

“High-precision frequency measurements
in the THz spectral region

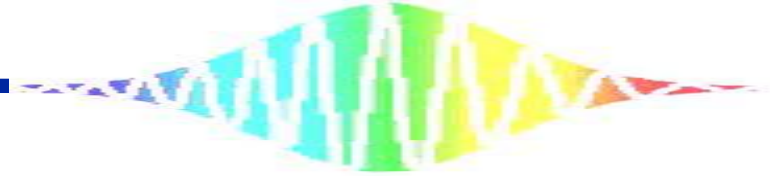
using an unstabilized femtosecond laser”

「非安定化フェムト秒レーザーを用いたテラヘルツ
領域での高精度周波数測定」

Heiko Fuser, Rolf Judaschke, and Mark Bieler
Applied Physics Letters 99,121111(2011)

宿題

2012/7/5 B4 林建太



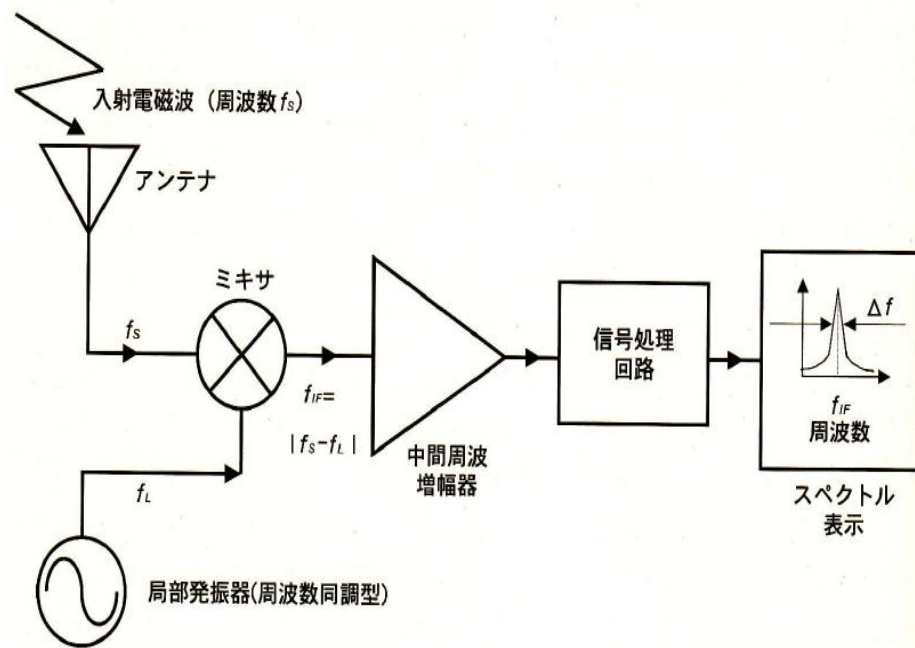
目次

- ヘテロダイン検出法
- 瞬間周波数の測定
- ヒルベルト変換を含めた図 2 の説明
- 図 3 の補正について
- m がわからないとき

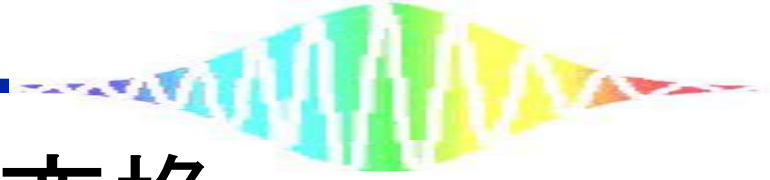
ヘテロダイン検出法

被測定波と局部発振器からのLO信号をミキシングし、発生したビート信号から周波数を求める手法

問題



- 熱雑音を抑制するためにミキサーに冷却装置が必要
- 応答周波数も1THz程度が限界



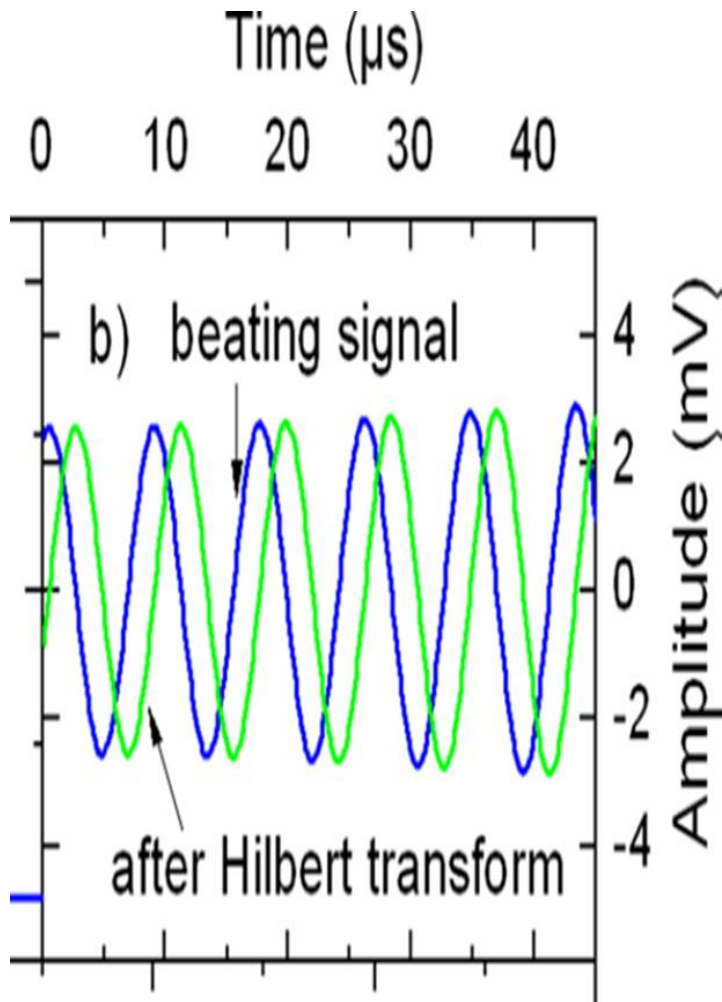
ヒルベルト変換

- ヒルベルト変換とは、振幅特性は周波数によらず一定で、位相特性は正の周波数領域では位相が $\pi/2$ 遅れ、負の周波数領域では位相が $\pi/2$ 進むようなフィルタ

瞬間周波数の測定

ヒルベルト変換を行う

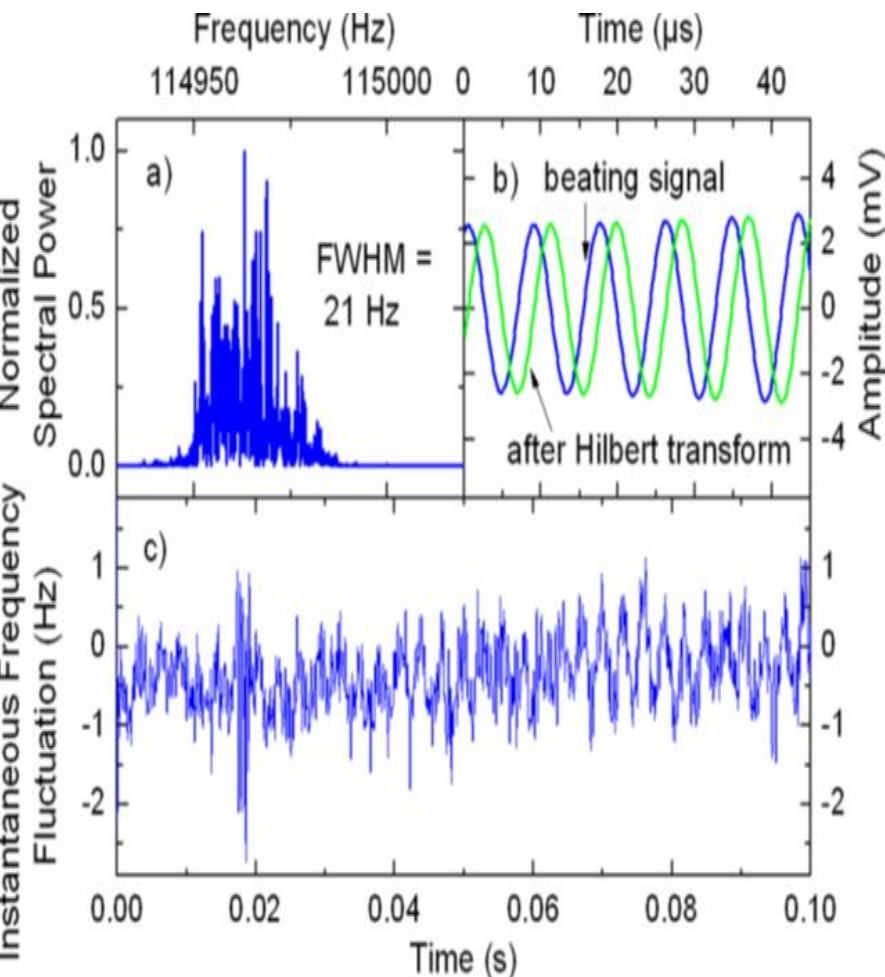
$$\text{位相} = \tan^{-1} \frac{\text{ヒルベルト変換後の信号}}{\text{ビート信号}}$$



ビート信号の瞬間周波数

$$f_{i,beat} = 1/(2\pi) d \arg[z(t)] / dt$$

ヒルベルト変換を含めた図2の説明



ビート信号の瞬間周波数

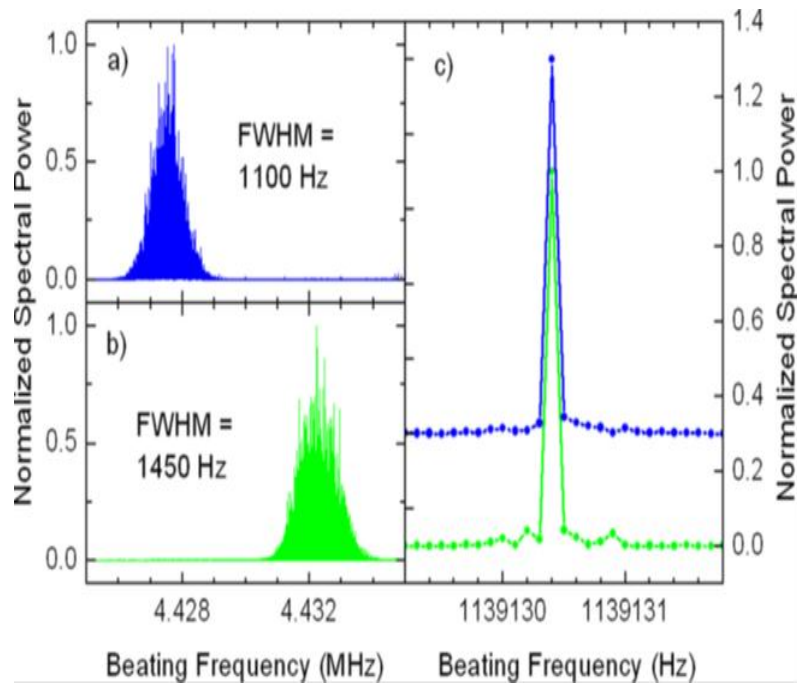
$$f_{i,beat} = 1/(2\pi) d \arg[z(t)] / dt$$

$$f_{b,rep} = |n \cdot f_{rep} - f_{LO}| \text{より}$$

繰り返し周波数の瞬間周波数

$$f_{i,rep} = |f_{i,beat} - f_{LO}| / n$$

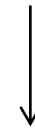
テラヘルツビート信号の補正(図3)



ヒルベルト変換

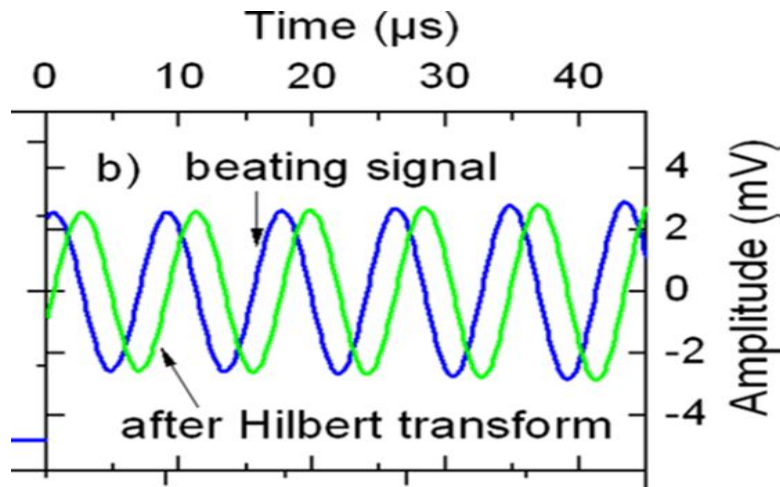


位相の算出

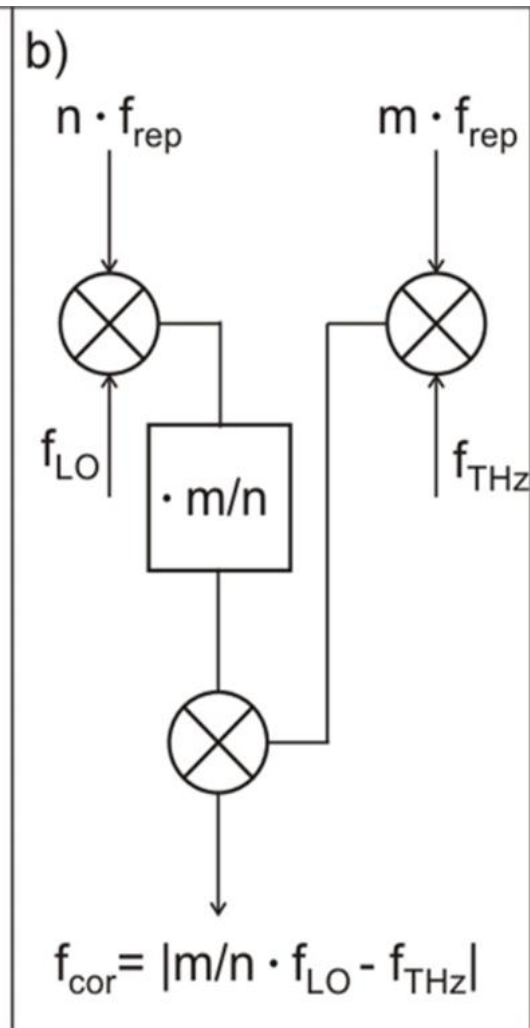


THzビート信号の瞬間周波数

$$f_{i,THzbeat} = 1/(2\pi) d \arg[z(t)] / dt$$

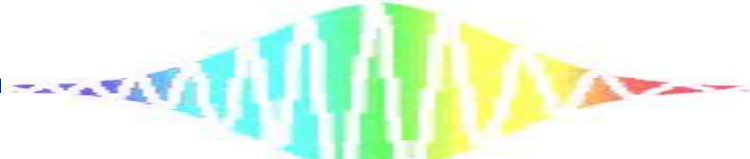


解決策



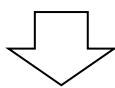
$$\begin{aligned}
 & |m/n \cdot f_{b,rep} \otimes f_{b,THz}| \\
 = & |m \cdot f_{rep} - m/n \cdot f_{LO}| - |m \cdot f_{rep} - f_{THz}| \\
 = & |m/n \cdot f_{LO} - f_{THz}|
 \end{aligned}$$

繰り返し周波数は相殺されたので、
レーザーを安定化しなくても高精度な
CW-THzの周波数測定が可能



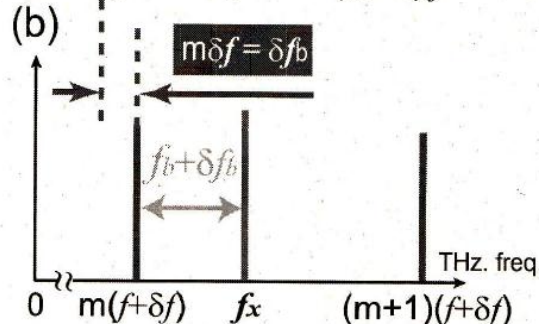
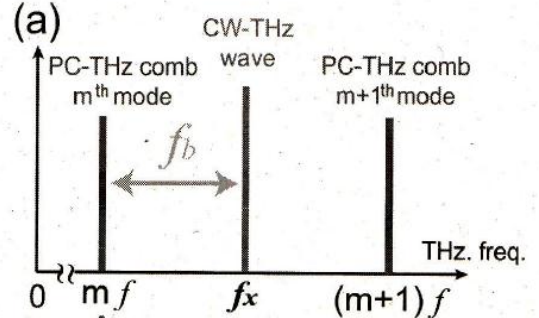
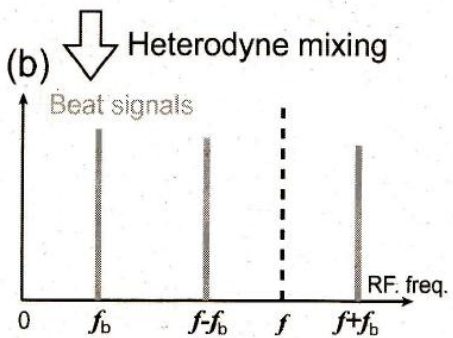
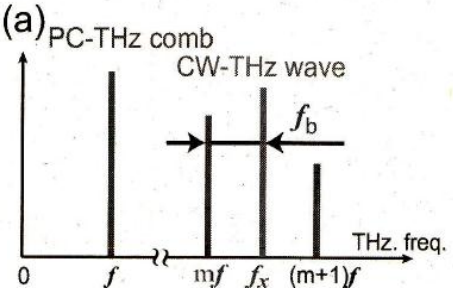
従来のCW-THz絶対周波数測定

PC-THzコムが生成されたPCA内にCW-THz波を入射



ビート信号の周波数 $f_b = |m \cdot f - f_x|$

ここで、共振器長をわずかに変化($f + \delta f$)させるとビート周波数は $f_b + \delta f_b$ に変化する



$m\delta f = \delta f_b$

これによりmが決まるので絶対周波数が測定できる

(周波数精度 10^{-11})