## 第71回 応用物理学会春季学術講演会 注目講演プレスリリース

2024年 3月 18日

積層型 InGaN フルカラーモノリシックマイクロ LED ディスプレイの実証
Demonstration of stacked InGaN full color monolithic micro LED display

# InGaN系のフルカラーモノリシックマイクロLEDを開発し ARデバイス向け超小型ディスプレイを実証

豊田合成株式会社
○五所野尾浩一, 奥野浩司, 大矢昌輝
E-mail: koichi.goshonoo@toyoda-gosei.co.jp

【発表概要】

- **発光材料に窒化インジウムガリウム（InGaN）を用いた、「積層型InGaNフルカラーモノリシックマイクロLEDディスプレイ」を開発**
- **駆動回路に接続し、ディスプレイ動作を確認**
- **拡張現実（AR）デバイスやウェアラブルデバイスなど、数ミリ角の超小型高精細ディスプレイが求められるデバイスへの幅広い応用可能性がある。**

豊田合成株式会社の五所野尾浩一氏らは、発光材料に窒化インジウムガリウム（InGaN）を用いた、「積層型InGaNフルカラーモノリシックマイクロLEDディスプレイ」の開発と実証に成功した。五所野尾氏らは、エッチングと再成長を繰り返すことで、同一素子内において、n型層とp型層の間にRGBのInGaN発光層を持つ独自のメサ構造を構成するアプローチを採用し、InGaN系のフルカラーモノリシックマイクロLEDを作製。実際にディスプレイに実装し駆動することで、ディスプレイとしてフルカラーで動作することを確認した。本研究はInGaN系モノリシックマイクロLED技術の先駆けであり、拡張現実（AR）デバイスやウェアラブルデバイスなど、数ミリ角の超小型高精細ディスプレイが求められるデバイスへの幅広い応用可能性がある。

【詳細】

## 超小型・高精細を実現するモノリシックマイクロLED

アメリカのIT大手アップルが 「空間コンピューティング」として発売し、その高価な価格帯も話題となったヘッドセット「Vision Pro」、さらにアメリカのメタの仮想現実（VR）・複合現実（MR）ヘッドセット「Meta Quest 3」などウェアラブルデバイスも話題だ。昨今、いわゆる拡張現実（AR）デバイスの研究開発が進んでおり、インタラクティブなショールーム、拡張現実を利用した手術や医療教育、eラーニングアプリ、プロフェッショナルトレーニングなど、多岐にわたる応用分野が期待されている。

視覚を利用した拡張現実（AR）デバイス、広くはHMDなどのウェアラブルデバイスにおいて重要な、超小型の高精細ディスプレイとしての実用化を前提として研究が進められているのが、窒化インジウムガリウム（InGaN）系を発光材料に用いた「モノリシックマイクロLED」だ。マイクロLEDには大きく分けて「ディスクリート」と「モノリシック」という分類がある。ディスクリートは、画素（RGB）ごとの個別のLEDチップを組み合わせ、ディスプレイを構成するアプローチだ。超大型のサイネージなど、直視するディスプレイの作製に向いている。一方のモノリシックは、多数の画素をひとつのLEDチップとして構成するアプローチであり、ウェハから切り出せば、そのままディスプレイとして実装できるという特長を持ち、超小型のディスプレイを構成することに向いている。

「モノリシックマイクロLEDは、数ミリ角の非常に小さなディスプレイを作製可能で、新しい拡張現実（AR）デバイスなどへの応用が期待できます。たとえば実際の現実の上に、映像をレイヤーのように重ね、目に直接投影できるような応用が想定されます。私たちは、モノリシックマイクロLEDにおいて課題となっていたフルカラー化技術の確立に向けた研究を進めてきました」と豊田合成株式会社の五所野尾浩一氏は話す。

## 単一素子内でRGBの発光を実現する独自のメサ構造

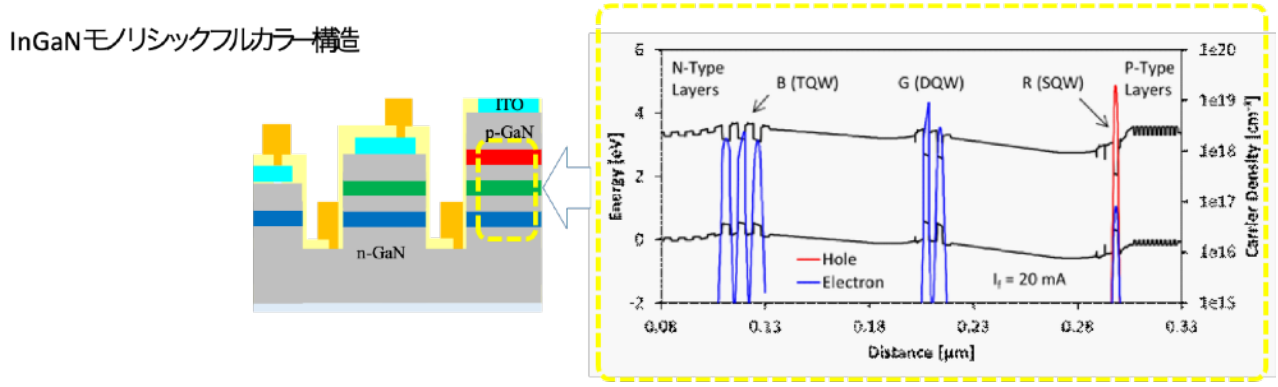


図1:（左）InGanモノリシックフルカラー構造（右）赤色発光領域のシミュレーション。赤色発光層のみでキャリアの再結合が起きている

研究グループは、ドライエッチング（イオンの化学反応によって、薄膜の形状を加工する手法）とInGaN結晶の再成長を繰り返すことで、同一素子内において、n型層とp型層の間にRGBの発光層を持つ独自のメサ構造を構成するというアプローチで、モノリシックマイクロLEDのフルカラー化を試みた（図1）。

「n型層とp型層の間にRGBの発光層を入れるという発想は、過去に先行研究がありました。それは、電流によりキャリアが再結合する発光層を変え、発光色を制御するというものでした。私たちは、エッチングにより発光層を除去することで、同一素子で位置により異なる色で発光ができるのではないか、また各色の発光層間の構造を工夫することで広い電流域で安定した発光色となるのでないか、という発想で研究を進めていきました。」（五所野尾）

同研究グループは、サファイア基板を使用し、MOCVD装置（有機金属やガスによって、化合物半導体の成膜を行う装置）を用いてn型窒化ガリウム（GaN）層上にRGBのInGaN発光層をエピタキシャル成長（半導体製造において一般的な薄膜結晶成長技術のひとつ）させた。次にリソグラフィ（半導体製造において、基板に対し回路図を転写する技術）とドライエッチングを行い、それぞれの中間層までエッチングした領域を製作。再度 MOCVD装置によってp型層を再成長させることで、RGBそれぞれの光を発光する領域を持つ、 pn接合型 LED構造を形成した。この積層構造により、RGBそれぞれの発光領域を同一の素子内に配置することを可能とし、カソード（電極）を共通化した。発光特性を評価すると、テレビにおける標準放送規格である「NTSC」を十分にカバーする色表現域を実現していることがわかる（図2）。

「構造がシンプルなため、通常の半導体プロセスで製作が可能であり、低コストと高精細化にも有利です。また、カソードが共通化されているので、駆動回路への負荷が低く、これも高精細化に有利な特徴だと考えられます」（五所野尾）

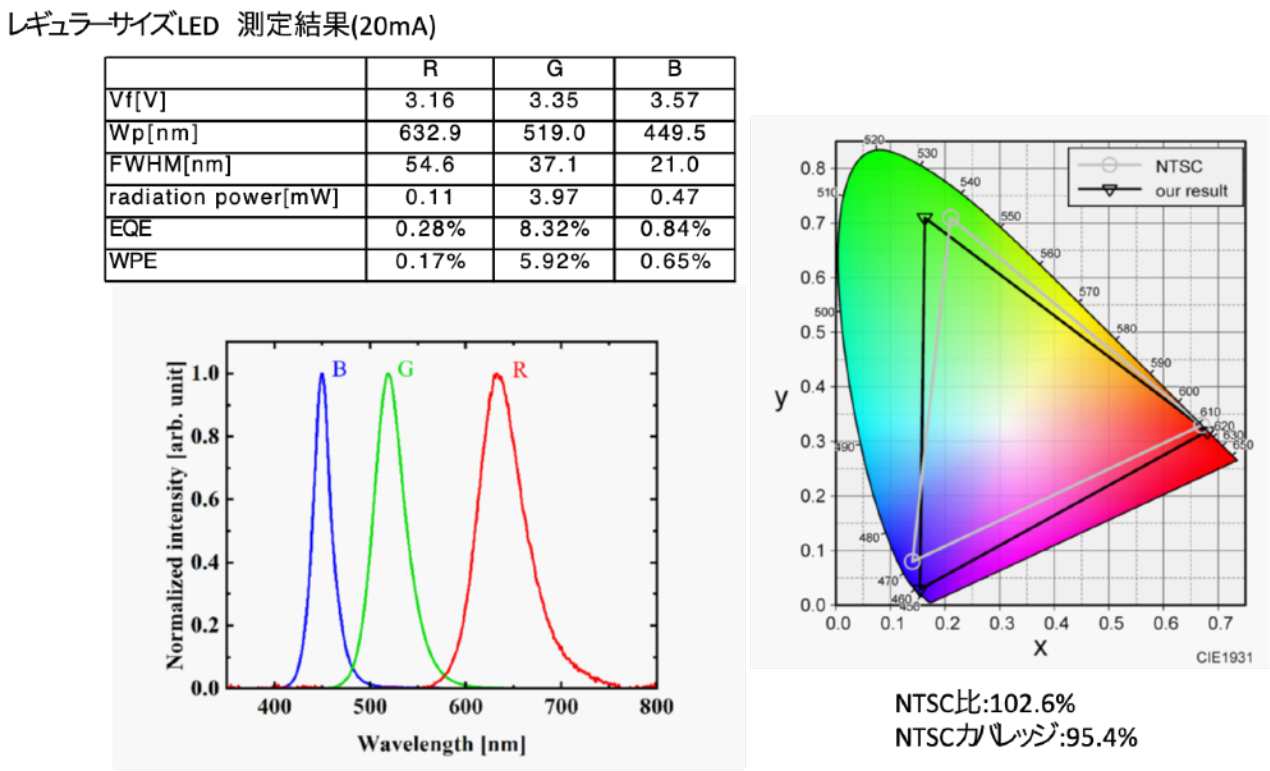


図2: 作製されたInGaN系フルカラーモノリシックマイクロLEDチップの発光特性の評価

## 駆動回路に接続し、ディスプレイ動作を確認

さらに研究グループは、作製したInGaN系フルカラーモノリシックマイクロLEDによって実際にディスプレイを作製（チップサイズ：1mm、ピクセルサイズ：30μm、ピクセル数：30x30）し、パッシブマトリクス方式（※）で駆動し、その動作を実証した（図3、図4）。

「実証の結果、各色が単一のピークで発光し、各画素を個別に駆動できることを確認しました。今後の課題としては、窒化インジウムガリウム（InGaN）共通の課題であるR（赤）の発光効率の向上と、エッチング・再成長界面における欠陥・不純物が原因と考えられるB（青）とG（緑）の発光効率低下の抑制が挙げられます」

この実証実験の成功は、フルカラーモノリシックマイクロLEDディスプレイ技術の実現可能性を示すものであり、将来のディスプレイ技術における重要な進歩を示していると言える。ディスプレイの小型化、省エネ化、および性能向上に貢献する同技術は、拡張現実（AR）デバイスやウェアラブルデバイスをはじめとする、小型高精細ディスプレイを用いるさまざまなアプリケーションへの応用が期待される。

※**パッシブマトリクス方式**　液晶パネルや有機ELパネルなどの一般的な駆動方式のひとつ。格子状の導線によって、配置された画素を点灯・消灯させて制御する。

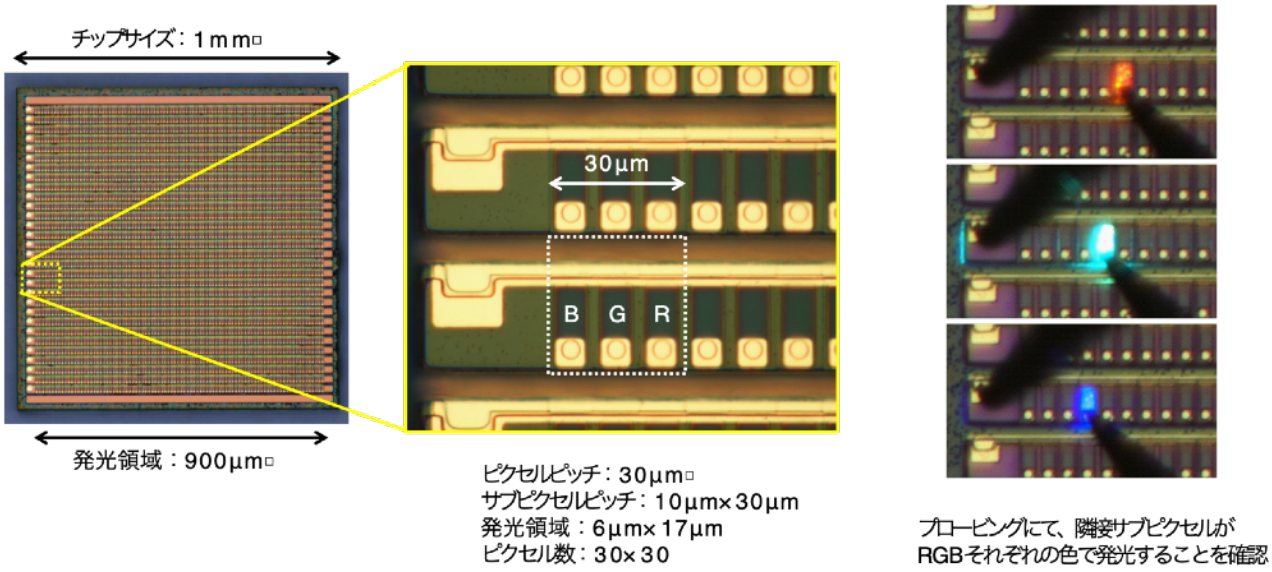


図3 作製されたInGaN系フルカラーモノリシックマイクロLEDチップ

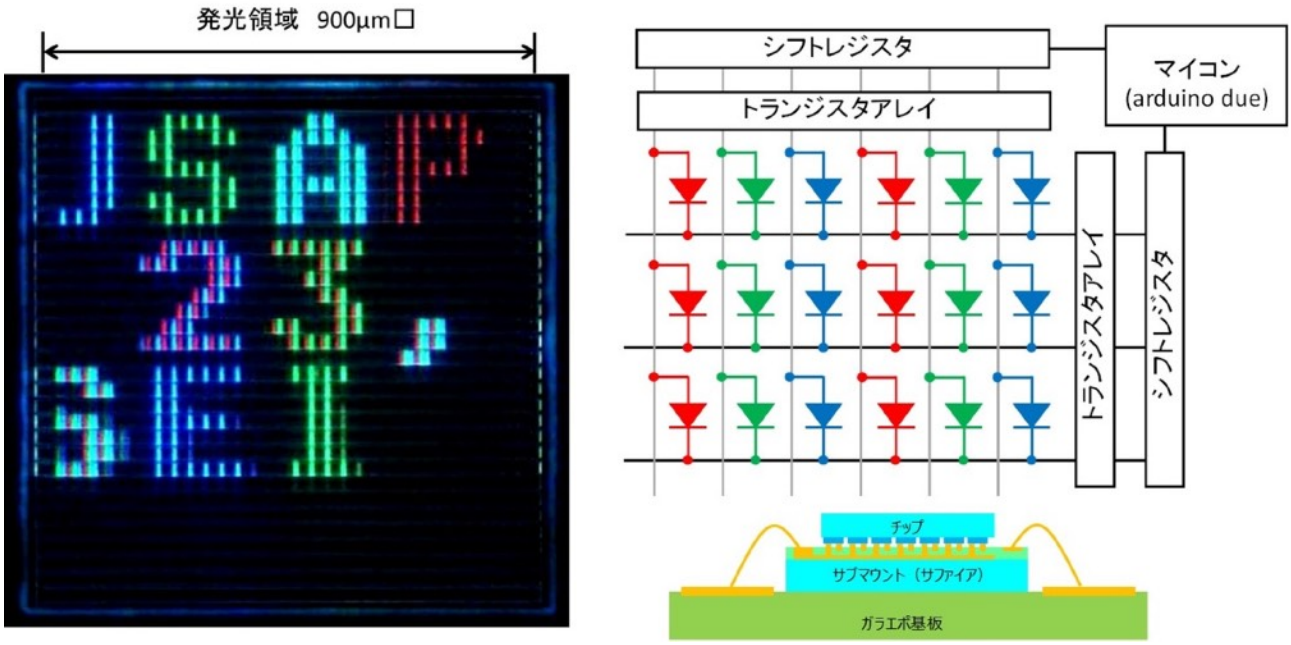


図4 InGaN系フルカラーモノリシックマイクロLEDディスプレイの駆動結果

【参考文献】

[1] K. Goshonoo, K. Okuno, and M. Ohya, Appl. Phys. Express 16, 082004 (2023).

[2] K. Okuno, K. Goshonoo, and M. Ohya, Phys. Status Solidi A 220, 2300181 (2023).