



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I753924 B

(45)公告日：中華民國 111 (2022) 年 02 月 01 日

(21)申請案號：106122421

(22)申請日：中華民國 106 (2017) 年 07 月 04 日

(51)Int. Cl. : **H01J35/06 (2006.01)**

(30)優先權：2016/07/07 法國 1601057

(71)申請人：法商達樂股份有限公司 (法國) THALES (FR)
法國

(72)發明人：瑪澤利兒 吉恩 MAZELLIER, JEAN-PAUL (FR)；沙伯特 露西 SABAUT, LUCIE (FR)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

TW 200806075A

TW 201005789A

CN 101022073A

US 2004/0116034A1

US 2010/0045212A1

US 2010/0181896A1

US 2013/0229105A1

審查人員：王志成

申請專利範圍項數：15 項 圖式數：23 共 52 頁

(54)名稱

具有基於奈米管或奈米線的平面陰極的真空電子管

(57)摘要

本發明關於一種真空電子管，其包含配置在一真空室(E)中的至少一電子發射陰極(C)與至少一陽極(A)，該陰極具有一平面化結構，該平面化結構包含一包含一傳導性材料的基板(Sb)、與該基板電性絕緣的複數個奈米管或奈米線元件、實質平行於該基板之該平面的該奈米管或奈米線元件的該縱軸、以及電性連結到至少一奈米管或奈米線元件以致於能夠施加一第一電位(V1)到該奈米線或奈米管元件的至少一第一連接器(CE1)。

The invention relates to a vacuum electron tube comprising at least one electron-emitting cathode (C) and at least one anode (A) arranged in a vacuum chamber (E), the cathode having a planar structure comprising a substrate (Sb) comprising a conductive material, a plurality of nanotube or nanowire elements electrically insulated from the substrate, the longitudinal axis of said nanotube or nanowire elements being substantially parallel to the plane of the substrate, and at least one first connector (CE1) electrically linked to at least one nanotube or nanowire element so as to be able to apply a first electrical potential (V1) to the nanowire or nanotube element.

指定代表圖：

符號簡單說明：

70 . . . 真空電子管

CE1 . . . 第一連接器

S_b . . . 基板

NT . . . 奈米元件

e⁻ . . . 電子

S . . . 表面

I_s . . . 絕緣層

E . . . 真空室

A . . . 陽極

V₀ . . . 電位差

C . . . 電子發射陰極

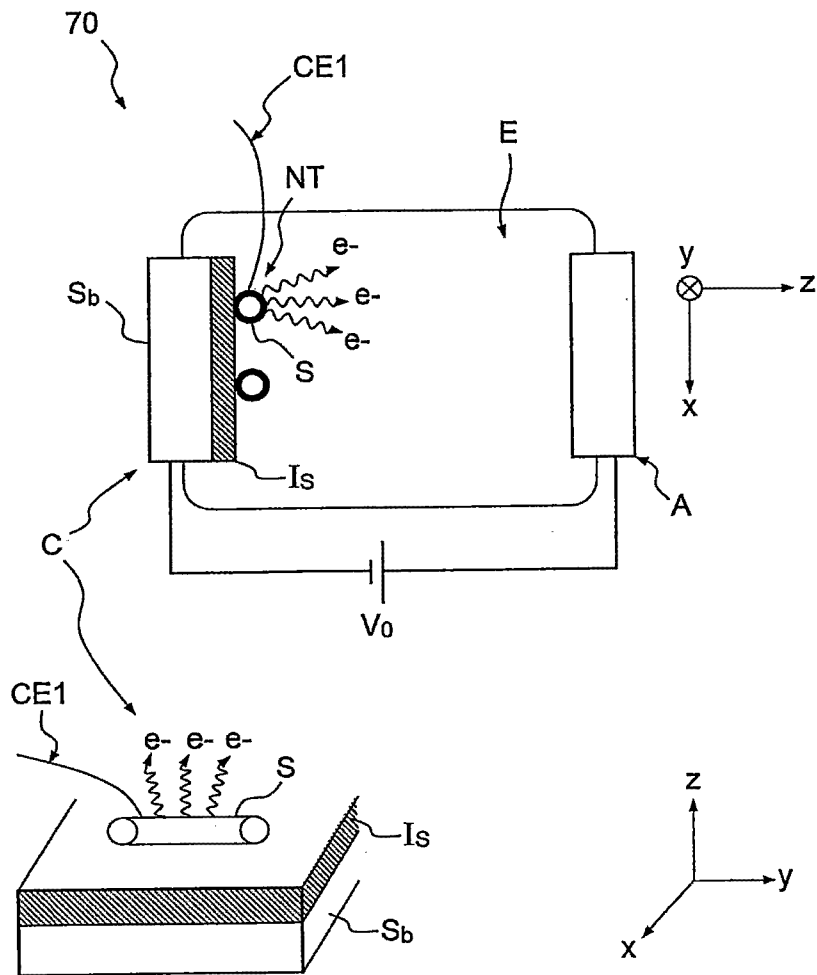


圖 7

I753924

【發明摘要】

【中文發明名稱】

具有基於奈米管或奈米線的平面陰極的真空電子管

【英文發明名稱】

Vacuum electron tube with planar cathode based on nanotubes or nanowires

【中文】

本發明關於一種真空電子管，其包含配置在一真空室(E)中的至少一電子發射陰極(C)與至少一陽極(A)，該陰極具有一平面化結構，該平面化結構包含一包含一傳導性材料的基板(Sb)、與該基板電性絕緣的複數個奈米管或奈米線元件、實質平行於該基板之該平面的該奈米管或奈米線元件的該縱軸、以及電性連結到至少一奈米管或奈米線元件以致於能夠施加一第一電位(V1)到該奈米線或奈米管元件的至少一第一連接器(CE1)。

【 英文 】

The invention relates to a vacuum electron tube comprising at least one electron-emitting cathode (C) and at least one anode (A) arranged in a vacuum chamber (E), the cathode having a planar structure comprising a substrate (Sb) comprising a conductive material, a plurality of nanotube or nanowire elements electrically insulated from the substrate, the longitudinal axis of said nanotube or nanowire elements being substantially parallel to the plane of the substrate, and at least one first connector (CE1) electrically linked to at least one nanotube or nanowire element so as to be able to apply a first electrical potential (V1) to the nanowire or nanotube element.

【指定代表圖】第(7)圖。

【代表圖之符號簡單說明】

70：真空電子管

CE1：第一連接器

S_b：基板

NT：奈米元件

e-：電子

S：表面

I_s：絕緣層

E：真空室

A：陽極

V₀：電位差

C：電子發射陰極

【特徵化學式】無

【發明說明書】

【中文發明名稱】

具有基於奈米管或奈米線的平面陰極的真空電子管

【英文發明名稱】

Vacuum electron tube with planar cathode based on nanotubes or nanowires

【技術領域】

[0001]本發明係關於真空電子管的領域，其應用例如包括X射線管或行波管(TWTs)的產生。更特別地，本發明係關於真空電子管，該真空電子管的陰極係基於奈米管或奈米線元件。

【先前技術】

[0002] 如圖1所示，真空電子管的結構係為已知。電子發射陰極Cath與陽極A係配置在真空室E中。一般介於10KV與500KV之間的電位差 V_0 ，係施加於陽極A與陰極Cath之間，以在該室內產生電場 E_0 ，以允許電子之從陰極萃取及其加速，以產生「電子槍」。電子在電場 E_0 的影響之下，被吸引到陽極。由陽極產生的電場具有3種功能：

[0003] - 從陰極萃取電子(用於冷陰極)，

[0004] - 提供軌跡給電子，以供它們於管中使用。例如，在TWT中，可能可將電子束注入於互動葉輪內，

[0005] - 針對該管的需求，經由電壓梯度，將能量給予電子。例如，在X射線管中，電子的能量控制X射線發射光譜。

[0006] TWT係為電子束傳遞於金屬葉輪中的一種管。RF波係以此葉輪來引導，以便與電子束互動。此互動導致能量在電子束與經放大的RF波之間傳送。TWT因此係為高功率放大器，其例如在電信衛星中發現。

[0007] 在X射線管中，根據一項實施例，電子係由藉在陽極上的影響所制動，且這些減速的電子會發出電磁波。如果電子的最初能量足夠強(至少1keV)，相關的輻射則在X範圍中。根據另一項實施例，高能電子與標的物(陽極)之原子的核心電子互動。所誘發的電子重組伴隨著特徵能量之光子的發射。

[0008] 因此，陰極所發射的電子係由朝向用於X射線管之標的物/陽極(一般由鎢製成)或至用於TWT之互動葉輪的外場E0所加速。

[0009] 為了產生電子的(準)連續發射，可應用兩技術：(I)冷陰極以及(II)熱離子陰極。

[0010] 冷陰極係基於藉由場發射的電子發射：施加到材料的密集電場(數V/nm)允許充分允許電子藉由穿隧效應傳遞到真空之能量障壁的曲率。宏觀地得到此等密集場是不可能的。

[0011] 具有垂直尖端的陰極使用結合尖端效應的場發射。就此而言，在文獻中非常廣泛使用且研發的幾何形

狀在於產生垂直尖端P(具有強縱橫比)於基板上，如圖2所示。藉由尖端效應，在放射器尖端上的場大約可被找到。這場係由在均勻場之尖端所代表的靜電干擾所產生。在此組態中，可施加均勻外場 E_0 。此場的變化可能可控制在放射器尖端的場位準，以及因此對應的發射電流位準。

[0012] 第一閘控陰極，稱為Spindt尖端，係研發於1970年代，且在圖3中繪示。它們的原理係基於使用由控制閘極25所圍繞的傳導性尖端20。一般而言，頂點係在閘極的平面上。在尖端與閘極之間的電位差，可能可調節在尖端之頂點處的電場位準(以及因此所發射的電流)。這些結構對於其針對尖端/閘極對準的之非常高靈敏度而言係為已知，且對於2個元件之間的電絕緣的問題而言係已知。

[0013] 更近期地，尖端發射器已經從碳奈米管或CNTs產生，以與基板成直角垂直地配置。

[0014] 具有碳奈米管CNT的閘控陰極亦例如在專利申請案案號PCT/EP2015/080990中說明且在圖4中繪示。閘極G係配置在各VACNT(代表「垂直對準的CNT」)周圍。

[0015] 場發射起因於在一般金屬材料之表面上的電場。現在，此場直接連結到所施加之電位場的梯度。

[0016] 在習知的陰極(沒有閘極)中，電位場起因於外場之影響的組合以及起因於單獨奈米管的電位。現在，這兩者係被連結。

[0017] 在「閘控」類型的陰極中，在奈米管位準上

的電位場起因於外部電場之影響的組合，起因於奈米管的電位(如前述)，但亦起因於獨立於其它兩者之閘極所誘發的電位。因此，可能可藉由與引入系統內的此新電極一起運作來修改電子發射位準。

[0018] 通常來說，與各發射器有關聯的場放大因子係緊密連結到其高度以及其尖端的曲率半徑。在這兩參數中的分散誘發放大因子分散。現在，穿隧效應係為涉及此放大因子的指數律：因此，藉由考慮一群發射器，僅僅一小部分(其可以是相當低，大約百分之一或更少)實在地參與電子放射。就目標的總電流而言，這需要能夠發射相當高電流的真實發射器(相較於將是均勻且均勻分佈於全部發射器上的發射)。

[0019] 可進行這些尖端形式放射器的產生：

[0020] - 直接在基板上，藉由蝕刻(例如，矽尖端)，藉由直接生長(例如，CNT)。這兩方法必須允許尖端以與基板成直角的優先定位。

[0021] - 或藉由安裝：奈米材料的合成(形式為奈米管/奈米線)，隨後安裝在基板上。以與基板成直角的定位步驟亦為必要。

[0022] 由於直接在基板上生產，所以在文獻中，明顯的半徑/高度分散是已知的。此外，在生長在基板上之CNTs的具體實例中，以與基板成直角的定位則受到控制，但材料的品質則顯著地低於藉由CVD生長所獲得之CNT材料的品質。減少高度分散的一種方式係為在封裝材

料上施行拋光：缺點在於該拋光材料不良的事實，其減少相關的發射性能位準。

[0023] 在隨後安裝在基板上之材料生長的情形中，得到與基板成直角的定位是複雜的(非局部化、不受控制的真實高度等等)。

[0024] 具有基於奈米線、可從文獻得知之平面幾何形狀(沒有與基板成直角的目標定位)的陰極，仍基於尖端效應。不過，為了減輕不與基板成直角的定位，對於帶有發射器之電極而言的反電極則合併在基板中。第一實例係繪示於圖5：Pp尖端類型、ZnO奈米線類型的發射器係與基板平行。其端點之一係連接到電極(陰極Cath)，且反電極(陽極A)可能可在垂直結構的情形中產生均勻場E0的等值。發射仍出現在尖端的頂點處。電子束係從發射器傳播到陽極，而將該束偏轉而在別的地方使用則是可能但卻困難的(顯著地，將其注入到習知的電子管內)。根據相同原理來操作的另一實例，包含閘極G與摻雜多晶矽的尖端Pp，係繪示於圖6中。

[0025] 在真空管的情形中，目標係為使用「遠」離陰極的電子束。在平面化結構的情形中，陽極直接緊鄰發射元件(為了限制所施加的電壓)，其意味著該束在藉由陽極萃取之前行進非常短的距離。它因此無法在真空管中被使用地更遠。

[0026] 熱離子陰極使用熱離子效應來發射電子。此效應在於經由加熱來發射電子。就那而言，配置在細絲之

端點處的兩個電極係被偏置。在兩端點之間之電位差的施加會在細絲中產生電流，其經由焦耳效應來加熱。當它達到特定溫度時(一般而言，攝氏1000度)，會發射電子。實際上，僅僅加熱的事實允許一些電子具有大於金屬真空障壁的熱能量：因此，它們會被自動地萃取到真空。

[0027] 會有襯墊形式的陰極(大約一毫米)，其具有電細絲放置在下面，以確保材料的加熱，其隨後將發射電子。

[0028] 熱離子陰極可能可長期供應高電流於相對中型的真空(例如，達 10^{-6} 毫巴)。不過，此放射則難以快速切換(規模例如是一小部分的GHz)，源極的尺寸係為固定，且它們的溫度會限制它們所合併之數管的緊密度。

[0029] 本發明的一項目標係用以藉由提出真空電子管來減輕以上提及的缺點，該真空電子管具有基於奈米管或奈米線的平面陰極，該等奈米管或奈米線可能可克服連結到使用垂直發射尖端的特定數目限制，同時使用穿隧效應或熱離子效應或兩者之組合。

【發明內容】

[0030] 本發明的目標係為一種真空電子管，其包含配置在真空室中的至少一電子發射陰極與至少一陽極，該陰極具有平面化結構，該平面化結構包含包含傳導性材料的基板、與該基板電性絕緣的複數個奈米管或奈米線元件、實質平行於該基板之該平面的該複數奈米管或奈米線

元件的該縱軸、以及電性連結到至少一奈米管或奈米線元件，以致於能夠施加第一電位到該奈米線或奈米管元件的至少一第一連接器。

[0031] 較佳地，該複數奈米管或奈米線元件彼此實質平行。

[0032] 根據較佳實施例，該第一連接器包含配置在絕緣層上且連結到該奈米管或奈線元件之第一端點的實質平面接觸元件。

[0033] 有利地，該陰極進一步包含連結到該第一連接器與該基板的第一控制構件，且經組態以施加偏壓電壓於該基板與該奈米管元件之間，使得該奈米管或奈米線元件藉由穿隧效應發出電子通過其表面。有利地，該偏壓電壓位於100V與1000V之間。

[0034] 有利地，該複數個奈米管或奈米線元件具有介於1nm與100nm之間的半徑。

[0035] 根據一變體，該陰極包含第二電性連接器，其電性連結到至少一奈米管或奈米線元件，以致於能夠施加第二電位到該奈米管或奈米線元件。

[0036] 根據該變體的較佳實施例，該第一與該第二連接器各別地包含第一與第二實質平面接觸元件，該等平面接觸元件係配置在絕緣層且各別地連結到該奈米管或奈米線元件的第一與第二端。

[0037] 較佳地，該陰極包含同時連結到該第一連接器與該第二連接器的至少一奈米管或奈米線元件。

[0038] 根據一變體，該陰極進一步包含用於加熱該奈米管或奈米線元件的構件。

[0039] 根據此變體的實施例，該陰極包含第二控制構件，其連結到該第一與該第二連接器，且經組態以經由該第一與該第二電位，施加加熱電壓到該奈米管或奈米線元件，以致於產生電流於該奈米管或奈米線元件中，使得該奈米管或奈米線元件透過熱離子效應發出電子通過其表面。較佳地，該加熱電壓位於0.1V與10V之間。

[0040] 根據實施例，該複數個奈米管或奈米線元件部分隱埋在隱埋的絕緣層中。

[0041] 根據實施例，該陰極分成複數個區域，各區域的該複數個奈米管或奈米線元件則連結到不同的第一電連接器，使得施加到各區域的偏壓電壓係獨立且可重新組態。

[0042] 根據變體，該複數個奈米管或奈米線元件係為導體。

[0043] 根據另一變體，該複數個奈米管或奈米線元件係為半導體，且其中該偏壓電壓大於臨界電壓，該奈米線或奈米管元件隨後構成MOS類型之電容器的通道，以致於產生自由載體於該奈米線或奈米管元件中。

[0044] 較佳地，該陰極進一步包含光源，該光源係組態以照明該奈米管或奈米線元件，以致於藉由光生而在該奈米線或奈米管元件中產生自由載體。

【圖式簡單說明】

[0045] 本發明的其它特徵、目的及優點將在閱讀以下詳細說明並參照作為非限制性實例而產生的附圖時變得顯而易見，且其中：

[0046]圖1，已經引用，概略地代表從先前技術已知的真空電子管。

[0047]圖2，已經引用，繪示垂直尖端的陰極。

[0048]圖3，已經引用，顯示從先前技術已知之「閘控電極」的實例。

[0049]圖4，已經引用，概略地代表其閘控陰極係基於從先前技術已知之垂直碳奈米管的真空電子管。

[0050]圖5，已經引用，繪示具有從先前技術已知之奈米管尖端類型之平面幾何形狀之陰極的第一實例。

[0051]圖6，已經引用，繪示具有從先前技術已知之基於尖端之平面幾何形狀之陰極的第二實例。

[0052]圖7繪示根據本發明的真空電子管。

[0053]圖7bis繪示根據本發明之陰極的實施例，奈米管的絕緣係由真空所產生。

[0054]圖8繪示根據本發明之真空電子管的第一較佳變體。

[0055]圖9概略地代表鄰近奈米元件的場線。

[0056]圖10概略地代表在外場存在之下、從奈米管萃取之電子的軌跡。

[0057]圖11繪示根據本發明之管之陰極的較佳變體，

其中至少一奈米元件電性連結到第二連接器。

[0058]圖 12 繪示根據本發明之管之陰極的較佳變體，其中至少一連接器包含配置在絕緣層上的平面接觸元件。

[0059]圖 12bis 繪示根據本發明之管之陰極的實施例，其中至少一連接器包含配置在絕緣層上的平面接觸元件，且奈米管的絕緣係由真空所產生。

[0060]圖 13 繪示僅僅基於穿隧效應、根據本發明之管之陰極的變體。

[0061]圖 14 繪示根據本發明之管之陰極的變體，其中已經連結到第一連接器的至少一奈米元件亦連結到在空間上與第一連接器分開的第二連接器。

[0062]圖 15 繪示基於熱離子效應、根據本發明之管之陰極的變體。

[0063]圖 16 繪示使用穿隧效應與熱離子效應兩者、根據本發明之管之陰極的變體。

[0064]圖 17 繪示包含平面接點且使用穿隧效應與熱離子效應兩者、根據本發明之管之陰極的變體。

[0065]圖 18 繪示奈米元件的實施例，其中這些奈米元件部分隱埋在絕緣層中。

[0066]圖 19 概略地代表根據本發明、分成數區域之陰極的使用實例。

[0067]圖 20 概略地代表根據本發明、分成數區域之陰極的另一使用實例。

[0068]圖 21 繪示根據本發明的陰極變體，其中對兩組

奈米元件而言，至少一平面接點是共用的。

[0069]圖22繪示用於製造奈米管/奈米線的第一方法。

[0070]圖22a概略地代表第一步驟，且圖22b代表第二步驟。

[0071]圖23繪示用於製造奈米管/奈米線的第二方法。

[0072]圖23a概略地代表第一步驟，且圖23b代表第二步驟。

【實施方式】

[0073] 在此提出一種真空管，其基於根據平面幾何形狀而配置的奈米管或奈米線元件，而全部的先前技術總是試圖使用與奈米管/奈米線陰極之形式相關聯的尖端效應，以產生真空管陰極。

[0074] 根據本發明的真空電子管70係繪示於圖7，其說明該裝置之陰極C的剖面圖與透視圖。根據本發明的真空電子管一般而言是X射線管或TWT。

[0075] 真空電子管70包含配置在真空室E中的至少一電子發射陰極C與至少一陽極A。本發明的具體特徵在於陰極的最初結構。管的剩下部分則根據先前技術來定尺寸。

[0076] 管70的至少一陰極C具有平面化結構，該平面化結構包含基板Sb，該基板包含傳導性材料，也就是說，呈現與金屬類似電性行為的材料，且複數個奈米管或奈米線元件NT與基板電性絕緣。根據在圖7所繪示的實施例，

絕緣以沈積在基板上的絕緣層Is來進行，奈米管或奈米線元件NT則配置在絕緣層Is上。平面化結構應該被理解成意味著，奈米管或奈米線元件的縱軸實質平行於絕緣層的平面，如圖7所示。

[0077] 奈米管與奈米線係為所屬技術領域中具有通常知識者已知。奈米管與奈米線係為其直徑小於100奈米且其長度從1微米至數十微米的元件。奈米管主要是中空結構，而奈米線則是固體結構。兩類型的奈米元件在全世界稱為NT，且與根據本發明之真空管的陰極相容。

[0078] 一般而言，基板係為摻雜的矽、摻雜的碳化矽、或與陰極之製造相容的任何其它傳導性材料。

[0079] 陰極進一步包含至少一第一連接器CE1，其電性連結到至少一奈米管或奈米線元件以便能夠施加第一電位到元件NT。第一連接器CE1因此允許電接取到元件NT。由於製造技術的複雜性，陰極的元件NT不一定全部連接。在下文，我們將僅僅聚焦在實際上電性連結到連接器CE1的元件NT。

[0080] 因為平面化結構，正在操作之陰極C的(連接)元件NT自其表面S發射電子。有兩個變體，各變體根據導致電子發射的物理效應，誘發根據本發明之陰極C的具體組態。第一變體基於穿隧效應，第二變體基於熱離子效應，兩個變體能夠組合，以允許電子發射的增加。在稍後會詳細說明這兩變體。

[0081] 元件NT的平面化結構提供許多優點。這可能

可產生在圖7所示的同屬裝置，該同屬裝置與分開或一起使用的兩個上述效果相容。

[0082] 更者，根據本發明之元件NT的製造係從已知的技術建構區塊來完成，並且其不需要如在垂直碳奈米管之情形中的任何PECVD(電漿DC)類型的生長，其明顯放寬在可使用材料以及在電位設計上的限制。尤其可能可產生表面絕緣(目前與PECVD生長不相容)，相較於現有「閘控陰極」設計，其可能可得到較高程度的穩健性。

[0083] 元件NT可藉由在平板上的原位生長(例如，催化劑局部化方法)或藉由用安裝的離位生長方法來產生。這兩方法具有優點與缺點：

[0084] 原位：不需要奈米線/奈米管的安裝、可能局部化。但此方法更受到限制，且難以在事件之後選擇奈米線/奈米管。

[0085] 離位：比起原位生長，獲取更大範圍的生長方法。此方法提供實施方案與該方法之調適更大的彈性，以滿足材料需求。更者，可能可選擇類似尺寸的奈米材料，以減少用於場發射的參數。材料品質控制亦被簡化。最後，廣範圍材料的工業效用提供有利的設計彈性。不過，此方法確實呈現需要安裝步驟與控制密度以確保在2奈米線/奈米管之間目標間隔W的缺點。

[0086] 藉由蝕刻、在基板上產生水平奈米線，其係為針對微電子需求廣泛研究的主題。尺寸縮減與尺寸分散的概念尤其是這些研究的焦點。為了解決此問題，已經成

功地研發了數種策略(光學微影深紫外線(DUV)/極紫外線(EUV); 電子束微影; 「間隔微影」; 等等)。應該注意, 根據本發明之這些奈米線/奈米管的生產與CMOS科技中的閘極生產非常類似, 以工業規模而言, 目前的閘極達到大約10nm的尺寸。

[0087] 較佳地, 為了較佳操作, 奈米管或奈米線元件NT彼此實質平行, 且各元件之間的平均距離W係受到控制。大約絕緣厚度之元件NT之間的平均距離係較佳。平行對準確保更大的整合緊密度以及因此每一表面面積單位之更大數目的主動發射器, 其潛在地增加該結構所發射的電流。

[0088] 根據在圖7bis中繪示的較佳實施例中, 第一連接器CE1包含配置在絕緣層Is上以及連結到元件NT之第一端E1的實質平面接觸元件C1。連接器CE1的製造係被簡化。接觸元件C1一般為金屬, 由在微電子中的材料標準所製成: 鋁、鈦、金、鎢等等。

[0089] 根據亦在圖7bis中繪示的實施例, 奈米元件NT與基板的絕緣係由真空所施行。

[0090] 一般而言, 在製造奈米管中所使用的絕緣層Is已經在奈米管部件之下被移除(犧牲層), 這些奈米管隨後藉由平面接點C1被固定到基板, 就其部分而言, 其藉由絕緣層Is而與基板絕緣。因此, 在此變體中, 藉由實體犧牲層Is, 得到用於平面接點C1的絕緣, 以及藉由真空Vac, 得到用於元件NT的絕緣。

[0091] 因此不再有任何NT/絕緣/真空介面，但僅有NT/真空介面。NTs的熱絕緣係增加。更者，發射表面增加，底部半表面能夠參與所發射的電流(在保證外場E0可能恢復由此底部半表面所發射的電子的情況下)。

[0092]根據在圖8所示的第一較佳變體，陰極架構用於藉由穿隧效應，發射電子經過其表面S。

[0093] 由此，管70的陰極C包含連結到第一連接器CE1、在電壓V1偏壓、且連結到基板Sb、且架構用於施加偏壓電壓 V_{NW} 於基板與奈米管元件之間的第一控制構件MC1。假設 V_{sb} 係為基板的電位，那麼：

$$V_{NW} = V1 - V_{sb}$$

[0094] 為了得到場發射，使電位差 V_{NW} 為負是必要的。基板例如可連結到地面。

[0095] 經由CE1與元件NT接觸的正面實際上與傳導性基板Sb電性絕緣。

[0096] 為了良好絕緣，具有介於100nm與10 μ m之間厚度h的「厚」絕緣層Is係較佳。

[0097] 偏壓電壓 V_{NW} 因此建立於元件NT與基板之間。此偏壓電壓與外部巨觀場E0結合，誘發了在元件NT上的表面場Es。實際上，奈米元件/絕緣/基板系統形成一種電容器，該電容器允許集中在奈米管之小表面S上之大量負電荷的產生，如圖9所示，其產生強電場Es於元件NT的表面上，該電場由在S附近非常靠近在一起的場線90所表示。在第一種情形中，電場Es與元件NT的半徑r成反

比。

[0098] 應該注意，對於真空電子管的需求而言，所施加的外部宏觀場 E_0 基本上是必要的(顯著地，引導在管中發射的電子)。

[0099] 電子之萃取係藉由穿隧效應所施行，且電子徑向地在全部方向發射。外場 E_0 使電子採用全面地與基板成直角的軌跡100，如圖10所示，並且將它們加速。外場 E_0 在此僅僅對萃取稍微有所貢獻(見下文)。

[0100] 相較於用較佳地與基板VACNT成直角之發射器1D的習知方法，在VACNTs的高度/半徑與絕緣之厚度所設定的高度 h 、平面奈米線/奈米管NT的半徑之間有類比。因此，相較於發射器1D與在技術部分之狀態中所解釋之製造中這兩參數的分散問題，本發明提供以下優點。

[0101] 關於發射器的高度，水平發射器元件NT全部均具有恰好相同的高度 h ，不像在習知方法中(一般而言，在垂直奈米管上 $\pm 1\mu\text{m}$ ，一般的高度是5至 $10\mu\text{m}$)，事實上，其相當地減少此參數的分散問題，其係經由使用以習知微電子構件來生產的均勻絕緣層 I_s 而極其簡單地解決。

[0102] 關於奈米管半徑，可能可應用已知的方法，以進一步產生呈現低半徑分散的奈米線/奈米管。進一步，因此產生的奈米材料可藉由許多方法來選擇，以儘可能的減少半徑因子的分散(若考慮到基板上的生長時不可能的事物)。一般可得到半徑分散 $\pm 2\text{nm}$ (相較於就VACNTs而言的 $\pm 20\text{nm}$)。

[0103] 因此，在根據先前技術的陰極中，因為垂直奈米管之高度與半徑的分散，會有有效發射電子的少數奈米管，其每逢一發射器誘發一強電流，強電流構成更大可能性的破壞。

[0104] 在根據本發明的陰極C中，由於較小的分散，每逢一發射器會有較小的電流，且因此陰極會更堅固。

[0105] 進一步，陰極C使得當偏壓電壓 V_{NW} 低或零時，可忽略場效應：真空管70在「正常關閉」模式中操作，其係為在特定醫療X射線管應用中、之後追求之可靠性的元件。

[0106] 亦應該注意，相較於1D類型的發射器，根據本發明之平面奈米元件的尖端效應係以二維產生，且潛在的電子發射表面因此明顯更大。實際上，就1D微尖端而言，表面大約是 $\sim r^2$ ；然而，就平面奈米管而言，就相似的發射器密度而言，其大約 $L \cdot r$ (L 奈米管的長度， r 奈米線的半徑)。針對強總電流而言，在發射表面中的此增益是有利的。

[0107] 為了藉由穿隧效應得到尖端效應與萃取，較佳地，奈米管或奈米線元件NT具有介於1nm與100nm之間的半徑 r 。

[0108] 為了藉由奈米管/奈米線元件NT的場效應(穿隧效應)得到發射，表面電場 E_s 應該位於0.5V/nm與5V/nm之間。此範圍的值經由以下關係決定陰極的尺寸化：

$$E_s = \frac{h/\epsilon_r}{r \cdot \text{acosh} \left[\frac{h/\epsilon_r}{r} \right]} \left(E_0 - \frac{V_{NW}}{h/\epsilon_r} \right)$$

[0109] 其具有：Es是奈米管表面上的場，E0是所施加的外場，V_{NW}是偏壓電壓

[0110] h是存在於NT下面之絕緣層的高度，且ε_r是相對電容率

[0111] r是奈米管/奈米線NT的半徑

[0112] 第一項係為純幾何，其具有一般值10至100。

[0113] 偏壓電壓V_{NW}一般介於100V與1000V之間。

[0114] 一般而言，E0大約0.01V/nm，且項V_{NW}/(h/ε_r)大約0.1V/nm。相較於E0，項V_{NW}/(h/ε_r)是大的，且在第一情形中，就是此第一項有助於得到場Es。在萃取電子中沒使用E0的事實，也就是說，在電子的產生/萃取(經由V_{NW})與加速(經由E0)之間有獨立性的事實，對於X射線管而言是巨大的優勢。

[0115] 根據先前技術，當場E0改變時，發射電流會改變。

[0116] 在根據本發明的陰極中，是偏壓電壓決定發射電流的值，沒有或非常少外場E0。因此，在根據本發明的X射線管中，可能可用對於不同能量而言是相等的發射電流來產生影像。

[0117] 因此，在奈米線/奈米管NT之表面S上可得到數伏特/nm的一般穿隧效應場。

[0118] 其它設計規則可能可改善電子發射：

[0119] - 一般而言，兩發射器NT之間的距離W大於或等於 $h/2$ 。

[0120] - 一般而言， h/r 大於或等於100：例如， $h=1$ 至 $5\mu\text{m}$ ，且 $r=2$ 至 10nm 。

[0121] - 一般而言，在頂部接點與基板之間的可接受偏壓至少大約是 $E_0 \cdot h/\epsilon r$ (亦即，數十伏特)。

[0122] 根據在圖11繪示的較佳變體，陰極C包含電性連結到至少一奈米管或奈米線元件NT以致於能夠施加第二電位V2到奈米元件的第二電連接器CE2。因此會確保更大數量奈米管的良好連接。

[0123] 有利地，陰極包含同時連結到第一連接器CE1與第二連接器CE2的至少一元件NT，以便致使根據本發明的陰極與熱離子效應的使用相容(見下文)。

[0124] 在此組態中，將不同的電位施加到奈米元件的兩端，由於傳導性基板，其係只有在奈米元件與基板之間存在絕緣才有可能。

[0125] 較佳地，為了簡化製造，陰極C包含連接到相同第一連接器及/或連接到相同第二連接器的多個奈米管或奈米線元件NT。

[0126] 較佳地，連接器CE2包含平面接觸元件C2(一般為金屬、由在微電子中的材料標準所製成：鋁、鈦、金、鎢等等)、配置在絕緣層Is上且連結到元件NT的第二端E2，如圖12所示。

[0127] 因此，在絕緣上，一系列的電性接觸元件彼此連結。該等接點較佳地局部平行且以距離 L 放置。在電極之間，有奈米線/奈米管 NT ，使得它們的端點中至少一端點連接到電性接點之一。在兩奈米線/奈米管之間的特徵距離則以 W 表示。

[0128] 圖12對應具有沈積在基板上之實體絕緣層 Is 的實施例。圖12bis繪示在奈米管下面、層 Is 已經移除的實施例，其係亦繪示於圖7bis中，奈米管的絕緣係由存在於奈米管 NT 下面的真空所產生。

[0129] 就根據本發明具有用以僅僅藉由穿隧效應來發射電子之圖12或圖12bis結構的陰極 C 而言，將連接器 $CE1$ 與 $CE2$ 連結在一起是合適的，如圖13所示。在此情形中，電位相等：

$$V1 = V2。$$

[0130] 就控制性的發射而言，較佳地，數元件 NT 之間的距離 W 實質不變且受到控制。實際上，較佳的是觀察大約是絕緣厚度的平均距離，理想狀況是距離 W 的值不變。這可能可最大化每單位表面面積之有效發射器的數目並因此增加相關的發射電流。發射器以最大化相關發射電流且增加陰極之壽命/穩固性的相同方式被要求。

[0131] 以此幾何形狀，可得到每平方毫米50000至100000的密度(由於在正面之接觸繼電器的整合，「填充因子」小於1)。各元件 NT 具有大約 7000nm^2 的發射表面(半表面 S 的有用發射)。

[0132] 每一發射器的標稱發射電流(大約200nA)係可由奈米線/奈米管所接受。

[0133] 根據另一變體，根據本發明的陰極C藉由熱離子效應、藉由加熱元件NT來發射電子。因此，陰極C進一步包含用於加熱奈米管或奈米線元件NT的構件。就那而言，沒有必要具體將元件NT尺寸化，絕緣層Is的高度h或元件NT的半徑r則沒有限制。在此情況中，適合將具有低工函數的材料使用於奈米元件，諸如鎢或鉬。

[0134] 用於加熱奈米管/奈米線的較佳方式係為使電流通到後者內。為了那因素，至少一個奈米管或奈米線元件NT必須同時連結到第一連接器CE1與第二連接器CE2。

[0135] 根據圖14中的實施例，加熱構件包含第二控制構件MC2，其經組態以經由第一電位V1與第二電位V2施加加熱電壓V_{ch}到奈米管或奈米線元件NT。

[0136] 以下適用： $V_{ch} = V1 - V2$

[0137] 電流I因此在奈米管/奈米線元件NT中產生。兩個連接器CE1與CE2必須於奈米管上、在空間上充分地隔開，以允許電流循環。

[0138] 就其中僅使用熱離子效應(沒有偏壓電壓V_{NW}或具體尺寸化)之本發明的變體而言，將元件NT加熱到大於或等於攝氏1000°的加熱溫度是合適的。

[0139] 當熱離子效應結合/補充穿隧效應時(見下文)，大於攝氏600°的加熱溫度是充分的。較佳地，加熱電壓V_{ch}位於0.1V與10V之間。

[0140] 因此，根據本發明而組態的陰極包含至少一控制構件(MC1及/或MC2)，其連結到第一連接器CE1且經組態以施加電位差，使得陰極能自其表面S發射電子。電位差欲施加於：

[0141] - 第一控制構件MC1:在元件NT(V1，經由CE1)與基板Sb(基板的電位VSb)之間，以用於藉由穿隧效應的電子發射(偏壓電壓 $V_{NW} = V1 - VSb$)，

[0142] - 第二控制構件MC2：至元件NT本身(V1，經由CE1，以及V2，經由CE2)，以用於藉由熱離子效應的發射(加熱電壓 $V_{ch} = V1 - V2$)。

[0143] 偏壓電壓與加熱電壓能夠同時施加，以從該兩效應受益。

[0144] 圖15繪示根據本發明的陰極C，其經組態以藉由熱離子效應且基於相同特徵的平面接點C1與C2來發射電子，如在圖12與圖12bis中所說明的那些。經由CE1與CE2(各別藉由接點C1與C2的繼電器)施加的電壓產生電流I於奈米管/奈米線元件NT中。在此情形中，電流I從奈米管NT的一端循環到另一端。

[0145] 根據一項實施例，根據本發明的陰極結合兩個物理電子發射效應，穿隧效應與熱離子效應，如根據圖16的原理所繪示。為了那因素，在基板與奈米元件之間的偏壓電壓 V_{NW} (介於100V與1000V之間)與在奈米元件NT的兩部件之間的電壓 V_{ch} (介於0.1V與10V之間)係同時施加。奈米管NT較佳地具有介於1nm與100nm之間的半徑r，以最

佳化穿隧效應。圖 17 繪示藉由使用兩平面接點 C1 與 C2 之兩種效應的組合。因此，比起當在隔離時使用該兩物理效應，可得到更大的電子發射。實際上，由於該結構是在真空中使用，所以加熱發射元件可能可減少用以發射對減少例如絕緣之尺寸有用之已知電流而施加的場。再者，因為發射元件是「熱的」，所以可避免表面污染的問題(在熱表面上，該等元件不太容易被吸收)。這改善發射的穩定性。

[0146] 真空-絕緣-奈米線/奈米管介面的存在可能會誘發場的局部惡化。因為此介面位於奈米線「下面」，所以減少此效應是較佳的，因為它可在絕緣與不良的電荷效應中導致局部的電子注射。由此，根據在圖 18 所示的實施例，奈米管或奈米線元件 NT 係部分隱埋在隱埋的絕緣層(Isent)中。因此會得到根據奈米線/奈米管之參數的固定場位準。

[0147] 根據變數，層 Isent 係為配置在基板 Sb 上的絕緣層。

[0148] 根據較佳變數，層 Isent 由沈積在絕緣層 Is 上的至少一額外層所組成。實際上，此部分隱埋可在絕緣中引起電子發射，其誘發局部的電荷效應，這些效應「篩選」基板的作用。

[0149] 較佳地，在呈現強介質電容率的材料(稱為「高 k」材料)中，諸如 HfO_2 ， $\epsilon_{\text{HfO}_2}=24$ ，施行局部封裝，以在電容率效應上產生作用，並因此最小化在與絕緣體接

合處之奈米線的場，同時最大化在奈米線之自由部件上的場。根據實施例，隱埋層 I_{sent} 係為由複數層子層製成的多層。場線的結構因此受到較佳控制，且不良的惡化效應會受到限制。更者，在不同層的電容率/介質強度參數上產生作用以最佳化結構中的可施加電壓是可能的。

[0150] 有利地，大概一半的奈米元件隱埋在層 I_{sent} 中。

[0151] 不過，甚至在薄層中，使材料結合強的電容率，可明顯變更有效高度，且在層 I_s 之厚度 h 的尺寸化中，此態樣應該予以列入考慮。

[0152] 根據在圖19與圖20中所示的另一變數，陰極 C 分成數個區域 Z 、 Z' ，各區域包含連結到一個與相同第一電連接器的奈米管或奈米線元件：例如，區域 Z 的元件 NT 連結到 $CE1$ ，且區域 Z' 的元件 NT 連結到 $CE1'$ ， $CE1$ 係不同於 $CE1'$ 。隨後可能施加偏壓電壓 V_{NW} 與 V_{NW}' 到彼此獨立且可重新組態的各區域。發射因此藉由產生許多電性自主的發射區域而被「像素化」，以致於能在空間上調節發射區域。圖19繪示陰極 C ，其包含發射區域 Z ，而區域 Z' 沒有發射，且圖20繪示兩區域 Z 與 Z' 皆發射的陰極 C 。

[0153] 根據先前技術，發射區域的空間調節係由將許多陰極彼此並列放置所產生。

[0154] 陰極之像素化的優點係為，就成影應用而言，最初藉由使用寬發射區域來照明而識別相關區域是可能的，然後一旦已經偵測出相關區域，則施行相關區域的

照明，尺寸較小的發射區域會允許解析度增加。

[0155] 根據在圖21中所示的變體，至少一平面接點C1為兩組奈米元件所共用。奈米元件的網路因此做得更密集。

[0156] 較佳地，奈米管/奈米元件NT係由傳導性材料製成，諸如碳、摻雜的ZnO、摻雜的矽、銀、銅、鎢等等。

[0157] 根據另一實施例，奈米管/奈米線元件係半導體，例如由Si、SiGe、或GaN製成，以便藉由場效應及/或藉由照明誘發存在，其可能可使電子發射的控制增加。

[0158] 奈米線或奈米管元件隨後組成MOS類型之電容器的通道。當偏壓電壓 V_{NW} 大於臨界電壓 V_{th} 時，則會產生載體。

[0159] 在光生載體的情形中，管70進一步包含經組態以照明奈米管或奈米線元件的光源；自由載體隨後藉由光生而產生。

[0160] 半導體奈米元件NT可用來藉由穿隧效應及/或藉由熱離子效應產生電子。

[0161] 透過說明，圖22顯示用於根據本發明製造「由下而上」類型之陰極C的第一方法。在圖22所示的第一步驟中，奈米線/奈米管NT的散佈物已經產生於沈積在傳導性基板Sb的絕緣層Is上（「噴霧」、「浸塗」、電泳）。關鍵點係為在可受控制的奈米線/奈米管之間具有平均距離W。

[0162] 在圖22b所示的第二步驟中，接點係由在先前所產生墊子上的提離所產生。應該注意，接點可在散佈之前產生(較佳地，用於使接點材料表面與絕緣體表面齊平的隱埋接點)，以僅僅具有欲作為最後生產步驟來產生的散佈物。

[0163] 圖23顯示用於根據本發明製造「由上而下」類型之陰極C的第二方法。薄層(意圖為發射器材料)係沈積在絕緣層Is上，本身在傳導性基板Sb上。蝕刻遮罩係在此層上產生，且該材料被蝕刻，以僅僅在基板+絕緣體上留下奈米線/奈米管，如圖23a所示。

[0164] 然後，接點係由在先前所產生墊子上的提離所產生，如圖23b所示。應該注意，如先前，接點可在散佈之前產生(較佳地，用於使接點材料表面與絕緣體表面齊平的隱埋接點)，以僅僅具有欲作為最後生產步驟來產生的散佈物。

【符號說明】

[0165]

A：陽極

C：電子發射陰極

C1：平面接點

C2：平面接點

CE1：第一連接器

CE1'：第一連接器

CE2：第二連接器

CNT：碳奈米管

G：閘極

E：真空室

E0：外場

E1：第一端

E2：第二端

Es：表面場

Es：電場

I：電流

L：奈米線長度

MC1：第一控制構件

MC2：第二控制構件

NT：奈米元件

Is：絕緣層

S：表面

Sb：基板

P：垂直尖端

Pp：尖端

r：奈米線半徑

V0：電位差

V1：第一電位

V2：第二電位

Vac：真空

VACNT：垂直對準碳奈米管

V_{ch}：加熱電壓

V_{NW}：偏壓電壓

V_{NW'}：偏壓電壓

V_{sb}：基板電位

V_{th}：臨界電壓

W：平均距離

1D：發射器

Z：區域

Z'：區域

20：傳導性尖端

25：控制閘極

70：真空電子管

90：場線

100：軌跡

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種真空電子管，包含配置在真空室(E)中的至少一電子發射陰極(C)與至少一陽極(A)，該陰極具有平面化結構，該平面化結構包含包含傳導性材料的基板(Sb)、與該基板電性絕緣的複數個奈米管或奈米線元件、實質平行於該基板之該平面的該複數奈米管或奈米線元件的縱軸、以及電性連結到至少一奈米管或奈米線元件，以致於能夠施加第一電位(V1)到該奈米線或奈米管元件的至少一第一連接器(CE1)，

第一控制構件(MC1)，連結到該第一連接器(CE1)與該基板(Sb)，且經組態以施加偏壓電壓(V_{NW})於該基板與該奈米管元件之間，使得該奈米管或奈米線元件藉由穿隧效應發出電子通過其表面(S)。

【第2項】

如申請專利範圍第1項之真空電子管，其中該複數奈米管或奈米線元件彼此實質平行。

【第3項】

如申請專利範圍第1項或第2項之真空電子管，其中該第一連接器(CE1)包含配置在一絕緣層(Is)上且連結到該奈米管或奈線元件之第一端點(E1)的實質平面接觸元件(C1)。

【第4項】

如申請專利範圍第1項或第2項之真空電子管，其中該

偏壓電壓位於 100V 與 1000V 之間。

【第5項】

如申請專利範圍第 1 項或第 2 項之真空電子管，其中該複數個奈米管或奈米線元件 (NT) 具有介於 1nm 與 100nm 之間的半徑 (r)。

【第6項】

如申請專利範圍第 1 項或第 2 項之真空電子管，其中該陰極包含第二電性連接器 (CE2)，其電性連結到至少一奈米管或奈米線元件 (NT)，以致於能夠施加第二電位 (V2) 到該奈米管或奈米線元件。

【第7項】

如申請專利範圍第 6 項之真空電子管，其中該第一與該第二連接器 (CE1、CE2) 各別地包含第一 (C1) 與第二 (C2) 實質平面接觸元件，該等平面接觸元件係配置在絕緣層且各別地連結到該奈米管或奈米線元件的第一 (E1) 與第二 (E2) 端。

【第8項】

如申請專利範圍第 6 項之真空電子管，其中該第二連接器 (CE2) 連結到該第一連接器 (CE1)，並且其中該第一電位 (V1) 和該第二電位 (V2) 相等。

【第9項】

如申請專利範圍第 6 項之真空電子管，其中該陰極包含至少一奈米管或奈米線元件同時連結到該第一 (CE1) 與該第二 (CE2) 連接器，並且包含第二控制構件 (MC2)，其連

結到該第一(CE1)與該第二(CE2)連接器，且經組態以經由該第一(V1)與該第二(V2)電位，施加加熱電壓(V_{ch})到該奈米管或奈米線元件(NT)，以致於產生電流(I)於該奈米管或奈米線元件(NT)中，使得該奈米管或奈米線元件透過熱離子效應發出電子通過其表面(S)。

【第10項】

如申請專利範圍第9項之真空電子管，其中該加熱電壓位於0.1V與10V之間。

【第11項】

如申請專利範圍第1項或第2項之真空電子管，其中該複數個奈米管或奈米線元件(NT)部分隱埋在隱埋的絕緣層(Isent)中。

【第12項】

如申請專利範圍第1項之真空電子管，其中該陰極(C)分成複數個區域(Z、Z')，各區域(Z、Z')的該複數個奈米管或奈米線元件則連結到不同的第一電連接器(CE1、CE1')，使得施加到各區域的偏壓電壓(V_{NW}、V_{NW'})係獨立且可重新組態。

【第13項】

如申請專利範圍第1項或第2項之真空電子管，其中該複數個奈米管或奈米線元件係為導體。

【第14項】

如申請專利範圍第1項之真空電子管，其中該複數個奈米管或奈米線元件係為半導體，且其中該偏壓電壓

(V_{NW})大於臨界電壓(V_{th})，該奈米線或奈米管元件接著構成 MOS 類型之電容器的通道，以致於產生自由載體於該奈米線或奈米管元件中。

【第 15 項】

如申請專利範圍第 14 項之真空電子管，其中該陰極進一步包含光源，該光源係組態以照明該奈米管或奈米線元件，以致於藉由光生而在該奈米線或奈米管元件中產生自由載體。

【發明圖式】

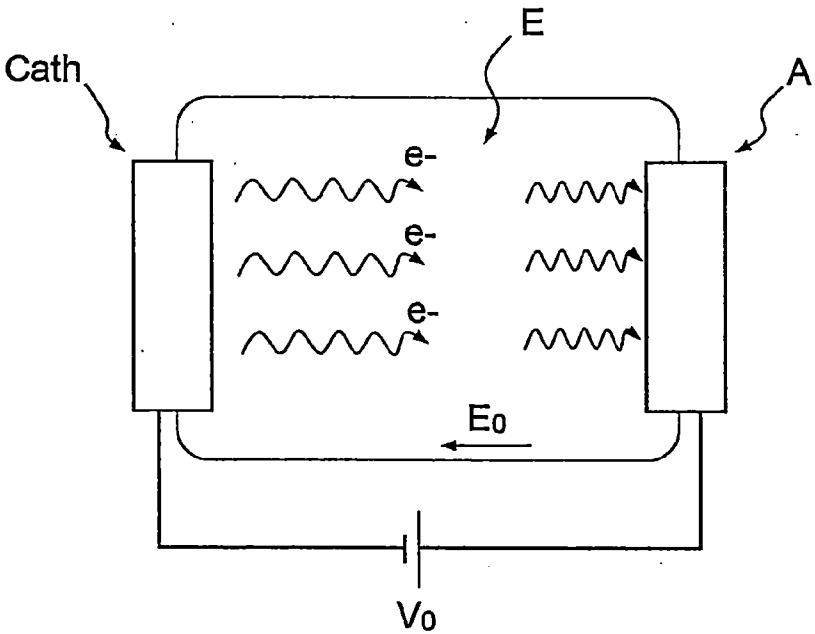


圖 1

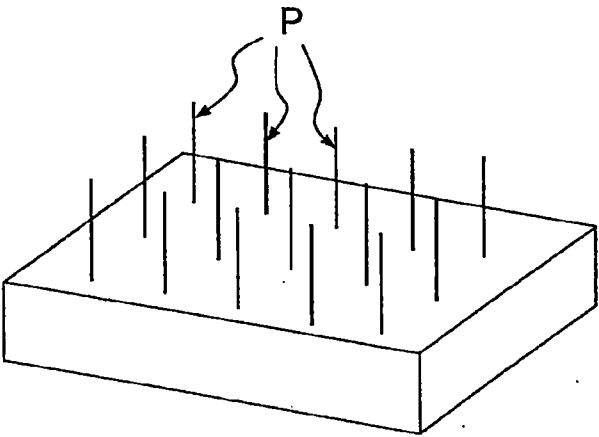


圖 2

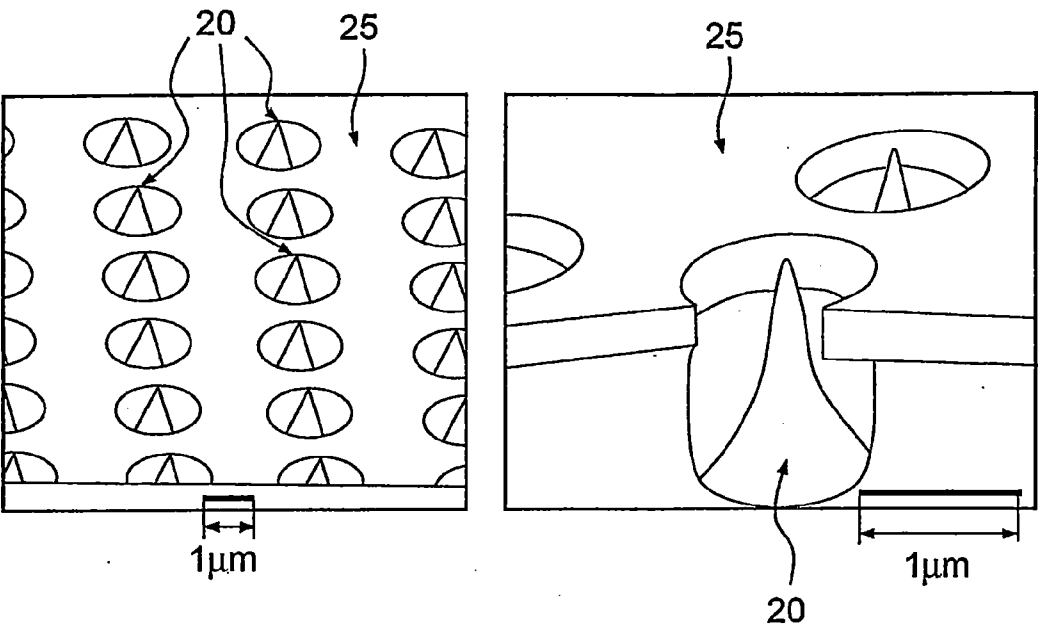


圖 3

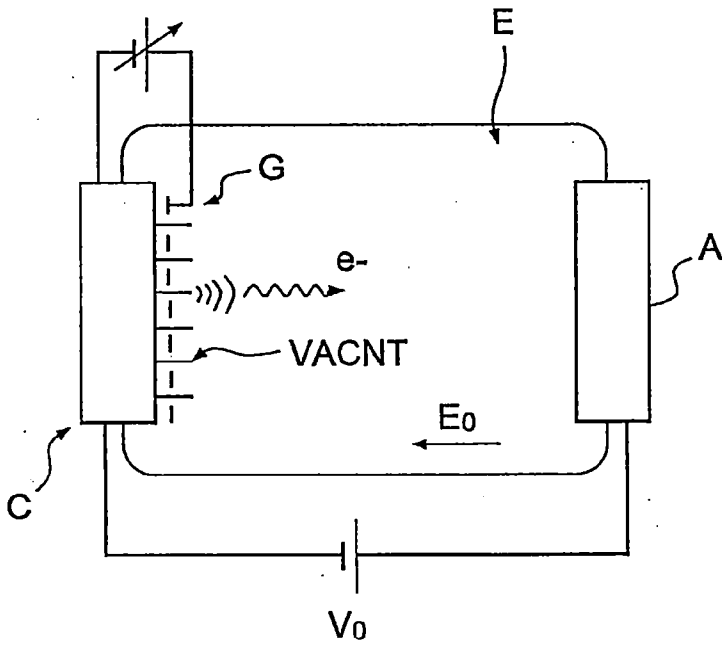


圖 4

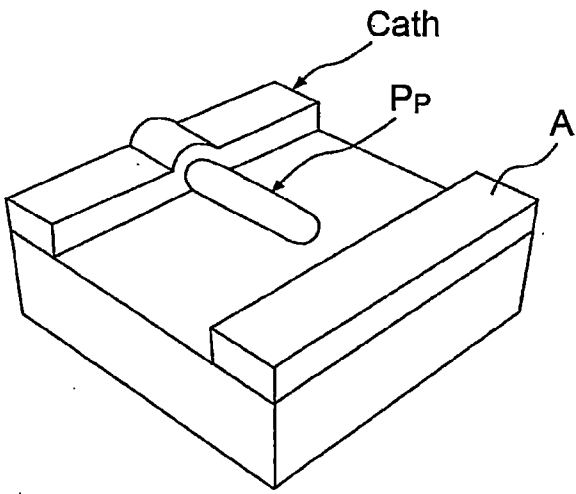


圖 5

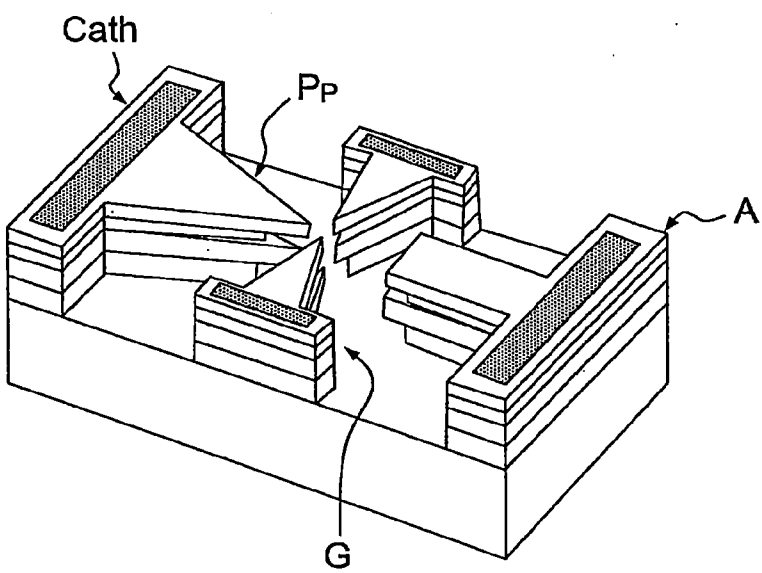


圖 6

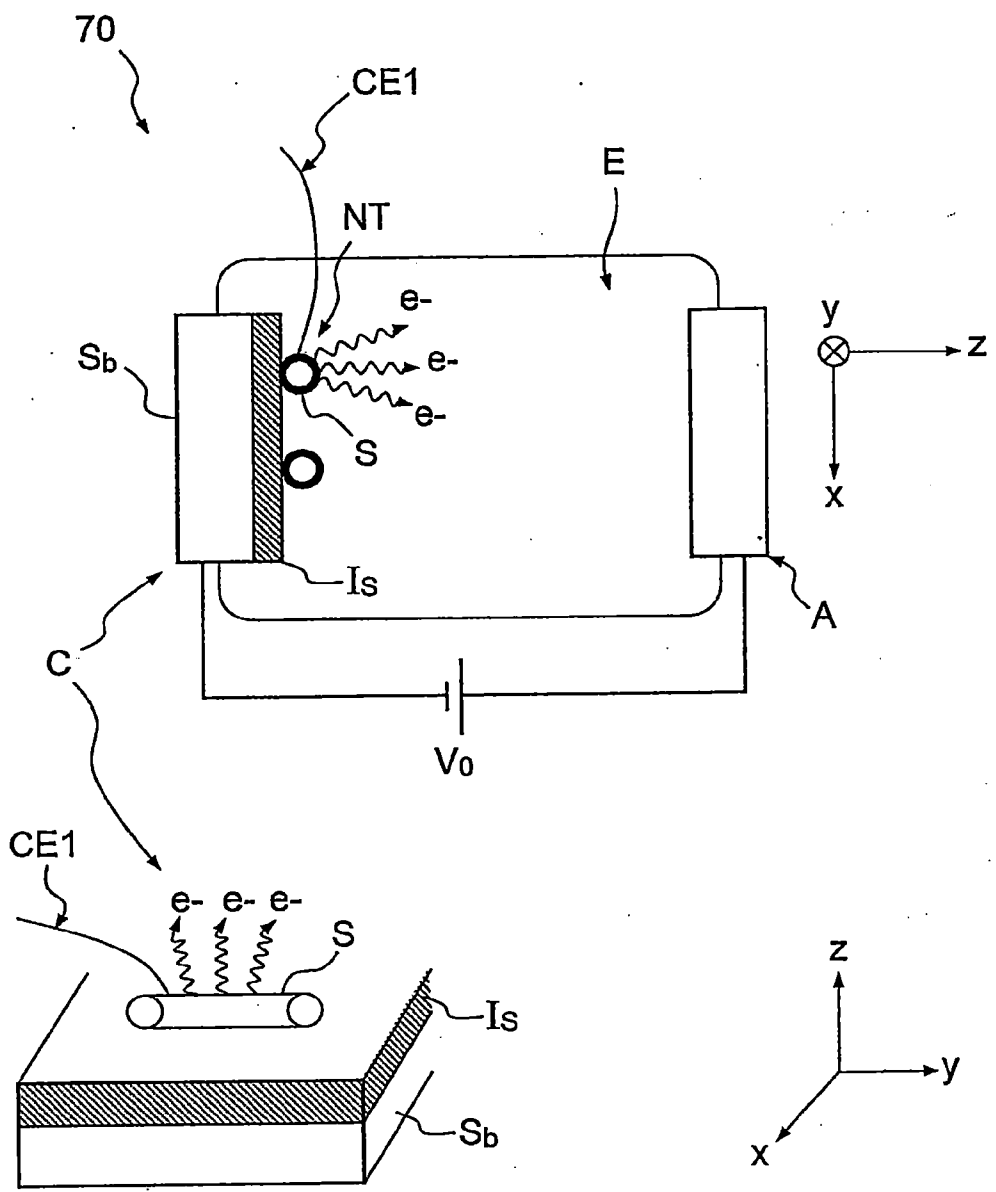


圖 7

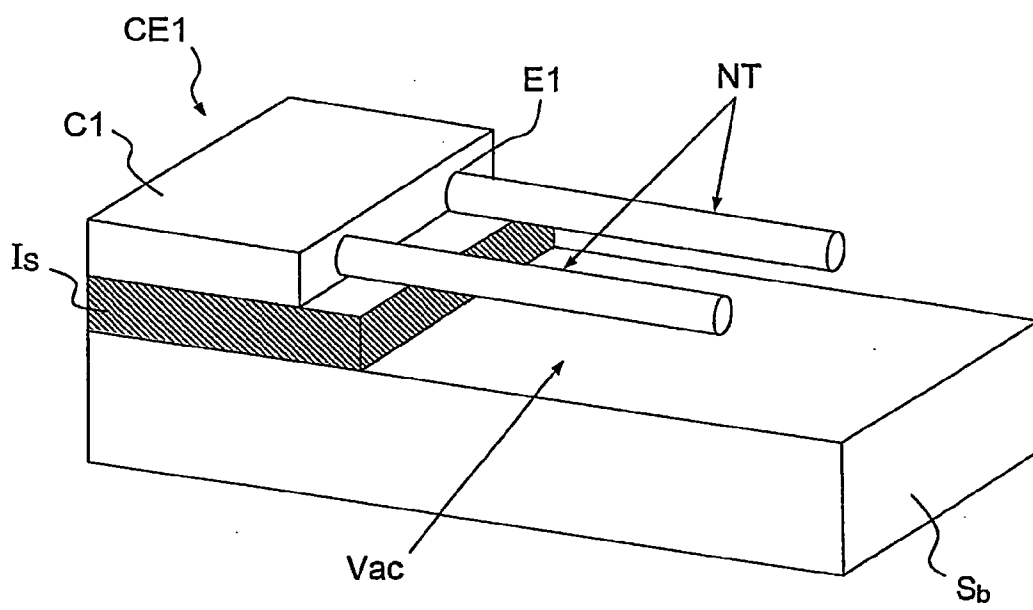


圖 7bis

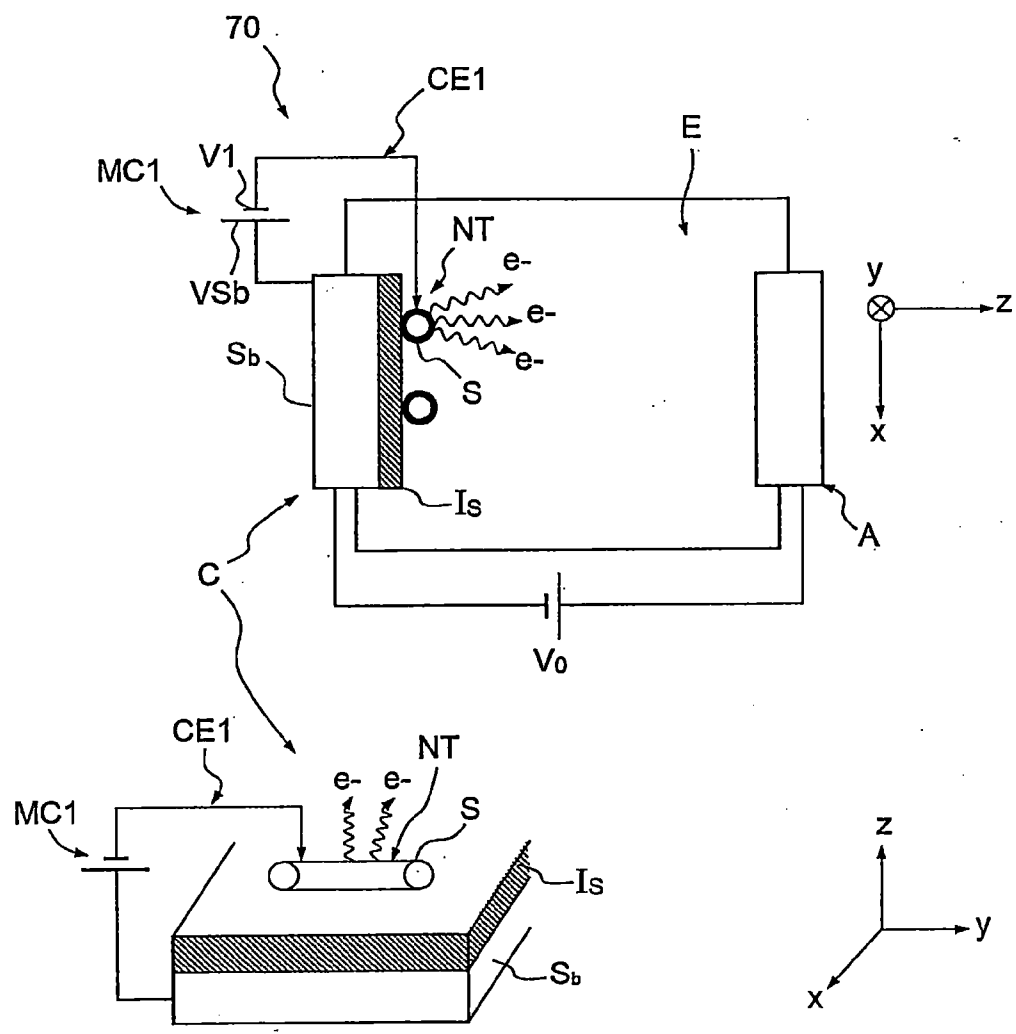


圖 8

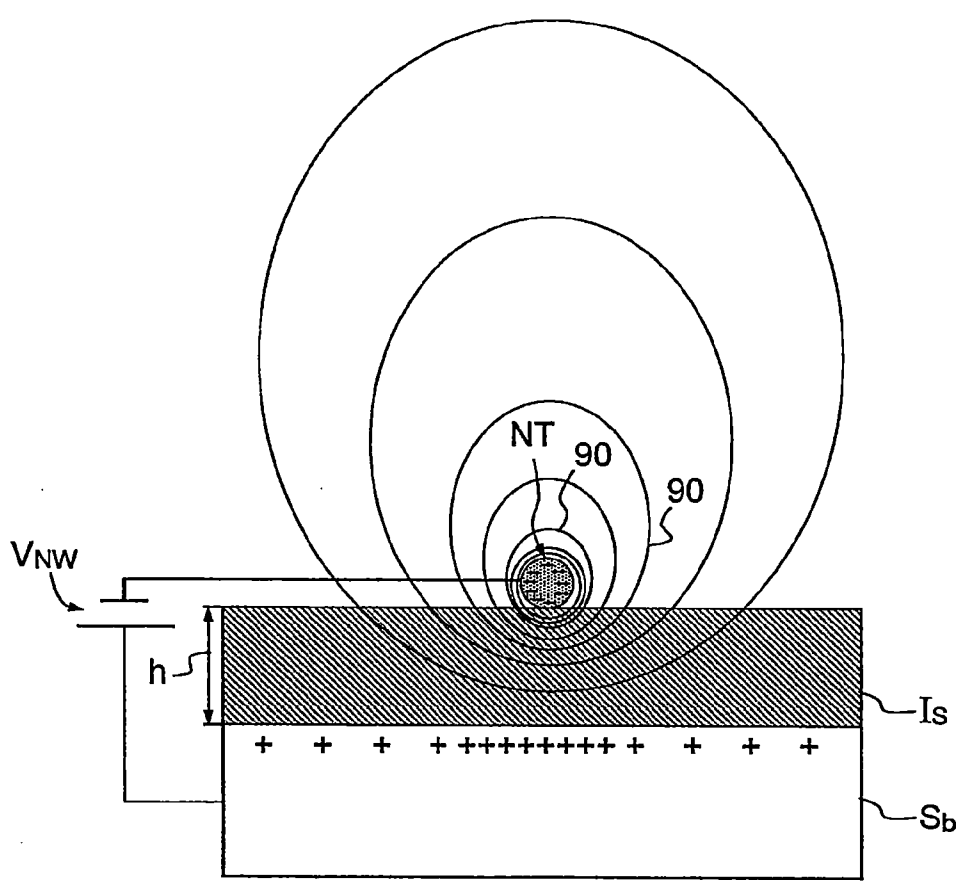


圖 9

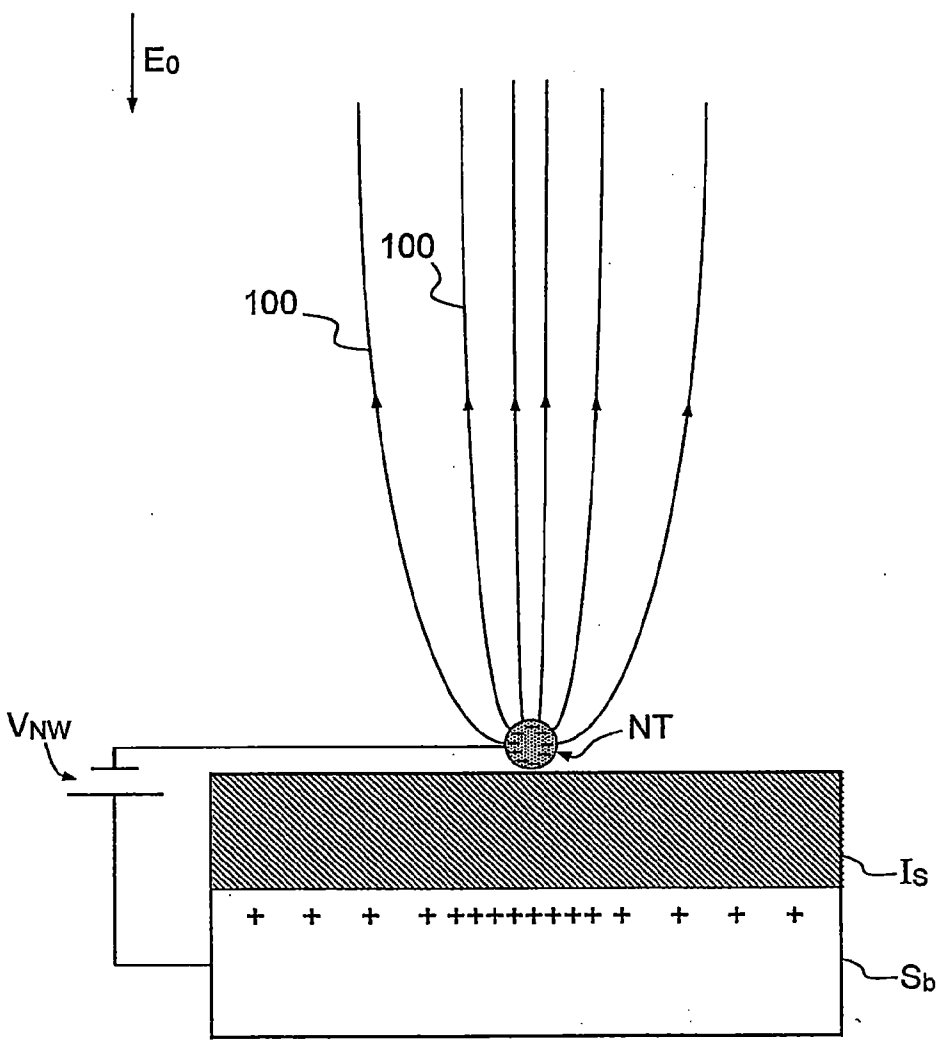


圖 10

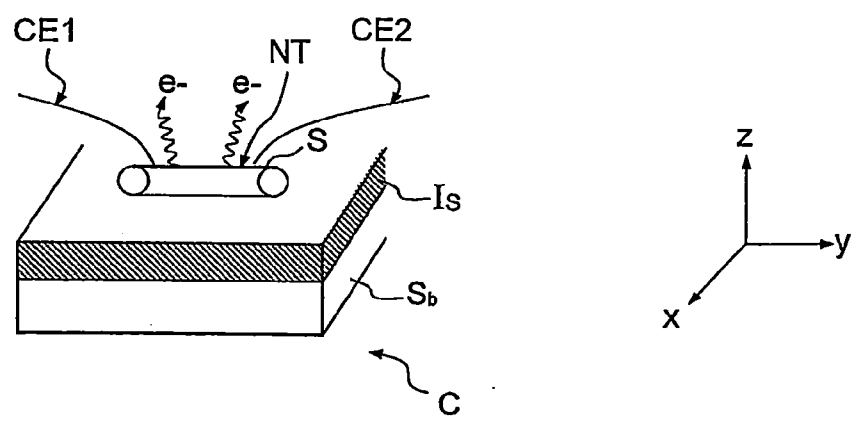


圖 11

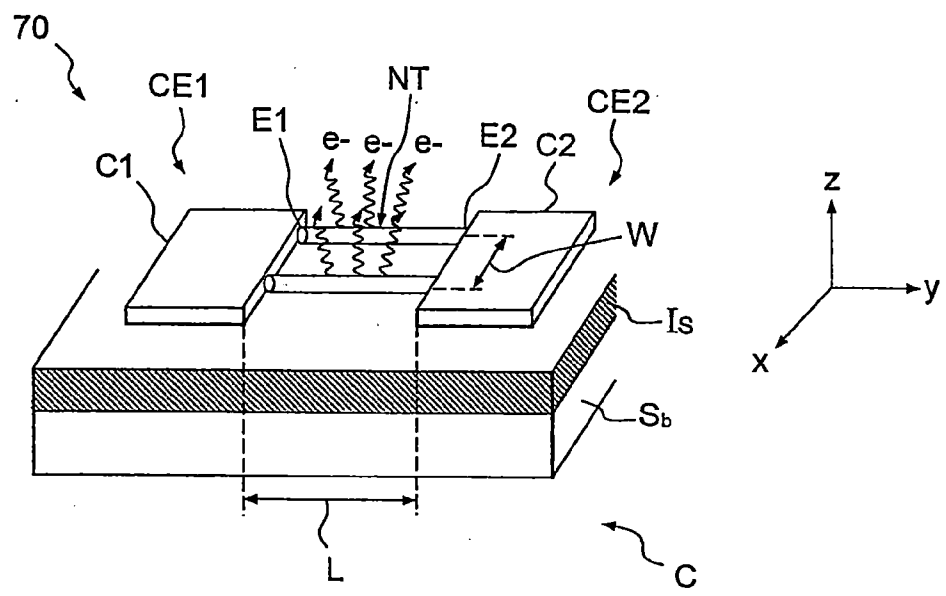


圖 12

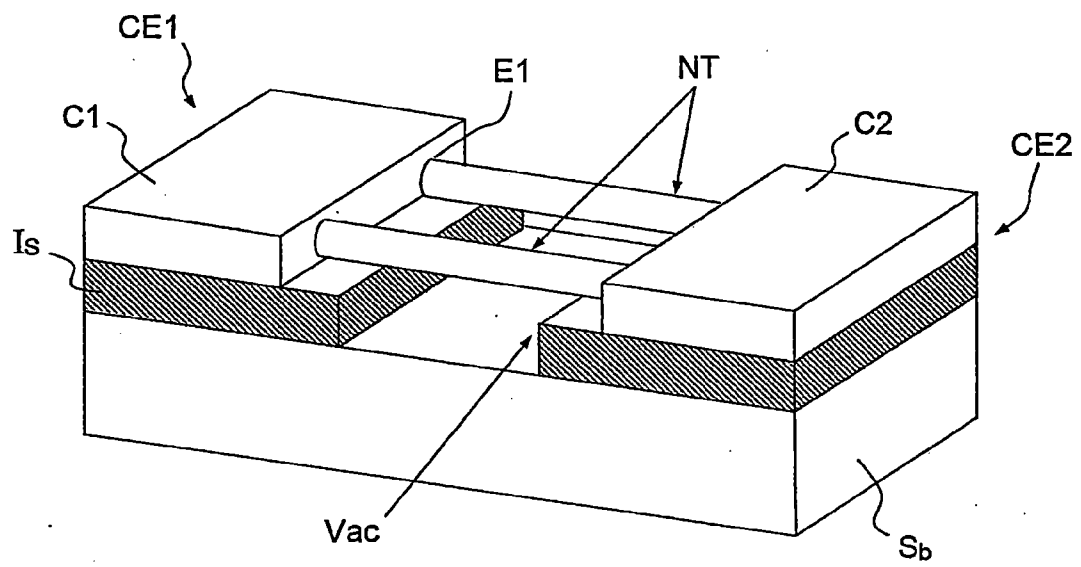


圖 12bis

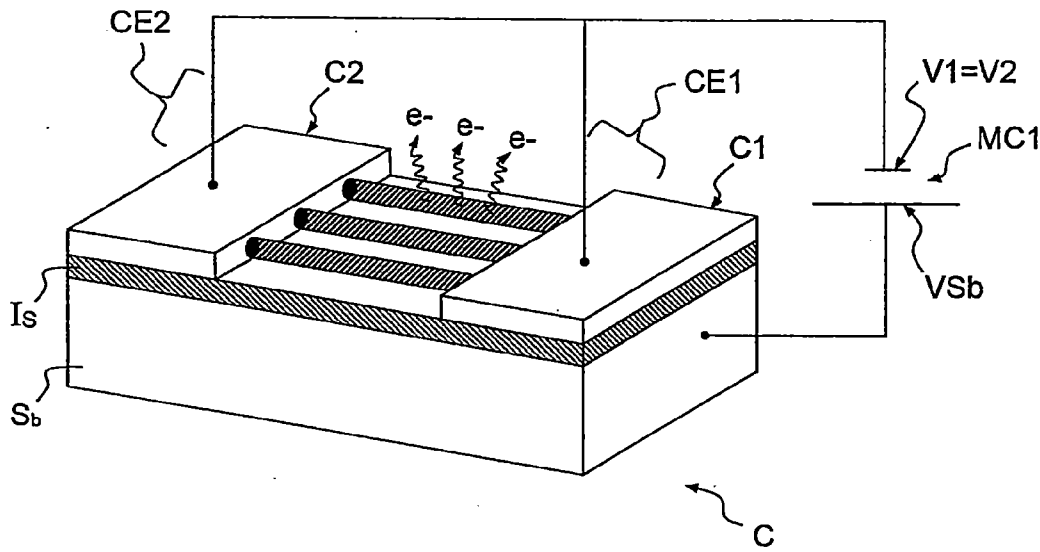


圖 13

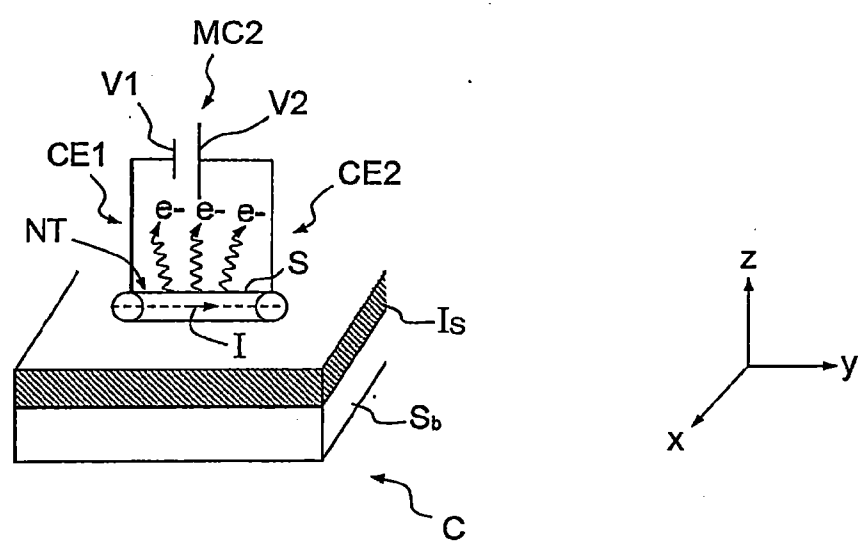


圖 14

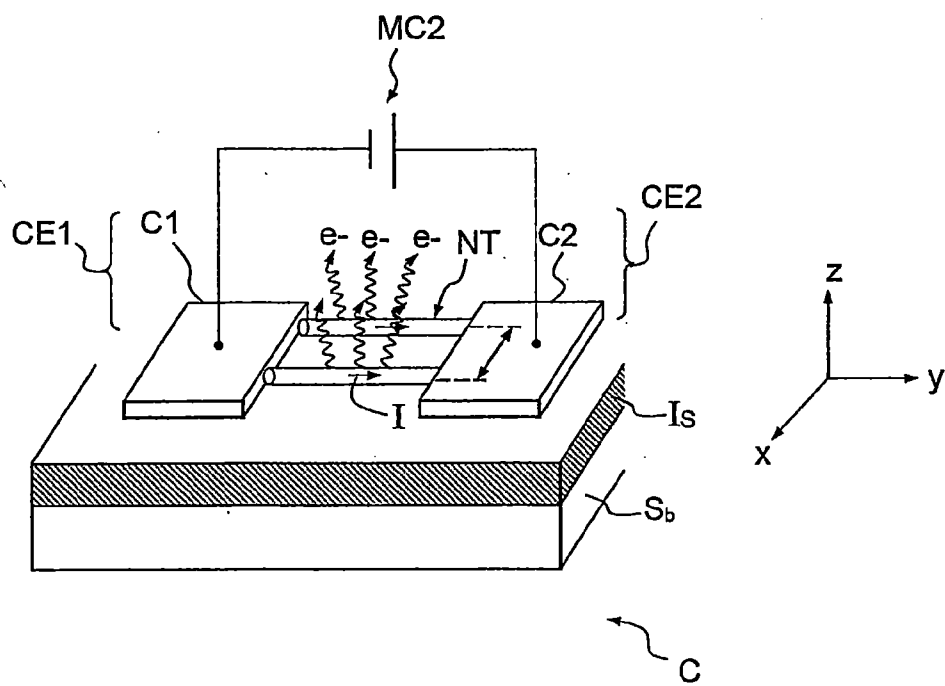


圖 15

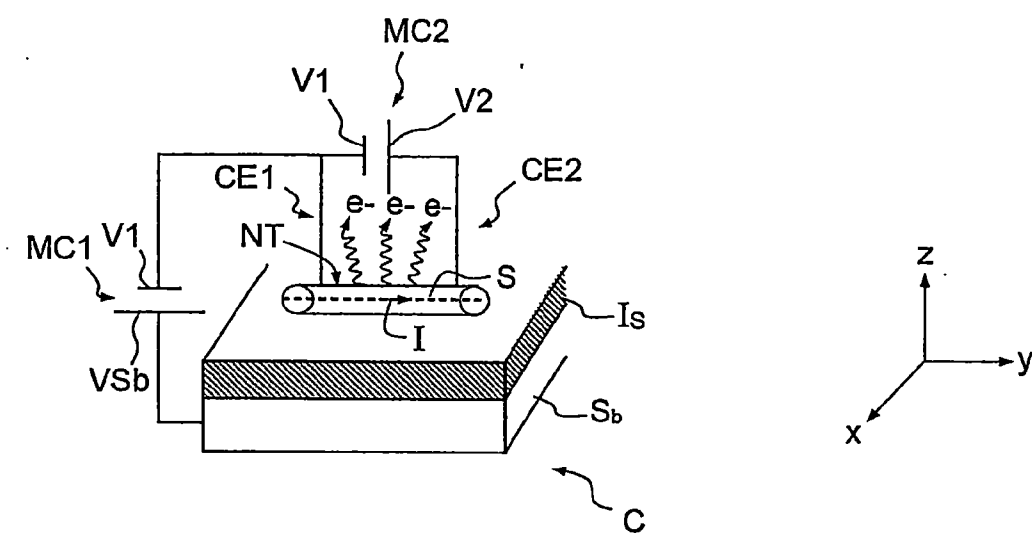


圖 16

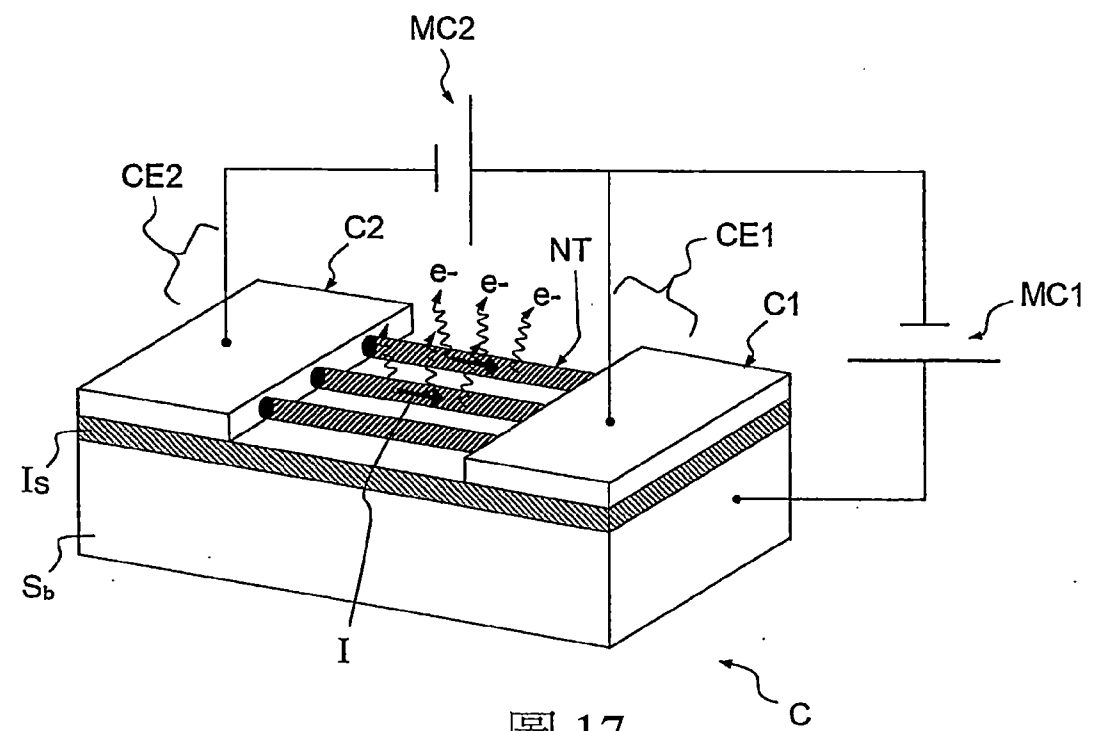


圖 17

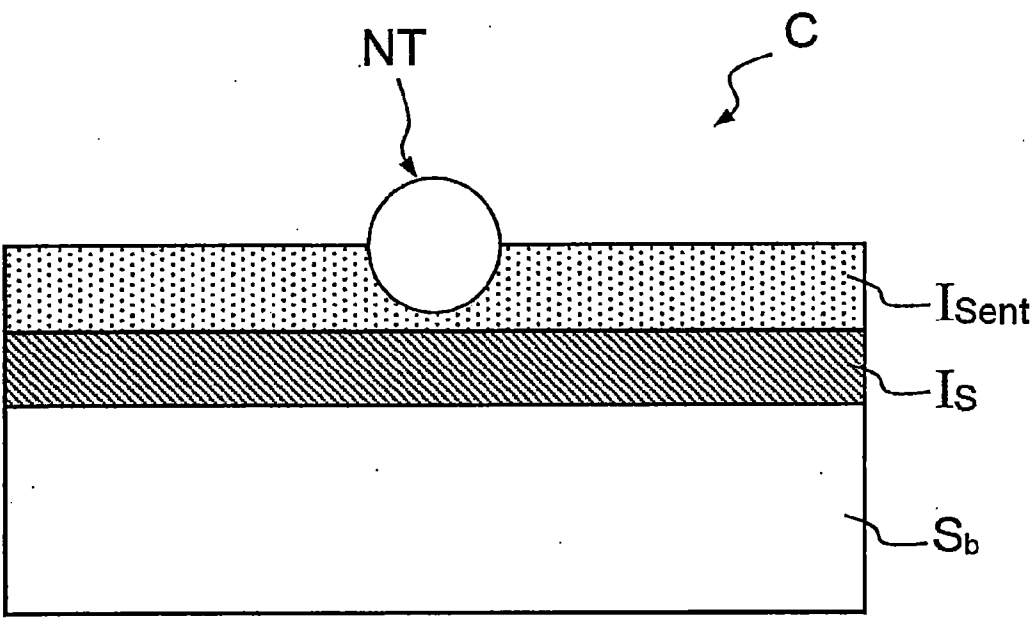


圖 18

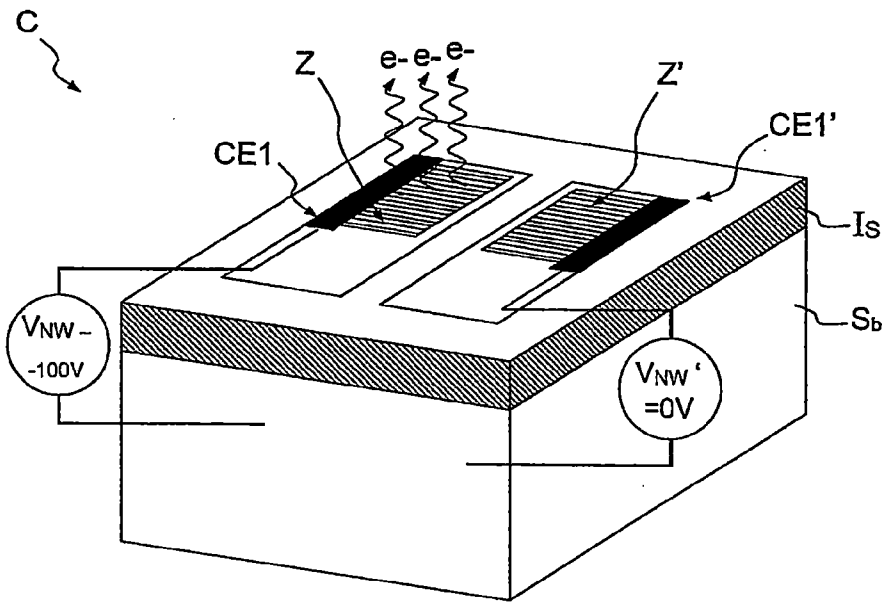


圖 19

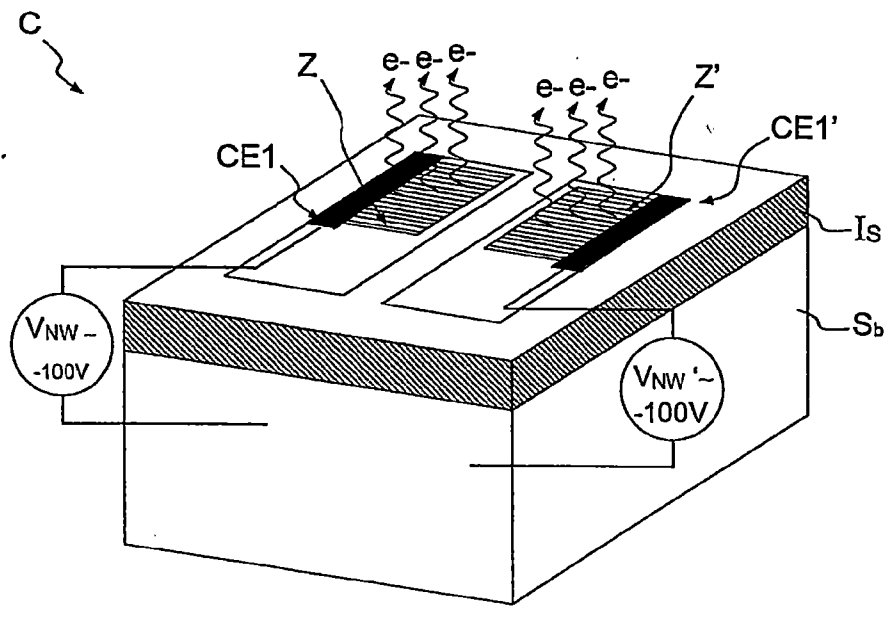


圖 20

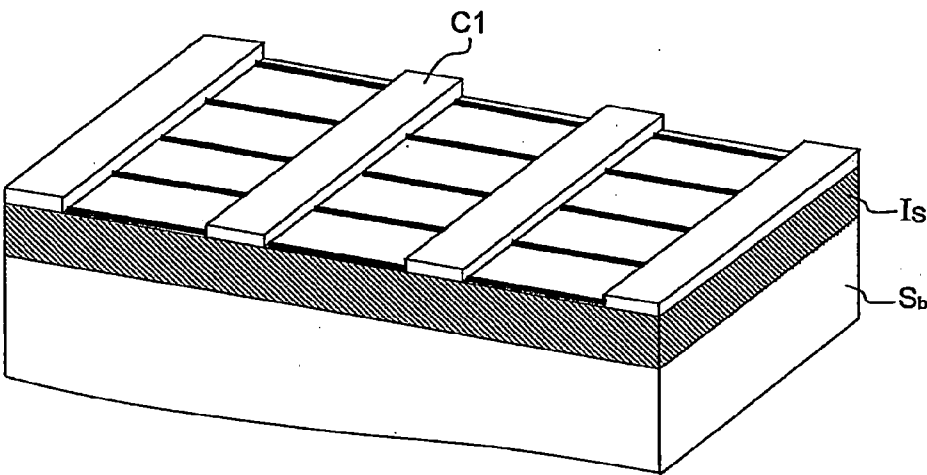


圖 21

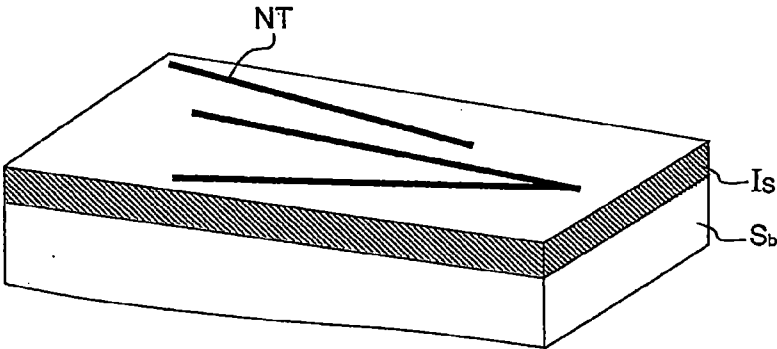


圖 22a

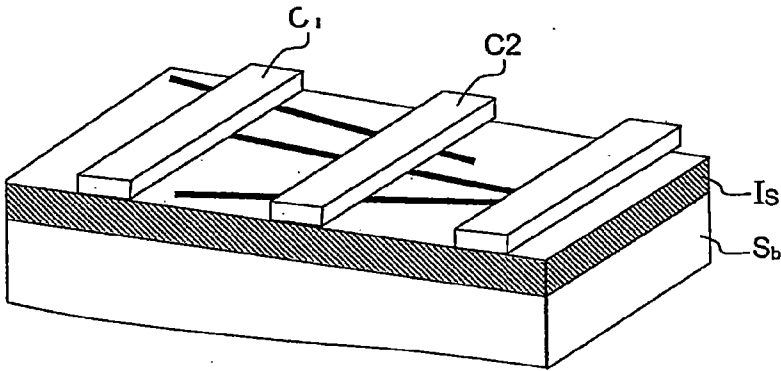


圖 22b

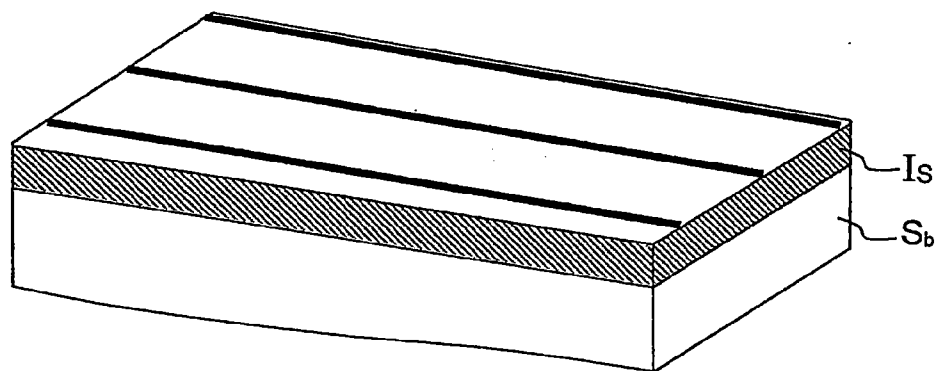


圖 23a

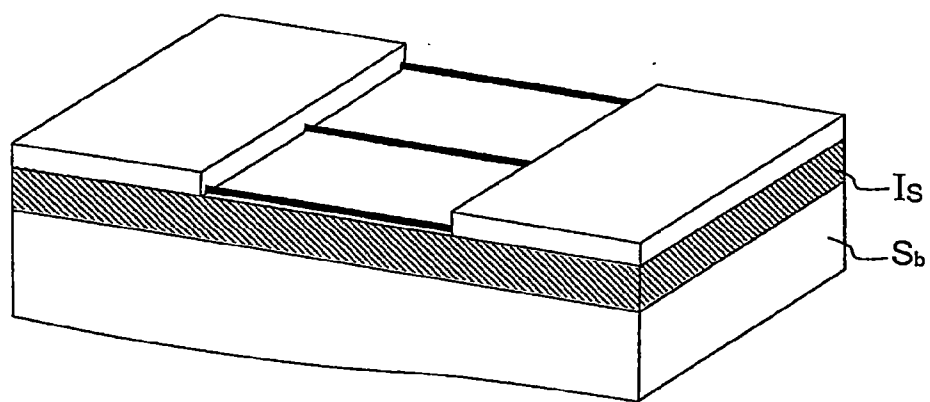


圖 23b