

# 公告本

|      |            |
|------|------------|
| 申請日期 | P01220     |
| 案 號  | P0103350   |
| 類 別  | H01J 37/34 |

A4  
C4

486720

(以上各欄由本局填註)

## 發明專利說明書

|             |               |                                                                                                                  |
|-------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 一、發明<br>名稱  | 中 文           | 可激發電漿波且用於離子化金屬沉積之高密度電漿源                                                                                          |
|             | 英 文           | HIGH-DENSITY PLASMA SOURCE FOR IONIZED METAL DEPOSITION CAPABLE OF EXCITING A PLASMA WAVE                        |
| 二、發明<br>創作人 | 姓 名           | 1.傅建明<br>2.帕布朗古柏羅吉<br>3.陳福森<br>4.約翰福斯特                                                                           |
|             | 國 籍           | 1.美國 2.印度 3.美國 4.美國                                                                                              |
| 三、申請人       | 住、居所          | 1.美國加州聖荷西市沙利那大道 4631 號<br>2.美國加州日光山谷#277 野林大街 1235 號<br>3.美國加州斯凱勒維爾拉必絲塔庭園 13081 號<br>4.美國加州舊金山市第 10 街# 205 465 號 |
|             | 姓 名<br>(名稱)   | 美商·應用材料股份有限公司                                                                                                    |
| 三、申請人       | 國 籍           | 美國                                                                                                               |
|             | 住、居所<br>(事務所) | 美國加州聖大克勞拉市波爾斯大道 3050 號                                                                                           |
| 三、申請人       | 代 表 人<br>姓 名  | 瓊西 J. 史維尼                                                                                                        |

裝

訂

線

(由本局填寫)

|           |
|-----------|
| 承辦人代碼：    |
| 大類：       |
| I P C 分類： |

A6  
B6

本案已向：

國（地區） 申請專利，申請日期： 案號： ☒有 ☐無主張優先權

本案已向美國申請專利；申請日：2000 年 4 月 11 日 案號：09/546,798 號

有關微生物已寄存於： 寄存日期： 寄存號碼：

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄）

裝

訂

線

經濟部智慧財產局員工消費合作社印製

## 五、發明說明( )

### 發明領域：

本發明大致關係於材料的濺鍍。更明確地說，本發明關係於創造一磁場以加強濺鍍之磁控管。

### 發明背景：

也被稱為物理氣相沉積(PVD)之濺鍍係為半導體積體電路之製造中，沉積金屬層或相關材料層之最流行的方法。傳統 PVD 反應器 10 係以剖面方式示於第 1 圖中，所例示者係基於由美國加州聖塔卡拉應用材料公司所購得之 Endura PVD 反應器。反應器 10 包含一密封至一 PVD 靶材 14 之真空室 12，該靶材係通常由金屬之材料作成，該材料係予以被濺鍍於被夾持於加熱器托架 18 上的晶圓 16 上。一被夾持於室內之屏蔽 20 保護室壁 12 不受濺鍍材料並提供陽極接地平面。一可選擇直流電流 22 相對於屏蔽 20 加負偏壓至靶材 14，至約 -600VDC。傳統上，托架 18 及晶圓 16 係被保持為電氣浮置。

一氣體源 24 供給濺鍍工作氣體，典型為化學不活性氣體氬，經由質流控制器 26 至室 12。於例如氮化鈦之反應氮化金屬濺鍍中，氮係被由另一氣體源 27 經由本身質流控制器 26 加以供給。氧也可以供給以產生例如  $\text{Al}_2\text{O}_3$  之氧化物。氣體可以如所示加入於室頂，或於其底部，以一或多數入口管透過屏蔽之底部或經過於屏蔽 20 及托架 18 間之間隙。一真空系統 28 維持真於一低壓。雖然基礎壓力可以保持於約  $10^{-7}$  托耳或更低，但工作氣體的壓力係

## 五、發明說明( )

典型維持於約 1 至 1000 毫托耳之間。一電腦為主控制器 30 控制包含直流電源 22 及質流控制器 26 之反應器。

當氫被加入室中時，於靶材 14 及屏蔽 20 間之直流電壓激勵氫成為電漿，及正電荷氫離子係被吸引至負電荷靶材 14。諸離子以大量能量來碰撞靶材 14 並造成靶材原子或原子團由靶材 14 濺射。一些靶材料子碰撞晶圓 16，藉以沉積於其上，以形成一靶材薄膜。於氮化金屬之反應濺鍍中，氮係被另外加入至室 12 中，並與濺鍍金屬原子反應，以形成一氮化金屬於晶圓 16 上。

為了提供有效濺鍍，一磁控管 32 係定位於靶材 14 之背面。其具有相對之磁鐵 34，36，磁鐵 34，36 係於其附近在室內創造一磁場。磁場捕獲電子及帶電中性，離子密度同時增加，以在鄰近磁控管 32 附近，在室內形成高密度電漿區 38。磁控管 32 通常係繞著靶材 14 中心旋轉，以完成靶材 14 之濺鍍之完整覆蓋。磁控管之形式係為本專利申請案之標的，所例示形式係只作建議而已。

於半導體積體電路之整合程度上已經有愈來愈多需求濺鍍設備及處理。很多問題係有關於接觸及導孔。如於第 2 圖所示之剖面圖中，導孔或接觸孔 40 係經由一內介電層 42 加以蝕刻，以於下層或基材 46 到達一導電特性 44。濺鍍係然後被用以填充金屬入孔 40 中，以提供層間電氣連接。若下層 46 為半導體基材，則所填充孔 40 係被稱為接觸；若下層為一下層金屬化層，則所填充孔 40 被稱為一導孔。為了簡單起見，申請人將於此後均簡稱導

## 五、發明說明( )

孔。層間導孔的寬度已經降低至 0.25 微米左右或更低，而內介電層之厚度一直保持接近於約 0.7 微米之定值。結果，於先進積體電路中之導孔已經增加深寬比至 3 或更大。對於部份開發中之技術，則需要 6 之深寬比或更大之深寬比。

此高深寬比對於濺鍍造成一問題，因為濺鍍之多數形式並非強型非等向性的，典型地，對垂直線有餘弦關係，使得開始沉積材料偏向於沉積於孔之頂部並可以造成橋接現象，因而，防止孔底部之填充並於導孔金屬中造成了孔隙。

然而，已知深孔填充可以藉由使大百分比之濺鍍粒子予以離子化於靶材 14 及托架 18 間之電漿中。第 1 圖之托架 18，即使其保持電氣浮置，也發展出一直流自偏壓，其吸引來自電漿之離子化濺鍍粒子越過鄰近托架 18 之電漿護套，並深入於介電層 42 中之孔 40。該作用可以托架電極 18 之額外直流或 RF 偏壓加以加強，以額外地加速被吸引離子化粒子通過電漿護套向晶圓 16，藉以控制濺鍍之方向性。以大百分比離子化濺鍍原子濺鍍之過程係被稱為離子化金屬沉積或離子化金屬電鍍(IMP)。兩種有關孔填充之量化量測係為底覆蓋及側覆蓋。如於第 2 圖所例示，開始濺鍍階段沉積一層 50，其具有表面或全面厚度  $s_1$ ，底部厚度  $s_2$ ，及側壁厚度  $s_3$ 。底覆蓋係等於  $s_2/s_1$ ，及側壁覆蓋係等於  $s_3/s_1$ 。該模型係過度簡化，但於很多情形下係適當的。

## 五、發明說明( )

增加離子化百分比的方法係創造一高密度電漿(HDP)，例如藉由將一RF線圈加至第1圖的室12側邊。一HDP反應器不只創造高密度氫電漿同時也增加濺鍍原子之離子化百分比。然而，HDP PVD反應器相當新穎並昂貴，同時，所沉積膜之品質也不是一直最佳。吾人想要繼續採用第1圖之PVD反應器之直流濺鍍。

增加離子化比例的另一方法係使用中空陰極磁控管，其中靶材具有頂帽之形狀。雖然，此類型之反應器很流行，但複雜形狀之靶材係很昂貴的。

吾人已觀察到以電感耦合HDP濺鍍反應器或中空陰極反應器之銅濺鍍傾向於導孔側壁形成一起伏銅膜，並且，所沉積之金屬傾向於抗潤濕。當用於例如電鍍，以完成銅孔填充之後續沉積處理，所濺鍍銅層被使用作為一預定最少厚度之種層時，變化厚度係特別嚴重。

於先前技藝中的另一問題是側壁覆蓋傾向於非對稱，其中面向靶材中心的側邊會較面向靶材外大立體角之側邊會塗覆較厚。不但非等稱需要過量沉積以完成預定最小厚度之種層，同時，也造成用於微影術中之對準標示之剖面溝渠似乎移動了，因為諸溝渠係被非對稱地變窄。

另一種提升深孔填充的操作控制是室壓。一般相信低壓將提升孔填充。於壓力較高時，有較高可能使得不論中性或離子化之濺射粒子將碰撞氫載氣之原子。碰撞傾向於中和化離子並隨機化諸速度，這兩者均劣化孔填充。然而，如上所述，濺鍍係取決於至少鄰近靶材之電漿的存

## 五、發明說明( )

在。若壓力被降低太多，則電漿會崩解，最少壓力係取決於幾項因數。

低壓電漿濺鍍的極限係持續自我濺鍍(SSS)，如同由傅等人所揭示於申請於1997年五月8日之第08/854,008號美國專利申請案所示。於SSS中，正離子化濺鍍原子之密度係很高，使得足夠量係被吸引回到負偏壓靶材，以濺鍍更多離子化原子。在靶材的有限量之正確條件下，自我濺鍍維持住該電漿，並不需要氬工作氣體。銅係為最傾向於SSS之金屬，但只有在高功率及高磁場之條件下。銅濺鍍係最認真的發展，因為銅之低電阻率及較不易受電子遷移之故。然而，對於銅SSS以可商業化，則需要開發一全覆蓋，高場磁控管。

所應用至靶材之增加功率允許降低壓力，或許至維持自我濺鍍點。所增加之功率同時也增加離子化密度。然而，過量功率需要昂貴之電源並增加了冷卻。超出30千瓦之功率位準係昂貴的並應儘可能避免。事實上，確切之因數並不是功率而是於磁控管下之區域中之功率密度，因為，高密度電漿區域提升了有效濺鍍。因此，一小型高場磁控管將最容易產生一高離子化密度。為此理由，一些先前技藝揭示一小圓形磁鐵。然而，此一磁控管不只需要繞著靶材中心旋轉，以提供均勻性，同時，也需要徑向掃描以確保靶材之完整及相當均勻覆蓋。若完整磁控管覆蓋未完成，則不只靶材未有效使用，同時，更重要的是，濺鍍沉積之均勻度降低，部份濺鍍材料再沉積於未被濺鍍之靶

## 五、發明說明( )

材區域中。再者，再沉積於未濺鍍區域上之材料可能累積至一傾向於剝落之厚度，而產生嚴重之粒子問題。雖然徑向掃描有可能可避免這些問題，但所需要之掃描機制係複雜的並於生產環境中一般被認為是無法取得的。

一種商業上可購得之磁控管類型為菜豆形，如由美國專利第 5,320,728 號由泰門所例示者。於美國專利第 5,242,566 號案中揭示此形狀之更誇張形式。如於第 3 圖所示，泰門磁控管 52 係基於一菜豆形，其中之磁極相反面 54、56 係為幾乎定寬度之循環間隙 57 所分離。極面 54，56 係為未示出之接於間隙 57 上之蹄鐵形磁鐵所磁耦合。磁控管繞著靶材 14 中心及接近菜豆形內極面 54 之凹緣的旋轉軸 58 旋轉。大致平行於該區域中之間隙 57 之外極面 56 凸彎曲外緣係接近靶材 14 之未使用部份的外圓周。這形狀已經最佳化以用於高場及均勻濺鍍，但具有一接近靶材一半之面積。應注意的是，由極間隙 57 所分離之區域中之磁場係相當地弱。

為了這些理由，吾人想要開發一提供全覆蓋之小型，高場磁控管，以提升深孔填充並維持銅自我濺鍍。

### 發明目的及概述：

本發明包含一濺鍍磁控管，具有一較等直徑圓形面積為小之橢圓形或相關形狀，其中兩直徑相對於磁控管典型旋轉軸，沿著靶材半徑延伸。諸形狀包含賽馬場，橢圓，蛋形，三角形，及弧狀三角形非對稱地定位於該靶材中

## 五、發明說明( )

心。

磁控管係沿著一點旋轉於靶材之背側，該點係較佳接近磁控管之窄端，及較寬端係更定位接近於靶材圓周。較佳地，外部總磁通量係大於靶材一半半徑內之磁通量。

離開靶材之磁強度可以增加，於使用條狀磁鐵之具相當小頂角之三角形磁控管中。

小面積允許至少 600 瓦每平方公分之電功率密度予以由 18 千瓦電源施加至用以濺鍍 200mm 晶圓之全覆蓋濺鍍靶材。

延伸開靶材之高功率密度及磁場係可能產生電漿波之兩種方式，該電漿波可以進一步驅動電漿至更高之密度及離子化。較佳地，一主電漿波係產生於幾百 MHz 範圍之高頻中，其係可參數轉換至甚低頻，例如 5 至 75MHz 之另一波，該轉換係相應於由電容耦合直流功率至靶材所產生之電漿之電子的熱運動速度。

磁控管係架構以於其內極較外圍外極產生較少磁通量。藉以，磁場更進入濺鍍室，以提升低壓濺鍍及持續自我濺鍍。

本發明同時包含可以以此磁控管所完成之濺鍍方法。該延伸於小封閉面積上之高磁場完成了持續自我濺鍍。很多未受到持續自我濺鍍的金屬可以濺鍍於低於 0.5 毫托耳之室壓中，或經常係低於 0.2 毫托耳中，甚至是 0.1 毫托耳中。底覆蓋可以藉由進一步施加低於 250 瓦之 RF 偏壓至一作成支撐一 200mm 晶圓之托架電極上加以進一

## 五、發明說明( )

步改良。銅可以以 18 千瓦之直流功率濺鍍用於 330mm 靶材及 200mm 晶圓於一全自我維持模式或於 0.3 毫托耳或更低之最少室壓。

本發明提供以低容量電源之高功率密度濺鍍。

本發明同時包含以例如足夠靶材功率及離開靶材之高磁場的條件來濺鍍，使得一非線性波束互相反應發生，而將能量加入電漿電子中，而增加電漿密度。

圖式簡單說明：

第 1 圖為一直流電漿濺鍍反應器之示意圖。

第 2 圖為於一半導體積體電路中之層間導孔的剖面圖。

第 3 圖為傳統磁控管之平面圖。

第 4 圖為本發明之磁控管之一實施例的極片沿著第 7 圖之線 4-4 所取的平面圖。

第 5 圖為用於第 4 圖之磁控管之磁鐵的平面圖。

第 6 圖為配合本發明之一實施例使用之一磁鐵的剖面圖。

第 7 圖為第 4 圖之磁控管的剖面圖。

第 8 圖為一蛋形磁控管的平面圖。

第 9 圖為一三角形磁控管的平面圖。

第 10 圖為第 9 圖之三角形磁控管的修改的平面圖，其係被稱為弧狀三角磁控管。

第 11 圖為第 10 圖之弧狀三角磁控管中之磁鐵的平面圖。

第 12 圖為用以計算表面積及周長之兩模型磁控管的平面圖。

五、發明說明( )

第 13 圖為一三角形及圓形磁控管之面積的角度依附性圖式。

第 14 圖為第 12 圖之兩類型磁控管的周長的角度依附性圖式。

第 15 圖為使用條狀磁鐵之本發明的磁控管的仰視圖。

第 16 圖為第 15 圖之磁控管的另一仰視圖。

第 17 圖為以本發明之所述實施例生產之磁場的理想化側視圖。

第 18 及 19 圖為用以量測由本發明磁控管的產生之電漿波之室及磁控管之俯視及側視圖。

第 20 圖為一典型能量分佈電漿電子之能量分離。

第 21 圖為於鈦濺鍍時之底覆蓋中之 RF 晶圓偏壓的作用。

第 22 圖為室壓與氮流量之依附性，其示出以本發明之磁控管，於氮化鈦之反應濺鍍所取得之兩模式沉積。

第 23 圖為以本發明的磁控管之反應濺鍍氮化鈦之兩測鍍模式中所取得之步階覆蓋。

圖號對照說明：

|    |        |    |     |
|----|--------|----|-----|
| 10 | 反應器    | 12 | 真空室 |
| 14 | PVD 靶材 | 16 | 晶圓  |
| 18 | 加熱器托架  | 20 | 屏蔽  |
| 22 | 直流電源   | 24 | 氣體源 |
| 26 | 質流控制器  | 27 | 氣體源 |
| 28 | 真空系統   | 30 | 控制器 |

五、發明說明 ( )

|     |        |     |        |
|-----|--------|-----|--------|
| 32  | 磁控管    | 34  | 磁鐵     |
| 36  | 磁鐵     | 38  | 高密度電漿區 |
| 40  | 填充孔    | 42  | 層間介電層  |
| 44  | 導電特性   | 46  | 基材     |
| 50  | 層      | 52  | 磁控管    |
| 54  | 極面     | 56  | 極面     |
| 57  | 間隙     | 58  | 旋轉軸    |
| 60  | 磁控管    | 62  | 極面     |
| 64  | 極面     | 66  | 圓端     |
| 68  | 極面     | 70  | 間隙     |
| 72  | 中間直線部  | 74  | 圓端     |
| 78  | 旋轉軸    | 80  | 扁長端    |
| 82  | 扁長端    | 90  | 磁鐵     |
| 92  | 磁鐵     | 93  | 核心     |
| 94  | 管狀側壁   | 96  | 蓋      |
| 97  | 延伸銷    | 98  | 軛      |
| 100 | 半環形磁場  | 104 | 軸      |
| 106 | 馬達     | 108 | 外極面    |
| 110 | 內極面    | 112 | 內端     |
| 114 | 外端     | 122 | 間隙     |
| 126 | 三角形磁控管 | 128 | 外極面    |
| 130 | 內極面    | 132 | 間隙     |
| 134 | 直線部    | 136 | 圓形角落   |
| 140 | 弧狀三角形  | 142 | 外極面    |

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝  
訂  
線

五、發明說明 ( )

|     |        |     |        |
|-----|--------|-----|--------|
| 144 | 間隙     | 146 | 內極面    |
| 148 | 圓頂角落   | 150 | 弧形部    |
| 152 | 角落     | 160 | 磁鐵     |
| 162 | 磁鐵     | 164 | 磁鐵     |
| 170 | 三角形磁控管 | 172 | 圓形磁控管  |
| 190 | 磁控管    | 192 | 條狀磁鐵   |
| 194 | 條狀磁鐵   | 196 | 圓磁鐵    |
| 198 | 軛      | 199 | 矩形條狀磁鐵 |
| 200 | 內極     | 202 | 外極     |
| 204 | 處理區域   | 206 | 間隙     |
| 208 | 軛      | 210 | 三角形磁控管 |
| 212 | 外極     | 214 | 內極     |
| 216 | 靶材     | 218 | 探棒     |
| 232 | RF 電源  | 234 | 電容耦合電路 |
| 236 | 線      | 238 | 線      |
| 240 | 上升壓    | 242 | 下降壓    |
| 244 | 低壓     | 246 | 高壓     |
| 250 | 線      | 252 | 線      |

發明詳細說明：

本發明之一實施例係為如於第4圖之平面圖所示之賽馬場形磁控管60。賽馬場形磁控管60具有一磁極性之中心條狀極面62，其具有相反平行直線側64為兩圓端66所連接。該中心條狀極面62係為一另一極性之外長形環

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

## 五、發明說明( )

形極面 68 所包圍，以具有幾乎不變寬度之間隙 70，以分離條形及環形極面 62，68。外磁極性之外極面 68 包含相反平行中間直線部 72，其係為兩圓端 74 所連接，呈大致中心對稱於內極面 62。中間部 72 及圓端 74 係為具有幾乎等寬之帶狀。如下所簡述之磁鐵使得極面 62，68 具有相反極性。一予以如後簡述之背板提供於磁極相反極面 62，68 間之磁軌並作為磁控管結構之支撐。

雖然所示之兩極面 62，68 係具有特定磁極性產生磁場，大致垂直於所例示平面延伸，但可以了解的是，相反磁性磁極組可以產生相同磁作用。所例示組件產生一大致半環形磁場，其具有平行弧狀，其係垂直延伸至一封閉路徑，該路徑於中心具有最小無場區。其中造成一磁場的封閉通道，該磁場形成通道之支柱。

第 4 圖之極組件係想要以於濺鍍時，以相當高旋轉速率繞著一旋轉軸 78 作連續旋轉。該旋轉軸 78 幾乎重合均勻沉組成的靶材的中心。旋轉軸 78 係位於或接近外極面 68 之一扁長端 80，以另一扁長端 82 位於接近靶材 14 之外徑範圍。旋轉磁控管 60 相對於靶材中心之對稱放置提供了一小磁控管，同時完成了全靶材覆蓋。靶材之外可用圓周因為不同磁控管設備使用相同靶材之不同部份所以並不容易定義。然而，其係為靶材之平面積所約束並一直延伸，以遠超出予以濺鍍之晶圓之直徑並略小於靶材面之面積。對於 200mm 晶圓，典型有 325mm 之靶材面。一 15% 之未使用靶材半徑可以被認為是實用上限。賽馬場磁控管

## 五、發明說明( )

於先前技藝中係為已知的，但它們一般係定位於對稱靶材之中心。於上述之本發明中，賽馬場係非對稱於其內端，以重疊靶材中心或結束於一徑向位置，該位置較佳係由靶材中心之靶材半徑之 20% 內，最好是 10% 之內。所例示賽馬場沿著靶材之直徑延伸。

如於第 5 圖之平面圖所示，兩組磁鐵 90，92 係安置於極面 62，80 之背面，以產生兩磁極性。極面 62，68 及磁鐵 90，92 及可能一背磁軛之組合產生了兩相反磁極，其具有由極面 62，68 所定義之區域。其他機構可以用以完成此磁極。

兩類型之磁鐵 90，92 可以為類似結構及結成，以於每一垂直面向端，產生一軸向延伸磁通量。若它們為不同磁組成，直徑或長度，由不同磁鐵所產生之通量也可以不同。一磁鐵 90，92 之剖面係示於第 6 圖中。一延伸沿著軸之圓柱磁鐵心 93 係由例如鉕硼鐵(NdBFe)強磁材料所構成。因為此一材料係容易氧化，所以核心 93 係被密封於由管狀側壁 94 及兩大致圓柱蓋 96 所作成之外殼中，該蓋 96 係被銲接在一起，以形成一氣密罐。蓋 96 係由軟磁材料作成，較佳為 SS410 不鏽鋼，及管狀側壁 94 係由非磁性材料，較佳 SS304 不鏽鋼作成。每一蓋 94 包含一軸向延伸銷 97，其係啮合於極面 62，68 之一或於以下所簡述之磁軛中之相關捕捉孔。藉以，磁鐵 90，92 係固定於磁控管中。磁核心 93 係沿著其軸向磁化，但兩不同類型之磁鐵 90，92 係朝向磁控管 60 中，如於第 7 圖之剖面圖所

## 五、發明說明( )

示，使得內極 62 之磁鐵 90 係對準，以令其磁場垂直延伸於一方向，及外極 68 之磁鐵 92 對準，以令其磁場垂直延伸於另一方向。即，它們具有相反極性。

如於第 7 圖之剖面圖所示，磁鐵 90，92 係靠近地安排於極面 62，68 上(使如第 1 圖之方向)，該等極面係位於靶材 14 之背面。一具有大致封閉形之磁軛 98 大致配合於外極面 68 之外圓周者係靠近地定位於磁鐵 90，92 之背面，以磁耦合兩極 62，68。如前所述，於極面 62，68 及軛 98 中之孔固定了磁鐵 90，92，及未示出之硬體固定極面 60，68 至軛 98。

內磁鐵 90 及內極面 62 構成一磁極之內極，而外磁鐵 92 及外極面 68 則構成另一磁極性之一包圍外極。磁軛 98 磁耦合內及外極並實質侷限磁場於磁控管之背或頂側至軛 98 上。藉以產生一半環形磁場 100，其延伸經非磁靶材 14 進入真空室 12，以定義高密度電漿區 38。場 100 延伸經非磁靶材 14 進入真空室 12，以定義高密度電漿區 38 之範圍。磁鐵 90，92 可以是不同磁強度。然而，吾人想要由外磁鐵 92 所產生之磁通係遠大於由內磁鐵 90 所產生者。如所示，磁控管 60 由接近靶材 14 之中心水平延伸至靶材 14 之可用區域的邊緣。磁軛 90 及兩極面 62，68 係較佳由軟磁材料，例如 SS416 不鏽鋼作成之平板。

磁控管 60 之內扁長端 80 係連接至沿著旋轉軸 78 延伸之軸 104，並為馬達 106 所旋轉。如所示，磁控管 60 水平由約靶材 14 之中心延伸至靶材 14 之可用區域的右手

## 五、發明說明( )

側。德馬雷等人於美國專利第 5,252,194 號案中揭示於馬達 106，磁控管 60，及真空室 12 間之連接之細節。磁控管組件 60 應包含配重，以避免軸 104 之彎曲。雖然旋轉中心 78 係較佳安排於外極面 72 之內扁長端 74 內，但其位置可以最佳化至一略微不同位置，但當標稱化至磁控管 60 之扁長長度時，較佳不偏離開內扁長端 80 超出 20%，最好是不超出 10%。最好的，接近扁長端 80 之外極面 68 之內端重疊旋轉中心 78。

第 4 圖之賽馬場架構具有簡單及很小面積之優點，同時，可提供全靶材覆蓋。如下所討論，兩極之非對稱磁通係有利於低壓濺鍍及持續自我濺鍍。

第 4 圖之賽馬場架構也可以特徵為一極端平的蛋形。其他蛋形也可以包含於本發明中，例如連續彎曲形的連續改變直徑，例如具有橢圓主軸沿著靶材半徑延伸及短軸平行於旋轉圓周之橢圓形。田淵於日本專利特開昭 63-282263 中例示一對稱蛋形磁控管。然而，此形狀具有形狀複雜的缺點，特別是於包裝磁鐵於內極之時是複雜的。

另一蛋形係由第 8 圖之平面圖所示之蛋形磁控管 106。其具有一極性之外極面 108 包含另一極性之內極面 110，其間具有幾乎定間隙 122。極面 108，110 係形狀為具有主軸沿著靶材半徑延伸之蛋的外形。然而，接近旋轉軸 78 之外極面 108 之內端 112 係較接近靶材之圓周之外端 114 更尖銳。蛋形係有關於一橢圓形，但係對稱於靶材半徑。明確地說，短軸係被推擠較其中心更接近靶材圓

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

## 五、發明說明( )

周。內極面 110 及間隙 122 係類似形狀。此一蛋形使得於接近靶材圓周處具有更多磁通量，以改良濺鍍均勻性。此一較佳通量分佈可以特徵於靶材之由其中心延伸至外可用半徑之一半半徑。為了簡單起見，位於一半半徑外之總磁通係大於半半徑內者，例如，以至少 3:2，及較佳為於 1.8 至 2.3 之間。於此架構中，靶材半半徑之磁通量外對內比例約 2:1。

一相關形狀係為示於第 9 圖中之三角形磁控管 126 所代表。有一磁極性之三角形外極面 128，具有一極性包含另一磁極性之實體內極面 130，其間有一間隙 132。內極面 130 之三角形具有圓角落，允許第 6 圖之鈕扣磁鐵 90，92 之六角封閉包裝。外極面 128 具有三直線部 134，其係彼此偏移開 60°，並係為圓形角落 136 所連接。較佳地，圓形角落 136 具有較直線部 134 為小之長度。一圓形角落 136 係位於接近旋轉中心 78 及靶材中心，較佳於靶材半徑之 20% 內，更好是於 10% 內，更好具有外極面 128 之頂點部覆蓋該旋轉中心 78。三角形內極面 130 可以包含一中心孔徑，但其較佳此孔徑之大小被保持為小，以最小化中心磁尖端的大小。

一修改三角形係由第 10 圖之弧狀三角形磁控管 140 所代表。其包含三角形內極面 130，其為一弧狀三角形外極面 142 所包圍，其間及個別極磁鐵間具有一間隙 144，及具有磁軛於間隙 144 背面。外極面 142 包含兩直線部 146，以一圓頂角落 148 彼此連接並以圓形圓周角落 152

## 五、發明說明( )

連接至弧狀部 150。頂角落 148 係放置於接近旋轉中心 78 及靶材中心，較佳係於靶材半徑之 20% 內更好是於 10% 內。該弧狀部 150 係大致接靶材之圓周周邊。其曲率可以特於靶材之曲率，即離旋轉中心 78 等距，但其他最佳曲率也可以選擇用於相對於旋轉中心 78 作為弧狀部凹下。其較為接近室內之靶材週邊，較佳於半徑至圓周之 20% 及更好為 15% 內。橫山等人於日本特開昭 62-89864 案中，揭示多數弧狀三角形磁控管之優點，其係對稱於靶材中心排列。然而，多數磁控管並未提供一小總面積，因此，並未完成高功率密度濺鍍。再者，於橫山等人之個別磁控管部之頂角係離靶材中心相當遠，因此，除了大量部份外，係產生差濺鍍均勻性。

磁場係為示於第 11 圖之平面圖之磁鐵配置。第一極性之磁鐵 160 係安置於接近呈六角閉合包裝配置中之內極面 130。第二極性之磁鐵 162 係安排於接近外極面 142 之弧狀部 150，而第二極性之磁鐵 164 係安排接近外極面 142 之其他部份。於一些以下狀況下，較佳地，放置不同強度之磁鐵於外極面 142 之不同部份。於一實施例中，於內極中有 0 磁鐵及於外極中有 26 磁鐵，於外極中，等強度之磁鐵較內極中產生 2.6 倍之磁通量。

第 9 及 10 圖中之三角形磁控管 120，140 係例示以具有一頂點角  $\theta$  為  $60^\circ$ ，以提升鈕扣磁鐵之六角封閉包裝，但頂角可以改變，特別是降低至  $60^\circ$  以下。然而， $60^\circ \pm 15^\circ$  提供優良均勻性。頂角影響本發明之兩重要參數，其

五、發明說明 ( )

面積  $A$  之值及參數  $P$ 。一些簡單計算，多數可以容易完成於弧狀三角形磁控管 140 顯示改變頂角  $\theta$  之一般影響，如於第 12 圖之平面圖所示。一簡化或模型弧狀三角形磁控管 170 具有兩直線側延伸於半徑  $R_T$  之靶材 14 之中心及圓周之間並於一頂點重合旋轉軸 78 並包含一弧狀側，其符合靶材 14 之可用周邊。簡化弧狀三角形磁控管 170 之面積  $A$  為  $\theta R_T^2/2$ ，其圓周  $P$  為  $R_T(2+\theta)$ ，其中  $\theta$  為所量得之徑度。如於第 12 圖所示為一模型圓形磁控管 172，具有一  $R_T/2$  半徑，及一直徑固定至旋轉軸 78。其面積  $A$  為  $\pi R_T^2/4$  及圓周  $P$  為  $\pi R_T$ 。磁控管 170，172 均提供全靶材覆蓋。弧狀角形面積  $A$  與頂角  $\theta$  間之關係係以標稱單元繪於第 13 圖中，以線 174 表示，並以線 176 表示圓形區域。於  $90^\circ$  以下，三角形面積係更小。三角形周邊  $P$  之關係係示於第 14 圖中以線 178 表示，及圓形圓周係以線 180 表示。於  $65.4^\circ$  以下，弧狀三角形周邊更小。離子化效率係為減少該面積而增加，因為靶材功率係集中於小區域中，同時，藉減少週緣而增加，因為邊緣損失係大致成比例於周邊長度。當然，面積需要足夠大以收容創造磁場的磁鐵。同時，這些計算並未涉及均勻度。其似乎圓形磁控管 170 相對於弧狀三角形磁控管，提供較差均勻性。

用於弧狀三角形磁控管 172 之靶材半半徑外對內側之磁通量比可以相近於兩區域中之側 170 之長度具有  $(1+\theta)$ ，在頂角  $\theta$  為  $45^\circ$  時其為 1.79，在  $60^\circ$  時為 2.05，在  $75^\circ$  時為 2.31，在  $90^\circ$  時為 2.57。

## 五、發明說明 ( )

第 10 及 11 圖之弧狀三角形配置之變化降低頂角，例如至  $47^\circ$ 。除了六角封閉包裝內磁鐵 160 外，一或多數內磁鐵係由六角封閉包裝磁鐵之內角落線性地安排至外磁鐵 164 之內角落。結果為賽馬場形磁控管及弧狀三角形磁控管中間。

產生以下處理結果之實驗工件已經展現一小磁控管面積之優點。若第 11 及 12 圖之三角形磁控管架構被調整以具有更小頂角  $\theta$ ，內及外極間有 smaller 間隙，則總磁通量係為磁鐵之導磁率所限定。因此，當頂角及間隙降低時，於間隙間之磁場並不會延伸遠開磁控管太遠。結果，高密度電漿並未超出於靶材前之淺高度。一種增加有效磁通之方法係使用條狀磁鐵以替代鈕扣形磁鐵。該條狀磁鐵於極區域中具有較大填充因數，使得對於一給定總區域及一最大導磁率(磁鐵之每單位面積)，可以產生一大磁通量。

此一磁控管 190 之底視圖係示於第 15 圖中。兩長側條狀磁鐵 192 及一較短底條狀磁鐵 194，這些均為相同第一垂直磁極化，並被安排呈三角形，以具有例如約  $15^\circ$  之頂角。條狀磁鐵表示一具有至少一對平行側延伸於垂直於磁化方向之磁鐵。所示磁鐵 192，194 具有一對平行則，使得其係為矩形。然而，有可能一或兩端均有形狀，特別是於接近頂點之端處。相反第二垂直磁極化之圓形中心磁鐵 196 係幾乎為條狀磁鐵 192，194 所包圍。相對於靶材之磁鐵 192，194，196 之側邊係為一三角磁軛 198 所磁耦合，但軛 198 之形狀並不是如此重要，只要軛 198 支撐已

## 五、發明說明( )

分開及未連接在一起之磁鐵 192, 194, 196 並將之磁耦合即可。用於軛 198 及磁鐵 192, 194, 196 之旋轉軸 78 係位於接近三角形之頂點。底外磁鐵 194 係位於接近靶材週邊，於靶材之濺鍍區域外側。於面向靶材之磁鐵側上並不需要分離極面，因為磁鐵提供一相當均勻磁場。用於單一線之圓形磁鐵之填充因數為  $\pi/4=0.79$ ，相較於等寬度之條形磁鐵，使得條形磁鐵可以產生 20% 高之總磁通。

所示三角形磁控管 190 具有  $23^\circ$  之頂角。其他角度也可以選擇，但條狀磁鐵似乎特別適用，當頂角於  $10^\circ$  及  $35^\circ$  之間，但於  $20^\circ$  及  $30^\circ$  之頂角係更實際。同時，條狀磁鐵之優點幾乎為側邊為條狀磁鐵之磁鐵所完成。末端磁鐵 194 可以以一磁鐵或更複雜形狀之磁極加以替換。於條狀磁控管 190 之原始實施中，鈕扣磁鐵具有 0.625 吋 (16mm) 之直徑，及條狀磁鐵 192, 194, 196 具有 1 吋 (25mm) 之寬度，所有磁鐵均產生每單位面積相同之磁場。於更新版本中，條狀磁鐵之寬度係增加至 1.5 吋 (38mm)。

於第 16 圖之仰視圖中，示出另一磁控管 190' 之另一實施例，一矩形條狀磁鐵 199 係用作為第二磁極之中心磁鐵。中心磁鐵可以假設更複雜之形狀，例如，相當但更小三角形或具有不同直徑之兩圓形磁鐵，以可更佳填充外磁鐵之內部，並使極間隙更均勻。然而，所示架構已經相當有效。

可以了解的是上述形狀係表示具有帶狀寬度區域之極面，其並未相當大於所用之鈕扣磁鐵。特別是外極面之

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

## 五、發明說明( )

寬度可以增加，或許更不均勻地增加，但所增加寬度以產生想要高磁場作較無效。

上述之形狀已經對稱於靶材半徑。然而，本發明之磁控管包含非對稱形狀，例如，一開始於第4圖之賽馬場形式之一徑向延伸側及另一側為蛋形，例如第7圖之蛋形，或一徑向延伸側為蛋形或直線，及另一側為具有三角頂點於靶材之中心及圓周間。

所有上述之磁控管具有非對稱區域，用於內及外形，並假設類似鈕扣磁鐵 90，92 或類似磁強度之條狀磁鐵之類似包裝，其產生非對稱磁場。特別是，由示於第17圖之內極 200 所產生之總或積分磁通量  $\int B \cdot dS$  係遠少於由外圍極 202 所產生者，例如至少 1.5 較佳為 2 之因數。所有磁控管也特徵於具有為外極 202 所包圍之小內極 200。結果為磁場分佈，其係於極 200，202 間之間隙 206 附近之反應器處理區 204 中很強，但同時，當外極 192 之磁場線回到磁軛 208 時，也延伸深入處理區域 204。由靶材垂直深入處理區 204 之大部份磁場提供很多優點。因為光電子繞著磁場線轉，所以延長之磁場捕獲電子，因而，協助支援一較高密度電漿深入處理區域 204 中。以相同相互作用，延伸接近並平行接地室屏蔽之磁場降低至屏蔽之電子損失，同時，也增加了電漿密度。結果，電漿可以支撐於較低壓或甚至被自我維持。磁場同時部份捕獲較重正粒子，因而，導引離子化濺射粒子朝向晶圓。

本發明磁鐵同時完成相同高之磁場。然而，本身磁場

## 五、發明說明( )

強度不夠。例如由德馬雷所揭示於前述專利中之傳統磁控管使用一行之蹄鐵形磁鐵安排於菜豆形線性路徑中，於蹄鐵之極間只有很小間隙。結果，一相當高磁場強度可以完成於菜豆形週邊之區域中。然而，高磁場之線性形狀包圍一實質無磁場的區域。結果，電子不但可以逃脫至外部，也可以逃脫至高場區之內部。相反地，本發明之三角形磁控管之內極產生一最小面積之尖端。若電子係由內極之一側的磁場上遺失，則它們似乎會被捕捉於另一側，因而增加了給定功率位準之電漿密度。再者，內極產生一單一可磁化極面，其產生大致均勻磁通量。若多重內極面係被使用於多重內磁鐵，則磁場線將會延伸於內磁鐵間。

本發明設計之另一優點是一極係被形成於閉合線中並包圍住另一極。因而，有可能形成一很小線性延伸磁控管，藉由於開放端中安排蹄鐵形磁鐵等，以兩組極係靠近但分離。然而，電子將容易由開放端脫離並降低電漿密度。

吾人相信，本發明之優良結果係完成於多方面的，因為蛋形磁控管及相關形狀之磁控管產生了較高電漿離子化密度，而不必要過量之功率。再者，完成了全靶材覆蓋。於一方面中，本發明之磁控管具有相當小面積，但具有一形狀，以允許全靶材覆蓋而不必徑向掃描。第 10 圖之三角形磁控管 160 具有  $60^\circ$  之頂角，及  $1/6(0.166)$  之面積的可用靶材區域。相反地，若圓形磁控管 162 被使用，則其簡單地由靶材中心延伸至周邊，該磁控管面積為  $1/4(0.25)$

## 五、發明說明( )

之靶材面積。結果，對於一供給較電圓形磁控管之給定電源，功率密度係較低。靶材覆蓋百分比在第3圖之泰門磁鐵係更高。

小面積及全覆蓋之組合係為外磁控管形狀所完成，該形狀係由靶材中心延伸至其可用週邊( $\pm 15\%$ )並具有一橫向尺寸於靶材半徑之一半，並少於靶材半徑，即扁長沿著靶材半徑。橫向尺寸應沿著旋轉方向，依圓周加以量測。

均勻度係為橫向較寬之蛋形所加強，該橫向較寬係相對於靶材半徑，於外端接近靶材周邊較接近旋轉中心之內端為寬。即，短軸係偏移向靶材圓周。

磁控管之小面積不但提供全靶材覆蓋，同時，也允許很高功率密度予以施加至具合理大小電源之靶材上。不像泰門設計，小面積於其內部中，並沒有實際上無電場之區域。一些例子使用一18千瓦電源。對於200mm晶圓，磁控管延伸出約300mm之靶材直徑。弧狀三角形磁控管之有效面積係約相關於此大直徑之區域的六分之一，即約117平方公分。因此，被濺鍍於磁控管之任何給定位置之平均功率密度係約150瓦每平方公分。此一未使用電感線圈達成之高功率密度可以支援一電漿於較低氬氣壓或允許用於選定金屬，例如銅之持續自我濺鍍。即使於300mm晶圓中，一27千瓦電源配合以本發明之小磁控管以規劃至較大尺寸將產生103瓦每平方公分。如上所示，76瓦之電源密度係足以用於銅之持續自我濺鍍。

## 五、發明說明( )

### 波束之交互作用

上述類型之磁控管產生了無法期待高金屬離子化百分比，約 10 至 20%。雖然這是低於電感耦合 IMP 反應器中之 50-70% 之金屬離子化百分比，但它仍遠高於一般直流磁控管反應器中之 5% 的金屬離子化百分比。實驗顯示上述磁控管可以激勵好幾個電漿波，吾人相信這些波增加了電漿電子之能量，所增加之電子能量大量地增加了濺鍍金屬原子的離子化。已知於電子能量(溫度)之相當小增加會大量地增加電漿密度。

已使用三角形磁控管 210 來進行一連串之實驗，如於第 18 圖之平面圖及第 19 圖之側視圖所示，其包含一大致三角形外極 212 包圍相反極性之內極 214。磁控管 210 係被放置於鈦之 1.2 公分厚之平坦靶材 216 後，其係被密封至傳統第 1 圖之濺鍍反應器中。然而，磁控管 210 係於測試時未旋轉，以及，各種探棒 218 係被由下方插入，以探頭位於靶材 216 下方 1 公分，於靶材半徑之三分之二處之磁控管極 212，214 間。於測試時，典型室操作條件係為 1.6 毫托耳之氬氣壓及 2 千瓦之直流靶電源，以產生 455 伏直流之靶材電壓。

一具有浮置圓柱蘭米爾探棒作為探針之頻譜分析儀顯示於 240MHz 及 262MHz 之雙峰特性及於約 22MHz 之廣特性。吾人解釋，雖然本發明並未限定至本發明之了解，262MHz 峰值為一較低混合峰  $\omega_{LH}$  及另兩峰值係由非線性參數轉換所產生，於其中該 22MHz 峰值具有能量  $\omega_B$  及

五、發明說明 ( )

240MHz 側帶峰值具有能量  $\omega_{LH}-\omega_B$ 。於參數轉換時，波向量同時也被轉換，使得用於 22 及 240MHz 峰值之波向量應相為  $k_B$  及  $k_{LH}-k_B$ 。

此解釋的另一討論需要一些定義。一電漿具有兩電漿頻率，其係相關於電子及離子。於其中，電漿頻率  $\omega_p$  可以表示為：

$$\omega_p^2 = \frac{4e^2 n}{m},$$

其中  $e$  為電荷，其係為用於電子及多數電漿離子之單位值， $n_p$  為電漿密度， $m$  為電子或離子之質量。電漿同時具有兩迴磁頻率  $\omega_c$ ，其可以表示為：

$$\omega_c = \frac{eB}{mc},$$

其中  $B$  為磁場及  $c$  為光速。吾人假設電子電漿頻率約 3GHz，電子迴磁頻率約 1GHz，及離子電漿頻率約 11MHz。

松崗等人於 1989 年七/八月之真空科學及技術月刊第 2652-57 頁中揭示了”以高速濺鍍使用電子鏡之密集電漿生產及薄沉積”之電漿波。然而，他們主電漿波受上混合模式  $\omega_{UH}$ ，其可以被表示為：

$$\omega_{UH} = \sqrt{\omega_{p,e}^2 + \omega_{c,e}^2}.$$

這是太高頻而無法配合以觀察頻譜。相反地，吾人相信 262MHz 峰值係有關於低混合模式  $\omega_{LH}$ ，其係被定義為：

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

經濟部智慧財產局員工消費合作社印製

五、發明說明 ( )

$$\omega_{LH} = \frac{\omega_{P,e}}{\sqrt{1 + \frac{\omega_{P,e}^2}{\omega_{C,e}^2}}}$$

低混合模式可以存在於  $\omega_{C,i} < \omega < \omega_{C,e}$  ,  $\omega_{P,e}$  之頻率範圍中。

吾人相信於 22MHz 之頻值係相關於一低混合離子準模式，其係相關於電漿被以大量施加至其上之功率過驅動。

於 240MHz 及 262MHz 之電漿波，不管其電源為何，並未對電子提供太多加熱。如於第 20 圖之表所示，電漿電子具有大致馬克士威能量分佈 220，平均能量  $\langle E \rangle$  定義子溫度  $T_e$ 。於實際濺鍍電漿中之電子溫度已經被報告範圍 2eV 至超出 20eV 之間。能量分佈 220 具有次峰值 222，其係相關於越過電漿護套之二次電子，其能量係大致相關於一靶材電壓  $V_T$ ，其於我們的實驗中為 455 伏。

參數功率轉換被認為負責產生 22MHz 模式之優點是高頻模式，例如 240MHz，其於電漿反應器中係更典型的，但其功率係被轉換為低頻模式，比原始頻率之 20% 更低，其係適用以與熱化體電子相互反應。

上兩峰值之波向量  $k$  係使用一數位示波器加以量測，其具有兩探棒 208，於第 18 及 19 圖所示之個別  $r$ ， $\theta$ ， $z$  方向中分開  $\Delta x = 0.6$  公分。波向量分量  $k_x$  係被計算為  $\Delta \phi / \Delta x$ ，其中  $\Delta \phi$  為於探棒間之所量得相位差。用於 262MHz 峰值之波向量  $k$  可以以  $\text{cm}^{-1}$  單位表示為：

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

經濟部智慧財產局員工消費合作社印製

## 五、發明說明 ( )

$$\bar{k} = 3.9\hat{r} + 6.3\hat{\theta} + 0.5\hat{z},$$

其具有約  $7.4\text{cm}^{-1}$  之大小  $k$ 。於  $240\text{MHz}$  及  $262\text{MHz}$  間之波向量之差已經被量測以具有大小約  $2\text{cm}^{-1}$  之  $|\Delta k|$ 。於這些量值之誤差係很大，但不超出  $50\%$ 。

磁場向量  $B$  已經於探棒間之一點處被量出，並可以被以高斯表示為：

$$\bar{B} = 150\hat{r} + 450\hat{\theta} + 35\hat{z},$$

其具有  $475$  高斯之大小。於波向量  $k$  及磁場  $B$  間之角度係等於垂直及平行波向量間比例  $k_{\perp}/k_{\parallel}$ ，其係被量得於範圍  $0.5$  至  $0.75$  間。

用於一波之相速度  $v_p$  為：

$$v_p = \frac{\omega}{|k|}.$$

對於  $262\text{MHz}$  峰值，相速度由量測波向量計算為  $2 \times 10^8$  公分每秒，基於其波向量之上述量測。這相較於用於  $455\text{eV}$  注入二次電子之  $1 \times 10^9\text{cm}^{-1}$  之速度。即，剛注入二次電子容易驅動  $262\text{MHz}$  電漿波。然而， $262\text{MHz}$  峰之相速度係完全太高，而不能有效地與熱電子體反應。

用於  $22\text{MHz}$  輻射之波向量並不能適當被直接量測。然而，假設一參數處理，於  $262\text{MHz}$  及  $240\text{MHz}$  模式(量測為  $2\text{cm}^{-1}$ )間之波向量差應等於  $22\text{MHz}$  模式之波向量。若此為真，則  $22\text{MHz}$  模式之相速度係接近  $6 \times 10^7$  公分每秒，

## 五、發明說明( )

其係相當於 10eV 電子。即，22MHz 模式係相當匹配以耦合能量至熱電漿電子。吾人相信由電漿波耦合至電子係經由蘭道阻尼。

允許採用較低混合模式及其參數轉換至另一個能耦合熱電子之模式之條件係取決於磁鐵架構及相關於磁控管之強度。用於本發明之磁控管及平板靶材似乎滿足這些條件。其他磁控管已經以平板靶材測試，但並未看到電漿波。明顯地，松崗等人之複雜形狀之電子鏡架構未能採用較低混合模式，及他們未報導低於 100MHz 之任何波。於我們的經驗及 22MHz 模式之顯相速度看來，有必要將一電漿模式激勵於 5 至 75MHz 之間，較佳係於 10 至 50MHz 之間，以泵激光 1 至 20eV 之電漿電子。任何電漿波之採用似乎取決於由靶材投射出之磁場。松崗等人藉由複雜中空陰極設計加以完成。本發明藉由兩極磁控管之未平衡磁場強度加以完成，其產生遠離靶材之垂直磁場，並以高功率位準驅動該反應器。

採用電漿波之另一條件係由靶材所發射之二次電子的束密度必須超出一臨限值。即，施加至靶材之功率密度必須很高。本發明之磁控管降低了磁控管區域並允許以一給定電源來完成一增加功率密度，同時，仍保有濺鍍均勻性。再者，高靶材功率需要以用於商用大小濺鍍反應器。

### 製程

第 4 及 5 圖之賽馬場磁控管係以銅濺鍍加以測試。於

## 五、發明說明( )

一架構中，六個磁鐵 90 係被放於中心極面 62 後，相同強度但極性相反之二十五磁鐵係被安排於外極面 68 後與旁邊，並且 33 公分靶材及 200mm 晶圓之間隔為 190mm。此架構產生±18%之沉積均勻度。於第二架構中，具有不同強度之磁鐵，較強者產生多出 30%之磁通量。六個強磁鐵係被放置於中心極面後，及 25 個弱磁鐵係放置於外極面旁。不管強內磁鐵，由外磁鐵所產生之總磁通係大於由內磁鐵所產生之磁通。第二架構產生 8.9%之改良沉積均勻性。對於 0.5 微米寬，2 微米深導孔，第二架構同時較優良之孔填充。對於 265nm 之平面銅，低覆蓋係於 10 至 15% 之間，及側壁覆蓋係約 2.8%。深孔填充係由賽馬場磁控管之小面積所提升，該磁控管產生較高離子化密度。於第三架構中，強磁鐵替換部份接近外極端部之弱磁鐵。這產生更好些之均勻性。

第 10 及 11 圖之弧狀三角形磁控管係以不同濺鍍組成之一連串實驗加以測試。幾乎所有之實驗，靶材係分隔開晶圓 190 及 200mm 之間，及靶材對於 200mm 晶圓具有 330mm 之直徑。

### 銅

對於銅濺鍍，均勻性係使用 10 強磁鐵 160 於內極中，強磁鐵 162 沿著外極之弧狀部 150，及弱磁鐵 164 用於其他外極加以改良。強磁鐵之直徑係大於弱磁鐵直徑之 30%，但具有類似組成及結構，藉以創造大出 70%之整合磁通。

## 五、發明說明( )

銅之持續自我濺鍍係於將電漿碰撞於氬環境中加以完成，以 9 千瓦之直流功率施加至具有約 30 公分可用直徑之靶材，而造成弧狀三角形磁控管具有 76 瓦每平方公分之功率密度。然而，吾人想要以 18 千瓦直流功率及約 0.1 毫托耳之最少氬壓操作，至少部份造成氣體洩漏至液冷托架，該氣體係提供晶圓之背面冷卻。所增加之 0.1 至 0.3 毫托耳背景壓力加強了有效晶圓冷卻，而未大量增加濺射離子之分散及去離子化。這些相當低直流功率以前述 300mm 晶圓設備之開發看來是重要的，因為這些構件係規劃至 20 千瓦至 40 千瓦。大於 40 千瓦之電源係被認為昂貴的並不易取得。

離子銅濺鍍之應用係沉積一薄保角種層銅至一深及窄導孔中。隨後，有電及無電電鍍可以用以快速及經濟地以銅填充其他孔。

於一實驗中，一具有頂寬度 0.30 微米並延伸經 1.2 微米之矽的導孔係首先以 Ta/TaN 阻障層加以塗覆。使用弧狀三角形磁控管，銅係被沉積於阻障層上，以 18 千瓦之靶材功率及 0.2 毫托耳之壓力。沉積係被執行至約 0.15 微米之全面厚度。導孔之側邊係為平順覆蓋。對於一位於晶圓邊緣之導孔，實驗顯示銅之側壁厚度約 7nm 於一側上，及 11.4nm 於另一側上 (5% 及 8%)。底覆蓋係約 24nm (16%)。於晶圓中心之導孔的側壁對稱係被改良。平順度提供沉積使用作為種層及作為用於後續電鍍銅之電極。於兩側壁間之相當良好對稱性解決了先前技藝之光微

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明( )

影標示移動的問題。

鋁

使用弧狀三角形磁控管，於施加 12 千瓦及 18 千瓦之功率，以約 0.1 毫托耳之最少壓力，使鋁靶材濺鍍完成一重大改良。對於鋁濺鍍，側壁覆蓋及特別是底覆蓋係被大量改良。較佳均勻性係同時被認為有關於增加離子化百分比，因為支撐晶圓之自我偏壓托架吸引了離子濺鍍粒子越過整個區域。吾人估計本發明之磁控管增加了由 2% 至至少 20% 及可能 25% 之離子百分比。

弧狀三角形磁控管係以相同操作條件，相較於一組合第 3 圖之泰門磁控管之傳統磁控管之操作。比較結果係總結於表 1 之用以濺鍍鋁。

|                 | 三 角 形 | 傳 統  |
|-----------------|-------|------|
| 底 覆 蓋           | 28.5% | 8.0% |
| 側 壁 覆 蓋         | 8.0%  | 5.7% |
| 均 勻 度 (190mm)   | 4.6%  | 7.8% |
| 均 勻 度 (290mm)   | 3.0%  | 6.0% |
| 最 小 壓 力 (毫 托 耳) | 0.1   | 0.35 |

表 1

覆蓋結果係取得用於具有 0.25 微米寬度，及 1.2 微米深度之導孔，即深寬比約 5 之導孔。相較於傳統磁控管，本發明之三角形磁控管係大量地改良底覆蓋。側壁覆蓋係

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

## 五、發明說明( )

同時增加，再者，覆蓋係平滑及由頂至底係呈均勻的。這兩特徵提升了沉積金屬層之使用作為後續沉積步驟之種層。這對於銅係特別重要的，其中第二沉積係為例如電鍍之不同處理所執行。所增加底及側壁覆蓋被認為是由濺鍍鋁原子之較高離子化百分比所完成，該較高離子化百分比係以本發明之三角形磁控管所完成。離子化百分比可以被認為是 25% 或更大。全面(平坦)沉積之均勻性係被決定於靶材及晶圓間之 190mm 的分離，及於長距離拋鍍中用於 290mm 之分離。本發明之三角形磁控管產生更均勻性，特別是於長距離拋投時。更好之均勻性被認為是關於增加離子化百分比，因為支撐晶圓之自我偏壓托架吸引離子化濺射粒子越過整個區域。同樣地，本發明之三角形磁控管於兩相對側壁之覆蓋間產生較少非對稱性。所增加離子化密度部份係由於具有一區域明顯小於外軌之相當小內軌之故。結果，來自內軌之一側的電子損失係似乎為另一側所捕捉。

第 15 圖之條狀磁控管已經展現用以濺鍍銅。其顯示改良之底覆蓋及側壁覆蓋接近底覆蓋。總而言之，其產生減少厚度之種層，其仍允許有效以電化學電鍍來作銅之孔填充。

所以於傳統電容耦合 DC 濺鍍反應器可取得之優點係使用一相當簡單設計加以完成。當然，本發明之磁控管可以用於其他類型之濺鍍反應器中，例如依賴於電感耦合 RF 功率之 HDP 反應器中。

## 五、發明說明( )

鈦

弧狀三角形磁控管係同時用以濺鍍鈦。鈦，有時配合上氮化鈦係有用於鋁金屬化中，用以提供矽以矽化接觸於接觸孔之底部並作為濕潤層及配合一氮化鈦層作為一阻障層，用於一接觸孔中之矽及於導孔或接觸側壁上之鋁及矽化介電質間之阻障層。因此，需要保角及相當厚塗層。

一連串實驗係使用鈦靶材加以執行，該鈦靶材具有 18 千瓦直流靶材功率及於內極中只有六磁鐵 160。於 0.35 毫托耳之室壓時，底覆蓋及均勻被看到都是良好。

鈦實驗係被持續以量測底覆蓋為予以塗覆之導孔之深寬比 (AR) 之函數。於未施加晶圓偏壓及托架加熱器 18 保持電氣浮動時，18 千瓦靶材功率係自偏壓靶材至約 30 至 45 伏。在這些條件下，底覆蓋係被第 21 圖之線 230 所示。對於高深寬比之孔之底覆蓋降低，但仍在可接受之 20% 於  $AR=6$  時。

於一連續實驗中，一如於第 1 圖所示之 RF 電源 232 係經由電容耦合電路 234 連接至加熱器托架 18。已知此一施加至鄰近電漿的晶圓之 RF 電場創造了一直流自偏壓。當 400kHz 功率之 100 瓦施加於 0.3 毫托耳之室壓時，底覆蓋係大量增加，如於第 21 圖表中之線 236 所示。然而，當偏壓功率增加至 250 瓦時，再濺鍍及刻導孔之頂角落變成一問題。由 250 瓦所造成之底覆蓋係為線 238 所示。對於超出 4.5 之深寬比，具有 250 瓦之晶圓偏壓之底覆蓋係較差於 100 瓦之晶圓偏壓，因此，偏壓功率應被保持低於

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

## 五、發明說明( )

250 瓦，對於 2MHz 或更少之偏壓頻率。這些功率應被正規化至一 200mm 圓形參考晶圓。其他大小之晶圓，例如 300mm 之晶圓可以被使用，這些晶圓可能未能剛好是圓，因為分度凹槽之故。然而，當上述功率位準被參考至一 200mm 圓形參考晶圓時，係被期待有相同作用，然後，依據一大致圓形工作晶圓之不同區域加以縮放。

實驗係被持續進行於 4.5 之深寬比之孔，使用 300 瓦 RF 晶圓偏壓於 13.56MHz 之頻率。於 0.7 毫托耳之壓力時，全面沉積速率為 128nm 每分，及底覆蓋變化於 31% 及 52% 之間。於 1.4 毫托耳壓力時，沉積速率為 142 奈米每分，及底覆蓋變化於 42% 及 62% 之間。於較高壓力時，側壁覆蓋變化於 10.4% 及 11.5% 之間，並未看到可看出之側壁非對稱性。意想不到的，超出 0.7 毫托耳之壓力時產生較高鈦沉積率及較佳底覆蓋。偏壓頻率愈高允許予以施加愈高偏壓功率。

### 氮化鈦

本發明之磁控管可以用以例如反應濺鍍 TiN，其中氮係另外加入室中，以與濺射金屬，例如鈦反應，以產生 TiN 或鉭反應，以產生 TaN。反應濺鍍表示一更複雜及變化化學。反應濺鍍以產生 TiN 係為已知被操作於兩模式，即金屬模式及抑制物(poison)模式。金屬模式產生高密度，金色膜於晶圓上。經常係相關於一高氮流量之抑制物模式產生一紫/棕色膜，其係有利於低應力。然而，抑制物模式膜具有很多晶粒邊界，及膜缺陷係嚴重地降低晶片良率。再

五、發明說明 ( )

者，於抑制物模式中之沉積速率係典型只有於金屬模式中  
之速率的四分之一。一般大致相信於抑制物模式中，氮與  
靶材反應，以形成 TiN 表面於 Ti 靶材上，而金屬模式中，  
靶材表面保持清潔，及 TiN 只形成在晶圓上。

弧狀三角形磁控管係於相同室內被測試以反應濺鍍  
氮化鈦，以濺鍍沉積鈦。

濺鍍沉積氮化鈦之啟始條件被發現對於於金屬模式  
中取得操作係相當重要的。於一連串之啟始實驗中，只有  
氬被加入室中。於電漿碰撞於約 0.5 毫托耳之氬壓力中  
時，氬流量係被降低至 5sccm，而產生 0.3 毫托耳。當氮  
流量被逐步上升至 100sccm 時然後逐漸下降時，室壓於流  
量之依附性被假定為如於第 18 圖中所示之滯後形式。於  
約 50 及 70sccm 之氮間，中間上升壓 240 係於相關中間上  
升壓 242 下。於較低壓 244 及於較高壓 246 時，於上升及  
下降間沒有重大之分隔。吾人相信較低壓 244 及中間上升  
壓 240 造成於金屬模式中之濺射，及較高壓 246 及中間下  
降壓 242 造成於抑制物模式中之濺射。

這些結果顯示，對於較佳金屬模式中之較高操作沉積  
速率，不超出中間上升壓力 240 係重要的，即，不超出最  
大金屬模式流量，於這些實驗中係為 70sccm 或略高但一  
定低於 80sccm。氬及氮可以同時及快速地導通，但較佳  
地，直流功率也快速導通。

然而，於一些應用中，則操作於抑制物模式係較佳  
的。這可以首先藉由至較高壓 246 然後下降至下降中間壓

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

經濟部智慧財產局員工消費合作社印製

## 五、發明說明( )

242 加以完成。或者，抑制物模式可以立即導通於想要氣體流，但只逐漸導通直流濺鍍電源於不大於每秒 5 千瓦之速率加以完成。

氮化鈦可以於金屬及抑制物模式中，以 50sccm 之  $N_2$  流及 5sccm 之 Ar 流，於電漿碰撞於氬中後，被濺射至高深寬比導孔中。這些流於金屬模式中，產生 1.7 毫托耳之壓力，於抑制物模式中，產生 2.1 毫托耳。沉積速率於金屬模式中為 100 奈米每分及於抑制物模式中為 30 奈米每分。另一方面，當沉積於金屬模式時，TiN 膜應力較高，但另一方面，抑制物模式有突懸及起伏側壁厚度於接近導孔之頂部。一連串實驗沉積 TiN 進入不同深寬比之導孔中。所得例示於第 23 圖中之表中之量測底覆蓋顯示於線 250，為於金屬模式中之底覆蓋保持相當高，即使具有 5 之深寬比之導孔，而線 252 為抑制物模式之步階覆蓋，其係為較低，並對於四或更高之深寬比會劇烈下降。然而，當晶圓加偏壓時，沉積於抑制物模式中之 TiN 步階覆蓋係可接受的。於相同用於沉積 Ti 之室中沉積 TiN 顯示 Ti/TiN 阻障層可以依據本發明於一連續操作中加以沉積。

### 整合鎢插塞處理

兩連串之測試係被執行，以展現以本發明弧形磁控管，來沉積之組合 Ti/TiN 阻障層及由化學氣相沉積(CVD)鎢插塞沉積入阻障塗覆孔之整合處理。此組合於過去已呈現若干問題，因為鎢 CVD 典型使用六氟化鎢( $WF_6$ )作為氣體前驅物。 $WF_6$  傾向於攻擊 Ti 並造成形成於 W 插塞重組

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

## 五、發明說明( )

火山口中之結構於插塞中產生孔隙。

於第一連串測試中，30 奈米之 Ti 於傳統非感應濺鍍反應器中，被以由本發明之弧狀磁控管所沉積之 30 奈米 TiN 所覆蓋。於 Ti/TiN 沉積後，晶片係受到快速加熱處理(RTP)，其中密集輻射燈快速加熱晶圓表面一短暫時間。於第二連串測試中，由 30 奈米 Ti 構成之阻障層係為於第一連串中所沉積之 10 奈米 TiN 所覆蓋。然而，於第二測試中，於 Ti/TiN 沉積前，晶圓係受到一電漿預清潔，但並沒有 RTP。於任一情形下，鎢然後被 CVD 沉積於 Ti/TiN 上。

這些實驗顯示這些處理均未產生突火山口。再者，TiN 之厚度及電阻率顯示良好之均勻性。TiN 電阻率係被量測為少於  $45 \mu \Omega \cdot \text{cm}$ 。對於具有深寬比 5:1 之孔，未使用晶圓偏壓下，TiN/Ti 雙層被觀察到有 20% 之底覆蓋。晶圓偏壓於具有 10:1 深寬比之孔中，產生相同底覆蓋。因此，以本發明之磁控管加以執行之 Ti/TiN 處理可以成功地整合入鎢插塞處理中。本發明之磁控管可以用以濺鍍其他材料，例如 W，使用鎢靶材，或 TaN，使用鉭靶材及氮氣於電漿中。WN 之反應濺鍍同時也可想出。

因此，本發明之磁控管係足以產生一高離子化百分比，因為其可以創造高密度電漿而不需過量功率。再者，其全覆蓋允許均勻沉積及全靶材利用率。其濺鍍均勻性係良好的。再者，不必要複雜之機構。

本發明之磁控管之功效在於提供高效全覆蓋濺鍍，係

## 五、發明說明( )

基於三個相互關係合成作用。磁控管具有小磁面積。藉以，平均磁場可以更高，及電漿損失降低。小磁控管同時允許高平均功率密度，以施加至磁控管下之靶材區中。即，雖然，施加至靶材之電功率整體係相當適度的，於該區域中之電功率密度及所得電漿密度實際濺鍍在任何時均是高的。磁控管之內及外磁極的非對稱性使部份之磁場垂直延伸包圍磁控管週邊並延伸深入室中。這磁場分佈降低電漿損失並導引離子化濺射粒子至基材上。這些優點均在磁控管中，以只利用圓周掃描，即可提供靶材之全覆蓋濺鍍，及於磁控管中，可以有任何最佳形狀，以產生均勻靶材濺鍍及均勻基材沉積。

此一小高場磁鐵完成了以相當適當靶材功率即可持續自我濺鍍，及完成了例如鋁及鈦於低於 0.5 毫托耳之壓力，較佳低於 0.2 毫托耳下，甚至 0.1 毫托耳之材料濺鍍。於這些壓力下，深孔填充可以為不管是中性或離子化之濺射粒子之降低發散並藉由離子化粒子之降低中性化所完成。然而，至少於鈦中，吾人發現使用本發明之磁控管，沉積速率及底覆蓋可以以超出 0.7 毫托耳之工作氣壓加以改良。高場磁鐵更進一步提升一高離子化百分比，其可以被吸引入一深且窄孔中，藉由將晶圓偏壓於適當範圍內。

四、中文發明摘要 (發明之名稱：

)

可激發電漿波且用於離子化金屬沉積之高密度電漿源

一種磁控管，特別有用於具有減少面積但全靶材覆蓋之低壓電漿濺鍍或持續自我濺鍍。該磁控管包含一外極面，包圍一內極面，其間具有一間隙。本發明之磁控管之外極係小於類似由靶材中心延伸至週邊之圓形磁控管之外極。一具有小頂點角 20 至 30° 之較佳三角形可以由磁極性之外條狀磁鐵所形成，該磁極包圍其他磁極性之內磁鐵。該磁控管允許電漿波產生於 22MHz 附近，其與電漿之 1 至 20eV 電子互動，以增加電漿密度。

英文發明摘要 (發明之名稱：

)

High-Density Plasma Source for Ionized Metal Deposition  
Capable of Exciting a Plasma Wave

A magnetron especially advantageous for low-pressure plasma sputtering or sustained self-sputtering having reduced area but full target coverage. The magnetron includes an outer pole face surrounding an inner pole face with a gap therebetween. The outer pole of the magnetron of the invention is smaller than that of a circular magnetron similarly extending from the center to the periphery of the target. A preferred triangular shape having a small apex angle of 20 to 30° may be formed from outer bar magnets of one magnetic polarity enclosing an inner magnet of the other magnetic polarity. The magnetron allows the generation of plasma waves in the neighborhood of 22MHz which interact with the 1 to 20eV electrons of the plasma to thereby increase the plasma density.

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄)

裝

訂

線

## 六、申請專利範圍

1. 一種磁控管組件，可定位於濺鍍靶材之背側並可旋轉於靶材之中心位置，該組件至少包含一單一磁控管非對稱地定位於中心位置並包含：

一第一磁極性之第一極，其包含第一磁極性之第一磁鐵，安排呈一三角形，至少兩個第一磁鐵係為條狀磁鐵安排於該三角形之長側上並彼此傾斜於  $10^{\circ}$  至  $35^{\circ}$  之間的角度；及

一第二磁極性之第二極，安排於該三角形之內側，並與第一磁鐵分離一間隙，其係沿著靶材之表面延伸。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之磁控管組件，其中上述之角度係於  $20^{\circ}$  及  $30^{\circ}$  之間。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述之磁控管組件，其中上述之第一磁鐵包含一第二條狀磁鐵安排於該三角形之短側。

4. 如申請專利範圍第 3 項所述之磁控管組件，其中上述之第一磁鐵係均為矩形。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述之磁控管組件，其中上述之第二極包含一單一第二磁鐵。

6. 如申請專利範圍第 5 項所述之磁控管組件，其中上述之

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

## 六、申請專利範圍

第二磁鐵係為一條狀磁鐵。

7.如申請專利範圍第5項所述之磁控管組件，其中上述之第二磁鐵為圓形。

8.如申請專利範圍第5項所述之磁控管組件，其中上述之第一及第二磁鐵面向靶材，而其間沒有一磁極面。

9.如申請專利範圍第1項所述之磁控管組件，更包含一磁軛，安置於第一及第二磁鐵相對於靶材之一側上。

10.如申請專利範圍第1項所述之磁控管組件，其係加入一電漿濺鍍系統中，其具有一直流電源連接至該靶材，其中上述之供給至靶材之直流功率位準係足夠高，以產生第一電漿波，其係被轉換為具有頻率於5至75MHz間之第二電漿波。

11.如申請專利範圍第10項所述之磁控管組件，其中上述之頻率係於10至50MHz之間。

12.如申請專利範圍第10項所述之磁控管組件，其中上述之第一電漿波係為低混合模式。

13.一種直流電漿濺鍍反應器，至少包含：

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

## 六、申請專利範圍

一真空室，具有一大致圓形靶材，具有一實質平坦中心部面向予以濺鍍塗覆之基材；

一直流電源，相對於該室負偏壓該靶材；

一磁控管，包含第一磁極性之第一極實質包圍一第二磁極性之第二極，該第一及第二極係可以作為一單元繞著靶材之中心旋轉，該磁控管係安置於靶材之相對該基材之一側上；

其中由該直流電源所供給至靶材之功率位準係足夠高，以產生一第一電漿波，其係被轉換為第二電漿波，其具有於 5 至 75MHz 間之頻率。

14.如申請專利範圍第 13 項所述之反應器，其中上述之頻率係於 10 至 50MHz 之間。

15.如申請專利範圍第 13 項所述之反應器，其中上述之第一電漿波係為低混合模式。

16.如申請專利範圍第 13 項所述之反應器，其中上述之第二電漿波之相位速度係等於具有能量於 1 至 20eV 之電子的相位速度。

17.一種濺鍍之方法，包含以下步驟：

提供一濺鍍靶材，其具有密封於一電漿反應室之平坦中心部；

## 六、申請專利範圍

旋轉該磁控管繞著該靶材之中心，該磁控管具有一磁極性之內極係為一第二磁極性之磁性較強外極所包圍；

以相對於該室，直流偏壓該濺鍍靶材，以於該室內創造一電漿，藉以濺鍍該靶材，該直流偏壓係足夠強，以採用第一頻率之第一電漿波；

將該第一電漿波轉換為不超出第一頻率之 20% 之第二頻率的第二電漿波；及

以該電漿之電子來與第二電漿作反應。

18. 如申請專利範圍第 17 項所述之方法，其中上述之電子具有範圍由 1 至 20eV 之能量及該第二電漿波具有等於至少部份電子之相位速度。

19. 如申請專利範圍第 17 項所述之方法，其中上述之轉換步驟為一參數轉換步驟。

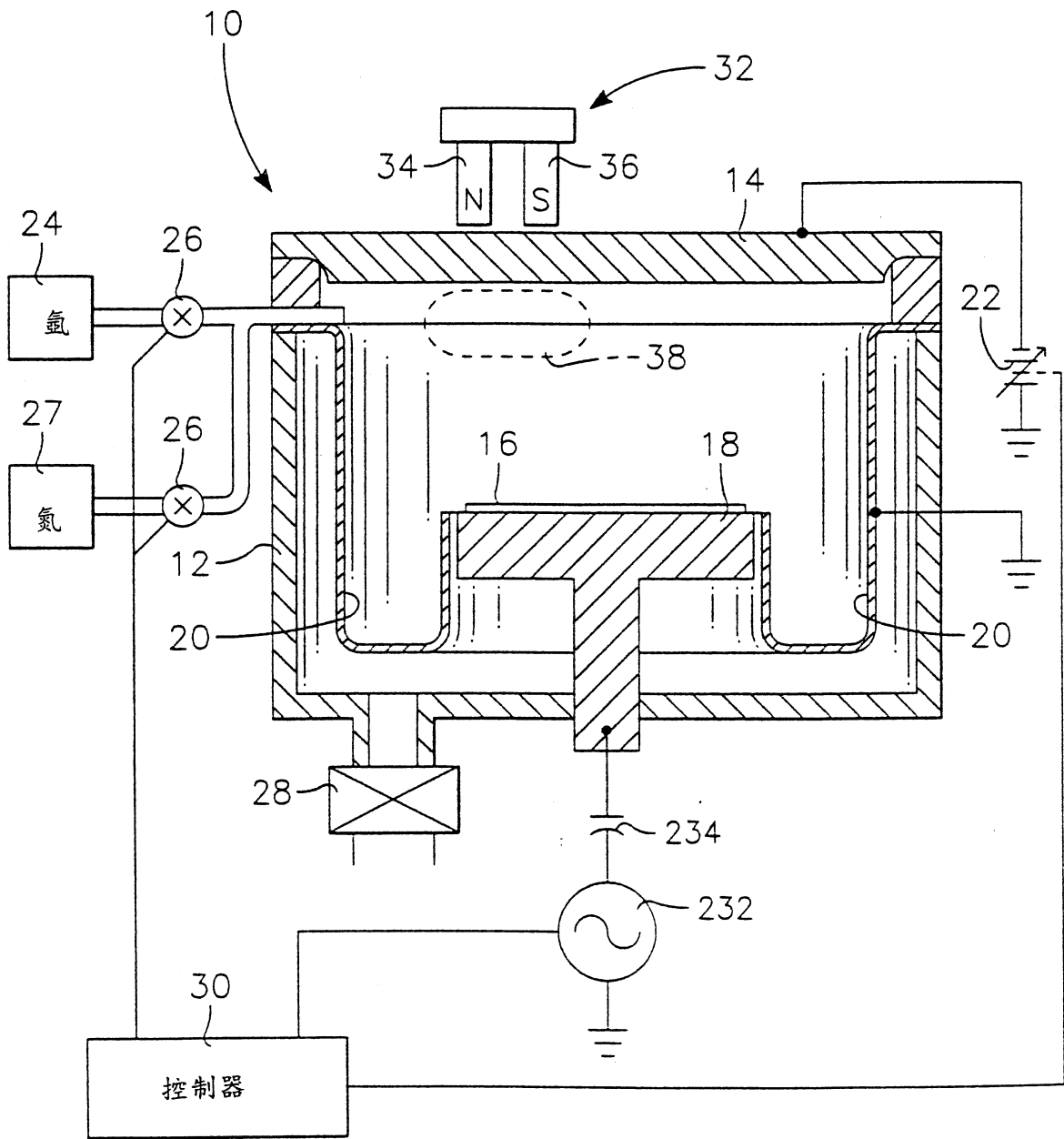
20. 如申請專利範圍第 17 項所述之方法，其中上述之第一電漿波係為一低混合波。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

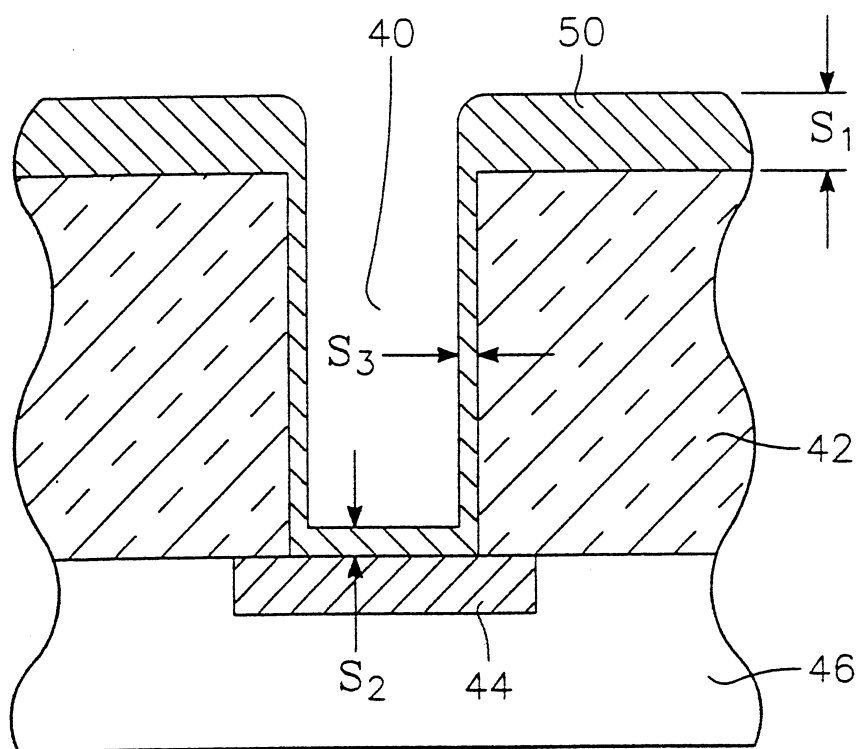
裝

訂

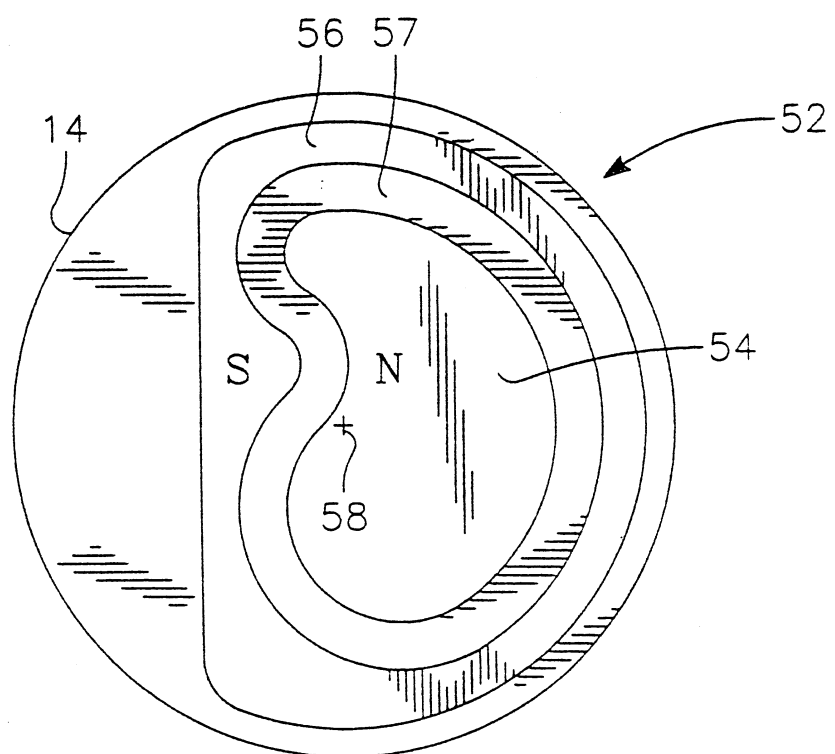
線



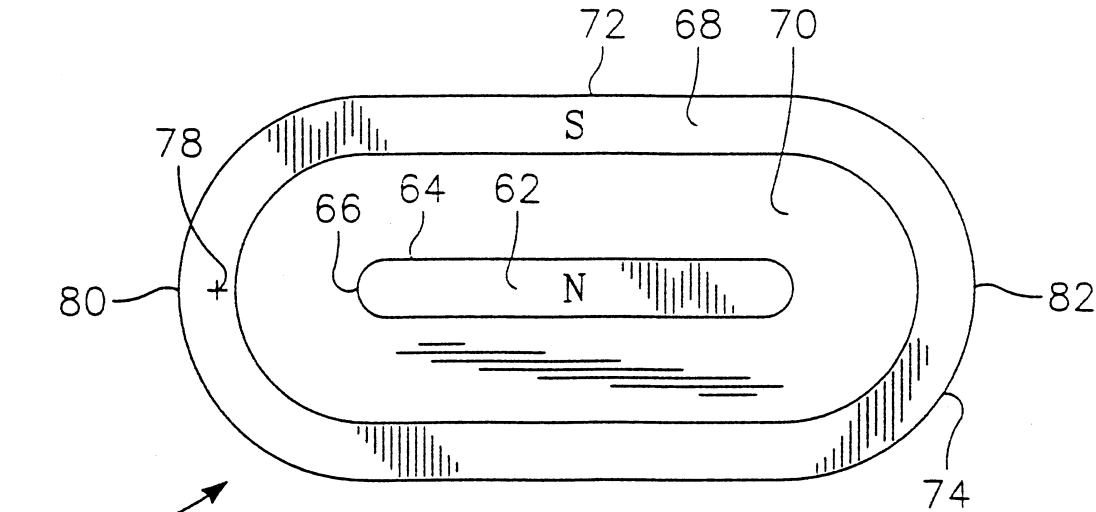
第 1 圖



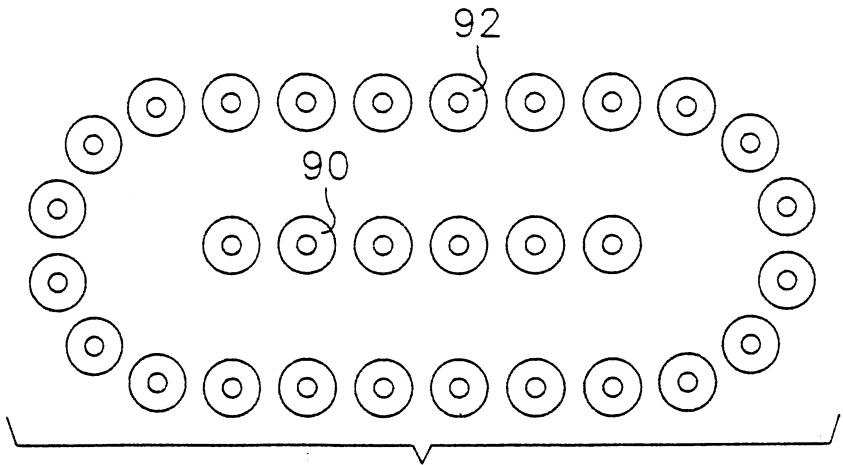
第 2 圖



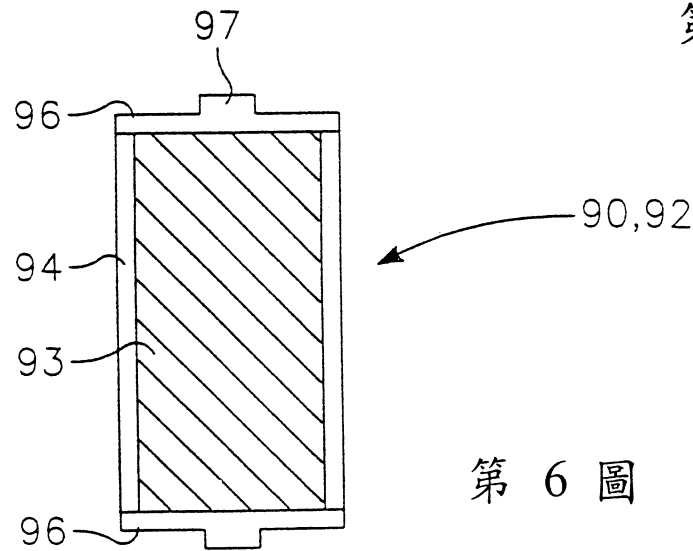
第 3 圖



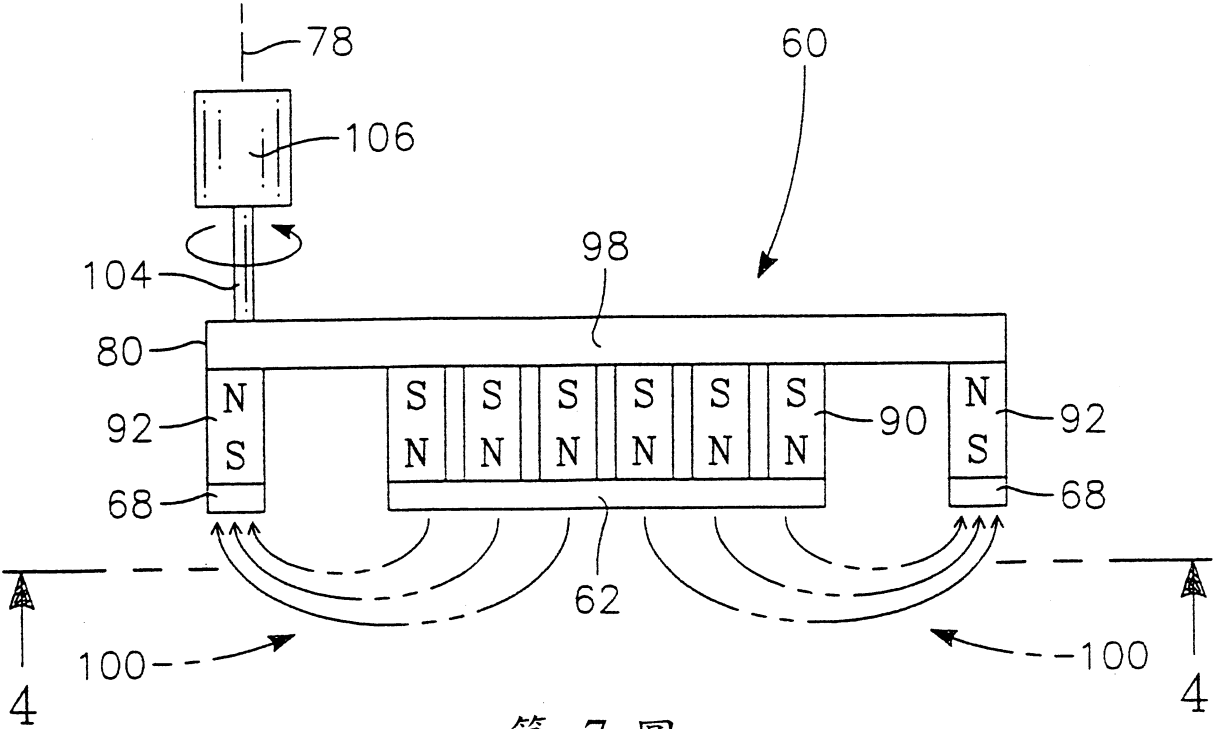
第 4 圖



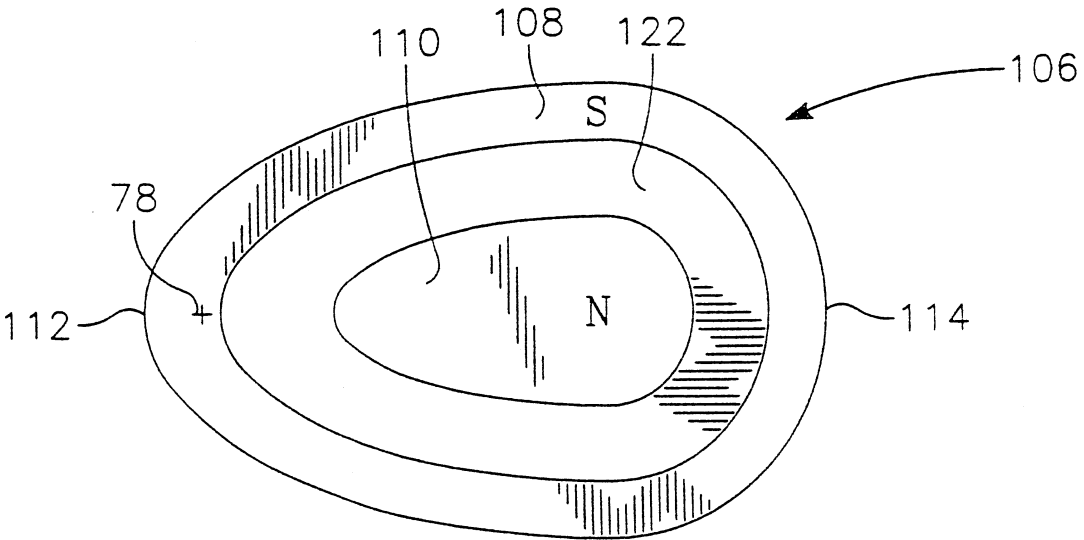
第 5 圖



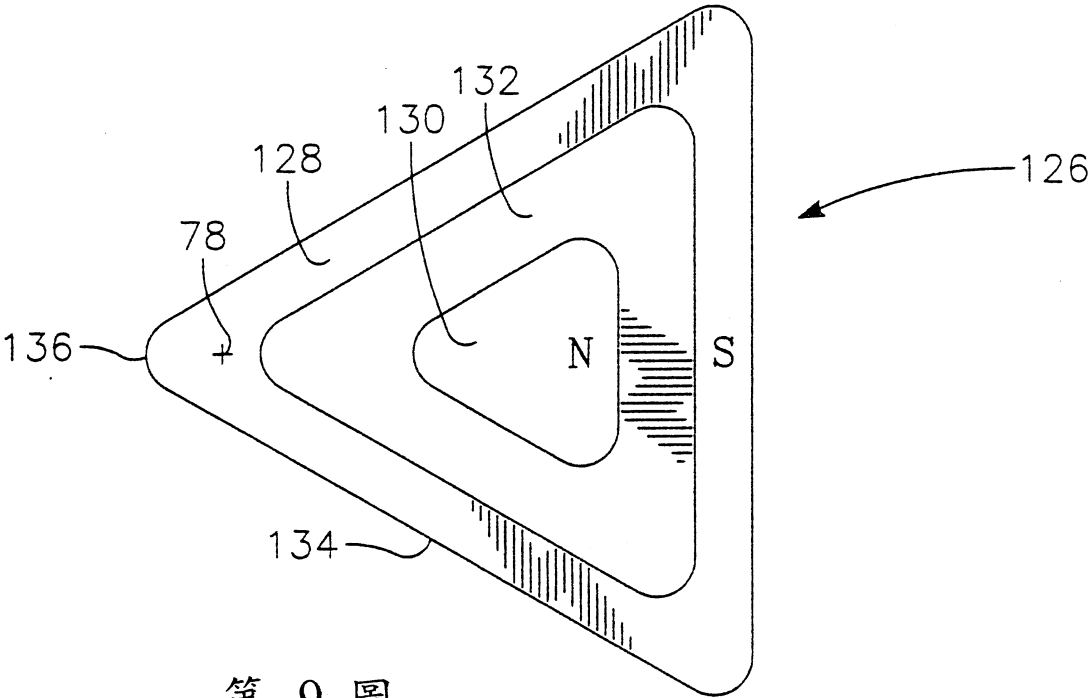
第 6 圖



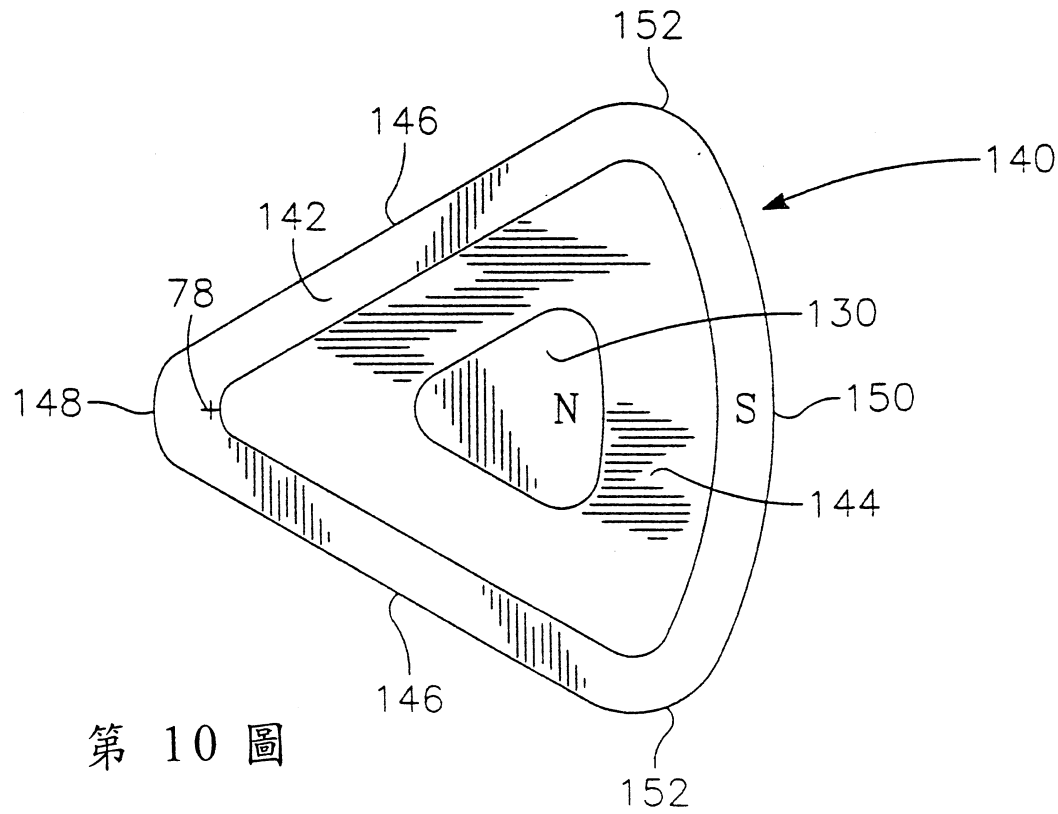
第 7 圖



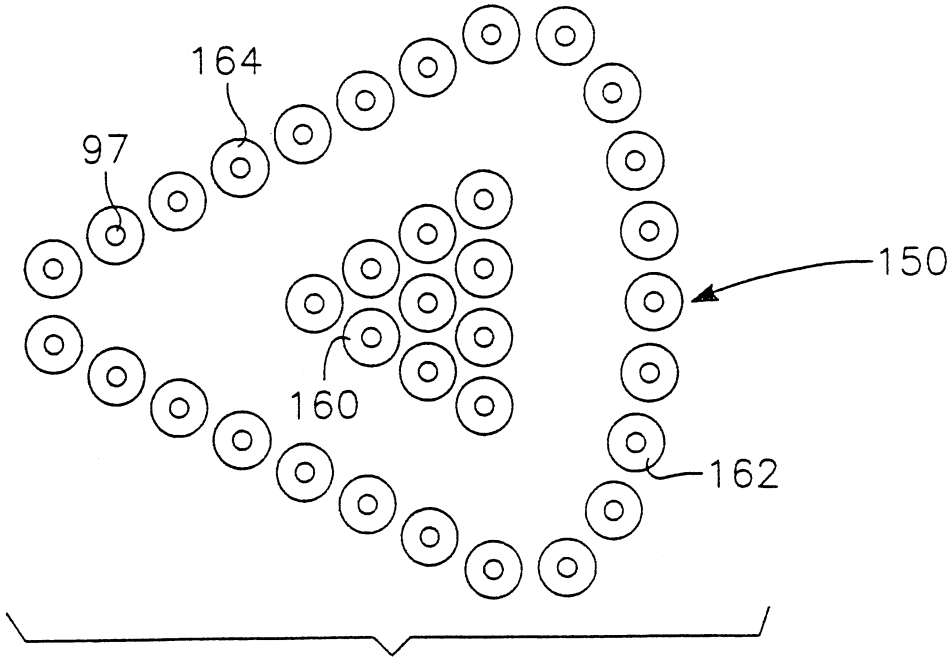
第 8 圖



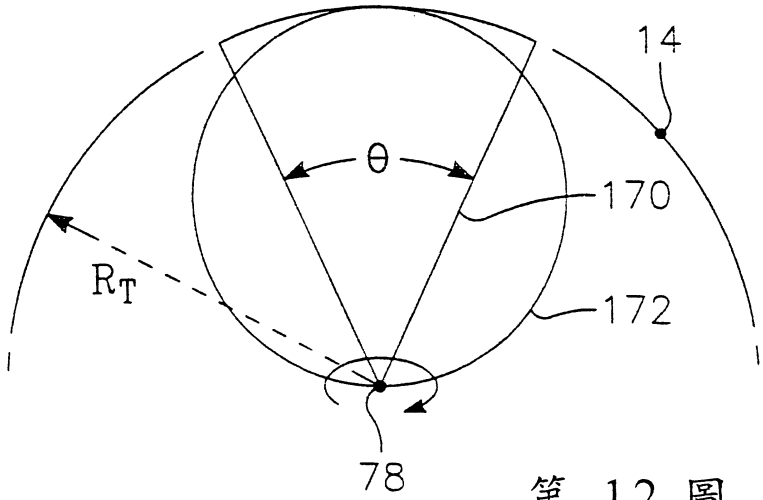
第 9 圖



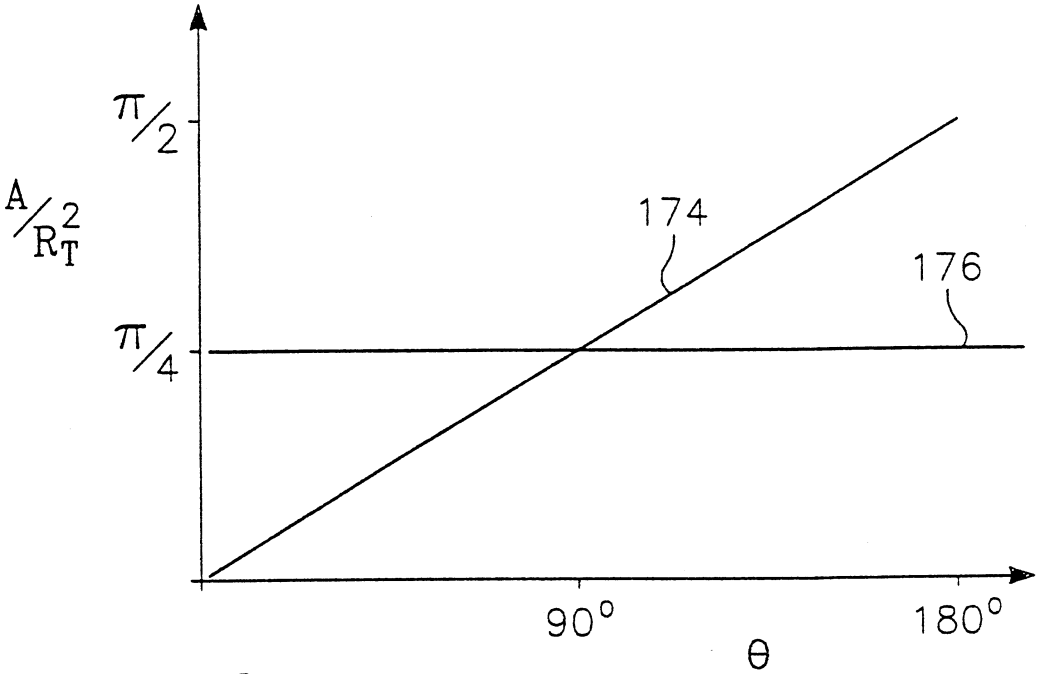
第 10 圖



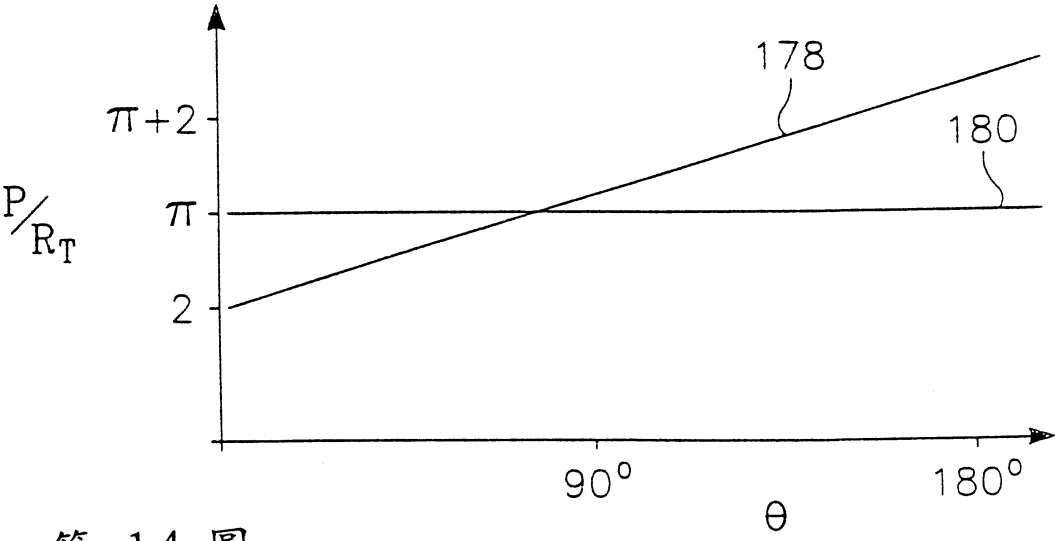
第 11 圖



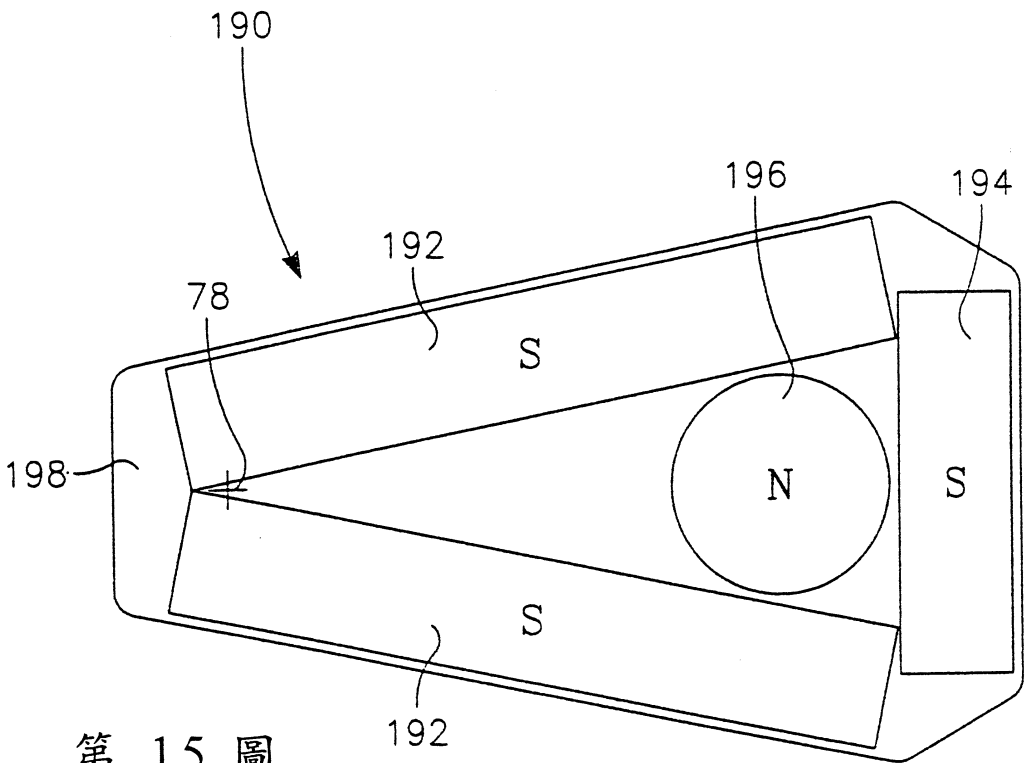
第 12 圖



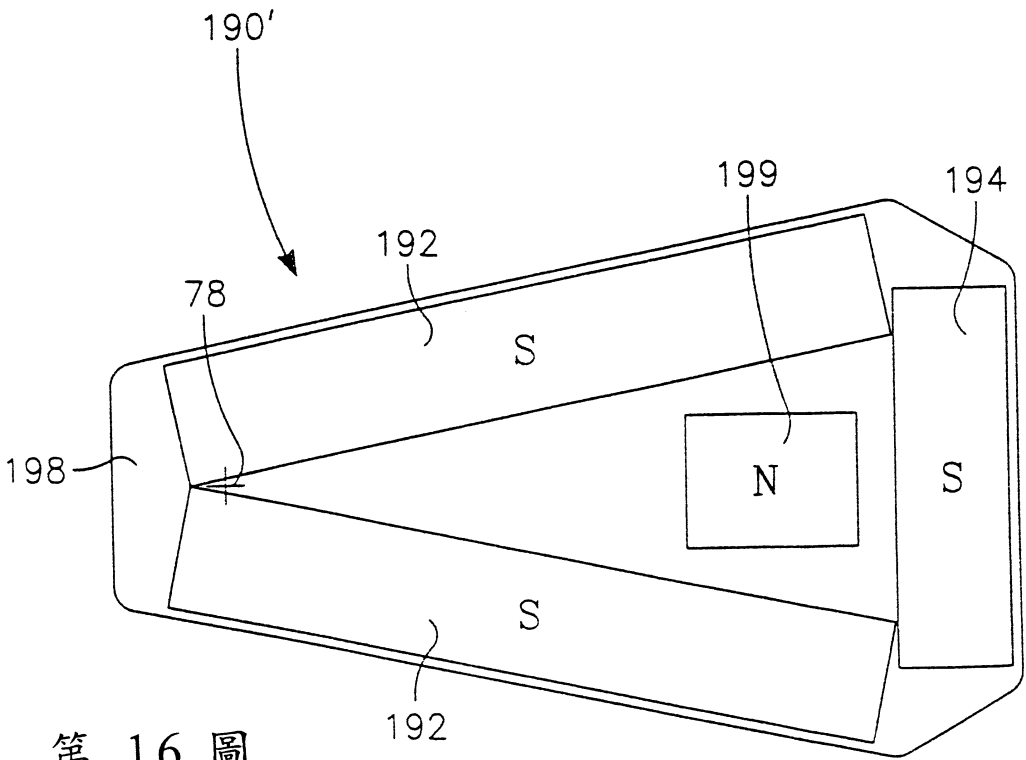
第 13 圖



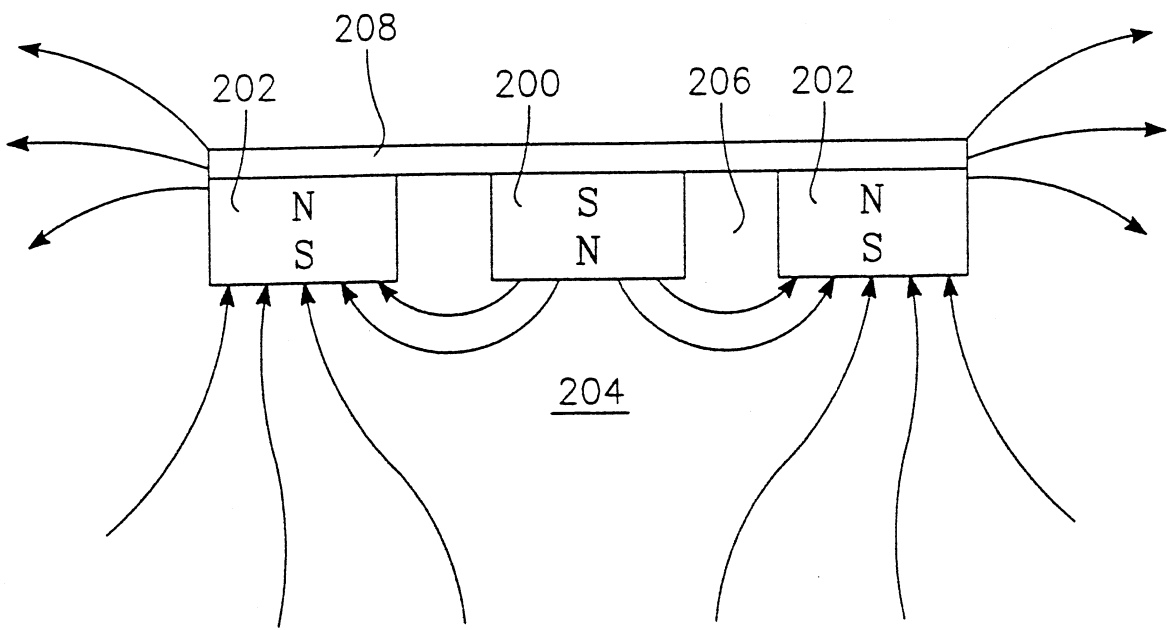
第 14 圖



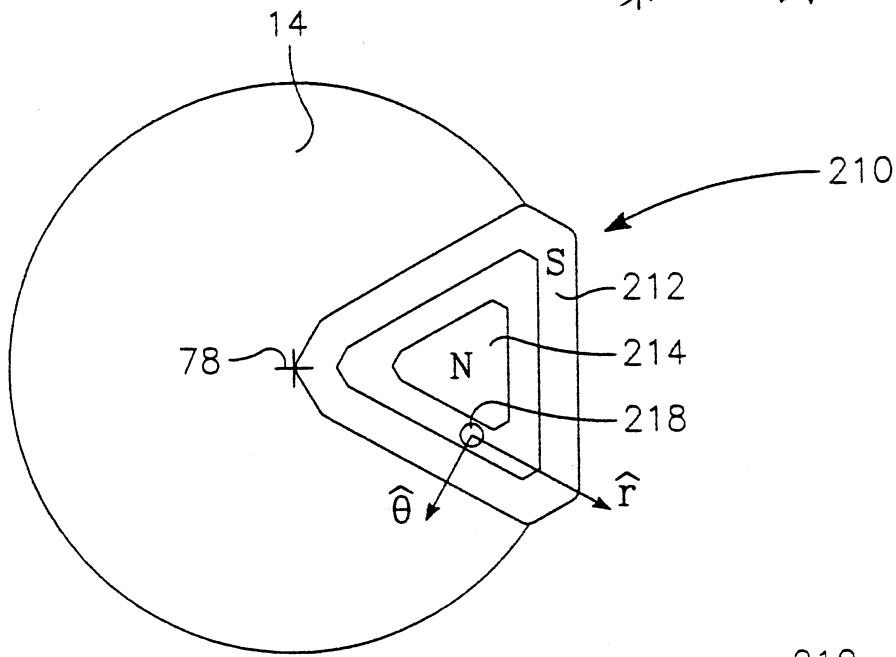
第 15 圖



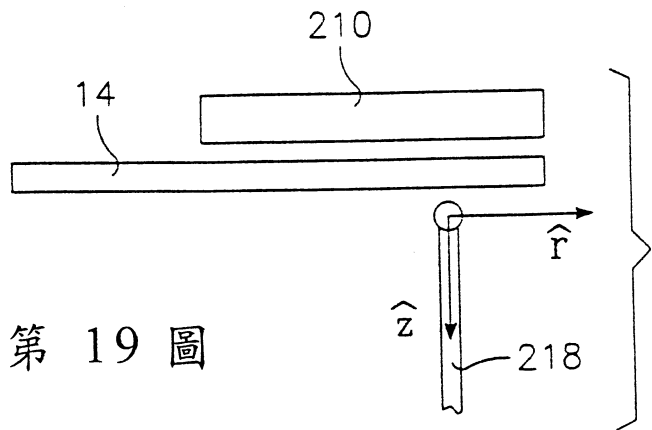
第 16 圖



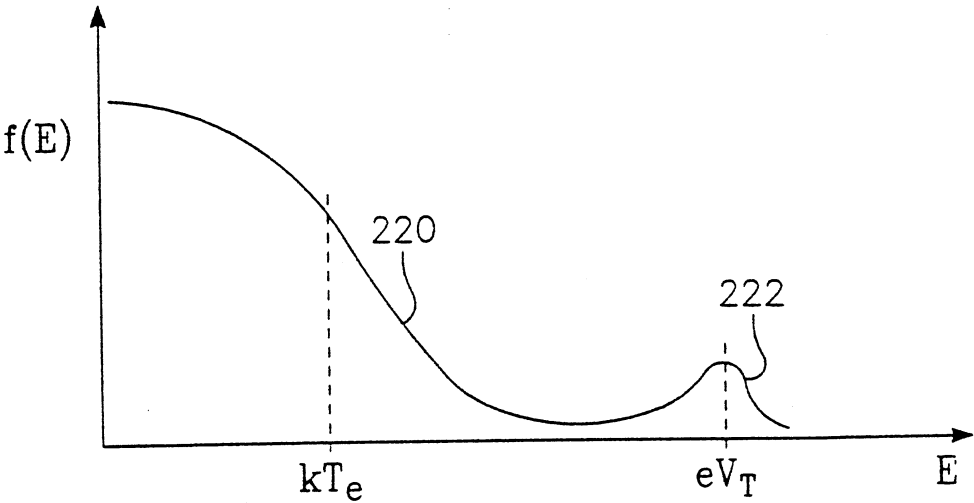
第 17 圖



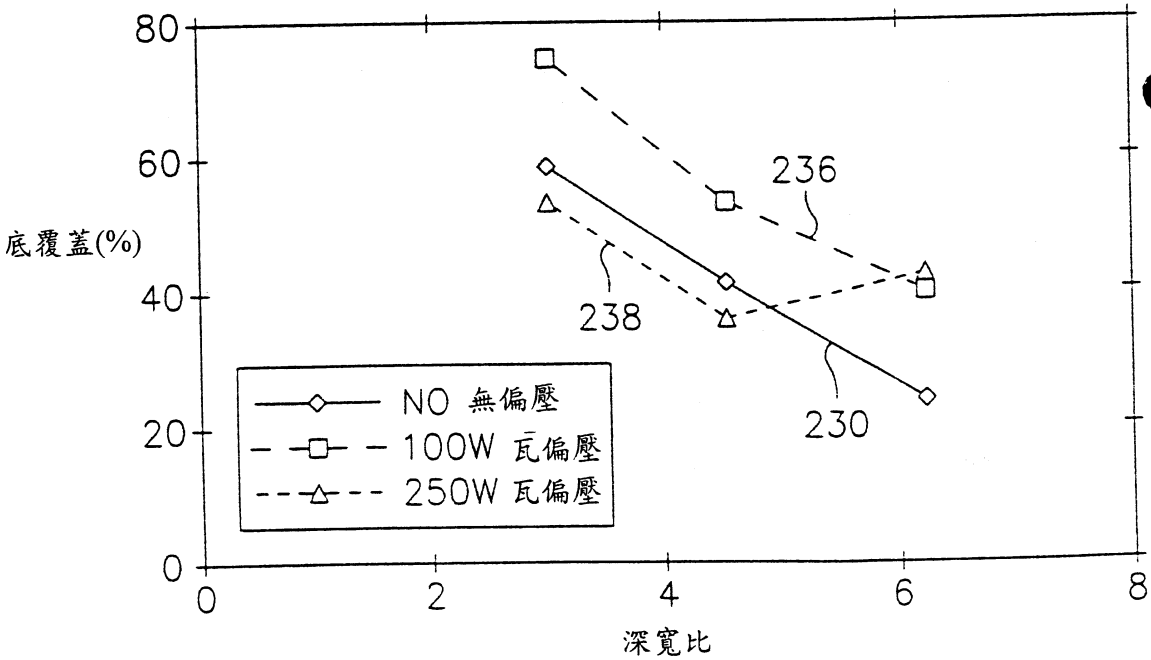
第 18 圖



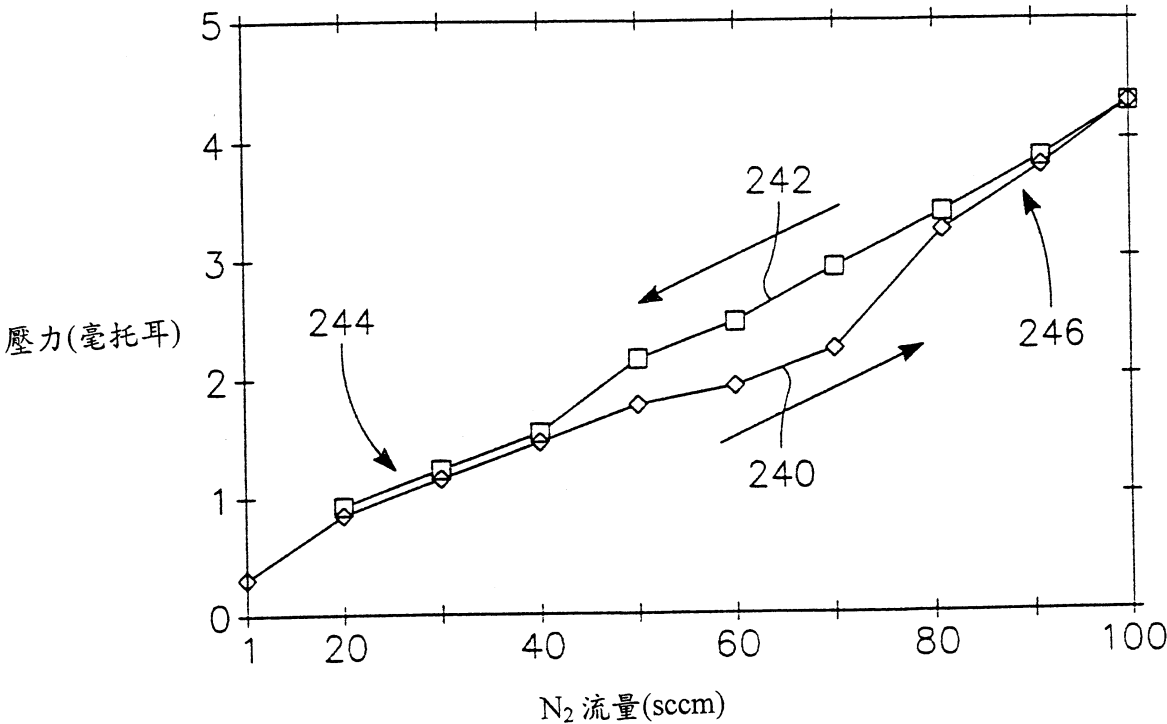
第 19 圖



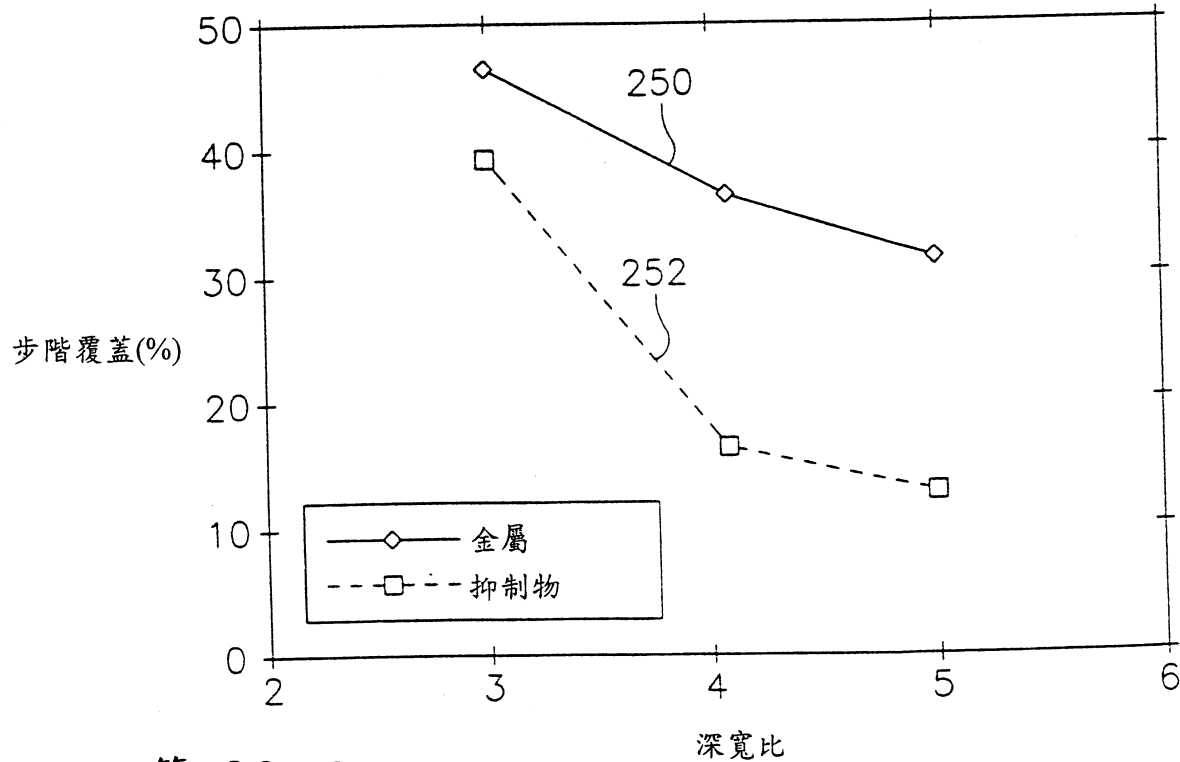
第 20 圖



第 21 圖



第 22 圖



第 23 圖