

AIN 導波路型微小二重共振器第二高調波発生デバイスの設計

Design of AlN Doubly-Resonant Waveguide Microcavity SHG Device

阪大院工¹, (株)東芝² ○梅田 颯志¹, 永田 拓実¹, 彦坂 年輝², 布上 真也²,

上向井 正裕¹, 谷川 智之¹, 片山 竜二¹

Osaka Univ.¹, Toshiba Corp.² ○S. Umeda¹, T. Nagata¹, T. Hikosaka², S. Nunoue²,

M. Uemukai¹, T. Tanikawa¹ and R. Katayama¹

E-mail: umeda.s@qoe.eei.eng.osaka-u.ac.jp

AIN などの窒化物半導体は高い光学非線形性と光損傷耐性を有するため、波長変換デバイスへの応用が期待される。しかし窒化物半導体は高効率化に必要な周期的極性反転構造[1]の形成が困難な上、実用的な効率の波長変換デバイスとするには cm オーダのデバイス長が必要となる。本研究では、共振器構造を設けることで極性反転を不要とし、励起光強度を顕著に増強させることで効率よく第二高調波を発生させる全長約 10 μm のバルク GaN 微小共振器型第二高調波発生 (SHG) デバイスを提案・作製し、青色 SHG 実証に成功した[2]。近年、種々の応用に小型深紫外光源が望まれており、吸収端波長の短い AIN を用い導波路構造を採用することで、弱励起でも高効率な深紫外 SHG デバイスの実現が期待できる。しかし共振器を構成する分布ブラッグ反射鏡(DBR)領域で回折が生じるため、本研究では回折による損失を考慮して AIN 導波路型微小二重共振器 SHG デバイスの設計を行った。

AIN 導波路型微小共振器 SHG デバイスの構造を Fig. 1 に示す。基本波 (波長 532 nm, TM モード) に対する左右の 1 次 DBR の反射率をほぼ 1 とすることで、左側から入射させた基本波を SHG 領域内で顕著に増強させる。左右に伝搬する基本波により SH 波 (波長 266 nm, TM モード) も両方向に発生し、SH 波に対して左側 DBR の反射率を高く、右側 DBR の反射率を低くすることで、SH 波を右方向に出射する。左側 DBR と SHG 領域との間に位相調整領域を設けることで、前進 SH 波と位相が揃うように後進 SH 波を反射させる (二重共振)。DBR を AIN/Air 構成とすると、境界で生じた回折光が Air 領域を広がりながら伝搬し、光波が再度 AIN 導波路に結合する際の結合効率 η が低下する。ゆえに、本研究ではこの問題を避けることを狙い、屈折率差は小さくなり DBR ペア数を多くする必要があるものの、回折を抑制するために DBR の深溝を原子層堆積法 (ALD) により Al_2O_3 で埋め込んだ構造を検討する。

三次元ビーム伝搬法を用いて異なる導波路断面構造に対する η を見積もり、導波路高さと同幅を共に 1.0 μm と決定した。この導波路における基本波と SH 波の TM 基本導波モードの実効屈折率と電界振幅分布を有限差分法により求め、AIN 非線形光学定数 $d_{33} = 6.3 \text{ pm/V}$ を用いると、非線形結合係数は $\kappa = 5.28 \text{ W}^{-1/2}\text{cm}^{-1}$ と計算された。SHG 領域長は、分極反転なしに最大の波長変換効率が得られるコヒーレンス長である 421 nm とした。上記反射率を満たすよう、 η を考慮した伝達行列法により左右 DBR の構造を決定した。さらに微小共振器全体の基本波複素振幅分布 (光軸方向) を計算し、結合モード方程式より κ を用いて SHG 領域内で発生する前進および後進 SH 波の複素振幅を求めた。位相調整領域を含めた左 DBR の複素反射係数を後進 SH 波振幅にかけ、これを前進 SH 波振幅と足し合わせた後、共振器の多重反射を考慮して出力 SH 波パワーを見積もった。波長変換効率 η_{SH} が最大となるよう構造を最適化し、左側 DBR を周期 130 nm、デューティ比 0.62、ペア数 32.5、AIN/ Al_2O_3 位相調整領域長を 89 nm/46 nm、右側 DBR を周期 138 nm、デューティ比 0.66、ペア数 30.5 と決定した。このとき SHG 領域内の電界振幅は約 28 倍に増強されるが (Fig. 2)、入射基本波パワーが 100 mW のとき η_{SH} は 0.045% と見積もられた。導波路断面を拡大してさらに回折を抑制するなど、 η_{SH} を高めるデバイスを検討する。

[謝辞] 本研究は JSPS 科研費 JP17H01063, JP17H05335, JP19H02631 の助成を受けたものです。

[1] R. Katayama *et al.*, IWN2012, PR5-1 (2012). [2] M. Uemukai *et al.*, ICNS-13, M02.01 (2019).

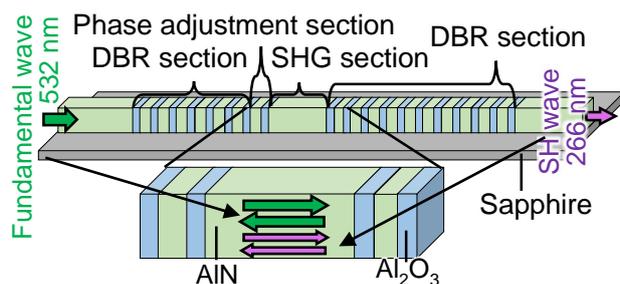


Fig. 1 Schematic of AlN doubly-resonant waveguide microcavity SHG device.

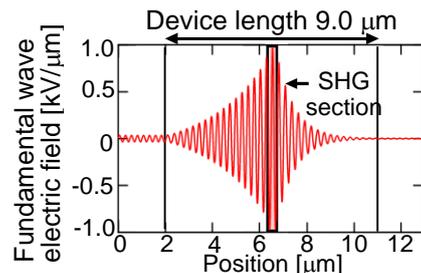


Fig. 2 Calculated electric field distribution of fundamental wave in AlN microcavity.