

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01429

研究課題名(和文)窒化物半導体照明ノパワーデバイスの温度及び歪みの2次元分布計測法の開発

研究課題名(英文) Development of measurement method for temperature/strain distribution in light-emitting and electric-power devices of nitride semiconductor

研究代表者

山形 幸彦 (Yamagata, Yukihiro)

九州大学・総合理工学研究院・准教授

研究者番号：70239862

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：パルスレーザーラマン散乱による窒化物半導体デバイスの温度/歪みのリモート計測法の開発を目指した。高感度、高波長分解計測システム構築とスペクトルフィッティングによる波長精度向上により、従来の5倍の精度 $\pm 4^\circ\text{C}$ を達成し、動作中の照明用LEDモジュールで熱抵抗値を初めて実測した。また、LEDモジュールの動作条件が温度分布や発光効率等の光放射特性に及ぼす影響を一部定量的に解明した。Vf法、熱電対法がLEDチップ毎に適用可能な標準LEDモジュールでの計測と熱シミュレーションとの比較検討により、各法の校正とデバイス開発の際のキーパラメータの抽出を行い、2D分布計測法開発の課題点とそれらの解決法を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

パルスレーザーラマン散乱(PLRS)法による窒化物半導体デバイスの温度/歪みのリモート計測法の可能性が示せたことは学術的、産業的に意義が大きい。今後PLRS法による面内方向、深さ方向の同時的2D分布計測には更なる測定精度の向上と可測範囲の拡大が必要となるが、これらはパルスレーザーの波長安定化と狭帯域化、分光システムの波長決定精度及び受光感度の向上により達成可能である。さらに、Vf法や熱電対法により熱シミュレーションに必要な実計測データの提供やデータ取り扱いのキーポイントも示せたことから、窒化物半導体デバイスの温度/歪みの設計に重要となる成果を示せた。

研究成果の概要(英文)：A remote measurement system for temperature/strain of the nitride semiconductor devices using the pulsed-laser Raman scattering were developed. The accuracy of $\pm 4^\circ\text{C}$ was achieved by a high spectral resolution system and the precise comparison of the observed spectrum with the theoretical one. The thermal resistance of an actual lighting LED module during operation was measured for the first time. The influence of the operation condition of the module on the temperature distribution and on the light emission characteristics such as the luminous efficiency was quantitatively clarified in part. By comparison of the experimental result with the simulation result in the standard LED module of which the Vf method and the thermocouple method could apply every LED tip, the extraction of the key parameter to design/development of nitride semiconductor devices were done. The problems and the solution to the development of the 2D measurement system were also shown.

研究分野：レーザー応用計測

キーワード：パルスレーザー ラマン散乱 GaN LEDモジュール ジャンクション温度 2次元計測 歪み 窒化物半導体

1. 研究開始当初の背景

(1) ワイドギャップ半導体は LED や LD の発光素子、パワーデバイスとして省エネを担う基幹技術として精力的に研究・開発が行われている。特に窒化物半導体は、最近 GaN on GaN デバイスで SiC の理論限界を超える特性が得られるなど特に注目されている。それらのデバイス開発では、大電流動作下での高効率化、長寿命化、高安定動作が強い要求事項としてある。例えば LED の単一チップで効率 250 lm/W、寿命 5 万 h 超でも、複数チップでモジュール（集積）化した場合、大電流動作とも合わせて、接合（発光）部の温度上昇により、効率の半減、寿命の著しい低下（例えば 150°C で 5 万 h 以上が 190°C では 1 千 h 以下）が起こる。そのため、接合部、及びモジュールの精密な温度分布測定とそれを基にした全体の放熱設計がデバイス開発の最重要仮題である。現在まで、経験に基づく試行錯誤的なデバイス開発が先行しているが、レーザーダイオード (LD) の市場投入や、省エネや居住者の心理効果に応じたスマートライティング、スペクトル制御による農産物発育促進、野菜工場等、照明用デバイスの新たな分野、機能への応用が脚光を浴びてきた。そのため、2 次元温度分布計測法開発の重要性、及び緊急性が再認識され、学術的な見解を基にしたモジュールの基礎設計指針が強く求められている。

(2) 一般的に温度計測には熱電対、放射温度計、 V_f 法や顕微ラマン法が用いられている。熱電対では間接計測である事に加え、各部位の熱容量、熱伝導率や形状に起因する測定誤差が大きく、複数点の同時計測では配線が煩雑となり、デバイス全体の温度分布計測は非常に困難である。放射温度計は LED の大きな自発光が外乱となり、また材料物性や表面状態に大きく依存する分光放射率の不正確性から十分な測定精度を確保できない。デバイスの $V-I$ 特性から接合部温度を推定する V_f 法は 1 デバイスの計測には有効であるが、LED が多数接続されたモジュール等では全体の平均的温度となる。レーザー照射領域を極小とすることで温度・歪み計測が可能となる顕微ラマン法は、対物レンズ・試料間距離や測定可能範囲が小さく（それぞれ 1mm 程度、 ϕ 1cm 程度）、リモート計測は非常に困難である。この様に既存手法では、測定精度の問題や動作中デバイスの複数同時計測の困難性があり、デバイス全体の温度／歪みの分布計測は国内外を問わずできておらず、標準的な温度計測法はまだ確立されていない。

(3) この様な状況下で近年、申請者らはパルスレーザーラマン散乱法による窒化物半導体で構成された LED 接合部のリモート温度計測システムを開発した。短パルス（～数 ns）レーザー使用の利点は、レーザーエネルギーが小さく（mJ オーダー）、照射面積が比較的大きく（ cm^2 オーダー）でも、①ラマン散乱に十分なレーザーパワー密度（ W/cm^2 、信号強度に比例）を達成できる、②レーザー同期のゲート機構付受光システムにより強い外乱光の影響を排除できる、③スイッチング時などの経時変化追跡（パルス応答）が可能となる、④レーザー入射による温度上昇を抑制できる点である。これらにより、動作中の LED チップのジャンクション温度を入射系、受光系を被測定対象から離れたリモート計測を実現、白色 LED の接合部温度計測が可能である事、及び複数チップの同時計測が可能である事を、国内外で初めて示した。しかしながら、照明用 LED やパワーデバイスの温度／歪み分布の実計測を通じて放熱設計指針を提示するには、測定精度の向上やラマン信号強度増大等の実験上の課題の克服、及びシミュレーションコード開発による温度／歪み分布予測と測定結果との比較によるキーパラメータの抽出が必要不可欠である。

2. 研究の目的

本課題研究では、申請者らが開発した、広範囲にレーザー照射可能でリモートシステムであるパルスレーザーラマン散乱 (PLRS) 法による LED の接合部温度計測システムをさらに発展させ、窒化物半導体デバイスの温度／歪みの高精度、高時間・空間分解 2 次元 (2D) 計測システムを構築する事を目的とする。PLRS 法において、レーザーをシート状にして被測定対象へ照射し、それを分光器の入りロスリットの長さ方向に沿って結像させる事でラマンスペクトルの 1 次元分布を同時取得できる。これを垂直方向に掃引することで、面内 2D 分布計測を可能とする。構築した 2D 計測システムにより、主には、照明用 LED モジュールにおいて、他の温度計測法やシミュレーションによる温度解析結果との比較・検討が可能な標準モジュール、及び温度傾斜モジュールでの面内 2D 計測を通じて、蛍光体や動作条件がモジュールの温度分布や LED の発光特性に及ぼす影響を定量的に明らかにする。また、レーザーの緩やかな集光で深さ方向に一樣なパワー密度となる条件下で、深さ方向に積算された観測スペクトルから、逆問題解析により各深さでのスペクトルに分離できれば、深さ方向の情報を取得出来る。これをシート状ビーム計測システムと合わせて、デバイスの厚み方向の温度／歪みの断面 2D 分布計測システムの構築を目指す。この様に、構築した 2D 計測システムによる動作中の各種窒化物半導体デバイスの実計測とシミュレーション結果との比較を通じたキーパラメータ抽出による放熱設計指針の確立を目的とした研究を行う。

3. 研究の方法

(1) 本課題研究では、パルスレーザー照射による窒化物半導体 (GaN) 層からのラマン散乱光 (E_2^H モード) を観測し、ラマンピークの波長シフト量から、動作中のデバイスの接合部の温度や歪みを計測する。レーザー入射及びラマン散乱光受光を、LED 表面に垂直で同軸とするコアキシャル計測システムにおいて、微弱ラマン光の高感度、高波長分解計測システムの設計と構築、及びスペクトルフィッティングによる波長決定精度の向上を行い、PLRS 法による窒化物半導体デバイスの温度/歪み測定の高精度化を行った。構築したシステムは蛍光樹脂無し青色 LED モジュールの接合部温度計測を通じて、その性能評価を行った。具体的には、大型で高反射率・高波長分散回折格子の加分散ダブル配置、大口径 ($\phi 80$ mm) アクロマートレンズや高感度、小ピクセルサイズ ICCD カメラの導入等により高感度化と高精度化を同時に達成する分光システムを構築した。表 1 に構築した分光システムと従来システムのスペックを示す。図 1 に示す実験装置配置図において、インジェクションシードの Nd:YAG レーザーの第 2 高調波 (SHG: 532 nm) をシート状にして、青色 LED モジュール (図 2(a)) 上の複数チップに垂直入射し、LED チップの GaN 層からのラマン散乱光 (E_2^H) を観測した。さらに、理論的なラマンスペクトル拡がりとはレーザーのスペクトル拡がりも合わせた装置拡がりとをコンボリューションして、観測されたスペクトルと比較し、ラマンピークシフトの中心波長を精度良く求めることで、温度/歪みの測定精度を向上させた。

(2) 一般的に用いられる V_f (順方向電圧) 法で、複数チップの平均的温度しか計測できない欠点を克服するため、既存市販品の LED を利用して、 V_f 法、及び熱電対 (TC) によりチップ毎に高精度な温度測定が可能な標準 LED モジュールを作製した。作成した標準 LED モジュールは図 2(b) に示すように 20 チップ (5 直列×4 並列) であり、これにより接合部温度に関して、 V_f 法による実測値と、TC 法で測定した基板温度と熱抵抗値からの推定値との比較検討を可能とした。標準 LED モジュールは、日亜化学工業 (株) の表面実装型の青色 LED (NE2B757GT) を使用し、アルミニウムベース基板上に実装したものである。標準 LED モジュールへの駆動電流投入から十分な時間 (10 分以上) の経過後に off とし、その間の測定電流 (3 mA) により順方向電圧 (V_f) を測定した。駆動電流源、及び測定電流源はともに高精度定電流電源 (KEITHLEY 社 2280S-60-3) を用いた。また、2D 温度計測システム評価のため、標準 LED モジュールを図 3 に示すように温度傾斜させ、接合部温度計測を行った。さらに、LED チップの発光部をリッジ構造として模擬し、熱流体シミュレーション (CFD) を用いて、市販の表面実装型 LED モジュール (32 チップ、及び 425 チップ) の発熱量 (接合部温度) を規格値で推定して動作時の熱解析を行った。

表 1. 新たに構築した加分散型ダブル分光システムのスペック表

| | 従来型分光システム | 新設計ダブル分光システム |
|-------------|----------------------------|--------------------------------|
| 回折格子 | 1800本/mm H55 mm×W65 mm | 2400本/mm, H70 mm×W79 mm, 2個 |
| 入射スリット幅 | 40 μ m - 100 μ m | 40 μ m - 100 μ m |
| 受光レンズ | $\phi 50$ mm, $f = 120$ mm | $\phi 80$ mm, $f = 150$ mm |
| コリメートレンズ | $\phi 60$ mm, $f = 250$ mm | $\phi 80$ mm, $f = 200$ mm |
| カメラレンズ | $\phi 60$ mm, $f = 600$ mm | $\phi 80$ mm, $f = 500$ mm |
| ICCDピクセルサイズ | 13.5 μ m | 9.7 μ m |
| 逆線分散 (計算値) | 0.836 nm/mm | 0.317 nm/mm |

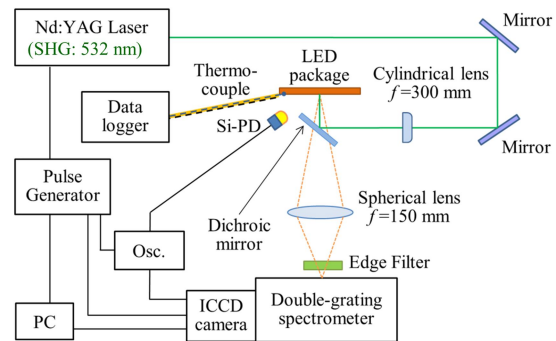
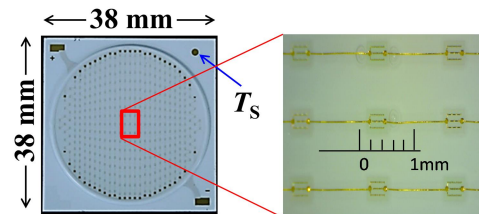
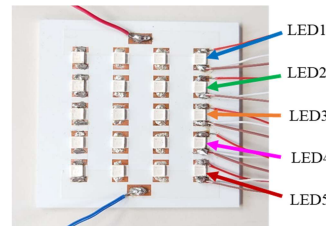


図 1. コアキシャル型パルスレーザーラマン散乱計測システムの実験装置図



(a) 大光量モジュール (425 個, 直 17×並 25)



(b) V_f 法適用モジュール (20 個, 直 5×並 4)

図 2. 測定用の照明用青色 LED モジュール

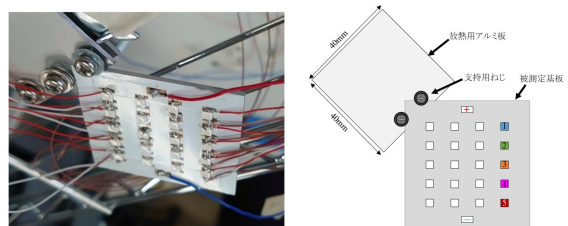


図 3. 温度傾斜配置させた標準 LED モジュール

4. 研究成果

(1) 新たに構築した加分散型ダブル分光システムを実際の照明用青色 LED モジュール（チップ数 425 個）に適用して観測した GaN- E_2^H ラマンスペクトルとフィッティング解析によるラマンピーク波長の推定結果の一例を図 4 に示す。この時の分光器の入口スリット幅は $40 \mu\text{m}$ であり、同条件での従来システムの場合に比べて、受光光量は約 3 倍、受光器 1 ピクセル当たりの波長幅は約 3.7 倍に改善された。スペクトルフィッティング操作により ICCD の 1 ピクセルの実サイズ以下の決定精度でピーク波長を推定でき、スリット幅 $40 \mu\text{m}$ の場合の精度は約 $\pm 4 \text{ pm}$ ($\pm 0.06 \text{ cm}^{-1}$) と推定された。300-450 K の温度領域のラマンピークシフトの温度傾斜 66 K/cm^{-1} から温度測定誤差は $\pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$ となり、従来システム ($\pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$) に比べて大幅に改善された。図 5 に実際の照明用青色 LED モジュール（チップ数 425 個）の入力電力 (W) に対する、PLRS 法により測定した中心 LED チップの接合部温度 T_j 、熱電対による測定値 T_s 、及び両者から算出した熱抵抗 ($R_{th}=(T_j-T_s)/W$) の結果を示す。図 5 から、入力電力の増加に伴って T_j 、 T_s ともに放物線状に高くなっていることがわかる。一方で、熱抵抗も入力電圧に対して一定とならず増加している。従来は測定が困難であった熱抵抗値の実測に成功し、接合部温度とモジュール表面温度の関係を実験的に初めて明確化するとともに、入力電力によって LED モジュール内の熱伝導の様相、即ち温度分布が大きく変化している事を示した。図 6 に PLRS 法により測定した青色 LED モジュールの中心部及び端部の接合部温度 T_c 、 T_e と各チップの発光効率の依存性を示す。各チップとも、発光効率は接合部温度上昇とともに、約 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ までは急激な減少、その後は定格動作時を含めて $150 \text{ }^\circ\text{C}$ を越える辺りまではほぼ一定となっており、今回、チップ毎の接合部温度と発光効率の関係を実験的に初めて示した。

(2) 3D 熱流体シミュレーション (CFD) を用いて、PLRS 法により測定した青色 LED モジュール (425 チップ) の発熱量 (接合部温度) を規格値で推定して動作時の熱解析を行った温度分布シミュレーション結果の一例を図 7(a) に示す。解析に用いた LED モジュールの定格電力は 80 W であるが、モジュール面内の温度分布を急峻にするため定格値以上の結果を示している。シミュレーション結果からモジュール中心部の接合部温度 $T_c=187 \text{ }^\circ\text{C}$ に比べて、端部は $T_e=169 \text{ }^\circ\text{C}$ で温度差 $\Delta T=18 \text{ }^\circ\text{C}$ となった。一方で、図 7(b) に示すように、PLRS 法での実測結果は、中心部の接合部温度 $T_c=187 \text{ }^\circ\text{C}$ の場合、 $\Delta T=40 \text{ }^\circ\text{C}$ でシミュレーション結果の約 2 倍と大きな差異が見られた。このことから、3D 熱流体シミュレーションにおいても実際の照明用 LED モジュールの温度分布が示されておらず、各箇所での温度の実測測定の必要性が改めて示された。

(3) 作製した標準 LED モジュールにおける、各 LED チップの V_f 法による接合部温度 (T_j , ●マーカー), 及び TC 法で計測した各 LED チップの接合部と近接した下部電極の温度 (T_s , ○マーカー) の入力電流依存性の一例を図 8 に示す。図中の横軸 L の値 ($10 \text{ mm} \sim 40 \text{ mm}$) はそれぞれ LED1 ~ LED5 に対応している。予備実験から V_f 法による T_j 測定の誤差は $\pm 1.1 \text{ }^\circ\text{C}$ であった。また、1 チップの特性変化がモジュール全体の測定値に大きく影響を与える事を明らかにした。図 8 より何れの入力電流においても、LED1 ~ LED5 の T_j の測定値は平均値に対して $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ となっている。また、各 LED チップの T_s の値は何れも T_j に比べて $2 \sim 10 \text{ }^\circ\text{C}$ 低い値となった。 T_j 、及び T_s の測定値から算出した各 LED チップの熱抵抗 R_{th} を表 2 (動作電流: $1,120 \text{ mA}$) に示す。LED チップのカタログ値 $26 \text{ }^\circ\text{C/W}$ に比べ、実測値は約 $1/2 \sim 1/4$ の小さい値となった。一方

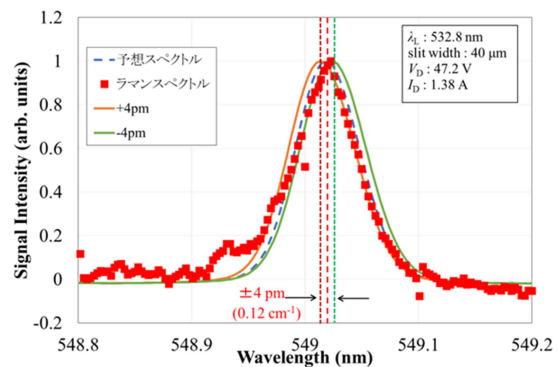


図 4. 新構築分光システムで計測した GaN- E_2^H ラマンスペクトルとフィッティング解析結果

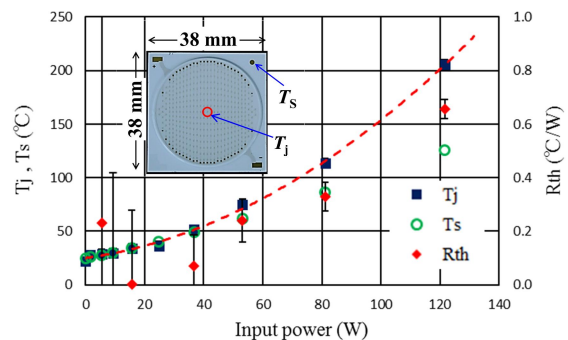


図 5. 青色 LED モジュールの接合部温度 T_j 、表面温度 T_s 、熱抵抗 R_{th} の入力電力依存性

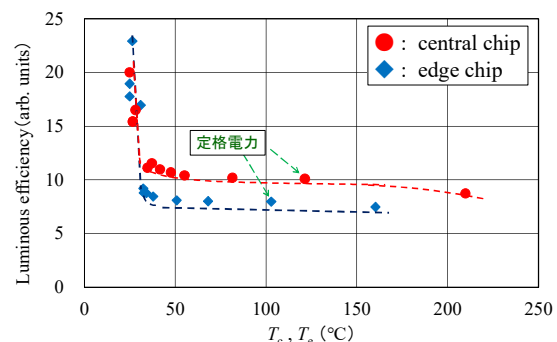
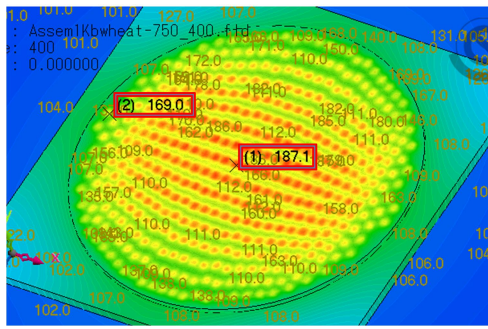
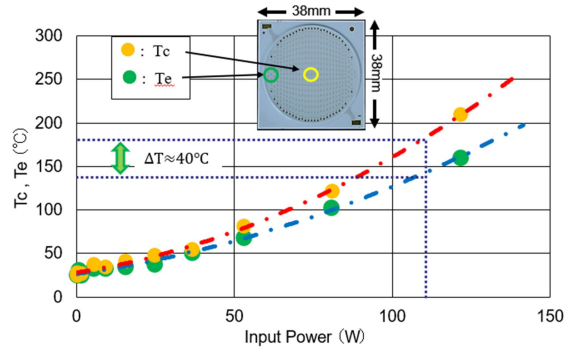


図 6. 青色 LED モジュールの中心部、及び端部の接合部温度 T_c 、 T_e と発光効率の依存性



(a) シミュレーション結果



(b) PLRS 法による温度計測結果

図 7. 青色 LED モジュール温度のシミュレーション結果と PLRS 法による実測結果の比較

で、LED 実装基板等の熱伝導率や熱損失割合を用いた熱シミュレーション解析結果は TC 法による実測結果とほぼ一致した。多数のチップが直並列接続された実際の照明用 LED モジュールにおいて、モジュール一体として V_f 法を適用する場合はそれらの平均的温度しか計測できず、モジュール内に温度分布が生じている場合の特性評価は非常に難しい事から、その開発・設計の際にはカタログ値ではなく実測値の使用が非常に重要である事を改めて示された。図 3 で示した温度傾斜配置させた場合の標準 LED モジュールの T_s の電流依存性を図 9 に示す。図中の横軸は、図 3 の左上の放熱板設置位置からの各 LED チップまでの距離、●は TC 法による実測値、○は T_j と実測熱抵抗値からの推定値を表している。何れの場合も TC 法による実測値と、 T_j と実測 R_{th} からの推定値は非常に良く一致している。一方で、図 8 にも示されているように、入力電流が一定の場合、各 LED 間の T_j の最大の温度差は 3.1°C 以下となった。

(4) PLRS 法で温度測定誤差は $\pm 4^\circ\text{C}$ を有するシステムを構築し、これにより、動作中の照明用 LED モジュールでの熱抵抗値を初めて計測するとともに、LED モジュールの動作条件変化がチップ温度分布や発光効率等の光放射特性に及ぼす影響を一部定量的に解明した。また、構築した標準 LED モジュールでの検討により、 V_f 法、TC 法による実測結果、及び熱シミュレーションによる解析結果はほぼ一致するが、1 チップの特性変化が測定値に大きく影響を与えている事を明らかにした。熱シミュレーションに必要な実計測データを提供するとともに、 V_f 法、TC 法の PLRS 法による校正と各法のキーパラメータを抽出した。PLRS 法による 2D 分布計測に関しては、標準 LED モジュールの最大温度差 (3.1°C) が測定誤差は $\pm 4^\circ\text{C}$ より小さいため測定は出来なかった。一方で、市販型の LED モジュールでは、PLRS 法の可測範囲 ($\sim 20\text{mm}$) から外れた位置にある LED チップでは、それらの温度差が観測可能 (最大差 40°C) であり、システム全体にスキャン機構を具備すれば計測可能になる事が明らかとなった。PLRS 法による深さ方向、面内方向の可測範囲 (それぞれ最大 $10\ \mu\text{m}$, 20mm) 内での温度/歪み分布計測には $\pm 1^\circ\text{C}$ 以下の測定精度が必要となる。これを克服し、窒化物半導体照明/パワーデバイスの温度/歪みの 2 次元計測システムを構築するには、パルスレーザー波長安定化と狭帯域化、及び分光システムの波長決定精度の向上が必須である事を明らかにした。

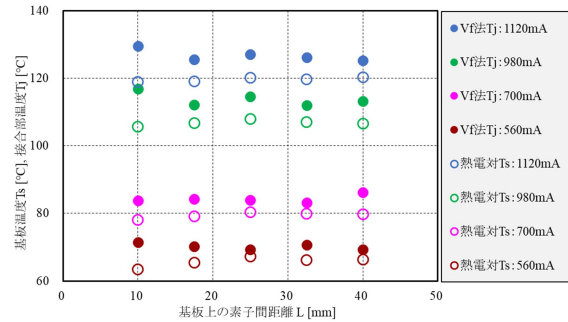


図 8. 標準 LED モジュールの基板温度(T_s)と接合部温度(T_j)の電流依存性

表 2. V_f 法及び TC 法から求めた各 LED の熱抵抗 (動作電流 $1,120\text{mA}$)

| | LED1 | LED2 | LED3 | LED4 | LED5 | カタログ値 |
|--|------|------|------|------|------|-------|
| 熱抵抗 R_{th} ($^\circ\text{C}/\text{W}$) | 12.1 | 7.6 | 8.0 | 7.8 | 5.8 | 26 |

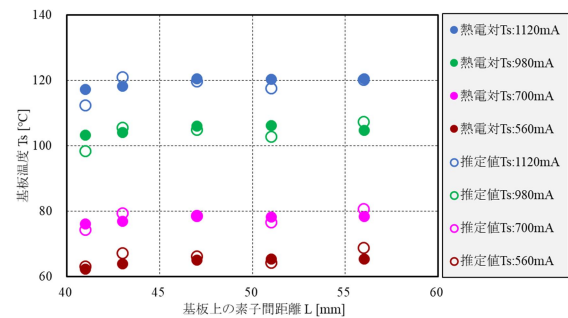


図 9. 温度傾斜配置による標準 LED モジュールの T_s の電流依存性 (●は TC 法による実測値, ○は T_j と実測熱抵抗値からの推定値)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

| | |
|--|-------------------|
| 1. 著者名 M. Horiuchi, K. Miura, T. Shimada, Y. Manabe, Y. Yamagata | 4. 巻 Th4.4.10 |
| 2. 論文標題 Comparative study of temperature measurement in a blue-LED package by using pulsed-laser Raman scattering and thermocouple method | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the 16th International Symposium on the Science and Technology of Lighting (June 17-22, 2018, Sheffield University, UK) | 6. 最初と最後の頁 1-2 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 1件／うち国際学会 0件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 三浦佳佑, 三好航平, 山形幸彦, 堀内 誠, 真鍋由雄, 嶋田賢男 |
| 2. 発表標題 パルスレーザーラマン散乱法による青色LEDモジュールの温度計測と発光特性評価 |
| 3. 学会等名 2019年度第52回照明学会全国大会（九州大学） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 坂口流源, 真鍋由雄, 西山政隆, 嶋田賢男, 山形幸彦 |
| 2. 発表標題 LED 光源の接合部温度測定法の開発 |
| 3. 学会等名 2019年度第52回照明学会全国大会（九州大学） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 三浦佳佑, 三好航平, 山形幸彦, 堀内 誠, 真鍋由雄, 嶋田賢男 |
| 2. 発表標題 青色LEDモジュールのPLRS法を用いた温度計測による発光特性評価 |
| 3. 学会等名 2019年度（第72回）電気・情報関係学会九州支部連合大会（九州工業大学） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 花本敬祐, 嶋田賢男, 眞鍋由雄, 山形幸彦 |
| 2. 発表標題 LED光源熱特性解析における熱係数の検討 |
| 3. 学会等名 計測自動制御学会中国支部 津山地区計測制御研究会 (津山圏域雇用労働センター) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山形幸彦 |
| 2. 発表標題 パルスレーザーラマン法によるLEDモジュールのチップ温度測定 |
| 3. 学会等名 平成30年度照明学会光源・照明システム分科会シンポジウム (神戸大学) (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 三浦佳佑, 山形幸彦, 堀内 誠, 眞鍋由雄, 嶋田賢 |
| 2. 発表標題 パルスレーザーラマン散乱法と熱電対法を用いた青色LEDパッケージの温度計測 |
| 3. 学会等名 平成30年度(第51回)照明学会全国大会 (神戸大学) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 三浦佳佑, 山形幸彦, 堀内 誠, 眞鍋由雄, 嶋田賢 |
| 2. 発表標題 パルスレーザーラマン散乱法と熱電対法を用いた青色LEDパッケージの熱特性評価 |
| 3. 学会等名 平成30年度(第71回)電気・情報関係学会九州支部連合大会 (大分大学) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 坂口流源, 眞鍋由雄, 岸部由佳, 三宅裕喜, 嶋田賢男, 山形幸彦 |
| 2. 発表標題 LED照明における接合部温度測定法の開発 |
| 3. 学会等名 平成30年度(第69回)電気・情報関連学会中国支部連合大会(広島市立大学) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 坂口流源, 眞鍋由雄, 岸部由佳, 三宅裕喜, 嶋田賢男, 山形幸彦 |
| 2. 発表標題 LED照明における接合部温度測定法の開発 |
| 3. 学会等名 計測自動制御学会中国支部 津山地区計測制御研究会平成30年度講演会(津山圏域雇用労働センター) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 花本敬祐, 原田洸輔, 嶋田賢男, 眞鍋由雄, 山形幸彦 |
| 2. 発表標題 LED光源開発のための熱特性解析 |
| 3. 学会等名 計測自動制御学会中国支部 津山地区計測制御研究会平成30年度講演会(津山圏域雇用労働センター) |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|--|
| 電離反応工学研究室 http://www.asei.kyushu-u.ac.jp/ep/ep04/jp/ |
|--|

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|---|----|
| 研究分担者 | 嶋田 賢男 (Shimada Takeo) (10628845) | 津山工業高等専門学校・総合理工学科・准教授 (55301) | |
| 研究分担者 | 眞鍋 由雄 (Manabe Yoshio) (30779898) | 津山工業高等専門学校・総合理工学科・特命教授 (55301) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
| | |