202036653

(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本　(11)公開編號：TW 202036653 A

(43)公開日：中華民國 109 (2020) 年 10 月 01 日

(21)申請案號：109108076　(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 03 月 11 日

(51)Int. Cl.：*H01J49/04 (2006.01)*　*G01J3/28 (2006.01)*

(30)優先權：2019/03/21　德國　DE102019107327.8

(71)申請人：德商斯佩克斯表面納米分析有限公司 (德國) SPECS SURFACE NANO ANALYSIS GMBH (DE)
德國

(72)發明人：基爾德　熊漢斯 教授 PROF. DR. GERD, SCHONHENSE (DE)；托斯登　坎朋 博士 DR. THORSTEN, KAMPEN (DE)；斯本　馬爾 博士 DR. SVEN, MAHL (DE)；奧利弗　沙夫 OLIVER, SCHAFF (DE)

(74)代理人：鄭振田

申請實體審查：無　申請專利範圍項數：27 項　圖式數：7　共 37 頁

(54)名稱

用於將電子從樣品轉移至能量分析儀與電子光譜儀的裝置及方法

(57)摘要

電子成像設備 100，其被配置為沿發射電子的電子樣品 1 的電子光軸 OA 到能量分析器設備 200 進行電子轉移，其包括樣品側的第一透鏡組 10、分析器側的第二透鏡組 30 和偏轉器裝置 20，偏轉器裝置被配置為使電子 2 在垂直於電子光軸 OA 的偏轉方向上在電子成像設備 100 的出射平面中偏轉，其中第一透鏡組 10 在第一透鏡組 10 內部形成第一倒置平面 RP1 且在第一透鏡組 10 和第二透鏡組 30 之間形成第一高斯平面 GP1，並配置為在第一倒置平面 RP1 產生來自樣品 1 的電子 2 的動量分布的第一動量分布圖像以及在第一高斯平面 GP1 中產生樣品 1 的第一高斯圖像，第二透鏡組 30 在第二透鏡組 30 的分析儀側形成第二倒置平面 RP2，並且第一透鏡組 10 被配置為在第二倒置平面 RP2 中產生來自樣品 1 的電子 2 的動量分佈的第二動量分佈圖像，並且第一透鏡組 10 被配置為生成具有如此小尺寸的第一高斯圖像，使得第二透鏡組 30 產生的第二動量分佈圖像是平行圖像。其也揭露電子光譜儀設備，電子轉移方法以及電子光譜方法。

An electron imaging apparatus 100 configured for an electron transfer along an electron-optical axis OA of an electron 2 emitting sample 1 to and energy analyser apparatus 200, comprises a sample-side first lens group 10, an analyser-side second lens group 30 and a deflector device 20, configured to deflect the electrons 2 in an exit plane of the electron imaging apparatus 100 in a deflection direction perpendicular to the electron-optical axis OA, wherein the first lens group 10 forms a first reciprocal plane RP1 inside the first lens group 10 and a first Gaussian plane GP1 between the first and the second lens group 10, 30 and is configured to generate a first momentum distribution image of a momentum distribution of the electrons 2 from the sample 1 in the first reciprocal plane RP1 and to generate a first Gaussian image of the sample 1 in the first Gaussian plane GP1, the second lens group 30 forms a second reciprocal plane RP2 on the analyser side of the second lens group 30 and is configured to generate a second momentum distribution image of the momentum distribution of the electrons 2 from the sample 1 in the second reciprocal plane RP2, and the first lens group 10 is configured to generate the first Gaussian image with such a small dimension that the

second momentum distribution image generated by the second lens group 30 is a parallel image. An electron spectrometer apparatus, an electron transfer method and an electron spectrometry method are also described.

指定代表圖：

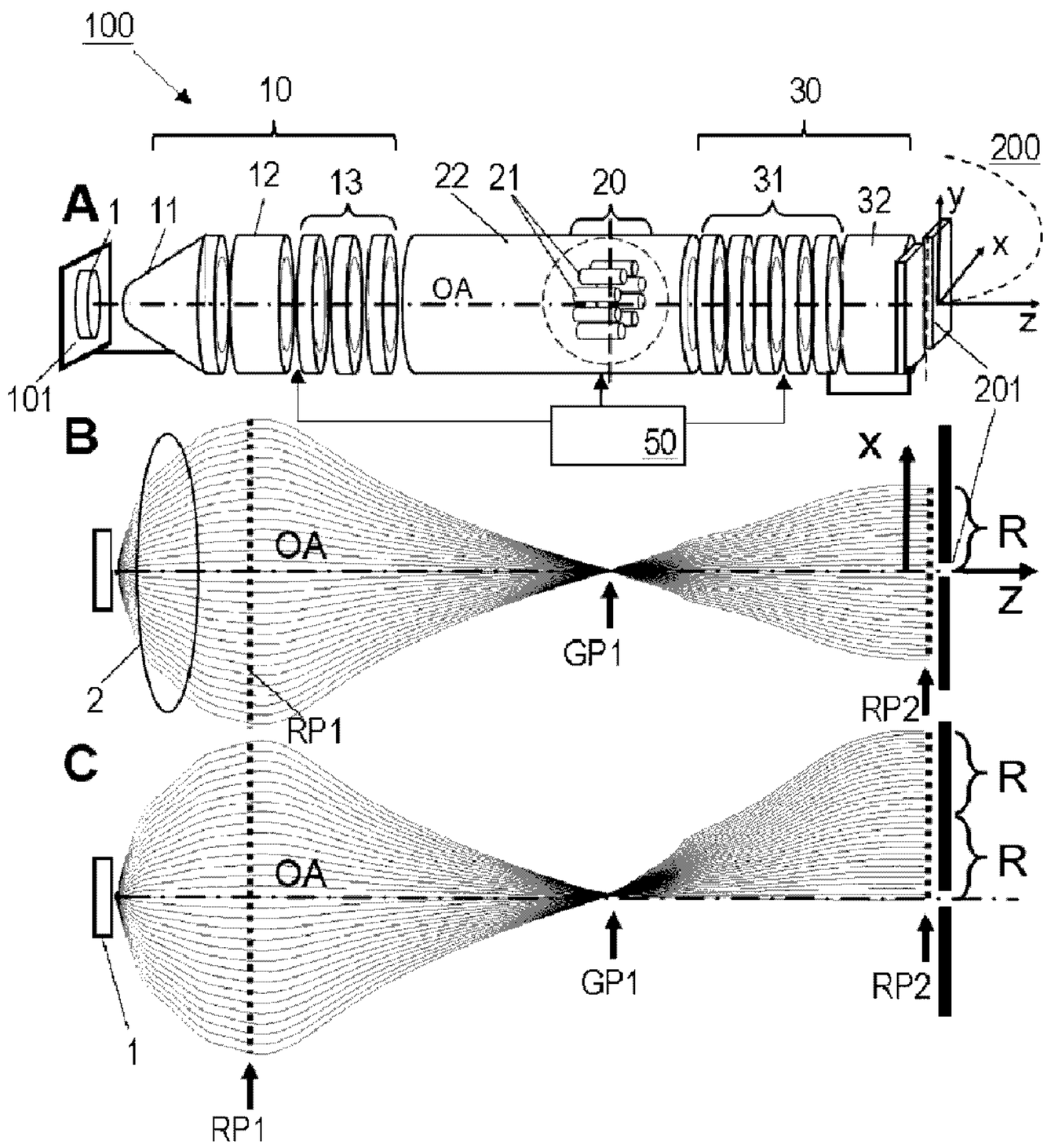


圖 1

符號簡單說明：

100:電子成像儀

101:樣品保持器

200:能量分析儀

201:狹縫光闌

1:樣品

2:電子

10:第一透鏡組

11:前蓋電極

12:聚焦電極

13:轉接透鏡

20:偏轉器裝置

21:偏轉器元件

22:無場漂移路徑

30:第二透鏡組

31:透鏡元件

32:邊界元件

50:控制裝置

RP1:第一倒置平面

GP1:第一高斯平面

RP2:第二倒置平面

GP2:第二高斯平面

OA:電子光軸

R:動量分佈圖像的半徑

x、y、z:方向坐標

202036653

【發明摘要】

【中文發明名稱】

用於將電子從樣品轉移至能量分析儀與電子光譜儀的裝置及方法

【英文發明名稱】

Apparatus and method for electron transfer from a sample to an energy analyser and electron spectrometer apparatus

【中文】

電子成像設備100，其被配置為沿發射電子的電子樣品1的電子光軸OA到能量分析器設備200進行電子轉移，其包括樣品側的第一透鏡組10、分析器側的第二透鏡組30和偏轉器裝置20，偏轉器裝置被配置為使電子2在垂直於電子光軸OA的偏轉方向上在電子成像設備100的出射平面中偏轉，其中第一透鏡組10在第一透鏡組10內部形成第一倒置平面RP1且在第一透鏡組10和第二透鏡組30之間形成第一高斯平面GP1，並配置為在第一倒置平面RP1產生來自樣品1的電子2的動量分布的第一動量分布圖像以及在第一高斯平面GP1中產生樣品1的第一高斯圖像，第二透鏡組30在第二透鏡組30的分析儀側形成第二倒置平面RP2，並且第一透鏡組10被配置為在第二倒置平面RP2中產生來自樣品1的電子2的動量分佈的第二動量分佈圖像，並且第一透鏡組10被配置為生成具有如此小尺寸的第一高斯圖像，使得第二透鏡組30產生的第二動量分佈圖像是平行圖像。其也揭露電子光譜儀設備，電子轉移方法以及電子光譜方法。

【英文】

An electron imaging apparatus 100 configured for an electron transfer along an electron-optical axis OA of an electron 2 emitting sample 1 to and energy analyser apparatus 200, comprises a sample-side first lens group 10, an analyser-side second lens group 30 and a deflector device 20, configured to deflect the electrons 2 in an exit plane of the electron imaging apparatus 100 in a deflection direction perpendicular to the electron-optical axis OA, wherein the first lens group 10 forms a first reciprocal plane RP1 inside the first lens group 10 and a first Gaussian plane GP1 between the first and the second lens group 10, 30 and is configured to generate a first momentum distribution image of a momentum distribution of the electrons 2 from the sample 1 in the first reciprocal plane RP1 and to generate a first Gaussian image of the sample 1 in the first Gaussian plane GP1, the second lens group 30 forms a second reciprocal plane RP2 on the analyser side of the second lens group 30 and is configured to generate a second momentum distribution image of the momentum distribution of the electrons 2 from the sample 1 in the second reciprocal plane RP2, and the first lens group 10 is configured to generate the first Gaussian image with such a small dimension that the second momentum distribution image generated by the second lens group 30 is a parallel image. An electron spectrometer apparatus, an electron transfer method and an electron spectrometry method are also described.

【指定代表圖】　　圖1

【代表圖之符號簡單說明】

100：電子成像儀

101：樣品保持器

200：能量分析儀

201：狹縫光闌

1：樣品

2：電子

10：第一透鏡組

11：前蓋電極

12：聚焦電極

13：轉接透鏡

20：偏轉器裝置

21：偏轉器元件

22：無場漂移路徑

30：第二透鏡組

31：透鏡元件

32：邊界元件

50：控制裝置

RP1：第一倒置平面

GP1：第一高斯平面

RP2：第二倒置平面

GP2：第二高斯平面

OA：電子光軸

R：動量分佈圖像的半徑

x、y、z：方向坐標

【發明說明書】

【中文發明名稱】

用於將電子從樣品轉移至能量分析儀與電子光譜儀的裝置及方法

【英文發明名稱】

Apparatus and method for electron transfer from a sample to an energy analyser and electron spectrometer apparatus

【技術領域】

【0001】本發明有關於一種用於將電子從樣品轉移到能量分析儀設備的電子成像設備及電子轉移方法，特別是用於電子的動量和能量解析檢測，例如光電子。 本發明更關於一種具備電子成像裝置的電子光譜儀裝置以及電子光譜測定法。 本發明的應用在於樣品的電子光譜分析。

【先前技術】

【0002】在本說明書中，參考以下現有技術文獻，其說明本發明的技術背景：

【0003】[1] B. Wannberg in "Nucl. Instrum. Meth. A" 601 (2009) 182;

【0004】[2] EP 2 823 504 B1;

【0005】[3] US 9 997 346 B1;

【0006】[4] EP 2 851 933 B1;

【0007】[5] SE 539 849 C2;

【0008】[6] DE 10 2005 045 622 B4;

【0009】[7] DE 10 2013 005 173 B4;

【0010】 [8] EP 1 559 126 B9;

【0011】 [9] DE 10 2014 019408 B4; and

【0012】 [10] M. Patt et al. in "Review of Scientific Instruments" 85, 113704 (2014).

【0013】 將轉移光學器件與光電透鏡一起用於將電子從固體樣品轉移和聚焦到能量分析儀是眾所周知的。特別是用於測量光電子和歐傑電子(Auger electron)。各種類型的能量分析儀和相關的轉移光學器件是已知的。用角解析度檢測從樣品發射的電子的一組方法被稱為ARPES方法（ARPES：角解析光電子光譜）（參見例如[1]）。在ARPES方法中，相對於參考軸的發射角，例如電子從樣品發射的樣品表面，樣品表面的法線表面特別令人關注。儘管過去達到高的角解析度，但這僅在相對有限的角度範圍內。例如，迄今為止已經實現了在大約+/-7°的角度範圍內的0.1°的高解析度以及在大約+/-15°的範圍內的0.5°的降低的解析度。

【0014】 由兩個同心半球電極所組裝而成的半球分析儀通常在使用ARPES方法的典型角度成像中作為能量分析儀。取決於半球形電極之間的電壓，僅允許特定能帶（例如，具有通過半球形分析器之能量的10%的寬度的能量間隔）中的粒子通過半球形分析儀。電子在能量分析儀的入射平面上的角分佈的成像用於能量與角解析的測量。在真實空間中（在極坐標中）在能量分析器的入射平面中生成來自樣品的電子的角分佈圖像。由於狹縫膜片被配置成半球分析儀的入射平面中的入口狹縫，因此該半球形分析儀能夠確定沿著入口狹縫的範圍沿著第一角坐標（例如，沿y方向）的角度分佈。為了確定沿垂直於第一角度坐標的第二坐標（例如x）的角度分佈，在轉移透鏡中兩個偏轉器[2]或一

個偏轉器[3]的配置依序掃描（掃描運動）垂直於入射狹縫範圍及電子光軸之角度的分佈圖像。

【0015】用於電子的角解析測量的習知轉移光學器件的主要缺點在於，在轉移光學器件的出口及/或在能量分析儀的入射平面中，電子束以相對於電子光軸明顯的發散角進入能量分析儀。例如z軸通常> 10°。圖7中顯示了發散度（先前技術，從[2]引用，使用了來自樣品1'的幾個電子分束的軌跡示例，這些樣品在yz平面中具有不同的發射角（另請參見[1]和[3]）。其導致能量分析儀中的成像錯誤，並且需要大量的後處理工作才能計算出電子的能量和角度分佈，此外，傳統的轉移光學器件不具備夠好的聚焦與定位的位置樣品源光斑的空間圖像，電子係從位置樣品源光斑中發射（請參見[1]）。

【0016】該散度在沿第二角度坐標的角度分佈的獲取特別不利，其中藉助於在轉移光學器件中的一個或兩個偏轉器20A'，20B'依序掃描第二角度坐標（參見[1]，[2]，[3]，[4]和[5]）。隨著發散光束的掃描運動垂直於入射狹縫的範圍，由於入射平面中的光束發散以及由偏轉器所產生的偏轉光束引起的像差，會產生組合誤差。

【0017】入射平面中的束發散也是在自旋解析電子光譜中為不利者，在自旋分辨電子光譜中，具有自旋濾光片晶體的成像自旋濾光片被佈置在能量分析儀的出口處（參見[6]）。沿著入射平面中的入射狹縫的束發散(beam divergence)會導致出射平面中的束發散，呈明顯的像散現象(astigmatism)，其使出射束在自旋濾光晶體上的良好聚焦的圖像成為不可能。

【0018】總之，在習知的轉移光學系統的末端，電子束的高的角發散性(angular divergence)對於使用能量分析儀，特別是使用半球形分析儀的電子的角

解析光譜具有相當大的缺點。這些缺點限制了可能檢測到的角度間隔。當使用掃描運動捕獲第二個角度坐標時，以及使用成像自旋濾鏡時，作用甚至更大。

【0019】先前技術文獻[7]，[8]，[9]及[10]描述用於動量顯微術及包含伸縮光束路徑的其他轉移光學系統，其中有高斯圖像（真實空間圖像）和動量分佈圖像（動量空間圖像）。然而，這些轉移光學器件不是為垂直於能量分析儀之入口狹縫範圍的動量分佈圖像的掃描運動而設計著。此外，所有這些技術都基於使用陰極透鏡，其中電子通過強靜電擷取器場(electrostatic extractor field)被加速進入轉移光學系統。但是，強大的擷取器場會干擾非平面表面的檢查（例如在UHV中樣品分裂後可能發生）、微觀結構（例如半導體組件）或具有三維結構的微晶體（新量子材料的常見測試對象）。

【發明內容】

【0020】本發明的目的在於避免習知技術的缺點，改進電子成像設備、電子轉移方法、電子光譜儀設備及/或電子光譜法。該目的特別是在於最小化或甚至消除發散所引起的成像誤差、實現更好的角解析度(angular resolution)、實現更大角度間隔的檢測及/或簡化自旋解析電子光譜。

【0021】藉由具有獨立請求項的特徵的電子成像設備、電子轉移方法、電子光譜儀設備以及電子光譜法相應地達成這些目的。本發明的較佳實施例及應用從附屬請求項中得出。

【0022】根據本發明的第一總體方面，上述目的藉由一種電子成像設備來達成，該電子成像設備被配置為用於沿著電子光軸從電子發射樣品到能量分析儀設備的電子轉移。電子轉移包括所發射的電子（也稱為電子束(electron bundle)或電子束(electron beam)）從電子成像設備的入射平面到出射平面的轉移及成像。其中，入射平面設置在電子成像設備的表面上。面向電子成像設備和出口

平面的樣品被設置在電子成像設備朝向能量分析儀設備的後側，因此也分別稱為樣品側及分析儀側入口平面及出口平面。電子光軸較佳地是垂直延伸於入口平面和出口平面的連續直軸，但是可替代地可以具有呈角度的路徑，其於截面上是直的。

【0023】該電子成像設備包括樣品側第一透鏡組、分析儀側第二透鏡組以及偏轉器裝置，該偏轉器裝置被建構成使在成像設備的出射平面中沿垂直於電子光軸的偏轉方向的電子產生電及/或磁偏轉。每個第一及第二透鏡組包括至少兩個電子光學透鏡。第一透鏡組與第二透鏡組以及偏轉器裝置均連接至控制電路以提供工作電壓，其中，控制電路可以是單獨的元件或連接至共同控制裝置。

【0024】根據本發明，第一透鏡組被建構成在第一透鏡組的內側形成第一倒置平面(reciprocal plane)以及在第一透鏡組和第二透鏡組之間形成第一高斯平面(Gaussian plane)，並生成電子動量分佈的第一動量分佈圖像。在第一倒置平面中從樣品中提取圖像，並在第一高斯平面中生成樣品的第一高斯圖像，特別是照明的樣品源點的第一高斯圖像。倒向平面是其中存在倒數圖像（也稱為動量圖像或傅立葉圖像）的成像平面。因此，在此被稱為動量分佈圖像的第一倒數圖像聚焦在第一倒置平面中。動量分佈圖像是電子的動量分佈的圖像，其中電子的橫向動量隨著動量分佈圖像的部分束距電子-光軸的距離的增加而增加。第一透鏡組的控制電路被建構成向第一透鏡組施加合適地適配的控制電壓，以用於第一倒置平面和第一高斯平面的電子光學成像。

【0025】此外，根據本發明，第二透鏡組被建構成在第二透鏡組的分析儀側上形成第二倒置平面，並產生來自在第二倒置平面上的樣品中的電子之動量分佈的第二動量分佈圖像。第二透鏡組的控制電路被建構成向第二透鏡組施加適當地適配的控制電壓，以用於電子光學地提供第二倒置平面。

【0026】 此外，根據本發明，第一透鏡組被建構成產生具有這樣小的尺寸的第一高斯圖像（垂直於光軸的圖像的範圍），使得由第二透鏡組生成的第二動量分佈圖像是平行圖像 。

【0027】 偏轉器裝置係較佳地作用在高斯平面中，例如在高斯平面中。在電子成像設備的第一高斯平面或另一個高斯平面（見下文）中，使得電子的偏轉有利地實現了分束的平行位移，該分束在第二倒置平面中形成了平行像，而沒有改變垂直於光軸的分束之間的角度。

【0028】 術語“平行圖像”（或：具有基本上平行的分束的基本上平行的角圖像或動量分佈圖像）在下文中是指動量分佈圖像，其分束平行於電子-光軸地通過第二倒置平面且/或具有最小的發散度，使得能量分析儀設備中的像差（特別是發散引起的成像誤差）對於所需的能量解析電子測量而言可以忽略不計，特別是不會對光譜特性造成任何重大損害（能量解析度，動量解析度）。平行圖像由對準垂直於或實際上垂直於第二倒置平面的分束組成。分束以平行束的形式進入能量分析儀。分束的基本垂直對準(substantially perpendicular alignment)在從樣品發射的電子的角度範圍上延伸，該角度範圍將在能量分析儀設備中的後續能量分析中進行檢測。

【0029】 第一透鏡組的控制電路被建構成產生第一透鏡組的控制電壓，以使得第一高斯圖像具有期望的尺寸。第一透鏡組的電子光學透鏡的幾何形狀優選地被配置為在第一高斯平面中產生樣品上的電子的源點的最小可能的高斯圖像。電子光學透鏡的幾何形狀的優化發生在例如通過數值模擬。

【0030】 平行圖像（在出射平面中平行動量分佈圖像）較佳地其分束的角度偏差（發散角）小於0.4°，特別較佳地小於0.2°。在模擬中，角度偏差已顯示出足夠小（請參見下面的圖2），以致於不會損害能量分析儀設備中的後續成像。

【0031】根據本發明的另一有利實施例，第一透鏡組被建構成產生第一高斯圖像，該第一高斯圖像具有小於1mm的垂直於電子光軸的範圍，特別是小於0.5mm。對於這些尺寸範圍，在實際中發生的典型測量任務中以及在電子光學器件的典型配置中，有利地以足夠小的角度偏差獲得平行動量分佈圖像。

【0032】偏轉器裝置的控制電路被建構成用於在垂直於電子光軸的第二倒置平面中對動量分佈圖像進行掃描偏轉。因此，電子成像設備的出射平面中的電子在偏離能量分析器設備的入口狹縫（也稱為狹縫或狹縫膜片）的範圍的方向上經受掃描運動，較佳地其係垂直於入口縫。基於使用本身為已知的電子光學成像方程式和電子成像設備的幾何尺寸的計算來調節第一透鏡組和第二透鏡組以及偏轉裝置或相應相關的控制電路的配置。

【0033】根據本發明的第二總體方面，上述目的係藉由一種電子光譜儀設備達成，該電子光譜儀設備包括用於保持樣品的樣品保持器，且該電子光譜儀設備係根據本發明的第一總體方面的電子成像設備或其實施方式以及能量分析儀設備。根據本發明，電子成像設備被建構成用於對從樣品發射沿著電子光軸到能量分析儀設備的電子進行轉移與成像，並且用於垂直於電子光軸且於一偏轉方向的動量分佈圖像的掃描運動。該偏轉方向係偏離能量分析儀裝置的入口狹縫的範圍，較佳地在垂直於入口狹縫的範圍的偏轉方向上。電子成像設備被建構成使得從樣品源點發射的電子的動量分佈圖像被產生為在能量分析器設備的入射平面中的平行圖像。

【0034】能量分析儀設備通常是電子光學成像裝置，其被建構成用於沿垂直於電子光軸的至少一個方向對角或動量分佈圖像進行角或動量解析的檢測。能量分析儀設備較佳地包括半球形分析儀（半球形電子能量分析儀）。藉由使用具有入口狹縫的半球形分析器，可以藉助於偏轉器通過動量分佈圖像的掃描運動來確定沿著入口狹縫的方向和第二偏轉方向的角度分佈。作為使用半球形

分析儀的替代方案，能量分析儀設備可以包括其他類型的分析儀，例如，圓筒分析儀(cylinder analyser)或127°分析儀(127° analyser)。

【0035】根據本發明的第三總體方面，上述目的係藉由電子轉移方法達成。其中電子藉由電子成像設備從樣品沿著電子光軸被轉移到能量分析器設備。樣品較佳地包括固體樣品，該固體樣品的表面被暴露以用於激發光的照射以及向電子成像設備的發射。從源點（激發光束的入射面）發出的電子依次通過樣品側第一透鏡組、偏轉器裝置以及分析器側第二透鏡組轉移，其中電子通過偏轉器裝置在電子成像設備的出射面上且在一偏轉方向上偏轉，其係垂直於電子光軸延伸且從能量分析儀設備的入口狹縫的範圍偏離，較佳地係對準垂直於入口狹縫的範圍。根據本發明，第一透鏡組在第一透鏡組內形成第一倒置平面，並且在第一透鏡組和第二透鏡組之間形成第一高斯平面，因而產生來自第一倒置平面上的電子樣品中電子的動量分佈的第一動量分佈圖像以及第一高斯平面中源點(source spot)的第一高斯圖像。此外，第二透鏡組在第二透鏡組的分析儀側上形成第二倒置平面，並且在第二倒置平面中形成來自樣品的電子的動量分佈的第二動量分佈圖像。第一透鏡組以較小的尺寸生成第一高斯圖像，使得由第二透鏡組生成的第二動量分佈圖像為平行圖像。電子轉移方法係較佳地由根據本發明的第一總體方面或其實施例的電子成像設備實施。

【0036】根據本發明的第四總體方面，上述目的係藉由一種電子光譜法（用於偵測從樣品發射的電子的能量和動量分佈的方法）達成。該方法包括樣品的照射和來自樣品的電子的發射、藉由根據本發明的第三總體方面的電子轉移方法或其實施例將發射的電子轉移到能量分析儀設備、以及藉由能量分析儀設備對電子進行動量和能量解析檢測。電子光譜法較佳地由根據本發明的第二總體方面或其實施例的電子成像設備執行。

【0037】本發明有利地提供了一種裝置和方法，用於基本上改善在較佳地無場的環境中從固體樣品發射的電子的束轉移(beam transfer)，並且在能量分析儀裝置中就其能量和動量分佈進行分析。藉由產生動量分佈圖像作為平行圖像，避免了在常規電子成像設備中在真實空間中產生角度圖像時發生的成像誤差。由於被激發源（樣品源光斑）照射的區域的高斯圖像較小，位於第二透鏡組的前焦平面上，因此，動量分佈圖像集中在第二透鏡組的入射狹縫平面上能量分析儀設備是由該透鏡組的後方倒置平面中的平行分束產生的，所有電子基本上平行於電子-光軸進入能量分析儀設備。結果，相對於傳統方法，在能量分析儀設備的入口處的角度偏差減小了1-2個數量級。第一高斯圖像經由第一透鏡組產生，較佳地藉由合適的幾何形狀使像差最小化。

【0038】因此，本發明的重要優點在於可以捕獲從樣品發射的電子的大得多的角度範圍。由於橫向動量k_{II}和像角α的關係與能量的根成比例：在較低的動能下（例如，等於或小於5電子伏特，例如在雷射激發中），角度間隔可能大於+/- 30°，這相當程度地增強了能量分析儀的效率。本發明的特別優點還來自第二動量坐標的掃描以測量二維動量分佈以及成像自旋濾波器的使用。通過將偏轉器裝置定位在第一高斯圖像中及第二透鏡組的焦點上，可以較佳地利用單個偏轉器單元在能量分析儀設備的入射平面中實現動量分佈圖像的平行位移，其中，光束的平行度被保留。

【0039】透鏡組和偏轉器裝置的組合的像差可以有利地減小到理論上可能的最小值，因為對理想的動量分佈圖像（即樣品上源斑的第一高斯圖像）的倒數圖像是如此很小，動量分佈圖像的編碼以極高的精度定義為該小高斯圖像中的軌跡。該特性使本發明與所有常規的光束轉移系統，特別是根據[1、2、3、4及5]的那些系統區別開來。

【0040】 發明人發現，使用根據本發明的技術，在電子顯微鏡中實現了一個概念，特別是不僅使用光學圖像過渡定理(optical image transition theorem)在預定成像平面中創建了預定的、聚焦良好的真實空間圖像和倒數圖像。用來減少電子光譜學中電子光學系統的像差，但又提供了另一個實質性優點：由於第一高斯像可以藉由第一透鏡組沿電子光軸移動，因此各個分束的傾斜角可以在能量分析儀設備的入射平面中將動量分佈圖像的角θ最小化，而不會遺失束位置。這允許偏轉技術用於掃描第二動量方向，尤其是垂直於入口狹縫的第二動量方向，即使是在高延遲條件下（從樣品出射的電子的初始動能與進入能量分析儀設備的動能之比）。變焦透鏡形式的第二透鏡組的較佳實施例（被配置用於調節圖像放大率並且優選地包括五個或更多個透鏡元件的透鏡）尤其使得可以改變圖像尺寸和電子能量。電子成像設備出口處的動量圖像的變化在很寬的範圍內，因此使動量圖像的大小與能量適應能量分析儀的所需條件（能量解析度、動量解析度）。

【0041】 在能量分析儀設備的入射平面中產生平行圖像還有利地簡化了自旋解析電子光譜，因為可以減少或完全避免在能量分析儀出口處的自旋濾光器晶體上的圖像誤差。

【0042】 本發明的另一個特別重要的優點是動量分佈圖像的偏轉得以簡化。因此，本發明的一種較佳的實施方式提供了偏轉裝置僅在垂直於電子光軸的單個平面中產生作用。當電子沿著電子光軸轉移時，當電子通過第一透鏡組和第二透鏡組之間的空間時，偏轉裝置會作動一次。這有利地避免了傳統且複雜的雙偏轉器，例如。根據[2]，而不必接受成像錯誤。特別較佳地，偏轉器裝置的偏轉平面和第一高斯平面（或另一個高斯平面，見下文）相吻合，從而藉由致動偏轉器而有助於動量分佈圖像在第二倒置平面中的精確平行位移。這完全避免了任何額外的光束傾斜，例如[3]和[5]中所述。

【0043】在一個平面內的偏轉具有進一步的優點，即偏轉器裝置可以具有特別簡單的結構，例如，可以將其偏轉。具有一對電及/或磁作用的偏轉器元件，其為偏轉器元件的四極配置或八極配置。在電偏轉的情況下，偏轉器元件包括偏轉電極。在磁偏轉的情況下，偏轉器元件包括偏轉線圈。八極配置有利地允許偏轉方向繞電子光軸旋轉，從而偏轉器裝置可以相對於能量分析儀設備的入口狹縫之對準而另外旋轉動量分佈圖像的位移方向，並且，以這種方式，例如補償由磁性雜散場(magnetic stray fields)產生的任何不理想的圖像旋轉。

【0044】根據電子成像設備的另一有利實施例（在下文中也稱為第一實施例），第二倒置平面同時是電子成像設備的出射平面，其中形成進入狹縫的狹縫光闌(slit diaphragm)。能量分析儀設備的第二部分佈置在第二倒向平面中。該實施例的優點在於，在進入能量分析儀設備時直接調節平行圖像，並且結構緊湊。

【0045】根據電子成像設備的替代實施例，其具有至少一個第三透鏡組，其佈置在第二透鏡組的分析儀側，即，在電子光譜儀設備的整體配置中，在第二透鏡組與能量分析儀設備之間。該至少一個第三透鏡組在該至少一個第三透鏡組內形成第二高斯平面，並且在所述至少一個第三透鏡組的分析儀側上形成第三倒置平面，從而使在第二高斯平面的第二樣品中的第二高斯像由至少一第三透鏡組產生，並且在第三倒置平面中產生來自樣品的電子的動量分佈的第三動量分佈圖像。第三倒置平面是電子成像設備的出射平面，能量分析儀設備的入射面，並且由至少一個第三透鏡組產生的第三動量分佈圖像是平行圖像。即使在本發明的這些備選實施例的情況下，也提供了動量分佈圖像的掃描運動，該掃描運動影響了動量分佈圖像在第三倒置平面中的相應偏轉。所述至少一個第三透鏡組設置有控制電路，所述控制電路被配置為向所述至少一個第三透鏡組施加適當地適配的控制電壓，以用於電子光學形成所述第三倒置平面和所述

第二高斯平面。設置至少一個第三透鏡組具有特別的優點，即平行動量分佈圖像中的束能量可以在能量分析儀設備的入射平面內在例如兩個數量級的範圍內變化。因此可以實現能量分析儀設備的最佳分辨率和轉移設置。

【0046】 狹縫光闌可以配置在第三透鏡組前面的第二倒置平面中，以形成能量分析儀設備的入口狹縫（以下稱為第二實施例）。在這種情況下，狹縫光闌不是直接位於能量分析儀設備的入射平面中，而是位於與入射平面共軛的第二倒置平面中，在第三透鏡組的前方，在該平面中生成平行動量分佈圖像，使得在分析器的入射平面中生成由平行動量分佈圖像所覆蓋的狹縫光闌的真實圖像。在這種佈置中，電子可以有利地以更大的能量通過入口狹縫，這改善了能量分析儀設備中隨後的成像。由於狹縫膜片佈置在第二往復平面中，因此可以在能量分析儀設備的入射平面中將狹縫膜片成像為真實圖像，從而可以使有效狹縫光闌寬度和電子在入射平面中的能量為電子光學變化，而物理縫隙光闌寬度固定。

【0047】 可替代地，形成能量分析器裝置的入口狹縫的狹縫光闌可配置在第三倒置平面中並形成能量分析儀裝置的入口狹縫，其中，在這種情況下，在第二倒置平面中不佈置狹縫光闌（以下也稱為第三實施例）。第三實施例的特殊優點是可以使用習知設計的能量分析儀，即具有整合的入口狹縫。

【0048】 根據本發明的進一步修改的實施例，可以提供第四透鏡組或另外的透鏡組，每個透鏡組建構成類似於第三透鏡組並提供另外的高斯平面和倒置平面。

【0049】 有利地，存在用於定位偏轉器裝置的各種選擇。特別是在本發明的第一、第二及第三實施例中，偏轉器裝置可以設置在第一與第二透鏡組之間以及第一高斯平面中。可替代地，在本發明的第二和第三實施例中，偏轉器裝

置可以設置在第三透鏡組處和第二高斯平面中。根據另外的替代方案，偏轉器裝置可以被配置在第四透鏡組或另外的透鏡組中的另外的高斯平面中。

【0050】本發明的有利的實施方式達成相對於電子動量顯微術之電子光學概念的另一重要區別，其中第一透鏡組的樣品側最前方的電子光學透鏡元件被配置為具有與樣品相同的電動勢。有利地，這使樣品周圍的區域保持無場，從而還可以檢查具有高度三維結構或微晶的樣品，而不會由於三維形狀而引起任何明顯的場畸變，而這會損害動量分辨率。

【0051】為了使動量分佈圖像在第二倒置平面中移位，偏轉器裝置特別較佳地在第一高斯平面中產生作用。在第一高斯平面中的配置意味著偏轉器裝置產生會變化的偏轉器場，該偏轉器場在窄範圍內圍繞第一高斯平面對稱地產生作用。該實施例具有使整個電子束特別有效地偏轉的優點，其中，在成像裝置的出口處保持了動量圖像的平行度。可替代地，當提供第三透鏡組時，單個偏轉器裝置可以配置在第二高斯平面中並且作用在第二高斯圖像中的電子上，其中動量圖像的平行度在偏轉時同樣保持在成像裝置的出口上。

【0052】根據本發明的另一有利的設計方案所提供者，第二透鏡組的分析儀側的最後方的電子光學透鏡在第二倒置平面的區域中形成無場的空間。替代地或附加地，在第二或第三實施方式中提供，第三透鏡組在其端部具有邊界元件(boundary element)，所述邊界元件構造成形成與第三透鏡組的兩側相鄰的無場空間(field-free space)。該實施例防止了電場的任何靜電饋送(electrostatic feed-over)，該靜電饋送導致電子路徑的偏轉並因此導致動量圖像的失真。

【圖式簡單說明】

【0053】本發明的其他細節和優點係記載於下並參照所附圖式。圖式表示在：

圖1：根據本發明的電子成像設備的第一實施例的示意圖；

圖2：由各種激發源激發樣品產生高斯圖像的進一步的示意圖；

圖3：根據本發明的電子成像設備的第二實施例的示意圖；

圖4：根據本發明的電子成像設備的第三實施例的示意圖；

圖5：不同變型的偏轉器裝置的示意圖；

圖6：根據本發明的電子光譜儀設備的實施例的示意圖；以及

圖7：習知轉移光學系統的光束軌跡圖（引用自文獻[2]）。

【實施方式】

【0054】以下示例性地參考結合半球形分析儀的電子成像設備來描述本發明。本發明不限於使用半球形分析儀，而是還可以與其他類型的能量分析儀設備一起執行。由於通過現有技術本身是已知的，所以沒有描述藉由半球形分析儀詳細描述樣品的激發和記錄從樣品發射的電子的能量分佈。附圖中的電子光學組件的圖示是示意性圖示。其細節並未表示出，例如真空空間中電子光學組件的佈置或由間隔開的透鏡元件形成電子光學透鏡並未表示出。一般而言，例如電子光學透鏡及相關的控制電路可以與習用的轉移光學系統中的基本結構相同。

【0055】參照圖1中所示的相關空間方向來描述所附圖式，該空間方向在位置空間中包括沿電子光軸的z方向以及垂直於該方向的x及y方向，其中狹縫光闌能量分析儀設備200的入口平面中的201（也參照圖6）在y方向上延伸。因此，

狹縫光闌的方向限定了動量坐標k_y的方向，並且限定了與其垂直的動量坐標k_x的方向。

【0056】圖1以電子-光學系統的形式示出了根據本發明的電子成像設備100的第一實施例，該電子-光學系統用於基於電子-光學柱(electron-optical column)來傳遞和移動平行動量分佈圖像(parallel momentum distribution image)，該電子-光學柱具有多個透鏡組10、30及無場漂移路徑22，在其中設置了偏轉器設備20。圖1A表示電子成像設備100的結構，圖1B表示在偏轉器設備20關閉時用於實際光學器件的模擬束路徑，圖1C表示與圖1B中相同的透鏡設置的模擬束路徑，但是藉由向偏轉器電極21施加合適的電壓來接通偏轉器裝置20。在圖1B、C中以及在圖2、3和4所有的電子軌跡的表示中，徑向坐標被徑向放大以更清楚地示出各個束(beam)的細節。透鏡組10、30和偏轉器裝置20連接至控制裝置50，該控制裝置50包括用於使構件10、20及30的電子光學透鏡或電極通電的控制電路。電子成像設備100配置在樣品保持器101上，樣品1的表面與第一透鏡組10的前蓋電極11之間的距離為例如15mm，使得樣品1位於第一透鏡組10的物平面中。狹縫光闌201的長度為例如 20毫米至40毫米，其寬度為50微米至2毫米。

【0057】具體地，根據圖1A的第一透鏡組10包括前蓋電極11、聚焦電極12以及轉接透鏡13。為了在樣品1和第一透鏡組10之間產生無場空間，樣品保持器101可以電連接到前蓋電極11，使得兩個組件處於相同的電動勢。第二透鏡組30包括：多個透鏡元件31，其較佳地形成變焦透鏡；以及邊界元件32，以在能量分析器設備200的最後的透鏡元件和狹縫光闌201之間產生無場空間。邊界元件32和狹縫光闌201彼此電連接。

【0058】例如設置圓柱形元件以便在第一透鏡組10與第二透鏡組30之間形成無場漂移路徑22，所述圓柱形元件的長度使得相鄰透鏡組的任何饋入都會

降低且沒有關閉偏轉器裝置時，在偏轉器裝置的位置處，不再有任何可能會使高斯像區的電子軌跡發生偏轉的有效電場。

【0059】偏轉器裝置20包括例如偏轉器電極21的八極結構或另一電極結構（見圖5）。偏轉器裝置20較佳地是單個偏轉器，即，僅當電子在沿著樣品及第二倒置平面之間的電子光軸OA穿過第一高斯平面時才偏轉一次。

【0060】當樣品1被光激發時（也參見圖2），從樣品中發射出電子2的集合(ensemble)（圖1B），其中電子2被第一透鏡組10成像直到預定的發射角，例如沿電子光軸OA +/- 15°。根據圖1B，其表示在xz平面中的電子成像設備100，其中能量分析儀設備200的狹縫光闌201垂直於繪圖平面，第一透鏡組10產生發射樣品源光斑的電子2在第一倒置平面RP1上的倒像以及第一高斯平面GP1上樣品源點的第一高斯圖像，第一高斯平面GP1是第一透鏡組10的後焦平面。第二倒數圖像（具有平行局部光束的動量分佈圖像）被第二透鏡組30成像到能量分析儀設備200的入口狹縫中。由此確保所有電子作為具有非常小的角度偏差的平行部分束進入能量分析儀設備200。第一透鏡組10被控制使得第一高斯平面GP1與電子光軸OA相交於偏轉器裝置20的偏轉平面中，特別是在偏轉器裝置20的中心。偏轉裝置20上的高斯圖像允許動量分佈圖像與由第二透鏡組30產生的平行的部分光束在第二往復平面RP2中的精確的平行位移。通過向偏轉器裝置20施加合適的電壓，如圖1C所示，在第二倒置平面RP2中動量分佈圖像的平行位移是可能的，而且沒有光束的額外傾斜。

【0061】圖1C表示偏轉器裝置20在第一高斯平面GP1中產生作用以提供優化的透鏡幾何形狀和實際測量條件（+/- 15°角間隔，樣品上的動能為16 eV的效果，這適合於習用真空紫外實驗室光源）。在所示的示例中，在偏轉器裝置20的功率由偏轉器電極21上的電壓設定的情況下，第二倒置平面RP2中的分析儀側動量分佈圖像平行地移動了動量半徑R。在平行位移時保持直徑2R及動量分佈

圖像的平行度。因此，藉由由控制電路（控制裝置50）連續改變偏轉器裝置20的偏轉力，可以完全掃描二維動量圖像。

【0062】圖2表示具有圖1B中不同激發源（未示出）的電子2的束軌跡以產生電子2，其中圖2A表示同步輻射源或雷射的光束激發，圖2B表示激發圖2C示出了通過未聚焦真空UV激發源的激發。

【0063】角θ表示樣品中電子相對於電子光軸OA的發射角，而角α表示第二倒置平面RP2的動量分布圖像束流的（一半）開角，其對應於特定的發射角。分束的開角α的大小（在圖2A中幾乎看不見，但在圖2C中清晰可見）由樣品表面上電子源區域的大小決定，因此取決於激發光束的橫截面及其入射到樣品上的角度。

【0064】使用軌跡模擬程序（SIMION 8.0）對根據本發明的電子成像設備100的實際實施例進行了實際計算，其中三個作為示例係表示於圖2。沿著軸向坐標z，在樣品1的表面與第二倒置平面RP2中的動量分佈圖像之間的距離為462毫米。將電子光學透鏡的像差最小化，在這種情況下，將樣品上的來源區域的縮小圖像以放大倍數M = 0.6設置在高斯平面GP1上。對於本發明，其他放大倍數，甚至M>1的倍數也是可能的。

【0065】對可接受範圍的模擬為θ=15°的角度提供以下參數：在所有三種情況下，第二倒置平面RP2中的動量分佈圖像的半徑R為4.3 mm。光束的中心光線的傾斜度（=與平行光束的偏差）都是<0.09°，並且可以預期，其不取決於來源區域的大小。

【0066】對於用同步加速器輻射或激光源（圖2A）進行激發，假定樣品上光束的典型尺寸為50 μm。由於θ＝ 15°的大角度範圍，第一高斯平面GP1中的第一高斯像由於第一透鏡組10的球差而變寬並且具有r~40微米的半徑。平面RP2中

的分光束的開角α為≦0.16°。例如，如圖7所示，該值比習用轉移透鏡系統中的角散度的相應值小將近兩個數量級。

【0067】聚焦真空紫外光源（圖2B）的典型光斑尺寸為200 微米。在這種情況下，第一高斯平面GP1中的第一高斯圖像具有80微米的半徑，並且光束的開角度，即，在平面RP2中的動量圖像中所得的角發散度為α<0.2°。

【0068】對於未聚焦的真空UV實驗室光源（圖2C），激發光束的典型直徑為例如 0.5 毫米，其於第一高斯平面GP1中產生半徑r = 155微米的第一高斯圖像。在此，光束在平面RP2中的開角為α~0.35°。圖2C中的細節在徑向上已大幅地放大，以使小角度清晰可見。在這種情況下，第二倒置平面RP2中的動量分佈圖像也被清晰地聚焦，並且電子以具有最小發散的平行束的形式進入能量分析儀設備200。

【0069】圖3表示根據本發明的電子成像設備100的第二實施例的較佳變型，其中，如圖1所示，提供了元件10、20和30及其部件。與第一實施例不同，附加地提供了第三透鏡組40，並且這在第二高斯平面GP2中的狹縫光闌201之後的分析儀側上生成第二高斯圖像，並且在第三倒置平面RP3中生成具有平行分束的第三動量分佈圖像。第三倒置平面RP3是能量分析儀設備200的入射平面，使得電子2作為平行束進入能量分析器設備200。第三透鏡組40包括形成變焦透鏡的電子光學透鏡元件42。透鏡元件42和相關聯的控制電路（未示出）被配置為使得電子能量和在倒置平面RP3中的動量分佈圖像的橫向放大倍數是可變的，以便優化能量及/或動量解析度。在包括透鏡元件42的變焦透鏡的兩端，具有邊界元件41及43，邊界元件41及43被配置成在變焦透鏡的端部形成無場的空間並且使電場的任何饋入為最小化。從狹縫光闌201的區域和能量分析儀設備200進入

第三倒置平面RP3中產生最大的磁場。在該實施例中，在能量分析儀設備200的進入平面中存在縫隙光闌201的圖像，但是沒有物理縫隙，即沒有物理縫隙光闌。

【0070】圖4示出了根據本發明的電子成像設備100的第三實施例的較佳變型，其中，還提供了具有透鏡元件42和邊界元件41、43的第三透鏡組40。然而，在第三實施例中，狹縫光闌201在能量分析儀設備200的入口中佈置在第三倒置平面RP3中。在這種情況下，第三透鏡組40也包括形成變焦透鏡的透鏡元件42，其為了使能量分析儀裝置200的能量和動量解析度最優化，可以在較大的範圍內改變電子能量和第三倒數面RP3中的動量分佈圖像的橫向放大率。可以使用帶有整體入口狹縫的產品。

【0071】圖5示出了偏轉器裝置20的變型，其可以在各種實施例中提供。因此，根據圖5A的偏轉器裝置20包括至少兩個電極21（稱為平行板偏轉器），或者根據圖5B，在一個平面中包括四個電極21（稱為xy偏轉器），或者根據圖5C，包括八個電極21。在一個平面上（稱為八極配置或八極偏轉器）。根據圖5C的實施例是特別有利的，因為偏轉可以藉助於八個電極21上的合適的電壓在任何任意平面中發生，以便使偏轉平面精確地沿x方向對準，即精確地垂直於入口狹縫201的方向，如圖1B和1C所示。而且，由於在掃描過程中可能發生的縱向磁場，八極佈置可以校正不理想的圖像旋轉。

【0072】圖6是電子光譜儀設備300的實施例的圖，該電子光譜儀設備300包括例如電子成像設備100。根據圖1、3或4中的任何一個，以及具有電子檢測器202的半球形分析器形式的能量分析器設備200。在電子光譜法的實施中，從在樣品保持器101上的樣品1發射的電子係由電子成像設備100沿著電子光軸OA將電子傳遞到能量分析儀設備200。通過沿著狹縫膜片201沿著第一動量坐標捕

獲電子的動量分佈圖像來記錄電子的能量和動量分佈。通過垂直於狹縫膜片201的動量分佈圖像的逐步位移，從而可以記錄整個二維動量分佈。

【0073】在以上描述，圖式和請求項中公開的本發明的特徵對於單獨地或組合地或次組合地以其各種實施方式的發明的實現是重要的。

【符號說明】

【0074】

100：電子成像儀

101：樣品保持器

200：能量分析儀

201：狹縫光闌

202：電子檢測器

300：電子光譜儀

1：樣品

2：電子

10：第一透鏡組

11：前蓋電極

12：聚焦電極

13：轉接透鏡

20：偏轉器裝置

21：偏轉器元件

22：無場漂移路徑

30：第二透鏡組

31：透鏡元件

32：邊界元件

40：第三透鏡組

41：邊界元件

42：變焦鏡頭

43：邊界元件

50：控制裝置

RP1：第一倒置平面（動量像平面）

GP1：第一高斯平面（真實空間圖像的平面）

RP2：第二倒置平面

GP2：第二高斯平面

RP3：第三倒置平面

OA：光軸

θ：相對於OA的發射角

α：束的開角

R：動量分佈圖像的半徑

r：高斯圖像的半徑

x、y、z：方向坐標

k_x、k_y、k_z：動量坐標

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種電子成像設備（100），其配置為沿電子光軸（OA）從發射電子（2）的樣品（1）到能量分析儀設備（200）進行電子轉移，並包括在樣品側上的第一透鏡組（10）、在分析儀側上的第二透鏡組（30）以及偏轉器（20），該偏轉器（20）被建構成為使電子（2）在該電子成像設備（100）的出射平面中垂直於該電子光軸（OA）的方向偏轉，其特徵在於，

-該第一透鏡組（10）在內部提供一第一倒置平面（RP1）以及在第一與第二透鏡組（10、30）之間的一第一高斯平面（GP1），並且被建構成從該第一倒置平面（RP1）上的樣品（1）產生該電子（2）的動量分佈的第一動量分佈圖像，並在該第一高斯平面上產生該樣品（1）的第一高斯圖像（GP1），

-該第二透鏡組（30）在分析儀側上提供一第二倒置平面（RP2），並且被建構成從該第二倒置平面（RP2）的樣品（1）產生電子（2）的電子的動量分佈的第二動量分佈圖像，其中

-該第一透鏡組（10）係建構成為產生具有這樣小的尺寸的該第一高斯圖像，使得由該第二透鏡組（30）產生成的該第二動量分佈圖像是平行圖像。

【請求項2】 根據請求項1所述的電子成像設備，其中，-該偏轉器裝置（20）被建構成使得該偏轉器裝置（20）在垂直於該光軸（OA）的一個平面中產生作用。

【請求項3】 根據前述請求項中的一項所述的電子成像設備，其中，

-該偏轉器裝置（20）包括一對電及/或磁作用的偏轉器元件（21）、四個該偏轉器元件（21）配置在一個平面中的四極配置、或八個該偏轉器元件（21）配置在一個平面中的八極配置。

【請求項4】 根據前述請求項中的一項所述的電子成像設備，其中，

-該第二倒置平面（RP2）是該電子成像設備（100）的一出射平面，並且

-一狹縫隔膜（201）配置在該第二倒置平面（RP2）中，而形成該能量分析儀設備（200）的一進入狹縫。

【請求項5】 根據請求項1至3中任一項所述的電子成像設備，還包括

-至少一第三透鏡組（40），其配置在該第二透鏡組（30）的分析儀側並且在該至少一第三透鏡組（40）的內部形成一第二高斯平面（GP2）以及在該至少一第三透鏡組（40）的分析儀側形成一第三倒置平面（RP3），並且被建構成產生在該第二高斯平面（GP2）上的樣品（1）的第二高斯圖像以及來自樣品（1）的電子（2）在該第三倒置平面（RP3）上的動量分佈的第三動量分佈圖像，其中

-該第三倒置平面（RP3）是該電子成像設備（100）的該出射平面，並且

-由該至少一第三透鏡組（40）所產生的該第三動量分佈圖像是一平行圖像。

【請求項6】 根據請求項5所述的電子成像設備，其中，

-在第二倒置平面（RP2）中配置有一縫隙光闌（201），該縫隙光闌（201）藉由成像到該能量分析儀設備（200）的該進入平面而形成該能量分析儀設備（200）的一進入縫隙(entry slit)。

【請求項7】 根據請求項5所述的電子成像設備，其中，

-在該第三倒置平面（RP3）中配置有一縫隙光闌（201），其形成該能量分析儀設備（200）的一入口縫隙，其中

-在第二倒置平面（RP2）中未配置縫隙光闌。

【請求項8】 根據前述請求項中的一項所述的電子成像設備，其中，

-該偏轉器裝置（20）配置在該第一和第二透鏡組（10、30）之間並且在該第一高斯平面（GP1）中。

【請求項9】 根據請求項5至7中的一項所述的電子成像設備，其中

-該偏轉器裝置（20）配置在該第三透鏡組（40）及該第二高斯平面（GP2）中。

【請求項10】根據前述請求項中的一項所述的電子成像設備，其中，

-該第一透鏡組（10）被配置為產生該第一高斯圖像，其垂直於該電子光軸（OA）的範圍小於1mm，特別是小於0.5mm，及/或

-該第一和第二透鏡組（10、30）被配置為形成平行圖像，其分束(partial beam)的角度偏差小於0.4°，特別是小於0.2°。

【請求項11】根據前述請求項中的一項所述的電子成像設備，其中，

-該第一透鏡組（10）的最前方的樣品側的該電子光學元件（11）被配置為具有與該樣品（1）相同的電動勢，從而在該樣品前方產生無場區域(field-free area)。

【請求項12】根據前述請求項中的一項所述的電子成像設備，其中，

-該偏轉器裝置（20）耦合到一控制裝置（50），該控制裝置被建構成在保持平行圖像的同時使該電子（2）在該電子成像設備的該出射平面中進行掃描偏轉。

【請求項13】一種電子光譜儀設備（300），包括

-被建構成保持樣品（1）的樣品保持器（101），

-根據前述請求項之一的一電子成像設備（100），以及

-一能量分析儀設備（200），其中

-該電子成像設備（100）被建構成對從該樣品（1）發出沿著該電子光軸（OA）到該能量分析器設備（200）的電子進行電子轉移(electron transfer)。

【請求項14】根據權利要求13所述的電子光譜儀設備，其中

-該能量分析儀設備（200）包括一半球形分析儀。

【請求項15】一種電子轉移方法，其中來自一樣品（1）的電子（2）由一電子成像設備沿著一電子光軸（OA）轉移到一能量分析儀設備（200），其中該電子（2）依序通過樣品側的第一透鏡組（10）和分析儀側的第二透鏡組（30），且該電子（2）由一偏轉器裝置（20）在該電子成像設備（100）的一出射平面中在垂直於該電子光軸（OA）的偏轉方向上偏轉，

其特徵在於

-該第一透鏡組（10）在該第一透鏡組（10）內部形成一第一倒置平面（RP1），並且在第一與第二透鏡組（30）之間形成一第一高斯平面（GP1），並產生在該第一倒置平面（RP1）上的樣品（1）的電子（2）的動量分佈的一第一動量分佈圖像以及在第一高斯平面（GP1）上的樣品（1）的一第一高斯圖像，

-該第二透鏡組（30）在該第二透鏡組（30）的分析儀側上形成一第二倒置平面（RP2），且在該第二倒置平面（RP2）上產生來自該樣品（1）的該電子（2）的動量分佈的一第二動量分佈圖像，其中

-該第一透鏡組(10)以一小尺寸產生該第一高斯圖像，使得由該第二透鏡組(30)產生的該第二動量分佈圖像為平行圖像。

【請求項16】根據請求項15所述的電子轉移方法，其中

-該偏轉器裝置（20）被建構成使得該偏轉器裝置（20）在垂直於該光軸（OA）的單一平面中起作用。

【請求項17】根據請求項15至16其中之一所述的電子轉移方法，其中

-該第二倒置平面是該電子成像設備的該出射平面，並且

-在該第二倒置平面中配置有形成該能量分析器設備（200）的入口狹縫的狹縫光闌（201）。

【請求項18】根據請求項15至16其中之一所述的電子轉移方法，其中

-配置在該第二透鏡組（30）的分析儀側的至少一第三透鏡組（40）在該至少一第三透鏡組（40）的內部形成一第二高斯平面（GP2）以及在該至少一第三透鏡組（40）的分析儀側形成一第三倒置平面（ RP3），並在該第二高斯平面（GP2）中產生樣品（1）的一第二高斯圖像而且在該第三倒置平面（RP3）上產生來自樣品（1）的電子（2）的動量分佈的一第三動量分佈圖像，其中

-該第三倒置平面（RP3）是該電子成像設備（100）的該出射平面，並且

-由該至少一第三透鏡組（40）所產生的該第三動量分佈圖像是平行圖像。

【請求項19】根據請求項18所述的電子轉移方法，其中

-在第二倒置平面（RP2）上配置有一縫隙光闌（201），該縫隙光闌（201）藉由成像到該能量分析儀設備(200)的該進入平面而形成該能量分析儀設備(200)的一進入狹縫。

【請求項20】根據請求項18的電子轉移方法，其中

-在該第三倒置平面（RP3）中佈置有一縫隙光闌（201），其形成了該能量分析儀設備（200）的一進入狹縫，其中

-在該第二倒置平面（RP2）中未配置縫隙光闌。

【請求項21】根據請求項15至20中之一項所述的電子轉移方法，其中

-該偏轉器裝置（20）係配置在該第一高斯平面（GP1）中。

【請求項22】根據請求項18至20中之一項所述的電子成像設備，其中，

-該偏轉器裝置（20）係配置在該至少一第三透鏡組（40）處並且在該第二高斯平面（GP2）中。

【請求項23】根據請求項15至22中之一所述的電子轉移方法，其中

-該第一透鏡組(10)產生第一高斯圖像，該第一高斯圖像垂直於電子光軸(OA)的範圍小於1mm，特別是小於0.5mm，以及/或

-該第一和第二透鏡組（30）被配置為形成平行圖像，該平行圖像具有小於0.4度的分束的角度偏差，特別是小於0.2度的分束的角度偏差。

【請求項24】根據請求項15至23之一所述的電子轉移方法，其中

-第一透鏡組（10）的最前面的樣品側電子光學元件（11）具有與樣品（1）相同的電勢，從而在樣品的區域中產生無場的區域。

【請求項25】根據請求項15至24之一所述的電子轉移方法，其中

-在該電子成像設備（100）的出射平面上的電子（2）被偏轉以產生動量分佈圖像的掃描運動，同時保留平行圖像。

【請求項26】一種電子光譜方法，包括以下步驟

-輻照樣品（1）並從樣品（1）發射電子（2），

-通過根據請求項15至25中的一項所述的電子轉移方法將發射的電子（2）轉移到一能量分析儀設備（200），以及

-由該能量分析儀設備（200）對該電子（2）進行能量解析檢測(energy-resolved detection)。

【請求項27】根據請求項26所述的電子光譜方法，其中，

-該能量分析儀設備（200）包括一半球形分析儀。

【發明圖式】

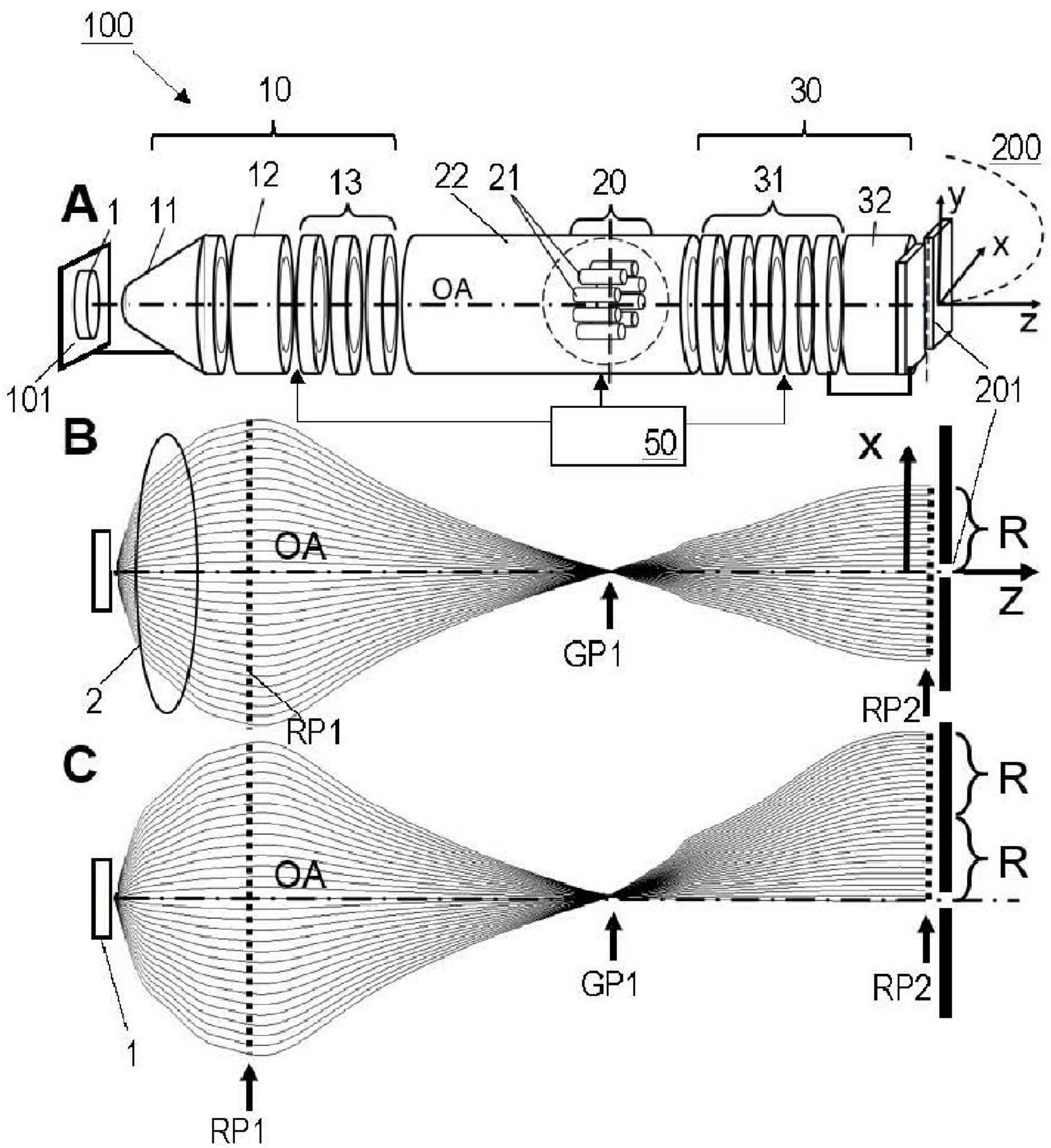

100
10
30
200
A
1
11
12
13
22
21
20
31
32
y
x
z
OA
101
201
50
B
OA
GP1
X
R
Z
2
RP1
RP2
C
OA
GP1
RP2
R
R
1
RP1

圖 1

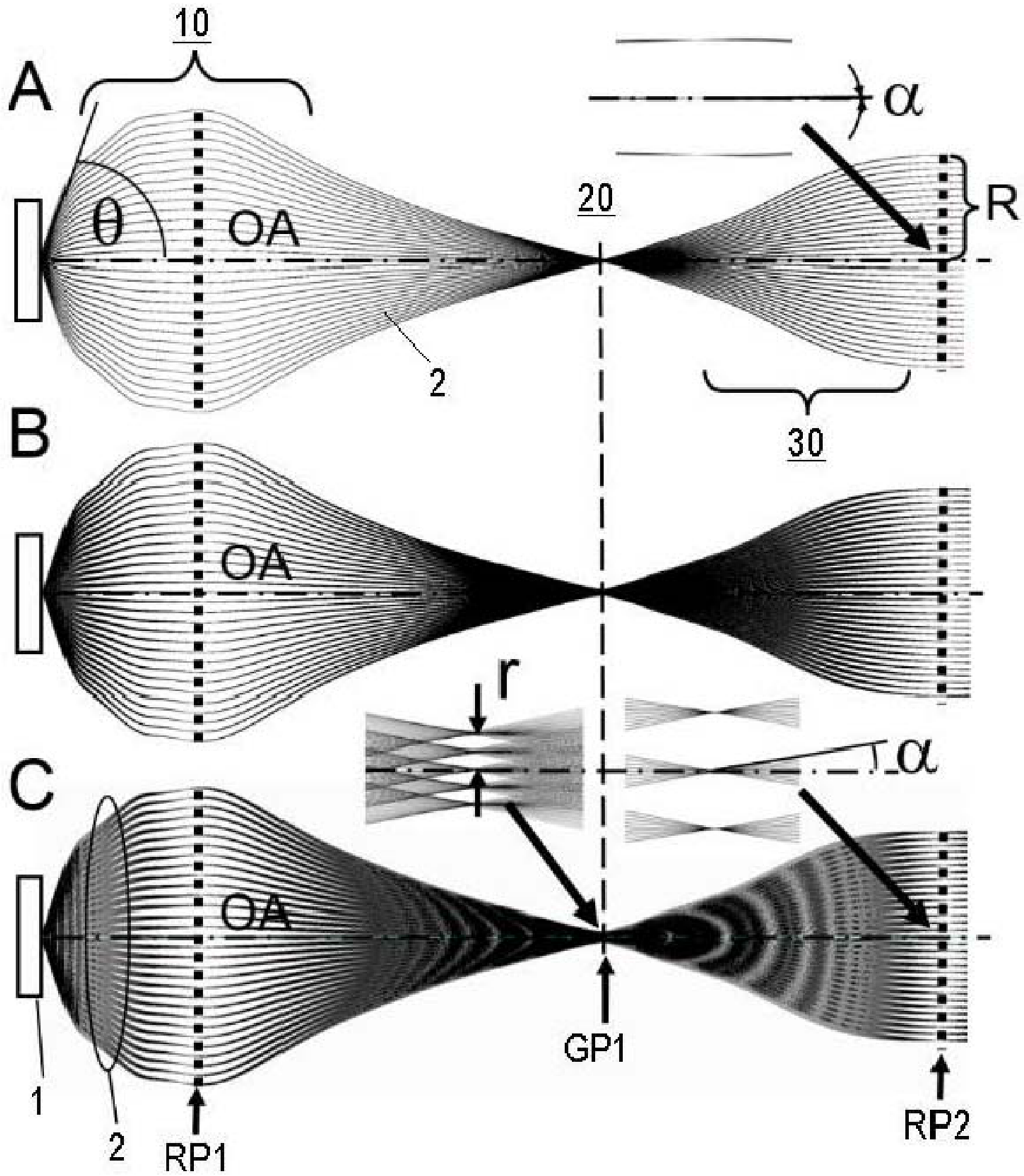


圖 2

202036653

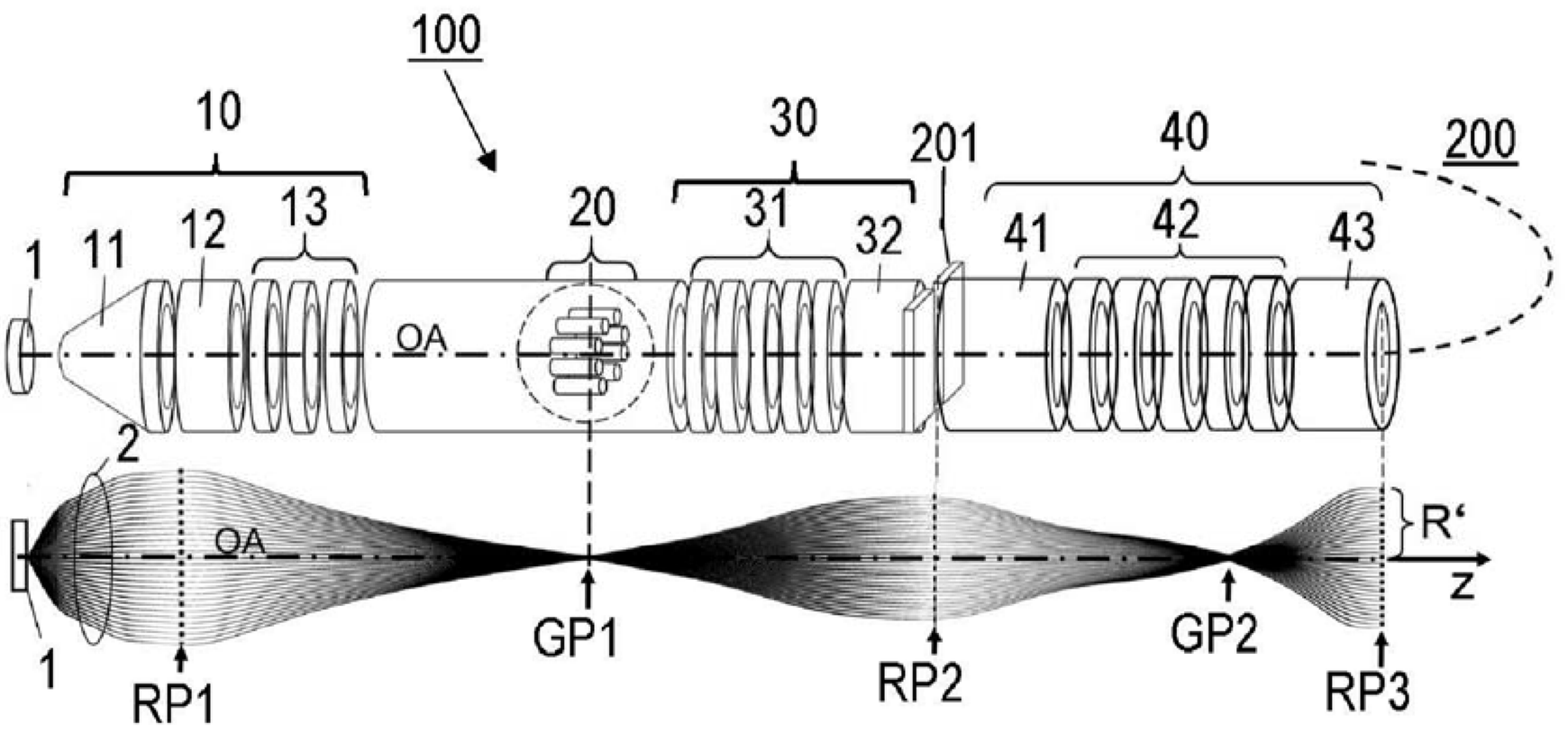


圖 3

202036653

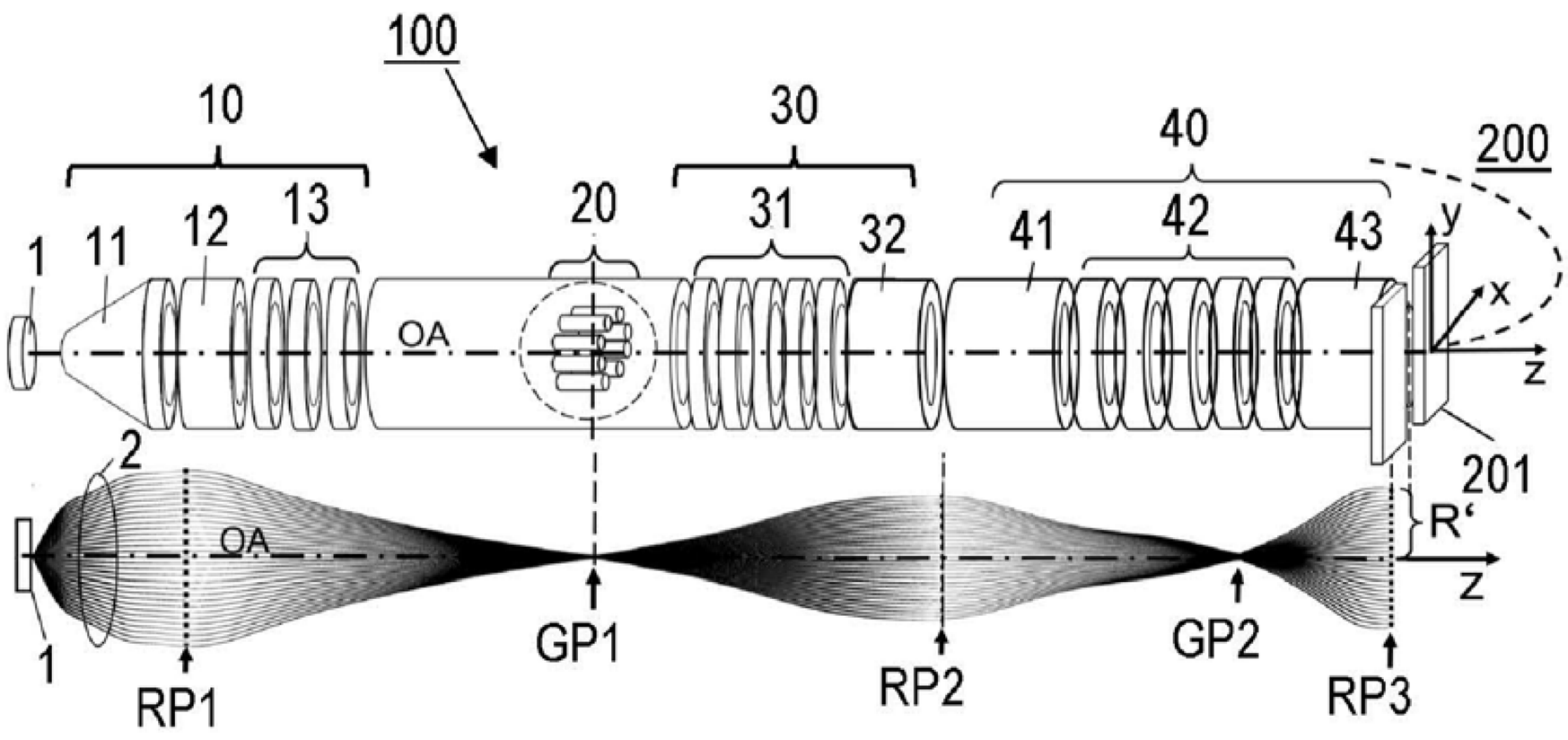


圖 4

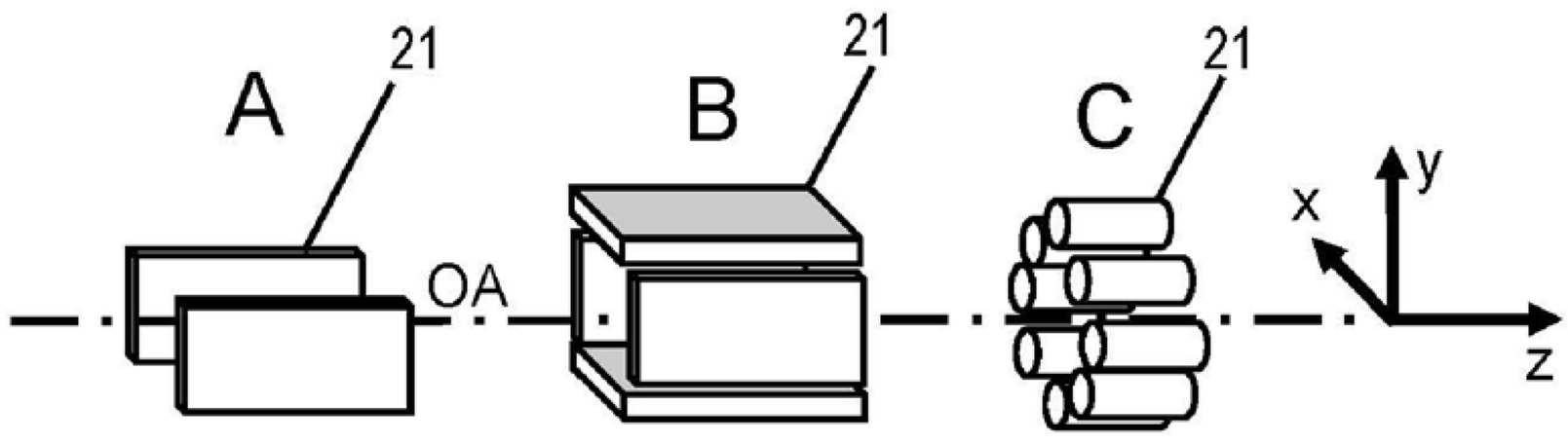


圖 5

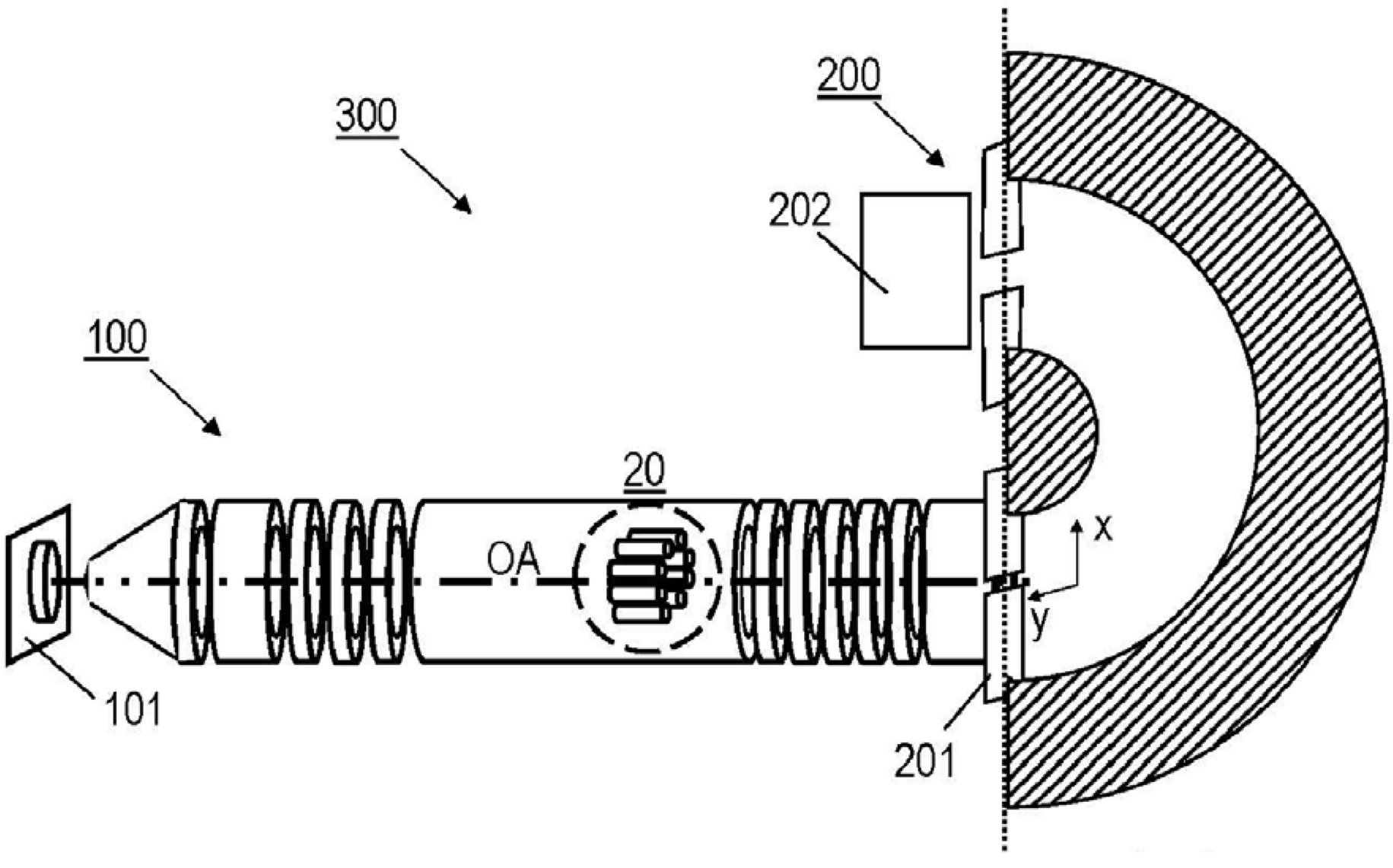


圖 6

202036653

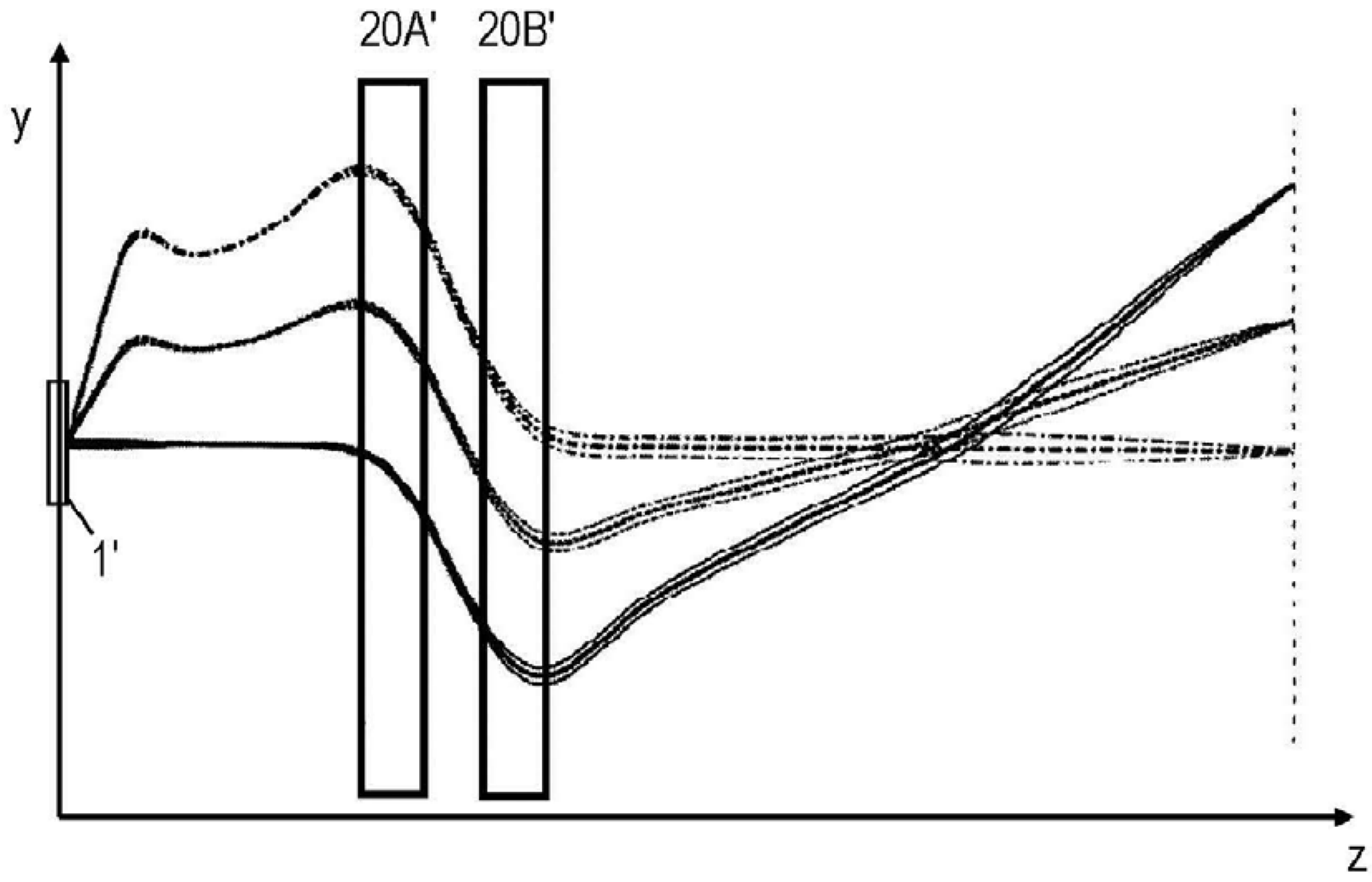


圖 7