

(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 2025/070786 A1

- (51) 国際特許分類:  
C22C 38/00 (2006.01) H01F 1/16 (2006.01)  
C21D 8/12 (2006.01) C22C 38/60 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/034811
- (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 2023-166097 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

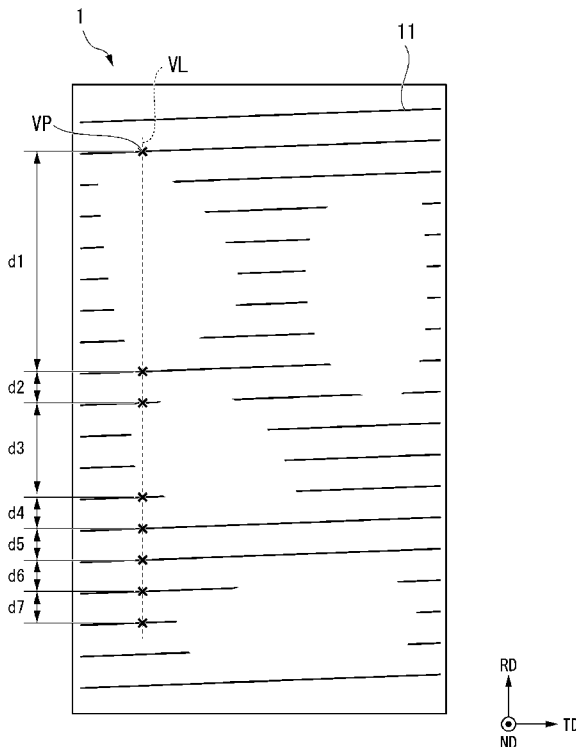
田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内 (JP). 鈴間 俊之(SUZUMA Toshiyuki); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内 (JP).

(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).

(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.

(54) Title: GRAIN-ORIENTED ELECTRICAL STEEL SHEET AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称: 方向性電磁鋼板及びその製造方法



(57) Abstract: This grain-oriented electrical steel sheet is provided with, on the surface thereof, a plurality of magnetic domain control processing lines that extend in a direction intersecting the rolling direction. When a square evaluation region in which the length of one side is 50 mm and one side is parallel to the rolling direction is set on the surface, and imaginary lines that are parallel to the rolling direction and that have a length of 50 mm are set inside the evaluation region at 5 mm intervals in a direction perpendicular to the rolling direction, in at least one of the imaginary lines, the maximum value of the spacing, in the rolling direction, between adjacent intersections from among the plurality of intersections between the imaginary line and the plurality of magnetic domain control processing lines is over 20 mm, and the average value of the magnetic domain width measured along the imaginary line is 600 μm or below.

WO 2025/070786 A1

(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))

(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を備え、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、少なくとも1本の前記仮想線において、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うち、隣り合う交点の、前記圧延方向における間隔の最大値が、20mm超であり、且つ、前記仮想線に沿って測定される磁区幅の平均値が600 $\mu$ m以下である。

## 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2023-166097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、鉄損を低くしつつ、騒音特性の悪化を抑制する方法について検討を行った。

その結果、磁区制御処理の間隔を、少なくとも一部の特定の領域において広くすることで、低鉄損かつ騒音特性に優れる方向性電磁鋼板が得られることを見出した。

[0009] 本開示は、上記の知見に鑑みてなされた。本開示の要旨は以下の通りである。

[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を備え、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、少なくとも1本の前記仮想線において、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うち、隣り合う交点の、前記圧延方向における間隔の最大値が、20mm超であり、且つ、前記仮想線に沿って測定される磁区幅の平均値が600 $\mu$ m以下である。

[2] [1]に記載の方向性電磁鋼板は、前記仮想線に沿って測定される前記磁区幅の前記平均値が500 $\mu$ m以下であってもよい。

[3] [1]に記載の方向性電磁鋼板は、2本以上の前記圧延方向における前記間隔の前記最大値が20mm超である、前記仮想線のそれぞれにおいて、前記仮想線に沿って測定される磁区幅の平均値が600 $\mu$ 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、2本以上の前記圧延方向における前記間隔の前記最大値が20mm超である、前記仮想線のそれぞれにおいて、前記仮想線に沿って測定される前記磁区幅の前記平均値が500 $\mu$ m以下であってもよい。

[5] [1]～[4]のいずれかに記載の方向性電磁鋼板は、前記圧延方向における前記間隔の前記最大値が、30mm超であってもよい。

[6] 本開示の別の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を備え、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、少なくとも1本の前記仮想線において、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うち、隣り合う交点の、前記圧延方向にお

ける間隔の最大値が、20 mm超であり、且つ、前記仮想線に沿って測定される磁区幅の最大値が1200  $\mu$ m以下である。

[7] [6]に記載の方向性電磁鋼板は、前記仮想線に沿って測定される前記磁区幅の前記最大値が800  $\mu$ m以下であってもよい。

[8] [6]に記載の方向性電磁鋼板は、2本以上の、前記圧延方向における前記間隔の前記最大値が20 mm超である、前記仮想線のそれぞれにおいて、前記仮想線に沿って測定される磁区幅の最大値が1200  $\mu$ m以下であってもよい。

[9] [6]～[8]のいずれかに記載の方向性電磁鋼板は、2本以上の、前記圧延方向における前記間隔の前記最大値が20 mm超である、前記仮想線のそれぞれにおいて、前記仮想線に沿って測定される前記磁区幅の前記最大値が800  $\mu$ m以下であってもよい。

[10] [6]～[9]のいずれかに記載の方向性電磁鋼板は、前記圧延方向における前記間隔の前記最大値が、30 mm超であってもよい。

[11] [1]～[10]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。

[12] [1]～[10]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、熱歪みであってもよい。

[13] 本開示の別の態様に係る方向性電磁鋼板の製造方法は、[1]～[9]のいずれかに記載の方向性電磁鋼板の製造方法であって、前記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  $\mu$ m超である領域を特定する領域特定工程と、前記領域特定工程後の前記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、前記磁区幅が500  $\mu$ m超である前記領域に前記磁区制御処理線を形成する。

[14] [13]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図である。  
[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図である。  
[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。

## 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を備え、表面に、一辺の長さが50mmであり、且つ一辺が圧延方向RD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RDに平行且つ長さ50mmの仮想線VLを圧延方向RDに垂直な方向に5mm間隔で設定した場合において、少なくとも1本（好ましくは2本以上）の仮想線VLにおいて、仮想線VLと、複数の磁区制御処理線11との複数の交点VPのうち、隣り合う交点の、圧延方向RDにおける間隔（ $d_1 \sim d_7$ ）の最大値（ $d_{max}$ ）が20mm超（好ましくは30mm超）であり、且つ、仮想線VLに沿って測定される、磁区幅の平均値が600 $\mu m$ 以下又は磁区幅の最大値が1200 $\mu m$ 以下である。

本実施形態に係る方向性電磁鋼板は、後述するように、母材鋼板となる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、交点の間隔、磁区幅に関する規定は、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%、N

b : 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にフォスフェイト被膜及び/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からフォスフェイト被膜及び/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。

フォスフェイト被膜は例えば、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。フォル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。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、図1Aに例示されるように、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、 $1^{\circ}$ 以上、 $3^{\circ}$ 以上、又は $5^{\circ}$ 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、 $40^{\circ}$ 以下、 $35^{\circ}$ 以下、又は $30^{\circ}$ 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、 $1^{\circ}$ 以上、 $3^{\circ}$ 以上、又は $5^{\circ}$ 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、 $40^{\circ}$ 以下、 $35^{\circ}$ 以下、又は $30^{\circ}$ 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、 $d_{max}$ （仮想線と、前記複数の磁区制御処理線との複数の交点のうち、隣り合う交点の、圧延方向における間隔の最大値）が20mm超であるならば、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、図1Cに示されるように、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。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。

[0021] 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。

[0022] 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。

[0023] 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。

[0024] (圧延方向に平行な仮想線と磁区制御処理線の交点の間隔)  
(磁区幅)

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 11 は、 $180^\circ$  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、磁区制御処理線のそれぞれの間隔が 20 mm 超とならないように形成される。

これに対し、本実施形態に係る方向性電磁鋼板では、表面に、一辺の長さが 50 mm であり、且つ一辺が圧延方向 RD 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 RD に平行且つ長さ 50 mm の仮想線 VL を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、少なくとも 1 本の仮想線 VL において、仮想線 VL と、複数の磁区制御処理線 11 との複数の交点 VP のうち、隣り合う交点の、圧延方向 RD にお

ける間隔の最大値が20mm超である。すなわち、少なくとも一部において、磁区制御処理線の圧延方向の間隔が20mm超である。図1Aは例示として1本の仮想線VLのみを描いた状態を示している。仮想線VLを複数本設定する場合、図1Aの仮想線VLに対し、必要本数の他の仮想線を平行に設定することができる。

また、本実施形態に係る方向性電磁鋼板では、圧延方向RDにおける間隔の最大値が20mm超である仮想線VLにおいて、以下に挙げる要件の少なくとも一方を満たす。

(1) 仮想線VLに沿って測定される磁区幅の平均値が600 $\mu$ m以下である。

(2) 仮想線VLに沿って測定される磁区幅の最大値が1200 $\mu$ m以下である。

上述の要件(1)及び要件(2)は、両方が満たされていてもよい。即ち、仮想線VLに沿って測定される磁区幅の平均値が600 $\mu$ m以下であり、且つ、最大値が1200 $\mu$ m以下であってもよい。

[0025] 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、磁区制御処理線の密度を小さくすることで、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。

交点の間隔の最大値が20mm超であるということは、鋼板において、磁区制御処理線の圧延方向の間隔が20mm超である領域が存在することを意味しており、低騒音の観点でより好ましい。

低騒音の観点で、好ましくは、仮想線VLと、複数の磁区制御処理線11との複数の交点VPのうち、隣り合う交点の、圧延方向RDにおける間隔の最大値が30mm超である。粗大な結晶粒サイズを有する鋼板に対して、本実施形態に特有の磁区制御処理を施せば、鋼板が粗大な結晶粒サイズを有することに起因して、圧延方向RDにおける間隔の最大値が大きくなりやすい。

本実施形態に係る方向性電磁鋼板では、圧延方向RDにおける間隔の最大値が30mm超である仮想線VLにおいて、以下に挙げる要件の少なくとも一方を満たすことがより好ましい。

(1) 仮想線VLに沿って測定される磁区幅の平均値が600 $\mu$ m以下である。

(2) 仮想線VLに沿って測定される磁区幅の最大値が1200 $\mu$ m以下である。

[0026] 本発明者らは、さらに検討を行い、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。

[0027] 一般的に、磁束密度を高めるためにGoss方位への方位集積度を高めようとする、製造方法に起因して結晶粒径が大きくなる傾向を持つ。このような粗大な結晶粒サイズを有する鋼板は、磁束密度に優れるが、結晶粒が大きすぎるため磁区制御処理を施さない場合に鉄損が高い傾向にあり、そのため、磁区制御を施すことが実質的に必要となる。しかし、従来の磁区制御処理を施せば、方向性電磁鋼板の鉄損を低減するの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やすい。

これに対し、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、鉄損低減効果が十分得られる範囲内で、磁区制御処理を行わない領域が含まれていてもよい。

[0028] 磁区細分化効果に関する本発明者らのさらなる検討の結果、図2に示すように、磁区幅が約500 $\mu$ 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った。すなわち、磁区幅が約500 $\mu$ 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。そのため、本実施形態に係る方向性電磁鋼板では、磁区制御処理線の密度を下げつつ、鉄損の低減効果を十分に得る場合、このような磁区幅が500 $\mu$ m以下の領域には意図して磁区制御を行わず、磁区幅が500 $\mu$ m超である領域に主に磁区制御処理線を形成する。その結果として、本実施形態に係る方向性電磁鋼板では、圧延方向RDにおける間隔の最大値が20mm超である仮想線VLにおいて、仮想線に沿って測定される磁区幅は、平均値が600 $\mu$ m以下、又は、最大値が1200 $\mu$ m以下となる。すなわち、要件(1)及び要件(2)の少なくとも一方が満たされている方向性電磁鋼板1においては、仮想線VLの全体にわたって磁区幅が小さい値とされている。そのため、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。

[0029] 本実施形態に係る方向性電磁鋼板では、2本以上の仮想線VLにおいて、複数の交点VPのうち、隣り合う交点の、圧延方向における間隔の最大値が20mm超(より好ましくは30mm超)であり、かつ、以下に挙げる要件の少なくとも一方を満たすことが好ましい。

(1) それぞれの仮想線VLに沿って測定される磁区幅の平均値が600 $\mu$ m以下である。

(2) それぞれの仮想線VLに沿って測定される磁区幅の最大値が1200 $\mu$ m以下である。

上述の要件（１）及び要件（２）は、両方が満たされていてもよい。即ち、仮想線VLに沿って測定される磁区幅の平均値が600 $\mu$ m以下であり、且つ、最大値が1200 $\mu$ m以下であってもよい。

複数の仮想線において、交点の間隔の最大値が20mm超である領域が存在するということは、鋼板の複数の位置において、磁区制御処理線の圧延方向の間隔が20mm超である領域が存在することを意味しており、低騒音の観点でより好ましい。

[0030] 上述した、磁区幅の平均値は、500 $\mu$ m以下、450 $\mu$ m以下、400 $\mu$ m以下、380 $\mu$ m以下、350 $\mu$ m以下、又は300 $\mu$ m以下であることが一層好ましい。また、磁区幅の最大値は、1000 $\mu$ m以下、800 $\mu$ m以下、600 $\mu$ m以下、500 $\mu$ m以下、450 $\mu$ m以下、又は400 $\mu$ m以下であることが一層好ましい。

[0031] 仮想線と複数の磁区制御処理線の交点の圧延方向の間隔、仮想線に沿って測定される磁区幅の平均値、最大値は、以下の方法で求める。

例えば、両辺の長さが100mm（又は100mm以上）の矩形試料を、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辺の長さが50mm以上であれば、試料の1辺の長さを100mm未満としてもよい。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。

この磁区画像において、一辺の長さが50mmであり、且つ一辺が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VLを圧延方向に垂直な方向に5mm間隔で設定する。

仮想線VLと複数の磁区制御処理線11との交点の間隔を測定し、その最大値を、隣り合う交点の、圧延方向における間隔の最大値とする。

仮想線VLに沿って測定される磁区幅の平均値及び最大値は、板面垂直方向（厚さ方向）に垂直かつ、仮想線VLに垂直に交わる複数の副仮想線により設定する。副仮想線の長さは5mmとし、圧延方向に2mm間隔で設定する。副仮想線は、その中央において仮想線VLと交わるように設定する。副仮想線それぞれに含まれる磁区の数測定し、副仮想線の長さを、副仮想線が含む磁区の数で割った値を、副仮想線上における磁区幅とみなす。副仮想線上における磁区幅の平均値を仮想線に沿って測定される磁区幅の平均値、副仮想線上における磁区幅の最大値を仮想線に沿って測定される磁区幅の最大値とする。

すなわち、本実施形態において、「仮想線VLに沿って」とは、仮想線上に等間隔で副仮想線の中央がくることを意味する。

評価領域及び仮想線VLを設定する場所は限定されない。複数の交点VPのうち、隣り合う交点の、圧延方向における間隔の最大値が本開示の範囲内となる仮想線VLが設定可能な任意の場所に、評価領域及び仮想線VLを設定すればよい。例えば、磁区制御処理線11が設けられていない領域を通るように仮想線VLを設定すればよい。一方、隣り合う交点の間隔の最大値が本開示の範囲内となるような仮想線VLを設定可能な場所が発見できなかった場合は、本開示の要件が満たされていないと推定される。

また、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3C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3Dは、測定の説明をするために図3C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 $l_p$ 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 $L$ と交点 $l_p$ の個数 $n$ とから、平均の間隔を求める。

[0032] 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1.0mm以上、2.0mm以上、3.0mm以上、又は5.0mm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10.0mm以下、9.0mm以下、8.0mm以下、又は7.0mm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1.0mm以上、2.0mm以上、3.0mm以上、又は5.0mm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10.0mm以下、9.0mm以下、8.0mm以下、又は7.0mm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 $l_p$ の、隣接する2点の $l_p$ 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 $l_p$ 間の距離を複数測定し、それを平均すれば良い。

本実施形態に係る方向性電磁鋼板 1 では、磁区幅の測定位置である仮想線 V L において、V P の間隔がばらつく。すなわち、磁区制御処理線 1 1 の間隔の平均が上記の範囲であっても、磁区幅の測定位置である仮想線 V L は、磁区制御処理線 1 1 が設けられていない領域を通ることで、仮想線 V L と磁区制御処理線 1 1 との交点の圧延方向における間隔の最大値は 2 0 m m 超となる。

[0033] 磁区制御処理線 1 1 と圧延直角方向 T D とがなす角度は、上述及び後述の手順で磁区制御処理線 1 1 及び圧延直角方向 T D 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。

[0034] 磁区制御処理線 1 1 の、圧延方向 R D に沿った間隔は、上述及び後述の手順で磁区制御処理線 1 1 及び圧延方向 R D 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 1 1 の、圧延方向 R D に沿った間隔は、磁区制御処理線の圧延方向 R D の幅の中央から、隣の磁区制御処理線の圧延方向 R D の幅の中央までの距離である。

[0035] また、磁区制御処理線 1 1 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。

[0036] 磁区制御処理線 1 1 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 $10\ \mu\text{m}\sim 300\ \mu\text{m}$ 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。

[0037] 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。

[0038] （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（板幅方向）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RD及び圧延直角方向TDを特定することが困難である場合、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ND（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RDとみなし、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（板幅方向）TDとみなす。

[0039] （被膜）

方向性電磁鋼板 1 は、表面にフォステラ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テラ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、又はフォステラ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テライト被膜と、フォステラ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）。

フォステラ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。

[0040] フォステライト被膜は、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。フォステライト被膜は例えば、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。フォステライト被膜は、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、フォステライト被膜が形成されない場合がある。

[0041] 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 にもたらしすることができる。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ってよい。

[0042] [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。画像取得以外の方法で磁区幅の分布を推定した場合等、磁区幅の分布が明らかな場合には、(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前記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 $\mu$ m超である領域を特定する領域特定工程。

(111) 領域特定工程後の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。

[0043] まず、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。

[0044] (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、前記方向性電磁鋼板における、磁区幅が500 $\mu$ m超である領域を特定する。

上述のように、磁区幅が小さい領域では磁区細分化効果が小さく、磁区幅が約500 $\mu$ 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。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、磁区幅が500 $\mu$ m超である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。

[0045] (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 $\mu$ m超である領域に主に磁区制御処理線を形成することで、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、圧延方向の間隔が20mm超となる領域が存在するように、磁区制御処理線を形成する。

その方法としては、例えば、領域特定工程で得られた磁区幅の分布を基に、隣の磁区制御処理線に対し、圧延方向に20mm超移動した位置で圧延方向に交差する方向に磁区制御処理線を形成したり、図1Aに示すように、圧延方向に交差する方向に磁区制御処理線を形成する際、始点は隣り合う磁区制御処理線から圧延方向に20mm以内の範囲であっても、一部の範囲に磁区制御処理線を形成しないことで、ある位置では、隣り合う交点の間隔が圧延方向に20mmを超えるように磁区制御処理線を形成したりする方法が挙げられる。

[0046] 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。

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加工による方法などが挙げられる。

[0047] 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、磁区制御処理線の幅、溝であればその深さは、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。

[0048] （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 $\mu$ 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。

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 $\mu$ 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。

[0049] 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。

[0050] 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。

[0051] 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。

[0052] 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。

[0053] 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。

[0054] 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。

[0055] 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。

[0056] 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。

[0057] 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。

[0058] 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1/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。

[0059] 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。

[0060] 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1/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。

[0061] 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。

[0062] 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。

[0063] 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。

[0064] 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。

[0065] 通板装置515は、原板を圧延方向RDに通板する。

[0066] 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。

[0067] 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ビームLBの入射角が順次変化する。これにより、レーザビームLBの反射方向が順次変換し、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、即ちレーザビームLBの照射ピッチを表している。

[0068] 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）でレーザビームLBを出力する。

[0069] 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。

[0070] 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。

[0071] 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。

[0072] 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。

[0073] 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。

[0074] 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。

[0075] 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 $\mu$ m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。

[0076] 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。

[0077] 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 $\mu\text{m}$ 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。

[0078] 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。

[0079] 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。

[0080] (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。

[0081] 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  $n S_k \leq k \leq n S_k + N_k - 1$ 、 $m S_l \leq l \leq m S_l + N_l - 1$  の範囲を切り出した部分領域のデータ列  $x_{nm}(k - n S_k, l - m S_l)$  が得られる。

[0082] [数1]

$$x_{nm}(k - n S_k, l - m S_l) = W_a(k - n S_k, l - m S_l) x(k, l) \quad \dots (1)$$

[0083] 図7に、磁区画像Gから、観察位置  $(n, m) = (1, 1)$ 、 $(2, 2)$ 、 $(3, 3)$ 、 $\dots$ 、 $(P, Q)$  ( $P$ 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。

[0084] 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。

[0085] (A-2) ST2DFTを行う処理

部分領域のデータ列を  $x_{nm}(n', m') = x_{nm}(k - n S_k, l - m S_l)$  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。

[0086] [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。

[0087] 空間周波数  $f_k$  の分解能を  $\Delta f_k$ 、空間周波数  $f_l$  の分解能を  $\Delta f_l$  と表記すると、 $\Delta f_k$  及び  $\Delta f_l$  は式(3)のように定義される。

[0088]

[数3]

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

ここで、 $\Delta k$  及び  $\Delta l$  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。

[0089] 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。

[0090] (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。

[0091] 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。

[0092] [数4]

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

[0093] 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。

[0094] 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。

[0095] 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。

[0096] （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11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

[0097] 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。

## [0098] (実施例1)

板厚0.20mm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1に示す磁区制御処理線の種類、磁区制御処理線の形状となるように磁区制御処理を実施した。ここで、表中の磁区制御処理線の形状A～E、A-2は以下を示す。

A：磁区幅が所定値(500 $\mu$ m)超である領域に直線状の磁区制御処理線を形成した。

B：原板の全幅にわたって、直線状に磁区制御処理線を形成した。

C：規則正しい破線状の磁区制御処理線を形成した。

D：ランダムな破線状の磁区制御処理線を形成した。

E：各結晶粒の圧延方向の中央から圧延方向RDに $\pm 4$ mm以内の領域のみに、間隔が4mm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、250mmであった。

A-2：磁区幅が所定値(500 $\mu$ m)超である領域に曲線を含む線状の磁区制御処理線を形成した。

磁区幅が500 $\mu$ m超である領域の特定は、上述の方法で行った。

[0099] これにより得られた、磁区制御処理済みの方向性電磁鋼板の騒音、及び鉄損を評価して、表2に記載した。

[0100] 騒音及び鉄損の評価方法は以下の通りとした。まず、板厚0.20mmの方向性電磁鋼板を205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：1.5Tとした。

[0101] 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 d B A）として表 2 に記載した。騒音の評価結果が 2 5 . 1 d B 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。不合格と判定された騒音評価結果には下線を付した。

[0102] 鉄損は、上述の通り周波数：5 0 H z、及び励磁磁束密度：1 . 5 T 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。求められた鉄損を、方向性電磁鋼板の鉄損評価結果（単位 W / k g）として表 2 に記載した。鉄損の評価結果が 0 . 5 8 0 W / k g 以下の例を、低鉄損化が達成された例であると判定した。不合格と判定された騒音評価結果には下線を付した。

[0103] さらに、騒音及び鉄損の測定用の三相変圧器鉄心から両辺の長さが 1 0 0 m m の矩形試料を切り出した。

この矩形試料に、一辺の長さが 5 0 m m であり、且つ一辺が圧延方向と平行である正方形の評価領域を設定し、評価領域の内部に、圧延方向に平行且つ長さ 5 0 m m の仮想線 V L を圧延方向に垂直な方向に 5 m m 間隔で設定した。仮想線の本数は 9 本であった。

この 9 本の仮想線 V L それぞれにおいて、磁区制御処理線と交点のうち、隣り合う交点の、前記圧延方向における間隔の最大値（交点の間隔）、仮想線に沿って測定される磁区幅の平均値、仮想線に沿って測定される磁区幅の最大値を、上述の要領で測定した。

表 1 に、複数の仮想線のうち、交点の間隔の最大値が 2 0 m m 超となった本数、交点の間隔の最大値が 2 0 m m 超となった仮想線のうち、磁区幅の平均値、最大値が所定の値以下となった仮想線の本数を求めた。

[0104]

[表1]

試料 No.	複数の 仮想線のうち、 交点の間隔の 最大値が20mm超と なった本数 (本)	磁区幅の 平均値が 600 $\mu$ m以下と なった本数 (本)	磁区幅の 平均値が 500 $\mu$ m以下と なった本数 (本)	磁区幅の 最大値が 1200 $\mu$ m以下と なった本数 (本)	磁区幅の 最大値が 800 $\mu$ m以下と なった本数 (本)	磁区制御 処理線の 種類	磁区制御 処理線の 形状
1	1	1	0	0	0	熱歪み	A
2	1	1	0	0	0	熱歪み及び溝	A
3	1	1	0	0	0	溝	A
4	1	1	1	0	0	熱歪み	A
5	1	0	0	1	0	熱歪み	A
6	1	1	0	1	0	熱歪み	A
7	1	0	0	1	1	熱歪み	A
8	3	3	0	0	0	熱歪み	A
9	4	4	2	0	0	熱歪み	A
10	3	3	2	0	0	熱歪み	A
11	4	4	3	0	0	熱歪み	A
12	2	0	0	2	0	熱歪み	A
13	3	0	0	3	0	熱歪み	A
14	3	0	0	3	2	熱歪み	A
15	4	0	0	4	3	熱歪み	A
16	0	0	0	0	0	熱歪み	B
17	0	0	0	0	0	熱歪み	C
18	0	0	0	0	0	熱歪み	D
19	4	0	0	0	0	熱歪み	E
20	4	0	0	4	3	熱歪み	A-2
21	5	5	3	0	0	熱歪み	A-2

[0105]

[表2]

試料No.	鉄損評価	騒音評価	備考
1	0.567	25.0	発明例
2	0.572	24.4	発明例
3	0.576	24.2	発明例
4	0.555	24.8	発明例
5	0.569	24.8	発明例
6	0.562	24.7	発明例
7	0.553	24.6	発明例
8	0.560	24.3	発明例
9	0.560	24.1	発明例
10	0.561	23.7	発明例
11	0.561	23.5	発明例
12	0.562	24.2	発明例
13	0.562	23.9	発明例
14	0.562	23.6	発明例
15	0.562	23.5	発明例
16	0.554	<u>26.5</u>	比較例
17	<u>0.601</u>	<u>25.2</u>	比較例
18	<u>0.607</u>	23.6	比較例
19	<u>0.615</u>	25.0	比較例
20	0.560	23.1	発明例
21	0.559	23.2	発明例

[0106] 表1、表2からわかるように、磁区幅が所定値（500 $\mu$ m）超である領域に磁区制御処理線を形成した場合（試料No. 1～15、20、21）、少なくとも1本の仮想線において、仮想線と、磁区制御処理線との複数の交点のうち、隣り合う交点の、圧延方向における間隔の最大値が、20mm超、かつ、仮想線に沿って測定される磁区幅の平均値が600 $\mu$ m以下又は最大値が1200 $\mu$ m以下であった。その結果、鉄損が低く、騒音も小さかつ

た。

これに対し、磁区制御処理線が、規則正しい破線状、又は、ランダムな破線状の磁区制御処理線であった場合、又は、各結晶粒の圧延方向の中央の一部の領域にのみ磁区制御処理線を形成した場合、仮想線と、磁区制御処理線との複数の交点のうち、隣り合う交点の、圧延方向における間隔の最大値、又は、仮想線に沿って測定される磁区幅の平均値及び最大値が、本発明範囲を外れていた。その結果、鉄損特性、騒音特性の一方、又は両方が劣っていた。

[0107] (実施例2)

板厚0.20mmの同一ロットの方向性電磁鋼板（粗大な結晶粒径を有する方向性電磁鋼板）を、原板として用いた。この電磁鋼板は、仕上げ焼鈍の昇温過程で1000℃から1200℃までの平均昇温速度を5℃/時間未満としたことで、圧延方向RDに対する平均粒界間隔が31mm～40mmであった。

原板に、表3に示す磁区制御処理線の種類、磁区制御処理線の形状となるように磁区制御処理を実施した。ここで、表中の磁区制御処理線の形状A～E、A-2は以下を示す。

A：磁区幅が所定値（500μm）超である領域に直線状の磁区制御処理線を形成した。

B：原板の全幅にわたって、直線状に磁区制御処理線を形成した。

C：規則正しい破線状の磁区制御処理線を形成した。

D：ランダムな破線状の磁区制御処理線を形成した。

E：各結晶粒の圧延方向の中央から圧延方向RDに±4mm以内の領域のみに、間隔が4mm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、250mmであった。

A-2：磁区幅が所定値（500μm）超である領域に曲線を含む線状の磁区制御処理線を形成した。

磁区幅が500μm超である領域の特定は、実施例1と同様の方法で行っ

た。

[0108] 騒音及び鉄損を、実施例1と同じ要領で評価した。結果を表4に示す。

[0109] [表3]

試料 No.	複数の 仮想線のうち、 交点の間隔の 最大値が30mm超と なった本数 (本)	磁区幅の 平均値が 600 $\mu$ m以下と なった本数 (本)	磁区幅の 平均値が 500 $\mu$ m以下と なった本数 (本)	磁区幅の 最大値が 1200 $\mu$ m以下と なった本数 (本)	磁区幅の 最大値が 800 $\mu$ m以下と なった本数 (本)	磁区制御 処理線 の種類	磁区制御 処理線 の形状
31	1	1	0	0	0	熱歪み	A
32	1	1	0	0	0	熱歪み及び溝	A
33	1	1	0	0	0	溝	A
34	1	1	1	0	0	熱歪み	A
35	1	0	0	1	0	熱歪み	A
36	1	1	0	1	0	熱歪み	A
37	1	0	0	1	1	熱歪み	A
38	3	3	0	0	0	熱歪み	A
39	5	4	3	0	0	熱歪み	A
40	3	3	3	0	0	熱歪み	A
41	6	4	3	0	0	熱歪み	A
42	2	0	0	2	0	熱歪み	A
43	3	0	0	3	0	熱歪み	A
44	4	0	0	3	2	熱歪み	A
45	5	0	0	4	3	熱歪み	A
46	0	0	0	0	0	熱歪み	B
47	0	0	0	0	0	熱歪み	C
48	0	0	0	0	0	熱歪み	D
49	2	0	0	0	0	熱歪み	E
50	5	0	0	4	3	熱歪み	A-2
51	5	5	4	0	0	熱歪み	A-2

[0110] [表4]

試料No.	鉄損評価	騒音評価	備考
31	0.547	23.0	発明例
32	0.548	22.7	発明例
33	0.550	22.5	発明例
34	0.535	22.8	発明例
35	0.544	22.8	発明例
36	0.542	22.7	発明例
37	0.534	22.3	発明例
38	0.538	21.7	発明例
39	0.538	21.5	発明例
40	0.539	21.2	発明例
41	0.539	21.0	発明例
42	0.540	21.6	発明例
43	0.540	21.4	発明例
44	0.540	21.0	発明例
45	0.540	20.8	発明例
46	0.544	<u>25.2</u>	比較例
47	<u>0.591</u>	<u>24.2</u>	比較例
48	<u>0.595</u>	22.1	比較例
49	<u>0.607</u>	23.0	比較例
50	0.538	20.3	発明例
51	0.537	20.4	発明例

[0111] 表3、表4からわかるように、磁区幅が所定値（ $500\mu\text{m}$ ）超である領域に磁区制御処理線を形成した場合（試料No. 31～45、50、51）、少なくとも1本の仮想線において、仮想線と、磁区制御処理線との複数の交点のうち、隣り合う交点の、圧延方向における間隔の最大値が、 $30\text{mm}$ 超、かつ、仮想線に沿って測定される磁区幅の平均値が $600\mu\text{m}$ 以下又は最大値が $1200\mu\text{m}$ 以下であった。その結果、鉄損が低く、騒音も小さか

った。

これに対し、磁区制御処理線が、規則正しい破線状、又は、ランダムな破線状の磁区制御処理線であった場合、又は、各結晶粒の圧延方向の中央の一部の領域にのみ磁区制御処理線を形成した場合、仮想線と、磁区制御処理線との複数の交点のうち、隣り合う交点の、圧延方向における間隔の最大値、又は、仮想線に沿って測定される磁区幅の平均値及び最大値が、本発明範囲を外れていた。その結果、鉄損特性、騒音特性の一方、又は両方が劣っていた。

### 産業上の利用可能性

[0112] 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

- [0113] 1 方向性電磁鋼板
- 1 1 磁区制御処理線
  - R D 圧延方向
  - T D 圧延直角方向（板幅方向）
  - N D 圧延面法線方向
  - V L 仮想線
  - V P 交点
  - 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
- 3 0 2 ノイズ
- L s 線分
- I p 交点
- 5 0 0 レーザ照射装置
- 5 0 1 ポリゴンミラー
- 5 0 3 光源装置
- 5 0 5 コリメータ
- 5 0 7 集光レンズ
- 5 0 9 モータ
- 5 1 1 センサ
- 5 1 3 制御部
- 5 1 5 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を備え、
- 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、
- 少なくとも1本の前記仮想線において、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うち、隣り合う交点の、前記圧延方向における間隔の最大値が、20mm超であり、且つ、前記仮想線に沿って測定される磁区幅の平均値が600 $\mu$ m以下である、
- ことを特徴とする、方向性電磁鋼板。
- [請求項2] 前記仮想線に沿って測定される前記磁区幅の前記平均値が500 $\mu$ m以下である、ことを特徴とする、請求項1に記載の方向性電磁鋼板。
- [請求項3] 2本以上の前記圧延方向における前記間隔の前記最大値が20mm超である、前記仮想線のそれぞれにおいて、前記仮想線に沿って測定される磁区幅の平均値が600 $\mu$ m以下である、
- ことを特徴とする、請求項1に記載の方向性電磁鋼板。
- [請求項4] 2本以上の前記圧延方向における前記間隔の前記最大値が20mm超である、前記仮想線のそれぞれにおいて、前記仮想線に沿って測定される前記磁区幅の前記平均値が500 $\mu$ m以下である、
- ことを特徴とする、請求項3に記載の方向性電磁鋼板。
- [請求項5] 前記圧延方向における前記間隔の前記最大値が、30mm超である、
- ことを特徴とする、請求項1に記載の方向性電磁鋼板。
- [請求項6] 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備え、

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、

少なくとも1本の前記仮想線において、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うち、隣り合う交点の、前記圧延方向における間隔の最大値が、20mm超であり、且つ、前記仮想線に沿って測定される磁区幅の最大値が1200 $\mu$ m以下である、ことを特徴とする、方向性電磁鋼板。

[請求項7] 前記仮想線に沿って測定される前記磁区幅の前記最大値が800 $\mu$ m以下である、

ことを特徴とする、請求項6に記載の方向性電磁鋼板。

[請求項8] 2本以上の、前記圧延方向における前記間隔の前記最大値が20mm超である、前記仮想線のそれぞれにおいて、前記仮想線に沿って測定される磁区幅の最大値が1200 $\mu$ m以下である、

ことを特徴とする、請求項6に記載の方向性電磁鋼板。

[請求項9] 2本以上の、前記圧延方向における前記間隔の前記最大値が20mm超である、前記仮想線のそれぞれにおいて、前記仮想線に沿って測定される前記磁区幅の前記最大値が800 $\mu$ m以下である、

ことを特徴とする、請求項6に記載の方向性電磁鋼板。

[請求項10] 前記圧延方向における前記間隔の前記最大値が、30mm超である、

ことを特徴とする、請求項6に記載の方向性電磁鋼板。

[請求項11] 前記複数の磁区制御処理線が、溝である、

ことを特徴とする、請求項1～10のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板。

[請求項12] 前記複数の磁区制御処理線が、熱歪みである、

ことを特徴とする、請求項1～10のいずれか一項に記載の方向性電

磁鋼板。

[請求項13] 請求項1～10のいずれか一項に記載の方向性電磁鋼板の製造方法であって、

前記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、

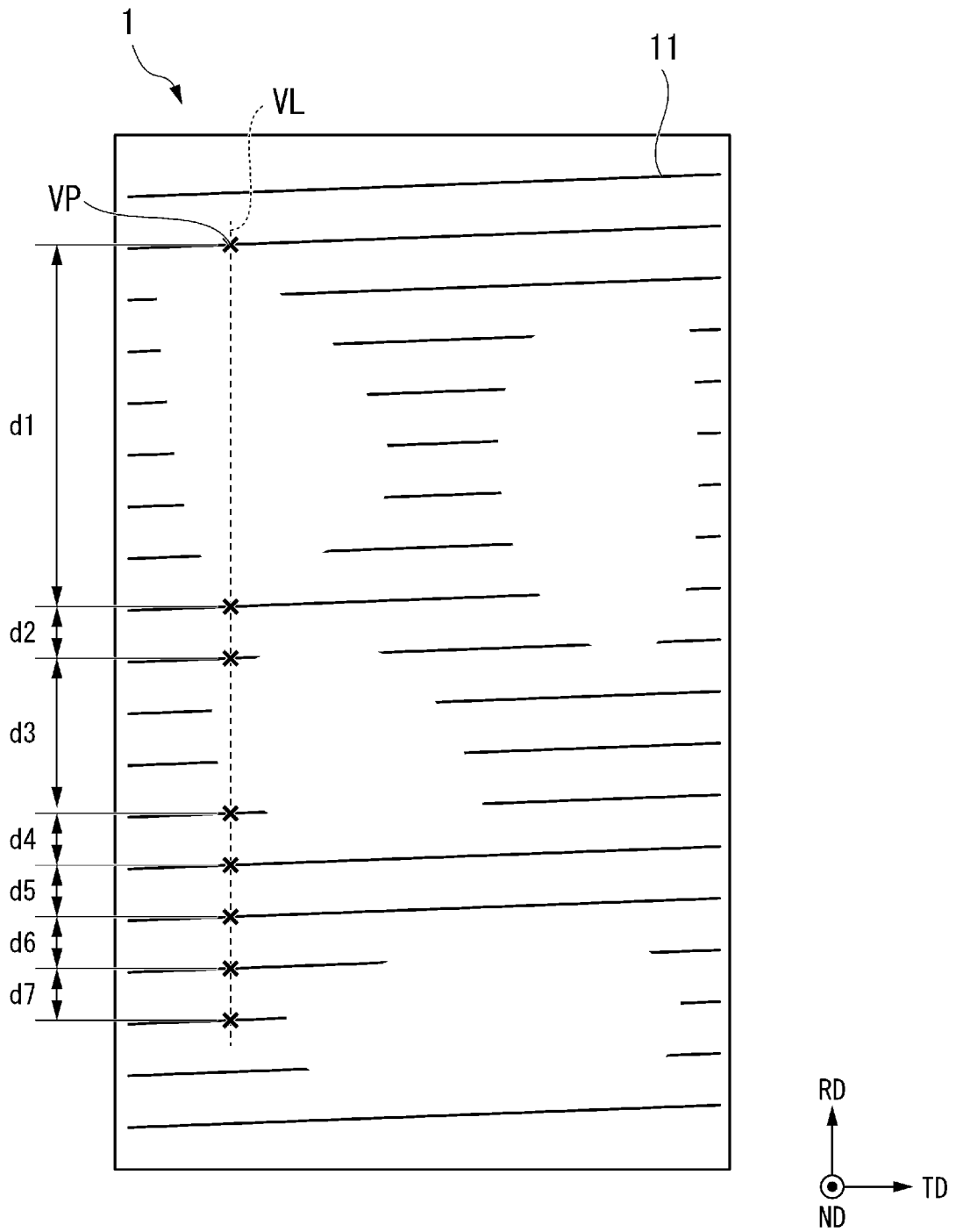
前記磁区画像取得工程において得られた前記磁区画像に基づいて、前記方向性電磁鋼板における、磁区幅が500 $\mu$ m超である領域を特定する領域特定工程と、

前記領域特定工程後の前記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、

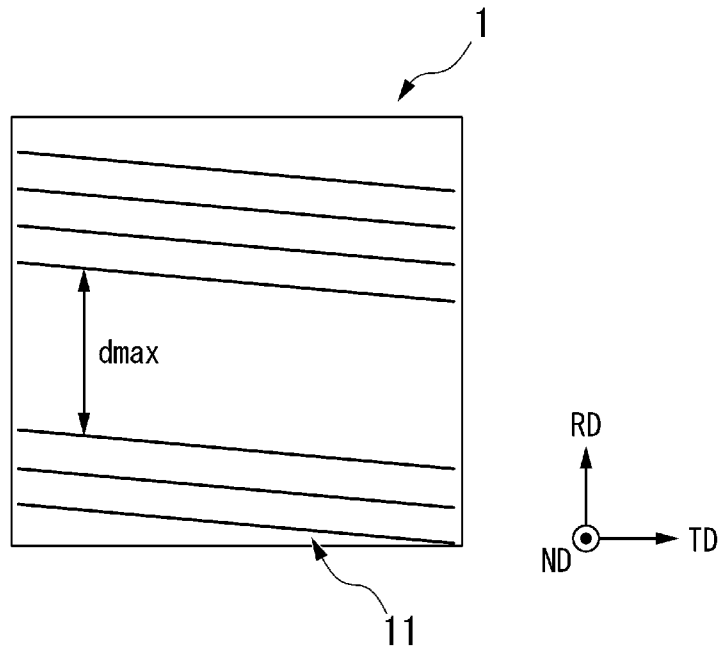
前記磁区制御処理線形成工程では、前記磁区幅が500 $\mu$ m超である前記領域に前記磁区制御処理線を形成する、  
ことを特徴とする、方向性電磁鋼板の製造方法。

[請求項14] 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、  
ことを特徴とする、請求項13に記載の方向性電磁鋼板の製造方法。

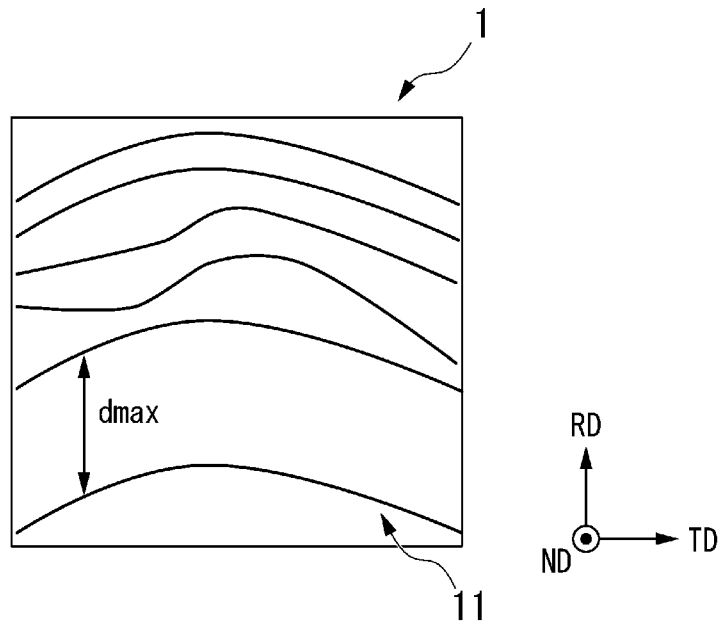
[図1A]



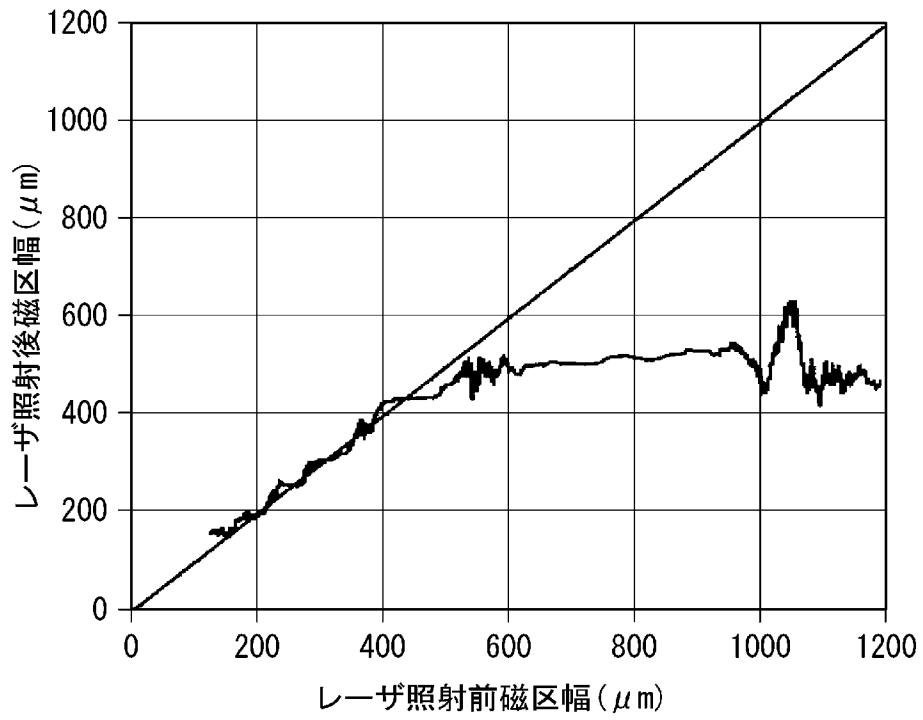
[図1B]



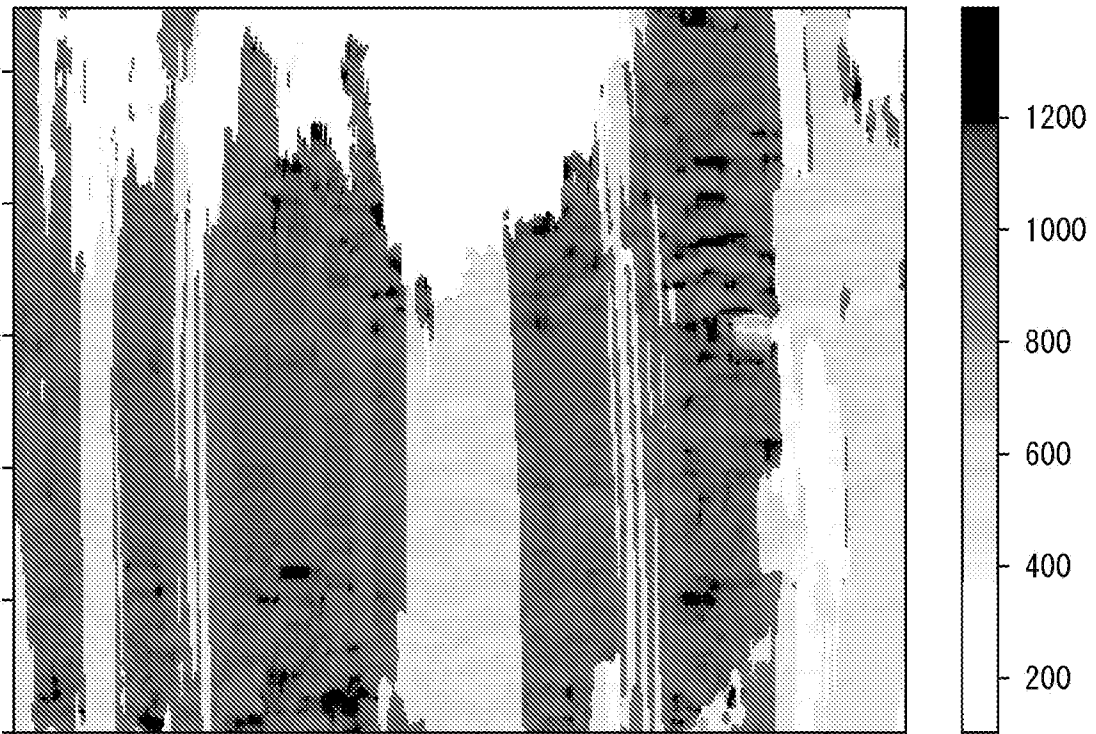
[図1C]



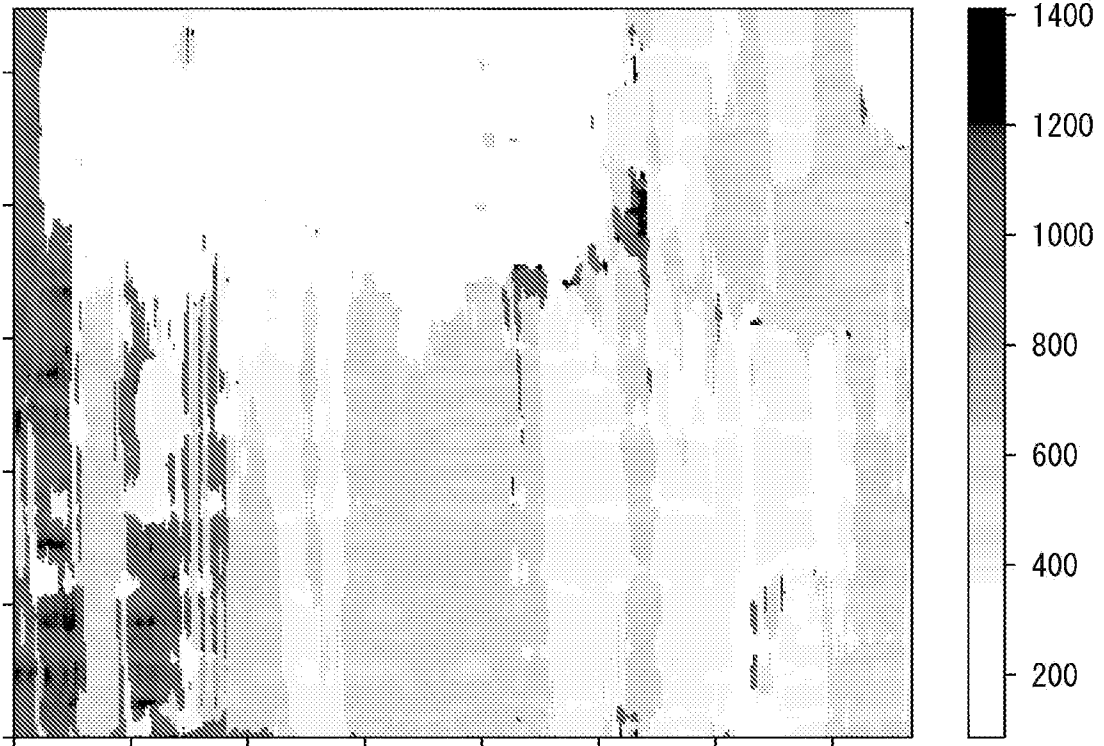
[図2]



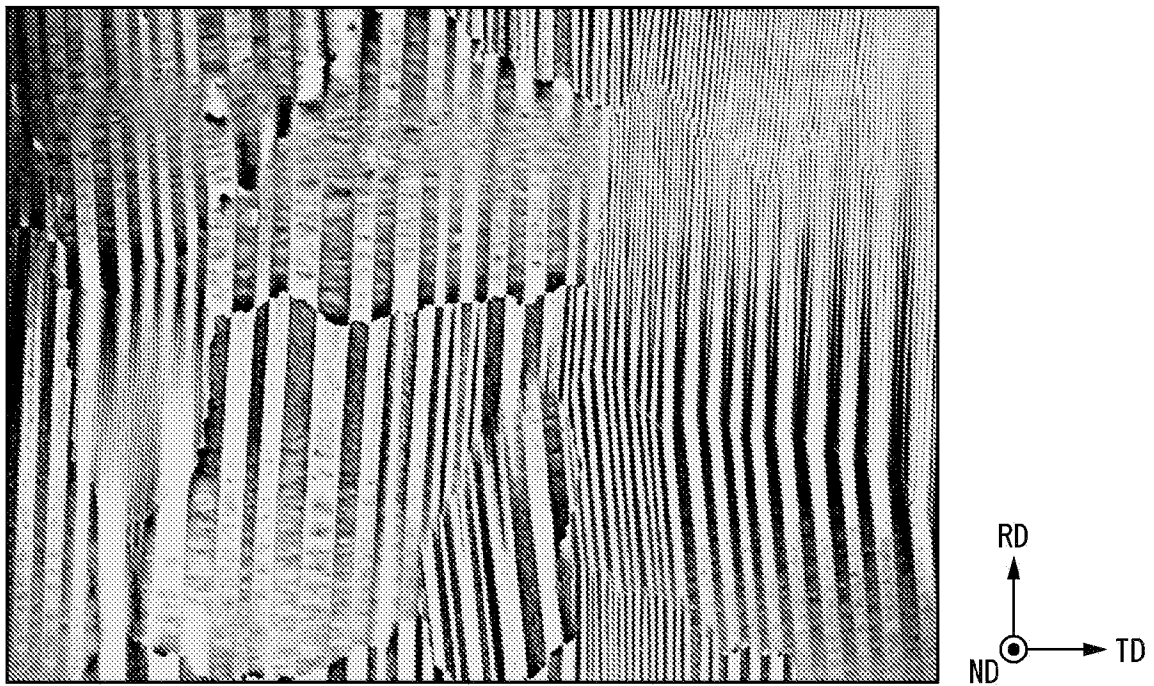
[図3A]



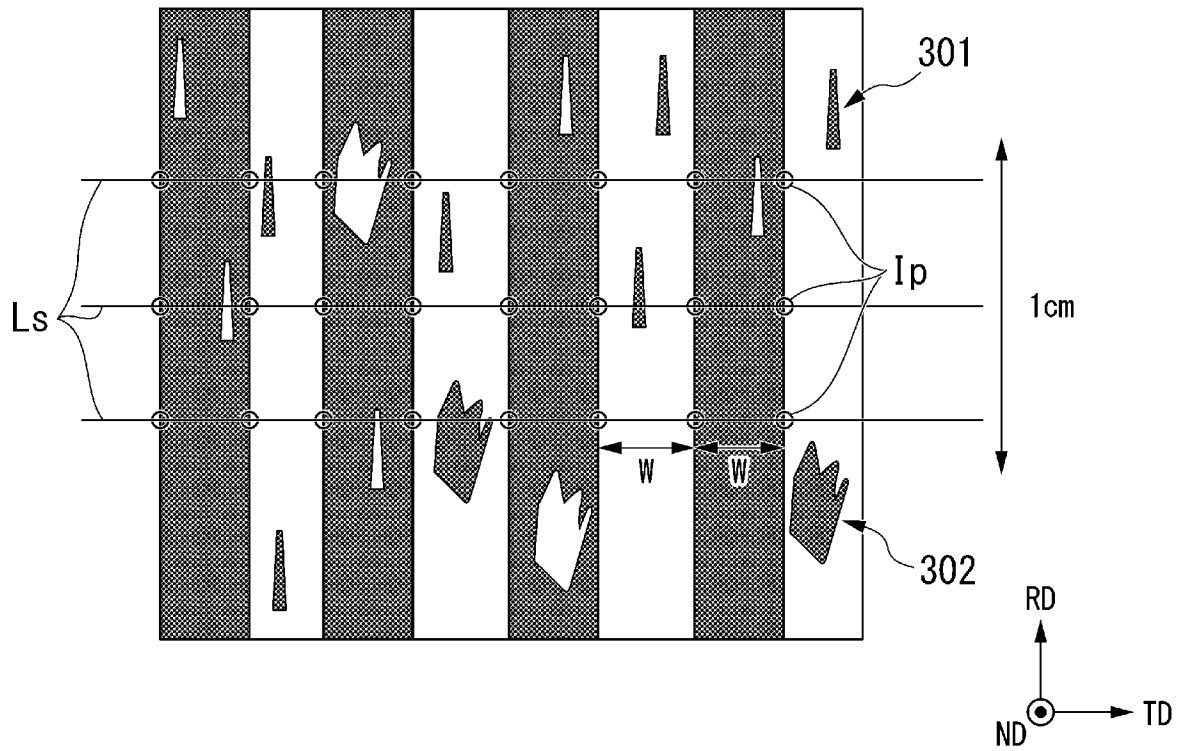
[図3B]



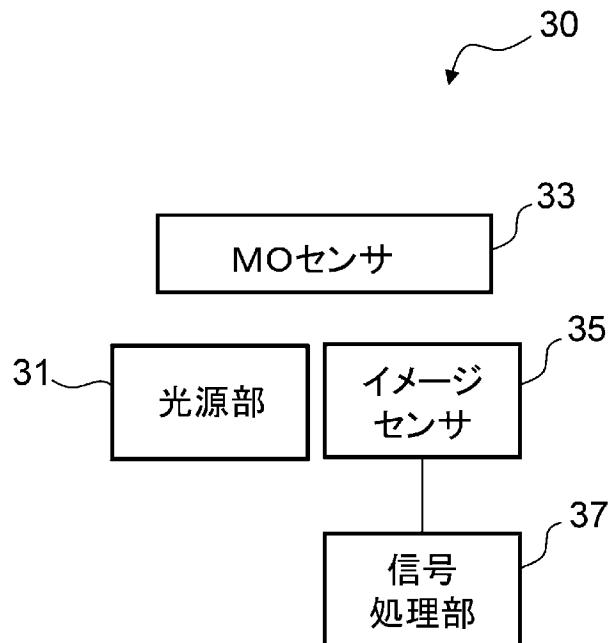
[図3C]



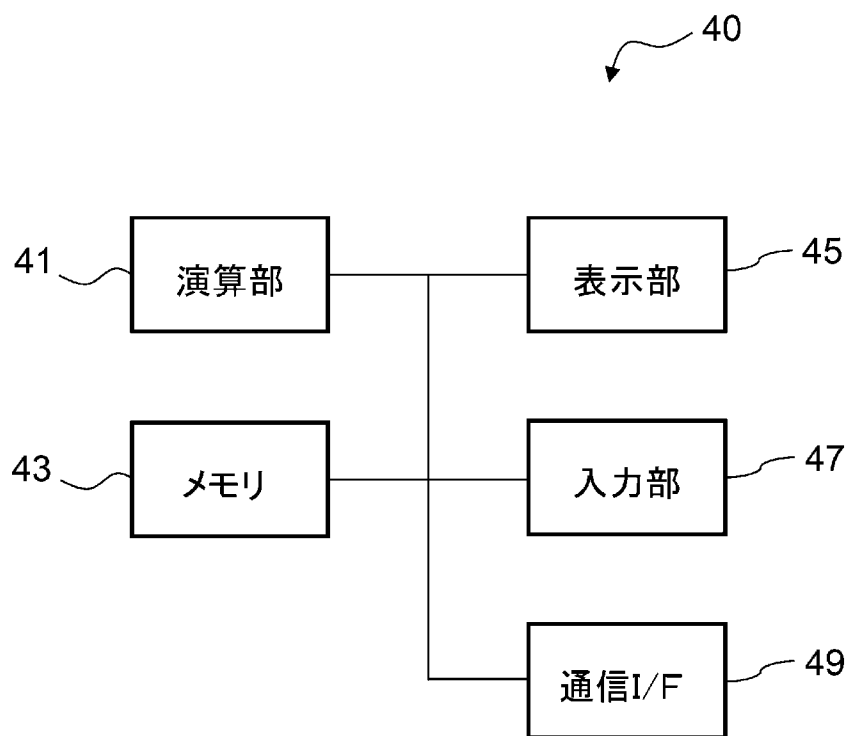
[図3D]



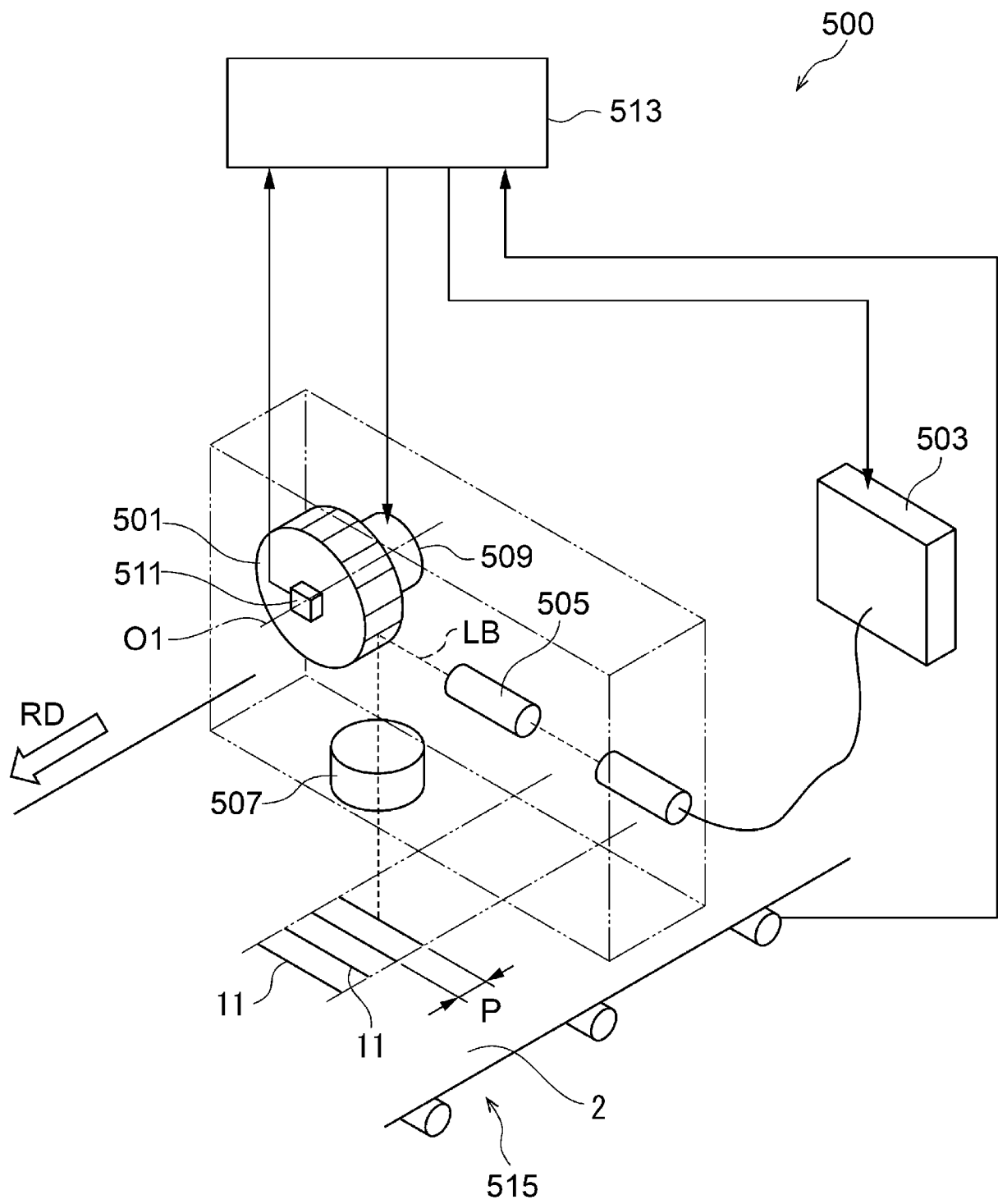
[図4]



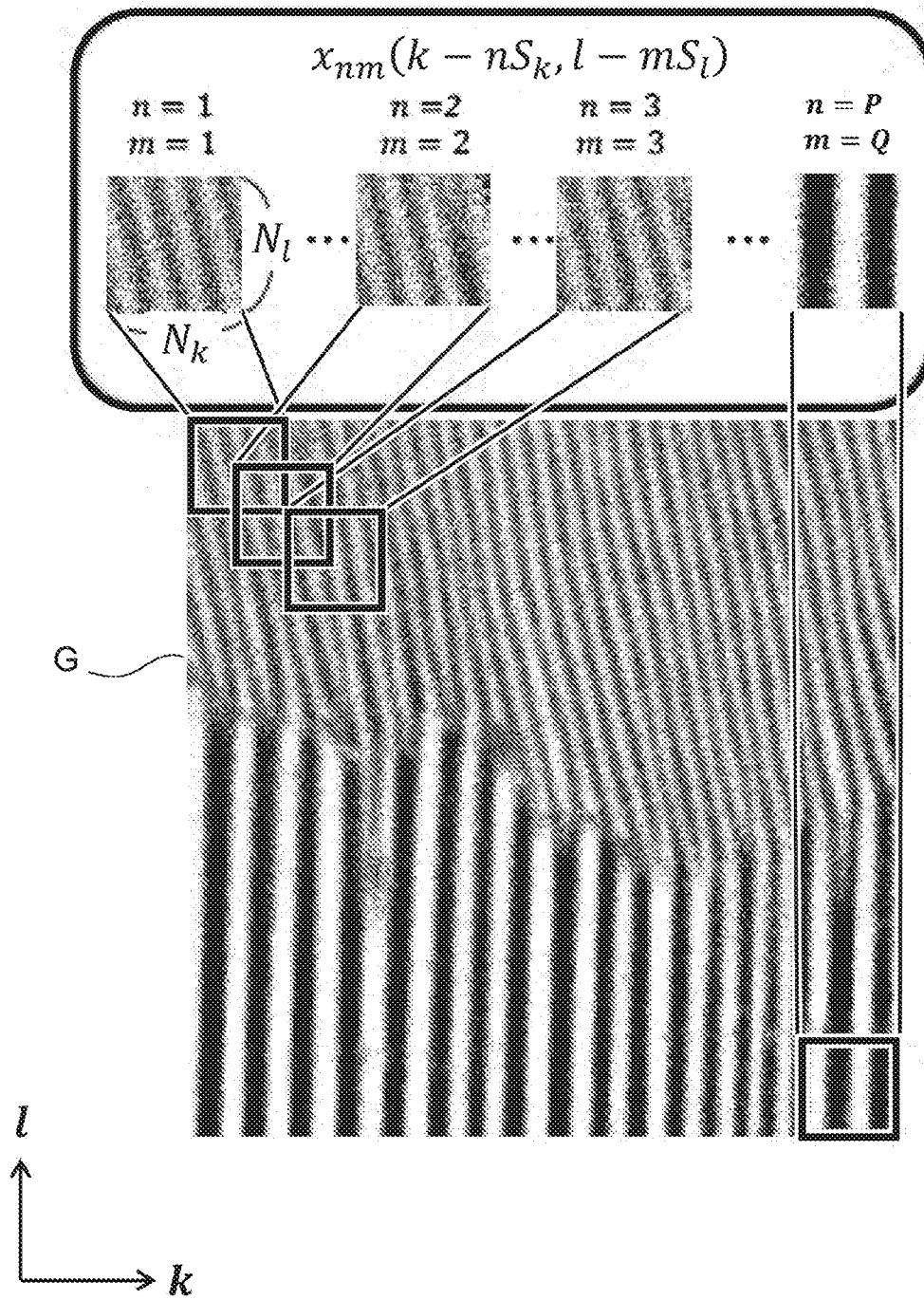
[図5]



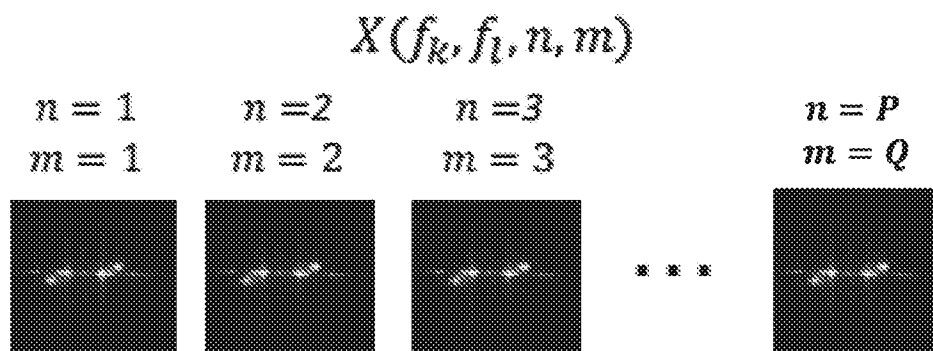
[図6]



[図7]



[図8]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/034811

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>C22C 38/00</i> (2006.01)i; <i>C21D 8/12</i> (2006.01)i; <i>H01F 1/16</i> (2006.01)i; <i>C22C 38/60</i> (2006.01)n 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>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C22C38/00-C22C38/60; C21D8/12; C21D9/46; H01F1/147; 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)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-124629 A (KAWASAKI STEEL CORP.) 11 May 1999 (1999-05-11) claims, paragraphs [0001]-[0008], [0011]-[0017], [0020]-[0022], table 1, fig. 1-3	1-14
Y	JP 2012-67349 A (JFE STEEL CORPORATION) 05 April 2012 (2012-04-05) claims, paragraphs [0001]-[0008]	1-14
Y	JP 2000-345306 A (NIPPON STEEL CORPORATION) 12 December 2000 (2000-12-12) claims, paragraphs [0007]-[0014], fig. 1, 3-4	1-14
Y	JP 11-293340 A (KAWASAKI STEEL CORP.) 26 October 1999 (1999-10-26) claims, paragraphs [0001]-[0005], [0007]-[0008]	1-14
Y	JP 2020-169373 A (NIPPON STEEL CORPORATION) 15 October 2020 (2020-10-15) claims, paragraphs [0001]-[0012], [0018]-[0037]	13-14
A		1-12
A	JP 2022-515236 A (POSCO) 17 February 2022 (2022-02-17) entire text, all drawings	1-14
<input checked="" 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 <b>03 December 2024</b>		Date of mailing of the international search report <b>17 December 2024</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/JP2024/034811**

<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-2017-0074608 A (POSCO) 30 June 2017 (2017-06-30) entire text, all drawings	1-14
P, A	WO 2023/190331 A1 (NIPPON STEEL CORPORATION) 05 October 2023 (2023-10-05) entire text, all drawings	1-14

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/JP2024/034811**

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 11-124629 A	11 May 1999	(Family: none)	
JP 2012-67349 A	05 April 2012	(Family: none)	
JP 2000-345306 A	12 December 2000	US 2003/0183304 A1 claims, paragraphs [0020]- [0036], fig. 1, 3-4 EP 1057898 A2 KR 10-2000-0077476 A	
JP 11-293340 A	26 October 1999	(Family: none)	
JP 2020-169373 A	15 October 2020	(Family: none)	
JP 2022-515236 A	17 February 2022	US 2022/0051837 A1 entire text, all drawings WO 2020/130645 A1 EP 3901971 A1 KR 10-2020-0076508 A CN 113196422 A	
KR 10-2017-0074608 A	30 June 2017	(Family: none)	
WO 2023/190331 A1	05 October 2023	KR 10-2024-0129194 A entire text, all drawings 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; H01F 1/16(2006.01)i; C22C 38/60(2006.01)n                  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-C22C38/60; C21D8/12; C21D9/46; H01F1/147; 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>Y</td> <td>JP 11-124629 A (川崎製鉄株式会社) 11.05.1999 (1999 - 05 - 11) 特許請求の範囲, 0001-0008, 0011-0017, 0020-0022, 表1, 図1-図3</td> <td>1-14</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2012-67349 A (JFEスチール株式会社) 05.04.2012 (2012 - 04 - 05) 特許請求の範囲, 0001-0008</td> <td>1-14</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2000-345306 A (新日本製鐵株式会社) 12.12.2000 (2000 - 12 - 12) 特許請求の範囲, 0007-0014, 図1, 図3-図4</td> <td>1-14</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 11-293340 A (川崎製鉄株式会社) 26.10.1999 (1999 - 10 - 26) 特許請求の範囲, 0001-0005, 0007-0008</td> <td>1-14</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2020-169373 A (日本製鉄株式会社) 15.10.2020 (2020 - 10 - 15) 特許請求の範囲, 0001-0012, 0018-0037</td> <td>13-14</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2022-515236 A (ポスコ) 17.02.2022 (2022 - 02 - 17) 全文, 全図</td> <td>1-14</td> </tr> </tbody> </table> <p><input checked="" 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> <p>* 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                  “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                  “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</p> <p>“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                  “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                  “&amp;” 同一パテントファミリー文献</p>			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	Y	JP 11-124629 A (川崎製鉄株式会社) 11.05.1999 (1999 - 05 - 11) 特許請求の範囲, 0001-0008, 0011-0017, 0020-0022, 表1, 図1-図3	1-14	Y	JP 2012-67349 A (JFEスチール株式会社) 05.04.2012 (2012 - 04 - 05) 特許請求の範囲, 0001-0008	1-14	Y	JP 2000-345306 A (新日本製鐵株式会社) 12.12.2000 (2000 - 12 - 12) 特許請求の範囲, 0007-0014, 図1, 図3-図4	1-14	Y	JP 11-293340 A (川崎製鉄株式会社) 26.10.1999 (1999 - 10 - 26) 特許請求の範囲, 0001-0005, 0007-0008	1-14	Y	JP 2020-169373 A (日本製鉄株式会社) 15.10.2020 (2020 - 10 - 15) 特許請求の範囲, 0001-0012, 0018-0037	13-14	A		1-12	A	JP 2022-515236 A (ポスコ) 17.02.2022 (2022 - 02 - 17) 全文, 全図	1-14
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																								
Y	JP 11-124629 A (川崎製鉄株式会社) 11.05.1999 (1999 - 05 - 11) 特許請求の範囲, 0001-0008, 0011-0017, 0020-0022, 表1, 図1-図3	1-14																								
Y	JP 2012-67349 A (JFEスチール株式会社) 05.04.2012 (2012 - 04 - 05) 特許請求の範囲, 0001-0008	1-14																								
Y	JP 2000-345306 A (新日本製鐵株式会社) 12.12.2000 (2000 - 12 - 12) 特許請求の範囲, 0007-0014, 図1, 図3-図4	1-14																								
Y	JP 11-293340 A (川崎製鉄株式会社) 26.10.1999 (1999 - 10 - 26) 特許請求の範囲, 0001-0005, 0007-0008	1-14																								
Y	JP 2020-169373 A (日本製鉄株式会社) 15.10.2020 (2020 - 10 - 15) 特許請求の範囲, 0001-0012, 0018-0037	13-14																								
A		1-12																								
A	JP 2022-515236 A (ポスコ) 17.02.2022 (2022 - 02 - 17) 全文, 全図	1-14																								
<p>国際調査を完了した日</p> <p>03. 12. 2024</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>17. 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>鈴木 葉子 4K 3557</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3435</p>																									

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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	KR 10-2017-0074608 A (POSCO) 30.06.2017 (2017 - 06 - 30) 全文, 全図	1-14
P, A	WO 2023/190331 A1 (日本製鉄株式会社) 05.10.2023 (2023 - 10 - 05) 全文, 全図	1-14

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/JP2024/034811

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 11-124629 A	11.05.1999	(ファミリーなし)	
JP 2012-67349 A	05.04.2012	(ファミリーなし)	
JP 2000-345306 A	12.12.2000	US 2003/0183304 A1 請求の範囲, 0020-0036, 図1, 図3-図4 EP 1057898 A2 KR 10-2000-0077476 A	
JP 11-293340 A	26.10.1999	(ファミリーなし)	
JP 2020-169373 A	15.10.2020	(ファミリーなし)	
JP 2022-515236 A	17.02.2022	US 2022/0051837 A1 全文, 全図 WO 2020/130645 A1 EP 3901971 A1 KR 10-2020-0076508 A CN 113196422 A	
KR 10-2017-0074608 A	30.06.2017	(ファミリーなし)	
WO 2023/190331 A1	05.10.2023	KR 10-2024-0129194 A 全文, 全図 CN 118647742 A	