

レーザ加工技術

今村 清治(いまむら せいじ)

① まえがき

レーザ加工は、ここ数年間に広く産業用として応用されるようになってきた。それは、レーザの性能や信頼性が大幅に向かって、生産コストに見合うようになってきたからである。

レーザは、非接触で制御性がよく、高エネルギー密度の微小スポットにして照射することができるので、小形の電子部品、精密機器部品から大型の自動車、鉄鋼に至る広範囲の加工に応用されるようになってきた。これまで主として、切断、穴あけ、スポット溶接、トリミングなどを中心に発展してきたが、レーザの特性から見て、その応用分野はまだまだ広く発展することが期待される。

ここでは、主に産業用の主流を占めるYAGレーザ及び炭酸ガス(CO_2)レーザによる加工を中心に、既に実用化されているものも一部含めて、実用化が始まったもの、研究開発レベルのもの、今後の発展が期待されると思われるものなどについて応用例をあげて述べる。

② レーザ加工の概要

レーザは、1960年にT.H.Maimanによって発明されたが、1965年にはじめてルビーレーザによるダイヤモンドの穴あけに使われた。

また、現在加工用レーザとして主流を占めているYAGレーザ及び CO_2 レーザは、1964年に米国で開発されたものである。

レーザ加工は、大きく分けて熱的加工と光化学的加工に分けることができる。従来は、波長 $1.064\mu\text{m}$ のYAGレーザと波長 $10.6\mu\text{m}$ の CO_2 レーザが熱的加工として利用されてきたが、最近では波長の短いエキシマレーザ（波長 308nm 、 249nm 、 193nm など）や、YAGレーザの第2、4高調波（波長 530nm 、 266nm ）などによる加工の研究も進み、光化学的加工分野へも広がってきていている。

2.1 加工用レーザの種類とレーザ加工の分類

表1は主な加工用レーザの種類と加工法について示したものである。通常レーザ加工に対する使い分けは、加工目的によって、レーザの出力、発振形態、波長、あるいは発振モードなど、種々の特性を加味して行われるが、産業用としては性能、コスト、安定性などで優れたYAGレーザと CO_2 レーザが多用されている。

図1は、レーザを応用した加工分野について、熱的加工を中心分類したもので、最近では各種の新しい加工法が次々に生まれてきており、今後広く応用が期待されるものと思われる。

2.2 レーザ加工の応用

2.2.1 YAGレーザ加工

YAGレーザ加工は、スポット溶接、穴あけ、マーキング、トリミング、マスクリペアリング、スクライビング、

表1 主な加工用レーザと加工法

レーザの種類	波長 (μm)	発振形態	出 力	主な加工法
CO_2	10.6	CW*1 パルス	< 20kW	切 断 溶 接 熱処理
TEA CO_2	10.6	パルス	< 80W	マーキング
Nd : YAG	1.06	CW	< 1,200W	溶 接 穴あけ
	1.06 0.53 0.266	CW-Q _{sw} *2 パルス ノーマル Q _{sw}	< 200W 数μJ/p ~250J/p	マーキング トリミング スクライビング マスクリペア
Nd : Glass	1.06	パルス	140W	スポット溶接
アレキ サンドライト	0.701 ~0.818	パルス (CW)	< 150W	穴あけ マーキング
Ar ⁺	0.488 0.515ほか	CW	20W	半導体加工
エ キ シ マ	ArF KrF XeCl XeF	0.193 0.249 0.308 0.350	75W 100W 150W 50W	光化学反応 ホト リソグラフィ

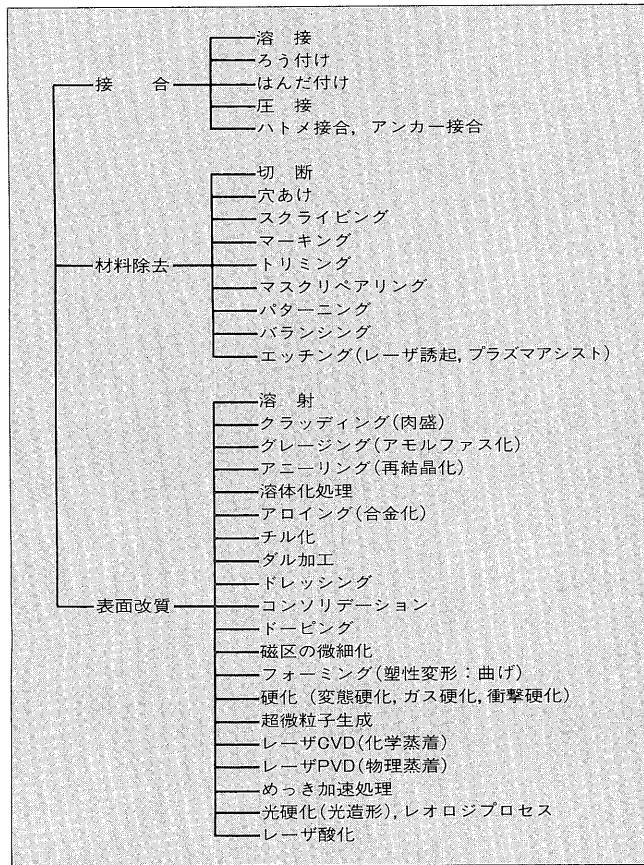
*1 CW: 連続波, *2 Q_{sw}: Qスイッチ

今村 清治

昭和50年入社。製造技術の研究・開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所製造技術研究所副所長研究員。



図1 レーザ加工の分類



切断など、小形精密部品や電子部品などのマイクロエレクトロニクスを中心に、YAG レーザの特性を生かして、実用化が進み発展してきた。一方では、YAG レーザの高出力化が進み、例えば最高出力1.2kW のレーザ発振器が開発・実用化され、また、従来のロッド形に比べて、ビーム広がりが極めて小さく、小形の点で優れた新しいタイプのスラブ形レーザ発振器（最高出力600W：富士電機）も開発されて、ますます加工分野の広がりが期待できるようになってきた。また、光ファイバを使用して光伝送できることも有利な点と言える。

(1) レーザはんだ付け

最近のプリント基板への電子部品実装の高密度化、ハイブリッド化は、リード端子数の増加や端子部の細径化、あるいは端子間隔の縮小化を余儀なくされ、IC 素子と基板の接合がますます難しい技術となってきた。特に、はんだ付けにおいて、電子部品の基板上への表面実装の場合、耐熱に問題のある部品が混在したりするようなときは、局部加熱方式のレーザはんだ付けは有利なものとなっている。

YAG レーザは、CO₂ レーザに比べて金属への吸収が大きく、非金属（ガラス、高分子材料、セラミックスなど）への吸収が小さいので、ガラスエポキシ基板、セラミック基板などの回路上のはんだ付けには優れている。すなわち、基板へのダメージが少なく、はんだの溶融の際には、反射が少ないとなどの理由から、YAG レーザは有利なものとなっている。

フラットパック IC のような多数のリード端子をはんだ

付けするような場合には、あらかじめディスペンサなどによって、クリームはんだが塗布された多数端子のリード部に CWYAG レーザ（CW：連続波）を照射することによって、はんだ付けされる。レーザ光の照射の方式には、スポット移動方式、線状ビーム方式、ビームスキャン方式などがある。スポット移動方式は、光ファイバのフレキシビリティを利用して、光ファイバの出射端部をロボットハンドで任意の位置にレーザ光を照射できるようにしたもので、レーザ光の集光スポットを、例えば、IC の多数の端子リード部上を移動させていくもので最も多く用いられている方式である。

線状ビーム方式は、レーザ光を線状に集光して、数十ピンから100ピンの IC の1辺を、あるいは光分割により2辺を同時にはんだ付けする方式である。⁽¹⁾

ビームスキャン方式はレーザ光をガルバノメータにより高速スキャンさせて、レーザ光の集光スポットを IC の1辺に照射するもので、1辺あるいは光分割により2辺、4辺を同時にはんだ付けする方式である。⁽²⁾

線状ビーム方式あるいは、ビームスキャン方式は、スポット移動方式に比べてまだ新しく、光学系は少し複雑になるが、今後適用が期待される方式と思われる。

(2) マーキング

自動車用鉄板、電子・電気部品、機構部品、工具類などへ、社名、製造番号、形式などをマーキングする方法の一つにレーザで行う方法がある。この方法は、レーザの非接触性、微細さ、高速性などの特長を生かしたものである。

レーザマーキングは、被加工物面にレーザを集光・照射して、加熱、溶融、蒸発という加工のメカニズムを利用するもので、例えば微細粉じんを嫌うような部品へのマーキングには、加熱、溶融のメカニズムを利用して、変色や表面の凸凹によって、マーキング部にコントラストをつける。また、少々の汚れに対しても鮮明なマーキング部を常に保持する必要のある部品に対しては、蒸発のメカニズムを利用して、溝状に掘り起こしてマーキングするものである。

レーザマーキングの方式は、大きく分けて二つの方式がある。一つは、X 軸及び Y 軸用のガルバノメータによってレーザ光を走査する方式、すなわち一筆書きのようにマーキングしていく方式である。もう一つは、レーザ光学系内に文字、記号、番号などの型抜きされたマスク（又はステンシル）を置き、レーザ光の1ショットでマスクパターンをマーキングする方式である。表2は二つの方式の特徴をまとめたものである。通常、光走査（ビーム走査）方式のマーキングには、連続励起 Qスイッチ Nd:YAG レーザが、またマスクパターン方式には、TEA-CO₂ レーザ、あるいはパルス励起 Nd:YAG レーザが用いられる。

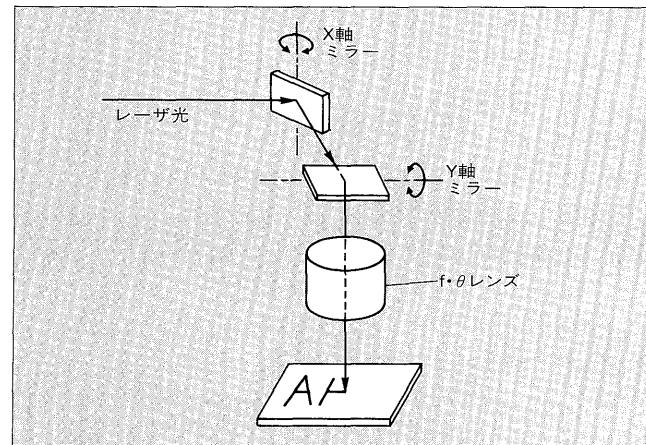
(a) 光走査方式によるマーキング

図2は、富士電機の“LASERMATE-50”に採用しているマーキング方式の概略図を示したもので、このときのレーザ光のシャッタのオン・オフ、あるいは各 X 軸・Y 軸ミラーの偏向制御は、すべてコンピュータによって行われる。また、マーキングの範囲、速度、マーキング

表2 マーキング方式の比較

比較 方式 項目	光走査方式	マスクパターン方式
マーキング原理	・ガルバノミラーによる光スキャン方式	・マスクによる光結像方式
長所	・マーキング内容(記号、文字など)を自由に変更できる。 ・マーキングエリアが広い。	・同一の単純なマーキング内容ならば高速マーキングができ、量産性に向く。
短所	・同一の単純なマーキング内容を量産するのに速度が遅い。 ・マーキングエリアが狭い。	・マーキング内容を自由に変更できない。 ・マーキングエリアが狭い。

図2 光走査方式の概略図



の内容(文字、記号、文字の寸法や太さなど)は、すべて簡単な操作でコンピュータに入力でき、最高300mm/sの速度でマーキングできる。

(b) マスクパターン方式によるマーキング

図3は、このマーキング方式の概略図を示したもので、円形状のレーザ光をシリンドリカルレンズで、だ円形状に成形した後にマスクを通して、結像レンズで被加工物面、例えはフラットパック IC のパッケージの面に結像させることによりマーキングする。通常、マスクとしては光学ガラス基板にアルミニウムなどの高反射膜を蒸着し、マーキングする文字や記号の部分のみレーザ光が透過できるようにエッチングされたものを使用する。図4に加工例を示す。

(3) レーザパターニング

電力用を目的とした大面積アモルファスシリコン(a-Si)太陽電池の研究が、サンシャイン計画として、新エネルギー総合開発機構(NEDO)で推進されているが、このa-Si太陽電池の製造プロセスの溝加工、すなわちパターニング加工にYAGレーザ加工が採用されている。従来はメタルマスク方式、あるいはホトリソグラフィ方式を用いていたが、a-Si太陽電池基板の大面積化(最大40cm×120cm)に対応可能なレーザパターニング方式となったものである。この加工では、透明導電膜(ガラス基板)上に成膜された厚さ数千Åのa-Si膜をレーザでパターニングするときに、

図3 マスクパターン方式の概略図

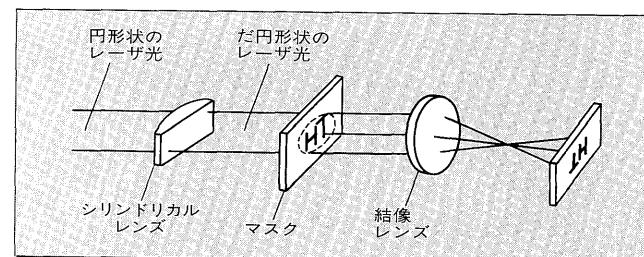


図4 紙へのマーキング加工例

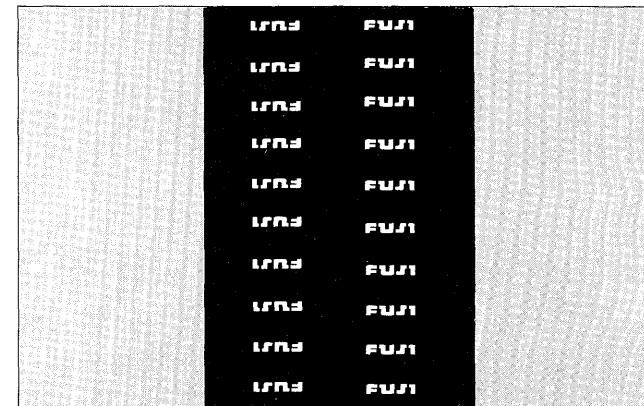
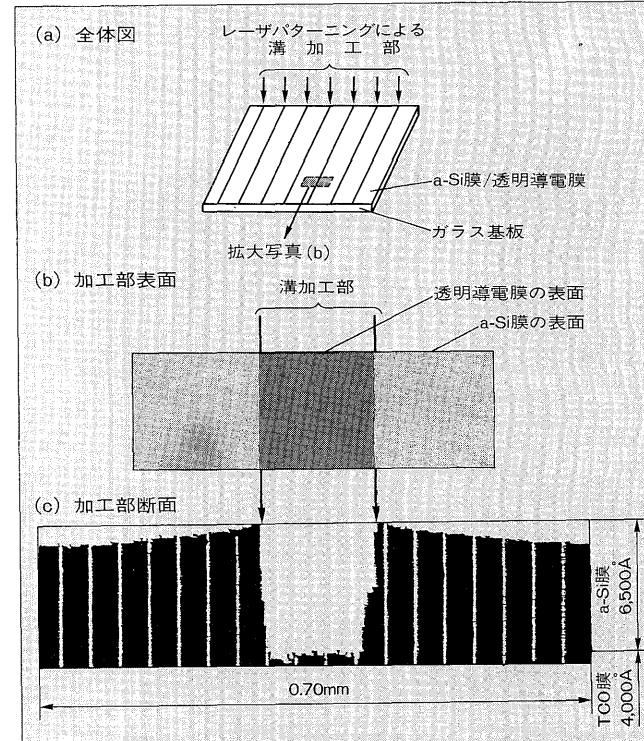


図5 a-Si膜を加工したときの全体図と加工部表面と断面図



下層部の透明導電膜にはダメージを与えないようa-Si膜のみ選択除去加工を行わなければならない。図5の(a)にa-Si膜のパターニングの全体図を、また(b)にa-Si膜をパターニングしたときの溝加工部表面を、そして(c)に加工部の断面をそれぞれ示す。

(4) レーザCVD

レーザCVDは、レーザ光によって雰囲気ガス中の原料

ガスを光分解させて、そこで発生したラジカルと基板表面物質との化学反応によって膜形成させるものである。LSIなどの電子デバイスの高集積化に伴い、リゾグラフィ用のホトマスクはますます微細パターン化されてきている。しかしマスクの欠陥を完全になくすることは困難で、レーザによる欠陥修正が重要な役割となっている。例えば、ホトマスクの欠陥部に連続励起QスイッチYAGレーザの第4高調波（波長 $0.266\mu\text{m}$ ）をクロム・カルボニル [Cr(CO)₆]ガスを封入した雰囲気ガス内で照射すると、Cr膜をたい積させることができ⁽³⁾。この場合、 $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ の面積にレーザビームを15~20秒照射すると、およそ $1,000\text{\AA}$ の厚さのCr膜をたい積させて欠陥部を修正することができる。

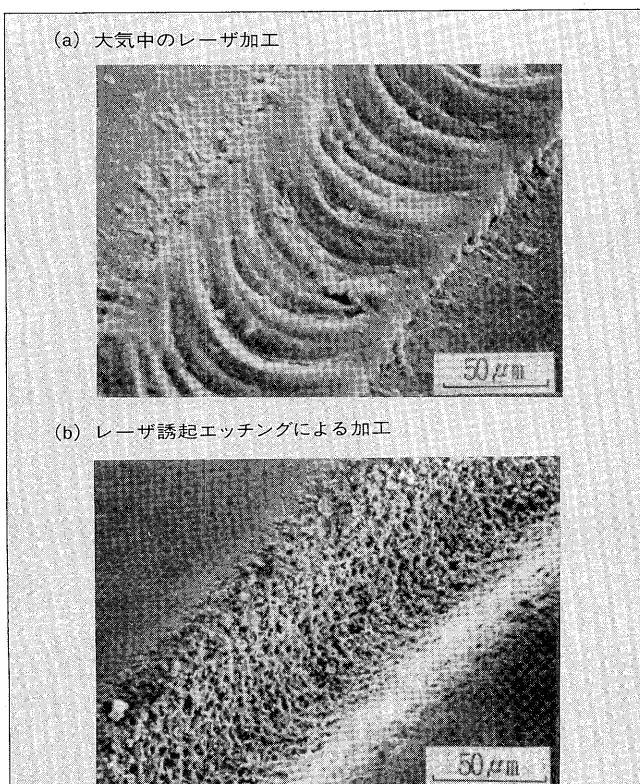
(5) レーザ誘起エッティング

半導体基板材料や、機能部品などとして優れた性質をもつ各種セラミックスが盛んに用いられるようになってきた。そして、これらの硬脆性材料の微細加工技術の開発が課題となっている。その一つとして、レーザ誘起エッティングによるマイクロ形状加工の研究がなされている。大気中でAl₂O₃・TiCセラミックスにYAGレーザを照射して溝加工を行うと、図6(a)に示すように溝の内部に溶融物が付着し、外観表面には多数の飛散物が見られる。KOH溶液中でレーザ誘起エッティングの加工を行うと、図6(b)に示すように粒子状の表面をもつ深くて良好な溝が形成される。⁽⁴⁾

(6) ハトメ接合、アンカー接合

自動車用部材の樹脂化が進んでいるが、樹脂間の接合法として、ねじ、かしめ、超音波溶着、接着剤による方法などが採用されている。しかしどれも一長一短であり、特に接着剤は高価なことが欠点となっている。そこで異種樹脂

図6 Al₂O₃・TiCの加工部表面の比較⁽⁴⁾



材料の接合をレーザで行う方法が試みられている。図7(a)はレーザによるハトメ接合法を示す概略図であるが、YAGレーザ光を透過するスポットプローブにガラスを用いて、CWYAGレーザ光を照射すると、透過率の低いASG樹脂は、加熱されてスポットプローブの先端形状に倣って固まり、接合されるというものである。また図7(b)は、CWYAGレーザ光を透過しやすい樹脂と透過しにくい樹脂、つまり異種樹脂とのシーム接合の概略図を示すもので、樹脂中の強化繊維のアンカー効果により結合させるものである。ABSとASGという物性的に似た組合せでは、超音波溶着に匹敵する接合強度が得られている。

(7) アニーリング、グレージング

半導体注入層へのレーザアニールは、非晶質層を再結晶化させるもので、熱効果モデルによるとパルスレーザアニールでは液相エピタキシー、CWレーザアニールでは固相エピタキシーによって再結晶化が起こると考えられている。図8は、パルスレーザ及びCWレーザアニールの再結晶化過程を示すものである。Si, Ge, GaAs, GaAlAs, GaP, InP, ZnTeなどについて、研究が進められている。使用されるレーザには、YAGレーザ、CWArレーザ、CO₂レーザ、エキシマレーザなどがある。

またYAGレーザによるグレージング（表面溶融後の急速凝固によるアモルファス化）の例では、アモルファス化しやすい合金はくを結晶質の金属面に接合した後に、パルスレーザ光でアモルファス化して、耐食性、硬度を高めているものがある。アモルファス化しやすい合金はく材料としては、Fe₇₈Si₁₃B₁₃, Pd₇₈Cu₆Si₁₆, Fe₇₀Cr₁₀P₁₃C₇, Fe₆₅Cr₁₀Mo₅P₁₃C₇（原子数比）などがある。これらの金属はく材料をHIP（熱間静水圧圧縮）法で、CuあるいはNiの表面に接合すると、合金はく材料は高温度処理されているため結晶質となっており、例えばレーザエネルギー0.32~14.9J/パルス、パルス幅0.24~3.1msでパルス照射するとアモル

図7 レーザによる樹脂の接合⁽⁵⁾

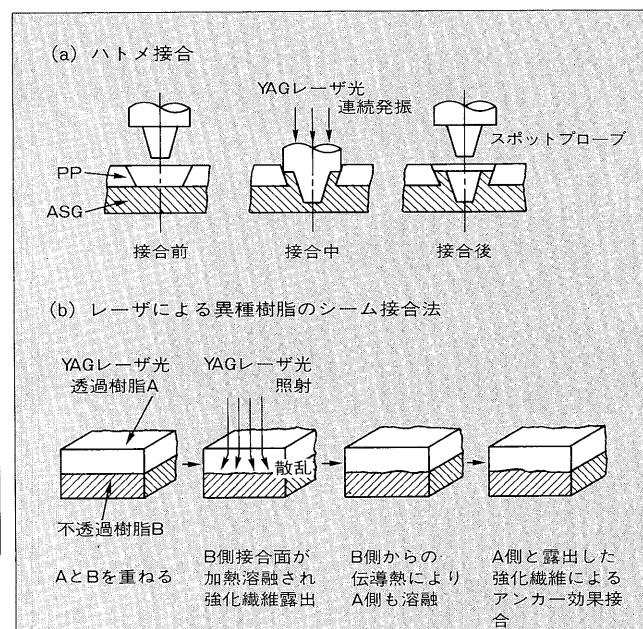
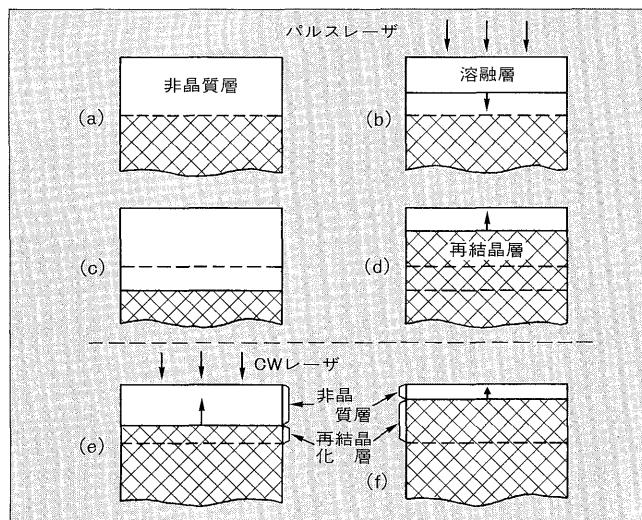


図8 パルスレーザ及びCWレーザアニールにおける再結晶化過程⁽⁶⁾

ファス合金層が得られるというものである。⁽⁷⁾

(8) 磁区の微細化

電力用変圧器の鉄心として使用される高磁束密度方向性電磁鋼板の表面に高エネルギー密度のQスイッチパルスYAGレーザを圧延方向と直角方向に走査して照射痕をつくることにより、従来よりも更に10%以上鉄損の減少に効果があるという。すなわち、レーザ照射痕による微少ひずみを生じさせて磁区を微細化することにより、鉄損の大半を占める渦電流損を減少させようとするもので、既に実用化されている。

(9) カラーステンレス鋼の図柄化

カラーステンレス鋼表面の図柄をYAGレーザ照射によって形成する技術が実用化されている。一般には、カラーステンレス鋼のカラー化は、希硝酸中にステンレス鋼を浸漬して、表面の酸化膜の厚さによる光の干渉によって行われている。希硝酸溶液中のステンレス鋼表面に、QスイッチパルスのYAGレーザ光を照射すると、照射された部分にCr成分が析出してくる。Cr成分の析出濃度が大きいほど酸化膜の形成速度が遅くなり薄くなるので、レーザ照射されない部分と異なった色ができる。この原理により、CADなどを利用してNCでレーザ走査すれば図柄などが形成されることになる。

(10) めっき加速処理

電気めっきの陰極部にレーザ加熱することにより、めっき速度を促進し、高速化を図れることができると報告されている。⁽¹⁰⁾

2.2.2 CO₂レーザ加工

CO₂レーザは、YAGレーザに比べると発振効率が高く、また大出力を取り出すことができる。YAGレーザのマイクロエレクトロニクス加工が中心であるのに対してCO₂レーザは大形板金の輪郭形状切断をはじめ、部品の溶接、布地の切断、ゴム製シール材の穴あけなど金属、非金属を問わず加工寸法が大きなものに適用されることが多い。しかし、YAGレーザに比べて波長が10.6μmと長いために集光性は劣る。また、金属に対しては反射率が高いという欠点もある。現在のところCO₂レーザの70～80%は切断加工

が占めているが、加工分野は多岐にわたって研究されており、実用化の範囲は広がりつつある。

(1) 表面改質

表面改質には、CO₂レーザ、YAGレーザ、エキシマレーザなどが利用されるが、レーザ発振器から発振するレーザ光の強度分布が不均一なため、表面改質には光強度分布の均一化が必要である。被加工物表面に均一照射を行う方法としては、ガルバノメータやポリゴンミラーの回転などによる光スキャン方法と、セグメントミラーやカーライトスコープなどによってレーザ光そのものの光強度分布を均一化して照射する方法がある。

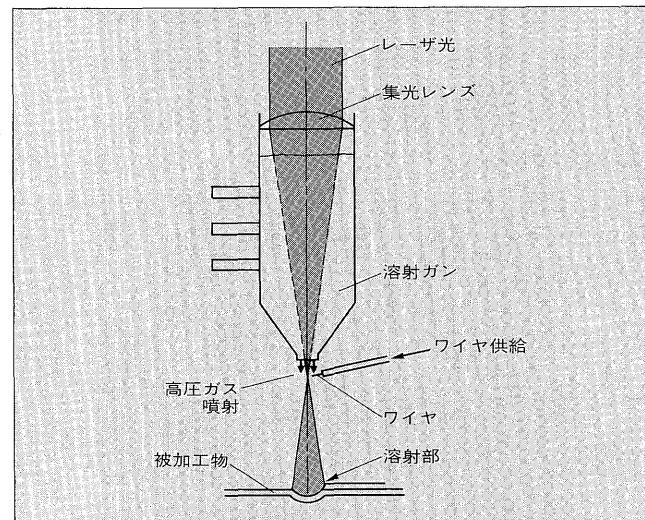
(a) 表面焼入れ

表面焼入れは炭素鋼の場合、オーステナイト域まで加熱して急冷によりマルテンサイト変態を起こすことにより均一な硬化層を得ようとするもので、レーザ光は金属面での反射が高いので、反射防止のために表面処理を行う。例えば、基板金属の表面にレーザ光を吸収しやすいリン酸塩系被膜を形成させる方法や、カーボン、耐熱性酸化物粉末をアクリル系バインダなどで溶かして塗布あるいはスプレー噴霧するなどの方法がとられる。レーザ焼入れは局所加熱による塑性変形とマルテンサイト変態に伴う膨張などにより、硬化物は一般に圧縮の残留応力が残る。⁽¹¹⁾ 実用化例として、球状黒鉛鋳鉄(FCD)製ピストンのピストンリング溝への焼入れがある。この場合、焼入れ深さは0.3mmから0.5mmと浅いので、研磨工程の必要がなく、高周波焼入れに比べて大幅なコストダウンが実現できる。

(b) 溶射

しゅう動部品や耐摩耗部品などへの適用が期待されるレーザによる溶射法が研究されている。図9に示すようにレーザ光を集光レンズで絞り、ガンの出口のノズル近傍に焦点を結ばせて、この焦点の部分にワイヤを送給し先端を溶融させる。ノズル先端からは高圧ガスを噴出させ、溶融金属を微粒子状にして基板表面に吹きつけるものである。また、溶射材には粉末を用いることもできる。

図9 レーザ溶射の概略図



加工例として、ワイヤにチタンを、また高圧ガスにアルゴン、あるいは窒素あるいは酸素を用いることにより、溶射面にはそれぞれ純チタン膜、窒化チタン膜、酸化チタン膜が形成される。

(c) クラッディング

耐摩耗、耐食性、電気的特性の改善など、各種の応用にレーザクラッディングの研究が行われ、一部は実用化されている。これは、基板（母材）上に金属粉末（又はフィラーワイヤ）を塗布（又は供給）し、レーザ光を照射することにより、溶融被覆させるものである。例えば、軟鋼へのステンレス粉末のクラッディング、あるいは鋳鉄へのステライト#6のクラッディングなどがある。また、ジェットエンジン用ブレードのCo基合金のレーザクラッディングがある。^{(11),(14)}

(d) アロイング

被加工物表面にレーザ照射により形成された溶融池と雰囲気ガスとが反応して、表面に硬い層を形成させることができる。いわゆるガスアロイングで、N₂ガス中で Ti-6 Al-4V の表面をレーザ照射すると TiN の硬いセラミック層が形成される。また、Crめっき層あるいはCrとNiの2層めっきを施した軟鋼板表面にレーザ照射を行うと、表面付近のみの溶融・急冷によって表面をステンレス鋼あるいはNi系超合金にすることができる。例えば、厚さ14μmのCrめっき層を軟鋼板表面にあらかじめ形成させておき、出力500WのCO₂レーザを照射して深さ50μmまで溶融させると、フェライト系ステンレス鋼となり耐食性が向上する。⁽¹⁵⁾

(2) レーザを用いた化学的加工

(a) レーザ誘起エッチング、プラズマアシストエッチング

エッチングガス雰囲気中にある試料表面にCO₂レーザを照射すると、照射された部分のエッチングが進行する、いわゆるレーザ誘起熱化学反応によるエッチングが試みられている。試料表面にレーザ光を照射すると、局所的な高温部が形成される。エッチングガスの分子が、この局所的高温部で分解し試料表面と反応する。そして、この揮発性の高い化合物が蒸発してエッチングが行われる。例えばZrO₂あるいはAl₂O₃焼結体セラミックスの試料表面にハロゲン化物のCF₄雰囲気中でCO₂レーザ光を照射すると、大気中でレーザ加工したときに生ずるような溶融加工面における割れを伴わない。しかも良好な加工面が得られる。⁽¹⁶⁾

また、プラズマガス中で試料表面にCO₂レーザを照射してエッチングを行う、いわゆるプラズマアシストレーザエッチングが試みられている。これは、マイクロ波放電により、化学的に活性化されたCF₄ガスプラズマ中で、CO₂レーザ光をZrO₂焼結体あるいはAl₂O₃焼結体セラミック表面に照射すると、大気中でレーザ加工したときのような加工部周辺の盛り上がりがなく、良好な加工面が得られている。⁽¹⁷⁾

(b) レザレオロジープロセシング(L.R.P.と略す)⁽¹⁸⁾

純粹成分の混合体と液体状の粘着剤を混練、クリーム状にしてレーザ照射をすると加熱固化する物質を利用してNCレーザ加工機などで最終形状(Near Net Shape)の製品を得ようというものである。例えば、鉄粉と流動パラフィンを重量7:1で混練した試料に出力35Wのレーザ光を照射すると、鉄粉の粒子どうしが融着して、試料は収縮し密度が大きくなる。このようにして破断荷重⁽²⁰⁾20~30kg/mm²、密度5~7g/cm³のものが得られている。

(3) ダル加工

鋼板の上に規則正しい凹凸を付けて表面塗装に質感を高める方法が、自動車の外板用に採用されている。もともとは外板用鋼板の深絞り形成を容易にするために、圧延用ロールにショットブラストや放電加工で凹凸を付けて圧延時に鋼板に転写する方法が行われていた。これに対して、圧延用ローラ表面をパルス発振のCO₂レーザを用いて規則正しい凹凸面を付ける方法が開発され実用化している。例えば、平均出力3kWの連続発振のレーザ光を高速回転チョップ^{(19),(11)}で40,000Hzにパルス化して、圧延ロール表面に照射する。そして、直径数十~数百μm、深さ10~20μmの穴を数百μmピッチで規則正しい凹凸に形成している。

(4) レーザビーム圧接

この方法は、薄板材をシーム溶接するもので、図10に示すように、2枚の板材を加圧ローラで重ね合わせる部分にレーザ光を集光・照射しながら2枚の板材を高速で送っていくものである。これは直接、接合部を加熱圧接するもので必要最小限度の温度でよい。また、このような重ね継手だけでなく、T形継手や、また難しいといわれる真ちゅう、クロムめっきはく、アモルファス金属はく（ガラス）の接合も可能である。例えば、クロムめっきスチールはく（板厚0.2mm）の溶接を、最高速度240m/minでシーム溶接している。このときのレーザ出力は3kWであった。⁽²⁰⁾

(5) レーザフォーミング

レーザ照射により材料に生じる熱変形あるいは熱応力を積極的に利用して、塑性変形を起こさせる方法が提案されている。材料表面に高エネルギー密度のレーザ光を短時間照射すると、加熱部は収縮を起こして凹形に変形する。例えば図11に示すように、厚さ1mmのSUS304ステンレス鋼

図10 レーザビーム圧接の概略図⁽¹⁹⁾

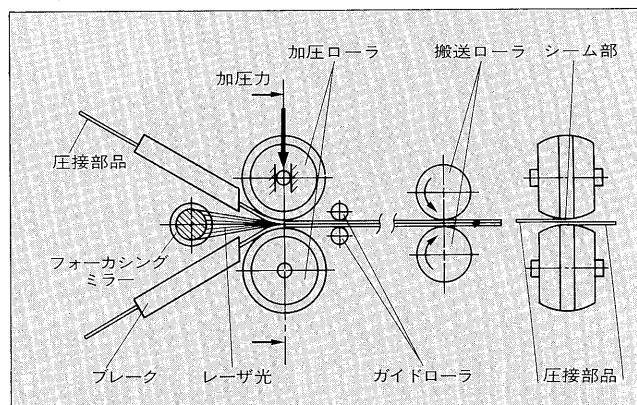
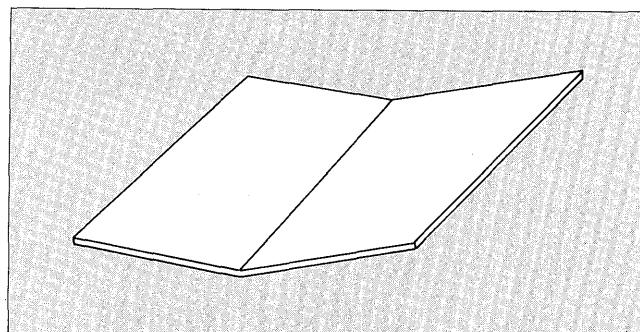


図11 レーザフォーミングによる曲げ加工



板に CO₂レーザを直線状に同一方向から走査すると材料の曲げが生じる。材料の曲げ角はレーザの照射回数に比例して大きくなる。このように外力を加えずに、塑性変形すなわち曲げ加工を行うことができる。

2.2.3 その他のレーザ

今まで述べてきた、YAG、CO₂レーザ以外の各種レーザを応用した加工法について、簡単に述べる。

(1) エキシマレーザ

短パルスで高出力の紫外線レーザであり、物理的な加工や化学的な加工ができるという特長をもつ。通常、加工には ArF レーザ（波長193nm）、KrF レーザ（波長249nm）、XeCl レーザ（波長308nm）が利用される。例えば物理的な加工には、① KrF レーザによる52100スチール、エポキシ樹脂モールド IC パッケージ、テフロンチューブ、PMMA などへのマーキング② XeCl レーザによる石英、ガラス、マイラなどを基板とした Cr, Al, Cu, Ag などの真空蒸着膜に高分解能パターンを形成（除去加工）させるドライエッチャリング③ KrF レーザによる厚さ75μm のポリイミドシートへの穴あけ④ KrF レーザによる銅はく基板上の厚さ100μm の（ポリイミド/粘着）層のみを基板にダメージを与えることなく溝加工する、いわゆる選択除去加工などがある。光化学的な加工には、① ArF レーザによる BCl₃霧囲気中での Si 表面への B のドーピング② ArF レーザによる NH₃霧囲気中での Si ウェーハ表面への Si₃N₄膜の形成や XeCl レーザによる O₂霧囲気中での Si ウェーハ表面への SiO₂膜の形成などのレーザ CVD③ XeCl レーザによる Cl₂霧囲気中での Si 基板へのレーザ誘起エッチング④ XeCl レーザによる 1 気圧 O₂霧囲気中での Si 表面の高速度なレーザ酸化⑤ KrF レーザによる P ドープの Si 表面あるいは XeCl レーザによる Mn イオンドープの ZnS 薄膜面へのレーザアニーリングなどがある。

(2) Ar レーザ

青から緑色にかけての可視光レーザ（波長488nm, 515nm ほか）としての特徴をもち、一般には半導体のような微細加工が中心となっている。例えば、①三次元回路素子などの形成のために絶縁膜（酸化膜 SiO₂）上の多結晶シリコンを単結晶シリコンにするレーザアニーリング② LSI の配線の修正に、Mo(CO)₆霧囲気中で Ar レーザの第2高調波により Al 配線間の結線に Mo 線を形成させるレーザ CVD③ Si や Al₂O₃/TiC や SiON などのセラミック材料

にはエッティング液として KOH 液が、Mn-Zn フェライトには H₃PO₄液が、GaAs には H₂SO₄/H₂O₂混液や HNO₃液が用いられて行われるレーザ誘起エッティング④無電解めっきの可能なニッケル、銅、コバルト、クロムなどを対象として、めっき液に浸漬した試料面（直径数百 μm の微小球面）へレーザ照射して、照射部位のみ形成させるめっき加工などがある。

(3) He-Cd レーザ

紫外光（波長325nm）を生かした加工としては、例えば①液状の感光性樹脂がレーザ照射により硬化することを利用して、コンピュータで定義された立体モデルに従って、レーザ光を走査することによる立体モデルの創成②光 IC 製作時の光 IC 回路の精密描画などがある。

(4) アレキサンドライトレーザ

波長が可変でき、YAG レーザよりも波長が短い（波長701～818nm）ことを特徴としており、加工には例えば① As ドープの Si 表面をレーザ照射により不純物を均一な分布にするレーザアニーリング②銅、真ちゅう、アルミニウムなど各種金属への穴あけ③フラットパック IC へのマークイングなどがある。

③ あとがき

以上、レーザ加工技術の動向について述べた。レーザ加工は現在までのところ、YAG レーザ及び CO₂ レーザが熱的加工を中心に産業用の主流を占めているが、その他のレーザも産業用加工レーザとして、性能、コスト、安定性などが見合うようになれば、それぞれのレーザの特徴を生かした加工技術は飛躍的に発展し、その適用分野は広がっていくものと思われる。

参考文献

- (1) 沖野圭司ほか：四方向フラットパック IC 用の YAG レーザハンダ付けシステム、第2回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集 (MES'87), p.145 (1987)
- (2) 末永直行ほか：レーザはんだ付け、溶接技術, p.58 (1987-6)
- (3) 岸田俊二：マスク加工、第九回レーザ協会ウインターセミナーーテキスト, p.9 (1986-2)
- (4) 小藪国夫・渡辺純二：レーザアシストエッティングについて、日本機械連合会超精密加工および計測に関する研究(II)，超精密加工計測研究交流会報告, p.17 (1986-9)
- (5) 中俣秀夫：技術資料 最近の接着技術の動向と将来への展望、溶接学会誌, Vol.56, No.4, p.223 (1987)
- (6) 難波進：レーザ加工 微細加工を中心にして、応用物理, Vol.51, No.4, p.454 (1982)
- (7) 松繩郎：YAG レーザをパルス照射して金属表面をアモルファス化、日経メカニカル, No.237, p.28 (1987-1-26)
- (8) 松岡英夫・本城修：レーザ照射による電磁鋼板の鉄損改善、レーザ協会会報, Vol.10, No.3, p.1 (1985)
- (9) レーザ・イオンで光学特性向上 デザインや色の世界にも

- 踏み込む、日経メカニカル、p.49 (1987-5-4)
- (10) 菅名宗春：レーザ加工はこれからどう進むか、溶接技術、p.60 (1987-1)
- (11) 丸尾大・宮本勇：レーザ・電子ビームによる表面改質、溶接学会誌、Vol.56, No.3, p.129 (1987)
- (12) 有田重彦ほか：炭酸ガスレーザによるピストンリング溝の焼き入れ、レーザ協会会報、Vol.11, No.1, p.12 (1986)
- (13) 松田純ほか：レーザ溶接技術の基盤と応用、溶接技術、p.40 (1986-8)
- (14) 菅名宗春：レーザ肉盛溶接技術の基盤と応用、溶接技術、p.57 (1986-8)
- (15) レーザ照射で Cr メッキ層をステンレス鋼化、日経メカニカル、p.53 (1985-5-20)
- (16) 土屋八郎ほか：レーザ誘起熱化学反応を利用したセラミックの加工、昭和62年度精密工学会春季大会学術講演会論文集、p.451 (1987)
- (17) 土屋八郎ほか：マイクロ波放電プラズマを利用したセラミックスのレーザ加工、昭和62年度精密工学会春季大会学術講演会論文集、p.461 (1987)
- (18) 中沢弘ほか：レーザレオロジープロセシングの研究——加工現象と装置について——、昭和62年度精密工学会春季大会学術講演会論文集、p.457 (1987)
- (19) Sepold, G. et al. : Laser Beam Pressure Welding-A New Welding Technique, Proc. LAMP '87(高温学会), p.151 (1987-5)
- (20) Namba, Y. : Laser Forming of Metals and Alloys, Proc.
- LAMP '87 (高温学会), p.601 (1987-5)
- (21) 村原正隆：エキシマレーザの加工への応用、塑性と加工(日本塑性加工学会誌), Vol.27, No.307, p.934 (1986-8)
- (22) Znotins, T. et al. : Materials Processing with Excimer Lasers, Proc. LAMP '87 (高温学会), p.581 (1987-5)
- (23) 豊田浩一：新しいレーザ加工技術、機械の研究、Vol.38, No.10, p.1085 (1986)
- (24) 松波弘之：レーザ応用技術エキシマレーザのウエハプロセスへの応用、月刊 Semiconductor World, p.77 (1986-8)
- (25) 村原正隆：特集エキシマレーザの現状と今後の課題(1) エキシマレーザによる「電子材料プロセスへの応用」——半導体工業への可能性——、O plus E, No.79, p.65 (1986)
- (26) 須賀原和之・赤坂洋一：ポリシリコンのレーザ再結晶化層に作成した CMOS 素子、昭和58年レーザ学会学術講演会第三回年次大会、p.97 (1983)
- (27) 森重幸雄ほか：レーザ直線配線技術の LSI 応用、レーザ協会報、Vol.12, No.2, p.1 (1987-4)
- (28) 三橋真成：レーザ誘起エッチングによるファインセラミックスのマイクロ加工、精密工学会主催シンポジウム「ファインセラミックスの新しい加工技術とその応用」テキスト、p.175 (1987-7)
- (29) 椿原啓・久保宇市：レーザによる微小域メッキ加工、昭和58年レーザ学会学術講演会第3回年次大会、p.98 (1983)
- (30) 中井孝・丸谷洋二：レーザを用いた立体モデル創成、機械と工具、p.45 (1987-7)

技術論文社外公表一覧

題 目	所 属	氏 名	発 表 機 関
目視検査自動化システムの構成とその応用例	東京工場	薄 昭夫	リアライズ社講演会 (1987-8)
VP50による三次元解析	富士ファコム制御 〃 〃	本山 浩 寿上 宏司 金山 寛	日本科学技術連盟第1回計算力学シンポジウム (1987-8)
インパクトドロップ補償用ディジタルオブザーバ	富士電機総合研究所	海田 英俊	
電圧形 PWM インバータによる誘導機の高精度トルク制御	富士電機総合研究所 〃	橋井 真 大沢 博	
電気鉄道におけるパワーエレクトロニクスへの GTO の適用	富士電機総合研究所 〃 電機システム統括部 〃	木下 繁則 橋本 理 岩村 光二 佐藤 洋	電気学会産業応用部門全国大会 (1987-8)
PWM インバータ開発の現状と動向	富士電機総合研究所	中野 孝良	
京阪電鉄大津線・GTO サイリスタ式回生電力吸収装置の運転実績	電機システム統括部 富士電機総合研究所 神戸工場	田中 滋夫 吉川 春樹 千崎 文雄	
PCを中心としたネットワーク・システム	富士ファコム制御	中島 千尋	



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する商標または登録商標である場合があります。