



(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 I468669 B

(45)公告日：中華民國 104 (2015) 年 01 月 11 日

(21)申請案號：100130427

(22)申請日：中華民國 93 (2004) 年 04 月 23 日

(51)Int. Cl. : G01N21/68 (2006.01)

H01J37/32 (2006.01)

(30)優先權：2003/04/24 日本

2003-119279

2003/04/28 日本

2003-123442

2004/01/16 日本

2004-009100

2004/04/13 日本

2004-117817

(71)申請人：東京威力科創股份有限公司 (日本) TOKYO ELECTRON LIMITED (JP)
日本

(72)發明人：松本直樹 MATSUMOTO, NAOKI (JP)；山澤陽平 YAMAZAWA, YOHEI (JP)；輿水地鹽 KOSHIMIZU, CHISHIO (JP)；松土龍夫 MATSUDO, TATSUO (JP)；瀨川澄江 SEGAWA, SUMIE (JP)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

US 6034781

審查人員：黃俊峰

申請專利範圍項數：13 項 圖式數：50 共 127 頁

(54)名稱

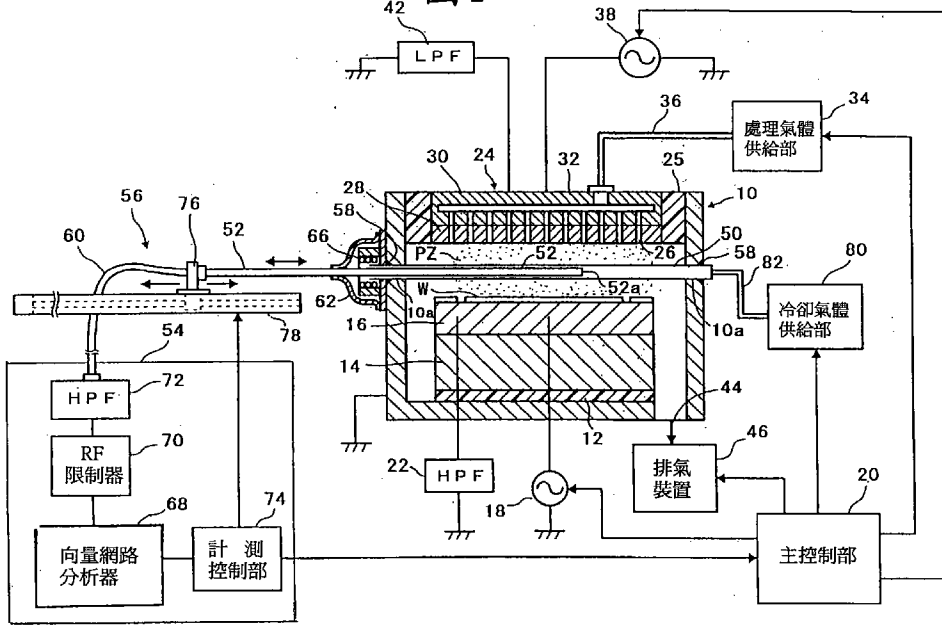
電漿監控方法，電漿監控裝置及電漿處理裝置

(57)摘要

本發明即使是在低電子密度條件或高壓力條件下還是可以正確地測定電漿中的電子密度。

此電漿電子密度測定裝置是在測定部 54 具備向量式的網路分析器 68。以該網路分析器 68 來測定複數表示的反射係數，而取得其虛數部的頻率特性，且於計測控制部 74 中讀取複數反射係數的虛數部零交叉的點的共振頻率，而由共振頻率來算出電子密度的測定值。

圖 1



- 10 . . . 處理室
- 10a . . . 貫通孔(支持部)
- 12 . . . 絕緣板
- 14 . . . 支持台
- 16 . . . 基座(下部電極)
- 18, 38 . . . 高頻電源
- 20 . . . 主控制部
- 22 . . . 高通濾波器(HPF)
- 24 . . . 上部電極
- 25 . . . 絕緣材
- 26 . . . 氣體噴出孔
- 28 . . . 電極板
- 30 . . . 電極支持體
- 32 . . . 氣體導入口
- 34 . . . 處理氣體供給部
- 36 . . . 氣體供給配管
- 42 . . . 低通濾波器(LPF)
- 44 . . . 排氣口
- 46 . . . 排氣裝置
- 50 . . . 絕緣管
- 52 . . . 同軸電纜
- 52a . . . 探針部(天線探針)
- 54 . . . 測定部
- 56 . . . 線性傳動器
- 58 . . . O 形環
- 60 . . . SMA 插頭
- 62 . . . 接地用導體
- 66 . . . 電磁波吸收體

- 68 . . . 向量網路分析器
- 70 . . . RF 限制器
- 72 . . . 高通濾波器 (HPF)
- 74 . . . 計測控制部
- 76 . . . 滑件部
- 78 . . . 滾珠絲桿機構
- 80 . . . 冷卻氣體供給部

公告本

分割案

發明專利說明書

(本申請書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：100130427

G01N 21/68 (2006.01)

※申請日期：093年04月23日

※IPC分類：H01J 37/32 (2006.01)

原申請案號：093111489

一、發明名稱：(中文/英文)

電漿監控方法，電漿監控裝置及電漿處理裝置

二、中文發明摘要：

本發明即使是在低電子密度條件或高壓力條件下還是可以正確地測定電漿中的電子密度。

此電漿電子密度測定裝置是在測定部 54 具備向量式的網路分析器 68。以該網路分析器 68 來測定複數表示的反射係數，而取得其虛數部的頻率特性，且於計測控制部 74 中讀取複數反射係數的虛數部零交叉的點的共振頻率，而由共振頻率來算出電子密度的測定值。

三、英文發明摘要：

四、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：

10：處理室	10a：貫通孔（支持部）
12：絕緣板	14：支持台
16：基座（下部電極）	18，38：高頻電源
20：主控制部	22：高通濾波器（HPF）
24：上部電極	25：絕緣材
26：氣體噴出孔	28：電極板
30：電極支持體	32：氣體導入口
34：處理氣體供給部	36：氣體供給配管
42：低通濾波器（LPF）	44：排氣口
46：排氣裝置	50：絕緣管
52：同軸電纜	52a：探針部（天線探針）
54：測定部	56：線性傳動器
58：O 形環	60：SMA 插頭
62：接地用導體	66：電磁波吸收體
68：向量網路分析器	70：RF 限制器
72：高通濾波器（HPF）	74：計測控制部
76：滑件部	78：滾珠絲桿機構
80：冷卻氣體供給部	

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：無

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明是有關監控電漿處理裝置等的處理室內的電漿之技術，特別是計測電漿中的電子密度或來自電漿的發光之電漿監控方法及裝置。

【先前技術】

在半導體裝置或 FPD (Flat Panel Display) 的製程之蝕刻，堆積，氧化，濺鍍等的處理中，爲了使處理氣體能以較低溫來進行良好的反應，大多會利用電漿。一般，電漿處理裝置爲了取得高良品率，而必須在基板的被處理面施以均一的電漿處理，因此必須以電漿密度亦即電子密度能以均一的狀態分布之方式來產生電漿。由此，在電漿處理裝置的設計段階或啓動段階，爲了在處理室內的處理空間掌握以如何的電子密度分布來產生電漿，而必須要有可以正確測定電漿中的電子密度之技術，這是不可欠缺的。

近年來，就此種的監控技術而言，電漿吸收探針 (PAP : Plasma Absorption Probe) 法漸受注目。此監控法是以絕緣管來包覆天線探針，藉此不會像郎膠爾探針法那樣有擾亂電漿電位，或對處理室內帶來金屬污染之虞，因此即使是反應性氣體的電漿照樣能夠計測。又，由於是千兆赫茲頻帶的計測，因此就算絕緣管表面附著有誘導性的堆積膜還是難以受到影響，所以即使是堆積性氣體的電漿照樣能夠計測。

以往的電漿吸收探針法（例如參照專利文獻 1，2，3），如圖 50 所示，在設置於處理室 200 側壁的貫通孔 200a 安裝（可滑動）前端閉合的絕緣管 202，並將具有使前端部的芯線露出數 mm 程度的探針部 204a 之同軸電纜 204 插入絕緣管 202 中，且將同軸電纜 204 的另一端連接至標量式的網路分析器 206。在處理室 200 內配置有電漿產生機構，例如連接至高頻電源（未圖示）之平行平板型的上部電極 208 及下部電極 210，在減壓下供給處理氣體至兩電極 208，210 間間隙空間，藉此來產生該處理氣體的電漿 pz。在圖示的例子中，於下部電極 210 的上面載置有被處理基板 W。在設置於處理室側壁的絕緣管安裝用的貫通孔 200a 安裝有支撐絕緣管 202 且真空密封的 O 形環 212。

標量網路分析器 206 是例如以數百 MHz~數 GHz 的頻帶來一邊頻率掃描一邊針對各頻率來將微小電力的電磁波訊號（入射波）傳送至同軸電纜 204 的探針部 204a，而朝向處理室內的電漿 pz 來放射，由自電漿 pz 反射而來的電磁波（反射波）的功率量與入射波的比來求取標量表示的反射係數，取得其頻率特性。更詳而言之，使探針部 204a 的位置對準所望的測定位置，首先使電漿產生用電源關閉，且停止處理氣體的供給，在處理室 200 內不存在電漿 pz 的狀態下，藉由網路分析器 206 來取得反射係數的頻率特性 $\Gamma(f)$ （S11 參數），且將此測定資料記憶於記憶體。其次，開啓高頻電源，且供給處理氣體，而於處

理室 200 內產生電漿 pz 的狀態下，藉由標量網路分析器 206 來取得反射係數 $\Gamma(p f)$ 的頻率特性。並且，在兩反射係數的比 $\Gamma(p f) / \Gamma(f)$ 的頻率特性中，以形成波形極小（最小峰值）時的頻率作為電漿吸收頻率。而且，此電漿吸收頻率會看作與電漿中的電子振動數 $f_p (= 1/2 \pi * \sqrt{(e^2 * N_e / m_e * \epsilon_0)})$ 相等，藉由下式 (1) 來算出電子密度 N_e 。

$$\begin{aligned} N_e &= m_e * \epsilon_0 * (1 + \epsilon_r) * (2 \pi f_p / e)^2 \\ &= 0.012 * (1 + \epsilon_r) f_p^2 \quad \dots \dots (1) \end{aligned}$$

在此， m_e 為電子質量， ϵ_0 為真空介電係數， ϵ_r 為絕緣管的比介電係數， e 為素電荷。

在調查電漿 pz 中的電子密度的空間分布時，是推或拉絕緣管 202 於軸方向（長度方向），而使探針部 204a 依次移動至複數個測定位置，如上述，在各測定位置切換電漿產生的開啓/關閉，每次藉由標量網路分析器 206 來取得反射係數的頻率特性 $\Gamma(f)$ ， $\Gamma(p f)$ ，進行電漿吸收頻率乃至電子密度的運算。通常是在處理室 200 的徑方向，以所期望的間距來使探針部 204a 的位置，亦即測定位置步進移動，將各測定位置所求取的電子密度的測定值描繪於圖表上。

又，以往在電漿製程的裝置開發或製程開發或實際製程中，計測製程處理室內的電漿發光之監控技術會被使用

。以往的電漿發光計測法是經由安裝於製程處理室側壁的窗來計測處理室內的電漿發光。典型的，例如有針對從窗射出外面的電漿光，經由分光器或濾光器窗來取出特定波長的光譜，計測所取出後的光譜強度或變化等（例如參照專利文獻 4）。

[專利文獻 1]

特開 2000-100598 號公報

[專利文獻 2]

特開 2000-100599 號公報

[專利文獻 3]

特開 2001-196199 號公報

[專利文獻 4]

特開平 10-270417 號公報

【發明內容】

（發明所欲解決的課題）

但，在上述的電漿吸收探針法中，電漿吸收頻率的測定值會大幅度受到反射係數的頻率特性之波形的履歷所左右，電子密度的測定值會有容易出現不均一的問題。亦即，在反射係數的頻率特性中，當吸收峰值（最小峰值）為顯現前端尖角狀的波形時，雖可正確測定峰值點的頻率，亦即電漿吸收頻率，但當吸收峰值（最小峰值）為顯現前端圓弧寬廣的波形時，峰值點不明確，測定值容易產生誤

差。如此寬廣的吸收峰值波形，典型的是在測定點的電漿密度（電子密度）低時出現。並且，在高壓力條件下，不可無視電漿中的氣體分子衝突之訊號電力吸收，隨著雜訊的增大，電子振動之實質的電力吸收會不易顯現，S/N 會降低。

又，於上述以往的電漿吸收探針法中，因為在每次改變測定位置時會重複進行電漿產生的開啓/關閉，所以每一個測定位置需要數分鐘的測定時間。又，因為是使絕緣管 202 滑動來改變測定位置的方式，所以移動至下個測定位置之探針部 202a 的移動乃至對位必須花費相當的時間。因此，在選擇 10 處左右的測定點時，全測定時間需要數 10 分鐘。若縮短測定點的步進距離或間隔來詳細評價電漿電子密度的空間分布，則必須有多數（例如 100 以上）的測定點，因此全測定時間會超過數小時。而且，在詳細評價電漿電子密度對電漿製程的輸入參數（RF 電力，壓力，氣體種，電極間距離，電極構造，處理室構造，材質等）的依存性或相關性時，會花費非常龐大的測定時間。此問題特別是在具有大口徑處理室的 300mm 徑晶圓或 FPD 用的處理裝置中特別深刻。

又，若利用上述習知的電漿發光計測法，則只能夠透過處理室側壁的窗來計測處理室內的電漿發光之平均值，而無法計測處理室內的空間分布。因此，無法調查被處理基板之製程結果的面內分布與電漿發光的空間分布之相關性。

本發明是有鑑於習知技術的問題點而研發者，其目的是在於提供一種在即使在任意的電漿條件下，特別是低電子密度條件或高壓力條件下，照樣能夠高精度測定電漿中的電子密度之電漿監控方法，電漿監控裝置及電漿處理裝置。

本發明的另一目的是在於提供一種可有效率短時間測定電漿中的電子密度之電漿監控方法及電漿監控裝置。

又，本發明的另一目的是在於提供一種可保證測定位置的再現性，提高探針構造的安定性及耐久性，使對電漿造成的影響安定化，改善 S/N 特性，針對電漿中的電子密度進行安定且高精度的測定之電漿監控方法及電漿監控裝置。

又，本發明的另一目的是在於提供一種可有效防止 RF 雜訊洩漏至大氣中或測定器，而得以確保人體或測定機器的安全性之電漿監控方法及電漿監控裝置。

又，本發明的另一目的是在於提供一種可在不擾亂電漿的情況下計測電漿發光，亦即處理室內的空間分布之可靠度高的電漿監控方法及電漿監控裝置。

又，本發明的另一目的是在於提供一種即使在實際製程中還是能夠計測電漿發光，亦即處理室內的空間分布之電漿監控方法及電漿監控裝置。

又，本發明的另一目的是在於提供一種可對基板的被處理面確保電漿密度的均一性，進而能夠達成電漿處理的均一性之電漿處理裝置。

(用以解決課題的手段)

爲了達成上述目的，本發明之第 1 觀點的電漿監控方法的特徵係具有：

在預定的空間內所存在的電漿中或設定於其附近的所望監控位置配置天線探針之過程；及

藉由上述天線探針來放射頻率可變的電磁波，然後使射入上述電漿之過程；及

接受從上述電漿反射於上述天線探針而來的電磁波之過程；及

由上述入射波及上述反射波來測定複數表示的反射係數，且取得該複數反射係數的虛數部之過程；及

掃描上述電磁波的頻率，而來測定上述複數反射係數的虛數部的值形成零的共振頻率之過程；及

根據上述共振頻率的測定值來算出上述電漿中的電子密度之過程。

又，本發明之第 1 觀點的電漿監控裝置的特徵係具有：

天線探針，其係配置於可產生或導入電漿的處理室的壁或室內；及

向量式的反射係數測定部，其係一邊掃描頻率，一邊使各頻率的電磁波傳送至上述天線探針，朝向上述電漿放射，接受由上述電漿經上述天線探針反射而來的反射波，而測定複數表示的反射係數；及

共振頻率測定部，其係求取上述反射係數測定部所取得的上述複數反射係數的虛數部形成零之共振頻率的測定值；及

電子密度運算部，其係根據上述共振頻率的測定值來算出上述電漿中的電子密度。

本發明係利用向量式的反射係數測定部來測定複數表示的反射係數，取得複數反射係數的虛數部。又，以共振頻率測定部來測定複數反射係數的虛數部形成零的共振頻率，根據共振頻率的測定值，在電子密度運算部算出電漿中的電子密度。在本發明中是經由複數反射係數的虛數部來監控電漿電抗對電磁波的訊號傳送特性，將複數反射係數的虛數部形成零時的頻率視為電漿電抗形成直列共振狀態而產生蘭多·衰減的共振頻率，而由此共振頻率的測定值來求取電子密度的測定值。

藉此適合的一形態，可利用反射係數測定部來掃描電磁波的頻率，針對複數反射係數的虛數部來取得頻率特性，根據此頻率特性，可在共振頻率測定部算出複數反射係數的虛數部的符號由負（-）變正（+）的點或由正（+）變負（-）的點的頻率，來作為共振頻率。

又，藉此適合的一形態，可在上述被監控空間內不存在電漿的狀態下，掃描電磁波的頻率，而針對複數反射係數的虛數部來取得第 1 頻率特性，在上述被監控空間內存在電漿的狀態下，掃描電磁波的頻率，而針對複數反射係數的虛數部來取得第 2 頻率特性，由第 1 頻率特性與第 2

頻率特性來取得正規的頻率特性。若利用此方式，則可無關測定點數，1次完成電漿 ON/OFF 的切換時間，大幅度縮短全體的測定時間。

本發明之電漿處理裝置的特徵係具有：

處理室，其係收容被處理體；及

氣體供給部，其係於上述處理室內供給預定的氣體；

及

電漿產生部，其係於上述處理室內使上述氣體放電，而產生供以對上述被處理體施以所期望的處理之電漿；及

排氣部，其係使上述處理室內減壓，而來維持於所期望的壓力；及

本發明的電漿監控裝置。

該構成中，可利用本發明的電漿監控裝置來正確監控處理室內之電漿密度的狀態及電漿製程的狀況，提高電漿處理的品質。

在本發明的電漿處理裝置中最好是設有根據電漿電子密度測定裝置所取得的電子密度的測定值來監控處理室內的電漿處理的狀態之監視部。更理想是具備製程控制部，其係控制可左右電漿處理的製程參數中的至少一個來使電子密度的測定值能夠維持於預定的範圍內。

又，其一合適的形態，可具備：針對上述處理室的清洗或零件更換後的製程條件，根據藉由上述電漿監控裝置而取得的上述電子密度的測定值的經常性的變化特性來使完成適應處理之適應處理控制部。又，上述適應處理控制

部可針對交替搬入上述處理室而接受上述電漿處理的各個虛擬基板來求取上述電漿處理的期間中經時間變化之上述電子密度的測定值的代表值，在相前後的虛擬基板之間，在上述代表值達成穩定實質的定常值時使適應處理終了，從虛擬基板來將搬入上述處理室的基板切換成正規的被處理基板。

又，其一合適的形態，可採用將電漿電子密度測定裝置的天線探針安裝於處理室的壁之構成，或安裝於用以產生電漿的電極之構成，或者安裝於用以載置被處理體的載置台之構成。

又，其一合適的形態，可具備：選擇配置於不同場所的複數個上述天線探針中的任一個來電性連接至上述反射係數測定部之選擇開關。藉此選擇開關以時間分割方式來依次將複數個天線探針電性連接至反射係數測定部，藉此可以 1 台的計測器來有效率地實現複數監控位置的同時測定。

本發明之第 2 觀點的電漿監控方法的特徵係具有：

在預定的空間內所存在的電漿中或設定於其附近的所期望監控位置配置天線探針之過程；及

藉由上述天線探針來放射頻率可變的電磁波，而使射入上述電漿之過程；及

接受從上述電漿反射於上述天線探針而來的電磁波之過程；及

測定上述入射波與上述反射波的相位差之過程；及

掃描上述電磁波的頻率，而來測定上述相位差形成零的共振頻率之過程；及

根據上述共振頻率的測定值來算出上述電漿中的電子密度之過程。

又，本發明之第 2 觀點的電漿監控裝置的特徵係具有：

天線探針，其係配置於可產生或導入電漿的處理室的壁或室內；及

相位差測定部，其係一邊掃描頻率，一邊使各頻率的電磁波傳送至上述天線探針，朝向上述電漿放射，接受由上述電漿經上述天線探針反射而來的反射波，而測定入射波與反射波的相位差；及

共振頻率測定部，其係求取上述相位差測定部所取得的上述相位差為取零的値之共振頻率的測定值；及

電子密度運算部，其係根據上述共振頻率的測定值來算出上述電漿中的電子密度。

在上述第 2 觀點的電漿監控方法或裝置中，在相位差測定部所測定之入射波與反射波的相位差的符號是對應於複數反射係數的虛數部的符號，相位差形成零的頻率為複數反射係數的虛數部形成零的頻率，亦即共振頻率。因此，可從相位差所算出的共振頻率來求取高精度之電子密度的測定值。

本發明之第 3 觀點的電漿監控方法的特徵係具有：

在可產生或導入電漿的處理室的室內插入安裝絕緣管

之過程；及

將具有使前端部的芯線露出的探針部之同軸電纜插入上述絕緣管的管內之過程；及

在上述處理室內不存在電漿的狀態下，針對由上述絕緣管內的上述探針部所放出的電磁波的反射係數來取得第 1 頻率特性之過程；及

在上述處理室內存在電漿的狀態下，針對由上述絕緣管內的上述探針部所放出的電磁波的反射係數來取得第 2 頻率特性之過程；及

由上述第 1 頻率特性與上述第 2 頻率特性來求取電漿吸收頻率的測定值之過程。

本發明之第 3 觀點的電漿監控裝置的特徵係具有：

絕緣管，其係插入可產生或導入電漿的處理室的室內而安裝；及

同軸電纜，其係具有使前端部的芯線露出的探針部，由上述絕緣管的一方端插入管內；及

傳動器，其係使上述同軸電纜對上述絕緣管移動於軸方向；及

標量式的反射係數測定部，其係一邊掃描頻率，一邊以一定電力來使各頻率的電磁波訊號傳送至上述同軸電纜的探針部，而使放出於周圍的空間，由經上述探針部而反射來的訊號的位準來測定各頻率的反射係數，求取反射係數的頻率特性；及

測定運算部，其係針對根據上述探針部的位置而賦予

的所期望的測定位置，由在上述處理室內不存在電漿的狀態下藉上述反射係數測定部所取得的第 1 頻率特性及在上述處理室內存在電漿的狀態下藉上述反射係數測定部所取得的第 2 頻率特性來求取電漿吸收頻率的測定值。

在上述第 3 觀點的電漿監控方法或裝置中，亦可藉由分別一次進行在處理室內不存在電漿的狀態（OFF 狀態）下之反射係數的測定及存在或產生電漿的狀態（ON 狀態）下之反射係數的測定，藉此可無關測定點的數量，一次完成電漿 ON/OFF 的切換時間，縮短全體的測定時間。

若利用上述第 3 觀點的合適形態，則可在處理室內不存在電漿的狀態下使同軸電纜對絕緣管移動於軸方向，針對複數個測定位置來分別取得第 1 頻率特性，在處理室內存在電漿的狀態下使同軸電纜對絕緣管移動於軸方向，針對該等複數個測定位置來分別取得第 2 頻率特性，針對該等複數個測定位置，由第 1 頻率特性及上述第 2 頻率特性來求取電漿吸收頻率的測定值。此情況，最好是使探針部依次對位於複數個測定位置，在各測定位置針對探針部所放出的電磁波的反射係數來取得第 1 或第 2 頻率特性。在此形態中，可在電漿 OFF 狀態或電漿 ON 狀態之下，以較短的拍節時間來使探針部依次對位於各測定位置，在短時間內針對全測定位置取得反射係數的測定資料。更理想是利用傳動器，使同軸電纜由絕緣管移動於牽引方向，而令探針部能夠依次對位於該等複數個測定位置。

本發明之一合適的形態是收容探針部的同軸電纜的絕

緣管會被架設於設置在處理室側壁的第 1 支持部與第 2 支持部之間。此情況，最好第 1 及第 2 支持部的至少一方會藉由貫通孔來形成。又，可藉由 O 形環來使絕緣管氣密固定安裝於貫通孔。

若利用如此架橋型的絕緣管安裝構造，則由於絕緣管是被支持於處理室的壁面兩處（第 1 及第 2 支持部），因此不會在探針對位的操作下振動或因本身重量而彎曲。藉此，可使探針部迅速且正確地對位於所望的測定位置，且可使位於一定的線上，確保測定位置的再現性。並且，在探針對位時，只要使同軸電纜對固定於處理室的絕緣管移動於軸方向，便可使絕緣管不會與支持部摩擦，因此支持部不會有損傷劣化之虞。因此，探針機構的安定性會提高，消耗品成本也會改善。而且，探針機構對電漿造成的影響（擾亂）無關於測定位置，因此測定精度的可靠度高。又，由同軸電纜的探針部所見的絕緣管在任何的測定位置皆為一定或一樣的同軸管構造，由探針部所振盪的電磁波與電漿的結合為一定，因此難以產生雜訊，可確保精度及再現性高的計測。甚至，可在處理室內僅以 1 處的支持部來安裝絕緣管，亦即可形成單側支撐式的絕緣管安裝構造。

在本發明中，最好同軸電纜的外部導體是經由處理室來電性連接至接地電位。裝置中設有一端部被連接至處理室的接地電位部份，另一端部與同軸電纜的外部導體連接之接地用導體。若利用該方法或構成，可有效防止 RF 雜

訊洩漏至大氣或測定器，確保人體或計測機器的安全性，且可迴避氣體檢測機等的周圍的電子機器的錯誤動作。

又，最好在比由處理室的接地電位部份延伸的接地用導體與同軸電纜的外部導體所接觸的位置還要靠探針部側的位置使雜訊訊號（典型的為傳播外部導體的定在波所引起的雜訊訊號）經由電磁誘導來吸收於電磁波吸收體。電磁波吸收體的較佳形態是沿著軸方向來安裝於同軸電纜的 1 個或複數個串珠形純粒鐵（ferrite）構件。若利用該方法或構成，則即使例如在同軸電纜的外部導體（接地部）產生定在波雜訊等的雜訊，還是可以藉由電磁波吸收體來有效地吸收雜訊而予以去除。

又，最好是經由形成於絕緣管的另一端的開口來使冷卻用的氣體流動於絕緣管中。裝置中亦可使絕緣管的另一端開口，而於此開口連接供以流動冷卻用氣體的冷卻機構。若利用該方法或構成，則可有效冷卻絕緣管內部的同軸電纜，因此可防止探針部周圍的熱膨脹或熱損傷，提高耐久性。

本發明之第 4 觀點的電漿監控方法的特徵係具有：

將透明的絕緣管插入安裝於可產生或導入電漿的處理室的室內之過程；及

使前端具有受光面的棒狀光傳送探針插入上述絕緣管的管內之過程；及

經由上述絕緣管來使藉由上述處理室內的電漿而發出的光射入上述探針的受光面，根據由上述探針的另一端面

所放射的光來計測來自上述電漿的發光之過程。

又，本發明之第 4 觀點的電漿監控裝置的特徵係具有：

透明的絕緣管，其係插入於可產生或導入電漿的處理室的室內而安裝；及

棒狀的光傳送探針，其係於前端具有受光面，由上述絕緣管的一方端插入管內；及

計測部，其係根據由上述探針的另一端面所放射的光來計測來自上述電漿的發光。

就本發明的電漿發光監控法而言，是在處理室內插入絕緣管，於此絕緣管中使棒狀的光傳送探針移動於軸方向，在軸方向的任意測定位置以探針前端的受光面來採取來自電漿的發光，並將所採取的電漿光傳送至計測部，在計測部針對各測定位置的電漿發光來求取預定特性或屬性（例如預定波長或光譜的強度）的測定值。在此，絕緣管及探針為非金屬，即使插入處理室內的電漿領域中，還是不會有擾亂電漿之虞，可針對電漿發光來進行可靠度及測定精度高的空間分布計測。

本發明之合適的形態是使探針在絕緣管中移動於軸方向，當作軸方向的空間分布來計測電漿光。此情況，可使探針的軸方向與處理室的徑方向一致。或者，使探針移動於與絕緣管一體的高度方向，當作高度方向的空間分布來計測電漿光。

在本發明中，探針可為石英或藍寶石所構成，但為了

抑止來自側方的迷光，最好為二重構造，亦即具有：由石英或藍寶石所構成的核心，及包圍上述核心周面的金屬包層，更理想為具有遮光性的被膜。又，探針最好為具有：一體成束的複數條光纖，及包圍該等光纖周圍的耐熱性非金屬構件之構成。

又，為为了提高探針的採光機能，特別是指向性，最好在上述探針的前端部使來自所期望的方位角的電漿光射入反射鏡，使反射於該反射鏡的電漿光射入探針的受光面。更理想是在探針的前端部安裝一包圍受光面與反射鏡的遮光構件，使來自所期望的方位角的電漿光通過形成於遮光構件的窗，而射入反射鏡。在此，反射鏡的反射面最好是以對紫外線乃至紅外線具有一定高反射率的鋁所構成。

又，即使來自前方的不所望光射入探針的採光部，還是能夠以探針的受光面的法線對軸方向而言僅以預定的角度傾斜於窗側之方式來斜切探針的端部，

在本發明中，透明絕緣管的材質最好為波長透過性佳，耐熱性及耐腐蝕性佳的石英或藍寶石。並且，為了安定且高速進行探針的掃描，最好在對向設置於處理室的側壁之第 1 支持部與第 2 支持部之間實質架設絕緣管。

本發明之第 5 觀點的電漿發光計測方法的特徵為：

在可產生或導入電漿的處理室的側壁設置可開閉的開口部，使上述開口部形成開啓狀態，而使前端具有受光面的棒狀光傳送探針於減壓空間中由上述開口部來插入上述處理室內，根據由上述探針的另一端面所放射的光來計測

來自上述電漿的發光。

又，本發明之第 5 觀點的電漿發光計測裝置的特徵係具有：

可開閉的開口部，其係設置於可產生或導入電漿的處理室側壁；及

棒狀的光傳送探針，其係於前端具有受光面，在減壓空間中藉由開啓狀態的上述開口部來插入至上述處理室內；及

計測部，其係根據由上述探針的另一端面所放射的光來計測來自上述電漿的發光。

此方式是使處理室側壁的開口部形成開啓狀態，由該開口部來將探針插入處理室內，使移動於軸方向（最好為處理室徑方向），將探針前端的受光面所採取的電漿光傳送至計測部，在計測部針對各測定位置的電漿發光來求取預定特性或屬性（例如預定波長或光譜的強度）的測定值。最好是求取電漿光對探針的移動距離之變化部份，當作探針的軸方向之處理室內的空間分布來計測電漿光。探針最好是具有：由石英或藍寶石所構成的核心，及包圍該核心周面的金屬包層。

又，為了在處理室外探針的周圍形成減壓空間，最好是設置一可伸縮於處理室的徑方向之波形管，藉由排氣部來對此波形管的內部空間進行排氣。又，最好在處理室外對探針加熱至適當的溫度，而使探針暴露於處理室內的電漿領域時不會有反應生成物附著。

此方式也是因探針為非金屬，所以不僅不會擾亂電漿，而且還能夠以短時間來高速進行探針掃描，因此幾乎不會對製程結果造成影響，製程開發當然可適用於實際製程。

在本發明的電漿發光監控法中，為了使探針移動於軸方向，最好是使用傳動器，可藉由傳動器的直進驅動力來進行安定且高速的探針掃描。又，於本發明的計測處理中，最好是在分光部（分光器或濾光器）從探針的另一端面所放射的光來取出預定波長的光譜，而測定該光譜的強度。又，最好使由探針的另一端面所放射的光通過光纖束後賦予計測部，藉此可以和將光纖束的受光面放入處理室內時同等或等效的指向性來採取電漿發光。

（發明的效果）

若利用本發明，則可藉由上述構成及作用，在任意的電漿條件下，特別是低電子密度條件或高壓力條件下，正確且高精度地測定電漿中的電子密度。並且，能夠根據可靠度高的電子密度測定值來提高電漿密度的均一性或電漿處理的品質。而且，還能夠有效率短時間來測定電漿共振頻率或電子密度。又，可保證測定位置的再現性，提高探針構造的安定性及耐久性，使對電漿造成的影響安定化或予以消除，改善 S/N 特性，針對電漿共振頻率或電子密度進行安定且高精度的測定。又，可在不擾亂電漿的情況下，以較高的可靠度及精度來計測電漿發光，亦即處理室內

的空間分布。又，可對基板的被處理面保持電漿密度的均一性，進而達成電漿處理的均一性，提高良品率。

【實施方式】

以下，參照圖 1～圖 49 來說明本發明之合適的實施形態。

（實施形態 1）

根據圖 1～圖 18 來說明本發明的第 1 實施形態。圖 1 及圖 2 是表示適用第 1 實施形態的電漿電子密度測定方法及裝置之電漿處理裝置的構成。此電漿處理裝置為電容耦合型的平行平板電漿處理裝置。

此電漿處理裝置的處理室 10 是例如由鋁所構成圓筒形狀密閉可能的處理室。在處理室 10 的底部隔著絕緣板 12 配置有例如由鋁所構成的支持台 14，在此支持台 14 上設有例如由鋁所構成的基座 16。基座 16 會構成下部電極，在上面載置有被處理基板，例如半導體晶圓 W。

在基座 16，供給離子引進用的高頻電力之高頻電源 18 會經由未圖示的整合器來電性連接，且供以通過後述來自上部電極側的高頻之高通濾波器（HPF）22 會電性連接。在基座 16 的上面，例如可安裝一供以使用靜電吸著力來固定保持基板 W 的靜電夾具（未圖示）。並且，在基座 16 或支持台 14 的內部可設置溫度控制用的冷卻或加熱手段（未圖示）。

在基座 16 的上方，與該基座平行對向設置上部電極 24。

此上部電極 24 具有：

下面電極板 28，其係隔著圓筒狀的絕緣材 25 來支持於處理室 10，且具有多數個氣體噴出孔 26，由氧化鋁等的陶瓷所構成；及

電極支持體 30，其係用以支持該電極板 28，由導電材料例如表面被施以氧化鋁膜處理的鋁所構成。

並且，在電極板 28 與電極支持體 30 的內側形成有緩衝室，在此緩衝室的上面中心部設有氣體導入口 32。在氣體導入口 32 連接有來自處理氣體供給部 34 的氣體供給配管 36。在上部電極 24，供給電漿產生用的高頻電力之高頻電源 38 會經由未圖示的整合器來電性連接，且用以通過來自基座（下部電極）16 側的高頻之低通濾波器（LPF）42 會被電性連接。

在處理室 10 的底部設有排氣口 44，且在此排氣口 44 經由排氣管來連接排氣裝置 46。此排氣裝置 46 具有渦輪分子泵等的真空泵，使處理室 10 內的處理空間能夠減壓至所期望的真空度。並且，在處理室 10 的側壁設有供以基板 w 進出的開閉機構，例如附閘閥的基板出入口（未圖示）。處理室 10 會以接地線等來接地。

在此電漿處理裝置中，對基座 16 上的基板 W 施以電漿處理時，是在主控制部 20 的控制下，藉由處理氣體供給部 34 來以預定的流量使所期望的處理氣體導入處理室

10 內，且利用排氣裝置 46 來使處理室 10 內的壓力形成設定值。又，分別藉由高頻電源 18 及高頻電源 38 來以預定的功率使預定頻率（例如 2MHz）的高頻及預定頻率（例如 60MHz）的高頻施加於基座（下部電極）16，上部電極 24。藉由上部電極 24 的附多孔電極板或噴灑頭 28 所噴出的處理氣體會在電極間的輝光放電中電漿化，基板 W 會利用此電漿 PZ 中的自由基或離子等來施以電漿處理。並且，基座（下部電極）16 與上部電極 24 的距離間隔，例如設定為 10~60mm 程度。

此實施形態的電漿電子密度測定裝置具有：

固定安裝於處理室 10 的圓筒狀絕緣管 50；及

具有使前端部的芯線露出的探針部（天線探針）52a，且可由絕緣管 50 的一端（圖 1 的左端）來滑動插入管內同軸電纜 52；及

經由同軸電纜 52 來針對產生於處理室 10 內的電漿 PZ 測定電漿共振頻率或電子密度的測定部 54；及

供以使同軸電纜 52 移動於軸方向的線性傳動器 56。

又，絕緣管 50 是例如由石英管所構成，比處理室 10 的外徑尺寸還要長許多，形成筆直（直線狀），且兩端會開口。如圖 1 所示，在基座（下部電極）16 與上部電極 24 的中間高度位置，於處理室 10 的側壁形成有相對向的一對貫通孔 10a，作為支持部或計測埠，且絕緣管 50 會貫通該等的貫通孔 10a 而幾乎水平架設於處理室 10 內。並且，在各貫通孔 10a 安裝有供以使絕緣管 50 氣密，亦

即真空密封固定的 O 形環 58。

如圖 2 所示，同軸電纜 52 是由剛體的半硬電纜所構成，該剛體的半硬電纜具有：芯線（內部導體）52a（例如由鋁所構成），及由不鏽鋼管所構成的外部導體 52b，及由特氟綸（登錄商標）所構成的絕緣材 52c，且使前端的芯線 52a 露出數 mm 程度而作為探針部。同軸電纜 52 的基端部側是以 SMA 插頭 60 的形態來連接至測定部 54（圖 1）。又，從同軸電纜 52 的絕緣管 50 突出的部份之外部導體（GND 部）52b 會經由接地用導體 62 來電性連接至接地電位的處理室 10 的側壁。

如圖 2 所示，接地用導體 62 是由複數個導電性彈簧構件所構成，其係基端部會固著於供以安裝固定絕緣管 50 的導電性凸緣構件 64，前端部可滑動接觸於同軸電纜 52 的外部導體 52b，該等的導電性彈簧構件可由上下或左右或四方來將同軸電纜 52 彈撥挾持於一定位置。或者，亦可取代彈簧構件，而使用導電線，以線夾等來連接導電線的前端於同軸電纜 52 的外部導體 52b。無論如何，皆是最好在一旦開放（解除）接地用導體 62 的狀態下把同軸電纜 52 插入於絕緣管 50 中，使同軸電纜 52 由絕緣管 50 來移動於牽引的方向之下，令探針部 52a 對準於所期望的位置（測定位置）。

在接近於接地用導體 62，其內側亦即探針部 52a 側的位置設有供以吸收產生於同軸電纜 52 的外部導體 52b 上的定在波的雜訊訊號之電磁波吸收體。在此實施形態中

，如圖 2 所示，在絕緣性的圓筒狀保持體 65 通過同軸電纜 52，在保持體 65 的內側沿著軸方向而直列安裝 1 個或複數個的串珠形純粒鐵構件 66。

在圖 1 中，測定部 54 具有：計測器本體的向量網路分析器 68，SMA 介面用的 RF 限制器 70 及高通濾波器（HPF）72，進行計測用的控制及運算處理的計測控制部 74。向量網路分析器 68 及計測控制部 74 的構成及作用會在往後詳細說明。

線性傳動器 56 具有：結合於同軸電纜 52 的基端部之滑件部 76，及供以使該滑件部 76 直進移動於同軸電纜 52 的軸方向之滾珠絲桿機構 78。在滾珠絲桿機構 78 的驅動源，例如使用伺服馬達（未圖示），使滑件部 76 能夠在可動範圍內定位於任意的位置。

在絕緣管 50 的另一端（圖 1 的右端）連接有來自冷卻氣體供給部 80 的配管 82。冷卻氣體供給部 80 例如具有送風機或泵，經由配管 82 來使冷卻用的氣體（例如空氣）流入絕緣管 50。由絕緣管 50 的右端導入的空氣會往相反側（左側）來流動於管內，從接地用導體 62 的間隙來脫離至大氣。如此一來，空氣會貫通於軸方向而流動於絕緣管 50 中，藉此同軸電纜 52，特別是探針部 52a 周圍會有效地被冷卻。更理想是冷卻氣體供給部 80 供給被調溫的冷卻氣體。或者，亦可使冷卻氣體供給部 80 形成空氣吸引型，而令空氣能夠從左側至右側流動於絕緣管 50 中。

圖 3 是表示測定部 54 之向量網路分析器 68 及計測控制部 74 的要部構成。

向量網路分析器 68 具有：

反射係數測定部 84，其係進行用以測定複數表示的反射係數（複數反射係數）的訊號送收及訊號處理；及

緩衝記憶體 86，其係供以一時儲存暫定的反射係數測定值的資料（頻率特性）；及

實數部記憶體 88，虛數部記憶體 90，其係將正式（最終結果）的反射係數測定值 Γ 的資料（頻率特性）分成實數部 Γ_r 與虛數部 Γ_i 而儲存。

又，反射係數測定部 84 包含頻率掃描方式的高頻電源，入射波檢出用及反射波檢出用的方向性結合器，以及複數反射係數測定電路等。複數反射係數測定電路是例如以振幅比測定電路及相位差測定電路等所構成。

標量式的網路分析器是由各入射波及反射波的功率（標量）比來取得標量表示的反射係數的測定值，相對的，此實施形態之向量式的網路分析器 68 是由各入射波及反射波的電壓 V_{in} ， V_{re} 或電流 I_{in} ， I_{re} （向量）的比（ V_{re}/V_{in} ， I_{re}/I_{in} ）來取得複數表示的反射係數 Γ （ $\Gamma_r + j\Gamma_i$ ）的測定值。在此，虛數部 Γ_i 是按照頻率來取正或負的符號。

計測控制部 74 具有：

共振頻率讀取部 92，其係由向量網路分析器 68 的虛數部記憶體 90 來取入複數反射係數虛數部 Γ_i 的測定值資

料（頻率特性），而以零交叉點的頻率來作為共振頻率 f_p ；及

電子密度運算部 94，其係根據在該共振頻率讀取部 92 所算出的共振頻率 f_p 來從預定的運算式求得電子密度 N_e 的測定值；及

輸出部 96，其係輸出電子密度測定值 N_e 的資料；及
次序控制部 98，其係控制計測的次序。

在此，針對此實施形態的電漿電子密度測定裝置中處理室 10 內的電漿 PZ 來說明用以測定其徑方向之任意位置的電子密度的方法。

此實施形態是在測定部 54 的計數控制部 74（特別是次序控制部 98）的控制下，如以下所示進行電漿電子密度測定。首先，藉由線性傳動器 56 來使同軸電纜 52 在絕緣管 50 內移動於軸方向（最好為牽引方向），而使探針部 52a 對準所望的測定位置 h_k 。

其次，向量網路分析器 68 會經由 RF 限制器 70，HPF72，同軸電纜 52 及探針部 52a 來取得該測定位置 h_k 之複數反射係數 Γ 的測定值（頻率特性）。此刻，為了基準化，第 1 計測過程，如圖 4 所示，在處理室 10 內不存在電漿 PZ 的電漿關閉狀態下，取得複數反射係數 Γ 的頻率特性（第 1 頻率特性 $\Gamma(f)$ ）。然後，第 2 計測過程，如圖 5 所示，在處理室 10 內存在電漿 PZ 的電漿開啓狀態下，取得複數反射係數 Γ 的頻率特性（第 2 頻率特性 $\Gamma(pf)$ ）。

在第 1 及第 2 的各測定過程中，網路分析器 68 的反射計數測定部 84 是例如在數百 MHz~數 GHz 的頻帶一邊進行頻率掃描一邊針對各頻率例如將 1mW 程度的電磁波訊號（入射波）傳送至同軸電纜 52 的探針部 52a，而使放出於周圍的空間（主要由探針部 52a 來看為半徑方向），使射入該附近的電漿 PZ。又，從電漿 PZ 接收自探針部 52a 返回而來的電磁波，亦即反射波，經由方向性結合器來使入射波及反射波結合於複數反射係數測定電路，取得複數表示的反射係數 $\Gamma (\Gamma_r + j\Gamma_i)$ 的測定值。

其次，由第 1 測定過程取得的第 1 頻率特性 $\Gamma_k (f)$ 與第 2 測定過程取得的第 2 頻率特性 $\Gamma_k (pf)$ 來利用預定的運算，例如利用除算 $\Gamma_k (pf) / \Gamma_k (f)$ 來求取正規亦即基準化的頻率特性。如此一來，在複數表示的反射係數 $\Gamma (\Gamma_r + j\Gamma_i)$ 的測定值（頻率特性）資料中，會將實數部 Γ_r 儲存於實數部記憶體 88，將虛數部 Γ_i 儲存於虛數部記憶體 90。在此實施形態中會有意義地利用儲存於虛數部記憶體 90 的複數反射係數的虛數部 Γ_i 的測定值（頻率特性）資料。

圖 6 是表示在此實施形態所取得之複數反射係數 $\Gamma (\Gamma_r + j\Gamma_i)$ 的絕對值 $|\Gamma|$ ，實數部 Γ_r 及虛數部 Γ_i 的頻率特性的一例（實驗資料）。此實驗資料是在電漿清洗條件中，以處理室 10 內的壓力為 15mTorr，高頻電源 18 的下部 RF 電力（2MHz）為 200W，高頻電源 38 的上部 RF 電力（60MHz）為 1500W，處理氣體為 O_2 （200sccm），在

$R=0\text{mm}$ （處理室中心點）的測定位置所取得者。在圖 6 中，反射係數 Γ 的絕對值 $|\Gamma|$ 是相當於以標量式的網路分析器所取得之標量表示的反射係數，大部分會取與實數部 Γ_r 相等的值，實質上不會反映虛數部 Γ_i 的值。

若著眼於複數反射係數 Γ 的絕對值 $|\Gamma|$ 的頻率特性，則 $|\Gamma|$ 的最小峰值會對應於電子振動之電力吸收的最大峰值，將取最小（吸收）峰值時的頻率，亦即電漿吸收頻率看作對應於電子振動數者。但，若 $|\Gamma|$ 的最小峰值波形形成寬廣，雜訊成分增加，則會難以正確算出電漿吸收頻率，容易產生測定誤差。相對的，本發明是著眼於反射係數 Γ 的虛數部 Γ_i 的波形（頻率特性），如後述，以 Γ_i 零交叉時的頻率作為電漿共振頻率，將此電漿共振頻率看作對應於電子振動數者，換算成電子密度的測定值。

在計數控制部 74 中，共振頻率讀取部 92 會從向量網路分析器 68 的虛數部記憶體 90 來取入複數反射係數虛數部 Γ_i 的測定值資料（頻率特性），讀取零交叉點 ZC 的頻率。如上述，複數反射係數的虛數部 Γ_i 是按照頻率來取正或負的符號。通常，在頻率掃描之虛數部 Γ_i 的頻率特性中，如圖 6 所示，零交叉點 ZC 會出現於 1 處，在比零交叉點 ZC 更低的頻率領域中， Γ_i 會取負的值，在比零交叉點 ZC 更高的頻率領域中， Γ_i 會取正的值。若由提高頻率的掃描方向來看， Γ_i 的值會在零交叉點 ZC 由負變正。相反的，若由降低頻率的掃描方向來看， Γ_i 的值會在零交叉點 ZC 由正變負。如此，零交叉點 ZC 的頻率為 Γ_i 的符

號反轉的點的頻率，與頻率特性的波形履歷無關，可簡單且正確地算出。在本發明中是將零交叉點 ZC 的頻率定義為共振頻率 f_p 。

在此，說明本發明之電子密度測定方法的基本原理。同軸電纜 52 的探針部 52a 是經由絕緣管 50 來與處理室 10 內的電漿 PZ 電性連接。若該測定位置 h_k 之電漿 PZ 的複數阻抗 z_p 為 $R+jX$ ，且無視絕緣管 50 的阻抗，則複數反射係數 Γ ($\Gamma_r+j\Gamma_i$) 可由阻抗面以式 (2) 來表示。

$$\begin{aligned}\Gamma (\Gamma_r+j\Gamma_i) &= (Z_p-50) / (Z_p+50) \\ &= \{ (R+jX) - 50 \} / \{ (R+jX) + 50 \} \\ &= \{ (R-50) + jX \} / \{ (R+50) + jX \} \quad \dots (2)\end{aligned}$$

上述式 (1) 的右邊定數 “50 (Ω)” 為同軸電纜 52 的特性阻抗。若使上述式 (1) 有理化，則可取得下述式 (3)。

$$\Gamma (\Gamma_r+j\Gamma_i) = (AB+X^2)/(B^2+X^2)+j100X/(B^2+X^2) \quad \dots (3)$$

在此， $A=R-50$ ， $B=R+50$ 。

由探針部 52a 所見的電漿 PZ 是由：沿著絕緣管 50 的表面而形成的電容性負荷的離子層，及擴展於其內部的誘導性負荷的體電漿所構成。離子層具有電容性的電抗 x_c ，體電漿具有誘導性的電抗 x_L ，兩者是在探針部 52a 與基

準電位（接地電位）之間形成直列電路。當被覆電容電抗 x_c 比體誘導電抗 x_L 更大時，合成電抗 X 為負，對應於此，複數反射係數 Γ 的虛數部 Γ_i 的值會形成負。又，當體誘導電抗 x_L 比被覆電容電抗 x_c 更大時，合成電抗 X 為正，對應於此，複數反射係數虛數部 Γ_i 的值會形成正。當被覆電容電抗 x_c 與體誘導電抗 x_L 相等時，合成電抗 X 為零，形成直列共振。此刻，複數反射係數虛數部 Γ_i 的值也會形成零。在直列共振狀態下，電漿電抗 X 之訊號電力傳送會極大化，來自探針部 52a 的入射波能量會在所謂蘭多·衰滅的結構下傳達至電漿中的電子。亦即，形成直列共振狀態時的電磁波頻率，亦即共振頻率會與電子振動數符合或匹配。本發明在複數反射係數的虛數部 Γ_i 的頻率特性中會將零交叉點的頻率看作電漿的被覆電容與體電感為直列共振的頻率 f_p ，由此共振頻率 f_p 的測定值來求取電子密度的測定值。又，如上述，實際上是以向量網路分析器 68 來進行反射係數的基準化處理（ $\Gamma_k(p f) / \Gamma_k(f)$ ），因此上述式（3）雖會變形，但基本上適用上述理論。

在計數控制部 74 中，在共振頻率讀取部 92 所取得的共振頻率 f_p 的測定值會被賦予電子密度運算部 94。如上述，由於共振頻率 f_p 可視為與電漿中的電子振動數（ $1/2 \pi * \sqrt{(e^2 * N_e / m_e * \epsilon_0)}$ ）相等，因此電子密度運算部 94 可對下述式（4）進行運算來算出電子密度 N_e 。

$$\begin{aligned}
 N_e &= m_e * \epsilon_0 * (1 + \epsilon_r) * (2\pi f_p / e)^2 \\
 &= 5.96E10 (f_p)^2 [m^{-3}] \quad \dots \dots (4)
 \end{aligned}$$

在此， m_e 為電子密度， ϵ_0 為真空介電係數， ϵ_r 為絕緣管的比介電係數， e 為素電荷。又， f_p 的單位為 GHz，E10 意指 10^{10} 。

圖 7A 及圖 7B 是表示藉由本發明的電漿共振探針法所取得的電子密度測定感度的一例（實驗資料）。此實驗資料是在電漿清洗條件中，以處理室 10 內的壓力：15mTorr，下部 RF 電力（2MHz）：200W，處理氣體：O₂（200sccm），上部 RF 電力（60MHz）：1500W 為中心微小變化時之 R=80mm（從處理室中心點算起徑方向 80mm）的測定位置（圖 7A）及 R=220mm（從處理室中心點算起徑方向 220mm：離側壁 20mm）的測定位置（圖 7B）之電漿剛開啓後的電子密度 N_e 的時間性變動。

如圖示，若使上部 RF 電力從中心值的 1500W 變化 $\pm 30W$ （2%），則於 R=80mm 的測定位置（圖 7A），電子密度 N_e 會僅變化約 $\pm 0.1E+10$ （ $E+10=10^{10}$ ）。另一方面，於 R=220mm 的測定位置（圖 7B），電子密度 N_e 會僅變化約 $\pm 0.02E+10$ 。一般，在以電漿產生用的 RF 電力作為製程參數時，只要予以變化 2% 時之電子密度的變化能夠監控，形式上便夠充分，本發明的電漿電子密度測定法可良好地克服此要求條件。甚至，即使是在電漿密度低的處理室側壁近傍的測定位置，照樣能夠高精度地測定電子密度

N_e ，這點是應受到注目的優點。

圖 8 是表示爲了比較測定精度，而於 $R=80\text{mm}$ 的測定位置，以本發明的電漿共振探針法所取得的電子密度 N_e 的測定值資料與藉由電漿吸收探針法 (PAP) 所取得的電子密度 N_e 的測定值資料之對比。製程條件是與圖 7 的實驗例相同 (在此，上部 RF 電力爲 1500W)。由圖 8 可明確得知，以電漿吸收探針法所取得的電子密度的變動 (波形) 是以測定值的偏差大，鋸齒狀的曲線來表示。相對的，本發明所取得的電子密度的變動 (波形) 是以測定值的偏差小，無鋸齒狀平滑的曲線來表示。

本發明的另一優點是即使在高壓力條件下照樣能夠正確測定電漿中的電子密度 N_e 。圖 9，圖 10，圖 11 是表示將處理室內的壓力選擇爲 15mTorr ， 800mTorr ， 1600mTorr 的 3 個段階時之複數反射係數的頻率特性 (實驗資料)。圖中， Γ_1 爲藉由本發明所取得的複數反射係數 Γ 的虛數部， $|\Gamma|$ 爲複數反射係數 Γ 的絕對值，相當於電漿吸收探針法所取得之標量表示的反射係數者。此實驗是使用電漿 CVD (Chemical Vapor Deposition) 用的微波型電漿處理裝置，該裝置是經導波管由處理室頂面的石英窗來將產生於磁控管的高頻 (2.45GHz) 微波照射至處理室內，而產生電漿。主要的製程條件是氣體爲 Ar (400sccm)，微波的功率爲 1000W 。

若針對相當於電漿吸收探針法的反射係數頻率特性之複數反射係數絕對值 $|\Gamma|$ 的頻率特性來看，則於 15mTorr

的壓力條件（圖 9）下，最小（吸收）峰值會以尖角狀的波形來表示，可正確讀取對應於峰值點的頻率（吸收頻率）。但，在 800mTorr 的壓力條件（圖 10）下，最小（吸收）峰值波形會帶圓弧狀形成寬廣，不僅峰值點不明確，且擾亂最小（吸收）峰值波形的雜訊成分會增加。另外，在 1600mTorr 的壓力條件（圖 11）下，此傾向會更顯著，非常難以正確算出吸收頻率。這是因為若壓力變高，則電漿中電子與粒子（特別是中性分子，原子）間的衝突會增大，而使得該部份（實際電阻）的電力吸收會增加。如此一來，一旦吸收頻率的測定精度降低，則電子密度的測定精度也會降低。

相對的，在本發明的電漿共振探針法之反射係數頻率特性，亦即複數反射係數虛數部 Γ_i 的頻率特性中，很明確的除了 15mTorr（圖 9）以外，在 800mTorr（圖 10）或 1600mTorr（圖 11）亦為 Γ_i 的值形成零的點（零交叉點），可正確且簡單地讀取共振頻率 f_p 。

亦即，在 15mTorr 的壓力條件（圖 9）中，由複數反射係數虛數部 Γ_i 的零交叉點所算出的共振頻率 f_p 為 8.19×10^{11} ，且由絕對值 $|\Gamma_i|$ 的最小峰值所算出的吸收頻率也約為 8.19×10^{11} 。在 800mTorr 的壓力條件（圖 10）下，共振頻率 f_p 為 3.89×10^{11} ，吸收頻率為 3.73×10^{11} 附近的值。另外，在 1600mTorr 的壓力條件（圖 11）下，共振頻率 f_p 為 4.22×10^{11} ，吸收頻率為 3.81×10^{11} 附近的值。

又，當壓力比 15mTorr 更低時，氣體分子會變少，電

子密度也會變低。若電子密度低，則來自電漿的反射波的訊號強度會變低，S/N 會降低，頻率特性會形成寬廣傾向。如此一來，在電漿吸收探針法中會難以正確讀取吸收頻率。相對的，若利用本發明的電漿共振探針法，則可無關頻率特性的波形如何，由複數反射係數虛數部 Γ_i 的零交叉點來正確地讀取共振頻率 f_p 。

圖 12 是表示利用本發明的電漿共振探針法在 2000mTorr 的高壓力條件下所取得之電子密度分布特性的一例（實驗資料）。此實驗是在電漿 CVD 用的電容耦合型電漿處理裝置中，基座溫度為 600℃，對上部（對向）電極施加 450kHz，800W 的高頻，電漿產生氣體為使用 Ar/H₂ 氣體（1600/1000sccm）者。如圖 12 所示，即使是在 2000mTorr 的高壓力條件下，還是能夠以高精度來測定徑方向的各位置之電子密度 N_e 。

又，本發明的電漿共振探針法，如圖 4 及圖 5 所示，在絕緣管 50 內使探針部 52a 的位置亦即測定位置 h 於徑方向掃描移動，將各測定位置（ h_1, h_2, \dots, h_n ）所求得之電子密度 N_e 的測定值描繪於圖表上，而可取得處理室 10 內的徑方向之電漿電子密度 N_e 的空間分布特性。

本發明的實施形態，可分別針對徑方向的全測定點（ h_1, h_2, \dots, h_n ）一次實施上述第 1 及第 2 計測過程。更詳而言之，有關第 1 計測過程方面，如圖 4 所示，會在處理室 10 內不存在電漿 PZ 的狀態下，按照預定之徑方向的測定位置 $h_1, h_2, \dots, h_k, \dots, h_{n-1}, h_n$ 的順

序來取得複數反射係數 Γ 的頻率特性 (第 1 頻率特性 $\Gamma_1(f)$, $\Gamma_2(f) \dots, \Gamma_k(f), \dots, \Gamma_n(f)$)。此刻會藉由線性傳動器 56 來使同軸電纜 52 從絕緣管 50 間歇性移動於牽引方向, 而使探針部 52a 從圖的右端 (始端) 的測定位置 h_1 到左端 (終端) 的測定位置 h_n 依次步進移動。

又, 有關第 2 計測過程方面, 如圖 5 所示, 會在處理室 10 內產生電漿 PZ 的狀態下, 取得與上述第 1 計測過程時同樣測定位置 $h_1, h_2, \dots, h_k, \dots, h_{n-1}, h_n$ 的順序之複數反射係數 Γ 的頻率特性 (第 2 頻率特性 $\Gamma_1(pf)$, $\Gamma_2(pf), \dots, \Gamma_k(pf), \dots, \Gamma_n(pf)$)。此刻也會藉由線性傳動器 56 來使同軸電纜 52 從絕緣管 50 間歇性移動於牽引方向, 而使探針部 52a 從圖的右端 (始端) 的測定位置 h_1 到左端 (終端) 的測定位置 h_n 依次步進移動。

如上述, 一次取得第 1 及第 2 頻率特性 ($\Gamma(f)$, $\Gamma(pf)$) 之後, 在後續的各訊號處理中, 亦即在頻率特性的基準化 ($\Gamma(pf) / \Gamma(f)$), 虛數部 Γ_i 的抽出, 共振頻率 f_p 的算出, 電子密度 N_e 的運算等中進行全測定位置 (h_1, h_2, \dots, h_n) 分的一次處理。

如此一來, 若分別針對全測定位置 $h_1 \sim h_n$ 一次進行電漿關閉狀態的反射係數測定及電漿開啓狀態的反射係數測定, 則無關測定點的數量, 開啓/關閉切換時間可以 1 次分完成, 因此全體的測定效率高, 且可將每一測定位置的測定時間縮短於數秒以內。此點, 在以往的電漿吸收探

針法中，每次改變測定位置時須重複進行電漿的開啓/關閉，因此每一測定位置需要數分的測定時間。如此的測定效率乃至測定時間的差會隨著測定點的數量增加（特別是在大口徑處理室）越顯著。

又，此實施形態中，設置於與處理室 10 的側壁相對向的位置之一對的支持部（貫通孔 10a，10a）之間水平架設絕緣管 50，且以 O 形環 58 來氣密固定。而且，在如此水平固定的架橋型絕緣管 50 中使同軸電纜 52 移動於軸方向而進行探針部 52a 的對位。藉此，可迅速且正確地使探針部 52a 往所期望的測定位置對位，且可使探針部 52a 一直位於一定的水平線上，進而能夠保證測定位置的再現性。

又，由於絕緣管 50 不會與 O 形環 58 互相摩擦，因此 O 形環 58 不會有損傷劣化之虞，探針機構的安定性會提高，且消耗品成本性（COC）也會提升。並且，對探針機構的電漿造成的影響（擾亂）無關於測定位置，為一定，且擾亂時間（測定時間）非常短，因此測定精度的可靠度也會提高。

又，由同軸電纜 52 的探針部 52a 所見的絕緣管 50 無論在哪個測定位置皆為一定或一樣的同軸管構造，從探針部 52a 所振盪的電磁波與電漿的結合為一定，因此雜訊難以發生，可進行精度及再現性高的計測。又，由於同軸電纜 52 中嵌裝有作為電磁波吸收體的串珠形純粒鐵構件 66，因此即使在同軸電纜 52 的外部導體（GND 部）52b 產生定在波雜訊，還是能夠藉由串珠形純粒鐵構件 66 來有

效地吸收定在波雜訊而完全去除。

又，此電漿電子密度測定裝置會經由接地用導體 62 及處理室 10 來使同軸電纜 52 的外部導體（GND 部）52b 接地。可藉由利用此處理室 10 的 RF 遮蔽機能來有效地防止 RF 雜訊洩漏至大氣或測定電路 54，而來確保人體或計測機器的安全性，且可迴避氣體檢測機等周圍的電子機器的錯誤動作。

又，若利用此 RF 遮蔽機能，則會因為在同軸電纜 52 的外部導體（GND 部）52b 上，雜訊訊號會傳播於比與接地用導體 62 的連接位置或短路點 A 還要靠內側（探針部 52a 側），所以定在波雜訊吸收用的串珠形純粒鐵構件 66 最好也是配置於比短路點 A 還要靠內側，更理想是如此實施形態所示，儘可能地使接近於定在波雜訊的波腹部之短路點 A 來配置構成。

又，此實施形態中會使絕緣管 50 的前端側，亦即探針部 52a 的對向側開口，藉此開口部使來自冷卻氣體供給部 80 的空氣流入，而有效地冷卻同軸電纜 52，因此可防止探針部 52a 周圍的熱膨脹或熱損傷，進而能夠提高耐久性。

此實施形態的電漿電子密度測定方法及裝置，即使是在大口徑處理室的 300mm 裝置或 FPD 裝置，照樣能夠容易且有效率地以短時間來進行可靠度高的電漿電子密度測定。

又，如上述，本發明即使是在電漿密度低的地方，照

樣能夠正確地測定電子密度，因此可在不擾亂電漿的測定位置進行監控。圖 13 是表示可進行如此無擾亂的電漿監控之本發明的一實施例。圖中，對與圖 1 實質上同樣的構成或機能的部份賦予相同的符號。

在圖 13 中，此實施例的電漿電子密度測定裝置是在處理室 10 的側壁，上部電極 24 中心部及下部電極 16 周邊部等 3 處，埋設 (embed) 式來安裝探針單元 100, 102, 104。該等探針單元皆可位於電漿領域的周邊，在不擾亂電漿 PZ 的情況下測定附近的電子密度。

圖 14A 及圖 14B 是表示側壁埋設的探針單元 100 的構成例。圖 14A 的構成是閉塞上述實施形態 (圖 1) 之絕緣管 50 的前端部，而以能夠從處理室 10 的側壁往電漿領域稍微突出之方式來安裝。爲了提高往前方 (電漿領域) 方向之電波放射的指向性，最好是將探針部 52a 的前端安裝於絕緣管 50 的前端部。

圖 14B 的構成是以由絕緣體所構成的筒狀外殼 106 對處理室 10 的側壁內面而言能夠面一致或凹陷的方式來安裝。爲了提高測定感度，最好在此外殼 106 的前端面設置由介電係數大的材質，例如藍寶石所構成的板厚小的窗構件 108。又，如圖示，可使探針部 52a 的前端彎曲成 L 形，藉此於探針部 52a 形成阻抗的不連續點，有效地使電波能夠由此放射至前方。

爲了提高前方指向性，亦可如圖 15 (B) 所示，在探針部 52a 的前端，例如安裝圓盤狀的電容性耦合構件 110

，或如圖 15 (D) 所示，在探針部 52a 的前端，例如安裝十字形的誘導性天線構件 112。又，圖 15 (A) 的探針構造是被採用於圖 14A 的探針單元 100 者，圖 15 (C) 的探針構造是被採用於圖 14B 的探針單元 100 者。電極周圍的探針單元 102，104 亦可為具有與上述探針單元 100 同樣構造及機能者。

在圖 13 中，各探針單元 100，102，104 可經由選擇開關 114 來連接至共通的網路分析器 68。在電漿處理中，於計測控制部 74 的控制下，以時間分割方式來將選擇開關 114 切換至各探針單元 100，102，104，藉此可針對處理室 10 內的電漿密度，以 1 台的測定部 54 有效率地進行來自複數監控位置的同時測定。並且，在製程中，可在不擾亂處理室 10 內的電漿 PZ 之下，於其周邊簡便地監控電漿電子密度的變動，甚至製程的實際狀況。可由測定部 54 來賦予監控資訊給主控制部 20，然後將測定結果回饋給目前的製程條件或下次的製程條件。電漿製程之代表性的製程參數為壓力，RF 功率，氣體流量，溫度等。

圖 16 所示的實施例是使圖 13 的實施例發展於複數台的電漿處理裝置者。如圖示，可藉由選擇開關 114 以時間分割來同時將分別安裝於 2 台（亦可為 3 台以上）電漿處理裝置的組成型探針單元 116，118 連接至共通的向量網路分析器 68。同樣的在此系統中，可由計測部 54 來將各處理裝置的監控資訊賦予給各裝置的製程控制部 20，在各處理裝置中，製程控制部 20 會將測定結果回饋給目前

的製程條件或下次的製程條件。並且，當該等複數台的電漿處理裝置為同一機種時，亦可正確地判斷裝置間機差的有無。

又，可適用圖 13 的實施例之一應用，例如有適應處理（seasoning）。如該當業者所熟知，適應處理是爲了在處理室的清洗或零件更換後，使處理室的室內安定於製程條件的環境中，而利用虛擬晶圓來以適當的次數重複進行電漿蝕刻的循環（操作運轉）。通常，在清洗或零件更換後，由電漿空間往處理室內壁之堆積物的附著要比由處理室內壁往電漿空間之堆積物的放出還快，製程會不安定。因此，在幾次重複進行電漿處理的循環中，於處理室內壁之堆積物的附著與放出會漸均衡而使製程安定。

以往是在標準方法的條件下於每個製程循環監控蝕刻速率，確定蝕刻速率到達定常化爲止所需的虛擬晶圓片數（或操作循環，操作運轉時間等），作爲適應處理條件，使該適應處理條件固定化後適用於所有的製程方法。但，當然固定適應處理條件並非適用於所有的製程方法，有時會過剩或者不足，而造成問題。亦即，當適應處理條件過剩時，會隨著無謂浪費的蝕刻循環，而造成生產量降低。當適應處理條件不足時，會將不安定的製程實施於正規的晶圓，而導致良品率降低。又，雖可根據製程技師或操作員的經驗或感覺來設定適應處理條件，但畢竟其確實性或泛用性低，會有與上述同樣的問題發生。若利用本發明，則如以下所述，可針對各個的製程方法來進行適用型的適

應處理控制，兼顧生產量及良品率的提升。

若利用本發明的電漿共振探針法，則如上述，即使是在電漿密度低的地方，照樣可以正確地測定電子密度，因此例如在處理室 10 的側壁安裝探針單元 100 時，可在不擾亂電漿之下，監控實際製程中的電子密度。在此，於實際製程中，例如電漿蝕刻中，在進行處理室的清洗或零件更換後，在最初的蝕刻循環（第 1 片晶圓）蝕刻速率最高，經重複蝕刻循環後蝕刻速率會漸漸地減少，至某循環後蝕刻速率會安定化。圖 17 是表示在適應處理的蝕刻循環中在晶圓上的各位置蝕刻速率會漸漸減少而安定化的狀態例。圖示的例子為氧化矽膜蝕刻，主要的蝕刻條件如下述。

晶圓口徑：200mm

氣體壓力：15mTorr

上部及下部電極間距離：25mm

蝕刻氣體： $C_5F_8/O_2/Ar=15/380/19$ sccm

RF 電力：上部/下部=2170/1550W

如圖 17 所示，蝕刻速率（E/R）是在晶圓第 1 片（No.1）與第 3 片（No.3）之間變化量（減少量）相當，在第 3 片（No.3）與第 5 片（No.5）之間也會有相當的變化量（減少量），相對的第 5 片（No.5）與第 7 片（No.7）之間變化量（減少量）非常小。此例的情況，可視為在第 5 片時完成適應處理。並且，在晶圓面內，雖蝕刻速率（E/R）的變化量在晶圓中心部最顯著，但在晶圓邊緣附近

也會讀到有意的變化量。

圖 18 是表示在上述例子中從第 1 片 (No.1) 的晶圓到第 7 片 (No.3) 的晶圓為止蝕刻速率 (E/R) 的晶圓面內平均值 ($Ave.E/R$) 會漸漸減少而安定化的狀態，及各蝕刻循環之電子密度 N_e 的時間性變動。在此，電子密度 N_e 是藉由本發明的電漿共振探針法在處理室側壁附近 (離側壁 10mm 的位置) 所被監控者，在各蝕刻循環 (蝕刻時間 $T_A=60$ 秒) 中，以 12 秒間隔來描繪 15 個測定資料。並且，蝕刻速率平均值 ($Ave.E/R$) 是以第 1 片 (No.1) 的晶圓所取得者為基準值來予以規格化 (a.u)，電子密度 N_e 是以第 1 片 (No.1) 的晶圓所取得者的平均值為基準值來予以規格化 (a.u)。

如圖 18 所示，在適應處理中可知對應於蝕刻循環的蝕刻速率 (E/R) 的變化與電子密度 N_e 的變化之間有相關關係。亦即，隨著蝕刻循環次數 1, 2, 3, ... 的計數，蝕刻速率平均值 ($Ave.E/R$) 會漸漸減少，而連帶著各蝕刻循環之電子密度 N_e 的最大值 (循環開始時的值)，最小值 (循環終了時的值) 及平均值也會漸漸減少，一旦蝕刻速率平均值 ($Ave.E/R$) 趨於安定化，則電子密度 N_e 的最大值，最小值及平均值也會趨於安定化。

若利用本發明，則於處理室 10 進行清洗或零件更換後，會針對交替搬入處理室 10 而接受電漿處理的各個虛擬晶圓，在處理室 10 的壁近傍不會對實際製程造成影響之下，高精度監控蝕刻循環中經時間變化之電子密度 N_e 。

的測定值的代表值（最大值，最小值或平均值等），且於相前後的虛擬晶圓之間，當代表值達成穩定實質的定常值時使適應處理終了，從虛擬晶圓來將搬入處理室 10 的被處理基板切換成正規的晶圓。

上述實施例是在測定部 54 的向量網路分析器 68 中由複數反射係數 Γ 來取得虛數部 Γ_i 的頻率特性，由虛數部 Γ_i 的零交叉點來讀出共振頻率 f_p 。就其一變形例而言，可在向量網路分析器 68 中測定入射波與反射波的相位差，在此相位差的頻率特性中以零交叉點的頻率作為共振頻率 f_p 。亦即，在向量網路分析器 68 所被測定之入射波與反射波的相位差的符號是對應於複數反射係數 Γ 的虛數部 Γ_i 的符號，相位差形成零的頻率為複數反射係數 Γ 的虛數部 Γ_i 形成零的頻率，亦即共振頻率 f_p 。因此，可由相位差所算出的共振頻率 f_p 來求得精度高的電子密度的測定值。

又，上述實施例是在絕緣管 50 中以間歇性的步進移動來依次使同軸電纜 52 的探針部 52a 對位於各測定位置 h_i 。但，亦可例如在線性傳動器 54 安裝旋轉式編碼器或線性編碼器等的位置感測器來檢測出滑件部 76～探針部 52a 的現在位置，藉此一邊使同軸電纜 52 以等速度連續移動於軸方向，一邊在探針部 52a 通過各測定位置 h_i 時啓動網路分析器 68，而來取得反射係數的頻率特性。又，當然亦可將處理室 10 內的測定位置 h_i 只設定於 1 處。

又，上述實施例是將收容同軸電纜 52 的探針部 52a

之絕緣管 50 水平架設於與處理室 10 的側壁相對向的位置所設置的一對支持部（貫通孔 10a，10a）之間。但，亦可在使管前端部懸浮於處理室 10 內的狀態下支持或安裝絕緣管 50，亦即形成所謂的單側支撐式，此方是亦可適用本發明的電漿共振探針法。上述實施例的傳動器 56 是藉由滾珠絲桿機構來將電動馬達的旋轉驅動力變換成直線性的驅動力之方式。但，本發明所使用的傳動器並非限於此類的馬達式，亦可為氣壓式或磁氣式等任意的驅動方式。

（實施形態 2）

其次，根據圖 19～圖 31 來說明本發明之電漿吸收探針法（PAP）的實施形態。圖 19 是表示適用此第 2 實施形態的電漿電子密度測定方法及裝置之電漿處理裝置的構成。圖中，對與圖 1 的電漿處理裝置及電漿監控裝置同樣的構成或機能的部份賦予相同的符號，且省略其詳細說明。

在此第 2 實施形態中，電漿電子密度測定裝置的測定部 54 具備電漿吸收探針法（PAP）用的標量網路分析器 120 及計測控制部 122。

標量網路分析器 120 是例如在數百 MHz～數 GHz 的頻帶一邊進行頻率掃描一邊針對各頻率來將微小電力的電磁波訊號（入射波）傳送至同軸電纜 52 的探針部 52a，然後朝處理室 10 內的電漿 PZ 放射，由自電漿 PZ 反射而來的電磁波（反射波）的功率量與入射波的功率量的比來

求取標量表示的反射係數，取得其頻率特性。計測控制部 122 會進行計測用的控制及運算處理，特別是取入在標量網路分析器 120 所取得的標量表示的反射係數的頻率特性，在該頻率特性中算出波形的最小峰值或吸收峰值，而使能夠求取對應於該吸收峰值的頻率，亦即電漿吸收頻率。

在此，根據圖 20～圖 22 來說明此實施形態的電漿監控裝置中用以測定電漿吸收頻率及電子密度的方法。如圖 20 所示，此實施形態的電漿監控大致可分成設定，一次測定及一次資料處理的 3 段階過程。

設定過程（步驟 S1）中，在計測控制部 74 中會被設定輸入有關監控的參數（例如 RF 電力，壓力，氣體種類，電極間距離，電極構造等）或測定位置等。測定位置可為各位置的資料直接設定輸入，或由原點位置與測定點數或間距（測定位置間隔）等的設定輸入值來運算導出。

一次測定的過程是由：第 1 一次測定過程（步驟 S2），及第 2 一次測定過程（步驟 S3）所構成。

第 1 一次測定過程（步驟 S2）是在處理室 10 內不存在電漿 PZ 之電漿 OFF 狀態下針對所有的測定位置來一次取得反射係數的頻率特性（第 1 頻率特性）。

第 2 一次測定過程（步驟 S3）是在處理室 10 內存在電漿 PZ 之電漿 ON 狀態下針對所有的測定位置來一次取得反射係數的頻率特性（第 2 頻率特性）。

圖 21 是表示第 1 一次測定過程（步驟 S2）的詳細程序。在此第 1 一次測定過程中，確認最初處理室 10 內不

存在電漿 PZ (步驟 A1, A2)。可在高頻電源 18, 38 停止高頻電力的輸出, 處理氣體供給部 34 停止處理氣體的供給之下形成無電漿 PZ 的狀態, 亦即形成電漿 OFF 狀態。並且, 處理室 10 內的壓力會保持於預定的真空度。

如此, 在處理室 10 內不存在電漿 PZ 的狀態下, 依預定徑方向的測定位置 $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_{n-1}, h_n$ 的順序來取得反射係數的頻率特性 (第 1 頻率特性)。更詳而言之, 與第 1 實施形態時 (圖 1) 同樣的, 使探針部 52a 對位於目的的測定位置 h_i (步驟 A3), 藉由標量網路分析器 120 在例如數百 MHz~數 GHz 的頻帶一邊進行頻率掃描, 一邊將例如 1mW 程度的電磁波訊號 (檢查電波或入射波) 傳送至同軸電纜 52 的探針部 52a, 而使放出於周圍的空間 (主要是由探針部 52a 所見的半徑方向), 由自標量網路分析器 120 返回的反射訊號的功率量與入射波的功率量的比來求取標量表示的反射率或反射係數, 且將標量網路分析器 120 所取得乃至顯示的反射係數的頻率特性 $\Gamma_i(f)$ (S11 參數) 記憶於計測控制部 74 內的記憶體 74a (步驟 A4, A5)。其次, 使探針部 52a 移動至下個測定位置 h_{i+1} (步驟 A6→A7→A8→A3), 藉由與上述同樣的訊號處理來取得反射係數的頻率特性 $\Gamma_{i+1}(f)$ (S11 參數) (步驟 A4), 並將該取得的頻率特性的資料作為測定資料來記憶於計測控制部 74 內的記憶體 74a (步驟 A5)。針對所有的測定位置 $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_{n-1}, h_n$ 來重複進行 (步驟 A6, A7, A8)

上述一連串的過程（步驟 A3，A4，A5）。

在此實施形態中，如圖 4 所示，藉由線性傳動器 56 來使同軸電纜 52 從絕緣管 50 間歇性地移動於牽引方向，而使探針部 52a 從圖的右端（始端）的測定位置 h_1 依次步進至左端（終端）的測定位置 h_n ，藉此可有效率地以短時間（數秒以內的拍節時間）來實施上述一連串的過程（A3，A4，A5）。

圖 22 是表示第 2 一次測定過程（步驟 S3）的詳細程序。在此第 2 一次測定過程中，首先使所期望的電漿 PZ 產生於處理室 10 內（步驟 B1）。在高頻電源 18，38 所事先被設定的 RF 功率之下分別對兩電極 16，24 施加高頻電力，處理氣體供給部 34 會在處理室 10 內供給所期望的處理氣體，藉此可形成存在電漿 PZ 的狀態，亦即形成電漿 ON 狀態。

如此，在處理室 10 內產生電漿 PZ 的狀態下，針對與上述第 1 一次測定過程時相同測定位置 $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_{n-1}, h_n$ 來依次取得反射係數的頻率特性（第 2 頻率特性）。更詳而言之，藉由與上述同樣的程序及訊號處理，在線性傳動器 56 中使同軸電纜 52 的探針部 52a 依次對位於各測定位置 h_i （步驟 B2），依各測定位置 h_i 在標量網路分析器 120 中取得反射係數的頻率特性 Γ_i (pf)（步驟 B3），並將該取得的頻率特性的資料作為測定資料來記憶於計測控制部 74 內的記憶體 74a（步驟 B4）。針對所有的測定位置 $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots,$

h_{n-1} ， h_n 來重複進行（步驟 B5，B6，B7）上述一連串的過程（步驟 B2，B3，B4）。

在此第 2 一次測定過程中，如圖 5 所示，藉由線性傳動器 56 來使同軸電纜 52 從絕緣管 50 間歇性地移動於牽引方向，而使探針部 52a 從圖的右端（始端）的測定位置 h_1 依次步進至左端（終端）的測定位置 h_n ，藉此可有效率地以數秒以內的拍節時間來實施上述一連串的過程（B2，B3，B4）。

並且，在同軸電纜 52 中，由於外部導體 52b 為不鏽鋼管剛性佳，因此在從絕緣管 50 移動於所被牽引的方向時可維持安定的直線性，且於電漿 PZ 的高溫環境內照樣能夠防止絕緣材 52c 的熱膨脹乃至破裂。

在圖 20 中，一次資料處理的過程包含：

第 1 資料處理過程（步驟 S4），其係針對所有的測定位置 h_1 ， h_2 ， \dots ， h_k ， \dots ， h_{n-1} ， h_n ，藉由預定的運算（例如除算或減算等），從上述一次測定過程中所取得的反射係數的第 1 頻率特性 $\Gamma(f)$ 及第 2 頻率特性 $\Gamma(pf)$ 來一次算出電漿吸收頻率；及

第 2 資料處理過程（步驟 S5），其係根據電漿吸收頻率的測定值，藉由上述（1）的運算來一次算出電漿電子密度。

更詳而言之，在第 1 資料處理過程（步驟 S4）中是針對各個測定位置 h_1 ， h_2 ， \dots ， h_i ， \dots ， h_{n-1} ， h_n 來運算第 1 頻率特性 $\Gamma_i(f)$ 與第 2 頻率特性 $\Gamma_i(pf)$

的比 $\Gamma_i (pf) / \Gamma_i (f)$ 。該比 $\Gamma_i (pf) / \Gamma_i (f)$ 是意指以真空狀態為基準之電漿的能量吸收的頻率特性。嚴格來講，從探針部 52a 所被放出的電磁波會傳播於周圍的絕緣管 50 表面，當該表面波的頻率與電漿的電子振動數 f_p 一致時會引起電磁波吸收，反射率會極端降低。因此，可算出該比 $\Gamma_i (pf) / \Gamma_i (f)$ 形成極小峰值時的頻率，作為電漿吸收頻率的測定值。

在第 2 資料處理過程（步驟 S5）中是針對各個測定位置 $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_{n-1}, h_n$ ，根據電漿吸收頻率的測定值來運算上式（1），而求取電子密度 N_e 的測定值。可使對應於各測定位置來將電子密度 N_e 的測定值描繪於圖表上，藉此來調查電漿 PZ 的徑方向之電子密度 N_e 的空間分布。

圖 23 是表示在此實施形態的電漿監控裝置中所取得的電子密度 N_e 的空間分布特性的一例（實施例）與比較例的對比。在此，比較例是在圖 19 的裝置構成下，在各個測定位置 h_i 切換電漿 OFF 狀態與電漿 ON 狀態，藉由反射波的第 1 頻率特性 $\Gamma_i (f)$ 與第 2 頻率特性 $\Gamma_i (pf)$ 的取得方式所取得之電子密度 N_e 的空間分布特性。

如圖示，在實施例與比較例中電子密度 N_e 的空間分布特性（測定值）差異不大，但由於比較例是在各測定位置 h_i 藉由切換電漿 OFF 狀態與電漿 ON 狀態來進行當時反射係數的測定之方式，須花費與測定點的數量成比例的 ON/OFF 切換時間，因此全體的測定效率低，每一測定位

置需要數分鐘的測定時間。相對的，實施例是針對全測定位置 $h_1 \sim h_n$ 來分別一次進行電漿 OFF 狀態下的反射係數測定與電漿 ON 狀態下的反射係數測定，無關於測定點的數量，ON/OFF 切換時間可一次完成，因此全體的測定效率高，可將每一測定位置的測定時間縮短至數秒以內。因此，在圖 23 的例子（測定點為 16 個）時，就全測定時間而言，比較例大約需要花費 30 分鐘，相對的，實施例可大約在 3 分以內完成。如此測定效率乃至測定時間的差會隨著測定點的數量增加而更為顯著。

如此一來，若利用此實施形態的電漿監控裝置，則可有效率地以短時間來測定電漿吸收頻率或電子密度，即使是在大口徑處理室的 300mm 裝置或 FPD 裝置中照樣能夠容易且有效率地以短時間來進行可靠度高的電漿監控。

並且，在實際的製程中，當該電漿處理裝置在進行加工處理時，探針機構（絕緣管，同軸電纜）最好自處理裝置卸下。在此實施形態中，若拔取絕緣管 50，則可使用栓等的密封構件來閉塞開口之處理室 10 的貫通孔 10a，而形成真空密封。

以下，說明此第 2 實施形態的具體例。

在上述電漿處理裝置（圖 19）中，分別將上部及下部高頻電力（高頻電源 38，18）的 RF 頻率設定為 60MHz，2MHz，將上部電極 24 與下部電極（基座）16 的距離間隔（間隙）設定為 25mm。

在上述實施形態的電漿監控裝置中，絕緣管 50 是使

用全長 550mm，外徑 3mm，內徑 1.5mm 的透明石英管，且將架設於處理室 10 側壁的兩貫通孔 10a 間的高度位置（測定高度位置）設定於離上部電極 10mm，離下部電極 15mm 的位置。同軸電纜 52 是使用芯線（內部導體）52a 的外徑 0.20mm，外部導體 52b 的外徑 0.86mm，特性阻抗 50Ω 之半硬電纜 SC-086/50（COAX CO.，LTD.製），且使前端部的特氟綸（登錄商標）芯線 52a 露出 10mm，而來作為探針部。在測定電路 54 中，高通濾波器 72 是使用日本高周波公司的 HPF150，RF 限制器 70 是使用”Agilent Techonloies”公司的 11930B，標量網路分析器 120 是使用”Agilent Techonloies”公司的 HP8753ET。在標量網路分析器 120 中是使 150MHz~2500MHz 的高頻訊號（0dBm：1mW）於每 600msec 掃描輸出。又，線性傳動器 56 是使用 THK 公司的線性傳動器 LCA40。

在上述實施形態之改良型電漿吸收探針法中是使 RF 洩漏對策用的同軸電纜 52 的 GND 線 52b 短路於處理室 10 的框體（側壁）而接地，但在未具備串珠形純粒鐵構件 66 的構成中，若改變往同軸電纜 52 的處理室 10 內之插入長度 L（從短路點 A 到探針部 52a 前端為止的距離），則會週期性出現看似電漿吸收頻率以外的雜訊之峰值。

為了明確該雜訊發生的結構，而使同軸電纜 52 的插入長度 L（圖 2）變化，藉此來調查此刻所取得之雜訊峰值的頻率特性。圖 24 是表示該頻率特性。由圖 24 可知，雜訊峰值會對應於同軸電纜 52 的插入長度 L，而於

1500MHz 以上的頻帶週期性地出現。並且，電漿頻率 f_p 會存在於 1000MHz~1500MHz 的範圍內。

圖 25 是表示雜訊峰值的頻率（實測值），及以插入長度 L 而定的共振頻率（峰值頻率計算值）。在圖 25 中， λ 是表示傳播於同軸電纜 52 的外部導體 52b 之雜訊訊號的波長 λ_g 是表示傳播於芯線（內部導體 52a）之雜訊訊號的波長。由圖 25 的圖表可知，雜訊峰值的測定值與計算值（半波長的整數倍）會幾乎完全一致。

由此結果可知，在插入後的同軸電纜 52 的 GND 線 52b 會產生定在波，此定在波會在探針中視為訊號，且會有原本的電漿之吸收峰值以外的定在波雜訊峰值產生。一旦產生定在波雜訊，則不僅電漿吸收的頻率特性的 S/N 會變差，而且還有誤認為電漿吸收峰值之虞。

在此，如上述實施例，以實驗來試驗電磁波吸收體 64 之定在波雜訊的吸收。電磁波吸收體 64 是使用 TDK 公司的串珠形純粒鐵 HF70BB3.5×5×1.3。又，就電漿處理裝置的電漿產生條件而言，處理氣體為使用 $C_5F_8/Ar/O_2$ 混合氣體（流量：15/380/19sccm），處理室 10 內的壓力為 2.0Pa（15mTorr），上部/下部高頻電力為 2.17/1.55kW，上部電極/處理室側壁/下部電極的溫度為 60/50/20℃。測定位置為選擇 $R=0$ （晶圓中心）及 $R=160mm$ 等兩處，在此 R 為離晶圓中心位置之半徑方向的距離。

圖 26A 及圖 26B 是表示該實驗結果的資料。由此實驗結果可明確得知，在將電磁波吸收體 66 安裝於同軸電

纜 52 之下，可在不影響原本電漿吸收峰值的情況下有效地去除定在波雜訊。

其次，以實驗來評價電漿清洗條件下的雜訊低減效果。其目的是供以確認電漿清洗在電子密度低且 S/N 不佳的條件下，是否可藉由電磁波吸收體 66 來有效地減少定在波雜訊。所謂電漿清洗是如習知利用電漿來去除附著於處理室內壁等的反應殘渣之清洗方法。

就電漿產生條件而言，是分別設定成處理氣體為使用 O₂ 氣體，供給流量為 200sccm，壓力為 2.0Pa (15mTorr)，下部電力為 200W，上部電極/處理室側壁/下部電極的溫度為 30/50/20℃，且使下部電力變化於 1500W~200W。測定位置為 R=0 (晶圓中心)。

圖 27 是表示此實驗結果。由於可只選擇性地去除定在波雜訊，因此即使是電漿吸收峰值的較弱信號，照樣能夠容易進行峰值檢測。

又，評價使安裝於同軸電纜 52 的電磁波吸收體 66 增強時的信號變化。具體而言，針對直列裝著於同軸電纜 52 的串珠形純粒鐵 (HF70BB3.5×5×1.3) 為 5 個，10 個，15 個時之電漿吸收峰值的信號 (深度) 進行比較。其結果如圖 28 所示，可在增加串珠形純粒鐵的裝著數之下增加信號。這是因為純粒鐵會經由電磁誘導來去除信號中所含的雜訊成分所致。一旦電磁波被吸收至純粒鐵，則會變換成熱能量，因此純粒鐵本身會被加熱，若其溫度超過居里點 (T_c : 約 100℃)，則純粒鐵會喪失電磁波吸收的

特性。因此，最好是冷卻串珠形純粒鐵。在此實施形態中，電磁波吸收體 66 會藉由冷卻氣體供給部 80 的作用而被空冷。

又，如下述，針對幾個製程電漿來調查有關壓力與電子密度空間分布的相關關係。

(1) 針對供以形成高縱橫比的連接孔之蝕刻用的電漿，以壓力為參數來調查處理室徑方向之電子密度的空間分布。圖 29 是表示計測結果。主要的電漿產生條件（方法）如以下所示。

晶圓口徑：200mm

蝕刻氣體： $C_5F_8/Ar/O_2$ 混合氣體

氣體流量： $C_5F_8/Ar/O_2=15/380/19sccm$

氣體壓力：2.0~26.6Pa (15~200mTorr)

RF 電力：上部/下部=2.17/1.55kW

設定溫度：上部電極/側壁/下部電極=60/50/20°C

下部 RF 電壓的振幅：1385V (2.0Pa)，1345V (4.0Pa)，1355V (10.6Pa)，1370V (16.0Pa)，1380V (26.6Pa)

如圖 29 所示，在此電漿產生條件下，若壓力超過 16.0Pa (120mTorr)，則在晶圓中心部附近的位置，電子密度 N_e 會下降，均一性會喪失。

(2) 針對供以在 Si 基板形成配線用的溝 (trench) 之蝕刻用的電漿，以壓力為參數來調查處理室徑方向之電子密度的空間分布。圖 30 是表示計測結果。主要的電漿

產生條件（方法）如以下所示。

晶圓口徑：200mm

蝕刻氣體：CF₄/O₂ 混合氣體

氣體流量：CF₄/O₂=40/3sccm

氣體壓力：6.7～66.5Pa（50～500mTorr）

RF 電力：上部/下部=1.0/1.2kW

設定溫度：上部電極/側壁/下部電極=60/50/20℃

下部 RF 電壓的振幅：1530V（6.7Pa），1690V（20.0Pa），1400V（39.9Pa），1180V（66.5Pa）

由圖 30 可知，在此電漿產生條件下，當氣體壓力為 6.7Pa 或 20.0Pa 程度時，電子密度 N_e 會形成不均一的分布，但在 39.9Pa 以上時會形成平坦（均一）的分布特性。

（3）針對供以在基板上的層間絕緣膜中形成微孔的蝕刻用電漿，以壓力為參數來調查處理室徑方向之電子密度的空間分布。圖 31 是表示計測結果。主要的電漿產生條件（方法）如以下所示。

晶圓口徑：200mm

蝕刻氣體：N₂ 氣體

氣體流量：300sccm

氣體壓力：53.2～106.4Pa（400～800mTorr）

RF 電力：上部/下部=1.5/1.0kW

設定溫度：上部電極/側壁/下部電極=30/50/20℃

下部 RF 電壓的振幅：1015V（53.2Pa），938V（

106.4Pa)

如圖 31 所示，在此電漿產生條件下，即使將氣體壓力提高至 106.4Pa，電子密度 N_e 的均一性還是會被維持。

如上述，在此實施形態的電漿監控方法及裝置中，於低壓乃至高壓的較廣壓力領域中，可以短時間來進行高精度的電子密度計測。因此，本實施形態的電漿處理裝置可在所期望的製程條件下於處理空間以均一的狀態來分布電漿密度亦即電子密度，使方法條件最佳化且最適化，確保電漿處理的面內均一性，提高良品率。

並且，在此第 2 實施形態中亦可實施與上述第 1 實施形態時同樣的各種變形。

其次，根據圖 32~圖 48 來說明本發明之電漿發光計測法的實施形態。圖 32 是表示適用此第 3 實施形態的電漿發光計測方法及裝置之電漿處理裝置的構成。圖中，對與圖 1 的電漿處理裝置及電漿監控裝置同樣構成或機能的部份賦予相同的符號，且省略其詳細說明。

此實施形態的電漿發光計測裝置具有：

圓筒狀的透明絕緣管 50，其係固定安裝於處理室 10；及

棒狀的光傳送探針 130，其係於前端具有受光面 130a，可由石英管 50 的一方端（圖 1 的左端）來滑動插入管內；及

計測部 132，其係經由探針 130 來計測產生於處理室 10 內的電漿 PZ 之發光；及

線性傳動器 56，其係供以使探針 130 移動於軸方向；及

可撓性的光纖束 134，其係光學性連接探針 130 與計測部 132。

透明絕緣管 50 是由透明且耐熱性的絕緣材，例如石英或藍寶石所構成，比處理室 10 的外徑尺寸還要長許多，形成筆直（直線狀），兩端呈開口。

在探針 130 的前端部，如圖 33 所示，安裝有例如由不鏽鋼（SUS）所構成的遮光性圓筒形罩蓋 136。在此罩蓋 136 中，收容有例如由不鏽鋼（SUS）所構成的圓柱體 138，與此圓柱體 138 的探針 130 的受光面 130a 呈對向的端面 140 會形成對軸方向而言呈 45° 傾斜的反射鏡。由探針 130 的受光面 130a 來看，在位於反射鏡 140 的反射方向之罩蓋 136 的側壁形成有圓形的開口或窗 142。由此窗 142 的正面前方進入的光會反射於反射鏡 64，而使能夠射入探針 130 的受光面 130a。如此一來，此實施例是在罩蓋 136 的窗 142，反射鏡 140 及探針 130 的受光面 130a 構成供以高指向性來採取處理室 10 內的電漿光之採光部 144。

探針 130 是由直徑例如數 mm 以下的石英棒所構成，一邊使射入前端的受光面 130a 的光全反射於境界面或周面，一邊關起來傳送至另一端，由另一端面放射。在石英棒中，處理通常的電漿發光分光中所利用的 200nm ~ 900nm 的波長時，最好是使用在此波長領域中顯現較高的

透過特性，且不發出螢光的有水合成石英製的棒。另一方面，在計測近紅外線乃至中間紅外線領域（900nm~）時，棒材可使用在此波長領域中顯現較高的透過特性之無水合成石英或熔融石英。在有效計測紫外線乃至紅外線的較廣波長領域時，可適用藍寶石。

如上述，探針 130 即使是石英棒的單體亦可發揮充分的光傳送機能，但爲了防止迷光從側面進入，如圖 34A 所示，最好以金屬包層 146 來圍繞棒的側面或周面，更理想是如圖 34B 所示，以遮光性的被膜，例如黑色塗料 148 來圍繞金屬包層 146（或石英棒 130）的周面。

計測部 132 是經由探針 130 以分光分析法來計測處理室 10 內的電漿發光之裝置，具有：供以使來自探針 130 的光分解或分光成光譜之分光器 150，及使藉由該分光器 150 取得的預定頻率的光譜變換成電氣訊號之光電變換部 152，及根據該光電變換部 152 的輸出訊號來求取該光譜的強度之計測運算部 154，及供以控制有關計測的各部之計測控制部 156。分光器 150 例如可使用稜鏡或繞射光柵。又，亦可取代分光器，而使用濾光器。光電變換部 152 可例如使用光電子增倍管或發光二極體等。

光纖束 134 是集合多數條的可撓性光纖，一端經由連接器 158 來光學性連接至探針 52 的他端，他端會光學性連接至發光計測部 132 的分光器 150。連接器 158 是例如以端面接合方式來連接光纖束 134 與探針 130。

在此，說明此實施形態之電漿發光計測裝置的作用。

在此電漿發光計測裝置中，計測來自處理室 10 內所產生的電漿 PZ 之發光，是藉由線性傳動器 56 的直進驅動來使探針 130 在石英管 50 中移動於軸方向，亦即處理室 10 的徑方向。通常是使探針 130 的受光面 130a 由線性傳動器 56 側來看超過最遠測定點的位置為止使探針 130 插入石英管 50 的深處，在計測時線性傳動器 56 會使探針 130 直進移動於牽引的方向。藉由此軸方向的直進移動，探針 130 的採光部 144 會在處理室 10 內電漿空間中掃描於徑方向來採取徑方向各位置的電漿光。更詳而言之，如圖 33 所示，在掃描線上的各位置藉由上方附近的電漿 PZ 而發出的光會透過石英管 50 來從罩蓋 136 的窗 142 射入反射鏡 140，反射於反射鏡 140 的光會射入探針 130 的受光面 130a。在圖示的例子中，雖是採取來自上方的電漿光，但並非限於上方，亦可根據反射鏡 140 的方向來採取來自下方或側方等任意方位的電漿光。

射入探針 130 的受光面 130a 之電漿光會傳播於探針 130 中，在連接器 158 內由探針 130 的另一端面放射，射入光纖束 134 的一端面或受光面。射入光纖束 134 的受光面之電漿光會傳播於光纖束 134 中，而從另一端面放射，射入測定部 132 的分光器 150。

在測定部 132 中，分光器 150 是從接受後的電漿光來取出所望的光譜。光電變換部 152 會將在分光器 150 所取出的光譜予以變換成例如光電流，輸出對應於光譜強度的電壓訊號。計測運算部 154 是由光電變換部 152 所取得的

電壓訊號的位準來求取光譜強度的測定值。如上述，藉由線性傳動器 56 在石英管 50 內使探針 130 移動於軸方向，而使採光部 144 掃描於處理室 10 的徑方向，因此可測定掃描線上的各位置之電漿光或光譜的強度。並且，在線性傳動器 56 例如安裝線性編碼器或旋轉式編碼器等的位置感測器，藉此可經由該位置感測器來檢測或掌握採光部 144 的位置，亦即測定位置。如此一來，各測定位置的光譜強度測定值會作為電漿發光計測資料來儲存於計測運算部 154 或計測控制部 156 內的記憶體，且利用未圖示的顯示器或印表機等來顯示或印出空間分布特性（圖表），或賦予所望的監控分析。

如上述，此電漿發光計測裝置是在處理室 10 內插入石英管 50，在此石英管 50 中使棒狀的光傳送探針 130 移動於軸方向，而藉由探針 130 前端部的採光部 144 在軸方向的任意測定位置採取來自電漿 PZ 的發光，且經由探針 130 及光纖束 134 來將採取的電漿光傳送至計測部 132，在計測部 132 針對各測定位置的電漿發光求取預定的特性或屬性（例如預定波長的光譜強度）之測定值。

在此，石英管 50 及探針 130 為絕緣體，亦即非金屬，即使插入平行平板電極（12，24）之間所產生的電容耦合性電漿 PZ 中，照樣不會有擾亂電漿 PZ 之虞，可針對電漿發光進行可靠度及測定精度高的空間分布計測。並且，在此實施形態中，雖是以金屬（SUS）來構成採光部 144 的罩蓋 136 及反射鏡 140，但由於此金屬構件的全長

為數 .cm 程度不會發揮天線作用，因此不會對平行平板電極（12，24）間的高頻放電造成影響。

又，由於此實施形態是在設置於處理室 10 的側壁之相對向的位置之一對的支持部（貫通孔（10a，10a）之間水平架設石英管 50，且在如此架橋型的石英管 50 中（以石英管 50 作為引導構件）使探針 130 移動於軸方向，因此可在處理室徑向的一定水平線上實現高速且安定的探針掃描。藉此，即使例如在數分以下的短製程時間，還是能夠以一定的時間間隔來多次重複上述空間分布計測，進行時間軸方向的分解計測。

又，此實施形態中，是在處理室 10 外經由光纖束 134 來對計測部 132 的分光器 150 賦予探針 130 所採取之處理室 10 內的電漿光，藉此可以所期望的視野角或預定角來採取處理室 10 內的電漿發光。

根據圖 35 來說明探針 130 及光纖束 134 的光學機能。在處理室 10 內，如上述來自電漿 PZ 的發光會通過罩蓋 136 的窗 142 反射於反射鏡 140 而射入探針的受光面 130a。在此，於探針 130 的受光面 130a，與探針 130 的固有開口數（NA）無關，電漿光會以實質 $\pm 90^\circ$ 的預定角（ $NA=1$ ）來射入。並且，從探針 130 的另一端面 130b 以和受光側呈對稱實質 $\pm 90^\circ$ 的預定角來放射電漿光。如此一來，在光纖束 134 的受光面 134a，在與處理室 10 內的探針 130 的受光面 130a 實質相同的狀況下電漿光會射入。在此，光纖束 134 是以固有的開口數（ $NA < 1$ ）來接受電

漿光，在另一端面 134b 也會以固有的開口數 ($NA < 1$) 來放射電漿光。如此一來，可以和將光纖束 134 的受光面 134a 放入處理室 10 內時同等或等效的指向性來採取電漿發光。

又，若使光纖束 134 實際進入處理室 10 內，則其保護管（通常金屬製）會與電漿 PZ 電性結合而擾亂電漿 PZ。就此實施形態而言，由於光纖束 58 是一直存在於處理室 10 外，因此不會對電漿 PZ 造成影響。

又，光纖束 134 除了上述指向性以外，更具有比單一（1 條）的光纖還容易與連接器 158 的探針 130 光軸對準之優點。

但，若擴大探針 130 的棒徑，則如圖 36 所示，在採光部 144 所採取的電漿光之中，不只是從窗 142 的正面前方進入而反射於反射鏡 140 後射入探針 130 的受光面 130a 之原本的被測定光 PL 而已，就連不經由反射鏡 140 而從前方直接射入受光面 130a 之非所望的光 QL 也會混入。針對此問題，如圖示，以探針 130 的受光面 130a 的法線 N 對軸方向而言能夠僅以預定的角度 θ 來傾斜於窗 142 側之方式，形成僅以角度 θ 來斜切探針 52 的一端部之受光面的構成。若利用該構成，則即使不期望的光 QL 從前方直接射入探針 130 的受光面 130a，還是會因為以比光纖束 134 的開口數 (NA) 更大的角度來射入光纖束 134，所以可去除前方光。

圖 34 是表示探針 130 使用石英棒時，以開口數 (NA)

) 為參數，石英棒受光面對石英棒的折射率之最適切角 θ 。由於石英棒的折射率會依光的波長而改變，因此在實際的應用中只要配合被測定光譜中最短的波長來決定切角 θ 即可。例如，在使用開口率 0.22 的石英棒時，對應於最短的被測定光譜之折射率為 1.453 時，切角 θ 可為 26.8° 。

如上述，若利用此實施形態的電漿發光計測裝置，則不會對處理室 10 內的電漿分布造成影響，可對來自電漿的發光（處理室徑方向的空間分布）進行計測或分光分析。藉此，可高精度解析製程結果的面內分布與電漿發光的空間分布之相關性。

圖 38~圖 40 是表示將本實施形態的電漿處理裝置適用於電漿蝕刻的應用中蝕刻速率的面內分布與電漿發光的空間分布之相關性的例子。

圖 38A 及圖 38B 是表示在上部電極 24 的比電阻相異的 2 種類的氧化矽膜 (SiO_2) 蝕刻 (A, B) 中， SiO_2 的蝕刻速率 E/R 的面內分布 (圖 38A) 與 Ar 自由基發光 $I[\text{Ar}]$ ($750\text{nm}; 13.48\text{eV}$) 的空間分布 (圖 38B) 之相關性。

圖 39A 及圖 39B 是表示在上部電極 24 的構造相異的 2 種類的氧化矽膜 (SiO_2) 蝕刻 (C, D) 中， SiO_2 的蝕刻速率 E/R 的面內分布 (圖 39A) 與 Ar 自由基發光 $I[\text{Ar}]$ ($750\text{nm}; 13.48\text{eV}$) 的空間分布 (圖 39B) 之相關性。

圖 40A 及圖 40B 是表示有關上部電極 24 的構造相異

的 2 種類的氧化矽膜 (SiO_2) 蝕刻 (C, D) , 光阻劑的蝕刻速率 E/R 的面內分布 (圖 40A) 與 Ar 自由基發光 I[Ar]/F 自由基發光 I[F] (704nm;14.75eV) 的空間分布 (圖 40B) 之相關性。

圖 41~圖 43 是表示適用其他實施例的電漿發光計測方法及裝置之電漿處理裝置的構成及作用。圖中, 對與上述第 1 實施形態實質上相同構成或機能的部份賦予同樣的符號。

在此實施例中, 在上部電極 24 與下部電極 16 的中間高度位置, 於處理室 10 的側壁形成附開閉器 160 的開口或孔 162, 使前端具有受光面 164c 的棒狀光傳送探針 164 能夠從孔 162 外進出於處理室徑方向。探針 164 可為具有由石英 (合成石英或熔融石英) 或藍寶石所構成的核心 164a 及金屬包層 164b 的二重構造之光纖 (圖 43)。

在處理室 10 外, 探針 164 是被收容於可伸縮配置於處理室徑方向的波形管 166 中。探針 164 的基端部會水平支持於線性傳動器 56 的滑件部 76, 且經由連接器 158 來光學性連接於光纖束 134。波形管 166 一端會被連接至處理室 10, 且另一端會被連接至滑件部 76, 在探針 164 的周圍形成氣密的空間。在此波形管 166 的內部空間會經由排氣管 168 利用排氣裝置 170 來減壓成與處理室 10 內幾乎同樣的真空度。並且, 在波形管 166 的內部或周圍設有供以將探針 164 加熱至預定的溫度 (例如 100°C 前後) 之加熱器 (例如 PTC 元件或電阻發熱元件) 172。

在此實施例中，在不進行電漿發光計測的期間，如圖 41 所示，先關閉開閉器 160，使探針 164 待機於處理室 10 外。不過，在電漿發光計測進行前，先使波形管 166 的內部空間減壓至與預定的處理室 10 內幾乎同樣的真空度，且將探針 164 加熱至預定的溫度。在進行電漿發光計測時，如圖 42 所示，開啓開閉器 160，使線性傳動器 56 作動，令探針 164 直進移動於軸方向，而由孔 162 來插入處理室 10 中。此刻，波形管 166 會隨著滑件部 76 及探針 164 的前進移動而收縮。

在處理室 10 內，於探針 164 的受光面 164c，位於其前方之來自電漿 PZ 的發光會射入。探針 164 的預定角是受限於由核心 164a 及金屬包層 164b 的各個折射率所定的開口率 (NA)。可一邊使探針 164 移動 (掃描) 於軸方向，亦即處理室徑方向 (X)，一邊以計測部 132 來求取電漿發光對微小移動距離 Δx 之光強度的變化分 ΔI ，藉此可計測掃描線上的發光分布。此計測掃描可在探針 164 的前進 (往動) 中或後退 (復動) 中進行。

在處理室 10 內，即使探針 164 的金屬包層部 164b 被電漿 PZ 衝擊，傳送電漿光的核芯部 164a 照樣不會受到影響。又，由於探針 164 在處理室 10 外也會被高溫加熱，因此即使進入處理室 10 內而暴露於電漿 PZ，反應生成物的附著也會很少。

由於探針 164 為非金屬，因此不僅不擾亂電漿 PZ，而且與製程時間 (例如數分) 相較下，可以非常短的時間

(例如數秒)來掃描，所以幾乎不會對製程結果造成影響。因此，在製程期間，可在一定的週期多次進行上述計測掃描。並且，可取得與製程結果相關性高的計測結果。此實施形態並非只適用於製程開發時，亦可適用於實際製程中，例如可適用於電漿蝕刻之終點檢測等的各種製程控制用的發光監控。

上述第 1 及第 2 實施例是在處理室 10 內使探針 (130, 164) 移動於軸方向來計測電漿發光 (同方向的空間分布)。但實際上本發明可於處理室 10 內使探針移動於任意的方向。例如圖 44 所示，在處理室 10 內的電漿空間中，一邊使探針 130 移動於垂直 (z) 方向，一邊以計測部 132 來求取電漿發光對微小移動距離 Δz 之光強度的變化分 ΔI ，藉此可計測垂直 (z) 方向的電漿發光分布。

又，本發明的電漿發光計測裝置亦可由上述分光分析法所取得的電漿發光的測定值來求取其他的電漿屬性。一般，原子/分子/自由基/離子等的發光種是以對應於各個內部能量狀態的固有波長或光譜來發光。來自任意的發光種 X 之發光強度 I_x 為下式 (5) 所示。

$$I_x = C_{x,\lambda} N_x n_e \int \sigma_x(E) v_e f_e(E) dE \dots \dots (5)$$

在此， $C_{x,\lambda}$ 是包含發光種的物性值 (波長，自然放出確率等) 或有關計測系統的幾何學要件之係數。又， N_x 為發光種的基底能量狀態下的密度， n_e 為電子密度， \int

$\sigma_x(E)$ 為發光種 X 的電子衝突激勵剖面積， v_e 為電子的速度， $f_e(E)$ 為電子能量分布函數。又，式 (5) 中，積分 (\int) 的範圍是從 0 至無限大 (∞) 。

如此來自電漿的發光是由幾種電漿諸量來決定。換言之，由電漿發光的測定值來求取發光種的密度，電子密度，電子能量分布等諸量。

例如，若利用露光測定法 (actinometry) 來求取 N_x ，以及藉由電漿吸收探針法 (PAP) 或郎膠爾探針法等電子密度計測法來求取電子密度 n_e ，則可由式 (5) 來求取電子能量分布 $f_e(E)$ 。

在此實施形態的電漿發光計測裝置中，當然可將各構成要件變更成具有同樣機能的代替物。例如，在上述實施形態中雖是使石英管 50 在處理室 10 內橫跨於徑方向而安裝成架橋型，但亦可為單側支撐式，以一處來固定石英管 50 的構成。又，此實施形態雖是藉由線性傳動器 56 的直進驅動來使探針 130，164 移動於軸方向，亦即處理室 10 的徑方向，但當然亦可使探針 130，164 只能對石英管 50 或處理室 10 進退於軸方向，藉由手動來使與上述實施形態同樣直進移動。

圖 45~圖 47 是表示此實施形態的變形例。圖 45 的變形例是取代單體的石英棒，而改由複數條光纖 166 所形成的線束型的光導件來構成上述第 1 實施例的探針 130。為了使該等複數條的光纖 166 集成一，而於束的周圍設置耐熱性的非金屬構件 168。如此耐熱性非金屬構件 168

的材質最好為耐熱性高分子，例如聚醯亞胺，可以膠帶的形態來捲繞於光纖 166 束的周圍，或以樹脂的形態固著。由於如此線束型的探針 130 具有柔軟性，因此具有耐衝擊不易破損的優點。

圖 46 的變形例是使出入於處理室 10 的上述線束型的探針 130 與延伸於處理室 10 外的標準光纖束 134 一體化者。亦即，探針 130 的各光纖 166 與光纖束 134 的各光纖 166 是以連續 1 條的光纖來構成，探針 130 與光纖束 134 外皮的相異點在於前者（130）為絕緣體，後者（134）為金屬。若利用如此的光纖一體型，則在探針 130 與光纖束 134 之間不會有結合損失，可增加計測部 132（特別是分光器 150）側的受光量，提高測定精度。

圖 47 的變形例是以鋁來構成探針 130 之反射鏡 140 的材質者。鋁為從紫外線到紅外線具有一定的高反射率之素材，可適用於反射鏡 140。但，由於鋁容易氧化變質，因此該構成例會在透明石英基板 170 的一側面蒸鍍鋁 172，而以作為反射鏡保護材的透明石英基板 170 為表面側，以作為反射膜的鋁蒸鍍膜 172 為背側來安裝於 SUS 的圓柱體 138。來自電漿的被測定光 PL 會透過透明石英基板 170 來反射於鋁蒸鍍膜 172。又，就其他的變形例而言（圖示省略），可使用鋁來構成圓柱體 138，且於其反射面或反射鏡面 140 塗佈由氟化鎂所構成的保護膜。

本發明之電漿發光計測裝置的一應用例為具有可監控處理室內部的異常放電之機能。例如，在圖 32 的實施例

中，當噴灑構造的上部電極 24 的氣孔（噴出孔）26 因磨損擴大而導致在此異常放電時，若使探針 130 的採光部 144 朝上而掃描於水平方向，則可觀測到該異常放電的狀態。圖 48 是表示該一例。如圖示，與上部電極 24 的氣孔 26 正常時的發光分布相較之下，上部電極 24 的氣孔 26 異常時（擴大時）會形成來自電極中心部的發光減少，來自周邊部的發光增大之空間分布。由此可檢測出異常放電的發生有無或發生處。並且，圖 48 的實驗資料是在氧化矽膜蝕刻中藉由 Ar 自由基發光的監控所取得者。主要的電漿產生條件（方法）是如以下所示。

晶圓口徑：300mm

氣體壓力：25mTorr

上部及下部電極間距離：35mm

蝕刻氣體： $C_5F_8/O_2/Ar=29/750/47$ sccm

RF 電力：上部/下部=3300/3800W

晶圓背面壓力（中心部/邊緣部）：10/40Torr

上述異常放電監控機能可藉由第 1 實施形態（圖 1）或第 2 實施形態（圖 19）的電漿電子密度測定方法及裝置來實現。圖 49 是表示以第 1 實施形態（圖 1）的電漿共振探針法所取得的實驗資料。處理室構造及電漿產生條件是與圖 48 者相同。如圖 49 所示，與上部電極 24 的氣孔 26 正常時的電子密度分布相較之下，上部電極 24 的氣孔 26 異常時（擴大時）會形成在電極中心部及電極端部電子密度會異常高的空間分布。

由此可檢測出異常放電的發生有無或發生處。

在本發明的電漿處理裝置中亦可實施各種的變形。特別是上述實施形態之電容耦合型平行平板型的電漿產生方式為其中一例，其他任意的方式，例如磁控管方式，ECR (Electron Cyclotron Resonance) 方式等亦可適用於本發明。又，電漿製程的種類亦非限於蝕刻，本發明亦可適用於 CVD (Chemical Vapor Deposition)，氧化，濺鍍等任意的電漿製程。又，藉由電漿製程而被處理的被處理體亦非限於半導體晶圓，例如亦可適用於玻璃基板或 LCD (Liquid Crystal Display) 基板等。本發明的電漿發光計測方法或裝置亦可適用於電漿處理裝置以外的電漿裝置。

【圖式簡單說明】

圖 1 是表示適用本發明之第 1 實施形態的電漿電子密度測定方法及裝置之電漿處理裝置的構成圖。

圖 2 是表示實施形態之探針構造的要部之部份擴大剖面圖。

圖 3 是表示實施形態之測定部的向量網路分析器及計測控制部的要部構成方塊圖。

圖 4 是表示實施形態之第 1 一次測定過程的一狀態模式圖。

圖 5 是表示實施形態之第 2 一次測定過程的一狀態模式圖。

圖 6 是表示利用本發明的電漿共振探針法所取得的複

數反射係數的絕對值，實數部及虛數部的頻率特性（實驗資料）。

圖 7A 是表示利用本發明之電漿共振探針法所取得的電子密度測定感度的一例（實驗資料）。

圖 7B 是表示利用本發明之電漿共振探針法所取得的電子密度測定感度的一例（實驗資料）。

圖 8 是表示本發明所取得的電子密度的測定值資料與利用電漿吸收探針法所取得的電子密度的測定值資料之對比圖。

圖 9 是表示在較低的壓力條件（15mTorr）下所取得的複數反射係數的頻率特性（實驗資料）。

圖 10 是表示在高壓力條件（800mTorr）下所取得的複數反射係數的頻率特性（實驗資料）。

圖 11 是表示在高壓力條件（1600mTorr）下所取得的複數反射係數的頻率特性（實驗資料）。

圖 12 是表示本發明在高壓力條件（2000mTorr）下所取得的電子密度分布特性的一例（實驗資料）。

圖 13 是表示適用本發明之其他實施形態的電漿電子密度測定裝置之電漿處理裝置的構成圖。

圖 14A 是表示可使用於圖 13 的實施形態之探針單元的構成例剖面圖。

圖 14B 是表示可使用於圖 13 的實施形態之探針單元的構成例剖面圖。

圖 15 是表示可使用於圖 13 的實施形態之探針部的構

成例立體圖。

圖 16 是表示適用本發明之其他實施形態的電漿電子密度測定裝置之電漿處理裝置的構成圖。

圖 17 是表示在適應處理的蝕刻循環中在晶圓上的各位置蝕刻速率會漸漸減少而形成安定化的狀態之一例圖。

圖 18 是表示適應處理的蝕刻循環之蝕刻速率的平均值與電子密度的時間變動圖。

圖 19 是表示適用本發明之第 2 實施形態的電漿監控方法及裝置之電漿處理裝置的構成圖。

圖 20 是表示實施形態之電漿監控的大致程序的流程圖。

圖 21 是表示第 2 實施形態的電漿監控之第 1 一次測定過程的詳細程序的流程圖。

圖 22 是表示第 2 實施形態的電漿監控之第 2 一次測定過程的詳細程序的流程圖。

圖 23 是表示在第 2 實施形態中所取得的電子密度的空間分布特性的一例與比較例對比的圖表。

圖 24 是表示一實施例之雜訊峰值的頻率特性的圖表。

圖 25 是表示一實施例之依存於探針插入長度的定在波雜訊的峰值頻率的實測值與計算值的圖表。

圖 26A 是表示一實施例之電磁波吸收體的雜訊吸收效果的頻率特性的圖表。

圖 26B 是表示一實施例之電磁波吸收體的雜訊吸收效

果的頻率特性的圖表。

圖 27 是表示一實施例之電磁波吸收體的雜訊吸收效果的反射頻率特性的圖表。

圖 28 是表示一實施例之藉由電磁波吸收體的增強而達成信號增加的效果之頻率特性的圖表。

圖 29 是表示一實施例之電子密度的空間分布特性的圖表。

圖 30 是表示一實施例之電子密度的空間分布特性的圖表。

圖 31 是表示一實施例之電子密度的空間分布特性的圖表。

圖 32 是表示適用本發明之第 3 實施形態的電漿發光計測方法及裝置之電漿處理裝置的構成圖。

圖 33 是表示第 3 實施形態之探針的要部構成及作用的部份擴大剖面圖。

圖 34A 是表示其他實施例之探針構造的部份擴大剖面圖。

圖 34B 是表示其他實施例之探針構造的部份擴大剖面圖。

圖 35 是表示第 3 實施形態之探針與光纖束的作用模式圖。

圖 36 是表示一實施例之探針的構造與作用的部份擴大剖面圖。

圖 37 是表示在第 3 實施形態中利用於探針之石英棒

的折射率與切角的關係圖表。

圖 38A 是表示在第 3 實施形態中蝕刻速率的面內分布與電漿發光的空間分布之相關性的一例圖。

圖 38B 是表示在第 3 實施形態中蝕刻速率的面內分布與電漿發光的空間分布之相關性的一例圖。

圖 39A 是表示在第 3 實施形態中蝕刻速率的面內分布與電漿發光的空間分布之相關性的一例圖。

圖 39B 是表示在第 3 實施形態中蝕刻速率的面內分布與電漿發光的空間分布之相關性的一例圖。

圖 40A 是表示在第 3 實施形態中蝕刻速率的面內分布與電漿發光的空間分布之相關性的一例圖。

圖 40B 是表示在第 3 實施形態中蝕刻速率的面內分布與電漿發光的空間分布之相關性的一例圖。

圖 41 是表示適用其他實施例的電漿發光計測方法及裝置之電漿處理裝置的構成圖。

圖 42 是表示在圖 41 的電漿處理裝置中電漿分光計測時的狀態。

圖 43 是表示圖 41 之電漿發光計測裝置的作用。

圖 44 是表示其他實施例的電漿發光計測方法。

圖 45 是表示一變形例之光傳送探針的要部構成圖。

圖 46 是表示一變形例之光傳送探針的要部構成圖。

圖 47 是表示一變形例之光傳送探針的要部構成圖。

圖 48 是表示本發明的電漿發光計測法之處理室內異常放電監控機能的實驗結果圖表。

圖 49 是表示本發明的電漿共振探針法之處理室內異常放電監控機能的實驗結果圖表。

圖 50 是用以說明以往的電漿吸收探針法。

【主要元件符號說明】

10：處理室

10a：貫通孔（支持部）

16：基座（下部電極）

18，38：高頻電源

20：主控制部

24：上部電極

34：處理氣體供給部

50：絕緣管

52：同軸電纜

52a：探針部（天線探針）

54：測定部

56：線性傳動器

58：O形環

62：接地用導體

66：電磁波吸收體

68：向量網路分析器

74：計測控制部

80：冷卻氣體供給部

82：氣體管

- 84 : 反射係數測定部
- 90 : 虛數部記憶體
- 92 : 共振頻率讀取部
- 94 : 電子密度運算部
- 100 , 102 , 104 探針單元
- 108 : 窗構件
- 114 : 選擇開關
- 120 : 標量網路分析器
- 122 : 計測控制部
- 130 : 光傳送探針
- 132 : 計測部
- 134 : 光纖束
- 136 : 罩蓋
- 140 : 反射鏡
- 142 : 窗
- 144 : 採光部
- 146 : 金屬包層
- 148 : 黑色塗料
- 150 : 分光器
- 152 : 光電變換部
- 154 : 計測運算部
- 160 : 開閉器
- 162 : 孔
- 164 : 光傳送探針

166 : 波形管

167 : 排氣裝置

172 : 加熱器

七、申請專利範圍：

1. 一種電漿監控裝置，其特徵係具有：

透明的絕緣管，其係插入於可產生或導入電漿的處理室的室內而安裝；及

棒狀的光傳送探針，其係於前端具有受光面，由上述絕緣管的一方端插入管內；及

計測部，其係根據由上述探針的另一端面所放射的光來計測來自上述電漿的發光，

在上述探針的前端部設置一供以使來自所期望的方位角的上述電漿光反射而射入上述探針的受光面之反射鏡；

在上述探針的前端部安裝一包圍上述受光面與上述反射鏡的遮光構件，且於上述遮光構件設置一供以使來自上述所期望的方位角的電漿光朝向上述反射鏡而通過的窗，

以上述探針的受光面的法線對軸方向而言能夠僅以預定的角度傾斜於上述窗側之方式來斜切上述探針的端部。

2. 如申請專利範圍第 1 項之電漿監控裝置，其中上述探針為石英或藍寶石所構成。

3. 如申請專利範圍第 1 項之電漿監控裝置，其中上述探針具有：由石英或藍寶石所構成的核心，及包圍上述核心周面的金屬包層。

4. 如申請專利範圍第 1 項之電漿監控裝置，其中上述探針具有遮光性的被膜。

5. 如申請專利範圍第 1 項之電漿監控裝置，其中上述探針具有：一體成束的複數條光纖，及包圍該等光纖周圍

的耐熱性非金屬構件。

6.如申請專利範圍第 5 項之電漿監控裝置，其中上述非金屬構件為由聚醯亞胺所構成。

7.如申請專利範圍第 1 項之電漿監控裝置，其中上述絕緣管為由石英或藍寶石所構成。

8.如申請專利範圍第 1 項之電漿監控裝置，其中上述反射鏡的反射面為由鋁所構成。

9.如申請專利範圍第 1 項之電漿監控裝置，其中在相向設置於上述處理室的側壁之第 1 支持部與第 2 支持部之間實質架設上述絕緣管。

10.如申請專利範圍第 1 項之電漿監控裝置，其中具有：供以使上述探針移動於軸方向的傳動器。

11.如申請專利範圍第 1 項之電漿監控裝置，其中具有：供以檢測出上述探針的受光面的位置之位置檢出手段。

12.如申請專利範圍第 1 項之電漿監控裝置，其中上述計測部具有：

分光部，其係供以由上述探針的另一端面所射出的光來取出預定波長的光譜；及

光譜強度測定部，其係測定上述分光部所取出的上述光譜的強度。

13.如申請專利範圍第 1 項之電漿監控裝置，其中具有：以所期望的開口數來接受由上述探針的另一端面所放射的光，而引導至上述計測部之光纖束。

圖1

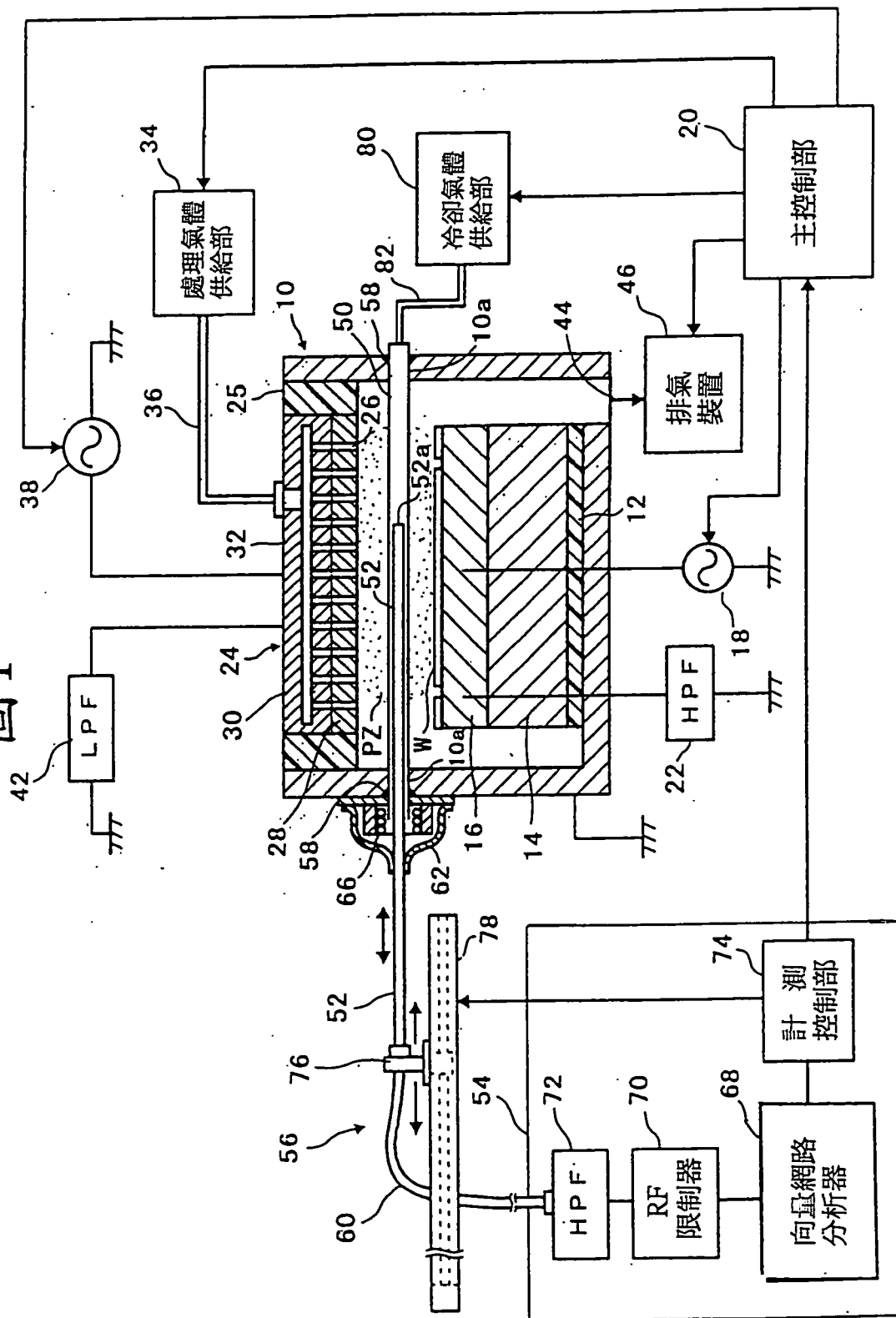


圖2

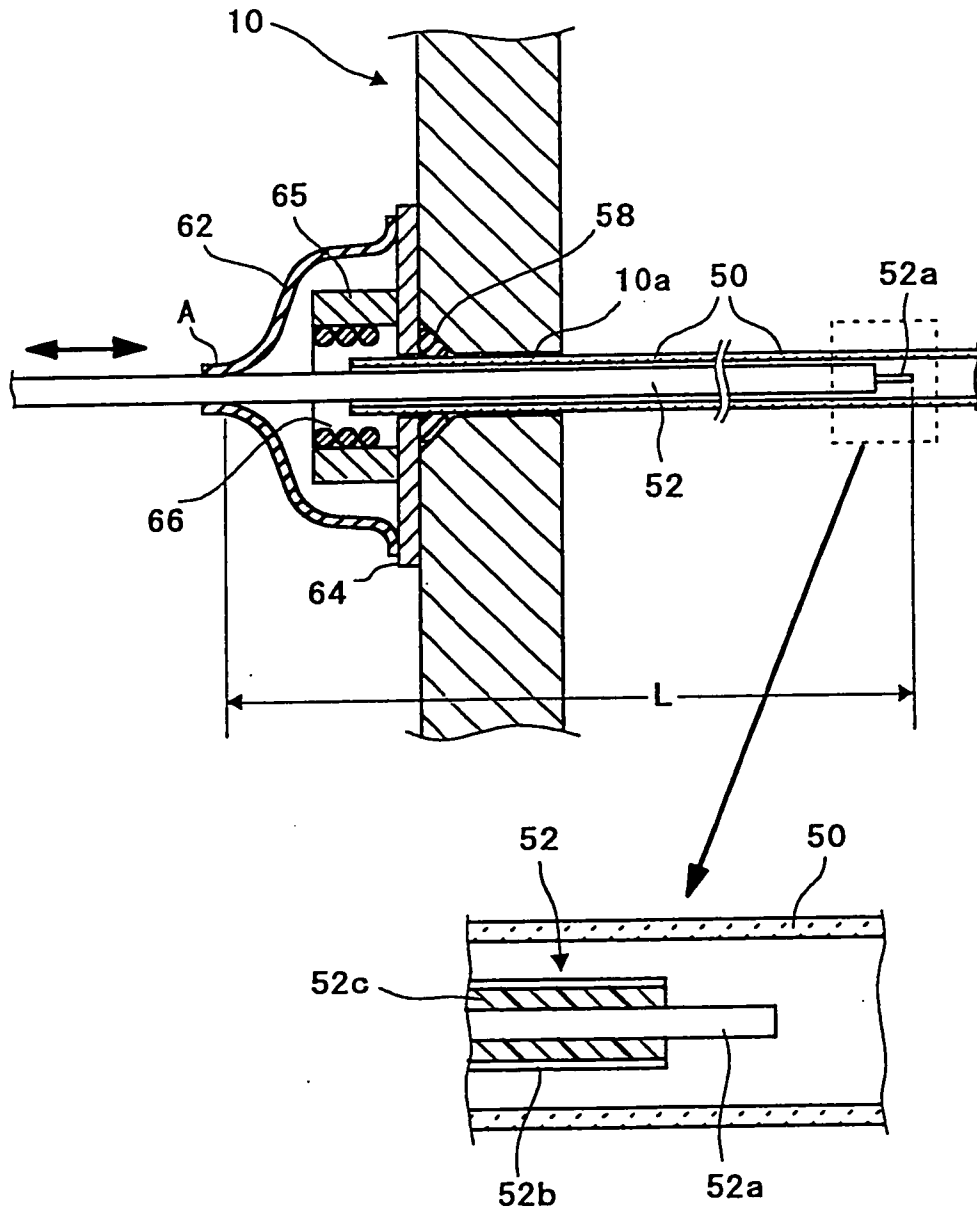


圖3

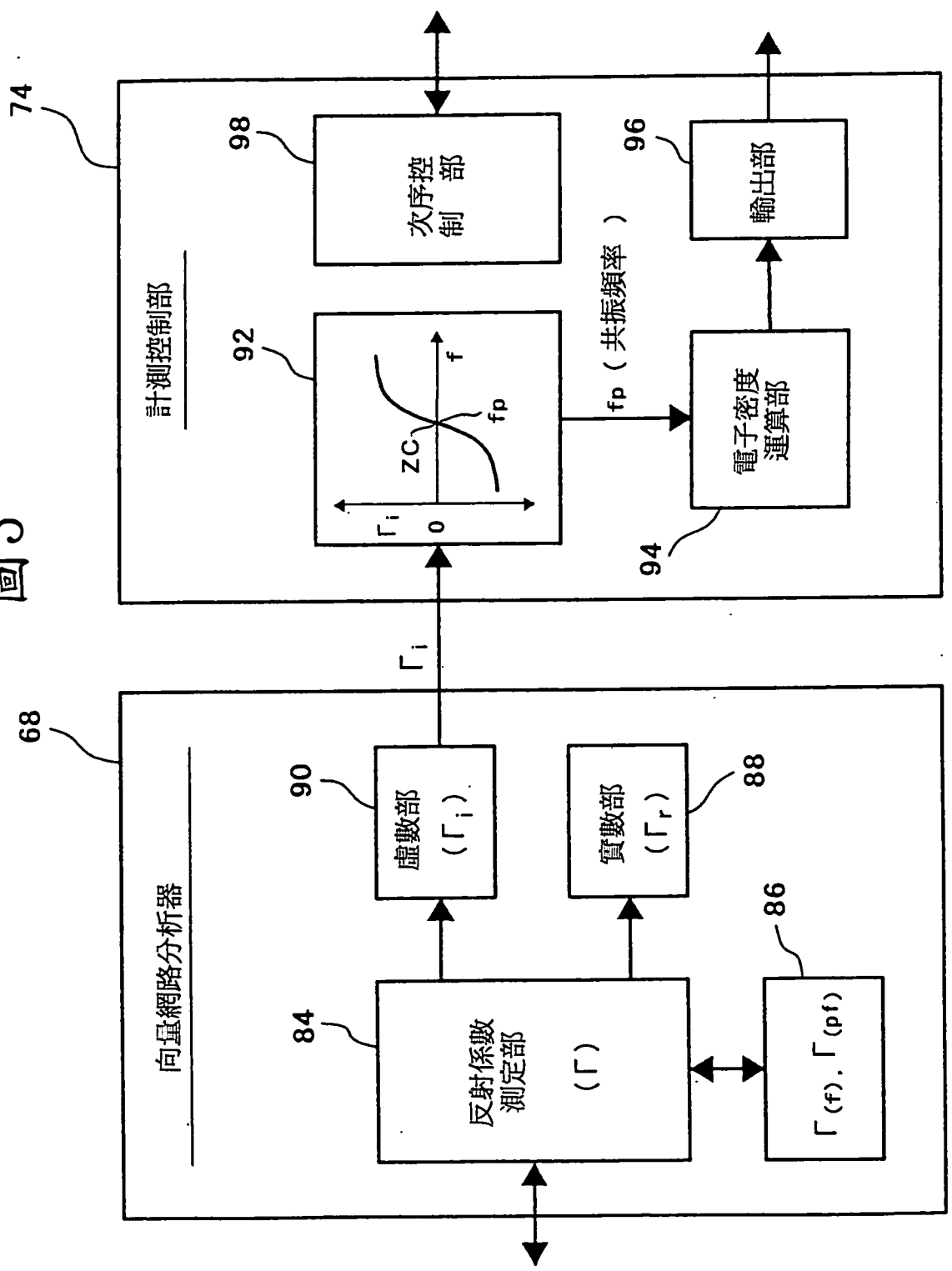


圖4

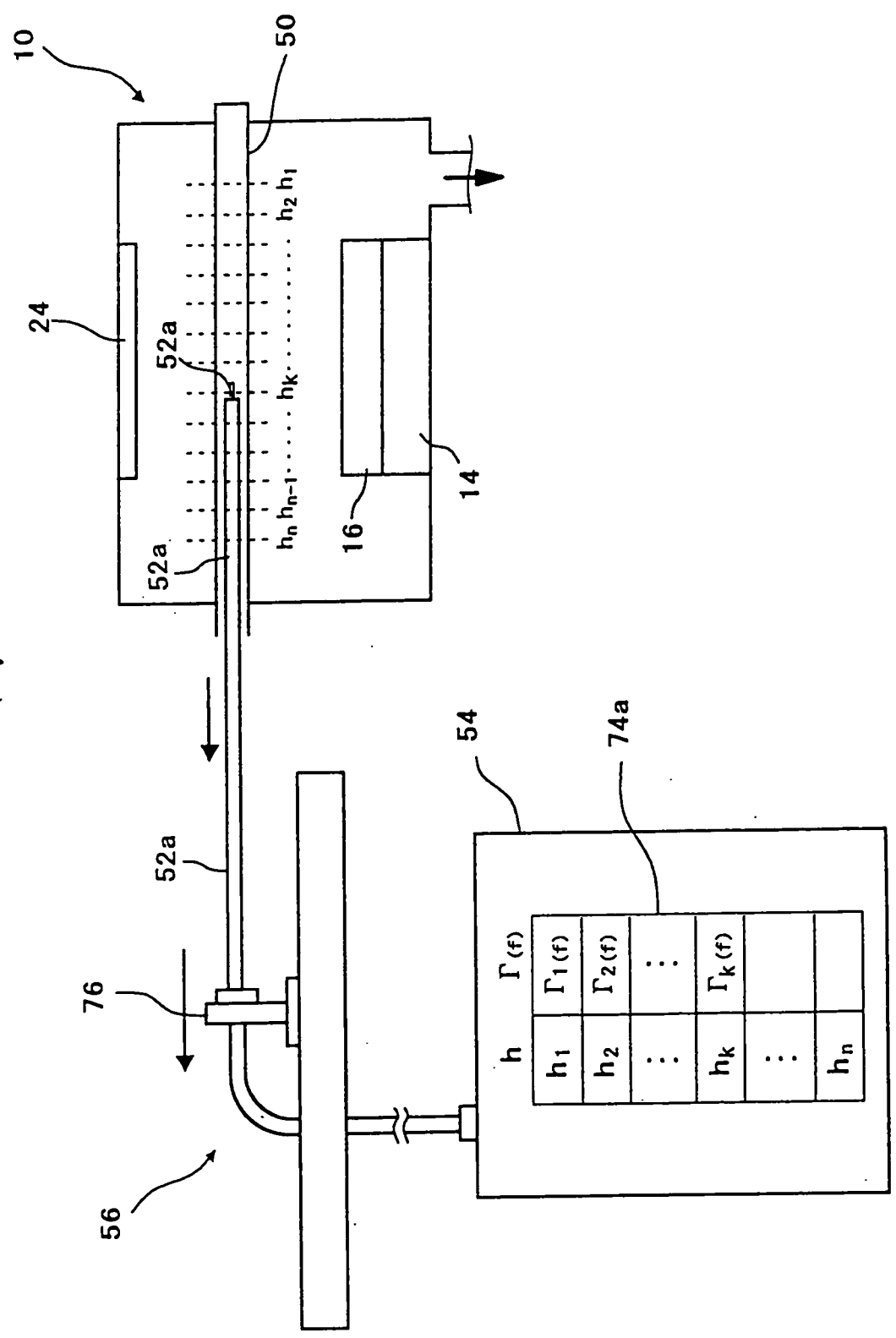


圖5

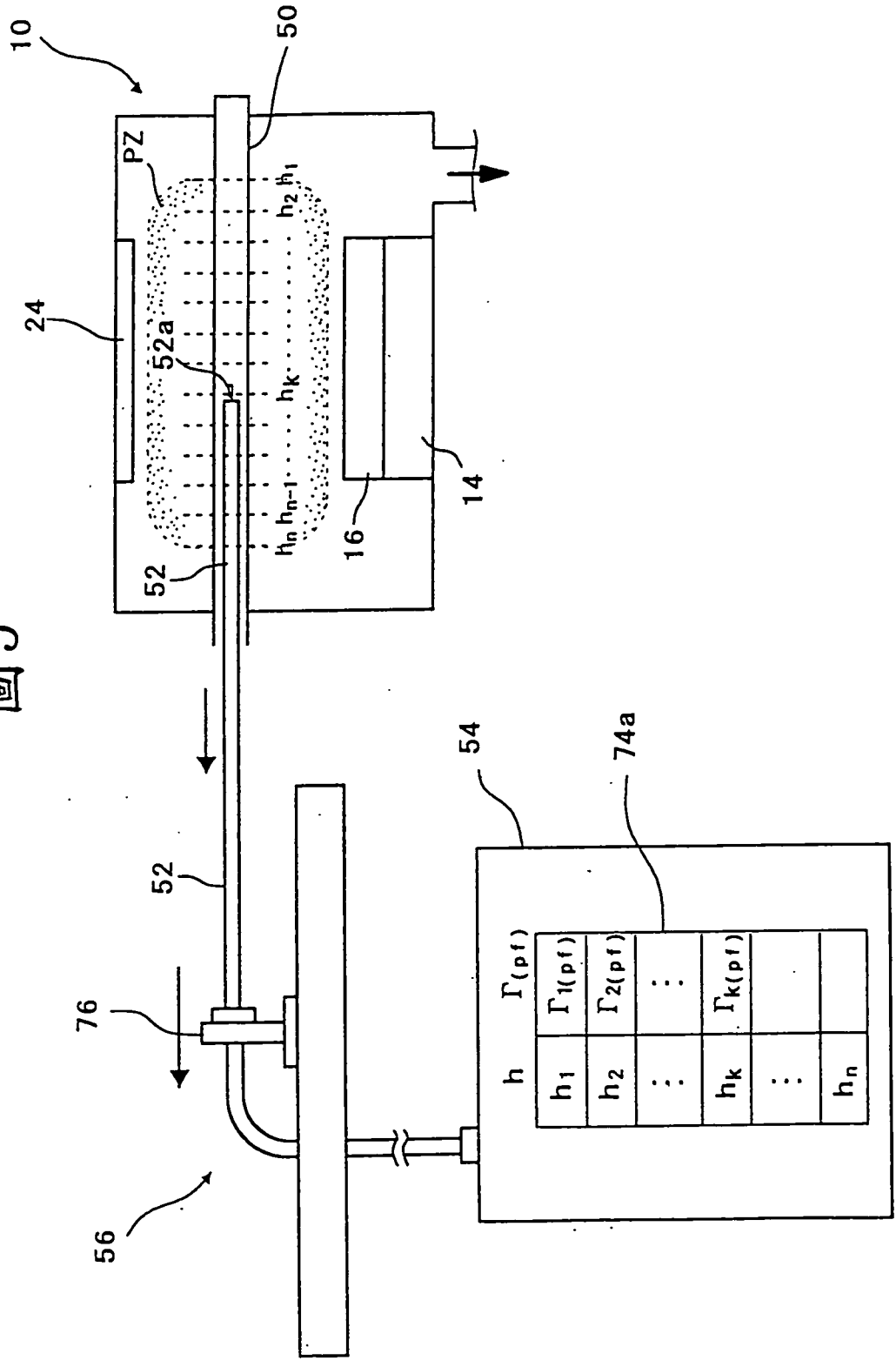


圖6

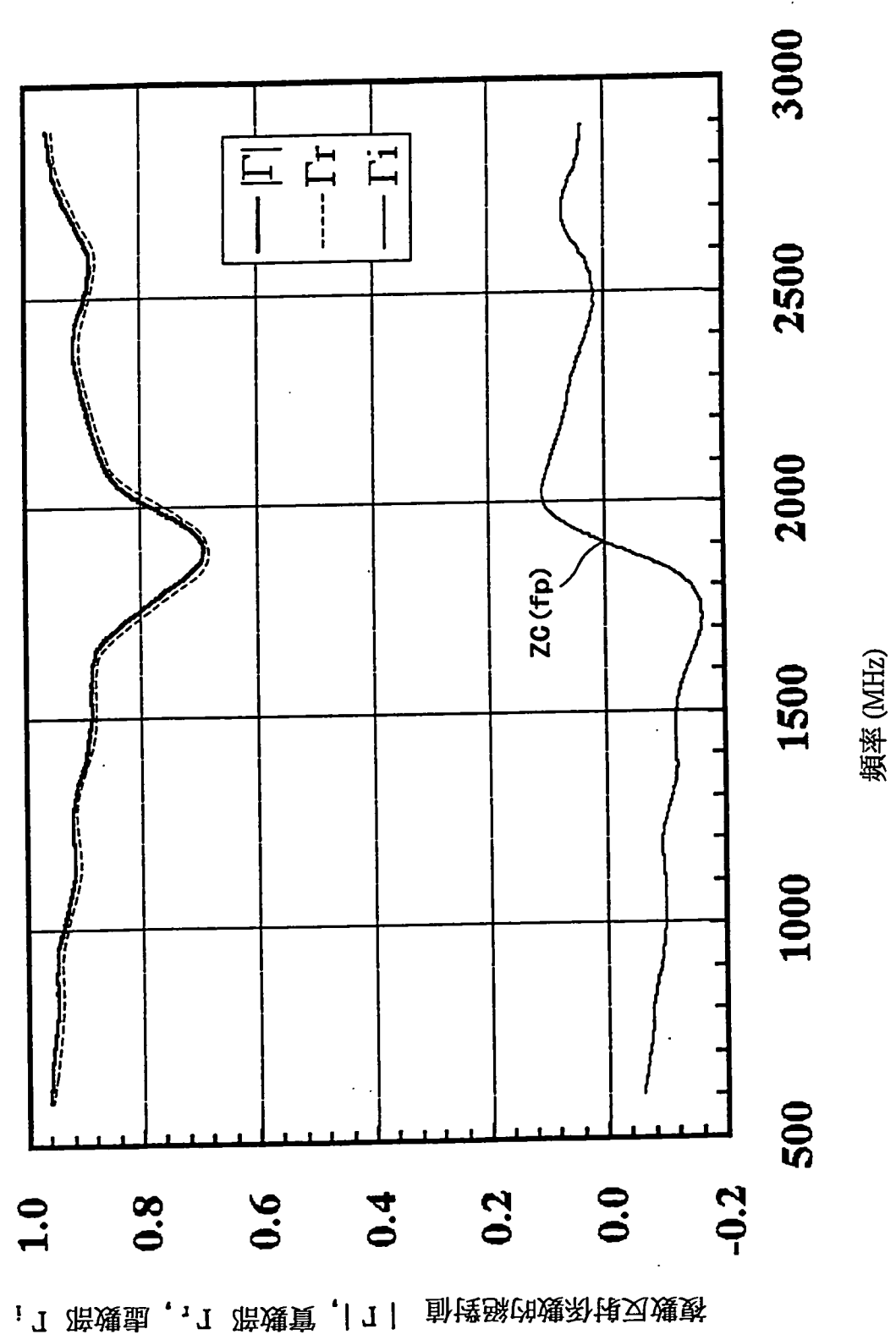


圖 7A

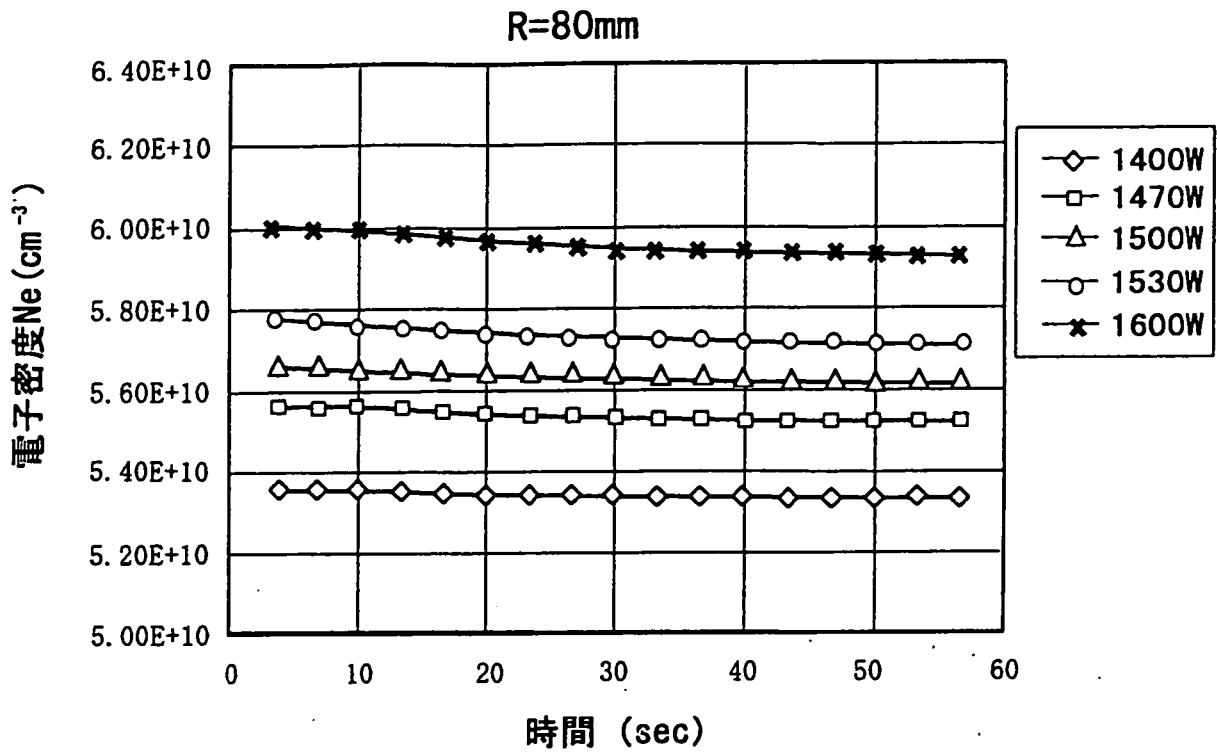


圖 7B

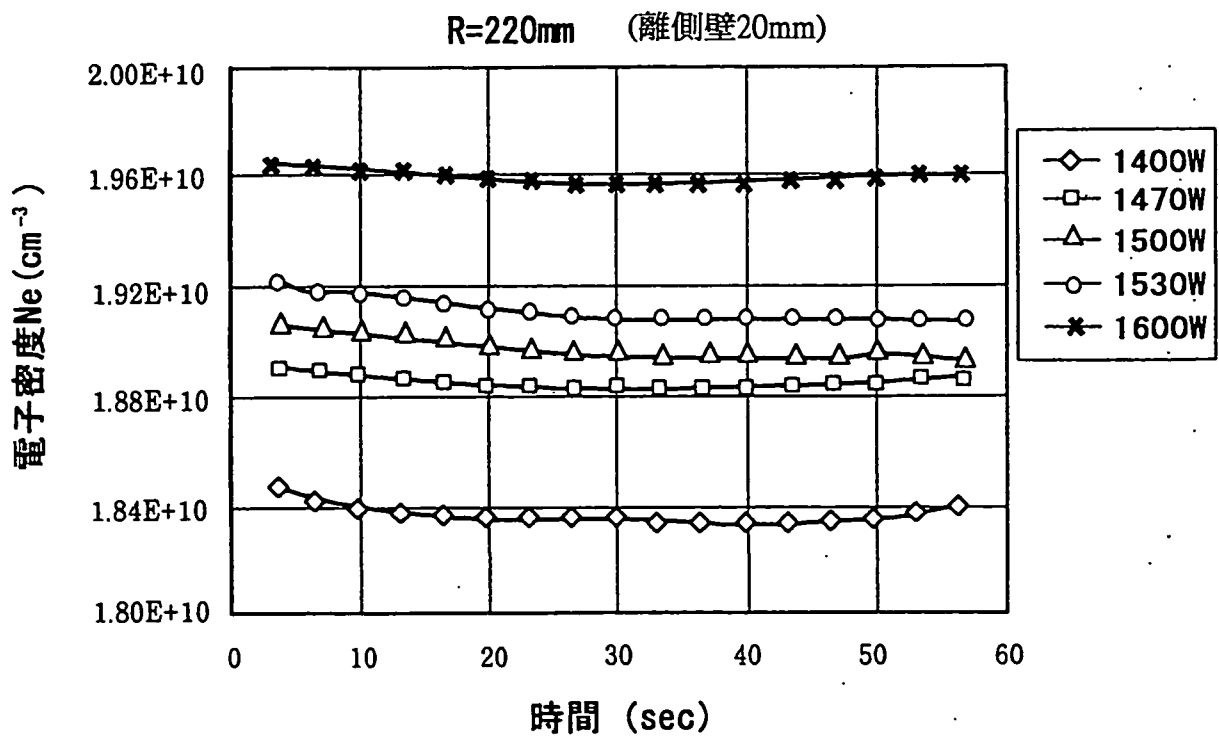


圖8

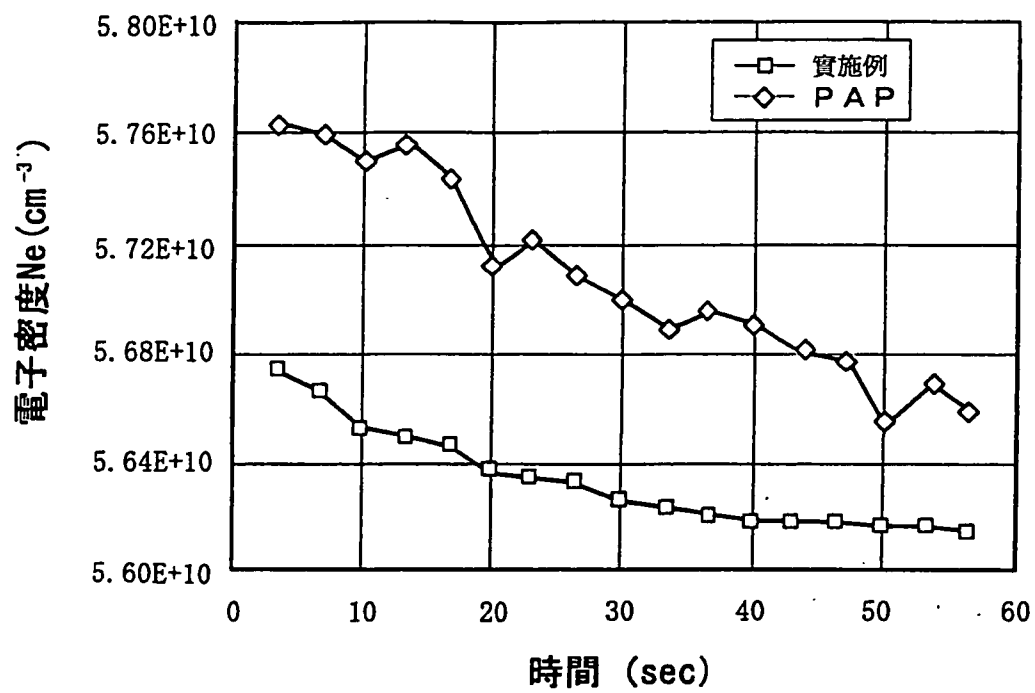
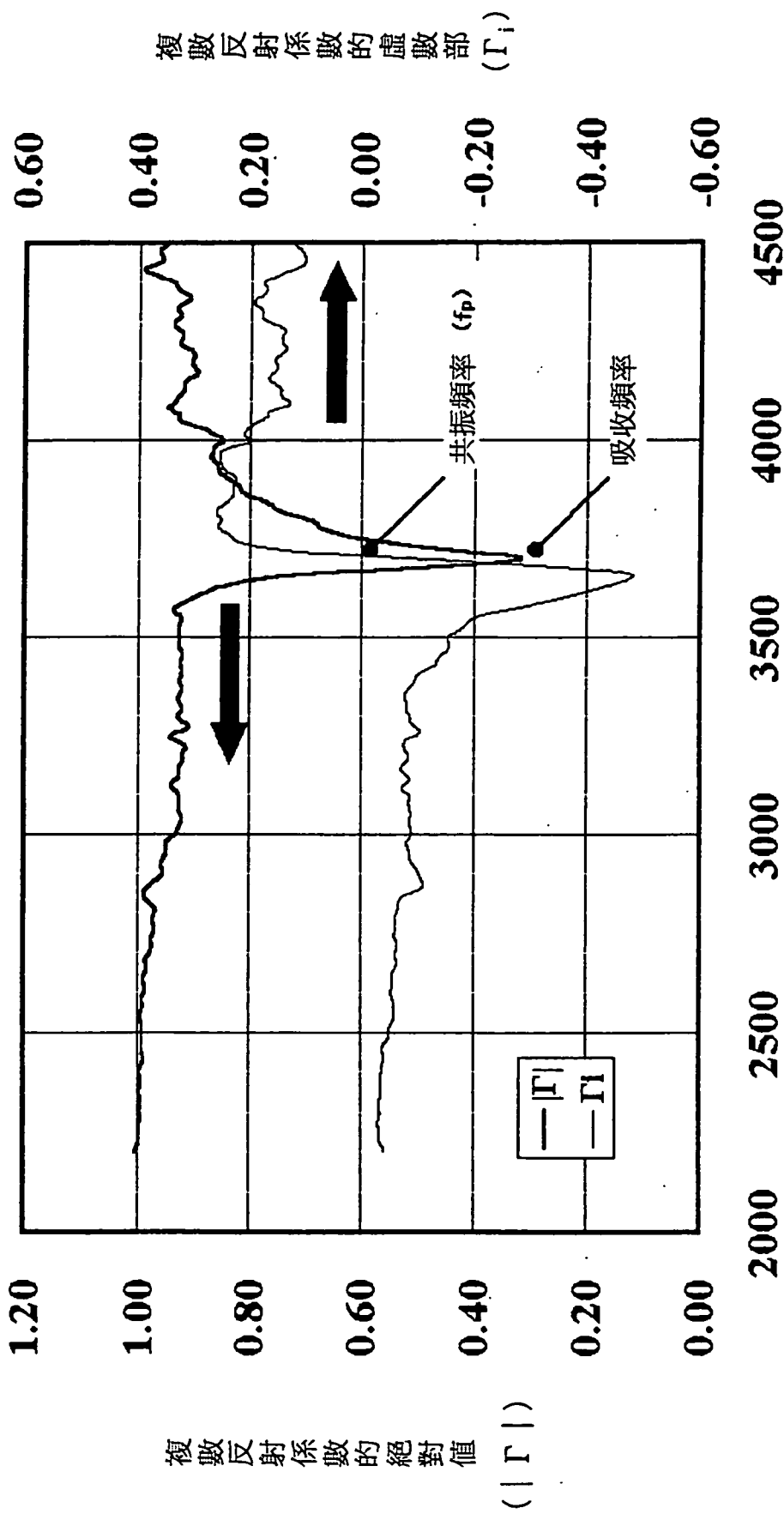


圖9

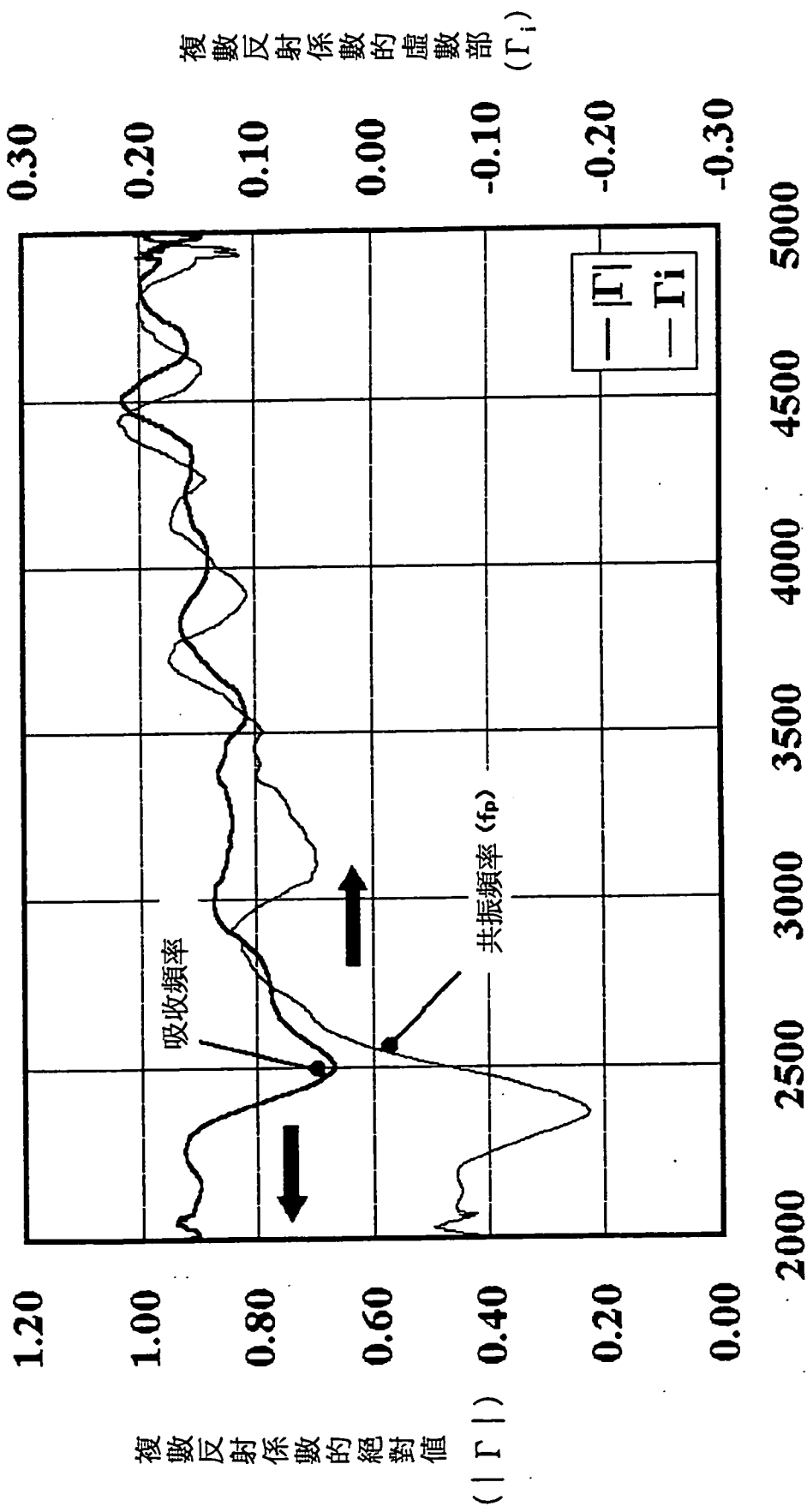
[壓力 = 15mTorr]



頻率 (MHz)

圖10

[壓力 = 800mTorr]



頻率 (MHz)

圖11

[壓力 = 1600mTorr]

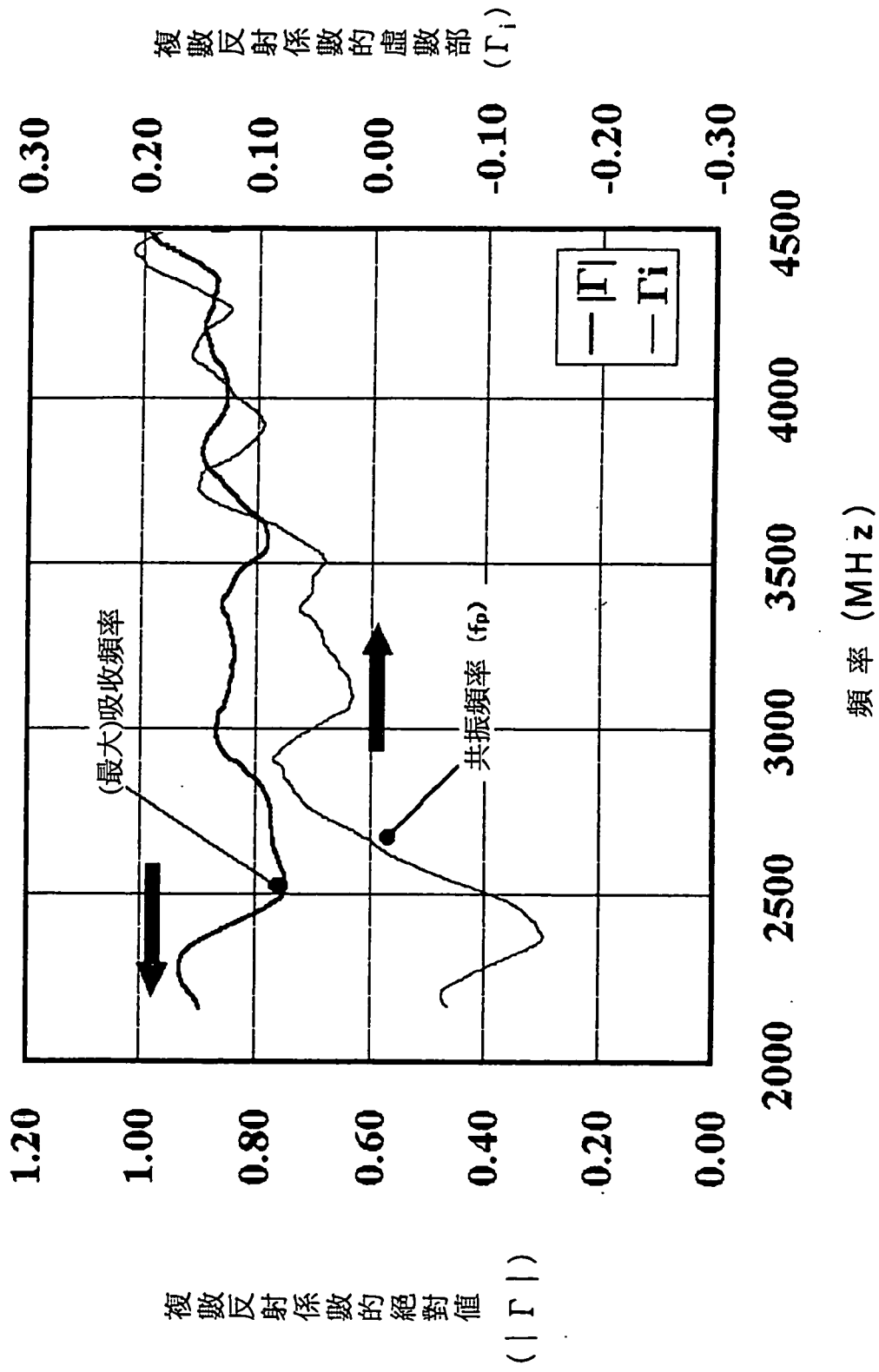


圖 12

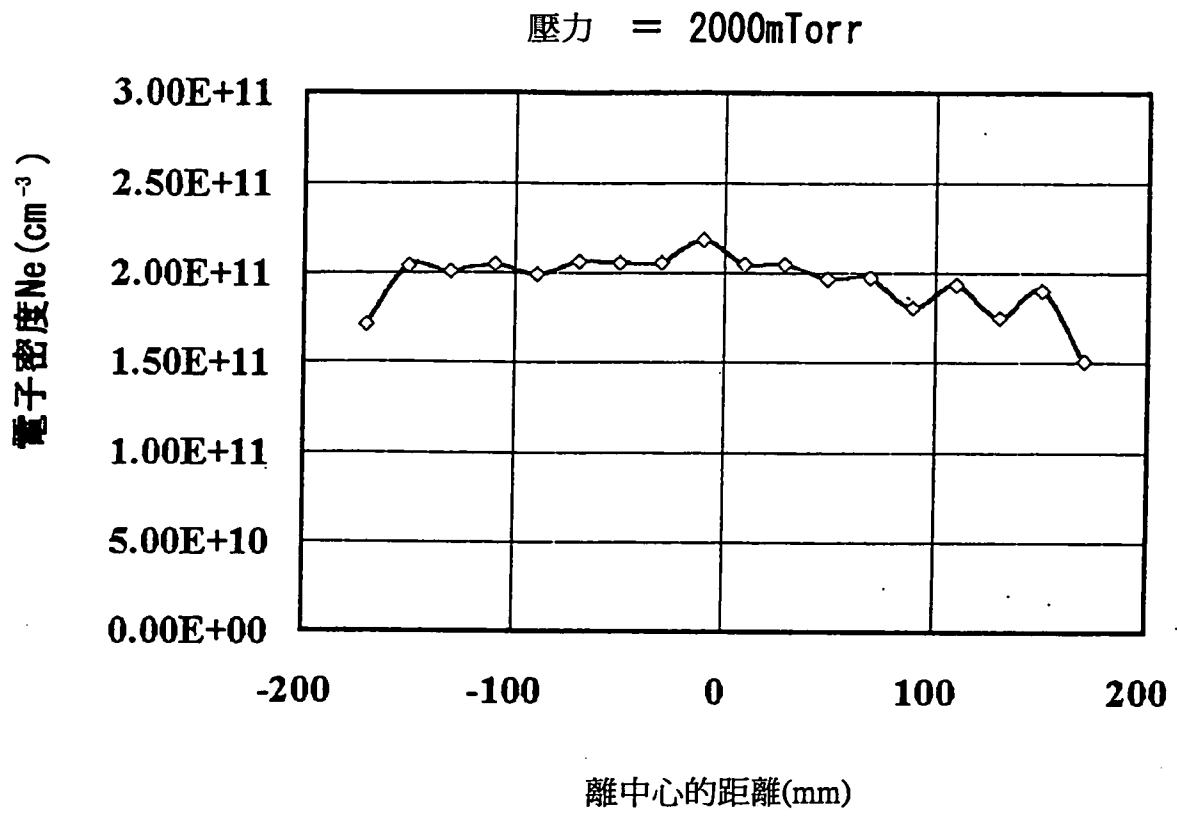


圖13

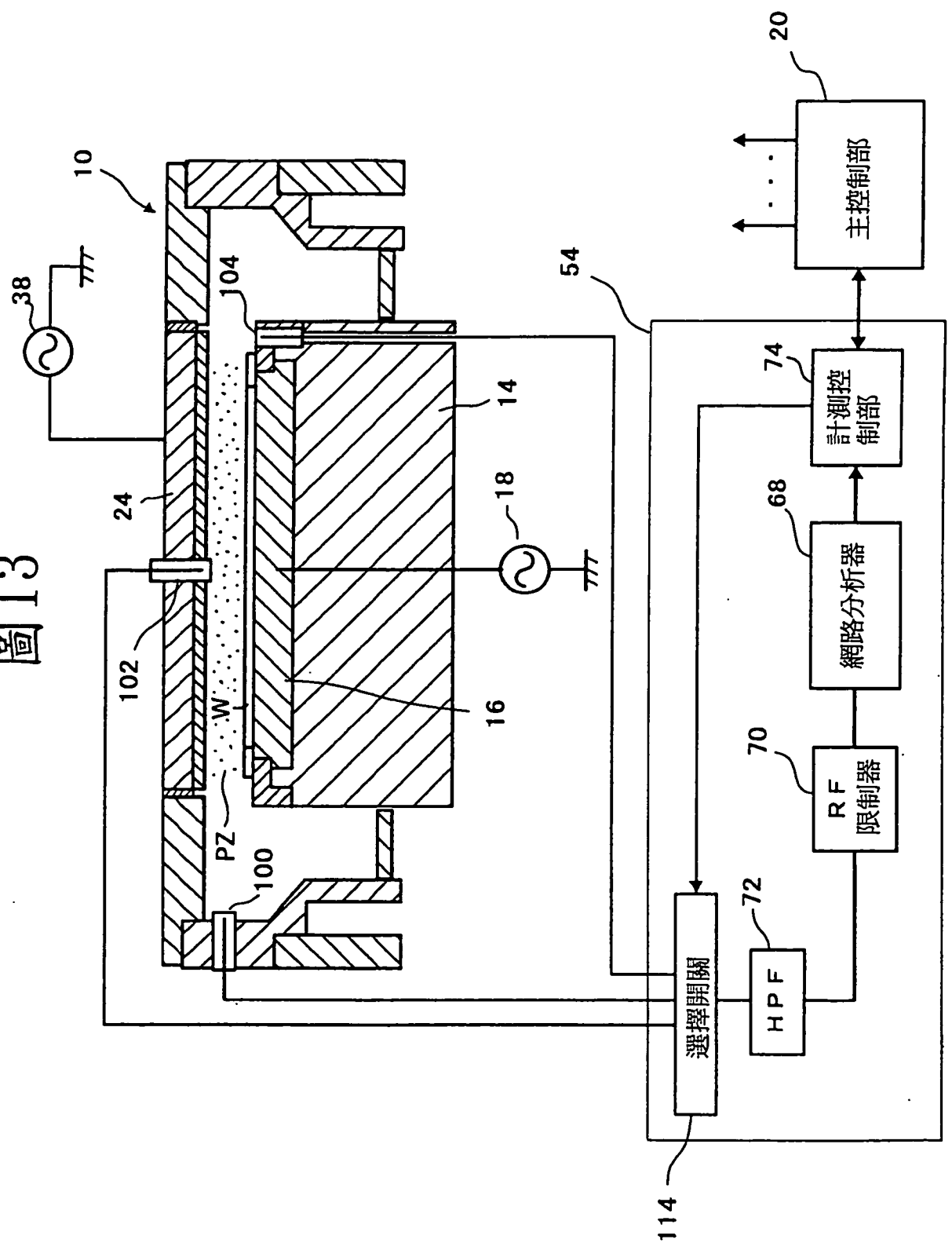


圖 14A

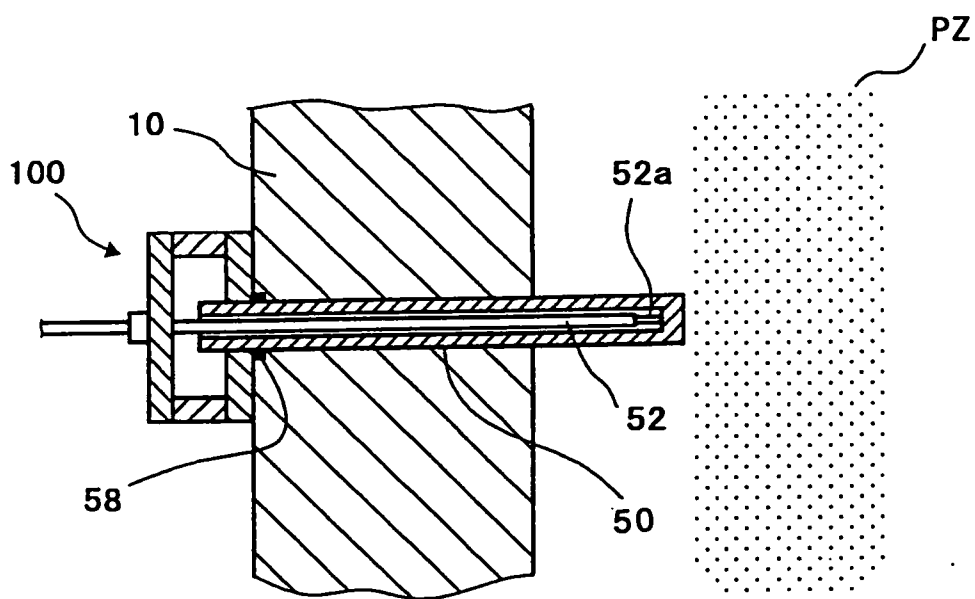


圖 14B

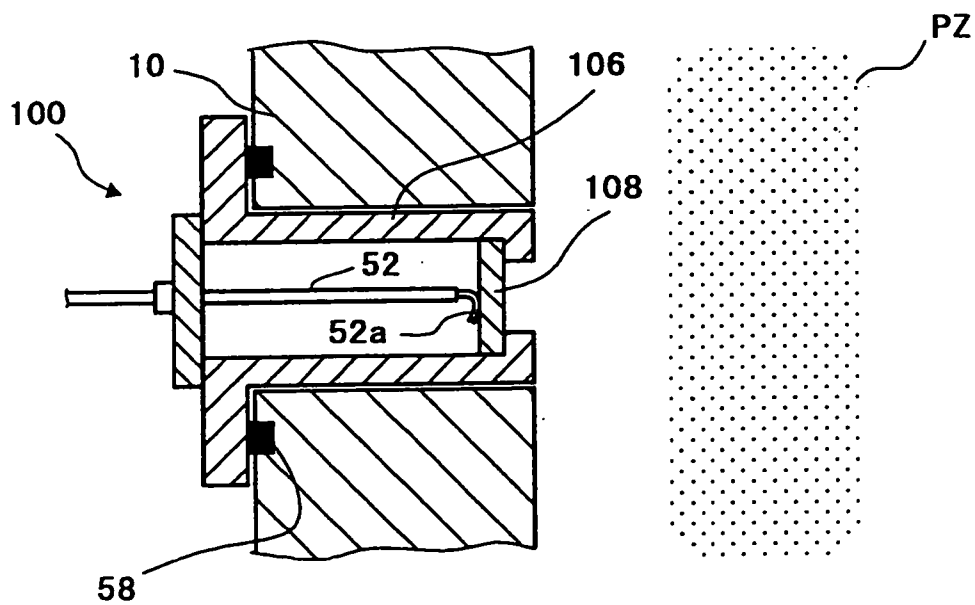


圖 15

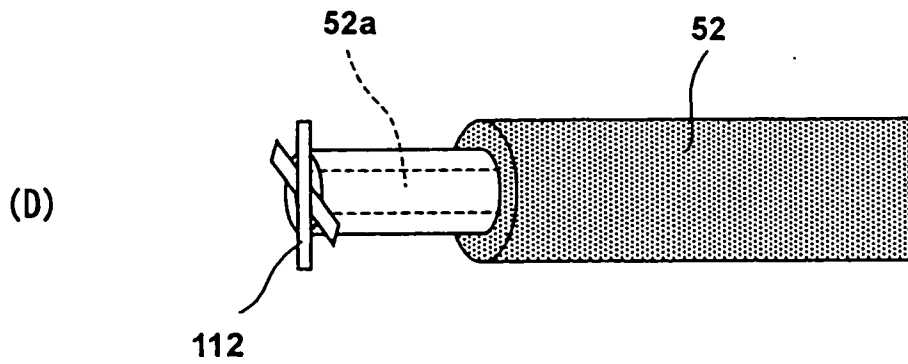
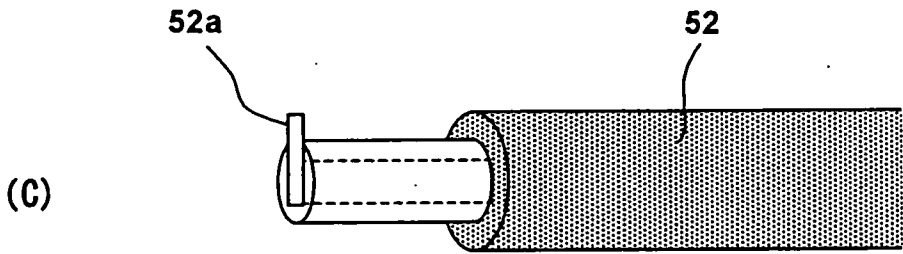
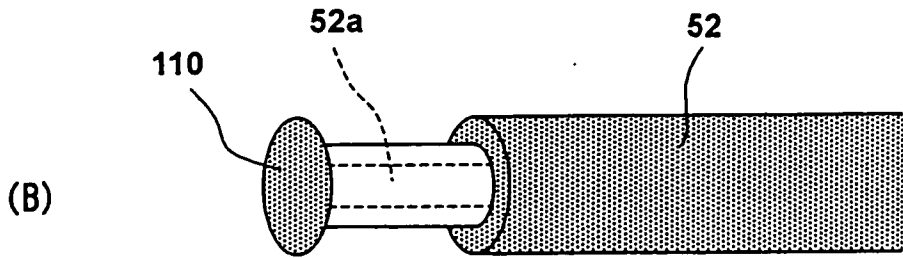
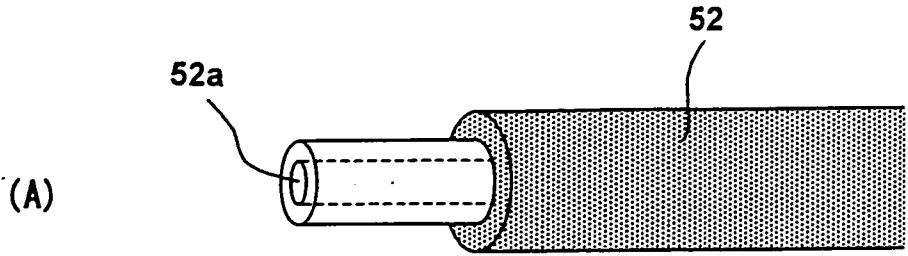


圖16

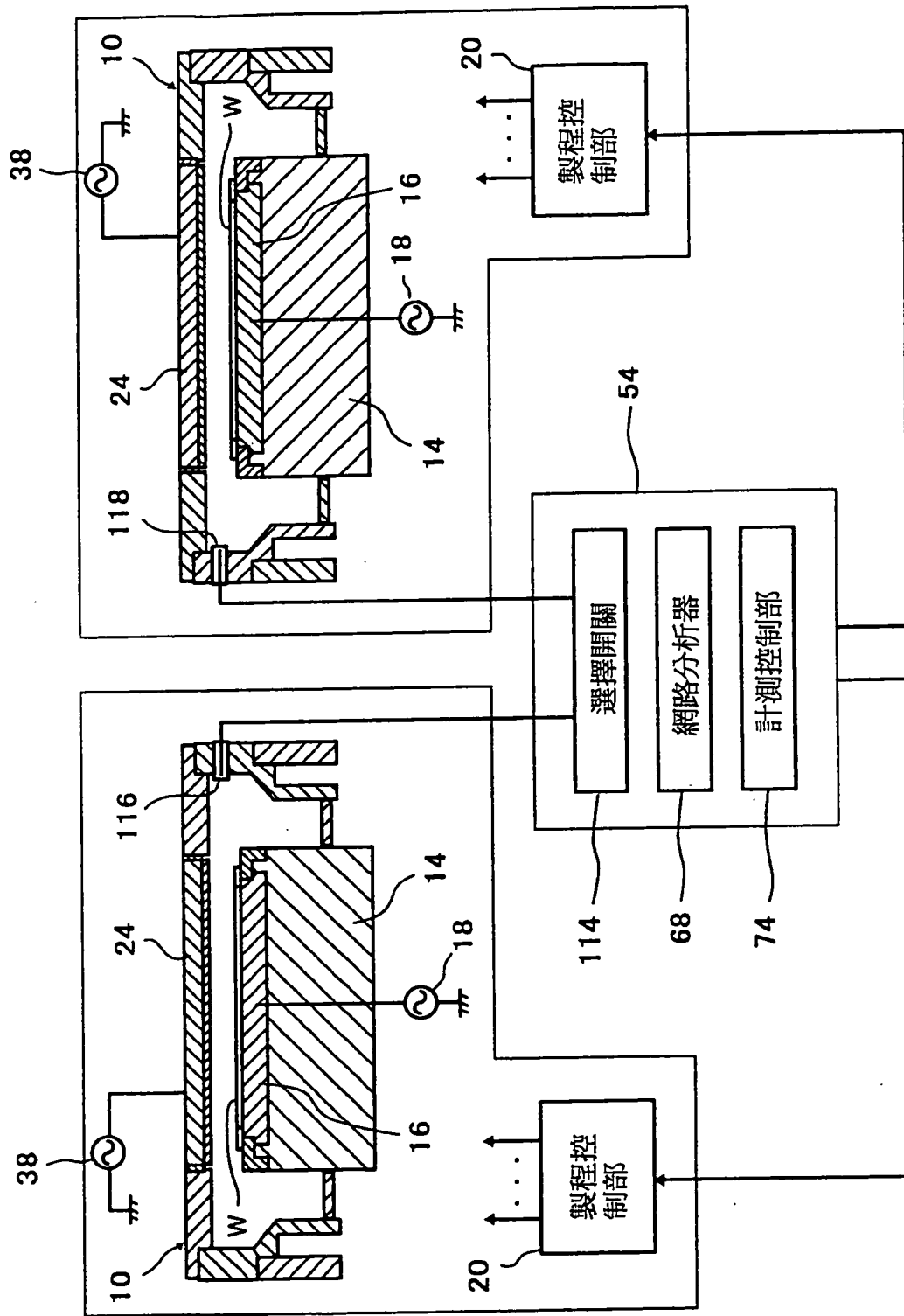


圖 17

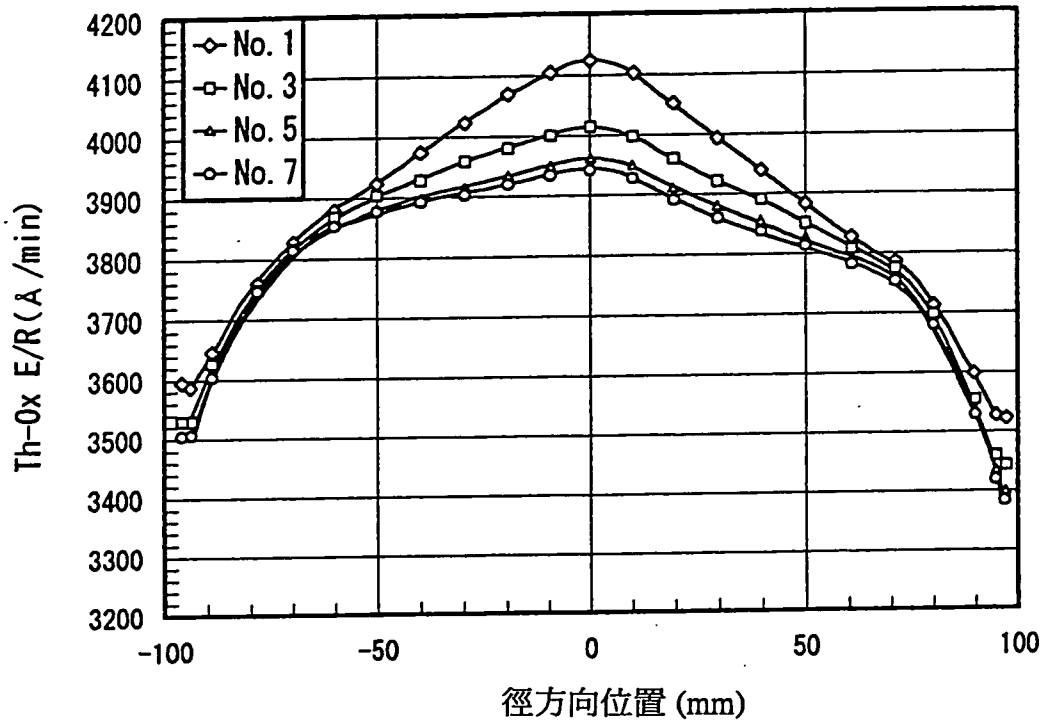


圖 18

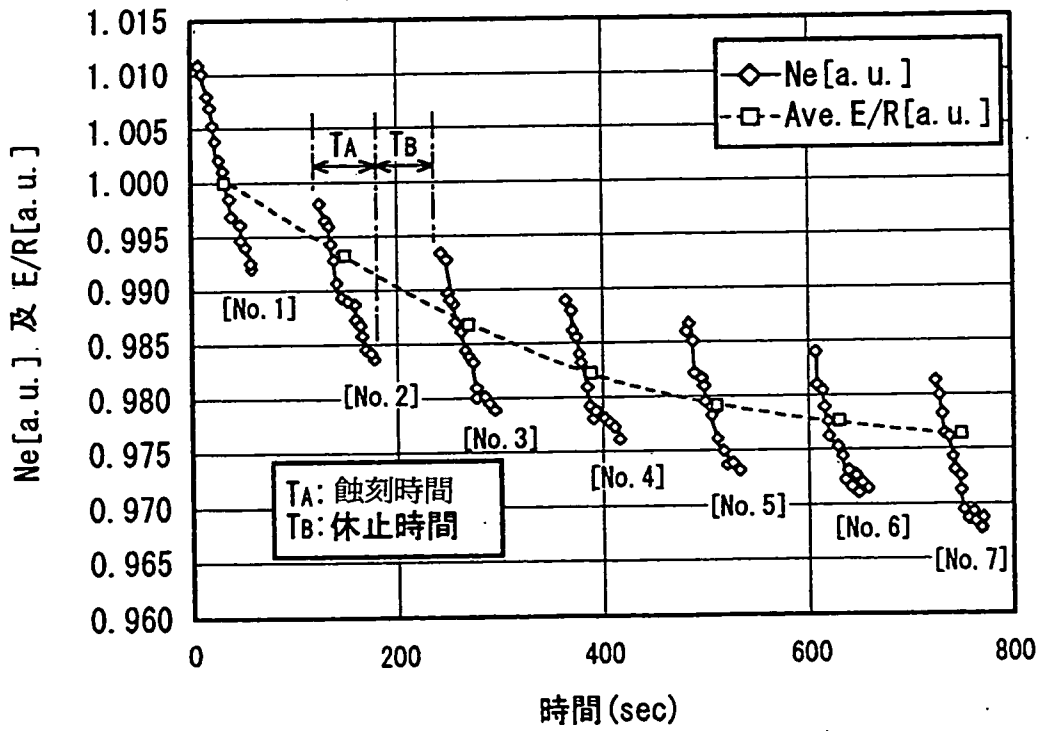


圖19

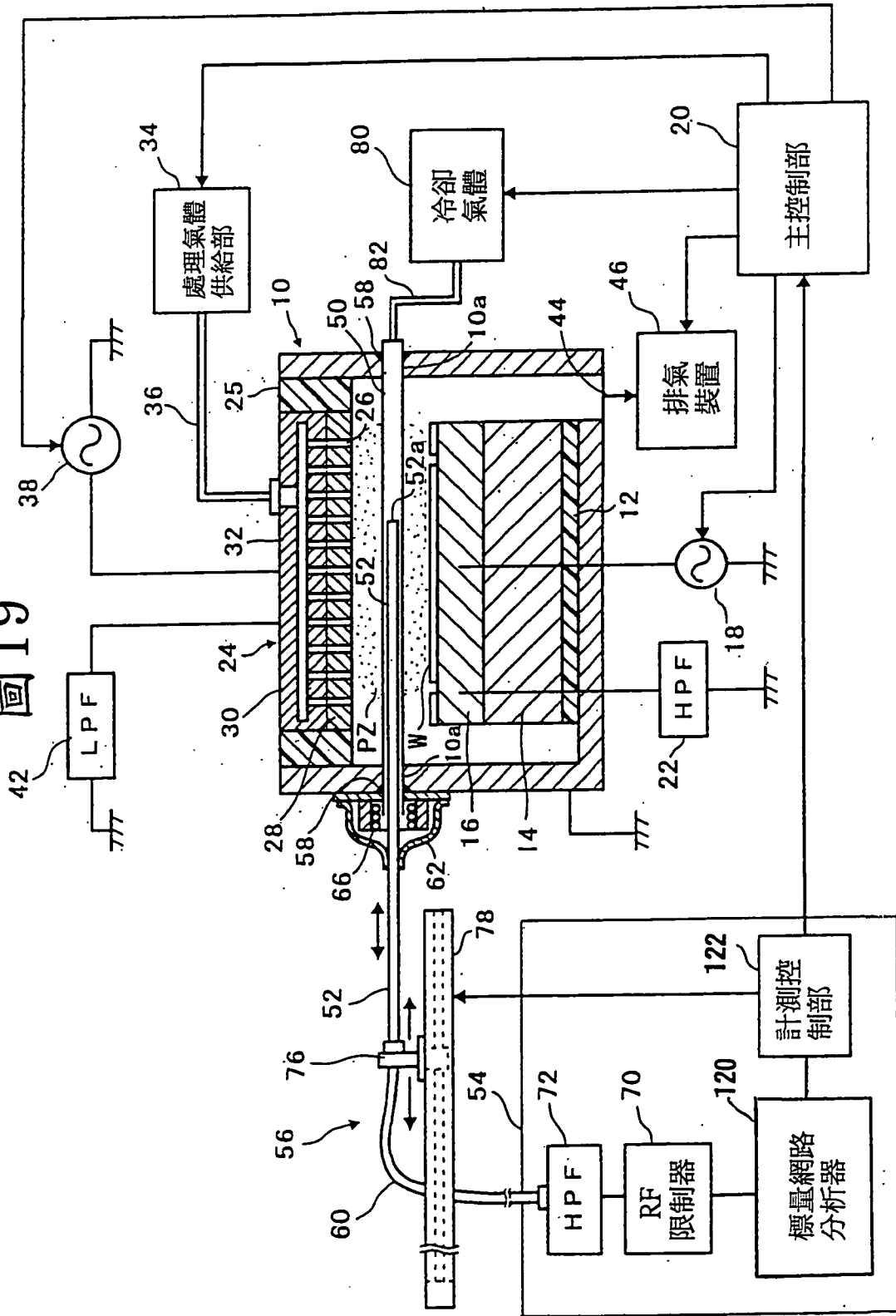


圖 20

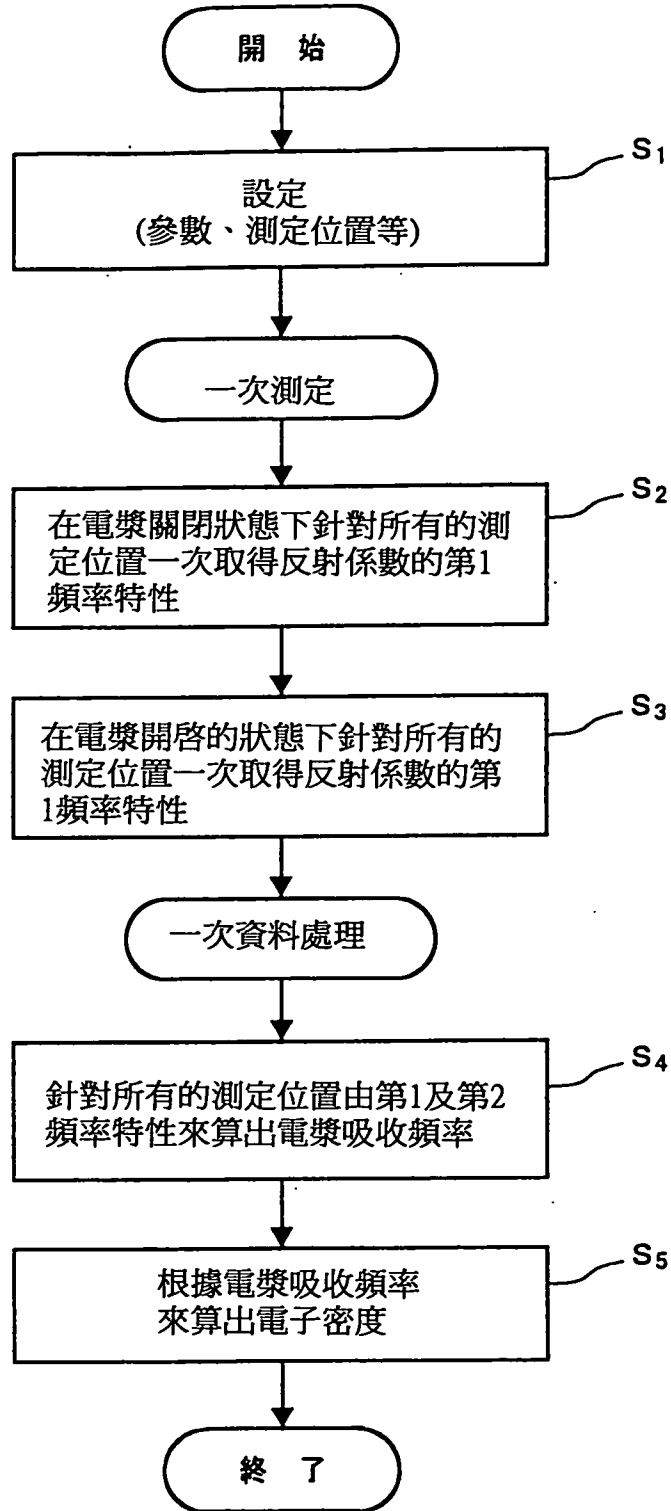


圖 21

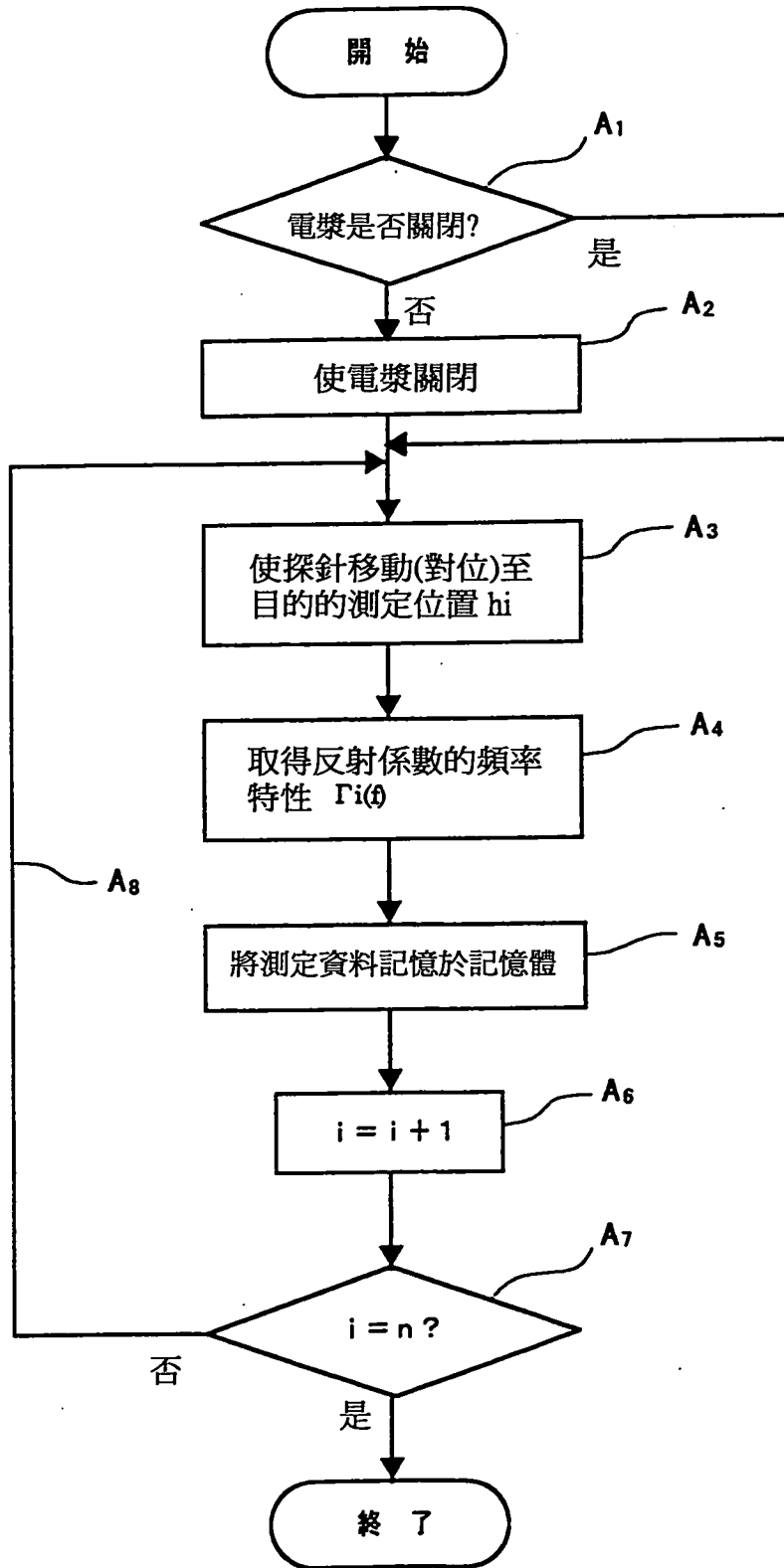


圖 22

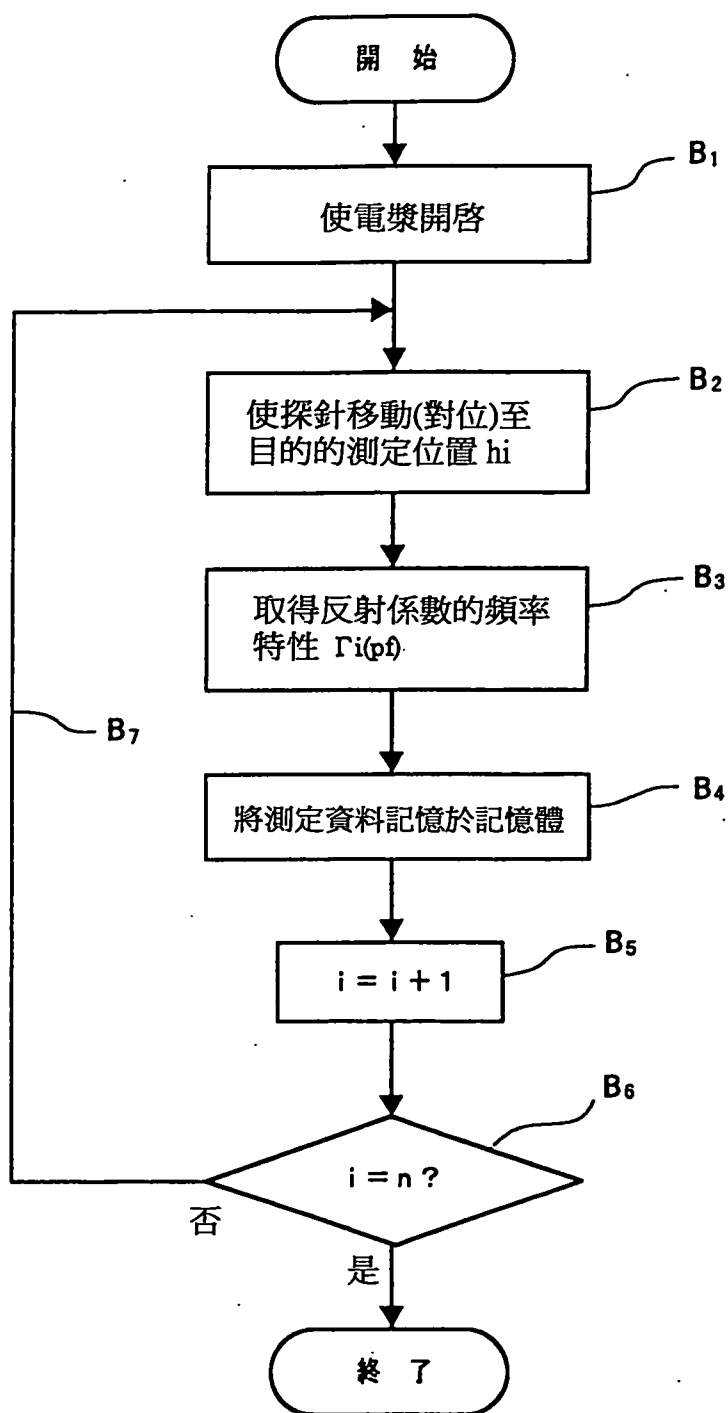


圖 23

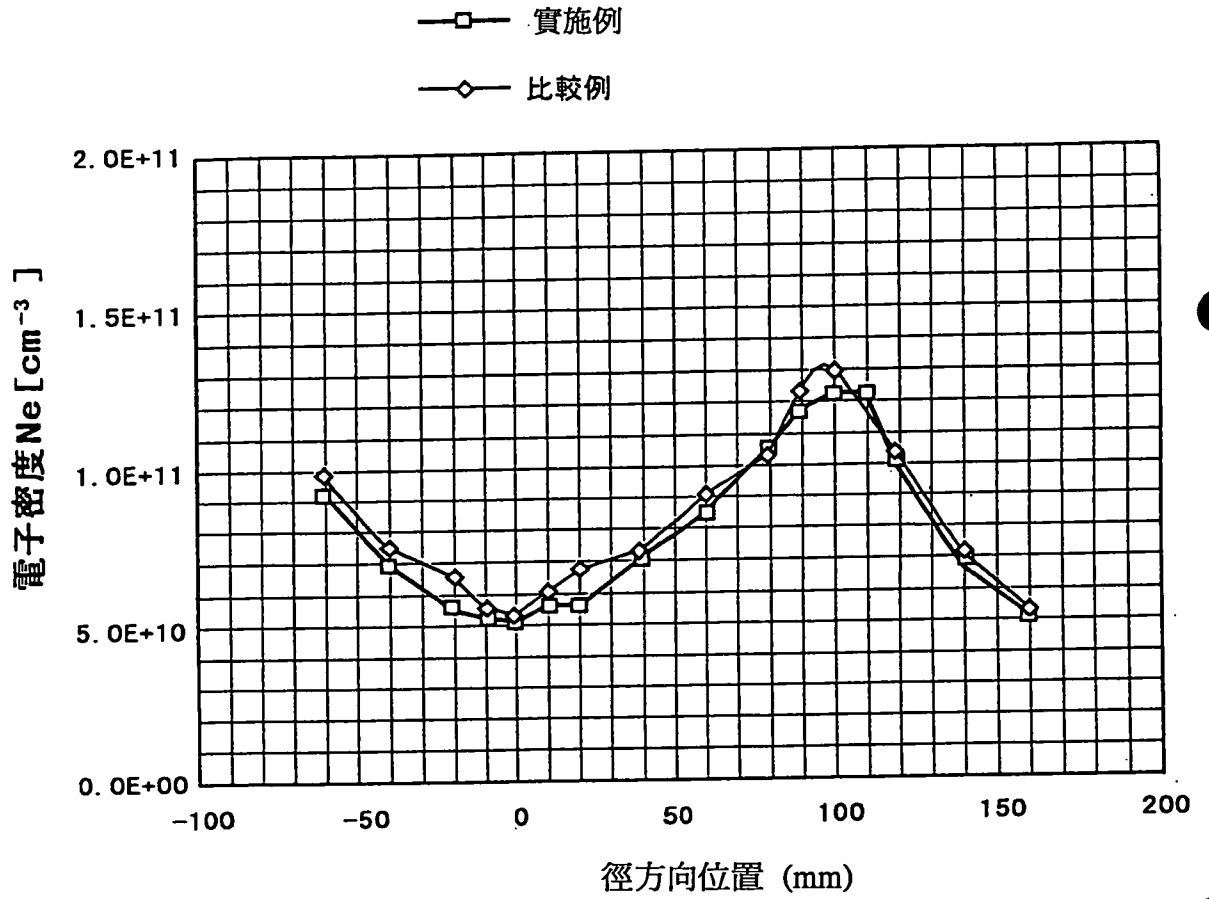


圖 24

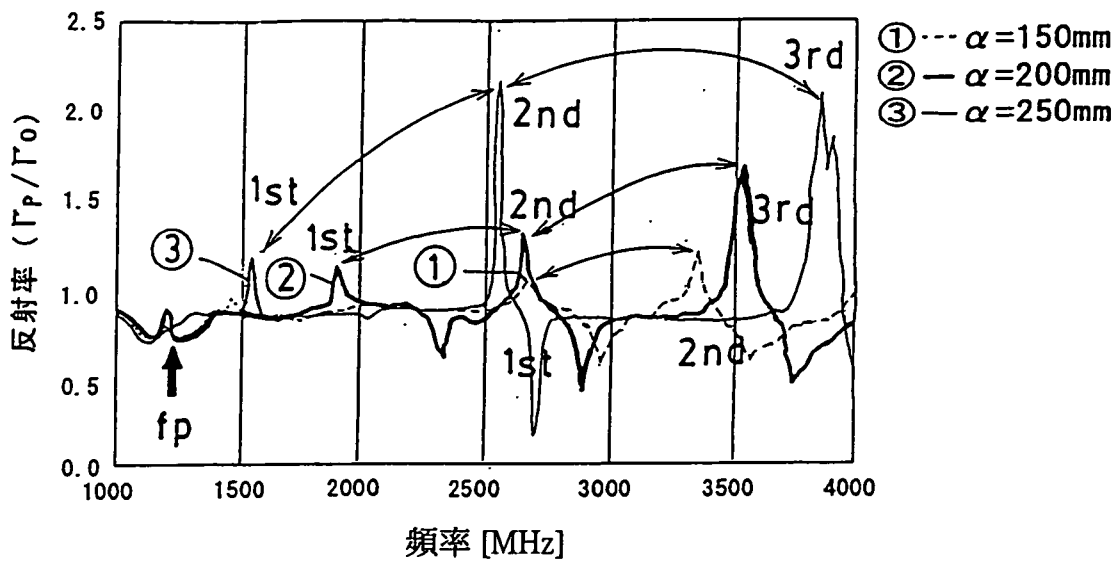


圖 25

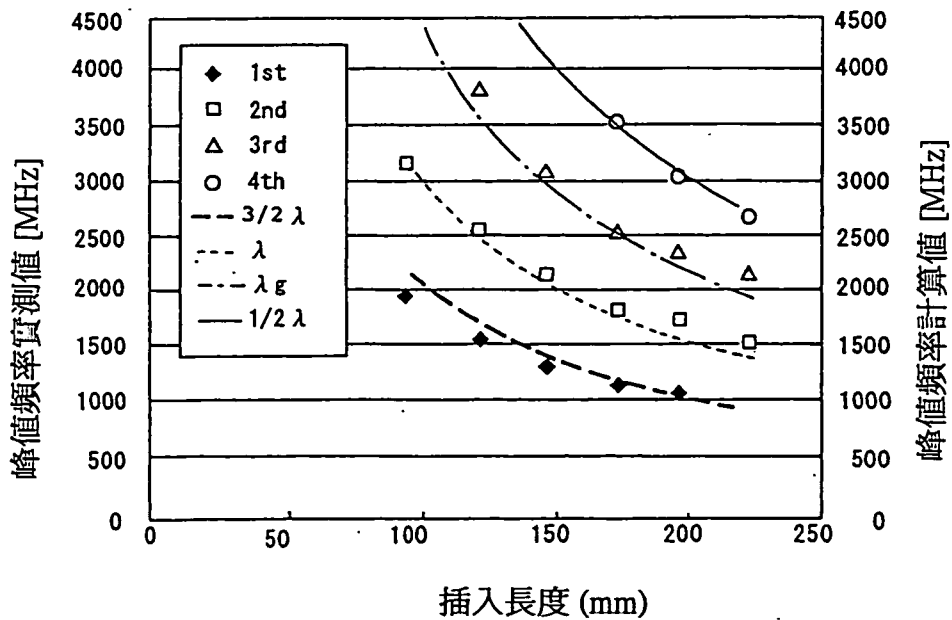


圖 26A

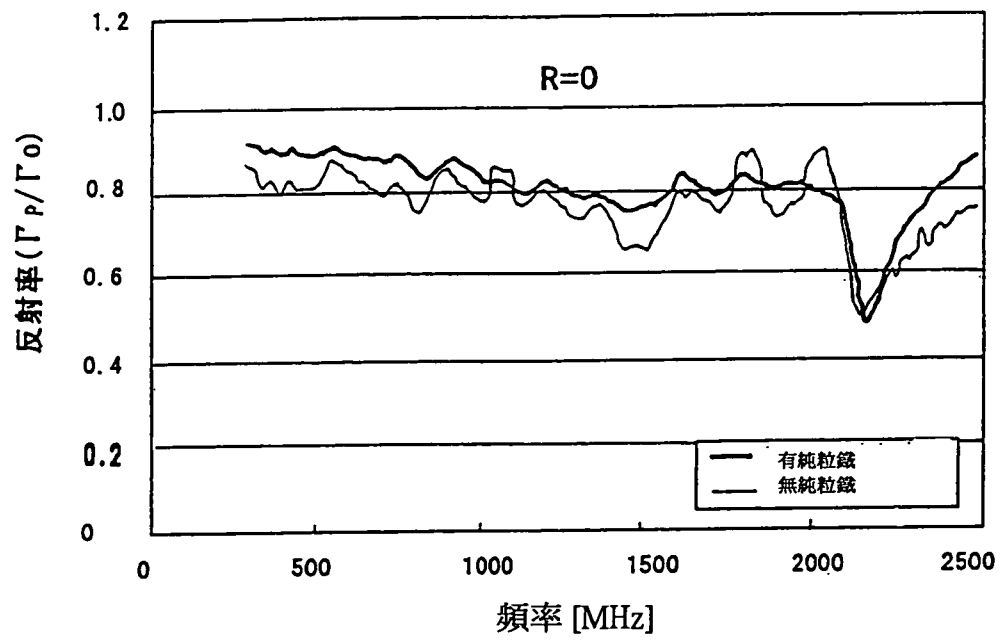


圖 26B

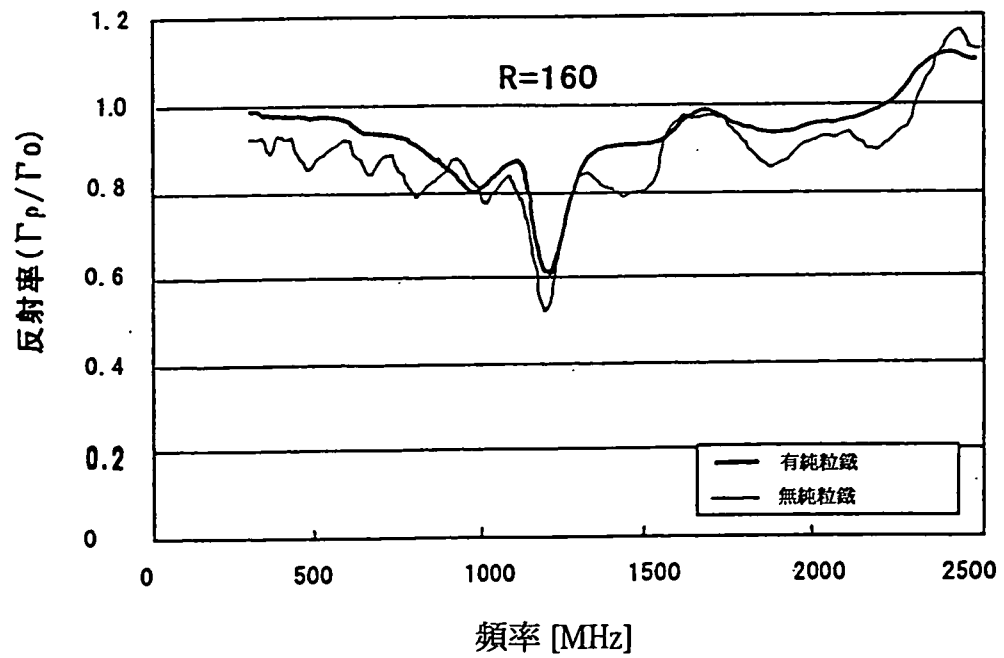


圖27

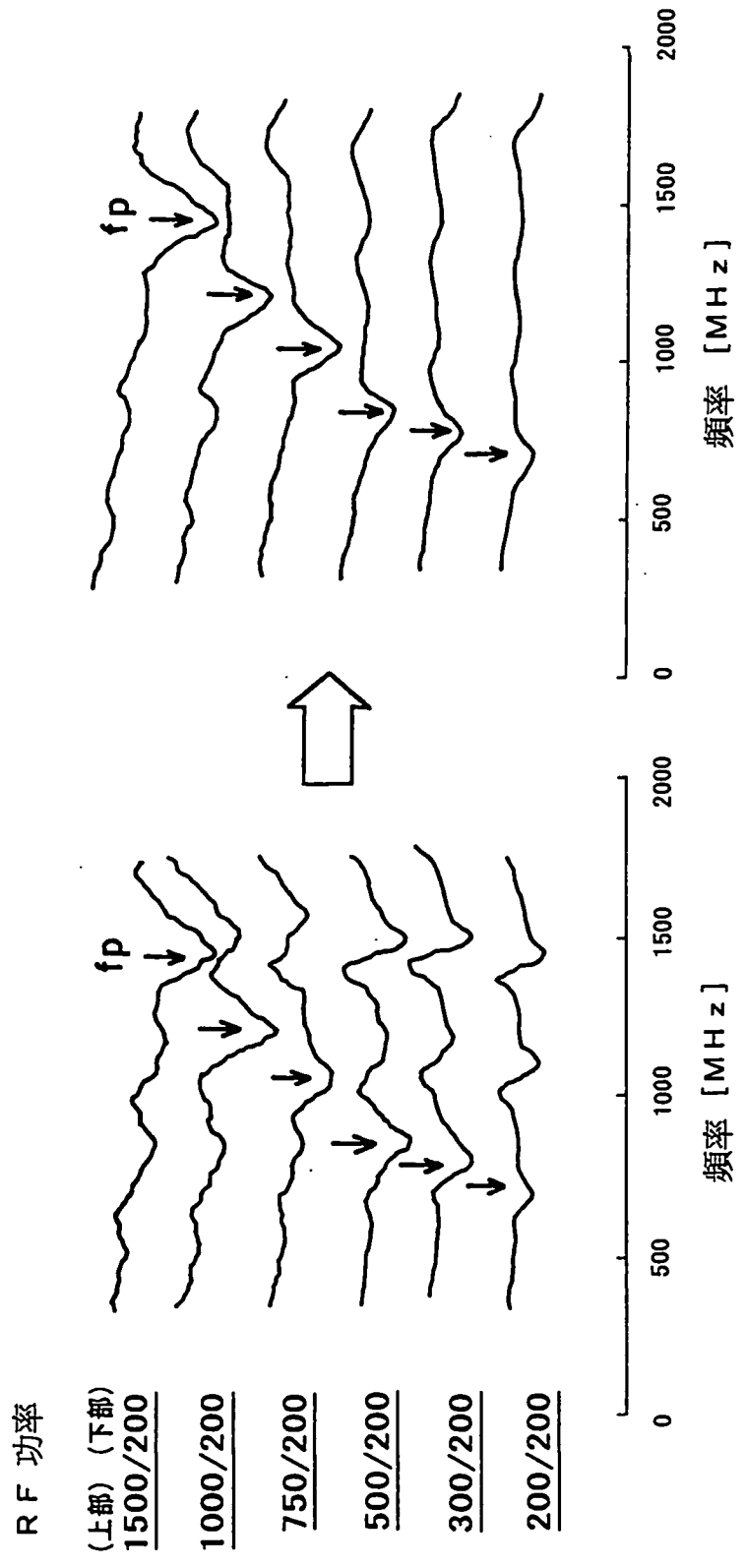


圖 28

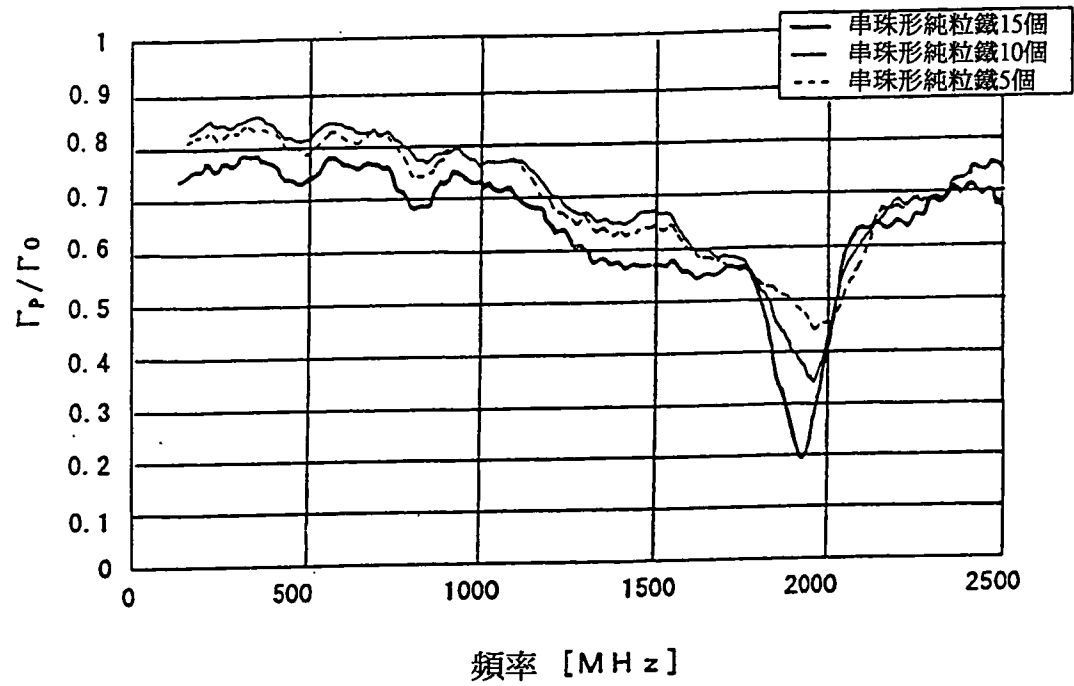


圖 29

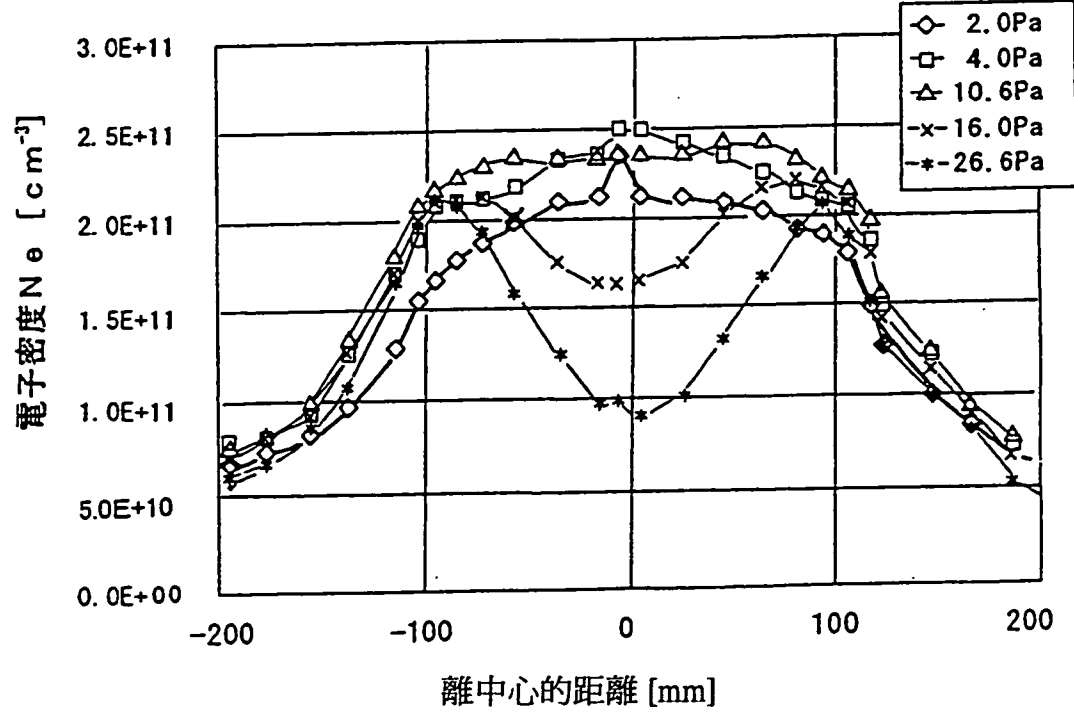


圖30

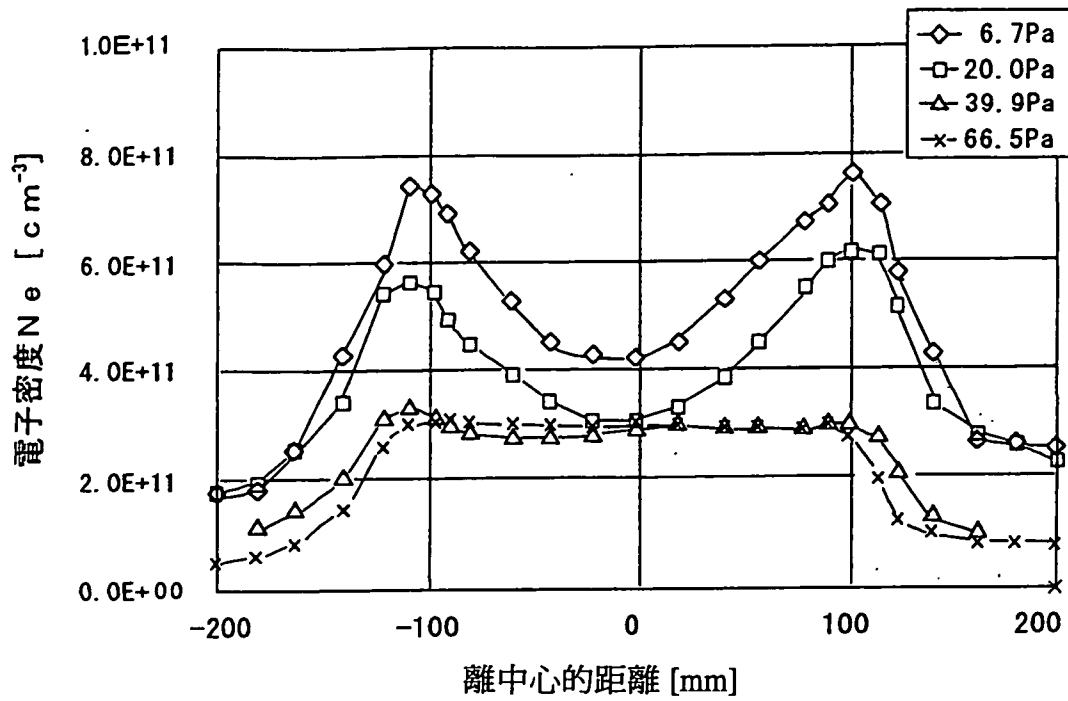


圖31

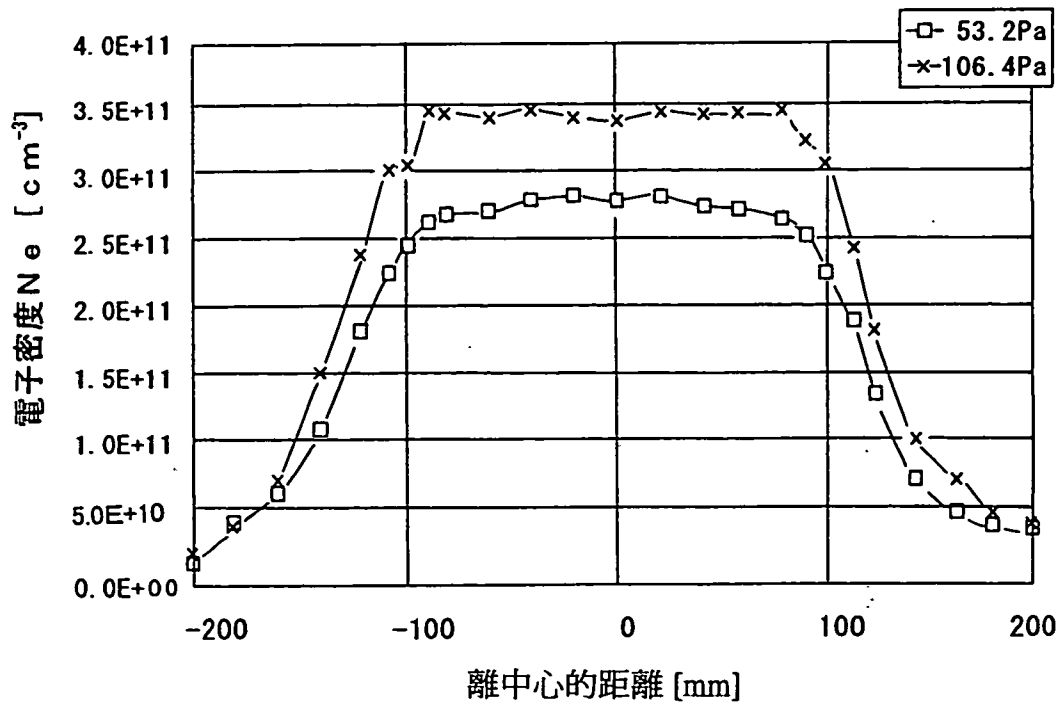


圖32

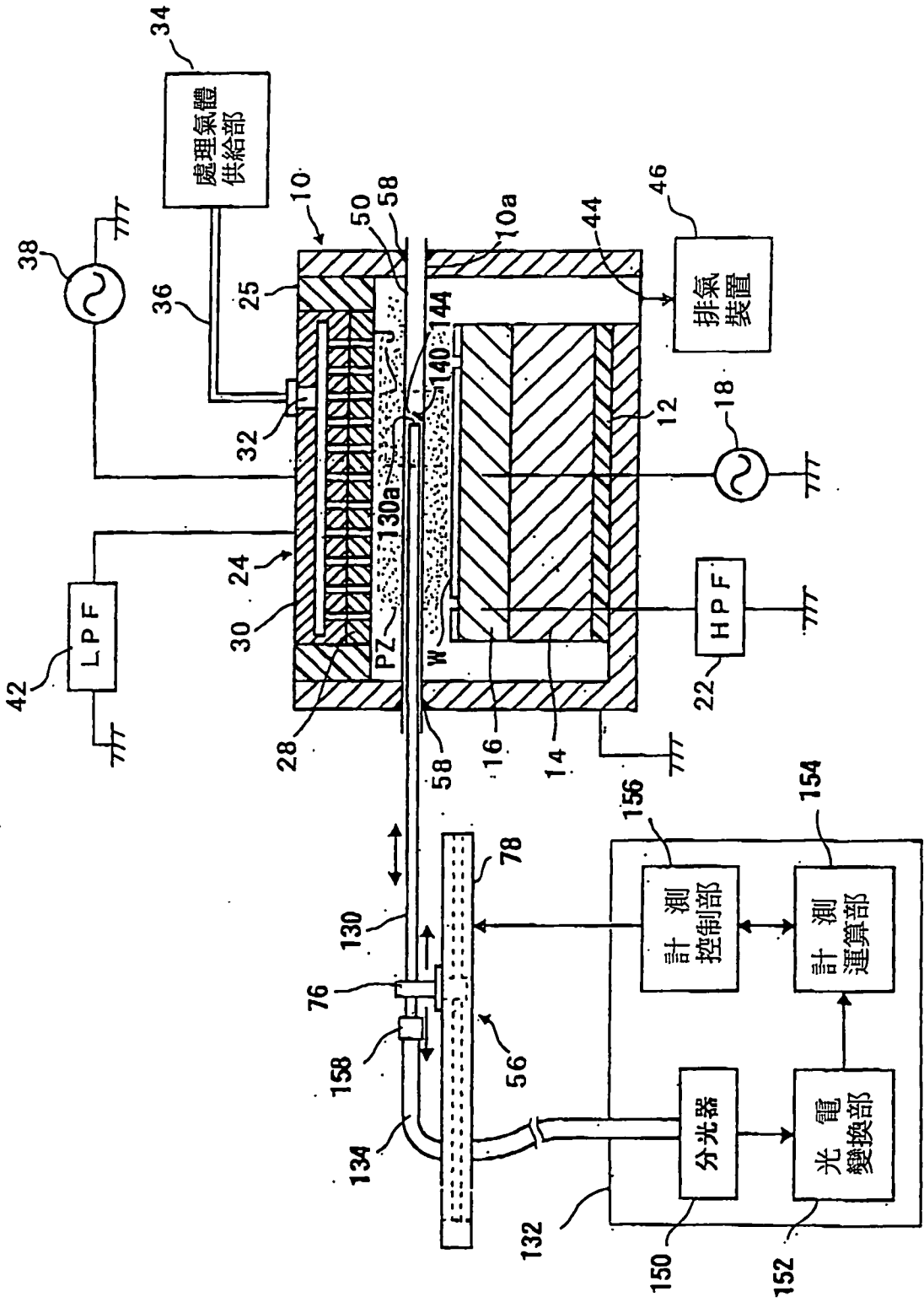


圖 33

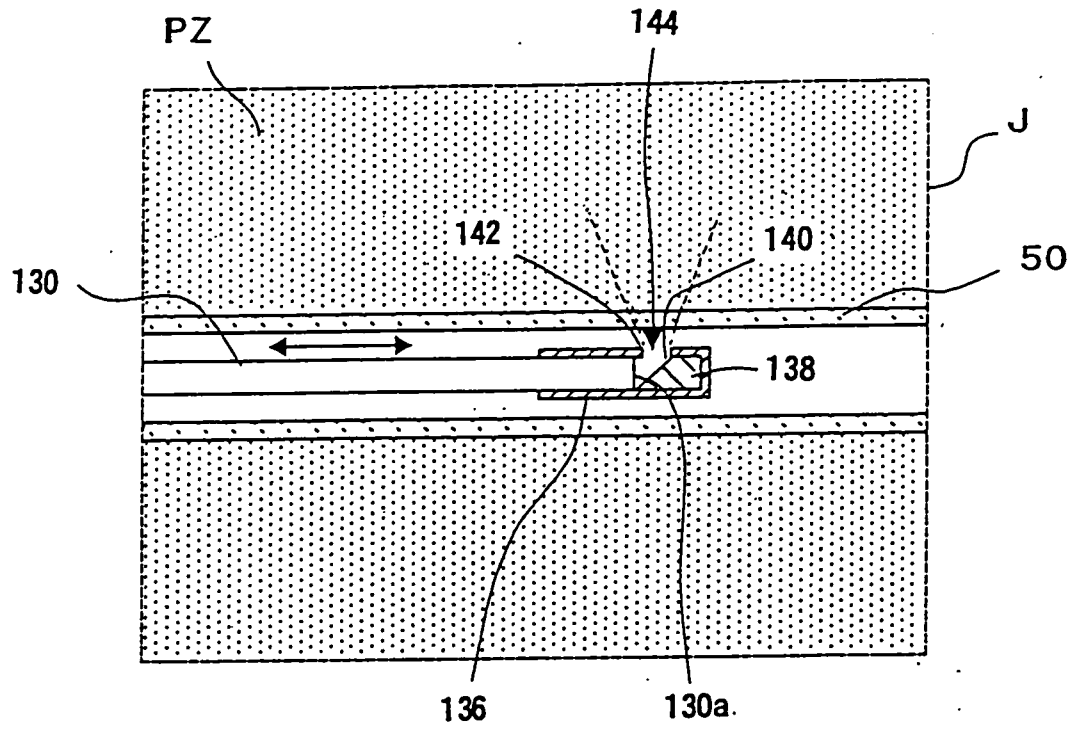


圖 34A

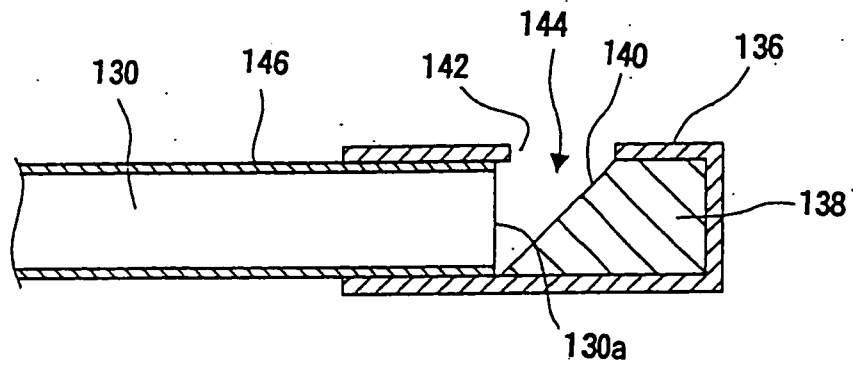


圖 34B

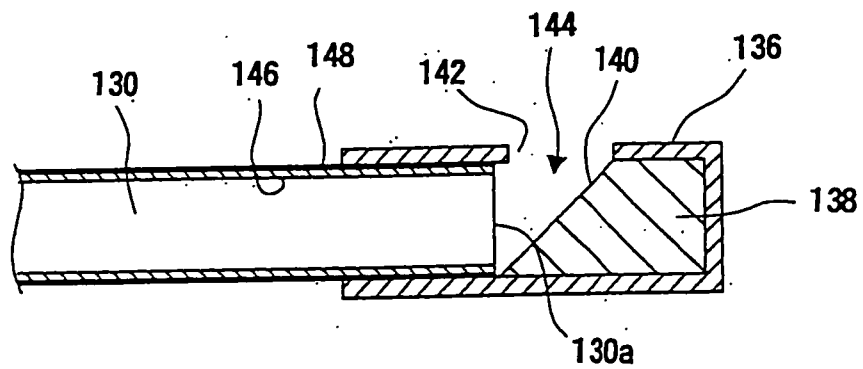


圖35

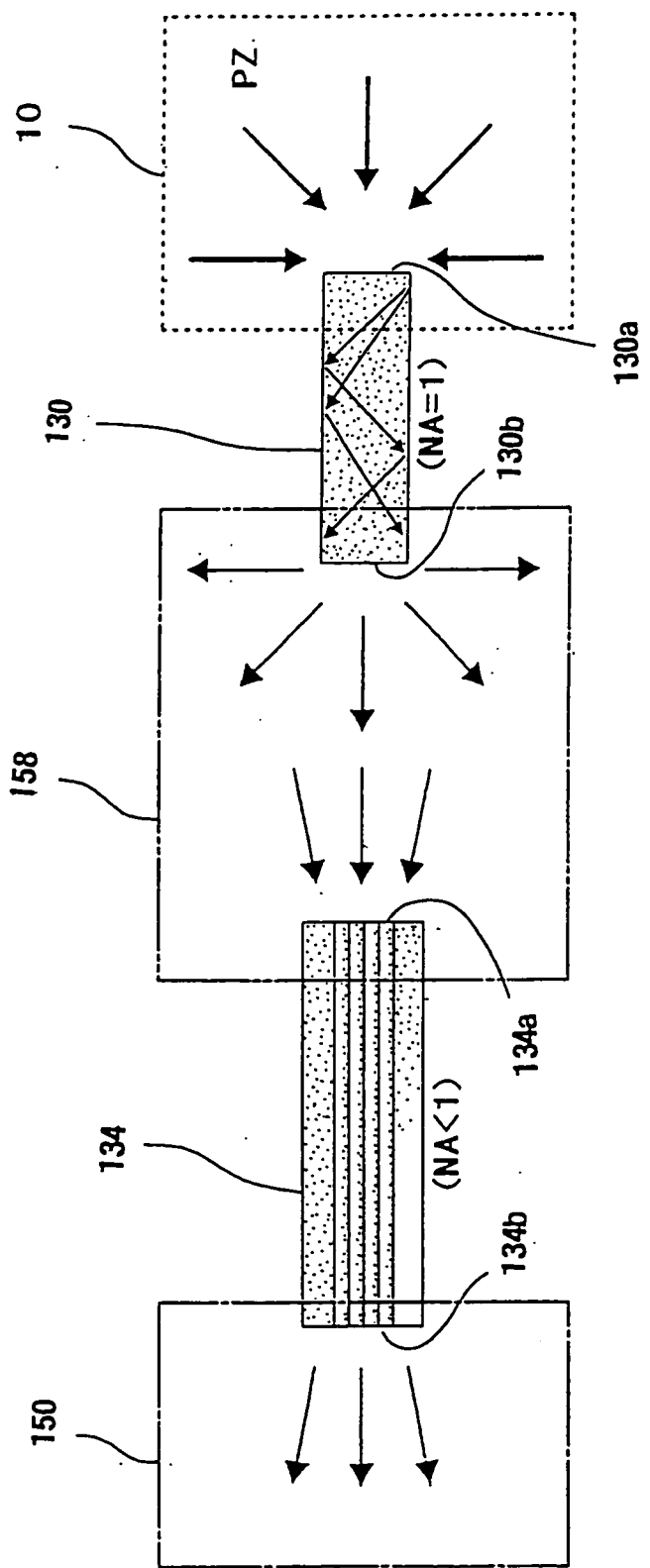


圖 36

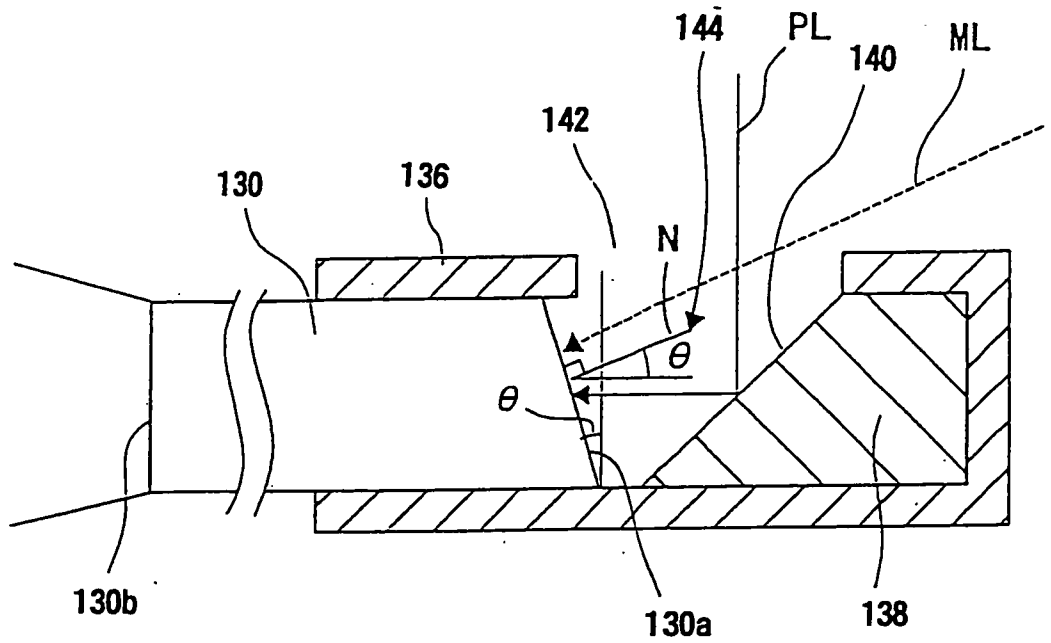


圖 37

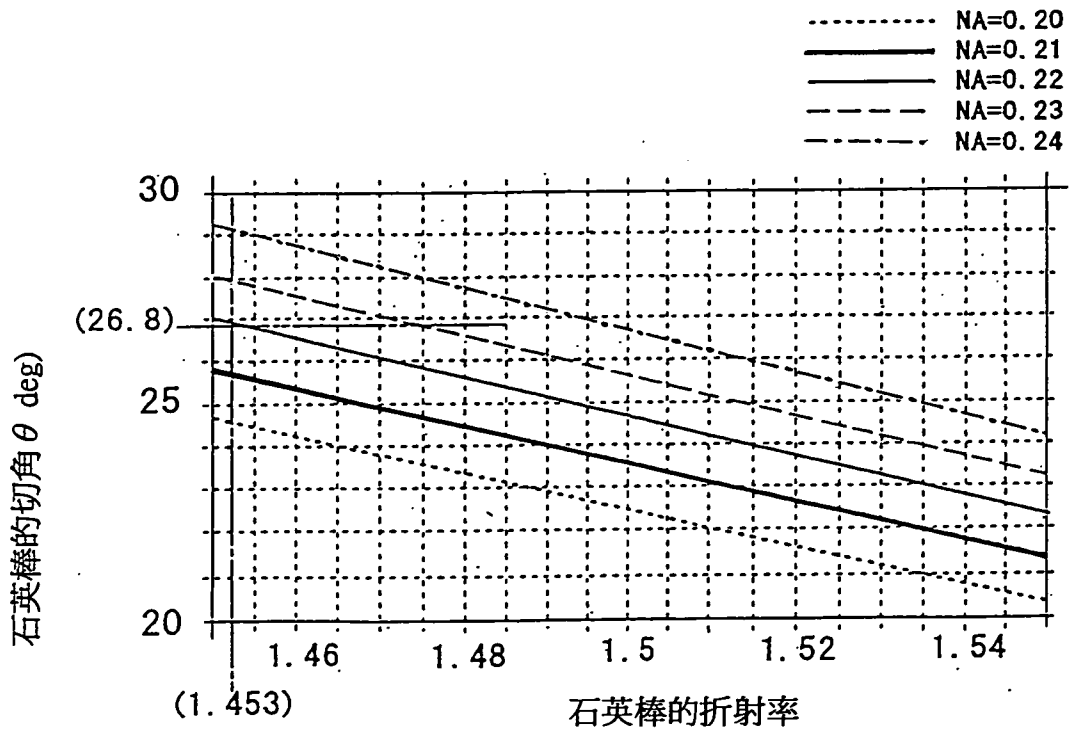


圖 38A

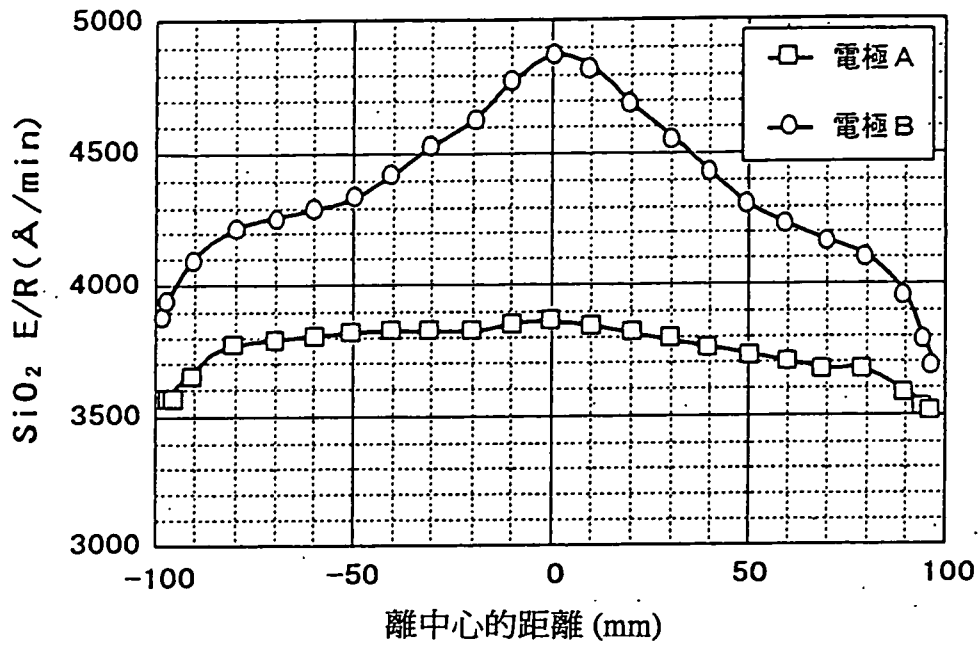


圖 38B

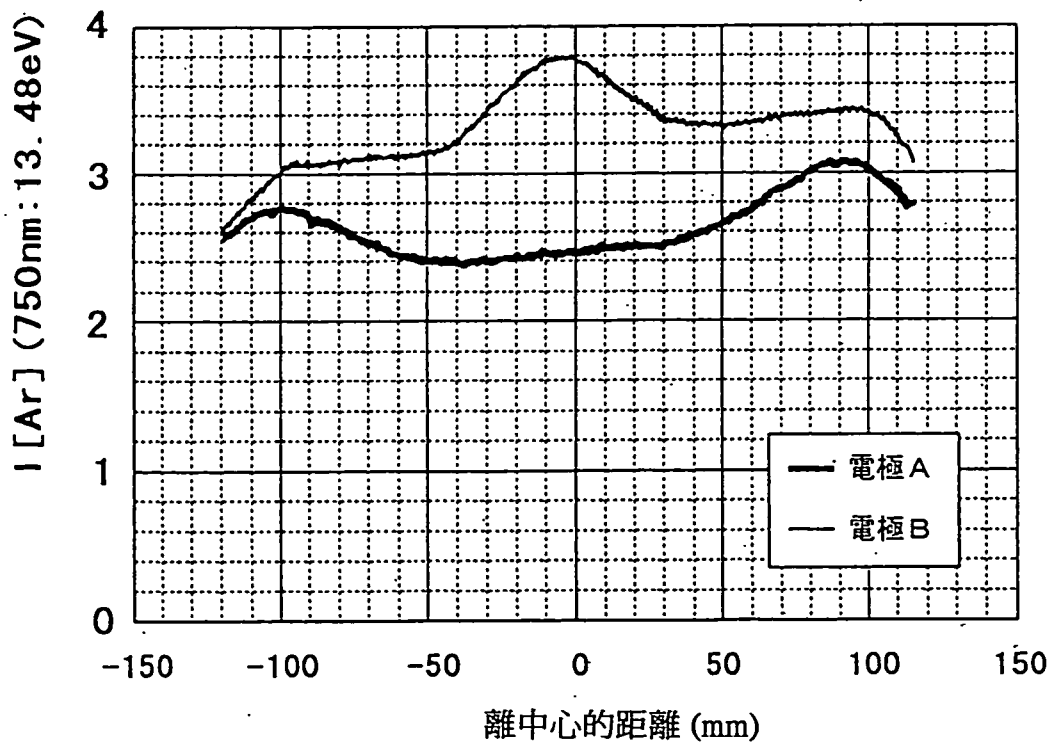


圖 39A

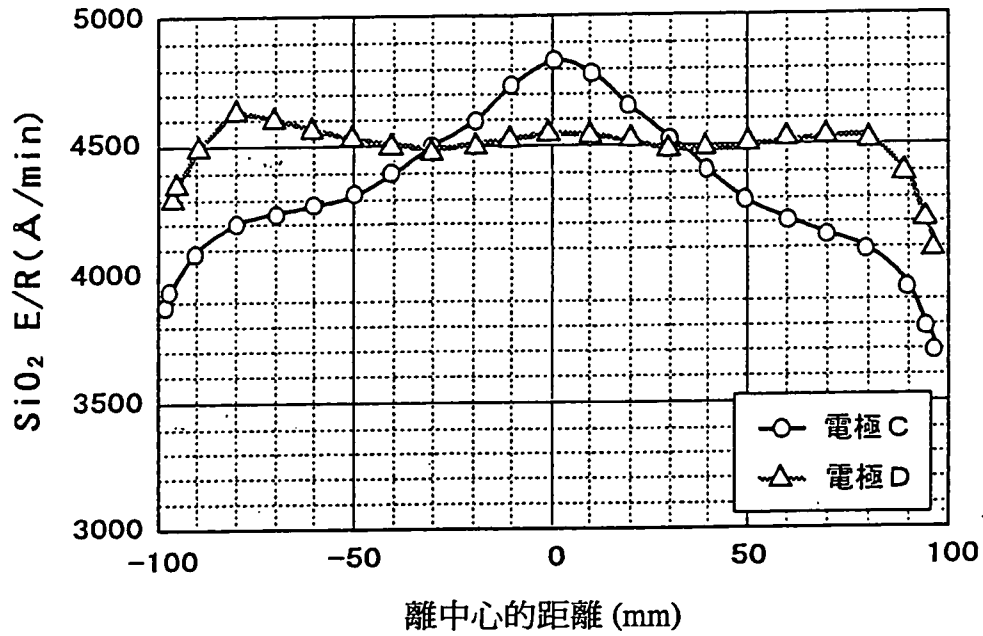


圖 39B

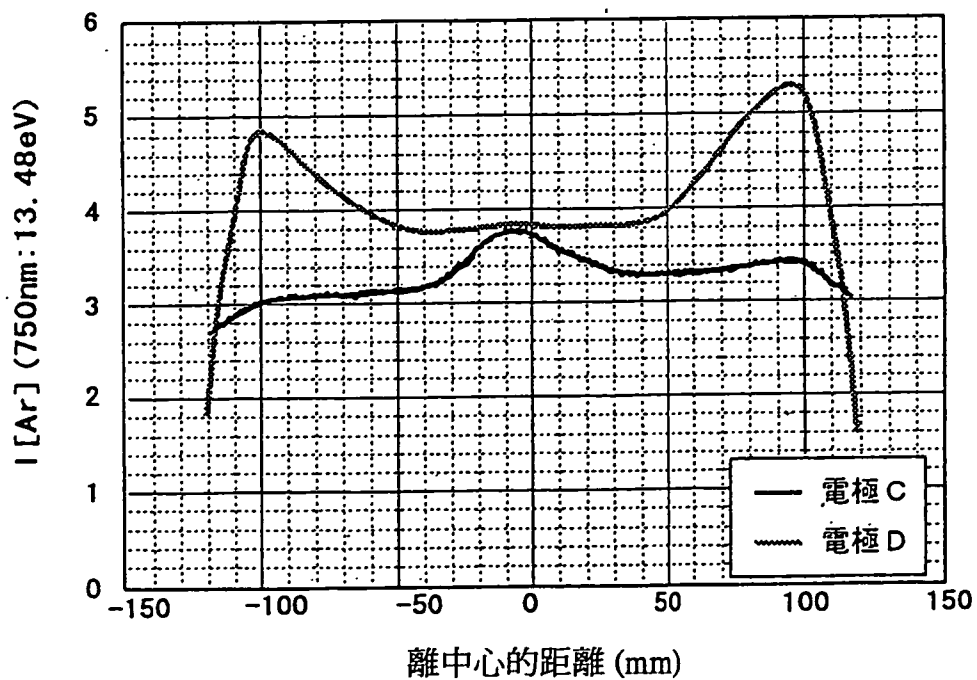


圖 40A

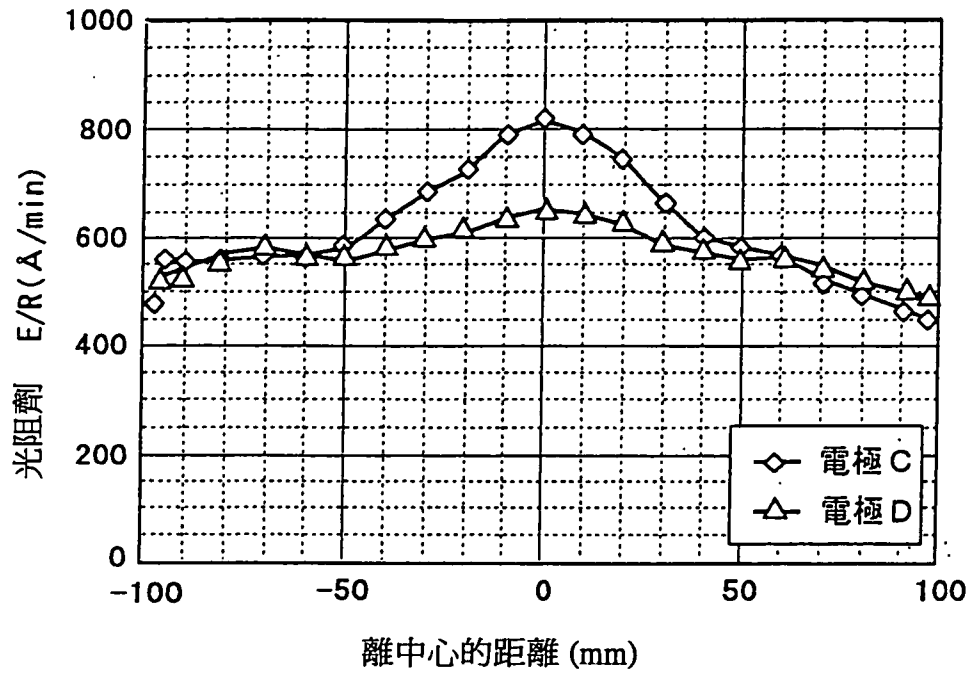


圖 40B

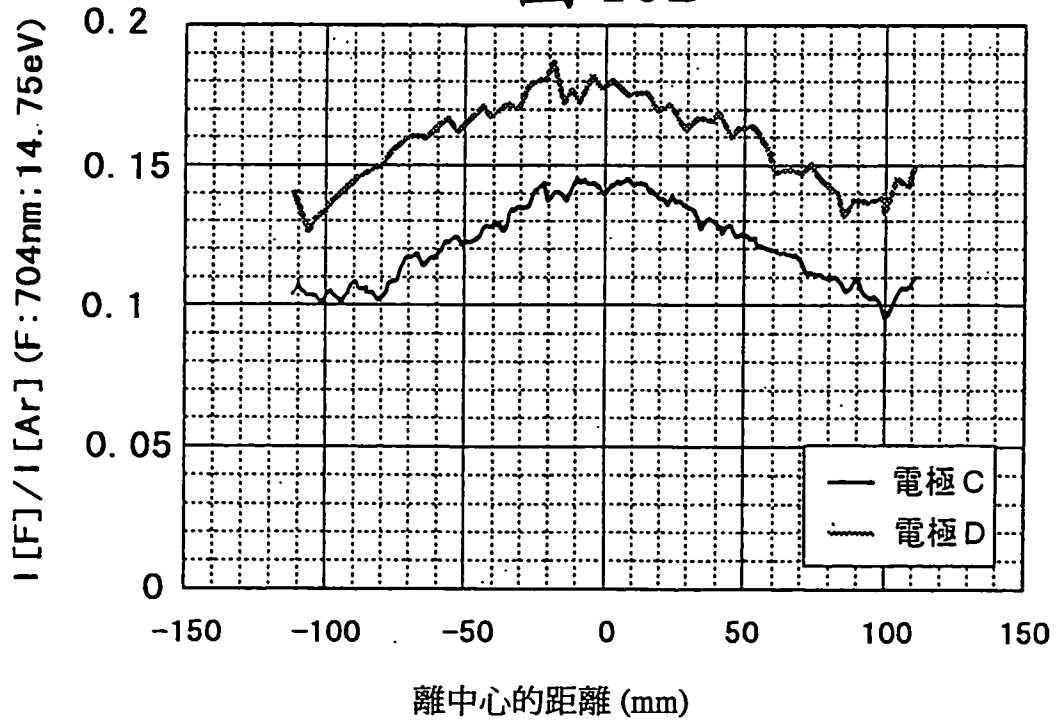


圖 43

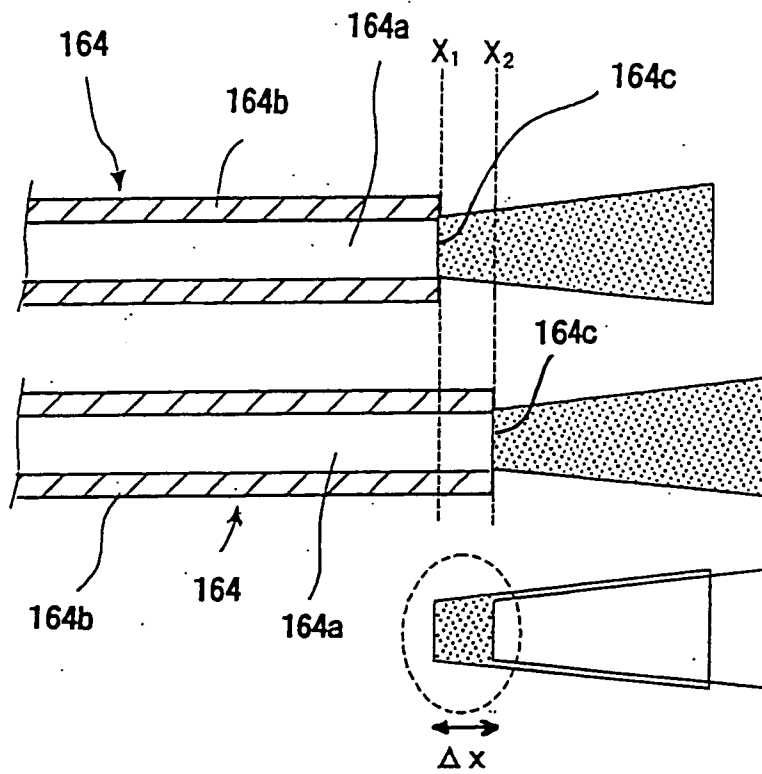


圖 44

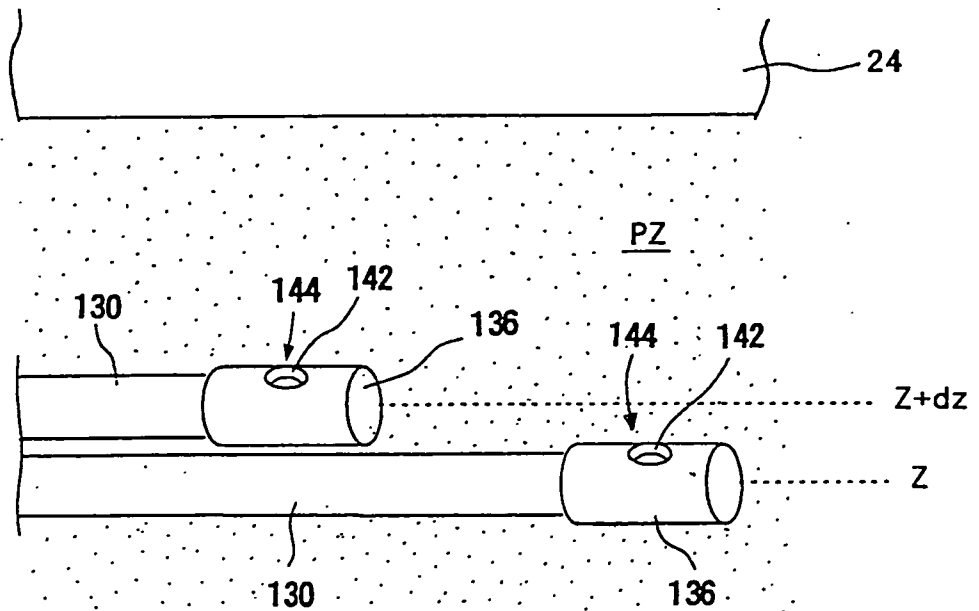


圖 45

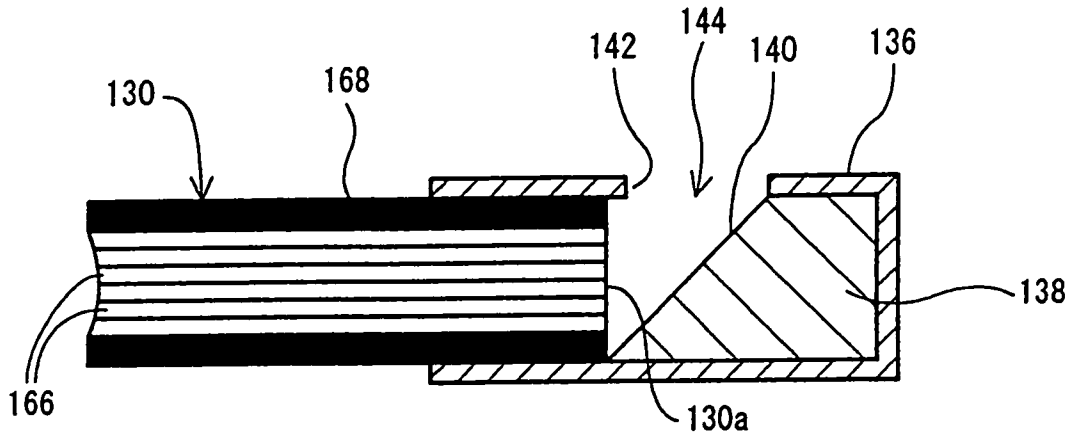


圖 46

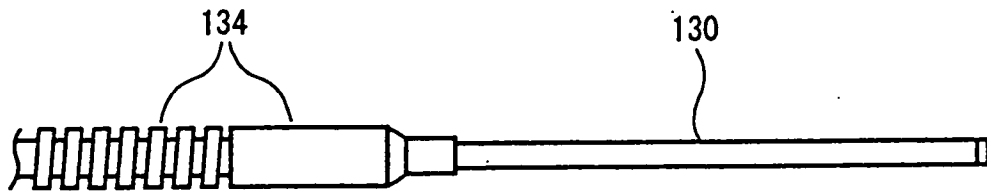


圖 47

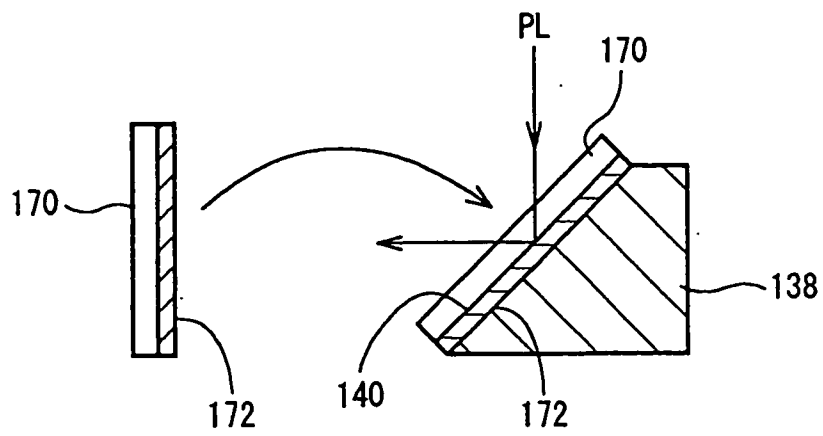


圖 48

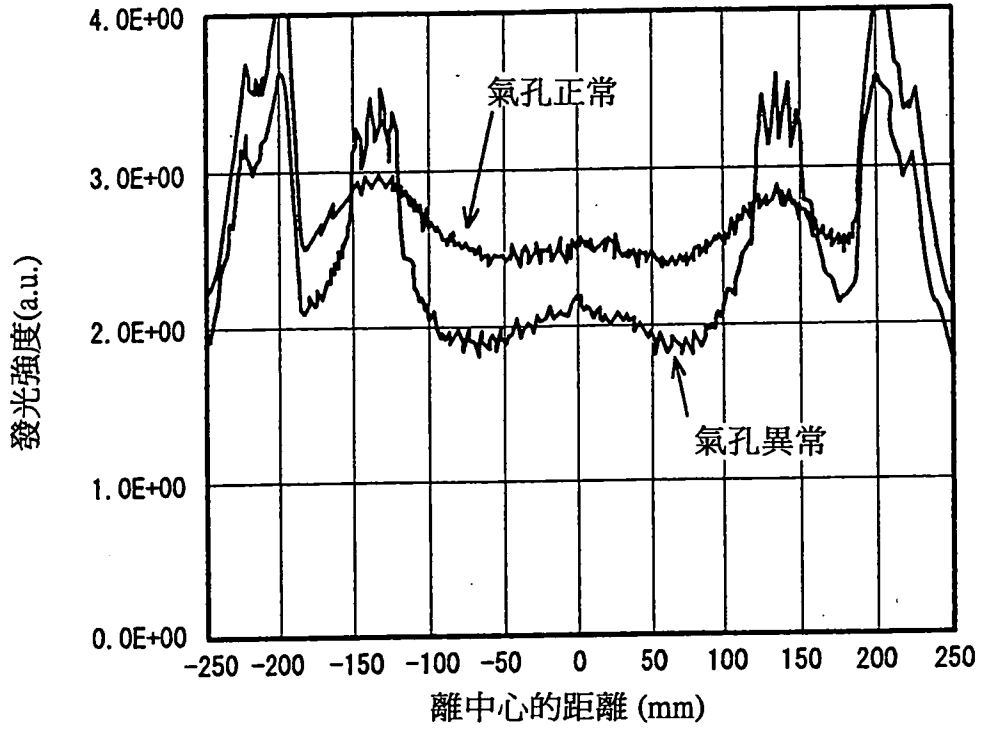


圖 49

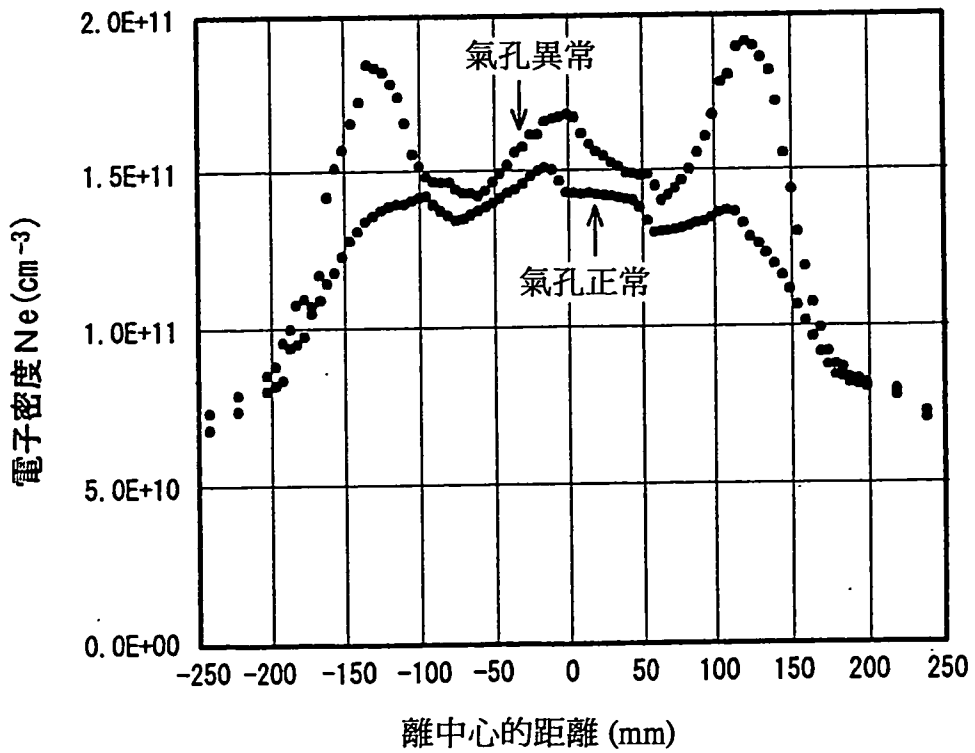


圖 50

