マイクロエレクトロニクスにおける大面積レーザリフトオフ加工

ラルフ・デルムダール

UVエキシマレーザによりリフトオフ加工は、最先端エレクトロニクス市場においてデバイス実装の高集積化や多様化を高い量産性とともに実現している。

成長を続けている高輝度LED、三次元半導体パッケージや最新のディスプレイといったマイクロエレクトロニクス製造においてレーザリフトオフ(LLO)加工は重要な技術となっている。フレキシブル・ディスプレイ製造では薄膜トランジスタがガラスキャリア上のポリマーレイヤー上に直接実装される。その製造プロセス中、デバイスを精密に保持することが必要なためである。量産時には、高い歩留まり、かつ低コストでフレキシブル・ディスプレイをキャリア基板から剥離させる剥離プロセスは欠かせない。デリケートな構造に損傷を与えず、レイヤーを選択的に加工することがマイクロエレクトロニクスにおいて欠かせない技術である。この目的に対して、短UV波長、短パルス幅と高パルスエネルギーを持ったエキシマレーザが非常に役立ち、更に高い出力レンジのレーザを使うことにより、量産に欠かせない高いスループットを実現することができる。

イントロダクション

レーザリフトオフは、LED、高集積半導体デバイス、フレキシブル・ディスプレイといったマイクロエレクトロニクス・マーケットを成長させる重要な技術である。例えば、ポリマー上に軽量で頑丈なフレキシブル・ディスプレイを製造するために、ガラスキャリア上のポリマーレイヤーに実装された薄膜トランジスタ構造をキャリア基板から剥離させる必要があり、実装された機能フィルムを保護するためにも一般的に低熱量プロセスが必要である。この目的に対して、短UV波長、短パルス幅と高パルスエネルギーの特徴をもつエキシマレーザが大きく役立ち、高出力エキシマレーザは量産に必要な広い面積を一度に加工し、高いスループ

表1 エキシマレーザを使用したウェハ及びディスプレイ層のリフトオフ剥離のキー・パラメータ

マイクロエレクトロニクス応用例	基板サイズ	レーザ波長	レーザフルエンス	ビーム形状	構造
高輝度LEDウエハ	最大8インチ	248nm	～0.3J/cm²	正方形ビーム	サファイヤ上のGaN
極薄シリコンウエハ	最大12インチ	308nm	～0.3J/cm²	長方形ビーム	ガラス上のポリマー
フレキシブルディスプレイパネル	最大第8世代	308nm	～0.75J/cm²	ラインビーム	ガラス上のポリマー

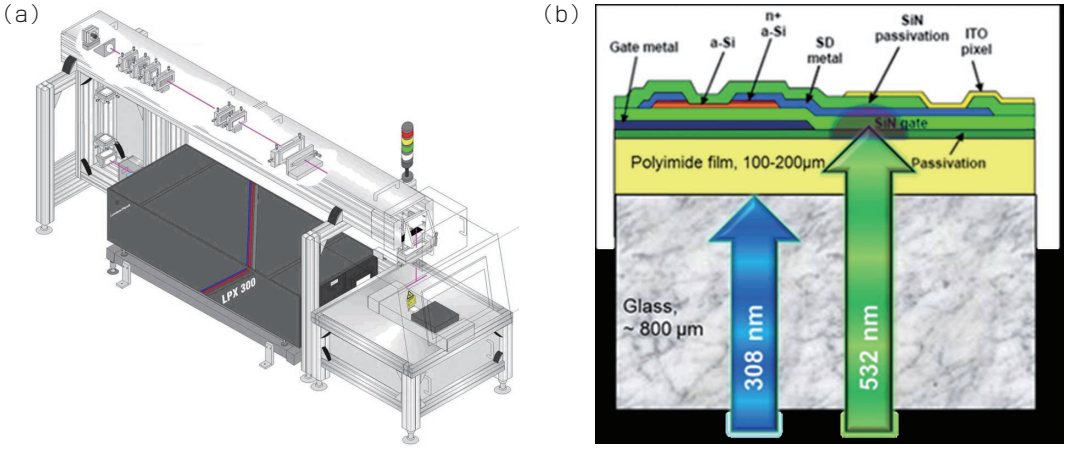

図1 (a)レイアウトはウェハLLO用ラインビーム光学システムを示している。(b)LLOにおけるUV波長の優位性を示している。

ットを実現する。

UVレーザのリフトオフ法はスマートフォンや、タブレット、大型TV用AMOLEDなどで使用される今までに無い三次元半導体パッケージやフレキシブル・アクティブマトリックス・ディスプレイの実現を可能にした。

波長、光学システム、フルエンスの適切な選択は、選択的レーザリフトオフ(LLO)加工を実現する。マイクロエレクトロニクス・アプリケーションではサイズとフィルム厚はさらに小型化する必要があるのでこの方法の魅力が増しており、最適な波長248nmのエキシマレーザおよび波長308nmのエキシマレーザそしてビームデリバリー・システムの開発にさらに弾みが付いている。

量産時のエキシマレーザリフトオフ加工では、大型ウェハやディスプレイ層パネル全体にミクロンの無欠陥の離層が必要で、さらに有益なスループットの達成が必要となっており装置メーカーの努力は必須となっている。

リフトオフプロセスについて

ガラス層上のシリコンウェハ及びポリマーLLO加工では全領域を連続して加工するためにUVレーザのシングルパルスが基板の端から端までカバーする必要がある。薄膜ポリマーから剥離する必要がある300mm径までの大型ウェハもしくは第5.5世代から第8世代のパネルを加工する際は、シングルもしくは2回以内のパルスを照射するLLO用ラインビーム・スキャンが最も効率的である。**図1(a)**は、ラインビームを生成する光学システム図を示している。フルエンスレベル250 mJ/cm^{2}以上で長さ750mm以下の典型的なラインビームはすでに市場にあり、最大のウェハとディスプレイ・パネルの加工を高いスループットでサポートしている。ガラスキャリア上にスピンコートされたポリマーフィルムの典型的な厚さは、～150μmであり、幅広く使用されているポリイミドは、紫外線308nmで吸収が最大化し、350nm以上の波長は吸収しない。結果として、**図1(b)**で見られる様に、波長308nmのみが適切に層間剥離することができ、さらにはレーザ加工中に熱に敏感

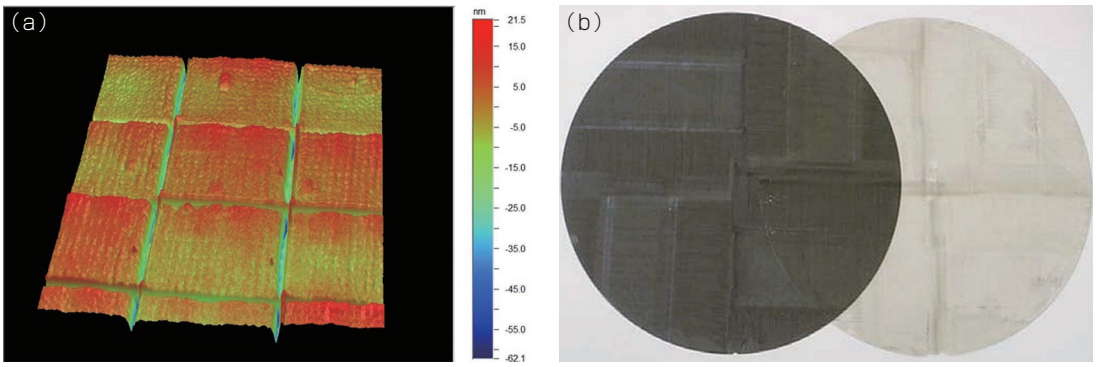

図2 (a)サファイアの248 nm LLO後のGaN表面。(b)ガラスキャリアから70μm厚シリコンを308nm LLOにて剥離。

表2 量産対応のエキシマレーザリフトオフの加工パラメータモデル

マイクロエレクトロニクス応用例	基板サイズ	レーザ繰り返し周波数	集光サイズ	パルス数	スループット
高輝度LEDウエハ	最大6インチ	20Hz	5×5mm^2	～1,000	＞60枚/時
薄型デバイスウエハ	最大12インチ	20Hz	50×2mm^2	～1,000	＞60枚/時
フレキシブルディスプレイバックパネル	第4.5世代	200Hz	370×0.4mm^2	～5,000	＞60枚/時

な実装回路に影響を及ぼしていない。

LED製造におけるLLOの最適な加工戦略は、レーザパルスにより多くのLEDダイを層間剥離する最大5mm×5mmの正方形エリアを走査する方法である。ガラスキャリアからのポリマー剥離は比較的低いフルエンスで可能である一方、LEDのLLOプロセスではGaNを金属ガリウムに分解するためにサファイア/GaN接合面に約700mJ/cm^{2}のエネルギー密度を供給することが必要である。このような要求によりエキシマレーザ、とくに波長248nmで動作するKrFエキシマレーザはLLO用途として最初の選択となる。他のアプリケーションでの主なリフトオフのパラメータは次の通りである。

照射方法とスループットの関連性

248nmエキシマレーザによるサファイア・ウェハ分離プロセスは、最終的なキャリアとして熱可塑性樹脂系接着剤でシリコンウェハに貼り付けられた一般的なエピタキシャル構造とともに2インチGaNエピウェハを使用して行われる。LLOプロセス及びサファイア除去後(金属ガリウム[1]のウェット・ケミカル除去前)の通常の溝パターンは、図1(b)のように白色光干渉分光法により見ることができる。溝の深さはたった25nmほどしかなく、隣接したパルスによりわずかにオーバラップすることになっている。産業での加工レートは、正方形フィールドを使用し低パルス・レートで達成することができる(**表2**)。

極薄シリコンウエハのLLOはガラスキャリア上のポリマー層をアブレーションさせることにより行う。LLOの後、ガラスウェハはシリコンウェハより簡単に剥離することができる(**図2(b)**)。デバイス及びキャリアウェハ両方ともポリマーフィルム残渣を除去する必要があり、通常ポリマーフィルムはガラス側に数百nmの厚さがあり、薄膜ウェハ側には数マイクロの厚さがある。隣接したパルスに5%のオーバラップを持っている大面積長方形パルスを使用した長方形フィールド加工は、低パルスレートにおいても、高速で効率がよい方法である(表2)。

ガラスウェハに接着されたポリマーに非常に似ているが、ガラスパネルは308nmをガラス側から照射することによりポリマーフィルムから剥離させる。しかし、パネル全体をカバーするラインビーム・スキャンはスキャン数を大幅に減らせることができるため、工業生産という視点では好まれるアプローチとなっている(表1のラインビームLLOプロセスのモデル計算を参照)。

参考文献

(1) Delmdahl R, Pätzel R., Brune J, Senczuk R, Goßler C, Moser R et al. Line beam processing for laser lift-off of GaN from sapphire. Phys Status Solidi A 2012; DOI: 10.1002/pssa.201228430.

(2) Zussmann MP, Milasincic C, Rardin A, Kirk S, Itabashi T. Using permanent and temporary polyimide adhesives in 3D-TSV processing to avoid thin wafer handling. J Microelectron Electron Packaging 2010;7:214-9.

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。

LEDJ