

広帯域光子対発生に向けた GaN 導波路型微小共振器デバイスの設計

Design of GaN Waveguide Microcavity Device for Wide-Band Photon Pair Generation

阪大院工 ○永田 拓実, 梅田 颯志, 上向井 正裕, 谷川 智之, 片山 竜二

Osaka Univ. ○T. Nagata, S. Umeda, M. Uemukai, T. Tanikawa and R. Katayama

E-mail: nagata.t@qoe.eei.eng.osaka-u.ac.jp

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極性反転構造の形成が困難な上、cm オーダの長い相互作用長が必要となる。我々は、共振器内で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、極性反転不要な全長約 $10\ \mu\text{m}$ のバルク微小共振器型第二高調波発生 (SHG) デバイスを提案し、動作実証してきた[1]。近年、医療分野で量子光干渉断層撮影技術の研究が進められており、さらなる分解能向上に広波長帯域量子もつれ光子対の応用が考えられている[2]。微小共振器 SHG デバイスと類似の構成で、SHG の逆過程である自発的パラメトリック下方変換 (SPDC) による広帯域光子対発生デバイスを実現できる可能性がある。本研究では微小共振器を導波路化することで高効率化を図った広帯域光子対発生デバイスを提案し、導波路化により DBR 領域で生じる回折損失を考慮してデバイス設計を行った。

GaN 導波路型微小共振器光子対発生デバイスの構造を Fig. 1 に示す。SPDC 領域の両側に波長 $405\ \text{nm}$ の基本波 (TE モード) に対する反射率がほぼ 1 の DBR を設けて微小共振器を構成し、左側から入射させた基本波を SPDC 領域内で顕著に増強させる。c 面 GaN SPDC 領域内では広い波長帯の直交偏光光子対が両方向に発生し、右側の DBR を透過して出射される。導波路型 DBR の高屈折率部と低屈折率部の境界で生じる光の回折を抑制するため、DBR の低屈折率部を SiN_x で埋め込む構造とした。また比較的作製が容易な 3 次 DBR を採用した。

SPDC 内で基本波電界振幅が顕著に増強されるよう、GaN 導波路型微小共振器の設計を行った。はじめに基本波 (波長 $405\ \text{nm}$) と直交偏光光子対 (中心波長 $810\ \text{nm}$) の導波モード実効屈折率を求めた。共振条件を満たす初期構造として、DBR の GaN/ SiN_x 各領域長を $3/4$ 波長とし、SPDC 領域長を極性反転構造なしに最大の波長変換効率が得られるコヒーレンス長に近い 2 波長とした。GaN/ SiN_x 境界で生じた回折光が SiN_x 領域を伝搬し、再度 GaN 導波路に結合する際の結合効率 η を 3D ビーム伝搬法を用いて見積もり、 η を考慮した伝達行列法により基本波の伝搬方向電界振幅分布を求めた。SPDC 領域内における基本波電界振幅が最大となるよう構造最適化を行い、導波路高さと幅は $800\ \text{nm}$ 、SPDC 領域長は $819.9\ \text{nm}$ 、3 次 DBR は周期 $261.3\ \text{nm}$ 、デューティ比 0.47 、左側ペア数 23.5 、右側ペア数 45.5 、全長は $19\ \mu\text{m}$ と決定した。このとき SPDC 領域内の進行波電界振幅は、入射波電界振幅に対して約 10 倍に増強された (Fig. 2)。GaN 非線形光学定数 $d_{31} = 2.5\ \text{pmV}^{-1}$ を用いると、非線形結合係数 κ は光子対中心波長に対して $2.9\ \text{W}^{-1/2}\text{cm}^{-1}$ と計算された。右側 DBR の透過スペクトルを Fig. 3 に示す。これから波長 $660\sim 960\ \text{nm}$ の範囲の広帯域直交偏光光子対の発生が期待できる。

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

[1] M. Uemukai *et al.*, ICNS-13, M02.01 (2019).

[2] M. Okano *et al.*, Scientific Reports 5, 18042 (2016).

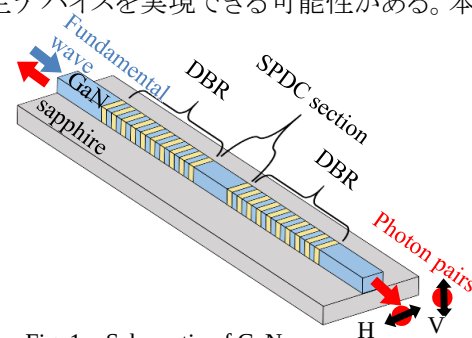


Fig. 1 Schematic of GaN waveguide microcavity photon pair generation device.

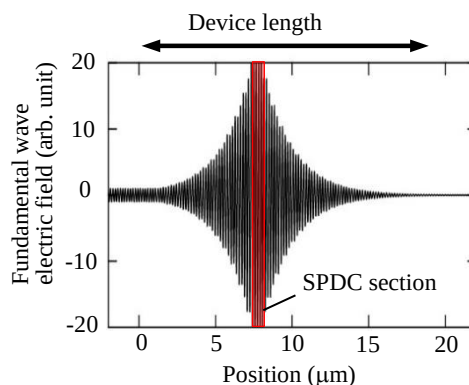


Fig. 2 Calculated fundamental wave electric field distribution in GaN microcavity.

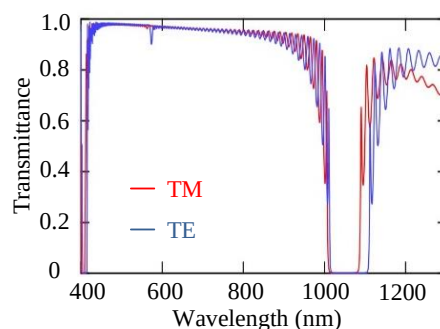


Fig. 3 Transmission spectrum of right-hand side DBR.