

### 3. 試作・少量用プリント回路基板の作成技術に関する研究

電子部 佐藤 哲哉

#### 要旨

エレクトロニクスの進展に伴い、プリント回路基板の製作期間短縮、試作の効率化等のために少量のプリント回路基板を簡易に作成する装置への関心が高まっている。しかし、近年の回路パターンは、益々微細化傾向にあり、従来の回路パターンを直接機械加工する方式では対応できなくなっている。このため、微細加工が可能な高出力レーザーによるプリント回路パターンの形成に関する研究を行った。この結果、銅箔厚が $18\mu\text{m}$ であれば、本システムでの微細パターン加工が可能である。しかし、レーザーのプリント基板の絶縁基材であるガラスエポキシに対する加工性の問題によりスルホール用の貫通穴の加工はできない。絶縁材の材質、レーザー光の波長の検討等が必要である。

#### 1. 緒言

各種IC、LSI等を中心とする電子部品の進展に伴い、自動化、省力化機器の機能・性能は日々高度化し、かつ、軽薄、短小化してきている。これを支えている基本的要素の一つが、電子部品の配置、各部品間の配線を効率的に実現しているプリント基板である。

現在、プリント基板も多層化の傾向にあり4層プリント基板は、常識化しており6層等多層化の傾向が益々顕著になってきている。これら多層化基板は、表裏2面を除いてはプリントパターンの修正は困難である。このため、電子回路設計に基づく機能・性能確認のための試作段階においては、その使用に難があり、試作効率が低下する。

本来、専門メーカーに依頼するプリント基板は、同じものを多量につくる場合等に適しており、試作段階のように、最低1枚あれば充分であり、かつ、状況によっては、配線の削除、追加等の変更が発生するような場合、あるいは、少量生産の場合には、経費、時間のロスが大きい。

また、現状のプリント配線の導体幅、導体間隔は、 $0.1\sim 0.2\text{mm}$ 、ランド径は、 $1\text{mm}$ 以下とパターンの微細化が進んでいる。これら微細化されたパターンを自作する場合、従来のエッチング技術またはミリングカッターによる機械的なパターン形成手法では、設備、ノウハウ、精度等の面で多くの問題がある。

このような状況を踏まえ、レーザーを利用した試作・少量用プリント基板の作成技術に関する研究を実施する。

#### 2. 実験方法

実験構成図を図1. に示す。レーザーからのビーム光は、

反射ミラーにより顕微鏡側面部に入射し、更に、顕微鏡内の干渉フィルターにてレーザー光のみが反射して対物レンズにより試料（プリント基板の原板）に集光・照射される。試料台は、XYZステージにより構成され、レーザー光のON/OFFを行うメカニカルシャッターと共に、パソコン(PC98NOTE)のGPIBにより制御される。また、加工による飛散物が対物レンズに付着するのを防ぐため、ノズルよりAirを試料に流す。加工状態はCCDカメラにより撮影し、モニターにて観察する。

なお、使用したレーザーは、YAGレーザーの第2高調波（波長： $532\text{nm}$ ）、繰り返し周波数： $50\text{Hz}$ 、パルス幅： $6\text{nsec}$ 、出力エネルギー： $\text{max } 90\text{mJ}$ （Spectra-Physics社GCR-150）である。

ここで、対物レンズは、超長作動距離対物レンズ（CFMPlanELWD40×：ニコン製）で作動距離が $10\text{mm}$ 、焦点距離が $5.1\text{mm}$ のものを使用している。

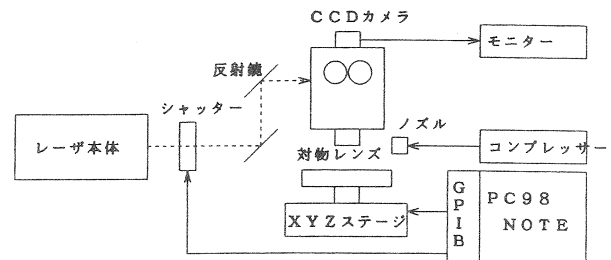


図1 実験構成図

このような一般の対物レンズを使用しているため、レーザーのピークパワーが大きいとレンズ張り合わせ部等にて場合によってはレンズの割れ等が発生する恐れがある。本システムでは、ピークパワー： $1\text{MW}$ 程度が使用限界である。

尚、本システムでは、対物レンズで集光されたレーザー光の焦点位置と接眼レンズで見る焦点位置とは若干異なる。以後、集光されたレーザー光が試料表面に照射される位置を照射位置と称し、接眼レンズで見るベストフォーカス位置（目視）を基準としてZ方向（+，-）で表記する。

レーザー光を対物レンズで集光する場合、レーザーのピークパワーによっては、その焦点位置空間において、プラズマの発生が見られる。プラズマの発生は、エネルギーの損失を伴うため、加工性の向上に寄与しないと言われている。

実験で使用する銅張積層基板は、信頼性に優れ、広く産業用に普及しているガラス・エポキシ銅張積層基板（銅箔の厚さ：18 μm及び35 μm）とする。ここでは、利晶工業（株）製のCS-3230（銅箔の厚さ：18 μm及び35 μm）である。

3. 実験結果及び考察

3. 1. レーザによる銅張積層基板の銅箔面加工特性

3. 1. 1. 穴加工特性

穴加工特性は、銅張積層基板の銅箔面加工において、線及び面（パターン）を加工する際のレーザーパワーの（平均値）適性値、加工に要する時間、集光されたレーザー光の照射位置の制約等の条件の基準となるものである。

(1) 穴加工に必要なレーザーショット数

表1に18 μm銅箔厚に対するレーザー光照射位置、レーザーパワー、銅箔の貫通穴加工が可能なレーザーパルス数の関係を示す。また、表2に35 μm銅箔厚に対する同関係を示す。ここで、レーザー光照射位置は、CCDカメラ

	0.25 W	0.2 W	0.16 W	0.08 W
65 μm	2	3	3	×
75	2	2	2	3
85	2	2	2	2
95	1	1	1	1
105	1	1	1	1
115	1	1	1	1
125	2	2	2	2
135	3	3	3	3
145	×	×	×	×

表1 18 μm銅箔貫通レーザーShot数  
(ここで、×は4 Shot以上を要する。)

	0.25 W	0.2 W	0.16 W	0.08 W
65 μm	×	×	×	×
75	×	×	×	×
85	×	×	×	×
95	3	3	3	3
105	2	2	2	2
115	2	2	2	2
125	2	2	2	2
135	4	4	4	4
145	×	×	×	×

表2 35 μm銅箔貫通レーザーShot数  
(ここで、×は5 Shot以上を要する。)

によるモニタ上での観測されるベストフォーカス位置を基準としてプラスZ方向の値である。

表2より、照射位置105 μm±10 μm内で18 μm銅箔厚の1 Shot加工が可能であることが解る。一方、表3より、35 μm銅箔厚の1 Shot加工は困難であり、少なくとも2 Shot以上が必要である。この時の最適な照射位置は、115 μm±10 μmであり表2に比べ、10 μm程Zプラス方向に移動している。これは、1 Shot目で少なくとも18 μmの深さ加工が可能（表1より）であるため、その分2 Shot目で等価的に照射位置が最適化したものであると考えられる。

(2) 加工穴形状

写真1及び2にレーザーパワー0.25 W時の各々レーザー光の最適照射位置における左から1~3 Shot照射時の表面形状SEM写真を示す。ピークパワーが大きいため、周辺部に盛り上がりが見られる。Shot数は、穴形状には顕著に関係せず深さ方向への影響に関係していることが解る。また、レーザーパワーの相違による穴形状の顕著な差異は認められなかった。

写真1及び2に各々1 Shot照射時の拡大SEM写真を示す。レーザー波長：532 nmは、基本波：1064 nmに比べて、熱的影響が少ないと考えられるが、加工部周辺部には、熱的影響部が観察される。18 μm銅箔厚の場合、基材（ガラスエポキシ部）への影響も小さく比較的良好な銅箔の貫通穴加工がなされていることが解る。一方、35 μm銅箔厚の場合、貫通穴は形成されていず、更に大きなエネルギーが必要である。しかし、本レーザーでは、パワーを増加するとフォーカス近傍でプラズマの発生が顕著となり、実際の加工特性の向上には寄与しな

い。このため、1 Shotで貫通するためには、プラズマの発生を抑制するようレーザーパルス幅が長く、ピークパワーが比較的大きなレーザーシステムを使用する必要がある。

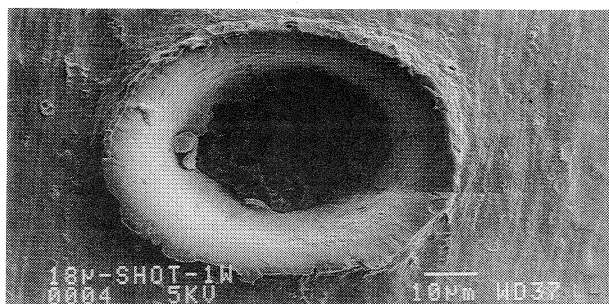


写真1 18 μm銅箔厚

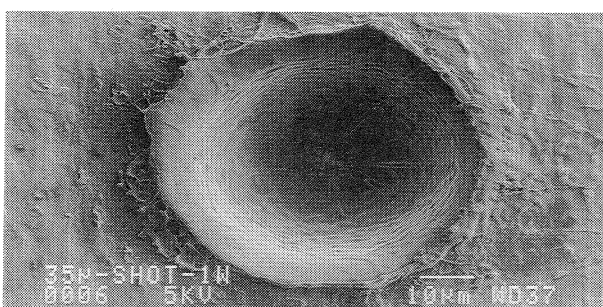


写真2 35 μm銅箔厚

(3) 加工貫通穴径と表面穴径

ここで、貫通穴径は、銅箔部を貫通した穴径を、また、表面穴径は、盛り上がりを含めた表面部の穴径を表す。

(図2参照) 図3及び図4に各々1 Shot、2 Shot照射時の銅箔貫通穴径と表面穴径を示す。0.16 W以上で、レーザーパワー、照射位置による加工貫通穴径、表面穴径の顕著な変化は見られないが、18 μm銅箔の場合、照射位置105 μmを中心として、+10 μmでは加工貫通穴径、表面穴径共寸法的に10 μm程度の減少が見られる。これは、105 μmが正に銅箔表面でレーザー光のピントが合った状態であり、115 μmでは表面上部にピントがあり、プラズマの発生によるエネルギーの損失に起因しているものと考えられる。一方、95 μm

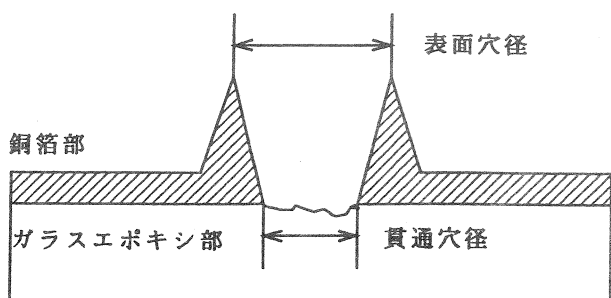


図2 加工貫通穴径と表面穴径

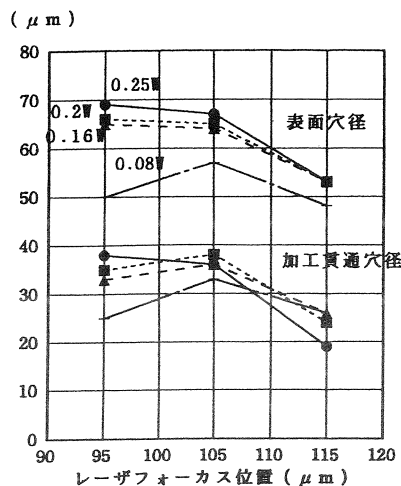


図3 加工貫通穴径と表面穴径

では、ピントが銅箔内部にあるため、プラズマの発生が薄い銅箔をまきこんで加工性に若干の寄与をしているものと考えられる。

また、35 μm銅箔の場合、銅箔が厚いため1 Shot目と2 Shot目の照射時のレーザー光のピント位置がどこにあるかによって、加工特性が18 μm銅箔の場合と若干異なっているものと考えられる。

これら関係から、18 μm銅箔厚の場合、最小でも加工貫通穴径=約20 μm、表面穴径=約50 μmが確保される。また、35 μm銅箔厚の場合、2 Shot必要であるが同様に各々約30 μm、約40 μmが確保されると言える。

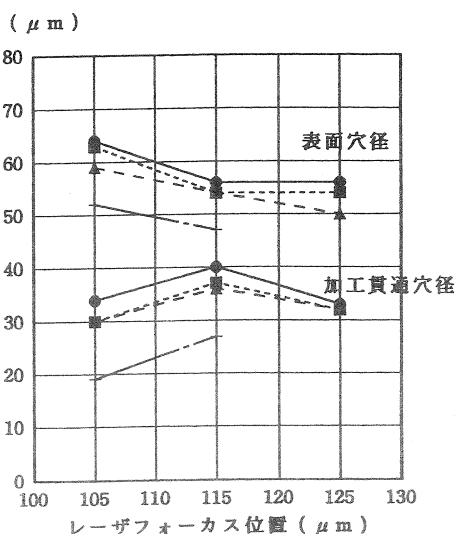


図4 加工貫通穴径と表面穴径(35 μm)

しかし、この内の35 μm銅箔厚の場合には、銅箔の貫通穴加工に2 Shot必要であり、本レーザーシステムの使用を前提とするならば、レーザーのShotの繰り返し周波数が50 Hzであるため、多大の加工時間を要し、

実用上問題がある。

以下、実用性を重視する意味で18 $\mu\text{m}$ 銅箔厚に対する検討に限定する。

### 3. 1. 2 線加工特性

#### (1) 加工スピードによる加工特性

定速での線加工は、基本的には3. 1. 1項の穴あけ加工の延長である。使用するレーザー光は、50Hzのパルス光であるため、加工スピードによる制約を大きく受ける。18 $\mu\text{m}$ 銅箔厚の場合、1Shotで貫通する穴径は、照射位置=105 $\mu\text{m}\pm 10\mu\text{m}$ の時、約20 $\mu\text{m}\sim 40\mu\text{m}$ である。このため、少なくとも、Shot間の距離は、20 $\mu\text{m}$ 即ち、1mm/sec以下の加工スピードが必要となる。(1mm/sec $\div 50\text{Hz} = 20\mu\text{m}$ )

また、一方、穴あけ加工時に観測されたもう一つの表面穴がこのようなShot穴あけ加工の連続として考えられる線加工にどのように影響を及ぼすかが課題となる。貫通穴は、直接加工に反映するが、表面穴は周辺部を含めてその内部構造への影響が考えられ、近接するShot加工時の相乗的影響を検討する必要がある。図5～図7に、1mm/sec $\sim 3\text{mm/sec}$ の加工スピードの時の線加工状態の模式図と写真を示す。(但し、レーザー照射位置=105 $\mu\text{m}$ である。)線加工としては、1mm/secが適当である。模式図に示すように隣接・交差する表面穴の領域が相乗効果により、加工に寄与している。2mm/sec $\sim 3\text{mm/sec}$ の場合、連続的な線加工は困難である。

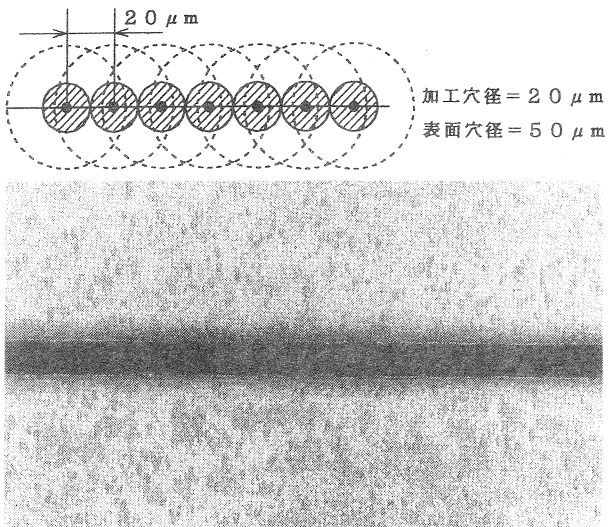


図5 線加工(1mm/sec)

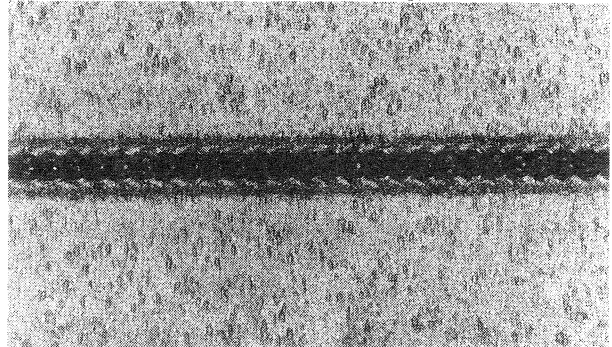
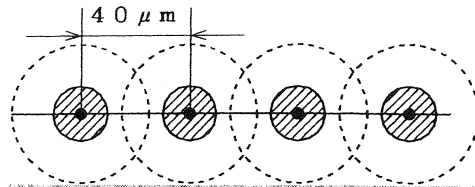


図6 線加工(2mm/sec)

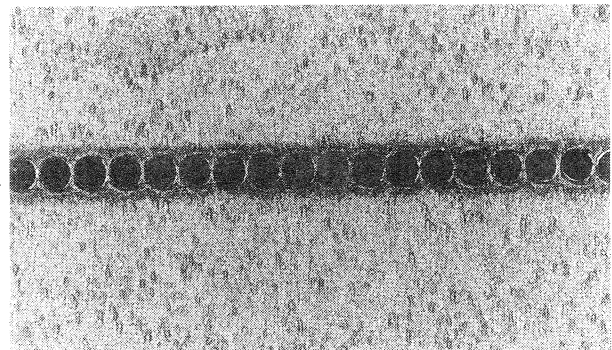
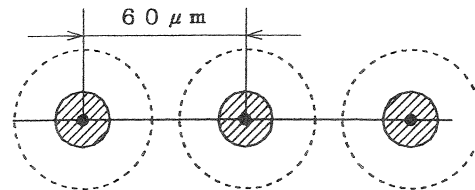


図7 線加工(3mm/sec)

#### (2) レーザパワー、照射位置による加工特性

表3に、加工スピード1mm/secの時のレーザーパワー、フォーカス位置による線加工状態を示す。3. 1. 1項の表2と比較して、照射位置=105 $\mu\text{m}$ を基準と考えると、その(-)方向の照射位置=85 $\mu\text{m}$ では、1Shotでは銅箔の貫通はないが、線加工では隣接Shotによる影響で連続加工が可能となっている。一方、同様(+)方向の照射位置=125 $\mu\text{m}$ では、隣接Shotによる加工性の向上が見られない。

この結果からも、集光されたレーザー光の焦点が銅箔の内部にある時は、加工性(主に深さ方向)に寄与していることが解る。

以上により、レーザーパワー=0.16W以上ならば、照射位置=100 $\mu\text{m}\pm 15\mu\text{m}$ で連続的な線加工が可能であることが解る。

		レーザーパワー			
		0.25 W	0.2 W	0.16 W	0.08 W
レーザー照射位置	75 μm	△	×	×	×
	85	○	○	○	×
	95	○	○	○	△
	105	○	○	○	○
	115	○	○	△	△
	125	△	×	×	×
	135	×	×	×	×

表3 18 μm銅箔の線加工  
(○：貫通加工、△：一部未穴、×：未穴)

(3) 加工断面形状

断面形状図を図8に示す。

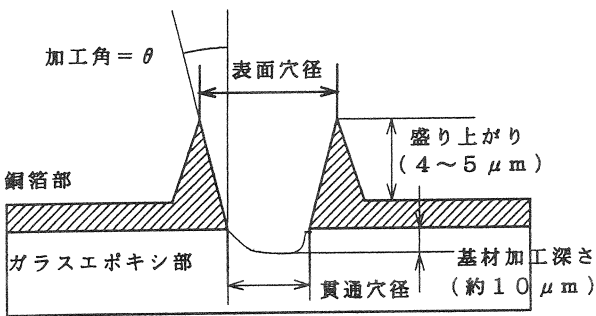


図8 断面形状図

①加工角

レーザー光は、試料にある集光角をもって照射されるため、銅箔面を垂直状に加工することができず、テーパ状加工となる。レーザー光が一種の衝撃エネルギーであるため、その集光角(±23.3度)との対応は困難であるが、レーザー照射位置=105 μmを中心として、加工角が徐々に大きくなっている。この関係を図9に示す。

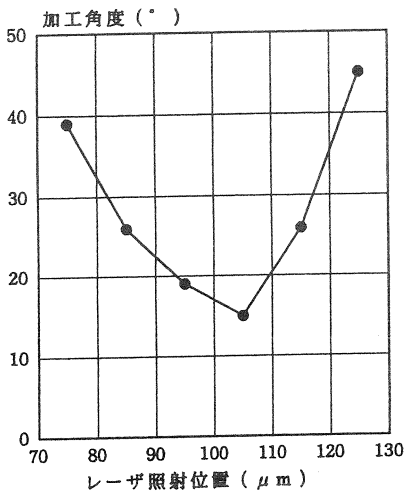


図9 加工角度

②表面穴径と貫通穴径

3. 1. 1項で検討した表面穴径と貫通穴径に相当する径との比較関係を図10に示す。隣接Shotによる相乗効果は、貫通穴径の加工性(深さ方向の加工への寄与)に寄与している。

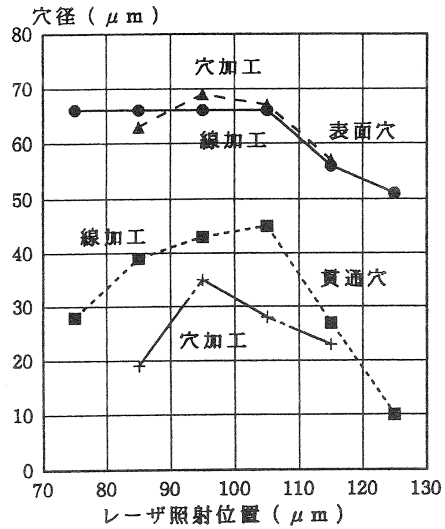


図10 穴径の比較

③その他

また、全体的に加工周辺部の4~5 μm程度の盛り上がり、基材への加工深さ10 μm程度が見られる。

3. 1. 3. 面加工特性

(1) 加工条件

レーザーでの加工の場合、広い範囲の面を一度に加工することはできない。二次元加工である線加工を図11に示すように二次元に連続的に拡張していく他ない。線加工の場合、表面穴の相乗効果が一方向みであったが、面加工の場合は加工間隔によっては、多方向からの一層の相乗加工効果が期待される。一方、加工間隔を狭めることは、加工時間の増大を招く。

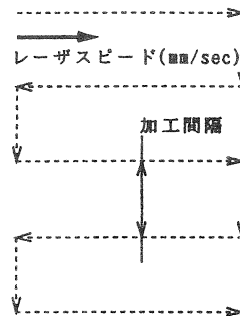


図11 レーザの軌跡

レーザーパワー		0.25 W			0.16 W			0.08 W		
V(mm/sec)		1	2	3	1	2	3	1	2	3
加工 間 隔	30 μm	○	○	△	○	○	△	○	△	×
	40 μm	○	○	×	○	○	×	△	×	×
	50 μm	○	△	×	○	×	×	×	×	×
	60 μm	△	×	×	○	×	×	×	×	×

表4 加工間隔による面加工特性  
(○：加工良、△：一部付着(除去可能)、×：未加工)

これら問題を検討するため、レーザーパワー、加工速度、加工間隔をパラメータとして、照射位置=105 μmのときの3mm×3mmの面加工を実施した。表4に加工特性、図12にその加工に要する時間の関係図を示す。

表4での○印は、銅箔が完全に除去された状態であり、△印は、銅箔と基材との剝離が完全ではなくその銅箔の一部が基材に付着している状態である。しかし、これは容易に除去可能である。

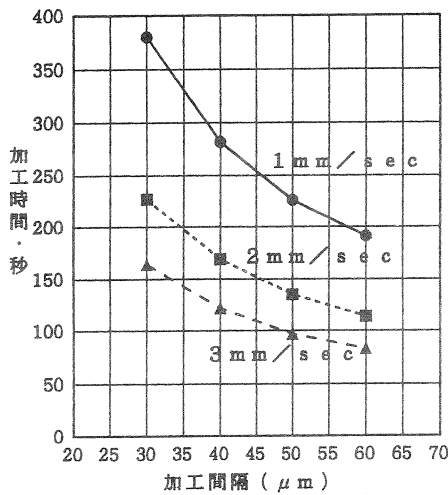


図12 加工間隔と加工時間(3mm×3mm)

レーザーパワーが0.16 W以上では、加工速度=1~2 mm/sec、加工間隔=30~40 μmの間で良好な加工が得られている。加工時間は、加工速度=2 mm/sec・加工間隔=40 μmの時、最短である。

面加工の場合、相乗効果を含めた直接的な加工のみならず、その加工間隔によっては銅箔と基材(ガラスエポキシ部)との接着部を剝離することによって、間接的に加工に寄与すると考えられる。

このことにより、3.1.2項の線加工では、加工速度=2 mm/secの時は加工が困難であったが、面加工ではそれが可能となっている。図13~15に、表4でのレーザーパワー=0.25 W時の加工間隔60 μmでの加工状態を模式図と写真で示す。

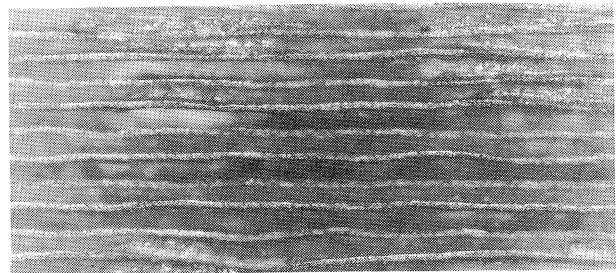
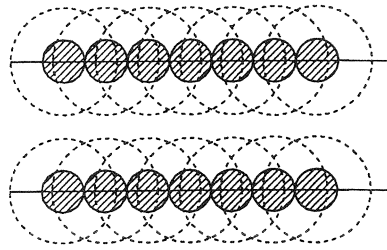


図13 面加工状態(加工速度=1mm/sec)

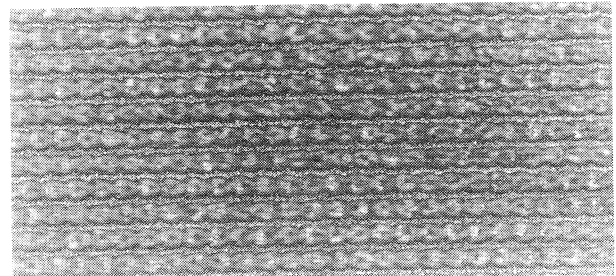
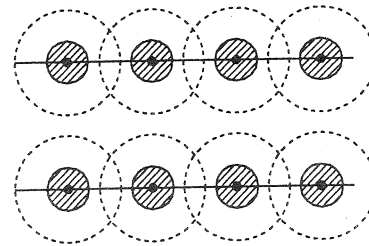


図14 面加工状態(加工速度=2mm/sec)

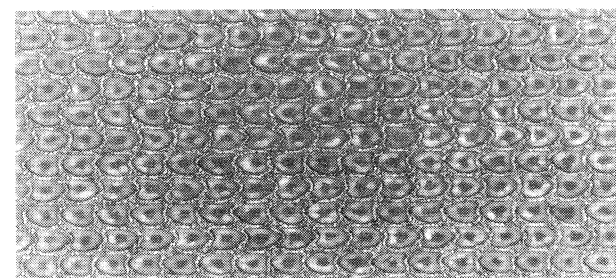
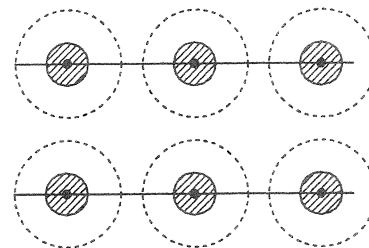


図15 面加工状態(加工速度=3mm/sec)

(2) パターン加工

(1) 項の条件を加味し、パターン加工を実施した。

加工条件は下記の通り。

＜加工条件＞

- ①レーザーパワー : 0.25W
- ②レーザー照射位置 : 105 μm
- ③加工速度 : 2mm/sec
- ④加工間隔 : 40 μm

加工された表面のSEM写真を写真3～4に示す。加工目標に沿う良好な加工がなされている。ただし、写真上、明確ではないが加工端では線加工と同様に4～5 μm程度の盛り上がりがある。

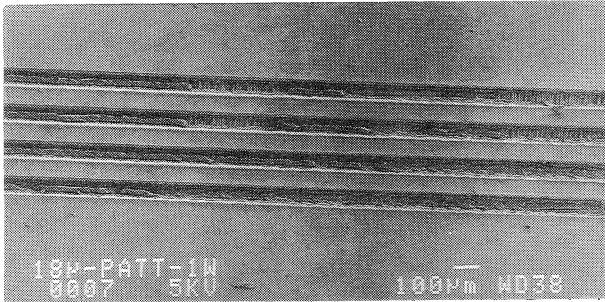


写真3 パターン加工例

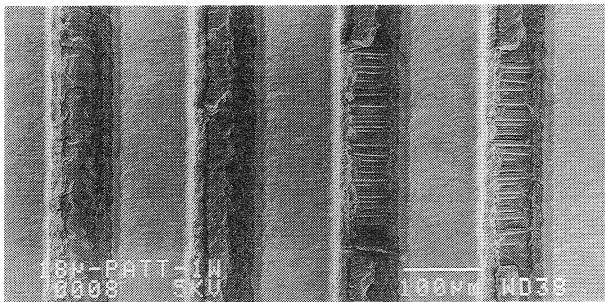


写真4 パターン加工例(拡大)

### 3. 1. 4. レーザによる基材の穴あけ加工

レーザーによるガラスエポキシ基板への高精度な穴あけ加工が可能であれば、従来のドリル加工で生じる粉塵の解消、銅張積層基板を移動することなしに、同一設置面でパターン加工と穴あけ加工が容易に実現できる。

このため、基板の加工性を検討した。サンプルは、1.6mm厚のガラスエポキシ基板(CS3 230) <利晶(株)製>である。

図16に、1mm×1mmの穴加工時の各々の深さ方向の特性図を示す。ここで、レーザーは、1mm平方の周囲を1回走査し、次に図中Z方向送りに相当する分Zステージを移動する。この繰り返し回数と加工深さとZ方向送りイテップとの関係を示している。この時、レーザーパワー=0.25W、レーザー走査加工速度=1mm/

sec、加工スタートレーザー照射位置=105 μmである。図17にこれら加工に要する時間を示す。Z方向: 30 μmステップでの加工性が良い。しかし、1.6mm厚の穴加工は困難である。

写真5に、基材の穴加工断面図を示す。基材内部のガラス繊維による反射、散乱の影響で加工路が歪曲している。また、加工表面も鋭角的な加工性を有しておらず精度面からも問題がある。加工面仕上がりに状況では、レーザーが同一線上を幾度も走査されるため、基材に対する熱的影響が加工周辺部に観測され、ドリルによる加工面に比し著しく劣る。

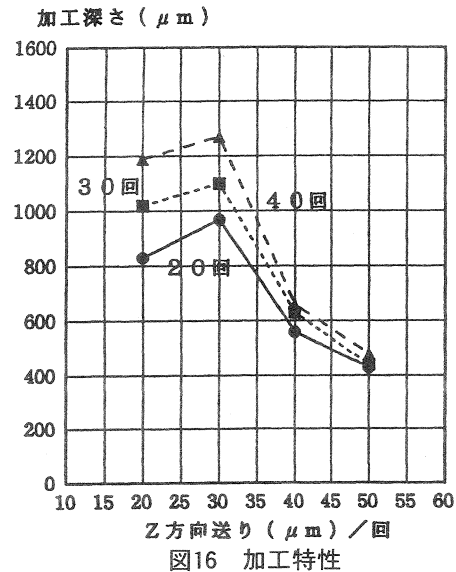


図16 加工特性

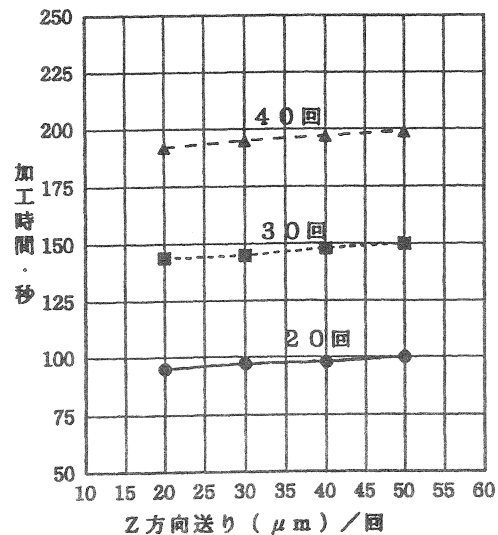


図17 基材の加工時間

これらより、基材に対する加工性には問題があると言える。高精度穴あけ加工には適さない。レーザー波長が更に短い、355nmまたは、266nm (YAGレーザー高調波)での検討が必要であろう。この際、紫外光であ

るため、本システムの可視光学系では役を成さない。紫外光用光学系を構成する必要がある。

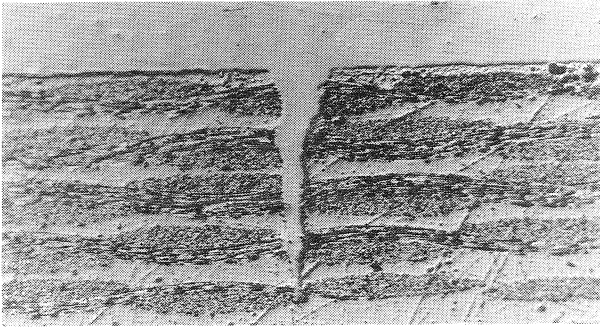


写真5 ガラスエポキシ穴加工断面図  
(30 $\mu$ mステップ、30回)

### 3. 1. 5. 結論

#### (1) パターン形成

銅張積層基板の銅箔加工によるパターン形成について、下記条件で現状での微細パターンとされている導体幅、導体間：0.1～0.2mmの加工が可能である。

- ①銅箔の厚さ : 18 $\mu$ m
- ②レーザーパワー : 0.16W以上
- ③レーザー照射位置 : 100 $\mu$ m $\pm$ 15 $\mu$ m
- ④加工速度 : 1～2mm/sec
- ⑤加工間隔 : 30～40 $\mu$ m

#### (2) 高精度穴加工

本システムのレーザー波長(532nm)での加工性には問題がある。パターン形成と同時に非接触で穴加工を実現することは困難である。このため、現状では、レーザーによるパターン形成とドリルによる穴加工を併用することが妥当である。

### 3. 1. 6. 今後の課題

- (1) 広範囲なパターン加工をする際、銅張積層基板の平行度を $\pm$ 15 $\mu$ m以内に保持する必要がある。
- (2) 加工端部の盛り上がりが電気的特性に与える影響についての検討
- (3) 導体幅が狭い場合のレーザーが銅箔と基材の密着性に与える影響についての検討(銅箔の剝離強度)
- (4) レーザ波長による比較検討(1064nm、355nm、266nm) -パターン形成、基材の穴あけ-
- (5) レーザ波長による加工性の良い基材の材料検討
- (6) 加工時間の短縮化

(7) 本システムでは、レーザーのON/OFFはメカニカルシャッターを使用している。このため、動作遅れによる加工過多が生じる。レーザーのON/OFFは電子制御で行うことが望まれる。

### 参考文献

- ・平成6年レーザー学会第14回年次大会予稿集 21aIV7及び21aIV8
- ・レーザー学会研究報告 RTM-93-33
- ・レーザーハンドブック(朝倉書店)