I544292

(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 I544292 B**

(45)公告日： 中華民國 105 (2016) 年 08 月 01 日

(21)申請案號：100134807 (22)申請日： 中華民國 100 (2011) 年 09 月 27 日

(51)Int. Cl.： *G03F7/38 (2006.01)* *G03F7/26 (2006.01)*
G03F7/20 (2006.01)

(30)優先權：2010/10/01 美國 12/896,036

(71)申請人：瓦里安半導體設備公司 (美國) VARIAN SEMICONDUCTOR EQUIPMENT ASSOCIATES, INC. (US)
美國

(72)發明人：葛特 盧多維克 GODET, LUDOVIC (FR)；馬汀 派崔克M MARTIN, PATRICK M. (US)

(74)代理人：詹銘文

(56)參考文獻：

TW	200947550A	TW	201009931A
JP	2006-278006A	US	2009/0155731A1
US	2010/0081285A1	US	2010/0178770A1

審查人員：謝維賢

申請專利範圍項數：18 項 圖式數：10 共 50 頁

(54)名稱

減少光阻特徵的表面粗糙度的方法以及調整圖案化光阻特徵的粗糙度的方法

METHOD OF REDUCING SURFACE ROUGHNESS OF A RESIST FEATURE AND METHOD OF MODIFYING ROUGHNESS IN A PATTERNED RESIST FEATURE

(57)摘要

減少配置於基板上的光阻特徵的表面粗糙度的方法包含產生有電漿鞘和該電漿鞘內的離子的電漿。而在電漿鞘和電漿之間的邊界外形可通過電漿鞘調節器調整，使得面向於基板的部份邊界不平行於基板所定義的平面。於第一次曝光期間，光阻特徵曝露於擁有所欲波長的電磁輻射，而且離子穿越已調整過的邊界外形在一角度範圍內朝向光阻特徵加速。

A method of reducing surface roughness of a resist feature disposed on a substrate includes generating a plasma having a plasma sheath and ions therein. A shape of the boundary between the plasma and plasma sheath is modified using a plasma sheath modifier, so that a portion of the boundary facing the substrate is not parallel to a plane defined by the substrate. During a first exposure, the resist feature is exposed to electromagnetic radiation having a desired wavelength and the ions are accelerated across the boundary having the modified shape toward the resist features over an angular range.

指定代表圖：

符號簡單說明：

902、904、906、908、910・・・步驟

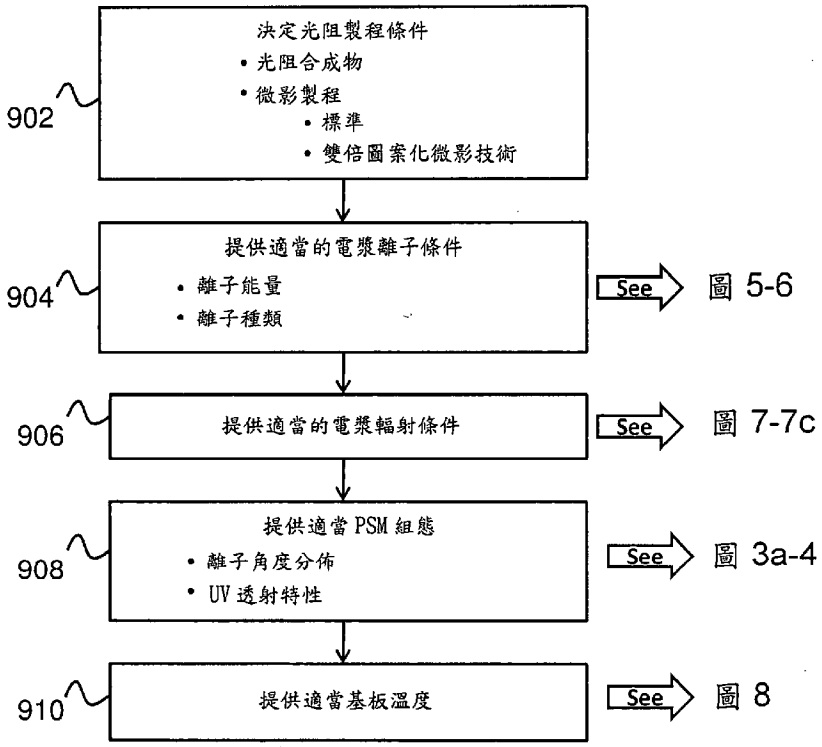

圖 9

公告本

爲第 100134807 號中文說明書無劃線修正頁

修正日期:103年6月9日
年 月 日修正劃線頁(本)

發明專利說明書

（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：100134807

※ 申請日期：100、9、27

※IPC 分類：G03F 1/38 (2006.01)
G03F 1/66 (2006.01)
G03F 1/70 (2006.01)

一、發明名稱：（中文/英文）

減少光阻特徵的表面粗糙度的方法以及調整圖案化光阻特徵的粗糙度的方法

METHOD OF REDUCING SURFACE ROUGHNESS OF A RESIST FEATURE AND METHOD OF MODIFYING ROUGHNESS IN A PATTERNED RESIST FEATURE

二、中文發明摘要：

減少配置於基板上的光阻特徵的表面粗糙度的方法包含產生有電漿鞘和該電漿鞘內的離子的電漿。而在電漿鞘和電漿之間的邊界外形可通過電漿鞘調節器調整，使得面向於基板的部份邊界不平行於基板所定義的平面。於第一次曝光期間，光阻特徵曝露於擁有所欲波長的電磁輻射，而且離子穿越已調整過的邊界外形在一角度範圍內朝向光阻特徵加速。

年 月 日修正 劃線 頁(本)

三、英文發明摘要：

A method of reducing surface roughness of a resist feature disposed on a substrate includes generating a plasma having a plasma sheath and ions therein. A shape of the boundary between the plasma and plasma sheath is modified using a plasma sheath modifier, so that a portion of the boundary facing the substrate is not parallel to a plane defined by the substrate. During a first exposure, the resist feature is exposed to electromagnetic radiation having a desired wavelength and the ions are accelerated across the boundary having the modified shape toward the resist features over an angular range.

四、指定代表圖：

（一）本案之指定代表圖：圖 9

（二）本代表圖之元件符號簡單說明：

902、904、906、908、910：步驟

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】

本發明的實施例涉及元件製造的領域。更具體地說，本發明涉及用來使基板圖案化及對基板進行以製造元件的方法、系統和結構。

【先前技術】

光學微影技術時常被使用於電子元件的製造。它是一個使基板圖案化的過程，使得電路可在基板上根據該圖案而形成。參照圖 1a-1e，該圖簡述說明光學微影的過程。一般來說，基板 112 塗布有可光致硬化、可聚合化的光阻 114(圖 1a)。之後，於基板 114 和光源之間(未顯示)放置具有所欲的開口圖案的光罩 142。從光源發出的光線 10 經由光罩 142 的開口照射著基板 112，而且經由光罩開口的光線(或是圖案的影像)投影在光阻 114 上。光阻的一部份 114a 曝光在光線 10 之下且硬化，而光阻的其他部份 114b 仍保持未硬化狀態(圖 1b)。所以，由光阻 114a 的已硬化部分形成光罩開口的圖像。

如圖 1c 所述，光阻上未硬化的部份 114b 被剝除而且對應於光罩開口圖案的 3D 光阻特徵或凸紋 114a 仍可維持在基板 112 上。之後，經過蝕刻的基板，對應於光罩開口圖案的負型圖案的凹槽 116 可在基板上形成（圖 1d)。在剩餘的光阻 114b 被移除後，圖形化的基板 112 便可形成(圖 1e)。若將金屬層沈積在凹槽上，基板 112 上便可形成具有所欲圖案的電路。

參照圖 2，顯示一個把光罩開口圖案投影於基板的傳統式光學微影系統 200。該光學微影系統 200 包含了光源 222，光學積分器 232 及聚光(焦)透鏡 234。除此之外，此光學微影系統 200 還包含了擁有所欲開口圖案的光罩 142 和投影鏡片 252。如圖所述，具有所欲波長光線從光源 222 發射至光學積分器 232 和聚光(焦)透鏡 234，光學積分器 232 和聚光(焦)透鏡 234 整體稱作照明器 230。在照明器 230 中，光線 10 被擴張，等均勻化，聚焦或經其他處理。光線 10 照射在具有所欲的開口圖案的光罩 142 以致被投影於基板 112。經過光罩 142 的開口的光線 10 可携有光罩開口圖案的信息。接著，投影鏡片 252 搜集光線 10，並將光線 10 或光罩開口圖案的影像投影到沉積在基板 112 的光阻上。於投影影像過程中，投影鏡片 10 可將影像縮小 4 倍或 5 倍。

爲了使用較小的特徵尺寸(例如，凹槽的寬度)產生電路圖案，不少改良的方式已經應用在製程中。如現有技術所知，投影出微小特徵的清晰影像的能力可能有賴於製程中所使用光線的波長。依目前而言，波長 365nm，248nm，193nm 的紫外光在使用中。

雖然光學微影是有高生產量的有效製程，但並非沒有缺點。缺點之一是線寬粗糙度（LWR）或線邊緣粗糙度（LER），如現有技術所知，線寬粗糙度（LWR）是未硬化的光阻 114b 的部分從基板被剝離後，光阻特徵寬度上的過量偏差。由 LWR 或 LER 所產生的粗糙度或偏差可能是不

利的，因爲此偏差可能在蝕刻期間轉移至凹槽，最終轉移至電路。隨著光阻凸紋或凹槽的特徵尺寸逐漸遞減，偏差變得越來越大。已在 32 nm 的元件上觀察到 4 nm 或更大的偏差。因爲包含線粗糙效應(例如 LWR 或 LER)的圖案化光阻特徵的幾何形狀，在對下層進行圖案化期間，會從光阻層轉換到下方的永久層，在尺寸低於 100 nm 時，LWR 和 LER 會限制形成可接受品質的元件的能力。如此的偏差會造成非均勻的電路，最終造成元件的衰退或故障。除此之外，依賴於設計的準則，元件效能還會被短程、中程或長程範圍粗糙度其中之一所衝擊影響。

已提出好幾個方法，嘗試去處理 LWR 和 LER 的效應。其中一個例子，乾式化學蝕刻製程具有移除光阻的能力，但一般都會遭受到圖案依賴性負載效應的影響，當相對於隔離特徵時，在密集圖案化的區域有著不同的移除方式。如此的乾式化學蝕刻製程也可能會在在光阻圖案裏帶來不想要的缺陷，而且可能造成良率的損失。除此之外，爲了維持對下層將被圖案化的特徵的關鍵尺寸（CD）的控制，重要的是，任何用來處理光阻的 LWR／LER 效應的製程需留下原有的光阻特徵，如光阻的高度，寬度和外觀，完整度。

另一方式是藉由曝光粗糙圖案於紫外線燈，使用深紫外光(DUV)硬化，其中，透過輻射曝光的加熱來平坦化粗糙線段。這方式在線段轉角處會出現造成圖案後退的不想要的負效應，使得線段變形，造成元件無用。

爲了處理光阻的 UV 微影製程的繞射極限，即線段或其他圖案的 CD 特徵尺寸低於照明輻射的繞射極限，於是發展出雙倍圖案化微影技術（DPL）。已經發展出很多種方式，嘗試去保證 DPL 的成功率，包括了自我對準雙倍圖案化微影技術及化學式冷凍微影技術。然而，從成本和／或良率的觀點，這些製程中每一個各有其優缺點。

如上所述，對於需要很小的特徵尺寸的技術（如次 100 nm CD 的元件）來說，有一個改善光阻微影製程的需求。

【發明內容】

本發明的實施例是針對改善基板的圖案化的方法與系統，特別的是，藉由改善被用來圖案化下層基板的光阻特徵的粗糙度，來改善基板的圖案化。在一示範實施例中，減少配置在基板上光阻特徵的表面粗糙度的方法，包括了產生有電漿鞘和在該電漿鞘內的離子的電漿。利用電漿鞘調整器調整位於電漿和電漿鞘之間的邊界形狀，使得面向基板的邊界的一部份不平行於基板所定義的平面。於第一次曝光期間，光阻特徵暴露於擁有所欲波長的電磁輻射，且離子穿越已調整過外形的邊界，在一角度範圍內朝向光阻特徵加速。

在另一實施例中，提供一種方法以調整基板上的圖案化光阻特徵的粗糙度，該圖案化光阻特徵具有第一粗糙度。此方法包含了產生有電漿鞘和位於該電漿鞘內離子的電漿；提供電漿鞘調節器，其定義開口，且可調整在電漿鞘和電漿之間的邊界的外形；以及在第一次的曝光期間加

速著離子，使其穿越已調整外形過的邊界，朝圖案化光阻特徵前進。此方法還包含在至少第一次的曝光的部分期間，用電漿發射而出於第一波長範圍內的電磁輻射來曝光圖案化光阻特徵，其中圖案化光阻特徵曝光於離子及擁有第一波長範圍內的電磁輻射後，表現出比第一粗糙度還少的第二粗糙度。

在另一實施例中，用來處理安置在基板上的光阻特徵的系統包含電漿源，用來產生電漿，該電漿有電漿鞘；和放置在電漿和基板間的電漿鞘調節器。電漿鞘調節器用來控制定義在電漿和電漿鞘之間的邊界的外形，以致邊界外形的一部份不平行於由在電漿前方的基板定義的平面，且用來傳送所欲特定波長範圍的電磁輻射，該電磁輻射是從電漿發射而出。

在更進一步的實施例中，減少光阻特徵的粗糙度的方法包括產生含有電漿鞘的電漿；利用電漿鞘調節器調節定義在電漿和電漿鞘之間的邊界的外形，使得邊界的外形的一部份不平行於由面向電漿的基板定義的平面；且於第一次曝光期間維持基板溫度大約從 30 度 c 至 300 度 c，及於第一次曝光期間在一個角度範圍內，使自電漿而來的離子衝撞光阻特徵，以降低光阻特徵的粗糙度。

【實施方式】

本發明將參照已完成的圖式作更完整的描述，其中呈現本發明較佳的實施例。然本發明能在許多不同形式中實施且不受限於後面所述的有限實施例。而這些實施例用來

使本揭露能徹底及完全，且完全地向本領域技術人員傳達本發明的範圍。在圖中的各處，相同的編號數字參照至相同的元件。

爲解決上述方法的缺陷，提出了用來圖案化基板的新穎且具進步性的技術和系統。尤其，本揭露集中在用來改善光阻特徵品質的離子植入製程技術，如改良光阻特徵的 LWR 和 LER。在此揭露的製程能與形成窄特徵的製程相結合，包含了集合成爲間距很小的陣列的特徵，例如，小於大約 250 nm 的間距。這樣的製程包括傳統 DUV 光學微影、雙倍圖案化光學微影、自我對準雙倍圖案化光學微影，而且還有其它光學微影製程。然而，本領域技術人員將認知到在此揭露的技術並不受限於與任何特別的光學微影或光阻特徵尺寸相結合的使用。

在一些發明的實施例中使用電漿浸潤（plasma immersion）植入製程來處理尺寸非常小的光阻特徵。揭露了包含處理三維結構製程技術的多個實施例。爲達清楚與簡化的目的，實施例中描述了處理面向多個角度的光阻的製程。然而，本領域技術人員將認知到本揭露並不受限。該結構能是表面朝向任何不同角度的結構。

實施例亦描述了使用電漿類基板處理系統的技術。然而，本領域技術人員將認知到其他種類的基板處理系統(次原子類、原子類或分子粒子類)，包含了電漿濺射和射束線離子植入系統，都在本發明揭露的範圍內。

參照圖 3a，圖示出根據本發明其中一實施例用來處理

3D 結構的基板處理系統 300。圖 3b 則說明使用粒子處理光阻的角度分布。圖式並未按照比例繪示。

如圖 3a 所示，系統 300 包括製程反應室 302，該反應室放置著基板 112 和支撐基板 112 的平臺 304。在本揭露中，該基板 112 可爲金屬、半導體、絕緣體材料類基板。在本揭露中，圖案化光阻可以配置在基板上。圖案化光阻可以是未硬化光阻部分剝除後，保留在基板上的光阻的硬化部份。

系統300亦包括用來產生電漿306的電漿源(未顯示出來)，該電漿 306 包含於製程反應室 302。而電漿源可爲原生（*in situ*）或遠端感應式耦合電漿源、電容式耦合電漿源、螺旋波源、微波波源，或其他任何型態的電漿源。本領域的技術人員將認知到在某些例子中，平臺 304 亦可作爲電漿源。

一或多個電漿鞘調節器 312 放置在電漿 306 和基板 112 之間。在本實施例中，電漿鞘 312 包含了彼此間隔距離"y"的一對調節器部分 312a，312b。在另一實施例中，調節器 312 可含有單一調節器部分。而在其他實施例中，調節器 312 包含有三或更多個調節器，彼此間隔開，而定義一間隙。

電漿鞘調節器 312 能調節電漿鞘的電場。在某些實施例中，電漿鞘 312 能夠正向或負向的充電。電漿鞘調節器 312 可由電性絕緣（例如，石英）材料，導電（例如，金屬）材料或綜合兩者所製造。另一方面，電漿鞘調節器 312

亦可使用半導體材料(例如，矽)來製造。若系統 300 含有超過一個的調節器部分，該部分可由相同或不同的材料所製作。例如，系統 300 可包括了含有兩個調節器部份 312a 和 312b 的電漿鞘調節器 312。而調節器部份 312a 和 312b 可由相同的材料或不同的材料製作。

若電漿鞘調節器 312 包括了二個或更多個部份，該部分會放置在相同或不同的水平面。例如，處理系統 300 內的電漿鞘調節器 312 可包括了 2 個調節器部分 312a 和 312b，且該些部份放置在相同的平面使得位於基板 112 和每一個調節器部分 312a 的垂直間隔"z"都是一樣的。在另一實施例中，調節器 312 可包括了 2 個調節器部分 312a 和 312b，且每一個部份 312a 及 312b 離基板 112 有不同的垂直間隔 "z"。對使用電漿鞘調節器的製程系統的額外描述可在以下共同審查案中找到：美國專利申請號 12/417,929，申請日 2009 年 4 月 3 號，已獲准美國專利(專利號 7,767,967)；美國專利申請號 12/644,103，申請日 2009 年 12 月 22 號；及美國專利申請號 12/848,354，申請日 2010 年 8 月 2 號，在此提及的每一案均以引用的方式併入本說明書。

在操作過程中，原生或遠端產生的電漿包含於製程反應室 302。而電漿 306 可含有多個片段，包含電子、質子、原子或分子離子、中子以及所要物種的自由基。在本揭露中，電漿片段可用來在基板 112 上摻雜、蝕刻或沉積材料。在電漿 306 裏的物種並不受限於 1 或多個特定的物種。該

物種可包含 1 或多個元素表裏族 I 和 3A 到 8A 的元素。包含於電漿 306 裏的物種例子可包括氫(H)、氦(He)、和其他稀有氣體，以及碳(C)、氧(O)、氮(N)、砷(As)、硼(B)、磷(P)、銻、鎵(Ga)、銦(In)、碳硼烷（$C_2B_{10}H_{12}$）或其他分子化合物。如圖 3a 所述，電漿 306 亦包含在周圍的電漿鞘 308。在本實施例中，電漿鞘 308 可包含正電荷離子 310。

如圖所描述，電漿鞘 308 爲電漿 306 的邊界所表現出來。然而，應理解，鞘 308 可從電漿 306 的邊緣延伸一段距離，至電漿 306 周圍的物體表面，例如，電漿鞘 308 可延伸至基板 112 的表面。

當基板 112 被直流電壓(DC)或射頻電源(RF supply)(未顯示於圖上)所偏壓，電漿鞘 308 內或電漿 306 內的離子 310 會直接朝向基板 112 移動。不論直流電壓（DC）或是射頻電源（RF supply）的偏壓，施加於基板 112 的偏壓訊號可以是連續的或是脈波（pulse）。

電漿鞘調節器 312 可調整電漿鞘 308 的外形，以控制離子 310 的入射角分布。例如，電漿鞘調節器 312 可調整電漿鞘 242 內的電場及調整電漿鞘 308 的外形。在本實施例中，電漿鞘調節器 312 至少可以將鞘 308 的一部分調整爲相對於電漿 306 的主體爲凹形的鞘 308b（已調整的鞘 308b)，或相對於電漿 306 的主體爲圓頂形（凸形）。與基板 112 比較起來，已調整過的鞘 308b 外形並不平行於基板 112 所定義的平面。當基板 112 受到偏壓，被基板 112 吸引過去的離子 310，以大範圍的入射角穿越過調節器 312a

和 312b 之間的間隙 “y”。在傳統的電漿類處理系統中，最接近基板的電漿鞘平行於基板。當基板受偏壓後，離子在實質上垂直於電漿鞘的路徑上移動著，於是垂直於基板。因此，離子在傳統電漿處理系統的入射角分布範圍爲-5° 至+5°，且基本上會接近於 0 度。然而，在本實施例中，離子 310 的入射角可用已調節過的鞘 308b 來調整。如圖 3a 所述，相較於基板而言，已調節過的鞘 308b 是多個角度的。基此，垂直於已調節過的鞘 308b 移動的離子 310 可在多重角度下移動。自已調節過的鞘 308b 的不同部分朝向基板 112 移動的離子 310 可具有不同的入射角，所以離子 310 有大範圍的入射角。如圖 3b 所述，離子 310 的入射角範圍大約在於+60° 至-60° 之間，以 0 度爲中心。在一些實施例中，離子 310 的入射角額外地被電漿鞘調節器 312 產生的電場所調整。

有賴於一些因素（但不受限於此），包括電漿鞘調節器 312 的組態和特質，離子 310 的入射角可額外地被調整。這些因素的例子包括調節器部分 312a 和 312b 之間的水平間隔(Y)，調節器 312 和基板 112 之間垂直間隔(Z)，基板 112 和每一個調節器部分 312b 和 312b（未顯示）的垂直間隔(z)，和調節器 312 的電性特質。亦可調整其它電漿製程參數來調整離子 310 的入射角且／或入射角分布。其它額外的描述可以在共同待審的美國專利申請案（申請號 12/418,120，12/417929，12/644103，和 12/848,354）中找到，在此提及的每一個申請案皆以引用方式併入本文。

藉由調節電漿鞘 312，表面朝向不同角度的 3 維結構可被共形地或等向地處理。如下所載，已調節過的電漿鞘 312 能同時等向地處理 3D 結構（例如，3D 光阻）的多重表面。

參照圖 4，說明瞭根據本發明的一實施例處理 3D 結構的技術。在本實施例中，使用該技術來減少在 3D 光阻凸紋 114a 內的 LER 和 LWR 。如上所述，在光阻的未硬化部分被移除後，LER 和 LWR 發生於在光學微影期間產生的光阻凸紋內。在本實施例中，光阻凸紋 114a 內的 LER 和 LWR 可藉由使用上表面的電漿鞘調節器 312，對凸紋 114a 的不同表面執行電漿摻雜（plasma doping，PLAD）或電漿浸潤離子植入（plasma immersion ion implantation，PIII）處理來降低。本領域的技術人員將認知到圖式並不一定按比例繪示。

如圖 4 所示，有著側表面 114a-1 和上表面 114a-2 的 3D 光阻凸紋 114a 能沉積在基板 112 上。基板 112 和光阻凸紋 114a 放置在包含電漿鞘調節器 312 的電漿處理系統中，電漿放置在靠近基板 112 的附近。之後，在電漿內的離子 310 可直接穿越電漿鞘調節器部份 312a 和 312b 之間的間隙，朝向光阻凸紋 114a 的表面前進。如圖所述，離子 310 得以多個入射角度前進。

在本實施例中，離子 310 可植入進光阻凸紋 114a 的上表面 114a-1 和側表面 114a-2。雖然現在各式各樣的離子物種得植入，但在本發明中可植入氦或氬。即使光阻曝露

於離子的期間能有很大的範圍，但其曝光時間可以在 1 秒至好幾分鐘內變動著。

執行一個實驗，研究根據本發明而放置的電漿處理系統（PSM）對 LER 的效應。如下所使用方式，所謂"PSM 系統"或"PSM 電漿系統"是指一種電漿處理系統，利用電漿鞘調節器去達成朝向鄰近於一部份電漿的基板的寬範圍離子角度分布。與離子入射角度結合使用的用詞，"寬"、"寬範圍"、"寬角度範圍"，是指總範圍達到 5 度或更大的角度組合。如圖 3b 所示，電漿鞘調節器用來提供離子劑量的角度範圍很寬的曝光。再次參照圖 4，一些標稱約 40 nm CD 的光阻線曝光於 3KeV He 電漿。藉由以 3-4 kV 的能量植入 He 離子 310 進入光阻凸紋 114a 的上表面 114a-2 和側表面 114a-1，LER 從 5.6 nm 改善至 3.2 nm，且可觀察到 LER 和 LWR 有 40%的改善。藉由電漿鞘調節器 312 植入 He 離子，光阻凸紋 114a 的多個表面 114a-2 和 114a-1 會等向地且同時地改善。

除此之外，只觀察到光阻凸紋 114a 發生輕微的關鍵尺寸收縮。特別地是，已量測過的 CD 從製程開始前的 39.1 nm 減少到製程結束後的 37.6 nm，顯示出用氦離子 310 以不同入射角度植入光阻凸紋 114a 後只會產生 4%的收縮。而且亦觀察到輕微的皺化或濺射。因爲 PLAD（或稱 PIII）是低能量製程，離子 310 植入的深度會很低。因此，光阻凸紋 114a 由離子植入形成的任何改變，例如光阻收縮且／或濺射都是輕微的。

進一步言，亦觀測到光阻凸紋 114a 的多個表面同時等向地硬化。若利用額外的光學微影製程來達到雙倍圖案化微影（DPL）或自我對準雙倍圖案化微影（SADPL）製程，光阻凸紋 114a 的同時等向硬化會是一個優點。在 DPL 或 SADPL 下，執行第二次微影製程，在 2 個第一次光學微影產生的原始光阻凸紋之間產生額外的光阻凸紋。形成額外的光阻凸紋會降低光阻凸紋之間的距離且會造成具有更小寬度的凹槽的基板 112。第二次微影製程期間可能會執行化學處理。執行時，於第一次微影製程中形成的光阻凸紋可能會受到不利的影響。在本實施例中，等向硬化的光阻凸紋能抵擋得住第二次微影製程中的化學式處理過程。基此，利用額外的光學微影製程來達成 DPL 或 SADPL 是有可能的。

如圖 4 所示，根據本發明的其他實施例，選擇離子的能量和形態來最佳化遭遇多角度離子轟擊的圖案化光阻特徵的 LER 或 LWR。圖 5 和圖 6 描述離子能量和型態在光阻特徵粗糙度上的效應。圖 5 描述光阻受到離子曝光前後的 LER，該離子是由使用傳統式電漿配置的電漿系統所取出。而且根據本發明使用電漿鞘調節器。於曝光之前，觀察到的 LER 約 4.4 nm。針對一系列的電漿，包括矽、氬和氦電漿，呈現曝露於電漿對所得的 LER 的效果。圖 5 亦描述了利用同樣物種(氬或矽)但改變離子能量對 LER 的效應。在圖 5 所示的所有電漿條件都觀察到 LER 顯著的減少。按所謂“顯著的”，是相對於粗糙的參數（如 LER 和

LWR）而言，且一般指的是所給予的數值有約 5%的降低。對 2 keV 和 8 keV 的矽離子而言，利用傳統電漿組態，LER 在電漿曝光後會分別地降低到 3.9 nm 和 4.0 nm，而對 2 keV 和 8 keV 的氬離子，LER 會分別地降低到 3.8 nm 和 3.7 nm。然而，利用本發明的 PSM 系統，在 4 keV 的氬電漿和 3 keV 的氦電漿曝光下 LER 能有更大的降低，LER 分別地降低到 2.5 nm 和 2.3 nm，相當於各自有 43%和 48%的降低。

如圖 6 所示，除了能改善 LER 和 LWR，本發明亦能改善低頻和中頻的粗糙度。對於改善元件效能，低頻和中頻的改善可說是特別有用，因爲兩者都會影響到場效電晶體的通道長度 L_{eff}。衆所周知地，圖案化後基板的實體閘極尺寸的變化，直接地相關於用來圖案化下層閘極結構的光阻特徵的 LWR。對於閘極和主動區域內之間的重疊相對較小的元件，中頻粗糙度的成份能主控元件的效能，而對於閘極和主動區之間的重疊相對較大的元件，低頻和中頻粗糙度成份兩者皆會影響到元件的效能。

自上揭所述以觀，圖案化光阻特徵的最佳化線粗糙度可能取決於用圖案化光阻形成的下層基板中待製作的元件的本質。因此，在本發明的實施例中，一群參數需要經調整以在所欲粗糙度特徵上達到最佳化減少。這些參數可能包括離子型態、離子能量、光阻型態、光阻的特徵尺寸和與電漿鞘調節器有關的幾何特徵。再一次參照圖 3a，前述的特徵包含了水平間隙 Y，垂直間隙 Z 和其他因素，這些

更細節的信息都在共同待審的美國專利案（申請號 12/418120，12/417929 和 12/644103）中揭露。

根據本發明中進一步的實施例，圖案化光阻特徵除了得到由電漿鞘調節器 312 產生的寬角度範圍的離子劑量以外，還經歷電磁輻射的曝光。按此所謂"電磁輻射"，除非另有說明，否則是指紫外線至可見紅外線(IR)頻譜範圍。發明人認知到離子撞擊與電磁輻射的結合，可以附加的或協同的方式移除光阻特徵的粗糙度。

在一實施例中，用來對一組圖案化光阻特徵提供離子劑量的電漿也被用來作爲 UV 輻射源，提供輻射給相同的光阻特徵。除了發射出可見光輻射，在電漿內游離化的氣體基本上會發射出在紫外線頻譜範圍內的高能輻射。已經知道的是，從電漿（如本發明的實施例所提供者）發射而出的輻射，是當激發物種從激發態返回低階能量區而釋放能量過程的特徵。基本上在電漿裏有許多這種釋放能量過程，包括惰性氣體電漿，例如氬或氦電漿。這些產生紅外線(IR)，可見光或 UV 輻射線的過程可使得適當能量的光子去衝撞光阻特徵且會造成光阻的改變。使用已知的微影技術製程的 UV 輻射來曝光，造成之前未曝光過的正光阻經歷化學變化，可使已曝光部份在顯影液中易於溶解。在本發明中，在使用 IR、可見光或紫外線輻射曝光的圖案化光阻特徵（意即原始光阻在被用來形成圖案化光阻特徵期間的微影製程期間未曝光的部份，其在顯影過後仍存在於基板上），會產生化性或物性上的改變。雖然圖案化光阻特

徵在微影製程後可能經過烘烤，然而曝露於電磁波輻射可能已足以軟化圖案化光阻，或以其他方式使圖案化光阻更易受來自於電漿的離子衝擊的影響。在這種方式下，離子碰撞可被用來結合電磁輻射來改善圖案化光阻特徵的粗糙度。

在以下的討論，爲達說明的目的，所描述的本發明的實施例集中於使用來自電漿的紫外線輻射來改良圖案化光阻特徵。在曝露於來自 PSM 電漿的寬角度離子流的期間，圖案化光阻受 UV 光子的原生曝光，可提高曝露於寬角度離子流所造成的光阻粗糙度效應。依此方式，LER 和 LWR 的降低會比不使用 UV 輻射劑量有效率。然而本發明亦涵蓋了使用寬角度離子流結合其他波長的電磁輻射的方法與系統，例如波長在可見光-IR 頻譜範圍內的光線。因此，本發明涵蓋了對圖案化光阻使用 UV－可見光－IR 此光譜波長範圍內的輻射方法與系統。

在本發明的實施例中，電漿特質和／或電漿系統的組態能調整以同時提供寬角度範圍的離子劑量和 UV 輻射劑量兩者，皆能有效加强由離子對光阻曝光過程所造成的粗糙度降低。

在一示範實施例過程中，光阻系統、電漿氣體組成及運作條件經設定在 PSM 電漿系統內使用，以致形成於其中的電漿以一系列頻率提供 UV 輻射，使所選的光阻系統產生變化。而電漿氣體組成可以基於單一氣體，如氬、氦，或可以包含一些氣體的混合，如惰性氣體的混合（氬/氦，

氬/氖，諸如此類），氟碳化合物/惰性氣體混合物，含氧的氣體組成，或其他氣體組成。

光阻系統可以是習知光阻，例如以 193 nm 或 248 nm 光學微影系統使用的光阻。在一示範性實施例方法中，氣體組成及電漿運作條件可被選定來產生 100 nm 至 300 nm 範圍的 UV 輻射。該 UV 波長的範圍於改變光阻系統內的化學鍵是有效的，特別是在光阻的表面區域。例如， 氬/氟碳化合物電漿在放電過程中會產生 UV 輻射。在一示範性實施例中，UV 光阻系統，如所知的甲基丙烯酸酯類系統可用來形成圖案化光阻系統。這些高分子化合物的型態可以建構爲含有氧的懸掛群，其在曝露於適當波長的ＵＶ輻射之後易移除。因此，這會造成斷鏈或影響高分子化合物結構及/或合成物的其他反應。

藉著利用自PSM電漿產生的UV輻射來改變圖案化光阻的高分子化合物結構及/或合成物，從 PSM 電漿抽取而出的寬角度的離子流可更有效地減少光阻特徵的粗糙度。例如，至少光阻特徵的一部份可藉由 UV 輻射的曝光造成化學性/物理性的改變來軟化。該軟化有助於由離子撞擊光阻特徵所引起的平滑製程。

然而，過量的 UV 輻射會造成不想要的光阻特徵分解或光阻的過量移除，導致 CD 的過度損失或改善表面粗糙度的失敗。因此，本發明的實施例是針對適當劑量的 UV 輻射，其可以附加式或協同式與自電漿抽取而來離子一起作用，改善圖案化光阻特徵上的 LWR 及 LER。

圖 7 描述了根據發明的其中一組態而安置的 PSM 電漿系統 700 的細節。系統 700 包括電漿 706，離子 710 及 UV 光子 714 從電漿 706 射到基板 112。系統 700 可包括了反應室牆及基板支撐裝置(皆未顯示於圖中)。含有部分 712a 及部分 712b 的 PSM 712 產生了電漿鞘邊界 708a，以在部分 712b 和部分 712a 之間的開口區域上形成凹形區域。如圖 3a—6 的探討，離子 710 在所示寬角度範圍下撞擊基板 112，能夠改善光阻特徵的 LER 及 LWR。此外，由電漿 706 發射而出 UV 光子 714 的一部份能用在基板 710。例如，當電漿 706 被激發時，包括 IR、可見光和 UV 光子的電磁輻射在一寬角度範圍發射出來。爲了簡便，只有顯示出一些垂直朝向基板 112 的光子。

根據本發明及如下的詳細描述，電漿 706 和電漿鞘調節器 712 作爲基板 112 的 UV 輻射源。藉由選擇電漿氣體組成、PSM 材料和 PSM 712 的幾何結構，UV 輻射對基板 112 的曝光是能夠調整的。

圖 7a 描述了 PSM 716 傳遞 UV 光子 714 的系統組態 702，自電漿 706 發射而出的光子衝撞基板 112 的整個表面。PSM 716 可包含了在所欲的頻率範圍內對 UV 輻射具有高度透射性的物種。如上所述，例如基板 112 上圖案化光阻特徵可包含對波長在 180 nm 至 250 nm 範圍內的 UV 輻射敏感的光阻。換言之，當受到波長在 180 nm 至 250 nm 範圍的輻射，光阻可易於進行化學性/物理性變化。因此，如圖 7a 所示，爲傳遞 UV 光子 714 到整個基板 112 平面，

PSM 716 可含有對波長在 180 nm 至 250 nm 範圍內的輻射有高度透射性的物種。例如，PSM 716 可含有在約 180 nm 以下有截止頻率（cutoff frequency）的熔融石英（fused silica）材料。另一方面，爲了與對波長 130 nm 至 150 nm 範圍內的輻射敏感的光阻一起使用，PSM 716 可含有對波長低至 130 nm 的輻射具高度透射性的氟化鈣（CaF_2）物種。PSM 716 可含有多於一種的材料，包括含不同的絕緣體的堆疊層，其中 PSM 的主體部分的一側或多側上塗布有薄膜。如鋁氧化物、矽氧化物，寬能帶隙半導體的材料和其他材料，能用來形成 PSM 716 的一部份。

利用能傳遞 UV 輻射的 PSM 716，當電漿 706 存在時，這實施例促使基板 112 同時曝露於 UV 輻射和離子衝撞。例如，PSM 716 可設置一個機構(未顯示出來)，在 PSM 716 和基板 112 之間提供相對橫向平移運動。此機構於由 L 所定義的+/-方向的整個基板上可啓動來移動 PSM 716 的開口，基於此機構，於掃描期間能使全部基板 112 曝露於離子 710。顯然地，在一個掃描或一系列掃描期間的任一個時間點，基板 112 只有其由橫向尺寸 w 定義的一部分曝露於離子 710，而整個基板 112 可以在整個掃描期間曝露於 UV 輻射 714。因此，圖 7a 的組態對於特定光阻系統來說(亦即，相對於產生所欲的化性或物性變化以降低 LWR 或 LER 的離子流，需要更大量的 UV 流的光阻系統）是有用的。

圖 7b 描述 PSM 718 阻擋 UV 光子 714 的示範性系統

組態 704，自電漿 706 發射出來的 UV 光子被阻擋下來以免衝擊到基板 112，只有在部分 718a 和 718b 之間所形成的開口的下方區域除外。PSM 718 含有任何可阻擋住 UV 光子 714 的材料。若在此組態的任何時間點應用了掃描機構，接收到離子流的基板 112 的區域(如區域 w 所示)會相當於或略大於接收 UV 光子的區域(見區域 y)。因此，圖 7a 的組態對於特定光阻系統來說（亦即，相對於產生所欲的化性或物性變化的離子流，需要少量的 UV 流（與大角度範圍的離子流一起作用以降低 LWR 或 LER）的光阻系統）是有用的。

圖 7c 描述 PSM 720 部分地阻擋 UV 光子 714 的系統組態 705，自電漿 706 發射出來的 UV 光子能被 PSM 720 選擇性（根據光子波長）透射。例如，PSM 720 能選擇性透射在第一 UV 範圍內的輻射，而在第二 UV 範圍內能阻擋輻射。這種選擇性可藉由習知的用於製作 PSM 720 的材料來達成。衆所周知，添加摻質至氧化物，如基於二氧化矽的物種，能改變二氧化矽在 UV 範圍內的透射率(transmissivity)。然而，PSM 720 可包含了只能透射 UV 光譜的一部分的 UV 輻射的主體物種。另一方面，PSM 720 可包含層結構，其作爲濾材，僅使具有特定波長範圍或 UV 波長範圍的輻射能通過。例如，PSM 720 能夠使得兩個不同波長範圍的輻射通過，且這兩個不同波長範圍的輻射由阻擋波長範圍所分離（亦即此波長範圍內的輻射不會通過 PSM 720）。這樣的濾材可包括多重氧化層，半導體和氧化

層及其他組合。例如，多層結構可含有多個厚度相當的層或含有一個主體層，且在主體層的一個或多個表面上塗布薄膜。因此，在圖 7c 的組態中，於任一時間點，就區域"y"來看，從電漿 706 發出的所有 UV 光子(由光子 714a、714b 表示）都可以到達基板 112，而就較大的區域 L 來看，只有波長未被過濾的光子 714b 可以穿過 PSM 720 到達基板 112。

因此，圖 7c 的 PSM 組態對於特定光阻系統而言是有用的，即在該光阻系統中，特定的波長範圍（714b）對離子 710 降低 LWR 的效應有所幫助，但其他波長範圍(714a)對於降低 LWR 並無幫助且/或對 LWR 或其他光阻性質(例如承受進一步微影製程的能力（光阻"硬度"））有不利效果。

在本發明更進一步的實施例裏，當圖案化光阻結構曝光於使用 PSM 產生的寬角度離子流，基板溫度可被調整，如圖 3a，及圖 7－7c 所述的結構。圖 8 提供了光阻特徵在不同的基板溫度下遭受到 4 kV 氬離子的撞擊實驗量測結果，利用根據本發明的結構使用 PSM 的電漿系統。從室溫增加基板溫度到 75 度 c，可降低由氬離子處理所產生的 CD 損失數量，而且實質上會增加 LWR 的改善。並可察知基板溫度的大量上升會對 LWR/LER 產生更進一步的改善。然而，基板溫度可以上升的程度受限於升高溫度時分解、軟化、融解過程的開始點。

一般來說，上述所提及的示範性系統、方法、合成物，

可以任何組合形式使用，來改善粗糙度結果，如在 LWR/LER 的減少，在高頻、低頻、中頻粗糙度變異的減少，及類似的圖案化光阻特徵。

根據本發明的實施例，圖 9 提供了步驟摘要，其說明涉及減少圖案化光阻特徵的粗糙度的方法的示範性步驟。對有些步驟而言，提供了標題式選擇準則，此可能包含了該方法的示範性子步驟。在步驟 902 中，決定光阻製程的條件。例如，製程條件可能涉及被用來形成圖案化光阻特徵的光阻型態。例如，這是標準工業用光阻或是發展來特定應用的光阻。此光阻製程條件亦涉及用來產生圖案化光阻特徵的微影製程的型態。例如，製程爲標準微影製程或涉及雙倍圖案化製程，此需要更堅固的光阻以在本發明使用的電漿處理之後承受附加的微影製程步驟。

在步驟 904 提供適當的電漿離子的條件。按此所謂”電漿離子條件”，是指用來處理圖案化光阻的電漿的參數，包含用在基板的離子能量和形態。如圖 5、圖 6 所示，這些參數對 LWR/LER 的降低及在短和中等長度的粗糙度有強烈的影響。電漿離子條件可提供給控制系統，在電漿浸潤植入系統裏操作 PSM 電漿，以在具有圖案化光阻層的基板放入系統中時啓動電漿。

適當的電漿離子條件亦包含關於適當離子劑量的信息。此劑量信息可取決於設計準則（例如，標的 LWR）和製程參數（例如，更一步的對圖案化光阻執行的製程步驟）。例如，標的元件設計可能需要擁有標的 LWR 及／或

低頻粗糙度的光阻特徵，因此對用來製作光阻特徵的第一次微影製程有所要求。第一次微影製程可以是待執行第二次微影製程的雙倍圖案化製程流程的一部份。對於給定的離子能量和角度分布而言，可以知道，或可以透過實驗決定的是，在第一微影製程之後，第一離子劑量可以有效導致最大的 LWR 下降量，而再更高的劑量已不會顯著影響粗糙度。更一步的可得知或從經驗中獲知，對於硬化圖案化光阻而言，比第一次劑量還多的第二次劑量會比第一次劑量來得更有效果。因此，將圖案化光阻曝露於第二離子劑量，可以使光阻在經歷第二次微影製程以後，有較少的 CD 損失或減少其他有害效果。所以，適當的離子劑量會是以下這種第二離子劑量，該劑量可達到所需要的 LWR 和所需的光阻硬化，以形成爲第二次微影製程作準備的光阻。

在另一例子中，若第一離子劑量可使 LWR 達到最低值，但比第一劑量還多的離子劑量會增加 LWR，此時就比較不會想要使用較高劑量。因此，要在第一劑量和第二劑量間取得最佳的劑量，表示在最佳化 LWR 和改善硬度抵抗因第二次微影製程間產生的有害效應之間以取得平衡。

在步驟 906，提供適當的電漿輻射條件給處理系統，例如有著本發明的電漿鞘調節器的電漿離子植入系統。按此所謂"電漿輻射條件"，是指來自電漿的電磁輻射特徵，其受下列因素影響，包括氣體物種的選擇，如前文所述。此電漿輻射條件能被挑選來提升來自同一電漿所產生的離

子造成的光阻平滑效應。因此，提供適當的電漿輻射條件可能包含挑選氣體物種及電漿操作條件，以在電漿啓動時，產生具有所欲波長範圍的輻射。在一例子中，提供離子物種的步驟 904 及提供電漿輻射條件的步驟 906 可能涉及選擇既能有益於離子衝擊的平滑效應又能有益於以 UV 輻射提高前述效應的氣體物種。例如，低能量的氫製程被視爲可以對圖案化光阻特徵提供平滑效應，且平滑效應可歸因於暴露在從電漿提取出來的高能氫離子。低能量的氫製程亦可發射出某一頻率的 UV 光子，在所給予的光阻系統下可提升平滑效應。

在另一例子中，步驟 904 的離子物種及步驟 906 的電漿輻射條件的選擇涉及選擇一些氣體種類，其中一種氣體物種提供平滑效應（至少部分歸因於離子轟擊），而第二種氣體物種提升平滑效應（至少部分歸因於 UV 輻射）。例如，基於氫離子的製程被視爲能達到圖案化光阻特徵的平滑效應，該平滑效應可歸因於暴露在從電漿提取出來的高能氫離子。除此之外，可得知或從實驗中獲知，氟碳化合物(fluorocarbon)物種能發射輻射（如 UV 光子），其能量可以有效提升平滑效應。因此，可設計出一種電漿氣體組成，包含氫/氟碳化合物的混合物，可達到有效的離子撞擊和對圖案化光阻特徵的電磁輻射，且亦可提高平滑效應。

在步驟 908，提供了適當的 PSM 結構，這可包含提供適當的 PSM 幾何結構，及適當的製作 PSM 的材料的特質。這些適當的特質可包含對目標波長範圍的電磁輻射的透射

率（透射條件）。在一例子中，有 UV 透射條件的 PSM 使得波長範圍能有效調整光阻的 UV 輻射穿過。

如前所述，本發明的電漿鞘調節器可以提供大角度範圍的離子流（以垂直於基板的方向爲中心，約＋/－60 度範圍）。然而，此分布根據特定光阻系統與幾何可以作適當調整，以達到更少或更多的入射離子範圍，例如，在如前所述的垂直(z)及水平(y)間隙作相對的調整。除此之外，如上詳述，用於 PSM 的材料的選擇可以改變，以調整到達圖案化光阻的 UV 輻射的波長及量。

例如，在步驟 910，於受 PSM 電漿曝光過程中對支撐圖案化光阻的基板提供適當的溫度，這可能涉及提高基板溫度於室溫之上進而導致 LWR 或 LER 更大幅度的降低。

在此所述的方法，如圖 9 所述的步驟，可以自動化，例如，依據可執行指令的機器讀取儲存於電腦裏的可讀儲存媒體內的清楚的程式指令來自動執行。而一般用途的電腦可爲此所述的機器的例子之一。就現有技術所知的適當儲存媒體的非限制性示範例，包含可讀寫的 CD，快閃記憶體晶片（例如姆指碟），各式各樣不同的磁性儲存媒體，諸如此類。

即使先前所述中本發明的實施例是針對於利用離子衝擊來減少表面特徵的粗糙度及減少於發生在平滑製程中關鍵尺寸的耗損的系統與製程，其他的實施例提供了利用離子衝擊來增加表面圖案化特徵中的物種的機制。參照圖 10a 及 10b，簡述了根據本揭露中的另一實施例，用來處理

3D 結構的技術。在此實施例中顯示了減少洞口區域的技術。而在此實施例中，基板 500 可爲金屬基板、半導體基板、或是介電質基板。基板 500 包含了洞 512。雖然本實施例將以處理具有第一半徑 R_1 的洞的基板的製程來作說明，然其並非用以限定本揭露。類似先前實施例的光阻，本實施例中的基板 500 可以是含有一或多個垂直延伸表面的簡單結構。

在本實施例中，離子 310 是以多重入射角度指向洞 512 的側壁。雖然離子是較佳的，然本發明並未排除其他粒子，包括自由基或中性粒子。指向洞 512 的離子 310 可能沉積在洞 512 的表面，形成有第二半徑 R_2 的邊界層 522。藉由電漿鞘調節器 522，離子 310 以多重入射角度指向洞 512 的表面。因此，會發生共形(conformal)且等向地(isotropic)的沉積，且會形成均勻厚度的邊界層 522。再者，基板 500 的原始洞口的半徑會共形地且均勻地的從 R_1 減少至 R_2。

綜上所述，本發明提供了具新穎性且具創造性的用來降低圖案化特徵(例如，光阻)的粗糙度的方法與系統。本發明可運用在使用相對低的離子能量(例如，電漿浸潤式系統)的系統裏，由此系統提供的離子和其他物種對圖案化特徵的穿透深度很小。這有助於在不實質地衝擊光阻圖案(例如，輪廓及 CD)的前提下即有表面平滑的能力。藉由在遠離垂直方向的方向提供大量的離子流，本發明的 PSM 架構對於攻擊受表面粗糙度影響最大的光阻特徵區域(意即，側壁)特別有效。在本發明的實施例中，例如使用惰性氣體電

漿，較不易受到圖案控制效應的影響（這種影響在乾式化學製程中是常見的）。再者，藉著利用電漿鞘調節器和電漿處理系統的結合(例如，浸潤式植入系統)，本發明對調節光阻處理製程提供更大的彈性。這是由於各種實驗參數可被方便地且獨立地調整，例如氣體組成，離子能量，離子入射角度範圍，電漿輻射條件，PSM 透射條件，及基板溫度。

本發明並不受限於在此已揭露的特定實施例的範圍。事實上，根據前述說明和附圖，除了本文說明的以外，本揭露的其他變化實施例與修改，對本技術領域的技術人員是顯而易見的。雖然本發明運用在使用低能量離子的電漿浸潤式離子植入系統，除了離子植入以外的離子衝擊效應，也可能有助於光阻平滑，且本發明可運用於能提供低能量離子的其他電漿系統。再者，本發明涵蓋了從 PSM 電漿發射出的紅外線/可見光輻射能有效降低表面粗糙度的系統和方法。在此實施例中，可至少部分基於紅外線／可見光發射特性，選擇相關的電漿輻射條件，而且根據 PSM 對紅外線／可見光光譜的一或多個範圍的阻擋或透射特性，可選擇 PSM 的組態。

再者，除了植入或沉積，本揭露所揭露的技術能在光阻結構或除光阻結構以外的結構上執行蝕刻。例如，本揭露所揭露的技術能用於執行光阻修整製程以減少電晶體閘極的關鍵尺寸。相對於傳統修整製程（利用 O_2+HBr 電漿同時在一個表面上執行，本揭露的技術能用來以多個角度

導引蝕刻劑(例如離子),且在同一時間對多個表面等向地執行修整製程。基此,修整製程能更有效率且均勻地執行。因此,這樣的其它的實施例和修改都意欲落入本揭露的範圍內。再者,雖然在本文中,是以爲達特殊目的而在特殊環境下的特殊執行來描述本揭露,然而本領域的技術人員將理解其用途不僅限於此,且本揭露於任何目的下任何中環境中皆可有益的執行。因此,本揭露的主題應該要根據本文所述的本揭露的完整寬度和精神來加以理解。

【圖式簡單說明】

圖 1a-1e 是一種基板剖面圖,用來說明傳統光學微影製程的步驟。

圖 2 是一種傳統光學微影系統的圖像說明,該光學微影系統用來投影光罩開口圖案的影像於基板上。

圖 3a 是基板處理系統的圖像說明,其根據本發明的其中一個實施例。

圖 3b 是本發明的一實施例中基板上入射粒子的角度分布的圖例說明。

圖 4 是說明本發明示範性特徵的電漿鞘調節器和光阻特徵的剖面圖。

圖 5 圖示光阻線受離子曝光前後的示範性 LER 資料,根據本發明,該離子是從使用電漿鞘調節器的電漿系統所抽取出來。

圖 6 圖示光阻線受離子曝光前後粗糙度的頻率差異的示範性資料,根據本發明,該離子是從使用電漿鞘調節器

的電漿系統所抽取出來。

圖 7 是說明根據本發明組態其中之一而安置的電漿系統。

圖 7a 是說明一示範性的系統組態，其中 PSM 用來傳送由電漿發射出來的紫外線光子。

圖 7b 是說明一示範性的系統組態，其中 PSM 用來阻擋由電漿發射出來的紫外線光子。

圖 7c 是說明一示範性的系統組態，其中 PSM 用來選擇性傳送由電漿發射出來的紫外線光子。

圖 8 是說明根據本發明的組態，在不同基板溫度下的 LWR 和 CD 的資料。

圖 9 圖示出本發明的方法涉及的示範性步驟的摘要。

圖 10a 和圖 10b 是各自從剖面和平面的觀點，圖示說明根據本發明的另一實施例，其用來處理 3D 結構的技術。

【主要元件符號說明】

10：光線

112：基板

114：光阻

114a：光阻凸紋

114a-1：光阻側表面

114a-2：光阻上表面

114b：光阻的其他未硬化部份

116：凹槽

142：光罩

200：傳統式光學微影系統

222：光源

230：照明器

232：光學積分器

234：聚光(焦)透鏡

252：投影鏡片

302：製程反應室

304：平台

306：電漿

308：電漿鞘

308a：電漿鞘邊界

308b：凹形電漿鞘

310：離子

312：電漿鞘調節器

312a：電漿鞘調節器部分

312b：電漿鞘調節器部分

500：基板

512：洞

522：邊界層

700：電漿鞘調節器電漿系統

702：電漿鞘調節器電漿系統

704：示範性系統組態

705：系統組態

706：電漿

708a：電漿鞘邊界

708b：凹形電漿鞘

710：離子

712a：電漿鞘調節器之一部分

712b：電漿鞘調節器之一部份

714：UV 光子

714a：紫外線波長的光子

714b：紫外線波長的光子

716：電漿鞘調節器

716a：電漿鞘調節器之一部份

716b：電漿鞘調節器之一部份

718：電漿鞘調節器

718a：電漿鞘調節器之一部份

718b：電漿鞘調節器之一部份

720：電漿鞘調節器

720a：電漿鞘調節器之一部份

720b：電漿鞘調節器之一部份

902：步驟

904：步驟

906：步驟

908：步驟

910：步驟

y：水平向間隙

Z：垂直向間隙

W：橫向尺寸

L：縱向尺寸

R1：第一半徑

R2：第二半徑

七、申請專利範圍：

1. 一種減少配置在基板上的光阻特徵的表面粗糙度的方法，包括：

產生含有電漿鞘和在其中的多個離子的電漿；

利用電漿鞘調節器調整定義在該電漿與該電漿鞘之間的邊界的外形，以致面向於該基板的該邊界的一部份不平行於由該基板所定義的平面；

於第一次曝光期間將該光阻特徵曝光於具有所欲波長範圍的電磁輻射；且

在該第一次曝光期間加速所述離子，使其穿越具有經調整的外形的該邊界，在一個角度範圍內朝向該光阻特徵前進，其中該電漿鞘調節器用來傳遞具有所欲波長範圍的該電磁輻射，且用以阻擋波長範圍在該所欲波長範圍以外的電磁輻射。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中調整該邊界的該外形的方法包括：

提供擁有一對調節器部分的電漿鞘調節器，且該電漿鞘調節器定義了該對調節器部分之間的一間隙，且在該間隙附近的該邊界的該外形相對於該平面是凸起的。

3. 如申請專利範圍第 2 項所述的方法，其中該角度範圍是以垂直於由該基板所定義的該平面的軸爲中心的約正負 60 度之間。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中該曝光與該加速是發生於同一時間。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中該些離子劑量的能量大約在 1 keV 至 10 keV 之間。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，還包括在該第一次曝光期間維持該基板的溫度在約 30 度 c 或更高。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中該電漿鞘調節器包含一或多個半導體膜層。

8. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中該所欲波長範圍包括紫外線波長範圍。

9. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中該電漿鞘調節器實質上對 UV 輻射是可穿透的。

10. 一種調整基板上的圖案化光阻特徵的粗糙度的方法，該光阻特徵具有第一粗糙度，該方法包括：

產生含有電漿鞘和在其中的多個離子的電漿；

提供定義一個開口的電漿鞘調節器(PSM)，用來調整該電漿與該電漿鞘之間的邊界外形；

於第一次曝光期間加速該些離子穿越已調整過外形的該邊界朝向該圖案化光阻前進；以及

在至少該第一次曝光的一部份期間，將圖案化光阻曝光於具有第一波長範圍的電磁輻射，該電磁輻射是由該電漿發射而出，其中曝光於該些離子及該具有該第一波長範圍的該電磁輻射的該圖案化光阻展現出比該第一粗糙度還少的第二粗糙度，其中該電漿鞘調節器包含阻擋具有第二波長範圍的電磁輻射的材料，該第二波長範圍在該第一波長範圍之外。

11. 如申請專利範圍第 10 項所述的方法，其中該第一波長範圍是 UV 波長範圍。

12. 如申請專利範圍第 10 項所述的方法，其中該第一波長範圍是指紅外線(IR)波長範圍。

13. 如申請專利範圍第 10 項所述的方法，其中該電漿包含第一物種及第二物種，該第一物種產生的離子用來藉由撞擊該光阻特徵以減少該第一粗糙度，而該第二物種用來發射出在 UV 波長範圍內的該電磁輻射。

14. 如申請專利範圍第 10 項所述的方法，還包含在該第一曝光期間提高該基板的溫度於大約 30 度 c 至 300 度 c。

15. 如申請專利範圍第 10 項所述的方法，其中該電漿鞘調節器包含石英。

16. 如申請專利範圍第 10 項所述的方法，其中該電漿鞘調節器包含一或多個矽薄膜。

17. 如申請專利範圍第 10 項所述的方法，其中於該第一次曝光期間該些離子以一個角度範圍衝擊該圖案化光阻特徵。

18. 一種減少光阻特徵粗糙度的方法，包含：

產生擁有電漿鞘的電漿；

利用電漿鞘調節器調整由該電漿和該電漿鞘所定義的邊界的外形，使得該邊界的該外形的一部份不平行於由面向該電漿的該基板所定義的平面；

於第一次曝光期間維持該基板溫度在大約 30 度 c 至 300 度 c；及

於該第一次曝光期間使自該電漿而來的離子以一角度

範圍衝擊該光阻特徵，以減少該光阻特徵的粗糙度；

在至少部分的第一次曝光期間，將該光阻特徵曝露於具有第一波長範圍的電磁輻射，該電磁輻射是由該電漿所發射，其中該電漿鞘調節器包含阻擋具有第二波長範圍的電磁輻射的材料，該第二波長範圍在該第一波長範圍之外。

八、圖式：

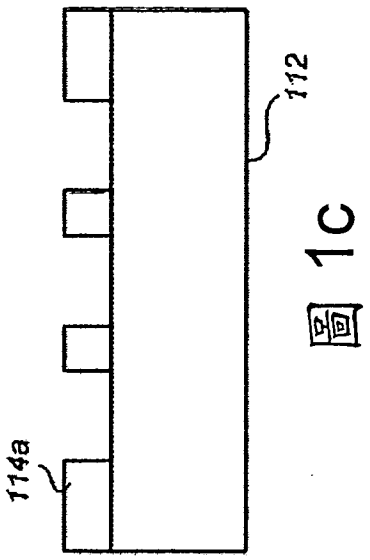

圖 1c

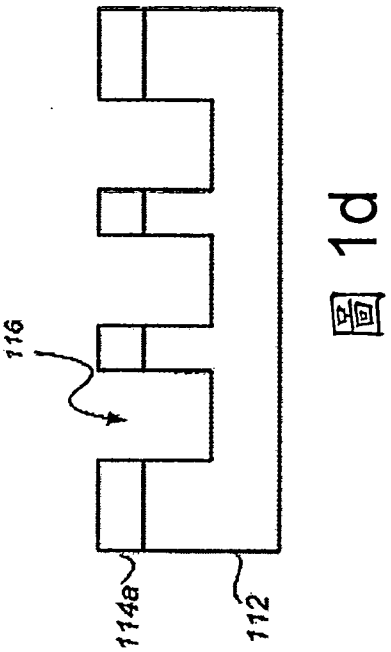

圖 1d

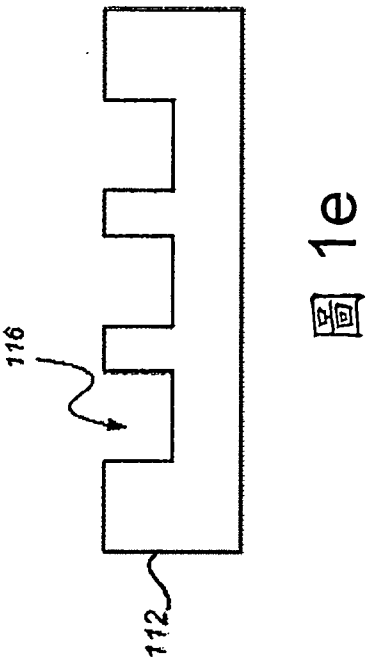

圖 1e

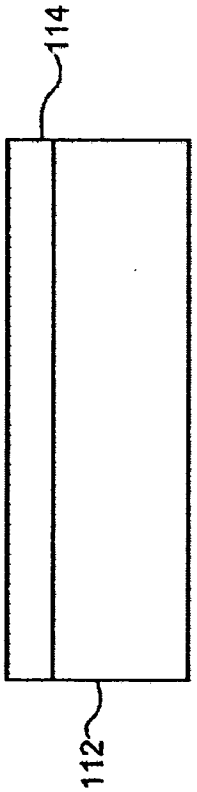

圖 1a

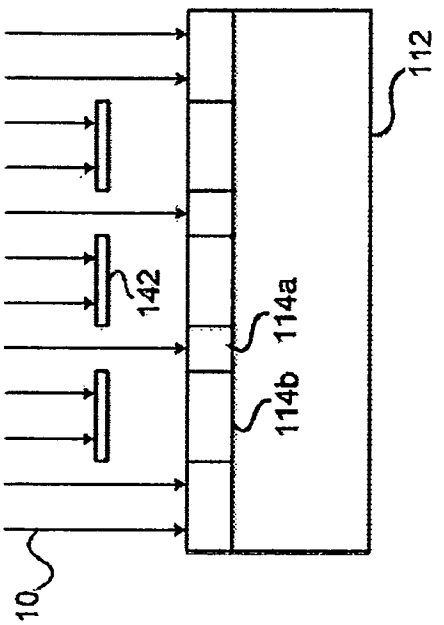

圖 1b

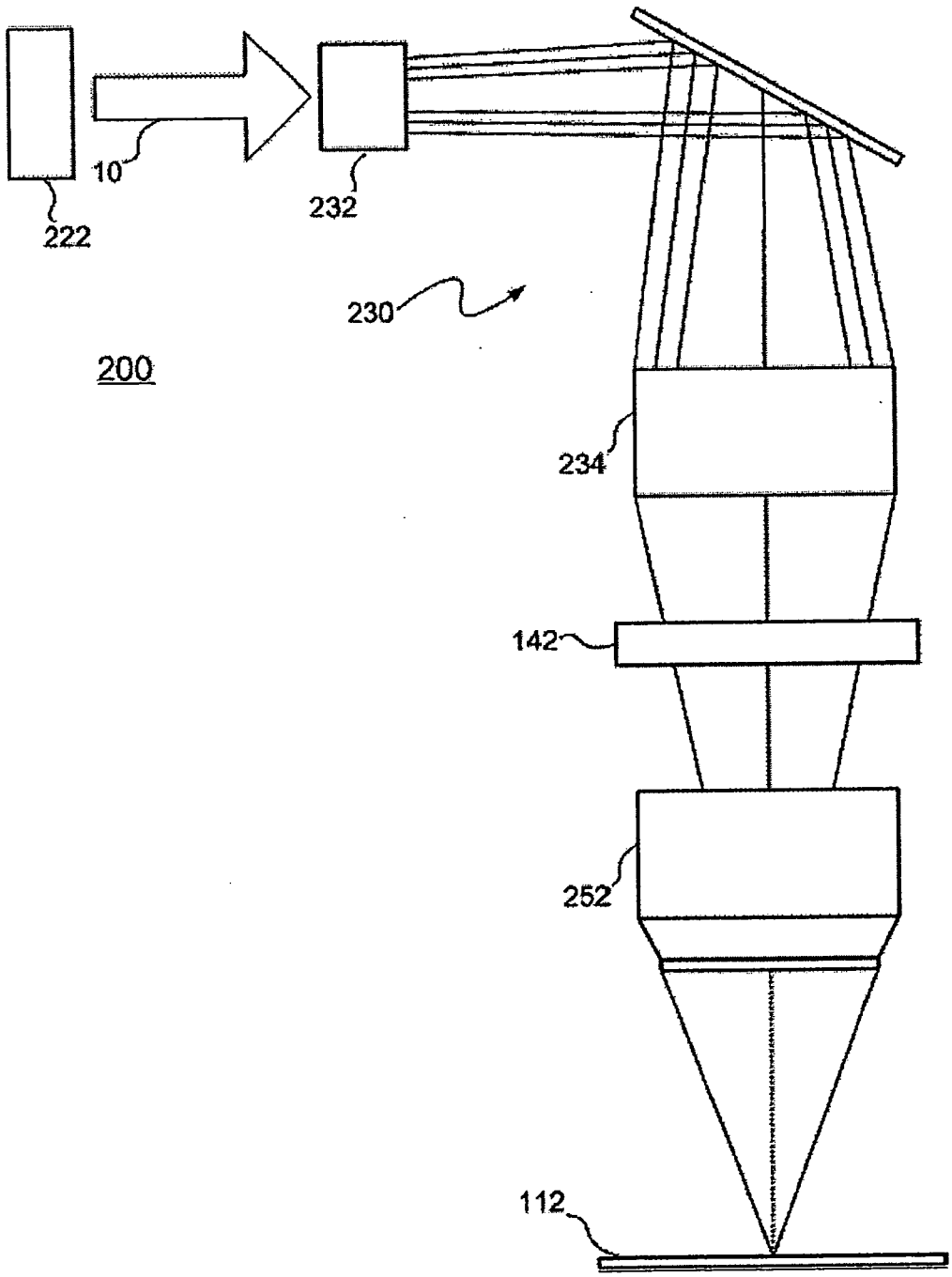

圖 2

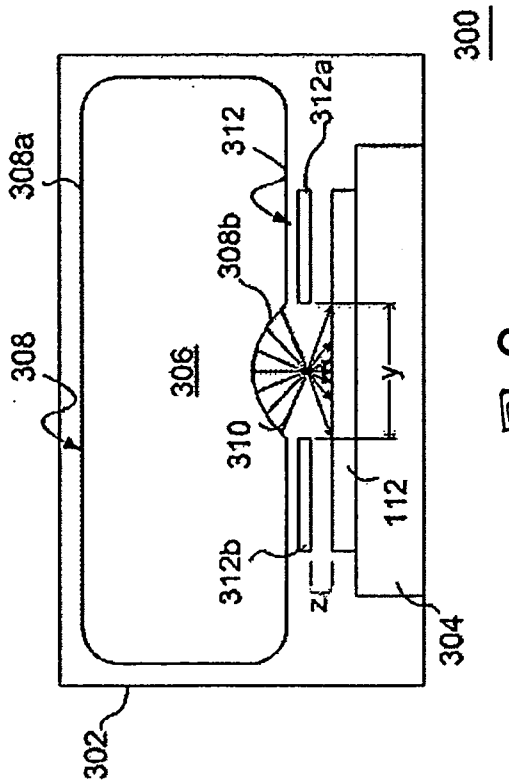
300
308a
312a
312
308b
308
306
310
312b
z
y
112
304
302

圖 3a

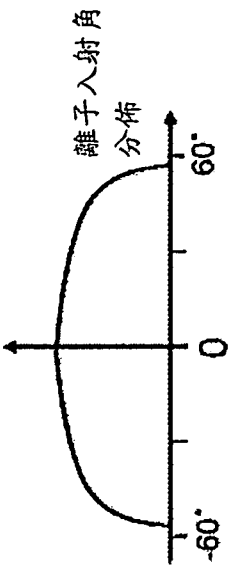
離子入射角
分佈
60°
0
-60°

圖 3b

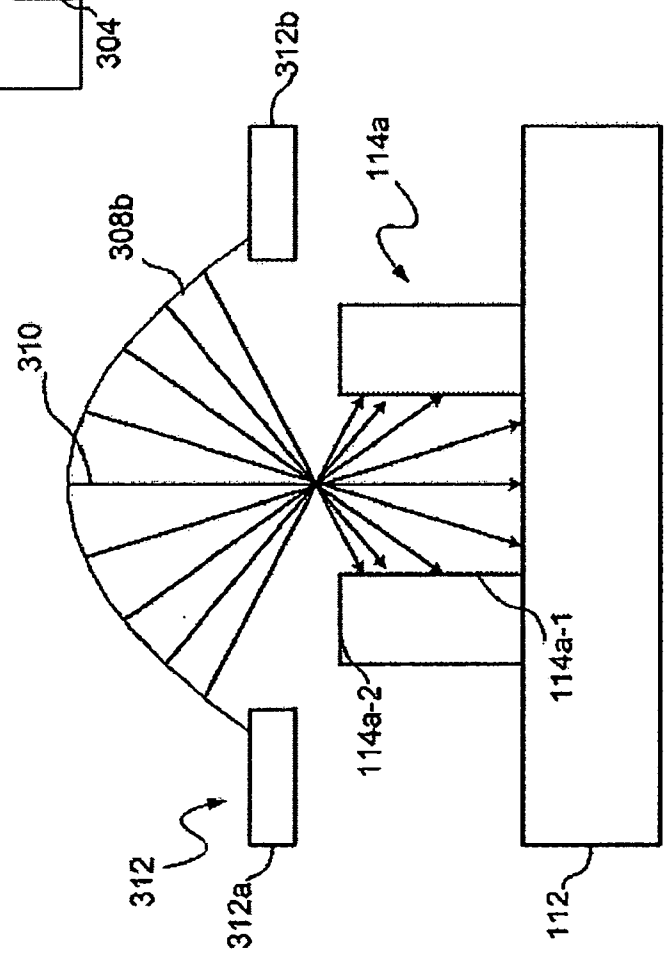
312b
308b
310
114a
312
312a
114a-2
114a-1
112

圖 4

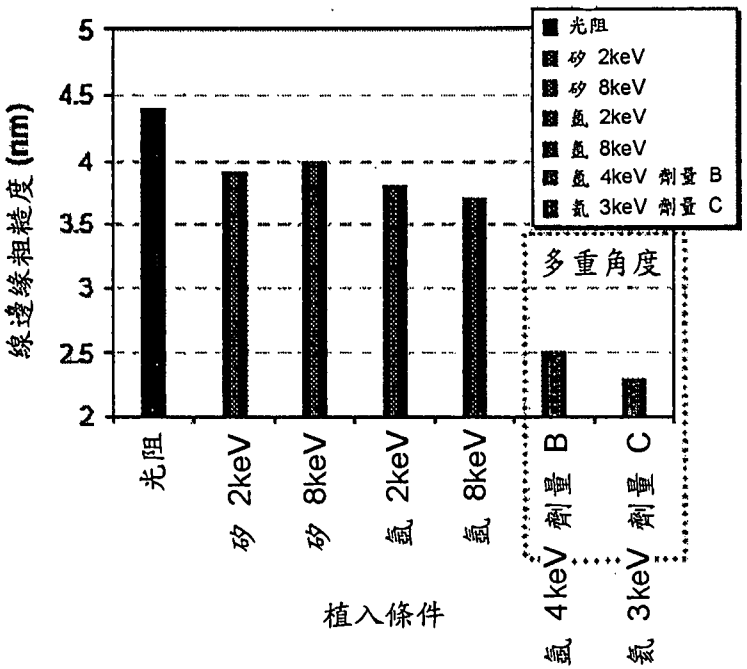
線邊緣粗糙度 (nm)
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
光阻
矽 2keV
矽 8keV
氫 2keV
氫 8keV
氫 4keV 劑量 B
氫 3keV 劑量 C
多重角度
植入條件

圖 5

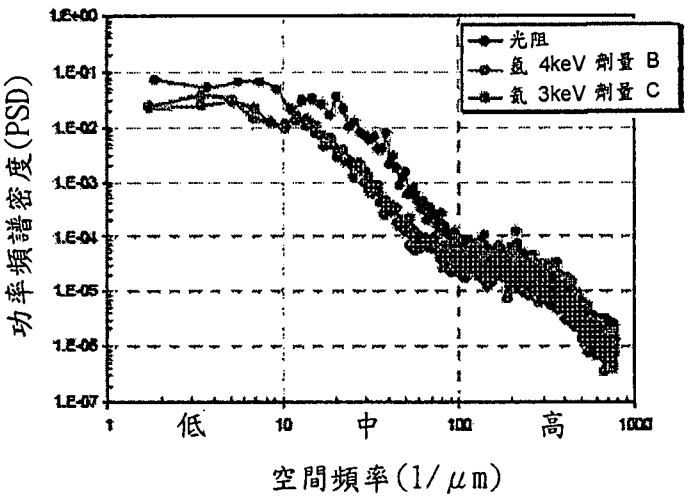
功率頻譜密度(PSD)
光阻
氫 4keV 劑量 B
氫 3keV 劑量 C
低
中
高
空間頻率(1/μm)

圖 6

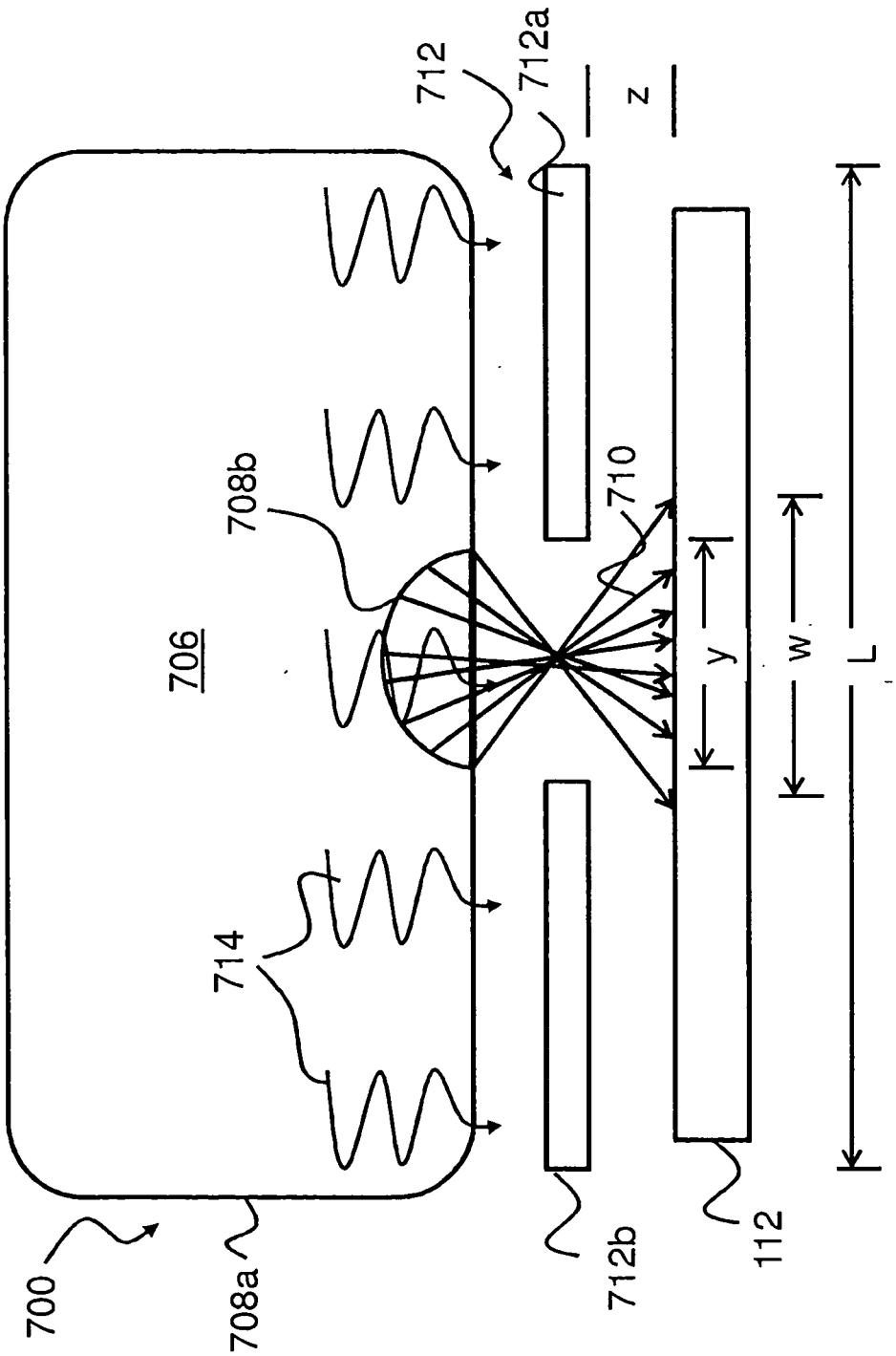

圖 7

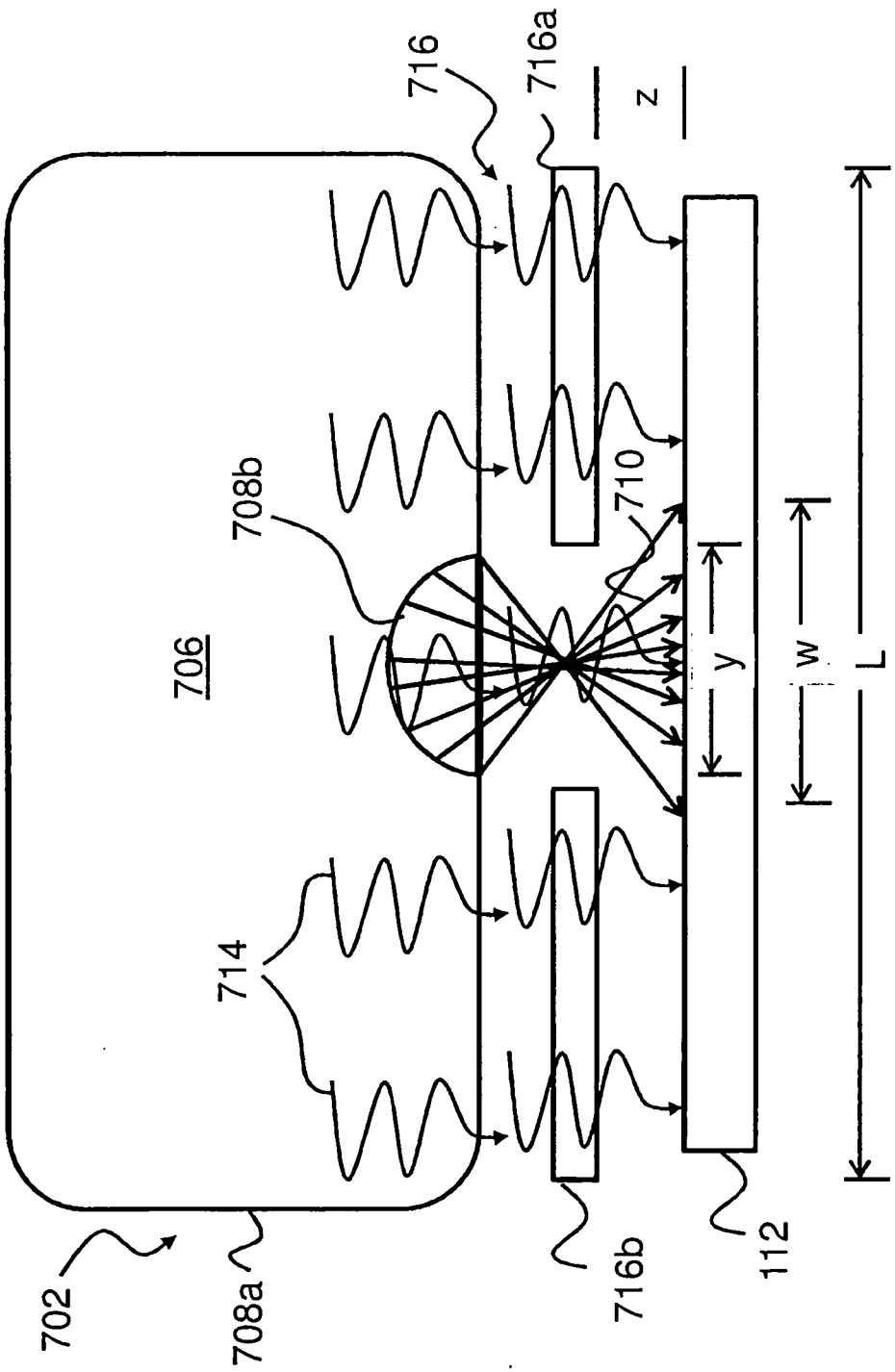

圖 7a

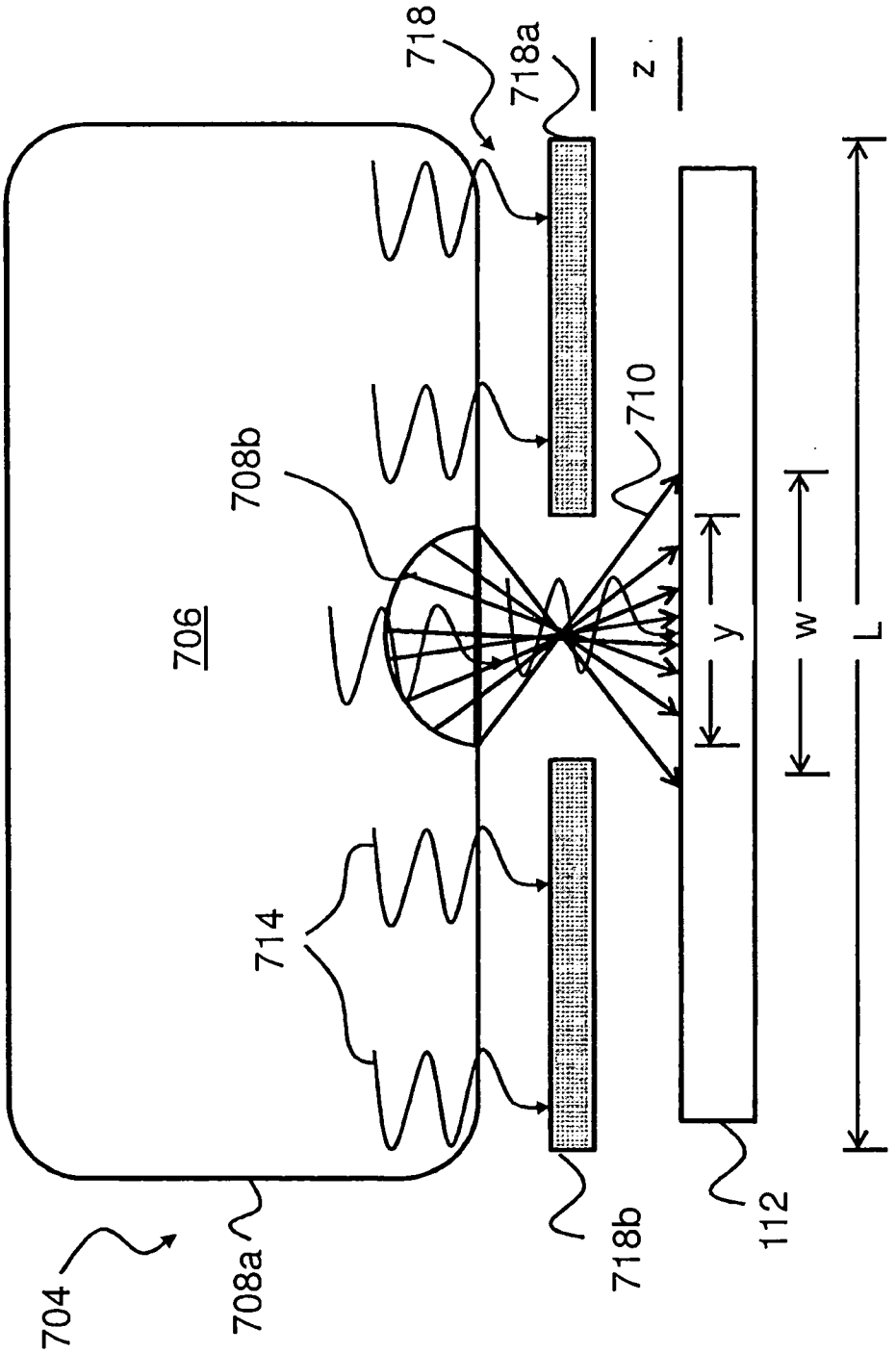

圖 7b

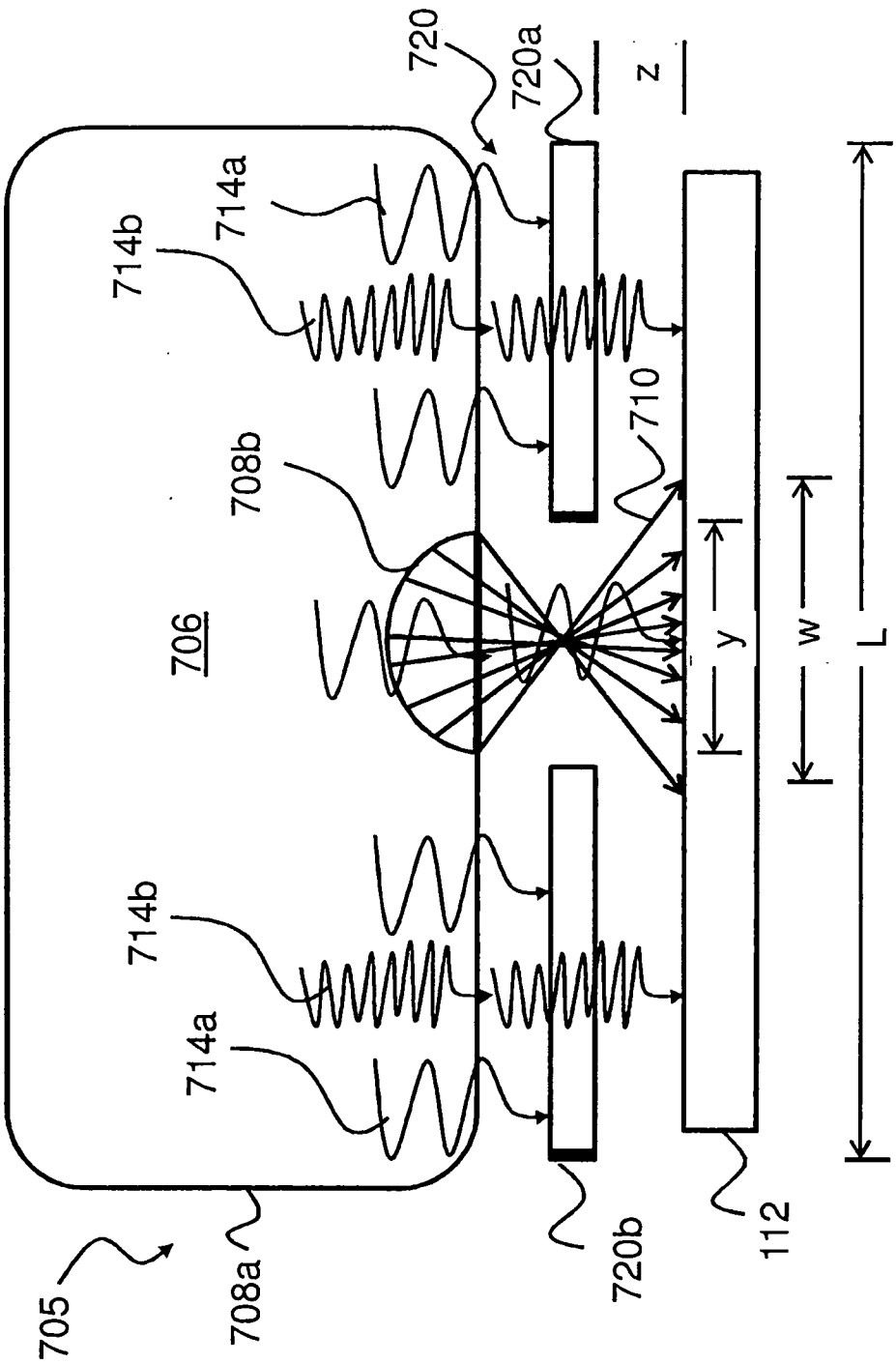
720
720a
z
714a
714b
710
708b
706
y
w
L
714b
714a
705
708a
720b
112

圖 7c

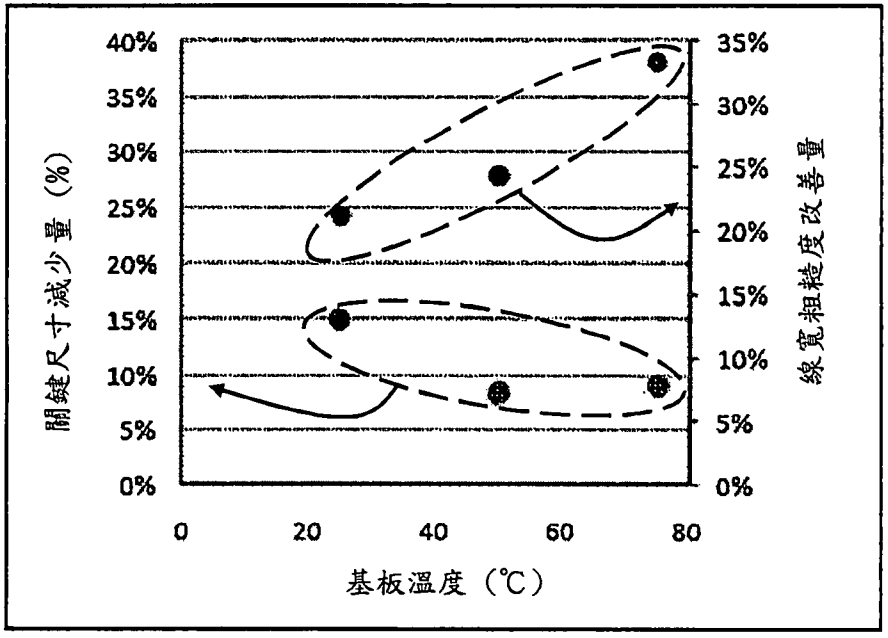
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
關鍵尺寸減少量（%）
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
線寬粗糙度改善量
0
20
40
60
80
基板溫度（℃）

圖 8

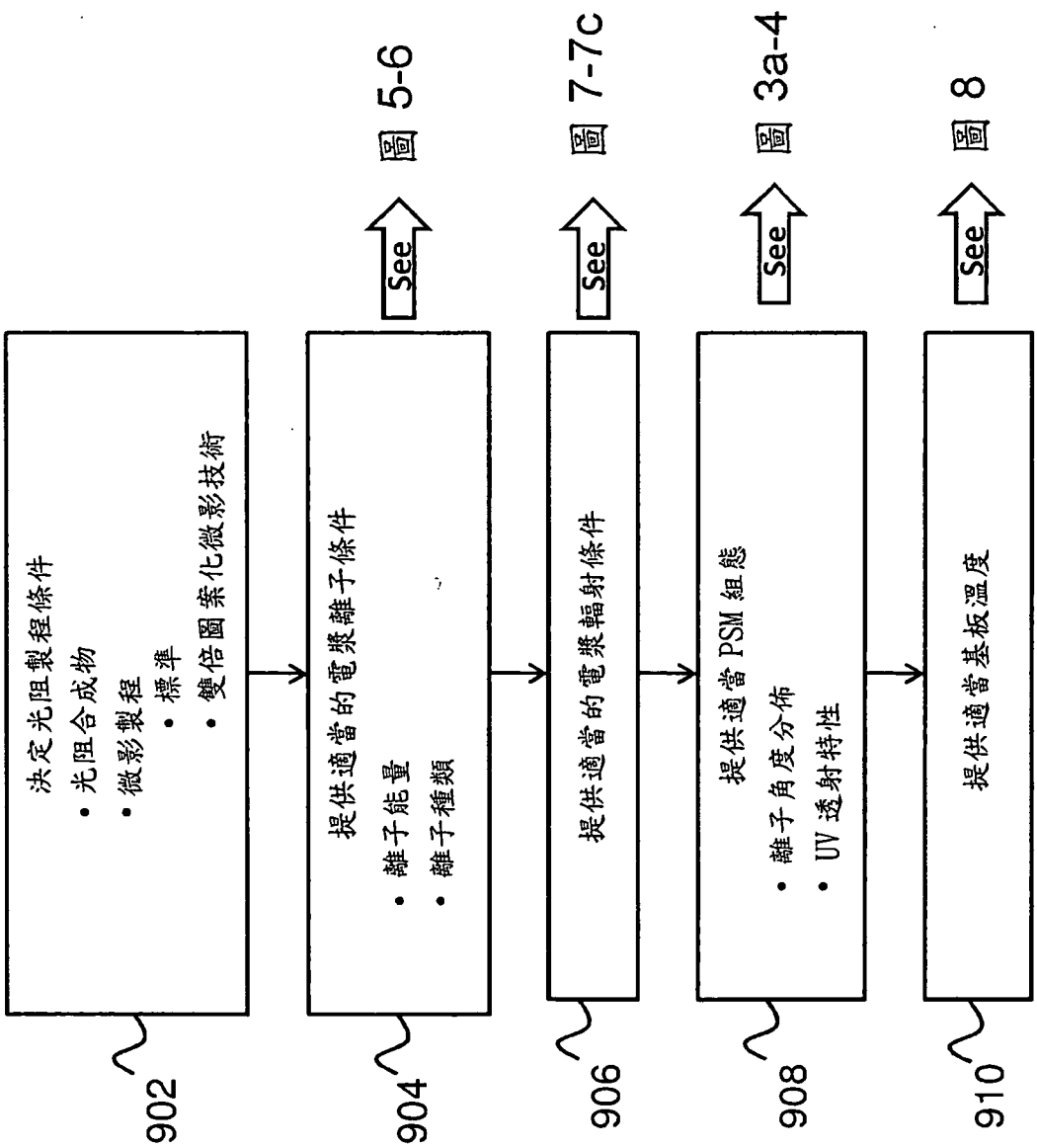
決定光阻製程條件
• 光阻合成物
• 微影製程
• 標準
• 雙倍圖案化微影技術
902
提供適當的電漿離子條件
• 離子能量
• 離子種類
904
See
圖 5-6
提供適當的電漿輻射條件
906
See
圖 7-7c
提供適當 PSM 組態
• 離子角度分佈
• UV 透射特性
908
See
圖 3a-4
提供適當基板溫度
910
See
圖 8

圖 9

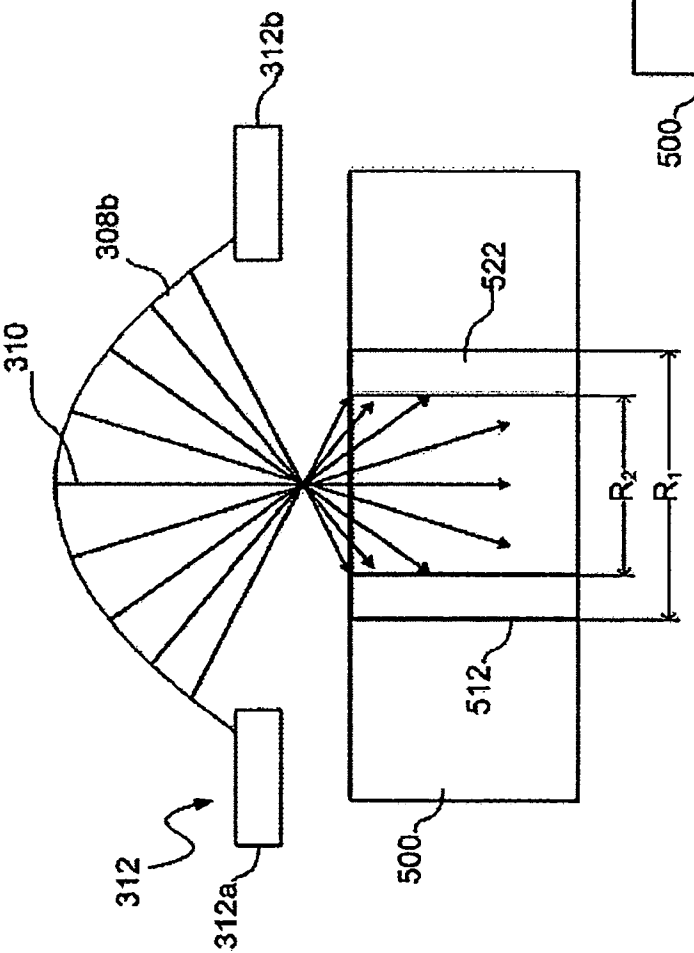

圖 10a

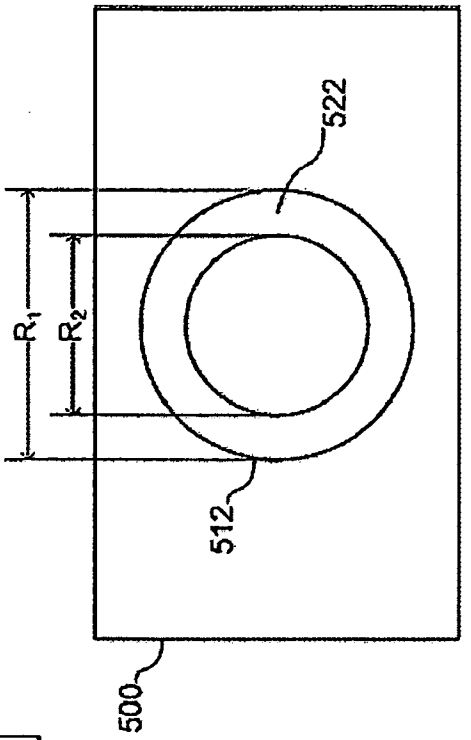

圖 10b