

# 發明專利說明書

200401844

(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：72407511

※申請日期：72.4.2

※IPC 分類：C23C 22/01, H01L 21/00

## 壹、發明名稱：(中文/英文)

使用金屬-金屬鍵結錯合物之分子電子裝置

MOLECULAR ELECTRONIC DEVICE USING METAL-METAL  
BONDED COMPLEXES

## 貳、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

美商萬國商業機器公司

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

代表人：(中文/英文)

傑拉德 羅森賽

GERALD ROSENTHAL

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國紐約州阿蒙市新果園路

NEW ORCHARD ROAD, ARMONK, NEW YORK 10504, U.S.A.

國籍：(中文/英文)

美國 U.S.A.

參、發明人：(共 2 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 崔立 R. 卡根

CHERIE R. KAGAN

2. 林重

CHUN LIN

住居所地址：(中文/英文)

1. 美國紐約州歐辛尼市水景大道 43 號

43 WATEVIEW DRIVE, OSSINING, NY 10562, U.S.A.

2. 美國紐約州寇頓-安-休德頓市歐尼達大道 77 號

77 ONEIDA AVENUE, CROTON-ON-HUDSON, NY 10520,  
U.S.A.

國 籍：(中文/英文)

1. 美國 U.S.A.

2. 中國 PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

**肆、聲明事項：**

☐ 本案係符合專利法第二十條第一項 ☐ 第一款但書或 ☐ 第二款但書規定之期間，其日期為： 年 月 日。

☒ 本案申請前已向下列國家（地區）申請專利：

1. 美國 2002 年 04 月 05 日 10/117,789

2.

3.

4.

5.

☒ 主張國際優先權(專利法第二十四條)：

【格式請依：受理國家（地區）；申請日；申請案號數 順序註記】

1. 美國 2002 年 04 月 05 日 10/117,789

2.

3.

4.

5.

☐ 主張國內優先權(專利法第二十五條之一)：

【格式請依：申請日；申請案號數 順序註記】

1.

2.

☐ 主張專利法第二十六條微生物：

☐ 國內微生物 【格式請依：寄存機構；日期；號碼 順序註記】

☐ 國外微生物 【格式請依：寄存國名；機構；日期；號碼 順序註記】

☐ 熟習該項技術者易於獲得，不須寄存。

## 玖、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種分子裝置，其包括一源極區及一汲極區、一延伸於其間之分子媒質、以及一絕緣層，此層係介於該源極區、汲極區及該分子媒質之間。本發明尤其關於一種分子裝置，其中分子媒質係為一薄膜，具有一金屬-金屬鍵結錯合物單層與一有機單層之交替層。

### 【先前技術】

在過去三十年中，對於含有多重金屬-金屬鍵結之雙核化合物之理解有大幅進步。已就實驗及理論兩層面徹底探測此等化合物。此等研究特別於下列領域中提供大部分資訊：該雙核核心之反應性、金屬-金屬相互作用之強度、以金屬為主之軌道與涉及金屬對配位體傳荷者之間之電子轉移、該雙核核之氧化還原活性、及此等性質之間的關係(參照例如 Cotton, Walton, Multiple Bonds Between Metal Atoms, 2<sup>nd</sup> Ed., Oxford, 1993)。

針對於雙核化合物之工業重要應用的努力引發許多極具前景之研究領域，諸如無機液晶(參照例如 Chisholm, Acc. Chem. Res., 2000, 33, 53)、抗腫瘤劑(參照例如 Hall 等人, J. Clin. Hematol. Oncol., 1980, 10, 25)及均相光解催化(參照例如 Doyle, Aldrichimica Acta, 1996, 29, 3; Nocera, Acc. Chem. Res., 1995, 28, 209)。

文獻中已揭露用以製造多成份薄膜之逐層組合技術。開發最完全之逐層生長系統中之一係為層狀金屬磷酸鹽及磷

酸鹽。該薄膜係包括多價金屬離子，例如  $Zr^{4+}$ ，及末端具有酸性官能基之有機分子，例如膦酸(參照例如Cao, Hong, Mallouk, Acc. Chem. Res. 1992, 25, 420)。Katz及共同研究者已使用此方法將可加極化分子排列成極性多層薄膜，其顯示二級非線性光學效應(參照例如美國專利第5,217,792號及第5,326,626號)。類似研究亦拓展至其他材料，諸如聚合物、天然蛋白質、膠體、及無機聚集物(參照例如Decher, Science, 1997, 277, 1232)。此種相同技術亦應用於製造其他多層物，包括共聚-二異氰酸酯、含有Cu之二硫醇、及含有Ru之吡啶(參照例如Page, Langmuir, 2000, 16, 1172)。

在現存實例中，薄膜累進用之驅動力主要係聚合陽離子與聚合陰離子之間的靜電性相互作用；少數實例涉及其他類型之相互作用，諸如氫鍵、共價性、或混合共價-離子性。本發明係依新穎策略採用介於金屬與配位體之間的強力供價性相互作用，而非離子性相互作用，以組合接近完美堆積之多層物。

儘管於此等領域內積極研究，但此等努力侷限於以溶液為主之系統的金屬-金屬鍵結化合物的研究及應用。為了於固態應用及裝置中應用金屬-金屬鍵結材料之電子、光學及磁性質，需發展製造含有官能性金屬-金屬鍵結錯合物之薄膜的新穎方法。

是故，本發明提供一種分子電子裝置，其具有一源極區及一汲極區、一延伸於其間之分子媒質、及一絕緣層，位於該源極區、汲極區與分子媒質之間。本發明分子裝置中

之分子媒質係為一薄膜，具有一金屬-金屬鍵結錯合物單層與一有機單層之交替單層，係藉由逐層生長製備。

#### 【發明內容】

本發明提供一種分子裝置，包括：

一源極區及一汲極區；

一分子媒質，延伸於該源極區與該汲極區之間；及

一絕緣層，介於該源極區、該汲極區及該分子媒質之間。

本發明另外提供一種分子裝置，包括：

一源極區及一汲極區；

一分子媒質，延伸於該源極區與該汲極區之間，該分子媒質係包括一薄膜，其具有一金屬-金屬鍵結錯合物單層與一有機單層之交替單層，係藉由逐層生長製備；

一閘極區，配置於該分子媒質旁且與之相間隔，及

一絕緣層，介於該閘極區與該源極區、該汲極區及該分子媒質之間。

本發明另外提供一種分子裝置，包括：

一源極區及一汲極區；

一分子媒質，延伸於該源極區與該汲極區之間，該分子媒質係包括一薄膜，其具有一金屬-金屬鍵結錯合物單層與一有機單層之交替單層，係藉由逐層生長製備；及

一絕緣層，介於該閘極區與該源極區、該汲極區及該分子媒質之間。

#### 【實施方式】

本發明使用分子媒質，其包括一金屬-金屬鍵結錯合物單

層與一藉逐層生長製備之有機單層的交替單層，以於兩-及三-接頭電子裝置中作為活性開關媒質。該金屬-金屬鍵結錯合物與有機化合物之交替單層係為金屬-金屬鍵結與有機層之分子級複合物。結果，此等材料針對電子裝置應用提供豐富之電化學及電子性質，而簡易地於室溫下藉諸如低成本溶液沉積之方法加工。

此等錯合物可藉由諸如旋塗法或系統逐層組合之技術以自溶液沉積。該低成本、以溶液為主之沉積適合平價、大面積電子應用。此外，該低溫沉積條件適用於各式各樣之基材，包括塑料，供可撓性電子應用使用。

本發明提供一種分子電子裝置，具有一金屬-金屬鍵結錯合物單層與一有機單層交替單層薄膜，其係藉逐層生長薄膜而製備。

該分子裝置包括一源極區及一汲極區；一分子媒質，延伸於該源極區與該汲極區之間；及一絕緣層，此層係介於該源極區、該汲極區及該分子媒質之間。

於一具體實例中，該源極區、汲極區及配置於其間之分子媒質係垂直排列於絕緣體材料(基材)上。

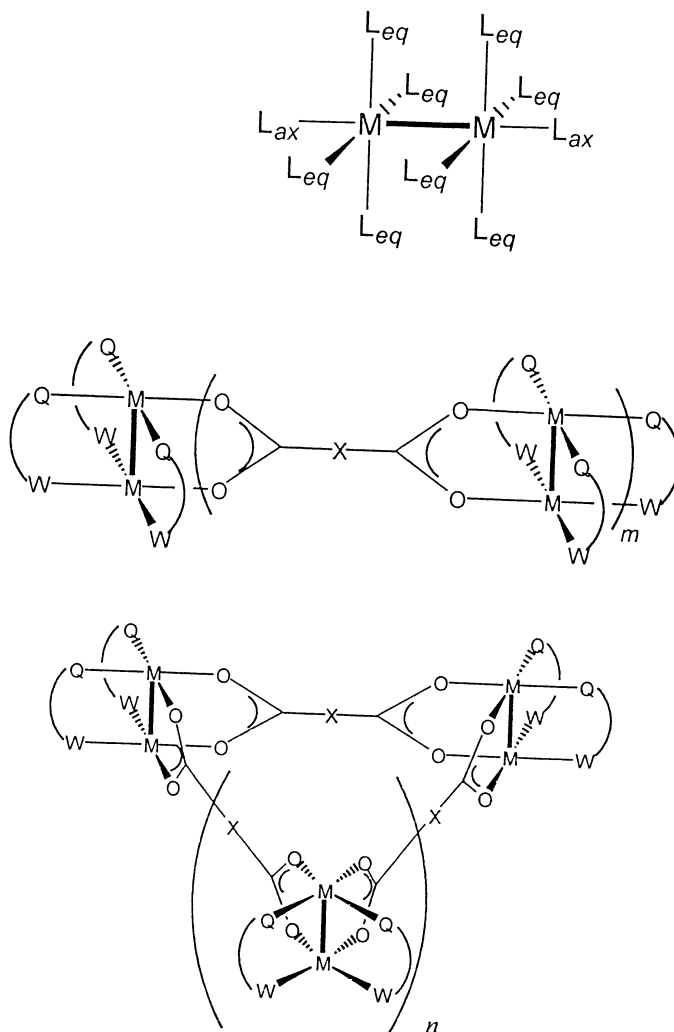
另一具體實例中，該分子裝置另外包括一閘極區，配置於該基材、絕緣體、源極區、汲極區與分子媒質之間。

另一具體實例中，分子狀態下之分子媒質係為分子開關媒質。

另一具體實例中，該薄膜係藉由包括下列步驟之方法製備：

(a) 於一基材表面上施加包含下列物質之溶液：

(i) 一金屬-金屬鍵結錯合物，選自下式所示之化合物：



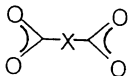
及其組合物；其中

L<sub>ax</sub>係為軸向配位體；

L<sub>eq</sub>係為赤道配位體；其中兩赤道配位體一起形成雙配位基配位體Q.W；其中各Q.W係個別選自由下列者組成之群：  
N.N、N.O、O.N、N.S、S.N、N.P、P.N、O.S、S.O、O.O、  
P.P及S.S配位體；



M係為過渡金屬；

其中  係為橋聯基團，個別選自由下列者組成之群： $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{MoO}_4^{2-}$ 、 $\text{WO}_4^{2-}$ 、 $\text{ZnCl}_4^{2-}$ 及二羧酸根；且其中m係為由1至25之整數，且n係為0至6；

(ii) 由下式所示之鍵合基化合物：

G3-鍵合基<sub>b</sub>-G4

其中G3及G4係相同或相異之官能基，可與金屬-金屬鍵結錯合物相互作用；且鍵合基<sub>b</sub>係為鍵結於G3及G4之單鍵或二官能性有機基團；及

(iii) 一溶劑；且

(b) 蒸發該溶劑，以於該基材上產生分子媒質之薄膜。

本發明所描述之方法係包括具有金屬-金屬鍵結錯合物與有機分子之交替單層的薄膜之逐層生長。

該薄膜之製備係藉著於預先官能化之基材上重複連續沉積金屬-金屬鍵結單元，例如四甲脒酸二銻錯合物，之後沉積適當之有機鍵合基，例如二吡啶基有機分子，以供後續沉積使用。

該沉積方法係自身組合、可調整及分階方法。施加於基材上時，該錯合物係吸附於該基材上。之後，施加有機單層。因此，可重複該步驟，而達到薄膜之分階逐層生長。

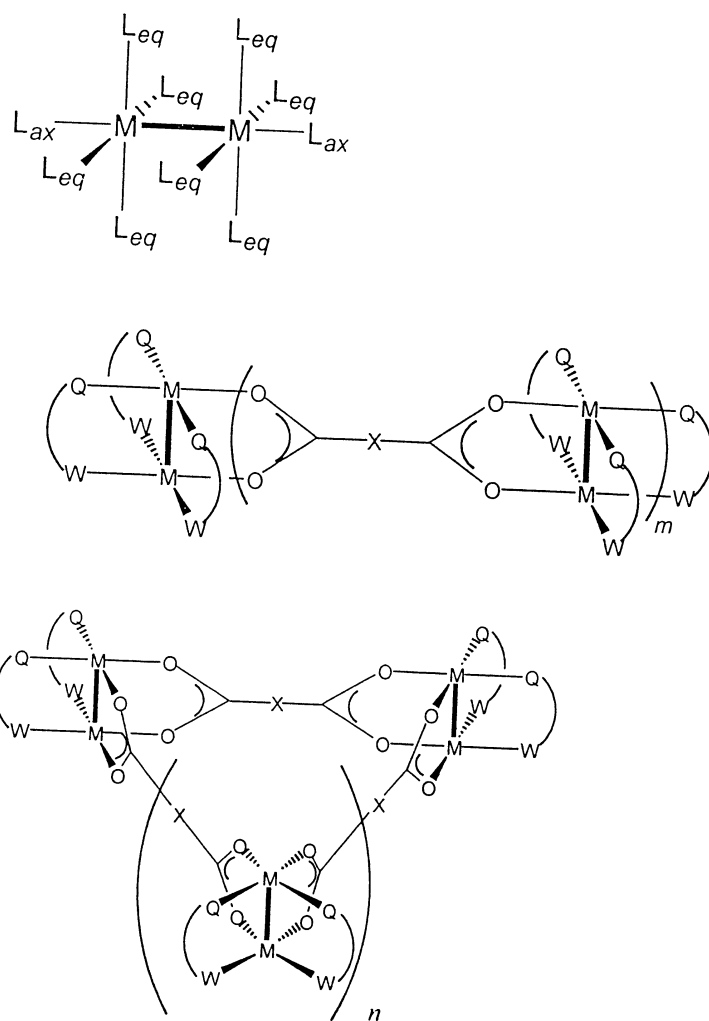
該多層薄膜可逐層生長至所需厚度。該方法係包括下列步驟：

(1) 於基材表面上施加下式所示之第一鍵合基化合物：

### G1-鍵合基<sub>a</sub>-G2

於該基材上產生第一鍵合基化合物的底塗層，其中G1係為可與該基材表面相互作用之官能基；G2係為可與金屬-金屬鍵結錯合物相互作用之官能基；且鍵合基<sub>a</sub>係為鍵結於G1及G2之二官能性有機基團；

(2) 於底塗層上施加金屬-金屬鍵結錯合物層，以於該底塗層上產生金屬-金屬鍵結錯合物單層；該金屬-金屬鍵結錯合物係選自由下式所示之化合物所組成之群：

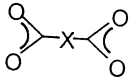


及其組合物；其中：

$L_{ax}$ 係為軸向配位體；

$L_{eq}$ 係為赤道配位體；其中兩赤道配位體一起形成雙配位基配位體Q.W；其中各Q.W係個別選自由下列者組成之群：  
N.N、N.O、O.N、N.S、S.N、N.P、P.N、O.S、S.O、O.O、  
P.P及S.S配位體；

M係為過渡金屬；

其中  係為橋聯基團，個別選自由下列者組成之群： $SO_4^{2-}$ 、 $MoO_4^{2-}$ 、 $WO_4^{2-}$ 、 $ZnCl_4^{2-}$ 及二羧酸根；且

其中m係為由1至25之整數，且n係為0至6；

(3) 於該金屬-金屬鍵結錯合物單層上施加下式所示之第二鍵合基化合物

### G3-鍵合基<sub>b</sub>-G4

以於該金屬-金屬鍵結錯合物單層上產生有機單層；其中G3及G4係相同或相異官能基，可與金屬-金屬鍵結錯合物相互作用；且鍵合基<sub>b</sub>係為鍵結於G3及G4之單鍵或二官能性有機基團；且視情況

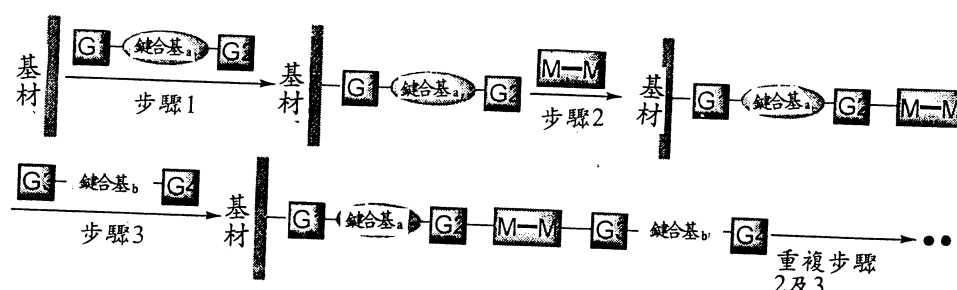
(4) 依序重複步驟(2)及(3)至少一次，以產生逐層生長薄膜，其具有一金屬-金屬鍵結錯合物單層與一有機單層之交替層。

各層之長度、官能性、金屬-金屬向量方向、及其他物理及化學性質可藉由改變金屬-金屬鍵結單元及有機鍵合基

而調整。該薄膜以具有金屬-金屬鍵結錯合物單層與有機單層之1至100層交替單層為佳。該薄膜以具有金屬-金屬鍵結錯合物單層與有機單層之30至40層交替單層更佳。

該薄膜係自液體溶液沉積，因此可沉積於具有各種不同外形及結構之基材上。

下文描述本發明用於在基材上製造金屬-金屬鍵結化合物的逐層生長方法。



就基材而言，可使用任何適當之材料。適當之基材係包括例如金屬、金屬氧化物、半導體、金屬合金、半導體合金、聚合物、有機固體、及其組合物。該基材形式可為平面固體或非平面固體，諸如分階或曲形表面。

下列較佳基材已經證實：Au、ITO及SiO<sub>2</sub>。

G1-鍵合基<sub>a</sub>-G2基團係為可形成自身組合單層之適當分子種類，包括有機分子種類，具有可與基材表面相互作用以形成經塗覆表面之官能基G1。

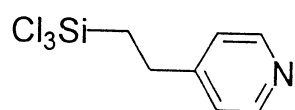
此種可設計成分子，以於化學專一性下與特定基材表面相互作用或鍵結之基團的實例係包括一或多種相同或不同之官能基，諸如氧化膦、亞磷酸酯、磷酸酯、磷𐁢(phosphazine)、疊氮化物、肼、磺酸、硫化物、二硫化物、

醛、酮、矽烷、鍺烷、砷化三氫(arsine)、腓、異氰化物、異氰酸酯、硫代氰酸酯、異硫代氰酸酯、醯胺、醇、硒醇、硝基、硼酸、醚、硫醚、胺基甲酸酯、硫代胺基甲酸酯、二硫代胺基甲酸酯、二硫代羧酸酯、黃原酸酯、硫代黃原酸酯、烷基硫代磷酸酯、二烷基二硫代磷酸酯或其組合物。

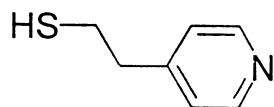
位於G1之反向上的官能基G2可與後續層金屬-金屬鍵結分子相互作用。可設計成分子，以於化學專一性下與特定金屬-金屬鍵結分子相互作用或鍵結之基團的實例係包括一或多種相同或相異之官能基。因此，第一鍵合基化合物中之G2可個別為：4-吡啶基、3-吡啶基、氰基、4-氰基苯基、3-氰基苯基、全氟-3-氰基苯基及全氟-4-氰基苯基。

此等分子有兩類，G2a及G2b。G2a係使用於軸向鍵合，諸如腓、吡啶基、三甲基矽烷化合物；而G2b係使用於赤道鍵合，諸如部分具有(N,N)、(N,O)、(O,O)、(O,S)、(P,P)、(N,S)及(S,S)予體組合之橋聯二配位基配位體。二配位基配位體之部分典型實例(N,N)予體組合之脒化物、(N,O)組合之乙醯胺、(O,O)組合之羧酸根、(O,S)組合之硫代羧酸根、(P,P)組合之二膦、(N,S)組合之氫硫基嘧啶、及(S,S)組合之二硫代羧酸根。

下列分子已經證明：



於氧化物表面上，及



於 Au 表面上。

III.  係為含有至少一個金屬-金屬鍵結單元之適當分子。

1. 若第一單層末端具有 G2a 基團，則此等金屬-金屬鍵結錯合物之實例可含有一個或一個以上之金屬-金屬鍵結單元，其軸向可與 G2a 基團相互作用或鍵結，諸如含有一個或一個以上對下列金屬-金屬鍵結核心的分子： $\text{Cr}_2^{4+}$ 、 $\text{Mo}_2^{4+}$ 、 $\text{Re}_2^{6+}$ 、 $\text{Re}_2^{5+}$ 、 $\text{Re}_2^{4+}$ 、 $\text{Ru}_2^{5+}$ 、 $\text{Ru}_2^{6+}$ 、 $\text{Rh}_2^{4+}$ 。適於作為可與 G2a 基團相互作用或鍵結之分子種類的較佳分子係包括：四(羧酸根絡)二鉻、四(羧酸根絡)二鉬、四(脛基)二氯鋇、四(脛基)氯二鈦、四(羧酸根絡)二銻、四(脛基)二銻、雙(羧酸根絡)雙(脛基)二銻、及含有多於一個二金屬單元之錯合物。

若該第一單層具有末端 G2b 基團，則此等金屬-金屬鍵結錯合物之實例可含有一個或一個以上之金屬-金屬鍵結單元，其赤道方向可與 G2b 基團相互作用或鍵結，諸如含有一個或一個以上對下列金屬-金屬鍵結核心的分子： $\text{Cr}_2^{4+}$ 、 $\text{Mo}_2^{4+}$ 、 $\text{W}_2^{4+}$ 、 $\text{Re}_2^{6+}$ 、 $\text{Re}_2^{5+}$ 、 $\text{Re}_2^{4+}$ 、 $\text{Ru}_2^{5+}$ 、 $\text{Ru}_2^{6+}$ 、 $\text{Os}_2^{6+}$ 、 $\text{Rh}_2^{4+}$ 。適於作為可與 G2b 基團相互作用或鍵結之分子種類的較佳分子係包括：四(羧酸根絡)二金屬(其中該金屬係為前述者中之一)、十(乙腈)二金屬(其中該金屬係為 Mo、Re、及 Rh)。

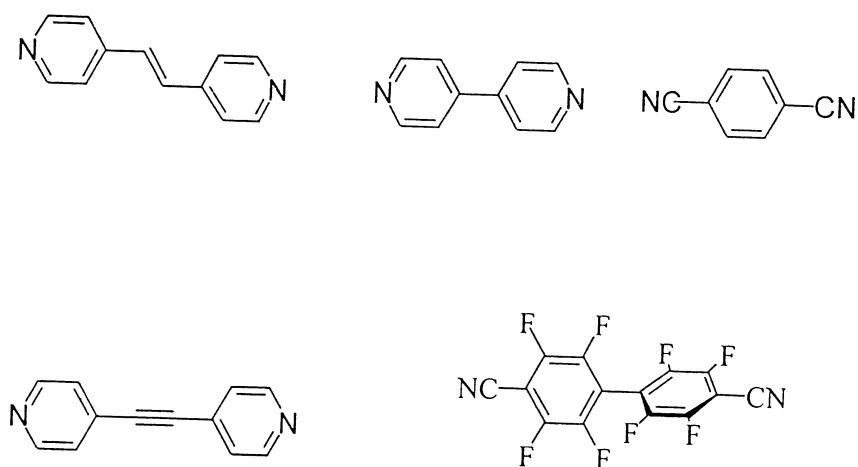
已證明之分子有  $[\text{Rh}_2(\text{順-N,N'}\text{-二-對-茴香甲脛})_2]_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CO}_2)_2$ 。

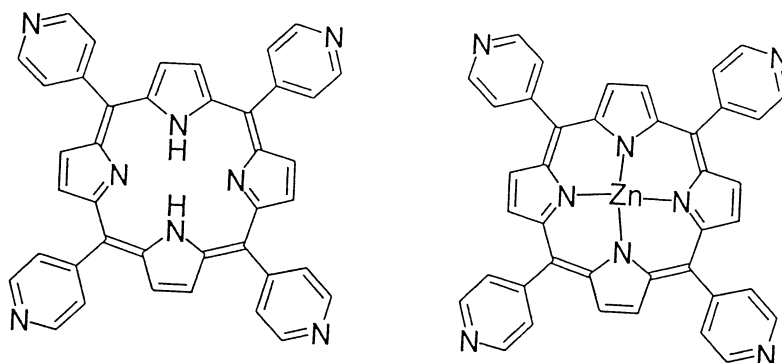
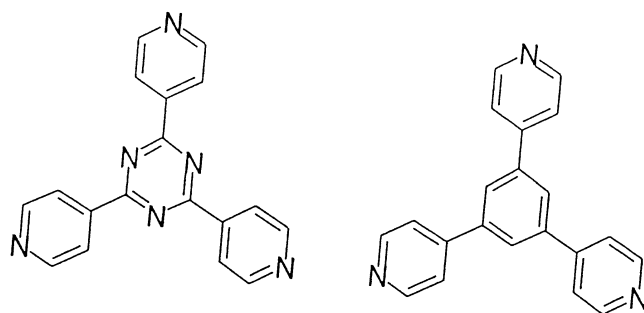
-鏈合基- 係為兩端具有兩個官能基之適當分子。此等官能基會與前述具有金屬-金屬鍵結單元末端之表面相

互作用或鍵結。G3及G4官能基兩者皆類似於G2。

因此，該第二鍵合基化合物中之G3及G4可個別為4-吡啶基、3-吡啶基、氰基、4-氰基苯基、3-氰基苯基、全氟-3-氰基苯基及全氟-4-氰基苯基。鍵合基<sub>b</sub>可為單鍵、伸烷基、烯二基、炔二基、1,4-伸芳基、脂芳烴-1,3,5-三基、1,2,3-三吡啶-2,4,6-三基、4,4',4'',4'''-(21H,23H-樸吩-5,10,15,20-四基)及4,4',4'',4'''-(21H,23H-樸吩-5,10,15,20-四基)之鋅錯合物及其組合物。G3-鍵合基<sub>b</sub>-G4基團之其他實例係包括聚脒、聚吡啶、二(三甲基矽烷)、及含有至少一兩個任何下列予體組合，以作為橋連二配位基配位體的有機分子：(N,N)、(N,O)、(O,O)、(O,S)、(P,P)、(N,S)及(S,S)，諸如N.N、N.O、O.N、N.S、S.N、N.P、P.N、O.S、S.O、O.O、P.P及S.S配位體。具有四面體幾何形狀之部分分子亦可作為赤道鍵合基，諸如 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{MoO}_4^{2-}$ 、 $\text{WO}_4^{2-}$ 、 $\text{ZnCl}_4^{2-}$ 。

該第二鍵合基化合物的實例係包括下式所示之化合物：

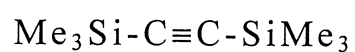




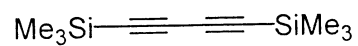
及下式所示之乙炔或聯乙炔：



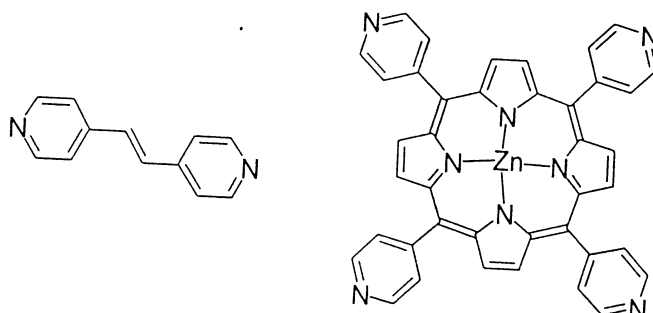
其可藉著將三甲基甲矽烷基脫甲矽烷化，而自下式所示之化合物衍生：



或



具有至少兩個所需之官能基的較佳分子係包括：





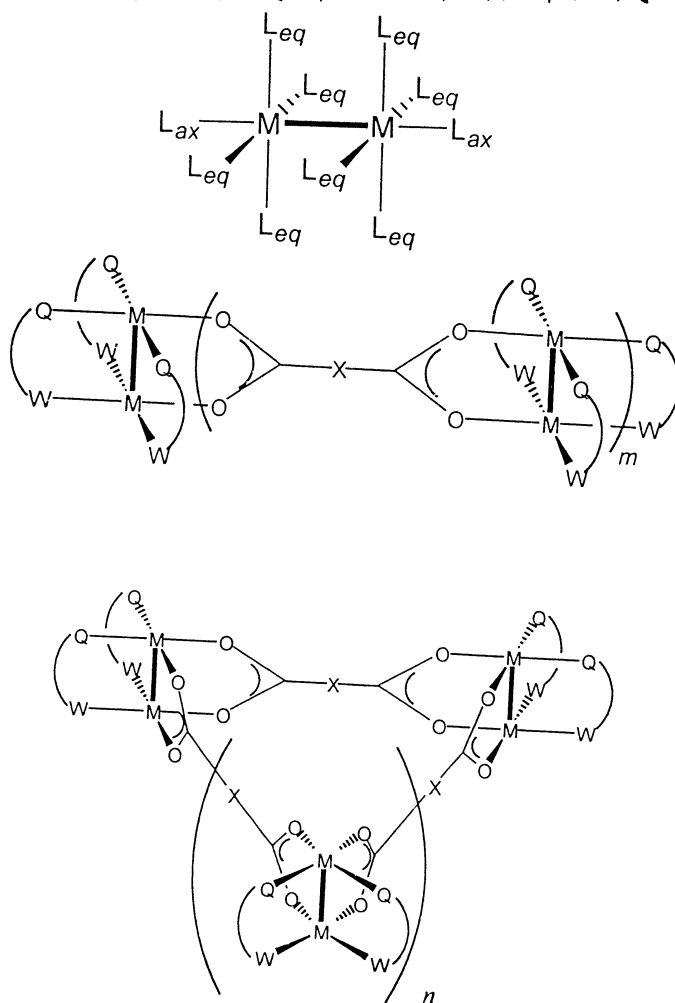
較佳具體實例中，本發明方法係包括下列步驟：

(1) 於一基材之一表面上施加由下式所示之第一鍵合基化合物：

### G1-鍵合基<sub>a</sub>-G2

產生第一鍵合基化合物之底塗層；其中G1係選自由下列者組成之群：Cl<sub>3</sub>Si及SH；G2係選自由下列者組成之群：4-吡啶基及4-氰基苯基；且鍵合基<sub>a</sub>係選自由下列者組成之群：C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub>伸烷基、C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub>烯二基、C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub>炔二基及1,4-伸芳基；

(2) 於該底塗層上施加金屬-金屬鍵結錯合物，以於該底塗層上施加金屬-金屬鍵結錯合物單層；其中該金屬-金屬鍵結錯合物係選自由下式所示化合物所組成之群：

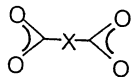


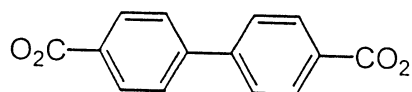
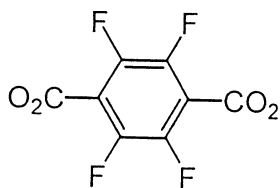
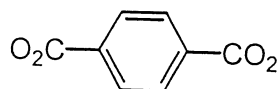
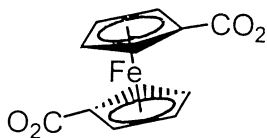
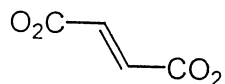
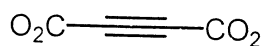
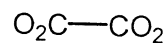
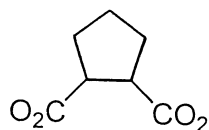
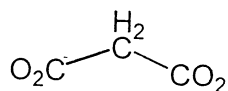
及其組合物；其中

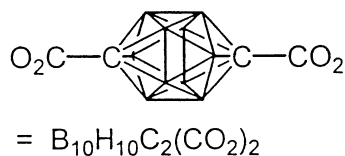
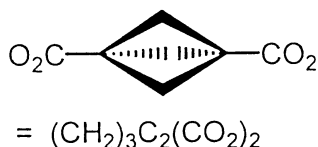
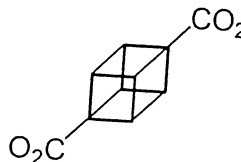
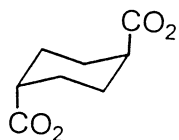
$L_{ax}$  係為軸向配位體；

$Leq$  係為赤道配位體；其中兩赤道配位體一起形成雙配位基配位體 Q.W；其中各 Q.W 係個別選自由下列者組成之群：  
N.N、N.O、O.N、N.S、S.N、N.P、P.N、O.S、S.O、O.O、  
P.P 及 S.S 配位體；

M 係為過渡金屬；

其中  係為二羧酸根橋聯基團，個別選自由下式所示化合物所組成之群：





及其混合物；且

其中m係為由1至12之整數，且n係為0至3；

(3) 於該金屬-金屬鍵結錯合物單層上施加下式所示之第二鍵合基化合物：

#### G3-鍵合基<sub>b</sub>-G4

以於該金屬-金屬鍵結錯合物單層上產生有機單層；其中G3及G4係相同或相異官能基，可與金屬-金屬鍵結錯合物相互作用；且鍵合基<sub>b</sub>係為鍵結於G3及G4之單鍵或二官能基；且視情況

(4) 依序重複步驟(2)及(3)至少一次，以產生逐層生長薄膜，其具有一金屬-金屬鍵結錯合物單層與一有機單層之交替單層。

於第一步驟中，使用於薄膜生長之基材可為各種類型之金屬、絕緣體、及半導體，諸如玻璃、石英、鋁、金、鉑、金/鈦合金、矽、於矽上之熱生長二氧化矽、及經氧化銦錫塗覆之玻璃。因為該薄膜係自液體溶液沉積，故其可沉積

於具有不同外形及結構之基材上。該基材之形式可或平面固體或非平面固體，諸如分階或曲形表面。

薄膜沉積之第二步驟係使用含有至少一個金屬-金屬鍵結單元之適當化合物自溶液處理經修飾之基材。該金屬-金屬鍵結單元經由其軸向與N原子或經由其赤道方向與二配位基配位體相互作用。未與分子模板相互作用之相對方向係作為逐層薄膜生長之後續步驟。使用於金屬-金屬鍵結單元中之金屬原子可為任何下列者：V、Nb、Cr、Mo、W、Tc、Re、Fe、Ru、Os、Co、Rh、Ir、Ni、Pd、Pt、Cu、Ag。

第三步驟中，該金屬-金屬鍵結單元末端表面係經一溶液處理，該溶液含有具有至少兩官能基之分子。就軸向鍵結而言，此等官能基可為任何類型之含有N-予體原子的脒或吡啶基。因此，該有機分子係為多吡啶、多脒、或係同時含有吡啶基及脒官能基。就赤道鍵合基而言，其可為含有至少兩種任何下列予體組合以作為橋聯二配位基配位體之有機分子：(N,N)、(N,O)、(O,O)、(N,P)、(P,P)、(N,S)及(S,S)。部分具有四面體幾何形狀之分子亦可作為赤道鍵合基，諸如 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{MoO}_4^{2-}$ 、 $\text{WO}_4^{2-}$ 、 $\text{ZnCl}_4^{2-}$ 。

後續步驟係重複前述兩步驟，以添加附加層，但該金屬-金屬鍵結單元及有機鍵合基並非必要相同，其先決條件為其具有類似之結構部分。此者提供自各種金屬-金屬鍵結構建單元組合多層不同質結構的彈性方式，基本上該層具有任何所需之順序。

以下流程圖係說明所生長之多層薄膜的實例，包括一氧

化還原活性金屬-金屬鍵結超分子 $[\text{Rh}(\text{DAniF})_2]_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CO}_2)_2$  ( $\text{DAniF} = \text{N}, \text{N}'$ -二-對-茴香基甲脒), 1'及反式-1,2-雙(4-羥基)乙烯, 2'於經吡啶基官能化氧化物基材諸如石英、氧化銦錫(ITO)、及矽晶圓(具有天然或熱生長二氧化矽表面)上之交替層。

該氧化物基材係如下清洗：各基材先於UV/臭氧中處理30分鐘，之後使用丙酮、二氯甲烷及水充分淋洗，之後於120℃爐中乾燥至少2小時。基材於薄膜沉積之前即時再於UV/臭氧中處理30分鐘。

基材先藉由浸漬於含有1 mM 4-[2-(三氯甲矽烷基)]-乙基吡啶之甲苯溶液中30分鐘而矽化(silated)。以大量甲苯及水淋洗之後，該基材經真空乾燥。金屬-金屬鍵結分子薄膜藉著先於-15℃下將該基材浸入0.1 mM分子1之甲苯溶液中2小時，之後於室溫下浸入0.1 mM 2之乙醚溶液中30分鐘而生長，在各步驟之間進行淋洗。

沉積第一雙層之後，重複該方法，但各溶液之浸漬時間縮短至1分鐘，直至得到所需數量之雙層。

此等步驟可概要說明如下：

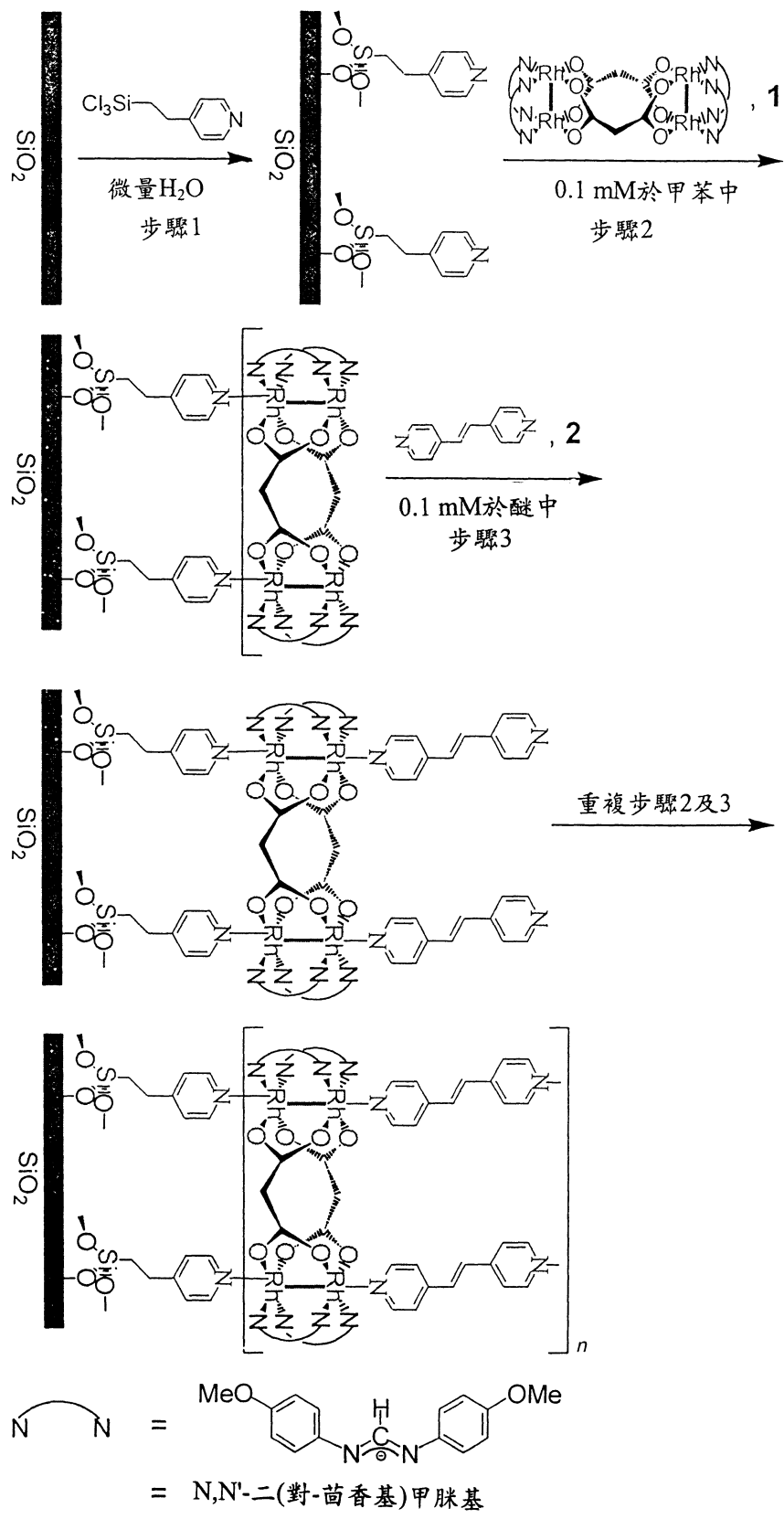


圖1出示一典型雙接頭側向電子裝置10之剖面圖。裝置10係包括金屬-金屬鍵結錯合物材料層12。薄層12係為金屬-金屬鍵結錯合物，且係作為介於製造於基材18上之電極14與16之間的活性開關媒質。

圖2出示電晶體結構中典型三接頭側向電子裝置20之剖面圖。該電晶體20係包括金屬-金屬鍵結材料層22。該層22係為金屬-金屬鍵結錯合物，且係作為源極與汲極24與26之間的通道。該金屬-金屬鍵結錯合物之電導係經由絕緣層28諸如 $\text{SiO}_2$ 薄膜(其可為經退化摻雜之矽層)藉由閘極30調整，所有元件皆製造於基材32上。

圖3係出示典型二接頭垂直電子裝置40之剖面圖。裝置40係包括金屬-金屬鍵結之錯合物材料層42。薄層42係為金屬-金屬鍵結錯合物，係作為介於製造於基材48上之電極44與46之間的活性開關媒質。此情況下，電極44係沉積於該金屬-金屬鍵結層頂部。

圖4係出示電晶體結構中典型三接頭垂直電子裝置60之剖面圖。該電晶體60係包括金屬-金屬鍵結材料層62。薄層62係為金屬-金屬鍵結錯合物，係作為介於源極與汲極64與66間之通道。該金屬-金屬鍵結錯合物之電導係經由絕緣層68諸如 $\text{SiO}_2$ 薄膜(其可為經退化摻雜之矽層)藉由閘極70調整，所有元件皆製造於基材72上。此情況下，電極64係沉積於金屬-金屬鍵結層之頂部。

圖5係出示自溶液逐層組合之金屬-金屬鍵結錯合物的AFM影像，顯示當雙層之數量自(a) 0雙層，(b) 7雙層，(c) 17

雙層，及(d) 30雙層增加時，該錯合物跨越介於Au電極之間的距離。Au電極係於經退化摻雜之矽基材上沉積成40奈米厚之 $\text{SiO}_2$ 。

圖6顯示圖5所示之AFM影像的線切割。該金屬-金屬鍵結錯合物跨越電極間之距離，當雙層數目自(a) 0雙層，(b) 7雙層，(c) 17雙層，及(d) 30雙層增加時，關閉電極間之分隔。

一旦該金屬-金屬鍵結錯合物跨越電極間之距離--或藉由逐層組合該錯合物或藉由跨越塗覆多晶性薄膜(其中該金屬-金屬鍵結單元與該有機配位體自身組合)，該電極皆電聯。

預備數據證明於2接頭中所需負差電阻，兩金屬-金屬鍵結錯合物之側向裝置結構係出示於圖7及8中，該化合物係逐層組合，且於圖9及10中，該化合物係於介於1500至2000轉每分鐘之旋轉速度下，藉旋塗法自氯仿溶液(1.6毫克/毫升)沉積1分鐘。

圖7出示金屬-金屬鍵結錯合物之I-V特性的負差電阻，其中Rh-Rh係為金屬-金屬鍵結單元，且5,10,15,20-四(4-吡啶基)-21H,23H-撲吩鋅係為配位體。該錯合物使用硫醇乙基吡啶作為鍵合劑以自Au電極逐層生長。該裝置係製成側向幾何形狀，金屬電極間具有80奈米間隔。

圖8出示金屬-金屬鍵結錯合物之I-V特性的負差電阻，其中Rh-Rh係為金屬-金屬鍵結，且1,2-雙(4-吡啶基)-乙烯係為配位體。該化合物係使用硫醇乙基吡啶作為鍵合劑以自Au



電極逐層生長。該裝置係製成側向幾何形狀，金屬電極間具有80奈米間隔。

圖9出示該金屬-金屬鍵結錯合物之AFM影像，其中Rh-Rh係為金屬-金屬鍵結，且5,10,15,20-四(4-吡啶基)-21H,23H-樸吩鋅係為配位體。該錯合物係藉旋塗法自氯仿溶液沉積，以形成多晶性薄膜，晶粒結構與該金屬-金屬鍵結錯合物之底層結構要素相符。

圖10係出示金屬-金屬鍵結錯合物之I-V特性中的負差電阻，其中Rh-Rh係為金屬-金屬鍵結，而5,10,15,20-四(4-吡啶基)-21H,23H-樸吩鋅係為配位體。該錯合物係藉旋塗法自氯仿溶液沉積。

圖11出示該金屬-金屬鍵結錯合物之AFM影像，其中Rh-Rh係為金屬-金屬鍵結，且1,2-雙(4-吡啶基)-乙烯係為配位體。該錯合物係藉旋塗法自氯仿溶液沉積，形成多晶性薄膜，晶粒結構與該金屬-金屬鍵結錯合物之底層結構要素相符。

圖12係出示金屬-金屬鍵結錯合物之I-V特性的負差電阻，其中Rh-Rh係為金屬-金屬鍵結，而1,2-雙(4-吡啶基)-乙烯係為配位體。該錯合物係藉旋塗法自氯仿溶液沉積。

該金屬-金屬鍵結錯合物之電子性質可經由化學調整。可各式各樣可作為金屬-金屬鍵結錯合物之金屬-金屬及有機配位體。金屬-金屬鍵結錯合物可藉由選擇該錯合物之化學及結構要素而設計。該化學可變通性可用於調整該分子裝置的電子性質。

本發明係特別參考較佳具體實例進行描述。應已知熟習此項技術者已知可在不偏離本發明精神及範圍之情況下進行其變化及修飾。是故，本發明涵蓋所有包括於申請專利範圍內之改變、修飾及變化。

#### 【圖式簡單說明】

圖1出示一2-接頭側向裝置結構，收納有金屬-金屬鍵結層，以作為介於兩電極之間的活性開關媒質。

圖2出示一3-接頭側向裝置結構，收納金屬-金屬鍵結層，以作為介於源極與汲極之間的活性開關媒質，且藉絕緣體分隔閘極。

圖3出示一2-接頭垂直裝置結構，收納金屬-金屬鍵結層，以作為介於兩電極之間的活性開關媒質。

圖4出示一3-接頭垂直裝置結構，收納金屬-金屬鍵結層，作為介於源極與汲極之間的活性開關媒質，且藉絕緣體分隔閘極。

圖5出示一原子力顯微鏡影像，顯示金屬-金屬鍵結錯合物之逐層生長，其中Rh-Rh係為金屬-金屬鍵結，且1,2-雙(4-吡啶基)乙烯係為配位體。

圖6出示一原子力顯微鏡剖面圖，顯示金屬-金屬鍵結錯合物之逐層生長，其中Rh-Rh係為金屬-金屬鍵結，且1,2-雙(4-吡啶基)乙烯係為配位體(對應於圖1中之影像)。介於金屬電極之間的距離係出示於(a)金屬-金屬鍵結錯合物之逐層生長之前。該金屬-金屬鍵結錯合物自金屬電極生長，縮小所測量之間隙，當金屬-金屬鍵結及配位體層數目增至

(b) 7雙層(其中1雙層係為一金屬-金屬鍵結層及一配位體層)、(c) 17雙層及(d) 30雙層時，跨越介於電極之間的間隔。一旦介於該電極之間的間隔被金屬-金屬鍵結錯合物所跨越，達到圖7及圖8中之I-V特性，顯示電連及負差電阻。

圖7出示金屬-金屬鍵結錯合物之室溫I-V特性，其中Rh-Rh係為金屬-金屬鍵結，且5,10,15,20-四(4-吡啶基)-21H,23H-樸吩鎂係為配位體。該錯合物使用硫醇乙基吡啶作為鍵合劑以自Au電極逐層生長。該裝置係製成側向幾何形狀，金屬電極間具有80奈米間隔。該電極係沉積於位在經退化摻雜之矽基材上的40奈米厚SiO<sub>2</sub>上。

圖8出示金屬-金屬鍵結錯合物之室溫I-V特性，其中Rh-Rh係為金屬-金屬鍵結，且1,2-雙(4-吡啶基)-乙烯係為配位體。該薄膜使用硫醇乙基吡啶作為鍵合劑以自Au電極逐層生長。該裝置係製成側向幾何形狀，金屬電極間具有80奈米間隔。該電極係沉積於位在經退化摻雜之矽基材上的40奈米厚SiO<sub>2</sub>上。

圖9出示該金屬-金屬鍵結錯合物之經旋塗多晶性薄膜的原子力顯微影像，其中Rh-Rh係為金屬-金屬鍵結，且5,10,15,20-四(4-吡啶基)-21H,23H-樸吩鎂係為配位體。該錯合物係沉積於Au電極上，該電極係沉積於位在經退化摻雜之矽基材上的SiO<sub>2</sub>頂部。

圖10係出示金屬-金屬鍵結錯合物之室溫I-V特性，其中Rh-Rh係為金屬-金屬鍵結，而5,10,15,20-四(4-吡啶基)-21H,23H-樸吩鎂係為配位體。該錯合物係沉積於具有Au

電極之裝置結構頂部。該裝置係製成側向幾何形狀，具有(A)80奈米間隔及(B)介於金屬電極之間的295奈米間隔。該電極係沉積於位在經退化摻雜之矽基材上的40奈米厚SiO<sub>2</sub>上。

圖11出示該金屬-金屬鍵結錯合物之經旋塗多晶性薄膜的原子力顯微影像，其中Rh-Rh係為金屬-金屬鍵結，且1,2-雙(4-吡啶基)-乙烯係為配位體。該錯合物係沉積於Au電極上，該電極係沉積於位在經退化摻雜之矽基材上的SiO<sub>2</sub>頂部。

圖12係出示金屬-金屬鍵結錯合物之室溫I-V特性，其中Rh-Rh係為金屬-金屬鍵結，而1,2-雙(4-吡啶基)-乙烯係為配位體。該錯合物係藉旋塗法沉積於具有Au電極之裝置結構頂部。該裝置係製成側向幾何形狀，具有(A)80奈米間隔(B)295奈米間隔，及(C)介於金屬電極之間的385奈米間隔。該電極係沉積於位在經退化摻雜之矽基材上的40奈米厚SiO<sub>2</sub>上。

【圖式代表符號說明】

|             |               |
|-------------|---------------|
| 10          | 二接點側向電子裝置     |
| 12，22，42，62 | 金屬-金屬鍵結錯合物材料層 |
| 14，16，44，46 | 電極            |
| 18，32，48，72 | 基材            |
| 20          | 三接點側向電子裝置     |
| 24，64       | 源極            |
| 26，66       | 汲極            |

|         |           |
|---------|-----------|
| 28 , 68 | 絕緣層       |
| 30 , 70 | 閘極        |
| 40      | 二接點垂直電子裝置 |
| 60      | 三接點垂直電子裝置 |

### 伍、中文發明摘要：

本發明提供一種分子裝置，其包括一源極區及一汲極區、一延伸於其間之分子媒質、以及一絕緣層，此層係介於該源極區、汲極區及該分子媒質之間。本發明分子裝置中之分子媒質係為一薄膜，具有一金屬-金屬錯合物單層與一有機單層之交替單層。

### 陸、英文發明摘要：

The present invention provides a molecular device including a source region and a drain region, a molecular medium extending there between, and an electrically insulating layer between the source region, the drain region and the molecular medium. The molecular medium in the molecular device of present invention is a thin film having alternating monolayers of a metal-metal bonded complex monolayer and an organic monolayer.

## 拾、申請專利範圍：

1. 一種分子裝置，其包含：  
一源極區及一汲極區；  
一分子媒質，延伸於該源極區與該汲極區之間；及  
一絕緣層，介於該源極區、該汲極區及該分子媒質之間。
2. 如申請專利範圍第1項之分子裝置，其中該源極區及該汲極區係為電極。
3. 如申請專利範圍第1項之分子裝置，其中該電極及該分子媒質係配置於一基材上。
4. 如申請專利範圍第1項之分子裝置，其另外包含一閘極區，配置成與該分子媒質相鄰且相間隔。
5. 如申請專利範圍第4項之分子裝置，其中該閘極區係配置於一基材上，且位於該絕緣層下。
6. 如申請專利範圍第1項之分子裝置，其中該源極區、該汲極區及該分子媒質係配置於該絕緣層上，且其中該絕緣層係配置於該基材上。
7. 如申請專利範圍第1項之分子裝置，其中該源極區、該汲極區及配置於其間之分子媒質係於絕緣材料上配置成垂直排列，該絕緣材料係為基材。
8. 如申請專利範圍第7項之分子裝置，其進一步包含介於該基材與該源極區、該汲極區及該分子媒質之間的閘極區。
9. 如申請專利範圍第1項之分子裝置，其中該分子媒質係為分子開關媒質。

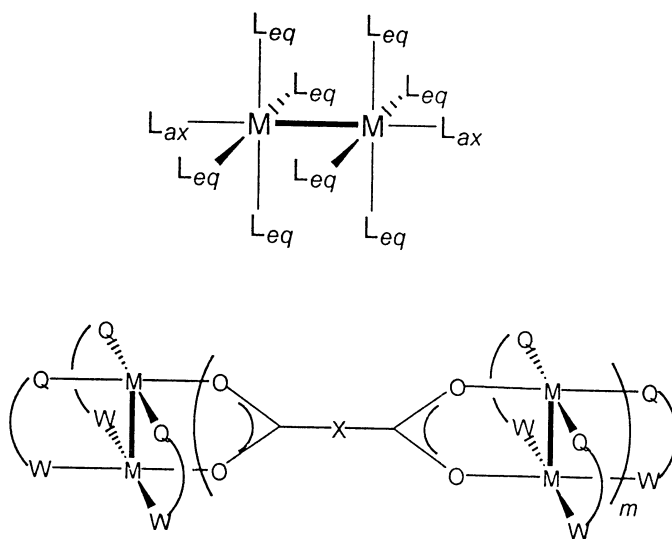
10. 如申請專利範圍第1項之分子裝置，其中該分子媒質係包含具有一金屬-金屬鍵結錯合物單層與一有機單層之交替單層的薄膜。
11. 如申請專利範圍第10項之分子裝置，其中該薄膜係藉由包括下列步驟之方法製備：

(1) 於基材表面上施加下式所示之第一鍵合基化合物：

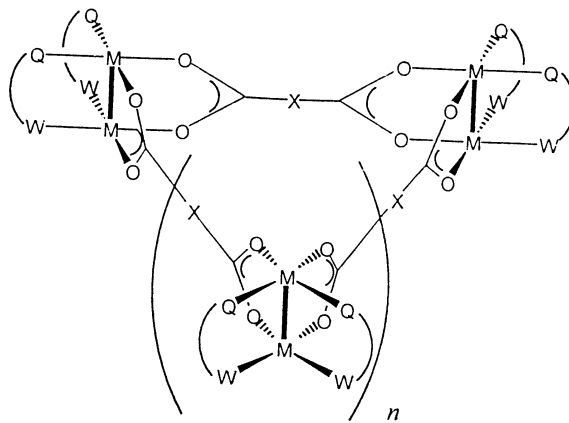
G1-鍵合基<sub>a</sub>-G2

於該基材上產生第一鍵合基化合物的底塗層，其中G1係為可與該基材表面相互作用之官能基；G2係為可與金屬-金屬鍵結錯合物相互作用之官能基；且鍵合基<sub>a</sub>係為鍵結於G1及G2之二官能性有機基團；

(2) 於該底塗層上施加金屬-金屬鍵結錯合物層，以於該底塗層上產生金屬-金屬鍵結錯合物單層；該金屬-金屬鍵結錯合物係選自由下式所示之化合物所組成之群：





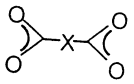


及其組合物；其中：

$L_{ax}$ 係為軸向配位體；

$L_{eq}$ 係為赤道配位體；其中兩赤道配位體一起形成雙配位基配位體Q.W；其中各Q.W係個別選自由下列者組成之群：N.N、N.O、O.N、N.S、S.N、N.P、P.N、O.S、S.O、O.O、P.P及S.S配位體；

M係為過渡金屬；

其中  係為橋聯基團，個別選自由下列者組成之群： $SO_4^{2-}$ 、 $MoO_4^{2-}$ 、 $WO_4^{2-}$ 、 $ZnCl_4^{2-}$ 及二羧酸根；且

其中m係為由1至25之整數，且n係為0至6；

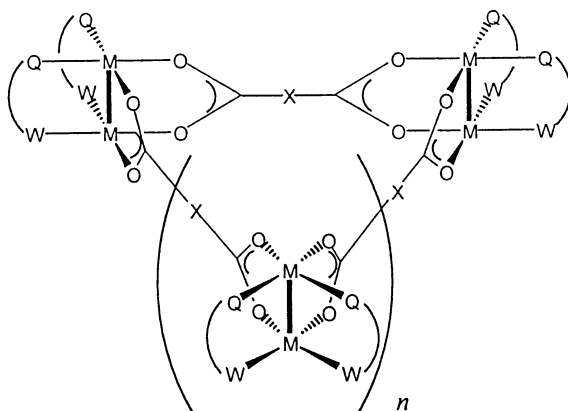
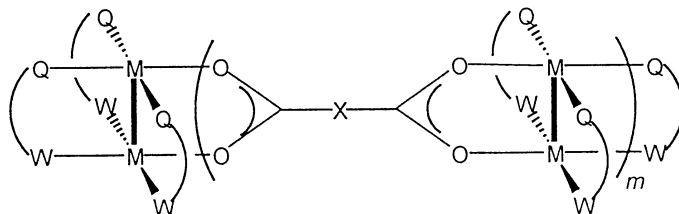
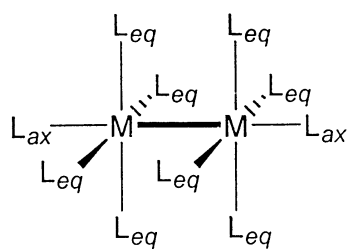
(3) 於該金屬-金屬鍵結錯合物單層上施加下式所示之第二鍵合基化合物

### G3-鍵合基<sub>b</sub>-G4

以於該金屬-金屬鍵結錯合物單層上產生有機單層；其中G3及G4係相同或相異官能基，可與金屬-金屬鍵結錯合物相互作用；且鍵合基<sub>b</sub>係為鍵結於G3及G4之單鍵或二官能性有機基團；且視情況

(4)依序重複步驟(2)及(3)至少一次，以產生逐層生長薄膜，其具有一金屬-金屬鍵結錯合物單層與一有機單層之交替層。

12. 如申請專利範圍第11項之分子裝置，其中該金屬-金屬鍵結錯合物中之過渡金屬係選自由下列者組成之群： $\text{Cr}_2^{4+}$ ,  $\text{Mo}_2^{4+}$ ,  $\text{Re}_2^{6+}$ ,  $\text{Re}_2^{5+}$ ,  $\text{Re}_2^{4+}$ ,  $\text{Ru}_2^{5+}$ ,  $\text{Ru}_2^{6+}$ ,  $\text{Rh}_2^{4+}$ 及其組合。
13. 如申請專利範圍第11項之分子裝置，其中該基材係選自由下列者組成之群：金屬、金屬氧化物、半導體材料、金屬合金、半導體合金、聚合物、有機固體、及其組合。
14. 如申請專利範圍第13項之分子裝置，其中該基材係選自由下列者組成之群：Au、ITO、 $\text{SiO}_2$ 及一電極。
15. 如申請專利範圍第11項之分子裝置，其中該薄膜係具有金屬-金屬鍵結錯合物單層與有機單層之1至100層交替單層。
16. 如申請專利範圍第10項之分子裝置，其中該薄膜係藉由包括下列步驟之方法製備：
  - (a) 於一基材表面上施加包含下列物質之溶液：
    - (i) 一金屬-金屬鍵結錯合物，選自由下式所示之化合物所組成之群：

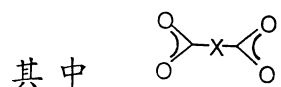


及其組合物；其中

$L_{ax}$ 係為軸向配位體；

$L_{eq}$ 係為赤道配位體；其中兩赤道配位體一起形成雙配位基配位體Q.W；其中各Q.W係個別選自由下列者組成之群：N.N、N.O、O.N、N.S、S.N、N.P、P.N、O.S、S.O、O.O、P.P及S.S配位體；

M係為過渡金屬；



其中 係為橋聯基團，個別選自由下列者組成之群： $SO_4^{2-}$ 、 $MoO_4^{2-}$ 、 $WO_4^{2-}$ 、 $ZnCl_4^{2-}$ 及二羧酸根；

且

其中 m 係為由 1 至 25 之整數，且 n 係為 0 至 6；

(ii) 由下式所示之鍵合基化合物：



其中 G3 及 G4 係相同或相異之官能基，可與金屬-金屬鍵結錯合物相互作用；且鍵合基<sub>b</sub>係為鍵結於 G3 及 G4 之單鍵或二官能性有機基團；及

(iii) 一溶劑；且

(b) 蒸發該溶劑，以於該基材上產生分子媒質之薄膜。

17. 一種分子裝置，其包括：

一源極區及一汲極區；

一分子媒質，延伸於該源極區與該汲極區之間，該分子媒質係包括一薄膜，其具有一金屬-金屬鍵結錯合物單層與一有機單層的交替單層，係藉由逐層生長製備；

一閘極區，配置於該分子媒質旁且與之相間隔，及

一絕緣層，介於該閘極區與該源極區、該汲極區及該分子媒質之間。

18. 如申請專利範圍第 17 項之分子裝置，其中該源極區、分子媒質及汲極區係配置於一基材表面上，該絕緣層係配置於該分子媒質上，且自該源極區延伸至該汲極區，而該閘極區係配置於該絕緣層上。

19. 如申請專利範圍第 17 項之分子裝置，其中該閘極區係配置於基材表面上以作為閘極層，該絕緣層係配置於該閘極層上，而該源極區、分子媒質及汲極區係配置於該絕緣層上。

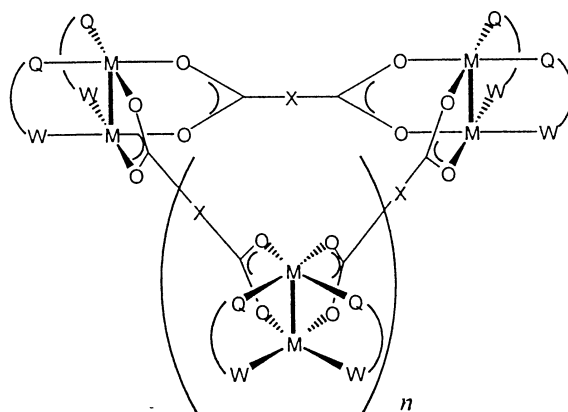
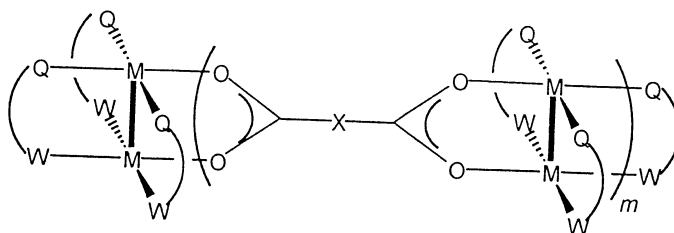
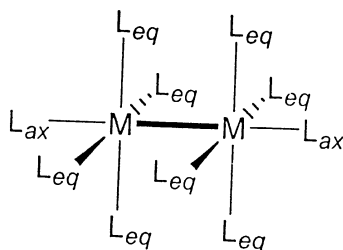
20. 如申請專利範圍第18項之分子裝置，其中該基材係包含一可撓性材料。
21. 如申請專利範圍第20項之分子裝置，其中該可撓性材料係包含塑料。
22. 如申請專利範圍第17項之分子裝置，其中該分子媒質係為分子開關媒質。
23. 如申請專利範圍第17項之分子裝置，其中該分子媒質係包括一薄膜，具有一金屬-金屬鍵結錯合物單層與一有機單層之交替單層。
24. 如申請專利範圍第23項之分子裝置，其中該薄膜係藉由包括下列步驟之方法製備：

(1) 於一基材之一表面上施加由下式所示之第一鍵合基化合物：



產生第一鍵合基化合物之底塗層；其中G1係選自由下列者組成之群： $\text{Cl}_3\text{Si}$ 及 $\text{SH}$ ；G2係選自由下列者組成之群：4-吡啶基及4-氰基苯基；且鍵合基<sub>a</sub>係選自由下列者組成之群： $\text{C}_1\text{-C}_8$ 伸烷基、 $\text{C}_1\text{-C}_8$ 烯二基、 $\text{C}_1\text{-C}_8$ 炔二基及1,4-伸芳基；

(2) 於該底塗層上施加金屬-金屬鍵結錯合物，以於該底塗層上施加金屬-金屬鍵結錯合物單層；其中該金屬-金屬鍵結錯合物係選自由下式所示化合物所組成之群：

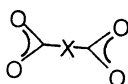


及其組合物；其中

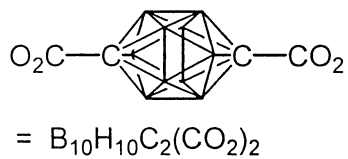
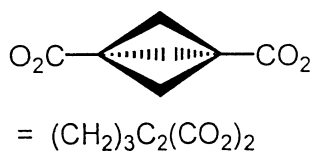
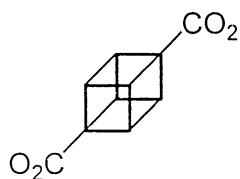
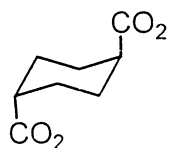
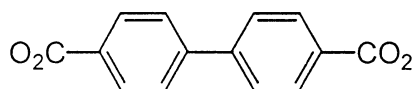
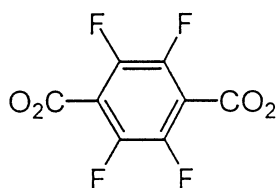
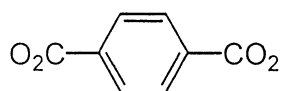
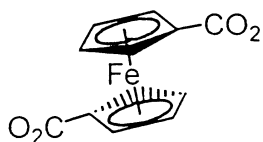
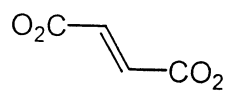
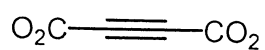
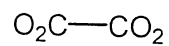
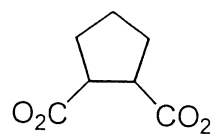
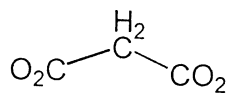
$L_{ax}$ 係為軸向配位體；

$L_{eq}$ 係為赤道配位體；其中兩赤道配位體一起形成雙配位基配位體Q.W；其中各Q.W係個別選自由下列者組成之群：N.N、N.O、O.N、N.S、S.N、N.P、P.N、O.S、S.O、O.O、P.P及S.S配位體；

M係為過渡金屬；

其中  係為二羧酸根橋聯基團，個別選自由

下式所示化合物所組成之群：



及其混合物；且

其中m係為由1至12之整數，且n係為0至3；

(3) 於該金屬-金屬鍵結錯合物單層上施加下式所示之第二鍵合基化合物：



以於該金屬-金屬鍵結錯合物單層上產生有機單層；其中G3及G4係相同或相異官能基，可與金屬-金屬鍵結錯合物相互作用；且鍵合基<sub>b</sub>係為鍵結於G3及G4之單鍵或二官能基；且視情況

(4) 依序重複步驟(2)及(3)至少一次，以產生逐層生長薄膜，其具有一金屬-金屬鍵結錯合物單層與一有機單層之交替單層。

25. 如申請專利範圍第24項之分子裝置，其中該金屬-金屬鍵結錯合物中之過渡金屬係選自由下列者組成之群：  
 $\text{Cr}_2^{4+}$ 、 $\text{Mo}_2^{4+}$ 、 $\text{Re}_2^{6+}$ 、 $\text{Re}_2^{5+}$ 、 $\text{Re}_2^{4+}$ 、 $\text{Ru}_2^{5+}$ 、 $\text{Ru}_2^{6+}$ 、 $\text{Rh}_2^{4+}$   
 及其組合物。

26. 一種分子裝置，包括：

一源極區及一汲極區；

一分子媒質，延伸於該源極區與該汲極區之間，該分子媒質係包括一薄膜，其具有一金屬-金屬鍵結錯合物單層與一有機單層的交替單層；及

一絕緣層，介於該閘極區與該源極區、該汲極區及該分子媒質之間。

27. 如申請專利範圍第26項之分子裝置，其進一步包含閘極區，配置成與該分子媒質相鄰且相間隔。



拾壹、圖式：

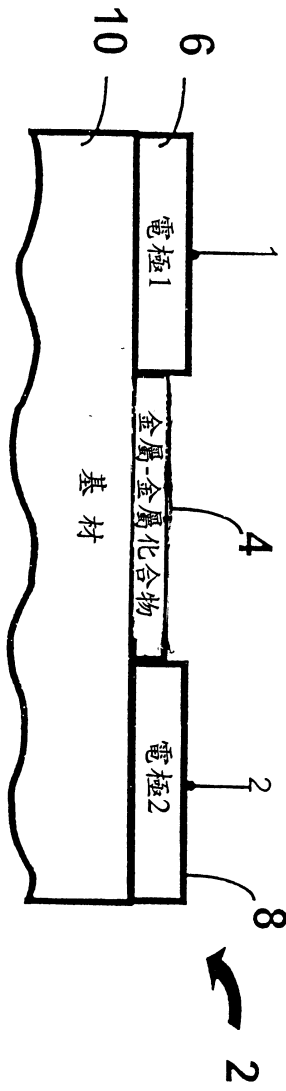


圖 1

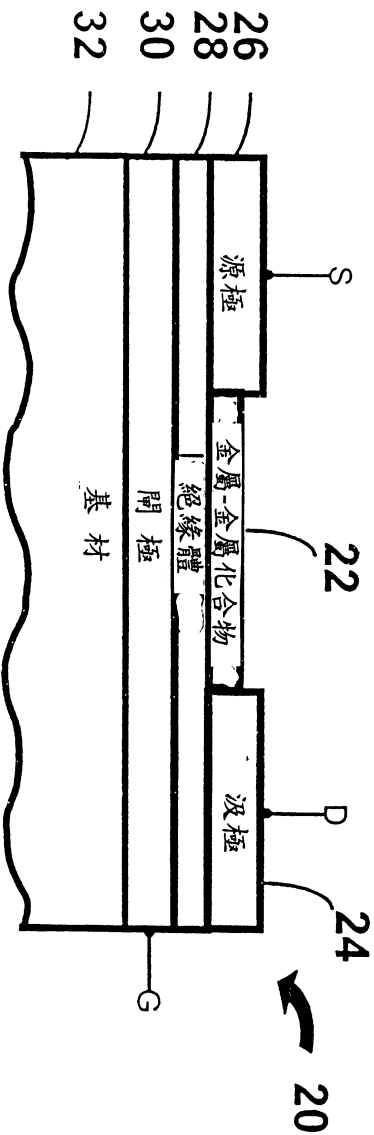


圖 2

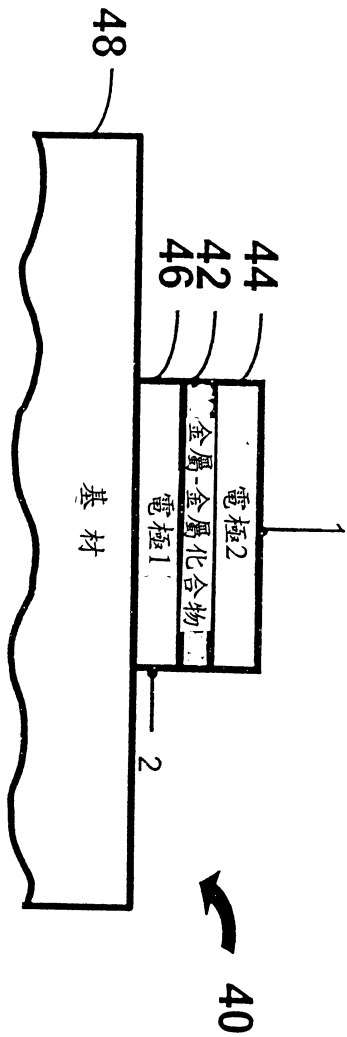


圖 3

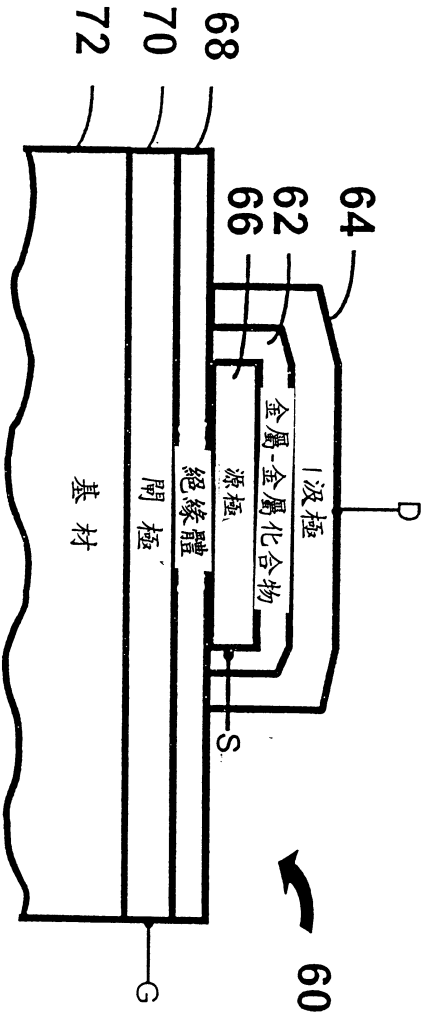


圖 4

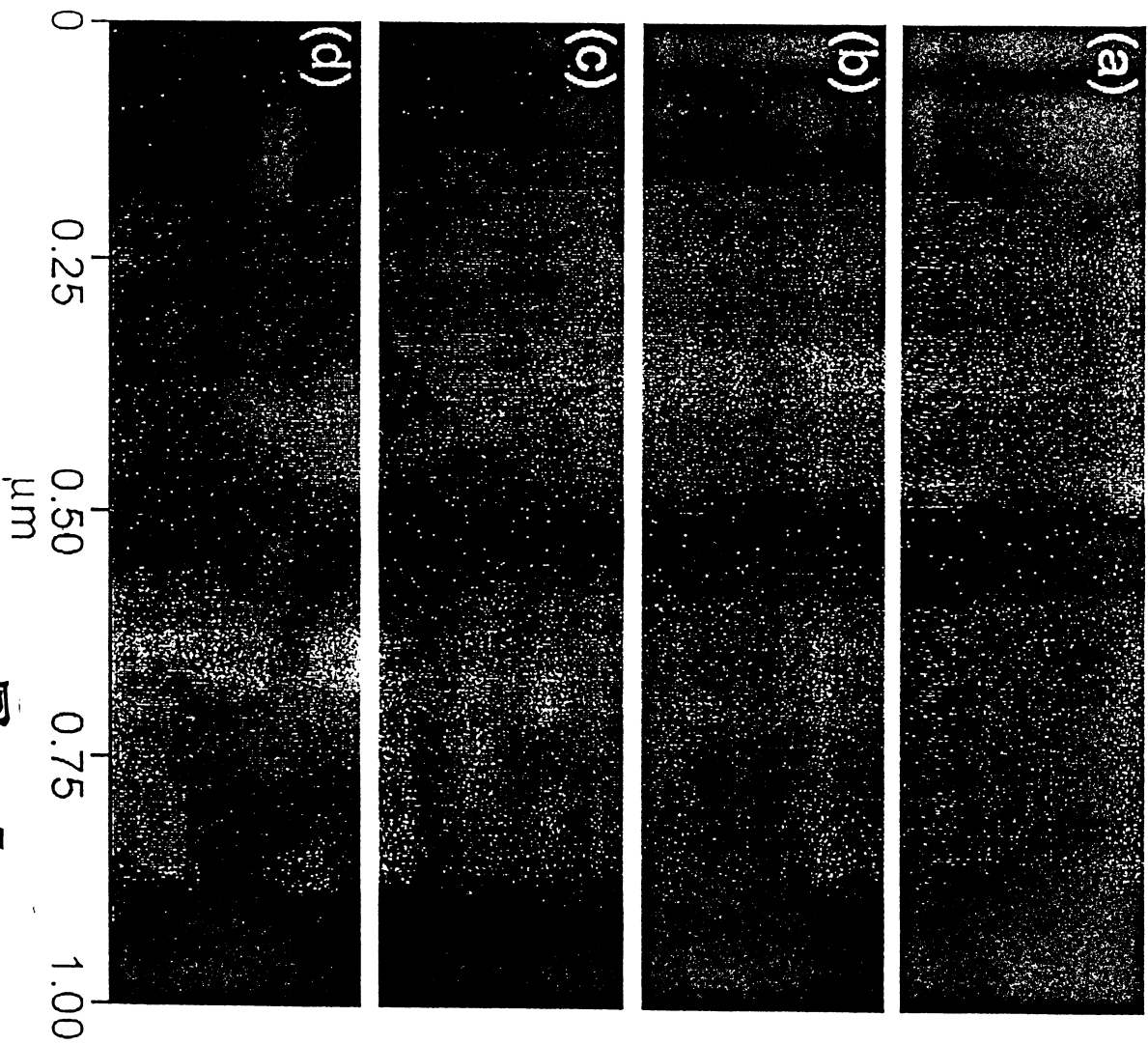


圖 5

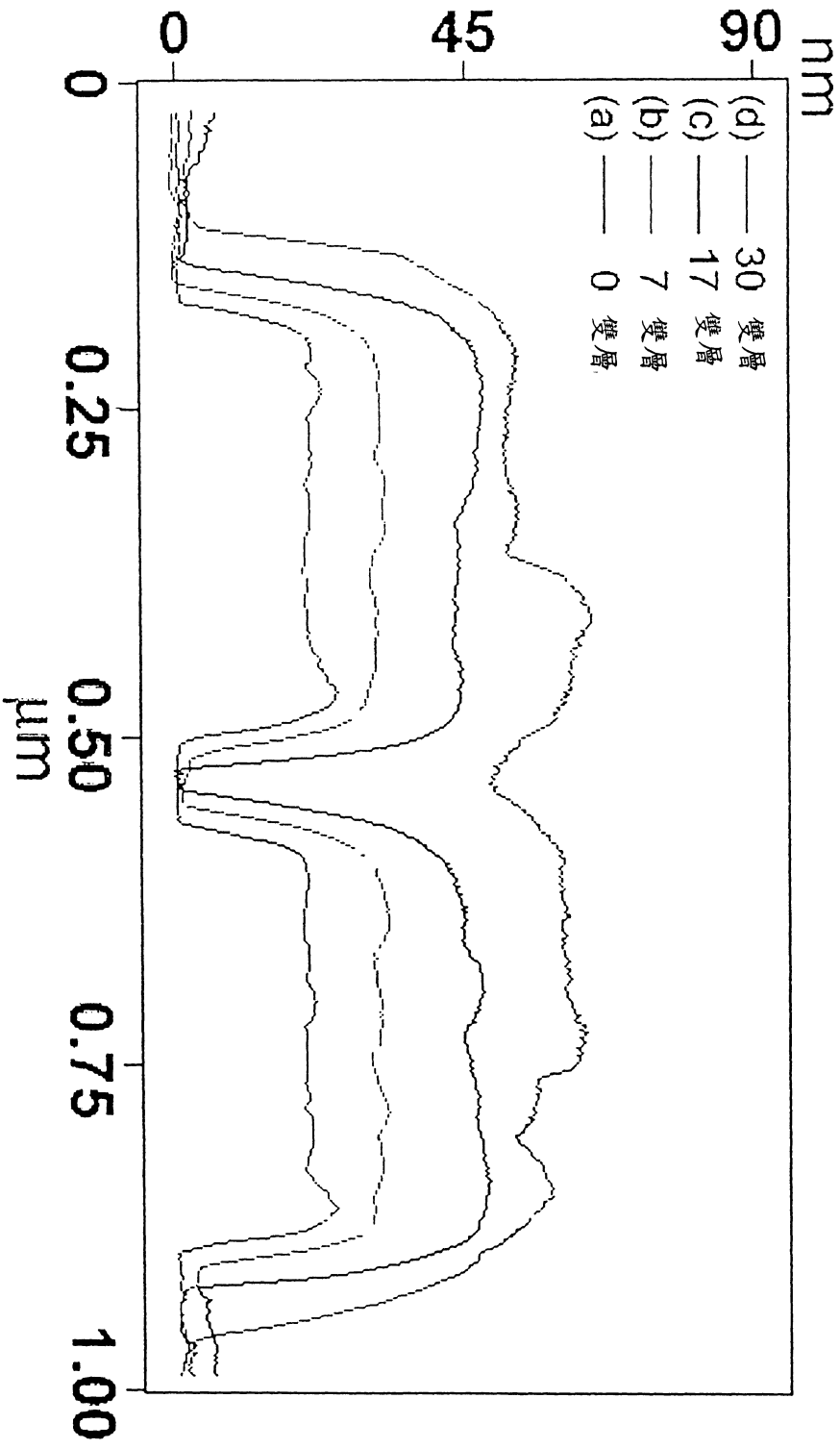


圖 6

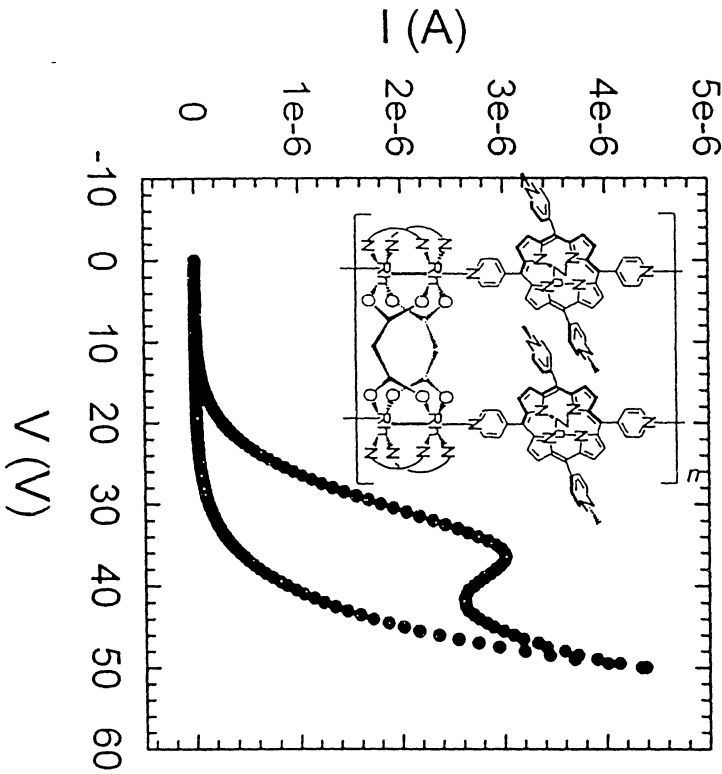


圖 7

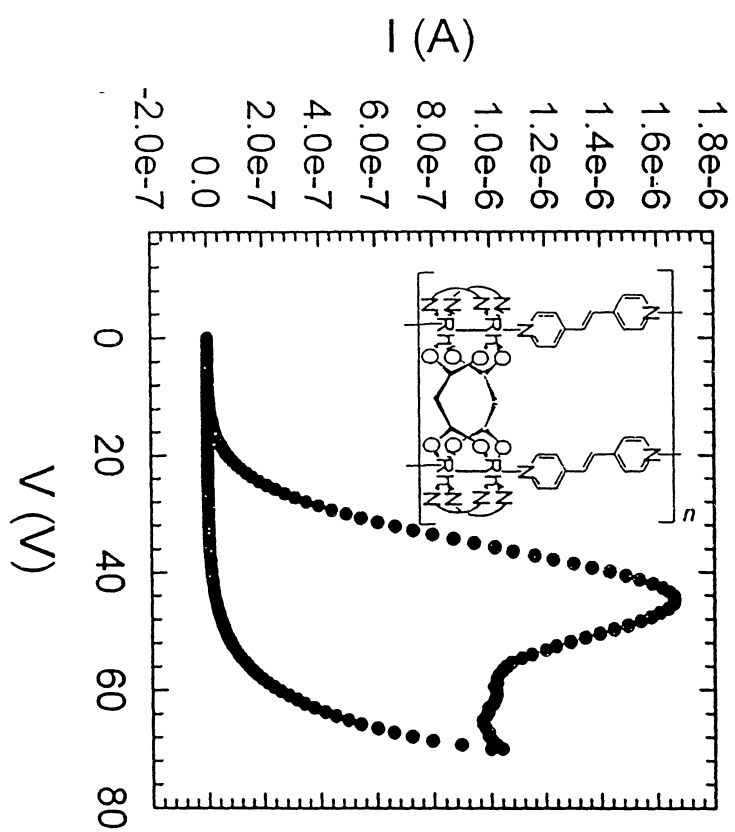


圖 8



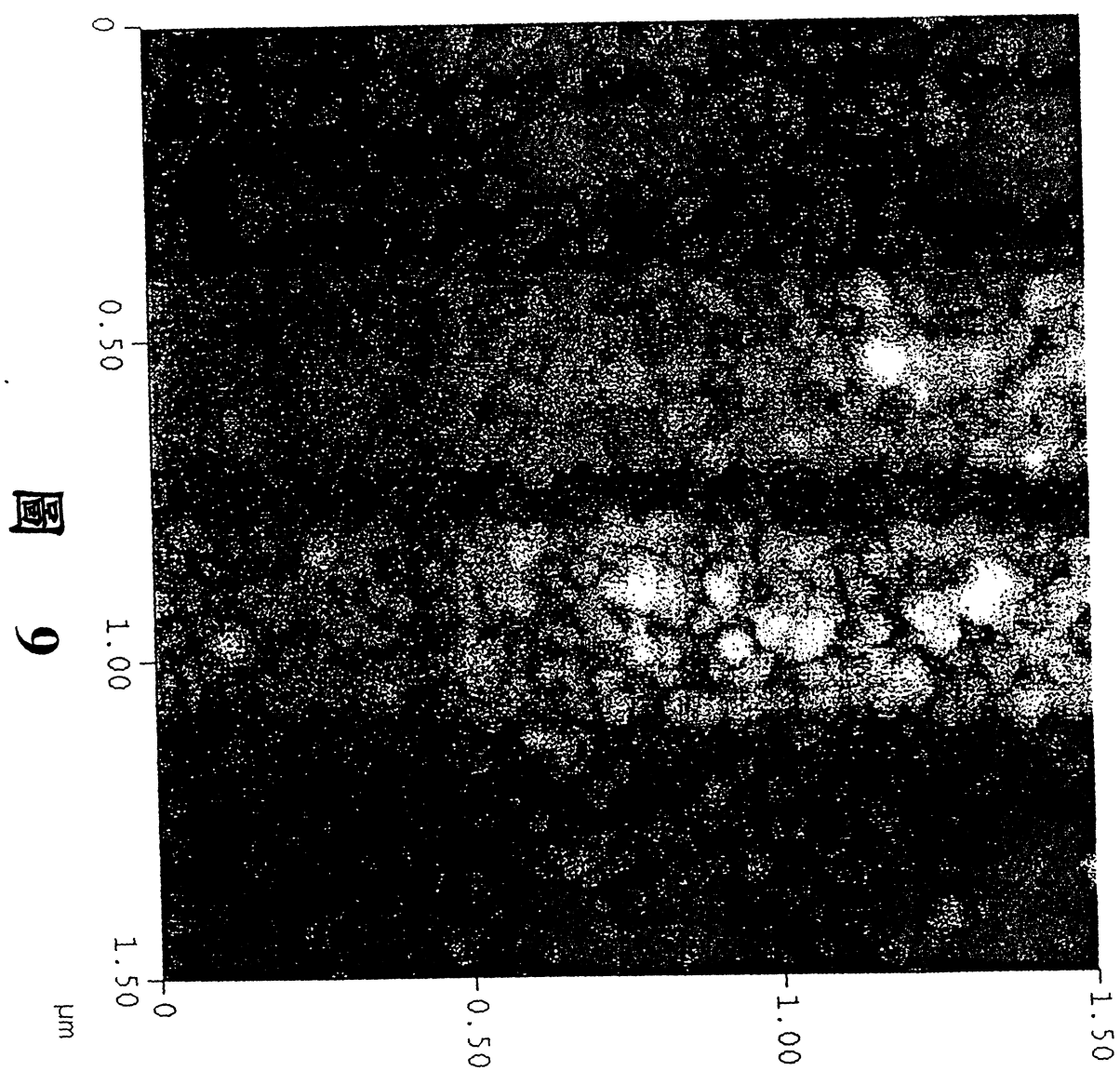


圖 9

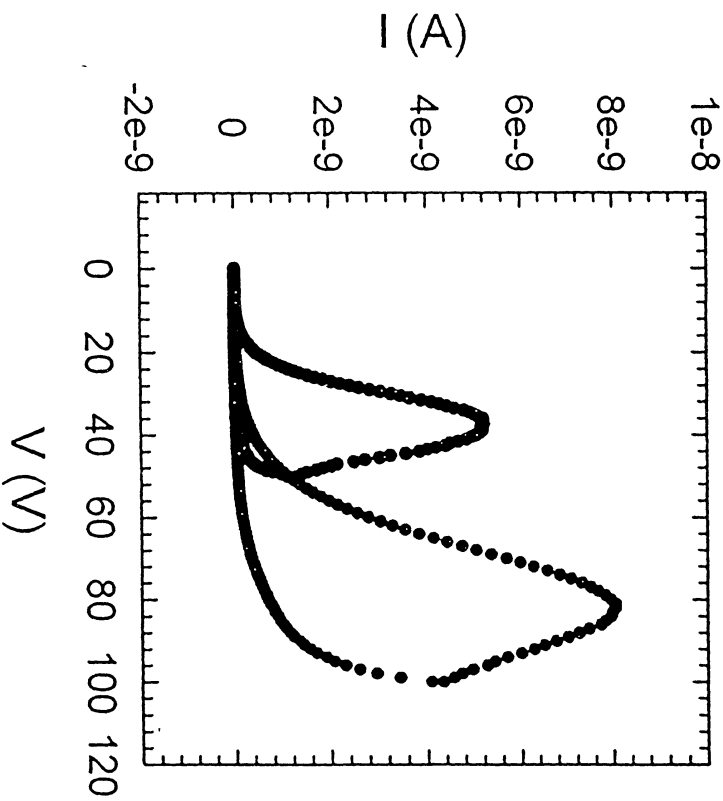
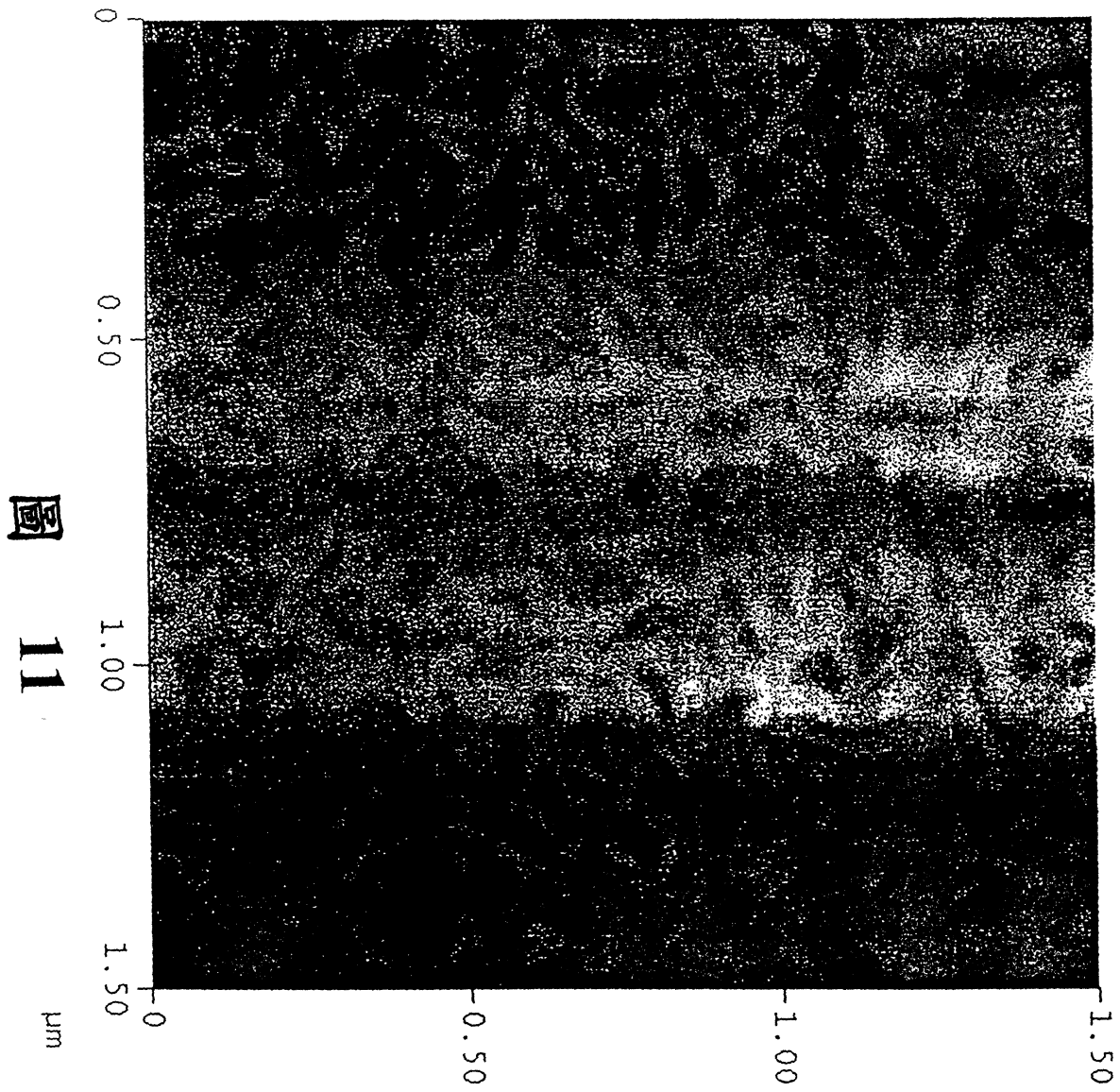


圖 10



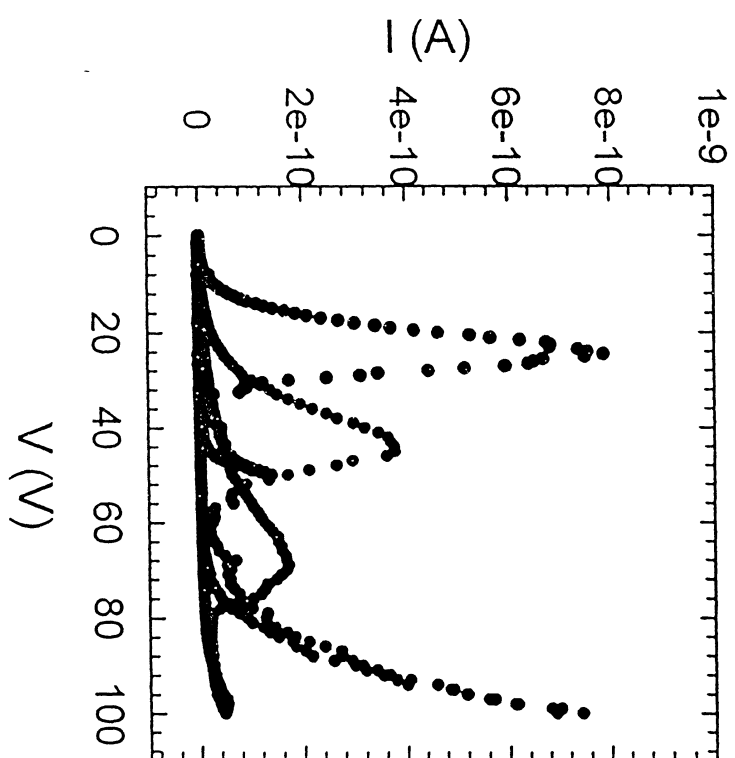


圖 12

柒、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第（ 1 ）圖。

(二)本代表圖之元件代表符號簡單說明：

|       |               |
|-------|---------------|
| 10    | 二接點側向電子裝置     |
| 12    | 金屬-金屬鍵結錯合物材料層 |
| 14，16 | 電極            |
| 18    | 基材            |

捌、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：