

(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



(10) 国際公開番号

WO 2010/047384 A1

(43) 国際公開日

2010年4月29日(29.04.2010)

- (51) 国際特許分類:
B23K 26/36 (2006.01) H05K 3/00 (2006.01)
B23K 26/00 (2006.01) B23K 101/42 (2006.01)
H01S 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/068240
- (22) 国際出願日: 2009年10月23日(23.10.2009)
- (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 2008-273341 2008年10月23日(23.10.2008) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 住友電気工業株式会社(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 角井 素貴(KAKUI Motoki) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内 Kanagawa (JP). 仲前 一男(NAKAMAIE Kazuo) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内 Kanagawa (JP). 玉置 忍(TAMAOKI Shi-

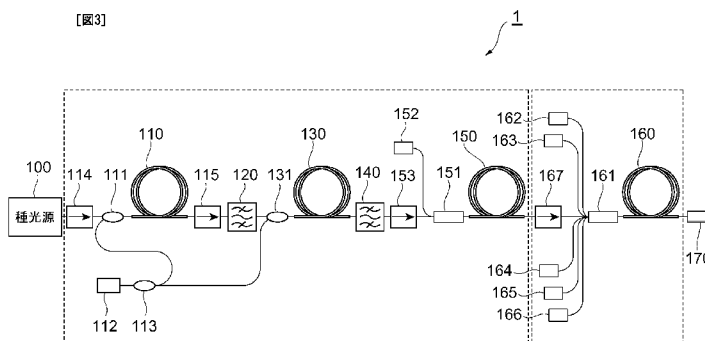
nobu) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内 Kanagawa (JP).

- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiaki et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目10番6号銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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,

[続葉有]

(54) Title: LASER PROCESSING METHOD AND LASER PROCESSING DEVICE

(54) 発明の名称: レーザ加工方法およびレーザ加工装置



100 seed light source

(57) Abstract: Disclosed is a laser processing method for selectively removing an insulating layer of a printed circuit board, wherein the method does not use a wavelength conversion technique employing a nonlinear optical crystal, and can use only one wavelength over the entire removal process. A laser processing device (1) which is suitable for use in the laser processing method has a master oscillator power amplifier (MOPA) structure and is provided with a seed light source (100), YbDF (110), bandpass filter (120), YbDF (130), bandpass filter (140), YbDF (150), and YbDF (160) among other things. In the laser processing method, pulsed laser light output from the laser processing device (1) is irradiated to remove a resin insulating layer laminated on a conductive layer, and use is made of laser light having a wavelength so that less than 10% of the light is absorbed by the conductive layer. The fluence per pulse is at least the breakdown threshold of the insulating layer.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2010/047384 A1

NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, 添付公開書類:
CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
TD, TG).

本発明は、プリント基板の絶縁層の選択的除去において、非線形光学結晶による波長変換技術を使用せず、しかも除去加工全般に亘って1波長のみを使用することができるレーザ加工方法等に関する。当該レーザ加工方法において好適に用いられるレーザ加工装置(1)は、MOPA構造を有するとともに、種光源(100)、YbDF(110)、バンドパスフィルタ(120)、YbDF(130)、バンドパスフィルタ(140)、YbDF(150)およびYbDF(160)等を備える。本発明のレーザ加工方法は、レーザ加工装置(1)から出力されるパルスレーザ光を照射して導体層上に積層された樹脂製の絶縁層を除去加工するレーザ加工方法であって、導体層に吸収される光が10%未満となる波長のレーザ光を用い、1パルス当りのフルエンスを絶縁層の破壊損傷閾値以上とする。

明 細 書

発明の名称： レーザ加工方法およびレーザ加工装置

技術分野

[0001] 本発明は、パルスレーザ光を照射して導体層上に積層された樹脂製絶縁層の所定部位を除去するレーザ加工方法およびレーザ加工装置に関するものである。

背景技術

[0002] 積層された導体層と絶縁層とから構成されるプリント基板は、電機・通信・自動車など各業界において、今や不可欠の産業素材の一つとなっている。そのプリント基板の加工においても、当然ながら、低コスト・高信頼性・高スループットであることが求められる。更に昨今では、環境負荷の低減という要求も加わり、従来の化学的加工をレーザ加工に置き換える動きが盛んである。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2002-118344号公報
特許文献2：米国特許第5593606号明細書
特許文献3：特許第3824522号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 発明者らは、上述の従来のレーザ加工技術について詳細に検討した結果、以下のような課題を発見した。

[0005] すなわち、プリント基板のレーザ加工は、特許文献1の段落「0012」、「0013」に指摘されるとおり、導体層に接している絶縁層が極薄い層（厚み0.2～3 μ m）であることから、絶縁層へのレーザ光照射による熱が熱伝導率の高い導体層に放散して、絶縁層除去を目的としたレーザ加工を施すことが困難となる。なお、今日、特に重要なフレキシブルプリント基板で

は、こうした絶縁層にはポリイミド系樹脂を用いることが最も多いが、図1に示すように、 $0.8\ \mu\text{m}$ より長い波長域（すなわち、近赤外域）ではポリイミド系樹脂の透過率は80%以上となり、殊更にレーザ光照射による熱を使ったポリイミド系樹脂の加工が難しくなる。

[0006] こうした困難を克服するために、特許文献1および2では、絶縁層の透過率の低い（すなわち、吸収率の高い）波長400nm以下のUVレーザ光を使用することが提案されている。しかしながら、この波長域では、図2に示すように、導体層として最も使用されることの多い銅の吸収率も高く、そのため、絶縁層および導体層の双方を貫通させる穴あけ加工時などは問題ないが、特許文献1に指摘されるデスマ工程が必要となるブラインドViaホール加工などの場合、絶縁層の除去のみならず導体層までも除去加工されてしまうという不具合が生じていた。

[0007] これを回避するため、特許文献1では、 CO_2 レーザ光を用いて絶縁層を粗方除去した後、UVレーザ光を用いてレーザ光照射のエネルギー密度（ J/cm^2 ）（以下、フルエンスという）を、導体層の分解閾値より低く絶縁層の分解閾値より高く設定するという仕上げ工程を行うレーザ加工方法などが提案されている。しかしながら、わざわざこうした複数の波長のレーザ光を用いることは、製造設備のコスト高につながることは勿論、信頼性の低下や、スループットの低下にもつながる。

[0008] 何よりUVレーザ光を使用すること自体、特許文献2に述べられているとおり、高調波発生のために非線形光学結晶を必要とし、非線形光学結晶自体の光損傷の危険性による信頼性の低下、出力パワーの低下および不安定化、出射ビームプロファイルの不安定化、コストの上昇等を招き、上述のプリント基板加工への要求と一致しない。

[0009] また波長400nm以下のUVレーザ光は、第3次高調波発生のための波長変換の過程において、その変換効率は精々40%しかない。このため、消費電力が増大し、往々にして水冷設備まで必要となり、消費電力低減の観点からも望ましくない。

[0010] 本発明は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、プリント基板等の構成要素の一つである絶縁層に対するレーザ加工、特に絶縁層の選択的除去において、非線形光学結晶による波長変換技術を使用せず、しかも除去加工全般に亘って1波長のみを使用するレーザ加工方法およびレーザ加工装置を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明に係るレーザ加工方法は、プリント基板など、導体層と樹脂製の絶縁層（導体層に直接接触させるための接着剤も絶縁層に含まれる）により構成される積層構造を含む対象物に、パルスレーザ光を照射することにより、絶縁層のうち導体層上の所定領域に位置する部分を除去するレーザ加工方法である。当該レーザ加工方法の一実施形態は、対象物の設置工程、照射されるパルスレーザ光の波長選択工程、照射されるパルスレーザ光のエネルギー設定工程、およびパルスレーザ光の照射工程を実施する。また、これら各工程は、本発明に係るレーザ加工装置（第1構造）により実行され、この第1構造のレーザ加工装置では、種光源、増幅用光ファイバ、波長選択手段等により、MOPA（Master Oscillator Power Amplifier）構造が構成されている。

[0012] 具体的に、対象物の設置工程では、パルスレーザ光が絶縁層を通過した後に導体層に到達するよう、対象物が設置される。波長選択工程では、パルスレーザ光の波長として、導体層に対する吸収率が10%未満となる波長が選択される。エネルギー設定工程では、パルスレーザ光の1パルス当たりのフルエンスが、絶縁層の破壊損傷閾値以上に設定される。なお、「破壊損傷閾値」とは、特許文献1にも開示されたように絶縁層の分解閾値を意味し、破壊、損傷、気化により、当該絶縁層の除去が始まる最小フルエンスである。そして、照射工程では、上述のように選択された波長を有するとともに設定された1パルス当たりのフルエンスを有するパルスレーザ光が、設置された対象物の所定領域に照射される。

[0013] また、本発明に係るレーザ加工方法の他の実施形態は、対象物の設置工程

、照射されるパルスレーザー光の波長選択工程、照射されるパルスレーザー光のエネルギー設定工程、照射されるパルスレーザー光の繰り返し周波数設定工程、およびパルスレーザー光の照射工程を実施してもよい。また、これら各工程も、上述の第1構造のレーザー加工装置により実行可能である。

[0014] 具体的に、対象物の設置工程では、パルスレーザー光が絶縁層を通過した後に導体層に到達するように、対象物が設置される。波長選択工程では、パルスレーザー光の波長として、導体層に対する吸収率が10%未満となる波長が選択される。エネルギー設定工程では、パルスレーザー光の1パルス当たりのフルエンスが、絶縁層が破壊された後の導体層表面における炭素検出濃度との関係において設定される。なお、設定される1パルス当たりのフルエンスは、例えば、 $10 \sim 13 \text{ J/cm}^2$ の許容範囲内であればよい。また、繰り返し周波数設定工程では、パルスレーザー光の繰り返し周波数が、パルスレーザー光の半値全幅が5 ns未満となるように設定される。照射工程では、選択された波長を有するとともに設定された1パルス当たりのフルエンスおよび繰り返し周波数を有するパルスレーザー光が、設置された対象物の所定領域に照射される。

[0015] 本発明に係るレーザー加工方法の各実施形態において、パルスレーザー光の波長は、絶縁層に対して70%以上の透過率を有するのが好ましい。

[0016] また、本発明に係るレーザー加工装置は、第2構造として、上述の第1構造のレーザー加工装置をレーザー光源として用いるとともに、パルスレーザー光が到達する絶縁層表面の加工領域内において、パルスレーザー光を掃引させる照射光学系を備えてもよい。この場合、絶縁層表面において、照射されたパルスレーザー光のビームスポットに対する次回照射されるパルスレーザー光のビームスポットのオーバーラップ率（2つのスポット中心を通る直線上における重複領域の幅/スポット径 $\times 100$ ）が40%~90%となるように、絶縁層表面に対してパルスレーザー光が掃引させながら照射される。

[0017] 本発明に係るレーザー加工方法の各実施形態において、パルスレーザー光の波長は、希土類元素を含む光活性媒質を用いたレーザー光源から直接出力し得る

波長であるのが好ましい。この場合、光活性媒質は、Yb添加光ファイバであるのが好ましい。

[0018] 本発明に係るレーザ加工方法の各実施形態において、パルスレーザ光の半値全幅は、絶縁層の加工残渣が導体層表面に膜状または島状に残らない程度に設定されるのが好ましい。パルスレーザ光の半値全幅は、10 psより大きく、かつ、5 ns未満であるのが好ましい。パルスレーザ光のパルスピークにおける照射強度は、絶縁層の加工残渣が導体層表面に膜状または島状に残らない程度に設定されているのが好ましい。絶縁層が破壊された後の導体層表面における炭素検出濃度をより低減することが可能になるからである。

[0019] なお、上述の第2構造のレーザ加工装置において、レーザ光源は、加工領域内において任意パターンを描きながら掃引始点から掃引終点に向かうビーム掃引を一単位とするとき、この一単位のビーム掃引の期間中、パルスレーザ光の生成条件のうち、パルス幅および繰返し周波数の少なくともいずれかを、1回またはそれ以上変更するのが好ましい。また、レーザ光源は、一単位のビーム掃引における掃引開始時点を含むビーム掃引初期のパルスレーザ光の1パルス当たりのフルエンスを、該ビーム掃引初期以降の期間におけるパルスレーザ光の1パルス当たりのフルエンスより大きく設定するのが好ましい。このような構造により、加工効率を大幅に向上させることが可能になるからである。なお、ビーム掃引パターンは、加工領域の形状に合わせて任意に設定可能であり、例えば曲線成分のみで構成された螺旋状掃引パターンの他、直線成分のみで構成された掃引パターン、曲線成分と直線成分の組み合わせにより構成された掃引パターンなど種々の掃引パターンが考えられる。

[0020] また、第2構造のレーザ加工装置において、レーザ光源は、一単位のビーム掃引における掃引終了時点を含むビーム掃引終期のパルスレーザ光のパルスピークにおける照射強度を、該ビーム掃引終期以前の期間におけるパルスレーザ光のパルスピークにおける照射強度よりも大きく設定するのが好ましい。さらに、照射光学系は、絶縁層表面において、照射されたパルスレーザ

光のビームスポットに対する次回照射されるパルスレーザー光のビームスポットのオーバーラップ率が40%~90%となるように、絶縁層表面に対してパルスレーザー光を掃引させながら照射するのが好ましい。この場合、絶縁層の加工残渣を効果的に低減することが可能になる。また、絶縁層下に位置する導体層の損傷も回避され得る。

発明の効果

[0021] 本発明に係るレーザー加工方法およびレーザー加工装置によれば、プリント基板等の絶縁層の選択的除去において、非線形光学結晶による波長変換技術を使用せず、しかも全工程において1波長のみを使用することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]は、各種絶縁体の透過率スペクトルを示す図である。

[図2]は、各種金属の吸収率スペクトルを示す図である。

[図3]は、本発明に係るレーザー加工方法において好適に用いられるレーザー加工装置の第1実施形態（第1構造）の構成を示す図である。

[図4]は、種光源の後段に設けられたバンドパスフィルタの中心波長を調整することで種光源の出力パルスを変形した場合のパルス波形およびスペクトルを示す図である。

[図5]は、図3の第1実施形態に係るレーザー加工装置におけるバンドパスフィルタによるASE除去の様子を模式的に示す図である。

[図6]は、図3の第1実施形態に係るレーザー加工装置におけるバンドパスフィルタによるASE除去の様子を模式的に示す図である。

[図7]は、モード1でのレーザー加工装置（図3）の出力パルスレーザー光のパルス波形を示す図である。

[図8]は、モード1でのレーザー加工装置（図3）の出力パルスレーザー光の繰り返し周波数とパルスエネルギーとの関係を示す図である。

[図9]は、モード2でのレーザー加工装置（図3）の出力パルスレーザー光のパルス波形を示す図である。

[図10]は、モード2でのレーザー加工装置（図3）の出力パルスレーザー光の繰

り返し周波数とパルスエネルギーとの関係を示す図である。

[図11]は、本発明に係るレーザ加工方法において好適に用いられるレーザ加工装置の第2実施形態（第2構造）の構成を示す図である。

[図12]は、本発明に係るレーザ加工方法において好適に用いられるレーザ加工装置の第3実施形態（第3構造）の構成を示す図である。

[図13]は、モード1およびモード2それぞれにおけるパルス半値全幅と1パルス当たりのフルーエンスとの関係を示すグラフである。

[図14]は、プリント基板（導体層と絶縁層の積層構造を含む）の断面図である。

[図15]は、モード1においてパルスを繰り返し周波数500、400、312.5、200、166.7、100kHzと変化させたときのViaホールを光学顕微鏡で観察した写真およびSEM写真である。

[図16]は、モード1においてパルスを繰り返し周波数500、400、312.5、200、166.7、100kHzと変化させたときのViaホールを光学顕微鏡で観察した写真およびSEM写真である。

[図17]は、モード1において上述の繰り返し周波数での1パルス当たりのフルーエンスと、Viaホールの底に残った炭素の検出濃度との関係を示すグラフである。

[図18]は、加工領域内におけるパルスレーザ光の掃引パターンの一例を示す図である。

[図19]は、モード2において種光源の変調電流パルス幅を5nsとした場合の出力パルス波形を示す図である。

[図20]は、モード1、2、2Aそれぞれの場合の繰り返し周波数、パルス幅およびフルーエンスの関係を纏めた表である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、本発明に係るレーザ加工方法およびレーザ加工方法の書く実施形態を、図3～20を参照しながら詳細に説明する。なお、図面の説明において同一部位、同一要素には同一符号を付して重複する説明を省略する。

- [0024] 図3は、本実施形態に係るレーザ加工方法において好適に用いられるレーザ加工装置の第1実施形態（第1構造）の構成を示す図である。図3において、第1実施形態に係るレーザ加工装置1は、種光源100、YbDF110、バンドパスフィルタ120、YbDF130、バンドパスフィルタ140、YbDF150およびYbDF160等を備え、これら要素によりMOPA構造が構成されている。このレーザ加工装置1は、レーザ加工に好適である波長1060nm付近、具体的には、1040nm~1150nmのパルスレーザ光を出力する。
- [0025] 種光源100は、直接変調可能な半導体レーザを含み、この半導体レーザからパルスレーザ光が出力される。半導体レーザは、ハイパワー化の観点から、また、誘導ブリュアン散乱（SBS）などの非線形効果を避ける観点から、ファブリーペロ型レーザであるのが好ましい。また、この半導体レーザは、増幅用光ファイバであるYbDF20、40、50が利得を有する波長1060nm付近のパルスレーザ光を出力する。
- [0026] YbDF110、130、150、160は、種光源100から出力される波長1060nm付近のパルスレーザ光を増幅する光学要素であり、それぞれガラスからなる光ファイバのコアに活性物質としてYb元素が添加されることにより得られる。YbDF110、130、150、160は、励起光波長と被増幅光波長とが互いに近くパワー変換効率的の点で有利である。また、YbDF110、130、150、160は、波長1060nm付近において高い利得を有する点で有利である。これらYbDF110、130、150、160により、4段の光ファイバ増幅器が構成されている。
- [0027] 第1段のYbDF110には、励起光源112から出力された励起光であって光カップラ113および光カップラ111を順に通過した励起光が順方向に供給される。さらに、YbDF110は、種光源100から出力されたパルスレーザ光であって光アイソレータ114および光カップラ111を順に通過したパルスレーザ光を増幅する。YbDF110で増幅されたパルスレーザ光は、光アイソレータ115を介して出力される。

- [0028] バンドパスフィルタ 120 は、第 1 段の Y b D F 110 において増幅された後に光アイソレータ 115 を通過したパルスレーザ光を入力し、その入力されたパルスレーザ光の波長帯域のうち特定波長帯域の成分を減衰させる。
- [0029] 第 2 段の Y b D F 130 は、励起光源 112 から出力された励起光であって光カップラ 113 および光カップラ 131 を順に通過した励起光が順方向に供給される。さらに、Y b D F 130 は、バンドパスフィルタ 120 から出力されたパルスレーザ光であって光アイソレータ 131 を通過したパルスレーザ光を増幅する。
- [0030] バンドパスフィルタ 140 は、第 2 段の Y b D F 130 において増幅されたパルスレーザ光を入力し、その入力されたパルスレーザ光の波長帯域のうち特定波長帯域の成分を減衰させる。
- [0031] 第 3 段の Y b D F 150 は、励起光源 152 から出力された励起光であって光カップラ 151 を通過した励起光が順方向に供給される。さらに、Y b D F 150 は、バンドパスフィルタ 140 から出力されたパルスレーザ光であって光アイソレータ 153 を通過したパルスレーザ光を増幅する。
- [0032] 第 4 段の Y b D F 160 は、励起光源 162 ~ 166 それぞれから出力された励起光であってコンバイナ 161 を通過した励起光が順方向に供給される。さらに、Y b D F 160 は、第 3 段の Y b D F 150 において増幅されたパルスレーザ光であって光アイソレータ 167 およびコンバイナ 161 を順に通過したパルスレーザ光を増幅する。この Y b D F 160 で増幅されたパルスレーザ光は、エンドキャップ 170 を介して、当該レーザ加工装置（レーザ光源）の外部へ出力させる。
- [0033] より好適な構成例は以下のとおりである。第 1 段の Y b D F 110 は、単一クラッド A I 共添加石英系 Y b D F であり、5 w t % の A I 濃度、10 μ m のコア径、125 μ m のクラッド径、70 d B / m の 915 n m 帯励起光非飽和吸収、240 d B / m の 975 n m 帯励起光非飽和吸収ピーク、7 m のファイバ長を有する。第 2 段の Y b D F 130 は、単一クラッド A I 共添加石英系 Y b D F であり、5 w t % の A I 濃度、10 μ m のコア径、125

μm のクラッド径、 70 dB/m の 915 nm 帯励起光非飽和吸収、 240 dB/m の 975 nm 帯励起光非飽和吸収ピーク、 7 m のファイバ長を有する。

[0034] 第3段のYbDF150は、二重クラッドリン酸塩ガラス系YbDFであり、 26.4 wt\% のP濃度、 0.8 wt\% のAl濃度、 $10\mu\text{m}$ のコア径、外径が $125\mu\text{m}$ でありその断面形状が八角形である第一クラッド径、 1.8 dB/m の 915 nm 帯励起光非飽和吸収、 3 m のファイバ長を有する。第4段のYbDF160は、二重クラッドAl共添加石英系YbDFであり、 5 wt\% のAl濃度、 $10\mu\text{m}$ のコア径、 $125\mu\text{m}$ のクラッド径、 80 dB/m の 915 nm 帯励起光非飽和吸収、 3.5 m のファイバ長を有する。

[0035] YbDF110、130、150、160に供給される励起光の波長は何れも $0.975\mu\text{m}$ 帯である。YbDF110に供給される励起光は、パワー 200 mW の単一モード光である。YbDF130に供給される励起光は、パワー 200 mW の単一モード光である。YbDF150に供給される励起光は、パワー 2 W のマルチモード光である。また、YbDF160に供給される励起光は、パワー 14 W のマルチモード光である。

[0036] この第1実施形態に係るレーザ加工装置1では、種光源100としてフアブリーペロ型の半導体レーザが適用される。また、短パルス化のため、図4の領域(a)および領域(b)に示すように、種光源100の後段に設けられたバンドパスフィルタ120の中心波長は、各領域に示されたグラフC2またはC3の状態になるように調整されて、パルスレーザ光の半値全幅が約 5 ns から 0.5 ns まで圧縮され得る。

[0037] 図4の領域(a)は、種光源100の後段に設けられるバンドパスフィルタ120の中心波長を調整することで種光源100の出力パルスを変形した場合のパルス波形を示す。図4の領域(b)は、その場合のスペクトルを示す。また、図4の領域(c)は、図4の領域(a)の一部を拡大した図である。各領域に示されたグラフC1は、バンドパスフィルタがない場合を示す

。グラフC2～C7は、バンドパスフィルタ120の中心波長を長波長側から徐々に短波長側にした場合を示す。

[0038] なお、グラフC2、C3のようにバンドパスフィルタ120の中心波長を種光源100のスペクトルの中心波長から大幅にデチューニングさせると、その下流のYbDFで発生するASEが増大する。このようなASE成分を抑圧するためには、図3に示すように、種光源の下流に接続される光増幅器の内部に複数のバンドパスフィルタが挿入されることが望ましい。

[0039] バンドパスフィルタ120、140それぞれの透過スペクトルの半値全幅は3nmである。図5および図6は、レーザ加工装置1（図3）におけるバンドパスフィルタ120、140によるASE除去の様子を模式的に示す図である。

[0040] 図5に示すように、バンドパスフィルタ120の透過スペクトル（図5の領域（a）および領域（b）中のD1）の中心波長が種光源10の出力光のスペクトル（図5の領域（b）中のD2）のピーク波長に略一致している場合には、バンドパスフィルタ120から出力される光（図5の領域（b）中のD3）のパワーを高く保つことができる。その結果、バンドパスフィルタ120の後段にあるYbDF130から出力される光（図5の領域（b）中のD4）に含まれるASE成分と比較したS/N比を高く保つことができる。

[0041] これに対して、図6に示すように、バンドパスフィルタ120の透過スペクトル（図6の領域（a）～（c）中のE1）の中心波長が種光源10の出力光のスペクトル（図6の領域（a）中のE2）のピーク波長から大きくずれている場合には、バンドパスフィルタ120から出力される光（図6の領域（b）中のE3）のパワーが入力時に対して大きく減衰することになる。その結果、バンドパスフィルタ120の後段にあるYbDF130から出力される光（図6の領域（b）および領域（c）中のE4）に含まれるASE成分と比較したS/N比が大幅に劣化する。これを回避するため、YbDF130の下流に更にバンドパスフィルタ140を挿入することで、バンドパ

スフィルタ 120 から出力される光（図 6 の領域（c）中の E5）の S/N 比を改善することができる。なお、このとき、バンドパスフィルタ 140 の中心波長は、バンドパスフィルタ 120 の中心波長より、種光源 10 出力スペクトルのピーク波長に近く設定することが望ましい。

[0042] 更に 3 段目 YbDF150 には、ASE 帯域が Al 共添加石英系 YbDF よりも狭いリン酸塩ガラス系 YbDF が適用されている。

[0043] 以上のように構成されたレーザ加工装置 1 において、図 7 に示すようにパルスピークが最高 56 kW に至る出力が実現された。この図 7 には、繰り返し周波数が 100 kHz、166.7 kHz、200 kHz、312.5 kHz、500 kHz、1 MHz および 2.5 MHz のパルス波形が示されている。なお、このパルス波形の測定に際しては、レーザ加工装置 1 の出力端にあるエンドキャップ 170 の後に減衰量 65 dB 程度の空間アッテネータを挿入し、エンドキャップ 170 からの出力光をソーラボ製光電変換モジュール（SIR5-FC 型）で受光し、その光電変換モジュールからの電気出力波形を横河電機製オシロスコープ（DL9240）で観測した。繰り返し周波数 2.5 MHz ~ 100 kHz の何れの条件でも、パルス幅は 0.5 ± 0.1 ns の範囲内であった。図 8 は、レーザ加工装置 1 の出力パルスレーザ光の繰り返し周波数とパルスエネルギーとの関係を示す図である。この図 8 に示すように、出力パルスレーザ光のパルスエネルギーは最高でも 0.041 mJ であった。この動作状態を今後便宜的にモード 1 と呼ぶ。

[0044] なお、比較のため、図 3 に示す構成からバンドパスフィルタ 140 を取り除いた構成において、上述したような短パルス化を目的とするバンドパスフィルタ 120 の調整をしない場合で、パルス半値全幅 5 ns 以上の出力パルスレーザ光を使ったレーザ加工も試行した。この動作状態を、今後便宜的にモード 2 と呼ぶ。図 9 は、モード 2 でのレーザ加工装置 1 の出力パルスレーザ光のパルス波形を示す図である。図 10 は、モード 2 でのレーザ加工装置 1 の出力パルスレーザ光の繰り返し周波数とパルスエネルギーとの関係を示す図である。なお、電氣的なパルス変調幅を 20 ns と設定したことから、

繰り返し周波数が500kHzであるときにはパルス半値全幅は18nsであるが、繰り返し周波数を下げる程、光ファイバ増幅部の過渡応答によりパルスの半値全幅は小さくなる。例えば、繰り返し周波数が50kHzであるときにはパルスの半値全幅は5.3nsとなる。図10に示すように、そのパルスエネルギーは、最高0.24mJとなり、モード1の場合の約6倍にも達する。

[0045] 次に、レーザ加工装置1から出力されるパルスレーザ光を加工対象物に照射した実験について説明する。具体的には、このような実験を実現する第2実施形態に係るレーザ加工装置2の構成を図11に示す。図11の領域(a)に示すように、第2実施形態に係るレーザ加工装置2は、上述の第1実施形態に係るレーザ加工装置1をレーザ光源とし、さらに、照明光学系200aを備える。レーザ加工装置1(レーザ光源)のエンドキャップ170から対象物へ至る照射光学系は、順に、出射ビーム径1.6mmのコリメータ171、偏波無依存アイソレータ172、倍率8倍のビームエキスパンダ173、ガルバノスキャナ174およびテレセントリックFθレンズ175により構成される。エンドキャップ170から出力されたパルスレーザ光がこれら光学要素を通過したときの該パルスレーザ光に対する透過率は75%である。上記Fθレンズの焦点距離は164mmである。対象物10上のビームスポット径dは、「 $d = (4/\pi) \cdot (\text{焦点距離} \times \text{波長}) / (\text{レンズ前ビーム径})$ 」なる式で与えられ、 $17.3\mu\text{m}$ が得られる。その結果、対象物におけるレーザ光のスポット面積は $2.35 \times 10^{-6}\text{cm}^2$ である。

[0046] また、ガルバノスキャナ174は、Fθレンズ175を介してパルスレーザ光Pを、掃引始点P1から矢印S1で示す方向に沿って掃引しながら対象物10の表面に照射する。なお、対象物10は、少なくとも、導体層11と、この導体層11の表面11a上に直接接触するように設けられた絶縁層12により構成された積層構造を有する。また、絶縁層12の表面12a上に照射されるパルスレーザ光Pの中心は、図11の領域(b)に示すように、加工領域AS内を、始点P1から矢印S1で示す方向に沿って、螺旋状に掃

引される。また、図11の領域(c)に示すように、隣接するパルスレーザー光Pの中心P1a、P1b(パルスレーザー光の中心は矢印S2で示す方向に移動)は、それぞれのビームスポットが領域A10で重なるよう所定のオーバーラップ率(好ましくは40%~90%)を満たしている。なお、図11の領域(b)には、ビーム掃引パターンの一例として、螺旋状掃引パターンが示されているが、これには限定されない。例えば、螺旋状掃引パターンの他、直線成分のみで構成された掃引パターン、曲線成分と直線成分の組み合わせにより構成された掃引パターンなど、任意のビーム掃引パターンが設定可能である。

[0047] 以上のように、加工領域AS内においてパルスレーザー光Pを掃引することにより、図11の領域(d)に示すように、絶縁層12のうち除去された部分(加工領域ASに相当)に位置する導体層11の表面11aを露出させることが可能になる。

[0048] なお、絶縁層12の除去性能を向上するためには、パルスレーザー光の照射領域(加工領域AS)にアシストガスとして酸素などの助燃ガスを吹き付けるのが更に有効である。しかしながら、プリント基板の穴あけ加工は高いエネルギーが要求され、上述のように(本願明細書の段落「0035」参照)、ガルバノスキャナ174とテレセントリックFθレンズ175によるビーム高速掃引が必要となるケースが殆どである。この場合、パルスレーザー光のビームスポットが高速で動いてしまうので、ビームスポットのみに助燃ガスを吹き付けることは不可能である。この対策として、第3実施形態に係るレーザー加工装置3では、Fθレンズ175の真下(Fθレンズ175と絶縁層12の表面12aの間)に風洞176を設置し、この風洞176内に助燃ガス(O₂)を注入する構成を備える。具体的に第3実施形態に係るレーザー加工装置3は、図12に示すように、実質的に第2実施形態に係るレーザー加工装置2と同様の構成を備えるが、構造的には、Fθレンズ175と絶縁層12の表面12aの間に風洞176が設けられた点で異なる。

[0049] 図13は、モード1およびモード2それぞれにおけるパルス半値全幅と1

パルス当たりのフルーエンスとの関係を示すグラフである。この図13には、モード1のデータが△印で示され、モード2のデータが◇印で示されている。また、後述するモード2Aのデータが□印で示されている。また、図13には、特許文献3の段落「0005」に記載されている「フルーエンス破壊閾値がパルス幅の平方根に比例」の関係が破線で示されている。図13に示すとおり、1パルス当たりのフルーエンスは、モード1では最高で13 J/cm²となり、モード2では最高で77 J/cm²となる。

[0050] これらモード1およびモード2のパルスレーザ光を、繰り返し周波数100 kHzの時のオーバーラップ率88%で掃引しながら、図14に断面構造が示されたプリント基板10（図11の領域(a)および図12の対象物に相当）に照射してV iaホール加工が行われた。このプリント基板10は、厚さ18 μmの銅箔11（図11の領域(a)および図12の導体層に相当）、厚さ14 μmのポリイミド系樹脂層12bおよび厚さ18 μmの銅箔13が積層された構造を有する。また、プリント基板10は、これら層11、12b、13を接着する接着層(TPI)をも含む。したがって、ポリイミド系樹脂層12bおよび接着層が絶縁層12（図11の領域(a)および図12の絶縁層に相当）を構成する。また、プリント基板10の銅箔13には、化学的加工またはレーザ加工により予め穴が開けられている。このV iaホール加工の結果が図15および図16に示されている。

[0051] 図15および図16それぞれは、モード1においてパルスを繰り返し周波数500、400、312.5、200、166.7、100 kHzと変化させたときのV iaホールを光学顕微鏡で観察した写真およびSEM写真である。特に、図15には、アシストガスを用いず通常の大気中で加工したときの結果を示す。図16には、アシストガスとして酸素ガスを吹き付けながら加工したときの結果を示す。また、図15および図16それぞれの領域(a)は光学顕微鏡写真を示し、図15および図16それぞれの領域(b)はSEM写真を示す。また、図17は、モード1において上述の繰り返し周波数での1パルス当たりのフルーエンスと、V iaホールの底に残った炭素の検

出濃度との関係を示すグラフである。ただし、炭素の検出に際しては、エネルギー分散型X線蛍光分析装置（以下、EDXという）が使用された。

[0052] UVレーザで加工した時にも20At.%程度の残渣は残るが、図16に示すとおり、モード1では酸素ガスをアシストガスとし、フルーエンスを10J/cm²以上とすれば、UVレーザと同等にまで残渣の濃度を下げられることが判る。一方、図15に示すとおり、アシストガスとして酸素ガスを用いない場合でも、フルーエンスが13J/cm²であるときでは、UVレーザと同等にまで残渣の濃度を下げられる。そして導体層の表面は殆ど除去されない。

[0053] なお、スメア（smear：導体層表面に膜状あるいは島状に残る加工残渣）は、上述のように（本願明細書の段落「0003」参照）、パルスレーザ光照射による熱が、熱伝導率の高い導体層11に逃げるため、絶縁層12の除去に成功する条件として、フルーエンスと同時に、瞬時的に照射される最大パワー、すなわちパルスピークにおける照射強度も考慮する必要がある。モード1では、酸素アシストガスを用いた場合、照射強度18GW/cm²以上で絶縁層12の除去に成功している。酸素アシストガスを用いない場合でも、照射強度24GW/cm²以上であれば絶縁層12の除去に成功している。これら照射強度の閾値は、導体層11の材質、厚み、更に導体層11が置かれているステージの材質にも依存すると考えられ、対象物であるプリント基板10の設計に応じて所定の値が必要になると思われる。

[0054] 以上のことから、プリント基板10を設置するステージ上面の材質は、熱伝導性の高い金属などではなく、熱伝導性の低いセラミック、ガラスなどが望ましい。

[0055] また、絶縁層12の除去の初期段階（図11の領域（b）に示すような加工領域AS内のビーム掃引を1回行う場合の初期掃引段階）においては、後述する図19のモード2Aのフルーエンスの高いパルスを用いて除去エリア（加工領域AS）を掃引して、絶縁層12の除去の後期段階（図11の領域（b）に示すような加工領域AS内のビーム掃引を1回行う場合の後期掃引

段階)、すなわち、スミアの除去段階では、最大照射強度に優れ、かつ、フルーエンスは抑えられているモード1を適用し、加工領域AS(除去エリア)全域に対してビーム掃引すれば、絶縁層12の除去に費やされる時間も、導体層11の損傷も、何れも最小限に抑えられると期待される。特許文献1の、CO₂レーザとUVレーザを併用する方式と類似しているが、本発明では1台のレーザで両者の加工が可能である。

[0056] この時のビーム掃引のパターンの一例を図18に示す。ここで、図18の領域(a)は、直径50 μ mのホール内部(導体層13に予め形成されたホールであって、この底部が加工領域ASに相当)を、掃引始点P1から矢印S3で示す方向に沿って掃引終点P2(加工領域ASの中心)に向かうアルキメデスの螺旋状のビーム掃引パターン(1回のビーム掃引に相当)を示す。最も外周付近に近い照射スポットの中心同士の間隔は11 μ mであり、スポット径17.3 μ mを考慮すると、オーバーラップ率は36%程度(=(17.3-11)/17.3 \times 100)である。また、図18の領域(b)は、掃引始点P1から掃引終点P2に向かう1回のビーム掃引における前半では、掃引始点P1から矢印S4で示す方向に沿って加工領域ASの中心に向かう一方、1回のビーム掃引の後半では、加工領域ASの中心から矢印S5で示す方向に沿って掃引終点P2に向かうビーム掃引パターンを示す。最も外周付近に近い照射スポットの中心同士の間隔は7 μ mであり、スポット径17.3 μ mを考慮すると、オーバーラップ率は59%程度(=(17.3-7)/17.3 \times 100)である。

[0057] なお、図18の領域(a)のビーム掃引パターンは、掃引始点P1から掃引終点P2に向かう1回のビーム掃引の期間中、後述するモード2Aでのビーム掃引のみが行われる。図18の領域(b)のビーム掃引パターンは、その半径変化量が、図18の領域(a)に示すビーム掃引パターンの2倍である。また、図18の領域(b)のビーム掃引パターンでは、1回のビーム掃引における前半(掃引始点P1から加工領域ASの中心まで)はモード2Aでのビーム掃引が行われる一方、後半(加工領域ASの中心から掃引終点P

2まで)はモード1でのビーム掃引が行われている。何れも加工領域AS内のパルスショット数は100である。

- [0058] 続いて説明を図17に戻し、モード2においては、繰り返し周波数を50~500kHzの範囲(すなわち、1パルス当りのフルエンスを8~77J/cm²の範囲)で変えても、EDXによる炭素の検出濃度は変わらず60At.%程度であった。
- [0059] 以上の加工結果と図13とを比較する限り、LIB閾値となるフルエンスのパルス幅への依存性は、特許文献3に記載されているようにフルエンス破壊閾値がパルス幅の平方根に比例するという古典的な関係ではない。恐らく、特許文献1に記載されているとおり、スメアとなる、導体層11に接している絶縁層12の部分は、レーザ照射されても熱が導体に逃げ易いので、より短時間に集中して加熱することが望ましい結果、材料単体を想定した上記のLIB閾値の議論は当てはまらないと考えられる。
- [0060] しかしながら、いずれにせよ、特許文献3に記載されているように、パルス幅を10ps以下にしなければ加工が成功しないなどということはなく、図7に示すとおりパルス半値全幅が0.6ns程度でも加工に成功することができるので、CPAなどの光増幅部における特殊なパルス圧縮方式は不要である。
- [0061] ただし、プリント基板10を構成するポリイミド系樹脂層12bおよび接着層(絶縁層12を構成し、何れもスメアとなり得る)それぞれには様々な組成があり、必ずしもモード1のような短パルスでなくても絶縁層12を除去できるケースがある。例えばモード2において種光源100の変調電流パルス幅を5nsとした場合、出力パルス波形は図19に示すとおりとなり、100~400kHzの繰り返し周波数において、そのパルス半値全幅は2ns前後となる。以下、この動作をモード2Aと呼ぶ。
- [0062] モード2Aにおいて、第3実施形態に係るレーザ加工装置3の照射光学系200bにより、アシストガスとして酸素ガスを使用し、プリント基板にパルスレーザ光を照射して、Viaホール加工を行った結果、繰り返し周波数

300~800kHzと比較的高い（すなわち、1パルス当りのフルーエンスは10J/cm²程度と低い）動作領域で、炭素のEDX検出濃度は20At.%程度またはそれ以下（最も良好な場合は0At.%）と出来る。そして、このときも、導体層の表面には殆ど損傷がない。

[0063] 尚、上記の絶縁層にモード1のパルス列を照射した時は、寧ろ繰返し周波数300~400kHzの場合（すなわち、1パルス当りのフルーエンスが5J/cm²程度と比較的低い場合）に、炭素のEDX検出濃度は20At.%程度に低減できた。

[0064] すなわち、絶縁層の材質によって1パルス当りのフルーエンスが高いことが望ましいこともあれば、1パルス当りのフルーエンスが低くても繰返し周波数が高い（300kHz以上、すなわちオーバーラップ率96%）ことが望ましいこともある。しかし、図11に示すとおり、パルス幅が5ns以上である場合は、繰返し周波数に関わらず良好な結果が得られなかった。これは上述の通り、スミアとなる、導体に接している絶縁層部分は、レーザ照射されても熱が導体に逃げ易いので、より短時間に高いピークパワー（図19のとおり、光源出力では10kW以上、加工対象の上では7.5kW以上）で集中して加熱することが望ましい為であろうと考えられる。

[0065] 図20は、モード1、モード2、モード2Aそれぞれの場合の繰返し周波数、パルス幅およびフルーエンスの関係を纏めた表である。特に、図20において、領域（a）はモード1の場合を示し、領域（b）はモード2の場合を示し、領域（c）はモード1Aの場合を示す。また、これら図20の領域（a）~（c）では、絶縁層12の加工が成功した場合の実施例番号が示されている。なお、実施例1および実施例2は、図13中に対応付けて示してある。

[0066] 本実施形態では、絶縁層を本来透過する波長域での導体層と絶縁層とから構成されるプリント基板またはこれに類する複合材における絶縁層の選択的なレーザ除去は、必ずしも銅とポリイミド系樹脂との組合せに限らず、例えば金（Au）、アルミニウム（Al）などを主成分とする合金を、導体層ま

たは導体層表面に付されたメッキ層に用いた場合も良好な選択的な除去加工が実現可能である。

符号の説明

[0067] 1、2、3…レーザ加工装置（レーザ光源）、200a、200b…照明光学系、100…種光源、110…YbDF、111…光カプラ、112…励起光源、113…光カプラ、114、115…光アイソレータ、120…バンドパスフィルタ、130…YbDF、131…光カプラ、140…バンドパスフィルタ、150…YbDF、151…光カプラ、152…励起光源、153…光カプラ、160…YbDF、161…コンバイナ、162～166…励起光源、167…光アイソレータ、170…エンドキャップ、171…コリメータ、172…偏波無依存アイソレータ、173…ビームエキスパンダ、174…ガルバノスキャナ、175…テレセントリックF θ レンズ、175、176…風洞。

請求の範囲

- [請求項1] 導体層と前記導体層上に積層された樹脂製の絶縁層とを含む対象物をパルスレーザー光の光路上に設置し、前記対象物にパルスレーザー光を照射することにより、前記絶縁層のうち前記導体層上の所定領域に位置する部分を除去するレーザー加工方法であって、
- 前記パルスレーザー光の波長として、前記導体層に対する吸収率が10%未満かつ前記絶縁層に対する透過率が70%以上となる波長が選択された前記パルスレーザー光を、前記絶縁層を通過した後に前記導体層に到達するよう、前記対象物の所定領域に照射するレーザー加工方法。
- [請求項2] 導体層と前記導体層上に積層された樹脂製の絶縁層とを含む対象物をパルスレーザー光の光路上に設置し、前記対象物にパルスレーザー光を照射することにより、前記絶縁層のうち前記導体層上の所定領域に位置する部分を除去するレーザー加工方法であって、
- 前記パルスレーザー光の波長として、前記導体層に対する吸収率が10%未満かつ前記絶縁層に対する透過率が70%以上となる波長を選択し、
- 前記絶縁層が除去された後の前記導体層表面における炭素検出濃度の許容レベルとの関係において、前記パルスレーザー光の1パルス当たりのフルーエンスを設定し、
- 前記パルスレーザー光の半値全幅が5 ns未満となるように、前記パルスレーザー光の繰り返し周波数を設定し、
- 前記選択された波長、前記設定された1パルス当たりのフルーエンスおよび前記設定された繰り返し周波数を有する前記パルスレーザー光を、前記絶縁層を通過した後に前記導体層に到達するよう、前記対象物の所定領域に照射するレーザー加工方法。
- [請求項3] 前記絶縁層表面において、照射されたパルスレーザー光の照射スポットに対する次回照射されるパルスレーザー光の照射スポットのオーバーラ

ップ率が40%~90%となるように、前記絶縁層表面に対して前記パルスレーザー光を掃引させながら照射することを特徴とする請求項1または2記載のレーザー加工方法。

[請求項4] 前記パルスレーザー光の波長は、希土類元素を含む光活性媒質を用いたレーザー光源から直接出力し得る波長であることを特徴とする請求項1または2記載のレーザー加工方法。

[請求項5] 前記光活性媒質は、Yb添加光ファイバであることを特徴とする請求項4記載のレーザー加工方法。

[請求項6] 前記パルスレーザー光の半値全幅は、前記絶縁層の加工残渣が前記導体層表面に膜状または島状に残らない程度に設定されることを特徴とする請求項1または2記載のレーザー加工方法。

[請求項7] 前記パルスレーザー光の半値全幅は、5ns未満であることを特徴とする請求項1記載のレーザー加工方法。

[請求項8] 前記パルスレーザー光の半値全幅は、10psより大きいことを特徴とする請求項1または2記載のレーザー加工方法。

[請求項9] 前記パルスレーザー光のパルスピークにおける照射強度は、前記絶縁層の加工残渣が前記導体層表面に膜状または島状に残らない程度に設定されていることを特徴とする請求項1または2記載のレーザー加工方法。

[請求項10] 請求項1~9のいずれか一項記載のレーザー加工方法を実行するレーザー加工装置であって、

当該レーザー加工装置は、前記パルスレーザー光を生成するレーザー光源と、前記パルスレーザー光が到達する前記絶縁層表面の加工領域内において、前記パルスレーザー光をビーム掃引する照射光学系とを備えるとともに、

前記レーザー光源は、前記加工領域内において任意のパターンを描きながら掃引始点から掃引終点に向かうビーム掃引を一単位とするとき、この一単位のビーム掃引の期間中、前記パルスレーザー光の生成条件

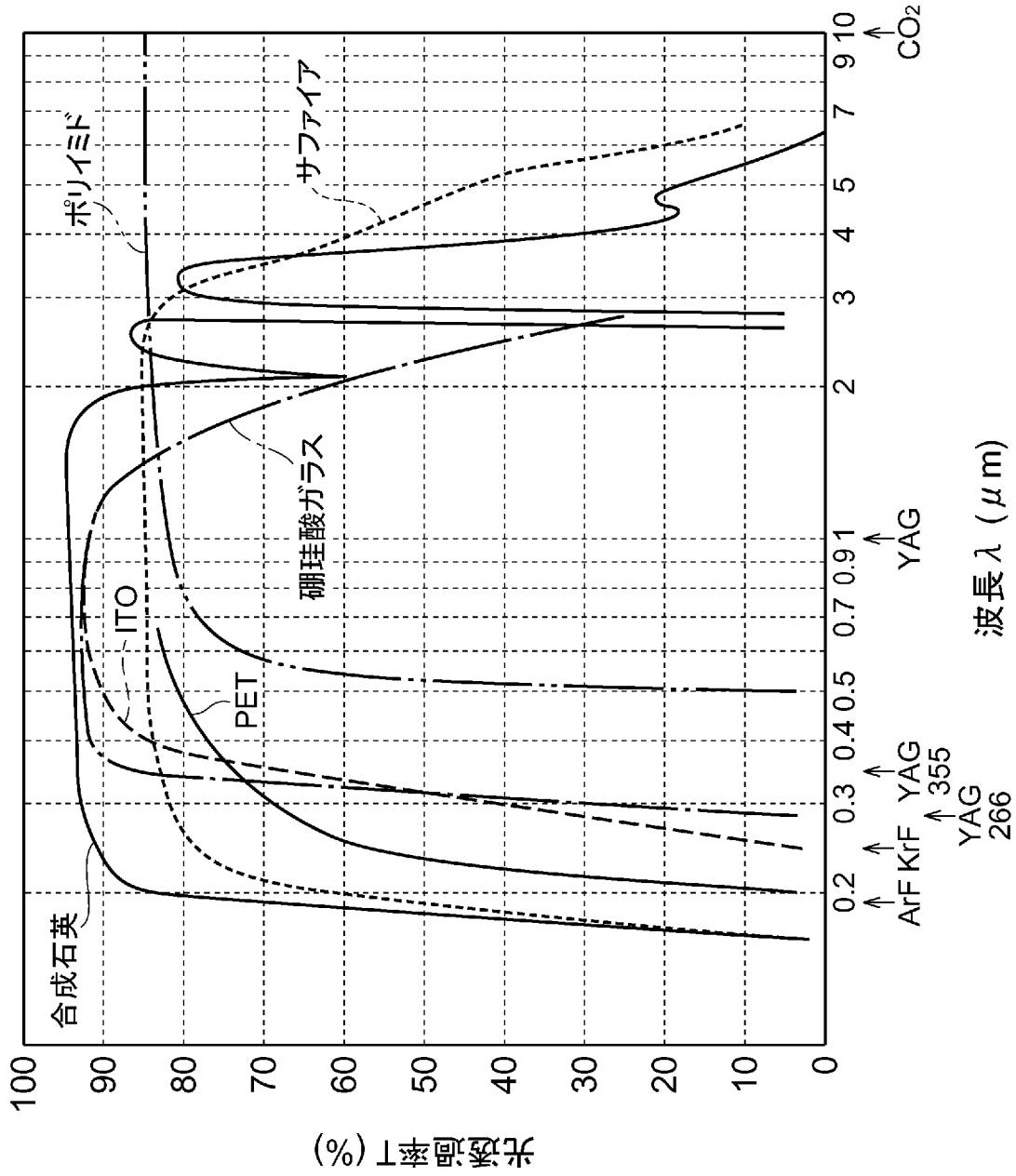
のうち、パルス幅および繰返し周波数の少なくともいずれかを、1回またはそれ以上変更し、

前記レーザ光源は、前記一単位のビーム掃引における掃引開始時点を含むビーム掃引初期の前記パルスレーザ光の1パルス当たりのフルエンスを、前記ビーム掃引初期以降の期間における前記パルスレーザ光の1パルス当たりのフルエンスより大きく設定することを特徴とするレーザ加工装置。

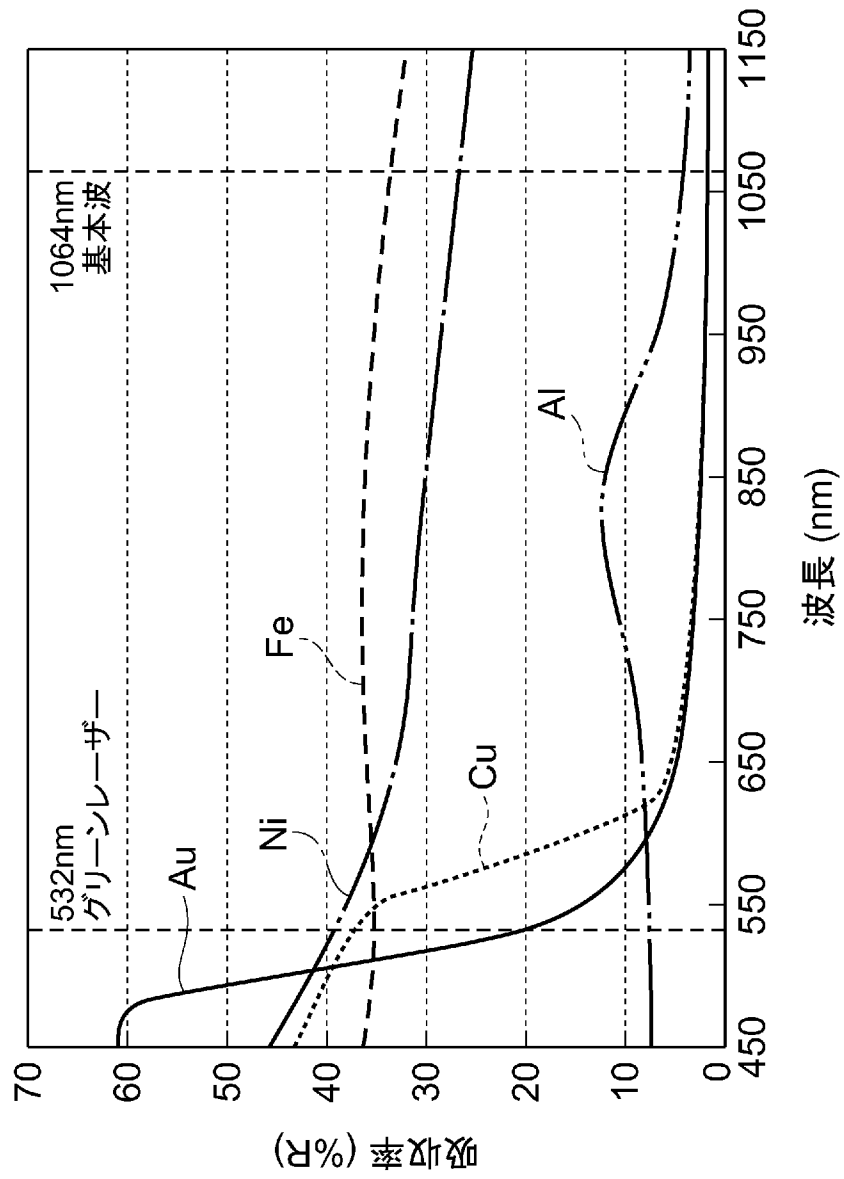
[請求項11] 前記レーザ光源は、前記一単位のビーム掃引における掃引終了時点を含むビーム掃引終期の前記パルスレーザ光のパルスピークにおける照射強度を、前記ビーム掃引終期以前の期間における前記パルスレーザ光のパルスピークにおける照射強度よりも大きく設定することを特徴とする請求項10記載のレーザ加工装置。

[請求項12] 前記照射光学系は、前記絶縁層表面において、照射されたパルスレーザ光のビームスポットに対する次回照射されるパルスレーザ光のビームスポットのオーバーラップ率が40%~90%となるように、前記絶縁層表面に対して前記パルスレーザ光を掃引させながら照射することを特徴とする請求項10または11記載のレーザ加工装置方法。

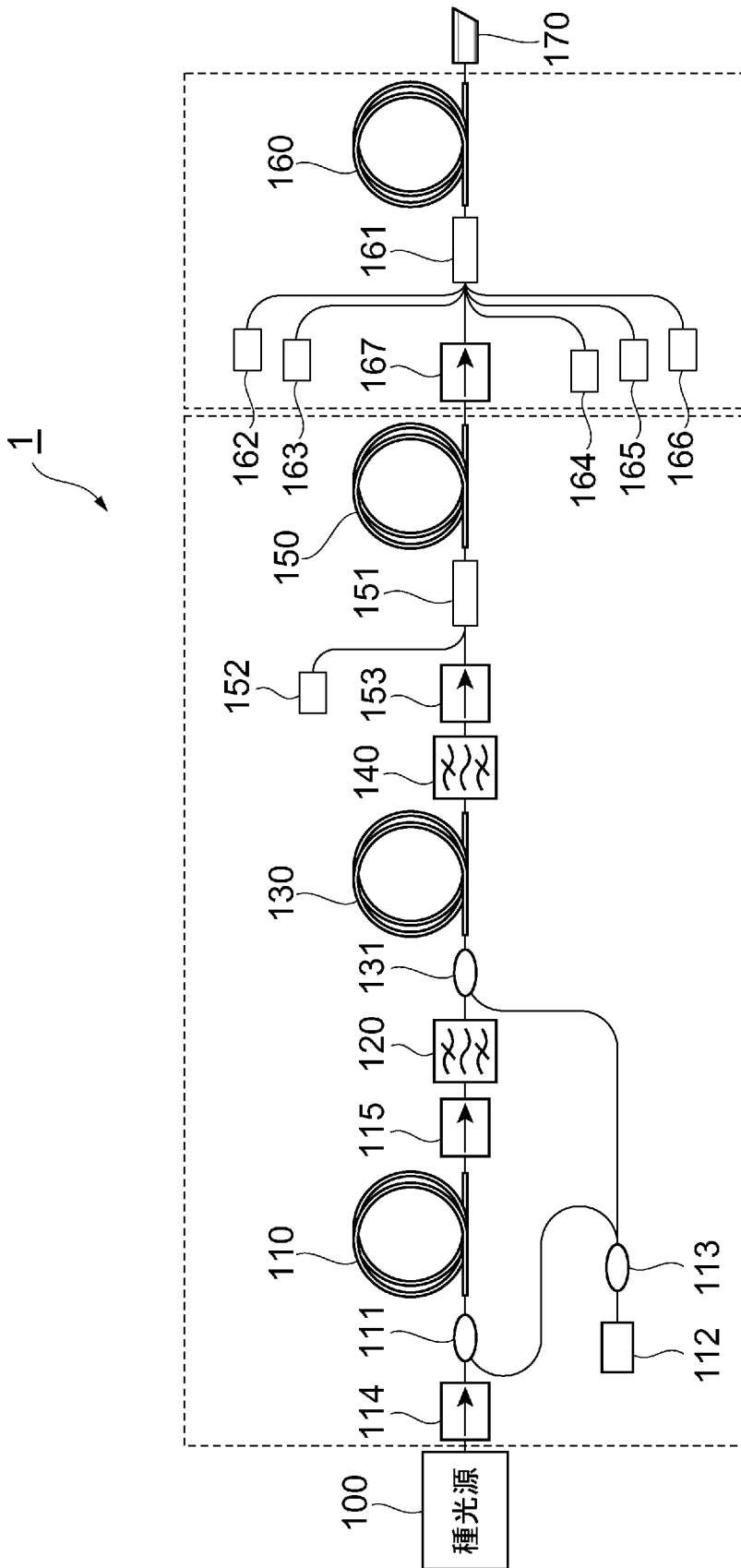
[図1]



[図2]

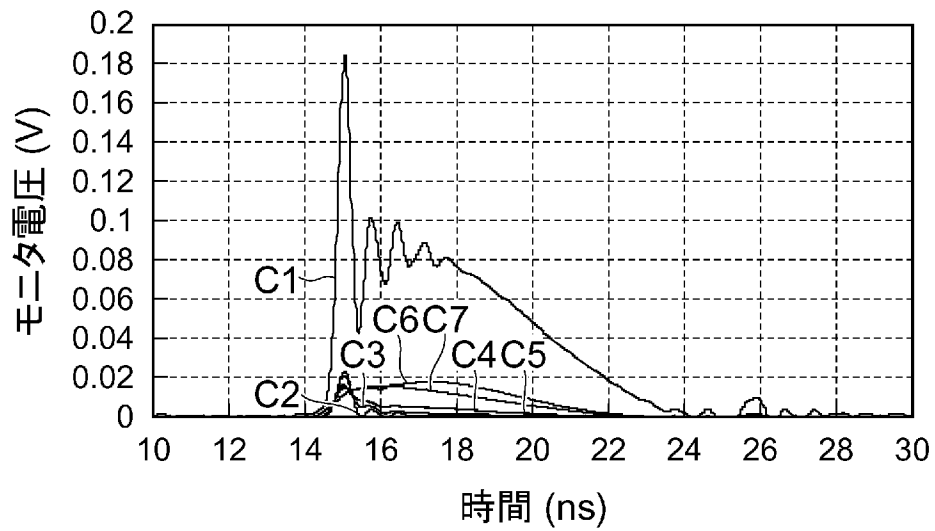


[図3]

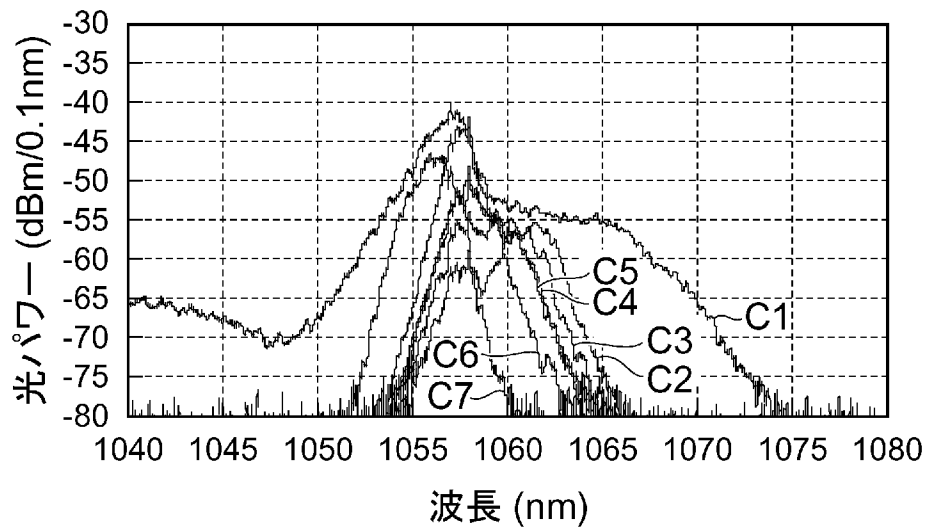


[図4]

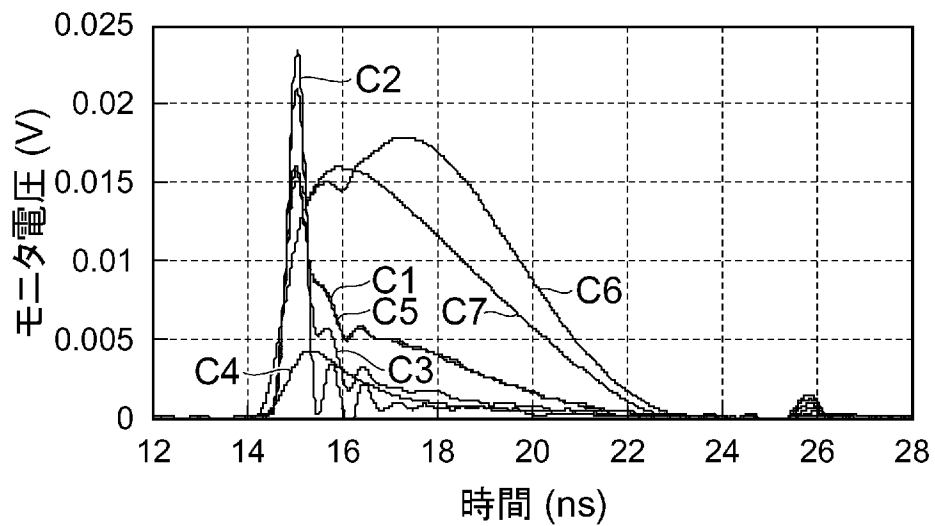
(a)



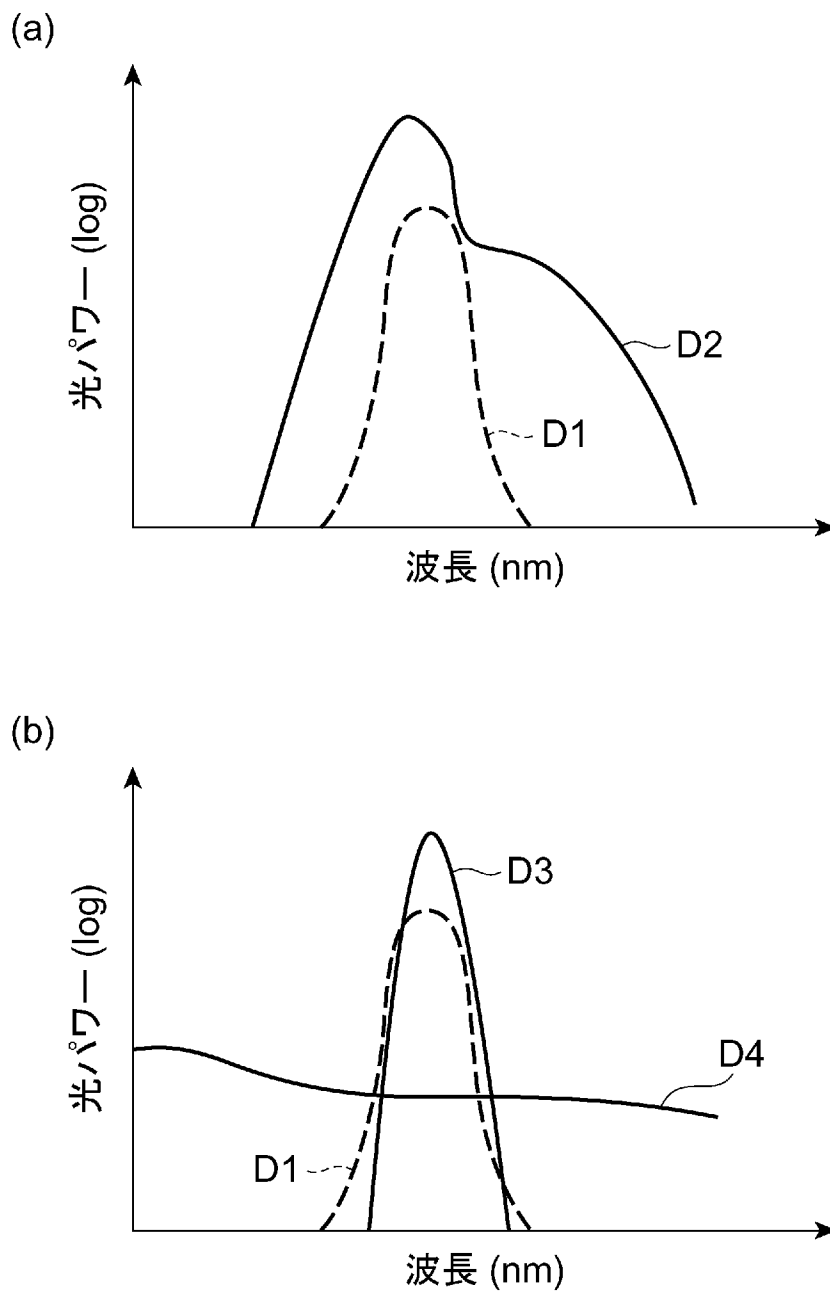
(b)



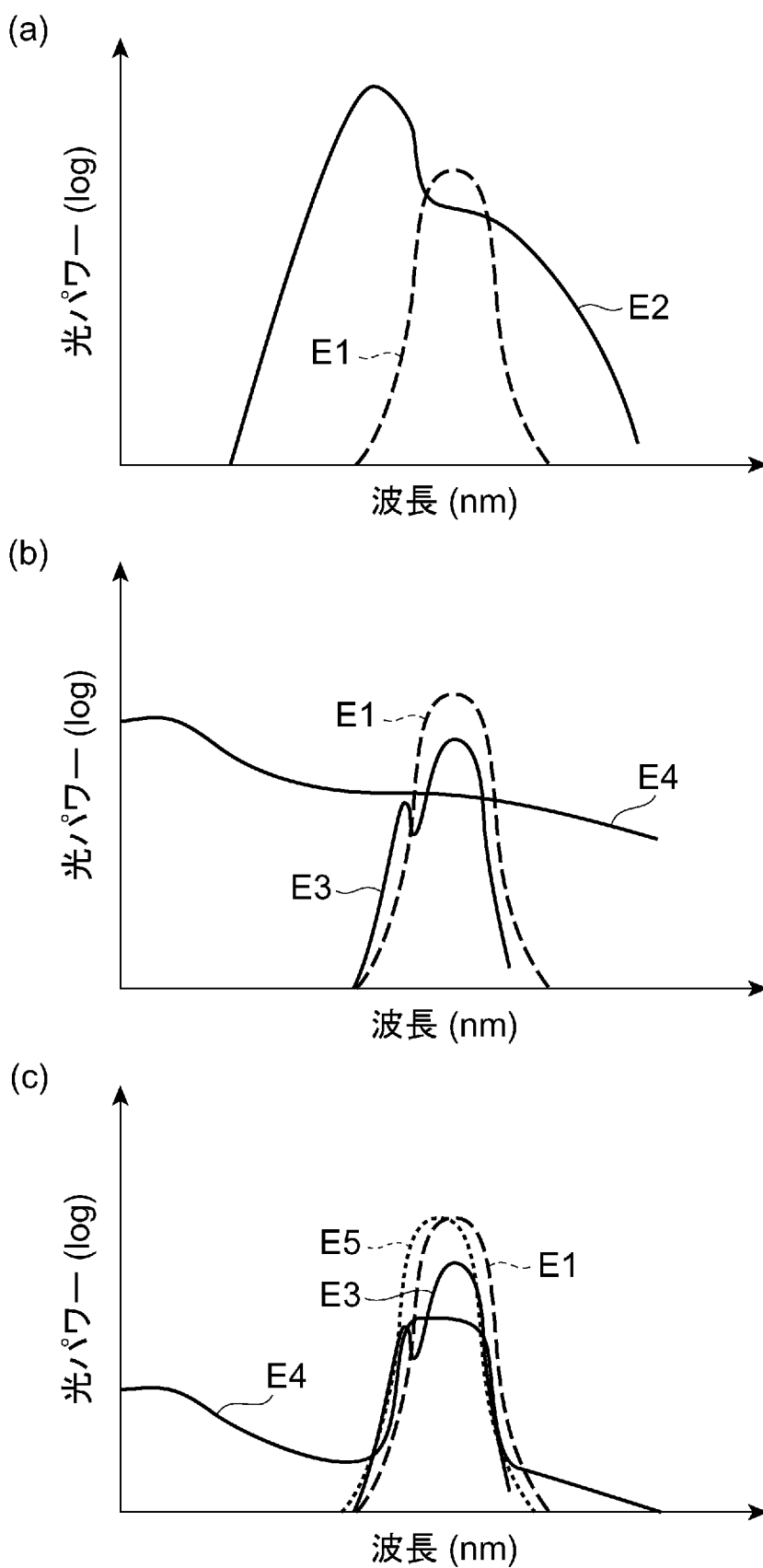
(c)



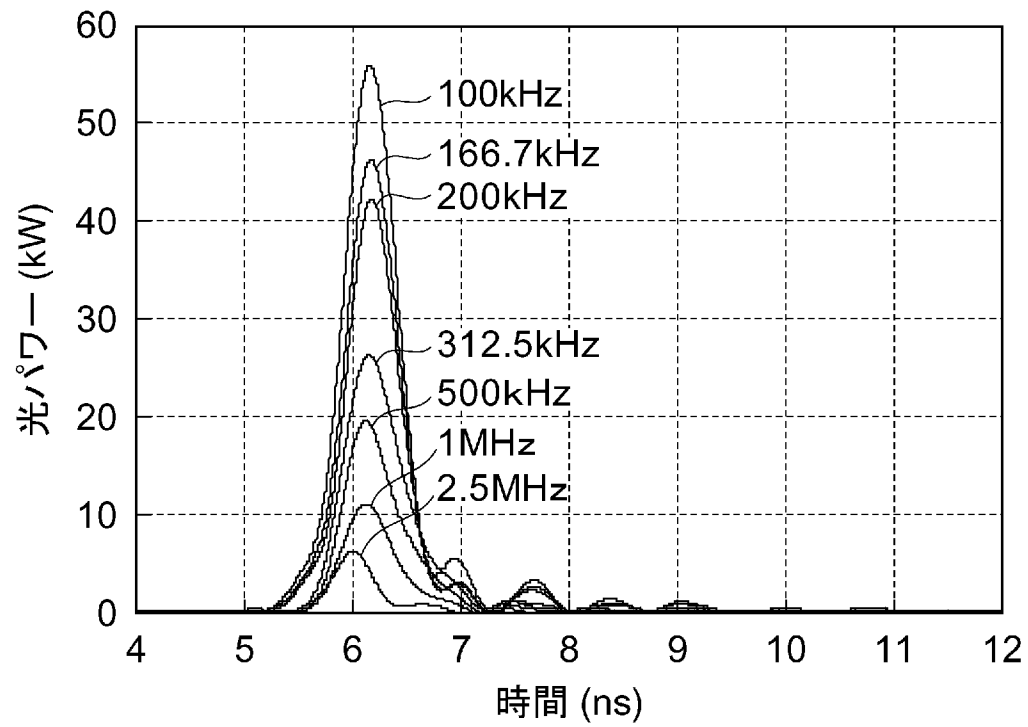
[図5]



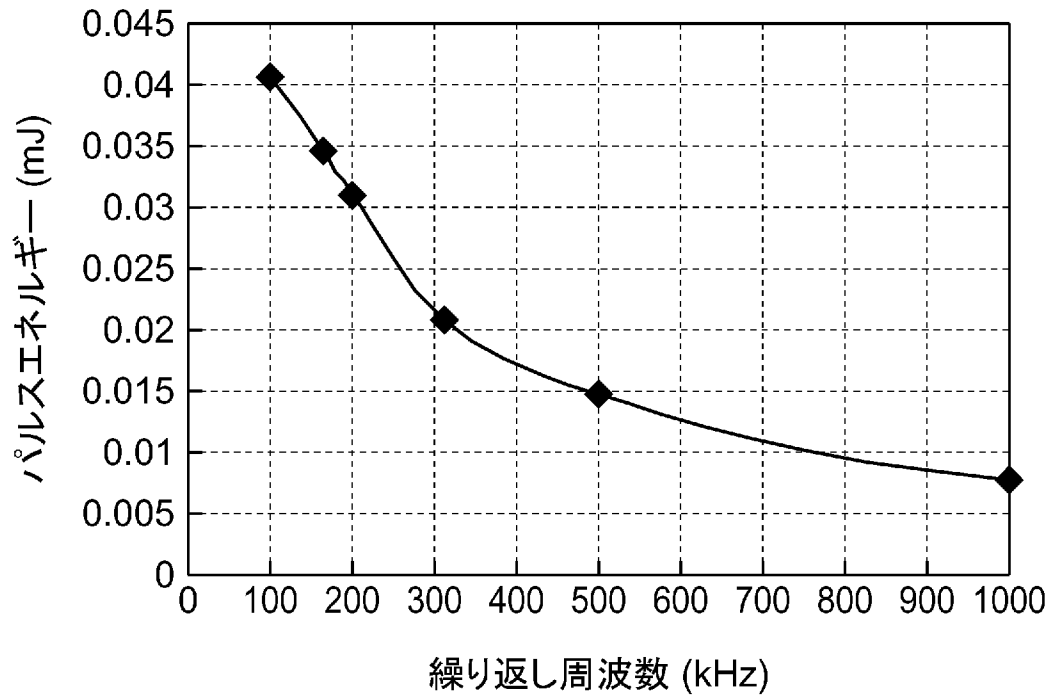
[図6]



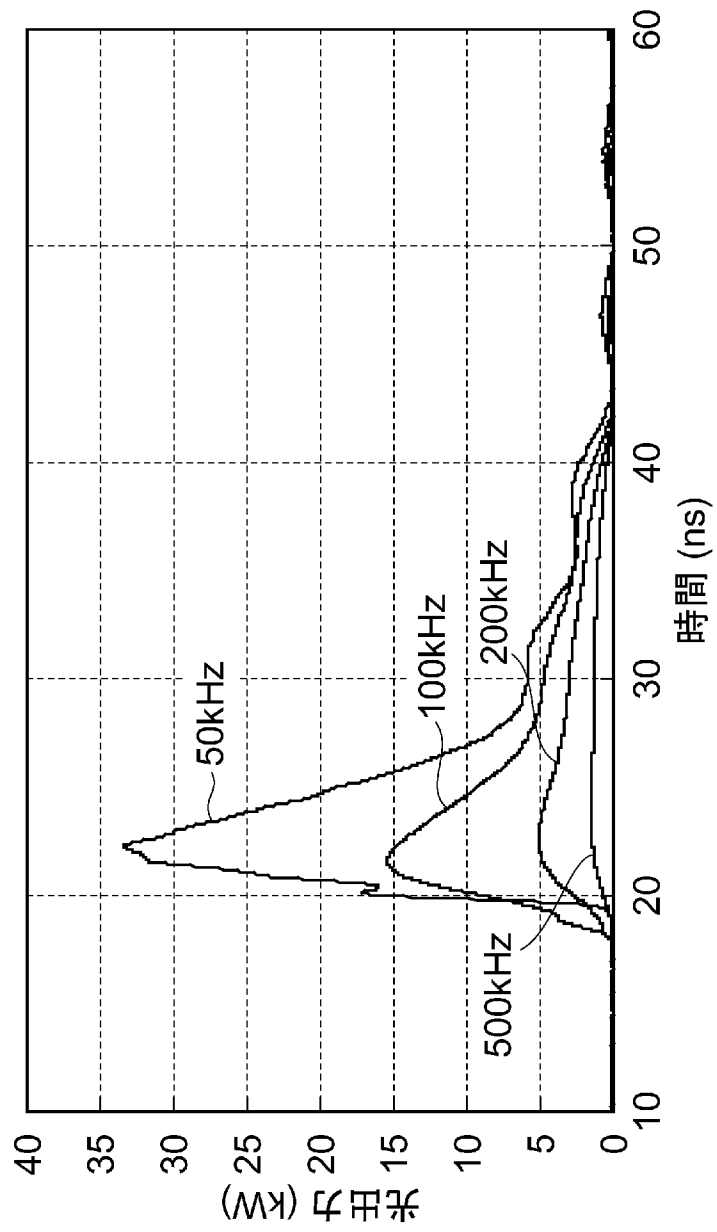
[図7]



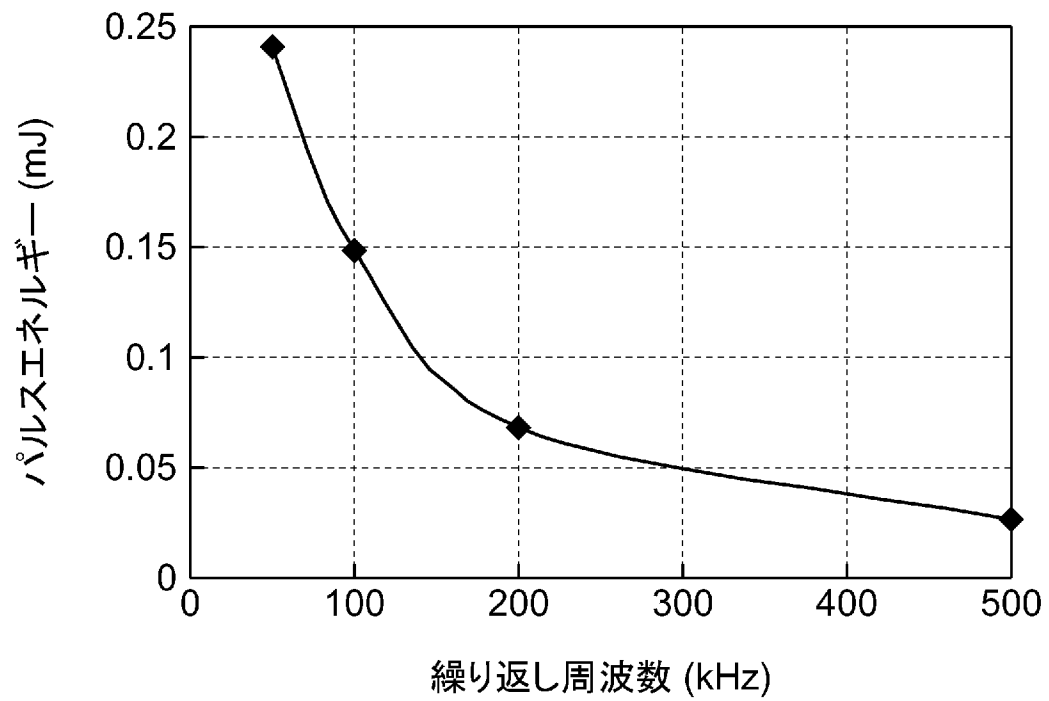
[図8]



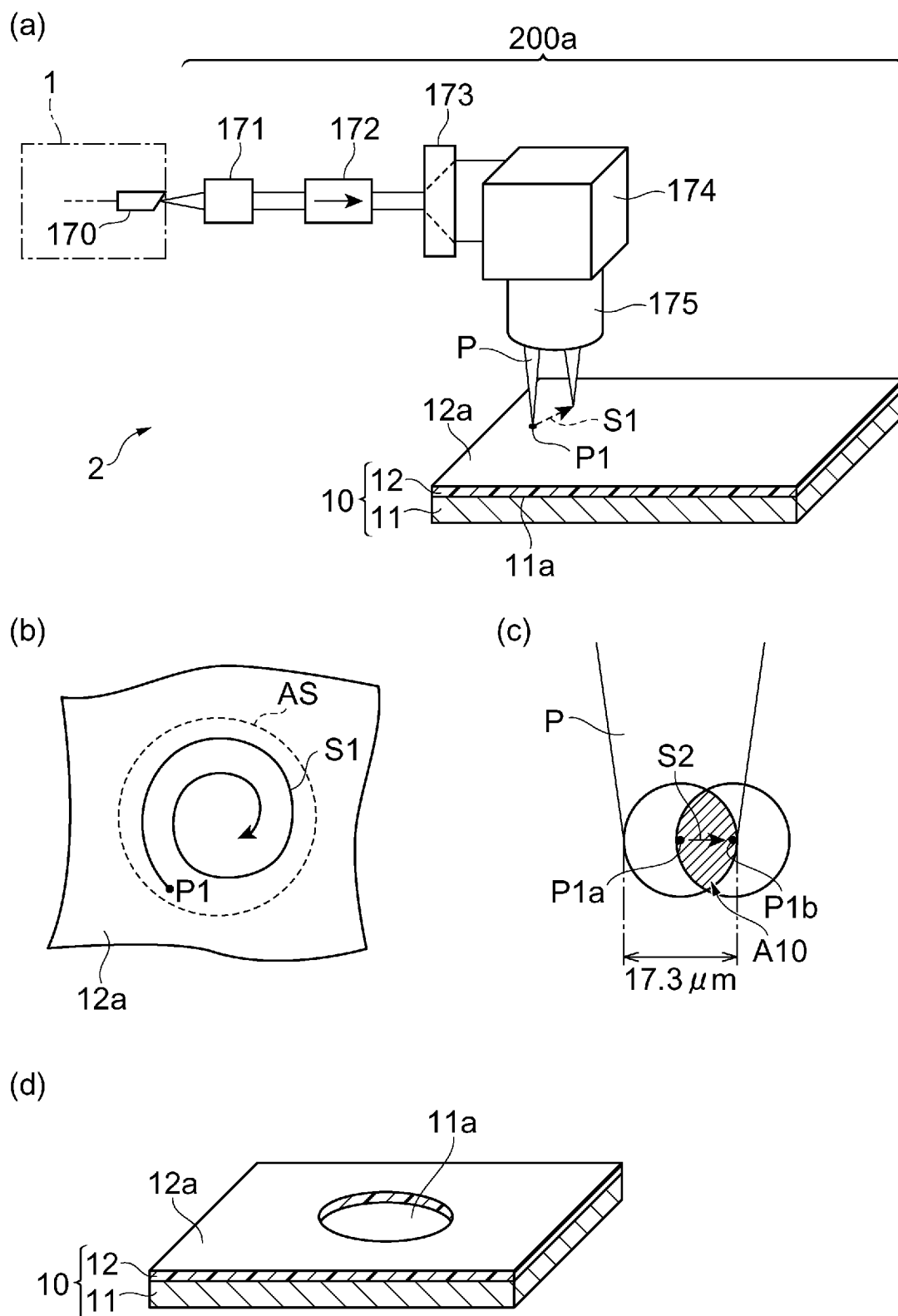
[図9]



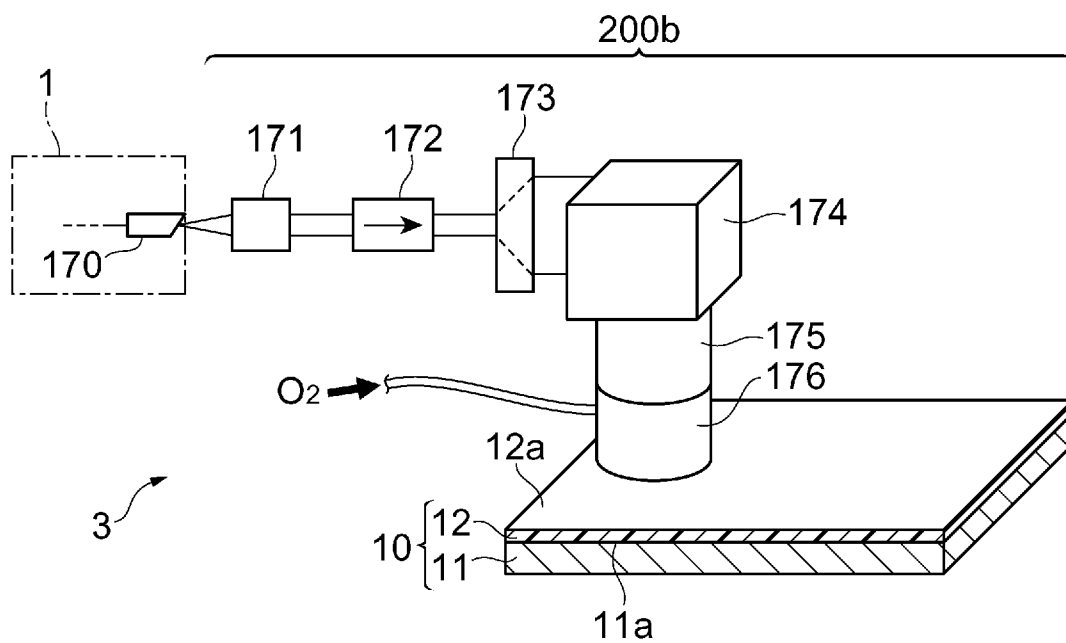
[図10]



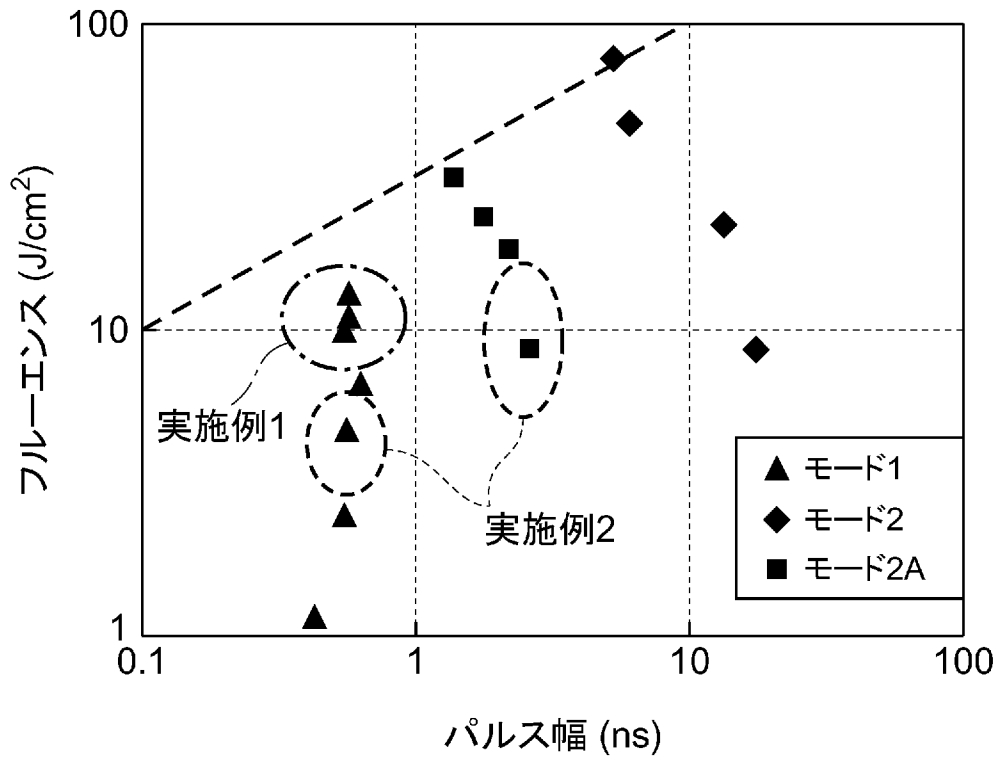
[図11]



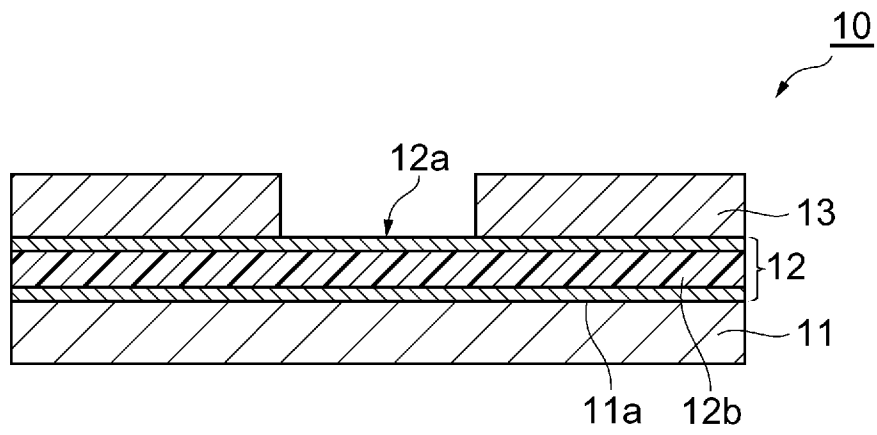
[図12]



[図13]

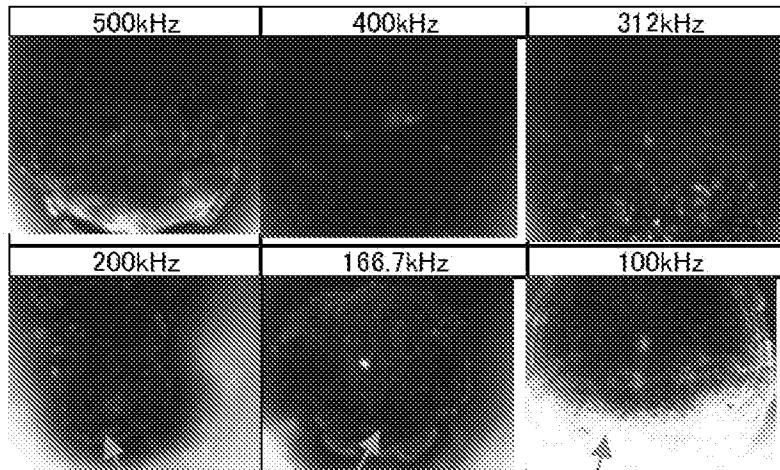


[図14]

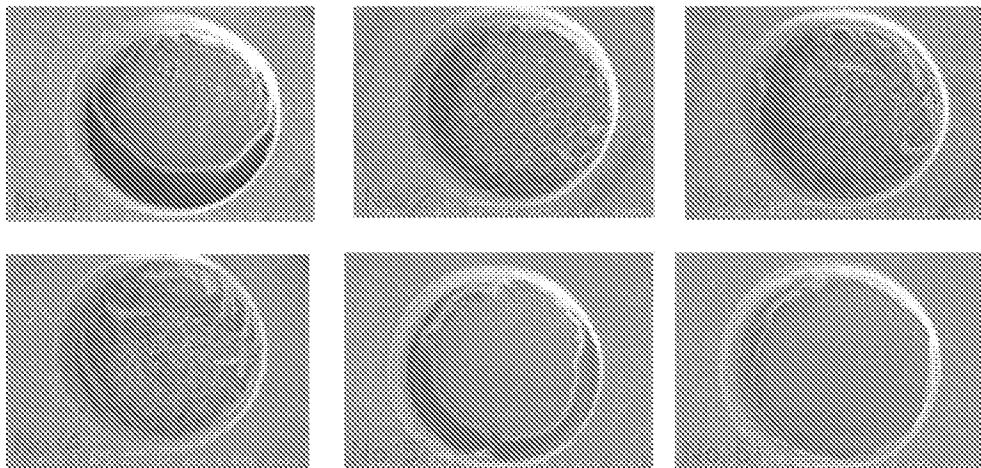


[図15]

(a)

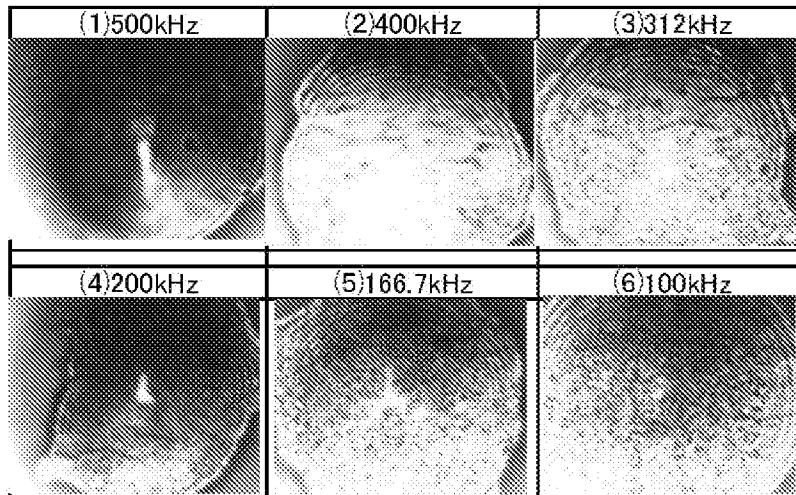


(b)

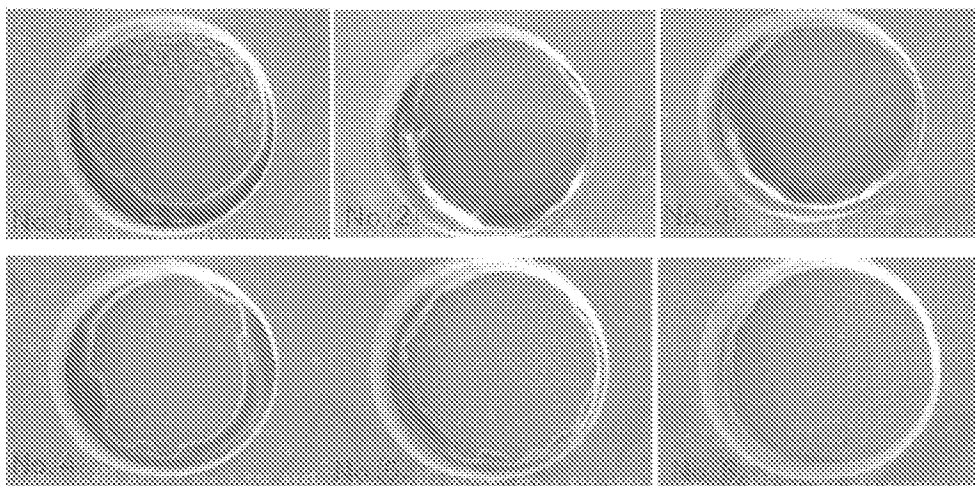


[図16]

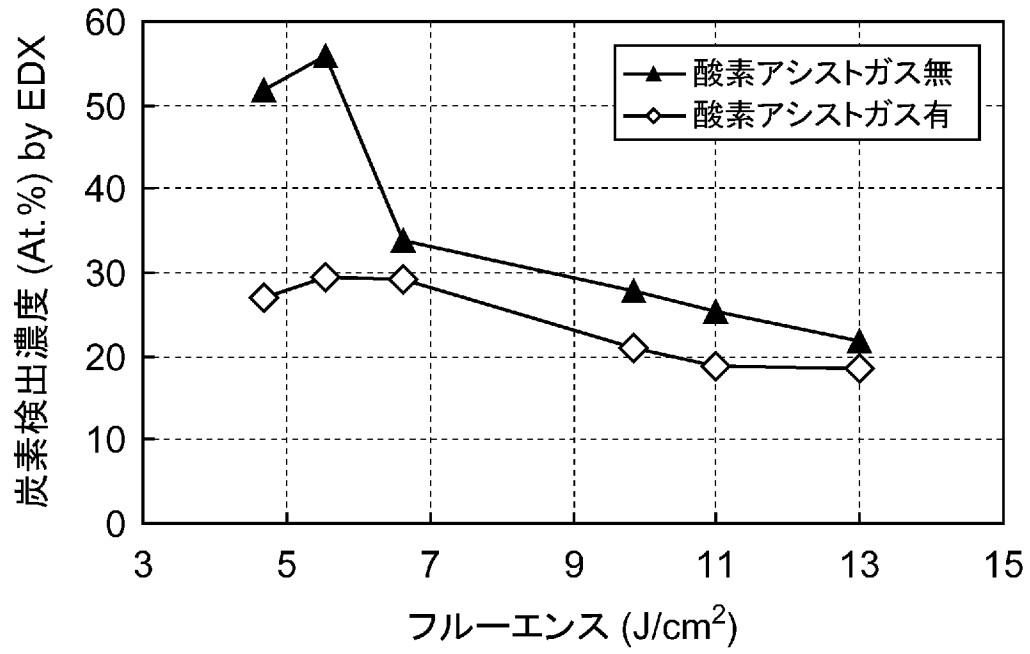
(a)



(b)

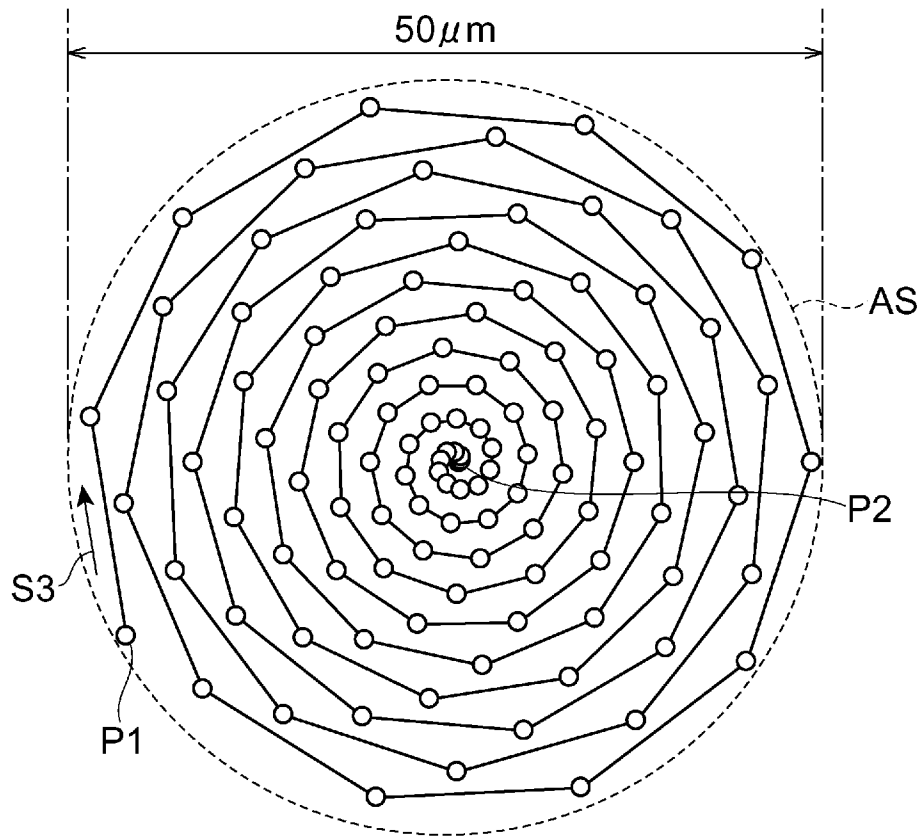


[図17]

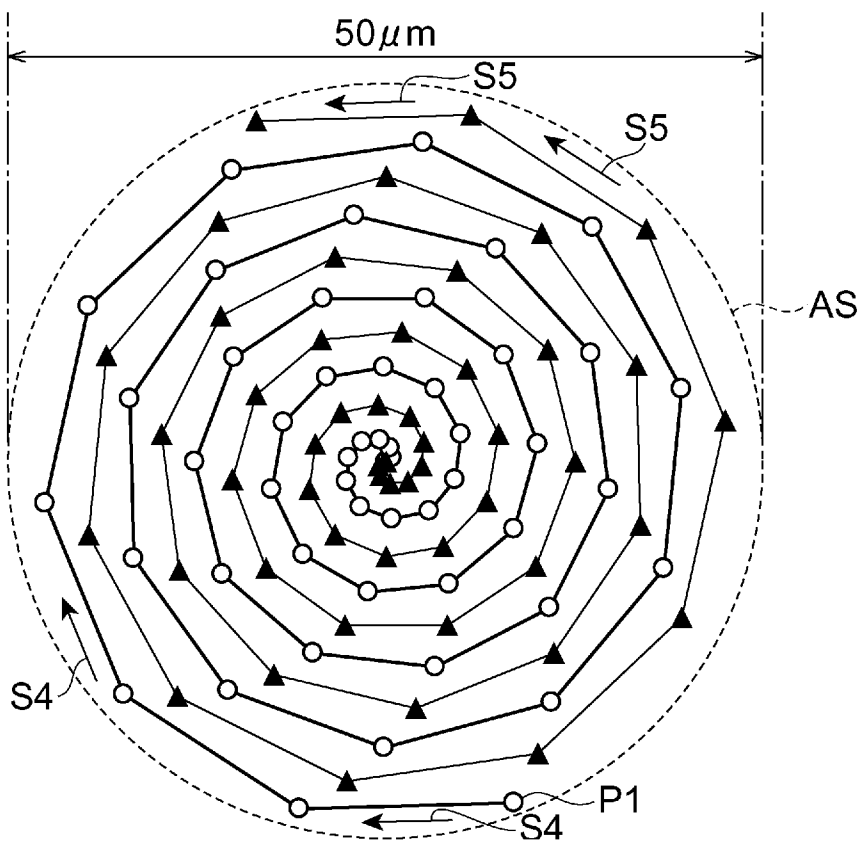


[圖18]

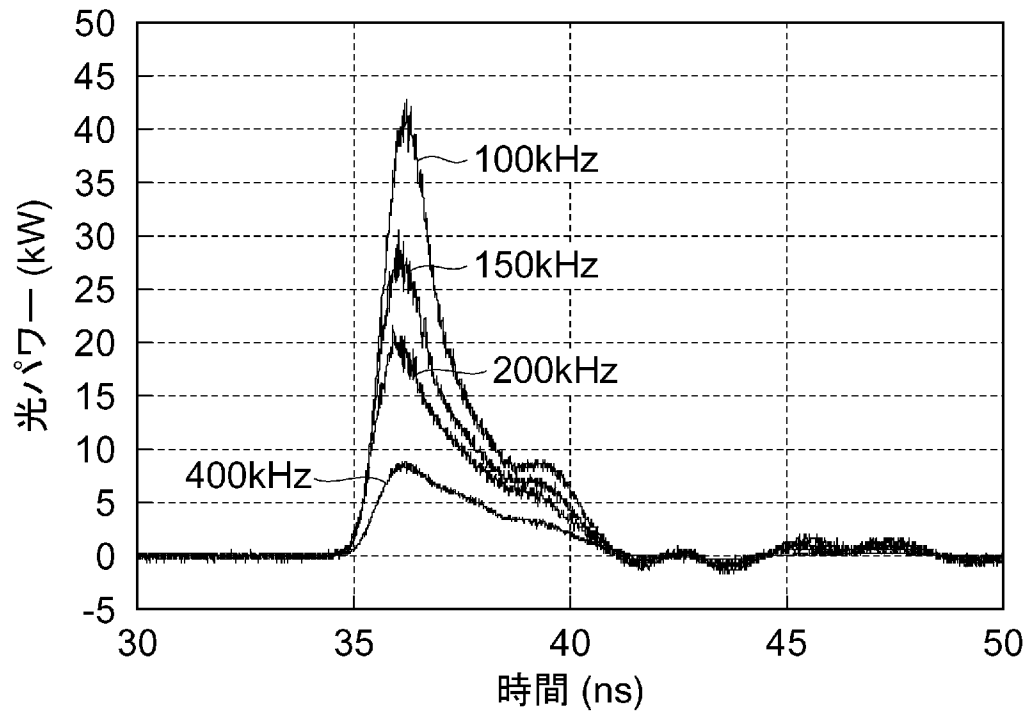
(a)



(b)



[図19]



[図20]

(a)

繰り返し周波数 (kHz)	パルス幅 (ns)	フルーエンス (J/cm ²)	最大照射強度 (GW/cm ²)	成功 実施例
2500	0.424	1.157387	2.653	—
1000	0.552	2.484903	4.730	—
500	0.560	4.698272	8.326	2
312.5	0.624	6.625539	11.177	—
200	0.552	9.865077	17.918	1
166.7	0.568	11.01054	19.644	1
100	0.576	12.99831	23.698	1

(b)

繰り返し周波数 (kHz)	パルス幅 (ns)	フルーエンス (J/cm ²)	最大照射強度 (GW/cm ²)	成功 実施例
500	17.7	8.585242	0.669	—
200	13.3	21.88287	2.167	—
100	6.0	47.34857	6.608	—
50	5.3	76.75919	14.222	—

(c)

繰り返し周波数 (kHz)	パルス幅 (ns)	フルーエンス (J/cm ²)	最大照射強度 (GW/cm ²)	成功 実施例
400	2.7	8.680917	3.747	2
200	2.2	18.28031	9.192	—
150	1.8	23.36472	13.010	—
100	1.4	31.33719	18.242	—

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/068240

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>B23K26/36(2006.01)i, B23K26/00(2006.01)i, H01S3/00(2006.01)i, H05K3/00(2006.01)i, B23K101/42(2006.01)n</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) <i>B23K26/36, B23K26/00, H01S3/00, H05K3/00, B23K101/42</i>										
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched										
<table border="0"> <tr> <td>Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1922-1996</td> <td>Jitsuyo Shinan Toroku Koho</td> <td>1996-2010</td> </tr> <tr> <td>Kokai Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1971-2010</td> <td>Toroku Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1994-2010</td> </tr> </table>			Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010	Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010
Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010							
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010							
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)										
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT										
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.								
A	JP 2002-035976 A (Sumitomo Heavy Industries, Ltd.), 05 February 2002 (05.02.2002), paragraphs [0008] to [0028]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-12								
A	JP 2008-211084 A (Toshiba Corp.), 11 September 2008 (11.09.2008), paragraphs [0009] to [0031]; fig. 1 to 5 (Family: none)	4-5,10-12								
A	JP 2003-001464 A (Nippei Toyama Corp.), 08 January 2003 (08.01.2003), paragraphs [0019] to [0034]; fig. 1 to 3 & US 2003/0000927 A1 & GB 2377664 A	10-12								
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input 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 "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 13 January, 2010 (13.01.10)		Date of mailing of the international search report 26 January, 2010 (26.01.10)								
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer								
Facsimile No.		Telephone No.								

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/068240

[1] The numerical definitions disclosed in claims 1-3, 7-8, 12 are considered to have no critical meaning.

[2] Claim 2 contains a phrase "the allowed level of the detected carbon concentration," which is an ambiguous expression and can be interpreted subjectively by the applicant.

[3] Claims 6, 9 contain a phrase "to such an extent that no film-shaped or island-shaped material remains," which is an ambiguous expression and can be interpreted subjectively by the applicant.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. B23K26/36(2006.01)i, B23K26/00(2006.01)i, H01S3/00(2006.01)i, H05K3/00(2006.01)i, B23K101/42(2006.01)n										
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. B23K26/36, B23K26/00, H01S3/00, H05K3/00, B23K101/42										
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 <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>1971-2010年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2010年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2010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	1971-2010年	日本国実用新案登録公報	1996-2010年	日本国登録実用新案公報	1994-2010年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2010年									
日本国実用新案登録公報	1996-2010年									
日本国登録実用新案公報	1994-2010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 請求項の番号								
A	JP 2002-035976 A (住友重機械工業株式会社) 2002.02.05, 段落【0008】-【0028】, 【図1】-【図4】 (ファミリーなし)	1-12								
A	JP 2008-211084 A (株式会社東芝) 2008.09.11, 段落【0009】-【0031】, 【図1】-【図5】 (ファミリーなし)	4-5, 10-12								
A	JP 2003-001464 A (株式会社日平トヤマ) 2003.01.08, 段落【0019】-【0034】, 【図1】-【図3】 & US 2003/0000927 A1 & GB 2377664 A	10-12								
<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」 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 13.01.2010	国際調査報告の発送日 26.01.2010									
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) 青木 正博 電話番号 03-3581-1101 内線 3364	3P 3935								

- (1) 請求項 1 - 3, 7 - 8, 12 に記載された数値限定は、その臨界的意義が見いだせない。
- (2) 請求項 2 に「炭素検出濃度の許容レベル」と記載されているが、当該記載は極めてあいまいな表現であり、出願人の主観によって判断されるとも解される。
- (3) 請求項 6, 9 に「膜状または島状に残らない程度」と記載されているが、当該記載は極めてあいまいな表現であり、出願人の主観によって判断されるとも解される。