

## 2 波長モード同期ファイバーレーザーを用いた デュアル THz コム参照型 THz 絶対周波数計測

Dual-THz-comb-referenced absolute frequency measurement of CW-THz radiation  
using dual-wavelength mode-locked fiber lasers

徳大理工<sup>1</sup>, JST, ERATO 美濃島知的光シンセサイザ<sup>2</sup>, 北京航空航天大学<sup>3</sup>

○水口達也<sup>1,2</sup>, 胡国庆<sup>3</sup>, 南川丈夫<sup>1,2</sup>, 郑铮<sup>3</sup>, 安井武史<sup>1,2</sup>

Tokushima Univ.<sup>1</sup>, JST, ERATO MINOSHIMA ISO<sup>2</sup>, Beihang Univ.<sup>3</sup>

T. Mizuguchi<sup>1,2</sup>, G. Hu<sup>3</sup>, T. Minamikawa<sup>1,2</sup>, Z. Zheng<sup>3</sup>, and ○T. Yasui<sup>1,2</sup>

E-mail: mizuguchi@femto.me.tokushima-u.ac.jp

http://femto.me.tokushima-u.ac.jp/

室温環境において CW-THz 波の高精度絶対周波数計測が可能な手法として、フォトキャリア・テラヘルツコム (PC-THz コム) との光伝導ミキシング法が有用とされている[1-4]。これまでに、安定化制御シングル・フェムト秒レーザー[1,2]、安定化制御デュアル・フェムト秒レーザー[3]、非制御デュアル・フェムト秒レーザー[3]、非制御シングル・フェムト秒レーザー[4]を用いて、ルビジウム周波数標準と同精度の絶対周波数計測を実現してきた。計測手法の汎用性という観点では、前回報告した市販されている非制御シングル・フェムト秒レーザー[4]の利用が理想的であるが、シングル PC-THz コムの利用により高速測定が困難であった。本発表では、デュアル PC-THz コムの生成により高速計測が可能な非制御 2 波長モード同期フェムト秒レーザー[5]を用いた CW-THz 波の絶対周波数計測を報告する。

図 1 にデュアル PC-THz コムを用いた周波数測定原理を示す。ここで、PC-THz コム 1、PC-THz コム 2 のコム間隔を  $f_{rep1}$ ,  $f_{rep2}$ , ビート周波数を  $f_{beat1}$ ,  $f_{beat2}$ , CW-THz 波に最隣接したコムモード次数を  $m$  とする。CW-THz 波の絶対周波数  $f_{THz} = mf_{rep1} \pm f_{beat1} = mf_{rep2} \pm f_{beat2}$  なので、 $m$  は  $|f_{beat1} - f_{beat2}| / |f_{rep1} - f_{rep2}|$  で与えられる。ここで、PC-THz コムが安定化制御の有無に関わらず、常に周波数等間隔性を有するので、 $f_{rep1}$ ,  $f_{rep2}$ ,  $f_{beat1}$ ,  $f_{beat2}$  を同時計測することにより、 $m$  が求まる。さらに、ビート周波数の符号は、 $m$  の符号と反転の関係にあるので、最終的に次式より絶対周波数が決定できる。

$$\begin{aligned} f_{THz} &= mf_{rep1} - f_{beat1} \quad (m > 0) \\ f_{THz} &= mf_{rep1} + f_{beat1} \quad (m < 0) \end{aligned} \quad (1)$$

2 波長モード同期フェムト秒レーザー[5]では、単層カーボン・ナノチューブ (SWNT) をモードロッカーとし、共振器内の損失と波長フィルタリング (Lyot Filter) の調整を偏波コントローラ (PC) で行うことにより、異なる 2 波長 ( $\lambda_1, \lambda_2$ ) で独立したモード同期動作を得る。また、各波長光に対応した  $f_{rep1}$  と  $f_{rep2}$  は 32.0679MHz と 32.0663MHz であり、その差周波  $\Delta f_{rep}$  は 1.6kHz であった (図 2)。この 2 波長光を分離した後、2 つの THz 検出用光伝導アンテナ (PCA) にそれぞれ入射することにより、周波数間隔の異なるデュアル PC-THz コムを生成した。双方の PCA に CW-THz 波 ( $f_{THz} = 100,020,366,000$  Hz) を入射して、PC-THz コムとの光伝導ミキシングにより、両者のビート信号を RF 帯 ( $f_{beat1}, f_{beat2}$ ) に生成した。そして、高速デジタルタイマーで取り込んだ後に、 $f_{rep1}$ ,  $f_{rep2}$ ,  $f_{beat1}$ ,  $f_{beat2}$  の瞬時周波数を算出し、式 (1) に基づいて、CW-THz 波の絶対周波数  $f_{THz}$  を決定

した。図 3 は、測定結果を示しており、測定レート 25Hz で、 $f_{THz}$  の絶対値を精度  $2.5 \times 10^{-10}$  で決定できた。

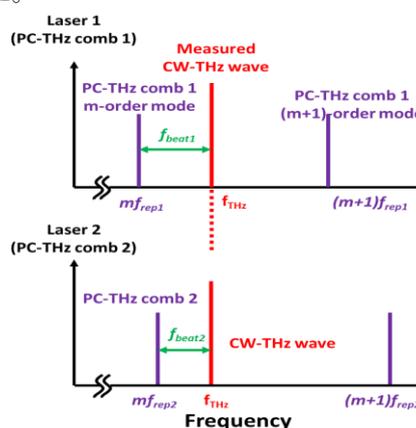


図 1 周波数計測原理

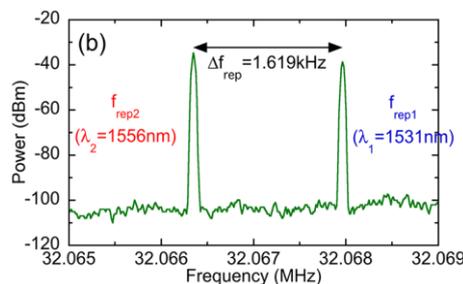


図 2 2 波長光の RF スペクトル

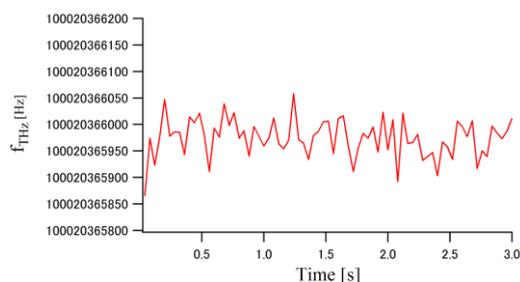


図 3 絶対周波数計測結果

- [1] Opt. Express, **16**, 13052 (2008).
- [2] Opt. Express, **17**, 17034 (2009)
- [3] Opt. Express, **23**, 11367 (2015)
- [4] J Infrared Milli Terahz Wave, **37**, 473 (2016)
- [5] Opt. Express **19**, 1168 (2011)