



(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 I597823 B

(45) 公告日：中華民國 106 (2017) 年 09 月 01 日

(21) 申請案號：102143129 (22) 申請日：中華民國 102 (2013) 年 11 月 27 日

(51) Int. Cl. : H01L27/11585 (2017.01) H01L27/115 (2017.01)

(30) 優先權：2012/12/20 美國 13/721,214

(71) 申請人：三星電子股份有限公司 (南韓) SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD. (KR)
南韓

(72) 發明人：沃茨 史蒂芬 M WATTS, STEVEN M. (US) ; 文基錫 MOON, KISEOK (KR)

(74) 代理人：詹銘文

(56) 參考文獻：

US 2010/0096716A1

US 2012/0104255A1

US 2012/0175716A1

審查人員：廖崑男

申請專利範圍項數：10 項 圖式數：12 共 55 頁

(54) 名稱

磁性接面

MAGNETIC JUNCTION

(57) 摘要

提供一種磁性接面。所述磁性接面包含參考堆疊、非磁性間隔物層以及自由層。參考堆疊包含高垂直磁性各向異性(PMA)層以及位於高 PMA 與非磁性間隔物層之間的分級極化強化層(PEL)。PEL 與參考層磁性地耦合。PEL 包含磁性層以及非磁性插入層。PEL 的至少一部分具有大於 PMA 層的自旋極化的自旋極化。非磁性插入層經設置以使得磁性層磁性地耦合且高 PMA 以及非磁性間隔物層的結晶取向解耦。每一非磁性插入層的厚度不足以使結晶取向在剩餘非磁性插入層不存在的情況下解耦。當寫入電流穿過磁性接面時，自由層可在穩定磁性狀態之間切換。

A magnetic junction is provided. The magnetic junction includes a reference stack, a nonmagnetic spacer layer and a free layer. The reference stack includes a high perpendicular magnetic anisotropy (PMA) layer and a graded polarization enhancement layer (PEL) between the high PMA and nonmagnetic spacer layers. The PEL is magnetically coupled with the reference layer. The PEL includes magnetic layers and nonmagnetic insertion layers. At least part of the PEL has a spin polarization greater than the PMA layer's. The nonmagnetic insertion layers are configured such that the magnetic layers are ferromagnetically coupled and the crystalline orientations of the high PMA and nonmagnetic spacer layers are decoupled. Each nonmagnetic insertion layer's thickness is insufficient for the crystalline orientations to be decoupled in the absence of the remaining nonmagnetic insertion layers. The free layer is switchable between stable magnetic states when a write current is passed through the magnetic junction.

指定代表圖：

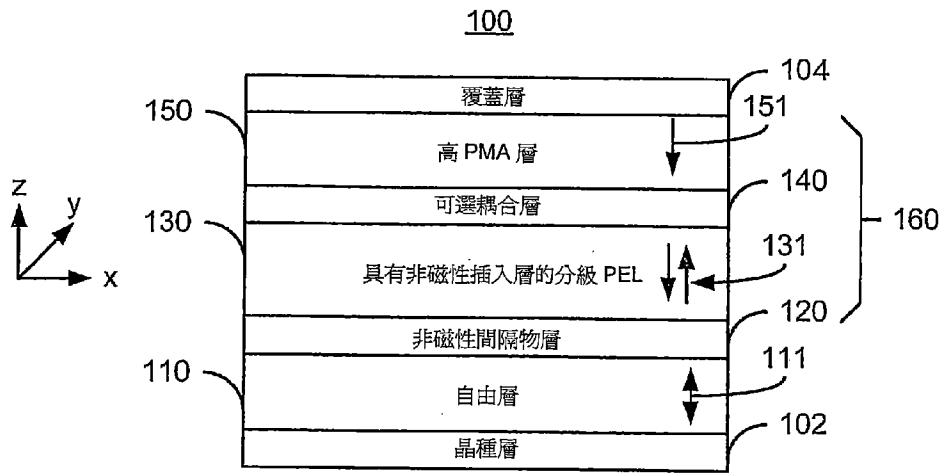


圖 2

符號簡單說明：

- 100 . . . 磁性界面
- 102 . . . 晶種層
- 104 . . . 覆蓋層
- 110 . . . 自由層
- 111 . . . 磁矩
- 120 . . . 非磁性間隔物層/結晶 MgO 穿隧阻障層
- 130 . . . 分級 PEL
- 131 . . . 磁矩
- 140 . . . 耦合層
- 150 . . . 高垂直磁性各向異性(PMA)層
- 151 . . . 磁矩
- 160 . . . 參考堆疊

發明摘要

※ 申請案號：102143129

※ 申請日：102-11-21

※ IPC 分類：H01L 27/11585 (2017.01)

H01L 27/115 (2017.01)

【發明名稱】

磁性接面

MAGNETIC JUNCTION

【中文】

提供一種磁性接面。所述磁性接面包含參考堆疊、非磁性間隔物層以及自由層。參考堆疊包含高垂直磁性各向異性（PMA）層以及位於高 PMA 與非磁性間隔物層之間的分級極化強化層

（PEL）。PEL 與參考層磁性地耦合。PEL 包含磁性層以及非磁性插入層。PEL 的至少一部分具有大於 PMA 層的自旋極化的自旋極化。非磁性插入層經設置以使得磁性層磁性地耦合且高 PMA 以及非磁性間隔物層的結晶取向解耦。每一非磁性插入層的厚度不足以使結晶取向在剩餘非磁性插入層不存在的情況下解耦。當寫入電流穿過磁性接面時，自由層可在穩定磁性狀態之間切換。

【英文】

A magnetic junction is provided. The magnetic junction includes

a reference stack, a nonmagnetic spacer layer and a free layer. The reference stack includes a high perpendicular magnetic anisotropy (PMA) layer and a graded polarization enhancement layer (PEL) between the high PMA and nonmagnetic spacer layers. The PEL is magnetically coupled with the reference layer. The PEL includes magnetic layers and nonmagnetic insertion layers. At least part of the PEL has a spin polarization greater than the PMA layer's. The nonmagnetic insertion layers are configured such that the magnetic layers are ferromagnetically coupled and the crystalline orientations of the high PMA and nonmagnetic spacer layers are decoupled. Each nonmagnetic insertion layer's thickness is insufficient for the crystalline orientations to be decoupled in the absence of the remaining nonmagnetic insertion layers. The free layer is switchable between stable magnetic states when a write current is passed through the magnetic junction.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：圖 2。

【本代表圖之符號簡單說明】：

100：磁性接面

102：晶種層

104：覆蓋層

110：自由層

111：磁矩

120：非磁性間隔物層/結晶 MgO 穿隧阻障層

130：分級 PEL

131：磁矩

140：耦合層

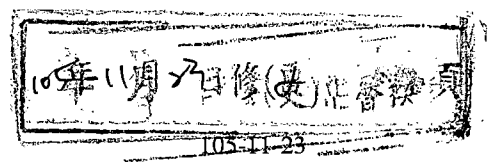
150：高垂直磁性各向異性（PMA）層

151：磁矩

160：參考堆疊

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無



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】

磁性介面

MAGNETIC JUNCTION

【技術領域】

【0001】 本發明概念的實例實施例是關於磁性記憶體，且更特定言之，是關於磁性隨機存取記憶體。

【先前技術】

【0002】 磁性記憶體（特定言之，磁性隨機存取記憶體（magnetic random access memories, MRAM））由於其在操作期間的高讀取/寫入速度、卓越耐久性、非揮發性以及低電力消耗的潛能而引起增加的興趣。MRAM 可將磁性材料用作資訊記錄媒體而儲存資訊。一種類型的 MRAM 為自旋轉移力矩隨機存取記憶體（spin transfer torque random access memory, STT-RAM）。STT-RAM 利用磁性介面，而所述磁性介面至少部分藉由經由所述磁性介面而驅動的電流來寫入。經由磁性介面而驅動的自旋極化電流（spin polarized current）在磁性介面中對磁矩施加自旋力矩。因此，具有對自旋力矩作出回應的磁矩的層可切換為所要狀態。

【0003】 舉例而言，圖 1 描繪習知磁性穿隧界面 (MTJ) 10，其可用於習知 STT-RAM 中。習知 MTJ 10 通常位於底部觸點 11 上，且使用習知晶種層 12。習知 MTJ 10 包含習知自由層 14、習知穿隧阻障層 16、習知極化強化層 (PEL) 18、習知參考層 22 以及習知覆蓋層 26。亦展示頂部觸點 28。習知 PEL 18、習知 Ta 間隔物層 20 以及習知參考層 22 可視為會形成習知參考堆疊。

【0004】 習知觸點 11 及 28 用於在電流垂直於平面 (current-perpendicular-to-plane, CPP) 方向上或如圖 1 所示沿著 z 軸驅動電流。習知晶種層 12 通常用於輔助具有所要晶體結構的後續層的生長。習知穿隧阻障層 16 為非磁性的，且 (例如) 為薄絕緣體 (諸如，MgO)。

【0005】 習知自由層 14 以及習知參考層 22 的磁矩實質上垂直於平面 (亦即，在 z 方向上)。參考層 22 為合成反鐵磁體 (SAF)，所述 SAF 包含由作為 RKKY 相互作用的媒介的非磁性層 24 分離的兩個磁性層 23 及 25。非磁性層 24 通常為 Ru。磁性層 23 及 25 經由 Ru 層 24 而反鐵磁性地耦合，此舉減小自由層 14 處的外部磁場。磁性層 23 及 25 以及自由層 14 的垂直磁性各向異性 H_k 分別超過磁性層 23、25 及自由層 14 的平面外去磁能量。因此，其磁矩垂直，如圖 1 所示。通常，磁性層 23 及 25 實際上為多層，所述多層包含 Co 層與 Pt 或 Pd 層兩者。舉例而言，磁性層 23 及 25 可包含 CoPd 多層 (Co 層與 Pd 層交錯)、CoPt 多層 (Co 層與 Pt 層交錯) 或兩者。此外，可包含其他構成，諸如，額外 Co 及/或

Fe 層。此等磁性多層具有足以使參考層 22 在磁性界面 10 的使用期間保持穩定的垂直各向異性。相比而言，習知自由層 14 的磁矩是可改變的。此在圖 1 中由雙箭頭 15 表示。

【0006】 習知 PEL 層 18 強化在垂直（例如，z）方向上穿過的電流的自旋極化。習知 PEL 通常由磁性材料組成。舉例而言，通常使用 CoFeB 層、Fe 層或鄰接 Fe 層的 CoFeB 層。習知 PEL 層 18 與參考層 22 磁性地耦合，以便確保習知 PEL 18 的磁性穩定性。

【0007】 對於習知磁性界面 10，需要高信號。因此，需要穿隧磁阻（tunneling magnetoresistance, TMR）大。大 TMR 通常與高品質的習知穿隧阻障 16 相關聯。習知穿隧阻障 16 通常為具有(100)取向的結晶 MgO。此外，需要 MgO 與鄰接的鐵磁性層 14 及 18 之間的晶格失配相對小，以維持鐵磁性層 14 及 18 的垂直各向異性。舉例而言，CoFeB 或 Fe 通常用於鐵磁性層 14 及 18。

【0008】 習知 Ta 間隔物層 20 用於確保習知參考層 22 及習知 PEL 18 具有獨立結晶取向。習知 Ta 間隔物層 20 亦減小鐵磁性層 18 與參考層 22 之間的釘紮磁場（pinning field）。此外，習知 Ta 間隔物層可防止材料（諸如，Ru 及 Pd）自參考層 22 擴散至磁性界面 10 的其他層。更具體言之，Ta 間隔物層 20 防止 Ru 及 Pd 自非磁性層 24 擴散至穿隧阻障層 16。Ru 及/或 Pd 擴散至穿隧阻障層中會不利地影響習知磁性界面 10 的 TMR。咸信 Ru 的擴散使 MgO 層 16 降級，且使 MgO 層 16 具有除所要(100)結構以外的結晶取向。習知 Ta 間隔物層 20 因此具有至少足以防止材料（諸如，Ru

及 Pd) 自參考層 22 擴散至 PEL 層 18 以及 MgO 穿隧阻障層 16 的厚度。咸信習知 Ta 間隔物層 20 為至少 4 埃厚，以便充當擴散阻障。在所示的習知磁性接面 10 中，習知 Ta 間隔物層 20 亦實現 PEL 18 與磁性層 23 之間的磁性耦合（諸如，RKKY 耦合）。

【0009】 為了切換習知自由層 14 的磁化 15，垂直於平面（在 z 方向上）而驅動電流。當自頂部觸點 28 至底部觸點 11 而驅動足夠電流時，習知自由層 14 的磁化 15 可切換為平行於習知 PEL 18 的磁化。當自底部觸點 11 至頂部觸點 28 而驅動足夠電流時，自由層 14 的磁化 15 可切換為反平行（antiparallel）於習知 PEL 18 的磁化。磁性組態的差別對應於習知 MTJ 10 的不同磁阻，且因此對應於不同邏輯狀態（例如，邏輯「0」以及邏輯「1」）。因此，藉由讀取習知 MTJ 10 的穿隧磁阻（TMR），可判定習知 MTJ 的狀態。

【0010】 雖然習知 MTJ 10 可使用自旋轉移來寫入，藉由感測接面的 TMR 來讀取且用於 STT-RAM 中，但存在缺陷。特定言之，習知 MTJ 10 的穩定性或 TMR 可能比所要穩定性或 TMR 差。習知 PEL 18 可經由習知 Ta 間隔物層 20 而磁性地耦合至習知磁性層 23。然而，熟知的是，經由 Ta 而進行的此耦合可能相對弱。舉例而言，Ta 的 RKKY 耦合預期為小於 Ru 的量級的量級。此外，咸信經由 Ta 間隔物層 20 而進行的耦合是因諸如針孔（pinhole）或皺皮（orange peel）的機制而引起。此耦合機制是不可預測的且可能在整個晶圓上變化。此可能導致磁性記憶體中的個別記憶胞之間的變化。雖然熱穩定，但習知 PEL 18 可能在磁性接面的操作期

間具有自身的磁矩切換方向。換言之，針對特定磁性記憶體中的習知磁性接面 10 中的一些，習知 PEL 18 的磁矩可能不如所要磁矩一樣穩定。因此，可不利地影響習知 MTJ 的效能。

【0011】 因此，需要可改良自旋轉力矩式記憶體的效能的方法及系統。本文所述的方法及系統解決此需要。

【發明內容】

【0012】 方法及系統提供可用於磁性裝置中的磁性接面。所述磁性接面包含參考堆疊、非磁性間隔物層以及自由層。自由層磁矩垂直於平面。所述非磁性間隔物層位於所述 PEL 與所述自由層之間，且具有第一結晶取向。所述參考堆疊包含高垂直磁性各向異性（PMA）層以及分級極化強化層（graded PEL）。所述高 PMA 層具有垂直於平面的磁矩、第二結晶取向以及第一自旋極化。所述分級 PEL 位於所述高 PMA 層與所述非磁性間隔物層之間。所述分級 PEL 亦鄰近於參考層且與所述參考層磁性耦合。所述 PEL 包含磁性層以及非磁性插入層。所述 PEL 的至少一部分具有大於所述第一自旋極化的自旋極化，且鄰近於所述非磁性間隔物層。所述非磁性插入層中的每一者經設置以使得所述磁性層鐵磁性地耦合，且使得所述第一結晶取向與所述第二結晶取向解耦

（decouple）。每一非磁性插入層具有不足以使所述結晶取向在不存在剩餘非磁性插入層的情況下解耦的厚度。當寫入電流穿過所述磁性接面時，所述自由層可在穩定磁性狀態之間切換。

【圖式簡單說明】**【0013】**

圖 1 描繪習知磁性接面。

圖 2 描繪包含具有非磁性插入層的分級 PEL 且可使用自旋轉移而切換的磁性接面的例示性實施例。

圖 3 描繪包含非磁性插入層的分級 PEL 的例示性實施例。

圖 4 描繪包含非磁性插入層的分級 PEL 的另一例示性實施例。

圖 5 描繪包含非磁性插入層的分級 PEL 的另一例示性實施例。

圖 6 描繪具有包含非磁性插入層的分級 PEL 且可經由自旋轉移而切換的磁性接面的另一例示性實施例。

圖 7 描繪具有包含非磁性插入層的分級 PEL 且可經由自旋轉移而切換的磁性接面的另一例示性實施例。

圖 8 描繪具有包含非磁性插入層的分級 PEL 且可經由自旋轉移而切換的磁性接面的另一例示性實施例。

圖 9 描繪具有包含非磁性插入層的分級 PEL 且可經由自旋轉移而切換的磁性接面的另一例示性實施例。

圖 10 描繪具有包含非磁性插入層的分級 PEL 且可經由自旋轉移而切換的磁性接面的另一例示性實施例。

圖 11 描繪將磁性接面用於儲存胞元的記憶體元件中的記憶

體的例示性實施例。

圖 12 描繪用於提供具有包含非磁性插入層的分級 PEL 且可經由自旋轉移而切換的磁性接面的方法的例示性實施例。

【實施方式】

【0014】 例示性實施例是關於可用於磁性裝置（諸如，磁性記憶體）中的磁性接面以及使用此等磁性接面的裝置。以下描述經呈現以使一般熟習此項技術者能夠製作且使用本發明，並且是在專利申請案及其要求的情形下提供的。將容易瞭解對本文所述的例示性實施例以及通用原理及特徵的各種修改。例示性實施例主要是就特定實施方案中所提供的特定方法及系統而進行描述。然而，方法以及系統將在其他實施方案中有效地操作。諸如「例示性實施例」、「一個實施例」以及「另一實施例」的用語可指相同或不同實施例以及多個實施例。將關於具有某些組件的系統及/或裝置來描述實施例。然而，所述系統及/或裝置可包含比所展示的組件多或少的組件，且可進行所述組件的配置及類型的變化，而不偏離本發明的範疇。亦將在具有某些步驟的特定方法的情形下描述例示性實施例。然而，所述方法及系統針對其他方法而有效地操作，所述其他方法具有不同及/或額外步驟以及按照與例示性實施例不一致的不同次序的步驟。因此，本發明不欲限於所展示的實施例，而是符合與本文所述的原理及特徵一致的最廣範疇。

【0015】 描述用於提供磁性接面以及利用所述磁性接面的磁性記

憶體的方法及系統。例示性實施例提供可用於磁性裝置中的磁性界面。所述磁性界面包含參考堆疊、非磁性間隔物層以及自由層。自由層磁矩垂直於平面。所述非磁性間隔物層位於所述 PEL 與所述自由層之間，且具有第一結晶取向。所述參考堆疊包含高垂直磁性各向異性 (PMA) 層以及分級極化強化層 (PEL)。所述高 PMA 層具有垂直於平面的磁矩、第二結晶取向以及第一自旋極化。所述分級 PEL 位於所述高 PMA 層與所述非磁性間隔物層之間。所述分級 PEL 亦鄰近於參考層且與所述參考層磁性耦合。所述 PEL 包含磁性層以及非磁性插入層。所述 PEL 的至少一部分具有大於所述第一自旋極化的自旋極化，且鄰近於所述非磁性間隔物層。所述非磁性插入層中的每一者經設置以使得所述磁性層鐵磁性地耦合，且使得所述第一結晶取向與所述第二結晶取向解耦。當寫入電流穿過所述磁性界面時，所述自由層可在穩定磁性狀態之間切換。在一些實施例中，所述非磁性插入層中的每一者足夠薄，以使得單個非磁性插入層單獨將不會充當擴散阻障及/或將不會實現非磁性間隔物層與高 PMA 層之間的結晶轉變。

【0016】 在具有某些組件的特定磁性界面及磁性記憶體的情形下描述例示性實施例。一般熟習此項技術者將容易認識到，本發明與具有與本發明不一致的其他及/或額外組件及/或其他特徵的磁性界面及磁性記憶體的使用一致。亦在磁性各向異性的自旋轉移現象以及另一物理現象的當前理解的情形下描述所述方法及系統。因此，一般熟習此項技術者將容易認識到，基於自旋轉移、

磁性各向異性以及另一物理現象的此當前理解而進行所述方法及系統的行爲的理論解釋。然而，本文所述的方法及系統不取決於特定物理解釋。一般熟習此項技術者亦將容易認識到，在與基板具有特定關係的結構的情形下描述所述方法及系統。然而，一般熟習此項技術者將容易認識到，所述方法及系統與其他結構一致。此外，在合成及/或簡單的某些層的情形下描述所述方法及系統。然而，一般熟習此項技術者將容易認識到，所述層可具有另一結構。此外，在具有特定層的磁性接面及/或子結構的情形下描述所述方法及系統。然而，一般熟習此項技術者將容易認識到，亦可使用具有與所述方法及系統不一致的額外及/或不同層的磁性接面及/或子結構。此外，某些組件被描述為磁性的、鐵磁性的以及次鐵磁性的。如本文中所使用，術語「磁性」可包含「鐵磁性」、「次鐵磁性」或類似結構。因此，如本文中所使用，術語「磁性」或「鐵磁性」包含（但不限於）鐵磁體以及次鐵磁體。亦在單個磁性接面以及子結構的情形下描述所述方法及系統。然而，一般熟習此項技術者將容易認識到，所述方法及系統與具有多個磁性接面且使用多個子結構的磁性記憶體的使用一致。此外，如本文中所使用，「平面內」實質上位於磁性接面的層中的一或多者的平面內或平行於所述平面。相比而言，「垂直」對應於實質上垂直於磁性接面的層中的一或多者的方向。

【0017】 圖 2 描繪包含具有非磁性插入層的 PEL 且可使用自旋轉移而切換的磁性接面 100 的例示性實施例。磁性接面可用於諸如

STT-RAM 的磁性記憶體中。為了清楚起見，圖 2 未按照比例繪製。磁性界面 100 包括自由層 110、非磁性間隔物層 120 以及參考堆疊 160。參考堆疊 160 包含分級 PEL 130、可選耦合層 140 以及高垂直磁性各向異性 (PMA) 層 150。高 PMA 層 150 的磁矩需要垂直於平面。因此，如本文中所使用，高 PMA 層為垂直磁性各向異性超過平面外去磁能量的層。雖然稱為高 PMA 層，但在替代實施例中，高 PMA 層 150 的磁矩可處於平面內。雖然自由層 110、非磁性間隔物層 120、分級 PEL 130、可選耦合層 140 及高 PMA 層 150 展示為特定定向，但此定向可在其他實施例中變化。舉例而言，高 PMA 層 150 可較接近於磁性界面 100 的底部 (最接近於未展示的基板)。亦展示可選晶種層 102 以及可選覆蓋層 104。晶種層 102 可包含多個層，包含 (但不限於) Ta/RuCoFe 雙層。覆蓋層 104 可為 Ru 及/或 Ta 覆蓋層。在其他實施例中，覆蓋層 104 可為另一材料。亦可使用釘紮層 (未圖示)。一般而言，若高 PMA 層 150 的磁矩處於平面內，則將使用釘紮層，且若高 PMA 層 150 的磁矩垂直於平面，則通常將不使用釘紮層。在較佳實施例中，磁矩 111、131 及 151 垂直於平面，且不使用釘紮層。自由層 110、分級 PEL 層 130 及高 PMA 層 150 的垂直磁性各向異性 H_k 分別超過自由層 110、分級 PEL 層 130 及高 PMA 層 150 的平面外去磁能量。因此，其磁矩垂直，如圖 2 所示。自由層 110 的磁矩 111 為可改變的，且因此由雙箭頭指示。分級 PEL 130 具有磁矩 131，磁矩 131 實質上藉由與高 PMA 層 150 的磁性耦合而固定。然而，磁矩 131 固定

的方向取決於分級 PEL 層 130 及高 PMA 層 150 是鐵磁性地耦合抑或反鐵磁性地耦合。因此，在圖 2 中展示相反方向上的兩個箭頭（磁矩 131）。雖然高 PMA 層 150 展示為磁矩 151 處於特定方向上，但在其他實施例中，磁矩 151 可處於包含（但不限於）正 z 方向的另一方向上。磁性界面 100 亦經設置以允許自由層 110 使用在 CPP 方向上穿過磁性界面 100 的寫入電流而在穩定磁性狀態之間切換。因此，自由層 110 可利用自旋轉移力矩來切換。在一些實施例中，自由層 110 可僅使用自旋轉移力矩來切換。在其他實施例中，自由層 110 可使用包含（但不限於）所施加的磁場的額外機制來切換。

【0018】 非磁性間隔物層 120 可為磁阻展現於自由層 110 與高 PMA 層 150 之間的穿隧阻障層、導體或另一結構。在一些實施例中，非磁性間隔物層 120 為結晶 MgO 穿隧阻障層。在此等實施例中，通常需要結晶 MgO 穿隧阻障層 120 具有(100)取向/結構。在其他實施例中，非磁性間隔物層 120 可為導體，可包含在絕緣基質中的導電通道，或可具有另一結構。因此，磁性界面 100 可為 MTJ、自旋閥（spin valve）、彈道磁阻結構（ballistic magnetoresistance structure）、另一磁阻結構或其某一組合。

【0019】 雖然描繪為簡單層，但自由層 110 及/或高 PMA 層 150 可包含多個層。舉例而言，自由層 110 及/或高 PMA 層 150 可為包含經由薄層（諸如，Ru）而反鐵磁性地或鐵磁性地耦合的磁性層的 SAF。在此 SAF 中，可使用與 Ru 或另一（其他）材料的薄

層交錯的多個磁性層。在一些實施例中，高 PMA 層 150 尤其需要為 SAF 以減小自由層 110 上的外部磁場。自由層 110 及/或高 PMA 層 150 亦可包含其他多層及/或超晶格 (superlattice)。舉例而言，自由層 110 及/或高 PMA 層 150 可包含具有強化的垂直各向異性的 CoPd 及/或 CoPt 多層。或者，自由層 110 及/或高 PMA 層 150 可包含 CoPd 或 CoPt 超晶格，其為複合式 CoPd 及/或 CoPt 而非多層。此外，若高 PMA 層 150 及/或自由層 110 為 SAF，則 SAF 中的磁性層中的一或多者可為 CoPd 及/或 CoPt 多層或超晶格。因此，自由層 110 及高 PMA 層 150 可包含與 Pd 層交錯的 Co 層、與 Pt 層交錯的 Co 層或兩者。此外，可包含其他構成，諸如，額外 Co 及/或 Fe 層。此等磁性多層具有足以使高 PMA 層 150 在磁性界面 100 的使用期間保持穩定的垂直各向異性。高 PMA 層 150 亦具有高 PMA 層 150 中所使用的材料所特有的自旋極化。

【0020】可選耦合層 140 為可能包含於磁性界面 100 中或可能不包含於磁性界面 100 中的非磁性層。舉例而言，可選耦合層 140 可為作為高 PMA 層 150 與分級 PEL 130 之間的 RKKY 相互作用的媒介的 Ru 層。在一些實施例中，可選耦合層 140 的厚度可經定製以在高 PMA 層 150 與分級 PEL 130 之間產生鐵磁性相互作用以及反鐵磁性相互作用中的一者。因此，分級 PEL 130 的磁矩 131 展示為平行於或反平行於高 PMA 層 150 的磁矩 151。在其他實施例中，可省略可選耦合層 140。在此等實施例中，分級 PEL 130 可與高 PMA 層 150 鐵磁性地耦合。在此等實施例中，分級 PEL 130 中

的磁性層（圖 2 未示）可鄰接高 PMA 層 150（亦即，與高 PMA 層 150 共用界面）。在其他實施例中，分級 PEL 130 與高 PMA 層 150 反鐵磁性地耦合。在此等實施例中，分級 PEL 130 內的非磁性層（圖 2 未示）可鄰接高 PMA 層 150。

【0021】 分級 PEL 130 直接地或經由可選耦合層 140 而與高 PMA 層 150 磁性地耦合。分級 PEL 130 包含與多個非磁性插入層交錯的多個鐵磁性層。為了簡單起見，在圖 2 中未展示個別子層。分級 PEL 130 的至少一部分具有大於高 PMA 層的自旋極化的自旋極化。在一些實施例中，鄰接非磁性間隔物層 120 的分級 PEL 130 的至少所述部分具有此較高自旋極化。如上所述，分級 PEL 130 包含磁性層以及非磁性層。鄰接非磁性間隔物層 120 的磁性層的至少一部分具有高於高 PMA 層 150 的自旋極化。在一些實施例中，鄰接非磁性間隔物層 120（或與非磁性間隔物層 120 共用界面）的整個磁性層具有較高自旋極化。舉例而言，可使用具有不大於 40 原子%的 B 的 CoFeB。在一些實施例中，CoFeB 可具有至少 10 原子%且不大於 20 原子%的 B。剩餘磁性層可具有此較高自旋極化或可不具有此較高自旋極化。因此，分級 PEL 130 中的剩餘磁性層可由相同或另一材料製成。

【0022】 除了磁性層之外，分級 PEL 130 亦包含非磁性插入層。在一些實施例中，非磁性插入層中的每一者包含 Ta。在一些此等實施例中，非磁性插入層中的每一者由 Ta 組成。非磁性插入層可用於將高 PMA 層 150 的結晶取向與非磁性間隔物層 120 的結晶取

向解耦。舉例而言，針對一些厚度，Ta 是非晶的。此非晶層可破壞將高 PMA 層 150 的晶序 (crystal order) 強加於非磁性間隔物層 120 上，且破壞將非磁性間隔物層 120 的晶序強加於高 PMA 層 150 上。非磁性插入層中的每一者具有一厚度，所述厚度小於單個非磁性插入層阻斷來自高 PMA 層 150 的晶序強加於非磁性間隔物層所需的厚度。因此，插入層中的每一者的厚度對於高 PMA 層 150 與非磁性間隔物層 120 之間的結晶解耦而言不充分。然而，所有非磁性插入層的厚度的總和足以破壞將高 PMA 層 150 的晶序強加於非磁性間隔物層 120 上。因此，高 PMA 層 150 可具有第一結晶取向，而非磁性間隔物層 120 具有第二不同結晶取向。

【0023】非磁性間隔物層亦可用於阻斷來自高 PMA 層 150 的材料 (諸如，Pd 及/或 Ru) 擴散至非磁性間隔物層 120。若包含可選磁性耦合層 140，則非磁性插入層亦可用於阻斷來自可選磁性耦合層 140 的材料 (諸如，Ru) 擴散至非磁性間隔物層 120。然而，非磁性插入層中的每一者具有一厚度，所述厚度小於單個非磁性插入層阻斷高 PMA 層 150 與非磁性間隔物層之間的擴散所需的厚度。因此，插入層中的每一者的厚度對於高 PMA 層 150 與非磁性間隔物層 120 之間的擴散阻斷而言不充分。在一些實施例中，每一非磁性插入層的厚度為至少 2 埃，但小於 3 埃。對於由 Ta 組成的非磁性插入層，每一層的厚度因此小於 3 埃。然而，所有非磁性間隔物層的厚度的總和足以提供高 PMA 層 150 與非磁性間隔物層 120 之間的擴散阻斷。對於由 Ta 組成的非磁性插入層，此意謂非

磁性插入層的厚度的總和為至少 4 埃。舉例而言，若在分級 PEL 中使用兩個非磁性插入層，則每一層可大於或等於 2 埃厚，但小於 3 埃厚。

【0024】 分級 PEL 130 中的非磁性插入層亦可改良分級 PEL 層 130 的垂直磁性各向異性。在分級 PEL 中使用非磁性插入層可在鄰接非磁性插入層的分級 PEL 的磁性層的部分中導致磁性「無感 (dead)」層。因此，可減小飽和磁化 M_s 。較低的平面內磁性各向異性 ($4\pi M_s$) 必須由分級 PEL 130 的垂直磁性各向異性克服，以具有高 PMA，且因此具有平面外磁矩。分級 PEL 130 的淨垂直磁性各向異性可因此增大，從而允許分級 PEL 130 具有較高 PMA。

【0025】 磁性接面 100 可具有改良的效能。由於分級 PEL 130 的存在，磁性接面 100 可具有較高自旋極化，且因此具有較低切換電流。由於分級 PEL 層 130 中的非磁性插入層的存在，高 PMA 層 150 與非磁性間隔物層 120 (諸如，結晶 MgO) 的晶體結構亦可解耦。因此，高 PMA 層 150 與非磁性間隔物層 120 可各自具有所要結晶取向。因此，可達成磁性接面的高 TMR。然而，應注意，每一非磁性插入層的厚度小於實現高 PMA 層 150 與非磁性間隔物層 120 之間的結晶轉變的單個層。非磁性插入層的使用 (尤其若非磁性插入層為 Ta 插入層) 亦可改良分級 PEL 130 的垂直各向異性。分級 PEL 130 內的此等非磁性插入層減小 $M_{s,t}$ 。如上文所論述，減小的 $M_{s,t}$ 可實現分級 PEL 130 中的較高垂直各向異性。此外，分級 PEL 130 包含非磁性插入層，所述非磁性插入層可一起防止

高 PMA 層 150 中的材料的擴散抵達非磁性間隔物層 120。因此，諸如 Ru 的材料可用於高 PMA 層 150 中。此外，可選耦合層 140 亦可包含諸如 Ru 的材料。Ru 的使用可改良高 PMA 層 150 內以及高 PMA 層 150 與分級 PEL 130 之間的耦合。舉例而言，相比於將 Ta 用作可選耦合層的磁性界面，可改良高 PMA 層 150 與分級 PEL 130 之間的磁性耦合。因此，可改良分級 PEL 130 以及高 PMA 層 150 的穩定性。此外，諸如 Pd 的材料可用於高 PMA 層 150 中。因此，可改良高 PMA 層 150 的磁性性質。每一非磁性插入層的厚度小於阻斷擴散的單個層。因此，分級 PEL 130 內的磁性層可彼此較佳地磁性耦合。此外，因為磁性層由非磁性插入層分離，所以不同材料可用於分級 PEL 130 內的不同磁性層。舉例而言，可接近於高 PMA 層 150 而使用具有較高 RKKY 耦合但具有較低自旋極化的材料以強化層 130 與 150 之間的磁性耦合。因此，可改良磁性界面 100 以及使用磁性界面 100 的記憶體の效能。

【0026】圖 3 描繪包含非磁性插入層的分級 PEL 130' 的例示性實施例，其可用於磁性裝置中的參考堆疊（諸如，磁性界面 100 中的參考堆疊 160）中。為了清楚起見，圖 3 未按照比例繪製。分級 PEL 130' 類似於圖 2 的分級 PEL 130，且可替代圖 2 的分級 PEL 130 來使用。參看圖 2 至圖 3，分級 PEL 130' 可磁性地耦合至高 PMA 層 150。在一些實施例中，此耦合可經由可選磁性耦合層 140 來實現。分級 PEL 130' 包含與非磁性插入層 133 及 135 交錯的磁性層 132、134 及 136。雖然展示了三個磁性層 132、134 及 136 以及兩

個非磁性插入層 133 及 135，但可使用另一數目的磁性層及/或非磁性插入層。此外，雖然將磁性層 132 及 136 描繪為處於 PEL 的兩個界面處（亦即，鄰接非磁性間隔物層 120 及高 PMA 層 150 或可選磁性耦合層 140），但在其他實施例中，非磁性層可沿著最接近於高 PMA 層 150 的界面而定位。

【0027】 磁性層 132、134 及 136 經設置以使得分級 PEL 130'的至少一部分具有高於高 PMA 層 150 的自旋極化。磁性層 132 具有高於高 PMA 層 150 的自旋極化，且為分級 PEL 130'中最接近於非磁性間隔物層 120 的層。舉例而言，具有不大於 40 原子%的 B 的 CoFeB 可用於磁性層 132。在一些實施例中，CoFeB 層 132 可具有至少 10 原子%且不大於 20 原子%的 B。剩餘磁性層 134 及 136 可具有此較高自旋極化或可不具有此較高自旋極化。因此，分級 PEL 130'中的剩餘磁性層 134 及 136 可由相同或另一材料製成。可出於其他目的而獨立地定製此等剩餘磁性層 134 及 136。在一些實施例中，剩餘磁性層 134 為類似於磁性層 132 的 CoFeB 層。磁性層 136 可為相比於磁性層 132 及剩餘磁性層 134 具有較強的與高 PMA 層 150 的磁性耦合的另一材料。舉例而言，在一些實施例中，磁性層 136 包含 Co。此外，磁性層 132、134 及 136 經設置以使得其磁矩垂直於平面（亦即，在正 z 方向上或負 z 方向上）。因此，垂直各向異性能量可超過平面外去磁能量。最終，雖然將磁性層 132、134 及 136 描繪為具有相同厚度，但在一些實施例中，磁性層 132、134 及/或 136 的厚度可不同。

【0028】展示了兩個非磁性插入層 133 及 135。在一些實施例中，非磁性插入層 133 及 135 中的每一者包含 Ta。在一些此等實施例中，非磁性插入層 133 及 135 中的每一者由 Ta 組成。非磁性插入層 133 及 135 可因此將非磁性間隔物層以及高 PMA 層的晶體取向解耦。可強化使用分級 PEL 130' 的磁性接面的 TMR。此外，非磁性插入層 133 及 135 可強化分級 PEL 130' 的 M_{st} ，且因此強化其 PMA。非磁性插入層 133 及 135 亦可阻斷穿過分級 PEL 130' 的材料（諸如，Pd 及/或 Ru）的擴散。非磁性插入層 133 及 135 中的每一者具有一厚度，所述厚度小於單個非磁性插入層阻斷穿過分級 PEL 130' 的擴散所需的厚度。因此，非磁性插入層 133 及 135 中的每一者的厚度對於高 PMA 層 150 與非磁性間隔物層 120 之間的擴散阻斷而言不充分。類似地，非磁性插入層 133 及 135 中的每一者的厚度對於導致高 PMA 層 150 與非磁性間隔物層 120 之間的結晶轉變而言不充分。在一些實施例中，每一非磁性插入層 133 及 135 的厚度為至少 1 埃，但小於 3 埃。非磁性插入層 133 及 135 的厚度的總和（例如， $t_1 + t_2$ ）足以提供高 PMA 層 150 與非磁性間隔物層 120 之間的擴散阻斷，且實現高 PMA 層 150 的結晶取向以不同於非磁性間隔物層的結晶取向。在一些實施例中，非磁性插入層的厚度的總和為至少 4 埃。此外，在一些實施例中，分級 PEL 130' 的總厚度不大於 1 奈米。

【0029】PEL 130' 的使用可允許諸如磁性界面 100 的磁性接面具具有改良的效能。由於分級 PEL 130'（且更具體言之，較高自旋極

化的磁性層 132) 的存在，磁性接面可需要較低切換電流。非磁性插入層 133 及 135 可將非磁性層以及高 PMA 層的晶體取向解耦。此實現使用分級 PEL 130' 的磁性接面的改良的 TMR。非磁性插入層 133 及 135 的使用(尤其若非磁性插入層 133 及 135 由 Ta 組成)亦可改良磁性層 132、134 及 136 的垂直各向異性。此外，非磁性插入層 133 及 135 可一起防止高 PMA 層以及可選耦合層中的材料的擴散抵達非磁性間隔物層。因此，諸如 Pd 及/或 Ru 的材料可用於高 PMA 層及/或可選磁性耦合層中，而不會不利地影響可用於非磁性間隔物層的結晶 MgO 穿隧阻障層。高 PMA 層內以及高 PMA 層與分級 PEL 130' 之間的磁性耦合可得以強化。因為非磁性插入層 133 及 135 比單個非磁性阻障層(未圖示)薄，所以可改良磁性層 132、134 及 136 之間的磁性耦合。此外，因為磁性層 132、134 及 136 由非磁性插入層 133 及 135 分離，所以不同材料可用於不同磁性層 132、134 及 136。因此，可改良包含 PEL 130' 的磁性接面以及使用包含 PEL 130' 的磁性接面的記憶體の效能。

【0030】 圖 4 描繪包含非磁性插入層的分級 PEL 130" 的例示性實施例，其可用於諸如磁性接面 100 的磁性裝置中。為了清楚起見，圖 4 未按照比例繪製。分級 PEL 130" 類似於圖 2 及圖 3 的分級 PEL 130' 及/或 130，且可用於圖 2 及圖 3 的分級 PEL 130' 及/或 130。因此，類似組件類似地進行標記。參看圖 2 至圖 4，分級 PEL 130" 可磁性地耦合至高 PMA 層 150。在一些實施例中，此耦合可經由可選磁性耦合層 140 來實現。分級 PEL 130" 包含與非磁性插入層

133'及 135'交錯的磁性層 132'、134'及 136'。磁性層 132'、133'、134'、135'及 136'分別類似於磁性層 132、133、134、135 及 136。此外，分級 PEL 130"包含非磁性層 137 及磁性層 138。磁性層 138 可視為類似於層 136，此是因為希望將較高 RKKY 耦合的材料用於磁性層 138。此外，希望將諸如 CoFeB 的材料用於磁性層 136'，此是因為磁性層 136'不再處於分級 PEL 130"的邊緣。雖然展示了四個磁性層 132'、134'、136'及 138 以及三個非磁性插入層 133'、135'及 137，但可使用另一數目的磁性層及/或非磁性插入層。此外，雖然將磁性層 132'及 138 描繪為處於 PEL 的兩個界面處（亦即，鄰接非磁性間隔物層及高 PMA 層/可選磁性耦合層），但在其他實施例中，非磁性層可沿著最接近於高 PMA 層的界面而定位。

【0031】 磁性層 132'、134'、136'及 138 是以類似於磁性層 132、134 及 136 的方式來組態。因此，磁性層 132'可具有高於高 PMA 層的自旋極化，且為分級 PEL 130"中最接近於非磁性間隔物層的層。舉例而言，具有不大於 40 原子%的 B 的 CoFeB 可用於磁性層 132'。在一些實施例中，CoFeB 層 132'可具有至少 10 原子%且不大於 20 原子%的 B。剩餘磁性層 134'、136'及 138 可能具有此較高自旋極化或可能不具有此較高自旋極化。因此，剩餘磁性層 134'、136'及 138 可由相同或另一材料製成。可出於其他目的而獨立地定製此等磁性層 134'、136'及 138。在一些實施例中，磁性層 134'及 136'為類似於磁性層 132'的 CoFeB 層。磁性層 138 可為相比於磁性層 132'、134'及 136'具有較強的與高 PMA 層的磁性耦合

的另一材料。舉例而言，在一些實施例中，磁性層 138 包含 Co。此外，磁性層 132'、134'、136'及 138 經設置以使得其磁矩垂直於平面（亦即，在正 z 方向上或負 z 方向上）。因此，垂直各向異性能量可超過平面外去磁能量。最終，雖然將磁性層 132'、134'、136'及 138 描繪為具有相同厚度，但在一些實施例中，磁性層 132'、134'、136'及/或 138 的厚度可不同。

【0032】展示了三個非磁性插入層 133'、135'及 137。在一些實施例中，非磁性插入層 133'、135'及 137 中的每一者包含 Ta。在一些此等實施例中，非磁性插入層 133'、135'及 137 中的每一者由 Ta 組成。非磁性插入層 133'、135'及 137 可用於將高 PMA 層以及非磁性間隔物層的結晶取向解耦，藉此改良 TMR。此外，非磁性插入層 133'、135'及 137 可強化分級 PEL 130"的 PMA。因此，非磁性插入層 133'、135'及 137 將用於阻斷穿過分級 PEL 130"的材料（諸如，Pd 及/或 Ru）的擴散。非磁性插入層 133'、135'及 137 中的每一者具有一厚度，所述厚度小於單個非磁性插入層阻斷穿過分級 PEL 130"的擴散所需的厚度。因此，非磁性插入層 133'、135'及 137 中的每一者的厚度對於高 PMA 層與非磁性間隔物層之間的擴散阻斷而言不充分。類似地，在一些實施例中，非磁性插入層 133'、135'及 137 中的每一者的厚度對於高 PMA 層的結晶取向與非磁性間隔物層的結晶取向解耦而言不充分。在一些實施例中，每一非磁性插入層 133'、135'及 137 的厚度為至少 1 埃，但小於 3 埃。在一些此等實施例中，每一非磁性插入層 133'、135'及

137 的厚度為至少 2 埃。非磁性插入層 133'、135'及 137 的厚度的總和（例如， $t1' + t2' + t3$ ）足以提供高 PMA 層與非磁性間隔物層之間的擴散阻斷。類似地，非磁性插入層 133'、135'及 137 的厚度的總和足以破壞將來自高 PMA 層的晶序強加於非磁性間隔物層。在一些實施例中，非磁性插入層的厚度的總和為至少 4 埃。

【0033】 PEL 130''享有 PEL 130 及/或 130'的益處。PEL 130'的使用可允許諸如磁性接面 100 的磁性接面具有改良的效能，諸如，較低切換電流、強化的垂直磁性各向異性、改良的 TMR、強化的磁性耦合以及因此改良的穩定性。可在不會不利地影響非磁性間隔物層/穿隧阻障層的情況下達成此等益處。因此，可改良包含 PEL 130''的磁性接面以及使用包含 PEL 130''的磁性接面的記憶體的性能。

【0034】 圖 5 描繪包含非磁性插入層的分級 PEL 130'''的例示性實施例，其可用於諸如磁性接面 100 的磁性裝置中。為了清楚起見，圖 5 未按照比例繪製。分級 PEL 130'''類似於圖 2 至圖 4 的分級 PEL 130''、130'及/或 130，且可用於圖 2 至圖 4 的分級 PEL 130''、130'及/或 130。因此，類似組件類似地進行標記。參看圖 2 至圖 5，分級 PEL 130'''可磁性地耦合至高 PMA 層 150。在一些實施例中，此耦合可經由可選磁性耦合層來實現。分級 PEL 130'''包含與非磁性插入層 133''及 135''交錯的磁性層 132''及 134''。磁性層 132''、133''、134''及 135''分別類似於磁性層 132/132'、133/133'、134/134'及 135/135'。雖然展示了兩個磁性層 132''及 134''以及兩個非磁性插

入層 133"及 135"，但可使用另一數目的磁性層及/或非磁性插入層。在所示的實施例中，非磁性插入層 135"位於最接近於高 PMA 層的 PEL 130"的界面處。然而，在其他實施例中，磁性層可沿著最接近於高 PMA 層的界面而定位。

【0035】 磁性層 132"及 134"是以類似於磁性層 132/132'、134/134' 及 136/136'的方式來組態。因此，磁性層 132"可具有高於高 PMA 層的自旋極化，且為分級 PEL 130"中最接近於非磁性間隔物層的層。舉例而言，具有不大於 40 原子%的 B 的 CoFeB 可用於磁性層 132"。在一些實施例中，CoFeB 層 132"可具有至少 10 原子%且不大於 20 原子%的 B。剩餘磁性層 134"可能具有此較高自旋極化或可能不具有此較高自旋極化。因此，剩餘磁性層 134"可由相同或另一材料製成。可出於其他目的而獨立地定製此層 134"。在一些實施例中，層 134"為類似於層 132"的 CoFeB 層。此外，磁性層 132"及 134"經設置以使得其磁矩垂直於平面（亦即，在正 z 方向上或負 z 方向上）。因此，垂直各向異性能量可超過平面外去磁能量。最終，雖然將磁性層 132"及 134"描繪為具有相同厚度，但在一些實施例中，磁性層 132"及 134"的厚度可不同。

【0036】 展示了兩個非磁性插入層 133"及 135"。在一些實施例中，非磁性插入層 133"及 135"中的每一者包含 Ta。在一些此等實施例中，非磁性插入層 133"及 135"中的每一者由 Ta 組成。非磁性插入層 133"及 135"可將高 PMA 層以及非磁性間隔物層的結晶取向解耦，藉此改良 TMR。此外，非磁性插入層 133"及 135"可強化

分級 PEL 130"的 PMA。非磁性插入層 133"及 135"亦可阻斷穿過分級 PEL 130"的材料（諸如，Pd 及/或 Ru）的擴散。非磁性插入層 133"及 135"中的每一者具有一厚度，所述厚度小於單個非磁性插入層阻斷穿過分級 PEL 130"的擴散所需的厚度。因此，非磁性插入層 133"及 135"中的每一者的厚度對於高 PMA 層與非磁性間隔物層之間的擴散阻斷而言不充分，且不足以破壞高 PMA 層與非磁性間隔物層之間的結晶耦合。在一些實施例中，每一非磁性插入層 133"及 135"的厚度為至少 2 埃，但小於 3 埃。非磁性插入層 133"及 135"的厚度的總和（例如， $t_1" + t_2"$ ）足以提供高 PMA 層與非磁性間隔物層之間的擴散阻斷。在一些實施例中，非磁性插入層的厚度的總和為至少 4 埃。

【0037】 雖然非磁性層 135"可位於 PEL 130"與高 PMA 層 150"之間的界面處，但仍預期 PEL 130"具有改良的與高 PMA 層的磁性耦合。非磁性插入層 135"的厚度 $t_2"$ 小於擴散阻障層的厚度。因此，除了未使用 Ru（或另一較高 RKKY 相互作用的材料）的事實外，與高 PMA 層的磁性耦合可得以強化。

【0038】 PEL 130"享有 PEL 130、130'及/或 130"的益處。PEL 130"的使用可允許諸如磁性接面 100 的磁性接面具有改良的效能，諸如，較低切換電流、改良的 TMR、強化的垂直磁性各向異性、強化的磁性耦合以及因此改良的穩定性。可在不會不利地影響非磁性間隔物層/穿隧阻障層的情況下達成此等益處。因此，可改良包含 PEL 130"的磁性接面以及使用包含 PEL 130"的磁性接面的記憶

體的效能。

【0039】 圖 6 描繪包含參考堆疊且可經由自旋轉移而切換的磁性界面 200 的另一例示性實施例，所述參考堆疊具有包含非磁性插入層的分級 PEL。為了清楚起見，圖 6 未按照比例繪製。磁性界面 200 類似於磁性界面 100。因此，類似組件類似地進行標記。磁性界面 200 包含晶種層 202、自由層 210、在此實施例中可為穿隧阻障層 220 的非磁性間隔物層、參考堆疊 260 以及可選覆蓋層 204，其分別類似於晶種層 102、自由層 110、非磁性間隔物層 120 以及參考堆疊 160。參考堆疊 260 包含分級 PEL 230、磁性耦合層 240 以及高 PMA 層 250，其分別類似於 PEL 130/130'/130"/130"、可選磁性耦合層 140 以及高 PMA 層 150。因此，類似組件具有與對應組件類似的結構以及功能。

【0040】 在磁性界面 200 中，高 PMA 層 250 為 SAF。特定言之，高 PMA 層 250 包含由非磁性層 254 分離的磁性層 252 及 256。非磁性層 254 實現磁性層 252 與 254 之間的 RKKY 相互作用。在所示的實施例中，磁性層 252 與非磁性層 254 反鐵磁性地耦合。此外，磁性層 252 及非磁性層 254 為具有超過平面外去磁能量的垂直各向異性的多層或超晶格。舉例而言，可使用 Co/Pd 及/或 CoPt 多層及/或超晶格。此外，磁性層 252 及 256 可包含其他材料，諸如，Pt 層及/或 Co 層。在一些實施例中，Co 層為至少 1 埃厚且不大於 2 埃厚。在一些實施例中，Pd 及 Pt 層可為至少 1 埃厚且不大於 2 埃厚。

【0041】 分級 PEL 230 因此包含與非磁性插入層交錯的磁性層。為了簡單起見，在圖 6 中未展示磁性層以及非磁性插入層。然而，如上文所論述，分級 PEL 230 類似於分級 PEL 130、130'及/或 130"。分級 PEL 230 經由耦合層 240 而明確地耦合至高 PMA 層 250。耦合層 240 類似於耦合層 140。在一些實施例中，耦合層實現高 PMA 層 250（高 PMA 層 250 的磁性層 252）與分級 PEL 230 之間的 RKKY 相互作用。在所示的實施例中，耦合層 240 鐵磁性地耦合 PEL 230 與磁性層 252。因此，分級 PEL 230 被展示為具有在負 z 方向上的磁矩 231。在另一實施例中，磁矩 231 可處於與所展示的方向相反的方向上。分級 PEL 230 亦需要在兩個界面處具有磁性層。因此，可改良 PEL 230 與磁性層 252 之間的 RKKY 耦合。此外，具有高於多層 252 及/或 256 的自旋極化的 PEL 230 的磁性層與穿隧阻障層 220 共用界面。此外，可獨立地定製分級 PEL 230 的磁性層。舉例而言，最接近於耦合層 240 的磁性層可經設置以強化與磁性層 252 的 RKKY 耦合。

【0042】 磁性界面 200 享有磁性界面 100 以及 PEL 130、130'、130" 及/或 130'"的益處。磁性界面 200 可具有改良的效能，諸如，較低切換電流、較高 TMR、強化的垂直磁性各向異性、強化的磁性耦合以及因此改良的穩定性。可在不會不利地影響穿隧阻障層 220 的情況下達成此等益處。因此，可改良磁性界面 200 以及使用磁性界面 200 的記憶體の效能。

【0043】 圖 7 描繪包含參考堆疊且可經由自旋轉移而切換的磁性

接面 200'的另一例示性實施例，所述參考堆疊具有包含非磁性插入層的分級 PEL。為了清楚起見，圖 7 未按照比例繪製。磁性接面 200'類似於磁性接面 100 及/或 200。因此，類似組件類似地進行標記。磁性接面 200'包含晶種層 202'、自由層 210'、在此實施例中可為穿隧阻障層 220'的非磁性間隔物層、參考堆疊 260'以及可選覆蓋層 204'，其分別類似於晶種層 102/202、自由層 110/210、非磁性間隔物層 120/220、參考堆疊 160/260 以及覆蓋層 104/204。參考堆疊 260'包含分級 PEL 230'、磁性耦合層 240'以及高 PMA 層 250'，其分別類似於 PEL 130/130'/130"/130'''/230 以及高 PMA 層 150/250。因此，類似組件具有與對應組件類似的結構以及功能。

【0044】 在磁性接面 200'中，高 PMA 層 250'為類似於 SAF 250 的 SAF。因此，高 PMA 層 250'包含由非磁性層 254'分離的磁性層 252'及 256'，其分別類似於非磁性層 254、磁性層 252 及磁性層 256。然而，在其他實施例中，高 PMA 層 250'可並非 SAF。實情為，高 PMA 層 250'可為單個層。然而，多層、超晶格、簡單的鐵磁性層及/或非磁性層可包含於高 PMA 層 250'中。

【0045】 分級 PEL 230'包含與非磁性插入層交錯的磁性層。為了簡單起見，在圖 7 中未展示磁性層以及非磁性插入層。然而，如上文所論述，分級 PEL 230'類似於分級 PEL 130、130'、130"及/或 130'''。分級 PEL 230'耦合至高 PMA 層 250'。分級 PEL 230'可在與多層 252'的界面處具有磁性層或可在與多層 252'的界面處具有非磁性插入層。若分級 PEL 230'在與多層 252'的界面處具有磁

性層，則分級 PEL 230'與多層 252'直接交換耦合（亦即，鐵磁性地耦合）。若界面處的非磁性插入層足夠薄，則分級 PEL 230'與多層 252'鐵磁性地耦合。然而，若界面處的非磁性插入層足夠厚，則分級 PEL 230'可與磁性層 252'反鐵磁性地耦合。因此，分級 PEL 230'的磁矩 231'可平行於或反平行於磁性層 252'的力矩。因而，針對分級 PEL 230'的磁矩 231'，展示相反方向上的兩個箭頭。具有高於多層 252'及 256'的自旋極化的 PEL 230'的磁性層與穿隧阻障層 220'共用界面。此外，可獨立地定製分級 PEL 230'的磁性層。

【0046】 磁性接面 200'享有磁性接面 100 及/或 200 以及 PEL 130、130'、130"及/或 130"'的益處。磁性接面 200'可具有改良的效能，諸如，較低切換電流、強化的 TMR、強化的垂直磁性各向異性、強化的磁性耦合以及因此改良的穩定性。可在不會不利地影響穿隧阻障層 220'的情況下達成此等益處。因此，可改良磁性接面 200'以及使用磁性接面 200'的記憶體效能。

【0047】 圖 8 描繪包含參考堆疊且可經由自旋轉移而切換的磁性接面 200"的另一例示性實施例，所述參考堆疊具有包含非磁性插入層的分級 PEL。為了清楚起見，圖 8 未按照比例繪製。磁性接面 200"類似於磁性接面 100、200 及/或 200'。因此，類似組件類似地進行標記。磁性接面 200"包含晶種層 202"、自由層 210"、在此實施例中可為穿隧阻障層 220"的非磁性間隔物層、參考堆疊 260"以及可選覆蓋層 204"，其分別類似於晶種層 102/202/202'、自由層 110/210/210'、非磁性間隔物層 120/220/220'、參考堆疊

160/260/260'以及覆蓋層 104/204/204'。參考堆疊 260"包含分級 PEL 230"、磁性耦合層 240"以及高 PMA 層 250"，其分別類似於 PEL 130/130'/130"/130"/230/230'、可選磁性耦合層 140/240 以及高 PMA 層 150/250/250'。因此，類似組件具有與對應組件類似的結構以及功能。

【0048】 在磁性接面 200"中，高 PMA 層 250"並非 SAF。然而，高 PMA 層 250"可仍為具有超過平面外去磁能量的垂直各向異性的多層或超晶格。舉例而言，可使用 Co/Pd 及/或 CoPt 多層及/或超晶格。此外，高 PMA 層 250"可包含其他材料，諸如，Pt 層及/或 Co 層。

【0049】 在所示的實施例中，分級 PEL 230"包含與非磁性插入層交錯的磁性層。為了簡單起見，在圖 8 中未展示磁性層以及非磁性插入層。然而，如上文所論述，分級 PEL 230"類似於分級 PEL 230、230'、130、130'及/或 130"。分級 PEL 230"經由耦合層 240"而明確地耦合至高 PMA 層 250"。耦合層 240"類似於耦合層 140 及/或 240。在一些實施例中，耦合層實現高 PMA 層 250"與分級 PEL 230"之間的 RKKY 相互作用。在所示的實施例中，耦合層 240"反鐵磁性地耦合 PEL 230"與高 PMA 層 250"。因此，分級 PEL 230"被展示為具有在正 z 方向上的磁矩 231"。因此，PEL 230"以及高 PMA 層 250"可視為會一起形成 SAF。分級 PEL 230"亦需要在兩個界面處具有磁性層。因此，可改良 PEL 230"與高 PMA 層 250"之間的 RKKY 耦合。此外，具有高於高 PMA 層 250"的自旋極化的

PEL 230"的磁性層與穿隧阻障層 220"共用界面。此外，可獨立地定製分級 PEL 230"的磁性層。舉例而言，最接近於耦合層 240"的磁性層可經設置以強化與高 PMA 層 250"的 RKKY 耦合。

【0050】 磁性接面 200"享有磁性接面 100、200 及/或 200'以及 PEL 130、130'、130"及/或 130"'的益處。磁性接面 200"可具有改良的效能，諸如，較低切換電流、改良的 TMR、強化的垂直磁性各向異性、強化的磁性耦合以及因此改良的穩定性。此外，PEL 230"以及高 PMA 層 250"可反磁性地耦合以減小自由層 210"上的外部磁場。可在不會不利地影響穿隧阻障層 220"的情況下達成此等益處。因此，可改良磁性接面 200"以及使用磁性接面 200"的記憶體效能。

【0051】 圖 9 描繪包含參考堆疊且可經由自旋轉移而切換的磁性接面 300 的另一例示性實施例，所述參考堆疊具有包含非磁性插入層的分級 PEL。為了清楚起見，圖 10 未按照比例繪製。磁性接面 300 類似於磁性接面 100、200、200'及/或 200"。因此，類似組件類似地進行標記。磁性接面 300 包含晶種層 302、自由層 310、在此實施例中可為穿隧阻障層 320 的非磁性間隔物層、參考堆疊 360 以及可選覆蓋層 304，其類似於晶種層 102/202/202'/202"、自由層 110/210/210'/210"、非磁性間隔物層 120/220/220'/220"、參考堆疊 160/260/260'/260"以及可選磁性覆蓋層 104/204/204'/204"。參考堆疊 360 包含分級 PEL 330、可選磁性耦合層 340 以及高 PMA 350，其分別類似於 PEL 130/130'/130"/130"'/230/230'/230"'、可選

磁性耦合層 140/240/240'以及高 PMA 層 150/250/250'/250"。因此，類似組件具有與對應組件類似的結構以及功能。

【0052】 因此，分級 PEL 330 包含與非磁性插入層交錯的磁性層。為了簡單起見，在圖 9 中未展示磁性層以及非磁性插入層。然而，如上文所論述，分級 PEL 330 類似於分級 PEL 130、130'、130"、230、230'及/或 230"。分級 PEL 330 經由耦合層 340 而明確地耦合至高 PMA 層 350。耦合層 340 類似於層 140/240/240'。在一些實施例中，耦合層實現高 PMA 層 350 與分級 PEL 230 之間的 RKKY 相互作用。在所示的實施例中，耦合層 340 可鐵磁性地或反鐵磁性地耦合 PEL 330 與高 PMA 層 350。耦合的性質可取決於耦合層 340 的厚度以及位於分級 PEL 330 與可選耦合層 340 或高 PMA 層 350 的界面處的非磁性插入層（若存在）的厚度。因此，分級 PEL 330 被展示為具有可在正 z 方向或負 z 方向上的磁矩 331。

【0053】 在磁性接面 300 中，自由層 310 為 SAF。特定言之，自由層 310 包含由非磁性層 315 分離的磁性層 311 及 316。非磁性層 315 實現磁性層 311 與 316 之間的 RKKY 相互作用。非磁性層 315 可（例如）為具有實現磁性層 311 與 316 之間的所要耦合的厚度的 Ru 層。

【0054】 此外，磁性層 311 及 316 可類似於 PEL 130、130'、130"、130'"、230、230'及/或 230"。舉例而言，磁性層 311 可包含由非磁性擴散阻障層 313 分離的磁性層 312 及 314。磁性層 316 可包含由非磁性擴散阻障層 318 分離的磁性層 317 及 319。此外，磁性層

312、314、317 及/或 319 可為具有超過平面外去磁能量的垂直各向異性的多層或超晶格。舉例而言，可使用 Co/Pd 及/或 CoPt 多層及/或超晶格。此外，磁性層 312、314、317 及/或 319 可包含其他材料，諸如，Pt 層及/或 Co 層。至少最接近於非磁性間隔物層/穿隧阻障層 320 的磁性層 319 可需要具有高自旋極化。舉例而言，具有不大於 40 原子%的 B 的 CoFeB 可用於磁性層 319。在一些此等實施例中，磁性層 319 可在 CoFeB 中包含至少 10%且不大於 40%的 B。此外，磁性層 314 及 317 可經定製以改良磁性層 311 與 316 之間的 RKKY 耦合。

【0055】 磁性接面 300 享有磁性接面 100、200、200'及/或 200"以及 PEL 130、130'、130"及/或 130"'的益處。磁性接面 300 可具有改良的效能，諸如，較低切換電流、改良的 TMR、強化的垂直磁性各向異性、強化的磁性耦合以及因此改良的穩定性。可在不會不利地影響穿隧阻障層 320 的情況下達成此等益處。此外，自由層 310 可為使用 Ru 及/或 Pd 而不會不利地影響非磁性間隔物層 320 中所使用的任何結晶 MgO 的 SAF。此是因為非磁性擴散阻障層 313 的存在。在此等非磁性擴散阻障層 313 及 318 如關於 PEL 130、130'、130"、130"'、230、230'及/或 230"所描述而較薄的實施例中，磁性層 312 與 314 以及層 317 與 319 之間的磁性耦合可得以強化。因此，可改良磁性接面 300 以及使用磁性接面 300 的記憶體效能。

【0056】 圖 10 描繪包含參考堆疊且可經由自旋轉移而切換的磁性

接面 300'的另一例示性實施例，所述參考堆疊具有包含非磁性插入層的分級 PEL。為了清楚起見，圖 10 未按照比例繪製。磁性接面 300'類似於磁性接面 100、200、200'、200"及/或 300。因此，類似組件類似地進行標記。磁性接面 300'包含晶種層 302'、自由層 310'、在此實施例中可為穿隧阻障層 320'的非磁性間隔物層、參考堆疊 360'以及可選覆蓋層 304'，其分別類似於晶種層 102/202/202'/202"/302、自由層 110/210/210'/210"/310、非磁性間隔物層 120/220/220'/220"/320 以及覆蓋層 104/204/204'/204"/304。參考堆疊 360'包含分級 PEL 330'、可選磁性耦合層 340'以及高 PMA 層 350'，其分別類似於 PEL 130/130'/130"/130'''/230/230'/230"/330、可選磁性耦合層 140/240/240'/340 以及高 PMA 層 150/250/250'/250"/350。因此，類似組件具有與對應組件類似的結構以及功能。

【0057】 磁性接面亦包含額外非磁性間隔物層 365、可選額外分級 PEL 370、可選磁性耦合層 380 以及額外高 PMA 層 390。非磁性間隔物層 365 類似於非磁性間隔物層 320'。可選額外分級 PEL 370 類似於 PEL 130、130'、130"、130'''、230、230'、230"、330 及/或 330'。可選耦合層 380 類似於可選耦合層 140、240、240'、340 及/或 340'。高 PMA 層 390 類似於高 PMA 層 150、250、250'、250"、350 及/或 350'。因此，磁性接面 300'為雙磁性接面。在非磁性間隔物層 320'及 365 兩者為穿隧阻障的實施例中，磁性接面 300'為雙 MTJ。在非磁性間隔物層 320'及 365 兩者為導電阻障的實施例

中，磁性接面 300' 為雙自旋閥。然而，在其他實施例中，非磁性間隔物層 320' 及 365 無需享有類似性質。舉例而言，非磁性間隔物層 320' 及 365 中的一者可為導電阻障層而另一者為穿隧阻障層。

【0058】 磁性接面 300' 享有磁性接面 100、200、200'、200"、300 以及 PEL 130、130'、130" 及/或 130''' 的益處。磁性接面 300' 可具有改良的效能，諸如，較低切換電流、強化的垂直磁性各向異性、強化的磁性耦合以及因此改良的穩定性。可在不會不利地影響穿隧阻障層 320' 及/或 365 的情況下達成此等益處。因此，可改良磁性接面 300' 以及使用磁性接面 300' 的記憶體の效能。

【0059】 此外，磁性接面 100、200、200'、200"、300 及/或 300' 以及 PEL 130、130'、130"、130'''、230、230'、230"、330、330' 及/或 370 可用於磁性記憶體中。圖 11 描繪一個此類記憶體 400 的例示性實施例。磁性記憶體 400 包含讀取/寫入行選擇驅動器 402 及 406 以及字元線選擇驅動器 404。應注意，可設置具有另一配置的其他及/或不同組件。記憶體 400 的儲存區域包含磁性儲存胞 410。每一磁性儲存胞包含至少一個磁性接面 412 以及至少一個選擇裝置 414。在一些實施例中，選擇裝置 414 為電晶體。磁性接面 412 可包含磁性接面 100、200、200'、200"、300 及/或 300' 中的一或多者。雖然針對每一磁性儲存胞 410 展示了一個磁性接面 412，但在其他實施例中，可針對每一磁性儲存胞設置任何數目個磁性接面 412。因此，可在記憶體 400 中實現磁性接面 100、200、200'、200"、300 及/或 300' 以及 PEL 130、130'、130"、130'''、230、230'、

230"、330、330'及/或 370 的益處。

【0060】 圖 12 描繪用於製造磁性子結構的方法 500 的例示性實施例。為了簡單起見，可省略、組合及/或交錯一些步驟。在磁性接面 100 的情形下描述方法 500。然而，方法 500 可用於其他磁性接面，諸如，接面 200、200'、200"、300、300'及/或 412。此外，方法 500 可併入至磁性記憶體的製造中。因此，方法 500 可用於製造 STT-RAM 或另一磁性記憶體。方法 500 亦可包含提供晶種層 202 以及可選釘紮層（未圖示）。

【0061】 經由步驟 502 而提供自由層 110。步驟 502 可包含將所要材料沉積於自由層 210 的所要厚度處。此外，步驟 502 可包含提供 SAF。經由步驟 504 而提供非磁性層 120。步驟 504 可包含沉積所要的非磁性材料，包含但不限於結晶 MgO。此外，在步驟 504 中可沉積所要厚度的材料。

【0062】 經由步驟 506 而提供分級 PEL 130。步驟 506 包含沉積與所要厚度的非磁性插入層交錯的鐵磁性層。因此，在步驟 506 中沉積 PEL 130'、130"及/或 130'"中所描繪的層。然而，應注意，在約 2 埃的厚度處，步驟 506 中所沉積的層可能並不連續或厚度可變化。舉例而言，步驟 506 中形成的非磁性插入層可包含重疊島狀物及/或類似於針孔的開放區域。藉由後處理，可遷移此等非磁性插入層的部分。舉例而言，可稍後在製造中對磁性接面 100 進行退火。非磁性插入層中的材料（諸如，Ta）可接著遷移。由於退火誘發的遷移，重疊的島狀物可擴散以形成具有較小厚度變化

的層。可視情況經由步驟 508 而提供耦合層 140。步驟 508 可包含沉積 Ru 層。在一些實施例中，可省略步驟 508。

【0063】 經由步驟 510 而提供高 PMA 層 250。步驟 510 可包含將所要材料沉積於高 PMA 層 250 的所要厚度處。此外，步驟 510 可包含提供 SAF 及/或高垂直各向異性多層。舉例而言，可在步驟 510 中製造一或多個 Co/Pd 及/或 Co/Pt 多層。此外，其他磁性及/或非磁性材料亦可用於在步驟 510 中製造高 PMA 層。因此，步驟 506、508 及 510 可視為會製造參考堆疊 260。

【0064】 經由步驟 512，完成磁性接面 100 的製造。可視情況在步驟 512 中提供任何額外層，諸如，穿隧阻障層 365、分級 PEL 370、耦合層 380 及高 PMA 層 390。類似地，可在步驟 512 中提供覆蓋層或另一（其他）層。亦可執行退火、外部磁場中的磁矩的方向的設定及/或其他處理。因此，使用方法 500，可達成 PEL 130/130'/130"/130'''/230/230'/230"/330/330'以及磁性接面 100、200、200'、200"、300 及/或 300'的益處。

【0065】 已描述了用於提供包含具有 PEL 的參考堆疊的磁性接面的方法及系統以及使用所述磁性接面而製造的記憶體。已根據所示的例示性實施例描述了所述方法及系統，且一般熟習此項技術者將易於認識到可存在對實施例的變化，且任何變化將在所述方法及系統的精神及範疇內。因此，可由一般熟習此項技術者進行許多修改，而不偏離隨附申請專利範圍的精神及範疇。

【符號說明】**【0066】**

- 10：磁性穿隧界面
- 11：底部觸點
- 12：晶種層
- 14：自由層/鐵磁性層
- 15：磁化
- 16：穿隧阻障層/MgO 層
- 18：極化強化層/鐵磁性層
- 20：Ta 間隔物層
- 22：參考層
- 23：磁性層
- 24：非磁性層/Ru 層
- 25：磁性層
- 26：覆蓋層
- 28：頂部觸點
- 100：磁性界面
- 102：晶種層
- 104：覆蓋層
- 110：自由層
- 111：磁矩
- 120：非磁性間隔物層/結晶 MgO 穿隧阻障層

130 : 分級 PEL

130' : 分級 PEL

130" : 分級 PEL

130''' : 分級 PEL

131 : 磁矩

132 : 磁性層/CoFeB 層

132' : 磁性層/CoFeB'層

132" : 磁性層

133 : 非磁性插入層

133' : 非磁性插入層

133" : 非磁性插入層

134 : 磁性層

134' : 磁性層

134" : 磁性層

135 : 非磁性插入層

135' : 非磁性插入層

135" : 非磁性插入層

136 : 磁性層

136' : 磁性層

137 : 非磁性層

138 : 磁性層

140 : 耦合層

- 150：高垂直磁性各向異性層
- 151：磁矩
- 160：參考堆疊
- 200：磁性接面
- 200'：磁性接面
- 200"：磁性接面
- 202：晶種層
- 202'：晶種層
- 202"：晶種層
- 204：覆蓋層
- 204'：覆蓋層
- 204"：覆蓋層
- 210：自由層
- 210'：自由層
- 210"：自由層
- 220：穿隧阻障層/非磁性間隔物層
- 220'：穿隧阻障層/非磁性間隔物層
- 220"：穿隧阻障層/非磁性間隔物層
- 230：分級 PEL
- 230'：分級 PEL
- 230"：分級 PEL
- 231：磁矩

231' : 磁矩

231" : 磁矩

240 : 磁性耦合層

240' : 磁性耦合層

240" : 磁性耦合層

250 : 高 PMA 層

250' : 高 PMA 層

250" : 高 PMA 層

252 : 磁性層

252' : 磁性層/多層

254 : 非磁性層

254' : 非磁性層

256 : 磁性層

256' : 磁性層/多層

260 : 參考堆疊

260' : 參考堆疊

260" : 參考堆疊

300 : 磁性界面

300' : 磁性界面

302 : 晶種層

302' : 晶種層

304 : 覆蓋層

- 304' : 覆蓋層
- 310 : 自由層
- 310' : 自由層
- 311 : 磁性層
- 312 : 磁性層
- 313 : 非磁性擴散阻障層
- 314 : 磁性層
- 315 : 非磁性層
- 316 : 磁性層
- 317 : 磁性層
- 318 : 非磁性擴散阻障層
- 319 : 磁性層
- 320 : 非磁性間隔物層/穿隧阻障層
- 320' : 穿隧阻障層
- 330 : 分級 PEL
- 330' : 分級 PEL
- 331 : 磁矩
- 340 : 磁性耦合層
- 340' : 磁性耦合層
- 350 : 高 PMA 層
- 350' : 高 PMA 層
- 360 : 參考堆疊

- 360'：參考堆疊
- 365：非磁性間隔物層
- 370：分級 PEL
- 380：磁性耦合層
- 390：高 PMA 層
- 400：磁性記憶體
- 402：讀取/寫入行選擇驅動器
- 404：字元線選擇驅動器
- 406：讀取/寫入行選擇驅動器
- 410：磁性儲存胞元
- 412：磁性接面
- 414：選擇裝置
- 500：方法
- 502~512：步驟

申請專利範圍

1. 一種磁性接面，用於磁性裝置中，所述磁性接面包括：

自由層，具有垂直於平面的自由層磁矩；

非磁性間隔物層，具有第一結晶取向，

參考堆疊，包含高垂直磁性各向異性（PMA）層以及分級極化強化層（PEL），所述非磁性間隔物層位於所述分級 PEL 與所述自由層之間，所述分級 PEL 位於所述高 PMA 層與所述非磁性間隔物層之間，所述高 PMA 層具有垂直於平面的磁矩、第二結晶取向以及第一自旋極化，所述分級 PEL 鄰近於所述高 PMA 層且與所述高 PMA 層磁性地耦合，所述分級 PEL 包含多個磁性層以及多個非磁性插入層，所述分級 PEL 的至少一部分具有大於所述第一自旋極化的第二自旋極化且鄰近於所述非磁性間隔物層，所述多個非磁性插入層經設置以使得所述多個磁性層鐵磁性地耦合且使得所述第一結晶取向與所述第二結晶取向解耦，所述多個非磁性插入層中的每一者具有一厚度，所述多個非磁性插入層中的每一者的所述厚度不足以使所述第一結晶取向在所述多個非磁性插入層的剩餘部分不存在的情況下與所述第二結晶取向解耦；

其中所述磁性接面經設置以使得在寫入電流穿過所述磁性接面時，所述自由層可在多個穩定磁性狀態之間切換。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述的磁性接面，其中所述多個非磁性插入層中的每一者的厚度的總和足以實現所述高 PMA 層與所述非磁性間隔物層之間的擴散阻斷，所述多個非磁性插入層中

的每一者的厚度不足以實現所述高 PMA 層與所述非磁性間隔物層之間的擴散阻斷。

3. 如申請專利範圍第 2 項所述的磁性接面，其中所述厚度的總和為至少 4 埃。

4. 如申請專利範圍第 2 項所述的磁性接面，其中所述厚度小於 3 埃。

5. 如申請專利範圍第 4 項所述的磁性接面，其中所述厚度為至少 2 埃。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述的磁性接面，其中所述分級 PEL 包含 Ta。

7. 如申請專利範圍第 6 項所述的磁性接面，其中所述分級 PEL 包括多個非磁性層，且所述多個非磁性層中的每一者由 Ta 組成。

8. 如申請專利範圍第 1 項所述的磁性接面，其中所述高 PMA 層包含高垂直各向異性多層以及高垂直各向異性超晶格中的至少一者。

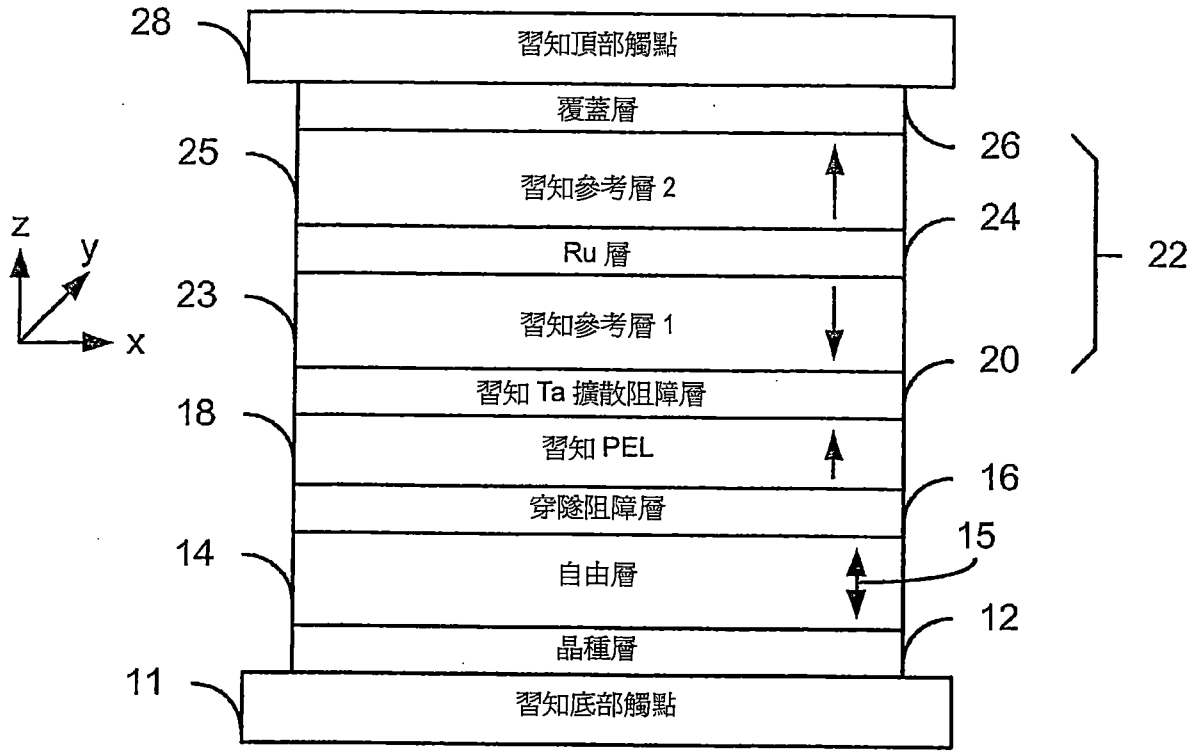
9. 如申請專利範圍第 8 項所述的磁性接面，其中所述高垂直各向異性多層以及所述高垂直各向異性超晶格中的所述至少一者包含 Co/Pt 多層、Co/Pd 多層、CoPt 超晶格以及 CoPd 超晶格中的至少一者。

10. 如申請專利範圍第 8 項所述的磁性接面，其中所述高 PMA 層為合成反鐵磁體，所述合成反鐵磁體包含第一磁性結構、

106-3-21

第二磁性結構以及所述第一磁性結構與所述第二磁性結構之間的非磁性層，所述第一磁性結構以及所述第二磁性結構中的至少一者包含所述高垂直各向異性多層以及所述高垂直各向異性超晶格中的所述至少一者。

圖式
10



先前技術
圖 1

100

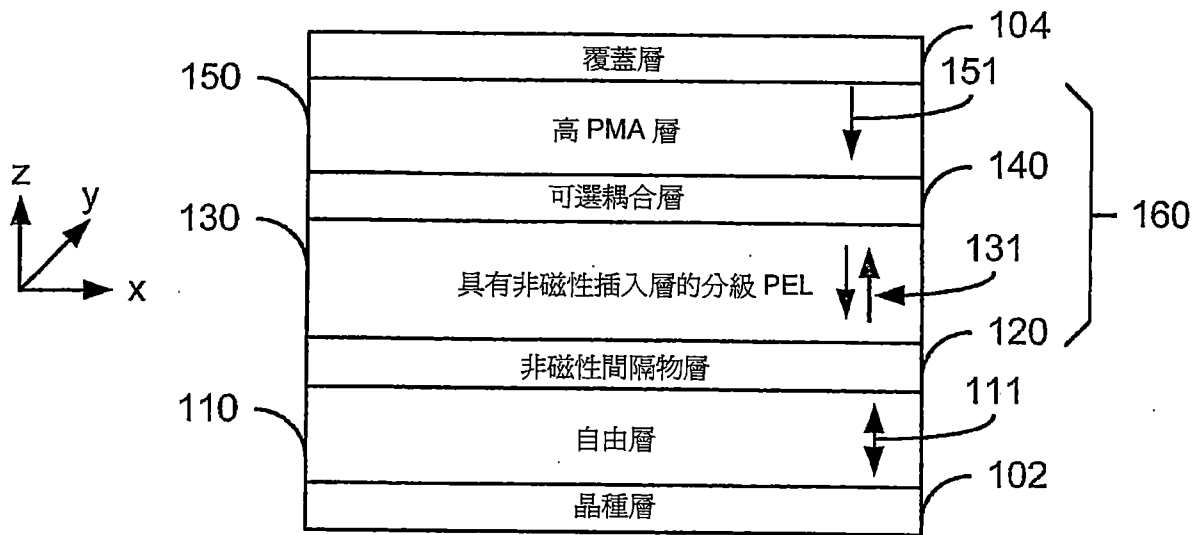
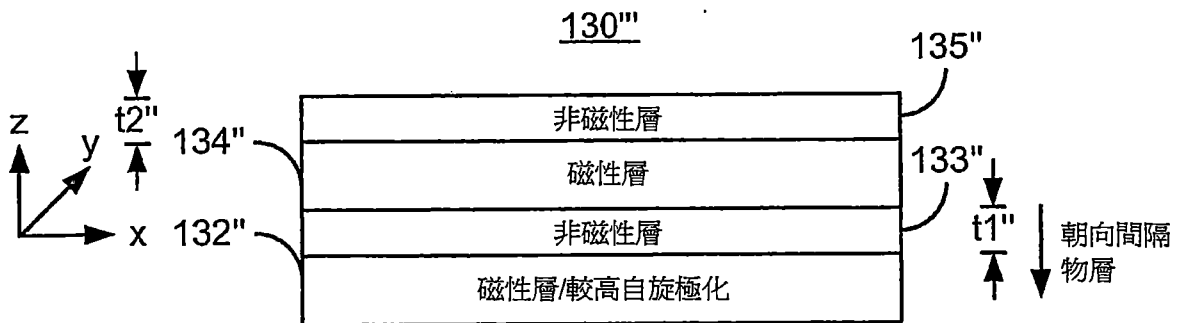
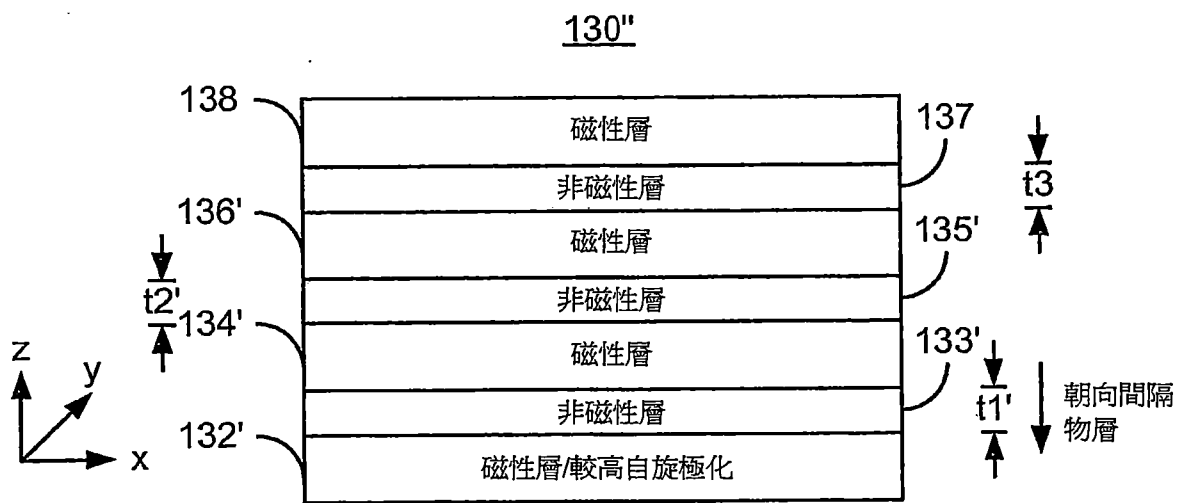
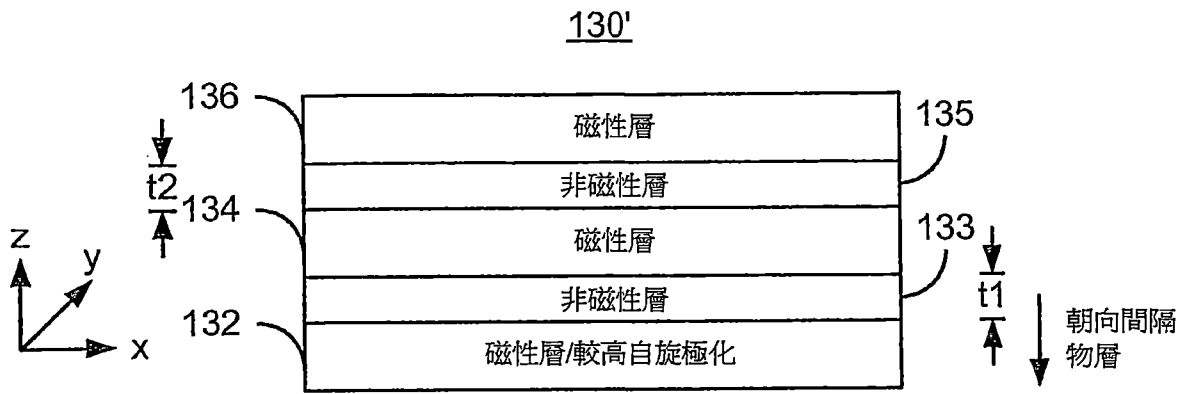


圖 2



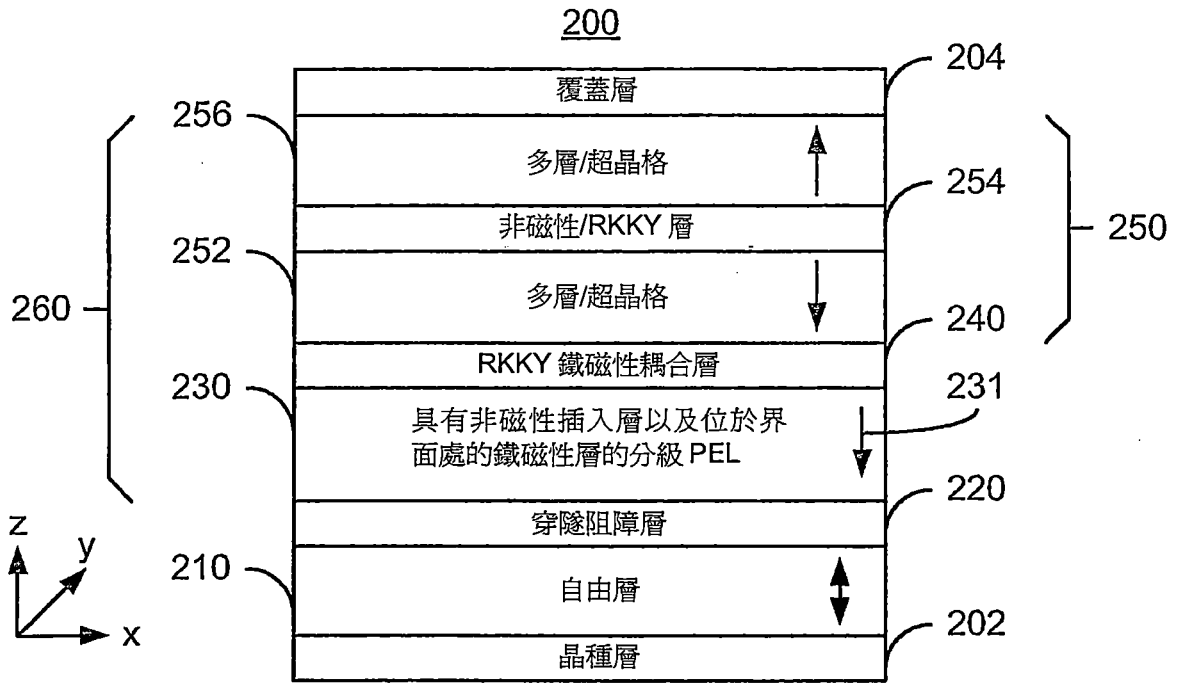


圖 6

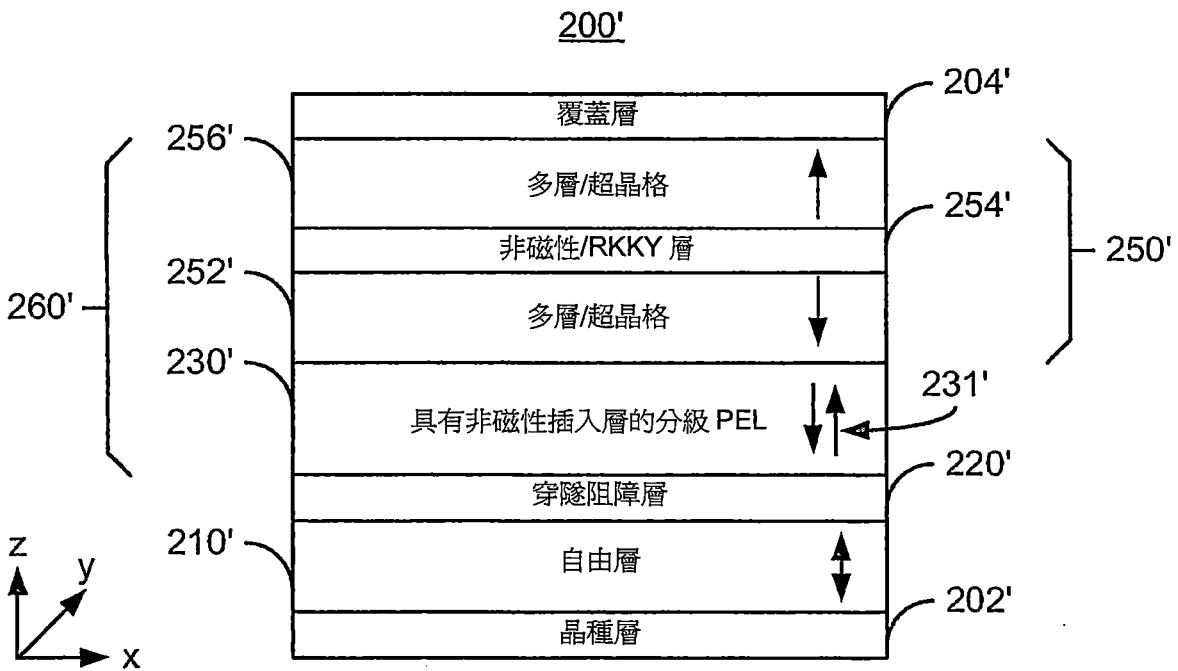


圖 7

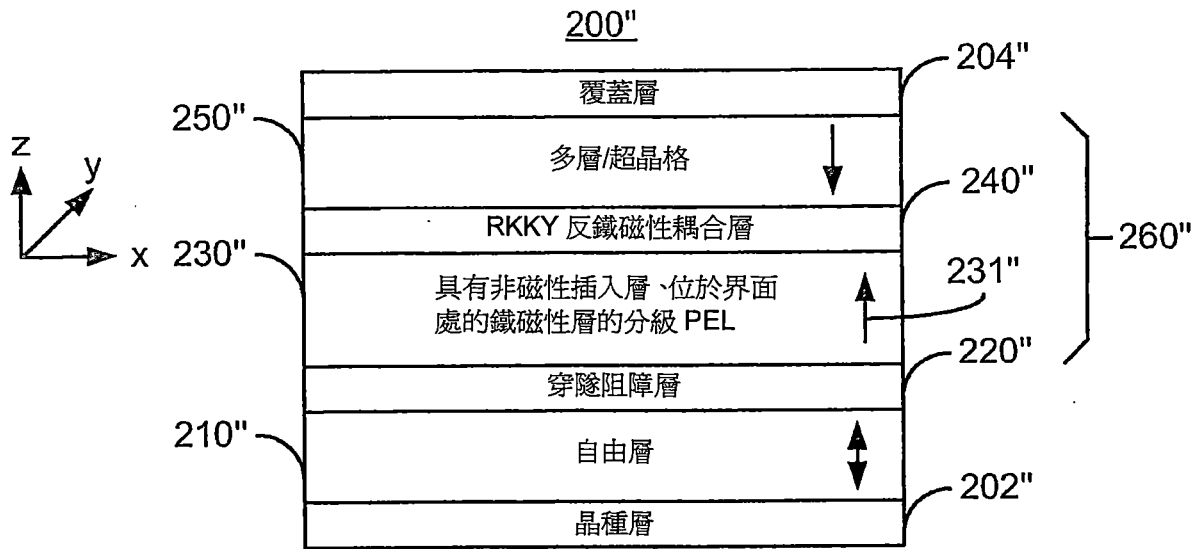


圖 8

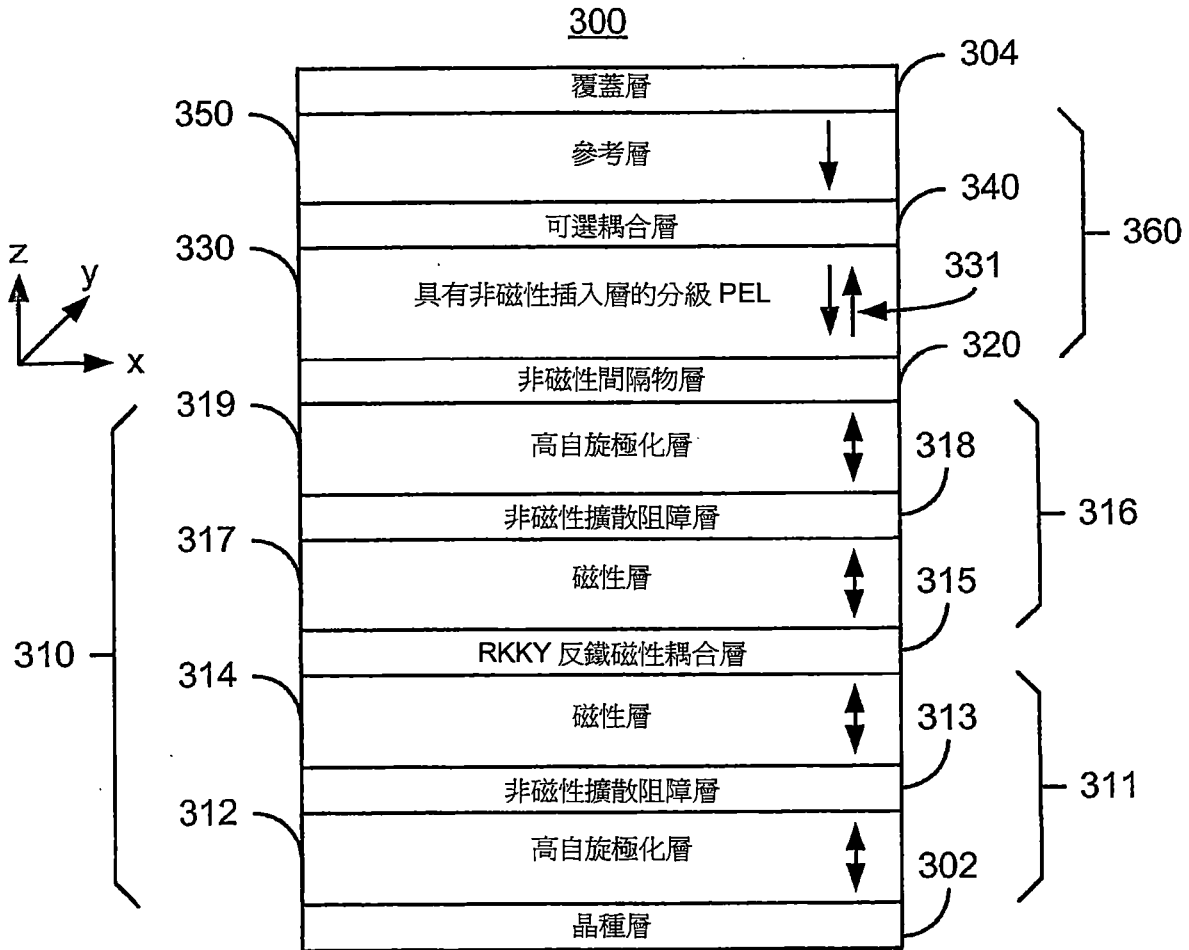


圖 9

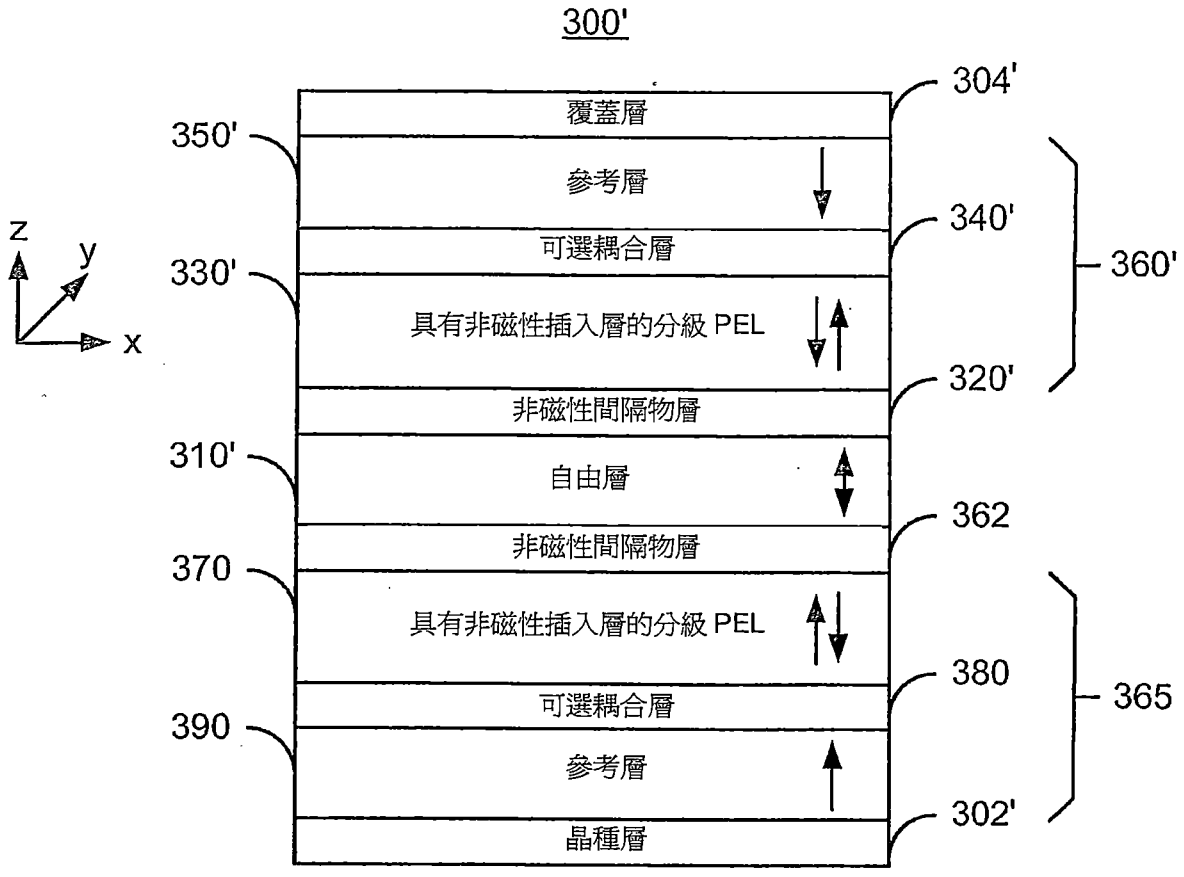


圖 10

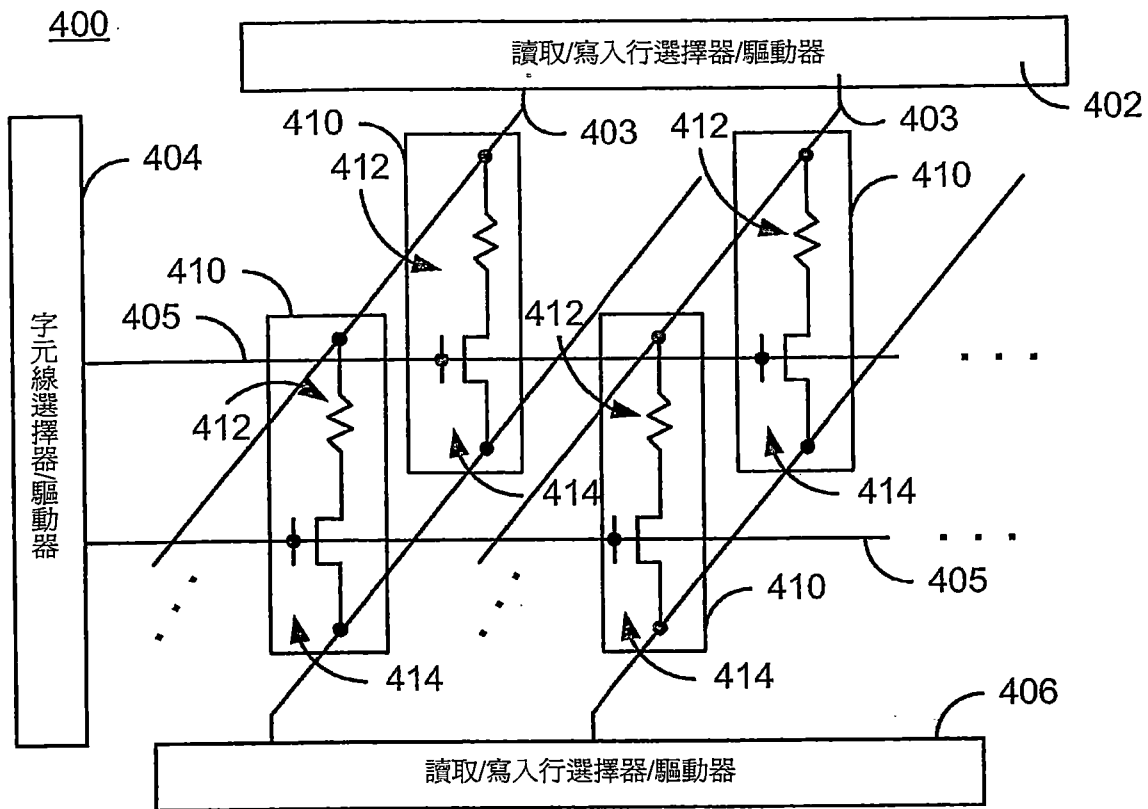


圖 11

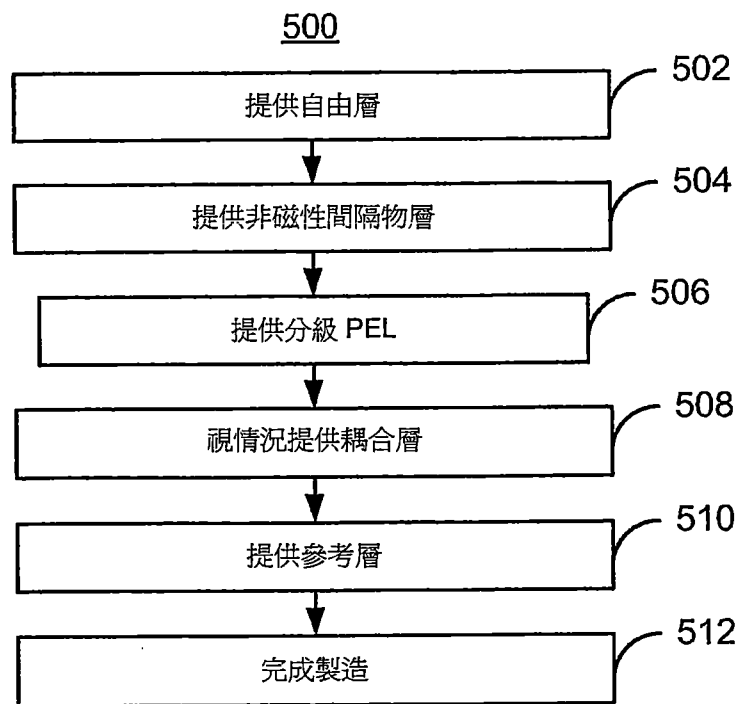


圖 12