

光通信技術に適合したテラヘルツ波 センシングシステムの開発

総務省 戦略的情報通信研究開発推進制度

(研究主体育成型研究開発 産学官連携先端技術開発)

平成15年～平成20年 総額1.8億円

京都大学大学院理学研究科 : 田中耕一郎(代表)



京都大学大学院理学研究科:永井正也、 アイシン精機株式会社:大竹秀幸、杉浦利治

広島大学大学院先端物質科学研究科:角屋 豊、北川二郎

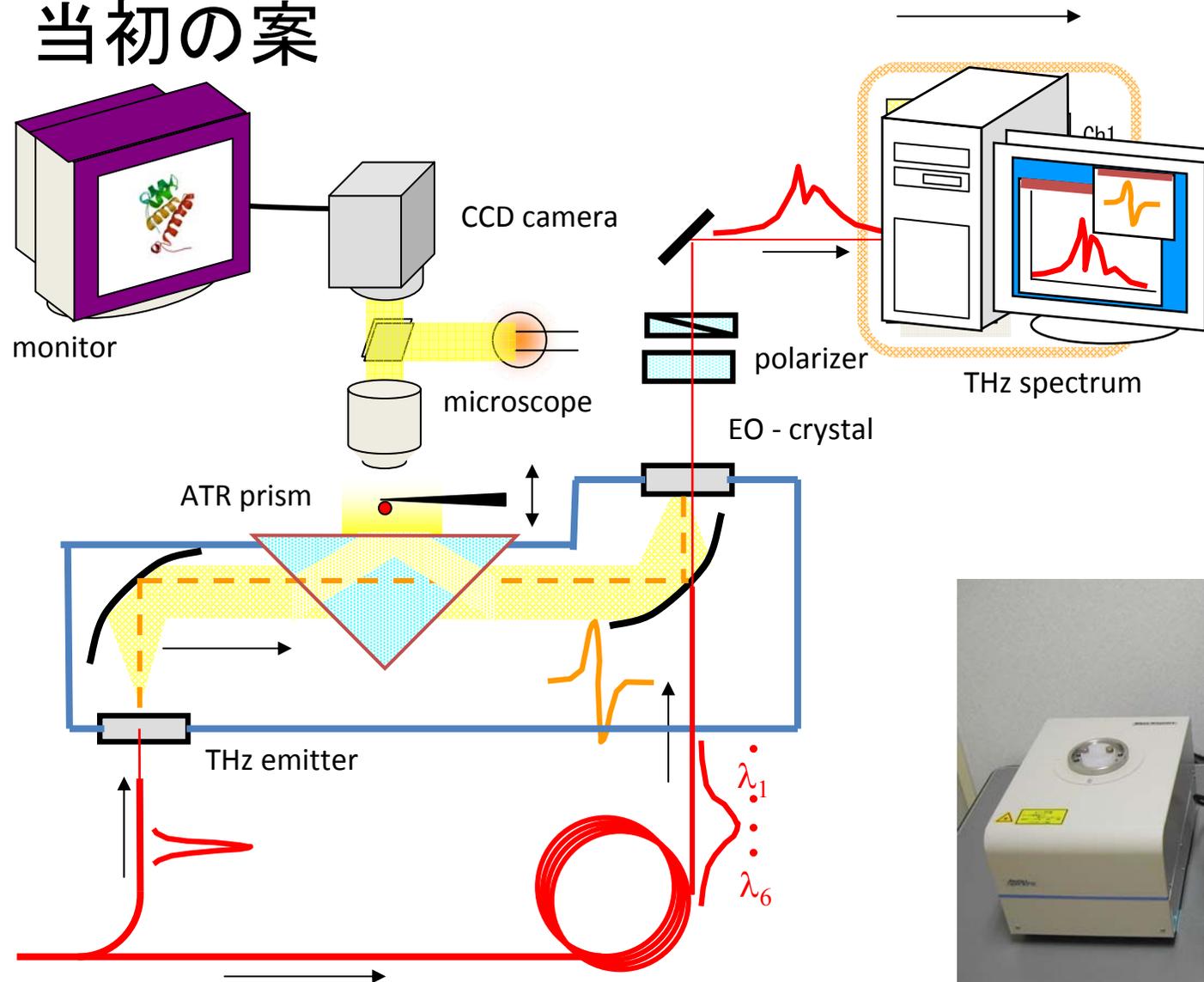
情報通信機構関西研:斎藤伸吾、株式会社栃木ニコン:福島一城、深澤亮一

本プロジェクトの目的:光通信帯域の超小型フェムト秒ファイバーレーザーと超高速フォトデバイスをもちいたテラヘルツ波発生・検出技術を進展させ、医薬・生物分野での応用に適した全反射分光(ATR)ヘッドを内蔵した小型テラヘルツセンシングシステムを開発する。

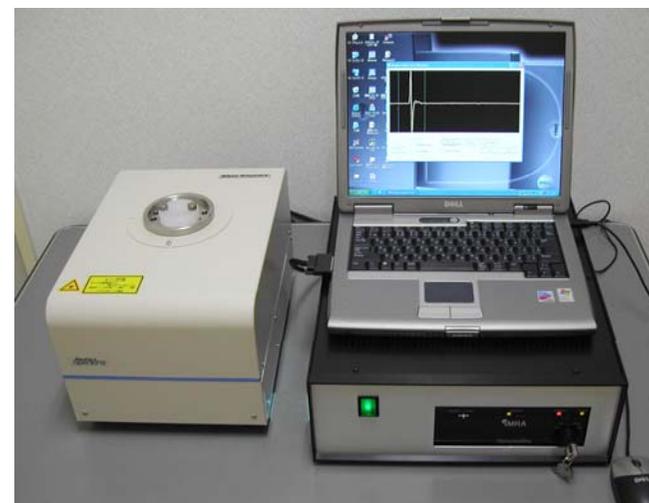
本プロジェクトの主な成果:①コンパクトTHz-ATR分光装置、②1.5 μ 帯用のテラヘルツ波発生・検出技術、③全反射分光技術、④テラヘルツ分光チップ、⑤広帯域テラヘルツ波発生・検出技術、⑥高出力ファイバーレーザー技術

コンパクトTHz分光装置

当初の案



最終形



コンパクトTHz-ATR分光装置

- 開発の概略

光学系デザイン、測定原理(京都大学)

THz発生、検出素子開発(広島大学、NICT)

1.5ミクロン帯フェムト秒ファイバーレーザー開発(アイシン)



プロトタイプ構築、製品化
(栃木ニコン)

SCOPE project
2003-2007



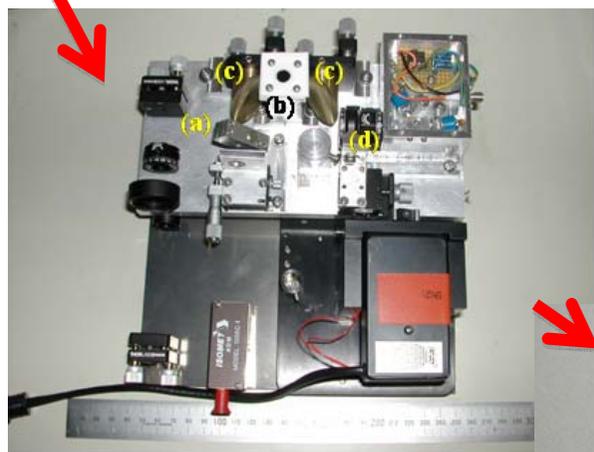
Advanced Terahertz Technologies
adapted for Optical Communication

コンパクトTHz-ATR分光装置

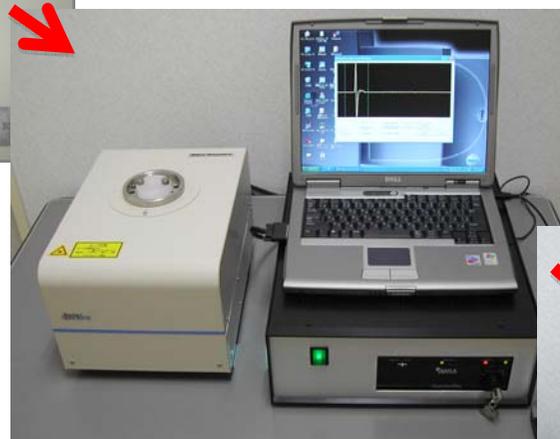


開発の流れ

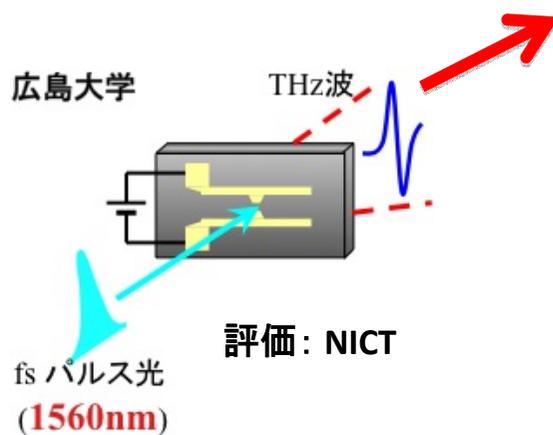
2003. 10開始



2005. 3 京都大学



2006. 3 栃木ニコン

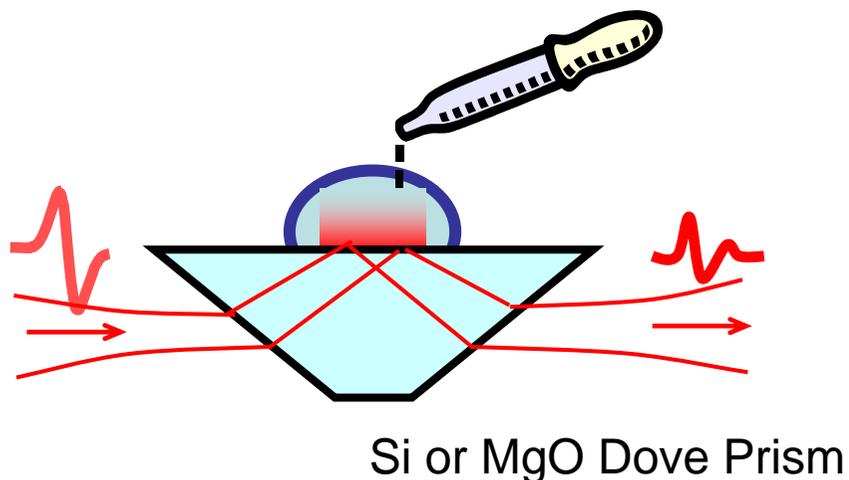


2008. 1
栃木ニコン



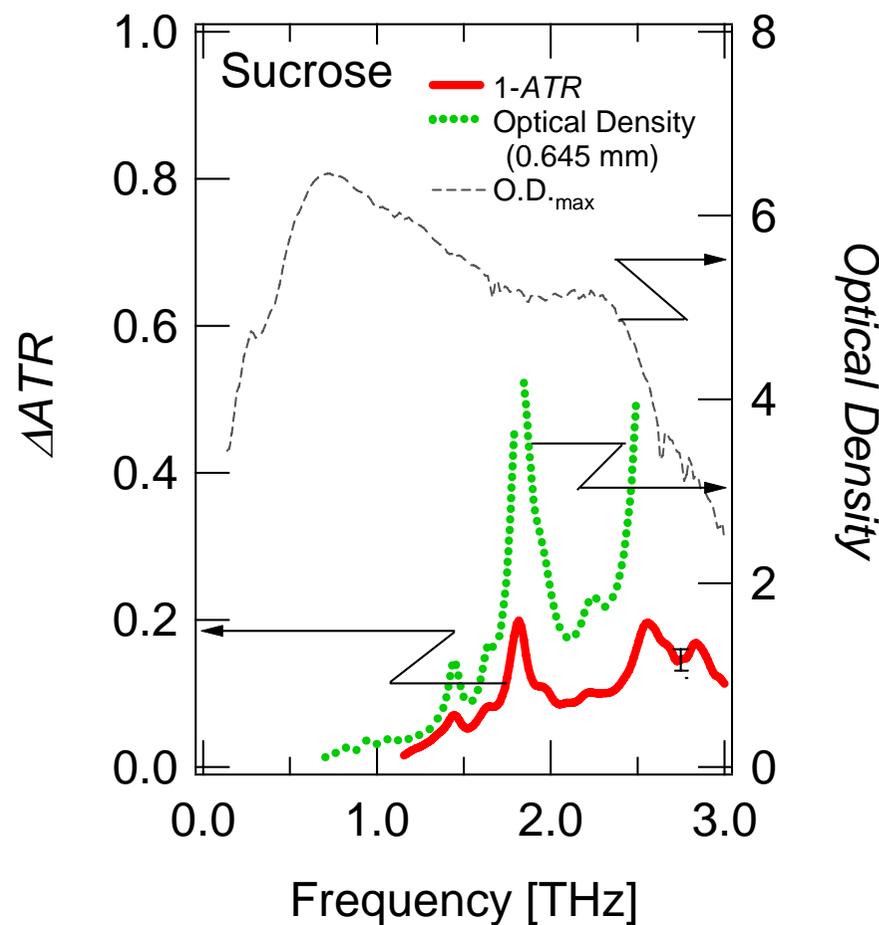
THz 時間領域ATR 分光法

Terahertz Time-Domain Attenuated Total Reflection Spectroscopy



$$OD \propto \kappa(\omega) \times \omega$$

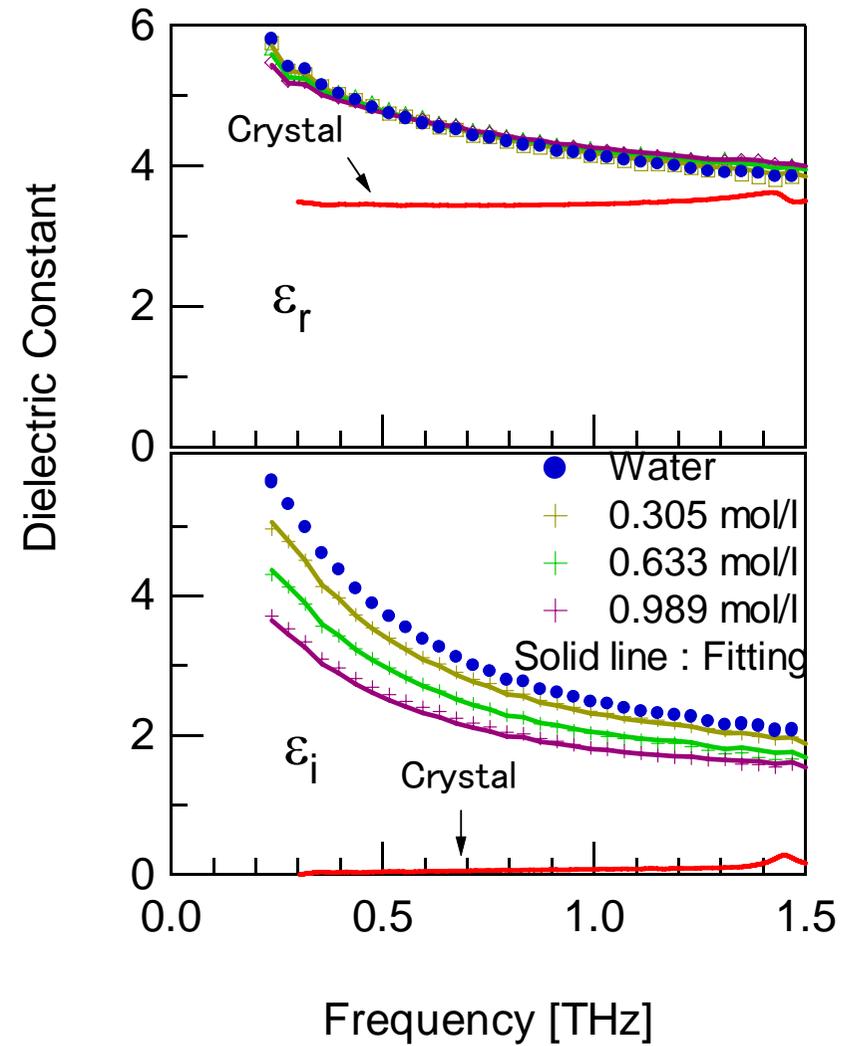
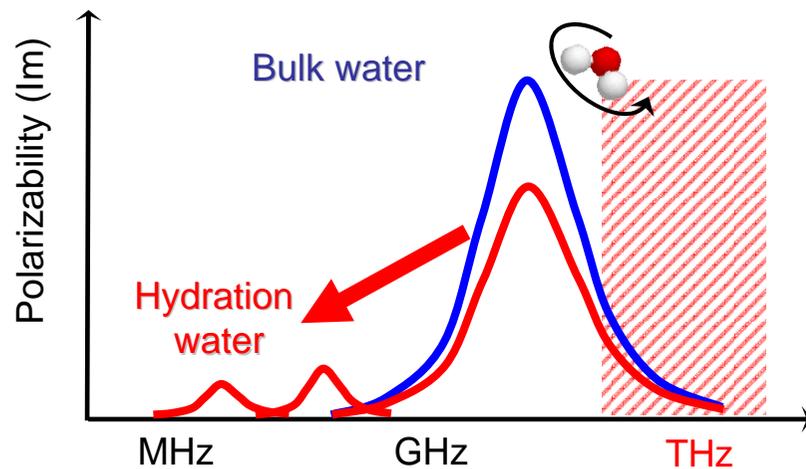
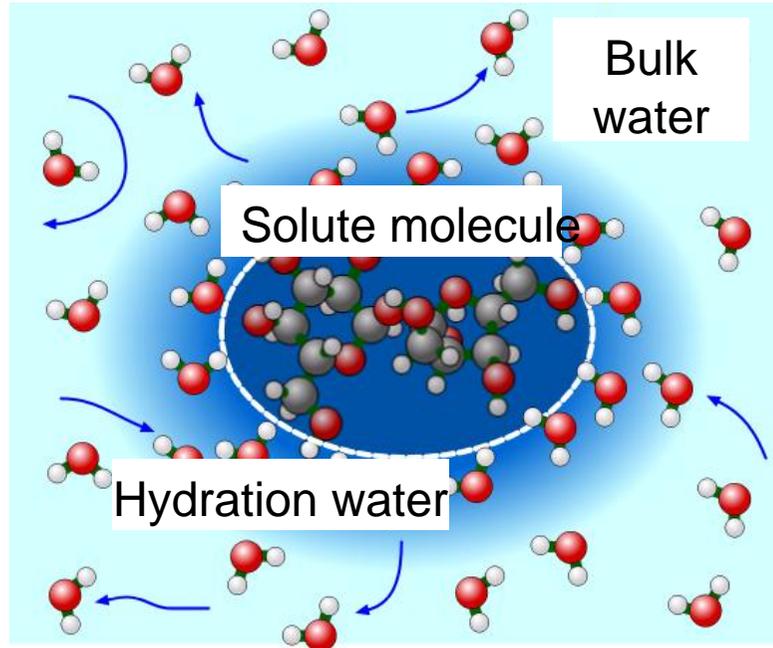
$$ATR \propto \kappa(\omega)$$



Hirori et al. JJAP, 43, L1287 (2004)

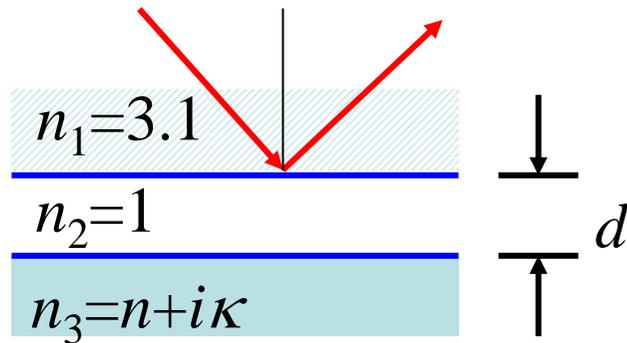
Nagai, et al. , Int. J. IRMMW, 27, 505 (2006).

水和状態の高感度検出



Hydration Number
of Sucrose 35

THz領域の表面モードの励起

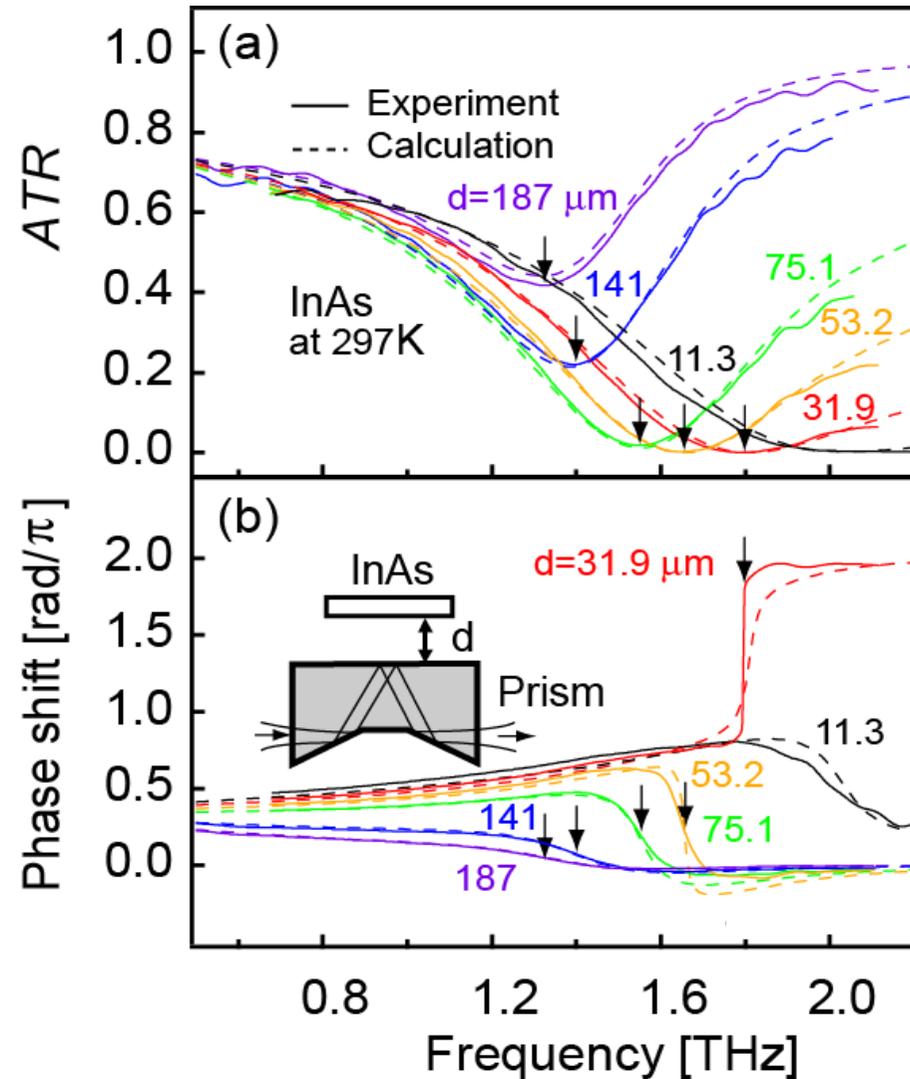


Electric field is enhanced near the surface of optically active medium

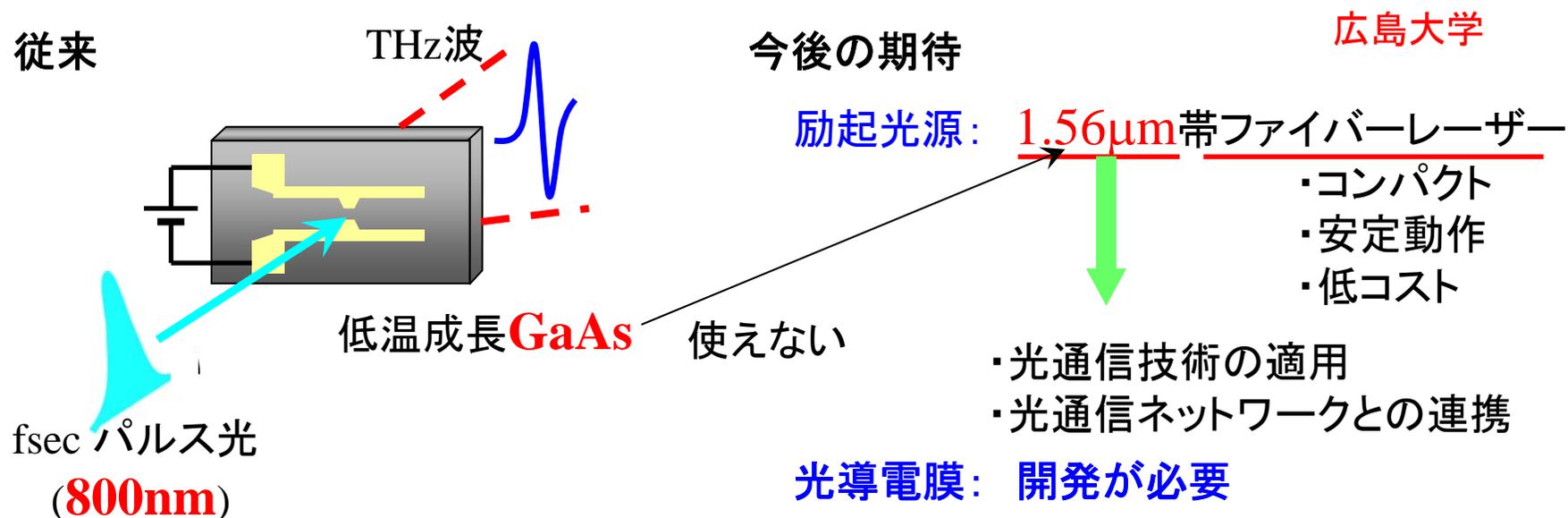
→ Sensitive detection of tiny change of ϵ

Hirori, OE 13, 10801-10814 (2005).

Okada, OE



1.56 μm パルス光励起によるTHz電磁波発生・検出(アンテナ)



過去の報告

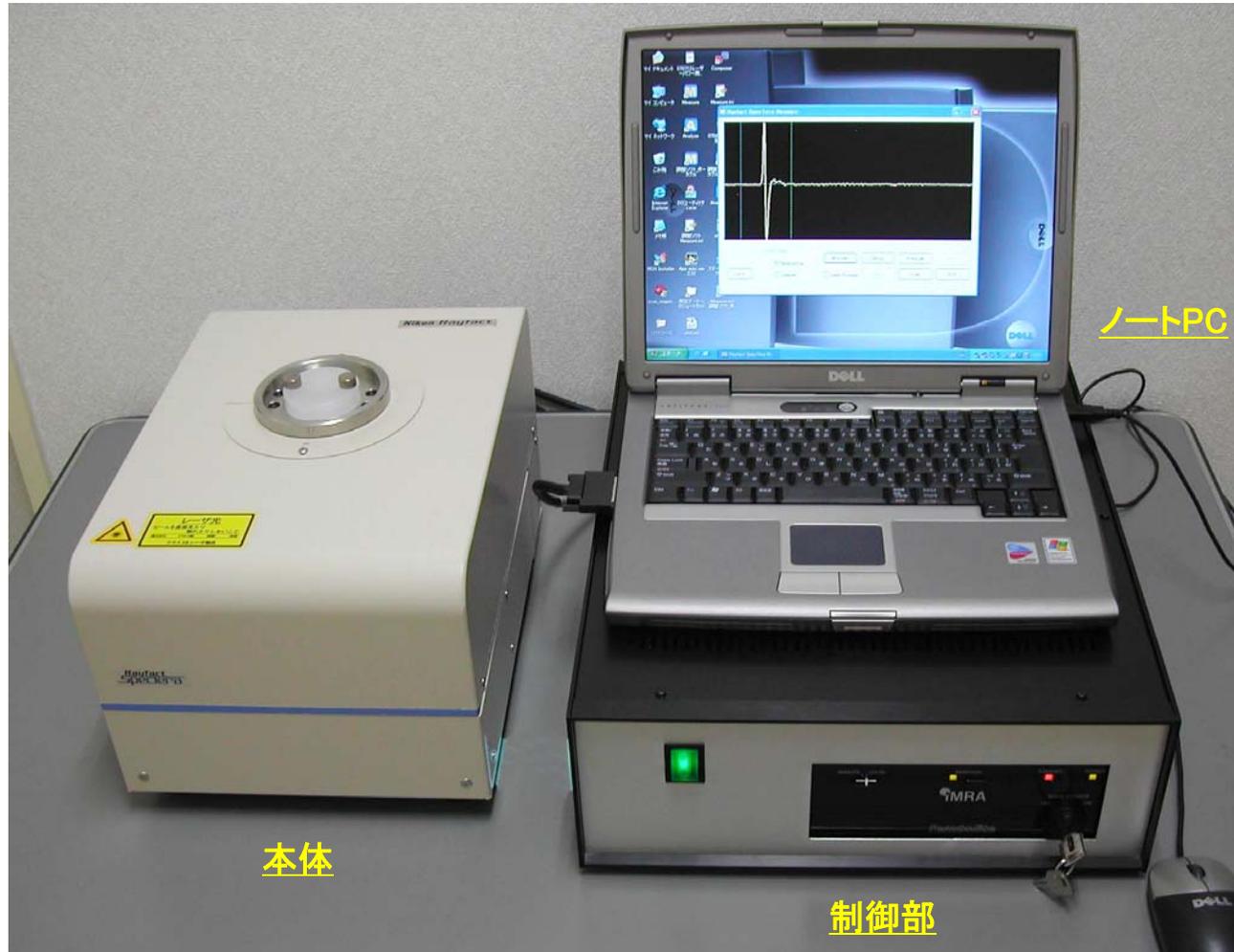
- ・通常成長InGaAs+イオン注入 ... THz波発生・検出報告あり
- ・ErAsクラスタ(通常成長) ... THz評価なし

どれも実用化には至らず

本研究 低溫成長BeドープInGaAs

- ①In組成の最適化による高抵抗化を発見
- ②1.56 μm 励起光のみを用いたTHz電磁波発生・検出に成功
- ③THz-TDSシステムへの組み込み

コンパクトTHzセンシングシステム I

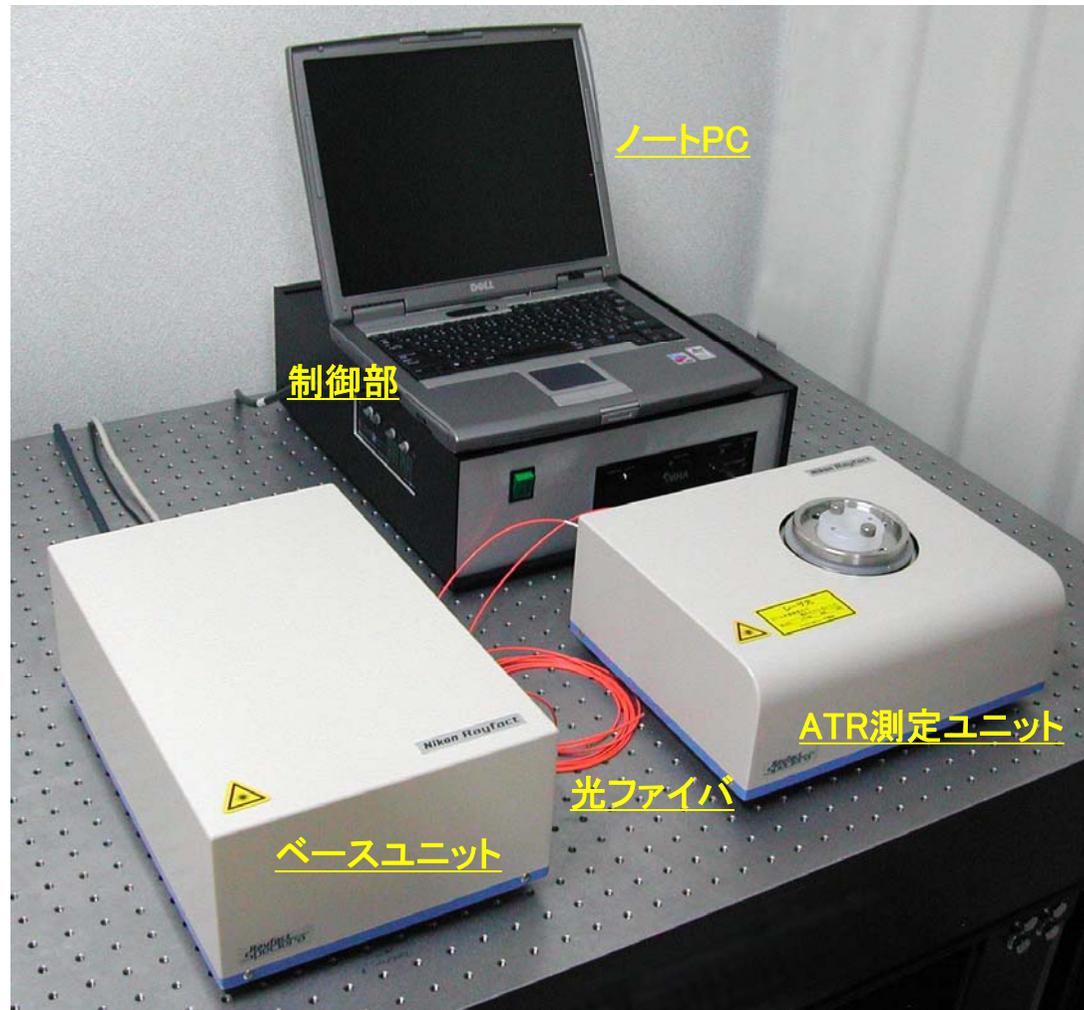


センシングシステム I の特徴

- ・ 本体、制御部、ノートPC のシンプル構成
- ・ 可搬 (本体: 260mm × 360mm × 190mm、15.5kg)
(制御部: 370mm × 430mm × 140mm、10.5kg)
- ・ ATR測定 (高抵抗シリコン製半球プリズム使用)
- ・ 周波数領域 0.1THz~3THz
- ・ 周波数分解 5GHz~100GHz
- ・ 励起レーザー $\lambda = 1560\text{nm}$ or 780nm 、100fs、50MHz、20mW
- ・ 発生素子 LT-InGaAs ($\lambda = 1560\text{nm}$ 時)、
LT-GaAs ($\lambda = 780\text{nm}$ 時) 光伝導アンテナ
- ・ 検出素子 LT-GaAs 光伝導アンテナ

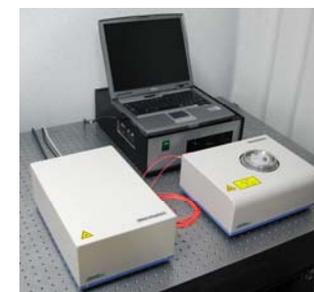


コンパクトTHzセンシングシステムⅡ



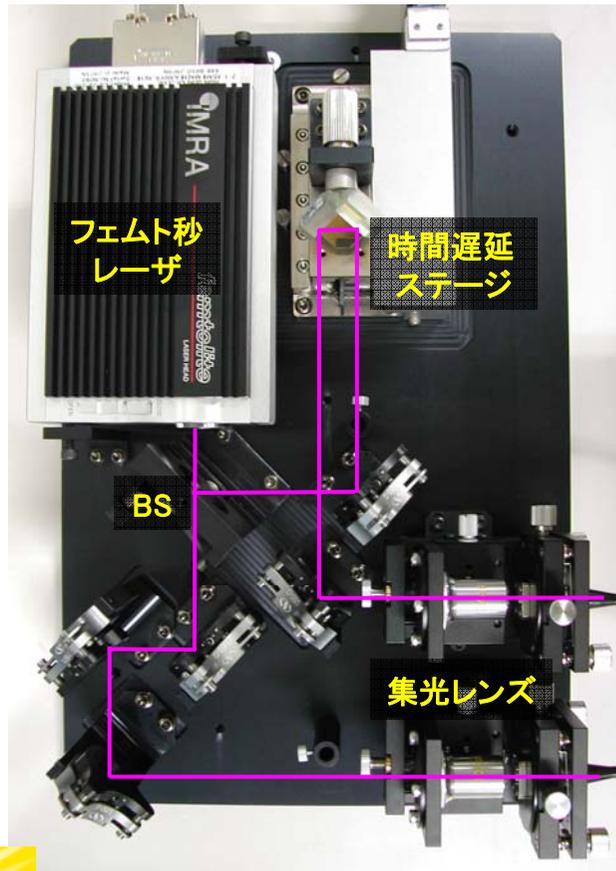
センシングシステムⅡの特徴

- ・ ベースユニット、ATR測定ユニット、制御部、ノートPC で構成
- ・ 温度変化、振動、水分等を嫌うレーザ及びステージと測定部を分離して光ファイバで接続
- ・ 可搬 （ベースユニット：369mm×242mm×127mm、7.5kg）
（ATR測定ユニット：257mm×320mm×112mm、7.3kg）
- ・ 周波数領域 0.1THz～2THz
- ・ 周波数分解 5GHz～100GHz
- ・ 励起レーザ $\lambda = 1560\text{nm}$ 、100fs、50MHz、20mW
- ・ 発生素子 LT-InGaAs光伝導アンテナ
- ・ 検出素子 LT-GaAs光伝導アンテナ

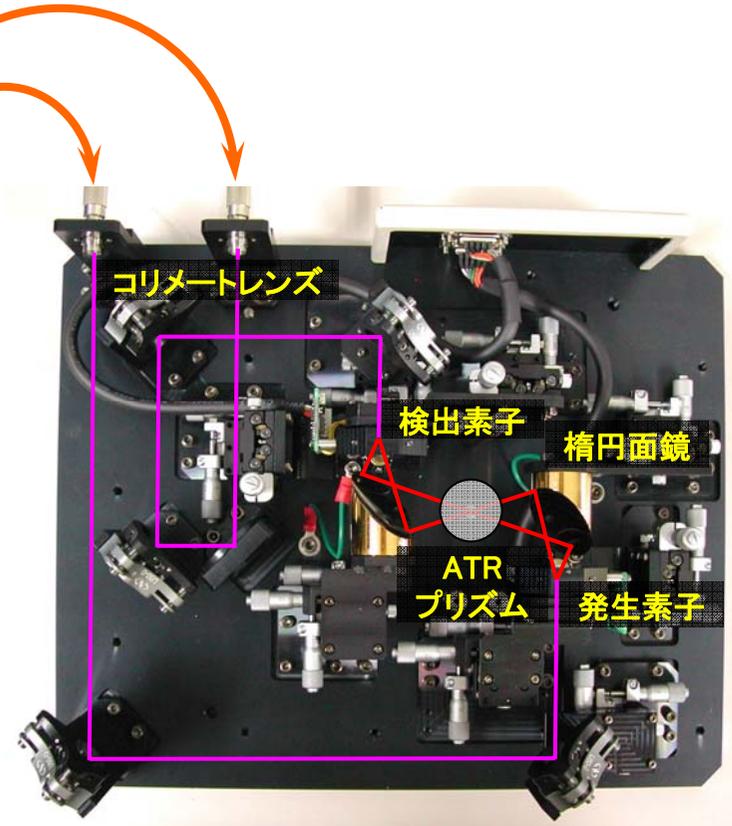


センシングシステムⅡの光学系

分散シフト光ファイバ（長さ2m×2本）



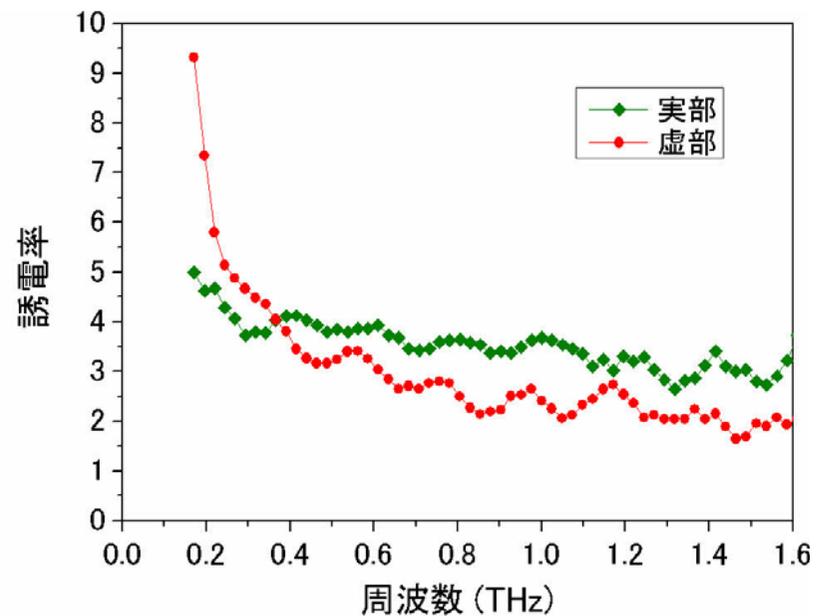
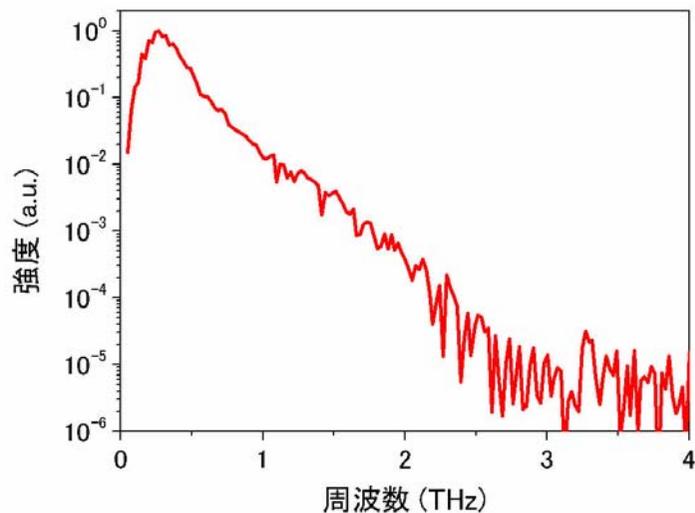
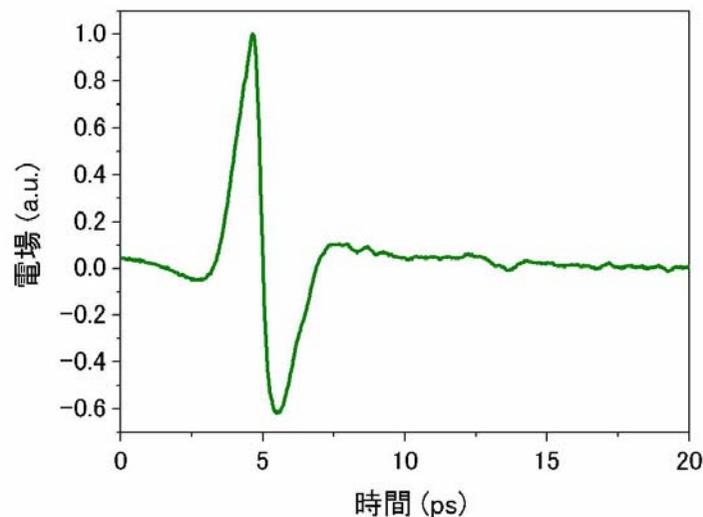
ベースユニット



ATR測定ユニット



センシングシステムⅡによる測定例 ($\lambda = 1560\text{nm}$)



水の誘電率

THz波の電場波形(上)と強度スペクトル(下)



新しい展開

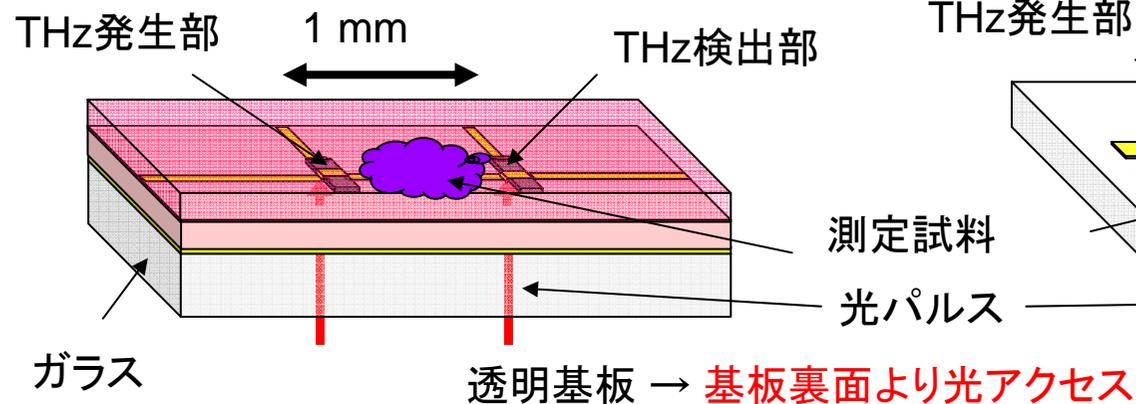
THz分光チップ

広島大学

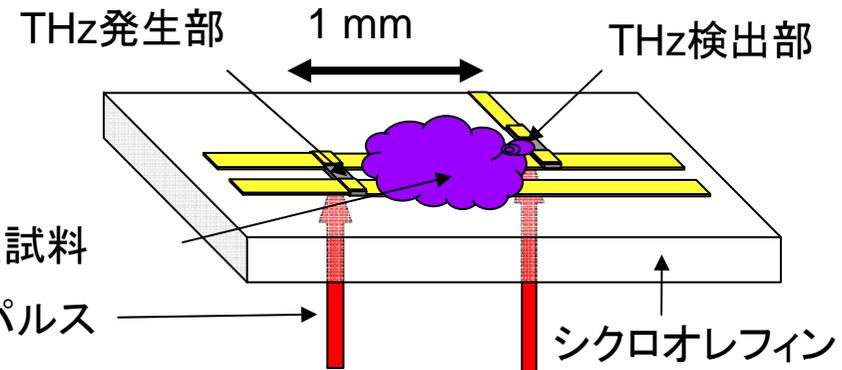
- ・ **固体伝送線路**: THz波をマイクロオーダーの空間に閉じ込めながら伝送
- ・ **光伝導アンテナの集積化**: THz波パスがアライメントフリー, パージ不要

⇒ コンパクト化, 安定化, 簡便化

マイクロストリップライン



コプレーナストリップライン

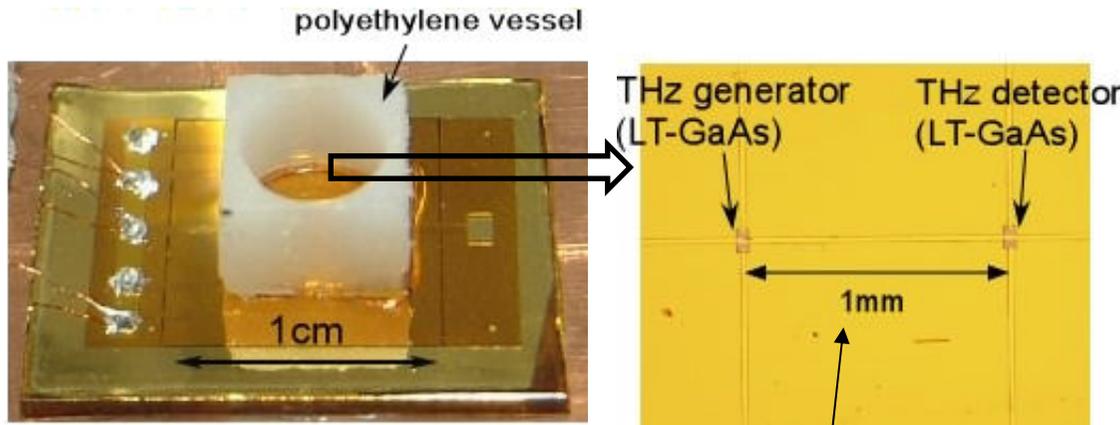


- 測定感度の調節
 - 吸収大きい試料測定可
- 校正により試料そのものの光学定数に換算できる
- 光ファイバー結合型
 - リモートセンサーヘッド

- 低誘電率基板(シクロオレフィン)
 - 放射損失の抑制, THz波伝搬特性の大幅な改善
- 2THzを超える粉末試料の広帯域分光に成功

マイクロストリップライン

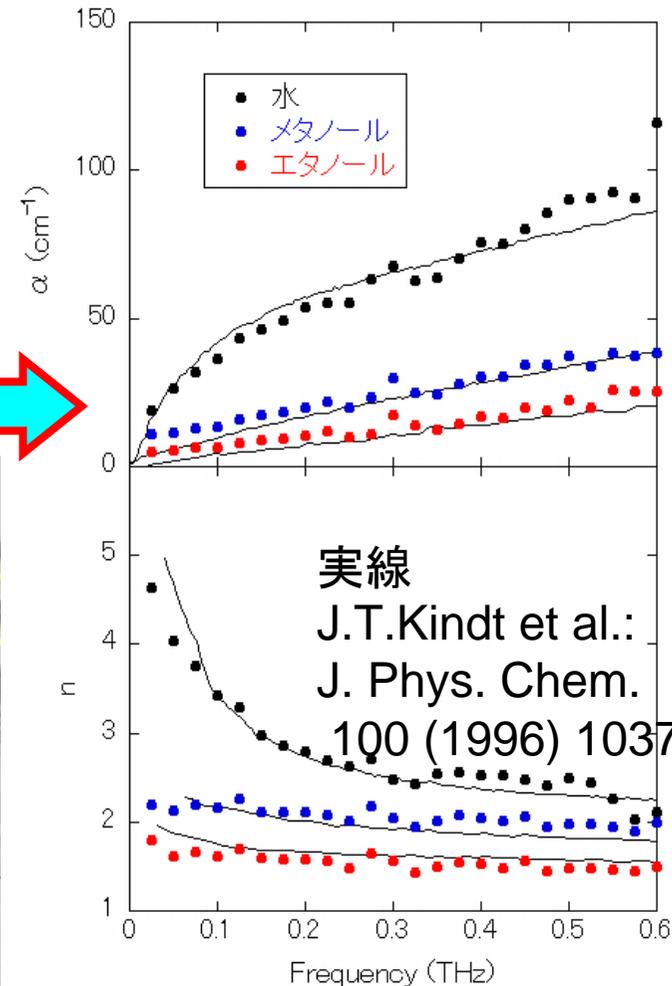
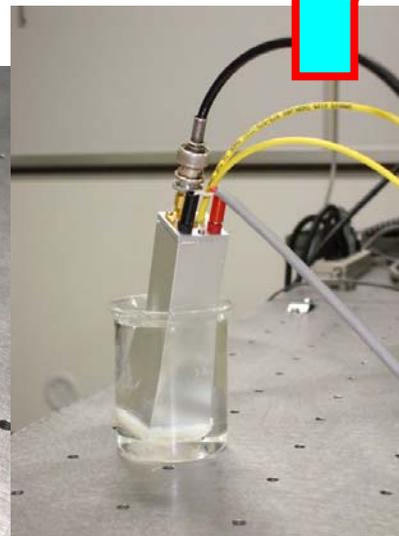
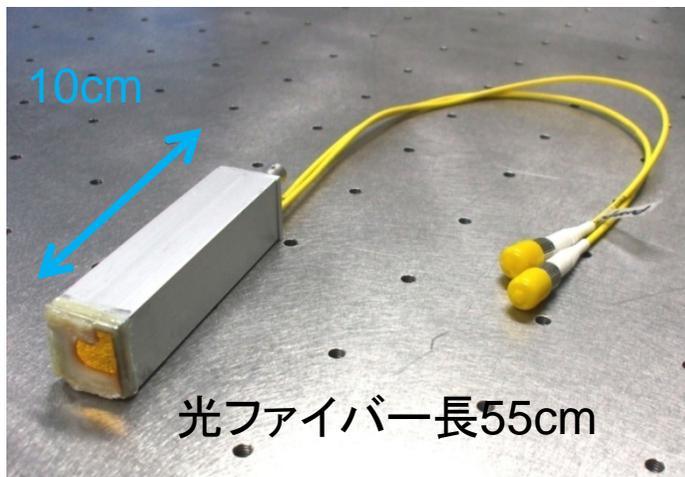
広島大学



液体試料
水, メタノール, エタノール

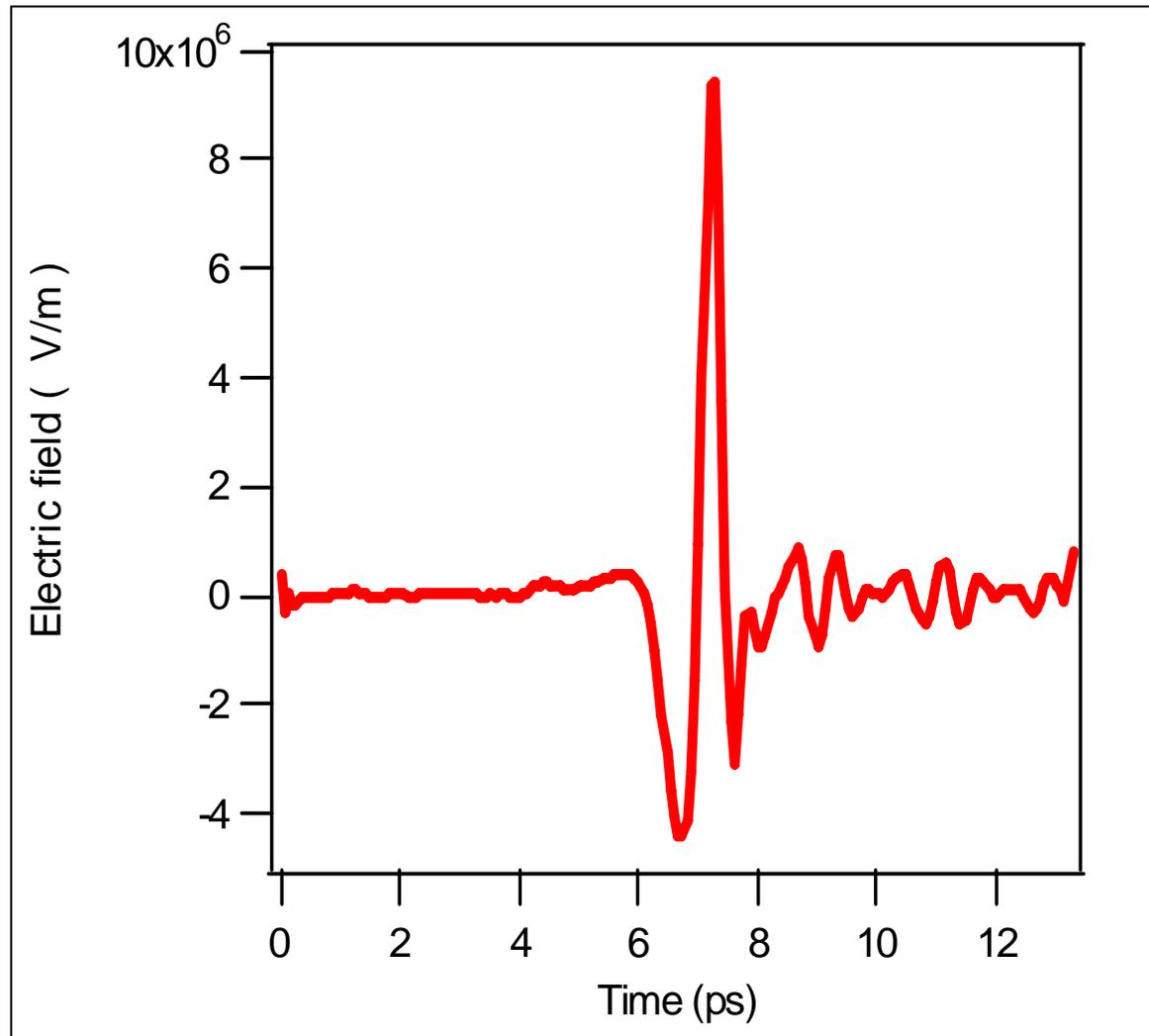
ポリイミド(誘電体層)

光ファイバー結合型



Temporal profile of electric field emitted from LiNbO₃

京都大学



従来比 1000倍の出力を達成

$E_{\text{THz}} \sim 94.25 \text{ kV/cm}$
(Nov. 30, 2007)

Pulse Energy $\sim 310 \text{ nJ}$

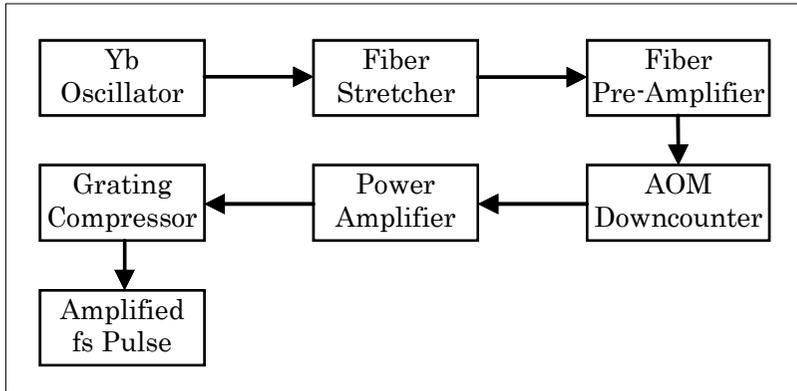
efficiency 4×10^{-4}

Original E-O signal \longrightarrow FT \longrightarrow FT / g-factor of detector \longrightarrow RFT

高出力ファイバレーザ

アイシン

レーザの構成



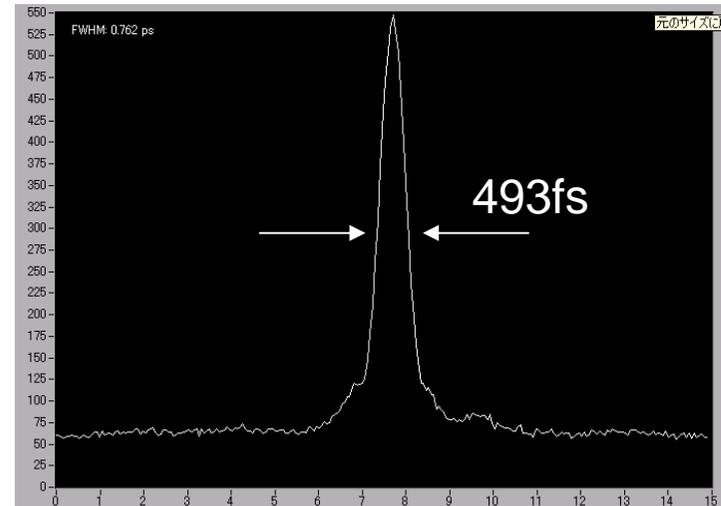
出力特性 及び 仕様

- ・ 発振波長：1045 nm
- ・ 繰り返し周波数：100 kHz - 5 MHz
- ・ 平均出力：1.09 W
- ・ パルスエネルギー：1.09 μ J (100 kHzの時)
- ・ パルス時間幅：493 fs (sech²を仮定)
- ・ AC100V駆動

製作した試作レーザの概観



パルス形状



終

5年間、ありがとうございました。

SCOPE project
2003-2007



Advanced Terahertz Technologies
adapted for Optical Communication