

一般照明のコスト要求を満たす 方向に進むHB-LEDの生産技術

エリック・ヴィレー、フィリップ・ルーセル、ポーラ・ドウ、トム・ピアソール

技術の進歩と生産の改善によって、LEDの性能改善とコスト低減も適切な速度で軌道に乗っているが、これは産業としてはまだ完結した話ではない。

高輝度(HB)LED市場の活況のもとでは、次の成長の波は現在はまだ存在しない技術から生まれることを忘れてはならない。LED一般照明の大きな市場の開発は、技術の進歩と生産の改善に依存する。蛍光灯と競争するためには、ルーメン(lm)当たりのコストを10分の1に下げなければならない。しかし、最近の進歩を見ると、LED産業はこの厳しい課題を克服する軌道に乗ったように思われる。

ディスプレイ用バックライトの強い需要はHB-LED産業を推進し、2010年は50%以上の成長をもたらし、2011年もさらに50%の成長が見込まれる。2013～2014年のディスプレイは二桁の成長を継続すると見込まれる。しかし、ディスプレイ産業が成熟すると、その後の成長の継続は、2015年までに急速

に市場が立ち上がるLED一般照明の莫大な需要に依存する。われわれは最近の性能改善とコスト低減に向けた進歩に基づいて、HB-LED産業はLED一般照明の普及を実現する軌道に乗ったと考えている。しかし、それは解決した話ではなく、そこにはまだ多くの課題が残されている。

欧州フォトニクス産業協会(EPIC)の専務理事を務めるトム・ピアソール(Tom Pearsall)は、「この産業の成長は一般照明に依存する。また、基礎と材料の研究から、デバイス設計と生産効率までのすべてにおける進歩の度合いに依存する。LEDの価格がCFLの2～3倍よりも上の範囲に留まれば、その成長曲線はそれほど見事にはならないだろう。コスト低減には大きな挑戦が必要になる。それはただ広げればよ

いレッドカーペットのようなたやすいものではない。そこにはまだ、現状を打破する発見につながる絶好の機会が眠っている」と語っている。

EPICコンソーシアムの委員は、こうした重要な生産技術の問題では、情報収集が最優先事項になると認識している。EPICコンソーシアムは委員が仏ヨール・デベロップメント社(Yole Développement)のアナリストと共同で調査を行い、「LED Mantech」(LED生産技術)と題した報告書の作成をヨール・デベロップメント社に委託した。

スケールメリットと歩留り改善

パッケージLEDのコストを低減させる好機は、エピタキシ、蛍光体およびパッケージングの技術進歩だけではなく、生産規模の拡大と歩留りの改善からも生まれる。

生産規模の拡大によって、通常、コストは引き下げられる。また、HB-LED産業は確実に大量生産に向かっている。われわれの基本シナリオは2015年までの売上高の年平均成長率(CAGR)を28.2%と想定しているが、これはウエハの数量と加工面積の拡大よりも高い数字だ。平均販売価格は着実に低下し、2015年のLEDの販売規模は257億ドルになるが、これは加工表面積では40%以上のCAGRが必要となることを意味している。図1は2015年のチップ面積が510億mm²に到達し、2009年の加工面積の8倍になることを示している。

生産歩留りが向上するため、ウエハの使用はそれほど増えないが、それで

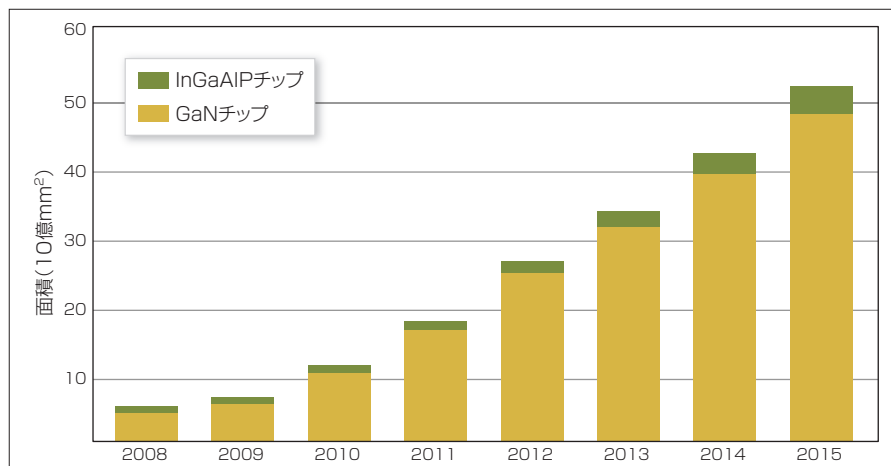


図1 加工されたチップ面積を材料別に示している。(出典: EPICとヨール・デベロップメント社によるLED Mantech 2010報告書)

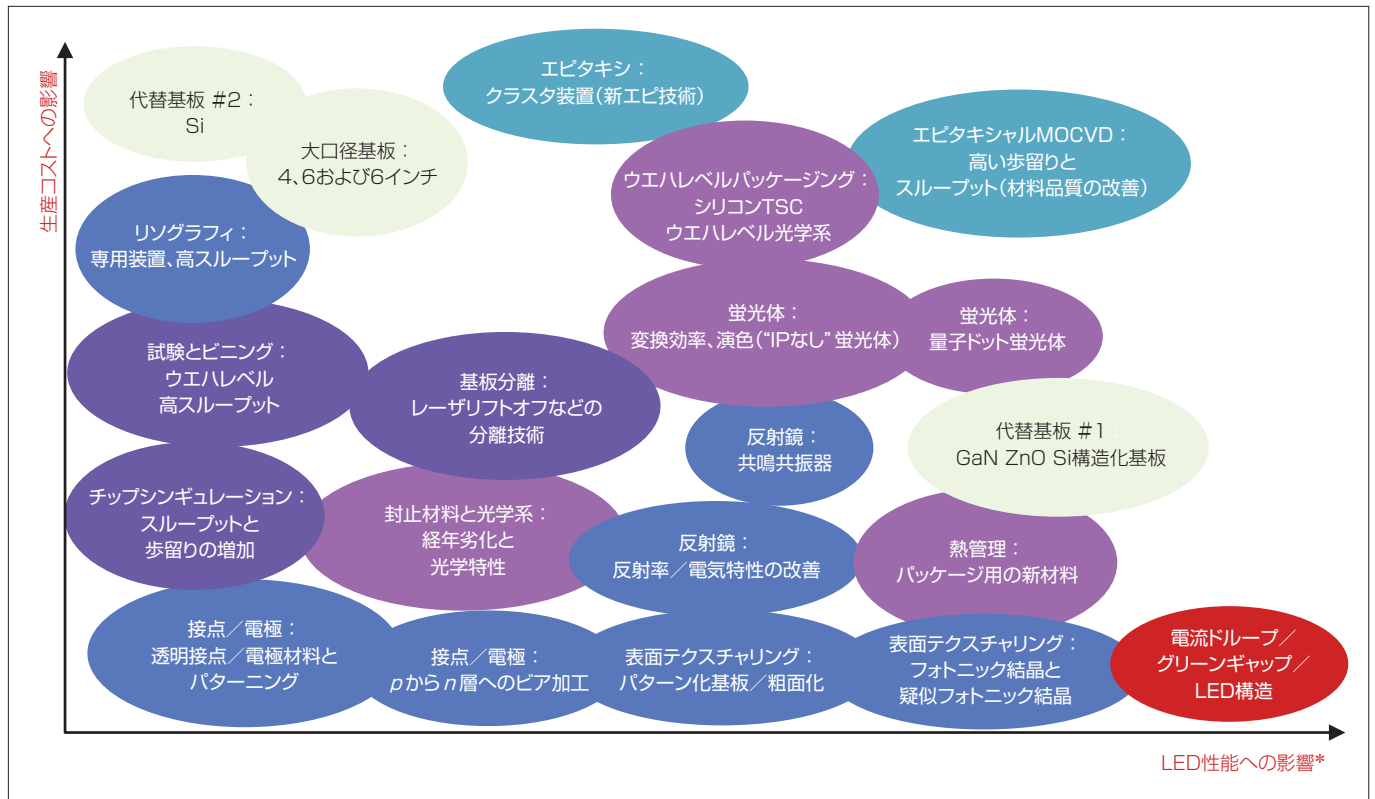


図2 SSLの装置所有コストに影響を及ぼす重要な技術および研究領域を相対的な関係で示している。*LED性能には発光効率、lm/パッケージ、演色および寿命が含まれる。(出典:EPICとヨール・デベロップメント社によるLED Mantech 2010報告書)

も向う5年間では7倍に増加(CAGR 37%)し、2015年には2インチウエハ換算で8630万枚に達すると予測される。

このようなウエハ使用量の増加によって、メーカーは2015年には巨大な生産能力と莫大な投資が必要になる。垂直統合された大手企業、例えば韓国の総合電機メーカーのサムスン電子やLGエレクトロニクスなどが主要な生産力の源泉になる。ヨール社のLED加工工場データベースによると、これらの大手企業は2年前にLED事業に参入して以来、すでに世界のチップ生産能力の20%を占有している。現在は半導体メーカーもLED事業に参入しているが、こうした企業も大量生産への投資を実行できるはずだ。現在のGaN系LEDのエピタキシャル成長分野に参入している企業は60社以上にものぼる。したがって、臨界数量に到達し、量産技術を習

得したメーカーだけが生き残ることになり、2013年になると大量の事業統合が始まると予想されている。

装置メーカー

このような生産規模の拡大にはIC装置メーカーも注目しており、現在はLEDに固有の大きなパターンサイズ、小さなウエハサイズ、ウエハの反りや透明性などの問題を考慮した専用装置の開発に投資を始めている。このような装置は高い歩留りとスループットを確保できる。この分野が研究所レベルの試作から工場レベルの連続生産に移行すると、ウエハの自動ハンドリングや工程のコンピュータ制御も採用されるだろう。産業相互運用標準は工程の円滑な運用を支援する。前述のサムスン電子をはじめ、台湾のTSMC社、米マイクロンテクノロジー社(Micron Technol-

ogy)など、半導体産業からの新規参入はこのような動きを加速するだろう。

われわれは2010~2014年のLEDの需要を満たすには1400台近いMOCVD(有機金属化学気相成長)装置の追加導入が必要になると予測している。また、かなりの額で継続されると考えられる中国政府による気前のよい補助金は、さらに700~1000台以上の投資を引き起こす可能性がある。したがって、2011年の遅くには、短期的に供給過剰の時期が訪れるかも知れない。しかし、この供給過剰の大部分は生産経験の少ない新規参入メーカーで発生するため、その影響のほとんどは市場の低価格製品が受けることになる。このような状況でも尚、需要の多い用途の一部には一時的な供給不足が発生する可能性もある。このような市場の活発化とともに、MOCVD装置メーカーは性能の改善

に対して真剣に投資を行い、従来の2倍のスループットが得られる新世代装置の開発を行っている。5年ごとに所有コストが2分の1に低減することが装置メーカーの目標である。

装置の改善と自動化された大量生産への移行は、生産歩留りの改善を可能にするだろう。現在はたしかに多くの改善余地があるが、産業が成熟していくと、その余地も少なくなる。われわれは、基板エッジの除去面積、チップ間の切断部分、エピタキシャル成長とパッケージングの平均工程歩留りのために、現在は加工基板面の約24%しか認定チップ(つまり与えられた用途の仕様を満足するチップ)になっていないと推定している。われわれの基本シナリオによると、LED業界は、2020年までに歩留りの40%以上への改善を視野に入れる必要がある。これは10年間にしては比較的低いレベルだが、技術が改善し、仕様がさらに厳格になると、著しく歩留まりを改善することはさらに難しくなる。

生産効率を改善する大型ウエハ

大口径ウエハへの移行はコストの低減にも役立つ。現在は生産の多くが2インチウエハを用いて行われているが、その大方は4インチウエハへの移行に着手し、先導メーカーは6インチウエハへの移行を準備している。LEDバックライトへの強い需要によって、2インチサファイアウエハの需要は供給量以上に引き上げられ、2インチウエハの価格は4インチウエハの単位面積当たりの価格と等しくなった。その結果、いくつかの会社は4インチへ切り替えを進め、MOCVDなどの加工装置から、より高いスループットを得ることが可能になっている。大型ウエハの大量採用は2011年に始まり、2インチウエハは始

めて全体加工ウエハの50%以下に低下すると考えられている。

6インチウエハへの移行によって、向う数年間は工程の生産性は大幅に改善されるはずだ。例えば、独アイクストロン社(Aixtron)の新世代の6インチウエハ反応炉は、1回の運転で3倍の面積を加工できる。6インチウエハは大きな結晶プールによる高品質サファイアの生産能力が限定され、高価な状態が続き、供給量も少ないため、向う1~2年は目立った移行が起こるとは考えにくい。しかしながら、米ルビコン・テクノロジー社(Rubicon Technology)とロシアのモノクリスタル社(Monocrystal)は生産能力を倍増し、韓国のサファイア・テクノロジー社(Sapphire Technology)は現在ルビコン社を上回る生産能力を得ていると主張している。韓国のLGイノテック社(LG Innotek)は2010年に6インチウエハでの生産を開始しており、少なくとも米フィリップス・ルミレッズ社(Philips Lumileds)と台湾のレクスター社(Lexter)の2社が追随している。

2012年またはそれ以降の生産に向けて、8インチウエハのサンプル出荷を始めた会社もある。この動きは半導体産業において実績のある8インチ装置を利用できるメーカーが先導している。8インチウエハは、より大きなプールの成長とより大口径のウエハの反りと厚みの問題、それに加えてコストの問題を解決できれば、さらなる高効率も期待できる。

現在までのところ、サファイア以外の基板材料に関する研究では、いずれ

も確実にサファイアを代替できる材料の生産には成功していないが、まったく新しい基板技術が開発される可能性も残されている。最も期待される代替材料はシリコンである。シリコンでは良好なデバイスを作製できるが、まだ競争力のあるコストには至っていない。

パッケージングと蛍光体

蛍光体とパッケージング技術の開発も、向う数年間のコスト低減に役立つと期待されている。われわれは、熱管理の改善ではシリコンパッケージ基板の利用がかなり拡大し、ウエハレベルのパッケージング技術の開拓につながると考えている。チップをパッケージ基板ウエハの全面に配置できれば、蛍光体とマイクロレンズをウエハ全面に取付け、シリコンビアを通して相互接続と熱流通を行うことが可能になる。その結果、ダイシングした小さなチップのすべてを個別に組立てる方法に比べると、組立コストは大幅に低減する。このような技術はMEMS、CMOSイメージセンサおよびウエハレベルのカメラモジュール光学系に使われているため、そのための基盤技術はすでに完成している。

光を所望の白色光に変換する蛍光体にもコスト低減の大きな余地があり、特許の有効期限が終わり、使用量が増加し、生産工程が改善されると、その進展も期待できる。量子ドット技術も有望なアプローチだが、依然として幼児期にあり、発光効率と安定性をさらに改善してカドミウムなしの組成を開発するには、さらなる研究が必要とされている。

著者紹介

エリック・ヴィレー(Eric Virey)、フィリップ・ルーセル(Philippe Roussel)およびポーラ・ドウ(Paula Doe)は新規半導体技術に特化した市場調査・戦略コンサルティング会社のヨール・デベロップメント社(www.yole.fr)に所属している。トム・ピアソール(Tom Pearsall)は欧州のLED産業の開発を推進する非営利組織の欧州フォトニクス産業協会(EPIC:www.epic-assoc.com)の代表を務めている。