

(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2008-507854

(P2008-507854A)

(43) 公表日 平成20年3月13日(2008.3.13)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 43/08 (2006.01)	H O 1 L 43/08 Z	2 G O 1 7
H O 1 L 43/12 (2006.01)	H O 1 L 43/12	4 M 1 1 9
H O 1 L 21/8246 (2006.01)	H O 1 L 27/10 4 4 7	5 D O 3 4
H O 1 L 27/105 (2006.01)	G 1 1 B 5/39	5 E O 4 9
G 1 1 B 5/39 (2006.01)	G O 1 R 33/06 R	5 F O 9 2
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 15 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2007-523558 (P2007-523558)
(86) (22) 出願日 平成17年6月16日 (2005. 6. 16)
(85) 翻訳文提出日 平成18年12月25日 (2006. 12. 25)
(86) 国際出願番号 PCT/US2005/021311
(87) 国際公開番号 W02006/023018
(87) 国際公開日 平成18年3月2日 (2006. 3. 2)
(31) 優先権主張番号 10/899, 610
(32) 優先日 平成16年7月26日 (2004. 7. 26)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

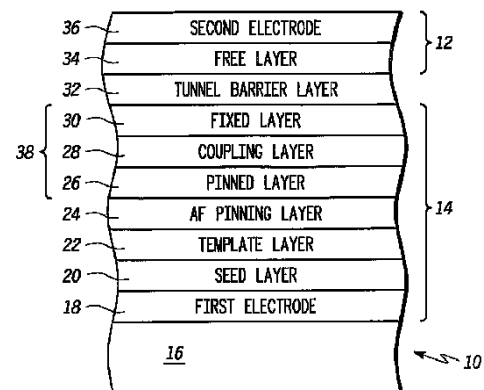
(71) 出願人 504199127
フリースケール セミコンダクター イン
コーポレイテッド
アメリカ合衆国 7 8 7 3 5 テキサス州
オースティン ウィリアム キャノン
ドライブ ウェスト 6 5 0 1
(74) 代理人 100116322
弁理士 桑垣 衛
(72) 発明者 サン、ジジュン
アメリカ合衆国 8 5 2 4 9 アリゾナ州
チャンドラー イー. アクエリアス プ
レイス 9 3 3

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気トンネル接合素子構造と磁気トンネル接合素子構造の製造方法

(57) 【要約】

磁気トンネル接合 (MTJ) 素子構造とMTJ素子構造の製造方法とが提供される。MTJ素子構造 (10) は、結晶質ピン層 (26)、非晶質固定層 (30)、および前記結晶質ピン層と前記非晶質固定層の間に配置された結合層 (28) を含み得る。非晶質固定層 (30) は結晶質ピン層 (26) に反強磁性的に結合される。前記MTJ素子は更に、自由層 (34) と、前記非晶質固定層と前記自由層の間に配置されたトンネル障壁層 (32) を含む。別のMTJ素子構造 (60) は、ピン層 (26)、固定層 (30)、およびそれらの間に配置された非磁性結合層 (28) を含み得る。固定層 (30) と自由層 (34) の間にトンネル障壁層 (32) が配置される。トンネル障壁層 (32) と非晶質材料層 (30) に隣接してインタフェース層 (62) が配置される。第1インタフェース層 (62) は、非晶質材料 (30) のスピン偏極よりも大きいスピン偏極を有する材料で構成される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

結晶質ピン強磁性層と、非晶質固定強磁性層と、前記結晶質ピン強磁性層と前記非晶質固定強磁性層の間に配置された非磁性結合層とを含み、前記非晶質固定強磁性層は前記結晶質ピン強磁性層に反強磁性的に結合された合成反強磁性体ピン構造と、

自由強磁性層を含む第 1 電極スタックと、

前記合成反強磁性体ピン構造と前記第 1 電極スタックとの間に配置されたトンネル障壁層と

を備えたことを特徴とする磁気トンネル接合素子。

【請求項 2】

前記結晶質ピン強磁性層に近接して配置された反強磁性ピニング層を更に備え、前記結晶質ピン強磁性層は前記反強磁性ピニング層と交換結合されることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 3】

前記非晶質固定強磁性層は化学式 CoFeX を有する材料で構成され、前記 X はホウ素、タンタル、炭素、およびハフニウムからなるグループから選択された少なくとも一つの材料で構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 4】

前記自由強磁性層は非晶質材料または結晶質材料の一つで構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 5】

前記自由強磁性層は二つの強磁性層と前記二つの強磁性層の間に配置された非磁性層とを有する S A F 構造で構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 6】

前記第 1 電極スタックは前記自由強磁性層に近接して配置された電極層を更に含むことを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 7】

前記結晶質ピン強磁性層は化学式 CoFeX を有する材料で構成され、前記 X はホウ素、タンタル、ハフニウム、および炭素からなるグループから選択された少なくとも一つの材料で構成されていることを特徴とする請求項 6 に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 8】

前記非磁性結合層はルテニウム、レニウム、オスミウム、ロジウム、およびそのいずれかの組み合わせからなるグループから選択された材料で構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 9】

ピン強磁性層と、固定強磁性層と、前記ピン強磁性層と前記固定強磁性層との間に配置された非磁性結合層とを含み、前記固定強磁性層は前記ピン強磁性層に反強磁性的に結合された合成反強磁性体ピン構造と、

自由強磁性層を含む第 1 電極スタックと、

前記合成反強磁性体ピン構造と前記第 1 電極スタックとの間に配置されたトンネル障壁層と、

前記トンネル障壁層と非晶質材料層とに隣接して配置された第 1 インタフェース層とを備え、

前記第 1 インタフェース層は前記非晶質材料層のスピンの偏極よりも大きいスピンの偏極を有する材料で構成されていることを特徴とする磁気トンネル接合素子。

【請求項 10】

前記非晶質材料層は化学式 CoFeX を有する材料で構成され、前記 X はホウ素、タンタル、ハフニウム、および炭素からなるグループから選択された少なくとも一つの材料で構成され、前記第 1 インタフェース層は CoFe で構成されていることを特徴とする請求

10

20

30

40

50

項 9 に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 1 1】

前記固定強磁性層は非晶質材料層で構成され、前記第 1 インタフェース層は前記トンネル障壁層と前記固定強磁性層との間に配置され、前記第 1 インタフェース層は前記固定強磁性層のスピン偏極よりも大きいスピン偏極を有する材料で構成されていることを特徴とする請求項 9 に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 1 2】

前記自由強磁性層は非晶質材料で構成され、当該磁気トンネル接合素子は前記トンネル障壁層と前記自由強磁性層との間に配置された第 2 インタフェース層を更に備え、該第 2 インタフェース層は前記自由強磁性層のスピン偏極よりも大きいスピン偏極を有する材料で構成されていることを特徴とする請求項 1 1 に記載の磁気トンネル接合素子。

10

【請求項 1 3】

前記自由強磁性層は非磁性結合層によって分離された二つの強磁性材料層を有する S A F 構造で構成されていることを特徴とする請求項 1 2 に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 1 4】

前記自由強磁性層は非晶質材料層で構成され、前記第 1 インタフェース層は前記トンネル障壁層と前記自由強磁性層との間に配置され、前記第 1 インタフェース層は前記自由強磁性層のスピン偏極よりも大きいスピン偏極を有する材料で構成されていることを特徴とする請求項 9 に記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 1 5】

前記自由強磁性層は非磁性結合層によって分離された二つの強磁性材料層を有する S A F 構造で構成されていることを特徴とする請求項 1 4 に記載の磁気トンネル接合素子。

20

【請求項 1 6】

磁気トンネル接合素子の形成方法であって、

第 1 強磁性層の上に、表面を有する第 1 結合層を形成するステップと、

前記第 1 結合層の表面を第 1 表面改質剤に曝すステップと、

表面が改質された第 1 結合層の上に第 2 強磁性層を堆積させるステップと、

前記第 2 強磁性層の上にトンネル障壁層を形成するステップと、

前記トンネル障壁層の上に電極スタックを形成するステップと

で構成されることを特徴とする方法。

30

【請求項 1 7】

前記第 1 結合層の表面を第 1 表面改質剤に曝すステップは、前記第 1 結合層の表面を酸素に曝すステップで構成されていることを特徴とする請求項 1 6 に記載の磁気トンネル接合素子の形成記載の方法。

【請求項 1 8】

前記第 1 結合層の表面を第 1 表面改質剤に曝すステップは、前記第 1 結合層の表面を空気、Ar / O₂ 混合物、または N₂ / O₂ 混合物に曝すステップで構成されていることを特徴とする請求項 1 6 に記載の磁気トンネル接合素子の形成方法。

【請求項 1 9】

第 1 強磁性層の上に第 1 結合層を形成するステップは、ピン強磁性層の上に第 1 結合層を形成するステップで構成され、表面が改質された第 1 結合層の上に第 2 強磁性層を堆積させるステップは、表面が改質された第 1 結合層の上に固定強磁性層を堆積させるステップで構成されていることを特徴とする請求項 1 6 に記載の磁気トンネル接合素子の形成方法。

40

【請求項 2 0】

前記トンネル障壁層の上に電極スタックを形成するステップは、前記トンネル障壁層の上に自由強磁性層を形成するステップで構成され、前記トンネル障壁層の上に自由強磁性層を形成するステップは、

前記トンネル障壁層の上に第 3 強磁性層を堆積させるステップと、

前記第 3 強磁性層の上に第 2 結合層を形成するステップと、

50

前記第 2 結合層の上に第 4 強磁性層を堆積させるステップとで構成され、

前記第 2 結合層の上に第 4 強磁性層を堆積させるステップは、前記第 2 結合層の上に第 4 強磁性層を堆積させるステップの前に前記第 2 結合層を第 2 表面改質剤に曝すステップを更に備え、前記第 2 結合層の表面を第 2 表面改質剤に曝すステップは、前記第 2 結合層の表面を酸素に曝すステップで構成されていることを特徴とする請求項 16 に記載の磁気トンネル接合素子の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

本発明は、一般に、磁気電子デバイスに関し、より詳しくは、磁気トンネル接合素子構造と磁気トンネル接合素子構造の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

磁気電子デバイス、スピン電子デバイス、およびスピントロニクスデバイスは、主として電子スピンによって生じる効果を用いるデバイスに対する同義語である。磁気電子効果は、多くの情報デバイスにおいて用いられ、不揮発性、高信頼性、耐放射線性、および高密度のデータ蓄積および検索を実現する。多くの磁気電子情報デバイスは、磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM)、磁気センサー、およびディスク駆動装置用読み取り書き込みヘッドを含むが、これらに限定されない。

20

【0003】

一般的に、磁気記憶素子などの磁気電子デバイスは、少なくとも一つの非磁性層によって分離された多数の強磁性層を含む構造を有している。磁気記憶素子においては、情報は磁性層の中の磁化ベクトルの方向として記憶される。例えば、一つの磁性層の中の磁化ベクトルは磁氣的に固定すなわちピンされるが、他の磁性層の磁化方向は、それぞれ「平行」状態および「逆平行」状態と呼ばれる同方向と反対方向の間で自由に切り替わることができる。平行状態と逆平行状態に応じて、磁気記憶素子は二つの異なる抵抗を表す。抵抗は、二つの磁性層の磁化ベクトルがほぼ同じ方向を向くとき最小値となり、ほぼ反対方向を向くとき最大値となる。従って、抵抗変化の検出により、MRAM デバイスなどのデバイスが磁気記憶素子に記憶された情報を供給することができる。最小抵抗値と最大抵抗値の差を最小抵抗値で割った値は磁気抵抗比 (MR) として知られている。

30

【0004】

磁気記憶素子の一つの形式である磁気トンネル接合 (MTJ) 素子は、外部磁界に関して固定された磁化方向を有する固定強磁性層と、外部磁界と共に自由に回転することができる磁化方向を有する自由強磁性層とを備えている。固定層と自由層は絶縁トンネル障壁層によって分離されており、絶縁トンネル障壁層は、自由強磁性層と固定強磁性層の間の絶縁トンネル障壁層をトンネル通過するスピン偏極電子の現象に依拠している。トンネル現象は電子スピンに依存しており、MTJ 素子の磁気応答を、自由強磁性層と固定強磁性層の間の伝導電子の相対位置とスピン偏極の関数にする。

【0005】

40

トンネル障壁層は、MR がトンネル障壁品質に強く依存しているので、MTJ 素子の性能にとって重要である。特に、トンネル障壁の表面平滑性は、高品質 MTJ デバイスを作るのに重大な役割を果たす。一般的に、トンネル障壁の表面粗さは、障壁を通じての非トンネル電流の流れまたは下部強磁性層内の最重要部の過剰酸化のために、MR の減少につながり、このことは結果として、MTJ デバイス製造における信頼性、従ってプロセス歩留まりを減少させる。また、磁気電子デバイスの未来世代、例えば MRAM は寸法がますます小さくされるために、より薄いトンネル障壁層が要求される。従って、将来デバイスにおいてトンネル障壁層が薄くなるにつれて、表面平滑性がますます重要となる。

【0006】

従って、表面粗さの少ないトンネル障壁層を有する MTJ 素子を提供することは望まし

50

い。更に、改善された電気特性を有するMJT素子の製造プロセスを提供することは望ましい。また、本発明の他の望ましい特徴と特性は、添付図面および背景技術と共に、本発明の後述する詳細な説明および特許請求の範囲から明らかとなる。

【0007】

本発明を以下に添付図面と共に説明する。添付図面において同様の数字は同様の要素を示す。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

本発明の以下の詳細な説明は、本質的には単に例であって、本発明または本発明の応用と使用方法を制限するものではない。また、前述の背景技術または本発明の以下の詳細な説明に示されたいかなる理論によっても束縛されるものではない。

【0009】

図1を参照すると、本発明の一つの典型的な実施態様によるMTJ素子10は、基板16、第1電極の多層スタック14、第2電極の多層スタック12、および第1電極の多層スタック14と第2電極の多層スタック12の間に配置された絶縁トンネル障壁層32を備えている。基板16は、例えば誘電材料などの適当な絶縁材料で構成することができる。第1電極の多層スタック14と第2電極の多層スタック12は、以下により詳しく説明するように、強磁性層を含んでいる。トンネル障壁層32は誘電材料で形成されるのが好ましく、酸化アルミニウム(AlO_x)で形成されるのが更に好ましい。トンネル障壁層32は、適当な厚みを有することができるが、約7オングストロームから約15オングストロームの範囲の厚みを有するのが好ましい。第1多層スタック14、第2多層スタック12、およびトンネル障壁層32の各層は、例えば、イオンビーム蒸着、物理蒸着(PVD)、分子ビームエピタキシ(MBE)などの適当な堆積プロセスによって形成することができる。

【0010】

第1電極の多層スタック14は、基板16の上に形成された第1電極層すなわちベース電極層18を備えている。第1電極層18は一つの導電材料または層で構成してもよいし、あるいは、第1電極層18は2以上の導電材料または層の多層スタックとしてもよい。いずれの場合においても、第1電極層18は第1電極の多層スタック14の各層と電氣的に接触する。

【0011】

本発明の一実施態様では、第1電極の多層スタック14は第1電極層18の上に堆積されたシード層20を含んでいる。シード層20は、以下に更に詳細に説明する反強磁性AFピニング層24のその後の形成を支援するのに適した適当な材料で形成することができる。シード層20を形成するのに適した材料の例としては、例えば、タンタル(Ta)または窒化タンタル(TaN_x)があり、これらは、比較的薄い、好ましくは、100オングストロームよりも少ない、最も好ましくは約50オングストロームよりも少ないタンタル層の、反応性スパッタリング、または、プラズマまたはイオンビーム窒化によって製作される。シード層20は第1電極層18とは別の層としてもよいし、または第1電極層18と同じ層で構成してもよい。第1電極の多層スタック14はまた、シード層20の上のオブションのテンプレート層22を含み得る。テンプレート層22は、ニッケル鉄(NiFe)合金、ニッケル鉄コバルト(NiFeCo)合金、ルテニウム(Ru)、タンタル(Ta)、アルミニウム(Al)、または、反強磁性ピニング層24の成長を助長するのに適した他の材料で構成することができる。反強磁性ピニング層24は、シード層20とテンプレート層22またはそのいずれかの上に配置される。反強磁性ピニング層24は、適当な反強磁性材料から形成することができるが、一般組成 MnX のマンガン合金で構成するのが好ましい。ここで、Xは、好ましくはプラチナ(Pt)、パラジウム(Pd)、ニッケル(Ni)、イリジウム(Ir)、オスミウム(Os)、ルテニウム(Ru)、または鉄(Fe)のグループから選択された1または複数の材料である。

【0012】

反強磁性ピニング層 24 の上にはピン強磁性層 26 が形成され、反強磁性ピニング層 24 と交換結合され、反強磁性ピニング層 24 はピン強磁性層 26 の磁気モーメントを一方に固定すなわちピンする。ピン強磁性層 26 は構造が結晶質であり、例えば、 CoFe または CoFeX などのコバルト鉄合金で形成することができる。ここで、 X は、ホウ素 (B)、タンタル (Ta)、ハフニウム (Hf)、または炭素 (C) で構成することができる。ピン強磁性層 26 の上にある金属結合層 28 の上には非晶質固定強磁性層 30 が形成されている。本書において使用されるとき、用語「非晶質」は、通常の X 線回折測定を用いて容易に識別可能なピークを生じさせるか、電子回折測定を用いて識別可能なパターンイメージを生じさせるような長距離結晶秩序がない 1 または複数の材料を意味するものとする。本発明の一実施態様では、非晶質固定強磁性層 30 は、コバルト (Co) と鉄 (Fe) とホウ素 (B) の合金で形成することができる。例えば、非晶質固定層 30 は、コバルト 71.2 原子数%、鉄 8.8 原子数%、ホウ素 20 原子数% からなる合金で形成することができる。この組成はホウ素が追加された CoFe 合金であり、 $(\text{Co}_{89}\text{Fe}_{11})_{80}\text{B}_{20}$ と表すことができる。しかしながら、他の適当な合金組成、例えば、 CoFeX (X は、タンタル、ハフニウム、ホウ素、炭素などの 1 または複数とすることができる)、または、コバルトと鉄またはそのいずれかからなる合金を使って非晶質固定層 30 を形成することができることは明らかである。金属結合層 28 は、結晶質ピン層 26 と非晶質固定層 30 を反強磁性的に結合するのに役立つ適当な材料、例えば、ルテニウム、レニウム、オスミウム、ロジウム、またはそれらの合金で形成することができるが、ルテニウムで形成するのが好ましい。金属結合層 28 と結晶質ピン層 26 と非晶質固定層 30 は、合成反強磁性体 (SAF) 構造 38 を作る。金属結合層 28 を通じてもたらされる SAF 構造の反強磁性結合は、印加磁界の中で MTJ 素子 10 をより安定にする。更に、強磁性層 26 と 30 の厚みを変えることによって、自由層に対する静磁気結合を相殺することができ、ヒステリシス曲線を中央に持ってくることができる。

10

20

30

40

50

【0013】

非晶質構造の性質のために、即ち、非晶質構造が実質的な結晶粒界を持たないために、 SAF 構造 38 の非晶質固定層 30 は、トンネル障壁層 32 を結晶質または多結晶質固定層の上に成長させた場合よりも平滑な表面を有するトンネル障壁層 32 の成長を助長する。トンネル障壁層のより平滑な表面は MTJ 素子 10 の磁気抵抗を改善する。更に、 SAF 構造 38 の結晶質ピン層 26 は十分な反強磁性結合強度を生じるので、 SAF 構造は外部磁界の中で安定する。従って、非晶質固定層と結晶質ピン層は、 MTJ 素子 10 の性能、信頼性、および製造可能性を改善するのに役立つ。

【0014】

第 2 電極の多層スタック 12 は、自由強磁性層 34 と保護第 2 電極層 36 で構成されている。第 2 電極層 36 は、適当な導電材料、例えばタンタルで形成することができる。本発明の好ましい実施態様では、第 2 電極層 36 は、2 以上の材料層、例えばタンタル層とその上の窒化タンタル層で構成することができる。自由強磁性層 34 の磁気モーメントは、交換結合によって実質的に固定またはピンされておらず、印加磁界のある所でほぼ自由に回転することができる。自由層 34 は、非晶質または結晶質の構造を有することができる。適当な合金組成、例えば、 CoFeX (X は、ホウ素、タンタル、ハフニウム、炭素などとすることができる)、または、ニッケルと鉄からなる合金、またはコバルトとニッケルと鉄からなる合金で形成することができる。自由層 34 は、一つの材料層で構成してもよいし、多数の層で構成してもよい。例えば、本発明の一実施態様では、自由層 34 は一つの NiFeCo 層で構成することができる。本発明の別の実施態様では、自由層 34 は、例えば、ルテニウム、レニウム、オスミウム、ロジウム、それらの合金などの導電材料の結合層によって分離された、 NiFe などの強磁性材料の二つの層で構成された SAF 構造とすることができる。

【0015】

図 1 と上記付随説明は、 AF ピニング層の上の結晶質ピン層と、前記結晶質ピン層の上の金属結合層と、前記結合層の上の非晶質固定層と、前記固定層の上のトンネル障壁層と

、前記トンネル障壁層の上の自由層または自由 S A F 構造とを有する M T J 素子 1 0 を開示しているが、本発明はそれに限定されないことは明らかである。それどころか、本発明は、自由層または自由 S A F 構造の上のトンネル障壁層と、前記トンネル障壁層の上の非晶質固定層と、前記非晶質固定層の上の金属結合層と、前記金属結合層の上の結晶質ピン層と、前記ピン層の上の A F ピニング層とを有する逆または反転構造を持った M T J 素子に対して使用することもできる。

【 0 0 1 6 】

図 2 は、本発明の別の実施態様による M T J 素子 6 0 を示す。M T J 素子 6 0 は図 1 の M T J 素子 1 0 と類似しており、同じ参照番号は同じまたは類似の層を示す。M T J 素子 6 0 は、基板 1 6、第 1 電極の多層スタック 1 4、第 2 電極の多層スタック 1 2、および第 1 電極の多層スタック 1 4 と第 2 電極の多層スタック 1 2 の間に配置された絶縁トンネル障壁層 3 2 を備えている。図 1 を参照して M T J 素子 1 0 に対して上述したように、第 1 電極スタック 1 4 は、第 1 電極 1 8、シード層 2 0、テンプレート層 2 2、反強磁性ピニング層 2 4、結晶質強磁性ピン層 2 6、結合層 2 8、および非晶質強磁性固定層 3 0 で構成することができる。同様に、M T J 素子 6 0 の第 2 電極の多層スタック 1 2 は、第 2 電極 3 6 と自由層 3 4 で構成することができ、自由層 3 4 は一つの強磁性層で構成してもよいし、S A F 構造のような多数層で構成してもよい。

【 0 0 1 7 】

本発明の一実施態様では、M T J 素子 6 0 は、非晶質固定層 3 0 とトンネル障壁層 3 2 の間に形成されたインタフェース層 6 2 を更に備えている。本発明の別の実施態様では、自由層 3 4 が非晶質材料の一つの層または多数層である場合、M T J 素子は、トンネル障壁層 3 2 と非晶質自由層 3 4 の間に形成されたインタフェース層 6 4 を備えることができる。本発明の更に別の実施態様では、M T J 素子 6 0 はインタフェース層 6 2 とインタフェース層 6 4 の両方を備えることができる。M T J 素子 6 0 の磁気抵抗はトンネル障壁層 3 2 のどちらかの表面に隣接した各強磁性層のスピン偏極の積に比例するので、インタフェース層 6 2 とインタフェース層 6 4 またはそのいずれかを M T J 素子 6 0 の磁気抵抗を高めるために使用することができる。従って、インタフェース層 6 2 と 6 4 は非晶質、結晶質、または多結晶質とすることができ、「高スピン偏極材料」で形成することができる。本書において使用されるとき、用語「高スピン偏極材料」は、それが隣接した非晶質強磁性材料のスピン偏極よりも大きいスピン偏極を有する材料を意味する。従って、インタフェース 6 2 は非晶質固定層 3 0 のスピン偏極よりも大きいスピン偏極を有する材料で形成することができる。同様に、インタフェース層 6 4 は非晶質自由層 3 4 のスピン偏極よりも大きいスピン偏極を有する材料で形成することができる。例えば、本発明の一実施態様では、非晶質固定層 3 0 を C o F e B で構成することができ、インタフェース層 6 2 を C o F e で構成することができる。同様に、非晶質自由層 3 4 を C o F e B で構成することができ、インタフェース層 6 4 を C o F e で構成することができる。しかしながら、インタフェース層 6 2 と 6 4 が C o F e X でも構成できることは明らかである。ここで、X は、ホウ素、タンタル、ハフニウム、炭素などで構成することができ、X は 5 原子数 % 未満である。あるいは、インタフェース層 6 2 と 6 4 は他のコバルト含有合金または他の鉄含有合金で構成してもよい。インタフェース層 6 2 かインタフェース層 6 4 またはその両方の使用は、例えば、M T J 素子の目標磁気特性、M T J 素子の目標電気特性、M T J 素子の用途などの種々の要因によって決めることができる。

【 0 0 1 8 】

インタフェース層 6 2 と 6 4 は十分薄いので、それらは固定層 3 0 と自由層 3 4 またはそのいずれかが非晶質性であるための M T J デバイス性能の改善を妨げることはない。本発明の一実施態様では、インタフェース層 6 2 と 6 4 は 1 5 オングストローム以下の厚みを有している。インタフェース層 6 2 と 6 4 は 1 0 オングストローム以下の厚みを有するのが好ましく、5 オングストローム以下の厚みを有するのが更に好ましい。また、固定層 3 0 と自由層 3 4 またはそのいずれかの非晶質性は、M T J 素子 6 0 の電気特性、例えば、磁気抵抗の大きさ、磁気抵抗の安定性、反強磁性結合強度（飽和磁界（ H_{sat} ）によっ

10

20

30

40

50

て決定される)などを改善することができるが、MTJ素子60の中のインタフェース層62とインタフェース層64またはそのいずれかの存在もまた、MTJ素子の磁気抵抗を増やすことによって電気特性を改善することができる。

【0019】

図3は、図1および図2に示された構造を始めとする半導体構造を製造するための本発明の典型的な実施態様によるプロセス100のフローチャートである。このプロセス100は、基板、例えば図1および図2の基板16を提供し(ステップ102)、基板16の上に第1電極層18を形成する(ステップ104)ことによって始まり得る。上に述べたように、第1電極層18は、その後に形成される層と電気接触を行う金属または他の導電材料の1または複数の層で構成することができる。シード層20は、第1電極層18の上に堆積させることができる(ステップ106)。シード層20は第1電極層18とは別の層としてもよいし、あるいは、第1電極層18と同じ層で構成してもよい。次に、オプションのテンプレート層22を、シード層20と第1電極層18またはそのいずれかのの上に作ることができる(ステップ108)。

10

【0020】

プロセス100は更に、オプションのテンプレート層22、シード層20および第1電極層18の少なくともいずれか一つの上に反強磁性ピニング層24を堆積させるステップ(ステップ110)と、反強磁性ピニング層24の上に結晶質ピン強磁性層26を、ピン強磁性層26が反強磁性ピニング層24と交換結合されるように形成するステップ(ステップ112)を含むことができる。次に、金属結合層28をピン強磁性層26の上に堆積させる(ステップ114)。上に述べたように、金属結合層28は、適当な厚みの、結晶質ピン層26を上にある非晶質固定層30と反強磁性的に結合させるのに役立つ適当な材料で形成することができる。金属結合層28を形成するのに適した材料には、ルテニウム、オスミウム、ロジウム、レニウムなどと、それらの合金がある。金属結合層28はルテニウムで形成するのが好ましい。

20

【0021】

本発明の一実施態様によれば、金属結合層28は次に、金属結合層28の露出表面を改質させる表面改質剤に曝される(ステップ116)。本書において使用されるとき、用語「表面改質剤」は、金属結合層28の上にそれに続いて形成される固定層30が、その上にトンネル障壁層が形成されることができる平滑な表面であって、金属結合層がそのように改質されなかったならば表さないであろうよりも平滑な表面を表すように、金属結合層28の表面を改質する適当な材料を意味する。従って、表面改質剤はMTJ素子のMRを増加させる。表面改質剤はまた、降伏電圧を改善し、MTJ素子の中のトンネルホットスポットを少なくすることができ、従って、歩留まりを増やすことができ、MTJ素子アレイのビット抵抗分散を狭くすることができる。

30

【0022】

本発明の一実施態様では、表面改質剤は酸素で構成される。この点については、金属結合層28は、室温において約 10^{-5} トルから約 10^{-1} トルの量(圧力×露出時間)を有する酸素環境に曝することができる。金属結合層28は、酸素が金属結合層28の露出表面を改質させるのに十分長い時間であるが、金属結合層28によってもたらされる反強磁性結合が実質的に減少しないほど十分短い時間、酸素環境に曝される。本発明の一実施態様では、金属結合層は、標準的な測定技術によって識別できる厚みに酸素を堆積しない十分短い時間、酸素環境に曝される。本発明の好ましい実施態様では、金属結合層28は、酸素の2より多い単一層を金属結合層28の露出表面に堆積させない時間、酸素環境に曝される。表面改質剤は、例えば、空気、アルゴン(Ar)/酸素(O₂)混合物、または窒素(N₂)/酸素(O₂)混合物などの、酸素以外の材料が酸素に付加された材料で構成することができることは明らかである。

40

【0023】

金属結合層28の露出表面の改質後、金属結合層28の上に固定強磁性層を堆積させることができる(ステップ118)。本発明の一実施態様では、固定強磁性層は、例えば、

50

C o F e または他の適当なコバルト合金と鉄合金またはそのいずれかといった結晶質強磁性材料で形成することができる。本発明の更に別の好ましい実施態様では、固定強磁性層は非晶質とすることができ、例えば、図 1 および図 2 を参照して上述した非晶質固定層 30 とすることができ、この点については、非晶質固定層は、C o F e X (X はホウ素、炭素、タンタル、ハフニウムなどとすることができ) などの非晶質強磁性合金で形成してもよいし、またはコバルトと鉄またはそのいずれかの他の合金で形成してもよい。

【 0 0 2 4 】

本発明の別の実施態様では、固定層が非晶質材料で構成される場合、プロセス 100 は更に、第 1 インタフェース層、例えば図 2 のインタフェース層 62 を固定層の上に堆積させるステップ (ステップ 120) を備えることができる。インタフェース層 62 は、非晶質固定層 30 のスピン偏極よりも大きいスピン偏極を有する材料で形成することができる。例えば、固定層は C o F e B の非晶質層で構成することができ、第 1 インタフェース層は C o F e で構成することができる。しかしながら、本発明の別の実施態様では、第 1 インタフェース層は C o F e X で構成することができる。ここで、X はホウ素、タンタル、炭素、ハフニウムなどで構成することができ、X は 5 原子数 % 未満である。本発明の更に別の実施態様では、第 1 インタフェース層は、他のコバルト含有合金または他の鉄含有合金で構成することができる。

10

【 0 0 2 5 】

次に、絶縁トンネル障壁層、例えば図 1 および図 2 のトンネル障壁層 32 を、第 1 インタフェース層と固定層またはそのいずれかの上に形成することができる (ステップ 122) 。トンネル障壁層は、トンネル障壁層を形成するための半導体産業において知られた適当な絶縁材料を用いて形成することができる。例えば、トンネル障壁層は、当該技術分野において良く知られているように、第 1 インタフェース層と固定層またはそのいずれかの上にアルミニウムの層を堆積させ、このアルミニウム層を酸化させることによって形成することができる。

20

【 0 0 2 6 】

次に、自由強磁性層、例えば自由強磁性層 34 をトンネル障壁層の上に形成することができる (ステップ 126) 。上に述べたように、自由層は非晶質または結晶質の構造を有することができ、C o F e X (X はホウ素、炭素、タンタル、ハフニウムなどとすることができ) 、N i F e 合金、またはコバルト、鉄、およびニッケルからなる他の合金のような適当な合金組成で形成することができる。本発明の別の実施態様では、自由層は、例えば、ルテニウム、レニウム、オスミウム、ロジウムなど、およびそれらの合金のような絶縁材料の金属結合層によって分離された N i F e などの強磁性材料の二つの層からなる S A F 構造とすることができ。

30

【 0 0 2 7 】

本発明の更なる別のオプションの実施態様では、自由層が非晶質材料で構成される場合、第 2 インタフェース層、例えばインタフェース層 64 を、非晶質自由強磁性層を形成する前にトンネル障壁層の上に堆積させることができる (ステップ 124) 。第 2 インタフェース層は、自由層のスピン偏極よりも大きいスピン偏極を有する材料で構成することができる。例えば、自由層は非晶質 C o F e B で構成することができ、第 2 インタフェース層は C o F e で構成することができる。しかしながら、本発明の別の実施態様では、第 2 インタフェース層は C o F e X で構成することができる。ここで、X はホウ素、タンタル、ハフニウム、炭素などで構成することができ、X は 5 原子数 % 未満である。本発明の更に別の実施態様では、第 2 インタフェース層は他のコバルト含有合金と他の鉄含有合金またはそのいずれかで構成することができる。

40

【 0 0 2 8 】

自由層の形成後、第 2 電極層、例えば第 2 電極層 36 を自由層の上に堆積させることができる (ステップ 128) 。上に述べたように、第 2 電極層は、タンタルなどの適当な導電材料で形成することができる。本発明の好ましい実施態様では、第 2 電極層は、2 以上の材料層、例えばタンタル層とその上の窒化タンタル (T a N x) 層で構成することがで

50

きる。

【 0 0 2 9 】

図 3 を参照して上に述べられたプロセス 1 0 0 の各層の形成は、例えば、イオンビーム蒸着、物理蒸着 (P V D)、分子ビームエピタキシ (M B E) などの半導体産業において知られている適当な従来の堆積方法を用いて行うことができる。また、本発明のプロセスは図 3 を参照して上に述べられたようなステップの順に限定されないことは明らかである。それどころか、これらのステップを逆順に行って、自由層または自由層 S A F 構造の上のトンネル障壁層と、前記トンネル障壁層の上の固定層と、前記固定層の上のピン層とを有する磁気トンネル接合素子を製造してもよい。この点については、自由層が上に述べたような S A F 構造である場合、第 2 電極の形成後に、自由 S A F 構造の第 1 強磁性層を堆積させ、その後に金属結合層を堆積させることができる。次に、金属結合層を、金属結合層の露出表面を改質する表面改質剤に曝すことができる。表面改質剤は、金属結合層の上にそれに続いて形成される第 2 強磁性層が、その上にトンネル障壁層が形成されることができる平滑な表面であって、金属結合層がそのように改質されなかったならば表さないであろうよりも平滑な表面を表すように、金属結合層の表面を改質する。金属結合層の表面の改質後、自由 S A F 層の第 2 強磁性層を金属結合層の上に堆積させることができる。プロセスは次にトンネル障壁層と固定 S A F 構造の形成に着手することができる。本発明の別の実施態様において、固定 S A F 構造の金属結合層と自由 S A F 構造の金属結合層の両方を表面改質剤に曝した後に、その上の層を堆積させて、その上の層の物理的品質を改善することができることは明らかである。

10

20

【 0 0 3 0 】

少なくとも一つの典型的な実施態様を本発明の上記の記詳細な説明の中で示したが、多くの変形例が存在することは明らかである。また、上記の典型的な実施態様は単に例であって、いかなる点でも本発明の範囲、適用可能性、または構成を制限するものではないことは明らかである。それどころか、上記の詳細な説明は当業者に本発明の典型的な実施態様を実行するための便利な指針を提供し、特許請求の範囲に記載される本発明の範囲から逸脱することなしに、典型的な実施態様で述べられた要素の機能と配置において種々の変更を行うことができることは明らかである。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 1 】

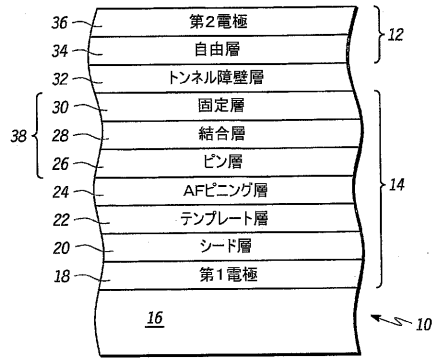
30

【 図 1 】 本発明の一つの典型的な実施態様による磁気トンネル接合素子構造の断面図。

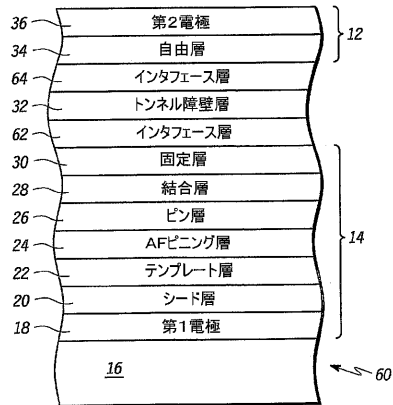
【 図 2 】 本発明の別の典型的な実施態様による磁気トンネル接合素子構造の断面図。

【 図 3 】 図 1 または図 2 の磁気トンネル接合素子構造を始めとする磁気トンネル接合素子構造を製造するための本発明の典型的な実施態様によるプロセスのフローチャート。

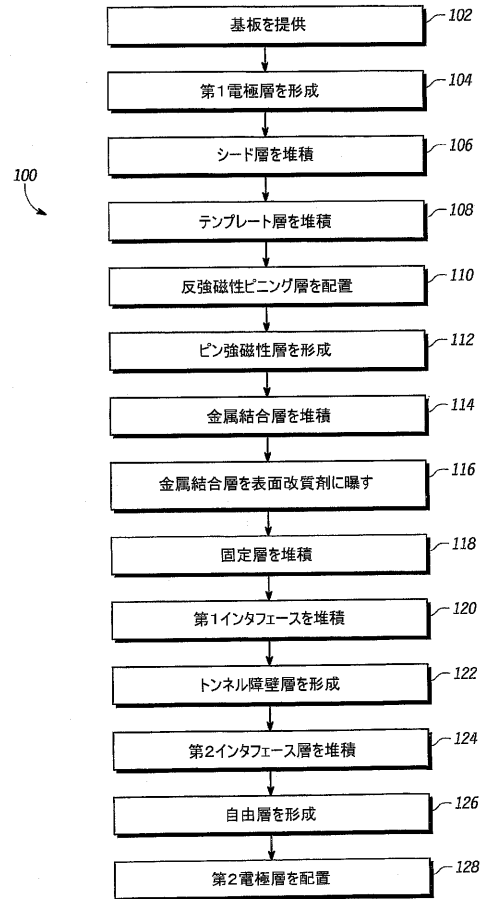
【図 1】



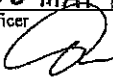
【図 2】



【図 3】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US05/21311						
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(7) : H01L 29/76, 29/94, 31/062, 31/113, 31/119 US CL : 257/295, 421, 489; 365/158 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) U.S. : 257/295, 421, 489; 365/158; 324/252; 360/324.12, 324.11, 324.2; 428/336 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 practicable, search terms used)								
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th style="width: 10%;">Category *</th> <th style="width: 70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width: 20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td>US 6,794,696 B2 (Fukuzumi) (21.09.2004), see entire document.</td> <td style="text-align: center;">1-15</td> </tr> </table>			Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	US 6,794,696 B2 (Fukuzumi) (21.09.2004), see entire document.	1-15
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.						
A	US 6,794,696 B2 (Fukuzumi) (21.09.2004), see entire document.	1-15						
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.								
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> * 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 application or patent 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 </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> "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 </td> </tr> </table>			* 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 application or patent 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				
* 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 application or patent 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 07 February 2006 (07.02.2006)		Date of mailing of the international search report 05 MAY 2006						
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (571) 273-3201		Authorized officer David Nelms  Telephone No. (571)272-1787						

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US05/21311

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
Please See Continuation Sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of any additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1-15

- Remark on Protest**
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No. PCT/US05/21311

BOX III. OBSERVATIONS WHERE UNITY OF INVENTION IS LACKING

This International Search Authority has found 2 inventions claimed in the International Application covered by the claims indicated below:

This applications contains the following inventions or groups of inventions which are not so linked as to form a single inventive concept under PCT Rule 13.1. In order for all inventions to be searched, the appropriate additional search fees must be paid.

Group I, claims 1-15, drawn to a magnetic tunnel junction element comprising a synthetic antiferromagnet pinned structure.

Group II, claims 16-20, drawn to a method for forming a magnetic tunnel junction element.

1. This International Searching Authority considers that the international application does not comply with the requirements of unity of invention (Rules 13.1, 13.2 and 13.3) for the reasons indicated below:

The inventions listed as Groups I (claims 1-15), II (claims 16-20) do not relate to a single inventive concept under PCT Rule 13.1 because under PCT Rule 13.2, they lack the same or corresponding special technical features for the following reasons: the special technical feature of the Group I invention is the magnetic tunnel junction element comprising a synthetic antiferromagnet pinned structure while the special technical feature of the Group II invention is the method for forming a magnetic tunnel junction element claimed therein.

フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)
G 0 1 R 33/09	(2006.01)	H 0 1 F 10/16	
H 0 1 F 10/16	(2006.01)	H 0 1 F 10/32	
H 0 1 F 10/32	(2006.01)		

(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,HU,IE,IS,IT,LT,LU,MC,NL,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,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,L T,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 デイブ、レニユ ダブリュ .
 アメリカ合衆国 8 5 2 2 6 アリゾナ州 チャンドラー ダブリュ . メーガン ストリート 6
 0 6 9

(72)発明者 スローター、ジョン エム .
 アメリカ合衆国 8 5 2 8 4 アリゾナ州 テンペ エス . ケネス プレイス 9 2 5 1

(72)発明者 アッカーマン、ジョアン
 アメリカ合衆国 8 5 2 3 4 アリゾナ州 ギルバート エヌ . クリスタル ショアズ 1 3 0 7

F ターム (参考) 2G017 AA10 AD55 AD61 AD62 AD63 AD65
 4M119 BB01 DD05 DD06 DD07 DD09
 5D034 BA03 BA05 BA06 DA07
 5E049 AA01 AA04 AC05 BA06
 5F092 AA11 AA15 AB01 AB02 AB06 AC12 BB09 BB10 BB17 BB22
 BB23 BB35 BB42 BB43 BB55 BC04 BC07 BC08 BC13 BC18
 BC19 BE03 BE06