

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2011-501420

(P2011-501420A)

(43) 公表日 平成23年1月6日 (2011.1.6)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 27/105 (2006.01)	H O 1 L 27/10 4 4 7	4 M 1 1 9
H O 1 L 21/8246 (2006.01)	G 1 1 C 11/15 1 1 0	5 F 0 9 2
G 1 1 C 11/15 (2006.01)	G 1 1 C 11/15 1 1 2	
H O 1 L 43/08 (2006.01)	H O 1 L 43/08 Z	
H O 1 L 43/10 (2006.01)	H O 1 L 43/10	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 18 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2010-529069 (P2010-529069)
 (86) (22) 出願日 平成20年10月10日 (2008.10.10)
 (85) 翻訳文提出日 平成22年4月28日 (2010.4.28)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2008/079471
 (87) 国際公開番号 W02009/049122
 (87) 国際公開日 平成21年4月16日 (2009.4.16)
 (31) 優先権主張番号 11/870,856
 (32) 優先日 平成19年10月11日 (2007.10.11)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 509052894
 エバースピン テクノロジーズ インコー
 ポレイテッド
 EverSpin Technologies,
 Inc.
 アメリカ合衆国 85225 アリゾナ州
 チャンドラー ノース アルマ スク
 ル ロード 1300
 (74) 代理人 100142907
 弁理士 本田 淳
 (74) 代理人 100149641
 弁理士 池上 美穂

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 低電流密度を有する磁気要素

(57) 【要約】

メモリ・デバイスは、固定磁性層と、固定磁性層の上のトンネル障壁層と、トンネル障壁層の上に形成された自由磁性構造とを含む。自由磁性構造は、弱く磁気結合された複数のサブレイヤの層を有する。したがって、低いプログラミング電圧を使用してトンネル障壁破壊を避けることができ、かつ、小さいパス・トランジスタを使用してダイ面積を節約することができる。

【選択図】 図 1

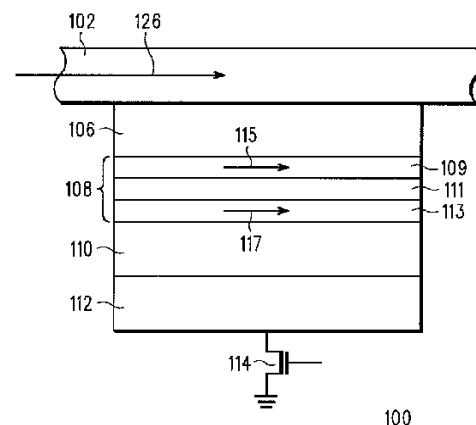


FIG. 1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

メモリ・デバイスであって、
固定磁性層と、
前記固定磁性層の上のトンネル障壁層と、
前記トンネル障壁層の上に形成された自由磁性構造であって、
第 1 の自由磁性層と、
前記第 1 の自由磁性層に接する第 1 の中間層と、
前記第 1 の中間層に接するとともに前記第 1 の自由磁性層に弱く強磁性結合されている第 2 の自由磁性層とを含む前記自由磁性構造と、を備え、
前記自由磁性構造にスピン偏極電子電流を作用させることによってプログラムされ得るメモリ・デバイス。

10

【請求項 2】

前記強磁性結合の強度が 50 エルステッドから 500 エルステッドの間である、請求項 1 に記載のメモリ・デバイス。

【請求項 3】

前記第 1 の中間層が、Ru、Rh、Os、および Re からなる群から選択された元素を含み、前記第 1 の中間層が約 1.2 ナノメートルから約 1.7 ナノメートルの範囲の厚さを有する、請求項 1 に記載のメモリ・デバイス。

【請求項 4】

20

前記第 1 の中間層が絶縁材料を含む、請求項 1 に記載のメモリ・デバイス。

【請求項 5】

前記第 1 の中間層が、Si、Mg、Al、Ti、Ta、Hf、Fe、Ni、Co、V、および Zr からなる群から選択された元素からなる酸化物を含む、請求項 4 に記載のメモリ・デバイス。

【請求項 6】

前記第 1 の中間層が導電性材料を含む、請求項 1 に記載のメモリ・デバイス。

【請求項 7】

前記第 1 の中間層が、Ta、Ti、Mg、Hf、Al、Ru、Os、Re、Rh、V、Cu、および B からなる群から選択された元素からなる金属を含む、請求項 6 に記載のメモリ・デバイス。

30

【請求項 8】

前記第 1 の中間層が約 0.1 nm から約 1 nm の範囲の厚さを有する、請求項 1 に記載のメモリ・デバイス。

【請求項 9】

メモリ・デバイスであって、
固定磁性層と、
前記固定磁性層の上のトンネル障壁層と、
前記トンネル障壁層の上に形成された自由磁性構造であって、非磁性絶縁材料内に埋め込まれた自由磁性材料を含む自由磁性構造と、
を備えるメモリ・デバイス。

40

【請求項 10】

前記自由磁性構造が、弱く強磁性結合された複数のサブレイヤを含む、請求項 9 に記載のメモリ・デバイス。

【請求項 11】

前記複数のサブレイヤが同じ材料である、請求項 10 に記載のメモリ・デバイス。

【請求項 12】

前記複数のサブレイヤが異なる材料である、請求項 10 に記載のメモリ・デバイス。

【請求項 13】

前記非磁性絶縁材料が不連続である、請求項 9 に記載のメモリ・デバイス。

50

【請求項 14】

メモリ・デバイスであって、
固定磁性層と、
前記固定磁性層の上のトンネル障壁層と、
前記トンネル障壁層の上に形成された自由磁性構造であって、
第1の自由磁性層と、
前記第1の自由磁性層に弱く磁気結合されている第2の自由磁性層と、
前記第2の自由磁性層に弱く磁気結合されている第3の自由磁性層とを含む前記自由磁性構造と、を備え、
前記自由磁性構造にスピン偏極電子電流を作用させることによってプログラムされ得るメモリ・デバイス。

10

【請求項 15】

前記第2の自由磁性層が前記第1の自由磁性層に弱く強磁性結合される、請求項14に記載のメモリ・デバイス。

【請求項 16】

前記第2の自由磁性層が前記第1の自由磁性層に弱く反強磁性結合される、請求項14に記載のメモリ・デバイス。

【請求項 17】

前記第1の自由磁性層と前記第2の自由磁性層との間に第1の中間層をさらに含む請求項16に記載のメモリ・デバイス。

20

【請求項 18】

前記第1の中間層が、Rh、Ru、Re、Os、およびCuからなる群から選択された元素からなる金属を含む、請求項17に記載のメモリ・デバイス。

【請求項 19】

前記第1の中間層が連続的な金属層を含む、請求項17に記載のメモリ・デバイス。

【請求項 20】

前記第1の中間層が、Si、Mg、Al、Ti、Ta、Fe、Ni、Co、V、およびZrからなる群から選択された元素からなる酸化物を含む、請求項17に記載のメモリ・デバイス。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本開示は、概してメモリ・デバイスに関し、詳しくは磁気メモリ・デバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

不揮発性メモリ・デバイスは電子システムにおける重要構成要素である。フラッシュ（FLASH）は現在使用されている主要な不揮発性メモリ・デバイスである。典型的な不揮発性メモリ・デバイスは、情報を記憶するために浮遊酸化物層にトラップされた電荷を使用する。フラッシュ・メモリの欠点には、高電圧を必要とすること、プログラム時間および消去時間が遅いこと、耐久性が低いこと、ならびに拡張性に限界があることが挙げられる。

40

【0003】

これらの欠点を克服するために、半導体産業では、磁気抵抗ランダム・アクセス・メモリ（MRAM）などの磁気メモリ・デバイスが評価されている。MRAMのメモリ状態は、層に蓄積された電荷によってではなく磁気モーメントの方向によって保持される。MRAMは磁気トンネル接合（MTJ）構造を含む。MTJは、誘電体トンネル障壁によって自由磁性層から分離された固定磁性層を有する。従来のMRAMでは、データの記憶は、磁界を印加し、2つの可能なメモリ状態に対応して自由層を固定層の磁化と平行または反平行のいずれかに磁化させることによって達成される。データの読み出しは、自由磁性層と固定磁性層との間の電流トンネリングの抵抗を検知することによって達成される。自由

50

層の磁気モーメントが固定層のモーメントと平行である場合、MRAMデバイスは低い抵抗を有する。代わりに、自由層の磁気モーメントが固定層のモーメントと反平行である場合、MRAMデバイスは高い抵抗を有する。書き込むための磁界は、MTJ構造の外部の導電性線路に電流を通過させることによって生成される。

【0004】

様々なタイプのMRAMがある。1つのタイプはトグルMRAMである。トグルMRAMでは、ビットは、ビットの近傍にある導電性線路に電流を伝えることによって生成される磁界を使用してプログラムされる。同じパルス・シーケンスを使用して、ある状態（例えば「1」または「0」）から別の状態（例えば「0」または「1」）に切り替える。トグルMRAMはいくつかの利点を有しているとはいえ、特に小さいセル・サイズの場合小さい書き込み電流を実現していない。別のタイプのMRAM、スピン・トルクMRAM（STMRAM）では、ビットはスピン偏極電子電流を磁性自由層に作用させることによってプログラムされる。スピン偏極電流に関連した角運動量の変化が自由層にてトルクを生じさせ、それが十分に大きい電流である場合には磁化方向が変更される。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ST-MRAMは、特に小さいセル・サイズではトグルMRAMよりも実質的に少ない書き込み電流を使用するが、STMRAM用の書き込み電流は望ましくないことに依然として大きく、セルによっては、トンネル障壁の破壊電圧（ V_{bd} ）を超えるプログラミング電圧を必要とする。さらに、大きい書き込み電流は、アレイ中のビットを選択的にプログラムするために大きいパス・トランジスタを必要とし、それによって全記録密度が望ましくないことに制限される。したがって、スピン・トランスファ効果デバイスではプログラム電流をさらに減少させる必要がある。

20

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】一実施形態によるMRAMデバイスなどのメモリ・デバイスの断面図。

【図2】一実施形態による自由磁性要素の断面図。

【図3】一実施形態によるメモリ・セルへの書き込み方法を示すフローチャート。

【図4】一実施形態による書き込み処理中における図2の自由磁性要素の図。

30

【図5】一実施形態による書き込み処理中における図2の自由磁性要素の図。

【図6】一実施形態による書き込み処理中における図2の自由磁性要素の図。

【図7】一実施形態による書き込み処理中における図2の自由磁性要素の図。

【図8】一実施形態によるメモリ・セルのアレイの概略図。

【発明を実施するための形態】

【0007】

本発明は例として示されており、添付の図によって限定されない。図中、同様の符号は類似の要素を示す。また、図中の要素は簡潔化および明確化のために示されており、必ずしも原寸に比例して描かれていない。

【0008】

40

STMRAMデバイスのプログラミング電流を減少させるため、MTJ構造の自由磁性要素は弱く結合された磁性層を含む。一実施形態では、磁性層は薄い非磁性中間層を通して弱く強磁性結合される。一実施形態では、薄い中間層の各々は厚さが約0.1ナノメートルから約2ナノメートルである。電流が一実施形態におけるスピン・トランスファ効果メモリ・デバイスに印加されると、スピン・トルクがトンネル障壁に最も近い自由層の一部に誘導される。この層が反転するとき、弱い強磁性結合によって他の層も連続して反転する。こうして、スイッチング事象が多数の層にわたって広がり、時間がわずかに遅延し、それによって、反転に必要とされるピークトルク（したがってピーク電流）が低減される。対照的に、従来のスピン・トランスファ効果MRAMデバイスでは、自由層全体が、連続的な磁性材料に固有の強い強磁性結合のために同時に反転する。弱く磁気結合された

50

層を使用することによって低いプログラミング電流が達成され、トンネル障壁破壊が防止または最小限にされる。さらに、メモリ・セルは、従来のSTMRAM構造よりも小さいパス・トランジスタを含むことができ、それによって、セルのサイズを好適に減少させることができる。したがって、より高密度およびより低電力のMRAMデバイスが可能となる。さらに、弱く結合された磁性層をもつ自由磁性要素は任意の好適な磁性メモリ・セルでを使用することができる。

【0009】

MRAMなどのスピン・トルク・メモリ・セルで使用されるスピン・トランスファ効果は、電子が磁石/非磁石/磁石の3層構造中の第1の磁性層を通過した後でスピン偏極になる電流を含み、ここで、第1の磁性層が第2の磁性層よりも実質的に厚いために、または隣接する層への磁気結合のために、第1の磁性層は反応せずに「固定」される。スピン偏極電子は非磁性スペーサを横断し、次に、角運動量保存によって第2の磁性層にトルクを渡し、それにより、第2の層の磁化方向は第1の層の磁化方向と平行になるように切り替えられる。逆極性の電流が印加される場合、電子は、代わりに、最初に第2の磁性層を通過する。非磁性スペーサを横断した後、トルクは第1の磁性層に与えられる。しかし、第1の磁性層は固定されているので、それは切り替わらない。したがって、わずかな電子が第1の磁性層から反射し、非磁性スペーサを横切って戻り、その後第2の磁性層と相互作用する。この場合、スピン・トランスファ・トルクは、第2の層の磁化方向を第1の層の磁化方向と反平行になるように切り替える。今までに説明したスピン・トランスファは、この構造のすべての層を横切る電流の送出を含む。別の可能性はスピン・トランスファ反射モード・スイッチングである。反射モードでは、電子が第1の磁性層を通過するとき、電流は再度スピン偏極になる。次に、電子は非磁性スペーサ層を横断するが、さらに第2の磁性層を横断する代わりに、電子は、非磁性スペーサと第2の磁性層との間のインターフェイスから出ている追加の導体によるより低い抵抗経路に従う。この工程では、わずかな電子がこのインターフェイスから反射し、それによって、スピン・トランスファ・トルクを第2の磁性層に働かせて第2の磁性層は第1の磁性層と平行に位置合わせされることになる。

【0010】

図1を参照すると、MRAMセル100の断面図が一実施形態に従って構成されている。実際には、MRAMアーキテクチャまたはデバイスは、列および行からなるマトリクスに相互に接続することができる多くのMRAMセル100を含むことになる。MRAMセル100は、一般に、以下の要素、すなわち書き込み電流126を搬送する第1の導体102と、スペーサ要素106と、自由磁性要素または構造108と、絶縁体110と、固定磁石要素112と、分離トランジスタまたはパス・トランジスタ114とを含む。

【0011】

実際には、第1の導体102を任意の数の同様のMRAMセル(例えば、列のセル)に接続し、接続されたセルの各々に共通書き込み電流126を供給することができる。第1の導体102は電気を伝導することができる任意の好適な材料から形成される。例えば、第1の導体102はAl、Cu、Au、Ag、Ta、Tiなどまたはそれらの組合せを含むことができる。

【0012】

スペーサ要素106は、第1の導体102と自由磁性要素108との間に配置することができる。スペーサ要素106は、導電性非磁性材料、例えばTa、Ta_N、または他の金属材料から形成される。一実施形態では、スペーサ要素106は存在しない。

【0013】

自由磁性要素108は、スペーサ要素106(またはスペーサ要素106が存在しない場合、第1の導体102)と絶縁体110との間に配置される。図1に示された実施形態では、自由磁性要素108は、第1の自由磁性層(または第1のサブレイヤ)109と、中間層111によって互いに分離された第2の自由磁性層(または第2のサブレイヤ)113とを含む。第1の自由磁性層109および第2の自由磁性層113は共に可変磁化を

有する磁性材料から形成される。同じ材料または異なる材料をサブレイヤ 109 および 113 に使用することができる。例えば、第 1 の自由磁性層 109 および第 2 の自由磁性層 113 に使用される磁性材料としては、Ni、Fe、Mn、Co などや、それらの合金や、B および O を有する合金や、または NiMnSb、PtMnSb、Fe₃O₄、もしくは CrO₂ などのいわゆる半金属強磁性体を含むことができる。一実施形態では、第 1 および第 2 の自由磁性層 109、113 は各々、約 1 ナノメートルから約 5 ナノメートルの厚さである。自由磁性要素 108 の可変磁化の方向は、MRAM セル 100 が「1」ビットまたは「0」ビットを表すかどうかを決定する。実際には、自由磁性要素 108 の磁化の方向は、固定磁石要素 112 の磁化の方向と平行または反平行のいずれかである。

【0014】

中間層 111 は任意の非磁性材料とすることができる。一実施形態では、中間層 111 は、Ta、Ti、Mg、Al、Cu などまたはそれらの組合せを含む不連続な非磁性導電性材料である。別の実施形態では、中間層 111 は、Si、Al、Mg、Ti、Ta、Hf、Fe、Ni、Co、V、Zr など、またはそれらの組合せの酸化物、窒化物、もしくは酸窒化物などの不連続な非磁性絶縁材料である。中間層 111 が酸化物または窒化物である場合、それは酸化物層または窒化物層を堆積させることによって、あるいは層（例えば、Fe、Ni、Co などまたはそれらの組合せを含む層）を酸素または窒素の環境に暴露することによって形成することができる。中間層 111 が不連続な非磁性材料である場合、それは、好ましくは、約 0.1 ナノメートルから約 1 ナノメートルの厚さである。一実施形態では、この厚さは、自由磁性層 109、113 間に所望の量の強磁性結合を達成するように選択される。層 109、113 間に中間層がない場合、最大の強磁性の結合が達成され、これは 10⁴ エルステッド (Oe) を超える結合場に相当し得る。中間層の厚さが約 0.1 nm から約 1 nm の範囲にある場合、それは通常、不連続であり、その結果、結合は依然として自由磁性層 109、113 間に存在するものの、その大きさを著しく低減することができる。非磁性中間層が連続的である場合、層 109、113 間に強磁性結合は存在しないが、酸化物によっては反強磁性が可能である。強磁性結合の所望のレベルは約 50 エルステッド (Oe) から約 500 エルステッド (Oe) の範囲であり、それは層厚、ビット・サイズ、および形状に基づいて変化し得る。本明細書で説明されるように、層の端部には反強磁性結合が存在し得るので、強磁性結合のこの大きさは正味の強磁性結合となり得ることが当業者に認識され得る。

【0015】

別の実施形態では、中間層 111 は、その厚さに応じて、層 109、113 間に反強磁性結合または強磁性結合を生成し得る導電性材料である。そのような材料としては Ru、Os、Re、Rh、Cu、Cr、Ir などを含む。中間層が不連続となるように非常に薄い（約 0.1 nm から約 0.5 nm の範囲の）場合、自由磁性層 109、113 間に強磁性結合がある。中間層が連続的である場合、約 0.7 nm から約 1.1 nm の範囲の厚さでは層 109、113 間に数百エルステッド (Oe) の最大の大きさを有する反強磁性結合がある。より厚い中間層では、典型的には約 1.3 nm から約 1.5 nm の厚さ範囲において、結合は再び弱い強磁性になることがある。

【0016】

中間層 111 からの磁気結合に加えて、主としてビットの端部で生成された静磁場によって引き起こされる自由磁性層 109 と自由磁性層 113 との間の反強磁性 (AF) 結合もある。自由磁性層 109、113 間に所望の正味の結合を選択する場合、この AF 結合を考慮に入れることができる。スイッチング電流は、自由磁性層 109、113 間の弱い正味の強磁性結合または弱い正味の反強磁性結合のいずれかに対して低減することができる。

【0017】

自由磁性要素 108 は、磁化の固有または「デフォルト」の方向を規定する磁化容易軸を有する。MRAM セル 100 が、書き込み電流 126 の印加されていない定常状態にある場合、自由磁性要素 108 の磁化は自然にその容易軸に沿って向くことになる。MRAM

10

20

30

40

50

Mセル100は自由磁性要素108に対して特定の容易軸方向を定めるように適切に構成される。図1の関連で見ると、自由磁性要素108の磁化は右または左のいずれかに向かう。自由磁性層108の形状または結晶異方性などの異方性は、自由磁性要素108のそれぞれの容易軸の方向を決定する。図1に示された実施形態では、自由磁性要素108は多数の磁性層を含み、したがって、各磁性層が容易軸を有する。第1の磁性層109および第2の磁性層113の容易軸は、一実施形態では同じ方向である。図1に示されるように、磁性層109および113の磁化は共にそれらの容易軸に沿って右に向かっている。

【0018】

この例示的实施形態では、絶縁体110は自由磁性要素108と固定磁石要素112との間に配置される。一実施形態では、固定磁石要素112は固定磁性層、スペーサ層、ピン磁性層、および反強磁性ピニング層を含む。この実施形態では、絶縁体110は自由磁性要素108と固定磁性層118との間に配置される。絶縁体110は、電気絶縁体として機能することができる任意の好適な材料から形成される。例えば、絶縁体110は、Al、Mg、Si、Hf、Sr、Ti、Zrなどを含む酸化物または窒化物などの材料から形成することができる。MRAMセル100では、絶縁体110はトンネル障壁要素として働き、自由磁性要素108、絶縁体110、および固定磁石要素112の組合せはMTJを形成する。

【0019】

図示の実施形態では、固定磁石要素112は絶縁体110と分離トランジスタ114との間に配置される。固定磁石要素112は、磁化が自由磁性要素108の磁化と平行または反平行のいずれかである固定磁性層119を有する。一実施形態では、固定磁石要素はCoFeなどの単一の磁性材料である。

【0020】

別の実施形態では、固定磁石要素112は固定磁性層、スペーサ層、ピン磁性層、および反強磁性ピニング層を含む。この実施形態では、固定磁性層およびピン磁性層は反平行磁化を有する。固定磁性層およびピン磁性層は、元素Ni、Fe、Mn、Coのうちの少なくとも1つや、それらの合金や、Bもしくは0を有する合金や、NiMnSb、PtMnSb、Fe₃O₄、もしくはCrO₂などのいわゆる半金属強磁性体など、任意の好適な磁性材料から形成することができる。反強磁性層としては、例えば、IrMn、NiMn、FeMn、RhMn、またはPtMnを含むことができる。スペーサ層は、Ru、Os、Re、Cr、Rh、Cu、またはそれらの組合せを含む任意の好適な非磁性体から形成することができる。

【0021】

分離トランジスタ114は、電圧電位に結合された第1の電流電極と、固定磁性層122に結合された第2の電流電極と、選択されたときにセル100を通じて第1の導体102に電子を流すゲートとを含む。第1の導体102から分離トランジスタ114に電流を供給することによってセル100に書き込みを行う場合に、分離トランジスタ114がアドレス指定される。

【0022】

実際には、MRAMセル100は代替または追加の要素を使用することができ、図1に示された1つまたは複数の要素は、複合構造またはサブ要素の組合せとして実現することができる。図1に示された層の特定の構成は単に一実施形態を示している。

【0023】

図2は、別の実施形態による自由磁性要素108を示す。この実施形態では、自由磁性要素108は多数の自由磁性層131~134（すなわち、第1の自由磁性層131、第2の自由磁性層132、第3の自由磁性層133、および第4の自由磁性層134）を含む。自由磁性層131~134の対の間に中間層136~138（すなわち、第1の中間層136、第2の中間層137、および第3の中間層138）がある。自由磁性層131~134は、自由磁性層109、113について説明した材料や寸法のいずれかとするところができる。さらに、中間層136~138は、中間層111について説明した材料や寸

10

20

30

40

50

法のいずれかとすることができる。自由磁性層 109 および 112 に関して説明したように、自由磁性層 131 ~ 134 は、好ましくは、互いに同じ容易軸方向を有する。図 2 に示されるように、自由磁性層 131 ~ 134 の各々は、矢印 140 ~ 143 によって示されたような磁化方向を有する。また、図 2 に図示された実施形態で示されるように、自由磁性層 131 ~ 134 間には正味の強磁性結合があるが、それは電流が印加されていない状態で磁化方向が平行であるからである。自由磁性層 131 ~ 134 間に正味の反強磁性結合がある一実施形態では、各層の磁化方向は最隣接の両方と反平行になる。一実施形態では、自由磁性要素 108 は、埋め込み中間層をもつ 1 つの自由磁性材料と考えることができる。自由磁性層間にそれぞれ 1 つから 3 つの中間層をもつ 2 つまたは 4 つの自由磁性層を有する実施形態が、図 1 および図 2 に示されているが、これらは単に例であり、任意の数の自由磁性層および中間層が存在し得る（例えば、3 つの磁性層と 2 つの中間層、5 つの磁性層と 4 つの中間層、6 つの磁性層と 5 つの中間層など）ことが当業者なら理解し得る。自由層中の磁性層および中間層が多いほど、必要なスイッチング電流は低い。したがって、1 つまたは 2 つより多い磁性層および 1 つより多い中間層を有することは有利である。

10

【0024】

したがって、一実施形態では、メモリ・デバイスは、固定磁性層と、固定磁性層の上のトンネル障壁層と、トンネル障壁層の上に形成される自由磁性層とを含み、自由磁性層が、第 1 の自由磁性層と、第 1 の自由磁性層に弱く強磁性結合または反強磁性結合されている第 2 の自由磁性層と、第 2 の自由磁性層に弱く強磁性結合または反強磁性磁気結合されている第 3 の自由磁性層とを含む。一実施形態では、メモリ・デバイスは、第 1 の自由磁性層と第 2 の自由磁性層との間の第 1 の非磁性層と、第 2 の自由磁性層と第 3 の自由磁性層との間の第 2 の非磁性層とをさらに含み、ここで、第 1 の非磁性層は不連続な絶縁体である。一実施形態では、第 2 の非磁性層も不連続な絶縁体であり、それは第 1 の非磁性層と同じ絶縁体でもよいし、異なる絶縁体でもよい。

20

【0025】

図 3 は、MRAM セル 100 を含む MRAM アレイにデータを書き込むときに実行される一実施形態による MRAM 書き込み処理 300 のフローチャートである。処理 300 は、コンピュータ・システムなどにおける 1 つまたは複数の論理要素またはプロセッサ要素（例えば、図 5 を参照）によって実行または制御することができる。実用的な実施では、処理 300 は任意の数の追加または代替のタスクを含むことができ、処理 300 は、より複雑なメモリ制御読み出し / 書き込み手順に組み込むことができる。さらに、処理 300 に示されたタスクは図 3 に示された順番に実行する必要はなく、1 つまたは複数のタスクは同時に実行することができる。

30

【0026】

MRAM 書き込み処理 300 は、書き込みを行うために、MRAM アレイ中の MRAM セルを指定するタスク 302 から始まる。典型的な「2 次元」MRAM アレイでは、タスク 302 は行および列を特定して MRAM セルを指定する。MRAM セルが指定された後、分離トランジスタ 114 を選択することによって（タスク 304）、MRAM セルの行に結合されている導体線路に書き込み電流が印加され、その電流は指定された MRAM セルのビットを通過する。

40

【0027】

「1」ビットが書き込まれる場合（判断タスク 306）、MRAM 書き込み処理 300 は、指定された MRAM セルに第 1 の方向の書き込み電流を印加し（タスク 308）、その書き込み電流に応じて、指定された MRAM セルの自由磁性要素の磁化の方向が書き込み状態に切り替えられる（タスク 310）。指定された MRAM セルの自由磁性要素の磁化の方向は、指定された MRAM セルの固定磁性要素の磁化の方向と反平行になるように切り替えられる。

【0028】

「0」ビットが書き込まれる場合（判断タスク 306）、MRAM 書き込み処理 300

50

は、指定されたMRAMセルに第2の方向の書き込み電流を印加する(タスク312)。指定されたMRAMセルの自由磁性要素の磁化の方向は、指定されたMRAMセルの固定磁性要素の磁化の方向と平行になるように切り替えられる。

【0029】

図4～図7は、一実施形態に従ってどのようにスピン・トルク反転が図2の自由磁性要素108を移動するかを示す。図4～図7のすべての断面図は、各図の軸10によって示されるようなx-z面で得られた断面図である。図4は、書き込み電流が印加される前の自由磁性要素108を示し、各サブレイヤ131～134のスピン150～153はすべて同じ方向である。(スピン150～153は各サブレイヤ131～134の磁化方向を表す。)要素200は、x-y面における各サブレイヤ131～134のスピン150～153の方向を示す。サブレイヤ131～134のスピン150～153が同じ方向であるので、要素200の矢印はすべてのサブレイヤ131～134のスピン150～153を示す。電流が自由磁性要素108を通して送出されると、図示の実施形態では第4の自由磁性層134であるトンネル接合に最も近い層が、図5に示されるように、最初に反転する。同時に、第3の自由磁性層133が反転し始め、その後第2の自由磁性層132が続く。第1の自由磁性層131は依然として反転していない可能性がある。軸が図の状態で規定されるとき、反転はx-y面内でz軸のまわりに生じる。図示の実施形態では、スピン152は、要素210によって示されるように、スピン153に対して約60度回転される。したがって、スピン152は、より短い矢印の長さを有することによっておおよそ紙面から外に向いているように示される。図示の実施形態では、スピン151は、要素210によって示されるように、スピン150に対して約60度、およびスピン152に対して約60度回転される。したがって、要素108の磁性層132のスピン151を示す矢印も、スピン151が紙に対してある角度をなしているので矢印150よりも短く描かれている。

【0030】

一実施形態では約0.25ナノ秒とすることができるさらなる時間の後、図6に示されるように、第3の自由磁性層133は、第4の自由磁性層134のように、完全に反転しており、第2の自由磁性層132はより多く反転しており、第1の自由磁性層131は反転し始めている。要素220に示されているように、第2の自由磁性層132は、第3の自由磁性層133のスピン152に対して約60度、および第1の自由磁性層131のスピン150に対して約60度であるスピン151を有する。スピン151のこの方向は、スピン152を示す矢印よりも短い長さであるスピン151を示す矢印によって、しかしスピン151がスピン152と同じ方向に向いている状態で、要素108の磁性層132内に示されている。第1の自由磁性層131のスピン150はおおよそ紙面から外に向いているので、スピン150もより短い長さを有する矢印によって示されている。さらなる時間の後、図7に示されるように、サブレイヤはすべて反転している。自由磁性要素が約4ナノメートルの厚さであり、4つの磁性層を有する場合、全書き込み処理は約1ナノ秒とすることができる。要素230は、スピン150～153が、スイッチング電流の印加前のスピン150～153を示す要素200のスピン150～153と反対である(すなわち、それらから180度である)ことを示している。

【0031】

図4～図7に示されたスピンの反転は、x-y面においてz軸のまわりに右回りの方向に回転または反転するスピンを有していたことを当業者は認識する。しかし、スピンは左回りの方向に回転することができる。スピンが左回りの方向に回転した場合、スピンのあるものは紙面の中の方に向かい、それは、各スピンを円で囲んだ点とは対照的に、円で囲んだxによって示すことができる。

【0032】

したがって、図4～図7で示されるように、自由磁性要素108の下部(すなわち第4の自由磁性層134)から自由磁性要素108の上部(すなわち第1の自由磁性層131)まで自由磁性要素108を通して磁化の方向の連続した変化がある。自由磁性層の各々

が弱く磁気結合されているので、自由磁性要素 108 の z 方向の（下から上の、または逆の）順次スピン・トルク誘起反転が生じる。言い換えれば、弱い交換結合がスピン・トルク反転のような磁区壁を誘起する。約 10^6 エルステッド (Oe) 以上である強磁性体の交換結合よりも実質的に小さい任意の磁気結合が弱く結合される。一実施形態では、弱く結合された層は、約 -500 Oe から約 1000 Oe である。すべてのスピンの同時反転する従来のコヒーレント回転の代わりに順次スピン・トルク誘起反転を使用することによって、スイッチング事象は多数の層にわたって広がり、時間が遅延する。スイッチング・トルクが一度に 1 層にのみ与えられ、各層は自由磁性要素 108 の全体の厚さよりも薄いので、より低いスイッチング電流が印加される。例えば、ミクロ磁気シミュレーションによれば、各々が 1 nm 厚さである NiFe の 4 つの弱く強磁性結合された層を有する $0.08 \mu\text{m} \times 0.16 \mu\text{m}$ のサイズのビットの場合、スピン・トルク・スイッチング電流は全体にわたって強結合を有する連続的な 4 nm 厚さの NiFe 層の場合と比較して 2 分の 1 未満に低減されることが示された。さらに、自由磁性要素 108 の全体の厚さは依然として十分に大きく（例えば 4 ナノメートル）、その結果、熱効果に対する安定性が保持される。この安定性により、データを保持することが可能になる。

10

【0033】

図 4 ~ 図 7 に示された実施形態は強磁性結合を示している。しかし、結合は強磁性または反強磁性とすることができる。

自由磁性要素 108 のスピン・トルク回転が完了すれば、自由磁化の切替え（タスク 310 または 314）は完了している。MRAM 書き込み処理 300 の選択的書き込み法により、指定されない MRAM セルのすべての自由磁性要素の磁化方向は保持される（タスク 316）。指定された MRAM セルにデータが書き込まれた後、書き込み電流は除去される（タスク 318）。書き込み電流を除去した後、タスク 304 で選択された分離トランジスタの選択が解除される（タスク 320）。分離トランジスタの選択解除および書き込み電流の除去は、指定されたセルの書き込み状態を保存するために望ましい（タスク 322）。

20

【0034】

実用的 MRAM アーキテクチャは、個々の書き込み選択性を有する MRAM セル 100 のアレイまたはマトリクスを含むことができる。図 8 は、任意の数の MRAM セル 100 を使用することができる例示の MRAM アレイ 200 の概略図である。図 8 中の破線は、MRAM アレイ 200 が任意の数の行および任意の数の列を含むことができることを示す。この例では、各セル 100 はその所有する分離トランジスタ 202 に結合され、所与の行のセル 100 は共通書き込み線路 210、212、214 を共有する。MRAM アレイ 200 は、分離トランジスタ 202 の選択を制御する選択論理回路 218 と、該当する書き込み線路 210、212、214 への電流の選択または印加を制御するスピン・トランスファ書き込み電流選択論理回路 220 とを含む。図 3 に示された処理と同様の MRAM 書き込み処理を利用して、MRAM アレイ 200 にデータを書き込むことができる。

30

【0035】

同時に反転する自由磁性層をもつメモリ・デバイスに比べてスイッチング電流を低減させるメモリ・デバイスおよびメモリ・デバイスを切り替える方法が既に理解されているはずである。一実施形態では、これは、弱く磁気結合されているサブレイヤを含む自由磁性要素を使用し、その結果、スピン・トルク誘起反転が自由磁性要素を通して連続して進行することによって達成される。これにより、より低いプログラミング電圧を使用することが可能になり、トンネル障壁破壊が防止され、かつ、小さいパス・トランジスタを使用することが可能になり、したがってダイ面積が節約される。

40

【0036】

当然理解されるように、一実施形態では、メモリ・デバイスは、固定磁性層と、固定磁性層の上のトンネル障壁層と、トンネル障壁層の上に形成され、第 1 の層および第 2 の層を有する自由磁性構造であって、第 1 の層がある結合強度で第 2 の層に弱く磁気結合されるとともに、結合強度が最小のスピン・トルク・スイッチング電流を生成するように選ば

50

れる該自由磁性構造とを含む。一実施形態では、第 1 の層は第 2 の層に弱く強磁性結合される。一実施形態では、第 1 の層は第 2 の層に弱く反強磁性結合される。

【0037】

一実施形態では、メモリ・デバイスを切り替える方法は、固定磁性層を形成することと、固定磁性層の上にトンネル障壁層を形成することと、トンネル障壁層の上に自由磁性層を形成することとを含み、自由磁性層または構造が、第 1 の自由磁性材料である第 1 のサブレイヤまたは層をトンネル障壁層の上に形成することと、第 1 のサブレイヤに接する第 1 の中間層を形成することと、第 2 の自由磁性材料である第 2 のサブレイヤまたは層を第 1 の中間層に接するように形成することとを含む。さらに、この方法はメモリ・デバイスに書き込み電流を印加することを含む。ここで、書き込み電流を印加すると磁気スピンの連続して切り替わる。磁気スピンの連続して切り替わる一実施形態は、第 2 のサブレイヤの磁性スピンの切り替わる前に第 1 のサブレイヤの磁気スピンの切り替えることを含む。

【0038】

本発明を実施する装置は、その大部分が当業者に既知の電子構成要素および回路からなる。従って、回路の詳細は、本発明の基本的概念の理解および認識のためおよび本発明の教示を混乱または紛れがないように、上述の説明で必要と考えられるよりも広い範囲では説明されていない。

【0039】

さらに、上述の動作の機能間の境界は単に例示であることを当業者は認識する。多数の動作の機能は単一の動作に組み合わせることができるか、または単一の動作の機能は追加の動作に分割することができる。さらに、代替実施形態は特定の動作の多数の例を含むことができ、動作の順序は様々な他の実施形態において変更することができる。

【0040】

本発明を特定の実施形態を参照しながら本明細書で説明したが、添付の特許請求の範囲に記載されている本発明の範囲から逸脱することなく様々な変形および変更を行うことができる。したがって、明細書および図面は限定の意味ではなく例示と見なされるべきであり、そのような変形はすべて本発明の範囲に含まれるものである。特定の実施形態に関して本明細書で説明されている問題に対するいかなる利益、利点、または解決策も、特許請求の範囲のいずれかまたはすべての決定的、必須、または本質的な形体または要素として解釈されるべきものではない。

【0041】

本明細書で使用される「1つの」という用語は1つまたは1つを超えるものと規定される。さらに、本説明および特許請求の範囲における「前部」、「後部」、「上部」、「下部」、「上に」、「下に」などの用語は、もしあれば、説明の目的で使用されており、恒久的な相対位置を説明するために必ずしも使用されていない。そのように使用された用語は適切な状況下で交換可能であり、その結果、本明細書で説明された本発明の実施形態は、例えば、本明細書で説明された、あるいは説明された方位以外の方位で動作することができることが理解される。特に言明されない限り、「第1の」および「第2の」のような用語は、そのような用語が記述する要素間を便宜的に識別するために使用される。したがって、これらの用語は必ずしもそのような要素の時間の経過順または他の優先順位を示すものではない。

【0042】

様々な実施形態が以下で説明される。

1. 固定磁性層と、固定磁性層の上のトンネル障壁層と、トンネル障壁層の上に形成され、かつ、第1の自由磁性層と、第1の自由磁性層に接する第1の中間層と、第1の中間層に接するとともに第1の自由磁性層に弱く強磁性結合されている第2の自由磁性層とを含む自由磁性構造と、を備えるメモリ・デバイスであって、スピン偏極電子電流を自由磁性構造に作用させることによってプログラムされ得るメモリ・デバイス。

【0043】

2. 強磁性結合強度が50エルステッドから500エルステッドの間である、項目1に

記載のメモリ・デバイス。

3. 第1の中間層が、Ru、Rh、Os、およびReからなる群から選択された元素を含む、かつ、第1の中間層が約1.2ナノメートルから約1.7ナノメートルの範囲の厚さを有する、項目1に記載のメモリ・デバイス。

【0044】

4. 第1の中間層が絶縁材料を含む、項目1に記載のメモリ・デバイス。

5. 第1の中間層が、Si、Mg、Al、Ti、Ta、Hf、Fe、Ni、Co、V、およびZrからなる群から選択された元素からなる酸化物を含む、項目4に記載のメモリ・デバイス。

【0045】

6. 第1の中間層が導電性材料を含む、項目1に記載のメモリ・デバイス。

7. 第1の中間層が、Ta、Ti、Mg、Hf、Al、Ru、Os、Re、Rh、V、Cu、およびBからなる群から選択された元素からなる金属からなる、項目6に記載のメモリ・デバイス。

【0046】

8. 第1の中間層が約0.1nmから約1nmの範囲の厚さを有する、項目1に記載のメモリ・デバイス。

9. 固定磁性層と、固定磁性層の上のトンネル障壁層と、トンネル障壁層の上に形成された自由磁性構造であって、非磁性絶縁材料内に埋め込まれた自由磁性材料を含む自由磁性構造とを備えるメモリ・デバイス。

【0047】

10. 自由磁性構造が、弱く強磁性結合されている複数のサブレイヤを含む、項目9に記載のメモリ・デバイス。

11. 複数のサブレイヤが同じ材料である、項目10に記載のメモリ・デバイス。

【0048】

12. 複数のサブレイヤが異なる材料である、項目10に記載のメモリ・デバイス。

13. 非磁性絶縁材料が不連続である、項目9に記載のメモリ・デバイス。

14. 固定磁性層と、固定磁性層の上のトンネル障壁層と、トンネル障壁層の上に形成され、かつ、第1の自由磁性層と、第1の自由磁性層に弱く磁気結合されている第2の自由磁性層と、第2の自由磁性層に弱く磁気結合されている第3の自由磁性層とを含む自由磁性構造と、を備えるメモリ・デバイスであって、スピン偏極電子電流を自由磁性構造に作用させることによってプログラムされ得るメモリ・デバイス。

【0049】

15. 第2の自由磁性層が第1の自由磁性層に弱く強磁性結合される、項目14に記載のメモリ・デバイス。

16. 第2の自由磁性層が第1の自由磁性層に弱く反強磁性結合される、項目14に記載のメモリ・デバイス。

【0050】

17. 第1の自由磁性層と第2の自由磁性層との間に第1の中間層をさらに含む、項目16に記載のメモリ・デバイス。

18. 第1の中間層が、Rh、Ru、Re、Os、およびCuからなる群から選択された元素からなる金属を含む、項目17に記載のメモリ・デバイス。

【0051】

19. 第1の中間層が連続的な金属層を含む、項目17に記載のメモリ・デバイス。

20. 第1の中間層が、Si、Mg、Al、Ti、Ta、Fe、Ni、Co、V、およびZrからなる群から選択された元素からなる酸化物を含む、項目17に記載のメモリ・デバイス。

10

20

30

40

【図 1】

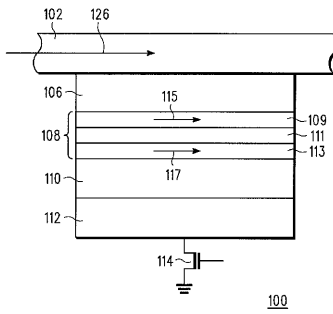


FIG. 1

【図 2】

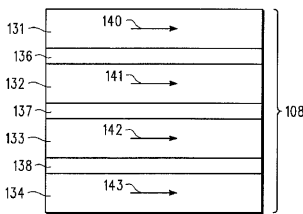


FIG. 2

【図 4】

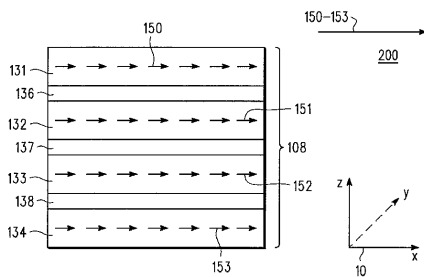


FIG. 4

【図 5】

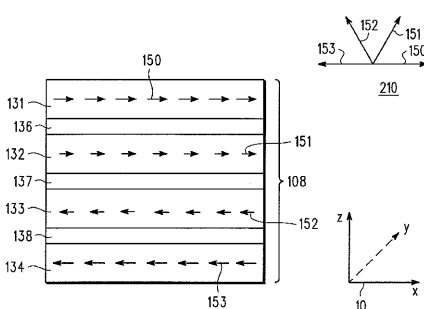
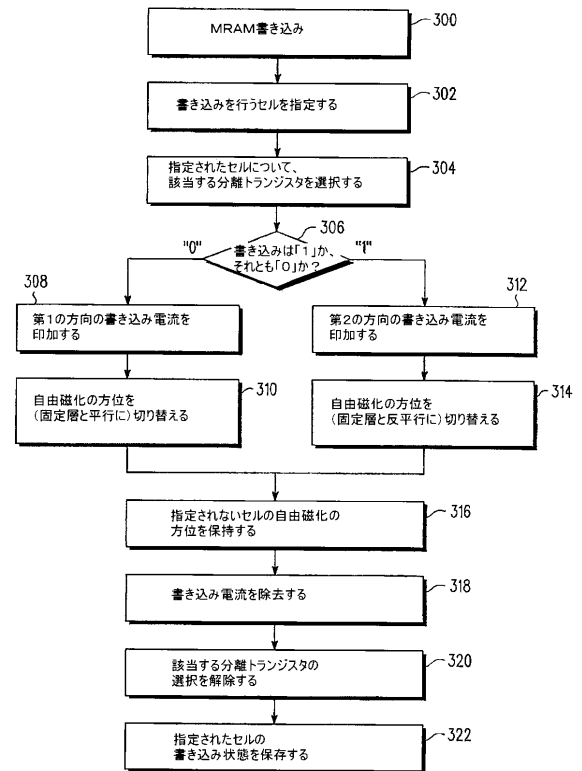


FIG. 5

【図 3】



【図 6】

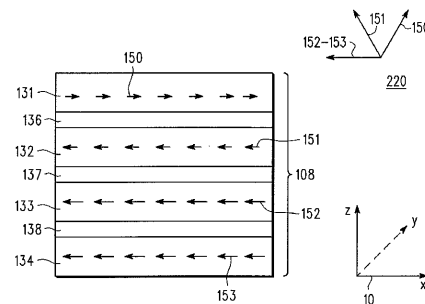


FIG. 6

【図 7】

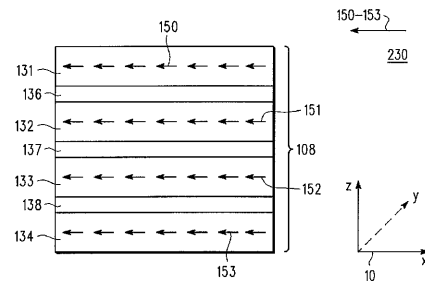
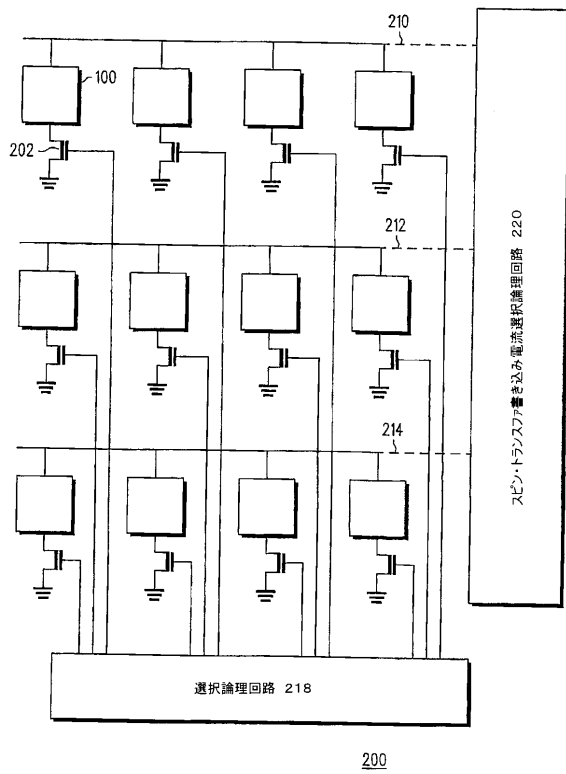


FIG. 7

【図 8】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2008/079471

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G11C11/16		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G11C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2007/075889 A (GRANDIS INC [US]; HUAI YIMING [US]; DIAO ZHITAO [US]; PANCHULA ALEX [U] 5 July 2007 (2007-07-05) abstract figure 4 paragraphs [0017] - [0019] paragraphs [0032] - [0034] -----	1-20
X	US 2007/195594 A1 (KOGA KEIJI [JP]) 23 August 2007 (2007-08-23) abstract figure 1 paragraphs [0054] - [0060] paragraph [0076] ----- -/-	1-20
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 12 January 2009		Date of mailing of the international search report 20/01/2009
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel: (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Operti, Antonio

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2008/079471

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	US 2007/263429 A1 (YAMAMOTO TETSUYA [JP] ET AL) 15 November 2007 (2007-11-15) abstract the whole document	1-20
A	----- US 2004/085681 A1 (KAI TADASHI [JP] ET AL) 6 May 2004 (2004-05-06) abstract the whole document -----	1-20

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2008/079471

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2007075889 A	05-07-2007	KR 20080078079 A US 2007171694 A1	26-08-2008 26-07-2007
US 2007195594 A1	23-08-2007	JP 2007227653 A	06-09-2007
US 2007263429 A1	15-11-2007	CN 101071628 A JP 2007305882 A	14-11-2007 22-11-2007
US 2004085681 A1	06-05-2004	JP 3699954 B2 JP 2004146688 A US 2006114716 A1	28-09-2005 20-05-2004 01-06-2006

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)
H 0 1 L 29/82 (2006.01) H 0 1 L 29/82 Z

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 リゾ、ニコラス
 アメリカ合衆国 8 5 2 3 4 アリゾナ州 ギルバート エヌ . パームスプリングス ドライブ
 1 2 3 8

(72)発明者 メイザー、フィリップ
 アメリカ合衆国 8 5 2 3 8 アリゾナ州 マリコパ ウェスト キャベン ドライブ 4 3 7 1
 8

F ターム(参考) 4M119 AA03 AA06 AA11 BB01 CC05 DD05 DD33 DD45 EE22 EE27
 5F092 AA01 AB08 AC12 AD03 AD25 BB17 BB22 BB23 BB24 BB25
 BB33 BB34 BB35 BB36 BB37 BB42 BB43 BB44 BB45 BB53
 BB55 BB90 BC04 BC07 BC08 BC13 BC33 BC39 BE27