

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：96121943

※ 申請日期：2007 年 6 月 15 日

※IPC 分類：H01L 21/00 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

G03F 7/16 (2006.01)

圖案化基板中 3D 特徵之方法

PATTERNING 3D FEATURES IN A SUBSTRATE

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

美商·應用材料股份有限公司

APPLIED MATERIALS, INC.

代表人：(中文/英文)

鄺錦安

KWONG, RAYMOND K.

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國加州聖大克勞拉市波爾斯大道 3050 號

3050 Bowers Avenue, Santa Clara, CA 95054, U.S.A.

國 籍：(中文/英文)

美國/USA

三、發明人：(共 5 人)

姓 名：(中文/英文)

1.培若茲羅愛艾瑞克/PEROZZIELLO, ERIC

2.柯潘尼基湯瑪士約瑟夫/KROPEWNICKI, THOMAS JOSEPH

3.巫奇克葛列格里 L/WOJCIK, GREGORY L.

4.哥貝爾安德利亞/GOEBEL, ANDREAS

5.喬克曼克蕾絲/BJORKMAN, CLAES

國 籍：(中文/英文)

- 1.美國/USA
- 2.美國/USA
- 3.美國/USA
- 4.德國/Germany
- 5.瑞典/Sweden

四、聲明事項：

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

☒ 申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

☒ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

- 1.美國；2006 年 6 月 16 日；60/805,010
- 2.美國；2007 年 6 月 14 日；11/763,199

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

國 籍：(中文/英文)

- 1.美國/USA
- 2.美國/USA
- 3.美國/USA
- 4.德國/Germany
- 5.瑞典/Sweden

四、聲明事項：

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

☒ 申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

☒ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

- 1.美國；2006 年 6 月 16 日；60/805,010
- 2.美國；2007 年 6 月 14 日；11/763,199

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本文有關於一種在基板中形成 3D 結構的方法。

【先前技術】

光學元件現已經可整合成能與微電子元件併肩而置的晶片。此方法之一範例描述於 U.S.S.N 10/280,505 且標題為「光學已備基板 (Optical Ready Substrate)」的申請案中，其一併納入本文中以供作參考。基本上，其為具有光學訊號分配網路的半導體晶圓，該光學訊號分配網路由光波導、光偵測器和其他光學元件所組成，並且已先行製作在半導體晶圓中，以於後續於該光學網路上方製造微電子電路。光學訊號分配網路是用來在即將製作於光路上的微電子元件之間傳遞光學訊號(如時鐘或資料訊號)。

一般而言，用於這些 IC 晶片的光學元件需有平滑表面。為引導光線，光學表面通常須為平滑的曲面或者平面轉接處之間需具平順的轉折點。表面通常需設置成與薄膜製程常用的平面偏離一些角度。

過去的研究中，曾試圖製造出偏離樣品表面 45 度且平滑的乾蝕刻表面，但成效極微。然此乾蝕刻方式通常涉及在蝕刻氣體中結合一側壁惰化氣體來形成逐漸縮減 (tapered，簡稱漸縮)側壁的技術。

其他光學研究團隊則嘗試使用特殊切割的偏軸結晶晶圓 (cut off-axis crystalline wafer) 及進行具晶面選擇性的

濕蝕刻，以得到 45 度的斜面。但此方式的主要問題在於，其需使用非標準規格的晶圓。以此法蝕刻目前 $\langle 100 \rangle$ 方向的晶圓將形成 54.7 度。

因此仍需可有效控制製作上述與其他 3D 特徵的方法。

【發明內容】

薄膜技術係發展用來控制基板表面和直角表面上的特徵。這兩種表面以外的光學表面則需利用非傳統薄膜技術製造。在此所述的二種元件(即透鏡與鏡子)採用高分子(光阻)回流技術來形成漸縮(tapered)或塑形(shaped)罩幕，接著進行蝕刻製程以預定的相對速率同時消耗基板和罩幕。漸縮罩幕邊緣隨後以某一方式將其形狀轉移到下方的基板。

某些文中所述的透鏡相關實施例能改善先前技術的方法，包括結合使用光阻回流法(reflow，或稱再流動)來形成矽中的透鏡與調整曲率半徑的技術。回流製程產生的透鏡角度大部分取決於薄膜與基板間之表面張力所造成的接觸角度。改變光罩大小及/或修改其表面會影響接觸角度，進而影響透鏡或其他待圖案化之特徵的形狀。此外，就圖案轉移製程而言，調整矽透鏡蝕刻製程中的氣體比例，包括一或多種主要矽蝕刻氣體(如氯氣(Cl_2)、六氟化硫(SF_6)、氮氣(NH_3)、氯化氫(HCl)、溴化氫(HBr)或其他含鹵素氣體)和一主要光阻蝕刻氣體(如氧氣(O_2)、水氣(H_2O)或其他氧化氣體)，可調整待蝕刻之透鏡的曲度。

當使新製程最佳化或補償流程中其他次要變動時，極期望能將變因減至最少。只簡單調整製程氣體的相對比例，即可使矽透鏡的曲率半徑變成介於 100 微米至約 1 毫米，平面直徑介於 100 微米至 500 微米。

在第一實施例中，提出於基板中形成 3D 結構的方法。光阻層沉積在基板上。光阻層經圖案化而在一預定位置定義出一邊緣。光阻經回流而形成自該邊緣延伸出的一漸縮區域。同時蝕刻已回流的光阻和基板，以將已回流之光阻的漸縮形貌轉移到下方基板而形成斜面。在蝕刻完所有光阻前停止蝕刻製程。

在一些實施例中，該同時蝕刻步驟包含進行乾蝕刻。例如，殘留在基板上的光阻可在停止蝕刻製程後加以移除。蝕刻中止層可沉積在基板上，且蝕刻中止層經圖案化而於預定位置附近形成一開口。在一實施例中，圖案化光阻的方法包括在蝕刻中止層的開口內形成一邊緣。

同時蝕刻光阻和基板的方法可包括使用第一蝕刻劑蝕刻光阻，以及使用不同於第一蝕刻劑的第二蝕刻劑來蝕刻基板。第一蝕刻劑可包含氧化氣體，第二蝕刻劑可包含含鹵素氣體。同時蝕刻光阻和基板的方法可使用能達到最初預定之光阻：基板蝕刻比的蝕刻劑來執行之。在此實施例中，可隨著蝕刻製程的進行而改變蝕刻劑，以改變光阻：基板之蝕刻比。

在第二實施例中，提出於基板中製造鏡子的方法。光阻層沉積在基板上。光阻層經圖案化而在預定位置定義出

一邊緣。光阻經回流而形成自邊緣延伸出的漸縮區域。同時蝕刻已回流之光阻和基板，以將已回流之光阻的漸縮形貌轉移到下方基板而形成斜面。將一塗層沉積在斜面上，以形成鏡子。

在一些實施例中，將一蝕刻中止層沉積在基板上，且蝕刻中止層經圖案化以於預定位置周圍形成一開口。圖案化光阻的方法包括在蝕刻中止層的開口內形成該邊緣。

有時，該同時蝕刻的步驟可在基板中形成凹穴。在此實施例中，凹穴可填入填充料；填滿凹穴後，平坦化該基板直到抵達蝕刻中止層；接著可移除蝕刻中止層。

塗層可包含介電質。同時蝕刻光阻和基板的方法可包括使用第一蝕刻劑來蝕刻光阻，以及使用不同於第一蝕刻劑的第二蝕刻劑來蝕刻基板。第一蝕刻劑可包含氧化氣體，第二蝕刻劑可包含一含鹵素氣體。在一些實施例中，該同時蝕刻的步驟可採用能達到最初預定之光阻：基板蝕刻比的蝕刻劑來執行之，其中光阻：基板之蝕刻比可能隨著蝕刻劑的改變而變化。

在一實施例中，基板具有上表面和設於基板上表面下方的光波導。接著繼續進行該同時蝕刻製程，直到斜面切入(intersect)光波導。

本發明之一或多個實施例將配合所附圖式及說明書詳述於下。本發明之其他特徵、目的和優點在參閱說明書、圖式和申請專利範圍後，將變得更明顯易懂。

【實施方式】

製作透鏡

第 1 圖繪示之電路構件包括矽 IC 晶片 10，其背面設有透鏡 20，以提供用以耦合光學訊號進出製作於晶片上之光路的管道。IC 晶片 10 為利用球格陣列 (Ball Grid Array; BGA) 14 裝設在晶片載體 12 上的覆晶。採用熟知技術，例如 U.S.S.N 10/280,505、標題為「光學預備基板 (Optical Ready Substrate)」的申請案所述之技術於晶片的正面上製作光波導 16。光波導 16 可製作在晶片內與其他亦位於晶片正面之微電子 (如 CMOS) 電路層 (未繪示) 同一膜層中，或者光波導 16 可埋置在微電子電路層下方。光波導 16 代表光學訊號分配網路，用以分配光學時鐘訊號或其他光學訊號進及 / 或出微電子電路。光波導 16 的一端設有製作在波導內的鏡子 18。鏡子 18 可用來導引穿過晶片背面的光學訊號進入波導，或導引來自光波導的光學訊號離開晶片背面。聚焦透鏡 20 設在晶片 10 的背面，其並為晶片的整合零件。透鏡 20 對準鏡子 18，且微影對齊 (lithographic registration) 準確度比 ASML 背面對準步進器常見的 0.5 微米更佳。

面接光耦合器 (surface mount optical coupler) 22 固定在晶片 10 的背面且對準透鏡 20。面接光耦合器 22 為一體成型的結構，其包括準直透鏡 24、與準直透鏡 24 之光軸 28 呈 45 度角的鏡面 26、裸露端為平坦光面 32 的短棒狀延伸部 30 和支撐並將子構件排列於晶片 10 背面的圓柱形支

撐部或管狀延伸部 34。抵靠於延伸部 30 之平面的是光纖束 38，其包括纖核 40，其外包圍著一纖殼 42，接著再以光纖緩衝層 44 包住，以保護內部結構。高分子護罩 46 圍繞光纖束 38 末端和部分延伸部 30，用以將該構件錨接至晶片載體 12 的延伸臂 48，並避免操作時破壞光纖。透鏡子構件 22 裝設於晶片 10 背面時，將其準直透鏡 24 對齊聚焦透鏡 20，且利用中間氣隙 39 隔開二者一段預定距離。

來自光纖束 38 的發散光束經由延伸部 30 的光面 32 進入子構件 22，且接觸傾斜鏡面 26，其導引光束向下進入準直透鏡 24。來自透鏡 24 的準直光線(或實質上為準直光線，儘管其不需被校直)穿過氣隙 39 而進入聚焦透鏡 20，其透過鏡子 18 將準直光線聚集到光波導 16。鏡子 18 導引聚焦光束進入光波導 16。

此結構更詳述於 U.S.S.N 11/354,267、標題為「光耦合 IC 晶片(Optical Coupling to IC CHip)」、西元 2006 年 2 月 14 日申請的申請案，其一併附上供作參考。當然，此結構僅為眾多採用整合式透鏡及/或鏡子導引光線進出波導或其他光學裝置或結構等方法的其中一例。本文所述之方法是表示製造這些透鏡和鏡子的方式。

背面矽透鏡的製作是利用光阻圖案及回流製程，接著進行轉移蝕刻來蝕刻光阻和矽兩者。最終形貌(profile)為純矽透鏡，其在此實施例為設在基板表面下方。

採用標準方法，光阻可視需求而圖案化成各種形狀。例如，圖案化成圓柱形的光阻經回流後可變成球面。透鏡

的曲率半徑大部分取決於光阻層與基板間之接觸角度和光阻厚度。

回流光阻的方法至少有二種，即熱與溶劑蒸汽(例如丙酮)。以熱回流為例，沉積之光阻因加熱而回流形成預定形狀。熱回流是利用光阻本身的流體性質。此方法是非常穩定且可控制的製程。光阻邊緣為按住不動(pinned，固定的)。簡單地熔化光阻即可使表面在表面張力與重力的作用下重新塑形。本質上，經回流之光阻的形狀和接觸角度取決於光阻回流前的原始厚度與尺寸，故其較易預測最終形貌。以丙酮回流為例，經回流之光阻於基板上的接觸角度可藉由施用一薄膜塗層(如增加氮化矽(Si_3N_4)或氧化矽(SiO_2)於矽上)至基板上來調整界面性質和最終圖案的角度而加以改變。丙酮回流易促進濕潤矽表面，因此較易將光阻分散超出原圖案化的表面區域。丙酮回流至少增加一製程變數，且相較熱回流而言，丙酮回流法較不易控制。換言之，熱回流具有不會濕潤矽表面上之圖案化光阻的優點。故在此所述之實施例採取熱回流。但應理解，本發明亦涵蓋其他包括溶劑回流的回流法。

就熱回流而言，第2圖繪示的球面罩近似值有助於預估待圖案化之透鏡的預定曲率半徑。在此實施例中，圖案化光阻為圓柱形，其半徑為「a」且厚度為「t」。加熱時，光阻在表面張力的作用下回流形成球面，其下緣固定在原圖案化的光阻位置。形成表面的曲率(R)為：

$$R = \frac{1}{2} \frac{a^2}{h} + \frac{h}{2} ,$$

而罩幕邊緣的角度(或斜率)為：

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{2ha}{a^2 - h^2} \right] .$$

換言之，控制透鏡之最終曲率的方法為改變圖案特徵直徑和光阻厚度。例如，直徑為 200 微米、厚度為 7 微米之光罩可在光阻中形成 400 微米的曲率半徑；若採用 1:1 的蝕刻選擇比，則可在矽中形成同樣的半徑。

使用所得到之球面光阻做為侵蝕罩幕 (eroding mask)，其當使用適當蝕刻劑進行蝕刻製程時，可將其形狀轉移到下方基板。在此實施例中，蝕刻製程例如為在電漿蝕刻室進行的乾蝕刻製程。

一旦光阻已經圖案化及回流，使用對光阻與矽具適當選擇比的蝕刻劑可將光阻圖案轉移到下方的矽。即，使用所形成之球面光阻做為侵蝕罩幕，並將其球面圖案轉移到下方基板。若蝕刻劑蝕刻光阻和矽的速率相同，則蝕刻完後，光阻的球面形貌將完全直接轉移到矽中。若蝕刻劑蝕刻光阻和矽的速率不同，則轉移到矽中的形狀將與光阻的球面形貌有所偏差。蝕刻劑例如可使用用以蝕刻光阻的氧化劑(例如氧氣(O₂))、用以蝕刻矽的含鹵素氣體(例如氯氣(Cl₂)、溴化氫(HBr)、六氟化硫(SF₆)、三氟化氮(NF₃)等。其他氣體包括四氟化碳(CF₄)與 NF₃/O₂。

第 3 圖繪示圖案轉移到基板中的情形。圖案化及回流後，侵蝕罩幕 50 將形成在基板 52(例如矽)的表面。開始蝕刻時，蝕刻氣體開始消耗基板與侵蝕罩幕。基板裸露的區域立即被蝕刻移除，而被侵蝕罩幕覆蓋保護的區域直到

此區域上的侵蝕罩幕消失前仍不會接觸到蝕刻劑。侵蝕罩幕中會先完全消耗掉的部分為罩幕周圍較薄的區域。一旦其消耗完後，蝕刻氣體即開始蝕刻移除下方剛露出的基板。但此情況發生時，先前經蝕刻氣體作用的基板裸露區域已被蝕刻移除。隨著蝕刻製程的進行，上方侵蝕罩幕的形貌將逐漸切入下方基板中。故例如經蝕刻一段時間後，蝕刻至基板中的形貌將呈現如元件符號 54(1)所示般。透鏡的外圍開始形成在仍被光阻保護的平面區域周圍。稍後，平面區域變小，並展露出更多的透鏡外圍形貌 54(2)。最後當光阻完全消耗時，光阻的形貌將轉移到基板，因而形成透鏡的完整形貌 54(3)。繼續蝕刻只會將形貌挖深到基板內。

簡言之，蝕刻進行時，光阻之「透鏡」的曲率會逐漸轉移到基板。在蝕刻氣體耗盡光阻島塊時，方能將透鏡完全轉移到矽中。故此形成透鏡的方法需要蝕刻消耗光阻的整個島塊。

調整蝕刻至矽中之透鏡曲率半徑的方法之一為選擇製程中之氧化劑與含鹵素氣體的比例。例如，若選用之混合氣體蝕刻光阻的速率比矽快，則蝕刻至基板中的透鏡具有較大的曲率半徑。即，光阻形貌蝕刻至矽中後會變得較平坦。反之，若蝕刻光阻的速率比矽慢，則蝕刻至基板中的透鏡具有較小的曲率半徑。

另外，改變蝕刻期間的蝕刻氣體可製造出偏離透鏡光軸的非球狀透鏡。即，形狀或曲率半徑可隨蝕刻深度變化。

例如，製程之初使用的蝕刻劑蝕刻光阻的速率可比矽基板慢。蝕刻期間可改變蝕刻劑，使其蝕刻光阻的速率比矽快。藉由隨著時間適當改變蝕刻性質，可將透鏡原有的球面形狀改成非球狀。例如，此方法可製得具拋物線截面的透鏡。

該方法的另一變化型可製造出在不同方向上具有不同曲率半徑的透鏡。參照第 4 圖，一開始不使用具圓形截面的圓柱形光阻層，而是使用橢圓形光阻層（即具橢圓形截面）。熱回流透鏡時，形成之曲面相對於透鏡的二垂直軸可具有不同的曲率。轉移到矽的透鏡亦可具有相同的形狀（此當假設光阻：矽的蝕刻選擇比為 1：1）。此種形狀特別適用於光束成形，且可搭配使用發射非圓形對稱之光束的波導。

應注意的是，此技術可結合上述改變透鏡軸向曲率的技術，以更徹底控制透鏡形狀。

製作鏡子

上述技術也可經修改來製造具選擇性斜率的矽鏡。一般而言，達成方法為放置錐形物於光罩邊緣，接著將錐形物蝕入下方矽中。罩幕邊緣的斜率以及罩幕與底下材料間的蝕刻選擇比為二項控制參數，其可決定蝕刻至下方基板之斜面的最終斜率。藉由選擇適當的蝕刻比（即蝕刻光阻與基板的速率比），可調整蝕刻斜面呈預定角度。

第 5A-5B 圖繪示一方法。在此實施例中，光阻層 60 沉積在基板 62（例如矽晶圓）上，其內埋置光波導 61。經圖

案化形成開口而沿著圖案化光阻定義出邊緣 64。接著加熱基板以在表面張力的作用下熱回流光阻，藉以形成邊緣固定於邊緣 64 的傾斜罩幕區域 66。形成具傾斜罩幕區域 66 的罩幕 68 後，使用混合氣體(例如 Cl_2/HBr)蝕刻該結構，其依預定比例同時蝕刻光阻和矽。蝕刻選擇比(即蝕刻氣體蝕刻光阻與矽的速率比)一般是選擇使矽的蝕刻速率快於光阻，例如 1:3。對照透鏡之製作，其蝕刻選擇比將可能接近 1:1。

當罩幕於蝕刻期間被侵蝕時，其邊緣的傾斜形貌會轉移到下方基板。第 5B 圖繪示部分傾斜罩幕已轉移到已蝕刻之基板而形成斜面 70。原罩幕 68 的形貌以虛線表示，經蝕刻之侵蝕罩幕 72 則以實線表示。所得到的蝕刻斜面 70 具有特定斜率，其斜角取決於傾斜罩幕邊緣的角度和選用之蝕刻氣體蝕刻光阻與矽的速率比。

藉由控制蝕刻選擇比可控制鏡子角度。回流光阻邊緣之角度與形成於矽中之角度的差異取決於蝕刻製程的材料選擇比，可藉由改變二種蝕刻氣體的比例而調整該製程的材料選擇比。例如，如第 6 圖所示，採用罩幕 76 蝕刻速率快於基板 78 蝕刻速率的蝕刻氣體會形成斜面 80。相對地，若採用罩幕 76 蝕刻速率慢於基板 78 蝕刻速率的蝕刻氣體則會形成斜面 82。後者蝕刻矽的速率比前者慢，故會形成較平緩的鏡面。

如第 7 圖所示，也可隨著時間變化(或等同隨著蝕刻深度變化)改變蝕刻選擇比，進而形成不同的蝕面。在第 7

圖之實施例中，混合氣體的蝕刻比(即光阻：矽)隨著製程的進行而降低。因此相較於製程晚階段，製程早階段蝕刻矽的速率比光阻快。如此形成之蝕面其接近底部的角度較陡而表面附近的角度較緩。換言之，形成之蝕面具有凹曲線。凹面可做為聚焦鏡。

反向執行上述製程，即從較低的蝕刻比變成較高的蝕刻比，可得到具相反曲線的表面。換言之，此將形成凸面，其可做為離焦鏡。

需注意，若下層蝕面有些微不當的彎曲，則可利用前述方式控制氣體比例來加以修正。依此方式可完全控制鏡子截面呈任一預定形狀。

藉由使表面平面中的單幕邊緣彎曲，亦可製造出具平面內(in-plane)曲率的鏡子。例如參照第 8 圖，覆蓋光阻 92 的斜邊 90 是彎曲的，即凸狀。若斜邊轉移到下方矽中，則形成之鏡子具有平面內之曲率。當然，也可凹向修改邊緣而形成相反的曲率。

應理解的是，第 8 圖的技術可結合前述形成其他方向之曲率的技術(參見第 7 圖)，以更徹底控制鏡子形狀。

參照第 9A-9B 圖，待蝕刻之材料可能是不同質的，故其接觸同一蝕刻氣體時通常會有不同的蝕刻速率。舉例來說，若矽基板 101 設有核心為矽鍺(SiGe)的埋置光波導 103，且期望將之形成對準核心的鏡面；則表示蝕刻製程需向下蝕穿上方矽、SiGe 核心，而蝕入下方矽。在此製程期間，蝕刻氣體將接觸二種不同的材料，即矽和 SiGe，然同

一蝕刻氣體對這些材料的蝕刻速率不同。若整個蝕刻製程使用同樣的蝕刻氣體，則蝕穿 SiGe 核心時會改變斜面的斜率。若 SiGe 的蝕刻速率比矽快，則將產生如第 9A 圖所示之形貌。

為維持角度不變，蝕刻到 SiGe 材料時需改變蝕刻氣體，使光阻與 SiGe 的蝕刻選擇比等同於先前光阻與 Si 的蝕刻選擇比。若蝕刻氣體更換正確且時機恰當，則將產生如第 9B 圖所示之形貌。

可憑經驗判斷正確的氣體種類並調整更換新氣體的時機。確立恰當時機的方法很多。其一為封閉迴路方式，其採用終點偵測系統(一般是指光學發射光譜)來偵測待蝕刻材料的組成。此功能現已附加到市售蝕刻系統，例如應用材料公司(Applied Materials, Inc.)提供的「Eye-D」終點系統。在 Si/SiGe 波導結構中，當終點偵測系統偵測到錯的存在時，表示已蝕及纖核，接著改變氣體種類使光阻：SiGe 的蝕刻選擇比近似於光阻：Si 的蝕刻選擇比。由於波導的纖核很小，因此偵測訊號的信號雜訊比(signal to noise ratio)可能太低，以致不易偵測到待蝕刻材料的變化。此問題可藉由擴及偵測晶圓上大很多的測試區域而改善，故當蝕及 SiGe 核心層，即待蝕刻材料的組成改變時，可產生較大的訊號。

另一改善的方法為開放迴路方式，依此可憑經驗判斷何時蝕及 SiGe 核心，然後在此時間點改變蝕刻氣體。在此實施例中，只在整個蝕刻過程的特定時間點改變氣體種類。

回流邊緣角度控制

如上述，回流製程可形成光阻斜邊。雖然斜邊是可控制的，但若邊緣為半無限(semi-infinite)的邊界時，則需非常仔細地監測多個光阻處理階段。終點為光阻半無限平面的邊緣將在升溫狀態下繼續回流(因而改變角度)，直到光阻產生交聯或硬化。

如第 10B 及 10C 圖所示，另一控制罩幕邊緣角度的方法為利用光阻的有限線寬。有限線寬將不斷回流直到形成圓柱形「蓋」，然後將停止回流或改變角度。不像回流半無限的光阻層，此製程很容易控制。

第 10A-10C 圖繪示回流材料之半無限區域達成的罩幕邊緣相對不同寬度之有限線寬達成的罩幕邊緣。前者所形成之罩幕邊緣的斜率會隨時間變化。因此其不必要在正確的時間停止回流製程。反之，用於有限線寬之罩幕邊緣的斜率將達到平衡(即最終數值)，其主要與原罩幕厚度和線寬有關。光阻厚度一樣時，線寬越小，斜率越大。計算邊緣角度的數學運算類似上述球面透鏡罩幕的數學運算。

第 11 圖顯示鏡子角度受氣體種類與使用線寬影響的程度。圖形顯示在三種不同的 Cl 與 HBr 混合氣體中，縱軸之鏡子角度對應橫軸之線寬的關係。在上方的三條曲線中，最下面曲線(以符號 Δ 標示)的氣體流量為 210sccm 的氯氣和 90sccm 的 HBr 氣體。由圖可知，利用約 24 微米之線寬可得 45 度的角度。中間曲線(以符號 $\blacksquare$ 標示)的氣體流量

為 180sccm 的氯氣和 120sccm 的 HBr 氣體。在此，利用約 33 微米之線寬可得 45 度的角度。最上面曲線(以符號◆標示)的氣體流量為 140sccm 的氯氣和 160sccm 的 HBr 氣體，其中利用約 43 微米之線寬可得 45 度的角度。

注意第 11 圖的最下方曲線表示起始光阻角度，而以符號×標示的曲線表示使用蝕刻比 1：3 之蝕刻劑蝕刻表面的預估角度。

對這三種混合氣體而言，配合適當的線寬可精確得到 45 度的鏡子角度。這些曲線為平滑且具再現性。另外，改變氣體比例可用來微調角度。

形成的邊緣角度不受各種製程參數影響，例如回流時間、回流溫度、和升溫速度。意即，製程中不需極小心控制這些參數，因此有助於提昇再現性。調整回流的關鍵參數為圖案特徵的線寬。這結果非常好，因為半導體產業非常會控制線寬(關鍵尺寸)。

利用有限線寬的缺點為，其必然會形成二個相反的鏡面，如第 12A 圖各側的箭頭所示。二鏡面會將底下的波導一分為二。這將不利於許多應用，尤其是應用於耦合光學訊號至長波導。

為克服此問題，乃採用二階罩幕。首先如第 12B 圖所示，諸如氮化物或氧化物的硬罩 100 沉積在晶圓 102 的表面。接著，蝕刻移除預定區域的硬罩 100 而露出下方基板。預定區域為將沿著埋置光波導 106 形成鏡子的區域。然後形成有限線寬的光阻 108，其一邊位於裸露的預定區域，

另一邊位於硬罩 100 上。換言之，硬罩延伸到侵蝕罩幕下方。以正常方式進行回流，接著蝕刻形成鏡子。硬罩 100 可避免蝕刻形成多餘的第二鏡面，而僅形成預定的單一鏡面。形成預定鏡面後，以傳統熟知的方法移除剩下的光阻和硬罩。

硬罩應較光阻薄，如此才能將其對光阻的衝擊降至最低。旋塗光阻時，厚硬罩會不當影響光阻的徑向流動，導致徑向分布不均。

彌補光阻厚度差異

晶圓各處的蝕刻速率通常不一樣。其差異約為 1-2%。但蝕刻後之 3D 結構透鏡的均勻度取決於用來製造此結構之蝕刻比的差別(即光阻：基板的蝕刻比)。並已發現蝕刻比或蝕刻選擇比的差異很小。故即使晶圓各處的絕對蝕刻速率不同，重要參數(即二種蝕刻速率比)也幾乎不會改變。

然儘管蝕刻技術不斷精進，大尺寸的基板仍有其他影響蝕面角度的不均勻問題。例如，光阻放置到晶圓上的厚度差異將導致光罩在晶圓中央與邊緣的形貌不同。因光阻厚度正常變化，故晶圓各處的角度亦有所不同。所幸這些差異是可測量且可預測的。為彌補此差異，不同線寬可用於有限線寬的熱回流定義罩幕。換言之，特意的微影變化(如漸縮線寬)可用來消除不當的罩幕厚度變化。因此，晶圓邊緣之晶片上的鏡子所使用的線寬不同於晶圓中間附近之晶片上的鏡子。

換言之，線寬可做為調整參數。若光阻在晶圓邊緣附近的厚度比晶圓中央薄，則光阻邊緣的斜率將較小，因而形成不同的蝕面角度。在晶圓邊緣附近使用較窄線寬將可補償薄光阻的影響。如上所述，假設光阻厚度不變，越窄的罩幕線寬將形成越陡的罩幕邊緣。既然光阻較薄，可選用適當線寬來完全彌補薄光阻的影響。

利用此技術可補償晶圓上任一全面性的不均勻度。

由於晶圓的微影照光是透過多次步進與重複曝照晶圓上的小晶粒特徵，因此實踐上述想法的方式之一為改變待曝光之晶圓區域上的光罩。就靠近邊緣的區域而言，使用的光罩線寬較小。然此方式的成本高且產能低。

參照第 13 圖，另一方式為使用光微影步進系統 200 來漸縮線寬並以不同偏移量二次曝照晶粒而得最終顯影線寬。根據此方式，寬度為 W 的線 202 繪製於罩幕 204 上，且寬度 W 對應形成晶圓 210 上最寬預定回流(最平角度)所需的最大線寬。在晶圓其他欲形成較窄回流寬度的區域中，圖案為投射到光阻 208 上並經曝光一次，然後移動晶圓 210 一段距離，此偏移量等於繪製(最大)線寬與此處預定線寬的差異，並再次曝光，如此可在光阻中形成未曝光的區域(以正光阻為例)且其寬度 D 等於晶圓此處的預定線寬。利用光微影步進機台執行偏移和二次曝光技術，可「縮減」將用來進行回流的光阻。

二次曝光中的精確重疊量為調整參數。不同的位移用於晶圓上不同的晶粒，其視晶粒相距晶圓邊緣的距離而

定。若採用正型光阻，則按二次曝光間的位移量計，形成在晶圓上的線寬將比罩幕線寬小。

例如，罩幕可使用 40 微米之線寬來製造鏡子。靠近晶圓邊緣處，稍微移動罩幕位置後進行二次曝光可得較窄之線寬(如 39 微米)，藉以彌補薄光阻的影響。

回填鏡子凹穴

蝕刻半導體晶圓正面的鏡子會留下大凹穴(例如，許多光學應用留下數微米深的凹洞)。在某些應用中，如 U.S.S.N 10/280,505 所述之光學預備基板的應用，晶圓表面需為平面。蝕刻鏡子造成的任一溝渠或空洞皆可能影響後續的平坦化或 CMOS 製程。故諸如形成鏡子所產生的凹穴必須加以填充及平坦化，以利後續製程進行。填充凹穴的難處在於找尋應力低、沉積容易且夠厚的材料，其可以傳統化學機械研磨(CMP)製程平坦化，又不會干擾留在凹穴外的矽。例如，以二氧化矽(SiO_2)做為填充料就特別不適合 CMP 移除。

解決方式之一繪示於第 14A-14E 圖。圖中顯示一基板 300，具有形成於背面的透鏡 302 和預先形成在基板 300 中的光波導 306。為製造斜面 304(其將形成沿著波導 306 且對準透鏡 302 的鏡子)，薄的氮化 CMP 中止層 308 沉積到晶圓上。中止層接著經圖案化而移除鄰近待形成鏡子之區域的中止層(第 14A 圖)。其次，利用上述技術(即採用具蝕入下方晶圓之斜邊形貌的光阻線)，蝕刻斜面 304 至開口

內的矽中。蝕刻完斜面 304 後，薄的 SiO_2 氧化層 310(或其他具對比折射率的介電層)生長或沉積於已蝕刻的斜面 304 上。其厚度僅需符合鏡子反射的需求即可。然後，利用厚光阻製程和濕蝕刻製程，圖案化氧化層 310 及移除斜面 304 區域以外的氧化層。如此會留下需要填充的凹穴 312(參見第 14B 圖)。

圖案化氧化層 310 後，矽 314 將生長或沉積填入(或過填)凹穴 312(參見第 14C 圖)。選擇性磊晶製程例如可用來將後續平坦化表面的 CMP 需求減至最低。填充凹穴後，進行 CMP 製程並利用氮化中止層 308 的表面來研磨矽 314，進而露出中止層 308(參見第 14D 圖)。另外，為簡化 CMP 製程，研磨矽 314 的步驟可調整成最適合矽的條件，即使氧化層 310 可能尚未平坦化。接著，進行濕氧蝕刻以移除矽表面下的氧化層 310。然後剝除露出的氮化中止層 308(參見第 14E 圖)。如此將留下裸露在角落的 SiO_2 ，其可由最後碰觸(final touch)CMP 加以研磨移除。由於相較於晶圓表面，裸角佔地很小，因此 CMP 可輕易移除之。

其他實施例亦落在後附申請專利範圍內。以透鏡為例，雖然其在此為形成凹透鏡，但藉由蝕刻周圍表面，也可製成突出表面的型式。此外，儘管上述說明涉及透鏡與鏡子的實施例，然在此之技術也可用於製造基板中其他有用的 3D 結構。

尚需注意的是，任一蝕刻參數(例如包括壓力、功率、偏壓、和晶圓溫度)當可改變來達到上述微調目的。改變氣

體比例是概念上最簡單的方法。

【圖式簡單說明】

第 1 圖為背面透鏡與鏡子將光線耦合進出 IC 晶片之光路的示意圖。

第 2 圖繪示用於熱回流光阻的球面罩近似值。

第 3 圖繪示用來形成基板中之透鏡的蝕刻製程。

第 4 圖繪示用於形成球面透鏡的光阻圓形區域，以及用於形成具至少二種不同曲率半徑之透鏡的光阻橢圓形區域。

第 5A-5B 圖繪示漸縮邊緣侵蝕罩幕如何用來製造鏡子。

第 6 圖繪示如何利用不同蝕刻速率比(光阻：矽)來製造不同斜率的斜面。

第 7 圖繪示如何藉由改變蝕刻製程的蝕刻速率比來製造彎曲鏡面。

第 8 圖繪示用於製造具平面內之曲率半徑之鏡面的罩幕。

第 9A-9B 圖繪示不同蝕刻速率對蝕刻劑所作用之材料的影響。

第 10A-10C 圖繪示利用光阻的窄線寬來控制光阻圖案邊緣的斜角。

第 11 圖為鏡子角度對應線寬與氣體種類的曲線圖。

第 12A-12B 圖繪示如何使用硬罩來避免形成非所欲的

鏡面。

第 13 圖繪示如何藉由漸縮位在該晶圓邊緣附近的線寬來彌補不均勻的光阻厚度。

第 14A-14E 圖繪示填充鏡子凹穴的方法，以便進行後續的微電子製程。

【主要元件符號說明】

10 晶片	12 載體
14 球格陣列	16 波導
18 鏡子	20、24 透鏡
22 耦合器/子構件	26 鏡面
28 光軸	30、34 延伸部
32 光面	38 光纖束
39 氣隙	40 纖核
42 纖殼	44 緩衝層
46 護罩	48 延伸臂
50 罩幕	52 基板
54(1)、54(2)、54(3) 形貌	60 光阻層
61 波導	62、78 基板
64 邊緣	66 區域
68、72、76 罩幕	70、80、82 斜面
90 斜邊	92 光阻
101 基板	103 波導
100 硬罩	102 晶圓

106 波 導

200 系 統

204 罩 幕

210 晶 圓

302 透 鏡

306 波 導

310 氧 化 層

314 矽

108 光 阻

202 線

208 光 阻

300 基 板

304 斜 面

308 中 止 層

312 凹 穴

五、中文發明摘要：

本文揭露形成 3D 結構於基板中的方法。光阻層沉積在基板上。光阻層經圖案化而以在一定義出預定位置處定義出的一邊緣。使光阻再流動而形成自由邊緣延伸出的漸縮區域。同時蝕刻該已再流動之的光阻和基板，以將已再流動之光阻的漸縮形貌轉移到下方基板而形成斜面。在蝕刻完盡所有光阻之前停止蝕刻製程。

六、英文發明摘要：

Methods of forming a 3D strcture in a substrate are disclosed. A layer of resist is deposited on the substrate. The layer of resist is patterned to define an edge at a predetermined location. The resist is reflowed to form a tapered region extending from the etch. Both the reflowed resist and the substrate are concurently etched to transfer the tapered profie of the reflowed resist into the underlying substrate to form an angled surface. The etching is discontinued before all of the resist is consumed by the etching.

十、申請專利範圍：

1. 一種於一基板中形成一 3D 結構的方法，該方法包含：

沉積一光阻層於該基板上；

圖案化該光阻層以在一預定位置定義出一邊緣；

回流該光阻層而形成自該邊緣延伸的一漸縮區域；

同時蝕刻該已回流之光阻層和該基板，以將該已回流之光阻層的漸縮形貌轉移到下方的該基板，而形一成斜面；
以及

在蝕刻完所有該光阻層之前停止蝕刻。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中該同時蝕刻的步驟包含進行乾蝕刻。

3. 如申請專利範圍第 2 項所述之方法，更包含在停止蝕刻後，移除留在該基板上的該光阻層。

4. 如申請專利範圍第 2 項所述之方法，更包含：

沉積一蝕刻中止層於該基板上；以及

圖案化該蝕刻中止層而於該預定位置附近形成一開口。

5. 如申請專利範圍第 4 項所述之方法，其中圖案化該光阻層的步驟包含在該蝕刻中止層的該開口內形成該邊緣。

6. 如申請專利範圍第 2 項所述之方法，其中該同時蝕刻的步驟包含使用一第一蝕刻劑來蝕刻該光阻層，以及使用不同於該第一蝕刻劑的一第二蝕刻劑來蝕刻該基板。

7. 如申請專利範圍第 6 項所述之方法，其中該第一蝕刻劑包含一氧化氣體。

8. 如申請專利範圍第 6 項所述之方法，其中該第二蝕刻劑包含一含鹵素氣體。

9. 如申請專利範圍第 2 項所述之方法，其中該同時蝕刻的步驟包含使用達到最初預定之光阻：基板蝕刻比的一蝕刻劑來進行蝕刻。

10. 如申請專利範圍第 9 項所述之方法，其中該同時蝕刻的步驟包含隨著蝕刻的進行改變該蝕刻劑，以改變該光阻：基板之蝕刻比。

11. 如申請專利範圍第 2 項所述之方法，其中圖案化該光阻層的步驟包含形成一光阻線，並且具有多個開口位於該光阻線的任一側。

12. 一種於一基板中製造一鏡子的方法，該方法包含：
沉積一光阻層於該基板上；

圖案化該光阻層以在一預定位置處定義出一邊緣；

回流該光阻層而形成自該邊緣延伸的一漸縮區域；

同時蝕刻該已回流之光阻層和該基板，以將該已回流之光阻層的一漸縮形貌轉移到下方的該基板而形一成斜面；
以及

沉積一塗層於該斜面上，以形成該鏡子。

13. 如申請專利範圍第 12 項所述之方法，更包含：

沉積一蝕刻中止層於該基板上；以及

圖案化該蝕刻中止層而於該預定位置附近形成一開口。

14. 如申請專利範圍第 13 項所述之方法，其中圖案化該光阻層的步驟包含在該蝕刻中止層的該開口內形成該邊緣。

15. 如申請專利範圍第 13 項所述之方法，其中該同時蝕刻包含在該基板中形成一凹穴，且該方法更包含：

使用一填充料填入該凹穴；以及

在填滿該凹穴之後，平坦化該基板直到抵達該蝕刻中止層為止；以及

移除該蝕刻中止層。

16. 如申請專利範圍第 13 項所述之方法，其中該塗層包含一介電質。

17. 如申請專利範圍第 13 項所述之方法，其中該同時蝕刻的步驟包含使用一第一蝕刻劑來蝕刻該光阻層，以及使用不同於該第一蝕刻劑的一第二蝕刻劑來蝕刻該基板。

18. 如申請專利範圍第 17 項所述之方法，其中該第一蝕刻劑包含一氧化氣體。

19. 如申請專利範圍第 17 項所述之方法，其中該第二蝕刻劑包含一含鹵素氣體。

20. 如申請專利範圍第 13 項所述之方法，其中該同時蝕刻的步驟包含使用達到最初預定之光阻：基板蝕刻比的一蝕刻劑來進行蝕刻。

21. 如申請專利範圍第 20 項所述之方法，其中該同時蝕刻的步驟包含隨著蝕刻的進行改變該蝕刻劑，以改變該光阻：基板之蝕刻比。

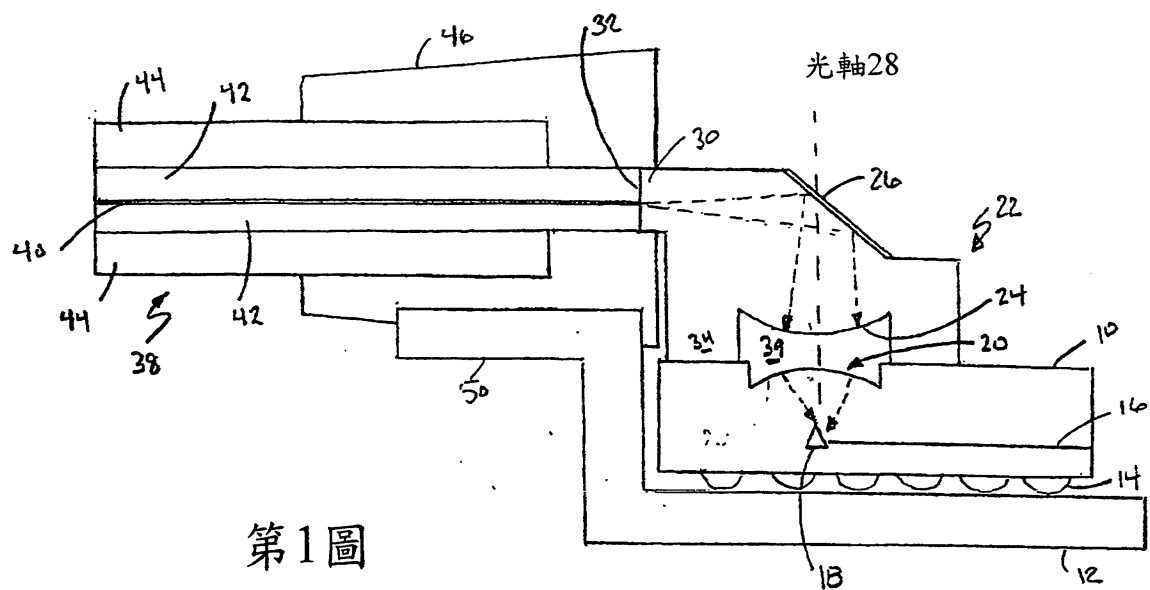
22. 如申請專利範圍第 13 項所述之方法，其中圖案化該光阻層的步驟包含形成一光阻線，並且具有多個開口位於該光阻線的任一側。

23. 如申請專利範圍第 13 項所述之方法，其中：

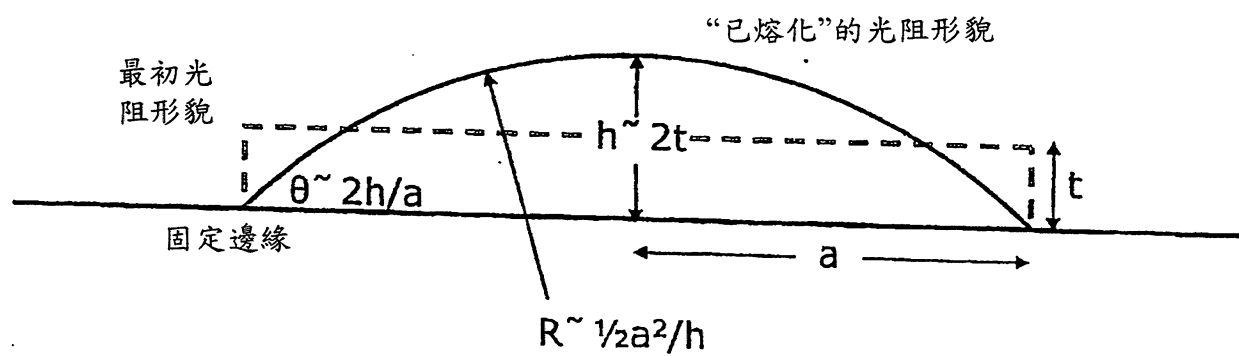
該基板具有一上表面，以及設於該基板之該上表面下方

的一光波導；以及

繼續進行同時蝕刻，直到該斜面切入該光波導。

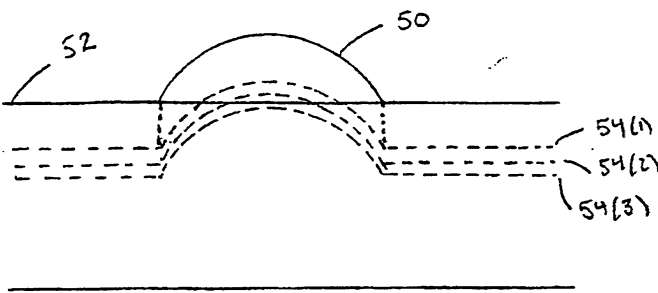


第1圖



第2圖

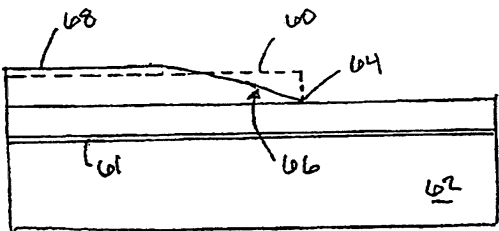
$$\begin{aligned}
 R &= \frac{1}{2}a^2/h + h/2 \\
 \theta &= \tan^{-1}[2ha/(a^2 - h^2)] \\
 \text{Vol} &= \pi a^2 t = \frac{1}{2} \pi h (a^2 + h^2/3) \Rightarrow \\
 h &= A - a^2/A ; A = a^{2/3} [3t + v(a^2 + 9t^2)]^{1/3}
 \end{aligned}$$



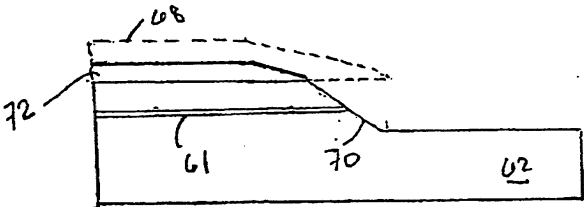
第3圖



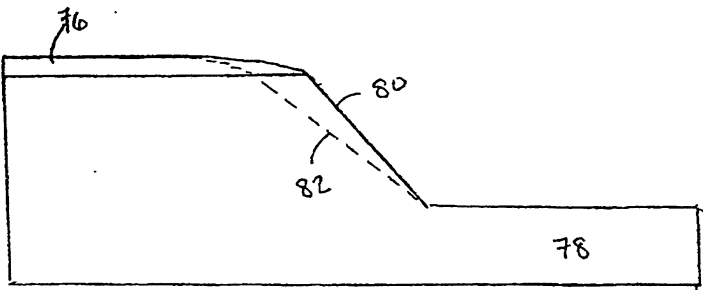
第4圖



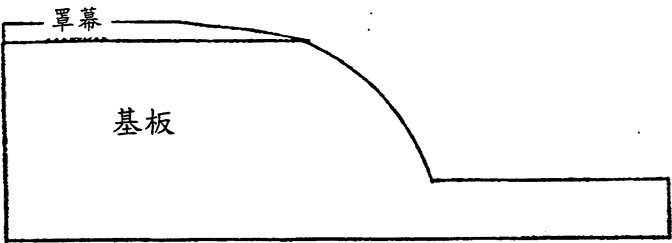
第5A圖



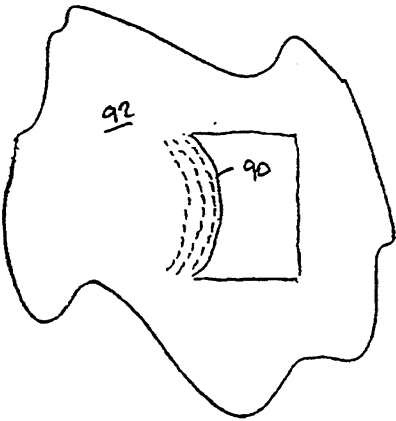
第5B圖



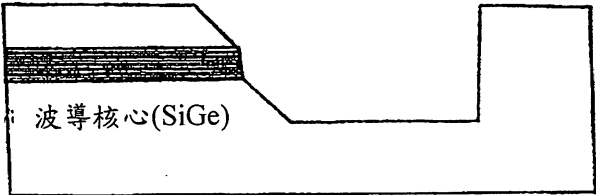
第6圖



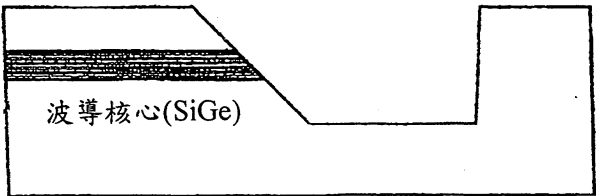
第7圖



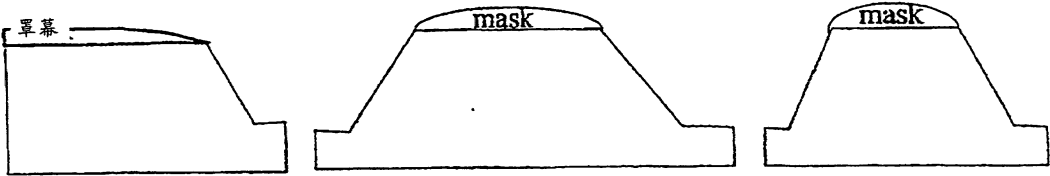
第8圖



第9A圖



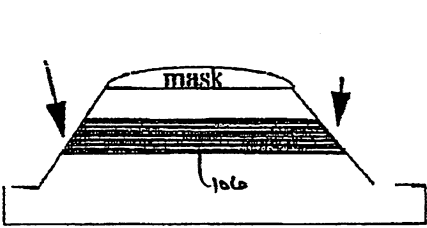
第9B圖



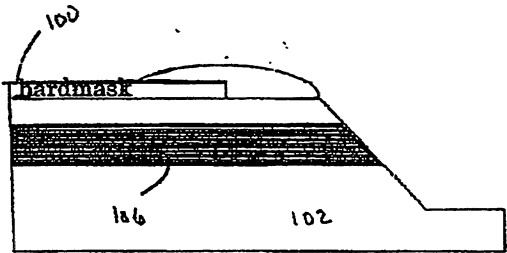
第10A圖

第10B圖

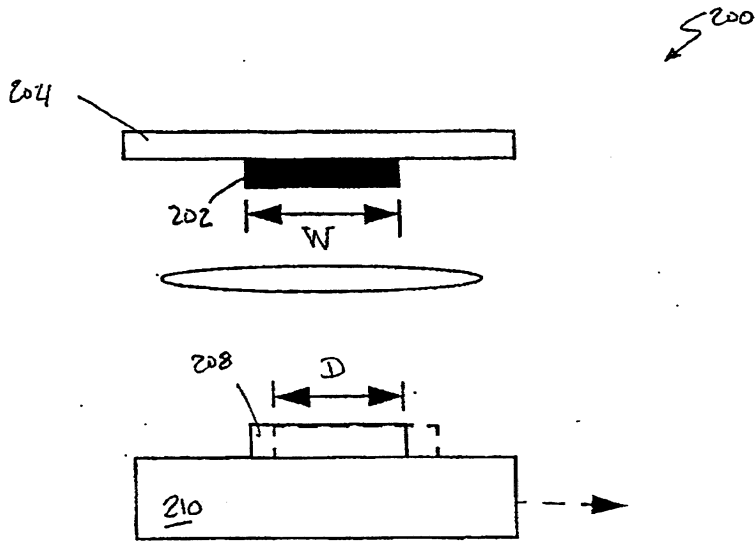
第10C圖



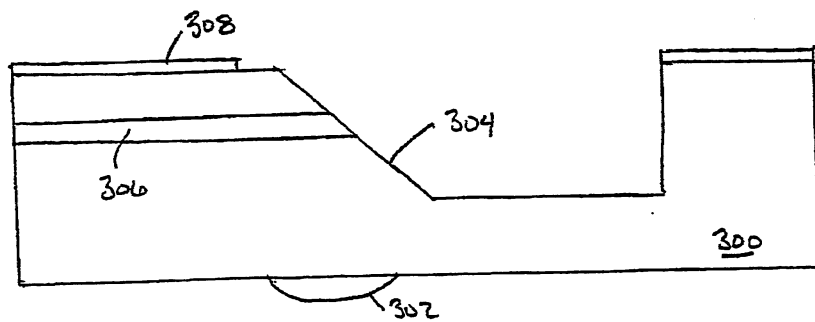
第12A圖



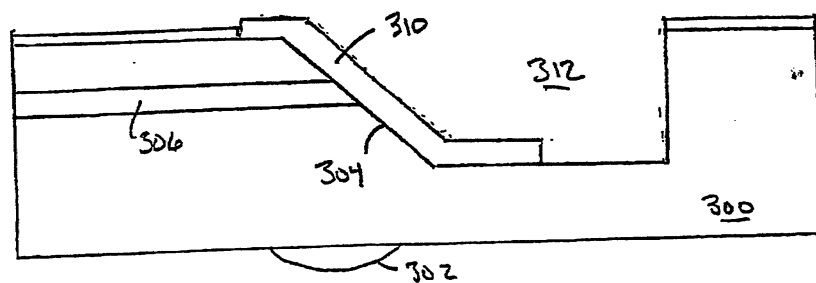
第12B圖



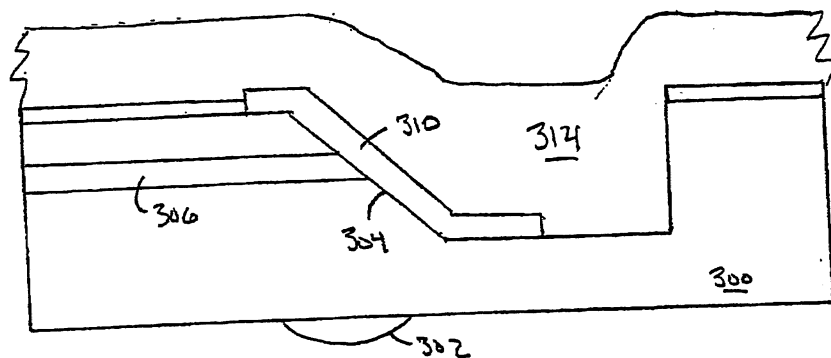
第13圖



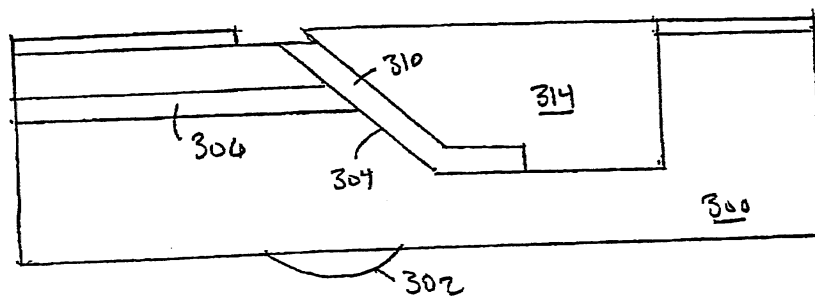
第 14A 圖



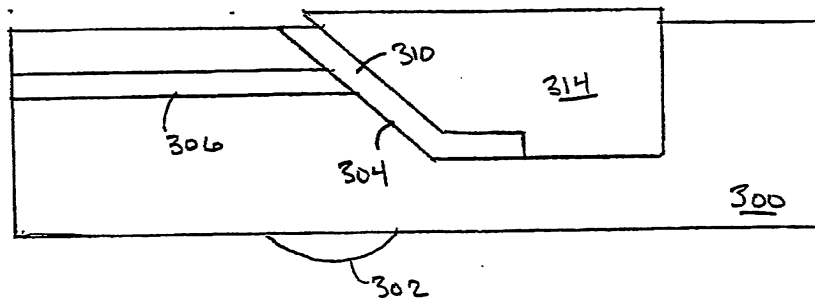
第 14B 圖



第 14C 圖



第 14D 圖



第 14E 圖

七、指定代表圖：

(一)、本案指定代表圖為：第(5B)圖。

(二)、本代表圖之元件代表符號簡單說明：

61 波 導

62 基 板

68、72 罩 幕

70 斜 面

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無