

# THz imaging technique using balanced detection.

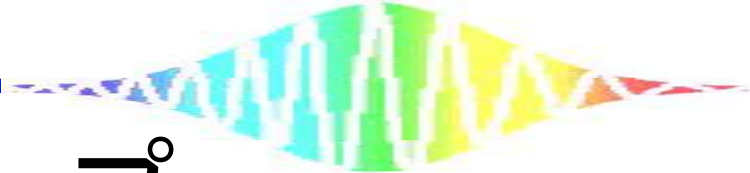
M 2 北口

# Multichannel balanced electro-optic detection for Terahertz imaging

## THzイメージング

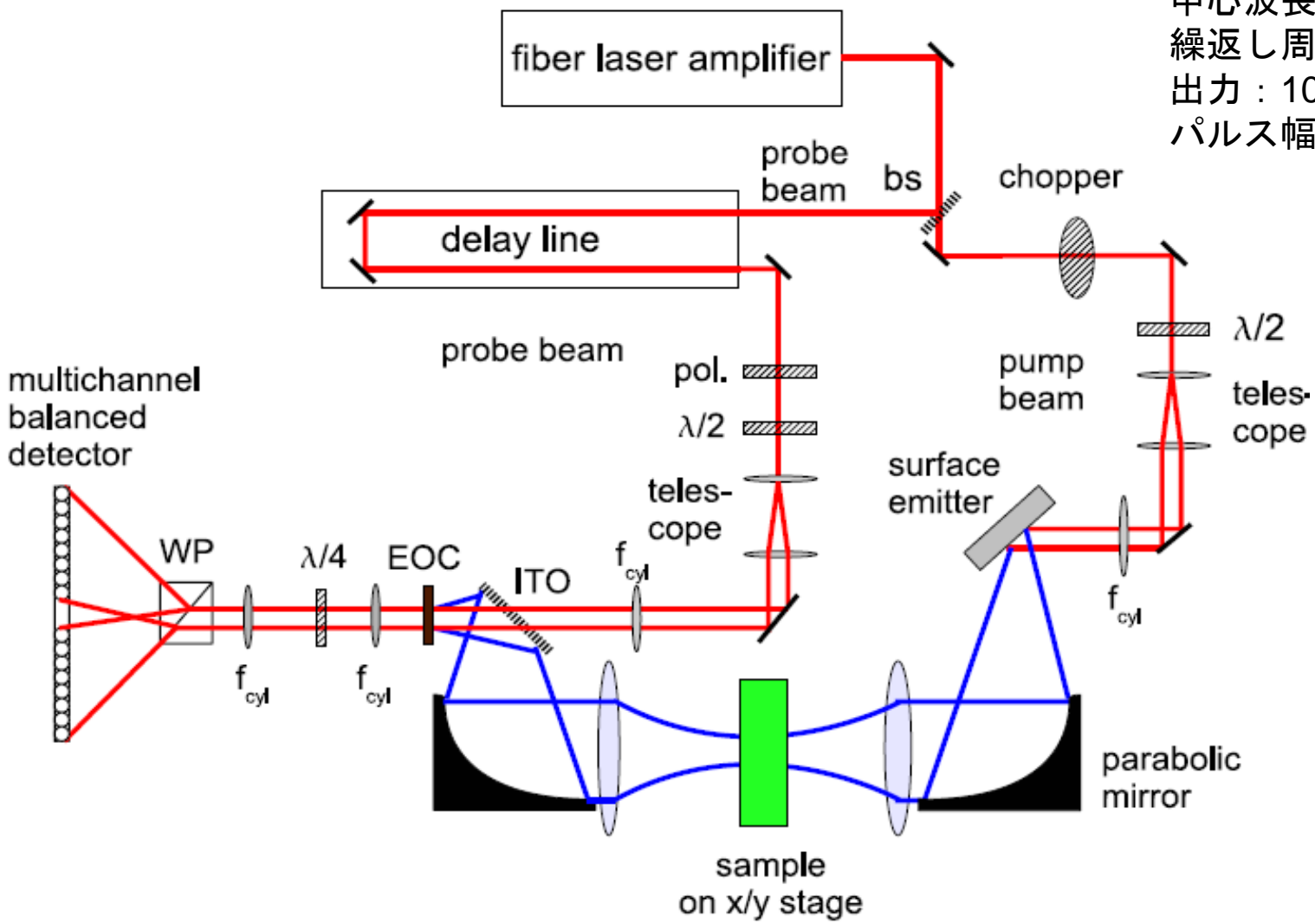
- ・ 点検出を用いたTHz-TDS
  - ロックイン検出により高いSN比
  - ×測定時間が長い
- ・ 非同期光サンプリング
  - 測定時間短い
  - ×背景光の影響強い、光源高価
- ・ 2DEOS
  - 測定時間短い
  - ×バランス・ロックイン検出できない、光源高価

**バランス検出・ロックイン検出をイメージングに適用**



# セットアップ

中心波長：1060nm  
 繰返し周波数：75MHz  
 出力：10W  
 パルス幅：100fs

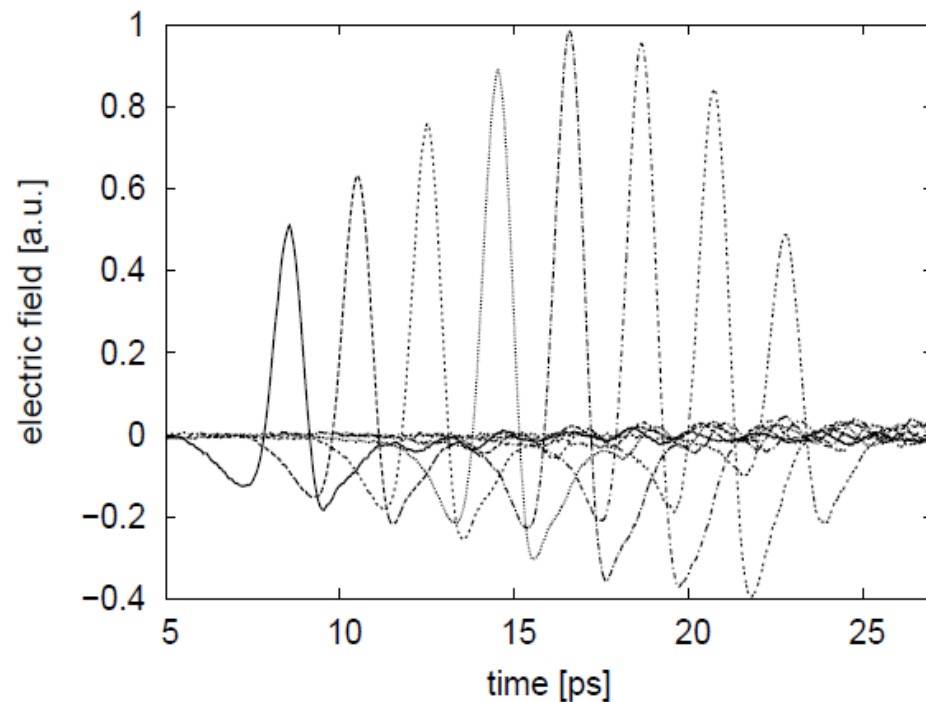
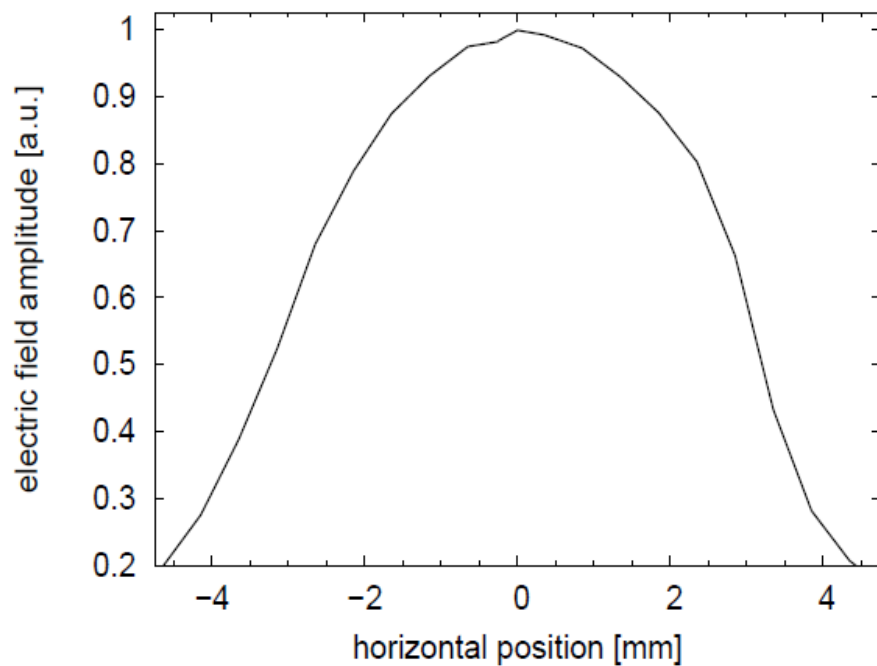
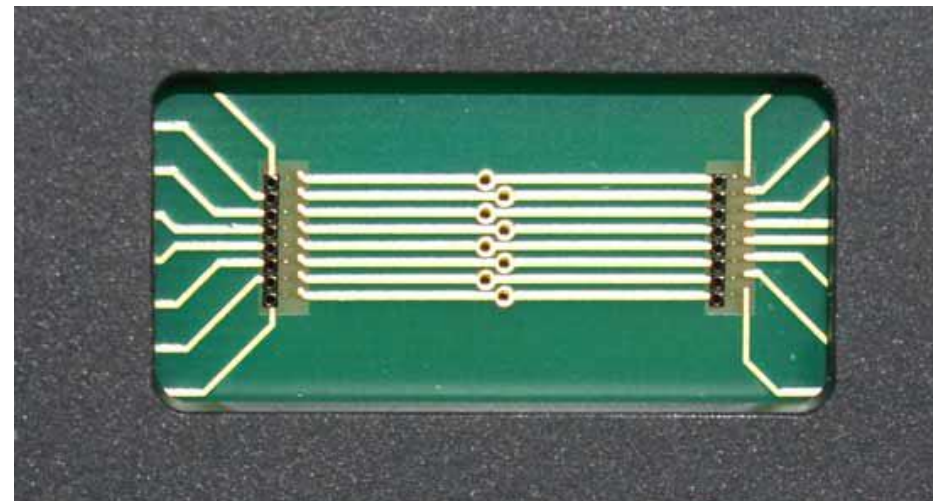
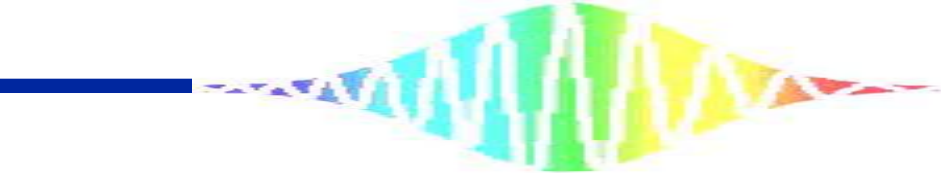


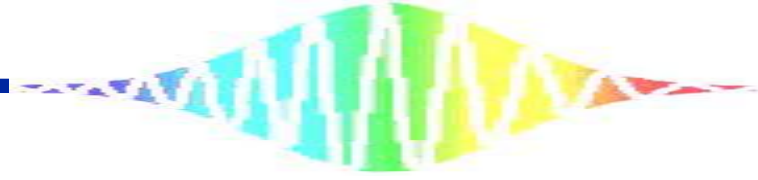
# プロフィール

直径500 $\mu\text{m}$   
ピッチ750 $\mu\text{m}$

$5 \times 10^5 \text{V/A}$ 増幅

中央部近辺を利用  
強度差10%未満



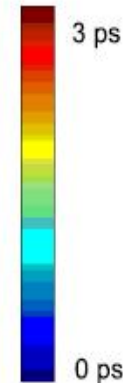
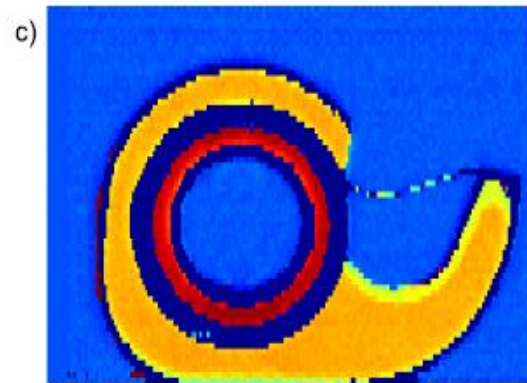
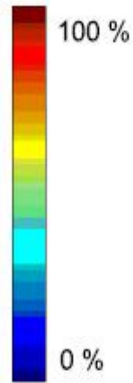
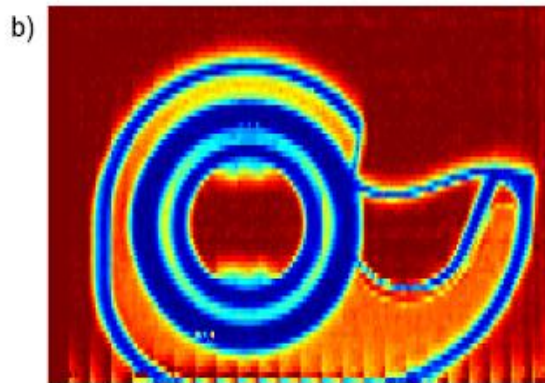


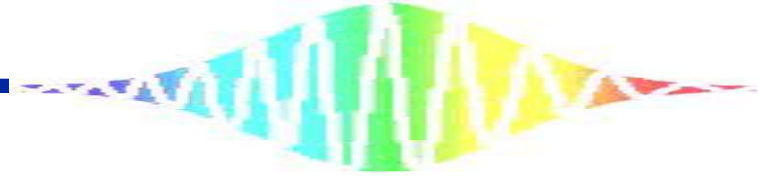
# 実験結果

走査時間  
同等のSN比を持つシングル  
チャンネル検出より5倍短い

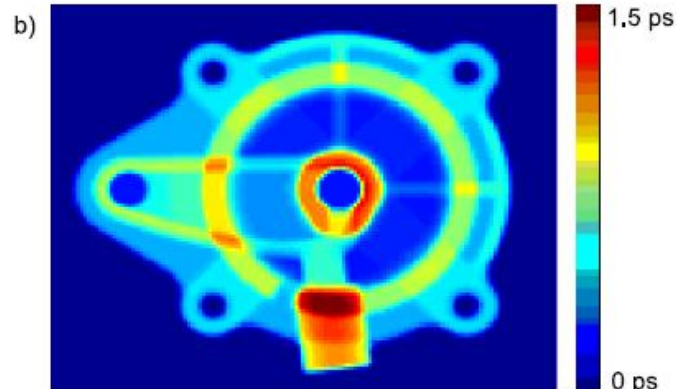
ピクセルピッチ  
水平500 $\mu\text{m}$   
垂直1000 $\mu\text{m}$

24  $\times$  76回移動



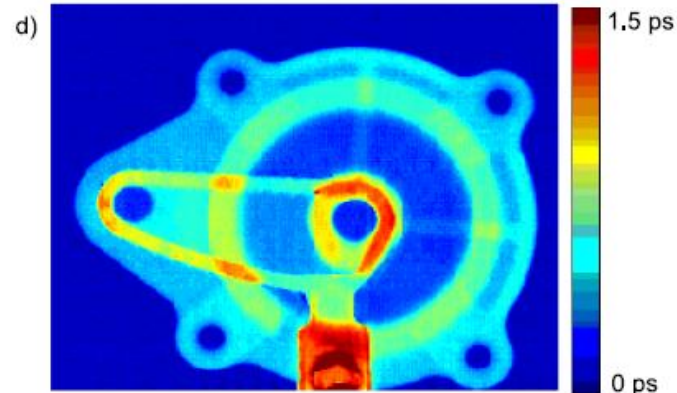
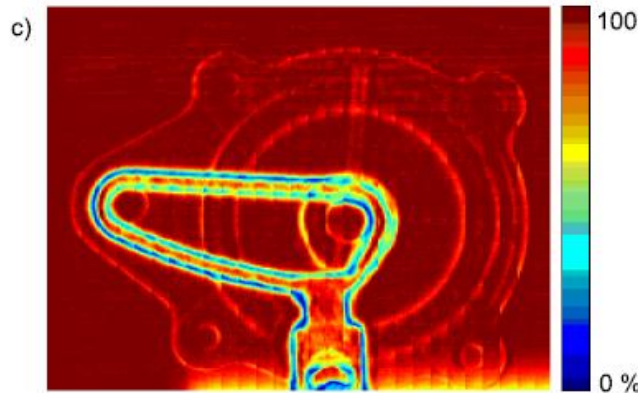


# 実験結果

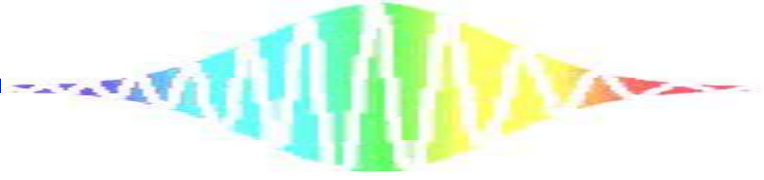


ピクセルピッチ  
水平500 $\mu$ m  
垂直500 $\mu$ m

33  $\times$  240回移動



THz波に対  
しほぼ透明  
 $n=1.01$



## まとめ

- 8ピクセルのバランス検出セットアップを、THzイメージングに提示した
- LIAと各ピクセルを組み合わせることに  
よって、SN比は単一ピクセル検知の  
セットアップに匹敵
- 同SN比の単一ピクセル検出と比較して  
5倍高速



A pulsed THz Imaging System with a line focus and a balanced 1-D detection scheme with two industrial CCD line-scan cameras.

- THzイメージング

2 D-EOSやCMOSを用いた高速計測が  
提案

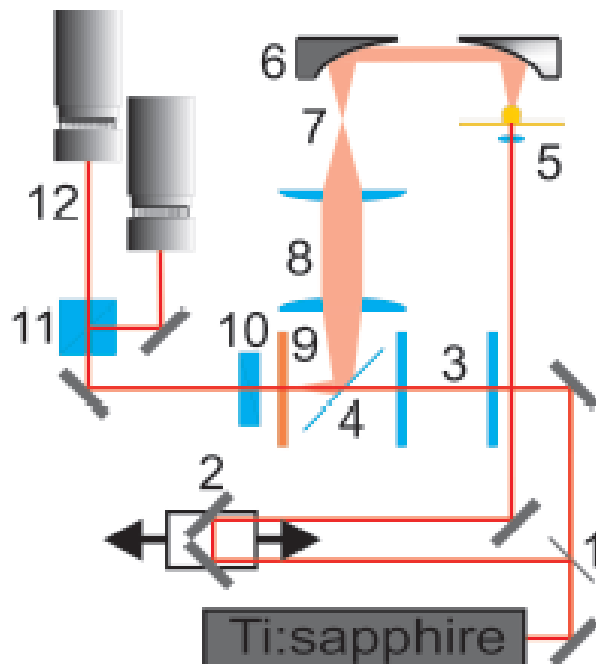
⇒温度等の環境に強く影響を受ける

**バランス検出で背景の影響を除去**

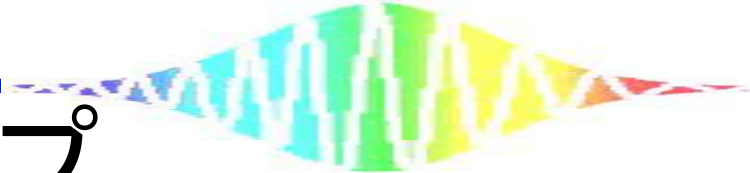


# セットアップ

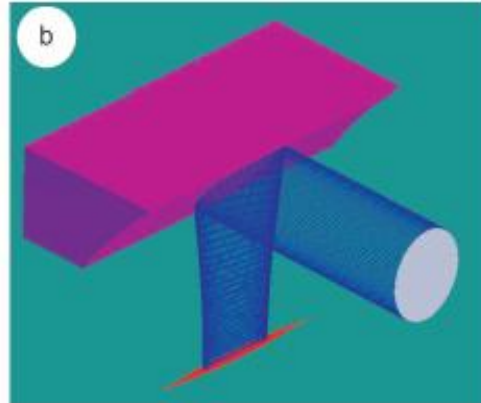
中心波長：780nm  
 繰返し周波数：80MHz  
 出力：80mW  
 パルス幅：100fs



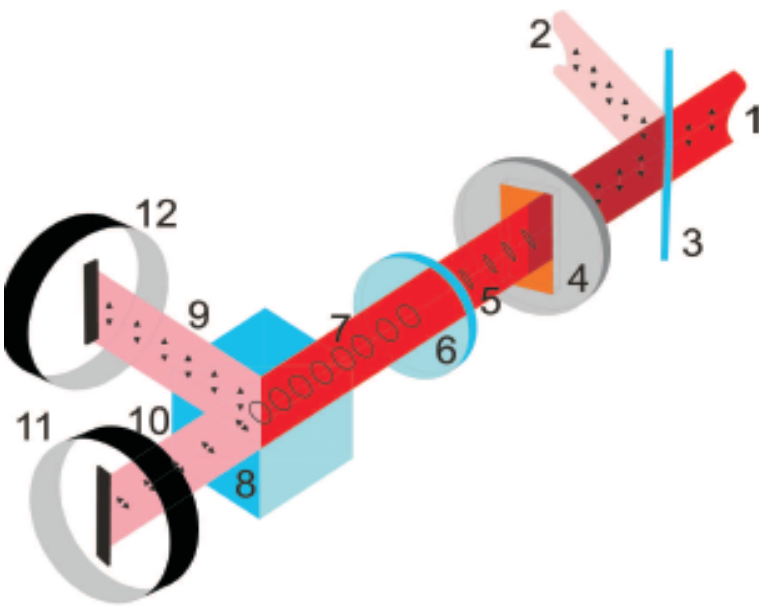
- 1 beam splitter
- 2 mechanical delay stage
- 3 cylindrical lens system
- 4 ITO-plate
- 5 emitter: bowtie antenna
- 6 2-D-parabolic mirror
- 7 THz line focus
- 8 THz optics
- 9 ZnTe crystal
- 10 quarter-wave plate
- 11 polarizing beam splitter cube
- 12 CCD line-scan cameras



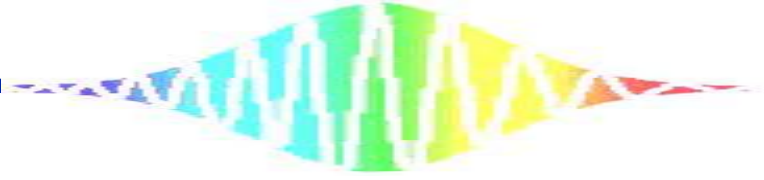
# セットアップ



精度 : 10μm



- 1 vertically polarized laser light
- 2 vertically polarized THz radiation
- 3 ITO-plate
- 4 ZnTe crystal
- 5 laser light elliptically polarized (ellipticity depends on THz illumination at ZnTe crystal)
- 6 quarter-wave plate
- 7 elliptically polarized laser light (almost circular polarization for THz beam blocked)
- 8 beam splitter cube
- 9  $\vec{s}$ -polarized laser light
- 10  $\vec{p}$ -polarized laser light
- 11 line-scan camera *A*
- 12 line-scan camera *B*



# アルゴリズム

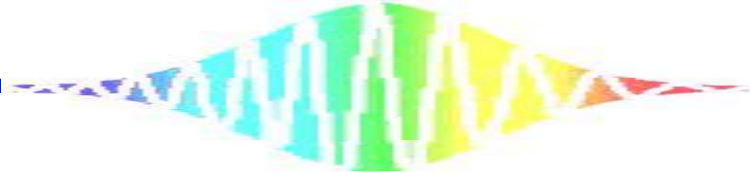
$$F_{n,m}^x \quad x \in \{A, B\}; n = 1, \dots, 500; m = 1, \dots, 2048 \quad (1)$$

$$F_{n,m}'^x = \begin{cases} f_{k,m}'^x = (F_{i,m}^x + F_{i+1,m}^x)/2 \\ f_{l,m}'^x = (F_{i,m}^x - F_{i+1,m}^x)/2 \end{cases} \quad (2)$$

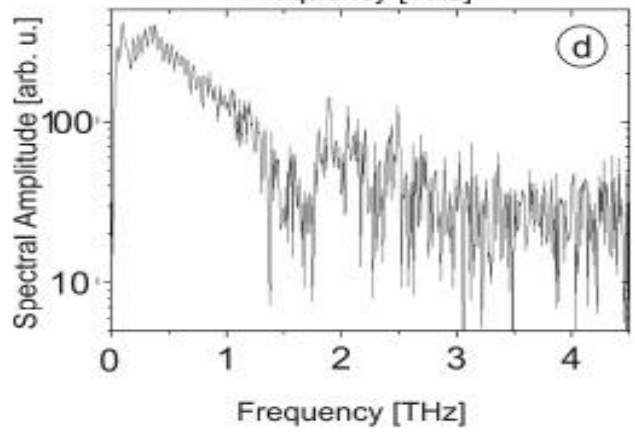
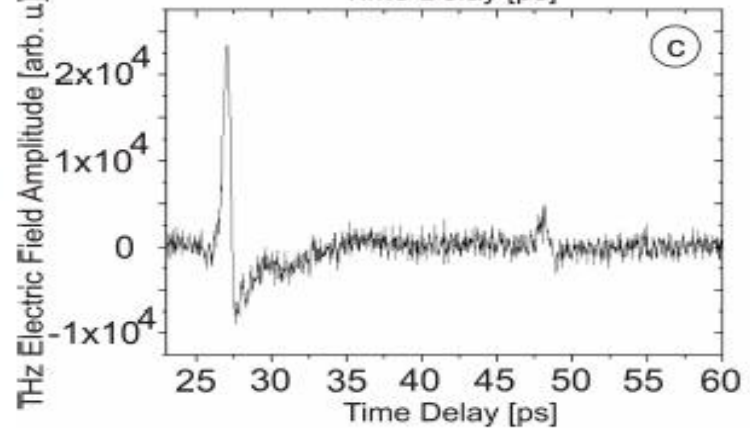
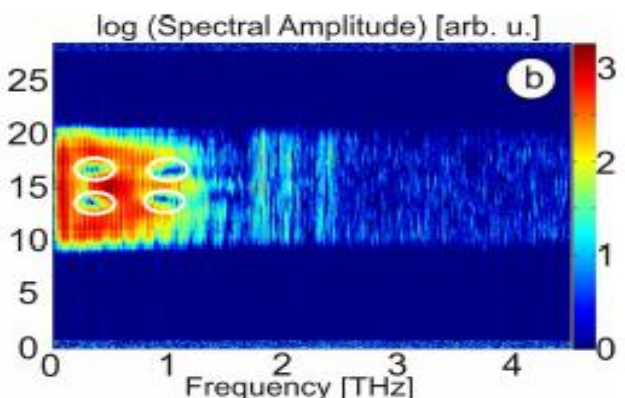
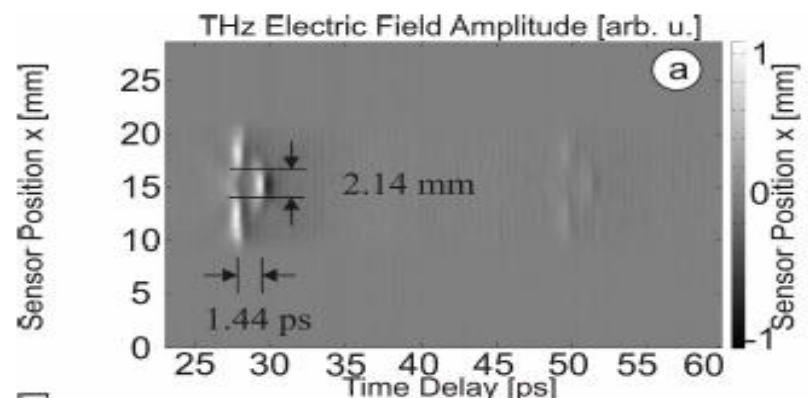
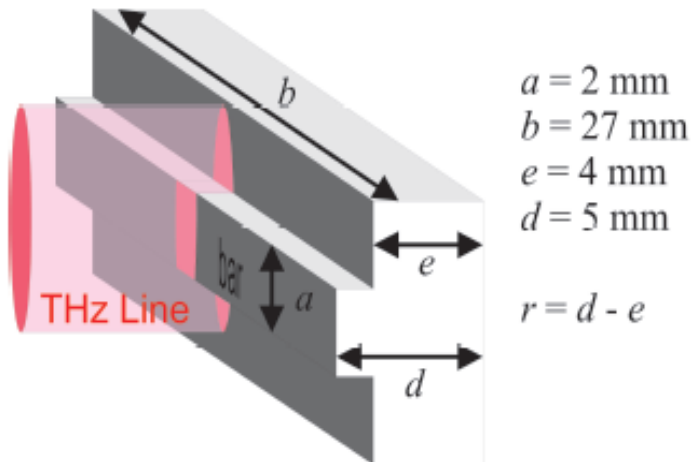
$$x \in \{A, B\}; k = 1, \dots, 250; l = 251, \dots, 500; m = 1, \dots, 2048; i = 1, 3, 5, \dots, 499$$

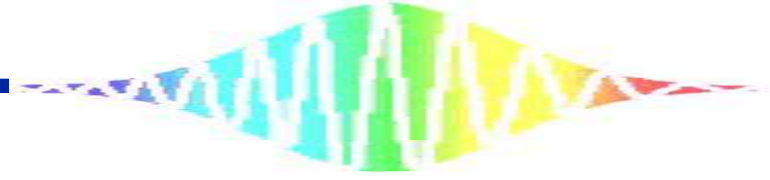
0~250は平均  
250~チョッピング

$$F_{n,m}'' = (F_{n,m}'^B - F_{n,m}'^A)/2 \quad n = 1, \dots, 500; m = 1, \dots, 2048. \quad (3)$$



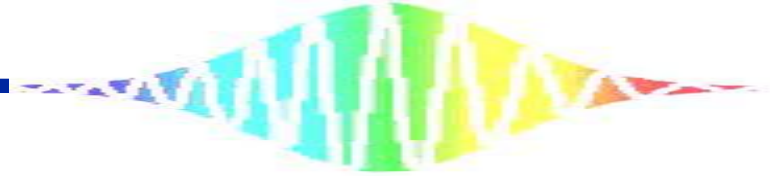
# 実験結果





## まとめ

- 2台のCCDラインスキャンカメラで1Dバランス検出が実証された。
- ラインセンサーは高さ11.4mm、幅2.5mmで測定された。
- 2mmの構造が確認できた。測定された遅延時間は予測と合致していた。SN比は30に達した



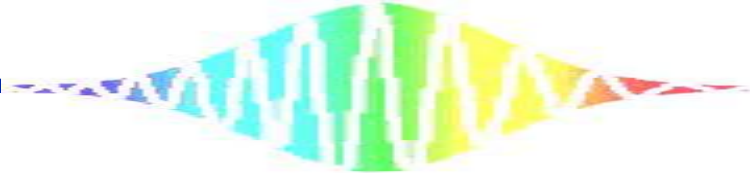
# Real-time terahertz near-field microscope

- THz波・・・波長の影響で空間分解能が不足

⇒近接場光を計測に用いれば波長に制限されない

- ・ THz波の特徴を活かせるバイオセンシング分野では、リアルタイムでの微小構造の変化を捉えたい

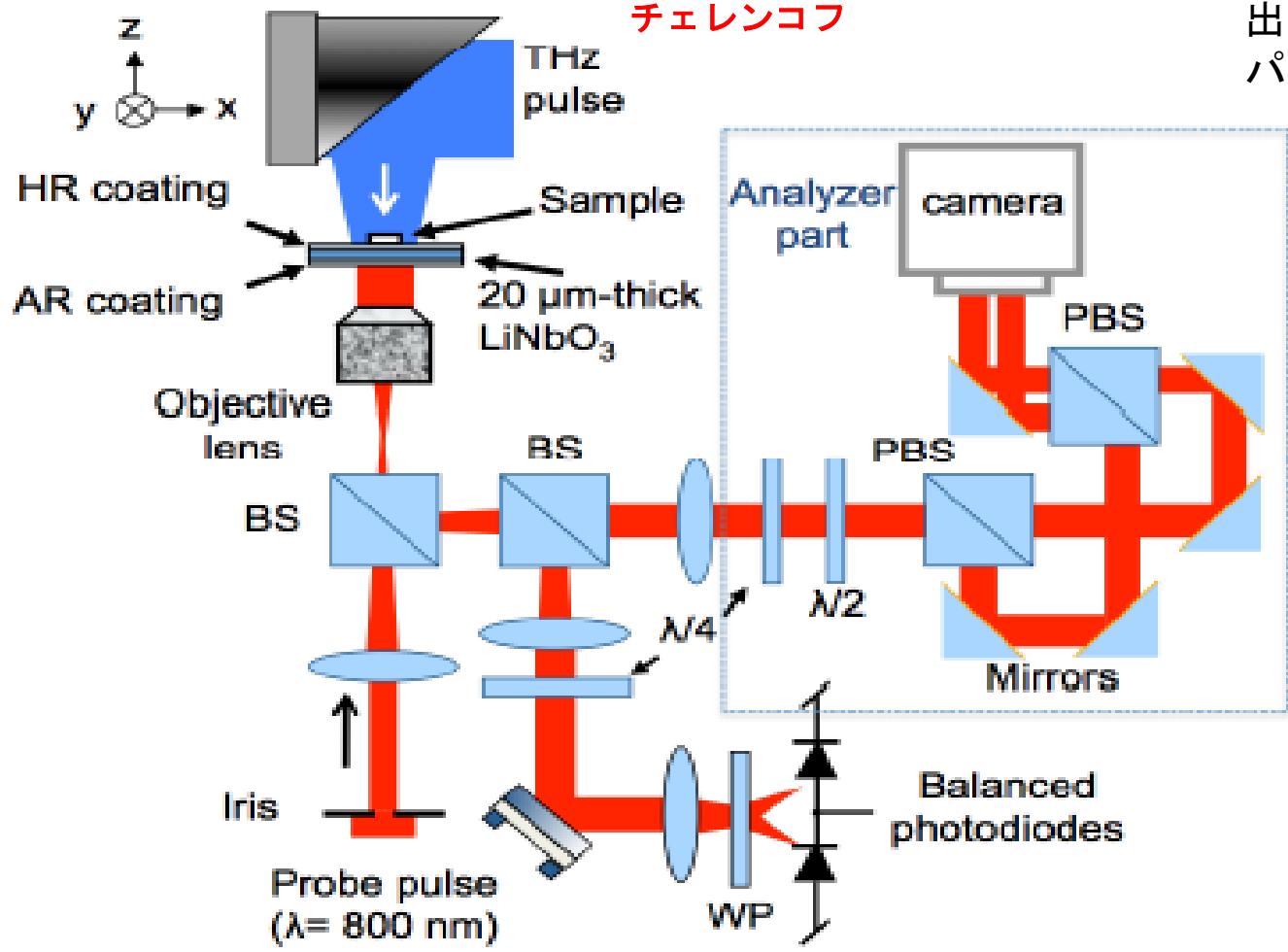
⇒実時間でのTHz近接場イメージング



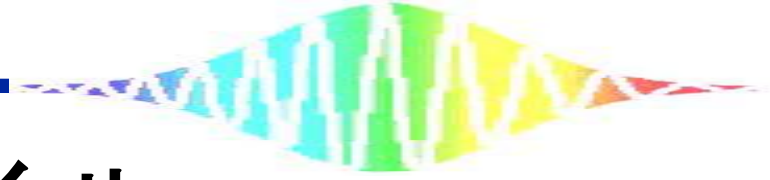
# セットアップ

中心波長 : 800nm  
 繰返し周波数 : 1kHz  
 出力 : 4mJ  
 パルス幅 : 85fs

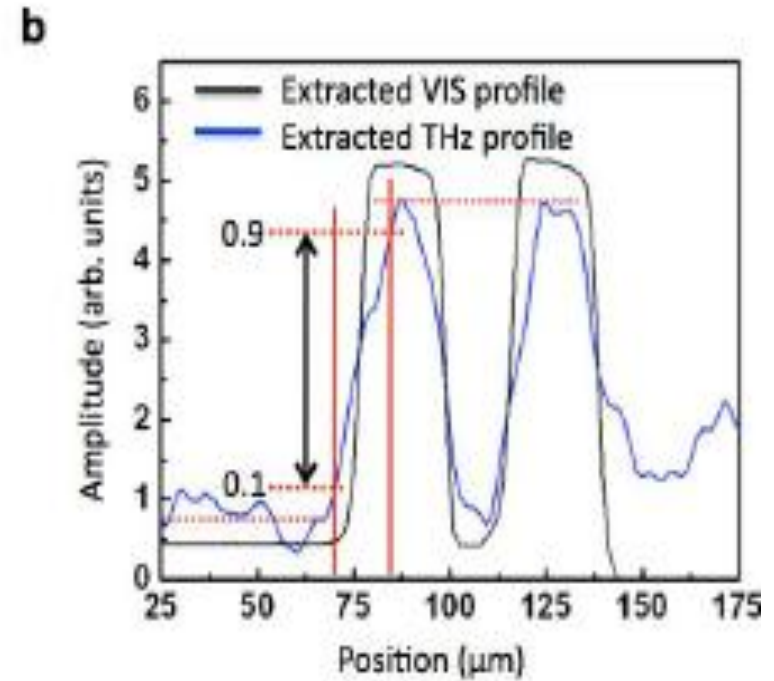
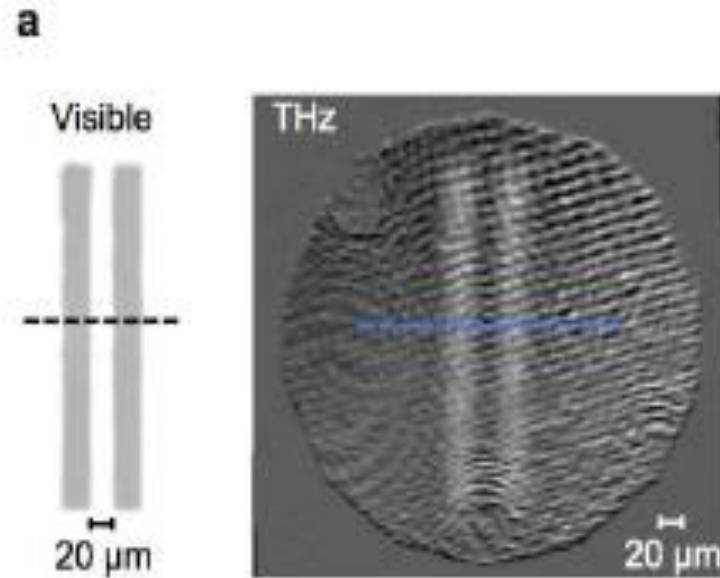
発生は  
 チェレンコフ

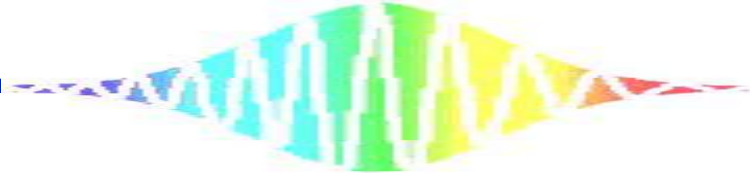




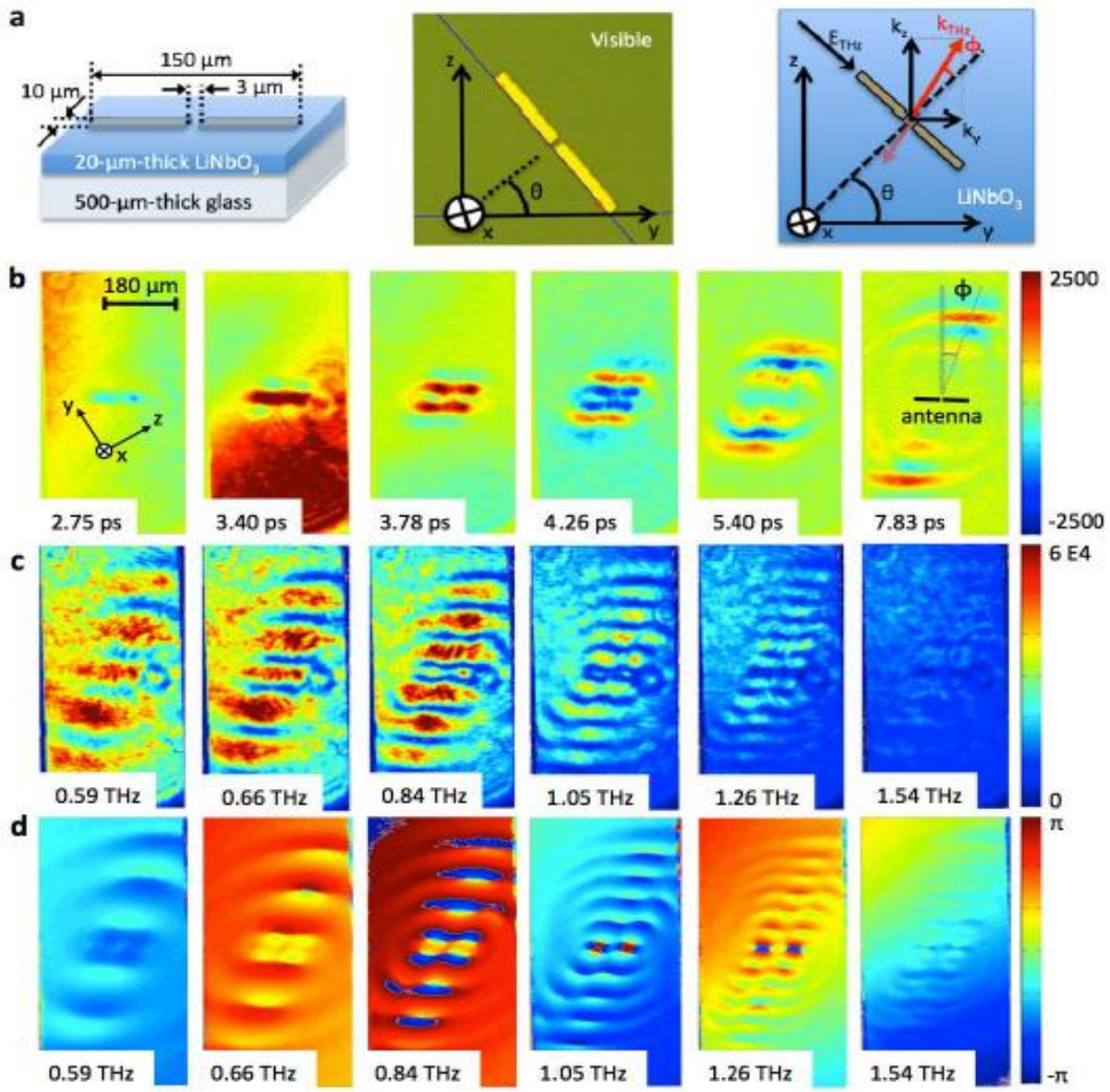


# プロフィール



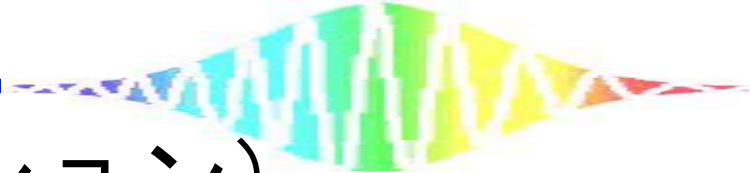


# 実験結果



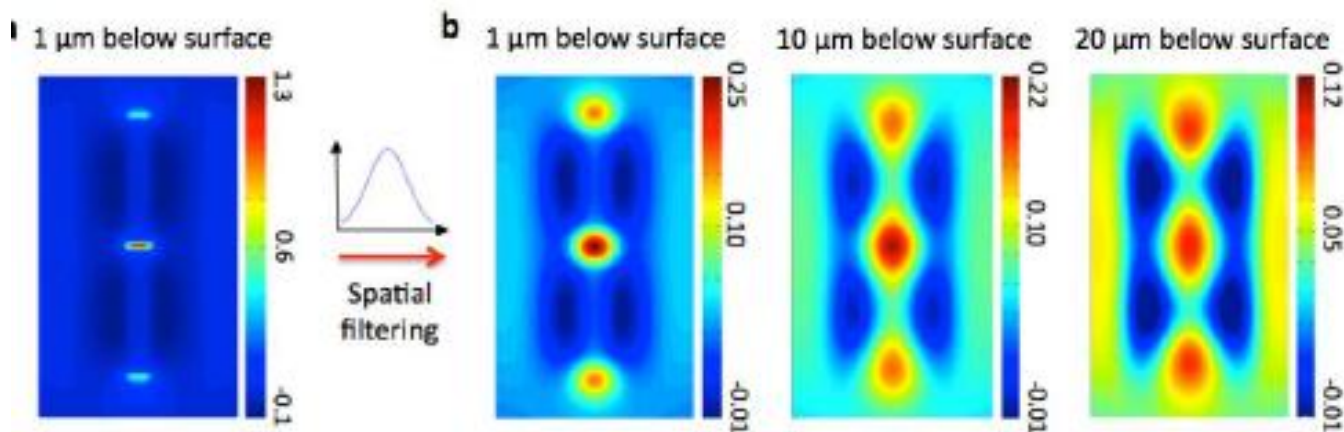
LNの厚み20μm  
(500μmのガラスに固定)

ダイポールアンテナ  
からの再放射



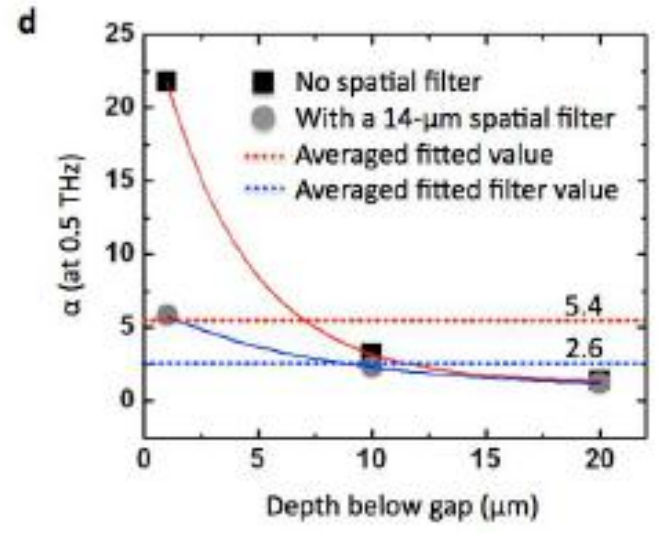
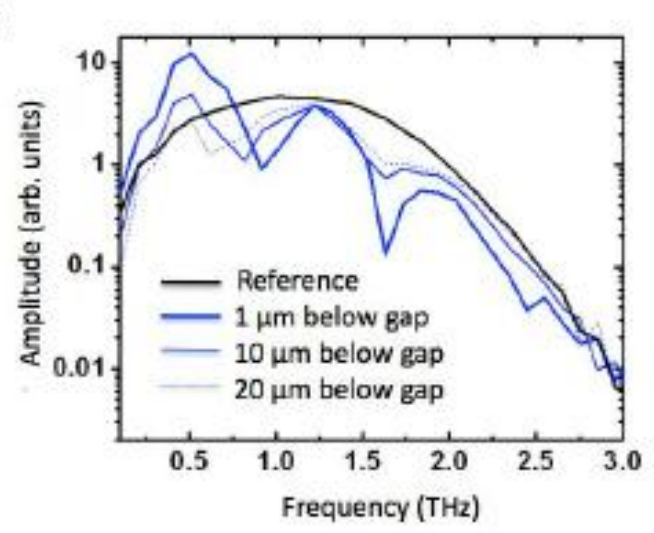
# 実験結果 (シミュレーション)

有限差分時間領域(FDTD)ソフトウェア

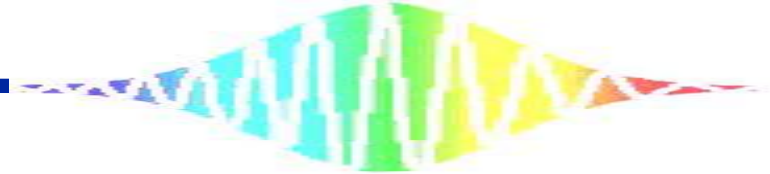


1 × 1 μmの空間分解能を備えた101 × 215 μm エリア上

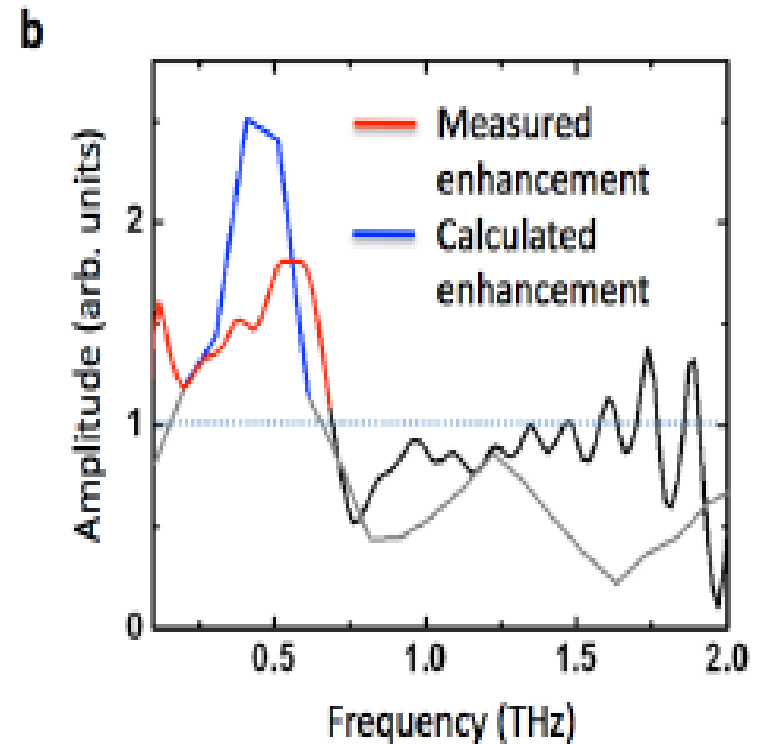
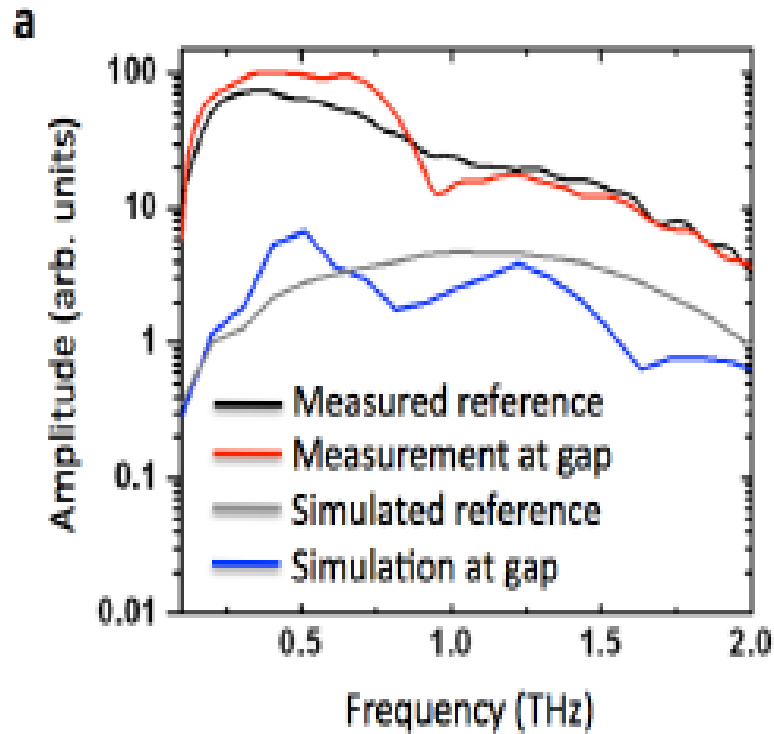
3 μmのエアギャップ

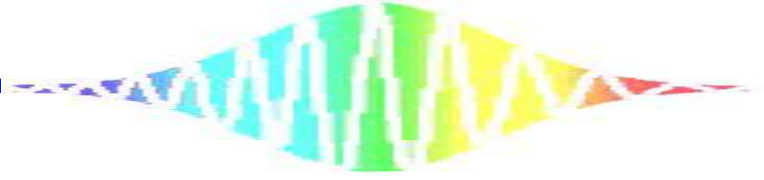


LNの屈折率は、  
複屈折を無視して  
5.11



# 比較





## まとめ

- 35Hzの繰返し速さで得られた $370 \times 740 \mu\text{m}^2$  イメージ領域で $14 \mu\text{m}$  ( $0.7\text{THz}$ の $\lambda/30$ )の空間分解能を達成した
- FDTDシミュレーションへの一致と、ダイポールアンテナのギャップ位置で電場増強をイメージングする能力を実証
- 数分で単一データポイント2290万相当のデータをとることができる