課題番号 :K-19-KT-0011
利用形態 :機器利用、技術補助
利用課題名(日本語) :窒化物半導体のデバイス作製
Program Title(English) :Fabrication of nitride-semiconductor devices
利用者名(日本語) :船戸充、岸元克浩、松田祥伸、橘木竜也
Username(English) :M. Funato, K. Kishimoto, Y. Matsuda, T. Tachibanaki
所属名(日本語) :京都大学大学院工学研究科
Affiliation(English) :Graduate School of Eng., Kyoto University
キーワード/Keyword :フォトニクス、結晶成長、成膜・膜堆積、LED、電極

1. 概要(Summary)

窒化物半導体を用いたデバイスはすでに実用化に至っているものもあるが、さらなる高機能化や高性能化に向けた研究が現在も活発に行われている。例えば、InGaN 系青色 LED と蛍光体を用いた白色 LED は、照明などになくてはならないデバイスであるが、その演色性には問題があり、窒化物半導体だけで多色発光する素子が期待されている。また、緑色から長波長あるいは紫外域で動作する LED やレーザは開発の途上にある。また最近では、高周波電子デバイスの開発も進められている。

デバイスを作製するには、結晶成長と、作製した結晶の加工および電極形成が必須である。本研究では、デバイスの電極やエッチングマスクに用いる金属の蒸着を京都大学 学際融合研究教育推進センター ナノテクノロジーハブ拠点の設備でおこなった。また、結晶の成長と評価は自研究室で行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

真空蒸着装置

【実験方法】

Figure 1 に作製したデバイスの一例を示す。(-1-12-2)結晶面を表面とする n 型 GaN 基板上に、プラズマ CVD 装置により SiO_2 薄膜を 100 nm 堆積したのち、フォトリソグラフィーで[-1-123]方向にストライプパターンを形成した。ストライプのサイズは概ね数ミクロンある。そこに有機金属気相成長法によって n 型 GaN を成長すると、SiO_2 薄膜上には GaN が成長できないため[1]、複数の安定な結晶面で囲まれた三次元構造となる。本研究では、基板結晶面である(-1-12-2)に加えて、(-110-1)および(-1100)面が現れた。引き続いて InGaN 量子井戸発光層、p 型 GaN を順次形成すると三次元的な LED 構造となる。この三次元構造に対して、n 型電極として Ti/Al を、p 型電極として Ni/Au を真空蒸着して LED 化し, その動作の確認を行った。この電極形成をプラットフォーム支援機関(京大ナノハブ)で実施したのち、デバイス特性の評価と結晶成長へのフィードバックを自研究室で行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

真空蒸着であることから、蒸着方向に平行で基板に垂直な面(本研究では(-1100)面)への電極の生成が通常困難であり、今回は、斜め蒸着を何回か組み合わせることによりその問題を回避した。Figure 2 は、得られた三次元 LED を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した例である。三次元構造全体に電極が形成されていることが確認できる。この LED の電流電圧特性は良好なダイオード特性(整流性)を示しており、電気的にも良好な LED が作製されていることが示唆された。しかし、良好な電気的特性にもかかわらず、初期のデバイスでは発光が全く観察されず、その原因を結晶成長にたちかえって検討を行った。

基礎的な検討には、三次元構造ではなく、通常の LED と同様、平坦な構造を採用した。三次元構造の場合と同じ GaN 基板を用いており, その面方位は(-1-12-2)面である。元素分析の結果、p 型 GaN 中に意図しない不純物が多量に含まれていることがわかった。その影響により、電流注入発光(EL)が阻害されていると考え、それを抑制するよう結晶成長条件を調整した。そのようにして作製した LED からの EL 発光の様子を Fig. 3 に示す。発光が得られていることから、予想通り p 型 GaN 中の意図しない不純物が発光を阻害する要因であることが確認できた。現在、これを三次元構造に展開している。

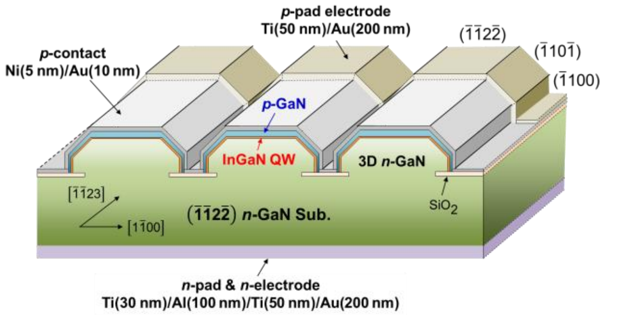

Fig. 1 Schematic of 3D LED based on InGaN quantum wells.

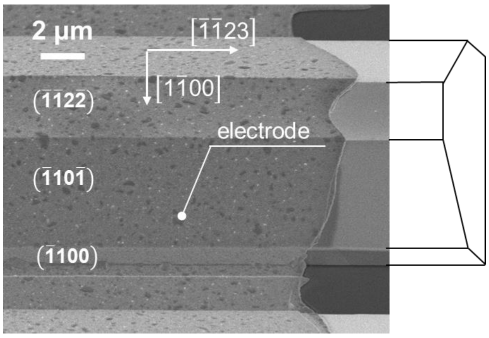

Fig. 2 SEM bird's eye view of a fabricated 3D LED after electrode deposition.

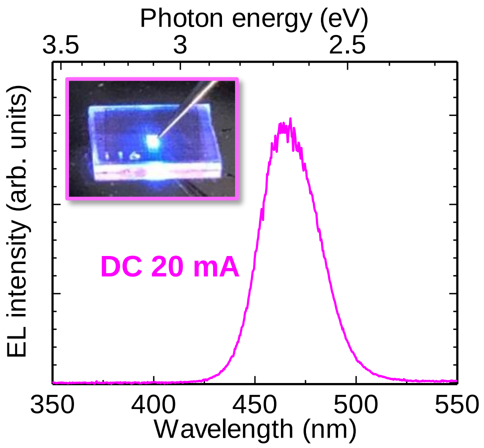

Fig. 3 Photograph and EL spectrum of an (-1-12-2)InGaN-based LED at room temperature.

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献

[1] K. Hiramatsu, et al. J. Crystal Growth 221 (2000) 316.

[2] K. Kishimoto et al., ntern. Workshop on Nitride Semiconductors, Kanazawa, Japan, 2018, GR13-1.

[3] M. Funato and Y. Kawakami, Workshop on Nitride Semiconductors, Kanazawa, Japan, 2018, LN2-3.

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし

６． 関連特許(Patent) なし