

有機ELに続く次世代のディスプレイ、 マイクロLEDディスプレイの 製造を促進するエキシマレーザ技術

ラルフ・デルムダール

高速微細加工を可能にする出力と精度。

マイクロLED技術をベースにした新しいディスプレイは、高い彩度と、広い視野角、高速な応答時間、高輝度、低消費電力といった、多くメリットをもたらすと期待されている。しかし、マイクロLEDディスプレイを製造するための技術や装置は、市場拡大には未だ少し遠い状態にあり、その製造問題は主に、スループット、歩留まり、生産性に関連している。

マイクロLEDディスプレイは、屋外用超大型LEDディスプレイのミニチュア版と考えることができる。実際、マイクロLEDディスプレイは、大型ディスプレイに使われるLEDと比べて厚みやサイズが約100分の1しかない、非常に小さなLEDのアレイで構成されている。既存の液晶ディスプレイ(LCD)や有機EL(OLED)技術と比べると、マイクロLEDディスプレイは消費電力が低く、前者の10%、後者の50%しか電力を消費しない。そのため、マイクロLEDディスプレイの短期的将

来の適用先は、増加傾向にあるスマートウォッチに必要なウェアラブルディスプレイや、ソニーの新しい超高精細(UHD: Ultra High Definition)壁掛けディスプレイのような、対角が65インチ以上の大型テレビが想定されている。

LCDとOLEDの市場分野で活躍する多くのディスプレイメーカーが、現在さまざまなレーザ加工を利用して、極薄かつ軽量で、かつてないほどの性能とピクセル解像度を備えた、リジッドまたはフレキシブルなディスプレイを製造している。そのレーザ加工の手法としては、基板や有機薄膜の穴あけおよび切断、ピクセルやタッチスクリーン構造の微細なパターンニング、エキシマレーザによるアニーリングや基板分離のためのリフトオフのほか、溶接やマーキングなどがある。

エキシマレーザは、波長が最も短く、出力が最も高いという、他にはない性質を併せ持つことから、LCDとOLEDの両方の分野でモバイルディスプレイ

製造の技術イノベーションの最先端を担っている。波長308nmのエキシマレーザによるラインビーム光学システムが、高解像度のモバイルディスプレイに必要な、低温ポリシリコン(LTPS: Low Temperature Polysilicon)薄膜の製造に用いられている。また、フレキシブルOLEDの製造ラインにおいては、従来のリジッドなディスプレイからガラス基板を安全に分離するためにも使用されている。

エキシマレーザリフトオフによる マイクロLED薄膜の製造

同様に、マイクロLEDディスプレイの加工にも、エキシマレーザ技術を適用することによるメリットがある。マイクロLEDは、それよりも大きなLEDと同様に、サファイアウエハ上に窒化ガリウム(GaN)薄膜を成長させることによって製造される。デバイスの高さを抑えて、デバイスの効率を高めるために、GaNベースのマイクロLED層は、導電性キャリア材料の上に転写される。先ほどの308nmよりもさらに短い248nmという短波長のレーザリフトオフ(LLO: Laser Lift-Off)によって、GaN中間層が最上部から10nmの深さにわたって分解されることにより、一般的に厚さ0.8 μ mのサファイアウエハが剥離される(図1)。

LLO処理には、亀裂やチッピングなどの副作用を防ぐために、ビームの空間均一性とフルーエンスの安定性が求



図1 エキシマレーザリフトオフの原理。波長248nmのビームは、GaNによって吸収される。サファイア基板は基本的に、エキシマレーザビームを透過させる。1J/cm²以下のレーザフルーエンスで、GaN中間層は金属ガリウムと窒素ガスに分解され、サファイアウエハが剥離される。



図2 コヒレント社のLineBeam 155システムには、248 nmの短波長光子を照射するLEAPシリーズの150Wのエキシマレーザが搭載されている。左下に示されているのは、生成されるラインビーム形状(長軸方向の幅が155mm、短軸方向の幅が0.3mm)の標準的な3Dプロファイルである。

められる。エキシマレーザの優れたパルス安定性(<1%rms)に、ビームの長軸と短軸の両方に沿ってフラットトップのビームプロファイルを生成し、100 μ m程度の被写界深度(DoF: Depth of Field)を備えるビーム均一化光学システムを組み合わせることにより、大きなプロセスウィンドウが得られ、それに応じた高い歩留まりが量産において達成される。また、LLO処理時のウエハ上におけるエキシマレーザのビーム形状は、実際のウエハ径に合わせて変更できる。エキシマレーザ光学システムは、最大で8インチまでのウエハの加工要件に対応することができる。

LEAPシリーズの150Wレーザを搭載するLineBeam155(LB155)システムは、波長248nmのシングルスキャンで6インチのサファイアウエハを処理するように設計されており、長軸方向の長さが155mm、短軸方向の幅が0.3mmの均一なラインビームを生成する(図2)。エキシマレーザラインビームシステムは、1時間に60枚以上のウエハを処理できるだけのスループットが達成可能で、力を加えずにマイクロLEDエピウエハをサファイア基板からLLO剥離する処理に適している。

最先端の4K UHDディスプレイは、3840 \times 2160 \times 3個ものRGBサブピクセルで構成される。そのため、4K UHDディスプレイでは、2400万個近くのマイクロLEDをわずか数ミクロンの配置精度で、最終的にディスプレイバックプレーンパネルに転写する必要がある。それだけ膨大な数のマイクロLEDに、従来のピックアンドプレイス方式を適用していたのでは、1つの4K UHDディスプレイを処理するのに、6週を要してしまう。

大面積の エキシマレーザビームによる、 ウエハからパネルへの並列転写

したがって、マイクロLEDディスプレイの市場拡大には、ウエハからパネルへの大量転写を高速かつ正確に行う手段が不可欠である。マイクロLEDは、標準的なRGBパターンに従ってディスプレイパネル上に配置されるため、断面積の大きなエキシマレーザビームによる並列転写が、実行可能な解決策である。これを行うには、加工済みのマイクロLEDエピウエハを、紫外線吸収ポリマーを使った接着フィルムによって、一時的なキャリアウエハに接着する。波長248nmまたは308nmのエキシマレーザを照射すると、接着剤が蒸発して、隣接するマイクロLEDチップが受け側のバックプレーンパネルへと転写される。マイクロLEDを転写するのに必要なエネルギー密度は、GaNをサファイアウエハからLLO剥離するのに必要なフルーエンスと比べてほんのわずかであるため、ビーム径を大きくして、非常に高速な加工速度を達成することができる。実際、加工フィールドサイズが数平方ミリメートルのエキシマレーザビームを採用することにより、数万個単位のマイクロLED

サブピクセルを処理することができる。マイクロLEDサブピクセルに対する一回のレーザ照射で、1秒あたり数百万個という大量のサブピクセルの並列転写が可能である。このようなエキシマレーザによるレーザ誘起前方転写(Laser Induced Forwarded Transfer)によって、マイクロLEDを転写することにより、4K UHDディスプレイの組み立てにおけるマイクロLEDの転写時間は1分未満にまで短縮される。

高性能マイクロ LEDピクセルに必須となる、 高移動度LTPSバックプレーン

エキシマレーザシステムは、LLOによるウエハ剥離と、ウエハからパネルへの大量転写の両方を解決する技術だが、高解像度マイクロLEDディスプレイのバックプレーンにも、エキシマレーザを使った処理を適用する必要がある。

高解像度のLCDデバイスやOLEDデバイスと同様に、マイクロLEDディスプレイの各サブピクセルも、ディスプレイバックプレーンの薄膜トランジスタのマトリクスによって処理し、個別に駆動して輝度を達成する必要がある。マイクロLEDディスプレイには、高移動度のLTPSバックプレーンが必要で、波長308nmのエキシマレーザによるアモルファスシリコン膜のアニーリングは、確立された産業用レーザ加工である。したがって、マイクロLEDディスプレイが市場シェアを徐々に拡大させて、最終的には新しいディスプレイ分野を形成することは、LTPSバックプレーンの継続的な需要につながることになる。

著者紹介

ラルフ・デルムダールは、米コヒレント社、エキシマレーザのプロダクトマーケティング・マネージャー。URL:www.coherent.com