



(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 I616007 B

(45)公告日：中華民國 107 (2018) 年 02 月 21 日

(21)申請案號：105117391

(22)申請日：中華民國 105 (2016) 年 06 月 02 日

(51)Int. Cl. : *H01L43/08 (2006.01)* *H01L43/02 (2006.01)*
H01L43/12 (2006.01) *H01L43/10 (2006.01)*
G01R33/09 (2006.01) *H01F10/32 (2006.01)*

(30)優先權：2015/06/05 美國 62/171,532

(71)申請人：愛列果微系統公司 (美國) ALLEGRO MICROSYSTEMS, LLC (US)
美國

(72)發明人：費蒙 克勞德 FERMON, CLAUDE (FR)；坎皮利奧 保羅 CAMPIGLIO, PAOLO (IT)；肯達根 布萊恩 CADUGAN, BRYAN (US)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

TW 201436316A

US 2007/0063237A1

WO 2005/020242A2

審查人員：廖崑男

申請專利範圍項數：36 項 圖式數：21 共 83 頁

(54)名稱

對磁場具有改良響應的自旋閥磁阻元件

SPIN VALVE MAGNETORESISTANCE ELEMENT WITH IMPROVED RESPONSE TO MAGNETIC FIELDS

(57)摘要

自旋閥磁阻元件具有偶數個自由層結構，相對於有關聯的被釘扎層，該自由層結構之一半具有反鐵磁性耦合，且其另一半具有鐵磁性耦合。該不同耦合係具有個別厚度不同之偶數個不同間隔層的結果。

A spin valve magnetoresistance element has an even number of free layer structures for which half has an antiferromagnetic coupling and the other half has a ferromagnetic coupling with respect to associated pinned layers. The different couplings are the result of an even number different spacer layers having respective different thicknesses.

指定代表圖：

符號簡單說明：

1700 . . . 雙重自旋
閥磁阻元件

1702 . . . 部份

1704 . . . 部份

1706 . . . 釘扎層

1708 . . . 間隔層

1710 . . . 間隔層

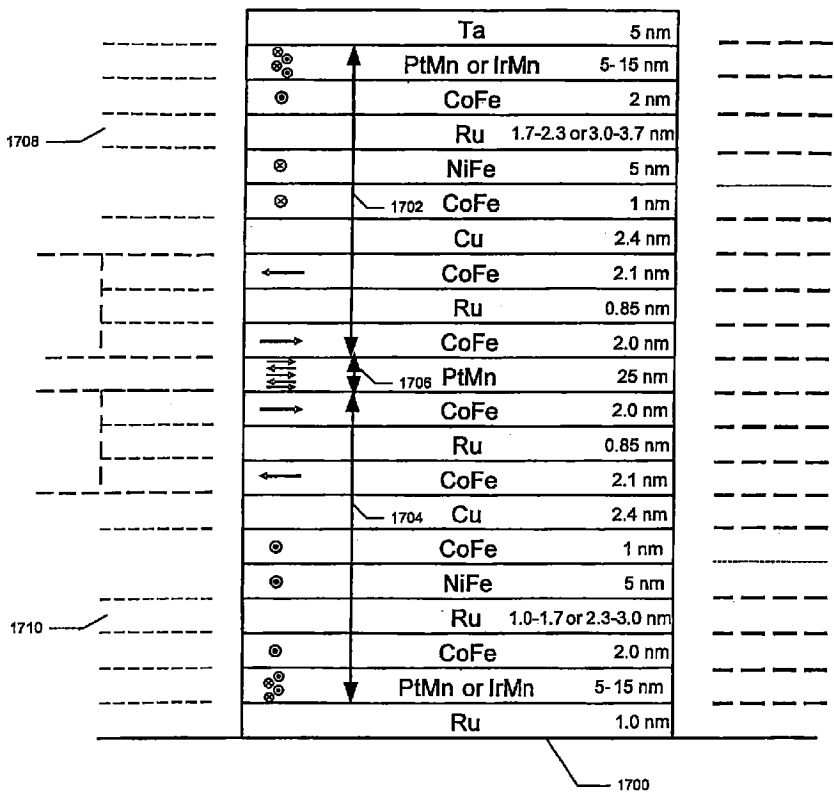


圖 17

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

對磁場具有改良響應的自旋閥磁阻元件

Spin valve magnetoresistance element with improved response to
magnetic fields

【技術領域】

本發明大致上有關自旋電子設備磁阻元件，且更特別地是，有關自旋閥巨磁阻（GMR）元件及自旋閥隧道磁阻（TMR）元件，其具有二或更多有效區，以對磁場提供改良的響應。

【先前技術】

如在此中所使用，該“磁場感測元件”一詞被使用於敘述可感測磁場之各種電子元件。一種此磁場感測元件係磁阻（MR）元件。該磁阻元件具有關於被該磁阻元件所經歷的磁場而改變之電阻。

如被得知，有不同型式的磁阻元件，譬如，半導體磁阻元件、諸如銻化銮（InSb）、巨磁阻（GMR）元件、各向異性磁阻元件（AMR）、及亦被稱為磁性隧道接面（MTJ）元件之隧道磁阻（TMR）元件。

關於這些磁阻元件，該 GMR 及該 TMR 元件以自旋電子設備操作（亦即，電子自旋），在此該電阻係有關藉由

非磁性層所分開的不同磁性層之磁性取向。於自旋閥組構中，該電阻係有關所謂“自由層”分別對於所謂“參考層”的另一層之磁化的角方向。該自由層及該參考層係在下面被更充分地敘述。

該磁阻元件可為單一元件，或另一選擇係，可包括被配置在各種組構、例如半電橋或全（惠斯登）電橋中之二或更多磁阻元件。

如在此中所使用，該“磁場感測器”一詞被使用於敘述使用磁場感測元件的電路，且大致上與其他電路組合。於典型之磁場感測器中，該磁場感測元件及其他電路可被整合在共用基板上。

磁場感測器被使用於各種應用，包括、但不限於感測磁場的方向之角度的角度感測器；感測藉由載電流導體所載送之電流所產生的磁場之電流感測器；感測鐵磁性物體的接近度之磁性開關；感測通過鐵磁性物件、譬如環磁鐵或鐵磁性標靶（例如齒輪齒）的磁域之旋轉偵測器，在此該磁場感測器係與反饋偏壓的或另一磁鐵組合地使用；及感測磁場之磁場密度的磁場感測器。

各種參數描繪磁場感測器之性能及磁場感測元件的特徵。相對於磁場感測元件，該參數包括敏感性，其係磁場感測元件響應一磁場之輸出信號中的變化；及線性度，其係磁場感測器之輸出信號對該磁場線性地變動（亦即，成正比）的程度。

GMR 及 TMR 元件係已知的，以譬如比較於霍爾元件

具有相當高之敏感性。GMR 及 TMR 元件係亦已知的，以具有適當良好之線性度，但超過磁場的限制範圍，比超過霍爾元件能操作之範圍更受限於範圍中。然而，其係已知甚至在磁場的受限制範圍中，該 GMR 或 TMR 元件之線性度遭受不規則部份。其係亦已知一些 GMR 及 TMR 元件傾向於在高溫度儲存之後改變行為。如此，其將為想要的是提供用於線性度不規則部份被減少及用於高溫儲存具有減少之效應的 GMR 或 TMR 元件。

傳統 GMR 及 TMR 元件，且尤其是自旋閥係已知亦具有不想要之磁滯現象行為，其減少磁場或電流測量的其準確性。如此，其將亦想要的是提供具有減少之磁滯現象的 GMR 或 TMR 元件。

傳統 GMR 及 TMR 元件、且尤其是自旋閥係亦已知具有磁性不對稱，其可導致輸出信號之非百分之五十的工作循環。如此，其將為想要的是提供具有改良之磁性對稱的 GMR 或 TMR 元件。

【發明內容】

本發明提供 GMR 或 TMR 元件（或任何自旋電子設備磁阻元件）用於該等線性度不規則部份被減少，磁滯現象行為被強烈地減少，及用於該高溫及高場儲存條件具有減少之效應。於一些實施例中，本發明亦可提供具有改良的磁性對稱之 GMR 或 TMR 元件（或任何自旋電子設備磁阻元件）。

按照對於了解本發明的態樣有用之範例，被沈積在基板上的磁阻元件可包括：

偶數個自由層結構，該偶數個自由層結構包含第一及第二自由層結構；

偶數個間隔層，該偶數個間隔層包含第一及第二間隔層；及

偶數個被釘扎層結構，該偶數個被釘扎層結構包含第一及第二被釘扎層結構，其中該偶數個自由層結構、該偶數個間隔層、及該偶數個被釘扎層結構被設置在堆疊層中，其中第一間隔層係由具有第一厚度之第一材料所構成，該第一材料及該第一厚度被選擇，以在該第一被釘扎層結構與該第一自由層結構之間導致反鐵磁性耦合或鐵磁性耦合的第一被選擇之耦合，且其中該第二間隔層係由具有第二厚度的第二材料所構成，所選擇之該第二材料及該第二厚度在該第二被釘扎層結構與該第二自由層結構之間導致反鐵磁性耦合或鐵磁性耦合的第二被選擇之耦合。

於一些實施例中，該上面磁阻元件能以任何組合包括以下態樣的一或多個。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第一及第二間隔層係由釘（Ru）所構成。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第一被選擇厚度係在約 1.0 奈米至約 1.7 奈米或約 2.3 奈米至約 3.0 奈米的範圍中，且其中該第二被選擇厚度係於約 1.7 奈米至約 2.3 奈米或約 3.0 奈米至約 3.7 奈米之範圍中。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第二被選擇厚度係在約 1.0 奈米至約 1.7 奈米或約 2.3 奈米至約 3.0 奈米的範圍中，且其中該第一被選擇厚度係於約 1.7 奈米至約 2.3 奈米或約 3.0 奈米至約 3.7 奈米之範圍中。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第一及第二被釘扎層結構的每一者由一個別之被釘扎層所組成。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第一及第二被釘扎層結構的每一者包含一個別之合成反鐵磁性（SAF）結構。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第一及第二被釘扎層結構的每一者由一個別之被釘扎層所組成。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第一及第二被釘扎層結構的每一者包含一個別之合成反鐵磁性（SAF）結構。

於一些實施例中，該上面的磁阻元件可包括：

奇數個釘扎層，包含至少第一、第二、及第三釘扎層，該第一及第二釘扎層分別磁性地耦合至該第一及第二被釘扎層結構；

其中該偶數個被釘扎層結構另包含第三及第四被釘扎層結構，其中該第三釘扎層係磁性地耦合至該第三及第四被釘扎層結構兩者的共用釘扎層。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第一及第二釘扎層係由 PtMn 所構成。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第三釘扎層係

由 PtMn 所構成。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第一及第二釘扎層的退火磁性方向係彼此平行，且其中該第三釘扎層之退火磁性方向相對該第一及第二釘扎層的退火磁性方向係九十度。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該磁阻元件的至少一部份具有磁軛形狀。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該磁軛形狀的長度（L）及該磁軛形狀之橫側支臂的長度（d）之每一者係該磁軛形狀的該寬度（w）之至少三倍，且該磁軛形狀的寬度（w）係在約一微米及約二十微米之間，其中該長度（L）係該磁軛形狀的最長尺寸。

按照對於了解本發明之態樣有用的另一範例，製造磁阻元件之方法可包括：

將該磁阻元件沈積在基板上，該磁阻元件包含：

偶數個自由層結構，該偶數個自由層結構包含第一及第二自由層結構；

偶數個間隔層，該偶數個間隔層包含第一及第二間隔層；及

偶數個被釘扎層結構，該偶數個被釘扎層結構包含第一及第二被釘扎層結構，其中該偶數個自由層結構、該偶數個間隔層、及該偶數個被釘扎層結構被設置在堆疊層中，其中第一間隔層係由具有第一厚度之第一材料所構成，該第一材料及該第一厚度被選擇，以在該第一被釘扎

層結構與該第一自由層結構之間導致反鐵磁性耦合或鐵磁性耦合的第一被選擇之耦合，且其中該第二間隔層係由具有第二厚度的第二材料所構成，所選擇之該第二材料及該第二厚度在該第二被釘扎層結構與該第二自由層結構之間導致反鐵磁性耦合或鐵磁性耦合的第二被選擇之耦合，其中該方法另包含：

將該磁阻元件退火。

於一些實施例中，該上面方法能以任何組合包括以下態樣的一或多個。

於該上面方法之一些實施例中，該第一及第二間隔層係由 Ru 所構成。

於該上面方法之一些實施例中，該第一被選擇厚度係在約 1.0 奈米至約 1.7 奈米或約 2.3 奈米至約 3.0 奈米的範圍中，且其中該第二被選擇厚度係於約 1.7 奈米至約 2.3 奈米或約 3.0 奈米至約 3.7 奈米之範圍中。

於該上面方法之一些實施例中，該第二被選擇厚度係在約 1.0 奈米至約 1.7 奈米或約 2.3 奈米至約 3.0 奈米的範圍中，且其中該第一被選擇厚度係於約 1.7 奈米至約 2.3 奈米或約 3.0 奈米至約 3.7 奈米之範圍中。

於該上面方法之一些實施例中，該第一及第二被釘扎層結構的每一者由一個別之被釘扎層所組成。

於該上面方法之一些實施例中，該第一及第二被釘扎層結構的每一者包含一個別之合成反鐵磁性（SAF）結構。

於該上面方法之一些實施例中，該第一及第二被釘扎層結構的每一者由一個別之被釘扎層所組成。

於該上面方法之一些實施例中，該第一及第二被釘扎層結構的每一者包含個別之合成反鐵磁性（SAF）結構。

於該上面方法之一些實施例中，該被沈積的磁阻元件另包含：

奇數個釘扎層，包含至少第一、第二、及第三釘扎層，該第一及第二釘扎層分別磁性地耦合至該第一及第二被釘扎層結構；

其中該偶數個被釘扎層結構另包含第三及第四被釘扎層結構，其中該第三釘扎層係磁性地耦合至該第三及第四被釘扎層結構兩者的共用釘扎層。

於該上面方法之一些實施例中，該第一及第二釘扎層係由 PtMn 所構成。

於該上面方法之一些實施例中，該第三釘扎層係由 PtMn 所構成。

於該上面方法之一些實施例中，該退火包含：

將彼此平行的該第一及第二釘扎層之磁性方向退火；
及

相對該第一及第二釘扎層的該退火磁性方向，將該第三釘扎層之磁性方向退火至為九十度。

於一些實施例中，該上面方法另包含佈圖該磁阻元件，以具有磁軛形狀。

於該上面方法之一些實施例中，該磁軛形狀的長度

(L) 及該磁軛形狀之橫側支臂的長度 (d) 之每一者係該磁軛形狀的該寬度 (w) 之至少三倍，且該磁軛形狀的寬度 (w) 係在約一微米及約二十微米之間，其中該長度 (L) 係該磁軛形狀的最長尺寸。

按照對於了解本發明之態樣有用的另一範例，磁阻元件可包括：

基板；

第一被釘扎層結構，設置在該基板之上；

第一間隔層，設置在該第一被釘扎層結構之上；

第一自由層結構，設置在該第一間隔層之上；

反鐵磁性層，設置在該第一自由層結構之上；

第二自由層，設置在該反鐵磁性層之上；

第二間隔層，設置在該第二自由層結構之上；及

第二被釘扎層結構，設置在該第二間隔層之上；

其中該第一間隔層係由具有第一被選擇厚度的第一被選擇材料所構成，以在該第一被釘扎層結構與該第一自由層結構之間導致反鐵磁性耦合或鐵磁性耦合的第一被選擇之耦合，且其中該第二間隔層係由具有第二不同被選擇厚度的該第一被選擇材料所構成，以在該第二被釘扎層與該第二自由層之間導致該反鐵磁性耦合或該鐵磁性耦合的第二不同之耦合。

於一些實施例中，該上面磁阻元件能以任何組合包括以下態樣的一或多個。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第一及第二間

隔層係由 Ru 所構成。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第一被選擇厚度係在約 1.0 奈米至約 1.7 奈米或約 2.3 奈米至約 3.0 奈米的範圍中，且其中該第二被選擇厚度係於約 1.7 奈米至約 2.3 奈米或約 3.0 奈米至約 3.7 奈米之範圍中。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第二被選擇厚度係在約 1.0 奈米至約 1.7 奈米或約 2.3 奈米至約 3.0 奈米的範圍中，且其中該第一被選擇厚度係於約 1.7 奈米至約 2.3 奈米或約 3.0 奈米至約 3.7 奈米之範圍中。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第一及第二被釘扎層結構的每一者由一個別之被釘扎層所組成。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第一及第二被釘扎層結構的每一者包含一個別之合成反鐵磁性（SAF）結構。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第一及第二被釘扎層結構的每一者由一個別之被釘扎層所組成。

於該上面磁阻元件之一些實施例中，該第一及第二被釘扎層結構的每一者包含一個別之合成反鐵磁性（SAF）結構。

【圖式簡單說明】

本發明的以下特色、以及本發明本身可由該等圖面之以下詳細敘述被更充分地了解，其中：

圖 1 係曲線圖，顯示巨磁阻（GMR）元件的理想及實

際轉移特性；

圖 2 係方塊圖，顯示具有單一被釘扎配置之傳統先前技術領域 GMR 元件的各層；

圖 3 係方塊圖，顯示具有雙重被釘扎配置之傳統先前技術領域 GMR 元件的各層；

圖 4 係方塊圖，顯示具有特別之雙重被釘扎配置的磁阻元件之範例的各層；

圖 5 係具有一磁軛形狀之磁場感測元件的俯視示意圖，該磁軛形狀於一些實施例中能敘述圖 4、10 或 11 之磁阻元件的形狀；

圖 6 係被放置在磁性標靶上方用於轉速測量之磁阻元件磁場感測器的方塊圖；及

圖 7 係流程圖，顯示能被使用於形成圖 4、5、10 及 11 之雙重被釘扎 GMR 元件的製程步驟之範例；

圖 8 及 9 係流程圖，顯示能被使用於形成圖 4、5、10 及 11 之雙重被釘扎 GMR 元件的交互製程步驟之範例；

圖 10 係方塊圖，顯示具有特別的雙重被釘扎配置之磁阻元件的另一範例之各層，而具有與圖 4 的配置大致上顛倒之層疊；

圖 11 係方塊圖，顯示具有特別的雙重被釘扎配置之磁阻元件的又另一範例之各層；

圖 12 係方塊圖，顯示具有特別的雙重被釘扎配置之磁阻元件的另一範例之各層，而具有與圖 11 的配置大致

上顛倒之層疊；

圖 13 係曲線圖，顯示以於橫向方向中的磁場所取得之圖 4 的磁阻元件之代表性轉移曲線；

圖 14 係曲線圖，顯示以於縱長方向中的磁場所取得之圖 4 的磁阻元件之代表性轉移曲線；

圖 15 係曲線圖，顯示具有該大致上顛倒的層疊之圖 10 的磁阻元件之代表性轉移曲線，相對於圖 13 在該相反方向中有一偏向，並以於橫向方向中的磁場所取得；

圖 16 係曲線圖，顯示具有該大致上顛倒的層疊之圖 10 的磁阻元件之代表性轉移曲線，相對於圖 14 在該相反方向中有一偏向，並以於縱長方向中的磁場所取得；

圖 17 係方塊圖，顯示具有雙重（或二重）自旋閥堆疊之磁阻元件的範例之各層；

圖 18 係曲線圖，顯示以於橫向方向中的磁場所取得之圖 17 的磁阻元件之代表性轉移曲線；

圖 19 係曲線圖，顯示以於縱長方向中的磁場所取得之圖 17 的磁阻元件之代表性轉移曲線；

圖 20 係方塊圖，顯示具有不同的雙重自旋閥堆疊之磁阻元件的另一範例之各層；及

圖 21 係方塊圖，顯示具有雙重自旋閥配置的先前技術領域磁阻元件之各層。

【實施方式】

在敘述本發明之前，應注意的在此中有時候參考具有

特別形狀（例如磁軛形）之 GMR 或 TMR 元件。然而，一普通熟習該技術領域者將了解在此中所敘述的技術係可適用於各種大小及形狀。

如在此中所使用，該“非等向性”或“各向異性”一詞意指鐵磁性或亞鐵磁性層當其未經歷額外的外場時之磁化傾向於定位的特別軸線或方向。軸向非等向性可為藉由結晶狀效應或藉由形狀非等向性所建立，其兩者允許磁場之二同等方向。方向非等向性亦可在鄰接層中被建立，譬如，藉由反鐵磁性層，其僅只允許沿著該鄰接層中的特定軸之單一磁場方向。

由於該上面，其將被了解因缺少外場，磁性層中的非等向性之導入導致強迫該磁性層的磁化將沿著該非等向性被對齊。萬一為 GMR 或 TMR 元件，方向非等向性譬如響應外部磁場而提供一獲得磁性層中的磁場之同調旋轉的能力，其具有抑制該對應元件之磁滯現象行為的性質。

如在此中所使用，該“磁場感測元件”一詞被使用於敘述可感測磁場之各種電子元件。磁阻元件係磁場感測元件的其中一種。

如在此中所使用，該“磁場感測器”一詞被使用於敘述一使用磁場感測元件之電路，其大致上與其他電路組合。磁場感測器被使用於各種應用中，包括、但不限於感測磁場的方向之角度的角度感測器、感測藉由載電流導體所載送之電流所產生的磁場之電流感測器、感測鐵磁性物體的接近度之磁性開關、感測通過鐵磁性物件、譬如環磁

鐵的磁域之旋轉偵測器、及感測磁場之磁場密度的磁場感測器。

在此中所敘述之結構及方法應用至 GMR 及 TMR 磁阻元件兩者。然而，應被了解該相同或類似結構及方法能應用至其他現在已知或稍後被發現的自旋電子設備磁阻元件。這特別地包括氧化物基之自旋電子設備結構。

現在參考圖 1，曲線圖 100 具有水平軸，其設有以毫特士拉（mT）為磁場單位的比例尺；及直立軸，其設有以任意單位為電阻單位之比例尺。

曲線 102 係理想 GMR 元件的轉移函數、亦即電阻對藉由該 GMR 元件所經歷之磁場的代表。該轉移函數 102 在上飽和點 102b 及下飽和點 102c 之間具有線性區域 102a。區域 102d、102e 係於飽和中。應被了解該線性區域 102a 係一理想的線性區域。再者，理想之 GMR 元件為給定的場呈現相同之電阻值，而與其磁性歷史無關。

階梯狀部分、例如階梯狀部分 104 係該 GMR 元件的實際轉移函數之代表。超出該飽和點 102b、102c，藉由該階梯狀部分 104 所代表的實際轉移函數與該飽和區域 102d、102e 合併。

該階梯狀部分 104 係不想要的。該階梯狀部分 104 起因於 GMR 元件中之所謂自由層內的磁域之磁性行為。該自由層的行為會同圖 2 被更充分地敘述在下面。

雖然該階梯狀部分 104 被顯示為有著相等間距及相等階梯狀部分高度的規則階梯狀部分，該階梯狀部分 104 亦

可為不規則的，具有不相等之間距及不相等的階梯狀部分高度（亦即，量值）。該階梯狀部分通常對應於局部之磁滯特性及該自由層的可再生之局部旋轉。

現在參考圖 2，傳統先前技術領域 GMR 元件 200 包括設置在基板上方的複數層。該基板之上表面在圖 2 的底部被顯示為最低線。

在圖 2 之左側上，每一層係藉由功能名字所識別。在該右側上，圖 2 被顯示可形成該功能層的子層之磁性特徵。大致上，磁性材料可具有各種磁性特徵，且能被包括、但不限於鐵磁性、反鐵磁性、及非磁性的各種名詞所分類。在此中不詳細地敘述各種型式之磁性材料。然而，在此總而言之，鐵磁性材料係一種在該鐵磁性材料內的原子之磁矩傾向於為平行及在該同一方向中平均對齊者，導致該鐵磁性材料的非零淨值磁性磁化。

像銅、銀、及金之大部份材料係抗磁性材料，其不會顯示出淨值磁化。這些材料傾向於呈現與所施加的（外部）磁場相反及成比例之非常微弱的磁化。抗磁性材料亦被所謂非磁性材料。

反鐵磁性材料係一種在該鐵磁性材料內之磁矩傾向於為平行及但於相反方向中平均對齊者，導致零淨值磁化。

如所顯示，該傳統先前技術領域 GMR 元件 200 可包括被設置在該基板之上的種晶層 202、被設置在該種晶層 202 之上的反鐵磁性釘扎層 204、及設置在該反鐵磁性釘扎層 204 之上的被釘扎層 206。該被釘扎層 206 可為由第

一鐵磁性被釘扎層 206a、第二鐵磁性被釘扎層 206c、及被設置在其間之間隔層 206b 所構成。

該傳統 GMR 元件 200 亦可包括設置在該第二鐵磁性被釘扎層 206c 之上的間隔層 208、及被設置在該間隔層 208 之上的自由層 210。該間隔層 206b 係非磁性金屬層。該間隔層 208 係亦非磁性層，其可為用於 GMR 之金屬或用於 TMR 的絕緣體。該自由層 210 可為由第一鐵磁性自由層 210a 及第二鐵磁性自由層 210b 所構成。

覆蓋層 212 能被設置在該自由層 210 之上，以保護該 GMR 元件 200。

該傳統先前技術領域 GMR 元件 200 的各層之厚度的範例係以奈米被顯示。該傳統先前技術領域 GMR 元件之各層的材料之範例係藉由原子符號所顯示。

在一些層內，箭頭被顯示，其係當該 GMR 元件 200 未經歷外部磁場時的各層之磁場方向的指示或方向。出自該頁面之箭頭被指示為圓圈內的點，且進入該頁面之箭頭被指示為圓圈內的十字形記號。

由該底部向上取得該等層，該種晶層 202 被使用於至該基板上提供規則之結晶狀結構，該基板影響在上面的各層之晶體性質。

相對於該反鐵磁性釘扎層 204，該反鐵磁性釘扎層 204 內的子層（亦即，層部份）傾向於具有磁場，其指向於藉由左及右箭頭所指示之交替的不同方向，導致該反鐵磁性釘扎層具有零之淨磁場。該反鐵磁性釘扎層 204 的頂

部表面傾向於具有在一方向中指向之磁矩，在此被顯示至該左側。

相對於該被釘扎層 206，該第一鐵磁性被釘扎層 206a 傾向於耦合至該反鐵磁性釘扎層 204 的頂部表面，且如此，該第一鐵磁性被釘扎層 206a 中之磁場可在該反鐵磁性釘扎層 204 的頂部表面平行於該磁矩被對齊，在此被顯示至該左側。

由於該第一及第二鐵磁性被釘扎層 206a、206c 間之間隔層 206b 的存在，該第二鐵磁性被釘扎層 206c 傾向於與該第一鐵磁性被釘扎層 206a 反鐵磁性地耦合，且如此，其具有指向於另一方向中之磁場，在此被顯示指向該右側。該三層 206a、206b、206c 的組合能被稱為合成之反鐵磁性結構或層。

因缺少外部磁場，該第一及第二自由層 210a、210b 具有指向離開該頁面的個別磁場。此指向方向能藉由沿著指向離開該頁面的方向建立特定之非等向性而被達成。該非等向性能藉由 GMR 元件的形狀所建立。譬如，該非等向性能藉由佈圖該 GMR 元件 200（俯視圖）、或藉由結晶狀或磁性非等向性而被建立，以具有磁軛形狀。磁軛形狀係會同圖 5 在下面被更充分地敘述。藉由所建立之磁軛形狀，該自由層 210 具有優先軸（磁軛軸）。如果該磁軛軸係垂直於該參考磁化，交叉的非等向性能被達成，其允許在大約該自由層非等向性之場延伸上獲得線性響應。

於操作中，當該傳統 GMR 元件 200 被暴露至指向於

箭頭 214 的方向中之外部磁場時，該鐵磁性自由層 210a、210b 中的磁場傾向於旋轉至右側，以變得與該第二鐵磁性被釘扎層 206c 中之磁場指向方向更對齊（或完全對齊、亦即指向該右側）。然而，該被釘扎層 206 中的磁場係藉由該反鐵磁性釘扎層所釘扎且不會旋轉。該鐵磁性自由層 210a、210b 中之磁場的旋轉量視該外部磁場之量值而定。該鐵磁性自由層 210a、210b 中的磁場與該第二鐵磁性被釘扎層 206c 中之磁場的方向之增加的對齊傾向於造成該 GMR 元件 200 之電阻較低。尤其是，電阻傾向於主要地在該第一自由層 210a 中、於該第二（Cu）間隔層 208 中、及在該第二鐵磁性（例如 CoFe）被釘扎層 206c 中變動。

反之，當該 GMR 元件被暴露至指向該箭頭 214 的相反方向之外場，該自由層 210 中的磁場傾向於旋轉至該左側，以變得與該第二鐵磁性被釘扎層 206c 中之磁場指向方向更非對齊（或完全非對齊，亦即指向該左側）。該旋轉量視該外部磁場的量值而定。該鐵磁性自由層 210a、210b 中之磁場與該第二鐵磁性被釘扎層 206c 中之磁場的方向之增加的非對齊傾向於造成該 GMR 元件 200 之電阻較高。

由於該上面，簡短地參考圖 1，其將被了解因缺少外部磁場，該 GMR 元件 200 的電阻係在該線性區域 102a 之中心，且該電阻可移至該轉移特徵曲線 102 上的右側或左側（亦即，較低或較高），視該外部磁場 214 之方向而

定。當諸層的完全對齊或完全非對齊被達成時，該 GMR 元件 200 將為分別在該下飽和區域 102e 或該上飽和區域 102d 中。

大致上，該鐵磁性自由層 210a、210b 傾向於自然地具有複數個磁域，包括、但不限於具有指向於第一方向中的磁場之第一複數個磁域、及具有指向於一或多個其他方向中的磁場之第二複數個磁域。該鐵磁性自由層 210a、210b 中的第一複數個磁域具有與該自由層 210 之淨磁場對齊的磁場指向方向，當該 GMR 元件 200 未被暴露至外部磁場時被顯示為將離開該頁面，但其當該 GMR 元件 200 被暴露至磁場時能旋轉。如上述，該第一複數個磁域之磁場指向方向響應於該外部磁場旋轉。第二複數個磁域傾向於具有指向於一或更多其他方向中的磁場指向方向。

僅只陳述之，相對於圖 1 的階梯狀部分 104，當不在該第一複數個磁域內（例如係在該第二複數個磁域內）的磁域之一或多個、亦即具有不指向於該鐵磁性自由層 210a、210b 中的淨磁場之方向中的磁場之磁域的一或多個突然地於方向中快動（亦即，跳躍）以變成與該鐵磁性自由層 210a、210b 中之磁場的淨磁場指向方向對齊時，每一階梯狀部分被產生，無論何處該鐵磁性自由層 210a、210b 中之淨場可響應於外部磁場被指向（亦即，能已旋轉）。然而，具有不指向於該鐵磁性自由層 210a、210b 中的淨磁場之方向中的磁場之磁域的一或多個在方向中更緩慢地過渡至變得與該鐵磁性自由層

210a、210b 中之磁場的淨磁場指向方向對齊係亦可能的，在該案例中，圖 1 之階梯狀部分的一或多個將為比那些所顯示者較不陡峭的、但仍是不想要的。如此，其將為想要的是減少該自由層 210 中之許多磁域，其指向在異於該自由層 210 中的淨磁場之方向的方向（亦即，減少該第二複數個磁域內之磁域的數量）。此減少將導致更少之階梯狀部分 104、較小的階梯狀部分 104、或沒有階梯狀部分 104。

為了減少指向在異於該自由層之淨磁場的方向中之方向的自由層 210 中之磁域的數目、亦即為了減少指向在異於離開該頁面之方向中的磁域之數目，外部偏向磁鐵能被使用。當作另一選擇，複數層能被加至該基本的 GMR 元件 200，以便達成具有所謂之“雙重被釘扎”配置的設備間堆疊磁性偏向。

現在參考圖 3，傳統先前技術領域之雙重被釘扎 GMR 元件 300 可包括非磁性種晶層 302、被設置在該種晶層 302 之上的反鐵磁性釘扎層 304、被設置在該釘扎層 304 之上的被釘扎層 306、被設置在該被釘扎層 306 之上的間隔層 308、及被設置在該間隔層之上的自由層 310。於一些配置中，該自由層 310 可為由二鐵磁性自由層 310a、310b 所構成。在一些配置中，該間隔層 308 係非磁性層。

該雙重被釘扎 GMR 元件 300 可另包括被設置在該自由層 310 之上的間隔層 312、被設置在該間隔層 312 之上

的第二被釘扎層 314、被設置在該第二被釘扎層 314 之上的第二釘扎層 316、及被設置在該第二釘扎層 316 之上的非磁性覆蓋層 318。於一些配置中，該間隔層 312 係非磁性層。

該 GMR 元件 300 之各層的厚度之範例被以奈米顯示。該 GMR 元件 300 的各層之材料的範例係藉由原子符號所顯示。

該先前技術領域之雙重被釘扎 GMR 元件 300 達成藉由該第二被釘扎層 314 所建立的磁靜場。該第二被釘扎層 314 被鐵磁性地耦合至第二反鐵磁性釘扎層 316 之底部表面，且如此該磁場在該反鐵磁性釘扎層 316 的底部表面指向於與該磁矩同一方向中，在此被顯示指向進入該頁面。被使用於該第二反鐵磁性釘扎層 316 之材料係與被使用於該第一反鐵磁性釘扎層 304 的材料不同。以這種方式，該二層 304、316 之磁化可藉由使用該二材料的不同阻隔溫度（用於 IrMn 低於 230°C，且用於 PtMn 高於 250°C）而被獨立地處理。

該第二被釘扎層 314 使一磁場被導向，在此被顯示為指向進入該頁面，而將為垂直於該第一被釘扎層 306 之磁場。尤其是，藉由該第二被釘扎層 314 所建立及藉由該自由層 310 所經歷的磁場之指向方向，造成指向異於該自由層 310 的淨磁場方向之方向中的自由層 310 中之磁域數目中的減少、例如指向在異於離開該頁面之方向中的磁域數目中之減少。

該間隔層 312 的厚度被選擇，以在該第二被釘扎層 314 及該自由層 310 之間提供想要的磁性耦合強度。於一些實施例中，該間隔層 312 之 Ta 的厚度係僅只數埃，且該耦合亦經過該間隔層 312 中之針孔發生。其將被了解僅只數埃的沈積厚度係難以控制，且針孔密度係亦難以控制。如此，該第二被釘扎層 314 及該自由層 310 間之磁性耦合的數量係難以控制。

用於 GMR 元件，該間隔裝置 308 係一金屬非磁性層（通常為銅）。用於 TMR 元件，該間隔裝置 308 係一絕緣之非磁性層（例如 Al_2O_3 或 MgO ）。以別的方式，該 GMR 元件 300 可具有與可比較之 TMR 元件相同或類似於可比較的 TMR 元件之層。如此，TMR 元件未被明確地顯示。

現在參考圖 4，雙重被釘扎 GMR 元件 400 的範例包括被設置在基板之上的複數層。在圖 4 之底部，該基板的上表面被顯示為暗線。

在圖 4 之左側，每一層係藉由功能名字所識別。在圖 4 的右側顯示可形成該功能層之子層的磁性特徵。

該 GMR 元件 400 之各層的厚度範例被以奈米顯示。該 GMR 元件 400 的各層之材料範例係藉由原子符號所顯示。

大致上，磁性材料可具有各種磁性特徵，且能被各種名詞所分類，包括、但不限於鐵磁性、反鐵磁性、及非磁性。這些型式的磁性材料之簡短敘述在上面被給與。

如所顯示，該示範 GMR 元件 400 可包括一些上述用於圖 3 的先前技術領域 GMR 元件之相同層。像圖 3 的先前技術領域 GMR 元件，該示範 GMR 元件 400 可包括被設置在該基板之上的種晶層 402、被設置在該種晶層 402 之上的反鐵磁性釘扎層 404、及被設置在該反鐵磁性釘扎層 404 之上的被釘扎層 406。然而，於一些實施例中，該被釘扎層 406 可為由第一鐵磁性被釘扎層 406a、第二鐵磁性被釘扎層 406c、及被設置在其間之間隔層 406b 所構成。於一些實施例中，該間隔層 406b 係由非磁性材料所構成。

於一些實施例中，該被釘扎層 406 可替代地由一被釘扎層所構成，其與圖 3 的被釘扎層 306 相同或類似。

由於該第一及第二鐵磁性被釘扎層 406a、406c 間之間隔裝置 406b 的存在，該第二鐵磁性被釘扎層 406c 傾向於與該第一鐵磁性被釘扎層 406a 反鐵磁性地耦合，且如此，其具有指向於該另一方向中、在此被顯示指向該右側之磁場。如上述，該三層 406a、406b、406c 的組合能被稱為合成之反鐵磁性結構或層。

該示範的 GMR 元件 400 亦可包括被設置在該第二鐵磁性被釘扎層 406c 之上的間隔層 408、及被設置在該間隔層 408 之上的自由層 410。於一些實施例中，該自由層 410 可為由被設置在第二鐵磁性自由層 410b 之下的第一鐵磁性自由層 410a 所構成。於一些實施例中，該間隔層 408 係由非磁性材料（例如用於 GMR 之傳導性 Cu 或用於

TMR 的絕緣材料) 所構成。

像圖 3 之先前技術領域 GMR 元件 300，圖 4 的 GMR 元件 400 可另包括被設置在該第二鐵磁性自由層 410b 之上的間隔層 412、及被設置在該間隔層 412 之上的第二被釘扎層 414。於一些實施例中，該第二被釘扎層 414 可為由鐵磁性材料所構成。於一些實施例中，該間隔層 412 係由非磁性材料（例如 Ru）所構成。

圖 4 之 GMR 元件 400 可另包括被設置在該第二被釘扎層 414 之上的第二反鐵磁性釘扎層 416。

覆蓋層 418 能被設置在該 GMR 元件 400 之頂部，以保護該 GMR 元件 400。

在一些層內，箭頭被顯示，其係當該 GMR 元件 400 不會經歷外部磁場時，該等層的磁場之指示或方向。離開該頁面的箭頭被指示為圓內之點，且進入該頁面的箭頭被指示為圓內之交叉記號。

於一些實施例中，該種晶層 402 係由 Ru 或 Ta 所構成，且該第一反鐵磁性釘扎層 404 係由 PtMn 所構成。於一些實施例中，該第一被釘扎層 406 係由包含 CoFe 的第一鐵磁性被釘扎層 406a、包含 Ru 之間隔層 406b、及包含 CoFe 的第二鐵磁性被釘扎層 406c 所構成。於一些實施例中，該間隔層 408 係由 Cu（或另一選擇係 Au、或 Ag）所構成。於一些實施例中，該第一鐵磁性自由層 410a 係由 CoFe 所構成，且該第二鐵磁性自由層 410b 係由 NiFe 所構成。於一些實施例中，該間隔層 412 係由 Ru（或另

一選擇係 Au、或 Ag) 所構成，該第二被釘扎層 414 係由 CoFe 所構成，該第二反鐵磁性釘扎層 416 係由 PtMn 所構成，且該覆蓋層 418 係由 Ta 所構成。然而，其他材料係亦可能的。

由 Ru (或 Au、或 Ag) 所構成之間隔層 412 允許該間隔層 412 的厚度之可實行的範圍 (在下面被敘述)，以允許用於該自由層 410 之局部釘扎。局部釘扎係在下面被更充分地敘述。

於另一些實施例中，該第一及第二反鐵磁性釘扎層 404 及 416 可為由 IrMn、FeMn、或任何另一型的反鐵磁性材料所構成。PtMn 或 IrMn 被顯示在該等圖面中，且 PtMn 被使用在下面範例中。於另一些實施例中，該第二被釘扎層 414 可替代地由複數個子層所構成，該子層與該第一被釘扎層 406 之子層相同或類似。於另一些實施例中，該間隔層 408 可為由 Ta 或 Cu 所構成。

該間隔層 412 的厚度被選擇，以在該第二被釘扎層 414 及該自由層 410 之間提供想要的 (亦即局部) 磁性耦合之數量。該間隔層 412 的厚度亦被選擇，以於該第二被釘扎層 414 及該自由層 410 之間提供想要型式的磁性耦合、亦即鐵磁性耦合或反鐵磁性耦合、或在鐵磁性及反鐵磁性耦合之間。在此，該耦合被顯示為鐵磁性耦合，但藉由該間隔層 412 的厚度之選擇，該耦合可為反鐵磁性或於鐵磁性及反鐵磁性耦合之間。換句話說，因缺少外部磁場，對於該自由層 410 的磁場之方向將被如所顯示地旋轉

(離開該頁面)或進入該頁面係可能的，視該間隔層 412 之被選擇厚度而定。在下面會同圖 17 及 20 所敘述的磁阻元件中，此特色將被顯示為有用的。

在該間隔層 412 係由 Ru 所構成之一些實施例中，該間隔層 412 的厚度被選擇為在約 0.1 至約 4 奈米之範圍內，但用於該製造製程的堅固性較佳地係於約 0.9 及 4.0 奈米之間，亦即，厚到足以使該間隔層 412 可被以能重複及可靠的厚度來沈積。於一些實施例中，該間隔層 412 之厚度係大於 0.5 奈米、或大於 0.6、0.7、0.8、0.9、1.0 或 2.0 奈米、亦即大於圖 3 的先前技術領域雙重被釘扎 GMR 元件 300 之間隔層 312 的厚度。

取得 CoFe 及 NiFe 以具有類似之磁性性質，其將被認知在該第一鐵磁性自由層 410a 上方在該第一鐵磁性自由層 410a 下方的各層材料係類似的、但順序顛倒，換句話說，NiFe (或 CoFe) /Ru/CoFe/PtMn。然而，該間隔層 406b 提供周圍層間之高耦合係想要的，如此其係薄的，雖然其想要的是該間隔層 412 提供周圍層間之較少耦合，如此其係更厚。

Ru 係很適合用於該間隔層 412，因為其根據該 Ru 厚度允許周圍層間之反鐵磁性或鐵磁性耦合 (亦被稱為 Ruderman Kittel Kasuya Yoshida 或 RKKY 耦合)。本質上，該 Ru 材料允許經過其耦合，如與其耦合相反。這允許用於較厚的 Ru 層 412，具有可達成之厚度值範圍，以達成及調整該自由層 410 的想要之局部釘扎。局部釘扎係

在上面及下面被更充分地敘述。

於對比下，應被了解圖 3 的 Ta 間隔層 312 係僅只用作非磁性間隔層，且不提供 RKKY 耦合。本質上，該 Ta 間隔層 312 僅只由該被釘扎層 314 退耦該自由層 310。然而，如上述，圖 4 之 Ru 間隔層 412 提供該自由層 410 及該被釘扎層 414 間之 RKKY 耦合。

於一些實施例中，該 Ru 間隔層 412 的厚度被選擇，以提供約 -50mT 及約 50mT 間之 RKKY 耦合。該 RKKY 耦合相對於可能的製程偏移傾向於為穩定的，亦即，由於製造製程變動等，耦合之數量傾向於保持恆定及穩定，甚至用於該 Ru 層中的約百分之十的厚度變化。

該等層 402-410 之操作係在上面會同圖 2 及 3 中的類似層所討論。

該第二被釘扎層 414 傾向於在該自由層 410 內造成特別行為，並具有與該自由層 410 中之磁場的指向方向對齊之被釘扎磁場指向方向。尤其是，當不存在外部磁場時，該第二被釘扎層 414 中的磁場之指向方向造成指向在異於該自由層之淨磁場的方向之方向的自由層 410 中之磁域的數目中之減少、亦即指向在異於離開該頁面之方向中的磁域之數目中之減少。

如上面會同圖 2 所敘述，大致上，該鐵磁性自由層 410a、410b 傾向於自然地具有複數個磁域，包括、但不限於具有指向在第一方向中的磁場之第一複數個磁域、及具有指向在與該第一方向不同的一或多個方向中之磁場的

第二複數個磁域。上述之第一方向可為平行於該自由層 410 的上及下表面。該第一複數個磁域具有磁場指向方向，其係當該 GMR 元件 400 未被暴露至外部磁性時與該自由層 410 之被顯示為將離開該頁面的淨磁場對齊，但其當該 GMR 元件 400 被暴露至磁場時能旋轉。如上述，該自由層 410 中之第一複數個磁域的磁場指向方向響應外部磁場旋轉。該第二複數個磁域將傾向於具有指向於與該第一方向不同的一或多個方向中之磁場指向方向。

亦如上面會同圖 2 所敘述，相對於圖 1 的階梯狀部分 104，當未在該第一複數個磁域內（例如，其係在該第二複數個磁域內）之磁域的一或多個、亦即具有未指向於該自由層 410 中之淨磁場的方向中之磁場的磁域之一或多個突然地於方向中快動（或更緩慢地旋轉），以變得與該自由層 410 中的淨磁場之磁場指向方向對齊時，每一階梯狀部分被產生，無論在哪裡該自由層 410 中的淨磁場可響應外部磁場被指向（亦即可旋轉）。

該第二被釘扎層 414 係可操作，以經過該間隔層 412 局部磁性地耦合至該自由層 410，以因缺少外部磁場而減少該自由層 410 中之許多磁域（亦即，減少該第二複數個磁域中的大量磁域），其指向在異於該第一方向之方向中、亦即該自由層 410 中的淨磁場之方向。此減少導致較少的階梯狀部分 104、較小的階梯狀部分 104、或沒有階梯狀部分 104。該減少可包括該上面第二複數個磁域內之大量磁域中的減少。

藉由局部釘扎，其係意指於該第二被釘扎層 414 及該自由層 410 之間比於該第一被釘扎層 406 及該自由層 410 之間有較少的磁性耦合。局部釘扎之數量係局部地藉由材料及該間隔層 412 的厚度所決定。

該 PtMn 第一及第二反鐵磁性釘扎層 404、416 可具有奈爾溫度及阻隔溫度，其兩者在約攝氏三百度以上。為於高溫應用、譬如汽車應用中消除該 GMR 元件 400 之磁性特徵的損失，此高溫係重要的。

雖然該 GMR 元件之各層被以特別順序顯示，應被了解於其他實施例中，該等層 404、406（亦即，406a、406b、406c）、及 408 能分別與該等層 416、414、412 交換。於一些實施例中，除了該種晶層及該覆蓋層以外，圖 4 中所顯示的所有該等層之順序可由底部至頂部被顛倒，如下面會同圖 10 所顯示。

該耦合強度及因此該非等向性量值係藉由該自由層 410 及該第二被釘扎層 414 間之非磁性間隔層 412 所控制。於圖 3 的先前技術領域配置中，很薄之 Ta 間隔裝置 312 被使用。於製造中，其係難以控制該薄 Ta 間隔裝置 312 之厚度，且如此，其係難以控制圖 3 的第二被釘扎層 314 及自由層 310 間之磁性耦合量。於對比中，圖 4 的配置使用不同之非磁性間隔層 412，允許該第二被釘扎層 414 及該自由層 410 間之強力的 RKKY 耦合。Ru、Ag、或 Au 能被使用於該間隔層 412。

當該被釘扎層 414 及該自由層 410 間之距離增加時

(亦即，當該非磁性間隔層 412 的厚度被增加時)，RKKY 耦合減少及在最大反鐵磁性耦合及最大鐵磁性耦合之間切換。耦合的最小量（被稱為耦合之第二最小量）顯現在這些最大量之間，且發生在厚度的範圍，在此該耦合可藉由該厚度之選擇所調整。於一些實施例中，該間隔層 412 的材料能被選擇環繞耦合之第二最小量（例如用於 Ru 為 1.3 奈米），其允許比目前被使用於圖 2 的薄 Ta 間隔裝置 312 者更加為可再生之沈積製程，其正好隨著厚度迅速地減少耦合。

用於 GMR 元件，該間隔層 408 係金屬非磁性層（通常為銅）。用於 TMR 元件，該間隔層 408 係絕緣的非磁性層（例如 Al_2O_3 或 MgO ）。以別的方式，該 GMR 元件 400 可具有與可比較之 TMR 元件相同或類似於可比較的 TMR 元件之層。如此，TMR 元件被不明確地顯示。

現在參考圖 5，其中圖 4 的類似元件被顯示具有類似參考標記，根據特定的實施例中，圖 4 之磁阻元件 400 及亦在下面會同圖 10 及 11 所敘述的磁阻元件可被形成於磁軛 500 之形狀中。剖線 A-A 顯示圖 4、10 及 11 的立體圖。

該磁軛 500 具有主要部分 501、被耦合至該主要部分 501 之二支臂 506、508、及分別被耦合至該二支臂 506、508 的二橫側支臂 512、514。於一些實施例中，該主要部分 501、該二支臂 506、508、及該二橫側支臂 512、514 之每一者具有寬度（w）。然而，於其他實施例中，該等

寬度可為不同。

該磁軛 500 的長度 (L) 及該磁軛 500 之橫側支臂 512、514 的長度 (d) 之每一者係該磁軛 500 的寬度 (w) 之至少三倍，且該磁軛 500 的寬度 (w) 可為在約一微米與約二十微米之間。

該磁軛尺寸可為譬如在以下範圍內：

- 該磁軛 500 的主要部分 501 之長度 (L) 可為於約十微米及十毫米之間；

- 該磁軛 500 的支臂 506、508 之長度 (l) 可為該寬度 (w) 的至少三倍；

- 該磁軛 500 的寬度 (w) 可為在約一微米與約二十微米之間。

該磁軛 500 的支臂 506、508 被連結至該橫側支臂 512、514，其係平行於該主要部分 501，且具有在該全長 (L) 的約 $1/4$ 及 $1/3$ 間之長度 l。

大致上，具有該磁軛形狀 500 的磁阻元件 400 之敏感性隨著該寬度 (w) 而減少，且該磁阻元件 400 的低頻雜訊隨著該寬度 (w) 而增加。

該磁軛形狀在該主要部分 501 之縱長中心區域中提供較佳的磁性同質性。這是由於主要係沿著該主要部分 501 之磁軛長度的退磁場，且這造成圖 4 之自由層 410 的非等向性，其能沿著該磁軛 500 之長度被看見為在零場磁化。當外場被施加在該箭頭 502 的方向時，如果該被釘扎層（例如圖 4 的 406）具有垂直於該磁軛之磁場（例如箭頭

502)，該自由層 410 磁化係均勻地旋轉、亦即沒有磁域跳越。該自由層 410 的磁化之同種旋轉導致一響應曲線，而在該響應中沒有階梯狀部分（例如看圖 1）。

用於 GMR 元件，該總堆疊可在磁軛形狀中被設計，於一些實施例中，但用於 TMR 元件，該自由層可僅只具有一磁軛形狀。

於其他實施例中，該 GMR 或 TMR 元件 400 未在磁軛的形狀中被形成，但替代地在直棒之形狀中形成，例如具有 L 及 w 的尺寸，且不具有與尺寸 l 及 d 有關之特色。用於該棒形 GMR 或 TMR 元件，該剖線 A-A 仍然係圖 4 的 GMR 元件 400 之截面的代表或圖 10 及 11 之磁阻元件。

現在參考圖 6，磁場感測器 600 可包括一或多個磁阻元件。在此，四個磁阻元件被配置在共用基板之上，其可為上面會同圖 4、或在下面會同圖 10、11、12、17 或 20 所敘述的型式。該四個磁阻元件可被配置在橋接件中。譬如放大器及處理器之其他電子零組件（未示出）、亦即電子電路，亦可被整合於該共用基板上。於一些實施例中，該電子電路能產生指示物體、例如 602 的運動、例如旋轉之輸出信號。

圓周封裝件（未示出）、例如塑膠封裝件能圍繞或以別的方式被包括有該磁場感測器 600。引線框架（未示出）亦能被耦合至該磁場感測器 600、或以別的方式被包括有該磁場感測器 600。

該磁場感測器 600 能被設置緊接至正運動之磁性物

體、譬如具有交替的北及南磁極之環磁鐵 602。該環磁鐵 602 係遭受旋轉。

該磁場感測器 600 能被建構來產生指示該環磁鐵的至少一轉速之輸出信號。於一些配置中，該環磁鐵 602 被耦合至標靶物體、譬如引擎中的凸輪軸桿，且該環磁鐵 602 之感測轉速係該標靶物體的轉速之指示。

雖然該磁場感測器 600 被用作旋轉偵測器，其應被了解其他類似磁場感測器、譬如具有圖 4、10、11、12、17 或 20 的一或更多磁阻元件的電流感測器亦可被實現。

應被了解圖 7 顯示對應於該下面所思考之技術的流程圖，其將被以半導體製造設備所施行。在此中標明為“處理方塊”之長方形元件（藉由圖 7 中的元件 704 作為典型）代表製程步驟。

其將被那些普通熟習該技術領域者所了解，除非在此中以別的方式指示，所敘述之方塊的特別順序係僅只說明性，並可被變動，而不會由本發明之精神脫離。如此，除非以別的方式陳述，在下面所敘述之方塊係無序的，意指當可能時，該等步驟能被以任何方便或想要之順序施行。

現在參考圖 7，如於上面圖 4 中，用於製造雙重被釘扎 GMR 元件的示範製程 700 在方塊 702 開始，在此圖 4 之完全堆疊 400、或下面圖 10 或 11（亦圖 12、17、20）的磁阻元件係於連續沈積步驟中沈積。此沈積能隨後為方塊區 704 之佈圖製程。該佈圖能導致譬如圖 5 之磁軌形狀。

在方塊 704 的佈圖之後，第一退火在方塊 706 被施加至該經處理的晶圓，在此該第一被釘扎層（例如圖 4 之 406）中的磁場之方向、及亦該第一反鐵磁性層（例如圖 4 的 404）中之方向被界定。典型地，該退火係在溫度 T_1 施行，使磁場 H_1 被平行地施加至該晶圓，且例如，平行於圖 5 的箭頭 502。此退火能在 1T 的磁場之下於 295°C 具有譬如一小時持續期間，但這些值被設計成適於該堆疊成份、亦即層材料，

在方塊 706 的此第一退火之後，在方塊 708，第二退火被施行，以界定該第二被釘扎層（例如圖 4 的 414）與該第二反鐵磁性層（例如圖 4 之 416）的磁化，其於該第二被釘扎層中及亦於該第二反鐵磁性層中提供一磁場，該等層係垂直於該第一被釘扎層（例如圖 4 之 406）的磁場之方向及該第一反鐵磁性層（例如圖 4 的 404）中之方向而導向。此退火步驟可具有譬如一小時持續期間，在溫度 T_2 ，其可為等於 T_1 ，且具有低於該磁場 H_1 的磁場 H_2 。該磁場 H_2 可在平行於圖 5 之箭頭 504 的方向中被施加。此步驟係意指導向該第二被釘扎層（例如圖 4 之 414）的磁化，而不會改變該磁化方向及該第一被釘扎層（例如圖 4 之 406）的值。

範例值及值之範圍的範例在下面被列出於用於圖 4 之具有二個 PtMn 釘扎層 404、416 的雙重被釘扎層配置之表 1 中。

表 1

值	典型的	大約範圍
T1	295℃	260℃ 至 320℃
H1	1T	≥0.3T
持續期間 1	1 小時	30 分鐘至 2 小時
T2	300℃	180℃ 至 350℃
H2	80mT	20mT 至 200mT
持續期間 2	1 小時	30 分鐘至 5 小時

現在參考圖 8 及 9，其中圖 7 的類似元件被顯示具有類似參考標記，類似製程 800、900 亦可根據圖 7 之步驟被應用，但如所顯示於不同順序中。

在所有該等製程 700、800、900 中，於該第二退火期間所施加的磁場 H2 係比 H1 較小，且被施加於另一方向中、較佳地係垂直於 H1。

現在參考圖 10，其中圖 4 之類似元件被顯示具有類似參考標記，雙重被釘扎 GMR 元件 1000 具有圖 4 的層 404、406、408、412、414 及 416，但在堆疊順序中與那些在上面會同圖 4 所敘述者顛倒。雖然該釘扎層 416 可再次由 PtMn、IrMn、FeMn、或任何另一型式之反鐵磁性材料所構成，PtMn 或 IrMn 被顯示在該圖面中，且 IrMn 被使用在下面範例中。（PtMn 係例如會同圖 4 及 7-9 被使用）。

不像圖 4 的雙重被釘扎 GMR 元件 400，該上述非磁性層 412 係在該自由層 410 下面而非在該自由層 410 上

方，其提供用於局部釘扎之上述想要的特徵。

應被了解當該釘扎層 416 係由 IrMn 所構成時，該 GMR 元件 1000 之顛倒堆疊可為較佳的。用於圖 4 之 GMR 元件 400，如果 IrMn 被使用於該釘扎層 416，其將被沈積在該 CoFe 被釘扎層 414 的頂部上，其係不想要的。當在 CoFe 層之上獨自或與其他層結合地生長時，該 IrMn 不會很好地生長、亦即具有規則之晶狀結構已被識別。然而，該 IrMn 層 416 在該種晶層 402 之上很好地生長。

分別於圖 4 及 10 的雙重被釘扎 GMR 元件 400 及 1000 中，其應被了解該等層 406a、406b、406c 形成所謂之“合成反鐵磁性”（SAF）結構，用於此，該等層 406a、406c 被反鐵磁性地耦合（亦即，具有於相反方向中的磁場）。如此，該被釘扎層 406 形成 SAF 結構。於對比下，該被釘扎層 414 係僅僅單一層。

其已被觀察用作被釘扎層的 SAF 結構係比形成為單一層之被釘扎層更穩定的。尤其是，在具有磁場（例如 180°C、0.2T）的極高溫儲存壽命（VTSL）條件之下，單層被釘扎層傾向於變得與該外部磁場的方向對齊或旋轉朝該外部磁場之方向，甚至在該 VTSL 條件被移去之後，且如此，能由其原始被退火的方向旋轉。該不想要之旋轉能導致較不靈敏的 GMR 元件、或甚至在其操作特徵曲線的部分之上的不靈敏之 GMR 元件。

於對比下，其亦已被觀察到用作被釘扎層的 SAF 結

構係更穩定，且於存在該相同之 VTSL 條件中傾向於較少旋轉，並更輕易地返回至該原始位置（亦即，減少的磁滯現象）。為此目的，於下面所敘述之圖 11 中，圖 4 及 10 的單層被釘扎層 414 可被以 SAF 結構替換。如此，該自由層 410 能被以用作二被釘扎層之二 SAF 結構所圍繞。

現在參考圖 11，其中類似圖 4 及 10 的元件被顯示具有類似參考標記，雙重被釘扎 GMR 元件 1100 係像圖 10 之雙重被釘扎 GMR 元件 1000，除了圖 10 的單層被釘扎層 414 係藉由 SAF 結構 1102 所替換以外。於一些實施例中，該 SAF 結構 1102 可為由第一鐵磁性被釘扎層 1102a、第二鐵磁性被釘扎層 1102c，及設置在其間の間隔層 1102b 所構成。於一些實施例中，該間隔層 1102b 係由非磁性材料所構成。

其應變得明顯的是該自由層 410 係藉由被釘扎層 406、1102 所圍繞，其兩者為 SAF 結構。間隔層 412、408 被分別設置於該自由層 410 及該 SAF 結構 1102、206 之間。

其亦將變得明顯的是該反鐵磁性釘扎層 416 之上表面具有在方向中與圖 10 的釘扎層 416 之上表面顛倒的磁場。

在該二 SAF 結構內之間隔層 406b、1102b（在此亦被稱為非磁性層）具有被選擇的材料及厚度，導致圍繞鐵磁性層 406a、406b 及 1102a、1102b 間之強力的反鐵磁性耦合。

其已被觀察到該雙重被釘扎 GMR 元件 1100 相對於 VTSL 條件具有比圖 10 之雙重被釘扎 GMR 元件 1000 或圖 4 的雙重被釘扎 GMR 元件 400 較大之穩定性。

如於圖 10 的雙重被釘扎 GMR 元件 1000 中，提供用於局部釘扎之上述想要特徵的上述非磁性層 412 係在該自由層 412 下面而非在該自由層 412 上方。然而，於其他實施例中，在該覆蓋層 418 及該種晶層 402 間之所有層能夠在位置中被顛倒。

其應變得明顯的是異於該種晶層 402 及該覆蓋層 418 之所有層的顛倒層疊能提供類似於圖 4 之雙重被釘扎 GMR 元件的雙重被釘扎 GMR 元件，但使該各種層顛倒及仍然使圖 4 之被釘扎層 414 藉由圖 11 的 SAF 結構 1102 所替換。

雖然特別之層厚度被顯示在圖 4、10 及 11 中，其將被了解一些層的厚度能被處理，以提供更靈敏之雙重被釘扎 GMR 元件。

簡短地參考上面圖 7，用於將圖 11 的雙重被釘扎層配置退火之典型值被顯示在下面表 2 中，該配置具有 PtMn 釘扎層 404 及 PtMn 釘扎層 416、亦即二 PtMn 釘扎層。

用於表 2 及用於圖 11 的雙重被釘扎 GMR 元件，溫度 T1、磁場 H1、及持續期間 1，意指 PtMn 反鐵磁性層 404 與該 SAF 結構 406 之退火。溫度 T2、磁場 H2、及持續期間 2 意指 PtMn 反鐵磁性層 416 與該 SAF 結構 1102 的退

火。

表 2

值	典型的	大約範圍
T1	270°C	250°C 至 320°C
H1	1T	≥0.3T
持續期間 1	1 小時	30 分鐘至 2 小時
T2	160°C	100°C 至 350°C
H2	1T	50mT 至 1T
持續期間 2	1 小時	30 分鐘至 5 小時

再次簡短地參考上面圖 7，用於將圖 4、10 及 11 之具有 PtMn 釘扎層 404 及 IrMn 釘扎層 416 的雙重被釘扎層配置退火之典型值被顯示在下面表 3 中。

用於表 3 及用於圖 4 及 10 的雙重被釘扎 GMR 元件，溫度 T1、磁場 H1、及持續期間 1，意指 PtMn 反鐵磁性層 404 與該被釘扎層 406 之退火。溫度 T2、磁場 H2、及持續期間 2 意指該 IrMn 反鐵磁性層 416 與該相關被釘扎層 414 的退火。

用於表 3 及用於圖 11 之雙重被釘扎 GMR 元件，溫度 T1、磁場 H1、及持續期間 1 意指 PtMn 反鐵磁性層 404 與該被釘扎（SAF）結構 406 之退火。溫度 T2、磁場 H2、及持續期間 2 意指該 IrMn 反鐵磁性層 416 與該相關被釘扎（SAF）結構 1102 的退火。

表 3

值	典型的	大約範圍
T1	295°C	280°C 至 320°C
H1	1T	$\geq 0.3T$
持續期間 1	1 小時	30 分鐘至 2 小時
T2	160°C	100°C 至 260°C
H2	1T	50mT 至 2T
持續期間 2	30 分鐘	10 分鐘至 2 小時

雖然雙重被釘扎 GMR 元件係在上面被敘述，應被了解該雙重被釘扎配置可為具有額外之釘扎及／或被釘扎層的結構之一部份。

現在參考圖 12，其中圖 4 及 11 的類似元件被顯示具有類似參考標記，雙重被釘扎 GMR 元件 1200 具有圖 11 之層 404、406、408、412、1102 及 416，但在堆疊順序中與那些在上面會同圖 11 所敘述者顛倒。雖然該釘扎層 416 可為由 PtMn、IrMn、FeMn、或任何另一型式的反鐵磁性材料所構成，PtMn 或 IrMn 被顯示在該圖面中，且 IrMn 被使用在下面範例中。（PtMn 係例如會同圖 4 及 7-9 所使用）。

不像圖 11 之雙重被釘扎 GMR 元件 1100，該上述非磁性層 412 係在該自由層 410 上方而非在該自由層 410 下面，其提供用於局部釘扎之上述想要的特徵。

應被了解當該被釘扎層 416 係由 IrMn 所構成時，該 GMR 元件 1100 的未顛倒堆疊可為較佳。用於圖 12 之顛

倒層疊 GMR 元件 1200，如果 IrMn 被使用於該釘扎層 416，其將被沈積在該 CoFe 被釘扎層 1102a 的頂部上，其係不想要的。當獨自或與其他層結合地生長在 CoFe 層之上時，該 IrMn 不會很好地生長已被識別、亦即具有規則之晶狀結構。然而，該 IrMn 層 416 很好地生長在該種晶層 402 之上。

分別於圖 11 及 12 的雙重被釘扎 GMR 元件 1100 及 1200 中，應被了解該等結構 406、1102 如上述形成所謂之“合成的反鐵磁體”（SAF）結構。

現在參考圖 13，曲線圖 1300 具有水平軸，其設有以奧斯特（Oersteds）為磁場單位之比例尺；及直立軸，其設有以歐姆為電阻單位的比例尺。

如在此中所使用，當參考磁阻元件時，該“橫向”一詞被使用於意指垂直於圖 5 之磁軛 500 的較長尺寸之磁場、例如於圖 5 的箭頭 502 之方向中。此方向亦可為大致上垂直於該自由層或自由層結構 420 中的磁場之方向，但遭受上述可能的未對準。

如在此中所使用，當意指磁阻元件時，該“縱長”一詞被使用於意指平行於圖 5 之磁軛 500 的較長尺寸之磁場、例如於圖 5 的箭頭 504 之方向中。此方向亦可為大致上平行於該自由層或自由層結構 420 中的磁場之方向，但亦遭受上述可能的未對準。

被分別識別為“向前”及“顛倒”之二曲線 1302、1304 係在橫向方向中的磁場相對圖 4 的磁阻元件 400 之

轉移曲線的代表。

不論是否橫向或縱長方向，用於該向前方向，在此中被識別為“向前”及“顛倒”之曲線係在磁場強度中由正值拂掠至負值的磁場之指示。用於該顛倒方向，曲線係在磁場強度中由該負值拂掠至該正值的磁場之指示，而維持藉由在此中的曲線所代表之橫向或縱長方向的任一者之方向。

其能被看見圖 13 的向前及顛倒橫向轉移曲線 1302、1304 繞著零奧斯特之磁場係不對稱的。大致上，該不對稱性能藉由圖 4 之被釘扎層 406 與圖 5 的磁軛 500 之橫向方向的未對準所造成，並導致該自由層結構 410 之未對準。

現在參考圖 14，曲線圖 1400 具有水平軸，其設有以奧斯特為磁場單位之比例尺；及直立軸，其設有以歐姆為電阻單位的比例尺。

被分別識別為“向前”及“顛倒”之二曲線 1402、1404 係在縱長方向中的磁場相對圖 4 的磁阻元件 400 之轉移曲線的代表。該二曲線 1402、1404 具有峰值。

其能被看見圖 14 之向前及顛倒縱長轉移曲線係繞著零奧斯特的磁場不對稱的、亦即峰值係不在零奧斯特。圖 14 之縱長轉移曲線的不對稱性能源自圖 4 之雙重被釘扎配置 400 的設備間堆疊磁性偏向之存在，其當具有該相同量值的外場在該相反方向中被施加時被取消。

現在參考圖 15，曲線圖 1500 具有水平軸，其設有以

奧斯特為磁場單位之比例尺；及直立軸，其設有以歐姆為電阻單位之比例尺。

被分別識別為“向前”及“顛倒”之二曲線 1502、1504 係在橫向方向中的磁場相對圖 10 的磁阻元件 1000 之轉移曲線的代表、亦即用於層相對圖 4 之磁阻元件 400 的顛倒堆疊。然而，用於圖 15 之向前及顛倒橫向轉移曲線 1502、1504，該間隔層 412 具有與用於該磁阻元件 1000 所顯示者不同的厚度，其被選擇來達成該被釘扎層 412 至該自由層結構 410 之不同耦合、亦即於進入圖 10 的磁阻元件 1000 之頁面的方向中。該間隔層 412 之不同被選擇厚度與有關聯、亦即鐵磁性或反鐵磁性的不同耦合係在上面會同圖 4 被敘述。該間隔層 412 之厚度的又進一步細節係在下面會同圖 17 及 20 被敘述。

其能被看見圖 15 之分別向前及顛倒橫向轉移曲線 1502、1504 係繞著零奧斯特的磁場不對稱的。其能被看見圖 13 之向前及顛倒橫向轉移曲線 1302、1304 與圖 15 的向前及顛倒橫向轉移曲線 1502、1504 係於相反方向中由中心偏置，即一轉移曲線至該左側且一轉移曲線至右側。

現在參考圖 16，曲線圖 1600 具有水平軸，其設有以奧斯特為磁場單位之比例尺；及直立軸，其設有以歐姆為電阻單位之比例尺。

被分別識別為“向前”及“顛倒”之二曲線 1602、1604 係在縱長方向中的磁場相對圖 10 的磁阻元件 1000

之轉移曲線的代表、亦即用於層相對圖 4 之磁阻元件 400 的顛倒堆疊。然而，如上面會同圖 15 所敘述，用於該向前及顛倒之縱長轉移曲線，該間隔層 412 具有被選擇來達成該被釘扎層 412 之不同耦合至該自由層結構 410、亦即於進入圖 10 的磁阻元件 1000 之頁面的方向中之厚度。

其能被看見圖 16 之分別向前及顛倒曲線 1602、1604 係繞著零奧斯特的磁場不對稱的、亦即 V 形凹槽係不在零奧斯特。其亦可被看見圖 14 之向前及顛倒縱長轉移曲線 1402、1404 與圖 16 的向前及顛倒橫向轉移曲線 1602、1604（一轉移曲線為尖峰且一轉移曲線為 V 形凹槽）係於相反方向中由中心偏置，即一轉移曲線至該左側且一轉移曲線至右側。

在旋轉磁場之存在（而非上面範例中所使用的固定方向場），圖 13-16 之轉移曲線的任一者之結果係，圖 4 及 10 的磁阻元件 400 或 1000 之電阻、及當被使用於電子電路中時的結果之電壓不會遵循正態的正弦曲線特徵。本質上，該結果之電壓可具有異於百分之五十的工作循環。

應被了解轉移函數之類似不對稱性可源自圖 11 的雙重 SAF 磁阻元件 1100 及用於圖 12 之顛倒雙重 SAF 磁阻元件 1200。

該非百分之五十的工作循環可為不想要的。為提供靠近百分之五十的更一致之工作循環，所謂“雙重自旋閥”磁阻元件在下面被敘述於圖 17 及 20 中。

下面所敘述的雙重自旋閥亦具有上面會同圖 4、10 及

11（及亦 12）所敘述之其他優點。換句話說，藉由併入雙重自旋閥與藉由具有上述 Ru 層（例如 412）之特別的雙重被釘扎配置所產生之局部釘扎，圖 1 的轉移函數之階梯狀部分的雜訊能被減少或消除。

現在參考圖 17，雙重自旋閥磁阻元件 1700 包括一部份 1702，其像圖 4 之雙重被釘扎磁阻元件 400 的一部份（不包括種晶層 402 或覆蓋層 418）；及亦一部份 1704，像圖 10 之顛倒雙重被釘扎磁阻元件 1000 的一部份（不包括種晶層 402 或覆蓋層 418）。共用之反鐵磁性釘扎層 1706 可為於該中間。

該雙重自旋閥磁阻元件 1700 可具有二個自由層結構，用於此，間隔層 1708、1710 具有不同厚度，其被選擇以導致至該二個自由層結構的不同耦合，以致該二個自由層結構具有如所示設有相反方向之磁場。該磁場於該二個自由層結構中的方向能被由所示方向顛倒。

於一些實施例中，該間隔層 1710 具有可為於二範例範圍之其中一者中的厚度、例如約 1.0 奈米至約 1.7 奈米或約 2.3 奈米至約 3.0 奈米，以導致該間隔層 1710 及該鄰接的下自由層結構間之鐵磁性耦合。

於一些實施例中，該間隔層 1708 具有可為於二範例範圍之其中一者中的厚度、例如約 1.7 奈米至約 2.3 奈米或約 3.0 奈米至約 3.7 奈米，以導致該間隔層 1708 及該鄰接的上自由層結構間之鐵磁性耦合。

於另一些實施例中，該二範圍可替代地為約 0.7 奈米

至約 1.0 奈米或約 3.0 奈米至約 3.7 奈米。

如此，其將被了解該二個自由層結構具有磁場，其設有指向於相反方向中的額定方向。隨同該轉移曲線及圖 15 及 16 所取得，與二分開之磁阻元件有關聯（400 與修改的 1000），這是像圖 13 及 14 之轉移曲線。

此外，藉由選擇該二間隔層 1708、1710 的厚度，該二鐵磁性及反鐵磁性耦合件可具有約相同之量值、但於相反方向中。

應被進一步了解的是該雙重自旋閥磁阻元件 1700 之操作非常像圖 4 的磁阻元件 400 及圖 10 之 1000 的一系列堆疊組合之操作，但在此二結果的間隔層 1702、1704（圖 4 及 10 之 412）具有被選擇厚度，以導致鐵磁性耦合至該下自由層結構及反鐵磁性耦合至該上自由層結構。

於一些交互的實施例中，該間隔層 1708 可具有該間隔層 1710 之厚度，且反之亦然。

該雙重自旋閥磁阻元件 1700 可具有二合成的反鐵磁性（SAF）被釘扎結構及亦二其他被釘扎層（亦即，單層被釘扎層）。

該二合成之反鐵磁性（SAF）被釘扎結構及亦該二其他被釘扎層兩者在此中被稱為被釘扎層結構。

現在參考圖 18，曲線圖 1800 具有水平軸，其設有以奧斯特為磁場單位之比例尺；及直立軸，其設有以歐姆為電阻單位的比例尺。

被分別識別為“向前”及“顛倒”之二曲線 1802、

1804 係在橫向方向中的磁場相對圖 17 的雙重自旋閥磁阻元件 1700 之轉移曲線的代表。

其能被看見圖 18 的向前及顛倒橫向轉移曲線 1802、1804 係大致上繞著零奧斯特之磁場對稱的。

現在參考圖 19，曲線圖 1900 具有水平軸，其設有以奧斯特為磁場單位之比例尺；及直立軸，其設有以歐姆為電阻單位的比例尺。

被分別識別為“向前”及“顛倒”之二曲線 1902、1904 係在縱長方向中的磁場相對圖 17 的雙重自旋閥磁阻元件 1700 之轉移曲線的代表。該二曲線 1902、1904 具有尖峰及 V 形凹槽。

其能被看見圖 19 的向前及顛倒橫向轉移曲線 1902、1904 係大致上繞著零奧斯特之磁場對稱的。

既然圖 18 及 19 之橫向及縱長轉移曲線大致上係繞著零奧斯特的磁場對稱的，接著於轉動磁場之存在中，電子電路的結果電阻特徵及結果電壓特徵可具有比用於該磁阻元件 400、1000 更對稱之正弦曲線形狀及較接近至百分之五十的工作循環。

亦如上述，藉由併入雙重自旋閥與藉由上述之特別 Ru 層 1708、1710 所產生的局部釘扎，圖 1 之轉移函數的階梯狀部分之雜訊能被減少或消除。

現在參考圖 20，雙重自旋閥磁阻元件 2000 包括一部份 2002，其像圖 12 之顛倒雙重被釘扎磁阻元件 1200 的一部份（不包括種晶層 402 或覆蓋層 418）；及亦一部份

2004，像圖 11 之雙重被釘扎磁阻元件 1100 的一部份（不包括種晶層 402 或覆蓋層 418）。共用之反鐵磁性釘扎層 2006 可為於該中間。

該雙重自旋閥磁阻元件 2000 可具有二個自由層結構，用於此，間隔層 2008、2010 可具有不同厚度，其被選擇以導致至該自由層結構的不同耦合，以致該二個自由層結構具有如所示設有相反方向之磁場。該磁場於該二個自由層結構中的方向能被由所示方向顛倒。

於一些實施例中，該間隔層 2010 能具有可為於二範例範圍之其中一者中的厚度、例如約 1.0 奈米至約 1.7 奈米或約 2.3 奈米至約 3.0 奈米，以導致該間隔層 2010 及該鄰接的下自由層結構間之鐵磁性耦合。

於一些實施例中，該間隔層 2008 具有可為於二範例範圍之其中一者中的厚度、例如約 1.7 奈米至約 2.3 奈米或約 3.0 奈米至約 3.7 奈米，以導致該間隔層 2009 及該鄰接的上自由層結構間之反鐵磁性耦合。

如此，其將被了解該二個自由層結構具有指向於相反方向中的額定方向。這是像圖 13 及 14 與圖 15 及 16 之轉移曲線的組合，但與二分開之磁阻元件（1000 及 1100）有關聯。

此外，藉由選擇該二間隔層 2008、2010 的厚度，該二反鐵磁性及鐵磁性耦合件可具有約相同之量值、但於相反方向中。

應被進一步了解的是該雙重自旋閥磁阻元件 2000 之

操作非常像圖 11 的磁阻元件 1100 及圖 12 之 1200 的一系列堆疊組合之操作，但在此二結果的間隔層 2002、2004（圖 11 及 12 之 412）具有被選擇厚度，以導致鐵磁性耦合至該下自由層結構及反鐵磁性耦合至該上自由層結構。

於一些交互的實施例中，該間隔層 2010 可具有該間隔層 2008 之厚度，且反之亦然。

該雙重自旋閥磁阻元件 2000 具有四個合成的反鐵磁性（SAF）被釘扎結構。如此，在該雙重自旋閥磁阻元件 2000 中有二個雙重被釘扎結構。

該四個合成之反鐵磁性（SAF）被釘扎結構在此中被稱為被釘扎層結構。

轉移曲線 18、19 係該雙重自旋閥磁阻元件 2000 的操作之指示。圖 20 的雙重自旋閥磁阻元件 2000 之優點係在上面會同圖 17 被敘述。進一步優點係以該雙重自旋閥磁阻元件 2000 所獲得。換句話說，藉由使用額外的 SAFs，在上面會同圖 11 所敘述之各種穩定性改良亦在該雙重自旋閥磁阻元件 2000 中被獲得。

又進一步優點係藉由分別使用圖 17 及 20 的磁阻元件 1700 及 2000 中之二個自由層結構所推得。換句話說，較高的磁阻比率被達成、亦即對磁場較高之敏感性。

由圖 17 及 20 的配置，其應被了解可有任何偶數之自由層結構、任何偶數個被釘扎層、及任何偶數之可選擇厚度間隔層、例如 1708、1710、2008、2010，以達成上述的改良工作循環。如此，在此中所敘述之配置不被限制於

雙重自旋值配置。配置可包括在堆疊配置中的四個自旋閥及較大數目之自旋閥，以達成磁阻元件。

雖然特別的層厚度被顯示在圖 4、10、11、12、17 及 20 中，其將被了解一些層之厚度可為不同的。

雖然層之特別順序被顯示在圖 4、10、11、12、17 及 20 中，應被了解在所示該等層的任何二或更多個之間可有其他介入層、譬如其他間隔層。亦，在圖 4、10、11、12、17 及 20 中所示的層上方或下方可有其他層。

當敘述彼此堆疊的層時，該“在之上”一詞被使用於指示層的順序、但不指示該等層必需為直接接觸。彼此堆疊之層可包括互相介入的層。

按照表 1、2 及 3 及根據圖 7、8 及 9 之步驟的退火亦分別應用至圖 17 及 20 之雙重自旋閥磁阻元件 1700 及 2000，且亦至一堆疊配置中的較大數目之自旋閥。用於所有這些配置，二退火步驟在被釘扎層結構及該雙重自旋閥配置（或較大數目之堆疊式自旋閥）的每一部份中之周圍釘扎層提供磁場，該等雙重自旋閥配置係相對彼此九十度導向。

現在參考圖 21，先前技術領域的雙重自旋閥 2100 具有上面用於該雙重自旋閥磁阻元件 1700 或 2000 所敘述之較少的優點。顯著地，該先前技術領域之雙重自旋閥 2100 不具有共用的中心反鐵磁性釘扎層（例如圖 17 及 20 之 1706、2006）、及不具有該等間隔層（例如 1708、1710、2008、2010），該等層提供不同耦合（鐵磁性及反

鐵磁性)至個別的自由層結構。

以下專利申請案全部以引用的方式併入本文中：2014年8月6日提出之美國專利申請案第14/452,783號、2014年10月31日提出的美國專利申請案第14/529,564號、及2015年1月7日提出的美國專利申請案第14/591,213號。

在此中所引用之所有參考案係據此全部以引用的方式併入本文中。

已敘述較佳實施例，該等實施例具有說明作為此專利的主題之各種概念、結構及技術的作用，其現在將變得明顯的是併入這些概念、結構及技術之其他實施例可被使用。據此，其被提出該專利的範圍應不被限制於所敘述之實施例，但反之應只被以下申請專利的精神及範圍所限制。

【符號說明】

100：曲線圖

102：曲線/轉移函數

102a：線性區域

102b：上飽和點

102c：下飽和點

102d：區域

102e：區域

104：階梯狀部分

200：自旋閥巨磁阻元件

202：種晶層

204：釘扎層

206：被釘扎層

206a：被釘扎層

206b：間隔層

206c：被釘扎層

208：間隔層

210：自由層

210a：自由層

210b：自由層

212：覆蓋層

214：箭頭

300：自旋閥巨磁阻元件

302：種晶層

304：釘扎層

306：被釘扎層

308：間隔層

310：自由層

310a：自由層

310b：自由層

312：間隔層

314：被釘扎層

316：釘扎層

- 318：覆蓋層
- 400：自旋閥巨磁阻元件
- 402：種晶層
- 404：釘扎層
- 406：被釘扎層
- 406a：被釘扎層
- 406b：間隔層
- 406c：被釘扎層
- 408：間隔層
- 410：自由層
- 410a：自由層
- 410b：自由層
- 412：間隔層
- 414：被釘扎層
- 416：釘扎層
- 418：覆蓋層
- 500：磁軛
- 501：主要部分
- 502：箭頭
- 504：箭頭
- 506：支臂
- 508：支臂
- 512：橫側支臂
- 514：橫側支臂

600：磁場感測器
602：物體/環磁鐵
700：製程
702：方塊
704：元件
706：方塊
708：方塊
800：製程
900：製程
1000：自旋閥巨磁阻元件
1100：自旋閥巨磁阻元件
1102：反鐵磁性結構
1102a：被釘扎層
1102b：間隔層
1102c：被釘扎層
1200：自旋閥巨磁阻元件
1300：曲線圖
1302：轉移曲線
1304：轉移曲線
1400：曲線圖
1402：轉移曲線
1404：轉移曲線
1500：曲線圖
1502：轉移曲線

1504：轉移曲線

1600：曲線圖

1602：轉移曲線

1604：轉移曲線

1700：雙重自旋閥磁阻元件

1702：部份

1704：部份

1706：釘扎層

1708：間隔層

1710：間隔層

1800：曲線圖

1802：轉移曲線

1804：轉移曲線

1900：曲線圖

1902：轉移曲線

1904：轉移曲線

2000：雙重自旋閥磁阻元件

2002：部份

2004：部份

2006：釘扎層

2008：間隔層

2009：間隔層

2010：間隔層

2100：自旋閥

發明摘要

※申請案號：105117391

※申請日：105 年 06 月 02 日

※IPC 分類：

H01L 43/08	(2006.01)	H01L 43/02	(2006.01)
H01L 43/12	(2006.01)	H01L 43/10	(2006.01)
G01R 33/09	(2006.01)	H01F 10/32	(2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

對磁場具有改良響應的自旋閥磁阻元件

Spin valve magnetoresistance element with improved response to
magnetic fields

【中文】

自旋閥磁阻元件具有偶數個自由層結構，相對於有關聯的被釘扎層，該自由層結構之一半具有反鐵磁性耦合，且其另一半具有鐵磁性耦合。該不同耦合係具有個別厚度不同之偶數個不同間隔層的結果。

【英文】

A spin valve magnetoresistance element has an even number of free layer structures for which half has an antiferromagnetic coupling and the other half has a ferromagnetic coupling with respect to associated pinned layers. The different couplings are the result of an even number different spacer layers having respective different thicknesses.

圖 式

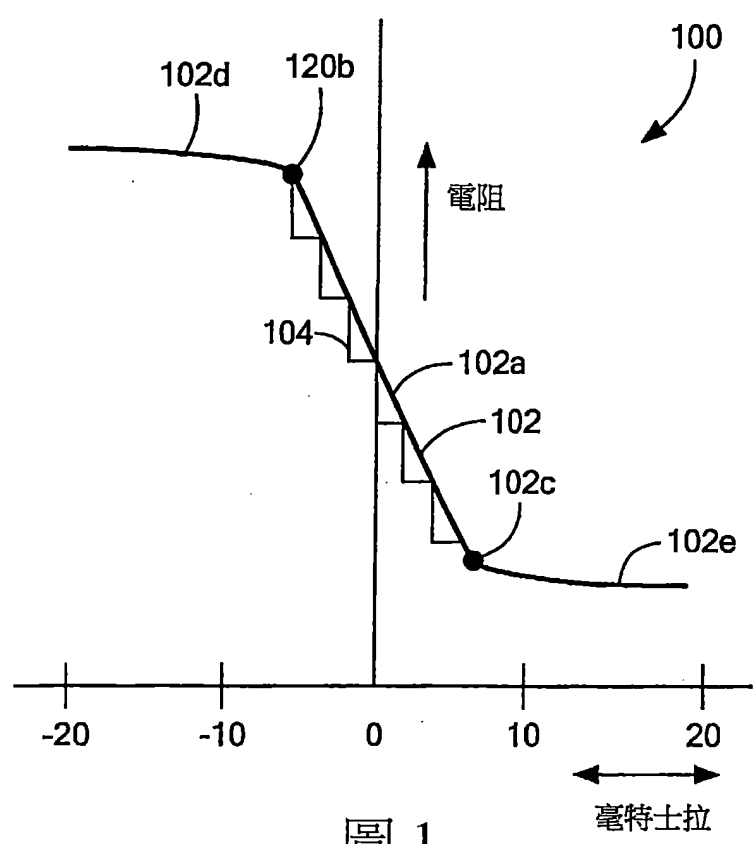


圖 1

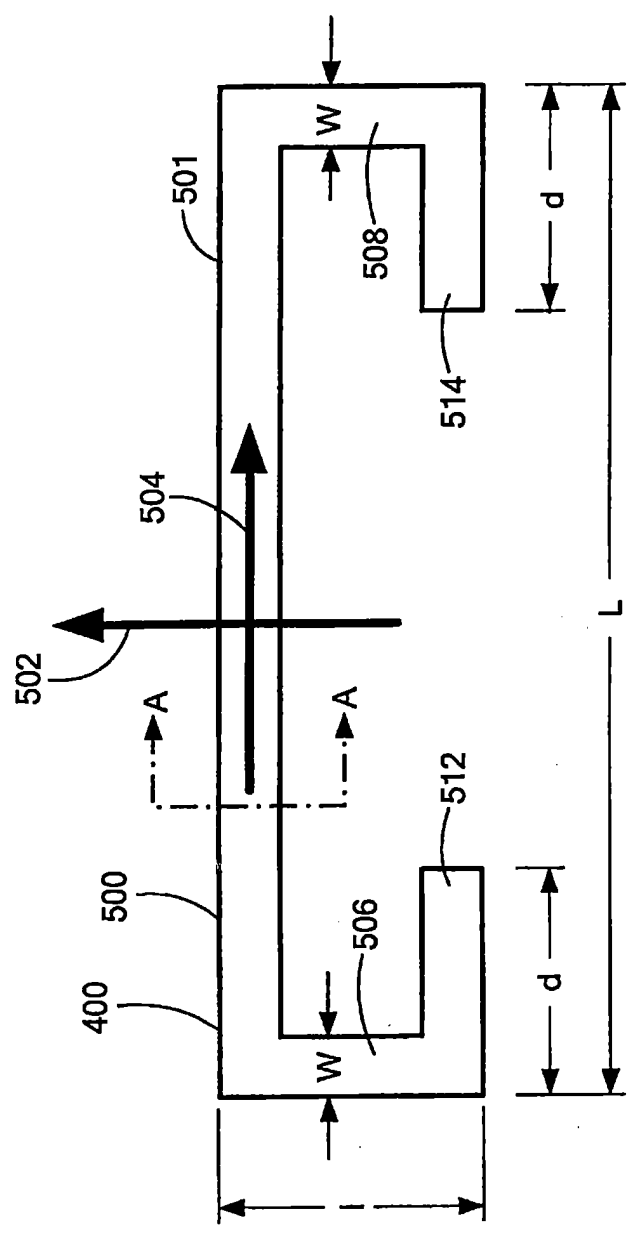


圖 5

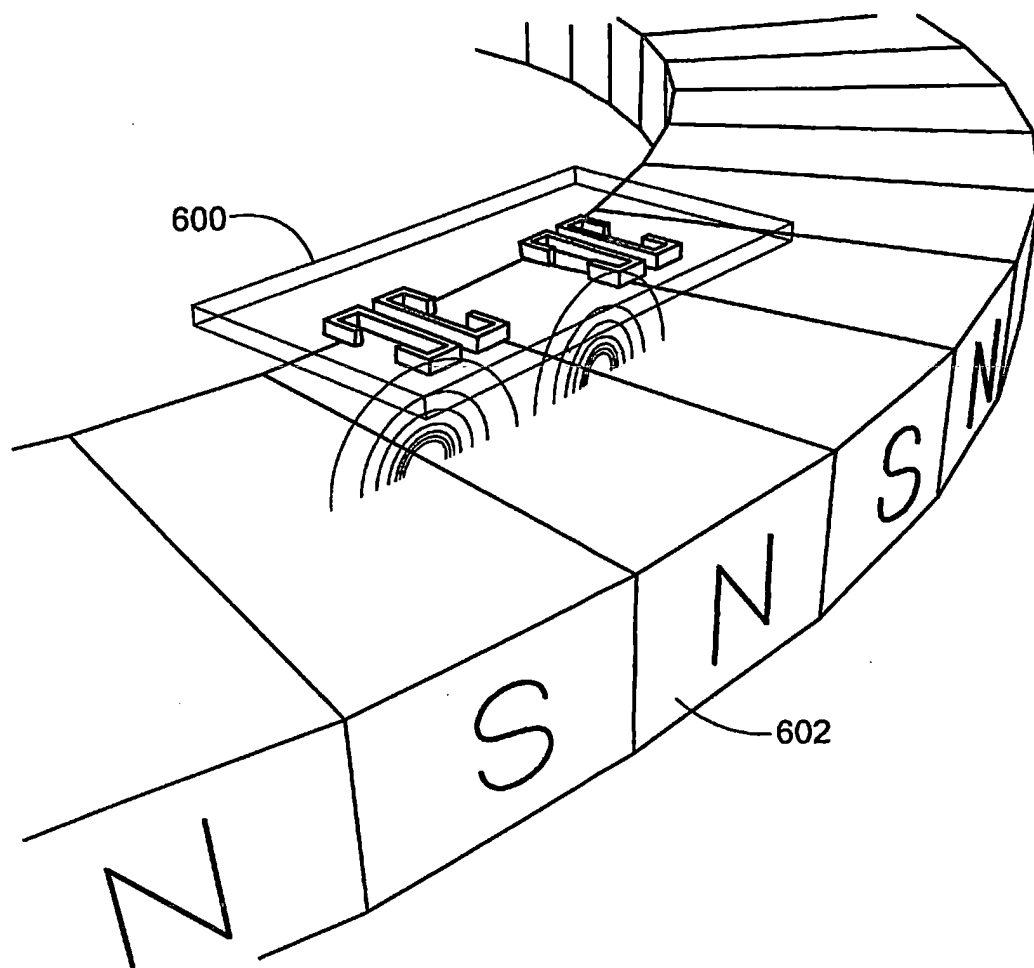


圖 6

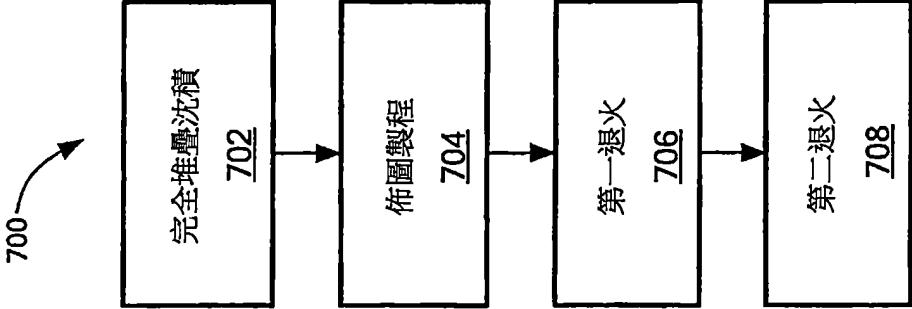


圖 7

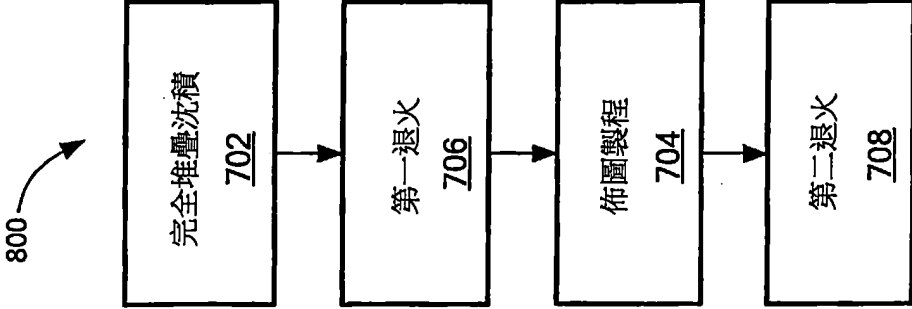


圖 8

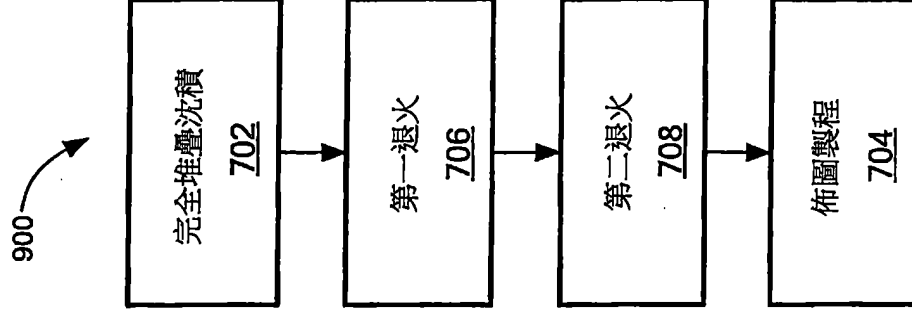


圖 9

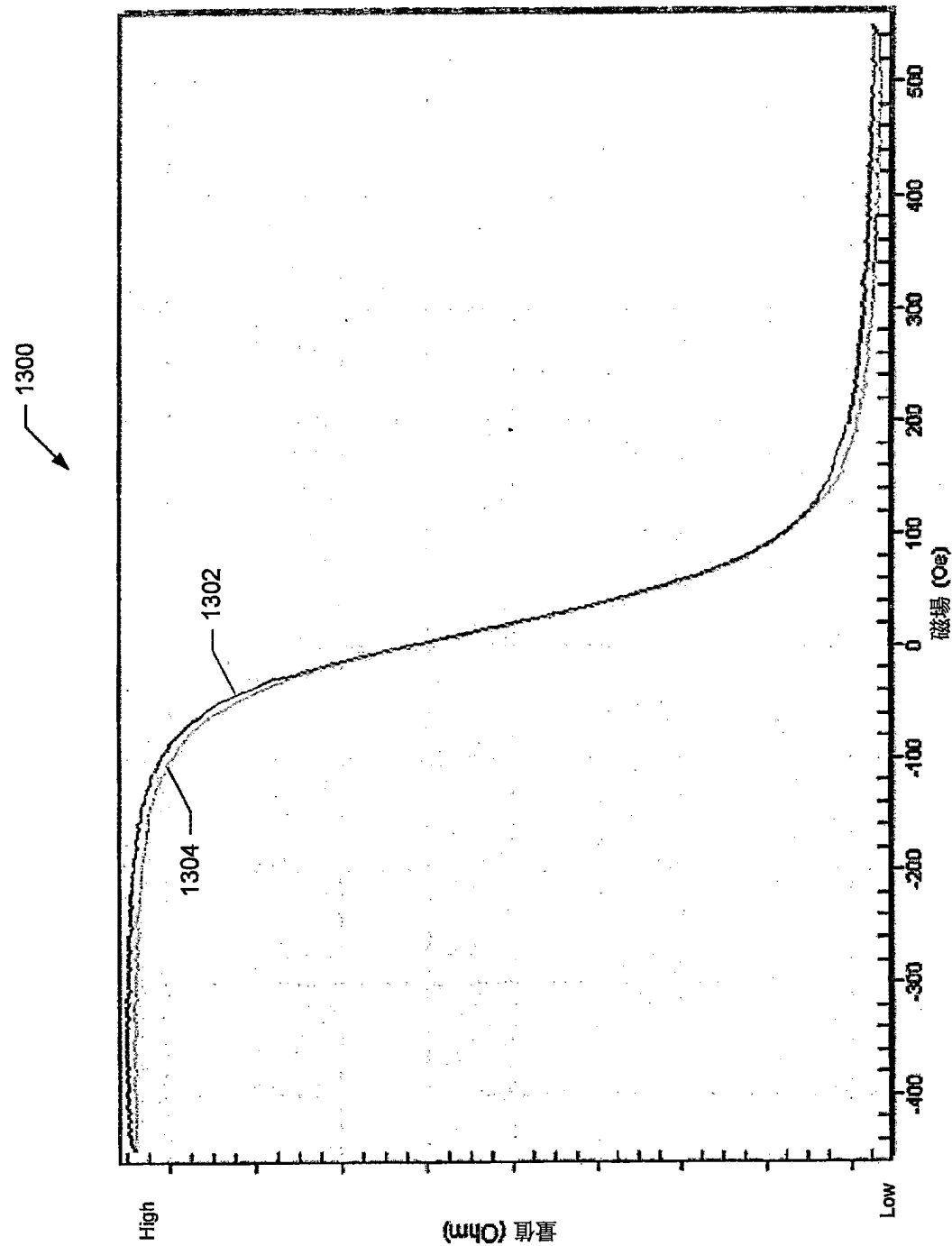


圖 13

1400

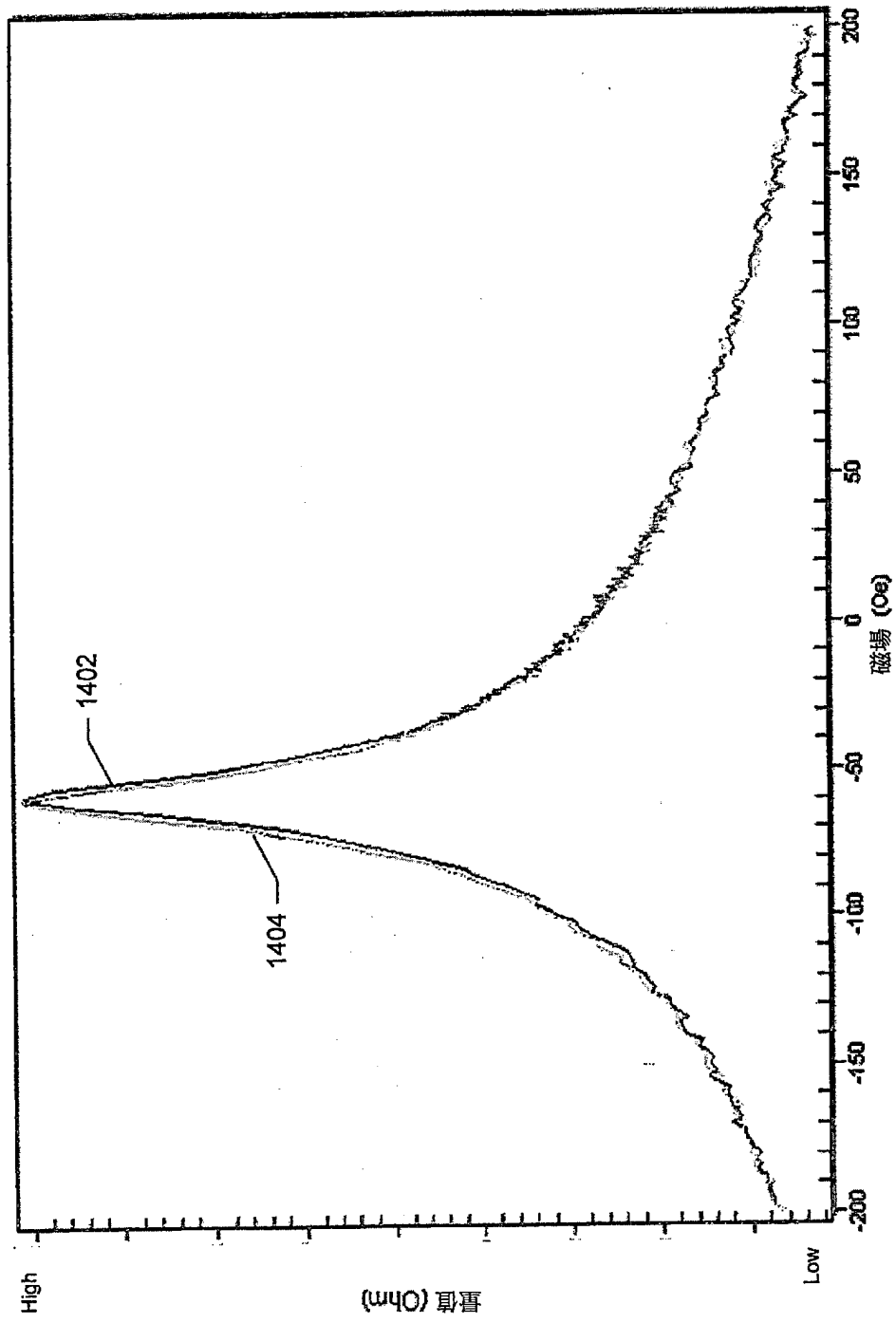


圖 14

1500

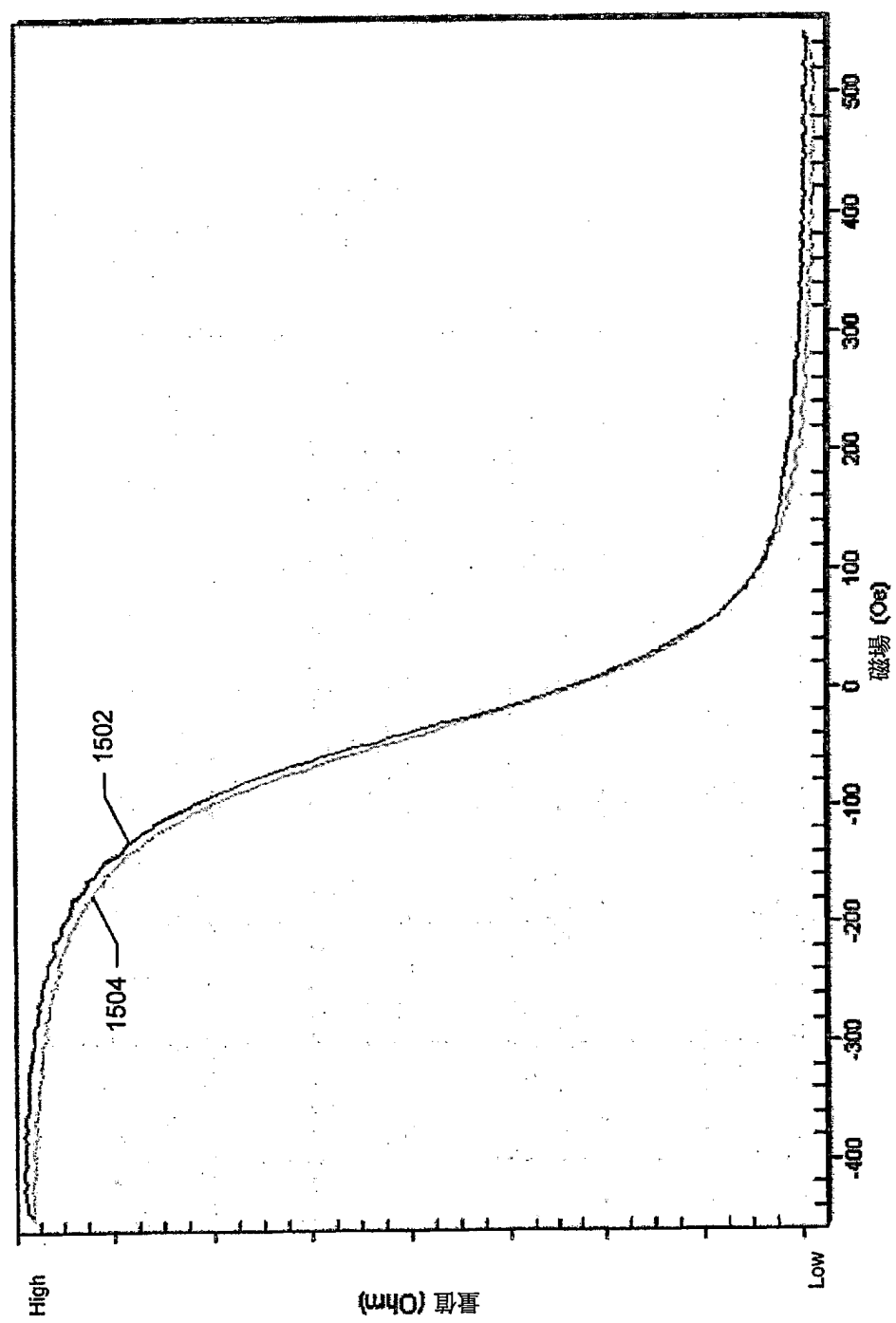


圖 15

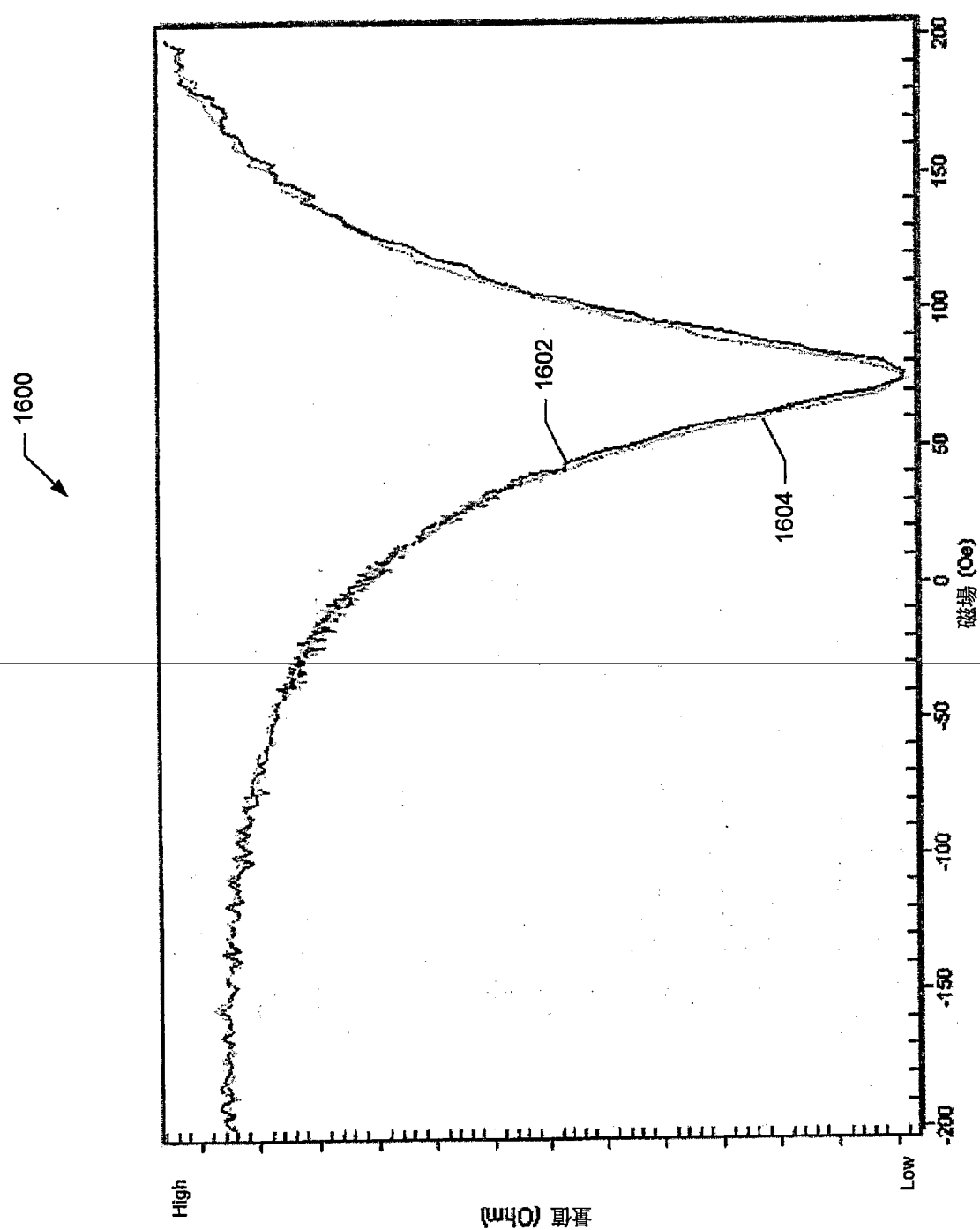


圖 16

1800

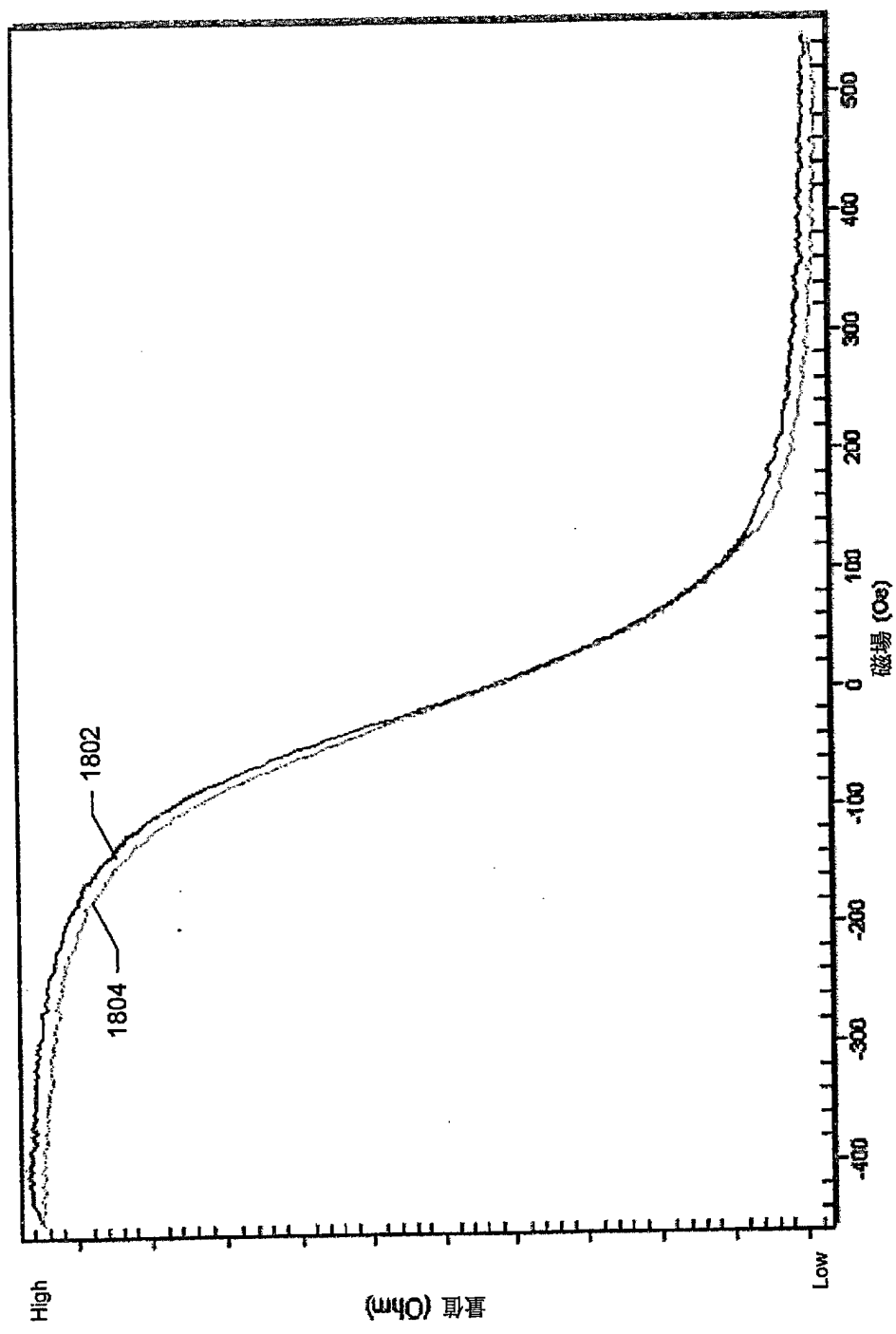


圖 18

1900

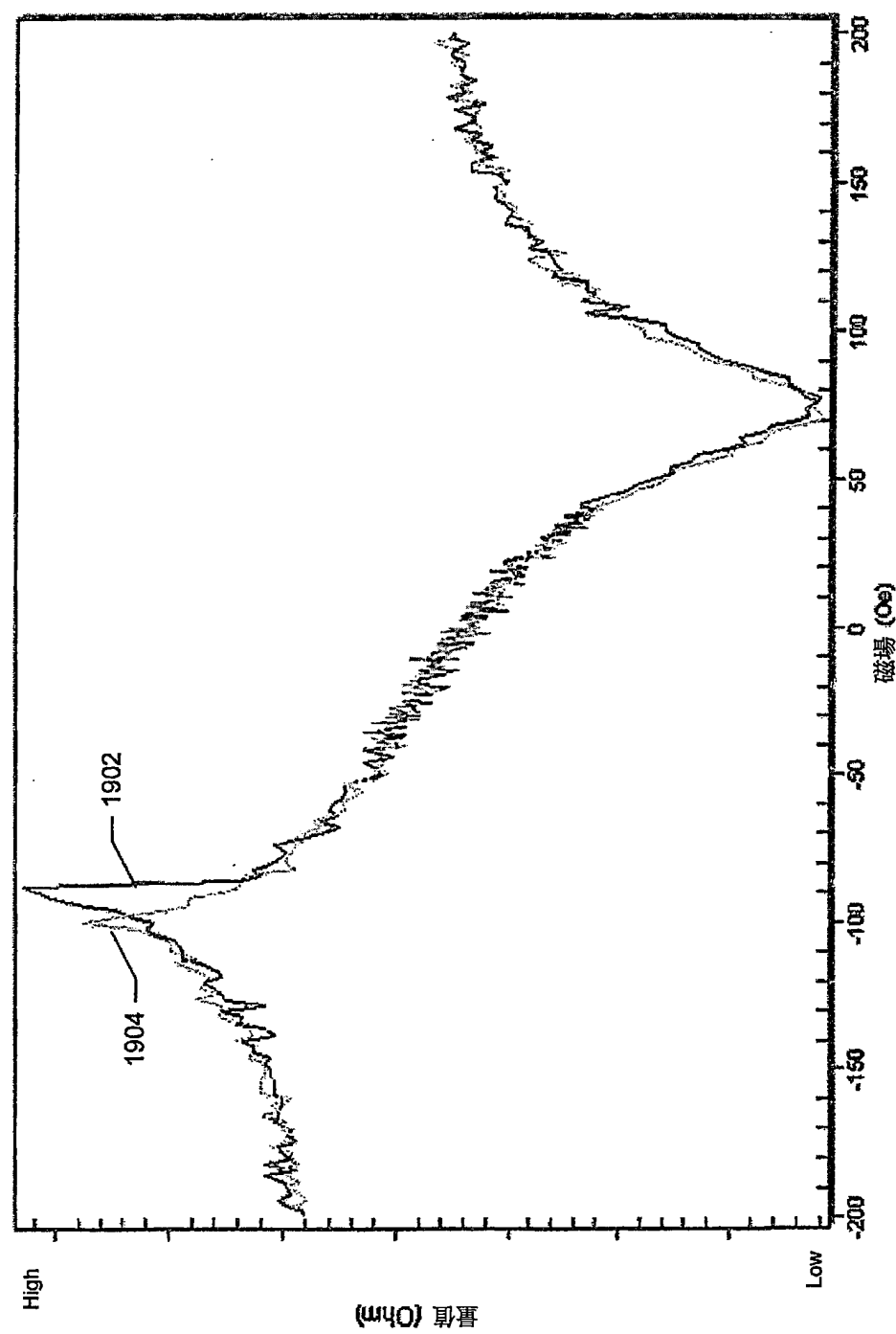


圖 19

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第(17)圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

1700：雙重自旋閥磁阻元件

1702：部份

1704：部份

1706：釘扎層

1708：間隔層

1710：間隔層

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：無

申請專利範圍

1. 一種磁阻元件，被沈積在基板上，包含：

偶數個自由層結構，該偶數個自由層結構包含第一及第二自由層結構；

偶數個間隔層，該偶數個間隔層包含第一及第二間隔層；

偶數個被釘扎層結構，該偶數個被釘扎層結構包含第一及第二被釘扎層結構，其中該偶數個自由層結構、該偶數個間隔層、及該偶數個被釘扎層結構被設置在堆疊層中，其中該第一間隔層具有第一厚度，該第一厚度被選擇，以在該第一被釘扎層結構與該第一自由層結構之間導致反鐵磁性耦合或鐵磁性耦合的第一被選擇之耦合，且其中該第二間隔層具有不同於該第一厚度的第二厚度，所選擇之該第二厚度在該第二被釘扎層結構與該第二自由層結構之間導致反鐵磁性耦合或鐵磁性耦合的第二被選擇之耦合，該第二被選擇之耦合不同於該第一被選擇之耦合；和

奇數個釘扎層，包含至少第一、第二、及第三釘扎層，該第一及第二釘扎層分別磁性地耦合至該第一及第二被釘扎層結構，其中該第一及第二釘扎層的退火磁性方向係彼此平行，且其中該第三釘扎層之退火磁性方向不同於該第一及第二釘扎層的該退火磁性方向。

2. 如申請專利範圍第 1 項之磁阻元件，其中該第一及第二間隔層係由釘（Ru）所構成。

3. 如申請專利範圍第 2 項之磁阻元件，其中該第一

被選擇厚度係在約 1.0 奈米至約 1.7 奈米的範圍中，且其中該第二被選擇厚度係於約 3.0 奈米至約 3.7 奈米之範圍中。

4. 如申請專利範圍第 2 項之磁阻元件，其中該第二被選擇厚度係在約 1.0 奈米至約 1.7 奈米的範圍中，且其中該第一被選擇厚度係於約 3.0 奈米至約 3.7 奈米之範圍中。

5. 如申請專利範圍第 2 項之磁阻元件，其中該第一及第二被釘扎層結構的每一者由一個別之被釘扎層所組成。

6. 如申請專利範圍第 2 項之磁阻元件，其中該第一及第二被釘扎層結構的每一者包含一個別之合成反鐵磁性（SAF）結構。

7. 如申請專利範圍第 1 項之磁阻元件，其中該第一及第二被釘扎層結構的每一者由一個別之被釘扎層所組成。

8. 如申請專利範圍第 1 項之磁阻元件，其中該第一及第二被釘扎層結構的每一者包含一個別之合成反鐵磁性（SAF）結構。

9. 如申請專利範圍第 1 項之磁阻元件，

其中該偶數個被釘扎層結構另包含第三及第四被釘扎層結構，其中該第三釘扎層係磁性地耦合至該第三及第四被釘扎層結構兩者的共用釘扎層。

10. 如申請專利範圍第 1 項之磁阻元件，其中該第一

及第二釘扎層係由 PtMn 所構成。

11. 如申請專利範圍第 10 項之磁阻元件，其中該第三釘扎層係由 PtMn 所構成。

12. 如申請專利範圍第 11 項之磁阻元件，其中該第一及第二釘扎層的退火磁性方向係彼此平行，且其中該第三釘扎層之退火磁性方向相對該第一及第二釘扎層的退火磁性方向係九十度。

13. 如申請專利範圍第 9 項之磁阻元件，其中該磁阻元件的至少一部份具有磁軛形狀。

14. 如申請專利範圍第 13 項之磁阻元件，其中該磁軛形狀的長度（L）及該磁軛形狀之橫側支臂的長度（d）之每一者係該磁軛形狀的寬度（w）之至少三倍，且該磁軛形狀的該寬度（w）係在約一微米及約二十微米之間，其中該長度（L）係該磁軛形狀的最長尺寸。

15. 一種製造磁阻元件之方法，包含：

將該磁阻元件沈積在基板上，該磁阻元件包含：

偶數個自由層結構，該偶數個自由層結構包含第一及第二自由層結構；

偶數個間隔層，該偶數個間隔層包含第一及第二間隔層；

偶數個被釘扎層結構，該偶數個被釘扎層結構包含第一及第二被釘扎層結構，其中該偶數個自由層結構、該偶數個間隔層、及該偶數個被釘扎層結構被設置在堆疊層中，其中該第一間隔層具有第一厚度，該第一厚度被選

擇，以在該第一被釘扎層結構與該第一自由層結構之間導致反鐵磁性耦合或鐵磁性耦合的第一被選擇之耦合，且其中該第二間隔層具有不同於該第一厚度的第二厚度，所選擇之該第二厚度在該第二被釘扎層結構與該第二自由層結構之間導致反鐵磁性耦合或鐵磁性耦合的第二被選擇之耦合，該第二被選擇之耦合不同於該第一被選擇之耦合；和

奇數個釘扎層，包含至少第一、第二、及第三釘扎層，該第一及第二釘扎層分別磁性地耦合至該第一及第二被釘扎層結構，

其中該方法另包含：

將該磁阻元件退火，其中該退火包括：

該第一及第二釘扎層的退火磁性方向係彼此平行，和

將該第三釘扎層之磁性方向退火成不同於該第一及第二釘扎層的該退火磁性方向。

16. 如申請專利範圍第 15 項之方法，其中該第一及第二間隔層係由 Ru 所構成。

17. 如申請專利範圍第 16 項之方法，其中該第一被選擇厚度係在約 1.0 奈米至約 1.7 奈米的範圍中，且其中該第二被選擇厚度係於約 3.0 奈米至約 3.7 奈米之範圍中。

18. 如申請專利範圍第 16 項之方法，其中該第二被選擇厚度係在約 1.0 奈米至約 1.7 奈米的範圍中，且其中該第一被選擇厚度係於約 3.0 奈米至約 3.7 奈米之範圍

中。

19. 如申請專利範圍第 16 項之方法，其中該第一及第二被釘扎層結構的每一者由一個別之被釘扎層所組成。

20. 如申請專利範圍第 16 項之方法，其中該第一及第二被釘扎層結構的每一者包含一個別之合成反鐵磁性（SAF）結構。

21. 如申請專利範圍第 15 項之方法，其中該第一及第二被釘扎層結構的每一者由一個別之被釘扎層所組成。

22. 如申請專利範圍第 15 項之方法，其中該第一及第二被釘扎層結構的每一者包含個別之合成反鐵磁性（SAF）結構。

23. 如申請專利範圍第 15 項之方法，其中該偶數個被釘扎層結構另包含第三及第四被釘扎層結構，其中該第三釘扎層係磁性地耦合至該第三及第四被釘扎層結構兩者的共用釘扎層。

24. 如申請專利範圍第 15 項之方法，其中該第一及第二釘扎層係由 PtMn 所構成。

25. 如申請專利範圍第 15 項之方法，其中該第三釘扎層係由 PtMn 所構成。

26. 如申請專利範圍第 25 項之方法，其中該將該第三釘扎層的該磁性方向退火包含：

相對於該第一及第二釘扎層的該退火磁性方向，將該第三釘扎層之磁性方向退火至為九十度。

27. 如申請專利範圍第 23 項之方法，另包含：

佈圖該磁阻元件，以具有磁軛形狀。

28. 如申請專利範圍第 27 項之方法，其中該磁軛形狀的長度（ L ）及該磁軛形狀之橫側支臂的長度（ d ）之每一者係該磁軛形狀的寬度（ w ）之至少三倍，且該磁軛形狀的該寬度（ w ）係在約一微米及約二十微米之間，其中該長度（ L ）係該磁軛形狀的最長尺寸。

29. 一種磁阻元件，包含：

基板；

第一被釘扎層結構，設置在該基板之上；

第一間隔層，設置在該第一被釘扎層結構之上；

第一自由層結構，設置在該第一間隔層之上；

反鐵磁性層，設置在該第一自由層結構之上；

第二自由層，設置在該反鐵磁性層之上；

第二間隔層，設置在該第二自由層結構之上；及

第二被釘扎層結構，設置在該第二間隔層之上；

其中該第一間隔層具有第一厚度，該第一厚度被選擇以在該第一被釘扎層與該第一自由層之間導致反鐵磁性耦合或鐵磁性耦合的第一被選擇之耦合，且其中該第二間隔層具有不同於該第一厚度的第二厚度，以在該第二被釘扎層與該第二自由層之間導致反鐵磁性耦合或鐵磁性耦合的第二被選擇之耦合，該第二被選擇之耦合不同於該第一被選擇之耦合，

其中該第一及第二被釘扎層結構的退火磁性方向係彼此平行，且其中該反鐵磁性層之退火磁性方向不平行於該

第一及第二被釘扎層結構的該退火磁性方向。

30. 如申請專利範圍第 29 項之磁阻元件，其中該第一及第二間隔層係由 Ru 所構成。

31. 如申請專利範圍第 30 項之磁阻元件，其中該第一被選擇厚度係在約 1.0 奈米至約 1.7 奈米的範圍中，且其中該第二被選擇厚度係於約 3.0 奈米至約 3.7 奈米之範圍中。

32. 如申請專利範圍第 30 項之磁阻元件，其中該第二被選擇厚度係在約 1.0 奈米至約 1.7 奈米的範圍中，且其中該第一被選擇厚度係於約 3.0 奈米至約 3.7 奈米之範圍中。

33. 如申請專利範圍第 30 項之磁阻元件，其中該第一及第二被釘扎層結構的每一者由一個別之被釘扎層所組成。

34. 如申請專利範圍第 30 項之磁阻元件，其中該第一及第二被釘扎層結構的每一者包含一個別之合成反鐵磁性（SAF）結構。

35. 如申請專利範圍第 29 項之磁阻元件，其中該第一及第二被釘扎層結構的每一者由一個別之被釘扎層所組成。

36. 如申請專利範圍第 29 項之磁阻元件，其中該第一及第二被釘扎層結構的每一者包含一個別之合成反鐵磁性（SAF）結構。

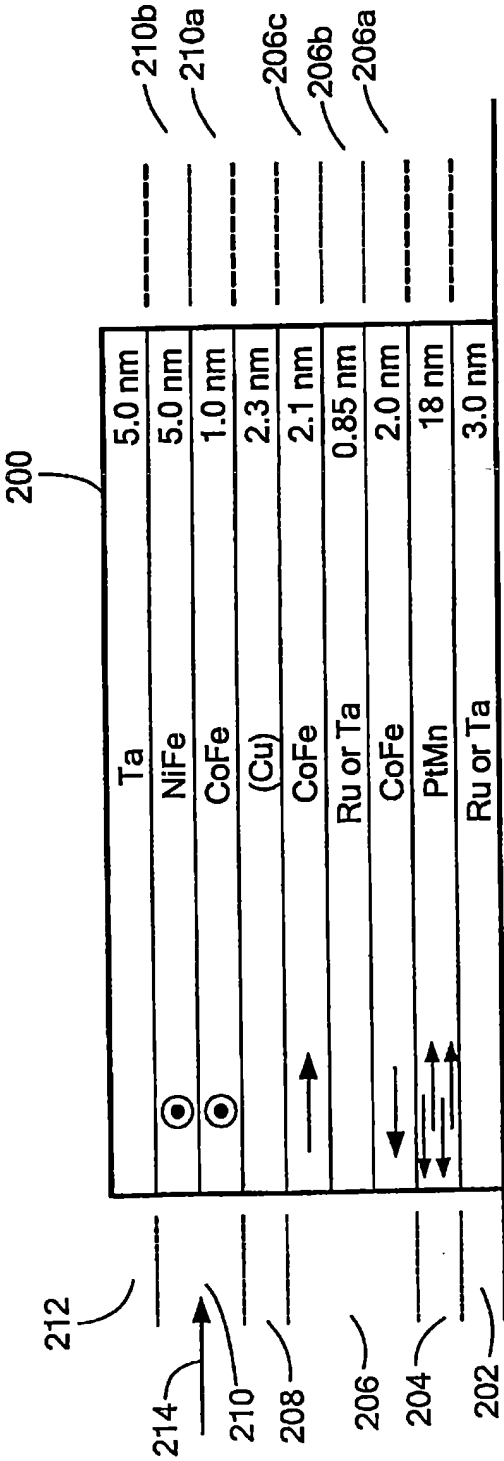


圖 2
(先前技術領域)

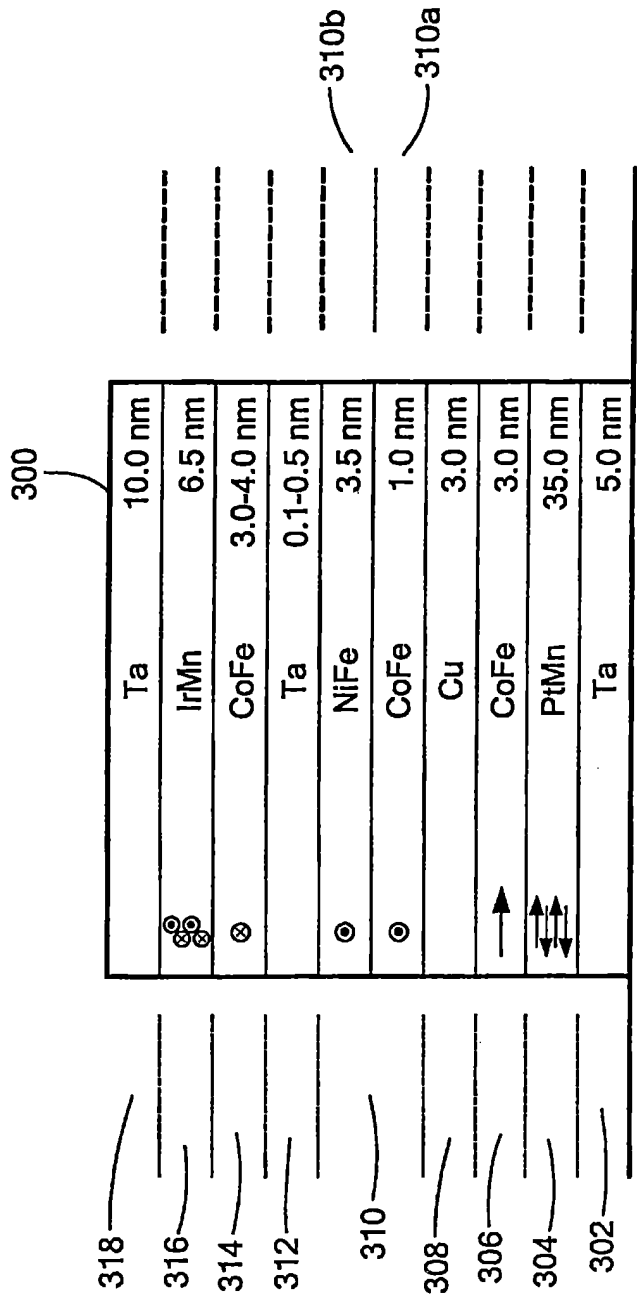


圖 3
(先前技術領域)

418	Ta	5.0 nm
416	PtMn or IrMn	5.0 to 15.0 nm
414	CoFe	2.0 nm
412	Ru	0.1 to 4.0 nm
420	NiFe	5.0 nm
410	CoFe	1.0 nm
408	(Cu)	2.4 nm
406	CoFe	2.1 nm
	Ru	0.85 nm
	CoFe	2.0 nm
404	PtMn	15 to 30 nm
402	Ru	1.0 nm

圖 4

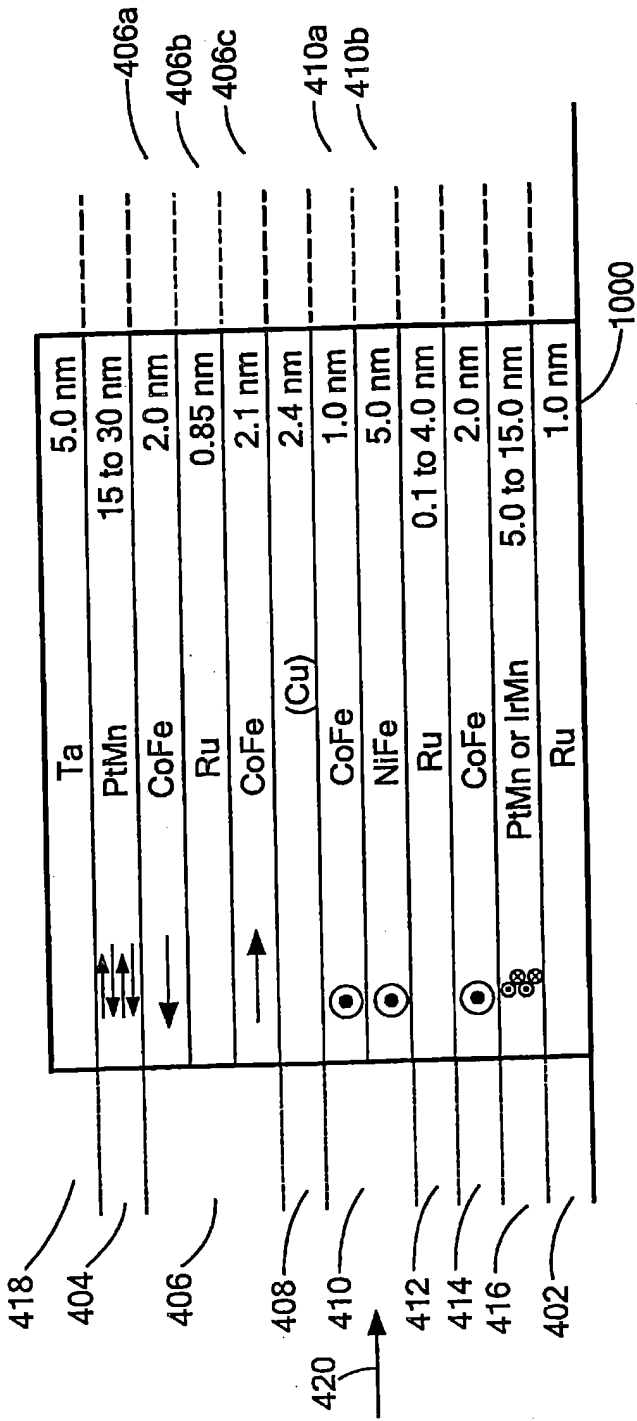


圖 10

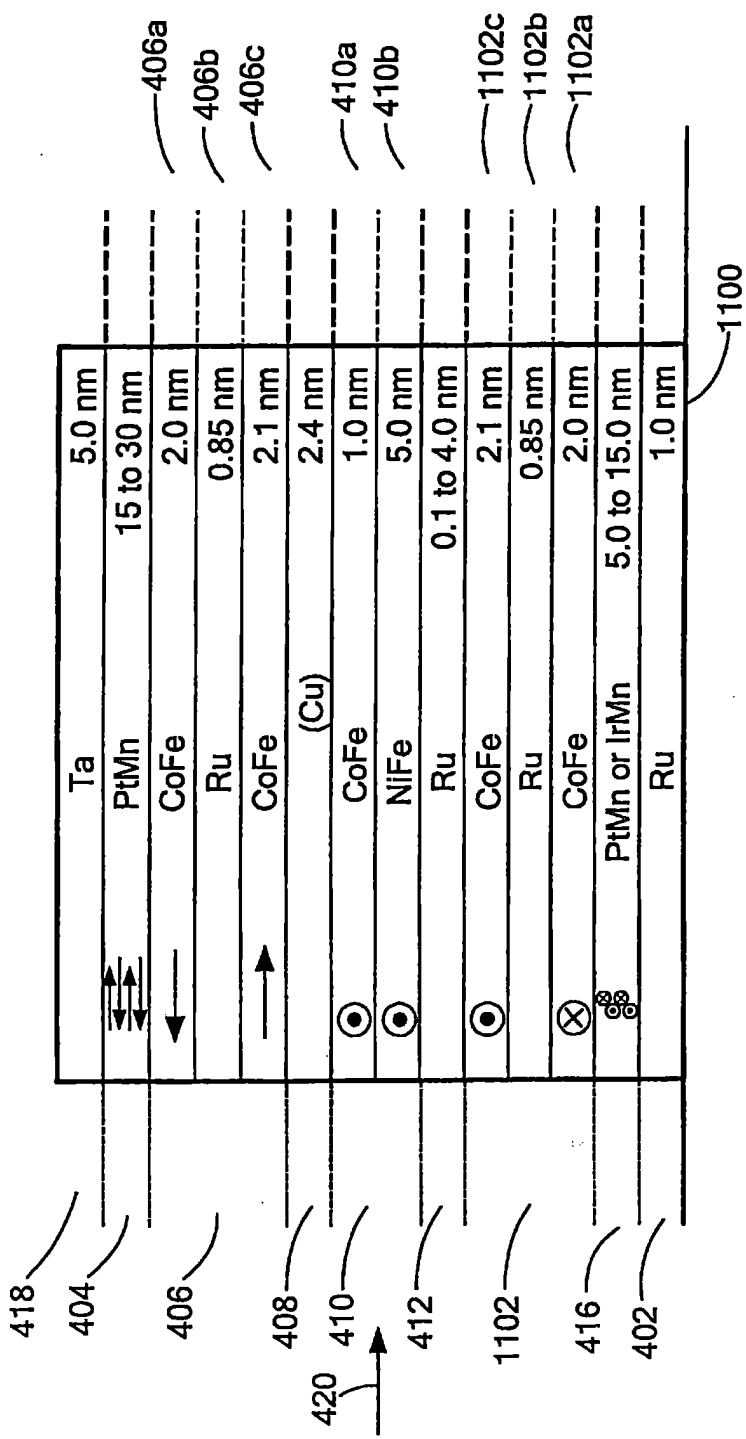


圖 11

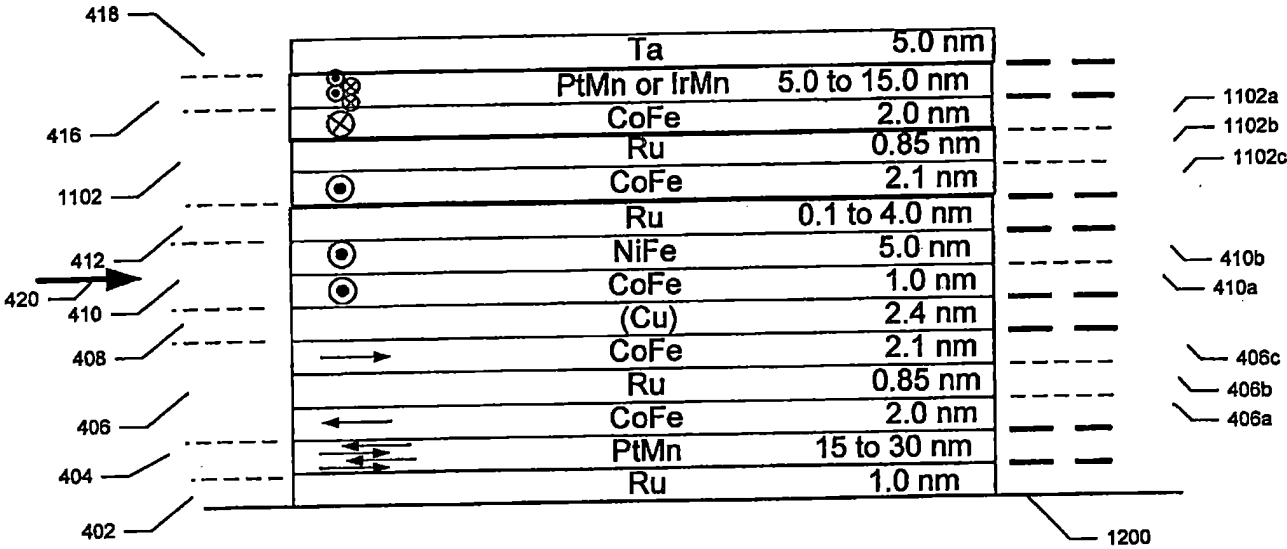


圖 12

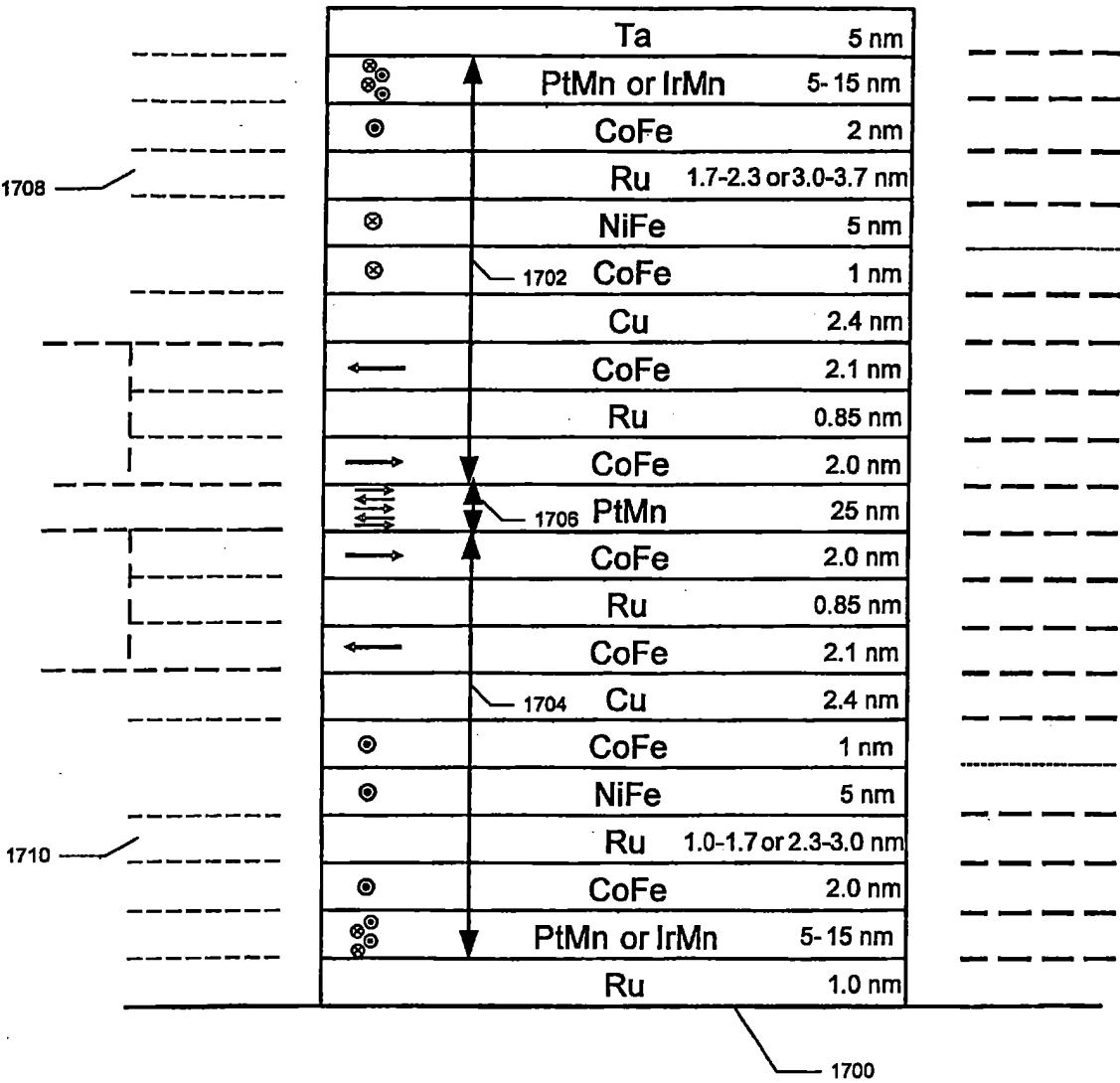


圖 17

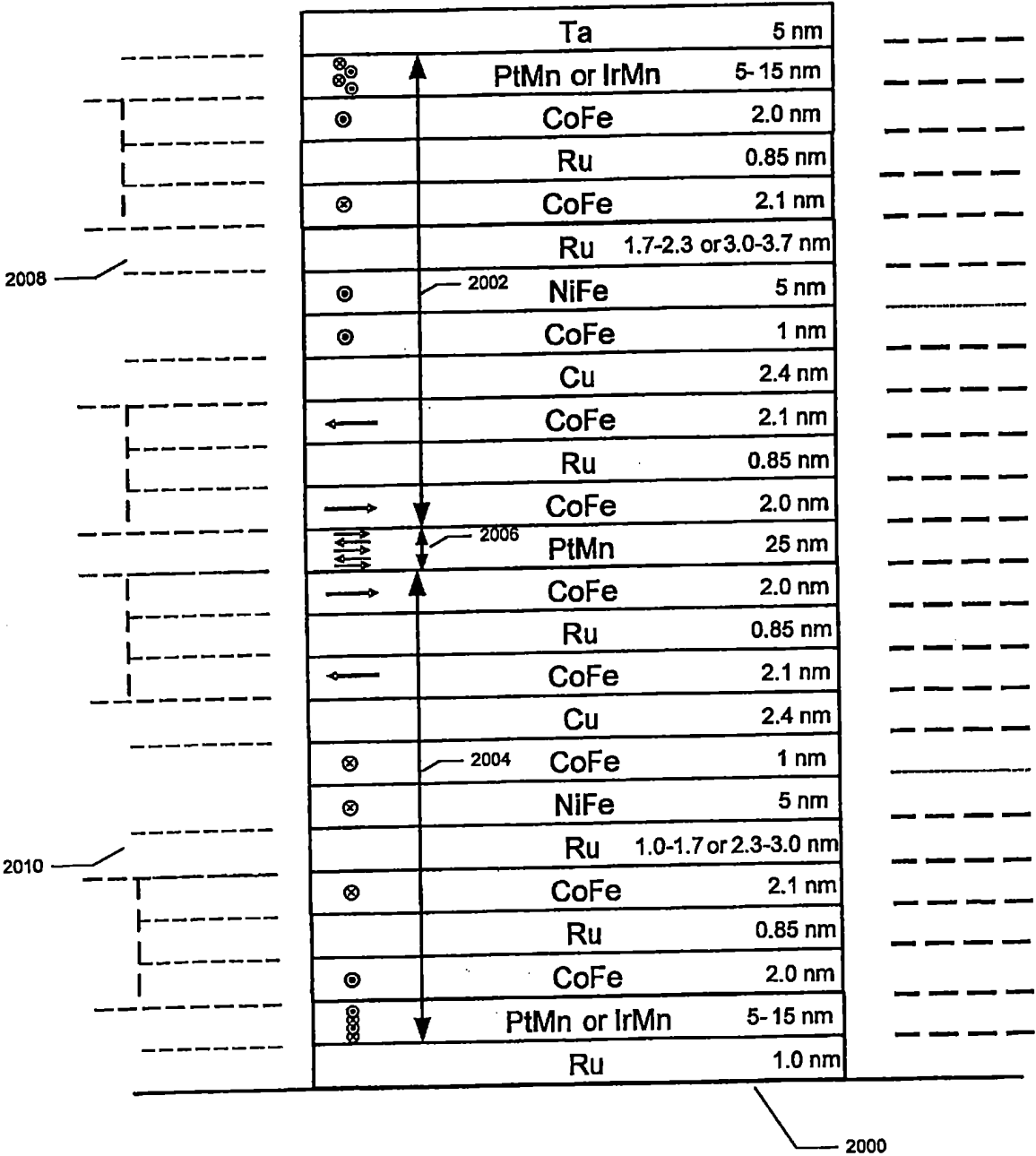


圖 20

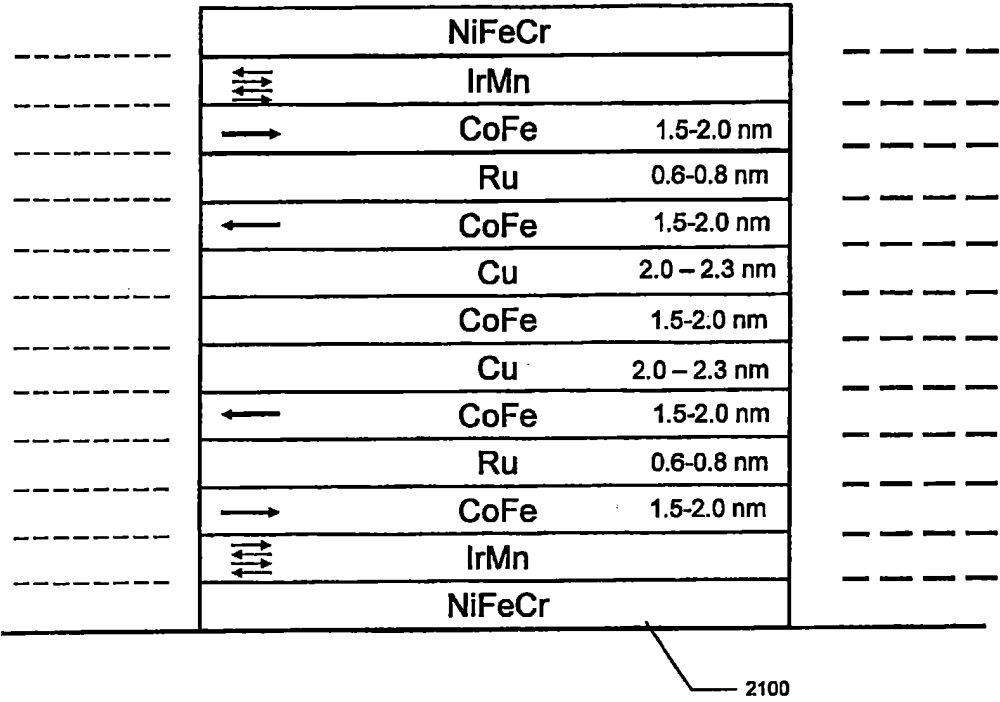


圖 21

(先前技術領域)