GaN モノリシック微小二重共振器型第二高調波発生デバイスの設計

Design of GaN Monolithic Doubly-Resonant Microcavity SHG Device

阪大院工 〇南部 誠明,上向井 正裕,藤 諒健,山田 智也,藤原 康文,片山 竜二

Graduate School of Eng., Osaka Univ. ^OTomoaki Nambu, Masahiro Uemukai, Ryoken Fuji, Tomoya Yamada, Yasufumi Fujiwara and Ryuji Katayama E-mail: nambu.t@qoe.eei.eng.osaka-u.ac.jp

窒化物半導体結晶は高い光損傷耐性と非線形光学特性を有するが、高効率な波長変換に必要な周 期分極反転構造の形成が困難である。本研究では、GaN 共振器の両側に高反射率ブラッグ反射鏡を設 け共振器内で励起光強度を増強し、効率よく発生した進行方向の異なる第二高調波(SH光)を同位相で 出力する、全長十µm 程度の微小二重共振器型 SHG デバイスを提案する。この構造は厚膜 GaN 結晶を エッチングして作製する高安定なモノリシック構造であり、結晶方位の反転が不要である。

微小二重共振器型 SHG デバイスの構造を Fig. 1 に示す。 共振器長をコヒーレンス長とし、その左右に 設けた GaN 層と空気層からなる 3 次ブラッグ反射鏡は、デューティ比を調整することで 5 ペア程度で基 本波(波長 850 nm)反射率を1付近に保ったまま SH 波(425 nm)反射率を幅広く調整できる[1]。 左側か ら基本波(励起光)を入射し、基本波に対してほぼ1の反射率を持つ左右反射鏡で基本波を共振器内で 顕著に増強させる。SH 波に対して左側反射鏡反射率をほぼ 1、右側反射鏡反射率をほぼ 0 とすることで、 共振器内で発生した前進 SH 波、後進 SH 波を右方向に出射する。共振器と左側反射鏡の間に位相調 整層を設けることで前進 SH 波と位相が揃うように後進 SH 波を反射させ高効率な波長変換を行う。

左右反射鏡の構造決定後、以下の手順で位相調整層の最適化を行なった。位相調整層の GaN 層厚 および空気層厚をそれぞれ妥当な範囲で変化させ、伝達行列法により各構造における共振器内部での 基本波の電界振幅分布(Fig. 2)と左側反射鏡の SH 波複素反射係数を計算した。これらを用いて後進 SH 波が左側反射鏡で反射された波および前進 SH 波の共振器右端での複素電界振幅を計算し、それ らを足し合わせることで出射 SH 波複素電界振幅を得た。これより波長変換効率 ŋsH の両層厚依存性を求 め、最大のnsHを与える構造としてGaN共振器長1231.2 nm、左側反射鏡はペア数4、デューティ比0.352、 周期 863.4 nm、GaN 位相調整層厚 492.0 nm、空気位相調整層厚 303.5 nm、右側反射鏡はペア数 6、 デューティ比 0.283、周期 921.4 nm と決定した。1 W の基本波を 2 μm 径で入射したとき、η_{SH}は 46%と計 算された。またη_{SH}の基本波波長依存性(Fig. 3)より、波長許容幅は 0.02 nm と見積もられた。

デバイス作製の予備実験として、3 µm厚のGaN結晶上にストライプ状のNiハードマスク(m面に平行) を形成し、Cl₂ガスを用いた ICP-RIE による周期構造の 形成を行った。このとき側壁の傾斜角度は約 80°で平坦 性も低かった(Fig. 4(a, b))。そこで KOH 水溶液を用いた 異方性ウェットエッチング[2]により側壁の改善を試みたと ころ、本デバイス構造に欠かせない垂直かつ平坦な GaN 側面 (m 面)を得ることができた (Fig. 4(c, d))。

[1] V. Berger, J. Opt. Soc. Am. B, 14, 1351 (1997). [2] M. Itoh et al., Jpn. J. Appl. Phys., 45, 3988 (2006). [謝辞]本研究はJSPS科研費JP17H01063, JP17H05335 の助成を受けたものです。







Fig. 2. Calculated electric field distribution of fundamental wave in GaN microcavity.

Fig. 3. Calculated dependence of SHG conversion efficiency on fundamental wave wavelength.

Fig. 1. Schematic illustration of GaN monolithic



Fig. 4. GaN Bragg reflector fabricated (a, b) by RIE and (c, d) by a combination of RIE and alkaline etching.