

高輝度LEDの製造を可能にする エキシマレーザによるリフトオフ

ラルフ・デルムダール

GaNベースLEDにおいて垂直構造は水平構造よりも多くの利点をもつ。その垂直構造の作成工程でサファイア基板を分離するのに適しているのが、エキシマレーザによるリフトオフの手法である。



図1 アラブ首長国連邦のアブダビにあるYasホテルのLED構造物

GaNベースの白色高輝度(HB)LEDのコストパフォーマンスは、ここ10年の間に着々と向上し続けている⁽¹⁾。競争が発光効率を向上させる新しいデバイス・アーキテクチャの創造を活気づけた。これによりLEDチップの光束が増加し、結果として大幅にルーメンあたりのコストを低下させている。これはデバイスに対する固体照明アプリケーションの範囲を広げ、自動車やディスプレイのバックライト、そして一般照明への配備条件と、LEDの特性を合致させてきた。その例が図1に示す、アラブ首長国連邦のアブダビにあるYasホテルのLED構造物だ。

垂直構造がより高輝度を達成

LEDチップを作成するために2つの基本的な方法がある。すなわち、水平方向と垂直方向のダイ構造である(図2)。設計の選択は、基本的には材料によって左右される。

サファイアは、そのコストの低さと格子定数の近さから、標準的なGaNの成長用基板として広く使われる。サファイアは良質の絶縁体であることから、図2の左側に示すように、電極はp型GaNとn型GaNに接触して表面のそれぞれ隣どうしに配置される。しかしもし、キャリア基板としてサファイアを銅やシリコン、シリコンカーバイドなどの導電性キャリア材料に置き換えれば、表面

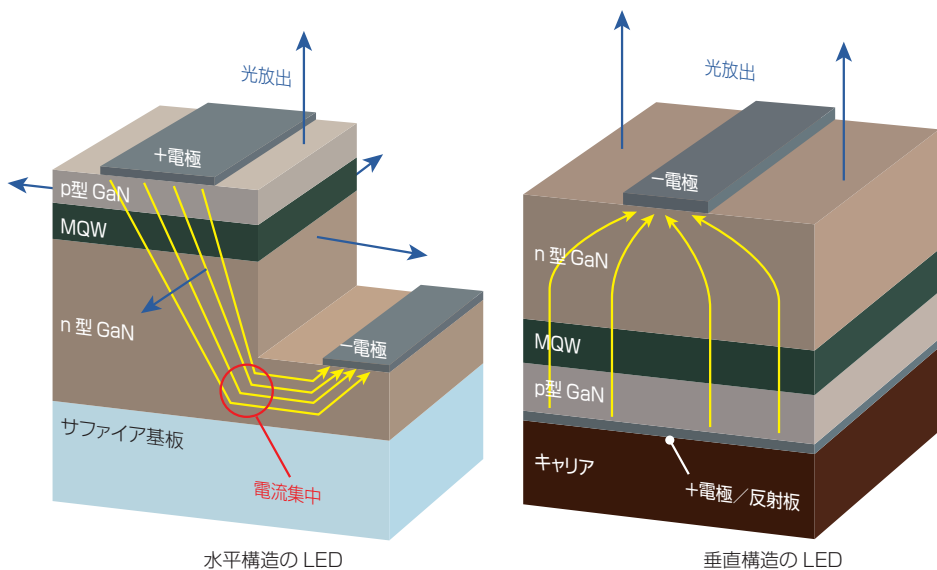


図2 LEDダイの垂直または水平構造

と裏面の電極は結果的に垂直な設計が適用できる。

現に非導電性のサファイア基板の除去をとまなう垂直LEDダイ(図2の右)は、水平LEDへのアプローチよりも固有のパフォーマンスのアドバンテージがある⁽²⁾。

垂直構造は、図2の左に示すように、アクティブ多重量子井戸(MQW)の領域を通過する際の不均一な電流分布や、n型電極へ向かう際の電流集中を避けることができる。同様に重要なこととして、垂直LED構造は基板の放熱の点

で重要なアドバンテージを持っている。

LLOによるサファイア基板の除去

図3に示すように、サファイア基板上へエピタキシャル成長によるアクティブ層の積層がなされたあと、高熱伝導率のキャリア基板がLEDウェハのp層側に貼り合わせられる。このキャリアウェハはよい電気的接触および放熱性能をもつ。しばしばシリコンもしくは特別な合金が使用される。基板の移動はレーザーリフトオフ(LLO)によるサファイア基板の除去によって完了する。

機能上のGaN層の厚さは数ミクロンしかないため、GaN構造にダメージを与えずにサファイアウェハにケミカルエッチングや研磨を施すことは厄介な仕事だ。これは平均LED性能とLED全体の歩留まりに悪影響を与える。ゆえにLLOは、隣り合ったアクティブ層に事実上影響を与えず、サファイアの選択的分離を可能にする非接触の手法の選択肢となりうる。

LLOプロセスでは、LEDウェハにはサファイア基板の中を貫く方向に向けられた高密度UVレーザー光パルスが照射される。基板は248nmの波長を透過させる。しかしGaNは約20nmの深さの界面層近くにおいてUV光子を強く吸収する。レーザーエネルギーが800~900mJ/cm²のときに、GaN界面層の温度は局所的に約1000℃にまで上昇し、金属ガリウムと窒素ガスに分解する。ウェハを30℃にするとガリウムは液体になり、サファイアウェハはアクティブ層にダメージを与えることなく安全に液体ガリウムから取り除かれる⁽³⁾。

248nmでのLLO処理

LLOプロセスは248nmエキシマレーザーのシングルパルスを照射して、ウェハのエリアごとにすべての表面をカバ

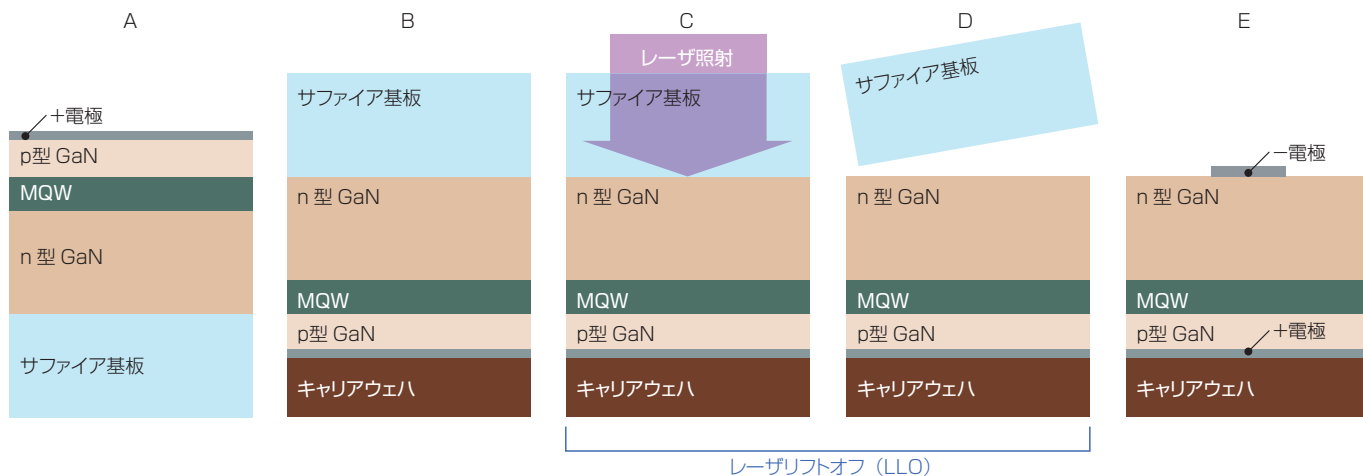


図3 典型的な垂直LED製造プロセスフロー

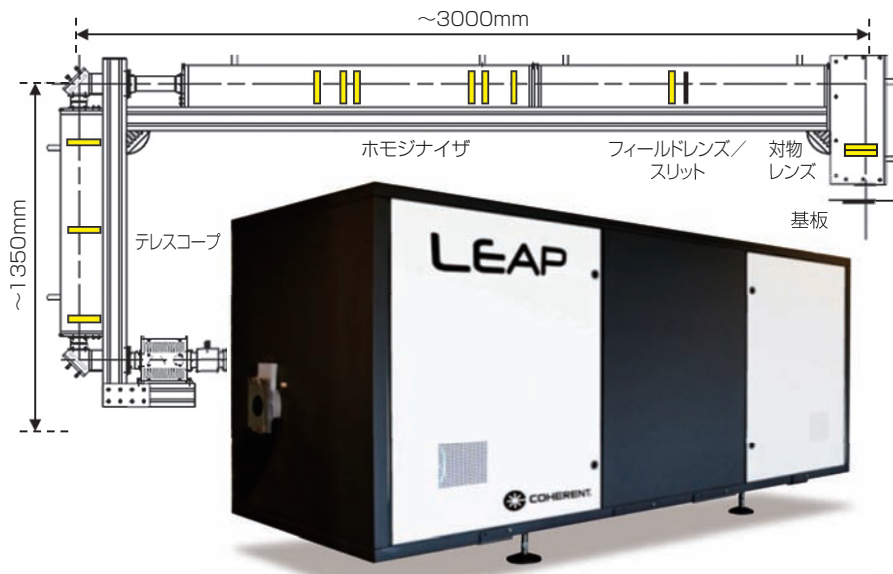


図4 正方形領域のウェハ照射のための、一般的な光学経路とエキシマレーザ「LEAP」

一するまで、連続的に作業を進める。一般的に均一化された正方形領域の間のオーバーラップはごくわずかであり、蛇行したステージ操作となる。LLO用のエキシマレーザは、リフトオフ工程を確実にコントロールするため、パルスエネルギーおよびフルエンスにおいて1%rmsの安定性を満たす必要がある。

数mm²の大きなショットエリアにわたって800mJ/cm²以上のフルエンスを可能にするためには、500mJかそれ以上の高いレーザパルスエネルギーが必要になる。それは図4に示すエキシマレーザ「LEAP」のようなスタンドアロン設計のエキシマレーザで容易に供給できる。一般にショットエリアはLEDダイのサイズを越えており、多くのダイは1つのレーザパルスでカバーすることができる。

LLO処理における重要なレーザ性能は、すべてのショットエリアにおいてフルエンスの均一性が保たれていることだ。エキシマレーザは放出するビーム断面積が大きく、本質的に低コヒーレンスである。それらのビームプロファイルは整形され、ハイグレードのUV

光学系によって均一化される。ビームホモジナイザは小型シリンドリカルレンズの組み合わせからなり、両軸に沿ってビームを均一化する。低コヒーレンスのエキシマレーザと高品質な光学系の組合せにより、極限まで均一化され、かつ急峻なエッジを持つビームがスペックルの無いまま大面積で実現される。これは一般的に1時間当たり6インチウェハ50枚のスループットを可能にする、速かつ高い歩留まりのLLO処理において理想的である。進化した高出力エキシマレーザでは、ほんの数分間かかる自動ガス交換を除いては、実質的にメンテナンスが必要ない。

したがって、メンテナンスコストとダウンタイムは最新の固体レーザに匹敵する⁽⁴⁾。

結論と展望

HB-LEDはさまざまな市場において旧来の光源と競争を始めている。技術的な観点から見ると、一般照明市場ではシングルダイ白色LEDパッケージにおいて150lm/W以上の発光効率が必要とされる。水平型LEDと比べて、垂直型LEDはより理想的な電流注入、優れた放熱性、そして静電破壊に対する耐久性といった大きな利点を持つ。

エキシマレーザリフトオフによるサファイア基板の除去は、次世代HB-LEDを製造する過程で極めて重要な役割を演じる、より効果的な技術である。

248nmエキシマレーザ技術は、パルス当たり1Jまでの大きな出力エネルギー範囲にわたって利用可能である。パルスエネルギーが0.5Jの場合、リフトオフプロセスでは6インチウェハ全体をカバーするために約1500パルスが必要である。それは50Hzパルスレートにおいては30秒ほどの速さとなる。エキシマベースのLLOはしたがって、より大きなレーザ照射領域とより高い繰り返し数によって向上したスループットを提供するゆえに、サファイアフリーの高輝度LEDを可能にする技術となる。

参考文献

- (1) R. Haitz and J. Y. Tsao: Solid-state lighting: 'The case' 10 years after and future prospects; Phys. Status Solidi A 208, No. 1, 17-29(2011).
- (2) R. Delmdahl, M. Kunzer, and U. Schwarz: Thin film LEDs gaining ground. Excimer laser lift-off enables high brightness LED production; Laser Technik Journal 3, 22-25(2011).
- (3) C.-F. Chu et al.: Study of GaN light-emitting diodes fabricated by laser lift-off technique; Journal of Applied Physics 95, No 8, 3916-3922(2004).
- (4) R. Delmdahl, R. Paetzel: The Midas Touch: Surface processing with the UV excimer laser. Laser Technik Journal 1, 24-29(2009).
- (5) A. Masters, T. Geuking: Beam-shaping optics expand excimer laser applications; Laser Focus World, 41, 99-101(2005).

著者紹介

ラルフ・デルムダール(Ralph Delmdahl, Dr.)は独コヒーレント社(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。