

スマートフォン製造を可能にする レーザ技術

ラルフ・デルムダール、トルステン・ラウ

非接触で高速かつ高精度の加工を実現するレーザは、高密度プリント回路基板、タッチスクリーン、有機発光ダイオード(OLED)パネル製造等に欠かせないツールとなっている。

今日のスマートフォンはコンパクトで頑丈なパッケージの中に高度なタッチスクリーンディスプレイを組み合わせて、膨大な処理能力を実現している。レーザ加工は、これら製品を構成するほぼすべての重要なコンポーネントの製造過程において重要な役割を果たしている。実際、レーザはこれらデバイ

スで実現されている高機能化、小型化、耐久性に対応するための鍵となる技術になっていると言える。本稿では、スマートフォンや他の先端マイクロ電子デバイスを製造する際に一般的に使用されているより重要なレーザを用いたプロセスのいくつかについて紹介する。

図1は、従来の液晶ディスプレイ(LED)

と新しい有機発光ダイオード(OLED)と名付けられた2種類のスマートフォンについて、それらの主要コンポーネントの構成を簡略化し示したものである。いずれのスマートフォンの構造も、背面カバー、プリント基板回路(PCB)、ディスプレイ、タッチスクリーンの4つの要素に分解することができる。言う



図1 液晶ディスプレイ(LCD)および有機発光ダイオード(OLED)ディスプレイを搭載するスマートフォンの構造。

までもなく、それらの要素のひとつひとつは、それ自身多数の異なるコンポーネントで構成されている。

プリント回路基板の作製

スマートフォンの電子回路には、PCB上に集積される数mmサイズの集積回路(IC)が採用されている。IC間を相互接続するための導電配線が電氣的絶縁基板に構成されている。一般的なPCBでは何層もの配線がなされ必要に応じて電氣的に接続されている。

スマートフォンでは、機能や処理速度の向上に対応するため駆動装置が複雑化したPCBを求めている。具体的には、より小型のパッケージにより高密度の回路を集積することが求められている。従来の硬質材料の代わりにフレキシブル基板を採用することで、最終的な製品のサイズと形状は自由度を持つことになる。

従来のPCB製造手法では、一連のフォトツールの作成を必要とする。フォトツールとは要求される回路要素の実際のパターンを透明及び不透明領域を持つフィルム状のマスクであり、基板の上の層に対して各1枚製作される。これらのマスクは光源として紫外線(UV)ランプを使用してフォトレジストがコーティングされたパネル上にコンタクトプリント(密着印刷)がなされる。露光が施されたパネルは、化学薬品で現像され、銅をメッキすることにより回路配線を形成する。

しかしながら、湿度と温度によってマスクとパネルの材料は伸縮するため、位置あわせを維持することが困難である。このことは、スマートフォンに使用されている高密度相互接続(HDI: High Density Interconnect)基板向けに正確な位置あわせを維持することが難しいことを意味する。

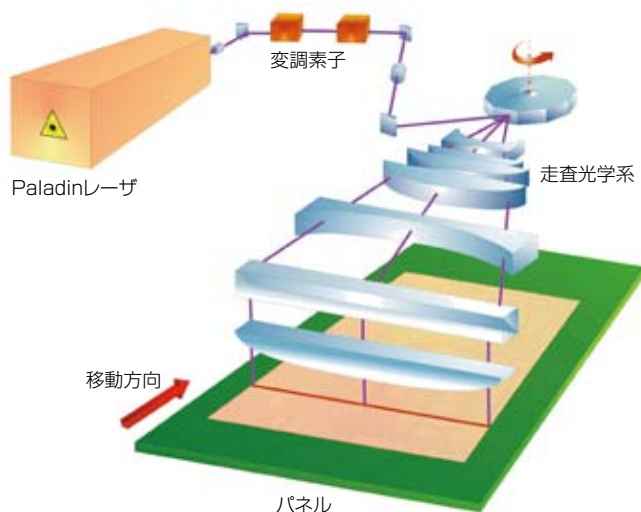


図2 レーザダイレクトイメージング(LDI)では、フォトレジストがコーティングされたパネル上でUVレーザービームを走査することにより、所望の回路パターンを形成する。

これに代わる手法として、集光したレーザー光を走査しパネル全体に直接パターンを描画するレーザーダイレクトイメージング(LDI)がある(図2)。

このアプローチを用いた場合、サイズ、向き、形状を必要に応じてその場で変更することが可能となり、位置精度を維持することが可能である。

LDIにおける具体的なレーザーに求められる要件は、入手可能なフォトレジストの感度に対応する紫外線(UV)出力、高品位のビーム特性、マルチワット(数W以上)の発振出力、24時間週7日間の連続動作に耐える信頼性を確保していることである。この用途向けの現時点での先端技術は、LD励起でモードロック発振により第三高調波(355nm)のUV発振を実現するコヒレント社のPaladinである。このレーザーでは最大24Wまでの出力モデルが、この用途に貢献している。特にこれらのレーザー製品に採用されている全固体構造は、耐久性、高信頼性、長寿命を可能にし、更には優れたモード質と位置安定性、出力安定性、低ノイズなどの特性を提供している。

高密度プリント基板の孔あけ加工

HDI回路基板の製作におけるもうひ

とつ重要な工程は、回路基板の異なる層の間を電氣的に接続するためのマイクロビアと呼ばれる小径孔を形成する技術である。レーザードリル(孔形成)は競合する他の技術に比較してはるかに実用的で、コスト上の利点が得られる好適な手法になっている。例えば、孔径が250 μm 以下になると、機械的なドリル(孔形成)は著しく高価になり、150 μm 以下になると全く非現実的になってしまう。

スマートフォンのPCB(プリント回路基板)のマイクロビアの孔あけには、100~500W出力のCO₂(炭酸ガス)レーザーが最も使用されている。

この用途で傑出した例は、9.4 μm の発振波長において225Wの出力を有する「DIAMOND K-225i」が挙げられる。一般的にPCB基板材料に使用されているFR4、RCC(樹脂被覆箔)、ポリアミド、PTFE及びアラミド(サーマウント)に対しては、この波長(9.4 μm)はCO₂レーザーでより一般的な発振波長10.6 μm より実質的に高い吸収特性を有するため、有効とされている。

しかしながら、回路密度がさらに増加し、孔のサイズが75 μm 以下になると、この応用ではUVレーザーに移行する動きが見られている。高出力のUV光

源は、孔の周囲の熱影響部 (HAZ: Heat Affected Zone) を最小限に抑えたクリーンで高品位のマイクロビアが提供できる。さらには、UV光は赤外光であるCO₂レーザーでは困難な樹脂と銅を同時に孔形成できるという利点をもつ。

この用途において典型的なレーザー光源は、Qスイッチの全固体レーザーで第三高調波を発振するタイプが用いられる。

コヒレント社のAVIAシリーズでは、現在45Wまでの出力モデルが提供可能である。

高出力と高繰返周波数 (>100kHz) 発振で優れたビーム質を実現しており、精密なマイクロビアの孔明けが高速で実現されている。

ディスプレイガラスの切断

スマートフォンを軽量化するため製造メーカーはより薄いガラスを使用し始めている。しかしながら、薄いガラスは落下や乱暴な扱いに耐えるようにしなければならない。さらに、タッチスクリーンでは、ディスプレイのガラス部を日常的に押すことが操作上求められている。

機械的なガラス切断では、基板の厚さが薄くなると適切に処理することが難しくなる。特に微小な亀裂やデブリが形成されたり、エッジに重大な機械的なストレスを残してしまう。

レーザーガラス切断は、マイクロクラックやチッピングの問題を排除し、残留応力を生成しないで高いエッジ強度を保つことができる非接触の加工プロセスである。

レーザースクライビングと呼ばれる手法では、CO₂レーザー出力は連続的に切断を生じさせるためにガラスの表面に集光される。すべてのガラスは10.6μmに強い吸収を持っているため、レーザーの全エネルギーがガラスの表面上また

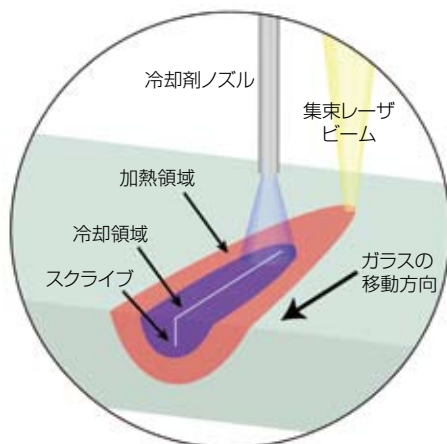


図3 レーザスクライビングでは、レーザーで加熱してから急速冷却することによってガラスに亀裂を入れ、それを伝播させる。

はその周辺に集中し急速に加熱が引き起こされる。液体や空気の噴射によりガラスを急速に冷却することにより、その結果得られる熱衝撃(歪)によって100μmほどの深さのスクライブ溝が形成される。

さらに、機械式ローラーまたは制御された切断バーを通過してガラスに十分な力を加えることにより、基板全体にスクライブを伝播させて切断を行う。この切断手法ではガラスの破片は発生せず、表面に垂直に加工がなされる。このプロセスに使用される典型的なレーザーは、10.6μmで250Wの出力を実現するコヒレント社の「DIAMOND K250」である。

高速で、高輝度なディスプレイ

高機能スマートフォンのディスプレイ

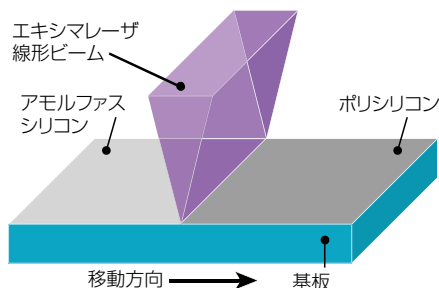


図4 ELAの模式図。

イ画面には、多結晶シリコンが採用されている。多結晶シリコンは、生成される前のアモルファスシリコン層よりも高い電子移動を実現するためである。多結晶シリコン(ポリシリコンやPoly-Siと呼ばれる)は、高い解像度と輝度、より広い視野角、高い更新レートを実現している。ポリシリコンの採用は、ディスプレイの駆動回路の集積を可能とするため、進行中の小型化への取り組みに対して次のステップとなり得る。さらには、バックライトを必要としない、消費電力の低いマトリクス方式の有機発光ダイオード (AMOLED) のような新しいディスプレイ技術が可能にする。

エキシマレーザーを用いる低温ポリシリコン(LTPS)アニーリングは、現在、ディスプレイ製造における重要な工程であるポリシリコン層の作成に最適である。この手法は200℃という低い温度で行うことができるので、高価な石英ガラスや耐熱ガラスの基板を使用する必要がないためである。現在、もっとも広く使用されているLTPS手法はエキシマレーザーアニーリング(ELA)と呼ばれている。

ELAでは、308nmのエキシマレーザーから矩形のビームが光学的に均質化され、全体にわたって均一性の高い分布をもつ細長いビームに整形する。

シリコンを被覆した基板にこの線形のビームを走査しながら照射される。

シリコンは308nmの放射を効率的に吸収し、個々のパルスはほぼ完全に溶融する。その結果、溶融したシリコンと、溶融しないで残留したシリコンとの境界面を起点として垂直方向に結晶は効率的に成長する。

ELAでは、高いパルスエネルギー(最大2J)と数百Hzの繰返周波数を実現する高エネルギー安定のエキシマレーザー



図5 レーザエキシマアニーリングに最適なコヒレント社のエキシマレーザ「VYPER」と光学系システム「LineBeam」の組み合わせ。

が必要とされる。高パルスエネルギーが広いエリアを各々のパルスで加工する一方で、プロセスウィンドウ内でフルエンスのレベルを維持する。高い繰返レートが要求されるスループット(速度)を成し遂げるために必要になる。従来のエキシマレーザでは、高いパルスエネルギーと高い繰返周波数のいずれか一方を実現することはできたが、両方を実現するには至らなかった。

この要求に応えるべく、コヒレント社は、ELAに理想的なエネルギーと繰返レートを実現するエキシマレーザ「VYPER」を開発した。また、ELAの主力製品においては、308nm 1.2kWのVYPERエキシマレーザと750mm長のラインビーム形成オプティクスを組み合わせて、現在の第4世代(Gen4)から大型の第6世代(Gen6)パネルにシームレスに移行できるように拡張性の高いプラットフォームを提供している。同プラットフォームによってスループットは大幅に改善している。さらに、VYPERはその高度な設計と機能によって第8世代までの設計をサポートし、厳しいコスト目標に対応することができる。

AMOLEDの製造

スマートフォンに使用される AMOLED は、2枚のプレートがサンドイッチ状に組み合わせられている。一方は AMOLED バックプレーンが含まれており、もう一方はディスプレイを保護する透明のカバーガラスである。AMOLED ディスプレイは実際には大きなパネルとして製造されてから、個々のディスプレイに分断される。フリット溶着が個々のディスプレイを封止するために使用されている。その溶融点が低くなるように添加されたガラス粉末をバックパネル上に必要なパターンで蒸着させる。次にカバーガラスをこのアセンブリに重ねてガラス越しにレーザを照射してフリット材を溶融する。

この用途においてレーザが有効な理由は、単純に炉でアセンブリ全体を加熱するものとは異なり、非常に局所的に熱を加えることができることである。この用途には、コヒレント社の「High-Light FAP System」のようなファイバー伝送の高出力ダイオードレーザが最も一般的に使用されている。これらのシステムは、カバーガラスを完全に透過する近赤外線波長で十分な出力(こ

のケースでは60W)を実現している。

ファイバー伝送を採用することにより、大型のパネルであってもその表面にレーザービームをすばやく走査することができ、フリット溶着に必要とされる適応するビームの特性と信頼性が得られる。大型パネルを高速に処理するために24ものレーザを並列に配置している事例も存在している。

タッチスクリーンのパターニング

スマートフォンのタッチスクリーンには、通常、透明導電酸化物(TCO)の薄膜が利用されている。これらの薄膜はスクライビングを施すことにより電極と内部配線を電気的に絶縁した要求パターンを形成している。一般的には湿式科学フォトエッチングか、IR(赤外線)、Green(グリーン)のQスイッチDPSSレーザを用いて直接アブレーションが行われてきた。

しかしながら、特に AMOLED ディスプレイのような新しい応用分野では、単に電気的な絶縁を行うだけでなく、スクライプの品質が問われている。幾何学的なスクライプのより詳細な考察やそれに伴う質などが要求されている。

パルス幅がナノ領域のQスイッチパルスレーザを使用した場合、レーザによって与えられた熱が周辺に影響を与える時間が存在してしまう。

レーザの焦点スポットはミクロン単位であり、熱流にかかる時間は10psかそれ以上になる。このことは、10psかそれ以下のパルス幅は熱エネルギーが周囲に伝達する前に材料が取り除かれることを意味する。

コヒレント社の「Talisker」などの産業用ウルトラファースト(短パルス)レーザは、必要な熱特性を達成するために必要な数ピコ秒のパルス幅を達成しており、量産に必要な高いスループット

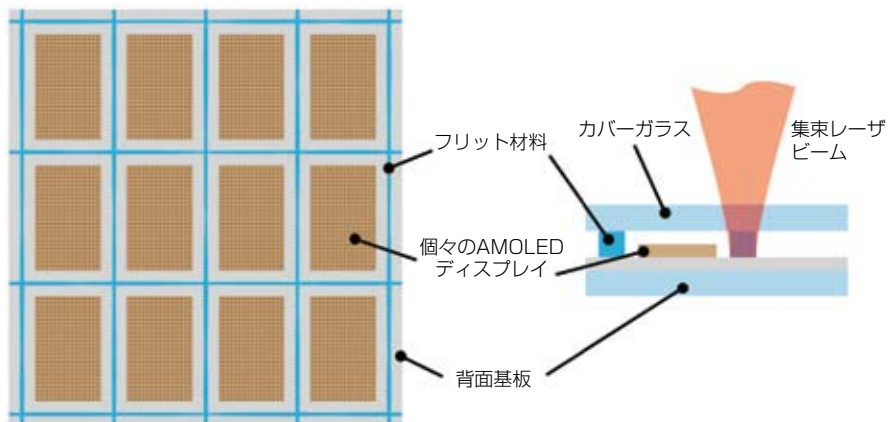


図6 シングレーションに先立ち、レーザでフリット材料を溶融して、個々のAMOLEDディスプレイを封止する。

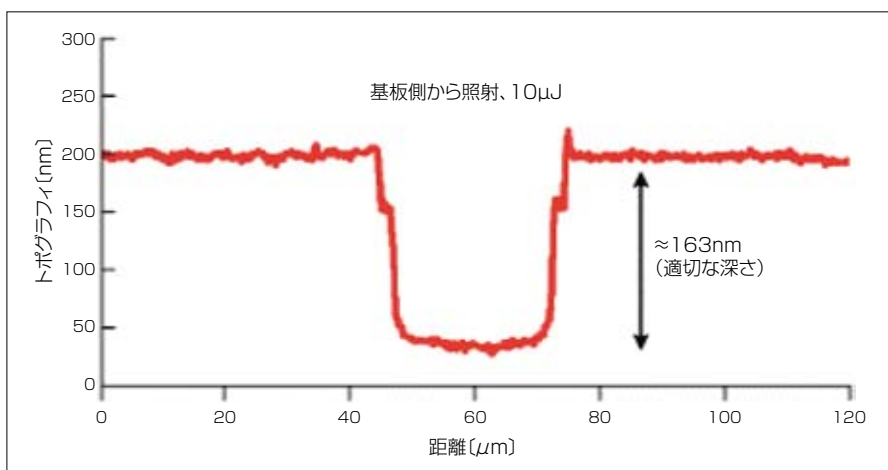


図7 10μJのパルスエネルギーと10psのパルス幅を持つ単一のパルスによって生成された孔の断面特性-超高速加工によって高い品質が得られることを示している。

トレベルを達成するに十分なパルス繰り返し周波数(最大500kHz)を供給できる。例えば、Taliskerはパルスエネルギーが5μJでも、パルスの重複部分が多く、複数回繰り返すことにより、最大250mm/sのスクライビング速度が実現できる。より高いパルスエネルギーのTaliskerのモデル(例えば、パルスエネルギー10μJ、フルエンス1.44J/cm²)を使用すれば、最大2000mm/sの速度で絶縁ラインのスクライプができる。

まとめ

レーザはスマートフォン製造のさまざまな場面において欠かせないツール

となっている。特に非接触で高精度かつ高速の処理ができる能力は、多くの加工工程において不可欠である。またレーザを使用することにより湿式化学薬品の使用を排除できるため、環境にやさしいツールとなる。最後に、今日のレーザ発振器の高い信頼性と低いコストオーナーシップは他のほとんどの技術と比較して経済的に有効な選択肢となっている。

著者紹介

ラルフ・デルムダール (Ralph Delmdahl, Dr.) は独コヒレント社 (Coherent GmbH) のエキシマレーザ事業部のプロダクトマーケティングマネージャ。トルステン・ラウ (Torsten Rauch) は同社のマーケティングマネージャー。