

LED業界で加熱する、チップスケールパッケージの熱問題を考える

ジョン・カファキー

一般照明において利用が増加しつつある CSPLED の状況と、そのペースに応じた適応が求められる熱管理方法について解説する。

LEDがパッケージ製品として販売される最大の理由は、脆弱なベアダイが損傷しないように保護するためである。標準化されたパッケージには、メーカーが製造ライン上でLEDを取り扱う際に、その作業が格段に容易になるというメリットもある。しかし、もう1つ検討しなければならないのは、LEDの効率が約40%しかなく、つまりLEDに投入する電力の60%は熱として放出されることである。どの電子デバイスでもそうだが、過度の熱は深刻な損傷の原因となるので、できるだけ早く除去しなければならない。そこで行われるのが熱管理である。LEDは、サイズが縮小する一方で消費電力は増加しているため、熱管理はLEDパッケージの重要な側面になっている。固体照明 (SSL : Solid

State Lighting) 業界は長い間、中出力と高出力のLEDにともなう熱問題に取り組んできたが、チップスケールパッケージ (CSP : Chip Scale Package) への最近の移行にともない、まったく新しい熱設計上の課題が生じている。

LEDパッケージの進化

初期のLEDには、スルーホールパッケージが使われていた。ダイは、アンビルとポストからなる構造上に実装され、エポキシレンズで覆われていた。正と負のアンビルとポストは、プリント回路基板 (PCB : Printed Circuit Board) 上にあけられた穴に差し込まれて所定の位置にはんだ付けされる。この種類のパッケージは、初期に開発されたLED全体で普遍的に用いられ、今

日でもまだ出力表示器などの用途に用いられている。

オートメーションがますます増加したことにともない、特にテレビやモニタのバックライトの用途において、簡単に表面実装できるLEDがメーカーによって求められるようになった。そうして開発されたのが、低出力および中出力のプラスチックリード付きチップキャリア (PLCC : Plastic Leaded Chip Carrier) LEDである。標準化された PLCCLD は、あまりに多く製造されて莫大な過剰供給が生じ、それ自体の成功の犠牲になった。その余波はいまだにLED業界に残っている。

この過剰生産能力の1つの副作用は、LEDメーカーが自社の PLCCLD を販売しようと新規市場を模索し、特にまだ新しかった一般照明市場に目をつけたことである。中出力の PLCCLD は、交換用の電球や直管形照明によく適しており、それが民生用LED照明の価格低下につながった (図1)。大量のLED在庫を抱えていたLEDメーカーの思惑と、白熱灯などの効率の低い技術を禁止する規制が次々と定められたことが相まって、LED照明が主流への道を進むための完璧な環境が整うこととなった。

高出力LED

市場が進展するにつれて、自動車の



図1 中出力LEDは、交換用ランプを皮切りに一般照明分野に普及していった。

ヘッドライトやスポットライトなどの用途向けに、さらに小型で高出力のデバイスに対する要求が高まっていった。これは、いかにしてLEDダイを十分に冷却して有効に動作させるかという、新たな課題をLEDメーカーに呈することとなった。PLCC設計では、それを達成するための十分な熱伝導性が得られず、スルーホール設計は、伝熱効果は高いが表面実装できないため、スケーラビリティに欠けていた。

そこで業界が検討したのは、封止材で覆われたLEDダイを、熱を伝導するが電気を絶縁するサブマウント上に実装する方法である。このサブマウントは、アルミナ (Al₂O₃) または窒化アルミニウム (AlN) でできており、必要な熱拡散性を備えつつ、表面実装が容易という性質を維持していた。こうして実装された高出力LED (HPLED) は完璧な解決策だったが、深刻な欠点が1つあった。コストである。特にAlNの場合、そのコストは致命的な問題になり得るレベルだった。

業界は、標準化パッケージを使用することによって得た熱要件と表面実装技術 (SMT: Surface Mount Technology) の両方のメリットを損なうことなく、いかにして中出力と高出力のLEDのコストを低下するかというジレンマに直面することとなった。

セラミックパッケージのLEDからCSPへ

一般的な半導体業界は一足先に、チップスケールパッケージに切り替えることによって類似の問題に対処していた。CSPLLEDを製造するには、フリップチップ構造のベース上のp接合とn接合を金属化して、上部と両側を蛍光体で覆う。図2は、異なるLEDアーキテクチャを示したものである。最終

的なCSPのサイズは、チップそのものよりも20%以上大きくなってはいけない。20%以上大きい場合は、CSPとはみなされない (次のレベルは、ウエハレベルパッケージ [WLP: Wafer Level Packaging] で、こちらはパッケージのサイズがチップと同じでなければならない)。明らかに、従来の中出力および高出力LEDに含まれていた要素を取り除かなければ、CSPLLEDにまでサイズを縮小することはできない。HPLEDの場合は、セラミックサブマウントとレンズを取り除かなければならず、PLCCの場合は、チップケース全体を取り除かなければならなかった。

中出力のPLCCLEDの場合、チップケースをなくしてもさして問題はなく、そのために中出力CSPは、数年前からバックライトの用途でおおいに活用されている。米ルミレッズ社 (Lumileds) は2015年に白色CSPを発表し、同技術を一般照明向けに推進し始めた (<http://bit.ly/1KQ1wiV>)。韓国サムスン社 (Samsung)、韓国ソウル・セミコンダクター社 (Seoul Semiconductor)、日亜化学工業などのメーカーも、それに続いた。この市場は (当時も今も) 流動的で、個々のメーカーが市場

の今後の方向について、それぞれに競合する展望を抱いている状態にある (<http://bit.ly/1QvMEEx>)。

サムスン社は、4個以上のCSPを連結したアレイを販売する予定で、ソウル・セミコンダクター社は、WICOP (Wafer level Integrated Chip On PCB) という語を使っている。一方、日亜化学は、同社のCSPをDMC (Direct Mountable Chip、直接実装可能なチップ) としてブランド化している。上面からしか発光しないことによってクロストークを低減するという点が、同社独特である。このように異なるアプローチが混在して、非常にダイナミックな市場となっているが、市場調査会社である仏ヨール・デベロップメント社 (Yole Développement) は、この市場が2020年までにHPLED全体の34%を占めると予測している。これらの製品は、街灯などのさまざまな用途で採用され始めている (図3)。

CSPの可能性と課題

しかし、CSP方式のメリットについては疑いの余地がない。これまでよりも小型になるだけでなく、製造コストも低い。そのようなメリットに加えて、

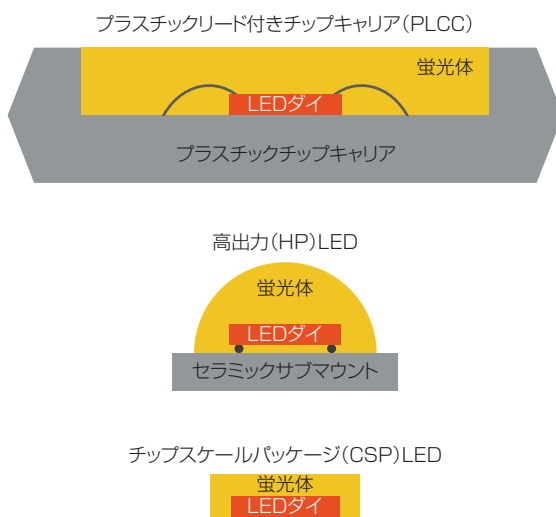


図2 中出力LED、高出力LED、CSPLLEDは、それぞれ構造がかなり異なる。



図3 CSPLEDは、街灯をはじめとする多数の屋外照明分野で採用されつつある。

CSPは標準のSMTPCBアセンブリラインを通すことができるので、PLCCやセラミック製のHPLEDと直接置き換えることができる。CSPを採用すれば、レベル2インテグレート(PCBアセンブリラインによって、パッケージLEDを搭載するモジュールを構築する傾向が高い)は、ベアダイを扱うインテグレートであるチップオンボード(COB: Chip On Board)メーカーにしか通常は与えられないメリットの多くを、享受することができる。コストは確かにそのメリットの1つだが、メリットはコスト面だけでなく、機能面にも及ぶ。LEDのベアダイを表面実装するには、半導体のクリーンルーム設備が必要だが、CSPLEDならば標準のPCBアセンブリラインを通すことができる。その柔軟性から、CSPLEDのメリットはレベル2製造全体にわたり、CSPLEDは標準のパッケージLEDに対するコスト効果の高い代替策となる。

CSPの興味深いメリットの1つは、非常に小さいので互いに密接に配置して、非常に電力密度の高いモジュールを構成できることである。しかし、そのように密接に配置することの欠点は、高出力LEDや、熱拡散セラミッ

ク層が存在しないことと相まって、電子デバイスにとっての最大の敵である大量の熱が生成されることである。LEDパッケージメーカーがセラミックサブマウントによって緩和した熱問題が、今度はレベル2インテグレートに直接のしかかることとなった。レベル2インテグレートに与えられた唯一の選択肢は、熱性能に優れたPCB上にCSPLEDを実装することだった。

求められる、新たな熱対策

LED業界では、ほとんどのモジュールやアレイに対して熱効率の高いメタルクラッドPCB(MCPCB: Metal Clad PCB)が使用される(<http://bit.ly/2fsNHnr>)。MCPCBは通常、厚さ約1.5mmのアルミニウム板(銅板の場合もある)と、一般的に30 μ m程度の銅薄板で製造され、絶縁エポキシで接着される。このエポキシは、AlNなどの熱伝導性材料の粒子を充填することによって、材料の電気絶縁特性を損なうことなく熱性能が高められている。

この方法でMCPCBを製造しても熱伝導率はせいぜい約100W/mKにしかならず、通常はそれよりもはるかに低くなる。この性能は、ほとんどのLEDモジュールに対して十分に許容されるものだが、CSPの問題は、それが熱を伝導する方法によって増幅される。CSPはポイント熱源であり、サイズが小さく高温であることから、必要な熱伝導性を持たない任意の基板は簡単に飽和してしまい、そのためにLEDは過熱しやすくなってしまう。

適切な熱伝導性を達成できず、LEDチップを過熱させてしまうことの代償として、寿命が短縮し、信頼性が低下し、光品質は低くなり、最終的には壊滅的な破損にいたる。製造可能性と、標準のPCBアセンブリラインを使用で

きる能力を維持しつつ、過度にコストを上乗せすることなくCSPの熱プロファイルに対処することのできる、基板レベルの熱管理ソリューションが必要であることは明らかである。

特許化された電気化学酸化(ECO: Electro Chemical Oxidation)プロセスを用いた、標準プロセスの代替となるMCPCBの製造方法が存在する。たとえば、英ケンブリッジ・ナノサーム社(Cambridge Nanotherm)はアルミニウム表面を、熱は伝導するが電気を絶縁するセラミック層に変換する。このAl₂O₃層は電気絶縁性が高いので、わずか数十ミクロンの厚さで、ほとんどの要件を満たすのに十分な絶縁耐力が得られる。極薄の絶縁体と高い熱伝導率というこの組み合わせによって、並外れて高い熱伝導率を備えるナノセラミックが得られる。薄いエポキシ層が銅回路層に接着されたNanotherm LCは、115W/mKという、電力密度の高いCSPLEDモジュールやアレイに理想的な熱伝導率を備える。

結論

業界においてますます普及の一途をたどるCSPLEDだが、新しい種類の熱管理が業界で採用されない限り、その勢いはどうしても熱問題によっていずれは頭打ちになる。CSPLEDによってもたらされる、差別化やコスト削減の莫大な可能性を考えれば、適切に革新的なソリューションによって業界がこれに対処するであろうことは間違いない。そしてその観点において、ナノセラミックはその先陣を切っているといえる。

著者紹介

ジョン・カファキー(JOHN CAFFERKEY)は、英ケンブリッジ・ナノサーム社(Cambridge Nanotherm)のマーケティングマネージャー。URL: camnano.com