



(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 I841663 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 05 月 11 日

(21)申請案號：109101467

(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 01 月 16 日

(51)Int. Cl. : H01J37/28 (2006.01)

H01J37/24 (2006.01)

H01J37/317 (2006.01)

H01J37/04 (2006.01)

(30)優先權：2019/02/15 日本

2019-025928

(71)申請人：日商日立高新技術科學股份有限公司 (日本) HITACHI HIGH-TECH SCIENCE CORPORATION (JP)

日本

(72)發明人：杉山安彦 SUGIYAMA, YASUHIKO (JP)；廣瀨菜緒子 HIROSE, NAOKO (JP)；大庭弘 OBA, HIROSHI (JP)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

TW 201637062A

US 7956336B2

US 2001/0045525A1

US 2016/0217967A1

WO 2008/102635A1

WO 2016/125844A1

審查人員：曾宏仁

申請專利範圍項數：4 項 圖式數：10 共 37 頁

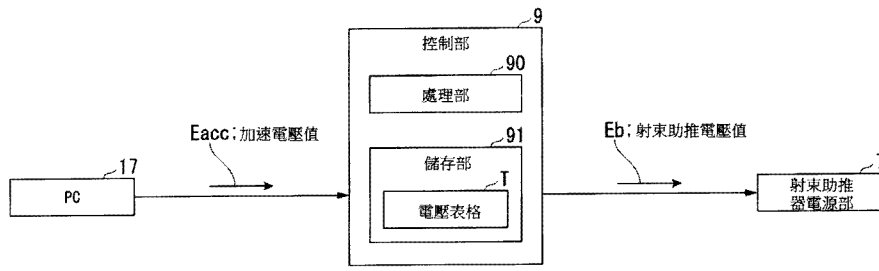
(54)名稱

複合帶電粒子束裝置和控制方法

(57)摘要

本發明提供複合帶電粒子束裝置和控制方法，能夠根據聚焦離子束的期望的加速電壓來設定聚焦離子束的射束助推器的電壓的值。複合帶電粒子束裝置具有：離子供給部，其供給離子束；加速電壓施加部，其藉由向離子供給部所供給的離子束施加加速電壓，而使離子束加速；第 1 聚焦部，其使離子束聚焦；射束助推電壓施加部，其向離子束施加射束助推電壓；第 2 聚焦部，其使離子束聚焦而向試樣照射；電子束照射部，其向試樣照射電子束；以及控制部，其根據如下設定值設定射束助推電壓施加部向離子束施加的射束助推電壓的值，該設定值是根據加速電壓施加部向離子束施加的加速電壓的值和聚焦後的離子束的焦距而預先確定的。

指定代表圖：



【圖 3】

符號簡單說明：

7:射束助推器電源部

9:控制部

17:PC

90:處理部

91:儲存部

T:電壓表

Eb:射束助推電壓值

Eacc:加速電壓值



I841663

【發明摘要】**【中文發明名稱】**

複合帶電粒子束裝置和控制方法

【中文】

本發明提供複合帶電粒子束裝置和控制方法，能夠根據聚焦離子束的期望的加速電壓來設定聚焦離子束的射束助推器的電壓的值。複合帶電粒子束裝置具有：離子供給部，其供給離子束；加速電壓施加部，其藉由向離子供給部所供給的離子束施加加速電壓，而使離子束加速；第1聚焦部，其使離子束聚焦；射束助推電壓施加部，其向離子束施加射束助推電壓；第2聚焦部，其使離子束聚焦而向試樣照射；電子束照射部，其向試樣照射電子束；以及控制部，其根據如下設定值設定射束助推電壓施加部向離子束施加的射束助推電壓的值，該設定值是根據加速電壓施加部向離子束施加的加速電壓的值和聚焦後的離子束的焦距而預先確定的。

【指定代表圖】第(3)圖。

【代表圖之符號簡單說明】

7:射束助推器電源部

9:控制部

17:PC

90:處理部

91:儲存部

T:電壓表

Eb:射束助推電壓值

Eacc:加速電壓值

【特徵化學式】無

【發明說明書】

【中文發明名稱】

複合帶電粒子束裝置和控制方法

【技術領域】

本發明關於複合帶電粒子束裝置和控制方法。

【先前技術】

在以使用具有電子束(EB：Electron Beam)和聚焦離子束(FIB：Focused Ion Beam)的複合帶電粒子束裝置的透射電子顯微鏡(TEM：Transmission Electron Microscope)的試樣製作為代表的試樣形狀的加工中，存在想要將離子束照射對試樣的損傷抑制為最小限度的要求。因此，在使用複合帶電粒子束裝置的加工中，使離子束的加速能量降為數 keV 以下而對試樣進行加工。

例如公知有使用了以 30keV 進行粗加工、以 10keV 進行精加工的聚焦離子束的 TEM 試樣的製作方法(專利文獻 1)。另外，公知有如下方法：使精加工中所使用的離子束的能量較低，並且藉由按照該試樣的形狀使向試樣入射的人射角度最優化，從而會有效地去除損傷層(專利文獻 2)。另外，已知為了減小損傷層而需要降低聚焦離子束裝置的加速電壓(專利文獻 3)。這樣，在使用聚焦離子束裝置的加工中，加速電壓較低是公知事實。

但是，如果使聚焦離子束的加速電壓較低，則色差所

導致的射束模糊量的增大或庫倫相互作用所導致的射束輪廓的擴大會變得顯著。作為針對射束模糊量的增大或射束輪廓的擴大的對策，使用了射束助推器技術(專利文獻4、非專利文獻1)。在射束助推器技術中，在提高光學系統的中間部的勢能(potential energy)之後，藉由物鏡使該勢能降低。

另外，在電子束中使用射束助推器是公知的(專利文獻5)。

公知有向試樣上的同一點照射電子束和聚焦離子束的複合帶電粒子束裝置(專利文獻6)。在複合帶電粒子束裝置中，要求向試樣上的同一點照射電子束和聚焦離子束，並且使電子束的焦點與聚焦離子束的焦點對準在前述試樣上的同一點。將被該電子束與聚焦離子束照射的試樣上的同一點定義為重合點(Coincidence Point: CP)。

作為聚焦離子束的控制方法，公開有如下內容：對應著離子束的電流量，將透鏡的設定、像散校正值、孔徑、針對射束對準的施加電壓以及對物鏡的施加電壓等離子束光學條件和多個加工內容儲存於電腦，根據加工內容選擇以及設定光學條件，進行多個加工(專利文獻7)。

作為聚焦離子束的透鏡的控制，公開有如下內容：製作聚焦電壓表格，藉由根據該聚焦電壓表格設定聚焦電壓，使束電流值與基準值或任意值一致(專利文獻8)。

專利文獻1：日本特開平11-223588號公報

專利文獻2：日本特開2007-193977號公報

專利文獻 3：日本特開 2009-272293 號公報

專利文獻 4：日本特開 2007-103108 號公報

專利文獻 5：日本特開 2000-173520 號公報

專利文獻 6：日本特開 2006-236836 號公報

專利文獻 7：日本特開平 10-106474 號公報

專利文獻 8：日本特開 2013-196826 號公報

非專利文獻 1：Michael Rauscher and Erich Plies、
「Low Energy focused ion beam system design」、Journal
of Vacuum Science & Technology A、American Vacuum
Society、2006、24(4)、p.1055-1066

但是，當在聚焦離子束裝置中使用射束助推器的情況下，聚焦離子束的焦距受到射束助推電壓的限制。該限制使得聚焦離子束的焦點僅能對準試樣的上方，因此產生不能夠使焦點與 CP 重合的狀況。

這裡，參照圖 10，對不能使聚焦離子束的焦點與 CP 對準的狀況進行說明。圖 10 是示出現有的複合帶電粒子束裝置的束軌道的一例的圖。在圖 10 中，從聚焦離子束鏡筒 A0 向試樣 SP0 照射聚焦離子束，並且從電子束鏡筒 B0 向試樣 SP0 照射電子束。

束軌道 T1 是沒有施加射束助推電壓的情況下的聚焦離子束的軌道。束軌道 T2 是施加了射束助推電壓的情況下的聚焦離子束的軌道。束軌道 T3 是電子束的軌道。

在沒有施加射束助推電壓的情況下，束軌道 T1 使焦點在試樣 SP0 的表面上的點 FP1 重合。這裡，點 FP1 是 CP，也

是電子束的焦點。另一方面，在施加了射束助推電壓的情況下，聚焦離子束的焦點不再與點FP1重合，束軌道T1有時會使焦點重合於試樣SP0的上方的點FP0。即，在向聚焦離子束施加射束助推電壓的情況下，產生不能使聚焦離子束的焦點與CP重合的狀況。

當使用了射束助推器的情況下，在上述的聚焦離子束中產生的能夠對焦的範圍的限制根據加速電壓而變化。另外，在使用了射束助推器的情況下，產生的能夠對焦的範圍的限制還根據射束助推器的電壓而變化。因此，因射束助推器的電壓的範圍，有時會導致無法將聚焦離子束的焦距設定於CP。在使用不能使聚焦離子束的焦距設定於CP的射束助推器的電壓的條件下，即使對聚焦離子束裝置的物鏡的施加電壓進行調整，並對透鏡光強度進行調整，也難以使焦點與CP重合。

如上所述，在由電子束和聚焦離子束構成的複合帶電粒子束裝置中，當在聚焦離子束鏡筒搭載有射束助推器且當聚焦離子束的工作距離比電子束的工作距離長的情況下，會產生本課題，會產生不能將電子束和聚焦離子束照射在試樣上的同一點上，並且不能使電子束的焦點與聚焦離子束的焦點在前述試樣上的同一點重合的狀況。

針對本課題，即使應用專利文獻7所記載的方法也不能得到解決對策。在專利文獻7中，沒有記載聚焦離子束的射束助推器，另外，也沒有記載複合帶電粒子束，不存在CP。因此，不能推出課題的產生，不能推出應該怎樣設

定射束助推電壓這樣的課題。

另外，針對本課題，即使應用專利文獻 8 所記載的方法也不能得到解決對策。專利文獻 8 的控制對象是聚焦透鏡的聚焦電壓，在專利文獻 8 中，其目的在於，藉由設定聚焦電壓來對束電流進行調整。在專利文獻 8 中，沒有記載聚焦離子束的射束助推器，另外，也沒有記載複合帶電粒子束，不存在 CP。因此，不能推出課題的產生，不能推出應該怎樣設定射束助推電壓這一課題。

因此，在複合帶電粒子束裝置中，當在聚焦離子束鏡筒搭載有射束助推器的情況下，要求能夠根據期望的聚焦離子束的加速電壓來設定射束助推器的電壓。

【發明內容】

本發明就是鑒於上述的點而完成的，提供能夠根據聚焦離子束的期望的加速電壓來設定射束助推器的電壓的值的複合帶電粒子束裝置和控制方法。

為了解決課題，達成該目的，本發明採用以下方式。

(1)本發明的一個方式是複合帶電粒子束裝置，其具有：離子供給部，其供給離子束；加速電壓施加部，其藉由向前述離子供給部所供給的前述離子束施加加速電壓，使前述離子束加速；第 1 聚焦部，其使被前述加速電壓施加部加速後的前述離子束聚焦；射束助推電壓施加部，其向由前述第 1 聚焦部聚焦得到的前述離子束施加射束助推電壓；第 2 聚焦部，其使被前述射束助推電壓施加部施加

了前述射束助推電壓的前述離子束聚焦，並向試樣照射；電子束照射部，其向前述試樣照射電子束；以及控制部，其根據如下設定值設定前述射束助推電壓施加部向前述離子束施加的前述射束助推電壓的值，該設定值是與前述加速電壓施加部向前述離子束施加的前述加速電壓的值和被聚焦後的前述離子束的焦距對應而預先確定的。

在上述(1)所記載的方式的複合帶電粒子束裝置中，被聚焦後的前述離子束的照射點和焦點與前述電子束的照射點是前述試樣上的同一點。

(2)上述(1)所記載的複合帶電粒子束裝置中，前述聚焦離子束的焦點與CP重合。

在上述(2)所記載的方式的複合帶電粒子束裝置中，在試樣的能夠藉由電子束進行觀察的範圍內，能夠藉由射束助推器抑制在比規定的電壓低的加速電壓下使聚焦離子束加速的情況下的離子束的擴展，能夠形成微小的離子探針來進行加工和觀察。在上述(2)所記載的的方式的複合帶電粒子束裝置中，能夠在不對試樣載台進行位置調整的情況下，對試樣的同一部位進行基於電子束的觀察和基於具有射束助推器功能的聚焦離子束的加工和觀察。

(3)在上述(1)或(2)所記載的複合帶電粒子束裝置中，前述控制部根據從儲存前述加速電壓的值與前述設定值的組的儲存部讀取的前述組，將前述射束助推電壓的值設定為前述設定值。

在上述(3)所記載的方式的複合帶電粒子束裝置中，

從儲存部讀取加速電壓的值與射束助推電壓的值的組，根據聚焦離子束的期望的加速電壓限制射束助推器的電壓的值，從而能夠在前述限制的範圍內進行設定。

(4)本發明的一個方式的控制方法是複合帶電粒子束裝置的控制方法，該複合帶電粒子束裝置具有：離子供給部，其供給離子束；加速電壓施加部，其藉由向前述離子供給部所供給的前述離子束施加加速電壓，使前述離子束加速；第1聚焦部，其使被前述加速電壓施加部加速後的前述離子束聚焦；射束助推電壓施加部，其向被前述第1聚焦部聚焦後的前述離子束施加射束助推電壓；第2聚焦部，其使被前述射束助推電壓施加部施加了前述射束助推電壓的前述離子束聚焦，並向試樣照射；以及電子束照射部，其向前述試樣照射電子束，其中，該控制方法具有如下控制過程：根據如下設定值設定前述射束助推電壓施加部向前述離子束施加的前述射束助推電壓的值，該設定值是與前述加速電壓施加部向前述離子束施加的前述加速電壓的值和被聚焦後的前述離子束的焦距對應而預先確定的。

根據本發明，能夠與聚焦離子束的期望的加速電壓對應來設定聚焦離子束的射束助推器的電壓的值。

【圖式簡單說明】

[圖 1]是示出本發明的實施方式的複合帶電粒子束裝置的結構的一例的圖。

[圖 2]是示出本發明的實施方式的掃描系統的絕緣的一例的圖。

[圖 3]是示出本發明的實施方式的控制部的結構的一例的圖。

[圖 4]是示出本發明的實施方式的射束助推電壓值相對於加速電壓值的範圍的一例的圖。

[圖 5]是示出本發明的實施方式的 FIB 工作距離和 SEM 工作距離的一例的圖。

[圖 6]是示出本發明的實施方式的 FIB 工作距離與射束助推電壓的關係的一例的圖。

[圖 7]是示出本發明的實施方式的射束助推電壓值的設定處理的一例的圖。

[圖 8]是示出本發明的實施方式的變形例的聚焦離子束鏡筒和電子束鏡筒的配置的第 1 例的圖。

[圖 9]是示出本發明的實施方式的變形例的聚焦離子束鏡筒和電子束鏡筒的配置的第 2 例的圖。

[圖 10]是示出現有的複合帶電粒子束裝置的射束軌道的一例的圖。

【實施方式】

以下，參照附圖，對本發明的實施方式進行詳細說明。圖 1 是示出本實施方式的複合帶電粒子束裝置 D 的結構的一例的圖。

複合帶電粒子束裝置 D 具有聚焦離子束裝置 D1、射束

助推器控制部 6、射束助推器電源部 7、透鏡電源部 8、控制部 9、箱控制模組 12、主機 PB 部 13、真空控制部 14、載台控制部 15、掃描板 16、個人電腦 (PC: Personal Computer) 17 以及掃描型電子顯微鏡 D2 (未圖示)。

聚焦離子束裝置 D1 具有離子源控制部 1、離子發射器 E、引出電極 2、聚光鏡 3、射束助推器 4 以及物鏡 5。聚焦離子束裝置 D1 在向離子束 B 施加加速電壓 V_{acc} 之後，藉由聚光鏡 3、射束助推器 4 以及物鏡 5 進行聚焦並向試樣 SP1 照射。試樣 SP1 配置為接地的狀態。

離子源控制部 1 (離子供給部的一例) 對作為帶電粒子束的離子束 B 的放射進行控制。離子源控制部 1 具有引出電源 11 和加速電源 10。離子發射器 E 具有金屬，該金屬具有尖利的前端，使該金屬的前端例如為在液體金屬鎔中浸泡過而得到的液體金屬離子源。或者，也可以代替液體金屬，而供給氦、氖、氧、氬、氫等氣體來作為氣體電場電離型離子源。或者，也可以利用感應耦合電漿離子源或電子迴旋共振電漿離子源來作為帶電粒子供給部。

引出電源 11 藉由向離子發射器 E 的前端與引出電極 2 之間施加引出電壓 V_{ext} ，而從該前端引出鎔離子來作為帶電粒子。

加速電源 10 (加速電壓施加部的一例) 藉由向離子源控制部 1 所提供的離子束 B 施加加速電壓 V_{acc} ，而進行加速。作為一例，加速電壓最大為 30kV，但為了將離子束照射對試樣造成的損傷抑制為最小限度，按照每個聚焦離子束的

加工步驟設定加速電壓來使用。例如，在粗加工中將加速電壓設定為 30kV，在精加工中將加速電壓設定為 1kV、0.5kV 等較低的值，而進行加工。

聚光鏡 3(第 1 聚焦部的一例)使被加速電源 10 加速後的離子束 B 聚焦。這裡，聚光鏡 3 利用由透鏡電源部 8 的聚光鏡電源 80 施加聚光鏡電壓 V_{c1} 而形成的電場，使通過的離子束 B 聚焦。

射束助推器 4(射束助推電壓施加部的一例)向由聚光鏡 3 聚焦後的離子束 B 施加射束助推電壓 V_b 。在聚光鏡 3 與物鏡 5 之間具有射束助推器 4。射束助推器 4 提高通過聚光鏡 3 後的離子束 B 的勢能，從而抑制色差所導致的射束的模糊量的增大以及庫倫相互作用所導致的射束輪廓的擴大。射束助推器 4 具有校準電極 41、圓點電極 42 以及消隱電極 43 以及偏轉電極 44。

校準電極 41 與射束助推器控制部 6 的校準電源 61 連接，藉由向離子束 B 施加電壓，來修正通過的離子束 B 的光軸的偏移。

圓點電極 42 與射束助推器控制部 6 的圓點電源 62 連接，藉由向離子束 B 施加電壓，來校正藉由的離子束 B 的截面形狀的歪曲，使其成為正圓。

消隱電極 43 與射束助推器控制部 6 的消隱電源 63 連接，藉由向離子束 B 施加電壓，使通過的離子束 B 以向試樣 SP1 照射的方式偏向。

偏轉電極 44 與射束助推器控制部 6 的偏轉電源 64 連

接，藉由向離子束 B 施加電壓，使通過的離子束 B 在試樣 SP1 上進行掃描。

物鏡 5 (第 2 聚焦部的一例) 使被射束助推器 4 施加射束助推電壓 V_b 後的離子束 B 聚焦而向試樣 SP1 照射。這裡，物鏡 5 利用由透鏡電源部 8 的物鏡電源 81 施加物鏡電壓 V_{ol} 而形成的電場，使通過的離子束 B 聚焦。另外，物鏡 5 利用加速電壓 V_{acc} 與物鏡電壓 V_{ol} 的電位差，使離子束 B 減速。

射束助推器控制部 6 對射束助推器 4 進行控制。射束助推器控制部 6 具有 MCU 60、校準電源 61、圓點電源 62、消隱電源 63、偏轉電源 64 以及高壓浮動部 66。

記憶體控制單元 (MCU: Memory Control Unit) 60 根據由射束助推器電源部 7 設定的射束助推電壓 V_b ，對校準電源 61、圓點電源 62、消隱電源 63 以及偏轉電源 64 進行控制。

校準電源 61 向校準電極 41 施加電壓。圓點電源 62 向圓點電極 42 施加電壓。消隱電源 63 向消隱電極 43 施加電壓。偏轉電源 64 向偏轉電極 44、掃描電極 45 施加電壓。

高壓浮動部 66 藉由掃描板 16 被控制，向偏轉電源 64 提供掃描信號。該掃描信號是用於對離子束 B 在試樣 SP1 上照射的位置進行調整的信號。高壓浮動部 66 與掃描板 16 一起構成掃描系統 SS。在後文對掃描系統 SS 進行詳細敘述。

射束助推器電源部 7 藉由控制部 9 被控制，設定射束助推電壓 V_b 。

透鏡電源部 8 具有聚光鏡電源 80 和物鏡電源 81。聚光

鏡電源 80 向聚光鏡 3 施加電壓。物鏡電源 81 向物鏡 5 施加電壓。

控制部 9 根據從 PC 17 供給的加速電壓值 E_{acc} ，對射束助推器電源部 7 進行控制。這裡，從 PC 17 經由主機 PB13 向控制部 9 提供加速電壓值 E_{acc} 。在後文中對控制部 9 進行詳細敘述。

PC 17 接受來自複合帶電粒子束裝置 D 的使用者的各種操作。PC 17 經由箱控制模組 12 向離子源控制部 1 提供操作信號。PC 17 經由主機 PB13 向射束助推器控制部 6 和控制部 9 提供操作信號。這裡，操作信號例如包含如下資訊，該資訊示出作為加速電壓 V_{acc} 的值的加速電壓值 E_{acc} 。另外，PC 17 對真空控制部 14 和載台控制部 15 進行控制，該真空控制部 14 對複合帶電粒子束裝置 D 的真空狀態進行控制，該載台控制部 15 對載置試樣 SP1 的載台進行控制。

掃描型電子顯微鏡 D2 (未圖示，電子束照射部的一例) 向試樣 SP1 照射電子束，藉由對從試樣 SP1 發出的二次電子或反射電子進行檢測，而對試樣 SP1 的表面或截面進行觀察。

這裡，參照圖 2，對掃描系統的絕緣進行說明。圖 2 是示出本實施方式的掃描系統 SS 的絕緣的一例的圖。掃描系統 SS 具有掃描板 16、高壓浮動部 66 以及光絕緣件 P。

掃描板 16 具有掃描控制部 160。掃描控制部 160 向高壓浮動部 66 提供作為數位掃描信號的 X 數位掃描信號 1S、Y 數位掃描信號 2S 以及 CLK 信號 3S。這裡，CLK 信號 3S 用於

X數位掃描信號1S與Y數位掃描信號2S的同步以及D/A轉換的同步。X數位掃描信號1S、Y數位掃描信號2S以及CLK信號藉由光絕緣件P被光絕緣，並向高壓浮動部66供給。作為一例，光絕緣件P是光耦合器，配置在掃描板16與高壓浮動部66之間。

高壓浮動部66的電位與對應於射束助推電壓 V_b 的高壓即射束助推器電位相等。高壓浮動部66具有D/A轉換部67。D/A轉換部67與CLK信號3S同步地將X數位掃描信號1S轉換為X類比掃描信號4S，將Y數位掃描信號2S轉換為Y類比掃描信號5S。

另外，光絕緣件P也可以不配置在掃描板16與高壓浮動部66之間，而是配置在高壓浮動部66內，可以使用絕緣放大器等使被D/A轉換部67轉換後的X類比掃描信號4S和Y類比掃描信號5S絕緣。

接下來，參照圖3，對控制部9的結構進行詳細說明。圖3是示出本實施方式的控制部9的結構的一例的圖。控制部9具有處理部90和儲存部91。

處理部90根據從PC 17提供的加速電壓值 E_{acc} 和從儲存部91讀取的電壓表格T，計算作為射束助推電壓 V_b 的值的射束助推電壓值 E_b 。處理部90向射束助推器電源部7提供計算出的射束助推電壓值 E_b 。

這裡，電壓表格T是示出加速電壓值 E_{acc} 與根據期望的焦距預先計算出的射束助推電壓設定值 T_{Eb} 的組的表。在對離子束B使用了射束助推器4的情況下所產生的離子束

B 的焦距 F_B 的限制範圍根據加速電壓值 E_{acc} 而變化。另外，離子束 B 的能夠對焦的範圍根據射束助推電壓值 E_b 而變化。

在複合帶電粒子束裝置 D 中，電壓表格 T 是預先求出的加速電壓值 E_{acc} 與射束助推電壓設定值 TE_b 的組的表，該射束助推電壓設定值 TE_b 是能夠在加速電壓值 E_{acc} 下使電子束和聚焦離子束聚焦在被照射的試樣上的同一點，即 CP 這一點的值。在複合帶電粒子束裝置 D 中，根據電壓表格 T 而設定射束助推電壓設定值 TE_b ，從而使離子束 B 的照射點以及焦點與電子束的照射點成為試樣 SP1 上的同一點。

儲存部 91 儲存電壓表格 T。即，儲存部 91 儲存加速電壓值 E_{acc} 與射束助推電壓設定值 TE_b 的組。在本實施方式中，儲存部 91 將加速電壓值 E_{acc} 與射束助推電壓設定值 TE_b 的多個組作為電壓表格 T 而進行儲存。

這裡，參照圖 4，對在射束助推電壓 V_b 下能夠對焦的範圍進行說明。圖 4 是示出本實施方式中的射束助推電壓值 E_b 相對於加速電壓值 E_{acc} 的範圍的一例的圖。

處理部 90 在加速電壓 V_{acc} 的切換時，使射束助推電壓值 E_b 變化成為小於或等於電壓表格 T 所示的射束助推電壓設定值 TE_b 的電壓值。即，在電壓表格 T 中儲存有賦予射束助推電壓 V_b 的上限的射束助推電壓設定值 TE_b 。也可以為，在設定了射束助推電壓值 E_b 之後，在電壓表格 T 中儲存加速電壓值 E_{acc} 與所設定的射束助推電壓值 E_b 的組。在

下一次設定射束助推電壓 V_b 時，處理部 90 也可以使用與加速電壓值 E_{acc} 對應的所儲存的射束助推電壓值 E_b 。

這裡，參照圖 5 和圖 6，對作為聚焦離子束裝置 D1 的工作距離亦即 FIB 工作距離 W_{Da1} 與射束助推電壓 V_b 之間的關係進行說明。圖 5 是示出本實施方式的 FIB 工作距離 W_{Da1} 和 SEM 工作距離 W_{Db1} 的一例的圖。

X 軸和 Y 軸與水平面平行並且相互垂直，Z 軸表示與 X 軸和 Y 軸垂直的鉛垂方向。在圖 5 中，聚焦離子束裝置 D1 所具有的聚焦離子束鏡筒 A1 與 Z 軸平行，即在鉛垂方向上具有聚焦離子束鏡筒 A1。從聚焦離子束鏡筒 A1 朝著 Z 軸的負向，向試樣 SP1 照射離子束 B。

另一方面，掃描型電子顯微鏡 D2 所具有的電子束鏡筒 B1 從 Z 軸以規定的角度傾斜。從電子束鏡筒 B1 傾斜著該規定的角度向試樣 SP1 照射電子束 EB。該規定的角度例如設定為從水平面起的 $30^\circ \sim 60^\circ$ 的範圍。

這裡，FIB 工作距離 W_{Da1} 是聚焦離子束鏡筒 A1 的前端與試樣 SP1 的表面之間的距離。SEM 工作距離 W_{Db1} 是掃描型電子顯微鏡 D2 的工作距離，是電子束鏡筒 B1 的前端與試樣 SP1 的表面之間的距離。

為了確保掃描型電子顯微鏡 D2 的像解析度，使 FIB 工作距離 W_{Da1} 比 SEM 工作距離 W_{Db1} 長。FIB 工作距離 W_{Da1} 例如設定為 $8\text{mm} \sim 16\text{mm}$ 的範圍。SEM 工作距離 W_{Db1} 例如設定為 $2\text{mm} \sim 7\text{mm}$ 的範圍。

圖 6 是示出本實施方式的 FIB 工作距離 W_{Da1} 與射束助

推電壓 V_b 之間的關係的一例的圖。曲線 G 是示出在加速電壓為 1kV 的情況下，在射束助推電壓 V_b 的值 (射束助推電壓值 E_b) 下，能夠實現對焦於 CP 的 FIB 工作距離 W_{Da1} 的曲線。曲線 G 的左上的區域與不能實現對焦於 CP 的 FIB 工作距離 W_{Da1} 對應，曲線 G 的右下的區域與能夠實現對焦於 CP 的 FIB 工作距離 W_{Da1} 對應。即，曲線 G 表示能夠實現對焦於 CP 與不能實現對焦於 CP 的邊界。根據曲線 G，存在射束助推電壓 V_b 的絕對值越大則能夠實現對焦於 CP 的 FIB 工作距離 W_{Da1} 越短的傾向。

例如，如果著眼於點 P1，則可以知道，在 FIB 工作距離 W_{Da1} 為 16mm 的情況下，為了能夠對焦，需要使射束助推電壓 V_b 的值的絕對值為 6kV 以下。

這裡，參照圖 7，對控制部 9 設定射束助推電壓值 E_b 的處理進行說明。圖 7 是示出本實施方式的射束助推電壓值 E_b 的設定處理的一例的圖。

步驟 S10：處理部 90 從 PC 17 取得加速電壓值 E_{acc} 。

步驟 S20：處理部 90 從儲存部 91 讀取電壓表格 T。

步驟 S30：處理部 90 根據讀取的電壓表格 T，設定與加速電壓值 E_{acc} 對應的射束助推電壓值 E_b 。這裡，處理部 90 根據電壓表格 T 計算與對應於加速電壓值 E_{acc} 的射束助推電壓設定值 TE_b 相等或比對應於加速電壓值 E_{acc} 的射束助推電壓設定值 TE_b 低出規定的值的射束助推電壓值 E_b ，來作為射束助推電壓值 E_b 。處理部 90 向射束助推器電源部 7 供給計算出的射束助推電壓值 E_b ，從而設定射束助推電壓

值 E_b 。

因此，控制部 9 是根據射束助推電壓設定值 TE_b 來設定射束助推器 4 向離子束 B 施加的射束助推電壓 V_b 的值即射束助推電壓值 E_b ，該射束助推電壓設定值 TE_b 是根據加速電源 10 向離子束 B 施加的加速電壓 V_{acc} 的值即加速電壓值 E_{acc} 和離子束 B 的焦距 FB 而預先確定的。

這裡，電壓表格 T 是加速電壓值 E_{acc} 與射束助推電壓設定值 TE_b 的組。因此，控制部 9 根據從儲存了加速電壓值 E_{acc} 與射束助推電壓設定值 TE_b 的組的儲存部 91 讀取的組，而將射束助推電壓值 E_b 設定為射束助推電壓設定值 TE_b 。

另外，在本實施方式中，對控制部 9 具有儲存部 91 的情況進行了說明，但不限於此。也可以在複合帶電粒子束裝置 D 的外部具有儲存部 91。當在複合帶電粒子束裝置 D 的外部具有儲存部 91 的情況下，例如具有外部儲存裝置或雲端伺服器來作為儲存部 91。

此外，儲存部 91 也可以不儲存電壓表格 T，而是儲存根據加速電壓值 E_{acc} 對射束助推電壓值 E_b 進行計算的運算公式，控制部 9 根據該運算公式計算並設定射束助推電壓值 E_b 。

另外，在本實施方式中，對在鉛垂方向上具有聚焦離子束鏡筒 A1 並且具有從鉛垂方向以規定的角度傾斜的電子束鏡筒 B1 的情況進行了說明，但不限於此。

這裡，參照圖 8 和圖 9，對聚焦離子束鏡筒 A1 和電子束

鏡筒 B1 的配置的變形例進行說明。

圖 8 是示出本實施方式的變形例的聚焦離子束鏡筒 A2 和電子束鏡筒 B2 的配置的第 1 例的圖。在圖 8 中，具有從 Z 軸以規定的角度傾斜的聚焦離子束鏡筒 A2。從聚焦離子束鏡筒 A2 傾斜著該規定的角度而向試樣 SP2 照射離子束 B。

另一方面，電子束鏡筒 B2 與 Z 軸平行，即配置在鉛垂方向上。從電子束鏡筒 B2 向著 Z 軸的負向，向試樣 SP2 照射電子束 EB。

FIB 工作距離 WDa2 比 SEM 工作距離 WDb2 長。

圖 9 是示出本實施方式的變形例的聚焦離子束鏡筒 A3 和電子束鏡筒 B3 的配置的第 2 例的圖。在圖 9 中，聚焦離子束鏡筒 A3 與 X 軸平行，即配置在水準方向上。從聚焦離子束鏡筒 A3 向著 X 軸的負向，向試樣 SP3 照射離子束 B。

另一方面，電子束鏡筒 B3 與 Z 軸平行，即配置在鉛垂方向上。從電子束鏡筒 B3 向著 Z 軸的負向，向試樣 SP3 照射電子束 EB。

FIB 工作距離 WDa3 比 SEM 工作距離 WDb3 長。

像以上說明的那樣，在本實施方式的複合帶電粒子束裝置 D 中，能夠根據帶電粒子束(離子束 B)的期望的加速電壓來設定射束助推器 4 的能夠使聚焦離子束對焦於 CP 的射束助推電壓 Vb 的值(射束助推電壓值 Eb)。

以利用 Ga(鎵)聚焦離子束來製作透射電子顯微鏡用薄片試樣為例對本發明的效果進行說明。藉由以下的 3 個步驟實施加工。

(1)粗加工

將聚焦離子束的加速電壓設為 30kV，將離子束電流設為 10nA 來對薄片的周邊部進行加工。對於薄片的周邊部，以高加速電壓以及大電流這樣的加工速率較大的條件進行加工是公知的(專利文獻 1)。在加速電壓 30kV 下，色差或庫倫相互作用所導致的射束模糊不顯著，因此使射束助推器的設定電壓為 0V。藉由該粗加工將薄片的寬度切削至 0.7 μ m。藉由掃描電子顯微鏡像幾乎即時地對加工的進行狀況進行觀察，從而確認薄片的寬度，該掃描電子顯微鏡像由向與薄片加工部所照射的點相同的點照射的電子束形成。但是，由於加速電壓為 30kV，因此在 Si 層上，因 Ga 注入和原子間的碰撞級聯而形成有 25nm 的深度的損傷層。在薄片的兩個面分別具有距表面 25nm 的深度的損傷層。

(2)中間加工

將聚焦離子束的加速電壓設為 1kV，將離子束電流設為 200pA，對藉由上述的粗加工而形成的損傷層進行蝕刻。此時，為了盡可能地使新形成的損傷層的厚度薄，要降低加速電壓來進行加工。在加速電壓 1kV 下，色差或庫倫相互作用所導致的射束模糊變得顯著，因此參照圖 4 使射束助推器的設定電壓設定為 -7kV。藉由本中間加工將薄片的寬度切削至 0.3 μ m。與粗加工相同，藉由掃描電子顯微鏡像以幾乎即時的方式對加工的進行狀況進行觀察，從

而確認薄片的寬度，該掃描電子顯微鏡像由向與薄片加工部所照射的點相同的點照射的電子束形成。但是，由於加速電壓為 1kV，因此在 Si 層上，因 Ga 注入和原子間的碰撞級聯形成有 3nm 的損傷層。在薄片的兩個面分別形成有距表面 3nm 的深度的損傷層。

(3)精加工

將聚焦離子束的加速電壓設為 0.5kV，將離子束電流設定為 50pA，對在上述的中間加工中形成的損傷層進行蝕刻而使損傷層變薄，並同時將薄片的厚度精加工為較薄。此時，為了使新形成的損傷層的厚度盡可能地薄，而進一步使加速電壓下降來進行加工。在加速電壓 0.5kV 下，色差和庫倫相互作用所導致的射束模糊變得更顯著，因此參照圖 4，使射束助推器的設定電壓設定為 -4kV。此時，在不使用本發明的射束助推器的設定方法的情況下，例如如果與作為上述的中間精加工的條件的射束助推器的設定電壓相同地設定為 -7kV，則不能使聚焦離子束的焦點與薄片試樣對齊。藉由本精加工將薄片的寬度切削至 $0.1\mu\text{m}(=100\text{nm})$ 。與上述的加工相同，藉由掃描電子顯微鏡像以幾乎即時加工的方式對進行狀況進行觀察從而確認薄片的寬度，該掃描電子顯微鏡像由向與薄片加工部所照射的點相同的點照射的電子束形成。但是，由於加速電壓為 0.5kV，因此在 Si 層上，由於 Ga 注入和原子間的碰撞級聯而形成有 2nm 的損傷層。在薄片的兩個面分別形成有距

表面 2nm 的深度的損傷層。

藉由以上的順序，得到厚度為 $0.1\mu\text{m}(=100\text{nm})$ ，薄膜表面的損傷層為 $4\text{nm}(2\text{nm}\times 2)$ 的薄片。損傷層的厚度相對於薄片厚度的比為 $4/100(=4\%)$ ，能夠進行高成色的薄片加工。

像上述那樣，在通常的的複合帶電粒子束裝置中，要求聚焦離子束的焦點與 CP 重合。在本實施方式的複合帶電粒子束裝置 D 中，電壓表格 T 是預先求出的加速電壓值 E_{acc} 與射束助推電壓設定值 T_{Eb} 的組的表格，該電壓表格 T 能夠實現對焦於 CP，能夠根據聚焦離子束的期望的加速電壓，設定能夠實現對焦於 CP 的射束助推電壓 V_{b} 的值(射束助推電壓值 E_{b})。

另外，雖然在搭載了射束助推器的掃描型電子顯微鏡中，會產生電子束的焦點位置受到助推電壓的施加的限制的課題，但在電子束中，工作距離縮短，因此該課題不顯著。在聚焦離子束中，如果聚焦離子束的工作距離較短則該課題不顯著，但在與掃描型電子顯微鏡之間的配置關係上，聚焦離子束的工作距離比電子束的工作距離長。如上前述，這是為了確保掃描型電子顯微鏡的像解析度。

上述的實施方式的複合帶電粒子束裝置 D 具有聚焦離子束和電子束這 2 條帶電粒子束。當在複合帶電粒子束裝置 D 中還設置了氬離子束等第三帶電粒子束的情況下，如果採用能夠使 3 條帶電粒子束向試樣上的同一點照射的結構，則藉由與上述相同的方法對聚焦離子束的助推電壓進

行控制，從而能夠根據聚焦離子束的期望的加速電壓來設定能夠實現對焦於 CP 的射束助推電壓 V_b 的值(射束助推電壓值 E_b)。

在不能使 3 條帶電粒子束向試樣上的同一點照射的情況下，例如將聚焦離子束與電子束在試樣上的同一照射點定義為 CP1，將聚焦離子束與氫離子束在試樣上的同一照射點定義為 CP2，準備各自所對應的電壓表格 T-1 和 T-2 來設定聚焦離子束的射束助推電壓 V_b 。在進行向試樣照射聚焦離子束和電子束的處理中，使用電壓表格 T-1 設定聚焦離子束的射束助推電壓 V_b ，在進行向試樣照射聚焦離子束和氫離子束的處理中，使用電壓表格 T-2 設定聚焦離子束的射束助推電壓 V_b 。

在帶電粒子束進一步增加的情況下，擴充上述方法，藉由準備對應的電壓表格 T-n，能夠設定可實現對焦於 CPn 的射束助推電壓 V_b 的值(射束助推電壓值 E_b)。

另外，也可以藉由電腦實現上述的實施方式的複合帶電粒子束裝置 D 的一部分，例如控制部 9。在該情況下，也可以為，將用於實現該控制功能的程式儲存於電腦能夠讀取的儲存介質，將儲存於該儲存介質的程式讀入到電腦系統中並執行，從而實現該控制功能。另外，這裡所說的“電腦系統”是內置於複合帶電粒子束裝置 D 的電腦系統，包含 OS 或週邊設備等硬體。另外，“電腦能夠讀取的儲存介質”是指軟碟，光碟，ROM，CD-ROM 等可移動介質，內置於電腦系統中的硬碟等儲存裝置。此外“電腦

能夠讀取的儲存介質”也可以包含像經由網際網路等網路或電話線路等通信線路傳送程式的情況的通信線路那樣，短時間且動態地保存程式的結構，或像作為該情況下的伺服器 and 用戶端的電腦系統的內部的揮發性記憶體那樣對按照固定時間來保存程式的結構。另外，上述程式也可以用於實現前述的功能中的一部分，此外，也可以藉由該程式與已經儲存於電腦系統的程式的組合來實現前述的功能。

另外，也可以將上述的實施方式的控制部 9 的一部分或全部作為 LSI(Large Scale Integration：大型積體電路)等積體電路來實現。可以使控制部 9 的各功能塊為單獨的處理器，也可以集成一部分或全部而處理器化。另外，積體電路化的方法不限於 LSI，也可以藉由專用電路或通用處理器來實現。另外，在半導體技術的進步使得出現代替 LSI 的積體電路化的技術的情況下，也可以使用該技術的積體電路。

以上，參照附圖，對本發明的一個實施方式進行了詳細說明，但具體的結構不限於上述情況，能夠在不脫離本發明的主旨的範圍內進行各種設計變更等。

【符號說明】

D:複合帶電粒子束裝置

D1:聚焦離子束裝置

D2:掃描型電子顯微鏡

1:離子源控制部

10:加速電源

3:聚光鏡

4:射束助推器

5:物鏡

9:控制部

91:儲存部

T:電壓表

Eb:射束助推電壓值

TEb:射束助推電壓設定值

Eacc:加速電壓值

2:引出電極

6:射束助推器控制部

8:透鏡電源部

11:引出電源

41:校準電極

42:圓點電極

43:消隱電極

44:偏轉電極

61:校準電源

62:圓點電源

63:消隱電源

64:偏轉電源

66:高壓浮動部

80:聚光鏡電源

81:物鏡電源

90:處理部

160:掃描控制部

A0~A3:聚焦離子束鏡筒

B0~B3:電子束鏡筒

SP0~SP3:試樣

SS:掃描系統

S10~S30:步驟

WDa1~WDa3:FIB工作距離

WDb1~WDb3:SEM工作距離

【發明申請專利範圍】

【請求項1】一種複合帶電粒子束裝置，其具有：

離子供給部，其供給離子束；

加速電壓施加部，其藉由向前述離子供給部所供給的前述離子束施加加速電壓，使前述離子束加速；

第1聚焦部，其使被前述加速電壓施加部加速後的前述離子束聚焦；

射束助推電壓施加部，其向被前述第1聚焦部聚焦後的前述離子束施加射束助推電壓；

第2聚焦部，其使被前述射束助推電壓施加部施加了前述射束助推電壓的前述離子束聚焦，並向試樣照射；

電子束照射部，其向前述試樣照射電子束；以及

控制部，其根據與前述加速電壓施加部向前述離子束施加的前述加速電壓的值和被聚焦後的前述離子束的焦距對應而預先確定的設定值，設定前述射束助推電壓施加部向前述離子束施加的前述射束助推電壓的值。

【請求項2】如請求項1所述的複合帶電粒子束裝置，其中

被聚焦後的前述離子束的照射點和焦點與前述電子束的照射點是前述試樣上的同一點。

【請求項3】如請求項1或2所述的複合帶電粒子束裝置，其中

前述控制部根據從儲存前述加速電壓的值與前述設定值的組的儲存部讀取的前述組，將前述射束助推電壓的值

設定為前述設定值。

【請求項4】一種控制方法，該控制方法是複合帶電粒子束裝置的控制方法，

該複合帶電粒子束裝置具有：

離子供給部，其供給離子束；

加速電壓施加部，其藉由向前述離子供給部所供給的前述離子束施加加速電壓，使前述離子束加速；

第1聚焦部，其使被前述加速電壓施加部加速後的前述離子束聚焦；

射束助推電壓施加部，其向被前述第1聚焦部聚焦後的前述離子束施加射束助推電壓；

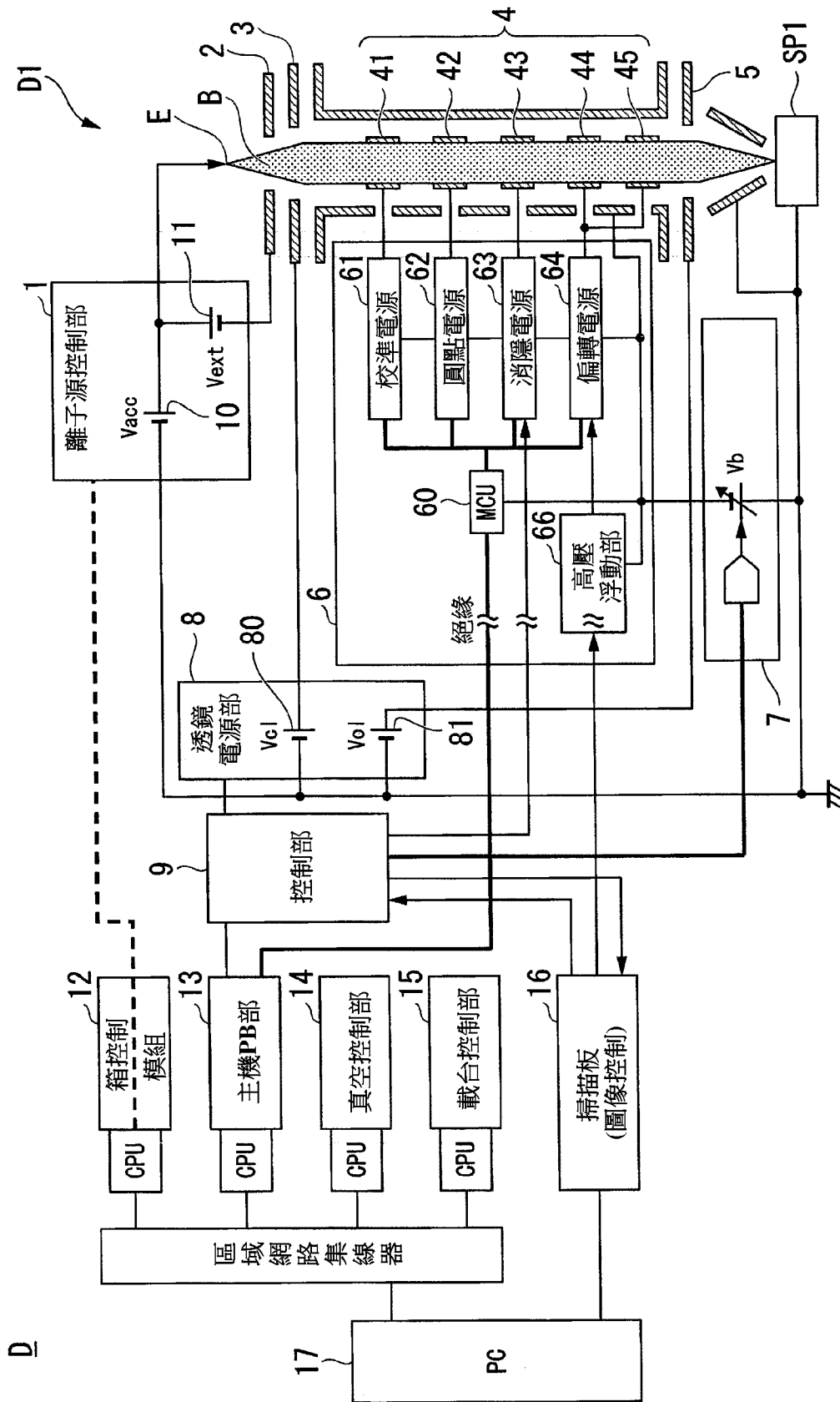
第2聚焦部，其使被前述射束助推電壓施加部施加了前述射束助推電壓的前述離子束聚焦，並向試樣照射；以及

電子束照射部，其向前述試樣照射電子束，

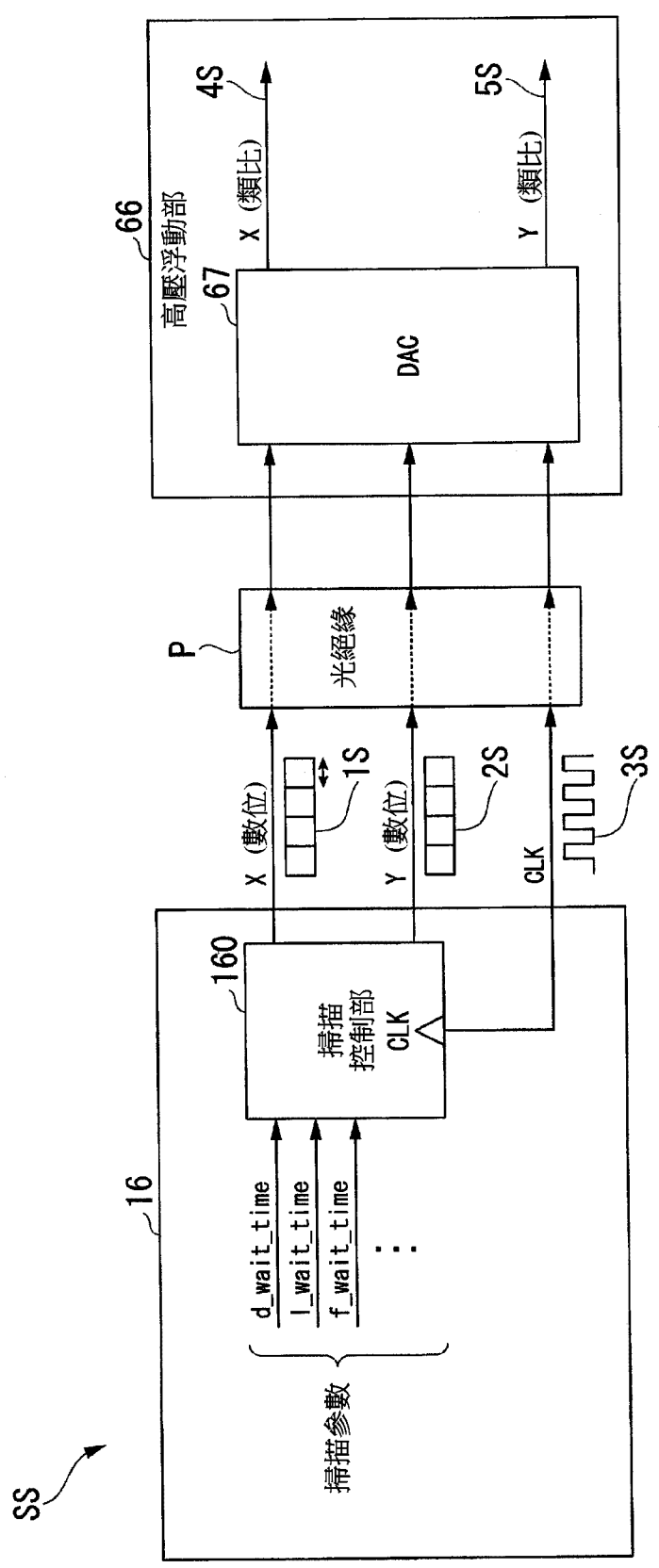
其中，

該控制方法具有如下控制過程：根據與前述加速電壓施加部向前述離子束施加的前述加速電壓的值和被聚焦後的前述離子束的焦距對應而預先確定的設定值，設定前述射束助推電壓施加部向前述離子束施加的前述射束助推電壓的值。

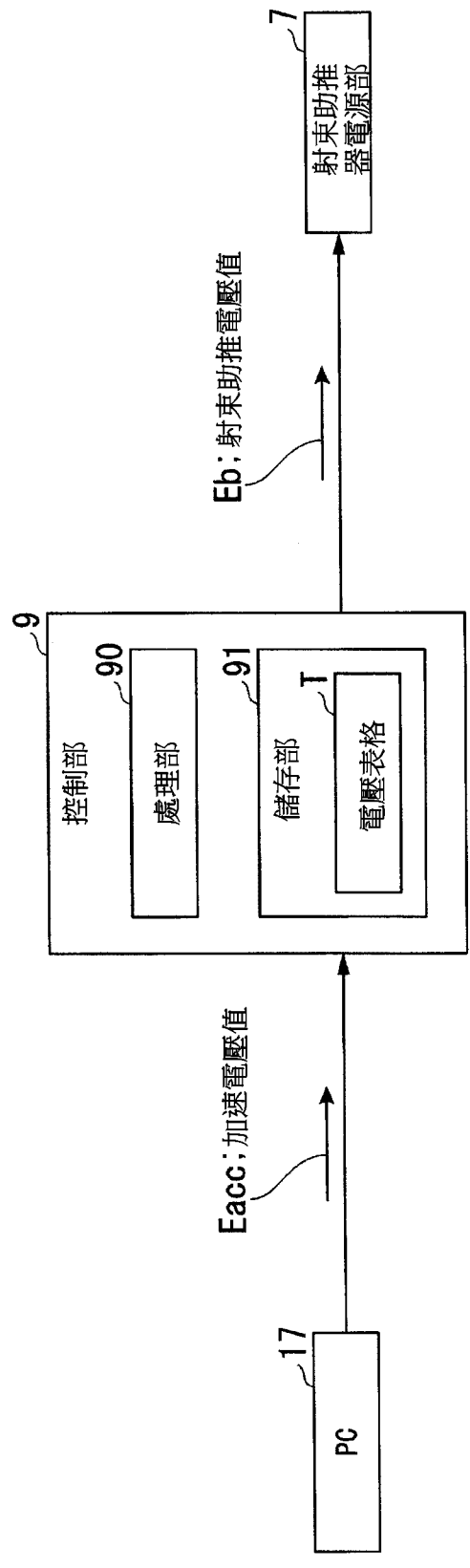
【發明圖式】



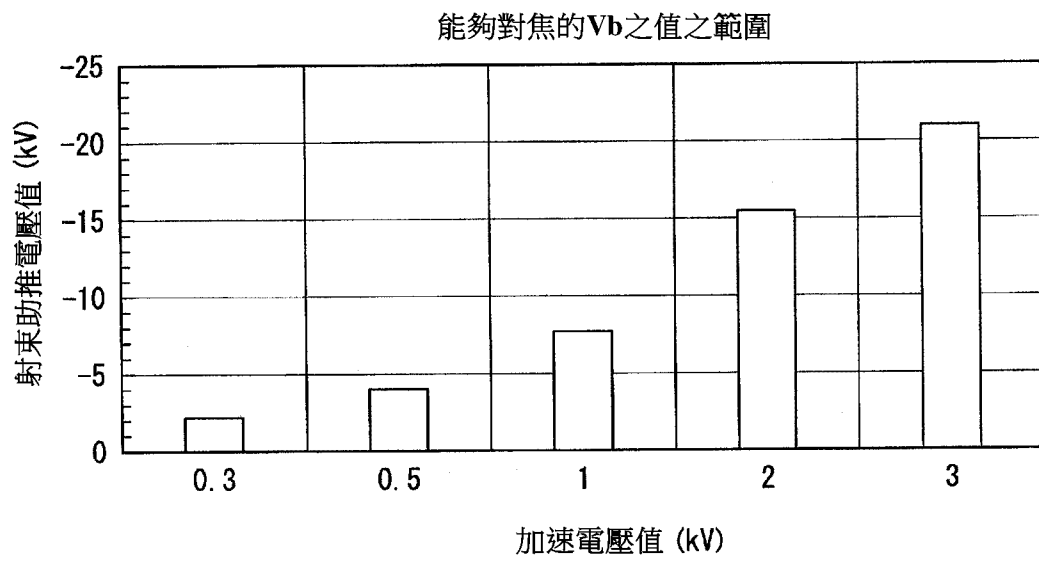
【圖 1】



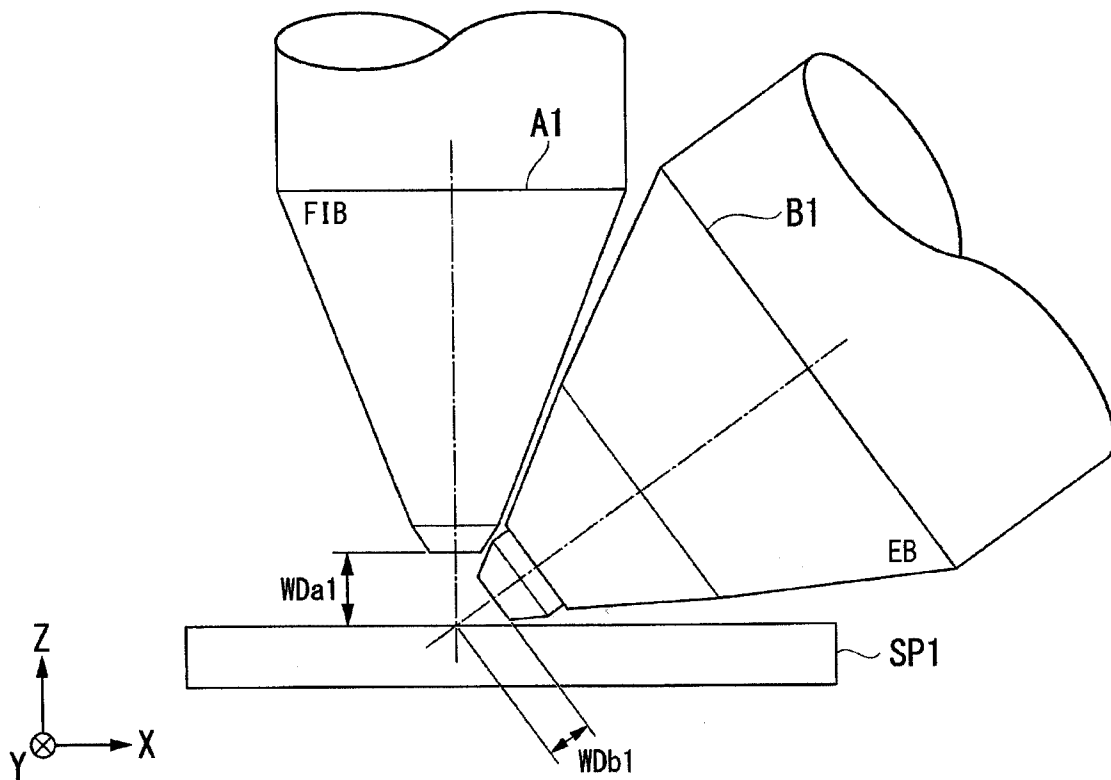
【圖 2】



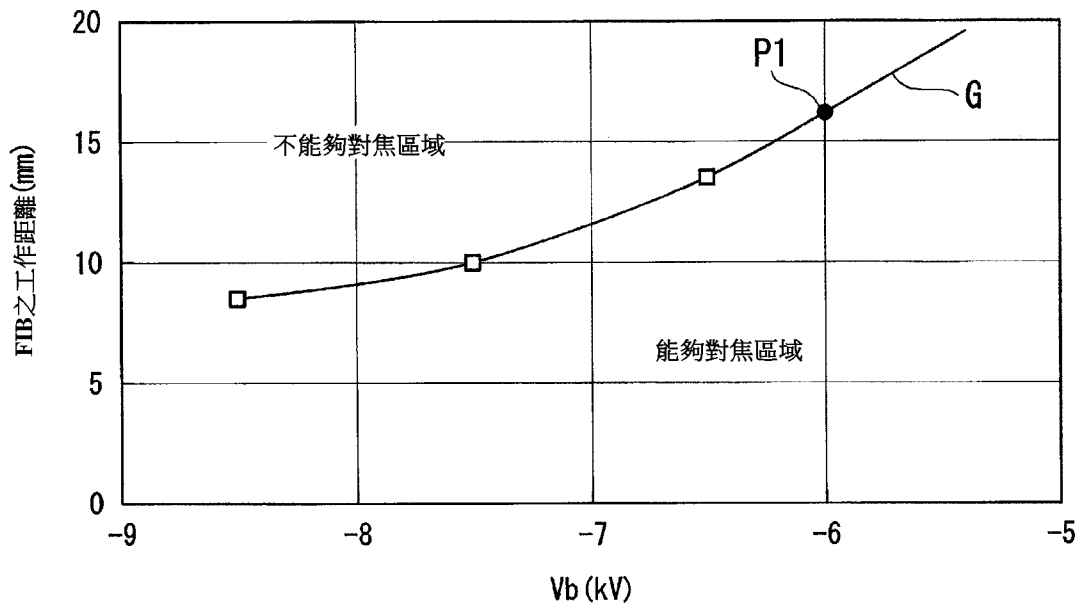
【圖 3】



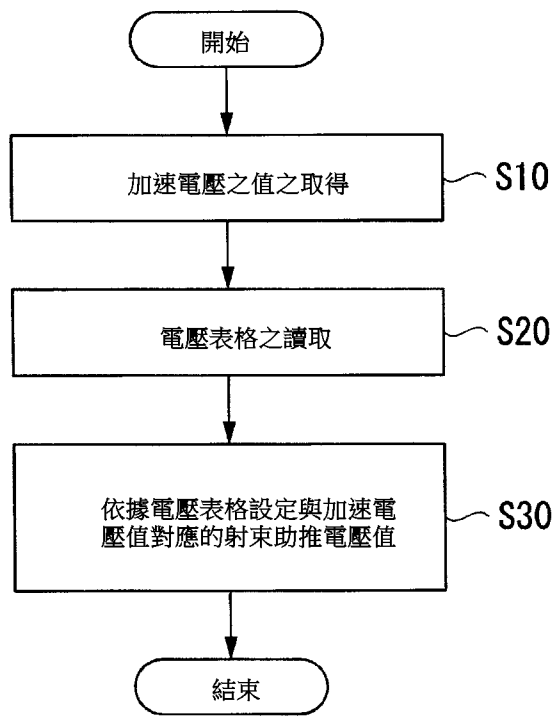
【圖 4】



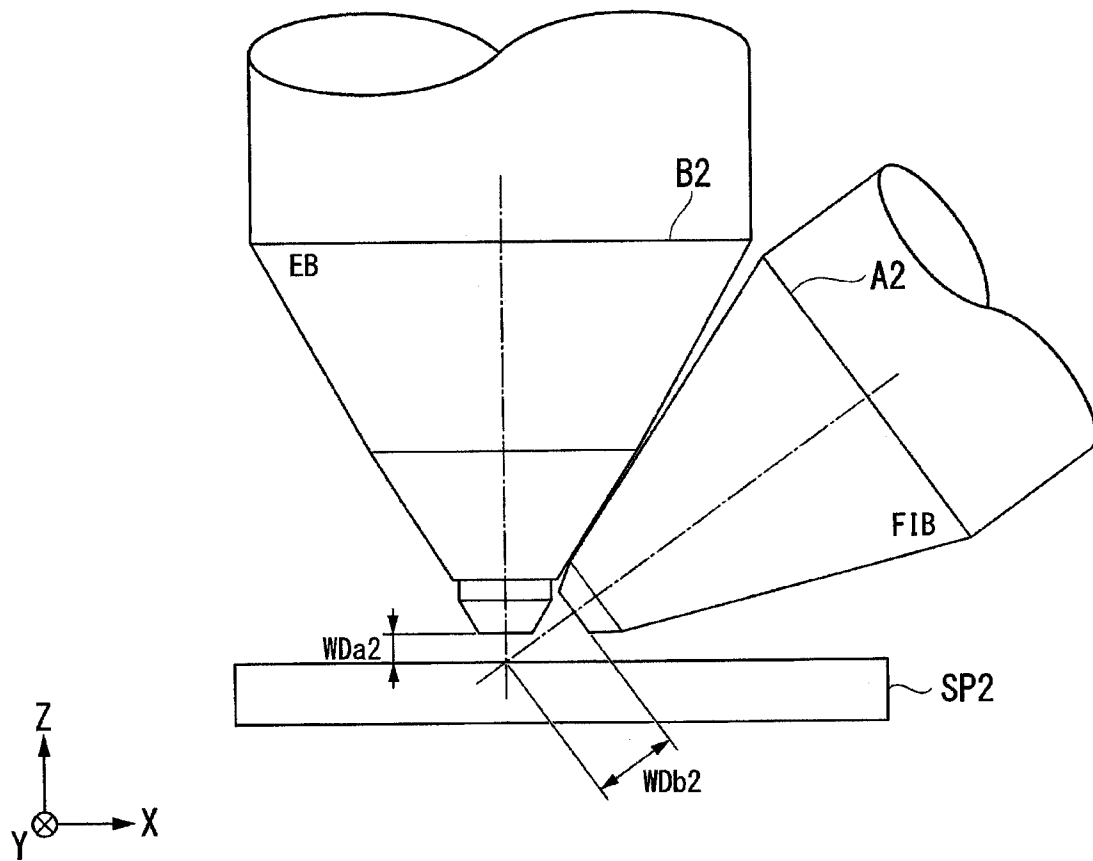
【圖 5】



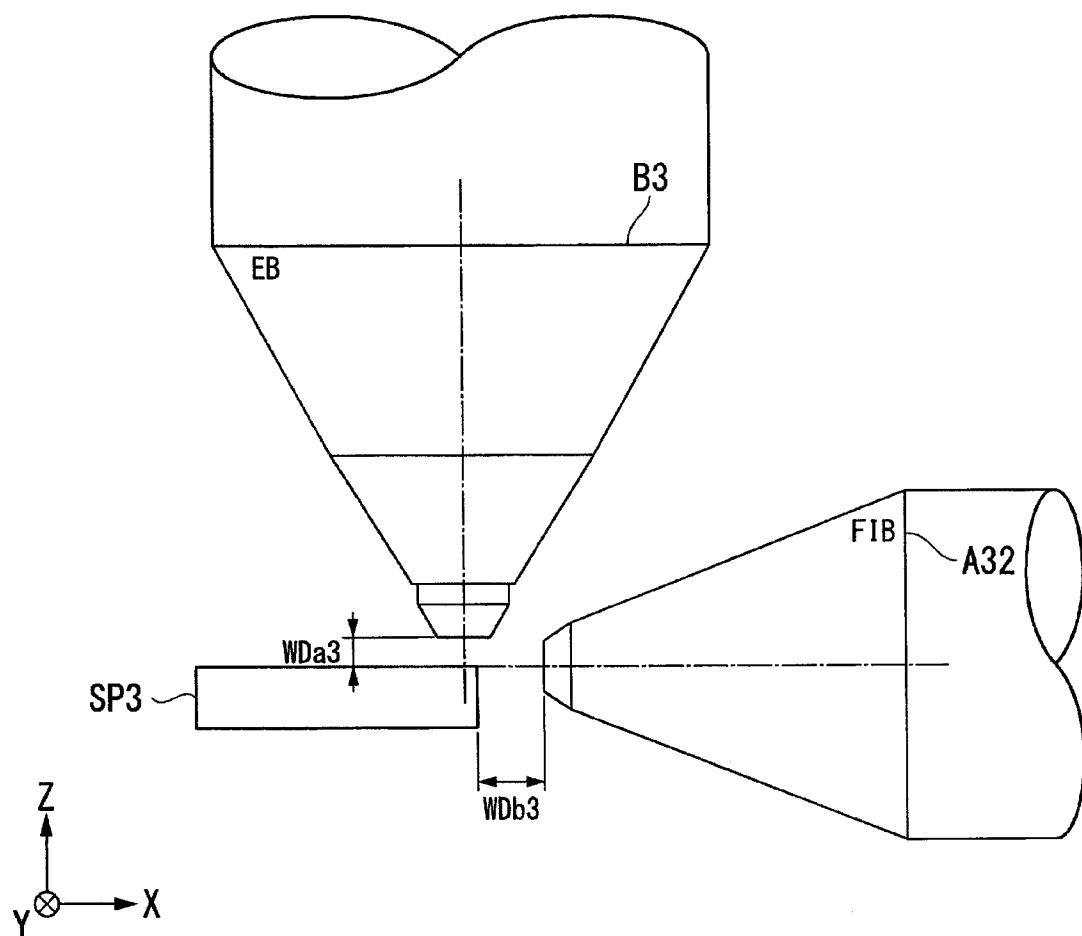
【圖 6】



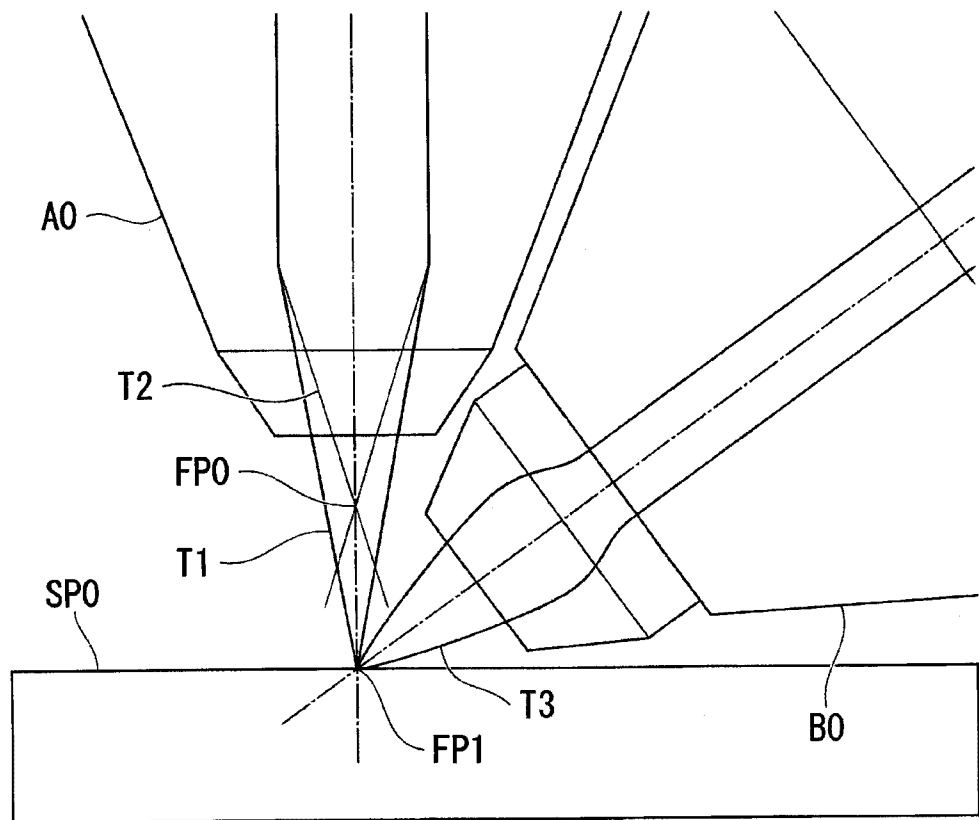
【圖 7】



【圖 8】



【圖 9】



【圖 10】