

氏 名	欧陽 智勇
授与した学位	博 士
専攻分野の名称	学 術
学位授与番号	博甲第 6 4 9 8 号
学位授与の日付	2 0 2 1 年 9 月 2 4 日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第 4 条第 1 項該当)
学位論文の題目	Study on Fusion Micro-welding of Glass by Picosecond Pulsed Laser (ピコ秒パルスレーザーによるガラスの微細溶融溶接に関する研究)
論文審査委員	教授 岡田 晃 教授 藤井 正浩 教授 大橋 一仁 准教授 岡本 康寛
学位論文内容の要旨	
<p>The purpose of this study is to obtain the strong and stable welding of glass. This technology is very promising for industrial production, and it can be used in microelectromechanical systems (MEMS) industries, such as the sensor in electronic microcircuits. This study consists of 4 chapters, and the contents of each chapter are briefly described as follows.</p> <p>In chapter 1, the research background and motivation were introduced. At first, the history, characteristics and principles of laser were described. Then, ultrashort pulse generation through mode-locking, and high peak power pulses generation through chirped pulse amplification (CPA) were introduced. Finally, the interaction of ultrashort pulsed laser with glass, and research objective were described.</p> <p>In chapter 2, the influence of numerical aperture on molten area formation, movement of absorption point, molten area characteristics, and mechanical strength was investigated. Firstly, the analysis results of ray tracking for numerical apertures and the measurement results of diameter of laser spot focused in glass were discussed. Then, the formation phenomena of molten area were recorded by high-speed observation of laser beam irradiated area, and the absorption rate was measured by the power meter. Moreover, molten area characteristics such as the state, size, and shape were characterized. The mechanical strength was evaluated by three-point bending test and pulling test. Finally, molten areas were characterized by etching rate and Young's modulus.</p> <p>In chapter 3, the free-electron density by numerical simulation was investigated. The variation of free-electron density for various numerical apertures was simulated, which was combined with the characteristics of molten area to explain the experimental phenomena in micro-welding of glass by picosecond pulsed laser.</p> <p>In chapter 4, this study was summarized with conclusions, and the outlook of future work was also described.</p> <p>It is concluded that large difference of peak electron density along laser beam indicates that the laser energy is not absorbed simultaneously in the upper and lower parts of molten area. Therefore, the remarkable spike shape is generated by N.A. 0.45, which results in low joining strength. In addition, small difference of peak electron density along laser beam axis indicates the simultaneous absorption of laser energy, and continuous molten area are formed inside molten part. Moreover, moderate peak electron density of N.A. 0.65 causes a long distance of high power density in laser beam axis, and large size of molten area, which results in the high joining strength.</p>	

論文審査結果の要旨

本研究は、MEMS等に広く応用されるガラス材料のピコ秒パルスレーザーによる微細溶融溶接技術を対象としている。ガラス材料を透過する波長のレーザー光では、レーザーエネルギーは材料に吸収されないが、微小スポットにレーザー光を集光することで非線形現象にともなう局所的なエネルギー吸収とガラスの溶融領域形成が可能になる。しかし、本技術を実用展開するためには、吸収エネルギーの制御、レーザー光集光特性にともなう吸収エネルギーの分布、それらが溶接領域の機械強度へ及ぼす影響を解明することが重要である。そこで本研究では、レーザー光集光状態が電子密度分布に及ぼす影響を数値計算によって相対的に比較し、レーザー光のエネルギー吸収による溶融領域の機械的特性の評価とあわせて検討することで、ピコ秒パルスレーザーによるガラスの微細溶融溶接の制御性と信頼性向上を目指し取り組んでいる。

非線形現象にともなうレーザー光エネルギーの吸収は光強度分布に影響されるため、集光特性を大きく変化できる対物レンズの開口数を変化させたところ、同一レーザー光エネルギーであっても形状の異なる溶融領域が形成された。大気中で大きなスポット径となる小さな開口数の場合、ガラス内部では最も大きな溶融領域を形成できるが、溶融領域下部が不連続形状となる。加えて、溶融領域の光軸方向における電子密度の最大値と最小値の差が大きくなり、溶融領域形成過程において強い熱衝撃が生ずることから、溶接領域の機械強度が低下する。一方、大気中で微小スポットとなる大きな開口数の場合、ガラス内部に集光すると球面収差が大きく影響して電子密度が小さくなり、ガラス材料へのエネルギー吸収は少なくなることから溶融領域は小さくなる。したがって、溶融領域形成に十分な大きさの電子密度を光軸方向において長い領域で維持し、且つその最大値と最小値の差が小さくなる開口数0.65程度の対物レンズを用いると、高い機械強度を得られることが判明した。また、レーザー光のパルスエネルギーを大きくすることで溶融領域のヤング率が高くなり機械強度が向上した。これらの結果を基に、開口数0.65の対物レンズで大きなパルスエネルギーとレーザー走査速度の条件を用いることで、大きな溶融領域が形成でき、且つ溶接領域の機械強度が増加し、プロセス速度と接合強度の向上が両立できることを示した。

本成果は、ピコ秒パルスレーザーによるガラスの微細溶融溶接のプロセス安定性向上のために有益な知見であり、工学的・工業的価値が高い。よって本研究は博士（学術）の学位に値するものと認められる。