

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：92120200

※申請日期：92.7.24. ※IPC 分類：G11C11/16 (2006.01)

壹、發明名稱：(中文/英文)

使用自旋過濾器效果的自旋電晶體以及使用此自旋電晶體的非揮發性記憶體

SPIN TRANSISTORS BASED ON SPIN FILTER
EFFECTS AND NONVOLATILE MEMORY USING THE
SPIN TRANSISTORS

貳、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

科學技術振興事業團

JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY CORPORATION

代表人：(中文/英文)(簽章) 沖村 憲樹 KAZUKI OKIMURA

住居所或營業所地址：(中文/英文)

日本埼玉縣川口市本町四丁目 1 番 8 號

1-8, HON-CHO 4-CHOME, KAWAGUCHI-SHI, SAITAMA 332-0012 JAPAN

國 籍：(中文/英文) 日本 JP

參、發明人：(共 2 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 菅原聰 SATOSHI SUGAHARA
2. 田中雅明 MASA AKI TANAKA

住居所地址：(中文/英文)

1. 日本神奈川縣橫濱市中區本牧原 21-1-603
21-1-603, HONMOKUHARA, NAKA-KU, YOKOHAMA-SHI,
KANAGAWA 231-0821 JAPAN
2. 日本埼玉縣埼玉市綠區井沼方 647-6-201
647-6-201, INUMAKATA, MIDORI-KU, SAITAMA-SHI,
SAITAMA 336-0921 JAPAN

國 籍：(中文/英文) 日本 JP

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 主張國際優先權：

【格式請依：受理國家（地區）；申請日；申請案號數 順序註記】

1. 日本；2002/07/25；2002-217336
2. 日本；2003/03/26；2003-86145
- 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

本發明為一種新型的電晶體，更詳細說是關於一種電晶體，其輸出特性與載體的自旋方向有依存性，及使用該電晶體的非揮發性記憶電路(非揮發性記憶體)。

先前技術

先前，使用於微電腦等電子機器的半導體記憶體，由動作速度及積集度的觀點看來，以使用 DRAM(Dynamic Random Access Memory，動態隨機存取記憶體)為主。但，DRAM 在保持記憶時，需消耗能量，又電源切斷時有記憶內容消失之問題點，難以對應近年的省能源化或移動式機器的要求。為對應上述的要求，需要新型的記憶體，具備高速度、高積集度、低耗電率特徵外，再加備新的非揮發性特徵。

MRAM(Magneto-resistive Random Access Memory，磁阻隨機存取記憶體)不僅實現了與 DRAM 同等的動作速度、積集度外，尚具有作為第二世代記憶體之所謂的非揮發特徵而備受注目。MRAM 依強磁性體的磁化方向記憶資訊，該磁化方向的資訊，可利用自旋閥(spin valve)元件的巨大磁阻效果，或強磁性穿隧接合(MTJ：Magnetic Tunnel Junction)的穿隧磁阻(TMR：Tunneling Magnetoresistance)效果等電氣化的讀出。因 MRAM 使用強磁性體，故能夠不耗費能源，不揮發地保持資訊。

第 17A、17B 圖繪示使用 MTJ 的 MRAM 之代表性的

單元構造圖。如第 17A 圖所示，MRAM 由一個 MTJ 與一個 MOS(Metal Oxide Semiconductor，金屬氧化半導體)電晶體構成一位元(bit)的記憶單元。MOS 電晶體的閘極連接讀出用的字(word)線，源極接地，汲極連接 MTJ 的一端，MTJ 的他端連接位元線。

如第 17B 圖所示，MTJ 為用兩片強磁性電極夾持住一片薄的絕緣膜之穿隧接合構造，由該二個強磁性電極間相對的磁化方向，產生穿隧磁阻不同的 TMR 效果。特別是，二個強磁性電極間保持平行磁化之場合，與反平行磁化之場合，其 TMR 的變化率叫 TMR 比，用以評價 TMR 效果。

MRAM 中 MTJ 的磁化狀態，即兩個強磁性電極間之相對的磁化方向，依位元線及與它直交的複寫(rewrite)用的字線(未圖示)，各別流過的電流所誘起之磁場的合成磁場為平行磁化或反平行磁化而記憶資訊。

要讀出特定單元內記憶的記憶資訊之場合，在連接該單元的特定之讀出用字線施加電壓，以導通 MOS 電晶體，由連接該單元的特定之位元線向 MTJ 流通讀出用電流(以下稱「驅動電流」)，再檢測出依據 TMR 效果的 MTJ 之電壓下降為輸出電壓，就可讀出記憶之資訊。

發明內容

使用 MTJ 的 MRAM，因配備強磁性體，所以具有不揮發、低耗電率、高速度的特徵。MRAM 雖被期待為第二世代非揮發性記憶體，但要實現仍需決解以下所述的課題。

(1)在 MTJ 對應磁化狀態的平行磁化或反平行磁化採取

二個磁阻值。在 MRAM 則對 MTJ 流通驅動電流，檢測輸出電壓的電阻值。因此，為得到高輸出電壓，有必要調節 MTJ 的絕緣膜之厚度，使穿隧磁阻最適化。但，因 TMR 比亦與絕緣膜厚度有依存性，故對穿隧磁阻的最適化有限制。

(2)而且，為正確地讀出資訊的記憶內容，需採取大的 TMR 比，平行磁化與反平行磁化的兩個磁化狀態間的輸出電壓比，有加大之必要。為形成高的 TMR 比，採用自旋極化率大的強磁性體，絕緣層的形成方法、材料、膜厚等的最適化皆為必要。

(3)使用 MTJ 的 MRAM，為提高動作速度，有必要加大施予 MTJ 的偏壓。但在 MTJ，強磁性體電極間產生的電壓下降太大時，便有 TMR 比減少之原理上不可避免的問題。亦即，TMR 的輸出電壓之變化率，隨著在 MTJ 產生的電壓下降加大而變小。此現象為 TMR 效果本身的基本因果，只要靠 TMR 效果讀出磁化的狀態，很難避免。

綜合上述之問題，MTJ 要高感度檢測出記憶之資訊，有必要調節 MTJ 的阻抗(接合電阻)，使輸出電壓的大小最適化。而且，有必要採取大的 TMR 比，使平行磁化與反平行磁化的兩個磁化狀態間之輸出訊號的比值加大。又使 TMR 比不因偏壓而減小，TMR 比的耐偏壓性亦為必要。

因此，與記憶元件的特性無關，只要能夠由記憶元件以外的周邊電路自由設計輸出訊號的話，就可解決上述之全部問題。

本發明之目的在提供一種非揮發性記憶體，利用電晶體內的強磁性體之磁化狀態記憶資訊，並利用與載體自旋方向呈依存性的電晶體之輸出特性讀出資訊。

依本發明的一觀點，本發明提供一種電晶體，其特徵為具備：一自旋注入器，利用自旋過濾器效果，注入自旋極化熱載體；以及一自旋分析器，將該注入之自旋極化熱載體依自旋過濾器效果選別。因此，能夠依自旋極化熱載體的自旋方向，控制電晶體的輸出特性。

上述自旋注入器，較佳的是，具有第一強磁性阻障層；及第一非磁性電極層，接合該第一強磁性阻障層的一端面；以及第二非磁性電極層，接合該第一強磁性阻障層的另一端面。

上述自旋分析器具有第二強磁性阻障層；及第二非磁性電極層，接合該第二強磁性阻障層的一端面；以及第三非磁性電極層，接合該第二強磁性阻障層的他端面。且與上述之自旋注入器共用該第二非磁性電極層較佳。

第一及第二強磁性阻障層，為包含絕緣性的強磁性半導體或強磁性絕緣體之構造。該些強磁性阻障層的能量帶端，較佳的是，因自旋分裂由上自旋帶(up-spin band)或下自旋帶(down-spin band)的任一方構成。上述第二非磁性電極層的厚度，較佳的是，在該第二非磁性電極層的自旋極化熱載體的平均自由行程以下之厚度。

上述自旋注入器對於具有與構成前述第一強磁性阻障層的帶(band)端之自旋帶呈平行自旋之載體而言，其穿隧

機率(tunneling probability)較大；對反平行自旋之載體而言，其穿隧機率較小。因此，從該第一非磁性電極，能夠將與構成該第一強磁阻障層之帶端的自旋帶呈平行自旋之載體，當做熱載體注入該第二非磁性電極層。

一方面，上述自旋分析器，依該第二強磁性阻障層的帶端之自旋分裂，在注入該第二非磁性電極的自旋極化熱載體之自旋方向，與該第二強磁性阻障層的帶端之自旋帶的自旋方向平行之場合，將該自旋極化熱載體傳導到上述第三非磁性電極層。但在該自旋極化熱載體與該第二強磁性阻障層的帶端之自旋帶的自旋方向為反平行之場合，該自旋極化熱載體不傳導至該第三非磁性電極。

因此在同樣的偏壓下，上述電晶體的輸出特性依存於前述第一強磁性阻障層與第二強磁性阻障層的相對性磁化之方向。在第一與第二強磁性阻障層保持平行磁化之場合，電流傳送率或電流放大率較大；在反平行磁化之場合，電流傳送率或電流放大率較小。

上述電晶體的輸出特性，依該第一強磁性阻障層與第二強磁性阻障層之相對性磁化的方向變化，本發明即利用該電晶體的依存磁化狀態之輸出特性，提供讀出資訊的非揮發性記憶電路。在該記憶電路中，可用該電晶體單體構成記憶單元。

依本發明的其他觀點，可提供一種非揮發性記憶電路，其特徵為備有：一資訊記憶裝置及資訊讀出裝置。該資訊記憶裝置配備強磁性體，利用具有依存載體的自旋方向的

輸出特性之自旋電晶體，依該強磁性體的磁化方向記憶資訊。該讀出裝置，依上述之輸出特性，電氣化的讀出該自旋電晶體內所記憶的資訊。

上述自旋電晶體，至少各有一層可獨立控制磁化方向的強磁性體(以下稱「自由層」)，及不會變化磁化方向的強磁性體(以下稱「鎖層」)，較佳的是能夠把該自由層的磁化方向與鎖層的磁化方向相同的第一狀態，及磁化方向相異的第二狀態當作記憶資訊而保持。

該自旋電晶體，配備第一電極構造供注入自旋極化載體；及第二電極構造，供收受該自旋極化載體；以及第三電極構造，用以控制由該第一電極構造傳導至第二電極構造的自旋極化載體量。該些第一至第三電極構造的任一項中，皆含有上述的鎖層與自由層。

本發明可提供一種記憶電路，包括：上述的自旋電晶體，成矩陣配置；字線，連接該第三電極構造；第一配線，使該第一電極構造接地；以及位元線，連接該第二電極構造。多數條的字線排列延展，在其交叉之方向(行方向)有多數條的位元線配置，在字線與位元線的交點近傍配置該自旋電晶體。

該記憶電路中，在該自旋電晶體上互相電氣絕緣狀態交叉之第一別配線與第二別配線，通過交流電誘起磁場，使該自由層的磁化反轉，藉由變化該自由層與該鎖層之間相對的磁化狀態，可進行資訊之記憶(或複寫)。

上述的第一別配線及第二別配線、或第一別配線與第

二別配線的任一方，改用前述的字線及位元線，或用該字線或位元線的任一方代替也可能。

在該記憶電路，該自旋電晶體內的自由層與銷層保持平行磁化之場合，可依據該自旋電晶體的輸出特性，進行資訊之讀出。

另本發明尚可提供一種記憶電路，在上述記憶電路各個位元線的一端形成輸出端子，再加設第二配線由各位元線分歧經過負荷連接電源。

在此場合，依存於該自由層與銷層之相對的磁化狀態，而在該自旋電晶體的第一與第二電極構造間產生之電流，將會使前述負荷之電壓下降，且根據該下降電壓所得之輸出電壓，能夠進行資訊的讀出。

使用上述的電路，本發明可提供一種具有高積集度且高速度的非揮發性記憶電路，可依負荷及電源，設計對應於電晶體內之磁化狀態的輸出電壓，。

為讓本發明之上述原理和其他目的、特徵和優點能更明顯易懂，下文特舉較佳實施例，並配合所附圖式，作詳細說明如下：

實施方式

本發明的電晶體配有：自旋注入器，注入具有特定的自旋轉方向的自旋極化熱載體；以及，自旋分析器，將注入的自旋極化熱載體，依其自旋之方向選別。該自旋注入器為具有：可能發生 FN(Fowler-Nordheim)穿隧或直接穿隧等之穿隧效果之厚度的第一強磁性阻障層；及接合該第

一強磁性阻障層的一端面的第一非磁性電極層；以及與第一強磁性阻障層的他端面接合的第二非磁性電極層。該自旋分析器具有：第二強磁性阻障層，及在該第二強磁性阻障層的一端面接合的第二非磁性電極；以及在該第二強磁性阻障層的他端面接合的第三非磁性電極層。自旋注入器與自旋器共用一個第二非磁性電極層，該第二非磁性電極層的厚度，以在該非磁性電極層之自旋極熱載體的平均自由行程以下之厚度較佳。

上述構造與公知的熱電子電晶體 (Hot electron Transistor) 的構造比較，則第一非磁性電極層與第一強磁性阻障層，對應射極與射極阻障層；第二非磁性電極層對應基極；第二強磁性阻障層及第三非磁性電極層對應集極阻障層及集極。

第一及第二強磁性阻障層為包含絕緣性強磁性半導體或強磁性絕緣體之構造。該些強磁性阻障層的能量帶 (Energy band)，因電磁的交換相互作用被自旋分裂，在帶 (band) 端因該分裂僅有上自旋帶或下自旋帶存在。又，只有一方之自旋帶存在的能量幅度叫自旋分裂幅度。

自旋注入器的自旋過濾器效果，利用第一及第二非磁性電極層對第一強磁性阻障層施加電壓，產生 FN (Fowler-Nordheim) 穿隧或直接穿隧等之穿隧效果時，第一非磁性電極層的載體之中，與第一強磁性阻障層帶端的自旋帶之自旋方向一致 (載體為電子之場合，指與第一強磁性阻障層的磁化反平行之自旋方向；載體為電洞之場合，

指與第一強磁性阻障層之磁化平行之自旋方向)的載體穿隧機率較大；自旋方向不一致(載體為電子之場合，指與第一強磁性阻障層之磁化平行之自旋方向；載體為電洞時，指與第一強磁性阻障層之磁化反平行的自旋方向)的載體穿隧機率較小之原理。

自旋分析器的自旋過濾器效果之原理如下：在第二強磁性阻障層的自旋分裂之帶，由自旋注入器注入自旋極化熱載體之場合，注入的自旋極化熱載體的自旋方向，與第二強磁性阻障層的帶端之自旋帶的旋轉方向平行時(第一與第二強磁性阻障層平行磁化)，自旋極化熱載體經第二強磁性層的自旋帶內傳導至第三非磁性電極層。但在自旋極化熱載體與第二強磁性阻障層之帶端的自旋帶之旋轉方向反平行時，(第一與第二強磁性阻障層反平行磁化)，自旋極化熱載體不能經第二強磁性阻障層傳導。

依上述構造，自旋方向與第一強磁性阻障層帶端之自旋帶的自旋方向平行之第一非磁性電極層內的載體，可利用 FN(Fowler-Nordheim)穿隧或直接穿隧之穿隧效果，當做自旋極化熱載體注入第二非磁性電極層。此時，將上述電晶體偏壓使注入之自旋極化熱載體的能量，大於第二強磁性阻障層的帶端之自旋帶端的能量，小於在該自旋帶端加自旋分裂幅度時的能量。第二非磁性電極層的厚度，為該第二非磁性電極層內的自旋極化熱載體的平均自由行程以下之厚度，故注入的自旋極化熱載體，不會失去能量而可到達第二強磁性阻障層。又，自旋極化熱載體的能量，

大於第二強磁性阻障層帶端之自旋帶端的能量，小於在該自旋帶端增加自旋分裂幅度時的能量，被注入的自旋極化熱載體的自旋方向，與第二強磁性阻障層帶端的自旋帶之自旋方向平行之場合，自旋極化熱載體，依該第二強磁性阻障層內發生的電場，經該自旋帶內傳導，被輸送到第三非磁性電極層，成爲第三非磁性電極層與第一非磁性電極層之間流通的電流。

另一方面，被注入的自旋極化熱載體的自旋方向，與第二強磁性阻障層帶端的自旋帶之自旋方向反平行之場合，自旋極化熱載體在第二非磁性電極與第二強磁性阻障層的界面被散亂(或反射)，成爲第二非磁性電極層與第一非磁性電極間流通的電流。

如上述，依照第一強磁性阻障層與第二強磁性阻障層的相對性磁化的方向爲平行或反平行，將第一強磁性阻障層的電流，經過第二強磁性阻障層，可切換成第三非磁性電極層與第一非磁性電極層間流動的電流，或第二非磁性電極層與第一非磁性電極層之間流通的電流。亦即，依賴第一強磁性阻障層與第一磁性阻障層的相對的磁化方向，能夠控制流經第二強磁性阻障層的電流。與已公知的基極或射極接地的熱電子電晶體(Hot Electron transistor)或雙極電晶體(Bipolar transistor)的動作對比，則相於將集極電流依基極電流控制。惟本實例的電晶體，由基極電流產生的集極電流。可依第一與第二強磁性阻障層的相對的磁化方向控制電流放大率。即，本實施例的電晶體，爲能控電流

放大率的電晶體，不僅對基極電流(或為第一及第二非磁性電極間的偏電壓)，利用第一與第二強磁性阻障層的相對的磁化方向，亦能夠控制集極電流。

至於變更第一強磁性阻障層與第二強磁性阻障層的保磁力，只要固定一方的磁化方向，再施加適當強度的磁場，使第一與第二強磁性阻障層之中，任一方的磁化方向反轉，就能任意變更第一與第二磁性阻障層的相對磁化之方向為不或反平行，即能夠在電晶體內記憶資訊。

因此，可用上述的電晶體構成記憶單元。以下，說明使用本實施例的電晶體之非揮發性記憶體之一例。在本實施例的電晶體之第二非磁性電極層連接字線，電晶體的第三非磁性電極層連接位元線，位元線再經負荷連接電源，電晶體的第一非磁性電極層連接地線。依上述之構造，選擇特定的字線在第二非磁性電極層施加偏壓，再選擇特定的位元線檢測輸出電壓(在第三非磁性電極端發生的電壓)，則該輸出電壓，對應電晶體的第一與第二強磁性阻障層之相對的磁化方向變化。即，在相對的磁化方向為平行之場合，輸出電壓小；相對的磁化方向為反平行時，輸出電壓較大。因此，依輸出電壓的大小，能夠讀出記憶的資訊。

上述非揮發性記憶體，為使用本實施例的電晶體為射極接地電晶體，在集極施加電源與負荷，以集極電壓為輸出電壓，所以利用電源電壓與負荷的所謂周邊電路，能夠將第一與第二強磁性阻障層成平行磁化時的輸出電壓，及

反平行磁化時的輸出電壓設計成所望之值。因此，使用上述非揮發性記憶體，對配備 MTJ 的 MRAM，穿隧磁阻小輸出電壓小的問題，及 TMR 小記憶資訊判別不易之問題，以及因施加偏壓導致輸出電壓之比變小的問題皆能決解。

以下，參考圖面各別詳細說明上述電晶體的構造及動作。又，爲了容易說明，把本實施例的電晶體叫做自旋過濾器電晶體。

第 1A、1B 圖爲本實施例的自旋過濾器電晶體的構造圖，第 1A 圖爲概略的斷面圖，第 1B 圖爲第 1A 圖所示構造的傳導帶(又稱價電子帶)的能量帶圖，爲與阻障層的自旋帶的自旋方向合併顯示之圖。惟載體爲電洞(hole)時，在帶端的自旋方向與磁化方向一致，但載體爲電子時，在帶端的自旋方向與磁化方向成爲逆向。

本實施的自旋過濾器電晶體 1 配備：一自旋注入器 5，由第一強磁阻障層 2，與在該第一強磁性阻障層 2 的一端面接合的第一非磁性電極層 3，及在該第一強磁性阻障層 2 的另一端面接合的第三非磁性電極層 4 所構成；以及，一自旋分析器 8，由第二強磁性阻障層 6，與在該第二強磁性阻障層 6 的一端面接合的第二非磁性電極層 4，及在第二強磁性阻障層 6 的另一端面接合的第三非磁性電極層 7 所構成。由第 1A 圖可明瞭，自旋注入器 5 與自旋分析器 8，共同使用第二非電極層 4。

第一、第二及第三非磁性電極層 3、4 及 7，可使用非磁性金屬、n 型非磁性半導體，或 P 型非磁性半導體。又，

第二非磁性電極層 4 的厚度，在自旋注入器注入的自旋極化熱載體在該非磁性電極層 4 的平均自由行程以下較佳。使基極幅度較平均自由行程短，可提高電流傳送率至 0.5 以上，可得電流放大作用。

第一及第二強磁性阻障層 2、6，使用絕緣的強磁性半導體，或強磁性絕緣體。在強磁性阻障層的能量帶，因磁場的交換相互作用呈現自旋分裂，在帶端存在僅有向上自旋或僅有向下自旋的能量區域。該自旋極化的帶叫做自旋帶，又該能量區域幅度叫做自旋分裂幅度 Δ 。

如第 1B 圖所示，在強磁性阻障層 2、6 注加箭頭 \uparrow 表示可存在向上自旋的帶端部，亦即向上自旋端 9。另一方向的箭頭 \downarrow 示可存在向下自旋的帶端部，亦即向下自旋帶端 10。第 1B 圖的向上自旋帶端 9 與向下自旋帶端 10 之間，為只有向上自旋能夠存在的區域。又，比向下自旋帶端 10 有更高能量的區域，為向上自旋與向下自旋兩方能夠存在的區域。第 1B 圖為例示向上自旋的自旋帶較向下自旋的自旋帶低的場合，但與此相反的狀態亦可能。

第一強磁性阻障層 2，為在第一非磁性電極層 3 與第二非磁性電極層 4 施加電壓時，發生 FN(Fowler-Nordheim) 穿隧(以下稱 FN 穿隧)或直接穿隧等的穿隧效果，產生的由第一非磁性電極層 3 流向第二非磁性電極層 4 的載體能通過之厚度。又，所謂的直接穿隧，為載體直接透過薄的電位阻障層的現象。FN 穿隧，為施加某值之電壓，可無視直接穿隧的穿隧電流，在施加該某數位以上之電壓時，

電位阻障層上部的三角電位發生載體穿隧之現象。

在第一非磁性電極層 3 與第二非磁性電極層 4 施加之電壓，用通常的記憶電路使用之電壓範圍即可，例如由數佰 mV 到數 V 的程度。第二強磁性阻障層 6 的厚度，必要使由第二非磁性電極層 4 流向第三非磁性電極層 7 的載體不發生熱量放出或穿隧形成的電流(所謂的漏電流)。

上述的非磁性電極層 3、4、7 及強磁性阻障層 2、6，形成第 1B 圖所示的能量帶構造。第 1B 圖中的非磁性電極層部份的實線 11，表示金屬的費密能量(Fermi energy)或 n 型(P 型)半導體的費密能量、或傳導帶的底(價電子帶的頂上)的能量。對非磁性電極層部份的實線 11 之強磁性阻障層 2、6 的低方的能量阻擋以 ϕ_0 表示，自旋分裂幅度用 Δ 表示。強磁性阻障層 2 與 6，具有不同的 ϕ_0 與 Δ 值也可以，但以下所述，為強磁性阻障層 2 與 6 具有相同的 ϕ_0 與 Δ 值之場合。

在載體為電子之場合，非磁性電極層 3、4、7 使用非磁性金屬或 n 型半導體；強磁性阻障層 2、6 採用絕緣性強磁性半導體，或強磁性絕緣體。此時，強磁性阻障層 2、6 的向上自旋帶端 9，及向下自旋帶端 10，為傳導帶的底自旋分裂形成者。又，載體為電洞時，非磁性電極層 3、4、7 採用 P 型半導體；強磁性阻障層 2、6 使用絕緣性的強磁性半導體，或強磁性絕緣體。此場合，強磁性阻障層 2、6 的向上自旋帶端 9，及向下自旋帶端 10，為價電子帶頂上自旋分裂形成者。

其次，說明上述自旋過濾器電晶體的動作原理。以下之說明為簡單起見，併用熱電子電晶體的標記法說明。即，第一非磁性電極層 3 與第一強磁性阻障層 2 為射極 21、第二非磁性電極層 4 為基極 22，第二強磁性阻障層 6 與第三非磁性電極層 7 為集極 23，又，第一非磁性電極層 3 叫射電極 3，第三非磁性電極層 7 叫集電極 7。以下，以載體為電子之例說明(載體為電洞之場合，動作原理本質性相同，說明省略)。

第 2A、2B 圖為本實施例的自旋過濾器電晶體，在其射極、基極、集極間施加基極接地偏壓之場合的能量帶圖。第 2A 圖為第一及第二強磁性阻障層的磁化方向互相平行之場合；第 2B 圖為第一及第二強磁性阻障層的磁化方向互相反平行之場合的與第 2A 圖對應之圖。在射極 21 與基極 22 之間加入偏壓 V_{EB} ，在基極 22 與集極 23 之間加入偏壓 V_{CB} 。此時 V_{EB} 的大小要設定成滿足 $(\phi_c < qV_{EB} < \phi_c + \Delta)$ 之關係， q 為元電荷量。

射極 21 的作用為當做自旋注入器，向基極 22 注入自旋極化的熱電子。即依從偏壓 V_{EB} ，把載體由射電極 3 依穿隧效果通過第一強磁性阻障層 2 之場合，因第一強磁性阻障層 2 的傳導帶被自旋分裂，故在射電極 3 存在的向上自旋電子 24，與向下自旋電子 25，感到的阻障層的高度不同。

在第 2A 圖中，向上自旋電子 24 感到的阻障層高度，為至第一強磁性阻障層 2 的向上自旋帶端 9 的能量 ϕ_c 。向

下自旋電子 25 感到的阻障層高度，為至第一強磁性阻障層 2 的向下自旋帶端 10 的能量 $\phi_c + \Delta$ 。因此，控制基極一射極電壓，選擇感到的阻障層低之自旋電子，本實施例之場合，可選擇向上自旋的電子 24 為熱電子，穿隧注入基極 22。(此現象叫自旋過濾器效果)。

上述的自旋過濾器電晶體的集極 23 的作用，為當成自旋分析器，選別注入基極 22 的自旋極化熱電子的方向。即因基極 22 的幅度被設定在自旋極化熱電子 26 的平均自由行程以下，由偏壓 V_{EB} 形成熱狀態，被注入基極 22 的自旋極化熱電子 26，能夠不失去能量而能彈道似(ballistic)的到達基極 22 與集極 23 的界面。集極 23 的第二強磁性阻障層 6，亦因傳導帶的自旋分裂，產生不同高度的兩個阻障層。如第 2A 圖所示，在第一及第二強磁性阻障層 2、6 的磁化方向互相平行之場合，與自旋極化熱電子 26 平行自旋的第二強磁性阻障層 6 的向上自旋帶端 9，因較自旋極化熱電子 26 的能量低，自旋極化熱電子 26 會越過第二強磁性阻障層 6，傳導到集電極 7 成為集極電流 I_C 。

另一方面，如第 2B 圖所示，第一與第二強磁性阻障層 2、6 的磁化方向互相反平行之場合，在基極 22 注入有向下自旋的自旋極化熱電子 27，但向下自旋的第二強磁性阻障層 6 之向下自旋帶端 10，能量較自旋極化熱電子 27 之能量更高，故自旋極化熱電子 27 不能傳導過第二強磁性阻障層 6 的傳導帶，在基極 22 與集極 23 的界面受到自旋的依存散亂(或反射)損失能量，成為基極電流 I_B 。

如上述，由於射極 21 的第一強磁性阻障層 2，與集極 23 的第二強磁性阻障層 6 的相對性磁化方向，由射極向集流通電流的電流傳導率大異，換言之，因基極電流發生的集極電流的放大率有很大差異。

第 3A、3B 圖繪示本實施例之自旋過濾器電晶體基極接地時的靜態特性圖。橫軸之向右方向為集極—基極電壓 V_{CB} ，向左方向為射極—基極電壓 V_{EB} ，縱軸表示射極電流 I_E 、基極電流 I_B 、與集極電流 I_C 。第 3A 圖繪示射極與集極的強磁性阻障層的磁化方向平行之場合的靜態特性；第 3B 圖繪示反平行方向時的靜態特性。又，第 3A 圖與第 3B 圖中， α 為電流傳導率， β 為電流放大率，另添加的字 \uparrow 及 \downarrow 分別代表射極與集的強磁性阻障層的相對性磁化方向為平行之場合與反平行之場合。

如第 3A 圖所示，在射極與集極的磁化方向平行之場合，射極電流 I_E 幾乎全部可變成集極電流 I_C 。如第 3B 圖所示，在磁化方向反平行之場合，射電流 I_E 的大部份可變成基極電流 I_B 。與所周知的熱電子電晶體或雙極晶體同樣地，本實施例的電晶體，亦可依基極電流 I_B 控制集極電流 I_C 。而且，依第一及第二強磁性阻障層的相對性磁化方向，亦可控制電流放大率。

本實施例的自旋過濾器電晶體之強磁性阻障層，可使用 EuS 、 EuSe 、 EuO 等的強磁性半導體。又， $\text{R}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (R 表示稀土族元素) 等的強磁性絕緣體亦可使用。非磁性電極層，則只要是非磁性體即可，例如 Al 或 Au 等金屬，或

在高溫時摻雜不純物的 Si 或 GaAs 等的非磁性半導體亦可。例如使用 EuS 為強磁性阻障層，用 Al 做非磁性電極層之場合，阻障層高度 $\phi_c=1.4\text{eV}$ ，自旋分裂幅度 $\Delta=0.36\text{eV}$ 。又本實施例的自旋過濾器電晶體，採用上述之材料，可用周知的分子束磊晶(epitaxial)成長法、真空蒸鍍法、濺鍍(sputtering)法等製作。

其次，說明使用本發明之自旋過濾器電晶體為記憶單元的非揮發性記憶體。

第 4A 圖繪示使用本實施例之自旋過濾器電晶體 1 的記憶單元之一個構造例。第 4A 圖所示的記憶單元，為多數個自旋過濾器電晶體成矩陣狀配置，射極端子 E 接地，集極端子 C 與基極端子 B 分別連接讀出用位元線 BL 與讀出用字線 WL。又，把複寫用的字線與複寫用位元線，在該自旋過濾器電晶體上，與其他配線成電氣絕緣之狀態交叉配置。該複寫用字線與複寫用位元線，與上述之讀出用位元線 BL 及讀出用字線 WL 合併使用也可以。第 4A 圖繪示併用之場合的單元構造圖。在第 4A 圖之場合，可用自旋過濾器電晶體單體構成記憶單元，而且配線的構造亦非常單純。因此，很容易構成適合於高積集化的配置。第 4B 圖亦使用同樣的單元構造。

下面，對本實施例的記憶電路參照第 4B 圖說明。本實施例的記憶電路 41 之構造，在自旋過濾器電晶體 1(第 1A、1B 圖)的基極，即第二非磁性電極 4，連接字線 42。在自旋過濾器電晶體 1 的集電極，即第三非磁性電極 7 連

接位元線 43，位元線 43 再經過負荷(RL)44 連接電源 (Vcc)45。另在自旋過濾器電晶體 1 的射電極之第一非磁性電極 3 連接地線。此處用純電阻作為負荷，但使用電晶體的動態負荷亦可。

要讀出特定記單元的記憶資訊時，選擇特定的字線 42，在發射極一基極間施加偏壓，在位元線 43 透過負荷電阻 44，施加電源 45 的電源電壓 V_{cc} ，再依位元線 43 出現的輸出電壓 V_0 之大小，讀出記憶資訊。第 4C 圖的縱軸為集極電流 I_C ，橫軸表示集極一射極間電壓 V_{CE} ，並將自旋過濾器電晶體的 $I_C - V_{CE}$ 特性，及負荷電阻 44 的負荷直線 46，在同一圖上示出。

輸出電壓 V_0 ，可由該些特性之交點決定。亦即，第一及第二強磁性阻障層 2、6 之相互的磁化狀態，為平行之場合與反平行之場合的輸出訊號，分別如第 4C 圖所示，成為 $V_{0\uparrow\uparrow}$ 與 $V_{0\downarrow\uparrow}$ 。 $V_{0\uparrow\uparrow}$ 及 $V_{0\downarrow\uparrow}$ 的絕對值、及 $V_{0\uparrow\uparrow}$ 與 $V_{0\downarrow\uparrow}$ 的比值，可由電路參數(R_L 及 V_{cc})最適化。如上述，本實施例的非揮發性記憶元件，可如 MTJ 的不需調節元件自身的構造，就能獲得必要大小之輸出訊號及輸出訊號的比。

本實施例的電晶體利用之自旋過濾器效果，為利用強磁性體的帶之自旋分裂的效果，與 MTJ 的 TMR 效果相比，自旋的選擇率較高。只要把基極幅度設定在自旋極化熱電子的平均自由行程以下，則第一與第二強磁性阻障層間的相對性磁化狀態，在平行磁化之場合，電流傳導率 α (定

義為 $\alpha = I_C / I_E$) 在 0.5 以上；但在反平行之場合，電流傳導率極小。亦即，平行化之場合與反平行化之場合的電流傳導率之變化，用電流放大率 β (定義 $\beta = I_E / I_B$) 觀察，則更增加放大之現象。對此磁化狀態下自旋過濾器電晶體的輸出特性之大差異，可由上述之周邊電路進行輸出訊號的最適化，容易地獲得所望之輸出訊號之絕對值，及所望的輸出訊號之比。

下面說明一種非揮發性記憶電路，其使用之電晶體具有依存載體之自旋方向的輸出特性(以下稱自旋電晶體)。

本發明的記憶電路，為關於使用自旋電晶體的非揮發性記憶電路。自旋電晶體，為在電晶體內含強磁性金屬或強磁性半導體等之強磁性體，依該磁化狀態控制載體的自旋方向，變化輸出特性。依據自旋電晶體內部之強磁性體的磁化狀態記憶資訊，利用反映自旋電晶體內部之磁化狀態的電晶體輸出特性讀出資訊。使用自旋電晶體，可用一個自旋電晶體構成一位元(bit)的非揮發性記憶單元。又，對應記憶資訊的輸出訊號之值，可用連接該記憶單元的周邊電路予以最適化。

更詳細地說，自旋電晶體為配有磁化方向可依磁場等獨立控制的強磁性體層(自由層)，及磁化方向固定又比自由層有更大保磁力的強磁性體層(銷層)至少各有一個。在同一的偏壓下，亦可由自由層與銷層的相對性磁化方向，控制電晶體輸出特性。由於用磁場等變化自由層的磁化方向，可使自由層與銷層的相對性磁化狀態成為平行磁化或

反平行磁化的兩種狀態。將該二個磁化狀態對應二值的記憶資訊。

在自旋電晶體，根據自旋散亂、穿隧磁阻效果、自旋過濾器效果等之依存載體的自旋方向變化的傳導現象，可得電晶體的磁化狀態對應的輸出特性。自旋電晶體配備有：一第一電極構造用以注入自旋極化載體，及一第二電極構造，接受注入自旋極化載體，以及一第三電極構造用以控制由第一電極構造傳導至第二電極構造之載體的量。

自旋電晶體，除依存自旋的傳導現象以外，也依據一般的電晶體同樣的動作原理動作。因此自旋電晶體亦可分類成雙極電晶體等的電流驅動型電晶體，及電場效果電晶體等的電壓驅動型電晶體。在電流驅動型電晶體，第一電極構造對應射極，第二電極構造對應集極，第三電極構造對應基極。在本實施例中說明的自旋過濾器電晶體，可被歸類為此種電流驅動型。又，在電壓驅動型電晶體之場合，第一電極構造對應源極，第二電極構造對應汲極，第三電極構造對應閘極。自旋電晶體的輸出電流(集極電流或汲極電流)，在同一偏壓下，仍由自旋電晶體內含有之強磁性體的磁化狀態變化。

關於自旋電晶體的細節以後將詳述，下面說明自旋電晶體的一般輸出特性，及使用自旋電晶體的非揮發性記憶體。以下假定在自旋電晶體內的自由層施加磁場，可使自由層與銷層的相對性磁化狀態，成為平行磁化或反平行磁化。該磁化狀態會安定存在，除非施加的磁場超過自由層

的矯頑磁力(coercive force)。

第 5A 圖為概略的示出電流驅動型自旋電晶體的輸出特性之例。與通常的電流驅動型電晶體同樣地，集極電流 I_C 可由基極電流 I_B 的大小控制，但集極電流的大小亦依存於自旋電晶體含有的強磁性體磁化狀態。在第 5A 圖之場合，在自旋電晶體施加同樣的偏壓($I_B = I_{B1}$)時，仍是平行磁化時集極電流 $I_{C\uparrow\uparrow}$ 較大；反平行磁化時集極電流 $I_{C\downarrow\uparrow}$ 較小。

第 5B 圖概略的繪示電壓驅動型自旋電晶體的輸出特性之例。與通常的 MOS 電晶體等的電場效應電晶體同樣地，在閘極-源極電壓(V_{GS})較臨限值 V_T 小之場合($V_{GS} < V_T$)，自旋電晶體成遮斷狀態，幾乎不產生汲極電流。施加 V_T 以上的 V_{GS} ，則自旋電晶體成導通狀態，但在同一的偏壓下($V_{GS} = V_{GS1}$)，在自旋電晶體內含有的強磁性體保持平行磁化時，與反平行磁化時汲極電流值不同。第 5B 圖之場合，平行磁化時汲極電流 $I_{D\uparrow\uparrow}$ 較大；反平行磁化時汲極電流 $I_{D\downarrow\uparrow}$ 較小。

因此，自旋電晶體中，電流驅動型與電壓驅動型，皆可依據集極電流或汲極電流之大小，電氣化的檢測出電晶體內含有的自由層與銷層之相對的磁化方向。又如以上所述，只要外部施加之磁場不超過自由層的矯頑磁力，即能安定保持磁化之方向。由此，自旋電晶體利用元件內含有的自由層與銷層之相對的磁化狀態成爲平行磁化或反平行磁化，可將二值的資訊長久的記憶。因此，使用自旋電晶

體時，只用一個自旋電晶體就可構成一位元的非揮發性記憶單元。

下面，以使用電壓驅動型的自旋電晶體之場合為例，說明使用自旋電晶體的非揮發性記憶體。電流驅動型的自旋電晶體用於記憶單元之場合亦可用同樣的構成。

第 6A 圖繪示使用自旋電晶體的記憶單元的構造例。第 6B 圖為依據該記憶單元形成的記憶電路的構造例。第 6A 圖與第 6B 圖的關係，就如同第 4A 圖與第 4B 圖的關係。在第 6A 圖所示的記憶電路中，有多數的自旋電晶體 150 成矩陣狀配置，其源極 S 接地，汲極 D 與閘極 G 分別連接讀出用位元線 BL，及讀出用字線 WL。又，把複寫用字線與複寫用位元線，在該自旋電晶體 150，上與其他之配線電氣絕緣之狀態，交叉配置。該些複寫用字線及複寫用位元線，與上述的讀出用位元線 BL 及讀出用字線 WL 併用也可以。第 6A、6B 圖繪示併用場合的構造圖。在第 6A、6B 圖之場合，只用一個自旋電晶體就可構成記憶單元，而配線亦能夠以非常單純的結構配置。

特別是，類似 MOS 電晶體之形態的電壓驅動型之自旋電晶體，因相鄰的記憶單元可共同使用源極等，容易構成適合微小化之佈置。

以下，將上述的複寫/讀出用的位元線，及寫/讀出用字線，簡稱為位元線 BL 及字線 WL。

資訊的複寫時，在選擇的記憶單元上交叉之位元線 BL 與字線 WL 通過電流，依各配線流通電流誘起的磁場之合

成磁場，將被選擇的記憶單元之自由層反轉以複寫資訊。此時，為防止與選擇的單元在同一位元線 BL 或字線 WL 上連接之非選擇單元磁化反轉，預先設定各配線的電流值使僅有一方之配線通電的磁場不會發生磁化反轉。

資訊的讀出時，在與選擇之單元連接的字線 WL 施加電壓，使自旋電晶體導通，再於位元線 BL 施加電壓，檢測汲極電流的大小。依據該汲極電流的大小，可檢測出自由層與銷層之相對的磁化狀態。

第 6B 圖為第 6A 圖所示之記憶電路，在該位元線端連接輸出端 V_0 ，以及由該輸出端子 V_0 分岐經過負荷連接電源壓 V_{DD} 的記憶電路。第 6C 圖繪示第 6B 圖的記憶電路的靜態特性與動作點。此處的負荷使用的動態負荷 160 為耗盡型電晶體(depletion transistor)，但如第 4B 圖所示的使用純電阻也可以。如第 6C 圖所示，要讀出資訊時，在自旋電晶體 150 的閘極施加電壓 V_{GS} ，並在位元線 BL 透過負荷施加電源電壓 V_{DD} ，則由動態負荷產生的動作點，對應銷層與自由層間的磁化狀態，在第 6C 圖中的負荷曲線上移動(圖中的 P11 與 P12)，平行磁化與反平行磁化場合的輸出訊號 V_0 分別為如圖中的 $V_{0\uparrow\uparrow}$ 及 $V_{0\downarrow\uparrow}$ 。各別的輸出訊號之絕對值及比值($V_{0\uparrow\uparrow}/V_{0\downarrow\uparrow}$)，可利用動態負荷的電晶體特性，或 V_{DD} 等的週邊電路之參數予以最適化。例如使自旋電晶體的靜態特性，與動態負荷形成的負荷曲線的交點最適化，能在汲極電流比 $I_{0\uparrow\uparrow}/I_{0\downarrow\uparrow}$ 甚小之場合，亦可獲得較大的輸出訊號比。又， $I_{0\uparrow\uparrow}$ 與 $I_{0\downarrow\uparrow}$ 之值由於記憶單元有些

散亂時，只要動態負荷的飽和電流比 $I_{0\downarrow}$ 大，比 $I_{0\uparrow}$ 小，就可使輸出電壓幾乎不變。而且在資訊讀出時因不使用讀出放大器，故能夠高速讀出。因此，本實施例的記憶電路，有能夠容易獲得所望的大小之輸出訊號，且能高速讀出之優點。

先前的使用 MTJ 與 MOS 電晶體的記憶單元，將 MTJ 的電阻產生的輸出電壓，用讀出放大器放大再讀出，但輸出電壓為依流過 MTJ 的電流值與 MTJ 的阻抗(接合電阻)決定，輸出電壓比無法用周邊電路自由地調節。

以下，參照圖面說明可適用於本實施例之非揮發性記憶體電路的自旋電晶體之構造。以下之簡略符號，FM 為強磁性金屬，FS 為電傳導性強磁性半導體、IFS 為絕緣性強磁性半導體、NN 為非磁性體。特別是 NM 金屬為非磁性金屬、NM 半導體表示非磁性半導體。下面先說明電流驅動型的自旋電晶體群。

第 7 圖繪示熱電子電晶體型自旋電晶體的能量帶圖。自旋電晶體 200 的射極 201 與基極 205，用 FM(強磁性金屬)或 FS(電傳導性強磁性半導體)構成。更詳細說，自旋電晶體 200 含有由 FM(或 FS)構成的射極 201，及由 NM 形成的射極阻障層 203、及由 FM(或 SM)形成的基極 205、及由 NM 形成的集極阻障層 207，以及由 NM 形成的集極 211。其中之 NM 可使用非磁性金屬或非磁性半導體。

第 7 圖所示的自旋電晶體 200，由射極 201 通過射極阻障層 203，將自旋極化熱載體穿隧注入基極 205。

在射極 201 與基極 205 平行磁化的場合，注入的自旋極化熱載體，在基極 205 內幾乎不受自旋的依存散亂故只要預先設定基極寬度，使載體能彈道地通過基極 205，就可越過集極阻障層 207 到達集極 211。即做與通常的熱電子電晶體同樣的電晶體動作。

另一方面，射極 201 與基極 205 保持反平行磁化之場合，由射極 201 注入基極 205 的自旋極化熱載體。在基極 205 內因依存於散亂損失能量，不能越過集極阻障層 207，成爲基極電流。即在射極 201 與基極 205 成反平行磁化之場合，與兩者平行磁化之場合相比，會減低電流傳導率。因此，自旋電晶體施加同一的偏壓，亦因射極 201 與基極 205 之相對的磁化狀態不同，電流傳導率或電流放大率不同。又，自旋電晶體 200，只要適當選擇集極阻障層的高度，也有可能室溫動作。

自旋電晶體 200，爲使在射極與基極間平行磁化之場合與反平行磁化場合，各場合的電流傳導率之比值加大，有時必要加長基極寬度使自旋依存散亂能有效作用。另一方面，加長基極寬度，在射極與基極平行磁化之場合，亦可減小電流傳導率。例如下降 0.5 時，便會有失去放大作用的所謂的互償(trade-off)作用存在。

第 8 圖繪示作爲往基極的自旋注入機構之利用熱放出的熱電子電晶體型自旋電晶體的能量帶圖。如第 8 圖所示，自旋電晶體 220，具有由 FM(或 FS)形成的射極 221、及由 FM(或 FS)形成的基極 225，以及設於上述二者之間由 NM

形成的射極阻障層 223。另外在基極 225 與射極阻障層 223 的接合之對側設有用 NM 形成的集極阻障層 227，及用 NM 形成的集極 231。射極阻障層 223 及集極阻障層 227 可使用非磁性半導體，又集極 231 可使用非磁性半導體或非磁性金屬。

在射極 221 與射極阻障層 223 之間，形成歐姆接點或穿隧接點。基極 225 與射極阻障層 223 之間、基極 225 與集極阻障層 227 之間，如第 8 圖所示，形成有不連續之帶的接合。該不連續之帶可由 NM 半導體/FM 間的蕭特基 (Schottky) 接合，或 NM 半導體/FS 間的異質接合 (heterojunction) 形成。或者，在 FS 與 FM 形成蕭特基接合，以在此時發生的蕭特基阻障層為射極阻障層，FS 為射極，FM 為基極之構造亦可。

對射極 221 向基極 225 施加偏壓，則由射極 221 向射極阻障層 223 擴散的自旋極化載體，因熱放出變成熱載體注入基極 225。在射極 221 與基極 225 保持平行磁化之場合，注入基極 225 自旋極化熱載體，可不受自旋依存散亂，能夠到達集極。但在射極 221 與基極 225 成反平行磁化之場合，自旋極化熱載體，因自旋依存散亂成為基極電流。本電晶體 220 中，因為是利用基極的自旋依存散亂，故與前述的自旋電晶體 200 同樣地，在平行磁化與反平行磁化之場合各別的電流傳導率之比，與在平行磁化之場合，與電流傳導率之間存在有互償關係。但與上述之利用穿隧注入自旋電晶體 200 相比，本例之電晶體具有可採用大驅動

電流或容易在室溫動作之特徵。

第 9 圖為使用自旋過濾器效果的熱電子電晶體型的自旋電晶體之能量帶圖。對此型電晶體前面已詳細說明過了，以下簡單說明其特徵。第 9 圖所示的自旋電晶體 240，該射極阻障層 243 與集極阻障層 247 由 IFS(絕緣性強磁性半導體)構成。由 NM 半導體(或 NM 金屬)構成的射極 241，可依射極阻障層 243 的自旋過濾器效果，選擇性地只將保持自旋的載體，由 NM 半導體(或 NM 金屬)注入基極 245。將基極寬度設定在自旋極化熱載體的平均自由行程以下，則注入基極 245 的自旋極化熱載體彈道傳導過基極 245。此時，先將自旋電晶體 240 偏壓使集極阻障層 247 的向上自旋帶(第 9 圖中附注向上箭頭的自旋帶端)，與向下自旋帶(第 9 圖中附注向下箭頭的自旋帶端)的能量分裂幅度內，可注入自旋極化熱載體。在射極阻障層 243 與集極阻障層 247 保持平行磁化之場合，注入基極 245 的自旋極化熱載體，因集極阻障層 247 的自旋過濾器效果，可越過集極阻障層 247 的低能量自旋帶的阻擋，傳導至由 NM 半導體(或 NM 金屬)構成的集極 251。另一方面，在射極阻障層 243 與集極阻障層 247 成反平行磁化之場合，因集極阻障層 247 的自旋過濾器效果，極大部份的自旋極化熱載體不能穿越集極阻障層 247，成為基極電流。

因此，本自旋電晶體 240，因射極阻障層 243 與集極阻障層 247 之相對的磁化方向，電流傳導率(或電流放大率)不同。因自旋過濾器效果的自旋之選擇率極大，該自旋

電晶體，在平行磁化與反平行磁化之各種場合，可加大電流傳導率之比。

又，本自旋電晶體 240，能夠使基極寬度十分短。故與第 7 圖、第 8 圖所示之利用自旋依存散亂的電晶體不同，對與基極寬度有關連的電流放大率，及自旋選擇性之間並無互償作用存在，此為其優點。

第 10 圖為穿隧基極電晶體型的自旋電晶體之能量帶圖。如第 10 圖所示，在穿隧基極電晶體型的自旋電晶體 260，射極 261 與集極 265 使用 P 型(或 n 型)的 FS，穿隧基極使用 n 型(或 P 型)的 NM 半導體。射極-基極間及基極-集極間，為使基極 263 對電洞或(電子)形成阻障層，採用第 II 型的異質接合較佳。又，基極的寬度要薄到可由射極到集極產生穿隧電流。

第 10 圖的構造，在射極 261 與集極 265 保持平行磁化之場合，射極的有自旋之多數載體，很容易穿隧至集極 265，其穿隧電導較大。但在射極 261 與集極 265 成反平行磁化之場合，因穿隧磁阻效果(TMR 效果)穿隧電導小。因此，能夠依射極 261 與集極 265 之相對的磁化狀態，控制集極電流的大小。

如能夠加大該自旋電晶體 260 的 TMR 比，則可增大依存射極一集極間的磁化狀態的集極電流的變化。要在自旋電晶體 260 有效出現 TMR 效果，則在基極一集極接合處施加逆偏壓時，使耗盡層(depletion layer)不會向集極側擴張較佳。但是如耗盡層向基極側擴張，則可能產生集極電

流的飽和特性之問題。

上述的自旋電晶體 260，在基極層高濃度摻雜使耗盡層不向基極層擴張。基極一集極接合的耗盡層有向集極側擴張之勢之場合，雖不能期待基極的 TMR 效果，但注入集極的載體在集極內便可因自旋依存散亂而產生電阻。利用該自旋依存散亂就可依射極一集極間的磁化狀態，改變集極電流的大小。但因自旋依存散亂產生的電阻變化較小，故與使用 TMR 效果之場合比較，其效果可能不大。

以下，參照圖面說明電壓驅動型自旋電晶體群。

第 11 圖繪示 MOS 電晶體型的自旋電晶體的斷面構造圖。如第 11 圖所示，MOS 電晶體型的自旋電晶體 300 之構造，為在 NM 半導體上形成由 FM 構成的源極 303，及由 FM 構成的汲極 305，以及隔著閘極絕緣膜 307 形成的閘電極 311。使用 FM 與 NM 半導體的蕭特基接合為源極 303 及汲極 305，其他的構造與通常的 MOS 電晶體相同。

由源極 303 注入 NM 半導體 301 中在閘極絕緣膜 307 下方形成之通道的自旋極化載體，通過該通道到達汲極 305(以下為簡單起見，忽略注入通道的自旋受閘極電場的 Rashba 效果之影響)。在源極 303 與汲極 305 保持平行磁化之場合，注入汲極 305 的自旋極化載體不受自旋依存散亂；但在反平行磁化之場合，便會在汲電極 305 因自旋散亂產生電阻。

因此，在該電晶體 300，因源極一汲極間之相對的磁化方向，其互導亦異。

又，在源極 303 與汲極 305 採用 FS 構成，在與半導體 301 之間形成 pn 接合，形成源極及汲極亦可能。

第 12 圖繪示調變摻雜電晶體型的自旋電晶體之斷面構造圖。該自旋電晶體 320，是由比照在第一 NM 半導體 321 與第二 NM 半導體 327 的界面產生之二維載運氣體之 FM(或 FS)所形成之源極 323，及 FM(或 FS)形成的汲極 325，以及閘電極 331 構成。除源極 323 與汲極 325 用強磁性體構成之外，其餘與通常的調變摻雜(modulation doped)電晶體相同。

從源極 323 把自旋極化載體，注入至由二維載運氣體形成的通道 333。到達汲極 325 的自旋極化載體，因在汲極 325 的自旋依存散亂，依源極 323 與該汲極 325 之相對的磁化方向，其互導也不同。

第 13 圖繪示在通道區域使用 FS 之 MOS 電晶體型的自旋電晶體之斷面圖。第 13 圖所示的自旋電晶體 340，為具有在 FS341 上由 FM 形成的源極 343，及由 NM(或 FM、FS)形成的汲極 345，以及隔著絕緣膜配設的閘電極 351 之構造。利用 FM 與 FS 的蕭特基接合為源極 343，其他構造與通常的 MOS 電晶體相同。

由源極 343 通過蕭特基阻障層，將自旋極化載體穿隧注入通道 341 中。依該穿隧注入時的 TMR 效果及 FS341 的通道內之自旋依存散亂，可實現依存於源極 343 與 FS341 之相對的磁化方向之互導。

第 14 圖所示之自旋電晶體 360 斷面構造，具有以 FM(或

FS)形成的源極 361 與 FM(或 FS)形成的汲極 363，把絕緣性的 NM 穿隧阻障層 365 夾持在中間穿隧接合之構造，並配置閘極 371 使能對穿隧阻障層 365 施加電場。

穿隧阻障層 365 的膜厚，設定成在僅施加源極一汲極間偏壓之場合，不發生 FN(Fowler-Nordheim)穿隧之程度的厚度較佳。將在源極一汲極間施加偏壓產生的穿隧阻障層帶端之三角電位，用閘電壓變化，感應發生 FN 穿隧並得到汲極電流。

從源極 361 注入的自旋極化載體，是根據源極 361 與汲極 363 之相對的磁化狀態，在汲極 363 受到依存散亂。因此，可依源極-汲極間之相對的磁化方向控制電晶體的互導。

第 15 圖所示的自旋電晶體 380 之斷面構造，為第 14 圖所示的自旋電晶體 360 之穿隧阻障層，用 IFS 形成的穿隧阻障層 385 換置而成者。源極 381 有必要用 FM 或 FS 構成，汲極 383 則不用強磁性體也可以。IFS 穿隧阻障層 385，依載體的自旋方向阻障層高度不同，但在源極 381 與穿隧阻障層 385 平行磁化之場合，需在源極一汲極間及源極-閘極間施加偏壓，使電晶體成導通狀態。又在同一偏壓條件下，源極 381 與穿隧阻障層 385 成反平行磁化之場合，因自源極 381 的多數自旋所見穿隧阻障層的高度較高，自旋極化載體的穿隧機率減少，使汲極電流減低。因該自旋過濾器效果產生的自旋選擇率極大，故採用自旋極化率大的強磁性體構成源極 381，就可使源極-汲極間之相

對的磁化方向變化產生的互導變化加大。

以上說明的各種自旋電晶體，任一種皆可使用於第 4A、4B、4C 圖或第 6A、6B、6C 圖所示記憶電路做為記憶單元。

又，用兩個第 11、14、15 圖所示的二個電壓驅動型的自旋電晶體的源極，形成共同使用一個源極之構造亦可。第 16A 圖繪示具有共同源極的記憶單元的構造例。第 16B 圖繪示具有共同源極之記憶單元的斷面構造之例。

第 16A、16B 圖所示之記憶單元構造，包含互相鄰接的第一自旋電晶體 Tr1 與第二自旋電晶體 Tr2，及第一自旋電晶體 Tr1 的閘電極 G1 與第二自旋電晶體 Tr2 的閘電極 G2 共同連接的字線 WL，及第一自旋電晶體 Tr1 的第一汲極 D1 連接的第一位元線 BL1，及連接第二自旋電晶體的第二汲極 D2 的第二位元線 BL2，及第一與第二自旋電晶體 Tr1、Tr2 共同的強磁性源極 S，以及該源極接地的配線。採用上述之構造，因共同使用源極，適合於高積集化的單元構造。

特別是第 11、14、15 圖所示的電壓驅動型自旋電晶體，為抑制切斷時的漏電流到最小限度，如第 16A、16B 圖所示，使用絕緣性高的如 SOI 基板等較佳。

如以上說明，本發明實施例的自旋過濾器電晶體及其他實施例的各種自旋電晶體，皆具有依元件內含有的銷層與自自由層之相對的磁化方向，控制輸出特性的特徵。該相對的磁化狀態，為電力不供給時仍可保持該狀態的具有

所謂的非揮發性的性質。因此，該相對的磁化狀態可當作二值的資訊而被非揮性地記憶。又，使用上述的輸出特性，則該相對的磁化狀態可以電氣化地檢測出來。亦即，使用自旋電晶體時，只用一個自旋電晶體，就可構成一個位元的非揮發性記憶單元。而且，如採用配備本發明之自旋電晶體的非揮發性記憶電路，則對記憶資訊的輸出訊號之大小及輸出訊號之比，能夠自由設計。

因此，使用本發明實施例的自旋電晶體及配設該電晶體的記憶電路，有能夠提升非揮發性記憶電路的動作速度及積集度之優點。

產業上之利用

如上所述，本發明的自旋過濾器電晶體，能依強磁性阻障層間之相對的磁化方向，大量變化輸出特性。

又，使用該自旋過濾器電晶體及具有該同等特性之自旋電晶體為記憶單元的非揮發性記憶電路，可利用電晶體內含有之強磁性體間之相對的磁化方向記憶二值之資訊，且該相對的磁化方向可電氣化的檢測出來。尚且，使用本發明的非揮發性記憶電路時，對記憶資訊的輸出訊號可自自由設計。因此，使用該自旋電晶體時，只用一個電晶體就可構成一位元的非揮發性記憶單元，能夠形成高速度且高積集度的非揮發性記憶電路。

雖然本發明已以一較佳實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何熟習此技藝者，在不脫離本發明之精神和範圍內，當可作些許之更動與潤飾，因此本發明之保

護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。

圖式之簡單說明

第 1A、1B 圖繪示本發明實施例的自旋過濾器電晶體之構造圖，其中第 1A 圖為概略斷面圖；第 1B 圖繪示該構造的傳導帶之能量帶圖。

第 2A、2B 圖為本實施例的自旋過濾器電晶體，在其射極、基極、集極間施加基極接地偏壓時的能量帶圖，其中第 2A 圖為第一及第二強磁性阻障層的磁化方向互相平行之場合；第 2B 圖為該磁化方向互相反平行之場合。

第 3A、3B 圖繪示本實施例的自旋過濾器電晶體、基極接地時的靜態特性圖，其中第 3A 圖繪示射極與集極的強磁性阻障層之磁化方向平行時之靜態特性；第 3B 圖繪示反平行時的靜態特性。

第 4A 圖繪示使用本實施例之自旋過濾器電晶體的記憶單元之一個構造例；第 4B 圖亦為同樣構造之記憶單元；第 4C 圖繪示自旋過濾器電晶體的 I_C-V_{CE} 特性及負荷電阻的負荷直線。

第 5A 圖繪示電流驅動型自旋電晶體的輸出特性之例；第 5B 圖繪示電壓驅動型自旋電晶體的輸出特性之例。

第 6A 圖繪示使用自旋電晶體的記憶單元的構造例；第 6B 圖為以該記憶單元為基礎形成記憶電路的構造例；第 6C 圖為第 6B 圖所示之記憶單元的 I_D-V_{DS} 特性與動態負荷的負荷曲線。

第 7 圖繪示熱電子電晶體型之自旋電晶體之構成例的

能量帶圖。

第 8 圖繪示運用熱放出注入的熱電子電晶體型之自旋電晶體之構成例的能量帶圖。

第 9 圖繪示使用自旋過濾器效果的熱電子電晶體型的自旋電晶體之構成例的能量帶圖。

第 10 圖繪示穿隧基極電晶體型的自旋電晶體之構成例的能量帶圖。

第 11 圖為 MOS 電晶體型的自旋電晶體之構成例之的斷面構造圖。

第 12 圖為調變摻雜電晶體型的自旋電晶體之構成例的斷面構造圖。

第 13 圖為在通道區域使用 FS 之 MOS 電晶體型之自旋電晶體之構成例的斷面圖。

第 14 圖繪示自旋電晶體之斷面構造例，為在絕緣性的 NM 穿隧阻障層兩端，用 FM(或 FS)的源極與 FM(或 FS)汲極夾持住的穿隧接合構造，上方配置閘極絕緣膜與閘極的自旋電晶體。

第 15 圖繪示的自旋電晶體之斷面構造例，為第 14 圖所示的自旋電晶體，將該 NM 穿隧阻障層換為 IFS 穿隧阻障層之構造。

第 16A 圖為記憶單元的構造例，繪示二個自旋電晶體共同使用一個源極；第 16B 圖繪示具有共同源極的記憶單元的斷面構造之例。

第 17A 圖繪示使用 MTJ 的 MRAM 之代表性的單元構

造圖;第 17B 圖繪示 MTJ 的穿隧接合構造圖。

圖式之標示說明：

- 1 自旋過濾器電晶體
 - 2 第一強磁性阻障層
 - 3 第一非磁性電極(射極)
 - 4 第二非磁性電極(基極)
 - 5 自旋注入器
 - 6 第二強磁性阻障層
 - 7 第三非磁性電極(集極)
 - 8 自旋分析器
 - 9 向上自旋端
 - 10 向下自旋端
 - 21 射極
 - 22 基極
 - 23 集極
 - 24 向上自旋電子
 - 25 向下自旋電子
 - 26、27 自旋極化熱電子
 - 41 記憶電路
 - 42 字線
 - 43 位元線
 - 44 負荷(RL)
 - 45 電源(Vcc)
- 150、200、220、240、260、300、320、340、360、380

自旋電晶體

I_C	集極電流
I_B	基極電流
I_D	汲極電流
I_E	射極電流
V_{DD}	電源電壓
V_{CB}	基極-集極間之電壓
V_{CE}	集極-射極間之電壓
V_{DS}	汲極-源極間之電壓
V_{EB}	射極-基極間之電壓
V_{GS}	閘極-源極間之電壓
FM	強磁性金屬
FS	電傳導性強磁性半導體
IFS	絕緣性強磁性半導體
NM	非磁性體

伍、中文發明摘要：

在第一及第二強磁性阻障層 2、6 的磁化方向平行之場合，具有向上自旋的自旋極化熱電子 26，是被注入至基極 22。第二強磁性阻障層 6 的向上自旋帶端 9，因較自旋極化熱電子 26 的能量低，故自旋極化熱電子 26 經第二強磁性阻障層 6 的傳導帶傳導至集電極 7，成為集極電流。第一及第二強磁性阻障層 2、6 的磁化方向互相反平行之場合，在基極 22 注入有向下自旋的自旋極化熱電子 27 時，第二強磁性阻障層 6 的向下自旋帶端 10，較自旋極化熱電子 27 的能量高。因此，自旋極化熱電子 27 不能傳導通過在基極 22 與集極 23 的界面，會受到依存散亂或反射而失去能量，成為基極電流。因此，能夠依電晶體內含有的強磁性體層之相對的磁化方向而變化輸出特性。另，本發明並提供使用本發明之電晶體及具有同等輸出特性之自旋電晶體的非揮發性記憶體。

陸、英文發明摘要：

A novel spin transistor based on spin-filtering in ferromagnetic barrier layers is provided. When the relative magnetization configuration of the ferromagnetic barrier layers 2 and 6 is parallel, up-spin hot electrons 26 are injected into the base 22. Since the energy of the up-spin band edge 9 of the second ferromagnetic barrier layer 6 is lower than that of the up-spin hot electrons 26, the up-spin hot electrons 26 can pass over the conduction band of the second ferromagnetic barrier layer 6 and reach the

collector electrode 7, resulting in a collector current. In the case of the anti-parallel magnetization configuration of the ferromagnetic barrier layers 2 and 6, down-spin hot electrons 27 are injected into the base 22. Since the energy of the down-spin band edge 10 of the second ferromagnetic barrier 6 is higher than that of the down-spin hot electrons 27, the down-spin hot electrons 27 cannot be transported through the second ferromagnetic barrier layer 6. Thus, they are thermalized in the base 22 due to reflection by spin-dependent scattering at the interface between the base 22 and the collector 23, and form a base current. Therefore, the output characteristics of the proposed spin transistor can be controlled by changing the relative magnetization configuration of the ferromagnetic barrier layers 2 and 6. Using the above-described spin transistor and spin transistors that possess the similar output characteristics, nonvolatile memory has been also provided.

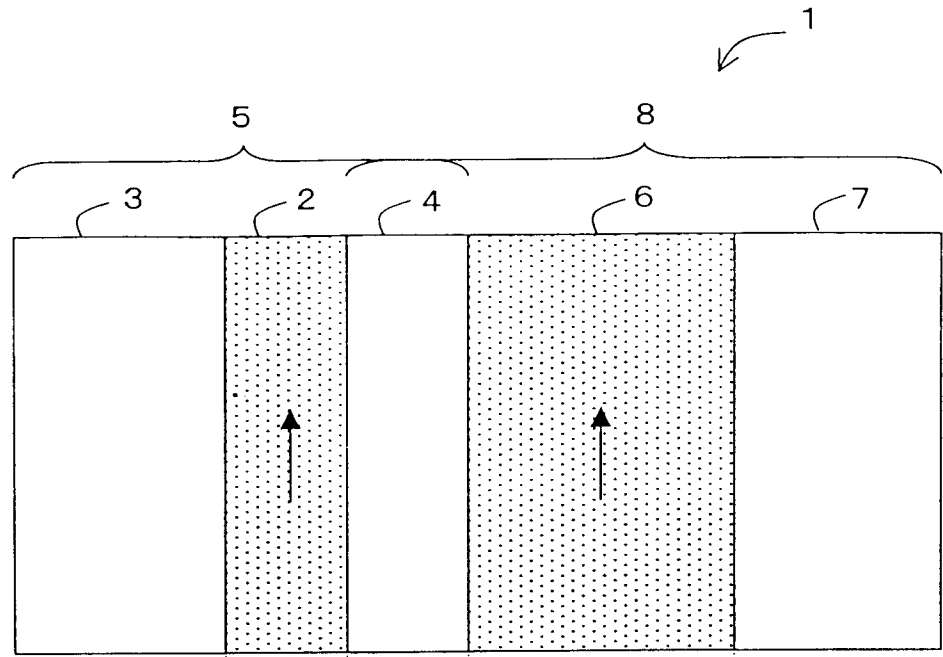
柒、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (2A) 圖。

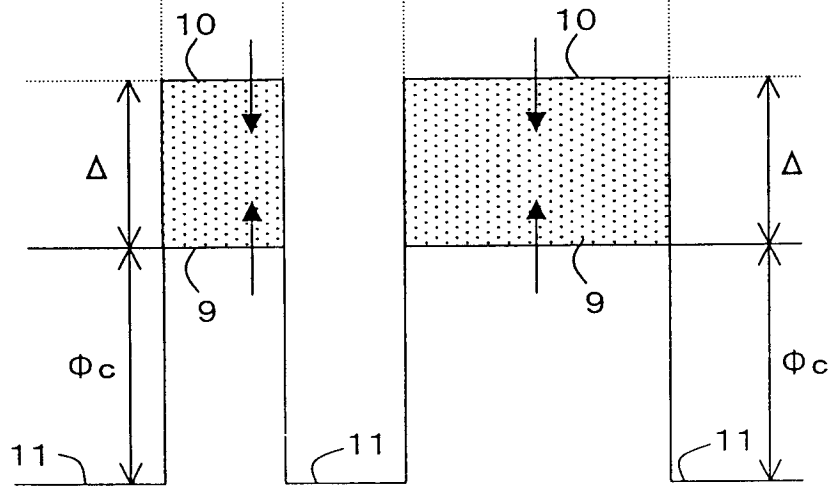
(二)本代表圖之元件代表符號簡單說明：

2	第一強磁性阻障層	6	第二強磁性阻障層
7	集電極	9	向上自旋帶
10	向下自旋帶	21	射極
22	基極	23	集極
26	自旋極化熱電子	27	自旋極化熱電子
I_B	基極電流	I_C	集極電流

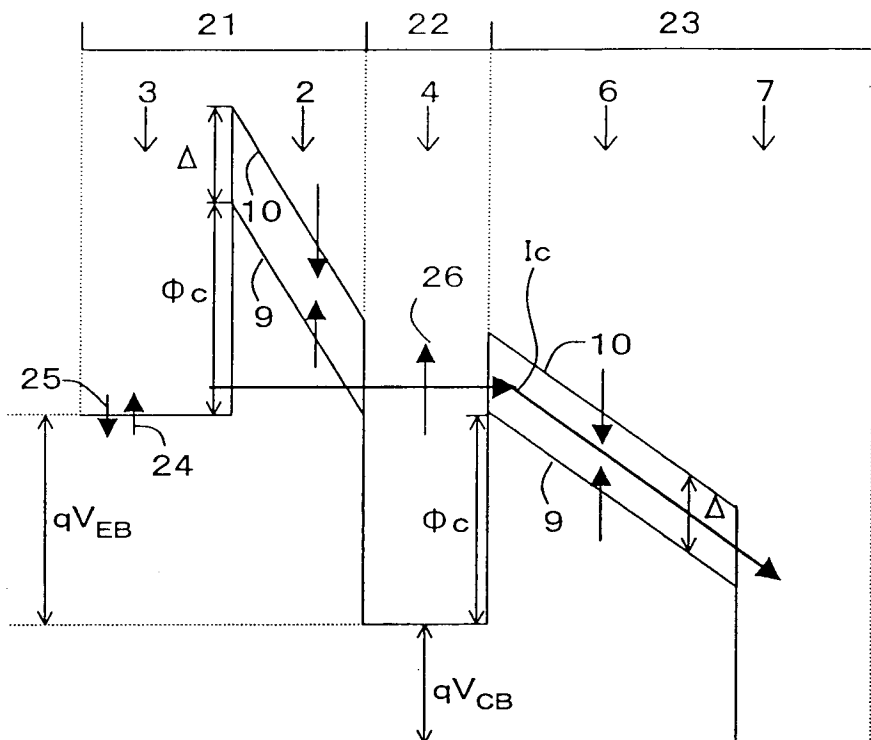
捌、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：



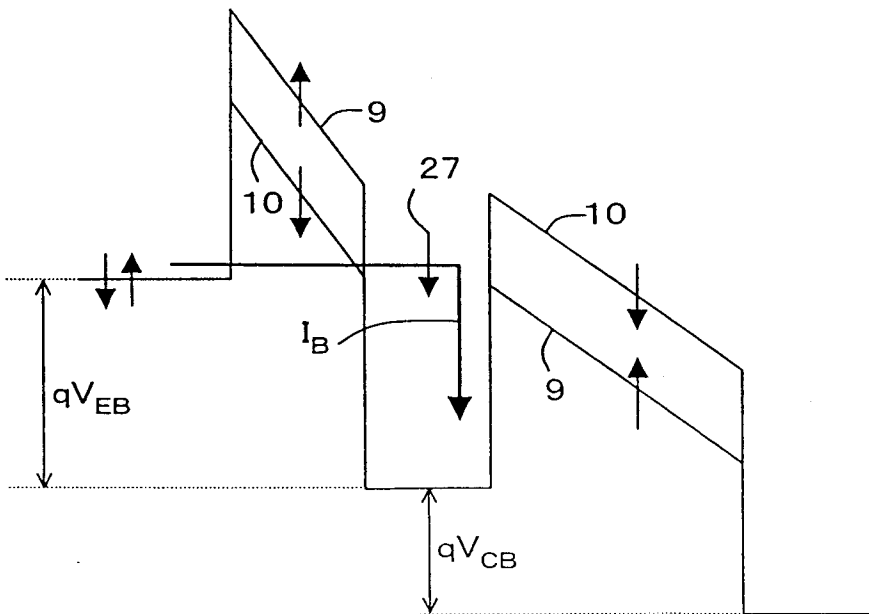
第 1A 圖



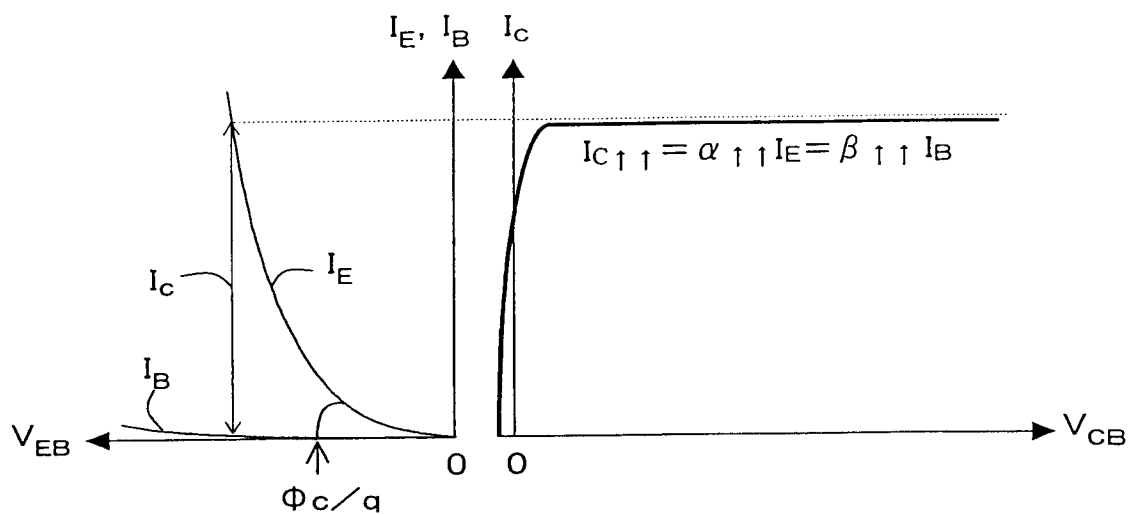
第 1B 圖



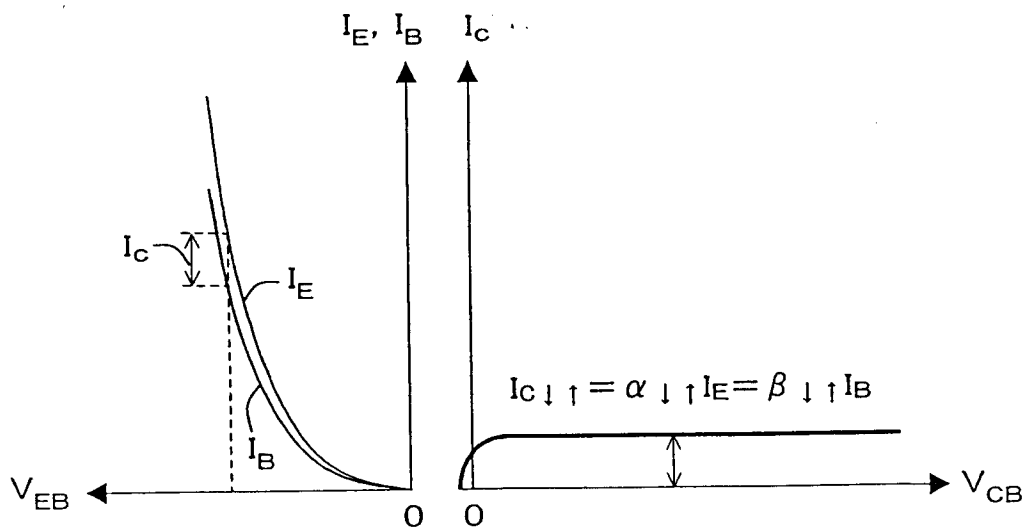
第 2A 圖



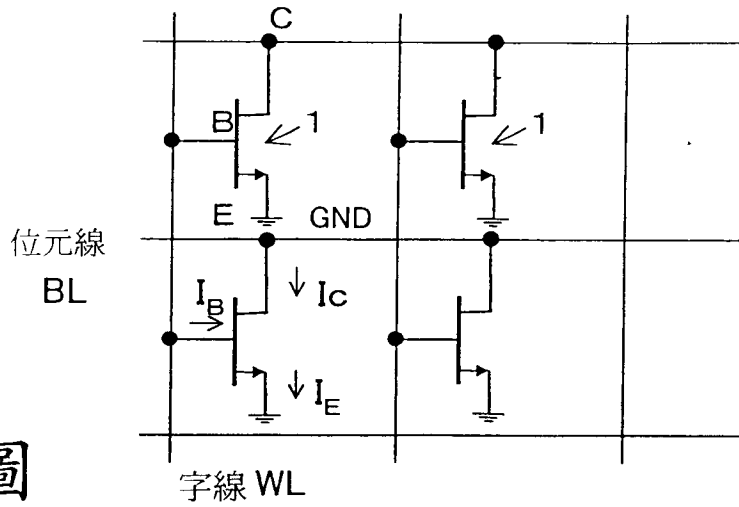
第 2B 圖



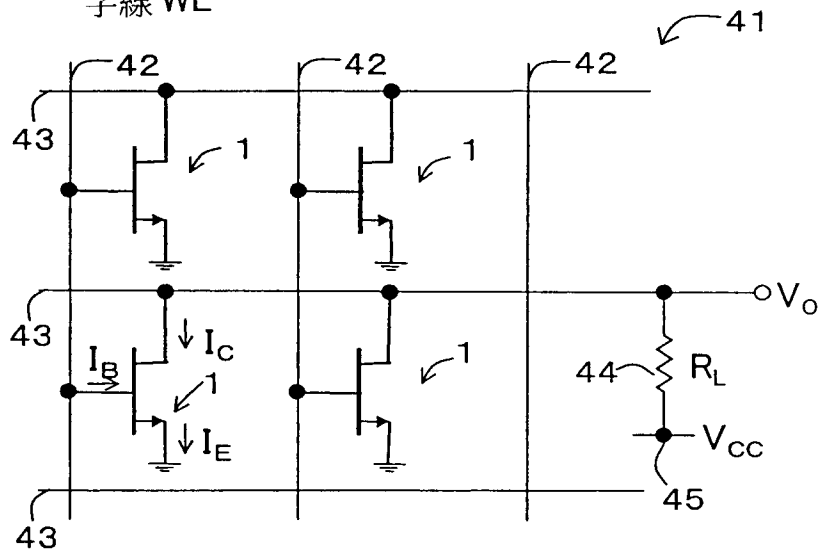
第 3A 圖



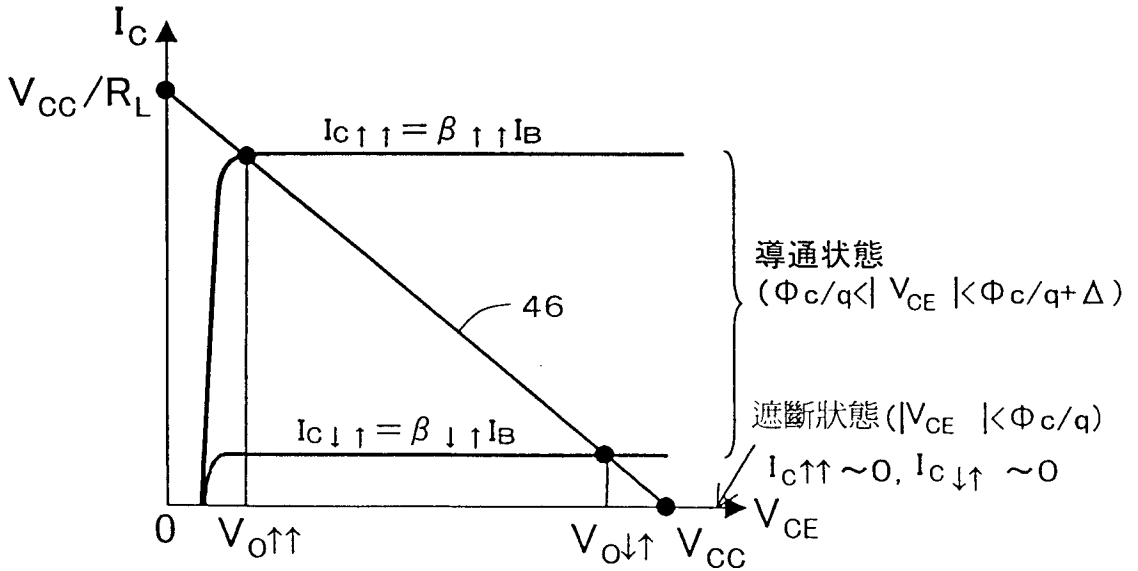
第 3B 圖



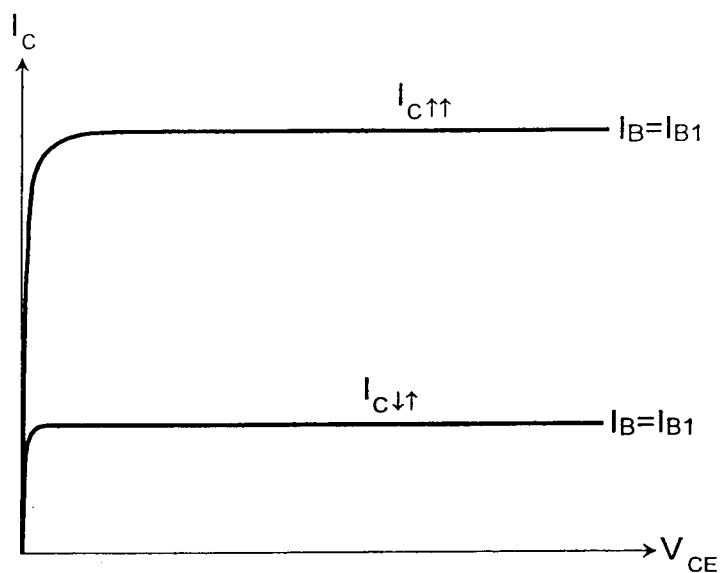
第 4A 圖



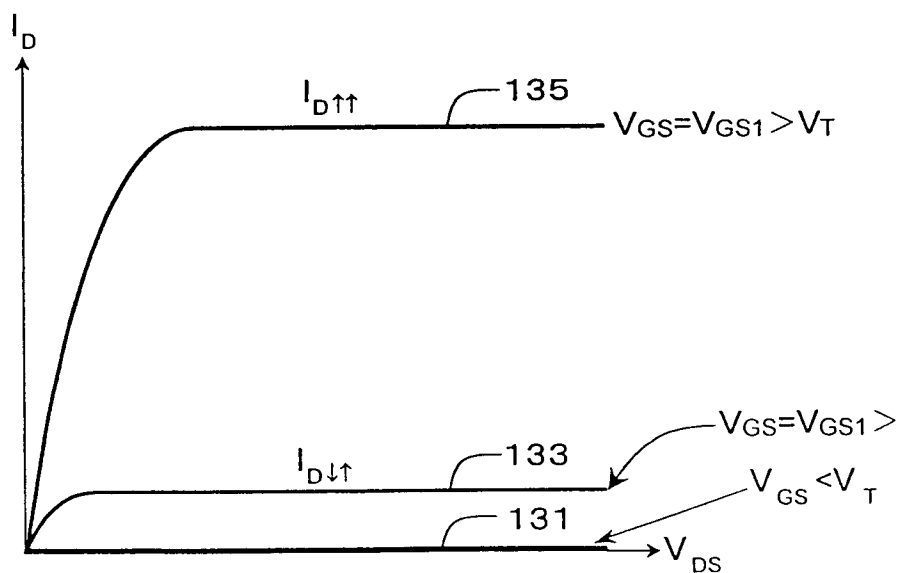
第 4B 圖



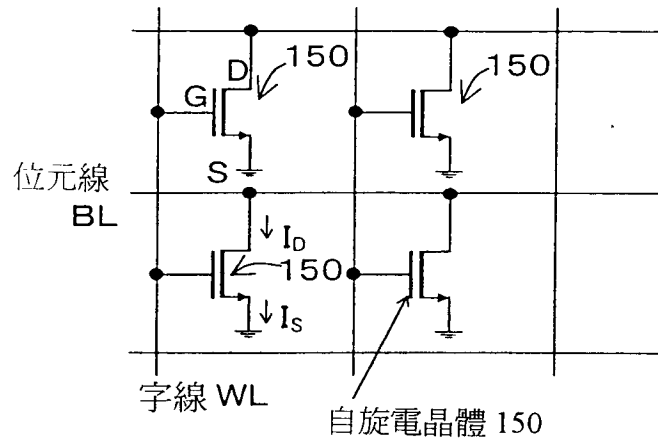
第 4C 圖



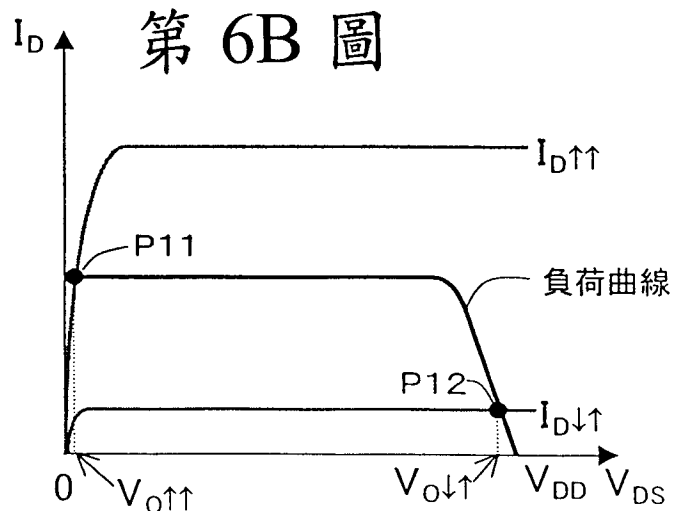
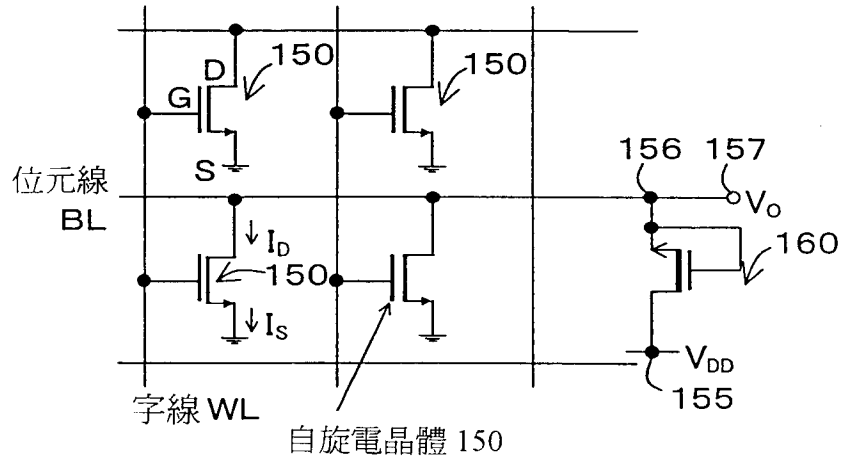
第 5A 圖



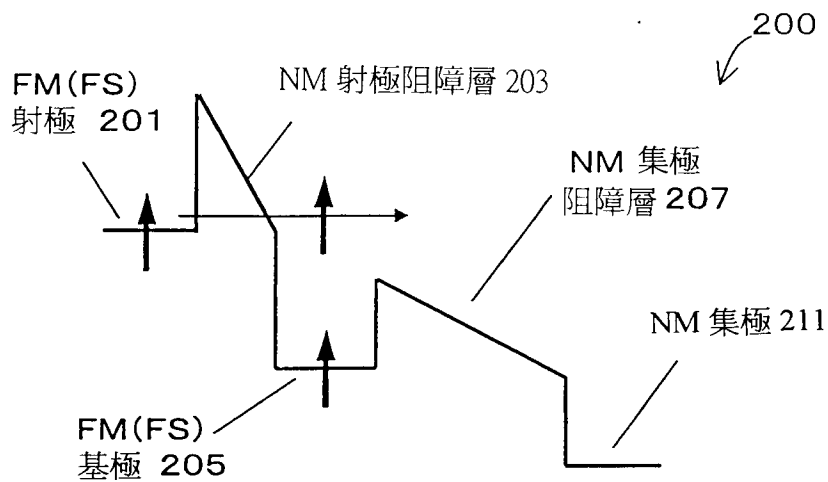
第 5B 圖



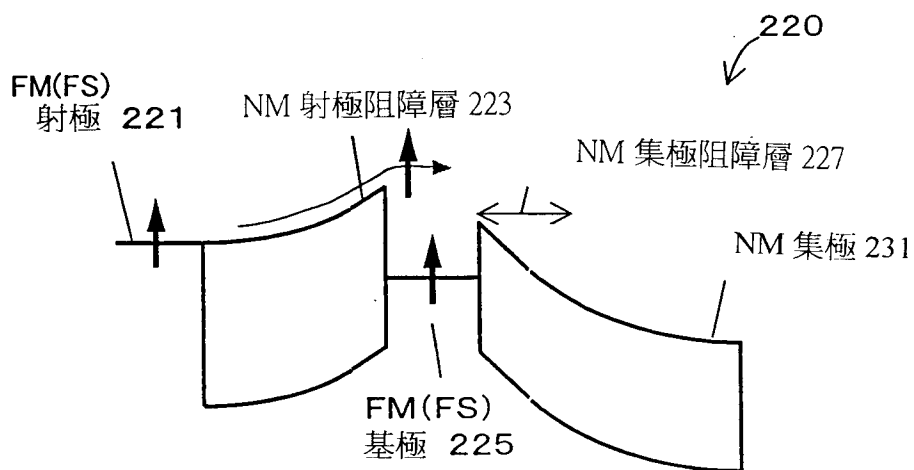
第 6A 圖



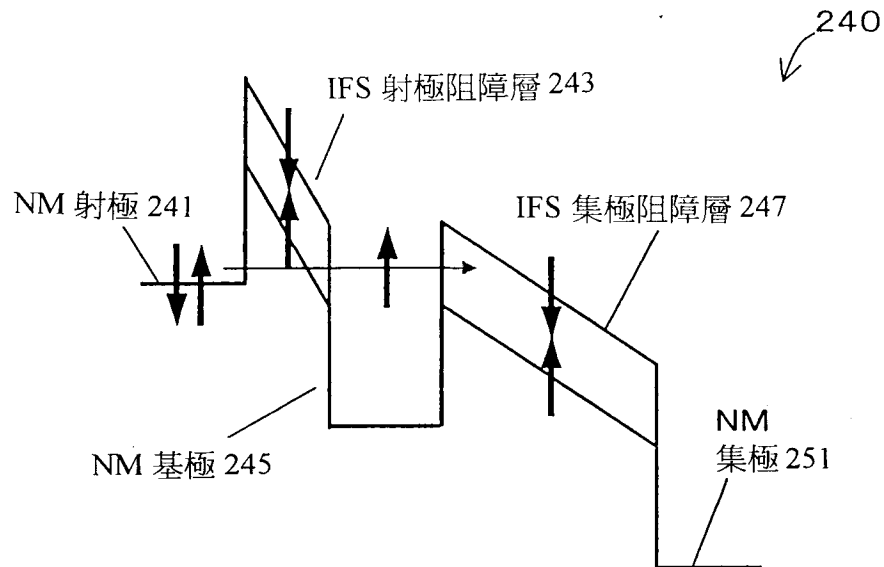
第 6C 圖



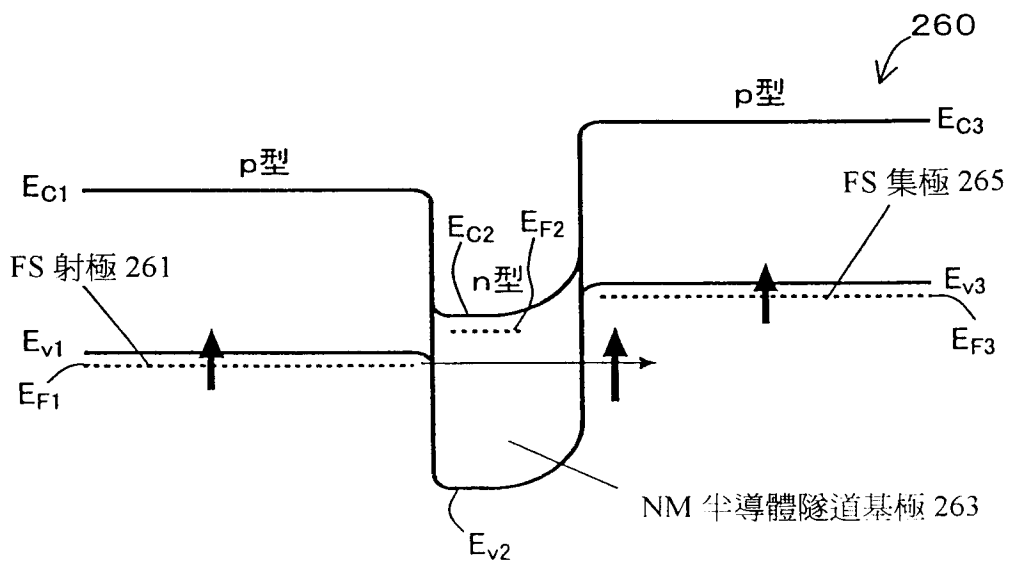
第 7 圖



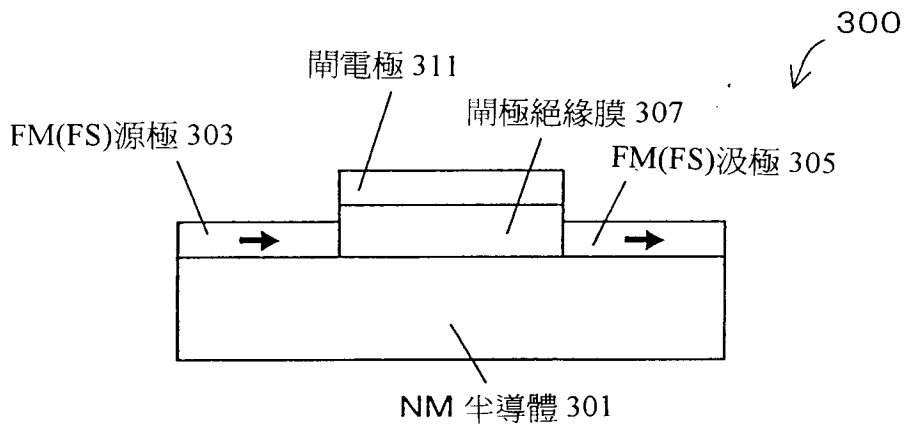
第 8 圖



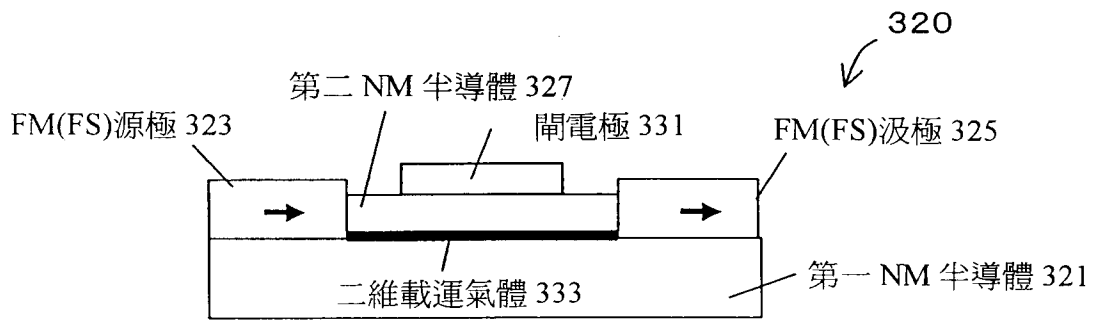
第 9 圖



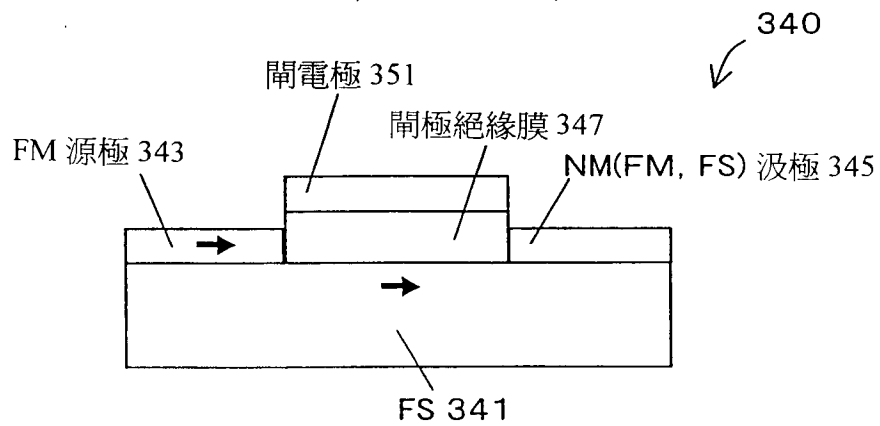
第 10 圖



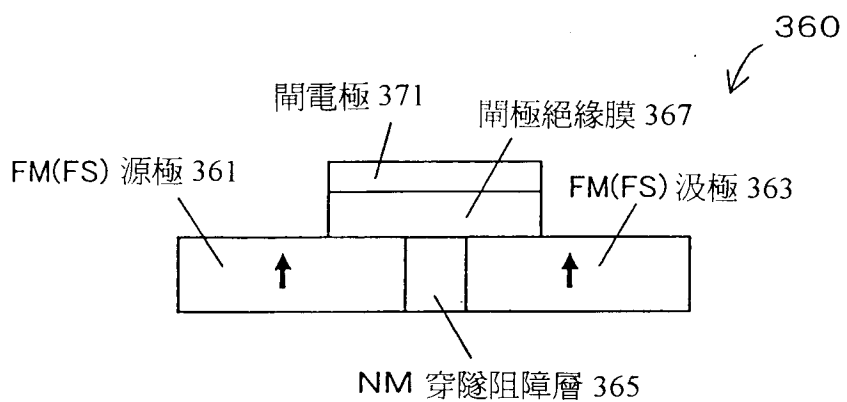
第 11 圖



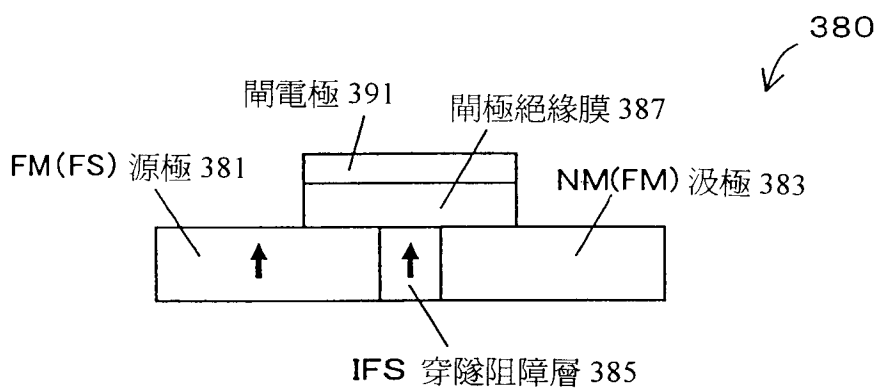
第 12 圖



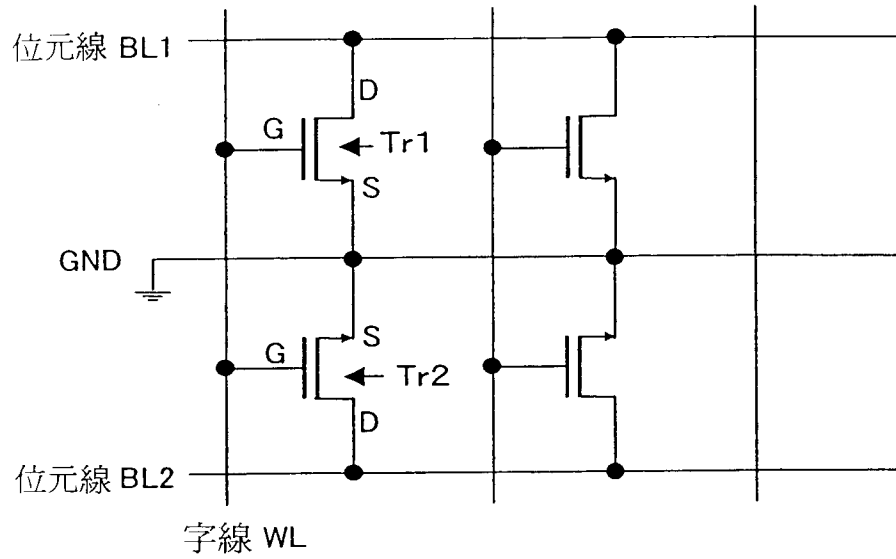
第 13 圖



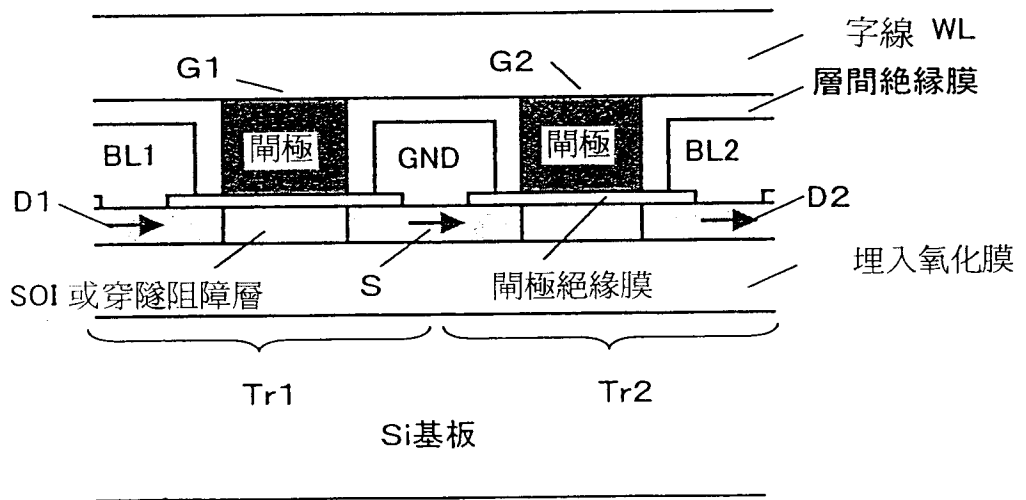
第 14 圖



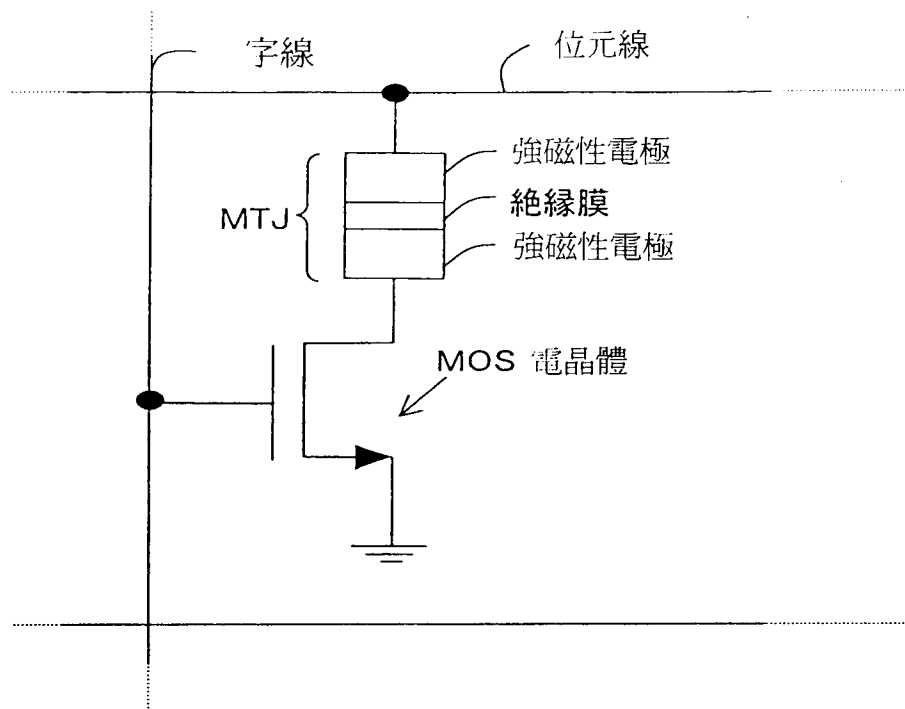
第 15 圖



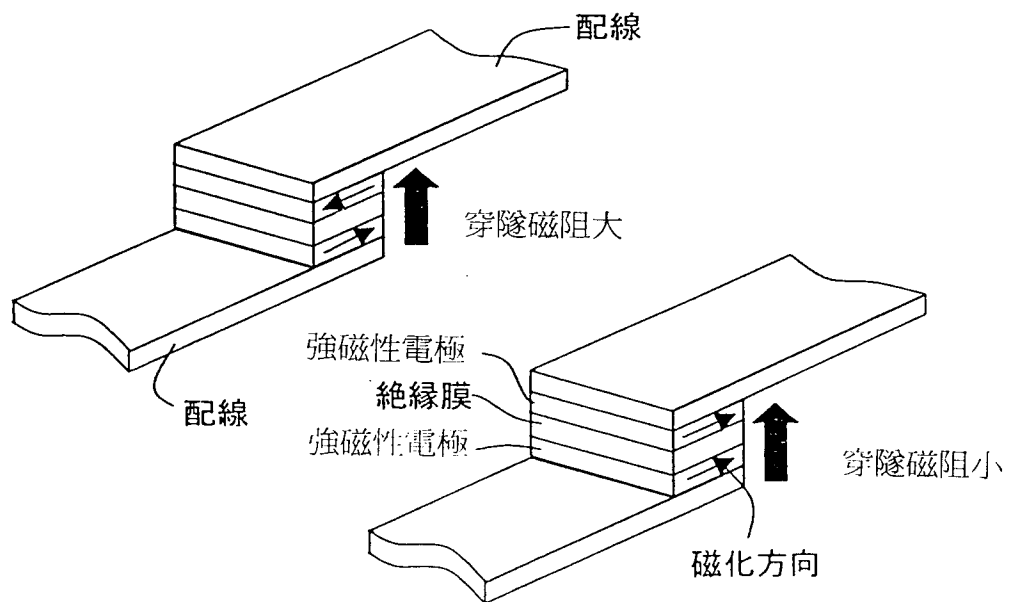
第 16A 圖



第 16B 圖



第 17A 圖



第 17B 圖

collector electrode 7, resulting in a collector current. In the case of the anti-parallel magnetization configuration of the ferromagnetic barrier layers 2 and 6, down-spin hot electrons 27 are injected into the base 22. Since the energy of the down-spin band edge 10 of the second ferromagnetic barrier 6 is higher than that of the down-spin hot electrons 27, the down-spin hot electrons 27 cannot be transported through the second ferromagnetic barrier layer 6. Thus, they are thermalized in the base 22 due to reflection by spin-dependent scattering at the interface between the base 22 and the collector 23, and form a base current. Therefore, the output characteristics of the proposed spin transistor can be controlled by changing the relative magnetization configuration of the ferromagnetic barrier layers 2 and 6. Using the above-described spin transistor and spin transistors that possess the similar output characteristics, nonvolatile memory has been also provided.

柒、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (2A) 圖。

(二)本代表圖之元件代表符號簡單說明：

2	第一強磁性阻障層	6	第二強磁性阻障層
7	集電極	9	向上自旋帶
10	向下自旋帶	21	射極
22	基極	23	集極
26	自旋極化熱電子	27	自旋極化熱電子
I_B	基極電流	I_C	集極電流

捌、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

年 月 日修正替換頁 97.12.18

拾、申請專利範圍：

1. 一種電晶體，其特徵在於包括：

一自旋注入器，注入由自旋過濾器效果而自旋極化的熱載體；以及

一自旋分析器，將該注入的自旋極化熱載體，依自旋過濾器效果選別。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述的電晶體，其中該自旋注入器，包括：

第一強磁性阻障層，在其兩端施加電壓時可形成載體的隧道；

第一非磁性電極層，連接該第一強磁性阻障層的一端面；以及

第二非磁性電極層，連接該第一強磁性阻障層的另一端面。

3. 如申請專利範圍第 1 項或第 2 項所述的電晶體，其中該自旋分析器包括：

第二強磁性阻障層；

第二非磁性電極層，連接該第二強磁性阻障層的一端面；以及

第三非磁性電極層，連接該第二強磁性阻障層的另一端面，並與上述之自旋注入器共用該第二非磁性電極層。

4. 如申請專利範圍第 2 項所述的電晶體，其中該第一及第二強磁性阻障層，含有強磁性半導體或強磁性絕緣體。

97.12.18
修正替換頁

5. 如申請專利範圍第 1 項或第 2 項所述的電晶體，其中該第二非磁性電極層的厚度，為在該第二非磁性電極層內的自旋極化熱載體的平均自由行程以下的厚度。

6. 如申請專利範圍第 1 項或第 2 項所述的電晶體，其中該自旋注入器的自旋過濾器效果，是利用當前述之第一非磁性電極層與第二非磁性電極層施加電壓，在該第一強磁性阻障層產生載體的穿隧效果時，在該第一非磁性電極層存在的載體中，自旋方向與該第一強磁性阻障層的帶端之自旋帶平行的載體，穿隧機率大；而與自旋方向成反平行的載體，穿隧機率小之現象。

7. 如申請專利範圍第 3 項所述的電晶體，其中該自旋分析器的自旋過濾器效果，是利用當該自旋注入器注入的自旋極化熱載體的自旋方向，與該第二強磁性阻障層之帶端的自旋帶之自旋方向平行之場合，該自旋極化熱載體經該第二強磁性阻障層的帶端之自旋帶，傳導到達該第三非磁性電極層；而在該自旋極化熱載體的自旋方向，與該第二強磁性阻障層之帶端的自旋方向反平行之場合，該自旋極化熱載體不能傳導至該第三非磁性電極層之現象。

8. 如申請專利範圍第 3 項所述的電晶體，其中在該第一非磁性電極層與第二非磁性電極層之間由第一電源施加第一電壓，在該第二非磁性電極層與第三非磁性電極層間，或在該第一非磁性電極層與第三非磁性電極層間，由第二電源施加第二電壓；並根據該第一強磁性阻障層與第二強磁性阻障層之相對的磁化方向，將自該第一非磁性電

年 月 日修正替換頁
07.12.18

極層注入第二非磁性電極層的自旋極化熱載體，切換為通過該第二強磁性阻障層與該第二電源的電流；或切換為通過該第二非磁性電極層與該第一電源的電流。

9. 如申請專利範圍第 8 項所述的電晶體，其中該第一電壓的施加，使注入之自旋極化熱載子的能量，大於在該第二強磁性阻障層的帶端之自旋帶端能量，小於該自旋帶端的能量加上自旋分裂幅度的能量。

10. 如申請專利範圍第 9 項所述的電晶體，其中利用施加磁場，可使該第一強磁性阻障層與第二強磁性阻障層內，任一方的磁化之方向反轉。

11. 一種記憶電路，其特徵在於使用如申請專利範圍第 1 項、或第 2 項、或第 9 項，或第 10 項所述的電晶體作為記憶單元。

12. 如申請專利範圍第 11 項所述的記憶電路，其中該電晶體的第二非磁性電極層連接字線，該電晶體的第三非磁性電極層連接位元線，該位元線經負荷連接電源，該電晶體的第一非磁性電極層接地。

13. 一種記憶元件，其特徵在於包括：

電晶體(以下稱自旋電晶體)，內部含有強磁性體，具有依存於載體之自旋方向的輸出特性；及

資訊複寫裝置，利用改變該強磁性體的磁化狀態，進行該自旋電晶體內的資訊複寫；以及

資訊讀出裝置，由前述之輸出特性將被記憶於該自旋電晶體內的磁化狀態的資訊讀出。

14. 如申請專利範圍第 13 項所述的記憶元件，其中該自旋電晶體包括：

可獨立控制磁化方向的強磁性體(以下稱「自由層」)，及磁化方向不能變化的強磁性體(以下稱「銷層」)，至少各有一個，

且能保持上述自由層與銷層同一磁化方向的第一狀態，與不同磁化方向的第二狀態之中的任一種狀態。

15. 一種記憶元件，其特徵在於使用如申請專利範圍第 14 項所述的記憶元件，其中該自旋電晶體利用該自由層對銷層之相對的磁化方向記憶資訊，並依據該依存於自由層與銷層之相對的磁化方向之該自旋電晶體的輸出特性，檢測出在該電晶體內記憶的資訊。

16. 如申請專利範圍第 14 項或第 15 項所述的記憶元件，其中該自旋電晶體包括：

注入自旋極化載體的第一電極構造；

接受注入之自旋極化載體的第二電極構造；以及

控制由該第一電極構造傳導至第二電極構造的自旋極化載體之量的第三電極構造，

其中上述第一至第三電極構造其中之一含有前述之自由層與銷層。

17. 一種記憶元件，包括：

如申請專利範圍第 16 項所述的記憶元件之自旋電晶體；

一第一配線，將該第一電極構造接地；

一第二配線，連接該第二電極構造；以及

年 月 日修正替換頁
97.12.18

一 第三配線，連接該第三電極構造。

18. 一種記憶元件，包括：

一 自旋電晶體，如申請專利範圍第 16 項所述的記憶元件之自旋電晶體；

一 第一配線，將該第一電極構造接地；

一 第二配線，連接該第二電極構造；

一 第三配線，連接該第三電極構造；

一 輸出端子，形成在該第二配線之一端，以及

一 第四配線，由該第二配線分岐，經負荷連接電源。

19. 如申請專利範圍第 17 項所述的記憶元件，其中另在該自旋電晶體上配有互相在電氣性絕緣之狀態交叉的第一別配線及第二別配線。

20. 如申請專利範圍第 19 項所述的記憶元件，其中上述的第一別配線及第二別配線可用該些第二配線及第三配線代替，或者是該第一別配線與第二別配線兩者中的任何一方用該第二配線與第三配線兩者中的任一方代替。

21. 如申請專利範圍第 19 項所述的記憶元件，其中利用對該些第一別配線及第二別配線，或該第二配線及第三配線通過電流感應產生的磁場，反轉該自由層的磁化方向，使前述銷層與自由層間相對的磁化狀態發生變化，以進行資訊的複寫。

22. 如申請專利範圍第 17 項所述的記憶元件，其中依據在該第三配線施加第一偏壓，及在該第一配線與第二配線之間施加第二偏壓之場合的該自旋電晶體的輸出特性，進行資訊的讀出。

97.12.18

23. 如申請專利範圍第 18 項所述的記憶元件，其中在對該第三配線施加第一偏壓之場合，依據在該電源與該第一配線之間產生的該負荷，及通過該自旋電晶體的電流經該負荷的電壓下降所得之輸出電壓，進行資訊的讀出。

24. 一種記憶電路，包括：

一個如申請專利範圍第 16 項所述之記憶元件，其中該自旋電晶體配置成矩陣狀；

一第一配線，分別把前述第一電極構造接地；

多數條的字線，呈列方向並排，共同連接該自旋電晶體的第三電極構造；以及

多數條的位元線，呈行方向排列，共同連接該自旋電晶體第二電極構造。

25. 一種記憶電路，包括：

如申請專利範圍第 16 項所述之記憶元件，其中該自旋電晶體配置成矩陣狀；

一第一配線，分別把前述第一電極構造接地；

多數條的字線，呈列方向並排，共同連接該自旋電晶體的第三電極構造；

多數條的位元線，呈行方向排列，共同連接該些自旋電晶體第二電極構造；

一輸出端子，形成在位元線的一端；以及

一第二配線，由該位元線分岐，經過負荷連接電源。

26. 如申請專利範圍第 24 項所述的記憶電路，更包括第一別配線及第二別配線，交叉成在該電晶體上配設互相

呈電氣性絕緣之狀態。

27. 如申請專利範圍第 26 項所述的記憶電路，其中上述的第一別配線及第二別配線可用前述的字線及位元線來代替，或者是該第一別配線與該第二別配線兩者中的任一方可用該些字線與位元線兩者中的任一方代替。

28. 如申請專利範圍第 26 項所述的記憶電路，其中利用該些第一別配線及第二別配線，或該些字線與位元線，通過電流感應產生的磁場，反轉該自由層的磁化方向，使上述銷層與自由層間之相對的磁化狀態發生變化，以進行資訊的複寫。

29. 如申請專利範圍第 24 項所述的記憶電路，其中依據在該些字線施加第一偏壓，及在該些第一配線與第二配線之間施加第二偏壓之場合的該自旋電晶體的輸出特性，進行資訊的讀出。

30. 如申請專利範圍第 25 項所述的記憶電路，其中在對該些字線施加第一偏壓之場合，依據該電源與該些第一配線之間發生的負荷，及通過該些自旋電晶體的電流，經該負荷的電壓下降所得的輸出電壓，進行資訊的讀出。

31. 一種記憶元件，包括：

一個如申請專利範圍第 16 項所述的記憶元件的一第一及一第二自旋電晶體；

第一配線，把上述第一及第二自旋電晶體共同的第一電極構造接地；

第二及第三配線，分別連接該第一自旋電晶體的第二電

年	月	日	修正	替換	頁
97	12	18			

極構造，及該第二自旋電晶體的第三電極構造；以及

第四配線，連接該第一自旋電晶體的第三電極構造，與該第二自旋電晶體的第三電極構造。

32. 一種記憶電路，包括：

多數個如申請專利範圍第 16 項所述的記憶元件，其中該多數個自旋電晶體配置成矩陣狀；

第一配線，連接前述之各第一電極構造並將之共同接地，其中該第一電極構造，是在該些多數的自旋電晶體之中，具有在行方向配置的多數個第一自旋電晶體之行，以及與該第一自旋電晶體之行在列方向鄰接，朝行方向配置的多數之第二自旋電晶體之行，及

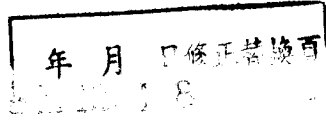
第一位元線及第二位元線，在上述多數個自旋電晶體中，第一位元線，共同連接在行方向配置有多數個第一自旋電晶體之行的第二電極構造；第二位元線，共同連接具有與上述第一自旋電晶體之行在列方向鄰接之第二自旋電晶體之行的前述第二電極構造；以及

字配線，共同連接在上述多數個前述自旋電晶體中在列方向配置有多數個自旋電晶體之列的第三電極結構。

33. 一種記憶電路，包括：

多數個如申請專利範圍第 16 項所述的記憶元件，其中該多數個自旋電晶體配置成矩陣狀；

多數條第一配線，連接前述之各第一電極構造並將之共同接地，其中該第一電極構造，是在該些多數的自旋電晶體之中，具有在行方向配置的多數個第一自旋電晶體之



行，以及與該第一自旋電晶體之行在列方向鄰接，朝行方向配置的多數之第二自旋電晶體之行，該些第一配線是每兩行設有一條及

多數條第一位元線及多數條第二位元線，在上述多數個自旋電晶體中，第一位元線，共同連接在行方向配置有多數個第一自旋電晶體之行的第二電極構造，該些第一位元線是每兩個該自旋電晶體之行便設有一條；第二位元線，共同連接具有與上述第一自旋電晶體之行在列方向鄰接之第二自旋電晶體之行的前述第二電極構造，該些第二位元線是每兩個該自旋電晶體之行便設有一條；以及

多數條的字線，共同連接在上述多數個自旋電晶體中在列方向配置有多數個自旋電晶體之列的第三電極構造。

34. 如申請專利範圍第 20 項所述的記憶元件，其中在換置掉上述第一別配線或第二別配線之兩者中任一方的前述第二配線或第三配線，及該未被換置一方之第一別配線或第二別配線，通過電流感應產生之磁場，使該自由層的磁化反轉，變化該銷層與自由層之間相對的磁化狀態，以進行資訊的複寫。

35. 如申請專利範圍第 27 項所述的記憶電路，其中在換置掉上述之第一別配線或第二別配線兩者之任一方的該字線或該位元線，及該未被換置的一方之第一別配線或第二別配線，通過電流感應產生的磁場，使該自由層與該銷層之間相對的磁化狀態變化，以進行資訊的複寫。

36. 一種電晶體，其特徵在於包括：

97.12.18

一自旋注入器，注入由自旋過濾器效果而自旋極化的熱載體；以及

一自旋分析器，將該注入的自旋極化熱載體，依自旋過濾器效果選別，

其中該自旋注入器以及該自旋分析器的至少其中之一包含由強磁性體所構成的阻障層。

37. 一種電晶體，其特徵在於包括：

一自旋注入器，注入由自旋過濾器效果而自旋極化的載體；以及

一自旋分析器，將該注入的自旋極化載體，依自旋過濾器效果選別，

其中該自旋注入器以及該自旋分析器的至少其中之一包含由強磁性體所構成的阻障層。

38. 一種電晶體，其特徵在於包括：

一射極，由強磁性體構成；

一基極，由強磁性體構成；

一集極，由強磁性體或非磁性體構成；以及

一第一阻障層，設置在該射極與該基極之間；

一第二阻障層，由非磁性體構成，設置在該基極與該集極之間；

其中極化的載體藉由 Fowler-Nordheim 穿隧由該射極注入該基極。

39. 如申請專利範圍第 38 項所述的電晶體，其中該射極與該基極由強磁性金屬或強磁性半導體構成。

40. 如申請專利範圍第 38 項所述的電晶體，其中該射極與該基極由強磁性半導體形成，該第一阻障層與該第二阻障層由半導體形成。

41. 如申請專利範圍第 38 項所述的電晶體，其中藉由調整該第一阻障層與該第二阻障層的阻障大小，可使該電晶體在室溫動作。

42. 如申請專利範圍第 38 項所述的電晶體，其中由該射極注入該基極的載體，其向該集極的電流傳送率是依存於該射極與該基極的相對磁化方向。

43. 一種電晶體，其特徵在於包括：

一射極，由強磁性體構成；

一基極，由強磁性體構成；

一集極，由強磁性體或非磁性體構成；

一第一阻障層，設置在該射極與該基極之間；以及

一第二阻障層，設置在該基極與該集極之間；

其中極化的載體藉由放熱由該射極注入該基極。

44. 如申請專利範圍第 43 項所述的電晶體，其中該射極與該基極由強磁性半導體形成，該第一阻障層與該第二阻障層由半導體形成。

45. 如申請專利範圍第 43 項所述的電晶體，其中該射極與該第一阻障層利用歐姆接點或穿隧接點而形成。

46. 如申請專利範圍第 43 項所述的電晶體，其中該基極與該第一阻障層之間的阻障結構，在該基極為強磁性金屬時由蕭特基接合所形成，在該基極為強磁性半導體時基

於該基極與該第一阻障層的不連續帶所形成。

47. 如申請專利範圍第 43 項所述的電晶體，其中該基極與該第二阻障層之間的阻障結構，在該基極為強磁性金屬時由蕭特基接合所形成，在該基極為強磁性半導體時基於該基極與該第二阻障層的不連續帶所形成。

48. 如申請專利範圍第 43 項所述的電晶體，其中該射極由強磁性半導體構成，該基極由強磁性金屬構成，該第一阻障層藉由強磁性半導體與強磁性金屬之間所形成的蕭特基阻障而形成。

49. 如申請專利範圍第 43 項所述的電晶體，其中由該射極注入該基極的載體，其向該集極的電流傳送率是依存於該射極與該基極的相對磁化方向。

50. 一種電晶體，其特徵在於包括：

一射極，由第一傳導電型強磁性半導體構成；

一集極，由第一傳導電型強磁性半導體構成；以及

一基極，由與第一傳導電型相異的第二傳導型強磁性半導體構成，該基極的寬度調整至由該射極至該集極產生載體的穿隧的寬度。

51. 如申請專利範圍第 50 項所述的電晶體，其中藉由在射極-基極間與基極-集極間形成第 II 型的異質接合，以使該基極對該射極與該集極的多數載體成為穿隧阻障，該射極與該集極對該基極的多數載體形成能量阻障。

52. 如申請專利範圍第 50 項所述的電晶體，其中藉由該射極與該集極的相對極化方向，控制相互傳導性或是輸

年 月 日修正替換頁 97.12.18

出電流的大小。

53. 一種電晶體，其特徵在於包括：

一強磁性半導體層；

一源極與一汲極，相對於該強磁性半導體層而形成；以及

一閘極電極，相對於該強磁性半導體層而形成，

該源極與該汲極的至少其中之一由強磁性體所構成。

54. 如申請專利範圍第 53 項所述的電晶體，其中該源極與該汲極的至少其中之一所使用的強磁性體為強磁性金屬或強磁性半導體。

55. 如申請專利範圍第 53 項所述的電晶體，其中該源極與該汲極的至少其中之一，是由強磁性金屬與該強磁性半導體的蕭特基接合所形成。

56. 如申請專利範圍第 53 項所述的電晶體，其中更具有閘極絕緣層設置在該強磁性半導體層與該閘極之間。

57. 如申請專利範圍第 53 項所述的電晶體，其中藉由該源極或該汲極與該強磁性半導體的相對極化方向，控制相互傳導性或是輸出電流的大小。

58. 一種電晶體，其特徵在於包括：

一穿隧接合結構，該穿隧接合結構由：

一穿隧阻障，由絕緣性的非磁性體所形成；

一源極，由強磁性體所形成；以及

一汲極，由強磁性體所形成，其中該源極與該汲極夾持該穿隧阻障；以及

年 月 日修正替換頁
97.12.18

一閘極電極，相對於該穿隧阻障而形成。

59. 如申請專利範圍第 58 項所述的電晶體，其中該源極與該汲極所使用的強磁性體為強磁性金屬或強磁性半導體。

60. 如申請專利範圍第 58 項所述的電晶體，其中該穿隧阻障的厚度調整至藉由在閘極電極施加電壓產生由該源極至該汲極之穿隧電流的程度。

61. 如申請專利範圍第 58 項所述的電晶體，其中藉由該源極與該汲極的相對極化方向，控制相互傳導性或是輸出電流的大小。

62. 一種電晶體，其特徵在於包括：

一穿隧接合結構，該穿隧接合結構由：

一穿隧阻障，由絕緣性的強磁性體所形成；

一源極，由強磁性體所形成；以及

一汲極，由非磁性體或強磁性體所形成，其中該源極與該汲極夾持該穿隧阻障；以及

一閘極電極，相對於該穿隧阻障而形成。

63. 如申請專利範圍第 62 項所述的電晶體，其中該源極與該汲極所使用的強磁性體為強磁性金屬或強磁性半導體。

64. 如申請專利範圍第 62 項所述的電晶體，其中該穿隧阻障的厚度調整至藉由在閘極電極施加電壓產生由該源極至該汲極之穿隧電流的程度。

65. 如申請專利範圍第 62 項所述的電晶體，其中藉由

97.12.18

該源極與該穿隧阻障該汲極的相對極化方向，控制相互傳導性或是輸出電流的大小。

66. 一種記憶元件，其特徵在於包括：

電晶體，如申請專利範圍第 36 項至第 64 項的其中之一所述；

資訊複寫裝置，利用改變該電晶體內所含強磁性體的磁化狀態，進行該電晶體內的資訊複寫；以及

資訊讀出裝置，由該電晶體之輸出特性將被記憶的磁化狀態的資訊讀出。

67. 如申請專利範圍第 66 項所述的記憶元件，其中如申請專利範圍第 36 項至第 64 項的其中之一所述的電晶體包括：

可獨立控制磁化方向的強磁性體(以下稱「自由層」)，及磁化方向不能變化的強磁性體(以下稱「銷層」)，

且能保持上述自由層與銷層同一磁化方向的第一狀態，與不同磁化方向的第二狀態。

68. 一種記憶元件，其特徵在於使用如申請專利範圍第 36 項至第 65 項的其中之一所述的一電晶體，該電晶體包括：一自由層，為可獨立控制磁化方向的強磁性體；以及一銷層，為磁化方向不能變化的強磁性體，

利用該自由層對該銷層之相對的磁化方向記憶資訊，並依據該依存於該自由層與該銷層之相對的磁化方向之該電晶體的輸出特性，檢測出在該電晶體內記憶的資訊。

69. 一種記憶元件，包括：

如申請專利範圍第36項至第52項的其中之一所述的電
晶體；

- 一 第一配線，連接該射極；
- 一 第二配線，連接該基極；以及
- 一 第三配線，連接該集極。

70. 一種記憶元件，包括：

如申請專利範圍第53項至第64項的其中之一所述的電
晶體；

- 一 第一配線，連接該源極；
- 一 第二配線，連接該閘極；以及
- 一 第三配線，連接該汲極。