



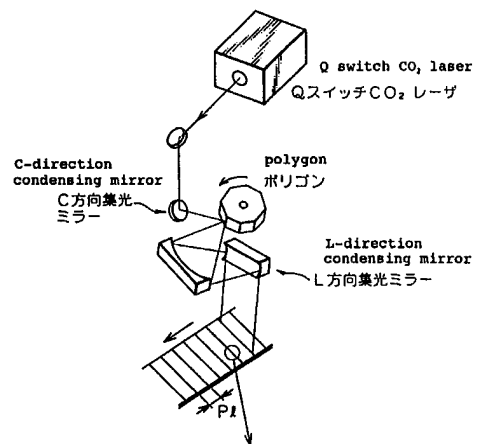
<p>(51) 国際特許分類6 C21D 8/12, H01F 1/16</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO98/32884</p> <p>(43) 国際公開日 1998年7月30日(30.07.98)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP98/00303</p> <p>(22) 国際出願日 1998年1月26日(26.01.98)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平9/11718 1997年1月24日(24.01.97) JP 特願平9/107748 1997年4月24日(24.04.97) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 新日本製鐵株式会社(NIPPON STEEL CORPORATION)[JP/JP] 〒100-71 東京都千代田区大手町二丁目6番3号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ) 坂井辰彦(SAKAI, Tatsuhiko)[JP/JP] 浜田直也(HAMADA, Naoya)[JP/JP] 南田勝宏(MINAMIDA, Katsuhiko)[JP/JP] 〒299-12 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 Chiba, (JP) 杉山公彦(SUGIYAMA, Kimihiko)[JP/JP] 坂井田晃(SAKAIDA, Akira)[JP/JP] 茂木 尚(MOGI, Hisashi)[JP/JP] 〒804 福岡県北九州市戸畑区飛幡町1番1号 新日本製鐵株式会社 八幡製鐵所内 Fukuoka, (JP)</p>	<p>(74) 代理人 弁理士 石田 敬, 外(ISHIDA, Takashi et al.) 〒105 東京都港区虎ノ門三丁目5番1号 虎ノ門37森ビル 青和特許法律事務所 Tokyo, (JP)</p> <p>(81) 指定国 CN, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>	

(54) Title: **GRAIN-ORIENTED ELECTRICAL STEEL SHEET HAVING EXCELLENT MAGNETIC CHARACTERISTICS, ITS MANUFACTURING METHOD AND ITS MANUFACTURING DEVICE**

(54) 発明の名称 磁気特性の優れた方向性電磁鋼板とその製造方法、およびその装置

(57) Abstract

A grain-oriented electric steel sheet whose 180° magnetic wall interval is reduced by the irradiation of a pulse laser beam to improve its magnetic characteristics. Particularly, a grain-oriented electric steel sheet which is characterized in that the width in the rolling direction of a periodical enclosure domain is not larger than 150 μm, its depth in the plate thickness direction is not less than 30 μm, the product of the length in the width direction and the length in the depth direction is not less than 4500 μm² and, in addition, its magnetostriction (λ 19 p-p compression) is not larger than 0.9 × 10⁻⁶ when the plate thickness is 0.23 mm and not larger than 1.3 × 10⁻⁶ when the plate thickness is 0.27 mm. A pulse oscillation Q switch CO₂ laser beam whose beam shape is elliptical with a long axis in the direction of the sheet width is irradiated to the surface of the grain-oriented electric steel sheet. At that time, the irradiation power density of the single laser pulse is so predetermined as to be lower than the film damaging threshold of the steel sheet surface in order to suppress the formation of a laser irradiation mark. Further, the long axis length of the elliptical beam is so predetermined as to be larger than a pulse beam irradiation interval in the sheet width direction in order to superpose the pulse beams upon each other to provide a sufficient integrated irradiation energy. Moreover, lenses, mirrors, etc. by which a laser beam is condensed are provided in the sheet width direction and in the rolling direction independently, distances between the respective beam condensing components and the irradiated steel sheet surface are independently adjusted, and the sheet width direction diameter and the rolling direction diameter of the irradiated laser beam can be arbitrarily adjusted.



明 細 書

磁気特性の優れた方向性電磁鋼板とその製造方法、およびその装置

技術分野

本発明は、レーザービームの照射により磁気特性を改善した方向性電磁鋼板に関し、特に鋼板表面にレーザー照射痕を発生させず、かつ、磁気特性を改善する方向性電磁鋼板とその製造方法およびそれを実現するための装置に関するものである。

背景技術

従来、方向性電磁鋼板の製造方法において、鋼板表面に力学的歪みを導入し、周期的な還流磁区を発生させることで 180° 磁区を細分化し、鉄損を減少させる方法が種々提案されてきた。中でも特開昭55-18566号公報に開示されるように、鋼板の表面にパルス YAG レーザービームを集光照射して、被照射部での皮膜の蒸発反力により歪みを導入する方法は、鉄損改善効果が大きく、かつ非接触加工であることから信頼性・制御性も高い非常に優れた方向性電磁鋼板の製造法である。

しかし、パルスレーザーを用いる手法では、鋼板表面での皮膜蒸発反力は効果的に得られるという利点はあるものの、表面の絶縁皮膜が破壊されるためレーザー照射痕が発生する。従って、レーザー照射の後に絶縁コーティングを行わなければならないという問題があった。

そこで瞬間パワーは比較的低い連続波レーザーを用いて皮膜の損傷を抑える方法として、連続波 CO₂レーザーを用いる技術が特公昭62-49322号公報に、または連続波 YAGレーザーを用いる技術が特公平5-

32881号公報にそれぞれ開示されている。特に後者の特許においてはその明細書中でQスイッチ YAGレーザーはパルス時間幅が短く、高ピークパワーを持つため、皮膜の蒸発・照射痕発生は不可避であり、電磁鋼板のレーザー処理には適していないと明確に記述されている。また、パルスランプ励起等で行う通常のパルスレーザーは次のような点で、電磁鋼板のレーザー処理には適さない事が明らかとなった。まず、このタイプのレーザーは本質的に非常に低いパルス繰り返し率をもつため、高速の生産ラインに追従できないという点である。更にこのタイプのレーザーを用いた場合、必要な磁区制御を行なうためには、Qスイッチパルスレーザーに比較して、照射面の平均エネルギー密度を増加してやらねばならない点である。照射面の平均エネルギー密度を増加させた場合では、鋼板の平坦性を物理的に歪めるといった新たな問題が生じてくることになる。このような歪みは鋼板が反る、および／または、表面に線状の痕跡を形成するといった形で表わされる。このような痕跡はパルスレーザー処理された鋼板の鉄損に対して害となり、またこのパルスレーザー処理された鋼板からなる変圧器の積層要素に対しても害となる旨記載されている。

ところで、連続波レーザーで照射痕を発生させずに歪みを導入する原理はレーザー照射による鋼板の急速加熱・急速冷却にある。これは、パルスレーザー法での歪み源が皮膜の蒸発反力であったことに比較して大きな差違である。

しかし、連続波レーザーはパワー密度が低いため照射痕の抑制には効果的であるものの、急速加熱・急速冷却の能力においても、高ピークパワーのパルスレーザーに比べて低いため、歪み導入効率が低い。そこでパルスレーザー法並みの歪みを導入し、同等の鉄損改善を得るには、鋼板へのトータルの照射エネルギーを相対的に増大させなければならない。ところで、電磁鋼板の磁歪は、トランスに使用し

た時の騒音に比例する特性であり、鉄損と並び電磁鋼板の重要な品質の一つである。レーザ磁区制御の場合、磁歪はトータルの照射エネルギーに正の相関があることが分っており、従って、連続波レーザによる磁区制御法ではパルスレーザ法に比べ磁歪が増大するという問題があり、これは照射痕の発生有無に関わらず連続波レーザ法の欠点であった。

また、表面照射痕の発生有無について詳しく見てみると、この現象は、ビーム形状とレーザパワーにより決まる照射パワー密度に大きく依存する。従って、パワー密度を低減させることで照射痕の抑制ができる。しかし、十分な熱歪みを与えるには総合入熱量は一定量以上を確保する必要がある。そこで、これら従来の連続波レーザ照射装置ではレーザビームをスキャン方向である板幅方向に長軸を持つ楕円に整形し、被照射点にレーザビームが照射されている時間を延長することで入熱量を確保している。従って、レーザ照射痕を抑制して、かつ入熱量を調整する照射装置では、レーザパワー、スキャン速度、および楕円ビーム形状からなる照射条件の複雑かつ微妙な制御が必要とされていた。

ところで、方向性電磁鋼板の製造工程には焼鈍、および絶縁コーティングが含まれ、鋼板表面は、焼鈍時に形成される酸化皮膜、更にその上に塗布された絶縁・防錆コーティングからなる。その結果、鋼板表面の耐レーザ光強度は、焼鈍温度・時間、およびコーティング液の種類で微妙に変化する。従って、レーザ照射痕を抑制するには、鋼板の表面特性にあわせて、レーザ照射条件を逐次調整する必要がある。照射条件の内、レーザパワーはレーザ装置のパワー調整機能で制御可能である。スキャン速度は、スキャン光学系で一般的に用いられているポリゴンミラー、あるいはガルバノミラーの回転速度を調整することで容易に制御できる。しかし、照射痕を抑制

するために、レーザーパワーを低下させると、入射される熱量も減少するため、十分な歪みが導入されず、鉄損特性が劣化する。そこでスキャン速度を低下させることが考えられるが、その場合、処理速度が犠牲になるという問題が生じる。従って、レーザーパワー強度を制御するにはレーザーパワー、スキャン速度だけでなく、楕円ビーム形状にも柔軟に対応可能な制御装置が必要であった。

従来の照射装置では前述した特公平5-32881号公報に開示されているように、レーザービームの集光装置は単一の円柱レンズを用いている。この様な集光装置では楕円ビームの短軸方向のみしか、調整ができず、長軸方向はレーザー装置から出射されたビーム径からの変更はできない。従って、楕円形状を任意に、かつ微妙に調整することは不可能であった。このため、従来の技術では鋼板の耐レーザー光強度の微妙な変化に対応し、レーザー照射痕を抑制するには限界があり、種々の鋼板を連続して処理する必要のある製造工程では実用上問題があった。

この様な背景により、磁気特性の優れた電磁鋼板の製造方法として、パルスレーザー法で問題となるレーザー照射痕が発生せず、かつ、連続波レーザー法で困難である鉄損、磁歪両方の特性向上が可能な手法とそれを実現するための装置の開発が望まれていた。

本発明の第一の目的は、低鉄損で、かつ磁歪特性の極めて優れた方向性電磁鋼板を提供することにある。

本発明の第二の目的は、方向性電磁鋼板の鉄損を低減させる方法として、従来のパルスレーザー照射による表面レーザー照射痕を抑制し、連続波レーザー法で問題となる磁歪の増加を極力抑え、かつ高速・連続処理に適したレーザー処理工程を実現する方法を提供することにある。

本発明の第三の目的は、レーザー照射により方向性電磁鋼板の鉄損

を低減させ、かつ表面レーザー照射痕を抑制した方向性電磁鋼板の製造装置において、鋼板表面の耐レーザー光強度の変化に容易に対応して、常に安定的にレーザー照射痕を抑制するレーザー照射装置を提供することにある。

発明の開示

本発明は、パルスレーザー光を照射して磁壁間隔を縮小して磁気特性を改善した方向性電磁鋼板において、レーザー照射により発生する周期的な還流磁区の圧延方向幅が $150\mu\text{m}$ 以下、板厚方向深さが $30\mu\text{m}$ 以上、かつ幅方向と深さ方向の長さの積が $4500\mu\text{m}^2$ 以上であることを特徴とする方向性電磁鋼板である。

また、本発明は、パルスレーザー光を照射して 180° 磁壁間隔を縮小して磁気特性を改善した方向性電磁鋼板において、レーザー照射により発生する周期的な還流磁区の圧延方向幅が $150\mu\text{m}$ 以下、板厚方向深さが $30\mu\text{m}$ 以上、かつ幅方向と深さ方向の長さの積が $4500\mu\text{m}^2$ 以上であり、かつ板厚が 0.23mm の材料で磁歪 ($\lambda 19\text{p-p}$ 圧縮) が 0.9×10^{-6} 以下、板厚が 0.27mm の材料で磁歪 ($\lambda 19\text{p-p}$ 圧縮) が 1.3×10^{-6} 以下であることを特徴とする方向性電磁鋼板である。

なお、磁歪 ($\lambda 19\text{p-p}$ 圧縮) とは、 1.9T の磁界で $0.3\text{kg}/\text{mm}^2$ の圧縮応力をかけたときの伸縮率である。

また、本発明は、方向性電磁鋼板の表面に、等間隔にレーザービームを照射して、磁気特性を改善する方向性電磁鋼板製造方法において、当該レーザーがパルス発振 Q スイッチ CO_2 レーザであり、照射ビーム形状が板幅方向に長軸を持つ楕円であり、レーザーパルスの照射パワー密度を鋼板表面の皮膜損傷閾値以下に設定することで、レーザー照射痕の発生を抑制し、かつ楕円ビームの長軸長を板幅方向のパ

ルスビーム照射間隔以上に設定することで、連続するパルスビームを鋼板表面で重畳させ、磁気特性改善に必要な十分な積算照射エネルギーを与えるレーザ照射方法である。

更に、本発明は、方向性電磁鋼板の表面にレーザビームを照射して磁気特性を改善する方向性電磁鋼板の製造装置において、照射レーザビームを集光するレンズ、あるいはミラー等の集光部品を、板幅および圧延方向のそれぞれについて独立に備え、また、各集光部品から被照射鋼板表面までの距離を独立に変更する調整機構を備え、レーザ照射ビームの板幅方向径、圧延方向径を任意に調整する磁気特性の優れた方向性電磁鋼板の製造装置である。また、本発明においては、照射レーザビームの板幅方向の集光装置の焦点距離が圧延方向の集光装置の焦点距離よりも長くなるように調整する磁気特性の優れた方向性電磁鋼板の製造装置である。

図面の簡単な説明

〔図 1〕

入射レーザパワーと鉄損との関係を示す図である。

〔図 2〕

本発明のレーザ照射方法の実施例の説明図であり、(a) は全体を示す模式図、(b) は照射部の拡大図である。

〔図 3〕

(a) 各種レーザの出力波形の説明図である。

(b) 各種レーザに本発明のレーザ照射方法を用いたときのスキャン線上の任意点の温度履歴の説明図である。

〔図 4〕

表面皮膜損傷グレードとレーザピークパワー密度の関係図である。

。

〔図 5〕

鉄損改善率と照射エネルギー密度の関係図である。

〔図 6〕

磁歪と照射エネルギー密度の関係図である。

〔図 7〕

鉄損改善率と楕円ビームの 1 方向ビーム径の関係図である。

〔図 8〕

磁歪と楕円ビームの 1 方向ビーム径の関係図である。

〔図 9〕

鉄損改善率と楕円ビームの C 方向ビーム径の関係図である。

〔図 10〕

磁歪と楕円ビームの C 方向ビーム径の関係図である。

〔図 11〕

(a) は従来法と、(b) は本発明による還流磁区幅を示す図である。

〔図 12〕

従来法と本発明による板厚深さ方向の弾性歪の磁区模様を示す図であり、(a) は 6.5mm で観察した顕微鏡写真で、(b) は 10mm で観察した顕微鏡写真である。

〔図 13〕

本発明のレーザー照射装置の概要を示す図である。

〔図 14〕

(a) は、本発明のレーザー照射装置の板幅方向から見た説明図であり、プラットホーム 7 の移動機構の説明図である。

(b) は、本発明のレーザー照射装置の板幅方向から見た説明図であり、集光ミラー 6 の移動機構の説明図である。

〔図 15〕

レーザービーム伝搬距離とビーム径との関係の模式図である。

〔図16〕

ビーム形状制御の実施例の説明図であり、(a)は $f_1 = 375\text{mm}$ 、 $f_2 = 200\text{mm}$ の集光ミラーで、 $Wd_1 = 430\text{mm}$ 、 $Wdc = 210\text{mm}$ に設定したときの鋼板表面のビーム形状を示し、(b)は(a)と同一集光ミラーを用い、 $Wd_1 = 420\text{mm}$ 、 $Wdc = 207\text{mm}$ に設定したときの鋼板表面のビーム形状を示す図である。

〔図17〕

レーザパルスピークパワー密度と鋼板のレーザ照射痕評価結果であり、(a)は鋼板Aの、(b)は鋼板Bの耐レーザ光強度を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明においては、方向性電磁鋼板にパルスレーザ光を照射して磁壁間隔を縮小して磁気特性を改善するために、レーザ照射により発生する周期的な還流磁区の圧延方向幅が $150\mu\text{m}$ 以下、板厚方向深さが $30\mu\text{m}$ 以上、かつ幅方向と深さ方向の長さの積が $4500\mu\text{m}^2$ 以上の条件を満足する場合に優れた磁気特性の改善が図れるものである。その理由を以下に述べる。

方向性電磁鋼板の鉄損は異常渦電流損とヒステリシス損に分離される。異常渦電流損は鋼板の 180° 磁壁間隔が狭いほど低くなる。レーザ磁区制御ではレーザ照射により圧延方向に周期的に弾性歪みを導入することで還流磁区(= 90° 磁区)を発生させる。その結果、 180° 磁壁間隔は狭まり、異常渦電流損が減少する。 180° 磁壁で作られる磁区(=主磁区)の細分化効果は発生する還流磁区量に依存して高くなり、異常渦電流損のみの低減の観点では還流磁区量(=体積)が多い方が好ましい。

一方、ヒステリシス損は還流磁区の圧延方向幅に正の相関がある

。従って、異常渦電流損を低減させるために歪み、すなわち還流磁区を過大に発生させると、一般に還流磁区幅も増加するため、ヒステリシス損が増加する。従って、全体としての鉄損は増加に転ずる。

マクロ的には還流磁区体積は入射するレーザの平均パワーに比例する。入射レーザ平均パワーと異常渦電流損、ヒステリシス損、およびこれらの合計である鉄損の関係は図1に模式的に示される。

また磁歪は還流磁区の圧延方向幅に正の相関がある。従って、異常渦電流損、ヒステリシス損、および磁歪をすべて低減するには還流磁区体積は増加させつつ、圧延方向の幅は減少させればよい。すなわち最良の還流磁区形態は圧延方向に狭く、板厚方向に深く、かつ体積も一定以上あることである。

次に、本発明者らは、還流磁区幅、および深さと照射レーザビーム形状の関係を調査し、高い磁気特性が得られる磁区形状を探索した。まず還流磁区の圧延方向幅はビームの圧延方向径 d_1 に比例する。その観点では d_1 は出来るだけ小さい方がよい。図8にあるように d_1 が0.28mm以下で磁歪が格段に減少することが判明した。その際の還流磁区幅を測定したところ $150\mu\text{m}$ (0.15mm)で、かつ深さは $30\mu\text{m}$ 以上であった。また図7で d_1 と鉄損改善率の関係を見ると d_1 が0.28mm近傍で鉄損改善が最大化している。これは還流磁区幅減少によるヒステリシス損の減少に起因するものである。しかし、 d_1 が0.20mmではむしろ鉄損改善率が低下した。これは還流磁区の深さは $30\mu\text{m}$ あるにも係わらず、幅は約 $100\mu\text{m}$ であり、従って還流磁区体積が減少したためである。

以上の結果から、還流磁区圧延方向幅は $150\mu\text{m}$ 以下が最適であり、この際、深さも $30\mu\text{m}$ 以上が必要であることがわかった。従って磁区体積は圧延方向幅と板厚方向幅の積に比例するので、その値

として4500 μm^2 以上が最適である。

次に、本発明に係わるレーザ磁区制御法の要点は、表面疵を抑制した上で、かつ効果的に熱歪みを導入することにある。

図2 (a) は本発明によるレーザ磁区制御法の実施形態の一例の模式図であり、(b) は照射部の拡大図である。鋼板は圧延方向(1方向)に磁化容易方向(180°磁区)が一致した方向性電磁鋼板である。照射されるQスイッチCO₂レーザパルスビームは直交する1, cの二方向をそれぞれ独立の集光ミラー、あるいはレンズで圧延方向に短軸d_lを、板幅方向に長軸d_cを持つ楕円に集光される。ここでスキャン方向と楕円ビームの長軸方向は一致しており、集光ビームはポリゴンミラー等で一定間隔P_cでスキャン照射される。また圧延方向には一定間隔P_lで照射される。ここでd_cはP_cより大きくなるように設定することで、連続するパルスレーザ光は鋼板上で重畳する。

この手法におけるレーザの各照射パラメータの関係式は式(1)、(2)に示される。ここでP_pはパルスピークパワー、I_pはピークパワー密度、E_pはパルスエネルギー、U_pはスキャン線上の任意の点での積算エネルギー密度である。Sはビーム面積、V_c, F_pはそれぞれC方向スキャン速度、パルスの繰り返し周波数である。nはパルスの重畳回数である。

$$I_p = \frac{P_p}{S} \quad \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

$$U_p = \frac{E_p}{S} \cdot n = \frac{4 E_p}{\pi \cdot d_e \cdot P_c} \quad \dots \dots \dots \text{式(2)}$$

$$(n = d_c / P_c, \quad S = \frac{\pi}{4} (d_e \cdot d_c))$$

一方、連続波レーザを用いた場合の照射パラメータは以下の式(

3)、(4)で表される。ここで P_{av} は連続波レーザの平均出力、 τ はスキャン線上の任意点へのビーム照射時間である。

$$I_p = \frac{P_{av}}{S} \quad \dots \dots \dots \text{式 (3)}$$

$$U_p = I_p \cdot \tau = \frac{4 \cdot P_{av}}{\pi \cdot d_e \cdot V_c} \quad (\tau = d_c / V_c) \quad \dots \dots \text{式 (4)}$$

次に図3を用いてパルスレーザ、連続波レーザによる照射痕の発生、熱歪みの導入原理について整理し、本発明のかかわるレーザ磁区制御の作用を説明する。

図3(a)にはレーザ波形をQスイッチYAGレーザ、QスイッチCO₂レーザ、および連続波レーザのそれぞれの場合について示した。特公平5-32881号公報にも示されるように、QスイッチYAGレーザは特徴としてパルス時間が0.01 μ s程度と非常に短く、低パルスエネルギーにもかかわらずピークパワーは非常に高い。それに比べ同じQスイッチレーザでもCO₂レーザの場合、パルス時間幅は0.2~0.5 μ sと長く、ピークパワーは比較的低い。また特徴として初期パルスに続き、低ピーク・高エネルギーのテール部分があり、テール時間長で入熱量の調整も可能である。

図3(b)は図3(a)で説明した各種レーザ照射による鋼板表面の任意点における温度履歴の模式図である。レーザ照射による表面疵の発生は閾値温度 T_1 によって特徴づけられる。また、還流磁区を発生させる熱歪みは閾値温度 T_2 で特徴づけられる。 T_1 は表面絶縁皮膜の軟化・熔融温度に相当し、約800 $^{\circ}$ Cである。一方、熱歪みの解放温度から推測して、 T_2 は約500 $^{\circ}$ Cである。従って、照射疵を抑制して、且つ熱歪みを導入するには鋼板温度を500 $^{\circ}$ C以上、かつ800 $^{\circ}$ C以下に制御すればよい。

次に温度履歴と歪みの導入効果について説明する。図3(b)中

の温度上昇の傾きに相当する加熱速度は照射されるレーザーの単位時間当たりのエネルギー密度、すなわちパワー密度 I_p に比例する。熱歪みは鋼板の急速加熱・急速冷却によって導入されるため、高ピークパワーのレーザーを用いることで歪み導入効率が高い。従って、連続波レーザーに比べ、パルスQスイッチレーザーの方が低照射エネルギーで磁性改善を行うことが可能である。一方、歪み総体積、および板厚方向への歪み浸透深さは照射された総エネルギー密度 U_p に比例し、図3(b)では温度履歴の時間積分値(図の斜線部面積)に比例する。

従って、本発明の係わる理想的なレーザー磁区制御は、鋼板温度が $500 \sim 800^\circ\text{C}$ の範囲で、パルスレーザー照射により急速加熱・急速冷却を繰り返し、且つ任意の点に照射される総エネルギー量 U_p をできるだけ効率的に導入することにある。

以上の知見を基に、Qスイッチ CO_2 レーザを用いた本発明の磁気特性改善方法を詳細に説明する。本発明に用いるQスイッチ CO_2 レーザはピーク出力がQスイッチ YAGレーザーより低く、連続波レーザーのそれよりは高いパルスレーザー装置である。一般にはピーク出力は $10 \sim 1000\text{kW}$ の範囲である。パルス時間幅は初期パルス時間幅が $200 \sim 500\text{ns}$ 、テールを含めた全長が $1 \sim 10\mu\text{s}$ である。

パルスレーザービーム照射方法は図2で説明したように、 l , c 方向をそれぞれ独立に集光し、スキャン照射される。特にスキャン方向である c 方向と集光ビームの長軸は一致し、且つそのスキャン間隔 P_c は楕円の長軸長 d_c 以下に設定し、パルスレーザービームが鋼板表面で重畳される。パルスピークパワー密度 I_p はピークパワーとビーム集光面積を調整し、ビーム重畳条件下においても鋼板表面温度が皮膜損傷閾値 T_1 に達しないよう調整される。この様に I_p を抑制するビーム照射条件下では、同時に単一パルス当たりの照射エネルギー

一密度も減少するため、一般的には効果的な歪み導入は不可能である。しかし本発明ではビーム重畳により鋼板上の任意の点には複数のパルスが照射される。各点に照射されるパルス数 n はビーム長軸 d_c とスキャン間隔 P_c により前述の式 (2) で与えられる。従って図 3 (b) に示すように、パルス繰り返し周波数 F_p で n 個のパルスによる間欠的な急速加熱・急速冷却が繰り返されるため、パルスレーザーの利点である高い歪み導入能力は確保したまま、エネルギー的にはパルス重畳による積分効果で U_p を増加させ、磁区細分化に必要な歪みを与えることが可能である。

以上説明した作用により、本発明ではレーザー照射痕を抑制し、効率的な磁区制御効果が得られるという利点がある。

次に Q スイッチ CO_2 レーザを用いる本発明を、Q スイッチ YAG レーザを用いる場合と比較する。図 3 (b) に示すように Q スイッチ YAG レーザの場合、パルス時間幅が短く、かつピークパワーが高い。例えばフラッシュランプ励起の YAG レーザ媒質に、電気光学結晶を用いて Q スイッチ発振を行う場合、一般的にパルス時間幅 $0.01 \mu s$ 以下、パルスピークパワーは $1 MW$ 以上となる。このような短時間幅、高ピークパルスレーザー光では微妙な鋼板の加熱・温度制御は困難であり、容易に皮膜損傷が発生する。そこで本発明の照射法と同様にビーム径を拡大し、単一パルスあたりの I_p を抑制することは可能である。しかし同時に単一パルスあたりのエネルギー密度も著しく低下し、かつパルス時間幅が短いため、パルスエネルギー積分効果を得るには、 $1 MHz$ 以上の非常に早いパルス繰り返し周波数での動作が必要であり、現実的には不可能である。従って、Q スイッチ YAG レーザでは照射痕の発生しない方向性電磁鋼板の特性改善は困難である。

また工業応用の観点からも Q スイッチ CO_2 レーザは大きな利点を

持つ。電磁鋼板製造工程におけるレーザ処理速度を高速化するためには、パルスエネルギーとパルス繰り返し周波数の積である平均出力の大きなQスイッチレーザが望まれる。Qスイッチレーザの平均出力はベースとなる連続波レーザの平均出力に比例する。固体結晶であるYAGレーザの場合、平均出力として5kW程度が限界であり、一方、ガス媒質であるCO₂レーザは大型化が比較的容易で、40kW以上の出力を持つ連続波レーザ装置も市販されている。またCO₂レーザは装置・稼動コストが廉価である。よってQスイッチCO₂レーザを使用することで、低コストで、高速・大型の電磁鋼板製造工程に磁性改善技術の適用が可能であるという利点を有する。

図13、および図14は本発明の装置の概要を示す図である。本発明による方向性電磁鋼板の製造方法では、図13に示すように、レーザビームは鋼板8表面上で、板幅方向に長軸d₁を持ち、圧延方向に短軸d_cを持つ楕円に集光される。集光されたレーザビームは板幅方向にある一定速度Vでスキャンされる。連続波レーザビームを用いる場合は、任意の点におけるレーザ照射時間Tは式(5)で示される。またパルスレーザビームを用いる場合は間欠照射となり、パルス繰り返し周波数をF_p〔Hz〕とするとスキャン方向の照射ピッチP₁は式(6)で示される。また、圧延方向には図示されていないレーザビーム間欠遮断装置により一定間隔P₁で照射される。

$$T = d_1 / V \quad \dots \text{式 (5)}$$

$$P_1 = V / F_p \quad \dots \text{式 (6)}$$

図14(a)、(b)は、本発明の装置を板幅方向の断面から見た説明図である。レーザ装置1より発振されたレーザビームLBはミラー2を介して、プラットホーム7に導入される。プラットホーム7上には焦点距離がf₁である板幅方向集光円柱集光ミラー3、ポリゴンミラー4、スキャンミラー5、および焦点距離がf₂である圧

延方向集光円柱集光ミラー 6 が備えてある。プラットホーム 7 に入射したレーザービーム LB はミラー 3 により板幅方向のみ焦点距離 f_1 で集光される。次にレーザービーム LB はポリゴンミラー 4 とミラー 5 の組み合わせで、板幅方向に平行したスキャンビームに変換される。更にミラー 6 により圧延方向にのみ焦点距離 f_2 で集光され、鋼板 8 に照射される。図 12 はビームの伝搬距離とビーム径との関係を示す模式図である。レーザービームは鋼板面上において f_1 , f_2 , および Wd_1 , Wdc で決まるビーム径 d_1 , および d_c に集光される。

図 13 に示すように、プラットホーム 7 は固定台 11 に移動装置 9 を介して設置され、鋼板 8 に対して上下動する機構を備えている。また集光ミラー 6 はプラットホーム 7 上に移動装置 10 を介して設置されており、圧延方向に平行移動する機構を備えるものである。従って、図 14 に示すようにプラットホーム 7 の上下移動により板幅方向集光ミラー 3 と鋼板 8 との距離 Wd_1 、および圧延方向集光ミラー 6 と鋼板 8 との距離 Wdc は同時に変更される。一方、ミラー 6 の圧延方向の平行移動により、 Wd_1 のみが独立に変更される。従って、これら二つの移動量の組み合わせにより Wd_1 と Wdc は任意に変更・調整される。この結果、集光ミラーの焦点距離 f_1 , f_2 、すなわち曲率半径を変更しなくても鋼板表面上の板幅方向径 d_1 、および圧延方向径 d_c の微妙な調整が容易に行えるのである。

また、本照射装置の特徴は図 13、図 14 に示すように、レーザービーム径を板幅方向 (C) と圧延方向 (L) でそれぞれ独立に集光ミラー 3, 6 で制御し、かつ C 方向集光系が L 方向集光系に比べ長焦点を持つことにある。

本発明の技術では特に L 方向ビーム径 d_l を 0.2~0.3mm 程度に微小集光することが重要であることから、ミラー 6 には比較的短焦点

の集光ミラーが必要である。その結果、焦点深度も小さくなり、ミラー 6 と鋼板 8 の距離 Wdc には微妙な調整機能が必要であり、移動機構 9 は必須である。しかし、本発明の構成のように板幅方向集光ミラー 3 を独立に設け、かつそれを圧延方向集光ミラー 6 より長焦点のミラーにする場合、その焦点深度はミラー 6 のそれより大きくなる。その結果、移動機構 9 による Wdc 調整の範囲では板幅方向径 dc の増減はほとんど無視することも可能である。

従って、図 13 に示す様な移動機構 9, 10 を設けて $Wd1$, Wdc を独立に制御することが最も望ましいが、上述のようなミラー構成の特徴より、移動機構 10 は省略することも可能である。

本発明によるパルスレーザ磁区制御された方向性電磁鋼板の周期的還流磁区を詳細に観察した結果、表 1 に示すように従来法（パルスレーザによる表面照射痕の発生する磁区制御法）のものに比較し、深い還流磁区が存在することが判明し、前記還流磁区幅が図 11 (b) に示すように $150\mu m$ 以下に減少し、従来法図 11 (a) に比べ圧延方向幅が狭い。従って、表 1、図 11 から明らかなように本発明では従来法に比べ、狭く深い還流磁区形状をもつ方向性電磁鋼板が得られた。

〔表 1〕

エッチング深さ	0 (μm)	20	25	32	44	52	60
本発明	○	○	○	○	○	△	×
従来法	○	○	○	×	×	×	×

○：還流磁区有り △：還流磁区部分的有り ×：還流磁区なし

また、電磁鋼板の素材としての磁歪値は製品であるトランスの騒音に直接的に比例し、一般に磁歪が 1.3×10^{-6} 以下であると、トランス騒音は人が不快感を感じない程度に低下する。さらに磁歪が

0.9×10⁻⁶以下であれば、トランス騒音は格段に低下し、全く不快感を感じないものとなる。本発明の電磁鋼板は還流磁区形状の特性により（0.23mm材においては）磁歪が極力低減され、表に示すように磁歪値は0.9×10⁻⁶以下である。従って、本発明の電磁鋼板を使用することで従来に比べ、極めて低騒音のトランスを製造することができる。

板厚が0.23mm、0.27mmの場合における連続波レーザー法、パルスレーザー従来法および本発明による磁歪（λ19p-p 圧縮）の値をそれぞれ表2、表3に示した。

〔表2〕

板厚：0.23mm	連続波レーザー法	パルスレーザー従来法	本発明
ビーム形状 (d1×dc)	0.28×9.5mm	0.43×0.43mm	0.28×9.5mm
磁歪 (λ19p-p 圧縮)	1.2×10 ⁻⁶	1.5×10 ⁻⁶	0.9×10 ⁻⁶

〔表3〕

板厚：0.27mm	連続波レーザー法	パルスレーザー従来法	本発明
ビーム形状 (d1×dc)	0.28×9.5mm	0.43×0.43mm	0.28×9.5mm
磁歪 (λ19p-p 圧縮)	1.6×10 ⁻⁶	2.0×10 ⁻⁶	1.3×10 ⁻⁶

表2、表3から明らかなように、本発明により得られた方向性電磁鋼板の磁歪レベルは従来の連続波レーザー法或いはパルスレーザー従来法により製造された方向性電磁鋼板に比べ優れた磁歪特性を有していることがわかる。

実施例

板厚 0.23mm の高磁束密度方向性電磁鋼板の表面に本発明の方法により Q スイッチ CO₂ レーザを照射し、照射痕の発生、磁気特性の改善効果を評価した。ここで L 方向ビーム径 d_l は約 0.30mm に固定し、C 方向ビーム径 d_c は 0.50 ~ 12.00mm で変更し、 I_p を調整した。Q スイッチ発振のピーク出力 P_p は 20kW、パルスエネルギー E_p は 8.3mJ、パルス繰り返し周波数 F_p は 90kHz であり、平均出力は約 750W である。またスキャン速度 V_c は 43m/s であり、Q スイッチレーザ照射時の c 方向照射ピッチ P_c は約 0.50mm、L 方向ピッチ P_l は 6.5mm である。連続波レーザの場合、平均出力 P_{av} は 850W であり、その他の照射条件は Q スイッチレーザの場合と同じである。

図 4 は I_p と表面のレーザ照射痕グレードの関係である。レーザ照射痕グレードは目視と耐錆試験による 5 段階評価である。すなわち、グレード 1 は明確な白色の痕跡、グレード 2 はグレード 1 よりも d_l 方向の傷が細かく白色の痕跡、グレード 3 は微小な白色の痕跡、グレード 4 は顕微鏡観察で痕跡確認可能、グレード 5 は顕微鏡観察で痕跡が観察しえない、という評価である。グレード 3 以下では錆発生があり、グレード 4 以上では錆発生がないものである。図 4 より、Q スイッチレーザの照射痕発生閾値パワー密度は連続波レーザのそれに比べ 1 桁以上高い。これは図 3 (b) で示すように Q スイッチレーザの場合、ピークパワーは高いものの、間欠的照射であるため、ピークパワーは高くても鋼板温度は損傷閾値 T_d まで達しないためである。それに比べ、連続波レーザは瞬時的パワーは低いものの連続的な熱の蓄積が影響し、低パワーでも皮膜の溶融損傷が発生するものである。図 4 より Q スイッチ CO₂ レーザの場合、皮膜損傷閾値パワー密度は $12\text{kW}/\text{mm}^2$ であり、 I_p をこの値以下に調整することで照射痕を発生させないパルスレーザによる磁気特性改善が行

えることが明らかである。

図5は図4で説明した照射条件の中で、特にレーザ照射痕が発生しなかったC方向ビーム径を選択し、鉄損改善率をUpをパラメータとして、連続波CO₂レーザ法とQスイッチCO₂レーザ法を比較した結果である。ここでC方向ビーム径はQスイッチレーザの場合8.7mm、連続波レーザでは約10.5mmである。これよりQスイッチCO₂レーザを使用する本発明により、従来の連続波レーザ法に比べ、より低い照射エネルギー量で同等以上の鉄損改善率が得られることが明らかである。

ところで鉄損と並び電磁鋼板の重要な磁気特性である磁歪は、鋼板をトランスに使用したときの騒音に比例する要因であり、これは小さいほど望ましい。図6は磁歪と総照射エネルギーUpの関係をQスイッチCO₂レーザと連続波CO₂レーザで比較した結果である。この図に示されるように磁歪はUpが大きいほど増加する。図5で説明したようにQスイッチCO₂レーザで処理をする場合、より低い照射エネルギーで高い鉄損改善効果が得られるため、その結果、連続波レーザ処理材に比べ磁歪が低減されるという効果がある。

また、鋼板の磁区模様は従来法と異なり、還流磁区幅が図11(b)に示すように狭い、更に深さ方向の弾性歪は図12の磁区模様の変化からも分かるように、30μmよりも深く、本発明の製品では30μm以上の深い部分でも還流磁区が存在していることがわかる。

以上、本発明の基本骨子であるQスイッチCO₂レーザの楕円ビーム重畳照射法の基本作用について実施例を示した。しかし、本発明においては鋼板の種類、楕円ビーム形状、照射ピッチ、照射パワー・エネルギー密度、パルス繰り返し周波数等を限定することで更に高い磁気特性改善効果を得ることが可能である。そこで次に照射条件限定による特性改善の一例を挙げる。

図 7 および図 8 は本発明の照射方法を用いて、楕円ビームの短軸、長軸を種々変更して、長軸長 d_1 と鉄損改善率、および磁歪の関係をまとめたものである。ここでは被照射素材として板厚 0.23mm の高磁束密度方向性電磁鋼板を用い、照射条件は $P_c = 0.5\text{mm}$ 、 $P_1 = 6.5\text{mm}$ 、 $F_p = 90\text{kHz}$ 、 $V_s = 43\text{m/s}$ 、 $E_p = 8.3\text{mJ}$ 、 $P_p = 20\text{kW}$ である。図 6 は d_c を 0.5~12.0mm、 d_1 を 0.20~0.40mm の範囲で変更した時の鉄損改善率を d_1 との関係でまとめた結果である。図 7 より、 $d_1 = 0.25\sim 0.35\text{mm}$ の範囲において、より高い鉄損改善率が得られることが明らかである。これは次のように説明される。式 (2) より、 P_c が固定された条件では d_1 を縮小することで U_p が増加するため、歪みが効果的に導入される。更に歪みの圧延方向幅が狭まり、ヒステリシス損が減少したことも鉄損の改善に寄与している。従って、鉄損改善率は向上する。しかし d_1 が著しく縮小されると歪みの L 方向長さも減少し、歪み体積は減少する。鉄損改善は歪みを起点とする磁区の細分化にあるため、歪み体積が著しく減少すると磁区細分化効果も減少することになる。その結果、図 7 のように d_1 に関しては最適点が存在すると考えられる。

次に図 8 は同様に d_1 と磁歪の関係をまとめたものである。磁歪は d_1 の縮小で単調に減少する。磁歪の原因は外部磁界が 180° 磁区方向に沿って印加されたときに生ずる還流磁区の伸縮にあるが、特に L 方向の伸縮の影響が大きい。従って、L 方向の還流磁区幅、すなわち歪みの L 方向幅が狭い方が磁歪は低い。従って図 8 で明らかかなように照射ビームの L 方向幅 d_1 の縮小で磁歪が低減されるものである。図 7 および図 8 より d_1 は 0.25~0.35mm の範囲で鉄損、磁歪特性向上の両立が成される。

次に楕円ビームの C 方向径 d_c についての最適値を示す。図 9 および図 10 は前述の照射条件に同じで、更に d_1 を 0.28mm に固定した場

合の dc と鉄損改善率、および磁歪の関係である。図 9 より dc を拡大することで鉄損改善率は向上し、10mm 以上では急激に劣化する。ここで dc が 6 mm 以上でレーザ照射痕は発生しない。dc が 1 mm 程度に小さい場合は式 (1) で示されるようにピークパワー密度 I_p が高くなり、その結果、レーザ照射痕も発生するが、その際、皮膜の蒸発により鋼板表面でプラズマが発生する。プラズマはレーザ光の吸収媒質であるため鋼板へのレーザ入熱効率が減少する。しかし、dc が拡大されると I_p は低下し、プラズマ発生はほとんど観測されない。また式 (2) より U_p は dc に対して一定であるため、プラズマが抑制された分、より効果的に入熱が行われ、鉄損改善効果が上昇するものである。しかし、更に dc を拡大すると、単一パネルのエネルギー密度が著しく減少するため、パルスの重畳によっても十分な加熱・歪み導入が成されず、鉄損改善は劣化する。従って、レーザ照射痕の抑制、鉄損改善の観点で dc は 6.0~10.0mm が最適である。

図 10 より磁歪は dc の拡大で単調に減少する。これもやはりプラズマの有無で説明される。レーザによる直接加熱を一次熱源とすると、鋼板の極近傍で発生するプラズマは二次熱源として働く。プラズマはレーザビーム径よりも鋼板面上での面積が大きいため、プラズマを熱源とした歪み幅は、レーザビームの L 方向径より大きくなる。前述したように磁歪は歪みの 1 方向幅に比例するため、プラズマの存在で磁歪は増大する。一方、dc 拡大でプラズマ影響は軽減されるが、dc = 10mm 以上の領域では図 8 に示した通り十分な歪みが導入されていないため、磁歪も低いと理解される。従って、dc の最適な範囲はやはり 6.0~10.0mm と限定される。

図 16 (a), (b) は本発明装置においてビーム形状制御を行った実施例におけるビーム形状の測定結果を示す図である。ここでレーザ光は連続波 CO₂レーザを用い、ビームの集光性を示すパラメー

タである M^2 値は5.7である。ここでミラー3への入射ビーム直径は約68mmである。図16(a)は $f_1 = 375\text{mm}$ 、 $f_2 = 200\text{mm}$ の集光ミラーを本発明の集光装置に配置し、それぞれ調整機構により $Wd_1 = 430\text{mm}$ 、および $Wd_c = 210\text{mm}$ に設定したときの鋼板表面でのビーム形状測定結果である。この設定により、板幅方向径に相当する楕円長軸 $d_1 = 4.3\text{mm}$ 、および圧延方向径に相当する楕円短軸 $d_c = 1.1\text{mm}$ が得られた。

次に、図16(b)は同じ集光ミラーを用い、本発明の調整機構により $Wd_1 = 420\text{mm}$ 、 $Wd_c = 207\text{mm}$ に設定した場合の鋼板表面でのビーム形状測定結果である。この設定では $d_1 = 2.9\text{mm}$ 、 $d_c = 1.4\text{mm}$ が得られた。

以上示した実施例により、本発明の照射装置では集光光学部品の焦点距離を変更せずに集光楕円形状を容易に調整することが可能である。

次に本発明を、レーザ照射痕を抑制した電磁鋼板の鉄損改善装置に適用した場合の例を示す。図17(a)、(b)は高磁束密度方向性電磁鋼板の製造工程において、焼鈍条件、および絶縁コーティング液が異なる2種の鋼板A、Bの耐レーザ光強度を調べた結果である。ここではレーザ光としてQスイッチパルス発振 CO_2 レーザを使用した。図17の横軸はレーザパルスのピークパワー密度であり、縦軸は表面照射痕の段階評価(1~5)である。評価値5で、目視観察による痕跡は見られず、同時に耐錆加速試験でも錆の発生は見られず、表面の特性としてはレーザを照射しない材料と全く同じである。この結果から明らかなように、焼鈍条件、コーティング液の違いにより、耐レーザ強度に差が発生することがわかる。

この評価を基にA、B各鋼板でレーザ照射痕の発生しないビーム形状に整形し、図13および図14に示す本発明のビーム照射装置を用

いて鋼板に照射した。この時のレーザ照射条件および鉄損改善結果を表2に示す。ここでレーザ光はビーム集光パラメータ M^2 が1.1であるQスイッチCO₂レーザを用いた。集光ミラー3への入射ビーム径は約13mmである。また、鉄損改善率はレーザ照射前の鉄損値に対するレーザ照射前後の鉄損値の差の比率である。

〔表4〕

鋼板	A	B
レーザ平均出力	1000W	
板幅方向スキャン速度：V	43m/sec	
レーザパルス繰り返し周波数：Fp	90kHz	
板幅方向照射ピッチ：P1	0.5mm	
圧延方向照射ピッチ：P2	6.5mm	
集光ミラー3の焦点距離：f1	300mm	
集光ミラー6の焦点距離：f2	200mm	
集光ミラー3と鋼板の距離：Wd1	541mm	509mm
集光ミラー6と鋼板の距離：Wdc	210mm	212mm
板幅方向集光ビーム径：d1	10.40mm	7.90mm
圧延方向集光ビーム径：dc	0.28mm	0.30mm
鉄損改善率	12.0%	11.3%

この結果から、本発明により、電磁鋼板の表面の耐レーザ光強度が変化しても、安定的に表面レーザ照射痕を発生させることなく鉄損の改善された方向性電磁鋼板を製造できる。

産業上の利用可能性

以上に説明したように本発明のQスイッチCO₂レーザを用いた方向性電磁鋼板の鉄損改善法によれば、従来パルスレーザ法で問題で

あった表面のレーザ照射痕が発生せず、且つ連続波レーザ法で問題であった磁歪の劣化を抑制できるという利点を有する。またレーザ照射条件に合わせて集光ビーム形状を限定することで、より高い磁気特性を得ることが可能である。更に、YAGレーザに比べ高平均出力発振が可能で、設備・稼動コストが廉価なQスイッチCO₂レーザを使用することから、高速・大規模の連続処理に対しても対応可能であり、かつ製造コストを低減できるという効果がある。

請 求 の 範 囲

1. パルスレーザー光を照射して 180° 磁壁間隔を縮小して磁気特性を改善した方向性電磁鋼板において、レーザー照射により発生する周期的な還流磁区の圧延方向幅が $150\mu\text{m}$ 以下、板厚方向深さが $30\mu\text{m}$ 以上、かつ幅方向と深さ方向の長さの積が $4500\mu\text{m}^2$ 以上であることを特徴とする方向性電磁鋼板。

2. パルスレーザー光を照射して 180° 磁壁間隔を縮小して磁気特性を改善した方向性電磁鋼板において、レーザー照射により発生する周期的な還流磁区の圧延方向幅が $150\mu\text{m}$ 以下、板厚方向深さが $30\mu\text{m}$ 以上、かつ幅方向と深さ方向の長さの積が $4500\mu\text{m}^2$ 以上であり、かつ、板厚が 0.23mm の材料で磁歪 (λ 19p-p 圧縮) が 0.9×10^{-6} 以下であることを特徴とする方向性電磁鋼板。

3. パルスレーザー光を照射して 180° 磁壁間隔を縮小して磁気特性を改善した方向性電磁鋼板において、レーザー照射により発生する周期的な還流磁区の圧延方向幅が $150\mu\text{m}$ 以下、板厚方向深さが $30\mu\text{m}$ 以上、かつ幅方向と深さ方向の長さの積が $4500\mu\text{m}^2$ 以上であり、かつ、板厚が 0.27mm の材料で磁歪 (λ 19p-p 圧縮) が 1.3×10^{-6} 以下であることを特徴とする方向性電磁鋼板。

4. 方向性電磁鋼板表面にパルスレーザービームを照射して磁気特性を改善する方向性電磁鋼板の製造方法であって、照射レーザービームの集光形状が板幅方向に長軸を持つ楕円であり、かつ連続するパルスレーザービームの被照射部分を空間的に重畳させ、前記鋼板表面の皮膜を何ら損傷させることなく連続照射することを特徴とする磁気特性の優れた方向性電磁鋼板の製造方法。

5. 方向性電磁鋼板表面にパルスレーザービームを照射して磁気特性を改善する方向性電磁鋼板の製造方法であって、照射レーザービー

ムの集光形状が板幅方向に長軸を持つ楕円であり、単一レーザーパルスの照射パワー密度は鋼板表面の皮膜損傷閾値以下であり、かつ連続するパルスレーザービームの被照射部分を空間的に重畳させ、前記鋼板表面の皮膜を何ら損傷させることなく連続照射することを特徴とする磁気特性の優れた方向性電磁鋼板の製造方法。

6. 前記パルスレーザーにQスイッチCO₂レーザーを用いることを特徴とする請求の範囲2または3記載の磁気特性の優れた方向性電磁鋼板の製造方法。

7. 単一集光パルスのピークパワー密度が、12kW/mm²以下であることを特徴とする請求の範囲2, 3または4記載の磁気特性の優れた方向性電磁鋼板の製造方法。

8. 前記照射楕円ビームの短軸が0.25~0.35mm、長軸が6.0~10.0mmであることを特徴とする請求の範囲2, 3, 4または5記載の磁気特性の優れた方向性電磁鋼板の製造方法。

9. 方向性電磁鋼板表面にパルスレーザービームを照射して磁気特性を改善する方向性電磁鋼板の製造装置であって、照射レーザービームの鋼板板幅方向の集光装置および鋼板圧延方向の集光装置をそれぞれ独立に具備することを特徴とする磁気特性の優れた方向性電磁鋼板の製造装置。

10. 前記鋼板板幅方向および鋼板圧延方向のそれぞれの集光装置と被照射方向性電磁鋼板との距離をそれぞれ独立に変更可能な調整機構を具備することを特徴とする磁気特性の優れた方向性電磁鋼板の製造装置。

11. 方向性電磁鋼板表面にパルスレーザービームを照射して磁気特性を改善する方向性電磁鋼板の製造装置であって、照射レーザービームの板幅方向の集光装置の焦点距離が圧延方向の集光装置の焦点距離よりも長いことを特徴とする磁気特性の優れた方向性電磁鋼板の

製造装置。

Fig.1

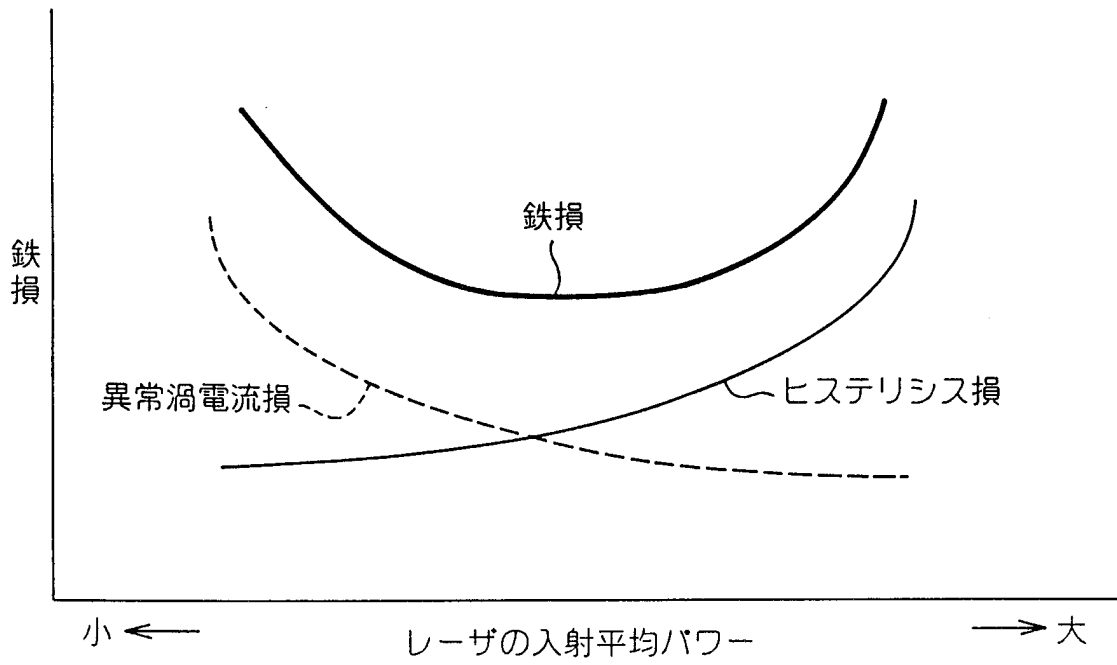


Fig.2(a)

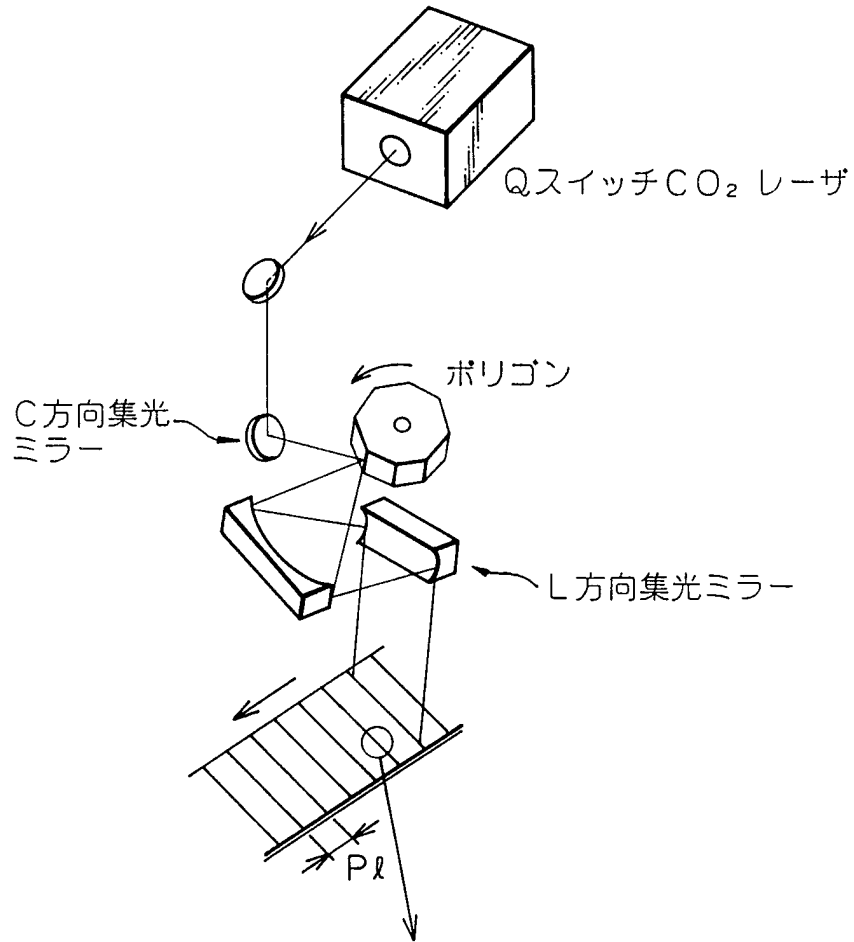
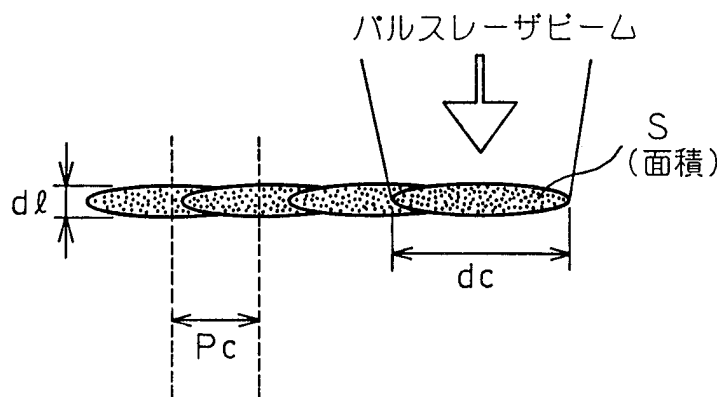


Fig.2(b)



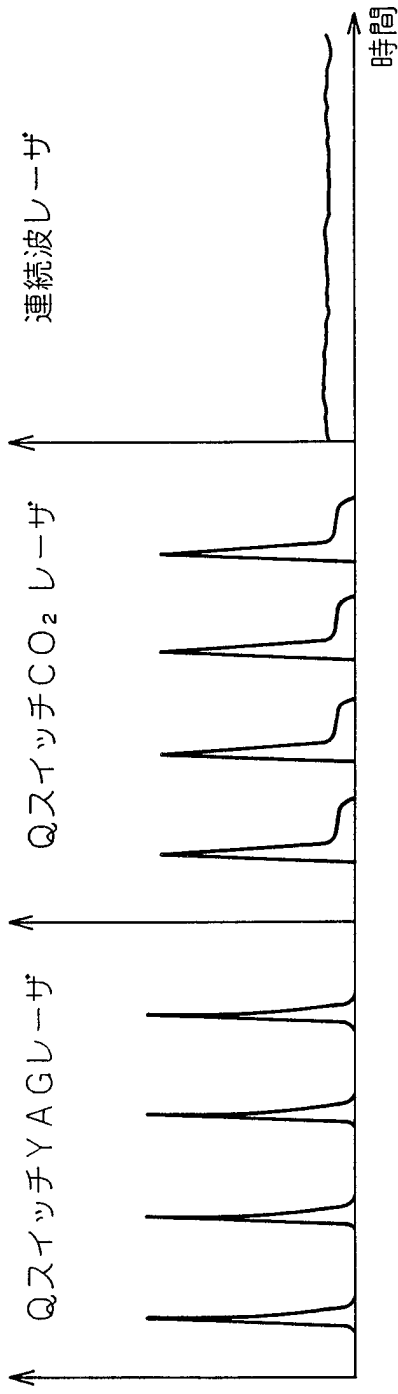


Fig.3(a)

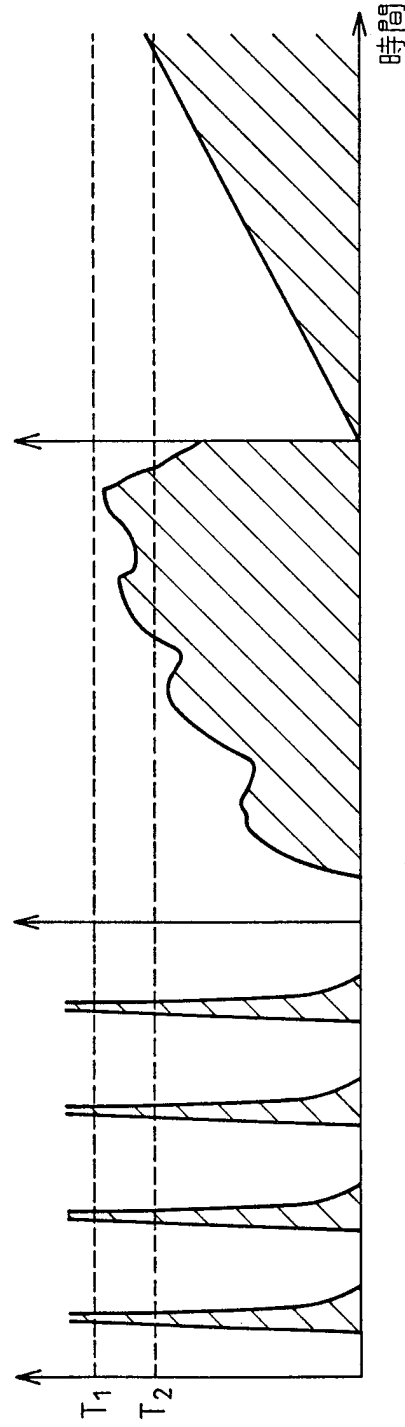


Fig.3(b)

Fig.4

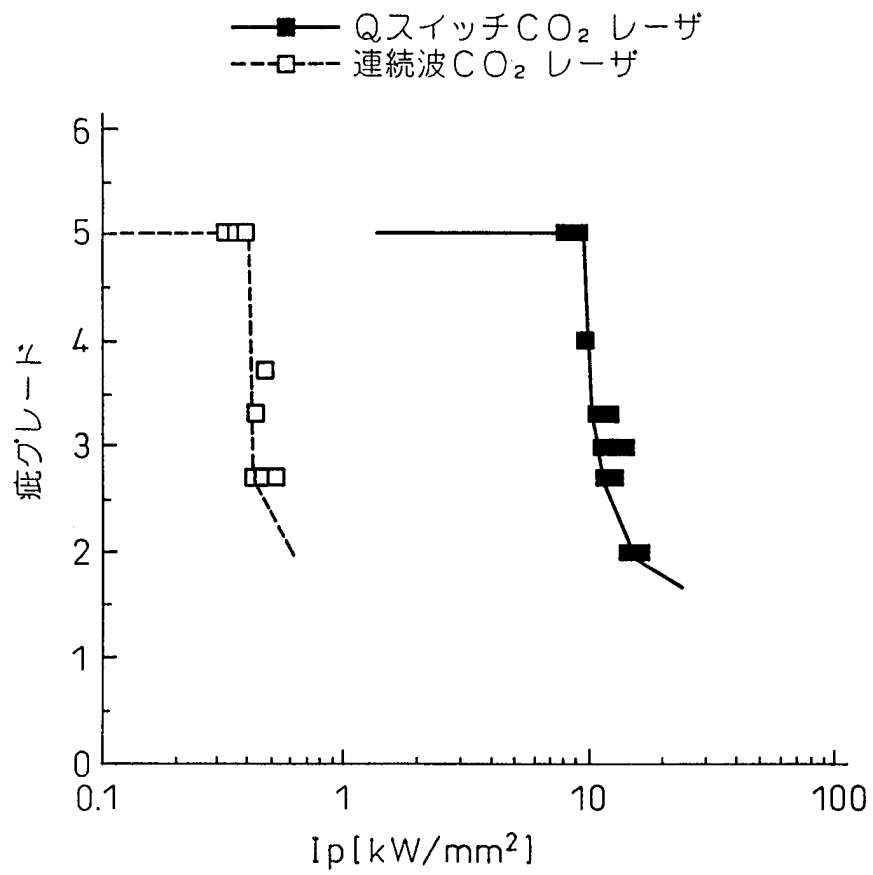


Fig.5

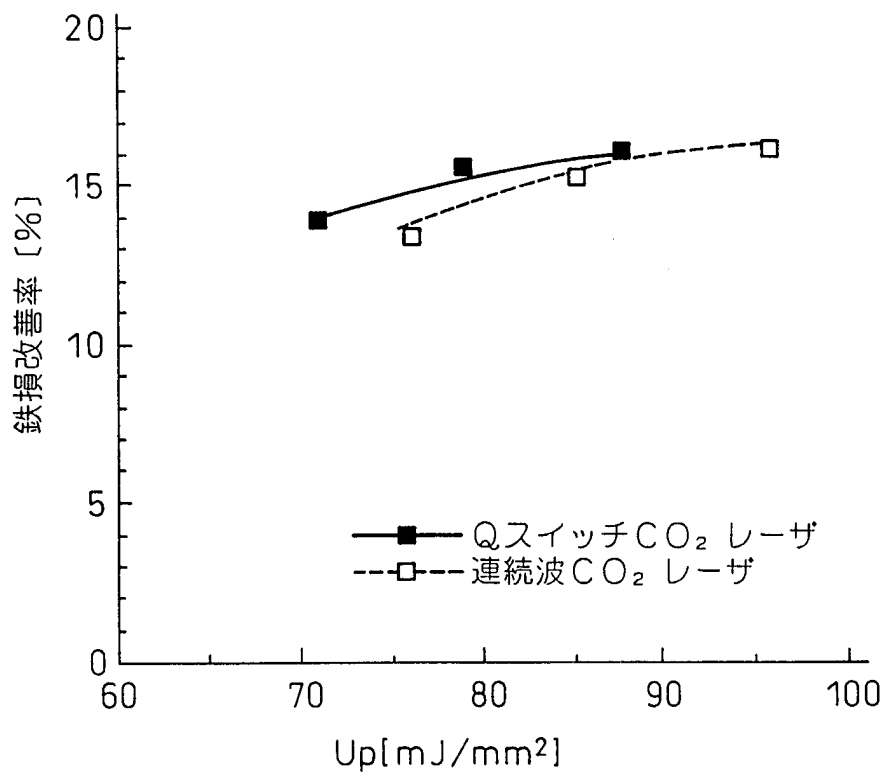


Fig.6

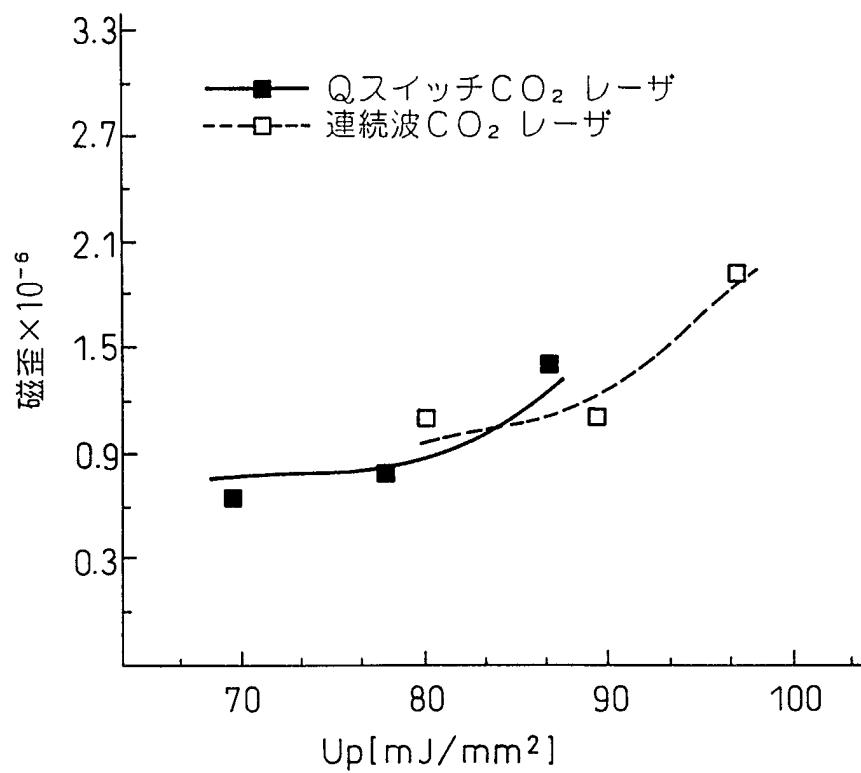


Fig.7

dc=0.50~12.0mm

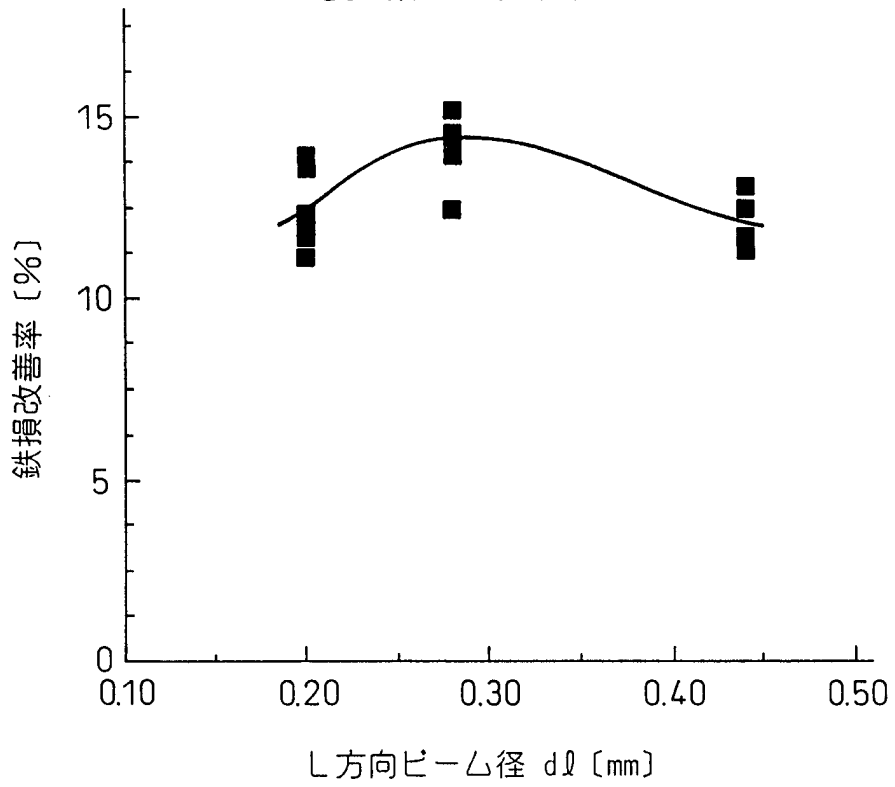


Fig.8

dc = 0.50 ~ 12.0mm

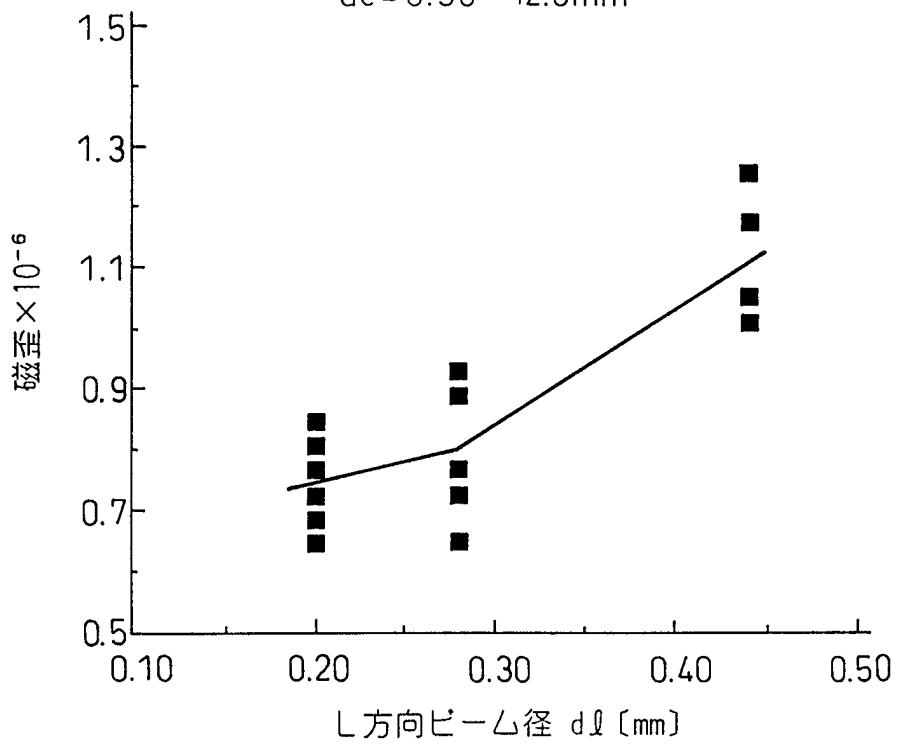


Fig.9

$d_l = 0.28\text{mm}$

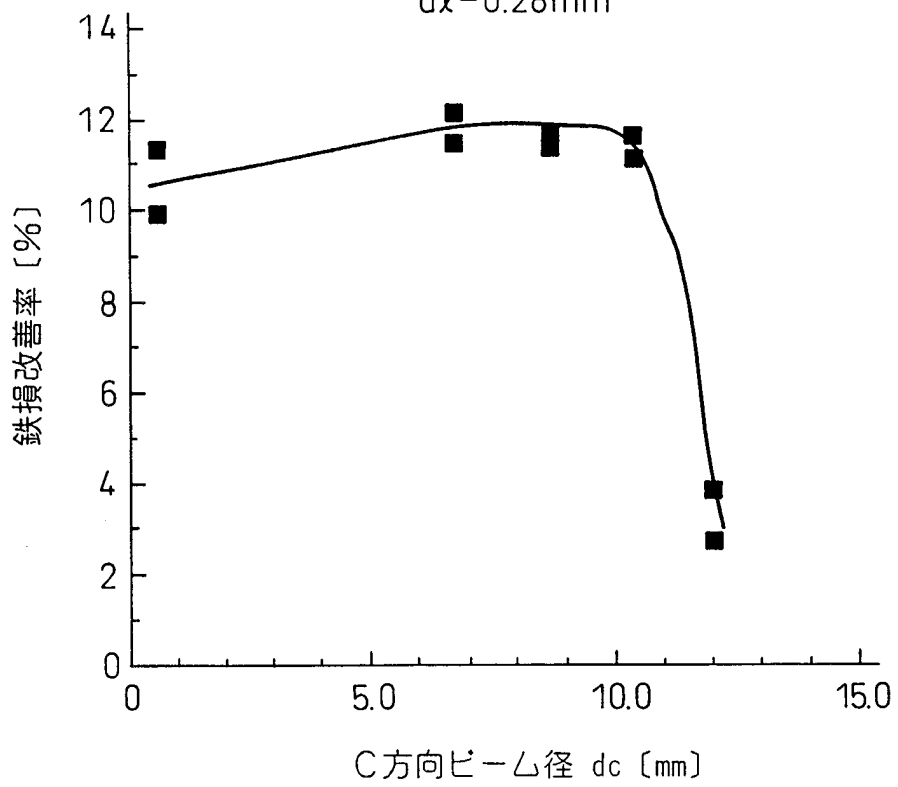


Fig.10

$d\ell = 0.28\text{mm}$

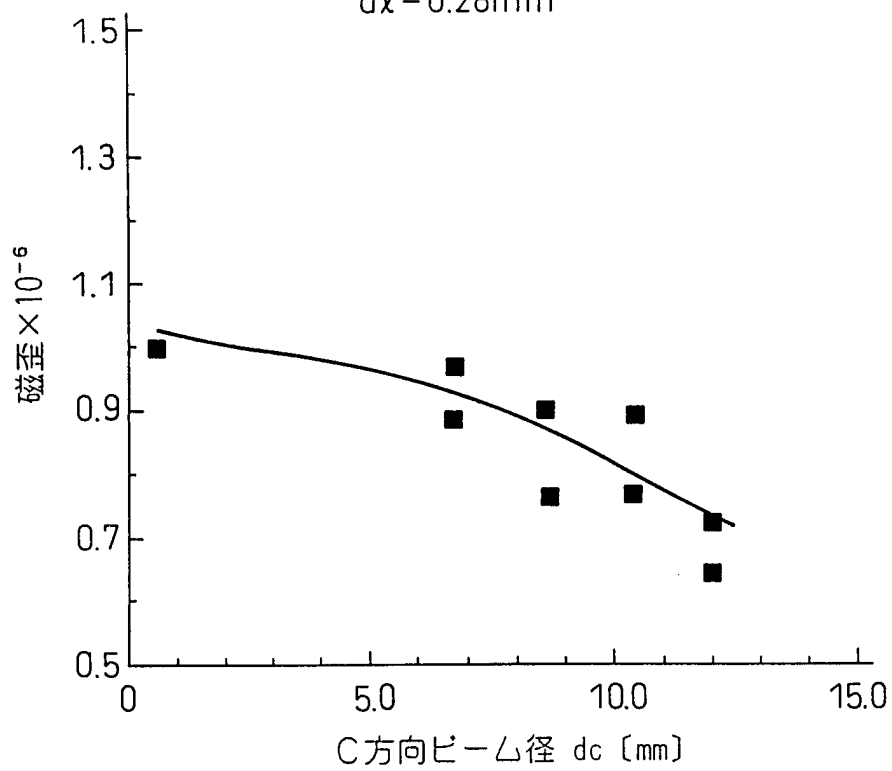


Fig.11(a)

(従来法)

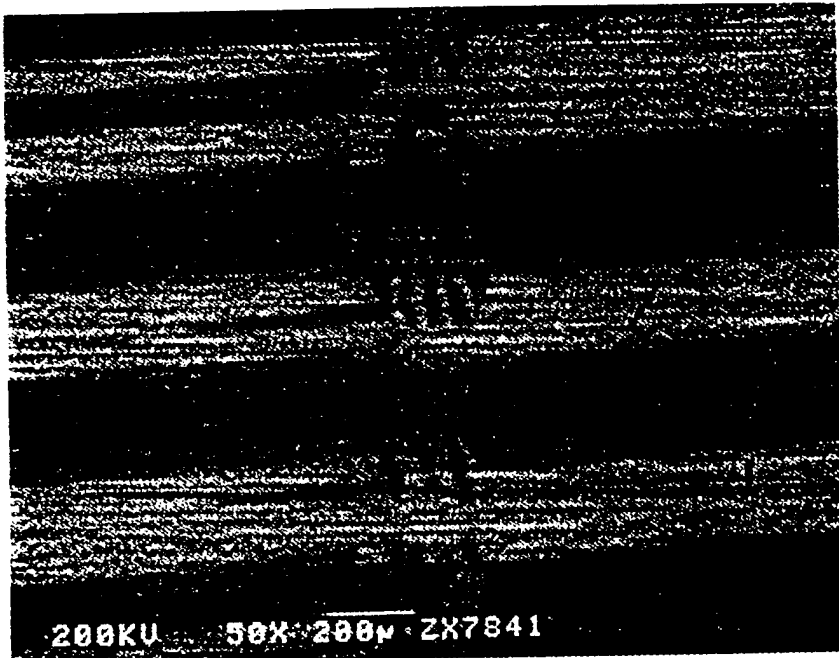


Fig.11(b)

(本発明)

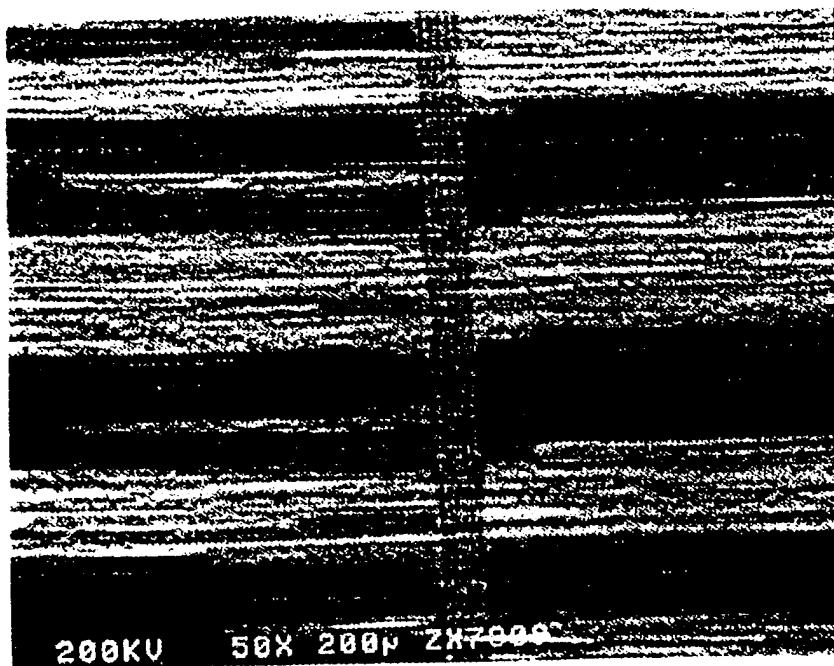


Fig.12(a)

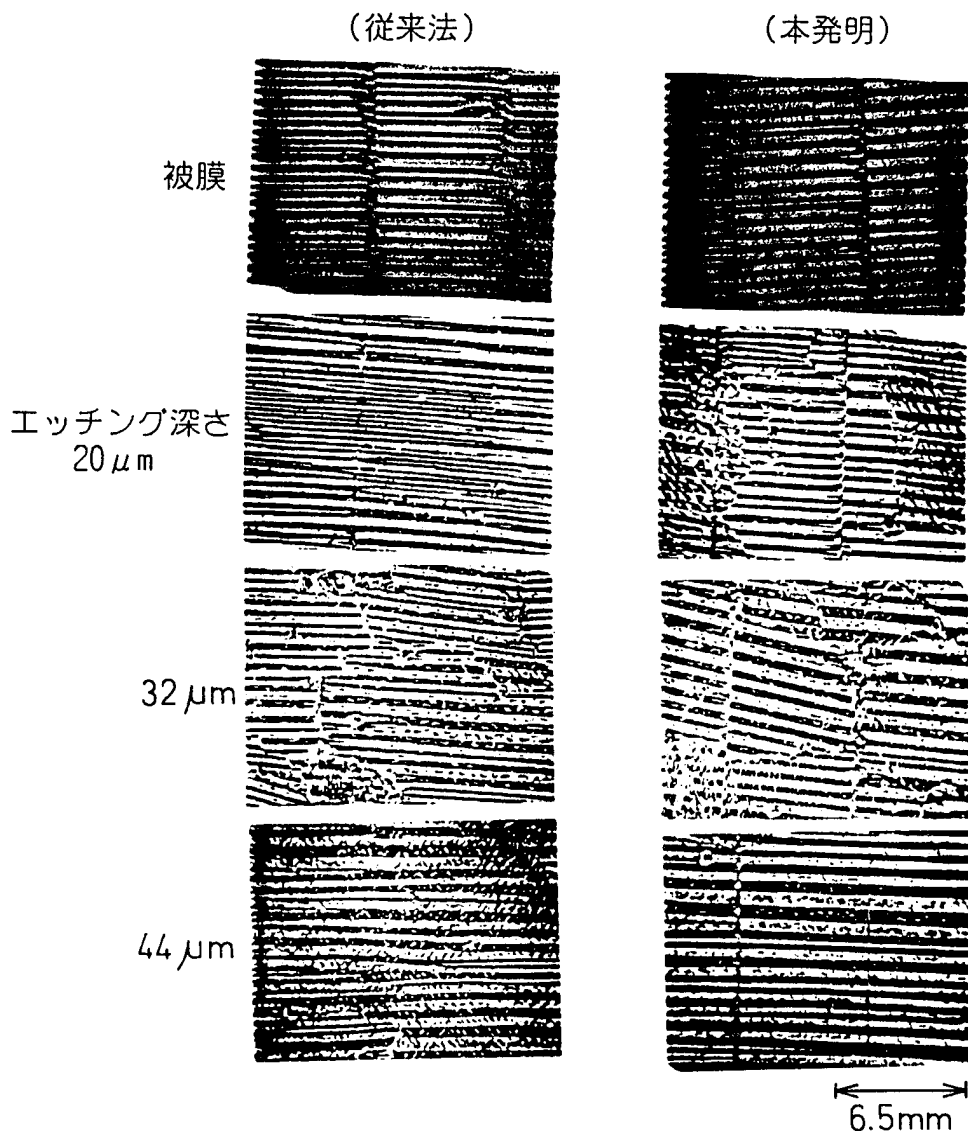


Fig.12(b)

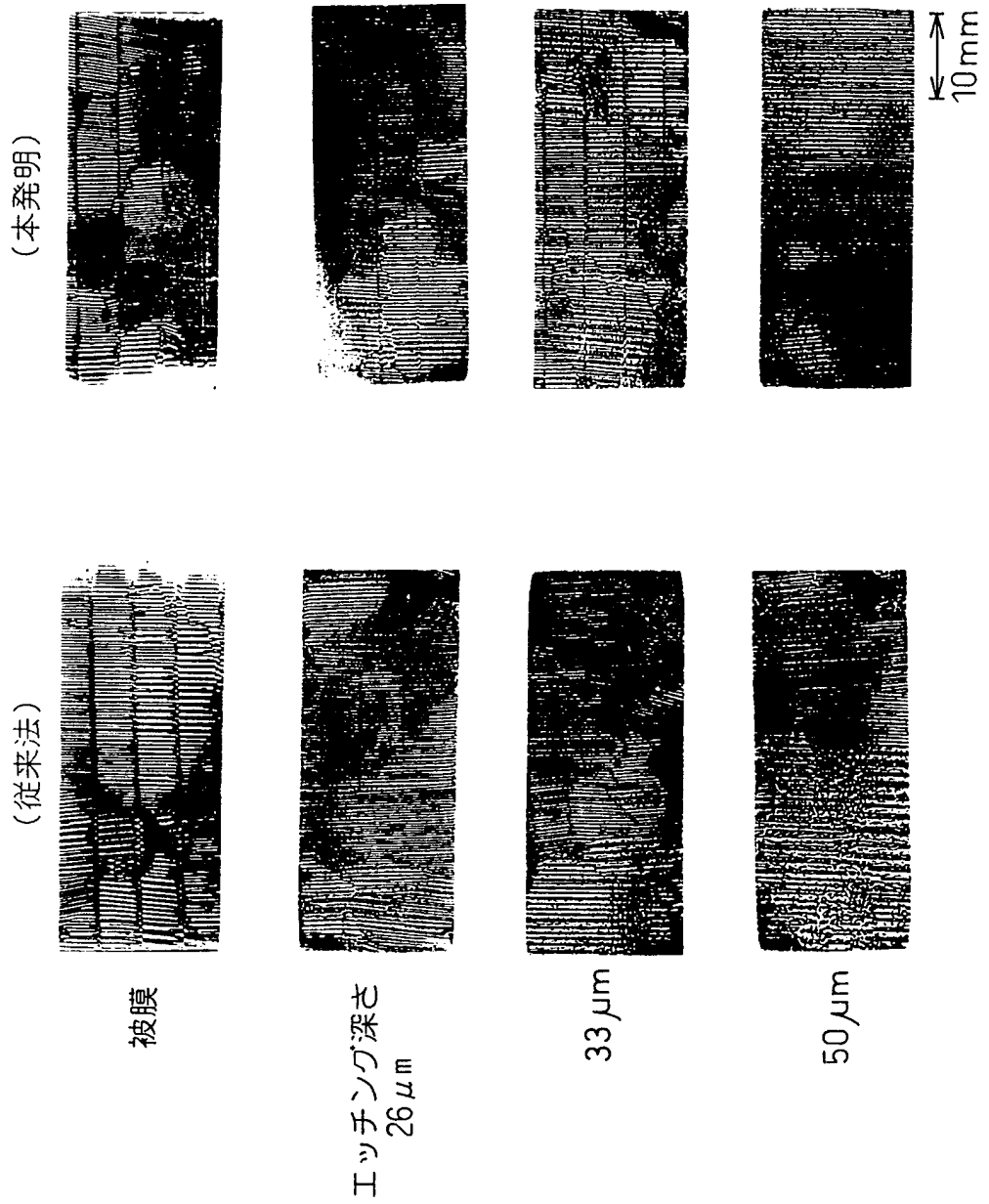


Fig.13

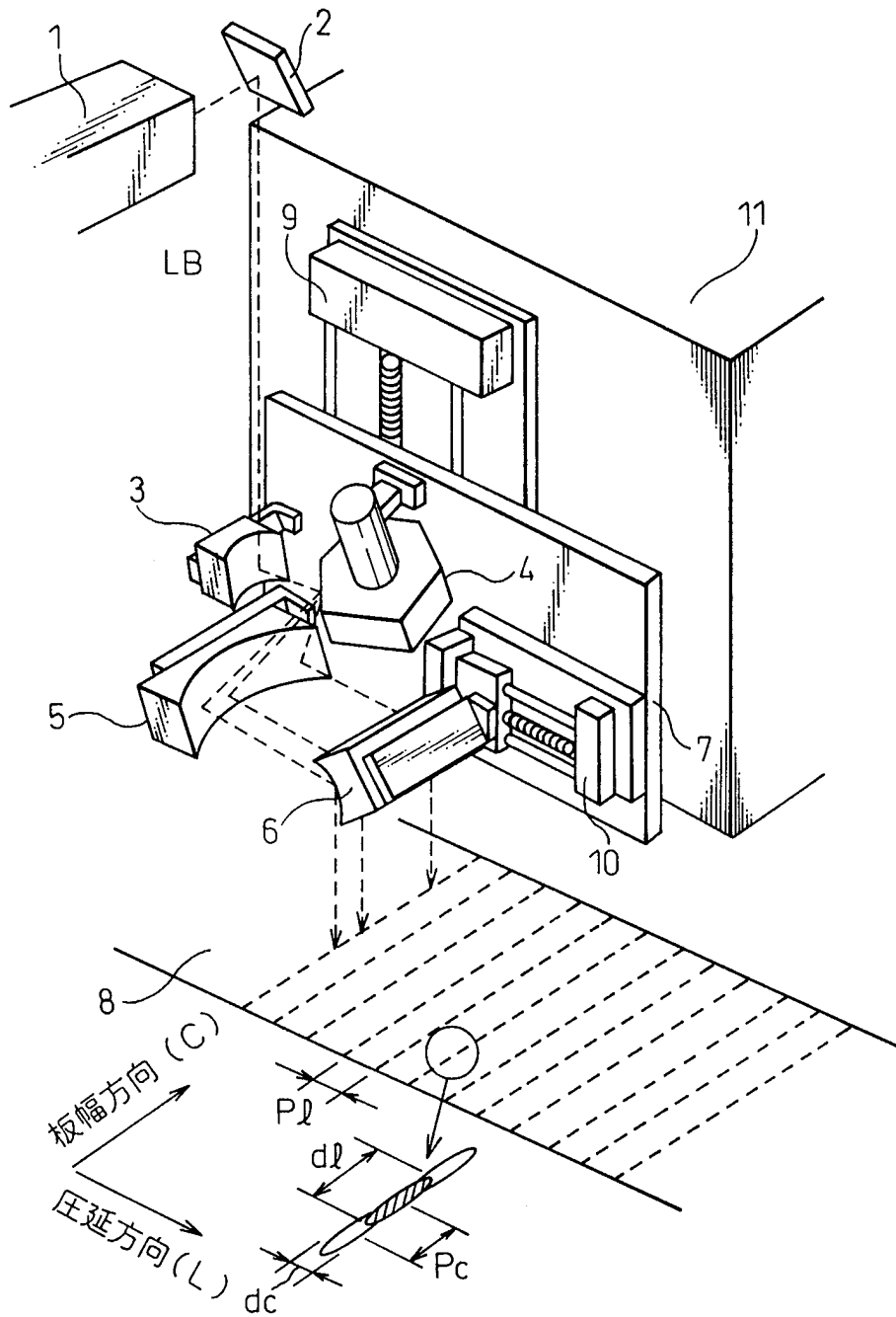


Fig.14(a)

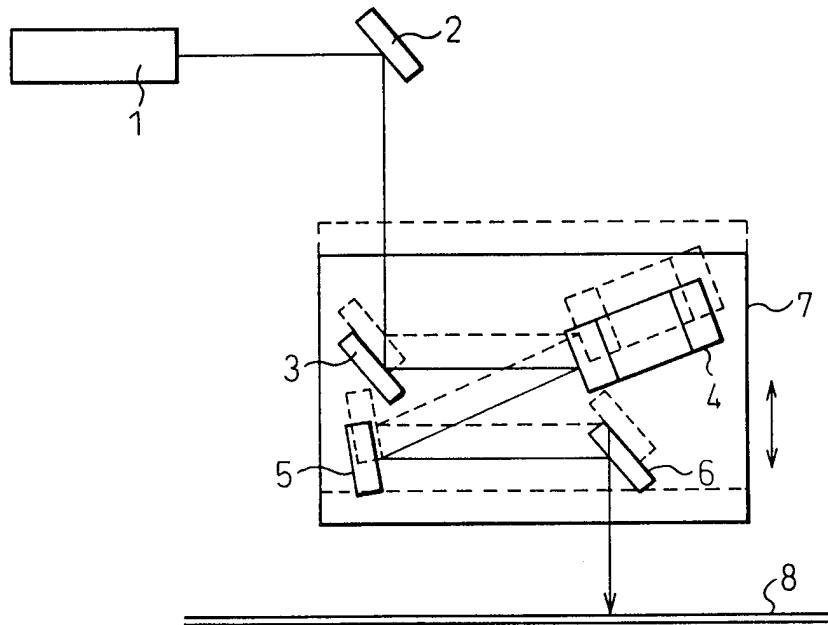


Fig.14(b)

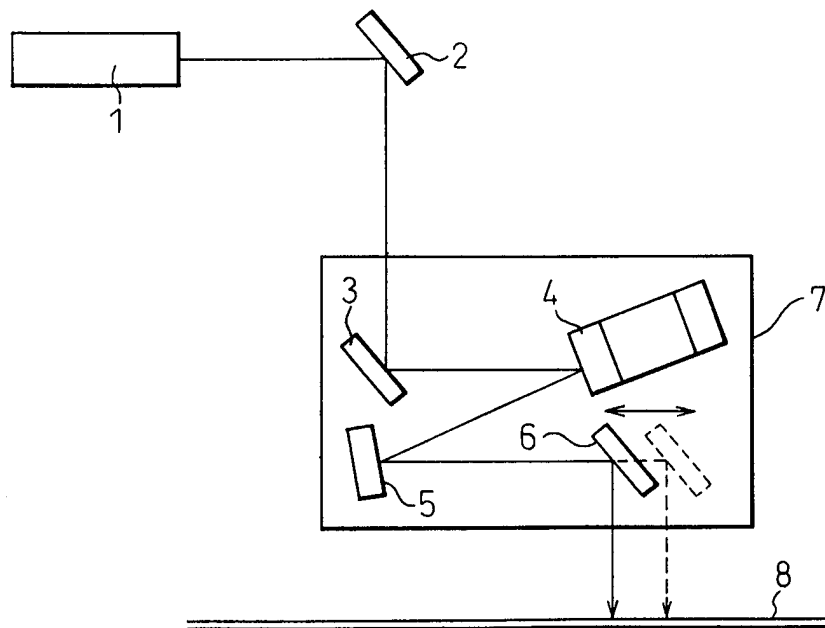


Fig.15

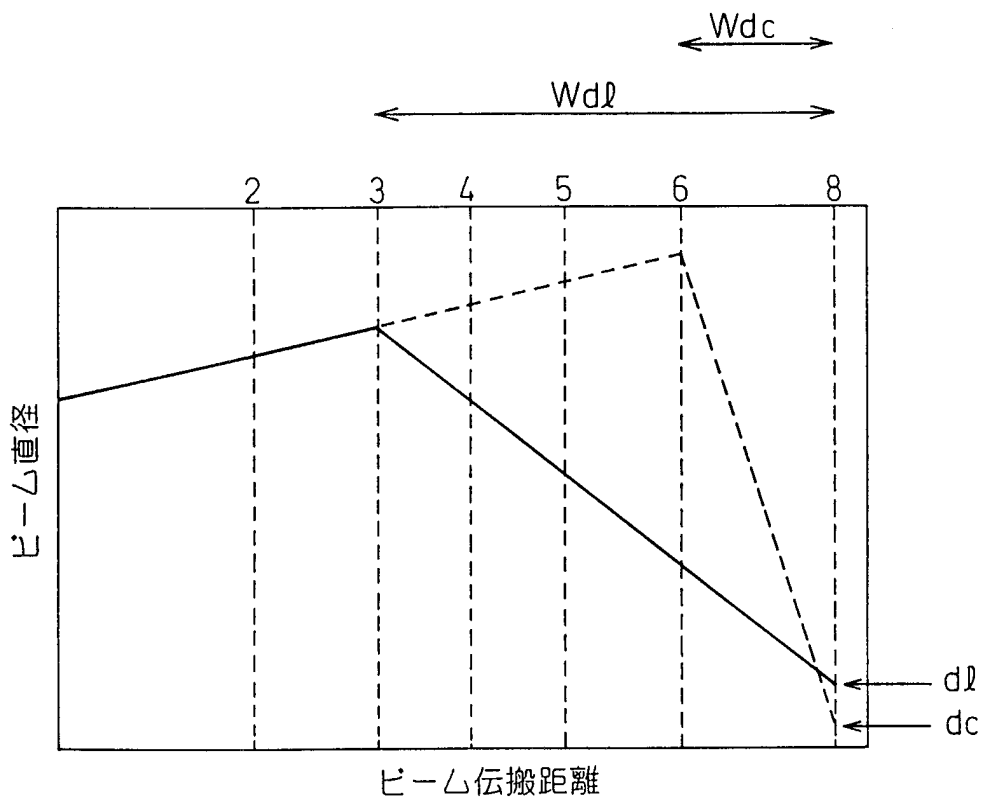


Fig.16(a)

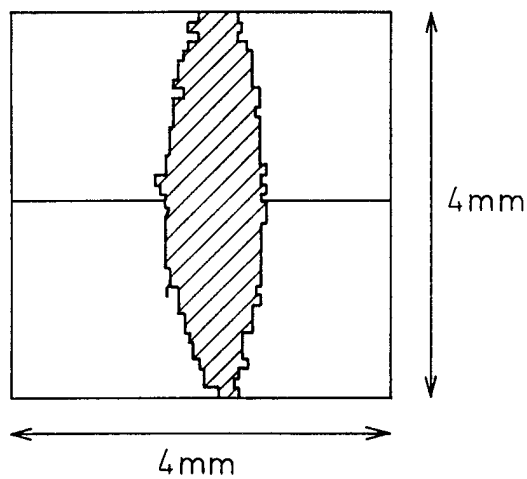


Fig.16(b)

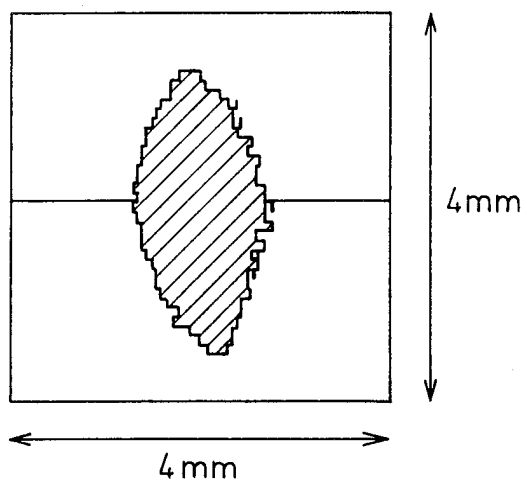


Fig.17(a)

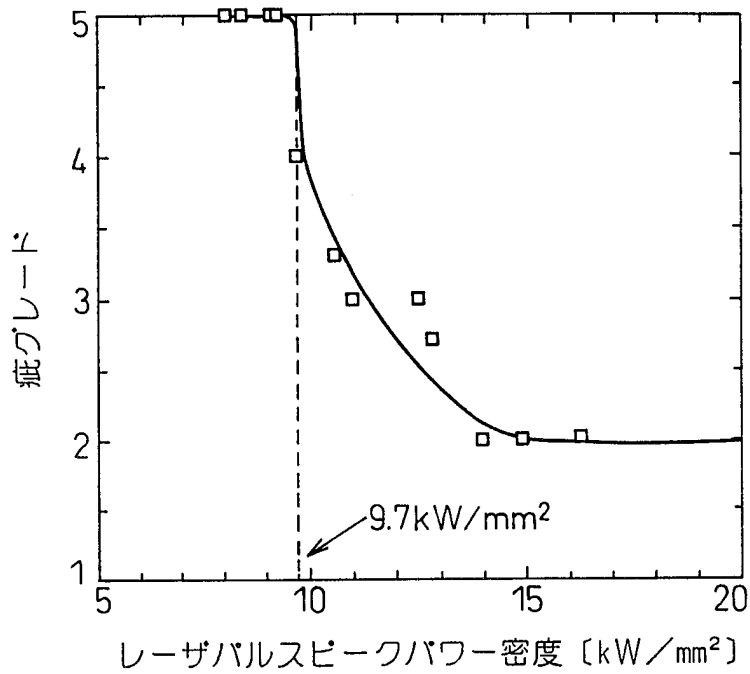
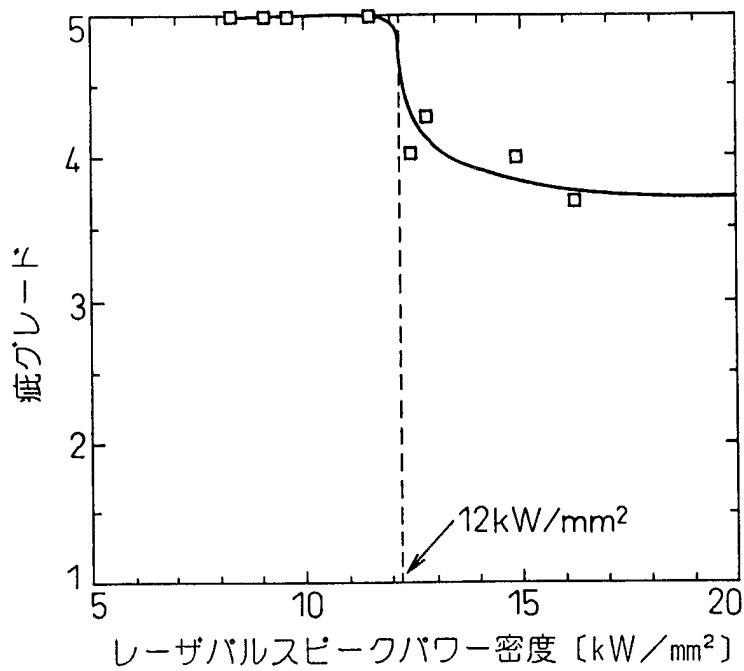


Fig.17(b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/00303

<p>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl⁶ C21D8/12, H01F1/16</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>														
<p>B. FIELDS SEARCHED</p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl⁶ C21D8/12, H01F1/16</p> <p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1998 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1998 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1998</p> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)</p>														
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>JP, 6-57335, A (Nippon Steel Corp.), March 1, 1994 (01. 03. 94), Page 2 ; Claims ; Fig. 3 (Family: none)</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP, 7-90385, A (Nippon Steel Corp.), April 4, 1995 (04. 04. 95), Page 2 ; Claims ; page 3, column 4, line 38 to page 4, column 6, line 8 ; Fig. 3 (Family: none)</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP, 59-33802, A (Armco Inc.), February 23, 1984 (23. 02. 84), Pages 1, 2 ; Claims ; Fig. 4 & EP, 100638, A</td> <td>1-11</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	JP, 6-57335, A (Nippon Steel Corp.), March 1, 1994 (01. 03. 94), Page 2 ; Claims ; Fig. 3 (Family: none)	1-11	A	JP, 7-90385, A (Nippon Steel Corp.), April 4, 1995 (04. 04. 95), Page 2 ; Claims ; page 3, column 4, line 38 to page 4, column 6, line 8 ; Fig. 3 (Family: none)	1-11	A	JP, 59-33802, A (Armco Inc.), February 23, 1984 (23. 02. 84), Pages 1, 2 ; Claims ; Fig. 4 & EP, 100638, A	1-11
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.												
A	JP, 6-57335, A (Nippon Steel Corp.), March 1, 1994 (01. 03. 94), Page 2 ; Claims ; Fig. 3 (Family: none)	1-11												
A	JP, 7-90385, A (Nippon Steel Corp.), April 4, 1995 (04. 04. 95), Page 2 ; Claims ; page 3, column 4, line 38 to page 4, column 6, line 8 ; Fig. 3 (Family: none)	1-11												
A	JP, 59-33802, A (Armco Inc.), February 23, 1984 (23. 02. 84), Pages 1, 2 ; Claims ; Fig. 4 & EP, 100638, A	1-11												
<p><input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p>														
<p>* Special categories of cited documents:</p> <table border="0"> <tr> <td>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"E" earlier document but published on or after the international filing date</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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)</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</td> <td>"&" document member of the same patent family</td> </tr> <tr> <td>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</td> <td></td> </tr> </table>			"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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	"E" earlier document but published on or after the international filing date	"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	"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)	"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	"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family	"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed			
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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													
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"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													
"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)	"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													
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family													
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed														
<p>Date of the actual completion of the international search April 22, 1998 (22. 04. 98)</p>		<p>Date of mailing of the international search report May 12, 1998 (12. 05. 98)</p>												
<p>Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office</p>		<p>Authorized officer</p>												
<p>Facsimile No.</p>		<p>Telephone No.</p>												

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl ⁹ C 2 1 D 8 / 1 2, H 0 1 F 1 / 1 6		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl ⁹ C 2 1 D 8 / 1 2, H 0 1 F 1 / 1 6		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1926-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-1998年 日本国登録実用新案公報 1994-1998年 日本国実用新案登録公報 1996-1998年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 6-57335, A (新日本製鐵株式会社), 01. 3月. 1994 (01. 03. 94), 第2頁特許請求の範囲, 第3図 (ファミリーなし)	1-11
A	J P, 7-90385, A (新日本製鐵株式会社), 04. 4月. 1995 (04. 04. 95), 第2頁特許請求の範囲, 第3頁第4欄第38行-第4頁第6欄第8行, 第3図 (ファミリーなし)	1-11
A	J P, 59-33802, A (アームコ・インコーポレーテッド), 23. 2月. 1984 (23. 02. 84) 第1, 2頁特許請求の範囲, 第4図 & E P, 100638, A	1-11
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 先行文献ではあるが、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日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 22. 04. 98	国際調査報告の発送日 12.05.98	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 中村朝幸 印	4K 7356
電話番号 03-3581-1101 内線 3435		