

2 波長発振テラヘルツ波パラメトリック光源の開発

村手 宏輔^{1,2}, 林 伸一郎^{3,1}, 川瀬 晃道^{1,3}

¹名古屋大学大学院工学研究科 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)

²日本学術振興会特別研究員 DC (〒102-0083 東京都千代田区麹町 5-3-1)

³理化学研究所 (〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 519-1399)

Development of Two Wavelength Terahertz-wave Parametric Source

Kosuke MURATE^{1,2}, Shin'ichiro HAYASHI^{3,1}, and Kodo KAWASE^{1,3}

¹ Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603

² Japan Society for the Promotion of Science, 5-3-1 Kojimachi, Chiyoda-ku, Tokyo 102-0083

³ RIKEN, Aramaki-Aoba, Aoba, Sendai 980-0845

Author: The output power and tuning range of injection-seeded terahertz-wave parametric generators (is-TPG) have improved significantly in recent years. Peak output power of a few tens of kW have been achieved, and the upper limit of the tuning range has increased from 3.0 to 5.0 THz. However, the acquisition of spectra requires long measurement time, because is-TPG is a tunable source and emits only one wavelength per pulse. The objective of this work was therefore to reduce the measurement time via multi-wavelength generation using an is-TPG. The is-TPG device presented here is capable of generating two-wavelength THz-wave outputs.

Key Words: Terahertz-wave, Parametric generation, High power terahertz source, Nonlinear optics

1. 研究背景

テラヘルツ波と呼ばれる約 0.3 ~ 10 THz (波長 1 mm ~ 30 μ m) の電磁周波数帯は、封筒内の禁止薬物検査^{1,2)}初め、様々な産業への応用が期待されているが、未だに実用的なテラヘルツ光源開発は遅れている³⁾。そこで我々は、長年に渡り非線形光学結晶の LiNbO₃ を用いた光注入型テラヘルツ波パラメトリック発生器(is-TPG)の研究開発を行ってきた^{4,5)}。近年では励起光としてサブナノ秒のパルス幅を有する Nd:YAG マイクロチップレーザー⁶⁾の導入によりテラヘルツ波出力が格段に向上し、ピークパワー数十 kW もの出力を卓上サイズで実現した⁵⁾。さらに 0.6~5 THz と非常に広帯域な波長可変性も得ており⁷⁾、実用化が期待されている。

一方で、波長可変光源であるが故に分光測定を行う際の波長掃引時間が問題となっていた。そこで、本研究では is-TPG の多波長発生を実現することで、1 パルスでの広帯域分光を可能とし、測定時間の短縮を目指した。今回はまず 2 波長の同時発生を試み、その結果を報告する。

2. 実験方法

is-TPG は励起光と注入光を位相整合条件を満たす角度で LiNbO₃ 結晶に入射し、結晶内のフォノンとフォトンの混成波であるポラリトンを経た誘導ラマン散乱によりテラヘルツ波の発生

を行う。この時、テラヘルツ波の波長は注入光の波長で決まるため、今回 2 波長の注入光を用いてテラヘルツ波の 2 波長発生を目指した。Fig. 1. に実験系を示す。励起光としてマイクロチップ Nd:YAG レーザーを、注入光として 2 台の ECLD を用いた。この時注入光は回折格子と 2 枚のレンズを用いたアクロマティック光学系を通る事で波長に応じて結晶への入射角度が変化し、2 波長共にノンコリニア位相整合条件を満たしている。発生したテラヘルツ波を、テラヘルツ波検出用の結晶に励起光と共に入射し、赤外光(検出光)に

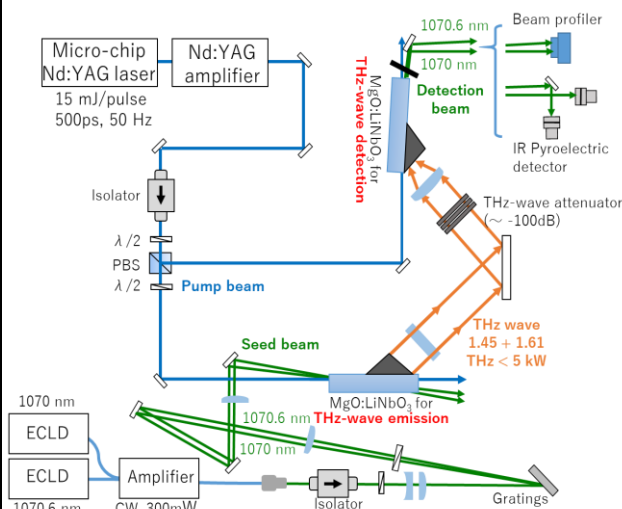


Fig. 1. Experimental setup for two-wavelength generation

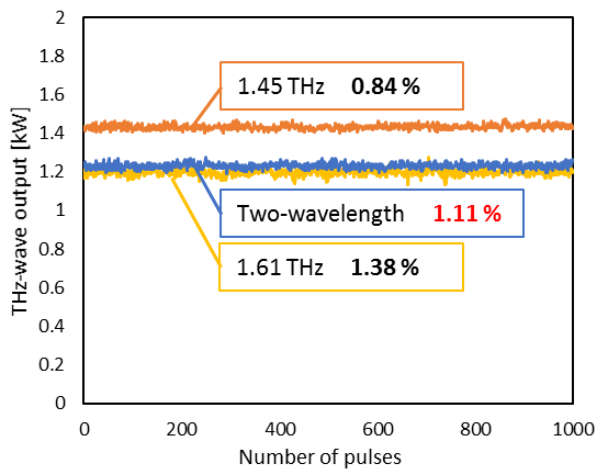


Fig. 2. Terahertz (THz)-wave output power and stability (RSD%) for single-wavelength generation and two-wavelength generation measured using a THz-wave pyroelectric detector. The orange (1.45 THz) and yellow lines (1.61 THz) show the results of single-wavelength is-TPG, and the blue line shows that for a two-wavelength is-TPG (1.45 THz + 1.61 THz).

波長変換し、ビームプロファイラと赤外パイロ検出器を用いて検出した⁵⁾。この検出手法を用いることで、非常に高感度なテラヘルツ波検出が実現するとともに、テラヘルツ波の波長に応じて発生する検出光の角度が変化するため、2波長をそれぞれ分離して検出が可能だ。

3. 実験結果

まずは発生したテラヘルツ波を検出用結晶に入射する前に、テラヘルツ波用パイロ検出器を用いて出力、安定性の測定をした。1.45 THzと1.61 THzの2波長を同時に発生した場合と、それぞれ1波長のみで発生した場合の出力の時間変化をFig. 2. に示す。2波長発生の場合でも、単一波長の場合と同等の出力が得られており、さらに高い安定性も確認できた。

次に検出光に変換し、ビームプロファイラと赤外パイロ検出器を用いて測定した。Fig. 3. 内のビームプロファイルに示すように2波長を分離して検出できた。さらにその2波長を2台の赤外パイロ検出器で検出した結果がFig. 3. のグラフで、テラヘルツ波をアッテネーターで減衰していったところ、およそ7桁減衰まで観測でき、高いダイナミックレンジを実現した。

4. まとめ

以上をまとめる。is-TPGを用いた高ダイナミックレンジテラヘルツ波分光器は実用化が期待される一方、波長可変光源故に1パルス1波長の測

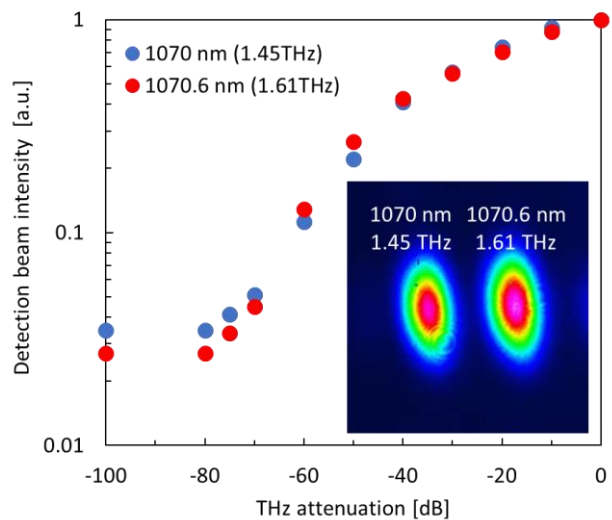


Fig. 3. Dynamic range of the system. The inset confirms two-wavelength generation using a beam profiler; the left side shows the 1070-nm beam pattern (for detection at 1.45 THz), and the right side shows the 1070.6-nm beam pattern (for detection at 1.61 THz).

定しか出来ず、分光測定の際の波長掃引時間が問題となっていた。そこで本研究では測定時間の短縮を目指して2波長の同時発生を行った。通常のis-TPGと同様の非常に高い安定性と出力を確認するとともに、is-TPGを検出側にも配することでダイナミックレンジ7桁以上を実現した。今後は2波長以上の多波長発生の実現を目指して研究を行い、実用化を目指していきたい。

謝辞

研究を進めるにあたりご協力いただいた理化学研究所の縄田耕二研究員、南出泰重チームリーダー、分子科学研究研の平等拓範准教授に深く感謝いたします。

本研究はJSPS 科研費 25220606, 15J04444 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) K. Kawase, et. al., *Opt. Express*, vol. 11, no. 20 (2003) 2549–2554.
- 2) M. Kato, et. al., *Opt. Express*, vol. 24, no. 6 (2016) 6425.
- 3) M. Tonouchi, *Nat. Photonics*, vol. 1, no. 2 (2007) 97–105.
- 4) K. Kawase, et. al., *J. Phys. Appl. Phys.*, vol. 35, no. 3 (2002) R1.
- 5) S. Hayashi, et. al. *Sci. Rep.*, vol. 4 (2014) 5045.
- 6) H. Sakai, et. al., *Opt. Express*, vol. 16, no. 24 (2008) 19891–19899.
- 7) K. Murate, et. al., *Appl. Phys. Express*, vol. 9, no. 8 (2016) 82401.