



(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

## 明 細 書

発明の名称：電磁鋼板

技術分野

[0001] 本発明は、電磁鋼板に係り、さらに詳細には、電気自動車などに搭載される駆動モータのロータに適用可能な電磁鋼板に関する。

背景技術

[0002] 従来、ロータの高速回転に耐え得る高強度を有しかつ磁気特性にも優れた高強度無方向性電磁鋼板が提案されている（特許文献1参照。）。この高強度無方向性電磁鋼板は、C：0.0050質量%超0.020質量%以下、N：0.01質量%以下、(C+N)：0.030質量%以下、Si：4.0質量%超10.0質量%以下、Cr：2.0～10.0質量%、P：0.04質量%以下を含有する。この高強度無方向性電磁鋼板は、さらに、Tiを(1)式： $-0.02 \leq Ti - 4(C+N) \leq 0.04$ を満たして含有し、残部がFe及び不可避免的不純物である。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特開2008-240104号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1の高強度無方向性電磁鋼板においては、鉄に合金元素を添加して、高強度化を実現している。このような高強度無方向性電磁鋼板においては、磁気特性が著しく低下してしまう、具体的には、鉄損が著しく大きくなってしまふという問題点があった。

[0005] 本発明は、このような従来技術の有する課題に鑑みてなされたものである。そして、本発明は、磁気特性を著しく低下させることなく、疲労強度を10%以上向上させた電磁鋼板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

[0006] 本発明者らは、上記目的を達成するため鋭意検討を重ねた。その結果、電磁鋼板の端面に所定の窒化層を設けることにより、上記目的が達成できることを見出し、本発明を完成するに至った。

[0007] すなわち、本発明の電磁鋼板は、主面と端面とを有する。電磁鋼板は、母材部と、母材部に隣接し、かつ、端面に設けられた、窒素を含有する端面窒化層と、を備える。端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下である。

### 発明の効果

[0008] 本発明によれば、電磁鋼板の端面に所定の窒化層を設けたため、磁気特性を著しく低下させることなく、疲労強度を10%以上向上させた電磁鋼板を提供できる。

### 図面の簡単な説明

[0009] [図1]図1は、第1の実施形態に係る電磁鋼板の概略を示す斜視図である。

[図2]図2は、図1に示した電磁鋼板の||-||線に沿った模式的な断面図である。

[図3]図3は、第2の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。

[図4]図4は、第3の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。

[図5]図5は、第4の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。

[図6]図6は、第5の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。

[図7]図7は、第6の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。

[図8]図8は、第7の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。

### 発明を実施するための形態

[0010] 以下、本発明の一実施形態に係る電磁鋼板について図面を参照しながら詳細に説明する。なお、以下で参照する図面の寸法比率は、説明の都合上誇張されており、実際の比率とは異なる場合がある。

[0011] (第1の実施形態)

まず、第1の実施形態に係る電磁鋼板について詳細に説明する。図1は、第1の実施形態に係る電磁鋼板の概略を示す斜視図である。図2は、図1に示した電磁鋼板の11-11線に沿った模式的な断面図である。

[0012] 図1に示すように、第1の実施形態の電磁鋼板10は、主面10aと、端面10b、10bとを有する。図2に示すように、電磁鋼板10は、母材部11と、母材部に隣接し、かつ、端面10bに設けられた端面窒化層13とを備える。特に、限定されないが、図2に示すように、電磁鋼板10は、電磁鋼板の主面10a、10aに形成された絶縁被膜15、15を備えていることが好ましい。図示しないが、端面窒化層は、窒素を含有している。図示しないが、端面窒化層の表面硬さは、430HV以上1250HV以下である。

[0013] ここで、本願において「端面」とは、部品形状や使用目的に応じた形状に加工された端面を意味する。

[0014] 上述のように、第1の実施形態の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下であるので、電磁鋼板の磁気特性が著しく低下せず、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。

[0015] 端面窒化層の表面硬さが430HV未満である場合には、電磁鋼板の疲労強度を10%以上向上させることができない。端面窒化層の表面硬さが1250HVよりも大きい場合には、電磁鋼板の磁気特性が著しく低下してしまう。より具体的には、端面窒化層の表面硬さが1250HVよりも大きい場合には、電磁鋼板の鉄損が著しく大きくなってしまふ。

[0016] なお、本願において「端面窒化層の表面硬さ」は、日本工業規格 ビッカース硬さ試験—試験方法(JIS Z 2244)に準拠して測定する。但

し、端面が詳しくは後述するせん断面を有する場合はせん断面の領域において測定する。

[0017] 現時点においては、以下のような理由により、上述の効果が得られていると考えている。

[0018] 電磁鋼板の端面に対して、使用ガス、処理温度、処理時間を制御したガス軟窒化又は酸窒化をする。電磁鋼板の端面から窒素が拡散され、窒素を含有し、表面硬さが430HV以上1250HV以下である端面窒化層が電磁鋼板に形成される。これにより、疲労破壊の起点となる電磁鋼板の端面付近の疲労強度を向上させることができる。

[0019] ガス軟窒化の使用ガスとしては、特に限定されないが、例えば、アンモニア ( $\text{NH}_3$ ) / 二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) を適用することが好ましい。ガス軟窒化の処理温度は、特に限定されないが、例えば、490℃以上560℃以下が好ましく、500℃以上540℃以下がより好ましい。ガス軟窒化の処理時間は、特に限定されないが、例えば、0.5時間以上4時間以下が好ましく、0.5時間以上3.5時間以下がより好ましく、1時間以上3時間以下が更に好ましく、1時間以上2.5時間以下が特に好ましい。

[0020] 酸窒化の使用ガスとしては、特に限定されないが、例えば、アンモニア ( $\text{NH}_3$ ) / 空気 (Air) を適用することが好ましい。酸窒化の処理温度は、特に限定されないが、例えば、450℃以上480℃以下が好ましく、455℃以上465℃以下がより好ましく、460℃以上465℃以下が更に好ましい。酸窒化の処理時間は、特に限定されないが、例えば、0.5時間以上4時間以下が好ましく、1時間以上3.5時間以下がより好ましく、1.5時間以上3.5時間以下が更に好ましく、1.5時間以上3時間以下が特に好ましい。

[0021] 但し、これら以外の理由により上述のような効果が得られていたとしても、本発明の範囲に含まれることは言うまでもない。

[0022] なお、本願においては、例えば、磁気特性として鉄損 ( $W_{15/50}$ ) 及び鉄損 ( $W_{10/400}$ ) を測定する。「 $W_{15/50}$ 」は、最大磁束密度1.5T、周波数

50 Hzにおける電磁鋼板1 kg当たりの鉄損を意味し、「 $W_{10/400}$ 」は、最大磁束密度1.0 T、周波数400 Hzにおける電磁鋼板1 kg当たりの鉄損を意味する。本願において「鉄損が著しく大きくなる」とは、上述したガス軟窒化又は酸窒化をしていない電磁鋼板に対するガス軟窒化又は酸窒化をした電磁鋼板の鉄損の増加が60%を超える場合を意味する。換言すれば、本願において「鉄損が著しく大きくなる」とは、上述したガス軟窒化又は酸窒化をしていない電磁鋼板に対するガス軟窒化又は酸窒化をした電磁鋼板の鉄損比 ( $W_{15/50}$ ) 及び鉄損比 ( $W_{10/400}$ ) が1.60を超える場合を意味する。

[0023] 各構成要素について更に詳細に説明する。

[0024] 上記電磁鋼板10の組成は、特に限定されないが、例えば、ケイ素 (Si) : 2.0質量%以上4.0質量%以下、アルミニウム (Al) : 0.15質量%以上2.00質量%以下、マンガン (Mn) : 0.10質量%以上2.00質量%以下、ニッケル (Ni) : 0.01質量%以上3.0質量%以下含有し、残部が鉄 (Fe) 及び不可避免的不純物である電磁鋼板を適用することが好ましい。また、上記電磁鋼板10の厚みは、特に限定されないが、例えば、0.5 mm以下であることが好ましく、0.15 mm以上0.5 mm以下であることがより好ましく、0.15 mm以上0.35 mm以下であることが更に好ましい。

[0025] 上記端面10bは、特に限定されないが、例えば、切断端面であることが好ましい。

[0026] 上記切断端面としては、例えば、ワイヤカット放電加工機で加工された切断端面を挙げることができる。なお、特に限定されるものではないが、ワイヤカット放電加工機で加工された切断端面は、更にラッピング加工されていてもよい。端面がワイヤカット放電加工機で加工された切断端面を有する場合は、端面が詳しくは後述するプレス加工機で加工された少なくともせん断面を有する打抜き端面を有する場合と比較して、電磁鋼板における鉄損が大きくなり難い。但し、端面が打抜き端面を有する場合は、端面がワイヤカッ

ト放電加工機で加工された切断端面を有する場合と比較して、端面を有する電磁鋼板を大量に生産する際の生産性が高いという利点がある。

[0027] 上記端面窒化層13は、430HV以上1250HV以下の表面硬さを有すれば、特に限定されないが、例えば、上述した電磁鋼板の端面に対するガス軟窒化又は酸窒化によって形成された端面窒化層であることが好ましい。

[0028] 上記母材部11は、部品形状や使用目的に応じて所定の厚みに圧延されたままの状態の部位で、上述したガス軟窒化又は酸窒化等の窒化などの処理により母材の組成が変化していない部位、又は、打抜きなどの加工により変形していない部位である。また、母材部は主面における面方向の中心側に位置する。

[0029] 上記絶縁被膜15は、電気絶縁性を有すれば、特に限定されないが、例えば、従来公知の無機質材料若しくは有機質材料又はこれらの混合物からなる絶縁被膜を適用することが好ましい。なお、上記絶縁被膜15を備えていない電磁鋼板も、本発明の範囲に含まれることは言うまでもない。

[0030] 電磁鋼板10においては、端面における窒素濃度が、主面における窒素濃度よりも高いことが好ましい。

[0031] 端面における窒素濃度が主面における窒素濃度よりも高く、端面窒化層の表面硬さを430HV以上1250HV以下にした電磁鋼板であるので、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。さらに、電磁鋼板に歪みが生じ難いという利点もある。

[0032] なお、本願において「端面における窒素濃度」と「主面における窒素濃度」の大小関係は、電磁鋼板の厚み方向に沿った断面において、電子プローブマイクロアナライザー分析によって窒素分布を測定することにより特定できる。特に、「主面における窒素濃度」は、端面窒化層の深さ方向における端面から深さが500 $\mu$ mである位置で測定する。

[0033] 電磁鋼板10においては、端面窒化層13の表面硬さに対する端面窒化層13の深さ方向（図2において矢印Zで示す。）に沿った断面における端面窒化層13の表面13aから深さが40 $\mu$ mである位置における硬さの比が

、80%以下であることが好ましい。

[0034] なお、本願において「断面における端面窒化層の表面から深さが40 $\mu$ mである位置における硬さ」は、日本工業規格 ビッカース硬さ試験—試験方法 (JIS Z 2244) に準拠して測定する。但し、断面における硬さを測定する際には、断面を鏡面研磨する。また、端面が詳しくは後述するせん断面を有する場合はせん断面の領域において測定する。

[0035] 上記比が80%以下である電磁鋼板においては、疲労強度を向上させる要因である窒素の拡散範囲、換言すれば、硬さ上昇範囲が狭くなっているため、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損 ( $W_{1.5/50}$  及び  $W_{1.0/400}$ ) の増加を10%以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を10%以上向上させることが可能である。

[0036] 電磁鋼板10においては、端面窒化層13の表面硬さが、550HV以上であることが好ましく、550HV以上950HV以下であることがより好ましい。

[0037] 端面窒化層の表面硬さが550HV以上である電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損 ( $W_{1.5/50}$  及び  $W_{1.0/400}$ ) の増加を10%以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を10%以上向上させることが可能である。

[0038] 電磁鋼板10においては、端面窒化層13の深さ方向における端面窒化層13の表面13aから母材部11のビッカース硬さ値より50高いビッカース硬さ値の点に至るまでの距離が、0.07mm以上であることが好ましく、0.07mm以上0.14mm以下であることがより好ましい。

[0039] なお、本願において「端面窒化層の深さ方向における端面窒化層の表面から母材部のビッカース硬さ値より50高いビッカース硬さ値の点に至るまでの距離」を「実用窒化層深さ」ということがある。なお、「実用窒化層深さ」は、日本工業規格 鉄鋼の窒化層深さ測定方法 (JIS G 0562)

に準拠して測定する。但し、端面が詳しくは後述するせん断面を有する場合はせん断面の領域において測定する。

- [0040] 実用窒化層深さが0.07mm以上である電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損 ( $W_{15/50}$ 及び $W_{10/400}$ ) の増加を10%以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を10%以上向上させることが可能である。
- [0041] 電磁鋼板10においては、端面窒化層13が、拡散層133からなることが好ましい。換言すれば、電磁鋼板においては、端面窒化層が鉄の窒素化合物、鉄の炭窒素化合物を含む化合物層を有しないことが好ましい。端面窒化層が化合物層を有しないので、切欠き感受性が上昇せず、電磁鋼板の疲労強度が向上する。鉄の窒素化合物としては、例えば、 $\gamma' - Fe_4N$ 、 $\epsilon - Fe_2N$ 、 $\epsilon - Fe_3N$ を挙げることができる。
- [0042] なお、化合物層の有無は、断面を走査型電子顕微鏡によって観察し、更にエネルギー分散型X線分析によって元素分析することによって特定できる。
- [0043] 端面窒化層が拡散層からなる電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損 ( $W_{15/50}$ 及び $W_{10/400}$ ) の増加を10%以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を10%以上向上させることが可能である。
- [0044] 電磁鋼板10においては、端面窒化層における電磁鋼板の厚みが、母材部における電磁鋼板の厚み以下であることが好ましく、母材部における電磁鋼板の厚みより小さいことがより好ましい。一般的に、ロータのコアは電磁鋼板を積層して形成する。そのため、このような用途において、上記厚みの関係があることは好適である。
- [0045] (第2の実施形態)

次に、第2の実施形態に係る電磁鋼板について詳細に説明する。図3は、第2の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。なお、

図3は、第2の実施形態に係る電磁鋼板の図1に示した||-||線で示した部分と同じ部分の模式的な断面図である。なお、上記の実施形態において説明したものと同等の構成要素については、それらと同一の符号を付して説明を省略する。

[0046] 図3に示すように、第2の実施形態に係る電磁鋼板10Aは、端面窒化層13が化合物層131及び拡散層133を含むことが、第1の実施形態に係る電磁鋼板10と相違している。

[0047] 上述のように、第2の実施形態の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下であるので、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が10%以上向上する。さらに、第2の実施形態の電磁鋼板においては、端面窒化層が化合物層及び拡散層を含む。このような電磁鋼板においては、磁気特性の低下がより抑制されると共に、疲労強度が10%以上向上する。

[0048] 化合物層について更に詳細に説明する。

[0049] 上記化合物層131としては、鉄の窒素化合物、鉄の炭窒素化合物を含む化合物層を挙げることができる。鉄の窒素化合物としては、例えば、 $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N、 $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>N、 $\epsilon$ -Fe<sub>3</sub>Nを挙げることができる。

[0050] このような化合物層は硬さが高いため、一般的には電磁鋼板の疲労強度の向上に有効である。

[0051] 第2の実施形態に係る電磁鋼板10Aは、上述した第1の実施形態に係る電磁鋼板10において説明した好適形態を適宜採用することができる。

[0052] (第3の実施形態)

次に、第3の実施形態に係る電磁鋼板について詳細に説明する。図4は、第3の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。なお、図4は、第3の実施形態に係る電磁鋼板の図1に示した||-||線で示した部分と同じ部分の模式的な断面図である。なお、上記の実施形態において説明したものと同等の構成要素については、それらと同一の符号を付して説明を省略する。

[0053] 図4に示すように、第3の実施形態に係る電磁鋼板10Bは、端面窒化層13の表面13aに占める化合物層131の割合が50%以下であることが、第2の実施形態に係る電磁鋼板10Aと相違している。

[0054] 上述のように、第3の実施形態の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下であるので、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が10%以上向上する。さらに、第3の実施形態の電磁鋼板においては、端面窒化層が化合物層及び拡散層を含む。このような電磁鋼板においては、磁気特性の低下がより抑制されると共に、疲労強度が10%以上向上する。さらに、第3の実施形態の電磁鋼板においては、端面窒化層の表面に占める化合物層の割合が50%以下、好ましくは40%以下、より好ましくは30%以下、更に好ましくは20%以下、特に好ましくは10%以下である。このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。

[0055] なお、本願において「端面窒化層の表面に占める化合物層の割合」とは、電磁鋼板の厚み方向に沿った断面に観察される端面における端面窒素層の表面を規定する輪郭線の長さに対する化合物層の表面を規定する輪郭線の長さの比を意味する。

[0056] 上述したように化合物層は硬さが高いため、一般的には電磁鋼板の疲労強度の向上に有効である。一方、化合物層は脆いため、繰り返し入力によってクラックが発生し易い。繰り返し入力によってクラックが発生すると、クラックを起点として亀裂が徐々に進展する疲労破壊の原因となる。亀裂進展部の断面は残存断面積が減少することになるため、断面にかかる応力は逆に増加することになる。電磁鋼板は厚みが薄いため、亀裂進展部の断面は応力増加の影響を受けやすく、亀裂発生初期から中期段階で材料の耐力を超えてしまうため、亀裂発生から破断に至るまでの繰り返し数が短くなる傾向がある。その影響を少なくするため、端面窒化層の表面に占める化合物層の割合は小さければ小さいほど好ましい。

[0057] 第3の実施形態に係る電磁鋼板10Bは、上述した第1の実施形態に係る電磁鋼板10又は第2の実施形態に係る電磁鋼板10Aにおいて説明した好適形態を適宜採用することができる。

[0058] (第4の実施形態)

次に、第4の実施形態に係る電磁鋼板について詳細に説明する。図5は、第4の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。なお、図5は、第4の実施形態に係る電磁鋼板の図1に示した| | - | |線で示した部分と同じ部分の模式的な断面図である。なお、上記の実施形態において説明したものと同等の構成要素については、それらと同一の符号を付して説明を省略する。

[0059] 図5に示すように、第4の実施形態に係る電磁鋼板10Cは、端面10bがせん断面10cを有していることが、第1の実施形態に係る電磁鋼板10と相違している。

[0060] 上述のように、第4の実施形態の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下であるので、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が10%以上向上する。さらに、第4の実施形態の電磁鋼板においては、端面がせん断面を有する。このような電磁鋼板は、磁気特性の低下がより抑制されると共に、疲労強度が10%以上向上する。

[0061] せん断面について更に詳細に説明する。

[0062] 上述のように、端面10bは、特に限定されないが、例えば、切断端面であることが好ましい。

[0063] 上記切断端面は、例えば、プレス加工機で加工された打抜き端面であることが好ましい。打抜き端面は、少なくともせん断面10cを有している。端面窒化層を打抜き端面の変形部位内、換言すれば、たれが形成されている部位内に形成することにより、磁気特性の低下をより抑制することができる。

[0064] 電磁鋼板10Cにおいては、端面における窒素濃度が、主面における窒素濃度よりも高いことが好ましい。

- [0065] 端面における窒素濃度が主面における窒素濃度よりも高く、端面窒化層の表面硬さを430HV以上1250HV以下にした電磁鋼板であるので、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。さらに、電磁鋼板に歪みが生じ難いという利点もある。なお、主面側は、プレス加工機による加工によって変形している辺りまでであれば窒化されていても良い。
- [0066] 電磁鋼板10Cにおいては、端面窒化層13の表面硬さに対する端面窒化層13の深さ方向（図5において矢印Zで示す。）に沿った断面における端面窒化層13の表面13aから深さが40 $\mu$ mである位置における硬さの比が、80%以下であることが好ましい。
- [0067] 上記比が80%以下である電磁鋼板においては、疲労強度を向上させる要因である窒素の拡散範囲、換言すれば、硬さ上昇範囲が狭くなっているので、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が15%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損（ $W_{15/50}$ 及び $W_{10/400}$ ）の増加を10%以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を15%以上向上させることが可能である。
- [0068] 電磁鋼板10Cにおいては、端面窒化層13の表面硬さが、550HV以上であることが好ましく、550HV以上950HV以下であることがより好ましい。
- [0069] 端面窒化層の表面硬さが550HV以上である電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損（ $W_{15/50}$ 及び $W_{10/400}$ ）の増加を10%以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を15%以上向上させることが可能である。
- [0070] 端面窒化層の表面硬さが550HV以上950HV以下である電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が30%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損（ $W_{15/50}$ 及び $W_{10/400}$ ）の増加を10%以下に抑制すること

、及び、電磁鋼板の疲労強度を30%以上向上させることが可能である。

[0071] 電磁鋼板10Cにおいては、端面窒化層13の深さ方向における端面窒化層13の表面13aから母材部11のビッカース硬さ値より50高いビッカース硬さ値の点に至るまでの距離が、0.07mm以上であることが好ましく、0.07mm以上0.14mm以下であることがより好ましい。

[0072] 実用窒化層深さが0.07mm以上である電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損 ( $W_{15/50}$ 及び $W_{10/400}$ ) の増加を10%以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を10%以上向上させることが可能である。

[0073] 実用窒化層深さが0.07mm以上0.14mm以下である電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が30%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損 ( $W_{15/50}$ 及び $W_{10/400}$ ) の増加を1%以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を30%以上向上させることが可能である。

[0074] 電磁鋼板10Cにおいては、端面窒化層における電磁鋼板の厚みが、母材部における電磁鋼板の厚み以下であることが好ましく、母材部における電磁鋼板の厚みより小さいことがより好ましい。このような電磁鋼板は、積層して使用する電磁鋼板として好適であるという利点がある。

[0075] 第4の実施形態に係る電磁鋼板10Cは、上述した第1～第3の実施形態に係る電磁鋼板10、10A、10Bにおいて説明した好適形態を適宜採用することができる。

[0076] (第5の実施形態)

次に、第5の実施形態に係る電磁鋼板について詳細に説明する。図6は、第5の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。なお、図6は、第5の実施形態に係る電磁鋼板の図1に示した||-||線で示した部分と同じ部分の模式的な断面図である。なお、上記の実施形態において説明したものと同等の構成要素については、それらと同一の符号を付して説

明を省略する。

[0077] 図6に示すように、第5の実施形態に係る電磁鋼板10Dは、端面窒化層13が化合物層131及び拡散層133を含み、端面窒化層13の表面13aに占める化合物層131の割合が50%以下であることが、第4の実施形態に係る電磁鋼板10Cと相違している。

[0078] 上述のように、第5の実施形態の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下であるので、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が10%以上向上する。さらに、第5の実施形態の電磁鋼板においては、端面窒化層が化合物層及び拡散層を含む。このような電磁鋼板は、磁気特性の低下がより抑制されると共に、疲労強度が10%以上向上する。さらに、第5の実施形態の電磁鋼板においては、端面窒化層の表面に占める化合物層の割合が50%以下である。このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。

[0079] 第5の実施形態に係る電磁鋼板10Dは、上述した第1～第4の実施形態に係る電磁鋼板10、10A、10B、10Cにおいて説明した好適形態を適宜採用することができる。

[0080] (第6の実施形態)

次に、第6の実施形態に係る電磁鋼板について詳細に説明する。図7は、第6の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。なお、図7は、第6の実施形態に係る電磁鋼板の図1に示したI-I線で示した部分と同じ部分の模式的な断面図である。なお、上記の実施形態において説明したものと同等の構成要素については、それらと同一の符号を付して説明を省略する。

[0081] 図7に示すように、第6の実施形態に係る電磁鋼板10Eは、端面窒化層13が化合物層131及び拡散層133を含み、端面10bがせん断面10cと破断面10dとを有し、端面窒化層13の表面13aに占める化合物層131の割合が50%以下であることが、第4の実施形態に係る電磁鋼板1

OCと相違している。

[0082] 上述のように、第6の実施形態の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下であるので、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が10%以上向上する。さらに、第6の実施形態の電磁鋼板においては、端面窒化層が化合物層及び拡散層を含む。このような電磁鋼板は、磁気特性の低下がより抑制されると共に、疲労強度が10%以上向上する。さらに、第6の実施形態の電磁鋼板においては、端面がせん断面と破断面とを有する。このような電磁鋼板は、磁気特性の低下がより抑制されると共に、疲労強度が10%以上向上する。さらに、第6の実施形態の電磁鋼板においては、端面窒化層の表面に占める化合物層の割合が50%以下である。このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。

[0083] 破断面について更に詳細に説明する。

[0084] 上述のように、端面10bは、特に限定されないが、例えば、切断端面であることが好ましい。

[0085] 上記切断端面は、例えば、プレス加工機で加工された打抜き端面であることが好ましい。打抜き端面は、通常、せん断面10cと破断面10dを有している。このような打抜き端面は、研磨された端面と比較すると、化合物層が形成されにくく、窒素の拡散も抑制されるので好ましい。

[0086] 電磁鋼板10Eにおいては、破断面10dに近い側の電磁鋼板10Eの主面10a側に位置する端面窒化層13の側面13bと電磁鋼板10Eの主面10aとが平坦な面を形成していることが好ましい。

[0087] 上記平坦な面を形成している電磁鋼板においては、上述した電磁鋼板の端面に対するガス軟窒化又は酸窒化による電磁鋼板の膨張又は変形が抑制され、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が15%以上向上する。さらに、電磁鋼板の寸法精度をより確実に維持することができるという利点もある。

[0088] 第6の実施形態に係る電磁鋼板10Eは、上述した第1～第5の実施形態に係る電磁鋼板10、10A、10B、10C、10Dにおいて説明した好適形態を適宜採用することができる。

[0089] (第7の実施形態)

次に、第7の実施形態に係る電磁鋼板について詳細に説明する。図8は、第7の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。なお、図8は、第7の実施形態に係る電磁鋼板の図1に示した| | - | | 線で示した部分と同じ部分の模式的な断面図である。なお、上記の実施形態において説明したものと同等の構成要素については、それらと同一の符号を付して説明を省略する。

[0090] 図8に示すように、第7の実施形態に係る電磁鋼板10Fは、端面10bがせん断面10cと破断面10dとを有することが、第4の実施形態に係る電磁鋼板10Cと相違している。

[0091] 上述のように、第7の実施形態の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下であるので、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が10%以上向上する。さらに、第7の実施形態の電磁鋼板においては、端面窒化層が拡散層からなる。このような電磁鋼板は、磁気特性の低下がより抑制されると共に、疲労強度が10%以上向上する。さらに、第7の実施形態の電磁鋼板においては、端面がせん断面と破断面とを有する。このような電磁鋼板は、磁気特性の低下がより抑制されると共に、疲労強度が10%以上向上する。

[0092] 第7の実施形態に係る電磁鋼板10Fは、上述した第1～第4、第6の実施形態に係る電磁鋼板10、10A、10B、10C、10Eにおいて説明した好適形態を適宜採用することができる。

## 実施例

[0093] 以下、本発明を実施例により更に詳細に説明するが、本発明はこれら実施例に限定されるものではない。

[0094] (実施例1)

プレス加工機（プレスクリアランス：0.06mm）を用いた打抜き加工によって電磁鋼板（日本製鉄株式会社製、25HX1400）からダンベル形状試験片（評価部の幅：25mm、評価部の平行部の長さ：45mm）を得た。

[0095] 次いで、得られダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PNT-2）を用いたガス軟窒化（処理温度：540℃、処理時間：1時間、使用ガス：NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

[0096]（実施例2）

実施例1で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PNT-2）を用いたガス軟窒化（処理温度：500℃、処理時間：2時間、使用ガス：NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

[0097]（実施例3）

実施例1で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PNT-2）を用いたガス軟窒化（処理温度：500℃、処理時間：3時間、使用ガス：NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

[0098]（実施例4）

実施例1で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PN-3）を用いた酸窒化（処理温度：465℃、処理時間：3時間、使用ガス：NH<sub>3</sub>/Air）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

[0099]（実施例5）

実施例1で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PN-3）を用いた酸窒化（処理温度：465℃、処理時間：2時間、使用ガス：NH<sub>3</sub>/Air）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

## [0100] (実施例6)

実施例1で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PNT-2）を用いたガス軟窒化（処理温度：520℃、処理時間：1時間、使用ガス：NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

## [0101] (実施例7)

実施例1で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PNT-2）を用いたガス軟窒化（処理温度：520℃、処理時間：3時間、使用ガス：NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

## [0102] (実施例8)

ワイヤカット放電加工機を用いた切断加工によって電磁鋼板（日本製鉄株式会社製、25HX1400）からダンベル形状試験片（評価部の幅：25mm、評価部の平行部の長さ：45mm）を得た。

[0103] 次いで、得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PNT-2）を用いたガス軟窒化（処理温度：540℃、処理時間：1時間、使用ガス：NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

## [0104] (比較例1)

実施例1で得られたダンベル形状試験片を、本例の電磁鋼板試験片とした。  
。

## [0105] (比較例2)

実施例1で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PV-3）を用いた焼鈍（処理温度：750℃、処理時間：1時間）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。  
。

## [0106] (比較例3)

実施例1で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式

会社オーネックス所有処理炉、PNT-2)を用いたガス軟窒化(処理温度: 540°C、処理時間: 4.5時間、使用ガス: NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>)をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

[0107] (比較例4)

実施例8で得られたダンベル形状試験片を、本例の電磁鋼板試験片とした。

[0108] (比較例5)

実施例1で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉(株式会社オーネックス所有処理炉、PV-3)を用いた焼鈍(処理温度: 750°C、処理時間: 1時間)をし、しかる後、ピット型窒化炉(株式会社オーネックス所有処理炉、PNT-2)を用いたガス軟窒化(処理温度: 500°C、処理時間: 3時間、使用ガス: NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>)をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

[0109] 上記各例の仕様の一部を表1に示す。

[0110]

[表1]

	端面窒化層の表面硬さ(X) (HV)	深さ40µm位置における硬さ(Y) (HV)	X/Y × 100 (%)	実用窒化層深さ (300HV基準) (-)	化合物層の有無 (-)	鉄損比 (W <sub>15/50</sub> )		鉄損比 (W <sub>10/400</sub> )		疲労強度応力比 評価		評価部 加工方法
						(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	
実施例1	703	389	55.4	ND-HV0.025-P0.07	無し	1.01	0.99	A	1.41	A	プレス打抜き	
実施例2	845	433	51.3	ND-HV0.025-P0.14	無し	0.98	0.96	A	1.33	A	プレス打抜き	
実施例3	612	389	63.6	ND-HV0.025-P0.15	無し	1.08	1.08	B	1.37	A	プレス打抜き	
実施例4	1065	436	41.0	ND-HV0.025-P0.16	無し	0.99	0.99	A	1.15	B	プレス打抜き	
実施例5	437	362	82.8	ND-HV0.025-P0.07	無し	1.03	1.02	B	1.11	C	プレス打抜き	
実施例6	579	424	73.2	ND-HV0.025-P0.09	無し	0.98	0.96	A	1.33	A	プレス打抜き	
実施例7	912	559	61.3	ND-HV0.025-P0.11	無し	0.98	0.95	A	1.37	A	プレス打抜き	
実施例8	1062	-	-	-	有り*1)	*3)-	*3)-	-	1.15	-	ワイヤカット	
比較例1	270	-	-	-	無し	1	1	-	1	-	プレス打抜き	
比較例2	252	-	-	-	無し	*4)-	*4)-	-	1.02	D	プレス打抜き	
比較例3	1276	692	93.5	ND-HV0.025-P0.11	有り*2)	1.67	1.73	C	1.37	A	プレス打抜き	
比較例4	230	-	-	-	-	-	-	-	1.19	-	ワイヤカット	
比較例5	240	-	-	-	-	-	-	-	1.08	D	プレス打抜き	

\*1)端面窒化層の表面に占める化合物層の割合:100%

\*2)端面窒化層の表面に占める化合物層の割合:50%超

\*3)比較例4)に対する実施例8の鉄損比は著しく大きくなっていない。

\*4)比較例1)に対する実施例2の鉄損比は著しく大きくなっていない。

[0111] 表1中の「端面窒化層の表面硬さ」は、マイクロビッカース硬度計2号機

(株式会社フューチャテック製、FM-700、測定荷重：25gf)を用いて、日本工業規格 ビッカース硬さ試験－試験方法 (JIS Z 2244) に準拠して測定した。但し、打抜き加工によって得られた電磁鋼板試験片においては、せん断面の領域において測定した。

[0112] 表1中の「深さ40 $\mu$ m位置における硬さ」は、端面窒化層の深さ方向に沿った断面における端面窒化層の表面から深さが40 $\mu$ mである位置における硬さを意味する。表1中の「深さ40 $\mu$ m位置における硬さ」は、日本工業規格 ビッカース硬さ試験－試験方法 (JIS Z 2244) に準拠して測定した。但し、断面における硬さを測定する際には、断面を鏡面研磨した。また、打抜き加工によって得られた電磁鋼板試験片においては、せん断面の領域において測定した。

[0113] 表1中の「実用窒化層深さ」は、日本工業規格 鉄鋼の窒化層深さ測定方法 (JIS G 0562) に準拠して測定した。なお、表1中の実施例1の「ND-HV0.025-P0.07」は、ビッカース硬さ試験による測定方法によって、試験荷重0.2452Nで測定し、実用窒化層深さが0.07mmである場合を意味する。他の例においても同様である。また、基準となる母材部の硬さを300HVとした。但し、打抜き加工によって得られた電磁鋼板試験片においては、せん断面の領域において測定した。

[0114] 表1中の「化合物層の有無」は、電磁鋼板試験片の厚み方向に沿った断面を走査型電子顕微鏡 (株式会社日立ハイテクノロジーズ製、FlexSEM 1000) を用いて観察し、更にエネルギー分散型X線分析によって元素分析することによって特定した。なお、断面の観察前に、日本工業規格 鋼のマクロ組織試験方法 (JIS G 0553) に準拠し、硝酸とエタノールとを体積比で0.5:9.5に混合した腐食液を使用し、3~10分間の腐食処理をした。

[0115] [性能評価]

上記各例の磁気特性及び疲労強度を測定した。

[0116] (磁気特性)

上記各例の電磁鋼板試験片の鉄損をエプスタイン鉄損測定機（メトロン技研株式会社製、SK300）を用いて、日本工業規格 電磁鋼帯試験方法（JISC 2550-1）に準拠して測定した。得られた結果を表1に示す。なお、表1中の各例の「鉄損比（ $W_{15/50}$ ）」は、比較例1の鉄損（ $W_{15/50}$ ）に対する各例の鉄損（ $W_{15/50}$ ）の比を意味し、各例の「鉄損比（ $W_{10/400}$ ）」は、比較例1の鉄損（ $W_{10/400}$ ）に対する各例の鉄損（ $W_{10/400}$ ）の比を意味する。

[0117] （疲労強度）

上記各例の電磁鋼板試験片の疲労強度を低荷重油圧サーボ疲労試験機（株式会社サム電子機械製、V691）を用いて、日本工業規格 金属材料の疲れ試験方法通則（JIS Z 2273）に準拠し、部分片振り入力にて測定した。得られた結果を表1に示す。なお、表1中の各例の「疲労強度応力比」（実施例8を除く。）は、比較例1の疲労強度応力に対する各例の疲労強度応力の比を意味する。但し、表1中の実施例8の「疲労強度応力比」は、比較例4の疲労強度応力に対する実施例8の疲労強度応力の比を意味する。

[0118] 表1より、本発明の範囲に属する実施例1～7の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下である。従って、本発明の範囲に属する実施例1～7は、本発明外の比較例1～3と比較して、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が10%以上向上するという効果を奏する。

[0119] 表1より、本発明の範囲に属する実施例8の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下である。従って、本発明の範囲に属する実施例8は、本発明外の比較例4と比較して、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が10%以上向上するという効果を奏する。

[0120] 表1より、本発明の範囲に属する実施例1～8は、端面における窒素濃度が、主面における窒素濃度よりも高い。従って、本発明の範囲に属する実施

例 1～8 は、本発明外の比較例 1 及び 2 と比較して、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が 10%以上向上するという効果を奏する。

[0121] 表 1 より、本発明の範囲に属する実施例 1～4、6、7 においては、端面窒化層の表面硬さに対する端面窒化層の深さ方向に沿った断面における端面窒化層の表面から深さが 40  $\mu\text{m}$  である位置における硬さの比が、80%以下である。従って、本発明の範囲に属する実施例 1～4、6、7 は、実施例 5 と比較して、磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が 15%以上向上するという効果を奏する。

[0122] 表 1 より、本発明の範囲に属する実施例 1～4、6、7 においては、端面窒化層の表面硬さが 550 HV 以上である。従って、本発明の範囲に属する実施例 1～4、6、7 は、実施例 5 と比較して、磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が 15%以上向上するという効果を奏する。

[0123] 表 1 より、本発明の範囲に属する実施例 1～7 においては、実用窒化層深さが 0.07 mm 以上であるため、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が 10%以上向上したとも考えられる。

[0124] 表 1 より、本発明の範囲に属する実施例 8 においては、端面窒化層が、化合物層及び拡散層を含む。従って、本発明の範囲に属する実施例 8 は、比較例 4 と比較して、磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が 15%以上向上するという効果を奏する。

[0125] 表 1 より、本発明の範囲に属する実施例 1～7 においては、端面窒化層が、拡散層からなる。従って、本発明の範囲に属する実施例 1～7 は、本発明外の比較例 3 と比較して、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が 10%以上向上するという効果を奏する。

[0126] 本発明の範囲に属する実施例 1～8 においては、端面窒化層における電磁鋼板の厚みが、母材部における電磁鋼板の厚み以下、好ましくは母材部における電磁鋼板の厚みより小さい。従って、本発明の範囲に属する実施例 1～8 は、積層して使用する電磁鋼板として好適であるという利点がある。

- [0127] 本発明の範囲に属する実施例 1～7 は、少なくともせん断面を有するか又はせん断面及び破断面を有するため、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が 10%以上向上したとも考えられる。
- [0128] 本発明の範囲に属する実施例 1、2、4～7 は、せん断面と破断面とを有し、破断面に近い側の電磁鋼板の主面側に位置する端面窒化層の側面と電磁鋼板の主面とが平坦な面を形成しているため、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が 10%以上向上したとも考えられる。
- [0129] 本発明の範囲に属する実施例 3 と本発明外の比較例 5 とを比較すると、焼鈍した後に、ガス軟窒化をした場合には、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が 10%以上向上するという効果が得られないことが分かる。
- [0130] 上述した各実施形態の電磁鋼板に記載した構成要素は、各実施形態に限定されるものではなく、例えば、各実施形態の構成要素を上述した各実施形態以外の組み合わせにしたり、各実施形態の構成要素の細部を変更したりすることができる。

### 符号の説明

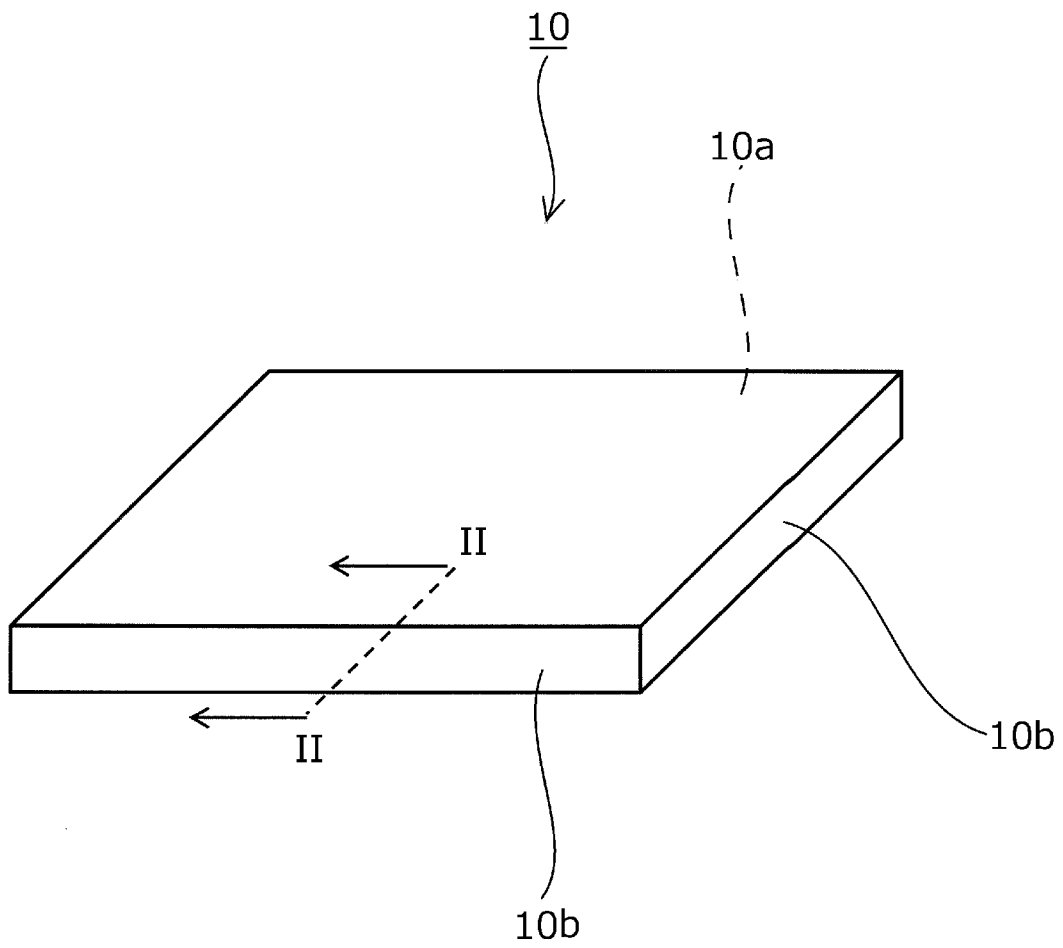
- [0131] 10, 10A, 10B, 10C, 10D, 10E, 10F 電磁鋼板
- 10a 主面
  - 10b 端面
  - 10c せん断面
  - 10d 破断面
  - 11 母材部
  - 13 端面窒化層
    - 13a 表面
    - 13b 側面
      - 131 化合物層
      - 133 拡散層
  - 15 絶縁被膜

## 請求の範囲

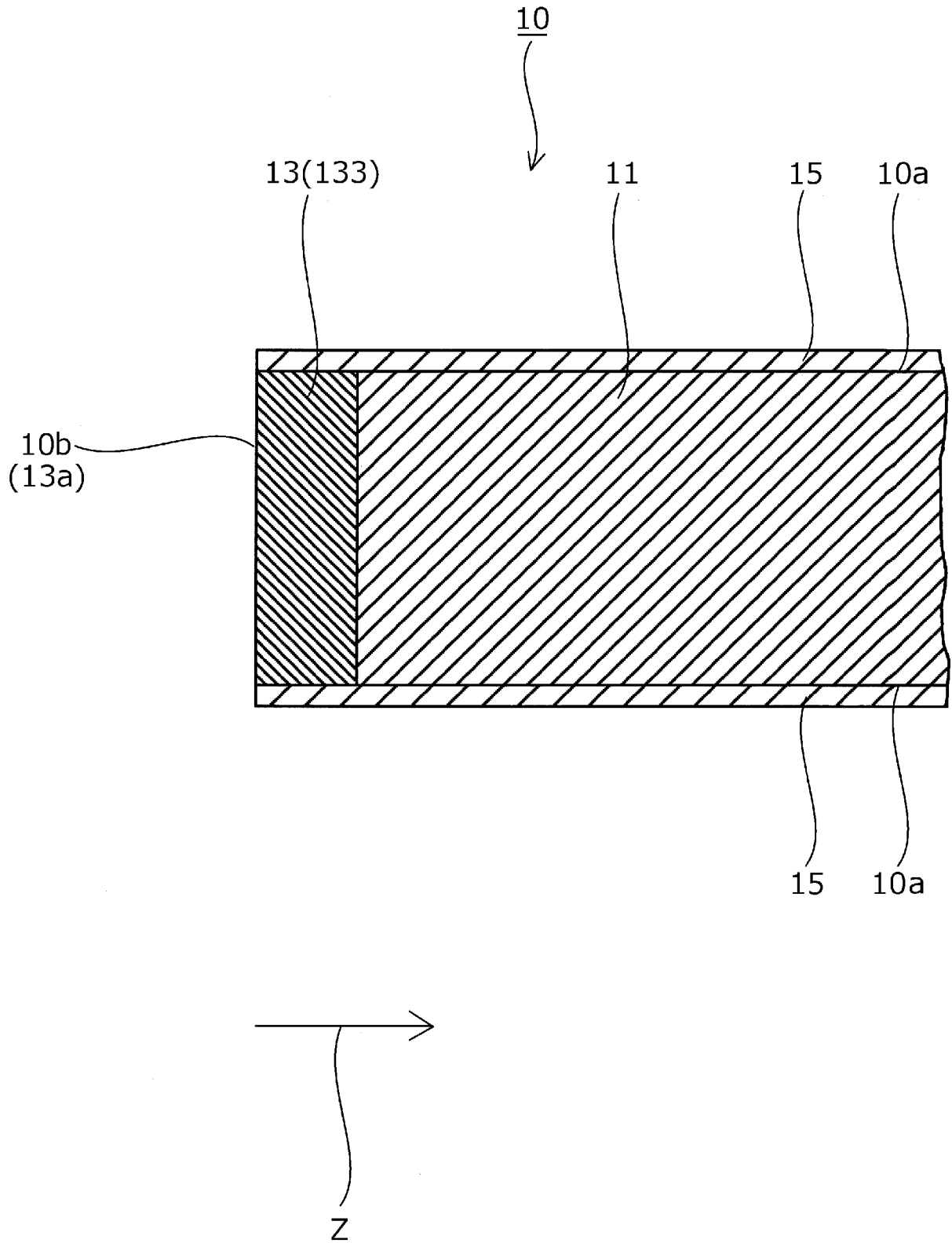
- [請求項1] 主面と端面とを有する電磁鋼板であって、  
母材部と、前記母材部に隣接し、かつ、前記端面に設けられた、窒素を含有する端面窒化層と、を備え、  
前記端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下である  
ことを特徴とする電磁鋼板。
- [請求項2] 前記端面における窒素濃度が、前記主面における窒素濃度よりも高いことを特徴とする請求項1に記載の電磁鋼板。
- [請求項3] 前記端面窒化層の表面硬さに対する前記端面窒化層の深さ方向に沿った断面における前記端面窒化層の表面から深さが40 $\mu$ mである位置における硬さの比が、80%以下であることを特徴とする請求項1又は2に記載の電磁鋼板。
- [請求項4] 前記端面窒化層の表面硬さが、550HV以上であることを特徴とする請求項1～3のいずれか1つの項に記載の電磁鋼板。
- [請求項5] 前記端面窒化層の深さ方向における前記端面窒化層の表面から前記母材部のピッカース硬さ値より50高いピッカース硬さ値の点に至るまでの距離が、0.07mm以上であることを特徴とする請求項1～4のいずれか1つの項に記載の電磁鋼板。
- [請求項6] 前記端面窒化層が、化合物層及び拡散層を含むことを特徴とする請求項1～5のいずれか1つの項に記載の電磁鋼板。
- [請求項7] 前記端面窒化層の表面に占める前記化合物層の割合が、50%以下であることを特徴とする請求項6に記載の電磁鋼板。
- [請求項8] 前記端面窒化層が、拡散層からなることを特徴とする請求項1～5のいずれか1つの項に記載の電磁鋼板。
- [請求項9] 前記端面窒化層における前記電磁鋼板の厚みが、前記母材部における前記電磁鋼板の厚み以下であることを特徴とする請求項1～8のいずれか1つの項に記載の電磁鋼板。

- [請求項10] 前記端面がせん断面を有することを特徴とする請求項1～9のいずれか1つの項に記載の電磁鋼板。
- [請求項11] 前記端面がせん断面と破断面とを有することを特徴とする請求項1～9のいずれか1つの項に記載の電磁鋼板。
- [請求項12] 前記端面がせん断面と破断面とを有し、  
前記破断面に近い側の前記電磁鋼板の主面側に位置する前記端面窒化層の側面と前記電磁鋼板の主面とが平坦な面を形成していることを特徴とする請求項1～9のいずれか1つの項に記載の電磁鋼板。

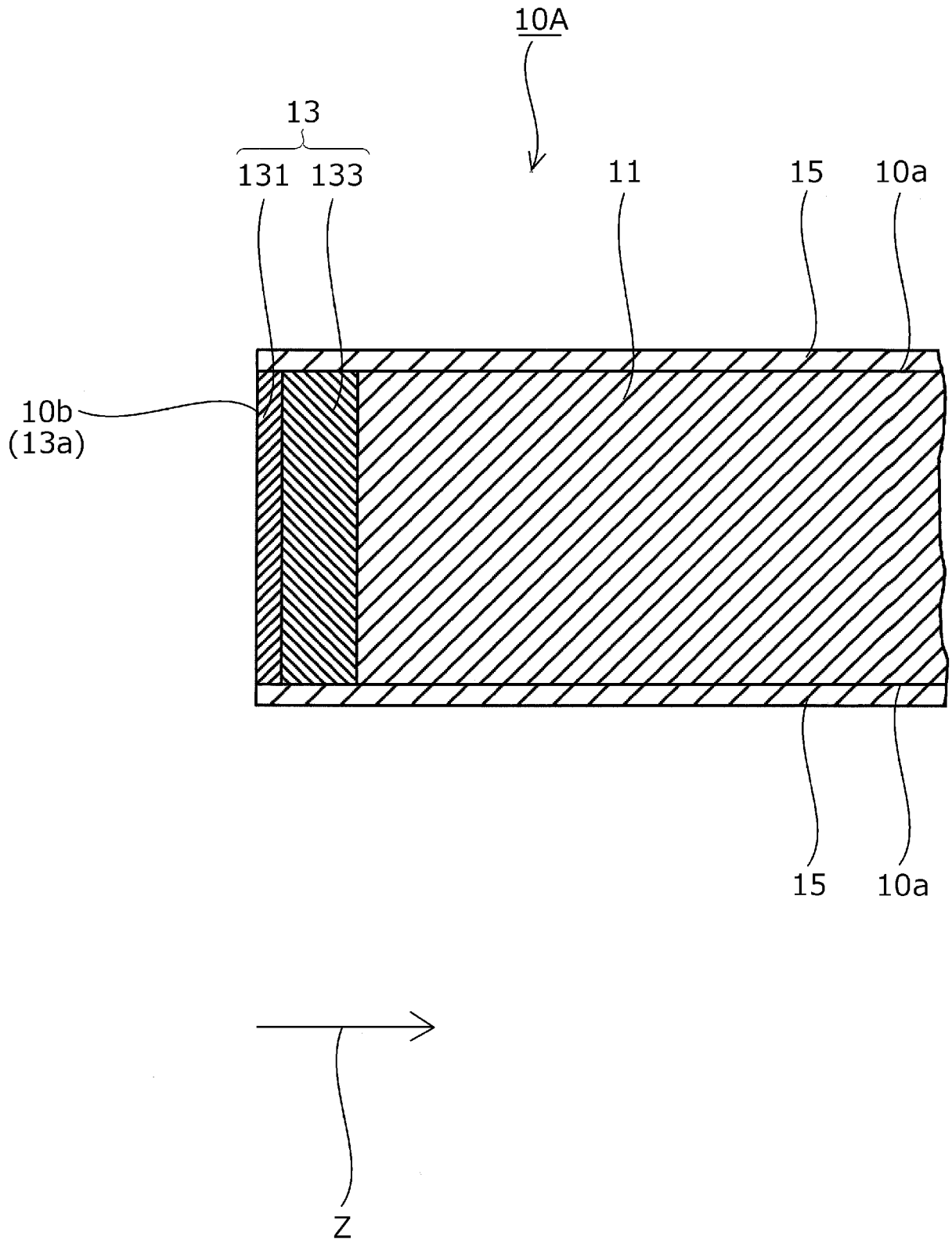
[図1]



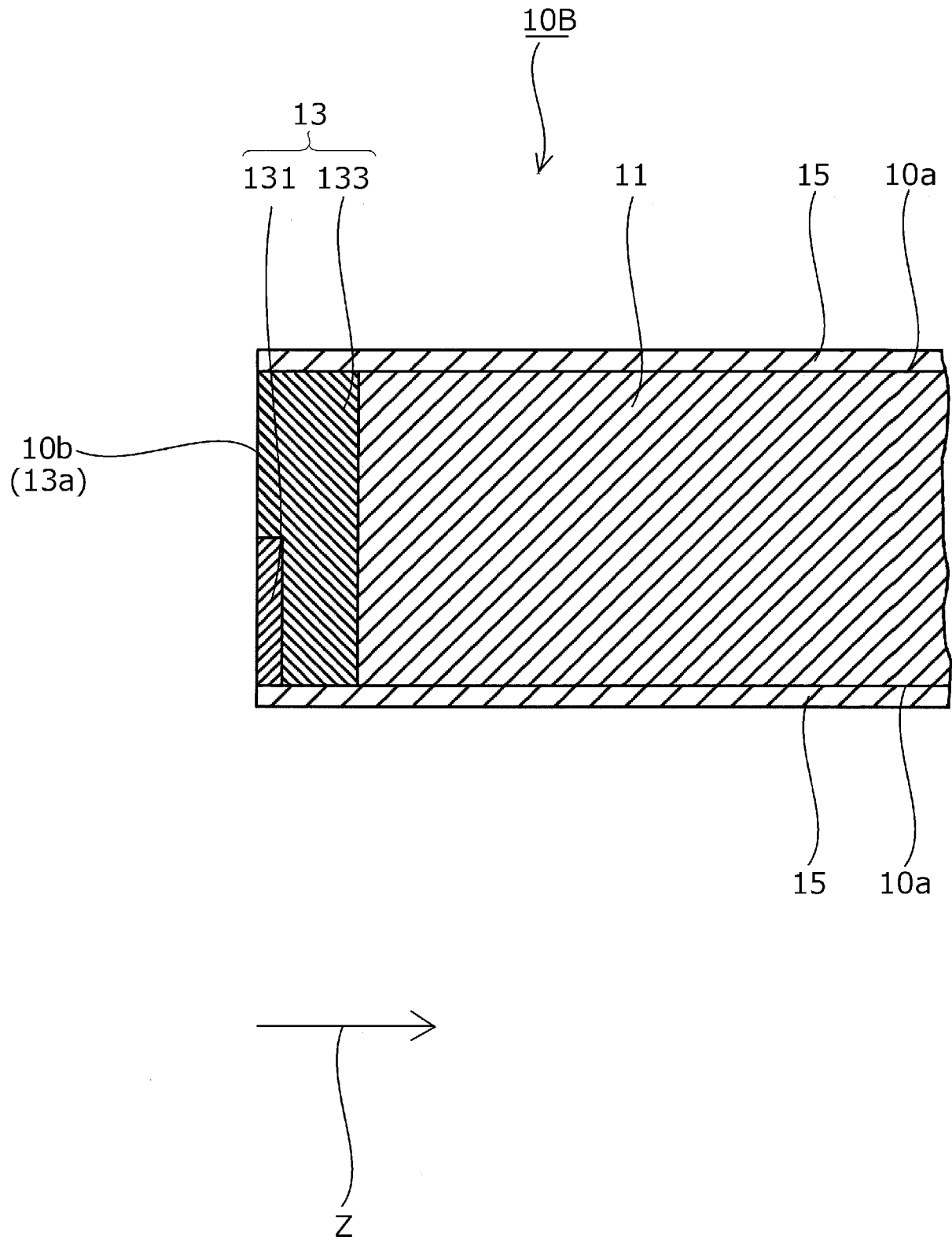
[図2]



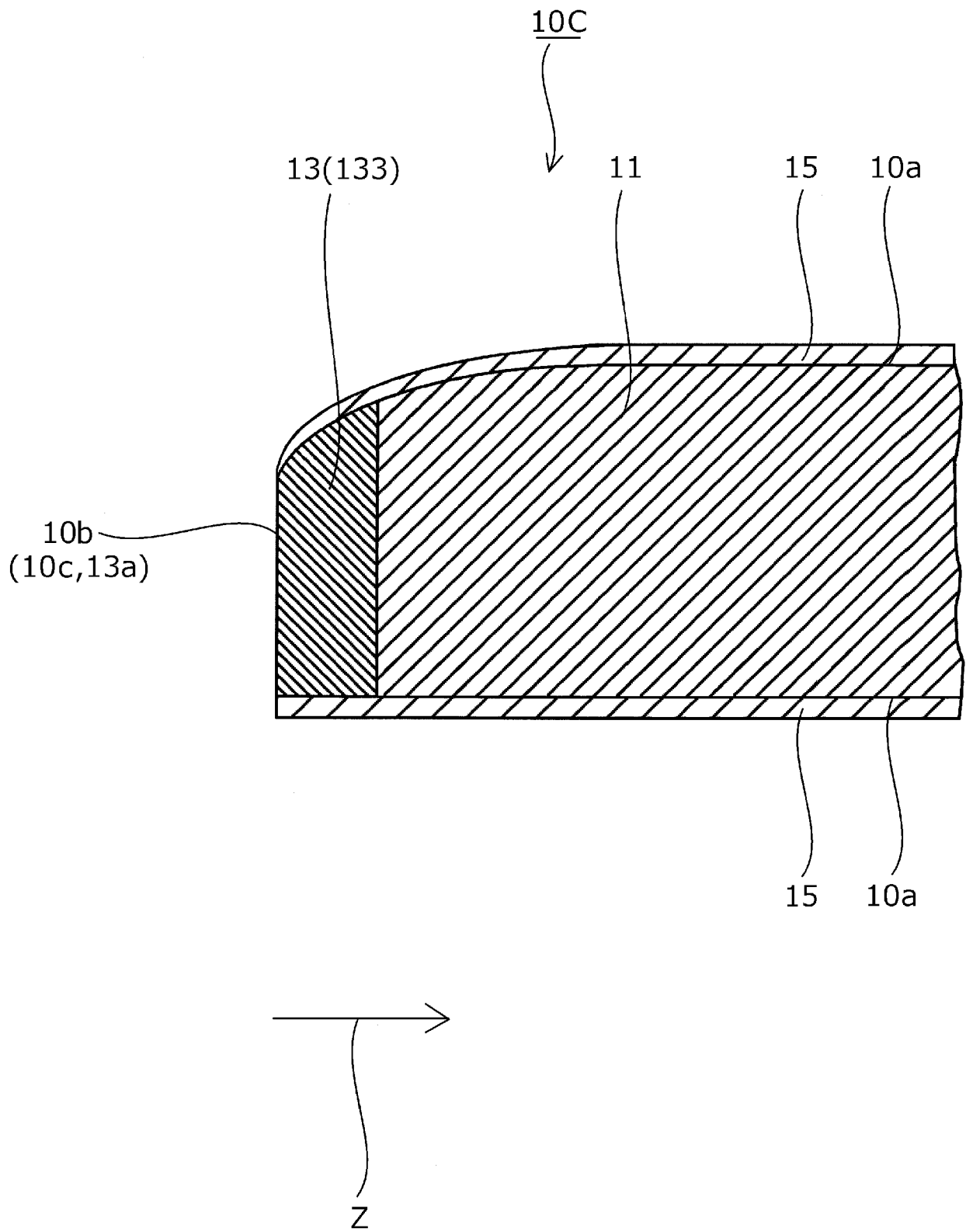
[図3]



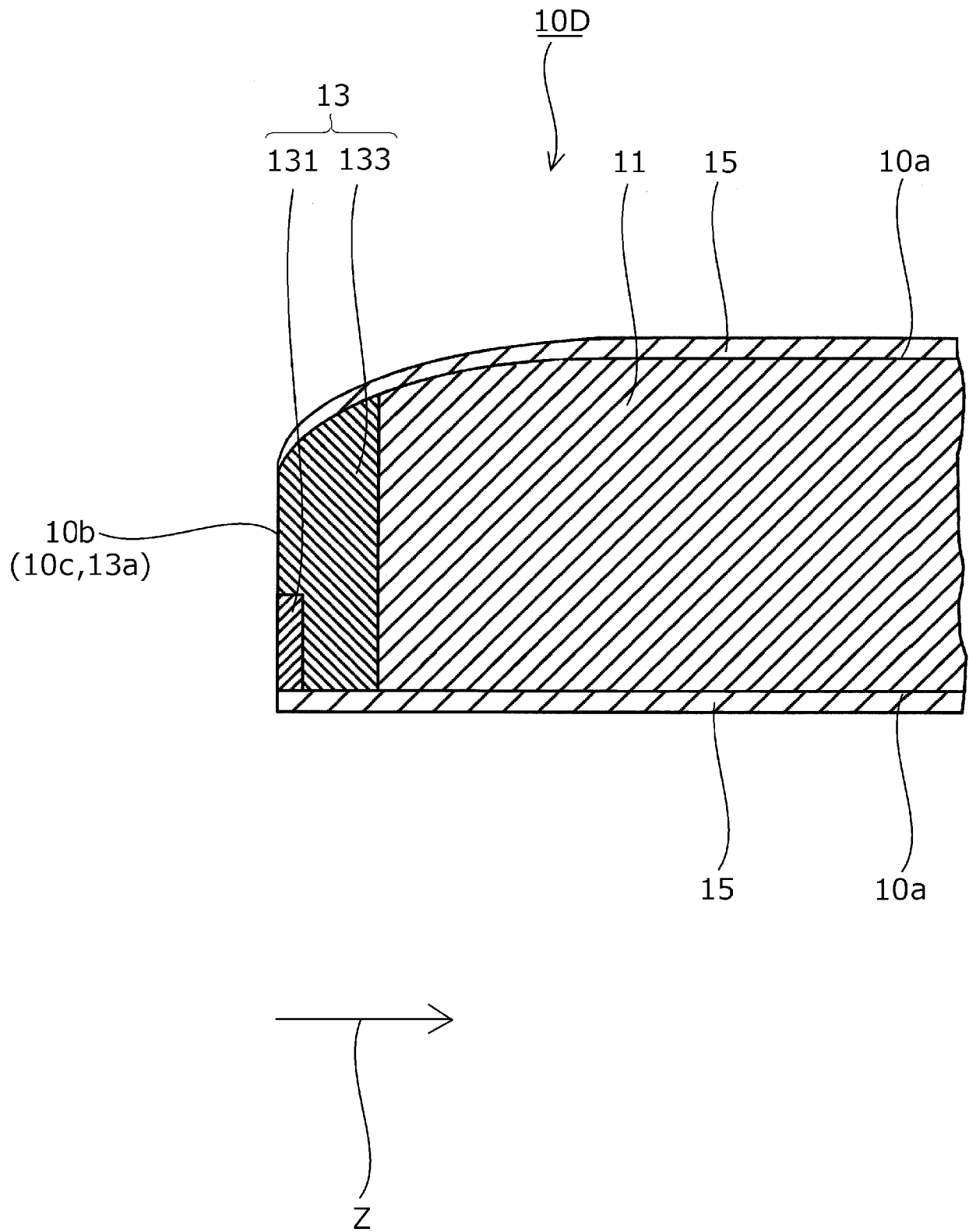
[図4]



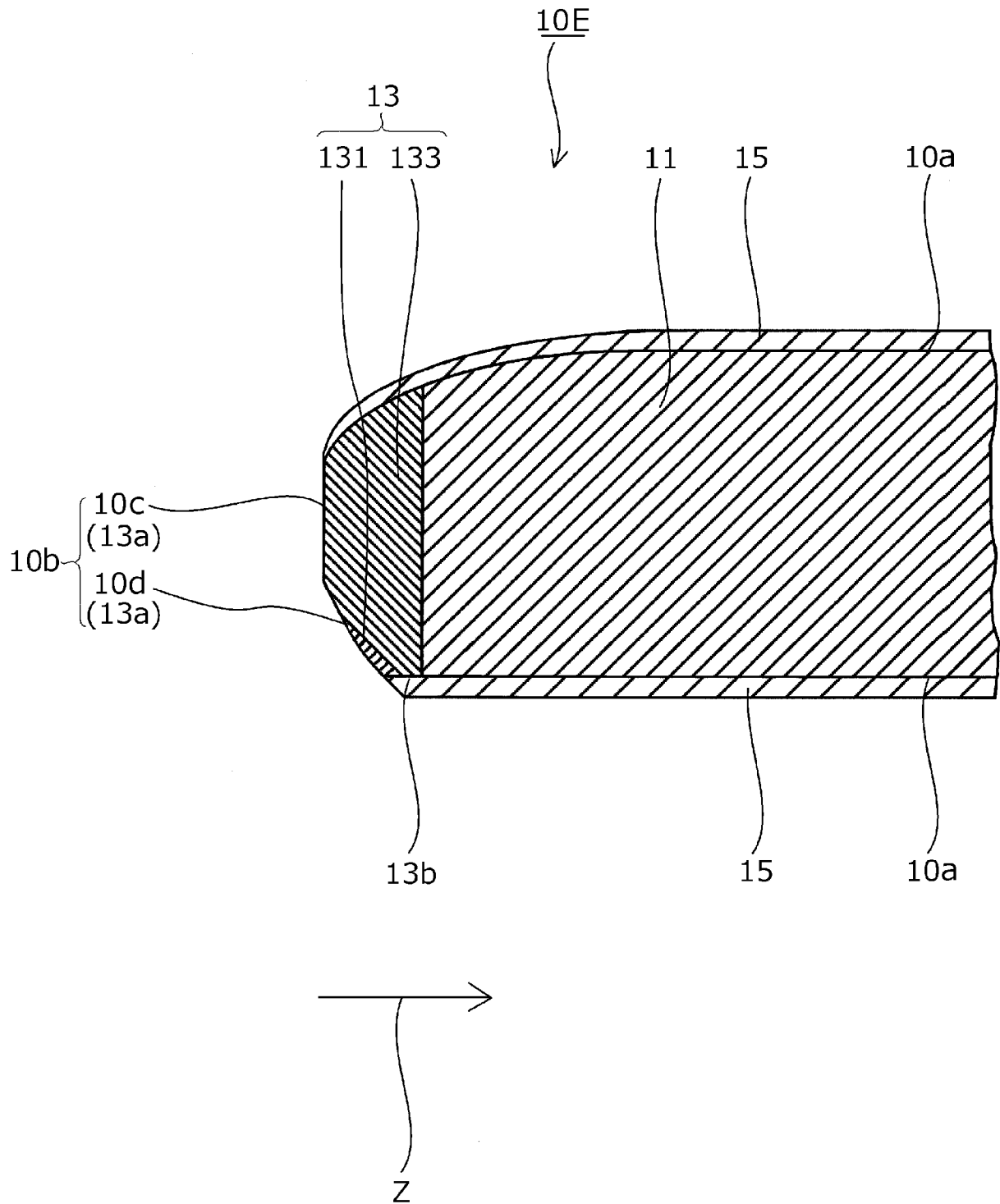
[図5]



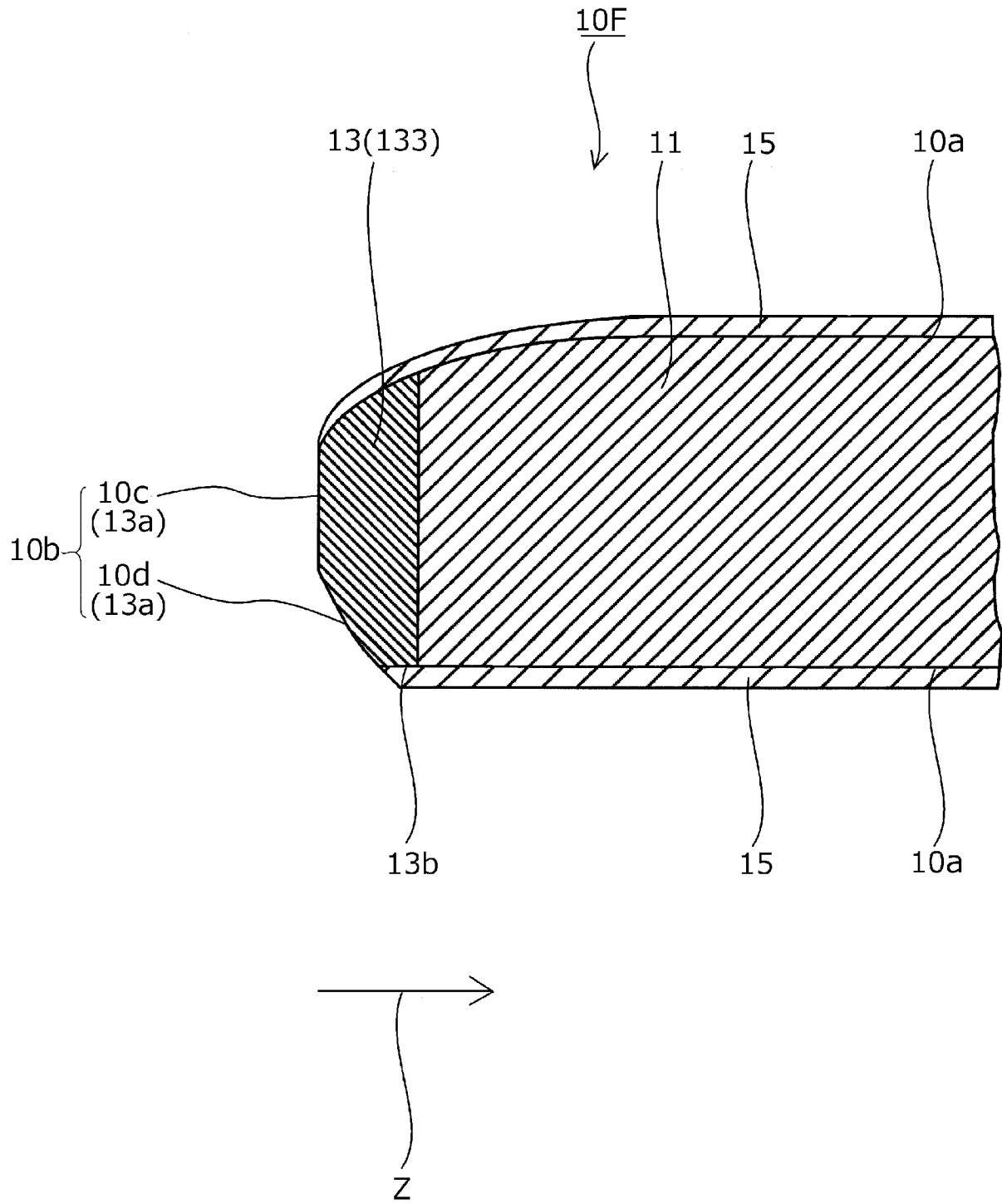
[図6]



[図7]



[図8]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2019/031854

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

Int.Cl. C22C38/00(2006.01) i, C21D1/06(2006.01) i, C21D8/12(2006.01) i,  
 C21D9/46(2006.01) i, C22C38/08(2006.01) i, C23C8/26(2006.01) i,  
 H01F1/18(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. C22C38/00-38/60, C21D1/06, C21D8/12, C21D9/46, C23C8/26,  
 H01F1/147-1/18, H02K15/02-15/03

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	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2018/0198352 A1 (GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATIONS LLC) 12 July 2018, paragraphs [0025]-[0036], fig. 1-2B (Family: none)	1-12
Y	JP 52-63814 A (DAIDO STEEL CO., LTD.) 26 May 1977, claims, page 3, upper left column, line 4 to page 4, lower right column, line 3, fig. 1 (Family: none)	1-12

Further documents are listed in the continuation of Box C.  See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 17 October 2019 (17.10.2019)	Date of mailing of the international search report 29 October 2019 (29.10.2019)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer  Telephone No.
--	---

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2019/031854

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2011-132584 A (KOBE STEEL, LTD.) 07 July 2011, claims, paragraphs [0032]-[0046] (Family: none)	1-12
A	JP 2008-31490 A (JFE STEEL CORPORATION) 14 February 2008 (Family: none)	1-12
A	JP 2005-94941 A (NIPPON STEEL CORP.) 07 April 2005 (Family: none)	1-12
A	JP 2005-226118 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 25 August 2005 (Family: none)	1-12
A	JP 2016-196697 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 24 November 2016 & US 2016/0290437 A1 & EP 3078755 A1 & KR 10-2016-0119698 A & CN 106051046 A	1-12

<p>A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))</p> <p>Int.Cl. C22C38/00(2006.01)i, C21D1/06(2006.01)i, C21D8/12(2006.01)i, C21D9/46(2006.01)i, C22C38/08(2006.01)i, C23C8/26(2006.01)i, H01F1/18(2006.01)i</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))</p> <p>Int.Cl. C22C38/00-38/60, C21D1/06, C21D8/12, C21D9/46, C23C8/26, H01F1/147-1/18, H02K15/02-15/03</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>1971-2019年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2019年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2019年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2019年	日本国実用新案登録公報	1996-2019年	日本国登録実用新案公報	1994-2019年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2019年										
日本国実用新案登録公報	1996-2019年										
日本国登録実用新案公報	1994-2019年										
<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> <p>JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)</p>											
<p>C. 関連すると認められる文献</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	US 2018/0198352 A1 (GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATIONS LLC) 2018.07.12, [0025]-[0036], 図 1-2B (ファミリーなし)	1-12									
Y	JP 52-63814 A (大同製鋼株式会社) 1977.05.26, 特許請求の範囲, 第3頁左上欄第4行-第4頁右下欄第3行, 第1図 (ファミリーなし)	1-12									
<p><input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。</p>		<p><input 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</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「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)</p> <p>「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</p>		<p>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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「&amp;」 同一パテントファミリー文献</p>									
<p>国際調査を完了した日</p> <p>17.10.2019</p>		<p>国際調査報告の発送日</p> <p>29.10.2019</p>									
<p>国際調査機関の名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁 (ISA/J P)</p> <p>郵便番号 100-8915</p> <p>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>		<p>特許庁審査官 (権限のある職員)</p> <p>伊藤 真明</p>	<table border="1"> <tr> <td>4K</td> <td>3640</td> </tr> </table>	4K	3640						
4K	3640										
		<p>電話番号 03-3581-1101 内線 3435</p>									

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2011-132584 A (株式会社神戸製鋼所) 2011. 07. 07, 特許請求の 範囲, [0032]-[0046] (ファミリーなし)	1-12
A	JP 2008-31490 A (JFE スチール株式会社) 2008. 02. 14, (ファミリーなし)	1-12
A	JP 2005-94941 A (新日本製鐵株式会社) 2005. 04. 07, (ファミリーなし)	1-12
A	JP 2005-226118 A (トヨタ自動車株式会社) 2005. 08. 25, (ファミリーなし)	1-12
A	JP 2016-196697 A (トヨタ自動車株式会社) 2016. 11. 24, & US 2016/0290437 A1 & EP 3078755 A1 & KR 10-2016-0119698 A & CN 106051046 A	1-12