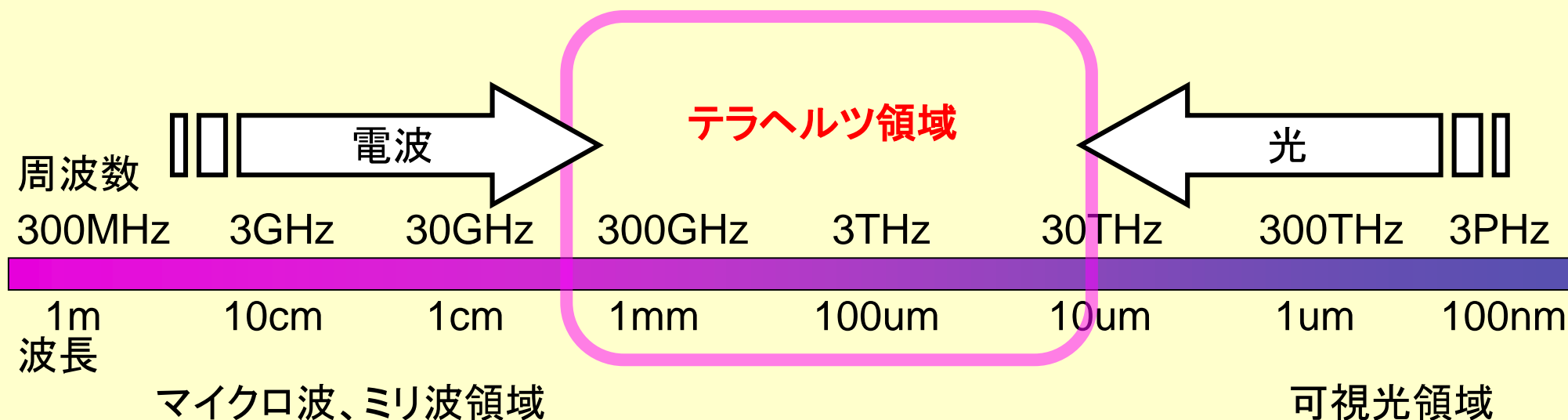


液晶デバイスを用いたTHz帯での 位相計測技術による有害物質の検出

秋田県立大学 システム科学技術学部
知能メカトロニクス学科
助教 伊東 良太

2021年11月16日



1990年代に入り様々な光源の開発が進み応用への期待が高まる

○テラヘルツ波の特徴

- 物質透過特性…………… 電波と光との間の性質、紙や布、プラスチックを透過
- X線に比べ安全…………… 人体への悪影響がない(1 THz 4.2meV)
- 膨大な情報を伝達可能…………… 次々世代無線通信への応用
- 指紋スペクトル…………… 生体分子や薬剤の固有振動から検出・識別
気体分子の振動モードから各種ガスの検出・識別

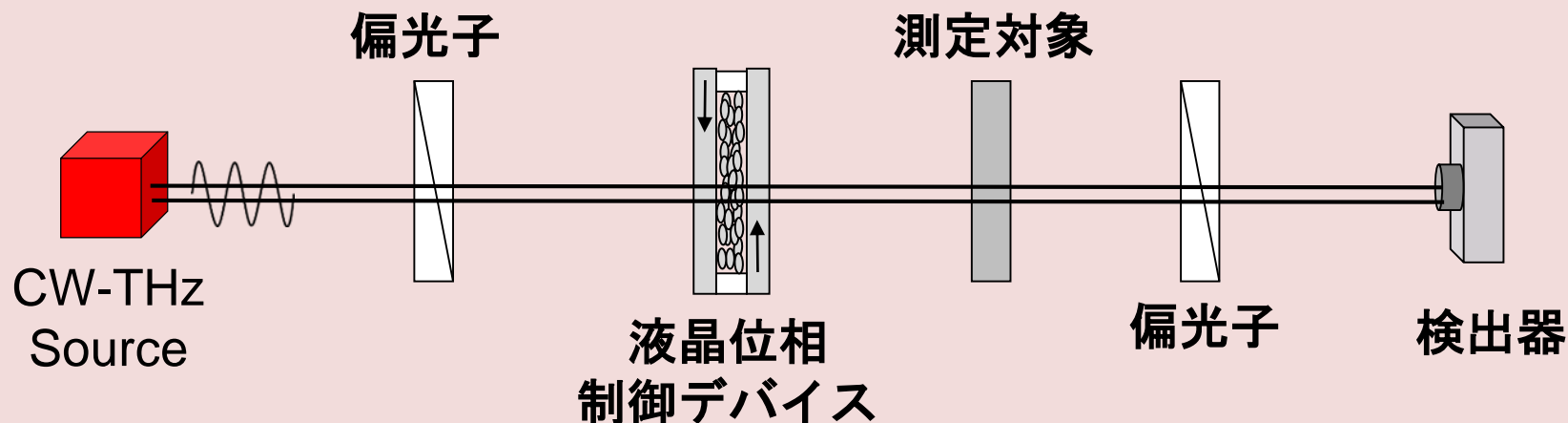
大気汚染ガスや廃棄物中の有害物質の検出・分析への展開も期待される

従来技術（環境計測）とその問題点①

- 昨今、PM2.5等の大気汚染は深刻な状況にある。その分析技術のガス・クロマトグラフィーは、極めて高感度だが、測定時間が長く、しかも不要なガス分子を除去するためのサンプル前処理が必要となる。そこでサンプル前処理を必要とせず、各種の揮発性有機化合物ガスを迅速かつ高精度に分析する技術が強く望まれている。
- 本提案は**新たな環境計測技術の提案**である。例えば動画撮影が可能なTHzカメラや分光素子（各周波数におけるTHz波強度を測定する技術）の開発は大いに期待される新たな計測機器である。
- ワンチップ型でコンパクトな本技術は、環境分野だけでなく、半導体検査や医療（がん・歯科検査等）、並びに工場現場への応用も期待できる。

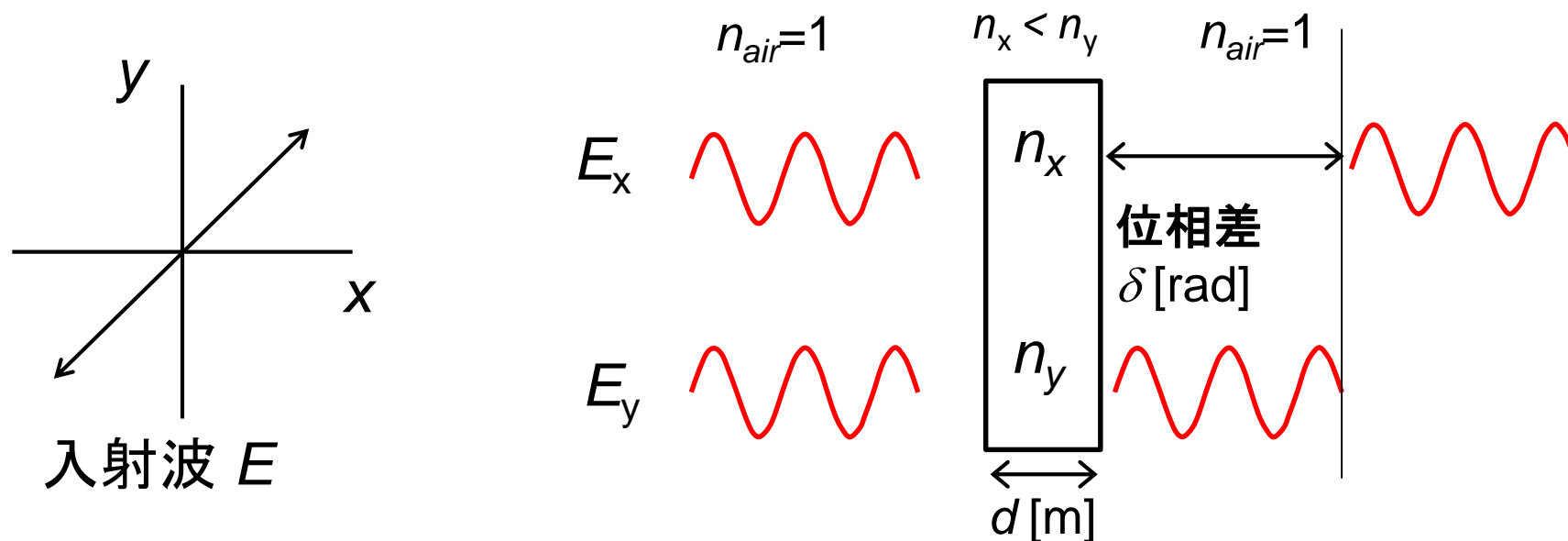
従来技術（THz 技術）とその問題点②

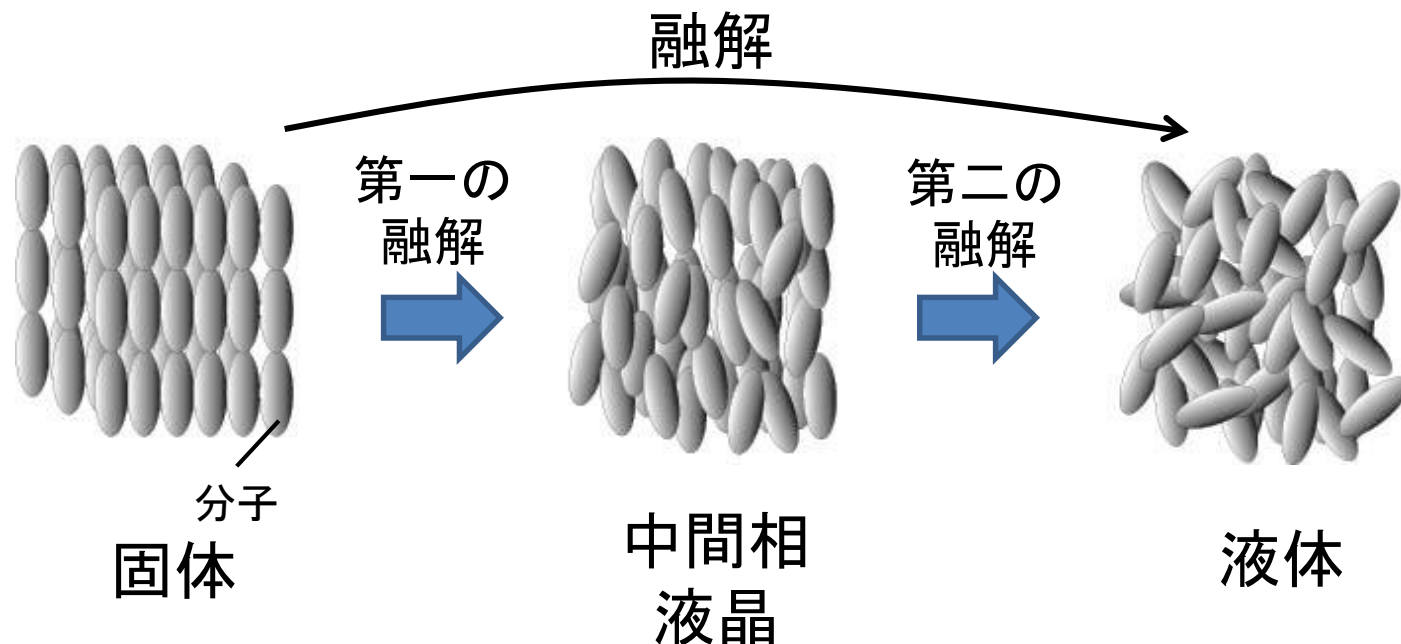
- 高強度の連続波発振THz光源による測定は、廃棄物の識別や有害物質の検出に有利である。
- THz強度の測定に加え位相を計測することで検出精度の向上につながるが、何らかの干渉システムが必要となる。
- 液晶デバイスを用いた位相計測法は可視光では有効な手法であるが、THz帯では液晶材料の吸収異方性により難しい。



液晶デバイスを使ってTHz帯で位相を計測する技術を開発した

本手法で計測される位相



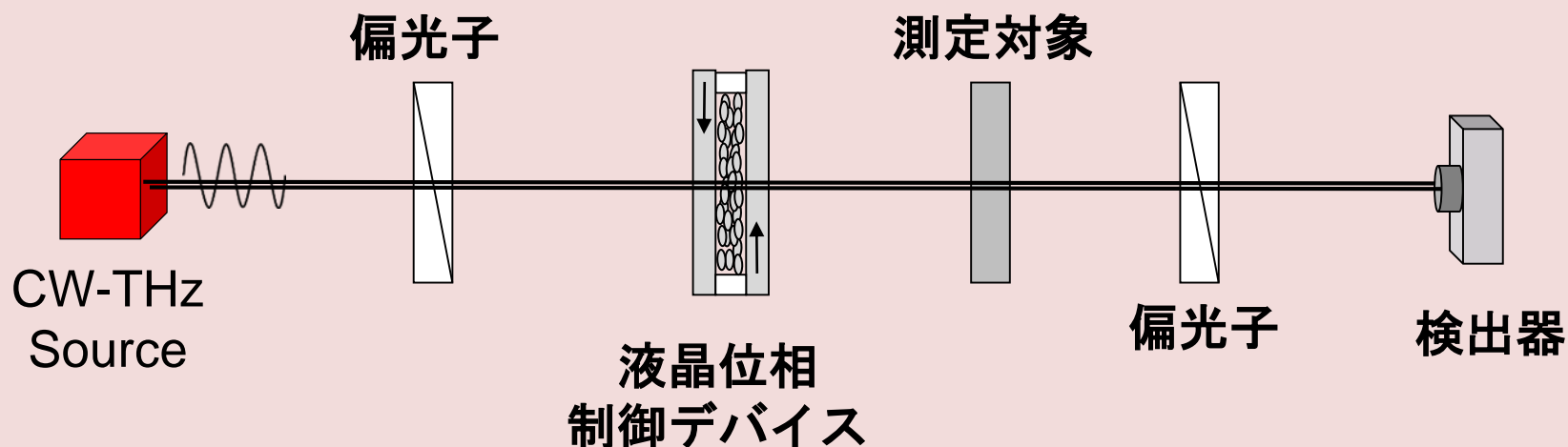


一部の物質では、融解の過程が一つではなく、
中間相(液晶相)をとる物質がある。

液晶材料の特徴

- 液体の流動性と結晶の異方性を併せ持つ
- 配向に秩序をもつ
- 電界、磁界により容易に配向方向を制御できる

液晶を活用することで「小型・薄型・軽量かつ超低消費電力」のデバイスが実現する



検出されるTHz波の強度 I_i

$$I_i = I' + I''\{1 - \cos(\delta + \phi_i)\} \quad (@ \text{crossed nicols})$$

I, I' : ノイズを含む光強度

δ : サンプルでの位相差

ϕ_i : 液晶位相制御デバイスによる位相差

◆ 液晶位相制御デバイスに電圧を印加することで、液晶による位相差を $\phi = \pi/2, \pi, 3/2\pi, 2\pi$ と変えて強度を測定する。

$$I_1 = I' + I'' \{1 - \cos(\delta + \phi_1)\} = I' + I'' \left\{1 - \cos\left(\delta + \frac{\pi}{2}\right)\right\} = I' + I''(1 + \sin \delta)$$

$$I_2 = I' + I'' \{1 - \cos(\delta + \phi_2)\} = I' + I'' \{1 - \cos(\delta + \pi)\} = I' + I''(1 + \cos \delta)$$

$$I_3 = I' + I'' \{1 - \cos(\delta + \phi_3)\} = I' + I'' \left\{1 - \cos\left(\delta + \frac{3\pi}{2}\right)\right\} = I' + I''(1 - \sin \delta)$$

$$I_4 = I' + I'' \{1 - \cos(\delta + \phi_4)\} = I' + I'' \{1 - \cos(\delta + 2\pi)\} = I' + I''(1 - \cos \delta)$$

$$\frac{I_1 - I_3}{I_2 - I_4} = \frac{\sin \delta}{\cos \delta} = \tan \delta$$

$$\therefore \delta = \tan^{-1}\left(\frac{I_1 - I_3}{I_2 - I_4}\right)$$

- ◆ 簡単な計算によりサンプルでの位相差 δ が求まる
- ◆ I' , I'' のノイズを含む成分がキャンセルされるため、ノイズに強い計測が可能

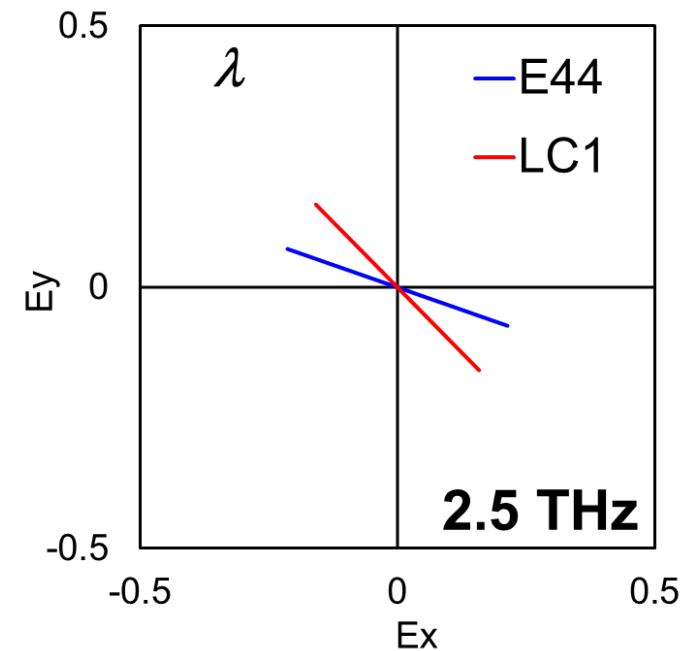
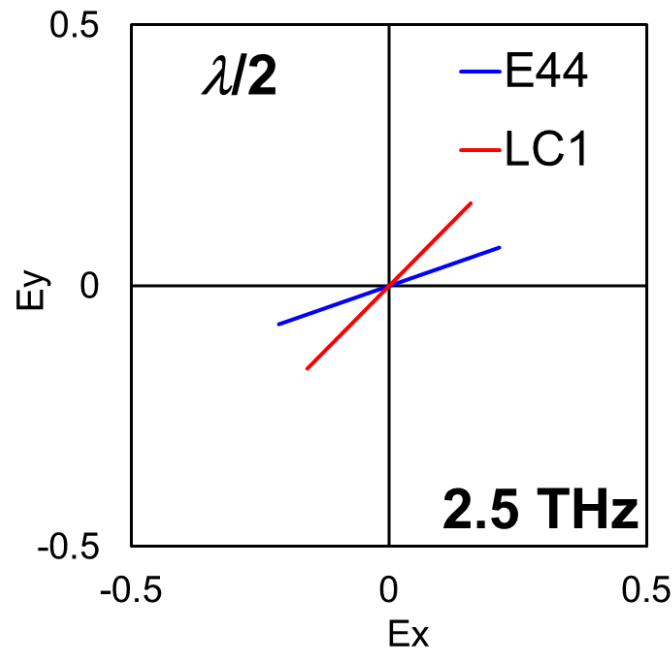
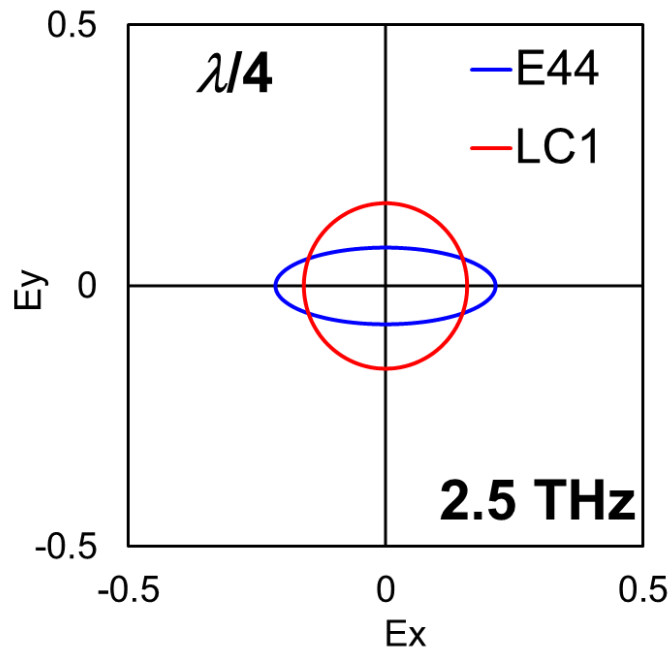
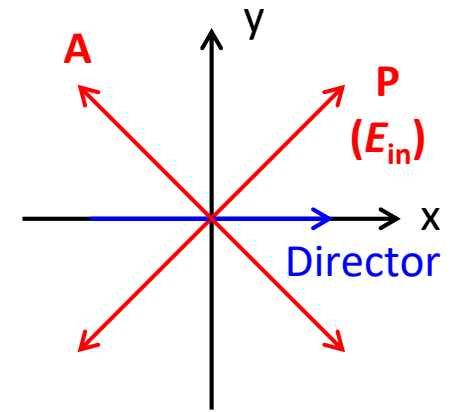
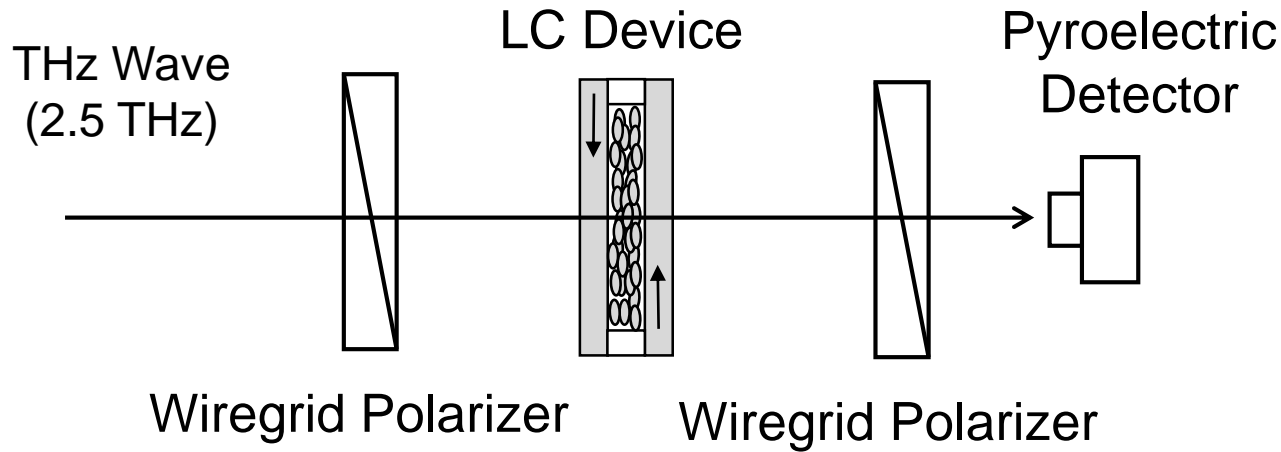
従来技術

一般的な液晶はTHz帯での吸収特性が**異方的**である
→この手法が使えない

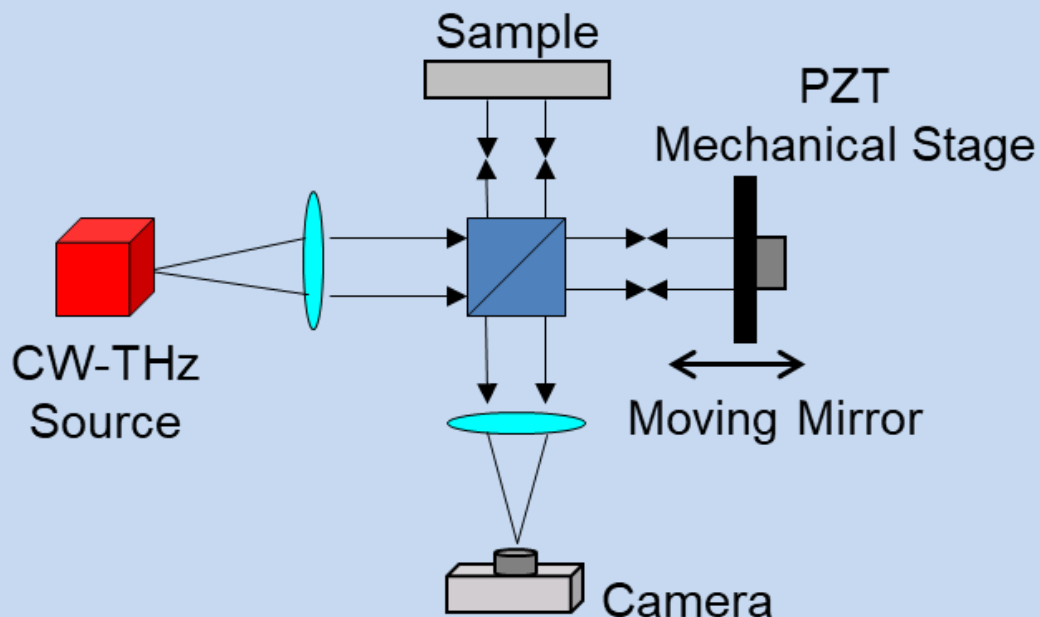
新技術

液晶材料の改良により本手法による
位相計測を実現した

液晶デバイスの動作特性



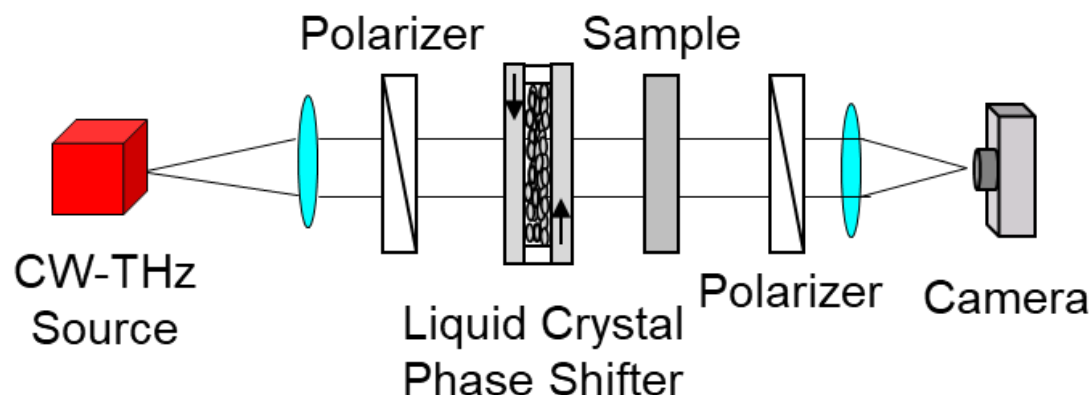
従来技術



一般的な干渉による測定

- ◆ 複雑な光路が必要
- ◆ 振動に弱い

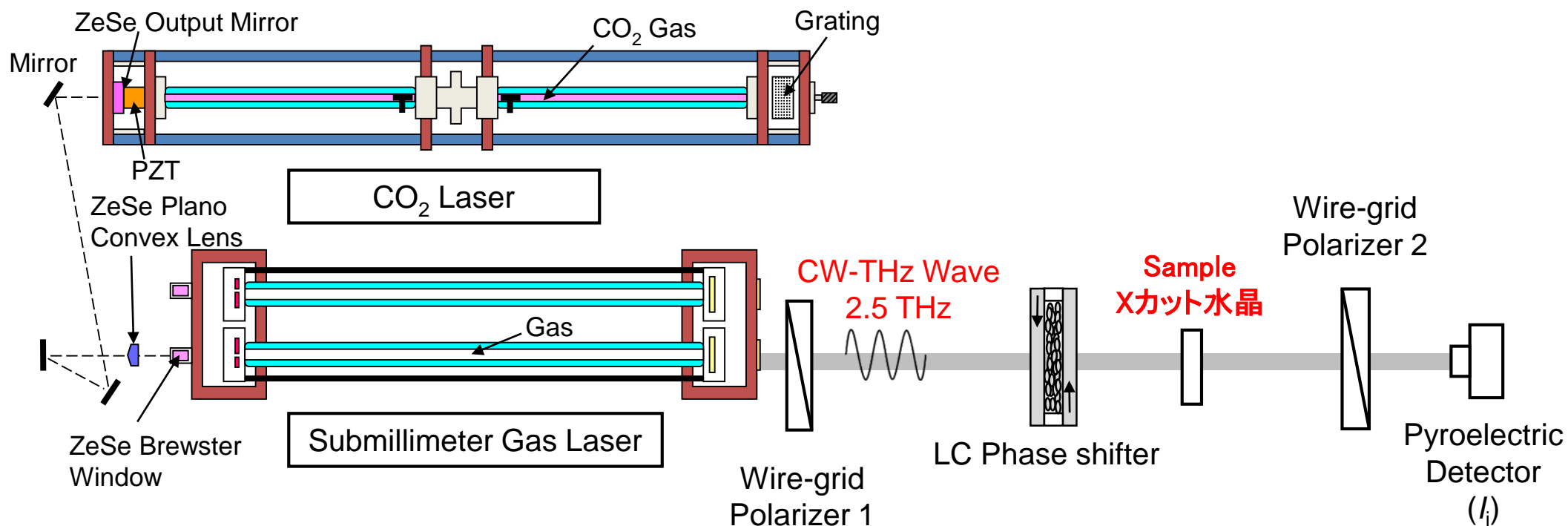
新技術



液晶位相シフタを使った測定

- ◆ 光路がシンプル
- ◆ 振動に強い

測定系の大幅な小型化も期待される



	d (μm)	I_1 (112 V)	I_2 (99 V)	I_3 (90 V)	I_4 (78 V)	δ (rad)	Δn_{sample}
Sample 1	1141	0.018	0.002	0.027	0.036	2.89	0.05
Sample 2	500	0.001	0.021	0.028	0.012	1.26	0.05

想定される用途

- 廃棄物の識別や廃棄物中有害物質のモニタリングへの利用が期待される。
- 上記以外に、ガス識別の精度向上も期待される。
- また、達成されたTHz波による位相計測に着目すると、工業品の非破壊検査や非侵襲医療といった分野や用途に展開することも可能と思われる。
- 本技術の特徴を生かすためには、半導体、プラスチックなどTHz波の透過性の高い材料を対象として非破壊検査へ展開することが重要である。

実用化に向けた課題

- 現在、THz波の透過率が高い材料について高精度な位相計測が可能なところまで開発済みであり、JST A-STEPトライアウトで計測法の改善と測定対象の拡大に取り組んでいる。
- 今後、物質識別について実験データを取得し、有害物質の識別に適用していく場合の条件設定を行っていく。

企業への期待

- 実用化に向けた幅広い領域での用途模索が重要であると思われる。
- 検査機器開発の技術を持つ企業との共同研究を希望します。
- また、非破壊検査装置を開発中の企業、環境モニタリング分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 位相検査装置
- 出願番号 : 特願2020-102848
- 出願人 : 公立大学法人秋田県立大学
発明者 : 伊東良太、能勢敏明、本間道則

お問い合わせ先

**秋田県立大学 本荘キャンパス
地域連携・研究推進センター**

TEL 0184-27-2947

FAX 0184-27-2194

e-mail h_stic@akita-pu.ac.jp