

パルスレーザーラマン散乱法による照明用LEDモジュールのチップ温度計測に関する研究

堀内, 誠

<https://hdl.handle.net/2324/2236269>

出版情報 : Kyushu University, 2018, 博士 (工学), 課程博士

バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (3)

氏 名 : 堀内 誠

論 文 名 : パルスレーザーラマン散乱法による照明用LEDモジュールの
チップ温度計測に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

蛍光灯を超える発光効率・寿命など優れた経済性を有するLED (Light Emitting diode) の照明用光源としての普及が加速的に進んでいる。それとともに、照らすだけではなく、安全性、快適性や利便性といった生活に関わる多くの役割への期待が非常に高くなっている。照明用途においては、比較的小サイズのLEDチップを、その光量(光束)を30lm程度に制限することで、高い発光効率、長寿命を有する優れた経済性を達成する。その一方で、大光量を得るために複数チップをアルミナ基板上に直・並列に接続、集積化してモジュール化し、大きな電力・電流で使用する。このようなLEDモジュールではチップの発熱密度が約 2.5 W/cm^2 にも達するため、適切な放熱対策が無ければLEDチップの温度が過度に上昇し、期待される経済性に非常に悪影響を及ぼす。従ってLEDの経済性を最大限に発揮するためには、照明用LEDのデバイス開発において、LEDモジュールのチップ温度、及びデバイス各部の精密な温度分布の計測と、その計測結果を基にしたデバイス全体の放熱設計が最大のミッションとなっている。しかしながら、従来技術では動作中のLEDモジュールの各チップの温度を*in-situ*計測する事は困難であり、有効な方法の確立が切望されている。

パルスレーザーラマン散乱法は、パルスレーザー生起のラマン散乱光のスペクトルプロファイルから応力や結晶性など様々な物性を調べる計測手法であり、LEDチップを構成するGaN層からのラマン散乱光(E_2^H モード)に関しては、そのラマンシフトの温度依存性からチップ温度の推定が可能である。入射光としてナノ秒パルスレーザーを使用することで、LEDモジュールがレーザー入射系及び受光系のオプティクスから離れている場合においても、LEDチップからの微弱なラマン散乱信号を検出するのに十分なレーザーパワー密度を達成でき、リモートでかつ複数箇所の測定を同時に行える性能を有する。またゲート機能付きICCDカメラのような高時間分解能を有する光検出器と組み合わせれば、LED自身の強い放射光などの外乱光の影響を除去することも可能である。

本論文は、論文提出者がこのようなパルスレーザーラマン散乱法の優れた特徴に着目し、ナノ秒パルスレーザー生起のラマン散乱光を高時間分解分光システムにより検知し、外乱光に強く、リモート測定可能で*in-situ*なLEDチップの温度計測システムを構築することを目的として行った研究成果をまとめたものであり、第1章から第7章までで構成されている。

第1章では、まず本研究の目的と意義を説明した後、その背景となる照明用光源の歴史、及び照明用LEDの概要と現状について詳述した。その中でLEDの特性がチップ温度に強く依存していること、およびLEDチップの温度計測法として適用可能な従来法の特徴と課題について明記した。

第2章では、まずラマン散乱の基礎的事項を説明し、GaNのラマンスペクトルの温度依存性について述べた。更に、LEDチップを構成するGaN系層からレーザーラマン散乱光を検出し、チップ温度を計測するシステムの概要を述べ、必要な入射レーザー及び受光システムのスペックについて検討した。

第3章では、三次元熱流体シミュレーション(CFD)により、照明用LEDチップの内部の温度分布を求め、フェイスアップタイプに関しては、ラマン散乱法によって得られるチップの平均温度で接合部(活性層)の温度を1K以内の誤差で推定できることを明らかにした。また、青色チップが複数実装された蛍光体樹脂のないLEDモジュールの温度分布が約20Kの不均一性を有する事から、測定精度が±10K以下となる温度計測システムが要求される事を示した。

第4章では、ナノ秒パルスレーザー及び高時間分解能の光検出器と組み合わせ、強い外乱光の影響を除去したパルスレーザーラマン散乱計測システムを新たに構築した。構築したシステムを用いて、蛍光体樹脂のない青色LEDチップのGaN層 E_2^H モードラマンスペクトルを観測し、ラマンシフトの温度依存性から動作中のLEDチップの温度推定に成功した。さらに照射パターンをシート状としたレーザーラマン計測システムにより、動作中の蛍光体樹脂のない青色LEDモジュール内の複数チップの温度同時推定に世界で初めて成功した。これらにより、本計測システムが二次元的にリモート測定可能な照明用LEDモジュールのチップ温度の*in-situ*計測法として非常に有用であることを示した。

第5章では、表面に蛍光体樹脂がコートされた青色LEDモジュール(白色LEDモジュール)の動作中のチップ温度を計測可能とするシステムの検討を行った。蛍光体樹脂の吸収・発光特性を考慮し、入射レーザー光の波長を適切に選択することで、蛍光体樹脂によるレーザー光や散乱光の減衰、及びレーザー光による蛍光体の励起発光の影響が抑制できることを明らかにした。適切に波長選択したレーザー光を用いたパルスレーザーラマン散乱計測システムにより、世界で初めて、動作中の蛍光体樹脂のある青色LEDチップからGaN- E_2^H モードのラマン信号を検出し、そのチップ温度の推定に成功した。また、白色LEDモジュールの青色LEDモジュールに対するチップ温度の上昇(約26K)と、CFDにより推定した蛍光体樹脂のストークスシフト損失によるチップ温度上昇(20K)がほぼ一致し、実験で得られたチップ温度の妥当性を示した。これらにより、本システムが、二次元的にリモート測定可能な白色LEDモジュールのチップ温度の*in-situ*な計測法になる得ることを示した。

第6章では、二回折格子分光器の導入による分散能の向上、及び受光系と分光器内光学系の改善による信号強度増大を同時に達成し、±4Kの精度でチップ温度を計測できるパルスレーザーラマン散乱計測システムを構築した。構築したラマン散乱計測システムにより、照明用LEDモジュールにおける動作中のLEDチップの温度と熱電対によるモジュール表面温度との関係を実験的に初めて明らかにした。本研究で構築したパルスレーザーラマン散乱計測システムが、実際の照明用LEDモジュールの熱特性評価や熱設計に非常に有用なツールであることを示した。

最後に第7章において本論文の総括及び今後の展望について述べた。