スライスとダイシング：民生用エレクトロニクスのレーザマイクロマシニング

ビクター・デイビッド

高効率のノート型パソコンのスクリーン、大容量フラッシュメモリスティック、高速コンピュータプロセッサは、いずれも機械的切断からレーザマイクロマシニングへの置き換えによって実現されている。

この数年間でノート型パソコンの電池寿命は3倍になり、メモリカードの容量は増加したが、価格は低下し、コンピュータやスマートフォンなどの電子デバイスは今までにないほど高速かつ強力に動作するようになった。こうした改善には多くの要因が寄与しているが、共通するテーマはレーザマイクロマシニングの利用が拡大していることである。その結果、エレクトロニクス産業におけるレーザマイクロマシニングの需要はかつてないほど増大している。

電池を長寿命にする明るいLED

液晶ディスプレイのバックライト光源は、低効率の冷陰極の代わりに高効率のLEDを使用すると、ノート型パソコンの電池寿命が劇的に延長され、テレビのエネルギー消費が減少する。その結果、LED産業はこれまでに例のない成長を経験している。

フラットパネルディスプレイに使われるLEDはサファイアウエハ上に薄い（全体で数μm）層として成長しパターン化される窒化ガリウム（GaN）がベースになっている。サファイアはGaNと格子整合する理想的な材料で透明性も得られる。このことはLEDから漏れる光の一部がサファイア基板のエッジを部分的に通過するため重要になる。また、サファイアはかなり良い熱伝導体でもあるため、LEDの熱放散を支援する。しかしながら残念なことに、サファイアはダイヤモンドの次に切断の難しい材料として知られている。

実際には、LEDは標準厚が約100μm、直径が2インチのサファイアウエハ上に大量にパターン化される。最終のLEDチップのサイズはわずか0.5×0.5mm以下になるため、それぞれのウエハからは数千個のLEDが生産される。これらのLEDはシンギュレーション（個片化）と呼ばれる工程において物理的に分離される。

伝統的なシンギュレーションは、まずダイヤモンドソーの回転刃を用いてスクライビング（部分切断）され、次に物理的スナッピング（割断）が行われる。しかし、今日のLEDメーカーの多くはレーザスクライビングに移行し、エッジに圧力を加える物理的スナッピングを採用している（**図1**）。この図では紫外（UV）レーザの集束ビームを用いてサファイアの部分切断が行われる。一般に、数回の走査を繰返してウエハの厚さの約30%が切断され、その後に通常の物理的スナッピングが行われる（**図2**）。

レーザスクライビングはいくつかの理由によって推奨される方法になっている。第1に、レーザビームを集束して数μm以下のスポットサイズにすると、レーザによるスクライビング幅はダイヤモンドソーによる切断よりもはるかに狭くなり、エッジ損傷（クラッキングとチッピング）の少ないシンギュレーションも可能になる。このことはストリートと呼ばれる間隙が狭くなり、より密集した状態でLEDデバイスを実装できることを意味している。高品質のエッジが得られると、小さなデバイスの場合には実際的ではない後処理も不要になる。これらのことのすべてが歩留りの向上につながり、生産における単位コストの低減をもたらす。また、

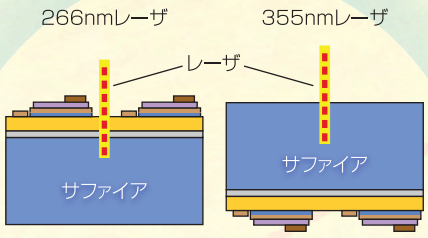

図1 高輝度LEDは、まず、薄いサファイアウエハ上に多層膜として形成され、次に、レーザスクライビングによりシンギュレーション（個片化）され、最後に、圧力エッジを用いて物理的にスナッピングされる。

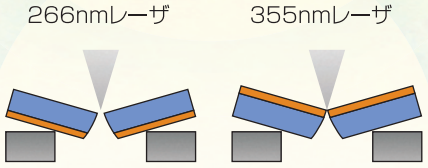

図2 LEDのシンギュレーションは、266nm（または355nm）レーザを使用して、まず、サファイアウエハの全体厚みの約30%をスクライビングし、次に、機械的スナッピングを行う。

強いビーム集束は低いレーザパワーでの高速スクライビングを可能にするため、レーザの運用コストも最小になる。

スクライビングにはどのようなレーザ特性が必要になるのだろうか？ 最も一般的なレーザシンギュレーションでは、266nmのQスイッチDPSS（半導体励起固体）レーザを使用して前側（デバイス側）のスクライビングが行われる。ビーム品質M^2は最も重要なレーザパラメータの一つだが、それは低いM^2が良好なエッジ品質を保証し、LEDを最小間隔で分離できることによる。基本的に、M^2はレーザビームがどれだけ強く集束できるかを数字で表し、完全なガウスビームはM^2=1で定義され、最小の集束スポットサイズの理論値が得られる。通常、実際のすべてのレーザはM^2>1になる（多くのLEDメーカーは、M^2<1.3という値故に米コヒレント社のAVIA 266-3レーザを使用している）。信頼性、パルス間の安定性および目標スループット速度を達成するために少なくとも2.5Wの平均パワーを有することも重要なレーザパラメータである。このレーザの代わりに355nmレーザを使用し、サファイアの裏側からのスクライビングを行うメーカーもいるが、この波長では少量のデブリが発生する。裏側から切断することによって、そのデブリからLED自体を遠ざけることができる。また、サファイアは355nmでは完全に透明となり、非線形吸収を引き起こす高い集束強度を利用しないと加工できないため、この場合にはビーム品質はより重要になる。この加工法では、やはりM^2<1.3の値をもつという理由でAVIA 355-5または355-7がよく使われている。また、いくつかのLEDメーカーはコヒレント社のTaliskerのようなハイブリッドピコ秒レーザの使用を検討している。この場合、532nm波長で266nmのナノ秒パルスと等しい結果が得られる。

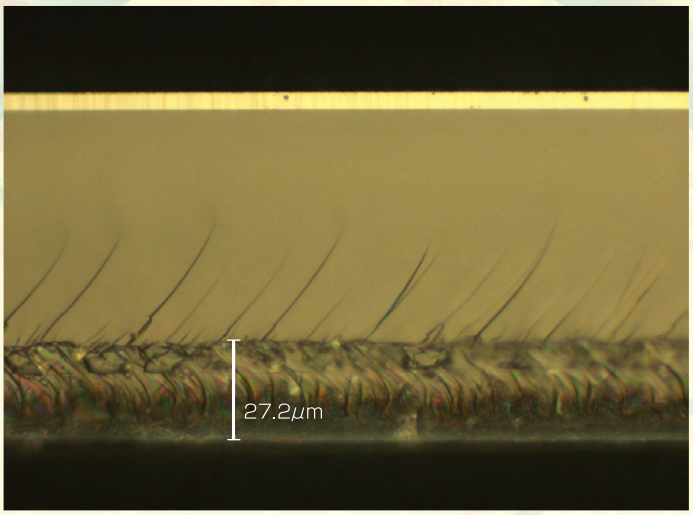

図3 メモリチップ用のシリコンウエハは薄くなると、ダイヤモンドソーによる最大切断速度が減少する。対照的に、レーザ切断の最大速度はかなり高くなる。

より狭い空間の多数のメモリ

過去数年間にSDおよびマイクロSDメモリカードの容量は着実に増加したが、これらのカードの物理的サイズや形状を変えることは許されない。一方で、MB（メガバイト）当たりの単位コストは劇的に低下している。このことは二つの基本的な要因、つまり、マイクロリソグラフィの進歩による回路密度の向上と、与えられたサイズのパッケージのなかにより多くの垂直積層を可能にする物理的に薄いウエハの利用とによって実現された。

現在、ウエハの標準的な厚さは80μm以下だが、最先端では50μmが計画され、R&Dレベルでは20μmのウエハも研究されている。これらのウエハはスケールメリットが追求され、その直径は最大300mmに達している。シリコンは結晶材料のため、300mm×50μmのウエハは信じがたいほど壊れやすく、機械的な接触が起きると簡単に欠けや破損が発生する。また、標準の後工程の価値が10万ドルをはるかに超えることを考えると、シンギュレーション工程における破損の防止は必須になる。

従来のシンギュレーションはダイヤモンドソー回転刃の反復走行を用いて行われている。しかし、厚さが80μmになると、切断圧力を下げ、経済的な走行速度を犠牲にして、チッピング、クラッキング、破断などの発生を防がなければならない（**図3**）。このことはレーザに莫大な市場機会をもたらしている。現在のLEDチップメーカーの多くは、Qスイッチ355nm DPSSレーザによる切断への移行を進めている。レーザ切断も回転刃と同様に反復走査を行って、後工程での除去が必要となる熱損傷の発生を最小に抑える必要がある。そのために、パルスの繰返し速度はレーザの最も重要なパラメータになる。とくに約5回の反復走査で約150mm/秒の全体切断速度を実現するには、600～750mm/秒の標準走査速度が必要になる。また、このような応用の場合に非常に良好なエッジ品質を確保するには、パルス間に50%の空間的な重なりが必要になる。そのためにコヒレント社は、非常に高い繰返し速度をもつ薄いウエハ専用のレーザ（AVIA355- 23-

250）を開発した。このレーザは250 kHzのパルス速度と>8Wのパワーの出力を組合せて、走査当たりで十分に高い切断パワーを確保している。また、パルス持続時間が短いほど熱影響層（HAZ）は小さくなり、後処理の必要性も回避されるため、ハイブリッドピコ秒レーザを用いるプロセス開発が関心を集めている。

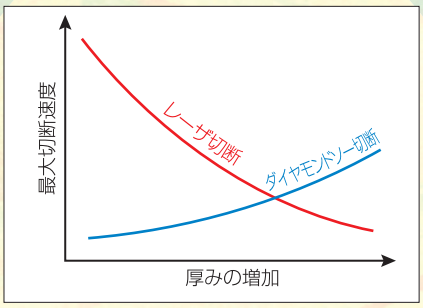

図4　いわゆる低κ材料の機械的切断は集積回路に大きな損傷を引き起こす。

高速コンピュータと電話への応用

集積回路のサイズが縮小すると、相互接続回路間の絶縁間隔も狭くなる。伝統的に、このようなギャップの絶縁材料は酸化ケイ素が使われてきた。しかし回線速度が高くなると、低いインピーダンス線が必要になるが、このことは低い誘電定数、つまり高い抵抗が必要になることを意味している。したがって、低い誘電定数（κ）のいわゆる「低κ材料」への移行が関心を集めている。

低κは伝統的に、酸化ケイ素により実現されているが、この材料は空隙率が低い。そこで完全に新しい材料も検討されている。このような材料は空隙率が高く、空気の含有量が増加することで、低いκ値が得られる。メモリチップと同様に、このような高速プロセッサは大きなシリコンウエハ上に高密度に実装された薄いエピタキシャル層として作製される。この場合のシンギュレーションの問題は、低κ材料がいずれも軟らかいことにある。したがって、伝統的なダイヤモンドソーによる切断を行うと、回路には層間剥離を含めた大きな損傷が発生する（**図4**）。しかし、この場合のウエハはメモリデバイスよりも厚いため、現在のレーザ切断は実用上の経済効果がまったく得られない。

その結果、現在はハイブリッド加工が好ましい方法として注目されている。この方法では、まず355nmのQスイッチDPSSレーザを使用し、軟らかいエピタキシ層の部分を切断してクラックの発生を防止する。次に、機械的な方法を使用して、ウエハ全体を切断する。現在は**図5**に示すように、2種類の方法が使用されている。個々の回路間に広いストリートを配置して設計されたウエハの場合は、レーザによる1回の走査で、各ストリートのいずれか一方のエッジに狭間隔のスクライビングを行う。狭いストリートの場合は、複数のレーザビームを平行に走査して、鋸刃による切断に適した十分に広い1本のスクライビングを行う。前者は、与えられたスループットに必要なレーザパワーが少なく、加工コストが低くなるため、より広く採用されている。この場合のレーザパラメータでは、ビーム品質と高い繰返し速度が重要になる。この用途には30マイクロジュール（μJ）のパルス出力とM^2<1.3のビーム品質を保証するAVIA 355-23-250レーザが適している。さらに、このレーザは、こうした仕様を250kHzの繰返し速度で提供することが可能であり、50%のパルス空間重なりをもつ200mm/秒のスクライビング速度をサポートする。

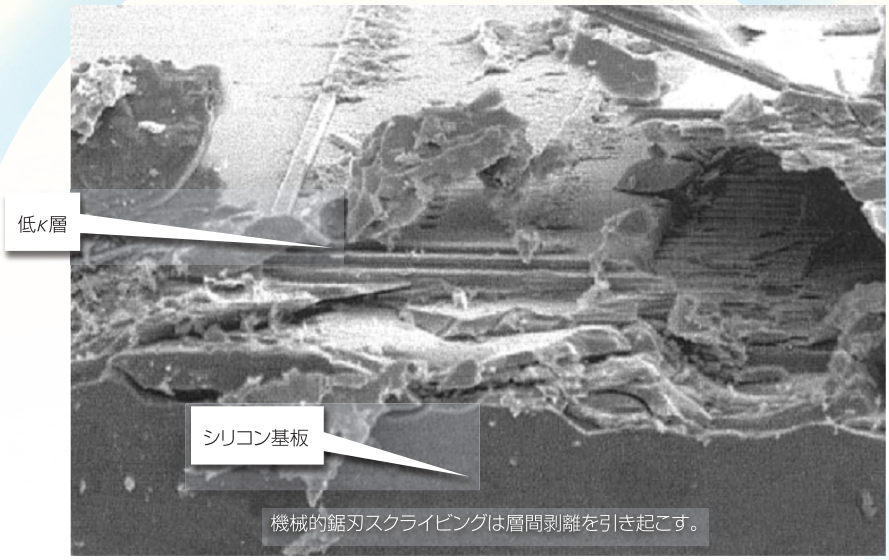

図5　低κ材料を用いる半導体チップはレーザスクライビングを使用してチップ間のストリートを加工する。このレーザスクライビングは亀裂発生を防止し、回路に損傷を与えない高速切断を行うことができる。

結び

電子部品のサイズの縮小や、材料の変化によって、レーザスクライビング加工はさらに魅力的で経済的な成長技術となっている。また、レーザメーカーはそれぞれの製品の性能、信頼性および所有コストの改善を果たし、応用可能な加工範囲をさらに拡大している。

著者紹介
ビクター・デイビッド（Victor David）はコヒレント社（Coherent: www.coherent.com）の製品ラインシニアマネージャ。

ILSJ