

(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
2013年8月1日(01.08.2013)



(10) 国際公開番号

WO 2013/111751 A1

- (51) 国際特許分類:
C22C 38/00 (2006.01) H01F 1/16 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01) C21D 8/12 (2006.01)
C22C 38/60 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/051200
- (22) 国際出願日: 2013年1月22日(22.01.2013)
- (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 2012-015053 2012年1月27日(27.01.2012) JP
- (71) 出願人: J F E スチール株式会社 (JFE STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区幸町二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 今村 猛 (IMAMURA, Takeshi); 〒1000011 東京都千代田区幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP). 高島 稔 (TAKASHIMA, Minoru); 〒1000011 東京都千代田区幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP). 平谷 多津彦 (HIRATANI, Tatsuhiko); 〒1000011 東京都千代田区幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人銀座マロニエ特許事務所 (GINZA MARONIE P.C.); 〒1040061 東京都中央区銀座2丁目8番9号木挽館銀座ビル Tokyo (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, MZ, NA, RW, SD, SL, 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, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: ELECTROMAGNETIC STEEL SHEET

(54) 発明の名称: 電磁鋼板

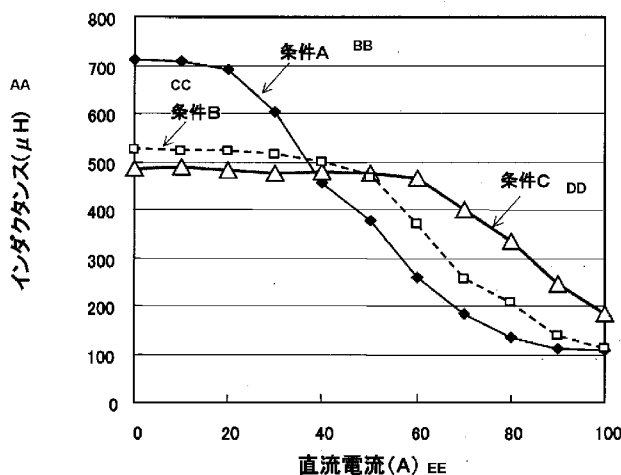


FIG. 1:
AA Inductance (μH)
BB Condition A
CC Condition B
DD Condition C
EE Direct-current electricity (A)

(57) Abstract: An electromagnetic steel sheet which can be excited at a high frequency and has a core having improved direct-current superimposition properties. The electromagnetic steel sheet has an element composition comprising less than 0.010 mass% of C, 1.5 to 10 mass% of Si and a remainder made up by Fe and unavoidable impurities, wherein the main orientation in the aggregate structure of the steel sheet is $\langle 111 \rangle // ND$ and the random strength ratio in the main orientation is 5 or more, preferably the random strength ratio in the orientation of $\{111\} \langle 112 \rangle$ is 10 or more, more preferably the random strength ratio in the orientation of $\{310\} \langle 001 \rangle$ is 3 or less, and still more preferably the Si concentration has such a concentration gradient that the Si concentration is higher on a front surface layer side and is lower in the center part when observed in the thickness direction, wherein the maximum value of the Si concentration is 5.5 mass% or more and the difference between a highest value and a lowest value of the Si concentration is 0.5 mass% or more.

(57) 要約: C : 0.010 mass%未満、Si : 1.5~10 mass%を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物の成分組成からなり、鋼板の集合組織における主方位が $\langle 111 \rangle // ND$ でかつ前記主方位のランダム強度比が5以上、好ましくは、 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位のランダム強度比が10以上、さらに好ま

しくは、 $\{310\} \langle 001 \rangle$ 方位のランダム強度比が3以下、より好ましくは、Si濃度が板厚方向で表層側が高く、中心部が低い濃度勾配を有し、かつ、Si濃度の最高値が5.5 mass%以上で、最高値と最低値の差が0.5 mass%以上である、高周波で励磁されるコアの直流重畳特性を向上した電磁鋼板。



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：電磁鋼板

技術分野

[0001] 本発明は、高周波で励磁されるリアクトル用のコア材等に用いられる電磁鋼板に関するものである。

背景技術

[0002] 一般に、電磁鋼板の鉄損は、励磁周波数が高くなると急激に上昇することが知られている。ところが、トランスやリアクトルの駆動周波数は、鉄心の小型化や高効率化のために、高周波化しているのが実状である。そのため、電磁鋼板の鉄損による発熱が問題となる場合が多くなっている。

[0003] 鋼板の鉄損を低減するには、S i の含有量を高めて鋼の固有抵抗を高める方法が有効である。しかし、鋼中のS i 量が3.5 mass %を超えると、加工性が著しく低下し、従来の圧延法を利用した電磁鋼板の製造方法では、製造することが難しくなる。そのため、高S i 量の鋼板を製造する種々の方法が提案されている。たとえば、特許文献1には、1023～1200℃の温度でS i C l₄を含む無酸化性ガスを鋼板面に吹き付けて浸珪処理し、S i 量の高い電磁鋼板を得る方法が開示されている。また、特許文献2には、加工性の悪い4.5～7 mass %の高S i 鋼を、連続式熱間圧延における圧延条件を適正化して圧延することで、冷間圧延性が良好な熱延板を得る方法が開示されている。

[0004] S i 量を増加する以外に鉄損を低減する方法としては、板厚を低減することが有効である。高S i 鋼を素材として圧延法で鋼板を製造する場合には、板厚を低減するには限界がある。そこで、低S i 鋼を所定の最終板厚まで冷間圧延した後、S i C l₄含有雰囲気中で浸珪処理し、鋼中のS i 含有量を増やす方法が開発され、既に工業化されている。この方法は、板厚方向のS i 濃度に勾配をつけることが可能であるため、高励磁周波数における鉄損低減に有効であることが開示されている（特許文献3～5参照）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特公平05－049745号公報

特許文献2：特公平06－057853号公報

特許文献3：特許第3948113号公報

特許文献4：特許第3948112号公報

特許文献5：特許第4073075号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ところで、電磁鋼板がリアクトル用コア材として使用される場合には、上述のような鉄損特性も重要ではあるが、直流重畳特性も極めて重要となる。ここで、上記直流重畳特性とは、コアの励磁電流を増加させた場合にインダクタンスが低下する特性のことをいい、電流を増加させても、インダクタンスの減少代が少ないものが、特性上好ましいとされている。

[0007] 電磁鋼板を用いたコアにおいては、直流重畳特性を良好にするため、コアにギャップ（空隙）を設けることが行われている。すなわち、電磁鋼板自体の特性変更ではなく、コアの設計により直流重畳特性を調整している。しかし、最近では、直流重畳特性のさらなる改善が求められるようになってきている。それは、直流重畳特性を向上させると、コアの体格を減少でき、体積・重量共に低減できるメリットが生じるためである。特に、ハイブリッドカーなどに搭載されるコアは、重量の減少はそのまま燃費向上に繋がることから、直流重畳特性向上への要求が強く望まれている。

[0008] しかしながら、これまで、電磁鋼板自体の直流重畳特性を向上させるアプローチはほとんどなされておらず、上述したようなコアの設計による改善に頼らざるを得なかったのが実状である。

[0009] 本発明は、従来技術が抱える上記の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、高周波で励磁されるコアの直流重畳特性を向上させることがで

きる電磁鋼板を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0010] 発明者らは、上記課題の解決に向けて鋭意検討を重ねた。その結果、鋼板の集合組織を適正化し、鋼板の集合組織の主方位を $\langle 111 \rangle // ND$ とすることによって、コアの直流重畳特性を向上し得ることを見出し、本発明を開発するに至った。

[0011] すなわち、本発明は、C : 0.010mass%未満、Si : 1.5~10mass%を含有し、残部がFeおよび不可避的不純物の成分組成からなり、鋼板の集合組織における主方位が $\langle 111 \rangle // ND$ でかつ前記主方位のランダム強度比が5以上であることを特徴とする電磁鋼板である。

[0012] また、本発明の電磁鋼板は、 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位のランダム強度比が10以上であることを特徴とする。

[0013] 本発明の電磁鋼板は、 $\{310\} \langle 001 \rangle$ 方位のランダム強度比が3以下であることを特徴とする。

[0014] また、本発明の電磁鋼板は、Si濃度が板厚方向で表層側が高く、中心部が低い濃度勾配を有し、かつ、Si濃度の最高値が5.5mass%以上で、最高値と最低値の差が0.5mass%以上であることを特徴とする。

[0015] また、本発明の電磁鋼板は、前記成分組成に加えてさらに、Mn : 0.005~1.0mass%、Ni : 0.010~1.50mass%、Cr : 0.01~0.50mass%、Cu : 0.01~0.50mass%、P : 0.005~0.50mass%、Sn : 0.005~0.50mass%、Sb : 0.005~0.50mass%、Bi : 0.005~0.50mass%、Mo : 0.005~0.100mass%およびAl : 0.02~6.0mass%のうちの1種または2種以上を含有することを特徴とする。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、鋼板の集合組織を適正化することによって、直流重畳特性に優れる電磁鋼板を提供することができる。したがって、本発明の電磁鋼

板を鉄心材料に用いることで、小さな体格でも高周波における鉄損特性に優れるリアクトルコアを実現することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]製造方法の違いによるリアクトルコアの直流重畳特性の変化を示すグラフである。

[図2]製造方法の違いによる製品板の集合組織の変化を示す図（Bunge's ODF形式、 $\phi 2 = 45^\circ$ 断面）である。

発明を実施するための形態

[0018] まず、本発明を開発する契機となった実験について説明する。

Cを0.0044mass%、Siを3.10mass%含有する鋼スラブを1200℃に加熱し、熱間圧延し、板厚2.4mmの熱延板とした後、下記A～Cの3条件で、最終板厚0.10mmの冷延板とした。

記

・A：上記熱延板に1000℃×100秒の熱延板焼鈍を施し、1回目の冷間圧延で1.0mmの中間板厚とし、1000℃×30秒の中間焼鈍を施した後、2回目の冷間圧延で最終板厚0.10mmの冷延板とする。

・B：上記熱延板に1000℃×100秒の熱延板焼鈍を施した後、1回の冷間圧延で最終板厚0.10mmの冷延板とする。

・C：上記熱延板に熱延板焼鈍を施すことなく、1回の冷間圧延で最終板厚0.10mmの冷延板とする。

[0019] 次いで、上記3種類の冷延板を、10vol%SiCl₄+90vol%N₂雰囲気中で1200℃×120秒の浸珪処理（仕上焼鈍）を施して、板厚方向のSi量が6.5mass%で均一な鋼板とした。

[0020] 斯くして得た上記3種類の鋼板を用いて、リアクトル用のコアを作製し、直流重畳特性をJIS C5321に記載の方法に準じて測定した。なお、上記リアクトル用のコアは重量が900gで、2箇所1mmのギャップを設けた形状とした。

[0021] 図1に、上記直流重畳特性の測定結果を示す。この結果から、素材鋼板の

製造条件を変更することで、直流重畳特性を変えることができること、また、A～Cの製造条件のうち、Cの条件で製造した鋼板が、直流電流の増加に伴うインダクタンスの減少率が最も少ないこと、すなわち、Cの条件で製造した鋼板が、最も良好な直流重畳特性を有することがわかった。

[0022] そこで、発明者らは、上記3種類の鋼板の集合組織についてさらに調査した。なお、集合組織は、鋼板表層部をX線回折正極点測定法で測定し、得られたデータから離散法でODFを計算し、その結果を図2に示した。なお、図2中に示した[X]は、鋼板の理想方位を説明する図である。

ここで注目すべきことは、直流重畳特性が良好なCの条件で製造した鋼板は、 $\langle 111 \rangle // ND$ 方位が高度に発達しており、特に $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位が高いピークを有することである。一方、 $\{310\} \langle 001 \rangle$ 方位は、少ないほど直流重畳特性は良好である。なお、上記NDは、板面垂直方向 (Normal Direction) を示す。

[0023] 鋼板の集合組織が変わることで直流重畳特性が変化する理由は、まだ十分に明らかとはなっていないが、発明者らは次のように考えている。

前述したように、従来技術においては、直流重畳特性を向上させるため、コアにギャップを設けている。このギャップの設定は、コアを励磁し難くしていることに他ならない。そこで、上記実験を検討するに、直流重畳特性が良好であったCの条件の鋼板は、 $\langle 111 \rangle // ND$ 方位が顕著に発達しているが、この方位は、板面上に磁化容易軸である $\langle 100 \rangle$ 軸が存在しない方位、すなわち、励磁方向には磁化し難い方位である。したがって、この励磁の困難さが、直流重畳特性を向上させたものと考えられる。また、このように考えれば、 $\{310\} \langle 001 \rangle$ 方位は、板面上に磁化容易軸を有していることから、少ないほど直流重畳特性が良好となることも説明できる。

[0024] なお、本発明では、直流重畳特性の評価は、インダクタンスが初期のインダクタンス（直流電流0[A]でのインダクタンス）から1/2に半減した時の直流電流値で行うこととする。この評価基準を、上記図1に適用すると、Aの条件で製造した鋼板は52[A]、条件Bで製造した鋼板は69[A]

〕、Cの条件で製造した鋼板は90〔A〕となり、Cの条件で製造した鋼板が最も直流重畳特性が良好であることになる。

本発明は、上記知見に立脚して開発したものである。

[0025] 次に、本発明に係る電磁鋼板（製品板）の成分組成について説明する。

本発明の電磁鋼板は、C：0.010mass%未満、Si：1.5～10mass%の成分組成を有することが必要である。

C：0.010mass%未満

Cは、磁気時効を起こし、磁気特性を劣化させるため、少ないほど望ましい。しかし、Cの過度の低減は、製造コストの上昇を招く。そこで、Cは、磁気時効が実用上問題とならない0.010mass%未満に制限する。好ましくは0.0050mass%未満である。

[0026] Si：1.5～10mass%

Siは、鋼の比抵抗を高め、鉄損特性を改善する必須の元素であり、本発明では、上記効果を得るためには、1.5mass%以上含有させる必要がある。しかし、10mass%を超えて含有させると、飽和磁束密度が顕著に低下し、却って直流重畳特性の低下を招くようになる。よって、本発明では、Siは1.5～10mass%の範囲とする。なお、ここにおけるSi量とは、全板厚の平均値である。

[0027] なお、リアクトルに使用される電源は、通常、高周波電源である。そこで、高周波鉄損特性を向上させる観点からは、上記Si量の範囲の中でも、3mass%以上とするのが好ましい。より好ましくは6.0mass%以上である。一方、高い飽和磁束密度を確保する観点からは、Siの上限は7mass%とするのが好ましい。

[0028] また、本発明の電磁鋼板は、Si濃度が板厚方向で表層側が高く、中心部が低い濃度勾配を有し、かつ、Si濃度の最高値が5.5mass%以上で、最高値と最低値の差が0.5mass%以上であることが好ましい。その理由は、高周波では磁束が鋼板表面近くに集まる性質があるので、高周波鉄損を低減させる観点からは、板厚表層側のSi濃度を高くすることが望まし

い。さらに、S i 原子の固溶によって結晶格子は収縮するので、中心部の S i 量を低減し、板厚方向に S i の濃度勾配を付与した場合には、鋼板表層部に引張応力が生じる。この引張応力は、鉄損を低減する効果があるので、S i の濃度勾配を付与することによって、大きな磁気特性の向上が期待されるからである。上記効果を得るためには、板厚表層の S i 濃度の最高値と、板厚中心部の S i 濃度の最低値との差が 0.5 mass % 以上であることが好ましい。より好ましくは、S i 濃度の最高値は 6.2 mass % 以上、最高値と最低値の差は 1.0 mass % 以上である。

[0029] 本発明の電磁鋼板は、上記 C, S i 以外の残部は、Fe および不可避免的不純物である。ただし、熱間加工性の改善や、鉄損、磁束密度等の磁気特性の改善を目的として、Mn, Ni, Cr, Cu, P, Sn, Sb, Bi, Mo および Al を下記の範囲で含有させるのが好ましい。

[0030] Mn : 0.005 ~ 1.0 mass %

Mn は、熱間圧延時の加工性を改善するために 0.005 ~ 1.0 mass % の範囲で含有させるのが好ましい。0.005 mass % 未満では、上記加工性改善効果が小さく、一方、1.0 mass % を超えると、飽和磁束密度が低下するからである。

[0031] Ni : 0.010 ~ 1.50 mass %

Ni は、磁気特性を向上させる元素であるため、0.010 ~ 1.50 mass % の範囲で含有させるのが好ましい。0.010 mass % 未満では、上記磁気特性の向上効果が小さく、一方、1.50 mass % を超えると、飽和磁束密度が低下するからである。

[0032] Cr : 0.01 ~ 0.50 mass %, Cu : 0.01 ~ 0.50 mass %,

P : 0.005 ~ 0.50 mass % および Al : 0.02 ~ 6.0 mass % のうちから選ばれる 1 種または 2 種以上

これらは、いずれも鉄損の低減に有効な元素であり、斯かる効果を得るためには、上記範囲内で 1 種または 2 種以上を含有させることが好ましい。含

有量が上記下限値より少ない場合には鉄損低減効果がなく、一方、上記上限値を超えると飽和磁束密度が低下するようになるので好ましくない。

[0033] S_n : 0.005~0.50 mass %、 S_b : 0.005~0.50 mass %、 Bi : 0.005~0.50 mass %、 Mo : 0.005~0.100 mass %のうちから選ばれる1種または2種以上

これらは、いずれも磁束密度の向上に有効な元素であり、斯かる効果を得るためには、上記範囲内で1種または2種以上を含有させることが好ましい。含有量が上記下限値より少ない場合には磁束密度向上効果がなく、一方、上記上限値を超えると、却って飽和磁束密度が低下するようになるので好ましくない。

[0034] 次に、本発明の電磁鋼板の集合組織について説明する。

本発明の電磁鋼板は、集合組織における主方位が $\langle 111 \rangle // ND$ でかつ前記主方位のランダム強度比が5以上であることが必要である。前述したように、 $\langle 111 \rangle // ND$ 方位は、板面上に磁化容易軸である $\langle 100 \rangle$ 軸が存在しない磁化し難い方位であるので、この方位が発達しているほど、直流重畳特性が良好となるが、 $\langle 111 \rangle // ND$ 方位のランダム強度比が5未満では、上記効果が十分に得られなくなるからである。 $\langle 111 \rangle // ND$ のランダム強度比は、鋼板の集合組織をX線回折正極点測定法で測定し、ODFを計算し、Bunge形式で表記した場合の、 $\Phi = 55^\circ$ 、 $\phi 2 = 45^\circ$ で $\phi 1$ が 0° から 90° までを平均することで求めることができる。なお、好ましい $\langle 111 \rangle // ND$ のランダム強度比は6.5以上である。

[0035] さらに、本発明の電磁鋼板は、 $\langle 111 \rangle // ND$ 方位の中でも、 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位がランダム強度比10以上であることが好ましい。 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位は、 $\langle 111 \rangle // ND$ 方位の中の代表的な方位であり、 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位がランダム強度比10以上とすることで、 $\langle 111 \rangle // ND$ 方位のランダム強度比を確実に5以上とすることができるからである。なお、より好ましい $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位のランダム強度比は13以上である。

[0036] また、本発明の電磁鋼板は、 $\{310\} \langle 001 \rangle$ 方位のランダム強度比が3以下であることが好ましい。 $\{310\} \langle 001 \rangle$ 方位は、前述したように、板面上に磁化容易軸を有していることから、直流重畳特性の改善には、少ないほど好ましいからである。より好ましい $\{310\} \langle 001 \rangle$ 方位のランダム強度比は2以下である。

[0037] 次に、本発明の電磁鋼板の製造方法について説明する。

本発明の電磁鋼板は、一般的な電磁鋼板の製造方法を利用して製造することができる。すなわち、前記した所定の成分組成に調整した鋼を溶製して鋼スラブとし、熱間圧延し、得られた熱延板に必要な応じて熱延板焼鈍を施した後、1回もしくは中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延をして最終板厚の冷延板とし、仕上焼鈍を施し、必要な応じて絶縁被膜をコーティングして製造する。

[0038] 上記溶鋼から鋼スラブを製造する方法は、造塊一分塊圧延法、連続鋳造法のいずれでもよく、また、100mm以下の厚さの薄鋳片を直接鋳造法で製造する方法でもよい。上記鋼スラブは、通常、再加熱して熱間圧延に供するが、鋳造した後、再加熱せずに直接熱間圧延してもよい。また、薄鋳片の場合には、熱間圧延してもよいし、熱間圧延を省略して、そのまま以後の工程に進めてもよい。

[0039] なお、熱間圧延後の熱延板焼鈍は施してもよいが、図1に示したように、熱延板焼鈍を施さない方が、直流重畳特性が良好となるので、施さない方が望ましい。

[0040] 熱間圧延後、あるいはさらに熱延板焼鈍を施した熱延板は、その後、1回または中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延をして最終板厚の冷延板とする。なお、冷間圧延は、低温で行うほど $\langle 111 \rangle // ND$ 方位が増加するので望ましい。また、鋼板の最終板厚（仕上厚）は、鉄損を低減する観点からは薄いほど望ましく、好ましくは0.20mm以下、より好ましくは0.10mm以下である。さらに、冷間圧延の圧下率は、 $\langle 111 \rangle // ND$ 方位を増加させる観点からは、最終冷間圧延の圧下率を70%以上とするのが好ま

しい。

[0041] その後、仕上焼鈍を施す。この際、鉄損を低減するため、既知の方法で浸珪処理を施し、鋼中のS i量を増加させることが好ましく、さらに、上記浸珪処理においては、S i濃度が、板厚方向で表層部が高く、中心部が低い、濃度勾配をつけることがより好ましい。

[0042] 上記のように、{1 1 1} //ND方位を高度に発達させた本発明の電磁鋼板は、従来の電磁鋼板とは相反する製造方法、例えば、熱延板焼鈍や中間焼鈍を施さず、また、冷間圧延を低温（例えば、圧延油や冷却水を多量に掛けて鋼板温度を10℃以下に冷却する）で行ない、かつ冷延圧下率を96%程度と高くする等の製造方法で得られるものであり、従来技術から容易に得られるものではない。

実施例 1

[0043] C : 0.0047 mass %、S i : 1.24 mass %、Mn : 0.15 mass %を含有し、残部がFeおよび不可避的不純物からなる成分組成の鋼を溶製し、連続鋳造して鋼スラブとした後、その鋼スラブを1220℃に加熱し、熱間圧延して板厚1.8mmの熱延板とした。次いで、この熱延板を、以下の3条件で、最終板厚0.10mmの冷延板とした。

記

・ A : 熱延板に1050℃×75秒の熱延板焼鈍を施した後、1回目の冷間圧延で中間板厚1.0mmとし、1000℃×30秒の中間焼鈍を施した後、2回目の冷間圧延で最終板厚0.10mmの冷延板とする。

・ B : 熱延板に1050℃×75秒の熱延板焼鈍を施した後、1回の冷間圧延で最終板厚0.10mmの冷延板とする。

・ C : 熱延板に熱延板焼鈍を施すことなく、1回の冷間圧延で最終板厚0.10mmの冷延板とする。

[0044] 次いで、製造条件が異なる上記3種類の冷延板を、10 vol % SiCl₄ + 90 vol % Arガス雰囲気中で、1150℃×60秒の浸珪処理（仕上焼鈍）を施した。上記浸珪処理後の鋼板は、S i濃度が板厚方向で変化して

おり、鋼板表層部の S i 濃度の最高値は 6.5 mass %、板厚中心部の S i 濃度の最低値は素材鋼とほぼ同じ 1.3 mass %（最高値と最低値の差は 5.2 mass %）で、全板厚平均の S i 濃度は 2.9 mass %であった。なお、上記 A～C の製造条件による S i 濃度および S i 濃度分布の差はほとんどなかった。

[0045] 斯くして得た上記 3 種類の鋼板を用いてリアクトル用のコアを作製し、直流重畳特性を J I S C 5 3 2 1 に記載の方法に準じて測定した。なお、上記リアクトル用のコアは、重量が 900 g で、1 mm のギャップを 2 箇所にした形状とし、測定した直流重畳特性は、インダクタンスが初期のインダクタンス（直流電流 0 [A] におけるインダクタンス）の 1/2 に半減した時の直流電流値で評価した。

[0046] また、上記 3 種類の鋼板からサンプルを採取し、その集合組織を X 線回折正極点測定法で測定し、離散法で O D F を計算して、 $\langle 111 \rangle // ND$ 方位、 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位および $\{310\} \langle 001 \rangle$ 方位のランダム強度比を算出した。

[0047] 上記直流重畳特性とランダム強度比の測定結果を表 1 に示した。表 1 から、B および C の条件で製造した本発明を満たす鋼板は、 $\langle 111 \rangle // ND$ 方位のランダム強度比が 5 以上であり、直流重畳特性が良好であることがわかる。

[0048] [表 1]

条件	製品板のランダム強度比			初期インダクタンスが半減する電流値 (A)	備考
	$\langle 111 \rangle // ND$	$\{310\} \langle 001 \rangle$	$\{111\} \langle 112 \rangle$		
A	1.9	7.0	3.1	33	比較例
B	5.5	2.6	7.6	62	発明例
C	7.2	1.3	13.5	89	発明例

実施例 2

[0049] Si : 1.1 ~ 4.5 mass % の範囲で含有し、その他の成分を表 2 に記載した量含有し、残部が Fe および不可避免の不純物からなる鋼を溶製し、連続鋳造して鋼スラブとした後、その鋼スラブを 1200℃ に加熱し、熱間圧延して板厚 1.8 mm の熱延板とし、酸洗してスケールを除去した後、1 回の冷間圧延で最終板厚 0.10 mm の冷延板に仕上げた。その後、15 vol % SiCl₄ + 85 vol % N₂ ガス雰囲気中で 1150℃ × 300 秒の浸珪処理（仕上焼鈍）を施した。ただし、表 2 の鋼板 No. 2 は、雰囲気を 100 vol % N₂ ガスとして仕上焼鈍を施し、浸珪処理を施さなかった。なお、上記浸珪処理後の鋼板は、いずれも、Si 濃度が板厚方向でほぼ均一であり、その Si 量を表 2 に併記した。また、念のため Si 以外の成分についても成分分析を行った結果、素材時とほぼ同じ組成であることを確認した。

[0050] 斯くして得た上記各種の鋼板を用いてリアクトル用のコアを作製し、直流重畳特性を JIS C5321 に記載の方法に準じて測定した。なお、上記リアクトル用のコアは、重量が 900 g で、1 mm のギャップを 2 箇所にした形状とした。また、直流重畳特性は、インダクタンスが初期のインダクタンス（直流電流 0 [A] でのインダクタンス）から 1/2 に半減した時の直流電流値で評価した。

[0051] 上記直流重畳特性の測定結果を表 2 に併記した。同表から、本発明の成分組成を満たす発明例の鋼板は、いずれも直流重畳特性が良好であることがわかる。

また、念のため、上記浸珪処理後の鋼板からサンプルを採取し、X 線回折正極点測定法で集合組織を測定し、離散法で ODF を計算し、その結果から各方位のランダム強度比を算出した結果、鋼板 No. 2 を除き、すべての鋼板において、 $\langle 111 \rangle // ND$ 方位は 5 以上、 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位は 10 以上、 $\{310\} \langle 001 \rangle$ 方位は 3 以下であることを確認した。

[0052]

[表2]

鋼板 No.	製品板の化学成分 (mass%)			初期インダクタンスが 半減する電流値 (A)	備考
	C	Si	その他成分		
1	0.0065	4.82	—	48	発明例
2	0.0060	1.12	—	28	比較例
3	0.0036	4.93	Mn : 0.32、P : 0.013	52	発明例
4	0.0045	4.11	Mn : 0.10、Sb : 0.03、Cr : 0.07	51	発明例
5	0.0075	7.23	Mn : 0.06、Ni : 0.06、Bi : 0.07	43	発明例
6	0.0022	5.58	Al : 0.02、Mo : 0.12	56	発明例
7	0.0055	3.69	Cu : 0.08	55	発明例
8	0.0030	6.49	Sn : 0.10、Mn : 0.06	70	発明例

実施例 3

[0053] C : 0.0062 mass%、Si : 2.09 mass%、Mn : 0.08 mass%、P : 0.011 mass%、Cr : 0.03 mass%およびSb : 0.035 mass%を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなる成分組成の鋼を溶製し、連続鑄造して鋼スラブとした後、その鋼スラブを1150℃に加熱し、熱間圧延して板厚2.2mmの熱延板とした。

次いで、酸洗してスケールを除去した後、1回の冷間圧延で最終板厚0.10mmの冷延板に仕上げた。その後、10vol%SiCl₄+90vol%Arガス雰囲気中で、1200℃×30秒の浸珪処理（仕上焼鈍）を施し、さらにSiの内部への拡散を促し、Si濃度勾配を変化させるために、N₂雰囲気中で、1200℃で表3に記載の時間保持する拡散焼鈍を施した。ただし、浸珪処理条件は全鋼板同じであるため、全板厚平均のSi濃度に差はなく、いずれも3.70mass%であった。

[0054] 斯くして得た鋼板を用いてリアクトル用のコアを作製し、直流重畳特性をJIS C5321に記載の方法に準じて測定した。なお、上記リアクトル用のコアは、重量が900gで、1mmのギャップを2箇所にした形状とし、測定した直流重畳特性は、インダクタンスが初期のインダクタンス（直流電流0[A]におけるインダクタンス）の1/2に半減した時の直流電流値で評価した。その結果を表3に併記した。

[0055] さらに、鋼板板厚方向のSi濃度分布をEPMAで測定し、Si量の最高値と最低値、およびそれらの差（ ΔSi ）を求めて表3に併記した。なお、念のため、得られた鋼板からサンプルを採取し、X線回折正極点測定法で集合組織を測定し、得られたデータから離散法でODFを計算し、その結果から各方位のランダム強度比を算出した結果、 $\langle 111 \rangle // ND$ 方位は5以上、 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位は10以上、 $\{310\} \langle 001 \rangle$ 方位は3以下であることを確認した。

[0056] 表3から、本発明の条件を満たす鋼板の直流重畳特性はいずれも良好であるが、中でもSi量の最高値が5.5mass%以上でかつ ΔSi が0.5mass%以上の条件を満たす鋼板は、直流重畳特性がさらに良好であることがわかる。

[0057]

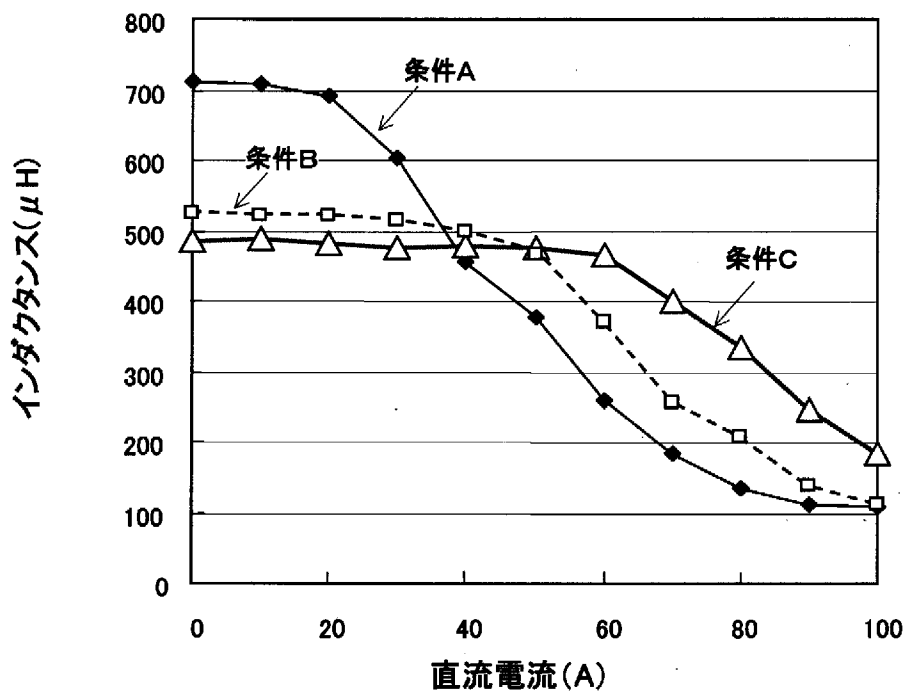
[表3]

鋼板 No.	焼鈍時間 (秒)	Si量最高値 (mass%)	Si量最低値 (mass%)	Δ Si (mass%)	初期インダクタンスが 半減する電流値 (A)	備 考
1	0	7.01	2.11	4.90	90	発明例
2	20	6.54	2.23	4.31	92	発明例
3	40	5.97	2.45	3.52	89	発明例
4	60	5.51	2.60	2.91	88	発明例
5	100	4.77	2.87	1.90	83	発明例
6	150	4.39	3.15	1.24	81	発明例
7	200	4.02	3.45	0.57	75	発明例
8	500	3.70	3.70	0.00	68	発明例

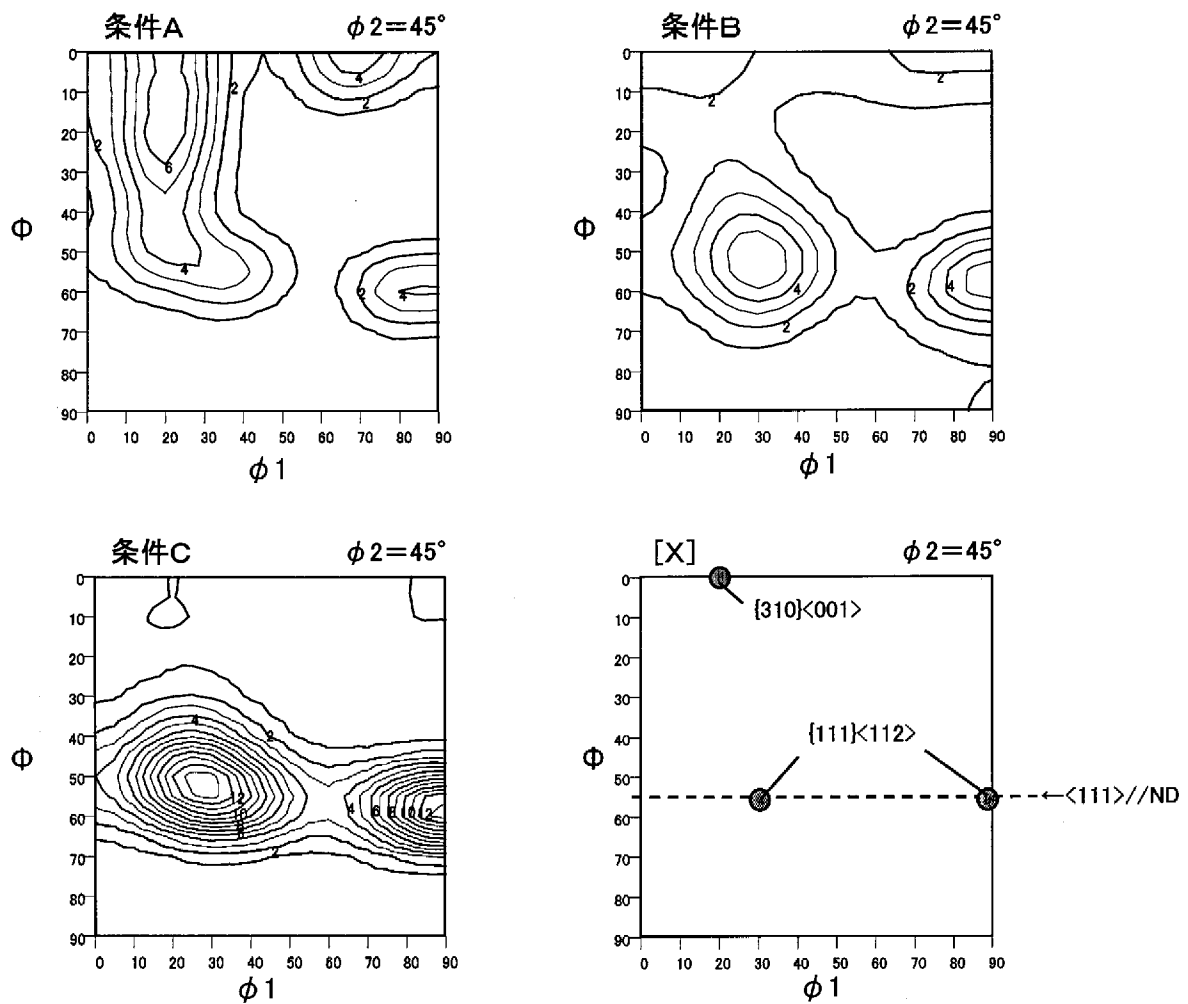
請求の範囲

- [請求項1] C : 0.010mass%未満、Si : 1.5～10mass%を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物の成分組成からなり、鋼板の集合組織における主方位が $\langle 111 \rangle // ND$ でかつ前記主方位のランダム強度比が5以上であることを特徴とする電磁鋼板。
- [請求項2] 前記電磁鋼板は、 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位のランダム強度比が10以上であることを特徴とする請求項1に記載の電磁鋼板。
- [請求項3] 前記電磁鋼板は、 $\{310\} \langle 001 \rangle$ 方位のランダム強度比が3以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の電磁鋼板。
- [請求項4] 前記電磁鋼板は、Si濃度が板厚方向で表層側が高く、中心部が低い濃度勾配を有し、かつ、Si濃度の最高値が5.5mass%以上で、最高値と最低値の差が0.5mass%以上であることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の電磁鋼板。
- [請求項5] 前記電磁鋼板は、前記成分組成に加えてさらに、Mn : 0.005～1.0mass%、Ni : 0.010～1.50mass%、Cr : 0.01～0.50mass%、Cu : 0.01～0.50mass%、P : 0.005～0.50mass%、Sn : 0.005～0.50mass%、Sb : 0.005～0.50mass%、Bi : 0.005～0.50mass%、Mo : 0.005～0.100mass%およびAl : 0.02～6.0mass%のうちの1種または2種以上を含有することを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の電磁鋼板。

[図1]



[図2]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/051200

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C38/00(2006.01)i, C22C38/02(2006.01)i, C22C38/60(2006.01)i, H01F1/16
(2006.01)i, C21D8/12(2006.01)n

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)

C22C38/00, C22C38/02, C22C38/60, H01F1/16, C21D8/12

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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 2007-204787 A (JFE Steel Corp.), 16 August 2007 (16.08.2007), claims 1 to 4; paragraphs [0016] to [0020], [0033] to [0035] (Family: none)	1, 5 2-3
X Y	JP 2008-189976 A (Nippon Steel Corp.), 21 August 2008 (21.08.2008), claims 1 to 3; paragraphs [0022] to [0034] (Family: none)	5 2-3
X	JP 8-134606 A (Nippon Steel Corp.), 28 May 1996 (28.05.1996), paragraphs [0025] to [0028] (Family: none)	5

☒ 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
15 April, 2013 (15.04.13)

Date of mailing of the international search report
23 April, 2013 (23.04.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/051200

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 5-279813 A (NKK Corp.), 26 October 1993 (26.10.1993), paragraphs [0028] to [0033] (Family: none)	1-3, 5
X	JP 2000-178647 A (NKK Corp.), 27 June 2000 (27.06.2000), paragraphs [0026] to [0028], [0031] to [0032] (Family: none)	1-3, 5
X	JP 2011-89170 A (JFE Steel Corp.), 06 May 2011 (06.05.2011), paragraphs [0044] to [0047] (Family: none)	1-3, 5
A	JP 11-209852 A (NKK Corp.), 03 August 1999 (03.08.1999), claims 1 to 7 (Family: none)	1-5
A	JP 2009-256758 A (Nippon Steel Corp.), 05 November 2009 (05.11.2009), claims 1 to 5 (Family: none)	1-5
A	JP 5-65537 A (NKK Corp.), 19 March 1993 (19.03.1993), paragraphs [0026] to [0034]; fig. 4, 5 (Family: none)	1-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. C22C38/00(2006.01)i, C22C38/02(2006.01)i, C22C38/60(2006.01)i, H01F1/16(2006.01)i, C21D8/12(2006.01)n

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 (I P C))

Int.Cl. C22C38/00, C22C38/02, C22C38/60, H01F1/16, C21D8/12

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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 2007-204787 A (JFE スチール株式会社) 2007.08.16, 【請求項 1】 - 【請求項 4】 , 【0016】 - 【0020】 , 【0033】 - 【0035】 (ファミリー なし)	1, 5 2 - 3
X Y	JP 2008-189976 A (新日本製鐵株式会社) 2008.08.21, 【請求項 1】 - 【請求項 3】 , 【0022】 - 【0034】 (ファミリーなし)	5 2 - 3
X	JP 8-134606 A (新日本製鐵株式会社) 1996.05.28, 【0025】 - 【0028】 (ファミリーなし)	5

☒ 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

1 5 . 0 4 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

2 3 . 0 4 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
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)

伊藤 真明

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 3 5

4 K

3 6 4 0

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
X	JP 5-279813 A (日本鋼管株式会社) 1993. 10. 26, 【0028】 - 【0033】 (ファミリーなし)	1 - 3, 5
X	JP 2000-178647 A (日本鋼管株式会社) 2000. 06. 27, 【0026】-【0028】, 【0031】 - 【0032】 (ファミリーなし)	1 - 3, 5
X	JP 2011-89170 A (JFE スチール株式会社) 2011. 05. 06, 【0044】 - 【0047】 (ファミリーなし)	1, 3, 5
A	JP 11-209852 A (日本鋼管株式会社) 1999. 08. 03, 【請求項 1】 - 【請 求項 7】 (ファミリーなし)	1 - 5
A	JP 2009-256758 A (新日本製鐵株式会社) 2009. 11. 05, 【請求項 1】 - 【請求項 5】 (ファミリーなし)	1 - 5
A	JP 5-65537 A (日本鋼管株式会社) 1993. 03. 19, 【0026】 - 【0034】 , 【図 4】 , 【図 5】 (ファミリーなし)	1 - 5