25pPS2
(シンポジウム)エレクトロニクス分野におけるエキシマレーザー加工の応用
Applications of the Excimer Laser Processing in the Electronics Fields頭本信行 八木俊憲 伊藤慶子 笹川智広^A 山本達也^A田中正明^A 出雲正雄^B 皆川忠郎^B 喜多秀樹^B(三菱電機株式会社 生産技術センター、先端技術総合研究所^A、伊丹製作所^B)Nobuyuki ZUMOTO, Toshinori YAGI, Keiko ITO, Tomohiro SASAGAWA, Tatsuya YAMAMOTO,
Masaaki TANAKA, Masao IZUMO, Tadao MINAGAWA, Hideki KITA

1. はじめに (背景)

エキシマレーザーは発振波長が紫外域で短波長であることから他の長波長レーザー、例えばCO₂レーザー、YAGレーザーと比べて微細加工に適している。エキシマレーザーによる加工は、64MDRAM以降の半導体リソグラフィにおける露光、有機材料の分解・除去 (アブレーション加工)、液晶パネル用低温ポリシリコンのアニールなどへ広がっている。

また、装置面から見ると、従来は研究用途が主であったエキシマレーザーも産業用に使用できる長寿命、高信頼度のものが開発されている。加工機、および、加工光学系にも改良が加えられ加工精度の向上、スループットの向上、ビーム形状自由度拡大など、種々のニーズに応えるよう進歩してきている。

以上の状況を見据え、この報告では、最近のエキシマレーザー加工装置の現状と、エレクトロニクス分野での使用例について報告する。

2. 加工装置の現状

エキシマレーザー加工装置は産業での顧客のニーズに牽引される形で進歩してきた。レーザー発振器に関しては、長寿命、高信頼性、低コスト化、加工機に関しては、加工精度の向上、スループットの向上である。

エキシマレーザーメーカー各社ともこれらの課題をクリアする装置開発にしのぎを削っているが、以下では当社製品を例としながら、現状を説明する。

2. 1 レーザー

エキシマレーザーの発振波長はレーザーガスの種類に応じてArF:193nm、KrF:248nm、XeCl:308nmであるが、産業用としてはガス寿命、発振器寿命、光学系寿命の長いKrF:248nmやXeCl:308nmが主に使用されている。

以下には当社エキシマレーザーの仕様を参考として挙げる。

表 1

MEX-24			
レーザーガス	KrF	繰り返し周波数 (Hz)	600
波長(nm)	248	ビームサイズ (mm)	16×4
最大平均出力 (W)	30	出力安定性 (%)	3
定格平均出力 (W)	24	ガス交換間隔 (ショット)	5×10 ⁷
定格パルスエネルギー (mJ)	40		

2. 2 加工機

エキシマレーザー加工機の加工光学系はピンホール転写方式とマスクパターン転写方式が用途により使い分けられている。ピンホール転写方式はピンホールあるいは矩形状の所望形状のマスク領域にレーザーエネルギーを集光させマスクによりビーム分布を整形した後ワーク上に転写するもので、加工形状が単一の場合に使用される。一方、マスクパターン転写方式ではマスク上に任意のパターン、例えばMCMにおけるバイアホールパターンを設け一括して転写するもので、多数の穴明けを高速に行なう場合に適している。

図 エキシマレーザー加工光学系

通常、基板加工などの産業上の用途では、生産性の観点からマスクパターン転写方式が利用されており、この方式によって如何に高速な加工を行なうかが重要である。以下では、筆者らが開発した加工光学系について説明する。

2. 2. 1 多重反射光学系

図1は筆者らが開発した、光利用効率を高めた転写光学系（多重反射光学系）を説明する図である。図1（a）において従来はマスクで反射あるいは吸収されて損失となっていた光をマスクとそれに対向して設置した反射鏡との間で繰り返し反射させ有効利用を図っている。図1（b）に示すようにマスクの開口率（＝マスク開口部分の面積／マスク全面積）が数%の領域では従来光学系よりも1.2倍の光利用効率を得ている。このように、多重反射光学系は、マスクの開口率が小さい場合に特に効果的である。

図1 多重反射光学系

2. 2. 2 ホログラム光学系

図2はホログラムの原理を利用して一本のレーザー光を所望の位置へ分割転写する光学系の説明図である。図2（a）において光学系の基本構成はピンホールマスクと転写レンズによる転写光学系であり、途中に設置したホログラム素子によって一つのピンホールからの光を分割しワーク上に於いて複数の所望位置にピンホール像を結像する。

図2（b）はマスクの開口部が特定領域に集中している対象に対してホログラムを応用した例である。この場合は一本のレーザー光をホログラム素子によってマスク上の所定領域に集中的に照射することにより、マスクの非開口部による反射・吸収損失を抑えている。

ホログラムの回折効率70%、回折光の強度のばらつきは2%以下を得ており光利用効率の高い方法である。

図2 ホログラム素子を使用した加工光学系

3. 加工プロセス

エキシマレーザー加工は図3に示したように照射エネルギー密度を適正に設定すると、光照射領域周辺に熱的な影響の少ない微細(数十 μm)な加工が可能である。

図3 各種レーザー加工の比較

この特長を生かした種々の加工プロセスがこれまでに提案されてきたが、最近では、コンピュータや通信機器、携帯機器の軽薄短小化のニーズと、エキシマレーザー加工システムの性能向上とがマッチして、実際の生産ラインで利用される例が増えてきている。以下ではいくつかの例について説明する。

3. 1 大面積穴明け加工

図4は銅パターン(配線幅40 μm 、ピッチ400 μm 、ランド径90 μm)上の絶縁層(ポリイミド)に直径40 μm のバイアホール加工を行なった基板加工例である。このような多数の穴明けを湿式エッチングで行なうと形状精度が出ないなどの問題があるがエキシマレーザー加工では高精度で安定した加工が可能である。

図4 MCM基板 (PI/Cu/アルミナ基板) 加工例

3. 2 高アスペクト比加工

図5はエンジニアリングプラスチックの高アスペクト比加工(丸穴)の断面写真である。深さ200 μm 、加工穴の真円度 $\pm 1\mu\text{m}$ で、湿式では得られない安定で高精度な形状が得られる。このような高アスペクト比の穴明けの用途としてはインクジェットプリンターのノズル加工が代表例である。

図5 エンジニアリングプラスチック (PSF) の加工例

3. 3 セラミック加工

図6はセラミックグリーンシートのバイアホール加工例である。グリーンシートはセラミック粉末を有機バインダーにより固めたもので柔らかく加工がしやすい状態になっている。これの穴明け加工を行なった後、焼結しセラミックシートを形成する。MCMなど高密度配線基板の絶縁層として使用される。セラミックは電気絶縁性が良くしかも熱伝導が良いため、高密度基板に特に適している。

図6 グリーンシートのバイアホール加工

3. 4 その他の加工

以上は実ラインで使われ始めている加工例であるが、他にも現在開発中の例として以下のものがある。

マイクロマシン製作

血管の中に挿入して治療に使用する医療器具（カテーテル）や、前の節で挙げたインクジェットプリンターのノズル加工などもマイクロマシン加工の一種であるが、さらに進んで、エキシマレーザーの微細加工性能を利用して立体形状のマイクロ加工を行なった例もある。

液晶アニーリング

液晶ディスプレイに使用されるシリコン基板には高速表示性能のためには多結晶シリコン基板が、コスト面からはアモルファスシリコン基板が最適であるが、この、コストと性能を両立する方法として、アモルファスシリコン上の回路部分のみをレーザーによって選択的に改質する液晶アニーリングの技術がある。

4. まとめ

エキシマレーザー加工はレーザー発振器や加工光学系、加工プロセスの開発が進展し、多くの分野で量産に利用されつつある。今後もさらに応用範囲を拡大するためには、レーザー発振器の長寿命化、高信頼化、加工光学系の光伝送の自由度向上、光利用効率の向上、が必要であると考えられる。