

發明專利說明書

中文說明書替換頁(102年8月30日)

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：096121453

※ 申請日期：96.06.13

※IPC 分類：H01J 33/02(2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

多用途離子佈植器束流線組態、離子佈植器束流線、提供一用於一離子佈植器束流線之可調整質量選擇孔隙之設備及用於一離子佈植器束流線之分析器磁體

MULTIPURPOSE ION IMPLANTER BEAM LINE CONFIGURATION, ION IMPLANTER BEAM LINE, DEVICE PROVIDING AN ADJUSTABLE MASS SELECTION APERTURE FOR AN ION IMPLANTER BEAM LINE, AND ANALYZER MAGNET FOR AN ION IMPLANTER BEAM LINE

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

美商山米奎普公司
SEMEQUIP, INC.

代表人：(中文/英文)

湯馬士 N 賀斯基
HORSKY, THOMAS NEIL

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國麻州比樂瑞卡市2室蘇立凡路34號
34 SULLIVAN ROAD, UNIT 2 BILLERICA, MASSACHUSETTS 01862,
U.S.A.

國籍：(中文/英文)

美國 U.S.A.

三、發明人：(共 3 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 希爾頓 F 葛拉維奇
GLAVISH, HILTON F.
2. 湯馬士 N 郝斯基
HORSKY, THOMAS N.
3. 達爾 C 傑可柏森
JACOBSON, DALE C.

國 籍：(中文/英文)

1. 美國 U.S.A.
2. 美國 U.S.A.
3. 美國 U.S.A.

四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項 第一款或 第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

申請前已向下列國家(地區)申請專利：

【格式請依：受理國家(地區)、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1. 美國；2006年06月13日；60/813,431

2.

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1.

2.

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時；不須寄存。

五、中文發明摘要：

本發明提供一種多用途離子佈植器束流線組態，其經構造以使得可佈植常用單原子摻雜劑離子物質及叢集離子，該束流線組態具有一質量分析器磁體，其界定一在該磁體之鐵磁性極之間的具有相當大寬度之極間隙及一質量選擇孔隙，該分析器磁體經設定大小以接受一來自一高度至少約80 mm且寬度至少約7 mm之槽形離子源提取孔隙之離子束，且在該質量選擇孔隙處在一對應於該束之該寬度之平面中產生分散，該質量選擇孔隙能夠設定為一質量選擇寬度，該寬度經設定大小以選擇為相同摻雜劑物質但具有增量變化的分子量的叢集離子束，該質量選擇孔隙亦能夠設定為一實質上更窄之質量選擇寬度，且該分析器磁體在該質量選擇孔隙處具有一足以允許選擇具有實質上單個原子量或分子量之單原子摻雜劑離子束之解析度。

六、英文發明摘要：

A multipurpose ion implanter beam line configuration constructed for enabling implantation of common monatomic dopant ion species and cluster ions, the beam line configuration having a mass analyzer magnet defining a pole gap of substantial width between ferromagnetic poles of the magnet and a mass selection aperture, the analyzer magnet sized to accept an ion beam from a slot-form ion source extraction aperture of at least about 80 mm height and at least about 7 mm width, and to produce dispersion at the mass selection aperture in a plane corresponding to the width of the beam, the mass selection aperture capable of being set to a mass-selection width sized to select a beam of the cluster ions of the same dopant species but incrementally differing molecular weights, the mass selection aperture also capable of being set to a substantially narrower mass-selection width and the analyzer magnet having a resolution at the mass selection aperture sufficient to enable selection of a beam of monatomic dopant ions of substantially a single atomic or molecular weight.

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(1)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

7	抑制器電極
8	絕緣饋通
9	電壓 (V_s)
10	腔室
11	離子源本體
12	離子源孔隙
13	加速電壓 (V_e)
14	提取電極
15	離子源真空外殼
16	環形絕緣體
17	真空泵
19	離子束
20	真空外殼
21	偶極磁體
23	真空閥
26	極
29	真空泵
30	磁軌頰板
32	磁軌迴路
34	磁軌迴路
42	路徑

43	路徑
44	路徑
46	中心路徑
49	邊緣
66	絕緣體
70	晶圓
72	晶圓處理腔室
76	下游束流線
86	密封包裝殼
87	線圈端子
94	襯套
210	四極三重態
b	距離

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明之領域係關於將離子佈植至半導體晶圓及其他基板目標中。其特定而言係關於高效佈植分子離子，該等分子離子含有位於週期表中IV族元素C、Si、Ge及Sn之任意側的電摻雜劑物質(諸如元素B、P、As、Sb及In)之多個原子，且亦用於高效佈植含有多個諸如C、Si或Ge之元素原子之分子離子，該等元素現用於改質半導體基板以實現例如非晶化、摻雜劑擴散控制、應力工程或吸除疵點。該等分子佈植，尤其是使用具有大量相關原子(亦即4個或4個以上)之離子之彼等佈植係有用於製造具有臨界尺寸60 nm或更小之積體電路。本發明領域亦係關於亦適於通用單原子摻雜劑離子之佈植器束流線組態，且特定言之係關於可用於佈植所有三類前述離子之多用途佈植器束流線組態。

【先前技術】

對於高劑量、低能量佈植之情況，數年來已深刻認識到使用含有多個相關元素原子之分子離子之潛在優勢。對於給定離子束流，劑量隨相關元素之原子多重性而成比例增大。該等離子可經提取自一源且以更高之能量傳輸至晶圓或其他目標基板，該能量與分子質量對相關元素之原子質量之比率成比例。因此，對於相對高劑量佈植，晶圓產量未受到內部空間電荷力及離子束中固有熱離子溫度之嚴重限制。同時，對於一給定劑量，經由該束傳遞至晶圓之電荷實質上更少。

然而，當試圖在一習知佈植器中使用此等分子離子時需要克服所存在之多個缺陷。首先，一習知離子佈植器之離子源具有相對高之密度，熱電漿及重分子離子實質上由此種源分解，往往導致低分子離子產量。第二，由於離子中之各種數量之氫原子，且亦由於同位素質量之二項分布（若在所產生離子中存在元素的超過一個之同位素），分子離子往往經產生而具有在一範圍中的質量。不同質量離子通常按經由佈植器束流線之不同路徑運動，且因此在晶圓表面上可產生不為吾人所樂見之角度及/或劑量變化。第三，相對高質量之分子離子往往將單原子佈植能量限制為僅數keV，因為習知分析器磁體（及若使用，其他磁體元件）之場強及大小受限。

為使與構造及操作一離子佈植器工具相關聯之商業成本最小化，亦需要具有一多用途、不僅能夠克服與佈植分子離子相關聯之缺陷且能夠佈植常用單原子摻雜劑物質之離子佈植器。

此外，即便對於經構造主要用來佈植常用單原子摻雜劑物質之離子佈植器，需要允許在束中的離子密度之廣泛範圍內高效操作，以滿足通常所需之較大動態劑量範圍，需要關於離子能量解析度及關於免除會使半導體結構降級之離子物質而在目標處提供高離子純度，且需要使離子撞擊晶圓基板並具有較小角分散、良好的角度清晰度及在晶圓表面上的良好劑量均一性。

【發明內容】

描述一種多用途離子佈植器束流線組態，其經構造以使得可佈植常用單原子摻雜劑離子物質及實質上更大、含有一摻雜劑物質之多個原子之分子離子(包括產生自氫硼化合物十硼烷 $B_{10}H_{14}$ 及十八硼烷 $B_{18}H_{22}$ 之離子)。該束流線組態具有一質量分析器磁體，該分析器磁體在該磁體之鐵磁性極之間界定具有一相當大寬度之極間隙及一質量選擇孔隙，該分析器磁體經設定大小以接受一來自一高度至少約80 mm且寬度至少約7 mm之寬區域槽形提取離子源孔隙之離子束，且在該質量選擇孔隙處在一對應於該束之該寬度之平面中產生分散，該質量選擇孔隙能夠設定為一質量選擇寬度，該寬度經設定大小以選擇為相同摻雜劑物質但具有增量變化的分子量的一叢集離子束，該質量選擇孔隙亦能夠設定為一實質上更窄之質量選擇寬度，且該分析器磁體在該質量選擇孔隙處具有一足以允許選擇具有實質上一單個原子量或分子量之單原子摻雜劑離子之一束的解析度。

較佳實施具有一或多個以下特徵。

該質量選擇孔隙能夠設定為一用於單原子離子物質之第一設定及一用於接受產生自含硼化合物之叢集離子、至少為該第一設定之質量選擇寬度之十五倍之第二設定。

該質量分析器磁體在該質量選擇孔隙處用於單原子摻雜離子之解析度至少為60。

該質量分析器經設定大小、構造且布置以在該質量選擇孔隙處在該離子源提取孔隙之寬度之質量分散平面中形成

一共軌映像。在一較佳實施中，該質量選擇孔隙能夠設定為寬度至少為30之孔隙。

該分析器磁體經構造以分析一提取自一至少寬度為12 mm且高度為90 mm之槽形離子源提取孔隙之束。

該質量選擇孔隙能夠設定為一用於單原子離子物質之第一設定至一用於接受產生自叢集化合物之叢集離子、至少為該第一設定之該質量選擇寬度之十五倍之第二設定，且該質量分析器磁體在該質量選擇孔隙處之用於單原子摻雜離子之解析度至少為60。

該離子佈植器束流線與一離子源結合，該離子源經構造成一使用一已形成之電子束之離子化模式來產生電流密度高達約 1 mA/cm^2 之離子，該離子源經構造以接收形式為氣體及加熱蒸氣之饋入材料。在某些情況下，該離子源較佳經構造成交替操作於一使用弧放電之第二離子化模式中。在某些較佳情況下，該離子源具有一寬度約為12.5 mm且高度約為100 mm之槽形提取孔隙。該分析器磁體為一與單一對線圈相關聯之扇形偶極磁體，該磁體具有大體垂直於進入且離開該極間隙之離子束路徑之主軸之入口及出口極邊緣，該分析器磁體對於在垂直於該扇形磁體中該離子束之彎曲平面之平面中的束實質上不具有聚焦效應，一位於該磁體之前的離子聚焦系統在垂直於該磁體之質量分散平面之平面中提供束聚焦。在較佳情況下，該聚焦系統包含與該離子源相關聯之離子提取系統之透鏡元件。

該分析器磁體之該極間隙實質上寬於構造其以傳遞之最

大大小離子束之對應尺寸，且在該等極之面與該束路徑之間存在一石墨或矽襯裏。

界定該極間隙之極部件具有形成有溝槽及墊片之極面，該等溝槽及墊片分別朝向該束路徑之正中面降低及提昇該等極表面，以便以允許相對於該極間隙尺寸使用相對較小之極寬度之方式形成磁場。

界定該極間隙之極部件嵌埋且密封至一非磁性材料之真空外殼之壁，該離子束穿過該真空外殼同時經受該分析器磁體之該磁場作用，且在該等極部件之間的磁體之鐵磁性結構位於該真空外殼之外。

該分析器磁體為一扇形磁體，其經構造成在該極間隙中產生一可調整磁場，包括一超過約10千高斯之場。

該離子佈植器束流線經構造成選擇產生自十八硼烷之約為80 keV之離子。

該質量分析器包含一扇形磁體，該扇形磁體具有一大於約400 mm之半徑 R 、一大於約90度之扇形角 Φ 及一約為200 mm之自極出口至質量解析孔隙之距離 b ，且該質量分析器具有一在約-1.2與-0.80之間的放大率 M 。在一較佳實施中， R 約為500 mm， Φ 約為120度， b 約為195 mm且 M 約為-0.83，該分析器磁體經構造成分析一來自一具有一寬度約為12.5mm之提取孔隙之源之離子束，該分析器磁體具有約為88之質量解析度 $m/\Delta m$ 。

該質量分析器磁體經構造以在約205原子質量單位與約220原子質量單位之間的整個質量範圍上接受離子。

該質量分析器磁體經構造以在約113原子質量單位與約123原子質量單位之間的整個質量範圍上接受離子。

該質量選擇孔隙係由一對可相對旋轉之圓柱形表面界定，該等表面經安裝以圍繞平行偏心軸同步相對旋轉。較佳地，該等圓柱形表面中之至少一者經水冷卻，且帶有一石墨或矽覆蓋。

一多元件四極聚焦透鏡在該束流線之在該分析器磁體之後的部分中，該透鏡經布置以在該束橫截面之正交方向上控制該束之尺寸。較佳地，該透鏡具有至少三個四極元件，且經構造以在該束橫截面之正交方向上同時控制該束之尺寸及角發散，該透鏡較佳為四極三重態聚焦透鏡，較佳為磁性四極三重態聚焦透鏡。

該離子佈植器束流線經構造以產生一具有一狹長橫截面輪廓、進入四極三重態聚焦透鏡之束，其中該束輪廓之長尺寸位於垂直於該分析器磁體中該離子束之該彎曲平面之平面中，與一控制結合，該控制經調適以分別引起該三重態之第一透鏡元件在該長輪廓尺寸上引起聚焦，引起第二透鏡元件具有與該第一元件極性相反之極性，以引起在短尺寸上聚焦且在該長尺寸上散焦，且引起第三透鏡元件具有與該第一元件相同之極性，該等透鏡元件之場強受到控制，以實現在該狹長輪廓之兩個尺寸上同時聚焦。

在該束流線之在該分析器磁體之後的部分中存在多元件四極聚焦透鏡，其較佳具有至少三個透鏡元件，較佳為磁性的，該透鏡經布置以控制該束在該束橫截面之正交方向

上之尺寸，該離子佈植器束流線在該分析器磁體之後及該四極透鏡之前包括一減速單元，該透鏡經調適以被控制以控制由於該束在該減速單元處之減速引起之束發散。

在該束流線之在該分析器磁體之後之部分中存在多元件四極聚焦透鏡，其較佳具有至少三個透鏡元件，較佳為磁性的，該透鏡經布置以控制該束在該束橫截面之正交方向上之尺寸，且該離子佈植器束流線與一離子源組合，該離子源用於產生該等叢集離子中之至少一者之一離子束，該分析器磁體之該質量選擇孔隙經調整以發射為相同叢集離子物質之一質量範圍的離子，該四極透鏡之該等透鏡元件之個別場強經調整以同時且實質上移除目標基板處之角偏差，該偏差原本將由於該離子束中的離子之不同質量之範圍而發生。較佳地，此系統經布置以在低能量、高劑量佈植情況下產生含硼叢集離子之高射流。

該離子佈植器束流線具有一包含四個分別纏繞於四個鐵磁性核心件周圍之線圈之磁性四極透鏡元件，該等核心件緊固至鐵磁性極零件，該等極零件穿入且密封至該束所通過之非鐵磁性材料之真空外殼，以相反極性纏繞相鄰線圈以在該四極之間的區域中產生四極場，磁通量經由核心件自一極返回至另一極，該等核心件經由鐵磁性磁軛結構而磁性耦合。

該離子佈植器束流線包括一在該四極透鏡之後的經布置成掃描該離子束之磁性掃描器，及一經構造以與該掃描器協作以使得可在目標基板上平行掃描該束之準直儀。

在一較佳實施中，該離子佈植器束流線具有大體為以下值之束流線特徵及參數：

A. 分析器磁體： $R=500$ mm、 $\phi=120^\circ$ ； $G=118$ mm； $s_1=31$ mm； $s_2=8.6$ mm； $h_1=8.7$ mm； $h_2=4.7$ mm； $W=166$ mm；彎曲功率=80 keV十八硼烷。

B. 質量選擇孔隙：最小約8 mm至最大約38 mm。

C. 四極三重態聚焦透鏡：孔隙：極端之間對角80；極端場可調整0-5千高斯。

亦描述一離子佈植器束流線組態，其經構造以使得可佈植含有一相關峰值附近的多種質量之叢集離子之分子離子，該束流線組態具有一質量分析器磁體，其界定一在該磁體之鐵磁性極之間的極間隙及一質量選擇孔隙，該極間隙經設定大小以自一產生該等叢集離子之低密度離子源接受一離子束，該質量選擇孔隙能夠設定為一質量選擇寬度，該寬度經設定大小以選擇為相同摻雜劑物質但具有增量變化的分子量的叢集離子束，該離子佈植器束流線在該束流線之在該分析器磁體之後的部分中包括一多元件聚焦系統，其包含多個四極聚焦元件，該透鏡系統之該等透鏡元件之個別場強經調整以控制該束在該束橫截面之正交方向上之尺寸，且同時且實質上移除目標基板處之角偏差，該角偏差原本將由於該離子束中之該等叢集離子之不同質量之範圍而發生。

實施可具有一或多個以下特徵。

該離子佈植器束與一離子源結合，該離子源經構造成以

一使用一已形成之電子束之離子化模式產生電流密度高達約 1 mA/cm^2 之離子，該離子源經構造以接收形式為氣體或加熱蒸氣之饋入材料。

該質量選擇孔隙能夠經設定以選擇質量在約113至約123原子質量單位之間的範圍中的離子及質量在約205原子質量單位至約220原子質量單位之間的範圍中的離子。

該透鏡系統具有至少三個四極元件，且經構造成藉由四極場在該束橫截面之正交方向上同時控制該束之該等尺寸及角發散，該透鏡系統較佳為四極三重態聚焦透鏡，其較佳為磁性四極三重態聚焦透鏡。

該離子佈植器束流線經構造以產生一具有一狹長橫截面輪廓、進入該四極三重態聚焦透鏡之束，其中該束輪廓之長尺寸位於垂直於該分析器磁體之彎曲平面之平面中，與一控制結合，該控制經調適以分別引起該三重態之第一透鏡元件在該長輪廓尺寸上引起聚焦，引起第二透鏡元件具有與該第一元件極性相反之極性，以引起在短尺寸上聚焦且在該長尺寸上散焦，且引起第三透鏡元件具有與該第一元件相同之極性，該等透鏡元件之場強受到控制，以實現在該狹長輪廓之兩個尺寸上同時聚焦。

在該分析器磁體之後且在該透鏡系統之四極透鏡元件之前包括一減速單元，此四極透鏡元件經控制以控制由該束在該減速單元處之減速引起之束發散。

該減速單元之後有一個四極三重態透鏡。

該離子佈植器束流線在該分析器磁體之後包括一減速單

元，其中該減速單元安置於一對四極聚焦元件之間，在該減速單元之外的四極透鏡元件經控制以控制由該束在該減速單元處之減速引起之束發散。在較佳形態中，該減速單元經構造為亦可實現離子加速。在較佳形態中，該離子佈植器束在該減速器或加速器及後續四極元件之後包括至少一磁性束流線元件，該減速器或加速器經控制以使得該離子束中具有不同質量之離子可交叉，以抵消發生於該磁性束流線元件處、可歸因於該離子束中該等不同質量離子之質量分散。

該離子佈植器束流線具有一最終能量磁體，其後有一磁性掃描器及一磁性準直儀，在相同方向上轉動該磁性掃描器及準直儀，且在相反方向上轉動該最終能量磁體。該離子佈植器束流線在該質量選擇孔隙之外包括一可將該等離子自源提取能量後加速或減速至一不同能量之圓柱形三電極後加速器結構，該後加速器之中心電極經連接以被供應一可調整電壓，以在該離子束穿過該後加速器區域時獲得該離子束之各種聚焦度，且四極元件位於該後加速器之任一側，在該後加速器之後存在一用於移除在後加速(或減速)期間以一不當能量產生之離子或中性粒子之最終能量磁體，該最終能量磁體之後為一磁性掃描器，該磁性掃描器與一準直儀透鏡協作，該準直儀透鏡在與該掃描器磁體相同之意義上彎曲該束，調整四極元件以及後加速器聚焦電極之強度以最佳化在目標基板處之束大小及角發散，且最小化角偏差，該角偏差原本將由於多種質量離子之存在

而發生。在較佳形態中，相對於最終能量磁體而協調調整四極元件以及後加速器聚焦電極之強度，以實質上消除在目標基板處、可歸因於離子束中多種質量離子之存在的離子束之加寬。

該質量分析器磁體之該間隙經設定大小以在垂直於該分析器磁體之彎曲平面之方向上接受一來自一最小橫截面尺寸至少為80 mm之離子源提取孔隙之離子束，在較佳實施中，該分析器磁體之該質量選擇孔隙係可調整為一寬度在約8 mm與約38 mm之間的孔隙。

該離子佈植器束流線經構造以於該質量選擇孔隙處聚焦一提取自一寬度至少為10 mm之槽形離子源提取孔隙之束。

該分析器磁體之該極間隙實質上寬於構造其以傳遞之最大大小離子束之對應尺寸，且在該等極之面與該束路徑之間存在一石墨或矽襯裏。

界定該極間隙之極部件具有形成有溝槽及墊片之極面，該等溝槽及墊片分別朝向該束路徑之正中面降低及提昇該等極表面，以便以允許相對於該極間隙尺寸及該束橫截面尺寸使用相對較小之極寬度之方式形成磁場。

界定該極間隙之極部件嵌埋且密封至一非磁性材料之真空外殼之壁，該離子束穿過該真空外殼同時經受該分析器磁體之該磁場作用，且在該等極部件之間的磁體之鐵磁性結構位於該真空外殼之外。

該分析器磁體為一具有一約為500 mm半徑之扇形磁

體，且經構造以在該極間隙中產生一可調整磁場，包括一超過約10千高斯之場。

該束流線經構造以選擇產生自十八硼烷之約為80 keV之離子。

該質量分析器包含一扇形磁體，該扇形磁體具有一大於約400 mm之半徑R、一大於約90度之扇形角 Φ 及一約為200 mm之自該極出口至該質量解析孔隙之距離b。較佳地，R約為500 mm， Φ 約為120度，b約為195 mm，且該分析器磁體經構造以分析一來自一具有一寬度約為12.5 mm之提取孔隙之源之離子束。

本發明之另一態樣為一叢集離子束佈植器，其具有一能夠藉由電子撞擊而離子化一材料以產生叢集離子之離子源，在一真空外殼中該佈植器具有一位於該質量分析器磁體之後的束掃描器及準直儀，及一用於接納一負電性氣體至該掃描器及準直儀之該真空外殼之區域中以提供中和離子至該束之系統。一實施使用SF₆作為負電性氣體。

亦描述一提供一用於離子佈植器束流線之可調整質量選擇孔隙之設備，其中該質量選擇孔隙係由一對可相對旋轉之圓柱形表面界定，該等表面經安裝以圍繞平行偏心軸同步旋轉。

較佳實施具有一或多個以下特徵。

該等圓柱形表面中之至少一者經水冷卻，且帶有一石墨或矽覆蓋。

該設備包含兩個嚙合、相對旋轉之偏心水冷卻空心非鐵

材料圓柱體，其各由各別的石墨或矽襯套覆蓋，該等圓柱體經安裝以圍繞平行偏心軸相對旋轉，從而產生一與離子佈植器之束流線對準之可調整之質量選擇孔隙。

該設備經構造以提供解析狹縫寬度，該等解析狹縫寬度包括一用於離子佈植之最小解析狹縫寬度及為該最小解析狹縫寬度之約4至6倍之間的寬度，較佳地，該設備具有一至少約為38 mm之最大離子選擇狹縫寬度。

使用所述特徵，提供一用於商業離子佈植器之束流線及離子源系統，其能夠滿足製造具有臨界尺寸60 nm或更小之積體電路所需之高劑量、低能量佈植之挑戰。將產生自源之強烈氫硼化物離子束 $B_{10}H_x^+$ 或 $B_{18}H_x^+$ 用於對於低能量、高劑量應用(諸如多晶矽閘及源極汲極擴展佈植)實現商業上可接受之晶圓產量。束傳輸元件(自離子源至晶圓)經調適以在佈植能量為2-4 keV時實現大於30 pA之晶圓硼電流，且在能量低至200 eV時實現大於3 pA之電流。此等高電流係在低能量下獲得，而不需在晶圓之前減速。因此，照射晶圓或其他目標表面之束在能量方面相當純淨，且免除了高能量組件(其一般而言可能使淺接面佈植降級)。

多個四極束聚焦元件(例如，磁性四極三重態)補償離子佈植束流線之質量分散特性，以避免目標表面處之角偏差(其原本將由於選定氫硼化物離子束中不同質量之範圍而發生)。

本發明之此等態樣之較佳實施具有一或多個以下特徵。

使用一非常高電流的氫硼化物離子源，該離子源使用一已形成之電子束，而非一高密度電漿來離子化氫硼化物蒸氣。

該分析器磁體具有一大的工作孔隙以自該離子源之一大孔隙(例如，12.5 mm寬×100 mm高)接受該束。

該分析器磁體經構造以能夠分析80 keV之十八硼烷離子，對應於4 keV硼粒子佈植能量(或在十硼烷情況下為7 keV)。

該束流線經構造以在飄移模式中實現高束電流，而不需在晶圓之前使用減速，因此避免了在減速之前或期間中和的更高能量粒子的不當佈植。

結合一寬源狹縫寬度，該分析器磁體系統具有質量解析度 $m/\Delta m > 60$ ，其足以允許使用習知以及氫硼化物離子。

不但藉由使用氫硼化物離子而獲得具有高晶圓產量效能之束流線，束流線系統亦經構造以能夠例如以12.6原子質量單位MeV之質量能量能力傳輸最大能量高達80 keV之習知單原子離子。

該束流線裝有一通用離子源，該離子源能夠提供習知及氫硼化物離子以滿足廣泛或甚至可完全利用之工具之需求，其實際上使得設備(具有60 nm或更小之臨界尺寸之設備)製造成本最小化。

根據本發明之另一態樣，如剛才所述之系統經構造以在100-200 HZ範圍內的頻率下在晶圓上平行磁性掃描該離子束。

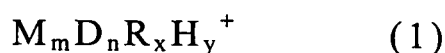
根據本發明之另一態樣，多個四極束聚焦元件(例如，磁性四極三重態)補償離子佈植束流線之質量分散特性，以避免目標表面處之角偏差(其原本將由於選定氫硼化物離子束中不同質量之範圍而發生)，該束流線系統在離子束路徑中具有一交叉點，接著為一分散元件，該系統經構造以實質上消除在該目標表面處該束之水平加寬以及角偏差(其原本將由於多種質量離子之存在而發生)。

前述態樣及特徵之一或多個實施例之詳情闡述於附圖及以下描述中。本發明之其他特徵、目標及優勢自描述及圖示及申請專利範圍將係顯而易見。

【實施方式】

現參看附圖，其中相同部件以相同參考標號引用，且功能類似之部件由加撇號之相同參考標號引用，圖1示意說明一離子佈植器束流線之一實施例，該離子佈植器束流線可用於高效佈植含有位於週期表中IV族元素C、Si、Ge及Sn的任意側之電摻雜劑物質(諸如元素B、P、As、Sb及In)之多個原子之分子離子，且亦可用於高效佈植含有諸如C、Si或Ge的元素之多個原子之分子離子，該等元素有用於改質半導體基板以實現例如非晶化、摻雜劑擴散控制、應力工程或吸除疵點。該等分子離子可有用於製造臨界尺寸為60 nm及更小之積體電路。下文中，該等離子將統一稱作"叢集"離子。

單電荷叢集離子之化學組合物具有通式



其中M為可用於基板之材料改質之原子(諸如C、Si或Ge)；D為用於將電荷載子佈植入基板之摻雜原子，諸如B、P、As、Sb或In(來自元素週期表之III族或IV族)；R為自由基、配位體或分子；且H為氫原子。一般而言，R或H僅作為需要用來製備或形成穩定離子之完整化學結構之部分存在，且佈植製程並不特定需要其。一般而言，H對佈植製程無顯著損害。此對於R應同樣。舉例而言，R含有諸如Fe之金屬原子或諸如Br之原子將是不當的。在以上等式中，m、n、x及y均為大於或等於零之整數，其中m及n之和大於或等於2，亦即 $m+n \geq 2$ 。在離子佈植中，特別關心的是具有高M及/或D原子多重性之叢集離子，亦即 $m+n \geq 4$ 之彼等離子，此是因為其對於低能量、高劑量佈植具有改良之效率。

可用於材料改質之叢集離子的實例為衍生自諸如 $C_7H_y^+$ 、 $C_{14}H_y^+$ 、 $C_{16}H_y^+$ 及 $C_{18}H_y^+$ 之鄰接苯環之彼等離子。

可用於摻雜之叢集離子的實例為：

- 氫硼化物離子： $B_{18}H_y^+$ 、 $B_{10}H_y^+$ 。
- 碳硼烷離子： $C_2B_{10}H_y^+$ 及 $C_4B_{18}H_y^+$
- 磷氫化物離子： $P_7H_y^+$ 、 $P_5(SiH_3)_5^+$ 、 $P_7(SiCH_3)_3^+$ 。
- 砷化氫離子： $As_5(SiH_3)_5^+$ 、 $As_7(SiCH_3)_3^+$ 。

一般技術者可瞭解使用除以上實例中列出之彼等外之叢集離子之可能性，包括：含有用於材料改質之Si及Ge之離子、具有不同數量之摻雜劑原子及其不同同位素之離子，及具有不同異構結構之離子。通常亦以更小產率形成雙電

荷叢集離子，在此情況下其對於高劑量、低能量佈植而言並不十分有用。

本發明領域亦係關於亦適於通用單原子摻雜劑離子之佈植器束流線組態，且特定言之係關於可用於佈植所有三類前述離子之多用途佈植器束流線組態。

藉由在一提取電極14與離子源腔室10之間施加一通常範圍在1 kV至80 kV之加速電壓(V_e) 13，經由一孔隙12自一離子源本體11內之離子源腔室10提取離子。藉由經由一絕緣饋通8向提取電極14施加一相對於離子源真空外殼15及抑制器電極7為負之2-10 kV電壓(V_s) 9來抑制回流電子。抑制器電極7與離子源真空外殼15電位相同。一環形絕緣體16將離子源本體11與離子源真空外殼15絕緣。在一有用商業實施例中，孔隙12為寬度 $w_s=12.5$ mm且高度 $h_s=100$ mm之槽形。此種孔隙寬度大於通常用於離子源(通常用於製備習知離子，諸如 B^+ 、 P^+ 、 As^+ 、 BF_2^+ 等等)之約3-5 mm之間的範圍。大離子源孔隙寬度及高度(提供總面積 125 mm²)之目的在於提供一大面積以自其提取叢集離子。此係因為對於可用於產生叢集離子之一類源(參閱圖14-16B及相關描述)而言，腔室10內離子密度低，因為離子源使用一已形成之電子束，而非一高密度電漿來使得用來製備叢集離子之蒸氣離子化。舉例而言，此種類型離子源能夠製備氫硼化物離子而不明顯分解源中的氫硼化物蒸氣，且在孔隙12為較大尺寸之情況下，能夠製備可滿足對於非常高劑量雙多晶矽閘結構及劑量中等但硼源極及極擴展佈植能

量非常低之當前重要商業晶圓產量需求的高氫硼化物離子流。

藉由一真空泵17在離子源真空15外殼中維持一通常在約 10^{-6} - 10^{-4} 托之間的真空。參看圖11，產生於提取電極14與離子源本體11及孔隙12之間的電場形成一大致單能帶狀離子束19，其中高度尺寸類似於離子源孔隙高度 h_s 之尺寸，且最小寬度 w_b (56)大致等於離子源孔隙12之寬度 w_s (5)的一半，亦即 $w_b \approx 0.5w_s$ 。此寬度 w_b 位於離子源孔隙12與提取電極14之區域59中。大體調整離子源孔隙與提取電極之間的時間隔 d (57)以對於給定離子物質、離子能量、離子質量及離子束流而最佳化提取及束形成。

自離子源11提取之後，束19穿入一真空外殼20且接著進入一偶極磁體21之磁場間隙 G (圖1及圖2)，在其中束包絡變成類似橢圓形。磁體21包含電流承載線圈40及以下鐵磁性組成部件：極26、核心28、磁軛頰板30、磁軛迴路32及34。特定參看圖2，使DC電流穿過線圈總成40會在極26之間的時間隙中在大體垂直方向上產生一靜磁場24，其中"垂直"定義為源孔隙12之長方向，且對於圖1及2中所示實施例而言，此方向與磁體21之大體"水平"彎曲(分散)平面正交。

自離子源11之氣體排出物由位於離子源外殼上之真空泵17移除。該真空泵具有足夠容量(例如1000-2000公升/秒)以在離子源外殼15中維持一在約 10^{-6} - 3×10^{-5} 托之間的真空壓力。為便於維持離子源10、11，可使用一真空閥23將離

子源外殼15自磁體真空外殼20隔離。磁體外殼20為非鐵磁性材料(例如，鋁)，以防止與磁體之磁性相互作用。其由一真空泵29抽空。

作用於離子之電荷上的由磁場24產生之徑向力引起離子在磁體21之水平彎曲平面中沿大體圓形路徑42、43及44運動。由於提取自離子源腔室10之離子全部具有大致相同能量，因此磁體21使與沿磁體極間隙中之中心路徑46移動之離子42相比擁有分別較高及較低質量之離子43及44之軌道在空間上分離。藉由構造合適大小之磁體，可將該磁場24設定於自小於一千高斯至約12千高斯之範圍內，且可在一寬質量範圍上調整該磁場以選擇一對應於遵循中心路徑46之離子42之給定質量。在一實施例中，中心路徑46具有一約為500 mm之半徑，在此情況下在一約為12千高斯之場中，磁性分析器能夠選擇產生自十八硼烷($B_{18}H_{22}$)蒸氣之80 keV離子，對應於4 keV硼佈植能量，此通常為當前雙多晶矽閘摻雜所需之最高能量。同樣，其能夠選擇產生自十硼烷($B_{10}H_{14}$)蒸氣之80 KeV離子，對應於7 KeV硼佈植能量。

參看圖1及11，自提取電極14出現之離子42之路徑在水平平面中通常具有一相對於該中心參考路徑46、在約-50毫弧度至+50毫弧度之角度範圍，此可歸因於諸如該等離子在離子源腔室10中其起始點之熱運動及作用於相同電荷之離子之間的庫倫(coloumb)力之因素。在一實施例中，極26之形狀在該間隙中產生一磁場24，其引起一選定質量之

離子路徑在該磁體之出口處在水平平面中朝向一狹縫形質量解析孔隙50重新回聚，以使得可實現質量選擇。磁性分析器21之本實施例之一重要態樣在於，此質量選擇孔隙50位於一沿該束路徑之點，該點靠近孔隙寬度12之相對於橫向、水平離子運動之離子光學共軛映像。該共軛映像之光學放大率M通常在約-0.8至-1.2之間，負號表示形成真實倒立映像。若該質量解析狹縫50之寬度設定為一等於離子束腰部寬度 $w_b \approx 0.5w_s$ 與放大率M之乘積之值 w_r ，亦即

$$w_r \approx 0.5|M|w_s \quad (1)$$

則在一約-50毫弧度至+50毫弧度之水平角度內自離子源11出現之選定質量m之大部分離子42將穿過解析狹縫50聚焦(除了經由與真空外殼20中之殘餘氣體碰撞而偏轉或中和的一較小百分比之離子)。

參看圖6，該磁性分析器系統21之一性質為，其使束分散，其中在質量解析孔隙50處，質量為 $m \pm \Delta m$ 之離子(102, 103)與選定質量m之離子(104)(其沿中心束路徑46移動)分離一距離 Δx (101)。不需之離子質量可由一擋板(未圖示)或由用來形成孔隙50之材料體51來擋止。對於習知單原子摻雜劑離子之情況，通常需要 $m/\Delta m \geq 60$ 之質量解析度，意謂若(比如)質量為60原子質量單位之離子穿過解析孔隙50之中心，則質量 ≥ 61 原子質量單位或質量 ≤ 59 原子質量單位之離子將被排斥。偶極磁體之聚焦及分散效應原理由Enge詳細描述於Focusing of Charged Particles，第4.2章，Deflecting Magnets，編輯A. Septier，第203-264頁中。

參看圖3及圖6，對於當束中心路徑46大體正交於出口極邊緣49，且在極26之間作用於束22在中心路徑46周圍之區域的磁場大體均勻且垂直之情況，質量變化 $\Delta m/m$ 之間隔 Δx 大致為

$$\Delta x = D(\Delta m/2m) \quad (2)$$

其中D稱作磁體分散性且由以下給出

$$D \approx R(1 - \cos \varphi) + b \sin \varphi \quad (3)$$

在以上等式中，R為中心路徑46之半徑53， φ 為離子在沿中心路徑46穿過磁體時彎曲之角度54，且b (55)為自出口極之有效場邊界至質量解析孔隙50之距離。在解析孔隙寬度為 w_r 時，為了實現質量解析度 $m/\Delta m$ ，其遵循等式(1-3)：

$$m/\Delta m = D/2w_r \approx D/|M|w_s \approx \{R(1 - \cos \varphi) + b \sin \varphi\}/|M|w_s \quad (4)$$

如之前所提及，需要大的源孔隙寬度 w_s 來提取高氫硼化物離子流且滿足對於雙多晶矽閘及源極汲極擴展硼佈植之當前晶圓產量需求。此等磁性分析器實施例之一重要態樣在於，其提供一多用途系統，即便在大源孔隙寬度 w_s 之情況下，該系統具有一足夠高之質量解析度以便亦使用習知離子。參考等式3，已發現，此可藉由使用一足夠大之半徑R及彎曲角度 φ 而實現。在一有用商業實施例中， $R=500$ mm， $\varphi=120^\circ$ ， $b=195$ mm且 $M=-0.83$ ，在此情況下，對於源孔隙寬度 $w_s=12.5$ mm，質量解析度 $m/\Delta m \approx 88$ ，且因此足以用於習知離子。使用大彎曲角度 φ 之意義展示於圖7中，其中對於共軛映像位置 $b=195$ mm而相對 φ 繪製了 D/R 。使彎曲角度自 60° 加倍至 120° 會將分散性D擴大超過兩倍且因此

將質量解析度 $m/\Delta m$ 擴大超過兩倍。

參看圖 8A 及 8B，極 26 之間的空間(束通過其中)具有一間隙高度 G (106)，該高度 G 通常比該源孔隙之高度 h_s 大大約 10 至 20 mm，以提供束穿過磁體之暢通通道，且亦使得可用例如石墨(116)或矽形成極表面之襯裏，以排除由於射束打擊而自鐵磁性極材料濺射的不需之重金屬雜質。對於一給定最大磁場容量，磁體質量與間隙中工作磁性體積 V 成比例，體積 V 又為穿過極之路徑長度 ϕR 、間隙尺寸 G 及極寬度 W 之乘積，亦即

$$V \approx \phi R G W \quad (4)$$

吾人已自等式 3 觀測到，對於一寬源狹縫 w_s ，為了實現 $m/\Delta m \geq 60$ 之質量解析度，高分散性需求要求 ϕ 及 R 具有大值。其次，為了實現高氫硼化物離子流，間隙 G 必須亦較大以容納來自大高度源孔隙之離子。總之，根據等式 4，僅可使用合適的高工作磁性體積且因此高磁體質量來實現此等需求。最後，為了能夠執行 4 keV 硼佈植，對於雙多晶矽閘佈植，使用 80 keV 十八硼烷，磁軛及線圈質量必須足夠高以支援間隙中的對應高磁場，該磁場必須為 12 千高斯，即便對於彎曲半徑 $R=500$ mm 之情況也是如此。根據等式 4，最小化工作磁性體積 V 之唯一理由係最小化極寬度 W (108)。不幸地，不能相對於間隙尺寸 G (106) 及束 22 之橫截面尺寸任意降低該寬度，因為在間隙場中會產生二階及更高階項，從而產生在質量解析孔隙 50 處加寬射束之偏差，此實際上將降低質量解析能力。在一有用商業實施例

中，如圖 8A 及 8B 中所示，極 26 之外邊緣形成有溝槽 112 及墊片 111，其分別朝向正中面 117 降低及提昇極 26 之表面。兩個墊片(每側各一)相對於中心區具有寬度 s_1 (107) 及高度 h_2 (115)。相對於墊片頂端，緊靠在各別墊片內側之兩個溝槽具有寬度 s_2 (109) 及深度 h_1 (114)。已發現此技術允許相對於間隙尺寸 G (106) 及束 22 之橫截面尺寸使用一顯著更小之極寬度 W (108)，而仍維持對工作間隙中之場形狀的充分控制，來防止在解析孔隙 50 處加寬該束的二階、三階及四階偏差。

為了進一步控制三階偏差，另一實施例可在圖 8A 之極的左及右側上使用略微不同之溝槽及墊片參數。

具有 118 mm 的標稱均勻間隙 G 及 166 mm 之極寬度 w 的所說明之實例足以接受自離子源孔隙出現之束，同時為覆蓋極面之石墨或矽襯裏 116 提供空間。

在該實例中，為了實現一簡單健壯設計，該磁體之入口及出口極邊緣垂直於射束軸，且在磁體之工作間隙中不存在顯著的一階場梯度(亦即，該磁體在非分散、垂直平面中不產生任何聚焦，此係由下述其他規定來處理)。因此，在分散平面中，源物件及質量解析孔隙 50 之共軛映像點由巴伯規則 (Barber's rule) 簡單地確定(參閱 Enge, *Focusing of Charged Particles*, 第 4.2 章, *Deflecting Magnets*, 編輯 A. Septier, 第 203-264 頁)。在一特定實例中，物件源點設定在有效入口場邊界前 400 mm，且質量解析孔隙距磁體之有效出口場邊界為 $b=195$ mm。400 mm 之

物件距離為能夠高速真空抽吸之泵17、嵌入之真空隔離閥23及寬能量範圍提取光學系統14、7提供空間。

儘管此設計在廣泛範圍內為本發明之最廣泛態樣提供優良效能，但該磁性分析器系統不應限制於前述描述。一般技術者可理解該分析器光學系統之各種實施，以提供所要的多用途能力，包括：在極之間使用具有一階及二階梯度的不均勻之磁場來控制聚焦、偏差及分散；選擇彎曲角度、半徑、極間間隙及磁場範圍；相對於磁體入口置放離子源；相對於磁體出口設定質量解析孔隙之位置及大小，及設定相對於共軛映像點之精確位置；選擇特定極形狀墊片及溝槽來最小化在質量解析孔隙處的二階及更高階映像加寬。

一經常遇到且發生於使用含有一摻雜物質之多個原子之氫硼化物離子時之叢集離子特性為，離子經製備而具有不同數目的氫原子且因此具有不同質量。參看圖9，藉由在一使用一已形成之電子束之類型的離子源(諸如以下關於圖14及15A更詳細描述者)中離子化十八硼烷 $B_{18}H_{22}$ 蒸氣而產生之離子的高解析度質譜展示產生了一系列離子質量，其對應於含有不同數量氫原子之單電荷離子之形成且亦對應於構成離子中的18個硼原子的兩種同位素硼質量之不同混合物。自實現高離子流之觀點，自圖9中譜亦清晰得出，所產生之全部離子散布於大範圍的質量峰值上，且因此接受質量自約205原子質量單位至約220原子質量單位之所有離子係有用的，其對應於 $m/\Delta m \approx 16$ 。為了經由解析孔

隙50發射此完整範圍之質量，該質量解析孔隙之寬度 w_r 需要為在半導體晶圓中佈植習知離子的情況下的寬度之約4至6倍，例如，孔隙範圍在約8與38 mm之間。類似考慮應用於自十硼烷 $B_{10}H_{14}$ 產生之離子，其中接受質量在約113原子質量單位與約123原子質量單位之間的範圍內之離子係有用的。因為氫硼化物質量在數值上較不需之雜質離子之質量更高，所以該種具有一對應的較低質量解析度之寬解析孔隙係可接受的。可自用於習知離子之小寬度連續或步進調整至大寬度(以接受若干峰值之氫硼化物離子)之質量解析孔隙寬度為多用途質量分析器系統之實施例之一重要態樣。相同考慮通常適用於其他叢集離子，且特定言之適用於不同有用叢集離子之前述實例。

參看圖10A、10B、10C及10D，一可連續調整之質量解析孔隙之有用商業實施例包含兩個啣合、相對旋轉、偏心水冷卻不銹鋼或其他合適非鐵材料圓柱體140。石墨圓柱形襯套142緊固於此等圓柱體之外側之上，以避免入射離子束144使不當之重金屬雜質自圓柱體140濺射。(可類似使用矽襯套142)。圓柱體140及其各別石墨襯套142繞偏心中心143及145相對旋轉，產生一軸向對準、可調整之質量解析孔隙寬度，圖10A中展示於一最小寬度150處，且經180度旋轉之後在圖10B中展示於一最大寬度151處。在一實施例中，該最小孔隙寬度150約為8 mm且該最大值約為38 mm。藉由適當調整圓柱體140及襯套尺寸142及旋轉中心143及145之位置，其他值及範圍係可能的。冷卻水或其

他合適流體可通過圓柱體140中之孔146。通常需要冷卻來移除由射束截留產生之熱量(尤其當離子束144包含高電流、高能量習知離子之情況時)。一電驅動馬達148經由齒輪152及軸承塊及旋轉真空密封件154而使圓柱體140旋轉。該整個總成安裝於凸緣156上，該凸緣可配合且密封入分析器磁體真空外殼20中。一具有一出口孔隙161之石墨板159亦可充當下述之減速系統之第一電極。

該可調整質量解析孔隙(質量選擇狹縫)應不限於前述描述。一般技術者可理解各種實施，包括：用於冷卻、嚙合、馬達驅動及安裝、旋轉角度及真空密封之不同幾何布置；使用旋轉翼片而非圓柱體；及使用直線運動而非旋轉運動。

圖2及圖8A中所示實施例之一重要態樣在於，極26穿入且密封入真空外殼20中，其為實際上使磁效率最大化的布置，因為極26之間的空間未由於存在非鐵磁性材料(通常用於構造真空外殼)而減小。因為在極26與核心28之相鄰表面之間無氣隙，所以磁效率得到進一步改良。真空外殼20及極26夾在核心28之表面之間，但在不拆卸磁體之其他部件的情況下，可被輕易撤出，此實際上使維護成本最小化。

用於該等極之密封布置圖示於圖8C中。該極具備一沿極26之每一邊緣延伸之橫向突出肋26A。每一肋被捕獲於一形成於外殼壁中該極之開口處之凸耳20A與一經由一螺釘緊固件(未圖示)固定至該外殼之上覆固持帶27之間。一可

壓縮真空密封元件經捕獲且壓縮於一形成於肋26A之外邊緣表面與外殼20及固持帶27之表面之間的通道中。

參看圖1及圖2，使該偶極磁體之該對線圈總成40之輪廓緊密圍繞且遵循極26及核心28之一般平面圖形狀，以最小化該等極之間的工作間隙之外的偏離磁通量，且因此最小化磁軛件30、32及34之重量及成本。在圖4中所示之一有用商業實施例中，線圈總成40可包括串聯電連接之四個單獨的繞組元件80A、80B、80C及80D。舉例而言，繞組元件80A-D可各自由60匝尺寸為1.626 mm×38.1 mm之銅帶製成，且連續纏繞並具有匝之間的0.08 mm厚之電絕緣體。諸如聚酯薄膜或聚醯亞胺之絕緣體係合適的。線圈電流可高達240 A且線圈端子之間的總電壓可高達120 V(直流電)，對應於總線圈功率為28.8 kVA。對於極26之間120 mm之間隙尺寸，此足以在該等極26之間的工作間隙中產生大於10千高斯之磁場24。

在一實施例中，三個冷卻板82B、82C及82D安置於每一對相鄰放置之繞組元件80A-D之間。外冷卻板82A及82E位於繞組元件80A及80D之外表面上。冷卻板82A-E可具有任何合適厚度，例如10 mm。冷卻板82A-E提供一用於移除或消散產生自通過繞組元件80A-D之電流之歐姆熱的構件。諸如水之冷卻流體可經由插入於冷卻板82A-E中之冷卻管道84(例如銅管道)而在冷卻板82A-E中循環。所述結構實施例之一重要態樣為，冷卻管道84與繞組元件80A-D電絕緣。在水冷卻之情況下，冷卻管道84與繞組元件80A-

D電絕緣在很大程度上消除了電解及使用去離子冷卻水之需要，此實際上最小化了操作成本及維護。

參看圖5，在一實施例中，插入之玻璃纖維布81可用作一用於電絕緣繞組元件80A-D與冷卻板82A-E之構件。亦可用玻璃纖維帶纏繞整個線圈總成40且用環氧樹脂真空浸漬整個線圈總成40，以實現一單個、硬質、密封線圈總成40。線圈總成40應擁有抵抗由操作期間之熱膨脹及收縮產生的應力之高完整性。繞組元件80A-D邊緣與冷卻板82A-E之相鄰表面之間的經樹脂浸漬之玻璃纖維提供足夠高的熱導率，以有效轉移熱，在一實施例中，此可為29 kW。

線圈總成40之實施例應不限於前述。一般技術者可理解各種實施，包括任何可用數目之繞組元件80A-D及冷卻板82A-E(例如分別為兩個及三個)；諸如鋁之其他合適用於繞組元件80A-D之材料。另外，繞組元件80A-E可藉由使用矩形、正方形或圓形實心銅或鋁線(而非帶)製成。在一替代實施例中，矩形、正方形或圓形銅或鋁管可用於該等繞組元件80，可藉由使去離子冷卻流體通過導體管道之孔而直接冷卻該等繞組元件(而非使用經由熱傳導至冷卻板82A-E之間接冷卻)。

可經由其他方法及材料實施匝間絕緣，諸如用一絕緣帶纏繞該導體、在該導體上滑動一絕緣襯套或以絕緣薄膜覆蓋該導體(例如漆包銅或陽極化鋁)。

在一實施例中，在離子束自質量解析孔隙50出現之後，能夠使其減速。減速可有助於低能量、高劑量佈植之情

況，因為可自源提取習知或氫硼化物離子且以高於最終佈植能量之能量經由分析器磁體傳輸。在該較高之能量時，內部空間電荷力效應及束中熱離子溫度對於可實現於解析孔隙50處之束電流之量值的限制更小。在一實施例中，減速係藉由使束通過一序列的三個非鐵磁性電極60、61及62而實施，如圖1及圖3中所示。一量值通常為0-30 kV之減速電壓(V_d) 64可施加於電極60與62之間來使離子減速至一較低能量。圖1中所示之減速器實施例可包含於真空外殼20中，且最終能量電極62藉由絕緣體66而與外殼20絕緣。在存在減速電場之情況下，空間電荷中和電子被清除出該束。藉由經由一安裝於真空外殼20上之饋通63施加一電壓(V_f) 65至中間聚焦電極61來抵消所得的發散空間電荷力。電壓 V_f 通常為0-30 kV，其相對於電極62為負。

離子減速器之實施例不限於圖1及圖3中所示之特定布置，且一般技術者可理解使特定入射離子束條件下的離子減速最佳化之各種實施，包括：任何數目之可用電極(例如，兩個、三個、四個等等)；具有圓形或槽形孔隙之電極；平面或曲面電極，用於構造電極的輕或重的非鐵磁性材料，諸如鋁、石墨或鈿；及各種真空組態，其中視離子佈植器之特定組態而定，該等電極安裝於磁體真空外殼20中，或安裝於一單獨的真空外殼中。

當離子減速器被啟動時，磁體真空外殼20及該磁體之其他部件電連接至該真空外殼，諸如極26、核心28及磁軛部件30、32及34，其全部必須以一對應於減速電壓 V_d (64)之

電壓而相對於地電位偏壓，亦即，以一在範圍 0-30 kV 內、相對於地電位為負之電壓偏壓。

在該實施例之一重要態樣中，整體繞組 80A-D 及冷卻板 82A-E 經包裹於多孔絕緣材料(諸如玻璃纖維)中，且經環氧樹脂真空浸漬，以在整個線圈總成 40 周圍形成厚度大致為 6-8 mm 之密封包裝殼 86。在另一實施例中，諸如氧化鋁之絕緣粉末可用來代替玻璃纖維以填充環氧樹脂，且使用澆鑄成形來形成包裝殼。絕緣包裝殼 86 允許線圈總成在高達 30 kV 之電壓下與磁體結構之剩餘部分(亦即核心 28、極 26、真空外殼 20 及磁軛件 30、32 及 34)電絕緣。因此，繞組 80A-D 及冷卻板 82A-E 可標稱地保持在地電位，即便磁體剩餘部分相對於地電位具有高達 30 kV 負偏壓也是如此，此實質上提供了一巨大的成本優勢，因為可使用標準接地交流電源 102 而在地電位操作線圈電源 100(圖 2)。所述實施例避免了提供線圈電源 100 與 30 kV 電壓之絕緣的需要。更重要的係，其亦避免了為線圈電源 100 之 30-40 kVA 輸入交流電源使用 30 kV 絕緣變壓器的需要。另一優勢在於，移除收集於冷卻板 82A-E 中之熱量所需之流體冷卻(例如在一實施例中為 29 kW)可提供自一地電位源 98，而不需要使用去離子流體。實際上，冷卻流體可為常規非去離子的自來水。

參看圖 1 及 2，用於繞組之電流端子 87 在一距磁體之任何相鄰組件通常為 40 mm 或更大之距離之位置處穿入包裝殼 86，以使得可將高達 30 kV 之電壓絕緣施加於線圈繞組

80A-D及冷卻板82A-E，而不在線圈端子87之間與磁體周圍發生電弧放電及電擊穿。類似地，以一提供一距磁體周圍至少40 mm之安全工作距離之方式經由包裝殼86引出冷卻管道88，再次用以避免電弧放電及電擊穿。該等冷卻管道經熔接入歧管89中，歧管經構造具有邊緣及角落半徑，以消除電暈。其亦經定位以避免磁體周圍之電弧放電及電擊穿。

電流引線90及冷卻線路92經由穿過磁體磁軌迴路32之絕緣PVC襯套94而自線圈通至地面周圍96。

用於形成絕緣包裝殼及將繞組端子及冷卻管道引出到線圈外之實施例不應限制於前述方法。一般技術者可理解包括使用不同類型環氧樹脂配方及絕緣材料之各種實施例。

參看圖1，在磁分析之後，該束穿過一磁性四極三重態210且最後經由真空下的束流線76傳輸至晶圓處理腔室72以輻射晶圓70。藉由使批量晶圓反覆機械通過該束，該等晶圓被逐個順序處理，或被一次處理多個。經由合適機電機構、門及真空隔絕室，自一清潔空間區域接納晶圓70且將晶圓70撤出至一清潔空間區域。

束流線及處理腔室之實施例不限於特定組態。舉例而言，如一般技術者將理解，該束流線可僅為一彈道漂移區，或其可具有多個其他特徵，包括：離子光學元件，諸如一彎曲磁體，以過濾掉當該束在進入四極三重態210之前被減速的情況下所產生之中性粒子，該等中性粒子具有較減速離子更高之能量，且若其不被過濾出該束，其將更

深地佈植於晶圓 70 中，此可使得半導體設備效能顯著降級。束流線 76 亦可含有磁性或電性射束掃描器，其具有相關準直儀磁體，以用來在一越過晶圓之方向上平行掃描該束。此在一商業佈植器中可能係有利的，因為這樣就僅需要在正交於該束掃描方向之方向上機械掃描該晶圓以最終實現均勻劑量。

參看圖 12A，該磁性四極三重態 210 係有用於商業離子佈植器，可用於習知及叢集離子兩種情況，而不管下游束流線 76 中的組件詳細情況為如何。首先可獨立調整該四極三重態之三個個別元件 211、212 及 213 之磁場強度以控制在晶圓 70 處該束在垂直及水平方向上之尺寸及角發散，且藉此最佳化晶圓 70 上之束佈植條件。為了實現高品質佈植，此在商業離子佈植器中係重要的，尤其當束流線中的下游組件往往不具有可易於調整、寬範圍聚焦能力時。其次，在發生離子束之先前減速之情況下，該四極三重態亦有用於控制在該減速過程之後在至少一方向上常常發生之束發散。在一常用實施例中，進入四極三重態 210 之該束為帶狀，其中長方向位於垂直方向上。在此情況下，以一極性操作第一元件 211，該極性引起在垂直方向上聚焦，同時在水平方向上對應散焦。第二元件 212 具有與 211 相反之極性，從而引起水平聚焦及垂直散焦。最後，第三元件 213 具有與第一元件 211 相同之極性。因此聚焦 (F) 與散焦 (D) 之組合在水平平面中為 DFD，且在垂直平面中為 FDF。藉由在元件 211、212 及 213 中之每一者中分別使用適當場強，

可在垂直及水平平面中同時實現整體淨聚焦。

非常重要的係，在叢集離子情況下，當質量解析孔隙50之寬度經設定足以發射一範圍之離子質量時，例如，對於十八硼烷之情況為約205原子質量單位至218原子質量單位之間或對於十硼烷之情況為約108原子質量單位至115原子質量單位之間，可調整該三重態之四極元件之個別磁場強度以同時且實質上移除晶圓70處之角偏差(其原本通常可能發生於離子束中存在不同質量之範圍之情況下)。參看所選擇之圖12A，質量為 $m \pm \Delta m$ 之離子沿水平路徑進入四極，該等水平路徑經位移且與對應於離子質量 m 之中心離子路徑成略微不同之角度。如之前所描述，結合圖1，此等分離係產生於多種質量之離子經由分析器磁體傳輸時。藉由適當調整DFD聚焦次序，離子路徑203自該四極大致彼此平行地出現。在商業上消除此種角偏差係重要的，因為其允許在低能量、高劑量佈植應用中使用叢集離子之高電流，而不使晶圓70上的佈植角度品質退化(因為撞擊晶圓的束中存在一種以上離子質量)。

當一或多個質量分散元件處在四極三重態以外的束流線中時，該三重態之差分調整可對於全部範圍之不同質量的叢集離子而補償此等下游元件之質量分散效應以及分析器磁體之質量分散效應。

參看圖12A及12B，在一實施例中，該四極磁場係藉由使電流通過線圈206而產生。每一四極元件具有分別纏繞於四個鐵磁性核心件217周圍之四個線圈。該等核心件緊

固至鐵磁性極零件214，該等鐵磁性極零件214穿入且密封在真空外殼219(構造自非鐵磁性材料，諸如鋁或不銹鋼)中。以相反極性纏繞相鄰線圈，以在四極之間的區域中產生所謂的四極場。磁通量經由核心件217自一極返回至另一極，該等核心件217經由鐵磁性磁軛結構221磁性耦合。線圈繞組206係自矩形截面銅導管215製成，其直接由水或其他合適冷卻流體冷卻。石墨襯裏216防止射束打擊使重金屬離子雜質自極214之表面及真空外殼219之內壁濺射出。

該四極結構應不限於圖12A及12B之前文描述，且一般技術者可理解各種實施，包括：使用兩個(而非三個)元件來提供DF及FD序列以在垂直及水平平面中獲得總體聚焦；及使用靜電而非磁性四極場。

一適用於叢集離子以及習知離子之離子佈植且使用磁性掃描束流線之實施例展示於圖13中。自一離子源(孔隙寬度 w_s 為12.5 mm且高度 h_s 為100 mm)(諸如結合圖1描述者)提取一帶狀束300。該束經一120度扇形彎曲磁體302之磁分析，該磁體302具有如前述及圖2、4及5中所圖示之絕緣線圈304。極形狀具有如圖8A及8B中所示且如先前所描述之極邊緣墊片。該束通過可調整質量解析(選擇)孔隙(如圖10A-D中所示)、三電極減速器單元306(如圖3中所示)及磁性四極三重態380(如圖12A及12B中所示)。然後該束通過一磁性掃描器310及準直儀312，該磁性掃描器310及該準直儀312共同在水平方向上自一側320至另一側321越過晶

圖 70 平行掃描該束。參看圖 13，展示了在晶圓之一側的束 314、在晶圓中心之束 318 及在另一側之束 316 的示意說明。該實施例之一重要態樣在於，該束掃描器及準直儀二者在相同方向上彎曲該束。因此，組合之掃描器及準直儀之該離子束路徑長度及磁性聚焦性質對於三個束位置 314、318、316 係類似的。因此，與晶圓上該束之水平掃描位置無關，對於三個磁性四極元件可發現一組場強設定，該組設定同時最佳化束大小、角展度，且非常重要地，在通常使用多種質量的氫硼化物離子及叢集離子之情況下，消除角偏差。

在圖 13 中所示的束流線之一有用商業實施例中，前述束流線參數具有以下值：

- A. 分析器磁體： $R=500$ mm， $\phi=120^\circ$ ； $G=118$ mm； $s_1=31$ mm； $s_2=8.6$ mm； $h_1=8.7$ mm； $h_2=4.7$ mm； $W=166$ mm；彎曲功率=80 keV 十八硼烷，接受來自 $w_s=12.5$ mm 且 $h_s=100$ mm 之源孔隙之離子。
- B. 質量選擇孔隙：最小約 8 mm 至最大約 38 mm，可連續調整。
- C. 減速器電極；三個平面，孔隙大小為 50 mm 寬×118 mm 高。
- D. 四極三重態：孔隙：極端之間對角 80；極端場可調整 0-5 千高斯。
- E. 束掃描磁體；垂直間隙=80 mm；彎曲功率=80 keV 十八硼烷。

F. 準直儀：彎曲半徑900 mm；極間隙=80 mm；彎曲功率=80 keV十八硼烷。

由掃描器310及準直儀312共同產生之總偏轉為30度。該彎曲方向與分析器磁體之彎曲方向相反，以最小化離子佈植器之寬度，此為一可實際上降低成本及安裝面積的重要考慮因素。

藉由差分調整四極三重態中個別四極元件之強度，晶圓處之束大小及角發散得到控制。重要的係，在氫硼化物離子及叢集離子之通常情況下，該三重態亦補償由分析器磁體、磁性束掃描器及磁性準直儀引入之共同質量分散。藉由適當設定四極元件強度，可實質移除歸因於多個質量組件之角偏差，亦即在整個掃描範圍上降低至小於0.15度。

在質量選擇孔隙之後的減速後遺留在該束中之高能量粒子未抵達該晶圓，因為其由於掃描器及準直儀之組合束偏轉而被濾出該束。

用於圖1及13之實施例中之圖14及14A之離子源11產生叢集離子，例如自 $B_{18}H_{22}$ 或 $B_{10}H_{14}$ 蒸氣產生氫硼化物離子 $B_{18}H_x^+$ 或 $B_{10}H_x^+$ 。如之前參考圖1及圖6所解釋，且如此實施例之圖14及15B中更詳細之展示，由一靜電提取電極系統自一離子化腔室提取離子，該靜電提取電極系統包含抑制電極及接地電極，該等離子係經由一具有寬度 w_s 及高度 h_s 之垂直定向槽形式之提取孔隙12(位於離子源本體之前板中)提取。該離子束流線之分散平面在圖15A中寬度 w_s 方向上，而非分散平面在圖15B中高度 h_s 方向上。

圖14、14A、15A及15B之實施例使用加速電子之成形射

束330來在離子化腔室10'中產生叢集離子。此類型離子源產生密度足夠之分子離子，以使得提取電極14'可自機器加工於離子源本體之前板370中之槽孔隙12'提取密度高達約1 mA/cm²之電流。在一用於圖1及6中之較佳實施例中，該槽尺寸為高約100 mm (h_s)，寬12.5 mm (w_s)。更大或更小尺寸之槽將產生一對應更大或更小之總提取離子電流量，同時具有大體類似之峰值提取電流密度。

使用之前由 T. Horsky 描述之原理，此等圖之離子源11'使用能量電子束330(圖14)之撞擊來提供保持被離子化之蒸氣分子之完整性所需之溫和離子化。當經構造用來使用氫硼化物饋入材料之蒸氣提供良好的束流效能時，此種離子源亦能夠使用傳統的氣箱(gas box)及饋入至離子化腔室10'之氣體而自砷化氫及磷化氫氣體產生若干mA之砷及磷離子束。圖14之離子源使用一置於遠端之電子槍340及在離子化腔室10'之外的光電系統以產生加速電子之成形束330，該電子槍包含一絲體。因此與離子腐蝕相關聯之絲體磨損被最小化，從而有助於確保較長之絲體壽命。外部產生之高能電子束330在長矩形槽12'正後方沿其整個長度產生一離子區，其中離子光學系統自該槽提取離子。為此目的，電子槍340產生1 mA與100 mA之間的電子束。該束被一偶極磁場偏轉90度。一旦被偏轉，該束被注入離子化腔室10'中而通過一平行於該提取槽孔隙12'之長度之垂直路徑。該電子束由垂直定向之磁場350限制於此路徑，此磁性限制被針對每一設計加以最佳化以最大化注入電子束

之離子化效率。繼通過提取孔隙12'後方之後，電子束330之未使用部分由束收集器360截留。

藉由改變電子發射電流且亦改變饋入離子源11中之材料流，可實現5 μA 與3 mA之間的穩定的電離子束流。作為一實例， $\text{B}_{18}\text{H}_{22}$ 或 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}$ 蒸氣通常係經由一壓力控制設備(其調整進入離子化腔室10'之蒸氣流)而自一安裝於外部之加熱蒸發器引入至離子源中。對於呈諸如砷化氫及磷化氫之源氣體形式之饋入材料，為該離子化腔室提供一單獨的氣體饋入通道。

即便當使用習知離子時，此種大間隙束流線系統之優勢包括更大之總束電流及更佳之束傳輸。藉由使用大提取孔隙且以更低之離子密度提取，避免了對離子束電流密度之查爾德-朗繆爾(Child-Langmuir)限制，且可提取更大之總束電流以經由大間隙系統傳輸。同時，由於更低之離子密度，且因此所提取之離子束中電荷密度更低(相對於習知Bernas類型源)，由內部庫侖空間電荷力引起之束放大被降低。此使得離子束能以更小角發散抵達目標，且允許實現在目標表面上之入射角之改良的均一性。空間電荷力以及熱運動仍導致所提取之離子束趨於在分散及非分散方向上擴張。圖15A及15B之離子光學提取系統經構造以藉由施加透鏡電壓而有效形成離子束且將其聚焦於分散及非分散平面中。

圖15A全部以水平橫截面展示離子源腔室10'之前板370、形成於該板中之提取槽孔隙12'、抑制電極14'及接地

電極 7'，其中分散平面位於該圖之平面中。在分散平面中，離子束 19' 在 w_b 處聚焦入圖 1 之分析器磁體 21 之接收區域中。藉由此項技術中已知之運動控制設備，可改變電極元件 7' 及 14' 沿束方向相對於離子源之孔隙板 370 之位置。

在此較佳實施例中，如圖 15 及 15B 中所示，離子源腔室 10' 之前板 370 經形成為槽孔隙 12' 處之刃形邊緣 12A，以便亦充當一可調整透鏡元件。為此目的，一絕緣體 12B 將孔隙板 370' 與該離子源本體之剩餘部分電絕緣，如之前 T. Horsky 等人所述。

分散平面中用於產生束腰 (beam waist) w_b 之此透鏡系統之焦距係由束能量及電極元件之位置以及其形狀及所施加之電壓來決定。如之前所述，接著束 22 由分析器磁體聚焦而在質量選擇孔隙 50 處寬度為 w_r 之分散平面中形成一共振映像，如參考圖 3 所述，隨後該束 210 以適當大小抵達該四極三重態以進入該三重態中。對於中心質量峰值之情況，水平平面中穿過三重態 210 之典型束包絡表示於圖 16A 中。該範圍之質量峰值之間隔及主射線路徑之前已描述於圖 12A 中。

在圖 1 及 13 之系統中，因為該分析器磁體中不發生 "Y" 方向聚焦，故藉由該離子源之提取光學器件來完成在 "Y" (非分散) 平面中聚焦至該四極三重態 210。在圖 15B 之實施例中，為了將離子束聚焦於非分散平面中，該抑制及接地板 7' 及 14' 以及提取槽 12' 之刃形邊緣 12A 被製造成具有一曲率半徑，使得每一者對離子源呈現一凸面輪廓且對下游束流

線呈現一凹面輪廓。如圖1B中所示，此曲率使得所提取束19'之高度會聚。在該實施例中，使用為1米之曲率半徑R。在其他實施例中，其他半徑係可能的；通常，應用至提取板之半徑愈小，就產生愈短的非分散平面焦距，且因此會聚度愈大，且關於半徑愈大反之亦然。藉由使用因此所形成之三極體，因此實現在非分散平面中的簡單且空間高效之聚焦，且參看圖16B，經分析之束22'在大小設定在非分散平面中之包絡內抵達四極三重態210，以進入三重態210。

由離子源之提取光學器件在分析器磁體之非分散平面中產生之束會聚度隨總叢集離子束電流之量值及離子能量變化，且經最佳化以設定束之大小，以在自數微安培至數毫安培之大範圍束電流及自約4 keV至80 keV之大範圍能量上，在入口處被接受至該四極。四極三重態提供在晶圓70處的非分散(垂直)及分散(水平)平面上對晶圓處的束大小及角發散之最終最佳化。

然而，在分析器磁體之前，用於該束之非分散平面聚焦之系統的實施例不限於特定組態。孔隙板不用作透鏡元件或可使用額外透鏡元件或可包括四極聚焦元件之系統係可能的。

藉由用在該分析器磁體之前的一光學系統提供非分散平面聚焦，對於該分析器磁體設計之需求得到簡化，同時提供穿過分析器磁體及後分析四極三重態210的高效離子束傳輸。與藉由低密度離子提取獲得之降低發散性一起，此

趨於降低離子對通道壁之衝擊，從而導致有害沈積物更少，有用束電流更大且束污染更少。如圖 16B 中所示，一因此產生、經良好準直、具有約為 6 cm 之垂直高度的束可經注入具有所示非分散平面聚焦之四極三重態中，即便該束產生自一 10 cm 高度之提取槽也是如此。

圖 17 展示使用根據圖 13 之掃描系統及根據圖 14、15A 及 15B 之離子源而得自十八硼烷之磁性掃描硼粒子流。在圖 13 中準直儀 312 之真空外殼之出口處量測該流。該束電流在整個掃描頻率範圍(自直流至 170 Hz)上基本未變。此等經量測得粒子束流係非常高於迄今報告自習知固定束、高電流離子佈植器之電流。此外，可實現此等束電流而不需在晶圓之正前方使用減速，減速為一通常用於習知高電流佈植器中來增強低能量束流之技術，但具有缺陷：(a) 在衝擊晶圓的離子中引入具有若干度數之大角度展，及 (b) 在減速之後不存在中性粒子過濾之情況下，允許在減速之前或期間中和的高能量粒子抵達晶圓。此等高能量粒子進一步穿入晶圓中且通常使得佈植品質降級，此對於產生當今非常淺之 CMOS 接面而言為不為吾人所樂見。

眾所周知，在單原子摻雜離子(諸如 B^+ 、 P^+ 及 As^+)之低能量(小於 10 keV)下，非常難以自 Bernas 類型離子源提取且在磁性上分析非常高之束電流(大於 5 mA)。即便可成功自該源自身提取高電流，注入及在磁性分析器周圍傳輸經證實為困難的，因為在低能量下，離子束中用於該等離子形成空間電荷中和電子之離子化橫截面非常小，且隨著能量

降低低於能譜 10-15 keV 而非常迅速地減小。藉由直接將電子插入該束中，或經由電漿槍將其引入而改良該束中和之努力通常受到分析器自身之磁場的存在的阻礙，且因此技術通常不利於商業離子佈植器。

又一眾所周知之技術為，將氣體或蒸氣放入該離子源及/或分析器磁體之真空外殼內之區域中，且因此以更高壓之氣體淹沒束路徑，以期望產生更多空間電荷，從而中和該束中之低速負離子。藉由對氮氣之抽氣， P^+ 及 As^+ 離子流被適度增大，但此通常降低 B^+ 離子流。Sinclair等人(美國專利第 5,814,819 號，1998 年 9 月 29 日)已發現，水蒸氣可增強單原子硼電流，該電流可自 Bernas 類型離子源提取且經由分析器磁體傳輸。由於在低能量下高束電流通常超過電漿穩定之實體條件(尤其在存在分析器磁場情況下)，所以此等中和方法未普遍成功或在商業佈植器中採用。因此，所產生之離子束常常不穩定，該等不穩定性係由束大小及自離子源提取之電流之統計上之小波動引起。束電流往往不可再生，且可過於關鍵地取決於準確的離子源參數調節及與溫度變化相關聯之改變。

表示於圖 14、14A、15A 及 15B 中之簇類型離子源之一優勢在於，通常不需要額外的背景氣體中和，因為實際叢集離子束處於較高能量及較小之電流(較之相當的可用之單原子離子束而言)，且因此避免了導致電漿不穩定之條件。

在長束流線之情況下(如圖 13 中所表示)，其中自分析器

出口至晶圓之路徑長度大於2 m且甚至長達3 m，以容納該束流線四極、掃描磁體、準直儀磁體及0.5-0.7 m之穿過最終處理腔室之漂移，已發現在低能量下(其中離子束未被電子完全中和且其中該束必須穿過磁場(諸如掃描器及準直儀))在該掃描器及準直儀區域中添加少量諸如SF₆之負電性氣體以改良至晶圓之束傳輸且降低晶圓處之束大小是有用的，二者均導致晶圓產量及佈植效率得到改良。

參看圖13及圖17，在單個粒子佈植能量低於約1 keV時，藉由經由流控制閥307及管道309接納少量SF₆氣體305至掃描磁體310之真空外殼中，可將晶圓上的束電流顯著增強1.5-2倍。此係因為經由與叢集離子之相互作用，SF₆易於在叢集離子束中形成負離子。具有低遷移率且在能量上被截獲於該束之電位井中的該等負的重離子可有效中和該束中之內部空間電荷力，該等電荷力原本將引起該束放大而超過束流線之接受孔隙。因為降低了在準直儀312出口與晶圓70位置之間的漂移區中之束放大，SF₆之存在亦將晶圓處所傳輸束大小顯著降低了50-70%。增強束電流所需之SF₆之典型流速為0.1標準cc每分鐘，從而僅產生2-3E-6托之壓力升高。SF₆為相對惰性之氣體，且其在此種低壓下的使用被認為對佈植過程大體無害(直接或經由與叢集離子束自身之相互作用)。

參看圖17A，低於1 keV且尤其低於0.5 keV時，藉由啟動圖3中所示三電極減速系統306，在圖13中所示實施例中束電流得到進一步增大。在最佳化操作下，減速比率為大

約2:1，其意謂最終減速能量約為穿過分析器磁體302之束能量之一半。中心聚焦電極61(參看圖3)上之電壓 V_f 65比分析器磁體之分析器真空外殼20電壓略微負約1-3 kV。儘管未完全理解此現象，但已發現在低能譜中，藉由施加僅一約100 V之小減速電壓 V_d ，該束電流提高10-30%。

如圖17A中資料所示，因為減速之後該束之低能量，及在長束流線中對空間電荷放大之敏感度(如圖13中所示)，中和氣體(諸如 SF_6)之使用(注入該減速系統306之後的區域中)尤其有效。

一般技術者可理解使用氣體或蒸氣來實質上中和低能量離子束之固有正空間電荷之其他實施，包括：使用其他負電性氣體，諸如水蒸氣(H_2O)或 BF_3 ，且接納該氣體或蒸氣至長束流線之在分析器磁體之後的其他區域中，諸如四極或準直儀真空腔室中，其中該束在低能量時易發生空間電荷放大。

此系統之效能展示了可藉由使用一般而言之叢集離子及特定而言之氫硼化物離子來實現的漂移模式束電流之實用性及極大改良。該等結果為新一代離子佈植器工具做好準備，且解決了先前且某種程度上廣泛持有之憂慮：該等束在真空系統及常用於離子佈植器中之一般束流線架構中可證實難以傳輸且甚至更難以掃描。即便使用穿過掃描及準直儀磁體之長射束路徑，氣體衰減量測也發現，由於氣體散射、中和及離子分散之束損失僅為數個百分比。

圖1及13之替代實施例使用雙模式離子源。如之前由T.

Horsky描述，一種形式之雙模式離子源可操作於電子撞擊模式(已作描述)例如以產生分子離子，或操作於弧放電模式以產生單體及多電荷離子之高電流。可使用相同離子光學系統經由相同槽形孔隙提取產生於每一操作模式中之離子，且當然在對圖4或圖10A-10D之質量選擇孔隙50進行適當變化情況下，該等離子被傳遞通過分析器磁體之相同大間隙且通過本文所述之離子佈植器束流線。因此，使用一窄孔隙，例如6至8 mm，對於單體摻雜劑可利用大於等於60之質量解析度，而對於具有多個摻雜劑原子之分子離子，使用更大之質量選擇孔隙(例如，用於 $B_{18}H_x$ 及 $B_{10}H_x$ 離子之孔隙為28或29 mm)以利用來自多個質量峰值之電流。

在一較佳形式中，一個雙模式離子源經構造為具有一電子槍(提供一已形成之電子束)及一單獨的弧發射器。對於電子撞擊式離子化，僅使用電子槍；為了產生大單體電流及多電荷離子，僅使用弧操作，弧發射器發出一電漿放電，其類似於Bernas類型源之放電，但通常強度低於通常用於Bernas源之強度。此種雙模式離子源併入有蒸氣及氣體入口通道。

一個雙模式離子源之實例展示於圖18中。離子源11"類似於圖14之離子源，但圖14之束收集器360由部件280代替，部件280在弧放電模式期間充當一間接加熱陰極，由絲體390加熱。如一般已知的，較之使用一裸露的絲體發射器，使用間接加熱陰極允許實現更長之壽命，因為其絲體位於遠端之高真空環境中，遠離該源電漿。

在電子撞擊式離子化模式中，電子槍340'及圖18之實施例之相關聯磁場以與圖14所述相同之方式工作。電子束之未使用部分可由部件380(在弧放電模式中，經切換而充當陰極之部件)提供之束收集器截留。

在弧放電模式中，未使用電子槍340'。陰極部件380係由加熱絲體390激發，以產生一弧放電至腔室10"之壁。此沿磁場350'之方向產生一電漿柱，該磁場通常小於約100高斯，然而足夠大以提供電漿約束。在一利用本文所述的前述圖之大間隙束傳輸光學器件之實施例中，離子提取槽12"高度 h_s 可為80 mm，且寬度 w_s 可為10 mm。在亦可與本文所述之大間隙束傳輸一同使用之其他實施例中，提取槽之高度可例如增大至100 mm，寬度增大至12.5 mm，而仍實現大於60之質量解析度。其他更小之尺寸亦係可能的。由於相對於習知Bernas類型電漿源，此等實施例之提取區域較大，以及由於弧放電之強度較小，故產生於弧放電模式中之電漿密度小於使用典型Bernas源產生之電漿密度，但通常大於 10^{11} 離子/立方公分，且非常有用於能夠提供中等劑量之習知佈植以及高劑量、低能量叢集摻雜及材料改質佈植之通用離子佈植器。

參看圖19，展示中電流離子佈植器之另一實施例。對於對氫硼化物離子之操作，藉由施加一電壓至提取電極414而經由孔隙412自離子源410提取不同質量之離子416、417、418。接著該等離子進入90度分析磁體426，且接著通過一可調整解析質量選擇孔隙450。圓柱形三電極後加

速器結構441、442、443可自40 keV之源提取能量後加速或減速離子以提供在5-250 keV範圍中之最終能量。可向後加速器之中心電極供應一可調整電壓，以在離子束通過後加速器區域及四極440及441(磁性或電的，位於後加速器之任一側上)時獲得離子束之各種聚焦度。在後加速器之後，存在一最終能量磁體444，其移除在後加速(或減速)期間以不正確能量產生之離子或中性粒子。該最終能量磁體之後為一磁性掃描器446，其與準直儀448協同工作，在與掃描器磁體446相同之意義上使得該束彎曲。

可調整四極440及441之強度以及後加速器聚焦電極442電壓以最佳化束大小及晶圓70處垂直及水平方向上之角發散。此外，非常重要的係，對於氫硼化物離子及實際上一般而言之叢集離子，亦同時可能最小化角偏差(其原本可能導致多種質量離子之存在)。由於存在最終能量磁體444，因此調整四極440及441之強度以及後加速器聚焦電極442，使得當該束掃描晶圓70時不僅實質上消除來自多種質量離子之角偏差，且實質上消除該束中由於存在多種質量離子之水平加寬係可能的。不同質量離子416、417、418之中間射線路徑在聚焦電極442附近交叉於419。此補償發生於最終能量磁體444、束掃描器磁體446及準直儀448中之隨後的共同質量分散。該特徵在商業上可用於中電流佈植器，以改良佈植品質且最大化晶圓產量。

用於圖19實施例中之離子源及提取光學器件可為參考圖14-16B及圖18描述之彼等之適當縮放版本。

已描述多個實施例。然而將瞭解，在不偏離本發明之精神及範疇的條件下，可進行各種修改。因此，其他實施例屬於以下申請專利範圍之範疇內。

【圖式簡單說明】

圖1為一使用一扇形質量分析磁體之離子佈植器之示意說明。

圖2為沿截面線A-A及B-B穿過圖1之磁性分析器之橫截面圖。

圖3為圖1中所示減速器之放大視圖。

圖4為分析器磁體之高壓隔離線圈之橫截面。

圖5為圖4中所示線圈橫截面之一部分之放大視圖。

圖6為展示不同質量之離子路徑之示意說明。

圖7展示分散性(D/R)隨彎曲角度之變化。

圖8A及8B展示一分析器極形狀之橫截面圖，而圖8C為一極之安裝的放大詳情。

圖9展示十八硼烷之高解析度質譜。

圖10A-D展示一可調整質量解析孔隙裝置。

圖11展示離子源區域中在水平平面中之束包絡。

圖12A及B分別以縱向及橫向橫截面展示磁性四極三重態。

圖13展示一磁性掃描束流線之正中面橫截面之透視圖。

圖14為可用於圖1及圖13之實施例中之離子源之在一提取離子束平面中之圖示垂直橫截面。

圖14A為可用於圖1及圖13之實施例中之離子源之其他有

用電極形狀之圖示實例。

圖 15A 及 15B 分別在束流線之分散及非分散平面中展示與圖 14 之離子源相關聯之離子提取系統。

圖 16A 及 16B 分別在束流線之分散及非分散平面中展示穿過圖 12A 及 12B 之四極三重態的離子束包絡。

圖 17 為在操作對應於圖 13 之系統期間所量測之硼粒子束電流對佈植能量之曲線。

圖 17A 為使用 SF₆ 及減速時硼粒子束電流對佈植能量之曲線。

圖 18 為雙模式離子源視圖，其類似於圖 14 之視圖。

圖 19 為一用於中電流佈植器之束流線之示意說明。

【主要元件符號說明】

7	抑制器電極
7'	接地電極
8	絕緣饋通
9	電壓 (V _s)
10	腔室
10'	離子化腔室
10''	離子化腔室
11	離子源本體
11'	離子源
11''	離子源
12	離子源孔隙
12'	槽孔隙

12''	離子提取槽
12A	刃形邊緣
12B	絕緣體
13	加速電壓(V _e)
14	提取電極
14'	提取電極、抑制電極
15	離子源真空外殼
16	環形絕緣體
17	真空泵
19	離子束
19'	離子束
20	真空外殼
20A	凸耳
21	偶極磁體
22	束
22'	束
23	真空閥
24	靜磁場
26	極
26A	肋
27	固持帶
28	核心
29	真空泵
30	磁軛頰板

32	磁軌迴路
34	磁軌迴路
40	線圈總成
42	路徑
43	路徑
44	路徑
46	中心路徑
49	邊緣
50	質量解析孔隙
51	材料體
53	半徑
54	彎曲之角度
55	距離
56	最小寬度
57	間隔
59	區域
60	非鐵磁性電極
61	非鐵磁性電極
62	非鐵磁性電極
63	饋通
64	減速電壓
65	電壓
66	絕緣體
70	晶圓

72	晶圓處理腔室
76	下游束流線
80A	整體繞組
80B	整體繞組
80C	整體繞組
80D	整體繞組
81	插入之玻璃纖維布
82A	冷卻板
82B	冷卻板
82C	冷卻板
82D	冷卻板
82E	冷卻板
84	冷卻管道
86	密封包裝殼
87	線圈端子
88	冷卻管道
89	歧管
90	引線
92	冷卻線路
94	襯套
96	地面周圍
98	地電位源
100	線圈電源
101	距離 Δx

- 102 交流電源、離子
- 103 離子
- 104 離子
- 106 間隙高度
- 107 寬度
- 108 極寬度
- 109 寬度
- 111 墊片
- 112 溝槽
- 114 深度
- 115 高度
- 116 石墨
- 117 正中面
- 140 圓柱體
- 142 圓柱形襯套
- 143 偏心中心
- 144 離子束
- 145 偏心中心
- 146 孔
- 148 電驅動馬達
- 150 最小孔隙寬度
- 151 最大寬度
- 152 齒輪
- 154 真空密封件

156	凸緣
159	石墨板
161	出口孔隙
203	離子路徑
206	線圈繞組
210	四極三重態
211	元件
212	元件
213	元件
214	極
215	銅導管
216	石墨襯裏
217	核心件
219	真空外殼
221	磁軌結構
300	帶狀束
302	磁體
304	絕緣線圈
305	SF ₆ 氣體
306	三電極減速系統
307	流控制閥
309	管道
310	磁性掃描器
312	準直儀

314	束位置
316	束位置
318	束位置
320	一側
321	另一側
330	束
330'	電子束
340	電子槍
340'	電子槍
350	磁場
350'	磁場
360	束收集器
370	前板
370'	前板
380	陰極元件
390	絲體
410	離子源
412	孔隙
414	提取電極
416	不同質量離子
416'	不同質量離子
416''	不同質量離子
417	不同質量離子
417'	不同質量離子

417''	不同質量離子
418	不同質量離子
418'	不同質量離子
418''	不同質量離子
419	交叉
426	分析磁體
440	四極
441	後加速器結構
442	後加速器結構
443	後加速器結構
444	最終能量磁體
446	磁性掃描器
448	準直儀
450	解析質量選擇孔隙
b	距離
G	間隙高度
h_1	深度
h_2	高度
h_s	高度
S_1	寬度
S_2	寬度
W_b	寬度
w_s	寬度
W_s	寬度

十、申請專利範圍：

1. 一種多用途離子佈植器束流線組態，其經構造以使得可佈植常用單原子摻雜劑離子物質及叢集離子，該束流線組態具有一質量分析器磁體，該分析器磁體界定一在該磁體之鐵磁性極之間的具有相當大寬度之極間隙及一質量選擇孔隙，該分析器磁體經設定大小以接受一來自一高度至少約 80 mm 且寬度至少約 7 mm 之槽形離子源提取孔隙之離子束，且在該質量選擇孔隙處在一對應於該束之該寬度之平面中產生分散，該質量選擇孔隙能夠設定為一質量選擇寬度，該寬度經設定大小以選擇為相同摻雜劑物質但具有增量變化的分子量的該等叢集離子之一束，該質量選擇孔隙亦能夠設定為一實質上更窄之質量選擇寬度，且該分析器磁體在該質量選擇孔隙處具有一足以允許選擇具有實質上一單個原子量或分子量之單原子摻雜劑離子之一束的解析度。
2. 如請求項 1 之多用途離子佈植器束流線組態，其中該質量選擇孔隙能夠設定為一用於單原子離子物質之第一設定，及一用於接受產生自含硼化合物之叢集離子、至少為該第一設定之質量選擇寬度之十五倍之第二設定。
3. 如請求項 1 或 2 之多用途離子佈植器束流線組態，其中該質量分析器磁體在該質量選擇孔隙處之用於單原子摻雜離子之該解析度至少為 60。
4. 如請求項 1 或 2 之多用途離子佈植器束流線組態，其中該質量分析器磁體經設定大小、構造且布置以在該質量選

擇孔隙處該離子源提取孔隙之該寬度之質量分散平面中形成一共軛映像。

5. 如請求項4之多用途離子佈植器束流線組態，其中該分析器磁體之該質量選擇孔隙能夠設定為一至少為30 mm之孔隙寬度。
6. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其中該分析器磁體經構造以分析一提取自一至少寬度為12 mm且高度為90 mm之槽形離子源提取孔隙之束。
7. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其中該質量選擇孔隙能夠設定為一用於該單原子離子物質之第一設定，及一用於接受產生自叢集化合物之叢集離子、至少為該第一設定之該質量選擇寬度之十五倍之第二設定，且該質量分析器磁體在該質量選擇孔隙處之用於單原子摻雜離子之該解析度至少為60。
8. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其中該槽形提取孔隙寬度約為12.5 mm且高度約為100 mm。
9. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其與一離子源結合，該離子源經構造用來以一使用一已形成之電子束之離子化模式產生電流密度高達約1 mA/cm²之離子，該離子源經構造以接收形式交替為氣體或加熱蒸氣之饋入材料。
10. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其中該離子源經構造以交替操作於一使用弧放電之第二離子化模式中。

11. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其包括用於將負電性氣體引入至該分析器磁體之該束下游之區域中之構件。
12. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其中該分析器磁體為一與一單一對線圈相關聯之扇形偶極磁體，該磁體具有大體垂直於進入且離開該極間隙之離子束路徑之主軸之入口及出口極邊緣，該分析器磁體對於在垂直於該扇形磁體中該離子束之彎曲平面之平面中的該束實質上不具有聚焦效應，一位於該磁體之前的離子聚焦系統在垂直於該磁體之該質量分散平面之平面中提供束聚焦。
13. 如請求項12之多用途離子佈植器束流線組態，其中該聚焦系統包含與該離子源相關聯之一離子提取系統之透鏡元件。
14. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其中該分析器磁體之該極間隙實質上寬於構造其以傳遞之最大大小離子束之對應尺寸，在該等極之面與該束路徑之間存在一石墨或矽襯裏。
15. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其中界定該極間隙之極部件具有成形有溝槽及墊片之極面，該等溝槽及墊片分別朝向該束路徑之正中面降低及提昇該等極表面，以便以允許相對於該極間隙尺寸使用相對較小之極寬度之方式形成該磁場。
16. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其中界

定該極間隙之極部件嵌埋且密封至非磁性材料之一真空外殼之壁中，該離子束穿過該真空外殼同時經受該分析器磁體之該磁場作用，且在該等極部件之間的該磁體之鐵磁性結構位於該真空外殼之外。

17. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其中該分析器磁體為一扇形磁體，其經構造用來在該極間隙中產生一可調整磁場，包括一超過約10千高斯之場。
18. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其經構造用來選擇產生自十八硼烷之約為80 keV之離子。
19. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其中該質量分析器包含一扇形磁體，該扇形磁體具有一大於約400 mm之半徑R、一大於約90度之扇形角 Φ 、一約為200 mm之自該極出口至該質量解析孔隙之距離b，且該質量分析器具有一在約-1.2與-0.80之間的放大率M。
20. 如請求項19之多用途離子佈植器束流線組態，其中R約為500 mm， Φ 約為120度，b約為195 mm且M約為-0.83，該分析器磁體經構造用來分析一來自一具有一寬度約為12.5 mm之提取孔隙之源之離子束，該分析器磁體具有約為88之質量解析度 $m/\Delta m$ 。
21. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其中該質量分析器磁體經構造以在約205原子質量單位與約220原子質量單位之間的整個質量範圍上選擇離子。
22. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其中該質量分析器磁體經構造以接受在約113原子質量單位與

約123原子質量單位之間的整個質量範圍上之離子。

23. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其中該質量選擇孔隙係由一對可相對旋轉之圓柱形表面界定，該等表面經安裝以用於圍繞平行偏心軸同步相對旋轉。
24. 如請求項23之多用途離子佈植器束流線組態，其中該等圓柱形表面中之至少一者經水冷卻，且帶有一石墨或矽覆蓋。
25. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其在該束流線之在該分析器磁體之後的部分中包括一多元件四極聚焦透鏡，該透鏡經布置以在該束橫截面之正交方向上控制該束之尺寸。
26. 如請求項25之多用途離子佈植器束流線組態，其中該透鏡具有至少三個四極元件且經構造以在該束橫截面之正交方向上同時控制該束之該等尺寸及角發散。
27. 如請求項25之多用途離子佈植器束流線組態，其中該透鏡為一個四極三重態聚焦透鏡。
28. 如請求項25之多用途離子佈植器束流線組態，其中該透鏡為一磁性四極三重態聚焦透鏡。
29. 如請求項25之多用途離子佈植器束流線組態，其經構造以產生一具有一狹長橫截面輪廓、進入該四極三重態聚焦透鏡之束，其中該束輪廓之長尺寸位於垂直於該分析器磁體中該離子束之該彎曲之該平面之平面中，與一控制相結合，該控制經調適以分別引起該三重態之第一透鏡元件在該長輪廓尺寸上引起聚焦，引起第二透鏡元件

具有與該第一元件極性相反之極性，以引起在短尺寸上聚焦且在該長尺寸上散焦，且引起第三透鏡元件具有與該第一元件相同之極性，該等透鏡元件之場強受到控制，以實現在該狹長輪廓之兩個尺寸上的同時聚焦。

30. 如請求項25之多用途離子佈植器束流線組態，其在該分析器磁體之後及該四極透鏡之前包括一減速單元，該透鏡經控制以控制由於該束在該減速單元處之減速引起之束發散。
31. 如請求項25之多用途離子佈植器束流線組態，其與一離子源組合，該離子源用於產生該等叢集離子中之至少一者之一離子束，該分析器磁體之該質量選擇孔隙經調整以發射為相同叢集離子物質之一質量範圍之離子，該四極透鏡之該等透鏡元件之個別場強經調整以同時且實質上移除目標基板處之角偏差，該偏差原本將可由於該離子束中該不同離子質量範圍而發生。
32. 如請求項1或2之多用途離子佈植器束流線組態，其經布置以在低能量、高劑量佈植條件下產生含硼叢集離子之高射流。
33. 如請求項25之多用途離子佈植器束流線組態，其具有一包含四個分別纏繞於四個鐵磁性核心件周圍之線圈之磁性四極透鏡元件，該等核心件緊固至鐵磁性極零件，該等極零件穿入且密封至該束通過之一非鐵磁性材料真空外殼，以相反極性纏繞相鄰線圈以在該四極之間的區域中產生一個四極場，磁通量經由核心件自一極返回至另

一極，該等核心件經由鐵磁性磁軛結構而磁性耦合。

34. 如請求項25之多用途離子佈植器束流線組態，其包括一經布置以在該四極透鏡之後掃描該離子束之掃描器，及一經構造成與該掃描器協作以使得可在一目標基板上平行掃描該束之準直儀。
35. 如請求項25之多用途離子佈植器束流線組態，其具有大體為以下值之束流線特徵及參數；
- A. 分析器磁體： $R=500$ mm、 $\phi=120^\circ$ ； $G=118$ mm； $s_1=31$ mm； $s_2=8.6$ mm； $h_1=8.7$ mm； $h_2=4.7$ mm； $W=166$ mm；彎曲功率=80 keV十八硼烷，
 - B. 質量選擇孔隙：最小約8 mm至最大約38 mm，
 - C. 四極三重態聚焦透鏡：孔隙：極端之間對角80；極端場可調整0-5千高斯。
36. 一種離子佈植器束流線組態，其經構造以使得可佈植含有在一相關峰值附近的多種質量之叢集離子之分子離子，該束流線組態具有一質量分析器磁體，該質量分析器磁體界定一在該磁體之鐵磁性極之間的極間隙及一質量選擇孔隙，該極間隙經設定大小以自一產生該等叢集離子之低密度離子源接受一離子束，該質量選擇孔隙能夠設定為一質量選擇寬度，該寬度經設定大小以選擇為相同摻雜劑物質但具有增量變化的分子量的該等叢集離子之一束，該離子佈植器束流線在該束流線之在該分析器磁體之後的部分中包括一多元件聚焦系統，其包含多個四極聚焦元件，該透鏡系統之該等透鏡元件之個別場

強經調整以在該束橫截面之正交方向上控制該束之尺寸，且同時並實質上移除目標基板處之角偏差，該角偏差原本將由於該離子束中之該等叢集離子之不同質量之範圍而發生。

37. 如請求項36之離子佈植器束流線組態，其與一離子源結合，該離子源經構造成以一使用一已形成之電子束之離子化模式產生電流密度高達約 1 mA/cm^2 之離子，該離子源經構造以接收形式為加熱蒸氣之饋入材料。
38. 如請求項36或37之離子佈植器束流線組態，其中該質量選擇孔隙能夠經設定以對於 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}$ 選擇質量在約113至約123原子質量單位之間的範圍中的離子且對於 $\text{B}_{18}\text{H}_{22}$ 選擇質量在約205原子質量單位至約220原子質量單位之間的範圍中的離子。
39. 如請求項36或37之離子佈植器束流線組態，其中該透鏡系統具有至少三個四極元件，且經構造以藉由四極場而在該束橫截面之正交方向上同時控制該束之該等尺寸及角發散。
40. 如請求項36或37之離子佈植器束流線組態，其中該透鏡系統為一四極三重態聚焦透鏡。
41. 如請求項40之離子佈植器束流線組態，其中該透鏡為一磁性四極三重態聚焦透鏡。
42. 如請求項40之離子佈植器束流線組態，其經構造以產生一具有一狹長橫截面輪廓、進入該四極三重態聚焦透鏡之束，其中該束輪廓之長尺寸位於垂直於該分析器磁體

之彎曲平面之平面中，與一控制結合，該控制經調適以分別引起該三重態之第一透鏡元件在該長輪廓尺寸上引起聚焦，引起第二透鏡元件具有與該第一元件極性相反之極性，以引起在短尺寸上聚焦且在該長尺寸上散焦，且引起第三透鏡元件具有與該第一元件相同之極性，該等透鏡元件之場強受到控制，以實現在該狹長輪廓之兩個尺寸上的同時聚焦。

43. 如請求項36之離子佈植器束流線組態，其在該分析器磁體之後且在該透鏡系統之一四極透鏡元件之前包括一減速單元，此四極透鏡元件經控制以控制由該束在該減速單元處之減速引起之束發散。
44. 如請求項43之離子佈植器束流線組態，其中一四極三重態透鏡在該減速單元之後。
45. 如請求項36之離子佈植器束流線組態，其在該分析器磁體之後包括一減速單元，其中該減速單元安置於一對四極聚焦元件之間，在該減速單元以外之該四極透鏡元件經控制以控制由該束在該減速單元處之減速引起之束發散。
46. 如請求項45之離子佈植器束流線組態，其中該減速單元經構造以亦允許離子加速。
47. 如請求項44之離子佈植器束流線組態，其在該減速器或加速器及後續四極元件之後包括至少一磁性束流線元件，該減速器或加速器經控制以使得該離子束中具有不同質量之離子可交叉，以抵消發生於該磁性束流線元件

處、可歸因於該離子束中該等不同質量離子之質量分散。

48. 如請求項47之離子佈植器束流線組態，其中一最終能量磁體之後有一磁性掃描器及一磁性準直儀，在相同方向上轉動該磁性掃描器及準直儀，且在相反方向上轉動該最終能量磁體。
49. 如請求項36之離子佈植器束流線組態，其中在該質量選擇孔隙以外存在一可將該等離子自該源提取能量後加速或減速至一不同能量之圓柱形三電極後加速器結構，該後加速器之中心電極經連接以被供應一可調整電壓，以在該離子束穿過該後加速器區域時獲得該離子束之各種聚焦度，且四極元件位於該後加速器之任一側，在該後加速器之後存在一用於移除在後加速(或減速)期間以一不當能量產生之離子或中性粒子之最終能量磁體，該最終能量磁體之後為一磁性掃描器，該磁性掃描器與一準直儀透鏡協作，該準直儀透鏡在與該掃描器磁體相同之意義上彎曲該束，調整該等四極元件以及該後加速器聚焦電極之強度以最佳化該目標基板處之該束大小及角發散，且最小化角偏差，該角偏差原本將由於該等多種質量離子之存在而發生。
50. 如請求項49之離子佈植器束流線組態，其中關於該最終能量磁體而協同調整該等四極元件以及該後加速器聚焦電極之該強度，以實質上排除在該目標基板處、可歸因於該束中多種質量離子之存在的該離子束之加寬。

51. 如請求項36之離子佈植器束流線組態，其中該質量分析器磁體之該間隙經設定大小以在垂直於該分析器磁體之該彎曲之該平面之方向上接受一來自一最小橫截面尺寸至少為80 mm之離子源提取孔隙之離子束。
52. 如請求項51之離子佈植器束流線組態，其中該分析器磁體之該質量選擇孔隙係可調整為一寬度在約8 mm與38 mm之間的孔隙。
53. 如請求項36之離子佈植器束流線組態，其經構造以於該質量選擇孔隙處聚焦一提取自一寬度至少為10 mm之槽形離子源提取孔隙之束。
54. 如請求項36之離子佈植器束流線組態，其中該分析器磁體之該極間隙實質上寬於構造其以傳遞之最大大小離子束之對應尺寸，且在該等極之面與該束路徑之間存在一石墨或矽襯裏。
55. 如請求項36之離子佈植器束流線組態，其中界定該極間隙之極部件具有成形有溝槽及墊片之極面，該等溝槽及墊片分別朝向該束路徑之正中面降低及提昇該等極表面，以便以允許相對於該極間隙尺寸及該束之該橫截面尺寸使用相對較小之極寬度之方式形成該磁場。
56. 如請求項36之離子佈植器束流線組態，其中界定該極間隙之極部件嵌埋且密封至非磁性材料之一真空外殼之壁，該離子束穿過該真空外殼同時經受該分析器磁體之該磁場作用，且該等極部件之間的該磁體之鐵磁性結構位於該真空外殼之外。

57. 如請求項36之離子佈植器束流線組態，其中該分析器磁體為一具有一約為500 mm半徑之扇形磁體，且經構造以在該極間隙中產生一可調整磁場，包括一超過約10千高斯之場。
58. 如請求項36之離子佈植器束流線組態，其經構造以選擇產生自十八硼烷之約為80 keV之離子。
59. 如請求項36之離子佈植器束流線組態，其中該質量分析器包含一扇形磁體，該扇形磁體具有一大於約400 mm之半徑 R 、一大於約90度之扇形角 Φ 及一約為200 mm之自該極出口至該質量解析孔隙之距離 b 。
60. 如請求項59之離子佈植器束流線組態，其中 R 為約500 mm， Φ 為約120度， b 為約195 mm且 M 為約-0.83，該分析器磁體經構造以分析一來自一具有寬度約為12.5 mm之提取孔隙之源之離子束。
61. 如請求項36或37之離子佈植器束流線組態，其具有一能夠藉由電子撞擊而離子化一材料以產生叢集離子之離子源，在一真空外殼中該佈植器具有一位於該質量分析器磁體之後的束掃描器及準直儀，及一用於接納一負電性氣體至該掃描器及準直儀之該真空外殼之區域中以提供中和離子至該束之系統。
62. 如請求項61之離子佈植器束流線組態，其中該負電性氣體為 SF_6 。
63. 一種經構造用來形成且佈植叢集離子之離子佈植器束流線，該離子佈植器束流線具有一能夠藉由電子撞擊而離

子化一材料以產生叢集離子之離子源，在一真空外殼中該佈植器具有一位於質量分析器磁體之後的束掃描器及準直儀，及一用於接納一負電性氣體至該掃描器及準直儀之該真空外殼之區域中以提供中和離子至該束之系統。

64. 一種提供一用於一離子佈植器束流線之可調整質量選擇孔隙之設備，其中該質量選擇孔隙係由一對可相對旋轉之圓柱形表面界定，該等表面經安裝以圍繞平行偏心軸同步旋轉。
65. 如請求項64之設備，其中該等圓柱形表面中之至少一者經水冷卻，且帶有一石墨或矽覆蓋。
66. 如請求項64之設備，其包含兩個啮合、相對旋轉之偏心水冷卻空心非鐵材料圓柱體，該等圓柱體各由一各別石墨或矽襯套覆蓋，該等圓柱體經安裝以在平行偏心軸上相對旋轉，從而產生一與一離子佈植器之一束流線對準之可調整之質量選擇孔隙。
67. 如請求項64之設備，其經構造以提供解析狹縫寬度，該等解析狹縫寬度包括一用於離子佈植之最小解析狹縫寬度及約為該最小解析狹縫寬度之4至6倍之間的寬度。
68. 如請求項67之設備，其具有一至少約為38 mm之最大離子佈植狹縫寬度。
69. 一種用於一離子佈植器束流線之分析器磁體，其包含一扇形磁體，該扇形磁體具有一約為500 mm之中心路徑半徑、一約為120°之扇形角及一至少約為80 mm之極間

- 隙，該磁體與一單一對線圈相關聯，該磁體具有實質上垂直於進入且離開該極間隙之離子束路徑之主軸之入口及出口極邊緣，該磁體在垂直於該扇形磁體之彎曲平面之平面中對於該束實質上不具有聚焦效應。
70. 如請求項69之分析器磁體，其與一位於該磁體之前的離子聚焦系統結合，該離子聚焦系統在垂直於該磁體之質量分散平面之平面中提供束聚焦。
71. 如請求項70之分析器磁體，其中該聚焦系統包含與該離子源相關聯之一離子提取系統之透鏡元件。
72. 如請求項69之分析器磁體，其中該分析器磁體之該極間隙實質上寬於構造其以傳遞之最大大小離子束之對應尺寸，在該等極之面與該束路徑之間存在一石墨或矽襯裏。
73. 如請求項69之分析器磁體，其中界定該極間隙之極部件具有形成有溝槽及墊片之極面，該等溝槽及墊片分別朝向該束路徑之正中面降低及提昇該等極表面，以便以允許相對於該極間隙尺寸使用相對較小之極寬度之方式形成該磁場。
74. 如請求項69之分析器磁體，其中界定該極間隙之極部件嵌埋且密封至非磁性材料之一真空外殼之壁，該離子束穿過該真空外殼同時經受該分析器磁體之該磁場作用，且該等極部件之間的該磁體之鐵磁性結構位於該真空外殼之外。
75. 如請求項69之分析器磁體，其中該分析器磁體為一扇形磁體，其經構造以在該極間隙中產生一可調整磁場，包

括一超過約10千高斯之場。

76. 如請求項69之分析器磁體，其中該分析器磁體經構造以分析一提取自一至少寬度為12 mm且高度為90 mm之槽形離子源提取孔隙之束。

十一、圖式：

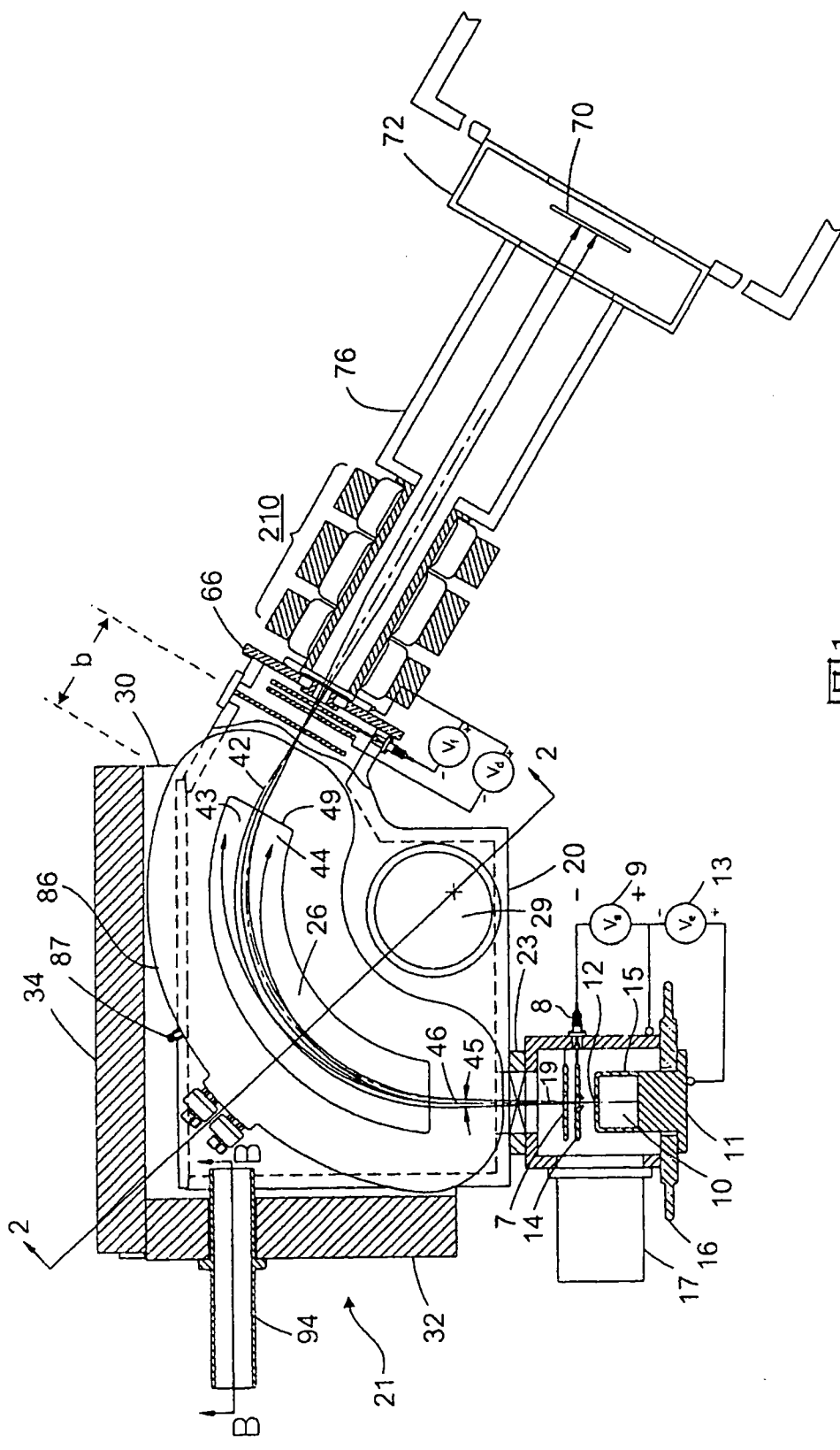


圖1

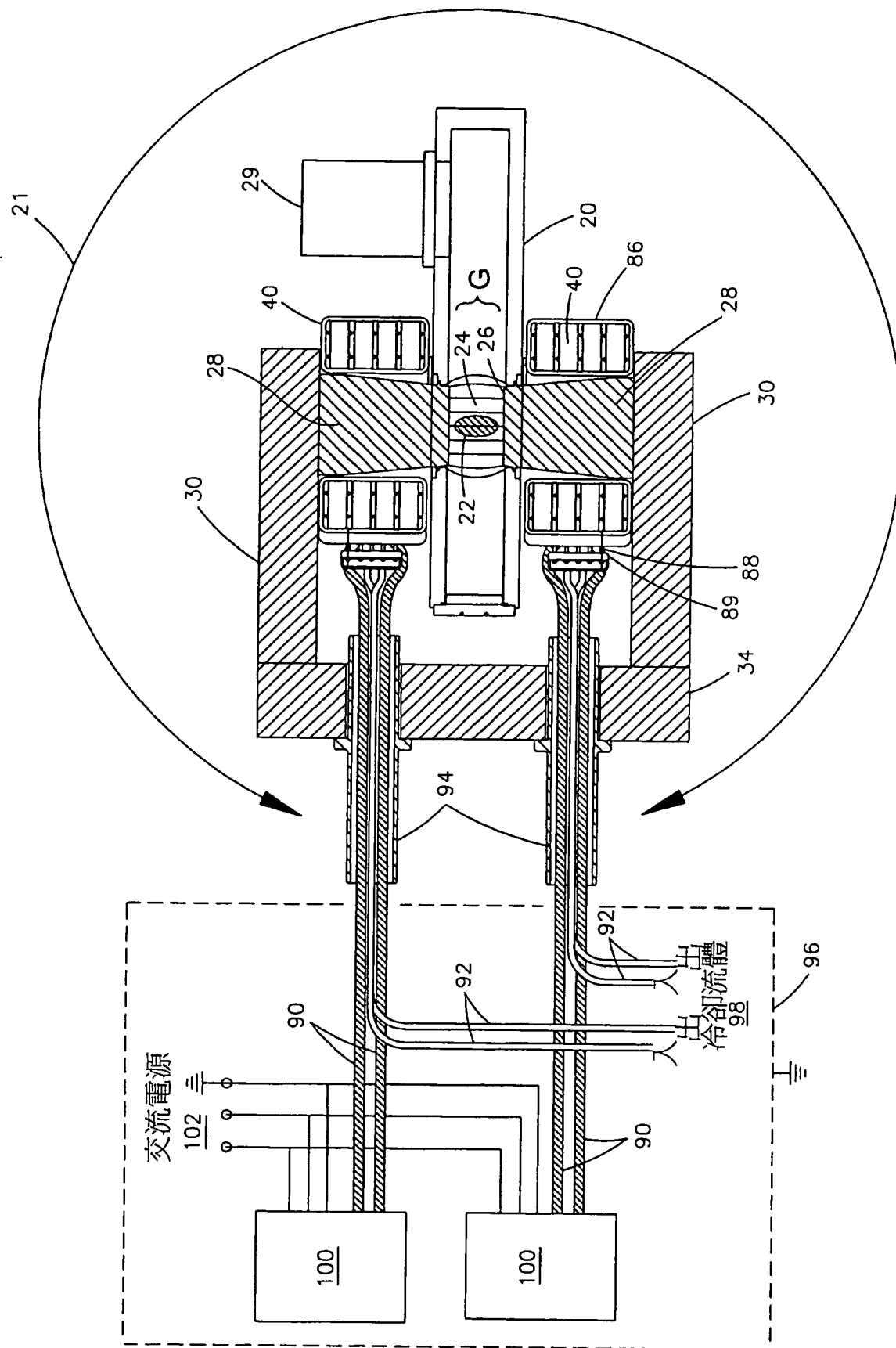


圖2

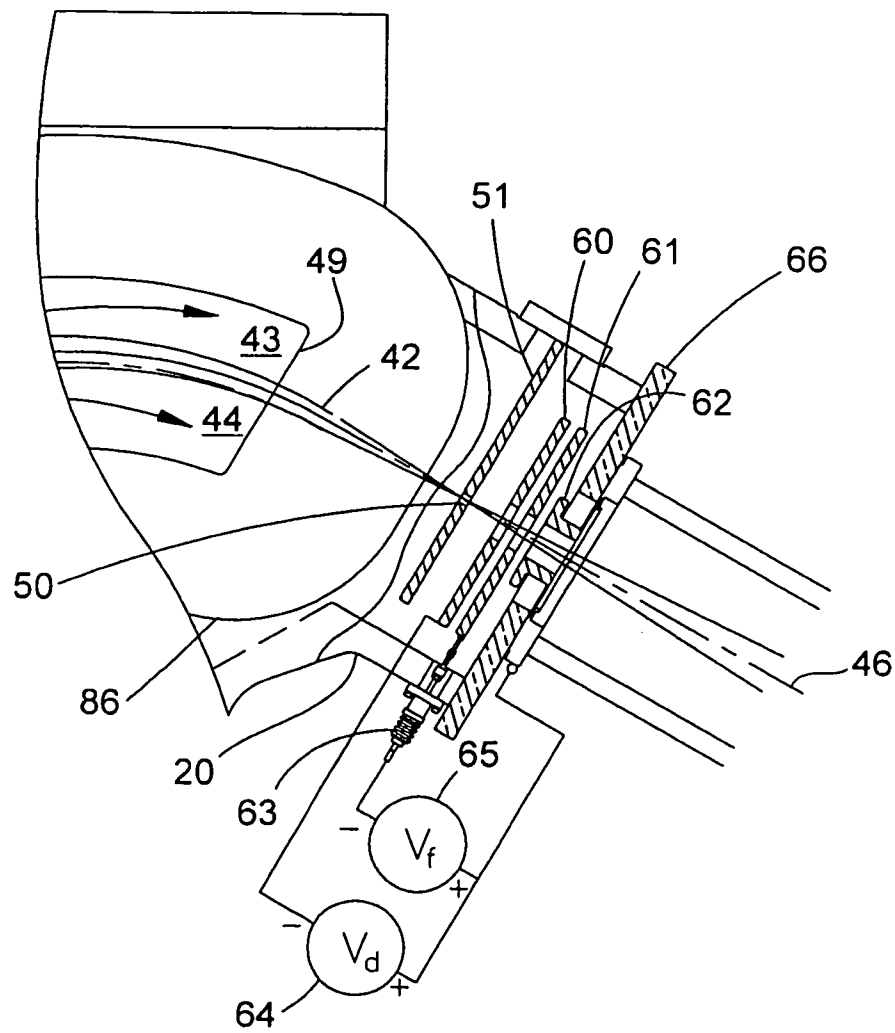


圖3

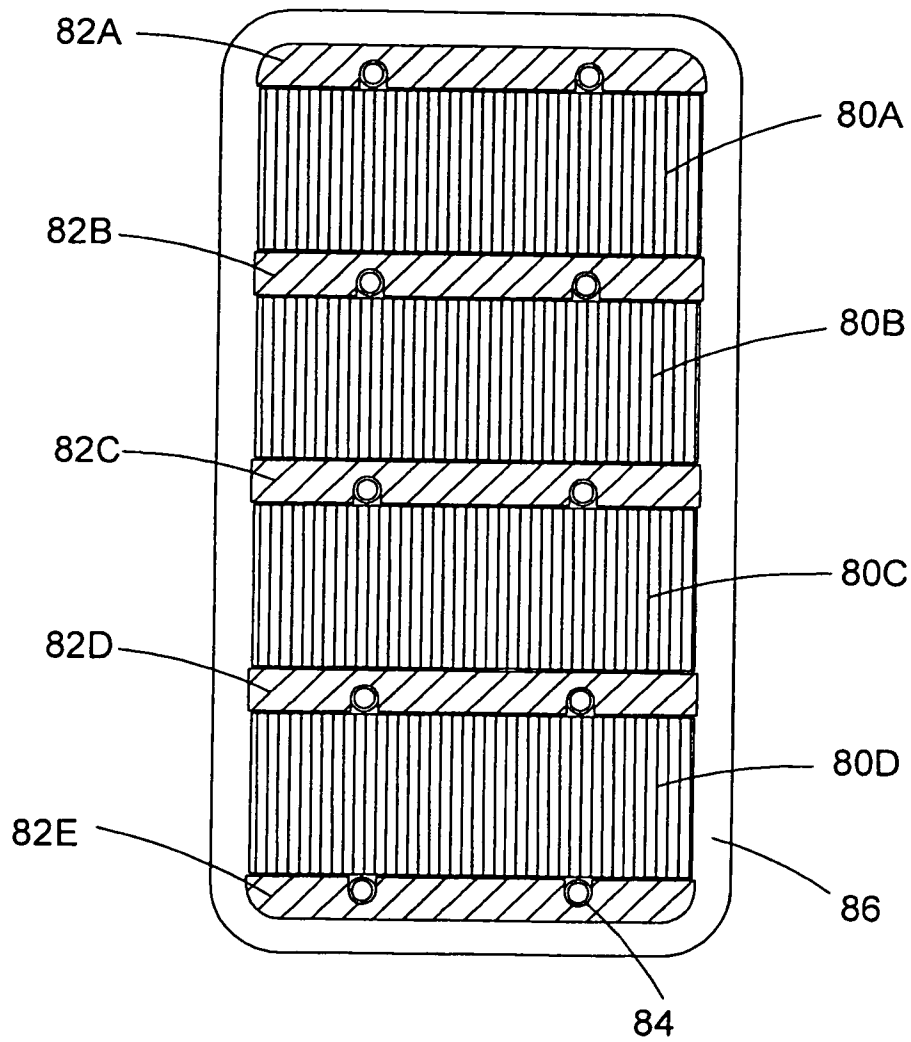


圖4

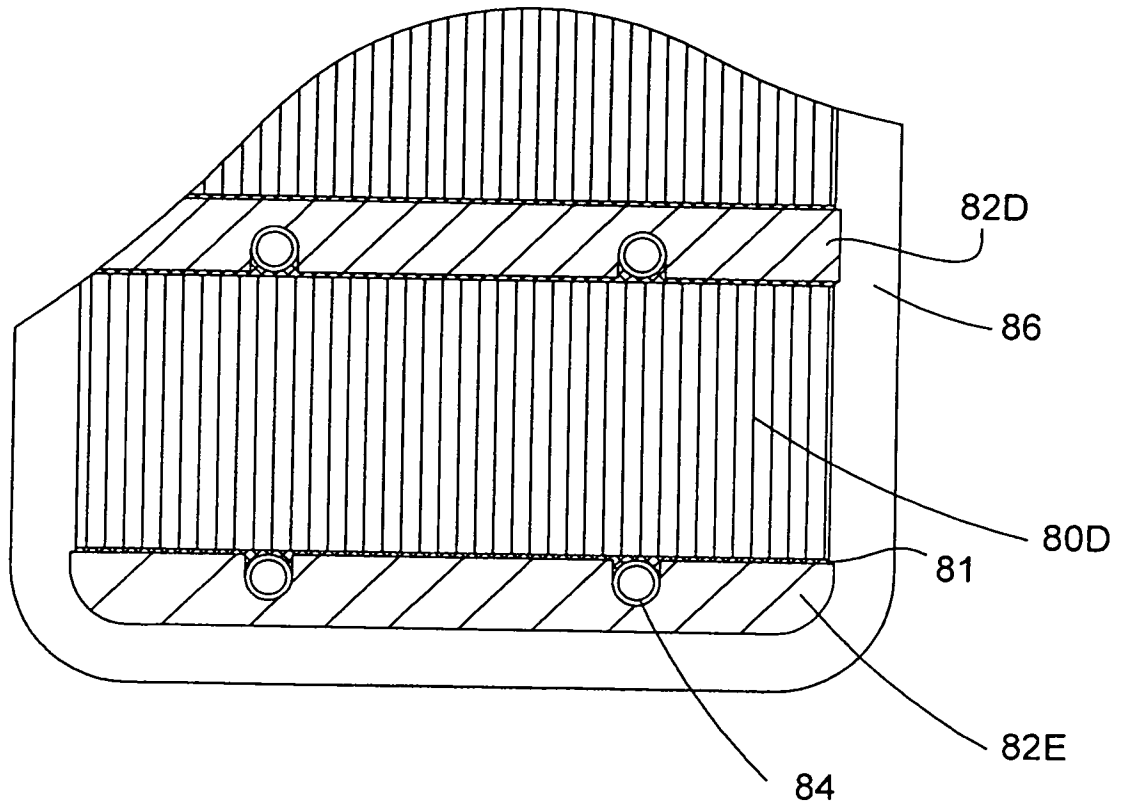


圖5

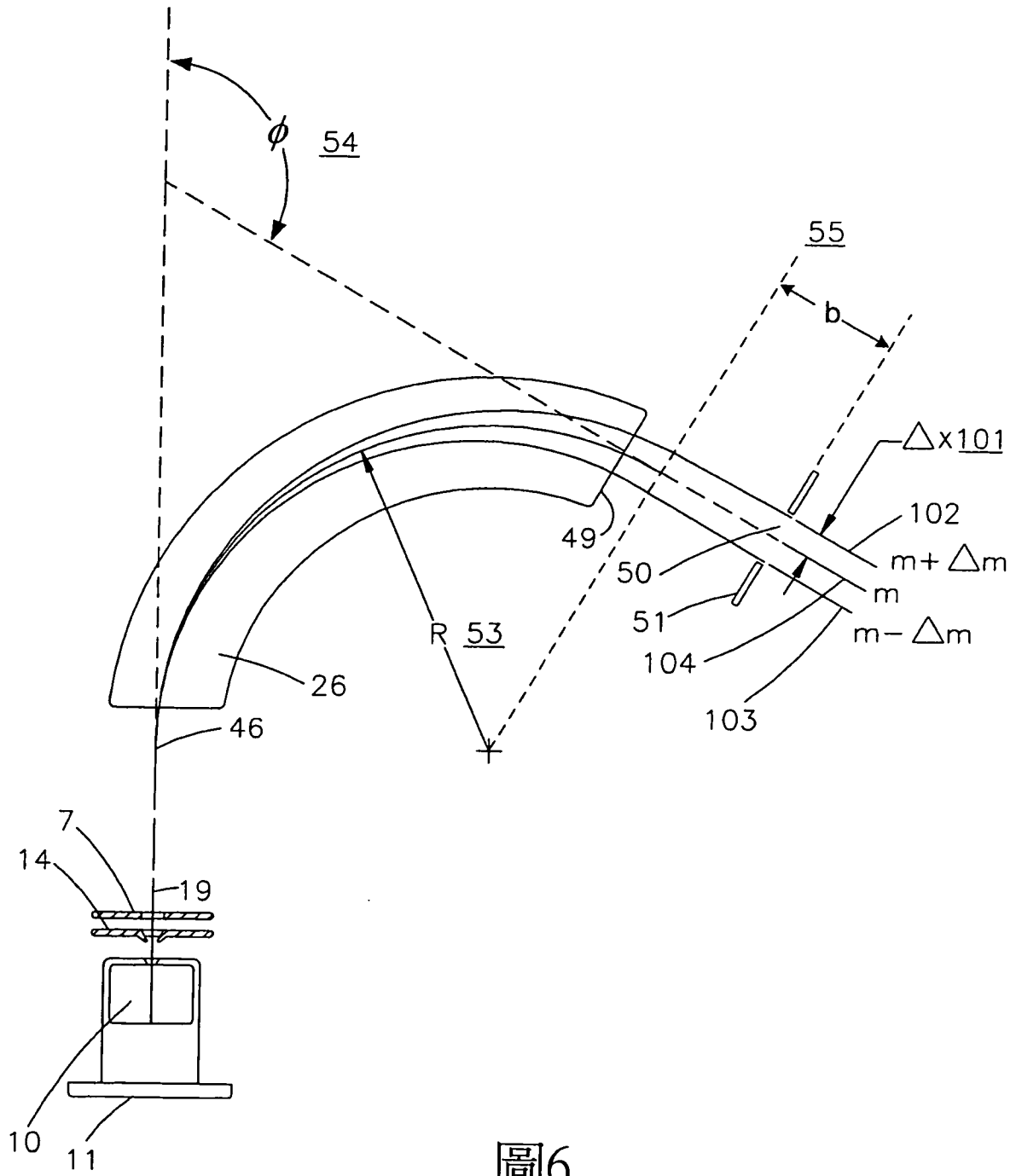


圖6

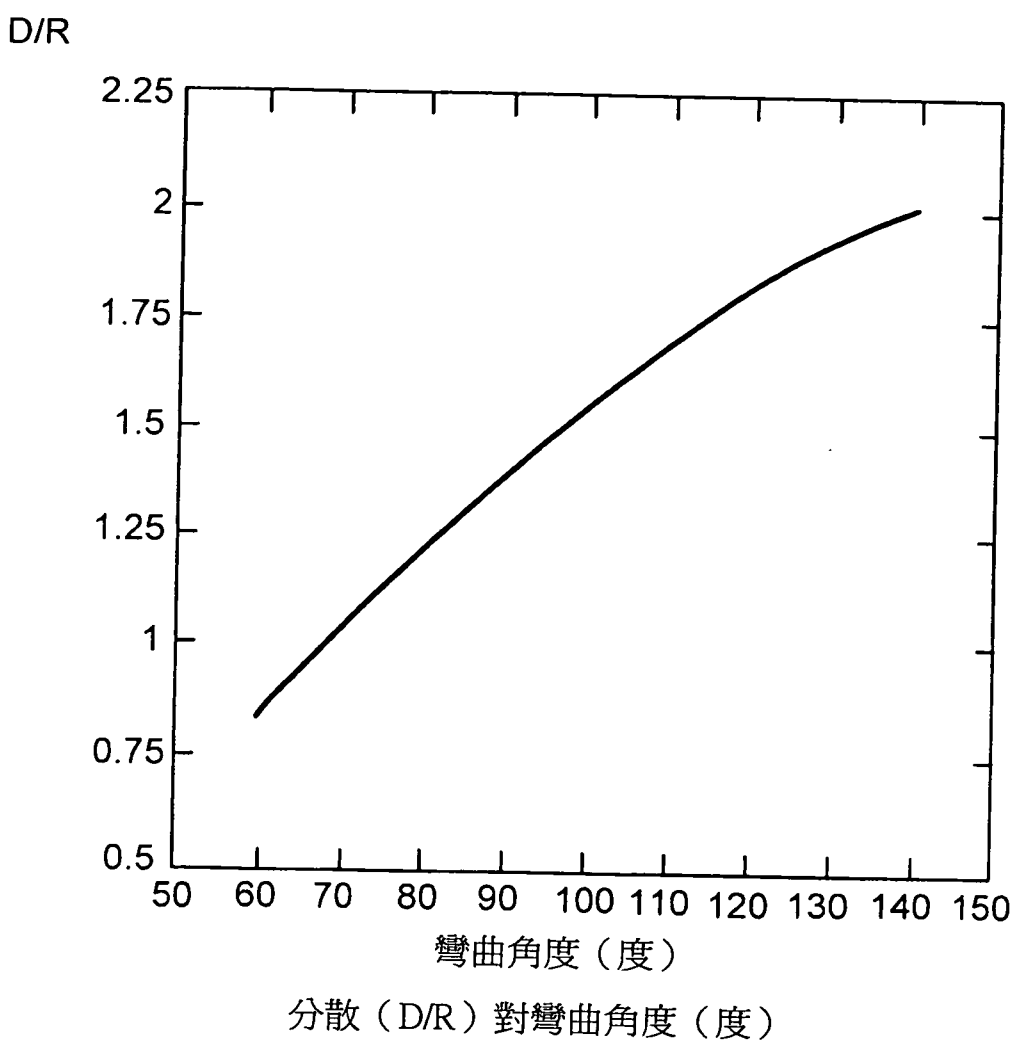


圖7

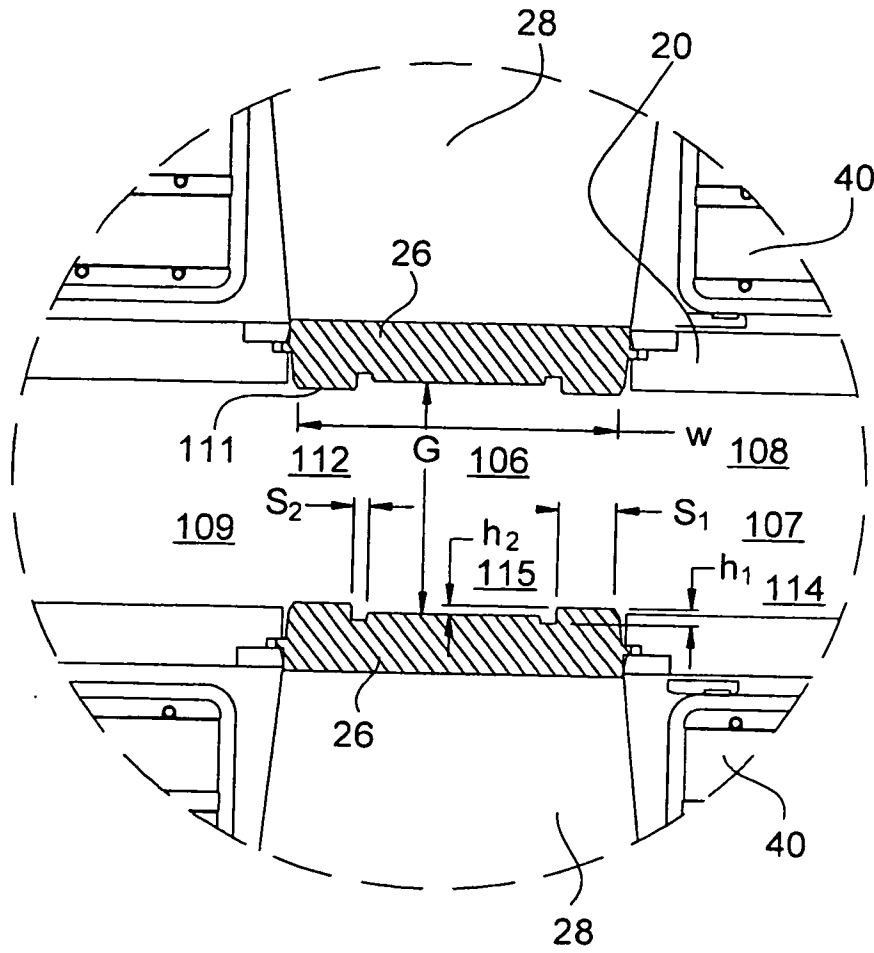


圖8A

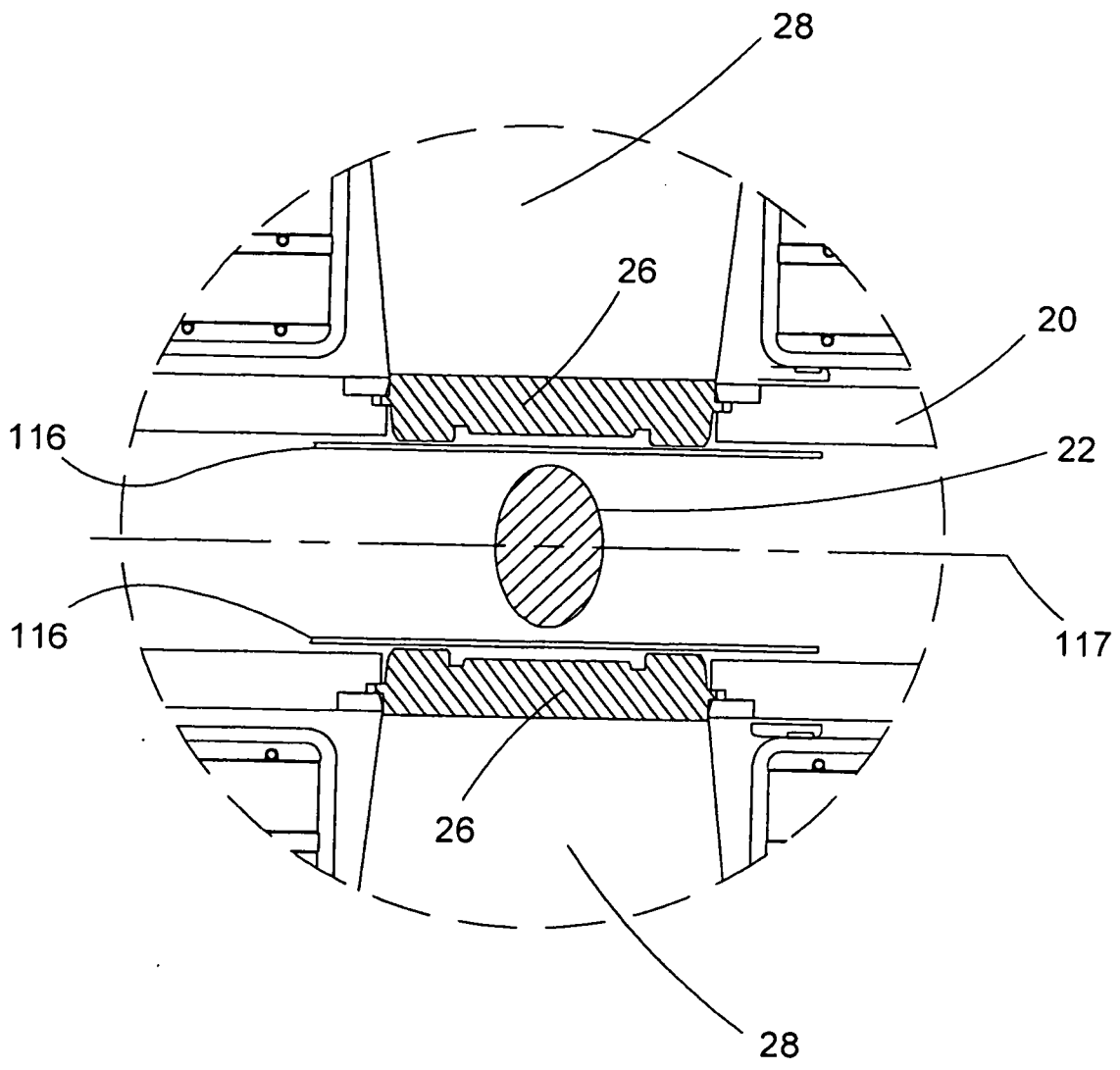


圖8B

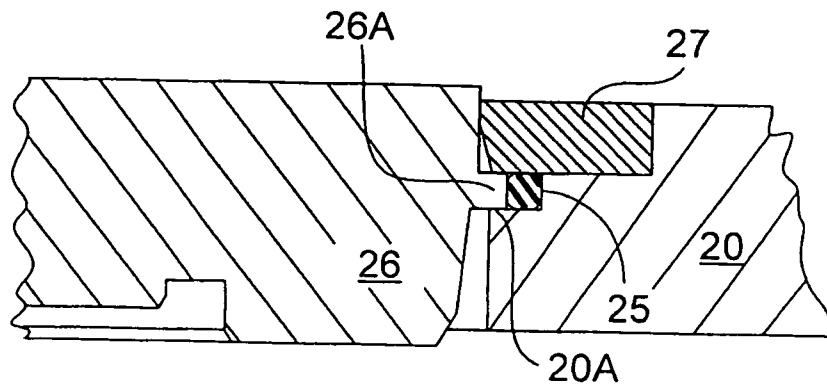
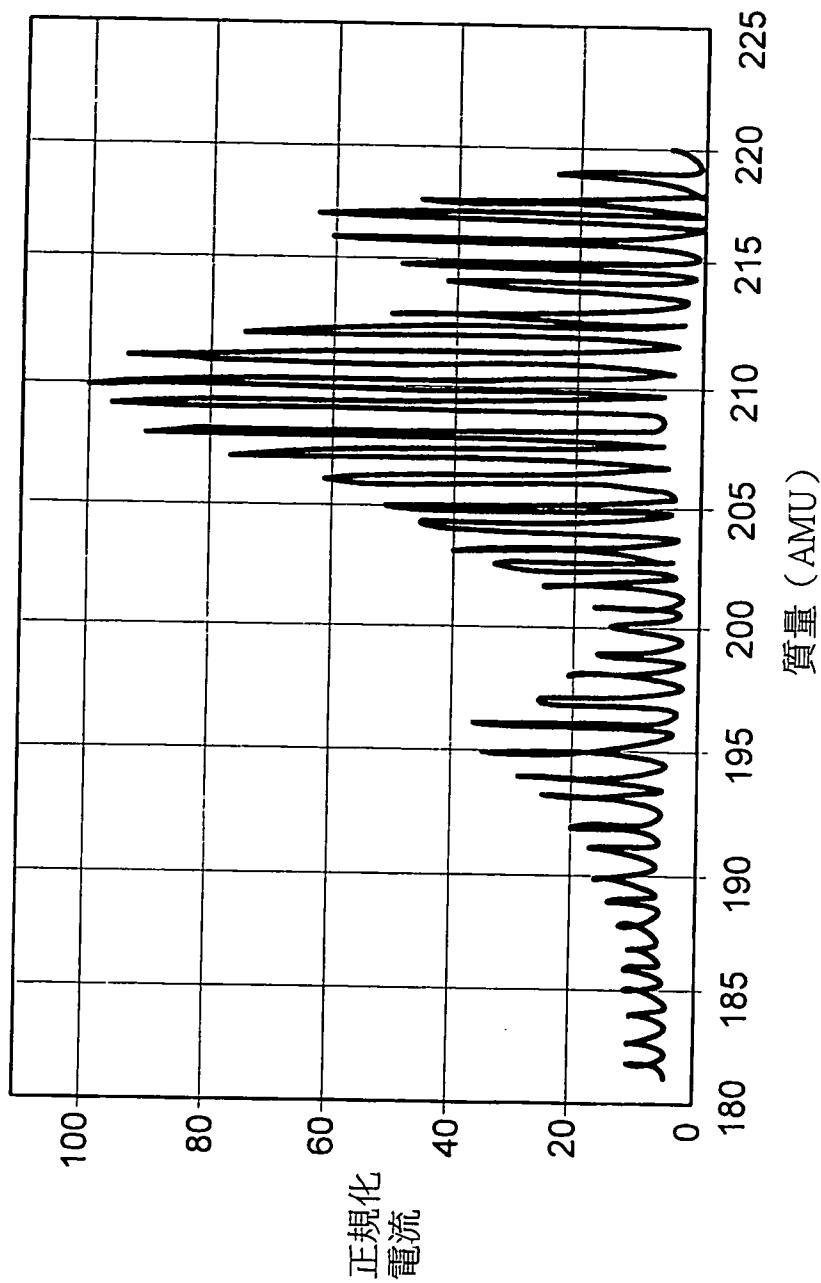


圖8C

超高解析度質譜

20 keV B₁₈H₂₂



磁體入口處 10 mm 孔隙，焦平面處 0.5 mm 質量解析孔隙

圖9

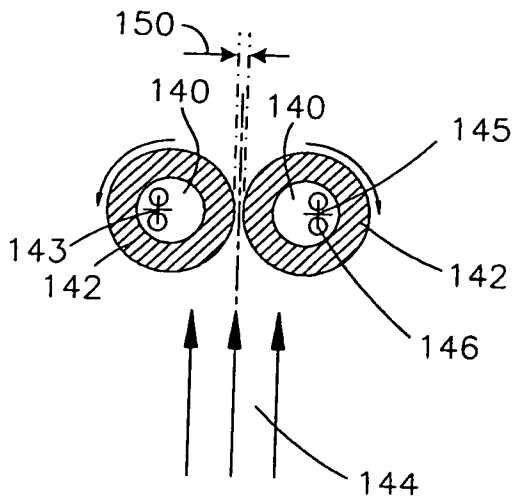


圖10A

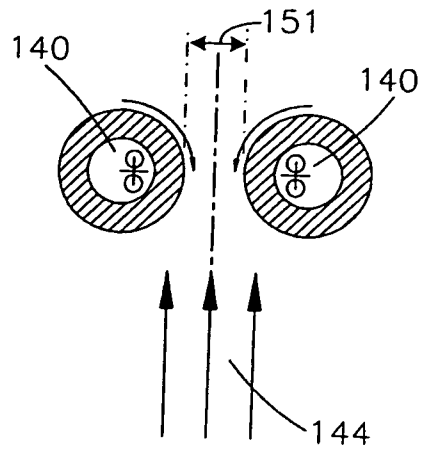


圖10B

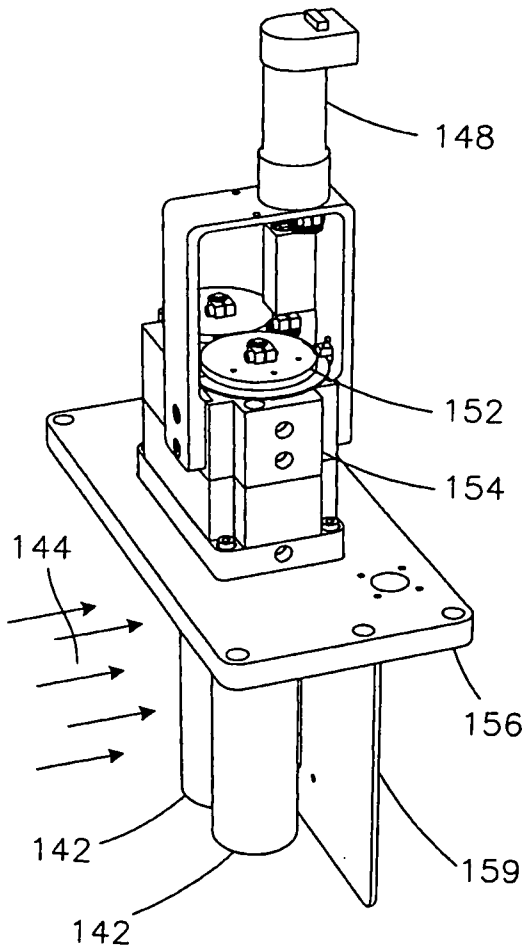


圖10C

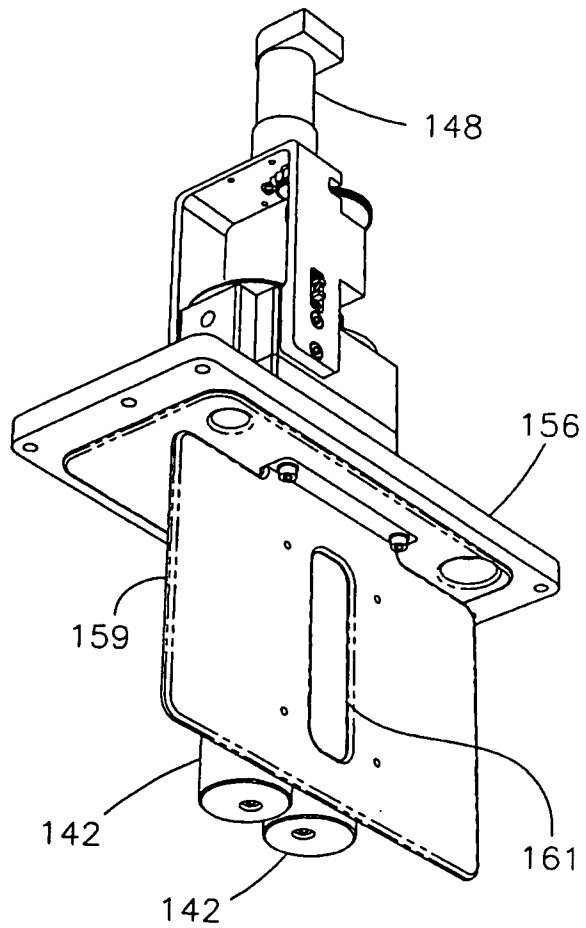


圖10D

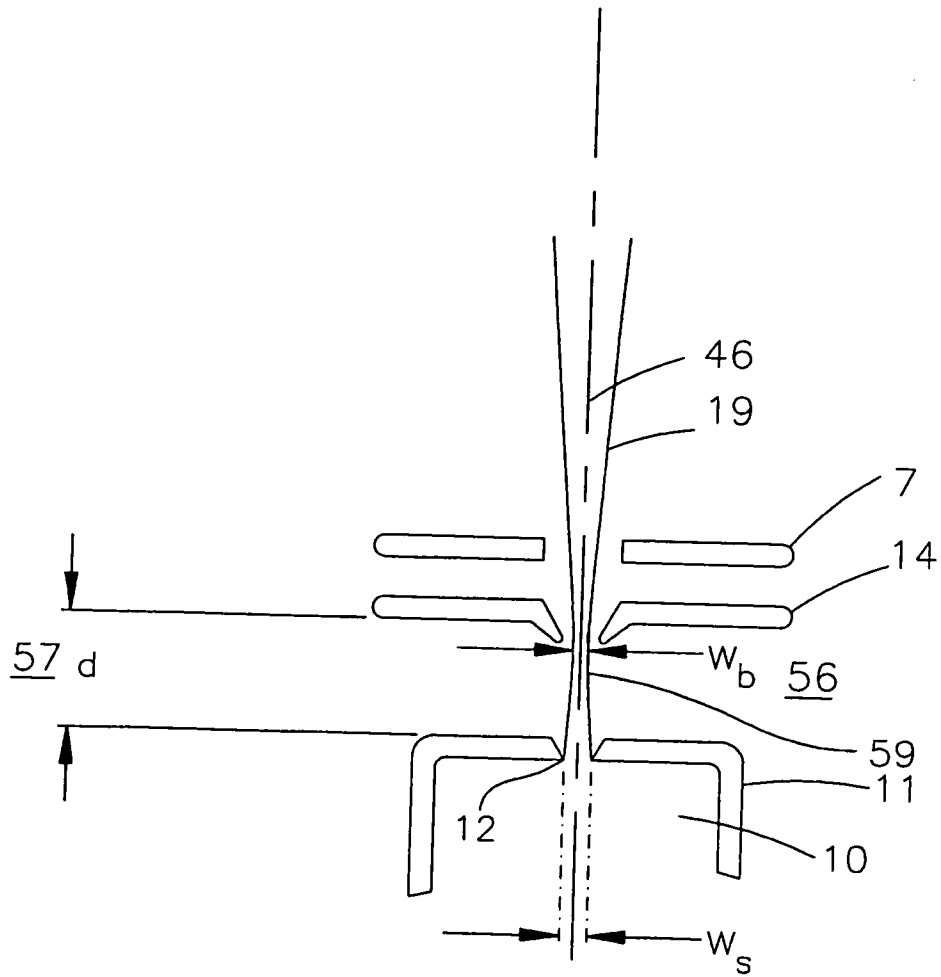


圖11

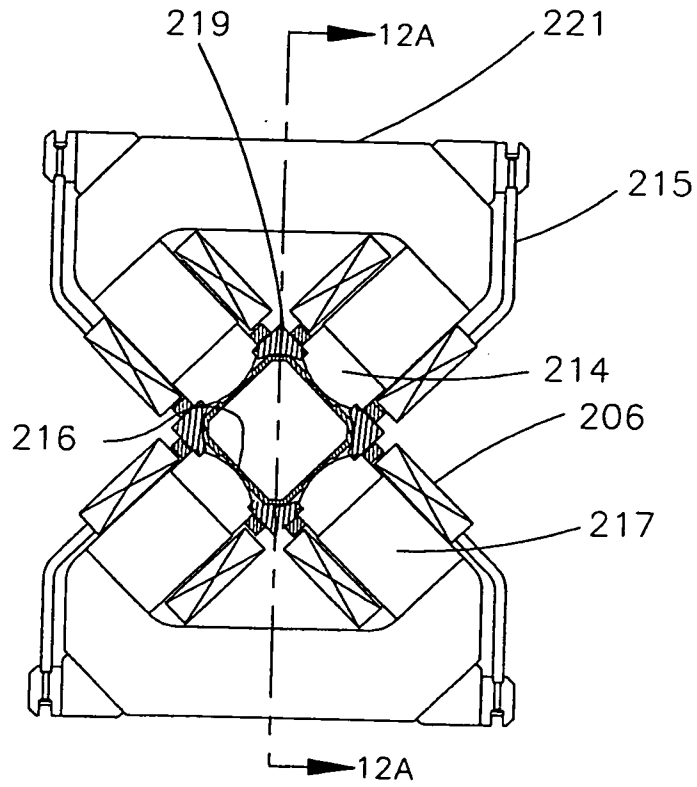


圖12B

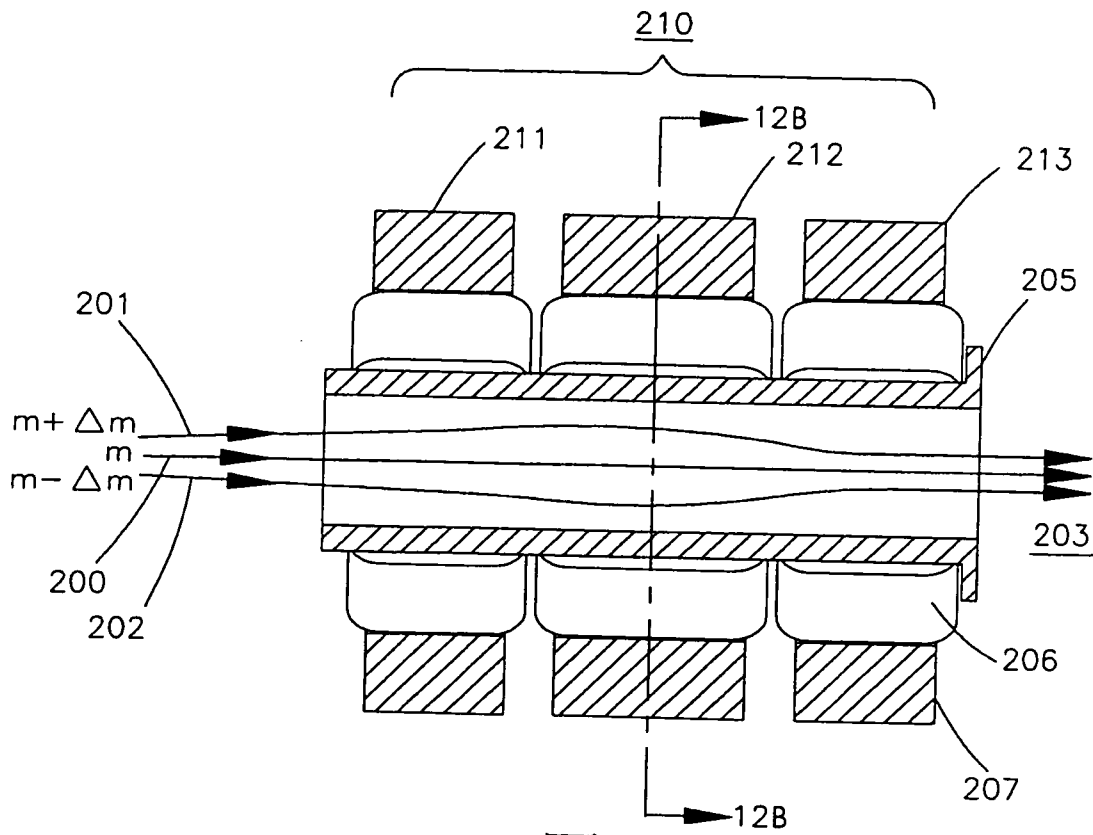


圖12A

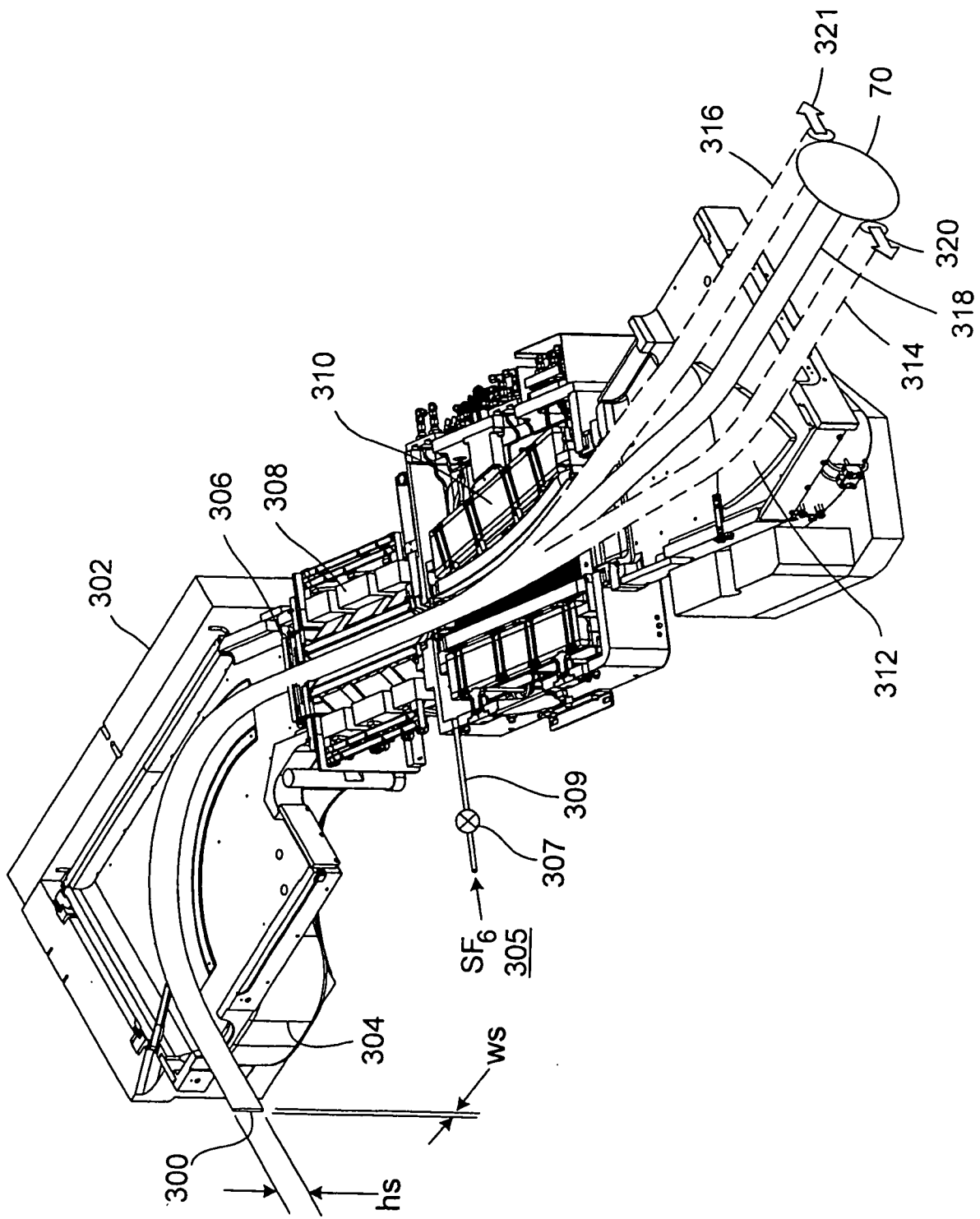


圖13

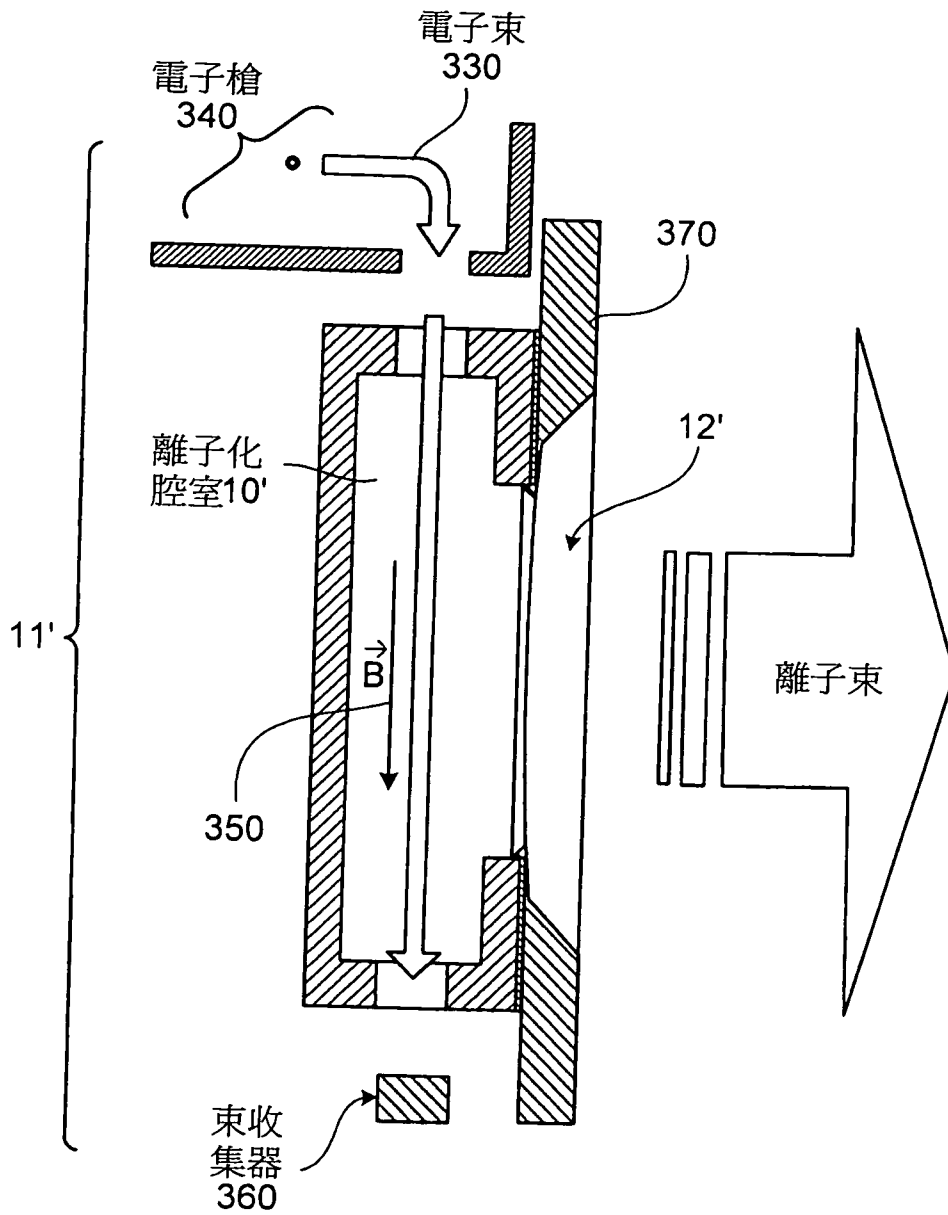


圖14

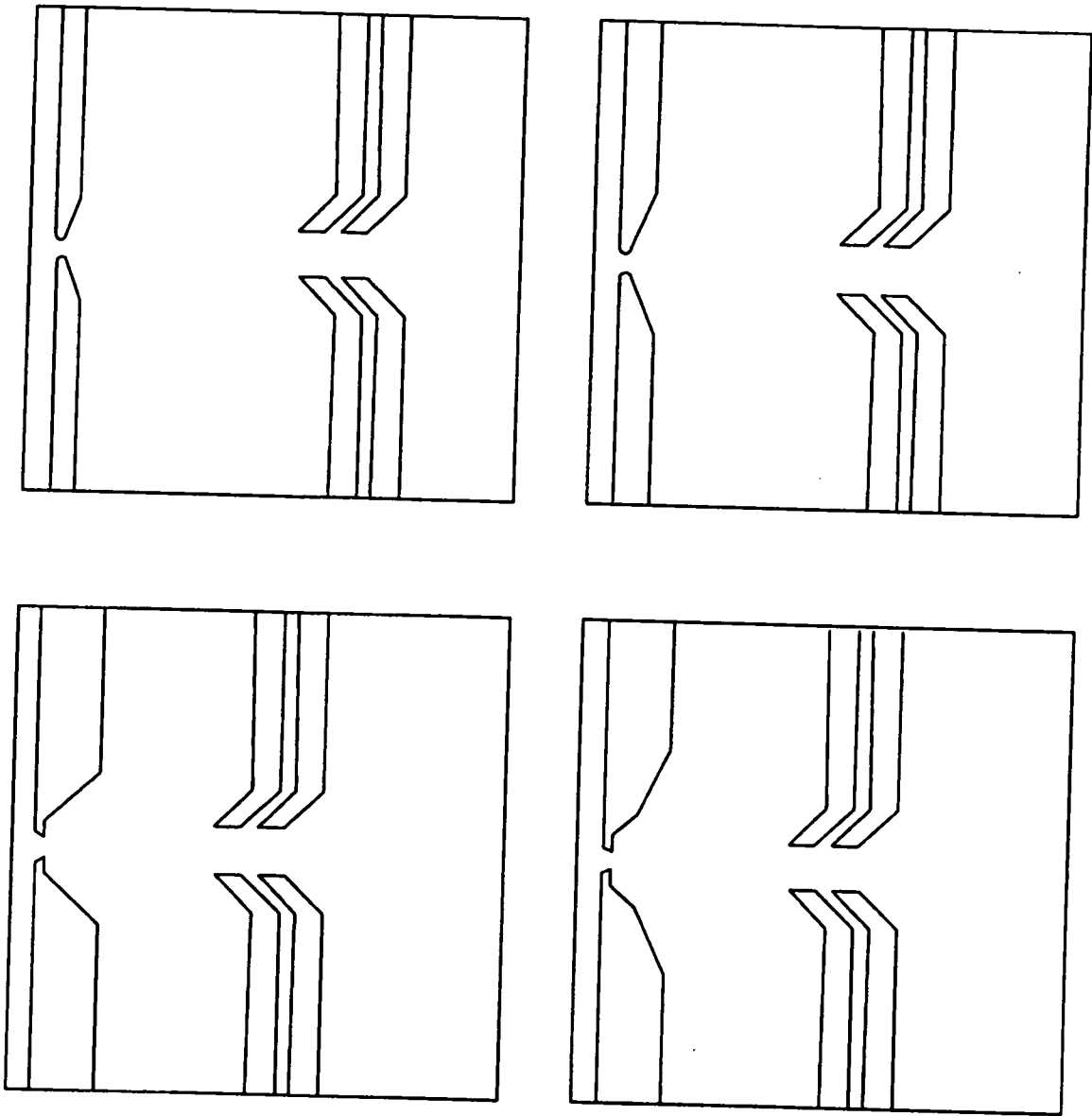


圖14A

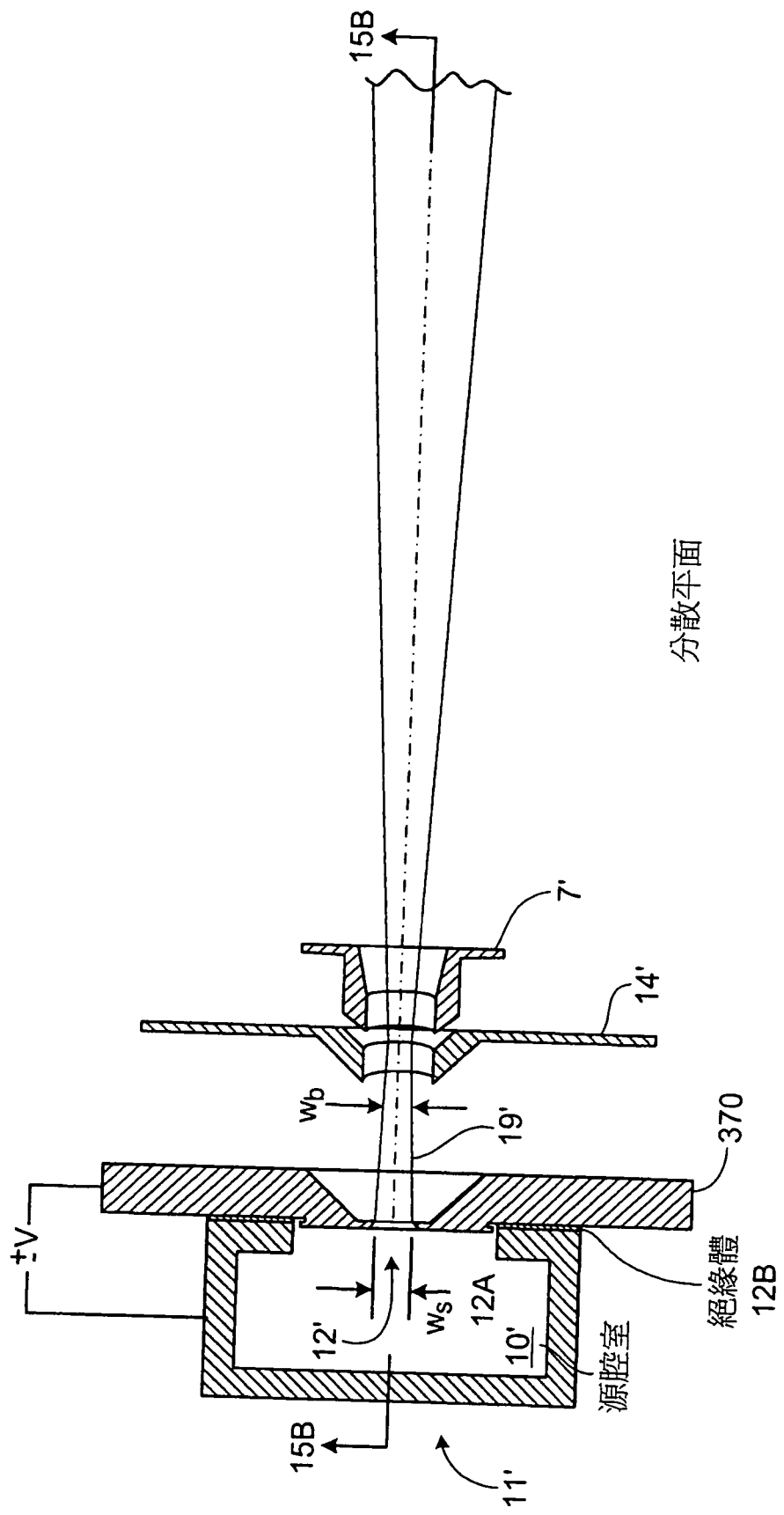


圖15A

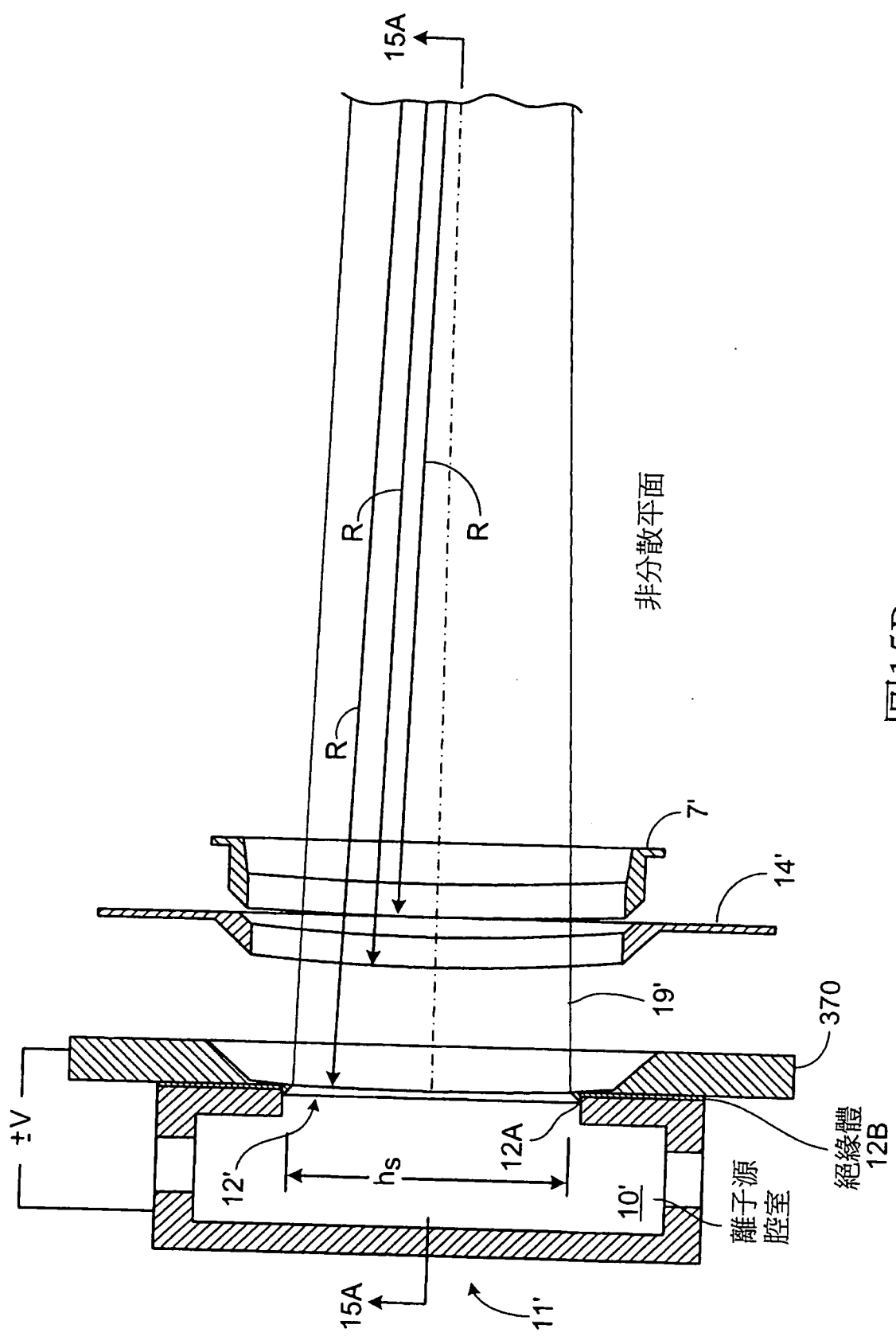
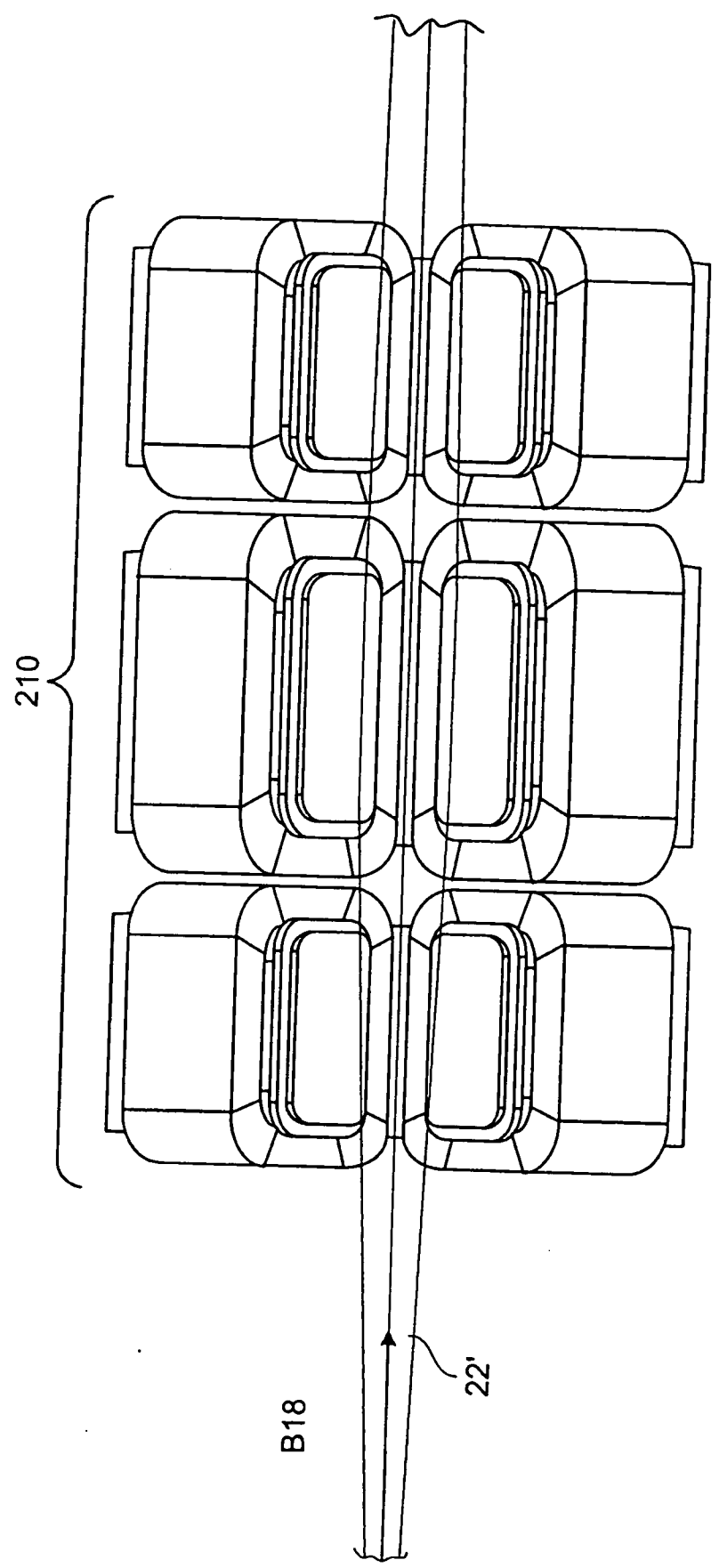
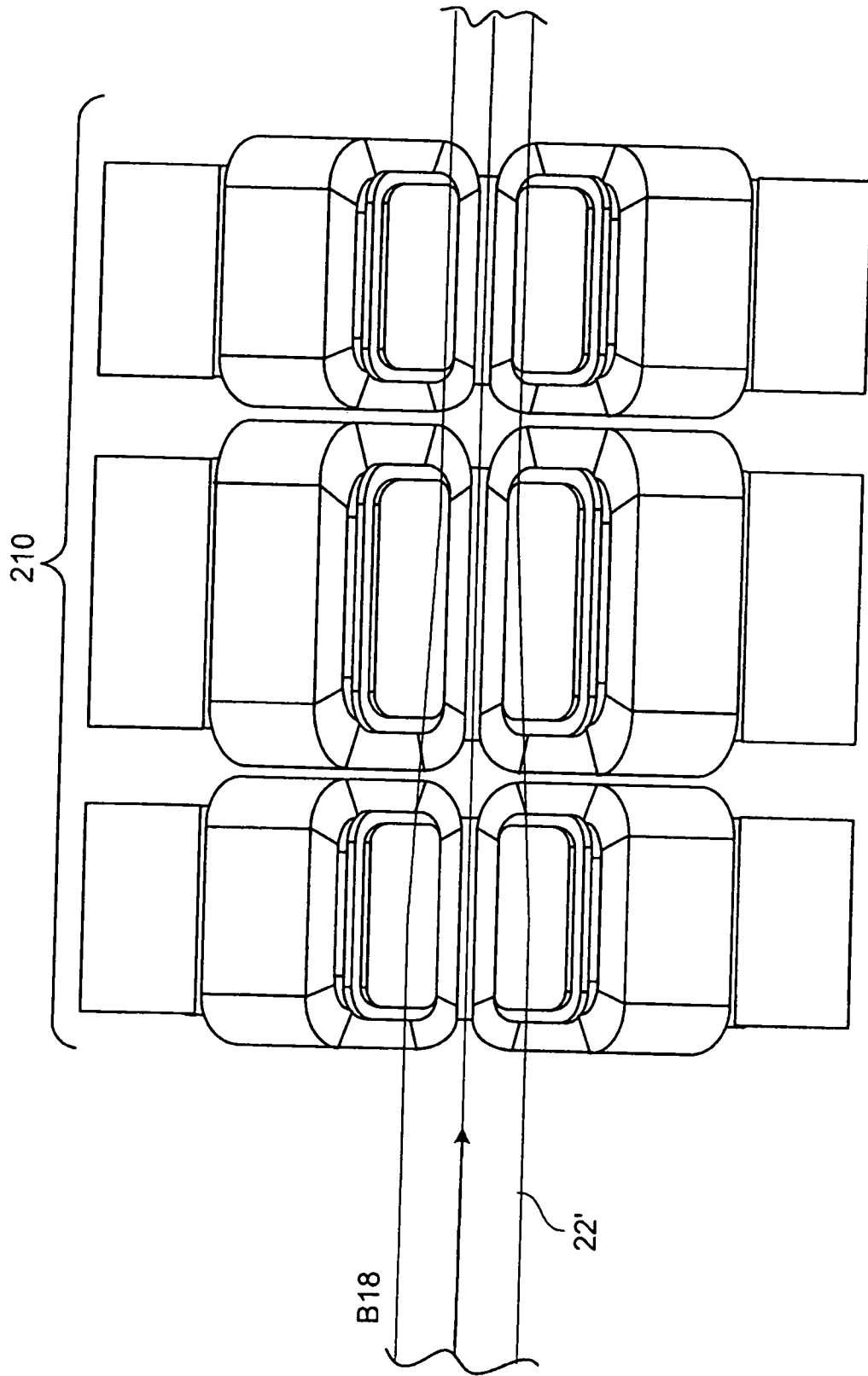


圖15B



分散平面

圖16A



非分散平面
圖16B

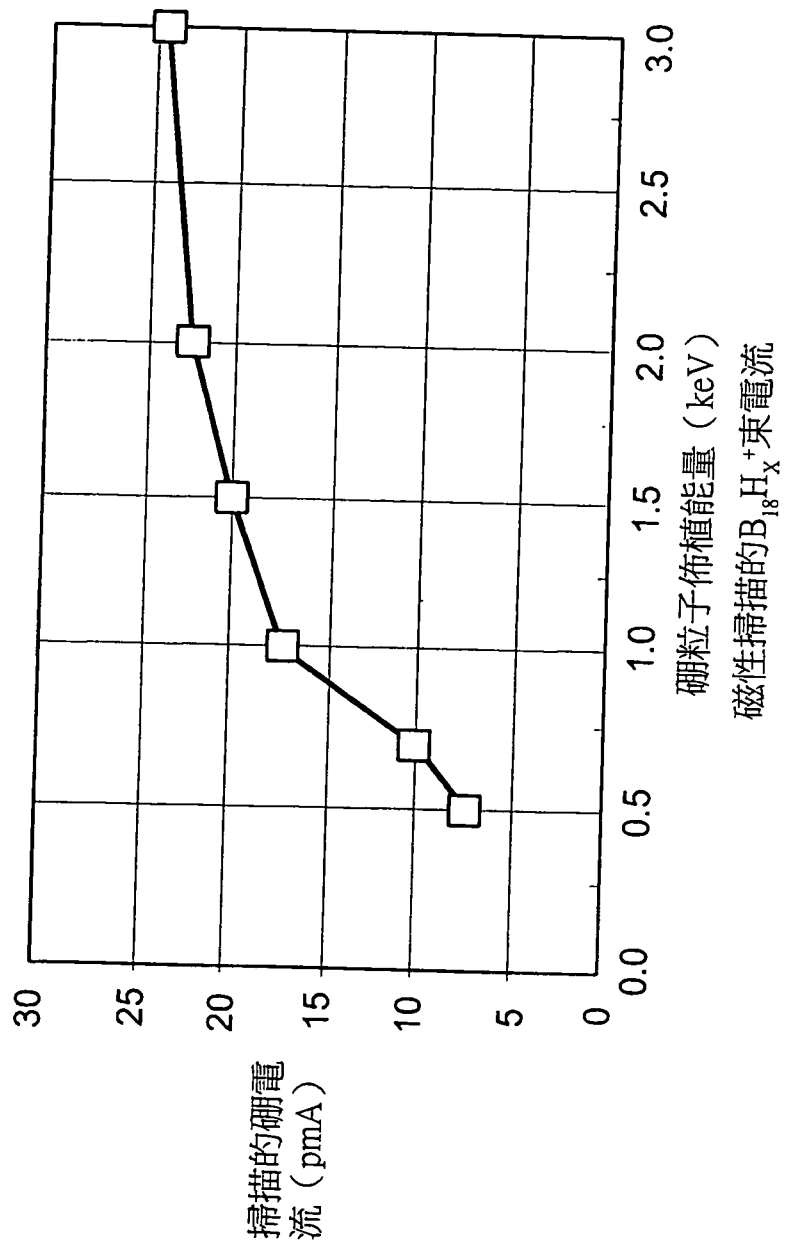


圖17

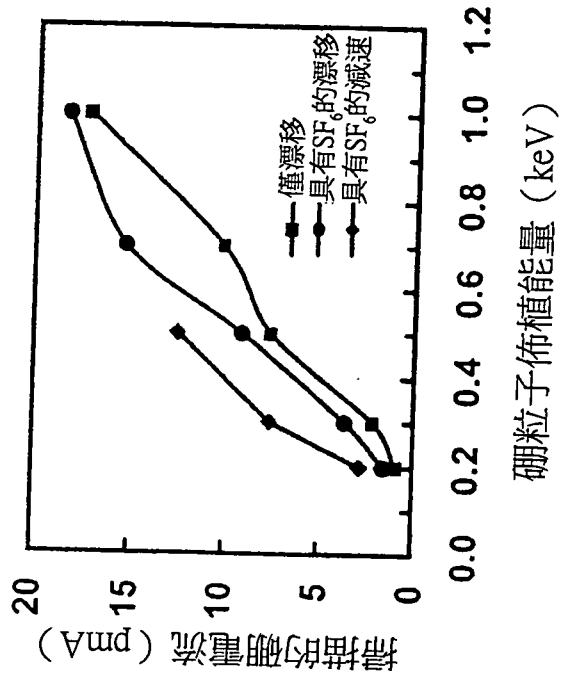


圖17A

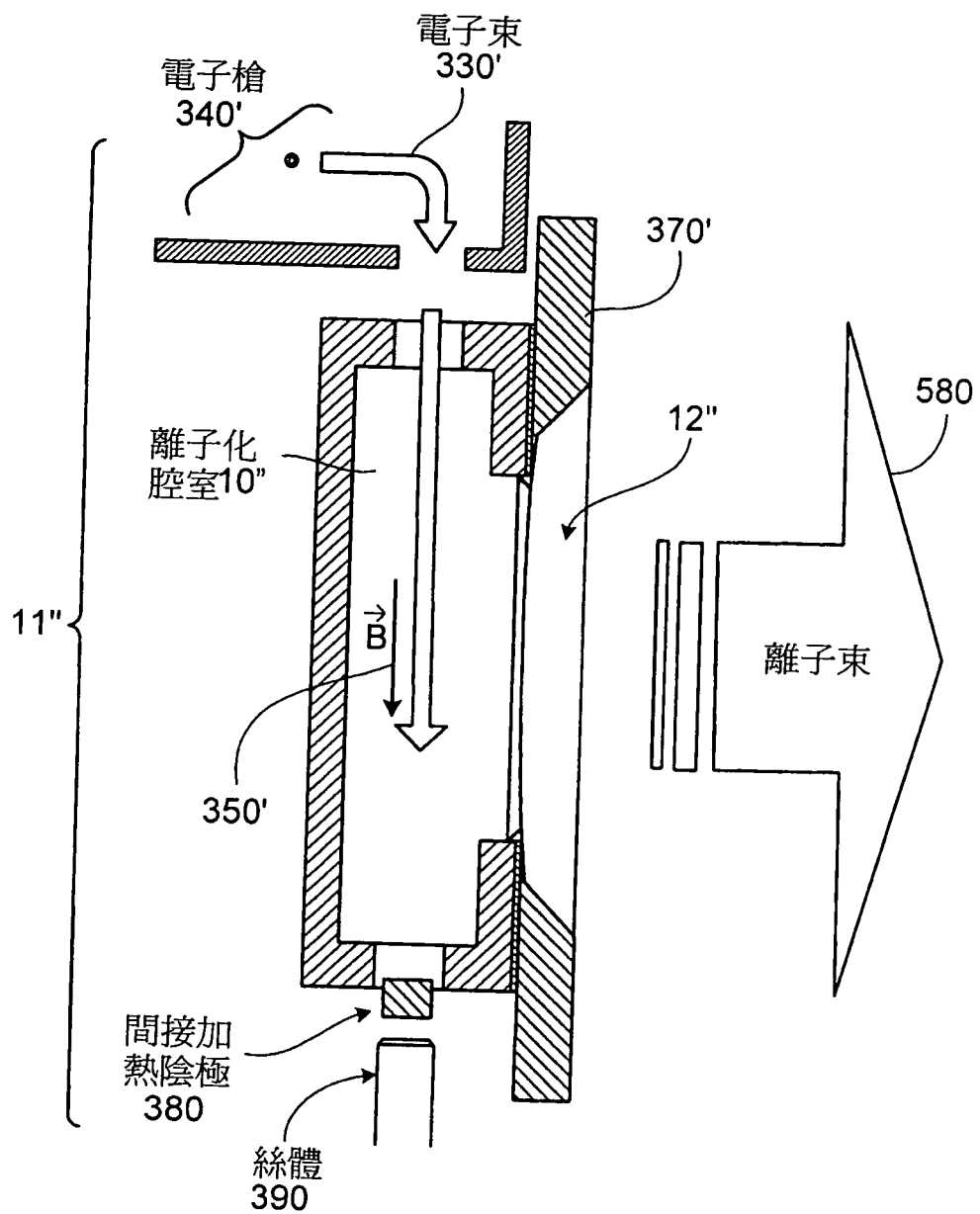


圖18

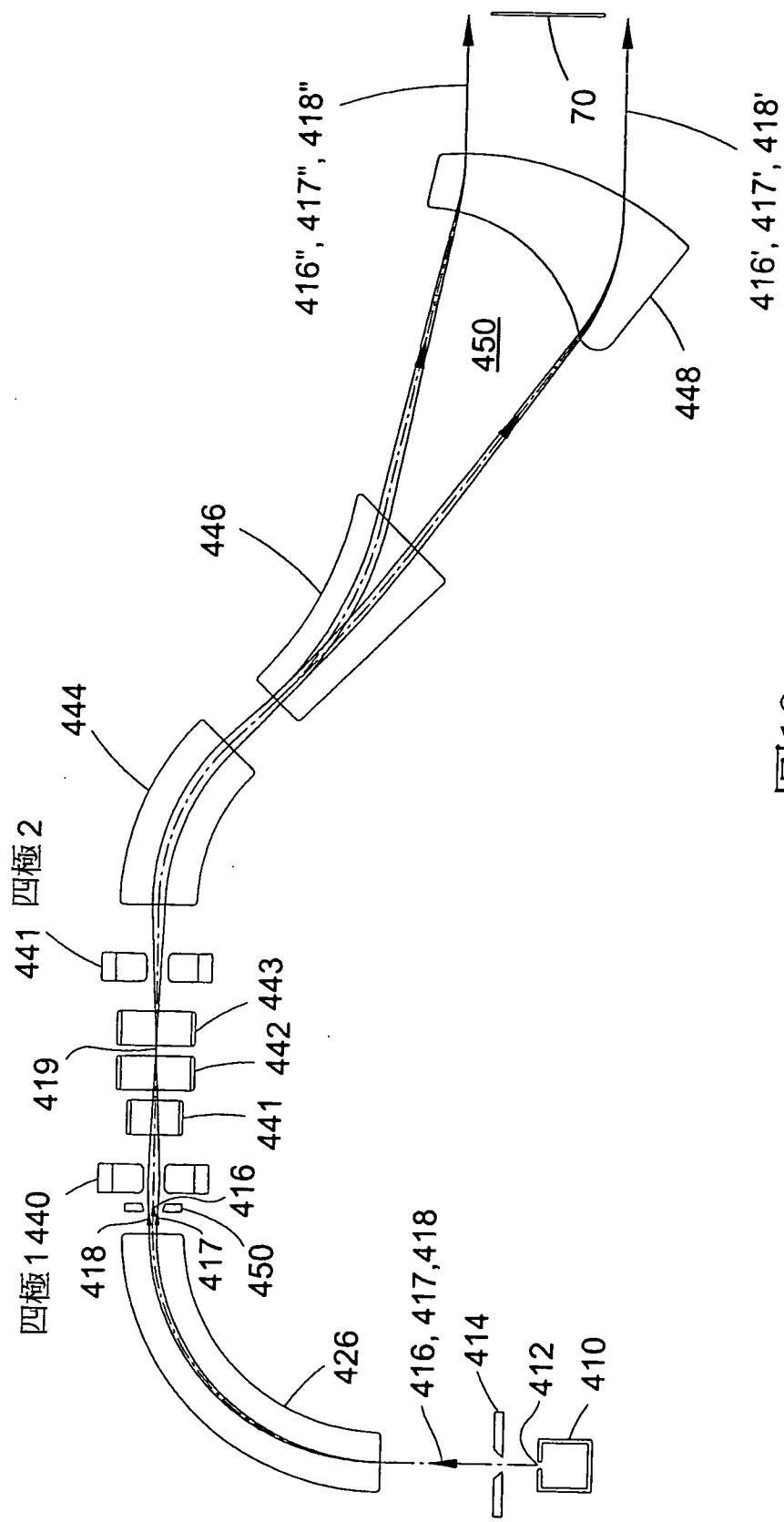


圖19