

レーザー直接描画用に最適な全固体 UV レーザ

山崎 達三

プリント基板製造における回路パターンの微細化の要望が高まり、ドライフィルムや液状レジストに対し、レーザーを用いて直接描画する装置(Laser Direct Imager :LDI)の導入が進んでいる。コヒレント社(米国)は、システムメーカーの要望により全固体UVレーザを開発し、その可能性を拓けている。

1. はじめに

携帯電話、PDA、MP3 プレーヤーをはじめとする携帯電子デバイスでは、高機能、小型化の要求により、高密度相互接続 (HDI:High-Density Interconnect) の回路基板を用いるニーズが拡大している。ここ数年レーザーを用いた直接描画装置(LDI)が HDI 部品の生産において重要な技術となりつつある。これまでの回路基板を製作する手法としては、フォトレジストがコーティングされた基板の上にパターンを要求される回路の上に、マスクを用いてコンタクト露光印刷する手法がとられていた。一方、LDI はマスクを用いることなく、フォトレジスト(ドライフィルムや液状レジスト等) がコーティングされたパネル上に CAM データからのデジタルデータでレーザーを用いて直接回路パターンを描画する。従来のマスクを用いたコンタクト印刷を行う手法と比較し、試作から製品までの開発期間を短縮できる、マスク作成の費用及びその労力の削減、マスク不良による不良品の生産のリスク回避等様々なメリットがある。本項では、LDI 装置の概略を説明するとともに本应用到に最適な当社の全固体UVレーザについて説明する。

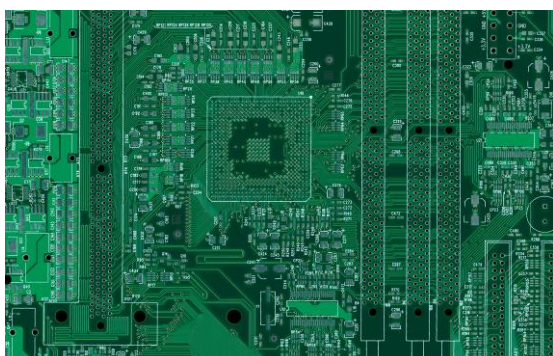


写真1 高密度化するPCB基板のイメージ写真

2. LDIの原理

LDIは、ポリゴンスキャン方式とDMD(Digital Micro mirror Device)方式が主流とな

っている。ポリゴンミラー方式では、長年マスク露光用に使用されている水銀ランプの*i*線に近い波長のUVレーザ(355nm)を搭載しているのに対し、DMD方式では、複数の半導体レーザ(InGaN)をファイバーで束ねた高出力パioletレーザ(405nm)を搭載している。図1に示すのはポリゴンスキャン方式のLDI装置の概念図である。UVレーザ光をデジタル作画データのピクセルにあわせてAOMで出力制御を行いポリゴンミラーとワイドスキャンレンズを組み合わせて、レーザ光を基板全体に1軸照射する、ステージが移動しデータからの情報を基板前面に描画する。基板の平坦度を考慮し焦点深度を確保するため光路長を長くとり均一露光を維持している。

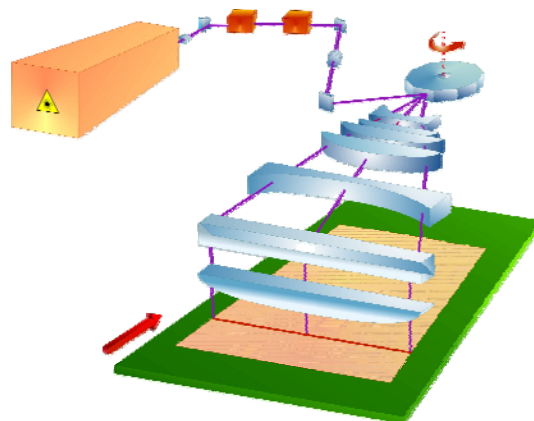


図1 LDI ポリゴンスキャン方式の概念図

この手法を用いたオルボテック社の「Paragon™」シリーズの最新機種では、FC-CSP/FC-BGA や BGA/CSP 基板向けに、最小ライン幅 $12\mu\text{m}$ 、最小ピッチ $30\mu\text{m}$ 、高度 HDI 及びフレックス基板に対しては、最小ライン幅 $25\mu\text{m}$ までの高精度描画を焦点深度 $\pm 300\mu\text{m}$ で、かつ高い生産性を同時に実現している。更に 2009 年 10 月にリリースされた最新機種「Paragon™ Xpress9」(写真2)は、高度 HDI

及びフレックス、リジッドフレックス基板の量産向けに開発された製品で、世界最速 15 秒タクト/枚、5000 枚/日の本格量産を実現している。



写真2) オルボテック社の最新量産対応機種「Paragon™ Xpress9」(左上)と「Paragon™ Ultra」シリーズ(右下)の外観

3. LDI 应用到最適なモードロック UV レーザ

この应用到使用される UV レーザとしては、当初は UV (364 nm) 光が高出力で発振可能な水冷イオンレーザが使用されていた。しかしながら本レーザは共振器が大型 (長さ 2m 以上) で、消費電力が高く (数十 kW)、大量の冷却水 (毎分 20 リットル) を使用し、更には約 3,000 時間ごとにレーザチューブを交換する必要があるため、全固体レーザの開発が望まれていた。この問題を解決すべくコヒレント社は、装置メーカーからの要望に応える全固体 UV レーザをモードロック発振で、2003 年に発表した (Paladin™ シリーズ/ 4W モデル)。本シリーズは、電源内に配置した高出力 LD 光を励起媒質 Nd:YVO₄ に照射し、更に SBR (Satiabie Bragg Reflector) と呼ばれるグレーティングが施されたミラー上に配置された LD 素子を励起し、共振器を一定の長さに調整することにより受動モードロックで、短パルスの 1064 nm 光を発振させ、2 つの非線形結晶に短パルス発振による高いピークエネルギーが通過するため、効率よく非線形光学変換ができ、高出力の UV (355nm) 光が得られる。このモードロックによる UV 発振光は高繰返周波数 (Palaidn 355 では 80MHz) において実現するため擬似 CW 光として、CW 発振と同様の加工結果を得ることが出来ている。現在では、小型で低価格、完全空冷動作を同時に実現した Paladin Compact シリーズや励起用 LD の波長を変更し、

更なる効率化と高出力化を図った Paladin Advanced シリーズを次々と製品化して様々なニーズにお応えしている。下記の表にこれら製品の出力ラインナップを示す。

モデル名	Paladin Advanced	Paladin Compact
平均出力	16,10,8W	4,2W
繰返周波数	80 MHz	120 MHz
ヘッドサイズ	1100x305x200 mm	686x216x127 mm

表1 Paladin シリーズの出力ラインナップ



写真3 16W の高出力疑似 CW UV 発振を実現した Paladin Advanced の外観

ちなみに 10W 以上の高出力モデルの実現によりドライフィルムのみならず露光感度の低い安価な液状レジストへの対応が可能となった。

短パルス、高出力の UV を実現した Paladin シリーズは現在、LDI 用途に留まらず、印刷応用、半導体非破壊検査や薄膜、樹脂の切断や様々な材料への熱影響の少ない精密微細加工が求められる応用に新たな可能性を拓いている。

4. その他の連続発振 UV レーザ

上記に説明したレーザは高出力 UV 光を発振する高効率のレーザであるが、用途により小型化やコストが優先されるケースがある。当社ではこのニーズに対応する完全連続発振の UV 及びバイオレットレーザを製品化しているので下記に紹介する。

4.1 光励起半導体レーザ技術を用いた UV レーザ

LD 光を励起源にし、光 (フォトン) で特定の組成の LD を励起することにより波長変換を行う VECSEL (Vertical External Cavity Surface Emitting Laser) を用いた面発光レーザ技術が、新たなレーザ発振技術として注目されている。

当社では、励起の対象となる半導体チップの前に特定の曲率をもったミラーを配置し共振器を構成し、半導体チップを光励起することにより波長変換と空間モードの整合が可能な画期的な技術特許を1997年 Micracor Inc (米国) から取得した。更には、すでにグリーンレーザ開発の際に培った内部波長変換技術を組み合わせることにより、UV からイエローの連続発振レーザ光の開発に成功し、製品を市場に導入している。光励起半導体レーザ (OPSL:Optically Pumped Semiconductor Laser) とは、VECSEL (Vertical External Cavity Surface Emitting Laser) と呼ばれ、通常電気で駆動する半導体レーザと異なる特長を持ち、レーザ発振を光 (フォトン) で励起することにより実現する。図2のように、励起媒体には当社が開発製造するInGaAs系量子井戸式半導体レーザを用い、励起用高出力長寿命 InGaAsP系半導体チップ全体に照射し、縦励起する手法〔面発光〕を用いている。面発光レーザとの違いは出力ミラーを配置し、共振器を組んでいる点である。このことにより空間モードに優れた理想ビームを実現した。半導体チップは希望の基本波長が発振する材料の配合により設計、選択されている。

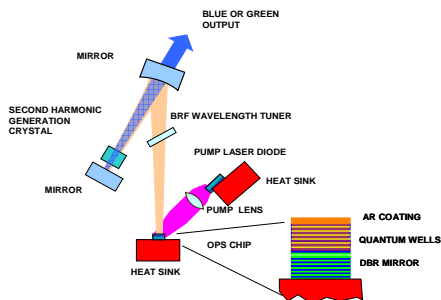


図2 OPSL 概念図

さらに、2つの非線形結晶を共振器内に配置し第3高調波を効率的に発生させUV (355nm) 光を発振させる。波長選択はBRF (複屈折フィルタ) により選択されているため、長期使用においても発振波長が同様となることも特長となっている。図3に示すのは、Genesis 355 Sの共振器構造 (概念図) である。第3高調波 (THG) 結晶が共振器内部に配置されており、低ノイズでの発振性能を実現している。表2に主な仕様を示す。

モデル名	Genesis 355
発振波長	355±2 nm
出力	250,200,150,100,80,60,40 mW
空間モード	TEM ₀₀
出力安定性	<±1%
ヘッド寸法	281x156x85 mm

表2 Genesis 355の主な仕様

本レーザは、351,364 nm で発振する Ar レーザや325 nm で発振する He-Cd レーザの置き換え光源として開発された完全連続発振の固体レーザであるためガスレーザと比較し、ヘッドサイズが小型で、省電力しかも長寿命といった利点を持つ。更には完全CW発振であるため、これまで採用が検討されていたモードロックレーザと比較し、ピーク出力によるダメージの心配がない。本製品は、すでにフローサイトメトリーやコンフォーカル顕微鏡のようなUVレーザを用いるバイオ応用において、搭載試験を繰り返し行った後に製品発表を行った。そのため、その性能と信頼性の高さは実証済である。小型、低ランニングコスト、メンテナンスフリー、中出力を同時に実現したGenesis 355は、従来ガスレーザで実現されていたディスクマスタリング、干渉露光、直接描画やラマン分光、非破壊検査などの用途でも小型で低消費電力を実現するため理想的な置き換え光源になると考えている。

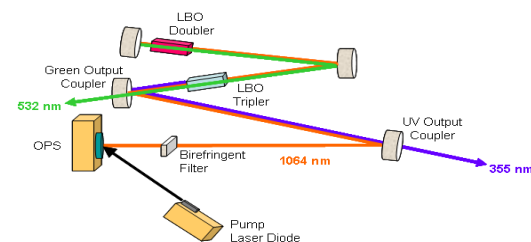


図3 Genesis 355 Sの共振器構造 (概念図)

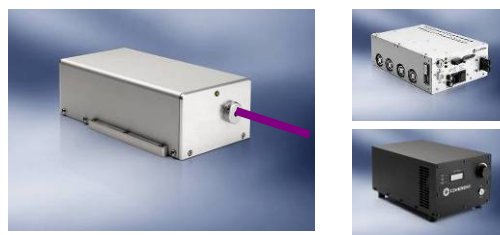


写真4 Genesis 355 レーザヘッドと電源の外観

4.2 レーザダイオードモジュール（バイオレット、UV 発振）

市販の GaN 系のバイオレット(405, 445 nm)及びUV (375 nm)の半導体をモジュール化した製品をラインナップしている。(製品名：CUBE™ シリーズ)本レーザは市販のLDでは実現できない優れたモード質と出力安定性を実現している。コントローラ部をレーザヘッド(寸法：100x40x40 mm)内に内蔵し小型化を実現した。本製品は CDRH に準拠し、レベル4の静電気(ESD)対策が施され、レーザヘッド部に USB ケーブルを接続することにより手持ちのコンピュータ上にレーザのオンオフ、出力の設定、状態確認や動作時間などを図4のようにGUIの画面で表示及び制御することができる。またお客様が簡単に遠隔制御を行える様、専用ケーブルを標準装備している。



写真5 ダイオードモジュール (CUBE) 外観

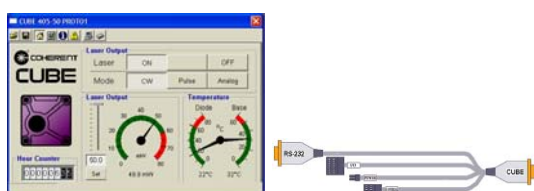


図4 CUBEのGUI画面と専用制御ケーブル

まとめ

近年、回路基板の高密度化に伴いレーザを用いた直接描画装置(LDI)の導入ならびに検討が急速に進んでいる。材料メーカーでは市場の拡大に伴い高感度のレジスト開発を進めている。レジストの市場が拡大し、コスト削減が進められるとともにLDI市場の拡大を期待している。当社は更なる市場拡大のためレーザに求められるニーズに対応すべく今後も努力していきたい。

参考文献：

- 1) Lasers Target Chip Fabrication by Andrew Master (Photonics Spectra December 2003)
- 2) Expand LDI Capability by Sri Venkat (Circuit Tree September 2005)
- 3) Advanced UV Lasers Enable Precision Processing by Torsten Rauch (LTJ May 2009 No.3)
- 4) 日本オルボテック株式会社のホームページ <http://www.orbotech.com/jpn/>