

広配光LED照明用立体モジュール

3-Dimensional Module for LED Lighting Having Wide Light Distribution

齊藤 裕久*
Hirohisa Saito

木谷 聡志
Satoshi Kiya

青木 勝行
Katsuyuki Aoki

岡 良雄
Yoshio Oka

奥田 泰弘
Yasuhiro Okuda

元木 健作
Kensaku Motoki

フレキシブルプリント配線板 (FPC) はその高いフレキシブル性で様々な形状を保つことができる利点がある。指向性の高いLEDを用いるLED照明においては、このフレキシブル性を利用して配光特性を変化させることができる。しかしながら、FPCの熱伝導性の低さから、LED照明への応用については大きく制限されてきた。今回、①このFPCの熱伝導性を大きく改善する高放熱構造を開発し、さらに②FPCの立体構成を可能とする貼付け技術を開発した。これらにより、FPCを用いて高放熱で配光性を制御したLEDモジュールが実現可能となり、高出力LEDへの対応も可能である。

One of the advantages of flexible printed circuit (FPC) is that it can keep various shapes by the high flexible nature. By taking this advantage, the light distribution property can be changed in the light-emitting diode (LED) lighting using the LED with high directivity. However, the low thermal conductivity of FPC had considerably limited its application to LED lightings. In order to solve this challenge, we developed high heat diffusion structure that greatly improves FPC's thermal conductivity, and an adhesively bonding technology that enables 3-dimensional constitution of FPC. Thereby we made it possible to realize an LED module that the FPC controls light distribution property while performing high heat diffusion. This newly developed technology is also applicable to high output LEDs.

キーワード：FPC、放熱、LED、広配光、立体モジュール

1. 緒言

省エネ意識の高まりに伴い、エネルギー消費量の10～20%を占める照明において、白熱灯や蛍光灯などの従来電球からLED*1照明への置き換えが進んでいる。LED光は指向性が強く、平板基板上にLEDを実装した場合、光の広がる角度 (配光角度*2) は120度に制限されてしまう。より光を広げたいニーズに対しては、従来、反射板やプリズムレンズを配置^{(1), (2)}して配光角を広げる工夫が必要であった。また、LEDは温度が上がると発光効率が低下するため、比較的高い電流で使用する用途では、LED自身の発熱が問題となり、放熱の工夫が必要となる。このような用途においては、アルミ板上に絶縁層を介して配線が形成される放熱性の高い硬質基板 (メタル基板) が多く用いられている。

一方、FPCは、ポリイミド (PI) 樹脂フィルム上の銅箔配線であるため、薄く、軽量で、曲げられるという高屈曲性の特長を活かし、エレクトロニクス機器の屈曲部の配線としての他、モバイル機器に広く用いられている⁽³⁾。さらにFPCは、高耐熱性、高絶縁性と優れた特徴を有するが、PIの熱伝導率が低く、放熱性は芳しくなかった。

これら状況の下、当社では新たに開発した独自の放熱構造FPCにより、メタル基板と同等の放熱性能を実現し、さらに、フレキシブルという特性を用いて立体基材へ貼り付けることで、反射板やプリズムレンズ無しで広い配光角度を実現したので、それら内容を報告する。

2. 放熱構造

2-1 新放熱構造の検討

LED照明用途において、高い放熱性が要求される場合は、FPCを基板とし、平板ヒートシンクに貼付けて使用する事例がある。しかし、前述のとおり、PIおよび貼付け用接着剤 (エポキシ樹脂など) の熱伝導率が、一般的な樹脂と同様に0.2 [W/mK] とメタル基板の絶縁層に比べて低いため (表1)、金属製支持基材/筐体まで熱を伝導する上での熱抵抗となり、放熱性はメタル基板に比べてやや劣っていた。これを改善するために、発熱源であるLEDの実装部下と支持基材の間に、部分的に絶縁性でメタル基板の絶縁層と同等の熱伝導率である樹脂を充填する構造を開発した。

表1 各材質の熱伝導率 (代表値)

材質	熱伝導率 [W/mK]
ポリイミド (PI)	0.2
エポキシ樹脂	0.2
メタル基板絶縁層	1.0~3.0
純アルミ	230

この新放熱構造における放熱性を有限要素法にて計算した結果を図1に示した。充填する樹脂の熱伝導率が高くなるに

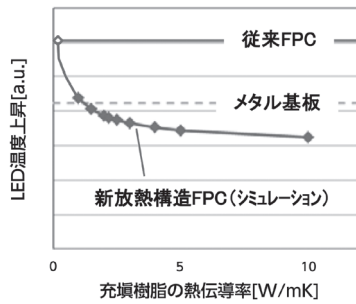


図1 新放熱構造シミュレーション結果

に伴い、放熱性能は向上し、LED温度上昇が低減されている。従来のFPCを貼付ける構成に比べ、部分的にPIより高熱伝導の樹脂を充填することで、メタル基板並の放熱性が得られる可能性が示された。

この放熱構造のLEDモジュールを実際に作製し(写真1)、点灯時のLED温度を測定し、放熱性能向上を検証した。LED発光部(ジャンクション)温度の測定では、半導体の温度-電圧特性^{※3}を利用し、15秒間300[mA]通電(投入電力1.2[W]、パッケージサイズ5×4.85mm)後、約0.1秒以下の間、微小通電に切替えて電圧を計測。この操作を繰り返した。60回繰り返すと微小通電時の電圧が安定し、その時の電圧を温度-電圧特性から換算することでLED(ジャンク

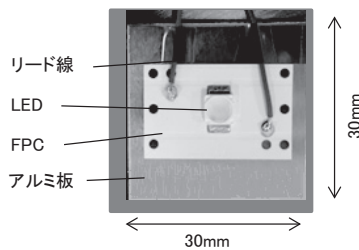


写真1 検証用LEDモジュール

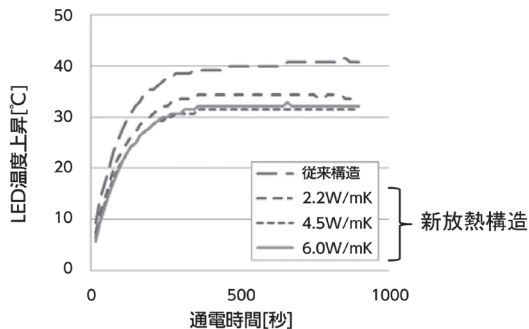


図2 熱伝導率とLED温度上昇の関係

ション)温度の上昇を導出した。時間と共に変化するLED温度上昇を評価した結果を図2に示す。計算結果と合致し、新放熱構造品は、従来型に比べ放熱性能が向上し、LED温度上昇を抑制できていることが判った。

2-2 高放熱構造の信頼性

LEDモジュールに使用する熱伝導接着樹脂はエポキシ系樹脂にフィラーを含有したものである。放熱性能の信頼性に直結する接着強度(180度ピール強度)を評価した。測定構成を図3に、各種信頼性試験結果を図4に示す。

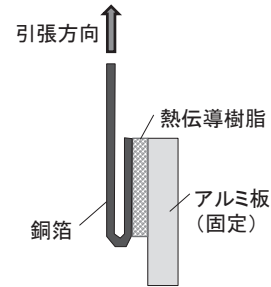


図3 180度ピール強度試験測定構成

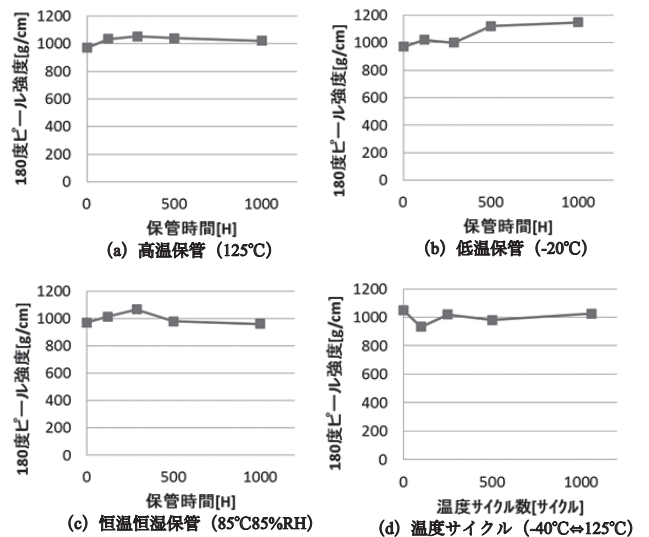


図4 熱伝導接着樹脂ピール強度信頼性

図のように、高温保管、低温保管、恒温恒湿保管に関して時間を変えて行った後の試験、および温度サイクル(-40°C⇔125°C)に関してサイクル数を変えて行った後の試験において、ピール強度は低下が見られなかった。

さらに、放熱特性の変化を評価した結果、図5に示すように温度サイクル試験前後で、前項で述べた放熱性能を示す300[mA]通電時のLED温度の上昇に変化がないことが判明し、良好な信頼性を有することが確認できた。

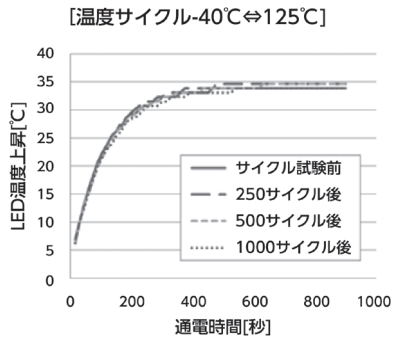


図5 新放熱構造LEDモジュールの信頼性 (温度サイクル)

3. 貼付け技術

フレキシブル性を有するFPCは、前述のようにエレクトロニクス機器の屈曲部の配線として使用されている。従来は、コネクタとの接続部の裏面に平面の補強板を接着する他、前述のとおり放熱目的で全面を平板ヒートシンクに対して接着することはあったが、全て平板との接着であった。今回、新たに立体 (非平板) 基材に対してFPCを接着貼付けするプロセス技術を開発した。その貼付けた例を写真2、3に示す。

写真2は厚み2.3mm、角部曲率0.5mmの板状基材の両面間を跨ぐようにFPCを貼付けたものである。薄板の小曲率部にも追従して接着できている。

写真3は曲率半径60mmの曲面基材にLEDを実装したFPCを貼付けたものである。貼付け過程において、実装されたLEDへの負荷は小さく、貼付後のLED半田付け部分にはクラックは見られない。

このように、開発したプロセス技術は多様な形状の基材に対して、部品実装したFPCの接着貼付けが可能である。

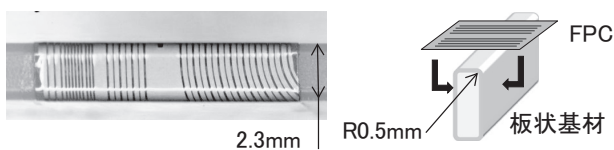


写真2 板状基材にFPCを貼付けた例

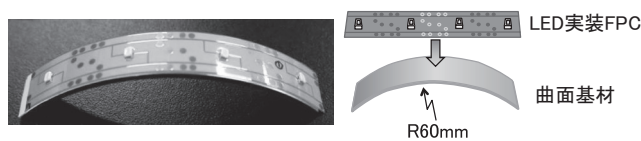


写真3 曲面基材にLED実装FPCを貼付けた例

4. LED照明への適用

強い指向性を示すLED光を、反射板やプリズムレンズを用いずに、それぞれのLEDの方向を変えて3次元配置する事で広配光化が可能である。第2章の新放熱構造かつ第3章の接着貼付けするプロセス技術により、六角錐台のアルミ製筐体に対してLED実装済みFPCを接着した高放熱の立体LEDモジュールを写真4に示す。LEDは6つの斜面に1個ずつ配置し、広い配光角度を得るために、相対的にLED光を分散させるように上面には配置していない。

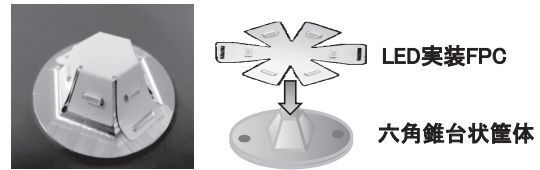
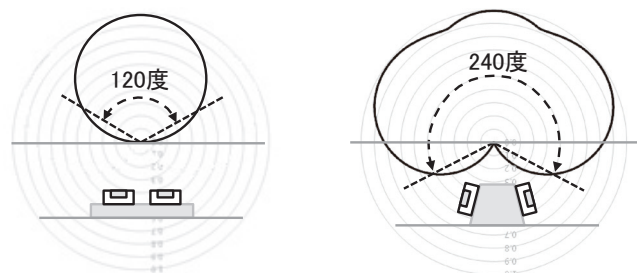


写真4 立体LEDモジュール試作品

平板基板上に実装されたLEDと立体LEDモジュール (写真4) からのLED光の配光分布曲線は、図6に示したように計算される。前者は図6 (a) のように直上方向に配光角度120度であるのに対し、後者では光分散力カバー無しで図6 (b) のように配光角度240度を実現しており、広配光化が可能である。また、新放熱構造により、LEDの温度上昇が抑えられていることを測定により確認した。



(a) 平板基板 LED モジュール (b) 立体 LED モジュール

図6 配光角度計算結果

5. 高出力LED照明への対応

5-1 高出力LEDランプ適用検討

さらにこの新放熱構造を有した立体LEDモジュールの高出力LED照明への適用可能性を見るために、第2章で使用したLEDより小型ながら1 [A] 通電可能な高出力LED (投入電力

3.4 [W]、パッケージサイズ2×1.6 [mm]) でLED温度上昇の評価を行った。評価用に3水準の放熱用アルミ板 (□30、50、75 [mm]) に貼り付けた新放熱構造のLEDモジュールを作製した (写真5)。

このLEDモジュールを糸で宙吊りにし、無風状況にて先の方法で1 [A] 通電した時のLEDジャンクション温度上昇を評価した。評価結果を図7に示す。放熱板面積が狭く、通電によりLEDジャンクション温度が130℃程度まで上昇しても破壊することなく発光し、この新放熱構造が高出力LEDに対しても適用できることが確認できた。

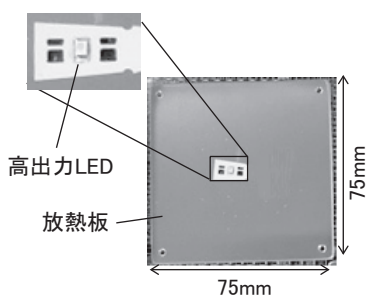


写真5 高出力検証用LEDモジュール

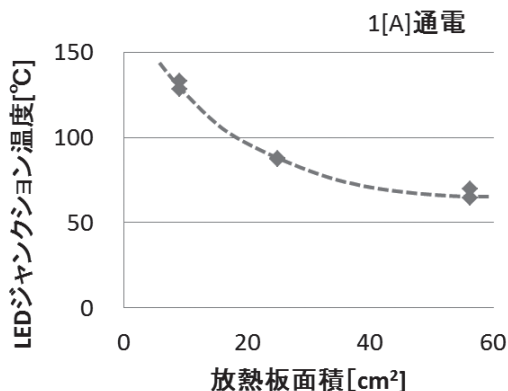
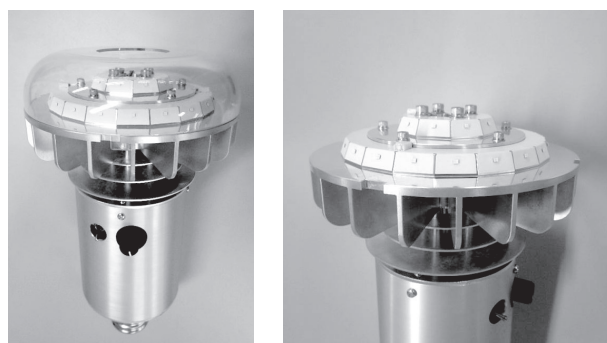


図7 放熱板面積とLEDジャンクション温度の関係

5-2 高出力ランプ試作

前項の結果に基づいて、実際に高出力LED照明機器の設計試作を行った。照明機器としての仕様は、LEDへの投入電力100 [W]、光束10,000 [lm] とし、前述のLEDを30個搭載する設計とした。また、これらのLEDは、新放熱構造のFPCに実装され、10角錐台、20角錐台のヒートシンクに貼付けた構造で、放熱フィンも備えている (写真6)。

点灯試験の結果、高出力、広配光のLED光を確認した。高出力LEDを使用することでLED数を減らすことができ、小型で軽量のLED照明機器が実現できた。



(a) 全体像

(b) LED 配置部

写真6 試作した高出力照明機器

6. 結 言

FPCの放熱性改善構造を実現し、メタル基板並の放熱性能を得ることが確認できた。さらに、FPCのフレキシブル性を活かした3次元筐体への接着貼付け技術を開発した。これら2つの技術を組み合わせて作製したLED立体モジュールは、計算上特別なカバー無しで240度まで広配光角度化が見込まれる。今後は一般LED照明の他、高出力LEDランプや車載用ランプへの適用が期待できる。

用語集

※1 LED

Light Emitting Diode: 電流を注入し電子の持つエネルギーを光に変換する半導体素子。

※2 配光角度

光源から広がる光の光度を全周囲で測定した際に、最も強い光度の半分以上の光度が観察される範囲角度。

※3 半導体の温度-電圧特性

電流一定条件で半導体素子温度上昇に伴い電圧が変動する特性。LEDでは温度上昇に伴い電圧は低下する。

参考文献

- (1) 細田雄司、高橋健治、「配光角300°超のLED電球の開発」、パナソニック技報、Vol.58、No.2、pp.67-69 (2012)
- (2) 小倉智雄、山下祐司、松岡洋平、「省エネに貢献するLEDシーリングライト連続調光・調色照明器具」、NEC技報、Vol.65、No.1、pp.108-111 (2012)
- (3) 兼広昌之、柏木修二、中間幸喜、西川潤一郎、荒牧秀夫、「当社のフレキシブルプリント回路事業の展開」、SEIテクニカルレビュー第172号、pp.1-6 (2008)

執 筆 者

齊藤 裕久* : エネルギー・電子材料研究所
主席



木谷 聡志 : 住友電工プリントサーキット(株)



青木 勝行 : 住友電工プリントサーキット(株) 主査



岡 良雄 : エネルギー・電子材料研究所
グループ長



奥田 泰弘 : エネルギー・電子材料研究所 部長
博士 (工学)



元木 健作 : シニアスペシャリスト
エレクトロニクス事業本部 主幹
博士 (工学)



*主執筆者