

(21)申請案號：101118079

(22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 05 月 21 日

(51)Int. Cl.：

H01J37/153 (2006.01)

H01J37/05 (2006.01)

H01J37/28 (2006.01)

(30)優先權：2011/05/19 美國

13/111,851

(71)申請人：漢民微測科技股份有限公司 (中華民國) HERMES MICROVISION INC. (TW)

新竹市埔頂路 18 號 7 樓

(72)發明人：任偉明 REN, WEIMING (CN)；陳仲瑋 CHEN, ZHONGWEI (US)

(74)代理人：陳達仁

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：30 項 圖式數：8 共 58 頁

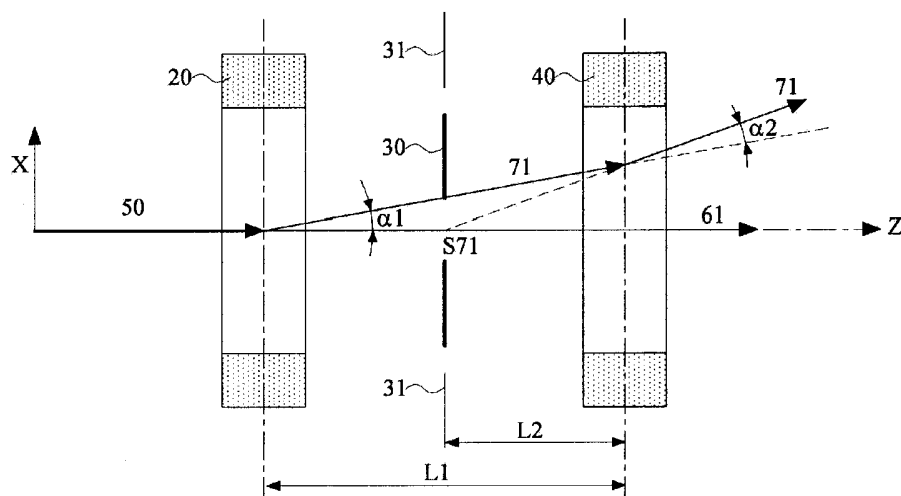
(54)名稱

帶電粒子束裝置之單色器

MONOCHROMATOR FOR CHARGED PARTICLE BEAM APPARATUS

(57)摘要

本發明提供一種可減少帶電粒子裝置中一主帶電粒子束之能量散佈的單色器，單色器包含一粒子束調整元件、二個 Wien 過濾器形式的分散單元與一能量限制孔徑。在單色器中，形成折射散佈與沿光軸的基本軌跡的雙對稱性，不但根本上避免引發實際上無法補償的離軸像差，同時也可確保離開的粒子束在單色器內具有一共焦、無分散的虛擬交叉。因此，在掃描式電子顯微鏡中使用單色器可以減少色散像差而不會引起不良的影響，以提高最終成像解析度。成像解析度的改進對於基於低電壓掃描式電子顯微鏡原理的低電壓掃描式電子顯微鏡及相關裝置而言更加明顯，例如半導體良率管理的缺陷檢測與缺陷檢視。本發明同時提供了兩種將一單色器整合到一掃描式電子顯微鏡的方法，其一是將一單色器置於電子源與聚光鏡之間，而另一種方法是將一單色器置於粒子束限制孔徑與物鏡之間。前者提供一額外能量角度過濾，並獲得一個較小的有效能量散佈。



20：第一分散單元

30：能量限制孔徑

31：平面

40：分散單元

50：軸上電子束

61：正常能量 V_0 電子

71：正常能量 V_0 電子

(21)申請案號：101118079

(22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 05 月 21 日

(51)Int. Cl.：

H01J37/153 (2006.01)

H01J37/05 (2006.01)

H01J37/28 (2006.01)

(30)優先權：2011/05/19 美國

13/111,851

(71)申請人：漢民微測科技股份有限公司 (中華民國) HERMES MICROVISION INC. (TW)

新竹市埔頂路 18 號 7 樓

(72)發明人：任偉明 REN, WEIMING (CN)；陳仲瑋 CHEN, ZHONGWEI (US)

(74)代理人：陳達仁

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：30 項 圖式數：8 共 58 頁

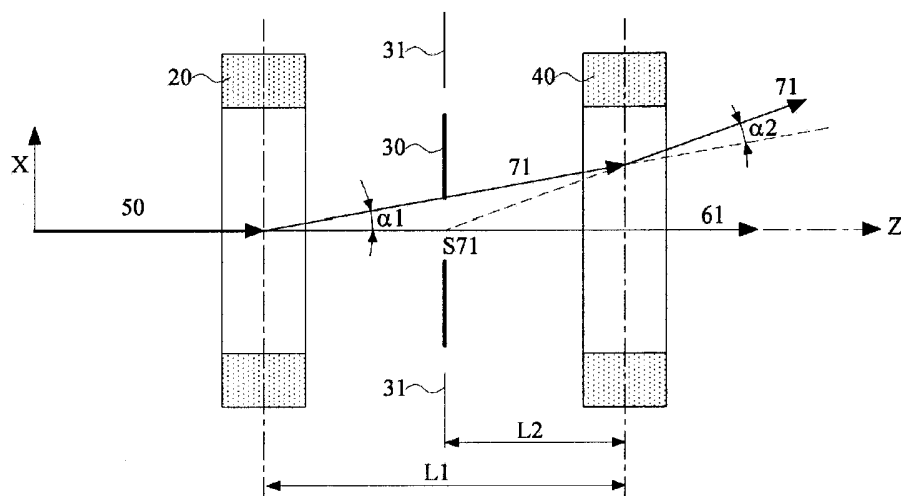
(54)名稱

帶電粒子束裝置之單色器

MONOCHROMATOR FOR CHARGED PARTICLE BEAM APPARATUS

(57)摘要

本發明提供一種可減少帶電粒子裝置中一主帶電粒子束之能量散佈的單色器，單色器包含一粒子束調整元件、二個 Wien 過濾器形式的分散單元與一能量限制孔徑。在單色器中，形成折射散佈與沿光軸的基本軌跡的雙對稱性，不但根本上避免引發實際上無法補償的離軸像差，同時也可確保離開的粒子束在單色器內具有一共焦、無分散的虛擬交叉。因此，在掃描式電子顯微鏡中使用單色器可以減少色散像差而不會引起不良的影響，以提高最終成像解析度。成像解析度的改進對於基於低電壓掃描式電子顯微鏡原理的低電壓掃描式電子顯微鏡及相關裝置而言更加明顯，例如半導體良率管理的缺陷檢測與缺陷檢視。本發明同時提供了兩種將一單色器整合到一掃描式電子顯微鏡的方法，其一是將一單色器置於電子源與聚光鏡之間，而另一種方法是將一單色器置於粒子束限制孔徑與物鏡之間。前者提供一額外能量角度過濾，並獲得一個較小的有效能量散佈。



20：第一分散單元

30：能量限制孔徑

31：平面

40：分散單元

50：軸上電子束

61：正常能量 V_0 電子

71：正常能量 V_0 電子

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

[0001] 本發明係關於一種帶電粒子束裝置，特別是關於一種將帶電粒子束過濾成小能量散佈的單色器。本發明同時關於一種適於使用此裝置的帶電粒子束設備。儘管如此，應該理解的是本發明具有更廣泛的適用範圍。

【先前技術】

[0002] 在應用電子顯微鏡原理觀察樣品的掃描式電子顯微鏡以及相關的工業領域中，例如半導體製造中的良率管理的缺陷檢視及缺陷檢查，需要獲得具有高解析度的試片影像並要求低輻射損壞。

[0003] 減少試片樣品輻射損壞的唯一解決方式就是使用一低能量（或一般在掃描式電子顯微鏡領域稱為低電壓）電子束掃描（ $<5\text{keV}$ ），但卻會限制電子束試片表面下的穿透力以及試片表面的殘餘電荷累積。不過由於低能量電子束會形成一比高能量電子束大的探針點使得解析度變差。

[0004] 試片表面上的探針點直徑係由成像系統中的電子源的大小、球狀相差與色散像差、繞射與庫倫效應（Coulomb effect）決定。對於低能量電子束而言，可實現最小探針點尺寸受限於導因於較大之德布羅伊波長（de Broglie wavelength） λ 的繞射圓平面及導因於較大之相對能量散佈 dV/V_0 的色散像差。兩者分別顯示於方程式（1.1）與（1.2）。此處 C_{CA} 是色散像差係數， V_0 及 dV 是電子能量及能量散佈， a 是粒子束半角。很明顯的是，

要減小探針點尺寸，減少能量散佈及降低色散像差係數是另一個選項。

(1.1)

$$Dd = 0.61 \cdot \frac{\lambda}{\alpha} \quad \text{where} \quad \lambda = \frac{12.26}{\sqrt{V_0}}$$

(1.2)

$$Dc = \frac{1}{2} \cdot C_{cd} \cdot \alpha \cdot \frac{dV}{V_0}$$

[0005] 電子束之能量散佈係來自原始能量散佈，原始能量散佈係由當電子從一電子源射出且由電子源到目標途中電子之間統計上的交互作用造成之疊加能量散佈（Boersch effect）而生成。電子能量散佈通常有一具有長尾巴的形狀，且電子束的能量散佈通常以FWHM(Full Width Half Maximum)（完整寬度一半最大值）來表示。蕭特基場發射源（Schottky Field Emission Source）廣泛應用於低電壓掃描式電子顯微鏡（LVSEM），在陰極的能量散佈 dV 是 0.3 eV，且取決於粒子束電流，在電子槍出口處增加到 0.5-1 eV。對於低能電子束如1 keV而言，此一能量散佈值大小意味著一相對的能量散佈 dV/V_0 較例如10keV的高能電子束大得多。

[0006] 目前提供了很多的解決方案以減少電子落在試片前的能量散佈 dV 。在這些解決方案中，磁性及/或靜電折射

器（例如 Alpha 過濾器、omega 過濾器及 Wien 過濾器）及靜電圓透鏡（例如美國專利第 7034315 號）被用作為分散元件。這些元件的共同點在於當偏折電子束時產生折射散佈。在這些解決方案之中只有 Wien 過濾器具有一直光軸且不會將具有正常能量的電子偏折遠離光軸。這一特性使 Wien 過濾器易於準備並且不會產生實際上無法獲得完全補償的離軸相差，因此許多提出的解決方案都是基於 Wien 過濾器。

[0007] 如第一圖中所示，在一標準 Wien 過濾器的基本配置中，一沿 X 方向的靜電偶極場 E 及一沿 Y 方向磁偶極場 B 彼此垂直疊加，且兩者都垂直於一直光軸 Z 。一電子束沿光軸 Z 穿過 Wien 過濾器。Wien 條件只有當電子以速度 v_0 沿 Z 方向移動時為真，如方程式 (1.3) 中所示，此處對每個電子的淨羅倫茲力 F 是零。對於具有自速度 v_0 的速度變化量 dv 沿 Z 方向移動的電子而言，其獲得沿 X 方向非零淨羅倫茲力 F ，如以正常的電子能量 V_0 及能量變化量 dV 表示的方程式 (1.4) 或 (1.5) 中所示，且將在 X 方向被折射且因此被轉向遠離 Z 方向。此處 e 及 m 分別是電子的電荷與質量。折射角度 α 取決於能量變化量 dV 及有關於磁場 B 與正常能量 V_0 的折射功率 K ，如方程式 (1.6) 中所示。因此，Wien 過濾器將產生折射散佈，而折射功率 K 代表分散強度。為清楚起見，此處折射功率 K 及偏折方向分別稱為分散功率及分散方向。在此情況下對於速度 v_0 的電子而言無離軸的像差發生。

[0008]

Wien Condition: $F(\nu_0) = F_e + F_m = 0$ or $E = \nu_0 \cdot B$

(1.4)

Dispersion: $F(\nu_0 + \delta\nu) = -e \cdot \delta\nu \cdot B$

(1.5)

$$F(V_0 + \delta V) = -e \cdot \frac{\delta V}{\sqrt{2 \cdot m \cdot V_0}} \cdot B$$

(1.6)

$$\alpha = K(B, V_0) \cdot \delta V$$

對於每個具有正常能量但不是在YOZ 平面中移動的電子而言，將獲得一種來自靜電場的電位改變。因此，當其穿過Wien過濾器時速度將不同於 v_0 如(1.7)所示，並且會獲得非零淨羅倫茲力如(1.8)中所示。淨羅倫茲力與電子位置 x 成正比，因此在 X 方向（分散方向）的聚焦效應存在。分散方向的聚焦效應將生成像散聚焦（astigmatic focusing），並同時減少的離軸電子的折射角度。後者意謂著分散功率降低。

(1.7)

$$v_0 - v = - \frac{e \cdot E \cdot x}{m \cdot v_0}$$

(1.8)

$$F(x) = -\frac{e^2 \cdot B \cdot E}{\sqrt{2 \cdot m \cdot V_0}} \cdot x$$

Wien過濾器在許多方面被應用做為單色器或能量過濾器，其中能量過濾以及能量角度過濾為兩種典型方法。在如第二a圖所示的能量過濾中，一來自電子源 1 的粒子束2 藉由圓形透鏡10及或Wien過濾器 11 本身（例如，美國專利第6452169號、美國專利第 6580073號、美國專利第6960763號及美國專利第7507956號）聚焦，在能量限制孔徑 12 上形成像散的影像。具有能量 V_0 的電子形成聚焦到光軸的次電子束3，同時能量為 $V_0 \pm dV$ 的電子分別形成分別在 $\pm X$ 方向偏折且聚焦遠離光軸的次電子束 4及5。因此，在粒子束 2內，其能量變化量在 $\pm dV$ 內的所有電子將通過孔徑 12，其餘電子將被擋下。

[0010] 作為一明顯的優點，能量過濾將完全切斷電子能量分布的長尾巴。能量分布的長尾巴產生影像中的一背景並降低影像對比。作為一不可忽視的缺點，能量過濾需增加電子源尺寸。電子源 1在孔徑 12 的影像為後續電子光學的來源，實際上由孔徑大小決定其尺寸。然而目前在實際孔徑大小目前($\sim 100\text{nm}$)是遠大於的原始電子源的尺寸1（蕭特基場發射源的虛擬來源為約20nm）。此外，孔徑 12 上的影像是所有電子的交叉結果，此增強產生額外能量散佈的電子相互作用。雖然在電子相互作用方面而言，像散影像較無像散共焦影像為佳。

[0011] 如第二b圖中所示能量角度過濾中（例如美國專利第6489621號、美國專利第7679054號及美國專利第5838004號），一來自電子源1的粒子束2通過Wien過濾器11。具有能量 V_0 的電子形成直行的次電子束3，同時能量分別為 $V_0 \pm dV$ 的電子分別形成分別在 $\pm X$ 方向偏折的次電子束4及5。能量角度限制孔徑12上每個電子的位置取決於其能量及進入Wien過濾器11的入射角。因此，孔徑12不僅擋掉所有能量變化量不在 $\pm dV$ 內的電子，同時即使其能量變化量在 $\pm dV$ 內但具有較大入射角的電子也被擋掉。

[0012] 關於能量變化量 dV 的折射角度 a 必須至少大於雙入射半角 b 以清楚過濾出具有能量變化量 dV 的帶電粒子。此要求Wien過濾器有足夠的分散功率或入射電子束分散程度要夠小。增加Wien過濾器的分散功率將增加折射角度，但同時加強聚焦作用，進而將減少折射角，並限制其可實現的最大折射角度。抑制入射電子束的分散程度將限制粒子束電流或增強電子的互動形同增加電子束的能量分散。另一個不容忽視的缺點是為了後續的電子光學原始電子源1被改為較大的自14至15的虛擬電子源。

[0013] 很多種改進方法已被提出以解決上述問題。在能量角度過濾方面，一種方法是使用圓形透鏡以將原始電子源成像到Wien過濾器中心（如美國專利第7468517號）上。這將在電子源尺寸上的Wien過濾器效應減至最少，但增加了一真實交叉。另一種方法是使用第二Wien過濾器來補償（例如美國專利第6489621號、美國專利第

7679054號)第一個Wien過濾器的殘餘效應。雖然這種方法不會產生一真實交叉，但將產生一遠離後續電子光學的虛擬交叉，此將因為大為增加的粒子束尺寸造成大的像差。

[0014] 在能量過濾方面，許多文件（例如美國專利第6960763號、美國專利第6580073號及美國專利第7507956號）提供使用一或更額外Wien過濾器 21 以補償能量限制孔徑過濾器 12後第一個Wien過濾器11之殘餘效應的方法（如第三a圖及第三b圖中所示）。在這些解決方案中，一共焦及無分散交叉7，即在能量限制孔徑12的第一真實像散交叉 6後的一額外真實交叉是在最後一個Wien過濾器 21 後形成。這不但增加了電子相互作用方面能量過濾後的能量散佈，但也使掃描式電子顯微鏡的總長度至少增加了單色器的長度 8。

[0015] 本發明將提供一個解決能量過濾及能量角度過濾問題的解決方案。不同於形成入射帶電粒子束經單色器後的真實共焦交叉，其形成了單色器內虛擬的共焦及無分散交叉。其後本發明提供基於低電壓掃描式電子顯微鏡原理改良低電壓掃描式電子顯微鏡及相關設備成像解析度的有效方法。

【發明內容】

[0016] 本發明的目的是提供一種帶電粒子裝置中的單色器以減少主帶電粒子束的能量散佈。藉由特別沿相對於一能量限制孔徑的直光軸形成在折射色散及基本軌跡的雙對稱，此單色器使一來自帶電粒子源入射帶電粒子束離開

時具有減少的能量散佈以及保持有效交叉直徑及行進方向不變。因此，本發明提供了基於低電壓掃描式電子顯微鏡的原理提高低電壓掃描式電子顯微鏡及相關裝置的成像解析度的有效途徑，如半導體良率管理的缺陷檢測與缺陷再檢視。

[0017] 因此，本發明提供一種單色器，該單色器包含一沿直光軸對齊以將具有一正常能量與一能量散佈的帶電粒子束折射的第一分散單元與一第二分散單元、一具有一位於一在該第一與第二分散單元之間的中間平面的能量限制孔徑之平板及一粒子束調整元件，該粒子束調整元件將該帶電粒子束於該帶電粒子束進入該第一分散單元之前聚焦以在該能量限制孔徑上形成一真實交叉。該帶電粒子束沿光軸通過並包含具有正常的能量直線通過該每一分散單元的帶電粒子以及具有自正常能量改變的能量變化並由該每一分散單元沿一相同分散方向折射的帶電粒子。由該每一分散單元產生的每一帶電粒子之折射角係由該每一分散單元的一分散功率及該每一帶電粒子的能量變化決定。該分散功率及該第一分散單元與該第二分散單元的該分散方向為分別相等。該能量限制孔徑與該直光軸對齊。當該帶電粒子束自該第二分散單元離開後一虛擬交叉形成於該第一分散單元與該能量限制孔徑之間。

[0018] 自離開該單色器之後該帶電粒子束之一離開能量散佈可藉由同時改變該第一與第二分散單元之該分散功率及該粒子束調整元件之一聚焦功率來改變。該粒子束調

整元件為一圓透鏡。該能量限制孔徑的形狀為圓形、長方形、正方形或橢圓形，其中該平板在該第一分散單元之該分散方向有多個具有不同尺寸的能量限制孔徑，其中自離開該單色器之後該帶電粒子束之一離開能量散佈可藉由改變使用一位於該平板上之不同能量限制孔徑來改變。

[0019] 本發明提供一種單色器包含一具有一第一Wien過濾器與一第一散光像差補償器之第一分散單元，該第一散光像差補償器補償該第一Wien過濾器產生之一第一像散，一包含一第二Wien過濾器與一第二散光像差補償器之第二分散單元，該第二散光像差補償器補償該第二Wien過濾器產生之一第二像散，以及一具有一位於一在該第一與第二分散單元之間的中間平面的能量限制孔徑之平板。該第一分散單元與該第二分散單元沿一直光軸對齊。一入射帶電粒子束包含具有一正常能量且直線通過該每一分散單元的帶電粒子以及具有自正常能量改變的能量變化並由該每一分散單元沿一相同分散方向折射的帶電粒子。每一帶電粒子之一折射角係由該每一帶電粒子的能量變化及該每一分散單元的一分散功率決定。該分散功率及該第一分散單元與該第二分散單元的該分散方向為分別相等。該能量限制孔徑與該直光軸對齊。

[0020] 該第一Wien過濾器與該第一散光像差補償器沿該光軸疊加，且該第二Wien過濾器與第二散光像差補償器沿該光軸疊加。該單色器更包含一粒子束調整元件，該粒子束調整元件將該帶電粒子束於該帶電粒子束進入該第

一分散單元之前聚焦以在該能量限制孔徑上形成一真實交叉，其中該粒子束調整元件為一圓透鏡。當該帶電粒子束自該第二分散單元離開後一虛擬交叉形成於該第一分散單元與該能量限制孔徑之間。自離開該單色器之後該帶電粒子束之一離開能量散佈可藉由同時調整該第一與第二分散單元之該分散功率及該粒子束調整元件之該聚焦功率來改變。該第一與第二分散單元之分散功率可藉由改變施加在該第一與第二分散單元內之該第一與第二Wien過濾器的電激發來調整。該平板在該第一分散單元之該分散方向具有多個具有不同尺寸的能量限制孔徑。自離開該單色器之後該帶電粒子束之該離開能量散佈可藉由在垂直於該直光軸的方向上移動該平板來改變以將一不同能量限制孔徑對齊該直光軸。該能量限制孔徑的形狀為圓形、長方形、正方形或橢圓形。

[0021]

本發明進一步提供一種電子裝置，此電子裝置包含一電子源，該電子源提供沿一直光軸移動之主電子束；一聚光鏡，該聚光鏡與該光學軸對齊以聚焦該主電子束；一物鏡，該物鏡與該光學軸對齊以將該主電子束聚焦在一試片之一發射二次電子的表面上；一承載該試片的平台；一接收該二次電子的偵測器；一位於該電子源與該物鏡之單色器，該單色器減少該主電子束之一能量散佈，其中該單色器包含一包含一第一Wien過濾器與一第一散光像差補償器之第一分散單元，該第一散光像差補償器補償該第一Wien過濾器產生之一第一像散，一包含一第二Wien過濾器與一第二散光像差補償器之第二分散

單元，該第二散光像差補償器補償該第二Wien過濾器產生之一第二像散，及一具有一位於一在該第一與第二分散單元之間的中間平面上的能量限制孔徑之平板。該第一分散單元與該第二分散單元沿一直光軸對齊。該主電子束內具有一正常能量的電子直線通過該每一分散單元以及具有自正常能量改變的能量變化的電子被該每一分散單元沿一相同分散方向折射。每一帶電粒子之一折射角係由該每一帶電粒子的能量變化及該每一分散單元的一分散功率決定。其中該分散功率及該第一分散單元與該第二分散單元的該分散方向為相等。該能量限制孔徑與該直光軸對齊。

[0022] 該第一Wien過濾器與該第一散光像差補償器沿該光軸疊加，且該第二Wien過濾器與第二散光像差補償器沿該光軸疊加。該能量限制孔徑的形狀為圓形、長方形、正方形或橢圓形。

電子裝置更包含一粒子束調整元件，該粒子束調整元件與該直光軸對齊，該粒子束調整元件將該主電子束於該主電子束進入該第一分散單元之前聚焦以在該能量限制孔徑上形成一真實交叉。該粒子束調整元件為一圓透鏡。當該主電子束自該第二分散單元離開後一虛擬交叉形成於該第一分散單元與該能量限制孔徑之間。一離開能量散佈可藉由同時調整該第一與第二分散單元之該分散功率及該粒子束調整元件之該聚焦功率來改變。該第一與第二分散單元之分散功率可藉由改變施加在該第一與第二分散單元內之該第一與第二Wien過濾器的電激發來

調整。該平板在該第一分散單元之該分散方向具有多個具有不同尺寸的能量限制孔徑。自離開該單色器之後該主電子束之該離開能量散佈可藉由在垂直於該直光軸的方向上移動該平板來改變以將一不同能量限制孔徑對齊該直光軸。

[0023] 該電子裝置更包含一第一板，該第一板具有一位於該電子源與該聚光鏡之間的一第一孔徑及一第二板，該第二板具有一位於該聚光鏡與該物鏡之間的一第二孔徑。該單色器係位於該第一板與該聚光鏡之間或該單色器係位於該第二板與該物鏡之間。

[0024] 本發明同時提出一種用於過濾一帶電粒子束之單色器，該單色器包含一沿直光軸對齊以將具有一正常能量與一能量散佈的帶電粒子束折射的第一分散單元與一第二分散單元，及一具有一位於一在該第一與第二分散單元之間的中間平面的能量限制孔徑之平板。該帶電粒子束沿光軸通過並包含具有正常的能量直線通過該每一分散單元的帶電粒子以及具有自正常能量改變的能量變化並由該每一分散單元沿一相同分散方向折射的帶電粒子。由該每一分散單元產生的每一帶電粒子之一折射角係由該每一分散單元的一分散功率及該每一帶電粒子的能量變化決定。該分散功率及該第一分散單元與該第二分散單元的該分散方向為分別相等。該能量限制孔徑與該直光軸對齊，其中該帶電粒子束之一真實交叉形成於該能量限制孔徑上且當該帶電粒子束自該第二分散單元離開後一虛擬交叉形成於該第一分散單元與該能量限制孔

徑之間。

【實施方式】

[0025] 本發明的各種實施例現在將伴隨圖示更充分敘述，圖示中顯示一些實施例。在不限制本發明的保護範圍下，實施例中所有的說明與圖示將以電子源與掃描式電子顯微鏡為例。不過實施例並非用來將本發明實施例限制在特定的帶電粒子源與特定的電子顯微鏡領域。

[0026] 以下的說明將集中在使用為一種帶電粒子的電子束。在圖示中，每個元件及每個元件之間的相對尺寸為清晰起見可能被放大。在下列圖示的說明中，相同的參考編號對應相同的元件或實體，並只對個別的實施例間的差異進行說明。

[0027] 本發明提供一具有雙對稱的Wien過濾器型單色器。如第四a圖及第 4b 圖中所示，由兩個完全相同的分散單元（20及40）對稱地位於能量限制孔徑30的每一側以實現雙對稱。兩個完全相同的每一分散單元於具有自一正常的能量改變的能量變化帶電粒子產生折射散佈並將離軸帶電粒子聚焦。在一方面，這兩個完全相同的分散單元對同一方向具有自一正常的能量改變的能量變化的帶電粒子產生兩個相等的折射角($\alpha_1 = \alpha_2$)。在此情況下，折射散佈相對能量限制孔徑（30）展現對稱性，如第四a圖中所示。另一方面，這兩個完全相同的色散單位同樣將離軸帶電粒子聚焦，且第一分散單元（20）使具有正常能量的帶電粒子通過能量限制孔徑（30）的中心。在這種情況下具有正常能量的每個離軸粒子的軌跡顯示相

對於能量限制孔徑 (30) 的反對稱性，如第四b 圖中所示。雙對稱實現能量過濾，並同時確保離開的帶電粒子束具有一在單色器內且無第一級分散及像散的虛擬交叉。

[0028] 每個分散單元包含一Wien過濾器及一散光像差補償器，且兩者的靜電場與磁場都沿光軸疊加。對於具有正常能量與一定的能量散佈的帶電粒子束而言，Wien過濾器產生所需的隨雙極磁場與靜電場強度改變的分散功率，以及隨分散功率改變的像散聚焦功率，如方程式 (1.3)-(1.8) 所示。散光像差補償器是受控制以產生一像散功率以補償Wien過濾器的像散聚焦功率。由於在像散產生處已完成補償因此來自每一分散單元的粒子束可達成無像散現象。因此每一分散單元具有一可獨立改變的分散功率以及一依附改變的共焦聚焦功率。

[0029] 根據像散的補償，因為在色散方向散光像差補償器產生的負聚焦功率，Wien過濾器在分散方向的聚焦效應使分散功率減少被減弱。帶電粒子光束通過能量限制孔徑的能量散佈係由第一分散單元 (20) 的分散功率及能量限制孔徑 (30) 的尺寸 (在分散方向) 決定，因此離開帶電粒子束的能量散佈可藉由改變分散功率及/或改變在分散單元中能量限制孔徑尺寸。前者可以透過調整施加在Wien過濾器的電激發實現，因此可以連續。不過，分散功率的改變將會導致的共焦聚焦功率的改變，將打破基本軌跡的反對稱性，因此破壞由兩個分散單位 (20 及 40) 產生的像差的抵銷。

[0030] 當分散功率改變或入射帶電粒子束改變時，為了要

保持雙對稱，一粒子束調整元件係在兩個分散單元前設定。粒子束調整元件為磁性或靜電的圓形透鏡，其對焦功率為可變。粒子束調整元件作為一個可變的粒子束調適器。當入射帶電粒子束交叉及或正常能量可因一些好的原因改變及或第一分散單元的分散功率可被改變以獲得對於一特定尺寸的能量限制孔徑而言一所需的能量分散的減少，其聚焦的功率被調整為保持帶電粒子束在能量限制孔徑中心（第四b圖的 S71）處具有一真實交叉。

[0031]

因此，從入口側至出口側，本發明的單色器 500 包含一粒子束調整元件（100）、第一分散單元（200）、一能量限制孔徑（300）及一第二分散單元（400），如第五圖所示。兩個分散單元具有相同的結構及方位，在相同激發中使用，以及對稱性地位於能量限制孔徑（300）的每一側。所有元件被設定並將其激發以確保在折射散佈及相對於能量限制孔徑的基本軌跡的雙對稱性。

本發明的單色器具有一直光軸且具有正常能量的帶電粒子因此不會被轉向遠離光軸。此一特性不僅使單色器易於生產並調整，同時不會產生實際上無法完全補償的離軸像差。此外，一帶電粒子束之虛擬共焦及無分散交叉形成於第一分散單元與能量限制孔徑之間，而不是帶電粒子束的一真實共焦交叉形成在單色器出口側。此虛擬交叉會是一需要單色器的裝置之後續光學的來源。在一方面，虛擬交叉的伯爾施效應(Boersch effect)也比真實交叉的伯爾施效應小。另一方面，虛擬交叉的位置更接近原始的帶電粒子源，並因此當單色器整合進入現

有設計的電子顯微鏡如低電壓掃描式電子顯微鏡時所需的修改將比真實交叉少。根據所有上述的觀點，本發明的單色器提供一種基於低電壓掃描式電子顯微鏡原理改良低電壓掃描式電子顯微鏡及相關裝置成像解析度的有效方法。

[0032] 本發明還提供了在掃描式電子顯微鏡中使用本發明的單色器的兩個實例。在第一個實例中如第七a圖所示，單色器被置於電子源 600及一聚光鏡 620之間，且一電流限制孔徑 610被用來控制通過單色器的粒子束電流以降低單色器內部發生的電子相互作用。在第二個實例中如第八圖所示，單色器被置於一聚光鏡及一物鏡之間，而粒子束限制孔徑 630 控制單色器的入射粒子束電流。

[0033] 下一步將描述本發明的詳細敘述及機構。

[0034] 本發明提供一Wien過濾器型的單色器以降低掃描式電子顯微鏡或帶電粒子裝置中主電子束的能量散佈。單色器形成相對於入射粒子束在折射散佈及沿直光軸之基本軌跡的雙對稱。雙對稱可確保來自帶電粒子源的入射帶電粒子束自單色器離開時之能量散佈減少，以及保持有效交叉直徑及傳播方向不變。

[0035] 本發明還提供一種將單色器整合進入掃描式電子顯微鏡的方法。本發明的單色器有助於藉由減少主粒子束或成像粒子束的能量散佈以降低試片色散像差，同時不會導致粒子源尺寸的明顯增加。因此，試片上的探針點尺寸將藉由重新平衡因像差、繞射及粒子源尺寸造成的

影像模糊而達成一較低值。因此，單色器提供一種根據低電壓掃描式電子顯微鏡的原理提高掃描式電子顯微鏡特別是低電壓掃描式電子顯微鏡及相關裝置的成像解析度的有效方法，例如半導體良率管理中的缺陷檢測與缺陷檢視。

[0036] 作為本發明中提供的單色器之基礎的雙對稱包含分別關於能量限制孔徑之折射散佈中的一對稱及一基本軌跡中的反對稱。在顯示折射散佈中之對稱的第四a圖中，一具有正常能量 V_0 及一能量散佈的軸上電子束 50連續地沿 Z 軸進入兩個分散單元 20 與 40。兩分散單元 20 與 40結構相同且位於並對稱地朝向與光學 Z 軸垂直的平面 31。每一分散單元的位置係由場區域中心定義。每個分散單元包含一Wien過濾器及一散光像差補償器，且兩者的磁場與電場彼此相互疊加。相同激發施加在每個Wien過濾器，以產生不會使具有正常能量 V_0 （例如61）的電子偏折但會使具有自正常能量 V_0 （例如71）改變之能量變化dV的電子偏折所需的折射功率。如方程式（1.6）所示，能量變化dV越大折射角度（例如a1與a2）就越大。隨能量變化改變的折射角度的特徵稱為折射散佈，且折射角度比 K及能量變化dV稱為分散功率。分散功率隨正常能量 V_0 及可被施加在Wien過濾器上的電激發調整的磁偶極場改變。

[0037] 一平板位於平面 31上，其中一位於平板上的孔徑30與光軸Z對準。在第四a圖中，具有能量變化dV的電子71的折射相對於平面 31對稱地離開。分別由Wien過濾

器產生在第一分散單元 20及第二分散單元 40中的二折射角度 α_1 與 α_2 彼此相等，即 $\alpha_1=\alpha_2$ ，且均與能量變化 dV 成正比。自第二分散單元 40離開的電子71的軌跡虛擬地交叉光軸於自第二分散單元 40的中心向後一距離 L_2 的位置，其中

[0038] (2.1)

$$L_2 = \frac{L_1}{2} \cdot \{1 - \tan^2(\alpha_1)\} \approx \frac{L_1}{2}$$

若所有高於第一級的項可被省略距離 L_2 不會隨折射角 α_1 改變。因此出射粒子束的第一級分散消失，且入射軸上粒子束成為一看來自二分散單元之幾何中心點S71發散的出射粒子束。

[0039]

基本軌跡中的反對稱性係基於折射散佈對稱性。基於第四a 圖中所示的內容，第四圖 4b 顯示基本軌跡中的反對稱性。在第四b圖中的每個分散單元（20 及 40），散光像差補償器被激發以補償當Wien過濾器作動以達成第四a 圖中所示的折射散佈對稱時出現且隨Wien過濾器分散功率增加而增加的像散。因此每一分散單元（20 及 40）在X 與 Y 方向有相等的隨每一分散單元之分散功率增加而增加的聚焦功率 f 。

[0040]

在第四b圖中，基本軌跡中的反對稱性可藉由若一具有正常能量 V_0 的入射電子束 62具有一原來在光軸上特定位置上的交叉62a達成。交叉62a位於第一及第二分散

單元 (20 及 40) 之幾何中心點S71向前一距離L3的位置。若距離 L3 滿足下列條件，

(2.2)

$$L_3 = \frac{L_2^2}{f - L_2}$$

其中 f 表示每個分散單元的聚焦功率。第一分散單元 20 將使入射電子束 62 聚焦且相應地將其交叉自位置 62a 向後移動至幾何中心點S71。然後，以相同的方式第二分散單元 40 將入射電子束 62 聚焦並最後將位於 S71 的交叉向後移動一距離 L3 至一位置 62b。電子束 62 中具有正常能量 V_0 電子的軌跡具有相對於第一及第二分散單元 20 與 40 的幾何中間平面 31 的反對稱性。

[0041] 因此，第四a圖與第四b圖中所示的雙對稱可確保一電子束在中間平面 31 形成一真實交叉以及在自中間平面 31 向後一距離形成一虛擬交叉。在真實交叉內，具正常能量的電子集中進入至一光軸上的一小圓平面，且具有自正常能量偏離相同能量變化值集中進入至一位於遠離光軸位置的一小圓平面。能量變化值越大，圓平面離光軸就越遠。若孔徑 30 設定在真實交叉所在的中間平面，所有圓平面內具有離軸距離大於孔徑 30 內半徑的電子會被截斷。換句話說，通過孔徑 30 的電子的能量散佈將小於一由第一分散單元的分散功率及孔徑 30 內半徑決定的特定值。在虛擬交叉內，所有的電子集中進入一光軸上小圓平面。與進入第一分散單元20的粒子束相比，自

第二分散單元40射出的粒子束具有較小能量散佈、一幾乎未變的交叉尺寸以及一向後移動的交叉。

[0042] 第五圖顯示本發明一基於第四a圖與第四b圖中所示的雙對稱的單色器實施例。從電子粒子束入口側至出口側，單色器 500 包含一粒子束調整元件100、一第一分散單元 200、能量限制孔徑300及一第二分散單元 400。所有元件（100-400）排成一行並垂直光軸Z。二分散單元 200與400構造相同且位於並對稱地朝向也是垂直光學軸Z的平面310。能量限制孔徑300係位於平面310。與第四a圖及第四b圖相比，每當入射電子束在交叉位置改變及/或正常能量為了一些好的理由及/或第一分散單元 200的分散功率改變以改變在單色器後的電子束的能量散佈，在第五圖中加入粒子束調整單元 100以確保維持雙對稱。換句話說，粒子束調整元件強化了單色器的適用性及彈性。

[0043] 在第五圖中，粒子束調整元件 100 包含一可以是靜電或磁性的圓透鏡。每個分散單元（200、 400）包含可以是靜電或磁性的一Wien過濾器及一散光像差補償器，兩者都沿 Z 軸相互疊加。能量限制孔徑300的形狀可為圓形、橢圓形、正方形或長方形。若孔徑形狀是橢圓或矩形，其較短軸或短邊係位於第一分散單元 200的分散方向。在分散方向的孔徑尺寸係根據所需的能量散佈的減少程度及第一分散單元 200的分散功率選擇。

[0044] 第五圖中所示的單色器的操作方法將於第六a圖至第六f圖中逐步表示。第六a圖顯示粒子束調整元件 100的

的功能。S1 是電子源或具有正常能量 V_0 及原始能量散佈 $\pm \Delta V_0$ 且能量散佈將被減為 $\pm \Delta V_1$ 的電子束交叉。若 S1 為一電子束交叉，其可位於單色器的入口側或出口側。S2 係由方程式 (2.2) 所示的方式所決定形成基本軌跡中的反對稱所需的位置。因此粒子束調整元件 100 一開始將來自電子源 S1 的電子束聚焦以形成一在進入第一分散單元 200 前於 S2 會聚的粒子束。更具體地說，粒子束調整元件 100 的聚焦功率隨入射電子束交叉的初始位置 S1 的改變以及第一分散單元 200 的聚焦功率 f 而改變。後者隨第一分散單元 200 的分散功率改變。

[0045] 第六b圖與第六c圖顯示第一分散單元 200 對入射粒子束分別在 XOZ 平面及YOZ 平面上的影響。在第一分散單元 200 中的Wien過濾器被激發以滿足Wien條件並產生一所需的 X 方向折射散佈於入射電子束。第一分散單元 200 中的散光像差補償器被激發以補償在在第一分散單元 200 中的Wien過濾器產生的像差。在像差補償後殘餘的共焦聚焦功率 f 將入射粒子束聚焦在中間平面310上形成一自第六a圖中所示S2向後的真實交叉。由於Wien過濾器的X 方向折射散佈，只有具有正常能量的電子會集中進入一軸上圓平面 S3。根據磁偏折方向，由具有能量變化 dV (>0) 與 $-dV$ 的電子形成的圓平面 S4 與 S5 分別自光軸的X 與 $-X$ 方向偏移。能量變化 dV 越大，離軸偏移也越大。在 Y 方向，圓平面 S3、 S4 與 S5 的光碟均位於光軸如第六c 圖所示。

[0046] 第六d圖顯示能量限制孔徑 300 的電子散佈。在第六

d圖中，只顯示具有正常能量 V_0 的電子顯示以及六個特定的能量變化，且以一圓形孔徑 300 為例。能量限制孔徑 300 的內半徑等於具有能量變化 $\pm \Delta V_1$ 之電子的離軸偏移。如此，電子束帶著減少的能量變化 $\pm \Delta V_1$ 自孔徑 300 離開，但一擴大的交叉在 X 方向的尺寸等於能量限制孔徑 300 的內直徑。減少的能量變化 $\pm \Delta V_1$ 由第一分散單元的分散功率及能量限制孔徑在第一分散單元在分散方向的尺寸決定。

[0047]

第六e圖與第六f圖顯示第二分散單元 400在入射粒子束上產生的效應。第二分散單元 400與第一分散單元 200於相同的激發中作用。因此，第二分散單元 400 如同第一分散單元 200對孔徑 300前的電子束所作的一般將來自中間平面 310中真實交叉的電子束折射及聚焦。如第六e 圖中所示在XOZ 平面上，第二分散單元 400不僅將圓平面S3-S5自中間平面 310向後移動一相同的距離，同時消除存在於真實交叉在 X 方向的圓平面偏移。如第六f圖中所示在YOZ 平面上，第二分散單元 400將圓平面S3-S5如同在 XOZ向後移動一相同的距離。因此，自第二分散單元 400離開後，自第六b圖及第六c圖所示三個圓平面S3-S5離開的電子實際上幾乎在光軸 Z上相同的位置交叉並形成一虛擬交叉S6。虛擬交叉S6係位於第一分散單元 200及中間平面 310之間，並在未損失主要部份情況下具有一遠比第六d 圖中所示的能量限制孔徑 300內直徑或能量限制孔徑 300在分散方向的尺寸小的尺寸。

[0048] 第七a圖與第八圖分別顯示使用上述及第五圖及第六a圖至第六f圖所示單色器的掃描式電子顯微鏡的兩個實施例。為了簡單起見，並未顯示偏向掃描。在第七a圖中，一電子源 600 發射沿光軸Z的電子束 700。一第一電流限制孔徑 610 切斷電子束 700的一部分，以限制電子束電流進入單色器500。單色器500中一大電子束電流在電子束聚焦範圍內將產生一強電子交互作用，尤其是在位於能量限制孔徑 300中心區域的真實交叉，因此在單色器中出現一額外能量散佈及一交叉尺寸增加。因此，必須限制電子束電流至一能使電子相互作用之效應不明顯程度的範圍。

[0049] 在第七a圖的單色器500中，起初電子束被粒子束調整元件 100聚焦成所需的會聚粒子束。然後會聚粒子束分散並被第一分散單元 200 聚焦。具體地說，具有正常能量的電子實質上直線通過並形成一在光軸上及能量限制孔徑 300中心的共焦真實交叉，具有相同相對於正常能量的能量變化的電子則被偏折並形成一遠離光軸但卻是在能量限制孔徑 300所在平面上的共焦真實交叉。電子的能量變化越大，交叉離光軸就越遠。能量限制孔徑 300 然後將能量變化在所需範圍 $\pm \Delta V_1$ 外的電子切斷，以使離開的電子束具有一已減少的能量分散 $\pm \Delta V_1$ 。

[0050] 隨後在第七a圖的單色器 500中，從能量限制孔徑 300 出來的電子將進入第二分散單元 400。第二分散單元 400 與第一分散單元 200以相同方式運作。因此第二分散單元 400使電子自每個能量限制孔徑 300上的交

又偏折遠離具有相同角度的光軸並將電子聚焦以如同第一分散單元 200 一般，在一自最後對應真實交叉向後相同軸上距離的位置形成一位置虛擬交叉。不過，此處所有虛擬交叉虛擬地位於光軸上同一處。因此，所有從單色器離開的電子看來像從虛擬電子源 602 射出且具有在所需範圍 $\pm \Delta V_1$ 內的能量變化。

[0051] 在第七a圖中，從單色器 500 離開的電子束然後進入一傳統的掃描式電子顯微鏡的後續成像系統，並由聚光鏡 620 及物鏡 640 聚焦到試片 650 的表面上。聚光鏡及粒子束限制孔徑 630 一起控制最終探針電流。事實上，粒子束限制孔徑 630 具有與能量角度過濾相同的額外效應，如第七b圖所示。雖然所有從單色器 500 離開的電子均於光軸上的同一位置 602 虛擬交叉，但具有能量變化的電子累積第一及第二分散單元 200 及 400 產生的折射角。因此，具有相同能量變化的電子具有一在粒子束限制孔徑 630 上的相等額外橫移，且一些具有較大極角的電子將被粒子束限制孔徑 630 阻擋，如第七b圖的陰影部分所示。能量變化是越大，不會通過粒子束限制孔徑 630 的電子越多，所以粒子束限制孔徑 630 實際上進一步減少進入後續將電子束聚焦在試片 650 上的物鏡 640 之電子束的有效能量散佈。因此探針點的色散像差將會減少且探針點的尺寸將小於沒有使用單色器的探針點。

[0052] 眾所周知的是由於具有能量變化大於限制值的電子會被切斷使得使用單色器提高成像解析度會犧牲一部分探針束電流。對於需要使用大探針束電流的應用而言，

除了粒子束調整單元 100 之外單色器 500 可被停用，如第七 c 圖中所示。在此情況下，粒子束調整單元 100 將取代原來的聚光鏡 620 作為聚光鏡。通常較接近電子源並且更遠離粒子束限制孔徑的聚光鏡會產生一比相反條件情況下較小的像差。

[0053] 第八圖顯示使用單色器的掃描式電子顯微鏡的另一實施例，其中掃描式電子顯微鏡原本就具有位於物鏡 640 前一固定位置的真實交叉 602。在第八圖中，電子源 600 沿光軸 Z 發射一電子束 700。聚光鏡 620 及粒子束限制孔徑 630 控制進入單色器的粒子束電流。隨後在單色器 500 中，電子束將經歷如第七 a 圖中所述的相同能量過濾。從單色器 500 離開的粒子束具有虛擬交叉 602 及減少的能量散佈。對於需要使用大探針束電流的應用而言，除了粒子束調整單元 100 之外可以停用單色器 500。在此情況下，粒子束調整單元 100 可將電子束聚焦以在相同位置具有一真實交叉 620。然後物鏡 640 將電子束聚焦在試片 650 的表面。因此探針點的色散像差將會減少且探針點的尺寸將比沒有使用單色器的探針點小。

[0054] 在本發明中，提供一種能減少主要電子束能量散佈的掃描式電子顯微鏡中的單色器，其用來減少成像的色散色差，以改善掃描式電子顯微鏡的最終成像解析度，尤其是基於低電壓掃描式電子顯微鏡原理的低電壓掃描式電子顯微鏡及相關裝置。單色器使用 Wien 過濾器作為分散元件以沿一直光軸進行能量過濾，基本上避免引起實際上無法補償的離軸像差。雙對稱性形成於單色器中

，其包含折射散佈中的對稱性及相對於能量限制孔徑基本軌跡中的反對稱性。雙對稱實現能量過濾，同時確保離開的帶電粒子束具有一在單色器內且無第一級分散與像散的虛擬交叉。與先前技術中位於單色器出口側的一真實交叉相較，單色器內一虛擬交叉會產生較少的電子交互作用並僅需要對掃描式電子顯微鏡原始設計作較少的修改。此外，本發明的單色器當應用於一裝置時比先前技術具有更廣泛的適用性與更強的彈性。本發明還提供了兩種將單色器整合進入掃描式電子顯微鏡的方法，其一就是將單色器置於電子源與聚光鏡之間，而另一個是將單色器置於粒子束限制孔徑與物鏡之間。前者提供額外能量角度過濾，並且比後者獲得一較小的有效能量散佈。

[0055] 雖然以上已描述本發明的特定實施例，必須理解的是對於本領域具有一般技術者而言，藉由上述說明內容，將可理解仍有其他與所述實施例相同的實施例。因此必須理解的是本發明並不受限於所示特定實施例，而僅受限逾本發明申請專利範圍之範圍。

【圖式簡單說明】

[0056] 本發明經以下詳細說明伴隨圖示進行說明後將更易於了解領會，其中參考符號標明結構元件，其中：

第一圖顯示一Wien過濾器的基本的結構；

第二a圖顯示一使用Wien過濾器作為色散元件的單色器的概要圖示；

第二b圖顯示一使用Wien過濾器作為色散元件的單色器的

概要圖示；

第三a圖顯示一使用兩個Wien過濾器的單色器的概要圖示；

第三b圖顯示一使用兩個Wien過濾器的單色器的概要圖示；

第四a圖顯示一根據本發明的折射色散的對稱性的概要圖示；

第四b圖顯示一根據本發明之基本軌跡的反對稱性的概要圖示；

第五圖顯示一根據本發明之第一實施例中用於帶電粒子裝置之一單色器的概要圖示；

第六a至六f圖顯示一根據本發明之第五圖所示單色器之功能（XOZ、YOZ平面）的概要圖示；

第七a至七c圖顯示一根據本發明之第二實施例將一單色器整合至掃描式電子顯微鏡的概要圖示；

第八圖顯示一根據本發明之第三實施例將一單色器整合至掃描式電子顯微鏡的概要圖示。

【主要元件符號說明】

- [0057] 1 電子源
2 粒子束
3 次電子束
4 次電子束
5 次電子束
6 真實像散交叉
7 共焦及無像散交叉
8 單色器長度

10 圓形透鏡
11 Wien 過濾器
12 能量限制孔徑
14 虛擬電子源
15 虛擬電子源
20 第一分散單元
21 Wien 過濾器
30 能量限制孔徑
31 平面
40 分散單元
50 軸上電子束
61 正常能量 V_0 電子
62 入射電子束
62a 交叉
62b 位置
71 正常能量 V_0 電子
100 粒子束調整元件
200 第一分散單元
300 能量限制孔徑
310 平面
400 第二分散單元
500 單色器
600 電子源
602 真實交叉
610 電流限制孔徑
620 聚光鏡

201248672

630 粒子束限制孔徑

640 物鏡

650 試片

700 電子束



日期：101年05月21日

發明專利說明書

※記號部分請勿填寫

※申請案號：101118079

※IPC分類：

※申請日：101.5.21

H01J 37/153 (2006.01)

H01J 37/05 (2006.01)

H01J 37/28 (2006.01)

一、發明名稱：

帶電粒子束裝置之單色器

Monochromator for Charged Particle Beam Apparatus

二、中文發明摘要：

本發明提供一種可減少帶電粒子裝置中一主帶電粒子束之能量散佈的單色器，單色器包含一粒子束調整元件、二個Wien過濾器形式的分散單元與一能量限制孔徑。在單色器中，形成折射散佈與沿光軸的基本軌跡的雙對稱性，不但根本上避免引發實際上無法補償的離軸像差，同時也可確保離開的粒子束在單色器內具有一共焦、無分散的虛擬交叉。因此，在掃描式電子顯微鏡中使用單色器可以減少色散像差而不會引起不良的影響，以提高最終成像解析度。成像解析度的改進對於基於低電壓掃描式電子顯微鏡原理的低電壓掃描式電子顯微鏡及相關裝置而言更加明顯，例如半導體良率管理的缺陷檢測與缺陷檢視。本發明同時提供了兩種將一單色器整合到一掃描式電子顯微鏡的方法，其一是將一單色器置於電子源與聚光鏡之間，而另一種方法是將一單色器置於粒子束限制孔徑與物鏡之間。前者提供一額外能量角度過濾，並獲得一個較小的有效能量散佈。

三、英文發明摘要：

This invention provides a monochromator for reducing energy spread

of a primary charged particle beam in charged particle apparatus, which comprises a beam adjustment element, two Wien-filter type dispersion units and an energy-limit aperture. In the monochromator, a double symmetry in deflection dispersion and fundamental trajectory along a straight optical axis is formed, which not only fundamentally avoids incurring off-axis aberrations that actually cannot be compensated but also ensures the exit beam have a virtual crossover which is stigmatic, dispersion-free and inside the monochromator. Therefore, using the monochromator in SEM can reduce chromatic aberrations without additionally incurring adverse impacts, so as to improve the ultimate imaging resolution. The improvement of the ultimate imaging resolution will be more distinct for Low-Voltage SEM and the related apparatuses which are based on LVSEM principle, such as the defect inspection and defect review in semiconductor yield management. The present invention also provides two ways to build a monochromator into a SEM, one is to locate a monochromator between the electron source and the condenser, and another is to locate a monochromator between the beam-limit aperture and the objective. The former provides an additional energy-angle depending filtering, and obtains a smaller effective energy spread.

七、申請專利範圍：

1. 一種單色器包含：

一沿直光軸對齊以將具有一正常能量與一能量散佈的帶電粒子束折射的第一分散單元與一第二分散單元，該帶電粒子束沿光軸通過並包含具有正常的能量直線通過該每一分散單元的帶電粒子以及具有自正常能量改變的能量變化並由該每一分散單元沿一相同分散方向折射的帶電粒子，其中由該每一分散單元產生的每一帶電粒子之折射角係由該每一分散單元的一分散功率及該每一帶電粒子的能量變化決定，其中該分散功率及該第一分散單元與該第二分散單元的該分散方向為分別相等；

一具有一位於一在該第一與第二分散單元之間的中間平面的能量限制孔徑之平板，其中該能量限制孔徑與該直光軸對齊；及

一粒子束調整元件，該粒子束調整元件將該帶電粒子束於該帶電粒子束進入該第一分散單元之前聚焦以在該能量限制孔徑上形成一真實交叉，其中當該帶電粒子束自該第二分散單元離開後一虛擬交叉形成於該第一分散單元與該能量限制孔徑之間。

2. 如申請專利範圍第1項所述之單色器，其中自離開該單色器之後該帶電粒子束之一離開能量散佈可藉由同時改變該第一與第二分散單元之該分散功率及該粒子束調整元件之一聚焦功率來改變。

3. 如申請專利範圍第1項所述之單色器，其中該粒子束調整元件為一圓透鏡。

- 4 . 如申請專利範圍第1項所述之單色器，其中該能量限制孔徑的形狀為圓形、長方形、正方形或橢圓形。
- 5 . 如申請專利範圍第4項所述之單色器，其中該平板在該第一分散單元之該分散方向具有有多個具有不同尺寸的能量限制孔徑。
- 6 . 如申請專利範圍第5項所述之單色器，其中自離開該單色器之後該帶電粒子束之一離開能量散佈可藉由改變使用一位於該平板上之不同能量限制孔徑來改變。
- 7 . 一種單色器包含：

一包含一第一Wien過濾器與一第一散光像差補償器之第一分散單元，該第一散光像差補償器補償該第一Wien過濾器產生之一第一像散；

一包含一第二Wien過濾器與一第二散光像差補償器之第二分散單元，該第二散光像差補償器補償該第二Wien過濾器產生之一第二像散，該第一分散單元與該第二分散單元沿一直光軸對齊，其中一入射帶電粒子束包含具有一正常能量且直線通過該每一分散單元的帶電粒子以及具有自正常能量改變的能量變化並由該每一分散單元沿一相同分散方向折射的帶電粒子，其中每一帶電粒子之一折射角係由該每一帶電粒子的能量變化及該每一分散單元的一分散功率決定，其中該分散功率及該第一分散單元與該第二分散單元的該分散方向為分別相等；及

一具有一位於一在該第一與第二分散單元之間的中間平面的能量限制孔徑之平板，其中該能量限制孔徑與該直光軸對齊。

- 8 . 如申請專利範圍第7項所述之單色器，其中該第一Wien過

濾器與該第一散光像差補償器沿該光軸疊加，且該第二Wien過濾器與第二散光像差補償器沿該光軸疊加。

- 9 . 如申請專利範圍第8項所述之單色器更包含一粒子束調整元件，該粒子束調整元件將該帶電粒子束於該帶電粒子束進入該第一分散單元之前聚焦以在該能量限制孔徑上形成一真實交叉。
- 10 . 如申請專利範圍第9項所述之單色器，其中當該帶電粒子束自該第二分散單元離開後一虛擬交叉形成於該第一分散單元與該能量限制孔徑之間。
- 11 . 如申請專利範圍第10項所述之單色器，其中自離開該單色器之後該帶電粒子束之一離開能量散佈可藉由同時調整該第一與第二分散單元之該分散功率及該粒子束調整元件之該聚焦功率來改變。
- 12 . 如申請專利範圍第11項所述之單色器，其中該第一與第二分散單元之分散功率可藉由改變施加在該第一與第二分散單元內之該第一與第二Wien過濾器的電激發來調整。
- 13 . 如申請專利範圍第10項所述之單色器，其中該平板在該第一分散單元之該分散方向具有多個具有不同尺寸的能量限制孔徑。
- 14 . 如申請專利範圍第13項所述之單色器，其中自離開該單色器之後該帶電粒子束之該離開能量散佈可藉由在垂直於該直光軸的方向上移動該平板來改變以將一不同能量限制孔徑對齊該直光軸。
- 15 . 如申請專利範圍第9項所述之單色器，其中該粒子束調整元件為一圓透鏡。
- 16 . 如申請專利範圍第8項所述之單色器，其中該能量限制孔

徑的形狀為圓形、長方形、正方形或橢圓形。

17 . 一種電子裝置，包含：

- 一電子源，該電子源提供沿一直光軸移動之主電子束；
- 一聚光鏡，該聚光鏡與該光學軸對齊以聚焦該主電子束；
- 一物鏡，該物鏡與該光學軸對齊以將該主電子束聚焦在一試片之一發射二次電子的表面上；
- 一承載該試片的平台；
- 一接收該二次電子的偵測器；
- 一位於該電子源與該物鏡之單色器，該單色器減少該主電子束之一能量散佈，其中該單色器包含
 - 一包含一第一Wien過濾器與一第一散光像差補償器之第一分散單元，該第一散光像差補償器補償該第一Wien過濾器產生之一第一像散；
 - 一包含一第二Wien過濾器與一第二散光像差補償器之第二分散單元，該第二散光像差補償器補償該第二Wien過濾器產生之一第二像散，該第一分散單元與該第二分散單元沿一直光軸對齊，其中該主電子束內具有一正常能量的電子直線通過該每一分散單元以及具有自正常能量改變的能量變化的電子被該每一分散單元沿一相同分散方向折射，其中每一帶電粒子之一折射角係由該每一帶電粒子的能量變化及該每一分散單元的一分散功率決定，其中該分散功率及該第一分散單元與該第二分散單元的該分散方向為相等；及
 - 一具有一位於一在該第一與第二分散單元之間的中間平面上的能量限制孔徑之平板，其中該能量限制孔徑與該直光軸對齊。

- 18 . 如申請專利範圍第17項所述之電子裝置，其中該第一Wien過濾器與該第一散光像差補償器沿該光軸疊加，且該第二Wien過濾器與第二散光像差補償器沿該光軸疊加。
- 19 . 如申請專利範圍第18項所述之電子裝置，其中該能量限制孔徑的形狀為圓形、長方形、正方形或橢圓形。
- 20 . 如申請專利範圍第19項所述之電子裝置更包含一粒子束調整元件，該粒子束調整元件與該直光軸對齊，該粒子束調整元件將該主電子束於該主電子束進入該第一分散單元之前聚焦以在該能量限制孔徑上形成一真實交叉。
- 21 . 如申請專利範圍第21項所述之電子裝置，其中該粒子束調整元件為一圓透鏡。
- 22 . 如申請專利範圍第21項所述之電子裝置，其中當該主電子束自該第二分散單元離開後一虛擬交叉形成於該第一分散單元與該能量限制孔徑之間。
- 23 . 如申請專利範圍第22項所述之電子裝置，其中一離開能量散佈可藉由同時調整該第一與第二分散單元之該分散功率及該粒子束調整元件之該聚焦功率來改變。
- 24 . 如申請專利範圍第23項所述之電子裝置，其中該第一與第二分散單元之分散功率可藉由改變施加在該第一與第二分散單元內之該第一與第二Wien過濾器的電激發來調整。
- 25 . 如申請專利範圍第22項所述之電子裝置，其中該平板在該第一分散單元之該分散方向具有多個具有不同尺寸的能量限制孔徑。
- 26 . 如申請專利範圍第25項所述之電子裝置，其中自離開該單色器之後該主電子束之該離開能量散佈可藉由在垂直於該

直光軸的方向上移動該平板來改變以將一不同能量限制孔徑對齊該直光軸。

27 . 如申請專利範圍第24項所述之電子裝置更包含：

一第一板，該第一板具有一位於該電子源與該聚光鏡之間的一第一孔徑；及

一第二板，該第二板具有一位於該聚光鏡與該物鏡之間的一第二孔徑。

28 . 如申請專利範圍第27項所述之電子裝置，其中該單色器係位於該第一板與該聚光鏡之間。

29 . 如申請專利範圍第27項所述之電子裝置，其中該單色器係位於該第二板與該物鏡之間。

30 . 一種用於過濾一帶電粒子束之單色器，包含：

一沿直光軸對齊以將具有一正常能量與一能量散佈的帶電粒子束折射的第一分散單元與一第二分散單元，該帶電粒子束沿光軸通過並包含具有正常的能量直線通過該每一分散單元的帶電粒子以及具有自正常能量改變的能量變化並由該每一分散單元沿一相同分散方向折射的帶電粒子，其中由該每一分散單元產生的每一帶電粒子之一折射角係由該每一分散單元的一分散功率及該每一帶電粒子的能量變化決定，其中該分散功率及該第一分散單元與該第二分散單元的該分散方向為分別相等；及

一具有一位於一在該第一與第二分散單元之間的中間平面的能量限制孔徑之平板，其中該能量限制孔徑與該直光軸對齊，其中該帶電粒子束之一真實交叉形成於該能量限制孔徑上且當該帶電粒子束自該第二分散單元離開後一虛擬交叉形成於該第一分散單元與該能量限制孔徑之間。

八、圖式：

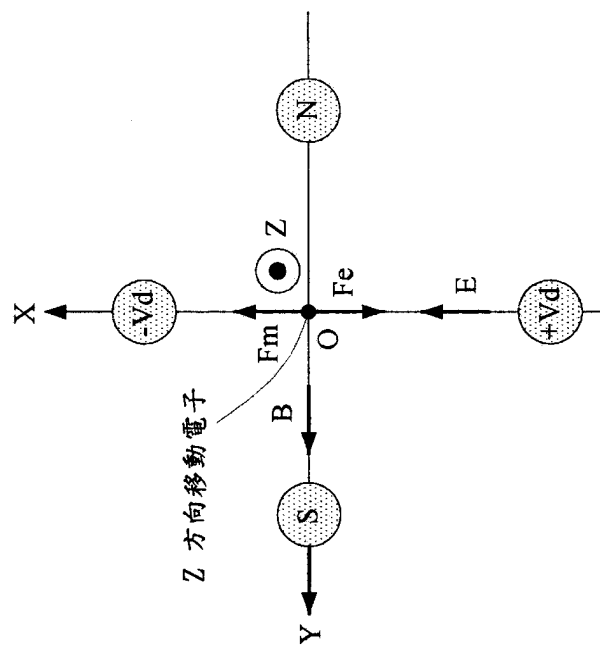
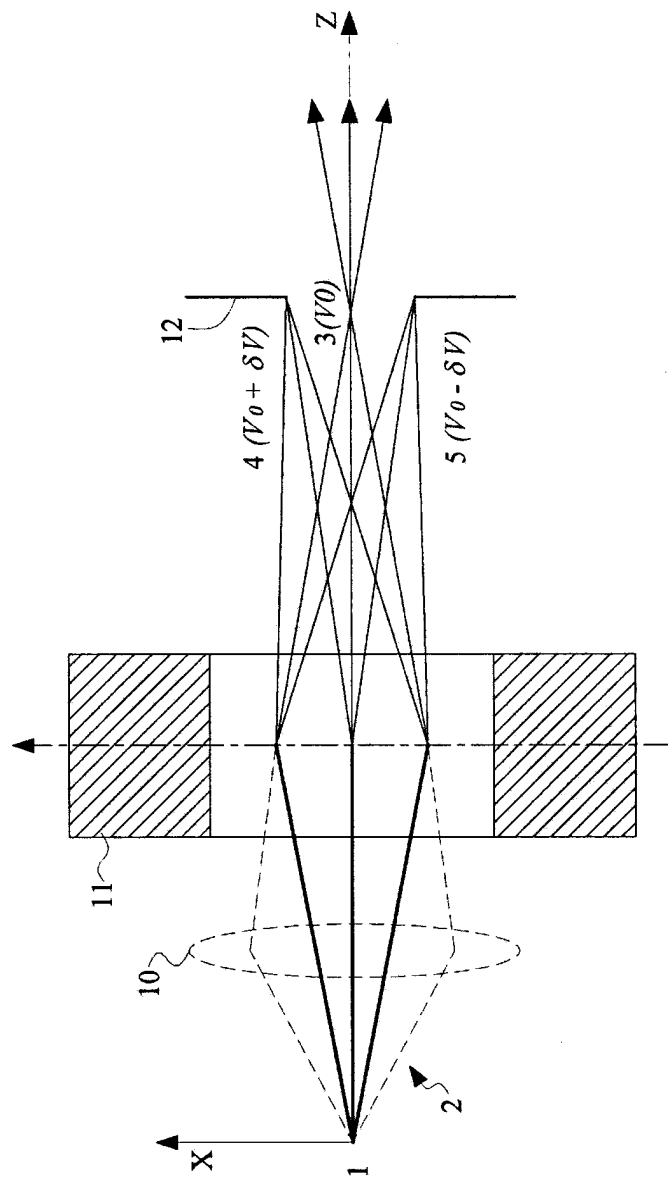
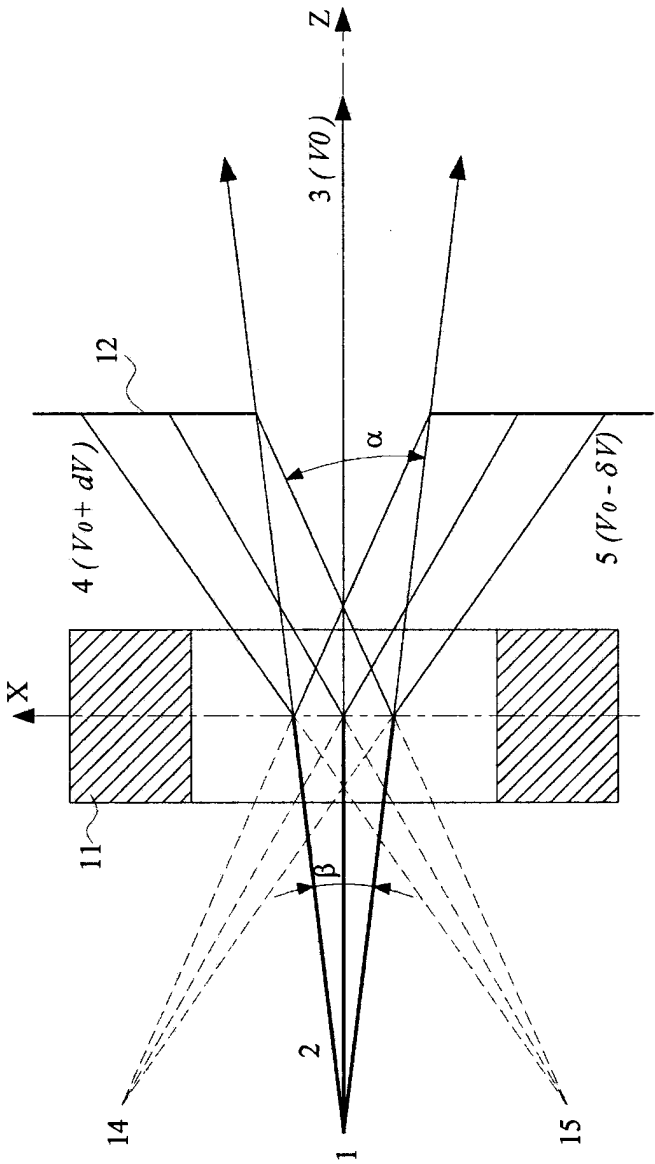


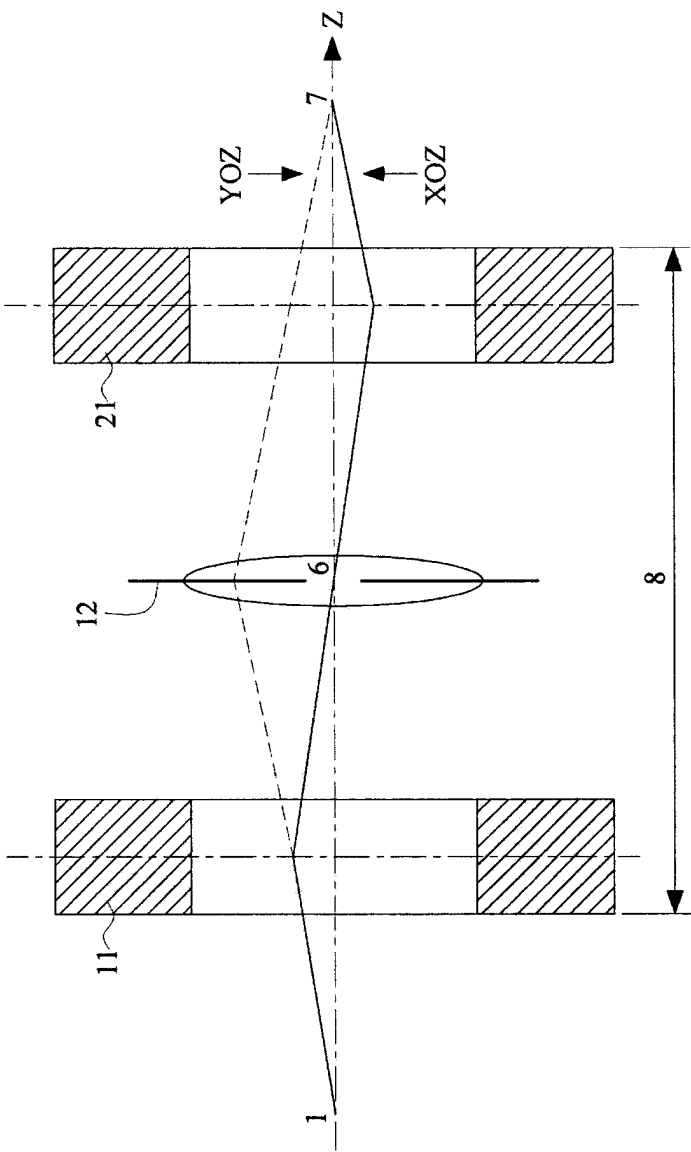
圖
一
架



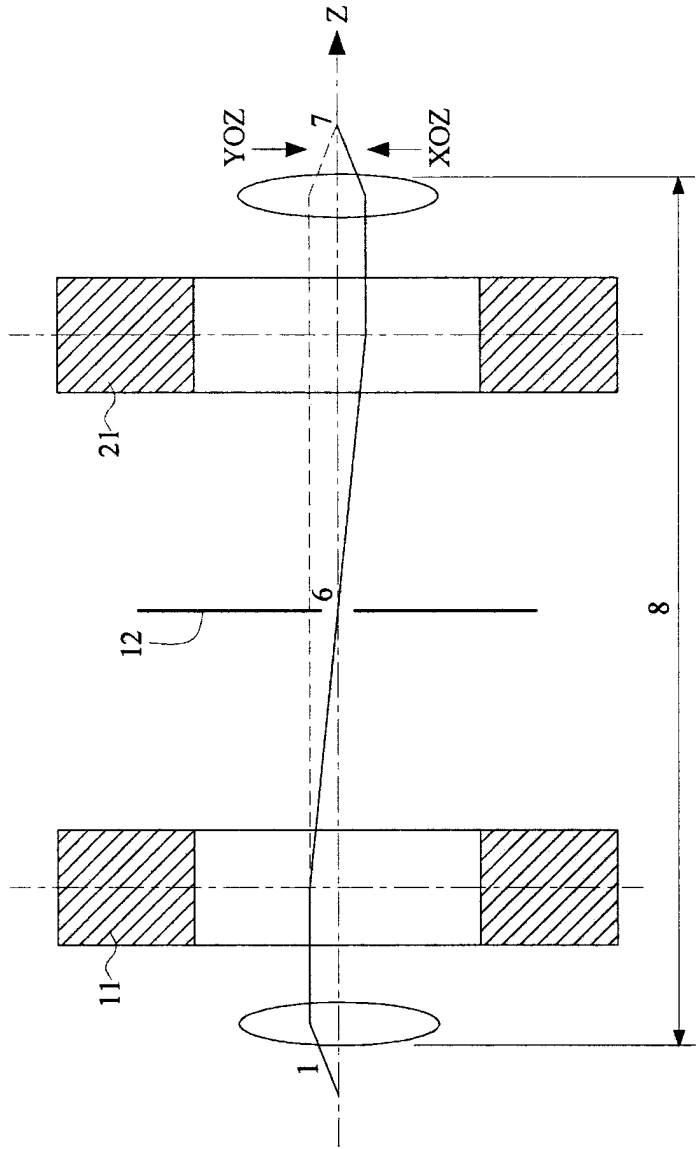
第二a圖



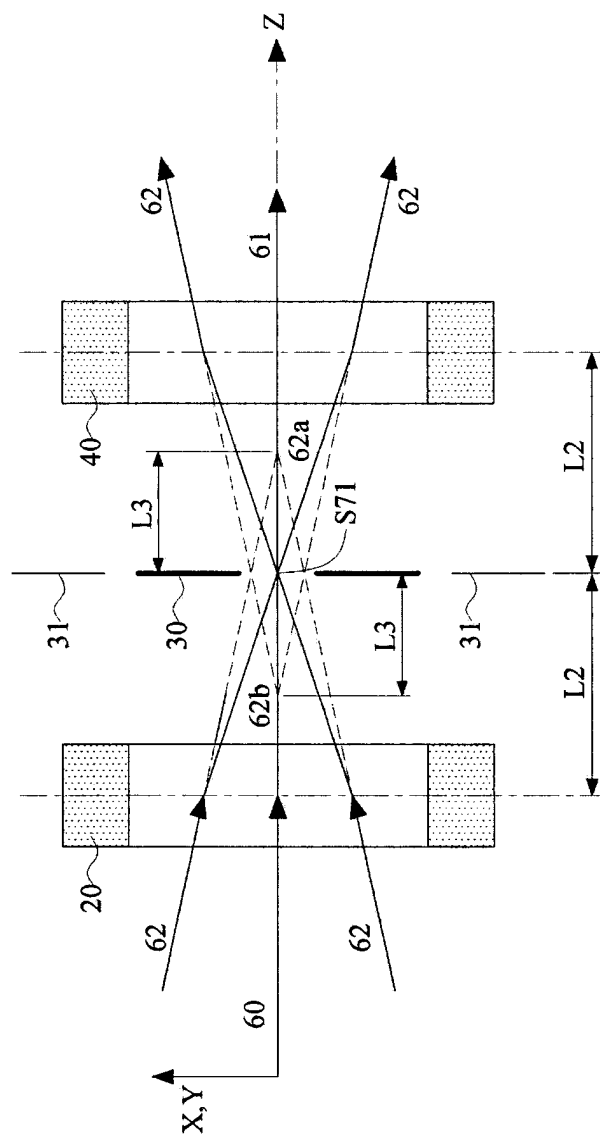
第二b圖



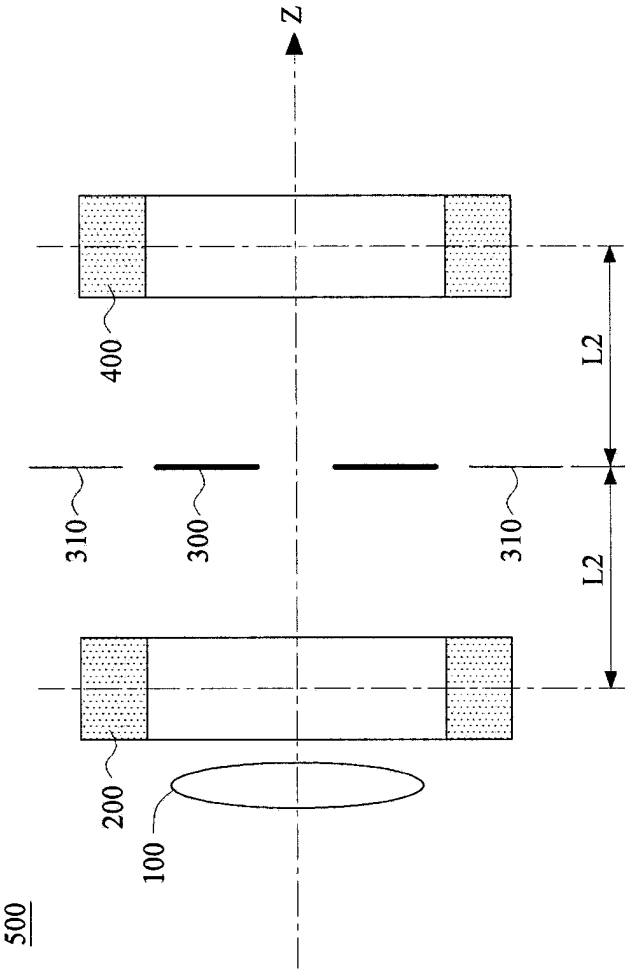
第三a圖



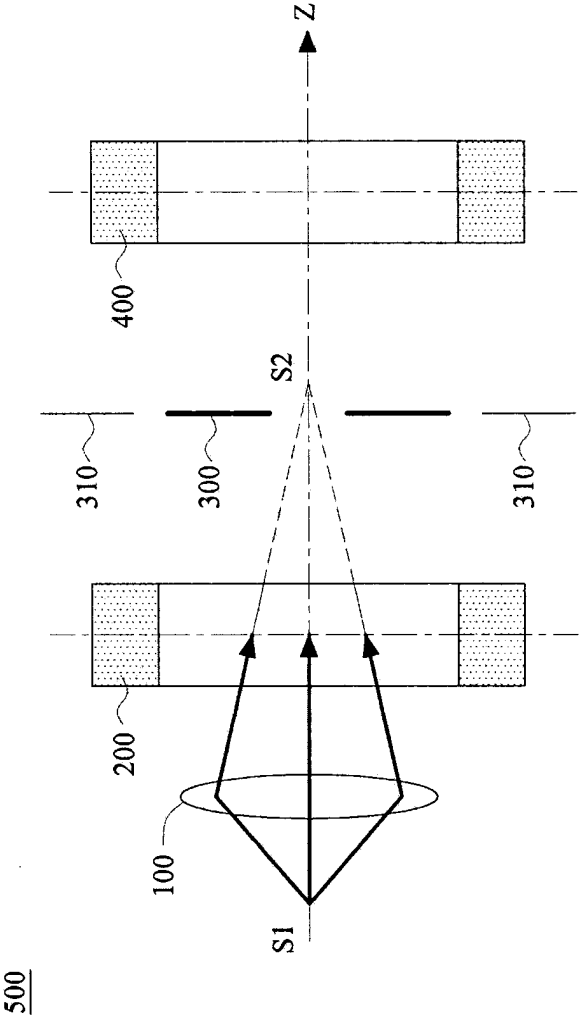
第三b圖



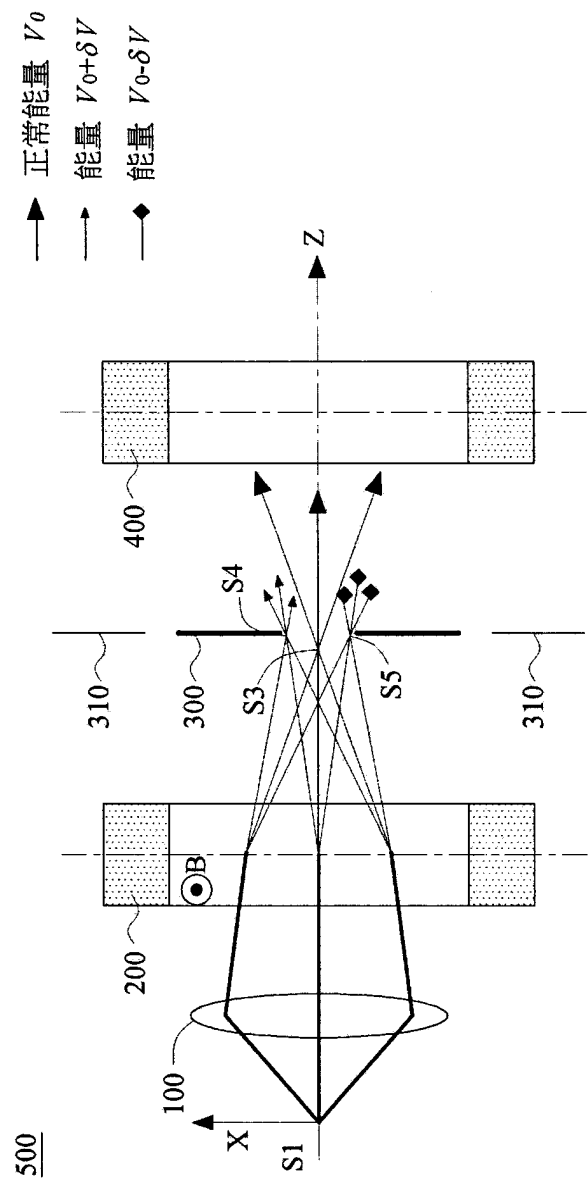
第四圖



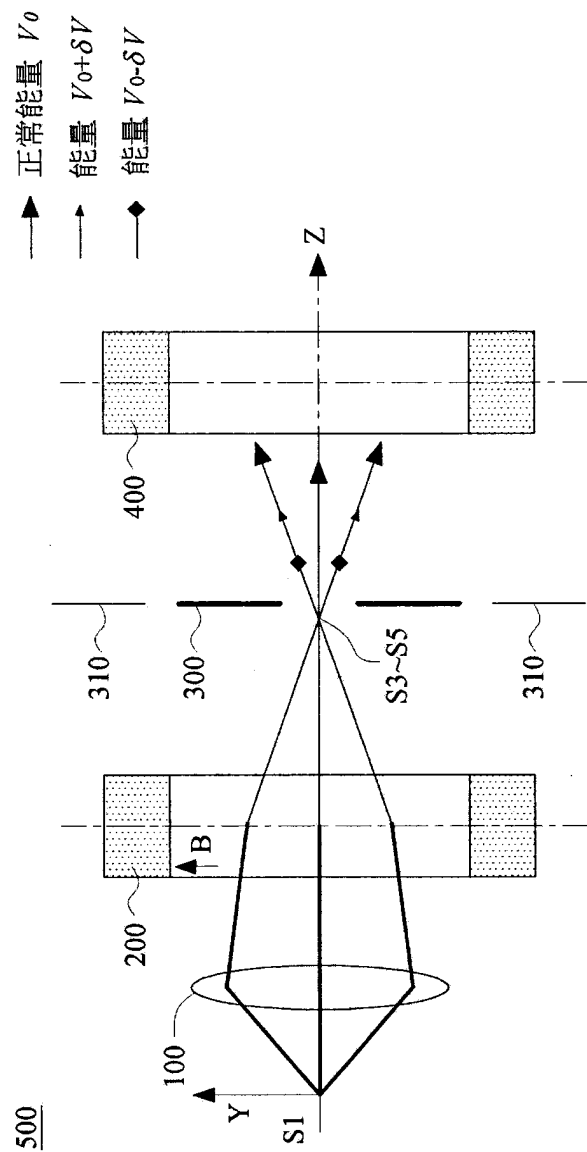
第五圖



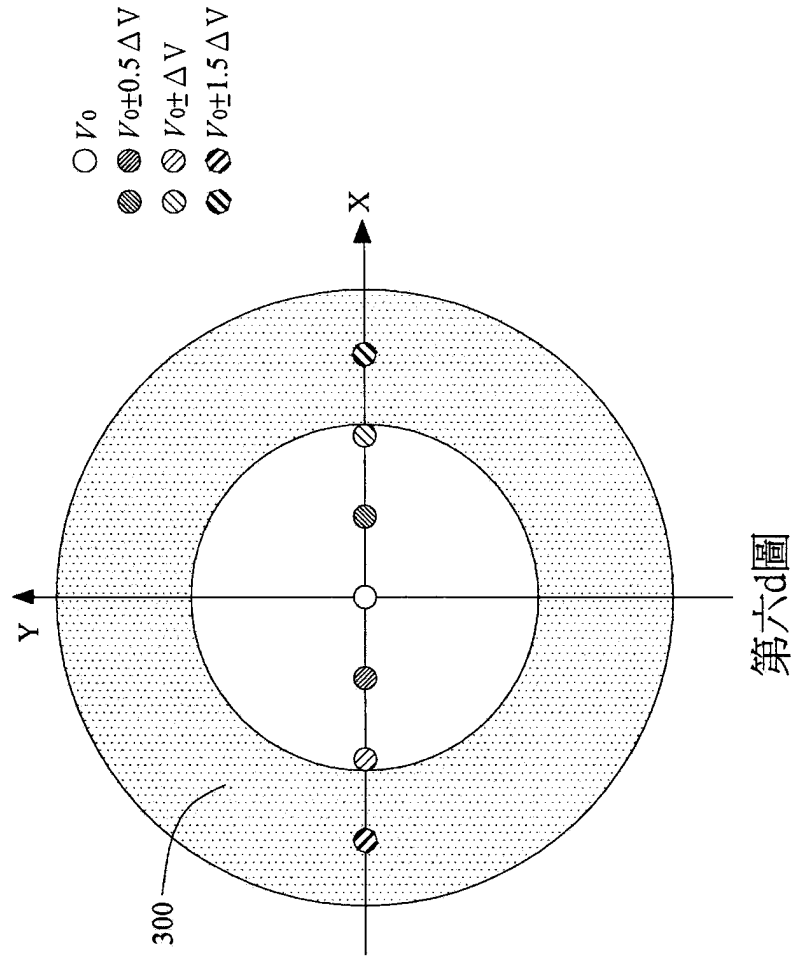
第六a圖



第六b圖



第六c圖



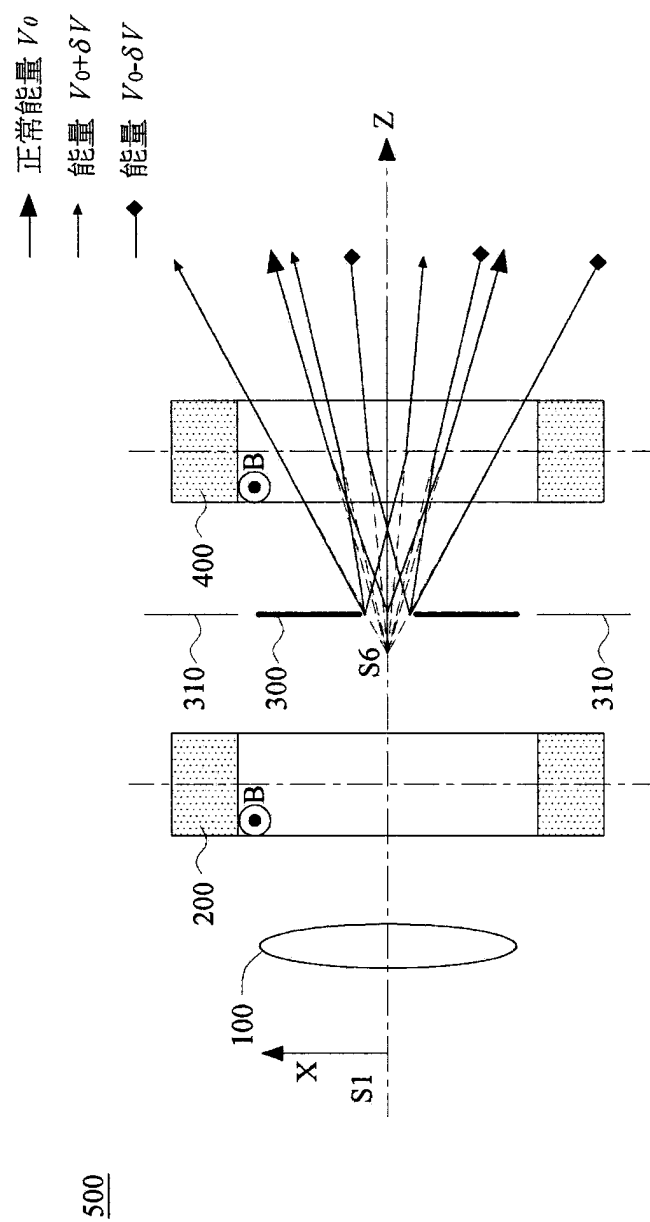
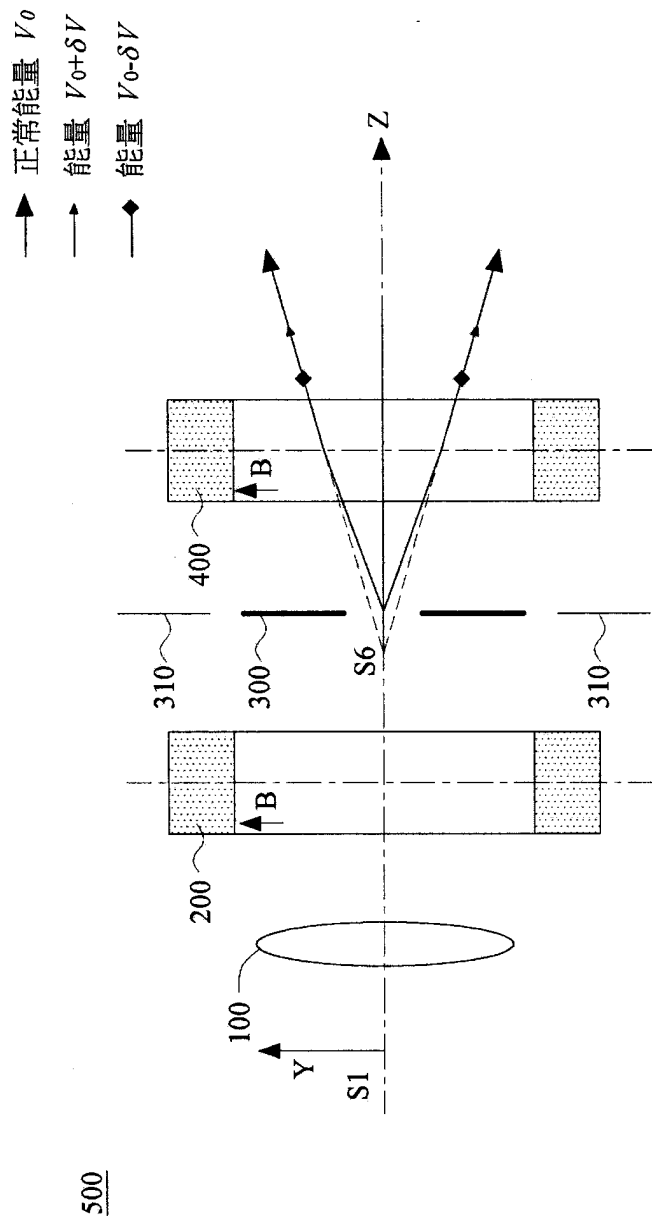
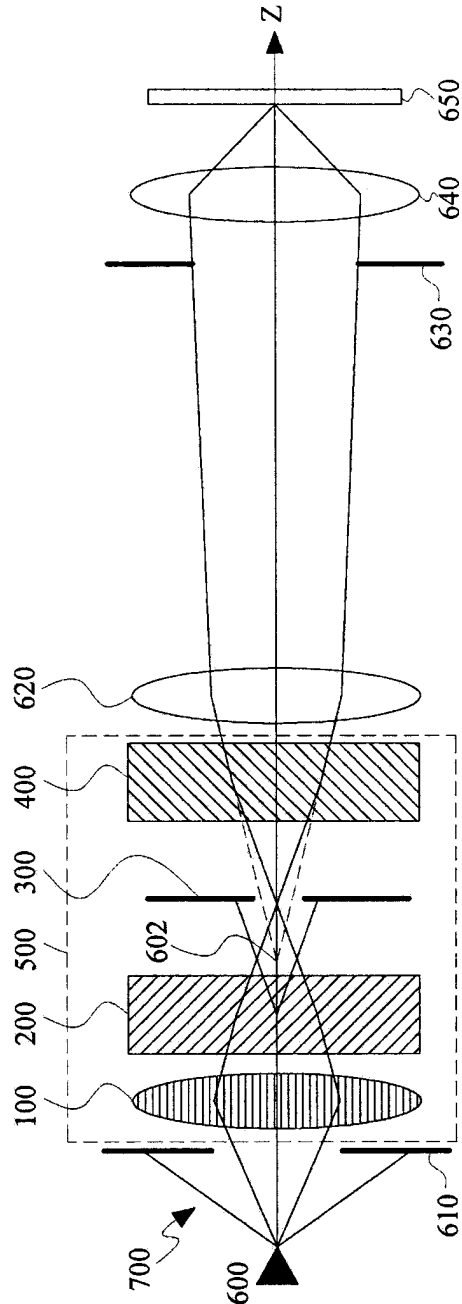


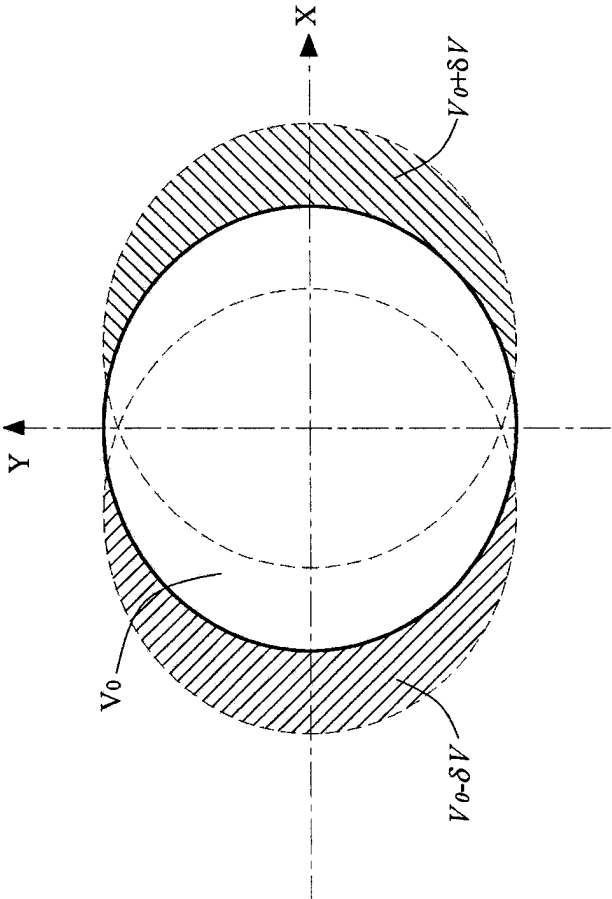
圖
第六



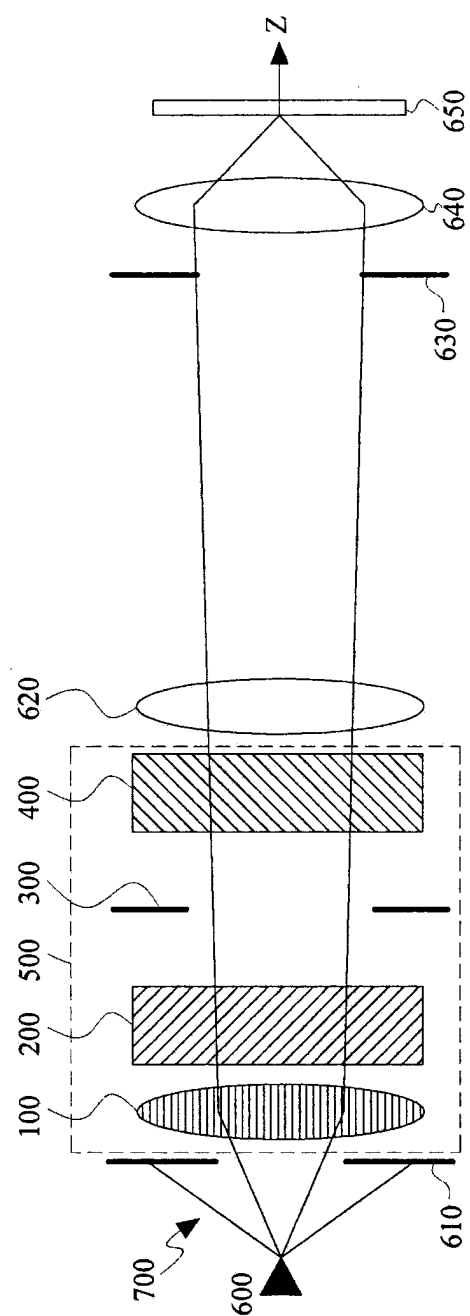
第六圖



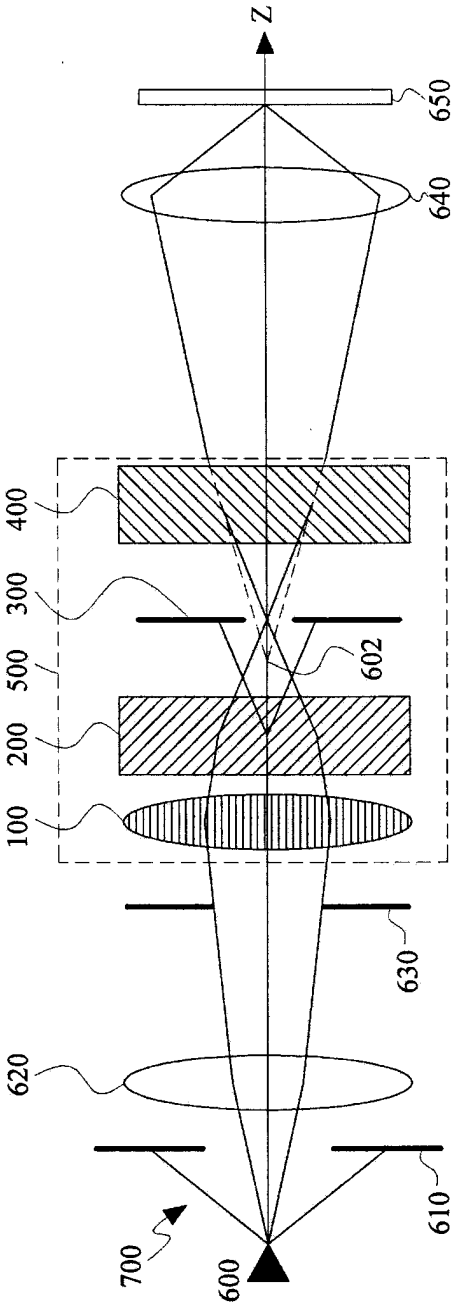
第七a圖



第七b圖



第七c圖



第八圖

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第四a圖

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

20 第一分散單元

21 Wien分析器過濾器

30 能量限制孔徑

31 平面

40 分散單元

50 軸上電子束

61 正常能量 V_0 電子

62 入射電子束

62a 交叉

62b 位置

71 正常能量 V_0 電子

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

發明專利說明書

※記號部分請勿填寫

※申請案號：101118079

※IPC分類：

H01J 37/153 (2006.01)

※申請日：

H01J 37/05 (2006.01)

一、發明名稱：

H01J 37/28 (2006.01)

帶電粒子束裝置之單色器

Monochromator for Charged Particle Beam Apparatus

二、中文發明摘要：

本發明提供一種可減少帶電粒子裝置中一主帶電粒子束之能量散佈的單色器，單色器包含一粒子束調整元件、二個Wien過濾器形式的分散單元與一能量限制孔徑。在單色器中，形成折射散佈與沿光軸的基本軌跡的雙對稱性，不但根本上避免引發實際上無法補償的離軸像差，同時也可確保離開的粒子束在單色器內具有一共焦、無分散的虛擬交叉。因此，在掃描式電子顯微鏡中使用單色器可以減少色散像差而不會引起不良的影響，以提高最終成像解析度。成像解析度的改進對於基於低電壓掃描式電子顯微鏡原理的低電壓掃描式電子顯微鏡及相關裝置而言更加明顯，例如半導體良率管理的缺陷檢測與缺陷檢視。本發明同時提供了兩種將一單色器整合到一掃描式電子顯微鏡的方法，其一是將一單色器置於電子源與聚光鏡之間，而另一種方法是將一單色器置於粒子束限制孔徑與物鏡之間。前者提供一額外能量角度過濾，並獲得一個較小的有效能量散佈。

三、英文發明摘要：

This invention provides a monochromator for reducing energy spread

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

[0001] 本發明係關於一種帶電粒子束裝置，特別是關於一種將帶電粒子束過濾成小能量散佈的單色器。本發明同時關於一種適於使用此裝置的帶電粒子束設備。儘管如此，應該理解的是本發明具有更廣泛的適用範圍。

【先前技術】

[0002] 在應用電子顯微鏡原理觀察樣品的掃描式電子顯微鏡以及相關的工業領域中，例如半導體製造中的良率管理的缺陷檢視及缺陷檢查，需要獲得具有高解析度的試片影像並要求低輻射損壞。

[0003] 減少試片樣品輻射損壞的唯一解決方式就是使用一低能量（或一般在掃描式電子顯微鏡領域稱為低電壓）電子束掃描（ $<5\text{keV}$ ），但卻會限制電子束試片表面下的穿透力以及試片表面的殘餘電荷累積。不過由於低能量電子束會形成一比高能量電子束大的探針點使得解析度變差。

[0004] 試片表面上的探針點直徑係由成像系統中的電子源的大小、球狀相差與色散像差、繞射與庫倫效應（Coulomb effect）決定。對於低能量電子束而言，可實現最小探針點尺寸受限於導因於較大之德布羅伊波長（de Broglie wavelength） λ 的繞射圓平面及導因於較大之相對能量散佈 dV/V_0 的色散像差。兩者分別顯示於方程式（1.1）與（1.2）。此處 C_{CA} 是色散像差係數， V_0 及 dV 是電子能量及能量散佈， a 是粒子束半角。很明顯的是，

要減小探針點尺寸，減少能量散佈及降低色散像差係數是另一個選項。

(1.1)

$$Dd = 0.61 \cdot \frac{\lambda}{\alpha} \quad \text{where} \quad \lambda = \frac{12.26}{\sqrt{V_0}}$$

(1.2)

$$Dc = \frac{1}{2} \cdot C_{ca} \cdot \alpha \cdot \frac{dV}{V_0}$$

[0005] 電子束之能量散佈係來自原始能量散佈，原始能量散佈係由當電子從一電子源射出且由電子源到目標途中電子之間統計上的交互作用造成之疊加能量散佈 (Boersch effect) 而生成。電子能量散佈通常有一具有長尾巴的形狀，且電子束的能量散佈通常以FWHM(Full Width Half Maximum) (完整寬度一半最大值)來表示。蕭特基場發射源 (Schottky Field Emission Source) 廣泛應用於低電壓掃描式電子顯微鏡 (LVSEM)，在陰極的能量散佈 dV 是 0.3 eV，且取決於粒子束電流，在電子槍出口處增加到 0.5-1 eV。對於低能電子束如1 keV而言，此一能量散佈值大小意味著一相對的能量散佈 dV/V_0 較例如10keV的高能電子束大得多。

[0006] 目前提供了很多的解決方案以減少電子落在試片前的能量散佈 dV 。在這些解決方案中，磁性及/或靜電折射

器（例如 Alpha 過濾器、omega過濾器及Wien過濾器）及靜電圓透鏡（例如美國專利第7034315號）被用作為分散元件。這些元件的共同點在於當偏折電子束時產生折射散佈。在這些解決方案之中只有Wien過濾器具有一直光軸且不會將具有正常能量的電子偏折遠離光軸。這一特性使Wien過濾器易於準備並且不會產生實際上無法獲得完全補償的離軸相差，因此許多提出的解決方案都是基於Wien過濾器。

[0007] 如第一圖中所示，在一標準Wien過濾器的基本配置中，一沿 X 方向的靜電偶極場 E 及一沿 Y 方向磁偶極場 B 彼此垂直疊加，且兩者都垂直於一直光軸 Z 。一電子束沿光軸 Z 穿過Wien過濾器。Wien條件只有當電子以速度 v_0 沿 Z 方向移動時為真，如方程式(1.3) 中所示，此處對每個電子的淨羅倫茲力 F 是零。對於具有自速度 v_0 的速度變化量 dv 沿 Z 方向移動的電子而言，其獲得沿 X 方向非零淨羅倫茲力 F ，如以正常的電子能量 V_0 及能量變化量 dV 表示的方程式 (1.4) 或 (1.5) 中所示，且將在 X 方向被折射且因此被轉向遠離 Z 方向。此處 e 及 m 分別是電子的電荷與質量。折射角度 α 取決於能量變化量 dV 及有關於磁場 B 與正常能量 V_0 的折射功率 K ，如方程式 (1.6) 中所示。因此，Wien過濾器將產生折射散佈，而折射功率 K 代表分散強度。為清楚起見，此處折射功率 K 及偏折方向分別稱為分散功率及分散方向。在此情況下對於速度 v_0 的電子而言無離軸的像差發生。

[0008]

Wien Condition: $F(\nu_0) = F_e + F_m = 0 \quad \text{or} \quad E = \nu_0 \cdot B$

(1.4)

Dispersion: $F(\nu_0 + \delta\nu) = -e \cdot \delta\nu \cdot B$

(1.5)

$$F(V_0 + \delta V) = -e \cdot \frac{\delta V}{\sqrt{2 \cdot m \cdot V_0}} \cdot B$$

(1.6)

$$\alpha = K(B, V_0) \cdot \delta V$$

對於每個具有正常能量但不是在YOZ 平面中移動的電子而言，將獲得一種來自靜電場的電位改變。因此，當其穿過Wien過濾器時速度將不同於 v_0 如(1.7)所示，並且會獲得非零淨羅倫茲力如(1.8)中所示。淨羅倫茲力與電子位置 x 成正比，因此在 X 方向（分散方向）的聚焦效應存在。分散方向的聚焦效應將生成像散聚焦（astigmatic focusing），並同時減少的離軸電子的折射角度。後者意謂著分散功率降低。

(1.7)

$$v_0 - v = - \frac{e \cdot E \cdot x}{m \cdot v_0}$$

(1.8)

$$F(x) = -\frac{e^2 \cdot B \cdot E}{\sqrt{2 \cdot m \cdot V_0}} \cdot x$$

Wien過濾器在許多方面被應用做為單色器或能量過濾器，其中能量過濾以及能量角度過濾為兩種典型方法。在如第二a圖所示的能量過濾中，一來自電子源 1 的粒子束 2 藉由圓形透鏡 10 及或Wien過濾器 11 本身（例如，美國專利第6452169號、美國專利第 6580073號、美國專利第6960763號及美國專利第7507956號）聚焦，在能量限制孔徑 12 上形成像散的影像。具有能量 V_0 的電子形成聚焦到光軸的次電子束 3，同時能量為 $V_0 \pm dV$ 的電子分別形成分別在 $\pm X$ 方向偏折且聚焦遠離光軸的次電子束 4 及 5。因此，在粒子束 2 內，其能量變化量在 $\pm dV$ 內的所有電子將通過孔徑 12，其餘電子將被擋下。

[0010] 作為一明顯的優點，能量過濾將完全切斷電子能量分布的長尾巴。能量分布的長尾巴產生影像中的一背景並降低影像對比。作為一不可忽視的缺點，能量過濾需增加電子源尺寸。電子源 1 在孔徑 12 的影像為後續電子光學的來源，實際上由孔徑大小決定其尺寸。然而目前在實際孔徑大小目前（ $\sim 100\text{nm}$ ）是遠大於的原始電子源的尺寸 1（蕭特基場發射源的虛擬來源為約 20nm ）。此外，孔徑 12 上的影像是所有電子的交叉結果，此增強產生額外能量散佈的電子相互作用。雖然在電子相互作用方面而言，像散影像較無像散共焦影像為佳。

[0011]

如第二b圖中所示能量角度過濾中（例如美國專利第6489621號、美國專利第7679054號及美國專利第5838004號），一來自電子源1的粒子束2通過Wien過濾器11。具有能量 V_0 的電子形成直行的次電子束3，同時能量分別為 $V_0 \pm dV$ 的電子分別形成分別在 $\pm X$ 方向偏折的次電子束4及5。能量角度限制孔徑12上每個電子的位置取決於其能量及進入Wien過濾器11的入射角。因此，孔徑12不僅擋掉所有能量變化量不在 $\pm dV$ 內的電子，同時即使其能量變化量在 $\pm dV$ 內但具有較大入射角的電子也被擋掉。

[0012]

關於能量變化量 dV 的折射角度 α 必須至少大於雙入射半角 b 以清楚過濾出具有能量變化量 dV 的帶電粒子。此要求Wien過濾器有足夠的分散功率或入射電子束分散程度要夠小。增加Wien過濾器的分散功率將增加折射角度，但同時加強聚焦作用，進而將減少折射角，並限制其可實現的最大折射角度。抑制入射電子束的分散程度將限制粒子束電流或增強電子的互動形同增加電子束的能量分散。另一個不容忽視的缺點是為了後續的電子光學原始電子源1被改為較大的自14至15的虛擬電子源。

[0013]

很多種改進方法已被提出以解決上述問題。在能量角度過濾方面，一種方法是使用圓形透鏡以將原始電子源成像到Wien過濾器中心（如美國專利第7468517號）上。這將在電子源尺寸上的Wien過濾器效應減至最少，但增加了一真實交叉。另一種方法是使用第二Wien過濾器來補償（例如美國專利第6489621號、美國專利第

7679054號) 第一個Wien過濾器的殘餘效應。雖然這種方法不會產生一真實交叉，但將產生一遠離後續電子光學的虛擬交叉，此將因為大為增加的粒子束尺寸造成大的像差。

[0014] 在能量過濾方面，許多文件（例如美國專利第6960763號、美國專利第6580073號及美國專利第7507956號）提供使用一或更額外Wien過濾器 21 以補償能量限制孔徑過濾器 12後第一個Wien過濾器11之殘餘效應的方法（如第三a圖及第三b圖中所示）。在這些解決方案中，一共焦及無分散交叉7，即在能量限制孔徑12的第一真實像散交叉 6後的一額外真實交叉是在最後一個Wien過濾器 21 後形成。這不但增加了電子相互作用方面能量過濾後的能量散佈，但也使掃描式電子顯微鏡的總長度至少增加了單色器的長度 8。

[0015] 本發明將提供一個解決能量過濾及能量角度過濾問題的解決方案。不同於形成入射帶電粒子束經單色器後的真實共焦交叉，其形成了單色器內虛擬的共焦及無分散交叉。其後本發明提供基於低電壓掃描式電子顯微鏡原理改良低電壓掃描式電子顯微鏡及相關設備成像解析度的有效方法。

【發明內容】

[0016] 本發明的目的是提供一種帶電粒子裝置中的單色器以減少主帶電粒子束的能量散佈。藉由特別沿相對於一能量限制孔徑的直光軸形成在折射色散及基本軌跡的雙對稱，此單色器使一來自帶電粒子源入射帶電粒子束離開

時具有減少的能量散佈以及保持有效交叉直徑及行進方向不變。因此，本發明提供了基於低電壓掃描式電子顯微鏡的原理提高低電壓掃描式電子顯微鏡及相關裝置的成像解析度的有效途徑，如半導體良率管理的缺陷檢測與缺陷再檢視。

[0017] 因此，本發明提供一種單色器，該單色器包含一沿直光軸對齊以將具有一正常能量與一能量散佈的帶電粒子束折射的第一分散單元與一第二分散單元、一具有一位於一在該第一與第二分散單元之間的中間平面的能量限制孔徑之平板及一粒子束調整元件，該粒子束調整元件將該帶電粒子束於該帶電粒子束進入該第一分散單元之前聚焦以在該能量限制孔徑上形成一真實交叉。該帶電粒子束沿光軸通過並包含具有正常的能量直線通過該每一分散單元的帶電粒子以及具有自正常能量改變的能量變化並由該每一分散單元沿一相同分散方向折射的帶電粒子。由該每一分散單元產生的每一帶電粒子之折射角係由該每一分散單元的一分散功率及該每一帶電粒子的能量變化決定。該分散功率及該第一分散單元與該第二分散單元的該分散方向為分別相等。該能量限制孔徑與該直光軸對齊。當該帶電粒子束自該第二分散單元離開後一虛擬交叉形成於該第一分散單元與該能量限制孔徑之間。

[0018] 自離開該單色器之後該帶電粒子束之一離開能量散佈可藉由同時改變該第一與第二分散單元之該分散功率及該粒子束調整元件之一聚焦功率來改變。該粒子束調

整元件為一圓透鏡。該能量限制孔徑的形狀為圓形、長方形、正方形或橢圓形，其中該平板在該第一分散單元之該分散方向有多個具有不同尺寸的能量限制孔徑，其中自離開該單色器之後該帶電粒子束之一離開能量散佈可藉由改變使用一位於該平板上之不同能量限制孔徑來改變。

[0019] 本發明提供一種單色器包含一具有一第一Wien過濾器與一第一散光像差補償器之第一分散單元，該第一散光像差補償器補償該第一Wien過濾器產生之一第一像散，一包含一第二Wien過濾器與一第二散光像差補償器之第二分散單元，該第二散光像差補償器補償該第二Wien過濾器產生之一第二像散，以及一具有一位於一在該第一與第二分散單元之間的中間平面的能量限制孔徑之平板。該第一分散單元與該第二分散單元沿一直光軸對齊。一入射帶電粒子束包含具有一正常能量且直線通過該每一分散單元的帶電粒子以及具有自正常能量改變的能量變化並由該每一分散單元沿一相同分散方向折射的帶電粒子。每一帶電粒子之一折射角係由該每一帶電粒子的能量變化及該每一分散單元的一分散功率決定。該分散功率及該第一分散單元與該第二分散單元的該分散方向為分別相等。該能量限制孔徑與該直光軸對齊。

[0020] 該第一Wien過濾器與該第一散光像差補償器沿該光軸疊加，且該第二Wien過濾器與第二散光像差補償器沿該光軸疊加。該單色器更包含一粒子束調整元件，該粒子束調整元件將該帶電粒子束於該帶電粒子束進入該第

一分散單元之前聚焦以在該能量限制孔徑上形成一真實交叉，其中該粒子束調整元件為一圓透鏡。當該帶電粒子束自該第二分散單元離開後一虛擬交叉形成於該第一分散單元與該能量限制孔徑之間。自離開該單色器之後該帶電粒子束之一離開能量散佈可藉由同時調整該第一與第二分散單元之該分散功率及該粒子束調整元件之該聚焦功率來改變。該第一與第二分散單元之分散功率可藉由改變施加在該第一與第二分散單元內之該第一與第二Wien過濾器的電激發來調整。該平板在該第一分散單元之該分散方向具有多個具有不同尺寸的能量限制孔徑。自離開該單色器之後該帶電粒子束之該離開能量散佈可藉由在垂直於該直光軸的方向上移動該平板來改變以將一不同能量限制孔徑對齊該直光軸。該能量限制孔徑的形狀為圓形、長方形、正方形或橢圓形。

[0021] 本發明進一步提供一種電子裝置，此電子裝置包含一電子源，該電子源提供沿一直光軸移動之主電子束；一聚光鏡，該聚光鏡與該光學軸對齊以聚焦該主電子束；一物鏡，該物鏡與該光學軸對齊以將該主電子束聚焦在一試片之一發射二次電子的表面上；一承載該試片的平台；一接收該二次電子的偵測器；一位於該電子源與該物鏡之單色器，該單色器減少該主電子束之一能量散佈，其中該單色器包含一包含一第一Wien過濾器與一第一散光像差補償器之第一分散單元，該第一散光像差補償器補償該第一Wien過濾器產生之一第一像散，一包含一第二Wien過濾器與一第二散光像差補償器之第二分散

單元，該第二散光像差補償器補償該第二Wien過濾器產生之一第二像散，及一具有一位於一在該第一與第二分散單元之間的中間平面上的能量限制孔徑之平板。該第一分散單元與該第二分散單元沿一直光軸對齊。該主電子束內具有一正常能量的電子直線通過該每一分散單元以及具有自正常能量改變的能量變化的電子被該每一分散單元沿一相同分散方向折射。每一帶電粒子之一折射角係由該每一帶電粒子的能量變化及該每一分散單元的一分散功率決定。其中該分散功率及該第一分散單元與該第二分散單元的該分散方向為相等。該能量限制孔徑與該直光軸對齊。

[0022] 該第一Wien過濾器與該第一散光像差補償器沿該光軸疊加，且該第二Wien過濾器與第二散光像差補償器沿該光軸疊加。該能量限制孔徑的形狀為圓形、長方形、正方形或橢圓形。

電子裝置更包含一粒子束調整元件，該粒子束調整元件與該直光軸對齊，該粒子束調整元件將該主電子束於該主電子束進入該第一分散單元之前聚焦以在該能量限制孔徑上形成一真實交叉。該粒子束調整元件為一圓透鏡。當該主電子束自該第二分散單元離開後一虛擬交叉形成於該第一分散單元與該能量限制孔徑之間。一離開能量散佈可藉由同時調整該第一與第二分散單元之該分散功率及該粒子束調整元件之該聚焦功率來改變。該第一與第二分散單元之分散功率可藉由改變施加在該第一與第二分散單元內之該第一與第二Wien過濾器的電激發來

調整。該平板在該第一分散單元之該分散方向具有多個具有不同尺寸的能量限制孔徑。自離開該單色器之後該主電子束之該離開能量散佈可藉由在垂直於該直光軸的方向上移動該平板來改變以將一不同能量限制孔徑對齊該直光軸。

[0023] 該電子裝置更包含一第一板，該第一板具有一位於該電子源與該聚光鏡之間的一第一孔徑及一第二板，該第二板具有一位於該聚光鏡與該物鏡之間的一第二孔徑。該單色器係位於該第一板與該聚光鏡之間或該單色器係位於該第二板與該物鏡之間。

[0024] 本發明同時提出一種用於過濾一帶電粒子束之單色器，該單色器包含一沿直光軸對齊以將具有一正常能量與一能量散佈的帶電粒子束折射的第一分散單元與一第二分散單元，及一具有一位於一在該第一與第二分散單元之間的中間平面的能量限制孔徑之平板。該帶電粒子束沿光軸通過並包含具有正常的能量直線通過該每一分散單元的帶電粒子以及具有自正常能量改變的能量變化並由該每一分散單元沿一相同分散方向折射的帶電粒子。由該每一分散單元產生的每一帶電粒子之一折射角係由該每一分散單元的一分散功率及該每一帶電粒子的能量變化決定。該分散功率及該第一分散單元與該第二分散單元的該分散方向為分別相等。該能量限制孔徑與該直光軸對齊，其中該帶電粒子束之一真實交叉形成於該能量限制孔徑上且當該帶電粒子束自該第二分散單元離開後一虛擬交叉形成於該第一分散單元與該能量限制孔

徑之間。

【實施方式】

[0025] 本發明的各種實施例現在將伴隨圖示更充分敘述，圖示中顯示一些實施例。在不限制本發明的保護範圍下，實施例中所有的說明與圖示將以電子源與掃描式電子顯微鏡為例。不過實施例並非用來將本發明實施例限制在特定的帶電粒子源與特定的電子顯微鏡領域。

[0026] 以下的說明將集中在使用為一種帶電粒子的電子束。在圖示中，每個元件及每個元件之間的相對尺寸為清晰起見可能被放大。在下列圖示的說明中，相同的參考編號對應相同的元件或實體，並只對個別的實施例間的差異進行說明。

[0027] 本發明提供一具有雙對稱的Wien過濾器型單色器。如第四a圖及第 4b 圖中所示，由兩個完全相同的分散單元（20及40）對稱地位於能量限制孔徑30的每一側以實現雙對稱。兩個完全相同的每一分散單元於具有自一正常的能量改變的能量變化帶電粒子產生折射散佈並將離軸帶電粒子聚焦。在一方面，這兩個完全相同的分散單元對同一方向具有自一正常的能量改變的能量變化的帶電粒子產生兩個相等的折射角($\alpha_1 = \alpha_2$)。在此情況下，折射散佈相對能量限制孔徑（30）展現對稱性，如第四a圖中所示。另一方面，這兩個完全相同的色散單位同樣將離軸帶電粒子聚焦，且第一分散單元（20）使具有正常能量的帶電粒子通過能量限制孔徑（30）的中心。在這種情況下具有正常能量的每個離軸粒子的軌跡顯示相

對於能量限制孔徑 (30) 的反對稱性，如第四b 圖中所示。雙對稱實現能量過濾，並同時確保離開的帶電粒子束具有一在單色器內且無第一級分散及像散的虛擬交叉。

[0028] 每個分散單元包含一Wien過濾器及一散光像差補償器，且兩者的靜電場與磁場都沿光軸疊加。對於具有正常能量與一定的能量散佈的帶電粒子束而言，Wien過濾器產生所需的隨雙極磁場與靜電場強度改變的分散功率，以及隨分散功率改變的像散聚焦功率，如方程式 (1.3)-(1.8) 所示。散光像差補償器是受控制以產生一像散功率以補償Wien過濾器的像散聚焦功率。由於在像散產生處已完成補償因此來自每一分散單元的粒子束可達成無像散現象。因此每一分散單元具有一可獨立改變的分散功率以及一依附改變的共焦聚焦功率。

[0029] 根據像散的補償，因為在色散方向散光像差補償器產生的負聚焦功率，Wien過濾器在分散方向的聚焦效應使分散功率減少被減弱。帶電粒子光束通過能量限制孔徑的能量散佈係由第一分散單元 (20) 的分散功率及能量限制孔徑 (30) 的尺寸 (在分散方向) 決定，因此離開帶電粒子束的能量散佈可藉由改變分散功率及/或改變在分散單元中能量限制孔徑尺寸。前者可以透過調整施加在Wien過濾器的電激發實現，因此可以連續。不過，分散功率的改變將會導致的共焦聚焦功率的改變，將打破基本軌跡的反對稱性，因此破壞由兩個分散單位 (20 及 40) 產生的像差的抵銷。

[0030] 當分散功率改變或入射帶電粒子束改變時，為了要

保持雙對稱，一粒子束調整元件係在兩個分散單元前設定。粒子束調整元件為磁性或靜電的圓形透鏡，其對焦功率為可變。粒子束調整元件作為一個可變的粒子束調適器。當入射帶電粒子束交叉及或正常能量可因一些好的原因改變及或第一分散單元的分散功率可被改變以獲得對於一特定尺寸的能量限制孔徑而言一所需的能量分散的減少，其聚焦的功率被調整為保持帶電粒子束在能量限制孔徑中心（第四b圖的 S71）處具有一真實交叉。

[0031] 因此，從入口側至出口側，本發明的單色器 500 包含一粒子束調整元件（100）、第一分散單元（200）、一能量限制孔徑（300）及一第二分散單元（400），如第五圖所示。兩個分散單元具有相同的結構及方位，在相同激發中使用，以及對稱性地位於能量限制孔徑（300）的每一側。所有元件被設定並將其激發以確保在折射散佈及相對於能量限制孔徑的基本軌跡的雙對稱性。

本發明的單色器具有一直光軸且具有正常能量的帶電粒子因此不會被轉向遠離光軸。此一特性不僅使單色器易於生產並調整，同時不會產生實際上無法完全補償的離軸像差。此外，一帶電粒子束之虛擬共焦及無分散交叉形成於第一分散單元與能量限制孔徑之間，而不是帶電粒子束的一真實共焦交叉形成在單色器出口側。此虛擬交叉會是一需要單色器的裝置之後續光學的來源。在一方面，虛擬交叉的伯爾施效應(Boersch effect)也比真實交叉的伯爾施效應小。另一方面，虛擬交叉的位置更接近原始的帶電粒子源，並因此當單色器整合進入現

有設計的電子顯微鏡如低電壓掃描式電子顯微鏡時所需的修改將比真實交叉少。根據所有上述的觀點，本發明的單色器提供一種基於低電壓掃描式電子顯微鏡原理改良低電壓掃描式電子顯微鏡及相關裝置成像解析度的有效方法。

[0032] 本發明還提供了在掃描式電子顯微鏡中使用本發明的單色器的兩個實例。在第一個實例中如第七a圖所示，單色器被置於電子源 600及一聚光鏡 620之間，且一電流限制孔徑 610被用來控制通過單色器的粒子束電流以降低單色器內部發生的電子相互作用。在第二個實例中如第八圖所示，單色器被置於一聚光鏡及一物鏡之間，而粒子束限制孔徑 630 控制單色器的入射粒子束電流。

[0033] 下一步將描述本發明的詳細敘述及機構。

[0034] 本發明提供一Wien過濾器型的單色器以降低掃描式電子顯微鏡或帶電粒子裝置中主電子束的能量散佈。單色器形成相對於入射粒子束在折射散佈及沿直光軸之基本軌跡的雙對稱。雙對稱可確保來自帶電粒子源的入射帶電粒子束自單色器離開時之能量散佈減少，以及保持有效交叉直徑及傳播方向不變。

[0035] 本發明還提供一種將單色器整合進入掃描式電子顯微鏡的方法。本發明的單色器有助於藉由減少主粒子束或成像粒子束的能量散佈以降低試片色散像差，同時不會導致粒子源尺寸的明顯增加。因此，試片上的探針點尺寸將藉由重新平衡因像差、繞射及粒子源尺寸造成的

影像模糊而達成一較低值。因此，單色器提供一種根據低電壓掃描式電子顯微鏡的原理提高掃描式電子顯微鏡特別是低電壓掃描式電子顯微鏡及相關裝置的成像解析度的有效方法，例如半導體良率管理中的缺陷檢測與缺陷檢視。

[0036] 作為本發明中提供的單色器之基礎的雙對稱包含分別關於能量限制孔徑之折射散佈中的一對稱及一基本軌跡中的反對稱。在顯示折射散佈中之對稱的第四a圖中，一具有正常能量 V_0 及一能量散佈的軸上電子束50連續地沿Z軸進入兩個分散單元20與40。兩分散單元20與40結構相同且位於並對稱地朝向與光學Z軸垂直的平面31。每一分散單元的位置係由場區域中心定義。每個分散單元包含一Wien過濾器及一散光像差補償器，且兩者的磁場與電場彼此相互疊加。相同激發施加在每個Wien過濾器，以產生不會使具有正常能量 V_0 （例如61）的電子偏折但會使具有自正常能量 V_0 （例如71）改變之能量變化 dV 的電子偏折所需的折射功率。如方程式（1.6）所示，能量變化 dV 越大折射角度（例如 α_1 與 α_2 ）就越大。隨能量變化改變的折射角度的特徵稱為折射散佈，且折射角度比 K 及能量變化 dV 稱為分散功率。分散功率隨正常能量 V_0 及可被施加在Wien過濾器上的電激發調整的磁偶極場改變。

[0037] 一平板位於平面31上，其中一位於平板上的孔徑30與光軸Z對準。在第四a圖中，具有能量變化 dV 的電子71的折射相對於平面31對稱地離開。分別由Wien過濾

器產生在第一分散單元 20及第二分散單元 40中的二折
射角度 α_1 與 α_2 彼此相等，即 $\alpha_1=\alpha_2$ ，且均與能量變化 dV
成正比。自第二分散單元 40離開的電子71的軌跡虛擬地
交叉光軸於自第二分散單元 40的中心向後一距離 L_2 的位
置，其中

[0038] (2.1)

$$L_2 = \frac{L_1}{2} \cdot \{1 - \tan^2(\alpha_1)\} \approx \frac{L_1}{2}$$

若所有高於第一級的項可被省略距離 L_2 不會隨折射
角 α_1 改變。因此出射粒子束的第一級分散消失，且入射
軸上粒子束成為一看來自二分散單元之幾何中心點S71發
散的出射粒子束。

[0039] 基本軌跡中的反對稱性係基於折射散佈對稱性。基
於第四a 圖中所示的內容，第四圖 4b 顯示基本軌跡中
的反對稱性。在第四b圖中的每個分散單元（20 及 40）
，散光像差補償器被激發以補償當Wien過濾器作動以達
成第四a 圖中所示的折射散佈對稱時出現且隨Wien過濾
器分散功率增加而增加的像散。因此每一分散單元（20
及 40）在X 與 Y 方向有相等的隨每一分散單元之分散
功率增加而增加的聚焦功率 f 。

[0040] 在第四b圖中，基本軌跡中的反對稱性可藉由若一具
有正常能量 V_0 的入射電子束 62具有一原來在光軸上特
定位置上的交叉62a達成。交叉62a位於第一及第二分散

單元 (20 及 40) 之幾何中心點S71向前一距離L3的位置。若距離 L3 滿足下列條件，

(2.2)

$$L_3 = \frac{L_2^2}{f - L_2}$$

其中 f 表示每個分散單元的聚焦功率。第一分散單元 20 將使入射電子束 62 聚焦且相應地將其交叉自位置 62a 向後移動至幾何中心點S71。然後，以相同的方式第二分散單元 40 將入射電子束 62 聚焦並最後將位於 S71 的交叉向後移動一距離 L3 至一位置 62b。電子束 62 中具有正常能量 V_0 電子的軌跡具有相對於第一及第二分散單元 20 與 40 的幾何中間平面 31 的反對稱性。

[0041] 因此，第四a圖與第四b圖中所示的雙對稱可確保一電子束在中間平面 31 形成一真實交叉以及在自中間平面 31 向後一距離形成一虛擬交叉。在真實交叉內，具正常能量的電子集中進入至一光軸上的一小圓平面，且具有自正常能量偏離相同能量變化值集中進入至一位於遠離光軸位置的一小圓平面。能量變化值越大，圓平面離光軸就越遠。若孔徑 30 設定在真實交叉所在的中間平面，所有圓平面內具有離軸距離大於孔徑 30 內半徑的電子會被截斷。換句話說，通過孔徑 30 的電子的能量散佈將小於一由第一分散單元的分散功率及孔徑 30 內半徑決定的特定值。在虛擬交叉內，所有的電子集中進入一光軸上小圓平面。與進入第一分散單元20的粒子束相比，自

第二分散單元40射出的粒子束具有較小能量散佈、一幾乎未變的交叉尺寸以及一向後移動的交叉。

[0042] 第五圖顯示本發明一基於第四a圖與第四b圖中所示的雙對稱的單色器實施例。從電子粒子束入口側至出口側，單色器 500 包含一粒子束調整元件100、一第一分散單元 200、能量限制孔徑300及一第二分散單元 400。所有元件（100-400）排成一行並垂直光軸Z。二分散單元 200與400構造相同且位於並對稱地朝向也是垂直光學軸Z的平面310。能量限制孔徑300係位於平面310。與第四a圖及第四b圖相比，每當入射電子束在交叉位置改變及/或正常能量為了一些好的理由及/或第一分散單元 200的分散功率改變以改變在單色器後的電子束的能量散佈，在第五圖中加入粒子束調整單元 100以確保維持雙對稱。換句話說，粒子束調整元件強化了單色器的適用性及彈性。

[0043] 在第五圖中，粒子束調整元件 100 包含一可以是靜電或磁性的圓透鏡。每個分散單元（200、 400）包含可以是靜電或磁性的一Wien過濾器及一散光像差補償器，兩者都沿 Z 軸相互疊加。能量限制孔徑300的形狀可為圓形、橢圓形、正方形或長方形。若孔徑形狀是橢圓或矩形，其較短軸或短邊係位於第一分散單元 200的分散方向。在分散方向的孔徑尺寸係根據所需的能量散佈的減少程度及第一分散單元 200的分散功率選擇。

[0044] 第五圖中所示的單色器的操作方法將於第六a圖至第六f圖中逐步表示。第六a圖顯示粒子束調整元件 100的

的功能。S1 是電子源或具有正常能量 V_0 及原始能量散佈 $\pm \Delta V_0$ 且能量散佈將被減為 $\pm \Delta V_1$ 的電子束交叉。若S1 為一電子束交叉，其可位於單色器的入口側或出口側。S2 係由方程式 (2.2) 所示的方式所決定形成基本軌跡中的反對稱所需的位置。因此粒子束調整元件 100 一開始將來自電子源S1的電子束聚焦以形成一在進入第一分散單元 200前於S2會聚的粒子束。更具體地說，粒子束調整元件 100 的聚焦功率隨入射電子束交叉的初始位置S1的改變以及第一分散單元 200的聚焦功率 f 而改變。後者隨第一分散單元 200的分散功率改變。

[0045] 第六b圖與第六c圖顯示第一分散單元 200對入射粒子束分別在 X0Z 平面及Y0Z 平面上的影響。在第一分散單元 200中的Wien過濾器被激發以滿足Wien條件並產生一所需的 X 方向折射散佈於入射電子束。第一分散單元 200中的散光像差補償器被激發以補償在第一分散單元 200中的Wien過濾器產生的像差。在像差補償後殘餘的共焦聚焦功率 f 將入射粒子束聚焦在中間平面310上形成一自第六a圖中所示S2向後的真實交叉。由於Wien過濾器的X 方向折射散佈，只有具有正常能量的電子會集中進入一軸上圓平面 S3。根據磁偏折方向，由具有能量變化 dV (>0)與 $-dV$ 的電子形成的圓平面 S4 與 S5 分別自光軸的X 與 $-X$ 方向偏移。能量變化 dV 越大，離軸偏移也越大。在 Y 方向，圓平面S3、 S4 與 S5 的光碟均位於光軸如第六c 圖所示。

[0046] 第六d圖顯示能量限制孔徑 300的電子散佈。在第六

d圖中，只顯示具有正常能量 V_0 的電子顯示以及六個特定的能量變化，且以一圓形孔徑 300 為例。能量限制孔徑 300 的內半徑等於具有能量變化 $\pm \Delta V_1$ 之電子的離軸偏移。如此，電子束帶著減少的能量變化 $\pm \Delta V_1$ 自孔徑 300 離開，但一擴大的交叉在 X 方向的尺寸等於能量限制孔徑 300 的內直徑。減少的能量變化 $\pm \Delta V_1$ 由第一分散單元的分散功率及能量限制孔徑在第一分散單元在分散方向的尺寸決定。

[0047]

第六e圖與第六f圖顯示第二分散單元 400在入射粒子束上產生的效應。第二分散單元 400與第一分散單元 200於相同的激發中作用。因此，第二分散單元 400 如同第一分散單元 200對孔徑 300前的電子束所作的一般將來自中間平面 310中真實交叉的電子束折射及聚焦。如第六e 圖中所示在XOZ 平面上，第二分散單元 400不僅將圓平面S3-S5自中間平面 310向後移動一相同的距離，同時消除存在於真實交叉在 X 方向的圓平面偏移。如第六f圖中所示在YOZ 平面上，第二分散單元 400將圓平面S3-S5如同在 XOZ向後移動一相同的距離。因此，自第二分散單元 400離開後，自第六b圖及第六c圖所示三個圓平面S3-S5離開的電子實際上幾乎在光軸 Z上相同的位置交叉並形成一虛擬交叉S6。虛擬交叉S6係位於第一分散單元 200及中間平面 310之間，並在未損失主要部份情況下具有一遠比第六d 圖中所示的能量限制孔徑 300內直徑或能量限制孔徑 300在分散方向的尺寸小的尺寸。

[0048] 第七a圖與第八圖分別顯示使用上述及第五圖及第六a圖至第六f圖所示單色器的掃描式電子顯微鏡的兩個實施例。為了簡單起見，並未顯示偏向掃描。在第七a圖中，一電子源 600 發射沿光軸Z的電子束 700。一第一電流限制孔徑 610 切斷電子束 700的一部分，以限制電子束電流進入單色器500。單色器500中一大電子束電流在電子束聚焦範圍內將產生一強電子交互作用，尤其是在位於能量限制孔徑 300中心區域的真實交叉，因此在單色器中出現一額外能量散佈及一交叉尺寸增加。因此，必須限制電子束電流至一能使電子相互作用之效應不明顯程度的範圍。

[0049] 在第七a圖的單色器500中，起初電子束被粒子束調整元件 100聚焦成所需的會聚粒子束。然後會聚粒子束分散並被第一分散單元 200 聚焦。具體地說，具有正常能量的電子實質上直線通過並形成一在光軸上及能量限制孔徑 300中心的共焦真實交叉，具有相同相對於正常能量的能量變化的電子則被偏折並形成一遠離光軸但卻是在能量限制孔徑 300所在平面上的共焦真實交叉。電子的能量變化越大，交叉離光軸就越遠。能量限制孔徑 300 然後將能量變化在所需範圍 $\pm \Delta V_1$ 外的電子切斷，以使離開的電子束具有一已減少的能量分散 $\pm \Delta V_1$ 。

[0050] 隨後在第七a圖的單色器 500中，從能量限制孔徑 300 出來的電子將進入第二分散單元 400。第二分散單元 400 與第一分散單元 200以相同方式運作。因此第二分散單元 400使電子自每個能量限制孔徑 300上的交

又偏折遠離具有相同角度的光軸並將電子聚焦以如同第一分散單元 200 一般，在一自最後對應真實交叉向後相同軸上距離的位置形成一位置虛擬交叉。不過，此處所有虛擬交叉虛擬地位於光軸上同一處。因此，所有從單色器離開的電子看來像從虛擬電子源 602 射出且具有在所需範圍 $\pm \Delta V_1$ 內的能量變化。

[0051] 在第七a圖中，從單色器 500 離開的電子束然後進入一傳統的掃描式電子顯微鏡的後續成像系統，並由聚光鏡 620 及物鏡 640 聚焦到試片 650 的表面上。聚光鏡及粒子束限制孔徑 630 一起控制最終探針電流。事實上，粒子束限制孔徑 630 具有與能量角度過濾相同的額外效應，如第七b圖所示。雖然所有從單色器 500 離開的電子均於光軸上的同一位置 602 虛擬交叉，但具有能量變化的電子累積第一及第二分散單元 200 及 400 產生的折射角。因此，具有相同能量變化的電子具有一在粒子束限制孔徑 630 上的相等額外橫移，且一些具有較大極角的電子將被粒子束限制孔徑 630 阻擋，如第七b圖的陰影部分所示。能量變化是越大，不會通過粒子束限制孔徑 630 的電子越多，所以粒子束限制孔徑 630 實際上進一步減少進入後續將電子束聚焦在試片 650 上的物鏡 640 之電子束的有效能量散佈。因此探針點的色散像差將會減少且探針點的尺寸將小於沒有使用單色器的探針點。

[0052] 眾所周知的是由於具有能量變化大於限制值的電子會被切斷使得使用單色器提高成像解析度會犧牲一部分探針束電流。對於需要使用大探針束電流的應用而言，

除了粒子束調整單元 100 之外單色器 500 可被停用，如第七 c 圖中所示。在此情況下，粒子束調整單元 100 將取代原來的聚光鏡 620 作為聚光鏡。通常較接近電子源並且更遠離粒子束限制孔徑的聚光鏡會產生一比相反條件情況下較小的像差。

[0053] 第八圖顯示使用單色器的掃描式電子顯微鏡的另一實施例，其中掃描式電子顯微鏡原本就具有位於物鏡 640 前一固定位置的真實交叉 602。在第八圖中，電子源 600 沿光軸 Z 發射一電子束 700。聚光鏡 620 及粒子束限制孔徑 630 控制進入單色器的粒子束電流。隨後在單色器 500 中，電子束將經歷如第七 a 圖中所述的相同能量過濾。從單色器 500 離開的粒子束具有虛擬交叉 602 及減少的能量散佈。對於需要使用大探針束電流的應用而言，除了粒子束調整單元 100 之外可以停用單色器 500。在此情況下，粒子束調整單元 100 可將電子束聚焦以在相同位置具有一真實交叉 620。然後物鏡 640 將電子束聚焦在試片 650 的表面。因此探針點的色散像差將會減少且探針點的尺寸將比沒有使用單色器的探針點小。

[0054] 在本發明中，提供一種能減少主要電子束能量散佈的掃描式電子顯微鏡中的單色器，其用來減少成像的色散色差，以改善掃描式電子顯微鏡的最終成像解析度，尤其是基於低電壓掃描式電子顯微鏡原理的低電壓掃描式電子顯微鏡及相關裝置。單色器使用 Wien 過濾器作為分散元件以沿一直光軸進行能量過濾，基本上避免引起實際上無法補償的離軸像差。雙對稱性形成於單色器中

，其包含折射散佈中的對稱性及相對於能量限制孔徑基本軌跡中的反對稱性。雙對稱實現能量過濾，同時確保離開的帶電粒子束具有一在單色器內且無第一級分散與像散的虛擬交叉。與先前技術中位於單色器出口側的一真實交叉相較，單色器內一虛擬交叉會產生較少的電子交互作用並僅需要對掃描式電子顯微鏡原始設計作較少的修改。此外，本發明的單色器當應用於一裝置時比先前技術具有更廣泛的適用性與更強的彈性。本發明還提供了兩種將單色器整合進入掃描式電子顯微鏡的方法，其一就是將單色器置於電子源與聚光鏡之間，而另一個是將單色器置於粒子束限制孔徑與物鏡之間。前者提供額外能量角度過濾，並且比後者獲得一較小的有效能量散佈。

[0055] 雖然以上已描述本發明的特定實施例，必須理解的是對於本領域具有一般技術者而言，藉由上述說明內容，將可理解仍有其他與所述實施例相同的實施例。因此必須理解的是本發明並不受限於所示特定實施例，而僅受限逾本發明申請專利範圍之範圍。

【圖式簡單說明】

[0056] 本發明經以下詳細說明伴隨圖示進行說明後將更易於了解領會，其中參考符號標明結構元件，其中：

第一圖顯示一Wien過濾器的基本的結構；

第二a圖顯示一使用Wien過濾器作為色散元件的單色器的概要圖示；

第二b圖顯示一使用Wien過濾器作為色散元件的單色器的

概要圖示；

第三a圖顯示一使用兩個Wien過濾器的單色器的概要圖示；

第三b圖顯示一使用兩個Wien過濾器的單色器的概要圖示；

第四a圖顯示一根據本發明的折射色散的對稱性的概要圖示；

第四b圖顯示一根據本發明之基本軌跡的反對稱性的概要圖示；

第五圖顯示一根據本發明之第一實施例中用於帶電粒子裝置之一單色器的概要圖示；

第六a至六f圖顯示一根據本發明之第五圖所示單色器之功能（XOZ、YOZ平面）的概要圖示；

第七a至七c圖顯示一根據本發明之第二實施例將一單色器整合至掃描式電子顯微鏡的概要圖示；

第八圖顯示一根據本發明之第三實施例將一單色器整合至掃描式電子顯微鏡的概要圖示。

【主要元件符號說明】

- [0057] 1 電子源
2 粒子束
3 次電子束
4 次電子束
5 次電子束
6 真實像散交叉
7 共焦及無像散交叉
8 單色器長度

10 圓形透鏡
11 Wien過濾器
12 能量限制孔徑
14 虛擬電子源
15 虛擬電子源
20 第一分散單元
21 Wien過濾器
30 能量限制孔徑
31 平面
40 分散單元
50 軸上電子束
61 正常能量 V_0 電子
62 入射電子束
62a 交叉
62b 位置
71 正常能量 V_0 電子
100 粒子束調整元件
200 第一分散單元
300 能量限制孔徑
310 平面
400 第二分散單元
500 單色器
600 電子源
602 真實交叉
610 電流限制孔徑
620 聚光鏡

201248672

101年07月04日 修正替換頁

630 粒子束限制孔徑

640 物鏡

650 試片

700 電子束

發明專利說明書

※記號部分請勿填寫

※申請案號：101118079

※IPC分類：

H01J 37/153 (2006.01)

※申請日：

H01J 37/05 (2006.01)

一、發明名稱：

H01J 37/28 (2006.01)

帶電粒子束裝置之單色器

Monochromator for Charged Particle Beam Apparatus

二、中文發明摘要：

本發明提供一種可減少帶電粒子裝置中一主帶電粒子束之能量散佈的單色器，單色器包含一粒子束調整元件、二個Wien過濾器形式的分散單元與一能量限制孔徑。在單色器中，形成折射散佈與沿光軸的基本軌跡的雙對稱性，不但根本上避免引發實際上無法補償的離軸像差，同時也可確保離開的粒子束在單色器內具有一共焦、無分散的虛擬交叉。因此，在掃描式電子顯微鏡中使用單色器可以減少色散像差而不會引起不良的影響，以提高最終成像解析度。成像解析度的改進對於基於低電壓掃描式電子顯微鏡原理的低電壓掃描式電子顯微鏡及相關裝置而言更加明顯，例如半導體良率管理的缺陷檢測與缺陷檢視。本發明同時提供了兩種將一單色器整合到一掃描式電子顯微鏡的方法，其一是將一單色器置於電子源與聚光鏡之間，而另一種方法是將一單色器置於粒子束限制孔徑與物鏡之間。前者提供一額外能量角度過濾，並獲得一個較小的有效能量散佈。

三、英文發明摘要：

This invention provides a monochromator for reducing energy spread

of a primary charged particle beam in charged particle apparatus, which comprises a beam adjustment element, two Wien-filter type dispersion units and an energy-limit aperture. In the monochromator, a double symmetry in deflection dispersion and fundamental trajectory along a straight optical axis is formed, which not only fundamentally avoids incurring off-axis aberrations that actually cannot be compensated but also ensures the exit beam have a virtual crossover which is stigmatic, dispersion-free and inside the monochromator. Therefore, using the monochromator in SEM can reduce chromatic aberrations without additionally incurring adverse impacts, so as to improve the ultimate imaging resolution. The improvement of the ultimate imaging resolution will be more distinct for Low-Voltage SEM and the related apparatuses which are based on LVSEM principle, such as the defect inspection and defect review in semiconductor yield management. The present invention also provides two ways to build a monochromator into a SEM, one is to locate a monochromator between the electron source and the condenser, and another is to locate a monochromator between the beam-limit aperture and the objective. The former provides an additional energy-angle depending filtering, and obtains a smaller effective energy spread.

七、申請專利範圍：

1. 一種單色器包含：

一沿直光軸對齊以將具有一正常能量與一能量散佈的帶電粒子束折射的第一分散單元與一第二分散單元，該帶電粒子束沿光軸通過並包含具有正常的能量直線通過該每一分散單元的帶電粒子以及具有自正常能量改變的能量變化並由該每一分散單元沿一相同分散方向折射的帶電粒子，其中由該每一分散單元產生的每一帶電粒子之折射角係由該每一分散單元的一分散功率及該每一帶電粒子的能量變化決定，其中該分散功率及該第一分散單元與該第二分散單元的該分散方向為分別相等；

一具有一位於一在該第一與第二分散單元之間的中間平面的能量限制孔徑之平板，其中該能量限制孔徑與該直光軸對齊；及

一粒子束調整元件，該粒子束調整元件將該帶電粒子束於該帶電粒子束進入該第一分散單元之前聚焦以在該能量限制孔徑上形成一真實交叉，其中當該帶電粒子束自該第二分散單元離開後一虛擬交叉形成於該第一分散單元與該能量限制孔徑之間。

2. 如申請專利範圍第1項所述之單色器，其中自離開該單色器之後該帶電粒子束之一離開能量散佈可藉由同時改變該第一與第二分散單元之該分散功率及該粒子束調整元件之一聚焦功率來改變。

3. 如申請專利範圍第1項所述之單色器，其中該粒子束調整元件為一圓透鏡。

- 4 . 如申請專利範圍第1項所述之單色器，其中該能量限制孔徑的形狀為圓形、長方形、正方形或橢圓形。
- 5 . 如申請專利範圍第4項所述之單色器，其中該平板在該第一分散單元之該分散方向具有有多個具有不同尺寸的能量限制孔徑。
- 6 . 如申請專利範圍第5項所述之單色器，其中自離開該單色器之後該帶電粒子束之一離開能量散佈可藉由改變使用一位於該平板上之不同能量限制孔徑來改變。
- 7 . 一種單色器包含：

一包含一第一Wien過濾器與一第一散光像差補償器之第一分散單元，該第一散光像差補償器補償該第一Wien過濾器產生之一第一像散；

一包含一第二Wien過濾器與一第二散光像差補償器之第二分散單元，該第二散光像差補償器補償該第二Wien過濾器產生之一第二像散，該第一分散單元與該第二分散單元沿一直光軸對齊，其中一入射帶電粒子束包含具有一正常能量且直線通過該每一分散單元的帶電粒子以及具有自正常能量改變的能量變化並由該每一分散單元沿一相同分散方向折射的帶電粒子，其中每一帶電粒子之一折射角係由該每一帶電粒子的能量變化及該每一分散單元的一分散功率決定，其中該分散功率及該第一分散單元與該第二分散單元的該分散方向為分別相等；及

一具有一位於一在該第一與第二分散單元之間的中間平面的能量限制孔徑之平板，其中該能量限制孔徑與該直光軸對齊。

- 8 . 如申請專利範圍第7項所述之單色器，其中該第一Wien過

濾器與該第一散光像差補償器沿該光軸疊加，且該第二Wien過濾器與第二散光像差補償器沿該光軸疊加。

9. 如申請專利範圍第8項所述之單色器更包含一粒子束調整元件，該粒子束調整元件將該帶電粒子束於該帶電粒子束進入該第一分散單元之前聚焦以在該能量限制孔徑上形成一真實交叉。
10. 如申請專利範圍第9項所述之單色器，其中當該帶電粒子束自該第二分散單元離開後一虛擬交叉形成於該第一分散單元與該能量限制孔徑之間。
11. 如申請專利範圍第10項所述之單色器，其中自離開該單色器之後該帶電粒子束之一離開能量散佈可藉由同時調整該第一與第二分散單元之該分散功率及該粒子束調整元件之該聚焦功率來改變。
12. 如申請專利範圍第11項所述之單色器，其中該第一與第二分散單元之分散功率可藉由改變施加在該第一與第二分散單元內之該第一與第二Wien過濾器的電激發來調整。
13. 如申請專利範圍第10項所述之單色器，其中該平板在該第一分散單元之該分散方向具有多個具有不同尺寸的能量限制孔徑。
14. 如申請專利範圍第13項所述之單色器，其中自離開該單色器之後該帶電粒子束之該離開能量散佈可藉由在垂直於該直光軸的方向上移動該平板來改變以將一不同能量限制孔徑對齊該直光軸。
15. 如申請專利範圍第9項所述之單色器，其中該粒子束調整元件為一圓透鏡。
16. 如申請專利範圍第8項所述之單色器，其中該能量限制孔

徑的形狀為圓形、長方形、正方形或橢圓形。

17 . 一種電子裝置，包含：

一電子源，該電子源提供沿一直光軸移動之主電子束；

一聚光鏡，該聚光鏡與該光學軸對齊以聚焦該主電子束；

一物鏡，該物鏡與該光學軸對齊以將該主電子束聚焦在一試片之一發射二次電子的表面上；

一承載該試片的平台；

一接收該二次電子的偵測器；

一位於該電子源與該物鏡之單色器，該單色器減少該主電子束之一能量散佈，其中該單色器包含

一包含一第一Wien過濾器與一第一散光像差補償器之第一分散單元，該第一散光像差補償器補償該第一Wien過濾器產生之一第一像散；

一包含一第二Wien過濾器與一第二散光像差補償器之第二分散單元，該第二散光像差補償器補償該第二Wien過濾器產生之一第二像散，該第一分散單元與該第二分散單元沿一直光軸對齊，其中該主電子束內具有一正常能量的電子直線通過該每一分散單元以及具有自正常能量改變的能量變化的電子被該每一分散單元沿一相同分散方向折射，其中每一帶電粒子之一折射角係由該每一帶電粒子的能量變化及該每一分散單元的一分散功率決定，其中該分散功率及該第一分散單元與該第二分散單元的該分散方向為相等；及

一具有一位於一在該第一與第二分散單元之間的中間平面上的能量限制孔徑之平板，其中該能量限制孔徑與該直光軸對齊。

- 18 . 如申請專利範圍第17項所述之電子裝置，其中該第一Wien過濾器與該第一散光像差補償器沿該光軸疊加，且該第二Wien過濾器與第二散光像差補償器沿該光軸疊加。
- 19 . 如申請專利範圍第18項所述之電子裝置，其中該能量限制孔徑的形狀為圓形、長方形、正方形或橢圓形。
- 20 . 如申請專利範圍第19項所述之電子裝置更包含一粒子束調整元件，該粒子束調整元件與該直光軸對齊，該粒子束調整元件將該主電子束於該主電子束進入該第一分散單元之前聚焦以在該能量限制孔徑上形成一真實交叉。
- 21 . 如申請專利範圍第21項所述之電子裝置，其中該粒子束調整元件為一圓透鏡。
- 22 . 如申請專利範圍第21項所述之電子裝置，其中當該主電子束自該第二分散單元離開後一虛擬交叉形成於該第一分散單元與該能量限制孔徑之間。
- 23 . 如申請專利範圍第22項所述之電子裝置，其中一離開能量散佈可藉由同時調整該第一與第二分散單元之該分散功率及該粒子束調整元件之該聚焦功率來改變。
- 24 . 如申請專利範圍第23項所述之電子裝置，其中該第一與第二分散單元之分散功率可藉由改變施加在該第一與第二分散單元內之該第一與第二Wien過濾器的電激發來調整。
- 25 . 如申請專利範圍第22項所述之電子裝置，其中該平板在該第一分散單元之該分散方向具有多個具有不同尺寸的能量限制孔徑。
- 26 . 如申請專利範圍第25項所述之電子裝置，其中自離開該單色器之後該主電子束之該離開能量散佈可藉由在垂直於該

直光軸的方向上移動該平板來改變以將一不同能量限制孔徑對齊該直光軸。

27 . 如申請專利範圍第24項所述之電子裝置更包含：

一第一板，該第一板具有一位於該電子源與該聚光鏡之間的一第一孔徑；及

一第二板，該第二板具有一位於該聚光鏡與該物鏡之間的一第二孔徑。

28 . 如申請專利範圍第27項所述之電子裝置，其中該單色器係位於該第一板與該聚光鏡之間。

29 . 如申請專利範圍第27項所述之電子裝置，其中該單色器係位於該第二板與該物鏡之間。

30 . 一種用於過濾一帶電粒子束之單色器，包含：

一沿直光軸對齊以將具有一正常能量與一能量散佈的帶電粒子束折射的第一分散單元與一第二分散單元，該帶電粒子束沿光軸通過並包含具有正常的能量直線通過該每一分散單元的帶電粒子以及具有自正常能量改變的能量變化並由該每一分散單元沿一相同分散方向折射的帶電粒子，其中由該每一分散單元產生的每一帶電粒子之一折射角係由該每一分散單元的一分散功率及該每一帶電粒子的能量變化決定，其中該分散功率及該第一分散單元與該第二分散單元的該分散方向為分別相等；及

一具有一位於一在該第一與第二分散單元之間的中間平面的能量限制孔徑之平板，其中該能量限制孔徑與該直光軸對齊，其中該帶電粒子束之一真實交叉形成於該能量限制孔徑上且當該帶電粒子束自該第二分散單元離開後一虛擬交叉形成於該第一分散單元與該能量限制孔徑之間。

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第四a圖

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

20 第一分散單元

30 能量限制孔徑

31 平面

40 分散單元

50 軸上電子束

61 正常能量 V_0 電子

71 正常能量 V_0 電子

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：