

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年6月29日(29.06.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/110834 A1

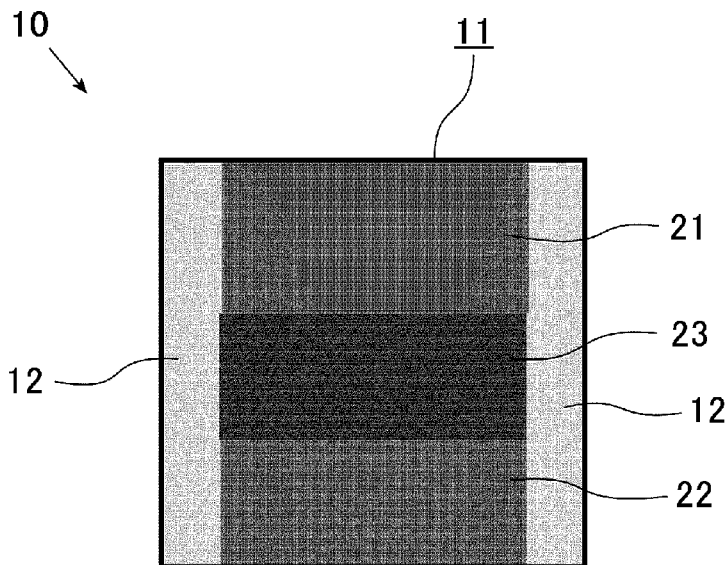
- (51) 国際特許分類:
H01L 43/08 (2006.01) H01L 27/105 (2006.01)
H01F 10/32 (2006.01) H01L 29/82 (2006.01)
H01L 21/8246 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/087999
- (22) 国際出願日: 2016年12月20日(20.12.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-252942 2015年12月25日(25.12.2015) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人東北大学(TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者: 佐藤 創志(SATO Soshi); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 丹羽 正昭(NIWA Masaaki); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 本庄 弘明(HONJO Hiroaki); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 池田 正二(IKEDA Shoji); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目

- 1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 佐藤 英夫(SATO Hideo); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 大野 英男(OHNO Hideo); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 遠藤 哲郎(ENDOH Tetsuo); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP).
- (74) 代理人: 須田 篤 外(SUDA Atsushi et al.); 〒9800021 宮城県仙台市青葉区中央二丁目1番30号 須田ビル5F Miyagi (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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, DJ, 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, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,

[続葉有]

(54) Title: SPINTRONIC ELEMENT

(54) 発明の名称: スピントロニクス素子



(57) Abstract: [Problem] To provide a spintronic element which is capable of preventing deterioration of magnetic characteristics due to outward diffusion of boron, thereby having excellent magnetic characteristics, and which is capable of preventing variation in the magnetic characteristics due to dimensional variation associated with miniaturization. [Solution] This spintronic element 10 comprises: a magnetic tunnel junction element 11 having a recording layer 21 and a reference layer 22, each of which is formed of a ferromagnetic layer containing boron, and an insulating layer 23 which is arranged between the recording layer 21 and the reference layer 22; and a diffusion-preventing layer 12 which is provided so as to prevent outward diffusion of the boron contained in the recording layer 21 and the reference layer 22. The diffusion-preventing layer 12 contains boron at a concentration higher than the boron concentrations in lateral border portions of the recording layer 21 and the reference layer 22, and is arranged so as to cover the lateral surfaces of the recording layer 21 and the reference layer 22. In addition, the diffusion-preventing layer 12 does not contain nitrogen, and is configured so as to prevent inva-

sion of nitrogen into the spintronic element 10 from the outside.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/110834 A1



MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ロシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー
ロッパ (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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

規則 4.17 に規定する申立て:

— 発明者である旨の申立て (規則 4.17(iv))

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

【課題】ホウ素の外方拡散による磁気特性の劣化を防ぐことができ、優れた磁気特性を有するとともに、微細化に伴う寸法ばらつきによる磁気特性のばらつきを防ぐことができるスピントロニクス素子を提供する。【解決手段】ホウ素を含む強磁性層から成る記録層 2 1 および参照層 2 2 と、記録層 2 1 と参照層 2 2 との間に配置された絶縁層 2 3 とを有する磁気トンネル接合素子 1 1 と、記録層 2 1 および参照層 2 2 に含まれるホウ素の外方拡散を防止するよう設けられた拡散防止膜 1 2 とを有している。拡散防止膜 1 2 は、記録層 2 1 および参照層 2 2 の側縁部に含まれるホウ素の濃度より高い濃度でホウ素を含んでおり、記録層 2 1 および参照層 2 2 の側面を覆うよう設けられている。また、拡散防止膜 1 2 は、窒素を含まず、外部からスピントロニクス素子 1 0 の内部に窒素が侵入するのを防止するよう構成されている。

明 細 書

発明の名称：スピントロニクス素子

技術分野

[0001] 本発明は、スピントロニクス素子に関する。

背景技術

[0002] 記録層と参照層とに強磁性体を用いた磁気トンネル接合素子（MTJ）などの、強磁性層にホウ素（B）を含むスピントロニクス素子では、磁気特性を最適化するために、素子内部でのホウ素プロファイル（記録層および参照層の膜面に対して垂直方向に沿ったホウ素の濃度分布）を最適化し、記録層および参照層の膜面に対して水平方向で、ホウ素濃度を均一に保つ必要がある。しかし、従来のスピントロニクス素子では、その製造過程において、ドライエッチング処理後の熱処理や表面の酸化処理等により、素子の端面からホウ素が外方に拡散し、素子の端面付近においてホウ素の濃度分布が変化するため、磁気特性が劣化してしまうという問題があった。

[0003] 特に、近年のスピントロニクス素子の微細化の進展につれて、ドライエッチング処理後のホウ素の外方拡散が、素子内部のホウ素プロファイルに与える影響が大きくなっている。例えば、図4に示すように、スピントロニクス素子50が微細化し、パターン寸法が小さくなると（ $d \rightarrow d'$ ； $d > d'$ ）、ホウ素の外方拡散により磁気特性が劣化した層（図中の斜線の範囲）51の素子全体に占める割合が増加する。このため、微細化すればするほど、素子全体の磁気特性の劣化が顕著になっていく。また、図4から、スピントロニクス素子50の寸法のばらつきが、素子内部のホウ素プロファイルのばらつきをもたらし、磁気特性のばらつきの原因となっていることもわかる。

[0004] 従来、スピントロニクス素子の磁気特性を改善するために、エッチング処理後、磁気トンネル接合素子の表面を酸化する方法が提案されている（例えば、特許文献1、非特許文献1または2参照）。また、磁気トンネル接合素子の側壁部分に側壁金属層を形成し、その側壁金属層を酸化して絶縁性の側

壁金属酸化物層を形成する方法も提案されている（例えば、特許文献2参照）。これらの方法によれば、素子の側壁に酸化した絶縁層を形成することにより、側壁を介した短絡を防止したり、ウェット洗浄処理等から保護したりすることもできる。

[0005] なお、磁気特性を改善するものではないが、配線抵抗を下げるために、抵抗変化型メモリ素子部をBPSGやBSGなどの膜で保護した抵抗変化型メモリ集積回路が提案されている（例えば、特許文献3参照）。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2012-119684号公報

特許文献2：特開2012-119564号公報

特許文献3：米国特許出願公開第2013/0170281号明細書

非特許文献

[0007] 非特許文献1：Y. Iba, et. al., “A highly scalable STT-MRAM fabricated by a novel technique for shrinking a magnetic tunnel junction with reducing processing damage”, VLSI Technology: Digest of Technical Papers, 2014 Symposium on

非特許文献2：J. H. Jeong and T. Endoh, “Novel oxygen showering process (OSP) for extreme damage suppression of sub-20nm high density p-MTJ array without IBE treatment”, VLSI Technology, 2015 Symposium on

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 特許文献1、非特許文献1および2に記載の磁気トンネル接合素子の製造方法では、素子がホウ素を含んでいる場合、酸化処理によって、素子に含まれるホウ素が酸化層から外方に拡散してしまうため、ホウ素の外方拡散による磁気特性の劣化の問題を解決することはできないという課題があった（例えば、S. Sato, et. al, IEEE Trans. Magn. Vol. 51, Issue11, 3400804参

照)。また、特許文献2に記載の磁気トンネル接合素子の製造方法でも、酸化処理またはその後の熱処理によって、素子に含まれるホウ素が側壁金属酸化物層やその外方に拡散してしまうため、ホウ素の外方拡散による磁気特性の劣化の問題を解決することはできないという課題があった。このため、微細化に伴う寸法ばらつきにより素子の劣化の度合いが大きくばらつき、結果として磁気特性のばらつきにつながるという問題点もまだ解決されていないという課題もあった。なお、特許文献3に記載の回路では、BPSGやBSGなどの膜が、素子に含まれるホウ素の外方拡散を防ぐかどうかは不明である。

[0009] 本発明は、このような課題に着目してなされたもので、ホウ素の外方拡散による磁気特性の劣化を防ぐことができ、優れた磁気特性を有するとともに、微細化に伴う寸法ばらつきによる磁気特性のばらつきを防ぐことができるスピントロニクス素子を提供することを目的とする。

[0010] なお、スピントロニクス素子では、RIE等のドライエッチング処理後、SiN膜で覆うことにより大気中での変質を防ぐことが、一般的に行われている。しかし、この場合、スピントロニクス素子の内部に、SiN膜から窒素(N)が再分布し、磁気特性を劣化させてしまうという課題があった。また、微細化に伴う寸法ばらつきにより、窒素による素子の劣化の度合いが大きくばらつき、結果として磁気特性のばらつきにつながるという課題もあった。そこで、本発明は、外部からの窒素の再分布による磁気特性の劣化および、微細化に伴う寸法ばらつきによる磁気特性のばらつきを防ぐことができるスピントロニクス素子を提供することも目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 上記目的を達成するために、本発明に係るスピントロニクス素子は、ホウ素を含む強磁性層と、前記強磁性層に含まれるホウ素の外方拡散を防止するよう設けられた拡散防止膜とを、有することを特徴とする。

[0012] 本発明に係るスピントロニクス素子は、拡散防止膜により、強磁性層に含まれるホウ素が外方に拡散するのを防ぐことができる。このため、素子内部

の強磁性層の膜面に対して水平方向に沿ったホウ素の濃度分布を、形成時の最適な状態で均一に維持することができ、磁気特性の劣化を防ぐことができる。このように、本発明に係るスピントロニクス素子は、優れた磁気特性を有している。また、素子の寸法がばらついても、素子内部の強磁性層の膜面に対して水平方向に沿ったホウ素の濃度分布が、素子内にてばらつかず、最適な状態で均一に維持されるため、磁気特性のばらつきを防止することもできる。このように、本発明に係るスピントロニクス素子は、微細化の進展に伴うばらつきに対しても、磁気特性のばらつきを防止することができる。拡散防止膜は、例えばB S G (boron silicate glass)、またはB P S G (boron phosphorus silicate glass)、または Al_2O_3 、 Y_2O_3 、 ZrO_2 、 MoO_2 、 HfO_2 、 Ta_2O_5 、 WO_3 、 CeO_2 、 MgO もしくは Gd_2O_3 にBをドープした酸化膜、またはホウ素の酸化膜から成っている。

[0013] 本発明に係るスピントロニクス素子で、前記拡散防止膜は、前記強磁性層の側面の全体を覆うよう設けられていることが好ましいが、前記強磁性層の側面の一部を覆っていてもよい。拡散防止膜が強磁性層の側面の全体を覆う場合には、強磁性層の側面からのホウ素の外方拡散を防ぐことができ、ホウ素の外方拡散に起因する磁気特性の劣化を概ね防止することができる。また、拡散防止膜が強磁性層の側面の一部を覆っている場合でも、強磁性層の側面からのホウ素の外方拡散をある程度防ぐことができ、磁気特性の劣化を防止することができる。

[0014] 本発明に係るスピントロニクス素子で、前記拡散防止膜は、前記強磁性層に含まれるホウ素の濃度より高い濃度でホウ素を含んでいることが好ましく、特に、前記強磁性層の側縁部に含まれるホウ素の濃度より高い濃度でホウ素を含んでいることが好ましい。この場合、ホウ素の濃度勾配により、強磁性層の側縁部から拡散防止膜に向かってホウ素が拡散するのを防ぐことができる。酸化処理や熱処理を行ったときでも、拡散防止膜に含まれるホウ素が外方に拡散する可能性はあるが、強磁性層からのホウ素の外方拡散を抑制することができる。

- [0015] 本発明に係るスピントロニクス素子で、前記拡散防止膜は、外部から前記スピントロニクス素子の内部に窒素が侵入するのを防止するよう構成されていることが好ましい。この場合、拡散防止膜により、例えばSiN膜などの、素子の外部に形成された膜から素子の内部に窒素が再分布するのを防ぐことができる。このため、窒素の再分布による磁気特性の劣化を防止することができる。また、微細化に伴う寸法ばらつきにより、窒素による素子の劣化の割合が異なるために磁気特性がばらつくのを、防止することができる。
- [0016] 本発明に係るスピントロニクス素子で、前記拡散防止膜は、窒素を含んでいないことが好ましい。この場合、拡散防止膜から強磁性層などの内部に窒素が再分布して磁気特性が劣化するのを防ぐことができる。また、微細化に伴う寸法ばらつきにより磁気特性がばらつくのを防止することができる。
- [0017] 本発明に係るスピントロニクス素子は、それぞれ前記強磁性層を有する記録層および参照層と、前記記録層と前記参照層との間に配置された絶縁層とを有する磁気トンネル接合素子を有し、前記拡散防止膜は、前記磁気トンネル接合素子の側面を覆うよう設けられていてもよい。この場合、磁気トンネル接合素子の磁気特性の劣化を防ぐことができる。
- [0018] また、本発明に係るスピントロニクス素子は、例えば、トンネル磁気抵抗素子、トンネル磁気抵抗メモリ素子、スピンホール効果素子、逆スピンホール効果素子、磁壁移動メモリ素子またはスピントルク高周波素子を有していてもよい。この場合、拡散防止膜により、各素子の磁気特性の劣化を防ぐことができる。

発明の効果

- [0019] 本発明によれば、ホウ素の外方拡散による磁気特性の劣化を防ぐことができ、優れた磁気特性を有するとともに、微細化に伴う寸法ばらつきによる磁気特性のばらつきを防ぐことができるスピントロニクス素子を提供することができる。また、外部からの窒素の再分布による磁気特性の劣化および、微細化に伴う寸法ばらつきによる磁気特性のばらつきを防ぐことができるスピントロニクス素子を提供することもできる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]本発明の実施の形態のスピン트로ニクス素子を示す断面図である。

[図2]本発明の実施の形態のスピン트로ニクス素子の（a）記録層が多層構造を有する第1の変型例を示す断面図、（b）記録層が多層構造を有する第2の変型例を示す断面図である。

[図3]本発明の実施の形態のスピン트로ニクス素子の、磁壁移動メモリ素子を有する変型例を示す断面図である。

[図4]従来のスピン트로ニクス素子が微細化したときの、素子に対する磁気特性が劣化した層の分布を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、図面に基づいて、本発明の実施の形態について説明する。

図1乃至図3は、本発明の実施の形態のスピン트로ニクス素子10を示している。

図1に示すように、スピン트로ニクス素子10は、磁気トンネル接合素子11と拡散防止膜12とを有している。

[0022] 磁気トンネル接合素子（MTJ）11は、強磁性層から成る記録層21および参照層22と、記録層21と参照層22との間に配置された絶縁層23とを有している。記録層21および参照層22は、強磁性の材料から成り、ホウ素（B）を含んでいる。記録層21および参照層22は、例えば、CoB、FeBもしくはCoFeB等の合金から成る磁性層、またはこれらの合金のうちの1つ以上を含む磁性層から成っている。絶縁層23は、絶縁性を有する材料から成り、例えばMgOから成っている。磁気トンネル接合素子11は、物理蒸着法であるスパッタ法、分子線エピタキシャル成長法（MBE法）などにより、各層を堆積して形成されている。

[0023] 拡散防止膜12は、磁気トンネル接合素子11の側面を覆うよう設けられている。拡散防止膜12は、記録層21の側縁部、すなわち記録層21が拡散防止膜12と接する部分とその近傍（例えば、拡散防止膜12と接する部分から5nm以内の範囲）、に含まれるホウ素の濃度、および、参照層22の側

縁部、すなわち参照層 2 2 が拡散防止膜 1 2 と接する部分とその近傍（例えば、拡散防止膜 1 2 と接する部分から 5nm 以内の範囲）、に含まれるホウ素の濃度より高い濃度でホウ素を含んでいる。これにより、拡散防止膜 1 2 は、記録層 2 1 および参照層 2 2 に含まれるホウ素の外方拡散を防止するようになっている。なお、拡散防止膜 1 2 は、記録層 2 1 の全体および参照層 2 2 の全体に含まれるホウ素の濃度より高い濃度でホウ素を含み、記録層 2 1 および参照層 2 2 に含まれるホウ素の外方拡散を防止するようになっていてもよい。拡散防止膜 1 2 は、例えば B S G (boron silicate glass) や B P S G (boron phosphorus silicate glass) から成っている。拡散防止膜 1 2 は、例えば C V D 法により形成されている。

[0024] 具体的な一例として、記録層 2 1 および参照層 2 2 が $(\text{Co}_{25}\text{Fe}_{75})_{70}\text{B}_{30}$ から成る場合、 $(\text{Co}_{25}\text{Fe}_{75})_{70}\text{B}_{30}$ のモル質量が 42.877 g/mol、密度が 8.2 g/cm³ であるため、記録層 2 1 および参照層 2 2 中のホウ素の個数濃度は、 $3.45 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ となる。拡散防止膜 1 2 は、この個数濃度より高い濃度でホウ素を含むよう形成されている。

[0025] 次に、作用について説明する。

スピントロニクス素子 1 0 は、ホウ素の濃度勾配により、記録層 2 1 および参照層 2 2 に含まれるホウ素が、記録層 2 1 および参照層 2 2 の側縁部からそれぞれ拡散防止膜 1 2 に向かって拡散するのを防ぐことができ、記録層 2 1 および参照層 2 2 に含まれるホウ素の外方拡散を防ぐことができる。このため、磁気トンネル接合素子 1 1 の内部の、記録層 2 1 および参照層 2 2 の膜面に対して水平方向に沿ったホウ素の濃度分布を、形成時の最適な状態で均一に維持することができる。これにより、強磁性膜である記録層 2 1 および参照層 2 2 の膜面に垂直な方向に沿ったホウ素のプロファイルを最適な状態に保つことができるため、磁気トンネル接合素子 1 1 の磁気特性の劣化を防ぐことができる。また、素子の寸法がばらついても、磁気トンネル接合素子 1 1 の内部の、記録層 2 1 および参照層 2 2 の膜面に対して水平方向に沿ったホウ素の濃度分布が素子内においてばらつかず、最適な状態で均一に

維持されるため、強磁性膜である記録層 2 1 および参照層 2 2 の膜面に垂直な方向に沿ったホウ素のプロファイルを最適な状態に保つことができ、磁気特性のばらつきを防止することもできる。

[0026] また、酸化処理や熱処理を行ったときでも、拡散防止膜 1 2 に含まれるホウ素が外方に拡散する可能性はあるが、記録層 2 1 および参照層 2 2 からのホウ素の外方拡散を抑制することができる。このように、スピントロニクス素子 1 0 は、優れた磁気特性を有している。また、スピントロニクス素子 1 0 は、微細化の進展に伴うばらつきに対しても、磁気特性のばらつきを防止することができる。

[0027] スピントロニクス素子 1 0 は、拡散防止膜 1 2 により、外部から記録層 2 1 や参照層 2 2 などの磁気トンネル接合素子 1 1 の内部に窒素が侵入するのを防ぐことができる。このため、例えばSiN膜などの、素子の外部に形成された膜から素子の内部に窒素が再分布するのを防ぐことができる。このため、窒素の再分布による磁気特性の劣化を防止することができる。また、微細化に伴う寸法ばらつきにより、窒素による素子の劣化の割合が異なるために磁気特性がばらつくのを、防止することができる。

[0028] なお、スピントロニクス素子 1 0 は、拡散防止膜 1 2 が窒素を含んでいないことが好ましい。この場合、素子の外部からだけでなく、拡散防止膜 1 2 から磁気トンネル接合素子 1 1 の内部に窒素が再分布して磁気特性が劣化するのを防ぐことができる。

[0029] また、図 1 に示す一例では、拡散防止膜 1 2 は、記録層 2 1 および参照層 2 2 の側面の全体を覆うよう設けられているが、記録層 2 1 および参照層 2 2 の側面のそれぞれ一部を覆うよう設けられていてもよい。この場合でも、記録層 2 1 および参照層 2 2 の側面からのホウ素の外方拡散をある程度防ぐことができ、磁気特性の劣化を防止することができる。

[0030] また、図 1 に示す一例では、記録層 2 1 および参照層 2 2 の側面を 1 つの拡散防止膜 1 2 で一体的に覆っているが、記録層 2 1 および参照層 2 2 の側面をそれぞれ別の拡散防止膜 1 2 で覆っていてもよい。この場合、記録層 2

1の側面を覆う拡散防止膜12が、記録層21の側縁部に含まれるホウ素の濃度より高い濃度でホウ素を含んでおり、参照層22の側面を覆う拡散防止膜12が、参照層22の側縁部に含まれるホウ素の濃度より高い濃度でホウ素を含んでいればよい。これにより、記録層21および参照層22に含まれるホウ素が外方に拡散するのを防ぐことができ、磁気特性の劣化を防ぐことができる。

[0031] また、図1に示す一例では、磁気トンネル接合素子11の外側に拡散防止膜12を形成したが、記録層21および参照層22の側縁部に、イオン注入法やプラズマドーピング法を用いてホウ素を導入して、それぞれ記録層21および参照層22の中央部より高い濃度でホウ素を含む部分を形成してもよい。この場合、ホウ素を導入した記録層21および参照層22の側縁部が、拡散防止膜12となり、記録層21および参照層22の中央部に含まれるホウ素の外方拡散を防ぐことができる。

[0032] また、記録層21および参照層22はそれぞれ、1つの強磁性層から成るものに限らず、強磁性層と、非強磁性層やキャップ層などの強磁性層以外の層とが複数積層されて形成されていてもよい。例えば、図2(a)に示すように、記録層21が、CoFeBから成る1対の強磁性層31, 32の間に、Taから成る非磁性結合層33を挟んだ構造から成っていてもよい。なお、図2(a)に示す一例では、記録層21の絶縁層23とは反対側の表面に、MgOから成る絶縁層34が形成されている。また、図2(a)に示す一例では、非磁性結合層33は、Taから成っているが、Taに限らず、W, Hf, Zr, Nb, Mo, Ti, Mg, MgO等から成っていてもよい。

[0033] また、図2(b)に示すように、記録層21が、CoFeB層35の両面に、それぞれ薄いCoFe層36, 37が形成された構造から成っていてもよい。なお、図2(b)に示す一例では、CoFe層36, 37のCoFeB層35とは反対側の表面に、MgOから成る絶縁層38, 39が形成されている。これらの絶縁層38, 39は、絶縁層23や絶縁層34を構成可能である。図2(a)および(b)に示す一例では、記録層21が多層構造か

ら成る構成を示したが、参照層 22 が同様の多層構造を有していてもよい。

[0034] 図 1 に示す一例では、スピントロニクス素子 10 は、磁気トンネル接合素子 11 を含むものから成っているが、磁気トンネル接合素子 11 に限らず、ホウ素を含む強磁性層を有する素子であれば、いかなる素子を有していてもよい。例えば、トンネル磁気抵抗素子、トンネル磁気抵抗メモリ素子、スピンホール効果素子、逆スピンホール効果素子、磁壁移動メモリ素子またはスピントルク高周波素子を有するものから成っていてもよい。

[0035] 例えば、図 3 に示すように、磁壁移動メモリ素子を有するものから成る場合、磁気トンネル接合素子 11 の側面に拡散防止膜 12 を設けることにより、磁気トンネル接合素子 11 に含まれるホウ素の外方拡散を防ぐことができ、磁気特性の劣化を防止することができる。

実施例 1

[0036] 図 1 に示す磁気トンネル接合素子 (MTJ) 11 を作製し、トンネル磁気抵抗比 (TMR 比) の測定を行った。また、比較のため、拡散防止膜 12 を有さない MTJ も作製し、TMR 比の測定を行った。拡散防止膜 12 を有する図 1 の MTJ、および拡散防止膜 12 を有さない MTJ の双方とも、円柱状になるように形成し、拡散防止膜 12 以外の記録層、参照層、絶縁層の構成は同じとした。拡散防止膜 12 を有する MTJ、および拡散防止膜 12 を有さない MTJ の双方とも、実際の MTJ は加工ばらつきのため真の円柱ではないが、MTJ の直径は素子の抵抗値から円柱と仮定し算出した。また、拡散防止膜 12 を有さない MTJ については、直径が異なる 3 つのサイズの円柱状の MTJ を作製した。各 MTJ の TMR 比の測定結果を、表 1 に示す。なお、表 1 中の TMR 比は、各 MTJ 製造過程の熱処理前 (ドライエッチング処理後) の TMR 比に対する比率 (百分率) で表している。

[0037]

[表1]

	直径(nm)	TMR比(%)
拡散防止膜がない MTJ	50	53
	56	66
	86	96
拡散防止膜を有する MTJ	50	113

[0038] 表1に示すように、拡散防止膜12を有さないMTJでは、熱処理によるホウ素の外方拡散で、磁気特性が劣化するため、熱処理によりTMR比が低下していることが確認された。また、拡散防止膜12を有さないMTJでは、図4に示すように、直径が小さくなるに従って、磁気特性が劣化した層の素子全体に占める割合が増加するため、TMR比の低下率も増加していることが確認された。これに対し、拡散防止膜12を有する図1のMTJでは、拡散防止膜12によりホウ素の外方拡散を防止することができるため、熱処理後もTMR比が低下せず、むしろ増加していることが確認された。

産業上の利用可能性

[0039] 本発明に係るスピントロニクス素子は、例えば、スピン注入磁化反転（STT）を利用した磁気抵抗変化型メモリ（MRAM）、すなわちSTT-MRAMを搭載した汎用メモリ製品および混載SOC（System-on-a-chip）製品に好適に利用することができる。

符号の説明

- [0040] 10 スピントロニクス素子
 11 磁気トンネル接合素子
 21 記録層
 22 参照層
 23 絶縁層
 12 拡散防止膜

3 1, 3 2 強磁性層

3 3 非磁性結合層

3 4 絶縁層

3 5 C o F e B 層

3 6, 3 7 C o F e 層

3 8, 3 9 絶縁層

5 0 スピントロニクス素子

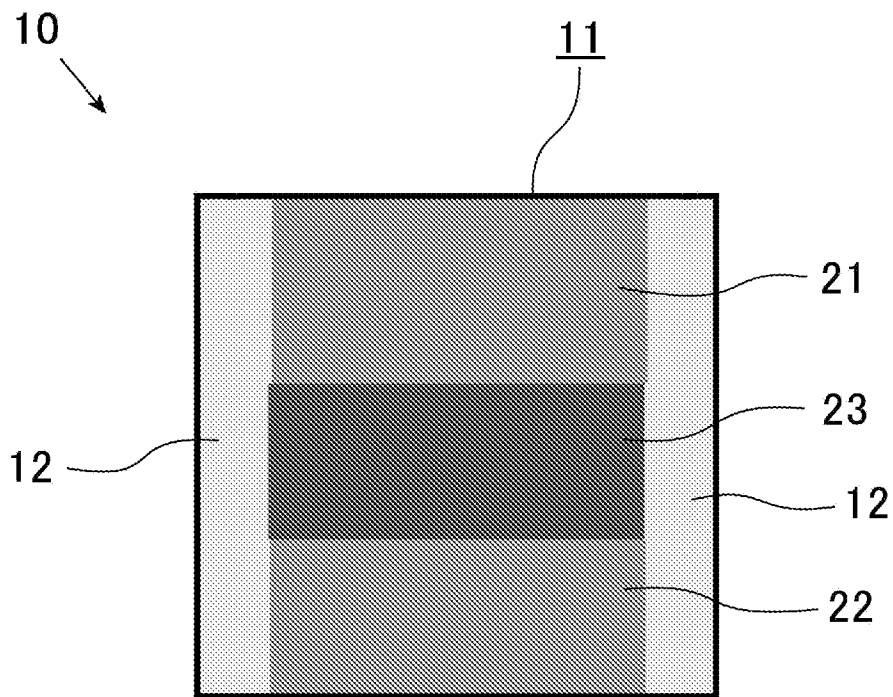
5 1 磁気特性が劣化した層

請求の範囲

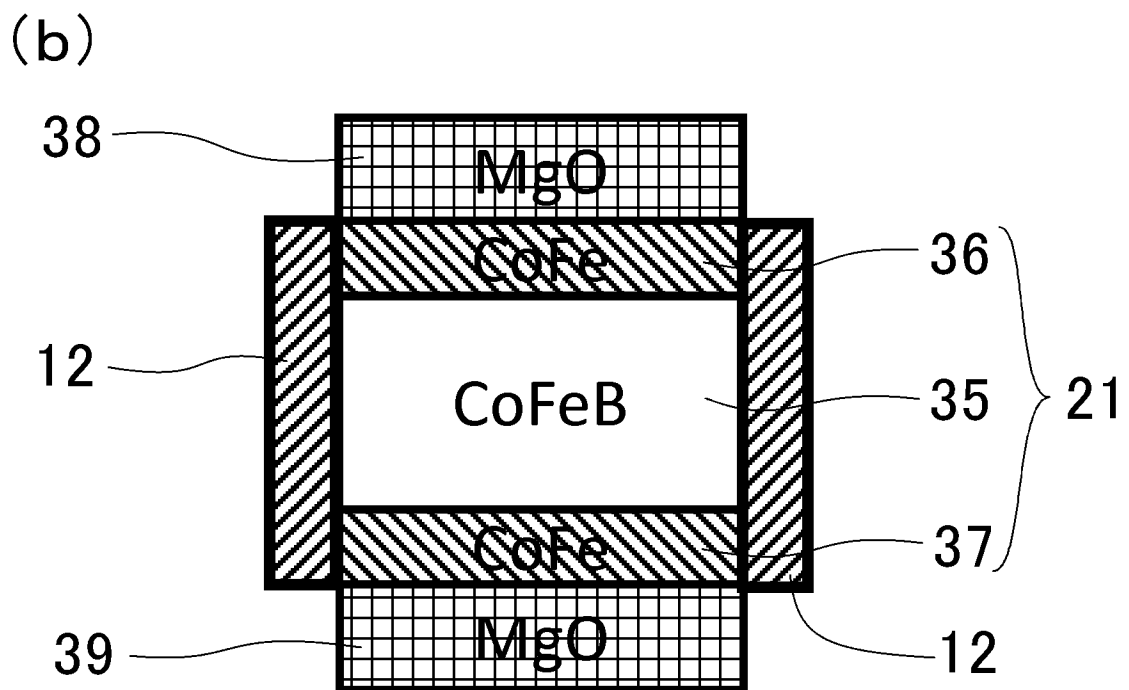
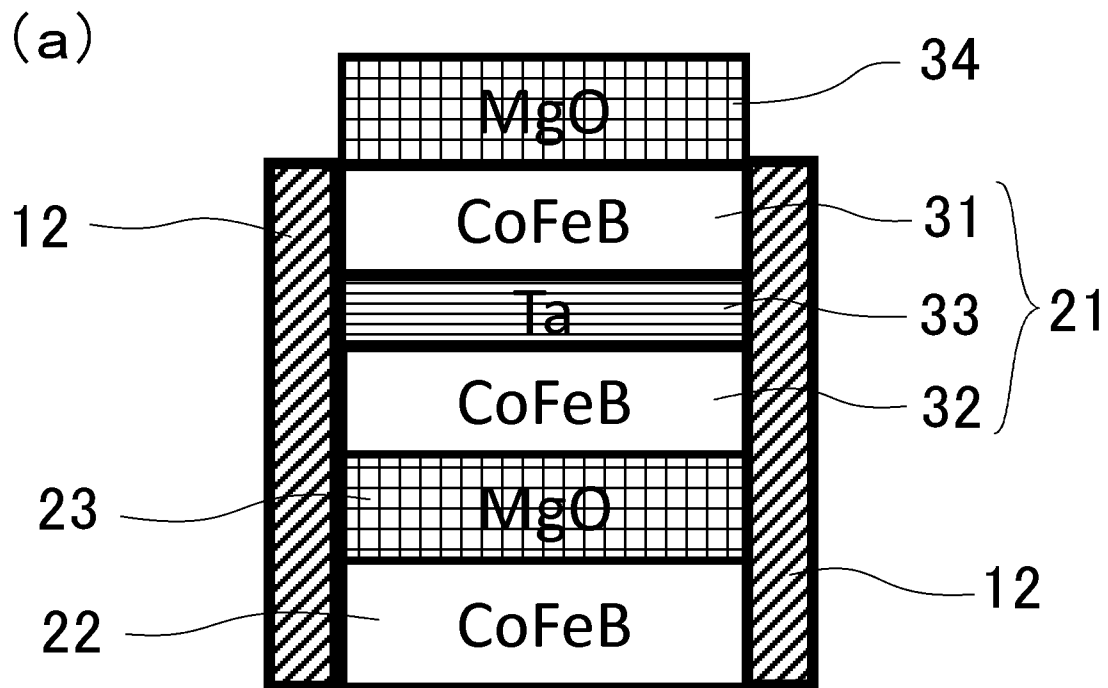
- [請求項1] ホウ素を含む強磁性層と、
 前記強磁性層に含まれるホウ素の外方拡散を防止するよう設けられた拡散防止膜とを、
 有することを特徴とするスピントロニクス素子。
- [請求項2] 前記拡散防止膜は、外部から前記スピントロニクス素子の内部に窒素が侵入するのを防止するよう構成されていることを特徴とする請求項1記載のスピントロニクス素子。
- [請求項3] 前記拡散防止膜は、前記強磁性層の側面の一部または全体を覆うよう設けられていることを特徴とする請求項1または2記載のスピントロニクス素子。
- [請求項4] 前記拡散防止膜は、前記強磁性層の側縁部に含まれるホウ素の濃度より高い濃度でホウ素を含んでいることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載のスピントロニクス素子。
- [請求項5] 前記拡散防止膜は、前記強磁性層に含まれるホウ素の濃度より高い濃度でホウ素を含んでいることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載のスピントロニクス素子。
- [請求項6] 前記拡散防止膜は、窒素を含んでいないことを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載のスピントロニクス素子。
- [請求項7] それぞれ前記強磁性層を有する記録層および参照層と、前記記録層と前記参照層との間に配置された絶縁層とを有する磁気トンネル接合素子を有し、
 前記拡散防止膜は、前記磁気トンネル接合素子の側面を覆うよう設けられていることを
 特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載のスピントロニクス素子。
- [請求項8] トンネル磁気抵抗素子、トンネル磁気抵抗メモリ素子、スピンホール効果素子、逆スピンホール効果素子、磁壁移動メモリ素子またはス

ピントルク高周波素子を有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載のスピン트로ニクス素子。

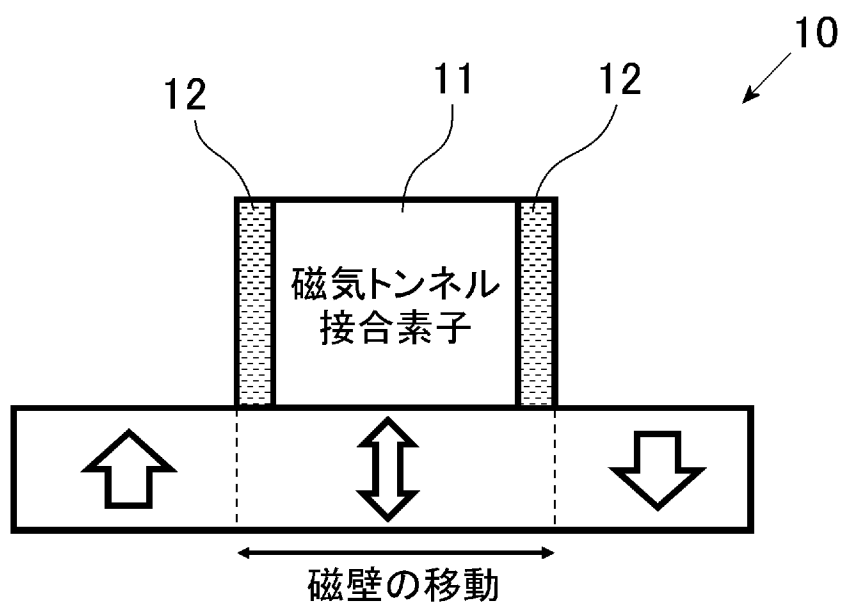
[図1]



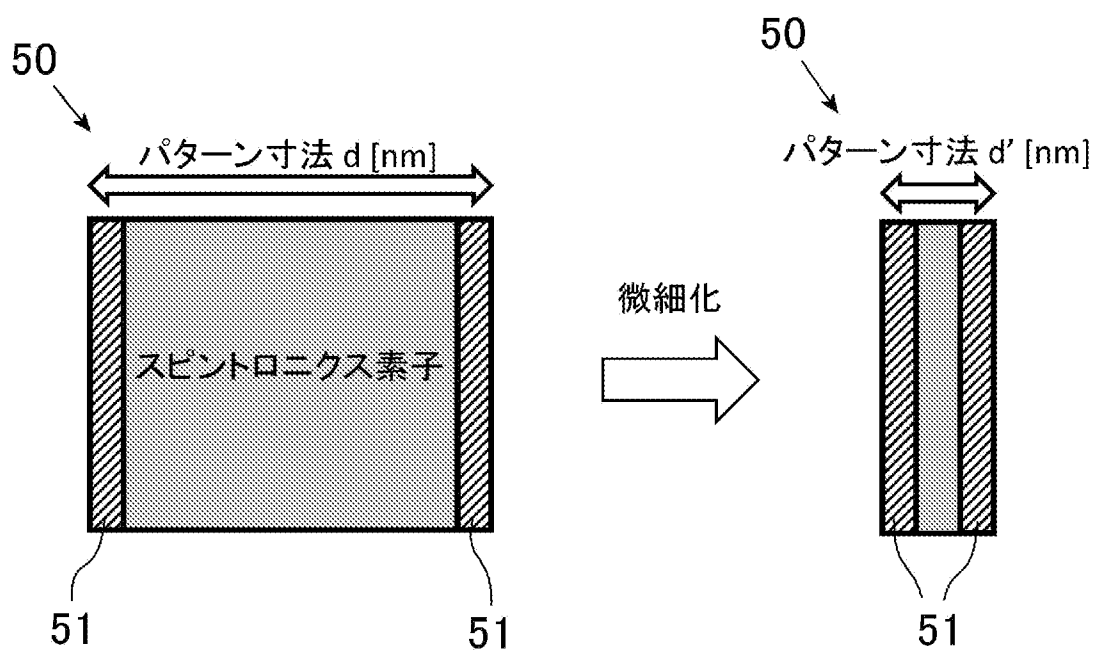
[図2]



[図3]



[図4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/087999

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L43/08(2006.01)i, H01F10/32(2006.01)i, H01L21/8246(2006.01)i,
H01L27/105(2006.01)i, H01L29/82(2006.01)i

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)

H01L43/08, H01F10/32, H01L21/8246, H01L27/105, H01L29/82

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2015-060970 A (Toshiba Corp.), 30 March 2015 (30.03.2015), paragraphs [0008] to [0027]; fig. 1 & US 2016/0197266 A1 paragraphs [0022] to [0041]; fig. 1 & WO 2015/040926 A1	1, 2 3-8
Y	JP 2007-048820 A (Alps Electric Co., Ltd.), 22 February 2007 (22.02.2007), paragraphs [0020] to [0054]; fig. 1, 2 (Family: none)	3-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ 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
10 February 2017 (10.02.17)

Date of mailing of the international search report
21 February 2017 (21.02.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/087999

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2015-184036 A (Toshiba Corp.), 22 October 2015 (22.10.2015), paragraphs [0036] to [0072]; fig. 7 & US 2015/0266717 A1 paragraphs [0081] to [0124]; fig. 7 & TW 201537155 A	1-8
A	JP 2009-260164 A (Alps Electric Co., Ltd.), 05 November 2009 (05.11.2009), paragraphs [0014] to [0045]; fig. 4 (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L43/08(2006.01)i, H01F10/32(2006.01)i, H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L29/82(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L43/08, H01F10/32, H01L21/8246, H01L27/105, H01L29/82

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 2015-060970 A (株式会社東芝) 2015.03.30, [0008]-[0027], 図1 & US 2016/0197266 A1, [0022]-[0041], FIG. 1 & WO 2015/040926 A1	1, 2 3-8
Y	JP 2007-048820 A (アルプス電気株式会社) 2007.02.22, [0020]-[0054], 図1, 2 (ファミリーなし)	3-8

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10.02.2017

国際調査報告の発送日

21.02.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

加藤 俊哉

電話番号 03-3581-1101 内線 3516

5 F

9554

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2015-184036 A (株式会社東芝) 2015. 10. 22, [0036]-[0072], 図 7 & US 2015/0266717 A1, [0081]-[0124], FIG. 7 & TW 201537155 A	1-8
A	JP 2009-260164 A (アルプス電気株式会社) 2009. 11. 05, [0014]-[0045], 図 4 (ファミリーなし)	1-8