(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016 年 9 月 15 日(15.09.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/143521 A1

(51) 国際特許分類:
B23K 26/324 (2014.01) *B23K 26/384* (2014.01)
B23K 26/0622 (2014.01) *B29C 65/16* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2016/055468

(22) 国際出願日: 2016 年 2 月 24 日(24.02.2016)

(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 2015-049390 2015 年 3 月 12 日(12.03.2015) JP

(71) 出願人: オムロン株式会社(OMRON CORPORATION) [JP/JP]; 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 Kyoto (JP).

(72) 発明者: 戸川　拓哉(TOGAWA Takuya); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地　オムロン株式会社内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人あーく特許事務所(ARC PATENT ATTORNEYS' OFFICE); 〒5300057 大阪府大阪市北区曽根崎１丁目１番２号 Osaka (JP).

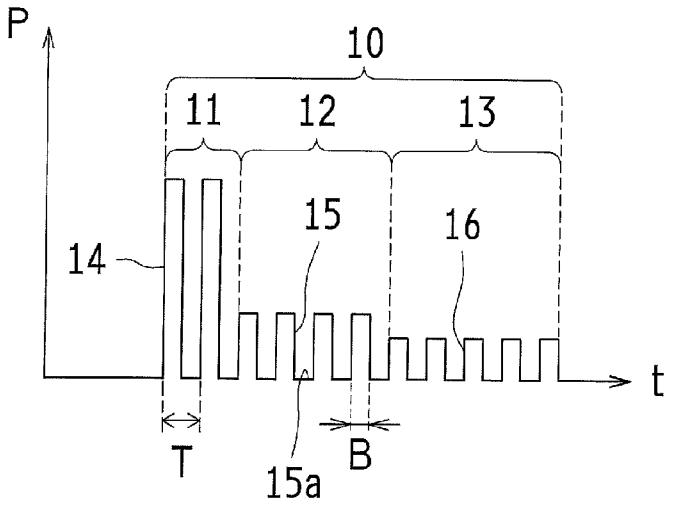
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, 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:
— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

(54) **Title**: METHOD FOR PRODUCING JOINING STRUCTURE, AND JOINING STRUCTURE

(54) 発明の名称 : 接合構造体の製造方法および接合構造体



(57) **Abstract**: A method involving a perforation step for preparing a laser-beam source capable of repeatedly oscillating a laser pulse group at a constant period, and by using the laser-beam source, forming a plurality of perforations (4) in the surface section of a metal member (2) constituting a joining surface to be joined to a resin member (3), and a joining step for joining the metal member (2) and the resin member (3) to one another by filling the plurality of perforations (4) with the resin member (3), wherein the laser pulse group is configured by combining a plurality of sub-pulse trains, the sub-pulse peak output of which differs from one another, in the time axis direction. As a result, it is possible to control the shape of the perforations (4) formed by the laser beam by efficiently using limited laser energy.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/143521 A1

レーザパルス群を一定周期で繰り返し発振可能なレーザ光源を用意し、樹脂部材（３）との接合面を構成する金属部材（２）の表面部に、レーザ光源を用いて複数の穿孔部（４）を形成する穿孔工程と、複数の穿孔部（４）に樹脂部材（３）を充填することにより、金属部材（２）と樹脂部材（３）とを接合する接合工程と、を含み、レーザパルス群は、サブパルスのピーク出力が互いに異なる複数のサブパルス列を、時間軸方向に組合せることで構成することで、制限されたレーザエネルギを効率的に用いて、レーザ光によって形成される穿孔部（４）の形状を制御する。

明　細　書

発明の名称 ： 接合構造体の製造方法および接合構造体

技術分野

[0001] 本発明は、接合構造体の製造方法および接合構造体に関するものである。

背景技術

[0002] 従来から、金属部材と樹脂部材とを接合させた接合構造体が知られている。このような接合構造体では、樹脂部材との接合面を構成する金属部材の表面部に、レーザ光を照射することで穿孔部を形成し、両者を接合する際に溶融または軟化した樹脂部材が穿孔部に充填されることで生じる所謂アンカー効果によって、接合強度を高めることが多い。それ故、接合強度をより一層高めるには、レーザ加工時に穿孔部の形状を制御して、アンカー効果を高めるような形状に形成することが有効となる。

[0003] ここで、接合構造体における穿孔部の形成を目的としたものではないが、例えば特許文献１には、ピアシング穴径を小さくし、スパッタ量を低減させることで、ピアシング時間を短縮するレーザ加工方法が開示されている。具体的には、この特許文献１のものは、第１のピアシング条件にてビームを照射する第１の工程と、第２のピアシング条件にてビームを照射する第３の工程との間に、ビーム照射およびアシストガス噴射を一旦停止させる第２の工程を設けることで、酸化燃焼反応を遮断して、過剰の酸化燃焼反応による穴径拡大を防止するようにしている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：日本国特開２０１２－０００６７８号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、金属部材の表面部に穿孔部を形成する際に、上記特許文献１のもののようにビーム照射を一旦停止しただけでは、穿孔部の孔径拡大を

抑えることができたとしても、穿孔部の形状を制御することは困難である。

[0006] そこで、複数のサブパルスから構成されるレーザパルスを照射する方式が、レーザエネルギを深さ方向に集中させ易いことに着目し、例えば、１パルスが同じピーク出力且つ同じパルス幅を有する複数本のサブパルスで構成されるレーザパルス（以下、レーザパルス群ともいう）を金属部材の表面に照射し、１つのレーザパルス群に含まれるサブパルスの本数を調整することで、穿孔部の形状を制御することが考えられる。

[0007] もっとも、金属材料の中には表面反射率が高いものや融点の高いものがあるところ、このような表面反射率や融点の高い金属材料における穿孔開始時には、金属溶融を開始させる（加工閾値を超える）ための高いピーク出力が必要となる。そして、１つのレーザパルス群のレーザエネルギ（サブパルスの時間積分値）にはレーザ光源の性能による制限があるため、ピーク出力の高いサブパルのみでレーザパルス群を構成すると、レーザパルス群に含まれるサブパルスの本数が減少し、穿孔部の形状を制御することが困難になるおそれがある。

[0008] 一方、穿孔部の形状の制御を優先してサブパルスの本数を増やすと、レーザエネルギの制限により、一本一本のサブパルスのピーク出力が低下するため、表面反射率や融点の高い金属材料に対しては、金属溶融を開始させることが困難になるおそれがある。

[0009] 本発明はかかる点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、接合構造体の製造方法および接合構造体において、制限されたレーザエネルギを効率的に用いて、レーザ光によって形成される穿孔部の形状を制御する技術を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0010] 前記目的を達成するため、本発明では、金属部材に照射されるレーザパルス群を、互いにパルス波形の異なる複数のサブパルス列を組み合わせることで構成するようにしている。

[0011] 具体的には、本発明は、金属部材と樹脂部材とが接合された接合構造体の

製造方法であって、各々複数のサブパルスで構成されるレーザパルス群を一定周期で繰り返し発振可能なレーザ光源を用意し、前記樹脂部材との接合面を構成する前記金属部材の表面部に、前記レーザ光源を用いて複数の穿孔部を形成する穿孔工程と、前記複数の穿孔部に前記樹脂部材を充填することにより、前記金属部材と当該樹脂部材とを接合する接合工程と、を含み、前記各レーザパルス群は、各々サブパルスで構成され且つサブパルスのピーク出力およびパルス幅の少なくとも一方が互いに異なる複数のサブパルス列を、時間軸方向に組合せることで構成されていることを特徴とするものである。

[0012] この構成によれば、互いに異なる複数のサブパルス列を組み合わせて、1つのレーザパルス群を構成することから、例えば、ピーク出力の高いサブパルスで構成されるサブパルス列と、ピーク出力の低いサブパルスで構成されるサブパルス列とを組み合わせたり、パルス幅の狭いサブパルスで構成されるサブパルス列と、パルス幅の広いサブパルスで構成されるサブパルス列とを組み合わせたりすることで、制限されたレーザエネルギを効率的に利用することができる。また、レーザエネルギを効率的に利用することで、複数の穿孔部を形成する際のレーザ加工速度を高めることが可能となる。

[0013] そうして、例えば、穿孔開始時にはピーク出力の高いサブパルスで構成されるサブパルス列を配置し、溶融開始後はピーク出力は低いが多数のサブパルスで構成されるサブパルス列を配置するといった具合に、穿孔部の加工段階に応じてサブパルス列を組み合わせてピーク出力やパルス幅やサブパルス本数を能動的に制御することにより、穿孔部の形状を制御することができる。

[0014] なお、サブパルスのピーク出力は、例えば、光増幅ファイバによってパルス光（シード光）を増幅する過程で、意図せず高くなったり低くなったりする場合があるが、本発明はこれとは異なり、穿孔部の形状を最適化するという意図のもとに、ピーク出力やパルス幅を「能動的」に制御するものである。

[0015] 前記接合構造体の製造方法において、前記レーザパルス群は、前記金属部

材の加工閾値以上のピーク出力および本数のサブパルスで構成される第１サブパルス列と、当該第１サブパルス列を構成するサブパルスよりもピーク出力が低く且つ本数が多いサブパルスで構成される第２サブパルス列と、を含み、これら第１サブパルス列および第２サブパルス列を時間軸方向にこの順で組み合わせたものであることが好ましい。

[0016] この構成によれば、穿孔開始時には、金属部材の加工閾値以上のピーク出力および本数（通常、ピーク出力が高く且つ少数）のサブパルスで構成される第１サブパルス列によって、表面反射ロスに抗しながら金属部材表面の溶融を開始させることができる。また、溶融開始後は、第１サブパルス列を構成するサブパルスよりもピーク出力が低く且つ本数の多いサブパルスで構成される第２サブパルス列によって、形成途中の穿孔部の深部で金属部材を溶融、蒸散させることにより、穿孔を深さ方向に進行させることができる。また、金属部材を溶融、蒸散させることにより生じた金属蒸散物が、穿孔部内で再凝固することにより穿孔部の孔壁に内側に突出する突出部を形成することができる。このようにして形成された突出部は、穿孔部に充填された樹脂部材に対して抜け出し抵抗となることから、剥離方向の接合強度の向上を図ることができる。

[0017] 前記接合構造体の製造方法において、前記第２サブパルス列を照射した際に、形成途中の前記穿孔部から飛散する金属蒸散物が、当該形成途中の穿孔部の孔壁に付着し再凝固することによって形成される、内側に突出する突出部の形状を制御するように、前記第２サブパルス列を構成するサブパルスのピーク出力を多段階に変化させることが好ましい。

[0018] サブパルスのピーク出力を変化させると、金属部材の融点や沸点への到達具合が変化することから、飛散距離の異なる金属蒸散物が生じることになる。それ故、この構成によれば、飛散距離を考慮してサブパルス列を構成するサブパルスのピーク出力を多段階に変化させることで、突出部の形状を最適化することが可能となる。

[0019] 前記接合構造体の製造方法において、前記穿孔工程では、１つの前記穿孔

部を、１つのレーザパルス群を照射することによって形成することが好ましい。

[0020] この構成によれば、単一ショット（１回のレーザパルス群の照射）で穿孔部を形成することができるので、接合構造体の製造時間を短縮することができる。

[0021] 前記接合構造体の製造方法において、前記穿孔工程では、１つの前記穿孔部を、サブパルス列の構成が異なる複数のレーザパルス群を照射することによって形成することが好ましい。

[0022] この構成によれば、例えば、１つ目のレーザパルス群を、相対的にピーク出力が高いサブパルス列と中間的なピーク出力のサブパルス列とによって構成するとともに、２つ目のレーザパルス群を、中間的なピーク出力のサブパルス列と相対的にピーク出力が低いサブパルス列とによって構成することで、２回のレーザパルス群の照射で形状が制御された穿孔部を形成するが可能となる。つまり、この構成によれば、１つのレーザパルス群のレーザエネルギでは所望の穿孔部を形成することが困難な場合でも、制限されたレーザエネルギを最大限に利用して穿孔部の形状を制御することが可能となる。

[0023] また、本発明は、金属部材と樹脂部材とが接合された接合構造体をも対象としている。

[0024] 具体的には、本発明は、金属部材と樹脂部材とが接合された接合構造体であって、前記樹脂部材との接合面を構成する前記金属部材の表面部には、各々サブパルスで構成され且つサブパルスのピーク出力およびパルス幅の少なくとも一方が互いに異なる複数のサブパルス列を、時間軸方向に組合せることで構成されたレーザパルス群を照射することにより、孔壁から内側に突出する突出部を有する穿孔部が形成されており、前記複数の穿孔部に前記樹脂部材が充填されていることを特徴とするものである。

[0025] この構成によれば、穿孔部の加工段階に応じてサブパルス列を組み合わせて、ピーク出力やパルス幅を能動的に制御することにより、制限されたレーザエネルギを効率的に用いて、突出部を有する穿孔部を形成することができ

るとともに、かかる穿孔部に溶融または軟化した樹脂部材を充填し固化させることで接合強度を高めることができる。

発明の効果

[0026] 以上、説明したように本発明に係るに接合構造体の製造方法および接合構造体によれば、制限されたレーザエネルギを効率的に用いて、レーザ光によって形成される穿孔部の形状を制御することができる。

図面の簡単な説明

[0027] [図1]本発明の実施形態に係る接合構造体における接合部を模式的に示す拡大断面図である。

[図2]レーザパルス群の時間的構成を模式的に示す図である。

[図3]ピーク出力の高いサブパルスで構成されるサブパルス列による加工状態を模式的に説明する図である。

[図4]中間的なピーク出力を有する多数のサブパルスで構成されるサブパルス列による加工状態を模式的に説明する図である。

[図5]レーザ光源を含むレーザ加工装置の構成図である。

[図6]パルスジェネレータおよびドライバの構成の一例を示す図である。

[図7]パルスジェネレータおよびドライバの動作を説明するための図である。

[図8]変形例１に係るレーザパルス群の時間的構成を模式的に示す図である。

[図9]レーザパルス群の繰り返し波形を模式的に示す図であり、図９（ａ）は実施形態に係るものであり、図９（ｂ）は変形例２に係るものである。

[図10]その他の実施形態に係るレーザパルス群の時間的構成を模式的に示す図である。

発明を実施するための形態

[0028] －接合構造体の全体構成－

以下、本発明を実施するための形態を図面に基づいて説明する。

[0029] 図１は、本実施形態に係る接合構造体１における接合部を模式的に示す拡大断面図である。この接合構造体１は、図１に示すように、金属部材２と樹脂部材３とが接合されたものである。接合構造体１における金属部材２と樹

脂部材３との接合界面を構成する金属部材２の表面部には、当該金属部材２の表面で開口する穿孔部４が形成されている。そうして、接合構造体１では、溶融または軟化した状態で穿孔部４に充填された樹脂部材３が、穿孔部４内で固化することで、金属部材２と樹脂部材３とが接合されている。なお、図１では、図を見易くするために、穿孔部４を１つだけ示しているが、実際には穿孔部４は複数形成されている。

[0030] 金属部材２を構成する金属材料の一例としては、鉄系金属、ステンレス系金属、銅系金属、アルミニウム系金属、マグネシウム系金属およびそれらの合金が挙げられる。また、金属部材２は、金属成型体であってもよく、亜鉛ダイカスト、アルミダイカスト、粉末冶金等であってもよい。

[0031] 一方、樹脂部材３を構成する樹脂は、熱可塑性樹脂または熱硬化性樹脂であることが好ましい。熱可塑性樹脂の一例としては、ＰＶＣ（ポリ塩化ビニル）、ＰＳ（ポリスチレン）、ＡＳ（アクリロニトリル・スチレン）、ＡＢＳ（アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン）、ＰＭＭＡ（ポリメチルメタクリレート）、ＰＥ（ポリエチレン）、ＰＰ（ポリプロピレン）、ＰＣ（ポリカーボネート）、ｍ－ＰＰＥ（変性ポリフェニレンエーテル）、ＰＡ６（ポリアミド６）、ＰＡ６６（ポリアミド６６）、ＰＯＭ（ポリアセタール）、ＰＥＴ（ポリエチレンテレフタレート）、ＰＢＴ（ポリブチレンテレフタレート）、ＰＳＦ（ポリサルホン）、ＰＡＲ（ポリアリレート）、ＰＥＩ（ポリエーテルイミド）、ＰＰＳ（ポリフェニレンサルファイド）、ＰＥＳ（ポリエーテルサルホン）、ＰＥＥＫ（ポリエーテルエーテルケトン）、ＰＡＩ（ポリアミドイミド）、ＬＣＰ（液晶ポリマー）、ＰＶＤＣ（ポリ塩化ビニリデン）、ＰＴＦＥ（ポリテトラフルオロエチレン）、ＰＣＴＦＥ（ポリクロロトリフルオロエチレン）およびＰＶＤＦ（ポリフッ化ビニリデン）が挙げられる。また、樹脂部材３は、ＴＰＥ（熱可塑性エラストマ）であってもよく、ＴＰＥの一例としては、ＴＰＯ（オレフィン系）、ＴＰＳ（スチレン系）、ＴＰＥＥ（エステル系）、ＴＰＵ（ウレタン系）、ＴＰＡ（ナイロン系）およびＴＰＶＣ（塩化ビニル系）が挙げられる。

[0032] また、熱硬化性樹脂の一例としては、ＥＰ（エポキシ）、ＰＵＲ（ポリウレタン）、ＵＦ（ユリアホルムアルデヒド）、ＭＦ（メラミンホルムアルデヒド）、ＰＦ（フェノールホルムアルデヒド）、ＵＰ（不飽和ポリエステル）およびＳＩ（シリコーン）が挙げられる。また、樹脂部材３は、ＦＲＰ（繊維強化プラスチック）であってもよい。

[0033] なお、熱可塑性樹脂および熱硬化性樹脂には、充填剤が添加されていてもよい。充填剤の一例としては、無機系充填剤（ガラス繊維、無機塩類等）、金属系充填剤、有機系充填剤および炭素繊維等が挙げられる。

[0034] －穿孔部－

穿孔部４は、金属部材２の表面で開口する、横断面略円形の非貫通孔であり、金属部材２の表面部に複数形成されている。この穿孔部４は、金属部材２の表面部に、後述するレーザ加工装置５０（図５参照）を用いてレーザ光（レーザパルス群）を照射することによって形成される。

[0035] 穿孔部４の開口径Ｒ１は、３０μｍ以上、１００μｍ以下が好ましい。これは、開口径Ｒ１が３０μｍ未満では、接合時に溶融または軟化した樹脂部材３の穿孔部４への充填性が悪化して接合強度が低下する場合があるからである。一方、開口径Ｒ１が１００μｍを超えると、単位面積あたりの穿孔部４の数が減少して所望の接合強度が得られない場合があるからである。

[0036] また、穿孔部４の間隔（或る穿孔部４の中心と、当該或る穿孔部４と隣接する穿孔部４の中心との距離）は、２００μｍ以下であることが好ましい。これは、穿孔部４の間隔が２００μｍを超えると、単位面積あたりの穿孔部４の数が減少して所望の接合強度が得られない場合があるからである。

[0037] さらに、穿孔部４の加工深さは、３０．０μｍを超えることが好ましい。これは、穿孔部４の加工深さが３０．０μｍ以下であると、樹脂部材３が穿孔部４に食い込むことで得られるアンカー効果が減少し、所望の接合強度が得られない場合があることに加え、後述する突出部５を形成することが実質的に困難となるからである。

[0038] この穿孔部４には、図１に示すように、開口部の近傍に孔壁６を内側に絞

ったような、換言すると、横断面略円形の穿孔部４の孔壁６の全周に亘って当該孔壁６から内側に突出する突出部５が形成されている。より詳しくは、穿孔部４の孔壁６は、深さ方向（Ｚ方向）において、表面側から奥側に行くほど内側に傾斜する第１壁部６ａと、第１壁部６ａの奥側の端部から奥側に行くほど拡径する第２壁部６ｂと、第２壁部６ｂの奥側の端部から奥側に行くほど縮径する第３壁部６ｃとが連なるように形成されていて、第１壁部６ａと第２壁部６ｂとが繋がる部分が突出部５を構成している。なお、図１における一点鎖線は、第２壁部６ｂと第３壁部６ｃとの区分を示す仮想線である。

[0039] このように、突出部５を穿孔部４に形成することにより、樹脂部材３を金属部材２から剥離するような力が作用した場合でも、穿孔部４に充填された樹脂部材３のうち突出部５よりも奥側の部位に対して、突出部５が抜け出し抵抗となることから、剥離方向の接合強度の向上を図ることができる。これにより、穿孔部４に樹脂部材３を充填することによるせん断方向の接合強度の向上に加え、剥離方向についても接合強度の向上を図ることができる。さらに、熱サイクル環境下において、金属部材２および樹脂部材３の線膨張係数差に起因する剥離応力が発生しても、接合強度を維持することができ、これにより、熱サイクル環境下における耐久性の向上を図ることができる。以下、このような突出部５を有する穿孔部４を形成するためのレーザ加工方法について説明する。

[0040] －レーザ加工方法－

図２は、レーザパルス群１０の時間的構成を模式的に示す図である。なお、図２の縦軸Ｐは出力を示し、横軸ｔは時間軸を示している。各穿孔部４は、図２に示すような、各々１周期がＴであるサブパルス１４，１５，１６によって構成されるレーザパルス群１０を、金属部材２の表面部に１回照射すること（単一ショット）によって形成される。それ故、図９（ａ）に示すように、レーザパルス群１０を一定周期で繰り返し照射することで、金属部材２の表面部に複数の穿孔部４を形成することが可能となっている。このよう

な１パルス（１つのレーザパルス群１０）が複数のサブパルス１４，１５，１６から構成されるレーザを照射する方式は、レーザエネルギを深さ方向（Ｚ軸方向）に集中させ易いので、穿孔部４を形成するのに好適である。

[0041] レーザの種類としては、ファイバレーザ、ＹＡＧレーザ、YVO_4レーザ、半導体レーザ、炭酸ガスレーザ、エキシマレーザ等を選択することができ、レーザの波長を考慮すると、ファイバレーザおよびＹＡＧレーザおよびYVO_4レーザの、それぞれの基本波並びに第２、第３および第４高調波、半導体レーザ等が好ましい。

[0042] また、サブパルス１４，１５，１６の１周期Ｔは１５ｎｓ以下であることが好ましい。これは、サブパルス１４，１５，１６の１周期Ｔが１５ｎｓを超えると、熱伝導によりエネルギが拡散し易くなり、突出部５を有する穿孔部４を形成し難くなるためである。なお、サブパルス１４，１５，１６の１周期Ｔは、サブパルス１４，１５，１６の１回分の照射時間と、そのサブパルス１４，１５，１６の照射が終了されてから次回のサブパルス１４，１５，１６の照射が開始されるまでの間隔との合計時間である。

[0043] また、レーザパルス群１０のサブパルス数は、２以上５０以下であることが好ましい。これは、サブパルス数が５０を超えると、サブパルス１４，１５，１６の単位あたりの出力が小さくなり、穿孔部４を形成し難くなるためである。

[0044] 各レーザパルス群１０は、図２に示すように、各々サブパルス１４，１５，１６で構成される３つのサブパルス列１１，１２，１３を、時間軸方向に組合せることで構成されている。そうして、１つのレーザパルス群１０を構成する３つのサブパルス列１１，１２，１３は、各サブパルス列１１，１２，１３を構成するサブパルス１４，１５，１６のピーク出力および本数が互いに異なるように設定されている。

[0045] 具体的には、レーザパルス群１０は、第１サブパルス列１１、第２サブパルス列１２および第３サブパルス列１３を、時間軸方向にこの順で組み合わせたものである。第１サブパルス列１１は、相対的にピーク出力が高い２本

のサブパルス１４によって構成されている。ここで、「相対的にピーク出力が高い」とは、２本のサブパルス１４によって金属部材２の加工閾値以上となるようなレーザエネルギを実現できるピーク出力をいう。また、第２サブパルス列１２は、第１サブパルス列１１を構成するサブパルス１４よりもピーク出力が低い（中間的な）４本のサブパルス１５によって構成されている。さらに、第３サブパルス列１３は、第２サブパルス列１２を構成するサブパルス１５よりもピーク出力が低い５本のサブパルス１６によって構成されている。なお、各サブパルス１４，１５，１６のパルス幅Ｂ（サブパルス１４，１５，１６の１回分の照射時間）は同じ値に設定されている。

[0046] 図３は、ピーク出力の高いサブパルスで構成されるサブパルス列による加工状態を模式的に説明する図である。レーザ加工では、照射されるレーザ光のエネルギが、各金属部材２に固有の加工閾値以上に強くなければ反応（溶融等）は起こらず、特に、表面反射率や融点の高い金属部材２における穿孔開始時には、金属溶融を開始させるための高いピーク出力が必要となる。逆に言えば、図３（ａ）に示すように、ピーク出力の高いサブパルスを用いれば、表面反射率や融点の高い金属部材２に対しても、図３（ｂ）に示すように、１つまたは少数（図３（ａ）では２本）のサブパルスで金属部材２の表面における加工閾値を超えることが可能となる。

[0047] この点、本実施形態では、図２に示すように、相対的にピーク出力の高いサブパルス１４で構成される第１サブパルス列１１を最初に配置していることから、表面反射率や融点の高い金属部材２に対しても、表面反射ロスに抗しながら金属部材２の表面部を溶融させることができる。また、１つのレーザパルス群１０のレーザエネルギ（サブパルスの時間積分値）にはレーザ光源５１（図５参照）の性能による制限があるが、ピーク出力は高いものの少数（２本）のサブパルス１４で第１サブパルス列１１を構成していることから、金属部材２の加工閾値以上となる範囲で第１サブパルス列１１全体のレーザエネルギを低く抑えることができる。したがって、残りのレーザエネルギを第２サブパルス列１２や第３サブパルス列１３において効率的に用いる

ことが可能となる。

[0048] そうして、相対的にピーク出力の高いサブパルス１４を金属部材２の表面に照射すると、図３（ｂ）に示すのと同様に、金属部材２の表面部に急激なアブレーション（材料の表面が蒸発によって分解する現象）が生じる。この際、膨張圧により溶融金属（金属蒸散物）７が、図３（ｂ）の破線矢印で示すように、レーザ光照射箇所の周辺部に飛び散ることで、穿孔の取っ掛かりとなる楔形状の加工穴８が形成される。

[0049] 図４は、中間的なピーク出力を有する多数のサブパルスで構成されるサブパルス列による加工状態を模式的に説明する図である。なお、「中間的なピーク出力」とは、加工閾値を超えるようなピーク出力よりも低いピーク出力を意味し、例えば、第１サブパルス列１１を構成するサブパルス１４のピーク出力を高いピーク出力とし、第３サブパルス列１３を構成するサブパルス１６のピーク出力を低いピーク出力とした場合における、これらの間のピーク出力を意味する。

[0050] 図４（ａ）に示すようなサブパルス列は、加工閾値を超えるようなピーク出力よりもピーク出力が低いものの、サブパルスの本数が多いことから、全体として高エネルギとなっている。それ故、中間的なピーク出力を有する多数のサブパルスで構成されるサブパルス列を金属部材２に照射すると、図４（ｂ）に示すように、金属部材２の表面部に緩やかなアブレーションが生じて、加工穴８の穴体積が増加するとともに、穿孔が深さ方向に進行することになる。

[0051] この点、本実施形態では、図２に示すように、中間的なピーク出力を有する４本のサブパルス１５によって構成される第２サブパルス列１２を、第１サブパルス列１１の次に配置していることから、第１サブパルス列１１によって楔形状に形成された溶融後の加工穴８に、換言すると、レーザ吸収率が増加した加工穴８に高エネルギのレーザ光が照射されることになるので、体積が大きく且つ深い穿孔部４を形成することが可能になる。

[0052] 具体的には、図４（ｂ）に示すのと同様に、中間的なピーク出力の多数の

サブパルス１５を加工穴８に照射すると、持続的なレーザ照射による熱拡散効果（図４（ｂ）の白抜き矢印参照）と、加工穴８（形成途中の穿孔部４）内でのレーザ光の繰り返し反射（図４（ｂ）の黒塗り矢印参照）とにより、加工穴８内表面の金属が溶融、蒸散する。これにより、形成途中の穿孔部４の体積が増加するとともに、穿孔が深さ方向に進行することになる。

[0053] その一方で、加工穴８内表面からの金属蒸散物７が、図４（ｂ）の破線矢印で示すように飛散し、形成途中の穿孔部４の開口部付近で再凝固することにより、穿孔部４の孔壁６に内側に突出する突出部５を形成することになる。

[0054] その後、相対的に低いピーク出力を有する５本のサブパルス１６によって構成される第３サブパルス列１３によって、金属部材２の表面部にさらに緩やかなアブレーションが生じて、穿孔部４の形状および深さが整えられることになる。

[0055] なお、サブパルス１４，１５，１６のピーク出力は、例えば、後述する光増幅ファイバ６１，７１によってパルス光（シード光）を増幅する過程で、意図せず高くなったり低くなったりする場合があるが、本発明はこれとは異なり、穿孔部４の形状を最適化するという意図のもとに、ピーク出力やパルス幅Ｂを「能動的」に制御するものである。そうして、意図しないピーク出力が高いサブパルスとピーク出力が低いサブパルスとが生じる場合には、これをフィードバックして、レーザパルス群１０の波形を「能動的」に制御することも可能である。

[0056] また、本実施形態では、同じピーク出力を有する４本のサブパルス１５によって第２サブパルス列１２を構成したが、より強固な突出部を実現するために突出部５の形状をより精密に制御するべく、サブパルス１５のピーク出力を多段階に変化させるようにしてもよい。より詳しくは、形成途中の穿孔部４内では、（１）レーザ光が集中的に照射される箇所での金属表面によるレーザ光の吸収、（２）金属表面の局所的温度上昇、（３）金属表面における金属の溶融、（４）金属の気化、というプロセスにより穿孔が進行し、気

化した金属蒸散物７等は、上述の如く、形成途中の穿孔部４内で再凝固して突出部５を形成する。このとき、サブパルス１５が繰り返されると、レーザ光が集中的に照射される箇所での金属表面の温度は、入熱により上昇する一方、入熱の一時的な停止（図２の符号１５ａ参照）による熱拡散により低下する。この温度サイクルは金属部材２の融点や沸点への到達具合に影響することになる。

[0057] 実際、例えばサブパルスの１周期Ｔが１５ｎｓの場合には、ステンレスの熱拡散長は０．５２μｍであり、銅の熱拡散長は２．６μｍである。また、例えば開口径Ｒ１が３０μｍの穿孔部４の場合には、レーザ光強度が高く集中的に穿孔が行われるのは１０μｍ程度の領域である。それ故、オーダ的に、サブパルス１５のピーク出力（入熱量）を変化させると、集中的に穿孔が行われる領域における金属部材２の融点や沸点への到達具合に影響が生じるため、飛散距離の異なる金属蒸散物７が生じることになる。したがって、飛散距離を考慮して第２サブパルス列１２を構成するサブパルス１５のピーク出力を制御することで、突出部５の形状をより精密に制御することが可能となる。

[0058] －レーザ加工装置－

上述したレーザパルス群を一定周期で繰り返し発振可能なレーザ加工装置の一例として、以下では、レーザ光源５１としてファイバレーザを用いたレーザ加工装置５０について説明する。

[0059] 図５は、レーザ光源５１を含むレーザ加工装置５０の構成図である。このレーザ加工装置５０は、レーザ光源５１と、レーザ光源５１を制御するための制御装置５２と、レーザ光源５１から発せられたレーザ光を、加工対象である金属部材２に向けて照射し、かつ金属部材２の表面上でレーザ光を走査するための走査光学系５３と、を備えている。なお、以下の説明中の「ＬＤ」は、半導体レーザを表わしている。

[0060] 本実施形態のレーザ光源５１は、発振方式がＭＯＰＡ（Master Oscillator Power Amplifier）方式のファイバレーザであ。ＭＯＰＡ方式とは、シード

光源からのシード光をアンプにより増幅する方式である。本実施形態では、シード光源として高速での変調が可能な半導体レーザ（ＬＤ）を利用するとともに、アンプとして光増幅ファイバを利用する。ＭＯＰＡ方式によって、高繰り返し時にも充分なピーク出力を得ることが可能になる。加えて、その繰り返し周波数に関わらず最適な出力を得ることができる。

[0061] 具体的には、レーザ光源５１は、光増幅ファイバ６１と、シードＬＤ６２と、アイソレータ６４と、励起ＬＤ６５と、結合器６６と、アイソレータ６７と、励起ＬＤ６９Ａ，６９Ｂ，６９Ｃ，６９Ｄと、結合器７０と、光増幅ファイバ７１と、アイソレータ７２と、エンドキャップ７３と、を有している。

[0062] 各光増幅ファイバ６１，７１は、光増幅成分である希土類元素が添加されたコア（図示せず）と、当該コアの周囲に設けられるクラッド（図示せず）と、を有している。コアに添加される希土類元素の種類は、特に限定されず、例えばＥｒ（エルビウム）、Ｙｂ（イッテルビウム）、Ｎｄ（ネオジム）等が挙げられる。

[0063] このレーザ加工装置５０では、光増幅ファイバ６１，７１のコアに含まれる希土類元素が励起光を吸収することによって、当該希土類元素が励起される。この状態においてシード光が光増幅ファイバ６１，７１のコアを伝播すると、励起された希土類元素による誘導放出が生じる。この誘導放出がシード光の光増幅として作用することでシード光が増幅される。なお、各光増幅ファイバ６１，７１は、コアの周囲に２層のクラッドが配置されたダブルクラッドファイバでも、クラッドが１層のみであるシングルクラッドファイバでもよい。なおシングルクラッドファイバの場合には、パルス光および励起光がともにコアに入射することによってパルス光の増幅が実現される。

[0064] シードＬＤ６２は、シード光を発する光源である。シードＬＤ６２は、制御装置５２の制御によりパルス発振して、パルス光をシード光として発する。なおシード光の波長は、例えば１０００ｎｍ以上１１００ｎｍ以下の範囲から選択された波長である。

[0065] シードＬＤ６２から出射されたシード光は、アイソレータ６４を通過する。アイソレータ６４は、シードＬＤ６２からのシード光を透過させるとともに光増幅ファイバ６１からの戻り光を遮断する。これによって光増幅ファイバ６１からの戻り光がシードＬＤ６２に入射するのを防ぐことができる。

[0066] 励起ＬＤ６５は、光増幅ファイバ６１のコアに添加された希土類元素を励起するための励起光を発する励起光源である。励起ＬＤ６５は、制御装置５２の制御により励起光を発する。

[0067] 結合器６６は、シードＬＤ６２からのシード光および励起ＬＤ６５からの励起光を光増幅ファイバ６１に入射させるために、シード光および励起光を結合する。シード光と励起光とが光増幅ファイバ６１に入射されることにより、シード光すなわち光増幅ファイバ６１に入射したパルス光が増幅される。

[0068] アイソレータ６７は、光増幅ファイバ６１によって増幅されて光増幅ファイバ６１から出射されたパルス光を通過させるとともに、光増幅ファイバ６１に戻る光を遮断する。

[0069] 励起ＬＤ６９Ａ，６９Ｂ，６９Ｃ，６９Ｄの各々は、制御装置５２の制御により、光増幅ファイバ７１のコアに含まれる希土類元素を励起するための励起光を発する。なお、図５では光増幅ファイバ７１に対応して４個の励起ＬＤ６９Ａ，６９Ｂ，６９Ｃ，６９Ｄが設けられているが、励起ＬＤの個数は特に限定されるものではない。

[0070] 結合器７０は、アイソレータ６７を通過したパルス光と、励起ＬＤ６９Ａ，６９Ｂ，６９Ｃ，６９Ｄからの励起光とを光増幅ファイバ７１に入射させるために、当該パルス光と励起光とを結合するためのものである。パルス光と励起光とが光増幅ファイバ７１に入射されることにより、光増幅ファイバ７１は、当該パルス光を増幅する。

[0071] アイソレータ７２は光増幅ファイバ７１から出射されたパルス光を通過させるとともに、光増幅ファイバ７１に戻る光を遮断する。エンドキャップ７３は、ピーク出力の高いパルス光が光ファイバから大気中に出射される際に

、光ファイバの端面と大気との境界面で生じるダメージを防止するために設けられている。

[0072] 一方、制御装置５２は、制御部８０と、パルスジェネレータ８１と、ドライバ８２，８３，８４Ａ，８４Ｂ，８４Ｃ，８４Ｄとを有している。

[0073] 制御部８０は、パルスジェネレータ８１およびドライバ８２，８３，８４Ａ，８４Ｂ，８４Ｃ，８４Ｄを統括的に制御することにより、レーザ光源５１の動作を制御する。制御部８０は、パーソナルコンピュータ（ＰＣ）５５を介して、金属部材２の加工に関する各種の情報を受けるとともに、その情報に基づいて、パルスジェネレータ８１およびドライバ８２，８３，８４Ａ，８４Ｂ，８４Ｃ，８４Ｄを制御する。制御部８０の機能の一つとしては、パルスジェネレータ８１およびドライバ８２，８３，８４Ａ，８４Ｂ，８４Ｃ，８４Ｄの各々の動作タイミングの制御が挙げられる。

[0074] パルスジェネレータ８１は、パルス信号を発生させるとともに、そのパルス信号をドライバ８２に送信する。ドライバ８２は、パルスジェネレータ８１からのパルス信号に応じて、シードＬＤ６２に供給する駆動電流を変調させる。シードＬＤ６２に供給される駆動電流が変調されることにより、シードＬＤ６２から発せられるシード光の強度波形は、パルスジェネレータ８１により発生したパルス信号の波形を反映したものとなる。

[0075] ドライバ８３は、制御部８０の指令に応答して、励起ＬＤ６５に駆動電流を供給する。これにより励起ＬＤ６５は励起光を発する。

[0076] ドライバ８４Ａ，８４Ｂ，８４Ｃ，８４Ｄは、励起ＬＤ６９Ａ，６９Ｂ，６９Ｃ，６９Ｄの各々に対応して設けられる。各ドライバは、制御部８０の指令に応答して、対応する励起ＬＤに駆動電流を供給する。これにより励起ＬＤ６９Ａ，６９Ｂ，６９Ｃ，６９Ｄの各々は励起光を発する。

[0077] なお、シードＬＤ６２、励起ＬＤ６９Ａ，６９Ｂ，６９Ｃ，６９Ｄ、アイソレータ６４，６７，７２等、ファイバレーザを構成する素子の特性は、温度に応じて変化し得る。したがって、これらの素子の温度を一定に保つための温度コントローラが制御装置５２に含まれていることが、より好ましい。

[0078] 走査光学系５３は、金属部材２の表面上でレーザ光源５１からの光を走査するためのものである。走査方向は１次元方向および２次元方向のいずれでもよい。図示しないが、走査光学系５３は、たとえばレーザ光源５１から出射されるレーザ光のビームの径を所定の大きさに調整するためのコリメータレンズ、および、コリメータレンズを通過した後のレーザ光を金属部材２の表面上で二次元方向に走査するための走査装置（例えばガルバノスキャナ）、その走査装置により走査されたレーザ光を集光するためのレンズ（例えばｆθレンズ）等により構成される。なお、走査装置に代えて、二次元方向に移動可能なステージ（図示せず）を用いて、ワークである金属部材２を移動させるようにしてもよい。

[0079] 以上のように構成されたレーザ加工装置５０では、シードＬＤ６２に供給されるパルス電流を制御することによって、シードＬＤ６２から発せられるパルス光の繰り返し周波数、ピーク出力、パルス幅等の各種パラメータを互いに独立に変更できる。そのパルス光が光増幅ファイバ６１，７１により増幅されるので、レーザ光源５１から出射されるレーザパルス群１０の繰り返し周波数、サブパルス列１１，１２，１３を構成するサブパルス１４，１５，１６のピーク出力、パルス幅Ｂ、本数等の各種パラメータを互いに独立に変更することができることになる。

[0080] また、ファイバレーザ（光増幅ファイバ７１）から出射されるレーザ光の波長は、実質的に、シード光の波長と同じであり、たとえば１０００ｎｍ以上１１００ｎｍ以下の範囲から選択された波長となる。

[0081] さらに、パルス幅Ｂが広いサブパルス１４，１５，１６を照射するには、シード光のパルス幅を長くする必要があるが、この場合には、ドライバ８２からシードＬＤ６２に供給されるパルス電流のパルス幅を長くすることによって、シード光のパルス幅を長くすることができる。

[0082] ［シードＬＤの制御回路の構成例］

本実施形態では、パルスジェネレータ８１およびドライバ８２によりシードＬＤ６２が制御される。具体的には、ドライバ８２は、パルスジェネレー

タ８１からの信号に基づいて、シードＬＤ６２に与える駆動電流を変調する。これにより、図２に示すレーザパルス群１０が実現される。このような制御を実現可能なパルスジェネレータ８１およびドライバ８２の構成例を以下に説明する。

[0083] 図６は、パルスジェネレータ８１およびドライバ８２の構成の一例を示す図である。パルスジェネレータ８１は、記憶部９１と、ＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）９２と、Ｄ／Ａコンバータ９３とを有している。ドライバ８２は、アンプ９４と、トランジスタ９５と、抵抗９６とを有している。

[0084] 記憶部９１は、波形データを不揮発的に記憶する。ＦＰＧＡ９２はデジタル信号発生器であり、記憶部９１から読み出した波形データをデジタルデータとして出力する。ＦＰＧＡ９２は、制御部８０からの動作信号を受けると、記憶部９１から波形データを読み出すとともに、その波形データに基づいてクロック信号ＤＡＣ＿ｃｌｋと、データ信号ＤＡＣ＿ｄａｔａ（デジタルデータ）とを出力する。ＦＰＧＡ９２は、制御部８０からの停止信号に応じてその動作を停止する。

[0085] Ｄ／Ａコンバータ９３は、クロック信号ＤＡＣ＿ｃｌｋと、データ信号ＤＡＣ＿ｄａｔａとを受けて、データ信号ＤＡＣ＿ｄａｔａにより示されるデジタルデータをアナログデータに変換する。Ｄ／Ａコンバータ９３は、高速の信号処理に適したＤ／Ａコンバータ（高速Ｄ／Ａコンバータ）であることが好ましい。

[0086] アンプ９４は、Ｄ／Ａコンバータ９３からのアナログ信号である電流Ｉｄａｃをトランジスタ９５の制御に必要な信号に変換する。トランジスタ９５の制御電極には、アンプ９４から出力された信号に対応する電圧V_{LD}が与えられる。

[0087] トランジスタ９５が電圧V_{LD}に応じて導通するとシードＬＤ６２に駆動電流I_{LD}が流れる。駆動電流I_{LD}が閾値電流より大きくなるとシードＬＤ６２がレーザ発振してシードＬＤ６２からシード光が発せられる。電圧V_{LD}によってト

ランジスタ９５に流れる電流が制御されるので駆動電流I_{LD}の強度が制御される。これによりシード光の強度が制御される。

[0088] なお、記憶部９１は複数の波形データを保存することが望ましい。さらに、ＦＰＧＡ９２は、記憶部９１に含まれる複数の波形データの中から、用途に応じたデータを選択できることが好ましい。また、図６に示した構成では、ＦＰＧＡ９２によってデジタル信号発生器が実現される。ただし、デジタル信号発生器には、マイクロプロセッサやＡＳＩＣ（Application Specific Integrated Circuit）などを用いてもよい。

[0089] 図７は、図６に示した構成を有するパルスジェネレータ８１およびドライバ８２の動作を説明するための図である。図７（ａ）に示すように、Ｄ／Ａコンバータ９３は、クロック信号ＤＡＣ＿ｃｌｋの立ち上がりおよび立下りに応じて、データ信号ＤＡＣ＿ｄａｔａが示すデジタルデータを読み込み、その読み込んだデジタルデータをアナログデータに変換する。入力値ａ，ｂ，ｃのある値（たとえばａ）とその次の値（たとえばｂ）との間には、入力値として０が挟まれる。

[0090] 図７（ｂ）に示すように、Ｄ／Ａコンバータ９３への入力値ａ，ｂ，ｃは、ａからｃの順に小さくなる。この入力値に基づいてＤ／Ａコンバータ９３、アンプ９４およびトランジスタ９５が動作し、駆動電流I_{LD}をシードＬＤ６２に供給することで、図２に示すレーザパルス群１０を実現することができる。

[0091] －接合構造体の製造方法－

次に、上記レーザ加工装置５０を用いた本実施形態に係る接合構造体１の製造方法について説明する。

[0092] 先ず、レーザ加工装置５０を用いて、図２に示すレーザパルス群１０を、金属部材２の表面に照射して、図３（ｂ）に示すのと同様に、穿孔の取っ掛かりとなる楔形状の加工穴８するとともに、図４（ｂ）に示すのと同様に、突出部５を形成しながら穿孔部４を形成する（穿孔工程）。

[0093] その後、例えば、金属部材２と樹脂部材３とを重ねた状態で金属部材２の

表面にレーザ光を照射して樹脂部材３を溶融または軟化させたり（レーザ照射）、金属部材２を金型（図示せず）にセットして溶融した樹脂部材３を射出したり（射出成型）することにより、樹脂部材３を穿孔部４に充填する。なお、金属部材２と樹脂部材３とは熱プレスによって接合してもよい。そうして、穿孔部４に充填された樹脂部材３が、穿孔部４内で固化することによって、金属部材２と樹脂部材３とが接合され、図１に示すような接合構造体１が形成される。

[0094] －変形例－

次に、上記実施形態に係る接合構造体１の製造方法の変形例について説明する。

[0095] ［変形例１］

図８は、本変形例に係るレーザパルス群２０の時間的構成を模式的に示す図である。上記実施形態では、各サブパルス１４，１５，１６のパルス幅Ｂを同じ値に設定したが、本変形例では、第１サブパルス列２１および第２サブパルス列２２を構成するサブパルス２４，２５のパルス幅ｂ（サブパルス２４，２５の１回分の照射時間）を、第３サブパルス列２３を構成するサブパルス２６のパルス幅Ｂよりも狭く設定している。

[0096] 具体的には、レーザパルス群２０は、図８に示すように、第１サブパルス列２１、第２サブパルス列２２および第３サブパルス列２３を、時間軸方向にこの順で組み合わせたものである。第１サブパルス列２１は、相対的にピーク出力が高く且つ相対的にパルス幅ｂが狭い２本のサブパルス２４によって構成されている。第２サブパルス列２２は、サブパルス２４よりもピーク出力が低く且つサブパルス２４と同じパルス幅ｂの４本のサブパルス２５によって構成されている。第３サブパルス列２３は、サブパルス２５よりもピーク出力が低く且つサブパルス２４，２５のパルス幅ｂよりもパルス幅Ｂの広い５本のサブパルス２６によって構成されている。なお、サブパルス２４，２５，２６の１周期Ｔは、サブパルス１４，１５，１６の１周期Ｔと同じである。

[0097] このように、サブパルス２４，２５のパルス幅ｂを狭くすることで、第１サブパルス列２１については、第１サブパルス列２１全体のレーザエネルギ（サブパルス２４の時間積分値）を変えずに、サブパルス１４よりも高いピーク出力を有するサブパルス２４を実現することができる。これにより、表面反射率や融点のより高い金属部材２に対しても、レーザエネルギを増やすことなく、金属溶融を開始させることができる。

[0098] 一方、第２サブパルス列２２については、ピーク出力およびサブパルス２５の本数の制御に加え、入熱が一時的に停止する期間（図８の符号２５ａ参照）を増やす制御を加えることで、金属蒸散物７の状態をさらに細かく制御することが可能になる。

[0099] ［変形例２］

図９は、レーザパルス群１０，４０，４３の繰り返し波形を模式的に示す図であり、図９（ａ）は実施形態に係るものであり、図９（ｂ）は変形例２に係るものである。上記実施形態では、図９（ａ）に示すように、同じレーザパルス群１０を一定周期で繰り返し、１つの穿孔部４を単一ショットによって形成することで、金属部材２の表面部に複数の穿孔部４を形成するようにした。これに対し、本変形例では、図９（ｂ）に示すように、異なる２つのレーザパルス群４０，４３を一定周期で繰り返し、１つの穿孔部４を異なる２つのレーザパルス群４０，４３によって形成するようにしている。

[0100] 具体的には、第１のレーザパルス群４０を、相対的にピーク出力が高いサブパルス４６で構成される第１サブパルス列４１と、中間的なピーク出力のサブパルス４７で構成される第２サブパルス列４２と、を時間軸方向にこの順で組み合わせることで構成している。また、第２のレーザパルス群４３を、サブパルス４７で構成される第１サブパルス列４４と、相対的にピーク出力が低いサブパルス４８で構成される第２サブパルス列４５と、を時間軸方向にこの順で組み合わせることで構成している。そうして、金属部材２の表面に第１のレーザパルス群４０を照射した後、同じ位置に第２のレーザパルス群４３を続けて照射することで１つの穿孔部４を形成し、これを金属部材

２の表面における位置を変えながら複数回繰り返すことで複数の穿孔部４を形成する。

[0101] この変形例によれば、１つのレーザパルス群のレーザエネルギでは穿孔部４を形成することが困難な場合でも、制限されたレーザエネルギを最大限に利用して穿孔部４の形状を制御することが可能となる。

[0102] なお、図９（ｂ）に示す繰り返し波形とは異なり、金属部材２の表面における複数の位置（穿孔部４の形成予定位置）に、第１のレーザパルス群４０のみを一定周期で繰り返して照射した後、第１のレーザパルス群４０が照射された複数の位置に、第２のレーザパルス群４３のみを一定周期で繰り返して照射することにより、穿孔部４を形成するようにしてもよい。

[0103] （その他の実施形態）

本発明は、実施形態に限定されず、その精神または主要な特徴から逸脱することなく他の色々な形で実施することができる。

[0104] 上記実施形態では、サブパルス１４を２本とし、サブパルス１５を４本とし、サブパルス１６を５本としたが、これは例示であり、これに限らず、例えば金属部材２の材種や形成する穿孔部４の形状等に応じてサブパルス１４，１５，１６の本数を適宜決定してもよい。

[0105] 上記実施形態では、各サブパルス列１１，１２，１３を、ピーク出力およびパルス幅Ｂを同じくする複数のサブパルス１４，１５，１６で構成したが、これに限らず、１つのサブパルス列を、ピーク出力またはパルス幅Ｂが異なる複数のサブパルスで構成するようにしてもよい。具体的には、図１０に示すように、ピーク出力の異なる２本のサブパルス３４で構成される第１サブパルス列３１と、ピーク出力の異なる４本のサブパルス３５で構成される第２サブパルス列３２と、ピーク出力の異なる５本のサブパルス３６で構成される第３サブパルス列３３とを組み合わせて、ピーク出力が段階的ではなく、連続的に近い形で変化するレーザパルス群３０を設定するようにしてもよい。

[0106] このように、上述の実施形態はあらゆる点で単なる例示に過ぎず、限定的

に解釈してはならない。さらに、特許請求の範囲の均等範囲に属する変形や変更は、全て本発明の範囲内のものである。この出願は、日本特許出願の特願２０１５－０４９３９０号に基づく優先権を請求する。これに言及することにより、その全ての内容は本出願に組み込まれるものである。

産業上の利用可能性

[0107] 本発明によると、制限されたレーザエネルギを効率的に用いて、レーザ光によって形成される穿孔部の形状を制御することができるので、接合構造体の製造方法および接合構造体に適用して極めて有益である。

符号の説明

[0108] １　接合構造体

２　金属部材

３　樹脂部材

４　穿孔部

５　突出部

６　孔壁

７　金属蒸散物

１０，２０，３０，４０，４３　レーザパルス群

１１，２１，３１，４１，４４　第１サブパルス列

１２，２２，３２，４２，４５　第２サブパルス列

１３，２３，３３　第３サブパルス列

１４，１５，１６，２４，２５，２６，３４，３５，３６，４６，４７，４８　サブパルス

５１　レーザ光源

請求の範囲

[請求項1] 金属部材と樹脂部材とが接合された接合構造体の製造方法であって、

各々複数のサブパルスで構成されるレーザパルス群を一定周期で繰り返し発振可能なレーザ光源を用意し、

前記樹脂部材との接合面を構成する前記金属部材の表面部に、前記レーザ光源を用いて複数の穿孔部を形成する穿孔工程と、

前記複数の穿孔部に前記樹脂部材を充填することにより、前記金属部材と当該樹脂部材とを接合する接合工程と、を含み、

前記各レーザパルス群は、各々サブパルスで構成され且つサブパルスのピーク出力およびパルス幅の少なくとも一方が互いに異なる複数のサブパルス列を、時間軸方向に組合せることで構成されていることを特徴とする接合構造体の製造方法。

[請求項2] 請求項１に記載の接合構造体の製造方法において、

前記レーザパルス群は、前記金属部材の加工閾値以上のピーク出力および本数のサブパルスで構成される第１サブパルス列と、当該第１サブパルス列を構成するサブパルスよりもピーク出力が低く且つ本数が多いサブパルスで構成される第２サブパルス列と、を含み、これら第１サブパルス列および第２サブパルス列を時間軸方向にこの順で組み合わせたものであることを特徴とする接合構造体の製造方法。

[請求項3] 請求項２に記載の接合構造体の製造方法において、

前記第２サブパルス列を照射した際に、形成途中の前記穿孔部から飛散する金属蒸散物が、当該形成途中の穿孔部の孔壁に付着し再凝固することによって形成される、内側に突出する突出部の形状を制御するように、前記第２サブパルス列を構成するサブパルスのピーク出力を多段階に変化させることを特徴とする接合構造体の製造方法。

[請求項4] 請求項１～３のいずれか１つに記載の接合構造体の製造方法において、

前記穿孔工程では、１つの前記穿孔部を、１つのレーザパルス群を照射することによって形成することを特徴とする接合構造体の製造方法。

[請求項5] 請求項１に記載の接合構造体の製造方法において、

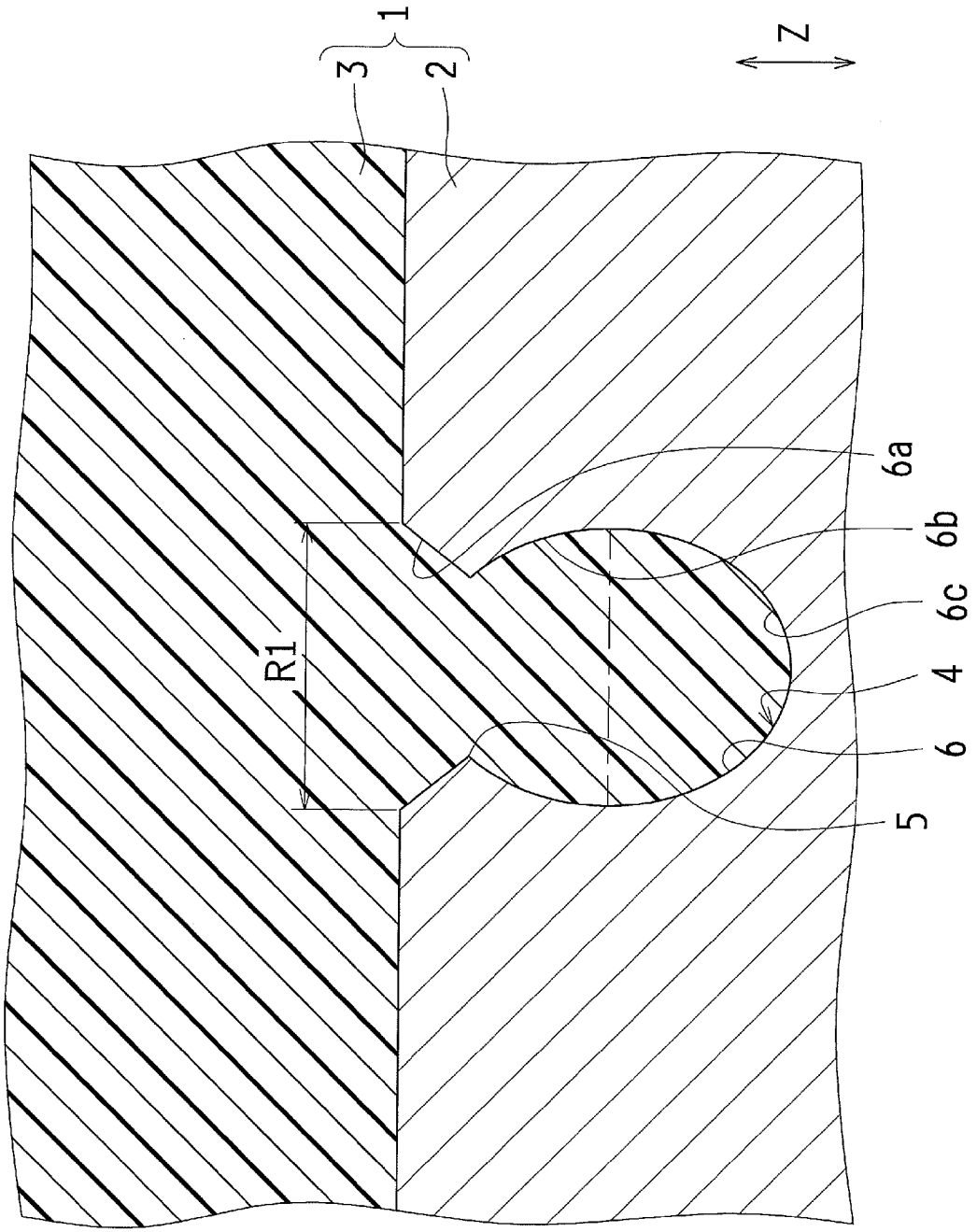
前記穿孔工程では、１つの前記穿孔部を、サブパルス列の構成が異なる複数のレーザパルス群を照射することによって形成することを特徴とする接合構造体の製造方法。

[請求項6] 金属部材と樹脂部材とが接合された接合構造体であって、

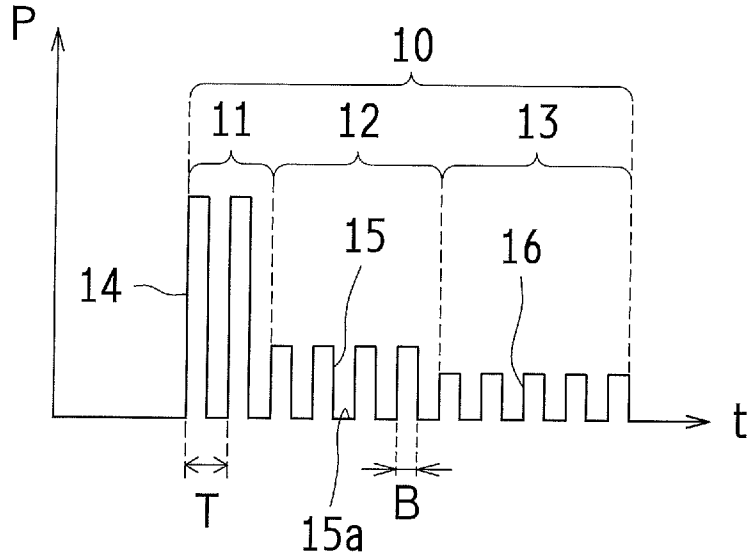
前記樹脂部材との接合面を構成する前記金属部材の表面部には、各々サブパルスで構成され且つサブパルスのピーク出力およびパルス幅の少なくとも一方が互いに異なる複数のサブパルス列を、時間軸方向に組合せることで構成されたレーザパルス群を照射することにより、孔壁から内側に突出する突出部を有する穿孔部が形成されており、

前記複数の穿孔部に前記樹脂部材が充填されていることを特徴とする接合構造体。

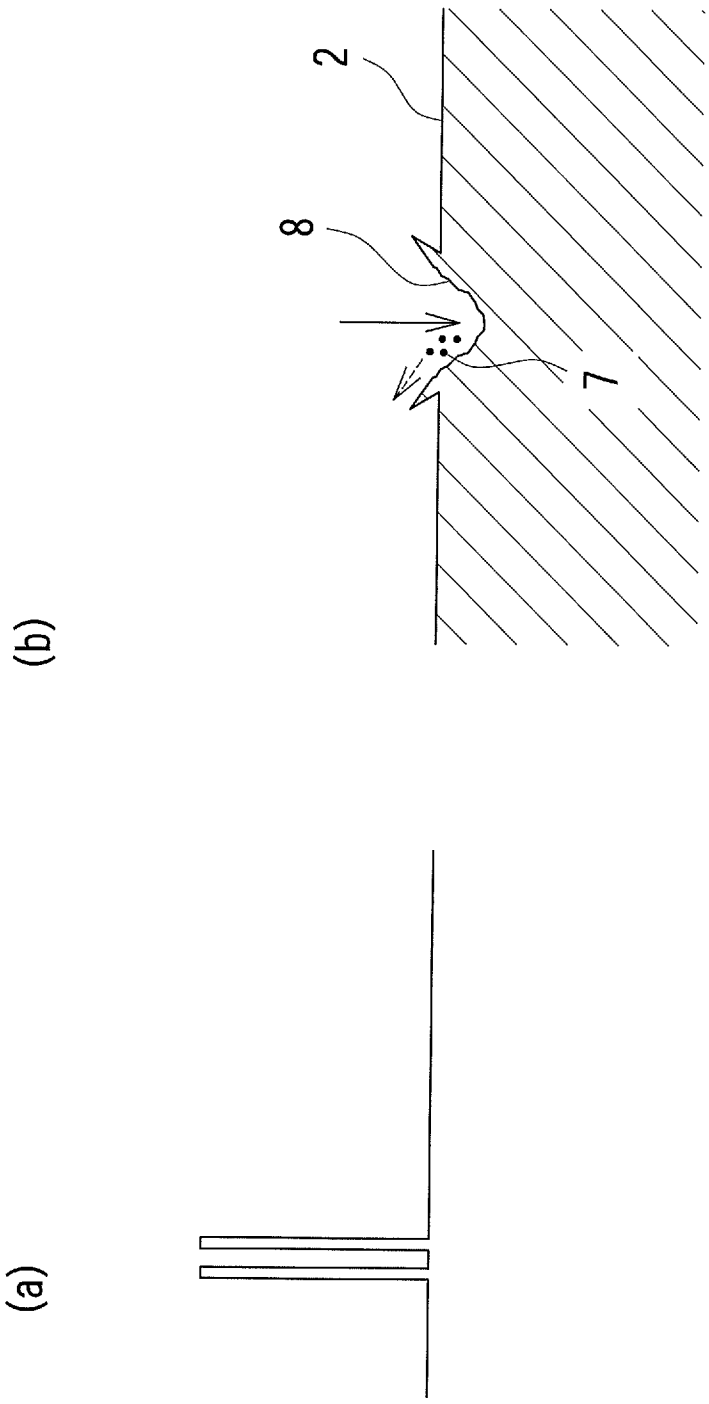
[図1]



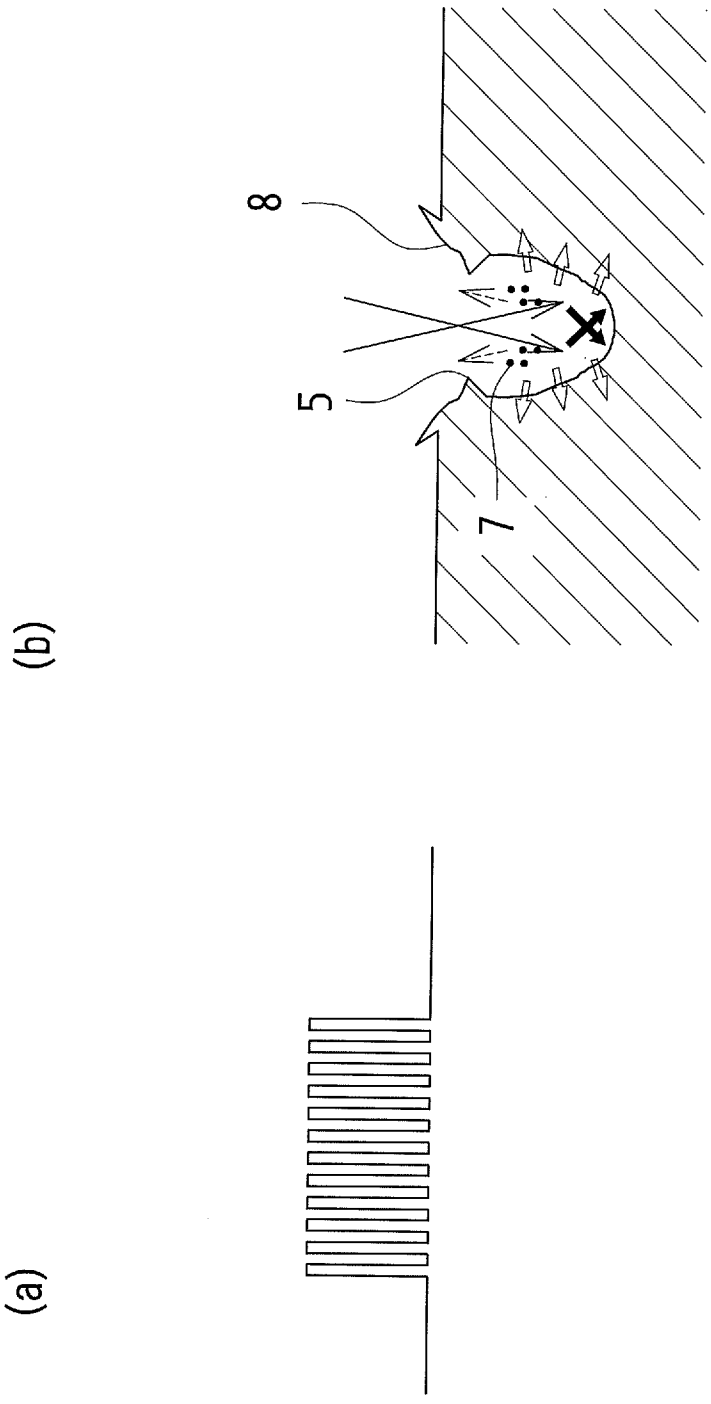
[図2]



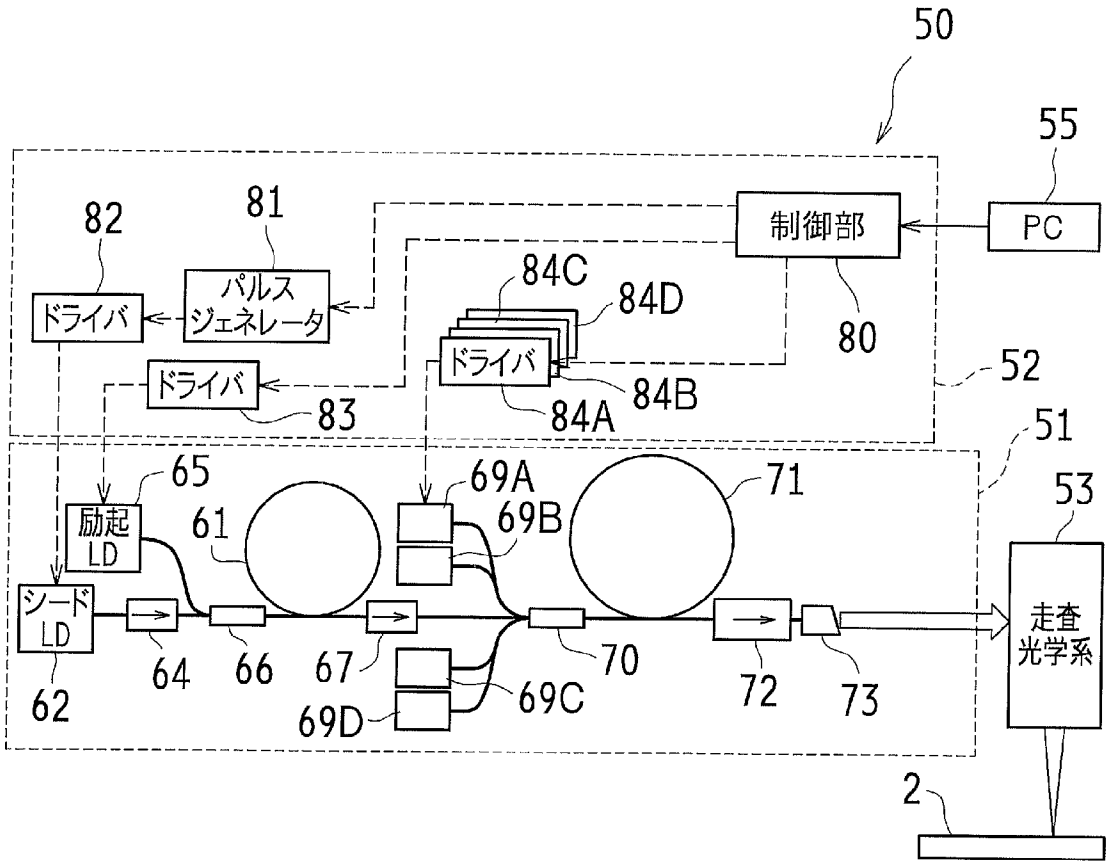
[図3]



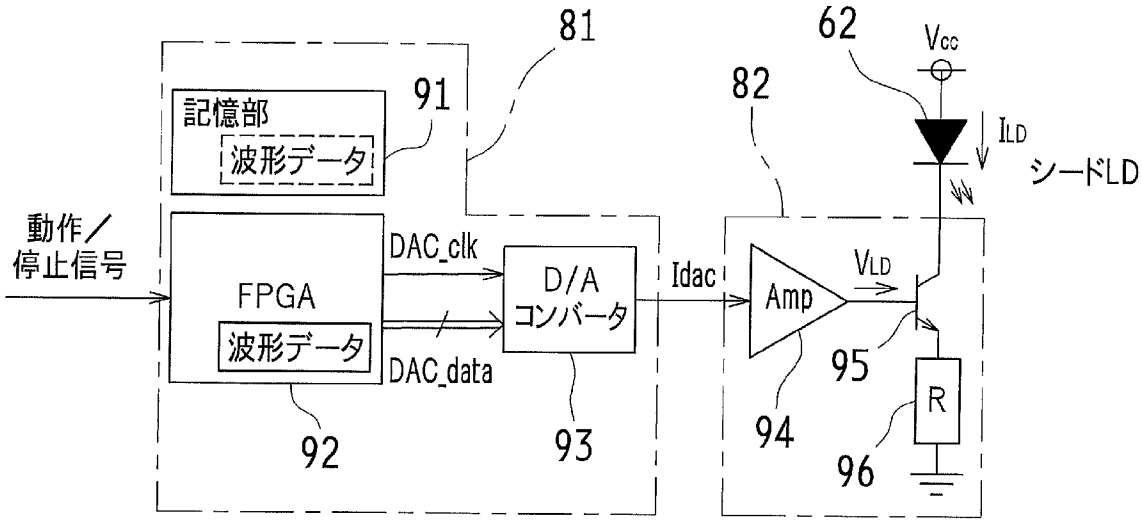
[図4]



[図5]

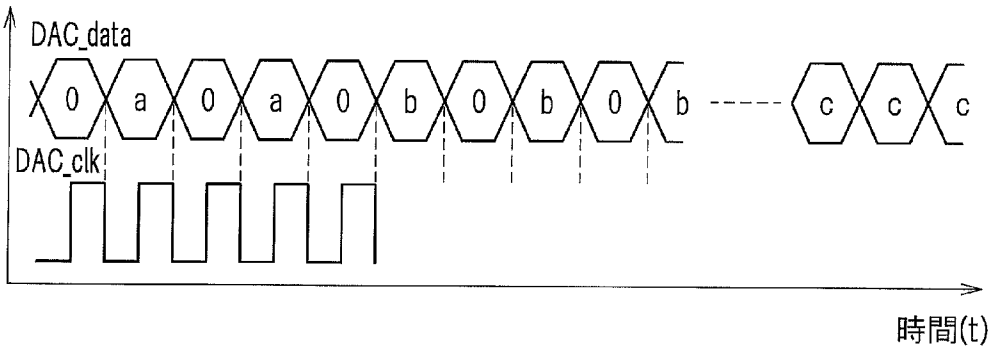

50
55
PC
制御部
80
82
81
ドライバ
パルス
ジェネレータ
84C
84D
ドライバ
84B
84A
ドライバ
83
52
51
53
65
励起
LD
61
69A
69B
71
シード
LD
62
64
66
67
69C
69D
70
72
73
走査
光学系
2

[図6]

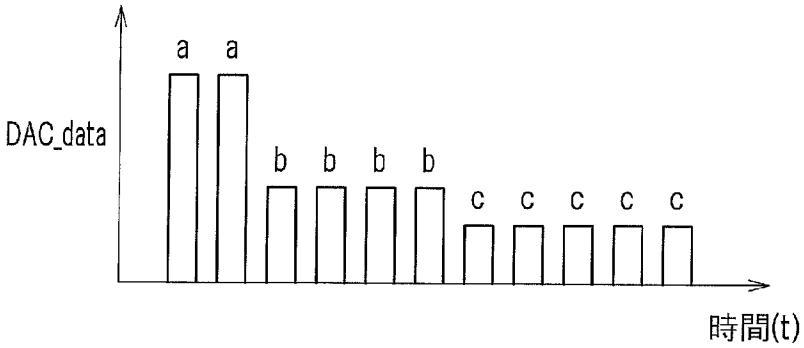

81
62
Vcc
82
91
記憶部
波形データ
ILD
シードLD
動作／
停止信号
FPGA
波形データ
DAC_clk
DAC_data
D/A
コンバータ
Idac
Amp
VLD
95
R
94
96
92
93

[図7]

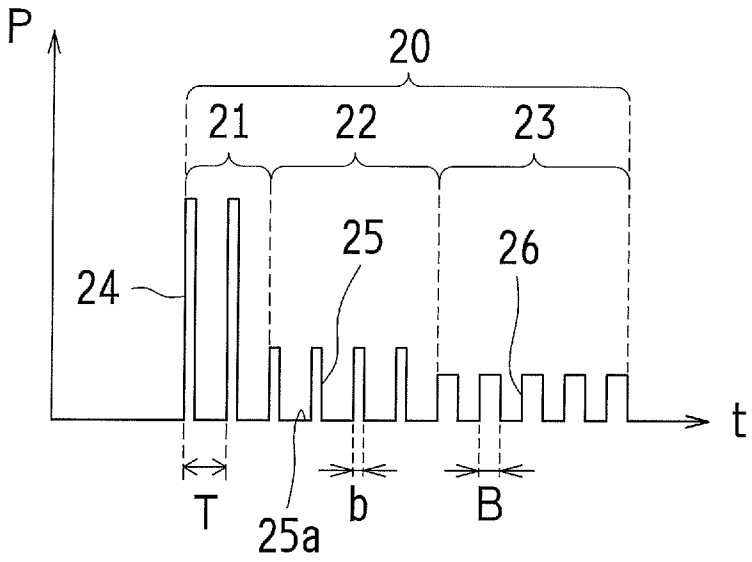
(a)


DAC_data
0 a 0 a 0 b 0 b 0 b
c c c
DAC_clk
時間(t)

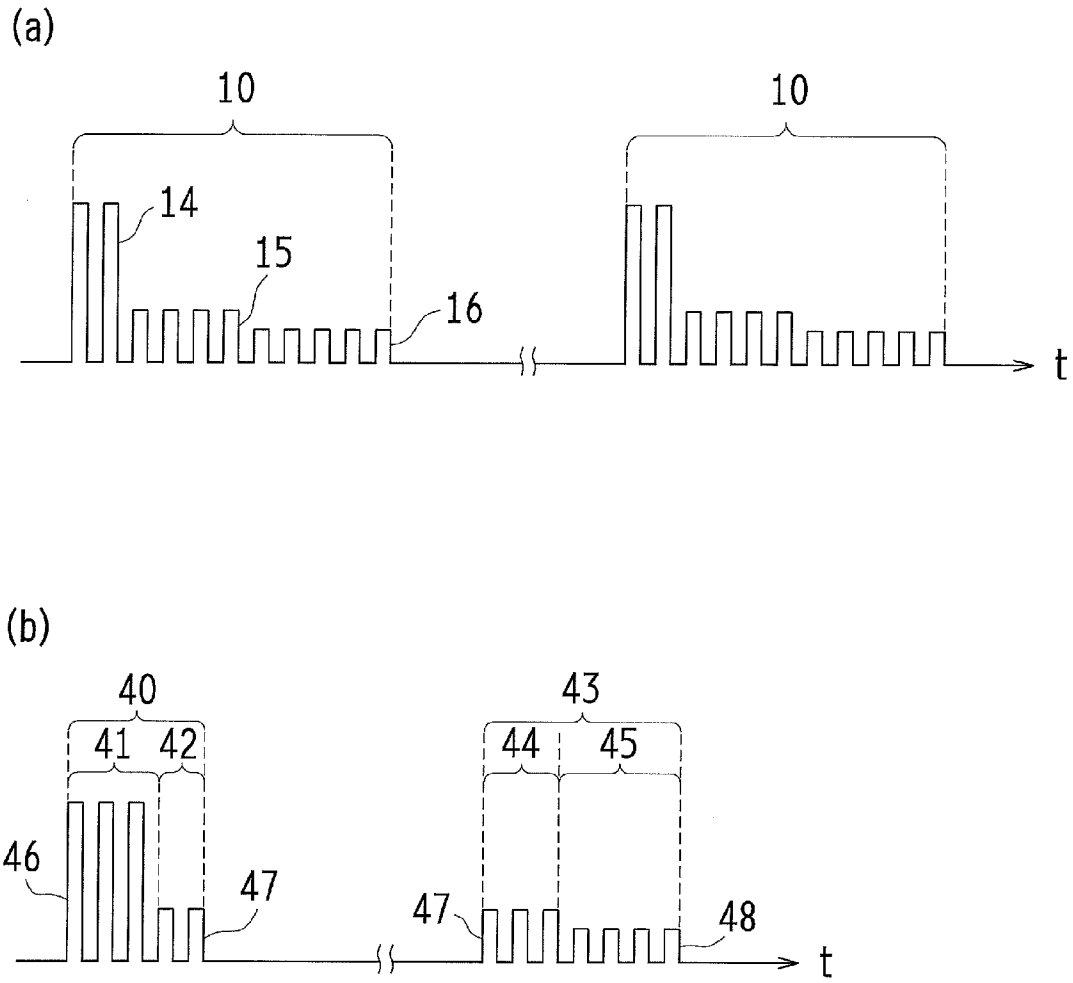
(b)


DAC_data
a a
b b b b
c c c c c
時間(t)

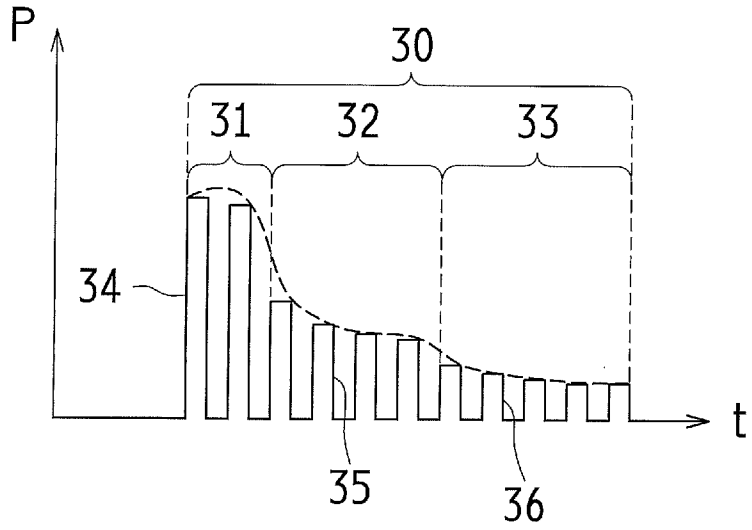
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/055468

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B23K26/324(2014.01)i, *B23K26/0622*(2014.01)i, *B23K26/384*(2014.01)i, *B29C65/16*(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)
B23K26/324, B23K26/0622, B23K26/384, B29C65/16

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016

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.
Y A	JP 2013-529137 A (ESI-Pyrophotonics Lasers Inc.), 18 July 2013 (18.07.2013), paragraphs [0005], [0039], [0047] to [0050]; fig. 1 to 4 & US 2012/0111841 A1 paragraphs [0005], [0052], [0060] to [0063]; fig. 1 to 4 & WO 2011/140229 A1 & TW 201223677 A & CN 102939184 A & KR 10-2013-0069593 A	1,5 2-4,6
Y A	JP 2006-15405 A (Nagoya Industrial Science Research Institute), 19 January 2006 (19.01.2006), paragraph [0020] (Family: none)	1,5 2-4,6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ 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	Date of mailing of the international search report
09 May 2016 (09.05.16)	17 May 2016 (17.05.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/055468

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2010-274279 A (Nagoya Industrial Science Research Institute), 09 December 2010 (09.12.2010), paragraph [0022] (Family: none)	1,5 2-4,6
A	EP 2251133 A1 (SWISS MICRO LASER GMBH), 17 November 2010 (17.11.2010), paragraphs [0014] to [0024] & WO 2010/130528 A1 & ES 2514521 T	1-6

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０５５４６８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B23K26/324(2014.01)i, B23K26/0622(2014.01)i, B23K26/384(2014.01)i, B29C65/16(2006.01)i

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.　B23K26/324, B23K26/0622, B23K26/384, B29C65/16

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	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１６年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１６年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１６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
Ｙ Ａ	JP 2013-529137 A（イーエスアイーパイロフォトニクス　レーザーズ　インコーポレイテッド）2013.07.18, 段落［０００５］,［００３９］,［００４７］－［００５０］,［図１］－［図４］ & US 2012/0111841 A1(段落 [0005], [0052], [0060] － [0063], [FIGURE1] － [FIGURE4]) & WO 2011/140229 A1 & TW 201223677 A & CN 102939184 A & KR 10-2013-0069593 A	１，５ ２－４，６

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　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の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	国際調査報告の発送日
０９．０５．２０１６	１７．０５．２０１６

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　３Ｐ　３９３５
青木　正博
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３６３

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 2006-15405 A (財団法人名古屋産業科学研究所) 2006.01.19, 段落［００２０］（ファミリーなし）	１，５
Ａ		２－４，６
Ｙ	JP 2010-274279 A (財団法人名古屋産業科学研究所) 2010.12.09, 段落［００２２］（ファミリーなし）	１，５
Ａ		２－４，６
Ａ	EP 2251133 A1 (SWISS MICRO LASER GMBH) 2010.11.17, 段落［００１４］－［００２４］ & WO 2010/130528 A1 & ES 2514521 T	１－６