

(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2016-505220

(P2016-505220A)

(43) 公表日 平成28年2月18日 (2016. 2. 18)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H01L 43/12 (2006.01)</b>	H01L 43/12	4M119
<b>H01L 21/8246 (2006.01)</b>	H01L 27/10 447	5F092
<b>H01L 27/105 (2006.01)</b>	H01L 43/08 Z	
<b>H01L 43/08 (2006.01)</b>		

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 41 頁)

(21) 出願番号	特願2015-555245 (P2015-555245)	(71) 出願人	507364838
(86) (22) 出願日	平成26年1月22日 (2014. 1. 22)		クアルコム, インコーポレイテッド
(85) 翻訳文提出日	平成27年7月22日 (2015. 7. 22)		アメリカ合衆国 カリフォルニア 921
(86) 国際出願番号	PCT/US2014/012602		21 サン ディエゴ モアハウス ドラ
(87) 国際公開番号	W02014/116742		イブ 5775
(87) 国際公開日	平成26年7月31日 (2014. 7. 31)	(74) 代理人	100108453
(31) 優先権主張番号	13/749, 731		弁理士 村山 靖彦
(32) 優先日	平成25年1月25日 (2013. 1. 25)	(74) 代理人	100163522
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 黒田 晋平
		(72) 発明者	シャオチュン・ジュウ
			アメリカ合衆国・カリフォルニア・921
			21-1714・サン・ディエゴ・モアハ
			ウス・ドライブ・5775

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗トンネル接合 (MTJ) デバイス強磁性層内の周辺端部損傷を改善するための方法および装置

## (57) 【要約】

プロセス中の面積寸法 (DR1) を有するプロセス中の磁性層 (460、462) は、周辺部のところに化学的に損傷した領域を含み形成される。化学的に損傷した領域の少なくとも一部分は、非強磁性である化学的に修飾された周辺部分 (4604、4624) へと変換される。任意選択で、変換するステップは、酸化、窒化、もしくはフッ化、またはこれらの組合せによるものである。

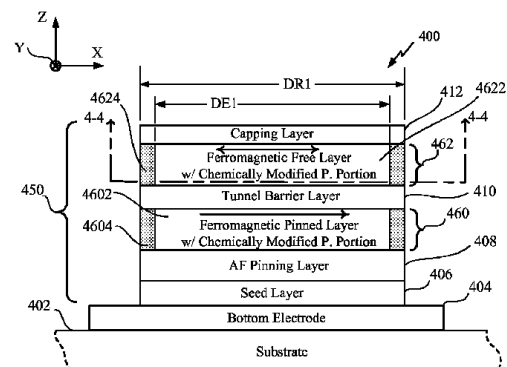


FIG. 4A

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

磁気トンネル接合層を形成するための方法であって、

化学的に損傷した周辺領域によって取り囲まれた強磁性主領域を有するプロセス中の強磁性層を形成するステップであり、前記化学的に損傷した周辺領域が弱強磁性である、形成するステップと、

前記磁気トンネル接合層を形成するために前記化学的に損傷した周辺領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換するステップであり、前記化学的に修飾された周辺部分が非強磁性である、変換するステップとを含む方法。

10

## 【請求項 2】

前記化学的に損傷した周辺領域の少なくとも一部分を前記化学的に修飾された周辺部分へと変換するステップが、酸化、窒化、もしくはフッ化、またはこれらの任意の組合せを含む、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 3】

前記磁気トンネル接合層についての目標有効面積を特定するまたは設けるステップをさらに含み、前記プロセス中の強磁性層が、前記目標有効面積よりも大きい面積寸法を有し、前記変換するステップが、強磁性主領域を有するように前記磁気トンネル接合層を形成するサブステップを含み、前記強磁性主領域が、前記目標有効面積にほぼ等しい面積を有する、請求項 1 に記載の方法。

20

## 【請求項 4】

前記プロセス中の強磁性層が、NiFe、CoFeB、CoFe、もしくはBのうちのいずれか、またはそれらの任意の組合せもしくは部分組合せを含む、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 5】

前記化学的に修飾された周辺部分が、少なくとも 1 種の強磁性元素を含有する、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 6】

前記少なくとも 1 種の強磁性元素が、鉄、ニッケルまたはコバルトである、請求項 5 に記載の方法。

30

## 【請求項 7】

前記化学的に修飾された周辺部分が、FeOx、CoOx、CoFeOx、BOx、FeNx、CoNx、CoFeNx、BNx、FeFx、CoFx、CoFeFx、および/もしくはBFx、もしくはこれらの任意の組合せのうちのいずれか、またはそれらの任意の組合せもしくは部分組合せを含む、請求項 5 に記載の方法。

## 【請求項 8】

前記化学的に修飾された周辺部分の少なくとも一部分を除去するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 9】

前記除去するステップが、イオンミリング、エッチング、またはイオンミリングとエッチングとの組合せを含む、請求項 8 に記載の方法。

40

## 【請求項 10】

前記化学的に修飾された周辺部分を取り囲むように保護層を形成するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 11】

前記保護層が、酸化物層、窒化物層、または酸化物層と窒化物層との組合せである、請求項 10 に記載の方法。

## 【請求項 12】

前記保護層が、AlOxを含む、請求項 10 に記載の方法。

## 【請求項 13】

50

前記プロセス中の強磁性層が、プロセス中の強磁性自由層である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記プロセス中の強磁性層が、プロセス中の強磁性ピンド層である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記プロセス中の強磁性層が、第 1 のプロセス中の面積寸法を有する第 1 のプロセス中の強磁性層であり、前記化学的に損傷した周辺領域が、第 1 の化学的に損傷した周辺領域であり、

プロセス中の強磁性層を形成する前記ステップが、

前記第 1 のプロセス中の強磁性層と、

第 2 のプロセス中の強磁性層と、

前記第 1 のプロセス中の強磁性層と前記第 2 のプロセス中の強磁性層との間のトンネルバリア層と

を有するピラーを形成するステップを含み、

前記第 2 のプロセス中の強磁性層が、前記第 1 のプロセス中の面積寸法よりも大きい第 2 のプロセス中の面積寸法を有し、

前記第 2 のプロセス中の強磁性層が、第 2 の化学的に損傷した周辺領域を有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 6】

前記第 1 のプロセス中の強磁性層が、プロセス中の強磁性自由層である、請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記第 2 のプロセス中の強磁性層が、プロセス中の強磁性ピンド層である、請求項 1 6 に記載の方法。

【請求項 1 8】

磁気トンネル接合デバイスを製造するための方法であって、

基板、前記基板の上方のピンド強磁性層、前記ピンド強磁性層の上方のトンネルバリア層、および前記トンネルバリア層の上方の強磁性自由層を含む多層構造を用意するステップと、

ピラーを形成するために前記多層構造をエッチングするステップであり、前記ピラーが前記強磁性自由層の一部分を有するプロセス中の強磁性層を含み、前記プロセス中の強磁性層が強磁性主領域および前記強磁性主領域を取り囲む化学的に損傷した周辺領域を含み、前記化学的に損傷した周辺領域が弱強磁性である、エッチングするステップと、

前記化学的に損傷した周辺領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換するステップであり、前記化学的に修飾された周辺部分が強磁性を失う、変換するステップと

を含む方法。

【請求項 1 9】

前記化学的に修飾された周辺部分を取り囲むように保護層を形成するステップと、

別のプロセス中の強磁性層を含むように前記ピラーをさらに形成する別のエッチングを行うステップであり、前記別のプロセス中の強磁性層が前記ピンド強磁性層の一部分を有する、別のエッチングを行うステップと

をさらに含む、請求項 1 8 に記載の方法。

【請求項 2 0】

前記保護層が、酸化物層、窒化物層、または酸化物層と窒化物層との組合せである、請求項 1 9 に記載の方法。

【請求項 2 1】

前記別のプロセス中の強磁性層が、別の強磁性主領域および前記別の強磁性主領域を取り囲む別の化学的に損傷した周辺領域を含む前記強磁性ピンド層であり、前記別の化学的

10

20

30

40

50

に損傷した周辺領域が、弱強磁性であり、前記方法は、

前記別の化学的に損傷した周辺領域の少なくとも一部分を別の化学的に修飾された周辺部分へと変換するステップであり、前記別の化学的に修飾された周辺部分が強磁性を失う、変換するステップ

をさらに含む、請求項 19 に記載の方法。

【請求項 22】

前記別の化学的に修飾された周辺部分を取り囲むように保護層を形成するステップをさらに含む、請求項 21 に記載の方法。

【請求項 23】

前記強磁性自由層が、前記多層構造内の第 1 の深さのところに設置され、前記ピンド強磁性層が、前記第 1 の深さよりも大きい第 2 の深さのところに設置され、前記エッチングが第 1 のエッチングであり、前記第 1 のエッチングが、前記第 1 の深さよりも大きくかつ前記第 2 の深さより小さい深さまでであり、前記方法は、

前記化学的に修飾された周辺部分を取り囲むように保護層を形成するステップと、

第 2 のプロセス中の強磁性層を含むように前記ピラーをさらに形成するために前記第 2 の深さよりも大きい深さまで第 2 のエッチングを行うステップであり、前記第 2 のプロセス中の強磁性層が前記ピンド強磁性層の一部分を有する、第 2 のエッチングを行うステップと

をさらに含む、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 24】

前記保護層が、酸化物層、窒化物層、または酸化物層と窒化物層との組合せである、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 25】

前記第 2 のプロセス中の強磁性層が、第 2 の強磁性主領域および前記第 2 の強磁性主領域を取り囲む第 2 の化学的に損傷した周辺領域を有するプロセス中のピンド強磁性層であり、前記第 2 の化学的に損傷した周辺領域が、弱強磁性であり、前記方法は、

前記第 2 の化学的に損傷した領域の少なくとも一部分を第 2 の化学的に修飾された周辺部分へと変換するステップであり、前記第 2 の化学的に修飾された周辺部分が強磁性を失う、変換するステップ

をさらに含む、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 26】

前記第 2 の化学的に修飾された周辺部分を取り囲むように別の保護層を形成するステップ

をさらに含む、請求項 25 に記載の方法。

【請求項 27】

磁気トンネル接合 (MTJ) 層を形成するための方法であって、

目標有効 MTJ 面積よりも大きいプロセス中の面積寸法を有するプロセス中の磁性層を形成するステップであり、前記形成するステップが、前記プロセス中の磁性層の周辺のところ化学的に損傷した領域を形成するサブステップを含む、形成するステップと、

前記化学的に損傷した領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換するステップであり、前記化学的に修飾された周辺部分が非強磁性である、変換するステップと

を含む方法。

【請求項 28】

前記化学的に修飾された周辺部分を取り囲むように保護層を形成するステップをさらに含む、請求項 27 に記載の方法。

【請求項 29】

磁気トンネル接合デバイスを製造するための方法であって、

基板、前記基板の上方のピンド強磁性層、前記ピンド強磁性層の上方のトンネルバリア層、および前記トンネルバリア層の上方の強磁性自由層を含む多層構造を用意するステッ

10

20

30

40

50

ブと、

ピラーを形成するために前記多層構造をエッチングするステップであり、前記ピラーが前記強磁性自由層の一部分を有するプロセス中の強磁性層を含み、前記プロセス中の強磁性層が強磁性主領域および前記強磁性主領域を取り囲む化学的に損傷した周辺領域を含み、前記化学的に損傷した周辺領域が弱強磁性である、エッチングするステップと、

前記化学的に損傷した周辺領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換するステップであり、前記化学的に修飾された周辺部分が強磁性を失う、変換するステップとを含む方法。

【請求項 30】

前記化学的に修飾された周辺部分を取り囲むように保護層を形成するステップと、別のプロセス中の強磁性層を含むように前記ピラーをさらに形成する別のエッチングを行うステップであり、前記別のプロセス中の強磁性層が前記ピンド強磁性層の一部分を有する、別のエッチングを行うステップとをさらに含む、請求項 29 に記載の方法。

【請求項 31】

磁気トンネル接合 (MTJ) 層を形成するための装置であって、

目標 MTJ 面積よりも大きいプロセス中の面積寸法を有するプロセス中の強磁性層を形成するための手段であり、前記形成することが、前記プロセス中の強磁性層の周辺部のところに化学的に損傷した領域を形成することを含む、形成するための手段と、

前記化学的に損傷した領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換するための手段であり、前記化学的に修飾された周辺部分が強磁性を失う、変換するための手段とを備える装置。

【請求項 32】

前記プロセス中の強磁性層が、CoFeB、CoFe、またはCoFeBとCoFeとの組合せを含む、請求項 31 に記載の装置。

【請求項 33】

さらなる処理からの損傷に対して前記化学的に修飾された周辺部分を保護するための手段をさらに備える、請求項 31 に記載の装置。

【請求項 34】

前記化学的に修飾された周辺部分が、少なくとも 1 種の強磁性元素を含有する、請求項 31 に記載の装置。

【請求項 35】

前記変換するための手段が、FeOx、CoOx、CoFeOx、BOx、FeNx、CoNx、CoFeNx、BNx、FeFx、CoFx、CoFeFx、および / またはBFxのうちのいずれか、またはそれらの任意の組合せもしくは部分組合せを含むように前記化学的に修飾された周辺部分を形成するように構成される、請求項 34 に記載の装置。

【請求項 36】

所与の面積寸法を有する強磁性層を有する磁気トンネル接合 (MTJ) デバイスを製造するための装置であって、

前記所与の面積寸法よりも大きいプロセス中の面積寸法を有するプロセス中の磁性層を含むピラーを形成するための手段であり、前記形成することが、前記プロセス中の磁性層の周辺部のところに化学的に損傷した領域を形成することを含む、形成するための手段と、

前記化学的に損傷した領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換するための手段であり、前記化学的に修飾された周辺部分が強磁性を失う、変換するための手段とを備える装置。

10

20

30

40

50

## 【請求項 37】

基板と、  
前記基板の上方のピンド強磁性層と、  
前記ピンド強磁性層の上方のトンネルバリア層と、  
前記トンネルバリア層の上方の強磁性自由層と  
を備え、  
前記ピンド強磁性層または前記強磁性自由層のうちの少なくとも一方が、強磁性を失った化学的に修飾された周辺領域によって取り囲まれた強磁性主領域を有する、  
磁気トンネル接合デバイス。

## 【請求項 38】

前記磁気トンネル接合デバイスが、少なくとも 1 つの半導体ダイに集積される、請求項 37 に記載の磁気トンネル接合デバイス。

## 【請求項 39】

前記磁気トンネル接合デバイスが中に集積される、セットトップボックス、音楽プレーヤ、ビデオプレーヤ、エンタテインメントユニット、ナビゲーションデバイス、通信デバイス、パーソナルデジタルアシスタント (PDA)、固定位置データユニット、およびコンピュータから構成される群から選択されるデバイスをさらに備える、請求項 37 に記載の磁気トンネル接合デバイス。

## 【請求項 40】

プロセッサ装置によって実行されたときに、前記プロセッサ装置に、磁気トンネル接合層を形成するための方法を実行する操作を実行させる命令を含むコンピュータ可読媒体であって、前記プロセッサ装置に、

化学的に損傷した周辺領域によって取り囲まれた強磁性主領域を有するプロセス中の強磁性層を形成させる命令であり、前記化学的に損傷した周辺領域が弱強磁性である、形成させる命令と、

前記磁気トンネル接合層を形成するために前記化学的に損傷した周辺端部領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換させる命令であり、前記化学的に修飾された周辺部分が非強磁性である、変換させる命令と

を含む、コンピュータ可読媒体。

## 【請求項 41】

プロセッサ装置によって実行されたときに、前記プロセッサ装置に、磁気トンネル接合デバイスを製造するための方法を実行する操作を実行させる命令を含むコンピュータ可読媒体であって、前記プロセッサ装置に、

ピラーを形成するために、基板、前記基板の上方のピンド強磁性層、前記ピンド強磁性層の上方のトンネルバリア層、および前記トンネルバリア層の上方の強磁性自由層を有する多層構造をエッチングさせる命令を含み、

前記ピラーが、前記強磁性自由層の一部分を有するプロセス中の強磁性層を含み、前記プロセス中の強磁性層が、強磁性主領域および前記強磁性主領域を取り囲む化学的に損傷した周辺領域を含み、前記化学的に損傷した周辺領域が弱強磁性であり、

前記命令が、前記プロセッサ装置に、前記化学的に損傷した周辺領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換させる命令であり、前記化学的に修飾された周辺部分が強磁性を失う、変換させる命令をさらに含む、

コンピュータ可読媒体。

## 【請求項 42】

前記プロセッサ装置に、

前記化学的に修飾された周辺部分を取り囲むように保護層を形成させる命令と、

別のプロセス中の強磁性層を含むように前記ピラーをさらに形成するために別のエッチングを実行させる命令であって、前記別のプロセス中の強磁性層が前記ピンド強磁性層の一部分を有する、別のエッチングを実行させる命令と

をさらに含む、請求項 41 に記載のコンピュータ可読媒体。

10

20

30

40

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本開示の技術分野は、磁気トンネル接合（MTJ）メモリセル内の磁気抵抗素子の製造および構造に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

MTJは、次世代不揮発性メモリのための有望な技術と考えられている。潜在的な有効性は、高速スイッチング、高いスイッチングサイクル耐性、低消費電力、および長時間電力不使用（extended unpowered）保存用記憶装置を含む。

10

## 【0003】

1つの従来型のMTJ素子は、固定磁化層（あるいは「ピンド」または「基準」層と呼ばれる）、およびトンネルバリア層によって分離された「自由」磁化層を有する。自由層は、2つの反対の磁化状態の間をスイッチング可能であり、一方が固定層の磁化に「平行」（P）であり、他方が固定磁性層に反対、すなわち「反平行」（AP）であることを含む。MTJ素子は、P状態であるときに、その電気抵抗がAP状態であるときよりも低いので「磁気抵抗」と呼ばれる。書込み電流を注入することによって、MTJ自由層の磁化は、P状態とAP状態との間でスイッチングされ得る。書込み電流の方向が、状態を決定する。P状態およびAP状態は、基準電流を注入し電圧を検出することによって、「0」および「1」、すなわち、1バイナリビットに対応できる。

20

## 【0004】

固定層および自由層の材料および構造は、ある種の強磁性特性をこれらの層に与えるように管理される。MTJ素子を製造する知られた技術は、MTJ素子のアレイになる構成要素層を有する大面積多層構造をエッチングするステップと、各々が開始大面積多層構造の構成要素層の積層体である楕円形ピラーのアレイを残すステップとを含む。構成要素層の積層順、これらそれぞれの厚さ、ならびにそれぞれの電気的特性、強磁性特性、および/または絶縁特性のために、各ピラーは、MTJ素子である。

## 【0005】

しかしながら、エッチングプロセスのうちのある種のものは、ピラーの強磁性層の周辺部のところに化学的損傷をもたらすことがある。これらの強磁性層の化学的に損傷した周辺部は、ある種の強磁性特性を維持することがあり、これを示すことがある。しかしながら、損傷した周辺部の強磁性を特徴付けるパラメータのうちの1つまたは複数の値は、これらの開始値から著しく異なることがある。様々なコストが損傷に起因することがある。例は、デバイス歩留りの低下、およびMTJデバイス密度の低下を含むことがある。

30

## 【発明の概要】

## 【課題を解決するための手段】

## 【0006】

一実施形態では、方法は、磁気トンネル接合層を形成するために提供され、例は、化学的に損傷した周辺領域が弱強磁性であるように、化学的に損傷した周辺領域によって取り囲まれた強磁性主領域を有するプロセス中の強磁性層を形成するステップを、化学的に損傷した周辺領域の少なくとも一部分を非強磁性である化学的に修飾された周辺部分へと変換するステップと組み合わせて含むことができる。

40

## 【0007】

ある態様では、化学的に損傷した領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換するステップは、酸化、窒化、もしくはフッ化を含むことができ、または酸化、窒化、および/もしくはフッ化の任意の組合せを含むことができる。

## 【0008】

一実施形態のある態様では、方法は、化学的に修飾された周辺部分を取り囲むように保護層を形成するステップをさらに含むことができる。

## 【0009】

50

一実施形態の別の態様では、方法は、磁気トンネル接合層についての目標有効面積を特定するまたは設けるステップと、目標有効面積よりも大きい面積寸法を有するプロセス中の強磁性層を設けるためにプロセス中の強磁性層を形成することを実行するステップとを含むことができる。関連する態様では、変換するステップは、目標有効面積にほぼ等しい面積を有する強磁性主領域を含む磁気トンネル接合層を形成することができる。

【0010】

一実施形態では、方法は、磁気トンネル接合デバイスを製造するために提供され、例は、基板、基板の上方のピンド強磁性層、ピンド強磁性層の上方のトンネルバリア層、およびトンネルバリア層の上方の強磁性自由層を含む多層構造を用意するステップを含むことができる。ある態様では、方法は、ピラーを形成するために多層構造をエッチングするステップであり、ピラーが強磁性自由層の一部を有するプロセス中の強磁性層を含む、エッチングするステップを含むことができる。関連する態様では、エッチングするステップは、強磁性主領域および強磁性主領域を取り囲む化学的に損傷した周辺領域を含むようにプロセス中の強磁性層を形成することができ、化学的に損傷した周辺領域は、弱強磁性である。一実施形態に従った方法は、化学的に損傷した周辺領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換するステップをさらに含み、ある態様に従えば、化学的に修飾された周辺部分は、強磁性を失う。

10

【0011】

ある態様では、方法は、化学的に修飾された周辺部分を取り囲むように保護層を形成するステップと、別のプロセス中の強磁性層を含むようにピラーをさらに形成するための別のエッチングを行うステップであり、別のプロセス中の強磁性層がピンド強磁性層の一部を有する、別のエッチングを行うステップとをさらに含むことができる。

20

【0012】

一実施形態では、方法は、磁気トンネル接合(MTJ)層を形成するために提供され、目標有効MTJ面積よりも大きいプロセス中の面積寸法を有するプロセス中の磁性層を形成するステップであり、形成するステップが、プロセス中の磁性層の周辺部のところに化学的に損傷した領域を形成する、形成するステップを、化学的に損傷した領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換するステップであり、化学的に修飾された周辺部分が、非強磁性である、変換するステップと組み合わせて含むことができる。

30

【0013】

一実施形態は、磁気トンネル接合(MTJ)層を形成するための装置を提供し、例示の装置は、目標MTJ面積よりも大きいプロセス中の面積寸法を有するプロセス中の強磁性層を形成するための手段であり、形成することが、プロセス中の磁性層の周辺部のところに化学的に損傷した領域を形成する、形成するための手段と、化学的に損傷した領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換するための手段であり、化学的に修飾された周辺部分が強磁性を失う、変換するための手段とを含むことができる。

40

【0014】

ある態様では、例示の装置は、さらなる処理からの損傷に対して化学的に修飾された周辺部分を保護するための手段をさらに含むことができる。

40

【0015】

一実施形態は、磁気トンネル接合(MTJ)デバイスを製造するための装置を提供し、例示の装置は、所与の面積寸法よりも大きいプロセス中の面積寸法を有するプロセス中の磁性層を含むピラーを形成するための手段であり、形成することが、プロセス中の磁性層の周辺部のところに化学的に損傷した領域を形成する、形成するための手段と、化学的に損傷した領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換するための手段であり、化学的に修飾された周辺部分が強磁性を失う、変換するための手段とを含むことができる。

【0016】

一実施形態は、基板と、基板の上方のピンド強磁性層と、ピンド強磁性層の上方のトンネルバリア層と、トンネルバリア層の上方の強磁性自由層とを含むことができる磁気トン

50



ネル接合デバイスを提供し、ピンド強磁性層または強磁性自由層のうちの少なくとも一方は、強磁性を失った周辺端部領域によって取り囲まれた強磁性主領域を有することができる。

【0017】

一実施形態は、プロセッサ装置によって実行されたときに、プロセッサ装置に、磁気トンネル接合層を形成するための方法を実行する操作を実行させる命令を含むコンピュータ可読媒体であって、プロセッサ装置に、弱強磁性である化学的に損傷した周辺端部領域によって取り囲まれた強磁性主領域を有するプロセス中の強磁性層を形成させることができる命令を含む、コンピュータ可読媒体を提供する。一実施形態は、プロセッサによって実行されたときに、プロセッサに、磁気トンネル接合層を形成するために化学的に損傷した周辺端部領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換させる命令をさらに含み、ある態様では、化学的に修飾された周辺部分は、非強磁性である。

10

【0018】

一実施形態は、プロセッサ装置によって実行されたときに、プロセッサ装置に、磁気トンネル接合デバイスを製造するための方法を実行する操作を実行させる命令を含むコンピュータ可読媒体であって、プロセッサ装置に、ピラーを形成するために、基板、基板の上方のピンド強磁性層、ピンド強磁性層の上方のトンネルバリア層、およびトンネルバリア層の上方の強磁性自由層を有する多層構造をエッチングさせる命令を含み、ピラーは、強磁性自由層の一部分を有するプロセス中の強磁性層を含み、プロセス中の強磁性層は、強磁性主領域および強磁性主領域を取り囲む化学的に損傷した周辺領域を含み、化学的に損傷した周辺領域は、弱強磁性であり、命令は、プロセッサ装置に、化学的に損傷した周辺領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換させる命令であり、化学的に修飾された周辺部分が強磁性を失う、変換させる命令をさらに含み、コンピュータ可読媒体を提供する。

20

【0019】

添付書類に見られる添付図面は、本発明の実施形態の説明に資するために提示され、単に実施形態の例示のために提供され、実施形態を限定するものではない。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】一例の従来型の多層MTJデバイスの1つの従来型の多層ピラー構造の構成要素層の延長平面に垂直な投影面上の断面図である。

30

【図2】「理想的な」化学的/強磁性構造を有する周辺領域を示す重ね合わせた図を含む図1の従来型の多層MTJデバイスの1つの強磁性層の図1の投影2-2からの図である。

【図3A】従来のエッチングで形成したMTJ強磁性層の損傷した周辺領域の例示的な空間的態様を示す重ね合わせた図を含む1つの従来型の多層MTJデバイスの1つの従来型の多層ピラー構造の図1の断面図である。

【図3B】図3Aの従来型の多層MTJデバイスの例示のMTJ強磁性層のうちの1つの従来のエッチング損傷した周辺領域の例示的な空間的態様を、図3Aの投影面3-3上の重ね合わせた図によって示す図である。

40

【図4A】1つの例示的な実施形態に従って構造化しかつ形成した一例の化学的に修飾された端部多層MTJデバイスの態様を示し、構成要素層の延長平面に垂直な投影面上の断面図である。

【図4B】1つの例示的な実施形態に従って構造化しかつ形成した図4Aの化学的に修飾された端部多層MTJデバイスの1つの化学的に修飾された端部強磁性層を示す図4Aの投影4-4からの図である。

【図5A】別の例示的な実施形態に従って構造化しかつ形成した一例の化学的に修飾された端部多層MTJデバイスの態様を示し、構成要素層の延長平面に垂直な投影面上の断面図である。

【図5B】別の例示的な実施形態に従って構造化しかつ形成した図5Aの化学的に修飾さ

50

れた端部多層 M T J デバイスの 1 つの化学的に修飾された端部強磁性層を示す図 5 A の投影 5 - 5 からの図である。

【図 6 A】1 つまたは複数の例示的な実施形態に従って 1 つの化学的に修飾された端部多層 M T J デバイスを実現する例示の構造および例示のプロセスについて説明する、構成要素開始層および進行中の層の延長平面に垂直な投影面上の断面図のスナップショットである。

【図 6 B】1 つまたは複数の例示的な実施形態に従って 1 つの化学的に修飾された端部多層 M T J デバイスを実現する例示の構造および例示のプロセスについて説明する、構成要素開始層および進行中の層の延長平面に垂直な投影面上の断面図のスナップショットである。

【図 6 C】1 つまたは複数の例示的な実施形態に従って 1 つの化学的に修飾された端部多層 M T J デバイスを実現する例示の構造および例示のプロセスについて説明する、構成要素開始層および進行中の層の延長平面に垂直な投影面上の断面図のスナップショットである。

【図 6 D】1 つまたは複数の例示的な実施形態に従って 1 つの化学的に修飾された端部多層 M T J デバイスを実現する例示の構造および例示のプロセスについて説明する、構成要素開始層および進行中の層の延長平面に垂直な投影面上の断面図のスナップショットである。

【図 6 E】1 つまたは複数の例示的な実施形態に従って 1 つの化学的に修飾された端部多層 M T J デバイスを実現する例示の構造および例示のプロセスについて説明する、構成要素開始層および進行中の層の延長平面に垂直な投影面上の断面図のスナップショットである。

【図 6 F】1 つまたは複数の例示的な実施形態に従って 1 つの化学的に修飾された端部多層 M T J デバイスを実現する例示の構造および例示のプロセスについて説明する、構成要素開始層および進行中の層の延長平面に垂直な投影面上の断面図のスナップショットである。

【図 7 A】別の 1 つまたは複数の例示的な実施形態に従って 1 つの化学的に修飾された端部多層 M T J デバイスを実現する例示の構造および例示のプロセスについて説明する、構成要素開始層および進行中の層の延長平面に垂直な投影面上の断面図のスナップショットである。

【図 7 B】別の 1 つまたは複数の例示的な実施形態に従って 1 つの化学的に修飾された端部多層 M T J デバイスを実現する例示の構造および例示のプロセスについて説明する、構成要素開始層および進行中の層の延長平面に垂直な投影面上の断面図のスナップショットである。

【図 7 C】別の 1 つまたは複数の例示的な実施形態に従って 1 つの化学的に修飾された端部多層 M T J デバイスを実現する例示の構造および例示のプロセスについて説明する、構成要素開始層および進行中の層の延長平面に垂直な投影面上の断面図のスナップショットである。

【図 7 D】別の 1 つまたは複数の例示的な実施形態に従って 1 つの化学的に修飾された端部多層 M T J デバイスを実現する例示の構造および例示のプロセスについて説明する、構成要素開始層および進行中の層の延長平面に垂直な投影面上の断面図のスナップショットである。

【図 7 E】別の 1 つまたは複数の例示的な実施形態に従って 1 つの化学的に修飾された端部多層 M T J デバイスを実現する例示の構造および例示のプロセスについて説明する、構成要素開始層および進行中の層の延長平面に垂直な投影面上の断面図のスナップショットである。

【図 7 F】別の 1 つまたは複数の例示的な実施形態に従って 1 つの化学的に修飾された端部多層 M T J デバイスを実現する例示の構造および例示のプロセスについて説明する、構成要素開始層および進行中の層の延長平面に垂直な投影面上の断面図のスナップショットである。

10

20

30

40

50

【図 8】 1 つまたは複数の例示的な実施形態に従って化学的に修飾された端部多層 M T J デバイスを実現する様々な態様に対してさらに操作の 1 つのフローチャート図である。

【図 9】 様々な例示的な実施形態の態様に従った、化学的に修飾された端部多層 M T J デバイスを有し、サポートし、集積しおよび / または利用する 1 つのワイアレス通信システムの 1 つのシステム図ならびに化学的に修飾された端部多層 M T J デバイスを製造するプロセスの図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 1 】

本発明の態様は、発明の具体的な実施形態に向けられた次の説明および関係する図面に開示される。代替実施形態は、本発明の範囲から乖離せずに考案され得る。加えて、本発明のよく知られた要素は、詳細には説明されないであろう、または本発明の関連する詳細を不明瞭にしないように省略されるであろう。

【 0 0 2 2 】

「例示的な ( e x e m p l a r y ) 」という語は、「例、事例、または実例として働くこと」を意味するように本明細書においては使用される。「例示的な」として本明細書において説明したいずれかの実装形態は、他の実施形態よりも好ましいまたは有利であると必ずしも解釈される必要はない。同じように、「本発明の実施形態」という用語は、本発明のすべての実施形態が論じた特徴、利点または操作のモードを含むことを必要としない。

【 0 0 2 3 】

本明細書において使用する用語は、特定の実施形態に従った例について説明する目的のためであり、本発明の実施形態を限定することを意味しない。本明細書において使用するように、「1 つ ( a )」、「1 つ ( a n )」および「その ( t h e ) 」という単数形は、文脈が別なふうに明確に指示しない限り、同様に複数形を含むことを意味する。本明細書において使用するとき、「備える ( c o m p r i s e )」、「備えている ( c o m p r i s i n g )」、「含む ( i n c l u d e )」および / または「含んでいる ( i n c l u d i n g ) 」という用語は、述べた構成、整数、ステップ、操作、要素、および / または構成要素の存在を明示するが、1 つまたは複数の他の構成、整数、ステップ、操作、要素、構成要素および / またはそのグループの存在または追加を排除しないことがさらに理解されるであろう。

【 0 0 2 4 】

さらに、多くの実施形態は、たとえば、演算デバイスの要素によって実行される一連の動作の点から説明される。本明細書において説明する様々な動作が特定の回路 (たとえば、特定用途向け集積回路 ( A S I C ) ) によって、1 つもしくは複数のプロセッサによって実行されるプログラム命令によって、または両者の組合せによって実行され得ることが理解されるであろう。加えて、本明細書において説明するこれらの一連の動作は、実行すると、関連付けられたプロセッサに本明細書において説明する機能を実行させるはずのコンピュータ命令の対応するセットをその中に記憶しているコンピュータ可読記憶媒体の任意の形態内に全体が具体化され则认为得る。このように、本発明の様々な態様は、多くの異なる形態で具体化されてもよく、そのすべてが、特許請求した主題の範囲内になることが考えられてきている。加えて、本明細書において説明する実施形態の各々について、説明的な実装形態および形態が、たとえば、説明した動作を実行する「ように構成された論理」として記述されることがある。

【 0 0 2 5 】

情報および信号は、様々な異なる技術およびテクニックのうちのいずれかを使用して表現され得ることを当業者なら認識するであろう。たとえば、上の説明全体を通して参照されることがあるデータ、命令、コマンド、情報、信号、ビット、シンボル、およびチップは、電圧、電流、電磁波、磁場もしくは磁気粒子、光学場、電子スピン粒子、エレクトロスピ ( e l e c t r o s p i n ) またはこれらの任意の組合せによって表されてもよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 6 】

さらに、本明細書において開示した実施形態に関連して説明する様々な説明的な論理ブロック、モジュール、回路、およびアルゴリズムステップは、電子ハードウェア、コンピュータソフトウェア、または両者の組合せとして実装されてもよいことを当業者なら認識するであろう。様々な説明的な構成要素、ブロック、モジュール、回路、およびステップに対するハードウェアおよびソフトウェアの互換性が、これらの機能の観点からこれらを一般的に説明することによって示される。この開示を読むことから当業者には容易に認識されるであろうように、そのような機能性がハードウェアもしくはソフトウェアとして、またはハードウェアとソフトウェアとの組合せとして実装されるかどうかは、特定の用途および全体のシステムに課せられた設計制約に依存する。当業者は、各特定の用途に対して違った方法で記述した機能性を実装することができるが、そのような実装の判断は、本発明の範囲からの乖離を生じさせるとして解釈されるべきではない。

10

## 【 0 0 2 7 】

図 1 は、MTJ デバイスの従来の製造で形成された多層磁気トンネル接合デバイス 100 (以降「多層MTJデバイス」100)の断面図を示す。図 1 の多層MTJデバイス 100 は、たとえば、読出し/書込みアクセス回路および他の回路を省略した単純化した形式で示され、これらの回路に関して、説明は、例示的な実施形態のうちの 1 つまたは複数に従った発明の概念および実施を理解するために、この開示を見ると、当業者には必ずしも必要ではない。「多層MTJデバイス」100 という用語で使用されるような「デバイス」は、完全に製造されたデバイスに限定されないことが理解されるであろう。たとえば、多層MTJデバイス 100 は、「プロセス中の」構造であってもよい、すなわち、その描かれた構造の(別々の符号を付けられていない)部分は、従来のMTJ製造技術に従って、除去されてもよい、または引き続く処理によって修正されてもよい。

20

## 【 0 0 2 8 】

図 1 を参照すると、多層MTJデバイス 100 は、「MTJピラー」102 とこの開示では呼ばれる多層構造を含むことができる。MTJピラー 102 は、従来型のMTJ基板 104 (以降、「基板 104」と参照する)の上に配置され得る。MTJピラー 102 は、たとえば、底部電極 106、シード層 108、反強磁性(AF)ピンニング層 110、強磁性ピンド層 112、トンネルバリア層 114、強磁性自由層 116 およびキャッピング層 118 の積み重ねた層を含む。記述した層の各々は、X が水平軸であり、Y が X-Z 投影面に垂直である状態で、各々が Z 方向にそれぞれの厚さ(別々の符号を付けては示されない)を有する状態で、図 1 の X-Z 投影面に関して、X-Y 平面内に拡がるように向けられて示される。

30

## 【 0 0 2 9 】

図 1 を依然として参照すると、底部電極 106、シード層 108、AFピンニング層 110、強磁性ピンド層 112、トンネルバリア層 114、強磁性自由層 116 およびキャッピング層 118 の各々の材料、寸法(たとえば、厚さ)、機能、および動作の機構は、従来技術に従うことがある。したがって、例示的な実施形態に従った例示の態様および動作の後の説明に付随する場合を除いて、さらに詳細な説明は、省略される。

40

## 【 0 0 3 0 】

当業者には認識されるであろうように、底部電極 106、シード層 108、AFピンニング層 110、強磁性ピンド層 112、トンネルバリア層 114、強磁性自由層 116 およびキャッピング層 118 の図 1 の配置、図 1 のMTJピラー 102 は、様々な従来型のMTJデバイス(図には示されない)において見出される構造的な態様を例示することができる。図 1 に示したような構造的特徴を有する従来型のMTJデバイスが、追加の層、たとえば、描かれた層の間の追加の金属酸化物層を含むことができることを当業者ならやはり理解するであろう。従来型のMTJデバイスは、多層構造として描いた層のうちのあのもの、たとえば、強磁性自由層 116 をやはり形成することができる。

## 【 0 0 3 1 】

図 1 を依然として参照すると、MTJピラー 102 と同じであるまたは同等の多層MT

50

「デバイスのための従来の製造技術は、例示の基板 104 などの基板上に、図 1 の層の断面を有する（X-Y 平面内の拡がりの点で）より大きい多層 M T J 構造（明示的に示されない）を形成することによって開始することができることを、当業者ならやはり理解するであろう。より大きい多層構造は、「M T J 多層開始構造」と呼ばれることがある。M T J 多層開始構造は、たとえば、図 1 の例示の M T J ピラー 102 の、それぞれ D M 1 および D M 2 よりも実質的に大きいある距離、X および Y 方向に拡がることのできる。従来の M T J 製造技術は、次いで、M T J 多層開始構造から、たとえば 1 つまたは複数のエッチングプロセスによって材料を除去することができ、残りの構造として M T J ピラー 102 を得ることができる。知られた従来型の製造装置およびシステムは、利用されることが可能であり、したがって、例示的な実施形態に従った例示の態様および動作の後の説明に付随する場合を除いて、さらに詳細な説明は、省略される。

10

#### 【0032】

例示的な実施形態を図示し、関係し、例示的な実施形態に従った環境であってもよく、および / または例示的な実施形態に従って修正されることがあり得る、知られた従来の M T J 製造技術のある種の特性を説明する前に、M T J ピラー 102 の強磁性自由層 116 などの層のある種の理想的な構造態様が、論じられるであろう。

#### 【0033】

図 2 は、強磁性自由層 116 の 1 つの仮想理想構造 200 の、図 1 の投影 2-2 からの平面図である。強磁性自由層 116 の説明する仮想理想構造 200 は、強磁性ピン層 112 の仮想理想構造（明示的に示されない）をやはり特徴付けることができることが理解されるであろう。仮想理想構造 200 は、「理想的な」化学的 / 強磁性構造を有し、I D E A L \_ \_ E D G として重ね合わせた図によってわざと区別された周辺領域を有する。この説明の目的のために、「理想的な」化学的 / 強磁性構造は、I D E A L \_ \_ E D G 領域の化学的組成およびその強磁性特性が、仮想理想構造 200 の残りの領域、すなわち、I D E A L \_ \_ E D G によって囲まれ、境界を接する領域と同じであることを意味する。図 2 を参照する際の利便性のために、I D E A L \_ \_ E D G の内側の強磁性層の仮想理想構造 200 の領域は、「主領域」と名付けられるであろう。

20

#### 【0034】

図 2 を依然として参照すると、I D E A L \_ \_ E D G は、エネルギーを与えずにかつ何らかの化学反応を作用させずに - 残りの構造として M T J ピラー 102 を得るために、多層 M T J 開始構造からの材料の仮想的な除去からもたらされると想定される。I D E A L \_ \_ E D G は、したがって何らかの構造変化の表現ではない。それとは反対に、前に説明したように、仮想理想構造 200 は、一様な化学的構造および強磁性特性を有すると想定される。I D E A L \_ \_ E D G は、基準位置にすぎず、ここでは「位置」は、後の部分で非常に詳細に説明されるように、M T J ピラー 102 などの構造中の強磁性層の実際の製造した例において同じように位置する領域のところの構造との比較のために、最端部 E D G から内側への（中心 C P に向けての）径方向の距離によって規定される。

30

#### 【0035】

この開示において前に説明したように、図 2 の I D E A L \_ \_ E D G は、エネルギーを与えずにかつ何らかの化学反応を作用させずに - 残りの構造として M T J ピラー 102 を得るために、多層 M T J 開始構造からの材料の仮想的な除去を想定する。しかしながら、残りの構造として M T J ピラー 102 を得るために、多層 M T J 開始構造から材料を除去するための知られたエッチング技術は、エネルギーを与え、したがって、望ましくない化学反応を作用させる、すなわち、化学的損傷をもたらすことがある。化学反応は、M T J ピラー 102 を形成する層の周辺部（または周辺端部領域）のところの、たとえば強磁性自由層 116 の周辺部のところの酸化、窒化、フッ化のうちの 1 つまたは複数を含むことがある。加えて、次のプロセスステップに進む遷移プロセス、およびエッチングプロセスに続く C V D（化学気相堆積）は、強磁性層の周辺部に化学的損傷を引き起こすことがある。

40

#### 【0036】

50

図 3 A は、図 1 の上に重ね合わせた図によって、多層 M T J ピラー 1 0 2 と実質的に同じに配置されるが、図 1 の強磁性自由層 1 1 6 の代わりに化学的に損傷した周辺端部強磁性（「損傷した P E F M」）自由層 3 6 0 を有する M T J ピラー構造 3 0 0 の断面を示す切取前面投影図を示す。「損傷した P E F M」という用語は、単純に「化学的に損傷した周辺端部強磁性」についての略語であり、付加的な意味を持ち込まないことが理解されるであろう。M T J ピラー構造 3 0 0 は、図 1 の強磁性ピン層 1 1 2 の代わりに損傷した P E F M ピン層 3 8 0 をやはり示す。けれども、例示的な実施形態は、損傷した P E F M 自由層 3 6 0 および損傷した P E F M ピン層 3 8 0 のうちのいずれか一方または両方で実行され得ることが理解されるであろう。

【 0 0 3 7 】

図 3 B は、図 3 A の投影 3 - 3 から見た例示の化学的に損傷した周辺領域 3 6 0 4 によって取り囲まれた例示の「主」または「中央」領域 3 6 0 2 を示す重ね合わせた図を含む損傷した P E F M 自由層 3 6 0 のスライス 3 6 0 A を示す。

【 0 0 3 8 】

化学的に損傷した周辺領域 3 6 0 4 は、従来のエッチング技術および関係する処理、たとえば化学気相堆積（C V D）から起きることがある化学的損傷の 1 つの一般的な分布を表す。損傷した P E F M ピン層 3 8 0（図 3 A にだけ示される）は、従来のエッチング技術および関係する処理から起きることがある上記の化学的損傷の 1 つの一般的な分布を表す、損傷しない「主」または「中央」領域 3 8 0 2 および化学的に損傷した周辺領域 3 8 0 4 を、同じように含む。

【 0 0 3 9 】

簡潔のために、様々な例について、損傷した P E F M 自由層 3 6 0 のみに関係して説明される。けれども、別なふうに明確に述べられる場合、または文脈から明らかにされる場合を除いて、例および様々な態様は、損傷した P E F M ピン層 3 8 0 に関係して、または損傷した P E F M 自由層 3 6 0 および損傷した P E F M ピン層 3 8 0 の両方に関係して実施され得ることが理解されるであろう。

【 0 0 4 0 】

図 3 A および図 3 B を参照すると、損傷した P E F M 自由層 3 6 0 の化学的に損傷した周辺領域 3 6 0 4 は、損傷した P E F M 自由層 3 6 0 がそこからエッチングされた M T J 多層開始構造の層（明確には示されない）を形成する材料の酸化、窒化、または両方を表すことができる。酸化、窒化、または両方は、エッチングプロセス中に導入される、たとえば、窒素もしくは酸素、または両方から起きることがある。化学的に損傷した周辺領域 3 6 0 4 を形成した酸化、窒化、または両方の具体的な化学的構造は、損傷した P E F M 自由層 3 6 0 がそこから形成された M T J 多層開始構造の化学的構造に、少なくとも一部は依存する。

【 0 0 4 1 】

たとえば、ある態様では、損傷した P E F M 自由層 3 6 0 は、軟強磁性材料、たとえば鉄（F e）の層からエッチングされてもよい。F e 強磁性体の窒化は、硬磁性材料、たとえば F e N を生成することができる。化学的に損傷した周辺領域 3 6 0 4 の硬磁性 F e N 組成物は、製造が終わり、損傷した P E F M 自由層が動作 M T J デバイスの一部であるときに、損傷した P E F M 自由層 3 6 0 の性能特性に不都合な効果を有することがある。不都合な効果の例は、たとえば、単独でまたは組合せで、大きい磁気飽和（M s）、大きいオフセット磁場（H o f f）、低い交換定数、トンネル磁気抵抗（T M R）の低下、および/または R - H ループの劣化であり得る。

【 0 0 4 2 】

図 3 A ~ 図 3 B を引き続き参照すると、化学的に損傷した周辺領域 3 6 0 4 は、外側端部（別々に符号を付けずに示される）のところに、または外側端部に実質的に一致する外側末端部を有することがあり、幾何学的中心 C P へと径方向に測定した平均深さ D P まで拡がり得る。例示の目的で、損傷した P E F M 自由層 3 6 0 は、図 1 および図 2 に符号を付けた「D M 1」および「D M 2」と同じであってもよい（図 3 B 上では符号を付けずに

10

20

30

40

50

示される) 長径および短径を有する楕円形状を有すると想定されるであろう。径(たとえば、DM1、DM2、またはDM1、DM2の平均)に対する平均深さDPの比率の図3Bの図式表示は、図における可視性のためであり、径に対するDPの比率の数値を表すものではないことが理解されるであろう。

#### 【0043】

MTJデバイスの従来の製造では、図1のMTJピラー102などのピラーを形成するためのエッチングの後、1つまたは複数の層が付けられてもよいことが、注目に値する。エッチングが図3A~図3Bの化学的に損傷した周辺領域3604によって示したような損傷領域を形成する従来の製造における事例では、1つまたは複数の層がそのような損傷した周辺領域上に付けられてもよいことが、さらに注目に値する。そのような層は、「保護層」と従来のMTJ製造技術では呼ばれることがある。

10

#### 【0044】

後の部分において非常に詳細に説明されるであろうように、一実施形態に従えば、化学的に損傷した周辺領域3604のすべてが、または少なくとも選択した十分な割合が、完全に強磁性を失った「化学的に修飾された周辺部分」(図3Aおよび図3Bには示されない)へと変換され得る。関係する新規な構造とともに、化学的に修飾された周辺部分は、後の部分において非常に詳細に説明される他の利点の中で、従来のMTJ磁性層技術において生じ得る化学的端部損傷から生じる磁気特性の上に説明した劣化の著しい減少および/または削除を提供できる。

#### 【0045】

20

ある態様では、化学的に損傷した周辺領域3604の磁性を失った化学的に修飾された周辺部分への変換は、酸化プロセスを含んでもよい。関連する態様では、化学的に損傷した周辺領域3604の磁性を失った化学的に修飾された周辺部分への変換は、窒化プロセスを含んでもよい。さらなる態様では、化学的に損傷した周辺領域3604の磁性を失った化学的に修飾された周辺部分への変換は、フッ化プロセスを含んでもよい。別の態様では、化学的に損傷した周辺領域3604の磁性を失った化学的に修飾された周辺部分への変換は、窒化プロセス、酸化プロセスおよび/またはフッ化プロセスの中からいずれか2つ以上の組合せを含んでもよい。

#### 【0046】

30

様々な例示的な実施形態は、後の部分において非常に詳細に説明されるように、窒化プロセス、酸化プロセスおよびフッ化プロセスのうちの1つまたは複数を用いて、そのようなプロセスを利用して活用するように構成された態様では、プロセス中の強磁性層の化学的に損傷した周辺領域の損傷した結晶構造上では、残りの領域、すなわち中央領域の損傷していない結晶構造上よりも著しく早く作用する。

#### 【0047】

40

この態様に対してさらに、窒化プロセス、酸化プロセス、フッ化プロセス、またはこれらの任意の組合せは、プロセス中のまたは中間ステップの強磁性層の化学的に損傷した周辺領域の満足できる割合が、化学的に修飾された周辺領域を形成するために酸化され、窒化され、またはフッ化されるまで続き得る。窒化プロセス、酸化プロセス、もしくはフッ化プロセス、またはこれらのプロセスの中の任意の組合せは、プロセス中のまたは中間ステップの強磁性層の損傷していない中央領域の容認できない酸化または窒化を引き起こす前に終わらせることが可能であることが、この開示から当業者には理解されるであろう。言い換えれば、ある態様では、窒化プロセス、酸化プロセスもしくはフッ化プロセス、またはこれらのプロセスの中の任意の組合せが、化学的に損傷した周辺領域中への深さの増加を続けることができ、好ましくは、その損傷した領域の深さに達したところでまたは直前に終わらせることができる。認識されるように、この処理は、強磁性層の中心から半径方向線に沿って一定で良い強磁性特性を有し、強磁性を失った特性へ急峻な勾配の遷移が続く強磁性層を生成することができる。

#### 【0048】

50

ある態様では、中間ステップまたはプロセス中の強磁性層は、強磁性元素、たとえばコ

バルト (C o)、鉄 (F e)、ニッケル (N i) および / もしくはホウ素 (B)、または強磁性元素の化合物、たとえば C o F e B、C o F e、N i F e、またはこれらの任意の組合せもしくは部分組合せを含むことができる。この態様に従えば、化学的に修飾された周辺領域は、酸化プロセスに付け加えて、F e O x、C o O x、C o F e O x、N i F e O x、および / または B O x の中から 1 つまたは複数を含むことができる。同じように、窒化プロセスに付け加えてある態様では、周辺の化学的に修飾された部分は、F e N x、C o N x、C o F e N x、N i F e N x、および / または B N x の中から 1 つまたは複数を含むことができる。フッ化プロセスに付け加えてある態様では、化学的に修飾された周辺領域は、C o F x、F e F x、N i F e F x、B F x および / または C o F e F x のうちの 1 つまたは複数を含むことができる。酸化、窒化、およびフッ化の中からの 2 つの組合せまたは部分組合せを採用する態様は、上に特定した化学的化合物の組合せを含むことができる。

10

#### 【0049】

別の態様では、様々な例示的な実施形態に従って、酸化、窒化、および / もしくはフッ化、またはこれらの任意の組合せによって、化学的に損傷した周辺領域 3604 の化学的に修飾された周辺部分への変換の後、トリミングまたはイオンミリングプロセスが、化学的に修飾された周辺部分のすべてまたは大部分を除去するために実行されてもよい。

#### 【0050】

別の態様では、化学的に修飾された周辺部分のすべてもしくは大部分を除去する態様と組み合わせて、またはそのような除去を実行せずにのいずれかで、保護層が、付けられてもよい。ある態様では、保護層は、酸化物層または窒化物層、たとえば A l O x であってもよい。

20

#### 【0051】

図 4 A は、1 つまたは複数の例示的な実施形態に従って構造化しかつ形成した一例の化学的に修飾された端部 (「C M E」) 多層 M T J デバイス 400 の態様を示す、構成要素層の延長 X - Y 平面に垂直な投影面 X - Z 上の断面図である。「C M E」という用語は、単純に「化学的に修飾された端部」についての略語であり、付加的な意味を持ち込まないことが理解されるであろう。図 4 B は、1 つの例示的な実施形態に従って構造化しかつ形成した図 4 A の C M E 多層 M T J デバイス 400 の 1 つの C M E 強磁性層を示す図 4 A の投影 4 - 4 からの図である。

30

#### 【0052】

図 4 A の C M E 多層 M T J デバイス 400 は、たとえば、読出し / 書込みアクセス回路および他の回路を省略した単純化した形式で示され、これらの回路に関して、説明は、例示的な実施形態のうちの 1 つまたは複数に従った発明の概念および実施を理解するためにこの開示を見ると、当業者にとっては必ずしも必要でない。「C M E 多層 M T J デバイス」400 または「化学的に修飾された端部多層 M T J デバイス」400 という用語において使用されるような「デバイス」は、完全に製造されたデバイスに対する例示的な実施形態のいずれかに従った実施に限定することを意味しないことが理解されるであろう。たとえば、C M E 多層 M T J デバイス 400 は、「プロセス中の」構造であってもよい、すなわち、その描かれた構造の部分 (別々の符号を付けられていない) が、従来の M T J 製造技術に従って、除去されてもよい、または引き続く処理によって修正されてもよい。

40

#### 【0053】

図 4 A ~ 図 4 B の C M E 多層 M T J デバイス 400 は、利便性のために、図 1 の多層 M T J デバイス 100 の一般的な積層構成を有する。この例が、例示的な実施形態に特有でない追加の構造の導入および説明を必要とせずに、新規な態様に焦点を当てることを助けるために使用されることが理解されるであろう。当業者には容易に認識されるであろうように、この開示を読むと、様々な例示的な実施形態に従った実施は、図 1 の多層 M T J デバイス 100 の一般的な積層構成に適合する構造に限定されない。

#### 【0054】

図 4 A を参照すると、C M E 多層 M T J デバイス 400 は、M T J 基板 402 (以降「

50



基板」402)、および基板402上に配置された底部電極404を含むことができる。基板402および底部電極404は、従来のMTJ技術に従って構造化されかつ形成され得る。基板402の上方には、底部電極404の上側表面(断面に示されるが、別々の符号を付けられていない)上に、多層ピラー構造450(以降「MTJピラー」450)があり得る。MTJピラー450は、底部から頂部への順序で(すなわち、「Z」軸の矢印方向に)、シード層406、AFピンニング層408、化学的に修飾された端部(「CME」)強磁性ピンド層460、トンネルバリア層410、CME強磁性自由層462およびキャッピング層412を含むことができる。ある態様では、CME強磁性ピンド層460は、主領域4602および化学的に修飾された周辺領域4604を含むことができる。さらなる態様では、CME強磁性自由層462は、主領域4622および化学的に修飾された周辺部分4624を含むことができる。一態様では、CME強磁性ピンド層460の主領域4602は、CoFeBもしくはCoFe、または両方などの強磁性材料を含むことができる。1つの関連する態様では、CME強磁性ピンド層460の化学的に修飾された周辺領域4604は、FeOx、CoOx、CoFeOx、BOx、FeNx、CoNx、CoFeNx、BNx、FeFx、CoFx、CoFeFx、および/またはBFx、これらの化学的化合物のうちのいずれかの任意の組合せまたは部分組合せを含むことができる。

10

20

30

40

50

#### 【0055】

図4Aを引き続き参照すると、一態様では、CME強磁性自由層462の主領域4622は、CoFeB、CoFeおよびNiFeのうちのいずれか1つ、またはそれらの任意の組合せもしくは部分組合せを含むことができる。1つの関連する態様では、CME強磁性自由層462の化学的に修飾された周辺領域4624は、FeOx、CoOx、CoFeOx、BOx、FeNx、CoNx、CoFeNx、BNx、FeFx、CoFx、CoFeFx、および/もしくはBFx、またはこれらの化学的化合物のうちのいずれかの任意の組合せもしくは部分組合せを含むことができる。

#### 【0056】

CME強磁性自由層462およびCME強磁性ピンド層460の両方を有する図4Aおよび図4BのCME多層MTJデバイス400は、この組合せに対する実施形態のうちのいずれかの範囲を限定することを意味しないことが理解されるであろう。代わりに、望まれる場合には、例示的な実施形態のうちの1つまたは複数に従った実施は、CME強磁性自由層462を含むことができるが、CME強磁性ピンド層460を形成することの代わりに、化学的に損傷した周辺領域を有する強磁性ピンド層(図4A~図4Bには示されていない)を残すことができる。同様に、例示的な実施形態のうちの1つまたは複数に従った実施は、CME強磁性ピンド層460を含むことができるが、CME強磁性自由層462の代わりに、化学的に損傷した周辺領域を有する強磁性自由層(図4A~図4Bには示されていない)を残すことができる。

#### 【0057】

図4AのCME多層MTJデバイス400などの構造を形成する際の1つまたは複数の例示的な実施形態の実施における例示のプロセスの結果を図示する例示のプロセス中の構造のスナップショットシーケンスについて、図6A~図6Fを参照して非常に詳細に説明されるであろう。図4AのCME多層MTJデバイス400などの構造を形成する1つまたは複数の例示的な実施形態を実施する際の例示のプロセスについては、図7を参照して非常に詳細に説明されるであろう。

#### 【0058】

図4Bを参照すると、ある態様では、1つの例示的な実施形態は、CME強磁性自由層462のための全表面積を選択することを含むことができる。この態様では、「全表面積」は、MTJピラー450の例示の楕円形状の全体幅DR1およびDR2に対応する面積を意味する。全表面積が目標のまたは所与の有効なMTJ面積よりも大きいことが理解されるであろう。目標のまたは所与の有効なMTJ面積(以降「目標有効MTJ面積」と包括的に呼ぶ)は、所与の面積寸法であり得る、すなわち、面積の単位で規定され得る。目

標有効 M T J 面積は、幅および長さ、たとえば、C M E 強磁性自由層 4 6 2 の主領域 4 6 2 2 の D E 1 および D E 2 に従ってさらに規定されてもよい。当業者には容易に認識されるように、全表面積と目標有効 M T J 面積との間の違い（すなわち、D R 1 と D E 1 との間の違い、および D R 2 と D E 2 との間の違い）は、化学的に修飾された周辺部分 4 6 2 4 の深さ D P M に対応する。ある態様では、深さ D P M は、C M E 強磁性自由層 4 6 2 に対する上に説明した前駆物質の化学的に損傷した周辺領域（図 4 A および図 4 B には示されていない）の深さ（図 4 A および図 4 B には示されていない）とほぼ同じであってもよい。したがって、目標有効 M T J 面積は、化学的に損傷した周辺領域の深さの直接的な推定、または実験的観察によってこの態様に従って特定され得るまたは求められ得る。強磁性層は、次いで、1 つまたは複数の例示的な実施形態に従って、目標値にその計算した深さまたは観察した深さを加算することに基づいた実際の面積を含む状態で製造され得る。

10

#### 【0059】

図 4 B を依然として参照すると、ある態様は、目標有効面積および損傷した周辺領域の計算した深さまたは観察した深さに基づいて、たとえば上に説明した態様と類似の方法で、C M E 強磁性ピンド層 4 6 0 についての全表面積を選択することを含むことができることが理解されるであろう。

#### 【0060】

図 5 A は、別の例示的な実施形態に従って構造化しかつ形成した一例の化学的に修飾された端部（「C M E」）多層 M T J デバイス 5 0 0 の態様を示す、構成要素層の延長 X - Y 平面に垂直な X - Z 投影面上の断面図である。ある態様では、C M E 多層 M T J デバイス 5 0 0 は、保護層 5 0 2 とさらに組み合わせた C M E 多層 M T J デバイス 4 0 0 を含むことができる。この態様に対してさらに、保護層 5 0 2 は、C M E 強磁性ピンド層 4 6 0 の化学的に修飾された周辺部分 4 6 0 4 の上方に、および C M E 強磁性自由層 4 6 2 の化学的に修飾された周辺部分 4 6 2 4 の上方に形成され得る。保護層 5 0 2 は、たとえば A l O x から作られてもよい。

20

#### 【0061】

保護層 5 0 2 の様々な利点は、たとえば、化学的に修飾された周辺部分 4 6 2 4 および / または 4 6 0 4 の望ましくない移入 ( m i g r a t i o n ) または深化に備えた保護を含むことができる。保護層 5 0 2 の他の利点は、望ましくない弱強磁性効果を再導入することがある化学的に修飾された周辺部分 4 6 2 4 および / または 4 6 0 4 に対する化学的損傷の保護であり得る。ある態様では、保護層 5 0 2 は、C M E 強磁性自由層 4 6 2 および C M E 強磁性ピンド層 4 6 0 の、それぞれ、化学的に修飾された周辺部分 4 6 2 4 および 4 6 0 4 を形成する変換プロセスの直後に形成されてもよい。

30

#### 【0062】

図 6 A ~ 図 6 C は、1 つまたは複数の例示的な実施形態に従ったプロセスで形成した中間構造であり得る構造形成の一例のシーケンスを示し、その例について、図 8 を参照して非常に詳細に説明される。図 6 D は、図 6 A ~ 図 6 C の例示のシーケンスと組み合わせられ得る一態様に従った一例のさらなるシーケンスを示す。図 6 E は、図 6 A ~ 図 6 C の例示のシーケンスと組み合わせられ得る一態様に従った別のさらなるシーケンスの一例を示す。図 6 F は、図 6 A ~ 図 6 C および図 6 E の例示の組合せシーケンスと組み合わせられ得る一態様に従ったさらに別のさらなるシーケンスの一例を示す。

40

#### 【0063】

図 6 A を参照すると、例示の M T J 多層開始構造 6 0 2 は、形成されるまたは用意されることが可能であり、M T J 基板 6 2 2（以降「基板」6 2 2）で始まりその描かれた積層順に列挙された、底部電極 6 2 4、シード層 6 2 6、A F ピンニング層 6 2 8、強磁性ピンド層 6 3 0、トンネルバリア層 6 3 2、強磁性自由層 6 3 4、およびキャッピング層 6 3 6 を有することができる。ある態様では、強磁性自由層 6 3 4 は、C o F e B、N i F e、もしくは C o F e、またはこれらの任意の組合せもしくは部分組合せを含むことができる。別の態様では、強磁性ピンド層 6 3 0 は、C o F e B、C o F e、または両方を含むことができる。M T J 基板 6 2 2、底部電極 6 2 4、シード層 6 2 6、A F ピンニン

50

グ層 6 2 8、トンネルバリア層 6 3 2、およびキャッピング層 6 3 6 を形成する材料に関して、これらは、従来型の M T J 設計技術に従うことが可能であり、したがって、さらに詳細な説明は省略される。M T J 基板 6 2 2、底部電極 6 2 4、シード層 6 2 6、A F ピンニング層 6 2 8、強磁性ピンド層 6 3 0、トンネルバリア層 6 3 2、強磁性自由層 6 3 4、およびキャッピング層 6 3 6 を形成するための方法に関して、これらは、従来の M T J 製造技術に従うことが可能であり、したがって、さらに詳細な説明は省略される。

#### 【 0 0 6 4 】

図 6 A を依然として参照すると、1 つの例示的な実施形態に従った例示のプロセスでは、従来のエッチングが、たとえば、プロセス中の M T J ピラー 6 5 0 を有する図 6 B のプロセス中の構造 6 0 4 を形成するために底部電極層 6 2 4 まで、図 6 A の M T J 多層開始構造 6 0 2 上に実行され得る。ある態様では、従来のエッチングは、プロセス中の M T J ピラー 6 5 0 が化学的に損傷した周辺端部強磁性（「損傷した P E F M」）ピンド層 6 6 0 および損傷した P E F M 自由層 6 6 2 を含むような方法で、プロセス中の M T J ピラー 6 5 0 を形成するために使用されてもよい。損傷した P E F M ピンド層 6 6 0 は、「プロセス中の損傷した P E F M ピンド層」6 6 0 と代わりには呼ばれることがあり、損傷した P E F M 自由層 6 6 2 は、「プロセス中の損傷した P E F M 自由層」6 6 2 と代わりには呼ばれることがある。関連する態様では、プロセス中の損傷した P E F M 自由層 6 6 2 は、化学的に損傷した周辺領域 6 6 2 4 および主領域 6 6 2 2 を含む。この開示において以前に論じたように、化学的に損傷した周辺領域 6 6 0 4 および 6 6 2 4 は、弱強磁性になることがあり、これは、デバイス性能における望ましくない効果を有することがある。

10

20

#### 【 0 0 6 5 】

図 6 B を参照すると、図 3 B の深さ D P の方向に相当する内向きの径方向に測定した化学的に損傷した周辺領域 6 6 2 4 の深さ D P T は、従来のエッチング調整技術を使用して当業者により容易に調整され得る。ある態様では、損傷した P E F M ピンド層 6 6 0 の化学的に損傷した周辺領域 6 6 0 4 の深さ（示されるが別々には符号を付けていない）は、D P T と同じである、または実質的に同じであってもよいことが想定され得る。

#### 【 0 0 6 6 】

図 4 A ~ 図 4 B を参照して前に説明したように、様々な例示的な実施形態では、図 6 B を参照して、プロセス中の M T J ピラー 6 5 0 の全体の径（水平な幅として示されるが、別々には符号を付けていない）を選択することを含むことができ、その結果、主領域 6 6 2 2 の径が、所望の有効 M T J 面積を含む損傷した P E F M 自由層 6 6 2 になる。所望の有効 M T J 面積は、「目標 M T J 面積」とやはり呼ばれることがある。本開示を見ると当業者には容易に認識されるであろうように、深さ D P T は、この態様の観点から調整され得る。

30

#### 【 0 0 6 7 】

図 6 B を参照すると、損傷した P E F M 自由層 6 6 2 および損傷した P E F M ピンド層 6 6 0 の化学的に損傷した周辺領域 6 6 2 4 および 6 6 0 4 は、たとえ弱くても、すなわち、主領域 6 6 2 2 および 6 6 0 2 の強磁性特性と比較して著しく劣化した強磁性特性を依然として有することができる。化学的に損傷した周辺領域 6 6 2 4 および 6 6 0 4 の残っている弱い強磁性特性についての理由は、損傷がこれらの領域中へと拡散する O、N および / または F からもたらされたけれども、拡散が、完全なまたは十分に完全な酸化、窒化、またはフッ化を引き起こすためには不十分であったためである。結果は、化学的に損傷した周辺領域 6 6 2 4 および 6 6 0 4 が著しく劣化した強磁性特性、たとえば、著しく減少した強磁性交換結合を有することである。これは、順に、最終デバイスの著しく劣化した M T J スイッチング特性という結果に終わり得る。様々な例示的な実施形態に従ったプロセスおよび装置は、他の特徴および利点の中で、強磁性を失った化学的組成にまで、それぞれ化学的に損傷した周辺領域 6 6 0 4 および / または化学的に損傷した周辺領域 6 6 2 4 のすべてを、または満足できる割合を変換する変換プロセスを実行することによってこれらの劣化させる効果の著しい削減または排除を実現する。

40

#### 【 0 0 6 8 】

50

図 6 C は、図 6 B のプロセス中の構造 6 0 4 などの構造上に、1 つまたは複数の例示的な実施形態に従った変換プロセスによって実現され得るデバイス 6 0 6 を示す。変換は、酸化、窒化、もしくはフッ化、またはこれらの任意の組合せもしくは部分組合せを含むことができる。ある態様では、変換プロセスは、損傷した P E F M ピンド層 6 6 0 のそれぞれの化学的に損傷した周辺領域 6 6 0 4 の実質的にすべてを、強磁性を失った化学的に修飾された周辺部分 6 8 0 4 に転換するまたは変換することができる。強磁性を失った化学的に修飾された周辺部分 6 8 0 4 は、主強磁性領域 6 8 0 2 を取り囲む。ある態様では、変換することは、たとえあるとしても、ほんのわずかに残っているまたは残留する化学的に損傷した領域が、化学的に修飾された周辺部分 6 8 0 4 と主強磁性領域 6 8 0 2 との間に存在するように実行されてもよい。ある態様では、化学的に修飾された周辺部分 6 8 0 4 の化学的組成は、たとえば、F e O x、C o O x、C o F e O x、B O x、F e N x、C o N x、C o F e N x、B N x、F e F x、および / もしくは C o F x、またはこれらの化学的化合物の任意の組合せもしくは部分組合せを含むことができる。

10

20

30

40

50

#### 【0069】

図 6 C を依然として参照すると、1 つまたは複数の例示的な実施形態に従えば、変換プロセスは、酸化プロセスを含むことができる。これは、F e O x、C o O x、C o F e O x、および / もしくは B O x のうちの 1 つもしくは複数、またはこれらの任意の組合せもしくは部分組合せを含む化学的組成を有する化学的に修飾された周辺部分 6 8 0 4 を実現することができる。別の態様では、変換プロセスは、窒化プロセスを含むことができ、F e N x、C o N x、C o F e N x、および / もしくは B N x のうちの 1 つ、または 1 つもしくは複数の組合せを有する化学的組成を含む化学的に修飾された周辺部分 6 8 0 4 を実現する。さらなる態様では、変換プロセスは、フッ化プロセスを含むことができ、F e F x および / もしくは C o F x の中から 1 つまたは複数を含む化学的組成を含む化学的に修飾された周辺部分 6 8 0 4 を実現する。別の態様では、化学的に損傷した周辺領域 6 6 0 4 の磁性を失った化学的に修飾された周辺部分 6 8 0 4 への変換は、窒化プロセス、酸化プロセスおよび / もしくはフッ化プロセスの中から任意の 2 つ以上の組合せを含むことができる。これは、順に、単独で機能するプロセスのうちのいずれかによって実現される上に説明した化学的組成の様々な組合せまたは部分組合せを有する化学的組成を含む化学的に修飾された周辺部分 6 8 0 4 を実現することができる。

#### 【0070】

図 6 C を参照すると、デバイス 6 0 6 は、ある態様に従って、化学的に修飾された周辺部分 6 8 0 4 の深さ D P M が化学的に損傷した周辺領域 6 6 2 4 の図 6 B の深さ D P T と実質的に同じであるように調整したまたは適用した変換を示す。1 つまたは複数の例示的な実施形態の態様では、酸化プロセス、窒化プロセスおよび / もしくはフッ化プロセスは、化学的に損傷した周辺領域 6 6 2 4 上では（損傷していない）主領域 6 6 2 2 上よりもより早く作用する態様を利用するように構成され、適用される。これらの態様が、利点、たとえば、酸化、窒化および / もしくはフッ化のためのプロセスパラメータ、たとえば、時間および環境のより平易な設定を実現できることが認識されるであろう。一例として、図 6 B の主領域 6 6 2 2 中への酸化、窒化および / もしくはフッ化の許容できない移入なしに、化学的に損傷した周辺領域 6 6 2 4 の満足できる変換を実現する酸化、窒化および / もしくはフッ化パラメータが、より容易に設定され得る。

#### 【0071】

図 6 C のデバイス 6 0 6 は、1 つまたは複数の例示的な実施形態に従った、損傷した P E F M ピンド層 6 6 0 の化学的に損傷した周辺領域 6 6 0 4 および損傷した P E F M 自由層 6 6 2 の化学的に損傷した周辺領域 6 6 2 4 の両方の変換を反映する。変換することは、それぞれ、C M E 強磁性ピンド層 6 8 0 および C M E 強磁性自由層 6 8 2 を形成する。C M E 強磁性ピンド層 6 8 0 は、損傷した P E F M ピンド層 6 6 0 の化学的に損傷した周辺領域 6 6 0 4 を化学的に修飾された周辺領域 6 8 0 4 へと変換することからもたらされる。C M E 強磁性自由層 6 8 2 は、損傷した P E F M 自由層 6 6 2 の化学的に損傷した周辺領域 6 6 2 4 を化学的に修飾された周辺領域 6 8 2 4 へと変換することからもたらされ

る。これは一態様であり、例示的な実施形態のうちのいずれかの範囲を限定するものではない。たとえば、プロセス中のMTJピラー650を形成するエッチングのうちの1つまたは複数を变えることによって、変換プロセスは、損傷したPEFMピンド層660および損傷したPEFM自由層662のうちの一方に対して選択的であってもよい。1つまたは複数の例示的な実施形態に従った一例の二段階エッチングおよび修復プロセスについて、たとえば図7A～図7Fを参照して、非常に詳細に後で説明される。

#### 【0072】

図6Cを参照すると、デバイス606は、ある態様では、1つまたは複数の例示的な実施形態に従って完成したデバイスであってもよい、または完全なプロセスを反映してもよい。別の態様では、様々な例示的な実施形態は、たとえば、CME強磁性ピンド層680の化学的に修飾された周辺部分6804およびCME強磁性自由層682の化学的に修飾された周辺部分6824のうちの1つまたは複数の上に保護層を形成することを含むことができる。

#### 【0073】

図6Dは、これらの例示的な実施形態のうちの1つまたは複数の従った一例のデバイス608の断面図を示す。図6Dのデバイス608は、CME強磁性ピンド層680およびCME強磁性自由層682を有するピラー（示されるが、別々に番号を付けられていない）を取り囲む保護層690を含む状態で図6Cのデバイス606を含む。保護層は、たとえば、AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>から形成されてもよい。この態様の一例の利点は、保護層690がその後の損傷から化学的に修飾された周辺領域6804および6824を保護することであり得る。

#### 【0074】

図6A～図6Dにおいて示した例示的な実施形態は、変換態様、たとえば、酸化、窒化および/またはフッ化によって形成された化学的に修飾された周辺領域を維持するように説明されてきている。別の態様では、例示的な実施形態は、化学的に修飾された周辺領域のすべてまたは選択した部分を除去することを含むことができる。除去は、たとえば、トリミングまたはイオンミリングによって実行されてもよい。

#### 【0075】

図6Eは、化学的に修飾された周辺領域のすべてまたは選択した部分のそのような除去を含む1つまたは複数の例示的な実施形態に従い、かつこれらの実施形態に従ったプロセスからもたらされる例示の構造を有する1つのデバイス610を示す。図6Eのデバイス610は、利便性のために、図6Cのデバイス606上に実行した引き続くトリミングまたはイオンミリングプロセスから生成されるように示される。図6Eのデバイス610は、「損傷しない周辺領域」または、簡潔のために「損傷しない」強磁性自由層692と名付けられたものを形成するために、図6CのCME強磁性自由層682の化学的に修飾された周辺領域6824を除去する引き続くトリミングまたはイオンミリングを示す。「損傷しない周辺」強磁性自由層692という用語における「損傷しない」という用語は、残留する損傷、すなわち、ゼロでない実際の損傷を有する構造を包含するが、強磁性主領域と比較してその外周のところで満足できる低い強磁性特性を示すことが理解されるであろう。

#### 【0076】

図6Eを参照すると、例示のデバイス610は、CME強磁性ピンド層680の化学的に修飾された周辺領域6804を残しながら、化学的に修飾された周辺領域6824だけのトリミングまたはイオンミリングを示す。これは例示の目的のためにすぎず、いずれかの例示的な実施形態に従った実施の範囲を限定するものではないことが理解されるであろう。たとえば、1つまたは複数の例示的な実施形態に従ったさらなるトリミングまたはイオンミリング操作（図には示されていない）は、CME強磁性ピンド層680の化学的に修飾された周辺領域6804を除去することができる。

#### 【0077】

図6Fは、1つまたは複数の例示的な実施形態に従い、かつこれらの実施形態に従った

プロセスからもたらされる例示の構造を有する 1 つのデバイス 6 1 2 を示す。デバイス 6 1 2 は、1 つまたは複数の化学的に修飾された周辺領域のすべてまたは選択した部分の除去に加えて、保護層 6 9 4 を含む。保護層は、図 6 E の損傷しない強磁性自由層 6 9 2 の周辺部（示されるが、別々の符号を付けられていない）およびさらなる態様では、C M E 強磁性ピン層 6 8 0 の化学的に修飾された周辺部分 6 8 0 4 を覆うように形成される。

【0078】

図 7 A ~ 図 7 F は、1 つまたは複数の例示的な実施形態に従った二段階エッチングおよび修復プロセスにおいて形成される構造の例示のスナップショットを示す。二段階エッチングおよび修復プロセスに特有な態様に焦点を当てることを助けるために、例示の操作および構造の例示のスナップショットについて、図 6 A ~ 図 6 F を参照して説明したある種の操作およびある種の構造の修正形態として提示され説明される。

【0079】

図 7 A を参照すると、一例のプロセスは、前に説明した図 6 A の M T J 多層開始構造 6 0 2 と同じであってもよい M T J 多層開始構造 7 0 2 で始まり得る。1 つの例示的な実施形態に従った一例のプロセスでは、従来のエッチング技術に従ってもよい第 1 のエッチングが、図 7 A の M T J 多層開始構造 7 0 2 上に実行され、プロセス中のピラー 7 5 0 を有するプロセス中の構造 7 0 4 を形成することができる。プロセス中のピラー 7 5 0 は、プロセス中の強磁性層として、前に説明した損傷した P E F M 自由層 6 6 2 を含むことができる。ある態様では、損傷した P E F M 自由層 6 6 2 は、化学的に損傷した周辺領域 6 6 2 4、および前に説明したように強磁性である主領域 6 6 2 2 を含むことができる。化学的に損傷した周辺領域 6 6 2 4 は、前に説明した深さ D P M を有することができる。プロセス中のピラー 7 5 0 の全体の径（水平方向の幅として示されるが、別々の符号を付けられていない）は、前に説明したように、所望の有効面積、または目標 M T J 面積を含む主領域 6 6 2 2 を与えることができる。損傷した P E F M 自由層 6 6 2 の化学的に損傷した周辺領域 6 6 2 4 は、前に説明したように、弱い強磁性特性、すなわち、主領域 6 6 2 2 および 6 6 0 2 の強磁性特性と比較して著しく劣化した特性を依然として有することができる。

【0080】

図 7 C は、図 7 B のプロセス中の構造 7 0 4 などの構造上に、1 つまたは複数の例示的な実施形態に従った変換プロセスから実現され得る化学的に修飾された端部、または C M E 強磁性自由層 6 8 2 を有するデバイス 7 0 6 を示す。C M E 強磁性自由層 6 8 2 を含む図 7 C のデバイス 7 0 6 は、酸化、窒化および / もしくはフッ化のうちのいずれか 1 つ、または任意の組合せを利用して変換することによって実現され得る。ある態様では、主領域 6 8 2 2 を取り囲む化学的に修飾された周辺領域 6 8 2 4 を有する図 7 C の C M E 強磁性自由層を形成するために図 7 B の損傷した P E F M 自由層 6 6 2 の 6 6 2 4 のそれぞれの化学的に損傷した周辺領域の実質的にすべてを変換するという変換が実行されてもよい（たとえば、継続時間を有してもよい）。前に説明したように、化学的に修飾された周辺領域 6 8 2 4 は、Fe O x、Ni Fe O x、Co O x、Co Fe O x、B O x、Fe N x、Ni Fe N x、Co N x、Co Fe N x、B N x、Fe F x、Ni Fe F x、Co F x、Co Fe F x および / もしくは B F x、またはこれらの化学的化合物の任意の組合せもしくは部分組合せを含むことができる。ある態様に従った化学的に修飾された周辺領域 6 8 2 4 の化学的組成は、強磁性が失われ得る。

【0081】

図 7 D は、ある態様では、図 7 C を参照して説明したように形成した化学的に修飾された周辺領域 6 8 2 4 を含む表面上に、たとえば、取り囲んで形成され得る保護層 7 6 0 を有するプロセス中のデバイス 7 0 8 を示す。保護層は、たとえば、Al O x から形成されてもよい。次に、図 7 E において示したように、プロセス中の構造 7 1 0 を形成するために、たとえば基板 6 2 2 まで達する別のエッチング、または第 2 のエッチングが、実行され得る。ある態様では、図 7 E のプロセス中の構造 7 1 0 を結果としてもたらしエッチングは、別の、または第 2 のプロセス中の強磁性層 7 6 2 のような強磁性ピン層 6 3 0 の

一部分を含むようにプロセス中のピラー 7 5 0 の床または基部を低くする、すなわち広げる。

【0082】

第2のプロセス中の磁性層 7 6 2 は、この例では、プロセス中の強磁性ピンド層である。けれども、エッチングは、第2の強磁性主領域を取り囲む第2の化学的に損傷した周辺端部領域を有する第2のプロセス中の強磁性層を形成する第2のエッチングの例であり得る。プロセス中の強磁性ピンド層 7 6 2 である第2のプロセス中の強磁性層の具体的な例では、化学的に損傷した周辺端部領域 7 6 2 2 は、強磁性主領域 7 6 2 4 を取り囲む。

【0083】

図 7 D および図 7 E を参照すると、保護層 7 6 0 の利点および特徴は、たとえば、図 7 E のプロセス中の構造 7 1 0 を形成するエッチングから生じる損傷から化学的に修飾された周辺部分 6 8 2 4 を保護することを含むことができることが認識され得る。同様に、保護層 7 6 0 が損傷から強磁性主領域 6 8 2 2 を保護したことが認識されるであろう。

【0084】

図 7 E において示したエッチングの深さは、単に例示の目的のためにすぎないことが理解されるであろう。エッチングは、たとえば、シード層 6 2 6 のところで、または別の例として、底部電極 6 2 4 のところで停止してもよい。別の代替例では、図 7 D におけるエッチングは、たとえば、シード層 6 2 6 まで継続してもよく、そして次いで、第3のエッチングが実行されてもよい。

【0085】

図 7 E を参照すると、前に説明したように、プロセス中の強磁性ピンド層 7 6 2 は、化学的に損傷した周辺端部領域 7 6 2 2 および強磁性主領域 7 6 2 4 を有する。ある態様では、化学的に損傷した周辺端部領域 7 6 2 2 上に何らかの遮断構造 (obstructing structure) を付けるまたは形成する前に、変換することが、化学的に損傷した周辺端部領域 7 6 2 2 のすべてまたは満足できる割合または一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換するために実行されてもよい。さらなる態様では、別の保護層が、次いでこの化学的に修飾された周辺部分を覆って形成されてもよい。図 7 F は、化学的に修飾された周辺部分 7 6 4、ならびに上に説明した変換することおよび別の保護層の形成を反映する別の保護層 7 6 6 を有する例示の構造 7 1 2 を示す。

【0086】

図 8 は、1つまたは複数の例示的な実施形態に従った M T J デバイスの層の端部修復および端部保護の様々な態様に対してさらに1つのプロセス 8 0 0 の1つのフローチャート図を示す。

【0087】

図 8 を参照すると、プロセス 8 0 0 のまたはこれに対してさらなる一例の操作は、図 6 A の M T J 多層開始構造 6 0 2 などの多層 M T J 開始構造、または M T J デバイスがそこからエッチングされ得るいずれかの他の多層開始構造を用意することまたは形成することで 8 0 2 において始まり得る。ある態様では、8 0 2 において形成したまたは用意した M T J 開始構造は、C o F e B または C o F e から形成された図 6 A の開始構造強磁性自由層 6 3 4 などの少なくとも1つの強磁性層を含むことができる。

【0088】

図 8 を依然として参照すると、プロセス 8 0 0 のまたはこれに対してさらなる一例の操作では、8 0 2 において多層 M T J 開始構造を用意したまたは形成した後、少なくとも1つの強磁性層の従来のエッチングが、少なくとも1つのプロセス中の強磁性層を有する中間 M T J 構造を得るために 8 0 4 において実行され得る。8 0 4 における従来のエッチングは、図 6 の損傷した P E F M 自由層 6 6 2 の化学的に損傷した周辺領域 6 6 2 4 などの化学的に損傷した周辺領域を有する少なくとも1つのプロセス中の強磁性層を形成するように構成され得る。ある態様では、8 0 4 におけるエッチングは、図 6 B の多層プロセス中の M T J ピラー 6 5 0 などの2つ以上のプロセス中の強磁性層の積層物を有する M T J ピラーを形成することができる。前に説明したように、図 6 B のプロセス中の M T J ピラ

10

20

30

40

50

ー 6 5 0 は、プロセス中の損傷した P E F M ピンド層 6 6 0、トンネルバリア層 6 3 2、およびプロセス中の損傷した P E F M 自由層 6 6 2 を含む。別の態様では、8 0 4 におけるエッチングは、磁気トンネル接合層に関して、プロセス中の損傷した P E F M 自由層 6 6 2 だけを有する図 7 B のプロセス中の M T J ピラー 7 5 0 などの M T J ピラーを形成する第 1 のエッチングであってもよい。

#### 【 0 0 8 9 】

図 8 を依然として参照すると、プロセス 8 0 0 の一例の操作では、1 つまたは複数のプロセス中の損傷した端部強磁性層を生成する 8 0 4 におけるエッチングの後、1 つまたは複数の例示的な実施形態に従った変換プロセスが、8 0 6 において実行され得る。8 0 6 における変換操作は、8 0 4 において形成したプロセス中の強磁性層の化学的に損傷した周辺領域のすべて、または選択し満足できる割合を、磁性を失った化学的に修飾された周辺部分へと変換するために適用され得る（たとえば、継続時間を有する）。ある態様では、8 0 6 における変換操作は、前に説明したように、酸化 8 6 2、窒化 8 6 4 および / もしくはフッ化 8 6 6、またはこれらの任意の組合せもしくは部分組合せを含むことができる。

#### 【 0 0 9 0 】

8 0 6 における変換操作は、変換すべき化学的に損傷した周辺領域上に遮断構造を形成する前に実行されるべきであることが理解されるであろう。この開示において前に説明したように、ある態様では、8 0 6 における変換操作は、強磁性層の損傷しない部分よりも著しく大きい速度で酸化、窒化、および / またはフッ化を受ける強磁性層の化学的に損傷した周辺領域の利用を活用し実現することができる。例示的な実施形態に従えば、利用および活用は、たとえば、損傷しない領域の許容できない変換をせずに、化学的に損傷した周辺領域の満足な変換が、すなわち、化学的に修飾された周辺領域の満足な深さが、得られることが可能な値で、変換プロセスパラメータ、たとえば、温度、酸化、窒化およびフッ化薬品および濃度を設定することを含むことができる。

#### 【 0 0 9 1 】

図 8 を参照すると、プロセス 8 0 0 のまたはこれに対してさらなる一例の操作では、8 0 6 における変換操作の後、プロセスは、8 1 2 においてうまく終わらせることができる。図 6 C は、そのデバイス 6 0 6 によって、満足な深さまで、化学的に修飾された周辺部分への化学的に損傷した周辺領域の変換後のプロセスのこのような終了の一例を示す。

#### 【 0 0 9 2 】

別の態様では、プロセス 8 0 0 の一例の操作では、8 0 6 における変換操作の後、プロセスは、8 0 8 へ進むことができ、非常に詳細に後で説明される例では、8 0 6 において形成した化学的に修飾された周辺部分のすべて、またはすべての許容可能な部分を除去するために、トリミングまたはイオンミリングを実行することができる。

#### 【 0 0 9 3 】

別の態様では、プロセス 8 0 0 の一例の操作は、8 0 6 における変換操作の後、8 1 0 へ直接進むことができ、8 0 6 において形成した化学的に修飾された周辺部分上に保護層を付けるまたは形成することができる。図 6 D を参照すると、保護層 6 9 0 を含むデバイス 6 0 8 は、保護層を 8 1 0 において形成することによって考えられるプロセスの一例の結果を示す。前に説明したように、8 1 0 において形成した保護層は、たとえば、A l O x であってもよい。一態様では、8 1 0 において保護層を形成することの後、プロセス 8 0 0 は、8 1 2 においてうまく終了させることができる。別の態様では、8 0 4 におけるエッチングが、図 7 B のプロセス中のピラー 7 5 0 などのピラーを形成し、まだピンド強磁性層がない第 1 の（または他の中間の）エッチングである場合には、プロセス 8 0 0 の操作は、8 0 4 に戻ることができ、前のエッチングにおいて達したよりも大きい深さまで別のエッチングを実行することができる。8 1 0 において形成した保護層が、8 0 6 において形成した自由強磁性層の化学的に修飾された周辺部分を保護することができることが認識されるであろう。ある態様では、別のエッチングを実行した後、プロセス中のピンド強磁性層を得るための上に説明したブロック、ブロック 8 0 6 が、プロセス中のピンド強



磁性層の化学的に損傷した周辺端部領域を修復するために繰り返されてもよい。810において形成した保護層が、プロセス中のピンド強磁性層の化学的に損傷した周辺端部領域のこの修復中に、806において形成した自由強磁性層の化学的に修飾された周辺部分をさらなる酸化、窒化、および/またはフッ化から保護することができることがやはり認識されるであろう。

#### 【0094】

図8を参照すると、前に説明したように、プロセス800の一例の操作では、806における変換操作の後、プロセスは808へ進むことができ、806において形成した化学的に修飾された周辺部分のすべて、またはすべてのうちの満足できる部分、または選択したものを除去するためにトリミングまたはイオンミリングを実行することができる。CME強磁性自由層682の化学的に修飾された周辺領域6824を除去するための図6Cのデバイス606上への操作の結果である図6Eのデバイス610は、808におけるトリミングまたはイオンミリングに従って形成され得る一例の構造を示す。

#### 【0095】

一態様では、上に説明したように808においてトリミングまたはイオンミリングを実行した後、プロセス800内の操作は、812において終わらせることができる。別の態様では、上に説明したように、808においてトリミングまたはイオンミリングを実行した後、プロセス800における操作は、810に進むことができ、前に説明したような保護コーティングを付けるまたは形成することができ、次いで、812においてうまく終わらせることができる。保護コーティング694を含む図6Eのデバイスである図6Fのデバイス612は、808におけるトリミングまたはイオンミリングに続く810における保護層を形成することなどのシーケンスに従って形成され得る一例の構造を示す。

#### 【0096】

図9は、本開示の1つまたは複数の実施形態が有利に採用され得る例示的なワイアレス通信システム900を図示する。例示の目的で、図9は、3つの遠隔ユニット920、930、および950ならびに2つの基地局940を示す。従来型のワイアレス通信システムには、はるかに多くの遠隔ユニットおよび基地局があり得ることが認識されるであろう。遠隔ユニット920、930、および950は、集積回路または他の半導体デバイス925、935、および955（本明細書において開示したような、オンチップ電圧調節器を含む）を含み、これらは、下記にさらに論じられるような本開示の実施形態の中にある。図9は、基地局940から遠隔ユニット920、930、および950への順方向リンク信号980、ならびに遠隔ユニット920、930、および950から基地局940への逆方向リンク信号990を示す。

#### 【0097】

図9では、遠隔ユニット920は、携帯電話として示され、遠隔ユニット930は、携帯型コンピュータとして示され、そして遠隔ユニット950は、ワイアレスローカルループシステム内の固定位置遠隔ユニットとして示される。たとえば、遠隔ユニット920、930、および950は、携帯電話または通信デバイス、ハンドヘルドパーソナル通信システム（PCS）ユニット、パーソナルデジタルアシスタントもしくはパーソナルデータアシスタント（PDA）などの携帯型データユニット、ナビゲーションデバイス（GPS対応デバイスなど）、セットトップボックス、音楽プレーヤ、ビデオプレーヤ、または他のエンタテインメントユニットのうちのいずれか1つまたは組合せであってもよい。遠隔ユニット920、930、および950は、加えて、検針機器などのいずれかの固定位置データユニット、またはデータもしくはコンピュータ命令を記憶するもしくは検索するいずれかの他のデバイス、またはこれらの任意の組合せであってもよい。図9が遠隔ユニット920、930、および950を図示するけれども、様々な例示的な実施形態は、これらの図示した例示のユニットに限定されないことが理解されるであろう。本開示の実施形態は、メモリならびに試験および特性評価用のオンチップ回路を含む能動集積回路を含む任意のデバイス内に適切に採用され得る。

#### 【0098】

前述の開示したデバイスおよび機能（図５Ａ～図５Ｂのデバイス、図６Ａ～図６Ｆによって示した構造のシーケンス、図７の方法、またはこれらの任意の組合せなど）は、コンピュータ可読有形媒体または他のコンピュータ可読媒体上に記憶されたコンピュータファイル（たとえば、RTL、GDSII、GERBER、等）中に設計され、構成され得る。そのようなファイルのいくつかまたはすべては、そのようなファイルに基づいてデバイスを製造する製造ハンドラに提供され得る。得られる製品は、半導体ウェハを含み、これは次いで、半導体ダイへと切断され、半導体チップへとパッケージングされる。半導体チップは、本明細書において上に記述したものなど、電子デバイスにおいて採用され得る。

#### 【００９９】

本明細書において開示した実施形態に関連して説明した方法、シーケンス、および／またはアルゴリズムは、ハードウェア内に直接、プロセッサによって実行されるソフトウェアモジュール内に、または２つの組合せで具体化され得る。ソフトウェアモジュールは、RAMメモリ、フラッシュメモリ、ROMメモリ、EPROMメモリ、EEPROMメモリ、レジスタ、ハードディスク、リムーバブルディスク、CD-ROM、または本技術において知られた記憶媒体のいずれかの他の形態中に存在し得る。例示的な記憶媒体は、プロセッサに結合され、その結果、プロセッサは、記憶媒体から情報を読み出し、これに情報を書込むことができる。代替形態では、記憶媒体は、プロセッサに統合されてもよい。

#### 【０１００】

したがって、本発明の実施形態は、実装のための方法を取り込んだコンピュータ可読媒体、たとえば、コンピュータ可読有形媒体を含むことができる。したがって、本発明は、図示した例に限定されず、本明細書において説明した機能を実行するためのすべての手段が、本発明の実施形態に含まれる。

#### 【０１０１】

前述の開示したデバイスおよび機能は、コンピュータ可読媒体上に記憶されたコンピュータファイル（たとえば、RTL、GDSII、GERBER、等）中に設計され、構成され得る。そのようなファイルのいくつかまたはすべては、そのようなファイルに基づいてデバイスを製造する製造ハンドラに提供され得る。得られる製品は、半導体ウェハを含み、これは次いで、半導体ダイへと切断され、半導体チップへとパッケージングされる。このチップは、次いで、上に記述したデバイスにおいて採用される。

#### 【０１０２】

前述の開示が本発明の例示の実施形態を示すとは言え、様々な変更および修正が、別記の特許請求の範囲によって規定されるような本発明の範囲から逸脱せずに本明細書において行われ得ることに留意すべきである。本明細書において説明した本発明の実施形態に従った方法の請求項の機能、ステップおよび／または行為は、いずれかの特定の順番で必ずしも実行される必要がない。さらにその上、本発明の要素が単数形で記述され、特許請求されることがあるけれども、単数形への限定が明確に述べられない限り、複数形が考えられる。

#### 【符号の説明】

#### 【０１０３】

- １００ 多層磁気トンネル接合（MTJ）デバイス
- １０２ MTJピラー
- １０４ 基板
- １０６ 底部電極
- １０８ シード層
- １１０ 反強磁性（AF）ピンニング層
- １１２ 強磁性ピンド層
- １１４ トンネルバリア層
- １１６ 強磁性自由層
- １１８ キャッピング層
- ２００ 仮想理想構造

10

20

30

40

50

3 0 0	M T J ピラー構造	
3 6 0	損傷した周辺端部強磁性 ( P E F M ) 自由層	
3 6 0 A	P E F M 自由層のスライス	
3 6 0 2	主または中央領域	
3 6 0 4	化学的に損傷した周辺領域	
3 8 0	損傷した P E F M ピンド層	
3 8 0 2	損傷しない主または中央領域	
3 8 0 4	化学的に損傷した周辺領域	
4 0 0	C M E 多層 M T J デバイス	
4 0 2	基板	10
4 0 4	底部電極	
4 0 6	シード層	
4 0 8	A F ピンニング層	
4 1 0	トンネルバリア層	
4 1 2	キャッピング層	
4 6 0	化学的に修飾された端部 ( C M E ) 強磁性ピンド層	
4 6 0 2	主領域	
4 6 0 4	化学的に修飾された周辺領域	
4 6 2	C M E 強磁性自由層	
4 6 2 2	主領域	20
4 6 2 4	化学的に修飾された周辺部分	
5 0 0	C M E 多層 M T J デバイス	
5 0 2	保護層	
6 0 2	M T J 多層開始構造	
6 0 4	プロセス中の構造	
6 0 6	デバイス	
6 0 8	デバイス	
6 1 0	デバイス	
6 1 2	デバイス	
6 2 2	基板	30
6 2 4	底部電極	
6 2 6	シード層	
6 2 8	A F ピンニング層	
6 3 0	強磁性ピンド層	
6 3 2	トンネルバリア層	
6 3 4	強磁性自由層	
6 3 6	キャッピング層	
6 5 0	プロセス中の M T J ピラー	
6 6 0	損傷した P E F M ピンド層	
6 6 0 2	主領域	40
6 6 0 4	化学的に損傷した周辺領域	
6 6 2	損傷した P E F M 自由層	
6 6 2 2	主領域	
6 6 2 4	化学的に損傷した周辺領域	
6 8 0	C M E 強磁性ピンド層	
6 8 0 2	主強磁性領域	
6 8 0 4	化学的に修飾された周辺部分	
6 8 2	C M E 強磁性自由層	
6 8 2 2	主領域	
6 8 2 4	化学的に修飾された周辺部分	50

6 9 0 保護層  
 6 9 2 損傷しない強磁性自由層  
 6 9 4 保護層  
 7 0 2 M T J 多層開始構造  
 7 0 4 プロセス中の構造  
 7 0 6 デバイス  
 7 0 8 プロセス中のデバイス  
 7 1 0 プロセス中の構造  
 7 1 2 構造  
 7 6 0 保護層  
 7 6 2 2 化学的に損傷した周辺端部領域  
 7 6 2 4 強磁性主領域  
 7 6 4 化学的に修飾された周辺部分  
 7 6 6 別の保護層  
 8 0 0 プロセス  
 9 0 0 ワイヤレス通信システム  
 9 2 0 遠隔ユニット  
 9 2 5 半導体デバイス  
 9 3 0 遠隔ユニット  
 9 3 5 半導体デバイス  
 9 4 0 基地局  
 9 5 0 遠隔ユニット  
 9 5 5 半導体デバイス  
 9 8 0 順方向リンク信号  
 9 9 0 逆方向リンク信号

10

20

【図 1】

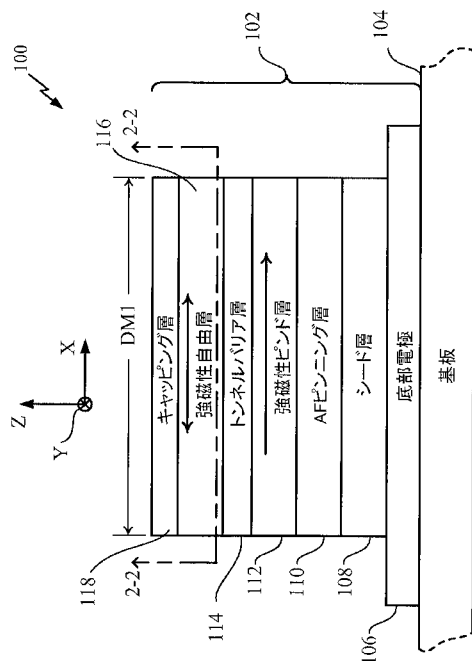


FIG. 1

【図 2】

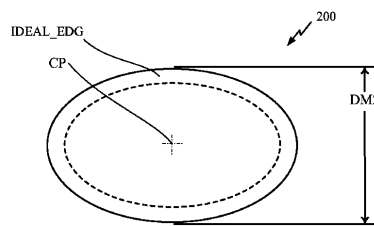


FIG. 2

【図 3 A】

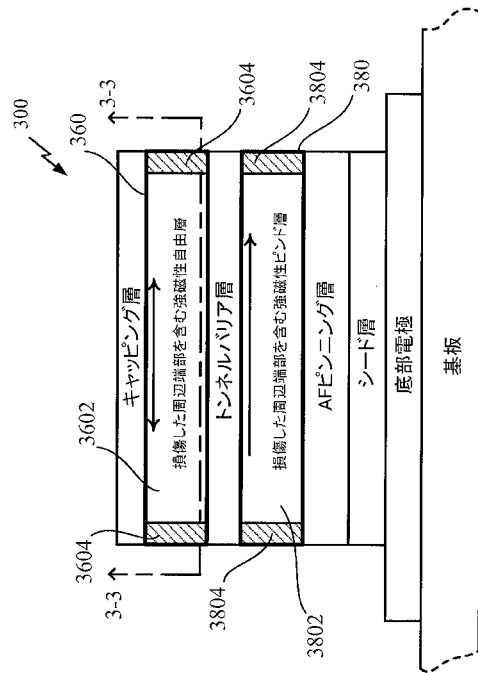


FIG. 3A

【図 3 B】

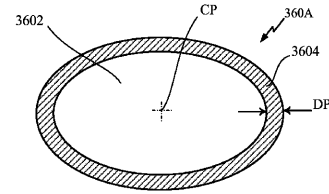


FIG. 3B

【図 4 A】

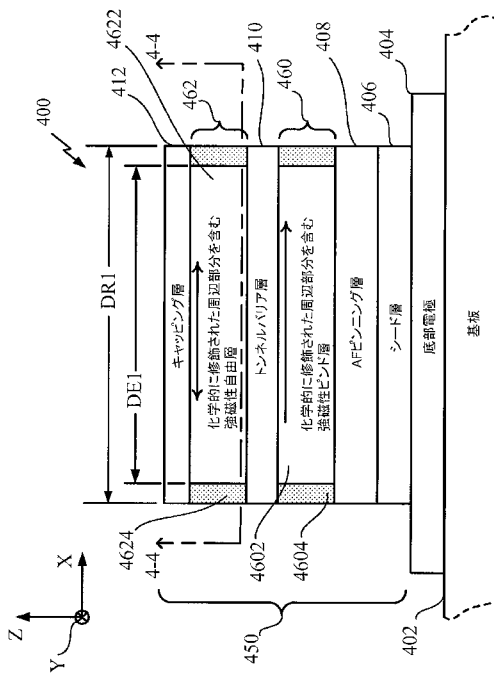


FIG. 4A

【図 4 B】

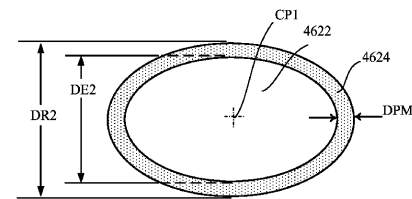


FIG. 4B

【図 5 A】

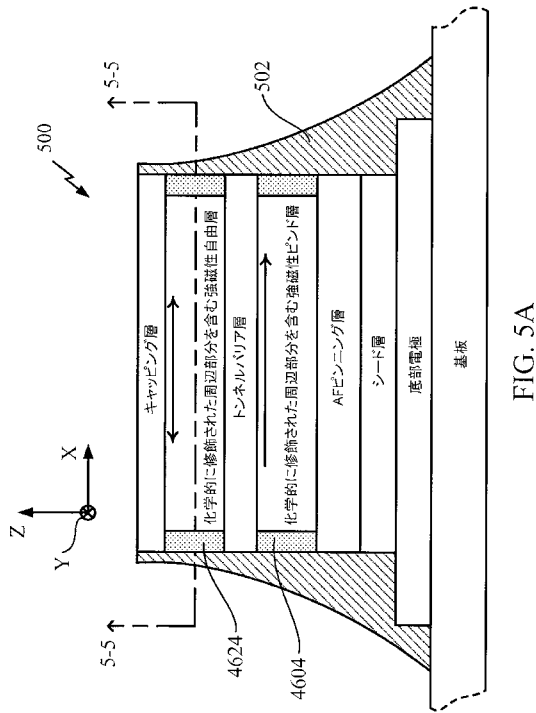


FIG. 5A

【図 5 B】

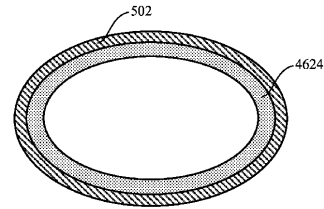


FIG. 5B

【図 6 A】

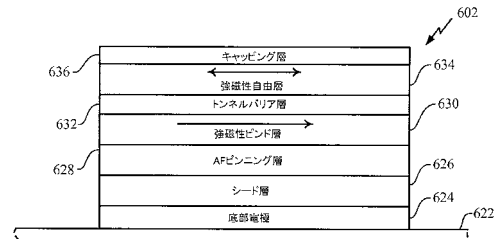


FIG. 6A

【図 6 B】

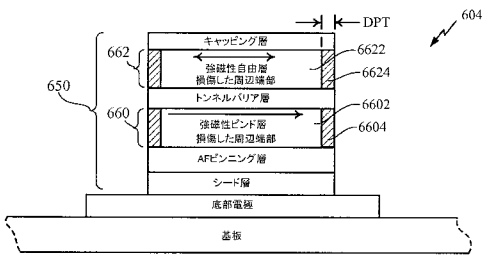


FIG. 6B

【図 6 D】

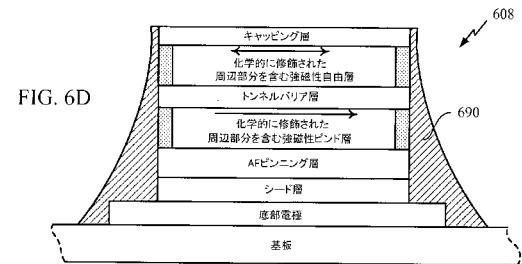


FIG. 6D

【図 6 C】

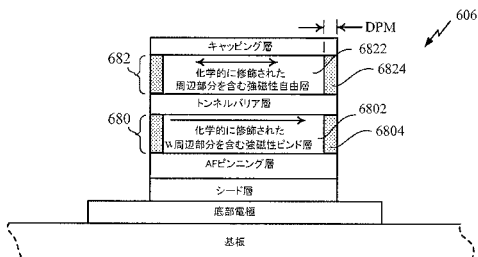


FIG. 6C

【図 6 E】

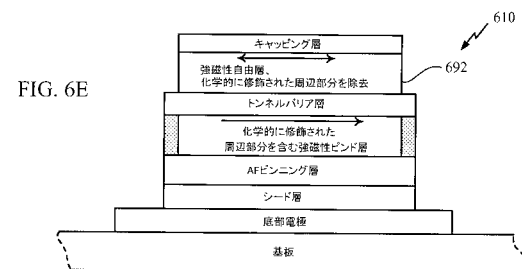


FIG. 6E

【図 6 F】

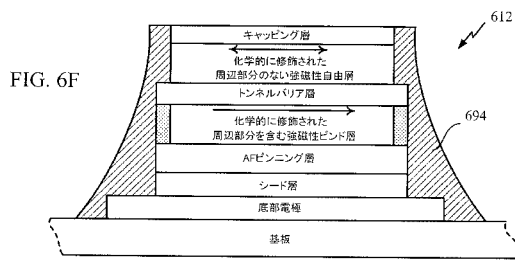


FIG. 6F

【図 7 B】

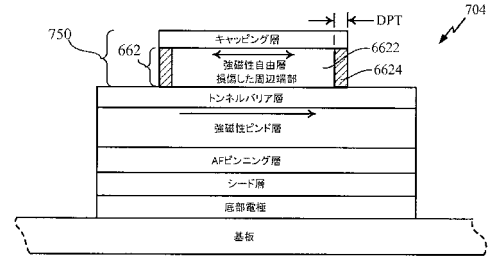


FIG. 7B

【図 7 A】

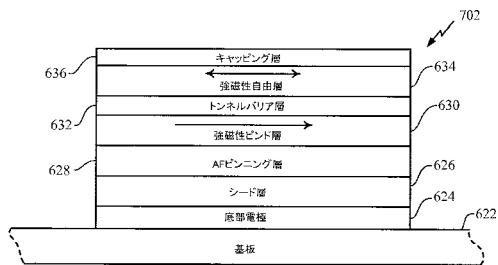


FIG. 7A

【図 7 C】

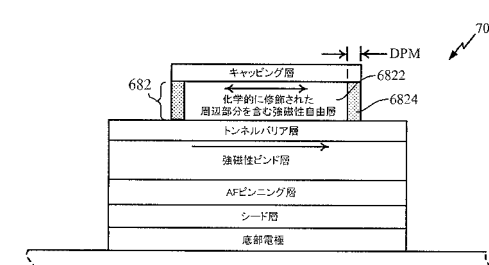


FIG. 7C

【図 7 D】

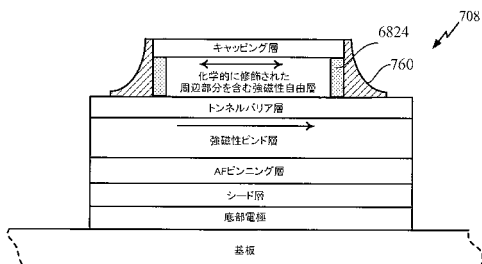


FIG. 7D

【図 7 F】

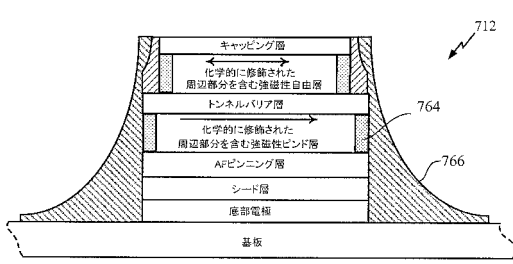


FIG. 7E

【図 7 E】

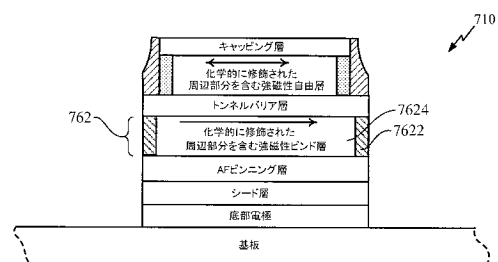


FIG. 7E

【図 8】

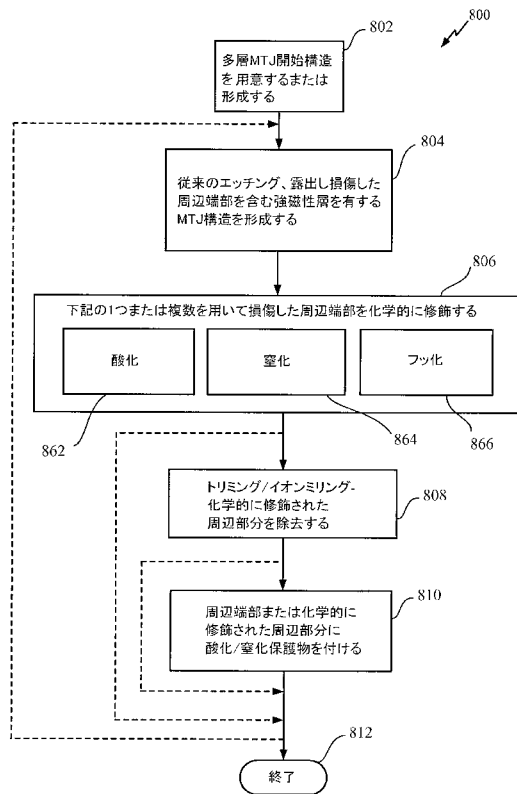


FIG. 8

【図 9】

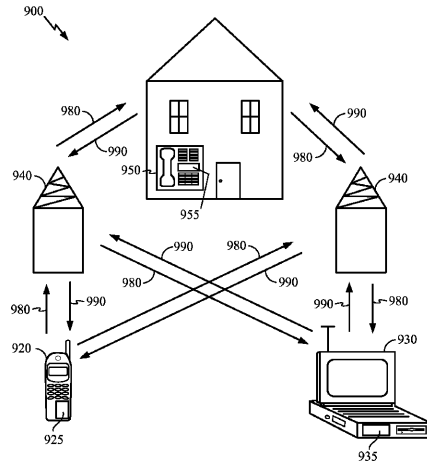


FIG. 9

## 【手続補正書】

【提出日】平成26年11月25日(2014.11.25)

## 【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁気トンネル接合層を形成するための方法であって、

化学的に損傷した周辺領域によって取り囲まれた強磁性主領域を有するプロセス中の強磁性層を形成するステップであり、前記化学的に損傷した周辺領域が弱強磁性である、形成するステップと、

前記磁気トンネル接合層を形成するために前記化学的に損傷した周辺領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換するステップであり、前記化学的に修飾された周辺部分が非強磁性である、変換するステップとを含む方法。

【請求項 2】

前記化学的に損傷した周辺領域の少なくとも一部分を前記化学的に修飾された周辺部分へと変換するステップが、酸化、窒化、もしくはフッ化、またはこれらの任意の組合せを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記磁気トンネル接合層についての目標有効面積を特定するまたは設けるステップをさらに含み、前記プロセス中の強磁性層が、前記目標有効面積よりも大きい面積寸法を有し、前記変換するステップが、強磁性主領域を有するように前記磁気トンネル接合層を形成



するサブステップを含み、前記強磁性主領域が、前記目標有効面積にほぼ等しい面積を有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記プロセス中の強磁性層が、NiFe、CoFeB、CoFe、もしくはBのうちのいずれか、またはそれらの任意の組合せもしくは部分組合せを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記化学的に修飾された周辺部分が、少なくとも 1 種の強磁性元素を含有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記少なくとも 1 種の強磁性元素が、鉄、ニッケルまたはコバルトである、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記化学的に修飾された周辺部分が、FeOx、CoOx、CoFeOx、BOx、FeNx、CoNx、CoFeNx、BNx、FeFx、CoFx、CoFeFx、および/もしくはBFx、もしくはこれらの任意の組合せのうちのいずれか、またはそれらの任意の組合せもしくは部分組合せを含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 8】

前記化学的に修飾された周辺部分の少なくとも一部分を除去するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記除去するステップが、イオンミリング、エッチング、またはイオンミリングとエッチングとの組合せを含む、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記化学的に修飾された周辺部分を取り囲むように保護層を形成するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記保護層が、酸化物層、窒化物層、または酸化物層と窒化物層との組合せである、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記保護層が、AlOxを含む、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 13】

前記プロセス中の強磁性層が、プロセス中の強磁性自由層である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 14】

前記プロセス中の強磁性層が、プロセス中の強磁性ピン層である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 15】

前記プロセス中の強磁性層が、第 1 のプロセス中の面積寸法を有する第 1 のプロセス中の強磁性層であり、前記化学的に損傷した周辺領域が、第 1 の化学的に損傷した周辺領域であり、

プロセス中の強磁性層を形成する前記ステップが、

前記第 1 のプロセス中の強磁性層と、

第 2 のプロセス中の強磁性層と、

前記第 1 のプロセス中の強磁性層と前記第 2 のプロセス中の強磁性層との間のトンネルバリア層と

を有するピラーを形成するステップを含み、

前記第 2 のプロセス中の強磁性層が、前記第 1 のプロセス中の面積寸法よりも大きい第 2 のプロセス中の面積寸法を有し、

前記第 2 のプロセス中の強磁性層が、第 2 の化学的に損傷した周辺領域を有する、

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 6】

前記第 1 のプロセス中の強磁性層が、プロセス中の強磁性自由層である、請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記第 2 のプロセス中の強磁性層が、プロセス中の強磁性ピンド層である、請求項 1 6 に記載の方法。

【請求項 1 8】

磁気トンネル接合デバイスを製造するための方法であって、

基板、前記基板の上方のピンド強磁性層、前記ピンド強磁性層の上方のトンネルバリア層、および前記トンネルバリア層の上方の強磁性自由層を含む多層構造を用意するステップと、

ピラーを形成するために前記多層構造をエッチングするステップであり、前記ピラーが前記強磁性自由層の一部分を有するプロセス中の強磁性層を含み、前記プロセス中の強磁性層が強磁性主領域および前記強磁性主領域を取り囲む化学的に損傷した周辺領域を含み、前記化学的に損傷した周辺領域が弱強磁性である、エッチングするステップと、

前記化学的に損傷した周辺領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換するステップであり、前記化学的に修飾された周辺部分が強磁性を失う、変換するステップと

を含む方法。

【請求項 1 9】

前記化学的に修飾された周辺部分を取り囲むように保護層を形成するステップと、

別のプロセス中の強磁性層を含むように前記ピラーをさらに形成する別のエッチングを行うステップであり、前記別のプロセス中の強磁性層が前記ピンド強磁性層の一部分を有する、別のエッチングを行うステップと

をさらに含む、請求項 1 8 に記載の方法。

【請求項 2 0】

前記保護層が、酸化物層、窒化物層、または酸化物層と窒化物層との組合せである、請求項 1 9 に記載の方法。

【請求項 2 1】

前記別のプロセス中の強磁性層が、別の強磁性主領域および前記別の強磁性主領域を取り囲む別の化学的に損傷した周辺領域を含む前記強磁性ピンド層であり、前記別の化学的に損傷した周辺領域が、弱強磁性であり、前記方法は、

前記別の化学的に損傷した周辺領域の少なくとも一部分を別の化学的に修飾された周辺部分へと変換するステップであり、前記別の化学的に修飾された周辺部分が強磁性を失う、変換するステップ

をさらに含む、請求項 1 9 に記載の方法。

【請求項 2 2】

前記別の化学的に修飾された周辺部分を取り囲むように保護層を形成するステップをさらに含む、請求項 2 1 に記載の方法。

【請求項 2 3】

前記強磁性自由層が、前記多層構造内の第 1 の深さのところに設置され、前記ピンド強磁性層が、前記第 1 の深さよりも大きい第 2 の深さのところに設置され、前記エッチングが第 1 のエッチングであり、前記第 1 のエッチングが、前記第 1 の深さよりも大きくかつ前記第 2 の深さより小さい深さまでであり、前記方法は、

前記化学的に修飾された周辺部分を取り囲むように保護層を形成するステップと、

第 2 のプロセス中の強磁性層を含むように前記ピラーをさらに形成するために前記第 2 の深さよりも大きい深さまで第 2 のエッチングを行うステップであり、前記第 2 のプロセス中の強磁性層が前記ピンド強磁性層の一部分を有する、第 2 のエッチングを行うステップと

をさらに含む、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 24】

前記保護層が、酸化物層、窒化物層、または酸化物層と窒化物層との組合せである、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 25】

前記第 2 のプロセス中の強磁性層が、第 2 の強磁性主領域および前記第 2 の強磁性主領域を取り囲む第 2 の化学的に損傷した周辺領域を有するプロセス中のピンド強磁性層であり、前記第 2 の化学的に損傷した周辺領域が、弱強磁性であり、前記方法は、

前記第 2 の化学的に損傷した領域の少なくとも一部分を第 2 の化学的に修飾された周辺部分へと変換するステップであり、前記第 2 の化学的に修飾された周辺部分が強磁性を失う、変換するステップ

をさらに含む、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 26】

前記第 2 の化学的に修飾された周辺部分を取り囲むように別の保護層を形成するステップ

をさらに含む、請求項 25 に記載の方法。

【請求項 27】

磁気トンネル接合 (MTJ) 層を形成するための装置であって、

目標 MTJ 面積よりも大きいプロセス中の面積寸法を有するプロセス中の強磁性層を形成するための手段であり、前記形成することが、前記プロセス中の強磁性層の周辺部のところに化学的に損傷した領域を形成することを含む、形成するための手段と、

前記化学的に損傷した領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換するための手段であり、前記化学的に修飾された周辺部分が強磁性を失う、変換するための手段と

を備える装置。

【請求項 28】

前記プロセス中の強磁性層が、CoFeB、CoFe、またはCoFeBとCoFeとの組合せを含む、請求項 27 に記載の装置。

【請求項 29】

さらなる処理からの損傷に対して前記化学的に修飾された周辺部分を保護するための手段をさらに備える、請求項 27 に記載の装置。

【請求項 30】

前記化学的に修飾された周辺部分が、少なくとも 1 種の強磁性元素を含有する、請求項 27 に記載の装置。

【請求項 31】

前記変換するための手段が、FeOx、CoOx、CoFeOx、BOx、FeNx、CoNx、CoFeNx、BNx、FeFx、CoFx、CoFeFx、および/またはBFxのうちのいずれか、またはそれらの任意の組合せもしくは部分組合せを含むように前記化学的に修飾された周辺部分を形成するように構成される、請求項 30 に記載の装置。

【請求項 32】

所与の面積寸法を有する強磁性層を有する磁気トンネル接合 (MTJ) デバイスを製造するための装置であって、

前記所与の面積寸法よりも大きいプロセス中の面積寸法を有するプロセス中の磁性層を含むピラーを形成するための手段であり、前記形成することが、前記プロセス中の磁性層の周辺部のところに化学的に損傷した領域を形成することを含む、形成するための手段と

、  
前記化学的に損傷した領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換するための手段であり、前記化学的に修飾された周辺部分が強磁性を失う、変換するための手段と

を備える装置。

【請求項 3 3】

基板と、  
前記基板の上方のピンド強磁性層と、  
前記ピンド強磁性層の上方のトンネルバリア層と、  
前記トンネルバリア層の上方の強磁性自由層と

を備え、

前記ピンド強磁性層または前記強磁性自由層のうちの少なくとも一方が、強磁性を失った化学的に修飾された周辺領域によって取り囲まれた強磁性主領域を有する、  
磁気トンネル接合デバイス。

【請求項 3 4】

前記磁気トンネル接合デバイスが、少なくとも 1 つの半導体ダイに集積される、請求項 3 3 に記載の磁気トンネル接合デバイス。

【請求項 3 5】

前記磁気トンネル接合デバイスが中に集積される、セットトップボックス、音楽プレーヤ、ビデオプレーヤ、エンタテインメントユニット、ナビゲーションデバイス、通信デバイス、パーソナルデジタルアシスタント ( P D A )、固定位置データユニット、およびコンピュータから構成される群から選択されるデバイスをさらに備える、請求項 3 3 に記載の磁気トンネル接合デバイス。

【請求項 3 6】

プロセッサ装置によって実行されたときに、前記プロセッサ装置に、磁気トンネル接合層を形成するための方法を実行する操作を実行させる命令を含むコンピュータ可読媒体であって、前記プロセッサ装置に、

化学的に損傷した周辺領域によって取り囲まれた強磁性主領域を有するプロセス中の強磁性層を形成させる命令であり、前記化学的に損傷した周辺領域が弱強磁性である、形成させる命令と、

前記磁気トンネル接合層を形成するために前記化学的に損傷した周辺端部領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換させる命令であり、前記化学的に修飾された周辺部分が非強磁性である、変換させる命令と  
を含む、コンピュータ可読媒体。

【請求項 3 7】

プロセッサ装置によって実行されたときに、前記プロセッサ装置に、磁気トンネル接合デバイスを製造するための方法を実行する操作を実行させる命令を含むコンピュータ可読媒体であって、前記プロセッサ装置に、

ピラーを形成するために、基板、前記基板の上方のピンド強磁性層、前記ピンド強磁性層の上方のトンネルバリア層、および前記トンネルバリア層の上方の強磁性自由層を有する多層構造をエッチングさせる命令を含み、

前記ピラーが、前記強磁性自由層の一部分を有するプロセス中の強磁性層を含み、前記プロセス中の強磁性層が、強磁性主領域および前記強磁性主領域を取り囲む化学的に損傷した周辺領域を含み、前記化学的に損傷した周辺領域が弱強磁性であり、

前記命令が、前記プロセッサ装置に、前記化学的に損傷した周辺領域の少なくとも一部分を化学的に修飾された周辺部分へと変換させる命令であり、前記化学的に修飾された周辺部分が強磁性を失う、変換させる命令をさらに含む、  
コンピュータ可読媒体。

【請求項 3 8】

前記プロセッサ装置に、

前記化学的に修飾された周辺部分を取り囲むように保護層を形成させる命令と、

別のプロセス中の強磁性層を含むように前記ピラーをさらに形成するために別のエッチングを実行させる命令であって、前記別のプロセス中の強磁性層が前記ピンド強磁性層の一部分を有する、別のエッチングを実行させる命令と

をさらに含む、請求項 37 に記載のコンピュータ可読媒体。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0048

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0048】

ある態様では、中間ステップまたはプロセス中の強磁性層は、強磁性元素、たとえばコバルト (Co)、鉄 (Fe)、ニッケル (Ni)、ホウ素 (B)、 $\text{CoFeB}$ 、 $\text{CoFe}$ 、および/もしくは  $\text{NiFe}$ 、またはこれらの任意の組合せもしくは部分組合せを含むことができる。この態様に従えば、化学的に修飾された周辺領域は、酸化プロセスに付け加えて、 $\text{FeO}_x$ 、 $\text{CoO}_x$ 、 $\text{CoFeO}_x$ 、 $\text{NiFeO}_x$ 、および/または  $\text{BO}_x$  の中から 1 つまたは複数を含むことができる。同じように、窒化プロセスに付け加えてある態様では、周辺の化学的に修飾された部分は、 $\text{FeN}_x$ 、 $\text{CoN}_x$ 、 $\text{CoFeN}_x$ 、 $\text{NiFeN}_x$ 、および/または  $\text{BN}_x$  の中から 1 つまたは複数を含むことができる。フッ化プロセスに付け加えてある態様では、化学的に修飾された周辺領域は、 $\text{CoFx}$ 、 $\text{FeFx}$ 、 $\text{NiFeFx}$ 、 $\text{BF}_x$  および/または  $\text{CoFeFx}$  のうちの 1 つまたは複数を含むことができる。酸化、窒化、およびフッ化の中からの 2 つの組合せまたは部分組合せを採用する態様は、上に特定した化学的化合物の組合せを含むことができる。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 7 F

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図 7 F】

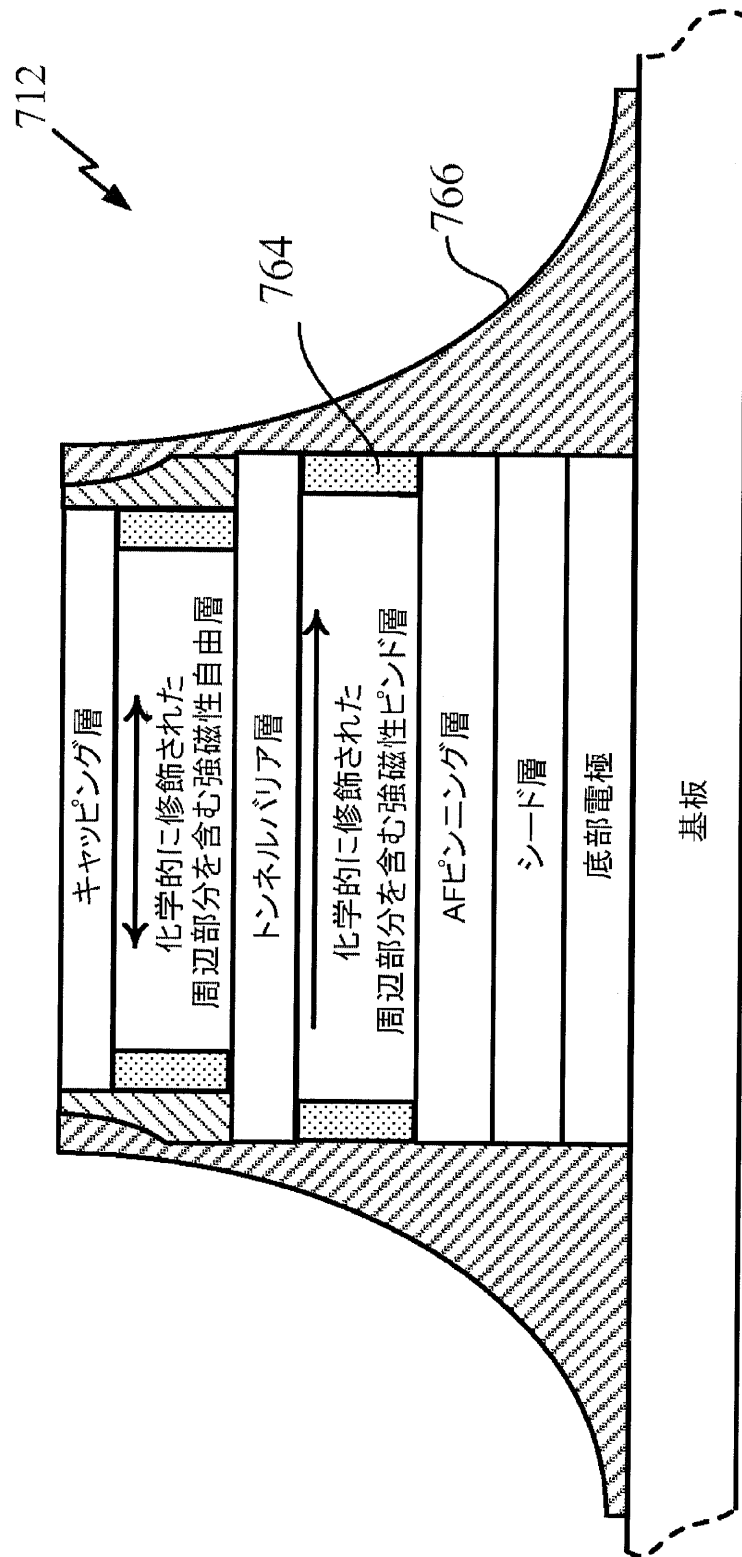


FIG. 7F

## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US2014/012602

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. G11C11/15 H01L43/08 H01L43/12 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G11C H01L		
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) EP0-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2012/244639 A1 (OHSAWA ET AL) 27 September 2012 (2012-09-27) paragraphs [0106] - [0116] figure 3a+b -----	1-42
Y	US 2009/046394 A1 (OKAMOTO ET AL) 19 February 2009 (2009-02-19) paragraphs [0073] - [0074] -----	1-42
Y	US 2011/235217 A1 (CHEN ET AL) 29 September 2011 (2011-09-29) paragraphs [0025] - [0041] figures 6, 7 -----	1-42
<input 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 application or patent 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		Date of mailing of the international search report
27 March 2014		10/04/2014
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
		Subke, Kai-Olaf

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/US2014/012602

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2012244639 A1	27-09-2012	JP 5417367 B2	12-02-2014
		JP 2012199431 A	18-10-2012
		US 2012244639 A1	27-09-2012
-----			
US 2009046394 A1	19-02-2009	CN 101241705 A	13-08-2008
		JP 2008186506 A	14-08-2008
		US 2009046394 A1	19-02-2009
-----			
US 2011235217 A1	29-09-2011	CN 102823008 A	12-12-2012
		EP 2553742 A1	06-02-2013
		JP 2013524515 A	17-06-2013
		KR 20130007638 A	18-01-2013
		TW 201143180 A	01-12-2011
		US 2011235217 A1	29-09-2011
		WO 2011123357 A1	06-10-2011
-----			



## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, 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, IR, IS, JP, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72)発明者 シア・リ

アメリカ合衆国・カリフォルニア・9 2 1 2 1 - 1 7 1 4・サン・ディエゴ・モアハウス・ドライヴ・5 7 7 5

(72)発明者 スン・エイチ・カン

アメリカ合衆国・カリフォルニア・9 2 1 2 1 - 1 7 1 4・サン・ディエゴ・モアハウス・ドライヴ・5 7 7 5

Fターム(参考) 4M119 AA19 BB01 CC05 DD05 DD06 DD25 JJ02

5F092 AA11 AB06 AC12 AD03 AD25 BB22 BB23 BB42 BB43 BB53

BC04 BC42 CA13 CA17