

# 窒素ドーパ酸化亜鉛ナノ粒子塗布型紫外線LEDの高性能化

研究代表者

藤田 恭久 島根大学自然科学研究科 教授

共同研究者

Jie Lin 島根大学ナノテクノロジープロジェクトセンター 助教



## 1. 研究の背景と達成目標

窒素ドーパ酸化亜鉛(ZnO)ナノ粒子を用いた塗布型紫外線LEDは単結晶基板が不要であり、簡易技術を用いた安価なLED照明の実現が期待できる。本研究では、その課題である①評価技術、②発光効率改善、③塗布技術、④電極の改善の研究に取り組んだ。更に、これらの成果を統合して実用化の目安となる発光出力1mWを達成し、本技術の実用化と地域産業に貢献できる可能性を見極めることを目的とした。

## 2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

目標に示した酸化亜鉛ナノ粒子塗布型紫外線LEDの課題である実装法と評価手法の開発、発光効率の改善に取り組んだ。

- ・デバイス構造の改善により数10倍の発光効率改善を達成するとともに、塗布型LEDがpn接合により動作していることを示した。またシリカコート銀ナノ粒子を混合した局在表面プラズモン効果により2倍の発光効率の改善を達成した。
- ・上記の成果を総合して、発光出力1mWレベルを達成できる可能性を示した。

以上の成果は、本デバイスの実用化の可能性を示すものであり、蛍光灯よりコストが低いLED照明の実現による省エネルギーへの貢献が期待できる。

## 3. 研究成果

図1に酸化亜鉛ナノ粒子塗布型紫外線LEDの発光写真を示す。また、以下に本デバイスの課題に対する取組の成果を示す。

### ①評価技術の構築

ワイヤーボンディングによる実装を可能とし、ソースメジャーユニットの導入により、発熱の影響を低減して発光パワーを測定することを可能とした。

### ②発光効率の改善

図2に酸化亜鉛ナノ粒子塗布型紫外線LEDの構造の一例を示す。本LEDでは、n型半導体であるガリウムドーパ酸化亜鉛(GZO)透明導電膜付きのガラス基板上に、島根大学で開発したp型特性を示す窒素ドーパ酸化亜鉛ナノ粒子を塗布することによりpn接合を形成する。しかし、p型側の金電極による消光現象のために発光強度が弱いことが課題であった。この問題を解決するために、本研究では、電極付近の消光現象の影響を受けないn型発光層とp型発光層の導入により数10倍の発光効率改善を達成した。図3はスプレー法

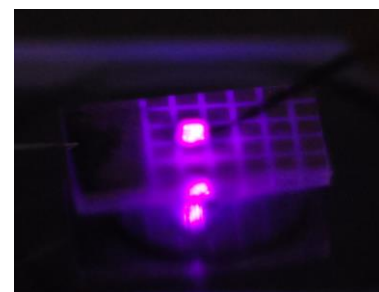


図1 塗布型LEDの発光の様子

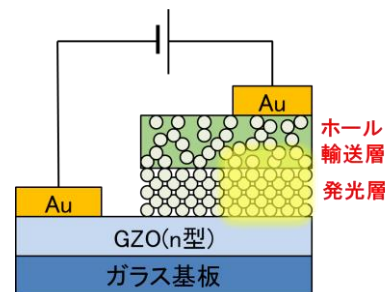


図2 塗布型LEDの構造(p型発光層付).  
黄色は発光部を示す。

によるp型発光層を導入した場合の発光強度の増強を示す。更に、シリカコート銀ナノ粒子を混合した局在表面プラズモン効果により約2倍の発光効率の改善を達成した。

### ③塗布技術の改善

真空脱泡ミキサーにより脱気を効率良く行い、デバイスのリーク電流を改善した。

### ① 電極の改善

電極材料と蒸着後の熱処理により電極の密着性と接触抵抗を低減できた。

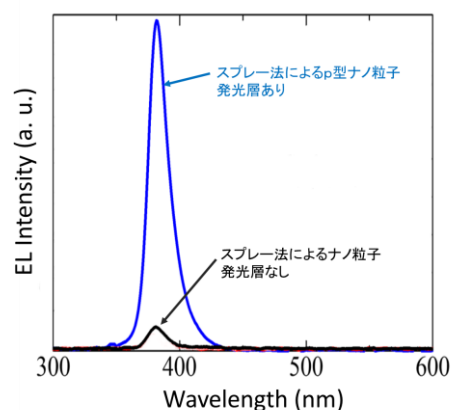


図-3 p 型発光層挿入による発光強度増強.

## 4. 今後の展開

本研究の成果は酸化亜鉛ナノ粒子を用いた塗布型 LED の実用化の可能性を示すものである。ナノ粒子塗布型 LED は原理的に従来の照明用 LED の課題であった高コスト、低い光取り出し効率、発熱による効率低下の問題をすべて解決できる革命的なデバイスである、本技術が実用化されれば蛍光灯を含む照明装置(世界市場約 15 兆円)のほとんどを置き換えることが可能になる。また、デバイス製造に半導体デバイスプロセスなどの高度な技術が不要なことから、地域産業の参入も可能となる。今後、実用化を見据えた研究開発の進展のために、補助金やベンチャーキャピタルからの資金により大学発ベンチャーを立ち上げ行い、地域からのイノベーション発信を目指す。

## 5. 発表実績

学会発表

1. Yasuhisa Fujita, Kosuke Abe, Yuto Hiragino, Hirofumi Seiyama, Jie Lin, and Toshiyuki Yoshida, “Nitrogen Doped ZnO Nanoparticles Based Light Emitting Diodes”, International Workshop on ZnO and related materials-Oral session WB3, Nov. 2, 2016, Taipei, Taiwan.
2. Kenta Odawara, Hirotaka Tanada, Jie Lin, and Yasuhisa Fujita, “Localized surface plasmon effect for ZnO nanoparticles based LEDs”, International Workshop on ZnO and related materials Poster session TP43, Nov. 1, 2016, Taipei, Taiwan.
3. 藤田恭久, Islam Mohammad Shafiqul, Lin Jie, 吉田 俊幸, 「酸化亜鉛ナノ粒子塗布型発光ダイオードにおけるホール輸送層の効果」, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 8a-PA4-3, 2017 年 9 月 8 日, 福岡国際会議場.
4. Islam Mohammad Shafiqul, Kenta Odawara, Mohd Faiz Bin Ahmad, Jie Lin, Toshiyuki Yoshida and Yasuhisa Fujita, “UV Electroluminescence from ZnO Nanoparticles based p-ZnO/n-ZnO homojunction LEDs”, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 19p-P11-29, 2018 年 3 月 19 日, 早稲田大学.

出展

1. 出雲産業フェア 2016, 2016 年 11 月 5-6 日, 出雲市・出雲ドーム.
2. しまね大交流会 2016, 2016 年 12 月 11 日, 松江市・くにびきメッセ.
3. nano tech 2017 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議, 2017 年 2 月 15-17 日, 東京ビッグサイト.
4. いずも産業未来博 2017, 2017 年 11 月 3-4 日, 出雲市・出雲ドーム.  
しまね大交流会 2017, 2017 年 11 月 18 日, 松江市・くにびきメッセ.