

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： 97131639

※ 申請日期： 97.08.14 ※IPC 分類：

一、發明名稱：(中文/英文)

H_{01L}²¹/₂₀, ³¹/₁₈, ³³/₀₀ (2006.01)

利用斜向沈積形成之奈米結構薄膜及其方法/Nanostructured Thin-film Formed by Utilizing Oblique-angle Deposition and Method of the Same

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

國立交通大學/National Chiao Tung University

代表人：(中文/英文) 吳重雨/ Wu, Chung-Yu

住居所或營業所地址：(中文/英文)

30010 新竹市大學路 1001 號/No. 1001, University Road, Hsinchu City, Taiwan, R.O.C.

國 籍：(中文/英文) 中華民國/Taiwan, R.O.C.

三、發明人：(共 5 人)

姓 名：(中文/英文)

1、張家華/Chang, Chia-Hua

2、楊勁生/Yang, Chin-Sheng

3、邱清華/Chua, Ching-Hua

4、余沛慈/Yu, Pei-Chen

5、郭浩中/Kuo, Hao-Chung

國 籍：(中文/英文)

- 1、中華民國/Taiwan, R.O.C.
- 2、中華民國/Taiwan, R.O.C.
- 3、中華民國/Taiwan, R.O.C.
- 4、中華民國/Taiwan, R.O.C.
- 5、中華民國/Taiwan, R.O.C.

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：

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。

五、中文發明摘要：

本發明提出了一種利用斜向沈積技術形成之透明導電氧化物奈米結構及其方法。該方法使用電子槍來蒸鍍靶材，其蒸鍍基板設置在多個可轉動傾斜的平板上，並具有氣體控制閥控制氣體的通入，及一加熱源控制腔體內溫度，並於蒸鍍後進行退火製程，以改善薄膜結構與光電性質。

● 六、英文發明摘要：

The present invention discloses a nanostructured thin-film formed by utilizing oblique-angle deposition and method of the same. The method adopts electron-beam to evaporate target material. Evaporation Substrates to be deposited are provided on multiple rotatable and tilting plates. Several control valves are provided to control the gas flow, and a heat source to control the chamber temperature. Additionally, anneal process is performed after deposition to improve the thin-film structure and optoelectronic characteristics.

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(二)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

201~203 步驟

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

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明大體上屬於一種蒸鍍方法，具體言之，其係關於一種使用斜向沈積蒸鍍技術之方法，用以形成奈米結構之薄膜以作為光電元件之功能性電極。

【先前技術】

在光電元件的領域中，由於永續能源及節能運動的影響下，太陽能電池(solar cell)與發光二極體(light-emitting diode, LED)技術成為其中最蓬勃發展的兩大技術。太陽能電池能將所接收到的光能直接轉換成電能，以陽光作為能量來源，不僅不會有一般火力發電產生污染之問題，且其能量取之不盡用之不竭。而就發光二極體的照明應用方面，較之以往的燈泡照明，發光二極體不僅使用壽命更長、元件尺寸小，其發光效率也較傳統的燈泡大上許多，非常符合二十一世紀節能之概念。

在此兩大光電技術的發展中，元件的製作及材料的選擇一直為其瓶頸點與研究方向所在。在太陽能電池元件的製作上，若欲增加收光面積，其表面金屬電極之面積勢必縮小，而隨著金屬電極的減少，所能收集的光電流量亦隨之降低，導致光電轉換效率變差，反之亦然。欲增加光電流之收集，就需增加金屬電極的配置面積，此舉又會造成相對之收光面積減少。此種情形亦發生在光電二極體之應用上，其出光面積與金屬電極面積兩者間的權衡關係，限制了兩類光電元件之轉換效率(conversion efficiency)。

在上述元件的製作中，其元件表面會鍍上一層透明導電氧化物薄膜 (transparent conductive oxides, TCO)，其作用在於增加電荷的收集或幫助電流擴散。一般的 TCO 薄膜具有約 80%~90% 的光穿透率 (transmissivity)。為加強光電元件之光穿透性以提升整體元件效率，元件製作中一般還會搭配抗反射膜 (antireflection coating) 等其他製程。

抗反射層與元件電極製作為兩道不同的製程。TCO 薄膜傳統上使用濺鍍法 (sputtering) 或沈積法 (depositing) 來製作，而抗反射薄膜傳統上則是使用沈積法製作。近年來業界有多種關於形成奈米結構抗反射薄膜來改善光電性質之研究，但瓶頸點在於其製程技術繁複，且需搭配 TCO 薄膜之性質來優化整合，其製程成本高。抗反射層並不具有輔助原電極之特性，故如能使之具有導電特性，將可進一步提升元件之光電轉換效率，甚可完全取代之。

在先前研究中發現，具漸層 / 漸變折射率 (graded refractive index) 之抗反射層具有寬頻譜 (broadband) 的抗反射性質，特別是對於空氣介質而言。對於光電元件之抗反射層而言，其反射率一般會隨著入射光的波長變化而改變，造成入射介面僅允許入射光的某些波段經過，大幅降低實際之光穿透量。而其中，光之入射角度亦是影響光反射率之一重要因素，當光的入射角度大於一定值以上，光的反射率就會大幅上升，亦會造成光穿透量大幅下降，直接影響到元件之光電轉換效率。菲涅耳反射定律 (Fresnel reflection law) 告訴我們當光經過兩種介質形成的界面

時，兩者的折射率差距越大，光被反射的可能性越高。光反射率越高，光的能量損失就越高，這對於太陽能電池與發光二極體應用方面皆有不好的影響。因此，置於空氣中的材料如果要降低反射光之強度，其表面的折射率必須非常接近空氣折射率值(其折射係數 $n=1$)。自然界中並沒有折射率介於 1~1.4 的固體材料，人造多孔材料雖然可以達到這個要求，但是它們的厚度無法薄到可以做為光學鍍膜。材料之折射係數不僅會影響其光折射量，亦會影響光的反射與衍射性質(diffraction)。一般而言，沈積法常被用來製作高品質、低折射係數(n 值接近 1)的薄膜。吾人所需者為一具全向性(omnidirectional)、寬頻譜(broadband)特性之薄膜，以消除菲涅耳反射所帶來之限制。目前已有許多技術被研究開發來產生空氣介質用之漸折射層薄膜，包含在玻璃表面進行化學蝕刻浸濾法(chemical etch-leaching)、溶體凝膠法(sol-gel)、或以同調光線做出干涉圖形(interference pattern)等。然而這些方法大多不能有效控制折射係數之漸層分佈，且部分方法製程繁複、所需成本亦較高。如自然光子學期刊(nature photonics)2007年三月號卷一中揭露了一種可消除菲涅耳反射的寬頻譜、低折射係數光學薄膜材料。此篇研究係採用鍍上多層不同組成的薄膜(如例中的 SiO_2 與 TiO_2)來達到折射率漸變之效果。在此方法中，多層鍍膜與不同的薄膜組成即代表其需要多道的製程步驟，故相對所費成本亦多，為此方法之缺點。

另一方面，對於一個好的透明電極而言，除了藉由本身優異的透光性提昇元件外部量子效率之外，其亦需具備低電阻值以增加光電轉換效率、降低內部熱量的產生。對於大面積與低電阻之透明電極而言，其具有更佳的電流擴散效果，發光效率亦能更為提升。

綜上所言，如何開發出能有效控制折射係數漸層分佈之方法，並同時做出具有寬波段、低反射率、高穿透率之薄膜，為現今光電產業研究之重點。

【發明內容】

本發明提出了一種利用斜向沈積技術形成透明導電氧化物奈米結構薄膜之方法。其係利用電子槍斜向沈積技術 (electron-beam oblique-angle deposition)，通入適當的氧氣和氮氣，後續再以熱退火方式處理，可於矽基板及玻璃基板上長出具有寬頻譜、涵蓋可見光區及近紅外光區、兼具高穿透率與優良導電特性之薄膜，並同時保有增加電荷收集及幫助電流擴散等特性。此種製程方法可廣泛應用於半導體光電元件中透明電極的製作，如太陽能電池、發光二極體等，以提升其光電元件效率。

在本發明一實施例中，其係利用電子槍氣相沈積技術 (即蒸鍍) 形成具有多孔性及柱狀結構之導電薄膜結構作為功能性電極。本發明電子槍蒸鍍系統中設置有一個以上可改變角度之平板，一靶材作為透明導電氧化物之蒸鍍源，以及一上電極蒸鍍基板。該系統具有控制製程溫度、真空壓力等功能，此處所述裝置係屬已知技術，故不贅述，以

避免模糊焦點。沈積過程中，透過調整通入氣體量、腔體內溫度以及蒸鍍基板角度，可成長出具有多孔性(porous)結構或柱狀結構之功能性薄膜電極，並經由後續之熱退火處理(anneal)獲得更優良的光電性質。

在本發明另一實施例中，其係提出一種形成多孔性及柱狀結構導電薄膜之方法，其係採用電子槍氣相沈積技術來形成，透過調控腔體溫度與真空壓力，其溫度控制在 $100^{\circ}\text{C}\sim 450^{\circ}\text{C}$ 之間，其蒸鍍源包含氧化銦錫((Indium Tin Oxide, ITO)、氧化鋅鋁(aluminum zinc oxide, AZO)、氧化鋅(ZnO)及其他可製作透明導電薄膜的材料等。可用來作為蒸鍍上電極的基板包括矽基板(Si)、砷化鎵基板(GaAs)、玻璃基板、可撓式基板(flexible substrate)等。其藉由可改變角度之平板，角度介於 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 之間，以 $50^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 度尤佳。通入之氣體可為氧氣、氮氣、或是氮氧混合比例之氣體，其氣體流量可為 $0\text{ sccm}\sim 50\text{ sccm}$ (每分鐘標準立方公分，standard cubic centimeter per minute)之間，腔體壓力則控制在 $10^{-3}\text{ torr}\sim 10^{-6}\text{ torr}$ (毫米汞柱，mmHg)之間。其後之熱退火處理，其時間為 $1\sim 60$ 分鐘，其溫度介於 $200^{\circ}\text{C}\sim 900^{\circ}\text{C}$ 之間，退火期間通入氧氣。

本發明之一觀點，在於提供形成具有寬頻譜範圍、高光穿透率、低光反射率、兼低片電阻值之奈米結構導電薄膜，可增加收光量並提供良好的導電性輔助電極吸收，並擴大出光發散角、幫助電流擴散，在發光二極體與太陽能電池等光電元件領域能有不錯的應用。

本發明之另一觀點，在於提供形成奈米結構薄膜之方法，該方法利用電子槍斜向沈積技術來形成具有柱狀外型之奈米微結構(microstructure)。

【實施方式】

現在將對本發明不同的實施方式進行說明。下列描述提供本發明特定的施行細節，俾使閱者徹底瞭解這些實施例之實行方式。然該領域之熟習技藝者須瞭解本發明亦可在不具備這些細節之條件下實行。此外，文中不會對一些已熟知之結構或功能或是作細節描述，以避免各種實施例間不必要相關描述之混淆，以下描述中使用之術語將以最廣義的合理方式解釋，即使其與本發明某特定實施例之細節描述一起使用。

首先參照圖一 a，其為本發明一實施例中利用斜向沈積技術(oblique-angle deposition)形成透明電極薄膜之電子槍蒸鍍系統(Electron Beam Evaporator)100。該系統包含：一外部腔體 101，用以容納電子槍蒸鍍系統 100 內部各構件，並提供一個進行製程之空間；腔體 101 必須能維持其內部壓力與製程溫度之穩定，以提供良好的製成品質。一中心圓盤 102 設置在腔體 101 內部頂面中心處，其圓盤周圍分佈並懸掛著複數根支柱 106；中心圓盤 102 的中心上設置有一支撐軸 103，其與中心圓盤 102 連結並可使之水平轉動，以便達成更均勻的製程結果。每個支柱 106 下方都藉由一轉軸部 105 與一板座 104 連結，板座 104 係用以擺放固定要進行蒸鍍製程之蒸鍍基板(substrate，如圖一 b

中的 114)，而轉軸部 105 則用來調整板座 104 的水平傾斜角度；板座 104 的傾斜角度會直接改變蒸鍍粒子的入射方位而影響最終薄膜產物的性質。中心圓盤 102 部位正下方處設置有一個坩鍋(crucible)110，其係用以放置蒸鍍用之靶材(target material)109；坩鍋 110 須以耐高溫之材料製作，且於製程中不會與容置之靶材產生反應。腔體 101 內一端設置有數個氣體控制閥(如氣體控制閥 107 與 108)，其可控制各類製程氣體的通入量。另外，一加熱源 111 係設置來控制腔體 101 內溫度，以提供蒸鍍製程中所需之製程溫度。腔體 101 內亦可選擇性配置一熱電偶溫度計(thermocouple)112 來量測腔體 101 內之溫度。圖一 a 中的虛線 L 表示了蒸鍍源靶材粒子入射至各蒸鍍基板的方向，其細節將於下列圖一 b 的說明中描述。

現在請參照圖一 b，其說明了本發明實施例中蒸鍍源靶材粒子 118 入射板座 104 上所擺放的蒸鍍基板 114 之示意圖。本斜向沈積薄膜之裝置，其包含電子槍蒸鍍系統 100，用以蒸鍍靶材；氣體控制閥 107 與 108，配置於腔體以通入氣體；加溫源 111，用以調整該腔體內溫度；基板角度控制裝置(即圖一轉軸部 105)，用以控制基板之角度以進行斜向沈積製程。在圖中，靶材粒子 118 之入射角係定義為靶材粒子 118 入射方向 115 與蒸鍍基板 114 法線方向 116 之夾角，如圖中的夾角 117 所示。在斜向沈積技術中，靶材粒子的入射角度對於所形成的薄膜性質有關鍵性的影響。

在本發明另一實施例中，其說明了利用電子槍斜向沈積技術成長具有多孔性(porous)及柱狀結構(pillar)導電薄膜之方法，以作為功能性電極應用。此方法係利用一電子槍蒸鍍系統(如圖一之 100)搭配可改變角度之板座(如圖一之 104)來達成斜向沈積之效果。如圖二所示，其步驟包含：

- 一、調整並穩定各項蒸鍍製程參數[201]，其中包含蒸鍍基板之傾斜角度、製程腔體內之蒸鍍溫度、通入製程氣體之流率等。舉例而言，其傾斜角相對於平面法線約可在 0 度 ~ 90 度之間，以 50 度 ~ 90 度尤佳。
- 二、當各項製程穩定後，使用電子槍蒸鍍系統蒸鍍一靶材[202]。此步驟係利用高電位差加速電子並以磁場控制電子束之軌跡，使其撞擊靶材(即蒸鍍源)產生高熱讓部分靶材蒸發為氣體，並在高真空的環境下附著在被鍍物上，如本發明實施例中之蒸鍍基板 114。本發明實施例所使用之靶材或蒸鍍源可包含氧化銦錫(Indium Tin Oxide, ITO)、氧化鋅鋁(aluminum zinc oxide, AZO)、氧化鋅(ZnO)及其他可用以製作透明導電薄膜(transparent conductive oxides)之材料，而所使用之蒸鍍基板則包含了矽基板(Si)、砷化鎵基板(GaAs)、玻璃基板、可撓式基板(flexible substrate)、及其他可用來製作電極接面之基板。蒸鍍期間，蒸鍍基板會被調整至特定角度使其基板法線方向與靶材蒸汽粒子的入射方向夾角控制在 0 度 ~ 90 度之間，以 50 度 ~ 90 度尤佳，如圖一 b 中之夾角 117 所示，以獲得吾人所需之表面透明電極結構。一般而言，氣相蒸鍍期間若有通入反應氣體，如氮氣(N₂)、氧氣(O₂)、

或乙炔(C₂H₂)等製程氣體，其氣體種類與流率皆會影響所蒸鍍出來的薄膜電性與光性。在本發明實施例中，其蒸鍍期間係於腔體中通入氧氣(O₂)、氮氣(N₂)、或是氮氧混合比例等製程氣體，流率則控制在 0 sccm~50 sccm(每分鐘標準立方公分)之間。同時，蒸鍍系統須將腔體內壓力控制在 10⁻³ torr~10⁻⁶ torr 之間，以達到吾人所欲之薄膜電性與光性，其結果將於下方段落描述。於蒸鍍進行前，蒸鍍腔會先被預熱至製程溫度才得以開始製程。本發明實施例中電子槍蒸鍍系統腔體內之蒸鍍溫度係控制在 100°C ~ 450°C 之間。蒸鍍步驟後，蒸鍍基板上會形成一層透明導電薄膜。為達到吾人所需之薄膜電極結構，本發明實施例更於蒸鍍步驟後進行基板之熱退火處理[203]，其於退火期間通入氧氣(O₂)，並將其溫度控制在 200°C ~ 900°C 之間，為時 1~60 分鐘；在本發明實施例中，適當的熱退火製程可進一步增加薄膜微結構之透光率並降低其電阻值。

現在請參照圖三 a，其為經過圖二斜向沈積方法所成長出之薄膜微結構示意圖。如圖中所示，以上述方法形成之薄膜係為一種奈米柱狀結構 119，其係均勻分佈在蒸鍍基板 114 上。圖三 b 與圖三 c 則分別為此種奈米柱狀結構 119 之掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)俯視圖與截面圖，可以清楚看出奈米柱狀結構 119 為一根根豎起的細長柱狀物，狀似衣料上的纖維。奈米柱狀結構會在蒸鍍基板上緊密分佈，使得其間佈滿細微的空隙，形成具有多孔性(porous)之細緻薄膜微結構。再者，如

圖三 a 所示，本實施例中之奈米柱狀物為底端粗、末端細的形狀，在緊密排列分佈下，其薄膜越接近蒸鍍基板 114 的部位會具有較高的薄膜密度，而薄膜表面部位的密度則是最小。此種結構特徵可使單層的薄膜結構具有漸層/漸變式的折射率變化(graded refractive index)效果。在先前技術中，如欲達到薄膜折射率漸變效果(graded refractive index)，其作法為在一單一基板上進行多道蒸鍍製程，形成多層薄膜結構，且其各層間使用之靶材可能會有所不同。相較之下，本發明之優點在於藉由各項蒸鍍製程參數之調配控制便能以單層的薄膜結構達到折射率漸變效果，故減少蒸鍍製程所需之材料與成本，又可達到優良的透明薄膜電極性質。

本發明方法所形成之奈米薄膜結構具有優良的透明電極性質。如圖四所示，其為本發明奈米柱狀結構應用在玻璃基板上之光穿透率(transmissivity)分佈。從圖中的量測結果可看出，本發明所形成之透明薄膜電極在 450 nm~800 nm(nanometer, 奈米)的入射波長範圍內穿透率高達 98%，其有效穿透波長範圍涵蓋了可見光至近紅外光區，具有寬頻譜(broadband)之高穿透率性質。就光電元件之透明電極應用而言，高光穿透率即代表所能接收到之入射光越多；而由於單一入射光中會具有一定的波長範圍，非固定的波長值，故具寬頻譜性質之透明電極實質上能接收到之入射光與入射光能量亦較多。再者，如圖五所示，其說明了本發明透明電極之片電阻值(sheet resistance)會隨通

入氣體之流率而有所改變。以發光二極體(LED)而言，如果透明電極與基板間的電阻值上升，不但會直接減低發光二極體的光電轉換效率，亦容易產生多餘的熱造成元件壽命的減少。在本發明實施例中，隨著通入氮氣的流率越大，其片電阻值會低至 50 歐姆 (Ω/\square)，電流擴散效果佳，可用來作為導電性優良的薄膜電極。在矽基板應用方面，如圖六所示，其為本發明透明電極結構之反射率頻譜分佈，其反射率取決於所使用之蒸鍍靶材(如 ITO 或 SiO_2)以及所通入之氣體種類(如 N_2 或 O_2)。在本發明方法所形成之奈米柱狀薄膜，對於波長範圍介於 550 nm~800nm 的入射光而言，其反射率都有 10% 以下的水準。反射率越低，即代表入射光損失能量越小，故可顯著提升太陽能電池之發電效率。

綜上所言，本發明之方法能形成具有寬頻譜範圍之高穿透率(98%以上)與低反射率(10%以下)、兼低片電阻值(50 Ω/\square 以下)之奈米結構導電薄膜，可增加收光量並提供良好的導電性輔助電極吸收，故於太陽能電池表面薄膜電極方面能有不錯的應用。再者，由於奈米柱狀結構所形成之薄膜具有一定的表面粗糙度，故此導電薄膜亦可擴大出光發散角並幫助電流擴散，是故應用在發光二極體上可改善其光電性質。

本發明並未侷限在此處所描述之特定細節特徵。在本發明之精神與範疇下，與先前描述與圖式相關之許多不同的發明變更是可被允許的。因此，本發明將由下述之專利

申請範圍來包含其所可能之修改變更，而非由上方描述來界定本發明之範疇。

【圖式簡單說明】

本發明可經由參照下列用來說明本發明實施例之描述與其伴隨之圖式而獲得最佳的理解。然而，本發明並未受這些圖式中的細節所限制。實則，本發明之實施例可透過不同的方式細節來施行。

圖一 a 為本發明實施例中利用斜向沈積技術形成透明電極薄膜之電子槍蒸鍍系統；

圖一 b 說明了本發明實施例中蒸鍍源靶材粒子入射板座上所擺放的蒸鍍基板之示意圖；

圖二為本發明實施例中利用電子槍斜向沈積技術成長具有多孔性柱狀結構導電薄膜之方法步驟圖；

圖三 a 為經圖二斜向沈積方法所成長出之薄膜微結構示意圖；

圖三 b 為圖三 a 奈米柱狀結構之掃描式電子顯微鏡俯視圖；

圖三 c 為圖三 a 奈米柱狀結構之掃描式電子顯微鏡截面圖；

圖四為本發明奈米柱狀結構應用在玻璃基板上之波長對光穿透率分佈；

圖五為本發明奈米柱狀結構薄膜之片電阻值對通入氣體流率分佈；及

圖六為本發明奈米柱狀結構薄膜之反射率對波長分

佈。

【主要元件符號說明】

100 電子槍蒸鍍系統

101 腔體

102 中心圓盤

103 支撐軸

104 板座

105 轉軸部

● 106 支柱

107 氣體控制閥

108 氣體控制閥

109 靶材

110 坩鍋

111 加熱源

112 熱電偶溫度計

● 114 蒸鍍基板

115 入射方向

116 法線方向

117 夾角

118 靶材粒子

119 奈米粒狀結構

201~203 步驟

十、申請專利範圍：

1. 一種利用斜向沈積形成薄膜結構之方法，其包含下列步驟：
利用電子槍蒸鍍系統蒸鍍靶材；
於蒸鍍過程中通入氣體，並調整蒸鍍系統腔體內溫度及蒸鍍基板之角度，以斜向沈積方式 (oblique-angle deposition) 在該蒸鍍基板上形成薄膜；及
對該蒸鍍基板進行退火處理；
其中，所形成之該薄膜微結構呈柱狀，且/或為多孔性之結構。
2. 如請求項 1 所述之方法，其中該靶材包含氧化銦錫 (Indium Tin Oxide, ITO)、氧化鋅鋁 (aluminum zinc oxide, AZO)、氧化鋅 (ZnO) 及其他可製作透明導電薄膜之材料。
3. 如請求項 1 所述之方法，其中該蒸鍍基板包含矽基板 (Si)、砷化鎵基板 (GaAs)、玻璃基板、可撓式基板 (flexible substrate)、及其他可用來作電極接面之基板。
4. 如請求項 1 所述之方法，其中該通入之氣體包括氧氣、氮氣、或是氮氧混合比例之氣體。
5. 如請求項 4 所述之方法，其中該通入氣體之流量介於 0

sccm ~ 50 sccm 之間。

6. 如請求項 1 所述之方法，其中該平板的法線方向與靶材粒子入射之角度介於 0 度 ~ 90 度之間。
7. 如請求項 1 所述之方法，其中該電子槍蒸鍍系統內之蒸鍍溫度控制在 100°C ~ 450°C 之間。
8. 如請求項 1 所述之方法，其中該退火處理持續 1 ~ 60 分鐘，其退火溫度控制在 200°C ~ 900°C 之間，退火期間通入氧氣。
9. 如請求項 1 所述之方法，其中該蒸鍍系統腔體內壓力控制在 10^{-3} torr ~ 10^{-6} torr (毫米汞柱, mmHg) 之間。
10. 一種以電子槍斜向沈積技術製作出之薄膜，其由多孔性之柱狀微結構所構成，該柱狀微結構係為底端粗、末端細之形狀，使得該單層薄膜具有漸層式的折射率變化，以改善其光穿透率。
11. 如請求項 10 所述之薄膜，其中該薄膜組成包含氧化銦錫 (Indium Tin Oxide, ITO)、氧化鋅鋁 (aluminum zinc oxide, AZO)、氧化鋅 (ZnO) 及其他可製作透明導電薄膜之材料。

12.如請求項 10 所述之薄膜，其中該薄膜可鍍在包含矽基板(Si)、砷化鎵基板(GaAs)、玻璃基板、可撓式基板(flexible substrate)、及其他可用來作電極接面的基板上。

十一、圖式：

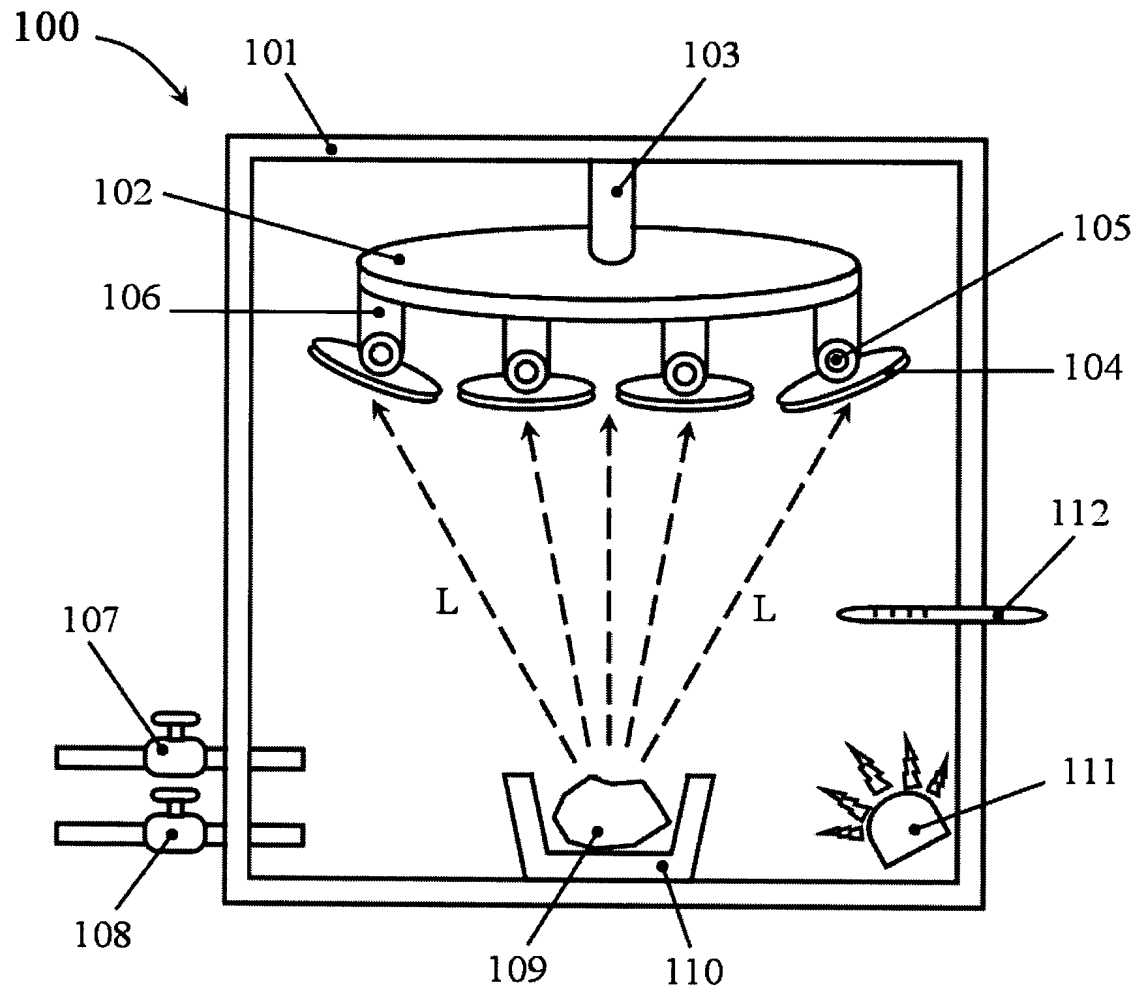


圖 - a

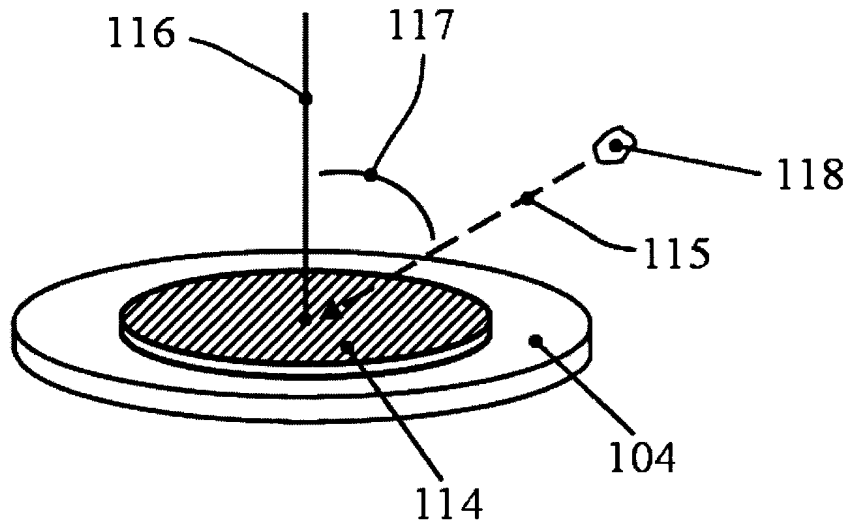


圖 - b

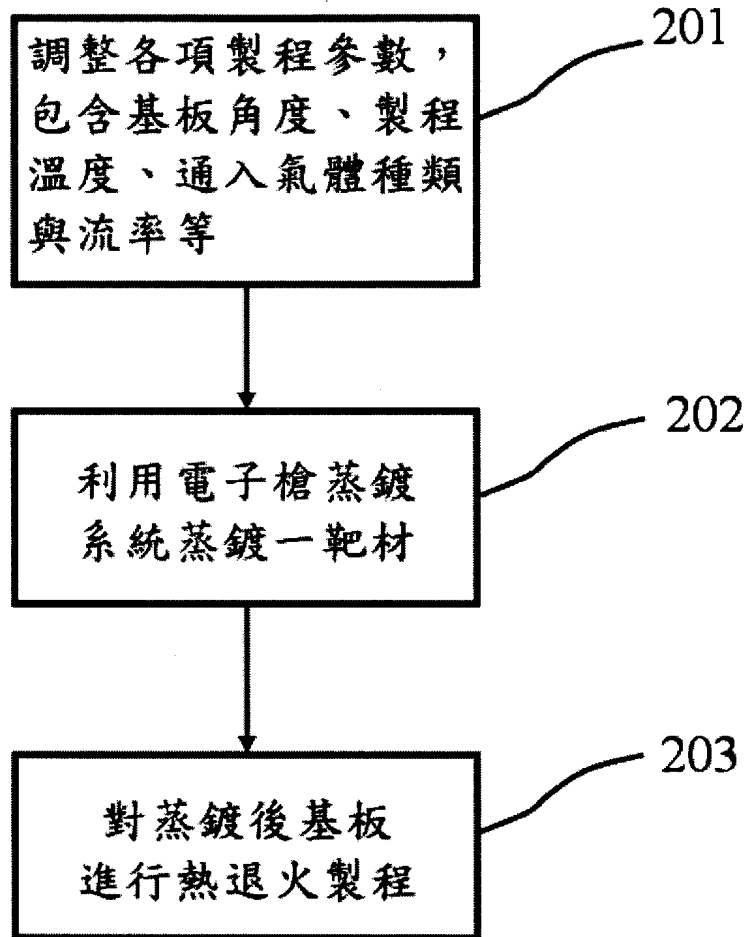


圖 二

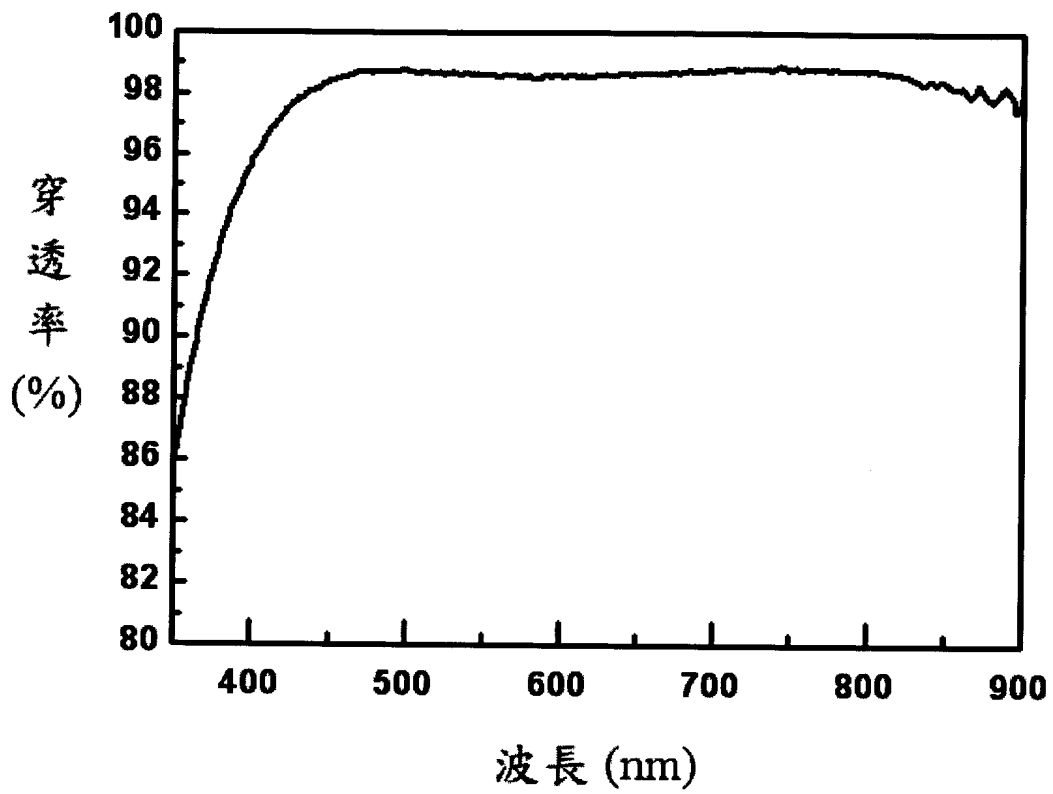


圖 四

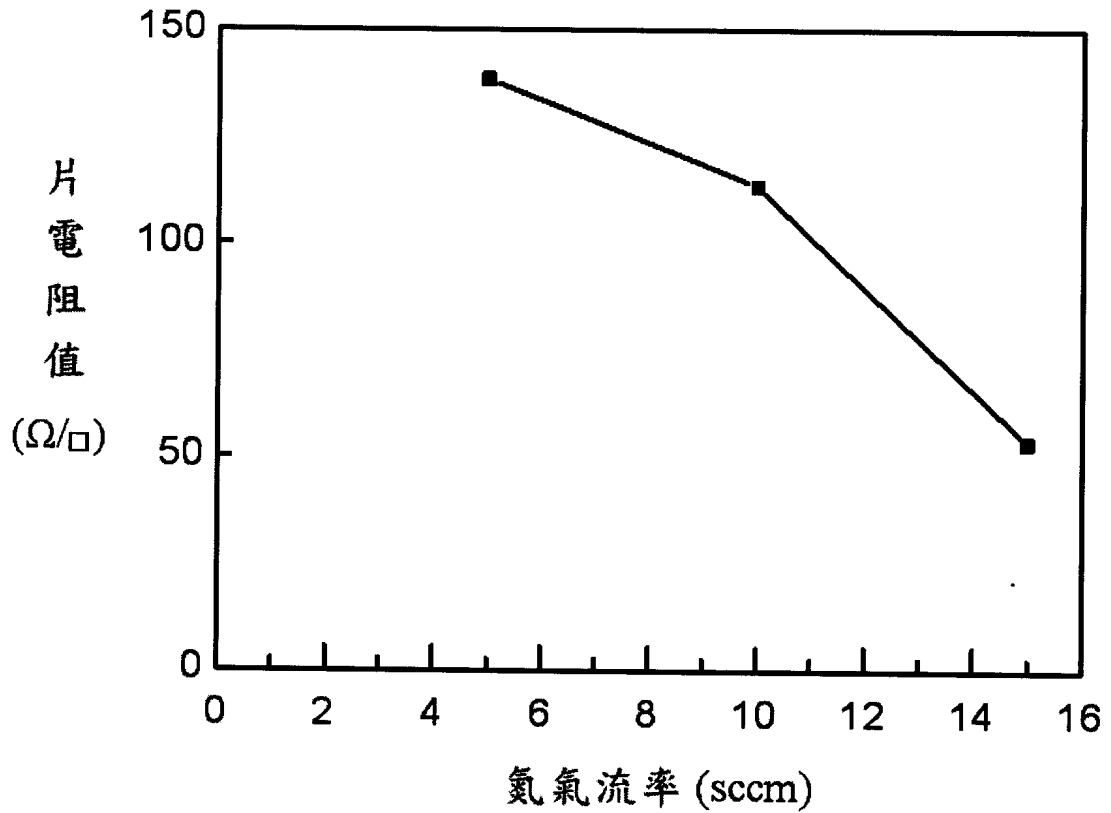


圖 五

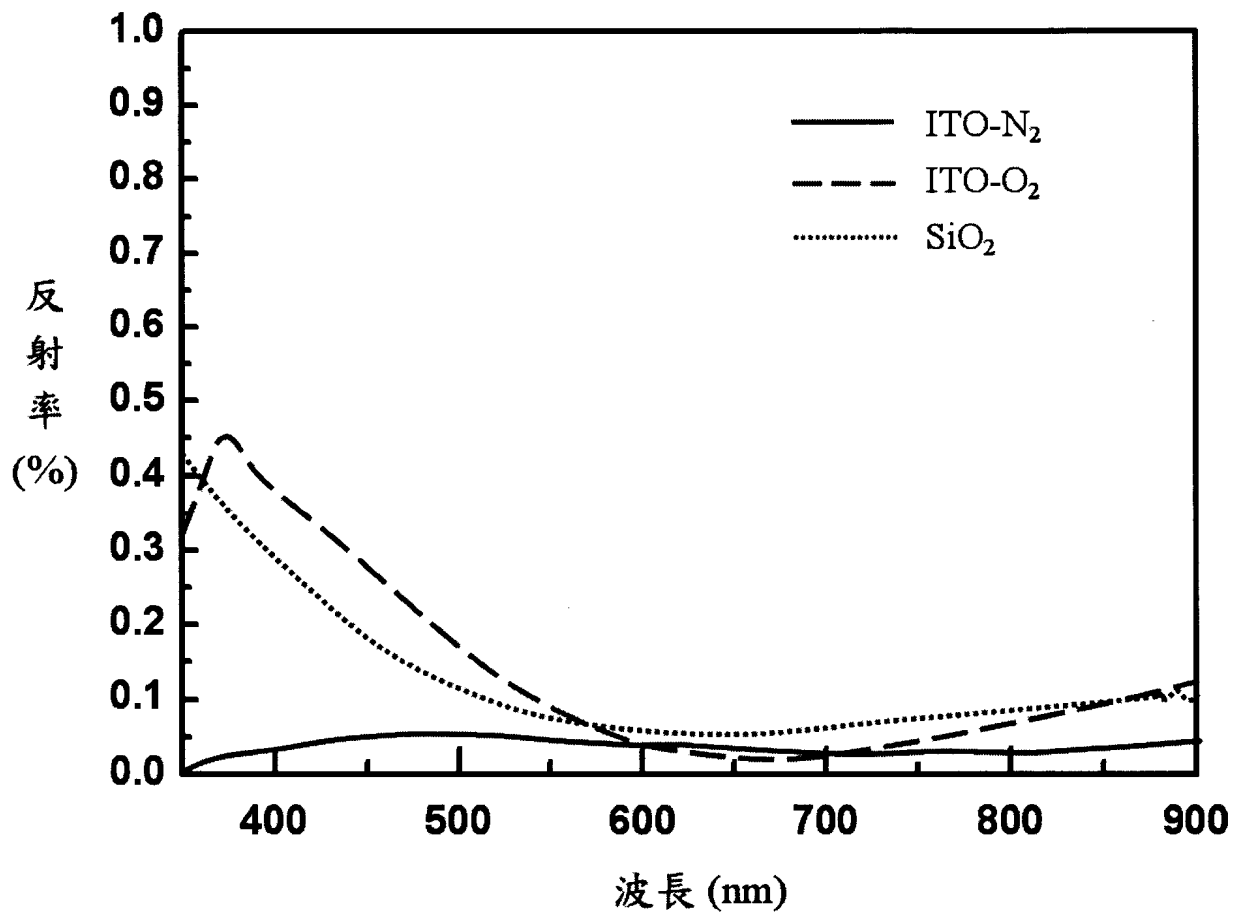


圖 六