

(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9月28日(28.09.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/164229 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/66 (2006.01) H01L 27/105 (2006.01)
H01L 21/8239 (2006.01) H01L 43/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/011408
- (22) 国際出願日: 2017年3月22日(22.03.2017)
- (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 2016-059344 2016年3月24日(24.03.2016) 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: 伊藤 顕知(ITO Kenchi); 〒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). 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). 齋藤 節(SAITOH Takashi); 〒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). 村口 正和(MURAGUCHI Masakazu); 〒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).

- (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,

[続葉有]

(54) Title: MEASUREMENT METHOD AND MEASUREMENT SYSTEM FOR THERMAL STABILITY INDEX OF MAGNETIC TUNNEL JUNCTION DEVICE, SEMICONDUCTOR INTEGRATED CIRCUIT, AND PRODUCTION MANAGEMENT METHOD FOR SEMICONDUCTOR INTEGRATED CIRCUIT

(54) 発明の名称: 磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法および測定システム、半導体集積回路、ならびに半導体集積回路の生産管理方法

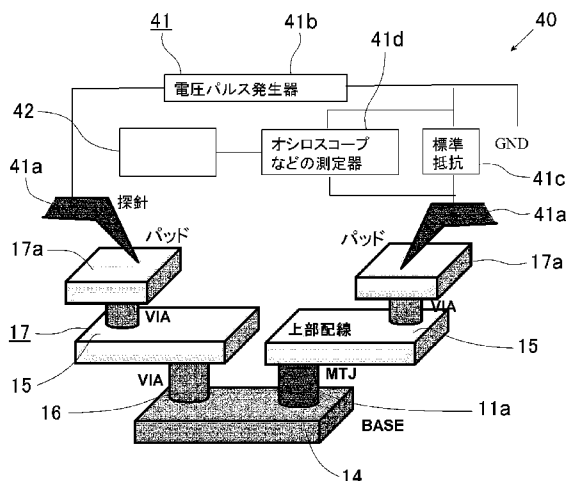


FIG. 3:
15 Upper wiring
17a Pad
41a Probe
41b Voltage pulse generator
41c Standard resistance
41d Measuring device such as oscilloscope

(57) Abstract: [Problem] To provide a measurement method and measurement system for the thermal stability index of a magnetic tunnel junction device, a semiconductor integrated circuit, and a production management method for a semiconductor integrated circuit that make it possible to measure the thermal stability index of individual devices in a relatively short amount of time and to quickly perform quality control during material development or at a production site. [Solution] While a prescribed current is made to flow to an evaluation MTJ 11a that is maintained at a prescribed temperature, a measuring means 41 measures changes in resistance values of the evaluation MTJ 11a for a prescribed period of time. On the basis of the measured changes in resistance values, an analyzing means 42 finds a time constant for maintaining a low-resistance state and a time constant for maintaining a high-resistance state. The thermal stability index of the evaluation MTJ 11a is found on the basis of the prescribed current that was made to flow to the evaluation MTJ 11a and the found time constants.

(57) 要約:

[続葉有]



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.

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).

- (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, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (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,

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】素子単位で熱安定性指数を比較的短時間で測定することができ、材料開発や生産現場での品質管理を迅速に行うことができる磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法および測定システム、半導体集積回路、ならびに半導体集積回路の生産管理方法を提供する。 【解決手段】所定の温度に保持した評価用MTJ11aに所定の電流を流しながら、測定手段41により、所定時間、評価用MTJ11aの抵抗値の変化を測定する。測定された抵抗値の変化から、解析手段42により、低抵抗状態を保持する時定数および高抵抗状態を保持する時定数を求める。評価用MTJ11aに流した所定の電流と、求めた各時定数とに基づいて、評価用MTJ11aの熱安定性指数を求める。

明 細 書

発明の名称：

磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法および測定システム、半導体集積回路、ならびに半導体集積回路の生産管理方法

技術分野

[0001] 本発明は、磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法および測定システム、半導体集積回路、ならびに半導体集積回路の生産管理方法に関する。

背景技術

[0002] 磁気抵抗効果素子を有するMRAM等の不揮発性メモリについて、ビット情報の熱的安定性を表すものとして、熱安定性指数がある。この熱安定性指数 Δ_0 は、

$$\Delta_0 = E_b / k_B T \quad (1)$$

で表される（ E_b ：磁化反転に要するエネルギー障壁、 k_B ：ボルツマン定数、 T ：絶対温度）。ここで、

$$E_b = K_{eff} V \quad (2)$$

である（ K_{eff} ：記録層の磁気異方性エネルギー密度、 V ：記録層の体積）。

[0003] なお、磁気抵抗効果素子の記録層のエネルギーは、 $K_{eff} V \cdot \sin^2 \theta$ （ここで、 θ ：記録層の磁化の方向と参照層の磁化の方向との成す角度）で表され、 $\sin^2 \theta = 1$ のとき（ $\theta = 90^\circ$ 、 270° 、…のとき）、磁化反転に要するエネルギー障壁（ E_b ）となる。

[0004] 熱安定性指数 Δ_0 を有する記録層が、ある時間 t ののち磁化反転する確率 P は、Neel-Arrheniusの法則により、

$$P = 1 - \exp \{ (-t / 10^{-9}) \times \exp (-\Delta_0) \} \quad (3)$$

で与えられる（例えば、非特許文献1参照）。なお、 P が50%のときの時間 t が、記録層の保持時間である。

[0005] 従来の熱安定性指数 Δ_0 を測定する一般的な方法として、磁場パルス法およ

び電流パルス法がある。磁場パルス法は、特定のパルス幅の磁場パルスを与えたときの磁化反転確率を、磁場パルスの磁場の大きさを変えながら測定し、磁場の大きさと反転確率との関係に基づいて、熱安定性指数 Δ_0 を求めるものである（例えば、非特許文献2参照）。また、電流パルス法は、特定のパルス幅の電流パルスを与えたときの磁化反転確率を、電流パルスの電流の大きさを変えながら測定し、電流の大きさと反転確率との関係に基づいて、熱安定性指数 Δ_0 を求めるものである（例えば、非特許文献3参照）。

[0006] しかし、磁化反転のモードは、記録層の径 d が臨界サイズ（critical diameter） d_c よりも大きいとき、磁壁モード（domain-wall）に、小さいとき、一斉回転モード（coherent reversal）になるが、これまで磁場パルス法では、エネルギー障壁 E_b の式として、一斉回転モードの式を用いて解析されていたため、磁壁モードのときにエネルギー障壁 E_b の値が、実際の値よりも小さくなり、正確な熱安定性指数 Δ_0 を求めることができないという問題が指摘されている（例えば、非特許文献4参照）。これは、磁場パルス法を行うときに与える磁場の影響により、エネルギー障壁 E_b の値が減少するためであると考えられ、電流パルス法でも同様の問題が発生すると考えられる。最近、これを補正するため、磁壁モードの場合に有効な E_b の式を用いて解析する方法が提案されている（例えば、非特許文献5参照）。この式を用いれば、磁場パルス法でも正しい E_b の値が求められると考えられているが、一斉回転モードと磁壁モードとで異なった式を用いてフィッティングを行わなくてはならないという問題が残っている。また、磁場パルス法では、磁場を発生するための電磁石の応答が遅いため、測定に時間がかかり、1つの素子の熱安定性指数 Δ_0 を測定するのに数10分～数時間程度かかってしまうという問題もあった。

[0007] そこで、磁場パルス法や電流パルス法とは異なる熱安定性指数 Δ_0 の測定方法として、10Mb以上のMTJから成るMRAMチップを準備し、各MTJの記録層にチェッカーボードパターン等で1/0情報を書き込み、高温で数分から100時間程度放置した後、初期情報がどのくらい失われたかを表

すエラー率 (error rate) を測定し、そのエラー率から算出した反転確率と放置時間との関係に基づいて、熱安定性指数 Δ_0 を求める方法が提案されている (例えば、非特許文献6 参照)。この方法によれば、測定中にエネルギー障壁 E_b の値が変化しないため、磁化反転のモードによらず、正確な熱安定性指数 Δ_0 を求めることができる。

先行技術文献

非特許文献

[0008] 非特許文献1: W.F. Brown, Jr., “Thermal Fluctuations of a Single-Domain in Particle”, Phys. Rev., 1963, Vol.130, Num.5, p.1677-1686

非特許文献2: H. Sato, M. Yamanouchi, S. Ikeda, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, “Perpendicular-anisotropy CoFeB-MgO magnetic tunnel junctions with a MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO recording structure”, Appl. Phys. Lett., 2012, 101, 022414

非特許文献3: R. H. Koch, J. A. Katine, and J. Z. Sun, “Time-Resolved Reversal of Spin-Transfer Switching in a Nanomagnet”, Phys. Rev. Lett., 2004, Vol.92, Num.8, 088302

非特許文献4: Gabriel D. Chaves-O’ Flynn, Georg Wolf, Jonathan Z. Sun, and Andrew D. Kent, “Thermal Stability of Magnetic States in Circular Thin-Film Nanomagnets with Large Perpendicular Magnetic Anisotropy”, Phys. Rev. Appl., 2015, 4, 024010

非特許文献5: Luc Thomas, Guenole Jan, Son Le, Yuan-Jen Lee, Huanlong Liu, Jian Zhu, Santiago Serrano-Guisan, Ru-Ying Tong, Keyu Pi, Dongna Shen, Renren He, Jesmin Haq, Zhongjian Teng, Rao Annapragada, Vinh Lam, Yu-Jen Wang, Tom Zhong, Terry Torng and Po-Kang Wang, “Solving the Paradox of the Inconsistent Size Dependence of Thermal Stability at Device and Chip-level in Perpendicular STT-MRAM”, Proc. IEDM2015, 672

非特許文献6: Luc Thomas, Guenole Jan, Son Le, and Po-Kang Wang, “Qua

ntifying data retention of perpendicular spin-transfer-torque magnetic random access memory chips using an effective thermal stability factor method”, Appl. Phys. Lett., 2015, 106, 162402

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、非特許文献6に記載の熱安定性指数の測定方法は、チップの熱安定性指数を測定するものであり、MTJ等の素子単位で熱安定性指数を測定するものではないという課題があった。また、測定を行うためには、数Mb以上の容量を持つMRAMチップが必要であるが、チップの作製には通常3ヶ月程度かかるため、データを得るまでに時間がかかってしまい、材料開発や生産現場での品質管理（QCチェック）に使用すると、無駄な時間が多くなってしまうという課題もあった。また、熱安定性指数が大きくなると、測定時間が長くなってしまうという課題もあった。

[0010] 本発明は、このような課題に着目してなされたもので、素子単位で熱安定性指数を比較的短時間で測定することができ、材料開発や生産現場での品質管理を迅速に行うことができる磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法および測定システム、半導体集積回路、ならびに半導体集積回路の生産管理方法を提供することを目的とする。

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、本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法は、所定の温度に保持した磁気トンネル接合素子に所定の電流を流しながら、所定時間、前記磁気トンネル接合素子の抵抗値の変化を測定する測定工程と、前記測定工程で測定された前記抵抗値の変化から、低抵抗状態を保持する時定数および高抵抗状態を保持する時定数を求める第1計算工程と、前記所定の電流と、前記第1計算工程で求めた各時定数とに基づいて、前記磁気トンネル接合素子の熱安定性指数を求める第2計算工程とを、有することを特徴とする。

[0012] 本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定システムは、磁

気トンネル接合素子を所定の温度に保持する保温手段と、前記磁気トンネル接合素子に所定の電流を流しながら、所定時間、前記磁気トンネル接合素子の抵抗値の変化を測定する測定手段と、前記測定手段で測定された前記抵抗値の変化から、低抵抗状態を保持する時定数および高抵抗状態を保持する時定数を求め、その各時定数と前記所定の電流とに基づいて、前記磁気トンネル接合素子の熱安定性指数を求める解析手段とを、有することを特徴とする。

[0013] 本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法および測定システムは、測定時に磁場を発生させる必要がなく、また、多数の素子を有するチップ全体ではなく、素子単位で測定を行うことができるため、比較的短時間で熱安定性指数を測定することができる。また、磁場パルス法や電流パルス法のように、測定時にエネルギー障壁 E_0 の値が変化しないため、正確な熱安定性指数を求めることができる。なお、本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法および測定システムは、単体の素子のみを測定しても、単体の素子を複数測定してもよく、複数の素子をまとめて測定してもよい。

[0014] 本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法および測定システムは、磁気トンネル接合素子単位で熱安定性指数を測定できるため、その測定結果に基づく管理情報を、チップの製造工程の初めの段階までフィードバックする必要がなく、磁気トンネル接合素子の作製段階にフィードバックすればよい。これにより、チップの製造工程の初めの段階までフィードバックする場合と比べて、チップを製造し始めてから磁気トンネル接合素子を作製する前段までの期間を節約することができ、材料開発や生産現場での品質管理を迅速に行うことができる。また、本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法および測定システムは、プローバを使用して、磁気トンネル接合素子の抵抗値の変化を測定することが好ましい。

[0015] 本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法で、前記測定工程は、前記所定の電流として、異なる大きさの複数の電流を順番に流し

ながら、各電流についてそれぞれ前記抵抗値の変化を測定し、前記第1計算工程は、各電流に対応して、それぞれ前記低抵抗状態を保持する時定数 τ_P および前記高抵抗状態を保持する時定数 τ_{AP} を求め、前記第2計算工程は、各電流の大きさと、各電流に対応した τ_P および τ_{AP} とに基づいて、前記熱安定性指数を求めることが好ましい。本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定システムで、前記測定手段は、前記所定の電流として、異なる大きさの複数の電流を順番に流しながら、各電流についてそれぞれ前記抵抗値の変化を測定するよう構成され、前記解析手段は、各電流に対応して、それぞれ前記低抵抗状態を保持する時定数 τ_P および前記高抵抗状態を保持する時定数 τ_{AP} を求め、各電流の大きさと、各電流に対応した τ_P および τ_{AP} とに基づいて、前記熱安定性指数を求めるよう構成されていることが好ましい。この場合、より正確な熱安定性指数を求めることができる。

[0016] また、本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法で、前記第1計算工程は、前記測定工程で測定された前記抵抗値の変化から、低抵抗状態を保持する時間の頻度分布 $N_P(t)$ および高抵抗状態を保持する時間の頻度分布 $N_{AP}(t)$ を求め、それぞれ $N_P(t) \propto \exp(-t/\tau_P)$ および $N_{AP}(t) \propto \exp(-t/\tau_{AP})$ の関係を用いて、前記低抵抗状態を保持する時定数 τ_P および前記高抵抗状態を保持する時定数 τ_{AP} を求めることが好ましい。本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定システムで、前記解析手段は、前記測定手段で測定された前記抵抗値の変化から、低抵抗状態を保持する時間の頻度分布 $N_P(t)$ および高抵抗状態を保持する時間の頻度分布 $N_{AP}(t)$ を求め、それぞれ $N_P(t) \propto \exp(-t/\tau_P)$ および $N_{AP}(t) \propto \exp(-t/\tau_{AP})$ の関係を用いて、前記低抵抗状態を保持する時定数 τ_P および前記高抵抗状態を保持する時定数 τ_{AP} を求めるよう構成されていることが好ましい。この場合、より正確な熱安定性指数を求めることができる。

[0017] また、本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法で、前記第2計算工程は、前記所定の電流 I と、前記第1計算工程で求めた前記

低抵抗状態を保持する時定数 τ_P および前記高抵抗状態を保持する時定数 τ_{AP} とに基づいて、

$$\tau_P / (\tau_P + \tau_{AP}) = 1 / [1 + \exp\{-\Delta_0 \cdot (2 \times I / I_{c0})\}] \quad (4)$$

の式を用いて、熱安定性指数 Δ_0 およびしきい電流値 I_{c0} を求めることが好ましい。本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定システムで、前記解析手段は、前記所定の電流 I と、前記第1計算工程で求めた前記低抵抗状態を保持する時定数 τ_P および前記高抵抗状態を保持する時定数 τ_{AP} とに基づいて、(4)式を用いて、熱安定性指数 Δ_0 およびしきい電流値 I_{c0} を求めるよう構成されていることが好ましい。この場合、さらに正確な熱安定性指数を求めることができる。

[0018] また、本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法で、前記測定工程は、前記磁気トンネル接合素子のみに電流を流すよう、その磁気トンネル接合素子のみに電氣的に接続された検査用端子から前記磁気トンネル接合素子に前記所定の電流を流しながら、前記抵抗値の変化を測定してもよい。本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定システムは、前記磁気トンネル接合素子のみに電流を流すよう、その磁気トンネル接合素子のみに電氣的に接続された検査用端子を有し、前記測定手段は、前記検査用端子から前記磁気トンネル接合素子に前記所定の電流を流しながら、前記抵抗値の変化を測定するよう構成されていてもよい。この場合、検査用端子を利用して、単体の磁気トンネル接合素子の正確な熱安定性指数を求めることができる。

[0019] 本発明に係る半導体集積回路は、複数の磁気トンネル接合素子を有する半導体集積回路であって、単体の磁気トンネル接合素子のみに電流を流すよう、その磁気トンネル接合素子のみに電氣的に接続された検査用端子を有することを特徴とする。

[0020] 本発明に係る半導体集積回路は、検査用端子を利用して単体の磁気トンネル接合素子のみに電流を流すことができるため、その単体の磁気トンネル接

合素子に対して、電流を利用した測定や検査を行うことができる。例えば、本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法や測定システムを用いて、その単体の磁気トンネル接合素子の正確な熱安定性指数を求めることができる。検査用端子は、1対の端子から成り、それらの端子が、単体の磁気トンネル接合素子のみに電氣的に接続されていればよい。検査用端子は、磁気トンネル接合素子の上部配線や下部配線、接続領域（V I A）により構成されていることが好ましい。

[0021] 本発明に係る半導体集積回路で、前記検査用端子は、1つの磁気トンネル接合素子または複数の磁気トンネル接合素子のそれぞれに設けられていることが好ましい。この場合、検査用端子が設けられた1つまたは複数の磁気トンネル接合素子について、測定や検査を行うことができ、熱安定性指数などを求めることができる。

[0022] 本発明に係る半導体集積回路で、前記検査用端子は、本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法の前記測定工程で、前記所定の電流を流すとともに前記抵抗値の変化を測定するために使用されることが好ましい。この場合、検査用端子が設けられた磁気トンネル接合素子について、正確な熱安定性指数を求めることができる。

[0023] 本発明に係る半導体集積回路の生産管理方法は、複数の磁気トンネル接合素子を有する半導体集積回路の生産管理方法であって、前記複数の磁気トンネル接合素子を製造した後、前記複数の磁気トンネル接合素子のうちの1または複数について、本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法により熱安定性指数を求め、求められた前記熱安定性指数に基づいて、前記複数の磁気トンネル接合素子を製造する工程を管理することを特徴とする。

[0024] 本発明に係る半導体集積回路の生産管理方法は、本発明に係る磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法により、磁気トンネル接合素子単位で熱安定性指数を測定するため、その測定結果に基づく管理情報を、チップの製造工程の初めの段階までフィードバックする必要がなく、磁気トンネル接

合素子の作製段階にフィードバックすればよい。これにより、チップの製造工程の初めの段階までフィードバックする場合と比べて、チップを製造し始めてから磁気トンネル接合素子を作製する前段までの期間を節約することができ、迅速に生産管理を行うことができる。本発明に係る半導体集積回路の生産管理方法で、前記半導体集積回路は、本発明に係る半導体集積回路であることが好ましい。

発明の効果

[0025] 本発明によれば、素子単位で熱安定性指数を比較的短時間で測定することができ、材料開発や生産現場での品質管理を迅速に行うことができる磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法および測定システム、半導体集積回路、ならびに半導体集積回路の生産管理方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]本発明の実施の形態の半導体集積回路を示す斜視図である。

[図2]本発明の実施の形態の半導体集積回路の製造工程を示すフローチャートである。

[図3]本発明の実施の形態の半導体集積回路の評価用MTJを示す斜視図、および本発明の実施の形態の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定システムを示すブロック構成図である。

[図4]本発明の実施の形態の半導体集積回路の、(a)メモリチップ内の隅に評価用MTJを配置した平面図、(b)メモリチップ内のサブアレイ毎に評価用MTJを配置した平面図である。

[図5]本発明の実施の形態の半導体集積回路のMTJアレイ構造を示す斜視図である。

[図6]本発明の実施の形態の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法による、(a)オシロスコープによる評価用MTJの抵抗値の観測波形例、

(b)低抵抗状態を保持する時間または高抵抗状態を保持する時間の頻度分布、およびフィッティングにより得られた曲線の例を示すグラフ、(c)評価用MTJに流した電流と、低抵抗状態および高抵抗状態の各時定数との関

係、ならびにフィッティングにより得られた曲線の例を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0027] 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6は、本発明の実施の形態の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法および測定システム、半導体集積回路、ならびに半導体集積回路の生産管理方法を示している。

[0028] [半導体集積回路の製造工程]

図1に示すように、本発明の実施の形態の半導体集積回路10は、多数のMTJ（磁気トンネル接合素子）11を有するMRAM（磁気抵抗メモリ）から成り、図2に示す製造工程に従って製造される。

[0029] 図1および図2に示すように、まず、基板となるウェハ12を投入し（ステップ21）、その表面にCMOS13を作製し（ステップ22）、作製したCMOS13の上に、MTJ11と接続するための多層の中間配線14（例えば、M1-M4配線）を形成する（ステップ23）。通常、このステップ23までの製造工程で約2ヶ月かかる。次に、中間配線14の上部に、PVD（物理蒸着）により磁性膜を形成し（ステップ24）、その磁性膜の膜性能を検査する（ステップ25）。その後、MTJパターンをリソグラフィで作成し（ステップ26）、そのリソグラフィの形状を検査する（ステップ27）。その後、エッチングで加工してMTJ11を形成し（ステップ28）、そのMTJ11の形状を検査する（ステップ29）。通常、ステップ24～ステップ29までのMTJ製造工程には、1週間程度かかる。

[0030] MTJ11の形状検査の後、そのMTJ11の上に、上部配線15を形成する（ステップ30）。通常、このステップ30は、2週間以内で終わる。上部配線15を形成後、単体のMTJ11に対する電気特性検査（ステップ31）、およびMTJアレイに対する特性検査を行う（ステップ32）。MTJ11に対する電気特性検査では、例えば、抵抗値、熱安定性、書き込み電流、エラーレートなどの検査を行う。また、MTJアレイに対する特性検査では、例えば、ビット不良率、抵抗分布などの検査を行う。

[0031] また、ステップ30において、図3に示すように、図1に示すCMOS13やCMOS13に接続されている中間配線14とは電氣的に接続されておらず、評価用MTJ11aのみに電氣的に接続された、中間配線14と接続領域(VIA)16と上部配線15とからなる検査用端子ブロック17を形成する。図3に示す一例では、検査用端子ブロック17は、1対の端子から成っており、一方の端子は、単体の評価用MTJ11aの上部に形成された上部配線15から成り、他方の端子は、その評価用MTJ11aの下部に接続された中間配線(BASE)14と、その上に形成された接続領域16と、上部配線15とから成っている。検査用端子ブロック17は、電氣的に接続された単体の評価用MTJ11aのみに電流を流すよう構成されており、ステップ31の電気特性検査の際に利用可能になっている。

[0032] なお、検査用端子ブロック17は、例えば、図4(a)に示すように、メモリチップ内の隅に、単体TEG(Test Element Group)エリアとして、1個から数個が配置されていてもよく、図4(b)に示すように、メモリチップ内のサブアレイ毎に、1個から数個が配置されていてもよい。この1個から数個配置された検査用素子ブロック17は、後述するメモリアレイのビット線ないしワード線へ外部から電氣的な接続を行うためのパッド群とは全く独立の、上部配線15に接続されたパッド17aを有する。このパッド17aには、例えば、様々な電気測定用機器に電氣的に接続するための、プローバなどの探針を接触させて、評価用MTJ11aの特性を電氣的に測定する。他方、メモリアレイのビット線ないしワード線へ外部から電氣的な接続を行うためのパッド群は、例えばワイヤを介してパッケージのピンに接続されるため、これらを用いて、評価用MTJ11a単体の電気特性の測定を行うことはできない。

こうして、図2に示す製造方法に従って、MRAMのメモリチップから成る半導体集積回路10を製造することができる。

[0033] 製造された半導体集積回路10は、評価用MTJ11aを除き、図5に示すように、MTJ11の上部配線15として複数のビット線18が配線され

、CMOS 13の上部に複数のワード線19が配線されたMRAMから成っている。各ビット線18は、互いに平行に配置され、ビットライン選択回路18aに接続されている。各ワード線19は、互いに平行に配置され、ワードライン選択回路19aに接続されている。

[0034] この半導体集積回路10では、任意のMTJ 11へ書き込みを行う際は、書き込みビットナンバーをもとに、ビットライン選択回路18aおよびワードライン選択回路19aで、それぞれ所定のビット線18およびワード線19に電圧を印加して行う。また、任意のMTJ 11から読み出しを行う際は、読み出しビットナンバーをもとに、ビットライン選択回路18aおよびワードライン選択回路19aで、それぞれ所定のビット線18およびワード線19を選択し、センスアンプ20へ接続して行う。図2のステップ32のMTJアレイに対する特性検査は、図5に示す回路を利用して行うことができる。

[0035] [熱安定性指数の測定]

次に、図2のステップ31における単体の評価用MTJ 11aに対する電気特性検査のうち、熱安定性指数の測定を行うための、本発明の実施の形態の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法および測定システムについて説明する。

図3に示すように、本発明の実施の形態の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定システム40は、保温手段（図示せず）と測定手段41と解析手段42とを有している。

[0036] 保温手段は、温度制御可能なプローバから成り、評価用MTJ 11aを含むウェハー12を搭載して、所定の温度に保持可能になっている。測定手段41は、保温手段のプローバの1対の探針41aと、例えば、電圧パルス発生器41bと、標準抵抗41cと、電圧測定器41dとを有している。電圧パルス発生器41bは、各探針41aに接続され、各探針41aの間に電圧パルスを印加可能になっている。標準抵抗41cは、一方の探針41aと電圧パルス発生器41bとの間に直列に接続されている。電圧測定器41dは

、電圧を測定可能なオシロスコープなどの測定器から成り、標準抵抗41cに並列に接続されて、標準抵抗41cに発生する電圧を測定可能になっている。なお、電圧パルス発生器41bの代わりに、例えば、DC電流源と、DC電流源から電流を発生させるタイミングを指定するトリガー機構とを用いてもよい。

[0037] 測定手段41は、各探針41aを評価用MTJ11aの各検査用端子ブロック17に接触させ、電圧パルス発生器41bで所定の電圧パルスが発生して評価用MTJ11aの両端に印加することにより、評価用MTJ11aに所定の電流を流すようになっている。また、その電流によって発生する標準抵抗41cの両端に発生する電圧を、所定時間、電圧測定器41dでモニターして測定することにより、評価用MTJ11aの抵抗値の変化を測定するようになっている。

[0038] 解析手段42は、コンピュータから成り、電圧測定器41dに接続されて、その測定値を入力可能になっている。解析手段42は、電圧測定器41dで測定された抵抗値の変化から、低抵抗状態を保持する時定数および高抵抗状態を保持する時定数を求めるようになっている。また、求めた各時定数と、評価用MTJ11aに流した電流とに基づいて、評価用MTJ11aの熱安定性指数を求めるようになっている。

[0039] 本発明の実施の形態の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法は、図3に示す磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定システム40により好適に実施することができる。すなわち、本発明の実施の形態の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法は、まず、評価用MTJ11aを保温手段で所定の温度に保持した状態で、測定手段41により、評価用MTJ11aに所定の電流を流しながら、所定時間、評価用MTJ11aの抵抗値の変化を測定する。このときのオシロスコープから成る電圧測定器41dでの具体的な測定例を、図6(a)に示す。測定温度は、240℃である。図6(a)での測定時間は、500 msecである。図6(a)に示すように、測定された抵抗値の変化には、低抵抗状態と高抵抗状態とが存在することが確認でき

る。

[0040] 次に、解析手段42により、測定された抵抗値の変化から、低抵抗状態を保持する時間の頻度分布 $N_P(t)$ および高抵抗状態を保持する時間の頻度分布 $N_{AP}(t)$ を求め、その減衰状態から、それぞれ $N_P(t) \propto \exp(-t/\tau_P)$ および $N_{AP}(t) \propto \exp(-t/\tau_{AP})$ の関係を用いて、最小自乗法などのフィッティングにより、低抵抗状態を保持する時定数 τ_P および高抵抗状態を保持する時定数 τ_{AP} を求める。このときの実測で得られた低抵抗状態を保持する時間または高抵抗状態を保持する時間の頻度分布 $N_{P, AP}(t)$ 、およびフィッティングにより得られた曲線の例を、図6(b)に示す。

[0041] 測定手段41により、異なる大きさの複数の電流を順番に流しながら、各電流についてそれぞれ抵抗値の変化を測定し、解析手段42により、各電流に対応して、それぞれ低抵抗状態を保持する時定数 τ_P および高抵抗状態を保持する時定数 τ_{AP} を求める。

[0042] 異なる大きさの複数の電流に対して、時定数 τ_P および τ_{AP} を求めた後、(4)式を用いて、最小自乗法などのフィッティングにより、熱安定性指数 Δ_0 およびしきい電流値 I_{00} を求める。このときの実測で得られた各電流と(4)式の左辺 $\tau_P/(\tau_P + \tau_{AP})$ との関係、およびフィッティングにより得られた曲線の例を、図6(c)に示す。図6(c)に示す具体的な一例では、評価用MTJ11aの温度が240℃のとき、熱安定性指数 $\Delta_0 = 24.69$ 、しきい電流値 $I_{00} = 175.44 \mu A$ であった。このときの室温での熱安定性指数は、 $24.69 \times (240 + 273) / (25 + 273) = 43.5$ と見積もられる。このように、高温で行った測定から、室温を含むあらゆる動作温度の熱安定性指数を簡便に求めることができる。

[0043] なお、上記実施例では、異なる大きさの複数の電流を順番に流しながら、各電流についてそれぞれ抵抗値の変化を測定し、解析手段42により、各電流に対応して、それぞれ低抵抗状態を保持する時定数 τ_P および高抵抗状態を保持する時定数 τ_{AP} を求める例を示したが、電流を抵抗状態をモニターするのに十分なDC電流とし、磁場パルス(強さH)を変えながら、各磁場にお

ける低抵抗状態を保持する時定数 τ_P および高抵抗状態を保持する時定数 τ_{AP} をそれぞれ求め、例えば、次の (5) 式を用いて、熱安定性指数 Δ_0 としきい磁場 H_{C0} を求めることもできる。

$$\tau_P / (\tau_P + \tau_{AP}) = 1 / [1 + \exp\{-\Delta_0 \cdot (4 \times H / H_{C0})\}] \quad (5)$$

[0044] また、上記電流または磁場を用いた測定で、電流または磁場の値を固定して、温度を変える測定方法もある。この場合は、(4) 式または (5) 式の $\Delta_0 = E_b / k_B T$ の温度 T の値を変えて、異なった T の測定結果から E_b を求めることができる。

[0045] このように、本発明の実施の形態の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法および測定システム 40 は、測定時に磁場を発生させる必要がなく、また、多数の素子を有するチップ全体ではなく、単体の評価用 MTJ 11a のみで測定を行うため、比較的短時間で単体の評価用 MTJ 11a の熱安定性指数 Δ_0 を測定することができる。また、磁場パルス法や電流パルス法のように、測定時にエネルギー障壁 E_b の値が変化しないため、単体の評価用 MTJ 11a の正確な熱安定性指数 Δ_0 を求めることができる。

[0046] [半導体集積回路の生産管理]

次に、本発明の実施の形態の半導体集積回路の生産管理方法について説明する。

図 2 のステップ 31 において、メモリチップ上の 1 または複数の評価用 MTJ 11a に対して、本発明の実施の形態の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法および測定システム 40 により熱安定性指数を求めたならば、その熱安定性指数に基づいて、ステップ 24 ～ステップ 29 までの MTJ 製造工程の管理を行う。例えば、所望の熱安定性指数が得られないときには、ステップ 24 までフィードバックして、MTJ 11 の製造条件の変更等を行えばよい。

[0047] このように、本発明の実施の形態の半導体集積回路の生産管理方法によれば、評価用 MTJ 11a の測定結果に基づく管理情報を、チップの製造工程

の初めの段階（ステップ21）までフィードバックする必要がない。このため、チップの製造工程の初めの段階までフィードバックする場合と比べて、チップを製造し始めてからMTJ11を作製する前段まで（ステップ21～ステップ23）の期間を節約することができる。例えば、図2に示す製造工程では、ステップ21～ステップ23の2ヶ月を節約することができ、材料開発や生産現場での品質管理、生産管理を迅速に行うことができる。

符号の説明

- [0048] 10 半導体集積回路
- 11 MTJ
- 12 ウェハー
- 13 CMOS
- 14 中間配線
- 15 上部配線
- 16 接続領域
- 17 検査用端子ブロック
- 17a パッド
- 18 ビット線
- 18a ビットライン選択回路
- 19 ワード線
- 19a ワードライン選択回路
- 20 センスアンプ
- 40 磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定システム
- 41 測定手段
- 41a 探針
- 41b 電圧パルス発生器
- 41c 標準抵抗
- 41d 電圧測定器
- 42 解析手段

請求の範囲

[請求項1] 所定の温度に保持した磁気トンネル接合素子に所定の電流を流しながら、所定時間、前記磁気トンネル接合素子の抵抗値の変化を測定する測定工程と、

前記測定工程で測定された前記抵抗値の変化から、低抵抗状態を保持する時定数および高抵抗状態を保持する時定数を求める第1計算工程と、

前記所定の電流と、前記第1計算工程で求めた各時定数とに基づいて、前記磁気トンネル接合素子の熱安定性指数を求める第2計算工程とを、

有することを特徴とする磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法。

[請求項2] 前記測定工程は、前記所定の電流として、異なる大きさの複数の電流を順番に流しながら、各電流についてそれぞれ前記抵抗値の変化を測定し、

前記第1計算工程は、各電流に対応して、それぞれ前記低抵抗状態を保持する時定数 τ_P および前記高抵抗状態を保持する時定数 τ_{AP} を求め、

前記第2計算工程は、各電流の大きさと、各電流に対応した τ_P および τ_{AP} とに基づいて、前記熱安定性指数を求めることを

特徴とする請求項1記載の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法。

[請求項3] 前記第1計算工程は、前記測定工程で測定された前記抵抗値の変化から、低抵抗状態を保持する時間の頻度分布 $N_P(t)$ および高抵抗状態を保持する時間の頻度分布 $N_{AP}(t)$ を求め、それぞれ $N_P(t) \propto \exp(-t/\tau_P)$ および $N_{AP}(t) \propto \exp(-t/\tau_{AP})$ の関係を用いて、前記低抵抗状態を保持する時定数 τ_P および前記高抵抗状態を保持する時定数 τ_{AP} を求めることを特徴とする請求項1また

は2記載の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法。

[請求項4] 前記第2計算工程は、前記所定の電流 I と、前記第1計算工程で求めた前記低抵抗状態を保持する時定数 τ_P および前記高抵抗状態を保持する時定数 τ_{AP} とに基づいて、

$$\tau_P / (\tau_P + \tau_{AP}) = 1 / [1 + \exp\{-\Delta_0 \cdot (2 \times I / I_{c0})\}]$$

の式を用いて、熱安定性指数 Δ_0 およびしきい電流値 I_{c0} を求めることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法。

[請求項5] 前記測定工程は、前記磁気トンネル接合素子のみに電流を流すよう、その磁気トンネル接合素子のみに電氣的に接続された検査用端子から前記磁気トンネル接合素子に前記所定の電流を流しながら、前記抵抗値の変化を測定することを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法。

[請求項6] 磁気トンネル接合素子を所定の温度に保持する保温手段と、
前記磁気トンネル接合素子に所定の電流を流しながら、所定時間、前記磁気トンネル接合素子の抵抗値の変化を測定する測定手段と、
前記測定手段で測定された前記抵抗値の変化から、低抵抗状態を保持する時定数および高抵抗状態を保持する時定数を求め、その各時定数と前記所定の電流とに基づいて、前記磁気トンネル接合素子の熱安定性指数を求める解析手段とを、

有することを特徴とする磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定システム。

[請求項7] 前記測定手段は、前記所定の電流として、異なる大きさの複数の電流を順番に流しながら、各電流についてそれぞれ前記抵抗値の変化を測定するよう構成され、

前記解析手段は、各電流に対応して、それぞれ前記低抵抗状態を保持する時定数 τ_P および前記高抵抗状態を保持する時定数 τ_{AP} を求め、各電流の大きさと、各電流に対応した τ_P および τ_{AP} とに基づいて

、前記熱安定性指数を求めるよう構成されていることを

特徴とする請求項6記載の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定システム。

[請求項8] 前記解析手段は、前記測定手段で測定された前記抵抗値の変化から、低抵抗状態を保持する時間の頻度分布 $N_P(t)$ および高抵抗状態を保持する時間の頻度分布 $N_{AP}(t)$ を求め、それぞれ $N_P(t) \propto \exp(-t/\tau_P)$ および $N_{AP}(t) \propto \exp(-t/\tau_{AP})$ の関係を用いて、前記低抵抗状態を保持する時定数 τ_P および前記高抵抗状態を保持する時定数 τ_{AP} を求めるよう構成されていることを特徴とする請求項6または7記載の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定システム。

[請求項9] 前記解析手段は、前記所定の電流 I と、前記第1計算工程で求めた前記低抵抗状態を保持する時定数 τ_P および前記高抵抗状態を保持する時定数 τ_{AP} とに基づいて、

$$\tau_P / (\tau_P + \tau_{AP}) = 1 / [1 + \exp\{-\Delta_0 \cdot (2 \times I / I_{c0})\}]$$
 の式を用いて、熱安定性指数 Δ_0 およびしきい電流値 I_{c0} を求めるよう構成されていることを特徴とする請求項6乃至8のいずれか1項に記載の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定システム。

[請求項10] 前記磁気トンネル接合素子のみに電流を流すよう、その磁気トンネル接合素子のみに電氣的に接続された検査用端子を有し、

前記測定手段は、前記検査用端子から前記磁気トンネル接合素子に前記所定の電流を流しながら、前記抵抗値の変化を測定するよう構成されていることを

特徴とする請求項6乃至9のいずれか1項に記載の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定システム。

[請求項11] 複数の磁気トンネル接合素子を有する半導体集積回路であって、
 単体の磁気トンネル接合素子のみに電流を流すよう、その磁気トンネル接合素子のみに電氣的に接続された検査用端子を有することを

特徴とする半導体集積回路。

[請求項12] 前記検査用端子は、1つの磁気トンネル接合素子または複数の磁気トンネル接合素子のそれぞれに設けられていることを特徴とする請求項1記載の半導体集積回路。

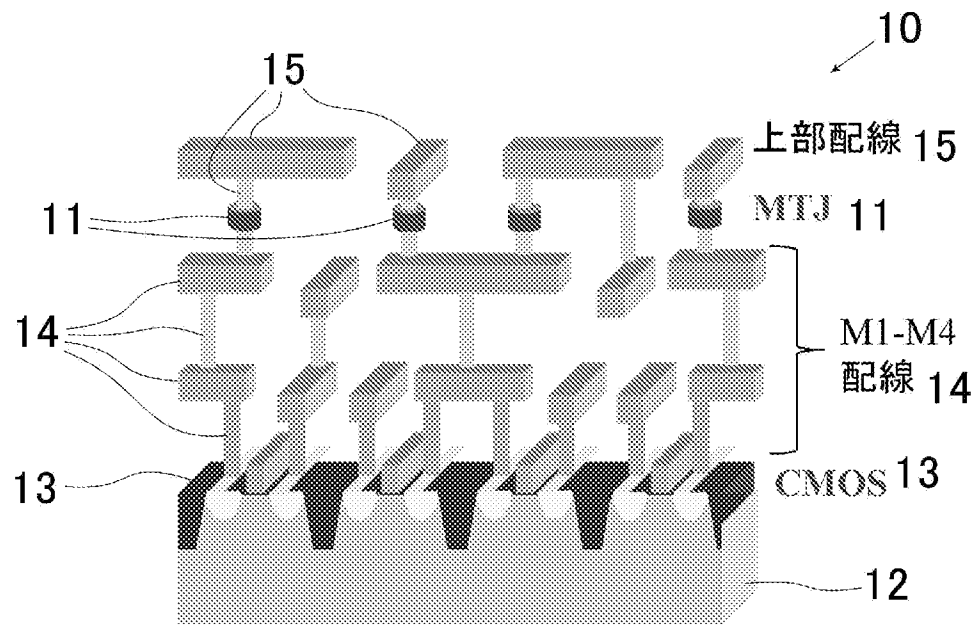
[請求項13] 前記検査用端子は、請求項1乃至4のいずれか1項に記載の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法の前記測定工程で、前記所定の電流を流すとともに前記抵抗値の変化を測定するために使用されることを特徴とする請求項1または2記載の半導体集積回路。

[請求項14] 複数の磁気トンネル接合素子を有する半導体集積回路の生産管理方法であって、

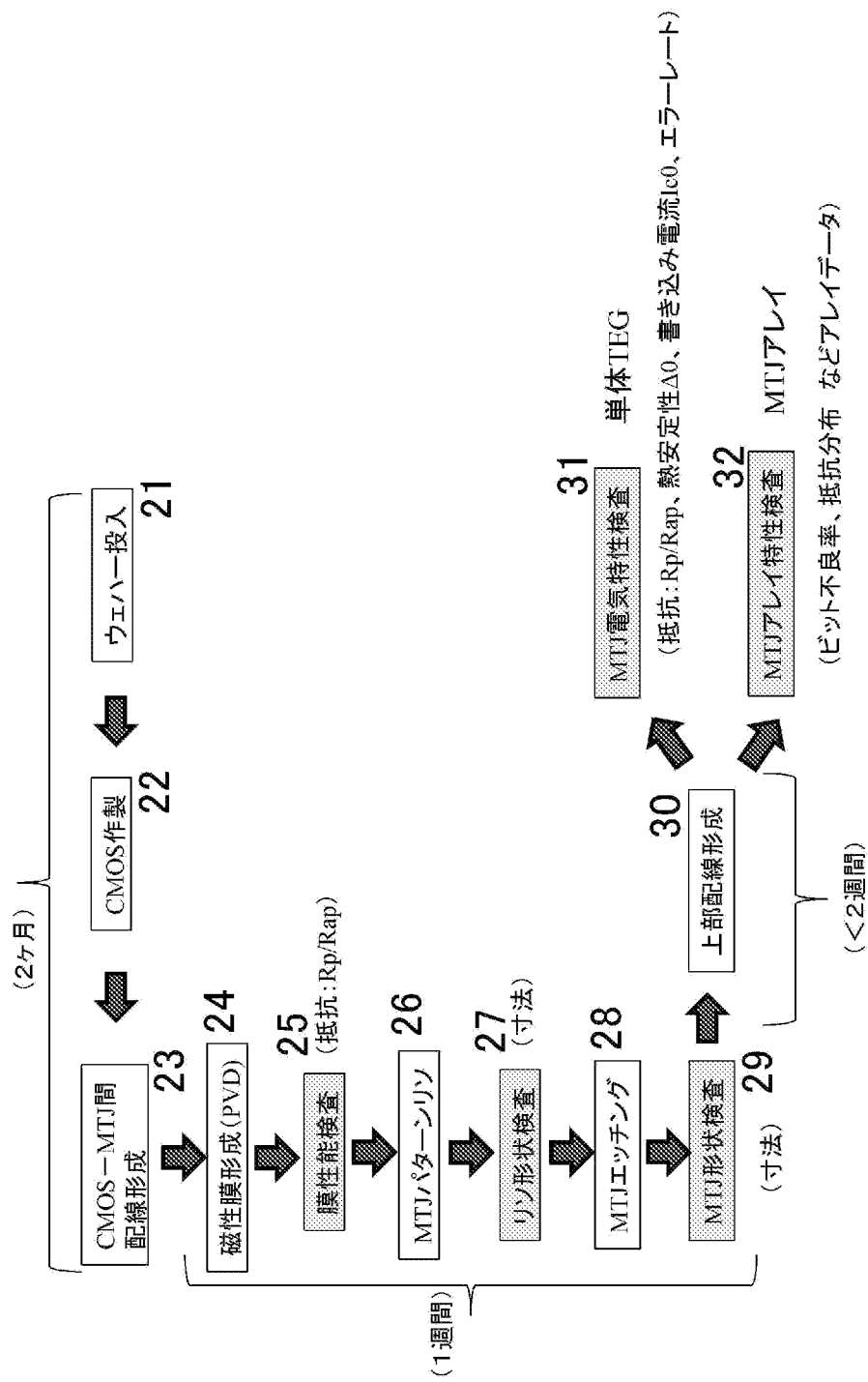
前記複数の磁気トンネル接合素子を製造した後、前記複数の磁気トンネル接合素子のうちの1または複数について、請求項1乃至5のいずれか1項に記載の磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法により熱安定性指数を求め、求められた前記熱安定性指数に基づいて、前記複数の磁気トンネル接合素子を製造する工程を管理することを特徴とする半導体集積回路の生産管理方法。

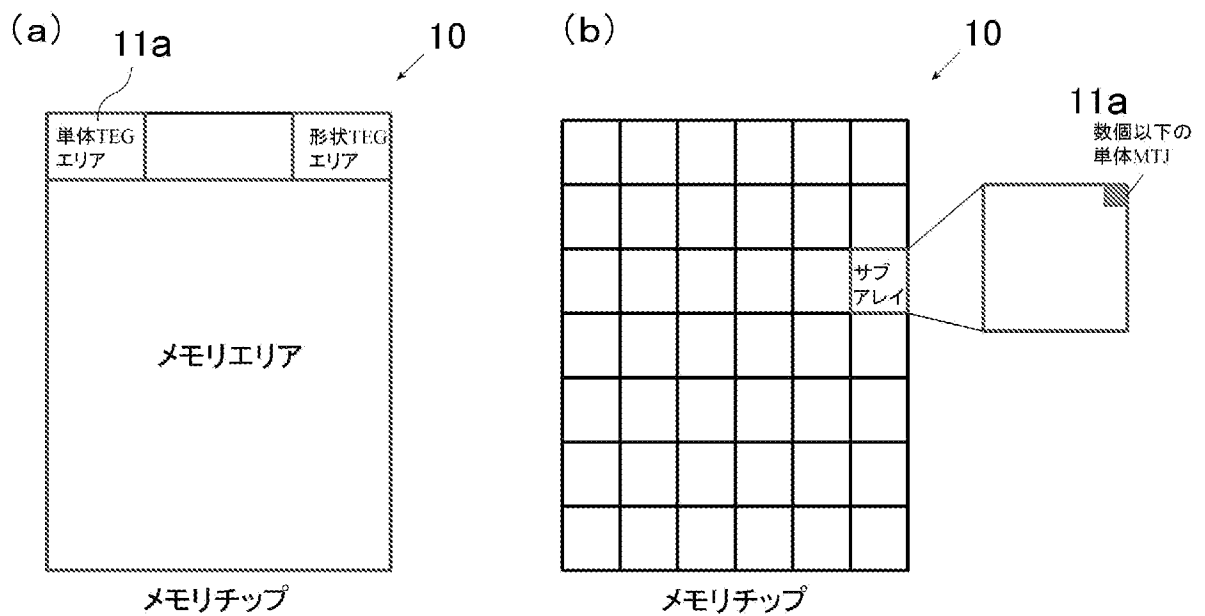
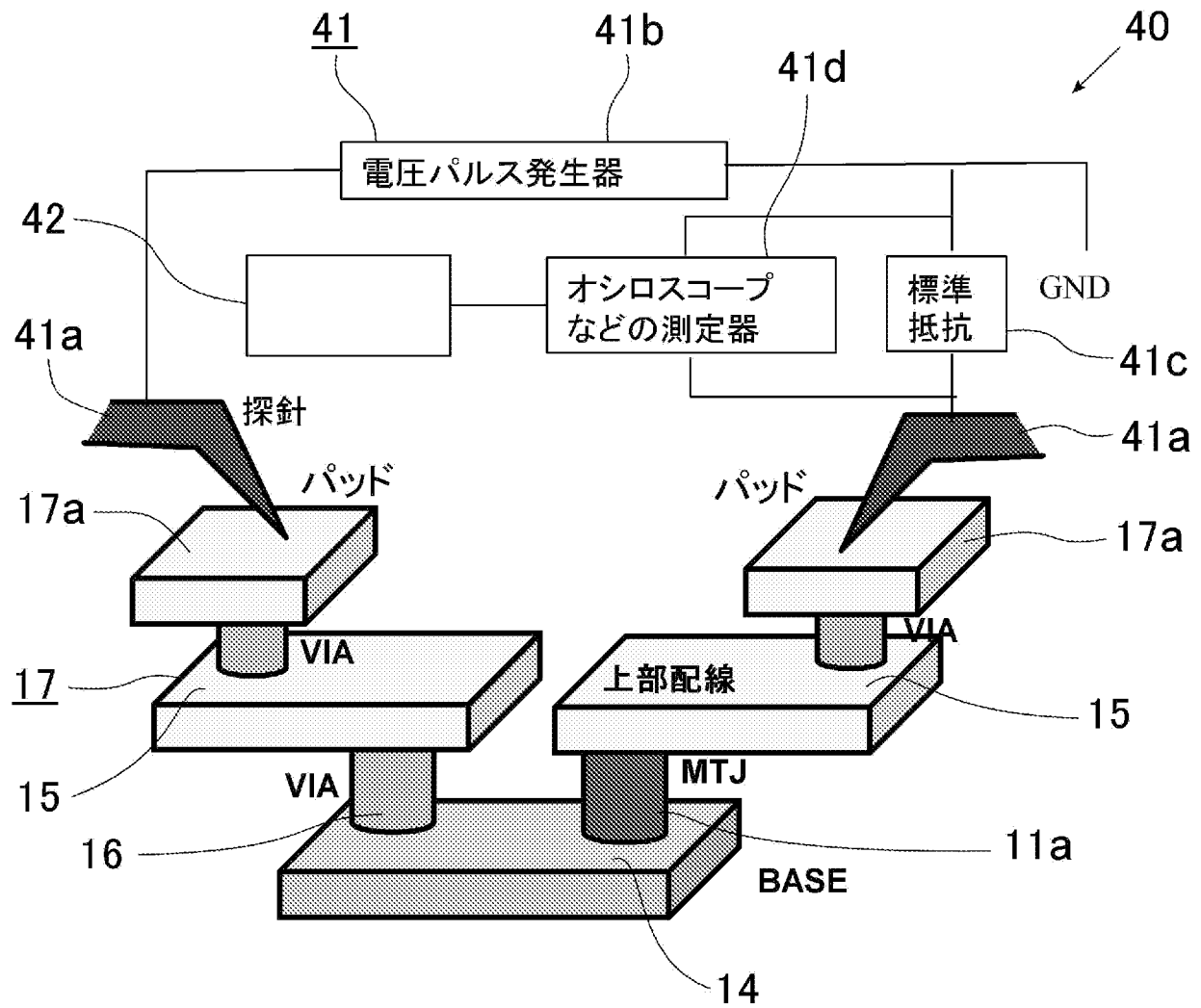
[請求項15] 前記半導体集積回路は、請求項1乃至3のいずれか1項に記載の半導体集積回路であることを特徴とする請求項14記載の半導体集積回路の生産管理方法。

[図1]

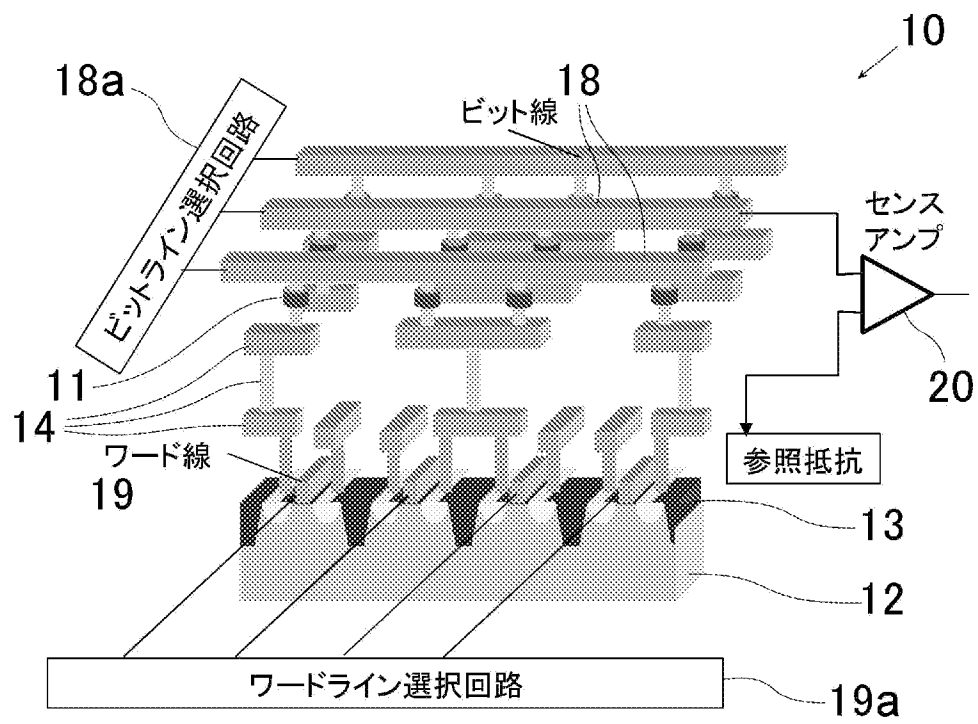


[図2]





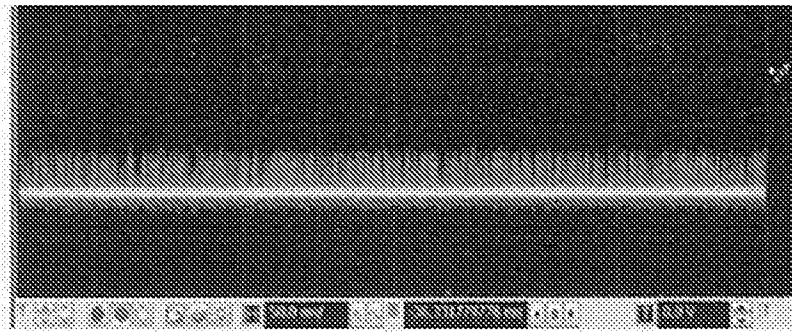
[図5]



[図6]

(a)

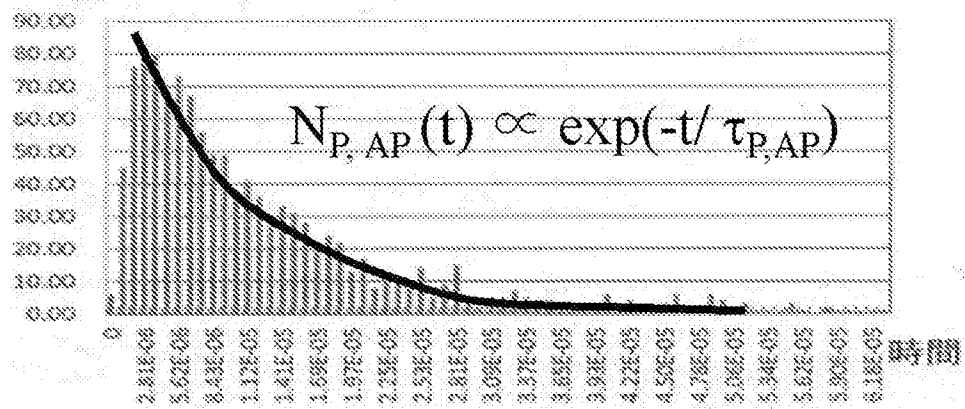
抵抗



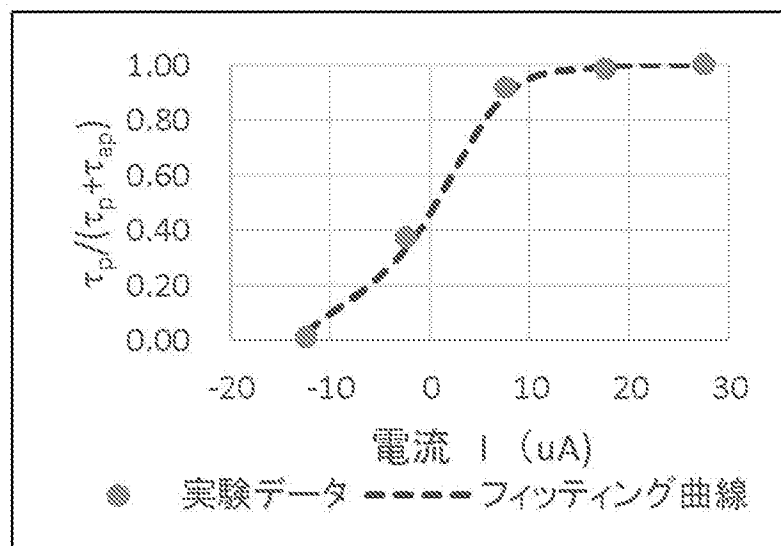
時間

(b)

頻度



(c)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/011408

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/66(2006.01)i, H01L21/8239(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i,
H01L43/12(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)

H01L21/66, H01L21/8239, H01L27/105, H01L43/12

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 A	JP 2006-202999 A (TDK Corp.), 03 August 2006 (03.08.2006), paragraphs [0008], [0015], [0022], [0023], [0026], [0028], [0036], [0037]; fig. 1 to 8 (Family: none)	11, 12 1-10, 13-15
A	JP 2009-26944 A (Sony Corp.), 05 February 2009 (05.02.2009), paragraphs [0108] to [0121] & US 2010/0200939 A1 paragraphs [0248] to [0285] & WO 2009/011216 A1 & EP 2172969 A1 & KR 10-2010-0033386 A & CN 101743634 A & TW 200910348 A	1-15



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

"I" 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
23 May 2017 (23.05.17)

Date of mailing of the international search report
30 May 2017 (30.05.17)

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/JP2017/011408

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:
(See extra 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 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.:

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/JP2017/011408

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

Claims are classified into the following two inventions.

(Invention 1) claims 1-10 and 13-15

A method for measuring a thermal stability index; a system semiconductor integrated circuit; and a production/management method.

Claims 1-10 and 13-15 are classified as Invention 1 because they have special technical features of: "A method for measuring the thermal stability index of a magnetic tunnel junction element" that is the invention of claim 1; and "A system for measuring the thermal stability index of a magnetic tunnel junction element" that is the invention of claim 6.

(Invention 2) claims 11 and 12

A semiconductor integrated circuit having a testing-purpose terminal.

Claims 11 and 12 have, together with claim 1 classified as Invention 1, a common technical feature of causing a "current" to flow through the "magnetic tunnel junction element", but this feature is an apparently known and conventional one and hence provides no contribution to the prior art, so that this feature cannot be said to be any special technical feature.

Further, there is no other same or corresponding special technical feature between claims 11, 12 and claim 1.

In addition, claims 11 and 12 are not dependent on claim 1.

Further, claims 11 and 12 have no relationship such that these claims are substantially same as or equivalent to any claim classified into Invention 1.

Consequently, claims 11 and 12 cannot be classified into Invention 1.

Then, claims 11 and 12 are classified as Invention 2 because they have a special technical feature of "A semiconductor integrated circuit" of claim 11.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L21/66(2006.01)i, H01L21/8239(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L43/12(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. H01L21/66, H01L21/8239, H01L27/105, H01L43/12

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	JP 2006-202999 A (TDK株式会社) 2006.08.03, 第8, 15, 22, 23, 26, 28, 36, 37段落、図1-8 (ファミリーなし)	11, 12
A		1-10, 13-15
A	JP 2009-26944 A (ソニー株式会社) 2009.02.05, 第108-121段落 & US 2010/0200939 A1, 第248-285段落, & WO 2009/011216 A1 & EP 2172969 A1 & KR 10-2010-0033386 A & CN 101743634 A & TW 200910348 A	1-15

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

23.05.2017

国際調査報告の発送日

30.05.2017

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)

鈴木 和樹

50

3252

電話番号 03-3581-1101 内線 3559

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（P C T 17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってP C T 規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。
（特別ページ参照）

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

請求の範囲は、以下の２つの発明に区分される。

(発明１) 請求項１－１０，１３－１５

熱安定性指数の測定するための方法、システム半導体集積回路、生産管理方法。

請求項１－１０，１３－１５は、請求項１に係る発明の「磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定方法」、請求項６に係る発明の「磁気トンネル接合素子の熱安定性指数の測定システム」という、特別な技術的特徴を有しているので発明１に区分する。

(発明２) 請求項１１，１２

検査用端子を有する半導体集積回路。

請求項１１，１２は、発明１に区分された請求項１と「磁気トンネル接合素子」に「電流」を流すという共通の技術的特徴を有しているが、当該特徴は、明らかに周知・慣用のものであり、先行技術に対する貢献をもたらすものではないから、特別な技術的特徴であるとはいえない。また、請求項１１，１２と請求項１との間に、他に同一の又は対応する特別な技術的特徴は存在しない。

さらに、請求項１１，１２は請求項１の従属請求項ではない。また、請求項１１，１２は、発明１に区分されたいずれの請求項に対しても実質同一又はそれに準ずる関係にはない。

したがって、請求項１１，１２は発明１に区分できない。

そして、請求項１１，１２は請求項１１の「半導体集積回路」という特別な技術的特徴を有しているので、発明２に区分する。