性及/或非線性擾動模型，通過改變該組補償器中每一補償器的至少一驅動信號，以確定靈敏度矩陣；

推導出一組正常化驅動信號，用於補償該組正常化誤差向量之每一者；及

將該等正常化驅動信號和該組臨界儲存在該多重射束帶電粒子顯微鏡的控制單元之記憶體中。

【0037】 在一範例中，該組補償器包括用於掃描和偏轉複數個一次帶電粒子的該多重射束帶電粒子顯微鏡之第一偏轉系統，及用於掃描和偏轉在該多重射束帶電粒子顯微鏡使用期間所產生複數個二次電子之第二偏轉系統。

【0038】 該靈敏度矩陣例如通過奇異值分解或類似演算法來分析。在一範例中，該靈敏度矩陣通過分成影像品質的兩、三或多個內核或獨立子集來分解。從而降低計算複雜度，並減少非線性效應或高階效應。

【0039】 在使用期間，例如在晶圓檢測期間，操作方法包括使用儲存在該多重射束帶電粒子顯微鏡的控制單元記憶體中之正常化誤差向量、正常化驅動信號和該組臨界。一種多重射束帶電粒子顯微鏡操作方法包括：

在使用期間從該多重射束帶電粒子顯微鏡的複數個感測器接收複數個感測器資料來形成一感測器資料向量之步驟；

擴展儲存於控制單元記憶體中一組正常化誤差向量內的該感測器資料向量，並從該感測器資料向量確定一組正常化誤差向量的實際振幅之步驟；

將該組實際振幅與一組儲存在控制單元記憶體中的臨界進行比較之步驟，並且根據該比較結果；

從該組實際振幅中推導出一組控制信號之步驟；

從該組控制信號中儲存在該控制單元記憶體中的一組正常化驅動信號中推導出一組實際驅動信號之步驟；

將該組實際驅動信號提供給該多重射束帶電粒子顯微鏡中一組補償器之步驟，從而在該多重射束帶電粒子顯微鏡操作期間，讓該組正常化誤差向量的該組實際振幅低於該組臨界。

【0040】 在一範例中，複數個感測器資料包括在使用多重射束帶電粒子顯微鏡檢測期間用於維持晶圓的晶圓載台實際位置與實際速度之位置或速度資訊之至少一者。來自感測器資料向量的正常化誤差向量之該組實際振幅表示多重射束帶電粒子顯微鏡的影像品質集合之實際狀態。通過與已預定和已儲存的臨

界比較，得出一組控制信號。根據控制信號，計算一組實際驅動信號，例如通過將控制信號與預定的一組正常化驅動信號相乘。在影像掃描或至少一影像斑塊的影像擷取期間，將該組實際驅動信號提供給該組補償器，從而在多重射束帶電粒子顯微鏡的操作期間，將實際振幅的子集減至低於儲存在控制單元記憶體中預定臨界的子集。該方法步驟在每個影像斑塊的擷取期間重複至少兩次、至少十次、較佳每條掃描線重複。

【0041】 在一範例中，該方法更包括在晶圓檢測期間，根據多重射束帶電粒子顯微鏡在預測時間間隔內的預期發展，以預測該組實際振幅的至少一子集的發展振幅子集之步驟。該方法可更包括在使用期間，記錄多重射束帶電粒子顯微鏡的該組實際振幅的至少一子集，以用於產生該組實際振幅的子集歷史之步驟。多重射束帶電粒子顯微鏡的操作方法更包括在晶圓檢測期間，從該組發展振幅推導出一組預測控制信號和從該組預測控制信號推導出一組預測驅動信號之步驟，以及在晶圓檢測期間，以時間順序方式將該組預測驅動信號提供給該組補償器之步驟，從而在多重射束帶電粒子顯微鏡在預測時間間隔內的操作期間，將實際振幅的子集減至低於該組臨界。

【0042】 根據預測模型函數或一組實際振幅歷史的線性、二階或更高階外推法之一者，以確定多重射束帶電粒子顯微鏡在預測時間間隔內的預期發展。在一範例中，該方法可更包括在使用期間，記錄多重射束帶電粒子顯微鏡的該組實際振幅的至少一子集，以用於產生該組實際振幅的子集歷史之步驟。該方法更包括在晶圓檢測期間，從該組發展振幅推導出一組預測控制信號和從該組預測控制信號推導出一組預測驅動信號之步驟，以及在晶圓檢測期間，以時間順序方式將該組預測驅動信號提供給該組補償器之步驟，從而在多重射束帶電粒子顯微鏡在預測時間間隔內的操作期間，將實際振幅的子集減至低於該組臨界。該具體實施例包括多重射束帶電粒子顯微鏡，其構造成在使用期間應用前述方法步驟。

【0043】在多個具體實施例中，從感測器資料所推導出的誤差振幅代表晶圓檢測任務的影像性能規範，例如晶圓載台相對於多重射束帶電粒子顯微鏡的視線和多重射束帶電粒子顯微鏡的影像座標系統之相對位置和方位之至少一者、多重射束帶電粒子顯微鏡的放大倍數或間距、遠心條件、對比條件、複數個帶電粒子子射束的絕對位置精度、及高階像差，例如複數個帶電粒子子射束的扭曲、像散和色差。

【0044】在一具體實施例中，揭示一多重射束帶電粒子顯微鏡和軟體程式碼。多重射束帶電粒子顯微鏡包括一組補償器，該等補償器包括多個偏轉器、一控制單元和安裝的軟體程式碼，其構造成用於應用根據前述方法步驟中的任何方法。

【0045】在一具體實施例中，揭示一種非暫態電腦可讀取媒體，其包括一指令集，該指令集可由多重射束帶電粒子裝置的一或多個處理器執行，以使該裝置執行一方法，其中該裝置包括一帶電粒子源，以產生複數個一次帶電粒子子射束，且該方法包括：

確定載台的橫向位移，其中該載台可在X-Y軸之至少一者內移動；及指示控制器施加第一信號，以偏轉入射在樣品上的複數個一次帶電粒子子射束，以至少部分補償橫向位移。在一範例中，該指令集包括方法的執行，該方法包括指示控制器施加第二信號，以偏轉從樣品發射的複數個二次電子子射束，以至少部分補償樣品載台的橫向位移。

【圖式簡單說明】

【0046】以下將參考附圖揭露更多細節。從而顯示：

圖1為根據一具體實施例的多重射束帶電粒子顯微鏡系統之圖式。

圖2為包括第一和第二影像斑塊的第一檢測部位及第二檢測部位。

圖3a為相對於局部晶圓坐標系統的已位移和已旋轉影像坐標系統之草圖。

圖3b為相對於局部晶圓坐標系統旋轉影的一已旋轉影像斑塊之草圖。

圖4為根據本發明的補償(a)之前和(b)之後的誤差振幅緩慢變化漂移分量之圖式。

圖5為根據本發明的補償(a)之前和(b)之後的誤差振幅快速變化分量或動態變化之圖式。

圖6為根據本發明具體實施例之包括控制單元800的詳細圖式之多重射束帶電粒子顯微鏡系統方塊圖。

圖7為根據本發明具體實施例之用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡系統之操作方法方塊圖。

圖8為主動多重孔板的圖式。

【實施方式】

【0047】 在下面描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相似或相同的參考編號表示。

【0048】 圖1的示意圖表示根據本發明具體實施例的多重子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。所示系統類型為掃描電子顯微鏡（SEM），該系統使使用複數個一次電子子射束3在物體7的表面上，例如位於物鏡102的物平面101中之晶圓，產生複數個一次帶電粒子射束斑點5。為簡單起見，僅顯示五個一次帶電粒子子射束3和五個一次帶電粒子射束斑點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），以實現多重子射束帶電粒子顯微鏡系統1的特性和功能。

【0049】 顯微鏡系統1包括一物體照射單元100和一偵測單元200，及用於將二次帶電粒子射束路徑11與一次帶電粒子射束路徑13分離的分射束器單元400。物體照射單元100包括用於產生複數個一次帶電粒子子射束3並且適於將複數個一次帶電粒子子射束3聚焦在物平面101中的帶電粒子多重子射束產生器300，其中晶圓7的表面25由樣品載台500定位。樣品載台500包括載台運動控制

器，其中該載台運動控制器包括構造成由控制信號獨立控制的複數個馬達。該載台運動控制器已連接到控制單元800。

【0050】 多重子射束產生器300在中間像平面321內產生複數個一次帶電粒子子射束斑點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。多重子射束產生器300包括一次帶電粒子（例如電子）的來源301。例如一次帶電粒子源301發射一發散的一次帶電粒子射束309，其由準直透鏡303.1和303.2準直以形成準直束。準直透鏡303.1和303.2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射束入射在多重子射束形成單元305上。多重子射束形成單元305基本上包括由一次帶電粒子射束309照射的第一多重孔板306.1。第一多重孔板306.1包括於光柵組態下的多個孔，用於產生複數個一次帶電粒子子射束3，這些子射束通過準直的一次帶電粒子射束309透射過多個孔而產生。多重子射束形成單元305包括至少另外的多重孔板306.2，其相對於一次帶電粒子射束309中電子的運動方向位於第一多重孔板306.1的下游。例如，第二多重孔板306.2具有微透鏡陣列的功能，並且較佳設定為已界定電位，從而調節中間像平面321內的多個一次子射束3之聚焦位置。第三主動式多重孔板配置306.3（未顯示）包括用於多個孔中每一者的個別靜電元件，以分別影響多個子射束中每一者。主動式多重孔板配置306.3由具有靜電元件的一或多個多重孔板組成，例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偏轉器陣列、微透鏡陣列或柱頭陣列。多重子射束形成單元305由相鄰的第一靜電場透鏡307構成，並且與第二場透鏡308和第二多重孔板306.2一起，將複數個一次帶電粒子子射束3聚焦在中間像平面321內或附近。

【0051】 在中間像平面321內或附近，光射束轉向(steering)多重孔板390配置有具有靜電元件（例如，偏轉器）的多個孔，以分別操縱複數個帶電粒子子射束3中每一者。光射束轉向多重孔板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子射束3通過，即使在一次帶電粒子子射束3的焦點偏離其設計位置的情況下也可通過。

【0052】 穿過中間像平面321的一次帶電粒子子射束3之複數個焦點在像平面101中由場透鏡組103.1和103.2以及物鏡102成像，其中晶圓7所需研究的表面由樣品載台500上的物體支架定位。物體照射系統100更包括在第一光束交叉點108附近的一偏轉系統110，如此複數個帶電粒子子射束3可往與光束傳播方向垂直之方向（在此為z方向）偏轉。偏轉系統110已連接至控制單元800。物鏡102和偏轉系統110置中於與晶圓表面25垂直的多重子射束帶電粒子顯微鏡系統1之光軸105上。然後用偏轉系統110光柵掃描配置在像平面101中的晶圓表面25。從而在晶圓表面101上同步掃描形成多個在光柵組態下的束斑5之複數個一次帶電粒子子射束3。在一範例中，複數個一次帶電粒子子射束3的束斑5之光柵組態為大約一百個或複數個一次帶電粒子子射束3的六邊形光柵。束斑5具有約6 μm 至15 μm 的距離，並且直徑小於5 nm，例如3 nm、2 nm或甚至更小。在一範例中，束斑尺寸約為1.5 nm，並且兩相鄰束斑之間的距離為8 μm 。在多個束斑5每一者的每一掃描位置處，分別產生複數個二次電子，以與束斑5相同的光柵組態形成複數個二次電子子射束9。在每個束斑5處產生的二次帶電粒子之數量或強度取決於撞擊的一次帶電粒子子射束之強度、照亮相應斑、束斑下物體的材料組成和形貌。二次帶電粒子子射束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，由分射束器400導向偵測單元200。偵測單元200將二次電子子射束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束斑15。該偵測器包括複數個偵測器像素或個別偵測器。對於多個二次帶電粒子射束斑15每一者，分別偵測強度，並且以高通量對大影像斑塊以高解析度偵測晶圓表面的材料成分。例如，對於具有8 μm 間距的10 \times 10子射束光柵，利用偏轉系統110的一次影像掃描，影像解析度為例如2 nm，產生大約88 μm \times 88 μm 的影像斑塊。以一半的束斑尺寸，例如2 nm，對影像斑塊進行採樣，因此對於每個子射束，每個影像行的像素數為8000像素，從而由100個子射束產生的影像斑塊包括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(其在此是

以引用方式併入本說明書中)以及前述美國專利案US 9.536.702中，皆描述使用例如平行處理的數位影像資料收集和處理之細節。

【0053】 複數個二次電子子射束9通過偏轉系統110，並由偏轉系統110偏轉並由分射束器單元400引導，以沿著偵測單元200的二次粒子射束路徑11。複數個二次電子子射束9與一次帶電粒子子射束3在相反方向上行進，並且分射束器單元400構造成通常藉助於磁場或電磁場的組合，將二次粒子射束路徑11與一次粒子射束路徑13分開。選擇性，額外磁修正元件420存在於一次粒子射束路徑和二次粒子射束路徑中。投影系統205更包括至少一第二偏轉系統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子射束9的複數個二次帶電粒子束斑15之位置上殘餘差(residual difference)，使得多個電子二次帶電粒子束斑15的位置在影像感測器207上保持恆定。

【0054】 偵測單元200的投影系統205包括複數個二次電子子射束9的至少一第二交叉點212，孔徑214位於其中。在一範例中，孔徑214更包括偵測器（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進一步連接到投影系統205的至少一靜電透鏡206，其包括另外的靜電或磁透鏡208、209、210，並且進一步連接到第三偏轉系統218。投影系統205更包括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子射束9之每一者的孔徑和電極；及選擇性另外的主動元件216，其連接至控制單元800。

【0055】 影像感測器207由感測區域的陣列構成，其排列圖案相容於由投影透鏡205聚焦到影像感測器207上的二次電子子射束9之光柵配置。這使得能夠獨立於入射在影像感測器207上的其他二次電子子射束，以偵測每個個別的二次電子子射束。建立多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子射束9的多個及時解析強度信號，而影像斑塊的數位影像累積並從複數個一次帶電粒子子射束3的所有掃描位置拼接在一起。

【0056】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括電子到光子轉換單元，例如閃爍器元件或閃爍器元件的陣列。在另一具體實施例中，影像感測器207可構造成配置在複數個二次電子粒子束斑15的焦平面中之電子到光子轉換單元或閃爍器板。在此具體實施例中，影像感測器207可更包括中繼光學系統，該系統用於在諸如多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束斑15處，將由電子至光子轉換單元產生的光子成像並引導。在US 9,536,702中公開這樣的影像感測器，其以引用方式併入本說明書中。在一範例中，中繼光學系統更包括用於將光分離並引導至第一慢光偵測器和第二快光偵測器的分射束器。第二快光偵測器例如由像是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子射束的掃描速度，以解析複數個二次電子子射束的影像信號。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，以監視二次帶電粒子束斑15或複數個二次電子子射束9並控制多重射束帶電粒子顯微鏡的操作，底下有更詳細說明。

【0057】在例示的範例中，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，例如氦離子，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和主動多重孔板配置306.1...306.3以及射束轉向多重孔板390由一次子射束控制模組830控制，其連接到控制單元800。

【0058】在通過掃描複數個一次帶電粒子子射束3來擷取影像斑塊期間，較佳不移動平台500，並且在擷取影像斑塊之後，將平台500移動至下一要擷取的影像斑塊處。平台移動和平台位置由業界已知的感測器監測和控制，例如雷射干涉儀、光柵干涉儀、共聚焦微透鏡陣列或類似儀器。例如，位置感測系統使用雷射干涉儀、電容感測器、共焦感測器陣列、光柵干涉儀或其組合之任一者，以確定載台的橫向和垂直位移與旋轉。如以下在本發明的具體實施例中所

示，載台500從第一影像斑塊到下一影像斑塊的移動與影像斑塊的擷取重疊，並且通量增加。

【0059】圖2內對於通過擷取影像斑塊來檢測晶圓的方法具體實施例有更詳細說明。將晶圓以其晶圓表面25放置在複數個一次帶電粒子子射束3的聚焦平面中，並以第一影像斑塊17.1的中心21.1放置。影像斑塊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。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分成多個影像斑塊，例如第一影像斑塊17.1和第二影像斑塊17.2，並且第一影像斑塊17.1的第一中心位置21.1在多重射束帶電粒子顯微鏡的光學軸下方對準，用於該檢測任務的第一影像擷取步驟。選擇第一影像斑塊21.1的第一中心當成用於擷取第一影像斑塊17.1的第一局部晶圓坐標系統原點。對準晶圓以註冊晶圓表面25並產生晶圓坐標的坐標系統之方法在本領域中是眾所周知的。

【0060】多個一次子射束以規則的光柵組態41分佈在每一影像斑塊中，並且通過掃描機構進行掃描，以產生影像斑塊的數位影像。在此範例中，複數個一次帶電粒子子射束3以矩形光柵組態41配置，在具有n個束斑的第一行中具有N個一次束斑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M=五乘N=五束斑，但是束斑數量J=M乘N可更大，並且多個束斑5.11至5.MN可具有不同光柵組態41，例如六邊形或圓形光柵。

【0061】每個一次帶電粒子子射束掃描通過晶圓表面25，如具有束斑5.11至5.MN以及一次帶電粒子子射束的掃描路徑27.11至掃描路徑27.MN之一次帶電粒子子射束範例所示。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每一者的掃描，並且偏轉系統110(例如掃描偏轉器)使每個一次帶電粒子子射束的每個束斑5.11...5.MN從影像子場線的起始位置開始往x方向共同移動，該影像線在該範例中為例如影像子場31.MN的最左側影像點。然後，通過將一次帶電粒子子射束掃描到正確位置，以掃描每個焦點，然後偏轉系統110將複數個帶電粒子子射束之每一者平行移動置每一個別子場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反跳(flyback)。複數個一次帶電粒子子射束在平行掃描路徑27.11至27.MN中跟隨，從而同時獲得各個子場31.11至31.MN的多個掃描影像。對於影像擷取，如上所述，在束斑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子射束9。複數個二次電子子射束9由物鏡102收集，通過偏轉系統110，並受引導至偵測單元200，並由影像感測器207偵測。複數個二次電子子射束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，從而形成每一子場的數位影像資料。根據預選的掃描程式，複數個一次帶電粒子子射束遵循預定掃描路徑27.11至27.MN。最後，通過影像拼接單元將多個子場的多個數位影像拼接在一起，以形成第一影像斑塊17.1的數位影像。每個影像子場構造成與相鄰影像子場具有小的重疊區域，如子場31.mn和子場31.m(n+1)的重疊區域39所示。先前技術的複數個一次帶電粒子射束束斑5.11至5.MN之間的時間距通常由於漂移、透鏡畸變和其他像差而變化。因此，先前技術的重疊區域39通常構造成足夠大，以用一次影像掃描覆蓋整個影像斑塊，而不管束斑位置的波動。

【0062】 在晶圓檢測方法的具體實施例中，用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡系統通量通過減小重疊區域39的尺寸而增加。從而增加每個影像斑塊的大小，並增加通量。在一範例中，複數個一次帶電粒子子射束的束斑5之束間距為10 μm 。如果每個200 nm的重疊區域39之寬度減小例如25%，則影像斑塊尺寸增加大約1%並且通量增加大約1%。隨著重疊區域寬度進一步減少65%，則通量增加2.5%。重疊區域39的減少係通過控制複數個一次帶電粒子子射束3的間距來實現。利用諸如圖1中主動式多重孔板306.3的補償器，諸如多重射束多極偏轉器器件，由複數個一次帶電粒子子射束3形成的束斑5之位置通過高精度控制。對於控制操作，用於偵測複數個二次電子子射束9的偵測器，例如偵測單元200的影像感測器207，構造成提供表示多個束斑5的位置之感測器信號。然後校正多個一次束斑5的光束位置偏差，並且減少重疊區域。通過以低於70 nm的精度將複數個一次帶電粒子子射束3之每一者的一次帶電粒子射束斑5精準控制在

相應光柵位置處，實現通量提高2%。通過進一步精確控制低於30 nm的一次帶電粒子射束斑位置，則通量可提高3.5%以上。在下一步驟中，在擷取第一影像斑塊的數位影像後，晶圓在感測器控制下由晶圓載台移到相鄰預定義中心位置21.2，並定義新的局部晶圓坐標系統，中心位於預定義中心位置21.2。獲得第二影像斑塊17.2，從而獲得兩相鄰的影像斑塊17.1和17.2，其具有重疊區域19。同樣，與前述重疊區域39的減小類似，重疊區域19的尺寸減小並且通量增加。兩個影像斑塊17.1和17.2拼接在一起，以形成預定晶圓區域的影像。在擷取第一檢測部位33的數位影像之後，晶圓載台將晶圓移到預定中心位置21.k，以用於下一第二檢測部位35的影像擷取，例如檢測該預定晶圓區域處一處理控制監視器(PCM)。執行掃描操作(未例示)，並獲得影像斑塊17.k。如這個簡化範例所示，通過此方法，依序檢測晶圓的幾個檢測部位。

【0063】 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，影像斑塊17.1...k的影像擷取以及影像斑塊17.1...k之間的載台移動必須快速。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。例如，複數個一次帶電粒子子射束中每一者的絕對橫向位置精度必須在10 nm以下，並且複數個一次帶電粒子子射束中每一者的絕對橫向位置必須知道精度小於1 nm。通常，對位置精度的要求約為解析度要求的50%更低。其次，必須獲得高影像一致性。影像一致性誤差定義為 $dU = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min})$ ，具有影像擷取之下均勻物體的最大和最小影像強度 I_{max} 和 I_{min} 。通常，影像一致性誤差 dU 必須低於5%。影像對比度和動態範圍必須足夠，以獲得受檢測半導體晶圓的半導體特徵和材料成分之精確表示。通常，動態範圍必須優於6或8位元，影像對比度必須優於80%。

【0064】 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，較佳低於0.5 nm，並且影像對比度差異必須低於10%。以這種方式，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。

【0065】 晶圓檢測任務的要求或規格之一是通量。通量取決於幾個參數，例如樣品載台的速度、載台加速和減速所需的時間、在每個新測量位置對準樣品載台所需的重複次數，以及每次擷取所需的測量面積。上面說明通過減少重疊區域而增加影像斑塊大小，以提高通量之範例。每擷取時間的測量面積由停留時間、解析度和子射束數決定。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20個影像斑塊或幀。然而，在擷取兩個影像斑塊之間，晶圓由晶圓載台橫向移到下一相關點。在一範例中，晶圓從第一影像斑塊移到第二影像斑塊時間間隔 T_r 大約為1秒，並且幀速率降低到大約15幀/分鐘。使用標準載台的晶圓從第一影像斑塊移到第二影像斑塊的典型時間間隔 T_r ，其包括第二影像斑塊的精度調整時間間隔超過1秒，可為3秒或甚至更久，例如5秒。對於100個子射束，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），並且子射束的數量較大並且解析度較低，例如10000個子射束和25 ns的停留時間，則通量可能超過7 sqmm/min。包括載台的加速和減速等載台移動為多重射束檢測系統通量的限制因素之一。載台在短時間內更快地加速和減速通常需要複雜且昂貴的載台，或者在多重射束帶電粒子系統中引起動態振動。本發明的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很好地維持在前述要求之內。

【0066】 通常，由於漂移和動態效應，其包括殘留和不需要的載台運動，在沒有控制的情況下，快速和高通量的影像擷取會惡化。通常，與理想影像擷取條件的偏差由誤差函數所描述。在圖3a中以多個束斑5的圓形配置範例，示出

其中多個像斑5相對於晶圓7旋轉和位移的誤差函數範例。具有影像坐標 x_i 和 y_i 的影像坐標系統51由影像斑塊中心處的虛擬坐標系統定義，如通過用束斑5（例如三個）掃描一次帶電粒子子射束集合而獲得。預定中心掃描位置處的一組一次帶電粒子子射束中心線稱為視線53，使得視線53和影像坐標系統的z軸相同。在理想情況下，並且在對多重子射束帶電粒子顯微系統1進行適當校準後，多重子射束帶電粒子顯微系統1的視線53和光軸105是相同的。在實際成像情況下，視線53偏離多重子射束帶電粒子顯微鏡系統1的光軸105。該偏差例如來自於物體照射單元100的漂移、偏轉系統110(例如掃描偏轉器)中的像差或一次帶電粒子射束路徑13中的其他靜電和磁性元件，例如多重子射束產生器主動元件330或分射束器400之任一者。在實際成像情況下，視線53的偏差隨時間變化，其包括每個影像斑塊17.1...k的一次影像掃描之影像擷取時間。

【0067】 局部晶圓坐標系統551被定義在具有局部晶圓坐標 x_l 和 y_l 的晶圓之檢測部位處。在實際成像情況下，局部晶圓坐標系統551偏離具有視線53的影像坐標系統51。位移向量55例如由晶圓載台的未對準、晶圓載台的漂移或影像坐標系統51的漂移或兩者所引起。在實際成像情況下，局部晶圓座標系統551的偏差隨時間變化，其包括一次影像掃描的影像擷取時間。位移向量55通常描述為時間相關向量 $D(t) = [D_x, D_y, D_z](t)$ 。在實際成像情況下，位移向量55包括視線53的偏差與晶圓載台500的飄移之差異，兩者各自隨時間變化，其包括每個影像斑塊17.1...k的一次影像掃描之影像擷取時間。

【0068】 影像坐標系統51可繞著z軸或視線53，相對於局部晶圓坐標系統551旋轉旋轉角 R_z ，由箭頭57指示，並且在具有坐標 (x_i', y_i') 的旋轉影像坐標系統59中獲得來自晶圓表面25的影像斑塊17之影像。旋轉角可發生在任何軸上，並且可隨時間變化以形成旋轉角向量 $R(t) = [R_x, R_y, R_z](t)$ 。通過繞z軸旋轉，所有像斑5旋轉到像斑5'（指示的點），由未旋轉的像斑5與已旋轉的像斑5'間之位移向量61所示。影像旋轉所引起的偏差係由像斑5的旋轉或由載台繞垂直軸或z軸的旋轉或這兩者而產生。

【0069】圖3b以圖2的影像斑塊17.1為例，說明影像旋轉的情況。使用與圖2中相同的參考編號，但成像坐標系統51相對於晶圓坐標系統551旋轉。旋轉以光柵結構配置的複數個束斑5、旋轉影像斑塊31，並且旋轉每個掃描路徑27。在本發明的一具體實施例中，底下有更詳細說明，影像旋轉透過複數個束斑5的光柵配置旋轉來補償。這與單束帶電粒子顯微鏡不同，單束帶電粒子顯微鏡可通過動態掃描旋轉來補償影像旋轉，即通過改變單一掃描路徑來有效地實現單一掃描路徑的旋轉。在子場37.1和37.2處例示掃描旋轉的效果，作為兩個一次帶電粒子子射束範例中掃描旋轉對複數個一次帶電粒子子射束的影響之範例。多重射束帶電粒子顯微鏡的掃描束偏轉器可旋轉掃描路徑27，但是掃描偏轉器不能旋轉多個束斑5的光柵結構。為了補償旋轉，其包括多個束斑5的光柵配置旋轉之動態變化，需要額外器件，如本發明的一些具體實施例中所提供。

【0070】根據本發明實施例的多重子射束帶電粒子顯微系統包括複數個感測器，這些感測器在影像擷取期間提供感測器信號。感測器是例如載台500的載台位置感測器、配置在諸如孔214的孔處之感測器或影像感測器207。控制單元800構造成從感測器信號中提取誤差函數，例如影像位移向量 $D(t)$ 、影像旋轉 $R(t)$ ，其包括焦點位置變化或影像平面傾斜。通常，控制單元800構造成通過本領域已知方法來分析感測器信號，並將感測器信號分解成一組個別的模型誤差函數，例如通過一組具有誤差振幅的預定模型誤差函數之擬合運算至感測器資料。這種擬合運算例如可為最小二乘擬合運算或奇異值分解，並且計算模型誤差函數集合中每個模型誤差函數的多個誤差振幅。通過誤差振幅的計算，用於控制多個一次和二次帶電粒子子射束3和9以及載台500的資料量顯著減少到例如六個誤差振幅。然而，在本發明的具體實施例中，以相同方式考慮大量誤差振幅，例如放大誤差、不同的高階失真和個別場相關影像像差圖案。正常化誤差振幅可描述例如視線在兩橫向方向上的位移、晶圓載台在橫向和軸向上的位移、晶圓載台的旋轉、視線的旋轉、放大誤差、聚焦誤差、像散誤差或失真誤

差。通過在一組有限的誤差振幅中分解感測器信號，顯著提高校正信號的計算和控制速度。

【0071】 在具體實施例的範例中，控制單元800構造成分析誤差振幅隨時間的發展。記錄誤差振幅隨時間變化的歷史，並且控制單元構造成將誤差振幅的變化擴展為時間相關模型函數。控制單元800構造成預測至少一誤差振幅子集在短時間內的變化，例如在掃描時間間隔 T_s 的影像掃描中一小部分期間。影像斑塊的掃描時間間隔 T_s 介於1秒與5秒之間，具體取決於停留時間(dwell time)。在一個典型範例中，一個影像斑塊 T_s 的掃描時間間隔約為3秒。在一範例中，誤差振幅的預測變化之緩慢改變（通常稱為漂移）與誤差振幅的預測發展之快速動態改變（通常稱為動態變化）分開。在一範例中，控制單元800構造成預測在載台從第一影像斑塊移到第二影像斑塊的時間間隔 T_r 期間，至少誤差振幅子集的變化。載台從第一影像斑塊移到第二影像斑塊的時間間隔 T_r 在0.5秒到5秒之間。在一範例中，控制單元800構造成預測在載台從快速運動減速至停止位置的時間 T_d 期間，至少誤差振幅子集的變化。通常，控制單元800構造成用於根據載台的致動輸出預測模型，提取複數個控制信號之至少一者。

【0072】 在具體實施例的範例中，分別外推緩慢變化部分、漂移和動態變化部分或誤差振幅的動態變化之誤差振幅發展。例如，漂移部分通常表現出線性行為或漸近行為。例如，熱效應通常會導致具有漸近行為的緩慢漂移。利用對時間誤差振幅發展的先前知識，基於具有預定漸近行為的模型函數推導出漂移之發展，並且控制單元800構造成產生期望預測誤差振幅的控制信號。誤差振幅的緩慢變化發展或漂移與快速發展分開，並且例如直接轉發誤差振幅的漂移，以控制載台500。圖4和圖5例示代表性誤差振幅隨時間的變化。圖4a顯示具有誤差振幅模型函數907隨時間 t 的預定漸近行為的漂移或緩慢變化誤差振幅 $S_n(t)$ 之範例。這種行為對於熱漂移或靜電或電磁元件漂移為典型的，但隨時間推移，其他影響也有類似發展。漂移的其他來源可以是可變電致伸縮力，或在影像掃描期間由導電部件或晶圓充電引起的漂移。在操作期間，控制單元800構

造成從感測器資料連續推導出漂移誤差振幅 $S_n(t)$ 。操作時間包括第一影像斑塊17.1的第一影像掃描之第一時間間隔 T_{s1} 、晶圓載台從第一影像斑塊17.1的第一中心位置21.1移動至第二影像斑塊17.2的第二中心位置21.2之時間間隔 T_r ，以及第二影像斑塊17.2的第二影像掃描之第二時間間隔 T_{s2} （參見圖2的參考編號）。例如，在第一時間間隔 T_{s1} 期間的實際時間 T_a 上，確定誤差振幅 $S_n(t)$ 的時間梯度903或者模型函數907近似於測量誤差振幅 $S_n(t)$ 。利用誤差振幅模型函數907或梯度向量903，預測誤差振幅 $S_n(t)$ 的發展，並預測在第二時間間隔 T_{s2} 期間的未來時間 t_c ，誤差振幅 $S_n(t)$ 的漂移部分達到預定臨界值 S_{n_max} ，如線901所示。該臨界例如根據與誤差向量 $S_n(t)$ 相關的影像品質參數的規範而預先確定。在兩個影像斑塊17.1和17.2的兩個後續影像掃描間之時間間隔 T_r 中，控制單元800構造成相應改變補償器的控制值，並且通過調整多重射束帶電粒子顯微鏡1的主動元件，以減小誤差振幅 $S_n(t)$ 的漂移分量。主動元件可包括緩慢作用的補償器，例如磁性元件或載台。在本發明的具體實施例中，視線53或影像坐標系統51的橫向漂移例如通過添加偏移至晶圓載台500的橫向位置來補償，並且焦點位置的漂移例如通過添加偏移至晶圓載台500的z位置來補償。在本發明的具體實施例中，複數個一次帶電粒子子射束3的成像放大率漂移會引起複數個一次帶電粒子子射束3的間距變化，並且例如通過添加偏移電流至物鏡102的專用磁透鏡元件來補償。在本發明的具體實施例中，如圖3中所描述複數個一次帶電粒子子射束3的旋轉漂移，通過載台500繞z軸的相應旋轉或複數個一次帶電粒子子射束3的旋轉校正來補償，一次帶電粒子子射束係通過添加偏移電流至第二專用磁透鏡元件(例如物鏡102)以產生。圖4b內例示結果。通過此調整，校正後的緩慢變化漂移誤差振幅 $S_n(t)$ 受控制遠遠超出誤差振幅臨界 S_{n_max} 。由於漂移部分隨時間緩慢變化，可至少部分在與後續影像掃描之間的時間 T_r 期間調整和補償誤差振幅 $S_n(t)$ 。因此，賦予一種使用多重射束帶電粒子顯微鏡檢測晶圓之方法，步驟如下：

在第一時間間隔 T_{s1} 期間第一影像斑塊的第一影像擷取步驟，

在時間間隔 T_r 期間該晶圓載台從第一影像斑塊的位置到第二影像斑塊的移動，

以及在第二時間間隔 T_{s2} 期間第二影像斑塊的第二影像擷取步驟，藉此，在第一時間間隔 T_{s1} 期間，從複數個感測器信號計算至少第一誤差振幅，在第一時間間隔 T_{s1} 期間，預測第一誤差振幅至少經過第一時間間隔 T_{s1} 、移動時間間隔 T_r 和第二時間間隔 T_{s2} 的發展，

並且，至少在移動時間間隔 T_r 期間，將控制信號提供給多重射束帶電粒子顯微鏡的控制單元，用於將第二時間間隔 T_{s2} 期間誤差振幅的預測發展保持低於一預定臨界。

【0073】 在一範例中，根據預測模型或外推法，產生對第一誤差振幅發展的預測。

【0074】 在一範例中，控制信號提供給多重射束帶電粒子顯微鏡的控制單元，用於也在時間間隔 T_{s1} 或 T_{s2} 的影像掃描期間，將誤差振幅的預測發展保持低於一預定臨界。例如，如果預測到影像坐標系統的緩慢漂移，則影像坐標系統的漂移可通過載台 500 的緩慢補償運動來補償，使得在影像擷取期間 $S_n(t)$ 受控制在遠低於臨界 S_{n_max} 。

【0075】 圖 5 例示由誤差振幅 $N_n(t)$ 的動態變化所描述成像偏差的快速動態變化。成像偏差的這種動態變化可例如由內部噪訊源（例如真空泵）或其他內部噪訊源（例如由晶圓載台的快速加速和減速引起的振動）引入。其他噪訊源可為外部來源。

【0076】 動態變化 $N_n(t)$ 顯示一種簡化的週期行為，其半週期小於一個影像斑塊的一個掃描時間間隔 T_{s1} 或 T_{s2} 。在本發明的一具體實施例中，控制單元 800 構造成推導出誤差振幅 $N_n(t)$ 的動態變化，並高速確定多重射束帶電粒子顯微鏡 1 的快速主動元件之控制信號。這種主動元件例如為靜電束偏轉掃描器或靜電校正器，其可高速調整。在具有掃描時間 T_s 的第一影像斑塊之影像掃描期間，不受控制的誤差振幅 $N_n(t)$ 至少超過兩倍 t_{c1} 和 t_{c2} 的預定誤差振幅窗口 D_{Nn} ，由參考

編號905表示。具有上下臨界用於誤差振幅 $Nn(t)$ 的誤差振幅窗口905代表誤差振幅 $Nn(t)$ 所表示影像品質參數的規範要求。控制單元800更構造成提供動態控制信號給快速主動元件的控制單元，使得如圖5b所示的該已校正動態偏差或誤差振幅 $Nn(t)$ 受控制在預定誤差振幅窗口905的上臨界與下臨界之間。控制操作器800設置有快速控制迴路，例如開放式控制迴路，允許以超過約0.3Hz的影像掃描頻率或幀速率 $1/Ts$ 至少50倍之頻寬進行調整和控制，較佳為至少100倍，或甚至更佳為1000倍。在一範例中，如果已執行成像像差，則以大約2.5kHz或更高的控制頻率，每行掃描至少一次誤差向量的計算和用於補償的控制信號擷取。因此，電控制信號包括具有在0.1kHz到10kHz或更大範圍頻寬的信號。

【0077】 應注意，根據控制運算器800的控制迴路之頻率響應，圖5b所示的校正誤差振幅 $Nn(t)$ 之頻率可不同於圖5a所示的未校正誤差振幅 $Nn(t)$ 之頻率。

【0078】 在一範例中，控制單元800構造成預測誤差振幅 $Nn(t)$ 的動態變化。例如，通過在誤差振幅 $Nn(t)$ 的時間 Ta 推導出局部梯度909，控制單元800構造成在時間間隔 $Ts1$ 的影像掃描期間，推導出用於動態控制的快速主動元件之控制信號。

【0079】 晶圓載台未對準或漂移的驅動誤差源為將載台從第一影像斑塊17.1移到第二影像斑塊17.2而提供的時間間隔 Tr 。特別地，晶圓載台的未對準或漂移取決於調整重複次數和將載台從移動速度減速到第二影像斑塊17.2附近的停止位置所需之時間 Td 。在本發明的具體實施例中，第一影像斑塊17.1和第二影像斑塊17.2的影像擷取步驟間之時間間隔顯著減少，並且通量增加。通過本發明的一具體實施例中，提供一種帶電粒子顯微鏡操作方法，其中一系列影像斑塊按影像擷取步驟順序成像，其包括在第一時間間隔 $Ts1$ 中的一第一影像斑塊17.1的第一影像擷取以及在第二時間間隔 $Ts2$ 中第二影像斑塊17.2的第二影像擷取，並且更包括用於將一晶圓載台500從該第一影像斑塊17.1的第一中心位置21.1移到該第二影像斑塊17.2的第二中心位置21.2之第三時間間隔 Tr ，使得該第一和該第二時間間隔 $Ts1$ 或 $Ts2$ 之至少一者與該第三時間間隔 Tr 具有一重疊。從該第一

時間間隔 T_{s1} 開始到該第二時間間隔 T_{s2} 結束的總時間間隔小於三個時間間隔 T_{s1} 、 T_r 和 T_{s2} 的總和，並且通量提高並實現快速檢測模式。圖5a和圖5c例示這種具有高通量的快速檢測模式之具體實施例。在圖5a的第一範例中，在晶圓載台500完全停止之前啟動第二影像斑塊17.2的影像擷取。在晶圓載台減速到結束位置的時間間隔 T_d 期間，影像擷取開始並且影像擷取的時間間隔 T_{s2} 與載台500的減速時間間隔 T_d 具有一重疊。減速時間間隔 T_d 包括載台的反覆調整，以及完全停止載台所需的時間。快速移動後，載台可漂移或擺動或振動，載台減速時間間隔 T_d 包括載台減速直到其位置與多重射束帶電粒子顯微鏡的視線重合所需之時間，而精度低於第一預定臨界並且動態位置穩定性低於第二預定臨界。控制單元800構造成在時間 T_d 期間監測或預測預期橫向位置 $X_l(t)$ 、 $Y_l(t)$ 和晶圓載台500的移動速度。控制單元800針對帶電粒子顯微鏡的掃描偏轉系統推導出控制信號，以通過視線53的可變偏移量 $D_x(t)$ 、 $D_y(t)$ 來補償減速時間 T_d 期間晶圓載台之剩餘運動。控制單元800構造成根據晶圓載台的預測移動速度，計算第二影像斑塊17.2的影像擷取開始時間。例如，將第二影像斑塊17.2的影像擷取時間間隔 T_{s2} 之開始時間確定為晶圓載台的預測速度低於預定臨界之時間，使得可補償晶圓載台在減速時間間隔 T_d 期間的剩餘運動。控制單元800構造成通過對第二影像斑塊17.2進行掃描成像來開始影像擷取，並提供偏移座標的時間函數給偏轉系統，以在減速時間間隔 T_d 的至少一部分期間補償晶圓載台的殘餘運動，其中減速時間間隔與第二影像擷取的時間間隔 T_{s2} 具有一重疊。因此，第一時間間隔 T_{s1} 期間的第一影像掃描與第二時間間隔 T_{s2} 期間的第二影像掃描間之時間間隔 T_r' 減少。

【0080】 圖5c更詳細說明此具體實施例的第二範例。在此範例中，控制單元800構造成在第一影像斑塊的第一影像擷取時間間隔 T_{s1} 期間，推導出晶圓載台加速之開始時間 r_1 ，使得通過掃描偏轉器對晶圓移動的補償位於帶電粒子顯微鏡的掃描偏轉器之最大範圍內。在影像擷取期間以及在用於加速晶圓載台的時間間隔 T_u 之至少一部分期間，控制單元800構造成提供控制信號給偏轉系統，並

且在此範例中為如前述座標系統的橫向位置偏移之誤差振幅 $Nn(t)$ 在第一影像斑塊的橫向位置偏移之指定臨界範圍905.1內，並且在晶圓移動的開始時間 r_i 之後繼續影像擷取，直到第一影像擷取的時間間隔 Ts_1 之結束時間 t_1 。在時間間隔 Tr 內的晶圓移動期間，控制單元800構造成推導出第二影像斑塊的第二影像擷取之第二時間間隔 Ts_2 開始時間 t_0' ，使得通過掃描偏轉器對晶圓移動的補償位於帶電粒子顯微鏡的掃描偏轉器之最大範圍內，並且坐標系統的橫向位置偏移在第二影像斑塊的橫向位置偏移之指定臨界範圍905.2內。第二影像擷取在晶圓移動期間的開始時間 t_0' 開始，結束時間為 r_2 ，此時晶圓載台到達其目標位置附近。因此，第一時間間隔 Ts_1 期間的第一影像掃描與第二時間間隔 Ts_2 期間的第二影像掃描間之時間間隔 Tr' 減少。從第二影像擷取開始 t_0' 與晶圓載台減速到晶圓載台移動時間間隔 Tr 的結束時間 r_s 間之重疊時間間隔，通常大於第一影像擷取結束 t_1 與晶圓載台加速到晶圓載台移動時間間隔 Tr 的開始時間 r_i 間之重疊時間間隔。在一範例中，晶圓載台的減速時間間隔 Td 包括在各個檢測部位處影像斑塊的影像擷取期間晶圓載台的精確對準之至少一次重複，藉此控制單元與偏轉系統同步控制晶圓移動，並且通過將對應於晶圓載台位置的偏移坐標之序列或函數提供給偏轉系統，以補償在晶圓載台移動期間晶圓載台的預測和監測位置。晶圓載台精確對準的重複為，晶圓載台位置從與目標位置的較大偏差的第一位置，到與目標位置的偏差低於預定臨界之第二位置的重複重新調整。在一範例中，臨界根據兩相鄰影像斑塊之間重疊區域的減少來確定，例如確定為低於100 nm、低於50 nm，甚至低於30 nm。因此，通過減少後續影像擷取之間的時間間隔和減少相鄰影像斑塊之間的重疊區域來提高通量。在一範例中，第一和第二影像斑塊之間後續影像擷取間的時間間隔減少兩倍，並且多重射束帶電粒子顯微鏡的通量或幀速率從大約每分鐘10增加到大約14幀數。在一範例中，第一和第二影像斑塊之間後續影像擷取間的時間間隔減少三倍，並且多重射束帶電粒子顯微鏡的通量或幀速率從大約每分鐘10增加到超過15幀數，並且通過本具體實施例的晶圓移動過程中之影像品質控制方法，通量提高50%以上。通常，與擷取兩個遠

距影像斑塊17.1和17.2中每一者所需的時間間隔 T_{s1} 和 T_{s2} 以及將樣品從第一檢測部位移到第二檢測部位所需的時間 T_r 相比，所提供的方法允許在更短的時間間隔 T_G 內擷取至少兩個遠距影像斑塊17.1和17.2的影像，其中 $T_G < T_{s1} + T_{s2} + T_r$ 。

【0081】 例如通過快速傅立葉分析或移動平均計算方法，實現將誤差振幅發展或分離為漂移和動態變化。也可用業界內熟知的其他方法。在一範例中，應用對誤差振幅變化的最大梯度之預定臨界，並分解為具有最大梯度的線性漂移和誤差振幅部分超過最大梯度的殘餘動態變化。減去低於最大梯度的誤差振幅線性部分，通過線性漂移減去誤差振幅的發展獲得動態變化。根據補償器的最大速度確定誤差振幅的最大梯度，以補償線性漂移。這種緩慢作用的補償器例如可為多重射束帶電粒子顯微鏡的磁性元件。在另一範例中，應用用於誤差振幅最大變化頻率的預定臨界，並通過對誤差振幅的發展進行低通濾波來確定漂移部分。在一範例中，對於漂移部分和動態部分的分離，考慮停留時間、線掃描速率和幀速率。例如，停留時間為50 ns，線掃描速率約為2.5 kHz。控制單元800和多重射束帶電粒子顯微鏡的快速補償器可補償大約10 kHz或更高頻率範圍的成像性能變化或偏差。因此，可在使用複數個一次帶電粒子子射束掃描多條線期間，控制成像性能的快速和動態變化或偏差。因此，在大約3秒的時間間隔 T_s 之影像擷取期間，多次補償動態變化，例如每次控制頻率為2.5 kHz左右的反跳(flyback)，甚至在控制頻率超過2.5 kHz的每次線掃描期間，例如5 kHz或10 kHz或更高。例如，在兩個連續影像掃描之間的時間間隔 T_r 期間，例如通過大約低於0.5秒的時間間隔 T_r' 內的慢補償器，以補償秒的時間間隔上的緩慢漂移。為了使具有不同響應時間的補償器同步，例如可在控制單元中包括延遲線。

【0082】 誤差振幅發展的預測是根據多項式展開和外推法（例如線性外推法）的近似來計算，但也可用其他更高階的外推法（例如二階或更高階的外推法）。Runge-Kutta方法給出高階多項式外推的一範例。在緩慢變化補償器（例如移動晶圓載台）的範例中，通過控制和監測緩慢變化補償器（例如晶圓）的

校準性能，以實現對誤差振幅發展的預測，例如載台位置。誤差振幅發展的預測也可遵循模型，所謂基於模型的預測器根據誤差振幅的預期發展之模型函數，產生預期誤差振幅。這樣的預定模型函數例如通過模擬或通過多重射束帶電粒子顯微鏡的代表性測試操作所產生，並且儲存在控制單元800的記憶體中。在一範例中，這種預定模型函數對於每個個別的多重射束帶電粒子顯微鏡是個別的。在許多範例中，遵循預測模型的錯誤行為估計包括頻率分析、低通濾波和多項式近似。

【0083】 前述發展和外推方法，例如將誤差振幅分離為漂移和動態變化或從先前知識的模型函數應用，可針對誤差的時間發展所描述影像性能參數之不同偏差做不同的選擇。在一範例中，控制單元800構造成在一系列影像斑塊的影像擷取期間執行一系列操作步驟，其包括：

- A) 將形成複數個感測器資料的資料串流擴展為一組誤差振幅，
- E) 擷取一組漂移控制信號和一組動態控制信號，以及
- F) 提供該組漂移控制信號給緩慢作用的補償器，以及
- G) 提供該組動態控制信號給快速作用的補償器。

【0084】 在一具體實施例中，控制單元800更構造成包括將時間發展近似為誤差振幅之至少一者的步驟B。在一具體實施例中，控制單元800更構造成包括預測誤差振幅之至少一者緩慢改變漂移的步驟C。在一具體實施例中，控制單元800更構造成包括預測誤差振幅之至少一者快速改變動態變化的步驟D。

【0085】 在一範例中，控制單元800的組態包括步驟G的執行：在一系列影像斑塊中的一第一影像斑塊的影像掃描時間間隔 T_{s1} 中，提供該組動態控制信號給快速作用補償器。

【0086】 在一範例中，控制單元800的組態包括步驟F的執行：在一系列影像斑塊中的一第一影像斑塊的第一影像掃描與第二影像斑塊的第二後續影像掃描間之時間間隔 T_r 中，提供該組漂移控制信號給緩慢作用補償器。時間間隔 T_r 定義為晶圓載台500從第一影像斑塊的第一中心位置，移到通過用多重射束帶電

粒子顯微鏡1掃描成像所要獲得的第二後續影像斑塊之第二中心位置所需之時間間隔。在一範例中，控制單元800的組態包括步驟F的執行：在一個影像斑塊的一個影像掃描時間間隔 T_s 中，提供該組漂移控制參數給緩慢作用補償器。

【0087】 在一範例中，控制單元800的組態包括在至少一重疊時間間隔內，影像斑塊的影像掃描時間間隔 T_{s1} 或 T_{s2} 中執行步驟G，該時間間隔與用於載台移動的時間間隔 T_r 重疊。在一範例中，至少一重疊時間間隔係用於晶圓載台加速的時間間隔 T_u 之至少一部分，或者用於晶圓載台減速的時間間隔 T_d 之至少一部分，或者這兩個時間間隔。

【0088】 本發明的一具體實施例為執行晶圓檢測任務的多重子射束帶電粒子顯微鏡系統1之操作方法，及用於這種晶圓檢測任務之軟體產品。執行晶圓檢測任務的方法包括執行前述步驟A至G的軟體程式碼，在下面的圖7中進一步更詳細解釋該方法。

【0089】 在本發明的一具體實施例中，用於晶圓檢測的多重子射束帶電粒子顯微系統1因此具有多種措施來補償漂移、動態效應以及殘留和不需要的載台移動。範例例示於圖6內。使用與先前圖式中相同的參考編號並且參考先前的圖式。用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡（1）包括用於產生複數個一次帶電粒子子射束（3）的帶電粒子多重子射束產生器（300），以及包括第一偏轉系統（110）來使用複數個一次帶電粒子子射束（3）掃描配置在物平面（101）中晶圓表面（25），以產生從晶圓表面（25）發射的複數個二次電子子射束（9）之物體照射單元（100）。複數個二次電子子射束（9）由具有投影系統（205）和用於將複數個二次電子子射束（9）成像到影像感測器（207）上的第二偏轉系統（222）之偵測單元（200）成像，並在使用期間擷取晶圓表面（25）的第一影像斑塊（17.1）之數位影像。多重射束帶電粒子顯微鏡（1）更包括具有載台位置感測器（520）的晶圓載台（500），用於在擷取第一影像斑塊（17.1）的數位影像期間將晶圓表面（25）定位和維持在物平面（101）中。

【0090】多重射束帶電粒子顯微鏡1包括一組補償器，其包括至少第一和第二偏轉系統(110、222)，以及緩慢作用補償器，例如磁性元件或機械致動器。在一範例中，緩慢作用補償器包括晶圓載台500。該組補償器更包括一組快速作用補償器(132、232、332)，例如靜電元件或低質量的機械致動器。多重射束帶電粒子顯微系統1設置有包括載台位置感測器(520)和影像感測器(207)的複數個偵測器，構造成在使用期間產生複數個感測器資料。複數個感測器資料包括由載台位置感測器(520)提供的樣品載台(500)之位置和方位資料。

【0091】多重射束帶電粒子顯微鏡1更包括控制單元(800)，其中控制單元(800)構造成從複數個感測器資料中產生第一組P控制信號 C_p ，以在擷取第一影像斑塊(17.1)的數位影像期間控制該組補償器，使得在使用期間實現操作控制並且在一系列影像斑塊的影像擷取期間保持前述規範。

【0092】在載台500的載台移動期間，載台移動由載台位置感測器520監控。載台位置感測器520在本領域中為已知，並且可包括雷射干涉儀、光柵感測器或共焦透鏡陣列感測器。在一系列影像斑塊中一個影像斑塊的影像掃描時間間隔 T_s 期間，晶圓載台500的相對位置較佳以高穩定性控制在，例如低於1 nm，較佳低於0.5 nm。如上所述，在第一和第二後續影像斑塊的第一與第二影像掃描之間，載台500由控制單元800觸發，以從第一檢測部位移到第二檢測部位。在第二檢測部位處，定義新的局部晶圓坐標系統，並且載台500由載台控制模組880控制以位於其預測位置，並且以高穩定性控制與視線的相對位置。載台位置感測器520以低於1 nm、較佳低於0.5 nm的精度，在六個自由度上測量載台位置和移動。在範例中(未示出)，載台位置感測器520直接連接到載台控制模組880，用於直接反饋迴路以控制載台位置和移動。然而，這種對具有高質量的晶圓載台之直接反饋迴路和控制通常很慢，並且在影像掃描期間不能提供足夠的準確度。反饋迴路可能會導致不必要的載台抖動或滯後。根據本發明的具體實施例，載台位置感測器520因此連接到控制單元800的感測器資料分析系統818。

【0093】 根據具體實施例的範例，控制單元（800）更包括影像資料擷取單元（810），其構造成在使用期間將來自影像感測器（207）的影像感測器資料減少到例如小於影像感測器資料的10%之影像感測器資料部分，並將影像感測器資料部分提供給該感測器資料分析系統（818）。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的影像資料擷取單元810。大量影像資料並未直接用於監測多重射束帶電粒子顯微系統1的影像操作。影像資料串流的一小部分從影像資料串流分支出來，並且影像感測器資料部分被引導到感測器資料分析系統818。例如，影像資料擷取單元810構造成用於將在複數個帶電粒子子射束的預定掃描位置處產生的二次帶電粒子信號子集分支(branch off)，或擷取在掃描帶電粒子射束3的反跳期間產生之信號並轉發到感測器資料分析系統818。預定掃描位置例如可為掃描線子集的行起始位置，例如每第五條掃描線，或者每一者的中心位置。在一範例中，一次帶電粒子子射束子集的影像資料，例如僅在束斑位置5.11處的一個子射束（參見圖2），用於產生影像感測器資料部分。US 9,530,613，其以引用的方式併入本說明書，顯示配置在外圍以提供用於控制多重射束帶電粒子顯微鏡的感測器信號之一次帶電粒子子射束專用子集的範例。US 9,536,702，其以引用的方式併入本說明書，顯示將多個子場中每一者的影像資料專用子集分支，以用於產生即時取景圖像的範例。即時取景影像資料的至少一部分可套用當成影像感測器資料部分。通過將來自帶電粒子子射束的預定子集之信號分支，或通過使用帶電粒子子射束的預定掃描位置處之信號，轉發到感測器資料分析系統818的影像感測器資料部分顯著減少到約小於2%、小於1%、較佳小於0.5%、甚至更佳小於0.1%或甚至小於0.01%的影像資料串流。在一具體實施例中，影像感測器207包括第一、慢且高解析度影像感測器和第二、快速影像感測器，如上文結合圖1所述。在此具體實施例中，影像感測器資料部分由第一緩慢影像感測器提供的感測器資料形成，影像資料擷取單元

810構造成將第一緩慢影像感測器提供的感測器資料提供給感測器資料分析系統818，並將第二快速影像感測器的感測器信號提供給影像拼接單元812。

【0094】 影像感測器資料部分和來自載台感測器520的載台位置資料在感測器資料分析系統818中組合。感測器資料分析系統818分析來自影像感測器207的影像感測器資料部分以及來自載台感測器520的位置資訊，並擷取晶圓載台相對於複數個一次帶電粒子子射束3的實際影像坐標系統之位置資訊，如在圖3的範例中所解釋。

【0095】 多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的控制單元（800）包括感測器資料分析系統（818），其構造成從複數個感測器資料推導出長度為 L 的感測器資料向量 DV 並分析該感測器資料向量 DV ，並從該感測器資料向量 DV 中擷取誤差函數，例如影像位移、影像旋轉、焦點位置變化和影像平面傾斜。感測器資料分析系統818構造成在使用期間計算 K 個誤差向量的 K 個振幅 A_k 之集合，其中 $K \leq L$ 。通常，感測器資料分析系統818構造成分析複數個感測器信號，並且通過本領域已知方法將多個傳感器信號分解成一組正常化誤差函數，例如通過該組正常化誤差函數對複數個感測器信號的擬合操作(fit operation)。

【0096】 控制單元（800）更包括一控制操作處理器（840），用於從誤差向量的振幅 A_k 之集合來計算第一組控制信號 C_p 。在像斑5的橫向位移之動態變化範例中，控制操作處理器840構造成推導出用於誤差振幅的動態變化之校正或控制信號。控制單元（800）構造成通過計算第一組控制信號 C_p 的至少一控制信號並將其提供給第一和第二偏轉系統（110、222），以補償晶圓載台（500）的位置或方位變化。來自影像感測器207的感測器資料與來自載台位置感測器520的資訊同步並組合。在檢測部位處之局部晶圓坐標系統與由視線定義的影像坐標系統間之相對橫向位移向量55由感測器資料分析系統818推導出。控制操作處理器840構造成提供校正或控制信號給偏轉控制模組860，該模組控制多重子射束帶電粒子顯微系統1的偏轉系統110(例如靜電掃描偏轉器)的操作。結果，第一偏轉系統110控制一次帶電粒子子射束3的掃描操作與晶圓載台500在橫向方向上

（此處為x和y方向）的非所要動態變化同步。同時，偏轉控制模組860另控制第二偏轉系統222的操作，使得影像感測器207上的複數個二次電子子射束9之位置保持恆定。從而，控制單元800構造成通過第一和第二偏轉系統110和222修正一次和二次帶電粒子子射束的掃描操作，以補償載台500的位置在橫向方向上之動態變化，並且具有高影像傳真度和高影像對比度的影像擷取在晶圓檢測任務的要求或規範內保持良好。因此，控制單元800構造成計算至少一額外電壓信號並施加到一次帶電粒子射束路徑13中的偏轉系統110，用於在使用期間產生複數個一次帶電粒子子射束3的額外位移或旋轉，用於至少部分補償載台相對於視線的橫向位移或旋轉。因此，控制單元800構造成計算至少第二額外電壓信號並施加到二次電子射束路徑11中的束偏轉器222，以在調整掃描期間，至少部分補償源自複數個一次帶電粒子子射束3的束斑5之複數個二次電子子射束的額外位移或旋轉。

【0097】 接下來，例示誤差函數的範例，其中晶圓載台500往垂直或z方向漂移。多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的補償器組包括帶電粒子多重子射束產生器（300）的補償器（332）、物體照射單元（132）的快速補償器以及偵測單元（200）的補償器（230、232）之至少一者。再次，影像感測器資料部分由感測器資料分析系統818與來自載台位置感測器520的載台位置資料一起分析。感測器資料分析系統818分析來自影像感測器207的影像感測器資料部分以及來自載台感測器520的位置資訊，並擷取晶圓相對於實際掃描位置以及複數個一次帶電粒子子射束3的視線之位置資訊。控制操作處理器840擷取用於多個一次和二次帶電粒子子射束3和9的聚焦控制之控制信號。控制單元800的控制操作處理器840因此經由一次射束路徑控制模組830連接到多重子射束產生器300的至少一快速補償器332，例如一次帶電粒子射束路徑13的靜電聚焦透鏡，像是靜電場透鏡308（見圖1）或物體照射單元的快速補償器132，其控制複數個一次帶電粒子子射束3的焦點位置。控制操作處理器840另連接至投影系統控制模組820，以控制偵測單元200的至少一快速補償器232，例如靜電聚焦透鏡206（見圖1），使

得影像感測器207上複數個二次電子子射束9的聚焦位置保持恆定。藉此，一次射束路徑控制模組830和投影系統控制模組820在垂直或z方向上補償載台500的載台漂移，並且在晶圓檢測任務的要求或規範內保持良好具有高對比度和高解析度的影像擷取。

【0098】 在一範例中，多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的感測器資料分析系統（818）構造成預測誤差向量中振幅 A_k 的集合內至少一振幅 A_n 之時間發展。一些成像透鏡，例如物鏡102或分射束器元件420（見圖1），為磁性元件，其引起一次和二次電子子射束3和9的束路徑旋轉。靜態影像旋轉或影像旋轉的漂移通過例如物體照射單元100的磁性聚焦元件來補償。控制單元（800）更構造成產生第三信號，用於通過晶圓載台（500）在物平面（101）中定位晶圓表面（25），用於第二影像斑塊（17.2）的數位影像之影像擷取，並且其中控制單元（800）更構造成提供來自複數個感測器資料的第二組漂移控制信號，以在將晶圓載台（500）定位到第二影像斑塊（17.2）的位置期間控制該組補償器。在一範例中，控制操作處理器840連接到一次射束路徑控制模組830。一次射束路徑控制模組830連接到物體照射單元100的至少一緩慢補償器130或分射束器400的磁性元件430（見圖1），以校正該組一次帶電粒子子射束3旋轉的漂移或緩慢變化部分。在一範例中，靜態影像旋轉另通過影像感測器207的預定旋轉來補償。控制操作處理器840進一步連接到投影系統控制模組820，其控制二次電子射束路徑的緩慢補償器230，例如是磁透鏡。然而，磁性元件僅可以有限的速度補償旋轉的漂移部分。

【0099】 在一範例中，帶電粒子多重子射束產生器（300）更包括一快速補償器（332），且該控制單元（800）構造成通過計算並提供第一組控制信號 C_p 的控制信號至少之一者給快速補償器（332），以引起複數個一次帶電粒子子射束的旋轉，以補償晶圓載台（500）的旋轉。例如，晶圓載台旋轉的動態變化導致複數個一次帶電粒子子射束相對於晶圓載台的預定方位快速變化和偏離。在該範例中，運用高速補償旋轉的動態變化。控制操作處理器840連接到一次射

束路徑控制模組830。一次射束路徑控制模組830更連接到多重子射束產生器300的快速補償器332，例如主動式多重孔板306.3（見圖1），在此範例中，其包括靜電偏轉器陣列以個別且快速地偏轉每個一次帶電粒子子射束，以補償一次子射束3的集合相對於局部晶圓坐標系統的旋轉之非想要動態變化。投影系統控制模組820連接到偵測單元200的快速補償器232，其包括例如具有靜電偏轉器陣列的第二多重孔板，以補償複數個二次電子子射束9的非所要旋轉動態變化。藉此，補償一系列影像間距中一影像間距進行影像掃描期間的影像旋轉，並且在晶圓檢測任務規範之內良好保持高影像傳真度和影像對比度。

【0100】 在一範例中，載台位置感測器520包括位置和旋轉靈敏度感測器，例如用於x軸和y軸每一者的雙干涉儀。

【0101】 在一範例中，在晶圓載台從第一影像斑塊移到第二影像斑塊的時間間隔 T_r 期間，執行晶圓載台旋轉的補償，如上文結合圖5a和圖5c所述。因此，可提高通量。

【0102】 在一具體實施例中，控制操作處理器840進一步連接到影像拼接單元812。影像拼接單元812接收來自影像資料擷取單元810的大影像資料串流，並通過資料串流的時序反捲積(deconvolution)和影像子場27的影像拼接，以將影像資料串流轉換為2D影像，以獲得一個影像斑塊17（見圖2）。幾個影像斑塊，例如第一和第二影像斑塊17.1和17.2，縫合在一起，以獲得晶圓表面25的區域之2D影像表示。為了補償例如通過載台抖動和晶圓7相對於影像坐標系統的快速旋轉的快速影像旋轉，控制操作處理器840構造成在掃描期間擷取多個像斑5的剩餘旋轉，並將像斑5的剩餘旋轉饋送到影像拼接單元812。影像拼接單元812構造成通過已知的數位影像處理方法補償像斑5的剩餘旋轉，以從具有高影像傳真度的一個影像斑塊之資料串流中獲得2D影像。最終影像進行最終壓縮，並儲存影像資料記憶體814中。

【0103】 在一範例中，控制單元800的控制操作處理器840構造成通過同時漂移和動態補償，以補償影像旋轉。由於設置為偏轉器陣列的多重孔板對影像

旋轉的補償範圍有限，因此可通過包括磁透鏡的漂移補償器（130、230、330）連續改變緩慢變化的漂移偏移，從而通過在一次帶電粒子射束路徑13和二次電子射束路徑11中設置為偏轉器陣列的多重孔板，以減少並實現快速變化動態補償的範圍。

【0104】 接著，說明在相對於晶圓表面傾斜的像平面中形成多個像斑5之誤差函數範例。在此範例中，控制操作處理器840推導出用於校正影像傾斜的信號，該信號被轉發到一次射束路徑控制模組830。一次射束路徑控制模組830構造成控制多重子射束產生器300的快速補償器332，例如主動式多重孔板306（見圖1），其改變每個一次帶電粒子子射束3的焦點位置，以有效實現複數個束斑5的傾斜焦平面表面。藉此，即使晶圓載台500傾斜或改變其傾斜角，每個一次帶電粒子子射束3也聚焦在晶圓表面25處。控制操作處理器840進一步連接到投影系統控制模組820，其控制偵測單元200的快速補償器232，其包括例如多孔徑校正器220。偵測單元200的快速補償器232校正每一或二次電子子射束9的焦點位置，使得束斑15在影像感測器207處的焦點位置內保持恆定。因此，控制操作處理器840、一次射束路徑控制模組830和投影系統控制模組820構造成補償影像傾斜，並且在整個影像斑塊17中保持具有高對比度和高解析度的影像擷取。

【0105】 在本發明的一範例中並且與前述範例類似，在控制單元800內載台位置感測器520與第一偏轉系統110之間提供直接反饋迴路，並且控制單元800構造成接收來自載台位置感測器520的載台位置信號，並將至少一第一偏移信號提供給第一偏轉系統110，以通過控制第一偏轉系統110來補償晶圓載台500的移動以及與晶圓載台500的目標位置之偏差。控制單元800更構造成提供至少相應第二偏移信號給第二偏轉系統222。因此，提供晶圓載台的位置誤差或移動的快速補償並且增加通量，同時保持晶圓檢測任務的要求規範。

【0106】 上面描述的範例當然不僅只是獨立發生，而且還同時發生。前述裝置與誤差校正方法不限於前述範例。控制操作處理器840構造成針對一組成像偏差的一組誤差振幅，通過如上所述的直接反饋或預測校正或基於模型的校

正，同時推導出控制信號。在一範例中，投影系統控制模組820進一步連接到樣品電壓源503，以控制用於擷取二次帶電粒子的擷取場，從而控制二次電子的收集效率，進而也控制二次電子子射束9的強度以及二次電子的動能。動能對應影響其他幾個屬性，例如影像對比度。在一範例中，投影系統控制模組820連接到偵測單元200的另外主動元件230和232，例如第三偏轉系統218，或校正器，例如多極透鏡216（見圖1）。在一範例中，二次電子射束路徑的感測器238向感測器資料分析系統818，例如孔徑元件上的感測器，提供額外感測器信號。在一範例中，多極感測器配置在孔徑元件214的圓周中，該元件位於二次帶電粒子射束路徑11（見圖1）的交叉點212處。利用多極感測器提供的信號，測量二次帶電粒子射束路徑11的遠心條件。在另一範例中，帶電粒子顯微鏡1中包括諸如射束轉向多重孔板390（見圖1）的主動和快速元件，例如用於複數個一次帶電粒子子射束3的遠心校正。射束轉向多重孔板390連接到一次射束路徑控制模組830，其通過控制操作處理器840接收控制信號。在一範例中，感測器138包含在物體照射單元100內，其提供額外感測器信號給感測器資料分析系統818，例如孔徑元件附近或多重孔板上的感測器。在範例中，其包括線圈陣列，以測量不同方位的電磁噪訊。在一範例中，一次射束路徑控制模組830連接到來源301，並且構造成控制來源301提供的電源或帶電粒子量。因此，在一組影像斑塊的一系列影像掃描中保持恆定的帶電粒子量。在一範例中，諸如加速度計或陀螺儀之類的振動感測器連接到帶電粒子顯微鏡的元件，例如晶圓載台500。振動感測器測量振動，並將信號提供給感測器資料分析系統818。溫度感測器，例如磁性透鏡中或冷卻流體回流中的溫度感測器，提供系統元件狀態和某些影像品質的大約預期漂移行為之指標。例如，可在測試樣品的模擬檢測任務中校準所有感測器信號，以提供晶圓檢測任務的代表性感測器資料。代表性感測器資料可用於設置感測器資料向量，並從實際晶圓檢測任務的感測器資料向量中擷取正常化誤差向量的振幅。

【0107】通常，控制單元800的控制操作處理器840構造成從誤差振幅推導出校正信號，以補償誤差函數的緩慢變化發展，例如載台500的緩慢漂移。控制操作處理器840從誤差振幅的動態變化推導出用於動態變化的快速補償校正策略，並將控制信號分配給一次子射束控制模組830、投影系統控制模組820和偏轉控制模組860，以補償誤差振幅的快速或動態變化，例如載台500的快速振動。誤差振幅的漂移和動態變化由控制單元800的感測器資料分析系統818計算，並且可基於外推法或基於模型控制直接推導出。校正策略可遵循查找表(look up table)，或通過線性分解將誤差振幅分解為由帶電粒子顯微鏡1的不同主動元件提供的預定校正函數。因此，控制操作處理器840另監視帶電粒子顯微鏡1的主動元件之實際狀態和狀態變化。在一範例中，控制操作處理器840構造成累積提供給主動元件的控制信號之歷史，例如二次電子路徑主動元件230、232、一次射束路徑主動元件330和332、偏轉系統110或222，並且從而預測帶電粒子顯微鏡1的主動元件之實際狀態。

【0108】本發明的一個態樣為推導出誤差向量，以及驅動補償器的驅動信號，以在多重射束帶電粒子顯微鏡的使用期間最佳化影像品質參數，如圖1結合圖6所示。該態樣例示在一次射束路徑處，類似的考慮適用於偵測單元200的元件。在圖1和圖6中，例示帶電粒子顯微鏡的一次射束路徑元件的典型子集，具有帶電粒子源301、第一和第二準直透鏡303.1和303.2、第一和第二主動多重孔板配置306.1和306.2（僅示出一個）、第一場透鏡308、第二場透鏡307、第三場透鏡103.1和第四場透鏡103.2、射束轉向多重孔板390、第一和第二物鏡102.1和102.2（僅示出一個）以及樣品電壓源503和載台500。控制單元800構造成在使用期間向所有這些元件提供至少一控制信號，例如電壓或電流或兩者。多孔徑配置提供有多種電壓，例如對於複數個一次帶電粒子子射束之每一者至少有個別的電壓。對於具有100個一次帶電粒子子射束的多重子射束帶電粒子顯微鏡系統，在使用過程中將大約50種不同的驅動信號施加到全局元件，並將大約200到800種不同的電壓施加到每個多孔徑配置，並且單一電壓或電流的數量可超過一

次帶電粒子射束數量約10倍。在根據本發明具體實施例的多重射束帶電粒子顯微系統之操作之前，根據晶圓檢測任務的規範定義一組影像品質。某些規範描述如上。該組影像品質形成影像品質向量，並且影像品質的偏差量對應於誤差向量的振幅。為方便起見，對該組誤差向量進行正常化，以形成一組正常化的誤差向量。例如通過模擬或通過校準測量來確定靈敏度，即確定一組成像品質相對於施加到一次射束路徑的每組元件中每個元件的驅動信號之變化量。例如，在校準測量中，代表性感測器資料集由一組感測器或偵測器測量，並且為每個靈敏度產生感測器資料向量。形成一次射束路徑的元件靈敏度之靈敏度矩陣。靈敏度矩陣相對於與晶圓檢測任務相關的該組成像品質形成多重射束帶電粒子顯微鏡的線性擾動(linear perturbation)模型，並且通常並非正交。靈敏度矩陣例如通過奇異值(singular value)分解或類似演算法進行分析，對於每種影像品質，至少選擇一組驅動信號作為補償器的控制信號，用於補償影像品質的偏差或像差，從而減少相應誤差向量的振幅。在一範例中，通過將矩陣拆分為兩個、三個或更多個核心或獨立靈敏度核心的子集，對應於影像品質集合的特定子集，以分解靈敏度矩陣。從而降低計算複雜度，並減少非線性效應或高階效應。

【0109】 在一範例中，靈敏度矩陣的至少一核心取決於多重射束帶電粒子顯微鏡的溫度。例如，多重射束帶電粒子顯微鏡的筒身或筒身元件的溫度變化導致焦點漂移、放大率漂移或像散漂移。多重射束帶電粒子顯微鏡中提供的偵測器包括溫度偵測器，例如在冷卻水中或附接到機械部件、多重孔板或磁性元件內部的溫度感測器。藉此，可在多個代表性溫度下執行靈敏度矩陣的各個核心的正交化，並且使用溫度校正的靈敏度矩陣，以根據溫度信號計算補償器的相應驅動信號。實際溫度的考慮以及溫度校正的靈敏度矩陣和相應驅動信號的應用，與如下所述多重射束帶電粒子顯微系統的重複校準步驟特別相關。在簡化的範例中，減少多個溫度感測器，並且根據多重射束帶電粒子顯微鏡系統的操作歷史預測預期溫度。

【0110】 在一範例中，為快速補償器選擇驅動信號的第一基組，例如包括靜電補償器和偏轉器，像是多重射束產生器的快速補償器332、第一偏轉系統110、物體照射單元100的快速補償器132，並且為包括例如磁性元件的緩慢作用補償器，像是圖6中物體照射單元130的緩慢補償器，選擇驅動信號的第二基組。在一範例中，驅動信號的每一基組因此最小化到驅動信號之最少數量，從而減少各個元件的控制運算子之數量，縮短計算時間，並且影像品質的集合可控制在晶圓檢測任務的需求規範之內。

【0111】 每個驅動信號基組儲存在控制單元800的記憶體中，例如儲存在一次射束路徑控制模組830的記憶體中。控制操作處理器840從一組誤差向量的振幅中推導出一組控制信號。一次射束路徑控制模組830例如通過與由控制操作處理器840計算的控制信號集相乘(multiplication)，從驅動信號基組推導出驅動信號集。二次射束路徑控制模組820例如通過與由控制操作處理器840計算的控制信號集相乘，從驅動信號基組推導出驅動信號集。

【0112】 因此，一種準備用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡之操作方法包括定義一組影像品質和一組或正常化誤差向量，該向量描述與感測器資料向量相結合的一組影像品質之偏差。根據前述晶圓檢測任務的成像規範，確定一組用於該組或正常化誤差向量振幅的臨界，以及執行多重射束帶電粒子顯微鏡的一組補償器之預選擇。該組補償器包括用於掃描和偏轉複數個一次帶電粒子的該多重射束帶電粒子顯微鏡之第一偏轉系統，及用於掃描和偏轉在該多重射束帶電粒子顯微鏡使用期間所產生複數個二次電子之第二偏轉系統。準備用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡之操作方法更包括：根據線性及/或非線性擾動模型，通過改變用於該組補償器中每一個補償器的至少一驅動信號，以確定靈敏度矩陣。該靈敏度矩陣例如通過奇異值分解或類似演算法來分析。在一範例中，該靈敏度矩陣通過分成影像品質的兩個、三個或更多個內核或獨立子集來分解。從而降低計算複雜度，並減少非線性效應或高階效應。準備用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡之操作方法更包括推導一組正常化驅動

信號，以補償該組正常化誤差向量中之每一者。正常化誤差向量、正常化驅動信號和臨界組儲存在多重射束帶電粒子顯微鏡控制單元的記憶體中，形成預定誤差向量和預定驅動信號。

【0113】 在使用期間，例如在晶圓檢測期間，多重射束帶電粒子顯微鏡的操作方法更包括從多重射束帶電粒子顯微鏡的複數個感測器接收複數個感測器資料來形成感測器資料向量之步驟。在一範例中，複數個感測器資料包括在使用多重射束帶電粒子顯微鏡檢測期間用於維持晶圓的晶圓載台實際位置與實際速度之位置或速度資訊之至少一者。用於產生複數個感測器資料的該組感測器準備並構造成使得可明確推導出預定誤差向量，並且在使用期間，從感測器資料向量推導出一組正常化誤差向量的實際振幅，代表多重射束帶電粒子顯微鏡影像品質的實際狀態。例如通過與控制信號相乘，從該組實際振幅中推導出一組控制信號，並且從該預定正常化驅動信號中推導出一組實際驅動信號。控制單元控制多重射束帶電粒子顯微鏡的補償器，並提供該組實際驅動信號給補償器組，使得一組實際振幅保持在該組臨界以下，並且晶圓檢測任務的操作良好地保持在成像規範之內。在圖7中，更詳細解釋根據本發明具體實施例的操作方法。圖1-6中相同的參考編號用於說明。針對晶圓檢測，多重射束帶電粒子顯微鏡（1）包括複數個偵測器，該等偵測器包括一影像感測器（207）和一載台位置感測器（520），以及一組補償器，該組補償器包括至少第一和第二偏轉系統（110、222）。在多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的控制單元800之記憶體中，儲存誤差向量振幅的臨界和至少一組正常化驅動信號。

【0114】 在第一步驟SR中，例如由操作員登錄晶圓檢測任務或由外部操作系統提供指令。載入的晶圓在多重射束帶電粒子顯微鏡系統1的預定全局晶圓坐標系統中對齊和登錄。晶圓檢測任務包括一系列檢測部位（例如圖2的33、35）。從一序列檢測部位，產生至少在第一和第二檢測部位33和35處的多個晶圓區域中一系列影像擷取任務。至少一檢測部位可包括至少第一和第二成像斑塊17.1和17.2。橫向尺寸PX的每個成像斑塊通過配置在光柵陣列中的複數個一次帶電

粒子子射束3，成像在多重射束帶電粒子顯微鏡1內，其中複數個一次帶電粒子子射束2中每一者掃描過橫向尺寸SX的每個子場31。由複數個一次帶電粒子子射束3掃描的多個子場拼接在一起，以形成影像斑塊17。子場的橫向尺寸SX通常為10 μm或更小，一個影像斑塊17的影像尺寸PX通常為約100 μm或更大。一次子射束3的數量通常為10×10個子射束或甚至更多重子射束，例如300個子射束或1000個子射束。較佳的光柵組態為例如六邊形光柵、矩形光柵、具有配置在至少圓形上的子射束之圓形光柵，但是其他光柵組態也是可能的。

【0115】 影像斑塊17.1和17.2的第一和第二斑塊中心位置21.1和21.2係根據檢測任務清單計算，該清單包括晶圓表面上檢測部位33的位置和檢測任務的區域。如果檢測部位區域的橫向尺寸超過影像斑塊，則檢測部位區域劃分為至少兩個影像斑塊17.1、17.2，具有至少第一和第二斑塊中心位置21.1、21.2。第一和第二中心斑塊位置21.1、21.2在晶圓坐標中進行轉換，並且相對於全局晶圓坐標系統定義第一和第二局部晶圓坐標系統。藉此，產生用於擷取相應影像斑塊17.1和17.2的多個局部晶圓坐標系統清單。

【0116】 應理解，每次通過第一和第二成員只是用來舉例解釋多個成員，該等複數個成員還可包含兩個以上的成員，例如一個檢測任務可包含多個50、100或更多個檢測部位，並且每個檢測部位可包含多個2、4或更多個影像斑塊。

【0117】 在步驟S1中，多重子射束帶電粒子顯微系統的狀態例如根據操作歷史或從多重子射束帶電粒子顯微系統1的初始化來確定。如果提供相應的觸發信號，則多重子射束帶電粒子顯微系統1的初始化可包括系統校準。複數個帶電粒子子射束3中選定的子射束可用於系統校準。附接到晶圓載台500或第二計量載台上專用支架的至少一參考樣品可用於系統校準，及用於確定帶電粒子顯微鏡和晶圓載台位置的視線53。不同位置處的兩或多個參考樣品可用於校準不同影像性能函數，例如放大率、失真或像散。

【0118】 步驟S0包括以多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的視線，定位晶圓的晶圓表面（25）並與局部晶圓坐標系統（551）的位置對準。晶圓定位在多重

子射束帶電粒子顯微鏡1的光軸或視線53下方並與下一局部晶圓坐標系統551對齊。下一局部晶圓坐標系統551可為來自步驟SR中產生的局部晶圓坐標系統清單中的一第一或任何後續局部晶圓坐標系統551。

【0119】 觸發晶圓載台500以移動晶圓，使得局部晶圓坐標系統551與帶電粒子顯微鏡的視線53對準。借助於在晶圓表面上形成或可見的圖案，選擇性執行通過移動晶圓載台對每個局部晶圓坐標系統的對準。當以視線53當成多重射束帶電粒子顯微鏡1中z軸的影像坐標系統51與晶圓局部坐標系統551間之差異向量低於臨界時，停止調整。差異向量55例如是包括用於載台移動的六個自由度之向量，其包括位移和旋轉或傾斜。對於微調，差異向量在橫向上小於50 nm甚至更小，在視線或聚焦方向可小於100 nm。影像在z軸上旋轉的臨界通常為0.5毫弧度，並且相對於x-y平面影像坐標系統的傾斜臨界通常為1毫弧度。微調可包括至少一檢測部位的成像步驟，以及載台移動的幾次重複。

【0120】 在本發明的一具體實施例中，選擇晶圓檢測任務的快速操作模式，並且對精度調整的要求放寬，並且臨界增加2倍或甚至10倍或甚至更多，並且量超過臨界的剩餘差異向由多重射束帶電粒子顯微鏡1的該組補償器進行補償。為此，控制單元800產生多個偏移誤差向量振幅，並提供給下面的步驟S2。

【0121】 在步驟S1中，執行影像擷取以擷取晶圓表面(25)的第一影像斑塊(17.1)之數位影像，並且收集來自複數個偵測器的複數個偵測器資料。執行來自一系列檢測部位的檢測任務。步驟S1包括至少：

在步驟 S1-1 中，影像擷取處理從第一影像斑塊 17.1 的掃描成像開始。每個影像斑塊 17 較佳利用根據步驟 S0 調整成與多重射束帶電粒子顯微鏡 1 的視線 53 重合之載台 500 成像，或利用如上所述以低速移動的載台成像。在步驟 S1-2 中，與步驟 S1-1 並行，由複數個偵測器產生複數個感測器資料。複數個偵測器包括至少載台位置感測器 520 和影像感測器 207。在一範例中，複數個偵測器更包括多重子射束帶電粒子顯微鏡的其他偵測器，例如偵測器 238 和 138，其在影像擷取期間產生感測器資料。複數個感測

器資料另可包括施加到靜電和磁性元件的電流或電壓。提供感測器資料的其他感測器範例為例如溫度感測器，例如監控冷卻流體或磁性元件中溫度的溫度感測器。

【0122】 步驟S1-1的成像包括在複數個一次帶電粒子子射束3與晶圓表面25相互作用的位置處，產生複數個二次電子之集合。由二次電子形成複數個二次電子子射束9。複數個二次帶電粒子子射束9中每一者分開偵測，從而獲得在相應局部晶圓坐標系統551處的影像斑塊17之數位影像。

【0123】 在步驟S2期間，在感測器資料分析系統818中評估複數個感測器資料。步驟S2包括至少：

在 S2-1 中，將來自不同感測器的複數個感測器資料與實際時間 T_a 時長度為 L 的感測器資料向量 $DV(i)$ 結合，以及在長度為 L 的 K 預定誤差向量 $E_k(i)$ 集合中擴展感測器資料向量 $DV(i)$ 。預定誤差向量 $E_k(i)$ 的集合代表影像擷取的影像品質參數集合之偏差，如上所述。計算該組預定誤差向量 $E_k(i)$ 的一組 K 誤差振幅 A_k 使得

$$DV(i) = \sum_k A_k \cdot E_k(i) + \varepsilon$$

其中剩餘誤差向量低於預定臨界。在計算誤差振幅 A_k 期間，考慮步驟 S0 內產生的多個偏移誤差向量振幅或偏移誤差向量振幅的預測時間行為。在一範例中， K 的大小為 6，代表晶圓局部坐標系統與視線之間差異的六個自由度，但一般情況下， K 大於 6，例如誤差向量集合包括 $K = 14$ 個誤差向量，其包括晶圓載台位置、局部晶圓坐標系統和視線、放大倍數變化、變形失真變化、像散、場曲、三階失真和色差的六個自由度差異。通常， K 與 L 相比較小，即 $K < L$ 。形成感測器資料向量 $DV(i)$ 的感測器資料之數量 L 可為 10 或更多，但 L 較佳為較小數量，以提高計算速度，例如 $K < L < 4K$ 。例如，如果 $K = 14$ ， L 較佳低於 50。通過將複數個感測器資料減

少到已減少長度 L 的錯誤向量和 K 誤差向量振幅，如此減少資料量，並且增加計算時間。

在 S2-2 中，根據多重射束帶電粒子顯微鏡在預測時間間隔內的預期發展，以預測該組實際振幅的至少一子集之發展振幅子集。推導出 n 個誤差振幅 A_n 的至少一子集之時間發展，並且誤差振幅的子集被認為是時間相關函數 $A_n(t)$ 。在實際時間 T_a 之後的預測時間間隔內，誤差振幅 $A_n(t > T_a)$ 的時間發展之推導範例是從誤差振幅 $A_n(t < T_a)$ 的歷史外推，通過如前述的線性或更高階外推。因此，在使用期間，記錄多重射束帶電粒子顯微鏡的該組實際振幅的至少一子集，以用於產生該組實際振幅的子集歷史。誤差振幅 $A_n(t > T_a)$ 的時間發展推導之另一範例為誤差振幅 $A_n(t)$ 的歷史到一組預定模型函數 $M_n(t)$ 的近似。

在 S2-3 中，誤差振幅 $A_n(t)$ 的至少一子集之時間發展分成振幅的時間發展中之漂移部分 $S_n(t)$ 和動態變化 $N_n(t)$ ， $A_n(t) = S_n(t) + N_n(t)$ 。

【0124】 在一範例中，預定誤差向量包括在一次帶電粒子射束路徑中引入的影像像差。一次帶電粒子射束路徑中的像差包括諸如放大誤差之類的失真、諸如梯形失真之類的變形失真或三階和更高階失真。其他像差為例如場曲、像散或色差。

【0125】 在一範例中，預定誤差向量包括在二次電子射束路徑11中引入的影像像差。二次電子射束路徑11中的像差例如降低二次電子的收集效率，並且例如導致降低的影像對比度和增加的噪訊。

【0126】 在一範例中，複數個感測器資料與感測器資料向量 $DV(i)$ 的組合包括計算複數個感測器資料的差值，例如多重射束帶電粒子顯微鏡的視線之位置座標與載台位置感測器的位置和方位資料間之差值。

【0127】 在一範例中，濾波器應用於誤差振幅 $A_n(t)$ 的時間發展中的至少一者，使得從誤差振幅 $A_n(t)$ 的時間發展中減去所選誤差振幅的特定特徵。因此，

減去不影響影像品質的誤差振幅 $A_n(t)$ 之時間發展中特定特徵並且減少控制操作的量。

【0128】 在一範例中，該組或誤差向量是從多重射束帶電粒子顯微鏡中可用的一組補償器能力所推導出，使得該組或誤差向量可通過控制該組補償器的致動來補償。在一範例中，一組可能的誤差向量係從成像實驗中得出，多重射束帶電粒子顯微鏡設置有一組能夠補償該組誤差向量的補償器。

【0129】 在一範例中，將誤差向量組的振幅或振幅發展與儲存在控制單元800的記憶體中預定臨界組進行比較。

【0130】 在晶圓檢測任務期間，根據振幅的發展確定一組預測控制信號和來自該組預測控制信號的一組預測驅動信號，並將該組預測驅動信號依時間順序提供給該補償器組，從而在預測時間間隔期間將實際振幅的子集減少到各自臨界以下。

【0131】 在步驟S3中，從該組誤差振幅 A_k 中推導出一組P個控制信號 C_p 。誤差振幅 A_k 的偏差和振幅，其包括誤差函數 E_n 的誤差振幅 A_n 之時間發展，經過分析並由控制操作處理器840用預定映射函數MF映射到一組P控制信號 C_p ：

$$MF : A_k \rightarrow C_p$$

K 誤差振幅組到 P 控制信號組具有預定映射函數 MF 的映射，例如通過查找表、矩陣求逆或諸如奇異值分解的數值擬合操作來實現。

【0132】 在一範例中，不同的錯誤向量組在不同的錯誤向量類別中平行處理。例如，由視線定義的兩坐標系統與局部晶圓坐標系統的坐標系統漂移在坐標誤差類別中分開處理。高階成像像差或遠心像差在各自的誤差向量類別中處理。從而，並行且高速計算用於一組誤差向量的一組控制信號。

【0133】 在步驟S3-1中，從一組控制信號 C_p 中推導出一組偏轉控制信號。

【0134】 在步驟S3-2中，從一組控制信號 C_p 中推導出一組一次控制信號。選擇一次控制信號來控制一次射束路徑的補償器，以補償成像像差，例如散焦、像平面傾斜、場曲、放大率、像散、色差、遠心像差或其他更高階的像差。

【0135】 在步驟S3-3中，從一組控制信號 C_p 中推導出一組二次控制信號。

【0136】 在步驟S3-4中，從一組控制信號 C_p 中推導出一組影像處理控制信號。該組影像處理控制信號包括在影像拼接期間要考慮的影像拼接分量 IS_p 的子集。

【0137】 在選擇性步驟S3-5中（未示出），從一組控制信號 C_p 中推導出一組載台控制信號。

【0138】 在步驟S4中，該組控制信號 C_p 提供給該組控制模組中至少一控制模組，該組控制模組包括投影系統控制模組820、一次射束路徑控制模組830、偏轉控制模組860、載台控制模組880和影像拼接單元812。每個控制模組從該組控制信號 C_p 推導出一組致動值或驅動信號，例如電壓或電流序列，將提供給該組補償器中至少一補償器，以補償由該組或多個錯誤向量的一錯誤向量表示之成像像差。在影像擷取的步驟S1期間，將第一控制信號提供給一組補償器。控制信號的第二子集儲存在記憶體中，並提供給步驟S0以在定位和對準下一局部晶圓坐標系統期間應用。

【0139】 在步驟S4-1中，將一組偏轉控制信號提供給偏轉控制模組860。為了補償代表像差的一組誤差向量，首先校正複數個一次帶電粒子子射束3的束斑5之橫向位置，使得焦點形成在晶圓表面25上預定橫向位置處，由局部晶圓坐標系統551和預定光柵組態所定義，其橫向位置精度低於10 nm或更小。束斑5與預定位置的橫向對準由第一偏轉系統110控制，偏轉複數個一次帶電粒子子射束3。藉此，例如通過向第一和第二偏轉系統(110、222)提供控制信號 C_p ，以補償晶圓載台（500）的位置或方位變化。

【0140】 因此，偏轉控制信號組的控制信號 C_p 之範例為提供給偏轉控制模組860的一次偏移信號。偏轉控制模組860為第一偏轉系統110推導出第一偏移信號，該單元包括靜電偏轉掃描器，並且複數個一次帶電粒子子射束3通過具有偏移位置的掃描路徑27在晶圓表面25上掃描。從而，補償局部晶圓坐標系統551和多重射束帶電粒子顯微鏡1的視線53間之橫向位移向量55，並且實現視線53的校

正，使得其偏離局部晶圓坐標系統551小於預定臨界或例如小於10 nm、5 nm或甚至2 nm，或甚至低於1 nm。

【0141】此外，通過提供第二偏移信號給第二偏轉系統222，二次電子子射束9的二次帶電粒子束斑15在影像偵測器207處保持在恆定位置，並且實現高影像對比度和影像傳真度。為了在影像感測器207處將複數個二次電子子射束9的二次帶電粒子束斑15之位置保持在恆定位置，複數個二次電子子射束9通過第一偏轉系統110和第二偏轉系統222。在以偏移位置(offset position)改變晶圓表面25上的複數個一次帶電粒子子射束5之掃描路徑27之後，獨立的第二偏轉系統222提供給偏轉控制信號組的第二偏移信號，並且晶圓表面5上束斑5的偏移位置由第二偏轉系統222補償，使得複數個二次電子子射束9的二次帶電粒子束斑15在影像感測器207處保持恆定。

【0142】偏移位置可隨時間改變，並且偏移控制信號在影像斑塊17的影像掃描期間改變。從而，例如補償樣品載台500的橫向漂移或抖動。

【0143】在步驟S4-2中，將一組一次控制信號提供給一次射束路徑控制模組830。為了補償代表像差的一組誤差向量，校正複數個一次帶電粒子子射束3的束斑5之縱向位置，使得焦點形成在晶圓表面25上，其精度低於多重射束帶電粒子顯微鏡的景深。多重射束掃描電子顯微鏡的景深一般在10 nm-100 nm左右，最大焦斑偏離像平面的規範在10 nm以下，最好在5 nm以下。複數個一次帶電粒子子射束3的束斑5之像差包括散焦、像平面傾斜和場曲。

【0144】例如，用於校正像平面傾斜的一次控制信號提供給一次射束路徑控制模組830，並且一次射束路徑控制模組830推導出一組聚焦校正電壓，用於主動式多重孔板配置306，例如多孔透鏡陣列。因此，每個個別一次帶電粒子子射束3的每個焦點位置個別改變，並且實現像平面傾斜以補償例如樣品載台500相對於影像坐標系統51的傾斜。

【0145】在另一範例中，用於校正散焦的一次控制信號提供給一次射束路徑控制模組830，並且一次射束路徑控制模組830推導出用於場透鏡306的電壓變

化，以整個改變z方向上的像平面位置。因此，改變複數個一次帶電粒子子射束3的焦點位置，以補償例如樣品載台500往z方向的移動，即一次子射束3的傳播方向。

【0146】 在另一範例中，用於校正影像座標系統51與局部晶圓座標系統551之間旋轉的一次控制信號提供給一次射束路徑控制模組830，並且一次射束路徑控制模組830推導出一組偏轉電壓，用於主動多重孔板配置306，例如多孔徑偏轉器陣列。因此，每個個別一次帶電粒子子射束3個別偏轉，並且實現影像坐標系統51的旋轉，以補償例如樣品載台500相對於影像坐標系統51的旋轉。

【0147】 相應提供用於校正一次射束路徑的其他像差之其他控制信號。一次射束路徑的成像像差包括放大率變化、像散、色差等像差。該組一次控制信號包括控制一次射束路徑的補償器之控制信號，其包括帶電粒子多重子射束產生器300和物體照射單元100的補償器。

【0148】 在步驟S4-3中，將一組二次控制信號提供給投影系統控制模組820。為了補償代表像差的一組誤差向量，校正二次射束路徑或偵測單元的成像像差。

【0149】 例如，用於校正像平面傾斜的二次控制信號提供給投影系統控制模組820，並且投影系統控制模組820推導出一組聚焦校正電壓，用於多孔徑校正器220，例如多孔徑透鏡陣列。從而，每個個別二次電子子射束9的每個焦點位置個別改變，並且實現像平面傾斜以補償例如樣品載台500相對於影像坐標系統51的傾斜，並且來自傾斜晶圓表面25的二次電子子射束9之成像維持在影像偵測器207上。

【0150】 在另一範例中，用於校正散焦(defocus)的二次控制信號提供給投影系統控制模組820，並且投影系統控制模組820推導出用於靜電透鏡206的電壓變化，以整個改變像平面位置。從而，複數個二次電子子射束9的焦點位置改變，以補償例如樣品載台500往z方向的移動、一次子射束的傳播方向，並且來自散焦晶圓表面25的二次電子子射束9之成像維持在影像偵測器207上。

【0151】 在另一範例中，用於校正影像座標系統51與局部晶圓座標系統551之間旋轉的二次控制信號提供給投影系統控制模組820，並且投影系統控制模組820推導出一組偏轉電壓，用於多孔徑校正器220，例如多孔徑偏轉器陣列。因此，每個個別二次電子子射束9個別偏轉，並且補償影像坐標系統51的旋轉，以在影像偵測器上的恆定、預定位置處對複數個二次電子子射束9成像。

【0152】 這些範例結合說明一次射束路徑13和二次電子射束13中像差的補償。一些一次控制信號用於校正例如一次射束路徑的像差，如此像散或場曲提供給一次射束路徑控制模組830，並且僅在一次射束路徑13中補償像差。一些二次控制信號用於校正例如二次射束路徑的像差，如此提供給投影系統控制模組820，並且僅在二次射束路徑11中補償像差。

【0153】 在步驟S4-4中，將一組影像處理控制信號提供給影像拼接單元812。直接應用該組影像處理控制信號 IS_p 或與影像資料串流一起儲存，以應用於由影像拼接單元812執行的影像處理和影像拼接操作。

【0154】 在操作步驟S4-5中（未示出），將一組載台控制信號提供給載台控制模組880。在一範例中，在步驟S2中偵測到樣品載台500的緩慢漂移，並且通過載台控制信號進行補償。

【0155】 在一範例中，根據漂移部分 $S_n(t)$ 與動態變化 $N_n(t)$ 中誤差振幅 $A_n(t)$ 的至少一子集之時間發展分離，控制信號集 C_p 的至少子集被劃分為漂移控制分量 CS_p 的子集和動態控制分量 CN_p 的子集。漂移控制部件 CS_p 的子集提供給多重子射束帶電粒子顯微鏡系統的一組補償器或主動元件。在一範例中，漂移控制部件 CS_p 提供給包括磁性元件的緩慢變化主動部件之子集，並且驅動緩慢變化主動部件以改變其狀態。在一範例中，漂移控制部件 CS_p 提供給快速變化主動元件，例如靜電偏轉器、靜電多極校正器或靜電多孔徑元件。在一範例中，漂移控制部件 CS_p 提供給補償器的兩個子集。動態控制部件 CN_p 的子集提供給多重子射束帶電粒子顯微鏡系統的快速變化主動元件，並且驅動快速變化主動部件以改變

其對帶電粒子射束的作用。快速變化主動元件為靜電元件，例如靜電偏轉器、靜電多極校正器、靜電透鏡或靜電多孔徑元件。

【0156】 一般而言，控制信號 P 的數量可超過誤差振幅 A_k 和 $P \geq K$ 的數量 K 。每個控制信號 C_p 可隨時間改變，並且至少一些控制信號 C_p 在影像斑塊17的影像掃描期間改變。從而，例如在一個影像斑塊的影像擷取期間補償樣本載台500的橫向漂移。在一範例中，至少一控制信號為依賴於時間並且表示在隨後時間間隔中誤差振幅的預測發展之函數。藉此，實現用於補償預測成像偏差的連續控制操作。

【0157】 在步驟S5中，其包括漂移控制分量 CS_p 和動態控制分量 CN_p 的子集的一組控制信號 C_p 受到監控並累積，以記錄多重射束帶電粒子顯微鏡的變化歷史。

【0158】 在步驟S6中，根據變化歷史估計多重射束帶電粒子顯微鏡的實際系統狀態。

【0159】 在選擇性步驟S7中，時間發展模型函數 $M_n(t)$ 適應多重射束帶電粒子顯微鏡的變化歷史和實際系統狀態，並提供給步驟S2。

【0160】 在步驟S8中，分析多重射束帶電粒子顯微鏡的實際系統狀態，並在隨後的影像掃描期間預測系統狀態的發展。如果系統狀態的預測指出誤差向量的發展達到無法補償之值，例如因為在隨後影像掃描期間可能達到用於補償的致動器範圍，則在隨後影像掃描之前觸發多重射束帶電粒子顯微鏡的致動器之重新校準和重設。在此情況下，將觸發信號提供給步驟S1。如果系統狀態的預測指出下一成像任務有可能，則該方法從步驟S0繼續到步驟S7，其中在來自檢測任務清單的下一局部晶圓坐標系統處進行後續影像斑塊的影像擷取。

【0161】 在一範例中，在步驟S8中，例如通過預測誤差振幅的發展，以計算控制信號的漂移分量並將其提供給步驟S0。在步驟S0中，在載台從第一影像斑塊移到下一第二影像斑塊或下一檢測部位期間，通過啟動補償器來補償漂移分量。因此，在步驟S0中，控制單元800提供控制信號給載台控制模組880，以

將載台500從第一局部晶圓坐標系統移到後續局部晶圓坐標系統，並且另將控制信號的漂移分量提供給包括一次束控制模組830、投影系統控制模組820或偏轉控制模組860的控制模組之至少一者。

【0162】 從描述中可清楚看出，操作方法的步驟S1至S7並行執行，並且在影像斑塊的影像擷取期間即時執行並且彼此交互。精通技術領域人士將能夠認識可對前述方法進行變化和修改。

【0163】 在本發明的具體實施例中，在維持晶圓檢測任務的規範要求的同時，能夠改變複數個一次帶電粒子子射束的物平面101或焦點位置。物平面101改變的原因例如可為用於影像擷取的成像設定之預定義改變，例如放大率的改變或數值孔徑的改變、期望解析度的改變或配置在一次射束路徑13或二次射束路徑11內的元件漂移，例如在步驟S7或步驟S8中所監測。通過多重射束帶電粒子顯微鏡1的磁性物鏡102改變焦平面，對複數個一次帶電粒子子射束3具有旋轉的效果。如果焦平面或物平面101改變，則複數個一次帶電粒子子射束的光柵組態相對於多重射束帶電粒子顯微鏡1的光軸105旋轉，如圖3所示，並且產生影像座標系統51相對於局部晶圓坐標系統551旋轉。配置在晶圓表面25上的半導體結構通常是彼此正交配置的結構。隨著影像坐標系統或一次帶電粒子子射束3的掃描路徑27相對於如圖3b所示的半導體結構配置旋轉，則無法實現高通量晶圓檢測任務的至少一些規範要求。此外，改變其他影像性能參數，例如複數個一次帶電粒子子射束的遠心度，或者複數個一次帶電粒子子射束的放大率或間距。在複數個一次帶電粒子射束斑的變化位置處發射之複數個二次電子由調整過後的物鏡102收集，增加影像性能參數的變化。在該具體實施例中，通過控制單元800補償由像平面或焦平面變化所引起不需要的影像性能參數變化。控制單元800構造成預測控制信號，以補償由像平面位置或焦點位置從第一像平面位置改變到第二像平面位置所引起的誤差振幅。控制單元800構造成提供控制信號給一次束斑塊13和二次射束路徑11中的補償器以及給晶圓載台。一次射束路徑的補償器包括例如第二物鏡（圖1中未示出）、場透鏡103.1或103.2、多孔徑偏轉器

陣列306.3或配置在中間像平面321附近的多孔徑偏轉器陣列390。二次射束路徑的補償器包括例如磁透鏡、像散器或多孔徑陣列元件。在觸發像平面或焦點位置從第一位置改變到第二位置之後，控制單元800控制多個元件，其包括一次射束路徑和二次射束路徑的補償器或晶圓載台的組合。

【0164】 在一範例中，控制單元800或多重射束帶電粒子顯微鏡1構造成從複數個感測器資料，推導出描述半導體結構方位與影像坐標系統51或掃描路徑27或複數個一次帶電粒子子射束的偏差之誤差向量，並且更構造成推導出一組控制信號並將該組信號提供給控制模組。控制模組構造成實現複數個一次帶電粒子子射束的旋轉、複數個二次電子子射束的旋轉以及樣品載台500的旋轉之至少一者。例如，控制單元800構造成提供控制信號給向前述方法的步驟0，以通過包括晶圓載台500的緩慢動作補償器或物鏡102引起旋轉。例如，控制單元800更構造成提供控制信號，以引起快速作用補償器，例如配置在一次帶電粒子中或二次電子射束路徑中或兩者中的靜電偏轉器陣列之旋轉。

【0165】 在一具體實施例中，構造成用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡之操作方法包括：步驟a)將描述與一組影像品質偏差的一組預定正常化誤差向量載入至記憶體中；步驟b)將一組預定正常化誤差向量振幅的一組預定臨界載入至記憶體中；及步驟c)載入一組預定正常化驅動信號，用於補償記憶體中的每一組正常化誤差向量。在執行晶圓檢測任務期間，多重射束帶電粒子顯微鏡的操作方法包括步驟d)從多重射束帶電粒子顯微鏡的複數個感測器接收複數個感測器資料，以形成感測器資料向量。在一範例中，複數個感測器資料包括在使用多重射束帶電粒子顯微鏡檢測期間用於維持晶圓的晶圓載台實際位置與實際速度之位置或速度資訊之至少一者。在執行晶圓檢測任務期間，多重射束帶電粒子顯微鏡的操作方法更包括步驟e)從感測器資料向量確定預定正常化誤差向量的一組實際振幅，表示多重射束帶電粒子顯微鏡影像品質集合的實際狀態；步驟f)在晶圓檢測期間，從該組實際振幅中推導出一組控制信號，並從該組預定正常化驅動信號中推導出一組實際驅動信號；步驟g)在晶圓檢測期間，提供該組

實際驅動信號給一組補償器，從而在多重射束帶電粒子顯微鏡的操作期間，將實際振幅的子集降低到低於步驟b)中確定的臨界之子集。在一範例中，多重射束帶電粒子顯微鏡的操作方法更包括步驟h)在晶圓檢測期間，根據多重射束帶電粒子顯微鏡在預測時間間隔內的預期發展，以預測該組實際振幅的至少一子集之發展振幅子集。在一範例中，根據預測模型函數或一組實際振幅歷史的線性、二階或更高階外推法之一者，以確定多重射束帶電粒子顯微鏡在預測時間間隔內的預期發展。多重射束帶電粒子顯微鏡的操作方法更包括步驟i)在晶圓檢測期間，從該組發展振幅推導出一組預測控制信號和從該組預測控制信號推導出一組預測驅動信號；步驟j)在晶圓檢測期間，以時間順序方式將該組預測驅動信號提供給該組補償器，從而在多重射束帶電粒子顯微鏡於預測時間間隔內的操作期間，將實際振幅的子集減至低於臨界的子集；及步驟k)在晶圓檢測期間，記錄多重射束帶電粒子顯微鏡的該組實際振幅的至少一子集，以用於產生該組實際振幅的子集歷史。

【0166】 多重射束帶電粒子顯微鏡的操作方法是在操作前通過選擇多重射束帶電粒子顯微鏡的補償器組之步驟來準備。在一範例中，該組補償器包括用於掃描和偏轉複數個一次帶電粒子的該多重射束帶電粒子顯微鏡之第一偏轉系統，及用於掃描和偏轉在該多重射束帶電粒子顯微鏡使用期間所產生複數個二次電子之第二偏轉系統。多重射束帶電粒子顯微鏡的操作方法在操作之前還通過以下步驟準備：確定描述與一組影像品質偏差的一組預定正常化誤差向量，並根據線性擾動模型通過改變該組補償器中每一補償器的至少一驅動信號來確定靈敏度矩陣，以及從該靈敏度矩陣確定該組預定正常化驅動信號，以補償該組預定正常化誤差向量之每一者。

【0167】 可理解的是，結合圖6描述的多重射束帶電粒子顯微鏡之部件和結合圖7描述的方法步驟為簡化範例，用於說明根據本發明用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡之組態和操作方法。至少一些方法步驟或部件可結合，例

如控制操作處理器840和感測器資料分析系統818可組合在一個單元中，或一次射束路徑控制模組820可組合在控制操作處理器840中。

【0168】 在前述具體實施例中使用的補償器之至少一者為多重射束主動陣列元件。通過一次帶電粒子射束路徑中的靜電微透鏡陣列、靜電像散器陣列或靜電偏轉器陣列，複數個一次帶電粒子子射束中各個一次帶電粒子子射束之每一者個別受到影響。例如，圖8中說明這樣的多孔徑陣列601。多孔徑陣列601包括以複數個一次帶電粒子子射束的光柵組態排列的多個孔 - 在該範例中為六邊形光柵組態。其中兩個孔用參考編號685.1和685.2表示。在多個孔每一者的圓周上，配置了多個電極681.1-681.8，在此範例中，電極的數量為八個，但是也可為其他數量，例如一個、兩個、四個或更多個。電極相對於彼此並且相對於多孔徑陣列601的載體電絕緣。多個電極之每一者通過導電線607之一連接到控制模組。通過施加個別和預定電壓給每個電極681，針對通過每一孔685的複數個一次帶電粒子子射束之每一者可實現不同的效果。由於僅使用靜電效應，傳輸一孔685的帶電粒子子射束可以高速和高頻個別調整或改變。例如，該效果可為偏轉、焦平面改變、一次帶電粒子子射束的像散校正。在一範例中，多個例如兩或三個這樣的多重孔板依次配置。通過二次電子射束路徑中的靜電微透鏡陣列、靜電像散器陣列或靜電偏轉器陣列，複數個二次電子子射束中各個二次電子子射束之每一者以類似方式個別受到影響。

【0169】 接下來，更詳細解釋本發明的另一具體實施例。參照圖1描述構造成用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡和操作這種顯微鏡之方法。從上面的描述中可理解，在擷取例如第一影像賭片17.1的數位影像期間，複數個一次帶電粒子子射束3和複數個二次電子9聯合掃描，被共用束路徑內的第一偏轉系統110偏轉，並且複數個二次電子9在偵測單元200的二次射束路徑11中，被第二偏轉系統222進一步掃描偏轉。藉此，影像感測器207上的複數個二次電子子射束9的二次帶電粒子束斑15在影像掃描期間維持在恆定位置。偵測單元200包括一孔214，複數個二次電子子射束9通過該孔過濾。孔濾波器214從而控制提供給

影像感測器207的二次電子子射束之拓撲對比度。由於偵測單元200的偏差，例如由於複數個二次電子子射束9的交叉點212之中心偏移，或者第二偏轉系統222的偏差，該影像對比度會改變。根據該具體實施例，偵測並補償拓撲對比度的非所要變化。因此，偵測單元200包括第三偏轉系統218，並且通過第一、第二和第三偏轉系統110、222和218的組合作用，複數個二次電子子射束9的交叉點212之中心維持與孔徑光闌214的孔徑光闌位置重合，並且二次帶電粒子束斑15的位置在影像感測器207上維持恆定。從而，能夠根據晶圓檢測任務的規範要求進行晶圓檢測。對於掃描路徑27.11...27.MN上和影像斑塊17.1的不同子場31.11...31.MN之內的複數個二次電子子射束之每一者，維持恆定的影像對比度。偵測單元200的投影系統205中第二和第三偏轉系統222和218的位置以範例方式例示於圖1中，而第二和第三偏轉系統222和218在投影系統205中的其他位置可在影像感測器207上實現恆定影像對比度，以及複數個二次電子子射束9的二次帶電粒子束斑15之恆定位置。例如，第二和第三偏轉系統222和218可配置在孔濾波器214的前面。控制單元800構造成從感測器資料向量推導出表示複數個二次電子子射束9上對比度變化的誤差向量振幅，並且更構造成推導出第一控制信號並將第一控制信號提供給偏轉控制模組860。偏轉控制模組860構造成推導出偏轉驅動信號給偏轉系統，該系統包括配置在偵測單元200的二次射束路徑11中之第二和第三偏轉系統222和218。在一範例中，控制模組800更構造成推導出第二控制信號並將第二控制信號提供給投影系統控制模組820。投影系統控制模組820構造成推導出第二驅動信號以控制投影系統205的其他快速補償器232，例如多陣列主動元件220的靜電透鏡或像散器。因此，影像對比度良好地保持在具有高通量的晶圓檢測任務之性能規範內。在另一範例中，用於掃描偏轉複數個一次帶電粒子子射束3的第一偏轉系統110如果較佳位於複數個一次帶電粒子子射束3的第一束交叉點108附近。然而，由於一次射束路徑13的偏差，第一束交叉點108的位置可能偏離其設計位置，並且引入複數個一次帶電粒子子射束3的遠心誤差。控制單元800構造成從感測器資料推導出表示複數個一次帶

電粒子子射束3對晶圓表面25的遠心照明偏差之誤差向量振幅，從偏差推導出控制信號，並將驅動信號例如提供到中間像平面321附近的多孔徑偏轉器390。藉此，維持複數個一次帶電粒子子射束3對晶圓表面的遠心照明。遠心照明係指其中複數個一次帶電粒子子射束3中每一者平行且幾乎垂直於晶圓表面25撞擊在晶圓表面25上之照明，例如與表面法線的角度偏差低於25毫弧度。在具體實施例中，從感測器資料向量推導出的實際誤差振幅表示晶圓檢測任務的影像性能規範，例如晶圓載台對於多重射束帶電粒子顯微鏡的視線和多重射束帶電粒子顯微鏡影像坐標系統的相對位置和方位、遠心條件、對比度條件、複數個帶電粒子子射束的絕對位置精度、多重射束帶電粒子顯微鏡的放大率或間距，或多重射束帶電粒子顯微鏡的一次帶電粒子子射束數值孔徑中的至少一者。晶圓檢測任務的影像性能規範之其他偏差，例如高階像差，例如複數個帶電粒子子射束的失真、像散和色差，也可在影像掃描期間進行監測和補償。例如，代表像散的誤差向量振幅可從影像感測器資料部分推導出，並且由靜電補償器補償。表示一次帶電粒子子射束色差的誤差向量振幅可例如通過分射束器單元400的額外磁透鏡420以及電壓供應單元503來補償。利用根據以上給出的具體實施例或範例之多重射束帶電粒子顯微鏡，能夠實現晶圓表面的快速掃描，並且以至少低至幾奈米的臨界尺寸解析度，提供積體半導體部件的高通量檢驗，例如在開發或製造期間或半導體器件的逆向工程期間低於2 nm。

【0170】 複數個一次帶電粒子子射束在晶圓表面上平行掃描，產生二次帶電粒子並形成例如直徑為100 μm – 1000 μm 的影像斑塊之數位影像。在擷取第一影像斑塊的第一數位影像之後，將基材或晶圓載台移到下一第二影像斑塊位置，通過再次掃描複數個一次帶電粒子子射束，獲得第二影像斑塊的第二數位影像。在操作期間以及在每次影像擷取期間，複數個感測器資料由包括影像感測器和載台位置感測器的複數個偵測器產生，並且產生一組控制信號。控制信號提供給控制模組，該模組控制主動元件的動作，例如用於掃描多個一次和二次帶電粒子子射束的偏轉系統、靜電透鏡、磁透鏡、像散器或主動多孔徑陣列

或其他補償器。例如，在第一和第二數位影像的擷取之間，並且當載台從第一影像斑塊移到第二影像斑塊時，例如通過像是磁性元件的緩慢補償器，以補償至少一部分成像像差。在第一或第二影像斑塊數位影像的影像擷取期間，將控制信號子集提供給包括偏轉系統的控制模組。藉此，例如在影像掃描期間補償晶圓載台相對於多重射束帶電粒子顯微鏡視線的位置誤差或漂移。根據感測器資料確定和預測與成像性能規範的其他像差或偏差，並且即時產生和提供給快速致動器的相應控制信號。從而通過將多個影像子場或斑塊拼接在一起，形成具有高影像傳真度和高精度以及低於5 nm或2 nm或1 nm解析度的高解析度數位影像。載台在第一和第二影像斑塊之間移動或移到下一感興趣位置，例如下PCM或相鄰像場，以高速並且例如減少精確載台對準重複次數。

【0171】 從說明書中將清楚了解，範例和具體實施例的組合及各種修改有可能，並可同樣應用具體實施例或範例。一次射束的帶電粒子可例如是電子，但也可為其他帶電粒子，例如氦離子。二次電子在狹義上包括二次電子，但也包括通過一次帶電粒子子射束與樣品相互作用而產生的任何其他二次帶電粒子，例如由反向散射電子產生的反向散射電子或二階的二次電子。在另一範例中，可收集二次離子而不是二次電子。

【0172】 一些具體實施例可使用以下多組項目來進一步描述。然而，本發明不應限於該等多組項目之任一者：

第一組項目

【0173】 項目1：一種具有高通量與高解析度的多重射束帶電粒子顯微鏡(1)之操作方法，其包括：

在一第一時間間隔 T_{s1} 中的一第一影像斑塊17.1的第一影像擷取及
在第二時間間隔 T_{s2} 中第二影像斑塊17.2的第二影像擷取；及
用於將該晶圓載台(500)從該第一影像斑塊(17.1)的第一中心位置(21.1)移到該第二影像斑塊17.2的第二中心位置(21.2)之第三時間

間隔 T_r ，使得該第一和該第二時間間隔 T_{s1} 或 T_{s2} 之至少一者與該第三時間間隔 T_r 具有一重疊。

【0174】項目2：如項目1之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其中在該第三時間間隔 T_r 結束之前，即當晶圓載台（500）已經完全停止時之前，開始該第二影像斑塊17.2的第二影像擷取。

【0175】項目3：如項目1或2之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其中晶圓移動的該第三時間間隔 T_r 在該時間間隔 T_{s1} 結束之前，即當該第一影像斑塊17.1的一影像擷取完成時之前，開始。

【0176】項目4：如項目1至3中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其更包括計算在該第一影像斑塊17.1的影像擷取之第一時間間隔 T_{s1} 期間執行晶圓移動的第三時間間隔 T_r 之開始時間計算，使得該第一影像斑塊17.1的第一中心位置與該多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的視線（53）之位置偏差或該晶圓載台（500）的移動速度低於一預定臨界。

【0177】項目5：如項目1至4中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其更包括計算在晶圓載台移動的時間間隔 T_r 期間該第二影像擷取的該第二時間間隔 T_{s2} 之開始時間，使得該第二影像斑塊17.2的第二中心位置21.2與該多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的視線（53）之位置偏差或該晶圓載台（500）的移動速度低於一預定臨界。

【0178】項目6：如項目1至5中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其更包括下列步驟：

預測在該晶圓載台（500）移動的時間間隔 T_r 期間之一系列晶圓載台位置；

從預測的晶圓載台位置計算至少第一和第二控制信號；

將該第一控制信號提供給該多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的一次射束路徑（13）中的第一偏轉系統（110），並將該第二控制信號提供給該

多重射束帶電粒子顯微鏡 (1) 的二次射束路徑 (11) 中之第二偏轉系統 (222)。

【0179】項目7：一種具有高通量和高解析度的多重射束帶電粒子系統 (1)，其包括：

一帶電粒子多重子射束產生器 (300)，用於產生複數個一次帶電粒子子射束 (3)；

一物體照射單元 (100)，其包括一第一偏轉系統 (110)，供使用複數個一次帶電粒子子射束 (3) 掃描配置在物平面 (101) 中的晶圓表面 (25)，以用於在複數個一次帶電粒子子射束 (3) 的束斑位置 (5) 處，產生從該晶圓表面 (25) 發射的複數個二次電子子射束 (9)，具有一投影系統 (205)、一第二偏轉系統 (222) 和一影像感測器 (207) 的一偵測單元 (200)，用於將複數個二次電子子射束 (9) 成像在影像感測器 (207) 上，並在使用期間擷取該晶圓表面 (25) 的第一影像斑塊 (17.1) 和第二影像斑塊 (17.2) 之數位影像；

一品圓載台 (500)，其包括一載台運動控制器，其中該載台運動控制器包括構造成獨立控制的複數個馬達，該載台構造成用於在擷取該第一影像斑塊 (17.1) 和該第二影像斑塊 (17.2) 的數位影像期間，將晶圓表面 (25) 定位並維持在該物平面 (101) 內；

複數個偵測器，其包括該載台位置感測器 (520) 和該影像感測器 (207)，該等偵測器構造成在使用期間產生複數個感測器資料，該感測器資料包括該晶圓載台 (500) 的位置資料；

一控制單元 (800)，其構造成用於在使用期間，執行在第一時間間隔 T_{s1} 中的一第一影像斑塊 17.1 的第一影像擷取、及在第二時間間隔 T_{s2} 中第二影像斑塊 17.2 的第二影像擷取，並且構造成在第三時間間隔 T_r 內觸發該晶圓載台 (500)，將該晶圓載台 (500) 從該第一影像斑塊 (17.1) 的第一中心位置 (21.1) 移到該第二影像斑塊 17.2 的第二中心

位置(21.2)，使得該第一和該第二時間間隔 T_{s1} 或 T_{s2} 之至少一者與該第三時間間隔 T_r 具有一重疊。

【0180】項目8：如項目7之系統，其中該控制單元更構造成用於確定在該第一影像斑塊17.1的影像擷取之第一時間間隔 T_{s1} 期間，晶圓移動的第三時間間隔 T_r 之開始時間，使得該第一影像斑塊17.1的第一中心位置與該多重射束帶電粒子顯微鏡(1)的視線(53)之位置偏差或該晶圓載台(500)的移動速度低於一預定臨界。

【0181】項目9：如項目7或8之系統，其中該控制單元更構造成用於確定在晶圓載台移動的時間間隔 T_r 期間，該第二影像擷取的該第二時間間隔 T_{s2} 之開始時間，使得該第二影像斑塊17.2的第二中心位置21.2與該多重射束帶電粒子顯微鏡(1)的視線(53)之位置偏差或該晶圓載台(500)的移動速度低於一預定臨界。

【0182】項目10：如項目7至9中任一項之系統，其中該控制單元更構造成用於預測在該晶圓載台(500)移動的時間間隔 T_r 期間之一系列晶圓載台位置，及用於從預測的晶圓載台位置計算至少第一和第二控制信號，及用於將該第一控制信號提供給該一次射束路徑(13)中的第一偏轉系統(110)並將該第二控制信號提供給該多重射束帶電粒子顯微鏡(1)的二次射束路徑(11)中之第二偏轉系統(222)。

【0183】項目11：一種具有高通量和高解析度的多重射束帶電粒子系統(1)之操作方法，其包括：

一第一影像斑塊17.1的第一影像擷取、一第二影像斑塊17.2的第二影像擷取以及將該晶圓載台(500)從該第一影像斑塊(17.1)的第一中心位置(21.1)移到該第二影像斑塊17.2的第二中心位置(21.2)，全部在一時間間隔 T_G 內

其中

第一影像斑塊17.1的該第一影像擷取在第一時間間隔 T_{s1} 期間內；

第二影像斑塊17.2的該第二影像擷取在第二時間間隔Ts2期間內；及在第三時間間隔Tr中，將該晶圓載台（500）從該第一影像斑塊（17.1）的第一中心位置（21.1）移到該第二影像斑塊17.2的第二中心位置（21.2）；並且其中

該時間間隔TG小於Ts1、Ts2和Tr的總和： $TG < Ts1 + Ts2 + Tr$ 。

【0184】 項目12：一種用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其包括：

一帶電粒子多重子射束產生器（300），用於產生複數個一次帶電粒子子射束（3）；

一物體照射單元（100），其包括第一偏轉系統（110），供使用複數個一次帶電粒子子射束（3）掃描配置在物平面（101）中的晶圓表面（25），以用於在複數個一次帶電粒子子射束（3）的該掃描束斑位置（5）處，產生從該晶圓表面（25）發射的複數個二次電子子射束（9）；具有一投影系統（205）、一第二偏轉系統（222）和一影像感測器（207）的一偵測單元（200），用於將複數個二次電子子射束（9）成像在影像感測器（207）上，並在使用期間擷取該晶圓表面（25）的第一影像斑塊（17.1）和第二影像斑塊（17.2）之數位影像；

具有載台位置感測器（520）的晶圓載台（500），用於在擷取該第一影像斑塊（17.1）的數位影像期間，將該晶圓表面（25）定位和維持在物平面（101）中，並用於將該晶圓表面從該第一影像斑塊（17.1）移到該第二影像斑塊（17.2）；

複數個偵測器，其包括該載台位置感測器（520）和該影像感測器（207），該等偵測器構造成在使用期間產生複數個感測器資料，該感測器資料包括該晶圓載台（500）的位置資料；

該物體照射單元（100）中的第一補償器構造成用於移動或旋轉該晶圓表面（25）上的複數個一次帶電粒子子射束（3）之掃描束斑位置（5）；

該投影系統（205）中的第二補償器，其構造成用於補償複數個一次帶電粒子子射束（3）的掃描束斑位置（5）之位移或旋轉，並維持該影像偵測器（207）上的複數個二次電子子射束（9）的束斑位置（15）恆定不變；

一控制單元（800）構造成從複數個感測器資料中產生第一組控制信號 C_p ，以在擷取該第一影像斑塊（17.1）或該第二影像斑塊（17.2）的數位影像期間，同步控制該物體照射單元（100）中的一第一補償器與該投影系統（205）中第二補償器。

【0185】 項目13：如項目12之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）構造成通過計算該第一組控制信號 C_p 並將該第一組控制信號 C_p 提供給該第一和該第二補償器，以補償該晶圓載台（500）的位置變化或方位變化。

【0186】 項目14：如項目12或13中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）構造成通過計算該第一組控制信號 C_p 並將該第一組控制信號 C_p 提供給該第一和該第二補償器，以補償該物體照射單元（100）的視線（53）之位置變化。

【0187】 項目15：如項目12至14中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）構造成通過計算該第一組控制信號 C_p 並將該第一組控制信號 C_p 提供給該第一和該第二補償器，以補償該晶圓載台（500）的位置變化或方位變化與該物體照射單元（100）的視線（53）之位置變化。

【0188】 項目16：如項目12至15中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）構造成通過計算該第一組控制信號 C_p 並將該第一組控制信號 C_p 提供給該第一和該第二補償器，以補償在擷取該第一影像斑塊（17.1）或該第二影像斑塊（17.2）的數位影像期間該晶圓載台（500）的移動速度。

【0189】 項目17：一種使用多重射束帶電粒子顯微鏡檢測晶圓之方法，步驟如下：

在第一時間間隔 T_{s1} 期間第一影像斑塊的第一影像擷取步驟；
在時間間隔 T_r 期間該晶圓載台從第一影像斑塊的位置到第二影像斑塊的移動，
以及在第二時間間隔 T_{s2} 期間第二影像斑塊的第二影像擷取步驟，藉此，
在第一時間間隔 T_{s1} 期間，從複數個感測器信號計算至少第一誤差振幅，
在第一時間間隔 T_{s1} 期間，預測第一誤差振幅至少經過移動時間間隔 T_r 和
第二時間間隔 T_{s2} 的發展，
並且，至少在移動時間間隔 T_r 期間，將控制信號提供給多重射束帶電
粒子顯微鏡的控制單元，用於將該第二時間間隔 T_{s2} 期間誤差振幅的預
測發展保持低於一預定臨界。

【0190】 項目18：如項目17之方法，其中根據預測模型或外推法，產生對
第一誤差振幅發展的預測。

【0191】 項目19：如項目17或18之方法，其中該第一誤差振幅代表視線位
移、晶圓載台位移、晶圓載台旋轉、視線旋轉、放大誤差、聚焦誤差、像散誤
差或失真誤差之至少一者。

【0192】 項目20：如項目17至19中任一項之方法，其中該控制信號提供給
該多重射束帶電粒子顯微鏡的控制單元，用於控制包括晶圓載台、第一偏轉系
統、第二偏轉系統、多重子射束產生單元的快速補償器或偵測單元的快速補償
器之至少一者的部件。

【0193】 項目21：一種具備控制單元的多重射束帶電粒子顯微鏡之操作方
法，該方法包括在含有第一影像斑塊和第二後續影像斑塊的一系列影像斑塊之
影像擷取期間的一系列操作步驟，其包括：

將形成複數個感測器資料的資料串流擴展為一組誤差振幅；

擷取一組漂移控制信號和一組動態控制信號，以及

提供該組漂移控制信號給緩慢作用的補償器；以及
提供該組漂移控制信號給快速作用的補償器。

【0194】 項目22：如項目21之方法，其中擷取該組漂移控制信號和該組動態控制信號的步驟為在第一影像斑塊的影像擷取之時間間隔 T_{s1} 期間執行；並將該組漂移控制信號提供給緩慢作用補償器的步驟為在通過使用從該第一影像斑塊到該第二影像斑塊的基材載台移動基材之時間間隔 T_r 期間執行。

【0195】 項目23：如項目21或22之方法，其中將該組動態控制信號提供給快速動作補償器的步驟在時間間隔 T_{s1} 內執行。

【0196】 項目24：如項目22或23之方法，其中將該組動態控制信號提供給快速動作補償器的步驟進一步在該第二影像斑塊的影像掃描時間間隔 T_{s2} 內執行。

【0197】 項目25：如項目21至24中任一項之方法，更包括預測至少一誤差振幅的時間發展之步驟。

【0198】 項目26：如項目25之方法，其包括預測至少一誤差振幅的緩慢變化漂移和預測至少一誤差振幅的快速變化動態改變。

【0199】 項目27：一種非暫態電腦可讀取媒體，其包括一指令集，該指令集可由一裝置的一或多個處理器執行，以使該裝置執行一方法，其中該裝置包括一帶電粒子源，以產生複數個一次帶電粒子射束，且該方法包括：

確定載台的橫向位移，其中該載台可在X-Y軸之至少一者內移動；

確定一物體照射單元的視線之橫向位移；及

指示控制器施加第一信號，以偏轉入射在樣品上的複數個一次帶電粒子射束，以至少部分補償橫向位移。

第二組項目

【0200】 項目1：一種多重射束帶電粒子射束系統，其包括：

一可移動載台，其構造成固定一樣品；

一物體照射單元，其構造成使用複數個一次帶電粒子子射束的複數個焦點照射樣品的表面；

一帶電粒子射束產生器，其構造成用於從一帶電粒子源產生複數個一次帶電粒子子射束；

一載台感測器，其構造成用於確定該載台的橫向位移或旋轉；

一影像感測器，其構造成用於確定該物體照射單元的視線之橫向位移；及

一控制單元，其構造成用於產生至少一額外電壓信號並將其施加到該物體照射單元中的第一束偏轉器，該物體照射單元構造成用於在使用期間產生複數個一次帶電粒子子射束的額外位移或旋轉，用於至少部分補償該視線橫向位移與該載台橫向位移或旋轉之間的差異。

【0201】 項目2：如項目1之系統，其中該控制單元更構造成在該樣品表面上掃描複數個一次帶電粒子子射束期間，計算與該載台的當前位置和該載台的目標位置之間差異相對應之該載台橫向位移或旋轉。

【0202】 項目3：如項目1或2之系統，其中該控制單元更構造成在該樣品表面上掃描複數個一次帶電粒子子射束期間，計算與該視線的當前位置和該視線的目標位置之間差異相對應之該視線橫向位移。

【0203】 項目4：如項目2或3之系統，其中該控制單元和該第一束偏轉器更構造成在該一次帶電粒子子射束於該樣品上掃描期間，動態調整至少一驅動電壓信號。

【0204】 項目5：如項目1至4中任一項之系統，更包括在該二次電子射束路徑內的一第二束偏轉器，其構造成至少部分補償源自掃描期間複數個一次帶電粒子子射束的束斑位置之複數個二次電子子射束的額外位移或旋轉。

【0205】 項目6：如項目1至5中任一項之系統，其中該控制單元更包括一載台運動控制器，其中該載台運動控制器包括構造成由一控制信號獨立控制的複數個馬達。

【0206】 項目7：如項目1至6中任一項之系統，其中該控制單元包括一處理器，該處理器構造成基於複數個感測器資料推導出複數個誤差向量振幅，並且從複數個誤差向量振幅中擷取複數個控制信號之至少一者。

【0207】 項目8：一種用於照射多重射束帶電粒子射束系統中放置在一載台上的樣品之方法，該方法包括：

從帶電粒子源產生複數個一次帶電粒子子射束；

確定該載台的橫向位移或旋轉，其中該載台可在x-y平面內移動；及

確定該多重射束帶電粒子系統的視線；

根據該載台橫向位移或旋轉以及視線位置，確定一位移向量；

將至少一額外電壓信號施加到該一次帶電粒子射束路徑中該束偏轉器，用於在使用期間產生該等複數個一次帶電粒子子射束的額外位移或旋轉，用於至少部分補償對應至該載台相對於該視線位置的該橫向位移或旋轉之該位移向量。

【0208】 項目9：如項目8之方法，其中該載台的橫向位移或旋轉對應至該載台的當前位置和該載台的目標位置間之差異，並且其中該旋轉位移在該等複數個一次帶電粒子子射束於該樣品載台上掃描期間改變。

【0209】 項目10：如項目8至9中任一項之方法，其更包括在該等一次帶電粒子子射束於該樣品上掃描期間，動態調整該等電壓信號之至少一者。

【0210】 項目11：如項目8至10中任一項之方法，其更包括：

將至少一第二額外電壓信號供應給該二次電子射束路徑內的該束偏轉器，用於至少部分補償源自掃描期間複數個一次帶電粒子子射束的束斑位置之複數個二次電子子射束的額外位移或旋轉。

【0211】 項目12：如項目8至11中任一項之方法，其更包括將一控制信號供應給一載台運動控制器，其中該載台運動控制器包括構造成由一控制信號獨立控制的複數個馬達。

【0212】 項目13：如項目8至12中任一項之方法，其更包括：

基於複數個感測器資料推導出複數個誤差向量振幅，並且從複數個誤差向量振幅中擷取複數個控制信號之至少一者。

第三組項目

【0213】 項目1：一種用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其包括：

一帶電粒子多重子射束產生器（300），構造成用於以光柵組態（41）產生複數個一次帶電粒子子射束（3）；

一物體照射單元（100），其構造成供使用複數個一次帶電粒子子射束（3）掃描配置在物平面（101）中的晶圓表面（25），以用於在複數個一次帶電粒子子射束（3）的掃描束斑位置（5）處，產生從該晶圓表面（25）發射的複數個二次電子子射束（9）；

具有投影系統（205）的一偵測單元（200）和一影像感測器（207）構造成用於將複數個二次電子子射束（9）成像在影像感測器（207）上，並構造成擷取該晶圓表面（25）的第一影像斑塊（17.1）之數位影像；具有載台位置感測器（520）的晶圓載台（500），其構造成在使用期間定位和維持晶圓表面（25）在該物體照射單元（100）的物平面（101）中；

該物體照射單元（100）中的第一補償器，其構造成用於額外位移或旋轉該晶圓表面（25）上的複數個一次帶電粒子子射束（3）之該掃描束斑位置（5），

該投影系統（205）中的第二補償器，其構造成用於補償在使用期間複數個一次帶電粒子子射束（3）的掃描束斑位置（5）之額外位移或旋轉，並維持該影像偵測器（207）上的複數個二次電子子射束（9）的束斑位置（15）恆定不變；及

一控制單元（800），構造成至少利用該第一補償器和該第二補償器，以補償由該晶圓載台（500）移動引起的該晶圓表面（25）之位移。

【0214】項目2：如項目1之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該第一補償器包括靜電透鏡、靜電偏轉器、靜電像散器、靜電微透鏡陣列、靜電像散器陣列或靜電偏轉器陣列之一者。

【0215】項目3：如項目1或2中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）構造成產生第一組控制信號 C_p ，以在擷取該第一影像斑塊（17.1）的數位影像期間，同步控制該物體照射單元（100）中該第一補償器和該投影系統（205）中該第二補償器（232）。

【0216】項目4：如項目1至3中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包括在該帶電粒子多重子射束產生器（300）內第三補償器，其構造成用於額外位移或旋轉該晶圓表面（25）上的複數個一次帶電粒子子射束（3）之該掃描束斑位置（5）。

【0217】項目5：如項目4之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）構造成產生第一組控制信號 C_p ，以在擷取該第一影像斑塊（17.1）的數位影像期間，同步控制該物體照射單元（100）中該第一補償器、該投影系統（205）中該第二補償器或該帶電粒子多重子射束產生器（300）中該第三補償器。

【0218】項目6：如項目1至5中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其更包括含有該載台位置感測器（520）和該影像感測器（207）的複數個偵測器，構造成在使用期間產生複數個感測器資料。

【0219】項目7：如項目6之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）構造成從複數個感測器資料中推導出用於該物體照射單元（100）中該第一補償器的一驅動信號，以達到複數個一次帶電粒子子射束（3）的該掃描束斑位置（5）之額外位移與該晶圓表面（25）的位移同步。

【0220】項目8：如項目7之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該額外位移包括複數個一次帶電粒子子射束（3）的該光柵組態（41）之旋轉。

【0221】 項目9：如項目6至8中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）構造成通過該投影系統（205）中該第二補償器，補償該已位移晶圓表面（25）上該束斑位置（5）的額外位移，其中該投影系統（205）中該第二補償器構造成與該物體照射單元（100）中該第一補償器同步操作，從而使該影像偵測器（207）上複數個二次電子子射束（9）的該束斑位置保持恆定。

【0222】 項目10：如前述項目中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該物體照射單元（100）中該第一補償器為該第一偏轉系統（110），並且其中該控制單元（800）構造成通過計算並將用於複數個一次帶電粒子子射束（3）的該掃描束斑位置（5）之額外位移或旋轉的一控制信號提供給該第一偏轉系統（110），以補償該晶圓載台（500）相對於該物體照射單元（100）的視線（53）之位移或旋轉。

【0223】 項目11：如前述項目中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該投影系統（205）的該第二補償器為該第二偏轉系統（222），並且其中該控制單元（800）構造成通過計算並提供一控制信號給該第二偏轉系統（222），以補償複數個一次帶電粒子子射束（3）的該掃描束斑位置（5）在該已位移晶圓表面（25）上之額外位移或旋轉。

【0224】 項目12：如前述項目中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其包括帶電粒子多重子射束產生器（300）的另一補償器、該偵測單元（200）的另一補償器或該物體照射單元（100）的另一補償器之至少一者。

【0225】 項目13：如前述項目中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）包括一感測器資料分析系統（818），該系統構造成在使用期間分析複數個感測器資料，並在使用期間計算 K 個誤差向量的 K 個振幅 A_k 之集合。

【0226】 項目14：如項目13之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）更包括一影像資料擷取單元（810），其構造成在使用期間將來

自影像感測器(207)的影像感測器資料減少到例如小於影像感測器資料的10%，較佳小於2%之影像感測器資料部分，並將影像感測器資料部分提供給該感測器資料分析系統(818)。

【0227】項目15：如項目14之多重射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該影像資料擷取單元(810)構造成在使用期間以降低的採樣率，將來自該影像感測器(207)的影像感測器資料減少為包括複數個二次電子子射束的數位影像資料之影像感測器資料部分。

【0228】項目16：如項目14之多重射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該影像資料擷取單元(810)構造成在使用期間將來自該影像感測器(207)的影像感測器資料減少為包括已減少的二次電子子射束集合中數位影像資料之影像感測器資料部分。

【0229】項目17：如項目13至16中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該感測器資料分析系統(818)構造成預測誤差向量的該組振幅 A_k 中至少一振幅 A_n 的時間發展。

【0230】項目18：如項目13至17中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該控制單元(800)更包括一控制操作處理器(840)，用於從誤差向量的振幅 A_k 之集合來計算該第一組控制信號 C_p 。

【0231】項目19：如項目13至18中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該感測器資料分析系統(818)構造成從複數個感測器資料推導出長度為 L 的感測器資料向量 DV ，其中 $L \geq K$ 。

【0232】項目20：如項目4至19中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該控制單元(800)構造成通過計算並提供該第一組控制信號 C_p 的控制信號之至少一者給該第三補償器，以引起複數個一次帶電粒子子射束(3)的該光柵組態(41)之旋轉，以補償該晶圓載台(500)的旋轉。

【0233】項目21：如項目1至20中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該控制單元(800)更構造成產生一控制信號，用於通過該晶圓載台(500)

將該晶圓表面（25）移到該物平面（101）中第二影像斑塊（17.2）的第二中心位置，進行第二影像斑塊（17.2）的數位影像之影像擷取。

【0234】項目22：如項目21之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）更構造成從複數個感測器資料計算第二組P控制信號 C_p ，以在該晶圓載台（500）移到該第二影像斑塊（17.2）的第二中心位置之時間間隔 T_r 期間，控制該等補償器任一者。

【0235】項目23：如項目21至22中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）更構造成計算在時間間隔 T_r 期間該第二影像斑塊（17.2）的影像擷取開始時間，並且在該晶圓載台（500）的減速時間間隔 T_d 期間開始該第二影像斑塊（17.2）的影像擷取，並且其中該控制單元（800）更構造成將至少在時間間隔 T_d 期間該晶圓載台（500）的預測偏移位置之一偏移信號提供給該第一和第二補償器。

第四組項目

【0236】項目1：一種多重射束帶電粒子射束系統，其包括：

- 一載台，其構造成維持樣品並且可在X-Y和Z軸之至少一者上移動；
- 一位置感測系統，其構造成確定該載台橫向和垂直位移或旋轉；及
- 一控制器，其構造成施加第一信號以偏轉入射在樣品上的複數個一次帶電粒子射束，以至少部分補償載台的橫向位移；並且施加第二信號以偏轉複數個二次電子子射束，以至少部分補償源自該樣品上已偏轉一次帶電粒子子射束位置的複數個二次電子子射束之位移。

【0237】項目2：如項目1之系統，其中該第一信號包括影響複數個一次帶電粒子子射束如何在X-Y軸之至少一者上偏轉之電信號。

【0238】項目3：如項目2之系統，其中該電驅動信號包括具有頻寬範圍在0.1 kHz至10 kHz的信號。

【0239】項目4：如項目1至3中任一項之系統，其中該橫向位移對應於該載台的當前位置與該載台的目標位置之間於X-Y軸之至少一者內的差異。

【0240】 項目5：如項目1至4中任一項之系統，其中該控制器更構造成在樣品上複數個一次帶電粒子射束的掃描期間，動態調整第一信號或第二信號之至少一者。

【0241】 項目6：如項目1至5中任一項之系統，其更包括一載台運動控制器，其中該載台運動控制器包括構造成由一第三信號獨立控制的複數個馬達。

【0242】 項目7：如項目6之系統，其中該等複數個馬達之每一者獨立控制以調整載台的傾斜度，使得載台基本垂直於一次帶電粒子射束的光軸。

【0243】 項目8：如項目6或7中任一項之系統，其中該等複數個馬達包括壓電馬達、壓電致動器或超音波壓電馬達之至少一者。

【0244】 項目9：如項目1至8中任一項之系統，其更包括一第一部件，其構造成基於複數個感測器信號形成複數個誤差向量振幅；及一第二部件，其構造成從複數個誤差向量振幅中擷取複數個控制信號之至少一者。

【0245】 項目10：如項目9之系統，其中該第一部件構造成基於該載台的橫向位移以及該多重射束帶電粒子射束系統視線的實際位置之橫向位移，以形成複數個誤差向量振幅。

【0246】 項目11：如項目9或10中任一項之系統，其中該等複數個控制信號之至少一者的擷取係基於複數個誤差向量振幅之預測模型。

【0247】 項目12：如項目9或11中任一項之系統，其中該等複數個控制信號之至少一者的擷取係基於該載台的致動輸出之預測模型。

【0248】 項目13：如項目1至12中任一項之系統，其中該位置感測系統使用雷射干涉儀、電容感測器、共焦感測器陣列、光柵干涉儀或其組合之任一者，以確定載台的橫向和垂直位移與旋轉。

第五組項目

【0249】 項目1：一種用於照射多重射束帶電粒子射束系統中放置在一載台上的樣品之方法，該方法包括：

從帶電粒子源產生複數個一次帶電粒子射束；

確定該載台的橫向位移與旋轉，其中該載台可在至少X-Y和Z軸之一者內移動；

施加第一信號以偏轉入射在樣品上的複數個一次帶電粒子射束，以至少部分補償該載台的橫向位移或旋轉；及

施加第二信號以偏轉複數個二次電子射束，以至少部分補償源自該樣品上已偏轉的一次帶電粒子射束位置的複數個二次電子射束之位移。

【0250】 項目2：如項目1之方法，其中該第一信號包括影響一次帶電粒子射束如何在X-Y軸之至少一者上偏轉之電信號。

【0251】 項目3：如項目1至2中任一項之方法，其中該橫向位移對應於該載台的當前位置與該載台的目標位置之間於X-Y軸之至少一者內的差異。

【0252】 項目4：如項目1至3中任一項之方法，其更包括在樣品上複數個一次帶電粒子射束的掃描期間，動態調整該第一信號或該第二信號之至少一者。

【0253】 項目5：如項目1至4中任一項之方法，其更包括：

施加第三信號給一載台運動控制器，其中該載台運動控制器包括構造成由該第三信號獨立控制的複數個馬達。

【0254】 項目6：如項目1至5中任一項之方法，其更包括：

基於複數個感測器資料推導出複數個誤差向量振幅，並且從複數個誤差向量振幅中擷取複數個控制信號之至少一者。

【0255】 項目7：如項目6之方法，其更包括基於複數個誤差向量振幅的時間行為預測模型，以預測控制信號之至少一者。

【0256】 項目8：如項目6至7中任一項之方法，其更包括基於該載台的致動輸出之預測模型，預測複數個控制信號之至少一者。

第六組項目

【0257】 項目1：一種使用多重射束帶電粒子顯微鏡(1)的晶圓檢測方法，該顯微鏡具有複數個偵測器，該等偵測器包括一影像感測器(207)和一載台位

置感測器（520），以及具有一組補償器，該組補償器包括至少第一和第二偏轉系統（110、222），該方法包括：

- 以多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的視線，定位晶圓的晶圓表面（25）並與局部晶圓坐標系統（551）的位置對準；
- 執行一影像擷取，以擷取該晶圓表面（25）的第一影像斑塊（17.1）之數位影像；
- 從該等複數個偵測器收集複數個感測器資料；
- 從該等複數個感測器資料推導出一組K個誤差振幅 A_k ；
- 從該組誤差振幅 A_k 中推導出第一組控制信號 C_p ；
- 在影像擷取的步驟期間將該第一組控制信號 C_p 提供給一組補償器。

【0258】項目2：如項目1之用多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的晶圓檢測方法，更包括：

- 從複數個感測器資料推導出長度為L的感測器資料向量DV，其中 $L \geq K$ 。

【0259】項目3：如項目1至2中任一項之用多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的晶圓檢測方法，其更包括：

- 推導出一組誤差向量振幅 A_k 中的至少一振幅 A_n 的時間發展。

【0260】項目4：如項目1至3中任一項之用多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的晶圓檢測方法，其更包括：

- 通過提供控制信號 C_p 給該第一和該第二偏轉系統(110、222)，以補償該晶圓載台（500）的位置或方位變化。

【0261】項目5：如項目1至4中任一項之使用多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的晶圓檢測方法，其更包括：

- 從該組誤差振幅 A_k 中推導出第二組控制信號 C_p ，並在定位和對準該晶圓的該晶圓表面（25）之步驟a)期間提供該第二組控制信號。

第七組項目

【0262】 項目1：一種構造成用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其包括：

定義一組影像品質以及一組描述與該組影像品質偏差的預定、正常化之誤差向量；

針對該組或正常化誤差向量的振幅確定一組臨界；

選擇一組多重射束帶電粒子顯微鏡的補償器；

根據線性擾動模型，通過改變該組補償器中每一補償器的至少一驅動信號，以確定靈敏度矩陣；

推導出一組正常化驅動信號，用於補償該組正常化誤差向量之每一者；

將正常化誤差向量、臨界組和正常化誤差向量儲存在多重射束帶電粒子顯微鏡控制單元的記憶體中。

【0263】 項目2：如項目1之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其中該組補償器包括用於掃描和偏轉複數個一次帶電粒子（3）的該多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之第一偏轉系統（110），及用於掃描和偏轉在該多重射束帶電粒子顯微鏡（1）使用期間所產生複數個二次電子子射束（9）之第二偏轉系統（222）。

第八組項目

【0264】 項目1：一種多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其包括：

在使用期間從該多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的複數個感測器接收複數個感測器資料並形成一感測器資料向量之步驟；

擴展儲存於控制單元記憶體中一組正常化誤差向量內的該感測器資料向量，並從該感測器資料向量確定一組正常化誤差向量的實際振幅之步驟；

將該組實際振幅與一組儲存在控制單元記憶體中的臨界進行比較之步驟；

基於該組實際振幅與一組已儲存的臨界之比較，從該組實際振幅中推導出一組控制信號之步驟；

從該組控制信號中儲存在該控制單元記憶體中的一組正常化驅動信號中推導出一組實際驅動信號之步驟；

將該組實際驅動信號提供給多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的一組補償器，從而在多重射束帶電粒子顯微鏡（1）操作期間將該組正常化誤差向量的該組實際振幅降低至低於該組臨界之步驟。

【0265】 項目2：如項目1之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其中該等複數個感測器資料包括在使用多重射束帶電粒子顯微鏡（1）檢測期間，用於維持或移動晶圓的該晶圓載台（500）實際位置與實際速度之位置或速度資訊之至少一者。

【0266】 項目3：如項目1之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其中該等複數個感測器資料包括在使用多重射束帶電粒子顯微鏡（1）檢測晶圓期間，視線（52）的實際位置之至少一者。

【0267】 項目4：如項目1至3中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其中該等步驟重複至少兩次、至少十次，較佳在影像斑塊擷取期間每次掃描時。

【0268】 項目5：如項目1至4中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其更包括在晶圓檢測期間，根據多重射束帶電粒子顯微鏡在預測時間間隔內的預期發展，以預測該組實際振幅的至少一子集的發展振幅子集之步驟。

【0269】 項目6：如項目1至5中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其更包括在使用期間，記錄多重射束帶電粒子顯微鏡的該組實際振幅的至少一子集，以用於產生該組實際振幅的子集歷史之步驟。

【0270】 項目7：如項目1至6中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其更包括在晶圓檢測期間，從該組發展振幅推導出一組預測控制信

號和從該組預測控制信號推導出一組預測驅動信號之步驟，以及在晶圓檢測期間，以時間順序方式將該組預測驅動信號提供給該組補償器之步驟，從而在多重射束帶電粒子顯微鏡在預測時間間隔內的操作期間，將實際振幅的子集減至低於該組臨界。

【0271】 項目8：一種具有控制單元（800）並且已安裝軟體程式碼之多重射束帶電粒子顯微鏡，其構造成用於應用如項目1至7中任一項之任何方法。

第九組項目

【0272】 項目1：一種將複數個一次帶電粒子子射束聚焦在一樣品上之方法，該方法包括：

使用複數個一次帶電粒子子射束照射置於多重射束帶電粒子射束系統載台上之樣品，並在該樣品表面形成複數個焦點；

使用多重射束帶電粒子系統的至少第一部件，調整複數個帶電粒子子射束的複數個焦點相對於該樣品之位置和旋轉；及

使用多重射束帶電粒子系統的第二部件，沿著多個預定一次掃描束路徑參考該樣品，掃描複數個一次帶電粒子子射束的焦點；及

使用該第一、該第二或一第三部件，動態操縱關於該樣品的預定掃描束路徑。

【0273】 項目2：如項目1之方法，其中該方法包括至少將第一偏轉電壓添加到用於通過使用該第二部件掃描複數個一次帶電粒子子射束的焦點之第一掃描電壓。

【0274】 項目3：如項目1或2之方法，其更包括：

使用帶電粒子多重子射束產生器產生複數個一次帶電粒子子射束；及
使用帶電粒子多重子射束產生器的一部件，調整或動態操縱複數個帶電粒子子射束的複數個焦點參考該樣品之位置和旋轉。

【0275】 項目4：如項目1至3中任一項之方法，其更包括：

在複數個一次帶電粒子子射束的複數個焦點處產生和收集源自該樣品表面的複數個二次電子子射束；

使用多重射束帶電粒子系統中投影系統的第四部件，沿著預定的二次電子射束路徑掃描複數個二次電子子射束，使得複數個二次電子子射束的焦點位於影像感測器處恆定位置上；

使用多重射束帶電粒子系統中該投影系統的第四部件或第五部件，參照影像感測器動態操縱預定的二次電子射束路徑。

【0276】 項目5：如項目4之方法，其中該方法包括將至少第二偏轉電壓添加到用於通過使用該第四部件掃描複數個二次帶電粒子子射束的第二掃描電壓。

【0277】 項目6：如項目1至5中任一項之方法，其更包括：

確定該載台的當前位置；及

根據該載台的當前位置與該載台的目標位置間之差異，以確定該載台的橫向位移或旋轉。

【0278】 項目7：如項目6之方法，其更包括：

確定用於補償該載台橫向位移或旋轉的該第一偏轉電壓，

該供該第一偏轉電壓給至少該第一、該第二或該第三部件，以用於參照該樣品動態操縱預定的第一掃描束路徑。

【0279】 項目8：如項目6或7中任一項之方法，其更包括：

確定該第二偏轉電壓，

該供該第二偏轉電壓給至少該第四或第五部件，以用於參照該影像感測器動態操縱預定的二次電子射束路徑。

第十組項目

【0280】 項目1：一種多重射束帶電粒子射束系統，其包括：

一物體照射單元，其構造成使用複數個一次帶電粒子子射束的複數個焦點照射樣品的表面；

該物體照射單元的第一部件，其構造成用於調整複數個帶電粒子子射束的複數個焦點相對於該樣品之位置和旋轉；及

該物體照射單元的第二部件，其構造成用於沿著多個預定一次掃描束路徑參照該樣品，掃描複數個一次帶電粒子子射束的焦點；及

第三部件，其構造成用於參照該樣品位置動態操縱預定掃描束路徑。

【0281】 項目2：如項目1之多重射束帶電粒子射束系統，其中該第三部件為該第一部件。

【0282】 項目3：如項目2之多重射束帶電粒子射束系統，其中該第三部件為該第二部件。

【0283】 項目4：如項目3之多重射束帶電粒子射束系統，其更包括一控制單元，其構造成用於將至少構造成用於動態操縱預定掃描束路徑的第一偏轉電壓添加到提供給構造成用於掃描複數個一次帶電粒子子射束焦點的第二部件之第一掃描電壓。

【0284】 項目5：如項目1至4中任一項之多重射束帶電粒子射束系統，其更包括一帶電粒子多重子射束產生器，其設置用於產生複數個一次帶電粒子子射束。

【0285】 項目6：如項目1至5中任一項之多重射束帶電粒子射束系統，其更包括一控制單元，其構造成用於在使用期間使用該第一部件調整該物體照射單元之視線。

【0286】 項目7：如項目1至6中任一項之多重射束帶電粒子射束系統，其更包括：

一投影系統，其構造成用於在複數個一次帶電粒子子射束的複數個焦點處，收集源自該樣品表面的複數個二次電子子射束並成像；

一影像感測器，用以偵測複數個二次電子子射束的多個焦斑；

多重射束帶電粒子系統中該投影系統的第四部件，其構造成用於沿著預定的二次電子射束路徑掃描複數個二次電子子射束，使得複數個二次電子子射束的焦點位於影像感測器處恆定位置上；

多重射束帶電粒子系統中該投影系統的第五部件，其構造成用於參照該影像感測器動態操縱預定的二次電子射束路徑。

【0287】 項目8：如項目7之多重射束帶電粒子射束系統，其中該第五部件為該第四部件。

【0288】 項目9：如項目8之多重射束帶電粒子射束系統，其中該控制單元更構造成用於將至少構造成用於動態操縱預定次要電子射束路徑的第二偏轉電壓添加到提供給用於掃描複數個二次帶電粒子子射束的第四部件之第二掃描電壓。

【0289】 項目10：如項目1至9中任一項之多重射束帶電粒子射束系統，其更包括一載台感測器，其構造成用於確定該載台的橫向位移或旋轉。

【0290】 項目11：如項目10之多重射束帶電粒子射束系統，其中該控制單元更構造成用於從由該載台感測器提供的橫向位移或旋轉推導出該第一和該第二偏轉電壓。

【0291】 項目12：如項目1至11中任一項之系統，其中該第一部件位於該第二部件的上游。

第十一組項目

【0292】 項目1：一種使用多重射束帶電粒子射束裝置執行晶圓檢測之方法，該方法包括：

使用複數個一次帶電粒子子射束照射放置在載台上的樣品；

對複數個一次帶電粒子子射束的焦點進行靜態調整；

對複數個一次帶電粒子子射束的焦點進行動態操縱。

【0293】 項目2：如項目1之方法，其更包括：

確定多重射束帶電粒子射束裝置的緩慢變化，其包括確定物體照射單元的緩慢變化和偵測構造成維持該樣品的該載台漂移；

確定第一漂移補償信號以補償緩慢變化；及

將該第一漂移補償信號施加到該物體照射單元的至少一部件上，以執行複數個一次帶電粒子子射束焦點的靜態調整。

【0294】 項目3：如項目2之方法，其中確定該物體照射單元的緩慢變化包括確定該物體照射單元視線的緩慢變化。

【0295】 項目4：如項目1至3中任一項之方法，其更包括：

確定多重射束帶電粒子射束裝置的動態變化，其包括確定物體照射單元的動態變化和偵測構造成維持該樣品的該載台振動；

確定第一動態補償信號以補償動態變化；及

將該第一動態補償信號施加到該物體照射單元的至少一部件上，以執行複數個一次帶電粒子子射束焦點的動態操縱。

【0296】 項目5：如項目4之方法，其中確定該物體照射單元的動態變化包括確定該物體照射單元視線的動態改變。

【0297】 項目6：如項目2至5中任一項之方法，其更包括：

確定第二漂移補償信號以補償緩慢變化；及

將第二漂移補償信號施加到投影單元的至少一部件，以補償複數個二次電子子射束的靜態調整，該靜態調整源自複數個一次帶電粒子子射束的已調整焦點。

【0298】 項目7：如項目4至6中任一項之方法，其更包括：

確定第二動態補償信號以補償動態變化；及

將第二動態補償信號施加到投影單元的至少一部件，以補償複數個二次電子子射束的動態操縱，該動態操縱源自複數個一次帶電粒子子射束的已動態操縱焦點。

【0299】 項目8：如項目1至7中任一項之方法，其中該第一和第二漂移補償信號的確定係基於多重射束帶電粒子射束裝置的時間行為之預測模型。

【0300】 項目9：如項目8之方法，其中該第一或第二漂移補償信號和第一或第二動態補償信號的確定係基於多重射束帶電粒子射束裝置的時間行為之頻率分析。

【0301】 項目10：如項目1至9中任一項之方法，其更包括接收複數個感測器信號，其包括來自載台位置感測器和影像感測器的感測器信號。

【0302】 項目11：如項目10之方法，其更包括使用控制單元基於接收到的複數個感測器信號，確定該漂移和動態補償信號。

【0303】 項目12：如項目1至11中任一項之方法，其更包括：

使用該控制單元的處理器評估多重射束帶電粒子射束裝置的時間行為之預測模型；及

使用控制單元基於該預測模型確定該漂移和動態補償信號。

【0304】 項目13：如項目12之方法，其中該預測模型的評估包括頻率分析、低通濾波和多項式近似。

【0305】 項目14：如項目12或13之方法，其更包括使用至少一條延遲線，將該漂移和動態補償信號與該預測模型同步。

【0306】 項目15：如項目1至14中任一項之方法，其更包括：

基於動態補償信號產生一束偏轉信號；

用該束偏轉信號修改一束掃描信號；及

將修改後的束掃描信號提供給一掃描束偏轉系統。

第十二組項目

【0307】 項目1：一種用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其包括：

一帶電粒子多重子射束產生器（300），用於產生複數個一次帶電粒子子射束（3），

一物體照射單元（100），其包括第一偏轉系統（110），供使用複數個一次帶電粒子子射束（3）掃描配置在物平面（101）中的晶圓表面（25），以用於在複數個一次帶電粒子子射束（3）的束斑位置（5）處，產生從該晶圓表面（25）發射的複數個二次電子子射束（9），具有一投影系統（205）、一第二偏轉系統（222）和一影像感測器（207）的一偵測單元（200），用於將複數個二次電子子射束（9）成像在影像感測器（207）上，並在使用期間擷取該晶圓表面（25）的第一影像斑塊（17.1）之數位影像，具有載台位置感測器（520）的晶圓載台（500），用於在擷取第一影像斑塊（17.1）的數位影像期間將晶圓表面（25）定位和維持在物平面（101）中。

複數個偵測器，其包括該載台位置感測器（520）和該影像感測器（207），該等偵測器構造成在使用期間產生複數個感測器資料，該感測器資料包括該晶圓載台（500）的位置資料，

一組補償器，其至少包括物體照射單元（100）中的補償器和投影系統（205）中的補償器，

一控制單元（800），其構造成從複數個感測器資料產生一第一組控制信號 C_p ，以在擷取該第一影像斑塊（17.1）的數位影像期間控制該組補償器，

其中該控制單元（800）構造成補償由該晶圓載台（500）的移動引起之晶圓表面（25）位移。

【0308】 項目2：如項目1之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）構造成通過計算該第一組控制信號 C_p 並將該第一組控制信號 C_p 提供給該第一和該第二補償器，以補償該物體照射單元（100）的視線（53）之位置變化。

【0309】項目3：如項目1或2中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）構造成通過計算該第一組控制信號 C_p 並將該第一組控制信號 C_p 提供給該第一和該第二補償器，以補償該晶圓載台（500）的位置變化或方位變化與該物體照射單元（100）的視線（53）之位置變化。

第十三組項目

【0310】項目1：一種用於晶圓檢測的多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其包括：

- a. 一帶電粒子多重子射束產生器（300），用於產生複數個一次帶電粒子子射束（3）；
- b. 一物體照射單元（100），其包括第一偏轉系統（110），供使用複數個一次帶電粒子子射束（3）掃描配置在物平面（101）中的晶圓表面（25），以用於產生從該晶圓表面（25）發射的複數個二次電子子射束（9）；
- c. 具有一投影系統（205）、一第二偏轉系統（222）和一影像感測器（207）的一偵測單元（200），用於將複數個二次電子子射束（9）成像在影像感測器（207）上，並在使用期間擷取該晶圓表面（25）的第一影像斑塊（17.1）之數位影像；
- d. 具有載台位置感測器（520）的晶圓載台（500），用於在擷取第一影像斑塊（17.1）的數位影像期間將晶圓表面（25）定位和維持在物平面（101）中；
- e. 一控制單元（800）；
- f. 複數個偵測器，其包括該載台位置感測器（520）和該影像感測器（207），該等偵測器構造成在使用期間產生複數個感測器資料，該感測器資料包括該晶圓載台（500）的位置資料；
- g. 一組補償器，其包括至少該第一和該第二偏轉系統（110、222），

其中該控制單元(800)構造成從複數個感測器資料產生一第一組控制信號 C_p ，以在擷取該第一影像斑塊(17.1)的數位影像期間控制該組補償器。

【0311】項目2：如項目1之多重射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該組補償器更包括帶電粒子多重子射束產生器(300)的補償器(330、332)和該偵測單元(200)的補償器(230、232)之至少一者。

【0312】項目3：如項目1或2中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該控制單元(800)包括一感測器資料分析系統(818)，該系統構造成在使用期間分析複數個感測器資料，並在使用期間計算 K 個誤差向量的 K 個振幅 A_k 之集合。

【0313】項目4：如項目3之多重射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該控制單元(800)更包括一影像資料擷取單元(810)，其構造成在使用期間將來自影像感測器(207)的影像感測器資料減少到例如小於影像感測器資料的10%，較佳小於2%之影像感測器資料部分(fraction)，並將該影像感測器資料部分提供給該感測器資料分析系統(818)。

【0314】項目5：如項目3或4中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該感測器資料分析系統(818)構造成預測誤差向量的該組振幅 A_k 中的至少一振幅 A_n 的時間發展。

【0315】項目6：如項目3至5中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該控制單元(800)更包括一控制操作處理器(840)，用於從誤差向量的振幅 A_k 之集合來計算該第一組控制信號 C_p 。

【0316】項目7：如項目3至6中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該感測器資料分析系統(818)構造成從複數個感測器資料推導出長度為 L 的感測器資料向量 DV ，其中 $L > K$ 。

【0317】項目8：如項目1至7中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡(1)，其中該控制單元(800)構造成通過計算該第一組控制信號 C_p 中至少一者並將該

第一組控制信號 C_p 中至少一者提供給該第一和該第二偏轉系統（110、222），以補償該晶圓載台（500）的位置變化或方位變化。

【0318】項目9：如項目1至8中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）構造成通過計算該第一組控制信號 C_p 中至少一者並將該第一組控制信號 C_p 中至少一者提供給該第一和該第二偏轉系統（110、222），以補償該物體照射單元（100）的視線（53）之位置變化。

【0319】項目10：如項目1至9中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）構造成通過計算該第一組控制信號 C_p 中至少一者並將該第一組控制信號 C_p 中至少一者提供給該第一和該第二偏轉系統（110、222），以補償該晶圓載台（500）的位置變化或方位變化與該物體照射單元（100）的視線（53）之位置變化。

【0320】項目11：如項目1至10中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中帶電粒子多重子射束產生器（300）更包括一快速補償器（330），且該控制單元（800）構造成通過計算該第一組控制信號 C_p 中至少一者並提供該第一組控制信號 C_p 中至少一者給快速補償器（330），以引起複數個一次帶電粒子子射束的旋轉，以補償晶圓載台（500）的旋轉。

【0321】項目12：如項目1至11中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）更構造成產生一第三控制信號，用於通過該晶圓載台（500）將該晶圓表面（25）移到該物平面（101）中第二影像斑塊17.2的第二中心位置，進行第二影像斑塊（17.2）的數位影像之影像擷取。

【0322】項目13：如項目12之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）更構造成從複數個感測器資料計算第二組P控制信號 C_p ，以在該晶圓載台（500）移到該第二影像斑塊（17.2）的第二中心位置之時間間隔 Tr 期間，控制該組補償器。

【0323】項目14：如項目12至13中任一項之多重射束帶電粒子顯微鏡（1），其中該控制單元（800）更構造成計算在時間間隔 Tr 期間該第二影像斑

塊17.2的影像擷取開始時間，並且在該晶圓載台（500）的減速時間間隔Td期間開始該第二影像斑塊17.2的影像擷取，並且其中該控制單元（800）更構成將至少該晶圓載台（500）在時間間隔Td期間的預測偏移位置之一偏移信號提供給該第一和第二偏轉系統（110、222）。

第十四組項目

- 【0324】** 項目1：一種改善多重射束帶電粒子顯微鏡通量之方法，其包括：
在具有束間距d1的光柵組態之樣品表面上，產生複數個一次帶電粒子子射束的多個束斑；
沿預定掃描路徑共同掃描複數個一次帶電粒子；
控制複數個一次帶電粒子子射束的束間距d1；

其中該控制包括通過使用用於操縱束斑位置的補償器來補償束間距d1之變化，從而減少一重疊區域。

【0325】 項目2：如項目1之方法，其中該控制包括提供控制信號給多光束多極偏轉器器件，以高精度動態控制該樣品表面的多個束斑位置，該高精度為100 nm以下、70 nm以下，甚至30 nm以下。

【0326】 項目3：如項目1或2之方法，其更包括使用100 nm以下、70 nm以下甚至30 nm以下的高精度影像感測器感測該樣品表面焦點位置之步驟。

【0327】 項目4：如項目1至3中任一項之方法，其中該束路徑d1約為10 μm。

【0328】 可提供一種非暫態電腦可讀取媒體，其儲存供（例如控制單元800或感測器資料分析系統818的）處理器執行晶圓檢測、晶圓成像、載台校準、位移誤差校準、位移誤差補償，操縱與樣品相關聯的電磁場，與影像資料擷取單元810通訊，啟動加速度感測器，或執行演算法以評估或預測包括樣品載台500的多重子射束帶電粒子顯微系統1的性能以及該多重子射束帶電粒子系統的控制操作之指令。該非暫態媒體的常見形式包括例如硬碟、固態硬碟、任何光學資料儲存媒體、隨機存取記憶體(RAM)、可編程唯讀記憶體(PROM)以及可抹除

可編程唯讀記憶體(EPROM)、FLASH-EPROM或任何其他快閃記憶體、非揮發性隨機存取記憶體(NVRAM)、快取、暫存器、任何其他記憶體晶圓或儲存卡匣。

【0329】圖式內的方塊圖說明根據本發明許多示範具體實施例的系統、方法和電腦硬體或軟體產品可能實施之架構、功能和操作。如此，流程圖或方塊圖內的每一方塊可代表模組、區段或程式碼部分，這部分程式碼可包括一或多個可執行指令來實施特定邏輯功能。應了解，在某些替代實施中，方塊圖內提到的功能可以不依照圖式內順序來執行。例如：兩連續顯示的方塊實際上可同時執行，或可顛倒順序執行，這取決於所牽涉到的功能。某些方塊也可省略。應了解到，使用執行特殊功能或動作的特殊用途硬體系統或通過特殊用途硬體與電腦指令的組合，可實施方塊圖的每一方塊以及方塊圖內方塊的組合。

【0330】應理解，本發明的具體實施例並不受限於以上已描述並且在附圖中例示的確切構造，並且在不悖離本發明範圍的情況下可進行各種修改和改變。應當理解，本發明不限於該等子項組合，並且在不悖離其範疇的情況下可進行各種修改和改變或子項的其他組合。應理解，本發明不限於一方法或一裝置，而是將涵蓋構造成根據任何方法或利用所描述或子項組合的任何裝置元件和組態之任何方法操作之任何裝置。

【符號說明】

- | | |
|----|--------------------------|
| 1 | 多重子射束帶電粒子顯微系統 |
| 3 | 一次帶電粒子子射束，形成複數個一次帶電粒子子射束 |
| 5 | 束斑 |
| 7 | 物體或晶圓 |
| 9 | 二次電子子射束，形成複數個二次電子子射束 |
| 11 | 二次電子射束路徑 |
| 13 | 一次射束路徑 |
| 15 | 二次帶電粒子束斑 |

17	影像斑塊
19	重疊區域
21	影像斑塊中心位置
25	晶圓表面
27	一次帶電粒子子射束的掃描路徑
29	影像子場的中心
31	影像子場
33	第一檢測部位
35	第二檢測部位
37	掃描旋轉之後的影像子場
39	子場31的重疊區域
41	光柵組態
51	影像座標系統
53	多重射束帶電粒子顯微鏡的視線
55	位移向量
59	旋轉向量分量
61	像斑的個別位移
100	物體照射單元
101	物平面
102	物鏡
103.1,103.2	第一和第二場透鏡
105	多重子射束帶電粒子顯微系統的光軸
108	第一束交叉點
110	偏轉系統
130	物體照射單元的緩慢補償器
132	物體照射單元的快速動態補償器

138	物體照射單元感測器
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
212	第二交叉點
214	孔
216	主動元件
218	第三偏轉系統
220	多孔徑校正器
222	偏轉系統
230	二次電子射束路徑的緩慢補償器
232	偵測單元的快速補償器
238	二次電子射束路徑感測器
300	帶電粒子多重子射束產生器
301	帶電粒子源
303	準直透鏡
305	多重子射束形成單元
306	主動多重孔板配置
307	第一場透鏡
308	第二場透鏡
309	一次帶電粒子射束
311	一次電子子射束的焦點
321	中間像平面

330	多重子射束產生器的緩慢補償器
332	多重子射束產生器的快速補償器
390	射束轉向陣列或偏轉器陣列
400	分射束器單元
420	磁聚焦透鏡
430	分射束單元的緩慢補償器
500	樣品載台
503	樣品電壓供應器
520	載台位置感測器
551	局部晶圓座標系統
601	主動多孔徑陣列
607	導電線
681	電極
685	孔或孔陣列
800	控制單元
810	影像資料擷取單元
812	影像拼接單元
814	影像資料記憶體
818	感測器資料分析系統
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	偏轉控制模組
880	載台控制模組
901	誤差振幅臨界
903	誤差振幅梯度

- 905 誤差振幅臨界窗口
- 907 誤差振幅模型函數
- 909 誤差振幅梯度

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種具有高通量與高解析度的多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其包括

在第一時間間隔 T_{s1} 中的一第一影像斑塊17.1的第一影像擷取及
在第二時間間隔 T_{s2} 中第二影像斑塊17.2的第二影像擷取；及
用於將一晶圓載台（500）從該第一影像斑塊（17.1）的第一中心位置（21.1）移到該第二影像斑塊17.2的第二中心位置（21.2）之第三時間間隔 T_r ，使得該第一時間間隔 T_{s1} 和該第二時間間隔 T_{s2} 之至少一者與該第三時間間隔 T_r 具有一重疊；

其中在該第二影像斑塊17.2的該第二中心位置（21.2）與該多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的視線（53）重合之前，開始該第二影像斑塊17.2的該第二影像擷取。

【請求項2】 如請求項1之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其中在該第三時間間隔 T_r 結束之前，即當該晶圓載台（500）已經完全停止時之前，開始該第二影像斑塊17.2的該第二影像擷取。

【請求項3】 如請求項1或2之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其中該第三時間間隔 T_r 在該第一時間間隔 T_{s1} 結束之前，即當該第一影像斑塊17.1的該第一影像擷取完成時之前，開始。

【請求項4】 如請求項1或2之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其更包括計算發生在該第一時間間隔 T_{s1} 期間內該第三時間間隔 T_r 之開始時間，使得該第一影像斑塊17.1的該第一中心位置與該多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的該視線（53）之位置偏差或該晶圓載台（500）的移動速度低於一預定臨界。

【請求項5】如請求項1或2之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其更包括計算發生在該第三時間間隔 T_r 期間內該第二時間間隔 T_{s2} 之開始時間，使得該第二影像斑塊17.2的該第二中心位置21.2與該多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的該視線（53）之位置偏差或該晶圓載台（500）的移動速度低於一預定臨界。

【請求項6】如請求項1或2之多重射束帶電粒子顯微鏡（1）之操作方法，其更包括下列步驟：

預測在該第三時間間隔 T_r 期間之一系列晶圓載台位置；

從預測的晶圓載台位置計算至少第一和第二控制信號；

將該第一控制信號提供給該多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的一次射束路徑（13）中的第一偏轉系統（110），並將該第二控制信號提供給該多重射束帶電粒子顯微鏡（1）的二次射束路徑（11）中之第二偏轉系統（222）。

【請求項7】一種具有高通量和高解析度的多重射束帶電粒子系統，其包括一帶電粒子多重子射束產生器（300），用於產生複數個一次帶電粒子子射束（3）；一物體照射單元（100），其包括第一偏轉系統（110），供使用該複數個一次帶電粒子子射束（3）掃描配置在物平面（101）中的晶圓表面（25），以用於在該複數個一次帶電粒子子射束（3）的束斑位置（5）處，產生從該晶圓表面（25）發射的複數個二次電子子射束（9）；具有一投影系統（205）、一第二偏轉系統（222）和一影像感測器（207）的一偵測單元（200），用於將該複數個二次電子子射束（9）成像在影像感測器（207）上，並在使用期間擷取該晶圓表面（25）的第一影像斑塊（17.1）和第二影像斑塊（17.2）之數位影像；

一晶圓載台（500），其包括一載台運動控制器，其中該載台運動控制器包括構造成獨立控制的複數個馬達，該載台構造成用於在擷取該第一影像斑塊（17.1）和該第二影像斑塊（17.2）的數位影像期間，將晶圓表面（25）定位並維持在該物平面（101）內；

複數個偵測器，該等偵測器構造成在使用期間產生複數個感測器資料，該感測器資料包括該晶圓載台（500）的位置資料；

一控制單元（800），其構造成用於在使用期間，執行在第一時間間隔 T_{s1} 中的一第一影像斑塊17.1的第一影像擷取、及在第二時間間隔 T_{s2} 中第二影像斑塊17.2的第二影像擷取，並且構造成在第三時間間隔 T_r 內觸發該晶圓載台（500），將該晶圓載台（500）從該第一影像斑塊（17.1）的第一中心位置（21.1）移到該第二影像斑塊17.2的第二中心位置（21.2），使得該第一時間間隔 T_{s1} 和該第二時間間隔 T_{s2} 之至少一者與該第三時間間隔 T_r 具有一重疊；

其中在該第二影像斑塊17.2的該第二中心位置（21.2）與該多重射束帶電粒子系統的視線（53）重合之前，開始該第二影像斑塊17.2的該第二影像擷取。

【請求項8】 如請求項7之系統，其中該控制單元更構造成用於確定發生在該第一時間間隔 T_{s1} 期間內該第三時間間隔 T_r 之開始時間，使得該第一影像斑塊17.1的該第一中心位置與該多重射束帶電粒子系統的該視線（53）之位置偏差或該晶圓載台（500）的移動速度低於一預定臨界。

【請求項9】 如請求項7或8之系統，其中該控制單元更構造成用於確定發生該第三時間間隔 T_r 期間內該第二時間間隔 T_{s2} 之開始時間，使得該第二影像斑塊17.2的該第二中心位置21.2與該多重射束帶電粒子系統的該視線（53）之位置偏差或該晶圓載台（500）的移動速度低於一預定臨界。

【請求項10】 如請求項7或8之系統，其中該控制單元更構造成用於預測在該第三時間間隔 T_r 期間之一系列晶圓載台位置，及用於從預測的晶圓載台位置計算至少第一和第二控制信號，及用於將該第一控制信號提供給該多重射束帶電粒子系統的一次射束路徑（13）中的該第一偏轉系統（110）並將該第二控制信號提供給該多重射束帶電粒子系統的二次射束路徑（11）中之該第二偏轉系統（222）。

【請求項11】 一種具有高通量和高解析度的多重射束帶電粒子系統之操作方法，其包括：

一第一影像斑塊17.1的第一影像擷取、一第二影像斑塊17.2的第二影像擷取以及將一晶圓載台（500）從該第一影像斑塊（17.1）的第一中心位置（21.1）移到該第二影像斑塊17.2的第二中心位置（21.2），全部在一時間間隔 T_G 內

其中

第一影像斑塊17.1的該第一影像擷取在第一時間間隔 T_{s1} 期間內；

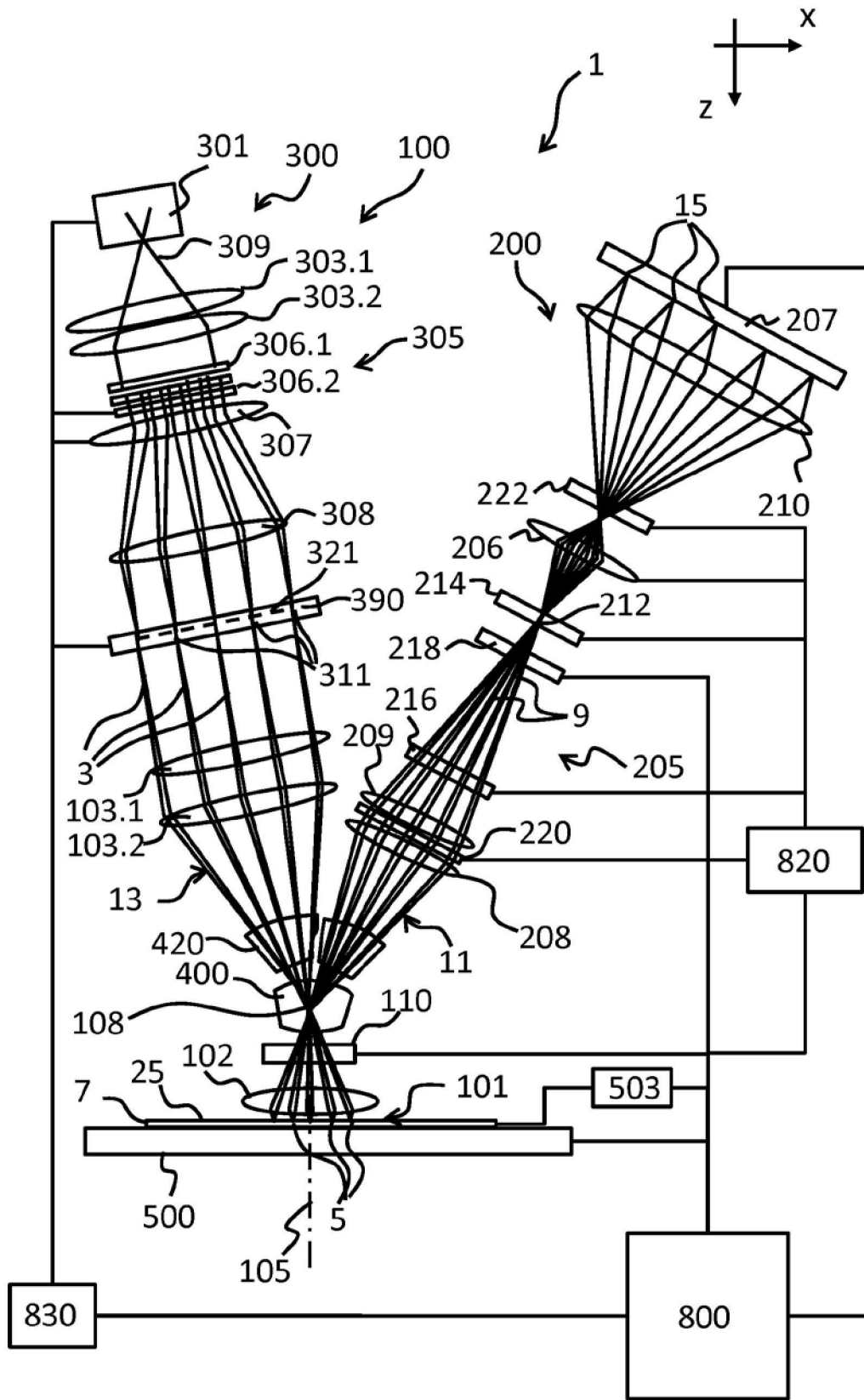
第二影像斑塊17.2的該第二影像擷取在第二時間間隔 T_{s2} 期間內；及

在第三時間間隔 T_r 中，將該晶圓載台（500）從該第一影像斑塊（17.1）的該第一中心位置（21.1）移到該第二影像斑塊17.2的該第二中心位置（21.2）；並且其中

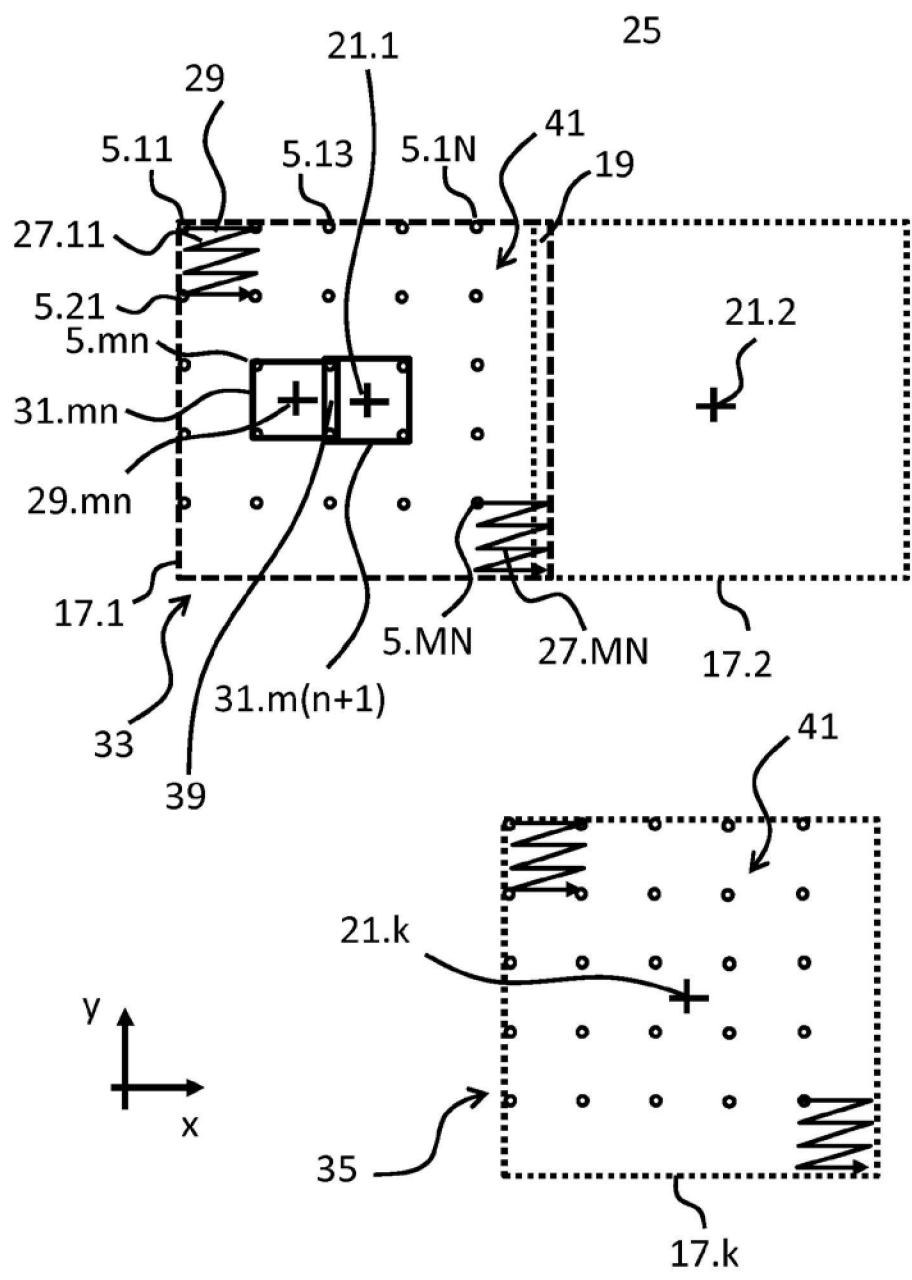
該時間間隔 T_G 小於 T_{s1} 、 T_{s2} 和 T_r 的總和： $T_G < T_{s1} + T_{s2} + T_r$ ；

其中在該第二影像斑塊17.2的該第二中心位置（21.2）與該多重射束帶電粒子系統的視線重合之前，開始該第二影像斑塊17.2的該第二影像擷取。

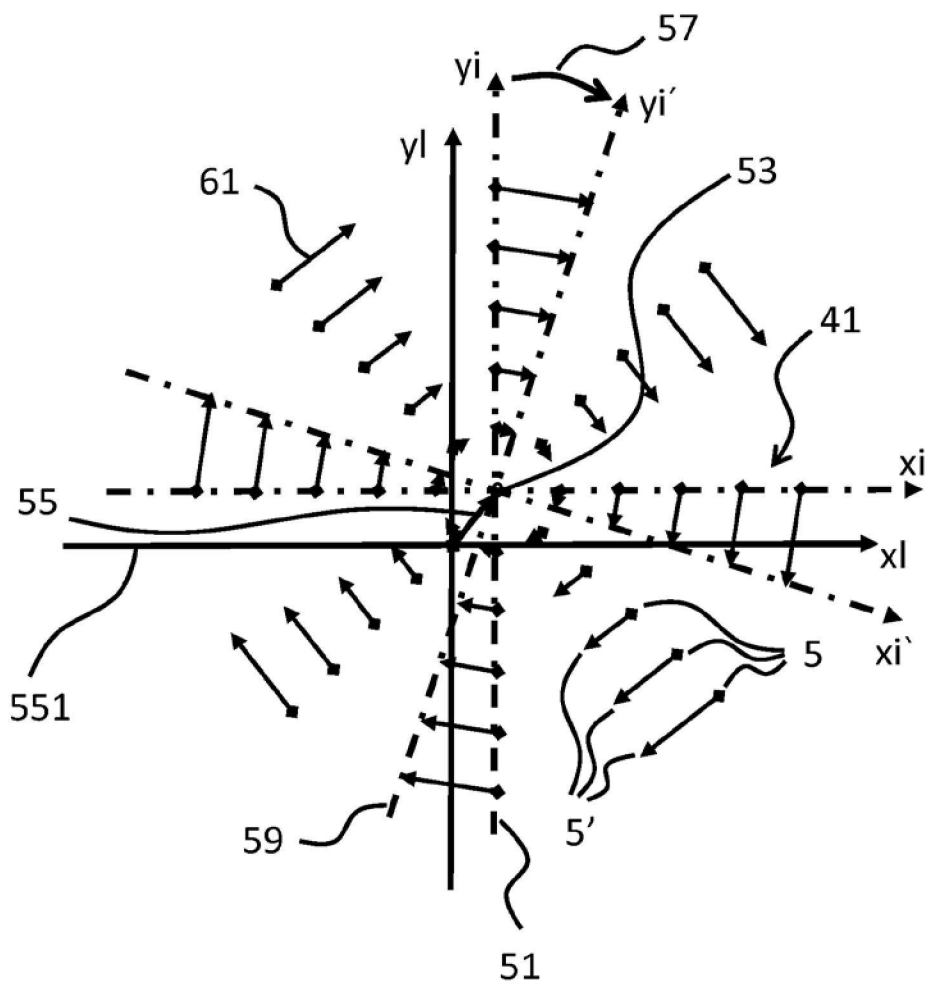
【發明圖式】



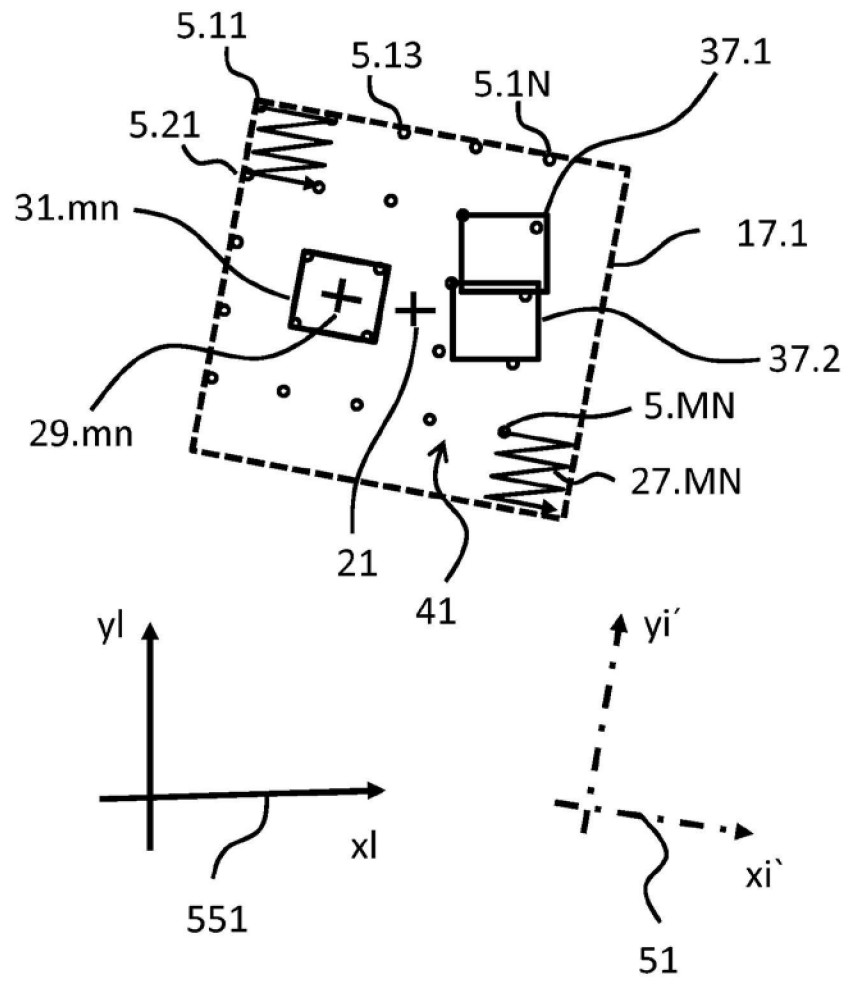
【圖1】



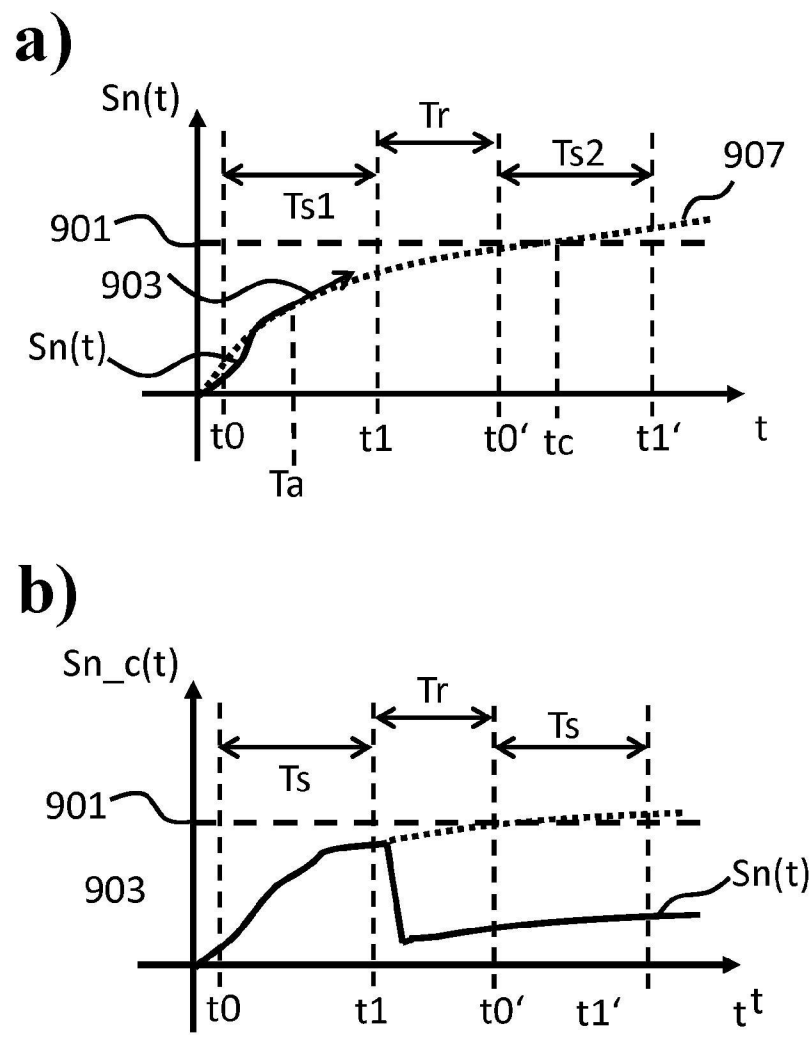
【圖2】



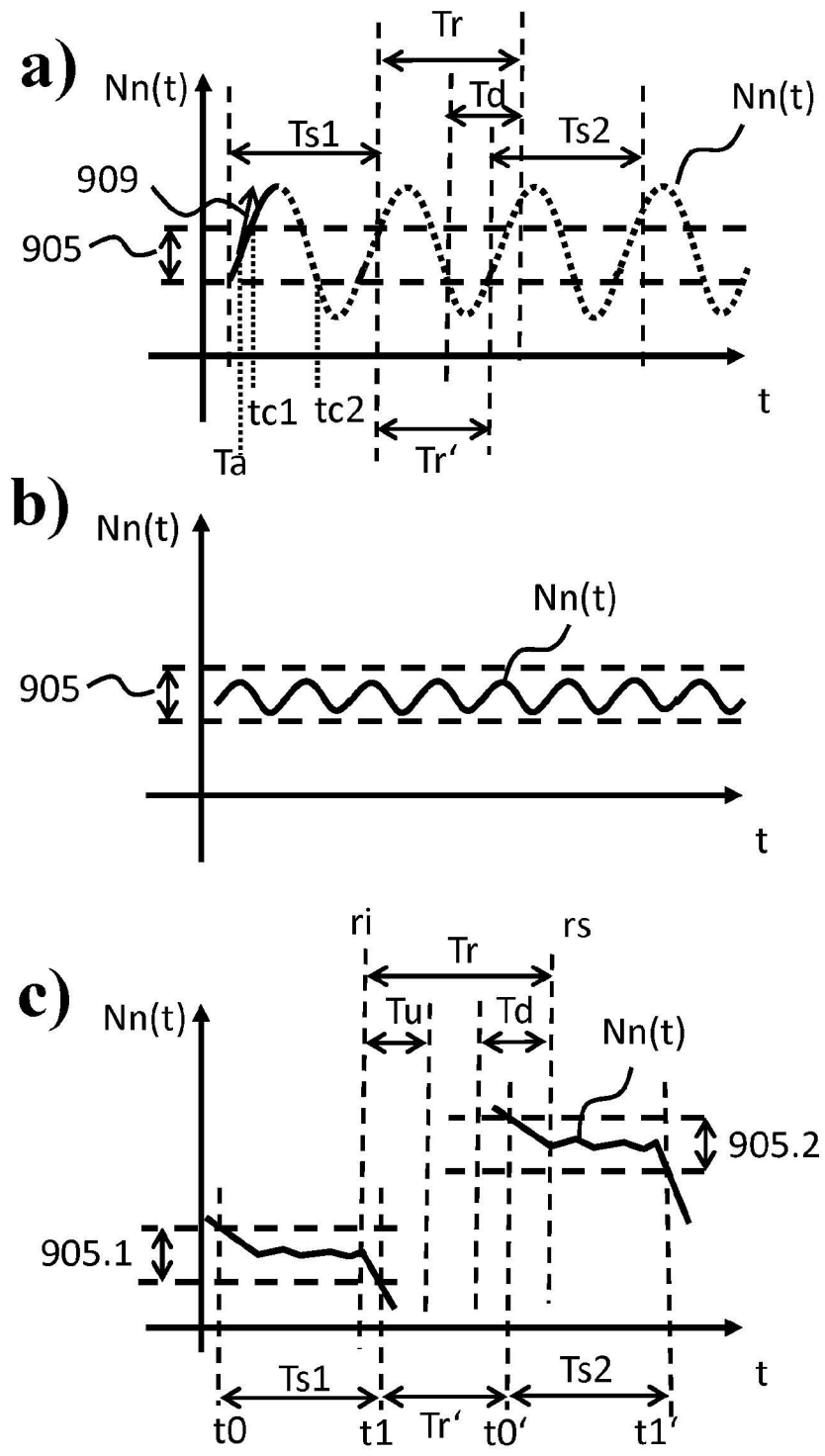
【圖3a】



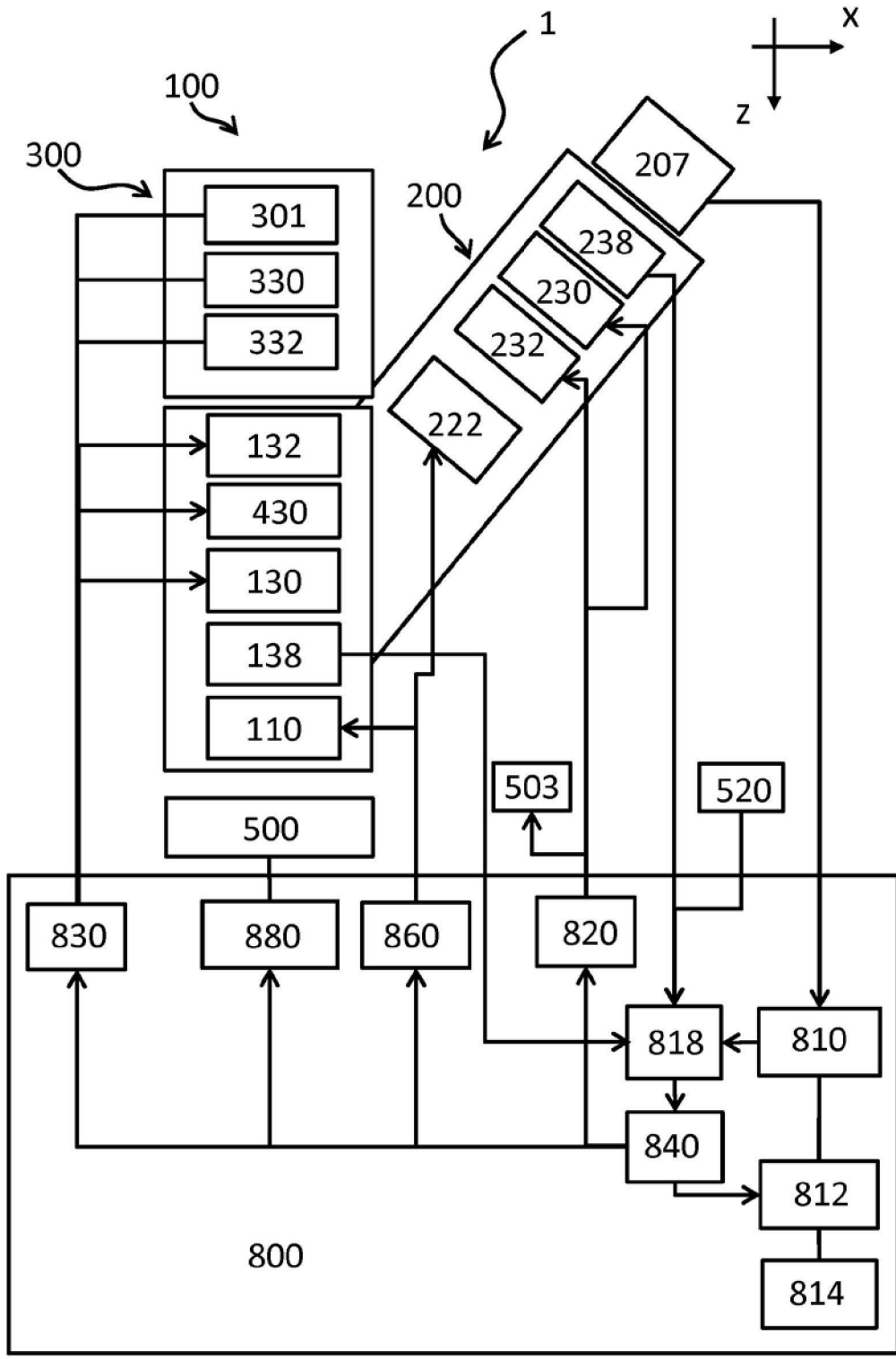
【圖3b】



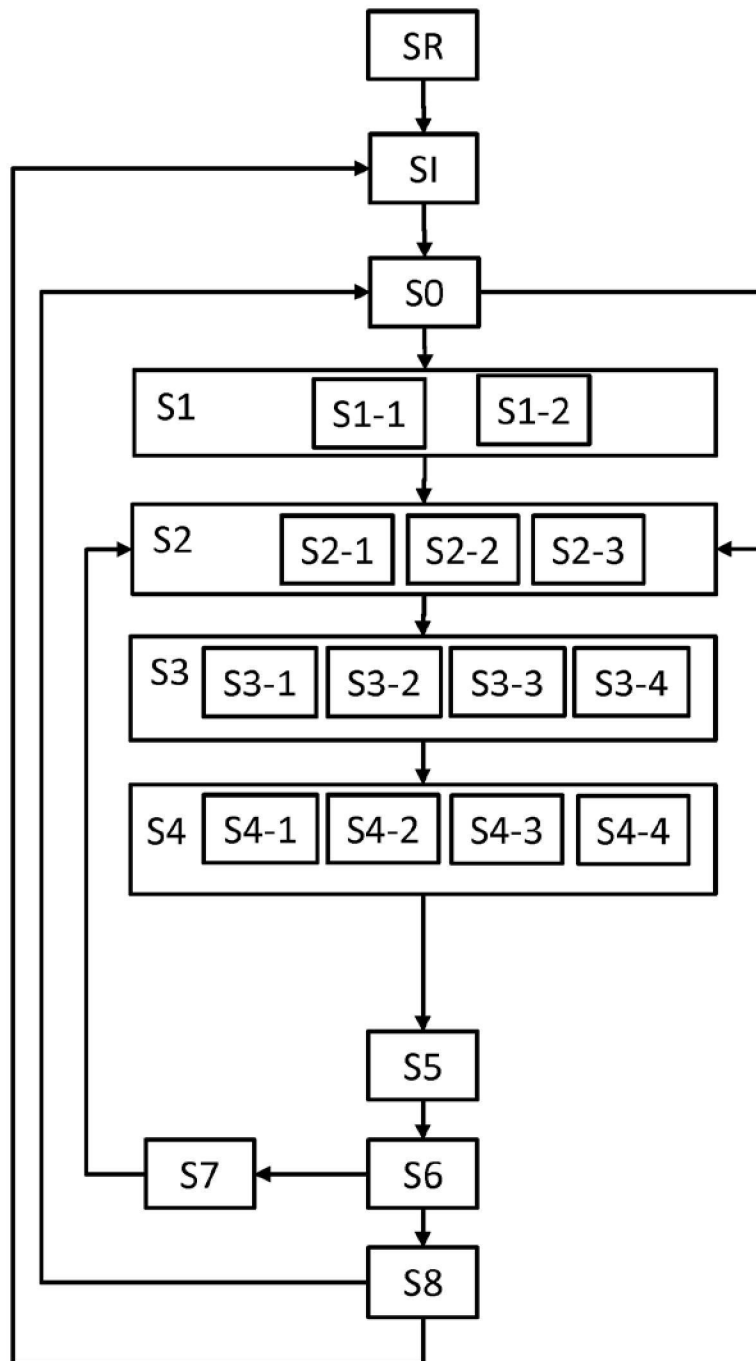
【圖4】



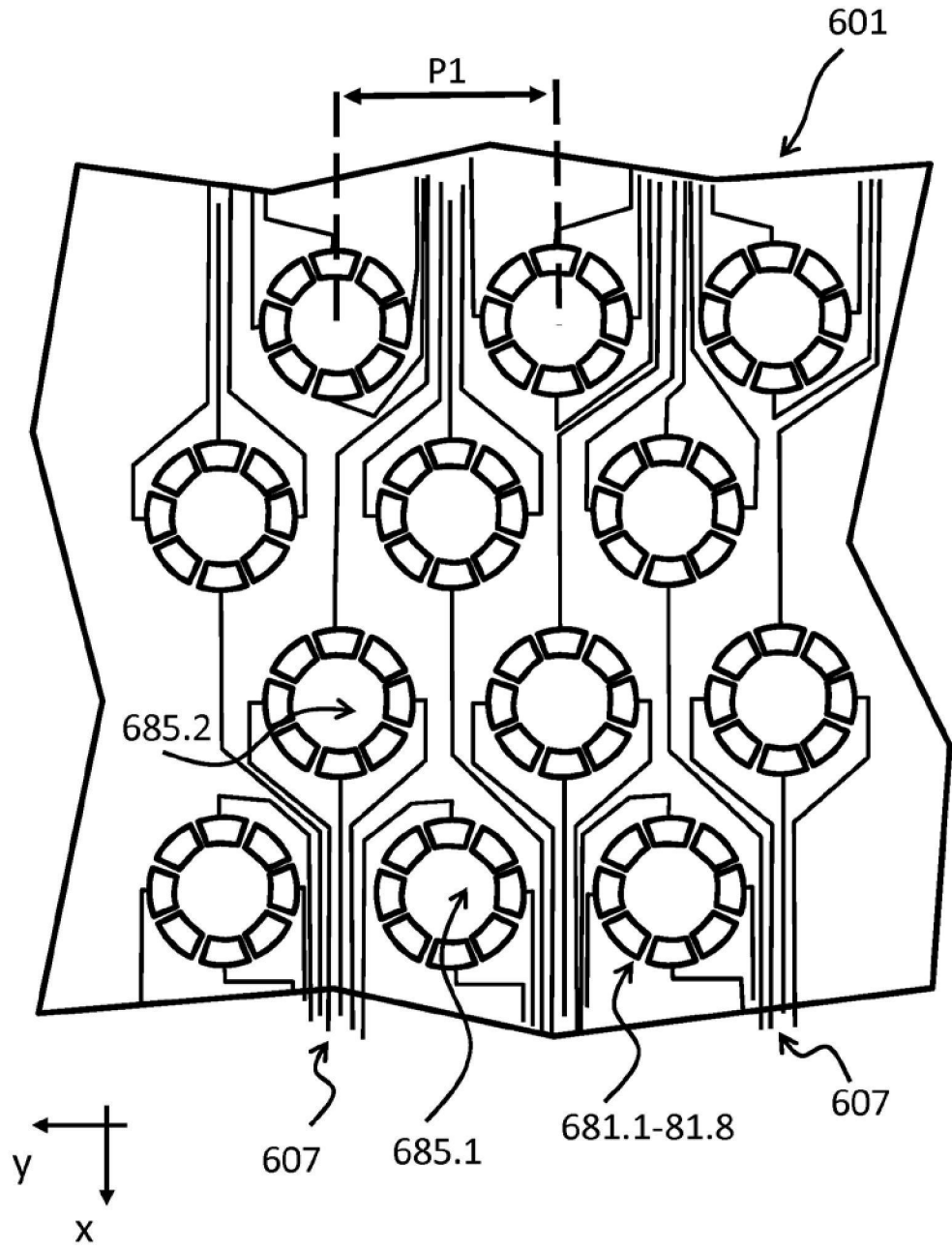
【圖5】



【圖6】



【圖7】



【圖8】