

< 2 > 新規産業開発研究

< 2 - b > 地域産業育成探索 / 実証研究

地域光産業振興に関する研究

小テーマ：加工 半導体レーザー光整形技術の開発

研究従事者：浜松工業技術センター 副主任 山下清光

(1) 研究の概要、新規性及び目標

研究の概要

YAG レーザーや CO₂ レーザー等の従来の加工用レーザーによるレーザー加工では、加工の品質を向上させるには、レーザーのビーム断面強度分布がガウシアン分布に近いことが良いとされてきた。

半導体レーザー（以後、LD）は、従来の加工用レーザーと比べ、エネルギー効率が高等に産業用途として大きな利点がある。しかし、放射されるビーム形状に特異性があり、エネルギーを集中させる集光技術が今まで課題とされてきた。

一方、レーザー加工は、ビームが高エネルギー密度で深度の必要な加工ばかりではなく、一度に広範囲のレーザー照射を必要とする加工もある。LD はそのような加工に向けたレーザーであると考えられる。広面積加工のためにビームを整形する技術は重要な技術であると考えられる。そこで LD のビーム形状の特異性に着目し、ビーム整形技術の開発を行った。

LD は、レーザーの出射する発光点の数と配置の違いから大きく分けてシングルチップ型、バーアレイ型、スタック型の 3 つの型がある。最初に最も基本的なシングルチップ型の素子を対象にレーザー光の形状の整形を行った。ビーム断面強度分布を測定し、その結果をもとに樹脂表面のレーザーによる溶融実験を行った。次に、バーアレイ型 LD のビーム断面強度分布を測定し、その結果をもとに樹脂のレーザー溶着を行い、引張強度測定により加工の評価を行った。

研究の独自性・新規性

LD のビームは他の多くのレーザーとは異なり特異的な形状に放射される。そのため従来のレーザーを単に LD に入れ替えただけでは従来と同じ加工を行うことはできない。LD を目的の加工に使用するためには光学部品の調整が必要となる。さらに、LD 加工のための基礎的な試験データを知ること容易ではない。このように実際に LD をレーザー加工に用いるには障壁が少なくなく LD の新規ユーザー参入の妨げとなっている。本研究により LD 加工の試験データを保有することで、LD ユーザーと LD 加工との掛け橋となる唯一の公的機関となりうる。

研究の目標

目標 1：シングルエミッタ型 LD のビーム断面強度分布と樹脂溶融加工との関係

シングルエミッタ型 LD のビーム整形のための光学系を構築し、ビーム断面強度分布を測定する。その結果をもとに LD による樹脂の溶融実験を行う。3 種類（紫外、可視、赤外）の波長の LD を使用する。

目標 2：バーアレイ型 LD のビーム断面強度分布と樹脂溶着加工との関係

バーアレイ型 LD のビーム断面強度分布を測定する装置を構築し、ビーム断面強度分布の測定結果をもとに樹脂のレーザー溶着を行い、加工品質を評価する。照射条件のパラメータとして、クランプ力、レーザーパワー、走査速度、等を変化させて実験を行う。

(2) 研究の進め方及び進捗状況

目標 1：シングルエミッタ型 LD のビーム断面強度分布と樹脂溶融加工との関係

< 実験方法 >

LD ビームの断面強度分布測定実験の構成を図 1 に示す。使用した LD 素子は、波長が紫外光 近赤外光のものうち数点を選択した。LD 素子は、ペルチェ素子を用いて 25℃ に温度を保持した。

LD ビームは垂直方向（速軸）と水平方向（遅軸）とで異なった角度に放射するため、ビーム断面強度分布は一般的に楕円形となる。そのために各軸に対して別々の光学部品を配置する必要がある。LD ビームの各軸を異なるシリンドリカルレンズで平行光とし、凸レンズ（ $f=20$ ）を用いて集光させ、ビーム断面強度分布をビーム断面強度分布測定器で測定した。また、測定器ヘッドの位置に樹脂を置きかえて、樹脂の熔融実験をした。LD 素子と2枚のシリンドリカルレンズを6軸可変できるように設置し光学調整を行った。

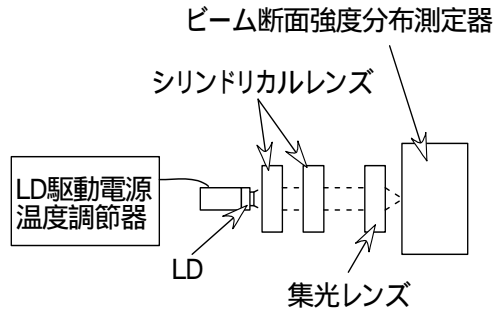


図1 ビーム断面強度分布測定実験構成

<結果>

図2は、波長785nm、最高出力50mWのLD素子を出力50mWで駆動させLD素子発光点の直後のビーム断面強度分布である。図3は2枚のシリンドリカルレンズと集光用の凸レンズを通した後のビーム断面強度分布である。これよりスポット径が93 μm であることがわかった。このときのパワー密度は736W/cm²であった。出力を変化させてもスポット径に大きな差はみられなかった。図4は波長808nm最大出力1W用の素子を0.1W出力時の集光ビーム断面強度分布である。強度分布が長方形であるのは、この素子のエミッタの像が映し出されていると考えられる。これは、この素子のエミッタサイズが波長に比べて大きく、点光源とみなせないためLDがマルチモード発振しているためと考えられる。

図5、図6はそれぞれ波長785nmの素子で出力50mW、10mWで集光させて樹脂（ジュラコン：黒）に照射した結果である。レーザーの走査速度は6mm/sで行った。50mWで熔融幅80 μm 、10mWで熔融幅30 μm であることがわかった。

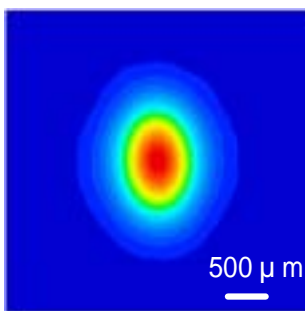


図2 出射直後($\lambda=785\text{nm}$ 、50mW)

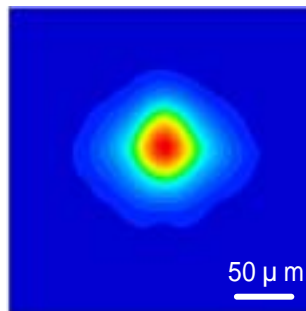


図3 集光時($\lambda=785\text{nm}$ 、50mW)

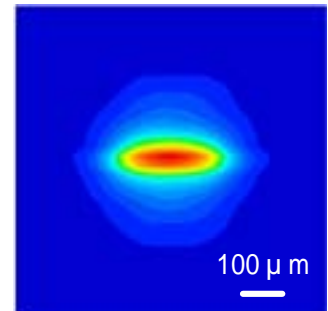


図4 集光時($\lambda=808\text{nm}$ 、0.1W)



図5 樹脂加工 (50mW)



図6 樹脂加工 (10mW)

目標 2 : バーアレイ型 LD のビーム断面強度分布と樹脂溶着加工との関係

< 実験方法 >

基本的な実験構成はシングルチップ型 LD の実験の構成と同様である。LD は最大出力 30W、中心波長 806nm のものを使用した。LD 素子の温度を 25 に保持して測定を行った。

バーアレイ型 LD はシングルチップ型 LD に比べて高パワーのため、レーザー光を直接、ビーム断面強度分布測定器には入射させることができない。そこで誘電体多層膜の全反射ミラーを 2 枚 (速軸用、遅軸用) のシリンドリカルレンズの間に置き減光させて、その透過光を測定器に入射させ断面強度分布測定を行った。

測定器ヘッドの位置に樹脂を置きかえて、樹脂の溶着実験を行った。樹脂にレーザーを照射するとまず図 7 のように透過用樹脂を透過したレーザーが吸収用樹脂の表面近辺で吸収され発熱、溶融する。次にその熱が透過用樹脂に伝わり溶融するため、2 枚の樹脂が溶着される。実験ではサイズ 25×50×3mm の樹脂を用いた。25×35mm の面積で重ね合わせ均一に加圧を行うために厚さ 1mm のガラス板を透明用樹脂の上のせ加圧しながらレーザーを照射し 2 枚の樹脂溶着実験を行った。加工ステージを水平 (遅軸) 方向に走査してレーザーを照射した。加工品質は、溶着した樹脂の引張強度試験により評価を行った。図 8 はレーザー樹脂溶着実験の光学系である。

加工対象とした樹脂はエンジニアリングプラスチックの中で透明性の高いポリカーボネート (以後、PC) を使用した。使用した透明 PC の透過率を測定した結果を図 9 に示す。この図から本実験で使用した LD の中心波長 806nm における透過率は約 90% であることがわかった。吸収用樹脂には黒色 PC を使用した。

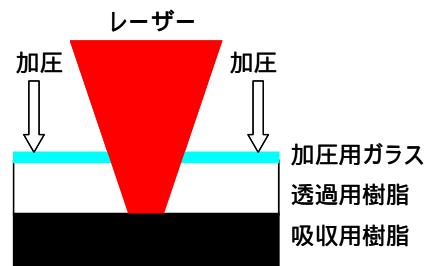


図 7 レーザーによる樹脂溶着

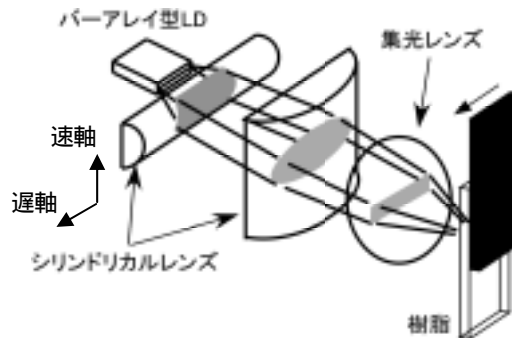


図 8 レーザー樹脂溶着実験光学系

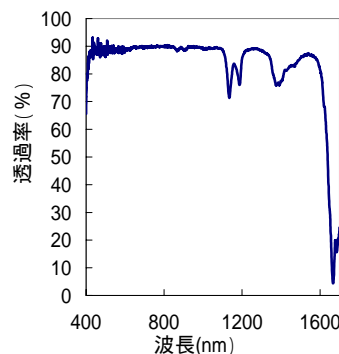


図 9 透明 PC の透過率

< 結果 >

() クランプ力と引張強度

図10は2枚の樹脂を密着させるために加圧した力(クランプ力)に対する引張強度試験の結果である。レーザーパワー6W、スポットサイズ1×8mm、加工ステージは走査速度14mm/sでレーザーを照射した。

溶着強度はクランプ力10N以上加圧しても溶着の強度に影響しないことがわかった。このことから、樹脂のレーザー溶着には過剰の加圧は溶着強度に影響は少ないと考えられる。

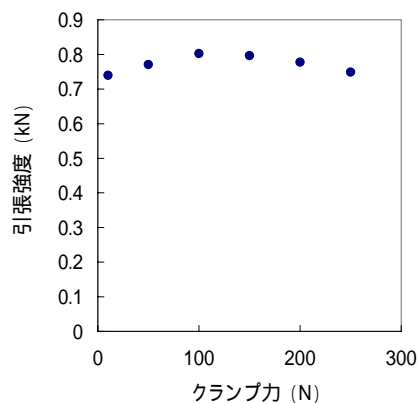


図10 クランプ力

() レーザーパワーと引張強度

図11はスポットサイズ1×8mm、走査速度14mm/sでレーザーパワーを変化させて照射したときの引張強度試験の結果である。

レーザーパワーが16Wまではパワーを増すに従って引張強度が上がるのがわかった。16W以上では強度が急激に低下した。このときの樹脂の溶着部分を観察したところ気泡の存在がみられた。気泡が存在するために溶着面積が少なくなり強度が低下したものと考えられる。さらにパワーを上げて照射した場合には溶着面の樹脂が変質している様子が観察された。

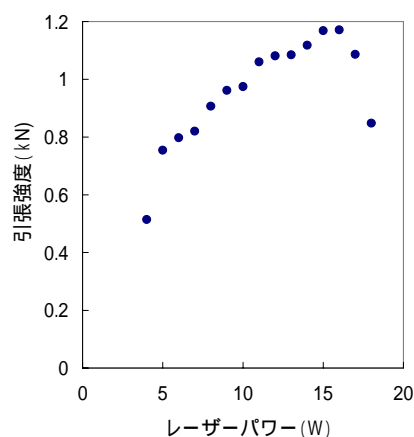


図11 レーザーパワー

() 走査速度と引張強度

図12は照射するレーザーパワーを3Wで固定して加工ステージの走査速度を変化させたときの強度試験の結果である。スポットサイズ0.5×4mmでレーザーを照射した。

走査速度2mm/s以上では、速度が増すに従って引張強度が下がっていくのがわかった。走査速度1mm/sにおける溶着部を観察すると速軸方向の溶着の広がりが顕著になっているのが観察された。速軸方向の熱の伝導により、速軸方向の溶着幅がレーザーの照射幅よりも広くなったために引張強度が上がったものと考えられる。

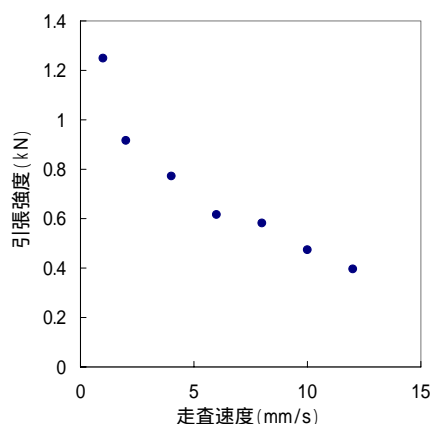


図 1 2 走査速度

(3) 主な成果

シングルエミッタ型 LD のビーム断面強度分布と樹脂溶融加工との関係

シングルチップ型 LD のビーム断面強度分布を測定する装置を構築した。パワーを上げてもビームの集光サイズが変化しないことがわかった。

バーアレイ型 LD のビーム断面強度分布と樹脂溶着加工との関係

バーアレイ型 LD のビーム断面強度分布を測定する装置を構築した。樹脂溶着を行い引張強度試験により加工品質を評価した。樹脂を必要以上の加圧は必要ないことがわかった。レーザーパワーを照射させ過ぎると溶着強度が小さくなるだけでなく、樹脂の変質を伴うことがわかった。ステージの走査速度を高速にするに従って溶着強度が下がるのがわかった。ただし、低速部ではレーザーの照射幅より溶着幅が大きくなり、溶着強度がより大きくなることがわかった。

論文数：2 口頭発表件数：2

(4) 研究成果に関する評価

国内外における水準との対比

LD 加工の基礎的試験データを保有し、かつ実際にレーザー加工が可能な公的機関はあまり存在しないと聞いている。

実用化に向けた波及効果

レーザー加工については地域企業の関心が高いので今回の試験データによりエネルギー効率の高い LD が加工に有効なレーザーであることが認識されれば、波及効果は大きいと考えられる。さらに、LD ユーザーの裾野が広がり LD 新規ユーザーも増加し産業界の活性化にも繋がると考えられる。

(5) 残された課題と対応方針について

スタック型 LD による照射実験はフェーズ 2 で行う予定である。