

氏名	IMADUDDIN HELMI BIN WAN NORDIN
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5554号
学位授与の日付	平成29年 3月24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	Micro-welding of Transparent Materials by Picosecond Pulsed Laser (ピコ秒パルスレーザーによる透明体材料の微細溶接)
論文審査委員	教授 岡田 晃 教授 藤井 正浩 教授 大橋 一仁

### 学位論文内容の要旨

This thesis deals with micro-welding of two kind of different material combinations involving transparent glass, which are joining of glass-glass and glass-silicon by using a picosecond pulsed laser. In direct joining of transparent materials, laser beam was focused at the interface of two materials without inserting any intermediate layer. Laser energy is deposited solely in the focal region, which leads to local melting at the interface of two materials, and the resolidification of the molten material forms strong bonds between two materials. Several authors have reported on the geometrical characteristics of the molten area, which is mostly dependent on the laser irradiation conditions. However, all these reports on micro-welding of transparent materials could not clarify the laser-matter interaction sufficiently.

In the case of micro-welding of glass material by using a picosecond pulsed laser, influence of focusing condition on micro-welding of glasses was experimentally investigated by using an objective lens with and without spherical aberration correction, and their molten areas were characterized. Also, influence of pulse interval on the molten area characteristics was discussed. Lastly, the breaking strength of the weld bead joint was evaluated under various processing conditions. The usage of objective lens with spherical aberration correction led to a larger molten area inside the bulk material of glass even under the same pulse energy, which related to the efficient micro-welding of glass materials. In addition, an optical system with the spherical aberration led to a stable absorption of laser energy inside the bulk glass material, stabilizing the shape of molten area, which resulted in the reliable weld joint. On the other hand, breaking strength of the specimens with spherical aberration correction was higher than that without spherical aberration correction. Therefore, it is concluded that the focusing condition with spherical aberration correction led to a larger and stable molten area, which resulted in higher joining strength in micro-welding of glass materials.

On the other hand, anodic bonding technique has become the most commonly used technique for joining dissimilar material of transparent material (glass) and silicon in MEMS packaging industries. However, some limitations such as longer processing time and requirement for wide flat surface have become restrictions of this method. Therefore, direct joining technique by ultrashort laser pulses was introduced to overcome this limitation. Influence of the processing parameters on micro-welding of monocrystalline silicon and glass was experimentally investigated, and characteristics of the molten area were discussed. A splash area of molten silicon around the weld bead line was obvious in the nanosecond pulsed laser. On the other hand, there was no remarkable molten splash around the weld bead line in the picosecond pulsed laser. Breaking strength of specimens with 1064 nm wavelength was higher than with 532 nm wavelength in the nanosecond laser, whereas breaking strength of laser irradiated specimen by picosecond pulse duration was higher than that by nanosecond pulse duration. It is concluded that the combination of picosecond pulse duration and infrared wavelength led to the stable molten area appearance of the weld bead and higher breaking strength in micro-welding of glass and monocrystalline silicon.

## 論文審査結果の要旨

パルスレーザーを用いて透明体材料に対する2つの微細溶接法に関する研究テーマに取り組んでいる。第1の研究テーマはガラス同士の接合に関するもので、ピコ秒パルスレーザーを用いたホウ珪酸ガラスの微細溶融溶接特性を検討している。溶融領域のティアドロップ形状はエネルギー吸収点がレーザー光軸方向に周期的に上下移動を繰り返しながら形成される。収差補正を施した光学系を用いることにより、パルスエネルギーが一定の条件下においてレーザー光の吸収率が上昇して大きな溶融領域形状を得ることができる。パルス照射間隔を小さくすることによりレーザー光の吸収率が増加し、大きく安定した溶融領域を得ることができるなど、その溶融痕形成メカニズムを議論している。また、収差補正を施した光学系を用いることにより、安定した溶融領域形状を得ることができ、安定して高い破断応力を得ることができるなど、溶接ビードの機械強度も明らかとしている。

第2の研究テーマであるパルスレーザーを用いたガラスとシリコンの異材微細溶接法においては、波長とパルス幅の異なる4種類のレーザーを用いてレーザー光と材料の相互作用を議論するとともに、接合強度と照射条件の関係性も評価している。近赤外光の波長1064nmと可視光の波長532nmでは吸収係数の差から、波長1064nmの方が溶融物の飛散が少なく、高い接合強度が得られる。さらにパルス幅ではナノ秒よりピコ秒レーザーの方が高繰り返し領域でも溶融物の飛散を抑制でき、接合強度は高くなる。さらに、波長1064nmのピコ秒レーザー光は主にシリコンに吸収されるが、その一部はガラス側で吸収されたことも示唆されている。そしてレーザーエネルギー吸収によって生じた反跳圧力により、ガラスとシリコンがその境界面で流動することでアンカー効果が期待できるような形状の強固な接合継ぎ手を形成できている。さらに、そのせん断強度はレーザー光の照射パルス数に影響を受け、かつ適切な時間間隔で適切なパルス数を照射することで高いせん断強度が得られるなど、ピコ秒パルスレーザーによるガラスとシリコンの微細溶融溶接法のメカニズムを明かするとともに、良好な機械強度が得られることを示している。

本研究によって得られた成果はピコ秒パルスレーザーによる微細溶接法の可能性を示すものであり、今後、様々な工業分野への適応が期待できるもので工学的・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。