

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4216488号
(P4216488)

(45) 発行日 平成21年1月28日(2009.1.28)

(24) 登録日 平成20年11月14日(2008.11.14)

(51) Int. Cl.	F I
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 0 3 U
C 2 2 C 38/02 (2006.01)	C 2 2 C 38/02
C 2 1 D 8/12 (2006.01)	C 2 1 D 8/12 D
H 0 1 F 1/16 (2006.01)	H 0 1 F 1/16 B

請求項の数 4 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2001-139092 (P2001-139092)	(73) 特許権者	000006655
(22) 出願日	平成13年5月9日(2001.5.9)		新日本製鐵株式会社
(65) 公開番号	特開2002-356750 (P2002-356750A)		東京都千代田区大手町2丁目6番3号
(43) 公開日	平成14年12月13日(2002.12.13)	(74) 代理人	100077517
審査請求日	平成15年8月15日(2003.8.15)		弁理士 石田 敬
(31) 優先権主張番号	特願2000-140395 (P2000-140395)	(74) 代理人	100092624
(32) 優先日	平成12年5月12日(2000.5.12)		弁理士 鶴田 準一
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100113918
(31) 優先権主張番号	特願2001-93616 (P2001-93616)		弁理士 亀松 宏
(32) 優先日	平成13年3月28日(2001.3.28)	(74) 代理人	100082898
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 西山 雅也
		(72) 発明者	藤倉 昌浩
			千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 方向性電磁鋼板及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

方向性電磁鋼板を50Hzの周波数で圧延方向に励磁し、圧延方向の磁歪振動のゼロ-ピーク値(0-p値)を測定した際、飽和磁束密度まで励磁したときの0-p値 θ_{0C} において、張力皮膜が存在せず、レーザーが照射されていない状態の値を基準として、張力皮膜が形成されたことによって変化した絶対値 θ_{0L} と、皮膜形成後レーザーを照射することによって変化した絶対値 θ_{0L} が、

$$\theta_{0C} < 2.0 \times 10^{-6}$$

$$\theta_{0L} < 0.8 \times 10^{-6}$$

であり、飽和磁束密度における0-p値から励磁磁束密度1.7Tにおける0-p値を差し引いた値 θ_{17} において、張力皮膜が存在せず、レーザーが照射されていない状態の値を基準として、張力皮膜が形成されたことによって変化した絶対値 θ_{17C} と、皮膜形成後レーザーを照射することによって変化した絶対値 θ_{17L} が、

$$\theta_{17C} < 1.0 \times 10^{-6}$$

$$\theta_{17L} < 0.3 \times 10^{-6}$$

であり、更に、励磁磁束密度1.7Tにおける0-p値 θ_{17} が
 $-0.5 \times 10^{-6} < \theta_{17} < 0.5 \times 10^{-6}$
 である方向性電磁鋼板。

【請求項2】

θ_{0C} と θ_{0L} が、

$$\begin{array}{rcl}
 1.0 \times 10^{-6} & 0C < & 3.0 \times 10^{-6} \\
 0.5 \times 10^{-6} & 0L < & 1.0 \times 10^{-6} \\
 \text{であり、} & & \\
 & & \\
 0.5 \times 10^{-6} & 17C < & 1.5 \times 10^{-6} \\
 & 17L < & 0.3 \times 10^{-6}
 \end{array}$$

であり、 $_{17C}$ と $_{17L}$ が、

である請求項1に記載の方向性電磁鋼板。

【請求項3】

Siを1.0～4.0質量%含有する方向性電磁鋼板の製造方法において、仕上げ焼鈍後に形成される一次皮膜とその後付与する二次皮膜による合計の鋼板への張力を1MPa以上、8MPa以下とし、鋼板の単位面積当たりの入熱量を1～2mJ/mm²となるようにレーザー照射し、請求項1記載の磁歪特性を得ることを特徴とする方向性電磁鋼板の製造方法。

10

【請求項4】

Siを1.0～4.0質量%含有する方向性電磁鋼板の製造方法において、仕上げ焼鈍後に形成される一次皮膜とその後付与する二次皮膜による合計の鋼板への張力を14MPa以上とし、鋼板の単位面積当たりの入熱量を1.5～3mJ/mm²となるようにレーザー照射し、請求項1記載の磁歪特性を得ることを特徴とする方向性電磁鋼板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、トランスなどの鉄心に用いられる方向性電磁鋼板に関するものであり、更に詳しく述べると、鉄心の低鉄損化のみならず低騒音化にも寄与する、低鉄損、低騒音の方向性電磁鋼板とその製造方法に関するものである。

20

【0002】

【従来の技術】

近年、トランスなどの電磁応用機器にも騒音や振動の低減が要請されるようになり、トランスの鉄心に使われる方向性電磁鋼板には、低鉄損と共に、低騒音や低振動に適した材料であることが求められるようになってきた。トランスの騒音や振動に対する素材における原因の一つとして、方向性電磁鋼板の磁歪があるとされている。ここでいう磁歪とは、方向性電磁鋼板を交流で励磁したときに、鋼板の圧延方向に見られる振動のことで、その大きさは、10⁻⁶オーダーの非常に小さなものである。しかし、これまで、どのような磁歪特性がトランスの低騒音化に有効なのか明確ではなかった。

30

【0003】

これまでの低騒音化への方策は、磁歪を小さくすることであった。磁歪は、二次再結晶粒の{110}<001>の方位集積度をあげるにより低減できることが知られているが、これは低鉄損化を狙う場合と同じ一般的な方法である。積極的に磁歪を低減した材料の提案の一つに、特開平8-269562号公報がある。そこでは、焼鈍時の内部残留歪みを故意に残留させることにより磁歪の低減が図られている。しかし、この方法では歪みが残留するためヒステリシス損失が増加し、鉄損の増加を招いてしまう。

【0004】

以上のように、トランスの低騒音化のための鉄心用素材としては、これまで明確な磁歪特性の提示はなく、また、磁歪振動を低減する材料に対してもその提案はほとんどないのが実情である。

40

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の課題は、トランスの低鉄損と低騒音を両立するために最も適した方向性電磁鋼板、即ち、低鉄損、低騒音の方向性電磁鋼板、及び、その製造方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】

発明者らは、方向性電磁鋼板の磁歪とトランス騒音の関係を詳細に調査し、また、磁歪

50

に寄与する種々の材料要因を研究した結果、磁歪を決める因子として、前記の {110} <001> 方位集積度のほか、絶縁皮膜の張力、レーザー照射による微少歪みの付与が非常に重要であることを見出し、これらの因子を適切に制御することによって、低騒音のための磁歪特性を持ち、かつ、低鉄損である鋼板を開発することができた。

【0007】

本発明の要旨は以下のとおりである。

(1) 方向性電磁鋼板を50Hzの周波数で圧延方向に励磁し、圧延方向の磁歪振動のゼロ-ピーク値(0-p値：消磁状態を基準とした、ある励磁磁束密度の時の伸縮値で、伸びた場合を正、縮んだ場合を負とする)を測定した際、飽和磁束密度まで励磁したときの0-p値 θ_0 において、張力皮膜が存在せず、レーザーが照射されていない状態の値を基準として、張力皮膜が形成されたことによって変化した絶対値 θ_{0C} と、皮膜形成後レーザーを照射することによって変化した絶対値 θ_{0L} が、

$$\begin{aligned}\theta_{0C} &< 2.0 \times 10^{-6} \\ \theta_{0L} &< 0.8 \times 10^{-6}\end{aligned}$$

であり、飽和磁束密度における0-p値から励磁磁束密度1.7Tにおける0-p値を差し引いた値 θ_{17} において、張力皮膜が存在せず、レーザーが照射されていない状態の値を基準として、張力皮膜が形成されたことによって変化した絶対値 θ_{17C} と、皮膜形成後レーザーを照射することによって変化した絶対値 θ_{17L} が、

$$\begin{aligned}\theta_{17C} &< 1.0 \times 10^{-6} \\ \theta_{17L} &< 0.3 \times 10^{-6}\end{aligned}$$

であり、更に、励磁磁束密度1.7Tにおける0-p値 θ_{17} が -0.5×10^{-6} と 0.5×10^{-6} の間である方向性電磁鋼板。

【0008】

(2) θ_{0C} と θ_{0L} が、

$$\begin{aligned}1.0 \times 10^{-6} &< \theta_{0C} < 3.0 \times 10^{-6} \\ 0.5 \times 10^{-6} &< \theta_{0L} < 1.0 \times 10^{-6}\end{aligned}$$

であり、 θ_{17C} と θ_{17L} が、

$$\begin{aligned}0.5 \times 10^{-6} &< \theta_{17C} < 1.5 \times 10^{-6} \\ &< \theta_{17L} < 0.3 \times 10^{-6}\end{aligned}$$

である上記(1)に記載の方向性電磁鋼板。

【0009】

(3) Siを1.0～4.0質量%含有する方向性電磁鋼板の製造方法において、仕上げ焼鈍後に形成される一次皮膜とその後に付与する二次皮膜による合計の鋼板への張力を1MPa以上、8MPa未満とし、鋼板の単位面積当たりの入熱量を1～2mJ/mm²となるようにレーザー照射し、(1)に記載の磁歪特性を得ることを特徴とする方向性電磁鋼板の製造方法。

【0010】

(4) Siを1.0～4.0質量%含有する方向性電磁鋼板の製造方法において、仕上げ焼鈍後に形成される一次皮膜とその後に付与する二次皮膜による合計の鋼板への張力を14MPa以上とし、鋼板の単位面積当たりの入熱量を1.5～3mJ/mm²となるようにレーザー照射し、(1)に記載の磁歪特性を得ることを特徴とする方向性電磁鋼板の製造方法。

【0011】

【発明の実施の形態】

以下に本発明を詳細に説明する。

方向性電磁鋼板には[100]、[010]及び[001]の三つの磁化容易方向が存在するが、このうち磁場方向と異なる方向に磁化していた領域が、磁場印加と共に磁場方向に向いたり、逆に、磁場方向を向いていた領域が、他の磁化容易方向を向いたりした場合に、磁場印加方向に観測される伸縮、即ち、磁歪が生じる。

【0012】

[110]<001>方位に完全に揃った理想的な方向性電磁鋼板では、その磁区構造は圧延方向

10

20

30

40

50

だけに磁化した領域からなる構造、即ち、 180° 磁区のみで形成される。このため、磁化過程において磁歪は生じない。

しかし、実際には、方位のずれによる静磁エネルギーを低減するため、ランセット磁区とよばれる還流磁区の一つが鋼板中に存在する。また、歪みが導入された領域や、鋼板端部でも還流磁区が存在する。還流磁区内には板厚方向に磁化した領域を持っており、この領域が減少すれば、磁歪は正（伸張）の変化を、増加すれば負（収縮）の変化を示す。

【0013】

フォルステライトや張力絶縁皮膜が形成されていない、また、レーザー照射のされていない方向性電磁鋼板の磁歪 $0-p$ 値は、図1の1-(A)に示すように、励磁磁束密度と共に単調に増加する。これは消磁状態において、前述したランセット磁区が方位集積度に依存して存在し、励磁と共にその体積を減少させるためである。

10

【0014】

鋼板に張力絶縁皮膜を施すと、磁歪は1-(B)に示すように、一旦減少するものの、約1.7T以上の高磁束密度においては、増加に転じる。これは以下の理由による。

磁気弾性効果により、鋼板への張力付与によって、板厚方向に磁化している部分のエネルギーが高まるため、消磁状態のランセット磁区の体積は、張力のない場合に比べて減少する。これに磁場印加すると 180° 磁壁の移動が起こるが、これは表面の静磁エネルギーを増加させるので、静磁エネルギーを減ずるようランセット磁区は増加する。従って、この磁場領域では、鋼板は収縮する。更に磁場が強くなり、 180° 磁壁移動が終了すると、ランセット磁区が消滅しながら磁化が進行する。このとき鋼板は伸長する。

20

【0015】

以上の1-(A)と1-(B)の曲線では、磁化飽和状態が圧延方向以外の磁化成分の消滅した同じ状態であるから、この状態を伸縮の基準とすると磁区構造の変化を考えやすい。

図2に、飽和磁化の時の磁歪 $0-p$ 値を0として、磁歪 $0-p$ 値の磁束密度依存性を示す。張力被膜のない鋼板の場合は、2-(A)に示すように、磁歪 $0-p$ 値は磁束密度の低下と共に単調に減少する。一方、張力被膜を施した鋼板では、2-(B)に示すように、一旦減少するものの、極小をとった後増加する。2-(B)の消磁状態では、2-(A)に対して図に示す 0_C だけ鋼板は伸長していることになる。

【0016】

また、極小については、まず、極小をとる磁束密度は、鋼板の $[110]<001>$ 方位への配向度に依存するが、発明者らの調査の結果、通常の方角性電磁鋼板では1.7T程度であることが分かった。従って、先に定義した 17 において、2-(B)の極小値では、2-(A)に対して 17_C だけ伸長していることになる。これらの 0_C 及び 17_C は、絶縁被膜の張力を変化させることにより自在に制御できる。

30

【0017】

また、発明者らは、張力皮膜形成後、更にレーザー照射をすることにより、磁歪特性を自在に制御できることを見出した。この効果を以下に示す。

図1の皮膜形成後の磁歪 $0-p$ 値である1-(B)に対して、レーザーを照射すると、磁歪 $0-p$ 値は1-(C)に示すように、単調に増加するように変化する。これは、レーザー照射が鋼板中に歪みを導入するため還流磁区が形成され、励磁と共にこの還流磁区が消滅するためと考えられる。

40

【0018】

飽和磁化状態を基準とした場合を図2に示す。皮膜形成後レーザー照射した場合の曲線2-(C)は磁束密度低下と共に減少し、消磁状態では、2-(B)に比べて、図中に示す 0_L だけ鋼板は収縮していることになる。また、1.7Tにおいて定義した 17 においては、 17_L だけ収縮している。これらの 0_L 及び 17_L は、レーザー照射エネルギーを変化させることによって、自在に制御できる。

【0019】

更に、発明者らは、トランスなどの騒音を低減するために方向性電磁鋼板の磁歪特性がどうあるべきかを鋭意検討した結果、磁歪振幅を小さくすることは重要であるが、特に、

50

励磁磁束密度が、1.7Tにおける磁歪0-p 値 $_{17}$ を所定の大きさに制御することが、機器の騒音を低減する上で必須となることを知見した。

即ち、

$$- 0.5 \times 10^{-6} \quad _{17} \quad 0.5 \times 10^{-6}$$

と制御することが必須条件となる。

$_{17}$ が小さすぎる場合は、磁歪振動波形の高周波成分が増加すること、また、 $_{17}$ が大きすぎる場合には、磁歪の振幅が大きくなることから、トランスの騒音の増大に寄与していると考えられる。

【0020】

騒音のない材料を得るためには、皮膜張力とレーザー照射エネルギーを適切に制御し、先の $_{0C}$ 、 $_{0L}$ 、 $_{17C}$ 、及び、 $_{17L}$ が、

$$_{0C} < 2.0 \times 10^{-6}$$

$$_{0L} < 0.8 \times 10^{-6}$$

$$_{17C} < 1.0 \times 10^{-6}$$

$$_{17L} < 0.3 \times 10^{-6}$$

の範囲であり、更に、励磁磁束密度1.7Tの0-p 値 $_{17}$ が

$$- 0.5 \times 10^{-6} \quad _{17} \quad 0.5 \times 10^{-6}$$

を満たすことが必要であることを見出した。

【0021】

皮膜張力を小さくすると、 $_{0C}$ や $_{17C}$ は小さくなるが、小さくしすぎると運搬時やトランスを組立作業時などに鋼板に応力が入ったときの磁歪の劣化が大きくなり、また、鉄損も劣化するので、どちらも、 0.1×10^{-6} より大きくするのが好ましい。また、それらの値は方位集積度に依存して上限があるので、それぞれ、 2.0×10^{-6} 、 1.0×10^{-6} より小さく規定した。

【0022】

レーザー照射エネルギーを強くするに従い $_{0L}$ や $_{17L}$ は大きくなる。レーザー照射エネルギーが大きすぎると、磁歪振動の振幅が大きくなり、かえってトランスに組んだ時の騒音が大きくなるので、 $_{0L}$ は 0.8×10^{-6} より小さく、 $_{17L}$ は 0.3×10^{-6} より小さく規定した。

【0023】

皮膜張力は、仕上げ焼鈍後に形成されるフォスフェイト皮膜の量や、その上に施す絶縁皮膜の量や成分を調整することによって制御できる。また、レーザー照射は、CO₂ レーザーやYAG レーザーを用いて照射できる。鉄損低減の観点からは、レーザーによる歪み導入領域は、鋼板の圧延方向に直角に帯状に伸びており、圧延方向には、その歪み帯が周期的に導入されているのが望ましい。

【0024】

また、機器の設計磁束密度によって、要求される磁歪特性が変わることも分かった。まず、トランスの設計磁束密度が比較的低い場合は、鋼板の磁歪振動の波形をよりなめらかにし、振動の高調波成分を減少させることが、トランスの騒音を低減させる上において重要であり、皮膜張力は比較的弱い方が有効であることが分かった。しかしながら、この手法は、鉄損の劣化をもたらしてしまう。そこでレーザーを適切に照射し、磁区制御を施すことによって、低磁歪と低鉄損を実現することができた。

【0025】

上記の電磁鋼板は、フォスフェイト皮膜と絶縁皮膜の合計の張力を1MPa以上、8MPa未満とし、鋼板の単位面積当たりの入熱量を1~2mJ/mm²となるようにレーザー照射することにより、製造することができる。

【0026】

絶縁皮膜の張力が小さいと、運搬時やトランスを組立作業時などに鋼板に応力が入ったときの磁歪の劣化が大きくなり、鉄損も劣化するので、1MPa以上とした。また、上記張力が強すぎると、磁歪振動の波形に高調波成分が多く含まれる様になるので、8MPa未満とし

10

20

30

40

50

た。

また、設計磁束密度が高いときは、鋼板への張力をなるべく強くし、その皮膜張力に応じてレーザー照射強度を適切に制御することが重要である。これにより、磁歪₁₇を先に示した所定の大きさに制御することができ、更に、低磁束密度から高磁束密度まで磁歪振幅を小さく抑えることができる。

【0027】

具体的には、 σ_C と σ_L は、

$$1.0 \times 10^{-6} \quad \sigma_C < 3.0 \times 10^{-6}$$

$$0.5 \times 10^{-6} \quad \sigma_L < 1.0 \times 10^{-6}$$

に、 σ_{17C} と σ_{17L} は、

$$0.5 \times 10^{-6} \quad \sigma_{17C} < 1.5 \times 10^{-6}$$

$$\sigma_{17L} < 0.3 \times 10^{-6}$$

とし、更に、

$$\sigma_{17} < 0.5 \times 10^{-6}$$

であるように制御する。

具体的には、一次、二次皮膜による合計の鋼板への張力を14MPa以上とし、鋼板の単位面積当たりの入熱量を1.5~3mJ/mm²となるようにレーザー照射することにより製造することができる。

【0028】

【実施例】

(実施例1)

定法により仕上げ焼鈍までを行った厚さ0.23mmの方向性電磁鋼板について、フォルステライト皮膜の厚さと絶縁張力皮膜塗布量を制御し、被膜張力を変化させた。更に、圧延方向の照射ピッチを5mm、圧延直角方向の照射ピッチを0.03mmとして、パルスエネルギーを変化させ、鋼板にレーザー照射した。レーザーにはYAGレーザーを用いた。照射エネルギーは鋼板の面積あたりの導入エネルギーで表す。磁歪の測定には、レーザードップラー方式の磁歪測定装置を用い、各条件10枚を試験に供した。試料作製条件と10枚の平均の磁歪測定結果を表1に示す。

【0029】

更に、それぞれの条件の鋼板で、750mm×750mmの3相3脚積み鉄心を作製し、騒音の測定を行った。鋼板の幅は150mm、積み枚数は180枚とした。被膜張力0の場合は、張力の発生しない絶縁被膜を塗布した。結果を表2に示す。本発明の鋼板を用いることによって、トランスの低騒音化が実現された。同表には鉄心の鉄損も示すが、本発明においては良好な鉄損が得られている。

【0030】

【表1】

10

20

30

表 1

	皮膜 張力 (MPa)	レーザー エネルギー (mJ/mm ²)	ϵ_{0C} (10^{-6})	ϵ_{0L} (10^{-6})	ϵ_{17C} (10^{-6})	ϵ_{17L} (10^{-6})	λ_{17} (10^{-6})	
A	14	2	1.5	0.4	0.6	0	-0.1	発明例
B	8	2	1.5	0.4	0.6	0	+0.2	発明例
C	6	2	1.3	0.5	0.6	0.1	+0.3	発明例
D	6	1	1.4	0.2	0.6	0	0	発明例
E	2	1	0.5	0.2	0.4	0	+0.3	発明例
F	16	2.5	2.0	0.8	0.8	0.2	-0.2	発明例
G	15	20	1.5	1.8	0.6	0.5	+0.8	比較例
H	6	10	1.4	1.2	0.6	0.3	+1.0	比較例
I	2	10	0.4	1.3	0.4	0.2	+1.2	比較例
J	0	10	0	1.2	0	0	+1.3	比較例
K	0	0	0	0	0	0	+0.4	比較例

10

20

【 0 0 3 1 】

【 表 2 】

30

表 2

	トランス騒音 (dB (A)) f=50Hz, Bm=1.7T	鉄 損 (W/kg) f=50Hz, Bm=1.7T
A	42	0.97
B	43	0.98
C	41	0.98
D	43	0.99
E	41	1.01
F	40	0.95
G	49	1.03
H	48	1.05
I	50	1.10
J	55	1.30
K	54	1.60

10

20

【 0 0 3 2 】

【 発明の効果 】

本発明の方向性電磁鋼板は、皮膜張力とレーザーの照射エネルギーを、 θ_{0C} 、 θ_{0L} 、 θ_{17C} 、 θ_{17L} と θ_{17} が所定の範囲になるように調整して得られるものであり、トランスの低鉄損と低騒音を同時に達成することができる。

【 図面の簡単な説明 】

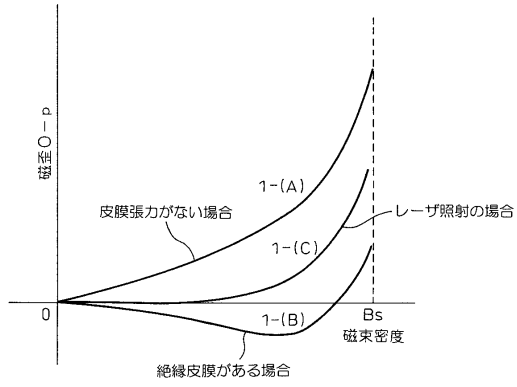
【 図 1 】 消磁状態を基準とした、磁歪振動0-p 値の磁束密度による変化を示す図である。

【 図 2 】 飽和磁束密度状態を基準とした、磁歪振動0-p 値の磁束密度による変化を示す図である。

30

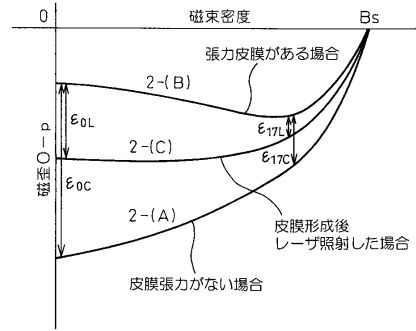
【図 1】

図 1



【図 2】

図 2



フロントページの続き

- (72)発明者 新井 聡
兵庫県姫路市広畑区富士町1番地 新日本製鐵株式会社 広畑製鐵所内
- (72)発明者 溝上 雅人
千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内
- (72)発明者 茂木 尚
千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内
- (72)発明者 久保田 猛
千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内

審査官 佐藤 陽一

- (56)参考文献 特開平08-067913(JP,A)
特開平02-022423(JP,A)
特公昭62-049322(JP,B2)
特公昭53-028375(JP,B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C22C 38/00-38/60
C21D 8/12
C21D 9/46,501
C23C 22/00