高輝度LEDパッケージに必要な熱性能、コスト低減AlNが実現

ジョナサン・ハリス

窒化アルミニウムセラミックスに新しいアプローチを適用することによって、価格をアルミナパッケージと同程度にまで引き下げるとともに、高輝度LEDパッケージ向けに十分な熱性能を実現することができる。

過剰な熱は、高輝度LED(HB LED)などの高出力半導体において、性能や信頼性に関するさまざまな問題を引き起こす。LED接合部からの熱をできる限り除去したいという要求から、ほとんどの高出力LEDにおいて窒化アルミニウム(AlN)セラミックパッケージが使用されるようになったが、中出力LEDに対しては、それよりもコストの低いアルミナ製、またはプラスチック製のパッケージを使用することができる。しかし、AlNに対してコストを低減するアプローチを適用することにより、高輝度LEDに求められる熱性能を実現しつつ、パッケージコストを中出力デバイスに見合ったレベルに抑えることができる。高輝度LEDのパッケージコストが低下すれば、SSL(Solid State Lighting:固体照明)分野のさらに広い範囲にわたってLEDの普及が促進される可能性がある。

高輝度LEDにおける熱管理は、説明するのは容易だが、対処が難しい問題である。高輝度LEDの光出力は熱の影響を受けやすい。LEDが過度に高温になると、より多くの入力エネルギーが光ではなく熱に変換され、それによってLED温度がさらに上昇し、壊滅的な故障につながる恐れがある。**図1**は、光出力の劣化を高輝度LEDの接合部温度の関数として表したものである。L70は、LEDの光出力が元の光出力の70%になる点を示し、L50は光出力が50%にまで低下する点を示す。この例は、低い接合部温度と安定した光出力を確保するために、高輝度LEDからの熱除去がきわめて重要であることをはっきりと示している。

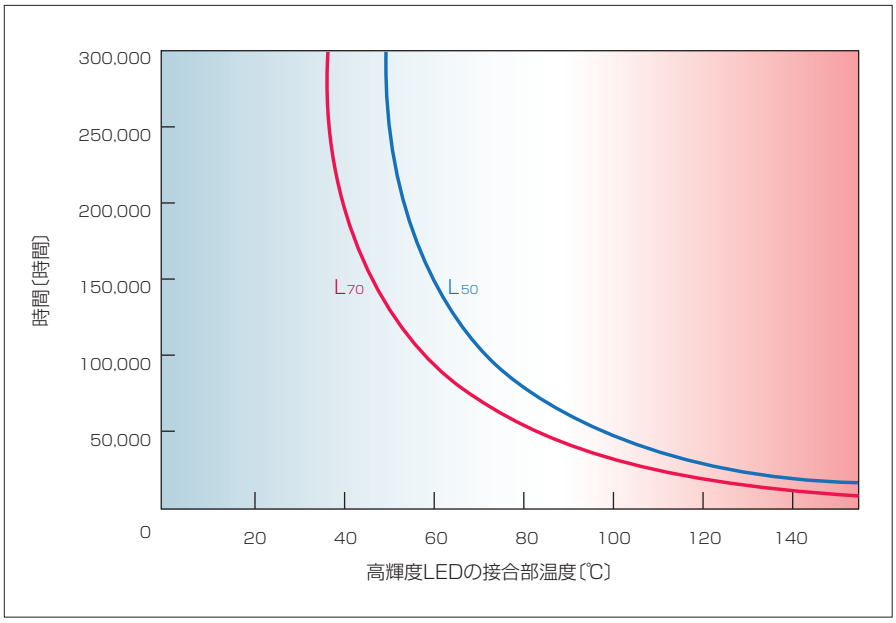

図1 LEDは、接合部温度が高いほど、より急速に輝度(ルーメン)が劣化する。

パッケージと材料の役割

半導体接合部からの放熱には、X軸とY軸方向に加えてZ軸方向への熱伝導が必要である。Z軸方向の熱伝導は、ダイオード接合部の熱源から直接ヒートシンクへと生じる。XY方向への伝導または熱拡散では、接合部から水平方向に熱が移動する。半導体接合部に近い部分ほど、材料が熱管理において担う役割は重大になる。したがって、デバイスとパッケージ材料の熱伝導率に対する要件は、重要な順に、以下のように大まかに順序づけることができる。

1. 接合部の下の半導体材料(フリップチップ以外の場合)
2. ダイ接着材料
3. 第1レベルのパッケージ(伝導と熱拡散)—LEDパッケージにおいてダイが接着される基板
4. 第1レベルのパッケージと基板レベルの間のTIM(Thermal Interface Material:熱伝導材料)またははんだ

5,基板レベルパッケージ(伝導と熱拡散)
6,基板とヒートシンクの間のTIMまたははんだ
7,ヒートシンクまたはヒートスプレッダ

この簡単な説明から、高出力デバイスの熱管理において、第1レベルのパッケージが非常に重要であることが明白である。このことは、高輝度LEDの第1レベルパッケージ材料としてセラミック材が非常に多く使用されている理由でもある。**図2**は、第1レベルパッケージとしてセラミック材を採用した、高輝度LEDの基本的なパッケージ構成である。**図3**には、メタルコアプリント回路基板(MCPCB:Metal-Core Printed Circuit Board)とヒートシンクに接着されたパッケージ高輝度LEDの構造図を示す。この図には、高輝度LEDの接合部からの熱伝導経路全体が示されている。

第1レベルパッケージ

本稿の以下の部分では、必要なZ軸方向の熱伝導性能を達成するための第

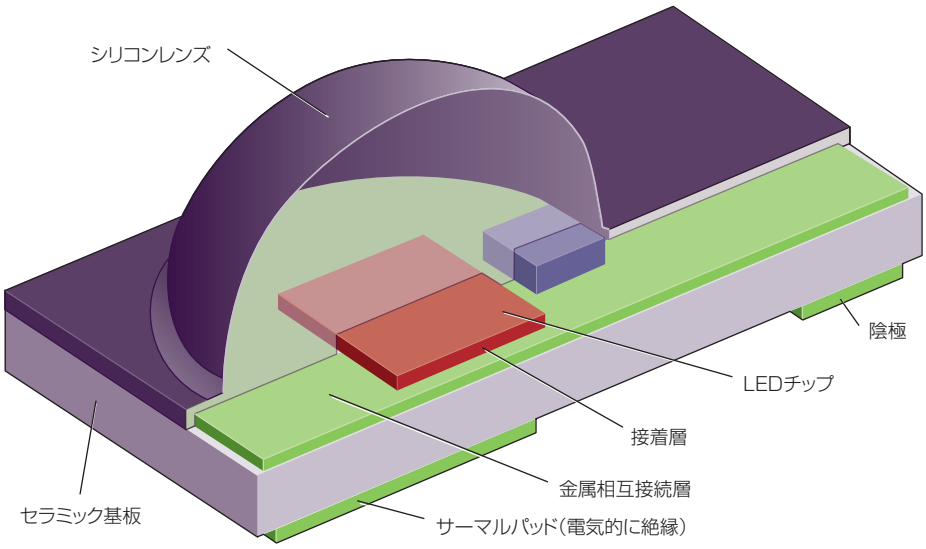

図2　パッケージLEDにおける最も直接的な熱伝導経路は、ダイオード接合部からパッケージ基板を通るZ軸上の経路である。

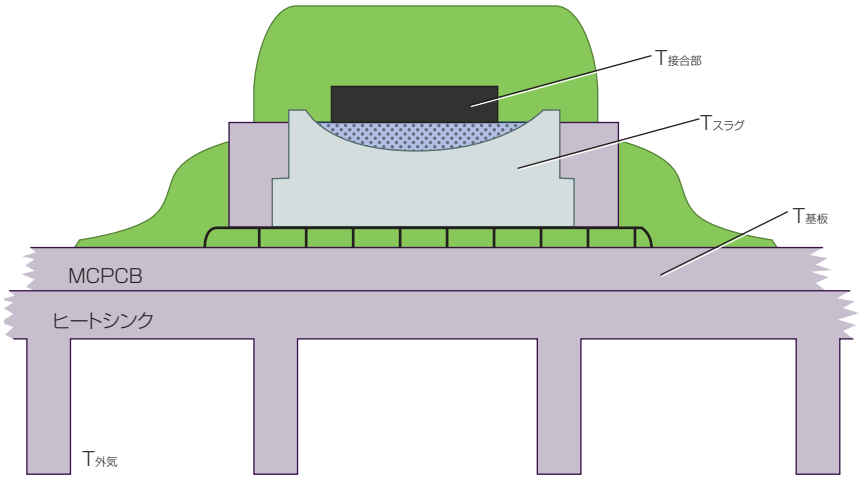

図3　熱は、LEDパッケージからMCPCBを通ってヒートシンクへと伝導する。

LEDs MAGAZINE JAPAN

e-DMプログラムをご存じですか？

LEDs Magazine JapanのE-DMプログラムなら、業種・職種・購買関与製品・担当製品など、ご希望の対象者に限定してメール配信を行うことが可能です。
弊誌読者の皆さまは、LED応用製品の利用やその開発、製造、マーケティングなどに携わっている方だけ。
LEDに特化した専門誌ならではの広告プログラムです。

こんなご要望にお応えできます。

■既存顧客以外に新製品DMを送りたい
■製品カタログを送りたい
■人材募集を行いたい
■研究者対象の製品アンケートを実施したい
■技術者限定でセミナー告知を行いたい

e-DM広告掲載料金(税抜)
データ使用料＋配信料　@100円
＊セグメント1項目につき　+@10円

お問い合わせ・お申し込みは…
株式会社イーエクスプレス
Tel: 03-6721-9890　Email: ledj@led-japan.jp

1レベルパッケージの選択肢について説明する。第1レベルの材料は、パッケージLEDの主要コンポーネントであるため、高輝度LEDのコストの大きな割合を占める。

まずは、LEDパッケージの基板に対する2つの主要な選択肢から見ていこう。アルミナ(酸化アルミニウム:Al_2O_3)セラミックスは、低出力LEDにおいて広く使用されている。熱伝導率は20W/m-K(ワット毎メートル毎ケルビン)である。一方、AlNの熱伝導率は170W/m-Kである。直接メッキ銅技術を採用するパッケージにおいて両者を比較した場合、AlNのコストはアルミナの8倍である。ここで議論しているのは、パッケージコストではなく、パッケージのセラミック部分のコストであることに注意してほしい。

AlNは、高い熱性能が求められる用途に対しては理想的な選択肢である。高い熱伝導率と、4.5ppm/°Cという中程度の熱膨張率(CTE:coefficient of thermal expansion)を併せ持つためだ。CTEは、温度上昇によって電気的接続性が損なわれず、部品の故障が生じないことを保証するための重要な要素である。

表1 AlNセラミック材料のコストと性質に関する検討事項

コスト要因	アルミナとの比較　備考	コメント
AlNセラミックスはAlN粉末から製造されており、一般的な電子グレード材料に対するAlN粉末のコストは非常に高い。	AlN粉末は、アルミナ粉末よりも15～25倍コストが高い。	エレクトロニクス分野では、コストの高い「炭素熱還元による」AlN粉末だけがほぼ排他的に使用されている。
AlNセラミックスは非常に高温で処理される。高温の加熱炉を使用すると、資本コストは増加し、加熱炉の処理能力は低下する。	アルミナは1450～1620℃で処理されるのに対し、AlNの処理温度は1825℃。	アルミナに対しては、連続式加熱炉が使用できる。AlNに対しては、バッチ式の黒鉛炉または耐熱金属炉しか使用できない。
H2Oと反応するため、粉末処理のコストは高くなる。	処理の初期段階で、セラミックスは、セラミック、結合剤、触媒懸濁液の形成によって生成される。アルミナは水性処理であるのに対し、AlNは水と反応するため、懸濁液は水性であってはならない。	非水性処理では、爆発の危険性と環境的な問題によって装置コストが高くなるとともに、触媒回収システムが必要になる。

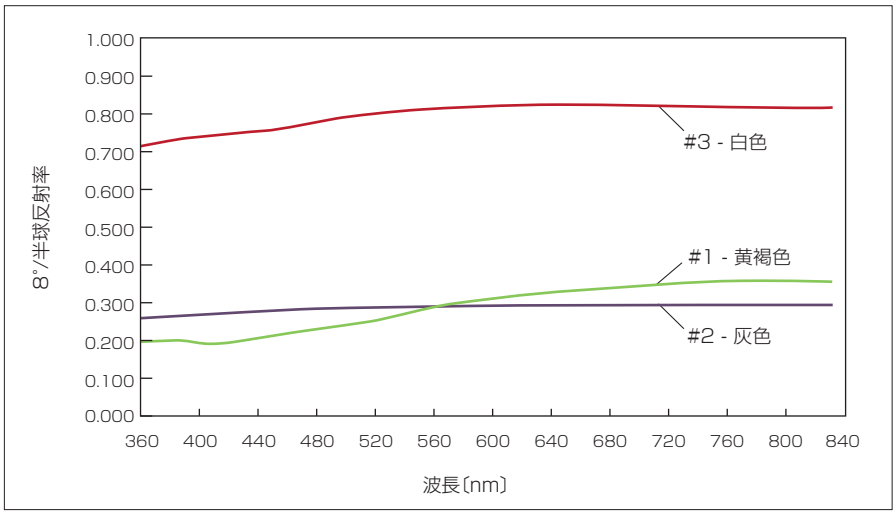

図4 高輝度LED AlNは、標準的なAlNよりも反射率が高く、SSL分野における光学的性能を改善する可能性を秘める。

AlNは現在、高輝度LEDパッケージに使用されているが、それは他に適切な選択肢がない場合に限られる。高輝度LED市場ではコスト削減に対する圧力が強く、また、デバイスの総コストに占めるパッケージコストの割合が非常に大きいことから、コストの高いAlNの使用を最小限に抑えたいという要求が高まっている。

AlN基板のコストが高いことは多数の要因に起因しており、その中でも最も重要なものの一部を**表1**に示した。その要因は、AlN粉末などの原材料のコストが高いことから、製造工程が複雑で高価であることまで多岐にわたる。

AlNセラミックスのコストの低減

材料については現在、AlNかアルミナかという選択肢がある。どちらを選択するかによって高輝度LEDのコストが変わる可能性がある。そこで材料科学者らは、Al_2O_3と従来型のAlNの間のコストと性能のギャップを埋める新しいAlN製法を開発した。米CMCラボラトリーズ社(CMC Laboratories)が高輝度LEDグレードAlNと呼ぶこの新材料の主な特長は、粉末および処理コストがかなり低いことと、熱伝導率がアルミナと従来型AlNの間であることだ。また、この新材料は本質的に、人間の可視領域における反射率が高い白色であるため、SSL製品での使用に適している。

新しい高輝度LED AlNの熱伝導率は100W/m-Kである。この値はアルミナの5倍だが、従来型のAlNよりは42%低い。それでもその熱性能は、高輝度LEDに十分に適している。機械的、電気的、物理的特性は、従来型のAlNとほぼ同様である。

基板コストの低下につながる重要な1つの要素として、この新しいAlN材

料は、アルミニウム金属を直接窒化して製造したAlN粉末を使用して製造される。この粉末は一般的に、エレクトロニクス分野で使用される従来の粉末よりも60～75%コストが低い。従来の粉末は、酸化アルミニウムの炭素熱還元によって製造される。

処理の複雑さ

また、高輝度LED AlNは1700～1725°Cで処理される。この温度範囲では、アルミナ製のヒートシールドとモリブデン（Mo）製の加熱要素を採用する連続式加熱炉が使用できる。高輝度LED AlNの生成に必要な装置とプロセスは、コストと処理能力の観点において、それよりも温度の低いアルミナ焼結炉よりは複雑で高価だが、バッチ式で高温の耐熱金属炉または黒鉛炉を使用する従来型のAlN処理よりは、コストが低く簡単である。

この新材料には、白色であるというさらなる利点がある。AlNの色は従来、黄褐色だった。白色であれば、可視光の反射率がかなり高くなるため、高輝度LEDなどの光学分野において有利となる可能性がある。可視スペクトルにおけるこの反射率のデータを**図4**に示す。

この図は、黄褐色や灰色の従来型のAlNセラミックスと、白色の高輝度LED AlNの、波長と反射率の関係をグラフで示したものである。従来型材料の反射率が約30%であるのに対し、高輝度LED AlNは可視スペクトル全域を通して70～80%を反射することに注目してほしい。

表2は、高輝度LED AlNのより詳細な特性を示したものである。高輝度LED AlNの機械的および電気的特性は、曲げ引張強度（単位：メガパスカル）などを含めて、それよりもコストの高い従来型のAlNセラミックスとほぼ同じである。曲げ引張強度は破損耐性を表し、信頼性に直接的に関連する。

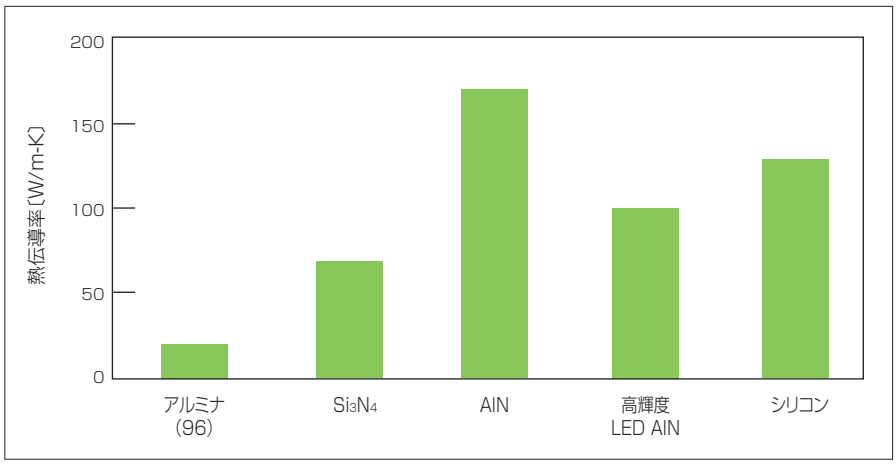

図5　新製法のAlNは、熱基板として他の選択肢よりも優れている。

表2　高輝度LED AlNの特性

特性	値	備考
熱伝導率（W/m-K）	100（標準値）	レーザフラッシュ法によって測定
電気抵抗（Ohm-cm）	1012以上（標準値は1014）	—
曲げ強度（Mpa）	300（標準値）	4点曲げ試験
密度（%）	97%以上（標準値）	—
可視光反射率（%）	70～80%	—

図5は、高輝度LED AlNの熱性能を他のセラミックパッケージ材料と比較して示したものである。非ドープのシリコンも参考として示されている。各数値は、レーザフラッシュ法によって得られたものである。

次なるステップ

CMC社は、本稿で説明した技術に関する特許を出願中であり、同技術を現在、関心を示すメーカーに対して積極的にライセンス供与している。CMC社は、エレクトロニクス分野における相互接続およびパッケージを対象とした新材料の開発を専門としている。

新しいAlNセラミックスによって製造される材料は、コストと性能の観点において、熱伝導率とコストの高いAlNと、熱性能とコストがそれよりも低い酸化アルミニウムの間の現在の大きなギャップを埋めるものである。この技術が対象とする応用分野、特に高輝度LEDにおいて、100W/m-Kという熱性能は十分に高い。これらの分野ではコスト競争が激しく、また、現時点では高輝度LEDデバイスのパッケージコストが高いことから、コストの低い新材料が受け入れられる可能性は非常に高い。さらに広い用途に向けて改良されるにつれ、現時点でAl_2O_3のみがもっぱら使用されている多くの分野において、それに競合する材料になると期待される。

著者紹介
ジョナサン・ハリス（Jonathan Harris）は、米CMCラボラトリーズ社（CMC Laboratories, Inc.）の社長。
E-mail：jharris@cmclaboratories.com.

LEDJ