

課題番号 : F-20-KT-0001
利用形態 : 機器利用
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、松田祥伸、重松雅也
Username(English) : M. Funato, Y. Matsuda, M. Shigematsu
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 : 成膜・膜堆積、LED、電極、結晶再成長、フォトニクス

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、多元スパッタ装置(仕様 B)

【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 基板の上に、プラズマ CVD 装置により SiO₂ 薄膜を 100 nm 堆積したのち、フォトリソグラフィで[-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、SiO₂ 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。引き続き 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 型および p 型電極を形成して LED 化する。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。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

まず、真空蒸着で Ni/Au 電極を形成する場合について述べる。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。作製した 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、電気的に良好な LED が作製されていることが示唆された。作製したデバイスの特性の一例を Fig. 2 に示す。

Fig. 2(a)は走査型電子顕微鏡による観察の結果である。この LED では、異なる 2 種の構造を LED の 1 チップ内に作りこんである。これは、構造によって発光色が変わることを利用して、それらの加色混和により、白色を含む多色発光をさせることを意図している。Fig. 2(b)には、電流注入により発光させた三次元 LED のスペクトルを示した。上記の通り、異なる構造を作りこんだことで、約 400 nm と 510 nm にピークを持つ、ブロードな発光を得ることに成功した。同図には動作中の LED の写真が掲載してある。多くの波長成分を含んだ結果として白色発光していることがわかった。この他、パステルグリーンなど、通常の LED では困難な淡い色を出すことにも成功しており、提案の方法の有効性が示されていると考えている。

真空蒸着による電極形成では、上記の通り複数回のプロセスが必要であることから工程数が増える。また、発光を取り出すために、金属電極膜厚を薄くして半透明電極にしなければならないが、複数回の蒸着が透明性の阻害要因となることが懸念される。そこで、透明導電膜である ITO を電極として用いることを検討した。この場合、透明である

ことから電極厚みを気にする必要がなく、1回の蒸着で電極が形成できるのではないかと期待される。本年度はまず準備として、スライドガラス上に製膜した。Fig. 3(a)はスパッタ装置を用いて室温、RFパワー200Wでスライドガラス上に蒸着した250nm程度のITOの写真であり、透明性が確保できていることがわかる。ただし、少し黄色みが書ており、改善の余地はあると考えている。Fig. 3(b)は複数の電極を形成して測定したITO膜の電流電圧特性である。電極によるばらつきが少し見られるが、総じて良好な抵抗性接触が形成されている。今後は条件のさらなる検討と、窒化物半導体LEDの適用を目指す。

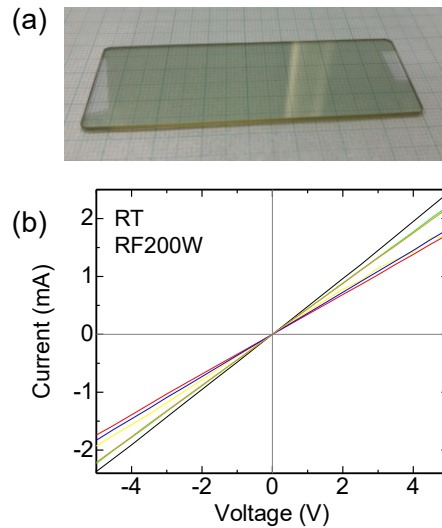


Fig. 3 (a) Photo of ITO deposited on a glass. (b) IV characteristics showing Ohmic behavior.

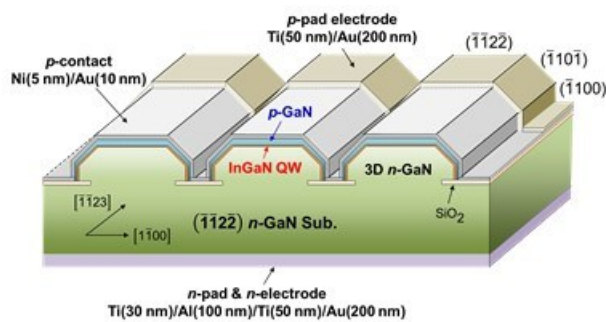


Fig. 1 Schematic of 3D LED based on InGaN quantum wells.

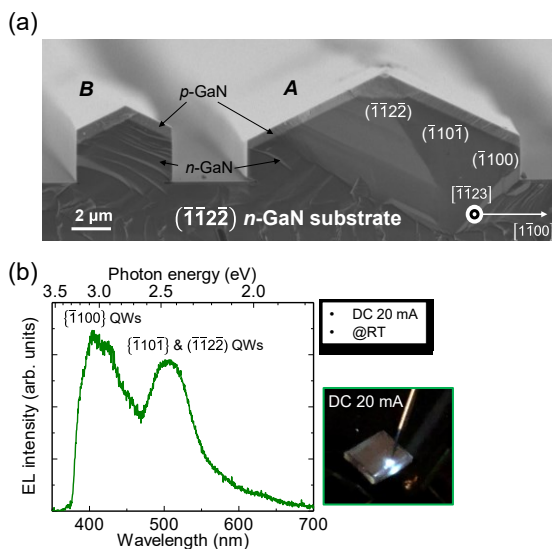


Fig. 2 (a) SEM bird's eye view of a fabricated 3D LED, (b) EL spectrum and photo showing LED emission.

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] “Exploring the growth procedures for polar-plane-free faceted InGaN-LED structures”, Y. Matsuda, M. Funato, and Y. Kawakami, Conf. on LED and its industrial application ‘19, Yokohama, Japan, 2019, LEDIA-7-04. (Student Paper Award)
- [3] “Fabrication of polar-plane-free faceted InGaN LED structures with polychromatic emission properties”, Y. Matsuda, M. Funato, and Y. Kawakami, 13th Intern. Conf. on Nitride Semiconductors, Washington, USA, 2019, A12.05.

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

- (1) “極性面フリーなマルチファセット InGaN-LEDからの電流注入発光”, 松田祥伸, 船戸充, 川上養一, 第67回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学 (2020), 13a-A302-2.

6. 関連特許 (Patent) なし