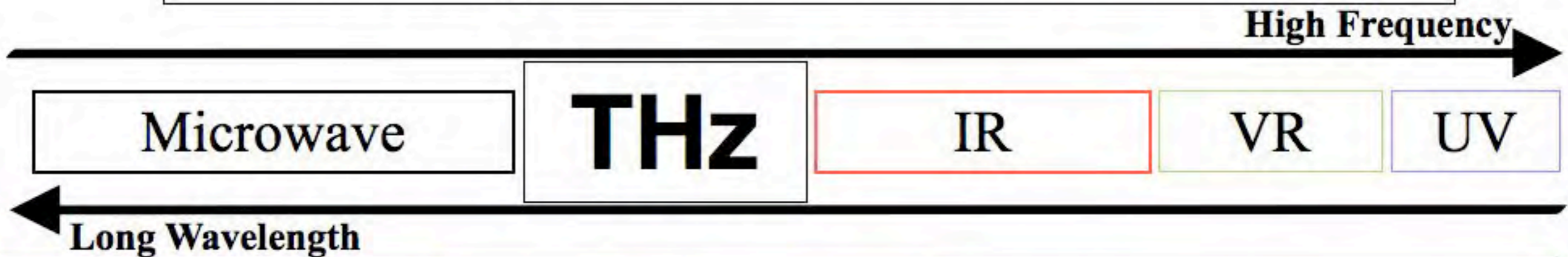


单一周期波数解析



Frequency : 0.1THz~10THz
Wavelength : 3mm~30 μ m
Energy : 4.4meV(1THz)



THz Applications



Dobroiu *et.al* (2004)



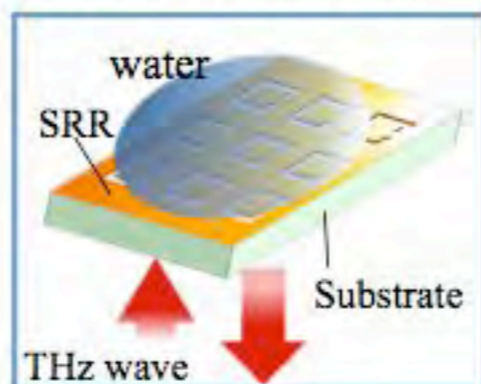
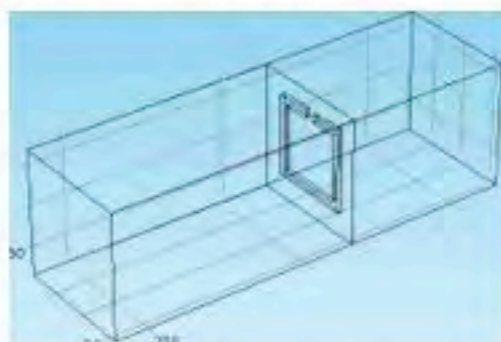
名大・川瀬研究室



• 広帯域解析

メタマテリアルの解析

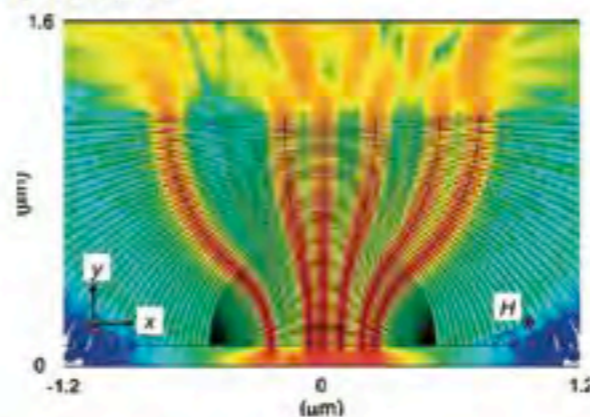
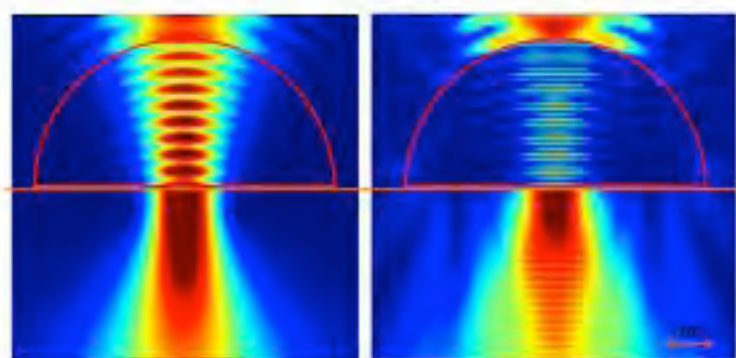
(共振周波数解析, メタマテリアルセンシング)



• 単一周波数解析

高屈折率レンズへの応用

Hyper Lensでの活用

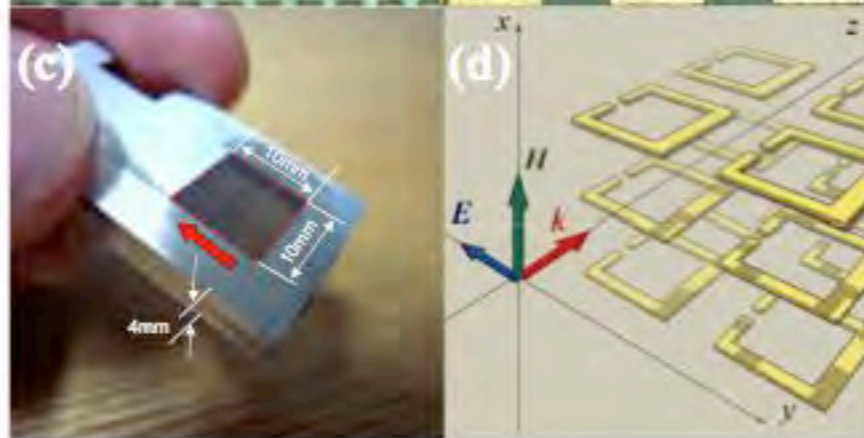
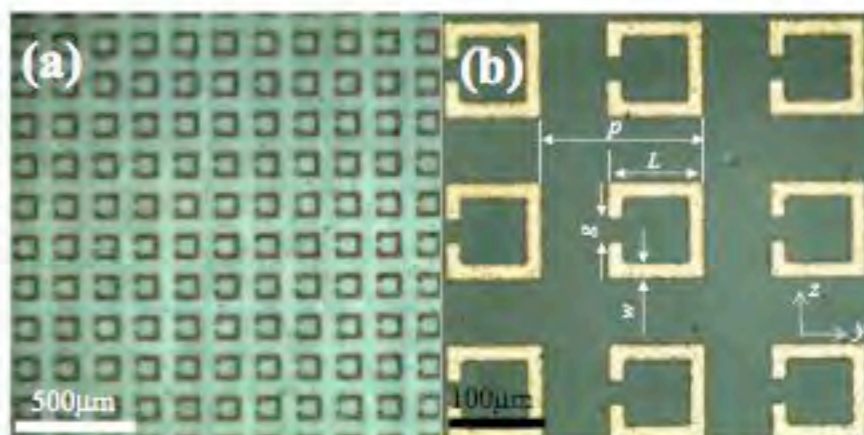
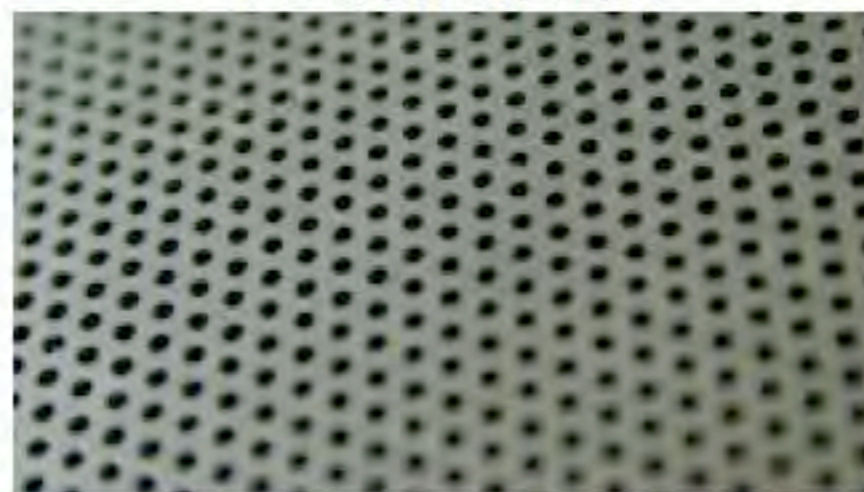


• その他の事例

光伝導アンテナの解析

時間領域での周波数変換

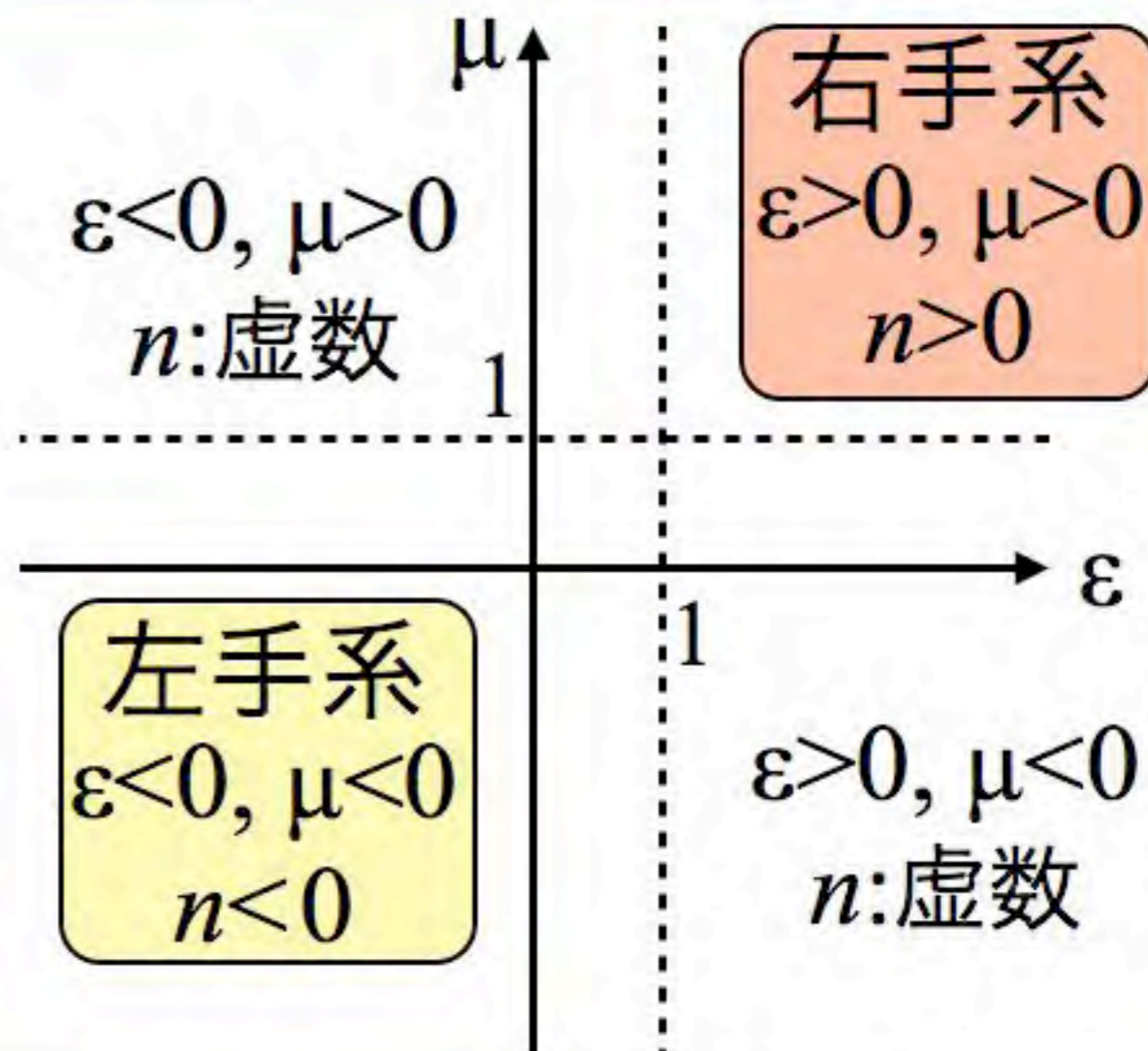
フォトニック結晶やメタマテリアルによる電磁波制御



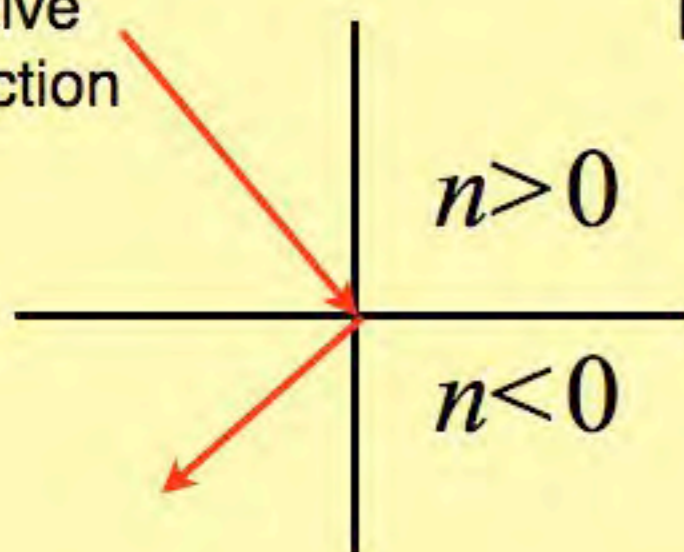


誘電率と透磁率を自在に
制御する事を目指した
人工物質

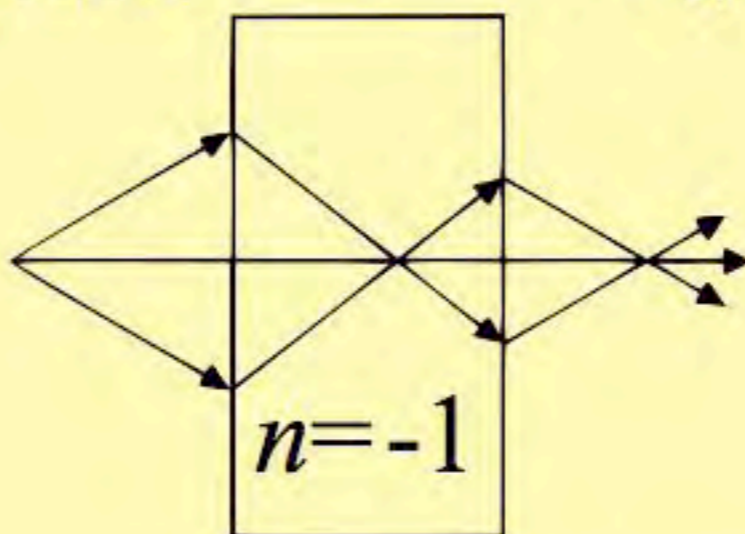
通常では考えられない現象
を用いた**新しいテラヘルツ
光学素子の実現**



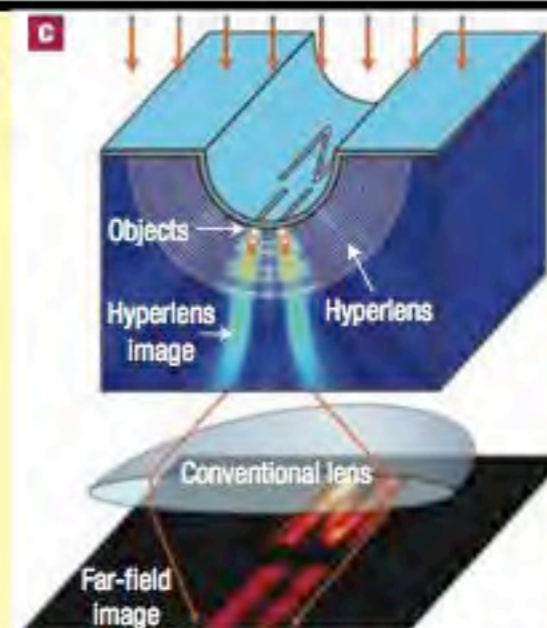
Negative Refraction



Perfect Lens



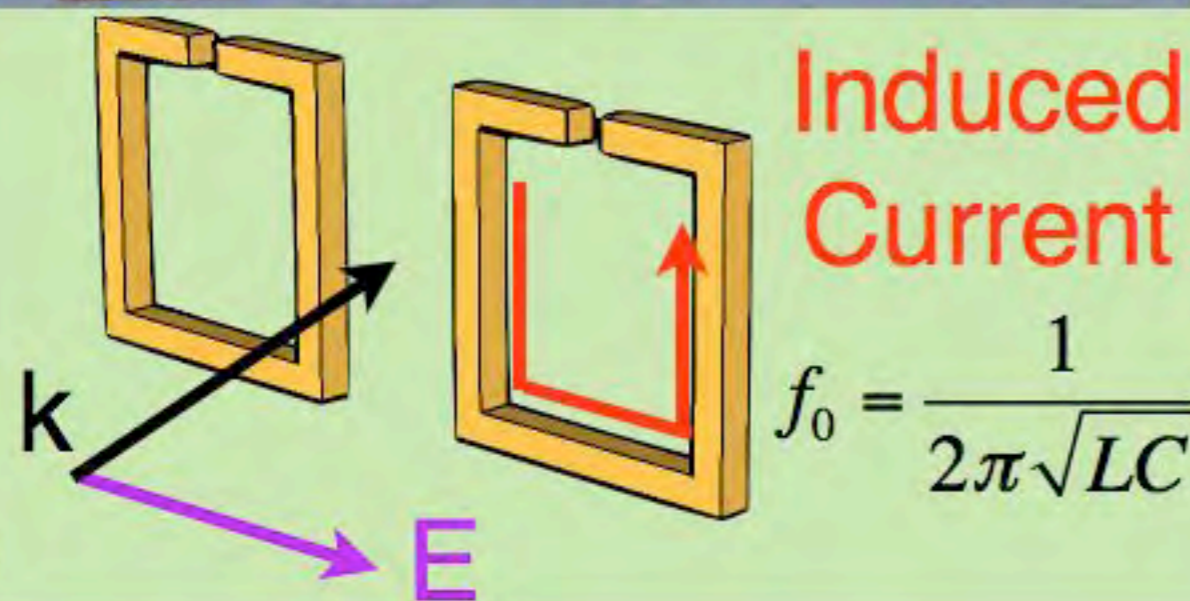
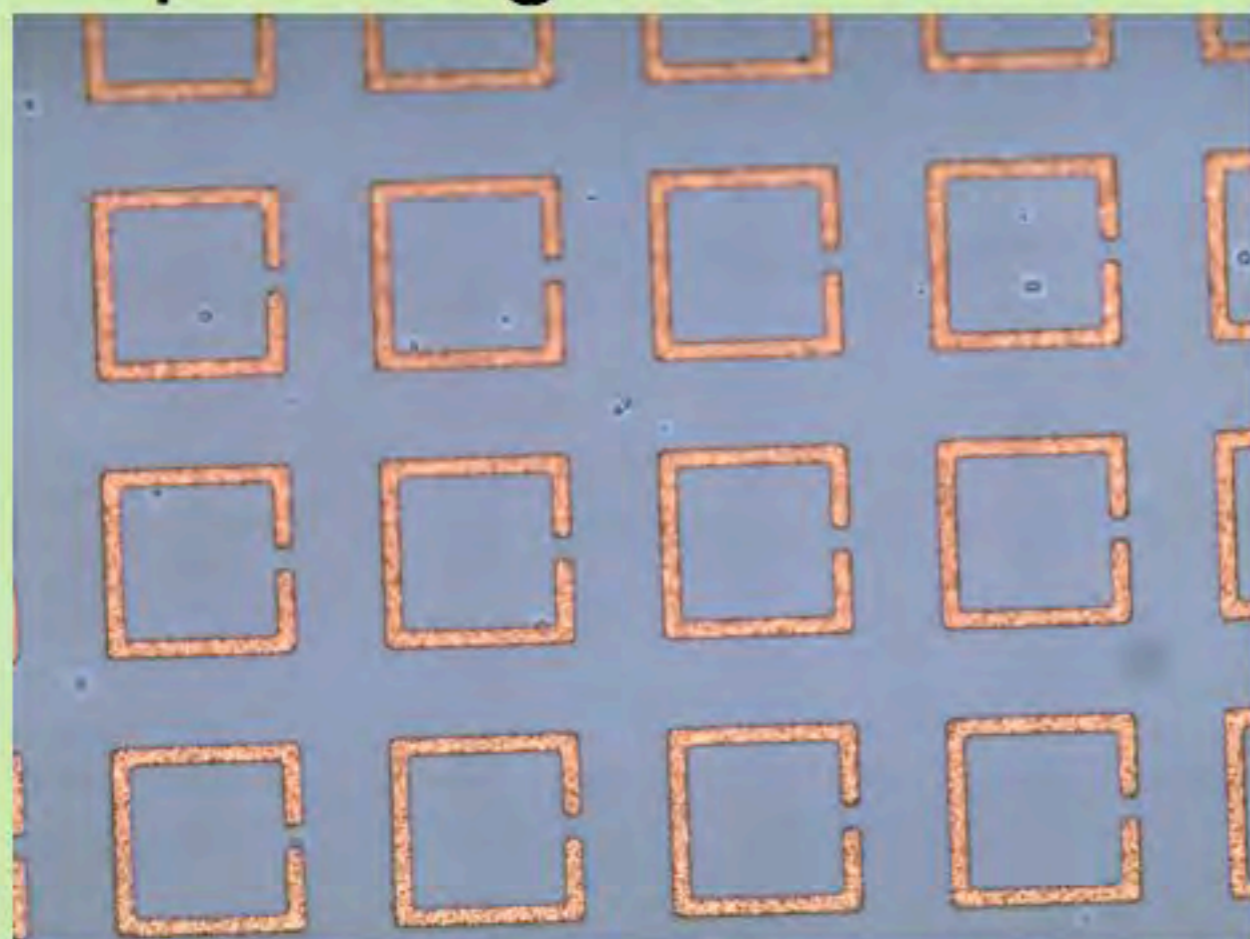
Hyper Lens



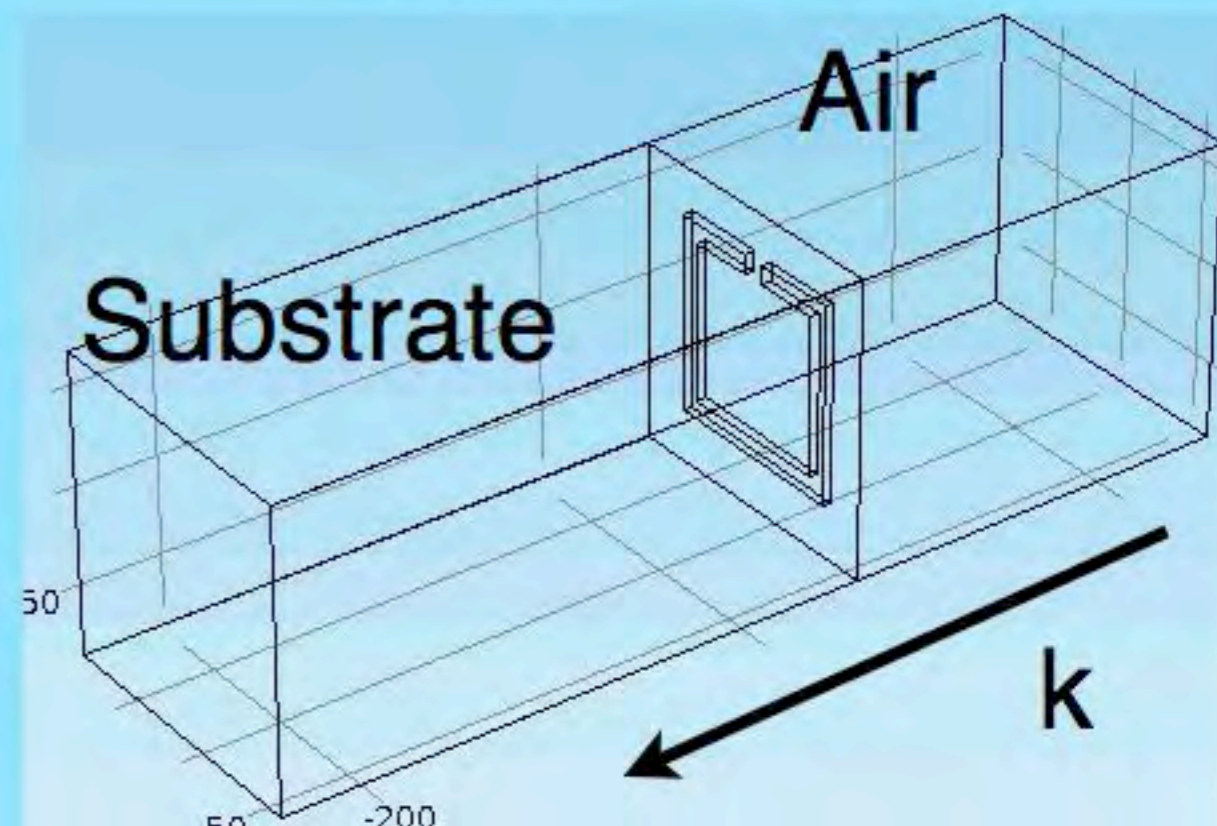
Z. Liu et al., Science 315, 1686 (2007).



分割リング共振器 Split-Ring Resonator



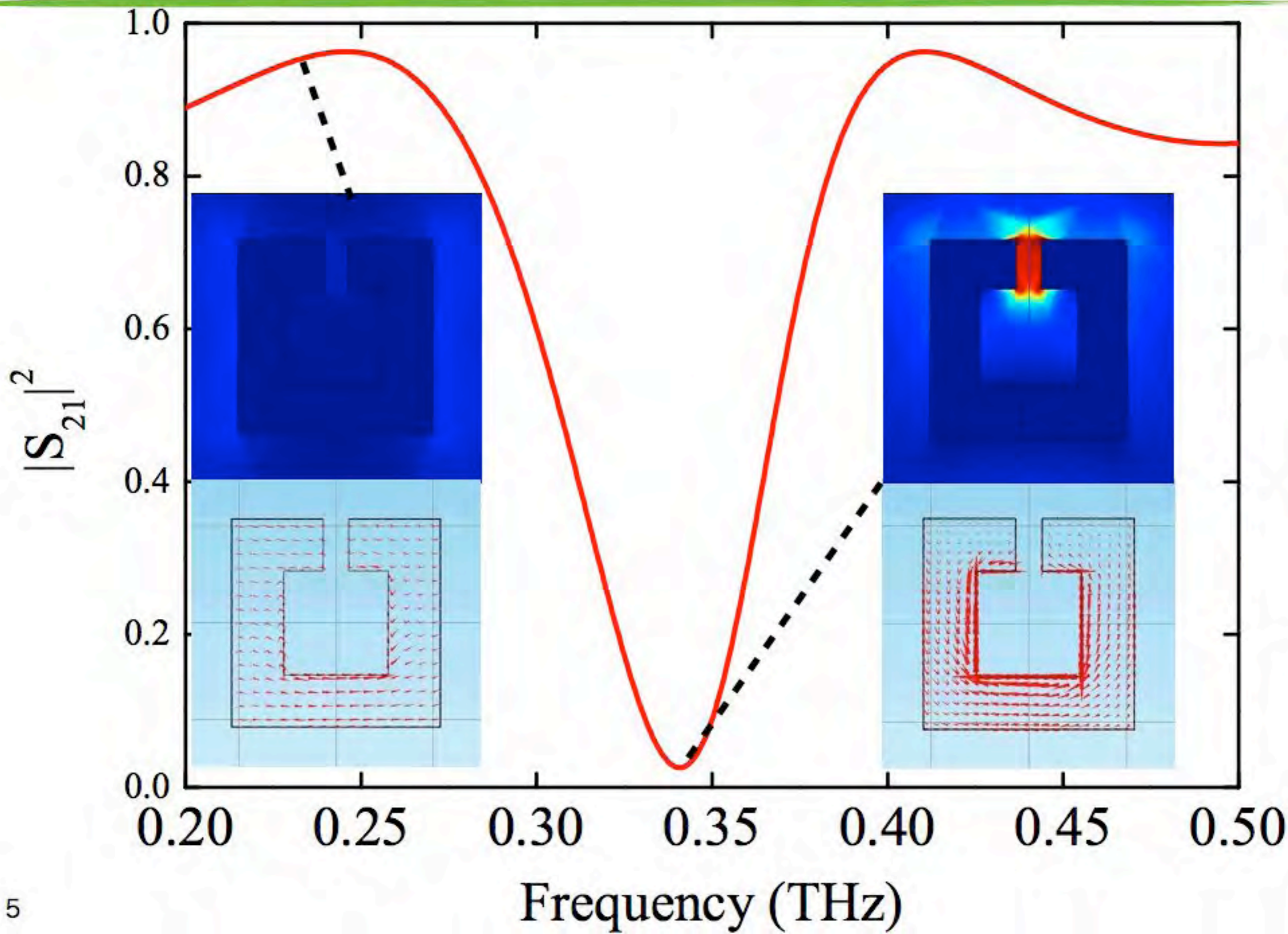
COMSOL 解析モデル



基板誘電率：2.31

周期設定：PEC&PMC

SRR：完全導体近似



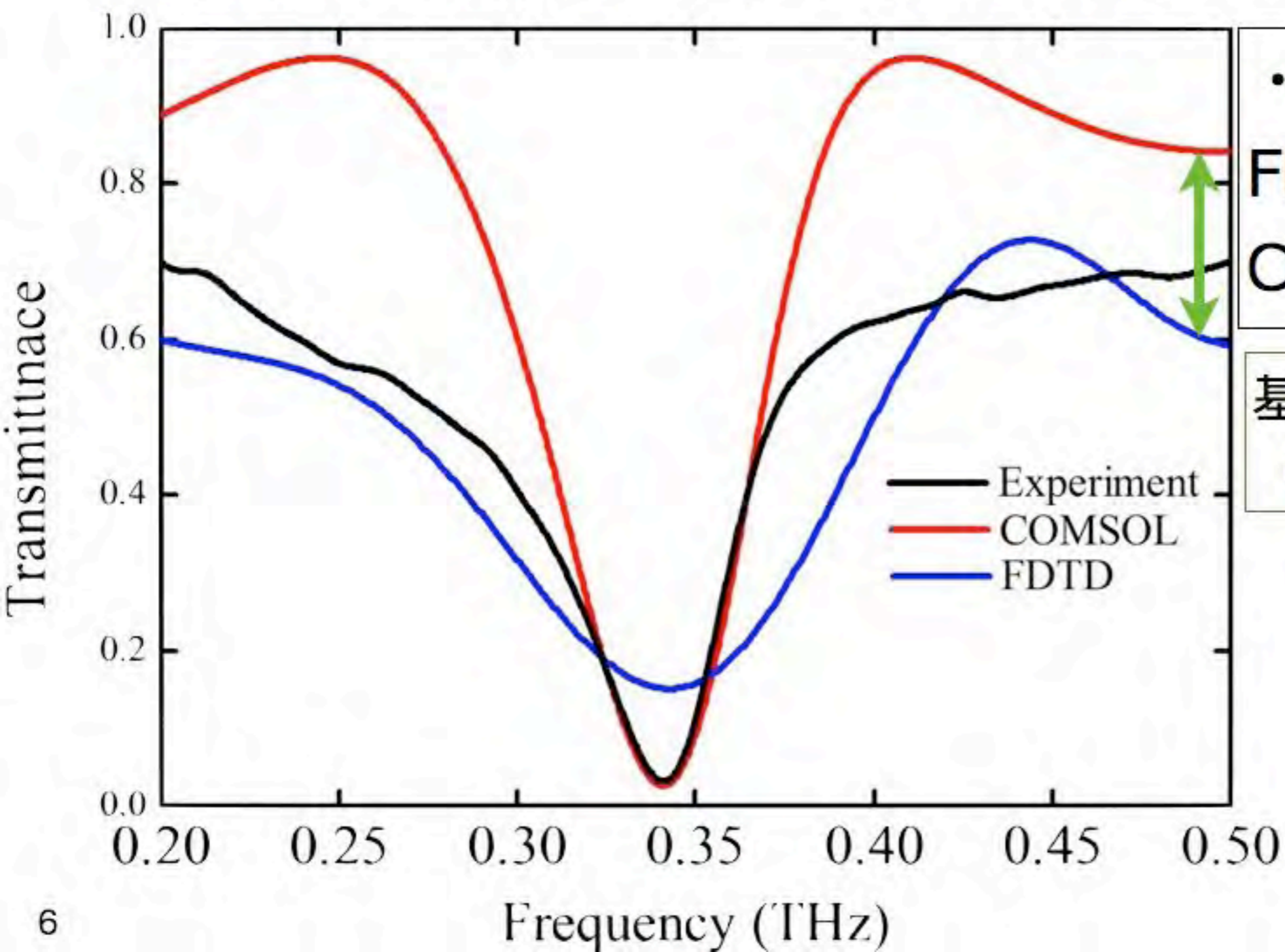
COMSOL vs FDTD



Experiment (THz-TDS) : $\sim 7.5\text{THz}$, $\Delta f = 0.007\text{THz}$

COMSOL : $0.2\text{THz} \sim 0.5\text{THz}$, $\Delta f = 0.1\text{THz}$

FDTD : $\sim 5\text{THz}$, $\Delta f = 0.015\text{THz}$



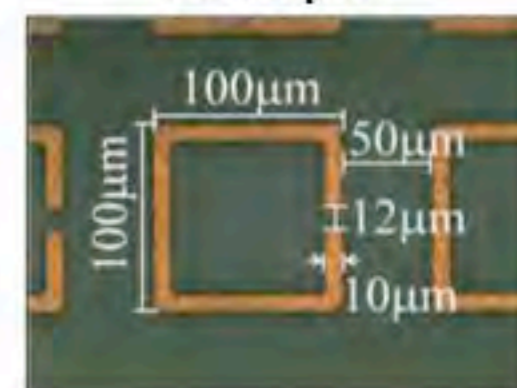
• 計算時間

FDTD : 1分間

COMSOL : 6分間

基板での減衰の影響
(COMSOLでは $k=0$)

Sample





有利な点

解析できる項目が多い。

結果の表示が楽。

例：表面電流解析

電場分布

物性設定の自由度が高い。

例：誘電率のテンソル入力

左手系の用意な実現

形状の設定が簡単。

例：パラメトリックスイープ



不利な点

計算時間が多すぎる。

広帯域のスペクトル解析は

FDTDの方が圧倒的に早い。

時間領域の解析が弱い。

PMLがあれば、さらに幅が広がるはず。

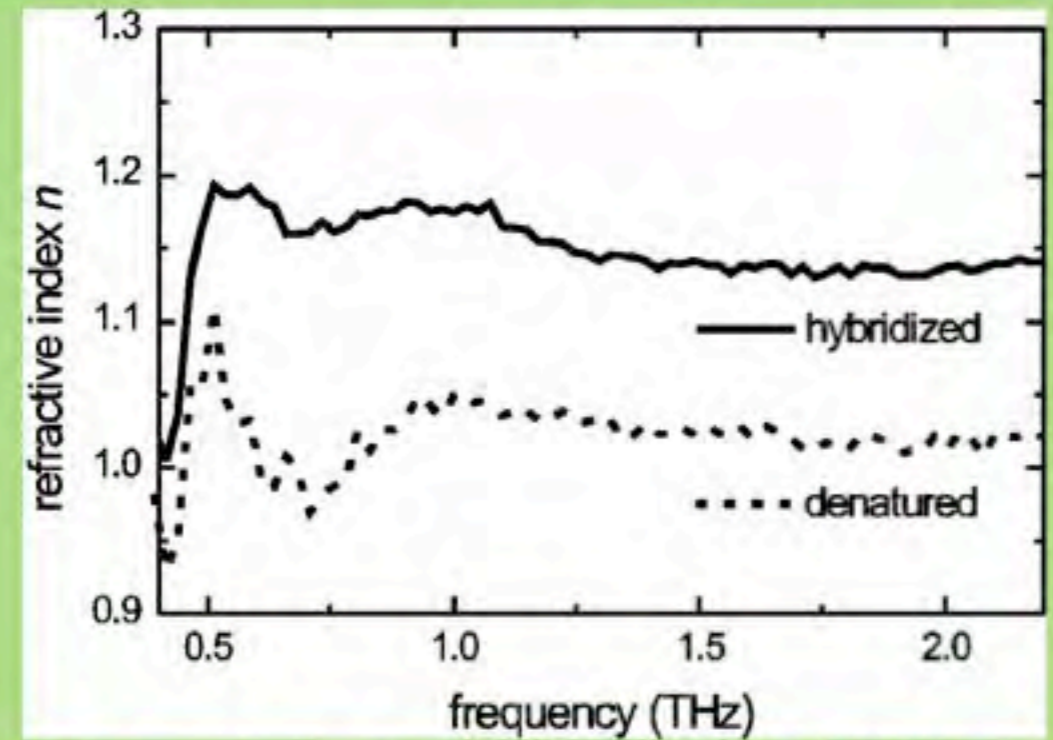
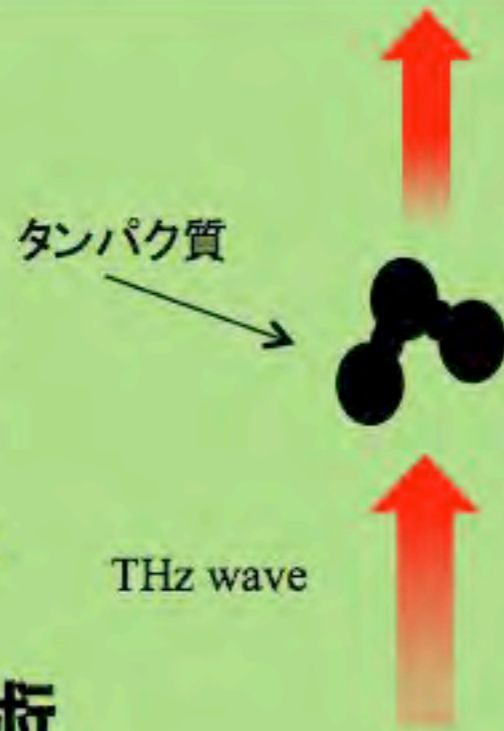
わかりにくい。

原理的にもFDTDよりもとっつきにくい。



• DNA Sensing

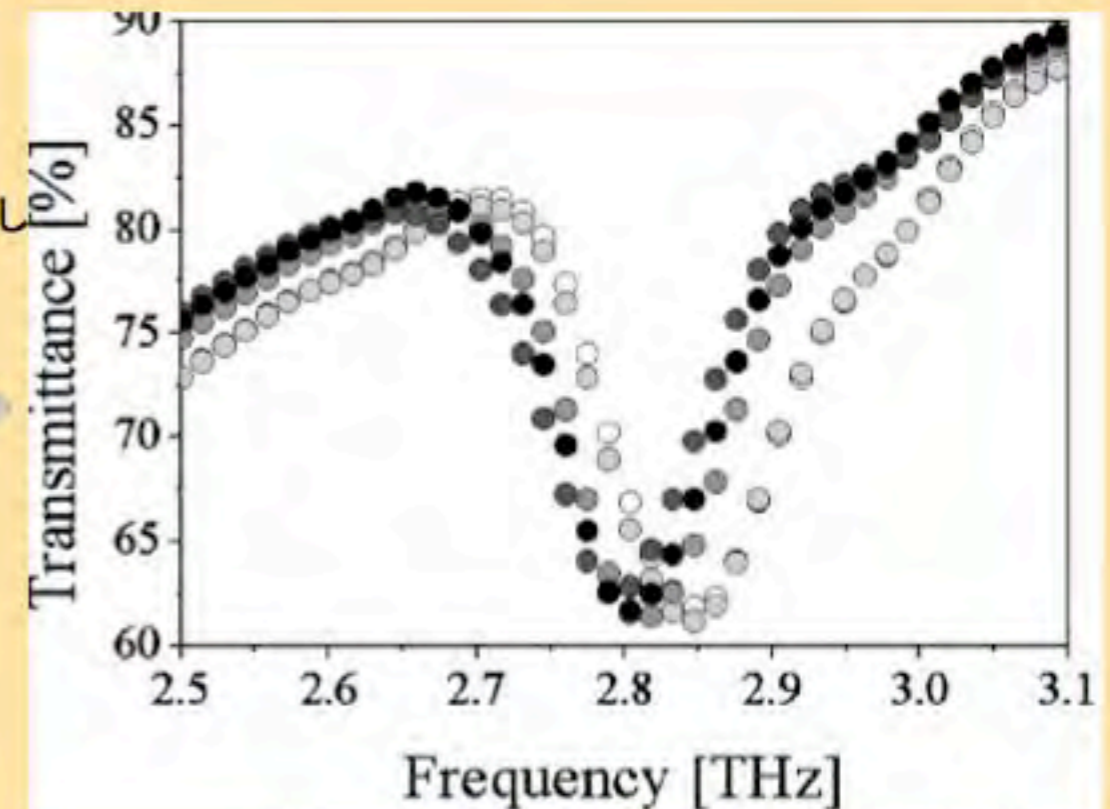
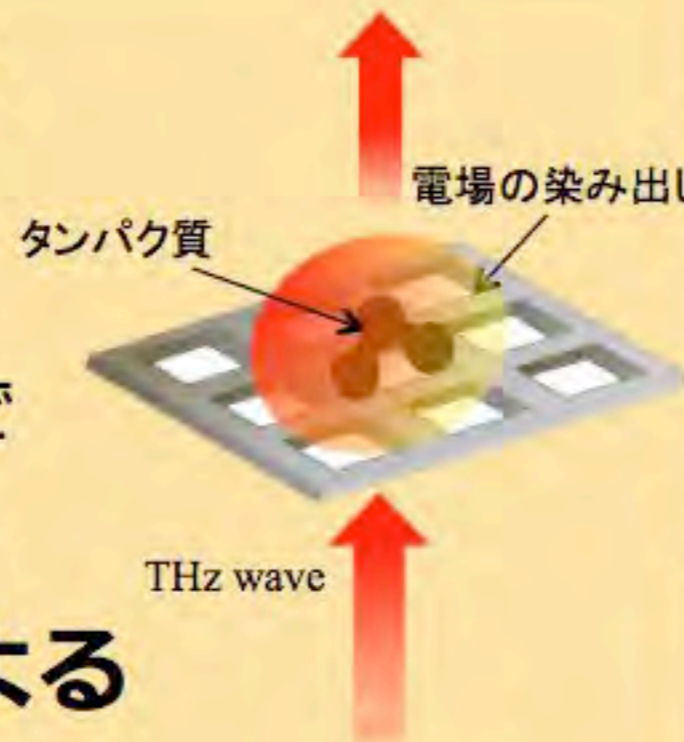
DNAの水素結合による屈折率変化をTHz波で検出可能と報告された。



M. Brucherseifer *et al.*, Appl. Phys. Lett., 77 4049 (2000)

• Metal Hole Array

MHA上の局所電場により屈折率変化を高感度で検出可能と報告された。

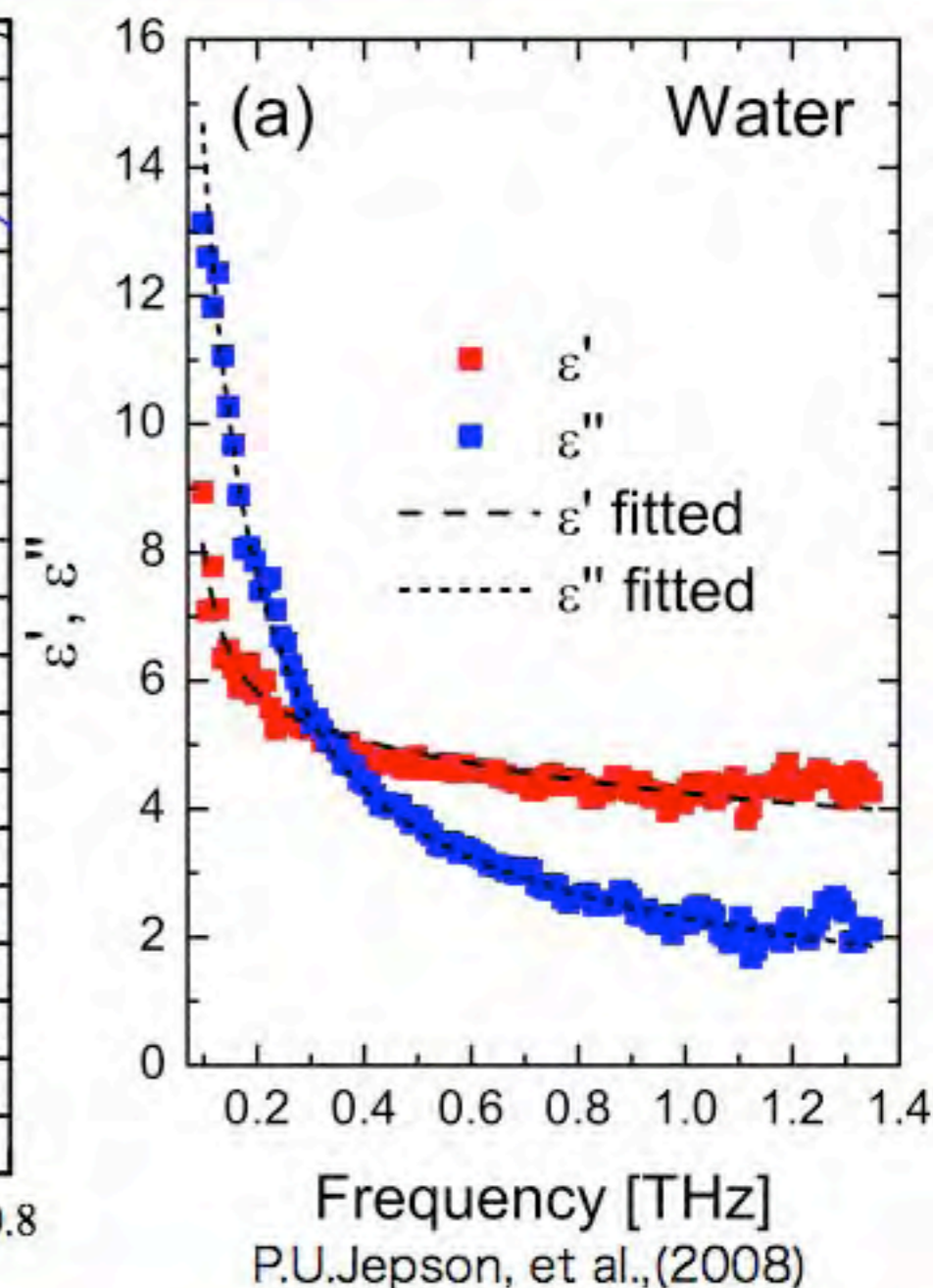
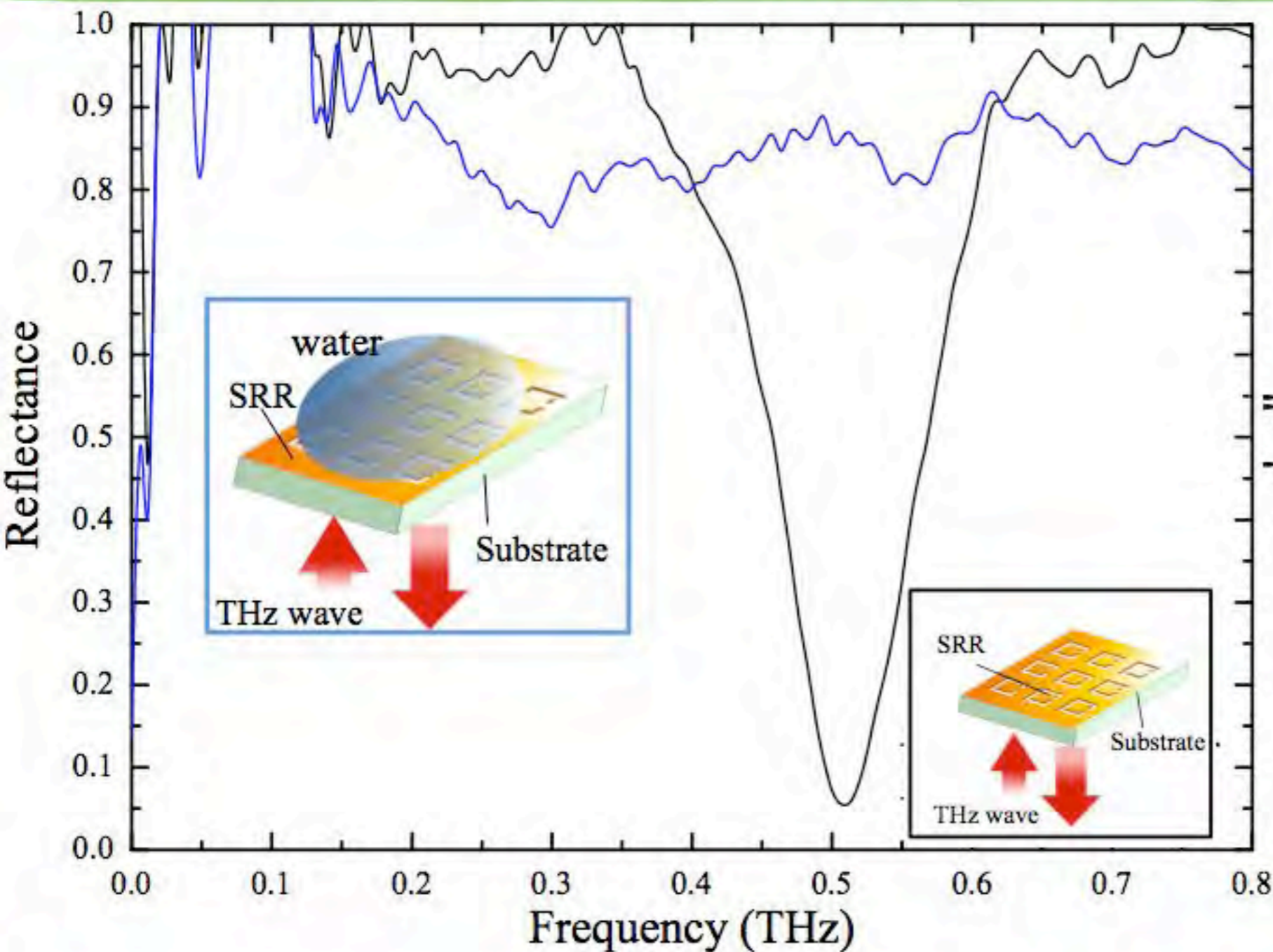


H. Yoshida *et al.*, Appl. Phys. Lett., 91 253901 (2007)

標識不要の検出技術

メタマテリアルによるさらなる高感度化

THz-sensing with Metamaterial

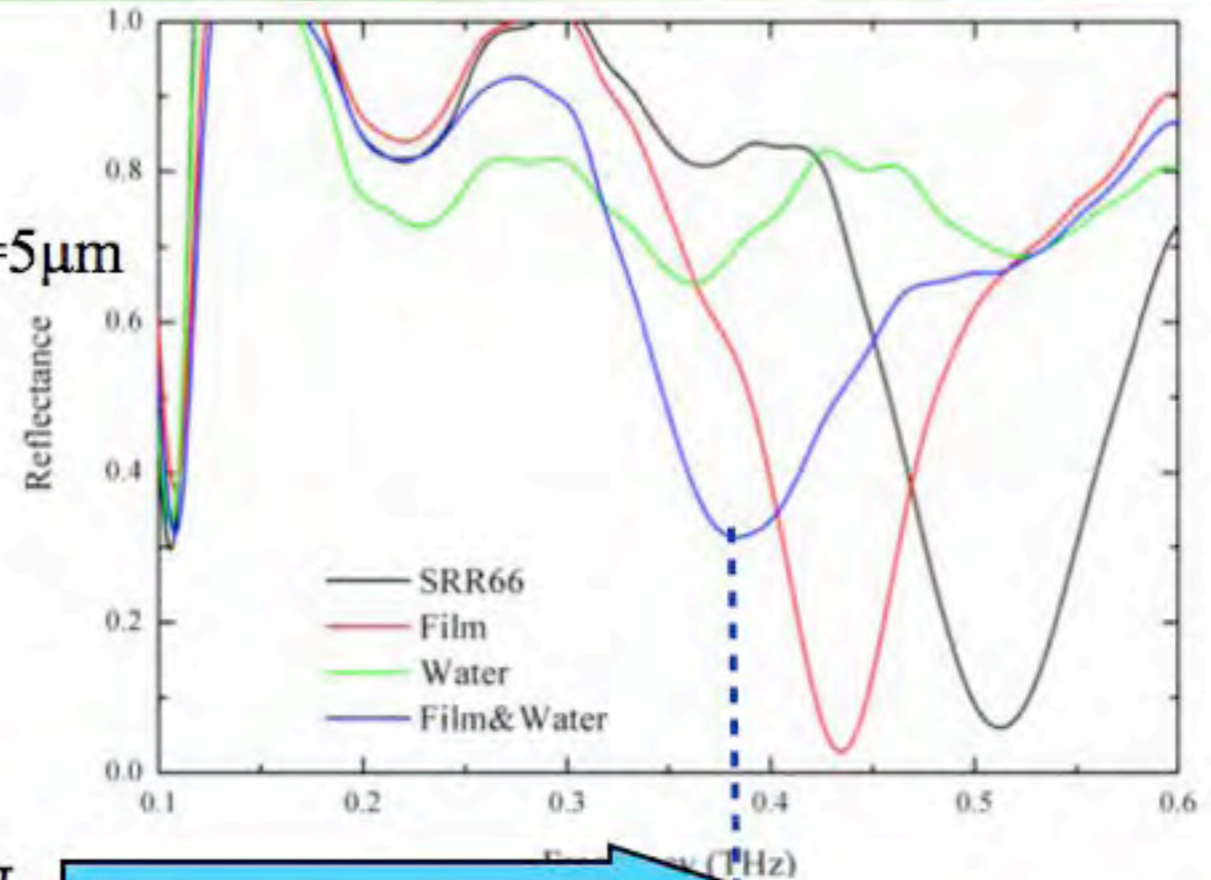
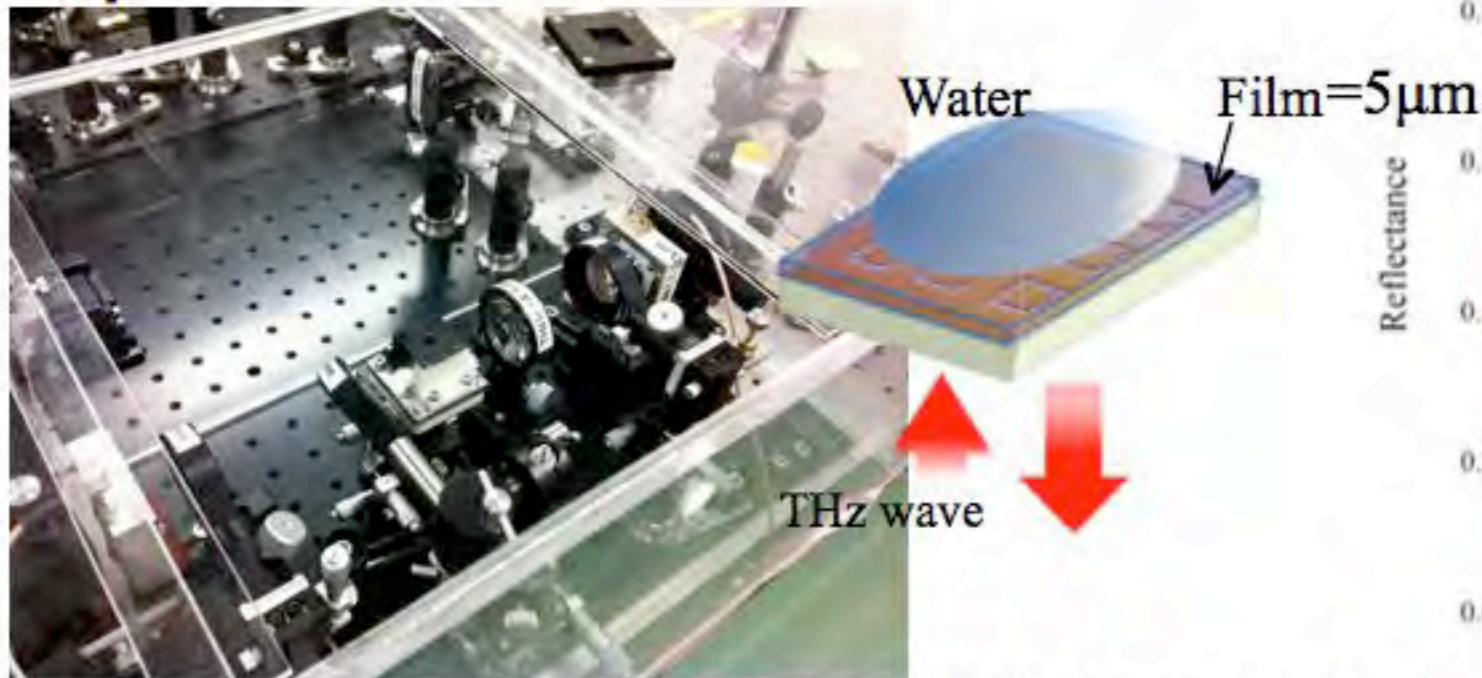


水の吸収が強すぎるため
共振周波数を確認できない。

薄いフィルムを使用し
ディップの消失を防ぐ



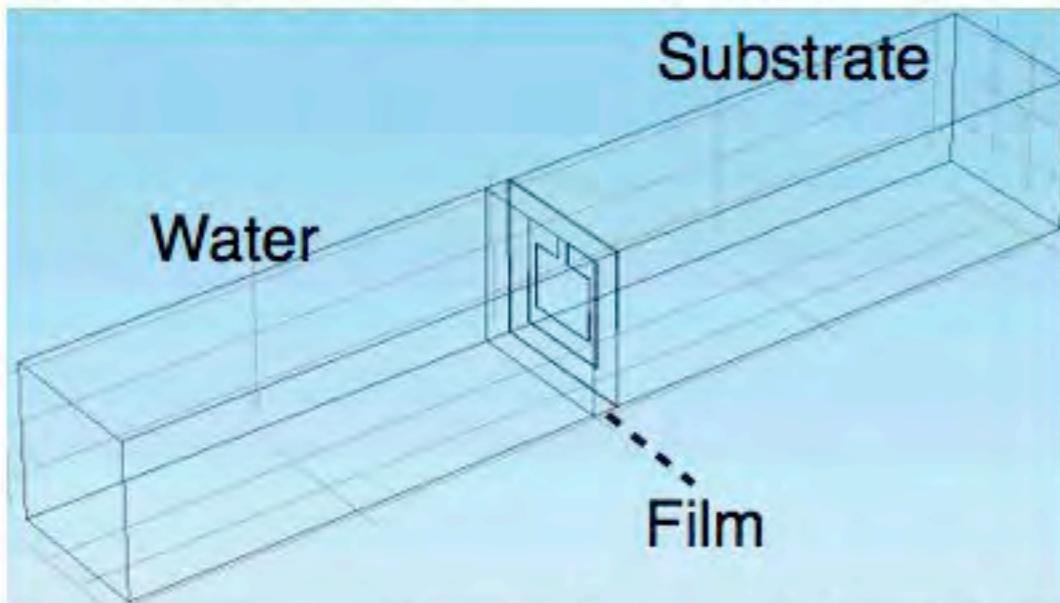
Experiment



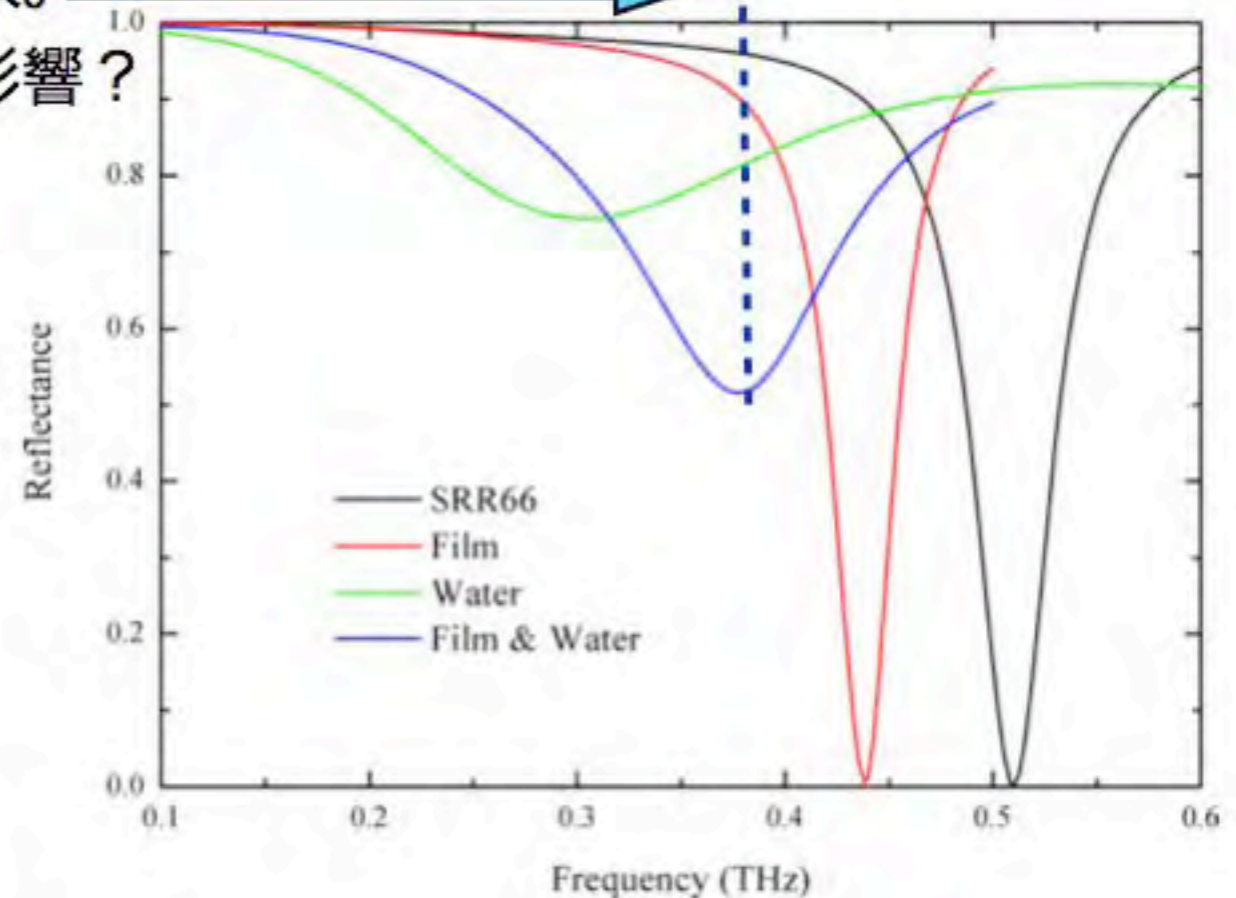
共振周波数はほぼ一致。

反射率の違いは基板の影響？

COMSOL



$$\varepsilon(\omega) = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_1}{1 - i\omega\tau_1} + \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_\infty}{1 - i\omega\tau_2} + \varepsilon_\infty i0$$

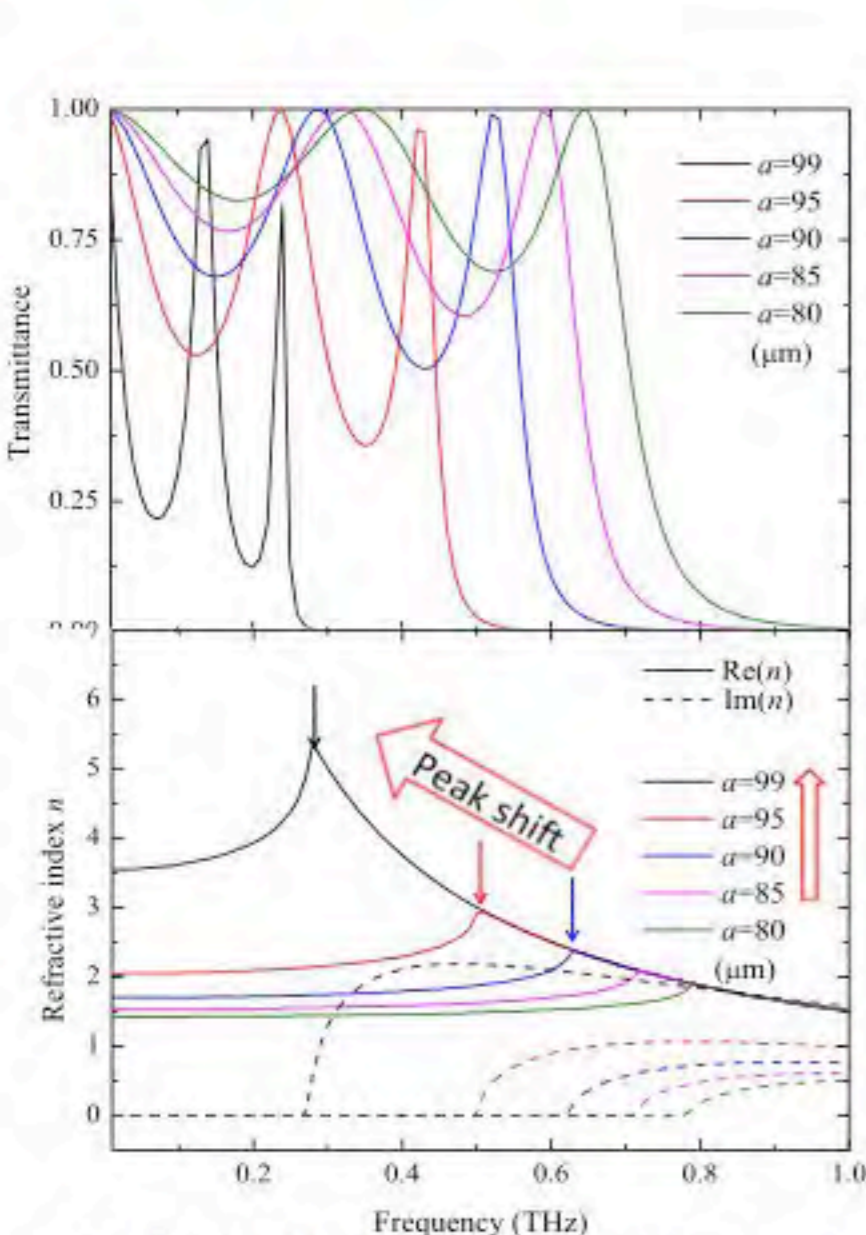


High Refractive Index with Metal Patch

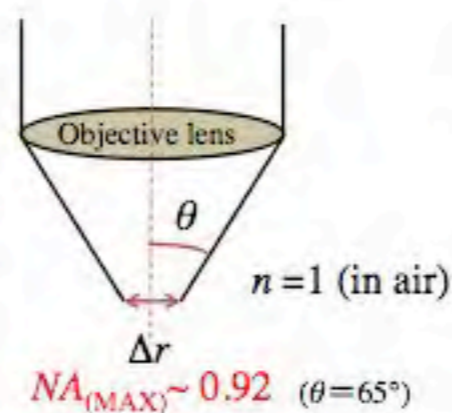


テラヘルツ領域はイメージング応用に期待されている。

空間分解能が大きな問題



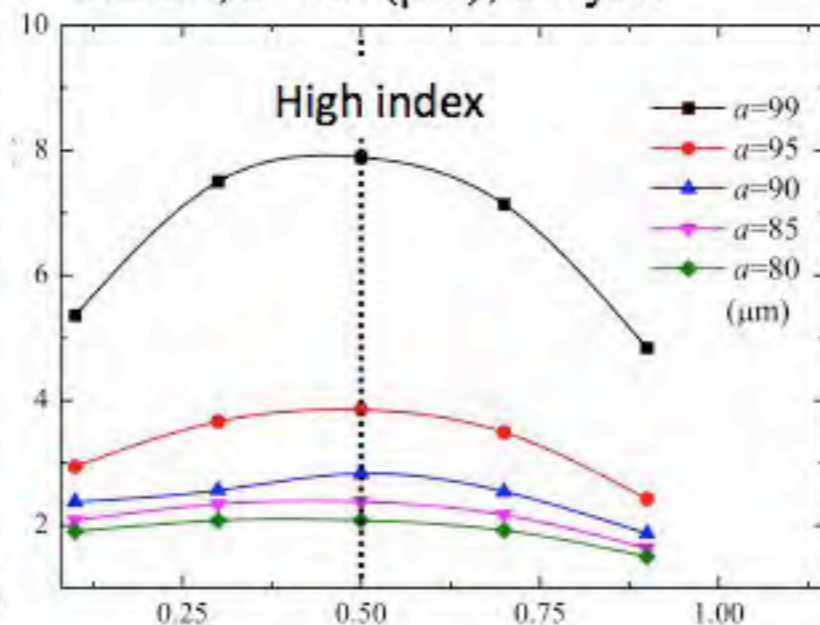
$L=100, d=100, t=10$ (μm), 3 layers



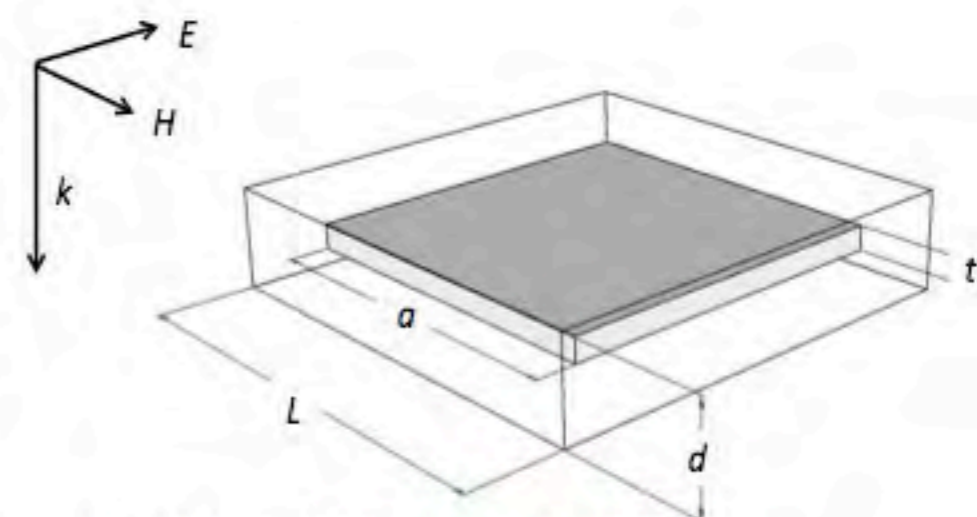
$$\Delta r = \frac{0.51\lambda}{n \sin \theta}$$

$$= \frac{0.51\lambda}{NA}$$

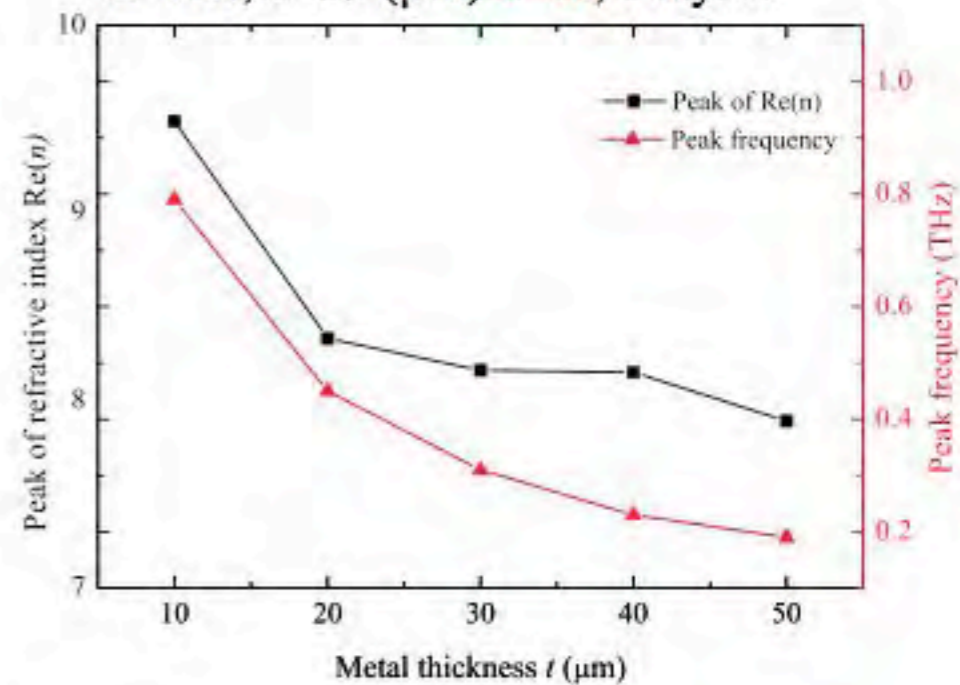
$L=100, d=100$ (μm), 3 layers



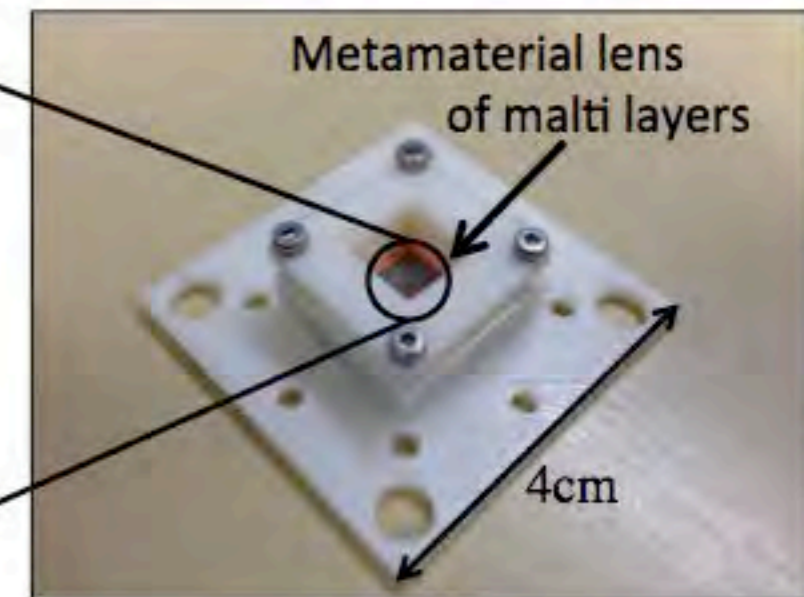
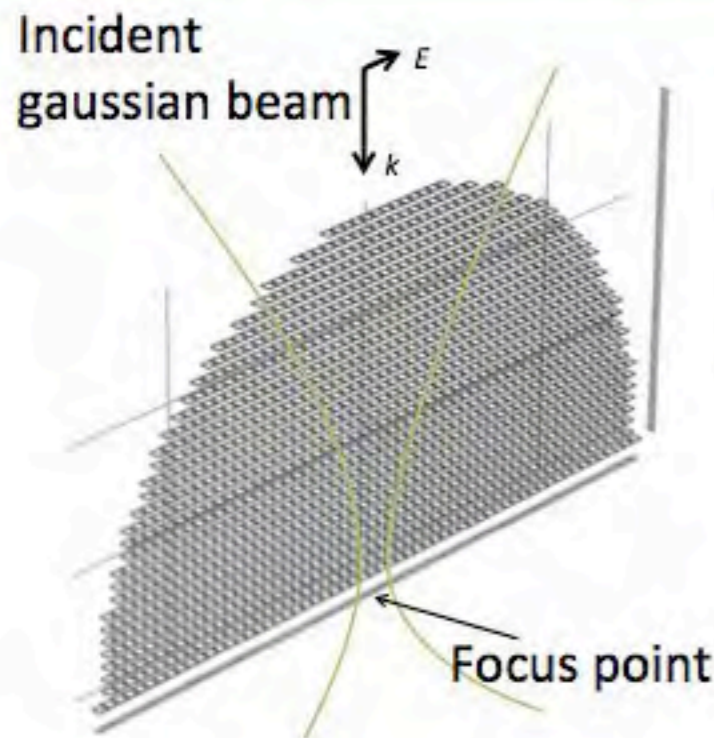
t/d



$L=100, a=99$ (μm) $d=2t$, 3 layers



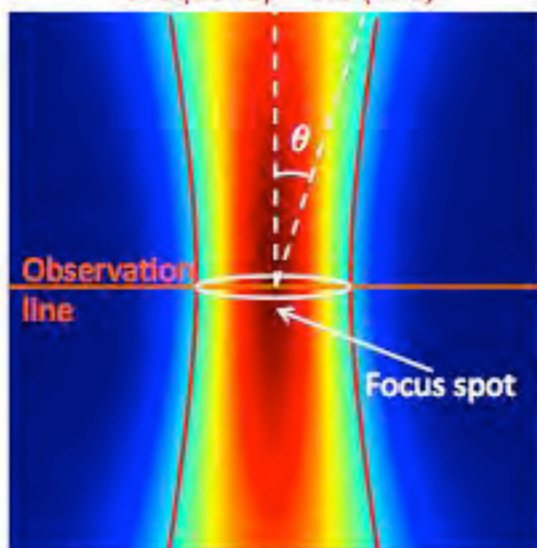
High Refractive Index with Metal Patch



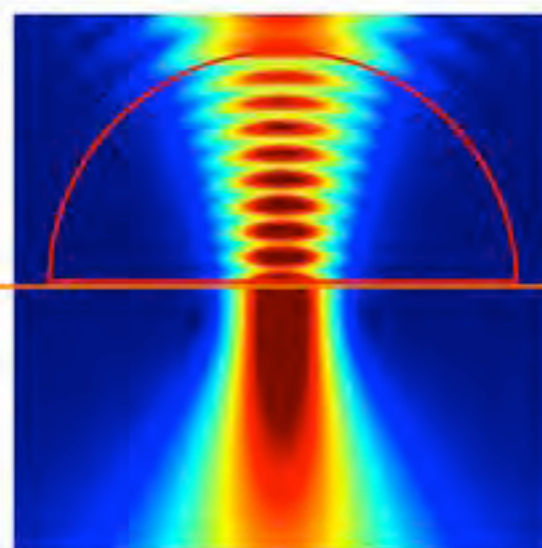
- Electric field of gaussian beam

W/O lens

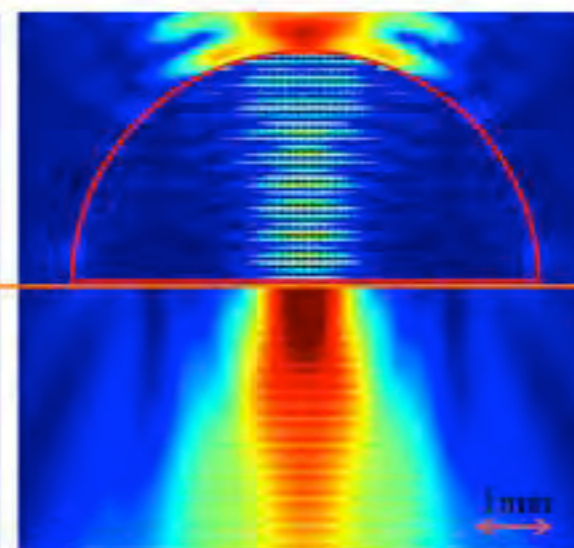
Incident gaussian beam
Frequency = 0.3 (THz)



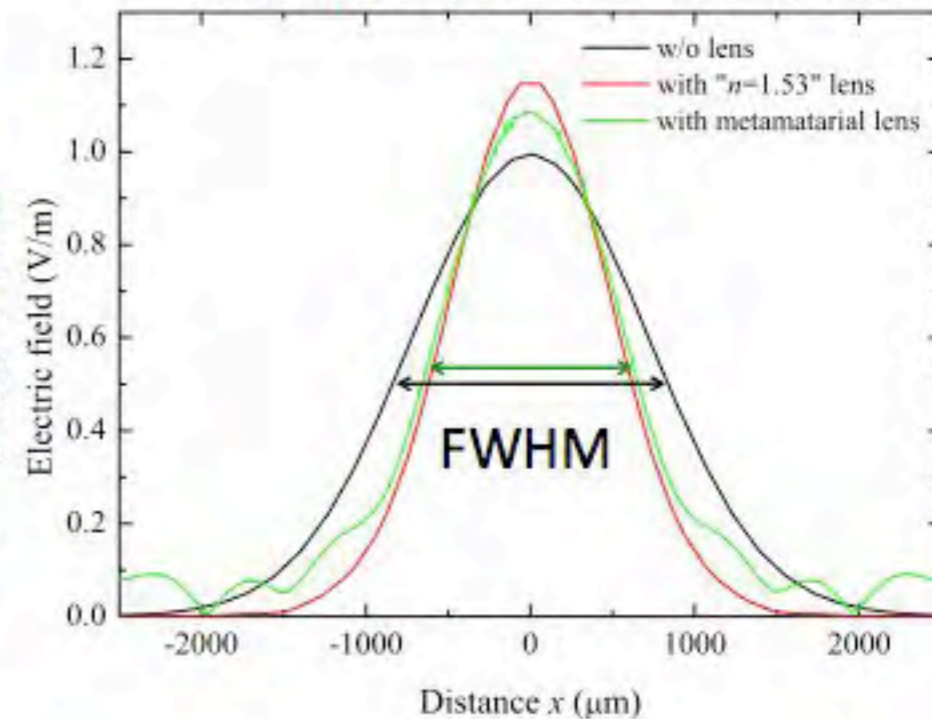
With lens of $n=1.53$



With metamaterial lens Effective $n @0.3\text{THz} = 1.53$



- Electric field of observation line



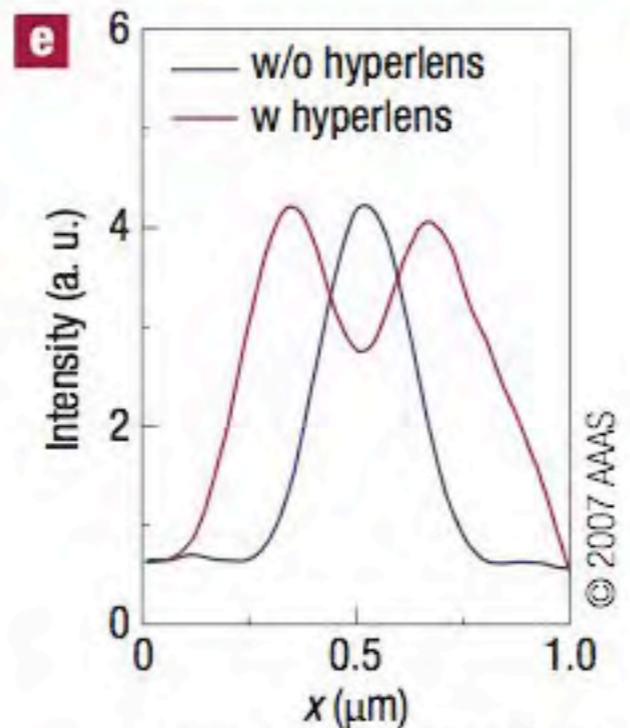
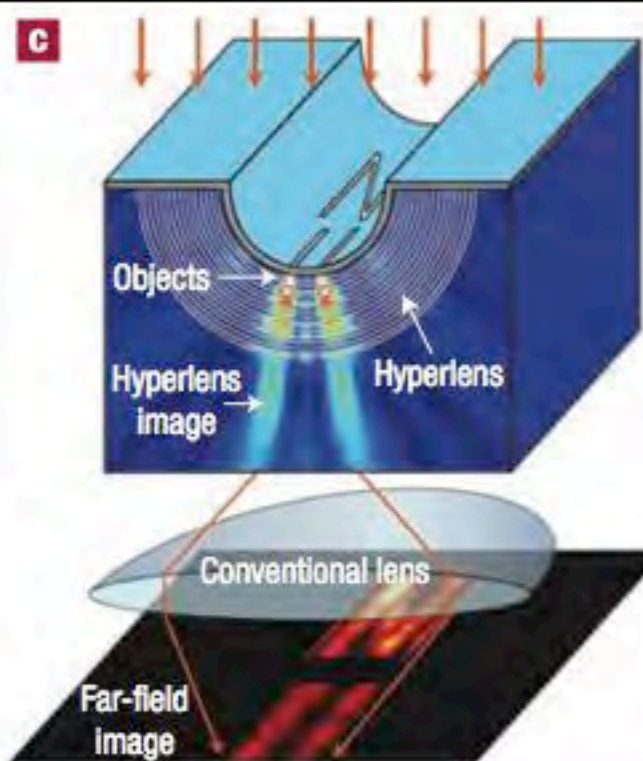
Incident beam
Frequency : 0.3 THz
(Wavelength : 1000 μm)

Lens spec
Lens form: Hemispherical
Half radius: 3000 μm

Parameter of the patch array
 $L=100, a=80, d=100, t=30$ (μm)

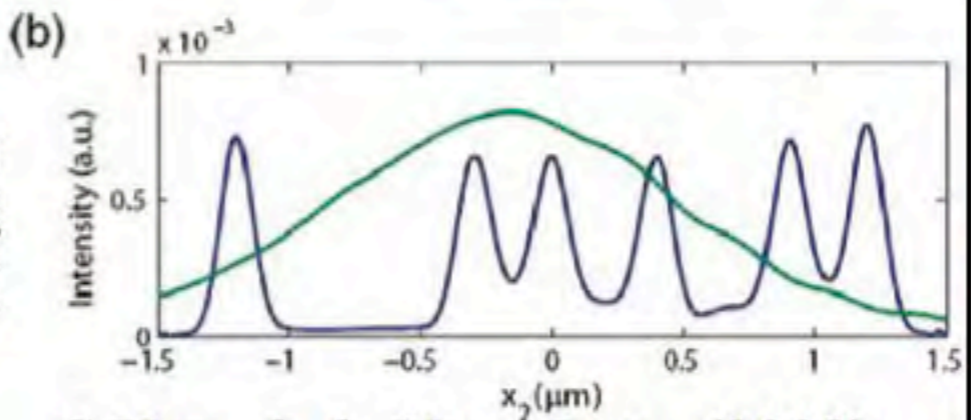
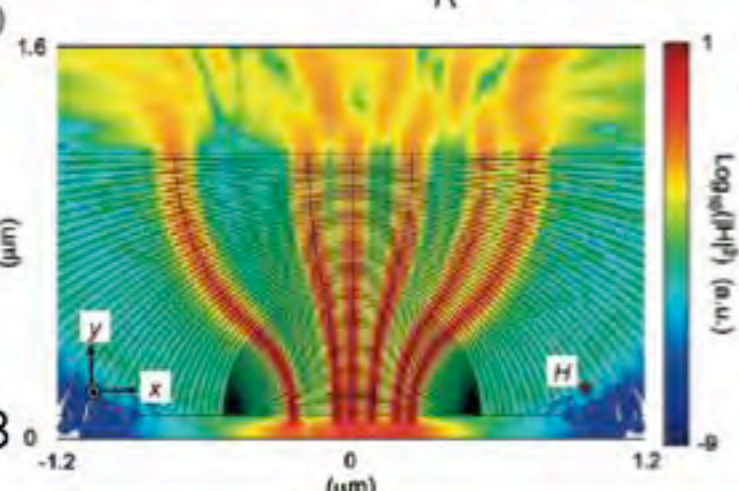
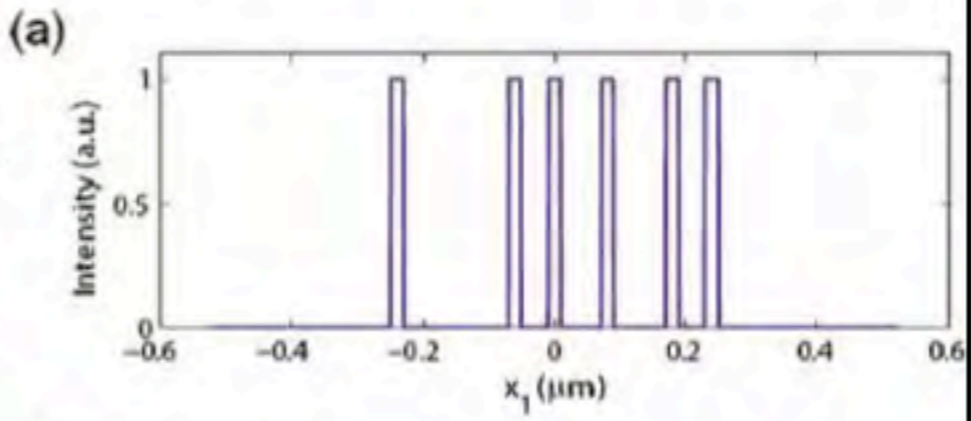
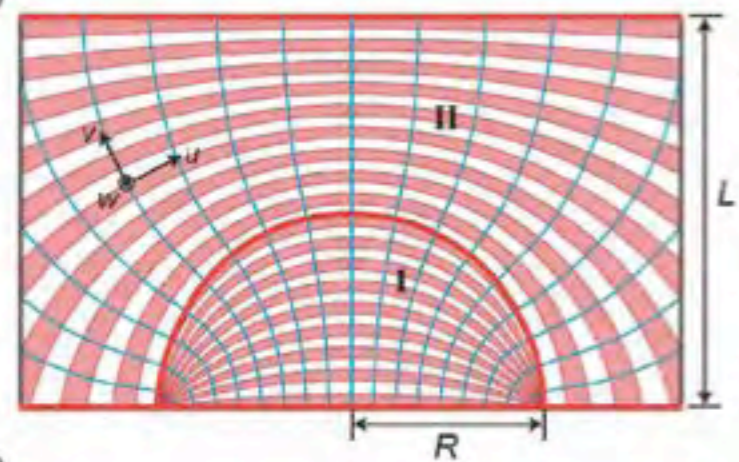
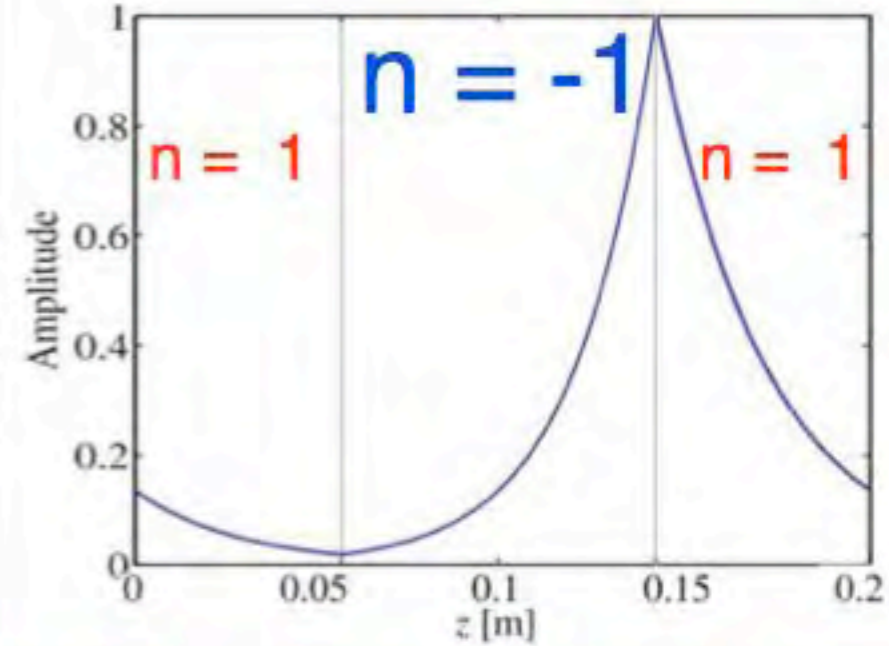
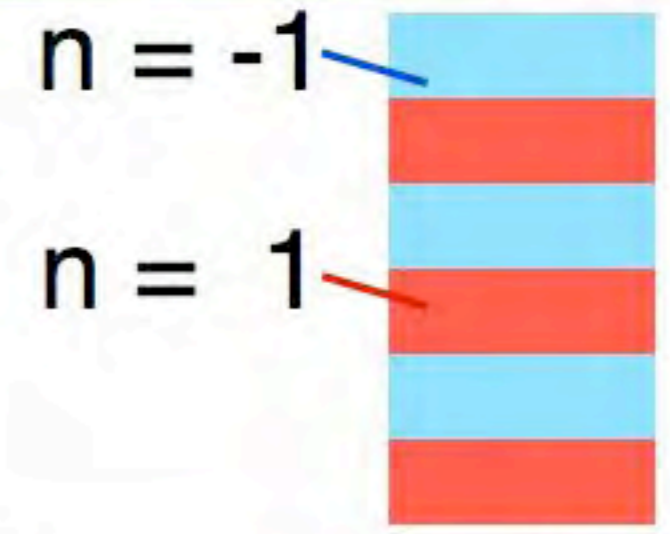
Metal : Perfect electric conductor
Film : $n = 1$

Hyper Lens - Beyond the Diffraction Limit -



UV

Z. Liu *et al.*, Science 315, 1686 (2007).



S.Han *et al.*, Nano Lett., (2008)

