

令和元年6月30日現在

機関番号：54601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06033

研究課題名(和文) 深い溶込みを目指した低真空下における2波長レーザーマイクロ接合システムの開発

研究課題名(英文) Development of dual wavelength laser microwelding under low vacuum for deep welding volume

研究代表者

玉木 隆幸 (TAMAKI, Takayuki)

奈良工業高等専門学校・電子制御工学科・准教授

研究者番号：80455154

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、超短光パルスマイクロ接合法に材料が線形吸収する波長の連続発振光を組み込み、高速かつ高品位に大面積を接合可能な低真空下における2波長レーザーマイクロ接合システムの開発を行った。具体的には、現有する超短光パルス光源、連続発振光用の炭酸ガスレーザー光源、自動三次元ステージなどを用いることにより、2波長レーザーマイクロ接合システムを構築した。さらに、接合時に雰囲気圧力を変化させることができる仕組みを接合システムに組み込み、低真空下における2波長レーザーマイクロ接合システムを構築した。この接合システムを用いて、ガラス内部のマイクロ加工、ガラス間のマイクロ接合を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、高速かつ高品位に大面積を接合可能な低真空下における2波長レーザーマイクロ接合システムの開発を行った。本システムを用いれば、加工時の圧力制御、および、超短光パルス、または、連続発振光の出力制御により、従来の超短光パルスマイクロ接合法における溶融領域の大きさ、深さを、6倍以上にわたり自在に調整できると考えられる。さらに、本接合システムを活用することで得られる、加工特性、熱的特性などの知見をもとに、製造技術のさらなる発展が期待される。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have developed a dual wavelength laser microwelding system under low vacuum that can weld materials in large area at high speed and high quality by use of a continuous-wave laser with a wavelength at which the material linearly absorbs and an ultrashort laser pulses. In particular, the dual wavelength laser microwelding system was developed by using an ultrashort laser source currently available, a CO2 laser source for continuous wave, an automatic three-dimensional stage, and so on. Furthermore, a mechanism which was capable of changing the atmosphere pressure at the time of welding was incorporated into the welding system to develop a dual wavelength laser microwelding under low vacuum. Using this laser microwelding system, laser microprocessing inside glass and laser microwelding between glass substrates were performed.

研究分野：応用光学

キーワード：マイクロ接合 フェムト秒レーザー レーザー接合 ガラス 低真空

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

本研究者らは、超短光パルスを用いた加工に、材料が線形吸収する波長の連続発振光を同時照射することにより、高速かつ高品位に材料内部を加工できる2波長レーザーマイクロ加工法を提案している。そして、本加工法を用いることにより、超短光パルス、または、連続発振光（炭酸ガスレーザー）の出力制御により、加工痕直径（熔融領域）を調整でき、超短光パルス単体における加工と比較し、その加工痕直径を約3倍に至るまで拡大可能であることを明らかにしている。また、超短光パルスのみ、または、連続発振光だけでは加工できないガラス材料を、2波長レーザーマイクロ加工法を用いることにより、加工できることを示している。

2. 研究の目的

超短光パルスマイクロ接合法において、高速かつ高品位に大面積を接合可能な生産技術を確立するために、本研究者らが開発した2波長レーザーマイクロ加工法を応用し、低真空下における2波長レーザーマイクロ接合システムを開発する。さらに、超短光パルスと連続発振光との相互作用を把握するために、超短光パルスと連続発振光の強度、連続発振光を照射してから超短光パルスを照射するまでの時間、および、加工時の雰囲気圧力を変化させ、超短光パルス照射後に発生するプラズマの時間発展を高速度カメラにより捕捉する。

3. 研究の方法

本研究において構築する光学系を図1に示す。フェムト秒レーザー光源（波長 1064 nm、パルス幅 250 fs、繰り返し周波数 1 MHz）から出力されたレーザー光は、半波長板と偏光板により強度を調整され、開口数 0.25、倍率 10 倍の対物レンズにより真空チャンバー内に設置された試料（BK7 ガラス）に集光照射される。真空チャンバーの概略図を図2に示す。真空チャンバーには6つの接続部があり、それぞれ、上部は測定子接続用、側面部のうち図2中の①と②で示す部分はガラス窓、③で示す部分は試料配置用の蓋、④で示す部分はロータリーポンプとの接続および、バルブ接続用、下部は空きというように割り当てる。オイルミストトラップは、ロータリーポンプの運転によって室内にポンプ油が飛散することを防止する役割を

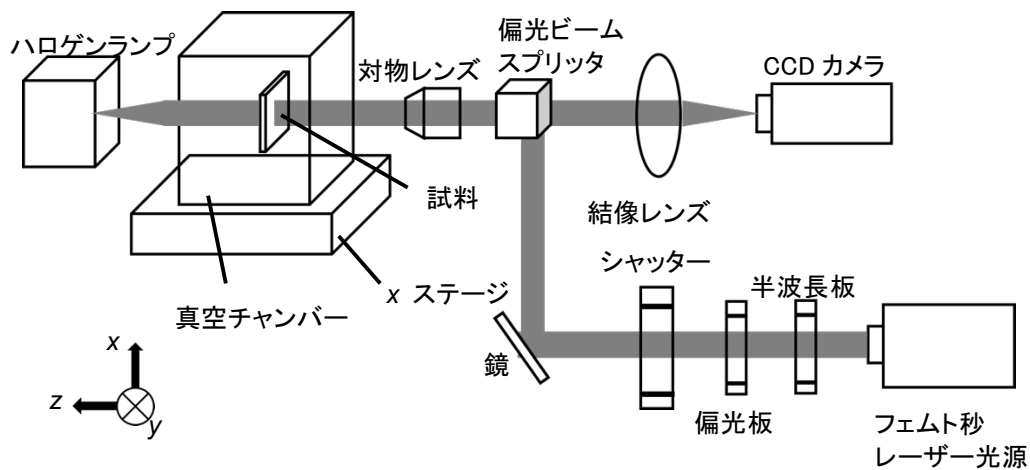


図1 2波長レーザーマイクロ加工（接合）光学系。

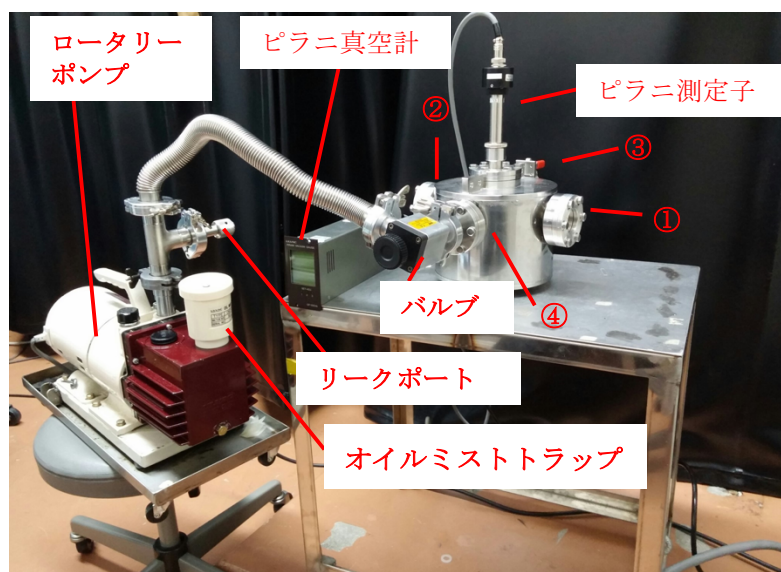


図2 真空チャンバーの概略図。

もつ。また、オイルミストトラップ内に取り込まれたポンプ油は再びロータリーポンプに還元される。バルブはロータリーポンプによる吸気量を調節するために取り付けられており、ロータリーポンプを運転しても、バルブを開放しなければ真空チャンバー内では大気圧状態が保たれる。さらに、ロータリーポンプの運転停止後、リークポートとバルブを開放すれば、チャンバー内を真空状態から大気圧状態に戻すことができる。

構築した真空チャンバーにより、大気中、真空中において、定点、および、線加工を実施する。このとき、入射パルスエネルギーは、定点加工では  $0.6 \mu\text{J}$ 、 $0.9 \mu\text{J}$ 、 $1.2 \mu\text{J}$  とし、線加工では  $1.3 \mu\text{J}$ 、 $1.4 \mu\text{J}$ 、 $1.5 \mu\text{J}$  とする。

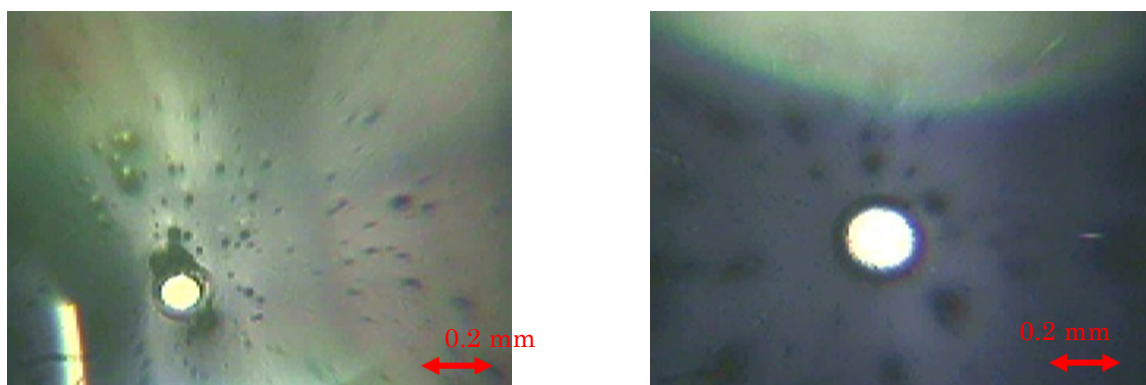
#### 4. 研究成果

超短光パルスを用いた加工に、材料が線形吸収する波長の連続発振光を同時照射することにより、高速かつ高品位に材料内部を加工できる2波長レーザーマイクロ加工法を真空中での加工を行うことができる真空チャンバーを構築し、加工システムを開発した。真空チャンバーにおける真空度は、ロータリーポンプの運転開始とともに低下し、約  $10 \text{ Pa}$  で飽和することわかった。

大気中、真空中における定点加工の一例を図3に示す。図3において、円形の白色部分がレーザー加工された領域である。図3より、入射パルスエネルギーが  $0.9 \mu\text{J}$  と同じであるが、大気中での加工痕と比較し、真空中での加工痕は大きくなっていることがわかる。これは、真空条件下であるため、大気中でのプラズマの発生が抑制され、パルスエネルギーの多くが試料表面に入射したことによる結果であると考えられる。

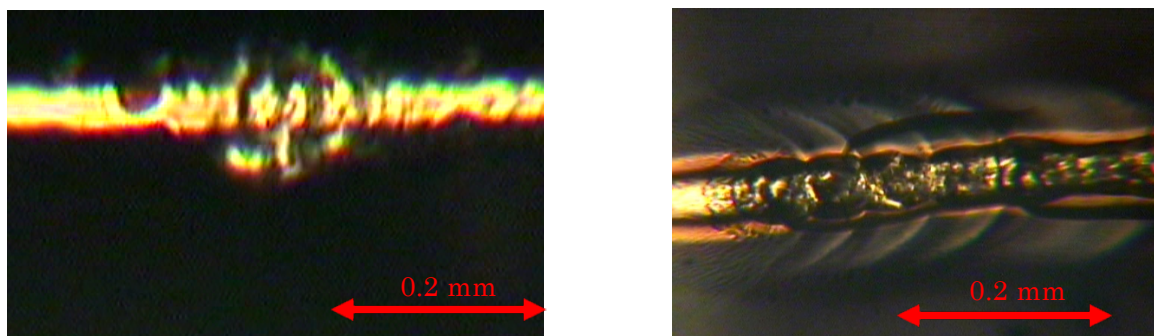
大気中、真空中における線加工の一例を図4に示す。図4において、大気中での加工痕と比較し、真空中での加工痕は大きくなっていることがわかる。

真空中におけるレーザーマイクロ接合を実施するために、図5に示す治具を開発した。この治具の中央部分の溝にBK7ガラス試料を2枚配置し、ガラス試料間にレーザー光を集光照射した。さらに、レーザー光をガラス境界面において2次的に走査し、接合を実施した。接合された試料を分離後、それぞれの表面を走査型電子顕微鏡により観察した。図6に分離後のそれぞれの試料表面の走査型電子顕微鏡像を示す。図6より、レーザー入射側の試料表面ともう一方の試料表面が対になっていることがわかり、接合が実現されていたことがわかる。しかし、接合強度は測定することができなかつたため、集光点位置を変化させる、接合面積を増加させることが必要になると思われる。



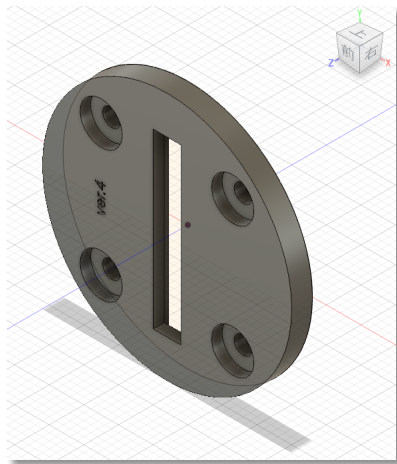
(a) 入射パルスエネルギー  $0.9 \mu\text{J}$ 、大気中 (b) 入射パルスエネルギー  $0.9 \mu\text{J}$ 、真空中 ( $10 \text{ Pa}$ )

図3 大気中、真空中における定点加工の一例.

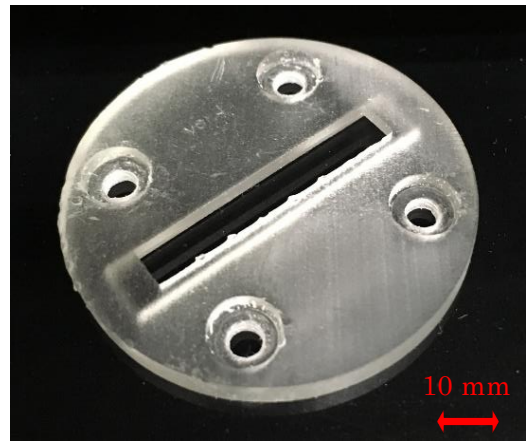


(a) 入射パルスエネルギー  $1.3 \mu\text{J}$ 、大気中 (b) 入射パルスエネルギー  $1.3 \mu\text{J}$ 、真空中 ( $10 \text{ Pa}$ )

図4 大気中、真空中における定点加工の一例.

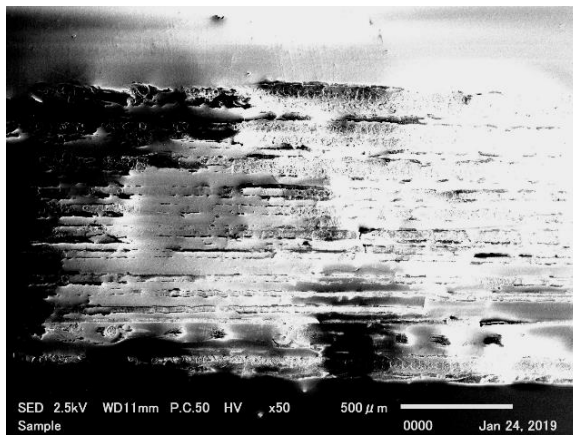


(a) 設計図

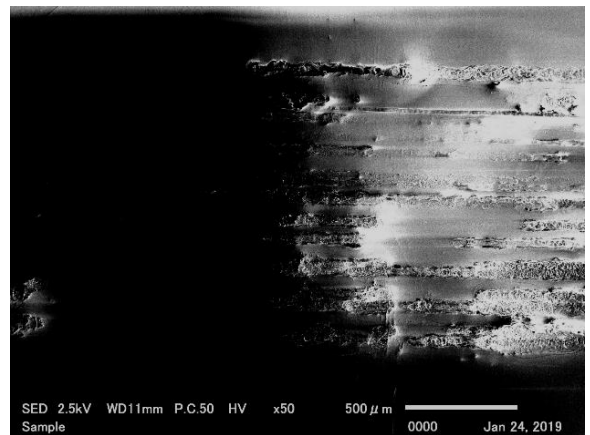


(b) 作製した治具

図5 ガラス試料固定用の治具.



(a) レーザー入射側試料の裏面



(b) レーザー入射側ではない試料の表面

図6 分離後のそれぞれの試料の表面.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 1 件)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

## 6. 研究組織

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。