

## 窒化ガリウムマイクロLEDの発光効率を低電流密度で5倍に高効率化

## — 高効率・高解像度のマイクロLEDディスプレイの実現に一步前進 —

2019年7月3日

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

国立大学法人 東北大学

## ■ ポイント ■

- ・ 中性粒子ビームエッチング技術を用い、加工ダメージの極めて少ない GaN マイクロLED を作製
- ・ LED のサイズを 6 マイクロメートルまで小さくしても低電流密度での発光効率を維持
- ・ 高効率・高解像度のマイクロLEDディスプレイへの応用に期待

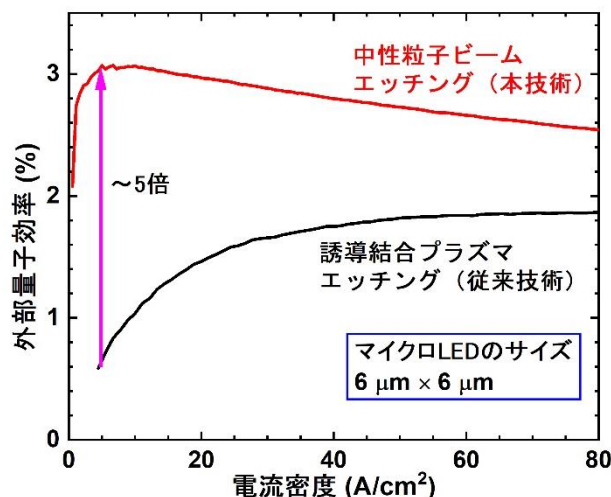
## ■ 概要 ■

国立研究開発法人 産業技術総合研究所【理事長 中鉢 良治】(以下「産総研」という)窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ【ラボ長 清水 三聡】GaN 光デバイスチーム 王 学論 ラボチーム長、電子光技術研究部門【研究部門長 森 雅彦】朱 俊 元客員研究員、ナノエレクトロニクス研究部門【研究部門長 中野 隆志】遠藤 和彦 研究グループ長らと、国立大学法人 東北大学【総長 大野 英男】(以下「東北大」という)流体科学研究所 未到エネルギー研究センター長、材料科学高等研究所 主任研究者 寒川 誠二 教授 兼産総研 ナノエレクトロニクス研究部門 特定フェローは、微小な GaN(窒化ガリウム)LED(マイクロLED)の高効率化技術を開発した。

マイクロLEDを高密度に配置したマイクロLEDディスプレイは次世代のウェアラブル情報端末のための高効率・高輝度・高解像度のディスプレイとして期待されているが、従来の作製法ではLED側面の加工損傷が大きいため、サイズが小さくなると発光効率が著しく低下することが大きな問題になっていた。今回、加工に伴う損傷が極めて少ないことが知られる中性粒子ビームエッチング技術を GaN マイクロLEDの作製に用いることで、LEDのサイズを6マイクロメートル( $\mu\text{m}$ )まで小さくしても発光効率の低下がほとんどない GaN マイクロLEDを開発した。

なお、この技術の詳細は、2019年7月7日～7月12日に米国ワシントン州ベルビュー市で開催される国際会議「International Conference on Nitride Semiconductors」で発表される。

は【用語の説明】参照



今回の中性粒子ビームエッチング技術と従来技術で作製した GaN マイクロLEDの発光効率

本件配布先: 産総研 → 経済産業記者会、経済産業省ペンクラブ、中小企業庁ペンクラブ、資源記者クラブ、  
文部科学記者会、科学記者会、筑波研究学園都市記者会、中部経済産業記者会、  
東北大 → 宮城県政記者会

## ■ 開発の社会的背景 ■

近年のウェアラブル型・携帯型情報端末の急速な普及に伴い、情報端末と人間とのインターフェースであるディスプレイの低消費電力化、高輝度化、高解像度化が強く求められるようになった。最近、サイズ 10  $\mu\text{m}$  程度のマイクロ LED を高密度に配置したマイクロ LED ディスプレーが大きな注目を集めている。マイクロ LED ディスプレーは、従来の液晶や有機 EL ディスプレーに比べて、1/10 以下の低消費電力化、10000 倍以上の高輝度化、10 倍程度の高解像度化が可能と考えられている。

従来のマイクロ LED は、一般に誘導結合プラズマ(ICP)エッチング技術を用いて平面 LED ウエハーを加工して作製されている。しかし、マイクロ LED の側面がプラズマに曝(さら)されるため、LED の側面に発光に寄与しない欠陥が高密度に生じる。LED のサイズが小さくなると、欠陥が生成した側面の割合が高くなり、欠陥に捕獲され発光に寄与しない電子の数が増える。そのため、従来のマイクロ LED では、特にディスプレイ動作に重要な低電流密度( $< 20 \text{ A/cm}^2$ )領域において、LED のサイズの縮小とともに発光効率が急激に低下してしまうので、高効率・高輝度・高解像度のマイクロ LED ディスプレーの実現が困難であった。

## ■ 研究の経緯 ■

産総研は、これまでに可視光半導体 LED の高効率化の研究開発に取り組んできた。また、最近、ナノ構造による LED の高機能化を目指して、中性粒子ビームエッチング技術を用いた GaN ナノ構造の作製にも取り組んでいる。一方、東北大は、半導体材料を超低損傷でエッチングできる中性粒子ビームエッチング技術を開発してきた。そこで、両者は GaN ナノ構造の作製・評価で得られた知見を用いて GaN マイクロ LED の作製に取り組んだ。なお、この技術開発の一部は、産総研と東北大で締結したクロスアポイントメント協定により行われた。

## ■ 研究の内容 ■

今回、中性粒子ビームエッチング技術と、比較のため従来の誘導結合プラズマエッチング技術を用いて、40  $\mu\text{m}$  角、20  $\mu\text{m}$  角、10  $\mu\text{m}$  角、6  $\mu\text{m}$  角の 4 種類の GaN マイクロ LED を作製した。図 1 に作製したマイクロ LED の模式図を示す。LED ウエハーには、有機金属気相成長法によってサファイア基板上に成長させた青色発光するものを用いた。また、LED の活性層として 5 重の GaN/InGaN(窒化ガリウム・インジウム)多重量子井戸構造を用いた。マイクロ LED からの発光は p 型 Ni(ニッケル)/Au(金)半透明電極側から取り出した。

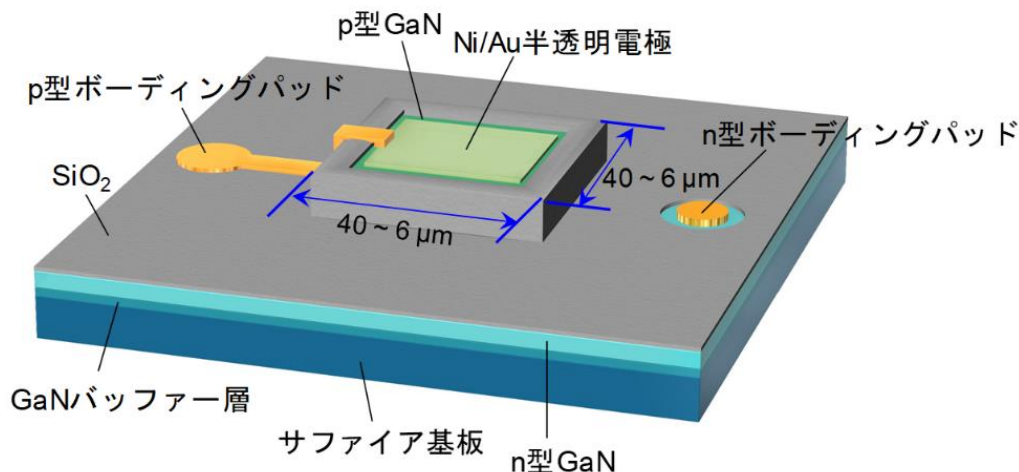


図 1 今回、作製した GaN マイクロ LED の模式図

本件配布先：産総研 → 経済産業記者会、経済産業省ペンクラブ、中小企業庁ペンクラブ、資源記者クラブ、  
文部科学記者会、科学記者会、筑波研究学園都市記者会、中部経済産業記者会、  
東北大 → 宮城県政記者会

図 2(a)、2(b)にそれぞれ従来の誘導結合プラズマエッチング技術と今回の中性粒子ビームエッチング技術で作製したマイクロ LED の発光効率の指標の一つである外部量子効率の電流密度依存性を示す。誘導結合プラズマエッチング試料の場合、LED のサイズが  $20\ \mu\text{m}$  以下になると、ディスプレイ動作に特に重要な低電流密度領域 ( $20\ \text{A}/\text{cm}^2$  以下) では発光効率が急激に低下していた。これに対して、中性粒子ビームエッチング技術で作製したマイクロ LED の発光効率はサイズ依存性をほとんど示さず、サイズを  $6\ \mu\text{m}$  まで小さくしても発光効率はほとんど低下しなかった。 $6\ \mu\text{m}$  のマイクロ LED について電流密度  $5\ \text{A}/\text{cm}^2$  での発光効率を比較すると、中性粒子ビームエッチング法で作製したものは誘導結合プラズマエッチング技術で作製したものより約5倍高い発光効率を示した。サイズ  $6\ \mu\text{m}$  のマイクロ LED を解像度に換算すると、仮想現実／拡張現実用ヘッドマウントディスプレイに必要な  $2000\ \text{ppi}$  (pixel per inch、1 インチ当たりの画素数) 以上の超高解像度も可能になる。

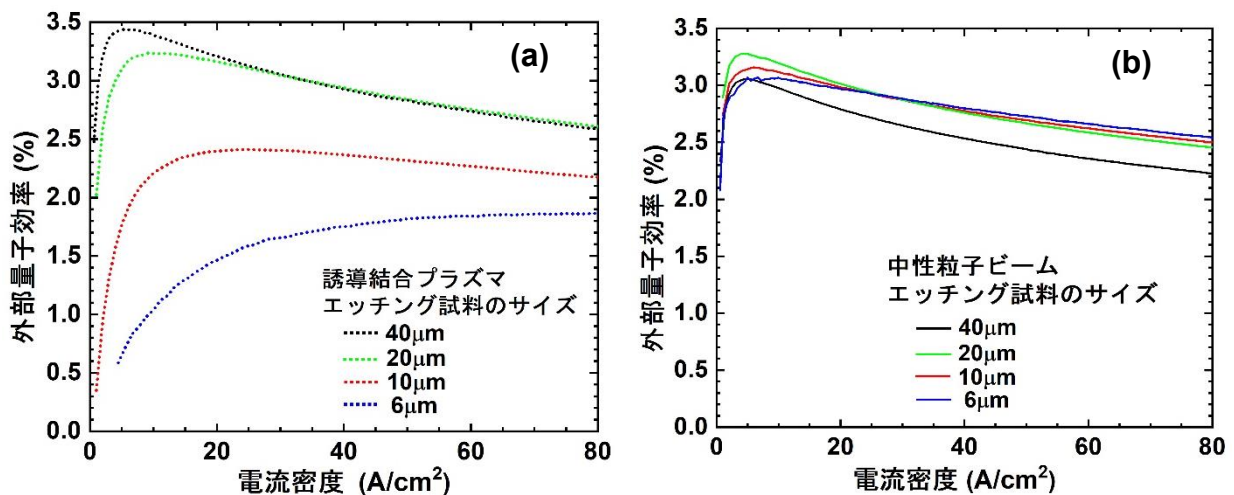


図 2(a)従来の誘導結合プラズマエッチング技術と、(b)今回の中性粒子ビームエッチング技術で作製したマイクロ LED の外部量子効率の電流密度依存性

#### ■ 今後の予定 ■

今後は、フルカラーマイクロ LED ディスプレイの実現に向けて、この技術を用いた緑色および赤色マイクロ LED の作製を進める予定である。

本件配布先: 産総研 → 経済産業記者会、経済産業省ペンクラブ、中小企業庁ペンクラブ、資源記者クラブ、  
文部科学記者会、科学記者会、筑波研究学園都市記者会、中部経済産業記者会、  
東北大 → 宮城県政記者会

■ 本件問い合わせ先 ■

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ GaN 光デバイスチーム

ラボチーム長 王 学論 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町 名古屋大学赤崎記念館 4F  
TEL: 029-861-5299  
E-mail: xl.wang@aist.go.jp

国立大学法人 東北大学

流体科学研究所 未到エネルギー研究センター センター長、材料科学高等研究所 主任研究者  
教授 寒川 誠二 〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1  
TEL: 022-217-5240  
E-mail: samukawa@ifs.tohoku.ac.jp

【取材に関する窓口】

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 企画本部 報道室  
〒305-8560 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第1  
つくば本部・情報技術共同研究棟 8F  
TEL: 029-862-6216 FAX: 029-862-6212 E-mail: press-ml@aist.go.jp

国立大学法人東北大学  
材料科学高等研究所 研究支援部門 広報・アウトリーチオフィス  
〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1  
TEL: 022-217-6146 FAX: 022-217-5129  
E-mail: aimr-outreach@grp.tohoku.ac.jp

本件配布先: 産総研 → 経済産業記者会、経済産業省ペンクラブ、中小企業庁ペンクラブ、資源記者クラブ、  
文部科学記者会、科学記者会、筑波研究学園都市記者会、中部経済産業記者会、  
東北大 → 宮城県政記者会

## 【用語の説明】

### ◆窒化ガリウム LED

発光層の材料に窒化ガリウム (GaN) / 窒化ガリウム・インジウム (InGaN) を用いた半導体発光ダイオード (LED)。インジウムの含有量を調整して、赤、緑、青の三原色の LED を作製できる。ただし、赤色波長帯の発光効率が未だ数%以下と極めて低いという課題を有する。

### ◆マイクロ LED

サイズが数  $\mu\text{m}$  ~ 数十  $\mu\text{m}$  の微小な半導体発光ダイオード (LED)。

### ◆中性粒子ビームエッチング技術

プラズマ中の帯電粒子をプラズマ室と試料室との間に設置したハチの巣状のカーボンプレートによって中性化し、中性の活性種だけを試料表面に供給するエッチング技術。東北大学 寒川教授が世界で初めて開発した技術で、ダメージの極めて少ないエッチングが可能。

### ◆誘導結合プラズマ (Inductively Coupled Plasma : ICP) エッチング技術

半導体材料のドライエッチング技術の一種。プラズマ密度が高く、高速エッチングが可能。

### ◆LED ウエハー

LED 構造が積層されている半導体基板のこと。一般的に、n 型層、発光層、p 型層を少なくとも有する。

### ◆有機金属気相成長法

化合物半導体の構成元素を含むガスを反応室の中で加熱分解させ、基板上に化合物半導体の薄膜結晶を成長させる技術。ガスの切り替えによって、半導体 LED や半導体レーザーなどの複雑な積層構造を持つ半導体光デバイスを比較的簡単に作製できる。

### ◆量子井戸

エネルギー幅 (バンドギャップ) の狭い半導体薄膜 (厚さ ~ 10 nm) をエネルギー幅の広い半導体薄膜結晶で挟んだ構造。電子と正孔をエネルギー幅の狭い半導体層に閉じ込めることによって、高い発光効率を実現している。

### ◆外部量子効率

LED の発光効率を表す指標の一つ。LED から外に放出した光子の個数を LED に注入した電子の個数で割った値。内部量子効率 (LED に注入された電子の内、光子に変換された電子の割合) と光取り出し効率 (LED 内に発生した光子の内、外に取り出した光子の割合) の積で表すこともできる。

### ◆ヘッドマウントディスプレイ

頭部に装着し、目から数 cm の距離から、映像を目に投影する画像表示装置。仮想現実、拡張現実のためのキーデバイスの一つである。