

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2010

課題番号：18069011

研究課題名（和文） ワットクラス超高出力紫外レーザーダイオードの実現

研究課題名（英文） Development of Watt class high power UV laser diodes

研究代表者

天野 浩 (AMANO HIROSHI)

名城大学・理工学部・教授

研究者番号：60202694

研究分野：工学

科研費の分科・細目：5102

キーワード：紫外線レーザー，窒化アルミニウム，p 型，結晶欠陥，量子効率

#### 1. 研究計画の概要

紫外レーザーダイオード(LD)は、現在水銀ランプを用いたリソグラフィシステムやエキシマレーザー，炭酸ガスレーザー等のガスレーザーを用いた加工システムの小型化・高効率化，角膜治療，皮膚疾患部位や腫瘍部位への照射治療等新しい医療システムの実現，殺菌や空気・水の清浄化等多くの分野への応用が期待されている。本研究では AlN を含む AlGa<sub>N</sub> 系Ⅲ族窒化物半導体において，(1)基板結晶の作製，極性制御基板の作製，および(2)高導電性 p 型および n 型結晶の実現に特化して研究を行い，更にその成果を用いて，(3)波長 365nm 以下のワットクラスハイパワー紫外 LD の実現を目指す。

#### 2. 研究の進捗状況

昇華法を用いた AlN 基板成長，AlN 溝加工テンプレート上成長などを駆使し高品質 AlN 結晶を作製した。不純物ドーピングによる低抵抗化，特に p 型 AlGa<sub>N</sub> 結晶のドーピング最適化に取り組んだ。溝加工テンプレート上 LED では，波長 345 nm において外部量子効率 6.7% を得た。内部量子効率は

40% 以上と推定され，LD 高出力化への道筋を見出した。また，AlN 下地層上へ波長 356nm の LD 試作に成功した。深紫外 LD 実現につながる成果である。

#### 3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。  
(理由)

(1)伝導性制御された基板結晶の作製，  
極性制御基板の作製：AlGa<sub>N</sub> 厚膜を成長し，LD 作製が可能であることを実証した。

(2)高導電性 p 型および n 型結晶の実現：n 型および p 型共に，全組成域にわたって AlGa<sub>N</sub> の伝導性制御を確認した。特に p 型 AlGa<sub>N</sub> に関しては，全組成域にわたる最適 Mg 濃度を見出した。

(3)波長 365nm 以下のワットクラスハイパワー紫外 LD の実現：デバイス構造の検討により，波長 345nm において内部量子効率 40% 以上の LED を実現し，更に 3.9KA/cm<sup>2</sup> の低閾値 LD を実現した。計画を上回る成果であった。

#### 4. 今後の研究の推進方策

## 平成 21 年度

\* 波長 365nm 以下の LD の設計指針の確立および試作：現在までの検討により、350nm 帯域では世界で最も低閾値電流密度  $3.9\text{KA}/\text{cm}^2$  を達成したが、動作電圧は 30V 程度と極めて高かった。平成 21 年度には、1. 素子構造の更なる最適化、および 2. 素子作製プロセスの最適化、により、低電圧駆動を実現し、同波長帯域では世界初の LD 連続発振を目指す。

\* 波長 300nm 以下の LD 実現のための高 AlN モル分率高正孔濃度 p 型 AlGaIn の検討： GaN から AlN に至る AlGaIn 全組成域での、Mg アクセプタの最適濃度約  $3 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$  を見出した。平成 21 年度は、微細構造観察等を駆使して、高濃度ドーピングにおける補償の原因を明らかにすると共に、別のドーパント元素による高 AlN モル分率 p 型 AlGaIn の実現を目指す。

## 平成 22 年度

\* ワットクラスハイパワー紫外 LD の設計・試作および評価：放熱等を考慮し、シミュレーション技術を駆使して実装方法を最適化し、350nm 帯域では世界初となるワットクラス LD 実現を目指す。

\* 活性層内キャリアの動的過程の解明：高注入時のキャリアの動的過程をシミュレートするソフトを用いて、紫外域 LED, LD における活性層内キャリアの挙動を理解し、実験により検証する。

\* 波長 300nm 以下の LD の試作：新アクセプタドーパントによる高 AlN モル分率高正孔濃度 p 型 AlGaIn をクラッド層に用い、350nm 帯 LD 作製技術により、波長 300nm 以下の LD 実現に挑戦する。

## 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 17 件)

- ① M. Imura, K. Nakano, N. Fujimoto, N.

Okada, K. Balakrishnan, M. Iwaya, S. Kamiyama, H. Amano, I. Akasaki, T. Noro, T. Takagi and A. Bandoh, "Dislocations in AlN Epilayers Grown on Sapphire Substrate by High-Temperature Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy", Jpn. J. Appl. Phys., 46, 1458-1462 (2007), 有

- ② K. Iida, H. Watanabe, K. Takeda, T. Nagai, T. Sumii, K. Nagamatsu, T. Kawashima, K. Balakrishnan, M. Iwaya, S. Kamiyama, H. Amano, I. Akasaki, A. Bandoh, "High-efficiency AlGaIn based UV emitters grown on high-crystalline-quality AlGaIn using grooved AlN layer on sapphire substrate", Phys. Stat. Sol. (a), 204, 1848-1852 (2007), 有

- ③ H. Amano, M. Imura, M. Iwaya, S. Kamiyama and I. Akasaki, "AlN and AlGaIn by MOVPE for UV light emitting devices", Mater. Sci. Forum, 590, 175-210 (2008), 有 [学会発表] (計 28 件)

- ① H. Amano, "Growth of Group III Nitrides For UV and Green Light Emitting Devices", The 4<sup>th</sup> Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology, Sendai, Japan, Plenary Talk, May 2008, Sendai

[図書] (計 3 件)

- ① H. Amano, T. Kawashima, D. Iida, M. Imura, M. Iwaya, S. Kamiyama and I. Akasaki, *Nitrides with Nonpolar Surfaces*, "Metalorganic vapor phase epitaxial growth of nonpolar Al(Ga,In)N films on lattice-mismatched substrates", Editor(s): T.Paskova, 108-118(2008), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008, 464 頁