

四位相検出器を用いたテラヘルツ波高感度検出

High-sensitive Terahertz Wave Detection using Homodyne Phase Diversity

(株)日立製作所 研究開発グループ¹, (株)日立ハイテクノロジーズ²

○高井 茉佑子¹, 白水 信弘¹, 田中 幸彦¹, 茂原 瑞希², 志村 啓²

Hitachi Ltd. Research & Development Group¹, Hitachi High-technologies Corporation²

○Mayuko Takai¹, Nobuhiro Shiramizu¹, Yukinobu Tanaka¹, Mizuki Mohara², Kei Shimura²

E-mail: mayuko.takai.te@hitachi.com

研究背景 テラヘルツ(THz)波の透過性と指紋スペクトルを活かした医薬品等の分析を行う, 光注入型 THz 波パラメトリック発生 (injection-seeded THz parametric generator; is-TPG) 方式を用いた分光器を開発している。非線形光学結晶を用いた is-TPG は, 高出力とコヒーレントであることを特長とする光源である。また, 発生と同様の非線形光学結晶を用いて THz 波を赤外光 (検出光) に変換してビームプロファイラで検出している [1, 2]。前回報告では干渉法の適用により, 検出側の非線形光学結晶で生じる不要光を除去し, 少なくとも 10 dB 検出感度を向上した [3]。本報告では, 正弦波である干渉信号の四つの位相成分を同時取得することで, 測定時間短縮及び信号の時間変動を低減し, 更なる高感度化を図った。

測定方法 図 1(a)に全体構成, (b)に四位相検出器部の光学構成を示す。四位相検出器では図 1(a)のアイドラ光と検出光を合波し, 偏光依存ビームスプリッタと波長板で正弦波である干渉信号の 4 つの位相成分 ($0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$) を分離し, 4 つのフォトダイオード (PD) に入射した。リアルタイムで正弦波の振幅を取得する高感度・高速方式 (リアルタイム方式) と図 1(a)の光路差調整部で光路長を変えながら干渉信号の正弦波形を取得

する高感度方式 (位相シフト方式) の二つの方式で測定を行った。

結果 図 2 に従来測定方式, リアルタイム方式, 位相シフト方式で測定した THz 波強度に対する検出信号値の結果を示す。測定値の差がなくなり, フラットになった部分と線形に変化している部分の交点を求め, 最小感度とした。従来の最小感度である約 -55 dB に比べて, 四位相検出器を用いたリアルタイム方式では 35 dB 感度向上, 位相シフト方式では 60 dB 感度向上を確認した。リアルタイム方式では位相シフト方式に比べ感度が低下しているが, これは測定値変動低減のため PD の受光面積を 100 倍に拡大しており, PD に入射する検出光と同周波数の不要光が増えたためであり, 理想的には位相シフト方式と同程度の感度が得られると考えられる。

[1] R. Guo, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **93**, 021106 (2008).

[2] S. Hayashi, *et al.*, Sci. Rep. **4**, 5045 (2014).

[3] 白水 他, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 8a-A405-5 (2017).

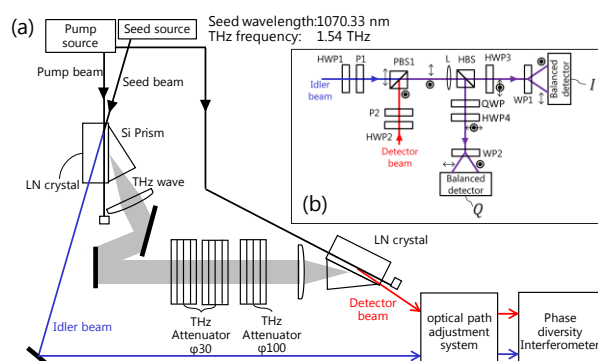


図 1 : (a) 四位相検出器を組み合わせた is-TPG 光学系の模式図。
(b) 四位相検出器の光学系模式図。HWP:1/2 波長板, P:偏光子, PBS:偏光依存ビームスプリッタ, QWP:1/4 波長板, WP:ウォラストンプリズム, HBS:偏光無依存ビームスプリッタ, L:平凸レンズ($f=150$ mm)

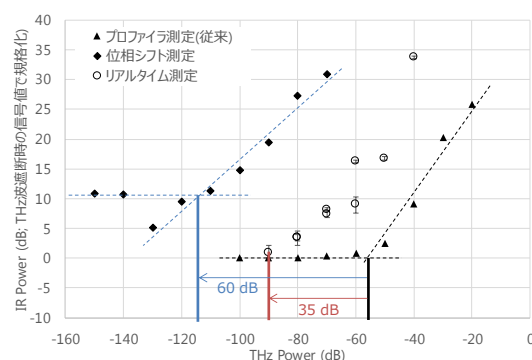


図 2 : 測定した干渉信号より検出光パワーを算出した結果。THz Power は THz アッテネータの仕様値を用いた。リアルタイム測定のエラーバーは 30 回の測定の標準偏差を表す。位相シフト測定では $\phi 0.3$, リアルタイム測定では $\phi 3$ のフォトダイオードを用いた。リアルタイム測定は -100 dB 以下の測定値変動が大きいため, 最小感度を -90 dB とした。