

# レーザ刻印装置

青山 春夫(あおやま はるお)

折笠 親一(おりかさ しんいち)

植田 進(うえだ すすむ)

## ① まえがき

現在、多くの分野で多数のレーザ製品が既に実用化され、利用されているが、その中でもレーザ刻印は早くから注目され、今後、更に普及、用途の拡大が大きく期待される応用分野の一つとされている。

富士電機においてもレーザ刻印に早くから着眼し、刻印技術の蓄積、扱いやすい装置の商品化に力を注いてきた。

レーザ刻印は、ワーク面にレーザ光を照射して加熱、溶融、又は蒸発という熱加工原理を利用して刻印するものであり、加工条件を選択することにより、熱変色から彫り込みまでニーズに応じた刻印を行うことができる。この方法は、従来の印刷、打刻、エッチングなどの方法に比べ、次のような多くの利点を有している。

- (1) 材質を選ぶことなく、凸凹のあるワークにも永久刻印を行うことができる。
- (2) 微細刻印も美しく行える。
- (3) ワークに何ら力を加えることなく非接触で刻印が行える。
- (4) 高速、高精度刻印が行える。
- (5) 刻印のための前処理、後処理が不要である。
- (6) 装置の自動化が容易なので、ラインへの導入が簡単である。

現在広く使用されているレーザ刻印装置には、その刻印方法から大別するとスキャナ方式とマスク方式があり、レーザ光源から分類するとTEA(Transversely Excited Atmospheric Pressure)-炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)レーザとNd:YAGレーザを使用したものがある。TEA-CO<sub>2</sub>レーザは、10.6μmの発振波長を有しており、Nd:YAGレーザのそれに対し、10倍であり、どちらかと言えば、ガラス、樹脂製品への吸収が良い。一方、Nd:YAGレーザは金属に対して吸収が優れているので、これらを上手に使い分けることにより、希望のレーザ刻印が以前よりはるかに簡単に実現できるようになっている。種々材質に対する両レーザ光の吸収率は、おおよそ表1のとおりである。

以下に富士電機のレーザ刻印装置について、簡単に述べる。

表1 レーザ光と各種材料の吸収率

材料	レーザ光 YAG (1.06μm)	CO <sub>2</sub> (10.6μm)
アルミニウム	6%	2%
銅	10%	1.5%
炭素鋼	40%	10%
ガラス	5%	94%
紙	25%	95%

## ② スキャナ方式

### 2.1 概要

スキャナ方式は、発振器から取り出したレーザ光を、スキャナをアクチュエータとするX、Y軸反射偏向ミラーにより偏向させ、1字1字刻印するものであり、富士電機では“LASERMATE-50”と称して商品化しているものである。以下にその概要を説明する。

本レーザ刻印装置は大きく分けて三つの部分から構成されている。一つはレーザ光を発生させ上記偏向ミラーなどをを持つレーザヘッド部、もう一つはレーザ発生用電源、スキャナ駆動制御用のコントローラなどから成る制御部、更にレーザヘッドと直結されている冷却装置である。

#### 2.1.1 レーザヘッド

レーザ発生源には固体レーザの代表的なものであるNd:YAG(発振波長1.06μm)を使用している。Nd:YAGロッドは、これに平行して設置されている励起ランプのエネルギーを受けてレーザ光を発生するが、これらが収められている室内は、ランプの光エネルギーを効率良くロッドに照射するため、だ円構造を採用しており、その内面は金の鏡面仕上げがされている。図1にレーザヘッド部の概略を、表2にその仕様を示す。

YAGロッドより発生した光はロッドに沿って進み、100%共振ミラーと90%共振ミラー間を往復して光増幅が行われ、スペクトル幅が非常に狭く、完全に位相のそろったい



青山 春夫

昭和37年入社。レーザ応用機器のエンジニアリングに従事。現在、東京工場メカトロ機器部副部長。



折笠 親一

昭和49年入社。レーザ応用システムのエンジニアリング業務に従事。現在、東京工場メカトロ機器部課長補佐。



植田 進

昭和58年入社。レーザ応用システムのエンジニアリング業務に従事。現在、東京工場メカトロ機器部。

図1 レーザヘッド内部構造図

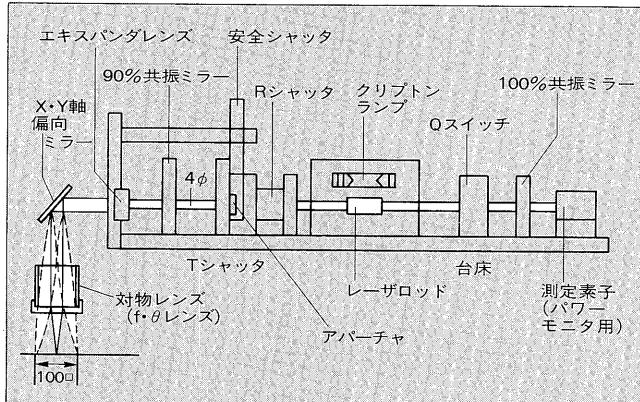


表2 レーザ発生部仕様

項目	仕様
容量	Nd: YAG 50W (マルチモード) (ロッド寸法…4mmΦ×75mm)
波長	1.06μm
モード	マルチモード
パルス数	0.1~50kHz (可変)
パルス幅	150~350ns (1.0~20kHz)
ランプ電流	10~20A (可変)
電源容量	3φ, 200/220V, 50/60Hz, 10kVA (本体用) 1φ, 100V, 50/60Hz, 10A (端末用)
消耗品と交換期間	クリプトンランプ : 定格300h 同上用フローチューブ : 1年 純水 : 3ヶ月 イオン交換樹脂 : 3~6ヶ月

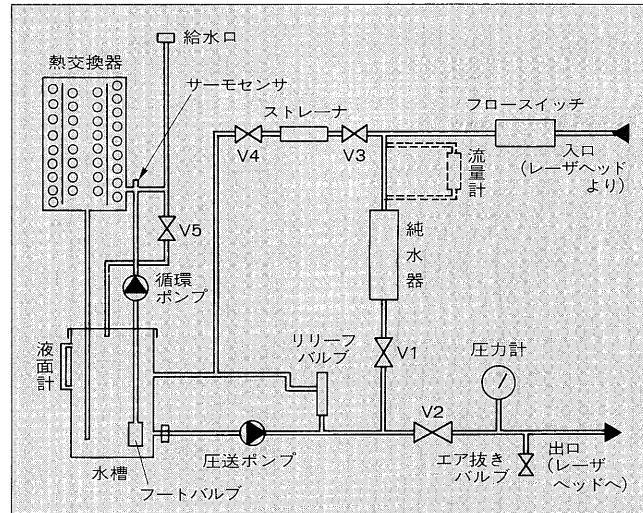
わゆるレーザ光線となり、90%ミラーを介し、10%だけが外部に出力として取り出される。このレーザ光は、直流クリプトンランプの連続励起により得られたものであり、CW (Continuous Wave) と呼ばれている。

CWからジャイアントパルスと呼ばれる高出力パルスを取り出すために光共振器内に音響光学的Qスイッチを設けている。Qスイッチにより、レーザ共振を周期的に止め、停止期間中にロッド内に光エネルギーを蓄積させ、次回共振開始時にこのエネルギーを瞬時に放出させ、非常に高いピーク値を持ったレーザ出力を取り出している。

ロッドから出た光束径を小さく絞るためにアーバーチャがあり、これは共振器から出てきた4mmΦレーザ光のモードをシングルモードに近づけ、微細刻印を鮮明に行わせるためなどに利用するものである。また、安全シャッタは電磁式と手動式の機械式シャッタの両方を備えており、必要時にレーザビームの外部放出を遮断するものである。

90%ミラーから取り出された光は、エキスパンダレンズにより径の大きい平行光線に広げられる。これは、f・θレンズへの入射光径を大きくして、集光スポット径をより小さくし、刻印面でのエネルギー密度を高めるためのものである。ここでf・θレンズとは、入射光が光軸に対しθ度振れて入射した場合、それに対する焦点位置が同一平面上となる対物レンズのことである。

図2 冷却水系統図



実際には上記両レンズ間にスキャナの軸に固定されたX, Y 軸反射偏向ミラーがあり、レーザビームを反射偏向し所定の位置に文字、マークの軌跡を描く。f・θレンズと当偏向ミラーの作用により、レンズの許容範囲内ではワークを移動せず、均一な刻印を行うことが可能である。

### 2.1.2 レーザ制御装置

レーザ制御装置は電源装置、RFドライバ、アナログ装置、及びコントローラから構成されている。

レーザヘッド内の励起ランプに電力を供給しているのが電源装置であり、ランプは昇圧回路で作られた高電圧トライガーパルスにより点弧される。

また、Qスイッチ駆動用高周波電力を発振させ、その出力間隔を制御するものとしてRFドライバが収納されており、加工に応じた最適周波数が設定できるようになっている。その他、X, Yスキャナを駆動させるアナログ装置、それに動作位置指令を与えるコントローラが実装されており、このコントローラは同時に外部機器(搬送装置、上位CPUなど)とのインターフェースも行っている。

### 2.1.3 冷却装置

冷却水はレーザヘッド内の励起ランプ、ロッド、Qスイッチなどを冷やしているが、冷却媒体として純水を用いている。純水はレーザヘッドと冷却装置との間でポンプにより内部循環しており、ヘッド内で熱を吸収し、温められた水は冷却装置内で大気と熱交換される。冷却装置内の純水通路にはイオン交換樹脂が設けてあり、純水中に溶け込んだ金属イオンを吸収している。また、冷却器には純水の温度を検出するサーモスタットを備えており、純水の温度をある範囲内に抑えている。図2に冷却水の系統図を示す。

### 2.2 刻印仕様

図3に本装置の動作原理図を示す。本装置は、レーザ発生装置から取り出したレーザ光をX, Y偏向ミラーにてそれぞれの軸上に反射偏向させ、またこれと同時にレーザヘッド内シャッタで光の発射、遮断を行うことにより、コントローラへ入力した文字、図形を刻印するものである。

図3 装置の原理図

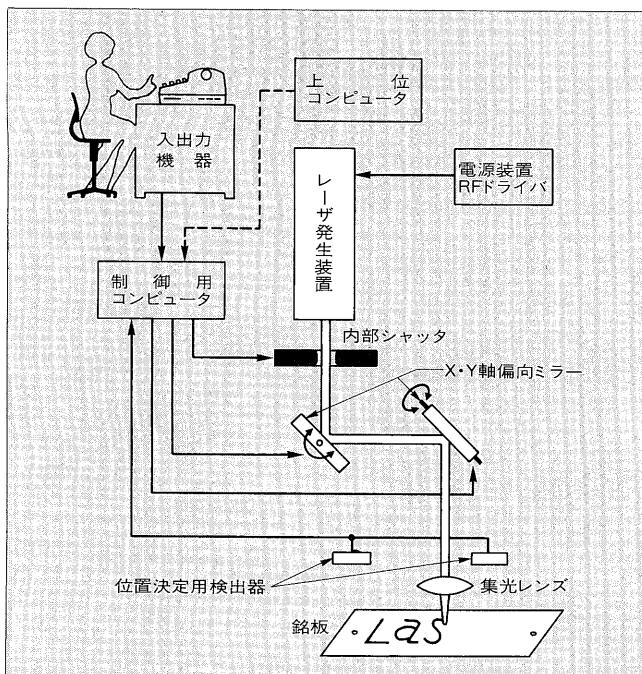


表3 装置の仕様

項目	仕様
刻印内容	アルファベット大文字、小文字 数字(0~9) 記号(., /, -, +, ()など) 片仮名 漢字、特殊図、社マークなど
刻印高さ	0.2~100mm
刻印太さ	0.05~5mm
刻印速度	2~300mm/s
刻印深さ	0.05~0.2mm (材質により異なる)
刻印方向	直線(各角度)、円弧( $r=2\sim650mm$ )
刻印範囲	100mm $\square$ (120mm $\phi$ ) ( $f\cdot\theta$ レンズ $f=150mm$ の場合)
照射方式	連続、ジャイアントパルス
字體	右図3種類 

例えば、横線を刻印する場合は、X軸偏向ミラーを所定角度回転させ、縦線を刻印する場合は、Y軸偏向ミラーを所定角度回転させる。斜め線はもちろんこの双方を同時に動作させる。また、円弧はX、Y偏向ミラーをそれぞれ特殊曲線に従って回転させることにより刻印可能となる。

刻印線幅はX、Y偏向ミラーを所定角度ずつ振らせながら走査させることにより変更可能であり、更に二つの偏向ミラーごとにこの振幅値を設定できるため、表3の刻印仕様中字体欄に示すとおりの字体の刻印が可能となる。

### 2.3 特徴

本装置（スキャナ方式レーザ刻印装置）の特徴は下記のとおりである。

- (1) 100mm $\square$ 以内であれば、ワークを移動せず、どの位置にも刻印可能なため、ワーク移動装置の制御が簡単であ

り、重量物への刻印も比較的容易に行える。

- (2) 刻印文字書体、图形、刻印方向、文字太さ、寸法など、あらゆる文字仕様をプログラムにより変更できるため、多品種少量生産ラインにおいても、段取時間の節約が可能である。
- (3) 非接触にて刻印するため、複雑な形状を持ったワーク、振動、衝撃に弱いワーク、またガラスなどの障害物越しにワークへの刻印が可能である。
- (4) 刻印状況が常に均一なことと、刻印部に照明をあてた場合、一定した反射を作れるので、安定した2値化を行うことができ、刻印データの自動読み取りも可能である。
- (5) 本装置は、非常にフレキシブルな仕様を備えており、加工条件の設定（出力、繰返しパルス数など）を様々に変えることができるため、様々な材質のワークへ希望する刻印が簡単に実現可能になっている。

### 2.4 応用例

本装置は、現在、百数十台の実績を持つに至っているが、そのすべてが前節で述べた本装置の特徴がそれぞれに生かされており、それまでのユーザー側の様々な問題点を解決し、好評を得ている。ここでそれらの代表例を紹介する。

#### 2.4.1 多種銘板自動レーザ刻印装置

自動車組立ライン用に納入した多種銘板自動レーザ刻印

図4 多種銘板自動レーザ刻印装置の外観

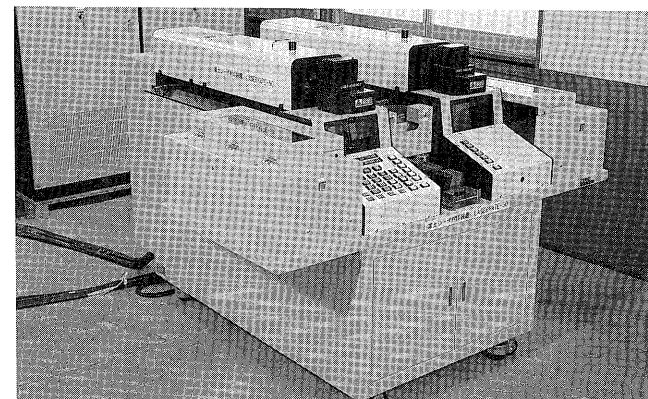
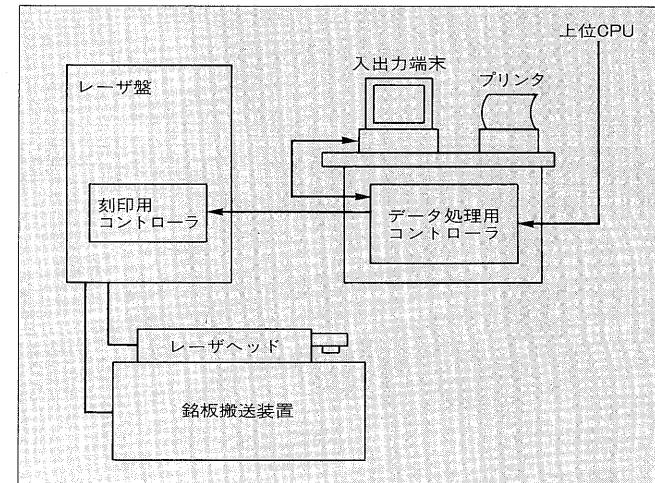


図5 各種銘板自動レーザ刻印装置のシステム構成



装置であり、外観を図4に、システム構成を図5に示す。現在、自動車には、1車両につき、最低1枚の銘板取付が法規づけられており、車両用認証銘板に記載されるデータは、シャーシNo.、それに搭載したエンジンNo.など、車両が完成した後に決定される複雑なデータであり、取付銘板の仕様もその車の仕向地により多種多様となる。現状の印刷+機械打刻方式をレーザ刻印方式に切り換えたことにより、銘板のストック、刻印データの管理、メンテナンスなど、多くの問題点を解決し、大きく省力化に貢献している。

#### 2.4.2 工具への刻印

工具中現在最も導入台数の多いものはドリル、エンドミル類に対する社マーク、サイズなどの刻印であり、刻印例を図6に示す。

特徴は、通常の金属研磨面に対する黒字刻印と黒クロムめっきした面に対する白字刻印をRFドライバの繰返し周波数とランプ電流を変えることにより、本装置1台で行っていることである。これは、図7に示すとおりレーザ光の繰返し周波数を変化させることにより、総熱量を大きくして表面に安定した黒色酸化被膜を形成させてしまう黒字刻印と、熱量は小さいが1パルスあたりのピーク値を大きくして表面に彫り込みを入れる白字刻印（黒クロムめっき部下層の金属面を出す）とが、刻印条件を変更することにより可能である。

図6 工具への刻印例

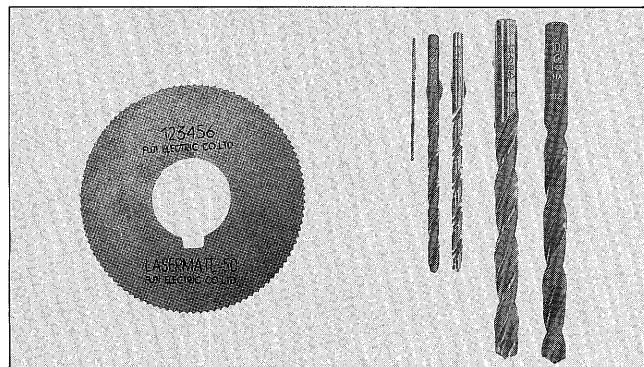


図7 白字刻印と黒字刻印

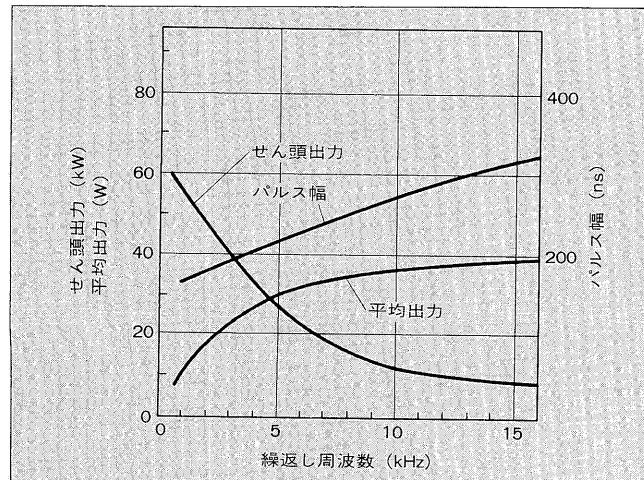
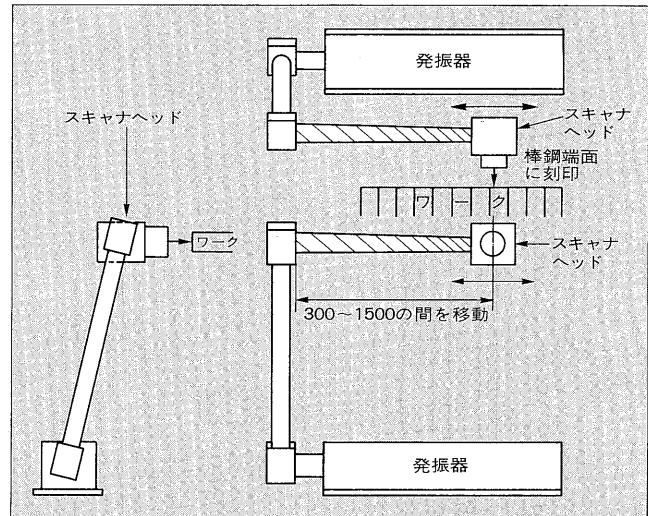


図8 スキャナヘッド移動方式



#### 2.4.3 鋼材への直接刻印

ある鉄鋼ラインでの事例であるが、約1.5mの幅に並べられた棒鋼の端面にロットNo.を刻印するものであり、図8に示すとおり、f·θレンズやX、Y偏向ミラーを収納するスキャナヘッド部のみを約1.5m横に水平移動させ、指定された端面に刻印するシステムである。レーザ発振器本体を振動環境下に設置することを避けるため、スキャナヘッドとの間は二つのエルボミラーを用い、レーザ光を空中伝送した特殊な事例である。

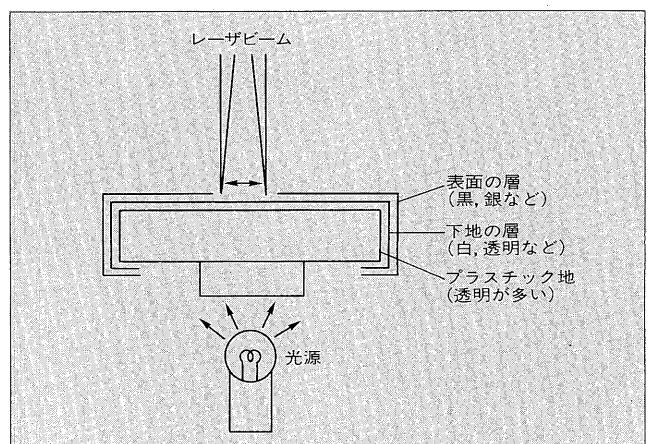
また、ワークは赤熱状態となっていることもあり、周温への配慮からスキャナヘッド部は空冷ジャケットで覆い、清浄工アを注入して冷却している。

#### 2.4.4 スパッタ処理プラスチック部品への文字加工

オーディオ製品パネル上のスイッチ、自動車のインパネ上のスイッチなどに見られる押しボタンなどの部品で、裏面から照明を当てると文字、マークなどが浮き出し、高級感を与えるものがある。これらは、従来印刷にて行われていたが、その超多品種性、モデルチェンジの多さから非常に困難な作業であった。

図9のとおり、本装置から発射するレーザ光線でこの文字部の非透明層を刻印（はく離）し、下地の層、あるいは

図9 スパッタ処理プラスチック部品への文字加工



プラスチック地には全く損傷を与えない加工が行え、また、刻印文字の変更にも柔軟に対応できることから、近年需要が急増している。

当事例の場合、刻印した部品は直接人間の目に触れる装飾品であり製品の価値を左右するものである。このため、刻印文字、図柄などの寸法、品質に対する厳しい規定にパスするため、X、Yスキャナ用高速対応サーボ系、微調可能アーチャ、文字プログラム作成時のグラフィック表示サポート機能など、様々な微細刻印ニーズへの機能アップを行っている。

### ③ マスク方式

スキャナ方式を一筆書き刻印に例えると、本マスク方式は謄写版刷り刻印であると言つてよい。レーザ光学系内に文字記号などの像を型抜きしたマスク（以下、ステンシルと言う）を置き、これにパルスレーザビームを通過させ、その像をワーク面上に結像させて刻印を行うもので

図10 マスク方式の刻印原理

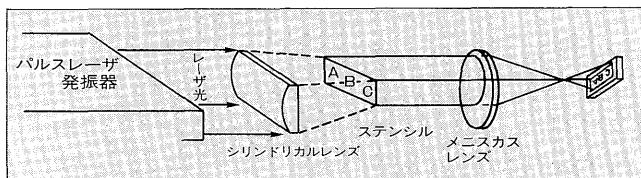
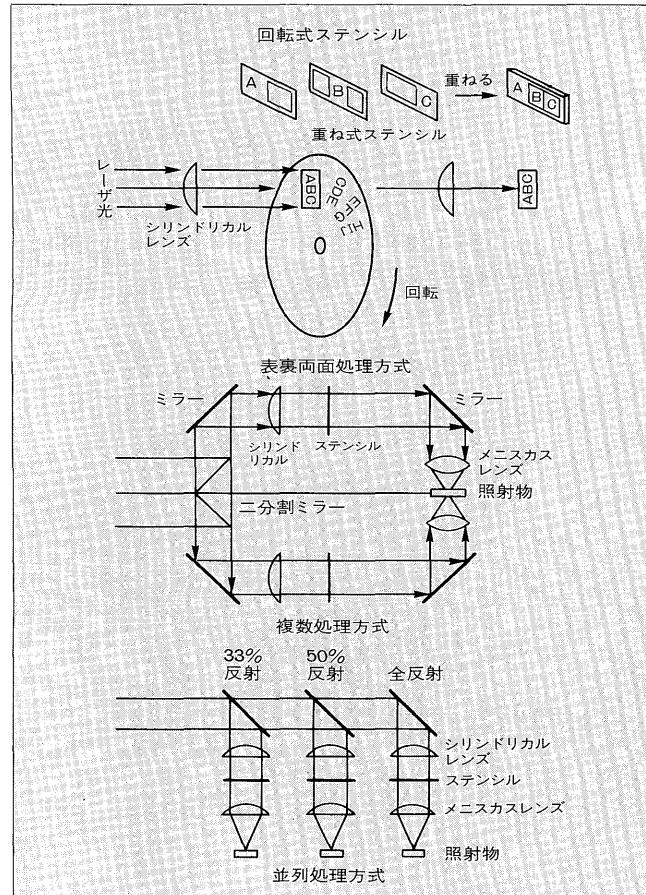


図11 ステンシル交換システムと光路分岐システム



あり、レーザビームの1パルスでステンシル上の1パターンを刻印してしまう方法である（図10参照）。

この方式は瞬時にパターン刻印が可能であるが、図に示したとおり、その刻印内容がマスクにより決められてしまうので、どちらかと言えば大量生産品に同一マークを高速刻印するのに適していると言える。しかし、現在では種々の自動ステンシル交換機構が考案されており、パターン替えの内容、頻度によっては相当のフレキシビリティを持たせることも可能である。また、ビームスプリッタ、ハーフミラーなどを利用してレーザ光を分岐することにより、一度に2か所以上で刻印を行うことも可能であり、大きな導入メリットとなる場合もある（図1参照）。更にこの方式はスキャナ方式に比べ、刻印にプログラムを必要とせず、そのためのコントローラも不要であるので、安価、コンパクトであり、手軽にレーザ刻印を行うことができる。

富士電機では、現在、マスク方式刻印装置として光源にTEA-CO<sub>2</sub>レーザとパルス励起Nd:YAGレーザを用いたものを商品化しており、それぞれ、刻印対象、用途に応じて使い分けることができる。

#### 3.1 TEA-CO<sub>2</sub>レーザ刻印装置

##### 3.1.1 装置概要

レーザ光源としてTEA-CO<sub>2</sub>レーザを使用しており、富士電機では“LASERMATE-TEA”という名称で商品化しているものである。TEA-CO<sub>2</sub>レーザとは、レーザチューブに大気圧レーザガスを送り込み、光軸に対して横方向から励起するレーザであり、10.6μmの赤外線領域波長で発振するCO<sub>2</sub>レーザの一一種である。このレーザの特徴は短いパルス幅で高いピーク値を持った大口径パルスレーザ出力が比較的コンパクトな装置から効率よく得られることである。

装置の概要は図12に示すとおりであるが、予備放電用スパークギャップ、主電極を内部に持ったレーザチューブと共に振ミラーから成る本体部と刻印用光学系とから構成されている。光学系は、基本的には折返しミラー、シリンドリカルレンズ、及びメニスカスレンズから成っており、レーザ発振装置から取り出したレーザ光をできるだけ効率良く、要求に応じた条件でステンシルに当てて、ワークに導くためのものである。シリンドリカルレンズはステンシルの必

図12 装置概要

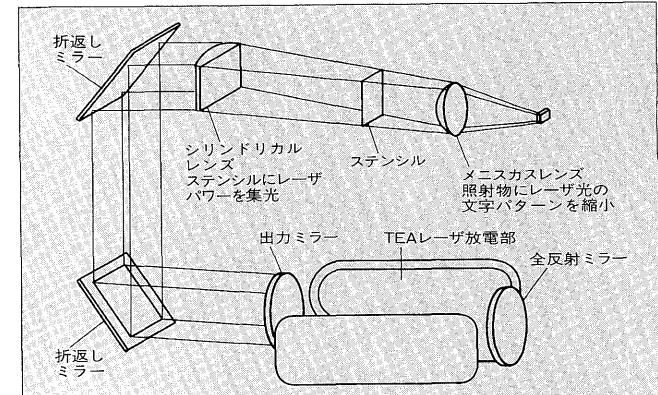


表4 LASERMATE-TEAの仕様

レーザ形式	パルス発振TEA-CO <sub>2</sub> レーザ
出力波長	10.6μm
出力エネルギー及び最大繰り返し回数	タイプ1 4J×3pps タイプ2 6J×2pps タイプ3 3J×13pps タイプ4 4J×10pps タイプ5 6J×10pps
ビーム広がり角	10mrad max
ビーム面積	400mm <sup>2</sup>
パルス幅	約1μs
コアティリティ	・電源 AC100V±10% 1φ 50/60Hz 30A ・接地 第3種以上の接地 ・混合ガス (CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , He, Co) 0.05l/min以上 ・乾燥空気 2.0~0.2l/min (露点 -55°Cのもの) ・冷却水 45l/h (水温25°C以下の市水)
オプション	・二分割照射機構などの特殊光学系 ・自動ステンシル交換機構 ・ワーク位置決め機構など

表5 応用例

用	途	適用材質
ICパッケージ コンデンサ 抵抗 ダイオード 電子パーツ 紙パッケージ ガラス容器	社名、形式、 ロットNoなどを マーキング	エポキシ アクリル 塩化ビニル 紙 ガラスほか

要部にレーザ光を当てるべくビーム整形するものであり、メニスカスレンズはステンシルを通過した光を更に集光させ、刻印に必要なエネルギー密度を作るためのものである。また、これらの相対位置を種々変えることにより、刻印文字の大きさを多少調整することも可能である。

通常、ステンシルは、銅又はステンレス鋼板にホトエッチングにより作られ、その精密さが美しい刻印の一つのポイントになる。TEA-CO<sub>2</sub>レーザを用いた刻印装置は金属ステンシルを利用するため、ステンシルにブリッジが必要となり、0や8などの文字を刻印すると、このブリッジによる“抜け”の発生が避けられないが、ステンシルの製作、光学系をそれなりに留意して設計・調整して行くと、相当な改善が期待できる場合もある。

富士電機製の仕様は表4のとおりである。

### 3.1.2 応用例

この刻印装置の特徴は、ガラスや紙パッケージ、モールド樹脂製品に簡単に美しい刻印が行えることであり、これらの材質からできている大量生産への応用に最適と言うことができる。

## 3.2 Nd:YAGマスク式レーザ刻印装置

### 3.2.1 装置概要

レーザ光源としてパルス励起Nd:YAGレーザを使用したものであり、富士電機製品では“LASERMATE-100P”と称しており、レーザ本体部以外の装置構成はTEA-

図13 電子パーツへの刻印例

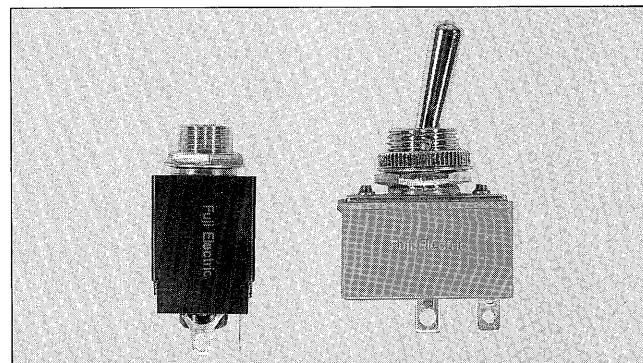
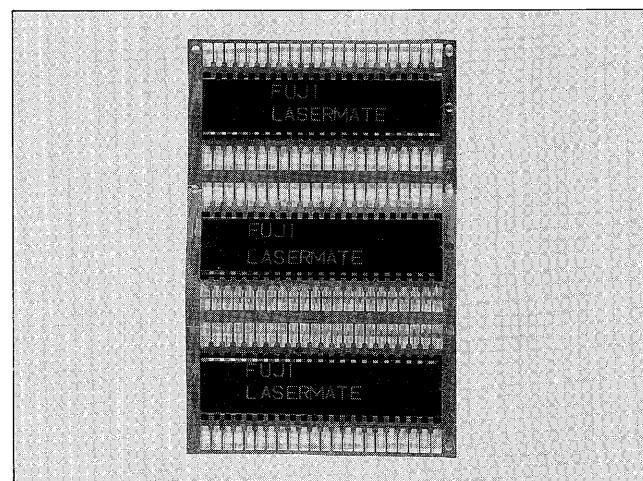


図14 ICパッケージへの刻印例



CO<sub>2</sub>レーザマーカとほぼ同様となっている。レーザ本体部は、前項のYAGレーザの場合とほぼ同様であるが、励起源としてフラッシュランプを使用している。このレーザ光源の特徴は、前TEA-CO<sub>2</sub>レーザに対し、発振波長が1/

表6 LASERMATE-100Pの仕様

レーザ波形	パルス発振 Nd:YAGレーザ
出力波長	1.06μm
出力エネルギー、パルス幅、 及び繰り返し回数(代表値)	40J 9ms 2pps 10J 3ms 8pps 3J 0.6ms 30pps
ビーム広がり角	5mrad以下
ビーム直径	6mmφ
ユーティリティ	・電源 AC200/220V 50/60Hz 3φ ・接地 第3種以上の接地 ・冷却水
オプション	・ファイバ系、二分割照射機構などの特殊光学系 ・自動ステンシル交換機構 ・ワーク位置決め機構

表7 応用例

用	途	適用材質
ICパッケージ 金属皮膜電子部品 金属シャーシ、ケース 各種金属製品一般	社名、形式、 ロットNoなどを 刻印	アルミニウム、 鉄、ステンレス鋼など

10 ( $1.06\mu\text{m}$ ) であることと、出力パルス幅が大きいことであり、これらが刻印装置に更に大きな利点を付加している。つまり、光路途中にファイバが利用できたり、光分岐応用の可能性が増したりするほか、ステンシル基板にガラスが使え、その基板上にアルミニウムなどの高反射膜を蒸着させてステンシルを作れるので、全く“抜け”の無い刻印が行えるようになっている。最近のYAG レーザの高出力化に伴い、今後更に期待される装置の一つと言える。富士電機製の概略仕様は、表6 のとおりである。

### 3.2.2 応用例

この刻印装置は、各種金属ケース、IC パッケージなどのほか、金属膜コーティング処理製品などの分野で使用され始めている。

### 4 あとがき

以上、各装置はそれぞれ違った長所を持っているので、ニーズに応じその長所を考慮して選択すれば、最適レーザ刻印が従来より容易に実現できるようになっている。富士電機がレーザ刻印においてここまでレベルアップできたのは、御注文をいただいたユーザーはもちろん、引合いをいただいたユーザーからの多数のサンプル刻印から蓄積した刻印ノウハウ、エンジニアリングノウハウによるものであり、ここに改めて感謝する次第である。

今後とも、装置の高機能・低価格化に努め、レーザ刻印装置普及の一役を担い、できるだけ多くのユーザーの方々に満足していただける装置の開発・製作に励んで行く所存である。

## 技術論文社外公表一覧

題 目	所 属	氏 名	発 表 機 関
Factory Inspection and Testing, in Consideration of the Environmental Condition Given from Users, on Industrial Computer Systems	富士ファコム制御	川村 裕司	第26回 SICE 学術講演会 (1987-7)
Creation and Saturation of Light-induced Defects in a-Si : H	富士電機総合研究所 松 本 工 場	大沢 通夫 赤坂 敏章 石田 未重 浜 敏夫 酒井 博 内田 喜之	
a-Si : Ge : H Alloys with Multi-Structure of Monolayer a-Si : H / Monolayer a-Ge (Si) : H	富士電機総合研究所 松 本 工 場	市村 剛重 浅野 明彦 浜 敏夫 大沢 通夫 酒井 博 内田 喜之	12th International Conference on Amorphous and Liquid Semiconductors (1987-8)
Characterization of a-SiC : H/a-Si : H and a-SiN : H/a-Si : H Heterojunctions by Photothermal Deflection Spectroscopy	富士電機総合研究所 松 本 工 場	浅野 明彦 市村 剛重 酒井 博 内田 喜之	
Characteristics of Surface Charge Accumulation on the Spacer in SF <sub>6</sub>	富士電機総合研究所	高野 哲美	ISH (Int. Symp. on High Voltage Eng.) (1987-8)
Two-Dimensional Automatically Adaptive Finite Element Mesh Generation	富士電機総合研究所	藤田 満	IEEE Compumag (1987-8)
Total Adaptive Generation Controller Applied Multivariable Optimal Control	富士電機総合研究所	植木 芳照	9th Power System Computation Conference (1987-8)
Theoretical Studies of RF Glow Discharge for Plasma CVD	富士電機総合研究所 松 本 工 場	市川 幸美 島袋 浩 酒井 博 内田 喜之	8th International Symposium on Plasma Chemistry (1987-8)



\*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。