CSP LED、SSLの目標達成に向けて少しずつ前進

モーリー・ライト

チップスケールパッケージ（CSP：Chip Scale Package）技術は、LED部品コストを低減し、SSLシステム設計にメリットをもたらす可能性を秘めている。しかし、主流の半導体業界から流用したこの技術はこれまで、商用利用にいたるまでにかなりの時間がかかっている。

CSPは一般照明分野において、LEDの未来の形としてもてはやされてきた。支持派は、この技術によって、部品コストの低減と、固体照明（SSL：Solid State Lighting）システム設計におけるメリットの両方がもたらされると主張している。しかし、そのパッケージ概念（あるいはパッケージ工程をなくすという概念）が最初にLED業界に示されたのはもう2年以上も前のことであるにもかかわらず、出荷製品はほとんど存在しない。本稿では、CSPの状況と、主張されていたそのメリットを達成するためのメーカー各社の取り組みについて説明する。

まずは、何をCSPと呼ぶかを定義することから始めなければならない。半導体業界では、実際の半導体ダイを収容するパッケージサイズの縮小化が絶えることなく進められている。最初に登場したのは、表面実装部品（SMD：Surface Mount Device）だった。素子の接合部が、側面から突き出ているのではなくパッケージの下にある。このような素子には、プリント回路基板（PCB：Printed Circuit Board）上の正しい位置に部品を配置する、ピック&プレイス（P&P）ロボットによる自動実装技術が必要である。PCBはその後、フローはんだ付け装置または炉を通過する。SMDにより、PCB上の素子の集積密度はかなり高まった。その後、CSP技術を用いてほぼベアの状態のダイをPCB上に配置することが行われるようになり、集積密度はさらに高まり、パッケージコストが低下したほか、熱対流性も改善された。

図1　ルミレッズ社のCSP LEDの占有面積は、LEDダイとまったく同じとなる。はんだパッドは、エピタキシャル成長後のウエハレベルで付加される。

LEDも同じ流れをたどっている。米ルミレッズ社（Lumileds）の研究開発担当上級副社長を務めるジー・バードワジ氏（Jy Bhardwaj）によると、「CSP LEDにはインターポーザが不要」だという。つまり、半導体製造ラインから取り出したLEDを、そのままPCB上に実装することができる。**図1**は、ルミレッズ社のCSP LEDである。従来のLEDは、半導体製造ラインからパッケージ工程に引き渡され、ダイはそこで、セラミック基板などのインターポーザに接合され、パッケージLED、つまりLED業界で一般的にLEDパッケージと呼ばれるものが生成される。ここで、「LEDパッケージ」は、半導体業界の用語としては誤った記述であることに注意してほしい。LEDダイは実際には、パッケージLEDを構成するLEDパッケージに実装されるためである。しかし、この用語は照明工学協会（IES：Illuminating Engineering Society）が定めたもので、広く使用されている。

CSPの出現

LED業界にCSP技術が初めて登場したのは、2013年のStrategies in Light（SIL）においてルミレッズ社（当時はフィリップス・ルミレッズ社）が、CSPフォームファクタの青色発光体を発表したとき

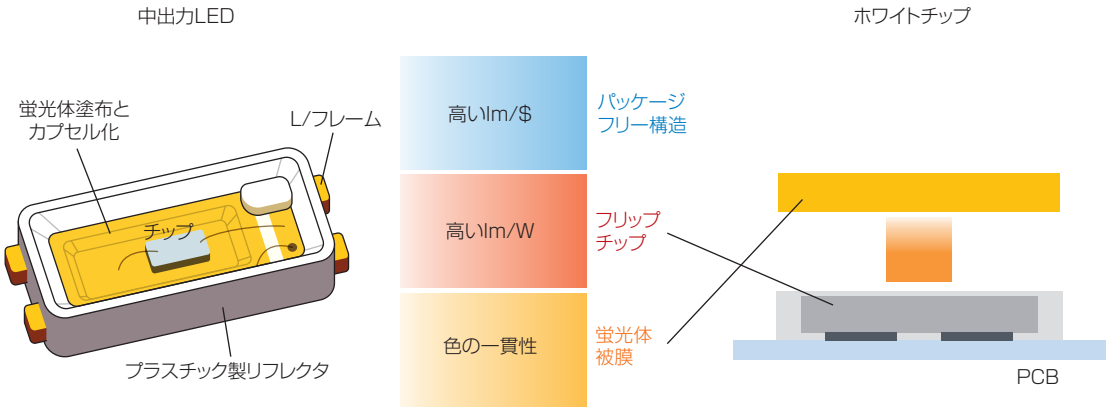

図2　サムスン社によると、CSP構造とフリップチップLEDのアーキテクチュアは、従来の中出力製品と比べて格段にシンプルで、コストだけでなく性能面においてもメリットが得られるという。（提供：サムスン・エレクトロニクス社）

のことである。このLEDは、ベアダイとまったく同じ占有面積で、CSP部品に対応するSSL製品の設計と製造を専門とする社外顧客への販売を意図したものだった。ルミレッズ社はさらに当時、多様な応用分野を対象とするモジュール式のライトエンジン、つまり、特にCSP LEDを実装するPCBを設計して製造する予定だと述べた。この種の事業は一般的に、SSLメーカーに対するレベル2エンゲージメントと呼ばれる。ここでは顧客は、LED部品ではなくモジュールを購入する。

SIL 2014の基調講演では韓国サムスン社（Samsung）が、CSP分野に参入する意向を示した。この技術を利用して中出力LEDを進化させ、1ドルあたりのルーメン出力（lm/$）を高めるつもりだとした。同社は当時、CSP技術によって中出力LEDの出力レベルを高めて1W以上で動作可能とすることにより、60W相当のA形ランプなど、一般的な製品に必要なパッケージLEDの数を半分に減らすことができると述べていた。**図2**は、サムスン社が提案するCSPアーキテクチュアを従来の中出力LEDと比較した様子を示したものである。

このCSPアーキテクチュアによるコスト面での潜在的メリットは、比較的単純であるように見える。まず、製造工程を経たLEDをパッケージ工程に引き渡す処理をなくすことができる。さらに、製造工程においてこれまでよりも多くの処理を、チップのシンギュレーション（個片化）後の個々のダイに対してではなく、ウエハレベルで行うことができる可能性がある。

例えばバードワジ氏によると、ルミレッズ社では、はんだパッドやボンドパッドの取り付けを、半導体エッチングや金属被覆（メタライゼーション）技術を用いて、製造のエピタキシャル工程の直後のウエハレベルで行うという。LEDはその後、シンギュレーションによって分離される。ウエハが分離されると、LEDはPCBに実装できる状態になる。バードワジ氏はさらに、ルミレッズ社では、はんだパッドを再配分して完璧に対称的な実装を達成することができるとも述べた。ただし同氏によると、他のフリップチップLEDの中には、LED構造に基づく、通常とは異なるパッドを採用するものもあるという。

ルミレッズ社は現時点では、シンギュレーション後の個々のLEDに対して蛍光体塗布を行っている。CSPとウエハレベルパッケージ技術のメリットとして、ウエハレベルで薄膜を使用した蛍光体の適用が可能で、製造コストがさらに低下するとされている。しかし、その技術がいつ商用的に実現可能になるかは明らかではない。

CSPを阻む障害

しかし、CSPのメリットを誰もが確信しているというわけではない。SIL 2015のあるセッションでは、米クリー社（Cree）、ルミレッズ社、そして韓国セミコンライト社（SemiconLight）が、CSPのメリットについて議論した。クリー社のLED製品マーケティングを統括するポール・シャイト氏（Paul Scheidt）は、CSP技術は主に、作業をパッケージメーカーからダイメーカーへと移行しているにすぎないと述べた。

シャイト氏は、一般的なLED製造工程を示す**図3**の表を示した。同氏は、CSP技術によって、確かにパッケージ組み立てとダイ接合の工程はなくなると述べた。しかし、LEDメーカーは蛍光体塗布とカプセル化、そして試験に加えて、金属接合部を付加しなければならない。LEDメーカーの負担はかなり大きいとシャイト氏は述べた。また、セラミック基板がないことでシステムレベルの熱性能が低下し、CSP 技術を採用することによって光学性能も低下すると同氏は述べた。

市場における勢い

しかし、LEDメーカーの間ではCSP技術を推進しようとする風潮がかなり高まっている。ルミレッズ社とサムスン社の発表に続いて、Light+Building 2014

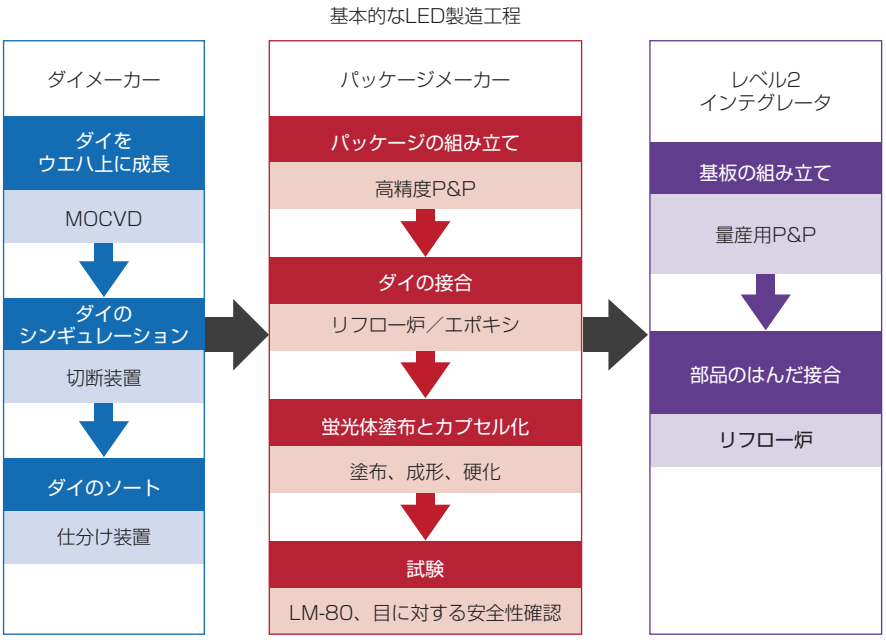

図3　クリー社は、Strategies in LightにおいてLED製造工程を示し、蛍光体塗布、カプセル化、試験の処理をメインの製造工程に移行すると、LEDメーカーの負担がかなり大きくなると述べた。

では、他の多数の企業がCSPを発表し始めた。実際、東芝、台湾LGイノテック社（LG Innotek）、韓国ソウル半導体社（Seoul Semiconductor）、台湾エピスター社（Epistar）、台湾レクスタ社（Lextar）のすべてが、初期段階のCSP LEDを展示した。

ただし、CSPに対する考え方は、ルミレッズ社と、サムスン社を含む、CSPの製造を目指す他のメーカーとでかなり異なっている。ルミレッズ社以外の企業はすべて、CSP 技術を中出力製品の性能を高めるための手段、特に、従来の中出力パッケージLEDを今後置き換えるものとして追求している。一方ルミレッズ社はCSP技術を高出力LEDに適用しており、CSP 技術によって高出力LEDのスケール（サイズ）が縮小され、中出力LEDが現在主に使用されている多数の分野に適用できるようになると考えている。バードワジ氏はSIL 2015の基調講演において、そのことを繰り返し指摘していた。

バードワジ氏はCSP LEDについて語る際に、上述の意味でも別の意味でも「スケール」という語を頻繁に使用する。同氏は、CSP 技術が、高出力LEDのフォームファクタの標準化を可能にすると考えている。ディスプレイバックライトの分野に対してパッケージ規格が定められたことよって、多数のメーカーが、互いに互換性があり、ほぼ交換可能な中出力LEDを提供できるようになったようにである。その種類のスケールは、製造数の増加による部品コストの低下を促進する可能性がある。「これがLEDパッケージにおける次なる大きなトレンドになると、今でも信じている」と同氏は述べた。

技術的メリット

CSPによって部品コストの低下というメリットがもたらされると仮定するならば、CSP LEDと、従来の中出力／高出力パッケージLEDとの比較も明らかにしておくべきだろう。ルーメン出力に対してエピタキシャル領域が大きい中出力LEDは、ルーメン毎ワット（lm/W）で測定される効率が最も高いと認識されている。しかし、その効率の反面として、駆動電流は低く、エピタキシャル領域の利用効率は低い。また、プラスチックパッケージの中出力LEDは、電流駆動または電力の面で制約があり、セラミックパッケージの高出力LEDでは可能な過駆動を行うことはできない。当然ながら、駆動電流が高いと効率は低下するが、任意の製品において必要となるLEDの数は少なくなる。

弊誌はサムスン社の副社長を務めるジェイコブ・タルン氏（Jacob Tarn）に、サムスンのCSP LEDと、同社の既存の中出力製品との性能の違いを尋ねてみた。タルン氏によると、同氏が「CSP2」と呼ぶ初期のCSP製品は、基本的な効率とルーメン出力という点においては、市場で一般的に販売されている3030パッケージの部品と同等の性能になる見込みだという。しかし同氏は、「これらのCSP LEDは、より広い過駆動範囲を備え、ドループが抑えられ、製品の種類を拡大する見込みだ」と付け加えた。

ルミレッズ社のバードワジ氏は、性能比較は応用分野に依存すると述べた。ルミレッズ社の基本的なCSP LEDは、4つ側面と上面の合計5つの面から発光する。また現在、ルミレッズ社はこのLEDに1次光学部品を付加していない。広く分散した光線が求められる用途に対しては、CSP LEDの性能は、最高水準の高出力製品に匹敵する見込みだと同氏は述べた。

より収束された光線と、上面のみからの発光が求められる用途に対しては、LEDの側面に反射性被膜を塗布するのが一般的な解決策である。当然ながら、被膜の塗布にはコストがかかり、光抽出機能が低下するため、効率は低

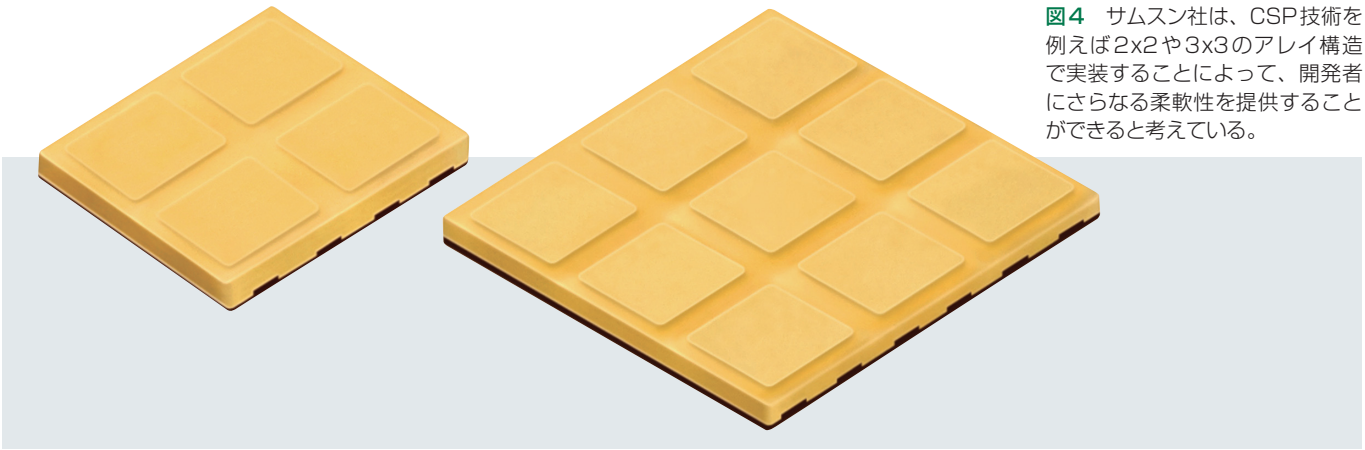

図4　サムスン社は、CSP技術を例えば2x2や3x3のアレイ構造で実装することによって、開発者にさらなる柔軟性を提供することができると考えている。

くなる。側面に施されるこの被膜にちなんで、多くのLEDベンダーが自社のCSP LEDをホワイトチップと呼んでいる。

製品の入手可能性

SSL製品開発者にとっておそらく最も気になる疑問は、入手可能性にちがいない。SIL 2015においてバードワジ氏は、ルミレッズ社の2014年のCSP LED出荷数は2億5000万個以上だったと述べた。その数については、CSP技術に関する前述のSILパネルにおいて疑問も挙がったが、バードワジ氏は最近その総数を再度明言し、同社による2015年の出荷台数はそれをはるかに上回る見込みだと述べた。

バードワジ氏によると、ルミレッズ社は現在、一般照明分野向けにCSP LEDを供給していないという。しかし同社は、自動車、バックライト、カメラフラッシュの分野にもLEDを供給している。そしてこれら3つの各分野において、LED部品を購入する顧客とレベル2モジュールを購入する顧客の両方を対象にCSP LEDを出荷済みだと、バードワジ氏は述べた。

アジアの複数のLEDベンダーが、ディスプレイバックライト分野の顧客にCSP LEDを出荷済みだと述べている。この分野が最初になったのは、このLEDを使用するために必要な自動実装装置を、この分野の顧客が既に装備しているためである。またバックライト分野では、一般照明で求められるような品質の高い光は必要でないことも理由の1つである。

「バックライト装置は、CSPの広い過駆動範囲によるメリットを最大限に活用できる最良の用途だ」と、サムスン社のタルン氏は述べた。また同氏は、一般照明では、バックライト分野で使用されるLEDよりも高い効率が求められると述べた。タルン氏は、5月のLightFair Internationalで自身が公表した見解どおりに、サムスン社が2015年末頃には一般照明向けにCSP LEDを出荷し、一般照明分野における世界初の商用サプライヤーとなる予定だと述べた。

将来の展望

CSP技術が一般照明分野への参入に向けた準備段階にある中で、最後に、SSL開発者がこの部品に対して何を期待できるかについて考察したいと思う。例えば、サムスン社のタルン氏は、CSP2技術を採用する同社のアーキテクチュアにより、同氏が呼ぶところの供給オプションに柔軟性がもたらされると述べた。同社は、2x2と3x3のアレイ状にパッケージ化されたCSP LEDをデモ用に実装した。LEDアレイは、ウエハレベルで直接構成されていると思われる（図4）。

またタルン氏によると、サムスン社はアレイ上に、シングルレンズまたは1次光学部品を配置できる見込みだという。おそらく、アレイ技術と単一レンズの組み合わせによって、光抽出機能が向上して効率が高くなるとともに、光線の均一性と色という点において品質が向上するのだと思われる。

ルミレッズ社のバードワジ氏も、同じような話題について説明している。同氏によると、次世代のCSP LEDは特定用途向けになるという。同氏は、ルミレッズ社がどのようにして新機能を実現するかについては論じることを避けたが、ルミレッズ社が、放射パターンを調整する機能を導入する予定であることを明かした。バードワジ氏は、今日のCSP LEDは指向性の用途に対応する必要があると再度明言したが、12カ月以内に、同技術のビーム制御性能が、従来の高出力パッケージLEDに匹敵するレベルに達すると予測した。

著者紹介
モーリー・ライト（MAURY WRIGHT）は、LEDs Magazineの編集者。

LEDJ