

# 銅-モリブデン複合材料による LED素子の放熱

株FJ コンポジット 津島 栄樹\*

Eiki Tsushima

## 1. はじめに

LEDは電気を光に直接変換する半導体素子であり、その発光効率の高さから、省エネの代表的な技術として普及が著しい。自動車のテールランプや信号機などの白熱電灯は、既にLEDに多くが代替している。さらに、発光効率が蛍光灯に近づき、超えるようになり、また蛍光灯が使用している水銀の環境汚染の問題および取り替えメンテナンスコストなどの問題もあることから、近年では蛍光灯分野であった液晶画面のバックライト、家庭用照明機器などにもLED化が進んでいる。

しかしながらLEDは半導体素子であり、電気抵抗は大きい。したがって、そこに電流が流れば大きなジュール熱が発生することになる。一方で、LEDは加えた電流量に応じて発光量が比例的に増えることから、大きな電流を流せば光量も増すことになるが、同時に発熱量も増すことになる。この発熱により、LEDを構成するプラスチック材料などの劣化や焼損などが起こるために、ある値以上の電気を流すことはできない。仮に、LEDの発熱を効率よく冷却することができれば、より多くの電気を流して発光量を増やすことが可能になり、自動車のヘッドライトなどの大容量発光機器への展開も容易となる。

「S-CMC (Super CMC)」材は、銅 (Cu) とモリブデン (Mo) 箔を多層に積層し、一体化したクラッド材である。頭に付いている「S」の意味

はSuperで、従来型のCMC材とは異なり、高い熱伝導率を示す材料であることを意味している。使用する銅とモリブデンの割合を変えることにより、自在に熱膨張率をコントロールすることができるので、S-CMCはセラミックスパッケージやメタルパッケージなどの半導体パッケージのベースメタルとして使用が増えている材料である。

ここでは、LEDの冷却として素子に最も近い部分に位置し、今後の普及が大きく期待されているVertical LEDの放熱材料としてのS-CMC材と、その使用方法に関してまとめる。

## 2. S-CMCとは

「S-CMC」とは、株FJ コンポジット (<http://www.fj-composite.com>) が開発した銅 (Cu) とモリブデン (Mo) のクラッド材料の名称である。銅は熱伝導率の高い材料であるが、熱膨張率は16ppm/℃と大きいことから、半導体やセラミックス材料などの低熱膨張率材料と直接接合することは困難である。そこで、5.1ppm/℃と熱膨張率が小さなモリブデン材料と複合化することにより、熱膨張率をコントロールした材料である。

この材料の特徴としては、使用するCuとMoの配合割合を変えることにより、自在に熱膨張率をコントロールできることが挙げられる。このような考えは従来からあったが、当社ではCuとMoを多層化することで、少量のMoで熱膨張率を大幅に低減できることを見出し、国内外で特許を既に取得している。

このS-CMC材は、携帯電話基地局で使用され

\* 株FJ コンポジット 代表取締役  
〒416-0946 静岡県富士市五貫島783  
☎0545(60)9052 tsushima@fj-composite.com

ている電波の増幅器 (FET) などのベース金属部品として、金属パッケージやセラミックスウォールパッケージなどに採用されている<sup>1)</sup>。

### 3. LEDの構造

LEDは、GaNなどの化合物半導体素子に電気を通すことによって発光する。LED素子としてはAlGaAs、GaAsP、InGaN、GaPなど多くの種類があるが、白色光を得るには青色光を得て黄色を透過することによる方法が最も一般的であり、そのため青色を発光するGaN素子が最も生産量が多く、様々な分野に利用されている。

GaN素子はCVD (Chemical Vapor Deposition) 法と呼ばれる方法で製造する。CVD法とは、原料ガスを熱化学反応させて生成した反応物が基板上に堆積する方法で成膜する技術で、特にその原料に有機金属を用いる方法を「有機金属化学気相蒸着法」(Metal Organic Chemical Vapor Deposition: MOCVD) と呼び、この方法がLED素子の一般的な製造方法となっている。このとき、GaNの析出は基板の結晶構造に影響を受け、その結晶構造に従って結晶が成長する。この下地の結晶構造に依存して結晶が成長することを「エピタキシャル成長」と呼ぶ。GaNなどのLED素子を成長させるためには、基板材質としてはサファイア単結晶が主に使用されている。また、サファイアのほかにSiCやSi、また今回紹介するS-CMCなどの金属基板の上に析出させる方法も検討されている。

図1に、一般的に製造されているGaN素子の製造方法を示した。GaN成長用の基板は2~6インチサイズの円盤状のサファイア単結晶基板

が用いられている。その上にMOCVD装置を用いてGaN素子をエピタキシャル成長により析出させる。GaNを製膜する温度は1000℃以上の高温となることから、GaNとサファイアの熱膨張率がそれぞれ5.6ppm/℃と6.7ppm/℃と異なり、製膜後の冷却中に反りが発生してしまう。この反りを抑えるためには、サファイアの厚さを100μm以上に大きく取り、GaNは数十μmと厚さに差を設けることで反りの発生は低減される。その後、GaNの表面に透明電極材としてITO (Indium Tin Oxide) を生成、さらに塩素ガスによるドライエッチングによってGaN層をエッチングし、1mm四方のチップサイズに溝を入れて、最後にレーザー装置により基板であるサファイアを切断しLED素子を製造している。

LEDのサイズは小型品で0.3mm角程度と極めて小さく、高輝度と呼ばれる1W以上のものでも1mm角程度と小さい。仮に1mm角サイズに1Wの発熱があるとすれば、この発熱と同じアイロンがあったと考え、アイロンの面積を10cm×10cmと仮定して、10,000W (10kw) の発熱量となる。すなわち、LED素子1個の発熱量は小さいが、単位面積当たりの発熱密度は莫大な値であり、したがってLEDの冷却が重要であることは容易に理解できる。

図2に従来型のLED素子のPKG (パッケージ) 構造を示した。サファイア基板の上に、GaN半導体のN型とP型が析出されている。P型の上面には透明電極膜ITOが形成され、N型上の電極との間に電流を流して、発光させている。GaN材料は電気抵抗が大きいため、電流はほぼ電極間を最短ルートでしか流れない。このため、光は電極周

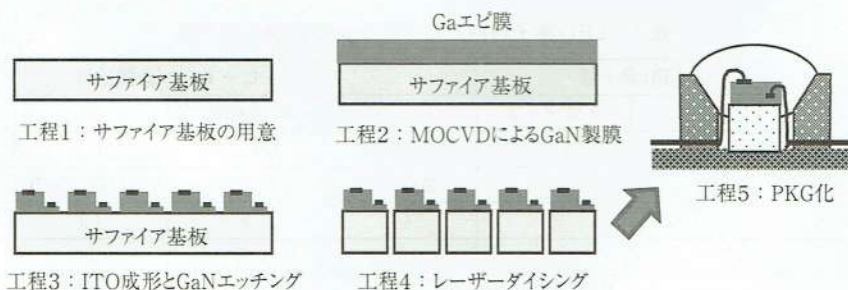


図1 GaN素子の製造工程

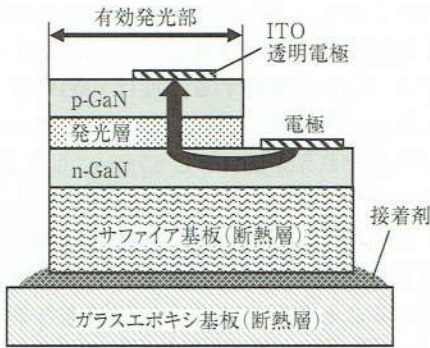


図2 従来型LED断面構造

辺部のみで発光する。また、サファイアは電流を流さないことから、LED素子を階段状に複雑に加工する必要があると同時に、このn電極を形成する面積が発光には無駄になり、歩留まりが悪いと同時に有効な発光面積も小さい。

LED素子から発した熱はサファイアを通して下方（回路基板）へ排出される。サファイアの熱伝導率は40W/mK程度と低いことから、放熱に対しては良い材料ではない。また、サファイアの底部はガラスエポキシなどの回路基板にエポキシ樹脂などで接着される。これらの材料は熱伝導率が0.1W/mK程度と極めて低いことから、熱抵抗が大きい。さらに、サファイアは透明なセラミックスであることから、発光層からサファイア方向に発射された光はサファイアを透過して接着層であるエポキシ層に当たり、エポキシ層の光劣化を引き起こす。

そこで、LEDの高輝度化に伴い、LED素子の冷却性を向上させるために、サファイアに代わる材料が検討されている。サファイアを全く使用し

ないでLED素子をエピ成長させることができれば一番良いが、現状ではSiCやSiなどのほかには実用化に至っていない。そのため、サファイア上にLED素子を析出させた後、サファイアをLED素子から取り外し、そこにサファイア代替材料を接合させることが検討されている。取り外したサファイアは、再研磨により何度か使用する可能性も考えられる。

現在、サファイアを取り除いてLEDのヒートシンク（放熱材）として検討されている候補材料の物性を表1に示した。GaN素子のヒートシンク材として最も重要視される物性は、熱伝導率が高いことであるが、その前提としてGaNと熱膨張率が近く、接合した場合に熱応力（歪み）を発生させないことが大切である。また、電気を通す材料であれば、図2に示したような複雑な形状加工を施さずに、素子の下面に通電端子を取り、上下方向に電流を流すことができる。このため、この新規のLEDを垂直に電流が流れることから「Vertical LED」と呼び、放熱的にも歩留まり的にも有利な構造である。また、LEDの普及のためには価格は重要なファクターであることは言うまでもない。

#### 4. S-CMC材によるLEDの放熱

図3にS-CMC材を使用したLED素子の製造方法を示した。工程1は、サファイア基板上にLED素子をエピタキシャル成長させた状態である。これは、円盤状のサファイアの上に薄いGaN層が製膜されている状況を表している。また、工程2ではS-CMCヒートシンク材がGaNに接合される。この接合は一般にはAu-Snなどのハンダ

表1 LED素子材料とヒートシンク候補材の物性

	LED素子材		ヒートシンク候補材			
	GaN	サファイア	S-CMC	SiC	Si	銅合金
熱膨張率 [ppm/°C]	5.6	6.8 ○	5.6 ◎	3.0 ×	3.0 ×	16.0 ×
熱伝導率 [W/mk]	130	40 ×	200 ◎	300 ◎	150 ◎	300 ◎
価格	-	○	○	×	○	◎
電気伝導性	-	×	◎	△	△	◎
遮光性	-	×	◎	×	×	◎
総合評価	-	△	◎	△	△	△

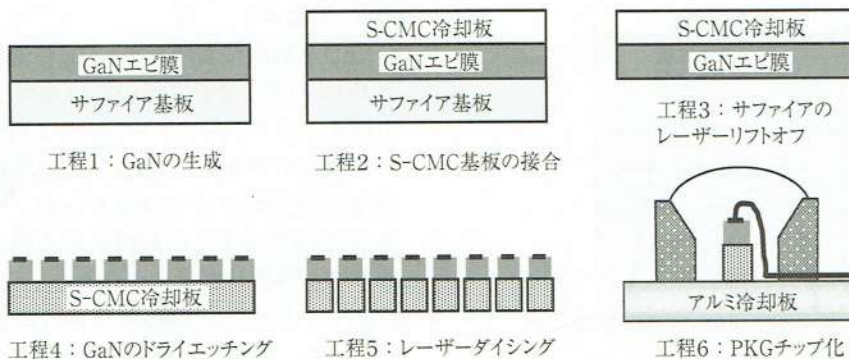


図3 S-CMCを用いたパーティカルLEDの製造工程

付けなどにより接合される。このとき、Ga<sub>N</sub>には各種のメッキやスパッタリングなどの方法により、金属層がコーティングされている。このコーティングの目的はハンダなどに対する接合性の向上と同時に、Ga<sub>N</sub>からの光を反射する意味を持つ。反射のためには、銀色の金属色であれば高い反射率を確保することができ、このためGa<sub>N</sub>への第1層目は銀メッキなどの高反射率の金属が使用されることが多い。Ga<sub>N</sub>層とS-CMC材の接合において、両表面は平坦であるほど接合に有利となる。ただし、平坦性を向上させるためにはポリッシュなどの工程が必要となり、コストアップの要因となることから、経済的な表面仕上げでの接合技術が求められる。

工程3は、Ga<sub>N</sub>からサファイアを取り除いた状況である。このとき、サファイアは「レーザーリフトオフ (LLO)」と呼ばれる方法で取り除かれることが検討されている。ある周波数のレーザー光はサファイア層を透過し、焦点をGa<sub>N</sub>とサファイアの界面に合わせることで、界面でGa<sub>N</sub>を熱分解させ、GaとN<sub>2</sub>にして界面からサファイアを剥離することができる。この技術は難しいので、メカニカルリフトオフと呼ばれる機械的(グラインダーなど)にサファイアを取り除く方法や、ケミカルリフトオフと呼ばれる化学的方法で取り除く方法などが検討されている。

工程4では、素材が上下反転された後に、Ga<sub>N</sub>層がドライエッチングと呼ばれる方法で加工される。これは、Ga<sub>N</sub>表面にエッチングが必要な部分以外をマスキングし、Ga<sub>N</sub>の露出部分を塩素

ガスなどのアシストガスを用いて取り除く方法である。このとき、従来構造のような階段状の複雑な構造でないことから加工は容易であり、発光に寄与する有効面積も大きい構造となる。

工程5は、最終的にS-CMC層をレーザー切断した状況である。サファイアなどのセラミックス材料はステルスと呼ばれるレーザー加工技術によって簡単に切断することができるが、S-CMCは金属であることから切断は難しい。ステルスとは、セラミックスの表面にレーザーを照射して目に見えない微小な亀裂を成形し、その亀裂に力を加えて脆性破壊させて切断する手法である。これに対して、金属ではステルス切断ができないことから、フルカットと呼ばれる厚さ全部を切る(溶断)必要がある。当然、この方法ではパワーと時間が必要であり、経済性が問題となる可能性がある。このため、新たな切断方法として、金属層をエッチング加工により切断する方法なども検討されている。

図4には、チップ化された新型のLED素子の構造を示した。従来サファイア基板の所にS-CMCが取り付けられている。S-CMC材はサファイアの5倍以上の熱伝導率を有し、熱膨張率もGa<sub>N</sub>に適合させることが可能である。このため、製造時の反りの発生もなく、発光時には効率良く熱を伝えることが可能である。また、サファイアは透明であったが、Ga<sub>N</sub>とS-CMCとの界面に各種のメッキが施されることから、その接合面で発光した光の反射が起き、LED前方への光量が増えることになる。この光量アップ(発光効率)

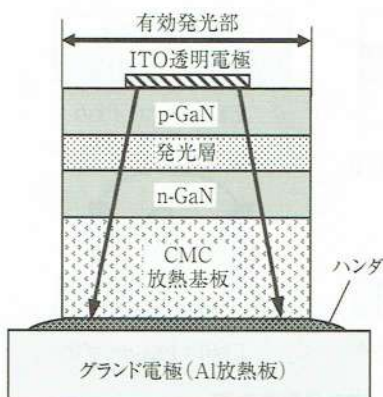


図4 パーティカルLED断面構造

についてユーザーの測定結果によると、光の3原色であるRGBのうち、Rにおいて25%が50%に、GとBにおいては50%が65%にアップしたとの報告を聞いている。また、冷却効率はサファイアに比べて40%アップしたとの報告もある。これらのデータはユーザー評価結果であるため、詳細の測定方法などは知り得ないが、大きな効果があったと推測される。

また、図1と比べて図4は形状が簡素化されているが、これらはS-CMC材が通電性のために電極を下面に置くことができるので、複雑な形状加工を施す必要がなくなる。

## 5. まとめ

LEDの放熱におけるS-CMCの適用に関してまとめた。LED素子に付いているサファイアを取り除き、メタル系のヒートシンク材を使用することの利点が多々あることは容易に理解できるが、今までは実現できていなかった。これは、GaNなどのLED素子との熱膨張率の適合し、高熱伝導率の材料が材料単体ではなかったことによる。今回、これをCuとMoの複合材により実現できた。また、周辺技術としてサファイア基板をレーザーで取り外す技術(LLO)や、チップ化の時の切断技術として、切断幅が20 $\mu$ m程度のレーザー切断技術など、新規の技術の出現により製造する環境が整ったことが背景としてある。

今後、LEDは照明装置の主流となることが期待されているため、ますます高出力となり、冷却が重要になる。そのときには、材料物性を設計することが自由にできる複合材料が、その問題を解決するキーテクノロジーとなることが期待される。これらの技術の普及によりLEDの利用が増え、省エネ化が進むことにより、地球環境に貢献できることを期待している。

## 参考文献

- 1) 日経BP社Webサイト「Tech-on!」, 2008.1.29.



## 大阪ガス、シャープ、三菱商事がカナダの太陽光発電事業に共同参画へ

大阪ガス(株)、シャープ(株)、三菱商事(株)の3社は、シャープ100%子会社のリカレント社がカナダ・オンタリオ州において開発を進めてきた大規模太陽光発電事業(全9カ所・合計約10万kW)を買い取った。これに伴い、今後は3社で同事業について共同推進していくことで合意、3社共同でカナダに設立する会社を通じて、大阪ガス44.95%、三菱商事44.95%、シャープ10.1%の割合で出資することを発表した。メガソーラーの商業運転は今年末から2013年末にかけて順次開始する予定。

カナダ・オンタリオ州政府は、2009年にクリーンエネルギー計画を策定し、環境負荷の大きい石炭火力

発電から、風力、太陽光、バイオエネルギーといった、よりクリーンなエネルギー源を活用した発電への転換を推進している。こうした計画に基づき、今回のプロジェクトでは同州が導入しているクリーンエネルギー固定価格買い取り制度に則り、発電電力をオンタリオ州電力公社に1kW時当たり0.443カナダドル(約35円)の価格で20年にわたって売電する方針。

大阪ガス、三菱商事、シャープの各社は、同プロジェクトを通じて国内外における大規模太陽光発電事業を展開するための知見を深めるとともに、再生可能エネルギーの普及促進を通じた低炭素社会実現に取り組んでいく。