(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
2018年4月26日(26.04.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/074058 A1

(51) 国際特許分類:
B23K 26/0622 (2014.01) *C03B 23/203* (2006.01)
B23K 26/00 (2014.01) *C03C 23/00* (2006.01)
B23K 26/53 (2014.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2017/030239

(22) 国際出願日： 2017年8月24日(24.08.2017)

(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 2016-206869 2016年10月21日(21.10.2016) JP

(71) 出願人: 日本電気硝子株式会社(**NIPPON ELECTRIC GLASS CO., LTD.**) [JP/JP]; 〒5208639 滋賀県大津市晴嵐２丁目７番１号 Shiga (JP). 国立大学法人京都大学(**KYOTO UNIVERSITY**) [JP/JP]; 〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町３６番地１ Kyoto (JP).

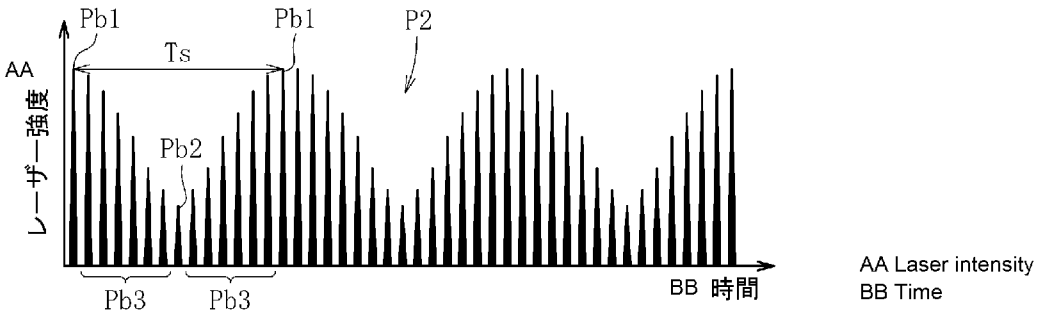
(72) 発明者: 益田 紀彰 (**MASUDA Noriaki**); 〒5208639 滋賀県大津市晴嵐２丁目７番１号 日本電気硝子株式会社内 Shiga (JP). 三浦 清貴 (**MIURA Kiyotaka**); 〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町３６番地１ 国立大学法人京都大学内 Kyoto (JP). 下間 靖彦(**SHIMOTSUMA Yasuhiko**); 〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町３６番地１ 国立大学法人京都大学内 Kyoto (JP). 坂倉 政明(**SAKAKURA Masaaki**); 〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町３６番地１ 国立大学法人京都大学内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 城村 邦彦, 外(**SHIROMURA Kunihiko** et al.); 〒5410059 大阪府大阪市中央区博労町４丁目２番１５号 江原特許事務所 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) **Title:** LASER PROCESSING METHOD

(54) 発明の名称： レーザー加工方法



(57) **Abstract:** The present invention is a laser processing method that forms a thermally denatured region inside a transparent member by concentration and irradiation with ultrashort pulse laser light. The ultrashort pulse laser light is constituted of a pulse train P2 wherein peak intensity changes periodically. The pulse train P2 includes, within a single period Ts wherein the peak intensity changes, a maximum pulse Pb1 where the peak intensity is a maximum, a minimum pulse Pb2 where the peak intensity is a minimum, and an intermediate pulse group Pb3 that is formed from a plurality of pulses between the maximum pulse Pb1 and the minimum pulse Pb2 and wherein the peak intensity gradually decreases moving from the maximum pulse Pb1 side to the minimum pulse Pb2 side.

WO 2018/074058 A1

［続葉有］

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:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約:超短パルスレーザー光を集光照射して透明部材の内部に熱変性領域を形成するレーザー加工方法である。超短パルスレーザー光は、ピーク強度が周期的に変化するパルス列Ｐ２から構成される。パルス列Ｐ２は、ピーク強度の変化の一周期Ｔｓ内に、ピーク強度が最大となる最大パルスＰｂ１と、ピーク強度が最小となる最小パルスＰｂ２と、最大パルスＰｂ１と最小パルスＰｂ２との間で、最大パルスＰｂ１側から最小パルスＰｂ２側に向かうに連れてピーク強度が漸次減少する複数のパルスからなる中間パルス群Ｐｂ３とを含む。

明　細　書

発明の名称 ： レーザー加工方法

技術分野

[0001] 本発明は、レーザー加工方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、レーザー加工方法の一つとして、パルス幅が極めて小さい超短パルスレーザー光を集光照射することにより、非線形光吸収（多光子吸収）現象を生じさせ、ガラスなどの透明部材の内部に熱変性領域を形成する方法が研究開発されている（例えば、特許文献１を参照）。

[0003] 非線形光吸収を用いたレーザー加工方法は、超短パルスレーザー光の集光領域のみを局所的に溶融して熱変性領域を形成できるという利点があり、例えば二つの透明部材を接合する場合などに利用されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２０１５－９８０４２号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、非線形光吸収を用いたレーザー加工方法では、一定のピーク強度を有する超短パルスレーザー光を高繰り返しで透明部材に集光照射する。

[0006] しかしながら、このような態様で超短パルスレーザー光を集光照射すると、熱変性領域の構造が周期的に乱れる事態が生じやすい。この熱変性領域の周期的な構造の乱れは、熱変性領域やその周辺にひずみや割れを発生させる原因となる。

[0007] ここで、熱変性領域の周期的な構造の乱れは、次のような理由で生じるものと考えられている。まず、超短パルスレーザー光の集光照射によって集光領域の温度が上昇し、集光領域における光吸収率も上昇する。この際、一定のピーク強度の超短パルスレーザー光が繰り返し照射されるので、集光領域

の温度が過度に上昇しやすい。集光領域の温度が過度に上昇すると、集光領域における光吸収率が透明部材の熱変性によって急激に低下する。光吸収率が急激に低下すると、集光領域の過度な温度上昇が一時的に緩和される。そうすると、集光領域の温度が再び上昇し始め、これに併せて集光領域における光吸収率も再び上昇し始める。以後、同様の態様で集光領域における光吸収率が大きな上下動を周期的に繰り返す。そして、このような集光領域における光吸収率の大きな周期的変動に起因し、熱変性領域に周期的な構造の乱れが生じる。

[0008] 本発明は、透明部材の熱変性領域やその周辺にひずみや割れが発生する原因となる、熱変性領域の周期的な構造の乱れを抑制し得るレーザー加工方法を提供することを技術的課題とする。

課題を解決するための手段

[0009] 上記の課題を解決するために創案された本発明は、超短パルスレーザー光を集光照射し、透明部材の内部の集光領域に熱変性領域を形成するレーザー加工方法であって、超短パルスレーザー光は、ピーク強度が周期的に変化するとともに、そのピーク強度の変化の一周期内に存在するパルス列が、ピーク強度が最大となる最大パルスと、ピーク強度が最小となる最小パルスと、最大パルスと最小パルスとの間で、最大パルス側から最小パルス側に向かうに連れてピーク強度が漸次減少する複数のパルスからなる中間パルス群とを含むことを特徴とする。このような構成によれば、超短パルスレーザー光がそのピーク強度を周期的に増減しながら透明部材に集光照射される。このピーク強度の周期的な増減によって、集光領域の温度が過度に上昇する前にピーク強度自体が低下するため、集光領域の過度な温度上昇やこれに伴う光吸収率の低下を防止することができる。したがって、集光領域に形成される熱変性領域の周期的な構造の乱れを抑制することができ、熱変性領域やその周辺にひずみや割れが生じにくくなる。

[0010] 上記の構成において、最小パルスのピーク強度が、最大パルスのピーク強度の２５％以上であることが好ましい。このようにすれば、集光領域の温度

が下がりすぎるのを防止でき、加工効率がよくなる。

[0011] 上記の構成において、超短パルスレーザー光が、１ｋＨｚ～５０ｋＨｚの周波数で強度変調されていることが好ましい。このようにすれば、超短パルスレーザー光のピーク強度の変化の周期が、超短パルスレーザー光のピーク強度を一定にして照射した場合に透明部材に生じ得る光吸収率の変動周期と同程度になる場合がある。この場合、光吸収率の周期的な変動をより確実に抑制することが可能となる。

[0012] 上記の構成において、超短パルスレーザー光の繰り返し周波数は、１００ｋＨｚ～１ＭＨｚであることが好ましい。このような高繰り返し周波数であれば、隣接するパルスの間隔が狭くなるので、ピーク強度をほぼ連続的に滑らかに変化させることができる。したがって、集光領域の温度をより緻密に制御できる。

[0013] 上記の構成において、熱変性領域を透明部材の切断予定線に沿って線状に形成し、透明部材を熱変性領域に引張応力を作用させて割断してもよい。

[0014] 上記の構成において、透明部材が第一部材と第二部材とを含む積層体であり、熱変性領域を第一部材と第二部材の界面に形成し、第一部材と第二部材とを接合してもよい。

[0015] 上記の構成において、透明部材がガラスであることが好ましい。

発明の効果

[0016] 以上のような本発明によれば、透明部材の熱変性領域やその周辺にひずみや割れが発生する原因となる、熱変性領域の周期的な構造の乱れを抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の一実施形態に係るレーザー加工方法に用いられるレーザー加工装置の概略構成図である。

[図2]本実施形態の比較例の超短パルスレーザー光の時間変化を示す概念図である。

[図3]本実施形態の比較例の集光領域における光吸収率の時間変化を示す概念

図である。

[図4A]本実施形態の比較例におけるソーダライムガラスのレーザー加工結果の一例を示す写真である。

[図4B]本実施形態の比較例における無アルカリガラスのレーザー加工結果の一例を示す写真である。

[図5]本実施形態の超短パルスレーザー光の時間変化を示す概念図である。

[図6]本実施形態の集光領域における光吸収率の時間変化を示す概念図である。

[図7A]本実施形態の実施例におけるソーダライムガラスのレーザー加工結果の一例を示す写真である。

[図7B]本実施形態の実施例における無アルカリガラスのレーザー加工結果の一例を示す写真である。

[図8]本実施形態の超短パルスレーザー光の変形例を示す概念図である。

[図9]本実施形態に係るレーザー加工方法の変形例に用いられるレーザー加工装置の概略構成図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、本発明に係るレーザー加工方法の一実施形態を図面を参照しながら説明する。

[0019] 図１に示すように、本実施形態のレーザー加工方法には、レーザー加工装置１が用いられる。レーザー加工装置１は、超短パルスレーザー光Ｌ１を高繰り返し出力するレーザー光源２と、レーザー光源２から出力された超短パルスレーザー光Ｌ１を強度変調する強度変調器としての音響光学素子３と、強度変調された超短パルスレーザー光Ｌ２を集光するためのレンズ４とを備えている。

[0020] レーザー光源２は、一定のピーク強度を有する超短パルスレーザー光Ｌ１を繰り返し出力する。超短パルスレーザー光Ｌ１は、ピーク強度が一定の複数のパルスＰａを含むパルス列Ｐ１から構成される。この実施形態では、超短パルスレーザー光Ｌ１は、１×１０$^{-9}$秒以下のパルス幅を有するものを意味

する。超短パルスレーザー光Ｌ１のパルス幅は、フェムト秒（10^{-15}秒）オーダーからピコ秒（10^{-12}秒）オーダー（例えば、１０ピコ秒）であることが好ましい。超短パルスレーザー光Ｌ１の繰り返し周波数は、１００ｋＨｚ～１ＭＨｚであることが好ましく、５００ｋＨｚ～１ＭＨｚであることがより好ましい。

[0021] 音響光学素子３は、発振器５から出力された信号に基づいて超短パルスレーザー光Ｌ１を強度変調し、超短パルスレーザー光Ｌ２を出力する。強度変調された超短パルスレーザー光Ｌ２は、ピーク強度が周期的に変化する複数のパルスＰｂを含むパルス列Ｐ２から構成される。この実施形態では、発振器５から出力される変調信号は、所定の周波数を有する正弦波信号である。この場合、超短パルスレーザー光Ｌ１は正弦波信号の周波数で強度変調される。超短パルスレーザー光Ｌ１を強度変調する変調信号の周波数（変調周波数）は、１ｋＨｚ～５０ｋＨｚであることが好ましい。超短パルスレーザー光Ｌ２の繰り返し周波数は、強度変調前の超短パルスレーザー光Ｌ１と同じである。なお、強度変調器は音響光学素子３に限定されない。例えば、電気光学効果、磁気光学効果、熱光学効果、非線型光学効果などを用いて、レーザー光源２から出力される超短パルスレーザー光を強度変調してもよいし、レーザー光源２に変調信号を直接入力してレーザー光源２から強度変調された超短パルスレーザー光を出力するようにしてもよい。

[0022] レンズ４は、強度変調された超短パルスレーザー光Ｌ２を集光し、透明部材としてのガラス板Ｇの内部に集光領域ＣＡを形成する。ここで、透明部材は、使用する超短パルスレーザー光Ｌ２を透過する部材を意味する。この実施形態では、ガラス板Ｇの厚み方向で対向する第一主面Ｇａ及び第二主面Ｇｂのうち、第一主面Ｇａ側から超短パルスレーザー光Ｌ２が入射する。なお、超短パルスレーザー光Ｌ２の入射面は特に限定されない。

[0023] 上記の構成を備えたレーザー加工装置１を用いてレーザー加工方法を実施すれば、ガラス板Ｇ内部の集光領域ＣＡにおいて非線形光吸収現象が生じ、集光領域ＣＡが局所的に溶融する。そのため、集光領域ＣＡをＸ方向に走査

すると、集光領域ＣＡに対応する位置でガラス板Ｇの内部に熱変性領域ＨＡが線状に形成される。この実施形態では、熱変性領域ＨＡをガラス板Ｇの切断予定線に沿って形成する。その後、熱変性領域ＨＡに引張応力を作用させるために、熱変性領域ＨＡを加熱冷却して熱応力を生じさせたり、熱変性領域ＨＡを中心として曲げ応力を生じさせたりするなどし、ガラス板Ｇを熱変性領域ＨＡに沿って割断する。

[0024] 集光領域ＣＡにおけるスポット径は、０．５～２μｍであることが好ましい。また、熱変性領域ＨＡ（又は集光領域ＣＡ）の第一主面Ｇａからの深さＤは、２０μｍ以上であることが好ましい。

[0025] 上記のように熱変性領域を形成する際に、図２に示すように、ピーク強度が一定の超短パルスレーザー光を高繰り返しでガラス板に集光照射すると、集光領域の過度な温度上昇を原因の一つとして、図３に示すように、ガラス板の集光領域における光吸収率の時間変化が非常に大きくなるという問題がある。詳細には、光吸収率が所定時間に亘って増加し続けた後、急激に零まで減少するという光吸収率の大きな上下動を周期的に繰り返す。その結果、例えば、図４Ａに示すように、ガラス板がソーダライムガラスの場合に、熱変性領域ＨＡｘの周辺にひび割れが生じるという問題が確認された。また、例えば、図４Ｂに示すように、ガラス板が無アルカリガラスの場合には、熱変性領域ＨＡｘに直径１０μｍ程度のドット状の構造の乱れが周期的に生じ、熱変性領域ＨＡｘが緻密な線状にならないという問題が確認された。

[0026] そこで、図５に示すように、本実施形態では、強度変調された超短パルスレーザー光Ｌ２を高繰り返しでガラス板Ｇに集光照射している。詳細には、超短パルスレーザー光Ｌ２を構成するパルス列Ｐ２は、ピーク強度の変化の周期（変調信号の周期）Ｔｓ内に、ピーク強度が最大となる最大パルスＰｂ１と、ピーク強度が最小となる最小パルスＰｂ２と、最大パルスＰｂ１と最小パルスＰｂ２との間で、最大パルスＰｂ１側から最小パルスＰｂ２側に向かうに連れてピーク強度が漸次減少する複数のパルスからなる中間パルス群Ｐｂ３とを含む。

[0027] この実施形態では、最大パルスＰｂ１は、一周期Ｔｓ内の先頭と後尾に存在し、最小パルスＰｂ２は、先頭及び後尾の最大パルスＰｂ１間の中央（半周期に相当）に存在する。中間パルス群Ｐｂ３は、先頭の最大パルスＰｂ１と最小パルスＰｂ２との間、および最小パルスＰｂ２と後尾の最大パルスＰｂ１との間にそれぞれ存在する。

[0028] ピーク強度の変化の周期Ｔｓは、ガラス板Ｇの熱拡散率に応じて適宜調整できる。例えば、ガラス板Ｇの熱拡散率が大きい場合には周期Ｔｓを小さくし、ガラス板Ｇの熱拡散率が小さい場合には周期Ｔｓを大きくする。周期Ｔｓを調整する場合は、変調信号の周波数（変調周波数）を変更する。変調信号の周波数を１ｋＨｚ～５０ｋＨｚの範囲で変更する場合、周期Ｔｓは０．０２ｍｓ～１ｍｓの範囲で調整される。

[0029] 最小パルスＰｂ２のピーク強度は、最大パルスＰｂ１のピーク強度の２５％以上であることが好ましく、５０％以上であることがより好ましい。また、最小パルスＰｂ２のピーク強度は、最大パルスＰｂ１のピーク強度の８０％以下であることが好ましく、６０％以下であることがより好ましい。

[0030] 以上のようなレーザー加工方法によれば、ピーク強度が周期的に増減する超短パルスレーザー光Ｌ２がガラス板Ｇに集光照射される。このピーク強度の周期的な増減によって、集光領域ＣＡの温度が過度に上昇する前にピーク強度自体が低下するため、集光領域ＣＡの過度な温度上昇を防止することができる。その結果、図６に示すように、集光領域ＣＡにおける光吸収率の時間変化が非常に小さくなり、光吸収率をほぼ一定に保つことができる。したがって、例えば、図７Ａに示すように、ガラス板Ｇがソーダライムガラスの場合や、図７Ｂに示すように、ガラス板Ｇが無アルカリガラスの場合であっても、熱変性領域ＨＡに周期的な構造の乱れが生じるのを抑制することができる。その結果、熱変性領域ＨＡが緻密な線状になり、また熱変性領域ＨＡやその周辺にひずみや割れも生じにくくなる。

[0031] また副次的効果ではあるが、超短パルスレーザー光Ｌ２のピーク強度を周期的に増減しながら集光照射することで、ピーク強度を一定に維持しながら

集光照射する場合よりも、レーザー光源２の総出力パワーを上げることができる。これにより、ガラス板Ｇの集光領域ＣＡにおける溶融量を増やすことができるので、熱変性領域ＨＡの幅を大きくできるという利点もある。なお、ピーク強度を一定に維持しながら集光照射する場合に、レーザー光源の総出力パワーを同程度まで上げると、ガラス板に割れが生じる。

[0032] ここで、比較例である図４Ａのソーダライムガラスのレーザー加工条件は、（１）光源：ＬＤ励起Ｎｄ：ＹＡＧピコ秒パルスレーザー、（２）波長：１０６４ｎｍ、（３）繰り返し周波数：５００ｋＨｚ、（４）平均出力：６Ｗ、（５）パルス幅：０．０２８ｎｓ、（６）スポット径：１μｍ、（７）スキャン速度:１０ｍｍ／ｓである。また、比較例である図４Ｂの無アルカリガラスのレーザー加工条件は、（１）光源：ＬＤ励起Ｎｄ：ＹＡＧピコ秒パルスレーザー、（２）波長：１０６４ｎｍ、（３）繰り返し周波数：５００ｋＨｚ、（４）平均出力：８Ｗ、（５）パルス幅：０．０２８ｎｓ、（６）スポット径：１μｍ、（７）スキャン速度:１０ｍｍ／ｓである。

[0033] 一方、実施例である図７Ａのソーダライムガラスのレーザー加工条件は、（１）光源：ＬＤ励起Ｎｄ：ＹＡＧピコ秒パルスレーザー、（２）波長：１０６４ｎｍ、（３）繰り返し周波数：５００ｋＨｚ、（４）変調周波数：２ｋＨｚ、（５）平均出力（最大出力，最小出力）：６Ｗ（８Ｗ，４Ｗ）、（６）パルス幅：０．０２８ｎｓ、（７）スポット径：１μｍ、（８）スキャン速度:１０ｍｍ／ｓである。また、実施例である図７Ｂの無アルカリガラスのレーザー加工条件は、（１）光源：ＬＤ励起Ｎｄ：ＹＡＧピコ秒パルスレーザー、（２）波長：１０６４ｎｍ、（３）繰り返し周波数：５００ｋＨｚ、（４）変調周波数：１ｋＨｚ、（５）平均出力（最大出力，最小出力）：１２Ｗ（１６Ｗ，８Ｗ）、（６）パルス幅：０．０２８ｎｓ、（７）スポット径：１μｍ、（８）スキャン速度:１０ｍｍ／ｓである。

[0034] なお、本発明は、上記実施形態の構成に限定されるものではなく、上記した作用効果に限定されるものでもない。本発明は、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の変更が可能である。

[0035] 上記の実施形態では、図５に示すように、正弦波信号を変調信号として強度変調された超短パルスレーザー光Ｌ２を得る場合を説明したが、変調信号はこれに限定されない。例えば、図８に示すように、のこぎり波信号を変調信号として強度変調された超短パルスレーザー光Ｌ２を得るようにしてもよい。この場合、超短パルスレーザー光Ｌ２を構成するパルス列Ｐ２は、例えば、変調信号の一周期Ｔｓ内の先頭及び後尾に最大パルスＰｂ１を有し、後尾の最大パルスＰｂ１の一つ前又はその近傍に最小パルスＰｂ２を有する。中間パルス群Ｐｂ３は、先頭の最大パルスＰｂ１と最小パルスＰｂ２との間にのみ設けられる。

[0036] また、上記の実施形態では、レーザー加工として割断起点となる熱変性領域ＨＡをガラス板Ｇの内部に形成する場合を説明したが、レーザー加工はこれに限定されない。例えば、レーザー加工には、接合、成形、転写などが含まれる。接合の場合を例にとって説明すると、図９に示すように、まず、透明部材として第一ガラス板Ｇ１と第二ガラス板Ｇ２を積層したものを用意する。次に、強度変調された超短パルスレーザー光Ｌ２の集光領域ＣＡを第一及び第二ガラス板Ｇ１，Ｇ２の界面Ｇｓに設定する。これにより、界面Ｇｓを含む部分に熱変性領域ＨＡを形成し、第一及び第二ガラス板Ｇ１，Ｇ２を互いに接合する。

[0037] さらに、上記の実施形態では、透明部材としてガラスを例示したが、これに限定されない。透明部材は、例えば、サファイアや水晶などの単結晶、透光性セラミックス、アクリルなどの樹脂であってもよい。

符号の説明

[0038] １ レーザー加工装置
２ レーザー光源
３ 音響光学素子
４ レンズ
５ 発振器
Ｇ ガラス板

ＣＡ　集光領域

ＨＡ　熱変性領域

Ｌ１　超短パルスレーザー光（強度変調前）

Ｌ２　超短パルスレーザー光（強度変調後）

Ｐ１　パルス列（強度変調前）

Ｐ２　パルス列（強度変調後）

Ｐｂ１　最大パルス

Ｐｂ２　最小パルス

Ｐｂ３　中間パルス群

請求の範囲

[請求項1] 超短パルスレーザー光を集光照射し、透明部材の内部の集光領域に熱変性領域を形成するレーザー加工方法であって、

前記超短パルスレーザー光は、ピーク強度が周期的に変化するとともに、そのピーク強度の変化の一周期内に存在するパルス列が、ピーク強度が最大となる最大パルスと、ピーク強度が最小となる最小パルスと、前記最大パルスと前記最小パルスとの間で、前記最大パルス側から前記最小パルス側に向かうに連れてピーク強度が漸次減少する複数のパルスからなる中間パルス群とを含むことを特徴とするレーザー加工方法。

[請求項2] 前記最小パルスのピーク強度が、前記最大パルスのピーク強度の２５％以上であることを特徴とする請求項１に記載のレーザー加工方法。

[請求項3] 前記超短パルスレーザー光が、１ｋＨｚ～５０ｋＨｚの周波数で強度変調されていることを特徴とする請求項１又は２に記載のレーザー加工方法。

[請求項4] 前記超短パルスレーザー光の繰り返し周波数が、１００ｋＨｚ～１ＭＨｚであることを特徴とする請求項１～３のいずれか１項に記載のレーザー加工方法。

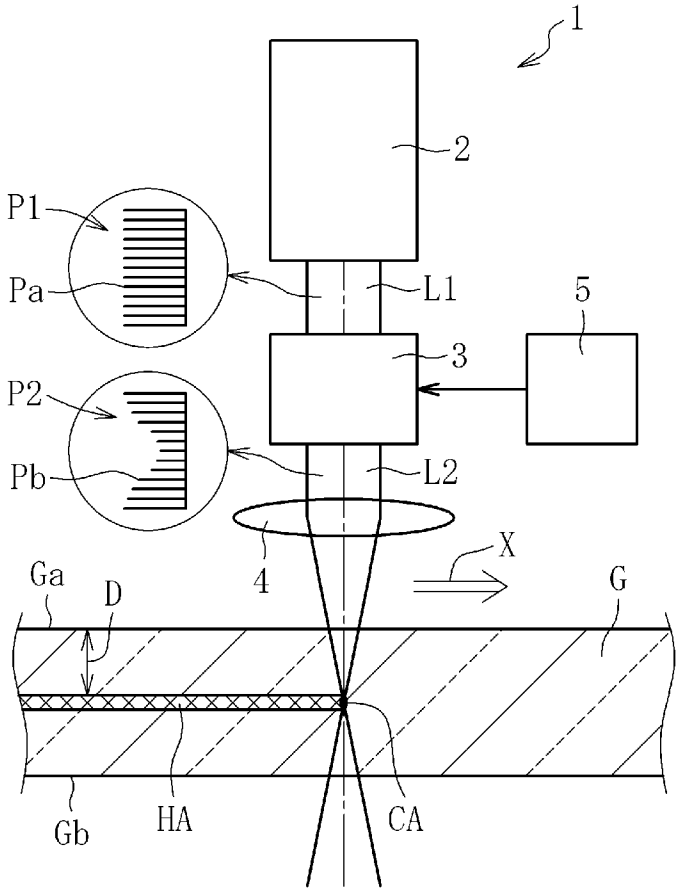
[請求項5] 前記熱変性領域を前記透明部材の切断予定線に沿って線状に形成し、前記透明部材を前記熱変性領域に引張応力を作用させて割断することを特徴とする請求項１～４のいずれか１項に記載のレーザー加工方法。

[請求項6] 前記透明部材が第一部材と第二部材とを含む積層体であり、前記熱変性領域を前記第一部材と前記第二部材の界面に形成し、前記第一部材と前記第二部材とを接合することを特徴とする請求項１～５のいずれか１項に記載のレーザー加工方法。

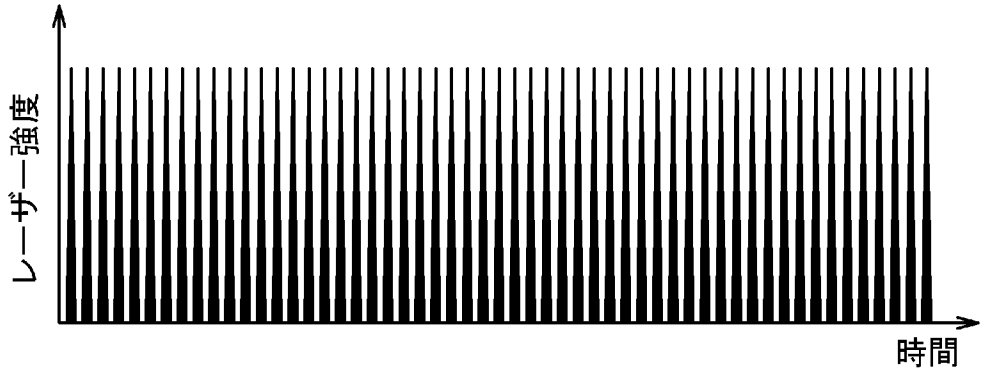
[請求項7] 前記透明部材がガラスであることを特徴とする請求項１～６のいず

れか１項に記載のレーザー加工方法。

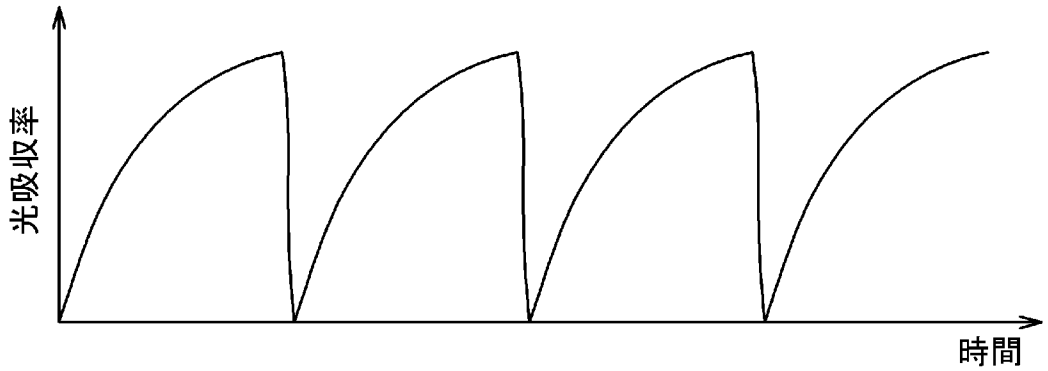
[図1]



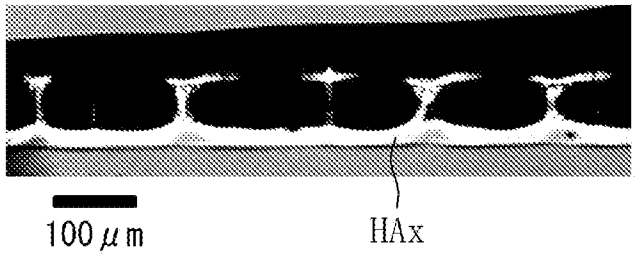
[図2]



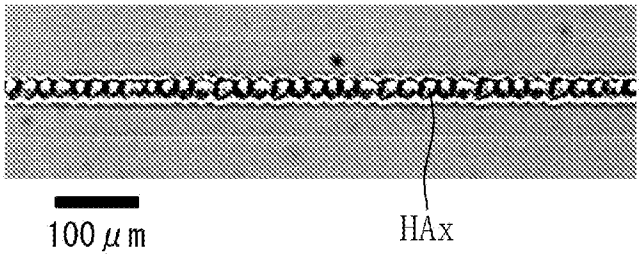
[図3]



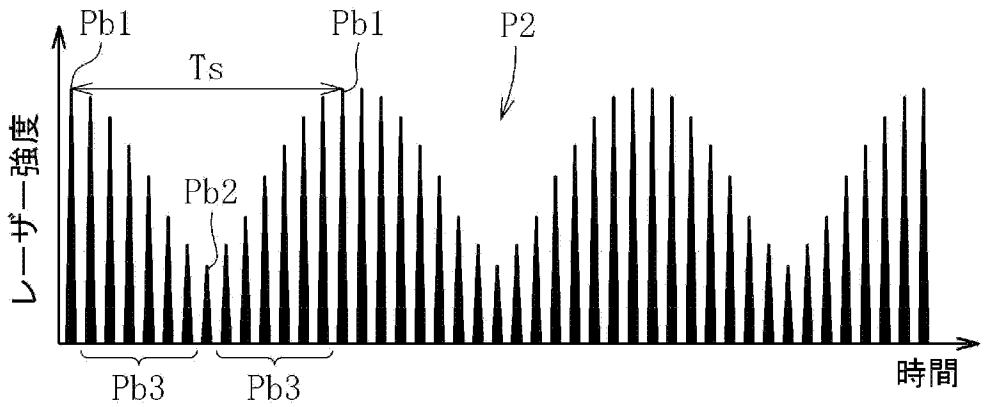
[図4A]



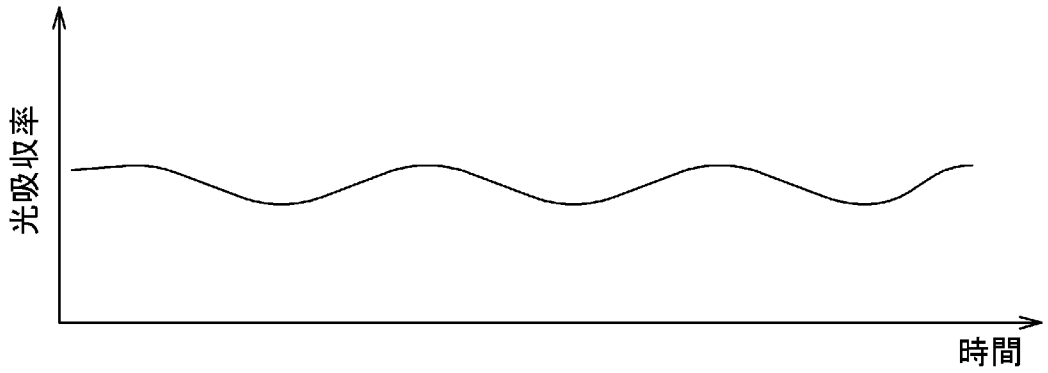
[図4B]



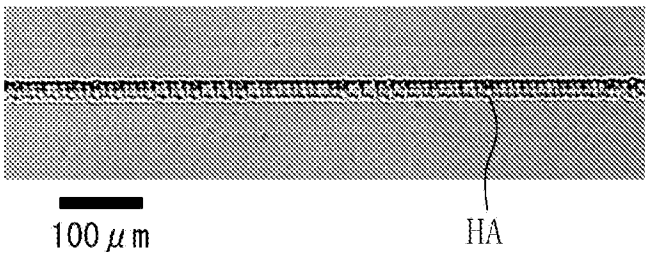
[図5]



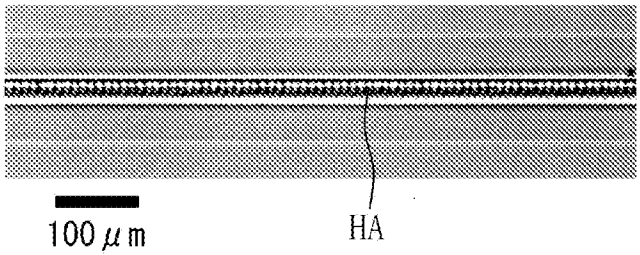
[図6]



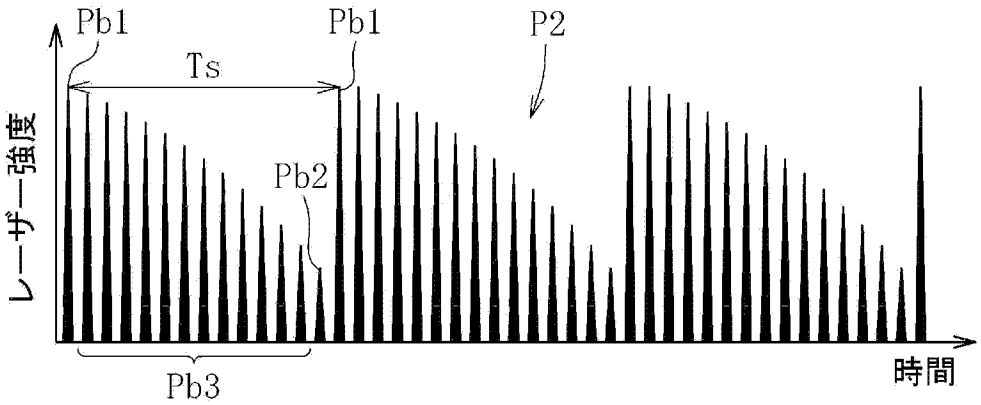
[図7A]



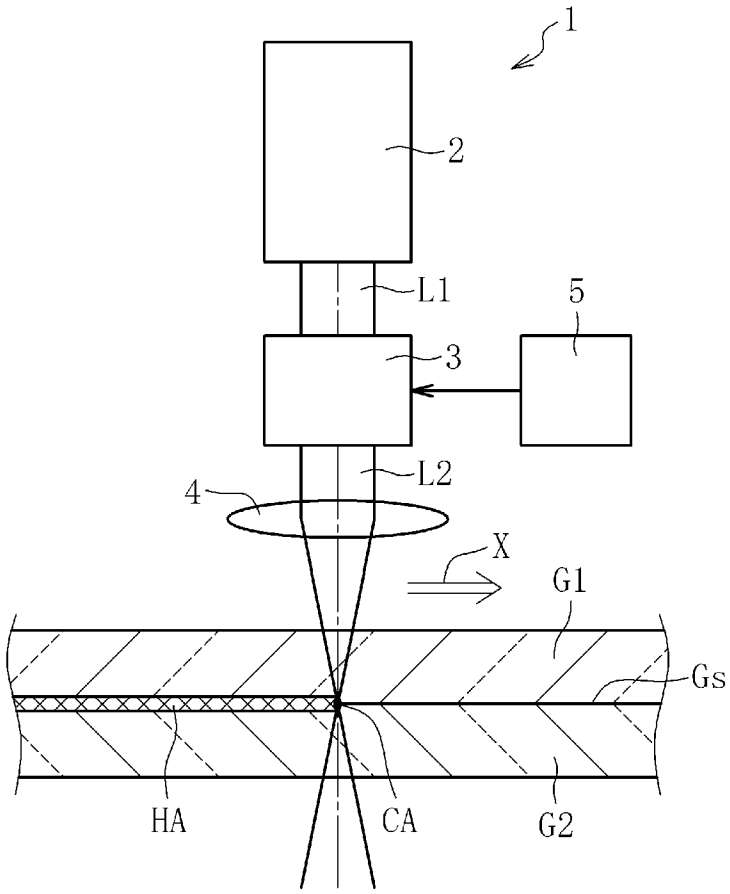
[図7B]


100 μm
HA

[図8]


Pb1
Pb1
P2
Ts
Pb2
レーザー強度
Pb3
時間

[図9]


1
2
L1
5
3
4
L2
X
G1
Gs
HA
CA
G2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/030239

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B23K26/0622(2014.01)i, *B23K26/00*(2014.01)i, *B23K26/53*(2014.01)i, *C03B23/203*(2006.01)i, *C03C23/00*(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)
B23K26/0622, B23K26/00, B23K26/53, C03B23/203, C03C23/00

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
X Y	WO 2015/095264 A2 (CORNING INC.), 25 June 2015 (25.06.2015), paragraphs [0009] to [0099]; fig. 12A, 12B & JP 2017-504553 A & US 2016/0311717 A1	1-5,7 6
Y	JP 2015-98042 A (Nippon Electric Glass Co., Ltd.), 28 May 2015 (28.05.2015), paragraphs [0016] to [0036] (Family: none)	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
12 September 2017 (12.09.17)	26 September 2017 (26.09.17)

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

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０３０２３９

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B23K26/0622(2014.01)i, B23K26/00(2014.01)i, B23K26/53(2014.01)i, C03B23/203(2006.01)i, C03C23/00(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.　B23K26/0622, B23K26/00, B23K26/53, C03B23/203, C03C23/00

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	１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１７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
X Y	WO 2015/095264 A2 (CORNING INCORPORATED) 2015.06.25, paragraphs [0009]-[0099], FIG. 12A, 12B & JP 2017-504553 A & US 2016/0311717 A1	１－５，７ ６
Y	JP 2015-98042 A（日本電気硝子株式会社） 2015.05.28, 段落[0016]－[0036] (ファミリーなし)	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
１２．０９．２０１７	２６．０９．２０１７

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　２９２６
竹下　和志
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３６３