

超高輝度を実現するベアチップ LED の高密度実装技術開発 (第3報)

超高輝度 LED 光源の設計および試作

宮野忠文, 和田雅行, 廣川勝久, 坂村 勝*1, 中濱久雄*1, 花房龍男*1

Densely Direct Mount of LED Bare Chips on Heat-Sink to Achieve Super High-Brightness III

Design and Trial production of a Super High-Brightness LED light-source

MIYANO Tadafumi, WADA Masayuki, HIROKAWA Katsuhisa, SAKAMURA Masaru, NAKAHAMA Hisao and
HANAFUSA Tatsuo

The 10,000 lumens LED light was experimentally produced. 208 LED elements were directly mounted on the ceramic substrate. When the light source was driven with the voltage 43.3V and the current 1.5A, the light flux of 10,000 lumens was obtained.

10,000 ルーメンの特殊照明を開発するために、超高輝度 LED 光源および電源装置の試作を行った。セラミック基板に 208 個の LED 素子を直接実装した光源基板を作製し、電圧 43.3V、電流 1.5A で駆動させたところ、約 10,000 ルーメンの光束を出力した。

キーワード：LED, ベアチップ, 定電流

1. 結 言

省電力に優れている LED 照明は様々な用途で活用されており、その市場規模は年々増加している。しかし、既存光源の代替用途のみでは、製造メーカーの生き残りは難しい。一方で、投光器などの高出力用途や一次産業用途などの特殊照明分野は未開拓であり、今後市場の拡大が期待できる分野である。高出力が必要な特殊照明分野では、ハロゲン照明などと比べ、省エネ、高寿命化が可能なることから、これら照明の代替として注目されている。また、県内企業への聞き取り調査により、屋外投光器などに利用可能な 10,000 ルーメンの光束量を備えた特殊照明のニーズが高いことが分かった。

しかし、高出力 LED 実現には放熱が十分できていないと効率が極端に悪くなるため、放熱設計が技術的課題となっている。

LED チップをパッケージ化した LED 部品は、高輝度なものが入手可能になってきているが、放熱性が低いいため、実装密度が上がらずサイズが大きくなる。この課題を解決するために、本研究では LED チップをヒートシンクへ直接実装する手法について検討している。

LED チップを熱伝導率が高いヒートシンク基板に直接実装する手法は、高出力で大型化する LED チップの熱対策として重要視されている。

第 1 報では、表面が高熱伝導・高放熱特性を有する AlN で、内部が機械加工可能で熱伝導性に優れる Al の AlN/Al 複合材料系ヒートシンクの開発について報告した¹⁾。また、第 2 報では、マニュアルダイボンダー及びマニュアルワイヤーボンダーを用いたヒートシンク材料への直接実装の試作について報告した²⁾。

本報では、10,000 ルーメンの特殊照明を開発するため、放熱性が良いセラミック基板に LED チップを直接実装する手法で、超高輝度 LED 光源モジュールを試作したので報告する。

2. 設 計

2.1 基本設計

光源の消費電力と光源から発する光束の比で表す発光効率³⁾は、技術開発により年々向上しているが、白色 LED では、現在約 100 ルーメン/W である。本研究では、10,000 ルーメンの照明を目標としており、LED 照明器具の総合効率が 70~75% と言われていることから 75% として、試作する光源の消費電力の仕様を 133W 以上とした。

試作した LED 光源モジュールは、LED 光源部と電源部から構成される。以下、各部について説明する。

2.2 LED 光源部

実装する LED 素子として ETCJA-0BAG1-F1 (TE-OPTO 社

LED プロジェクトチーム

*1 加工技術研究部

表 1 LED 素子仕様

型式	ETCJA-0BAG1-F1 (TE-OPTO 社製)
寸法 (μm)	510×1020×150
電極寸法 (μm)	φ 82
順電圧 (V)	2.9~3.3 (順電流 120mA 時)
最大順電流 (mA)	240
波長 (nm)	450~462.5
光出力 (mW)	110 (順電流 120mA 時)

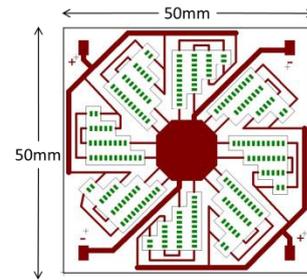


図 3 配線パターンおよび実装図

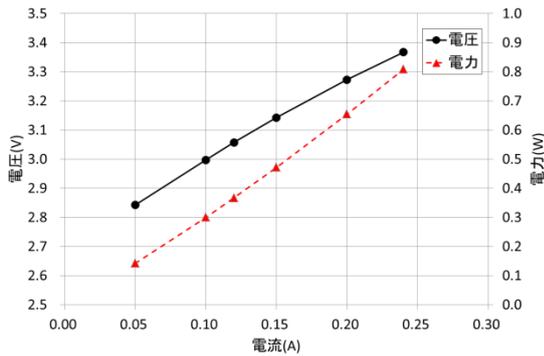


図 1 電圧-電流特性測定結果

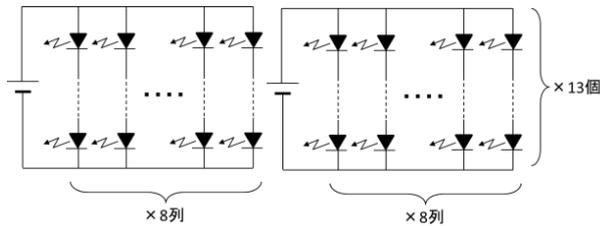


図 2 LED 光源回路構成

製)を用いた。仕様を表 1 に示す。LED 素子を駆動させるための電流を最大順電流の約 80%である 200mA とした。実装数および駆動電圧・電流を検討するために、LED 素子の電圧-電流特性測定結果を図 1 に示したが、駆動電流 200mA 時の消費電力は約 0.65W であり、133W 以上とするためには、LED 素子が 205 個以上必要となることが分かった。

また、駆動電流 200mA としたときの駆動電圧は 3.27V で、定電流回路の最大出力電圧は 44V 程度であるため直列数を 13 個とし、素子数が 205 個以上のため、並列数を 16 列とした。このとき、全体の駆動電流は 3.2A となり、定電流回路の最大出力電流が 2A であるため、光源回路は図 2 のとおり 13 個×8 列を 2 系列とした。

試作する LED 光源基板の配線パターンを図 3 に示す。LED 素子はレンズによる集光も考慮して円形に近い配置とし、13 個×8 列の回路が 2 系統となるように配線パターンを設計した。

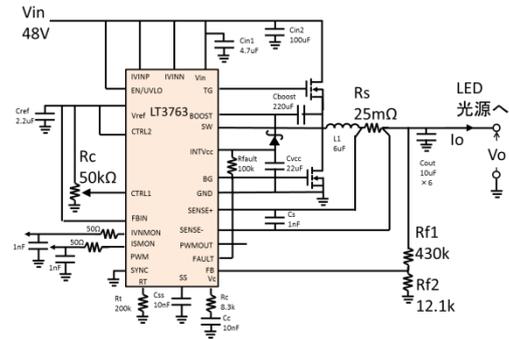


図 4 定電流回路図

表 2 電源部仕様

定電流回路	
入力電圧	DC48V
最大出力電流	2A
最大出力電圧	44V
AC-DC コンバータ	
ZWS240BP-48 (TDK ラムダ製)	
入力電圧範囲	AC85~265V
定格出力電圧	DC48V
最大出力電流	5.0A
最大出力電力	240W

2.3 電源部

電源部は、商用電源から直流に変換する AC-DC コンバータと定電流回路で構成される。

LED は点灯させると発熱し、発生した熱は LED に流れる電流を増加させるように働く。発熱とそれに伴う電流増加が繰り返され、定格を超える熱暴走という現象が生じる可能性がある³⁾。特に、高出力であるパワーLED を駆動させる場合には、発熱による暴走を防ぐために、LED 素子に一定電流を供給する定電流回路とする必要がある。

本研究では、定電流回路を実現するために、LED ドライバコントローラとして、LT3763 (リニアテクノロジー社製)を使用した。試作した定電流回路の回路図を図 4 に示す。定電流値は最大出力電流 I_o 以内であれば、可変抵抗 R_c で調整可能である。最大出力電流 I_o は抵抗 R_s により、 $I_o = 1.5 / (30 \times R_s)$ で設定することが可能である。また、最大出力電圧 V_o は、 $V_o = 1.206 \times (1 + R_{f1} / R_{f2})$ で設定でき

る⁴⁾。本研究では、 $R_s=25m\Omega$ として、定電流値 I_o を 2A、また、 $R_{f1}=430k\Omega$ 、 $R_{f2}=12.1k\Omega$ として最大出力電圧 V_o を 44V とした。

AC-DC コンバータには、ZWS240BP-48 (TDK ラムダ製) を用いた。電源部の仕様を表 2 に示す。

3. 試作

3.1 LED 光源基板の試作

表 1 の仕様の LED 素子をセラミック基板(基板サイズ 50mm×50mm×0.6mm)に直接実装する。セラミック材料は、放熱性が高く、光に対する劣化が少ない、絶縁性が高いという特性から、LED 素子を搭載する基板に使用される⁵⁾。本研究では厚み 35 μ m の銅箔付の 0.5mm 厚のセラミック基板を使用した。材料特性を表 3 に示す。

試作に用いたレーザ基板加工機 ProtoLaser S (LPKF 社製)の仕様を表 4 に、外観を図 5 に示す。レーザ基板加工機は銅箔を非接触で剥離させ、CAD データから自動生成された加工データにより微細な配線パターンを高速に形成できる。CAD データの作成には、EAGLE Ver. 4.16 を用いた。

表 3 セラミック基板材料特性

項目	材料定数
アルミナ含有量(Wt%)	99.6
体積固有抵抗($\Omega \cdot cm$)	$>10^{14}$ (25 $^{\circ}C$)
熱伝導率(W/m \cdot k)	33 (25 $^{\circ}C$)

表 4 レーザ基板加工機仕様

型式	ProtoLaser S (LPKF 社製)
使用レーザ	YAG レーザ
レーザビーム径(μ m)	25
最小ライン/スペース(μ m)	50/25
加工範囲(mm)	229×305×10



図 5 レーザ基板加工機外観

3.2 LED 素子の実装

LED 素子の実装は、以下の手順で行った。

- ① マニュアルダイボンダーにより、LED 光源基板の上に LED チップのダイボンドを行う。
- ② 乾燥機に入れ、150 $^{\circ}C$ で 1 時間乾燥させる。
- ③ マニュアルボールワイヤーボンダーで配線を金線で行う。
- ④ 封止樹脂で LED を覆い、乾燥機に入れて 100 $^{\circ}C$ で 2 時間、150 $^{\circ}C$ で 1 時間乾燥させる。

なお、封止樹脂として三菱化学の MCC 封止材 S シリーズを使用した。また、ダイボンダーは WESTBOND 社製のマニュアル機である 7200CR を、ワイヤーボンディングは WESTBOND 社の 7700D を使用した。

LED 素子を実装する領域は、封止樹脂を塗布しやすいように 0.2mm 程度の深堀加工をレーザ基板加工機にて行った。実装した試作基板の全体写真に深堀したエリアを、点線で示したものと一部拡大した写真を図 6 に示す。

3.3 電源部

試作した電源部を図 7 に示す。本試作では、2.2 の項で述べたように最大出力電圧は 44V 程度、出力電流は 3.2A 程度必要であり、今回試作した定電流回路の最大出力電流は 2A のため、2 系列としている。

4. 評価および考察

4.1 光源モジュール光束測定

試作した光源モジュールの放熱のため、図 8 のように、

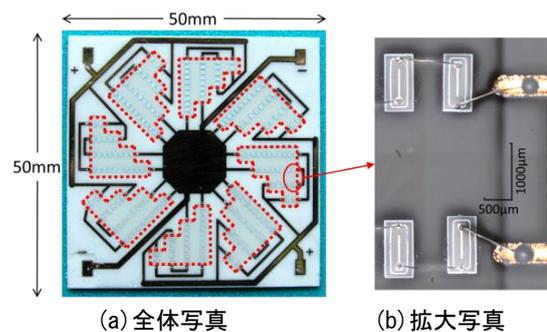


図 6 LED 光源基板

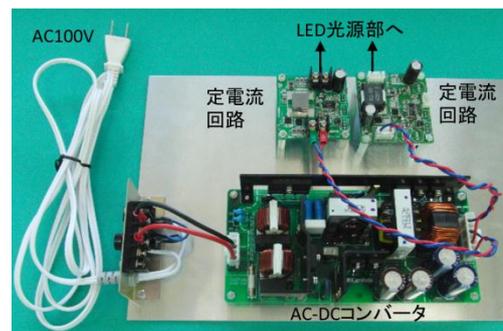


図 7 電源部

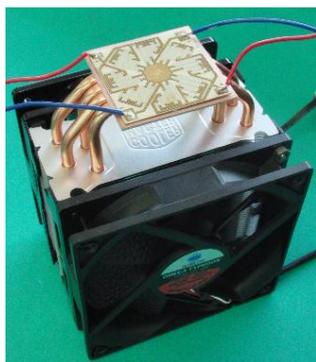


図8 ヒートシンク付 LED 光源基板

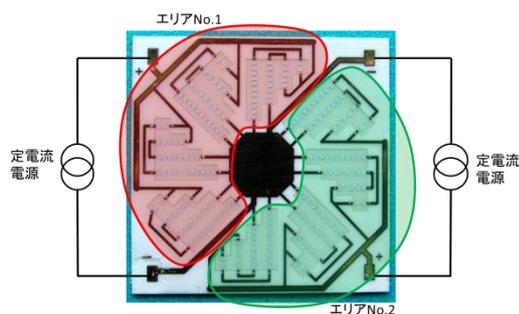


図9 駆動エリア

表5 光束測定結果

電流 (A)	1.0		1.5		2.0	
	1	2	1	2	1	2
電圧 (V)	40.7	39.9	43.2	43.3	45.5	44.8
投入電力 (W)	40.7	39.9	64.8	65.0	91.0	89.6
光出力 (W)	12.5	11.2	17.2	14.3	20.9	16.3
光出力合計 (W)	23.7		31.5		37.2	
光出力合計 (lm)	7,892		10,509		12,425	

ヒートシンクを取り付けた。ヒートシンクは CPU クーラーHyper212EVO (COOLER MASTER 社製) を使用した。

この光源モジュールを直流電源装置 PAN110-5A (菊水電子工業社製) にて 1.0A, 1.5A, 2.0A で定電流駆動させ、駆動電圧および光束の測定を行った。光束測定は 2m 積分球 (labsphere 社製) にて測定し、駆動電圧は直流電源装置の表示値を測定結果とした。なお、測定は図9のように、2つのエリアに分けて駆動して行い、その合計値を測定値とした。

測定結果を表5に示す。駆動電流が 1.5A, 2.0A で 10,000 ルーメン以上となっている。なお、光出力から光束への変換に関しては、昼光色 5,000K の白色にした場合、光出力 1W あたり 333.5 ルーメンとなるので、この値で換算した。

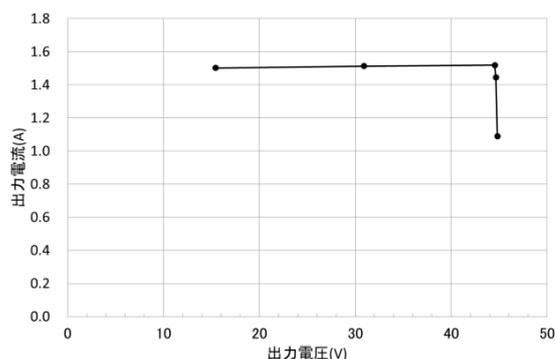


図10 電源部評価

4.2 電源部

上記の結果、駆動電流 1.5A, 駆動電圧 43V 程度供給できれば、試作した光源が約 10,000 ルーメン出力できることが分かった。

試作した電源部が 1.5A で定電流駆動できるかを確認するために、電源に接続した負荷抵抗の値を変えて、出力電圧、出力電流を測定した結果を図10に示す。43V 付近まで 1.5A で定電流駆動しており、必要な仕様を満たしていることを確認した。

5. 結 言

10,000 ルーメンの特殊照明を開発するため、超高輝度 LED 光源および電源装置の試作を行った。光源基板は、レーザ基板加工機で配線加工したセラミック基板に 208 個の高輝度 LED 素子を直接実装し、試作した。

ヒートシンクとして用いた CPU クーラーに試作した光源基板を取り付け、駆動電圧 43.3V, 駆動電流 1.5A で駆動させたところ約 10,000 ルーメンの光束を出力した。

文 献

- 1) 坂村勝ほか 3 名：広島県立総合技術研究所東部工業技術センター研究報告, 25, 1-4 (2012).
- 2) 和田雅行ほか 3 名：広島県立総合技術研究所東部工業技術センター研究報告, 26, 1-4 (2013).
- 3) トランジスタ技術編集部編：高輝度／パワーLED の活用テクニック, CQ 出版, 2008, p.22.
- 4) リニアテクノロジー編：LT3763 データシート, リニアテクノロジー社, p.14.
- 5) LED 照明推進協議会編：LED 照明ハンドブック, オーム社, 2006, p.51.