



(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 I504867 B

(45)公告日：中華民國 104 (2015) 年 10 月 21 日

(21)申請案號：103138091

(22)申請日：中華民國 103 (2014) 年 11 月 03 日

(51)Int. Cl. : G01J3/443 (2006.01)

G01N21/63 (2006.01)

(30)優先權：2013/11/01 美國

61/898,975

(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：鮑君威 BAO, JUNWEI (CN)；孟慶麟 MENG, CHING-LING (US)；透傑 霍格
TUITJE, HOLGER (DE)；米哈伊洛夫 米哈伊爾 MIHAYLOV, MIHAIL (US)；陳
艷 CHEN, YAN (CN)；嚴征 YAN, ZHENG (US)；鄒海興 ZOU, HAIXING
(US)；褚漢友 CHU, HANYOU (US)

(74)代理人：周良謀；周良吉

(56)參考文獻：

TW 201108869A

TW 201202685A

TW 201306082A

US 6721045B1

US 6885153B2

審查人員：曾世杰

申請專利範圍項數：19 項 圖式數：7 共 24 頁

(54)名稱

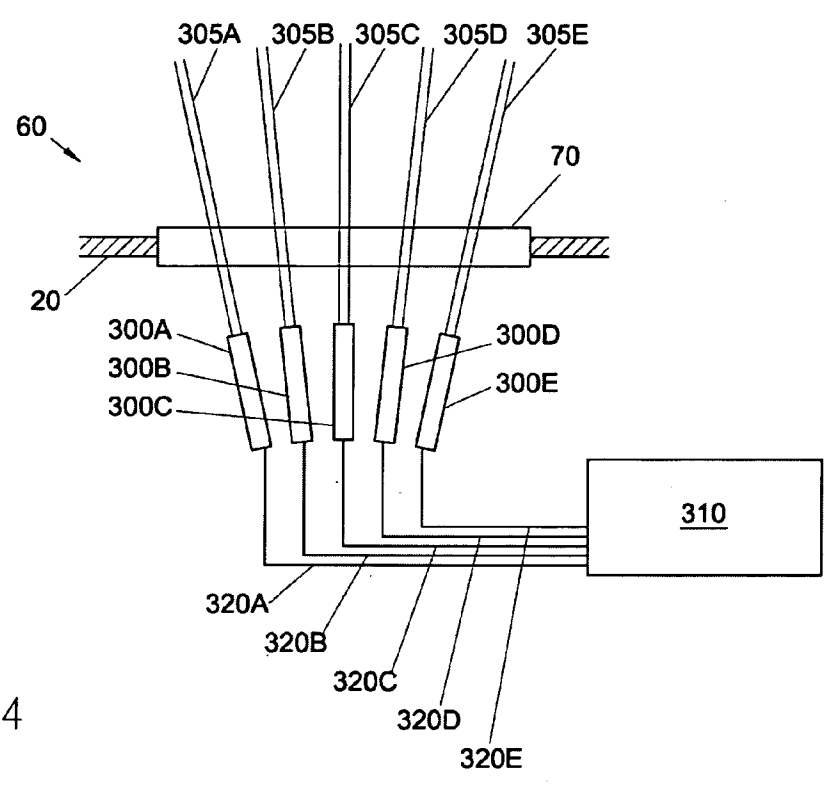
電漿處理中之空間分辨電漿發射光譜

SPATIALLY RESOLVED OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY (OES) IN PLASMA PROCESSING

(57)摘要

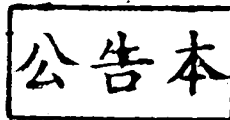
所揭露者係為在半導體電漿處理腔室中用於自電漿量測光發射的方法、電腦方法、系統及設備。所獲得之電漿光發射二維分布可用於推論存在於該電漿中受關注之特定化學物種的二維分布濃度，並因此提供對製程開發以及新式與改良式之處理設備開發的有用方法。所揭露的技術係計算簡單且成本低廉，並涉及將所呈現之光強度分布的展開式轉為考慮到圓周方向之光強度變化的基底函數之和的使用。一合適的基底函數範例為 Zernike 多項式。

Disclosed is a method, computer method, system, and apparatus for measuring two-dimensional distributions of optical emissions from a plasma in a semiconductor plasma processing chamber. The acquired two-dimensional distributions of plasma optical emissions can be used to infer the two-dimensional distributions of concentrations of certain chemical species of interest that are present in the plasma, and thus provide a useful tool for process development and also for new and improved processing tool development. The disclosed technique is computationally simple and inexpensive, and involves the use of an expansion of the assumed optical intensity distribution into a sum of basis functions that allow for circumferential variation of optical intensity. An example of suitable basis functions are Zernike polynomials.



- 20 . . . 電漿處理腔室
- 60 . . . 光偵測器
- 70 . . . 光窗
- 300A-E . . . 光學系統
- 305A-E . . . 射線
- 310 . . . 多頻道光譜儀
- 320A-E . . . 光纖

圖 4



申請日: 103.11.3

IPC分類: G01J 3/443 (2006.01)
G01N 21/63 (2006.01)

【發明摘要】

【中文發明名稱】 電漿處理中之空間分辨電漿發射光譜

【英文發明名稱】 SPATIALLY RESOLVED OPTICAL EMISSION

SPECTROSCOPY (OES) IN PLASMA PROCESSING

【中文】

所揭露者係為在半導體電漿處理腔室中用於自電漿量測光發射的方法、電腦方法、系統及設備。所獲得之電漿光發射二維分布可用於推論存在於該電漿中受關注之特定化學物種的二維分布濃度，並因此提供對製程開發以及新式與改良式之處理設備開發的有用方法。所揭露的技術係計算簡單且成本低廉，並涉及將所呈現之光強度分布的展開式轉為考慮到圓周方向之光強度變化的基底函數之和的使用。一合適的基底函數範例為Zernike多項式。

【英文】

Disclosed is a method, computer method, system, and apparatus for measuring two-dimensional distributions of optical emissions from a plasma in a semiconductor plasma processing chamber. The acquired two-dimensional distributions of plasma optical emissions can be used to infer the two-dimensional distributions of concentrations of certain chemical species of interest that are present in the plasma, and thus provide a useful tool for process development and also for new and improved processing tool development. The disclosed technique is computationally simple and inexpensive, and involves the use of an expansion of the assumed optical intensity distribution into a sum of basis functions that allow for circumferential variation of optical intensity. An example of suitable basis functions are Zernike polynomials.

第 1 頁，共 2 頁(發明摘要)

【指定代表圖】 第4圖

【代表圖之符號簡單說明】

20 電漿處理腔室

60 光偵測器

70 光窗

300A-E 光學系統

305A-E 射線

310 多頻道光譜儀

320A-E 光纖

【發明說明書】

【中文發明名稱】 電漿處理中之空間分辨電漿發射光譜

【英文發明名稱】 SPATIALLY RESOLVED OPTICAL EMISSION

SPECTROSCOPY (OES) IN PLASMA PROCESSING

【技術領域】

【0001】 本發明係關於使用電漿發射光譜法(optical emission spectroscopy, OES)在半導體電漿處理中量測化學物種濃度的方法、電腦方法、系統及設備。具體而言，本發明關於判定電漿光發射的二維分布，由其得以判定化學物種濃度之二維分布。

(相關申請案的交互參照)

【0002】 本申請案係根據於2013年11月1日提出申請並共同待審中、標題為「SPATIALLY RESOLVED OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY (OES) IN PLASMA ETCHING」(參考編號 TTI-242PROV)之美國臨時專利申請案第61/898975號，並主張其權利和優先權，該案之全部內容在此併入做為參考文獻。

【先前技術】

【0003】 半導體元件、顯示器、太陽能電池等的生產係以一連串的步驟進行，而各步驟具有為了最大元件良率而最佳化的參數。電漿處理中，電漿的化學性質為在予以控制的參數中強烈影響良率者，特別是在電漿環境內、鄰近受處理之基板的局部電漿化學性質，也就是各種化學物種的局部濃度。某些物種，特別

像是自由基的暫態化學物種，對電漿的處理結果有著重大的影響，並且已知這些物種的偏高局部濃度可產生較快處理的區域，這可能在處理步驟中且最終在產出的元件上導致不均勻性。

【0004】電漿製程的化學性質係憑藉對諸多製程變因的控制、以直接或間接的方式所控制，此等製程變因像是用以激發電漿而供應的一或更多射頻(RF)或微波電力、供應至電漿處理腔室的氣體流及氣體種類、電漿處理腔室內的壓力、受處理之基板的種類、輸送至電漿處理腔室的泵壓速率、及其他更多變因。發射光譜法(Optical Emission Spectroscopy, OES)已證明其在製程開發及電漿處理之監測為一有用的工具。在發射光譜法中，特別受關注的某些化學物種(如自由基)之存在及濃度可由取得的電漿發射光學(亦即光線)頻譜推論而得，其中某些光譜線的強度及其比例係與化學物種的濃度相關。此技術的詳細說明可於如G. Selwyn的「Optical Diagnostic Techniques for Plasma Processing, AVS Press, 1993」中得到，在此為簡潔之目的不予重述。

【0005】儘管發射光譜法的使用已變得相對普遍，特別是在電漿處理腔室內部的電漿製程開發，但發射光譜法通常藉由自電漿內部的單一狹長體積取得發射光譜所完成。此體積的精確形狀及尺寸由用於自電漿收集光發射的光學系統所決定。此光發射訊號的收集本質上導致電漿發射光譜沿著此狹長體積之長度(又稱之為射線)的均分，因此關於電漿發射光譜之局部變異及化學物種濃度之局部變異的所有資訊大體都遺失了。

【0006】在電漿製程開發中，甚至於確實在新式及改良式的電漿處理系統開發中，獲知受處理之基板上方受關注的化學物種二維分布甚為有用，例如因此而得以做出系統設計及/或製程參數的改變，以最小化基板各處之處理結果的變

異。電漿發射光譜(OES)技術的進一步應用在於藉由監測存在電漿中之化學物種的演變及不連續變化來決定電漿處理步驟的終止點，該演變及不連續變化係與例如到達一基板層的一蝕刻步驟有關，該基板層具有不同於蝕刻製程期間受蝕刻之基板層的化學成分。可在基板表面各處決定電漿處理步驟之終止點的能力對提高的元件良率有所貢獻，因為電漿處理步驟不會過早終止。

● **【0007】** 由已知的積分測量法沿著橫貫關注區域的複數射線以確認一變數之空間分布而廣泛用於其他科技領域(例如X射線層析成像)的技術，乃是使用Abel轉換或Radon轉換的層析成像反運算。然而，為獲得有效結果，此技術要求極大的資料獲取量，也就是大量的射線，這在具受限電漿光通道的半導體處理設備中是不切實際的，其中該電漿光通道係透過嵌裝於電漿處理腔室壁之一或少數光窗或光埠。層析成像通常也是計算非常密集的技術。吾人亦已發現化學物種濃度的局部差異具有大體平滑變化的本質，而在徑向或甚至在圓周方向(即方位角方向，azimuthal)兩者並無任何不連續的梯度。因此，具有能在沒有OES量測法之層析成像方法中涉及的經常費用之情況下獲得電漿發射光譜二維分布之簡單、快速、相對低成本的電漿OES技術及系統將甚有優勢。

● **【0008】** 最為明顯的是，如同一些先前技術所認為的，雖然圓周方向上的變異可能微小，但其並非不存在，而理想的技術及系統將仍須可確實獲得此等變異。

【發明內容】

【0009】 本發明的一態樣包括用於測定電漿光發射之二維分布的方法，包括：在電漿處理腔室中激發電漿，該電漿處理腔室具有電漿光發射量測系統，該

電漿光發射量測系統具有用於控制電漿光發射量測系統的控制器；使用該電漿光發射量測系統，量測沿著穿越該電漿處理腔室之N個不重合射線所積分的N個電漿發射光譜，其中N>1，各個測得的發射光譜包括M個波長，其中M≥1；使用該控制器選定包含N個基底函數 $F_p(r, \theta)$ 之和的光強度分布函數 $I(r, \theta)$ ：

$$I(r, \theta) = \sum_{p=1}^N a_p F_p(r, \theta)$$

其中，N個基底函數 $F_p(r, \theta)$ 中的至少一者隨電漿處理腔室內部的徑向位置 r 及圓周位置 θ 兩者變化，且其中N個基底函數 $F_p(r, \theta)$ 之每一者與一擬合參數 a_p 相關聯；以及，使用該控制器，藉由擬合(fitting)選定之光強度分布函數 $I(r, \theta)$ 的N個擬合參數 a_p ，針對M個波長的每一者測定電漿光發射的空間分布以將選定之光強度分布參數 $I(r, \theta)$ 擬合至N個測得的電漿發射光譜。一實施例中，此N個基底函數 $F_p(r, \theta)$ 可為Zernike多項式 $Z_p(r, \theta)$ ，或更具體而言，為N個最低階的Zernike多項式 $Z_p(r, \theta)$ 。

【0010】 本發明的另一態樣包括電漿光發射量測系統，此電漿光發射量測系統包含：供穿越電漿處理腔室之N個射線的每一者所用的N個獨立光學系統，每一光學系統透過設置在電漿處理腔室壁的至少一光窗收集電漿發射光譜，且每一光學系統耦接至一多頻道光譜儀以量測電漿發射光譜。

【0011】 另一可選的實施例包括電漿光發射量測系統，此電漿光發射量測系統包含：透過設置在電漿處理腔室壁的一光窗以收集電漿發射光譜的光學系統，此光學系統包含：為掃描穿越電漿處理腔室之複數不重合射線所設置的掃描鏡；以及耦接至此光學系統以量測電漿發射光譜的光譜儀。

【0012】本發明的另一實施例包括用於自電漿收集一光訊號並導引該光訊號至一光纖端口的電磁波中心耦合器，以發送該光訊號至多頻道光譜儀，該電磁波中心耦合器包括：至少一收光透鏡、至少一耦合透鏡，以及一自選孔洞 (aperture)。

【圖式簡單說明】

【0013】參照其後的詳細說明，特別是隨同所附圖式加以考慮時，本發明之更完整察知及其諸多伴隨的優點即變得顯而易知，在圖式中：

【0014】根據本發明的一實施例，圖1是裝配有OES量測系統的電漿處理系統概要側視圖。

【0015】根據本發明的一實施例，圖2是裝配有OES量測系統的電漿處理系統概要俯視圖。

【0016】根據本發明的一實施例，圖3是使用OES量測系統所獲得的範例電漿發射光譜。

【0017】根據本發明的一實施例，圖4是用於OES量測系統的光學系統概要圖。

【0018】根據本發明的另一實施例，圖5是用於OES量測系統的光學系統概要圖。

【0019】根據本發明的一實施例，圖6是光學系統之一實施例的概要展開圖。

【0020】根據本發明的一實施例，圖7是使用OES量測系統及其相關方法所測得的範例電漿光發射二維分布。

【實施方式】

【0021】 在以下的說明中，為促進本發明的完善了解及為達解釋而非限制的目的而列舉出特定細節 - 像是電漿發射光譜(OES)系統之特定幾何外觀及各種零部件與程序之說明。然應當理解，本發明仍可實施於偏離該等特定細節的其他實施例中。

【0022】 在以下的說明中，代表受處理之工件的詞語「基板」與如半導體晶圓、液晶顯示面板、發光二極體、太陽能元件控制板等的詞語可相互交替使用，所有此等項目的處理均落於所請發明的範疇。

【0023】 遍及本說明書中參照「某一實施例」或「一實施例」意指與該實施例相關而說明的特定特性、結構、材料或特徵係包含於本發明的至少一實施例中，但這不代表它們存在於每一實施例中。因此，遍及本說明書各處「某一實施例中」或「一實施例中」的詞語之出現未必意指本發明的相同實施例。此外，特定的特性、結構、材料或特徵可在一或更多實施例中以任何適當的方式結合。

【0024】 各種操作以最有助於了解本發明的方式而將其描述為多個不連續的依序操作。然描述的次序不應理解為隱喻該等操作必須依賴此次序。特別是，此等操作毋需以其呈現的次序運行。所說明的操作可依照有別於所述實施例的次序而運行。各種額外的操作可予以運行，且/或所說明的操作可在額外的實施例中予以省略。

【0025】 圖1顯示裝配有電漿發射光譜(Optical Emission Spectroscopy, OES)系統15之電漿處理系統10的實施例。電漿處理系統10包含電漿處理腔室20，其內部設置有用於接收待處理之基板40的基板支架30(像是：靜電夾具)。射頻(Radio

Frequency, RF)及/或微波電力(圖未示)供應至電漿處理腔室20以在基板40的附近激發電漿50並維持之，其中來自電漿50的高能化學物種係用於在基板40上進行電漿處理步驟。處理氣體(圖未示)流入電漿處理腔室20，並設置一泵浦系統(圖未示)以將電漿處理腔室20內的真空狀態保持在需要的製程壓力。電漿處理步驟的範例包括電漿蝕刻、電漿輔助化學氣相沉積(plasma-enhanced chemical vapor deposition, PECVD)、電漿輔助原子層沉積(plasma-enhanced atomic layer deposition, PEALD)等等。於此所說明的系統及方法可適用於任何類型的電漿處理。

【0026】電漿OES系統15係用以透過至少一光偵測器60獲得電漿發射光譜，光偵測器60將獲得的電漿發射光譜傳遞至控制器80並由其控制。控制器80可以是通用用途的電腦，且可位於電漿處理系統10的鄰近處或位於遠端，並經由內部網路或網際網路聯結而連接至光偵測器60。

【0027】光偵測器60具有光學元件，此(等)光學元件以可使光偵測器60自電漿50內一狹長、大致為筆型體積的空間65收集電漿光發射的方式所設置。電漿處理腔室的光通道由光窗70所提供。取決於應用及電漿50之化學侵略性的程度多寡，光窗70可包含如玻璃、石英、熔融矽或藍寶石的材料。之後稱為「射線」65的體積65定義出由其中收集電漿發射光譜的一空間部分，而所收集的光譜代表對收集自位於沿著射線65並在射線65內部的所有空間點之電漿發射光譜之貢獻部份的積分。應當注意，取決於光偵測器60的幾何形狀與結構，在射線65範圍內之每一空間點的貢獻部份將不會均等，而係由光效率(將於之後更詳細論述)所加權及影響。在一典型的結構中，射線65定位為實質上平行於基板40表面的方向，並

與基板40的表面保持一微小距離以減少來自基板表面的光學干擾，然而仍需保持足夠靠近基板40以對鄰近於基板的電漿化學性質進行取樣。

【0028】如前所述，控制器80係用於控制電漿發射光譜(OES)系統15，並還用於：(1)計算作為空間位置及波長之函數的電漿光強度分布，以及用於(2)由所計算的電漿光強度分布計算受關注之化學物種的空間分布。此資訊可在之後用於製程開發、電漿處理設備開發、電漿製程就地監控、電漿製程錯誤偵測、電漿製程終止點偵測等等。

【0029】圖1顯示穿過位於電漿處理腔室20內部之電漿50、鄰近受處理之基板40的一射線65。本發明的一實施例中，複數射線100可用於對電漿光發射光譜進行取樣，如顯示例如圖1之電漿處理系統10的概要俯視圖之圖2所示。在圖2的範例實施例中，兩個光偵測器60用以各由7條射線100收集電漿發射光譜。射線100必須是非重合的，以利在基板40的上方自電漿50獲得最大量的空間資訊。每一光偵測器60之射線100的數目可自2變動至9、或更高。又，在其中電漿處理腔室20之光通道僅由單一光窗70所提供的另一實施例中，單一光偵測器60可伴隨與其相關的射線100之扇形使用。可選地，也可使用各具有與其相關之射線扇形的第三或更多光偵測器。各個射線100的角度係相對於其光偵測器60的中心線定義為 θ_i 。在電漿處理腔室內部的每一點可由其極座標(即 (r, θ))所定義，如圖2所示。

【0030】如同稍後將更為詳細說明的，取決於光偵測器60的配置，所有來自相關之射線100扇形的電漿發射光譜可同時予以收集。這適用於具有複數個光學系統及通道、容許自所有射線100同步收光之光偵測器60的實施例。另種方式地，電漿發射光譜可沿著與光偵測器60有關的射線100相繼地取得。後者的方法適用於掃描式的實施例，其中電漿發射光譜隨著射線100由一角度 θ 掃描至另一

角度而收集。可理解地，此掃描及取得必須發生得足夠快，而使得整體基板各處之電漿化學性質的急遽變化得以偵測。

【0031】圖3顯示使用光偵測器60在角度 θ_i 自一射線100所獲得的範例電漿發射光譜。此光譜中，收集了M個波長的光強度，其波長範圍通常自約200nm至約800nm。使用於發射光譜法中之一般光譜儀的電荷耦合元件(CCD)具有在此波長範圍內的4096個畫素，但是取決於應用和收集之光譜所需的解析度，畫素的數目可在低如256且高如65536的範圍內變動。

● 【0032】由光偵測器60自其相關的射線100扇形所收集的電漿發射光譜傳遞至控制器80，此控制器80用於進一步處理所傳遞的數據以計算電漿光發射的空間分布，然後由此計算化學物種濃度的空間分布。本發明的一態樣係用於快速計算各波長之電漿光發射空間分布的演算法，此演算法可提供用於終止點偵測、錯誤偵測等等的電漿製程就地監測。

● 【0033】圖4顯示光偵測器60的一實施例，其中單一多頻道光譜儀310用於自射線305A-E同步收集電漿發射光譜。為清楚的目的，呈現於此的本範例實施例具有5條射線305A-E，但其數目可自2變動至9，甚至高於9。光偵測器60包含供各射線305A-E所用的光學系統300A-E，並全數位於安裝在電漿處理腔室20壁上之光窗70的鄰近處。射線305A-E以放射狀方式排列，以便涵蓋基板40(圖未示)的有關部分。所收集的電漿發射光譜自光學系統300A-E經由各自的光纖320A-E而進入多頻道光譜儀310。光學系統300A-E將於之後更詳細地描述。由於圖4實施例的「同步收集電漿發射光譜」能力，故此實施例適用於快速判斷。

【0034】圖5顯示使用了一單頻道光譜儀310的另一可選實施例，且當電漿發射光譜透過單一光學系統300由該光譜儀310獲得的時候，射線305A-E由受控

制地掃掠射線305A-E的掃描鏡400所形成，此將在之後更詳細的說明。此實施例適用於電漿發射光譜的連續收集，也因此更適於較緩演變的電漿製程判斷。掃描鏡400可安裝於一檢流計台410上並由其致動。另一可選地，掃描鏡400可安裝於步進馬達410上並藉其掃描。射線305A-E的數目於此顯示為5，但實際上此數目係由用於控制檢流計台或步進馬達410之控制器軟體的設定所決定。

【0035】 為確保對一精準的空間體積進行抽樣檢測，圖4的光學系統300A-E及圖5的光學系統300需加以設置，使得射線305A-E在光學系統的既定目標成本能可行地達成之盡可能微小的發散角下為準直。

【0036】 光學系統300A-E及300的範例實施例顯示於圖6。光學系統300A-E(又稱電磁波中心耦合器)負有從電漿50之範圍內、由射線305A-E所界定的空間體積中收集電漿發射光譜，並導引所收集的電漿發射光譜至光纖320A-E或320之端口390的任務，那麼所收集的電漿發射光譜即可發送至圖4或圖5之實施例中的光譜儀310。射線305A-E的直徑由形成於板上的自選孔洞350所界定。在另一可選的實施例中，例如透鏡的其他光學元件可用於界定射線305A-E的直徑。一範例的射線直徑為4.5mm，但其取決於應用而可自約1mm變動至20mm。所收集的射線305A-E通過收光透鏡360A及360B的組合，該等透鏡與自選孔洞的組合界定出射線305A-E。用於射線305A-E之收光系統的數值孔徑通常很低，例如大約0.005，而作為最後結果的射線305A-E是具有最小發散角度的實質準直光。在光學系統300A-E或300的另一端係另一對透鏡，亦即耦合透鏡370A及370B，此等耦合透鏡370A及370B用於將所收集的發射光譜聚焦至光纖320A-E或320的端口390上。用於本系統中的所有透鏡較佳地均為消色差的，或為了更嚴苛條件的應用甚至是複消色差的，這確保每一透鏡的焦距不隨波長變化，使得光學系統

300A-E或300在一大範圍波長內(通常係自200nm至800nm，但在某些情況下則可能低至150nm)可良好地運作。爲了光譜的紫外光部分(也就是350nm以下)中的較佳運作，應針對所有光學元件使用紫外光等級的材料。

【0037】對於每一光學硬體配置而言，獲知適用於射線305A-E範圍內所有位置點之權重係數的光效率 w 至爲重要，其中電漿發射光譜由射線305A-E獲得。光效率 w 可使用光學設計軟體而由模擬決定，或使用經校準光源並移動該等經校準光源穿越及沿著射線305A-E的實驗來決定自射線305A-E之內部一給定位置至光纖端口390的光耦合效率。光效率 w 將用於供判定電漿光發射之空間分布所用的演算法。

【0038】如前所述，電漿光發射(OES)系統15的任務係針對 M 個測得波長 λ 之每一者判定電漿光發射的二維強度分布。

【0039】對於圖2的每一射線100(由下標 i 數學性地標注的射線)，所收集的光偵測器輸出 D_i 可界定爲：

$$D_i = \int_{l_{AB}} I(r, \theta) w(r, \theta) dl$$

其中 $I(r, \theta)$ 爲射線內且沿著射線之位置 (r, θ) 上的電漿光發射強度，而 $w(r, \theta)$ 代表光偵測器 i 自位置 (r, θ) 之光收集的光效率。得出的光偵測器輸出 D_i 代表這些數量值的乘積沿著基板圓周上由A點至B點(見圖2)的直線路徑之積分值，來自基板40圓周外之電漿的影響在此模型中予以忽略(此係合理假設，因爲在這些區域的電漿密度(且因此電漿光發射)通常是微弱的)。

【0040】在具有 N 個光偵測器與射線、或具有射線100之 N 個掃描位置的電漿發射光譜(OES)系統15中，對於 M 個測得波長 λ 之每一者有 N 個收集到的強度。

因此，為重建在一波長 λ 下的電漿光發射之空間分布，需假設具有 N 個參數的函數形式。在給定有限的參數數目 N 的條件下，需對用於電漿光發射分布的基底函數做出審慎的選擇。選定的基底函數須隨著徑向座標 r 及圓周座標 θ 兩者變化，使其得以良好地重現電漿發射在基板40各處的圓周方向變化。

【0041】 特別適合於此任務的基底函數集合為Zernike多項式 $Z_p(r, \theta)$ 。

Zernike多項式由一項相依於徑座標 r 之一項及相依於圓周座標 θ 之一項的乘積所定義，亦即

$$Z_p(r, \theta) = R(r)G(\theta)$$

【0042】 表格1羅列了前18階的Zernike多項式，在此使用通用的數學符號 Z_n^m 表示。

表1：Zernike多項式 Z_n^m 的前18階

階數	n	m	$R(r)G(\theta)$
0	0	0	1
1	1	1	$2r \cos \theta$
2	1	-1	$2r \sin \theta$
3	2	2	$\sqrt{6}r^2 \cos 2\theta$
4	2	0	$\sqrt{3}(2r^2 - 1)$
5	2	-2	$\sqrt{6}r^2 \sin 2\theta$
6	3	3	$\sqrt{8}r^3 \cos 3\theta$
7	3	1	$\sqrt{8}(3r^3 - 2r) \cos \theta$
8	3	-1	$\sqrt{8}(3r^3 - 2r) \sin \theta$
9	3	-3	$\sqrt{8}r^3 \sin 3\theta$
10	4	4	$\sqrt{10}r^4 \cos 4\theta$
11	4	2	$\sqrt{10}(4r^3 - 3r^2) \cos 2\theta$
12	4	0	$\sqrt{5}(6r^4 - 6r^2 + 1)$
13	4	-2	$\sqrt{10}(4r^3 - 3r^2) \sin 2\theta$
14	4	-4	$\sqrt{10}r^4 \sin 4\theta$
15	5	5	$\sqrt{12}r^5 \sin 5\theta$
16	5	3	$\sqrt{12}(5r^5 - 4r^3) \cos 3\theta$
17	5	1	$\sqrt{12}(10r^5 - 12r^3 + 3r) \cos \theta$

【0043】一般而言，其他的基底函數亦可予以選擇用於此應用，只要其如同本情況之Zernike多項式一樣為正交並且只要其微分在單位圓各處為連續。然而，由於Zernike多項式的「可使用相對少的項數來描述函數在極座標(徑向方向與圓周方向兩者)上之相當複雜的變化」的性質，因而此應用中以Zernike多項式為佳。

【0044】將Zernike多項式 $Z_p(r, \theta)$ 代換至所收集的偵測器輸出結果

$$D_i = \int_A^B w(r, \theta) \sum_{p=1}^N a_p Z_p(r, \theta) dl = \int_A^B w(r, \theta) \sum_{p=1}^N a_p R_p(r) G(\theta) dl$$

其中 a_p 為關聯於每一基底函數(亦即Zernike多項式階數)的擬合參數

【0045】既然收集的偵測器輸出 D_i 根據選定的基底函數、擬合參數與光效率而界定，則確定 D_i 之擬合參數 a_p 的問題可簡化為最小化下列式子，亦即解最小平方的問題：

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^N (D_i - D_i^{measured})^2 \right\}$$

或

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^N \left(\int_A^B w(r, \theta) \sum_{p=1}^N a_p R_p(r) G(\theta) dl - D_i^{measured} \right)^2 \right\}$$

其中 $D_i^{measured}$ 代表在射線 i 測得的電漿光譜強度。此最小化問題的演算法需針對 M 個測得波長 λ 的每一者加以重複。已知在本技術領域中有許多用於解決此最小平方問題的方法。因為最小平方問題的維度相對小，因此本問題可在每一電漿發射光譜予以測得的時刻、對所有的波長及時高效地解出；且更進一步的，此計算可快速連續地重複，以對諸多數量的 M 種波長實現電漿光發射之二維分布快速演變的確定。由此，則基板40各處之化學物種濃度之二維分布的時間演變得以確定，這可用於終止點偵測、錯誤偵測、製程開發、處理設備開發等等。

【0046】圖7顯示以根據本發明之一實施例的方法所測定的電漿光發射強度分布範例。儘管是相對少數的項數(N=18)，繪製的分布圖仍清楚地顯示出對電漿光發射強度在徑向與圓周方向兩者之變化的良好紀錄。

【0047】熟悉相關技術的人員可根據上述之教示而察知到有諸多改良與變化係為可行。熟悉相關技術的人員將理解到顯示於圖中之各種元件的等效組合與替換。因此，本發明之範疇並非意欲由此詳細說明書所限制，而是由附加於此的申請專利範圍所限制。申請專利範圍如下：

【符號說明】

10 電漿處理系統

15 電漿光發射光譜 (Optical Emission Spectroscopy, OES)系統

20 電漿處理腔室

30 基板支架

100 射線

300光學系統

300A-E 光學系統

305A-E 射線

310 多頻道光譜儀

320光纖

320A-E 光纖

350 自選孔洞

360A 收光透鏡

360B 收光透鏡

370A 耦合透鏡

370B 耦合透鏡

390 端口

40 基板

50 電漿

60 光偵測器

65 空間

70 光窗

80 控制器

【發明申請專利範圍】

【第1項】一種用於判定電漿光發射之空間分布的方法，包括：

在一電漿處理腔室內激發一電漿，該電漿處理腔室具有一電漿光發射量測系統，該電漿光發射量測系統具有用於控制該電漿光發射量測系統的一控制器；

使用該電漿光發射量測系統，量測沿著穿過該電漿處理腔室之N個不重合射線所積分的N個電漿發射光譜，其中 $N > 1$ ，各個測得的發射光譜包含M個波長，其中 $M \geq 1$ ；

使用該控制器選定包含有N個基底函數 $F_p(r, \theta)$ 之和的一光強度分布函數 $I(r, \theta)$ ，

$$I(r, \theta) = \sum_{p=1}^N a_p F_p(r, \theta)$$

其中，該N個基底函數 $F_p(r, \theta)$ 中的至少一者隨著該電漿處理腔室內部的徑向位置 r 與圓周位置 θ 兩者變化，且其中該N個基底函數 $F_p(r, \theta)$ 的每一者與一擬合參數 a_p 相關聯；以及

使用該控制器，藉由擬合選定之該光強度分布函數 $I(r, \theta)$ 的N個擬合參數 a_p ，而針對該M種波長的每一者判定電漿光發射的空間分布以將選定的該光強度分布函數 $I(r, \theta)$ 擬合至N個測得的電漿發射光譜。

【第2項】如申請專利範圍第1項所述之用於判定電漿光發射之空間分布的方法，其中該N個基底函數 $F_p(r, \theta)$ 為Zernike多項式 $Z_p(r, \theta)$ 。

【第3項】如申請專利範圍第1項所述之用於判定電漿光發射之空間分布的方法，其中該N個基底函數 $F_p(r, \theta)$ 為N個最低階的Zernike多項式 $Z_p(r, \theta)$ 。

【第4項】如申請專利範圍第1項所述之用於判定電漿光發射之空間分布的方法，其中擬合N個擬合參數 a_p 的步驟包含最小平方擬合(least squares fitting)。

【第5項】如申請專利範圍第1項所述之用於判定電漿光發射之空間分布的方法，其中擬合N個擬合參數 a_p 的步驟包含使用一預先決定的光收集效率。

【第6項】如申請專利範圍第5項所述之用於判定電漿光發射之空間分布的方法，其中該光收集效率係由模擬決定。

【第7項】如申請專利範圍第5項所述之用於判定電漿光發射之空間分布的方法，其中該光收集效率係實驗決定。

【第8項】如申請專利範圍第1項所述之用於判定電漿光發射之空間分布的方法，其中該電漿光發射量測系統包括：

供穿過該電漿處理腔室之N個射線的每一者所用的N個獨立光學系統，每一光學系統透過設置在該電漿處理腔室壁的至少一光窗收集電漿發射光譜，且每一光學系統耦接至用於量測該電漿發射光譜的一多頻道光譜儀。

【第9項】如申請專利範圍第8項所述之用於判定電漿光發射之空間分布的方法，其中每一光學系統包含：

一電磁波中心耦合器，用於自該電漿收集一光訊號並導引該光訊號至一光纖的一端口，以發送該光訊號至該多頻道光譜儀。

【第10項】如申請專利範圍第9項所述之用於判定電漿光發射之空間分布的方法，其中各電磁波中心耦合器包含：

至少一收光透鏡；

至少一耦合透鏡；以及

一自選孔洞。

【第11項】如申請專利範圍第10項所述之用於判定電漿光發射之空間分布的方法，其中該至少一收光透鏡或該至少一耦合透鏡為消色差透鏡。

【第12項】如申請專利範圍第1項所述之用於判定電漿光發射之空間分布的方法，其中該電漿光發射量測系統包含：

一光學系統，用於透過設置在該電漿處理腔室壁的一光窗收集電漿發射光譜，該光學系統包括：

一掃描鏡，設置為掃描穿過該電漿處理腔室之複數個非重合的射線；以及

一光譜儀，耦接至該光學系統以量測電漿發射光譜。

【第13項】如申請專利範圍第12項所述之用於判定電漿光發射之空間分布的方法，其中該掃描鏡係固定於一檢流計掃描台上並藉由該檢流計掃描台掃描。

【第14項】如申請專利範圍第12項所述之用於判定電漿光發射之空間分布的方法，其中該掃描鏡係固定於一步進馬達上並藉由該步進馬達掃描。

【第15項】如申請專利範圍第12項所述之用於判定電漿光發射之空間分布的方法，其中該光學系統包含：

一電磁波中心耦合器，用於自該電漿收集一光訊號以及導引該光訊號至一光纖的一端口以發送該光訊號至該光譜儀。

【第16項】如申請專利範圍第12項所述之用於判定電漿光發射之空間分布的方法，其中該電磁波中心耦合器包含：

至少一收光透鏡；

至少一耦合透鏡；以及，

一自選孔洞。

【第17項】如申請專利範圍第16項所述之用於判定電漿光發射之空間分布的方法，其中該至少一收光透鏡或該至少一耦合透鏡為消色差透鏡。

【第18項】一種其上儲存有指令的非暫態機器可讀取儲存媒體，該指令集使一控制器運行用於判定電漿光發射之空間分布的方法，該方法包括：

在一電漿處理腔室激發一電漿，該電漿處理腔室具有一電漿光發射量測系統，該電漿光發射量測系統具有用於控制該電漿光發射量測系統的一控制器；

使用該電漿光發射量測系統，量測沿著穿過該電漿處理腔室之N個不重合射線所積分的N個電漿發射光譜，其中 $N > 1$ ，每一測得的發射光譜包含M個波長，其中 $M \geq 1$ ；

使用該控制器選定包含有N個基底函數 $F_p(r, \theta)$ 之和的一光強度分布函數 $I(r, \theta)$ ，

$$I(r, \theta) = \sum_{p=1}^N a_p F_p(r, \theta)$$

其中，該N個基底函數 $F_p(r, \theta)$ 中之至少一者隨著該電漿處理腔室內部的徑向位置 r 與圓周位置 θ 兩者變化，且其中該N個基底函數 $F_p(r, \theta)$ 的每一者與一擬合參數 a_p 相關聯；以及

使用該控制器，藉由擬合選定之該光強度分布函數 $I(r, \theta)$ 的N個擬合參數 a_p ，而針對該M個波長的每一者判定電漿光發射的空間分布以將選定的該光強度分布函數 $I(r, \theta)$ 擬合至N個測得的電漿發射光譜。

【第19項】如申請專利範圍第18項所述的其上儲存有指令的非暫態機器可讀取儲存媒體，其中該N個基底函數 $F_p(r, \theta)$ 為Zernike多項式 $Z_p(r, \theta)$ 。

【發明圖式】

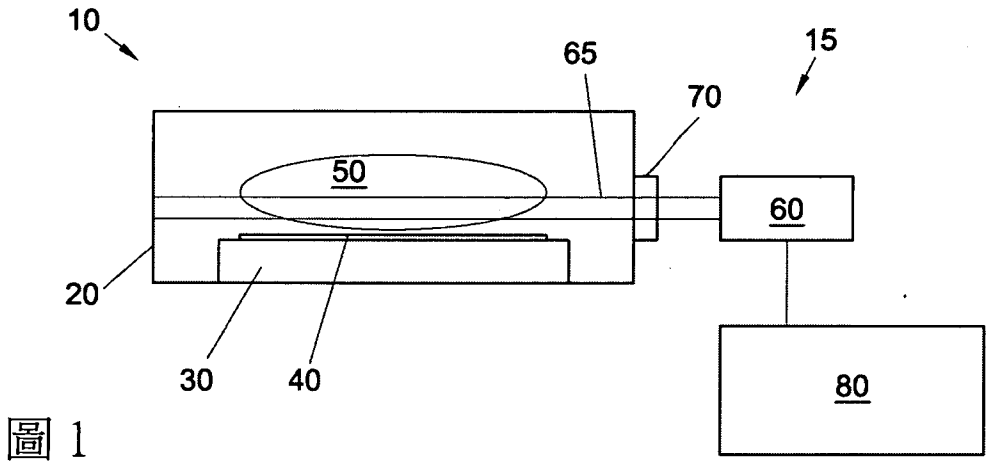


圖 1

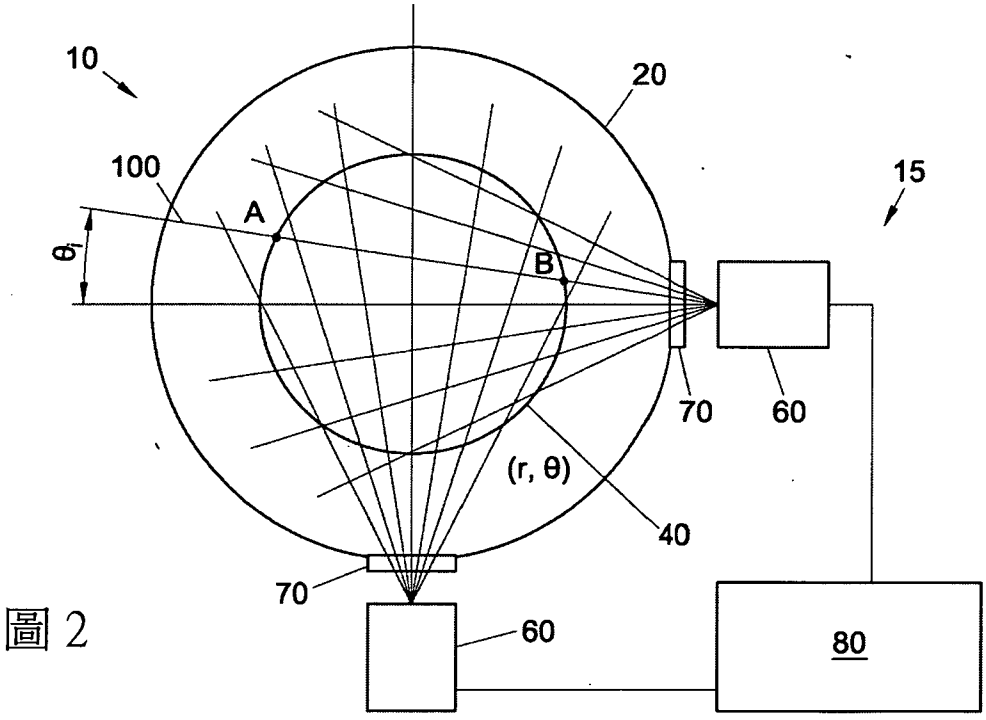


圖 2

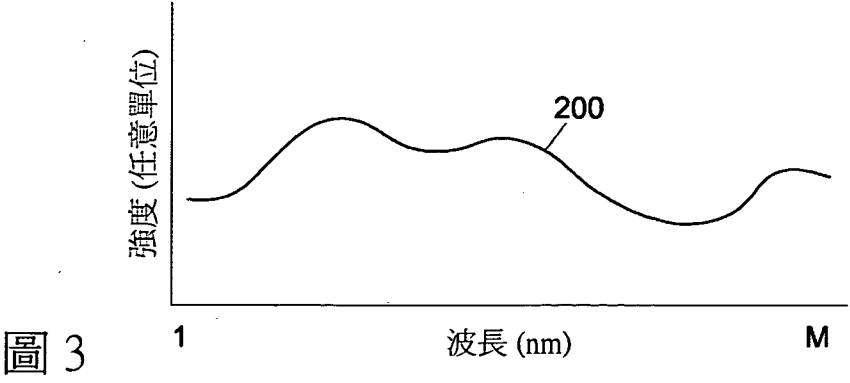


圖 3

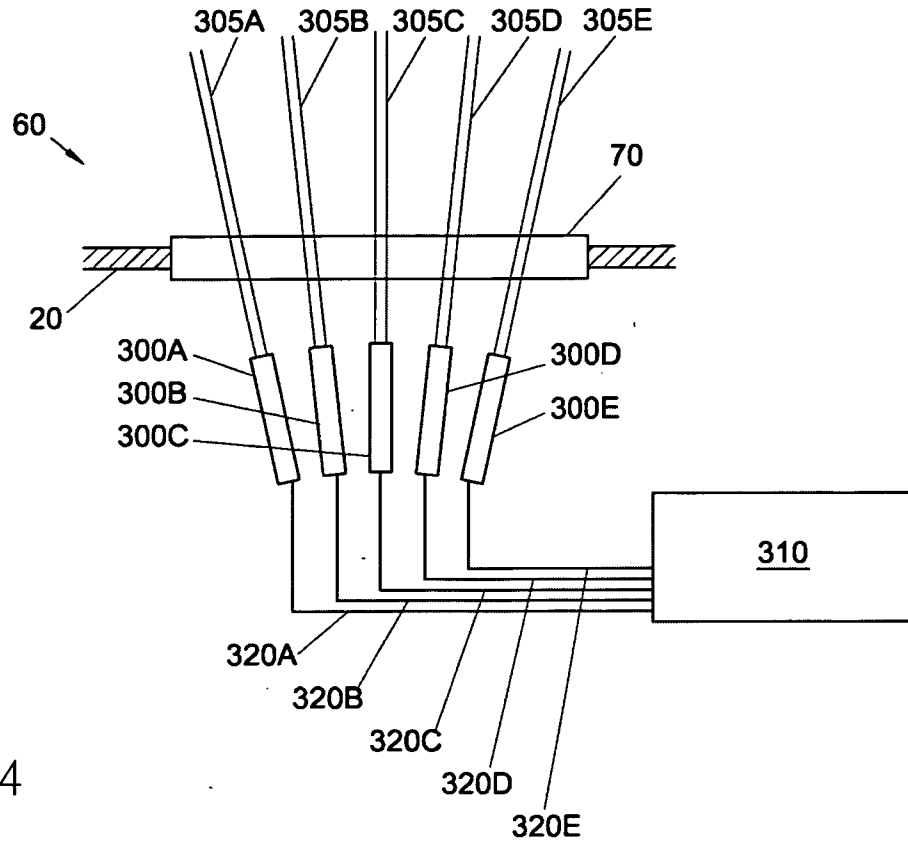


圖 4

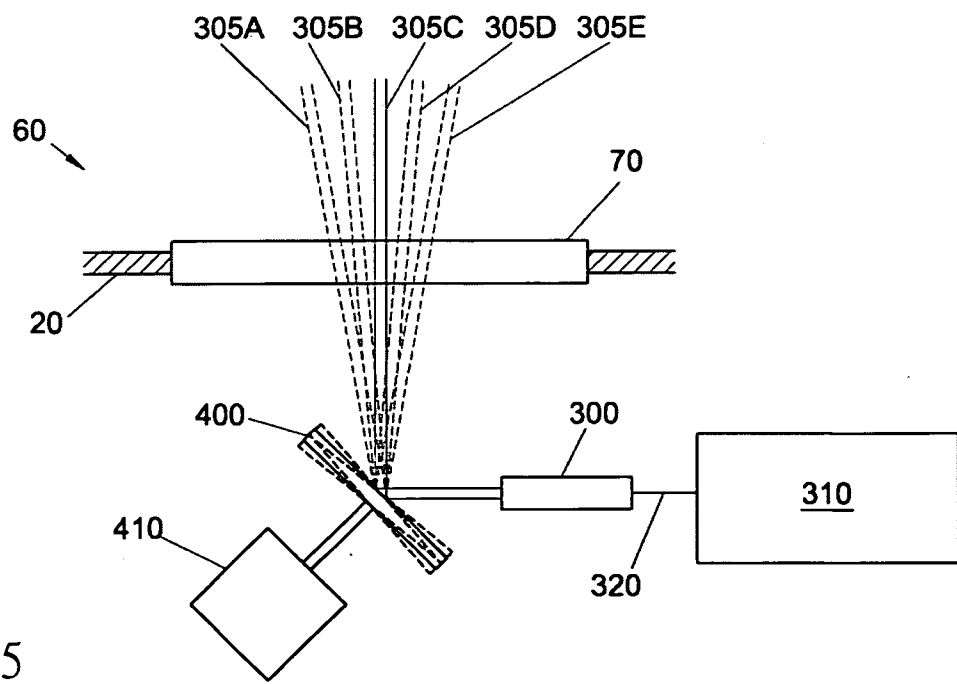


圖 5

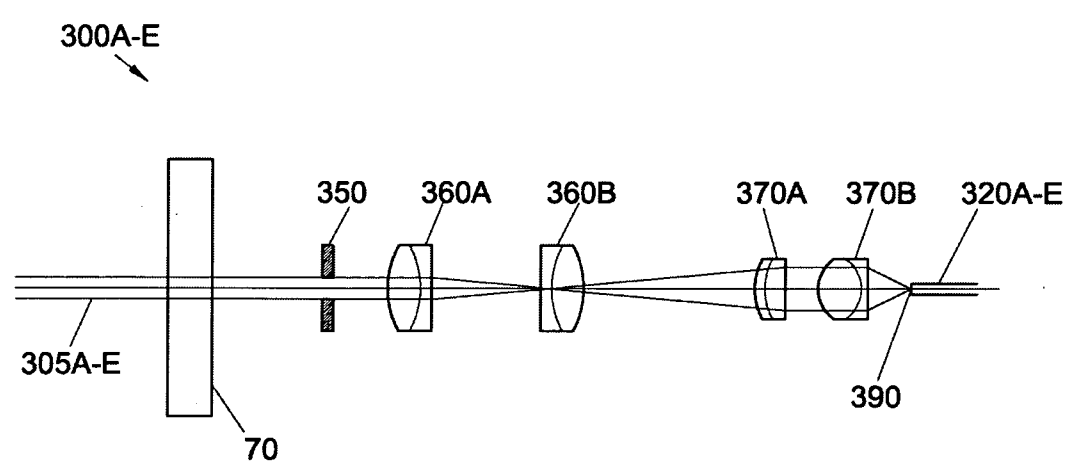


圖 6

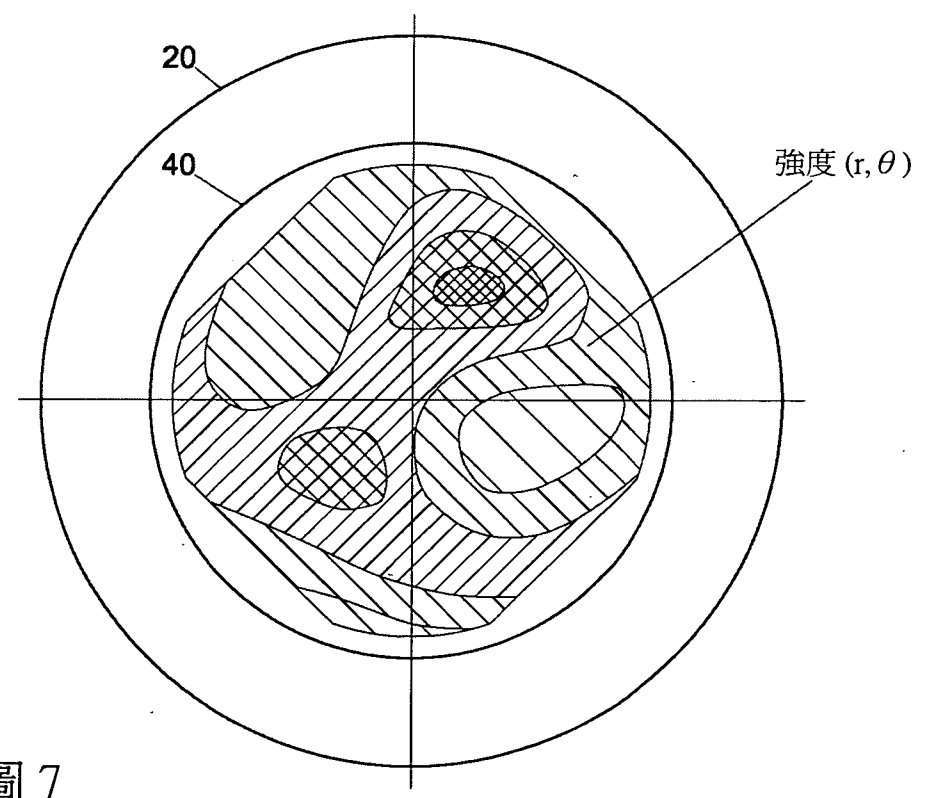


圖 7