

可視域光集積回路に向けた窒化物半導体導波デバイスの FDTD 解析

FDTD analysis of III-nitride waveguide devices for visible light optical integrated circuits

上智大理工¹, 上智大フォトニクス研究センター², 上智大半導体研究所³

○山崎 裕貴¹, 木下 堅太郎¹, 渡辺 航介¹, 今田 陵斗¹, 菊池 昭彦^{1,2,3}

Sophia Univ.¹, Sophia Photonics Research Center.², Sophia Semiconductor Research Institute.³

○Yuki Yamazaki¹, Kentaro Kinoshita¹, Kosuke Watanabe¹, Ryoto Konda¹, Akihiko Kikuchi^{1,2,3}

E-mail: kikuchi@sophia.ac.jp

はじめに：窒化物半導体は可視光全域に対応する幅広いバンドギャップや優れた発光効率を持つことから、マイクロ LED ディスプレイや網膜走査型ディスプレイ用光源などへの応用が期待される。これらのディスプレイデバイス応用には、極低消費電力や RGB 発光が可能なナノレーザや高指向性ナノ LED などの開発が望まれる。我々は、活性層に InGa_N や蛍光材料を用いることで RGB 各波長での発光が可能であり低閾値かつ狭帯域発光が得られる分布反射型(DBR)レーザや共振型 LED の研究を行っている。従来の ICP エッチングとウェットエッチングを併用したナノ加工技術では高アスペクトかつ極微細な周期構造の作製は困難であることから、水素雰囲気異方性熱エッチング(HEATE)法[1]による高アスペクトナノ構造の作製を検討している。本研究では、有限差分時間領域法(FDTD)による二次元導波解析を用い、面内に半導体と空気の周期構造を有する導波路型 DBR 構造[2][3]の伝搬特性に対するナノ構造の深さの影響などについて検討を行った。

解析方法と結果：解析には、Fig. 1 に示すような導波路中央に 3 ペアの GaN(38.94nm)/Air(101.25nm)DBR を配置した構造を用いた。積層構造は、上から空気/GaN(800nm)/活性層/GaN とし、活性層には In_{0.18}Ga_{0.82}N/GaN を 2nm/8nm 周期で積んだ MQW 層とし、基本モード光を導波路右端から入射させ、DBR による反射特性の解析を行った。ナノ構造の深さ D を 0~4μm まで変化させた場合、およびナノ構造側面傾斜角 α を 90~88.65° まで変えた場合について述べる。

Fig. 2 に、波長 405nm の入射光源における D に対する最大反射率を示す。99%以上の高反射率を得るためには深さ 2μm 以上の層構造が必要ことが確認された。空気と GaN の大きな屈折率差のため、3 ペアの DBR で最大反射率は 99.5%が得られた。また、QW 数の増加に伴い活性層への光閉じ込めが強くなるため、高反射率を得るために必要なナノ構造の深さは僅かに浅くなった。

Fig. 3 は、波長 405nm の入射光源における α に対する反射率であり、層構造が僅か 1° 傾くと反射率が約 3%低下することが確認された。傾きが 0.5° 以内であれば大きな反射率の低下は見られないため、構造作製においては 0.5° 以内の急峻な垂直性が求められることが示唆された。

謝辞：本研究は、JST CREST JPMJCR18T4、JSPS 科研費 JP17H02747、JP19K22147 の援助を受けて実施された。

参考文献：[1] R. Kita et al. Jpn. J. Appl. Phys. 54 (2015) 046501. [2] 樋口 他, 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会(2020) 10a-Z02-3. [3] M. Ariga et al. Jpn. J. Appl. Phys. 39 (2000) 3406.

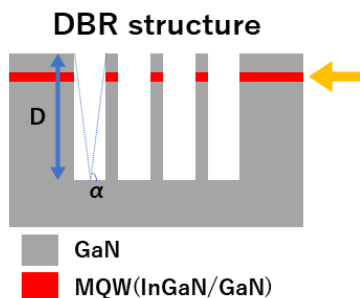


Fig. 1. Cross-section of InGaN/GaN waveguide with DBR used for FDTD analysis.

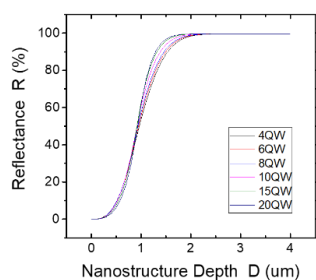


Fig. 2. Reflectance of GaN/Air DBR embedded in InGaN/GaN waveguide as a function of nanostructure depth.

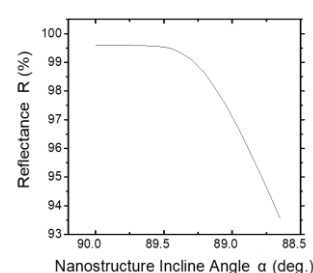


Fig. 3. Reflectance of GaN/Air DBR embedded in InGaN/GaN waveguide as a function of nanostructure incline angle.