

2次元 GaAs フォトニック結晶導波路の低分散モード設計 によるテラヘルツ差周波発生の高効率化

High efficient difference frequency generation by designing
low-dispersion mode in a 2D-GaAs-photonic crystal waveguide

和歌山大シスエ¹, 千歳科技大², 物材機構³

○中濱 照之¹, 尾崎 信彦¹, 小田 久哉², 池田 直樹³, 杉本 喜正³

Wakayama Univ.¹, Chitose Inst. Sci. Technol.², NIMS³

○Teruyuki Nakahama¹, Nobuhiko Ozaki¹, Hisaya Oda², Naoki Ikeda³, Yoshimasa Sugimoto³

E-mail: ozaki@sys.wakayama-u.ac.jp

【はじめに】センシング技術や非破壊検査などのテラヘルツ (THz) 波応用技術の発展に向けて、より高性能な THz 光源開発が求められている。様々な THz 発生法の中で、非線形光学(NLO) 現象である差周波発生(DFG)の利用は、室温下で高出力性を示す優れた手法として知られ[1]、我々は2次元 GaAs フォトニック結晶導波路(PC-WG)内での低群速度光を利用した高効率な DFG による新たな THz 波発生法を検討している[2]。PC-WG の光モードが有する特異な分散関係は、伝搬光の低群速度化を実現し、光電場増強による高い NLO 効率を生む。さらに、PC 構造の変調により分散性をも制御可能とするため、DFG の2波長伝搬光間の位相整合を満たすことが可能となる。すなわち、低群速度かつ低分散(LVLD)な特性を示す PC-WG モード設計により、より高効率な THz 波発生が期待される。本研究では、LVLD 特性を有する PC-WG の THz 発生効率を数値シミュレーションにより検証した。

【数値シミュレーション】Fig. 1(a)に、LVLD PC-WG のシミュレーションモデルを示す。LVLD 特性の実現に向けて GaAs 薄膜に形成した PC-WG の2, 3列目の空孔半径 (r_2, r_3) を、他列の空孔半径 r の1.1倍、1.25倍にそれぞれ変更した。Fig. 1(b)に、このモデルの光モード分散を平面波展開法より求めた結果を示す。分散関係が直線的な LVLD 領域(網掛け部)が群速度 $c/30$ 、周波数帯域 1.75 THz で実現した。比較対象として、PC-WG と同一幅を持つ GaAs 直線導波路および、構造変調していない PC-WG を NLO 媒質として用意した。2次元有限差分時間領域(FDTD)法を用いて、各導波路内でパルス幅 1 ps、差周波数 $\Delta\omega = 1$ THz の2波長パルス(波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯)を発生させ、時間領域での伝搬光の強度変化をモニタし、そのフーリエ変換により周波数スペクトルを求めた。

【結果と考察】Fig. 2に各導波路を利用した場合の時間領域での光強度変化を示す。GaAs 直線導波路では、高群速度の低強度の両パルス光が時間的に重なって伝搬し、 $\Delta\omega$ に対応した時間フリンジが発生し、両パルス光間の位相整合が確認された(Fig. 2(a))。一方で、構造変調していない PC-WG では、大きな群速度分散によって両パルス光が時間的に分離した(Fig. 2(b))。そして、LVLD PC-WG の LVLD 領域に共鳴する2波長パルスを利用することで、両パルス光が等しい低群速度で PC-WG 内を伝搬し、高強度の光電場と $\Delta\omega$ に対応した時間フリンジの発生が同時に確認された(Fig. 2(c))。Fig. 3に光強度をフーリエ変換して求めた周波数スペクトルを示す。LVLD PC-WG を NLO 媒質として利用することで、GaAs 直線導波路と比較して約 280 倍の 1 THz 波のピーク強度の増大が確認された。この結果から、LVLD 特性モード設計により、高効率な THz 波発生の可能性が示された。

[1] M. Tonouchi, Nat. Photon. **1**, 97 (2007).

[2] 中濱照之他、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 7p-PA1-9 (2017 年)

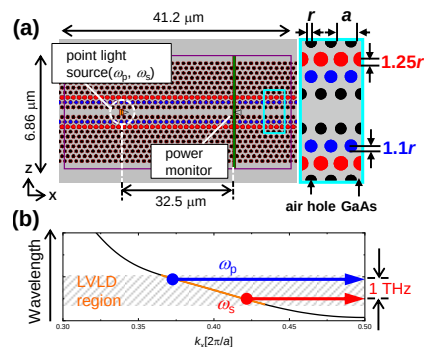


Fig. 1 (a) Schematic illustration of the PC-WG model used in the 2D FDTD simulation. (b) LVLD PC-WG mode.

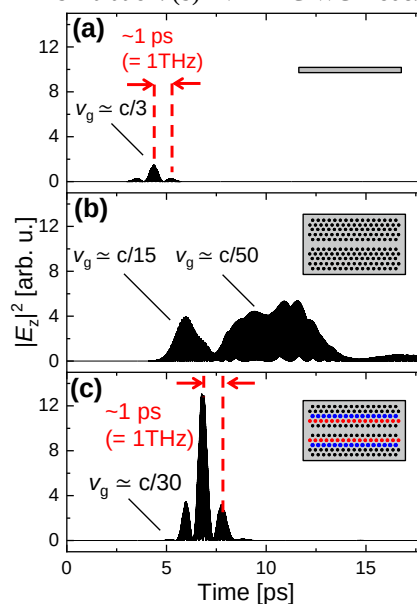


Fig. 2 Light intensity as a function of time (a) GaAs rod, (b) standard PC-WG, and (c) LVLD PC-WG. Insets show schematic of each waveguide.

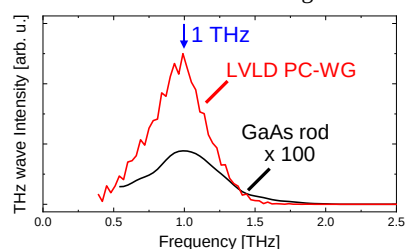


Fig. 3 THz-DFG spectra obtained from LVLD PC-WG (red solid line) and GaAs rod (black solid line).