LEDの大量生産コストの削減

ポーラ・ドウ

LED製造コストの大幅な削減を目標とした国費支援研究プロジェクトと協力体制が進められている。

現在進行中の生産技術開発の取組みによって生産効率の改善目標をほんの少しでも達成することができれば、1ルーメン（lm）あたりの固体照明（SSL）コストは今後数年の間に劇的に削減されることだろう。市場の成長と米国エネルギー省（DOE）からの2300万ドルの資金提供を受けて、半導体製造装置メーカーとそのデバイスを生産するパートナー会社は一連のプロジェクトに取組んでいる。これらのプロジェクトは半導体の大量生産から学んだアプローチを部分的に応用して、製造におけるサイクルタイム、歩留まり、およびコストを30～50%と大幅に改善することを目的としている（www. ledsmagazine. com/news/ 7/1/12を参照）。

半導体サプライチェーンの大部分は、とくに高輝度（HB）LED市場の需要に真剣な眼差しを注いでいる。SEMIのOpto/LED Fab Watchレポート（ 図1）によると、デバイス生産設備の建設や装備に今年約10億ドルが投資されると見られることがその理由だ。

改善目標

そのような注目を集める理由の一つに、HB-LEDが半導体製造装置メーカーにとって、手を出しやすい市場であるという点がある。4月に米国カリフォルニア州サンノゼで開催されたDOE製造ワークショップでは、企業が最近資金提供を受けたプロジェクトについて論議されたが、彼らは、生産効率と品質の均一化のほぼすべてにわたって驚くほど大幅な改善を目標に掲げていた。米サンフランシスコで開催されたSEMICON WestのHB-LED製造技術セッションでは、こうした企業の多くや、独自に破壊的生産技術を研究している企業によって進捗状況の報告が行われた（Links参照）。

米アプライドマテリアルズ社（Applied Materials）の外部プログラム担当ディレクタのナグ・パティバンドラ氏（Nag Patibandla）によると、同社はHVPEチャンバ1台とMOCVDチャンバを2台持つ、IC産業で活躍中のCenturaプラットフォームを活用し、その場洗浄によってサイクルタイムの向上が可能な、マルチチャンバのエピタキシャル装置を開発している。より高度な温度制御のためにランプ加熱を使用することにより、シャープな界面では1秒に5℃の非常に激しい温度差に対応できるとされている。アプライドマテリアルズ社は均一性を2倍、50%のサイクルタイム削減、50%の量子効率改善を目標としている。

米ビーコインスツルメンツ社（Veeco Instruments）は、求められる2nm波長範囲内の歩留まりを2013年には90%にするという非常に意欲的な目標を掲げており、そのためには温度のより精密な調整が必要となる。それにはまず、現在行われているように容器の温度を測定するのではなく、透明なサファイアウエハの温度を直接測定する方法が検討されなければならない。2℃の温度差が生じるごとに波長にドリフトが2nmずつ生じるため、ドリフトが5nm以内のチップはおそらく僅か65%程度しかない。米サンディア国立研究所（Sandia Labs）はウエハの温度を直接

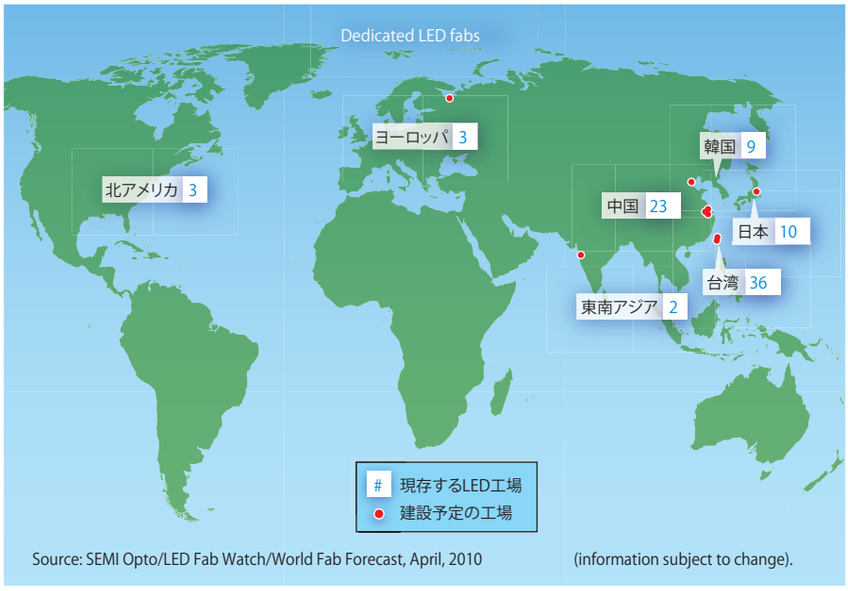

図1　この地図は世界で現存するLEDチップ専門工場の数と建設予定の工場の数を示している。

計測することができる近紫外線／中赤外線パイロメータを開発しており、米ルミレッズ社（Lumileds）が生産工程でそれを試験することになっている。ビーコ社技術責任者のビル・クイン氏（Bill Quinn）は「われわれは実時間で温度分布を変えたいと考えており、IC産業で使われているのと同じ、モデルベース温度制御を加えたい」と語っている。

米KLAテンコール社（KLA-Tencor）は、LED製造工程に自動インライン検査を加えることによって、将来的に50%の費用削減につながると考えている。同社は、マイクロクラック（微小亀裂）、ピット、エピの均一化に向けて、エピ工程モニタのためのより精密なツールと、工程異変と最終デバイスの性能をより早く関連付けできるソフトウエアの開発に取組んでいる。Candela製品のマーケティングディレクタであるスリニ・ベデュラ氏（Srini Vedula）は「これはIC産業では使われている。今の目標はLEDの要件を理解することだ」と語る。彼によると、ほとんどのデバイスメーカーは歩留まりに大きな影響を与える大きな偏位を気にかけているが、これらは実際には滅多に起きない上、いずれにせよエピの直後にオペレータに検出される。現実に多くの費用がかかるのは、4～6%の割合で歩留まりに影響を与える通常の小さな偏位だが、これは装置ごとに月1～2回の頻度で発生し、検出することができない。「フロントエンド欠陥の半分は理由が分からない。根本的原因を判断できるよう偏位の自動通知を可能にすることによってコスト削減幅を2倍にできる可能性がある」とベデュラ氏は語る。

米ウルトラテック社（Ultratech）は、プロジェクションアライナをLED業界のニーズに限定して設定しなおすことにより、リソグラフィ装置の所有コストを50～60%削減することを目標としている。通常のプロキシミティアライナとは異なり、プロジェクションツールは湾曲したウエハを一列にし、線幅制御を維持するよう設計することができる。同社はより高輝度の照明を付加する一方、レンズのコストを削減する方法で、最高技術責任者であるアンディ・ハウリラック氏（Andy Hawryluk）に

よると、30%のスループット向上と40%のツールコスト削減を目指している。

米GEライティングソリューションズ社は20〜50%のコスト削減を予測して、バッチのチップに蛍光体のスラリーをコーティングするのではなく、ドーム型の成形された蛍光体を作る、高速、自動、連続動作のプロセスラインを開発して、LEDの蛍光体コーティングのコストを削減しようとしている。このアプローチでは、外部のベンダーと共同したプロセス装置の新しいラインの開発や、光学球を用いた通常の1回限りの試験ではなく、インラインで継続的に使える新しい計測ツールの開発も実施された。

米フィリップスルミレッズ社（Philips Lumileds）はAINの歪制御層を使用して、市場競争力のあるシリコン基盤の暖白色LEDを作製することを目標としている。まず3インチの基板から始まり、次に150mmのウエハへと移行する。シリコンは安価で身近であることは勿論だが、セクションマネージャのマイケル・クレィヴン氏（Michael Craven）によると「シリコンの高い熱伝導率によってウエハの温度勾配が抑えられるし、基板が不透明なため既存の光高温計ツールで計測でき、製造ごとの一貫性を保つことができる」という。

アプライドマテリアルズ社、KLAテンコール社とウルトラテック社はこれらの技術の進捗について7月14日のSEMICON WestのHB-LED製造プログラムで報告した（Links参照）。他にも重要な製造技術開発について多くの企業の発表が行われた。他の報告テーマとしては、米カリフォルニア大学サンタバーバラ校（UCSB）のスタートアップ企業であるインラストラ社（Inlustra）の非極性バルクGaN基板を使用した欠陥低減法、中国のスタートアップ企業のラティスパワー社（Lattice Power）のシリコン基板上の青色LEDの製造、フィリップスルミレッズ社のデバイス効率研究の進捗のほか、オーストリアのEVグループ社（EVGroup）によるMEMS分野のウエハレベルパッケージング技術のLEDへの適用、カナダのOPテスト社（Op-Test）によるプロセス制御に実世界の結果をフィードバックするために最適なベアチップ試験方法、米QDビジョン社（QD Vi sion）による量子ドットを用いた光の色の制御、米アーティキュレイテッド・テクノロジーズ社（Articulated Technologies）によるITOと銅のストリップの間にあるチップをラミネートしてパッケージングするためのミニマリズムアプローチなどが挙げられる。また、米ストラテジーズ・アンリミテッド社（Strategies Unlimited）は市場概況を発表した。

その他の協力体制

また、技術を前進させているのは、かつてIC、LCD、PV分野で製造コストの低減に貢献した競争前段階の協力活動への早期の取組みである。

DOEがLED製造研究に資金を提供したことは大きな一歩である。しかし、同じくらい重要なのはDOEが年に1度ワークショップを開いて、米国のSSLメーカーとサプライヤの共通課題、例えばこの分野の重要な技術問題を解決するためにはどこに資金を投入するべきかなどについて、話し合うことができる機会を作ったことである。SEMIも世界各地で開催する展示会でのデバイス製造についてのプログラムや、SEMI内のLED運営委員会に属する業界の幹部たちによるロードマップ、コストモデル、共通材料の仕様や試験プロトコルの調査など、こうした課題の解決に協力している。DOEとサプライチェーンは共通のLEDコストモデルの作成に取組んでおり、それにより業界がコストと工程依存性の両方についてより明確に理解すること、および歩留まりを改善し全体のコストを下げるためにどの部分に投資するべきかを判断することを目指している。

2010年4月のDOEワークショップの活動セッションでは、エピ材料やウエハレベルのパッケージング技術、すべてのレベルの製造部門にフィードバックが可能な試験基準、ドライバの信頼性向上のためのより良い基準や故障解析などの重要な製造技術ニーズを確認した。蛍光体分野では、より大きなバッチサイズへの移行と、蛍光体コーティングを独立した工程へと変えるための将来的な自動化を見据え、SECS/GEM準拠でLED生産ニーズに適合したより良いツールが望まれていた。チップユーザはパッケージフットプリントの標準化を主張していた。DOEの資金は、これらのワークショップから提案されるロードマップに従って、それぞれのプロジェクトに提供される。

Links

2010年7月14日にSEMICON Westにて行われたプログラム
「More Lumens per Dollar: The Road to More Efficient HB LED Manufacturing- Progress and Next Challenges in Front-end Manufacturing」
（www.semiconwest.org/SessionsEvents/ExtremeElectronics/index.htm）

サプライチェーンがLED照明のコスト低減に重要な役割を果たす
（www.ledsmagazine.com/features/6/11/2）

半導体サプライチェーンによるLED製造の大幅なコスト削減の可能性
（www.ledsmagazine.com/features/6/6/9）

著者紹介
ポーラ・ドウ（Paula Doe）は、マイクロエレクトロニック、ディスプレイ、PV（太陽電池）の製造サプライチェーンのための世界的業界組織であるSEMIのEmerging Marketを担当している。

LEDJ