

公告本

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：93135600

※ 申請日期：93 年 11 月 19 日

※IPC 分類：

H01L 21/8238

一、發明名稱：(中文/英文)

金屬碳化物閘極結構及其製造方法

METAL CARBIDE GATE STRUCTURE AND METHOD OF
FABRICATION

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

萬國商業機器公司

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

代表人：(中文/英文) 傑羅 羅森梭/ROSENTHAL, GERALD

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國紐約州 10504 亞芒克市新奧爾察德路

New Orchard Road, Armonk, NY 10504, U.S.A.

國 籍：(中文/英文) 美國/US

三、發明人：(共 4 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 西瑞爾 卡布羅二世/CABRAL, JR., CYRIL

2. 克里斯多夫 戴塔維爾/DETAVERNIER, CHRISTOPHE

3. 拉甲歐 賈米/JAMMY, RAJARAO

4. 凱瑟琳 L 珊格/SAENGER, KATHERINE L.

國 籍：(中文/英文)

1. 美國/US
2. 比利時/BE
3. 印度/IN
4. 美國/US

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：

美國；西元 2003 年 11 月 28 日；10/722,557

☐ 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】

本發明係關於包含金屬碳化物 (carbide) 的閘極結構。此發明特別適用於包含雙功函數 (dual work function) 金屬閘電極之互補金氧半導體 (CMOS) 元件。本發明尤其關於雙功函數金屬閘極，其中雙功函數係由一金屬和一金屬之碳化物所提供。

本發明亦關於製造本發明金屬閘極元件之方法。

【先前技術】

先進的互補金氧半導體元件越來越多地使用金屬閘電極，以避免和摻雜多晶矽之傳統閘電極一起觀察到的「多晶矽空乏 (poly-Si depletion)」和「硼穿透 (boron penetration)」效應。閘極材料之特定金屬的選擇係由幾點考慮所主導，包含閘極欲得之功函數與電阻率 (electrical resistivity)，閘極金屬預期能夠承受之熱預算 (thermal budget)，閘極介電質的型式 (高 k 或傳統)，以及無傷害 (damage-free) 的閘極金屬沉積製程的存在。雖然像是鎢的中能隙 (mid-gap) 金屬可能可用於 n 型場效電晶體和 p 型場效電晶體兩者，然而在稱為「雙金屬/雙功函數」互補金氧半導體之設計方法中，仍希望用一種適合於 p 場效電晶體的 (高功函數) 閘極金屬及另一種適合於 n 場效電晶體的 (低功函數) 閘極金屬。

若兩種不同金屬需要不同的沉積及圖案化製程，如此

雙金屬/雙功函數安排可能非常複雜。當圖案化係藉消減方式 (subtractively) 完成則更是如此，由於要移除沉積的第二種金屬時必須不傷害第一種。互補金氧半金屬閘極這樣的雙金屬/雙功函數安排之複雜度導致對「單金屬/雙功函數 (single metal/dual work function)」安排之興趣增加，其中單一金屬沉積在 n 場效電晶體和 p 場效電晶體元件區域上方，接著調整使其在 n 場效電晶體元件區域具有適於 n 場效電晶體之功函數，而在 p 場效電晶體元件區域具有適於 p 場效電晶體之功函數。

「單金屬/雙功函數」之方法已描述於文獻。一種方法 [V. Misra 等人，IEEE Electron Device Letters 23 354 (2002) 以及 H. Zhong 等人，IEDM Tech. Dig. 467 (2001)] 係建議沉積具有 n 場效電晶體功函數之鈥-鉭 (Ru-Ta) 合金層於 n 場效電晶體和 p 場效電晶體元件區域上方，接著藉由沉積額外鈥與退火，在 p 場效電晶體元件區域中，轉換鈥-鉭合金為具 p 場效電晶體功函數之富含鈥的鈥-鉭合金。

另一方法中，像是具 p 場效電晶體功函數的鉬 (Mo) 之金屬係沉積於 n 場效電晶體和 p 場效電晶體元件區域上方，並藉氮之離子佈植 [P. Ranade 等人，Mat. Res. Soc. Proc. 670 K5.2 (2001)；R. Lin 等人，IEEE Electron Device Letters 23 49 (2002)] 或來自氮化鈦 (TiN) 之富含氮上覆層 (overlayer) 之氮的固態擴散/反應 [R.J.P.Lander 等人，Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 716 B5.11 (2002)]，在 n 場效電晶體元件區域中，轉換成具 n

場效電晶體功函數之鉬氮化物。

氮離子佈植方法之缺點是它會傷害底下的閘極介電質 [T. Amada 等人, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 716 B7.5 (2002)]。來自氮化鈦之氮的固態擴散造成較少傷害，但不太能提供功函數之足夠改變（二氧化矽上的鉬觀察值 ~ -0.5 eV，而期望值 ~ -0.75 eV）。鈦-鉬合金方法之缺點包含鉬可能和閘極介電質反應，以及缺乏鈦-鉬合金之化學氣相沉積方法（由於化學氣相沉積是少數幾個沒有破壞介電質之帶電粒子撞擊的沉積製程之一）。

【發明內容】

本發明係關於提供形成互補金氧半導體之單金屬/雙功函數閘電極的方法。本發明解決上述的問題。

本發明亦關於一種半導體元件，其包含源極/汲極區域和閘極區域，其中至少一閘電極包含由一金屬和一含碳層反應得到的金屬碳化物。

本發明再一方面係關於一種雙功函數互補金氧半導體(CMOS)電路，其包含至少一場效電晶體具有一導電材料形成之閘電極，以及至少一場效電晶體具有一閘電極包含由一金屬和一含碳層反應得到的金屬碳化物，其中此金屬異於前述導電材料。

此外本發明亦關於一種雙功函數互補金氧半導體(CMOS)電路，其包含：

至少一場效電晶體，具有一閘電極係由一第一金屬形成，以及

至少一場效電晶體，具有一閘電極係由前述第一金屬之碳化物形成。

本發明之另一方面關於一種形成場效電晶體之閘極的方法，其包含提供一基板，以及沉積一金屬與一含碳層於基板上，以及反應金屬與含碳層以形成一金屬碳化物，而提供一閘電極。

本發明又一方面係關於在一基板上形成雙功函數互補金氧半導體元件之方法。此方法包含：

沉積一金屬層於一第一和第二組閘極區域上；

提供一含碳層接觸第一與第二組閘極區域之一，且不在第一與第二組閘極區域之另一上，含碳層直接接觸此第一與第二組閘極區域之一上的金屬層；

反應此第一與第二組閘極區域之一上的含碳層與此第一與第二組閘極區域之一上的金屬，以形成一金屬碳化物。

從以下之詳細說明，本發明之其他目的與優點對熟此技藝者會變得明顯，其中簡單地以例示考慮來實施本發明之最佳模式的方式，只顯示與說明本發明之較佳實施例。之後會理解，本發明可有其他以及不同的實施例，且其一些細節可於不同明顯面向中修改，而不悖離本發明。因此，說明之本質欲被視為例示而非限制。

【實施方式】

本發明關於半導體結構，包含至少一場效電晶體具有一閘極。為了解本發明，詳細說明關於「單金屬雙功函數」金屬閘極之較佳面向。

根據較佳面向，本發明提供新的方法以達「單金屬/雙功函數」金屬閘極，其中雙功函數由一金屬和此金屬之碳化物提供。

因此，本發明之一方面關於一種雙功函數互補金氧半導體電路，其包含：

至少一場效電晶體，具有一閘電極係由一第一金屬形成，以及

至少一場效電晶體，具有一閘電極係由前述第一金屬之一碳化物形成。

本發明亦提供一種雙功函數互補金氧半導體電路，其包含：

至少一場效電晶體，具有一閘電極係由一第一金屬與至少一額外 (additional) 元素形成，以及

至少一場效電晶體，具有一閘電極係由前述第一金屬之一碳化物形成。

根據本發明之雙功函數互補金氧半導體結構可藉以下步驟製造：沉積具一第一功函數之一金屬於 n 場效電晶體與 p 場效電晶體元件區域兩者上方，接著在所選區域中和一含碳層反應以形成一金屬碳化物，此金屬碳化物具一

第二功函數異於第一功函數。為了本發明之目的，「碳化物」被定義為碳和比碳更正電性 (electropositive) 之一個或多個元素的化合物或混合物。

根據本發明，於一基板上製造雙功函數互補金氧半導體結構之一製程技術包含：

沉積一金屬層，係具一第一功函數；

圖案化金屬層以形成第一和第二組閘極形狀 (gate-shaped) 結構；

形成一圖案化含碳材料層，使得含碳材料沉積於基板上第一和第二組閘極形狀結構之其一上，且不在第一和第二組閘極形狀結構之另一上；

反應圖案化含碳材料與金屬於兩者皆有之區域，以形成具第二功函數之一材料；

選擇地 (optionally) 移除反應後仍在的碳殘餘 (residual)；以及

選擇地於一惰性或反應性環境氣體 (ambient) 退火，以修復任何製程傷害。

提供圖案化含碳層之範例包含：

沉積一含碳層，並藉由一製程，如反應式離子蝕刻 (reactive ion etching)，選擇性地移除第一與第二組閘極區域之一的含碳層，且保留於第一與第二組閘極區域之另一上的含碳層，而圖案化含碳層；以及

沉積與圖案化一光阻層，毯覆沉積 (blanket-depositing) 一含碳層於光阻層上，接著移除光阻以及位於光阻頂上之含碳層，而保留不位於光阻頂上

能隙金屬，以形成具第二功函數之第二組閘極。

可考慮用於本發明之金屬/金屬碳化物製程的金屬包含任何導電材料，例如：鋁(Al)、鋇(Ba)、鈹(Be)、鉍(Bi)、鈷(Co)、鉻(Cr)、銅(Cu)、鐳(Dy)、鐵(Fe)、鎳(Ga)、釷(Gd)、銱(Ir)、鈦(Hf)、鎂(Mg)、鉬(Mo)、錳(Mn)、鈮(Nb)、鎳(Ni)、鈀(Pd)、鉑(Pt)、銱(Ir)、鐳(La)、銱(Os)、鐳(Pr)、銱(Rh)、銱(Re)、鈦(Ru)、鈾(Sc)、錫(Sn)、鉭(Ta)、鈦(Ti)、鈾(V)、鎢(W)、釔(Y)、鋅(Zn)和鋇(Zr)金屬；這些金屬或其合金之導電氮化物、矽化物、鍺化物、矽氮化物；有或沒有額外非金屬元素的這些金屬之導電合金或化合物。

這些金屬的沉積技術可包含熱蒸鍍、電子束蒸鍍、濺鍍，反應式濺鍍，離子束濺鍍，無電鍍(electroless)沉積、化學氣相沉積(CVD)、金屬有機化學氣相沉積(MOCVD)、電漿加強化學氣相沉積(PECVD)，以及原子層沉積(ALD)。

此製程較佳之金屬包含鉬、鉬-鈦合金，和其他形成碳化物的p場效電晶體(高功函數)金屬。此製程之較佳金屬沉積技術包含化學氣相沉積和金屬有機化學氣相沉積，因為沒有傾向傷害閘極介電質的富能(energetic)帶電粒子撞擊。

此製程之含碳層可包含任何方法沉積之任何含碳材料。此含碳層可包含，例如：鑽石、石墨；具最少氫含量

的非晶碳；非晶氫化碳 ($a\text{-C:H}$ ，亦稱為類鑽碳或 DLC)；含碳聚合物，例如聚甲基丙烯酸甲酯 (poly(methyl) methacrylate)，聚醯亞胺 (polyimide)，SiLK；有機光阻；包含其他元素，像是矽、氧、氮、及/或氫（例如 SiCOH 或 SiCH ）之非晶含碳層。

這些含碳層之沉積方法可包含旋轉塗佈 (spin-on) 技術、溶液鑄模 (solution-casting) 技術、化學氣相沉積、電漿輔助化學氣相沉積 (PACVD)、電漿加強化學氣相沉積、熱蒸鍍、電子束蒸鍍、用惰性或反應性工作氣體從含碳靶材濺鍍沉積、離子束濺鍍。應注意假如含碳層在金屬之前沉積，某些含碳層會需要穩定化退火 (stabilization anneals)。舉例而言，在金屬沉積前，一般會給予類鑽碳之含碳層穩定化退火（例如：於氬中 400°C ，4 小時），以避免在碳化物形成期間起泡 (blistering)。

較佳含碳層包含物理性濺鍍沉積的純碳，以及以電漿加強化學氣相沉積法沉積的非晶氫化碳（亦稱為類鑽碳或 DLC）。

碳層可輕易地圖案化（例如藉由氧基礎的反應式離子蝕刻），使得其只保留在 n 場效電晶體元件區域上方。當金屬碳化物形成完成時，多餘碳殘留可以氧基礎的灰化或反應式離子蝕刻電漿選擇性地移除。金屬鈹和其碳化物對氧化都很有抵抗性。

如有需要，電極堆疊可在惰性或反應性環境氣體中退火，以修護任何製程傷害及/或以改善元件特性。此退火可在製程之任何階段執行。

本發明之金屬層一般具有約 2 至約 500 奈米的厚度，一般更為約 5 至約 50 奈米。本發明之含碳層的最佳厚度會視幾個因素而定：期望碳化物的化學計量 (stoichiometry) (例如 MC , M_2C , M_3C , M 表示被碳化之金屬元素)；金屬層之厚度；含碳層之碳含量 (例如濺鍍沉積的碳比 $a-C:H$ 有較高的碳含量)，以及各層之順序 (若金屬於碳下方，會希望碳稍稍超過一些，而若碳在金屬下方，會希望金屬稍稍超過一些)。金屬層中的金屬原子之面積密度 (atoms/cm^2) 可從金屬之厚度、密度和分子重量 (MW) 計算。厚度 30 奈米的鈿層預期具有的面積密度為 1.9×10^{17} 鈿原子/ cm^2 (基於其 MW 為 96 g/mole，密度為 $10.2 \text{ g}/\text{cm}^3$)。要提供恰好此數目之一半的碳 (以製造 Mo_2C) 所需之非晶碳層的厚度為 9.5 奈米 (假定 MW 為 12 g/mole，密度為 $2 \text{ g}/\text{cm}^3$)。

一般碳形成之退火溫度/時間條件視金屬之特性與期望碳化物之化學計量而定。比形成期望之第一碳化物 (例如 M_2C) 所需還高之溫度或還長之時間之退火會導致進一步反應，並形成具有較高碳含量且不想要的第二碳化物 (例如 MoC)。最佳退火較小程度上也會視金屬膜厚度和碳之型式 (例如濺鍍沉積碳 vs. $a-C:H$) 而定。正形成碳化物之金屬中的碳化物形成一般發生在溫度大約 400 至大約 1100°C 。有趣地，在此溫度範圍較低端的碳化物形成可由

納入氬輔助[A. Rubinshtein 等人, "Surface treatment of tantalum to improve its corrosion resistance", Mater. Sci. Eng. A A302, 128 (2001)]。退火環境氣體一般選自以下氣體及其混合物：氬(Ar)、氦(He)、氫(H₂)、氮(N₂)、碳化氫(CH_x)。對易於形成氮化物的金屬而言，氬氣為較不佳的環境氣體。完成碳化物反應所需之退火時間視溫度而定；在給定的金屬和金屬厚度下，當退火溫度增加，所需退火時間會減少。

碳化物形成金屬包含：鉻(Cr)、鐵(Fe)、鈐(Hf)、錳(Mn)、鉬(Mo)、鈮(Nb)、鎳(Ni)、鉭(Ta)、鈦(Ti)、釩(V)、鎢(W)和其他。這些金屬當中，鐵在 400-1000°C 溫度範圍之低端形成碳化物，鎢在此溫度範圍之高端形成碳化物。一般在氮氣中以約 750°C 快速熱退火約 1 分鐘足以完全轉換碳在鉬上之雙層膜 (30 奈米) 為 Mo₂C。

圖 6A 至 6C 檢驗對應本發明三個實施例之樣本形狀的鉬碳化物形成：在濺鍍碳層上方之毯覆鉬層，在類鑽碳層上方之毯覆鉬層（在金屬沉積前，於氮氣中以 400°C 退火 4 小時），以及在濺鍍碳層下方之毯覆鉬層。所有樣本中的鉬為 30 奈米厚，且以濺鍍沉積。在快速熱退火（於氮環境氣體中以 3°C/sec）期間，用波長 0.1797 奈米、強度 10^{13} 光子/s、能量解析 (energy resolution) 1.5% 之同步加速器輻射的原位 X 光繞射 (XRD) 監測[G. B. Stephenson 等人, Rev. Sci. Instrum. 60 1537 (1989)]。

所有樣本一開始顯示單一 X 光繞射波峰於 $2\theta = 48^\circ$ 對

應 Mo 110 反射。Mo 110 波峰之消失，以及六方(hexagonal) Mo_2C 於 47° (Mo_2C 101)、 45° (Mo_2C 002) 與 40.5° (Mo_2C 100) 之波峰的出現係表示碳化物之形成。圖 6A 為濺鍍鉬層在 200 奈米厚之濺鍍碳層頂上，顯示明確定義反應在 775°C 左右。圖 6B 為標稱相同之濺鍍鉬層在 180 奈米厚之類鑽碳層頂上，顯示出些微寬些的反應，中心亦在 775°C 左右。圖 6C 為濺鍍鉬層在 30 奈米厚之濺鍍碳層下，顯示更寬之反應，中心在稍低些的溫度 ($\sim 760^\circ\text{C}$) 左右。這些情形中碳化物形成所需之熱處理是在互補金氧半的一般熱預算內。

圖 7 之電性測量證實鉬之功函數在碳化物形成時實質降低了。電容-電壓 (C-V) 量測於具有鉬和碳化鉬電極的 Si(基板)/ SiO_2 (5 或 11 奈米)/Mo(C) 電容上執行。Mo(30 奈米) 和 Mo(30 奈米，底部)/C (10 奈米，頂部) 電極膜係透過具電極區域開口 $6.2\text{e-}04$ cm 或 $9.5\text{e-}05$ cm 之矽膜遮罩 (membrane mask) 濺鍍沉積在氧化物塗佈之 n 型單晶 (100) 矽上。Mo 和 Mo/C 電極兩者皆接受足以將 Mo/C 電極轉換成 Mo_2C 之「碳化物形成」退火 (於形成氣體中，以 $3^\circ\text{C}/\text{sec}$ 上升至 900°C)。圖 7 顯示 5 奈米 SiO_2 之情形的資料。C-V 斜率和電壓截距之分析，表示 Mo 之功函數為 4.50-4.60 eV，而 Mo_2C 的為 4.25-4.35 eV。

此外，如前所述，像是那些由第一金屬與含碳層之固態反應形成之金屬碳化物也可用做單一場效電晶體、複數場效電晶體、和雙功函數互補金氧半電路中的閘電極，其中至少一個的其他閘電極係由異於此金屬碳化物、且異於

形成碳化物之金屬的導電材料形成。

應注意到由第一金屬與含碳層之固態反應形成之金屬碳化物閘極，相較於金屬碳化物層係一個步驟形成的製程而言，有許多優點。濺鍍沉積製程可沉積高品質金屬碳化物，但可能傷害接觸到的閘極介電質（因為富能帶電粒子撞擊）。化學氣相沉積為零傷害，但無法在不納入相當數量之雜質（例如氧）之情況下，簡單地共沉積金屬與碳。現今雙層（bi-layer）反應製程中，可用化學氣相沉積清潔地沉積底金屬層，後續再由任何較佳之方法（包含濺鍍，因為先前沉積金屬層之存在保護了閘極介電質）沉積含碳層。

本發明前述的說明例示並說明了本發明。此外，此揭露內容只顯示和說明本發明之較佳實施例，但如前所述，欲了解的是，本發明可用於不同其他結合、修改和環境，且可在文中表達本發明概念之範疇內有所改變或修改，相關於上述教示及/或相關技藝之技術或知識。文中上述之實施例進一步欲解釋實施本發明已知最佳模式，並使熟此技藝之他人可利用此發明於這些或其他實施例，並可有本發明特定應用或用途所需之不同修改。因此，說明並不意欲限制發明於文中揭露之形式。另外，所附申請專利範圍意欲被解讀為包含選替實施例。

【圖式簡單說明】

圖 1A 至 1E 皆為剖面圖，顯示依本發明用以製造互補金氧半閘電極之方法的各基本步驟；

五、中文發明摘要：

本發明提供例如互補金氧半導體(CMOS)之半導體元件及其製造方法。此半導體元件包含至少一場效電晶體，場效電晶體包含一閘極，且閘極包含一金屬碳化物。此互補金氧半導體包含雙功函數金屬閘電極，藉此一金屬和一金屬之碳化物提供雙功函數。

六、英文發明摘要：

A semiconductor device such as a complementary metal oxide semiconductor (CMOS) comprising at least one FET that comprises a gate electrode comprising a metal carbide and method of fabrication are provided. The CMOS comprises dual work function metal gate electrodes whereby the dual work functions are provided by a metal and a carbide of a metal.

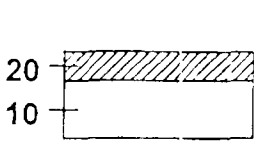


圖 1A

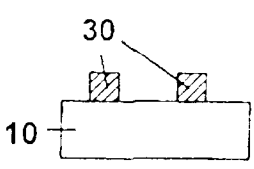


圖 1B

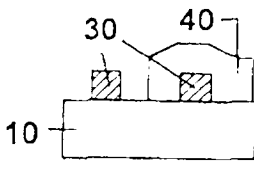


圖 1C

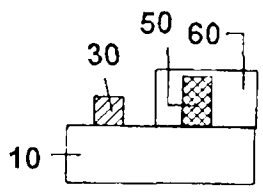


圖 1D

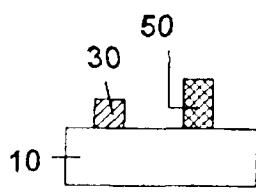


圖 1E

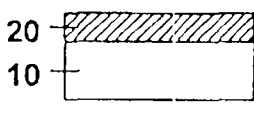


圖 2A

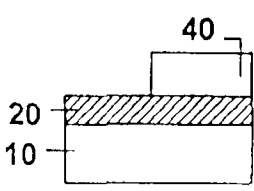


圖 2B

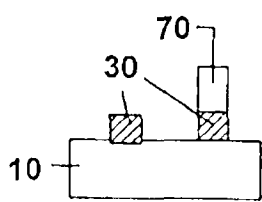


圖 2C

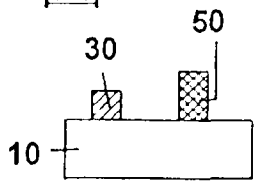


圖 2D

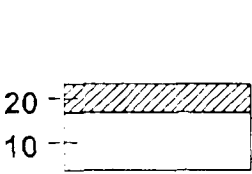


圖 3A

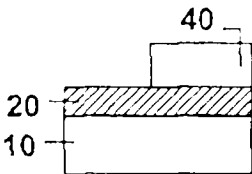


圖 3B

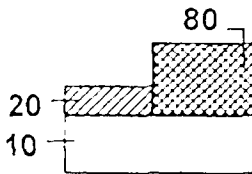


圖 3C

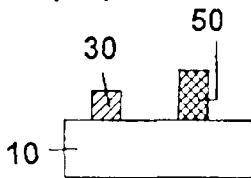


圖 3D

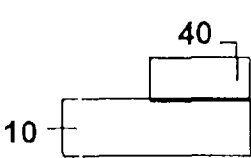


圖 4A

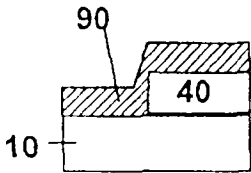


圖 4B

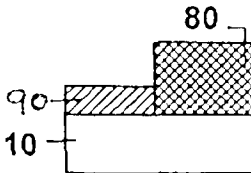


圖 4C

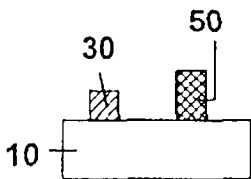


圖 4D

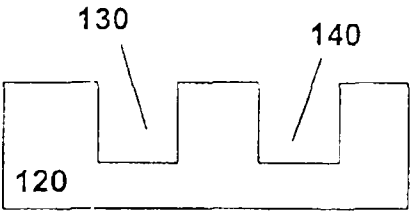


圖 5A

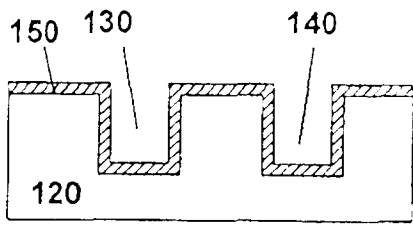


圖 5B

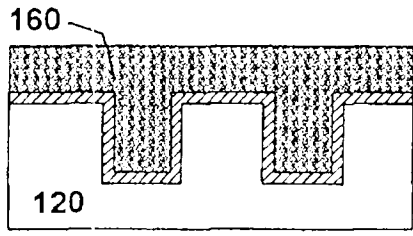


圖 5C

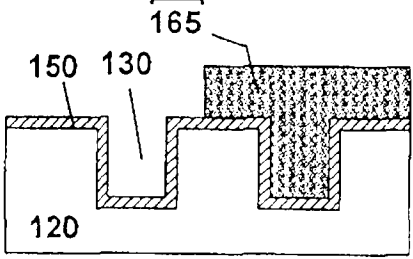


圖 5D

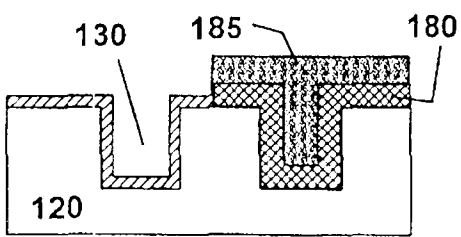


圖 5E

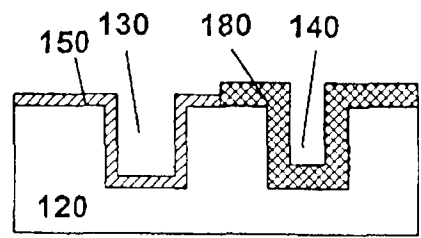


圖 5F

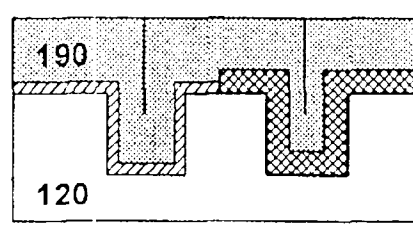


圖 5G

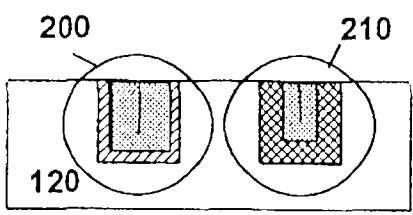


圖 5H

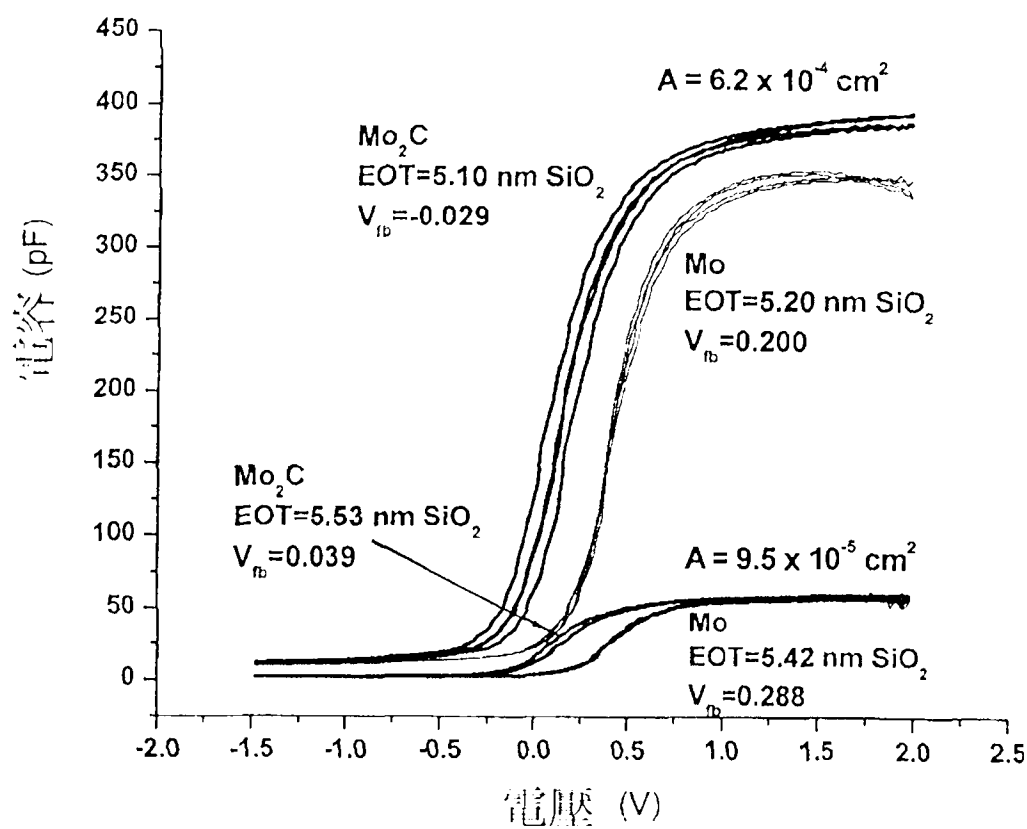


圖 7

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖 1E。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

10 基板

30 金屬閘極結構

50 金屬碳化物閘極結構

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

之含碳層。

參照圖 1A 至 1E，例示根據本發明製造雙功函數互補金氧半導體結構之上述順序。

圖 1A 顯示沉積具第一功函數之金屬層 20 後之基板 10。基板 10 一般始為一或多個半導體層於一絕緣閘極介電質下，而最終包含介電隔離區域、重摻雜半導體源極/汲極區域、以及輕摻雜或未摻雜之半導體通道區域。圖 1B 顯示金屬層 20 被圖案化以形成金屬閘極結構 30 之圖 1A 結構。圖 1C 顯示形成圖案化含碳層 40 後的結構。圖 1C 的結構被退火，以產生具第二功函數之金屬碳化物閘極結構 50，以及殘餘 (leftover) 含碳層 60。殘餘含碳層 60 可接著以例如氧電漿處理 (oxygen plasma treatment) 之製程移除，以產生圖 1E 具有具第一功函數之金屬閘極 30 和具第二功函數之金屬碳化物閘極 50 之結構。

圖 1A 至 1E 顯示之製程中，在沉積圖案化含碳層 40 前，金屬層 20 被沉積且圖案化以形成金屬閘極結構。然而，製程之步驟可以多種變更實施。舉例而言，閘極圖案化可在碳沉積之前或之後完成；碳沉積可在金屬沉積之前或之後完成；而碳化物的形成可在閘極圖案化之前或之後完成。

圖 2A~2D 和 3A~3D 顯示兩個製程流程的範例，其中閘電極圖案化係在金屬和圖案化含碳層沉積之後完成。在圖 2A 至 2D 之製程流程中，碳化物的係形成發生在閘極圖

案化之後。圖 2A 顯示沉積具第一功函數之金屬層 20 之後的基板 10。圖 2B 顯示沉積圖案化含碳層 40 之後的圖 2A 結構。圖 2C 顯示閘極圖案化之後的結構，以形成金屬閘極 30 和閘極形狀之含碳層 70。圖 2C 結構接著被退火以產生圖 2D 之結構，其金屬閘極 30 具第一功函數，而金屬碳化物閘極 50 具第二功函數。退火之後仍在的閘極形狀含碳層 70 之殘餘，可藉由如氧電漿處理的製程來移除。

圖 3A 至 3D 之製程流程中，碳化物形成在圖案化之前。圖 3A 顯示沉積具第一功函數之金屬層 20 之後的基板 10。圖 3B 顯示沉積圖案化含碳層 40 之後的圖 3A 結構。圖 3B 結構接著被退火以產生圖 3C 之結構，而具有金屬碳化物層 80。金屬層 20 和金屬碳化物層 80 接著被圖案化以形成具第一功函數的金屬閘極 30 和具第二功函數的金屬碳化物閘極 50。退火之後仍在的閘極形狀圖案化含碳層 40 之殘餘，可藉由如氧電漿處理的製程來移除。

此製程亦可以在金屬層之前沉積含碳層來實施。此顯示於圖 4A~4D，其製程流程中退火形成碳化物係在閘極圖案化之前執行，類似圖 3A~3D 之製程流程。圖 4A 顯示沉積圖案化含碳層 40 之後的基板 10。圖 4B 顯示沉積具第一功函數的金屬層 90 後的結構。圖 4B 結構接著被退火以產生圖 4C 之結構，而具有金屬碳化物層 80。金屬層 90 和金屬碳化物層 80 接著被圖案化以形成具第一功函數的金屬閘極 30 和具第二功函數的金屬碳化物閘極 50。因為額外金屬不預期會影響金屬碳化物/基板介面之功函數，所以在金屬碳化物層 80 上的金屬層 90 之殘餘一般會被留著。

圖 5A 至 5H 顯示替換 (replacement) 閘極製程流程之情形下，如何實施本發明[見例如 B. Guillaumot 等人，IEDM Tech. Digest, p.355 (2002)]。圖 5A 顯示具第一閘極腔 (cavity) 區域 130 和第二閘極腔區域 140 之基板 120。圖 5B 顯示沉積具第一功函數之毯覆沉積金屬層 150 後的圖 5A 結構，而圖 5C 顯示含碳層 160 毯覆沉積後的結構。圖 5D 顯示含碳層 160 被圖案化以形成圖案化含碳層 165 之後的圖 5C 結構，其中圖案化含碳層 165 位於第二閘極腔區域 140 上，而不在第一閘極腔區域 130 上。圖 5D 結構接著被退火，以產生金屬碳化物閘極層 180 以及殘餘含碳層 185 (圖 5E) 於第二閘極腔區域 140 中。殘餘含碳層 185 接著以氧電漿處理移除，以產生圖 5F 之結構，其具有第一功函數之毯覆沉積金屬層 150 和具有第二功函數之金屬碳化物閘極層 180。圖 5F 結構通常以導電材料 190 填充第一閘極腔區域 130 和第二閘極腔區域 140 來完成 (圖 5G)，並接著平坦化以形成完成的金屬第一閘極 200 和完成的金屬碳化物第二閘極 210 (圖 5H)。

在金屬和金屬之碳化物未提供足夠差異之功函數的情形下，可能期望延伸本發明之方法來調整未碳化之金屬的功函數。對未碳化金屬之調整可(i)在碳化物形成之前或之後，以及(ii)在閘極圖案化之前或之後執行。此些調整會受製程影響，例如合金、混合、或與至少一額外元素反應、以一或多種離子佈植等製程影響。舉例而言，單一金屬雙功函數互補金氧半導體閘極可由中能隙 (mid-gap) 金屬以下列方法製造：碳化中能隙金屬以形成具第一功函數之第一組閘極，並合金或以一或多元素佈植未碳化之中

圖 2A 至 2D 顯示圖 1 所示方法的第一種變化；

圖 3A 至 3D 顯示圖 1 所示方法的第二種變化；

圖 4A 至 4D 顯示圖 1 所示方法的第三種變化；

圖 5A 至 5H 顯示圖 1 所示方法的第四種變化，適於閘極製程的替換流程；

圖 6A 至 6C 比較對應本發明三個實施例之樣本形狀的鉬碳化物形成；以及

圖 7 顯示電容-電壓(C-V)測量，用以決定鉬和 Mo_2C 電容電極之功函數。

【主要元件符號說明】

10	基板	20	金屬層
30	金屬閘極	40	圖案化含碳層
50	金屬碳化物閘極	60	殘餘含碳層
70	閘極形狀含碳層	80	金屬碳化物層
90	金屬層	120	基板
130	第一閘極腔區域	140	第二閘極腔區域
150	毯覆沉積金屬層	160	含碳層
165	圖案化含碳層	180	金屬碳化物閘極層
185	殘餘含碳層	190	導電材料
200	金屬第一閘極	210	金屬碳化物第二閘極

十、申請專利範圍：

1. 一種半導體結構，包含至少一場效電晶體，具有一金屬碳化物閘電極係藉一金屬層與一含碳層反應而得，其中該半導體結構包含一雙功函數互補式金氧半導體，其包含至少一場效電晶體具有一閘極金屬所形成之一閘極；以及至少一場效電晶體具有由一金屬之一碳化物所形成之一閘極。
2. 如請求項 1 所述之半導體結構，其中該金屬碳化物閘電極係包含鉬(Mo)或鉬-鈦(Mo-Ti)合金之一碳化物。
3. 如請求項 1 所述之半導體結構，其中該碳化物之金屬異於該閘極金屬。
4. 如請求項 3 所述之半導體結構，其中該碳化物之金屬包含鉬或鉬-鈦合金。
5. 一種雙功函數互補金氧半導體元件，包含：
至少一場效電晶體，具有一閘極係由一第一閘極金屬形成；以及
至少一場效電晶體，具有一閘極係由該第一閘極金屬之一碳化物形成。
6. 如請求項 5 所述之互補金氧半導體元件，其中該第一閘極金屬係選自一群組包含鋁(Al)、鋇(Ba)、鈹(Be)、鉍(Bi)、鈷(Co)、鉻(Cr)、銅(Cu)、鐳(Dy)、鐵(Fe)、鎵(Ga)、釷(Gd)、銱(Ir)、鈪(Hf)、鎂(Mg)、鉬(Mo)、錳

(Mn)、鈮(Nb)、鎳(Ni)、鈀(Pd)、鉑(Pt)、銱(Ir)、釧(La)、銱(Os)、鐳(Pr)、銑(Rh)、銑(Re)、鈳(Ru)、鈳(Sc)、錫(Sn)、鉭(Ta)、鈦(Ti)、鈦(V)、鎢(W)、鈳(Y)、鋅(Zn)、及銦(Zr)等金屬；此等金屬或其合金之導電氮化物、矽化物、鍍化物、矽氮化物；有或沒有額外非金屬元素的此等金屬之導電合金或化合物。

7. 如請求項 5 所述之互補金氧半導體元件，其中該第一閘極金屬包含鉬或鉬-鈳合金。
8. 一種雙功函數互補金氧半導體電路，包含：
至少一場效電晶體，具有一閘電極係由一第一金屬和至少一額外元素形成，以及
至少一場效電晶體，具有一閘電極係由該第一金屬之一碳化物形成。
9. 一種形成一場效電晶體之一閘極的方法，其包含提供一基板，以及沉積一金屬與一含碳層於該基板上，且反應該金屬與該含碳層以形成一金屬碳化物，而提供一閘電極。
10. 如請求項 9 所述之方法，其中該金屬包含鉬或鉬-鈳合金。
11. 一種在一基板上形成一雙功函數互補金氧半導體元件的方法，包含：
沉積一金屬層於一第一和第二組閘極區域上；

提供一含碳層接觸該第一與第二組閘極區域中之一區域，且不在該第一與第二組閘極區域之另一區域上，該含碳層直接接觸該第一與第二組閘極區域中之該一區域上的該金屬層；

使該第一與第二組閘極區域中之該一區域上的該含碳層與該第一與第二組閘極區域中之該一區域上的該金屬層產生反應，以形成一金屬碳化物。

12. 如請求項 11 所述之方法，其中該提供一含碳層包含沉積一含碳層；以及藉選擇性地移除該第一與第二組閘極區域中之一區域的該含碳層，且保留於該第一與第二組閘極區域中之另一區域上的該含碳層，而圖案化（patterning）該含碳層。
13. 如請求項 11 所述之方法，其中該提供一含碳層包含沉積與圖案化一光阻層；沉積該含碳層於該光阻層上，接著移除該光阻層以及位於該光阻層頂上之該含碳層，而保留不位於該光阻層頂上之該含碳層。
14. 如請求項 11 所述之方法，其中在該金屬層與含碳層反應之後，圖案化該金屬層。
15. 如請求項 11 所述之方法，其中在沉積與圖案化該含碳層之後，圖案化該金屬層以形成閘極形狀的結構。
16. 如請求項 11 所述之方法，其中該金屬層更包含至少一額外元素。

17. 如請求項 11 所述之方法，其中該金屬層係選自以下組成之群組：鋁(Al)、鋇(Ba)、鈹(Be)、鉍(Bi)、鈷(Co)、鉻(Cr)、銅(Cu)、鐳(Dy)、鐵(Fe)、鎵(Ga)、釷(Gd)、銥(Ir)、鈦(Hf)、鎂(Mg)、鉬(Mo)、錳(Mn)、鈮(Nb)、鎳(Ni)、鈀(Pd)、鉑(Pt)、銱(Ir)、鐳(La)、銲(Os)、鐠(Pr)、銑(Rh)、銑(Re)、鈳(Ru)、鈾(Sc)、錫(Sn)、鉭(Ta)、鈦(Ti)、鈮(V)、鎢(W)、釔(Y)、鋅(Zn)、及銨(Zr)；此等金屬或其合金之導電氮化物、矽化物、鍺化物、矽氮化物；有或無額外非金屬元素的此等金屬之導電合金或化合物。

18. 如請求項 11 所述之方法，其中該含碳層係選自以下組成之群組：鑽石、石墨；具最小氫含量的非晶碳；非晶氮化碳；含碳聚合物；有機光阻；包含一層含有其他元素，如矽、氧、氮、及/或氫之非晶含碳層。

19. 一種在一基板上形成一雙功函數互補金氧半導體元件的方法，包含：

提供一含碳層接觸一第一與一第二組閘極區域中之一區域，且不在該第一與第二組閘極區域中之另一區域上；以及繼而

沉積一金屬層於該第一和第二組閘極區域上，該金屬層直接接觸該第一與一第二組閘極區域中之該一區域上的該含碳層；

反應該第一與第二組閘極區域中之該一區域上的該含碳層與該第一與第二組閘極區域中之該一區域上的該

金屬層，以形成一金屬碳化物。

20. 如請求項 19 所述之方法，其中該提供一含碳層包含沉積一含碳層，以及選擇性地移除該第一與第二組閘極區域中之一區域的該含碳層，而保留於該第一與第二組閘極區域中之另一區域上的該含碳層。

21. 如請求項 19 所述之方法，其中該提供一含碳層包含沉積與圖案化一光阻層；沉積該含碳層於該光阻層上，接著移除該光阻層以及位於該光阻層頂上之該含碳層，而保留不位於該光阻層頂上之該含碳層。

22. 如請求項 19 所述之方法，其中在反應該金屬層與含碳層之後，圖案化該金屬層。

23. 如請求項 19 所述之方法，其中該金屬層更包含至少一額外元素。

24. 如請求項 19 所述之方法，其中該金屬層係選自以下組成之群組：鋁(Al)、鋇(Ba)、鈹(Be)、鉍(Bi)、鈷(Co)、鉻(Cr)、銅(Cu)、鐳(Dy)、鐵(Fe)、鎳(Ga)、釷(Gd)、銥(Ir)、鈦(Hf)、鎂(Mg)、鉬(Mo)、錳(Mn)、鈮(Nb)、鎳(Ni)、鈀(Pd)、鉑(Pt)、銥(Ir)、鐳(La)、銱(Os)、鐳(Pr)、銩(Rh)、銩(Re)、鈦(Ru)、鈦(Sc)、錫(Sn)、鉭(Ta)、鈦(Ti)、釷(V)、鎢(W)、釷(Y)、鋅(Zn)、及鋇(Zr)；此等金屬或其合金之導電氮化物、矽化物、鍺化物、矽氮化物；有或無額外非金屬元素的此等金屬之導電合金或化合物。

25. 如請求項 19 所述之方法，其中該含碳層係選自以下組成之群組：鑽石、石墨；具最小氫含量的非晶碳；非晶氫化碳；含碳聚合物；有機光阻；包含一層含有其他元素，如矽、氧、氮、及/或氫之非晶含碳層。

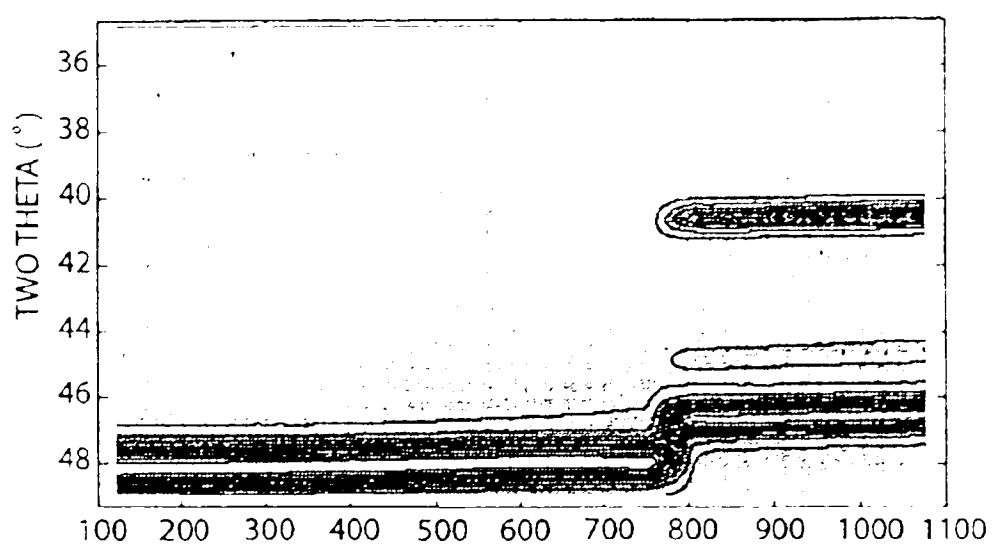


圖 6A

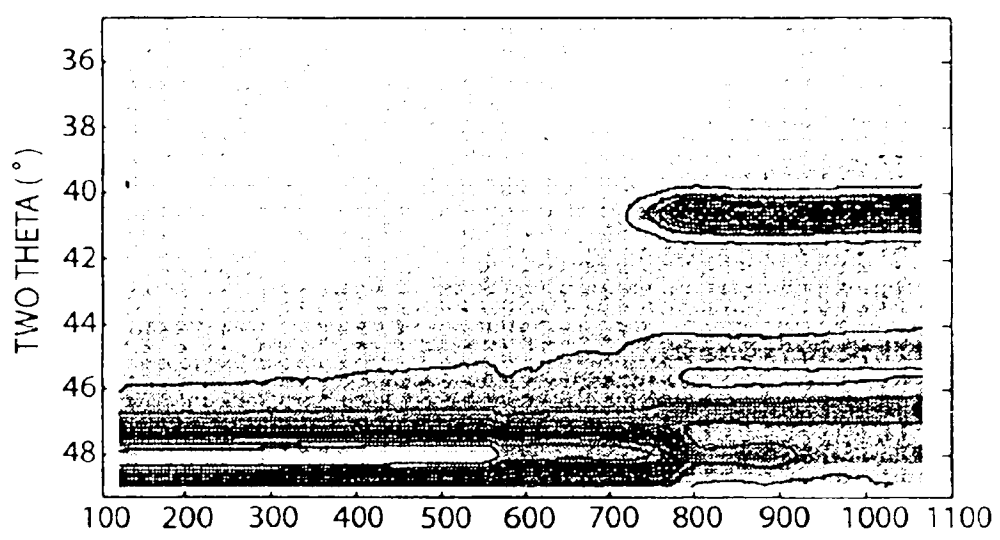


圖 6B

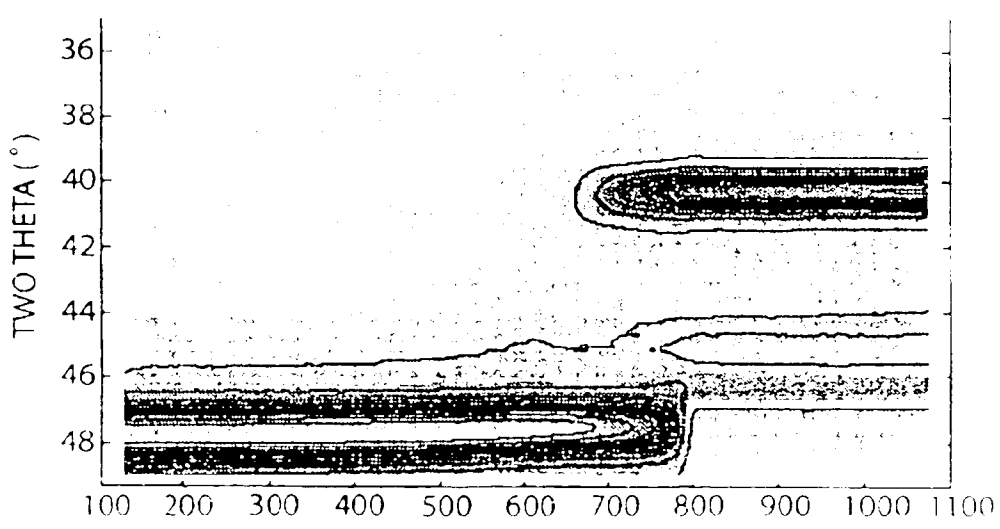


圖 6C'