

# 弱い励起光においても高い強度の テラヘルツ光を発生する技術

香川大学 工学部 材料創造工学科  
准教授 鶴町徳昭

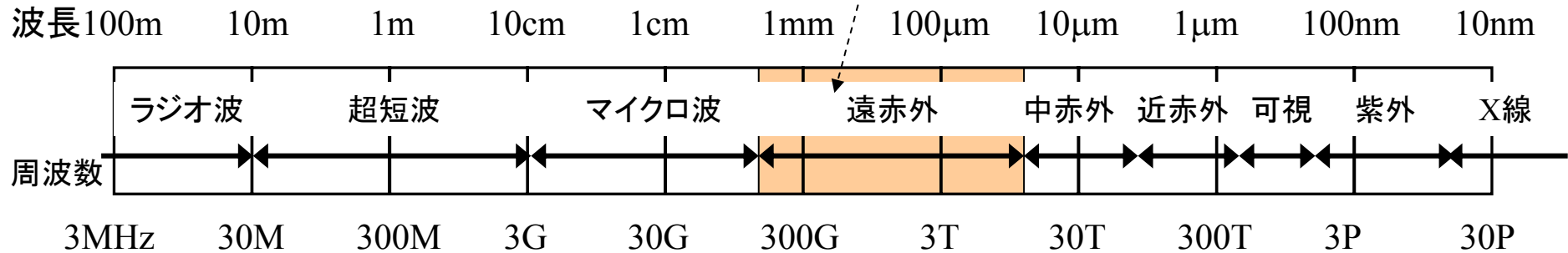
# 研究背景

未踏の分野であるテラヘルツイメージングおよびテラヘルツ分光技術の開発

「テラヘルツ」とは

THz=10<sup>12</sup>Hz

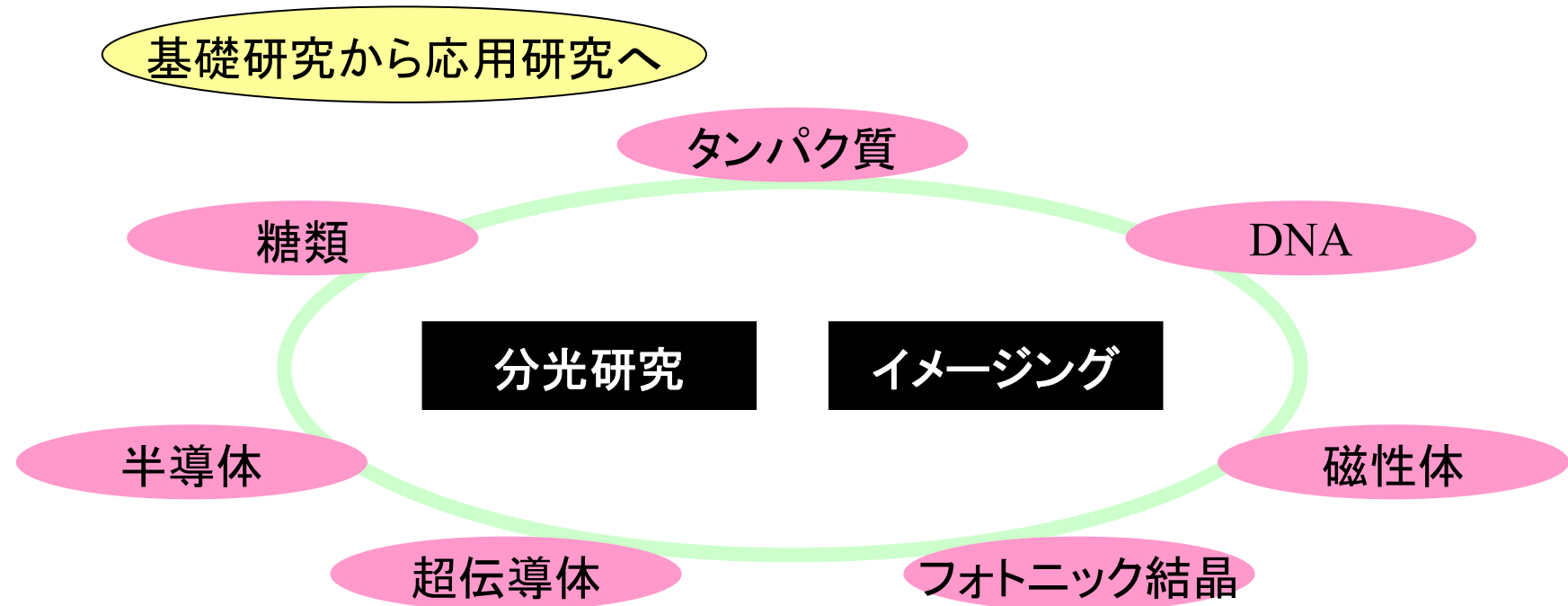
0.1THz~10THz: 遠赤外領域



電波と光の境界領域⇒様々な学問分野が交わる学際領域

安価で高輝度高指向性のTHz光源

# THz技術の応用



## 医学応用

- ・X線に代わる安全な生体CT技術
- ・病理組織診断→皮膚癌早期診断
- ・迅速なゲノム解析
- ・虫歯の断層撮影

## 農学応用

- ・希少糖のTHz指紋スペクトル
- ・ビタミン, アミノ酸, 農薬等の分析
- ・植物工場内の生産管理
- ・凍結食品内部モニタリング

## 工学応用

- ・ICチップ内部の欠陥の非破壊検査
- ・未使用周波数帯の通信利用
- ・禁止薬物、爆発物等の非破壊検査
- ・断熱材中欠陥の非破壊検査

# 従来技術とその問題点

フェムト秒レーザー励起による  
THz時間領域分光計  
(先端赤外・栃木ニコン)



メリット

検出器を冷却する必要がない

デメリット

高価なフェムト秒レーザーが必要  
(1000-2000万円)

パラメトリック発振を利用した  
波長可変THz光源  
(理研)

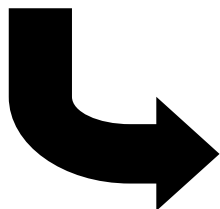


メリット

高強度のテラヘルツ光が発生できる

デメリット

検出に液体He冷却ボロメータが必要



安価で簡便な高輝度高指向性THz分光システム

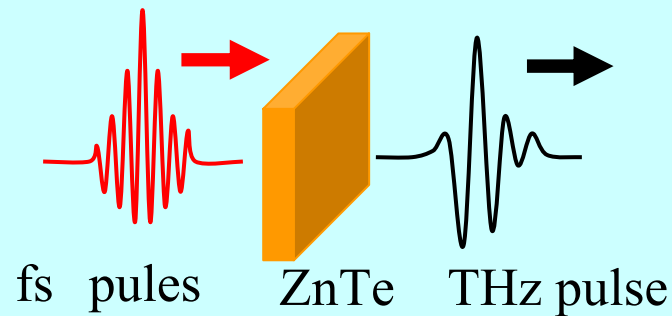
# フォトニック結晶THzデバイス

近年のTHz技術の発展

THz波制御の必要性

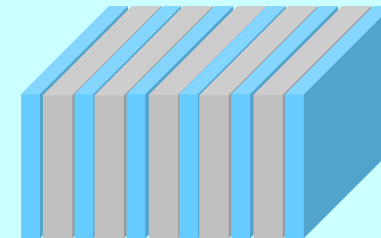
新しいTHzデバイスの開発

THz波発生素子



組み合わせ

1次元フォトニック結晶  
(1DPC)



# 差周波発生

周波数  $\omega_1$  と  $\omega_2$  の光が非線形光学結晶に入射



2次の非線形分極の発生

$$P^{(2)}(\omega_3 = \omega_1 - \omega_2) = \epsilon_0 \chi^{(2)}(\omega_3) E(\omega_1) E^*(\omega_2)$$

$\omega_1$  と  $\omega_2$  の差がTHz域にあると、この  $P^{(2)}$  よりTHz波が放出

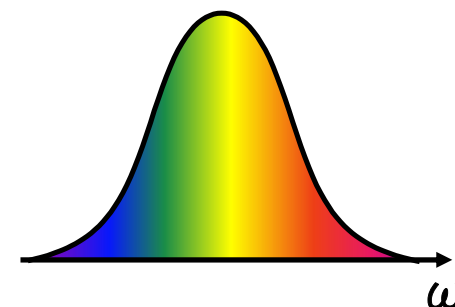


fs pulseの場合

様々な周波数の結合



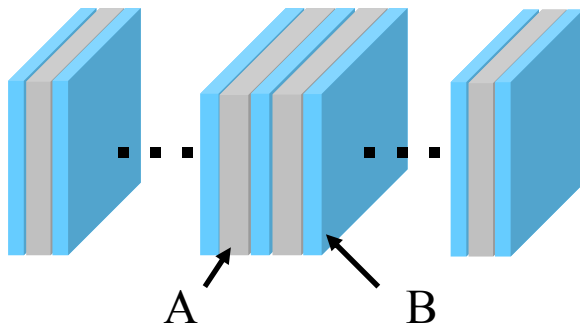
広いスペクトル幅を持つTHz波の発生



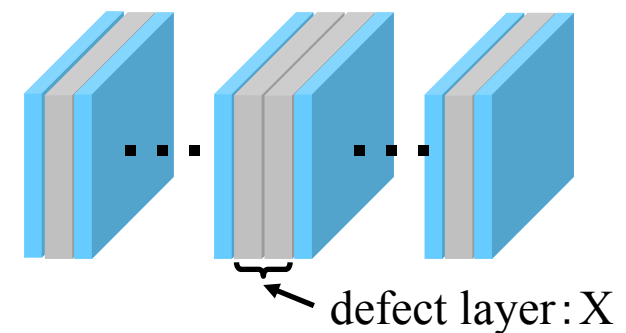
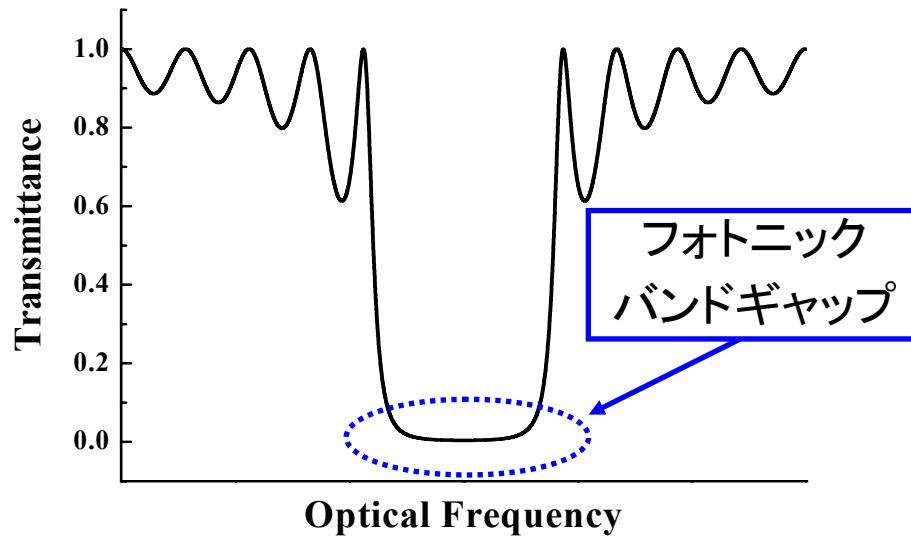
# 1次元フォトニック結晶(1DPC)

フォトニック結晶とは…

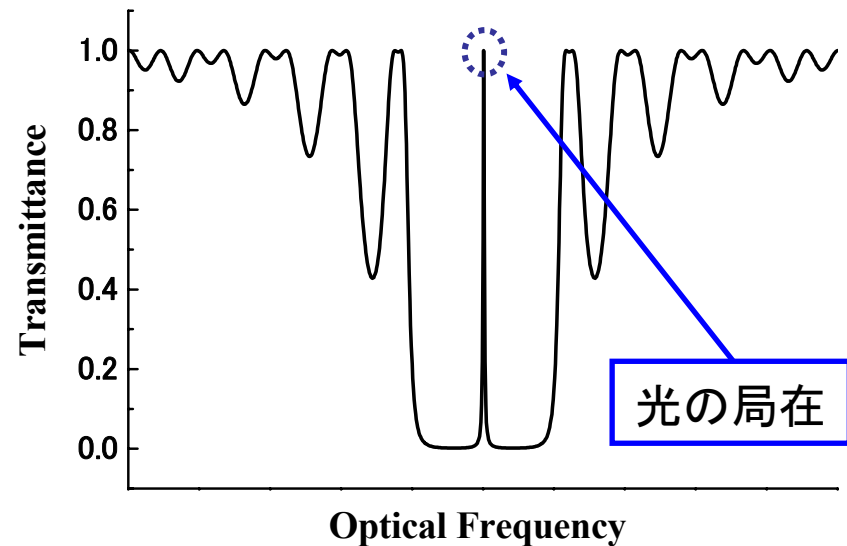
光の波長程度の周期的な屈折率分布を持つ構造体



$$n_A d_A = n_B d_B = \lambda / 4$$

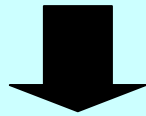


$$n_X d_X = \lambda / 2$$



# 1DPCによる非線形光学効果の増強

欠陥層での共振効果



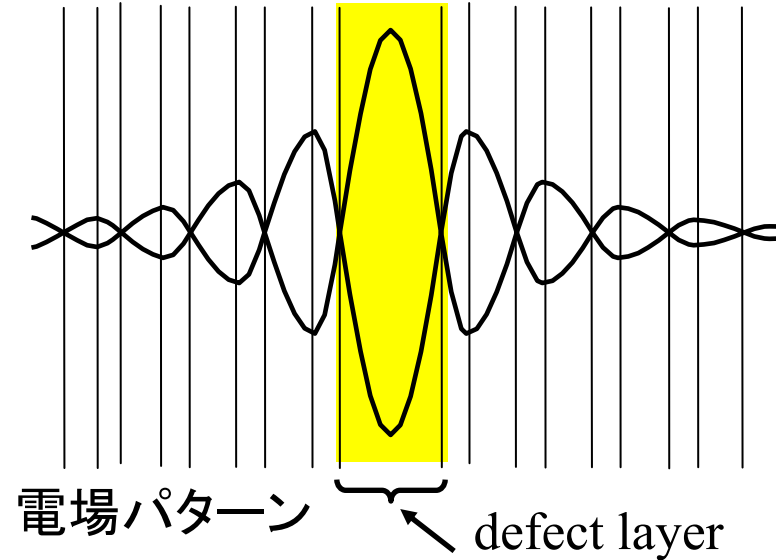
光電場の増強



欠陥層に非線形光学材料の導入



非線形光学効果の増強

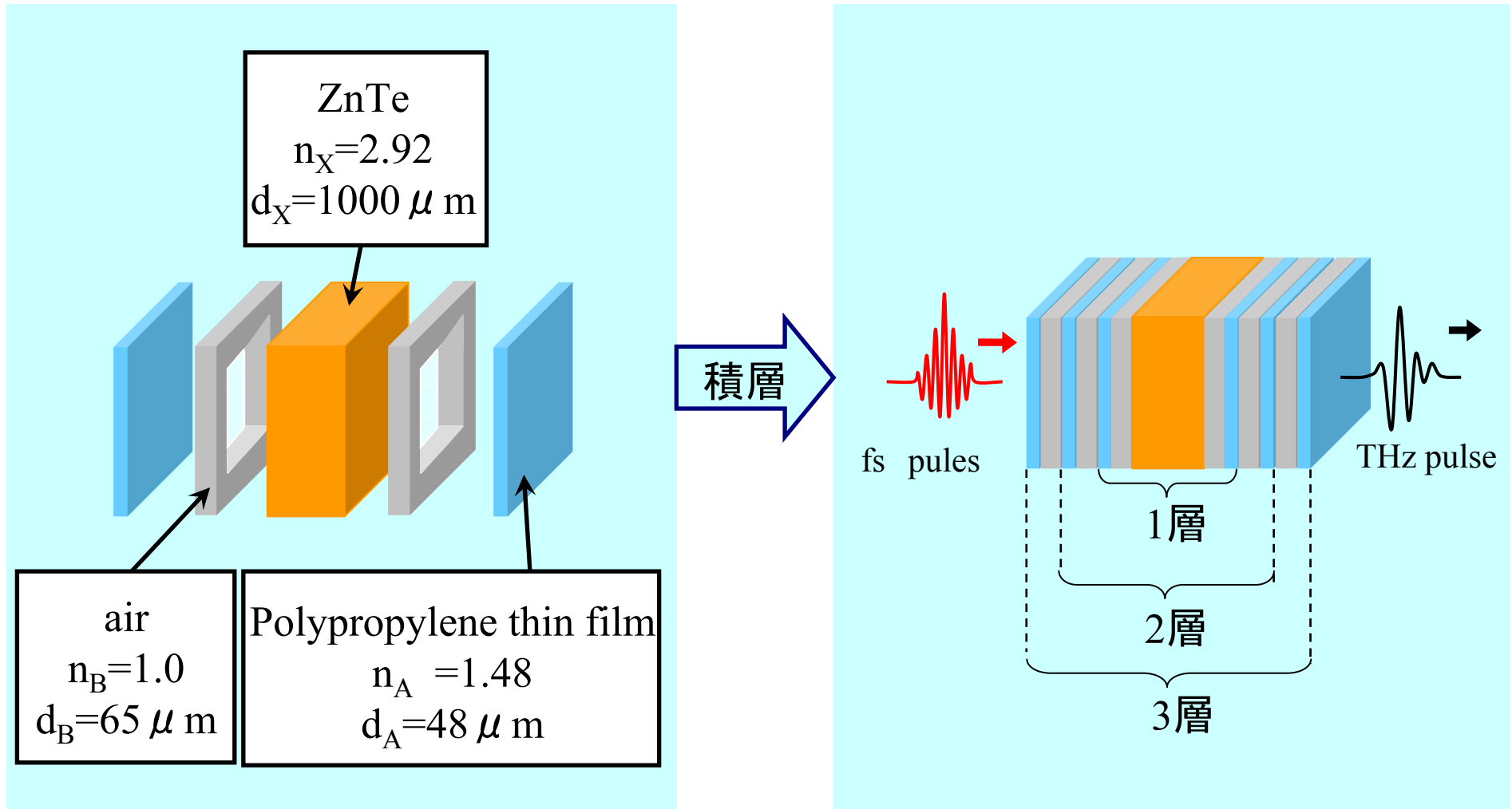


THz波発生素子である  
ZnTeを導入

・THz波放射の増強

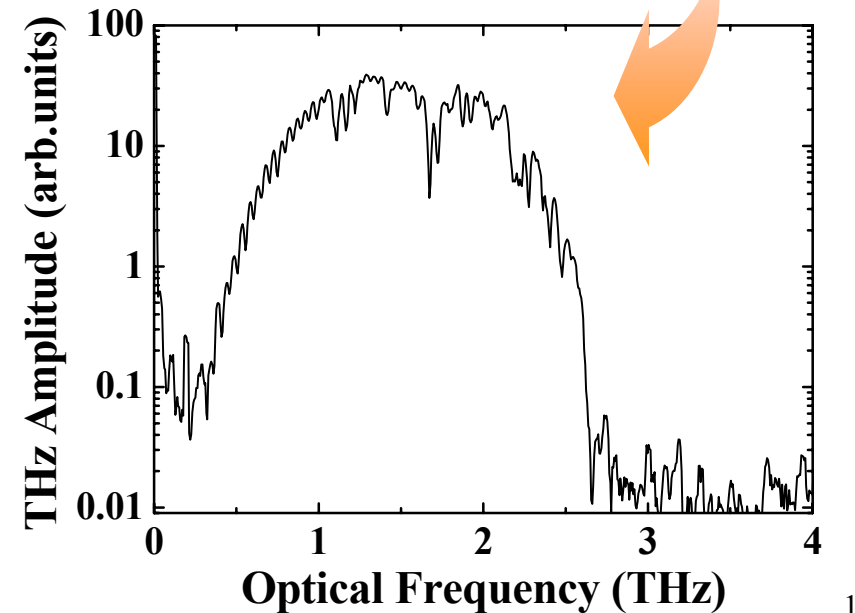
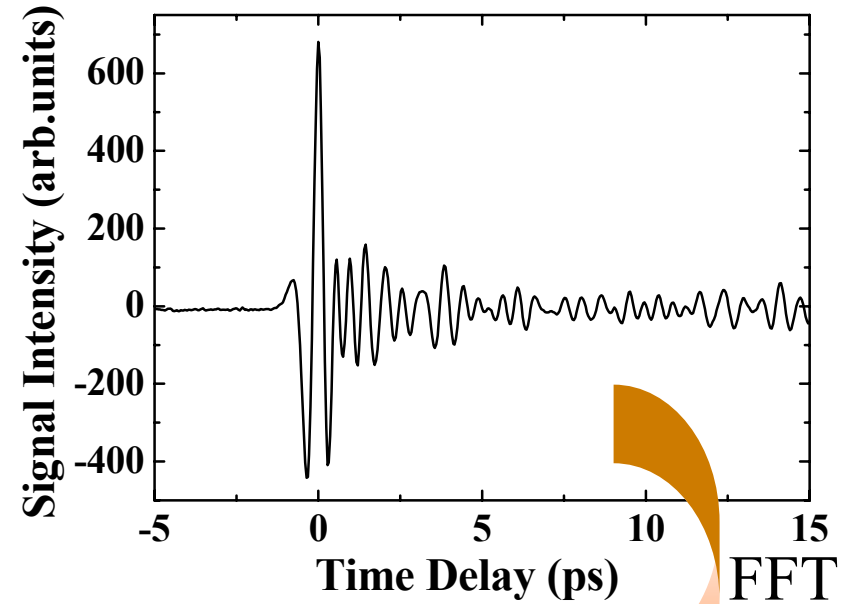
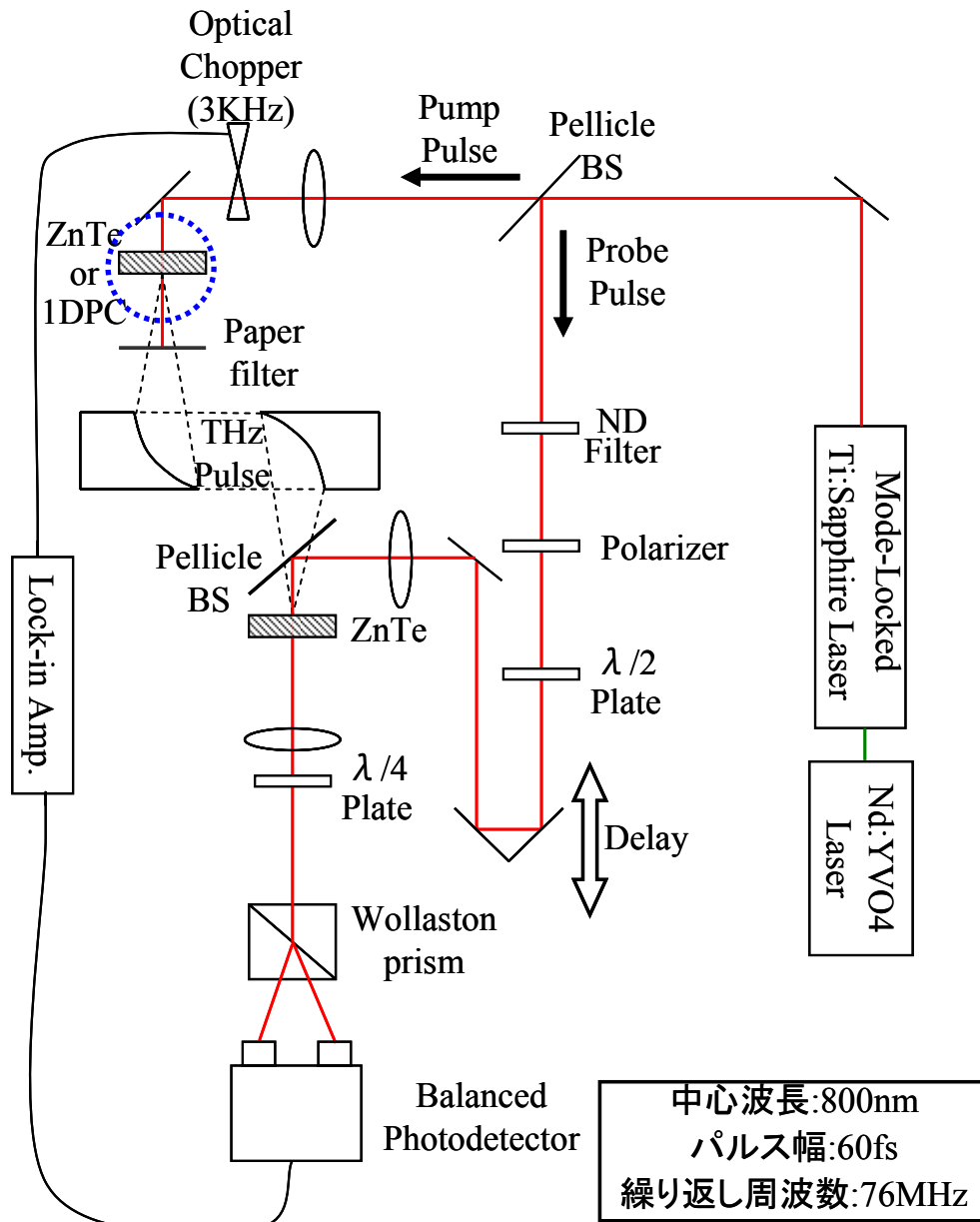


# 欠陥層にZnTeを含むTHz帯1DPC

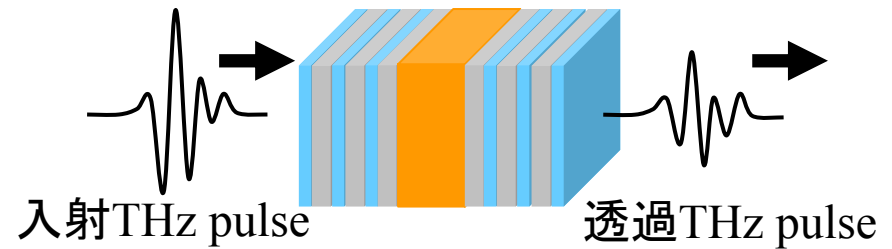
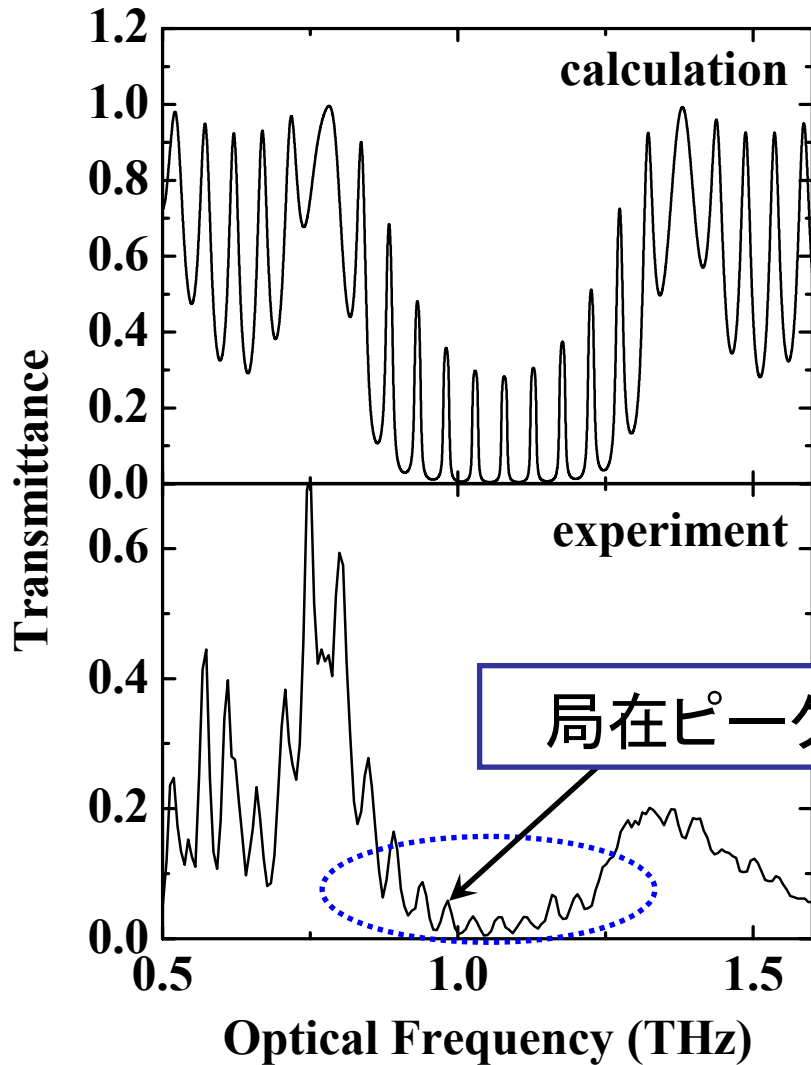


試料の透過測定とTHz波発生

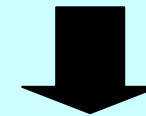
# THz時間領域分光系



# THz帯1DPCの透過スペクトル

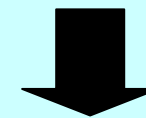


・フォトニックバンド構造を反映



試料の作製に成功

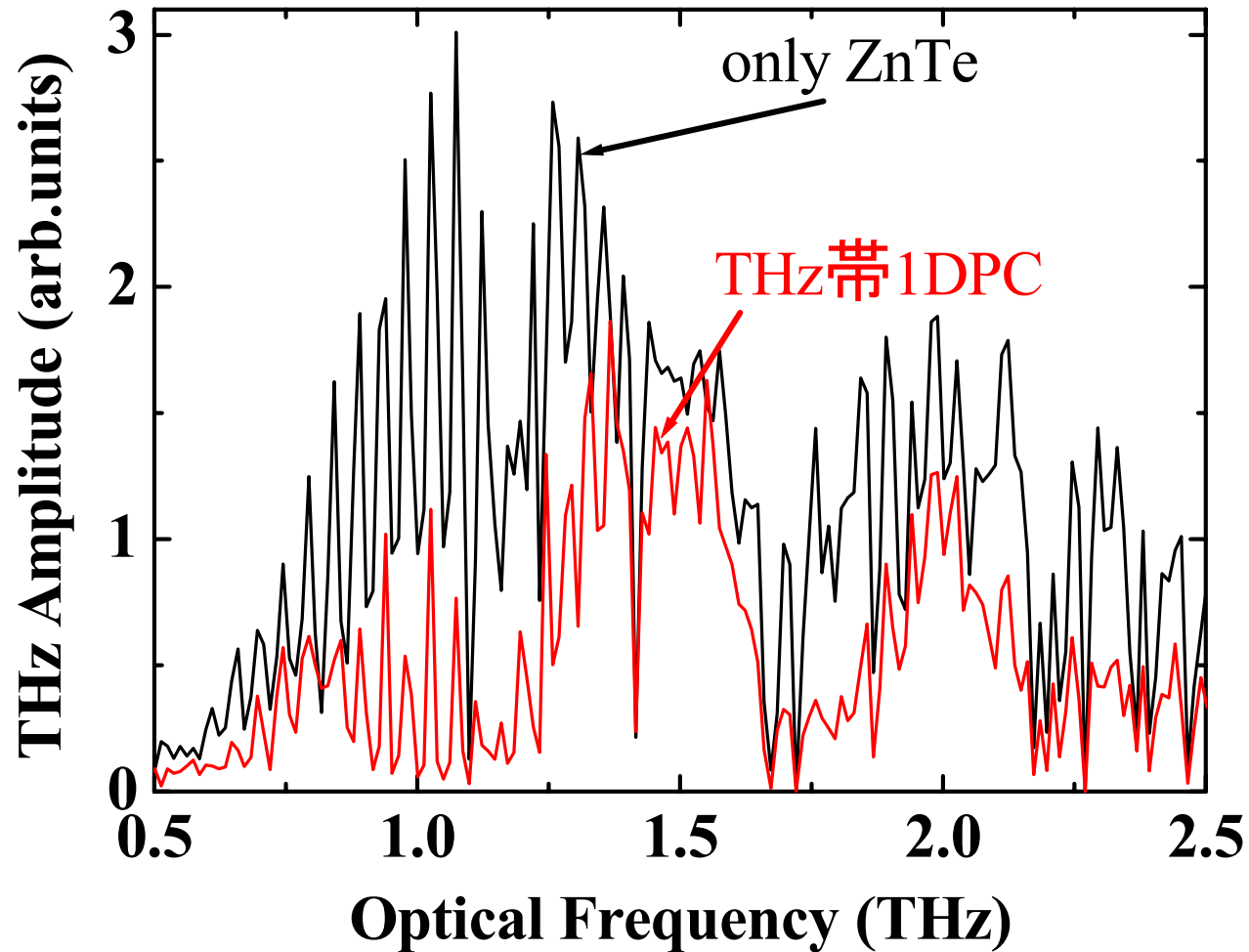
・光の局在ピークの確認



増強効果

ZnTeを含むTHz帯1DPCからTHz波を発生を試みた

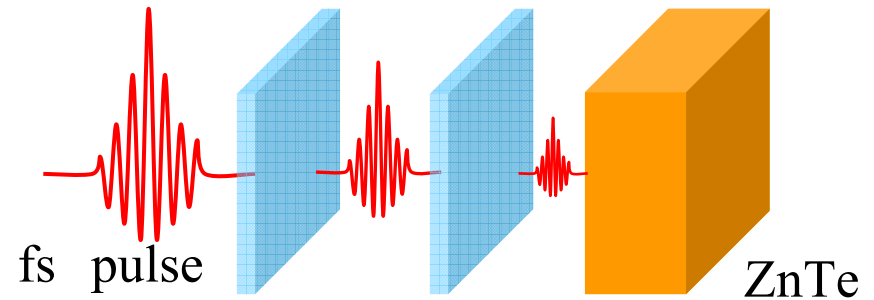
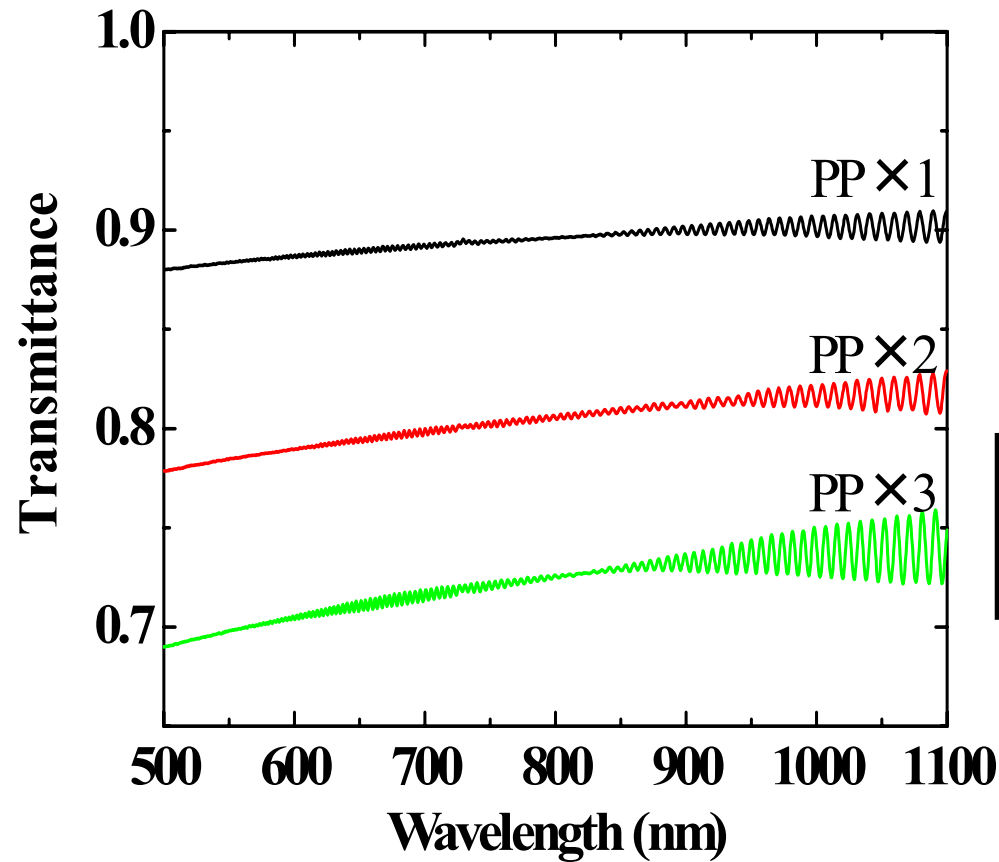
# THz帯1DPCから発生したTHz波のスペクトル(1)



**ZnTeのみから発生したTHzを超えることはできなかった**

# 考察

## ポリプロピレンフィルムの表面反射による励起光強度の減少



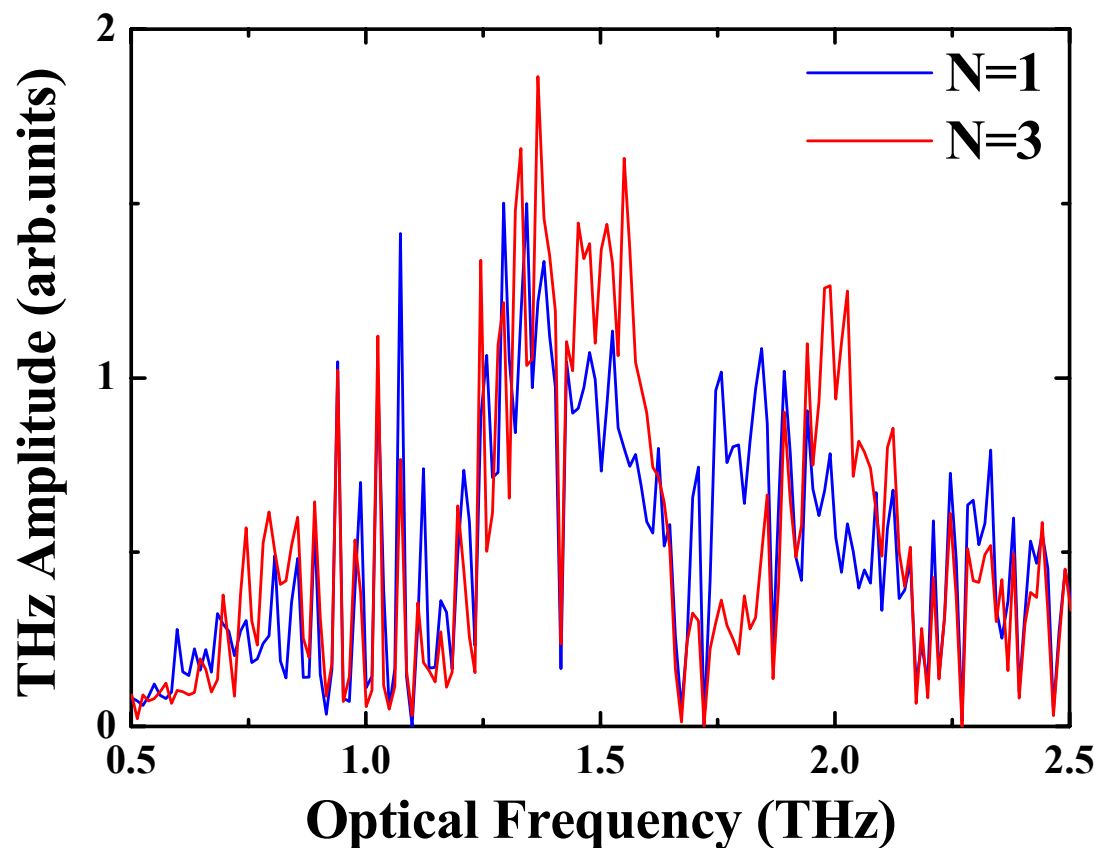
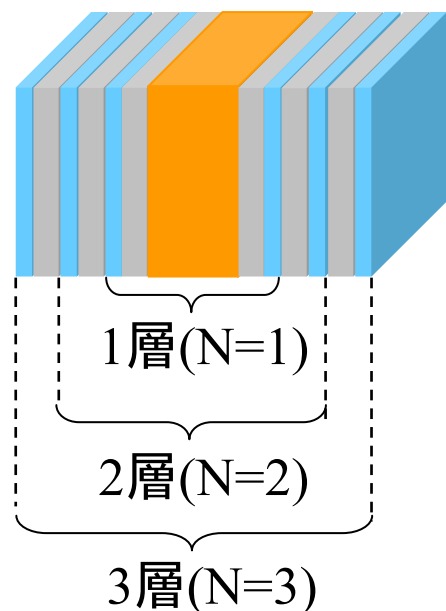
THz波は入射光強度の2乗に比例

$$I_{\text{THz}} \propto I_{\text{in}}^2$$

非線形光学効果の減少

THz波強度の減少

## THz帯1DPCから発生したTHz波のスペクトル(2)



層数が増加する事で増強度は向上



フォトニック結晶による増強効果の確認

# 増強度

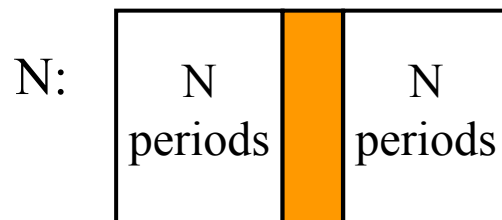
Intensity enhancement factor

A : Air B : Polypropylene  
( $n_A=1.0$ ) ( $n_B=1.48$ )

A : Air B : MgO  
( $n_A=1.0$ ) ( $n_B=3.12$ )

$$G = \frac{T}{2} \left( \frac{n_B}{n_A} \right)^{2N}$$

T : 透過ピーク=1



$n_A$  : A の屈折率

$n_B$  : B の屈折率

N	G
1	1.10
2	2.39
3	5.25
4	11.5
5	25.2

N	G
1	4.48
2	47.4
3	461.2
4	4489.5
5	43703.5

@ZnTeの吸収はないものとする

材料の吟味により現状をはるかに超える増強効果が期待

# 新技術の特徴・従来技術との比較

- ・特定の周波数ではあるが通常の発生源より高強度のテラヘルツパルス光の発生が期待できる。
- ・共振器効果により指向性が高い
- ・励起光源を安価なものに変更できる可能性がある。(例えば半導体レーザー)
- ・光源以外のテラヘルツフォトニック結晶デバイスの可能性がありうる。(狭帯域フィルター、非線形エタロンなど)



# 想定される用途

- 励起光源の低価格化によりテラヘルツ技術の普及率向上
  - 検査、セキュリティなどイメージング応用
- 光源以外のテラヘルツフォトニック結晶デバイスの可能性
  - 分光研究、イメージング応用

# 実用化に向けた課題

- 現在、THz光の増強の原理確認まではできた  
が、得られた増強度は数倍程度である。
- 今後、サンプルに用いる材料や作製法等の吟  
味を行うことで増強度を桁違いに大きくしていく。
- 実用化に向けて、半導体レーザーなどの安価  
な励起光源を用いたTHz発生実験を行っていく  
必要がある。

## 企業への期待

•我々が現在最も欲している技術は数10マイクロメートル程度の周期の多層膜試料(半導体・セラミック・ポリマー)の作製技術であり、この精度向上こそがTHz増強度を大きくするために必要なので、このような技術を持つ企業との共同研究を希望。

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : テラヘルツ光源
- 出願番号 : 特願2007-232239
- 出願人 : 香川大学
- 発明者 : 鶴町徳昭・宮川勇人・小柴俊  
・中西俊介・伊藤寛

# お問い合わせ先

株式会社テクノネットワーク四国  
(通称:四国TLO)

技術移転部  
主任 辻本 和敬

Tel 087-811-5039

Fax 087-811-5040

e-mail [tsujimoto@s-tlo.co.jp](mailto:tsujimoto@s-tlo.co.jp)