



非線形フォトニクス研究室

数理物質科学研究科 電子・物理工学専攻
理工学群 応用理工学類（応用物理主専攻）

服部・加納・游 研究室

<http://www.bk.tsukuba.ac.jp/~thz/>

非線形フォトニクスとは

- 強いレーザー光を物質に照射すると、新しい波長の光を発生させたり、物質の新しい状態を作り出したりすることができます。そのような“非線形光学現象”を、さまざまに応用するための研究をしています。

研究テーマ

- 生体組織，生体関連物質などのテラヘルツ分光：水分子の動きを観る
- テラヘルツ導波路構造を用いたセンシング
- 新しいテラヘルツ測定技術の開発

- 非線形ラマン分子イメージングによる新規病理診断法の開拓
- iPS細胞の分化過程及びリプログラミング過程の研究
- 褐色脂肪細胞の脂肪燃焼過程の研究
- 皮膚ランゲルハンス細胞の研究
- 石油を産生する藻類の新しい評価法の開発

研究室概要

- 教授 服部 利明
hattori@bk.tsukuba.ac.jp, 3F625
- 助教 游 博文
you.borwen.gt@u.tsukuba.ac.jp, 3F530
- 准教授 加納 英明
hkano@bk.tsukuba.ac.jp, 3F607
- 学生 博士課程前期(修士) 11名
博士課程後期(博士) 2名(他研究科を含む)
卒業研究生 6名
研究生 2名
(以上2019年度春)
- 実験室 3G217, 3G411, 理科系D205
- 学生居室 3G216, 3M408
- 最近の卒業生の就職先

浜松ホトニクス, 東京エレクトロン, リコー, パナソニック, NTT東日本, テルモ, シークス, アイシン・エイ・ダブリュ, 島津製作所, 全国銀行協会, 花王, 東芝メディカル, JR東日本, NHK, 古河電工, カシオ計算機, 三機工業, 旭硝子, 東京電力, 豊田中央研究所, 芝浦メカトロニクス, 住友重機, 電気安全環境研究所, Ruhr-Univ. Bochum, ミットヨ, 北海道電力, Southampton Univ., 富士テクニカルリサーチ, 富士通, アイレップ, シャープ, ブイ・テクノロジー, 旭化成, ワンビシアーカイブズ, キヤノン, 東芝, JR東日本, 富士重工, 住友生命, 住友化学

非線形光学現象の例

- 和周波発生・差周波発生

$$\omega_1, \omega_2 \Rightarrow \omega_3 = \omega_1 + \omega_2$$

$$\omega_1, \omega_2 \Rightarrow \omega_4 = \omega_1 - \omega_2$$

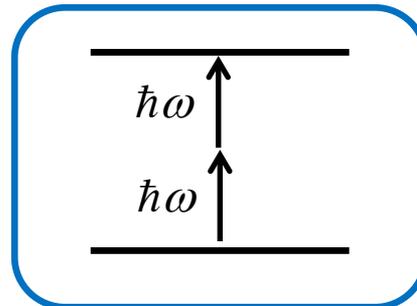
テラヘルツ波
発生

- 光混合

$$\omega_1, \omega_2, \omega_3 \Rightarrow \omega_4 = \omega_1 - \omega_2 + \omega_3$$

- 多光子吸収・多光子発光

コヒーレント・
ラマン散乱



テラヘルツ波とは

「電波」

エレクトロニクス



テラヘルツ・ギャップ



長波～ラジオ・テレビ電波～マイクロ波～ミリ波～

赤外/可視/紫外～X線～γ線

10^4

10^6

10^8

10^{10}

10^{12}

10^{14}

10^{16}

10^{18}

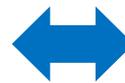
(Hz)

「電波」と「光」の間の未開拓領域の電磁波

電波



テラヘルツ波
0.03～12 THz



光

波長が長い。
エネルギーが低い。
回折が大きい。

波長が短い。
エネルギーが大きい。
直進性が強い。

「光」
フォトリニクス

テラヘルツ波の応用

- **イメージング**

安全検査，製品検査，医療診断

薬物，危険物，半導体，医薬品，

布，紙などを透過。水，金属などで吸収・反射。

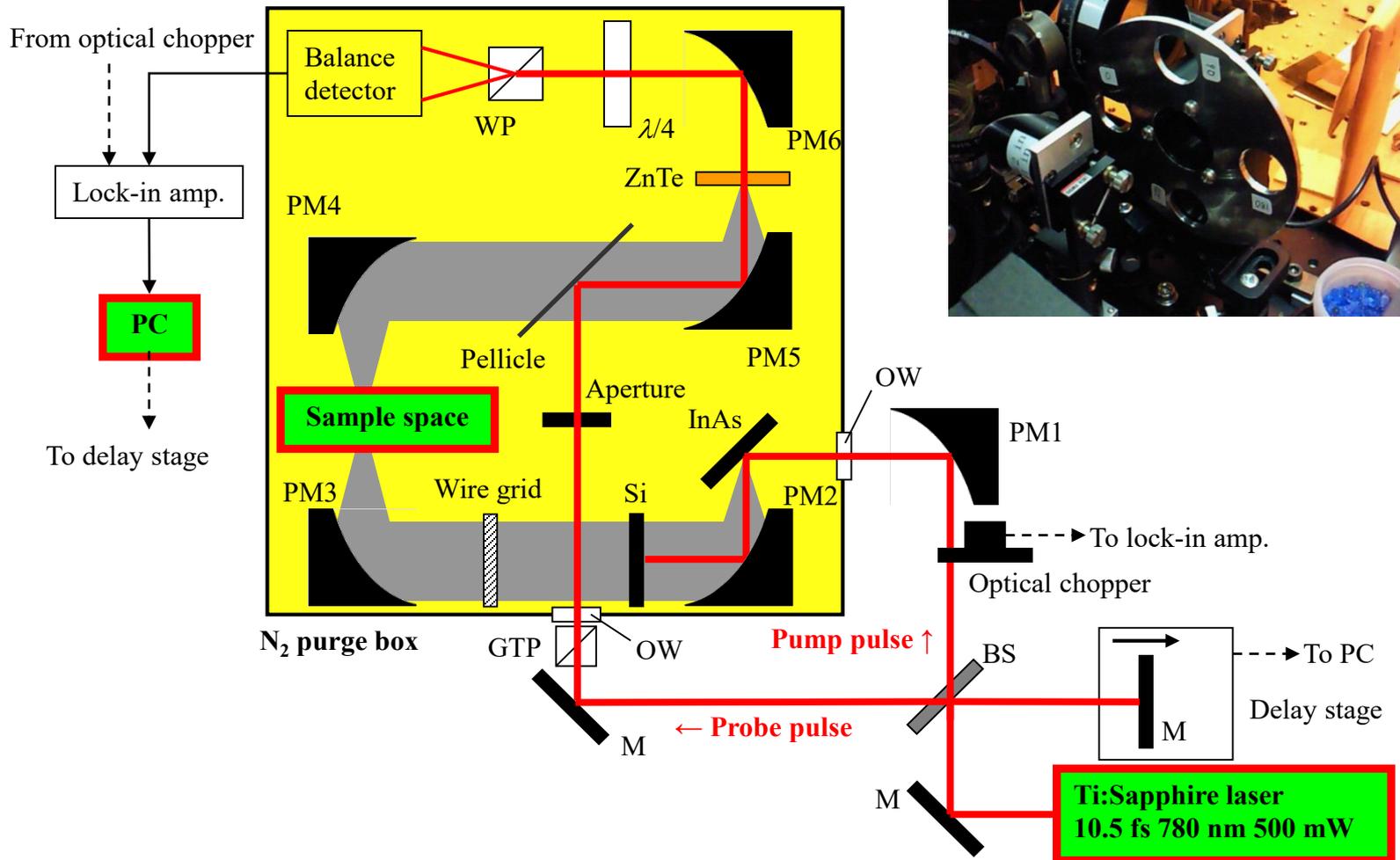
エックス線に比べて安全。物質の特定が可能。

- **分光測定**

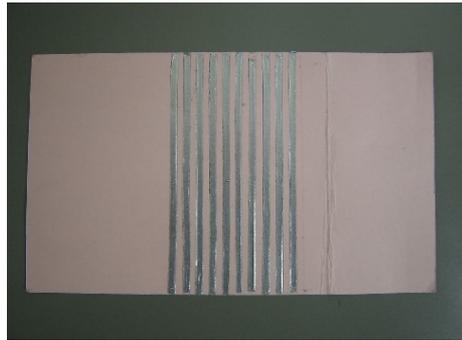
生体関連物質，半導体，宇宙，環境，

- **大容量通信**

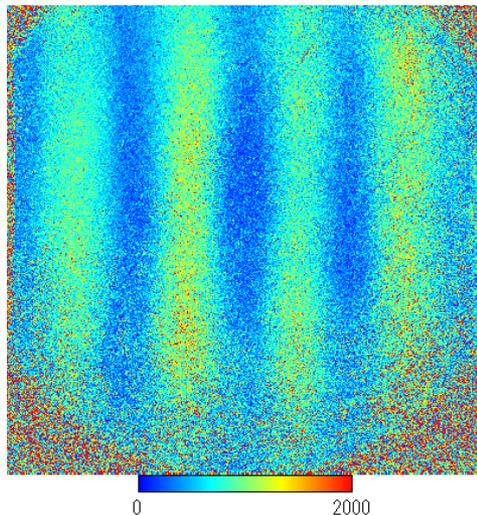
テラヘルツ分光装置



テラヘルツイメージング

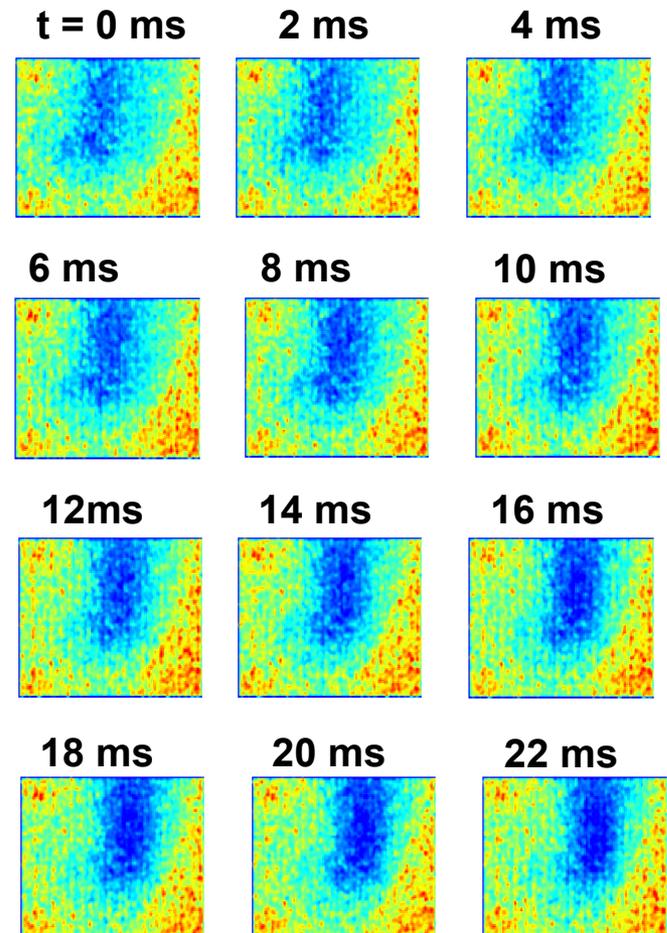


幅・間隔が2mmの金属配列

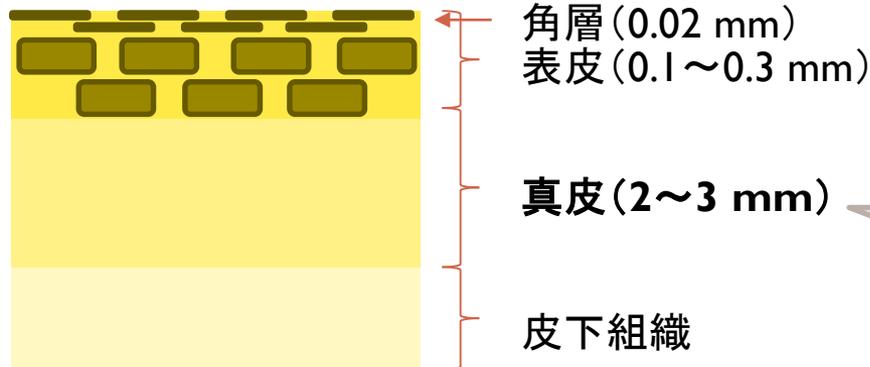


テラヘルツ波による画像

テラヘルツ高速ビデオ

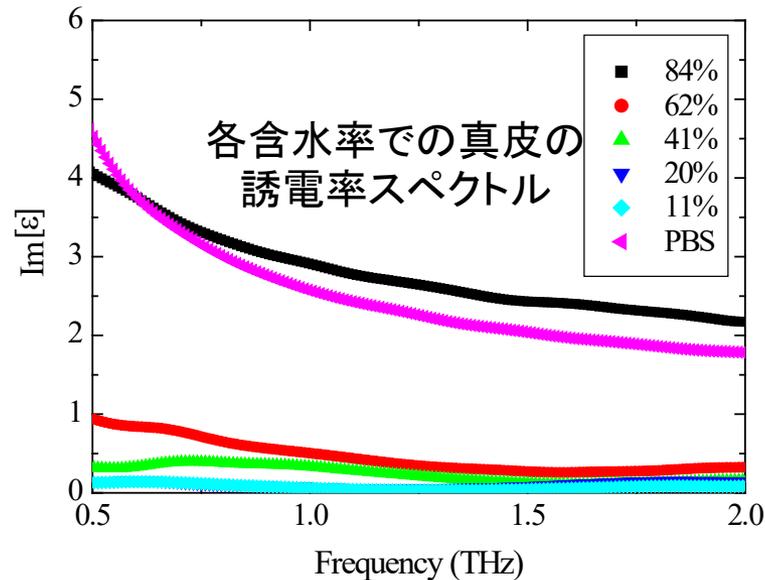


テラヘルツ波で皮膚を観る



コラーゲン、
エラスチン等により
構成される

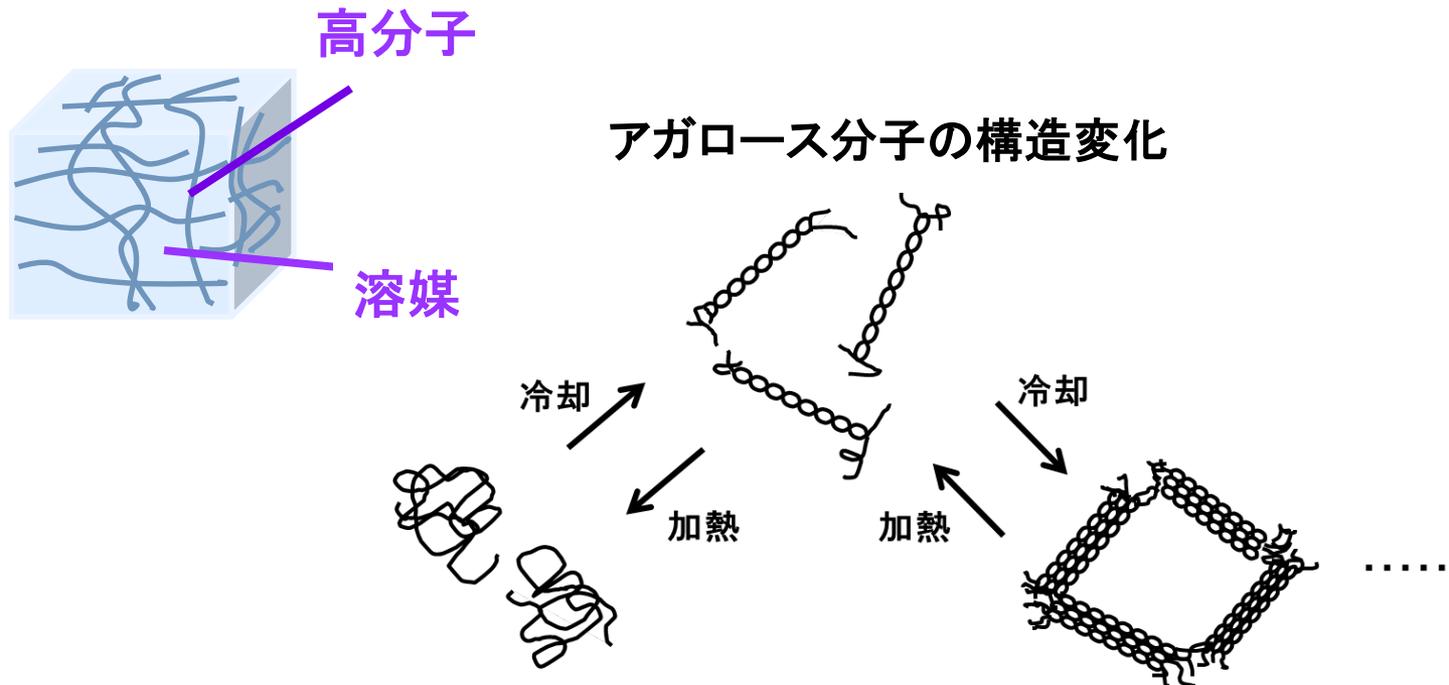
真皮は皮膚のハリに関与
加齢等によって水の状態が変化するのは？



テラヘルツ波でゲルを観る

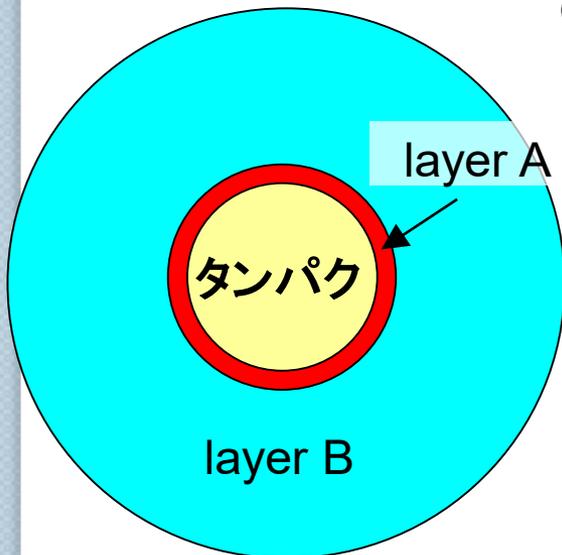
- ・アガロース：寒天の主成分，多糖類
- ・アガロースゲルでは，高分子が3次元の網目構造を形成し，水を包含している。

アガロースゲル

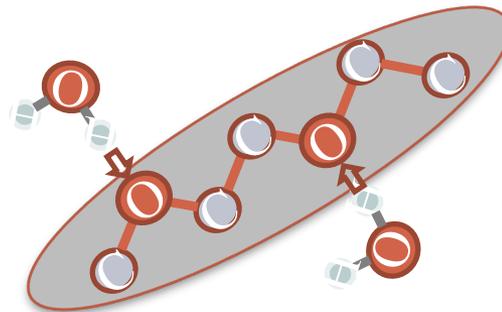


生体分子などの水和

- 溶液中で溶質分子は，溶媒分子と静電力や水素結合などで相互作用し，安定化される。これを，溶媒和（水の場合は水和）という。
- 溶質分子の近傍の水分子は，純粋な水の分子とは異なる性質を持つ。
- 生体分子の機能は，水和水との協奏的作用によって発現する。



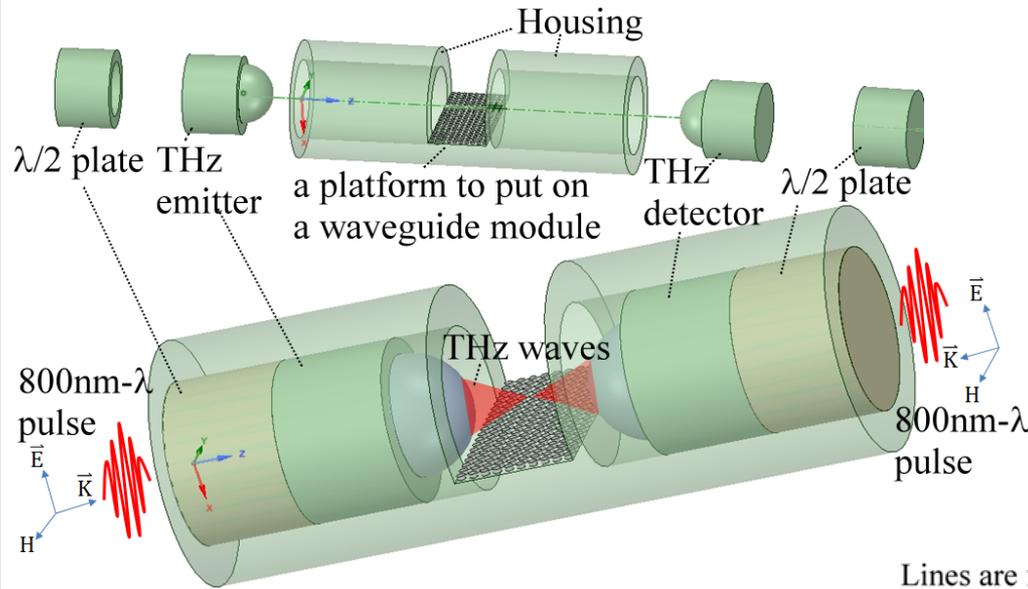
- テラヘルツ分光測定によって，水和水の動的性質を直接的に観測することができる。



- ポリマーの水和

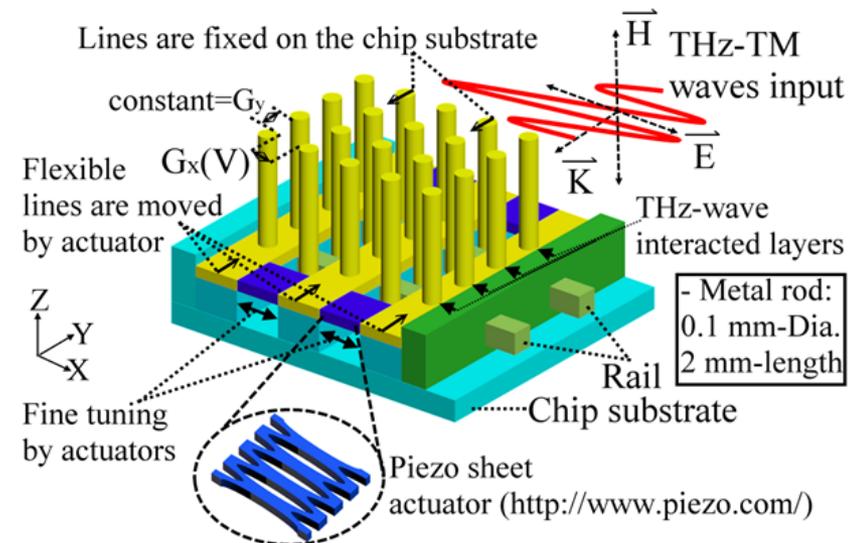
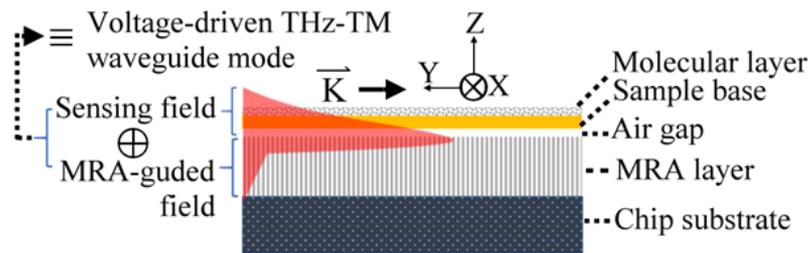
Advanced THz Optics-I

Research purpose-I: System on the chips



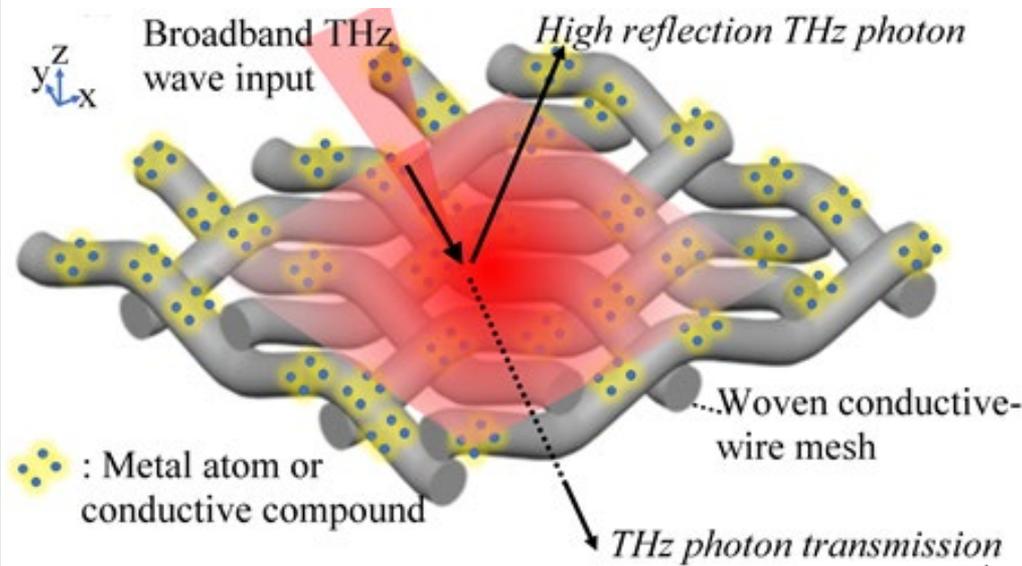
Knowledge background:

- 1) Integrated Optics
- 2) Integrated Sensors



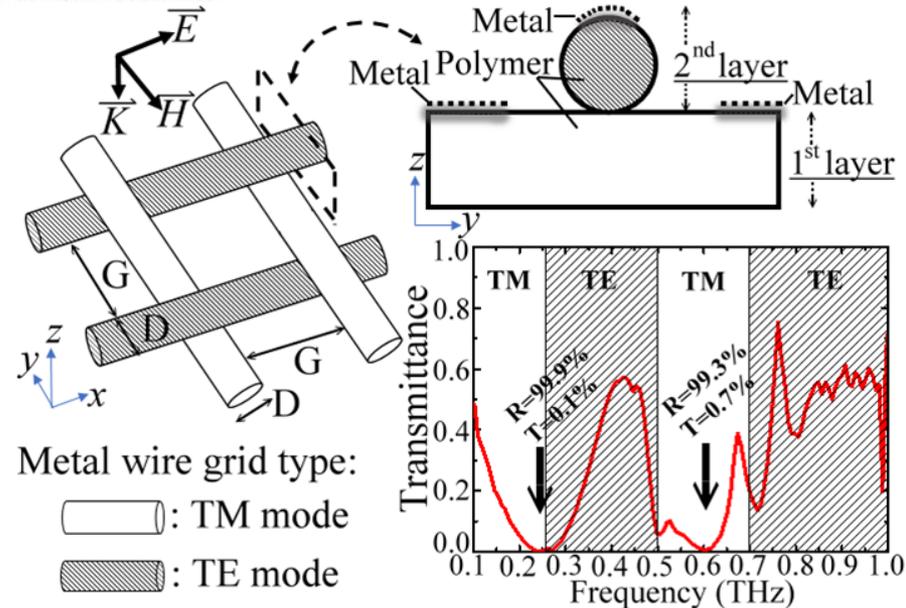
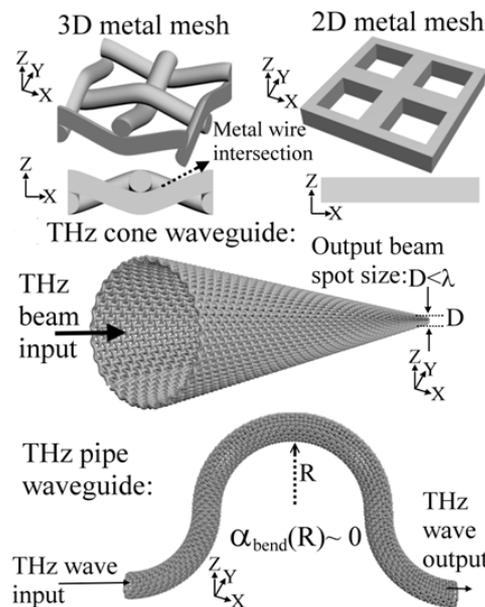
Advanced THz Optics-II

Research purpose-II: Artificial materials



Knowledge background:

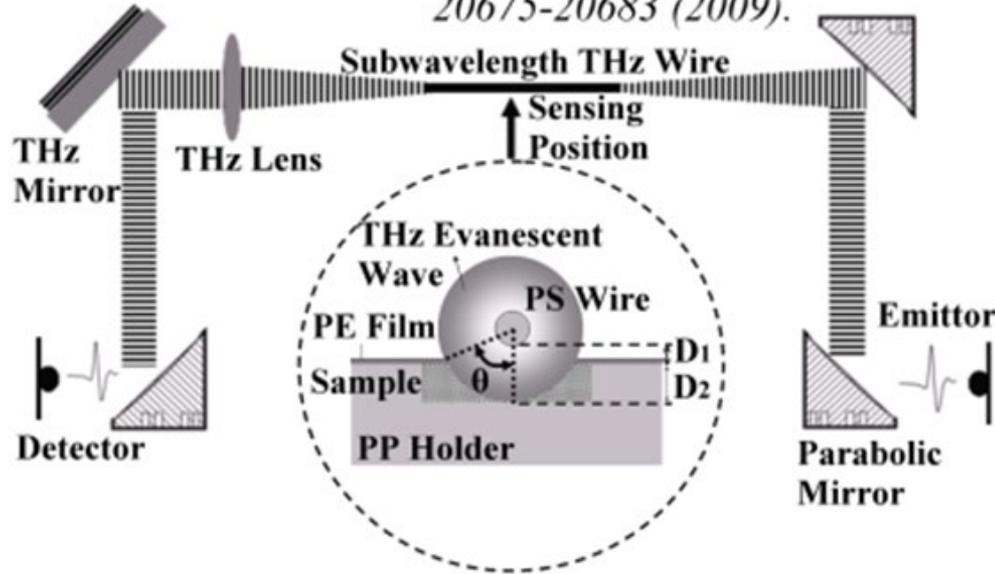
- 1) Optical thin-film engineer
- 2) Optical properties of materials
- 3) Photonic/plasmonic structures



Advanced THz Optics-III

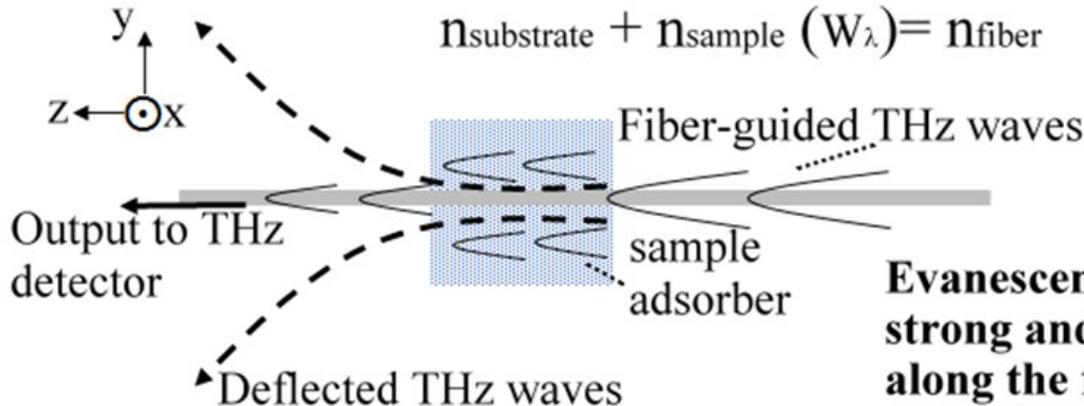
Research purpose-III: Fiber sensing technology

Optics Express 17,
20675-20683 (2009).



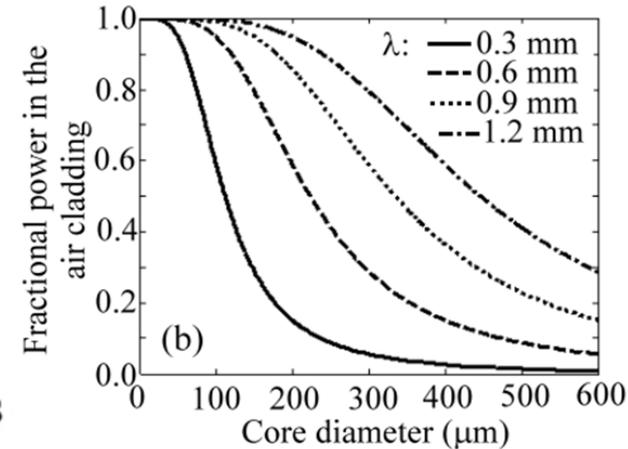
Waveguide index matching condition:

$$n_{\text{substrate}} + n_{\text{sample}}(W_{\lambda}) = n_{\text{fiber}}$$



Knowledge background:

- 1) Fiber Optics
- 2) Ultrafast Optics
- 3) Time-Domain Spectroscopy



ラマン分光で拓く 新しい生命・医科学

筑波大学・数理物質系・物理工学域

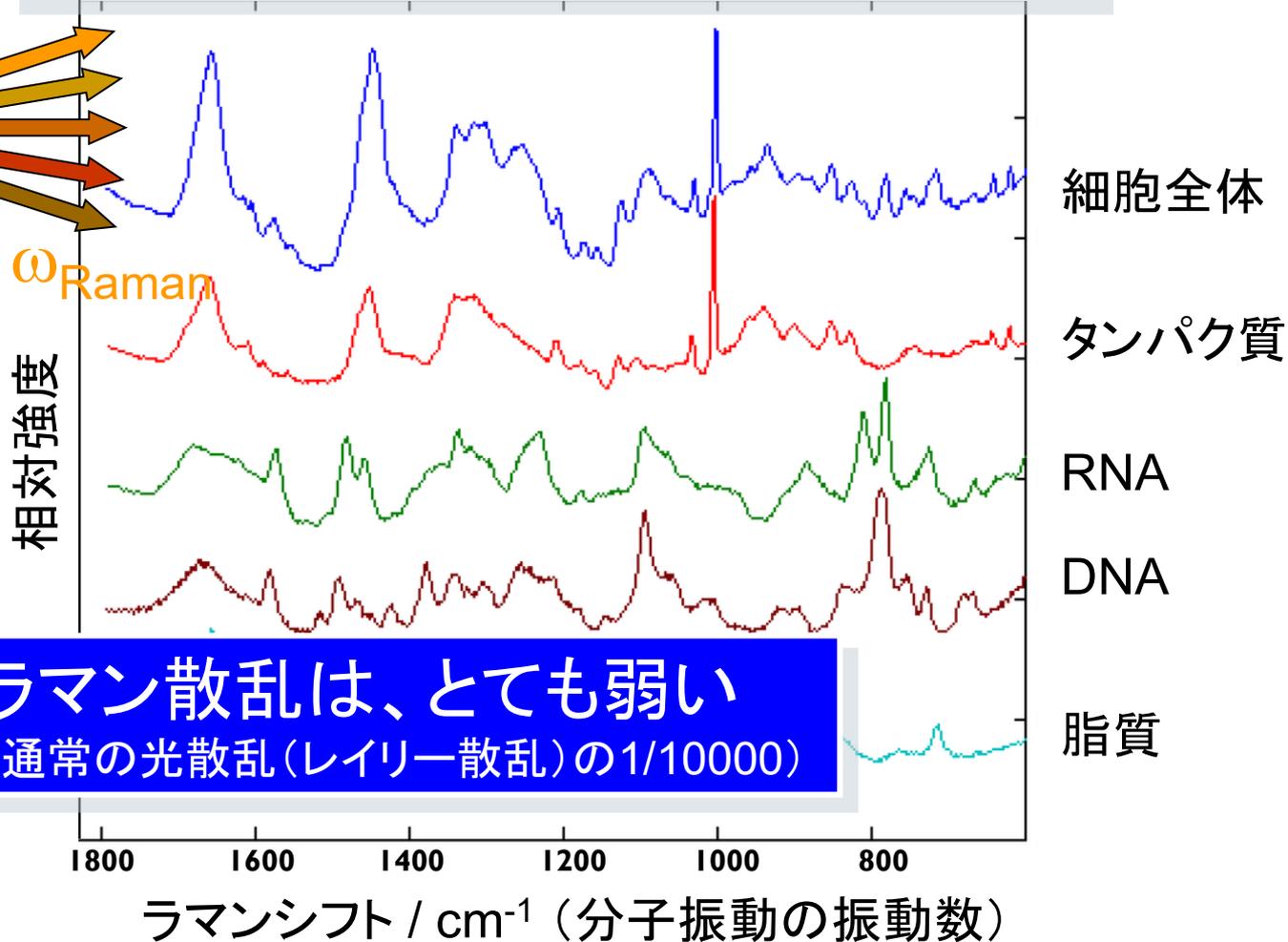
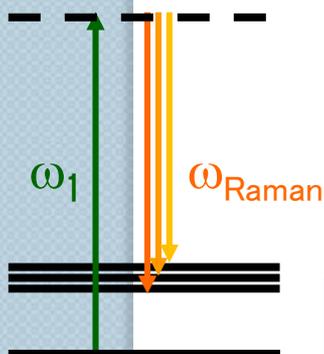
加納 英明

ラマンスペクトルは “分子の指紋”

分子のもつ様々な化学結合を識別



<http://www.stemcellsinc.com/Science/Stem-Cells-101.htm>



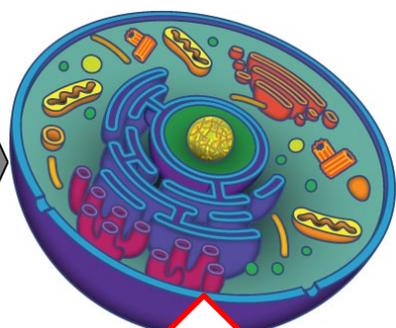
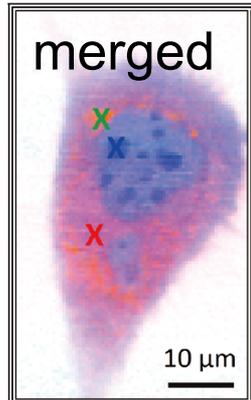
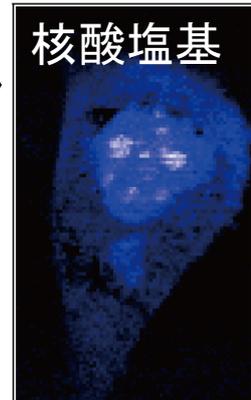
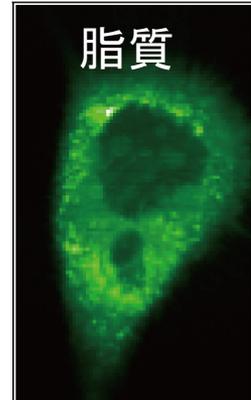
ラマン散乱は、とても弱い
(通常の光散乱(レイリー散乱)の1/10000)

ラマンシフト / cm^{-1} (分子振動の振動数)

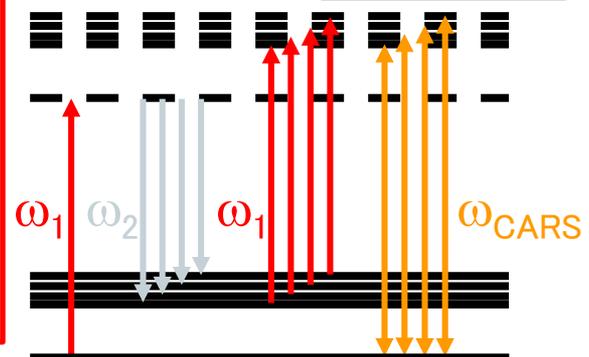
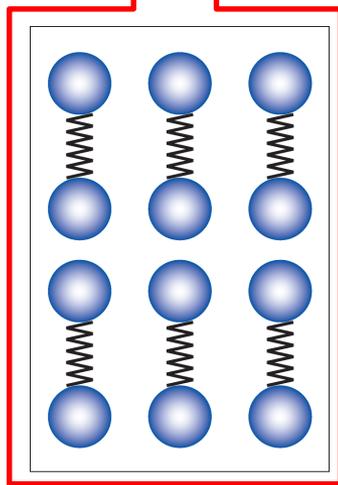
白色レーザーによる非線形ラマン散乱

coherent anti-Stokes Raman scattering (CARS)

分子振動を強制励振



<http://www.sinc.com/Science/2011.htm>



白色レーザーの利用
(JSPS二国間共同研究)



2007~

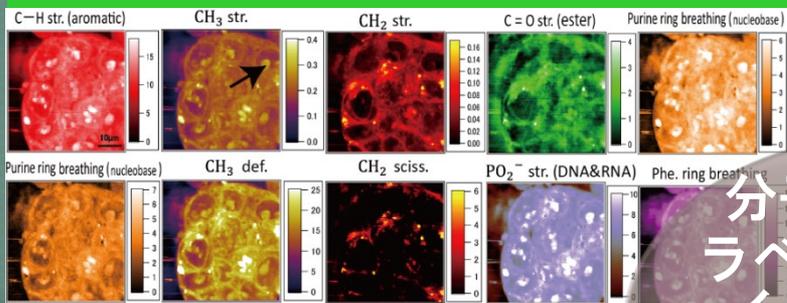
- ・分子振動を強制的に励振
→ 信号強度の増幅
- ・非線形光学効果
→ 超解像
- ・近赤外光励起
→ 非破壊・非侵襲測定

M. Okuno *et al*,
Angew. Chem. Int. Ed. 49, 6773 (2010);
PLoS ONE 9, e93401 (2014).

CARSの生命科学・医学応用

iPS細胞（本学医学部 久武研究室
及びつくば理研 林研究室とコラボ）

幹細胞の分化過程及びリプログラミング過程の可視化を目指して



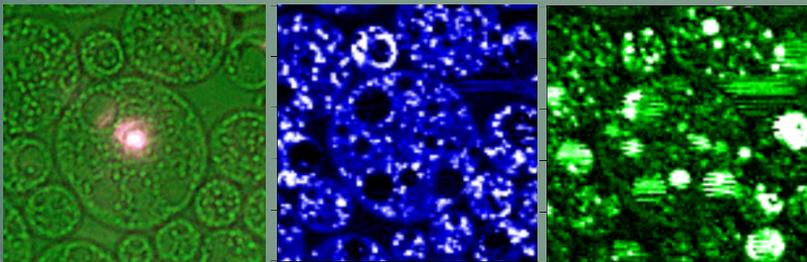
分子の指紋で
ラベルフリー
イメージング



藻類（本学生命環境:
渡邊先生とコラボ）

藻類の“石油”の質を評価

光学像 TAG スクアレン



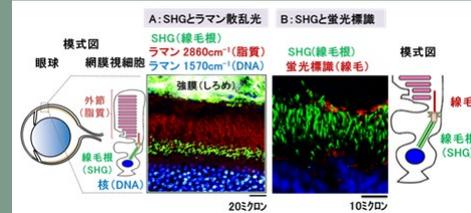
眼組織（本学附属病院 眼科教室:
大鹿先生・加治先生とコラボ）

新しい眼診断を目指して



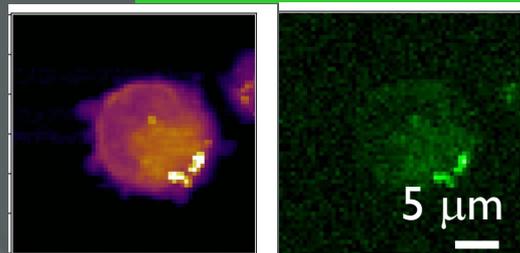
SCIENTIFIC REPORTS

OPEN SHG-specificity of cellular Rootletin filaments enables naïve imaging with universal conservation



病理組織（本学附属病院 診断病理教室:
野口先生とコラボ）

新次元細胞診を目指して



悪性リンパ腫



より詳しくは

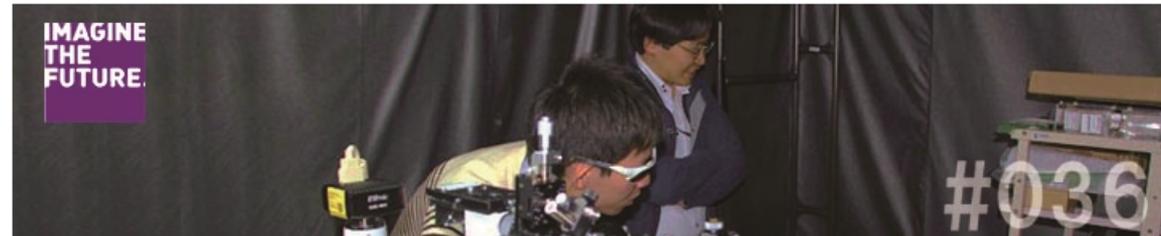
TSUKUBA FUTURE

+ TSUKUBA FUTURE

- ▢ インデックス
- ▢ #094 : 色彩の力でまちを元気に
- ▢ #093 : キーワードは情報の変換
- ▢ #092 : ショウジョウバエは美しい
- ▢ #091 : やわらかいハードウェアで計算を変える
- ▢ #090 : ジャンプ!ターン! 小動物の俊敏さをロボットに
- ▢ #089 : 学問としての国際政治学
- ▢ #088 : カエルの声に誘われて
- ▢ #087 : ディープ・エコロジーにひたる

TSUKUBA FUTURE

#036 : 分子の指紋で異分野連携



◎ 数理物質系 加納英明准教授

物質の構造を分子レベルで観察するにはどうしたらよいでしょうか。分子ひとつひとつを肉眼で見ることができませんが、光の力を借りると物質の構造に関する情報を得ることができます。光を物質に照射すると分子が振動して、散乱する光の中にもとの光の色と異なる色成分が発生します。この現象は、光の波長と物質に含まれる化学結合の種類に応じて固有のスペクトルとして検出されます。それを読み解けば、分子構造がわかる理屈です。このような分析手法を「振動分光法」といい、可視光だけでなく近赤外光・紫外光などいろいろな波長の光が使われます。そのほかに、赤外光を用いる赤外分光法もあります。

<http://www.tsukuba.ac.jp/notes/036/index.html>