

(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
2025年4月3日(03.04.2025)



(10) 国際公開番号

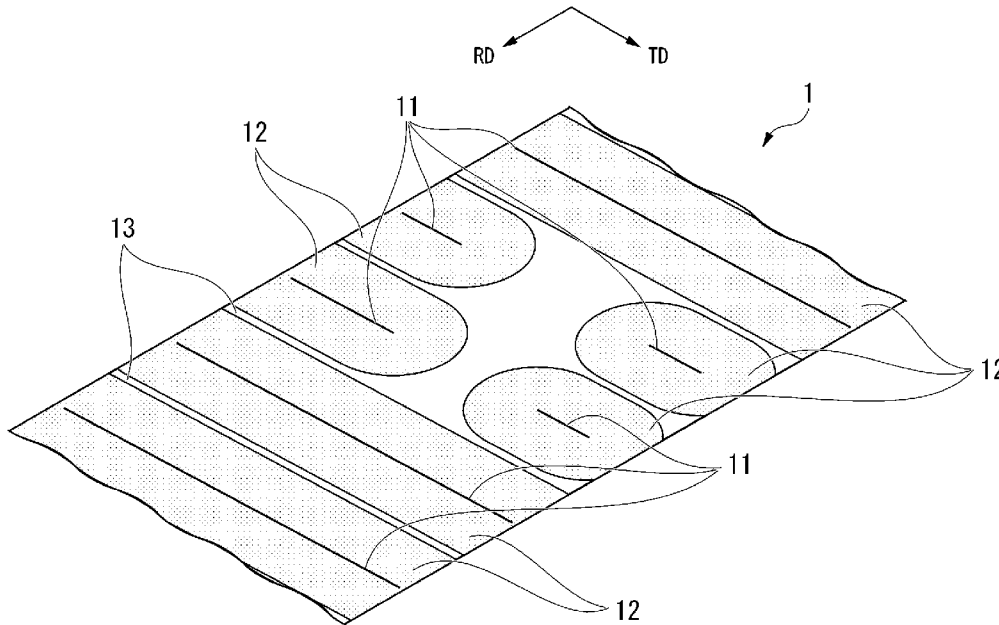
WO 2025/070795 A1

- (51) 国際特許分類:
C22C 38/00 (2006.01) C22C 38/60 (2006.01)
C21D 8/12 (2006.01) H01F 1/16 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/034821
- (22) 国際出願日: 2024年9月27日(27.09.2024)
- (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 2023-166178 2023年9月27日(27.09.2023) JP
- (71) 出願人: 日本製鉄株式会社 (NIPPON STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 (JP).
- (72) 発明者: 松原 稜(MATSUBARA Ryo); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内 (JP). 川村 悠祐(KAWAMURA Yusuke); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内 (JP). 本間 励(HONMA Rei); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内 (JP). 鈴間 俊之(SUZUMA Toshiyuki); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内 (JP).
- (74) 代理人: 松沼 泰史, 外(MATSUNUMA Yasushi et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 (JP).

(54) Title: GRAIN-ORIENTED ELECTROMAGNETIC STEEL SHEET AND PRODUCTION METHOD OF SAME

(54) 発明の名称: 方向性電磁鋼板及びその製造方法

[図1A]



(57) Abstract: This grain-oriented electromagnetic steel sheet comprises, on the surface thereof: a plurality of magnetic domain control processing lines extending in a direction intersecting the rolling direction; a magnetic domain control region that is a region within 10 mm from each of the magnetic domain control processing lines; and a non-magnetic domain control region that is a region separated by more than 10 mm from all of the magnetic domain control processing lines. The average value $|\beta\text{NDr}|$ of the absolute value of the β angle in the non-magnetic domain control region and the

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, MC, ME, 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).

添付公開書類 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

average value $|\beta_{Dr}|$ of the absolute value of the β angle in the magnetic domain control region satisfy $|\beta_{Dr}| - |\beta_{NDr}| \leq -0.1^\circ$.

(57) 要約: この方向性電磁鋼板は、表面に、圧延方向に交差する方向に延在する複数の磁区制御処理線と、前記磁区制御処理線から10mm以内の領域である磁区制御領域と、前記磁区制御処理線の全てから10mm超離れた領域である非磁区制御領域と、を備え、前記非磁区制御領域における β 角の絶対値の平均値 $|\beta_{NDr}|$ 、及び前記磁区制御領域における β 角の絶対値の平均値 $|\beta_{Dr}|$ が、 $|\beta_{Dr}| - |\beta_{NDr}| \leq -0.1^\circ$ を満たす。

明 細 書

発明の名称：方向性電磁鋼板及びその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、方向性電磁鋼板及びその製造方法に関する。

本願は、2023年09月27日に、日本に出願された特願2023-166178号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 方向性電磁鋼板は、Siを7質量%以下含有し、且つ、二次再結晶粒が、圧延方向に磁化容易軸<001>が配向した{110}<001>方位（Goss方位）に集積した二次再結晶集合組織を有する、鋼板である。方向性電磁鋼板は、主に電力用トランスの鉄心として用いられている。方向性電磁鋼板には、エネルギーロス（鉄損）の低減が求められる。

[0003] 低鉄損化のために、方向性電磁鋼板の磁区幅を狭くする技術（磁区制御処理による磁区細分化技術）が以前から知られている。方向性電磁鋼板の表面に、圧延方向に交差する方向にレーザ又は電子ビームを照射して熱歪みを導入することにより、磁区幅を狭くすることができる。また、方向性電磁鋼板の表面に、圧延方向に交差する方向に溝を形成することによっても、磁区幅を狭くすることができる。溝の形成方法としては、レーザ又は電子ビームを照射する方法、歯車などの機械的加工による方法、エッチングなどの化学的処理による方法などが挙げられる。

[0004] 近年は、鉄損特性が良好な方向性電磁鋼板を提供すべく、磁区細分化に関する様々な改良技術が提案されている（例えば、特許文献1～特許文献3参照）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：日本国特開2012-57219号公報

特許文献2：日本国特開2012-12664号公報

特許文献3：日本国特開2012-57218号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 方向性電磁鋼板に磁区制御処理を適用すると、還流磁区によって、方向性電磁鋼板の磁歪特性が変化する。これにより、方向性電磁鋼板の騒音特性が悪化する。騒音特性とは、方向性電磁鋼板を材料として製造された電機製品（例えばトランス、及びモータ等）が生じさせる騒音の程度のことである。磁歪とは、強磁性体を磁化したときに、わずかに外形が変形する現象である。方向性電磁鋼板を交流で励磁すると、その磁化の強さの変化に伴って磁歪の大きさが変化するにより、振動が生じる。この磁歪の大きさは、 10^{-6} オーダーの非常に小さなものであるが、その磁歪が鉄心に振動を発生させ、それが変圧器のタンクなどの外部構造物に伝搬して騒音となる。すなわち、磁区制御処理は、方向性電磁鋼板の鉄損を低減するために有効である反面で、方向性電磁鋼板の騒音特性を悪化させる。

近年は、方向性電磁鋼板には低鉄損化だけでなく、低騒音化の要求も高まっている。しかしながら、低騒音化と低鉄損化との両方を十分に達成することが可能な磁区細分化技術はこれまで提案されていない。

[0007] 本開示は、鉄損が低く（低鉄損）、かつ、電機製品とした際の騒音が小さい（騒音特性に優れる）方向性電磁鋼板、及びその製造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

[0008] 本発明者らは低鉄損、かつ騒音特性に優れる方向性電磁鋼板について検討を行った。その結果、磁区制御処理は、方向性電磁鋼板の鉄損を低減するために有効である反面で、方向性電磁鋼板の騒音特性を悪化させるので、非磁区制御領域を設けることで、騒音特性の悪化を抑制することができることが分かった。

本発明者らは、さらに検討を行った結果、方向性電磁鋼板の磁区制御前後の磁区の変化を解析したところ、磁区制御により磁区幅が細くなる部分と

ほとんど細かくなならない部分が存在することが明らかとなった。

[0009] 本開示は、上記の知見に鑑みてなされた。

[1] 本開示の一態様に係る方向性電磁鋼板は、表面に、圧延方向に交差する方向に延在する複数の磁区制御処理線と、前記磁区制御処理線から10mm以内の領域である磁区制御領域と、前記磁区制御処理線の全てから10mm超離れた領域である非磁区制御領域と、を備え前記非磁区制御領域における β 角の絶対値の平均値 $|\beta_{NDr}|$ 、及び前記磁区制御領域における β 角の絶対値の平均値 $|\beta_{Dr}|$ が、下記式(5)を満たす。

$$|\beta_{Dr}| - |\beta_{NDr}| \leq -0.1^\circ \quad (5)$$

[2] [1]に記載の方向性電磁鋼板は、前記非磁区制御領域の磁区幅の平均値が500 μ m以下であってもよい。

[3] [1]又は[2]に記載の方向性電磁鋼板は、前記非磁区制御領域の磁区幅の最大値が1000 μ m以下であってもよい。

[4] [1]～[3]のいずれかに記載の方向性電磁鋼板は、前記複数の磁区制御処理線が、溝であってもよい。

[5] [4]に記載の方向性電磁鋼板は、前記磁区制御処理線における、前記溝の深さの最大値が、前記溝の深さの測定点毎に不均一であってもよい。

[6] [5]に記載の方向性電磁鋼板は、前記表面に、一辺の長さが50mmであり、且つ一辺が前記圧延方向と平行である正方形の評価領域を設定し、さらに、前記評価領域の内部に、前記圧延方向に平行且つ長さ50mmの仮想線を前記圧延方向に垂直な方向に5mm間隔で設定した場合において、前記仮想線と、前記複数の磁区制御処理線との複数の交点のそれぞれを磁区細分化点とし、前記磁区細分化点のそれぞれにおいて測定される、単位 μ mでの前記溝の前記深さの前記最大値を D_m 、前記 D_m の分散を $\sigma(D_m)^2$ としたとき、 $\sigma(D_m)^2 > 3.0$ を満たしてもよい。

[7] [5]又は[6]に記載の方向性電磁鋼板は、前記表面に、一辺の長さが50mmであり、且つ一辺が前記圧延方向と平行である正方形の評価領域を設定し、さらに、前記評価領域の内部に、前記圧延方向に平行且つ長さ

50 mmの仮想線を前記圧延方向に垂直な方向に5 mm間隔で設定した場合において、前記仮想線と、前記複数の磁区制御処理線との複数の交点のそれぞれを磁区細分化点とし、前記磁区細分化点のうち、 β 角が 2° 未満の磁区細分化点のそれぞれにおいて測定される、単位 μm での前記溝の深さの最大値の、算術平均値を $D_{m(\beta < 2)}$ とし、前記磁区細分化点のうち、前記 β 角が 2° 以上の磁区細分化点のそれぞれにおいて測定される、単位 μm での前記溝の深さの最大値の、算術平均値を $D_{m(\beta \geq 2)}$ としたとき、 $D_{m(\beta < 2)} > D_{m(\beta \geq 2)}$ を満たしてもよい。

[8] [1] ~ [3] のいずれかに記載の方向性電磁鋼板は、前記複数の磁区制御処理線が、40 MPa以上の引張応力が導入された、熱歪みであってもよい。

[9] [8] に記載の方向性電磁鋼板は、前記磁区制御処理線における、前記熱歪みに導入された前記引張応力の最大値が、前記引張応力の測定点毎に不均一であってもよい。

[10] [9] に記載の方向性電磁鋼板は、前記表面に、一辺の長さが50 mmであり、且つ一辺が前記圧延方向と平行である正方形の評価領域を設定し、さらに、前記評価領域の内部に、前記圧延方向に平行且つ長さ50 mmの仮想線を前記圧延方向に垂直な方向に5 mm間隔で設定した場合において、前記仮想線と、前記複数の磁区制御処理線との複数の交点のそれぞれを磁区細分化点とし、前記磁区細分化点のそれぞれにおいて測定される、前記熱歪みに導入された単位MPaでの前記引張応力の前記最大値を $T S_m$ 、前記 $T S_m$ の分散を $\sigma(T S_m)^2$ としたとき、 $\sigma(T S_m)^2 > 5.0$ を満たしてもよい。

[11] [9] 又は[10] に記載の方向性電磁鋼板は、前記表面に、一辺の長さが50 mmであり、且つ一辺が前記圧延方向と平行である正方形の評価領域を設定し、さらに、前記評価領域の内部に、前記圧延方向に平行且つ長さ50 mmの仮想線を前記圧延方向に垂直な方向に5 mm間隔で設定した場合において、前記仮想線と、前記複数の磁区制御処理線との複数の交点の

それぞれを磁区細分化点とし、前記磁区細分化点のうち、 β 角が 2° 未満の磁区細分化点のそれぞれにおいて測定される、前記熱歪みに導入された単位MPaでの前記引張応力の最大値の、算術平均値を $TS_{m(\beta < 2)}$ とし、前記磁区細分化点のうち、前記 β 角が 2° 以上の磁区細分化点のそれぞれにおいて測定される、前記熱歪みに導入された単位MPaでの前記引張応力の最大値の、算術平均値を $TS_{m(\beta \geq 2)}$ としたとき、 $TS_{m(\beta < 2)} > TS_{m(\beta \geq 2)}$ を満たしてもよい。

[12] 本開示の別の態様に係る方向性電磁鋼板の製造方法は、方向性電磁鋼板の表面の磁区画像を取得する磁区画像取得工程と、前記磁区画像取得工程において得られた前記磁区画像に基づいて、前記方向性電磁鋼板における、磁区幅が $500\mu\text{m}$ 超である領域を特定する領域特定工程と、方向性電磁鋼板の表面に磁区制御処理線を形成する磁区制御処理線形成工程と、を備え、前記磁区制御処理線形成工程では、前記磁区制御処理線から 10mm 以内の領域である磁区制御領域と、前記磁区制御処理線の全てから 10mm 超離れた領域である非磁区制御領域と、を備え、前記非磁区制御領域における β 角の絶対値の平均値 $|\beta_{NDr}|$ 、及び前記磁区制御領域における β 角の絶対値の平均値 $|\beta_{Dr}|$ が、 $|\beta_{Dr}| - |\beta_{NDr}| \leq -0.1^\circ$ となるように磁区幅が $500\mu\text{m}$ 超である領域に前記磁区制御処理線を形成する。

[13] [12]に記載の方向性電磁鋼板の製造方法は、前記磁区制御処理線形成工程では、レーザ又は電子ビームの照射によって前記磁区制御処理線を形成してもよい。

発明の効果

[0010] 本開示の上記態様によれば、鉄損が低く（低鉄損）、かつ、電機製品とした際の騒音が小さい（騒音特性に優れる）方向性電磁鋼板、及びその製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1A]本実施形態に係る方向性電磁鋼板の例を示す模式図である。

[図1B]本実施形態に係る方向性電磁鋼板の例を示す模式図である。

[図1C]本実施形態に係る方向性電磁鋼板の例を示す模式図である。

[図2]レーザ照射前の磁区幅とレーザ照射後の磁区幅との関係を示すグラフである。

[図3A]磁区細分化処理前の方向性電磁鋼板の磁区幅の分布の一例を示すグラフである。

[図3B]磁区細分化処理後の方向性電磁鋼板の磁区幅の分布の一例を示すグラフである。

[図3C]画像取得装置によって取得した磁区画像の一例を示す図である。

[図3D]図3Cを模式的に示した図である。

[図4]画像取得装置のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。

[図5]解析装置のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。

[図6]レーザ照射装置の構成の一例を示す模式図である。

[図7]方向性電磁鋼板の磁区画像から複数の部分領域を切り出す方法を説明する模式図である。

[図8]方向性電磁鋼板の磁区画像から切り出された複数の部分領域のそれぞれに二次元フーリエ変換を施すことによって得られた複数の部分フーリエ画像の一例である。

[図9]磁区幅の大きさと、磁区制御飽和強度との関係を模式的に示すグラフである。

[図10] β 角の大きさと、磁区制御飽和強度との関係を模式的に示すグラフである。

[図11]磁区制御処理線が熱歪みである方向性電磁鋼板の断面模式図である。

[図12]磁区制御処理線が溝である方向性電磁鋼板の断面模式図である。

[図13]磁区制御処理線が熱歪みである場合における、磁区制御処理線と仮想線との交点における磁区制御強度の測定方法を説明する平面模式図である。

[図14]磁区制御処理線が溝である場合における、磁区制御処理線と仮想線との交点における磁区制御強度の測定方法を説明する平面模式図である。

発明を実施するための形態

[0012] 本開示の一実施形態に係る方向性電磁鋼板（本実施形態に係る方向性電磁鋼板）及びその製造方法について説明する。

図1Aに示すように、本実施形態に係る方向性電磁鋼板1は、表面に、圧延方向RDに交差する方向に延在する複数の磁区制御処理線11と、前記磁区制御処理線から10mm以内の領域である磁区制御領域12と、前記磁区制御処理線の全てから10mm超離れた領域である非磁区制御領域13と、を備える。

本実施形態に係る方向性電磁鋼板は、後述するように、母材鋼板の表面にフォスフェイト被膜及び／又は絶縁被膜を有してもよい。

以下、それぞれについて説明する。ただし、方向性電磁鋼板が、母材鋼板と、フォスフェイト被膜及び／又は絶縁被膜とを有している場合、以下の、化学組成、磁区制御処理線、磁区制御領域、非磁区制御処理線に関する規定は、母材鋼板に関する規定である。ただし、板厚に関する規定は、母材鋼板と、フォスフェイト被膜及び／又は絶縁被膜とを含めた方向性電磁鋼板全体に関する規定である。

[0013] [方向性電磁鋼板]

(化学組成)

方向性電磁鋼板1の化学組成は限定されず、公知の方向性電磁鋼板1と同等であればよい。例えば方向性電磁鋼板1は、化学組成として、質量%で、Si: 2.50~7.00%、Mn: 0~1.00%、C: 0~0.085%、酸可溶性Al: 0~0.065%、N: 0~0.012%、Cr: 0~0.300%、Cu: 0~0.400%、P: 0~0.500%、Sn: 0~0.300%、Sb: 0~0.300%、Ni: 0~1.000%、S: 0~0.015%、Se: 0~0.015%、Bi: 0~0.020%、Nb: 0~0.030%、V: 0~0.030%、Mo: 0~0.030%、Ta: 0~0.030%、W: 0~0.030%、B: 0~0.080%、Ti: 0~0.015%を含有することができる。化学組成の残部は、Fe及び不純物を含む。

[0014] 方向性電磁鋼板1の化学組成は、鋼の一般的な分析方法によって測定すればよい。例えば、化学成分は、ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry) を用いて測定すればよい。具体的には、試料の厚み方向の中央部から試験片を取得し、島津製作所製ICPS-8100等(測定装置)により、予め作成した検量線に基づいた条件で測定することにより、方向性電磁鋼板1の化学組成を測定できる。ICP-AESでは測定が困難なCおよびSの含有量は、燃焼-赤外線吸収法を用いて測定すればよい。Nの含有量は、不活性ガス融解-熱伝導度法を用いて測定すればよい。

[0015] 方向性電磁鋼板1にフォステライト被膜及び/又は絶縁被膜が形成されている場合には、方向性電磁鋼板1からフォステライト被膜及び/又は絶縁被膜を除去してから、方向性電磁鋼板1の化学組成(すなわち母材鋼板の化学組成)を分析すればよい。

絶縁被膜は例えば、試料を水酸化ナトリウム溶液に浸漬させた後に、希硫酸、及び硝酸に浸漬させることによって除去することができる。水酸化ナトリウム、希硫酸、硝酸溶液の温度と濃度、浸漬させる時間等の条件は試料の地鉄が過度に溶解しないよう適宜調整する。絶縁被膜の除去作業の条件の一例は以下の通りである。まず、80℃で20%の濃度の水酸化ナトリウム溶液に、試料を15分間浸漬させる。その後、試料を乾燥させる。そして、80℃で10%の濃度の希硫酸に、試料を4分間浸漬させる。その後、ウエス等で、試料の表面に付着したスラッジを除去する。さらに、室温で10%の濃度の硝酸に、試料を10秒間程度攪拌しながら浸漬させる。

フォステライト被膜は例えば、試料を硫酸に浸漬させた後に、硝酸に浸漬させることによって除去することができる。硫酸、硝酸の温度と濃度浸漬させる時間等の条件は試料の地鉄が過度に溶解しないよう適宜調整する。フォステライト被膜の除去作業の条件の一例は以下の通りである。まず、80℃で10%の濃度の硫酸に試料を3分浸漬させる。その後、ウエス等を用いて試料の表面を水洗いし表面に付着したスラッジを除去する。その後、試

料を乾燥させる。さらに、室温で10%の濃度の硝酸に、試料を5秒間程度攪拌しながら浸漬させる。

[0016] 方向性電磁鋼板1の板厚は限定されないが、例えば0.15mm~0.30mmであることが好ましい。0.30mm以下とすることにより、古典的渦電流損を抑制し、鉄損を一層改善することができる。一方、板厚を0.15mm以上とすることにより、圧延効率を向上させて、生産性を改善することができる。

[0017] (磁区制御処理線11)

方向性電磁鋼板1の表面に設けられた複数の磁区制御処理線11は、180°磁区を細分化する働きを有する。磁区を細分化することにより、方向性電磁鋼板1の鉄損を低減することができる。磁区とは、強磁性体の内部に存在する磁気双極子の集まりで、磁気モーメントが一方向に揃っている小さな領域のことである。180°磁区とは、磁化方向が結晶の<100>方位であり、且つ圧延方向RDにほぼ平行な2つの180°磁壁に挟まれた磁区のことである。180°磁区の隣接する磁壁間の距離(磁壁間隔)は、180°磁区の幅と称される。以下、特に断りが無い限り、180°磁区の幅を単に「磁区幅」と称する。

[0018] 磁区制御処理線11の延在方向は、圧延方向と交差する方向であれば(圧延方向と平行でなければ)特に限定されない。図1Aに示されるように、磁区制御処理線11と圧延方向RDとが略直角(圧延直角方向TDとが略平行)であってもよい。即ち、磁区制御処理線11と圧延直角方向TDとがなす角度が実質的に0°であってもよい。一方、磁区制御処理線11と圧延直角方向TDとがなす角度が0°超であってもよい。例えば磁区制御処理線11と圧延直角方向TDとがなす角度を、0°~45°の範囲内の任意の値としてもよい。磁区制御処理線11と圧延直角方向TDとがなす角度を、1°以上、3°以上、又は5°以上としてもよい。磁区制御処理線11と圧延直角方向TDとがなす角度を、40°以下、35°以下、又は30°以下としてもよい。

[0019] 図1Aに例示されるように、全ての磁区制御処理線11と圧延直角方向TDとがなす角度が同一であってもよい。即ち、全ての磁区制御処理線11が互いに平行に延在していてもよい。一方、磁区制御処理線11と圧延直角方向TDとがなす角度がばらついていてもよい。即ち、複数の磁区制御処理線11の一部又は全部が、互いに非平行に延在していてもよい。磁区制御処理線11と圧延直角方向TDとがなす角度の平均値を、 1° 以上、 3° 以上、又は 5° 以上としてもよい。磁区制御処理線11と圧延直角方向TDとがなす角度の平均値を、 40° 以下、 35° 以下、又は 30° 以下としてもよい。角度の平均値は1本の磁区制御処理線に対し、複数の位置で圧延直角方向TDとなす角度を測定、あるいは複数本の磁区制御処理線が圧延直角方向TDとなす角度を1点あるいは複数の位置で測定し、その平均値を算出すればよい。

また、図1Bに示されるように、磁区制御処理線11が途中で途切れていなくても（すなわち全ての磁区制御処理線が鋼板の幅方向の全体に亘って形成されていても）よく、磁区制御処理線11が、曲線部分を含んでいてもよい（すなわち直線のみで構成されていなくてもよい）。

[0020] 磁区制御処理線11の種類は特に限定されないが、好適な例は熱歪み、及び／又は溝である。

磁区制御処理線11が溝である場合、磁区制御処理線11は目視で特定可能である。方向性電磁鋼板1が絶縁被膜を有する場合は、公知の剥離剤を用いて絶縁被膜を除去することによって、磁区制御処理線11が目視可能となる。

[0021] 磁区制御処理線11が熱歪みである場合は、磁区制御処理線11が目視で特定できないことがある。この場合、例えば図4に例示されるような構成の画像取得装置30を用いて、磁区画像を撮影し、撮影された磁区画像を観察することにより、熱歪みの位置を特定することができる。撮影に際しては、必要に応じて、方向性電磁鋼板1の圧延面法線方向NDに沿って直流磁場を印加しながら、磁区画像を撮影する。

[0022] (磁区制御処理線 11 の、圧延方向 RD に沿った間隔)

複数の磁区制御処理線 11 において、圧延方向 RD に沿って隣り合う磁区制御処理線 11 の圧延方向 RD に沿った間隔は、特に限定されない。間隔が小さいほど、鉄損を改善する効果が高められる。一方、間隔が大きいほど、騒音特性が改善する。方向性電磁鋼板 1 に求められる特性に応じた間隔を適宜選択することができる。例えば、圧延方向 RD に沿って隣り合う磁区制御処理線 11 の、圧延方向 RD に沿った間隔を 1.0 mm 以上、2.0 mm 以上、3.0 mm 以上、又は 5.0 mm 以上としてもよい。圧延方向 RD に沿って隣り合う磁区制御処理線 11 の、圧延方向 RD に沿った間隔を 10.0 mm 以下、9.0 mm 以下、8.0 mm 以下、又は 7.0 mm 以下としてもよい。

隣り合う磁区制御処理線 11 の圧延方向 RD に沿った間隔は、一定であってもよく、ばらついていても (変動していても) よい。ばらついている場合、例えば、圧延方向 RD に沿って隣り合う磁区制御処理線 11 の、圧延方向 RD に沿った間隔の平均値を 1.0 mm 以上、2.0 mm 以上、3.0 mm 以上、又は 5.0 mm 以上としてもよい。圧延方向 RD に沿って隣り合う磁区制御処理線 11 の、圧延方向 RD に沿った間隔の平均値を 10.0 mm 以下、9.0 mm 以下、8.0 mm 以下、又は 7.0 mm 以下としてもよい。間隔は、圧延方向 RD に沿った直線 L を 1 本以上引き、直線 L と磁区制御処理線の交点 LP の、隣接する 2 点の LP 間の距離を測定すれば良い。間隔の平均値を算出する場合には隣接する 2 点の LP 間の距離を複数測定し、それを平均すれば良い。

[0023] 磁区制御処理線 11 と圧延直角方向 TD とがなす角度は、上述および後述の手順で磁区制御処理線 11 及び圧延直角方向 TD を特定した後で、公知の角度測定手段を用いて測定することができる。

[0024] 磁区制御処理線 11 の、圧延方向 RD に沿った間隔は、上述および後述の手順で磁区制御処理線 11 及び圧延方向 RD を特定した後で、公知の長さ測定手段を用いて測定することができる。

ここで磁区制御処理線11の、圧延方向RDに沿った間隔は、磁区制御処理線の圧延方向RDの幅の中央から、隣の磁区制御処理線の圧延方向RDの幅の中央までの距離である。

[0025] 上述の通り、磁区制御処理線11は、例えば熱歪み又は溝である。熱歪みは、例えばレーザの照射、電子ビームの照射、及びイオン注入等の手段を用いて形成することができる。溝は、例えばレーザの照射、電子ビームの照射、及び機械加工、エッチング等の手段を用いて形成することができる。

[0026] 熱歪みは、歪取焼鈍又はこれに準じる熱処理によって消滅する。そのため、方向性電磁鋼板1が熱処理される場合は、磁区制御処理線11を溝とすることが好ましい。一方、熱歪みは容易に形成することができるので、製造工程の簡略化が求められる場合は、磁区制御処理線11を熱歪みとすることが好ましい。方向性電磁鋼板1が、熱歪み及び溝の両方を備えてもよい。

[0027] また、磁区制御処理線11が、熱歪みである場合、熱歪みにおいては引張応力が導入されていることが好ましい。引張応力が大きいほど、鉄損を改善する効果が高められる。一方、引張応力が小さいほど、騒音特性が改善する。方向性電磁鋼板1に求められる特性に応じた引張応力を適宜選択することができる。

引張応力の大きさは特に限定されないが、例えば磁区制御処理線11の少なくとも一部において、任意の方向に対する引張応力が40MPa以上、60MPa以上、80MPa以上であることが好ましい。少なくとも1つの方向に対する引張応力が40MPa以上である場合、「任意の方向に対する引張応力が40MPa以上」との要件が満たされているとみなされる。また、例えば磁区制御処理線11の少なくとも一部において、任意の方向に対する引張応力が300MPa以下、200MPa以下、180MPa以下、又は150MPa以下であることが好ましい。磁区制御処理線11における任意の方向に対する引張応力は、一様であってもよいし、ばらついていてもよい。

[0028] 熱歪みにおいて導入される引張応力の大きさは、EBSD Wilkin

son法およびBLG Vantage社製Cross Courtにより測定する。EBSD Wilkinson法は、A. J. Wilkinson, et al. 「High-resolution elastic strain measurement from electron backscatter diffraction patterns: New levels of sensitivity」Ultramicroscopy Vol 106, No. 4-5, March 2006, P. 307-313に詳細に説明されている。

EBSD Wilkinson法およびBLG Vantage社製Cross Courtによって熱歪みにおいて導入される引張応力の大きさを測定する際には、まず、上述の手順で磁区制御処理線11を特定する。次に、磁区制御処理線11を通り、且つ磁区制御処理線11に垂直に、方向性電磁鋼板1を切断する。この切断面を、測定面として用いる。測定面に含まれる、磁区制御処理線11の断面に対して、EBSD Wilkinson法およびBLG Vantage社製Cross Courtによって解析を行い、任意の方向に対する引張応力成分を抽出し、その大きさを測定する。例えば、圧延面法線方向ND、磁区制御処理線11と平行な方向、圧延面法線方向NDと磁区制御処理線11とに垂直な方向の引張応力成分を抽出できる。

測定箇所数は、例えば10とする。方向性電磁鋼板1の少なくとも1箇所において、任意の方向に対する引張応力が40MPa以上である場合（即ち、少なくとも1つの方向に対する引張応力が40MPa以上である場合）、当該方向性電磁鋼板1が有する磁区制御処理線における任意の方向に対する引張応力の最大値は、40MPa以上であると判断される。そのため、引張応力の最大値が40MPa以上であるかを判断する目的であれば、任意の方向に対する引張応力が40MPa以上である測定点が発見された時点で、引張応力の測定を中止してもよい。ただし、後述する $\sigma(TS_m)^2$ 、 $TS_m(\beta < 2)$ 、又は $TS_m(\beta \geq 2)$ を求める場合には、測定を中止せず、各測定点での引

張応力を求める。

[0029] 磁区制御処理線 11 が溝である場合、溝の深さ及び幅が大きいほど、鉄損を改善する効果が高められる。一方、溝の深さ及び幅が小さいほど、騒音特性が改善する。方向性電磁鋼板 1 に求められる特性に応じた溝の形状を適宜選択することができる。

溝の深さは特に限定されないが、例えば $5\ \mu\text{m}$ ~ $50\ \mu\text{m}$ とすることが好ましい。溝の深さを $6\ \mu\text{m}$ 以上、 $7\ \mu\text{m}$ 以上、又は $10\ \mu\text{m}$ 以上としてもよい。溝の深さを $48\ \mu\text{m}$ 以下、 $45\ \mu\text{m}$ 以下、又は $40\ \mu\text{m}$ 以下としてもよい。

溝の幅（開口部における幅）は特に限定されないが、例えば $10\ \mu\text{m}$ ~ $300\ \mu\text{m}$ とすることが好ましい。溝の幅を $20\ \mu\text{m}$ 以上、 $30\ \mu\text{m}$ 以上、又は $50\ \mu\text{m}$ 以上と規定してもよい。溝の幅を $280\ \mu\text{m}$ 以下、 $250\ \mu\text{m}$ 以下、又は $200\ \mu\text{m}$ 以下と規定してもよい。溝の深さ及び幅は、一様であってもよいし、変動していてもよい。変動する場合、複数の溝の深さ、幅の平均が上記の範囲であることが好ましい。

[0030] 溝の深さ及び幅は、公知の三次元測定機を用いて試料の表面形状を特定することにより測定可能である。方向性電磁鋼板 1 が絶縁被膜を有する場合は、上述の手順で絶縁被膜を除去してから試料表面の三次元測定を行う。

[0031] (圧延方向 RD 及び圧延直角方向 TD の特定方法)

方向性電磁鋼板 1 の圧延方向 RD 及び圧延直角方向 TD は、以下に挙げる手段によって特定される。

(1) 試料が、コイル状の方向性電磁鋼板 1 から切り出されたものである場合、コイルの幅方向を圧延直角方向 TD とみなす。また、圧延直角方向 TD 及び圧延面法線方向 ND に垂直な方向を、圧延方向 RD とみなす。

(2) 試料が、電機製品の部品等から切り出されたものである場合、圧延方向 RD 及び圧延直角方向 TD を方向性電磁鋼板 1 の表面の圧延疵から特定する。圧延疵の延在方向を、圧延方向 RD とみなす。圧延方向 RD 及び圧延面法線方向 ND に垂直な方向を、圧延直角方向 TD とみなす。

(3) 方向性電磁鋼板 1 の表面の圧延疵から圧延方向 R D 及び圧延直角方向 T D を特定することが困難である場合、圧延方向 R D 及び圧延直角方向 T D を方向性電磁鋼板 1 の結晶方位から特定する。具体的には、評価対象となる方向性電磁鋼板 1 の結晶方位を複数点で測定する。そして、当該測定点における結晶方位が圧延面法線方向 N D (板厚方向)となす角度が最も直角に近い磁化容易軸 $\langle 001 \rangle$ からのずれ角が最小となる方向を、圧延方向 R D とみなし、圧延方向 R D 及び圧延面法線方向 N D に垂直な方向を、圧延直角方向 T D とみなす。

[0032] (磁区制御領域 1 2)

(非磁区制御領域 1 3)

上述の通り、方向性電磁鋼板 1 の表面に設けられた磁区制御処理線 1 1 は、 180° 磁区を細分化する働きを有する。また、磁区制御処理線の間隔が小さいほど、鉄損を改善する効果が高められる。そのため、一般的な磁区制御処理においては、磁区制御処理線の間隔が 20 mm 超とならないように、言い換えれば、磁区制御処理線 1 1 から 10 mm 以内の領域 (磁区制御処理領域) 同士が接する、又は一部重複するように形成される。また、これは幅方向においても同様であり、磁区制御処理線 1 1 の走査方向においても 20 mm 超の間隔が空かないように磁区制御処理線 1 1 が形成される。

したがって、通常の磁区制御処理がなされた方向性電磁鋼板において、複数の磁区制御処理線の全てから 10 mm 超離れた領域である非磁区制御領域は存在しない。

これに対し、本実施形態に係る方向性電磁鋼板 1 では、磁区制御処理線 1 1 を延在方向に途切れさせる、又は圧延方向の間隔を広くすることによって、非磁区制御領域 1 3 を設けることにその特徴がある。

上述の通り、磁区制御処理は、方向性電磁鋼板の鉄損を低減するために有効である反面で、方向性電磁鋼板の騒音特性を悪化させるので、非磁区制御領域を設けることで、騒音特性の悪化を抑制することができる。すなわち、低騒音化と低鉄損化との両方をバランスよく達成できる。

[0033] 本発明者らは、さらに検討を行った結果、方向性電磁鋼板の磁区制御前後の磁区の変化を解析したところ、磁区制御により磁区幅が細くなる部分とほとんど細くならない部分が存在することが明らかとなった。すなわち、磁区制御前の磁区幅によって磁区制御処理を行った際の磁区細分化効果が異なることを見出した。より具体的には、磁区幅が狭い領域においては、磁区制御処理による磁区細分化効果が現れにくいことがわかった。

[0034] 以上の知見によれば、磁区幅が広い領域に優先的に磁区制御処理を行うことが、低鉄損化及び低騒音化の両方を達成するために極めて有効であることがわかる。磁区幅が広い領域における磁区制御処理は、鉄損を低減することができる。磁区幅が狭い領域に形成される磁区制御処理線は、還流磁区による騒音特性の悪化を招くものと考えられるので、磁区幅が狭い領域における磁区制御処理を最小限とすることにより、騒音特性の悪化を防止することができる。

そのため、騒音特性の悪化を最小限に抑えつつ、鉄損の低減効果を得るため、磁区細分化効果の大きな、磁区幅の広い領域に、主に磁区制御処理が行われる。磁区幅の広い領域にのみ磁区制御処理を行うことが好ましいが、磁区幅が狭い領域に磁区制御処理を行うことは、割合が小さければ騒音特性の悪化代も小さいので許容される。また磁区幅の広い領域については全ての領域に磁区制御処理を行うことが好ましいが、後述する式(5)を満たす範囲であれば、磁区制御処理を行わない領域が含まれていてもよい。

磁区制御を行う領域については、後述するが、騒音特性の悪化を抑制するためにそのような特定の領域に主に磁区制御を行っても十分な鉄損の低減効果が得られる方向性電磁鋼板では、磁区制御処理後に、非磁区制御領域における β 角の絶対値の平均値 $|\beta N D r|$ 、と磁区制御領域における β 角の絶対値の平均値 $|\beta D r|$ とが、下記式(5)を満たすことが分かった。

$$|\beta D r| - |\beta N D r| \leq -0.1^\circ \quad (5)$$

そのため、本実施形態に係る方向性電磁鋼板では、非磁区制御領域における β 角の絶対値の平均値 $|\beta N D r|$ 、と磁区制御領域における β 角の絶対

値の平均値 $|\beta D r|$ とが、上記式 (5) を満たすように制御する。

[0035] 式 (5) を満たす方向性電磁鋼板で、低鉄損となる理由としては以下のようであると推察される。

鉄損を低減するため、磁区制御処理によって磁区細分化を行うが、磁区幅が狭い領域については、その領域に磁区制御処理を行っても鉄損低減効果が小さい。式 (5) で示す β 角とは、圧延直角方向 T D の軸まわりにおける結晶粒の G o s s 方位からのずれ角である。磁区制御処理前の方向性電磁鋼板 1 において、 β 角と磁区幅との間には密接な関係があり、磁区制御処理前の方向性電磁鋼板 1 においては、 β 角が小さいほど、磁区幅が広くなる。この β 角は磁区制御処理によって変化しない。

すなわち、式 (5) を満足することは、比較的磁区幅が広い (β 角が小さい) 領域に磁区制御処理が行われ、磁区幅が狭い (β 角が大きい) 領域には磁区制御処理が行われなかったことを示す。言い換えれば、磁区細分化効果の大きな領域を選択して磁区制御処理を行うことで、騒音特性の悪化を抑制しつつ、なるべく大きな鉄損の低減効果を得ているといえる。

[0036] また、本発明者らの検討の結果、磁区幅が狭い領域では磁区細分化効果が小さく、図 2 に示すように、磁区幅が約 $500 \mu\text{m}$ 以下の領域においては、磁区制御処理の前後で磁区幅が略同一であり、磁区幅が約 $500 \mu\text{m}$ 以下の領域においては、磁区制御による磁区細分化の効果はほとんど得られないと考えられることが分かった。そのため、この領域には磁区制御を行わない方が好ましく、その結果として、非磁区制御領域の磁区幅の平均値は $500 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。また、非磁区制御領域の磁区幅の最大値は $1000 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0037] 磁区制御領域および非磁区制御領域のそれぞれの β 角の絶対値の平均値は以下の方法で求める。

例えば、1 辺の長さが 100mm (又は 100mm 以上) の試料を、方向性電磁鋼板 1 から切り出して、測定に供することができる。方向性電磁鋼板 1 がコイルである場合は、コイルの任意の箇所から試料を採取すればよい。

また、方向性電磁鋼板 1 が、変圧器やモータなどの電機製品に組み込まれた部品とされている場合も、当該部品の任意の箇所から試料を採取すればよい。部品のサイズが小さい場合、試料の 1 辺の長さを 100 mm 未満としてもよい。この場合、試料面積の合計値が 10000 mm² 以上となるようにする。その際、試料に機械歪み等の影響を最小とするためワイヤーカット加工等の方法で試料を採取することが望ましい。

この試料の表面に対し、圧延方向に直角な方向（幅方向）TD に平行な仮想線 VL 1 と、圧延方向 RD に平行な仮想線 VL 2 を引く。仮想線 VL 1 および VL 2 の間隔はともに 5 mm とする。この仮想線 VL 1 と VL 2 との交点を VP 1 とし、この VP 1 の β 角の絶対値を測定し、その平均を β 角の絶対値の平均値とする。ただし、 β 角は、測定し得られた数値の小数第二位を四捨五入して得られた値とする。すなわち、 β 角の有効数字を小数第一位までとする。 β 角は、側面反射ラウエ法によって測定する。側面反射ラウエ法は、結晶方位の測定方法として広く知られている。

[0038] 非磁区制御領域の磁区幅の平均値、最大値は、以下の方法で求める。

方向性電磁鋼板から、非磁区制御領域を含む、1 辺の長さが 100 mm（又は 100 mm 以上）あるいは試料面積の合計値が 10000 mm² 以上となるように試料を採取する。

この試料に対し、光源部と、磁気光学センサ（MOセンサ）と、イメージセンサと、信号処理部とを備える画像取得装置によって磁区画像を取得する。この磁区画像を、ケーブルを介して又は無線通信により、演算部と、メモリと、表示部と、入力部と、通信 I/F とを備えるパーソナルコンピュータ（PC）等のコンピュータデバイスである解析装置に出力する。演算部において、線分法を用いて、磁区画像から磁区構造を解析する。

線分法での測定の例について説明する。図 3 C は、Matesy GmbH 社製 CMOS-MagView によって取得した磁区画像である。また、図 3 D は、測定の説明をするために図 3 C を模式的に示した図である。

線分法では、磁区と垂直な線分 L_s を引いて評価する。線分の間隔は、圧

延方向RD1cmあたり3本となるように引く。180°磁壁と線分L_sとの交点I_pの間隔wに基づいて、磁区幅を導出する。ただし、還流磁区301やノイズ302がある場合には、これらは磁壁であるとカウントしない。また、磁区幅の平均値を出す場合は、それぞれの線分L_sの長さとの交点I_pの個数とから、平均の間隔を求める。

[0039] 上述したいずれのパラメータの測定も、方向性電磁鋼板1から採取された所定サイズの試料に対して行われる。方向性電磁鋼板1がコイルである場合は、コイルの任意の箇所から試料を採取すればよい。また、方向性電磁鋼板1が、変圧器やモータなどの電機製品に組み込まれた部品とされている場合も、当該部品の任意の箇所から試料を採取すればよい。部品のサイズが小さい場合、試料の1辺の長さを小さくしてもよいが、試料面積の合計値が同じになるようにする。試料の採取に際しては、試料に機械歪等の影響を最小とするためワイヤーカット加工等の方法で試料を採取することが望ましい。

[0040] 本開示に係る方向性電磁鋼板では、磁区制御処理線における、磁区制御の強度の指標である、溝の深さ又は熱歪みに導入された引張応力の最大値が、溝の深さ又は引張応力の測定点毎に不均一であることが好ましい。

磁区制御の強度が大きいほど、磁区細分化の効果が高い一方、磁区制御の強度が大きいほど、ヒステリシス損の増大や騒音特性の悪化を招きやすい。本発明者らの新たな知見によれば、方向性電磁鋼板においては、磁区制御飽和強度が一様ではない。そのため、磁区制御飽和強度に応じて磁区制御強度を不均一とすることが好ましい。

磁区制御飽和強度とは、磁区細分化処理の効果が実質的に飽和する磁区制御強度のことである。磁区制御強度が磁区制御飽和強度以下である場合は、磁区制御強度が大きいほど、鉄損は低減される。しかしながら、磁区制御強度が磁区制御飽和強度を超過する場合は、磁区制御強度を高めても鉄損低減効果はほとんど高められない。一方、磁区制御強度が磁区制御飽和強度を超過する場合であっても、磁区制御の強度が大きいほど、ヒステリシス損が増大し、騒音特性が悪化する。従って、磁区制御強度は、磁区制御飽和強度を

超過しない範囲内とすることが極めて好ましい。

[0041] 磁区制御処理線が熱歪みであるときは、仮想線と、複数の磁区制御処理線との複数の交点のそれぞれを磁区細分化点とし、磁区細分化点のそれぞれにおいて測定される、熱歪みに導入された単位MPaでの引張応力の前記最大値を $T S_m$ 、 $T S_m$ の分散を $\sigma (T S_m)^2$ としたとき、 $\sigma (T S_m)^2 > 5.0$ を満たすことがより好ましい。

[0042] 「熱歪みに導入される引張応力の最大値」とは、一つの任意の測定用断面において測定される、引張応力の最大値である。一つの測定用断面において引張応力はばらついており、従って、一つの測定用断面に対して、一つの「熱歪みに導入される引張応力の最大値」が特定される点である。図11に模式的に示されるように、熱歪み541は、断面においてある程度の広がりを持している。レーザが直接的に照射された部位において最も引張応力が大きく、当該部位から離れた部位では引張応力が小さい。即ち、断面における測定部位ごとに、引張応力の測定値が異なる。後述の引張応力の測定方法によれば、断面における引張応力の分布、及び最大値を導出することができる。

[0043] 磁区制御強度が均一である場合、磁区制御処理線11の全体にわたり、熱歪み541に導入される引張応力の最大値は一定値となる。一方、磁区制御強度が不均一である場合、磁区制御処理線における、熱歪みに導入された引張応力の最大値が、引張応力の測定点毎に不均一である。以下、熱歪みに導入された引張応力の最大値を、単に「引張応力」と称する場合がある。

[0044] また、本発明者らは、磁区制御飽和強度は β 角と強い相関関係を有することを知見した。 β 角とは、圧延直角方向(TD)の軸まわりにおける結晶粒のGoss方位からのずれ角のことである。 β 角が小さい箇所では、磁区制御飽和強度が大きい。また、磁区制御処理をする前の方向性電磁鋼板において、 β 角と磁区幅との間にも相関関係がある。磁区制御処理をする前の方向性電磁鋼板では、 β 角が大きいほど磁区幅が狭い。ただし、磁区制御処理後の方向性電磁鋼板では、磁区幅と β 角との相関関係は小さくなる。磁区制御処理は、磁区幅を変化させる一方で、 β 角を変化させないからである。

[0045] 従って、磁区幅又は β 角の大きさに応じて、最適な磁区制御強度を選択することが好ましい。例えば、磁区幅が広く、 β 角が小さい箇所では、磁区制御強度が大きい磁区細分化処理を行い、磁区幅が狭く、 β 角が大きい箇所では、磁区制御強度が小さい磁区細分化処理を行うことが好ましい。また、上述の通り、元の磁区幅が狭い領域には磁区細分化処理を施さない。

具体的には、磁区細分化点のうち、 β 角が 2° 未満の磁区細分化点のそれぞれにおいて測定される、熱歪みに導入された単位MPaでの引張応力の最大値の、算術平均値を $TS_m (\beta < 2)$ とし、磁区細分化点のうち、 β 角が 2° 以上の磁区細分化点のそれぞれにおいて測定される、熱歪みに導入された単位MPaでの引張応力の最大値の、算術平均値を $TS_m (\beta \geq 2)$ としたとき、 $TS_m (\beta < 2) > TS_m (\beta \geq 2)$ を満たすことが好ましい。

この場合、磁区制御後の方向性電磁鋼板の鉄損がさらに低減される。その一方で、磁区制御後の方向性電磁鋼板のヒステリシス損の増大や騒音特性の悪化は、一層抑制される。

[0046] TS_m 及び $\sigma (TS_m)^2$ の測定方法の一例を図13を用いて説明する。図13における破線が、方向性電磁鋼板の圧延方向RDに沿って平行に5mm間隔で設定される複数の仮想線VLである。図13におけるX印及びO印が、仮想線VLと、磁区制御処理線である熱歪み541との交点である。X印が付された箇所における β 角は 2° 以上であり、O印が付された箇所における β 角は 2° 未満である。ただし、 $\sigma (TS_m)^2$ の算出に当たって、交点の β 角は考慮する必要がない。

[0047] まず、方向性電磁鋼板の圧延方向RDを特定する。圧延方向RDは、後述の方法で特定することができる。次に、方向性電磁鋼板の圧延方向RDに沿って平行に5mm間隔で仮想線VLを設定する。そして、仮想線VLと、磁区制御処理線である熱歪み541との交点を特定する。熱歪み541が肉眼で視認できない場合は、磁区画像に基づいて熱歪み541を特定する。測定試料の形状は、圧延方向RDに沿った大きさが100mm以上であり、且つ圧延直角方向TDに沿った大きさが100mm以上である長方形とすること

が好ましい。長方形の一辺は、圧延方向RDと平行にすることが好ましい。

[0048] そして、一辺の長さが50mmであり、且つ一辺が前記圧延方向と平行である正方形の評価領域を設定し、測定領域の全ての交点における TS_m を測定し、 TS_m の分散 $\sigma(TS_m)^2$ を算出する。熱歪みにおいて導入される引張応力 TS_m は、EBSD Wilkinson法およびBLG Vantage社製Cross Courtにより測定する。

[0049] EBSD Wilkinson法およびBLG Vantage社製Cross Courtによって熱歪みにおいて導入される引張応力の大きさを測定する際には、まず、上述の手順で磁区制御処理線である熱歪み541を特定する。次に、磁区制御処理線を通り、且つ磁区制御処理線に垂直に、方向性電磁鋼板1を切断する。この切断面を、測定面として用いる。測定面に含まれる、磁区制御処理線の断面に対して、EBSD Wilkinson法およびBLG Vantage社製Cross Courtによって解析を行い、任意の方向に対する引張応力成分を抽出し、その大きさを測定する。例えば、圧延面法線方向、磁区制御処理線と平行な方向、圧延面法線方向と磁区制御処理線とに垂直な方向の引張応力成分を抽出できる。

複数の測定点それぞれにおいて特定された引張応力の最大値 TS_M の分散 $\sigma(TS_M)^2$ は、JIS Z 8101-1:2015「統計—用語及び記号—第1部：一般統計用語及び確率で用いられる用語」の段落2.36に記載された母分散の導出方法に従って導出する。

[0050] また、 $TS_{m(\beta < 2)}$ 及び $TS_{m(\beta \geq 2)}$ は以下の方法で測定する。

まず、交点における β 角を測定することにより、 β 角が 2° 以上の交点、及び β 角は 2° 未満の交点を特定する。方向性電磁鋼板における β 角の測定は、側面反射ラウエ法によって行う。側面反射ラウエ法は、結晶方位の測定方法として広く知られている。

次に、 β 角が 2° 以上の全ての交点それぞれにおいて、引張応力の最大値 TS_m を特定し、これらの値の算術平均値を算出する。この値を $TS_{m(\beta \geq 2)}$ とみなす。

さらに、 β 角は 2° 未満の全ての交点それぞれにおいて、引張応力の最大値 $T S_m$ を特定し、これらの値の算術平均値を算出する。この値を $T S_m (\beta < 2)$ とみなす。交点における熱歪み541に導入された引張応力の最大値 $T S_m$ の測定方法は、上述の通りである。

[0051] 磁区制御処理線が溝であるときは、表面に、一辺の長さが50mmであり、且つ一辺が前記圧延方向と平行である正方形の評価領域を設定し、さらに、評価領域の内部に、圧延方向に平行且つ長さ50mmの仮想線を前記圧延方向に垂直な方向に5mm間隔で設定した場合において、仮想線と、複数の磁区制御処理線との複数の交点のそれぞれを磁区細分化点とし、磁区細分化点のそれぞれにおいて測定される、単位 μm での溝の深さの最大値を D_m 、前記 D_m の分散を $\sigma (D_m)^2$ としたとき、 $\sigma (D_m)^2 > 3.0$ を満たすことがより好ましい。

この場合、磁区制御強度が磁区幅の大きさ又は β 角の大きさに基づいて変更されており、磁区制御後の方向性電磁鋼板のヒステリシス損の増大や騒音特性の悪化は、一層抑制される。

[0052] また、磁区細分化点のうち、 β 角が 2° 未満の磁区細分化点のそれぞれにおいて測定される、単位 μm での前記溝の深さの最大値の、算術平均値を $D_m (\beta < 2)$ とし、磁区細分化点のうち、 β 角が 2° 以上の磁区細分化点のそれぞれにおいて測定される、単位 μm での溝の深さの最大値の、算術平均値を $D_m (\beta \geq 2)$ としたとき、 $D_m (\beta < 2) > D_m (\beta \geq 2)$ を満たすことがさらに好ましい。

この場合、磁区制御処理線においては、 β 角が小さい所では磁区制御強度が大きく、 β 角が大きい所では磁区制御強度が小さくされている。従って、磁区制御後の方向性電磁鋼板の鉄損がさらに低減される。その一方で、磁区制御後の方向性電磁鋼板のヒステリシス損の増大や騒音特性の悪化は、一層抑制される。

[0053] D_m 及び $\sigma (D_m)^2$ の測定方法の一例を図14に示す。図14における破線が、方向性電磁鋼板の圧延方向RDに沿って平行に5mm間隔で設定される複数の仮想線VLである。図14におけるX印及びO印が、仮想線VLと、

磁区制御処理線である溝542との交点である。X印が付された箇所における β 角は 2° 以上であり、O印が付された箇所における β 角は 2° 未満である。ただし、 $\sigma(D_m)^2$ の算出に当たって、交点の β 角は考慮する必要がない。

[0054] まず、方向性電磁鋼板の圧延方向を特定する。次に、方向性電磁鋼板の圧延方向RDに沿って平行に5mm間隔で仮想線VLを設定する。そして、仮想線VLと磁区制御処理線との交点を特定する。磁区制御処理線が溝542である場合、磁区制御処理線を肉眼で視認することは容易である。測定領域の形状は、圧延方向RDに沿った大きさが100mm以上であり、且つ圧延直角方向TDに沿った大きさが100mm以上である長方形とすることが好ましい。長方形の一辺は、圧延方向RDと平行にすることが好ましい。

[0055] そして、一辺の長さが50mmであり、且つ一辺が前記圧延方向と平行である正方形の評価領域を設定し、測定領域における全ての交点における溝の深さの最大値 D_m を測定し、溝の深さの最大値 D_m の分散 $\sigma(D_m)^2$ を算出する。溝の深さの最大値 D_m の測定方法は以下の通りである。Bruker社製、白色干渉顕微鏡Contour GT-1を用いて測定する。使用するレンズは対物5倍（開口数0.12、光学分解能 $2.2\mu\text{m}$ ）内部1倍を用い、光源は白色LED、カメラはモノクロCCD（ 1200×1000 画素）を用いる。画素サイズは、 $1.37\mu\text{m}$ とし、解析ソフトVision64 Map Premium9.2を用いて、最小二乗平面への当てはめによる傾斜補正を行った後、カットオフ値 2.5mm のガウシアンフィルタを用いて長波長のうねりを除去し解析した。解析時必要に応じて画素サイズを $10\mu\text{m}$ に再サンプリングしてもよい。また、明らかに異常点と判断される部分は解析から除外してもよい、サンプルの性状によって、レンズの種類、フィルタの値、補正の方法を変更してもよい。方向性電磁鋼板に溝が形成されているものの、絶縁被膜等によって表面から凹凸が測定出来ない場合は、公知の方法を用いて絶縁被膜等を除去して上記の測定を行う。

[0056] まず、交点における β 角を測定することにより、 β 角が 2° 以上の交点、

及び β 角は 2° 未満の交点を特定する。次に、 β 角が 2° 以上の全ての交点における D_m の算術平均値を算出し、これを $D_{m(\beta \geq 2)}$ とみなす。さらに、 β 角は 2° 未満の全ての交点における D_m の算術平均値を算出し、これを $D_{m(\beta < 2)}$ とみなす。交点における溝の深さの最大値 D_m の測定方法は上述の通りである。

[0057] (被膜)

方向性電磁鋼板1は、表面にフォスフェイト被膜を有してもよい（すなわち、方向性電磁鋼板は、母材鋼板と母材鋼板の表面に形成されたフォスフェイト被膜からなってもよい）。また、方向性電磁鋼板1は、母材鋼板の表面、又はフォスフェイト被膜の表面に絶縁被膜を有してもよい（すなわち、方向性電磁鋼板は、母材鋼板と母材鋼板の表面に形成されたフォスフェイト被膜と、フォスフェイト被膜の表面に形成された絶縁被膜からなってもよく、母材鋼板と母材鋼板の表面に形成された絶縁被膜からなってもよい）。

フォスフェイト被膜及び絶縁被膜は、方向性電磁鋼板1の片面に形成されていても、両面に形成されていてもよい。

[0058] フォスフェイト被膜は、例えば、ケイ酸マグネシウムを主成分とする無機質の被膜である。フォスフェイト被膜は例えば、仕上げ焼鈍において、母材鋼板の表面に塗布されたマグネシア (MgO) を含む焼鈍分離剤と母材鋼板の表面の成分とが反応することにより形成される。フォスフェイト被膜は、例えば、焼鈍分離剤及び母材鋼板の成分に由来する組成（より詳細には、 Mg_2SiO_4 を主成分とする組成）を有する。一方、仕上げ焼鈍において Al_2O_3 を主体とする焼鈍分離剤を用いた場合には、フォスフェイト被膜が形成されない場合がある。

[0059] 絶縁被膜は、方向性電磁鋼板1に電気絶縁性及び張力を付与する機能を有する。方向性電磁鋼板1に張力を付与して、方向性電磁鋼板1における磁壁移動を容易にすることで、方向性電磁鋼板1の鉄損を低減することができる。また、絶縁被膜によれば、耐蝕性、耐熱性、すべり性といった種々の特性

を方向性電磁鋼板 1 にもたらすことができる。絶縁被膜は、例えば、リン酸塩とコロイダルシリカとを主成分とするコーティング溶液をフォーステライト被膜の表面に塗布し、焼付けることによって形成される公知の被膜であつてよい。

[0060] [製造方法]

本実施形態に係る方向性電磁鋼板は、製造方法によらず、上記の特徴を有していれば、その効果が得られる。しかしながら、以下の方法によれば、安定して製造できるので好ましい。

すなわち、本実施形態に係る方向性電磁鋼板は、下記 (1) ~ (111) の工程を含む製造方法によって製造することができる。磁区幅の分布が明らかかな場合には、(1)、(11) の工程を省略してもよい。

(1) 方向性電磁鋼板の磁区画像を取得する磁区画像取得工程。

(11) 磁区画像取得工程において得られた磁区画像に基づいて、方向性電磁鋼板における、磁区幅が 500 μ m 超である領域を特定する領域特定工程。

(111) 方向性電磁鋼板の表面に磁区制御処理線を形成する磁区制御処理線形成工程。

それぞれの工程について説明する。

[0061] 磁区画像取得工程に供する、あるいは、磁区画像取得工程、又は磁区画像取得工程及び領域特定工程を行わない場合には磁区制御処理線形成工程に供する、方向性電磁鋼板 (原板) は、公知の方向性電磁鋼板でよい。

例えば、原板は、化学組成として、質量%で、Si : 2.50 ~ 7.00 %、Mn : 0 ~ 1.00 %、C : 0 ~ 0.085 %、酸可溶性 Al : 0 ~ 0.065 %、N : 0 ~ 0.012 %、Cr : 0 ~ 0.300 %、Cu : 0 ~ 0.400 %、P : 0 ~ 0.500 %、Sn : 0 ~ 0.300 %、Sb : 0 ~ 0.300 %、Ni : 0 ~ 1.000 %、S : 0 ~ 0.015 %、Se : 0 ~ 0.015 %、Bi : 0 ~ 0.020 %、Nb : 0 ~ 0.030 %、V : 0 ~ 0.030 %、Mo : 0 ~ 0.030 %、Ta : 0 ~ 0.030 %、

W : 0 ~ 0.030%、B : 0 ~ 0.080%、Ti : 0 ~ 0.015%を含有することができる。化学組成の残部は、Fe及び不純物を含む。

原板となる方向性電磁鋼板には、表面にフォスフェイト被膜が形成されていてもよい。

[0062] (磁区画像取得工程)

(領域特定工程)

磁区画像取得工程では、磁区制御処理線形成工程の前に、方向性電磁鋼板の表面の磁区画像を取得する。領域特定工程では、磁区画像取得工程において得られた磁区画像に基づいて、方向性電磁鋼板における、磁区幅が500 μm 超である領域を特定する。

上述のように、磁区幅が狭い領域では磁区細分化効果が小さく、磁区幅が約500 μm 以下の領域においては、磁区制御による磁区細分化の効果はほとんど得られないと考えられる。そのため、この領域には磁区制御を行わない方が好ましい。

後工程である磁区処理線形成工程では、方向性電磁鋼板1の表面に非磁区制御領域13が形成されるように、磁区制御処理線を形成する。磁区幅が500 μm 超である領域を特定し、その領域に主に磁区制御処理を行うことで、磁区制御処理線を減らすことができ、騒音特性の悪化を抑制しながら、鉄損を低減することができる。

[0063] (磁区制御処理線形成工程)

磁区制御処理線形成工程では、領域特定工程で特定された、磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線を形成する(磁区幅が500 μm 以下の領域への磁区制御処理線の形成は行わないことが好ましいが、割合が小さければ許容される)ことで、方向性電磁鋼板の表面に圧延方向に交差する方向に延在する複数の磁区制御処理線を形成する。その際、磁区制御領域12と、非磁区制御領域13とが形成されるように、磁区制御処理線を形成する。また、非磁区制御領域における β 角の絶対値の平均値 $|\beta_{NDr}|$ 、及び磁区制御領域における β 角の絶対値の平均値 $|\beta_{Dr}|$ が、下記式(5

)を満たす、ように、磁区制御処理線を形成する。

$$|\beta D r| - |\beta N D r| \leq -0.1^\circ \quad (5)$$

β 角は磁区制御処理によって変化しないので、磁区制御処理線形成工程前の方向性電磁鋼板の各位置での β 角を調べることで、式(5)を満たすように、磁区制御処理線を形成することができる。

[0064] 好ましくは、磁区細分化処理前の方向性電磁鋼板の磁区幅に応じて、磁区制御強度を決定する。磁区制御強度とは、磁区制御の手段が熱歪みである場合は熱歪みの量であり、磁区制御の手段が溝である場合は溝の深さである。この場合、磁区制御処理線における、熱歪みに導入された引張強さの最大値又は溝の深さが、引張強さ又は溝の深さの測定点毎に不均一になる。

[0065] 磁区制御の強度が大きいほど、磁区細分化の効果が高い。一方、磁区制御の強度が大きいほど、ヒステリシス損の増大や騒音特性の悪化を招きやすい。また、本発明者らの新たな知見によれば、方向性電磁鋼板においては、磁区制御飽和強度が一様ではない。

[0066] 磁区制御飽和強度とは、磁区細分化処理の効果が飽和する磁区制御強度のことである。磁区制御強度が磁区制御飽和強度以下である場合は、磁区制御強度が大きいほど、鉄損は低減される。しかしながら、磁区制御強度が磁区制御飽和強度を超過する場合は、磁区制御強度を高めても鉄損低減効果は高められない。ただし、磁区制御強度が磁区制御飽和強度を超過する場合であっても、磁区制御の強度が大きいほど、ヒステリシス損が増大し、騒音特性が悪化する。従って、磁区制御強度は、磁区制御飽和強度を超過しない範囲内とすることが極めて好ましい。

[0067] 具体的には、磁区幅が広く、 β 角が小さい箇所では、磁区制御強度が大きい磁区細分化処理を行い、磁区幅が狭く、 β 角が大きい箇所では、磁区制御強度が小さい磁区細分化処理を行うことが好ましい。 β 角が大きい領域においては、磁区制御の効果が得られないので、磁区制御飽和強度は0である。 β 角が所定値を下回る領域においては、磁区制御の効果が得られる。例えば β 角が 2° 以下である場合、磁区制御の効果が得られると推定される。そし

て、 β 角が所定値を下回る領域においては、 β 角が拡大するほど、磁区制御飽和強度も大きくなる。そして、 β 角がさらに小さい領域においては、磁区制御飽和強度は略一定となる。

[0068] 図9に、磁区幅に基づいて磁区制御強度を定める方法を模式的に説明するグラフを示す。図9の縦軸は磁区制御強度であり、横軸は磁区幅の大きさである。図9の実線のグラフは、磁区制御飽和強度である。磁区幅が狭い領域においては、磁区制御の効果が得られないので、磁区制御飽和強度は0である。磁区幅が $500\mu\text{m}$ を超える領域においては、磁区制御の効果が得られる。そして、磁区幅が $500\mu\text{m}$ を超える領域においては、磁区幅が拡大するほど、磁区制御飽和強度も大きくなる。そして、磁区幅が約 $1200\mu\text{m}$ を超える領域においては、磁区制御飽和強度は略一定となる。

[0069] 図10に、 β 角に基づいて磁区制御強度を定める方法を模式的に説明するグラフを示す。図10の縦軸は磁区制御強度であり、横軸は β 角の大きさである。図10の実線のグラフは、磁区制御飽和強度である。 β 角が大きい領域においては、磁区制御の効果が得られないので、磁区制御飽和強度は0である。 β 角が所定値を下回る領域においては、磁区制御の効果が得られる。例えば β 角が 2° 以下である場合、磁区制御の効果が得られると推定される。そして、 β 角が所定値を下回る領域においては、 β 角が拡大するほど、磁区制御飽和強度も大きくなる。そして、 β 角がさらに小さい領域においては、磁区制御飽和強度は略一定となる。

[0070] 磁区制御を実施する箇所の磁区幅と、磁区制御強度との関係が、図9における実線のグラフ上にあることが最も好ましい。又は、磁区制御を実施する箇所の β 角と、磁区制御強度との関係が、図10における実線のグラフ上にあることが最も好ましい。磁区制御飽和強度は、磁区制御強度の目標値として用いることができる。

[0071] さらに、磁区制御効果が発現する最小の強度である磁区制御最小強度が存在する。磁区制御をする場合は、磁区制御強度が、磁区制御最小強度以上であることが一層好ましい。

[0072] ただし、磁区制御強度は、目標値である磁区制御飽和強度に対して若干ばらついていてもよい。図9及び図10において、磁区制御最小強度以上の領域であって、且つ、磁区制御飽和強度のグラフから一定範囲内の領域を、磁区制御強度の目標範囲と称する。磁区制御強度及び磁区制御対象部の磁区幅は、図9及び図10における破線で囲まれた網掛け領域の内部にあることが好ましい。

[0073] 磁区制御処理線は、熱歪みでもよく、溝でもよい。熱歪みとする場合には、レーザ又は電子ビームの照射によって前記磁区制御処理線を形成する。照射条件は公知の範囲でよい。磁区制御処理線が熱歪みの場合、磁区制御強度は、レーザ又は電子ビームの照射条件によって変化させることができる。具体的には、レーザ又は電子ビームのパワー、照射時間、照射間隔等を変化させ、単位面積当たりの平均照射エネルギー密度 U_a (mJ/mm^2) を変化させればよい。

溝とする場合には、レーザ又は電子ビームを照射する方法、歯車などの機械的加工による方法、エッチングなどの化学的処理による方法などが挙げられ、これらの時間や強度、形状等を調整し方向性電磁鋼板に形成する溝の深さを変化させればよい。

[0074] 磁区制御処理線の形成方向（レーザ等であれば走査方向）や、磁区制御処理線の圧延方向RDの間隔、磁区制御処理線の、溝であればその幅や深さは、上述した本実施形態に係る方向性電磁鋼板の範囲となるように公知の方法で制御すればよい。

[0075] （磁区画像取得工程～各磁区制御処理線形成工程における具体的な方法）

磁区画像の取得と、磁区幅が $500\ \mu\text{m}$ 超である領域の特定は以下の方法で行うことができる。

表面の磁区画像は、例えば画像取得装置により取得することができる。次いで、磁区画像から 180° 磁区の幅（磁区幅）の分布を導出する。原板における磁区幅の分布は、例えば解析装置を用いることにより導出可能である。

磁区幅が所定値以上（例えば、約500 μ m超）の領域を、磁区制御処理を行うべき領域（以下単に処理領域という場合がある）として決定する。

[0076] 解析装置の表示部に表示された磁区画像をオペレータの目視で観察することによって、処理領域を決定してもよい。

[0077] 図4に、原板（磁区制御処理前の方向性電磁鋼板1）の磁区画像を取得する画像取得装置30のハードウェア構成の一例を示す。画像取得装置30は、光源部31と、磁気光学センサ（MOセンサ33）と、イメージセンサ35と、信号処理部37とを備える。

[0078] 光源部31は、発光ダイオード（LED）からなる光源を有しており、MOセンサ33に対して、偏光面の揃った光を照射する。

[0079] MOセンサ33は、磁性体の磁区構造を測定する装置である。MOセンサ33は、測定対象である磁性体試料が載置される観察面を有する。光源部31から照射された光は、MOセンサ33の内部を通過して反射層で反射される。反射光は、MOセンサ33の内部を再び通過して、MOセンサ33の外部に出力される。磁性体試料である原板がMOセンサ33の観察面上に載置されると、MOセンサ33の内部に、原板の自発磁化の向きに応じた漏れ磁場が生じる。この漏れ磁場によって、反射光の偏光面が回転する。

[0080] イメージセンサ35は、Complementary Metal-Oxide-Semiconductor（CMOS）イメージセンサである。イメージセンサ35は、MOセンサ33からの反射光を受光面に結像させて光電変換し、光電変換後のアナログ信号を信号処理部37に出力する。偏光面が回転した反射光をイメージセンサ35で検出することにより、漏れ磁場の分布を得ることができ、原板の磁区構造が明らかとなる。

[0081] 信号処理部37は、アンプ、ADコンバータ、Digital Signal Processor（DSP）等を有する。イメージセンサ35から出力されたアナログ信号は、アンプにより増幅される。そしてアナログ信号は、ADコンバータによりデジタル信号に変換される。このデジタル信号に、DSPを用いた所定のデジタル処理を施すことにより、画像信号が生成さ

れる。信号処理部37で生成された画像信号は、ケーブルを介して、又は無線通信により、解析装置40（図5参照）に出力される。

[0082] 図5に、原板の磁区構造を解析する解析装置40のハードウェア構成を示す。解析装置40は、パーソナルコンピュータ（PC）等のコンピュータデバイスである。解析装置40は、演算部41と、メモリ43と、表示部45と、入力部47と、通信I/F49とを備える。

[0083] 演算部41は、Central Processing Unit（CPU）を有する。演算部41は、メモリ43に記憶されたプログラムに従って、原板の磁区画像から磁区構造を解析する。そして演算部41は、磁区制御処理を適用する箇所である処理領域を決定する。演算部41によって実行される処理については、後に詳細に説明する。

[0084] メモリ43は、Read Only Memory（ROM）及びRandom Access Memory（RAM）を有する。ROMは、演算部41のCPUによって実行されるプログラム、及びこれらのプログラムの実行のために必要なデータを格納する。ROMに格納されたプログラム及びデータは、RAMにロードされて実行される。

[0085] メモリ43は、ハードディスクドライブ（HDD）等の磁気メモリ、又は光ディスク等の光メモリを有してもよい。あるいは、メモリ43は、解析装置40に着脱可能で、コンピュータ読み取り可能な記録媒体にプログラムやデータを格納するようにしてもよい。あるいは、メモリ43は、演算部41で実行されるプログラムを、通信I/F49を介してネットワークから受信するようにしてもよい。

[0086] 表示部45は、液晶ディスプレイ（LCD）、プラズマディスプレイ、又は有機エレクトロ・ルミネッセンス（EL）ディスプレイ等のディスプレイを有する。表示部45は、画像取得装置30から出力された画像信号に基づいて画像を表示する。また、表示部45は、演算部41による磁区構造の解析結果を表示する。

[0087] 入力部47は、マウス、キーボード等の入力デバイスを有する。通信I/

F49は、Local Area Network (LAN)、Wide Area Network (WAN)、インターネット等のネットワークを介して外部機器との間でデータの送受信を行うためのインターフェースである。

[0088] 演算部41として、CPU等の汎用ハードウェアの代わりに、磁区構造の解析に特化した、特定用途向け集積回路 (ASIC) 又はField Programmable Gate Array (FPGA) 等の専用ハードウェアを採用してもよい。

[0089] 図4及び図5は、画像取得装置30と解析装置40とが別々のデバイスである場合を示しているが、画像取得装置30及び解析装置40が一体化したシステムを採用してもよい。

[0090] 原板の表面に熱歪みを導入する手段として、レーザの照射、電子ビームの照射、イオン注入等の公知の手段を採用することができる。原板の表面に溝を形成する手段として、レーザの照射、電子ビームの照射、機械加工等の公知の手段を採用することができる。以下では、レーザ照射により熱歪みを導入するレーザ照射装置500の構成について説明する。

[0091] 図6に、レーザ照射装置500の構成を示す。レーザ照射装置500は、ポリゴンミラー501と、光源装置503と、コリメータ505と、集光レンズ507と、モータ509と、センサ511と、制御部513と、通板装置515とを備える。

[0092] 通板装置515は、原板を圧延方向RDに通板する。

[0093] ポリゴンミラー501は、例えば正多角柱状をなす。正多角柱状のポリゴンミラー501を構成する複数の側面に、それぞれ、複数の平面鏡が設けられている。レーザビームLBが、光源装置503からコリメータ505を介して、ポリゴンミラー501の平面鏡に一方向（水平方向）に入射し、平面鏡で反射される。

[0094] ポリゴンミラー501は、モータ509からの駆動によって回転軸O1周りに回転可能である。ポリゴンミラー501の回転角度に応じて、平面鏡に

対するレーザービームLBの入射角が順次変化する。これにより、レーザービームLBの反射方向が順次変化し、原板の表面を走査することができる。図6の符号Pは、隣接する磁区制御処理線11の間隔、即ちレーザービームLBの照射ピッチを表している。

[0095] 光源装置503は、制御部513の制御のもとで、所定の照射方式（例えば、連続照射方式又はパルス照射方式）でレーザービームLBを出力する。

[0096] 集光レンズ507は、ポリゴンミラー501から反射されたレーザービームLBの光路に設けられている。集光レンズ507は、所定の焦点距離の集光光学系を構成している。ポリゴンミラー501から反射されたレーザービームLBが、集光レンズ507を介して原板の表面に集光されることで、原板の表面に熱歪みが導入される。

[0097] モータ509は、ポリゴンミラー501と連結されている。モータ509は、制御部513の制御のもとで、ポリゴンミラー501を回転駆動する。

[0098] センサ511は、モータ509の駆動軸と連結されている。センサ511は、モータ509によって回転するポリゴンミラー501の回転角度を検出する。さらにセンサ511は、検出した回転角度を示す信号（以下、回転角度信号という。）を制御部513に出力する。

[0099] 制御部513は、プロセッサからなる。制御部513は、光源装置503、モータ509、センサ511、及び通板装置515と接続されている。制御部513は、通板装置515から速度信号の入力を受ける。さらに制御部513は、モータ509に対して、ポリゴンミラー501の回転駆動を指示する信号を出力する。

[0100] また、制御部513は、処理領域を表す応力導入信号と、センサ511から出力された回転角度信号とに基づいて、光源装置503が出力するレーザービームLBのパワーのオンとオフを制御する。レーザー照射装置500が解析装置40に電氣的に接続されている場合、応力導入信号は、解析装置40からレーザー照射装置500に入力される。応力導入信号は、オペレータによってレーザー照射装置500に入力されてもよい。

[0101] 次に、処理領域を決定する方法の一例について詳細に説明する。処理領域を特定するための処理は、例えば、解析装置40の演算部41によって実行される。

[0102] 演算部41は、例えば線分法を用いて、原板の磁区幅の分布を導出する。そして演算部41は、磁区幅が所定値以上（例えば、約500 μm 超）の領域を、磁区制御処理を優先的に適用する箇所として決定する。

[0103] 線分法では、磁区と垂直な線分を引いて評価する。線分の間隔は、磁区と平行な方向1cmあたり3本となるように引く。180°磁壁と線分との交点の間隔に基づいて、磁区幅を導出する。

[0104] 図3Aに、Matesy GmbH社製 CMOS-MagViewによって取得した磁区画像を、さらに二次元フーリエ変換で解析して得られた、磁区制御処理前の方向性電磁鋼板1の磁区幅の分布の一例を示す。図3Bに、図3Aと同様の要領で得られた、図3Aの方向性電磁鋼板1の表面に対して磁区制御処理を施した後の磁区幅の分布を示す。ここでの磁区制御処理は、圧延方向RDにほぼ垂直な方向に沿って連続波のレーザ照射をすることによってなされたものである。図3A~図3Bにおいて、数値の単位は μm である。

二次元フーリエ変換を用いた解析の例として、音声信号の時間・周波数解析に古くから用いられている信号処理法の一つである短区間フーリエ変換（short-term Fourier transform）を二次元領域に拡張した短区間二次元フーリエ変換（以下、「ST2DFT」と呼ぶ。）を用いて、磁区幅の分布を導出する方法について説明する。

[0105] 画像取得装置30で取得された画像信号が表す画像（磁区画像）を二次元座標（ $k-l$ 座標）のデータ列として $x(k, l)$ と表記する。本実施形態において解析対象とする磁区画像は、2種類の色によって二値化された画像、又はグレースケールなど、3以上の階調（多階調）で表現された画像である。

[0106] 原板2の磁区幅の分布を導出するため、演算部41は、以下の(A-1)

、(A-2)及び(A-3)の処理を実行する。

(A-1) 磁区画像から複数の部分領域を切り出す処理；

(A-2) ST2DFTを行う処理；

(A-3) 磁区幅の分布を導出する処理。

以下、A-1～A-3の処理について詳細に説明する。

[0107] (A-1) 磁区画像から複数の部分領域を切り出す処理

磁区画像から複数の部分領域を切り出して、それぞれの周波数構造を分析するために、 k 方向の範囲を $0 \leq k \leq N_k - 1$ とし、 l 方向の範囲を $0 \leq l \leq N_l - 1$ とした矩形窓の窓関数 $W_a(k, l)$ を用いる(N_k 及び N_l は自然数)。窓関数 $W_a(k, l)$ としては、Hamming窓、Hanning窓、Blackman窓などが適用可能である。

[0108] 磁区画像のデータ列 $x(k, l)$ における観察位置をインデックス(n, m)で表記し、 k 方向及び l 方向における窓関数 $W_a(k, l)$ のシフト量を、それぞれ、 S_k 及び S_l と表記すると(n, m, S_k, S_l は整数)、式(1)のように、磁区画像から $nS_k \leq k \leq nS_k + N_k - 1$ 、 $mS_l \leq l \leq mS_l + N_l - 1$ の範囲を切り出した部分領域のデータ列 $x_{nm}(k - nS_k, l - mS_l)$ が得られる。

[0109] [数1]

$$x_{nm}(k - nS_k, l - mS_l) = W_a(k - nS_k, l - mS_l)x(k, l) \quad \dots (1)$$

[0110] 図8に、磁区画像Gから、観察位置(n, m) = (1, 1)、(2, 2)、(3, 3)、…、(P, Q) (P及びQは自然数)のそれぞれに対応する部分領域が切り出された例を示している。

[0111] 本実施形態において、窓関数 $W_a(k, l)$ の範囲を定める N_k 及び N_l は、それぞれ、部分領域における k 方向の画素数及び l 方向の画素数に対応するパラメータである。

[0112] (A-2) ST2DFTを行う処理

部分領域のデータ列を $x_{nm}(n', m') = x_{nm}(k - nS_k, l - mS_l)$ と定義し、 $x_{nm}(n', m')$ に対して二次元フーリエ変換を施すと、

式(2)のように、観察位置(n, m)の部分領域に対応する部分フーリエ画像 $X(f_k, f_l, n, m)$ が得られる。

[0113] [数2]

$$X(f_k, f_l, n, m) = \sum_{n'=0}^{N_k-1} \sum_{m'=0}^{N_l-1} x_{nm}(n', m') \exp \left\{ -2\pi j \left(\frac{f_k n'}{N_k} + \frac{f_l m'}{N_l} \right) \right\} \quad \dots (2)$$

ここで、 f_k 及び f_l は空間周波数である。

[0114] 空間周波数 f_k の分解能を Δf_k 、空間周波数 f_l の分解能を Δf_l と表記すると、 Δf_k 及び Δf_l は式(3)のように定義される。

[0115] [数3]

$$\begin{cases} \Delta f_k = \frac{2}{N_k \Delta k} \\ \Delta f_l = \frac{2}{N_l \Delta l} \end{cases} \quad \dots (3)$$

ここで、 Δk 及び Δl は、それぞれ、磁区画像におけるk方向の空間分解能及びl方向における空間分解能である。

[0116] 例えば、図7に示した各部分領域のデータ列 $x_{nm}(k - n S_k, l - m S_l)$ に対して二次元フーリエ変換を施すと、図8に示すように、観察位置(n, m)ごとに部分フーリエ画像 $X(f_k, f_l, n, m)$ が得られる。

[0117] (A-3) 磁区幅の分布を導出する処理

部分フーリエ画像 $X(f_k, f_l, n, m)$ が得られると、部分フーリエ画像 $X(f_k, f_l, n, m)$ のスポットのピーク位置の座標(k成分 $f_k^{max}(n, m)$ 及びl成分 $f_l^{max}(n, m)$)が求められる。ピーク位置の導出について、 $k=0$ 、 $l=0$ の近傍の領域は、画像のコントラストに大きく依存する部分であるため、除外する。

[0118] そして、式(3)で定義した空間周波数の分解能と、部分フーリエ画像のスポットのピーク位置とから、式(4)のように、磁区幅の分布 $L(n, m)$ が導出される。

[0119] [数4]

$$L(n, m) = \frac{1}{\sqrt{(\Delta f_k f_k^{max}(n, m))^2 + (\Delta f_l f_l^{max}(n, m))^2}} \quad \dots (4)$$

[0120] このように、ST2DFTを用いることにより、磁区画像の位置情報を保ったまま、磁区幅の分布 $L(n, m)$ を定量的に導出することが可能となる。

[0121] 演算部41が磁区幅の分布を導出すると、演算部41は、磁区幅が所定値以上の領域を、処理領域（即ち、磁区制御処理を適用する領域）として決定する。レーザ照射装置500の制御部513は、処理領域に対するレーザビームLBのパワーをオンとし、好ましくは、処理領域以外の領域に対するレーザビームLBのパワーをオフにするよう制御する。これにより、原板の処理領域に磁区制御処理線11が導入される。また、それ以外の領域においては、磁区制御処理線11の導入が抑制される。

[0122] 上述の手順によって、磁区制御処理後の方向性電磁鋼板1の磁区画像を得ることもできる。方向性電磁鋼板1の磁区画像において、磁区制御処理線11が不明瞭な場合がある。この場合は、磁区制御処理線11が明確に確認できるように、観察条件を調整してもよい。例えば、方向性電磁鋼板1の板面垂直方向（厚さ方向）に沿って直流磁場を印加することによって、磁区制御処理線11を明瞭化することができる。

[0123] （絶縁被膜形成工程）

方向性電磁鋼板の表面に絶縁被膜を形成する場合、仕上げ焼鈍後に公知の方法で絶縁被膜を形成する絶縁被膜形成工程を有していてもよい。絶縁被膜形成工程は、仕上げ焼鈍後であれば、磁区制御処理線形成工程前に行ってもよく、磁区制御処理線形成工程後に行ってもよいが、磁区制御処理線形成工程前に絶縁被膜を形成すると、磁区制御処理線11において絶縁被膜が剥離する場合があるので、磁区制御処理線形成工程後に行うことが好ましい。磁区制御処理線形成工程前に絶縁被膜形成工程を行う場合、磁区制御処理線形

成工程後に、磁区制御処理線 1 1 に対して絶縁被膜を再度形成することが好ましい。

実施例

[0124] 実施例により本発明の態様の効果を更に具体的に説明する。ただし、実施例での条件は、本発明の実施可能性及び効果を確認するために採用した一条件例に過ぎない。本発明は、この一条件例に限定されない。本発明は、本発明の要旨を逸脱せず、本発明の目的を達成する限り、種々の条件を採用し得る。

[0125] (実施例 1)

J I S C 2 5 5 3 : 2 0 1 9 「方向性電磁鋼帯」の表 2 において 2 3 P 0 8 5 に分類される、板厚 0. 2 3 m m の方向性電磁鋼板を、原板として用いた。この方向性電磁鋼板は、S i 含有量が 3. 4 0 % である母材鋼板と、フォルスライト被膜と、絶縁被膜とを有していた。

この方向性電磁鋼板から、N o. 1 ~ N o. 3 3 の方向性電磁鋼板を切り出し、各方向性電磁鋼板の表面の磁区画像を取得した。また、得られた磁区画像に基づいて、前記方向性電磁鋼板における、磁区幅が 5 0 0 μ m 超である領域を特定した。

その後、各方向性電磁鋼板（原板）に対し、種々の条件で磁区制御処理を実施した。その際、磁区制御処理線の形成要領は、表 1 の通りとした。形成された磁区制御処理線の方向、間隔、種類は表 2 に示す通りであった。磁区制御処理線が溝及び熱歪みである場合、その割合は、総長さが 1 : 1 になるようにした。

なお、N o. 3 1 および N o. 3 2 は、前述と同様磁区幅が 5 0 0 μ m 超である領域を特定し、曲線を含む線状の磁区制御処理線を形成した。N o. 3 3 は各結晶粒の圧延方向の中央から圧延方向 R D に \pm 4 m m 以内の領域のみに、間隔が 4 m m で磁区制御処理線を形成した。仕上げ焼鈍時にその結晶粒があった位置の鋼板の曲率半径は、2 5 0 m m であった。

[0126] 磁区制御処理線が熱歪みである場合、磁区制御処理線における任意の方向

に対する引張応力の最大値を測定した。結果を表2に示す。

また、磁区制御処理線形成後の、方向性電磁鋼板において、非磁区制御領域（磁区制御処理線の全てから10mm超離れた領域）が存在するかどうか、判断した。

また、非磁区制御領域が存在する場合、 $|\beta D r| - |\beta N D r|$ を求めた。

また、磁区制御領域の磁区幅の平均値、最大値を求めた。結果を表3に示す。

[0127] また、磁区制御処理済みの方向性電磁鋼板の騒音特性、及び鉄損を、以下の要領で評価した。結果を表3に示す。

[0128] [騒音特性]

得られた板厚0.23mmの方向性電磁鋼板を、180枚積層して、三相変圧器鉄心を作製した。三相変圧器鉄心の脚及びヨークの幅はともに150mmとした。三相変圧器鉄心の外形の高さ及び幅はともに750mmとした。これら三相変圧器鉄心の、騒音および鉄損を測定した。測定条件は、周波数：50Hz、及び励磁磁束密度：1.8Tとした。

[0129] 騒音の測定にあたっては、当該三相変圧器鉄心が組み込まれた変圧器の周囲8箇所に、等間隔にマイクロフォンを配置した。変圧器とマイクロフォンとの距離は30cmとした。これらマイクロフォンによる騒音測定結果にA特性補正し、平均化することで得られた値を、方向性電磁鋼板の騒音評価結果（単位dB(A)）とした。騒音の評価結果が43.50dB(A)以下の例を、低騒音化が達成された例であると判定した。

[0130] [鉄損]

鉄損は、上述の通り周波数：50Hz、及び励磁磁束密度：1.8Tで励磁が行われたときの、一次側及び二次側の電圧及び電流をパワーアナライザで測定することにより求めた。鉄損の評価結果が1.07W/kg以下の例を、低鉄損化が達成された例であると判定した。

[0131] 表1～表3に示すように、発明例では、非磁区制御領域が存在し、非磁区

制御領域において $|\beta D r| - |\beta N D r| \leq -0.1^\circ$ を満足し、騒音、鉄損がともに低く抑えられた。

特に、非磁区制御領域の磁区幅が狭い場合には、より鉄損が低かった。また、磁区制御処理線が溝である場合には、騒音がより低かった。

これに対し、比較例では、非磁区制御領域が存在しない、又は存在しても非磁区制御領域において $|\beta D r| - |\beta N D r| \leq -0.1^\circ$ を満足しなかった。その結果、騒音、鉄損のいずれか又は両方が高かった。

[0132]

[表1]

No.	磁区制御処理線形成工程
1	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
2	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
3	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
4	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
5	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
6	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
7	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
8	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
9	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
10	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
11	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
12	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
13	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
14	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
15	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
16	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
17	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
18	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
19	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
20	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
21	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
22	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
23	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
24	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
25	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
26	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
27	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(直線状)を形成
28	試料全幅にわたる直線処理線を形成
29	ランダムな破線状の処理線を形成
30	ランダムな破線状の処理線を形成
31	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(曲線を含む線状)を形成
32	磁区幅が500 μm 超である領域に主に磁区制御処理線(曲線を含む線状)を形成
33	各結晶粒の圧延方向の中央から圧延方向RDに $\pm 4\text{mm}$ 以内の領域のみに、 間隔が4mmで磁区制御処理線を形成

[0133]

[表2]

No.	磁区制御処理線					
	圧延直角方向となす角度(°)	圧延方向の間隔(mm)	種類 (溝or熱歪)	溝の平均幅(μm)	溝の平均深さ(μm)	磁区制御処理線を通る断面の引張応力の最大値(MPa)
1	0	4	熱歪み	-	-	39
2	0	4	熱歪み	-	-	39
3	0	4	熱歪み	-	-	38
4	0	4	熱歪み	-	-	178
5	0	4	熱歪み	-	-	179
6	0	4	熱歪み	-	-	180
7	5	4	熱歪み	-	-	147
8	10	4	熱歪み	-	-	175
9	30	4	熱歪み	-	-	179
10	45	4	熱歪み	-	-	103
11	5	5	溝	20	5	-
12	5	6	溝+熱歪み	20	5	156
13	5	6	溝	20	10	-
14	5	5	溝	20	35	-
15	5	5	溝	20	45	-
16	5	4	溝	20	10	-
17	5	5	溝	10	10	-
18	5	5	溝	50	10	-
19	5	5	溝	150	10	-
20	5	5	溝	300	10	-
21	5	2	熱歪み	-	-	40
22	5	4	熱歪み	-	-	136
23	5	5	熱歪み	-	-	241
24	5	6	熱歪み	-	-	178
25	5	8	熱歪み	-	-	193
26	5	10	熱歪み	-	-	201
27	5	11	熱歪み	-	-	145
28	5	4	熱歪み	-	-	150
29	5	4	熱歪み	-	-	152
30	5	4	熱歪み	-	-	35
31	5	5	熱歪み	-	-	247
32	5	5	溝	30	15	239
33	5	4	熱歪み	-	-	171

[0134]

[表3]

No.	非磁区制御領域の有無	$\left \frac{\beta Dr}{\beta NDr} \right $ (°)	非磁区制御領域の磁区幅		特性	
			平均値 (μm)	最大値 (μm)	鉄損 (W/Kg)	騒音特性 (dBA)
1	有	-0.2	578	1159	1.07	42.41
2	有	-0.3	562	1155	1.07	41.88
3	有	-0.5	556	1151	1.07	41.12
4	有	-0.1	515	1140	1.05	43.34
5	有	-0.3	519	1152	1.05	42.75
6	有	-0.2	401	932	0.90	43.10
7	有	-0.2	352	926	0.88	43.22
8	有	-0.4	376	951	0.90	41.72
9	有	-0.5	391	859	0.89	40.21
10	有	-0.7	418	1041	0.95	41.40
11	有	-0.3	423	1053	0.96	42.56
12	有	-0.1	445	1072	0.92	43.04
13	有	-0.4	502	1041	1.04	41.58
14	有	-0.5	489	1218	1.04	39.81
15	有	-0.8	452	1125	1.03	38.97
16	有	-0.8	399	956	0.93	41.89
17	有	-0.5	497	1238	1.05	39.65
18	有	-0.1	428	1052	1.00	41.16
19	有	-0.3	426	1036	0.97	41.21
20	有	-0.4	493	1228	1.05	39.73
21	有	-0.3	372	875	0.87	42.63
22	有	-0.4	397	850	0.91	41.94
23	有	-0.5	401	987	0.92	41.84
24	有	-0.3	487	1025	1.02	39.85
25	有	-0.5	499	1072	1.05	39.61
26	有	-0.3	505	998	1.05	39.49
27	有	-0.7	612	976	1.06	38.12
28	無	-	366	724	0.84	47.80
29	有	<u>0.5</u>	382	888	0.91	46.15
30	有	<u>0.4</u>	592	1178	1.09	45.72
31	有	-0.4	385	897	0.85	41.50
32	有	-0.4	497	975	1.04	37.50
33	有	<u>0.2</u>	503	1030	1.10	43.12

[0135] (実施例2)

J I S C 2 5 5 3 : 2 0 1 9 「方向性電磁鋼帯」の表 2 において 2 3 P 0 8 5 に分類される、板厚 0. 2 3 m m の同一ロットの方向性電磁鋼板を、原板として用いた。原板に、表 4 に示すように、U a を変化させながら磁区制御処理を実施した。形成された磁区制御処理線の方向、間隔、種類は表 5 に示す通りであった。

[0136] 磁区制御処理線が熱歪みである場合、磁区制御処理線における任意の方向に対する引張応力の最大値を測定した。結果を表 5 に示す。

また、磁区制御処理線形成後の、方向性電磁鋼板において、非磁区制御領域（磁区制御処理線の全てから 1 0 m m 超離れた領域）が存在するかどうか、判断した。また、非磁区制御領域が存在する場合、 $|\beta D_r| - |\beta N D_r|$ を求めた。また、磁区制御領域の磁区幅の平均値、最大値を求めた。また、 $\sigma (D_m)^2$ 、 $D_{m(\beta < 2)}$ 、 $D_{m(\beta \geq 2)}$ 、 $\sigma (T S_m)^2$ 、 $T S_{m(\beta < 2)}$ 、 $T S_{m(\beta \geq 2)}$ を求めた。結果を表 6 に示す。

[0137] また、磁区制御処理済みの方向性電磁鋼板の騒音特性、及び鉄損を、実施例 1 と同じ要領で評価した。結果を表 6 に示す。

[0138]

[表4]

No.	磁区制御処理線形成工程
34	平均照射エネルギー密度 U_a を0.75~1.75mJ/mm ² の範囲内で変化させた。
35	平均照射エネルギー密度 U_a を0.50~2.00mJ/mm ² の範囲内で変化させた。
36	平均照射エネルギー密度 U_a を0.50~2.00mJ/mm ² の範囲内で変化させた。
37	平均照射エネルギー密度 U_a を0.50~2.00mJ/mm ² の範囲内で変化させた。
38	平均照射エネルギー密度 U_a を0.75~1.75mJ/mm ² の範囲内で変化させ、 図9および図10に示す磁区制御強度の調整を適用した。
39	平均照射エネルギー密度 U_a を0.75~1.75mJ/mm ² の範囲内で変化させ、 図9および図10に示す磁区制御強度の調整を適用した。
40	平均照射エネルギー密度 U_a を0.75~1.75mJ/mm ² の範囲内で変化させ、 図9および図10に関して説明したように磁区制御強度の調整を適用した。
41	平均照射エネルギー密度 U_a を0.50~2.00mJ/mm ² の範囲内で変化させ、 図9および図10に関して説明したように磁区制御強度の調整を適用した。
42	溝形成の目標値を20~30 μ mの範囲内で変化させた。
43	溝形成の目標値を10~50 μ mの範囲内で変化させた。
44	溝形成の目標値を10~50 μ mの範囲内で変化させた。
45	溝形成の目標値を10~50 μ mの範囲内で変化させた。
46	溝形成の目標値を20~30 μ mの範囲内で変化させ、 図9および図10に関して説明したように磁区制御強度の調整を適用した。
47	溝形成の目標値を20~30 μ mの範囲内で変化させ、 図9および図10に関して説明したように磁区制御強度の調整を適用した。
48	溝形成の目標値を20~30 μ mの範囲内で変化させ、 図9および図10に関して説明したように磁区制御強度の調整を適用した。
49	溝形成の目標値を10~50 μ mの範囲内で変化させ、 図9および図10に関して説明したように磁区制御強度の調整を適用した。

[0139]

[表5]

No.	磁区制御処理線					
	圧延直角方向と なす角度(°)	圧延方向の 間隔(mm)	種類 (溝or熱歪)	溝の平均 幅(μm)	溝の平均 深さ(μm)	磁区制御処理線を通る断面の引張応力の最大値(MPa)
34	5	5	熱歪み	-	-	176
35	5	5	熱歪み	-	-	184
36	5	5	熱歪み	-	-	193
37	5	5	熱歪み	-	-	164
38	5	5	熱歪み	-	-	166
39	5	5	熱歪み	-	-	174
40	5	5	熱歪み	-	-	179
41	5	5	熱歪み	-	-	159
42	5	5	溝	41	24	-
43	5	5	溝	55	28	-
44	5	5	溝	51	28	-
45	5	5	溝	52	31	-
46	5	5	溝	53	23	-
47	5	5	溝	42	25	-
48	5	5	溝	41	23	-
49	5	5	溝	51	27	-

[0140]

[表6]

No.	非磁区制御領域の有無	$ \beta Dr - \beta NDr $ (°)	磁区制御強度が均一かどうか	$\sigma(TSm)^2$	$T_{Sm}(\beta < 2)$	$T_{Sm}(\beta \geq 2)$	$\sigma(Dm)^2$	$Dm(\beta < 2)$	$Dm(\beta < 2)$	非磁区制御領域の磁区幅		特性	
										平均値 (μm)	最大値 (μm)	鉄損 (W/Kg)	騒音特性 (dBA)
34	有	-0.2	不均一	4.6	164	185	-	-	-	384	853	0.982	39.70
35	有	-0.3	不均一	5.2	161	223	-	-	-	517	1023	0.921	38.70
36	有	-0.4	不均一	5.6	152	220	-	-	-	391	1040	0.913	38.20
37	有	-0.5	不均一	6.1	134	218	-	-	-	403	965	0.904	37.80
38	有	-0.4	不均一	4.5	178	153	-	-	-	533	1034	0.96	37.40
39	有	-0.2	不均一	4.8	185	164	-	-	-	410	1020	0.952	37.20
40	有	-0.3	不均一	4.9	190	165	-	-	-	487	943	0.943	36.70
41	有	-0.4	不均一	6.8	234	115	-	-	-	466	902	0.883	36.30
42	有	-0.2	不均一	-	-	-	2.9	22	26	406	956	0.993	39.20
43	有	-0.2	不均一	-	-	-	3.1	19	33	517	1051	0.938	38.40
44	有	-0.4	不均一	-	-	-	3.4	16	36	487	1028	0.926	38.10
45	有	-0.5	不均一	-	-	-	3.8	14	41	403	1058	0.914	37.60
46	有	-0.4	不均一	-	-	-	2.8	26	21	523	1076	0.97	37.40
47	有	-0.4	不均一	-	-	-	2.7	27	23	417	1022	0.97	37.10
48	有	-0.3	不均一	-	-	-	2.9	28	21	406	957	0.96	36.80
49	有	-0.4	不均一	-	-	-	4.5	38	15	371	890	0.89	36.10

[0141] 表4～6から分かるように、いずれの例でも、非磁区制御領域が存在し、非磁区制御領域において $|\beta Dr| - |\beta NDr| \geq 0.1^\circ$ を満足し、

騒音、鉄損がともに低く抑えられた。

また、 $\sigma(D_m)^2 > 3.0$ 、 $D_{m(\beta < 2)} > D_{m(\beta \geq 2)}$ 、 $\sigma(TS_m)^2 > 5.0$ 、 $TS_{m(\beta < 2)} > TS_{m(\beta \geq 2)}$ 、の1つ以上を満たす場合には、さらに、鉄損および／又は騒音がより低く抑えられた。

産業上の利用可能性

[0142] 本開示によれば、鉄損が低く（低鉄損）、かつ、電機製品とした際の騒音が小さい（騒音特性に優れる）方向性電磁鋼板、及びその製造方法を提供することができる。そのため、産業上の利用可能性が高い。

符号の説明

- [0143] 1 方向性電磁鋼板
 - 1 1 磁区制御処理線
 - 1 2 磁区制御領域
 - 1 3 非磁区制御領域
- RD 圧延方向
- TD 圧延直角方向（板幅方向）
- ND 圧延面法線方向
- 3 0 画像取得装置
 - 3 1 光源部
 - 3 3 MOセンサ
 - 3 5 イメージセンサ
 - 3 7 信号処理部
- 4 0 解析装置
 - 4 1 演算部
 - 4 3 メモリ
 - 4 5 表示部
 - 4 7 入力部
- 4 9 通信 I / F
- 3 0 1 還流磁区

- 302 ノイズ
- L s 線分
- l p 交点
- 500 レーザ照射装置
- 501 ポリゴンミラー
- 503 光源装置
- 505 コリメータ
- 507 集光レンズ
- 509 モータ
- 511 センサ
- 513 制御部
- 515 通板装置

請求の範囲

- [請求項1] 表面に、
- 圧延方向に交差する方向に延在する複数の磁区制御処理線と、
- 前記磁区制御処理線から10mm以内の領域である磁区制御領域と、
- と、
- 前記磁区制御処理線の全てから10mm超離れた領域である非磁区制御領域と、
- を備え、
- 前記非磁区制御領域における β 角の絶対値の平均値 $|\beta_{NDr}|$ 、及び前記磁区制御領域における β 角の絶対値の平均値 $|\beta_{Dr}|$ が、下記式(5)を満たす、
- 方向性電磁鋼板。
- $$|\beta_{Dr}| - |\beta_{NDr}| \leq -0.1^\circ \quad (5)$$
- [請求項2] 前記非磁区制御領域の磁区幅の平均値が500 μ m以下である、請求項1に記載の方向性電磁鋼板。
- [請求項3] 前記非磁区制御領域の磁区幅の最大値が1000 μ m以下である、請求項1又は2に記載の方向性電磁鋼板。
- [請求項4] 前記複数の磁区制御処理線が、溝である、請求項1～3のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板。
- [請求項5] 前記磁区制御処理線における、前記溝の深さの最大値が、前記溝の深さの測定点毎に不均一であることを特徴とする請求項4に記載の方向性電磁鋼板。
- [請求項6] 前記表面に、一辺の長さが50mmであり、且つ一辺が前記圧延方向と平行である正方形の評価領域を設定し、さらに、前記評価領域の内部に、前記圧延方向に平行且つ長さ50mmの仮想線を前記圧延方向に垂直な方向に5mm間隔で設定した場合において、
- 前記仮想線と、前記複数の磁区制御処理線との複数の交点のそれぞれを磁区細分化点とし、前記磁区細分化点のそれぞれにおいて測定さ

れる、単位 μm での前記溝の前記深さの前記最大値を D_m 、前記 D_m の分散を $\sigma(D_m)^2$ としたとき、

$$\sigma(D_m)^2 > 3.0 \text{ を満たす、}$$

ことを特徴とする請求項 5 に記載の方向性電磁鋼板。

[請求項7]

前記表面に、一辺の長さが 50mm であり、且つ一辺が前記圧延方向と平行である正方形の評価領域を設定し、さらに、前記評価領域の内部に、前記圧延方向に平行且つ長さ 50mm の仮想線を前記圧延方向に垂直な方向に 5mm 間隔で設定した場合において、前記仮想線と、前記複数の磁区制御処理線との複数の交点のそれぞれを磁区細分化点とし、前記磁区細分化点のうち、 β 角が 2° 未満の磁区細分化点のそれぞれにおいて測定される、単位 μm での前記溝の深さの最大値の、算術平均値を $D_{m(\beta < 2)}$ とし、前記磁区細分化点のうち、前記 β 角が 2° 以上の磁区細分化点のそれぞれにおいて測定される、単位 μm での前記溝の深さの最大値の、算術平均値を $D_{m(\beta \geq 2)}$ としたとき、

$$D_{m(\beta < 2)} > D_{m(\beta \geq 2)} \text{ を満たす、}$$

ことを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の方向性電磁鋼板。

[請求項8]

前記複数の磁区制御処理線が、 40MPa 以上の引張応力が導入された、熱歪みである、

請求項 1～3 のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板。

[請求項9]

前記磁区制御処理線における、前記熱歪みに導入された前記引張応力の最大値が、前記引張応力の測定点毎に不均一である、

ことを特徴とする請求項 8 に記載の方向性電磁鋼板。

[請求項10]

前記表面に、一辺の長さが 50mm であり、且つ一辺が前記圧延方向と平行である正方形の評価領域を設定し、さらに、前記評価領域の内部に、前記圧延方向に平行且つ長さ 50mm の仮想線を前記圧延方向に垂直な方向に 5mm 間隔で設定した場合において、

前記仮想線と、前記複数の磁区制御処理線との複数の交点のそれぞれを磁区細分化点とし、前記磁区細分化点のそれぞれにおいて測定さ

れる、前記熱歪みに導入された単位MPaでの前記引張応力の前記最大値を $T S_m$ 、前記 $T S_m$ の分散を $\sigma (T S_m)^2$ としたとき、

$$\sigma (T S_m)^2 > 5.0 \text{ を満たす、}$$

ことを特徴とする請求項9に記載の方向性電磁鋼板。

[請求項11]

前記表面に、一辺の長さが50mmであり、且つ一辺が前記圧延方向と平行である正方形の評価領域を設定し、さらに、前記評価領域の内部に、前記圧延方向に平行且つ長さ50mmの仮想線を前記圧延方向に垂直な方向に5mm間隔で設定した場合において、前記仮想線と、前記複数の磁区制御処理線との複数の交点のそれぞれを磁区細分化点とし、前記磁区細分化点のうち、 β 角が 2° 未満の磁区細分化点のそれぞれにおいて測定される、前記熱歪みに導入された単位MPaでの前記引張応力の最大値の、算術平均値を $T S_{m(\beta < 2)}$ とし、前記磁区細分化点のうち、前記 β 角が 2° 以上の磁区細分化点のそれぞれにおいて測定される、前記熱歪みに導入された単位MPaでの前記引張応力の最大値の、算術平均値を $T S_{m(\beta \geq 2)}$ としたとき、

$$T S_{m(\beta < 2)} > T S_{m(\beta \geq 2)} \text{ を満たす、}$$

ことを特徴とする請求項9又は10に記載の方向性電磁鋼板。

[請求項12]

方向性電磁鋼板の表面の磁区画像を取得する磁区画像取得工程と、前記磁区画像取得工程において得られた前記磁区画像に基づいて、前記方向性電磁鋼板における、磁区幅が $500\mu\text{m}$ 超である領域を特定する領域特定工程と、

方向性電磁鋼板の表面に磁区制御処理線を形成する磁区制御処理線形成工程と、

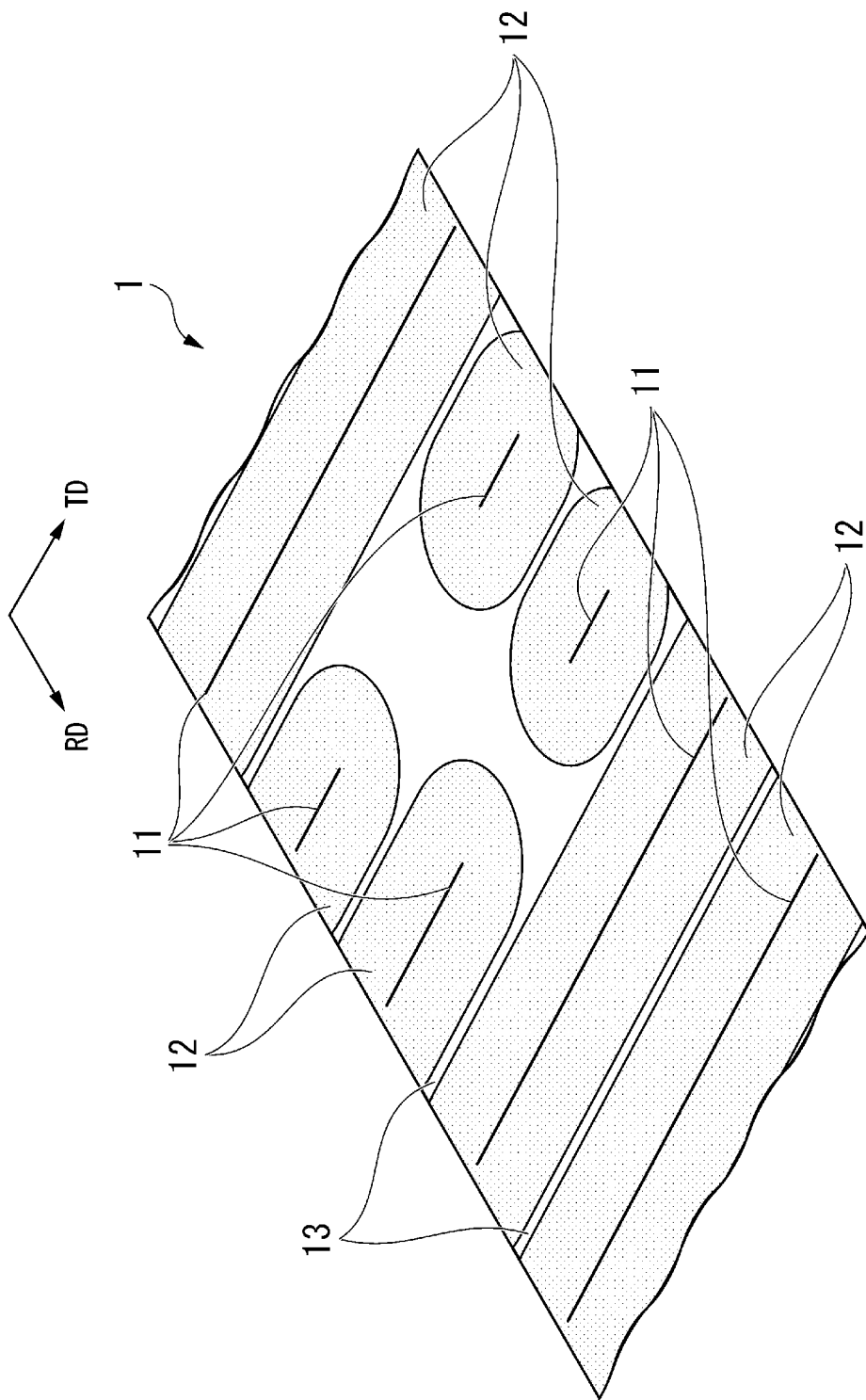
を備え、

前記磁区制御処理線形成工程では、前記磁区制御処理線から10mm以内の領域である磁区制御領域と、前記磁区制御処理線の全てから10mm超離れた領域である非磁区制御領域と、を備え、前記非磁区制御領域における β 角の絶対値の平均値 $|\beta N D r|$ 、及び前記磁区

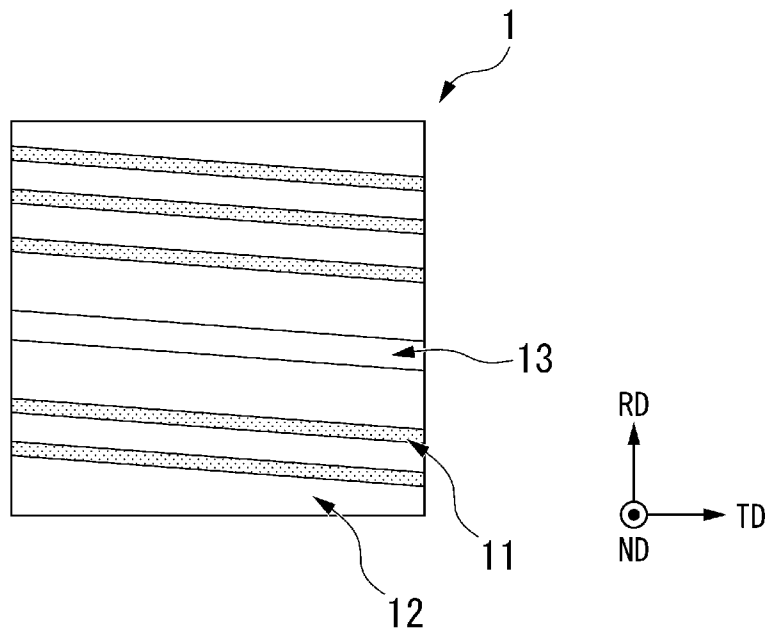
制御領域における β 角の絶対値の平均値 $|\beta D r|$ が、 $|\beta D r| - |\beta N D r| \leq -0.1^\circ$ となるように磁区幅が $500\mu\text{m}$ 超である領域に前記磁区制御処理線を形成する、
方向性電磁鋼板の製造方法。

[請求項13] 前記磁区制御処理線形成工程では、レーザ又は電子ビームの照射によって前記磁区制御処理線を形成する、
請求項12に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。

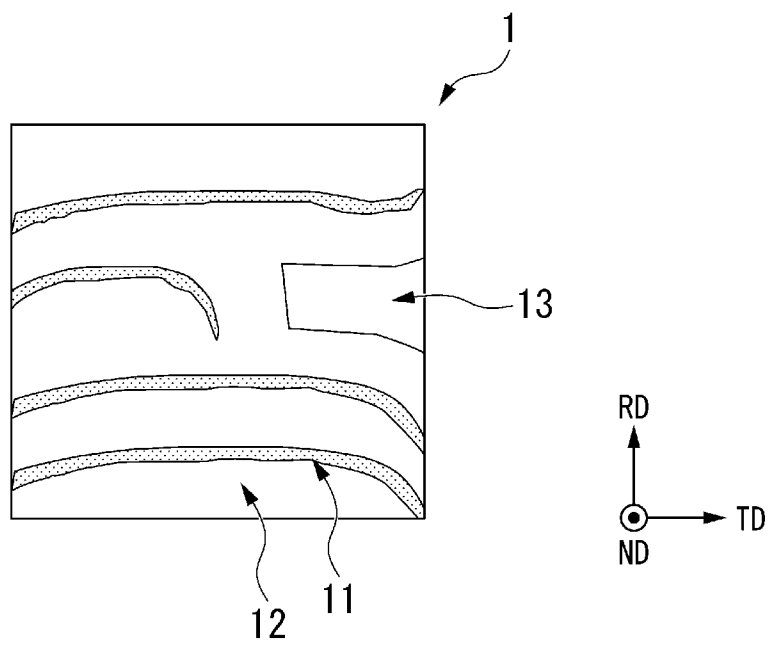
[図1A]



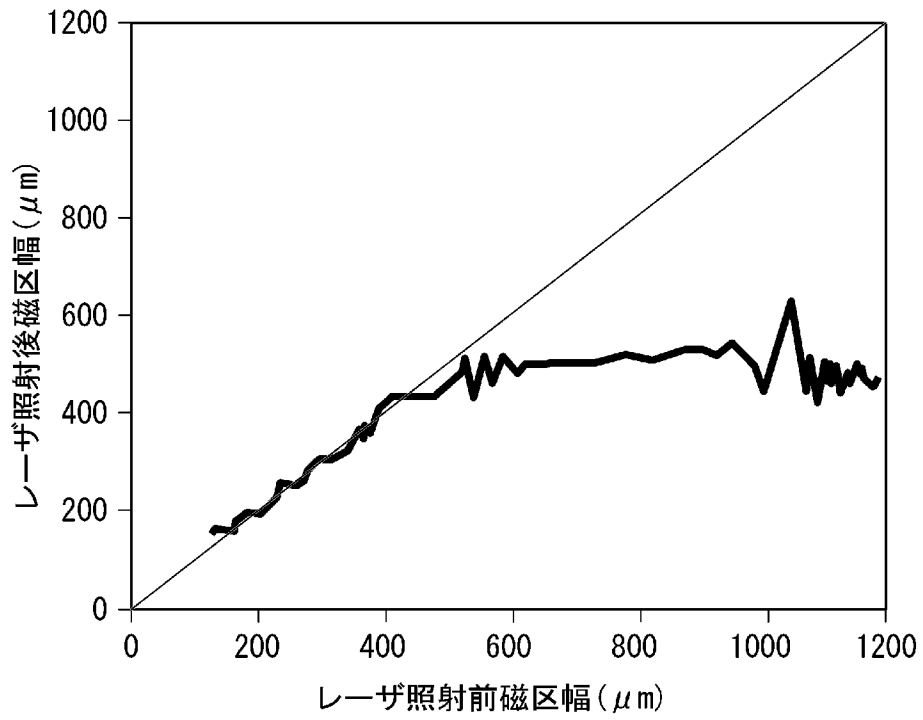
[図1B]



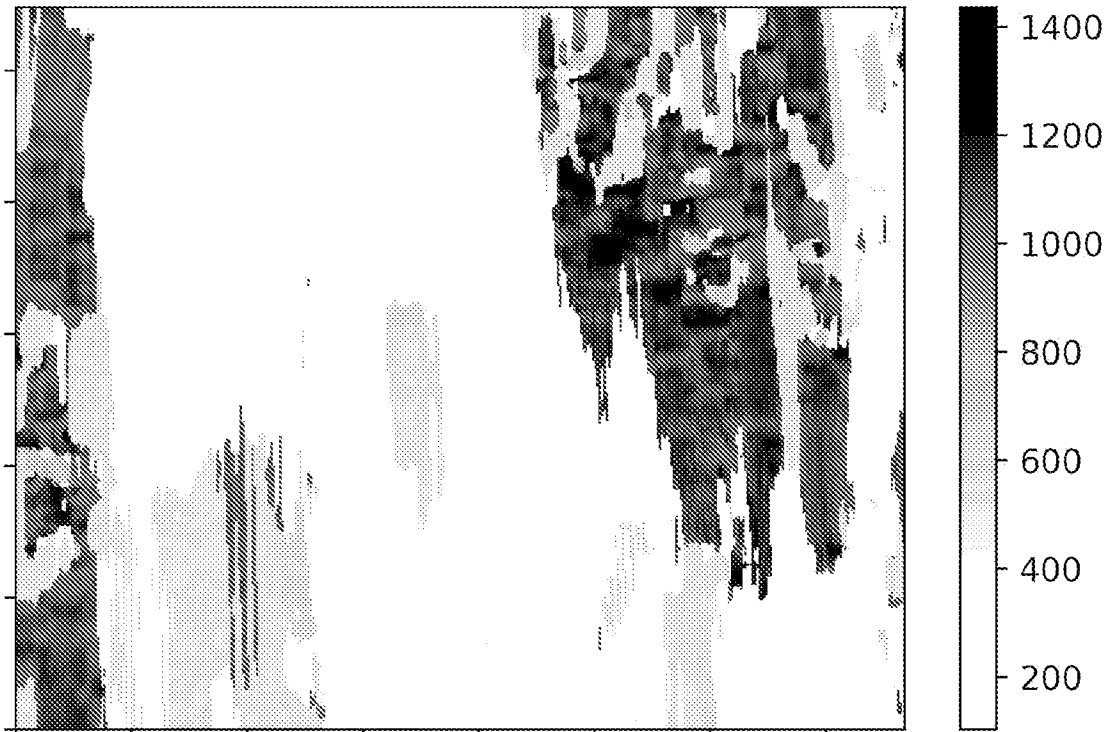
[図1C]



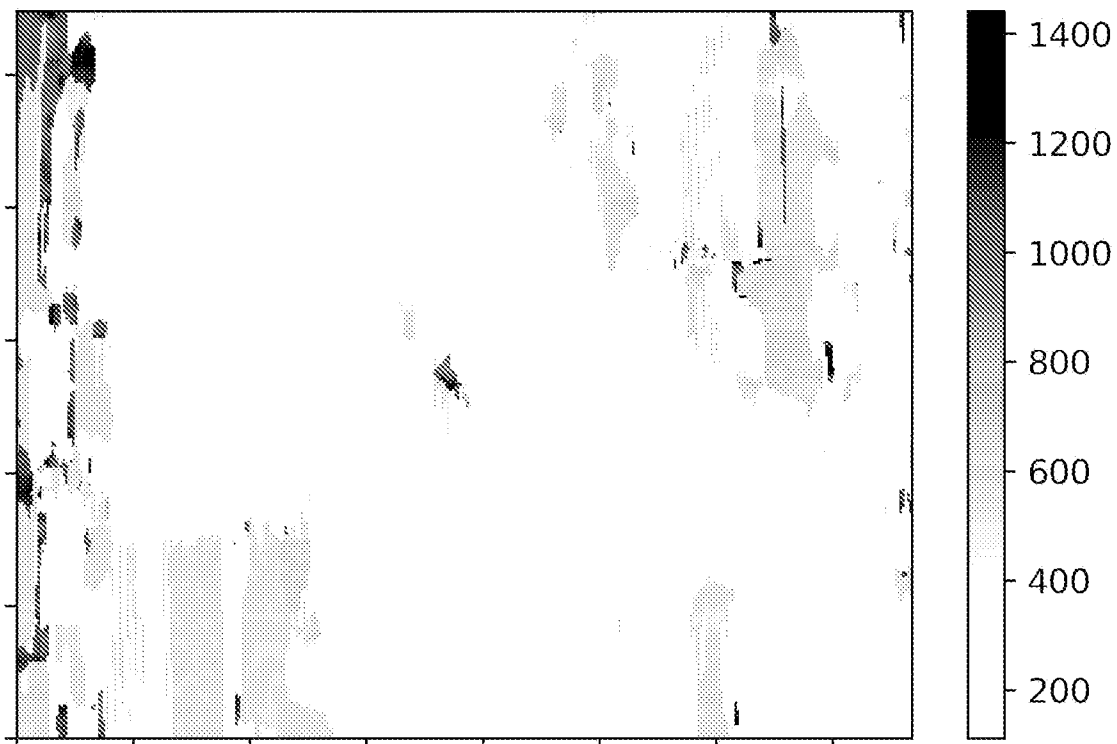
[図2]



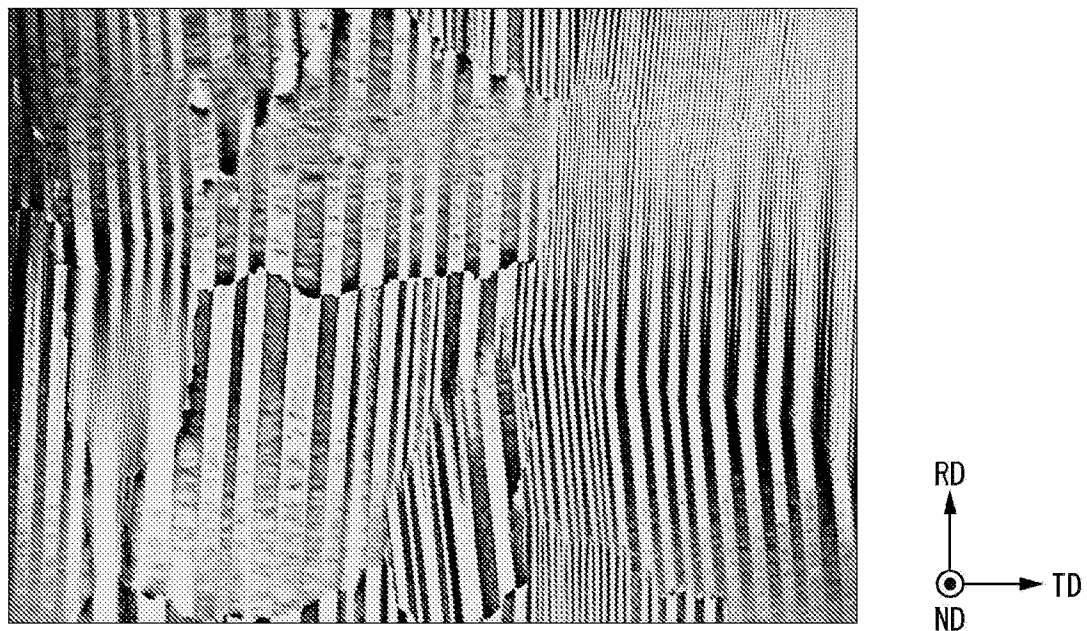
[図3A]



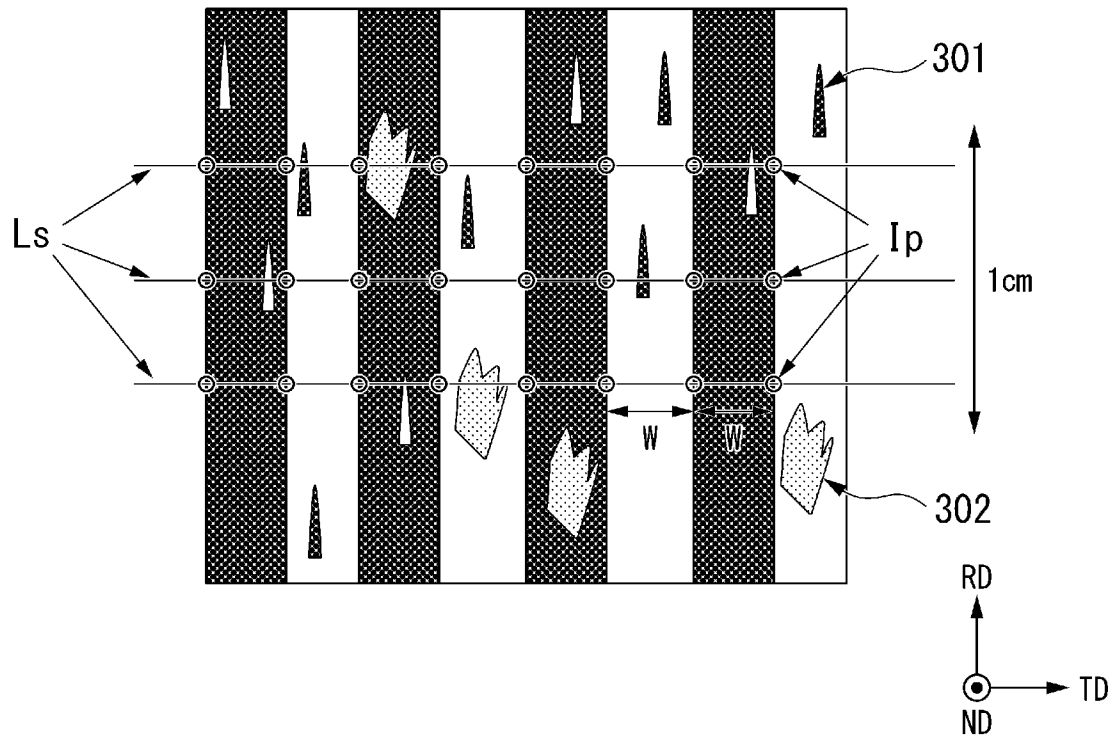
[図3B]



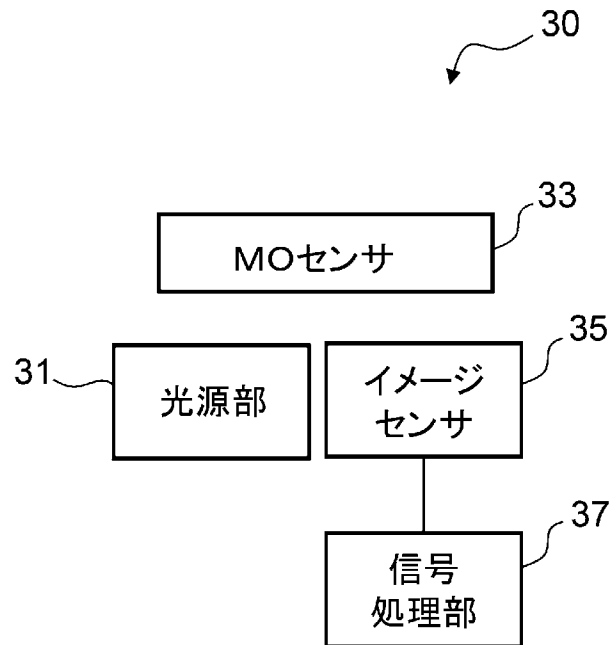
[図3C]



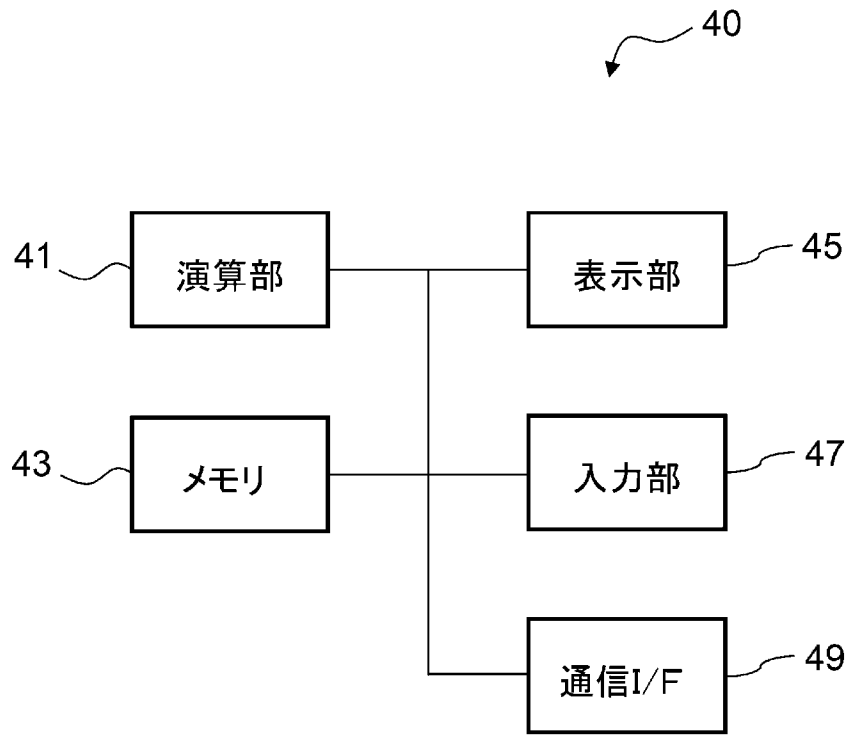
[図3D]



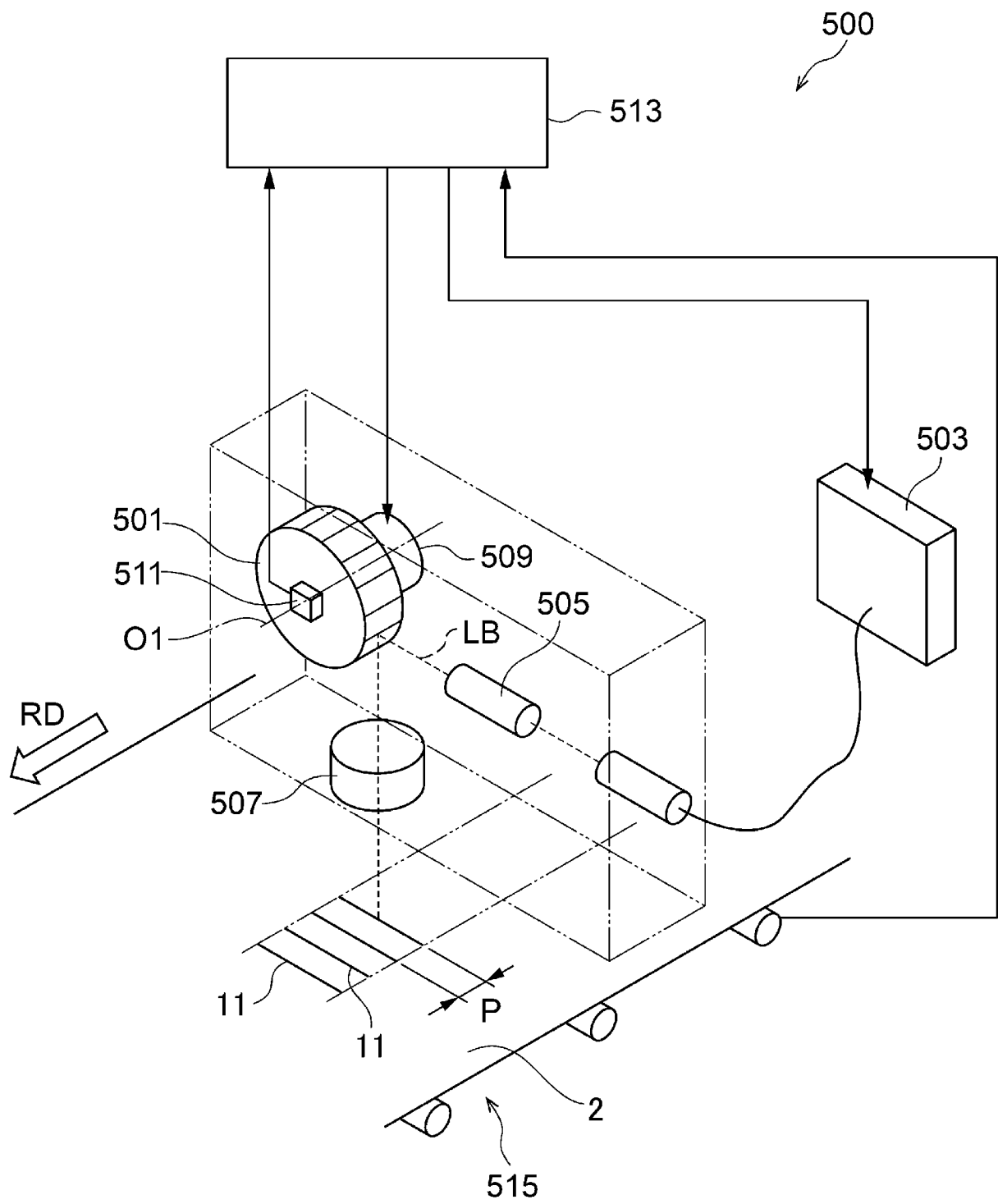
[図4]



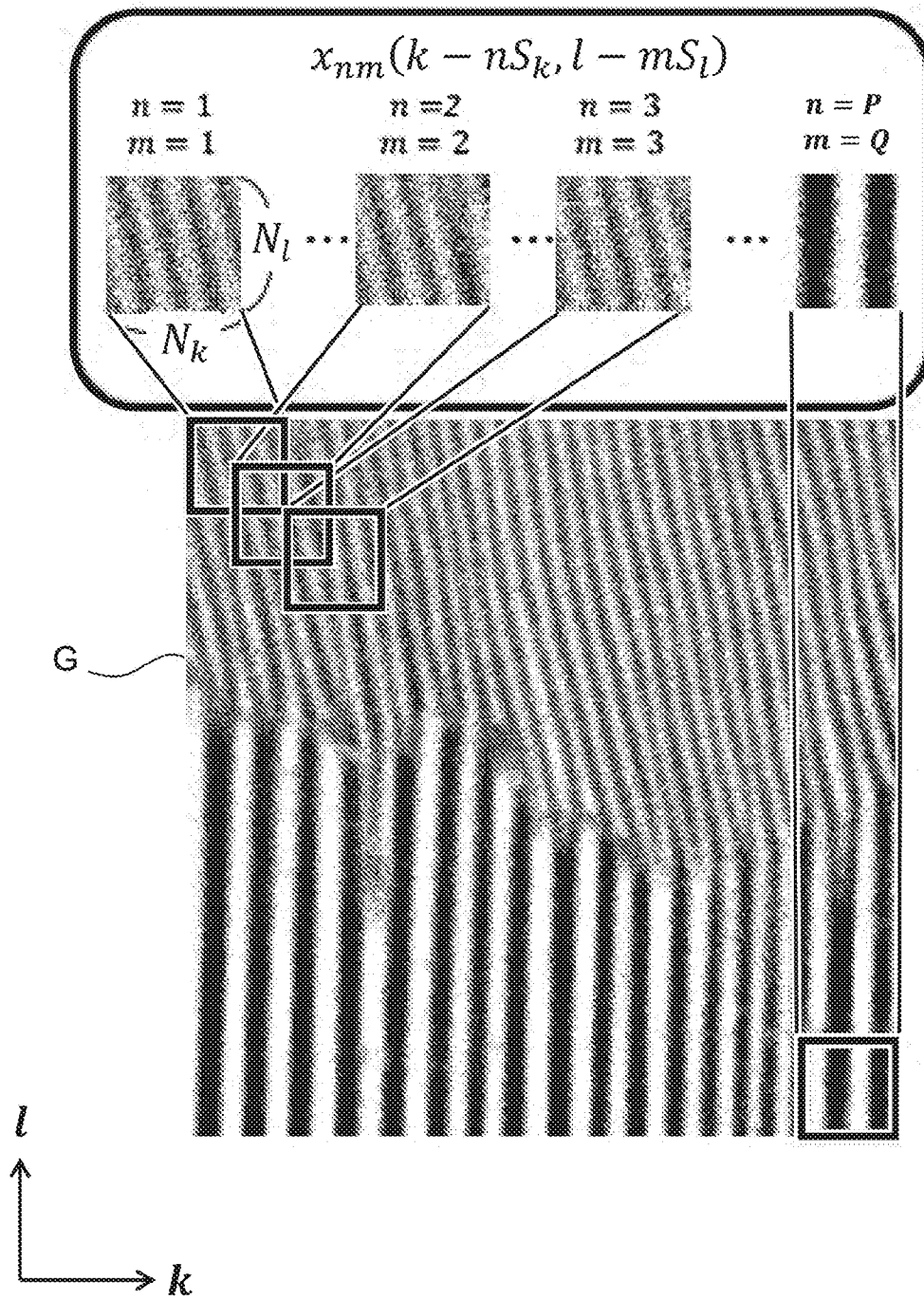
[図5]



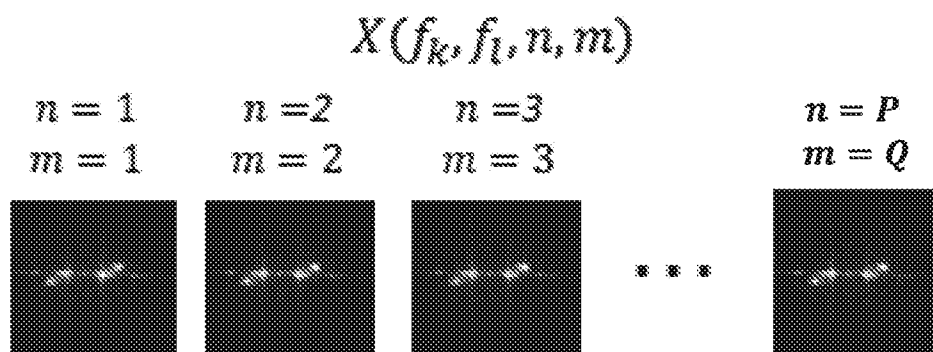
[図6]



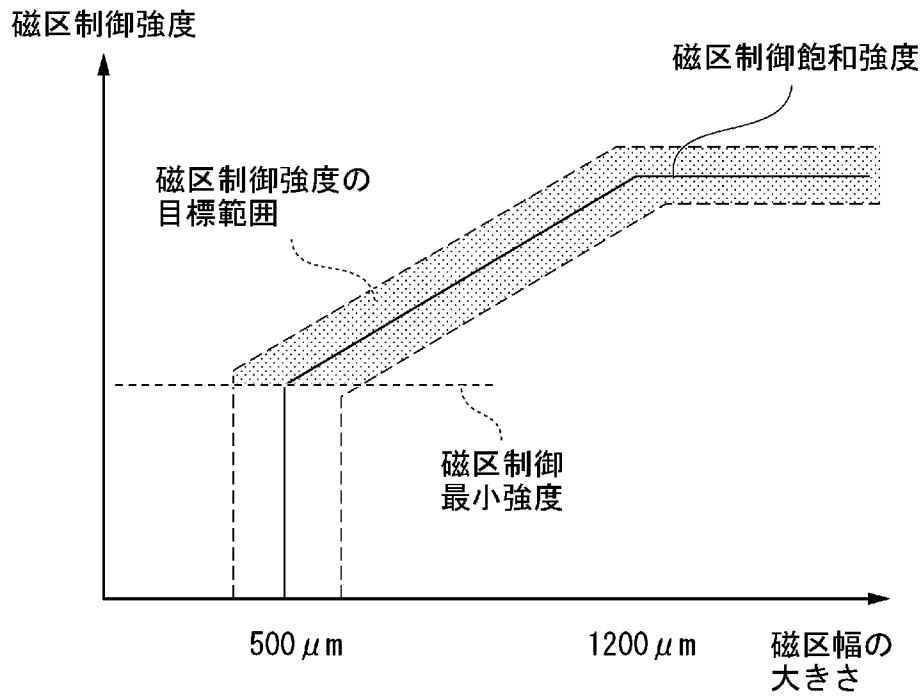
[図7]



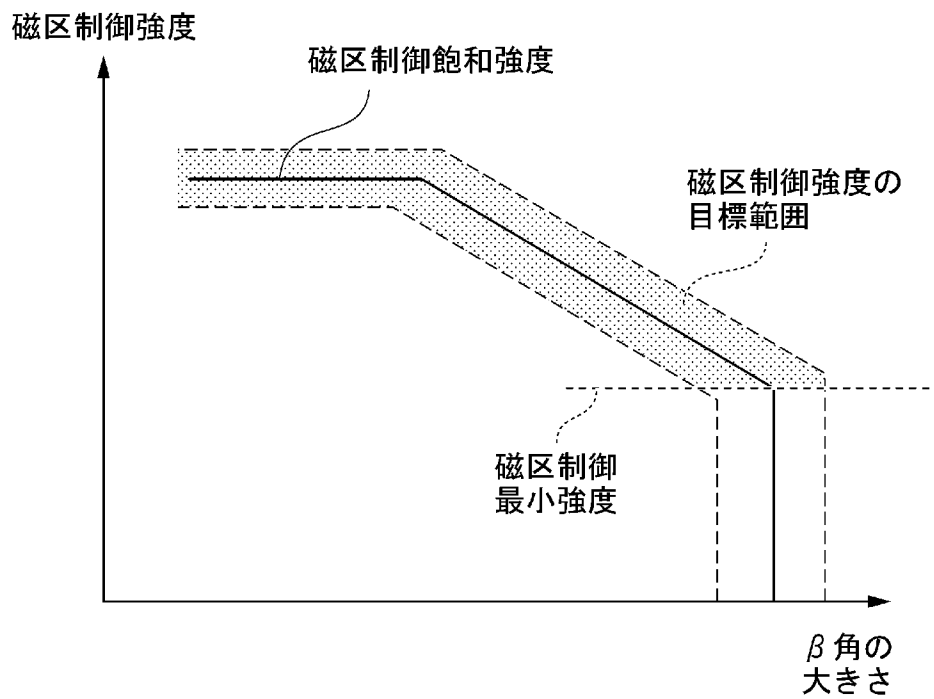
[図8]



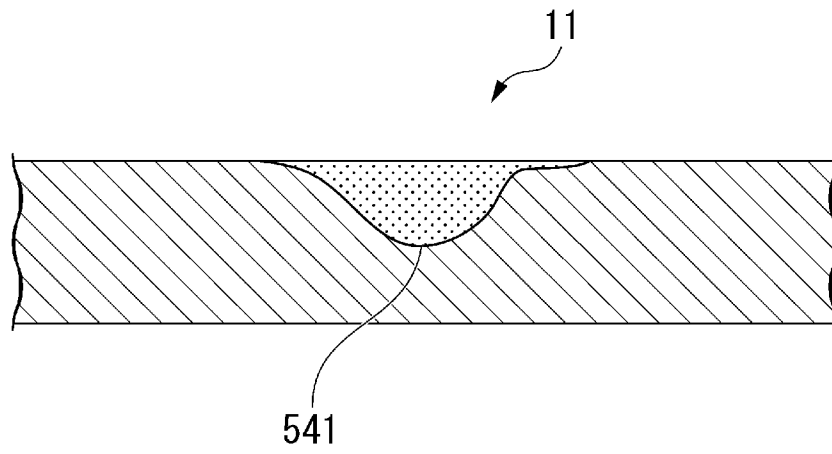
[図9]



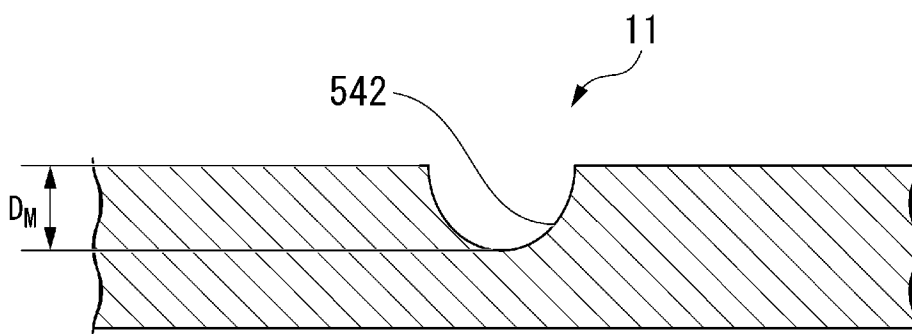
[図10]



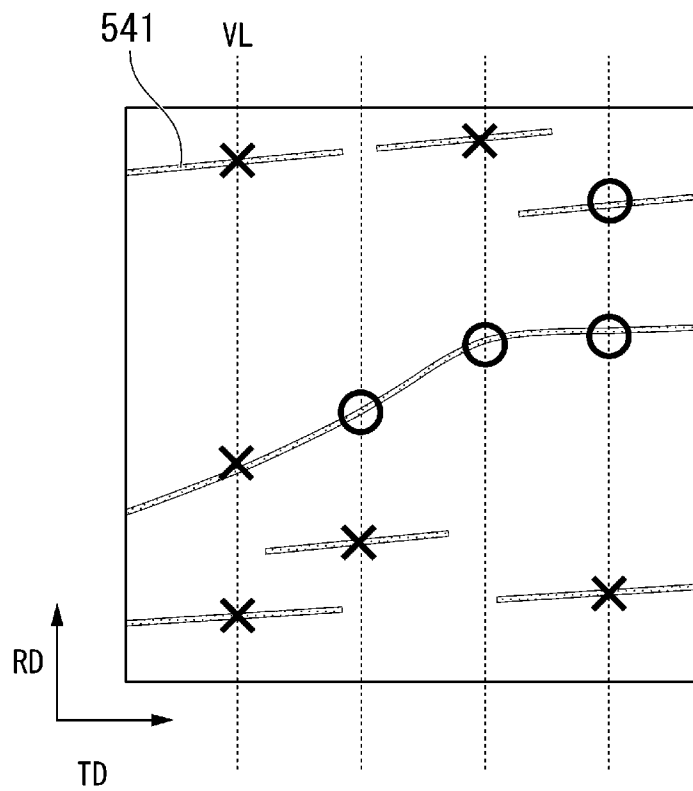
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/034821

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>C22C 38/00</i> (2006.01)i; <i>C21D 8/12</i> (2006.01)i; <i>C22C 38/60</i> (2006.01)i; <i>H01F 1/16</i> (2006.01)i FI: C22C38/00 303U; C21D8/12 D; H01F1/16; C22C38/60		
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) C22C38/00-38/60; C21D8/12; H01F1/16		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
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.
A	JP 11-293340 A (KAWASAKI STEEL CO.) 26 October 1999 (1999-10-26)	1-13
A	JP 11-124629 A (KAWASAKI STEEL CO.) 11 May 1999 (1999-05-11)	1-13
A	JP 2006-144058 A (NIPPON STEEL CORPORATION) 08 June 2006 (2006-06-08)	1-13
A	WO 2019/151399 A1 (JFE STEEL CORPORATION) 08 August 2019 (2019-08-08)	1-13
A	JP 2015-206114 A (JFE STEEL CORPORATION) 19 November 2015 (2015-11-19)	1-13
P, A	WO 2023/190331 A1 (NIPPON STEEL CORPORATION) 05 October 2023 (2023-10-05)	1-13
<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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 09 December 2024		Date of mailing of the international search report 24 December 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2024/034821

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	11-293340	A	26 October 1999	(Family: none)	
JP	11-124629	A	11 May 1999	(Family: none)	
JP	2006-144058	A	08 June 2006	(Family: none)	
WO	2019/151399	A1	08 August 2019	US 2021/0043358	A1
				EP 3726543	A1
				KR 10-2020-0103090	A
				CN 111656465	A
				CA 3086308	A1
				MX 2020007993	A
				RU 2741403	C1
JP	2015-206114	A	19 November 2015	(Family: none)	
WO	2023/190331	A1	05 October 2023	KR 10-2024-0129194	A
				CN 118647742	A

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） C22C 38/00(2006.01)i; C21D 8/12(2006.01)i; C22C 38/60(2006.01)i; H01F 1/16(2006.01)i FI: C22C38/00 303U; C21D8/12 D; H01F1/16; C22C38/60</p>																																					
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） C22C38/00-38/60; C21D8/12; H01F1/16</p> <p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2024年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2024年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2024年</td> </tr> </table> <p>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）</p>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2024年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2024年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2024年																											
日本国実用新案公報	1922 - 1996年																																				
日本国公開実用新案公報	1971 - 2024年																																				
日本国実用新案登録公報	1996 - 2024年																																				
日本国登録実用新案公報	1994 - 2024年																																				
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>JP 11-293340 A（川崎製鉄株式会社）26.10.1999（1999-10-26）</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 11-124629 A（川崎製鉄株式会社）11.05.1999（1999-05-11）</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2006-144058 A（新日本製鐵株式会社）08.06.2006（2006-06-08）</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2019/151399 A1（JFEスチール株式会社）08.08.2019（2019-08-08）</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2015-206114 A（JFEスチール株式会社）19.11.2015（2015-11-19）</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>P, A</td> <td>WO 2023/190331 A1（日本製鉄株式会社）05.10.2023（2023-10-05）</td> <td>1-13</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p> <table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			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 11-293340 A（川崎製鉄株式会社）26.10.1999（1999-10-26）	1-13	A	JP 11-124629 A（川崎製鉄株式会社）11.05.1999（1999-05-11）	1-13	A	JP 2006-144058 A（新日本製鐵株式会社）08.06.2006（2006-06-08）	1-13	A	WO 2019/151399 A1（JFEスチール株式会社）08.08.2019（2019-08-08）	1-13	A	JP 2015-206114 A（JFEスチール株式会社）19.11.2015（2015-11-19）	1-13	P, A	WO 2023/190331 A1（日本製鉄株式会社）05.10.2023（2023-10-05）	1-13	* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの	“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	“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献	“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	“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	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
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 11-293340 A（川崎製鉄株式会社）26.10.1999（1999-10-26）	1-13																																			
A	JP 11-124629 A（川崎製鉄株式会社）11.05.1999（1999-05-11）	1-13																																			
A	JP 2006-144058 A（新日本製鐵株式会社）08.06.2006（2006-06-08）	1-13																																			
A	WO 2019/151399 A1（JFEスチール株式会社）08.08.2019（2019-08-08）	1-13																																			
A	JP 2015-206114 A（JFEスチール株式会社）19.11.2015（2015-11-19）	1-13																																			
P, A	WO 2023/190331 A1（日本製鉄株式会社）05.10.2023（2023-10-05）	1-13																																			
* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの																																				
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの	“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																																				
“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献	“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																																				
“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	“&” 同一パテントファミリー文献																																				
“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																																					
<p>国際調査を完了した日</p> <p>09.12.2024</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>24.12.2024</p>																																				
<p>名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>川口 由紀子 4K 5798</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3435</p>																																				

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2024/034821

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 11-293340 A	26.10.1999	(ファミリーなし)	
JP 11-124629 A	11.05.1999	(ファミリーなし)	
JP 2006-144058 A	08.06.2006	(ファミリーなし)	
WO 2019/151399 A1	08.08.2019	US 2021/0043358 A1 EP 3726543 A1 KR 10-2020-0103090 A CN 111656465 A CA 3086308 A1 MX 2020007993 A RU 2741403 C1	
JP 2015-206114 A	19.11.2015	(ファミリーなし)	
WO 2023/190331 A1	05.10.2023	KR 10-2024-0129194 A CN 118647742 A	