

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム
本格研究開発ステージ シーズ育成タイプ 事後評価報告書

| | |
|------------|------------------------------|
| 研究開発課題名 | : Si 基板上の超低消費電力緑色 ZnOLED の作製 |
| プロジェクトリーダー | : (株)コメット |
| 所属機関 | : (株)コメット |
| 研究責任者 | : 知京豊裕 (物質・材料研究機構) |

1. 研究開発の目的

本提案では、波長 500nm~600nm の緑の波長領域の発光効率が極端に下がる「グリーンギャップ」の問題解決ために、安価な汎用基板である Si(100)面上に、立方晶をもつ硫化物緩衝層を成長させ、その上にシユタルク効果のない無極性(1120)面 GaN 薄膜を成長させて、続くエピタキシャル成長のための基板とする。さらにその上に成長させた(1120)無極性面 ZnO 層を用いた LED を低温で作製し、緑色発光中心を持つ ZnCuO を発光層に用いることで、これまでにない、安いコストで緑の波長領域で高い発光効率の ZnO LED を作製することを目的とする。

2. 研究開発の概要

①成果

(100)Si 基板上に量産化に適したスパッタ法によって MnS 硫化物緩衝層、無極性(1120)面 GaN キャップ層を成長させエピタキシャル・テンプレート層を作成した。このテンプレート基板は GaN の量産プロセスである 1200°C の MOCVD プロセスに適用可能であり、無極性(1120)面 GaN 層が得られる。

このテンプレート上に、MOCVD 法によって p 型伝導性を持つ p-ZnO 層、緑色発光層である i-ZnCuO 層、n-ZnO 層を無極性面(1120)面で単結晶成長させ、純粋な ZnO 系ホモ p-i-n 接合を形成した。ITO/Ru 層からなる透明電極層を設け LED 素子構造とした。この LED からは、順方向バイアスにより緑色注入発光が得られた。

本研究開発の中で、(1) MOCVD 法による p 型(1120)面 ZnO の形成、(2) Si 基板上の無極性面(1120)面での ZnO LED からの紫外域・緑色域での注入発光の達成は世界初である。

| 研究開発目標 | 達成度 |
|--------------------------------------|---|
| ①Si(100)面上の硫化物緩衝層とGaNキャップ層のエピタキシャル成長 | ① PLD 法およびスパッタ法によって、(100)Si 基板上に硫化物として MnS、キャップ層として AlN、GaN 層をエピタキシャル成長させた。AlN、GaN 層は無極性面である(1120)面の良好な結晶性を持つ単結晶成長層が得られた。(達成度 100%) |
| ②無極性 p 型 ZnO(1120)のエピタキシャル成長 | ② PLD 法、MOCVD 法によって①のテンプレート基板上に無極性面である(1120)面の ZnO 単結晶層が得られた。MOCVD 法で酸化剤として N ₂ O/NO の 2 種のガスを用いて窒素添加を行い、ガス比を最適化して、400°Cでの成長後に 1000°Cの熱処理を加えることによって p 型層を得た。(達成度 100%) |
| ③緑色 LED を実現する p-ZnO/i-ZnCuO/n-ZnO | ③ ZnO 層に Cu を添加する ZnCuO 混晶を形成し、 |

| | |
|---|--|
| <p>pin 接合の作製</p> <p>④ 良好な透明オーミック電極の形成</p> <p>⑤ CVD プロセスと LED 構造の最適化と量産化工程へのプロセス移行</p> | <p>7%の Cu を含む ZnCuO 混晶を発光層に用いると、純緑色の PL 発光、LED 構造からの緑色発光を得た。ZnCuO 層は非常に抵抗が高く、i 層を得、n 型 ZnO 層の低効率としては、$18 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ から $36 \text{ }\Omega \cdot \text{cm}$ の 3 桁におよぶ電導度制御を行うことができた。</p> <p>項目①のテンプレート層上に項目②の MOCVD 法による p-ZnO 層を得たため、純粋な ZnO 系 p-i-n 接合が形成でき、良好な整流特性と緑色注入発光を得た。(達成度 100%)</p> <p>④ 透明電相膜である ITO 層をスパッタ法によって堆積した。接触抵抗低減を目的として仕事関数の観点から極薄の Ru 層を ITO と ZnO 界面に挿入した。TLM 法により測定し、これにより $0.17 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ を成膜直後に実現した。この値は n 型 ZnO 上のコンタクト抵抗としては文献値の 1/3 となり良好な値である。さらに 300°C の窒素中で熱処理することにより、最小値で $0.02 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ の値を得た。(達成度 100%)</p> <p>⑤ スパッタ法による GaN/MnS/Si テンプレート層上に MOCVD 法による p 型 ZnO 層、ZnCuO 発光層、n-ZnO 層を形成し p-i-n 接合とし、ITO/Ru の透明電極層を設け LED 構造を作製した。この LED から順方向バイアスによる緑色注入発光を得た。</p> <p>スパッタ法による GaN/MnS/Si 2 インチ基板は商業的な GaN 成長装置での 1200°C の高温成膜プロセスに適応可能であり、量産条件で GaN 無極性面単結晶層を得た。(達成度:100%)</p> |
|---|--|

②今後の展開

Si 基板上の無極性面 ZnO・GaN エピタキシャル・テンプレート層については、GaN-on-Si パワーデバイスに適用可能であり、デバイス・メーカーに提供していくことで、テンプレート基板プロセスの最適化を図っていく。

Si 基板上の無極性 ZnO 系 LED デバイスは、本開発研究での緑色発光ばかりでなく、純紫外域での注入発光も実現した。GaN 系 LED の成長温度 1200°C に比べて非常に低い 400°C のプロセス温度でエピタキシャル成長が可能であり、商業的な量産応用が可能であると考えている。

3. 総合所見

概ね目標を達成したが、実用化に向けては更なる研究開発が必要で、現状では、イノベーション創出の可能性が低い。

Si 基板上の無極性面 GaN エピタキシャル・テンプレート層は良い成果が得られており、パワーデバイスへの適用の可能性はあるが、最終的な LED デバイスについては、発光が弱く、重要な課題が残っている。