

茨城大学 鈴木研究室 研究内容紹介



茨城大学 工学部 電気電子工学科 鈴木 健仁

<http://suzuki-lab.ee.ibaraki.ac.jp/>

takehito@mx.ibaraki.ac.jp

研究室5周年研究寄付資金事業



2013年4月26日 工学部E6棟前



学生の国際会議渡航費支援を目的とした
研究寄付資金事業(寄付事業)を開始
<http://justgiving.jp/c/9393> (大学承認)

“マラソン”という「チャレンジ」を通して、研究へのご支援を募っています。

これらの研究資金は電磁メタマテリアルの基礎研究活動のために大切に使用させていただきます。世界レベルを目指して研究を推進するためには、研究支援の充実による研究チームの継続的な成長が必要です。

さらに、国際舞台への優秀な学生の派遣を含めた研究・教育活動基盤の充実も重要です。2015年3月までのフルマラソン完走を目標に、定期的にハーフマラソン大会へ参加しています。第1回は2013年5月5日に信州なががわハーフマラソン、第2回は2013年11月24日に小江戸川越ハーフマラソンへ、それぞれ研究室の有志のメンバーが出走しました。

ぜひこれらの「挑戦」を通して、基礎研究へのご支援をお願い致します。今後とも当研究室、及び、茨城大学の研究・教育活動を支えていただき、将来、世界に向かって羽ばたく若手理系人材の育成へお力を貸していただけますよう心よりお願い申し上げます。 鈴木 健仁

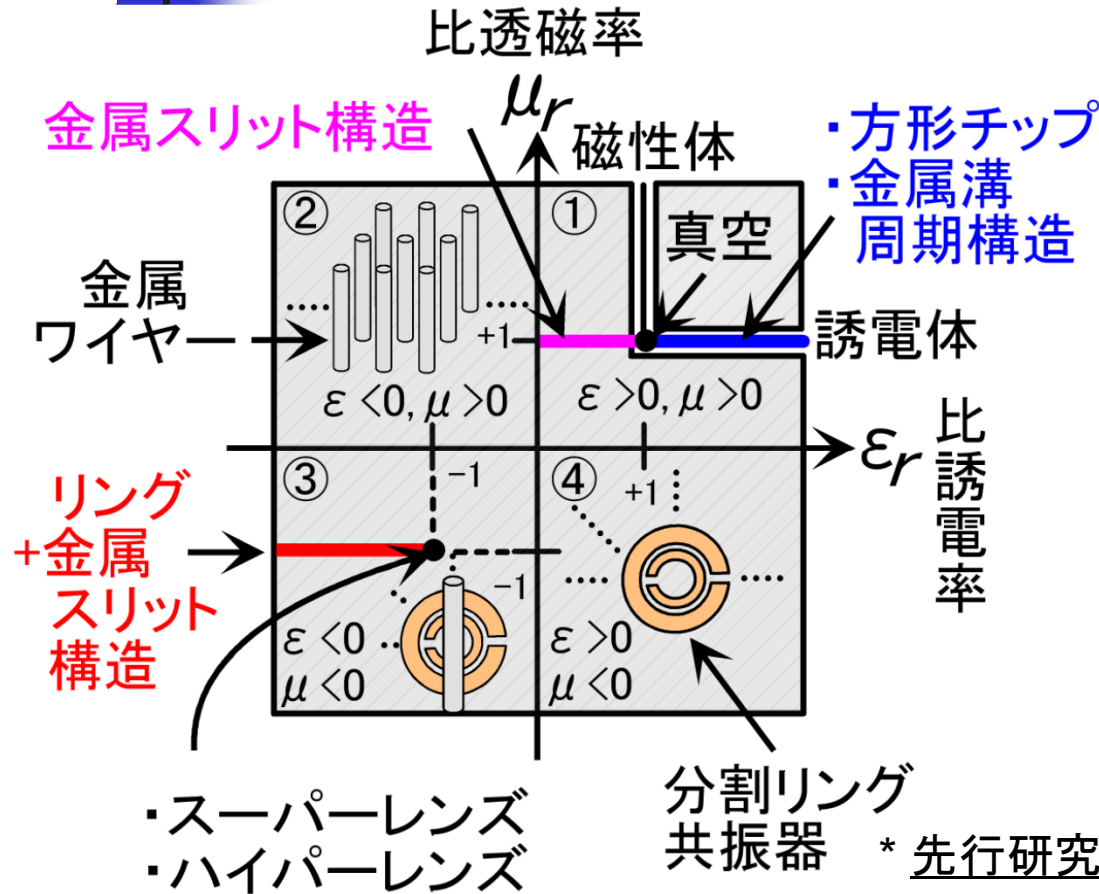
本発表の構成

1. 背景・目的
2. テラヘルツ波帯電磁メタマテリアルレンズの
解析→設計→作製→測定
3. 各種光学素子
4. まとめ

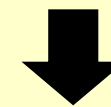
本発表の構成

1. 背景・目的
2. テラヘルツ波帯電磁メタマテリアルレンズの
解析→設計→作製→測定
3. 各種光学素子
4. まとめ

背景と目的



- ・負の屈折率構造
- ・高屈折率無反射構造
- ・ゼロ近傍屈折率構造



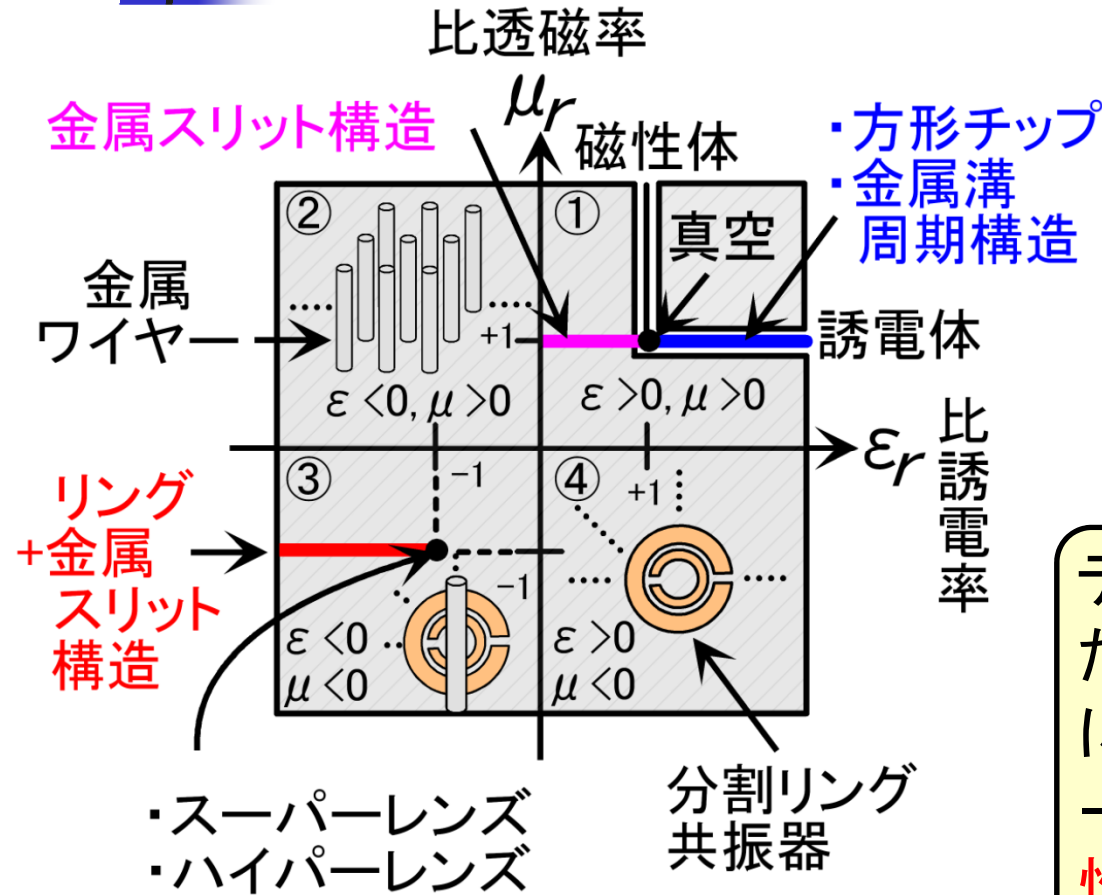
回折限界を超えたイメージング、テラヘルツナノイメージング*、高利得アンテナなど新たな観測ツールへの応用が可能となる

* 先行研究 Y. Kawano and K. Ishibashi, Nature Photonics, vol. 2, pp. 618-621, Oct. 2008.

総務省SCOPE若手ICT研究者等育成型研究開発(2012年6月～2015年3月)

「テラヘルツ波高機能制御のための電磁メタマテリアルによる人工誘電体レンズを実装した高感度放射検出素子の研究開発」→テラヘルツ波帯アンテナとの一体化
研究代表者:鈴木健仁(茨城大学) 研究分担者:高野恵介(大阪大学 萩行研究室)

背景と目的



目的
積層薄フィルム構造による
テラヘルツ波帯
電磁メタマテリアルレンズ

テラヘルツ波帯では電気特性
だけでなく**材料特性、試作法**
についてマイクロ波、ミリ波より
一層注意深い検討と**試作実現**
性の検討が必要

- ・ Tsurupica $n = 1.52$
- ・ MgO $n = 3.1$
- ・ シリコン $n = 3.4$

損失との
闘い

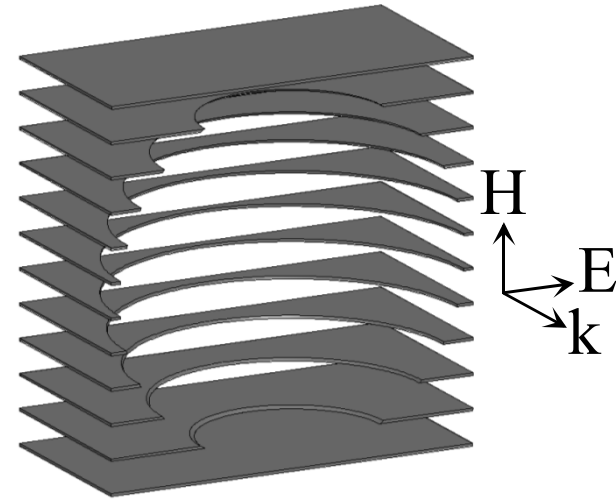
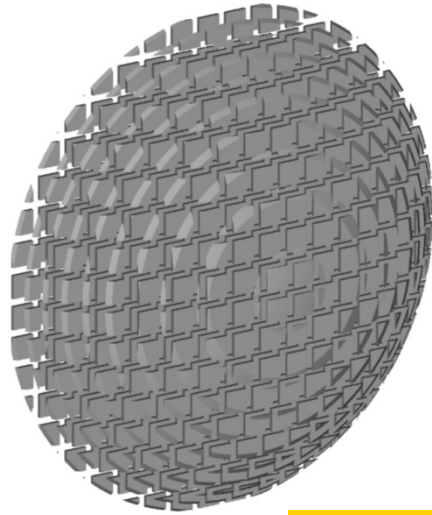
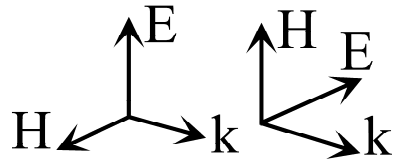
- ・ 誘電体損
 - ・ シクロオレフィンポリマー: **小**
 - ・ メチルペンテンポリマー: **小**
 - ・ ポリイミド: **大**
- ・ 導体損
 - 高導電率: Cu, Al, Au, Ag
 - ・ PET: **大**

①~④ テラヘルツメタマテリアル

①

金属方形
チップ
周期構造

$n > 1 (n < -1)$



③

金属
スリット
構造

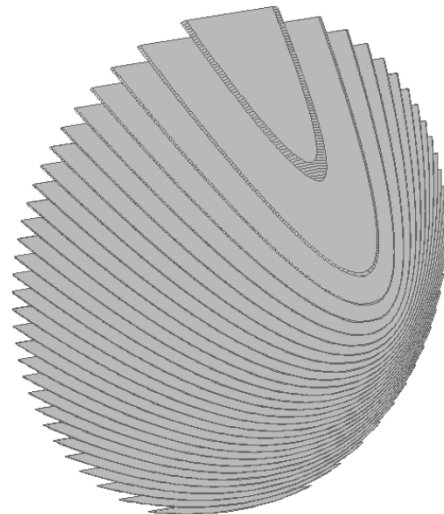
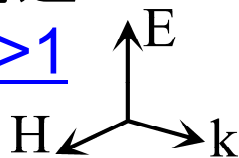
$0 < n < 1$

積層薄フィルム(板)構造

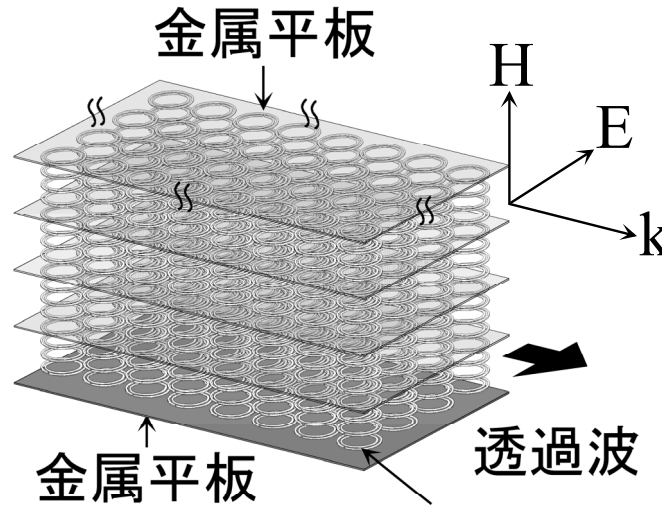
②

金属
斜め板・
溝周期
構造

$n > 1$



反射波
入射波



透過波
スプリットリング
共振器

④

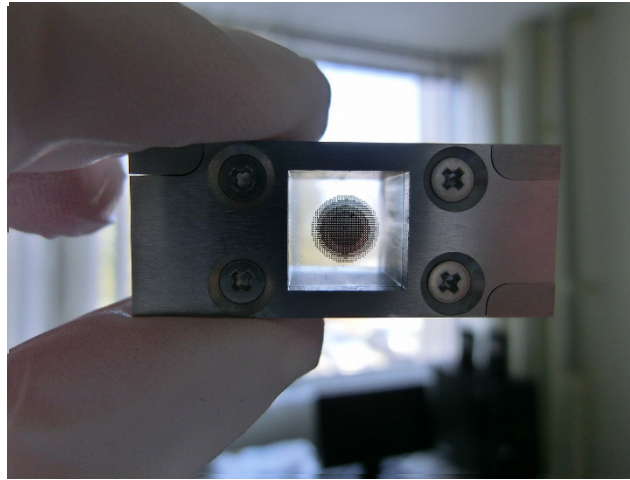
リング
+金属
スリット
構造

$n < 0$

①～④ テラヘルツメタマテリアル

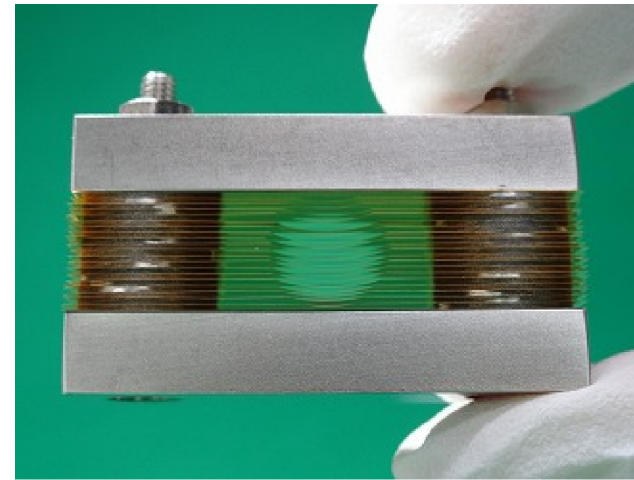
①

金属方形
チップ
周期構造
 $n > 1$



③

金属
スリット
構造
 $0 < n < 1$



積層薄フィルム(板)構造

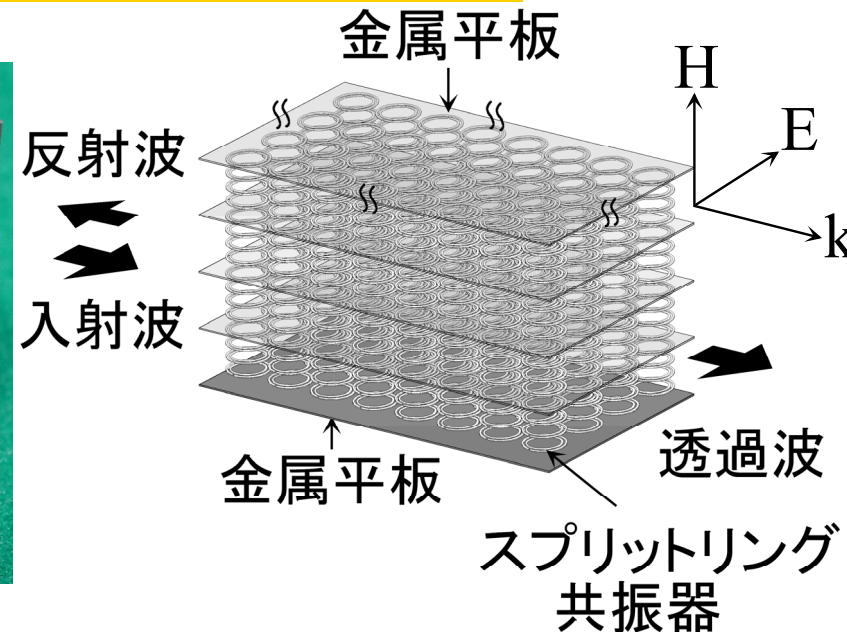
②

金属
斜め板・
溝周期
構造
 $n > 1$

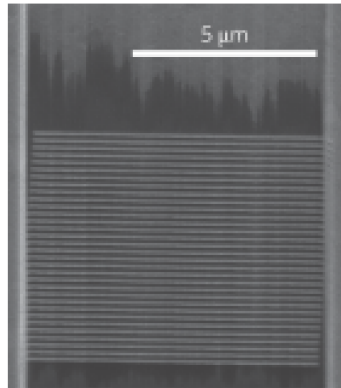


④

リング
+金属
スリット
構造
 $n < 0$



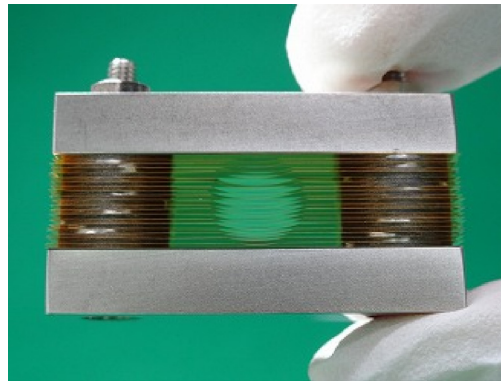
最新の研究動向での③の位置づけ



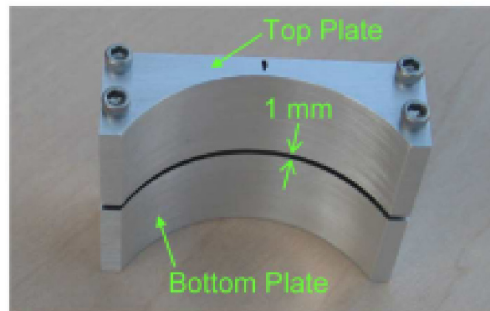
R. Maas, et al.,
Nature Photon.
7, 907 (2013).

- ・金属の可視光領域で誘電率の変化、材質の特性も利用
- ϵ_r : 正→0→負
- (波長:短→大)

可視光領域



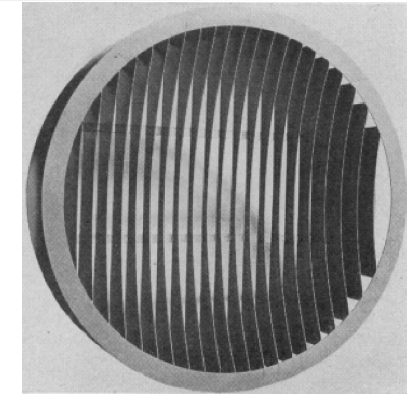
- ・3次元構造
- ・金属は完全導体として振舞う→構造のみで設計



D. M. Mittleman, et al.,
IEEE Trans. Microw.
Theory Tech. 58, 1993 (2010).

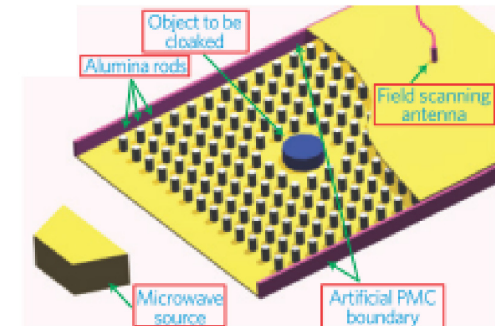
・2次元構造

テラヘルツ波領域



W. E. Kock.
Proc. Inst. Radio Eng.
34, 828 (1946).

・物理的なサイズ:大

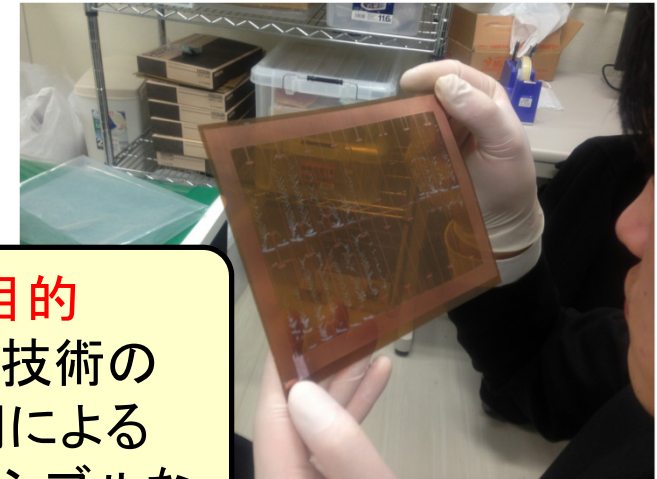
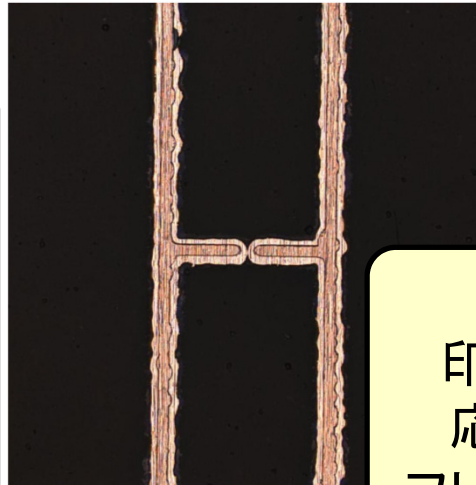
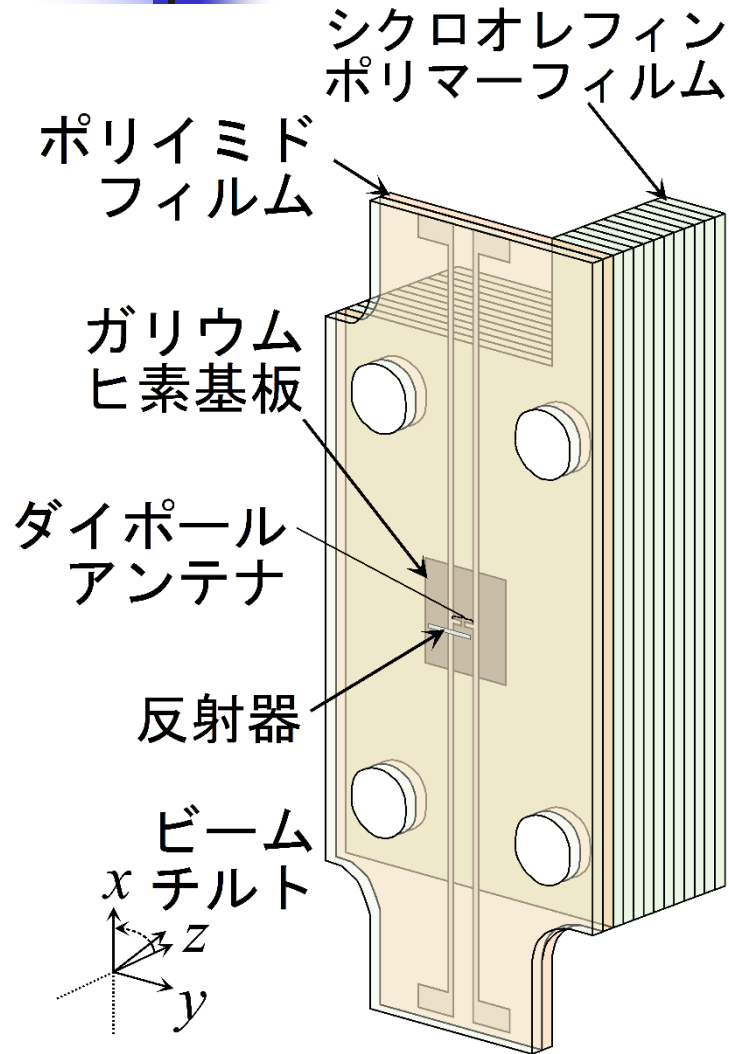


X. Huang, et al.,
Nature Mater.
10, 582 (2011).

・ポスト構造

ミリ波・マイクロ波領域

⑤ テラヘルツ波帯アンテナ



目的
印刷技術の
応用による
フレキシブルな
アンテナの開発

パターンめっき・転写法
(日立化成株式会社)

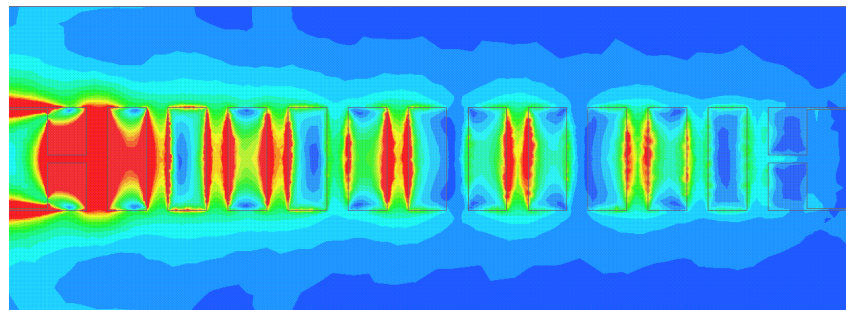
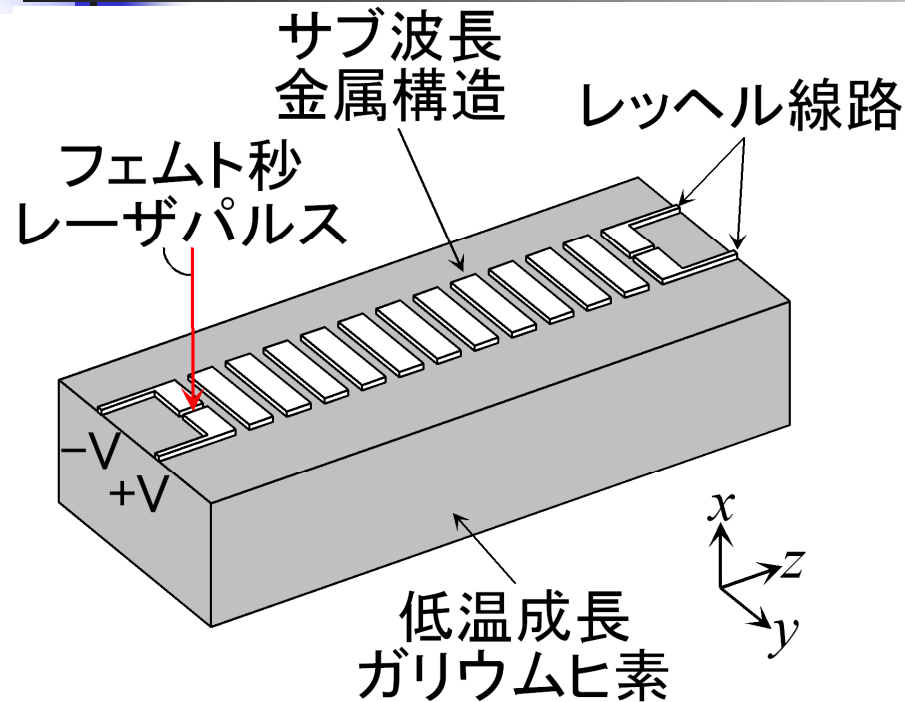
- ・安価に作製
- ・高価な低温成長ヒ素化ガリウム基板の
再利用の検討

初回の作製で
現在ギャップ部が通電

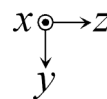
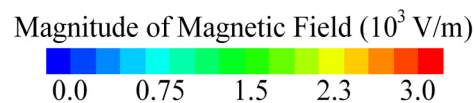
➡ 今後検討を進め改善

積層薄フィルム構造による
八木・宇田型光伝導アレーアンテナ

⑥ テラヘルツ波伝送線路



上面図



目的

- ・サブ波長金属構造によるテラヘルツ擬似表面プラズモンポラリトン(表面波)を用いた伝送線路の設計
- ・超微細インクジェット工法による準3次元空間への構造の拡張

将来的なテラヘルツ波帯でのオンチップ回路への応用

テラヘルツ波帯
 100 GHz ~ 1 THz ~ 10 THz
 (3 mm) (300 μ m) (30 μ m)

本発表の構成



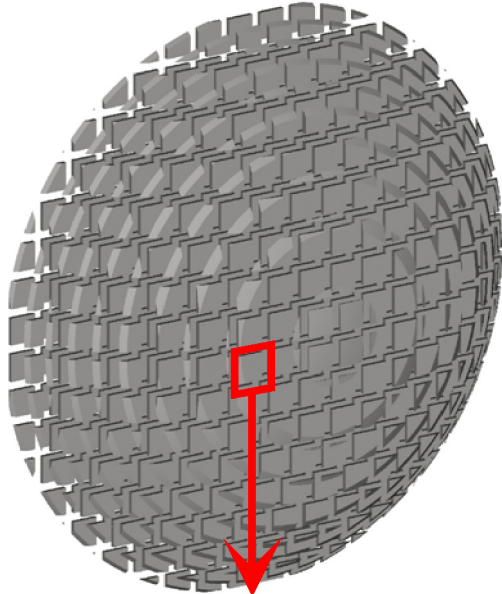
1. 背景・目的
2. テラヘルツ波帯電磁メタマテリアルレンズの
解析→設計→作製→測定
3. 各種光学素子
4. まとめ

本発表の構成



1. 背景・目的
2. テラヘルツ波帯電磁メタマテリアルレンズの
解析→設計→作製→測定
① 金属方形チップ周期構造 ($n > 1$)
3. 各種光学素子
4. まとめ

① 金属方形チップ周期構造



全構造

・波長より大規模

3.01 mm

$5.0\lambda @ 0.5 \text{ THz}$

高屈折率

負屈折率

単位構造

・波長より微細で周期

120 μm

$0.2\lambda @ 0.5 \text{ THz}$

高解像度

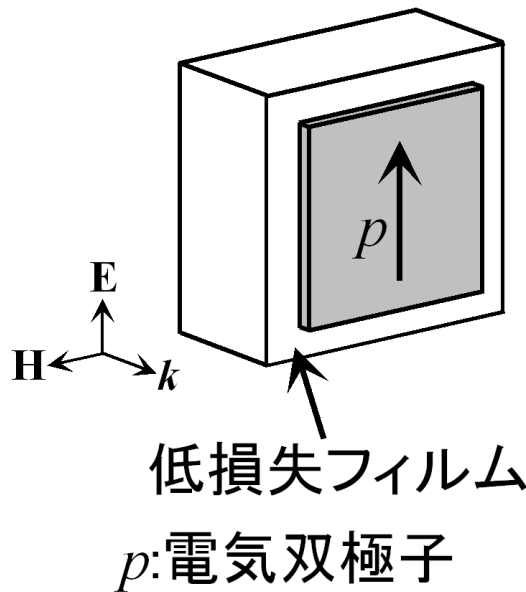


テラヘルツ波帯では材料特性、作製法についてマイクロ波帯、ミリ波帯より注意深い検討が必要

レーザー加工
エッチング加工
マスク蒸着

> 数 μm ~
数 10 μm >

リフトオフ



低損失フィルム

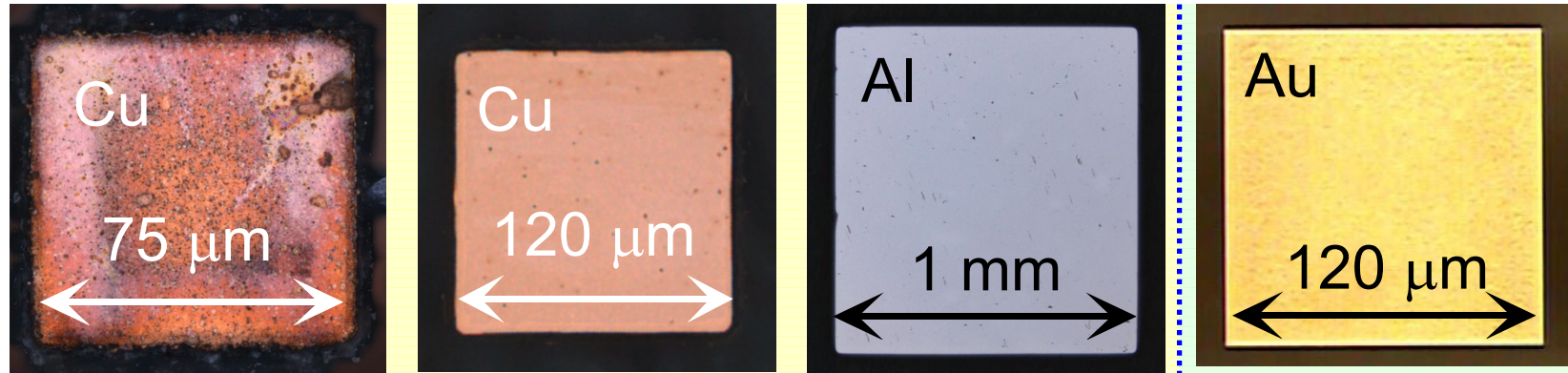
p : 電気双極子

・誘電体損

- ・シクロオレフィンポリマー: 小
- ・メチルペンテンポリマー: 小
- ・ポリイミド: 大
- ・PET: 大

- ・導体損
- 高導電率: Cu, Al, Au, Ag

① 金属方形チップ周期構造の作製



バッファ層 (接着部)	レーザー加工 クロム(10 nm)	エッチング加工 なし	マスク蒸着 なし	リフトオフ クロム(10 nm)
作製精度	5 μm	5~10 μm	5~10 μm	1 μm
加工範囲	A4	6インチ	6インチ	6インチ
金属膜厚	0.35 μm	0.5 μm	0.5 μm	0.05 μm

Y. Takebayashi, et al., META 2013, 5A1-META, pp. 99-100, Mar. 2013.

スパッタ成膜

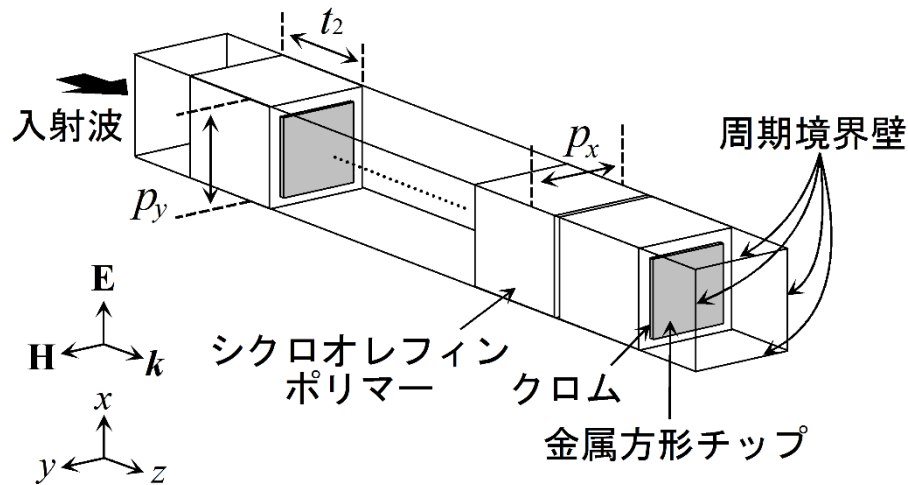
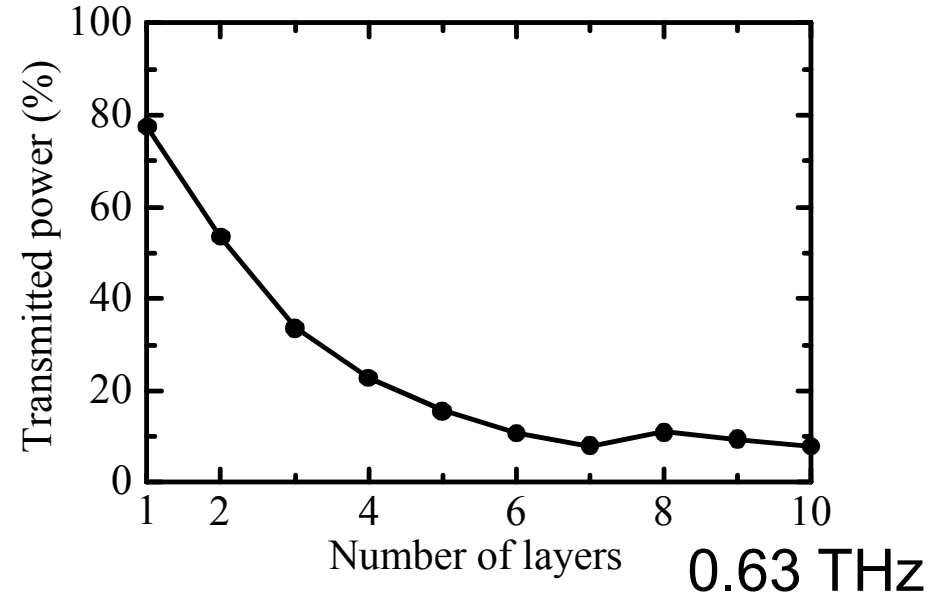
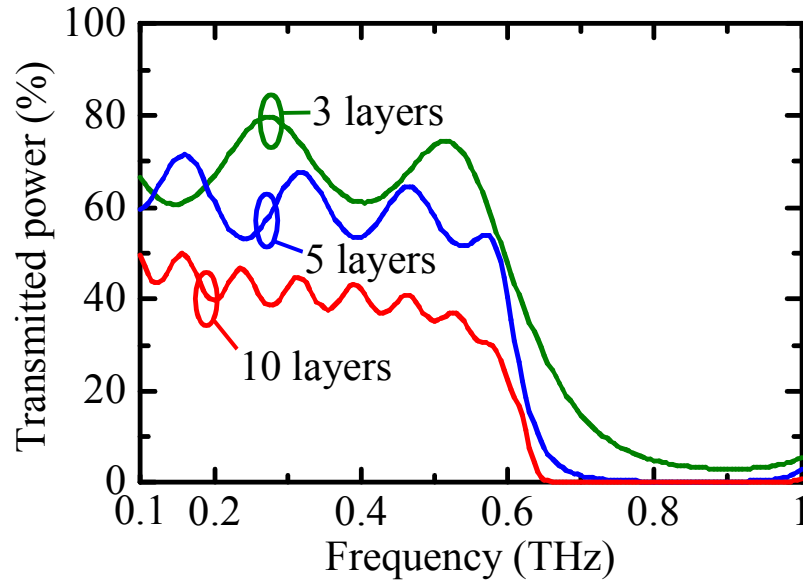
・シクロオレフィンフォンポリマー

・銅膜厚 (0.5 THz)

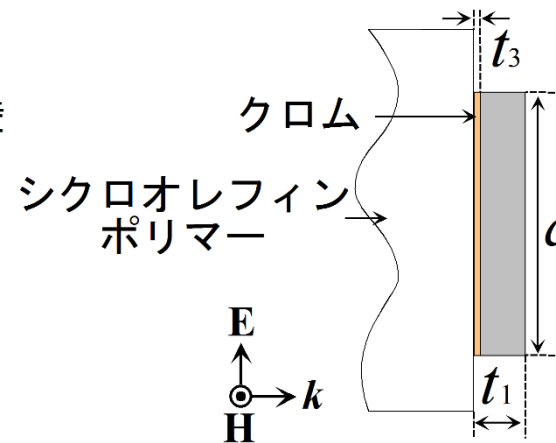
: 損失小
(ポリイミド: 損失大)

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} = 93 \text{ nm} \times 2\sim 3 \text{ 倍以上}$$

① 損失の見積もり

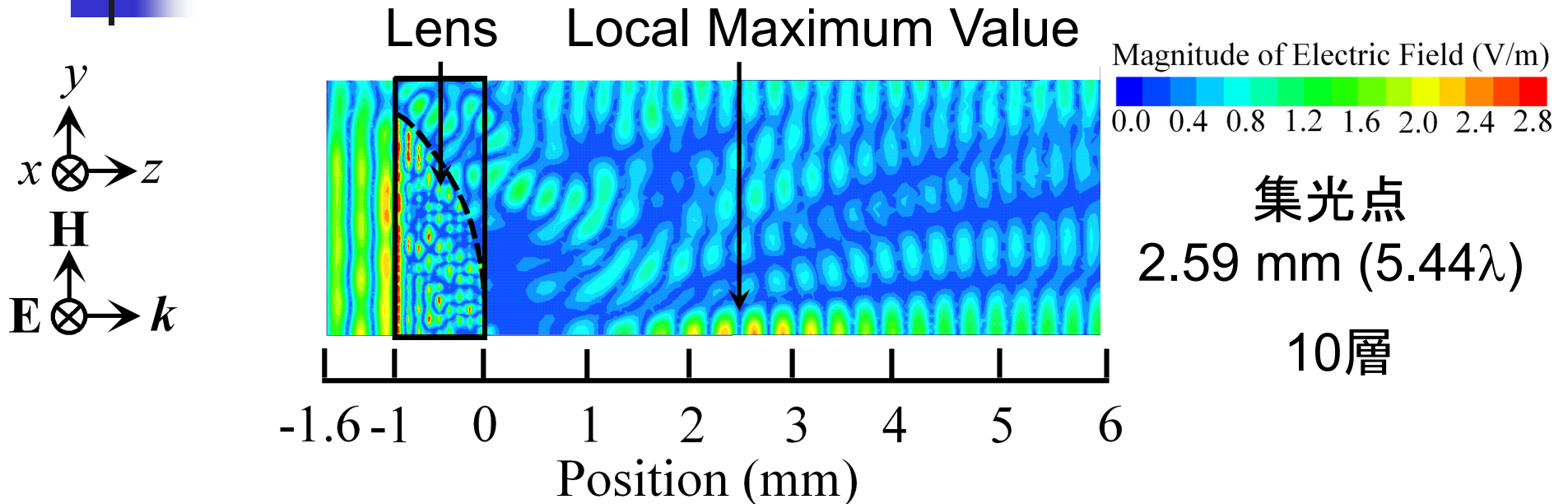


周期解析モデル

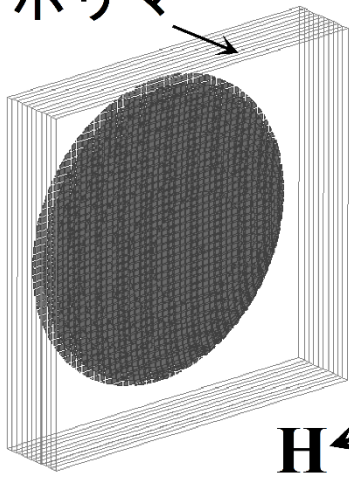


a	75 μm
t_1	0.35 μm
t_2	100 μm
t_3	10 nm
p_x	100 μm
p_y	100 μm

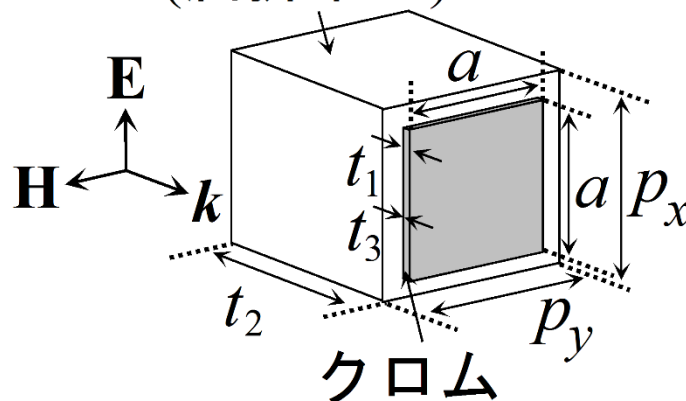
① パターンA (0.63 THz)



シクロオレフィン
ポリマー

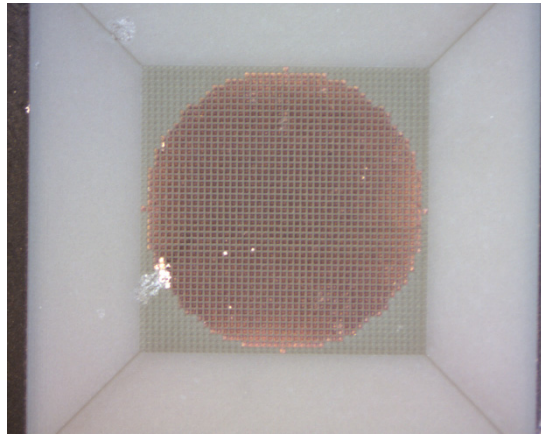


シクロオレフィン
ポリマーフィルム
(屈折率 n)

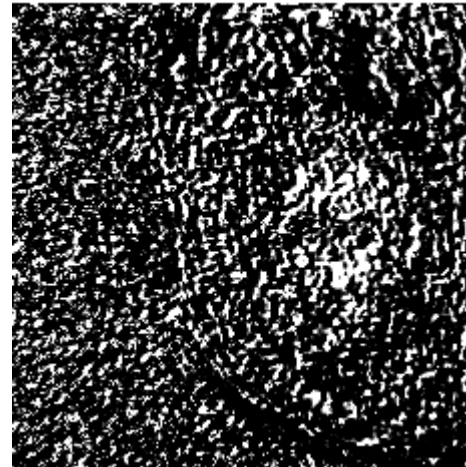


a	$75 \mu\text{m}$
p_x	$100 \mu\text{m}$
p_y	$100 \mu\text{m}$
t_1	$0.35 \mu\text{m}$
t_2	$100 \mu\text{m}$
t_3	10 nm

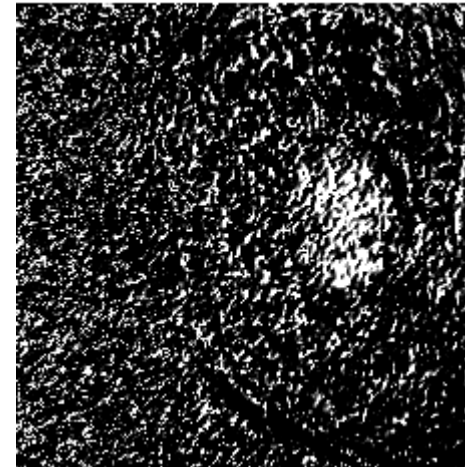
① パターンA (0.63 THz)



積層構造
レーザー加工



レンズからの1.73 mm
距離



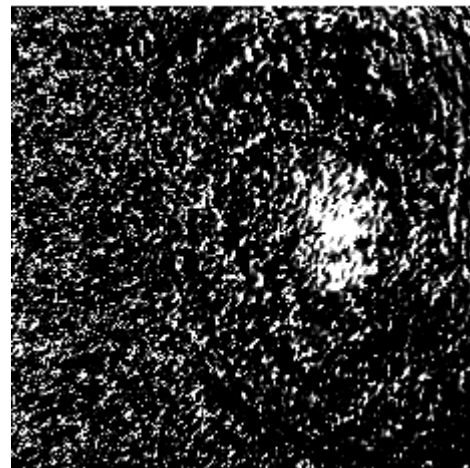
2.23 mm



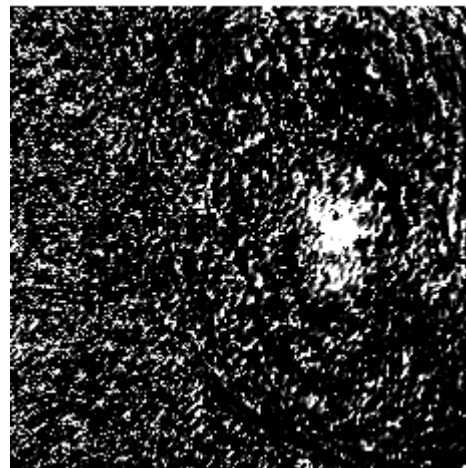
M2 竹林君

北原英明博士
高野恵介博士
萩行正憲教授
との共同研究

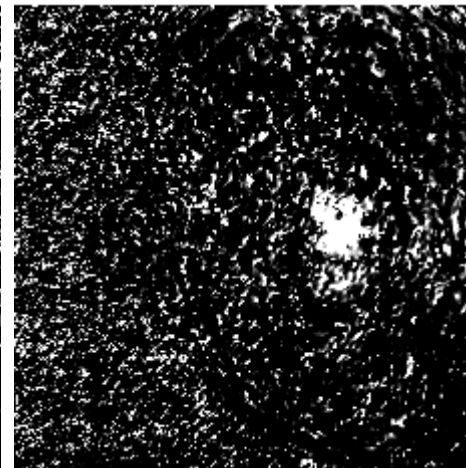
集光点



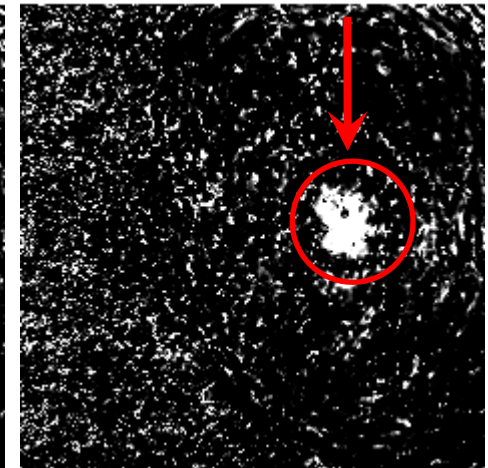
2.73 mm



3.23 mm



3.73 mm

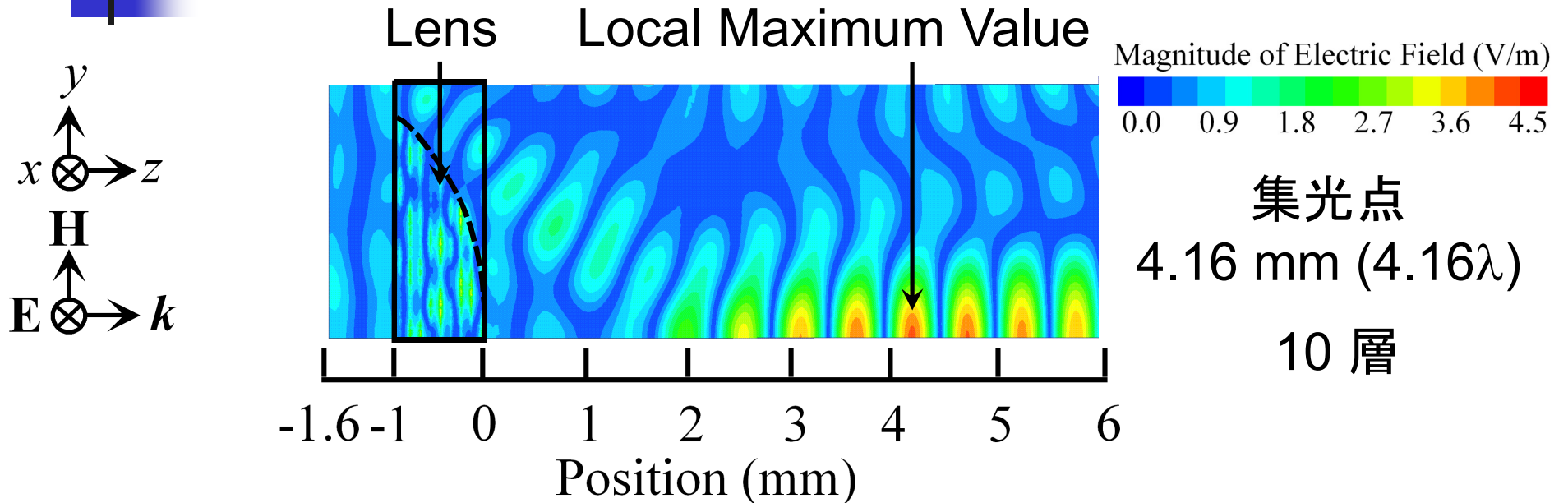


4.23 mm

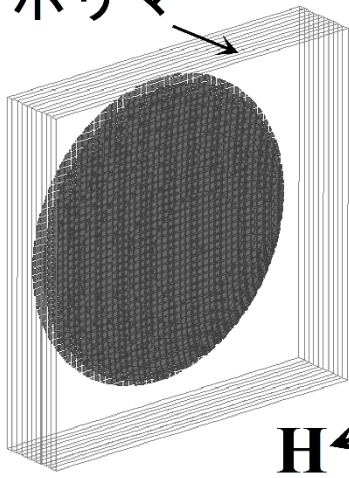
Y. Takebayashi, et al., META 2013,
5A1-META, pp. 99-100, Mar. 2013.

テラヘルツイメージャー

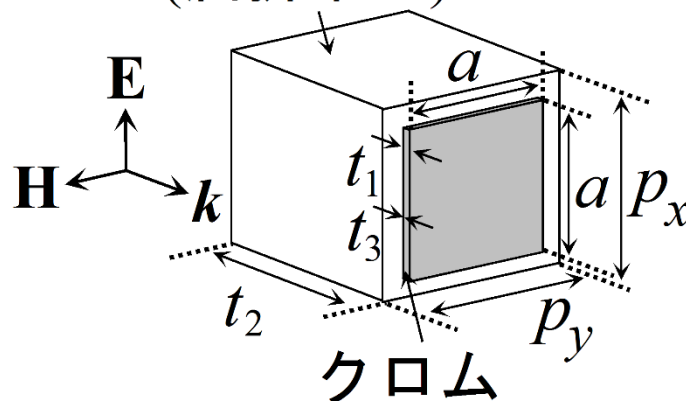
① パターンA (0.30 THz)



シクロオレフィン
ポリマー

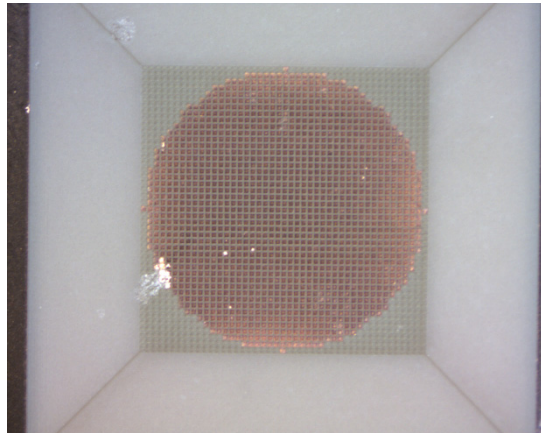


シクロオレフィン
ポリマーフィルム
(屈折率 n)



a	75 μm
p_x	100 μm
p_y	100 μm
t_1	0.35 μm
t_2	100 μm
t_3	10 nm

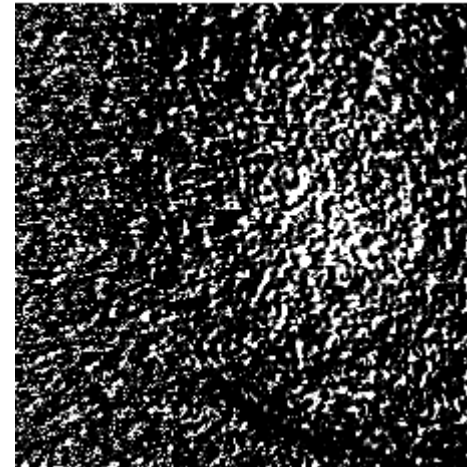
① パターンA (0.30 THz)



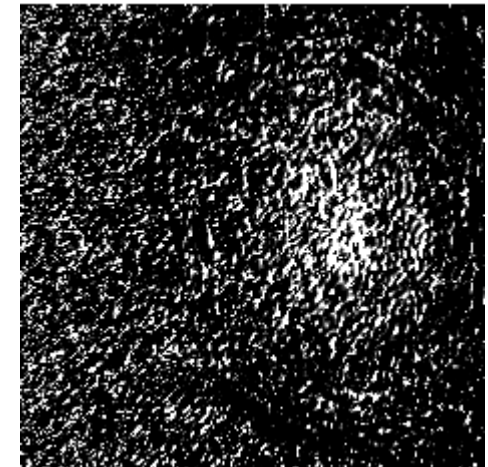
積層構造
レーザー加工

白:4倍
黒:1倍

レンズからの
距離

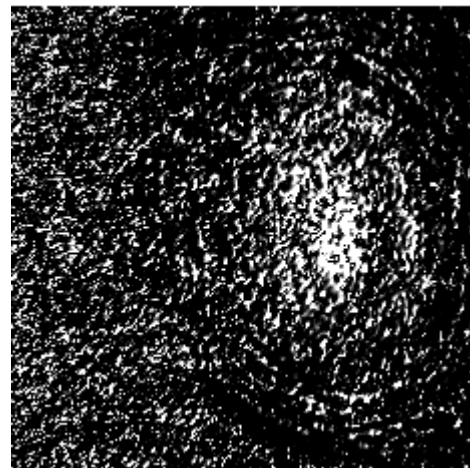


1.73 mm

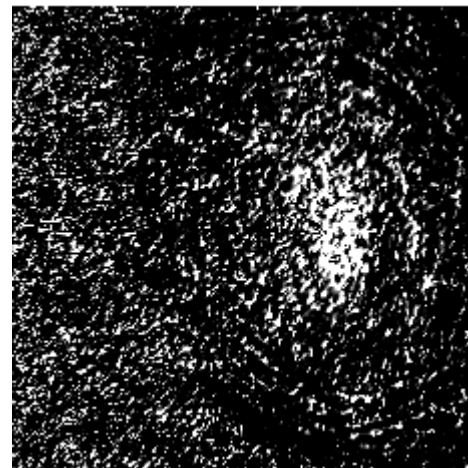


2.23 mm

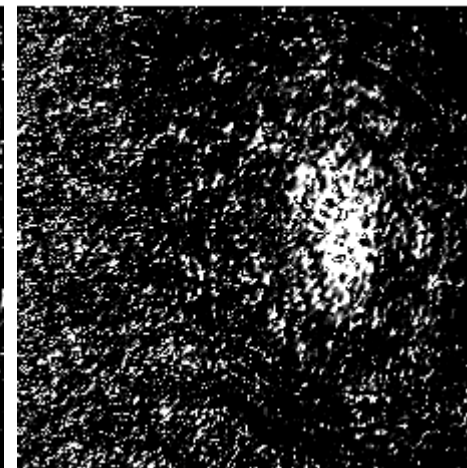
集光点



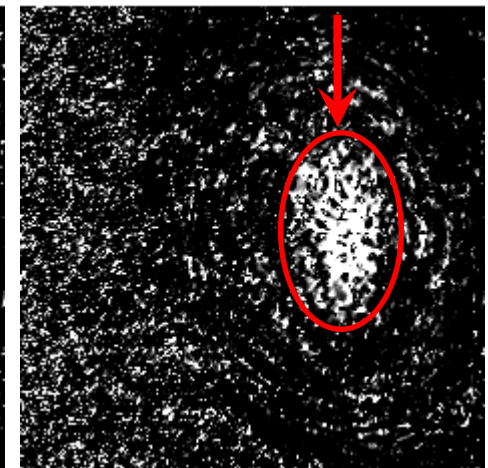
2.73 mm



3.23 mm



3.73 mm



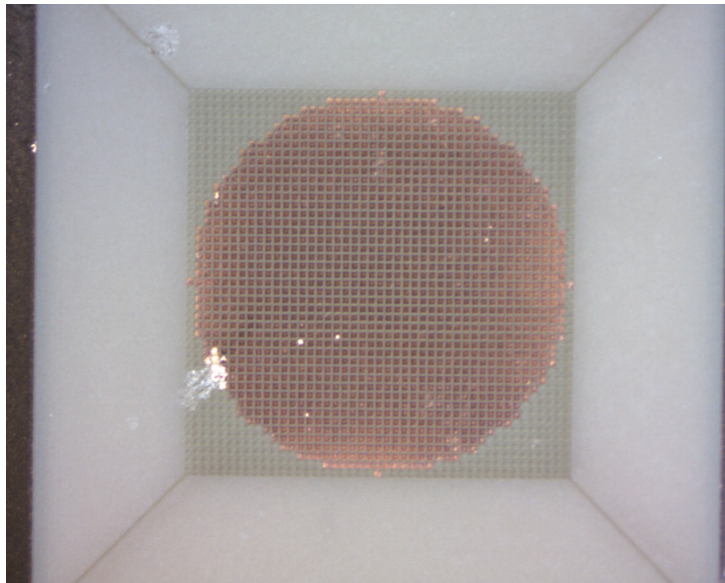
4.23 mm

Y. Takebayashi, et al., META 2013,
5A1-META, pp. 99-100, Mar. 2013.

テラヘルツイメージャー

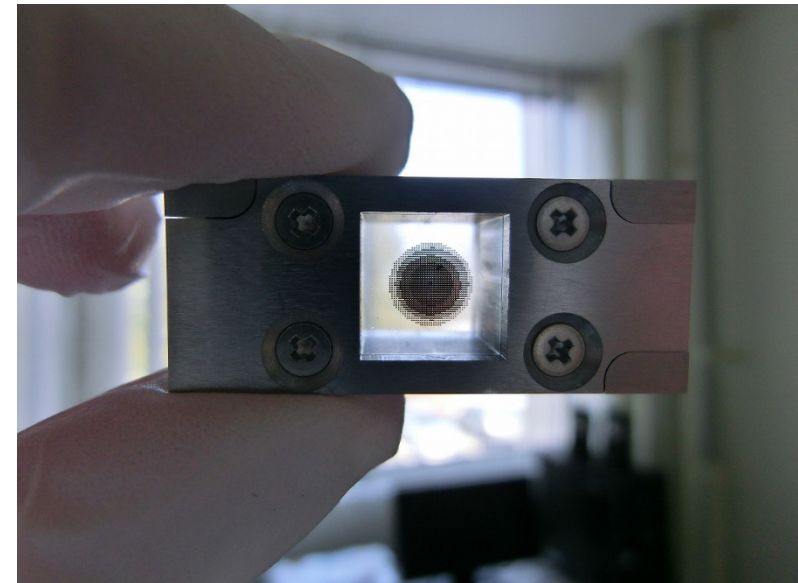
① まとめ

1. 方形チップ周期構造を有するテラヘルツ波帯人工誘電体レンズをレーザー加工、及びエッチング加工により試作した。
2. テラヘルツイメージャーにより集光効果を確認した。



パターンA

Y. Takebayashi, et al., META 2013,
5A1-META, pp. 99-100, Mar. 2013.



パターンB

本発表の構成



1. 背景・目的
2. テラヘルツ波帯電磁メタマテリアルレンズの
解析→設計→試作→測定
 - ① 金属方形チップ周期構造 ($n > 1$)
3. 各種光学素子
4. まとめ

本発表の構成

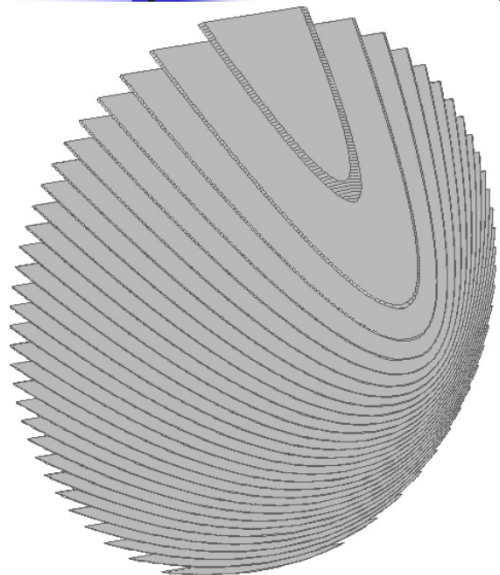


1. 背景・目的
2. テラヘルツ波帯電磁メタマテリアルの
解析→設計→試作→測定
3. 各種光学素子
 - ② 金属斜め板・溝周期構造 ($n > 1$)
 - ③ 金属スリット構造 ($0 < n < 1$)
 - ④ リング+金属スリット構造 ($n < 0$)
 - ⑤ テラヘルツ波帯アンテナ
 - ⑥ テラヘルツ波伝送線路
4. まとめ

本発表の構成

1. 背景・目的
2. テラヘルツ波帯電磁メタマテリアルレンズの
解析→設計→試作→測定
3. 各種光学素子
② 金属斜め板・溝周期構造 ($n > 1$)
4. まとめ

② 金属斜め板構造レンズ



$$n = \sqrt{\epsilon_r} \sqrt{\mu_r}$$

$$n = \frac{1}{\cos \theta}$$

任意の屈折率の制御が可能

[R. H. Fan, et al., Appl Phys. Lett. **102**, 171904 (2013).]

→ 近赤外領域において平行平板でブリュースター角の存在の証明(TM波)

[A. Alù, et al., Phys. Rev. B **106**, 123902 (2011).]

→ 斜め金属平行平板が広帯域で板厚に鈍感(TM波)

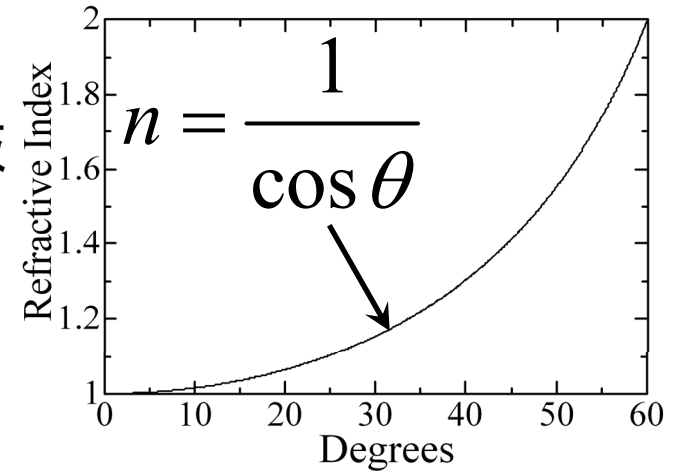
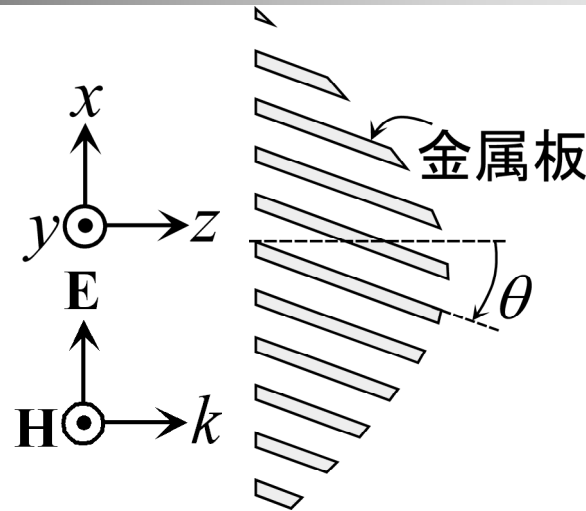
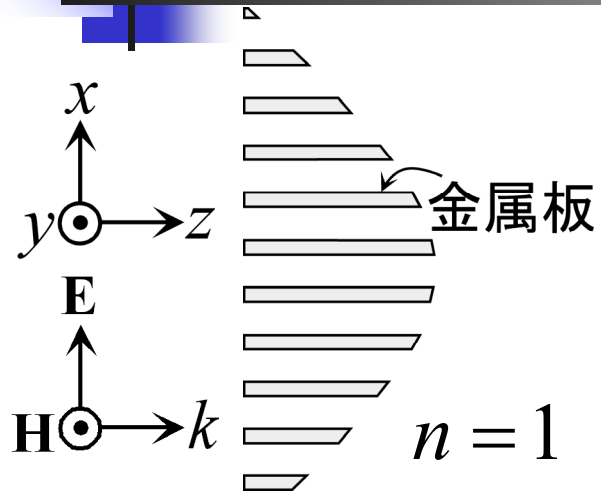
目的

パスレングスレンズ(斜め配置金属スリットアレー)の設計と作製

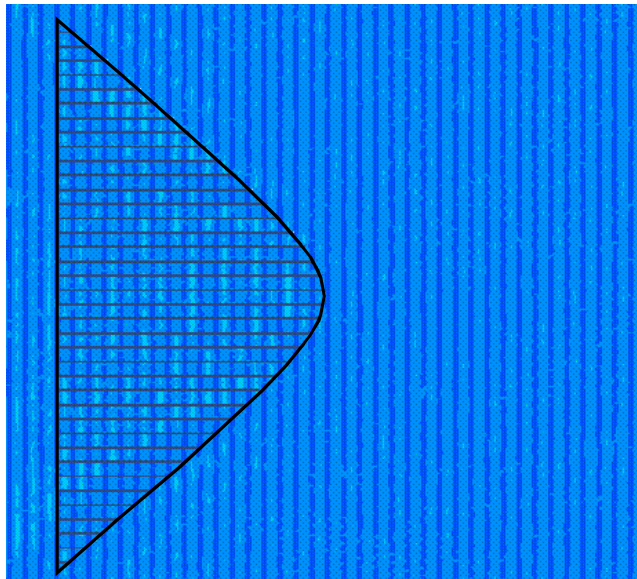
テラヘルツ波帯
300 GHz ~ 1 THz ~ 30 THz
(1 mm) (300 μm) (10 μm)

テラヘルツ波帯では電気特性だけでなく材料特性、試作法、試作実現性についてマイクロ波、ミリ波より一層注意深い検討が必要

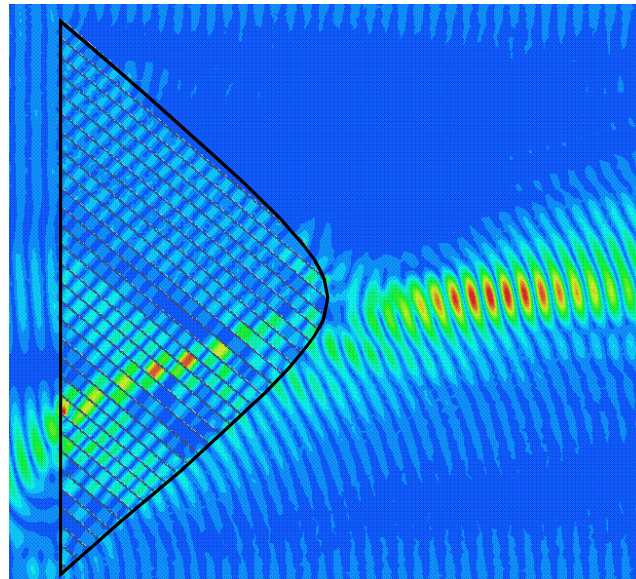
② 動作原理



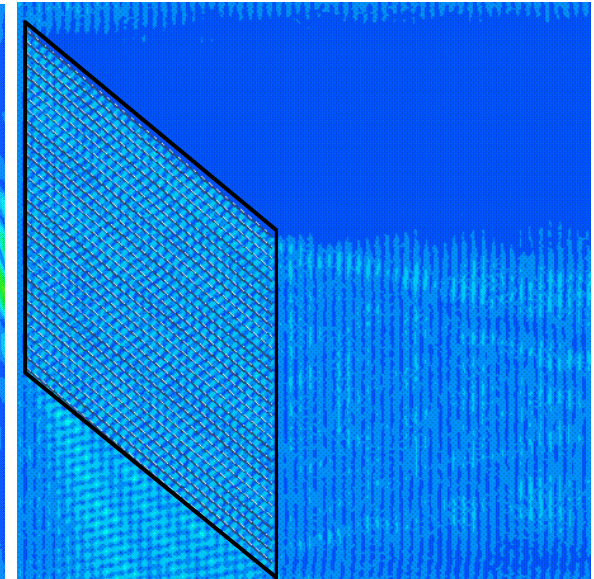
$\theta = 0^\circ$



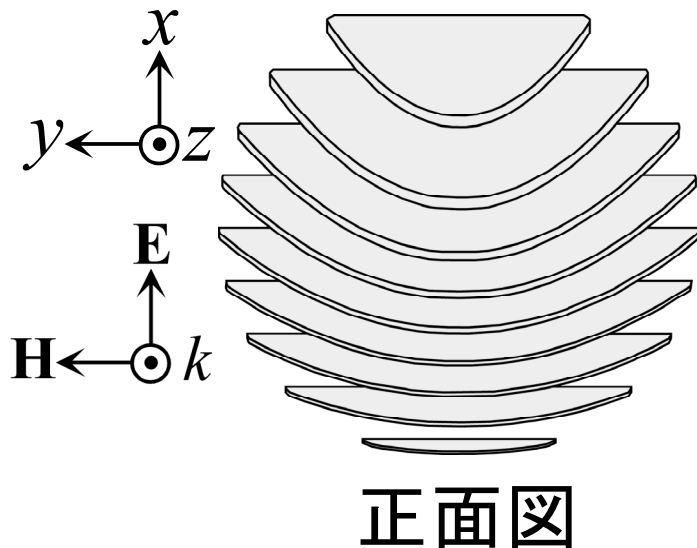
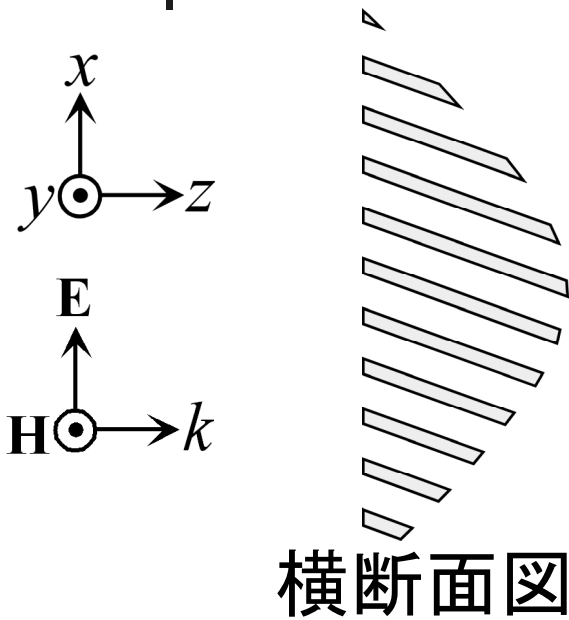
$\theta = 40^\circ$



金属平行平板



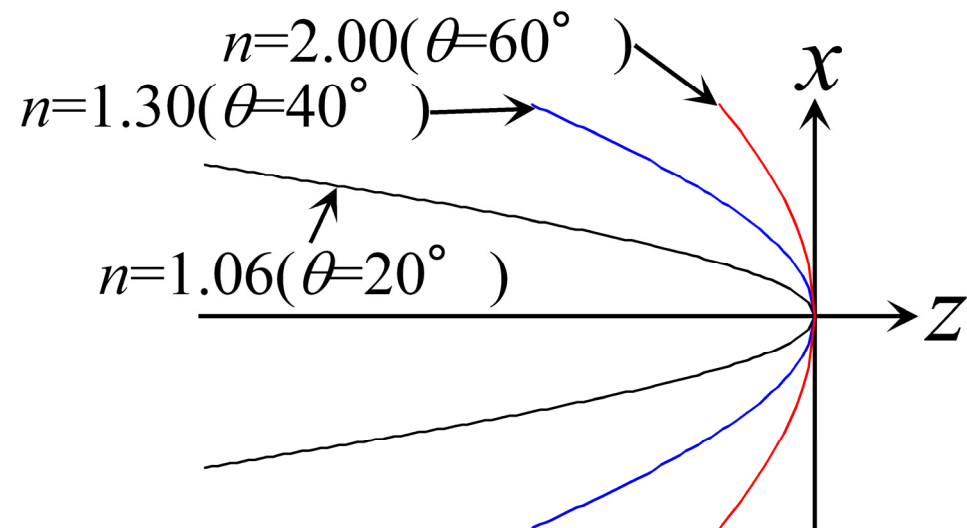
② パスレングスレンズの設計



① 傾き θ の決定 $\rightarrow n = \frac{1}{\cos \theta}$

② $(n^2 - 1)z^2 + 2fz(n - 1) - x^2 = 0$

\rightarrow レンズ形状 (双曲線) の決定

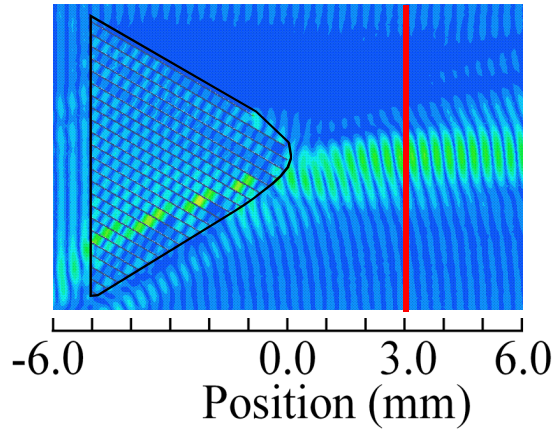


[f (焦点距離) = 3 (mm)]

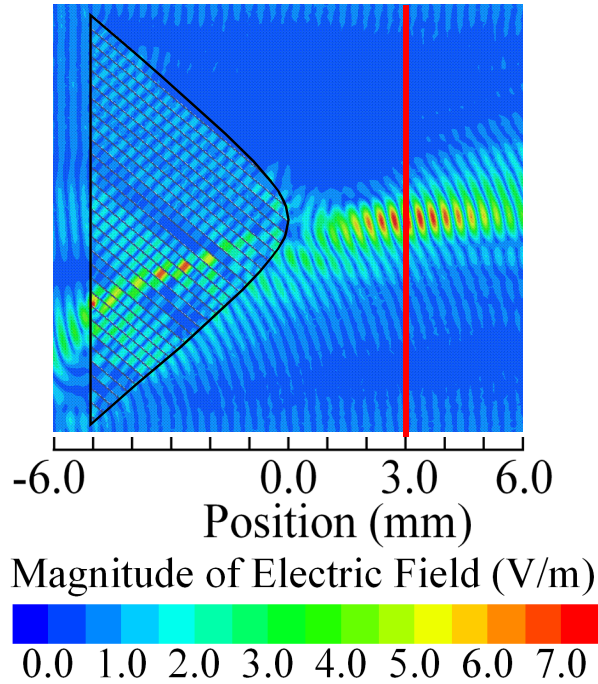
③ 金属の板厚、スリット間隔の決定
(スリット間隔は半波長以下)

② 金属板の傾き θ による変化

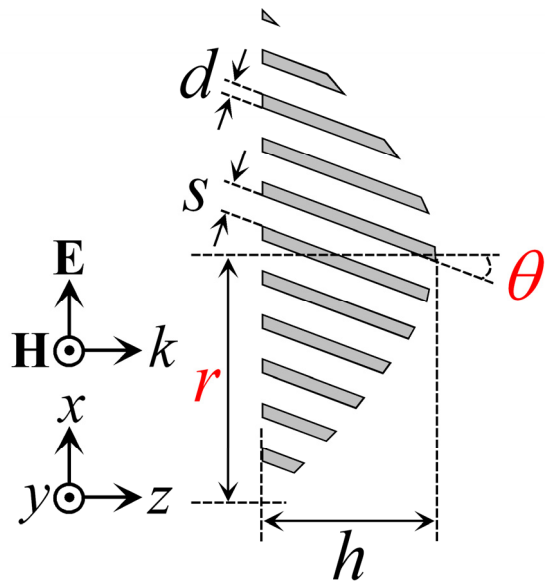
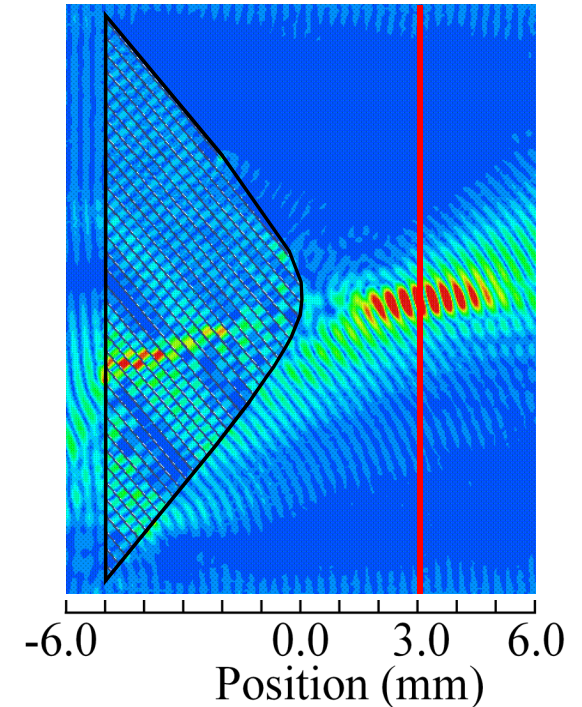
$\theta = 30^\circ$ $r = 3.60$ 集光点



$\theta = 40^\circ$ $r = 5.17$ 集光点

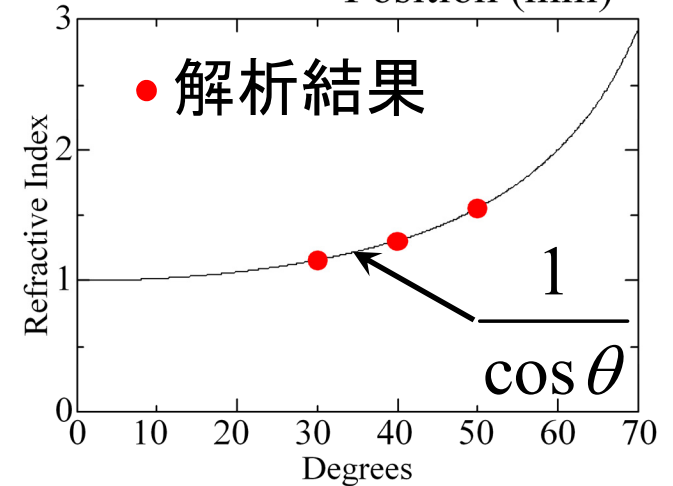


$\theta = 50^\circ$ $r = 7.22$ 集光点

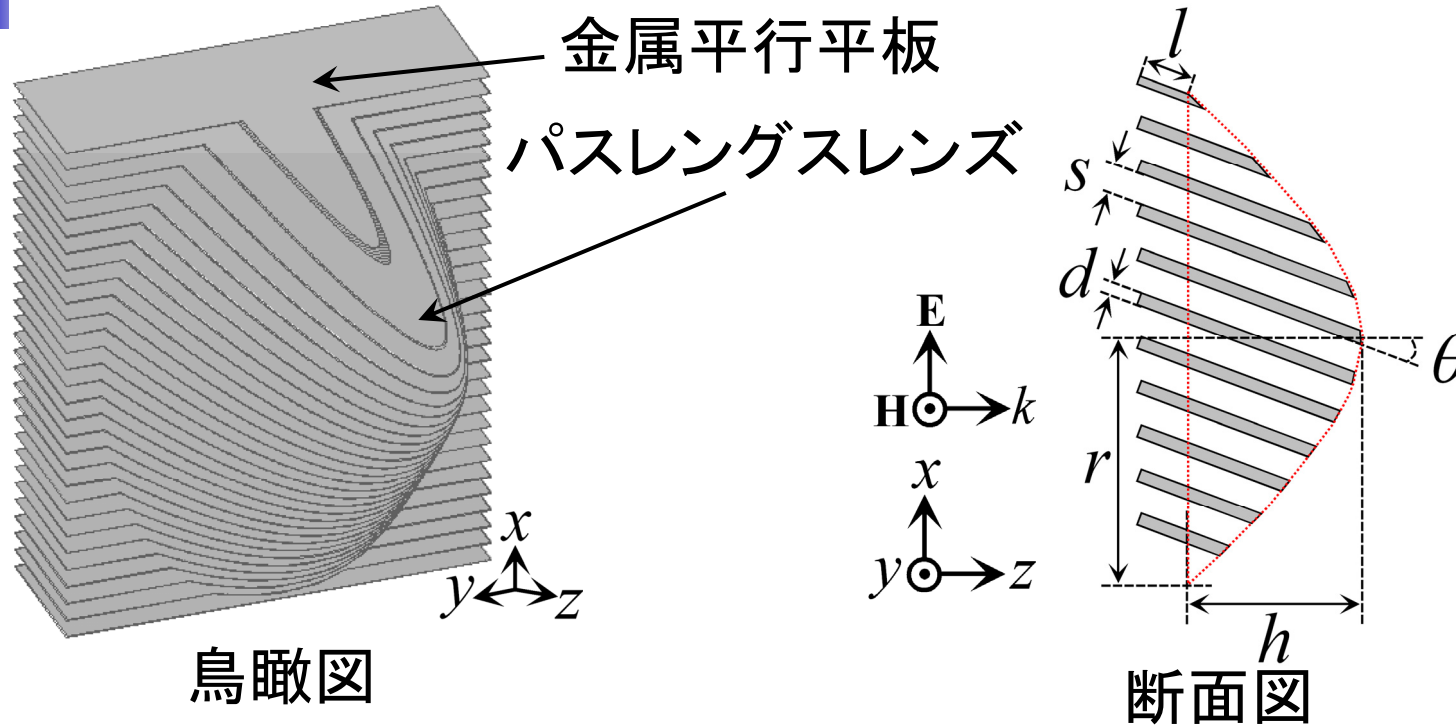


d	$20 \mu\text{m} (0.03\lambda)$
s	$250 \mu\text{m} (0.42\lambda)$
h	$5.00 \text{ mm} (8.33\lambda)$

$\lambda = 600 \mu\text{m} @ 0.50 \text{ THz}$



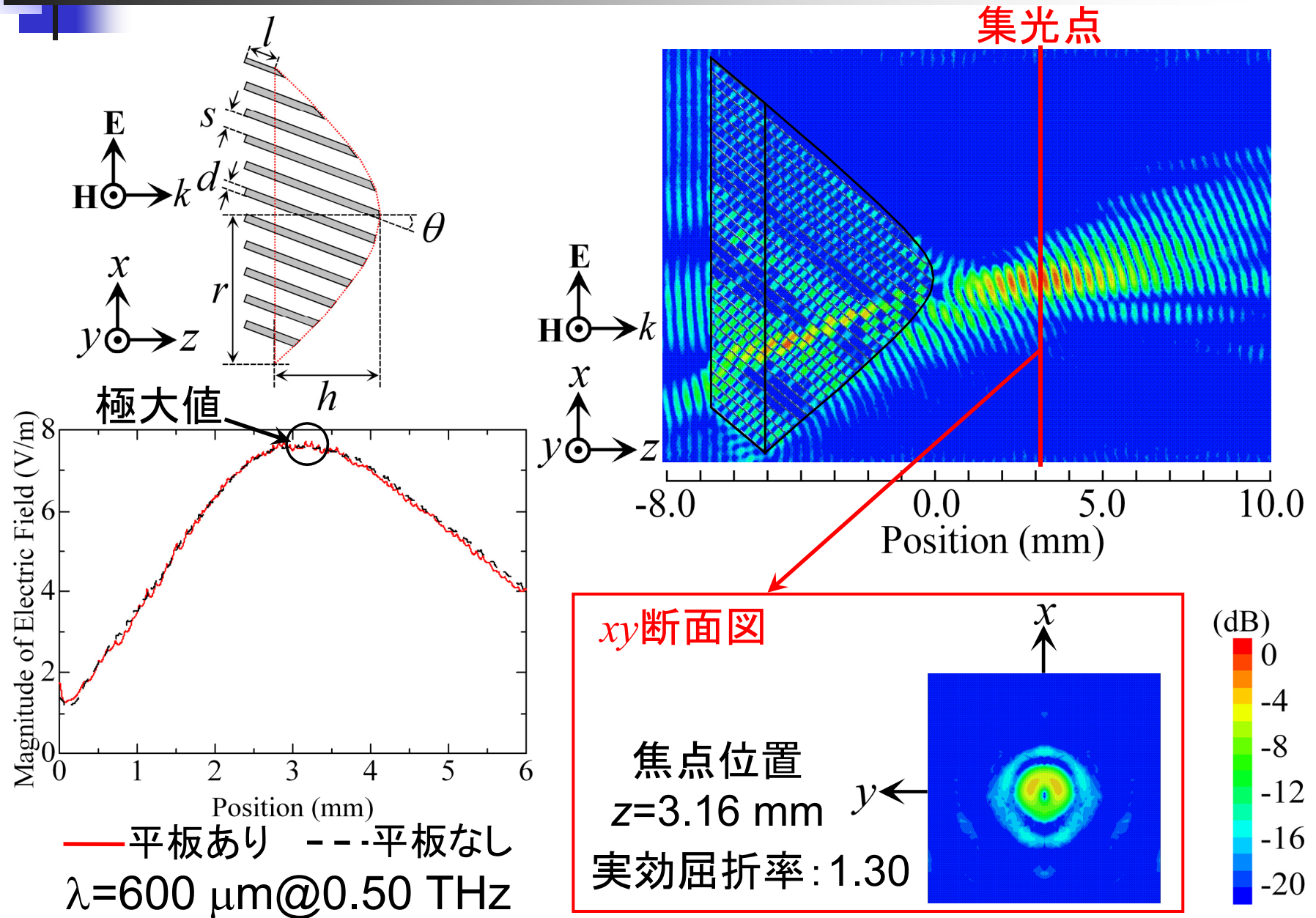
② 設計パラメータ



$\theta=40^\circ$	
r	5.17 mm (8.62 λ)
d	20 μm (0.03 λ)
s	250 μm (0.42 λ)
h	5.00 mm (8.33 λ)
l	2.00 mm (3.33 λ)

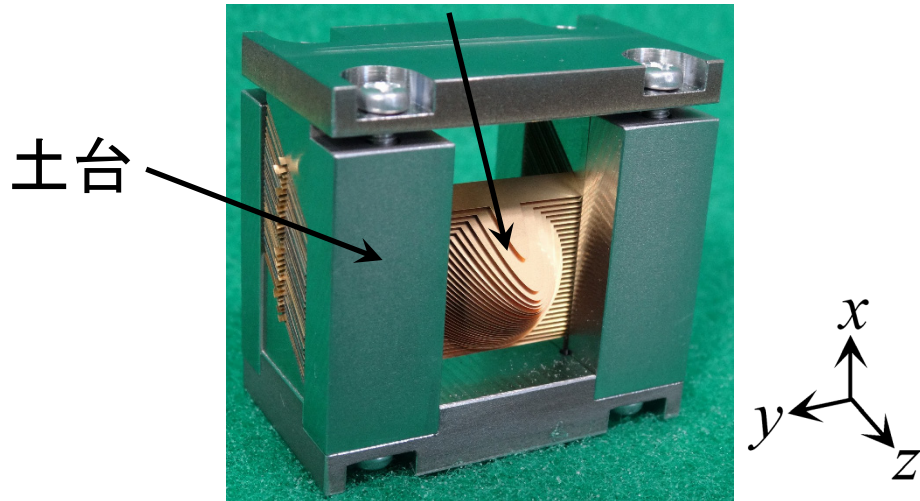
$\lambda=600 \mu\text{m}@0.50 \text{ THz}$

② 設計モデルの解析

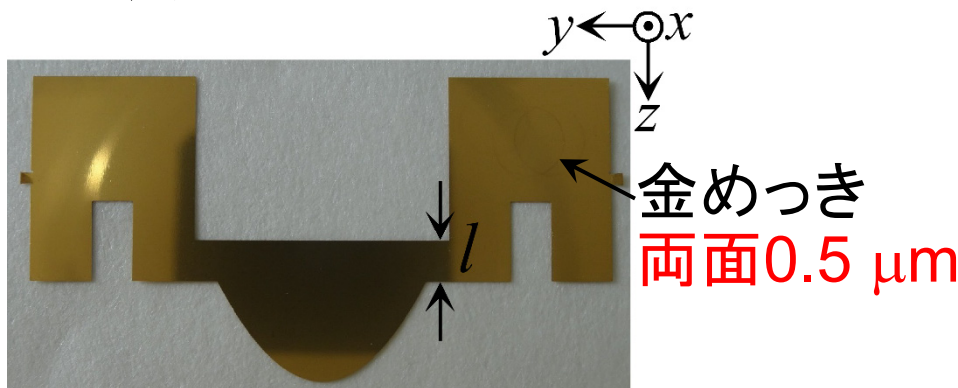


② パスレングスレンズの作製

パスレングスレンズ

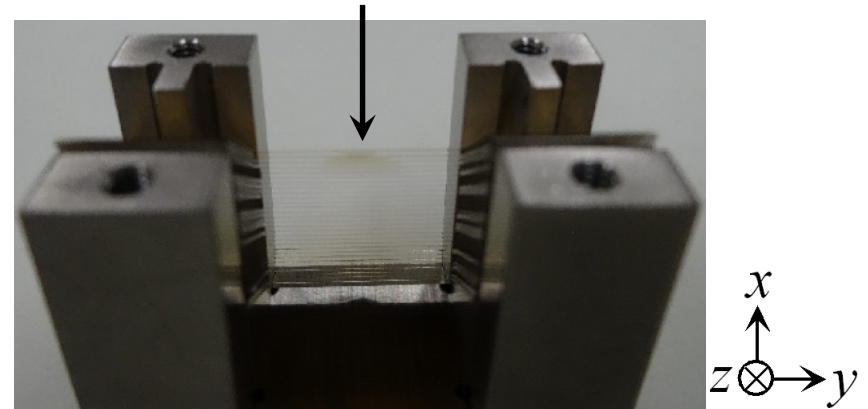


作製したパスレングスレンズ



エッチングにて作製した素子

金属スリット



中空構造

表皮厚: $\delta = 0.10 \mu\text{m}$

→3倍以上必要

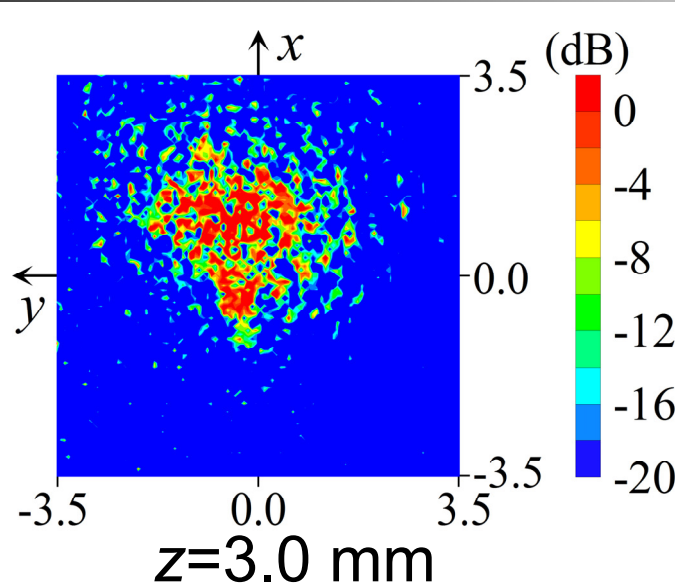
(Au: $\sigma = 4.6 \times 10^7 \text{ S/m}$)

表皮効果

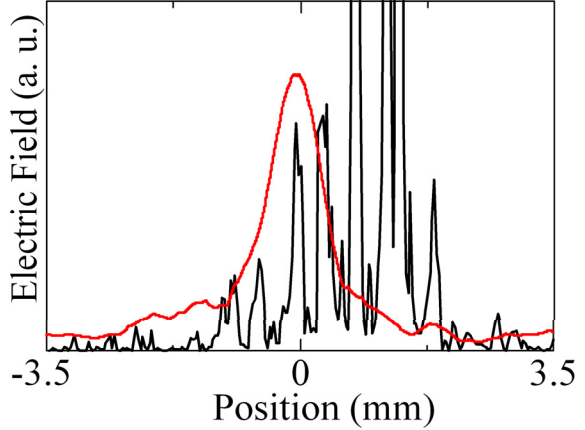
$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}}$$

μ :透磁率
 ω :角周波数
 σ :導電率

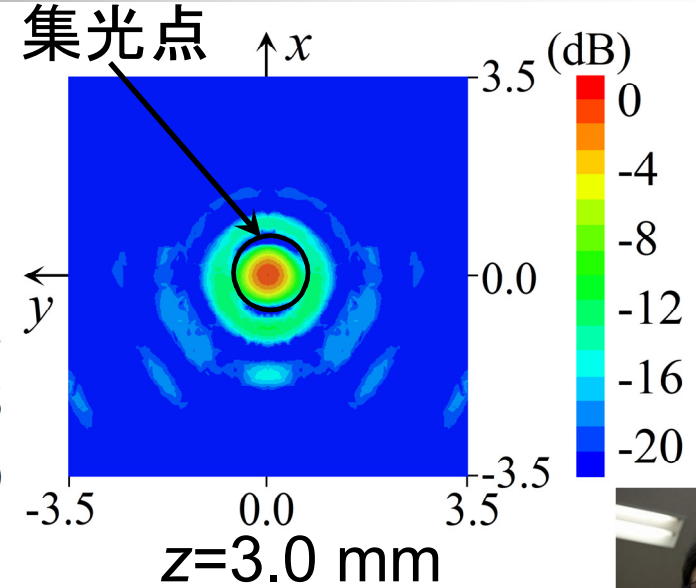
② 実験結果@0.52 THz



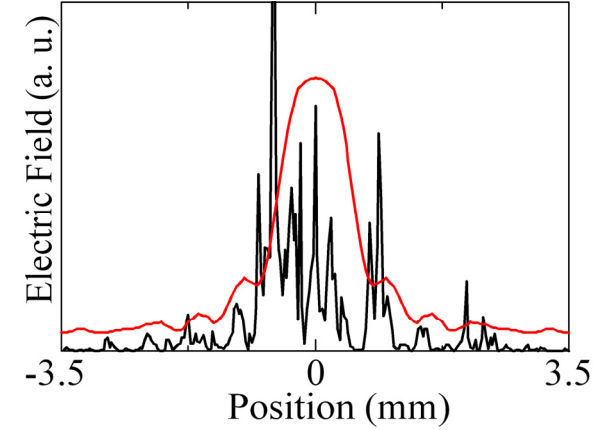
z=3.0 mm
実効屈折率 1.32



x軸方向の電界強度
@z=3.0 mm



z=3.0 mm
実効屈折率 1.30



y軸方向の電界強度
@z=3.0 mm

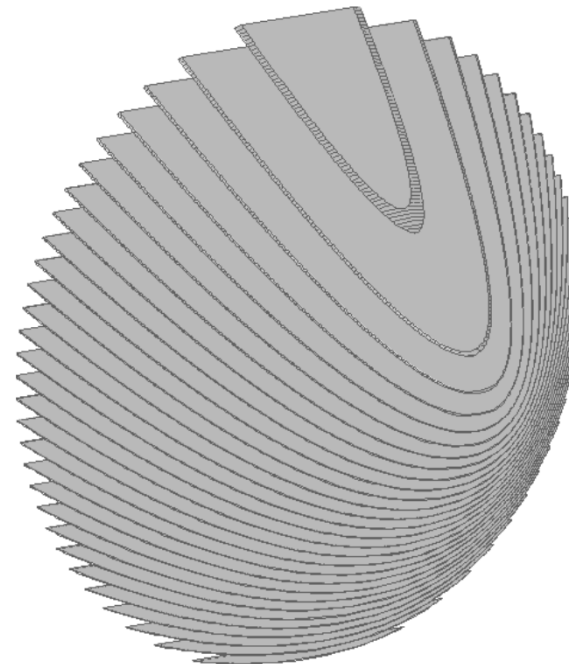
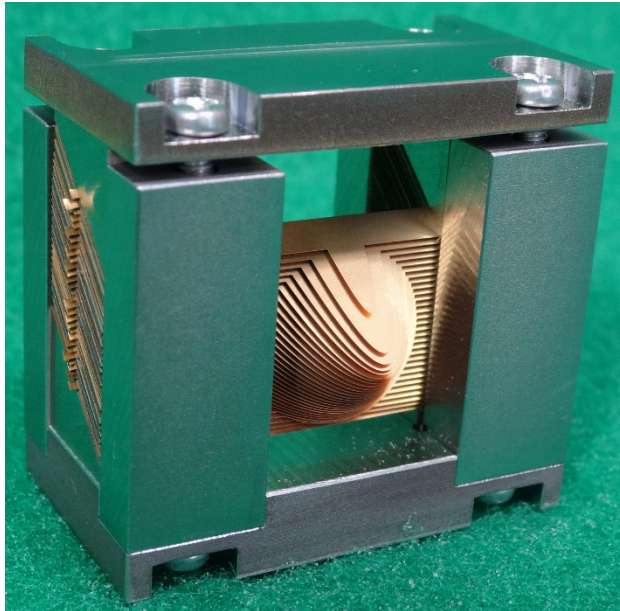


M1 富樫君

— 実験結果
— 解析結果

② まとめ

1. 斜め配置金属スリットアレーによる位相制御を利用したテラヘルツ波帯パスレングスレンズを作製した。
2. テラヘルツイメージャーによりテラヘルツ波の集光を確認した。

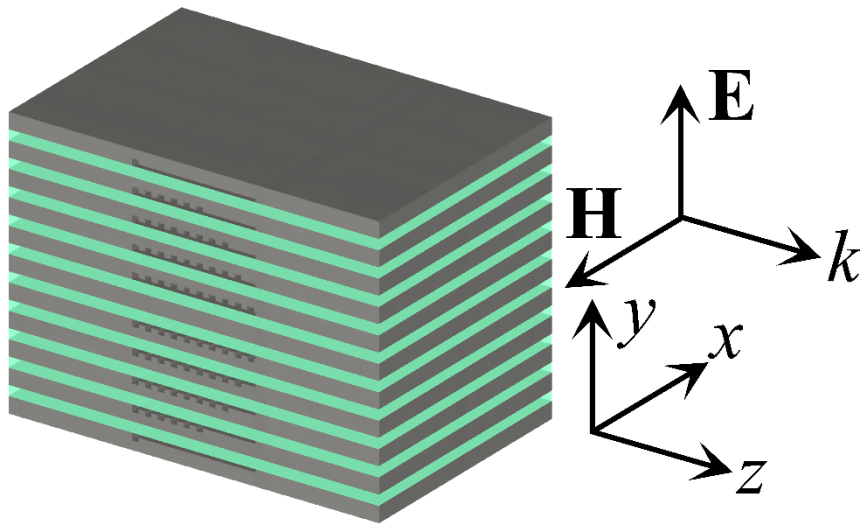


② 金属溝周期構造レンズ

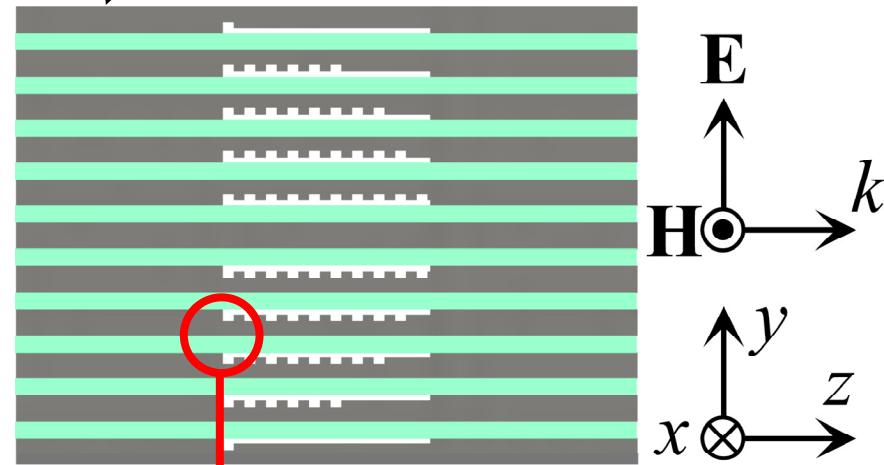


金属スリット部に対して垂直な偏波の場合

↓ 等価屈折率 $n=1$



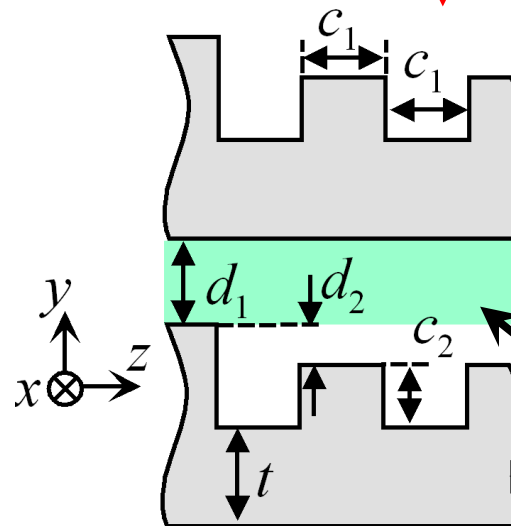
鳥瞰図



断面図

c_1	40 μm (0.067 λ)
c_2	25 μm (0.042 λ)
t	55 μm (0.092 λ)
d_1	60 μm (0.10 λ)
d_2	20 mm (0.033 λ)

($\lambda=600 \mu\text{m}@0.5 \text{ THz}$)

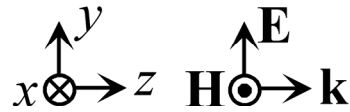


支持基板 $n=1.53$

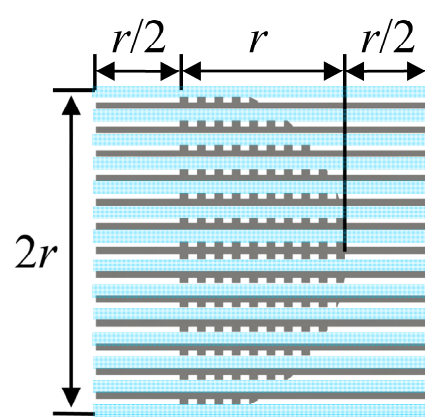
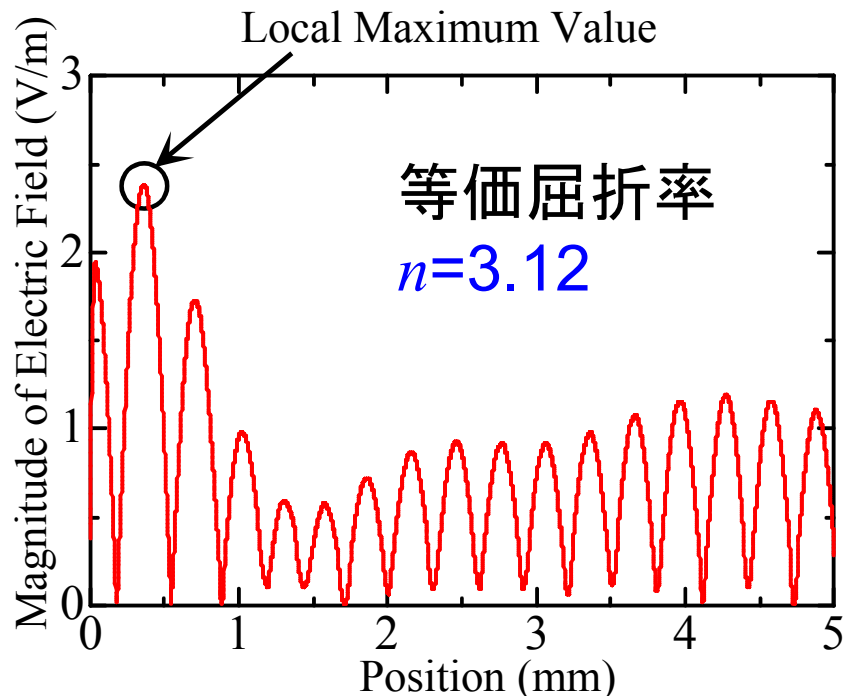
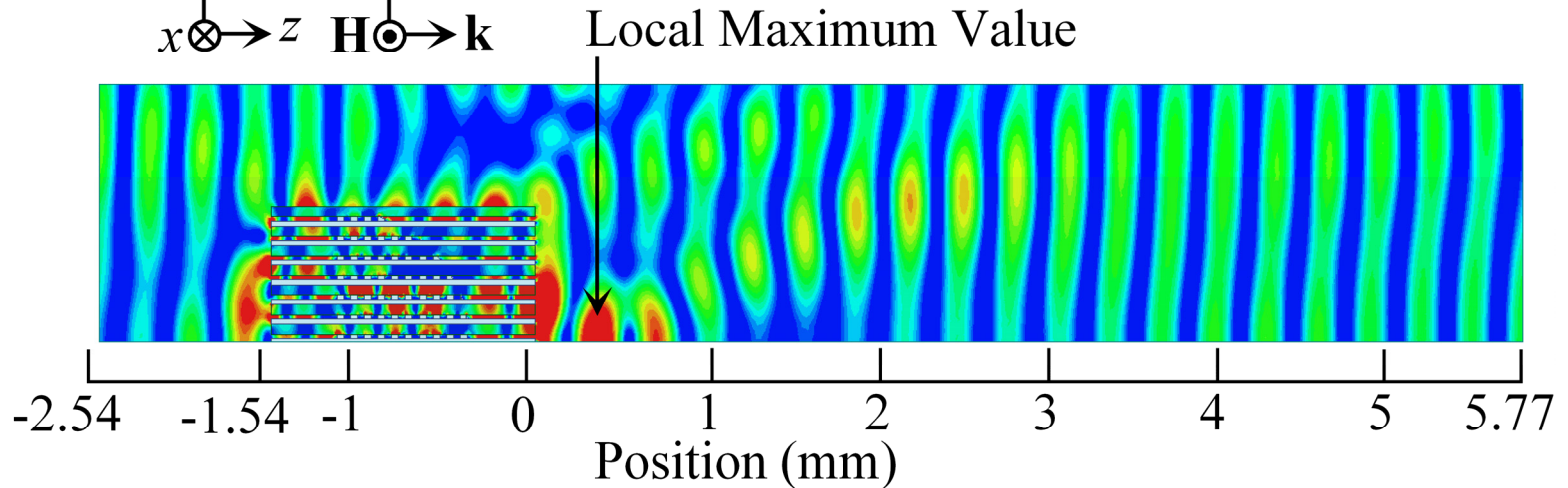


今野君
(現・日立オートモティブ
システムズ株式会社)

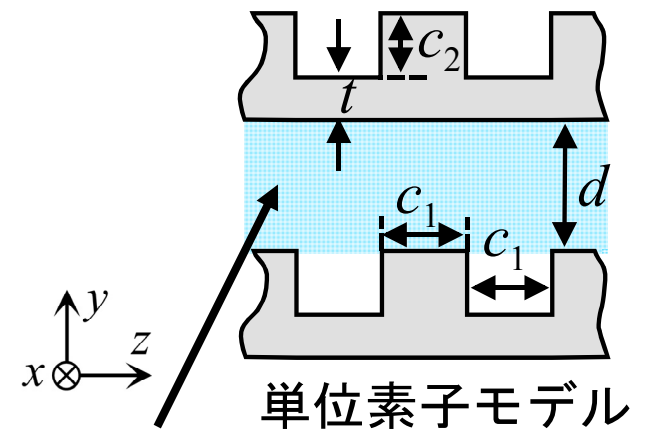
② 金属溝周期構造レンズ



$d=60 \mu\text{m}$



c_1	40 μm (0.067 λ)
c_2	25 μm (0.042 λ)
t	30 μm (0.050 λ)
r	770 μm (1.3 λ)

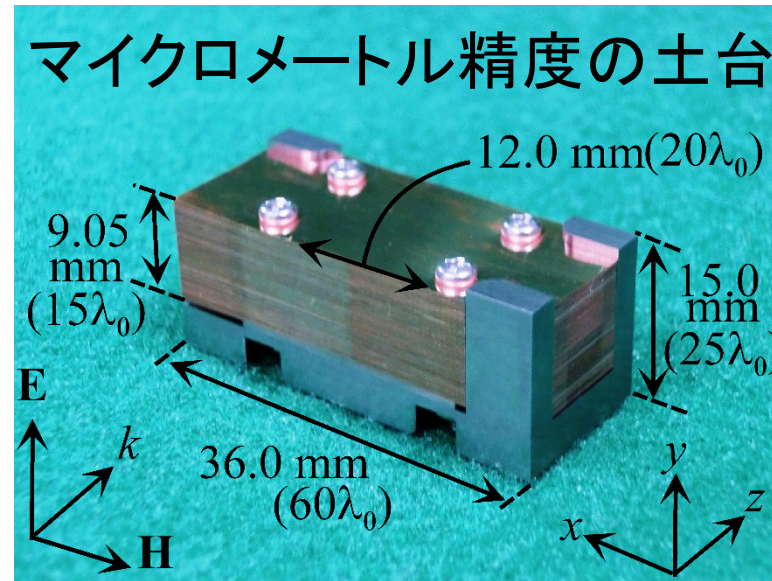
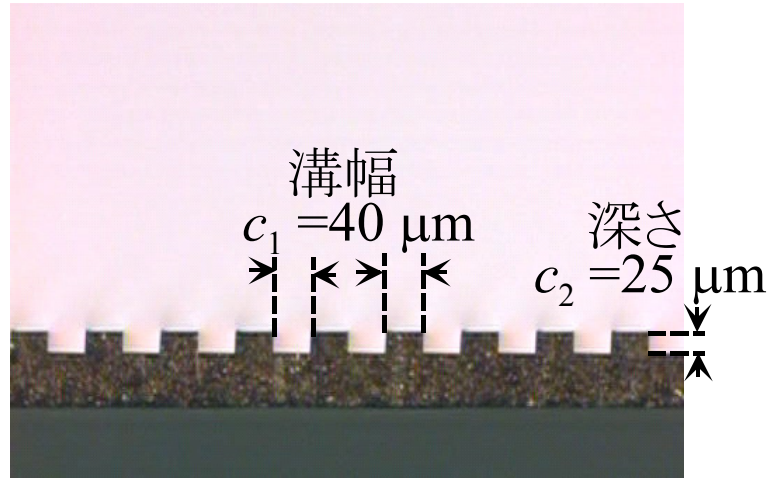


シクロ
オレフィン
ポリマー

② 金属溝周期構造レンズ

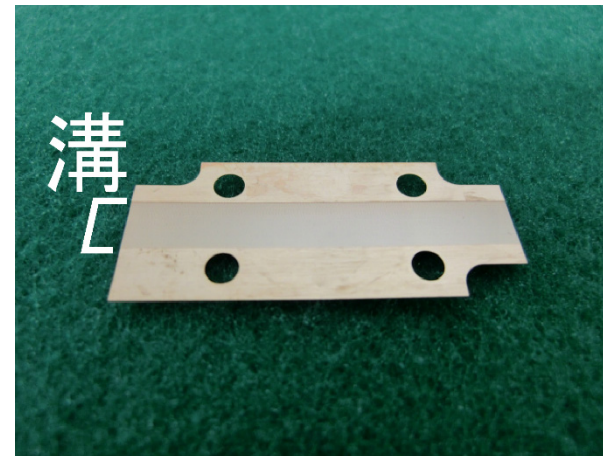


超微細バイト加工



実験での
評価・
検討中

金属溝周期構造レンズ



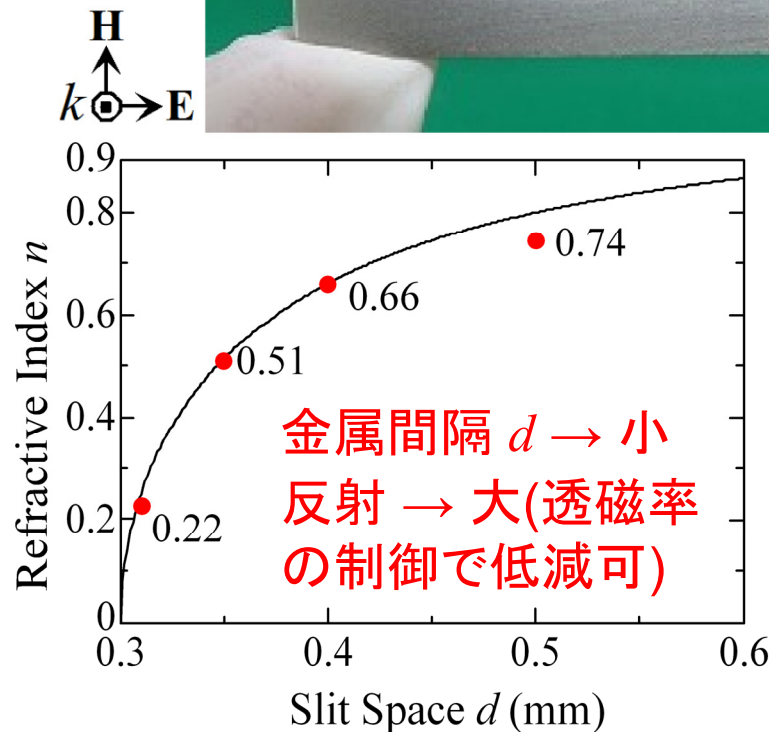
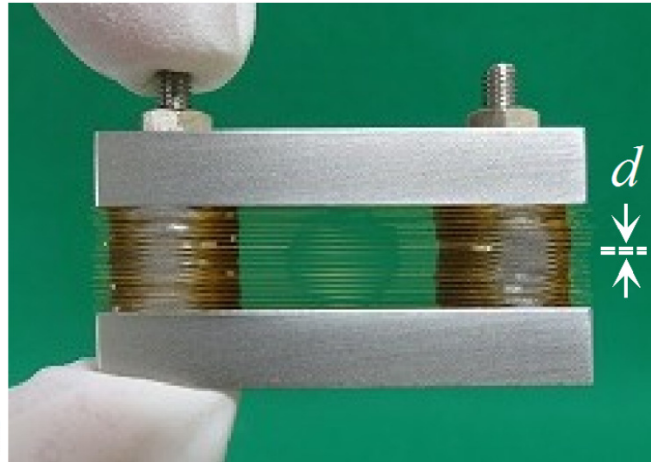
溝 63本

本発表の構成



1. 背景・目的
2. テラヘルツ波帯電磁メタマテリアルレンズの
解析→設計→試作→測定
3. 各種光学素子
③ 金属スリット構造 ($0 < n < 1$)
4. まとめ

③ 金属スリット構造1



金属間隔 $d \rightarrow$ 小
反射 \rightarrow 大(透磁率
の制御で低減可)

目的

3次元金属中空スリット
凹レンズの集光

屈折率 $n=0.52$ を有する構造
 \rightarrow 0近傍屈折率

- ・波面の位相制御
- ・クローキング技術への応用

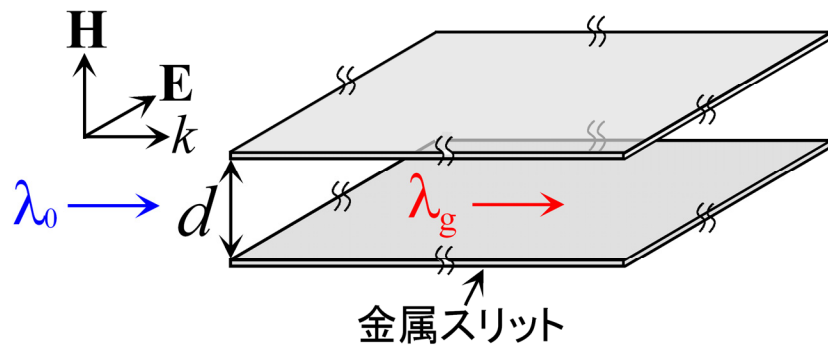
テラヘルツ波帯では材料特性、
作製法についてマイクロ波帯、
ミリ波帯より注意深い検討が必要

- ・誘電体損失の低減 \rightarrow 中空構造
 - ・導体損の低減 \rightarrow 金属表面の金めっき加工
- 科研費 若手研究(A) (2014年4月 ~ 2018年3月)

- : TE_1 モードの波長による導出
- : 全構造解析
- ・イメージングへの応用の際に生じる具体的課題の解決
- ・ $0 < n < 1$ (③ $n=0.5$) \rightarrow $n \approx 0$ \rightarrow $n < 0$ (④) \rightarrow $n = -1$ (段階的に探索)

③ 動作原理

① 速波効果 (位相の制御)



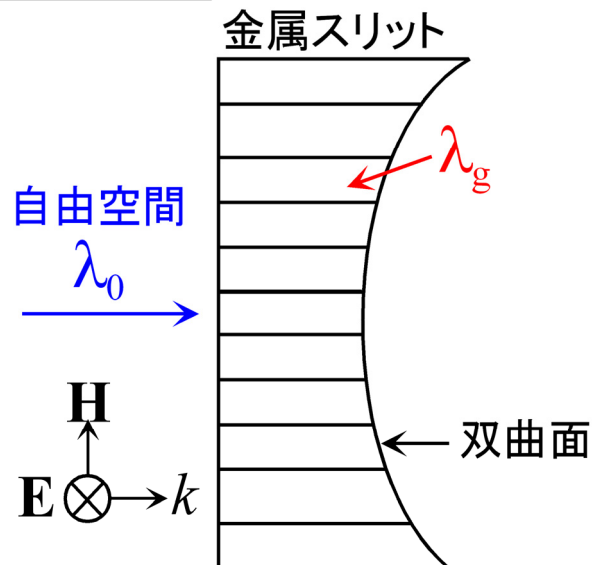
$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2d}\right)^2}} > \lambda_0 \rightarrow n = \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2d}\right)^2}$$

λ_0 : 自由空間の波長

λ_g : スリット内波長

n : スリット内の
実効屈折率

② 集光効果



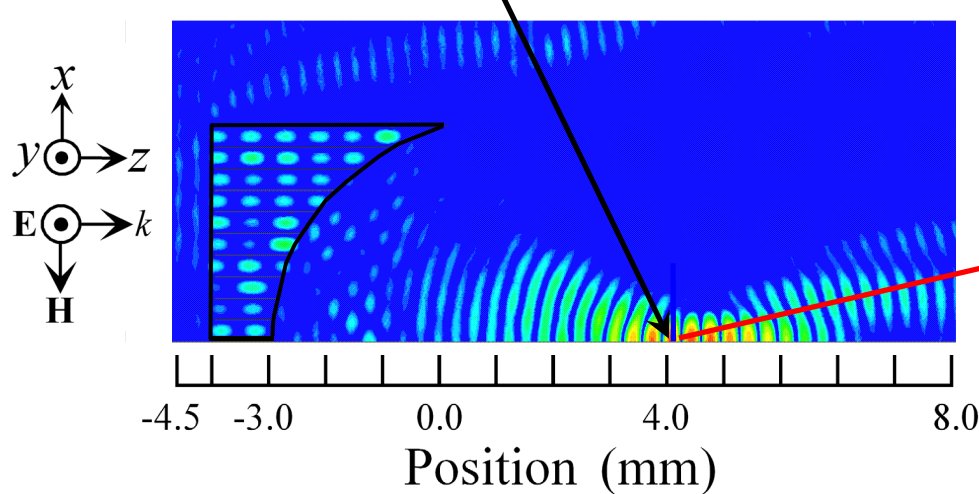
金属内の位相差 → 焦点での集光効果

$$(1 - n^2)z^2 - 2f(1 - n)z + x^2 = 0 \text{ (双曲面の式)}$$

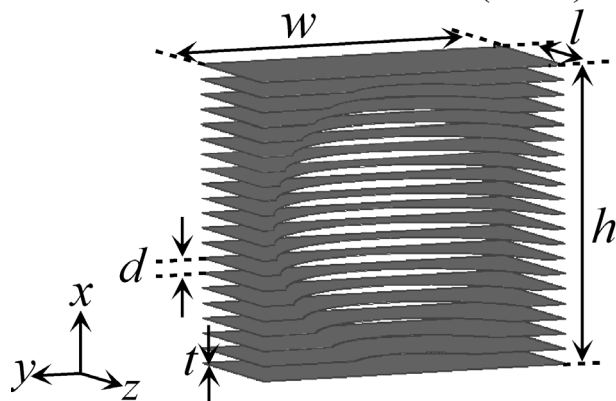
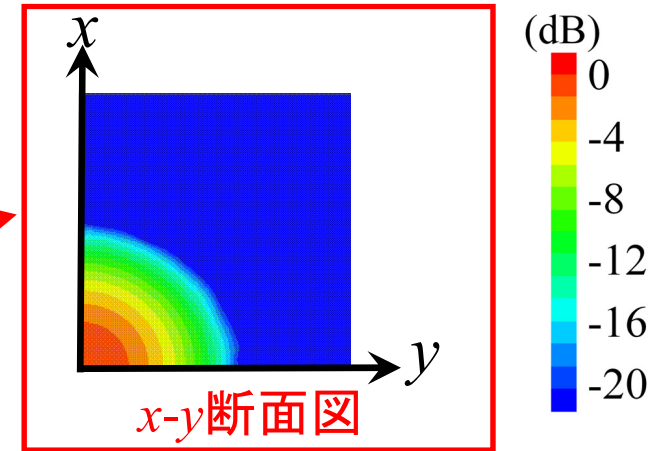
③ 作製モデルの解析結果



Local Maximum Value ($z=4.06$ mm)



実効屈折率 0.52

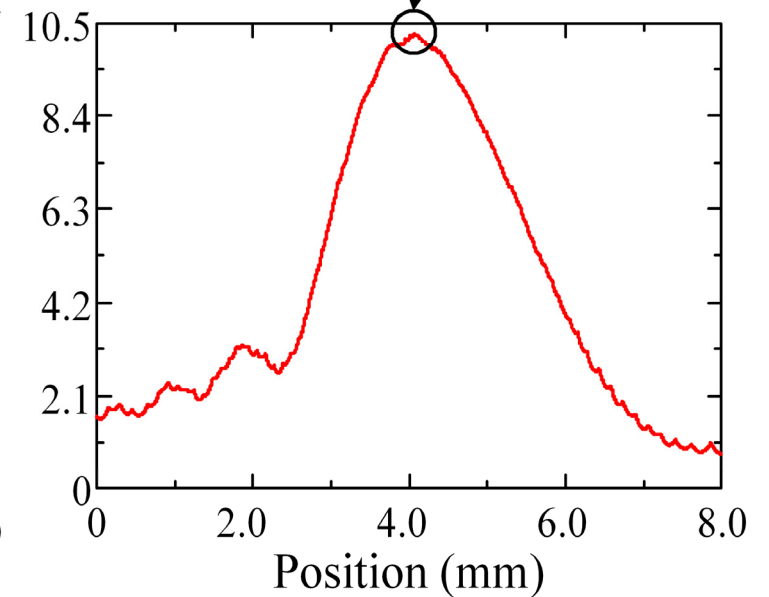


設計周波数 0.50 THz
自由空間波長 λ_0 0.60 mm

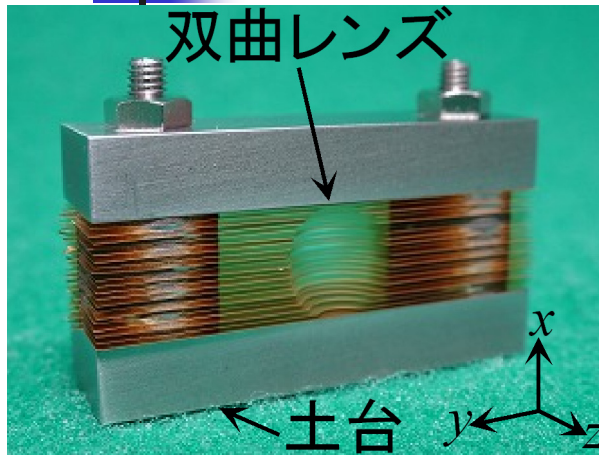
w	8.0 mm (13.3λ)	l	4.0 mm (6.7λ)
t	20 μ m (0.033λ)	h	7.42 mm (12.3λ)
d	0.35 mm (0.58λ)	21Plates	

Magnitude of Electric Field (V/m)

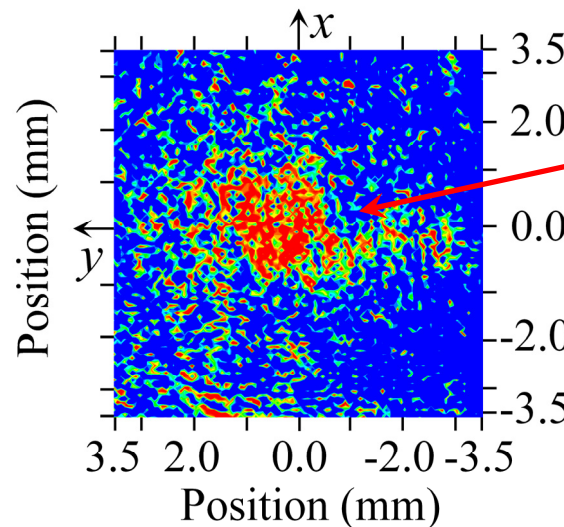
Local Maximum Value



③ 作製した凹レンズの実験結果



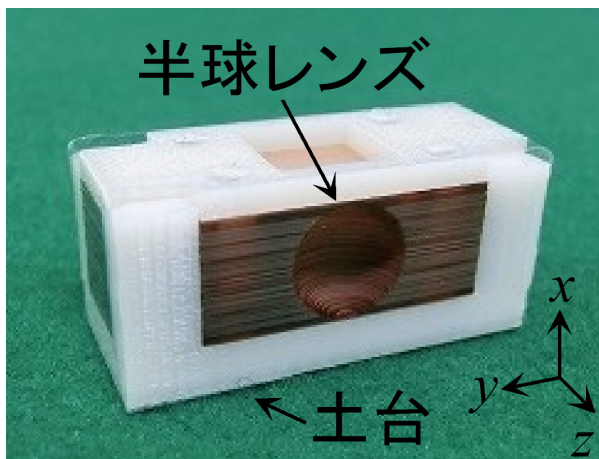
金属スリット中空構造



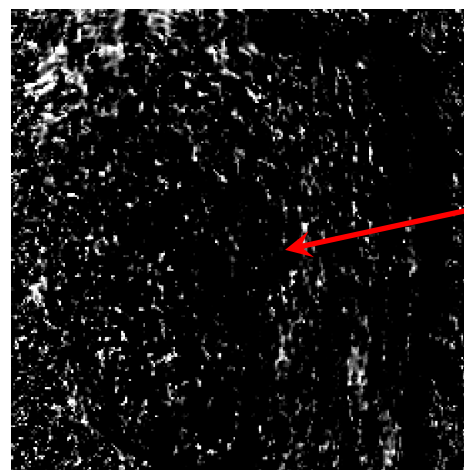
焦点距離での集光測定

z=4.0 mmでの集光
実効屈折率 0.51

設計周波数 0.50 THz
自由空間波長 λ_0 0.60 mm



スペーサとして
誘電体を用いた構造



焦点距離での集光測定

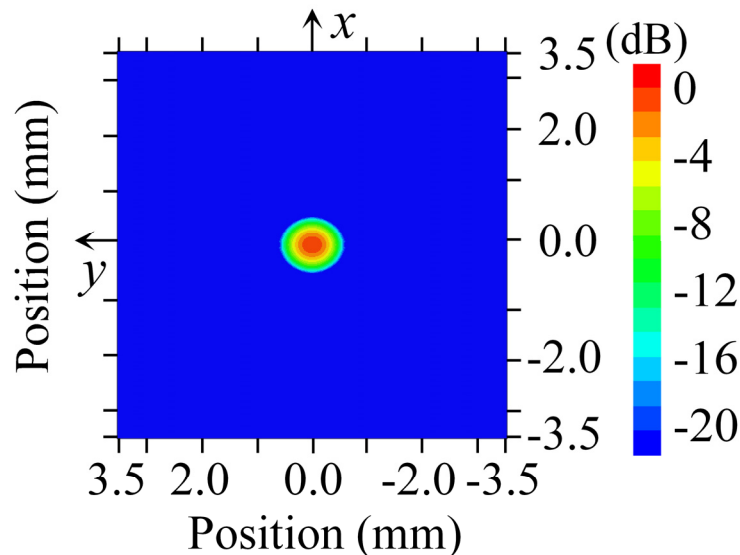
集光結果が
得られていない

黒 1倍
白 10倍

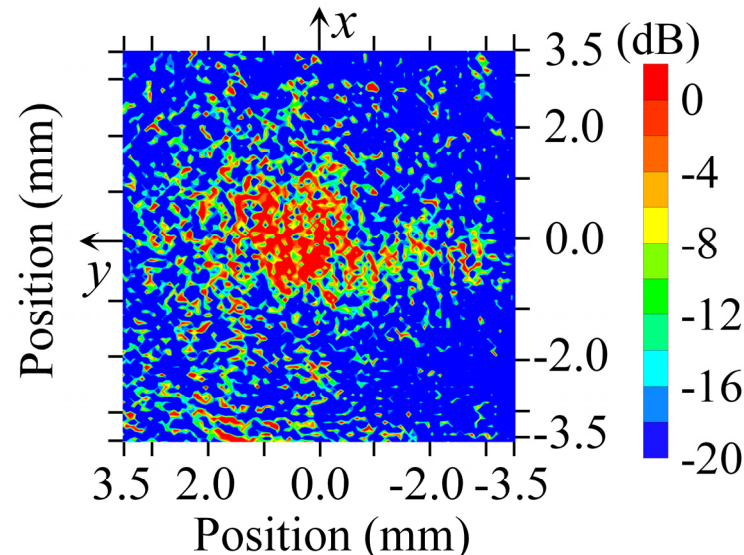
設計周波数 0.55 THz
自由空間波長 λ_0 0.55 mm



③ 解析・実験結果



0.5 THzでの全構造解析結果



0.5 THzでの実験結果



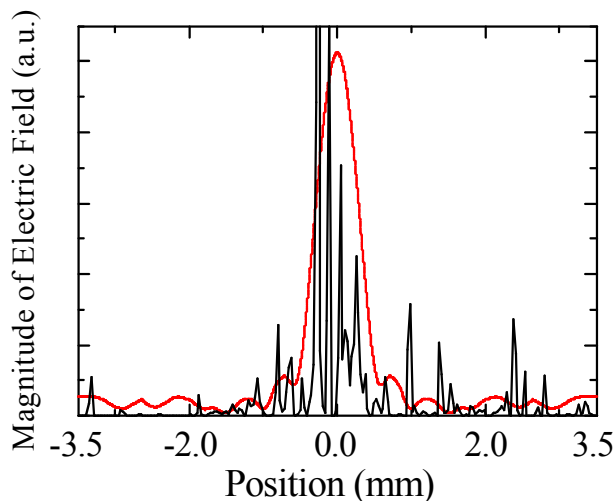
M1 木村君



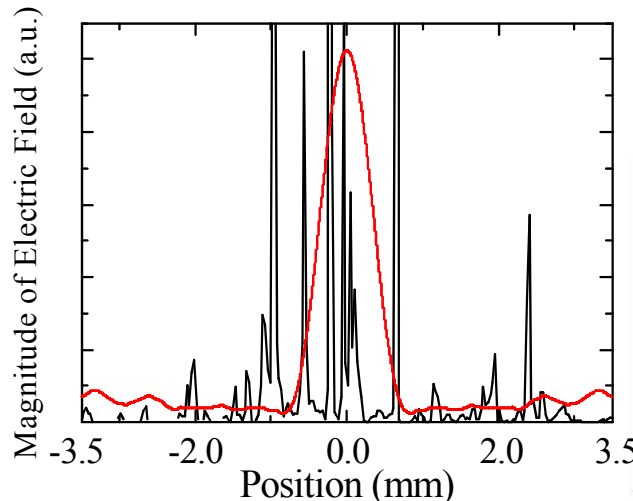
M1 富樫君



與那嶺君(卒業生)



— 解析結果 — 実験結果
x軸方向の電界強度



— 解析結果 — 実験結果
y軸方向の電界強度

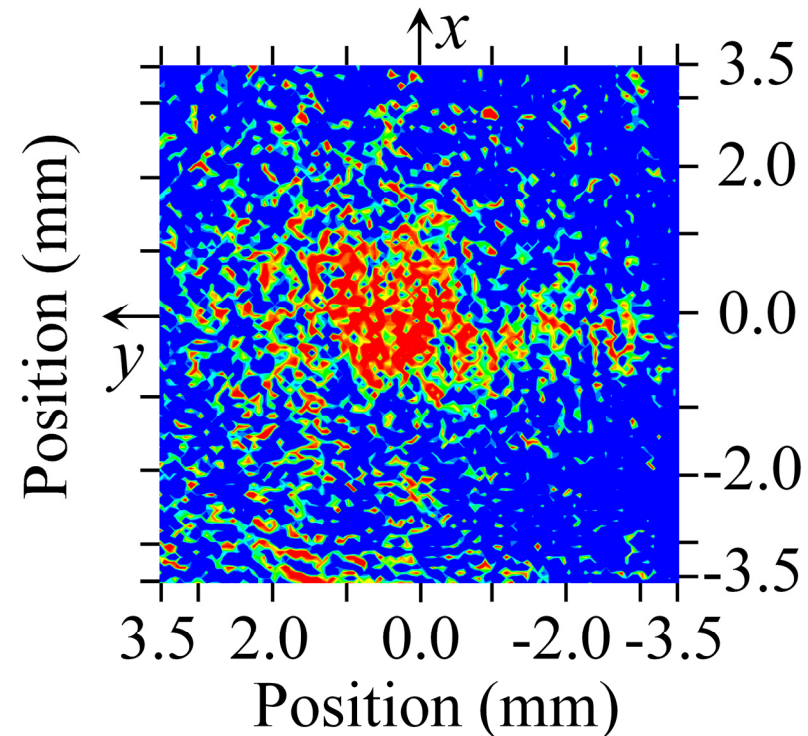
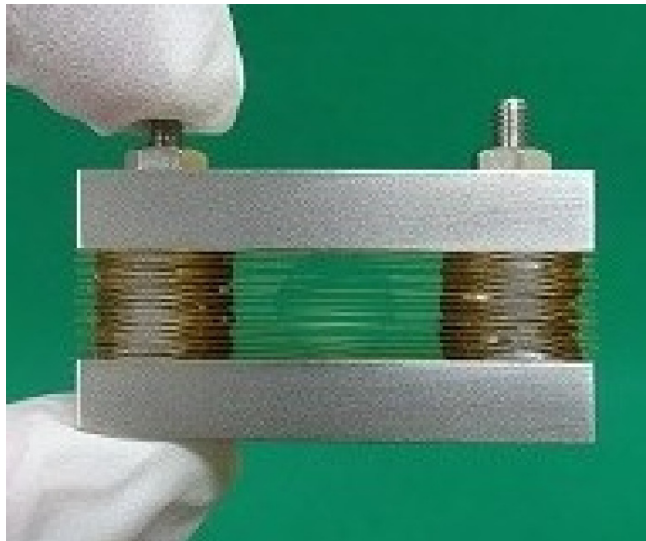


屈折率0.5
凹レンズ開発
茨城大
【水】茨城大学工学部電気工学科4年の木村辰也氏と富樫隆久氏、同工学部の鈴木健仁助教の研究グループは、テラヘルツ(テラ)1兆波帯で屈折率が1.0未満の0.5になる凹レンズを開発した(写真)。電磁波の電場と磁場の波が相互作用する自然の物質にはない「メタマテリアル」を使用。今後、速度制御や波長成形への応用が期待できる。開発したレンズは、金属0.5分の1の厚さは100万分の1の厚さに蒸着した200納メートル厚の金層を、3500納メートル厚のシリコン構造に約1センチ幅の構造を形成し、中心部はテラヘルツ波を集めやすくするために凹形状にした。過去にテラヘルツ波の当たる部分が平面の集光レンズでの研究はあったが、「屈折率1.0未満で3次元で飛ぶテラヘルツ波を3次元で集光する研究は初めて」(鈴木助教)として

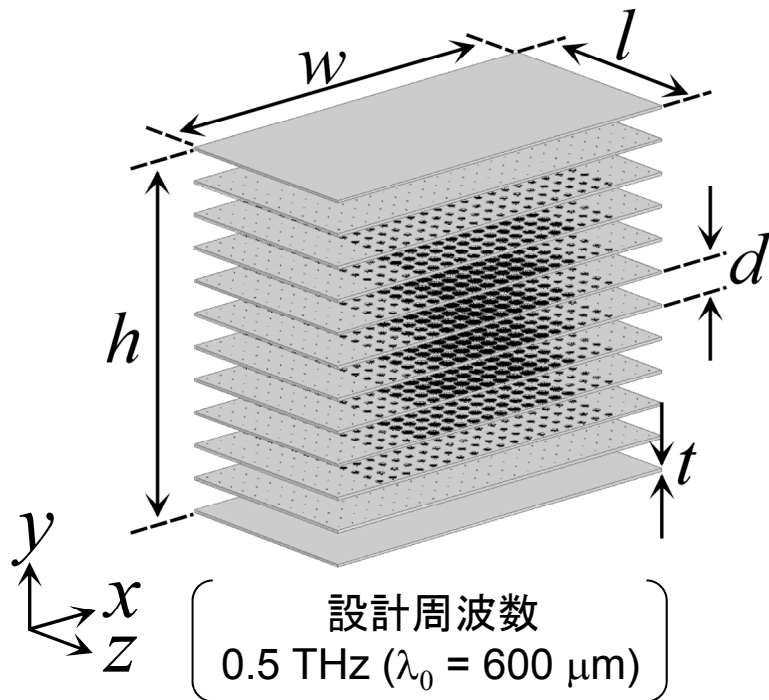
日刊工業新聞
2014年3月24日

③ まとめ

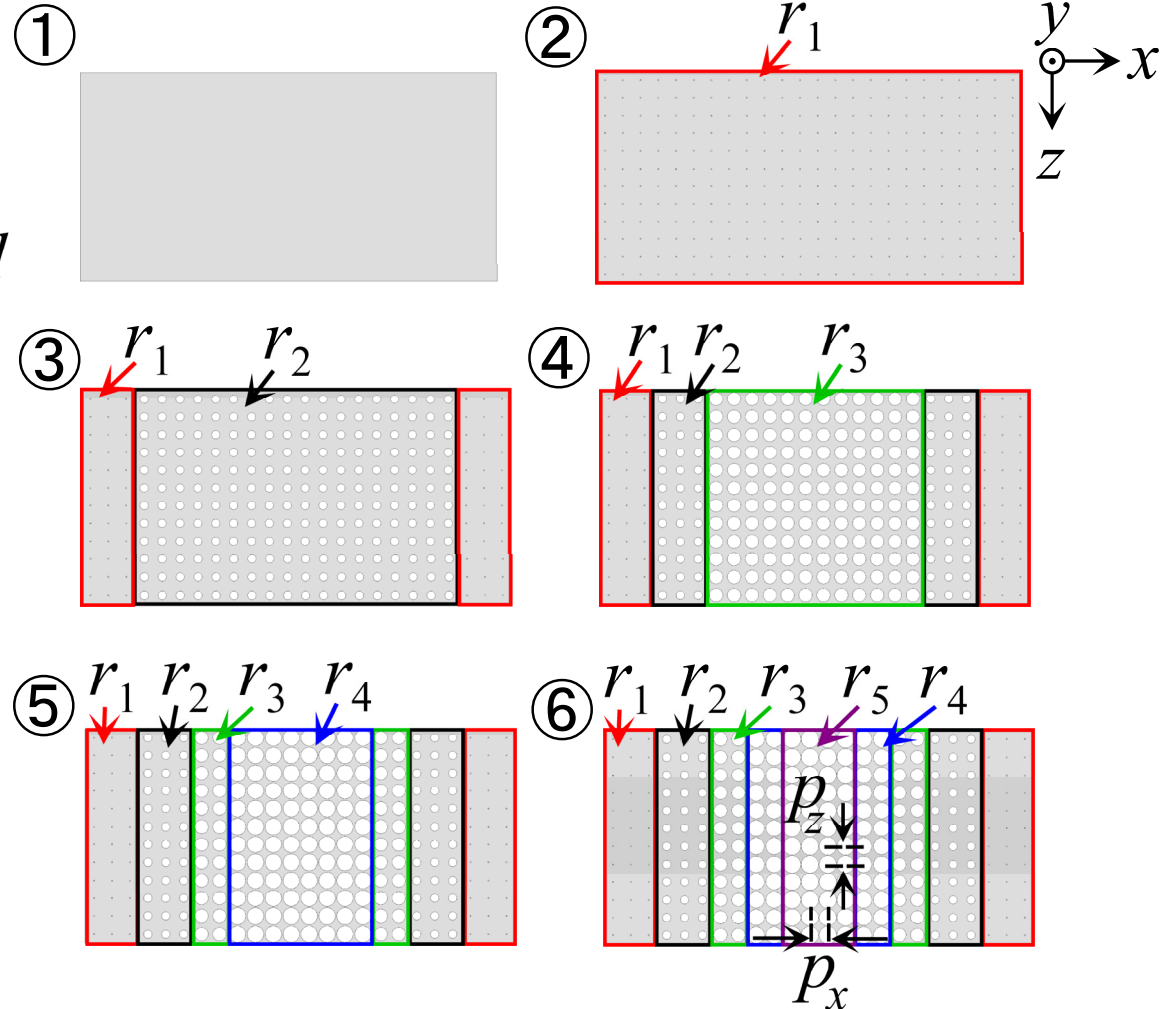
1. 全構造解析より屈折率0.52を有する凹レンズの設計・作製を行った。
2. テラヘルツイメージャーによりテラヘルツ波の集光を確認した。



③ 金属スリット構造2

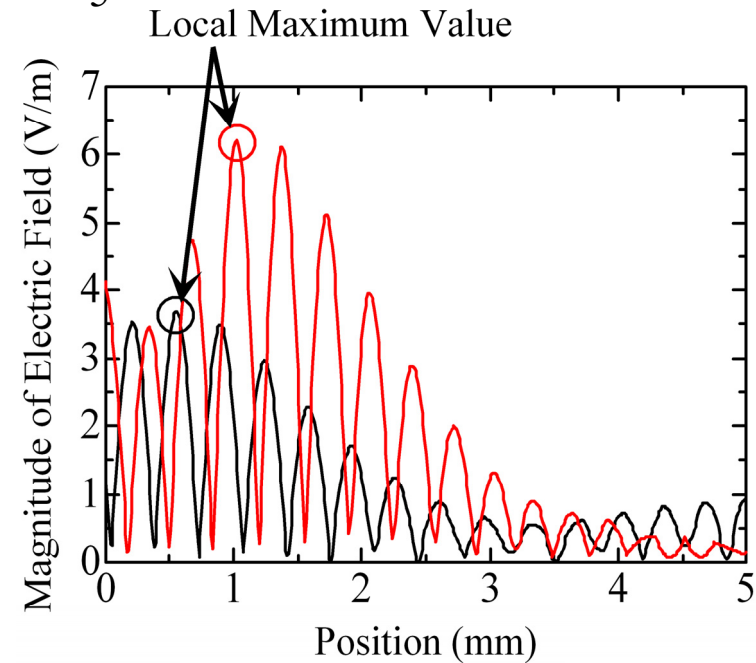
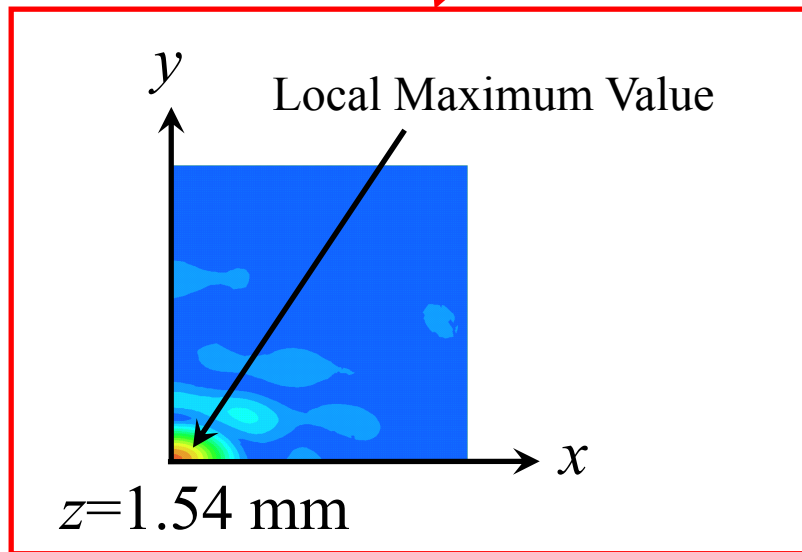
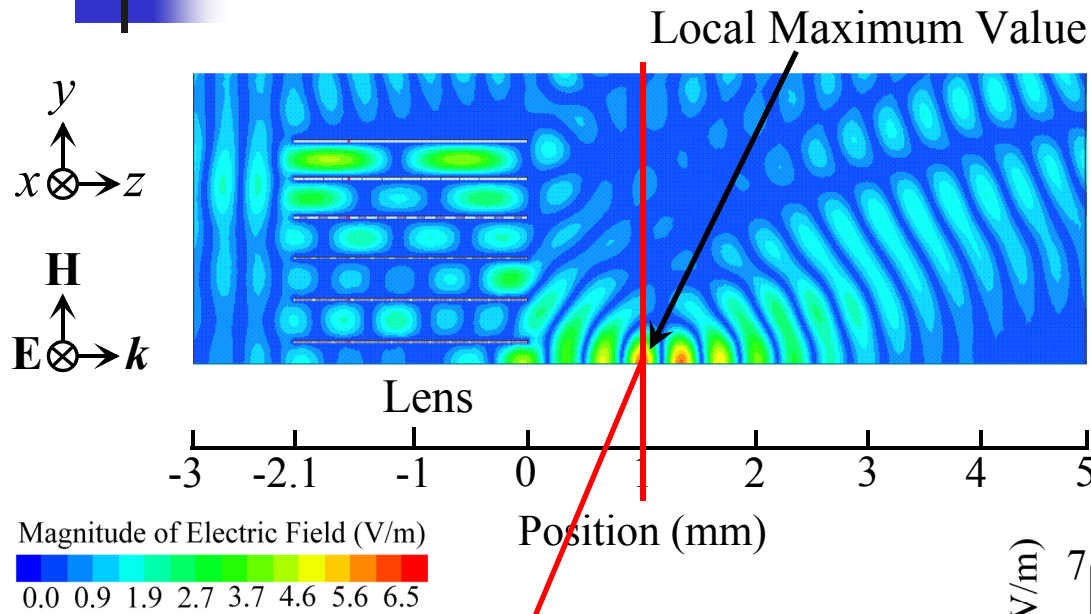


d 基準	310 μm ($0.52\lambda_0$)
w	4.2 mm ($7.0\lambda_0$)
l	2.1 mm ($3.5\lambda_0$)
t	30 μm ($0.05\lambda_0$)
h	3.77 mm ($6.3\lambda_0$)
金属スリット枚数	12 Plates
p_x	175 μm ($0.3\lambda_0$)
p_z	175 μm ($0.3\lambda_0$)



r_1	5.0 μm ($0.0083\lambda_0$)	r_4	80 μm ($0.13\lambda_0$)
r_2	40 μm ($0.067\lambda_0$)	r_5	85 μm ($0.14\lambda_0$)
r_3	65 μm ($0.11\lambda_0$)		

③ 金属スリット構造2



— 基準モデル — 層間隔変化

本発表の構成

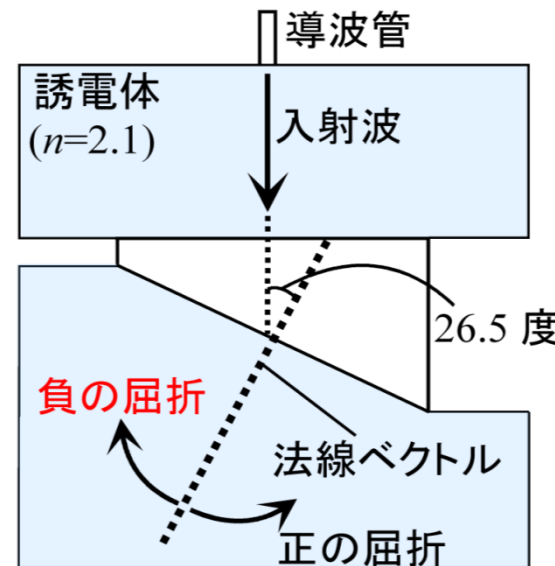
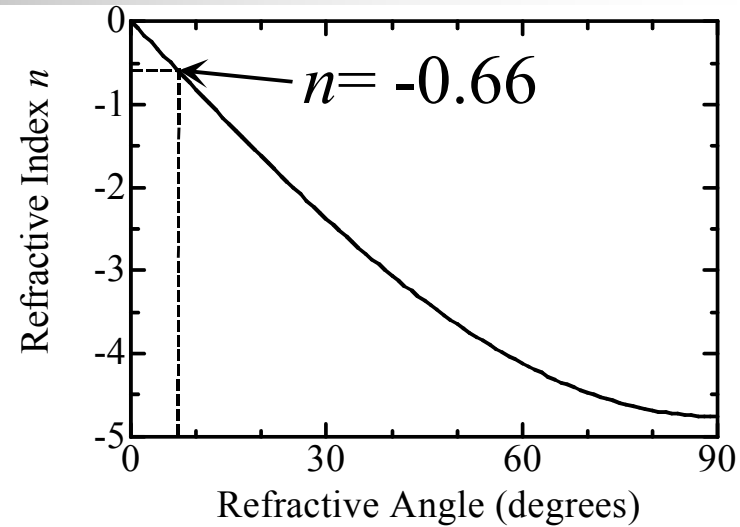
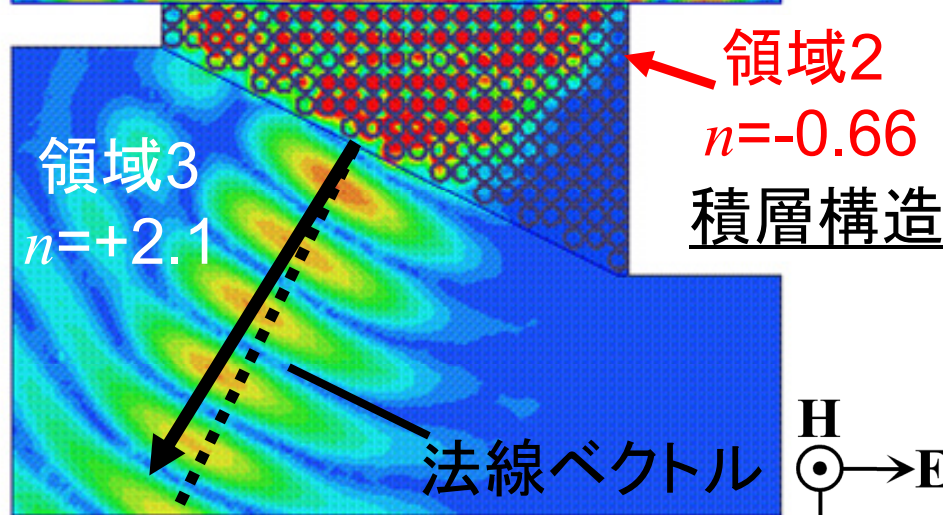
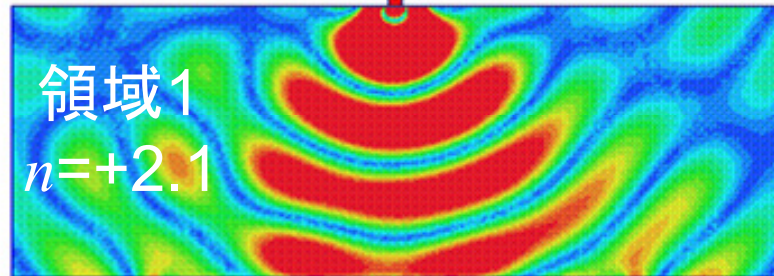


1. 背景・目的
2. テラヘルツ波帯電磁メタマテリアルレンズの
解析→設計→試作→測定
3. 各種光学素子
④ リング+金属スリット構造 ($n < 0$)
4. まとめ

④ 分割リング+金属スリット構造



屈折角:約8度 $f=0.55$ THz



M2 岸君

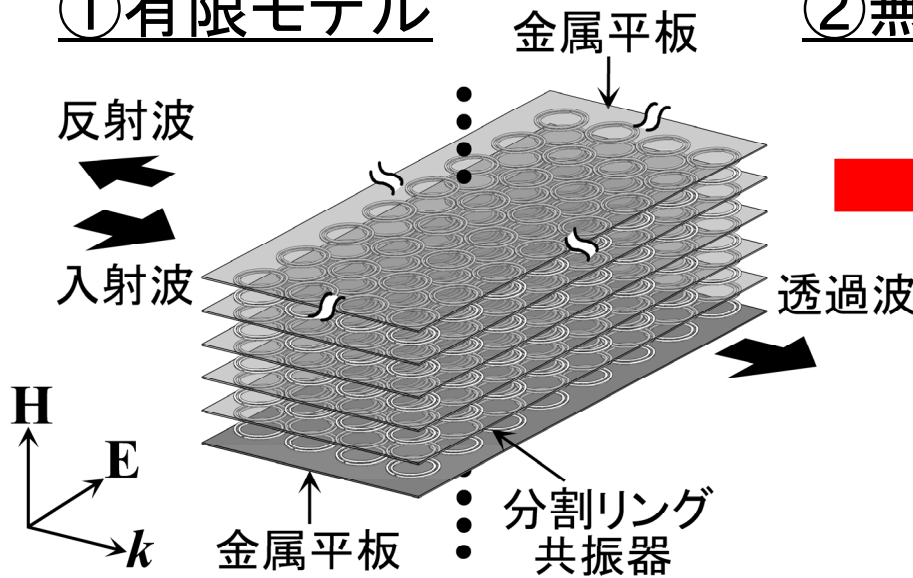
先行研究
 導波管構造 [1] R. Marques, et al., Phys. Rev. Lett., vol. 90, no. 18, pp. 183901-1-183901-4, Oct. 2002.
 誘電体共振器 [2] T. Ueda, et al., IEICE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 55, no. 6, pp. 1280-1287, June 2007.

金属スリット構造単体
 → 10^{-6} 以下の高消光比ワイヤーグリッド

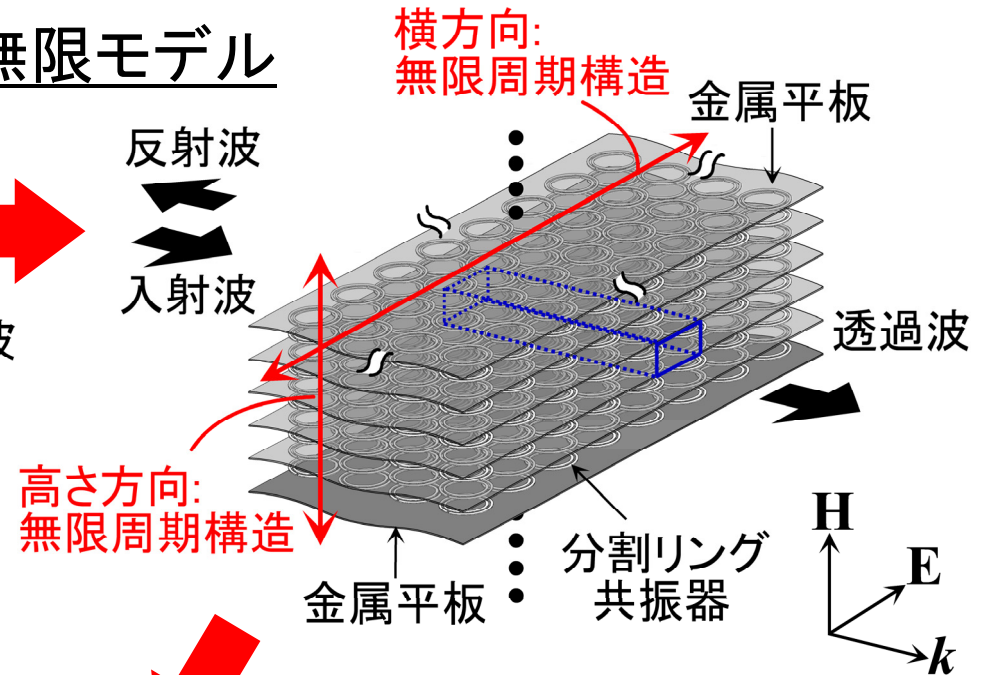
④ 分割リング+金属スリット構造



①有限モデル

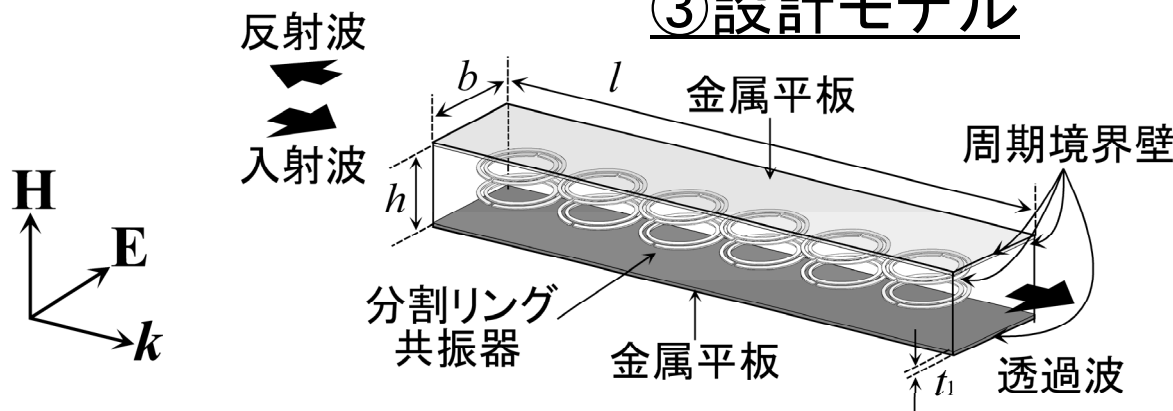


②無限モデル



λ に対して大規模モデル

③設計モデル



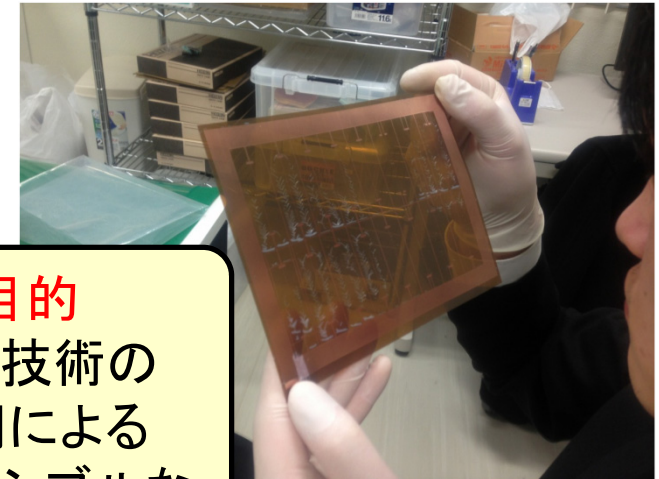
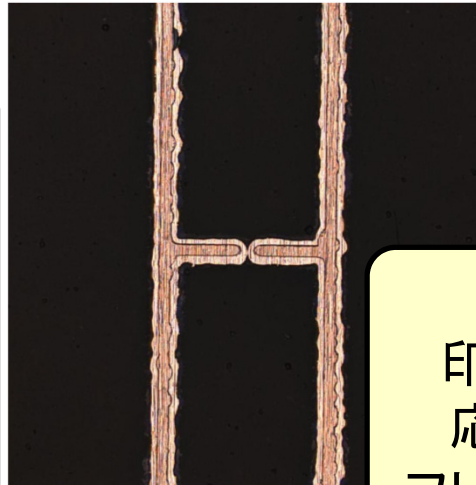
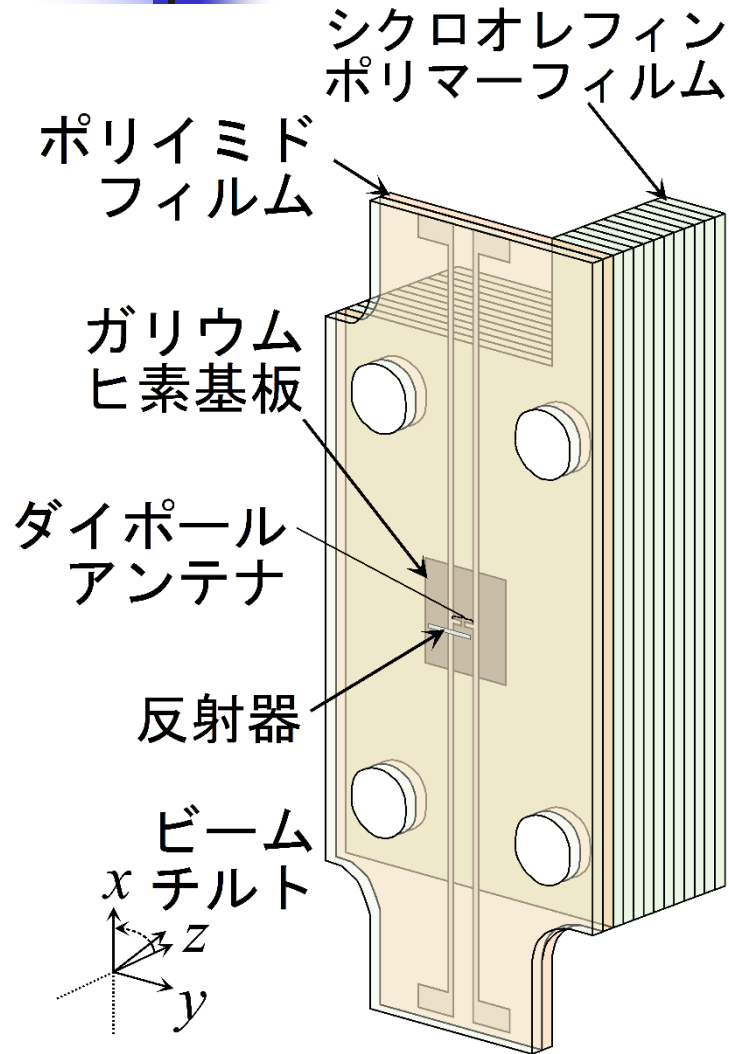
l	464 μm
b	74 μm
h	151 μm
t_1	0.25 μm

本発表の構成



1. 背景・目的
2. テラヘルツ波帯電磁メタマテリアルレンズの
解析→設計→試作→測定
3. 各種光学素子
⑤ テラヘルツ波帯アンテナ
4. まとめ

⑥ テラヘルツ波帯アンテナ



目的
印刷技術の
応用による
フレキシブルな
アンテナの開発



入江君
(現・茨城県庁)

パターンめっき・転写法
(日立化成株式会社)

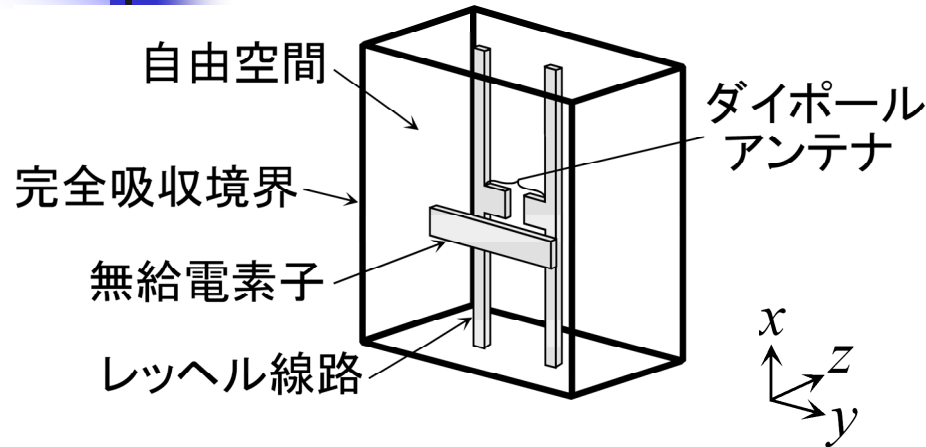
- ・安価に作製
- ・高価な低温成長ヒ素化ガリウム基板の再利用の検討

初回の作製で
現在ギャップ部が通電

➡ 今後検討を進め改善

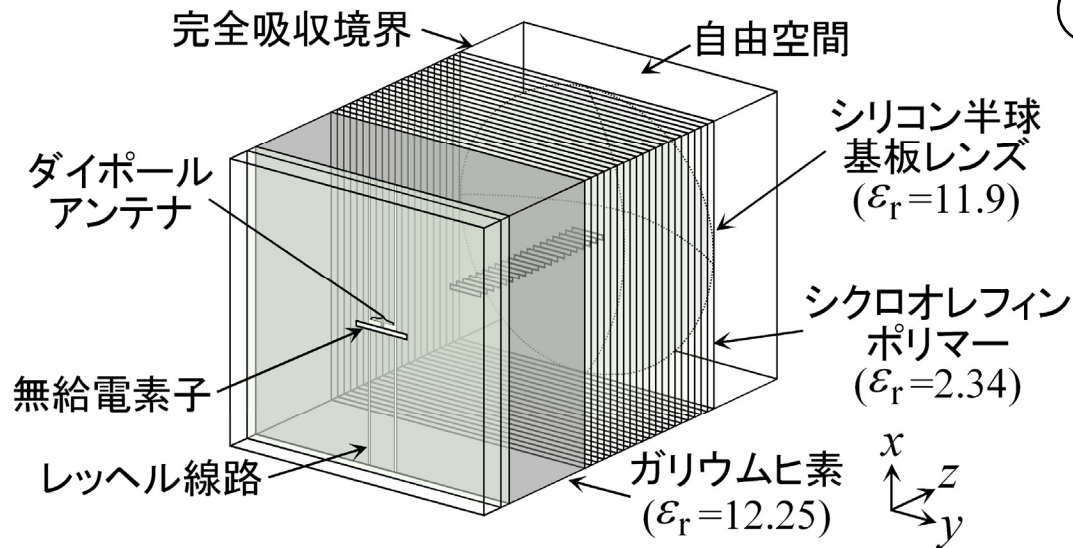
積層薄フィルム構造による
八木・宇田型光伝導アレーアンテナ

⑥ テラヘルツ波帯アンテナ



① 屈折率一様設計

- ・自由空間で解析
- ・屈折率で一様に規格化
→初期パラメータを導出



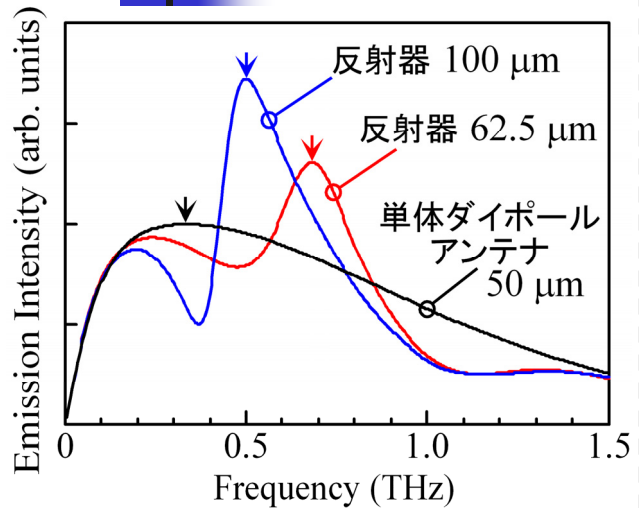
② 全構造精密解析

- ・屈折率を考慮して解析

$$\lambda' = \frac{\lambda}{n}$$

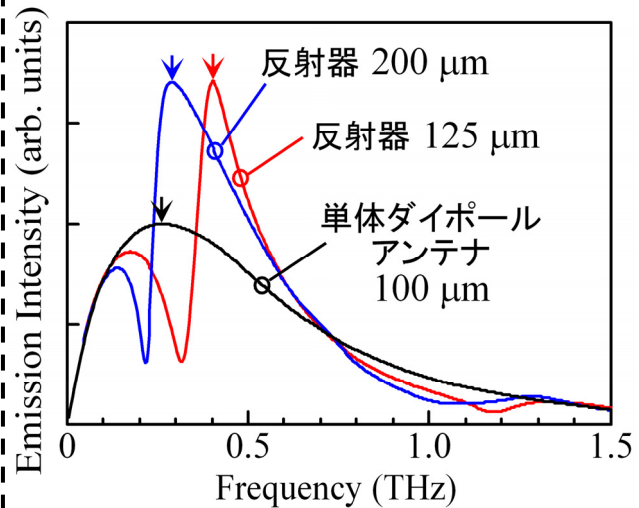
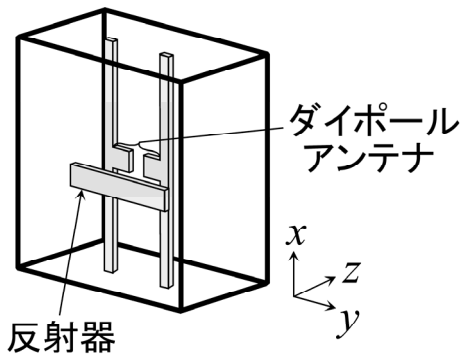
- 繰り返し補正
- 設計パラメータを導出

⑥ 反射器のみ



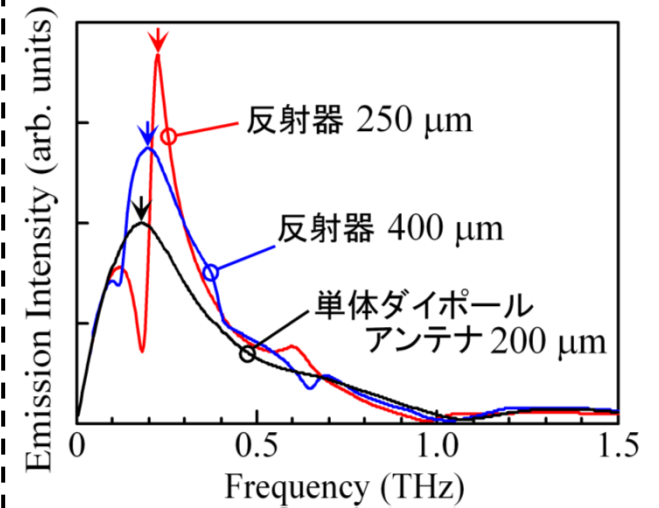
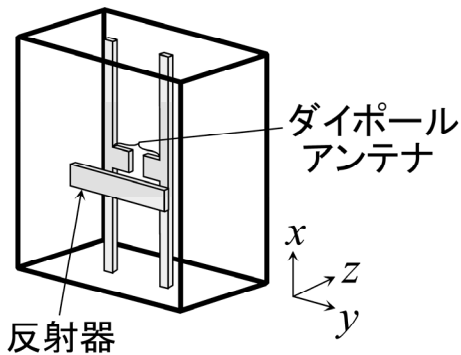
反射器 100 μm, 62.5 μm
0.50 THz, 0.68 THz

単体ダイポールアンテナ
0.33 THz



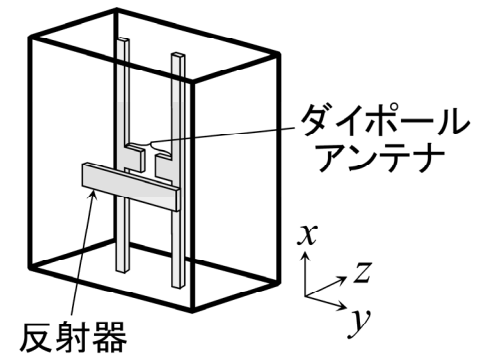
反射器 200 μm, 125 μm
0.29 THz, 0.40 THz

単体ダイポールアンテナ
0.26 THz

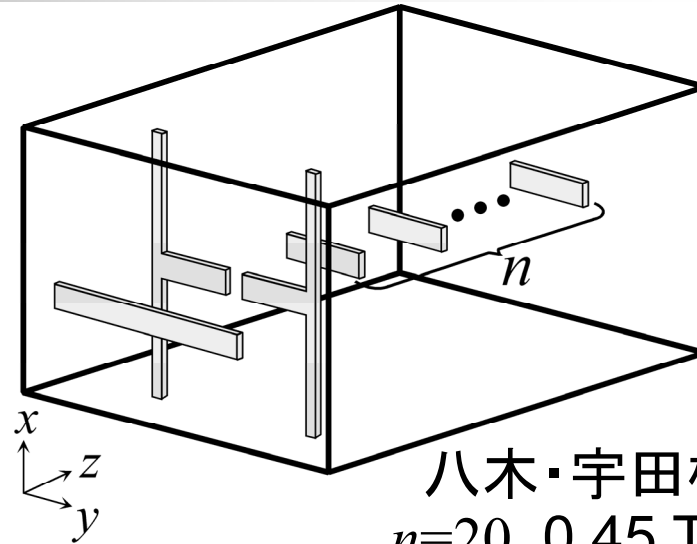
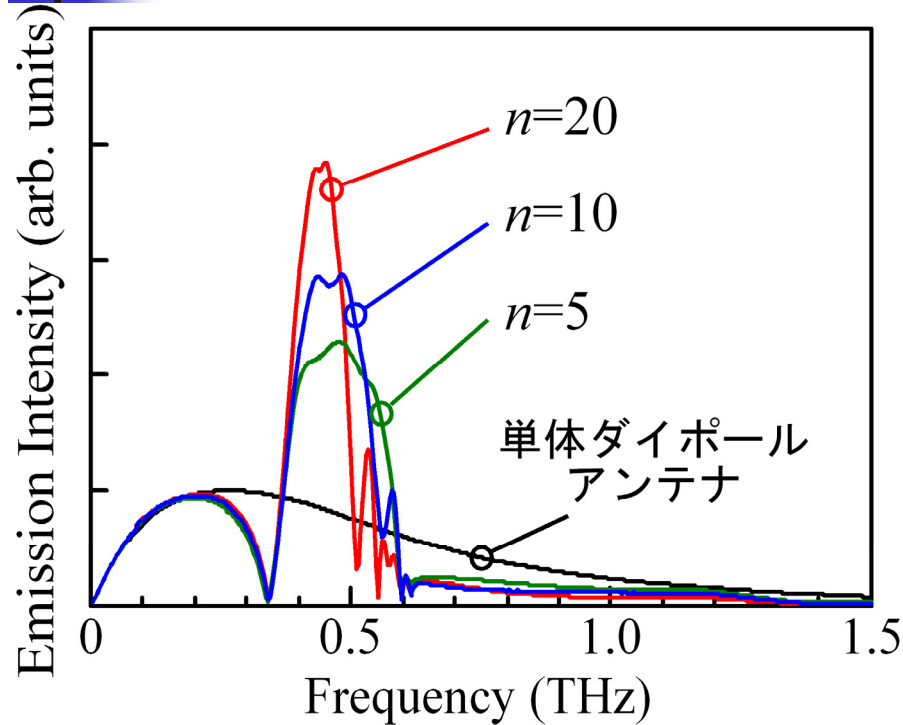


反射器 400 μm, 250 μm
0.20 THz, 0.22 THz

単体ダイポールアンテナ
0.18 THz



⑥ 八木・宇田構造1

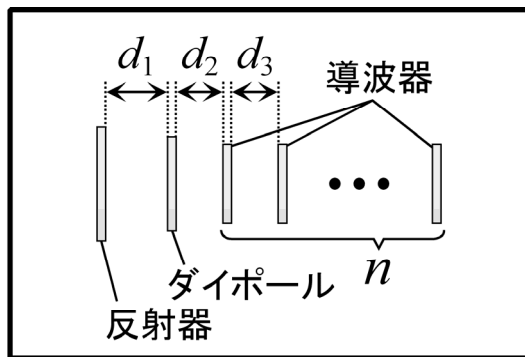


八木・宇田構造

$n=20$ 0.45 THz

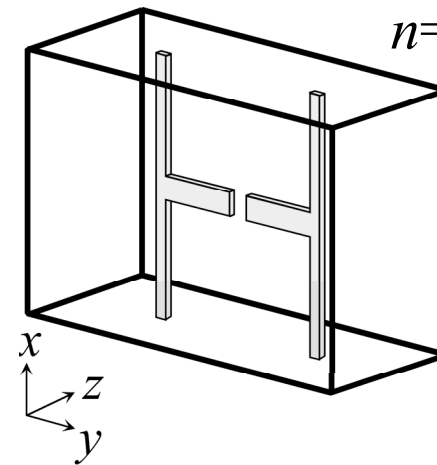
$n=10$ 0.49 THz

$n=5$ 0.48 THz



d_1	40 μm
d_2	38.5 μm
d_3	38.5 μm

八木・宇田構造の上面図



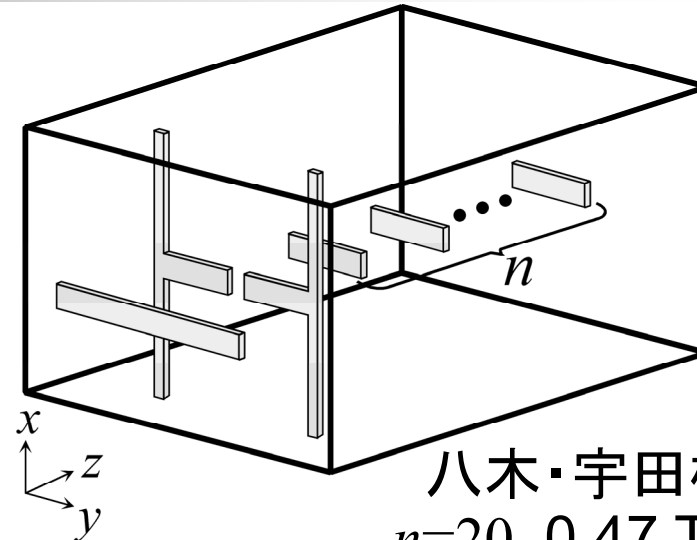
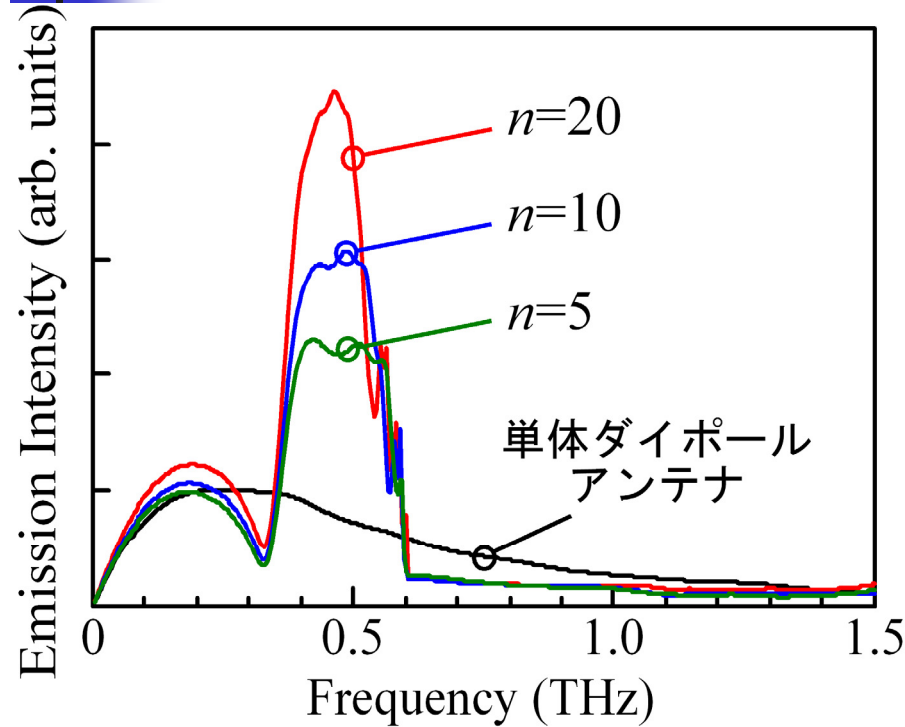
単体構造

0.26 THz

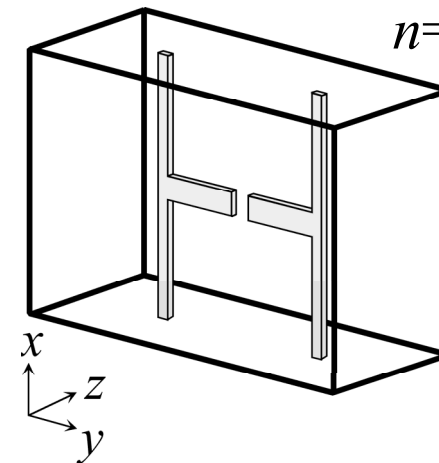


M1 大内君

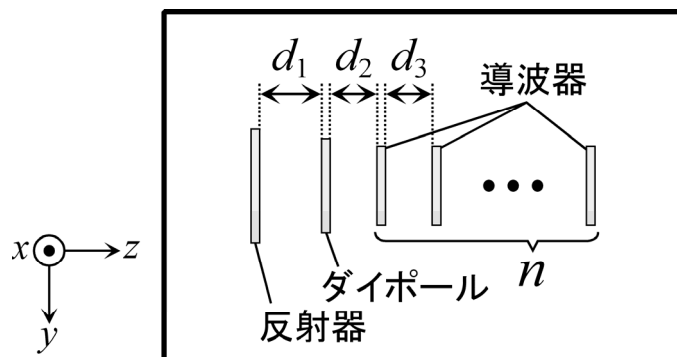
⑥ 八木・宇田構造2



八木・宇田構造
 $n=20$ 0.47 THz
 $n=10$ 0.49 THz
 $n=5$ 0.42 THz



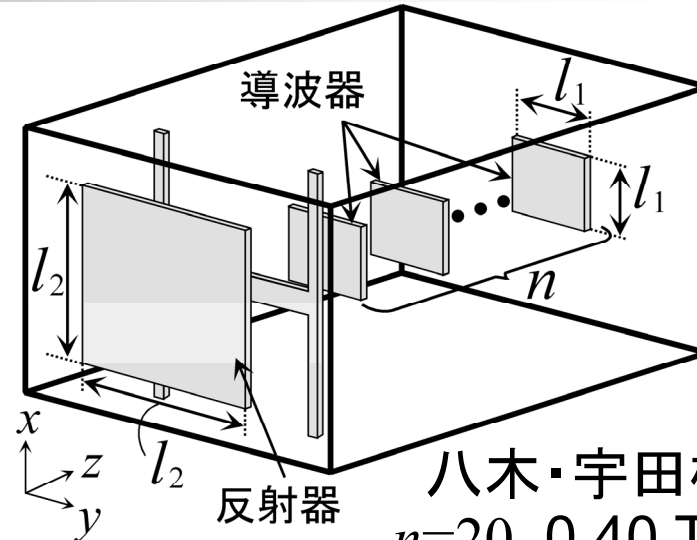
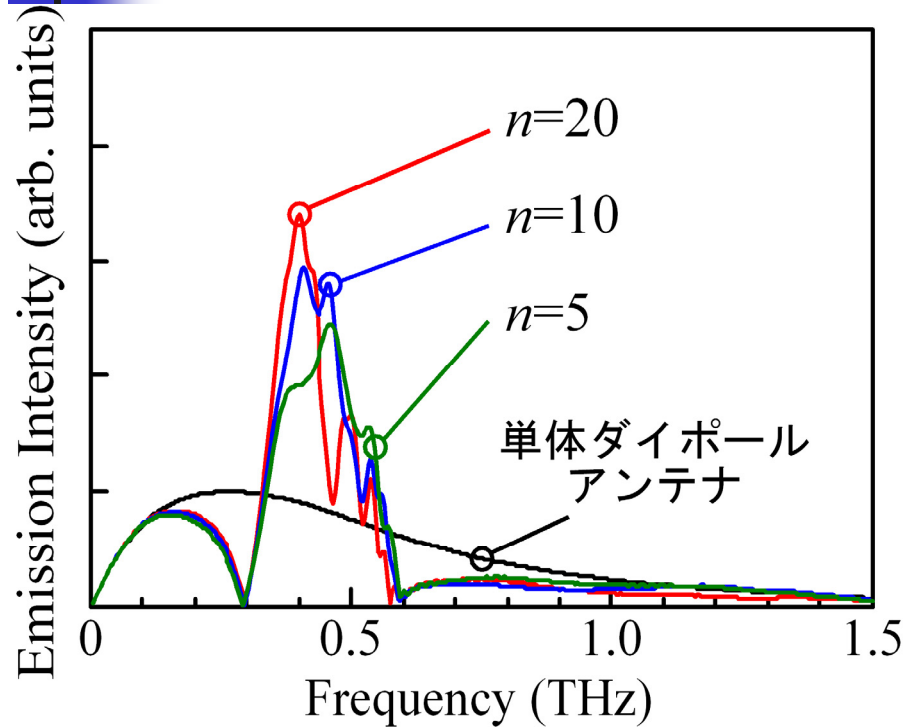
単体構造
0.23 THz



d_1	50 μm
d_2	50 μm
d_3	50 μm

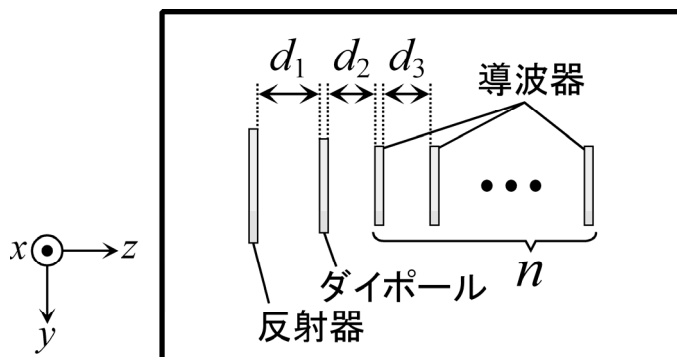
八木・宇田構造の上面図

⑥ 八木・宇田構造3(ずれを考慮)

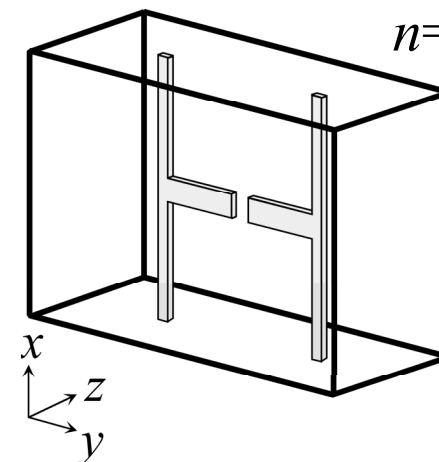


八木・宇田構造

$n=20$	<u>0.40 THz</u>
$n=10$	<u>0.41 THz</u>
$n=5$	<u>0.46 THz</u>



d_1	40 μm
d_2	38.5 μm
d_3	38.5 μm



単体構造
0.26 THz

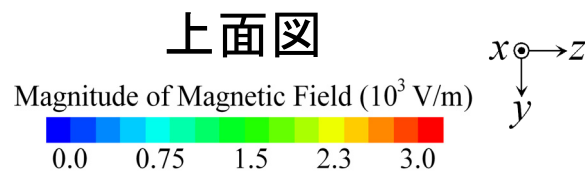
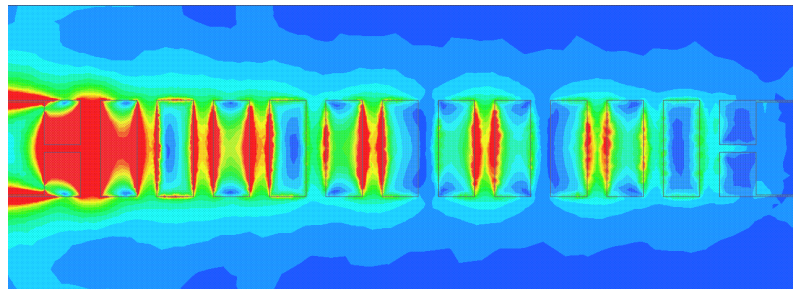
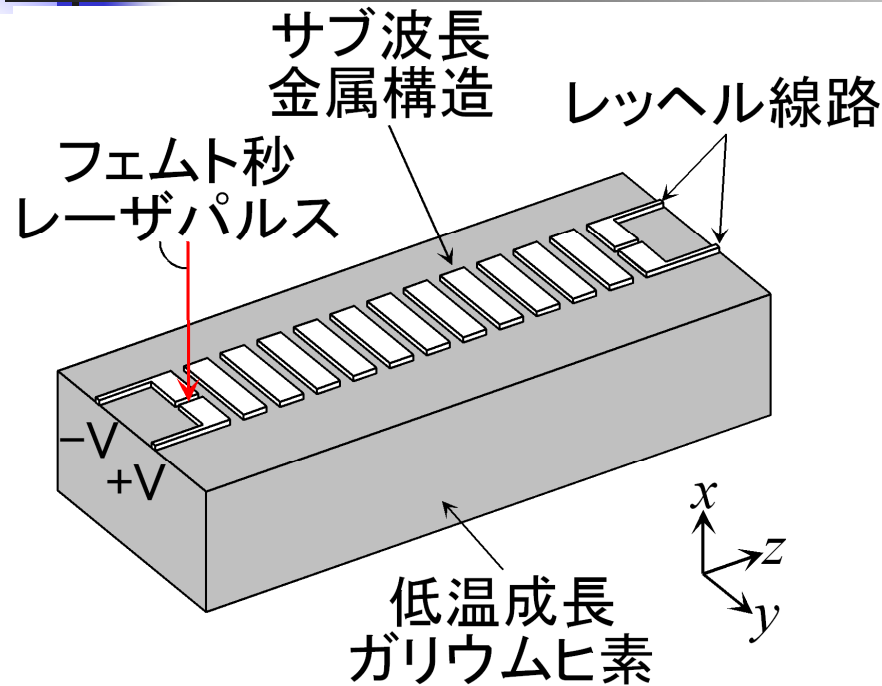
八木・宇田構造の上面図

本発表の構成



1. 背景・目的
2. テラヘルツ波帯電磁メタマテリアルレンズの
解析→設計→試作→測定
3. 各種光学素子
⑥ テラヘルツ波伝送線路
4. まとめ

⑦ テラヘルツ波伝送線路



目的

- ・サブ波長金属構造によるテラヘルツ擬似表面プラズモンポラリトン(表面波)を用いた伝送線路の設計
- ・超微細インクジェット工法による準3次元空間への構造の拡張

将来的なテラヘルツ波帯でのオンチップ回路への応用

テラヘルツ波帯
100 GHz ~ 1 THz ~ 10 THz
(3 mm) (300 μ m) (30 μ m)

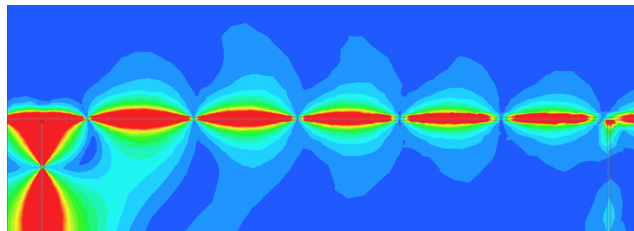
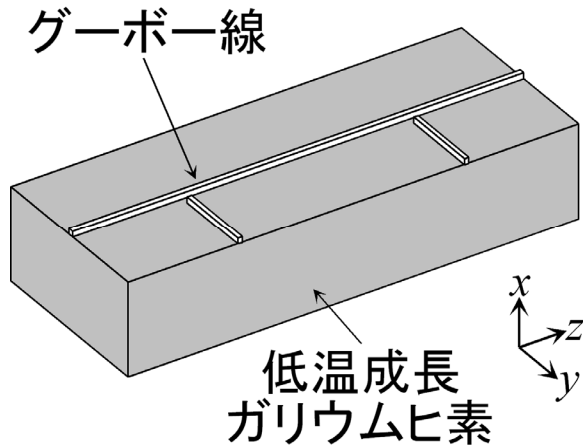


M1 古謝君

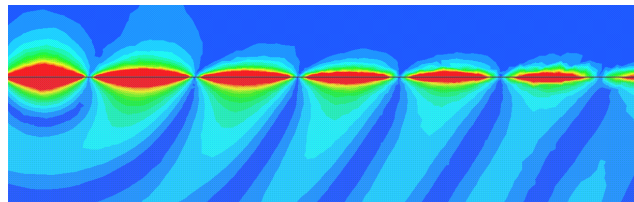
⑦ 擬似表面プラズモンポラリトン



① 基板Aを使用



上面図

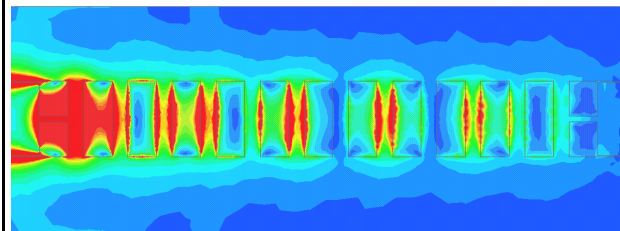
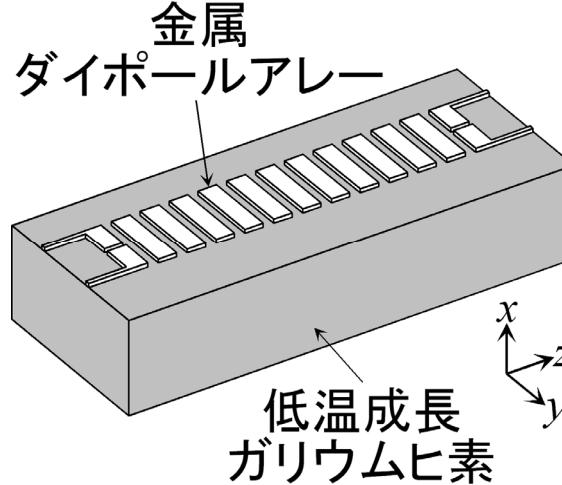


断面図

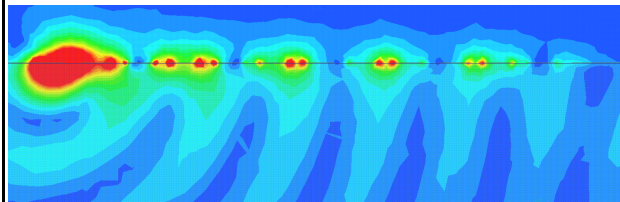
Magnitude of Electric Field (10^5 V/m)



② 基板Bを使用



上面図

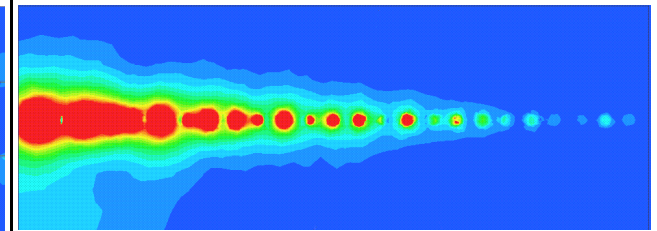
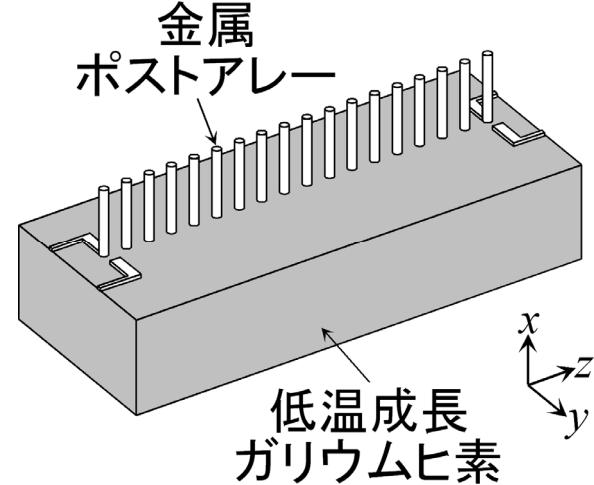


断面図

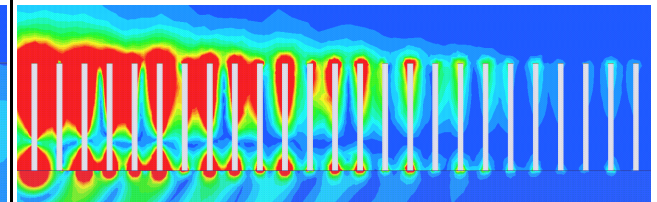
Magnitude of Magnetic Field (10^3 V/m)



③ 基板Bを使用



上面図



断面図

Magnitude of Electric Field (10^5 V/m)



本発表の構成

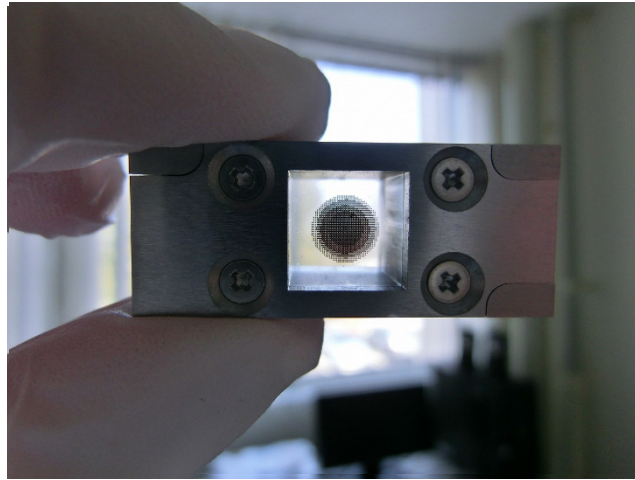


1. 背景・目的
2. テラヘルツ波帯電磁メタマテリアルレンズの
解析→設計→試作→測定
3. 各種光学素子
まとめ
4. まとめ

①～④ テラヘルツメタマテリアル

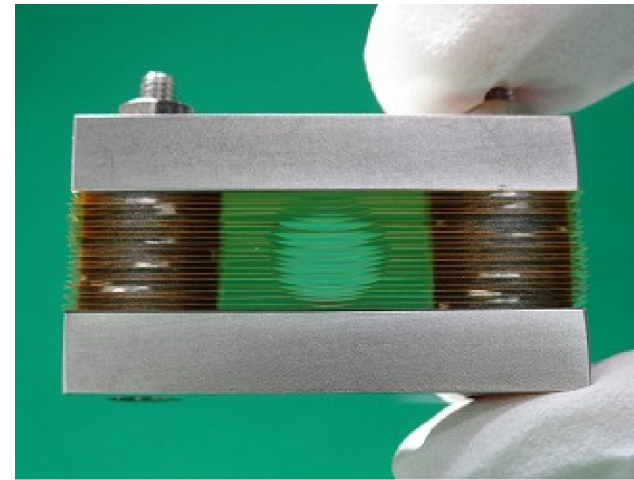
①

金属方形
チップ
周期構造
 $n > 1$



③

金属
スリット
構造
 $0 < n < 1$



積層薄フィルム(板)構造

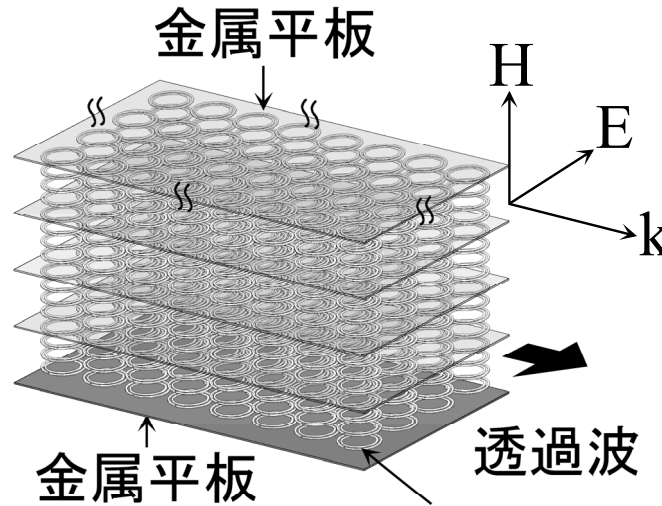
②

金属
斜め板・
溝周期
構造
 $n > 1$



金属平板

反射波
入射波

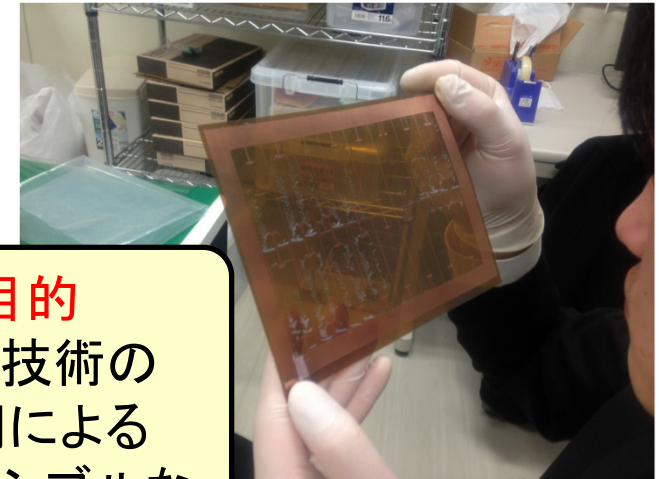
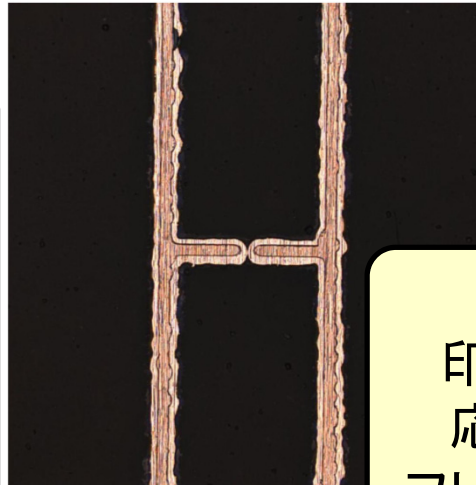
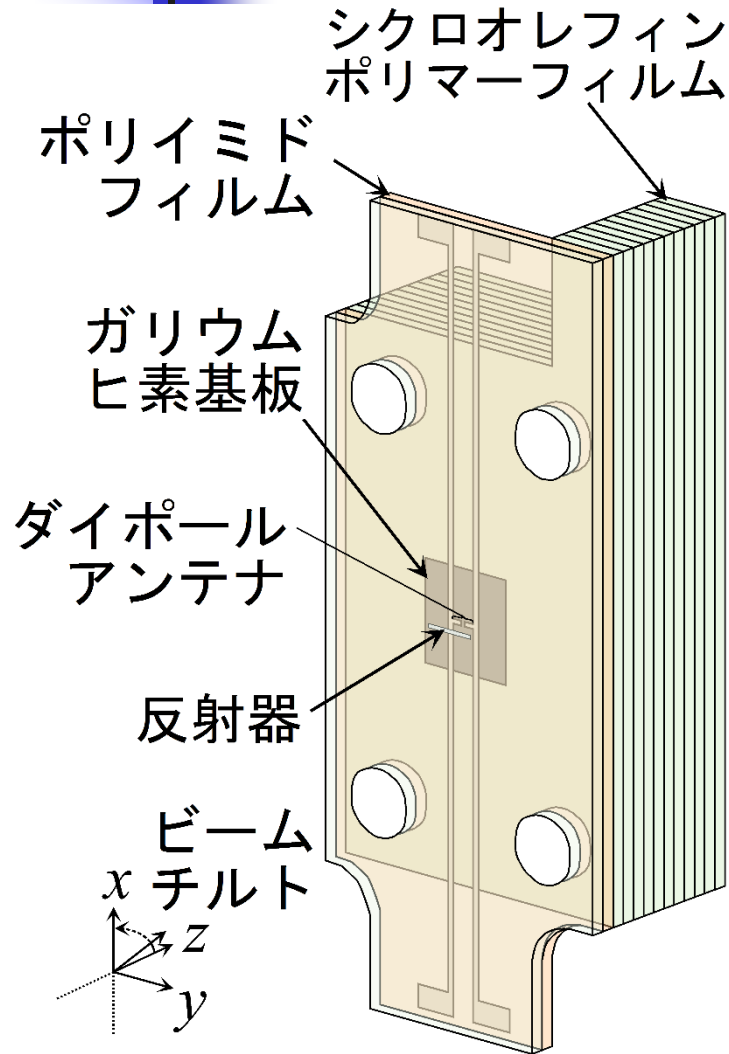


④

リング
+金属
スリット
構造
 $n < 0$

スプリットリング
共振器

⑤ テラヘルツ波帯アンテナ



目的
印刷技術の
応用による
フレキシブルな
アンテナの開発

パターンめっき・転写法
(日立化成株式会社)

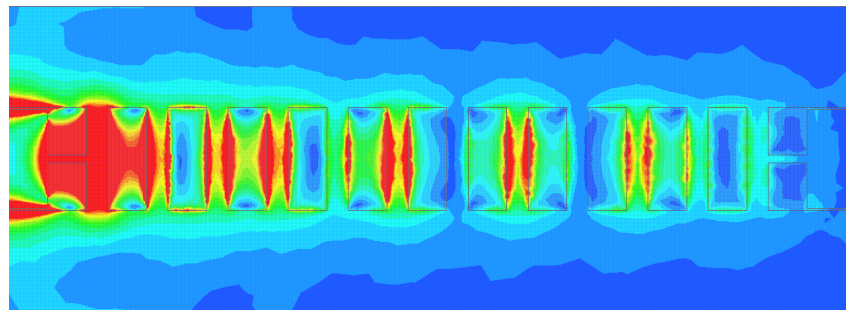
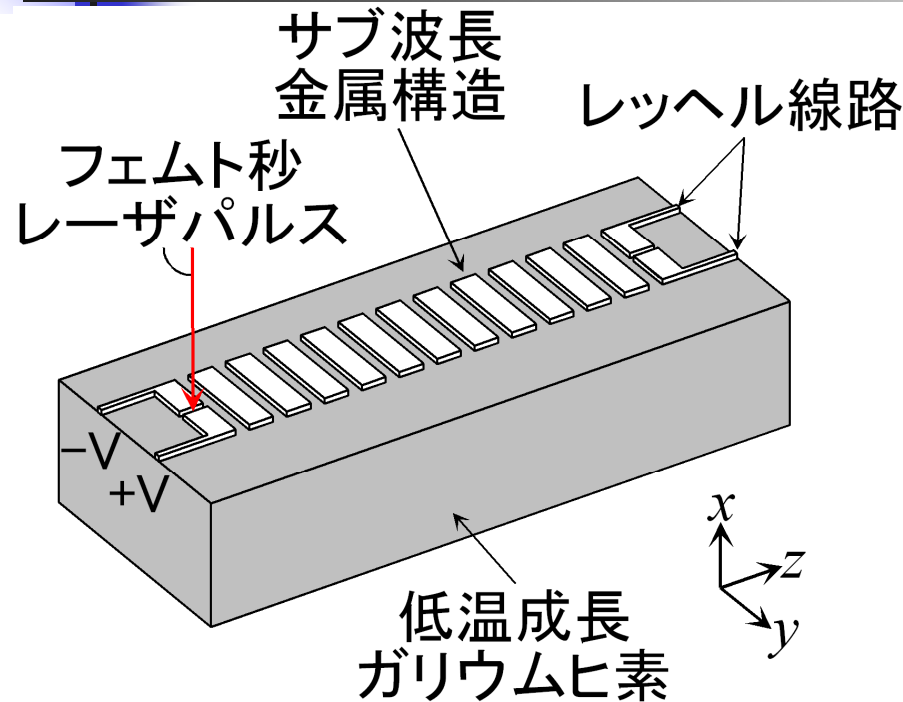
- ・安価に作製
- ・高価な低温成長ヒ素化ガリウム基板の再利用の検討

初回の作製で
現在ギャップ部が通電

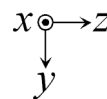
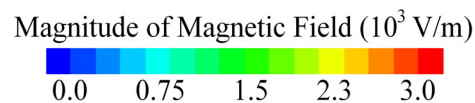
➡ 今後検討を進め改善

積層薄フィルム構造による
八木・宇田型光伝導アレーアンテナ

⑥ テラヘルツ波伝送線路



上面図



目的

- ・サブ波長金属構造によるテラヘルツ擬似表面プラズモンポラリトン(表面波)を用いた伝送線路の設計
- ・超微細インクジェット工法による準3次元空間への構造の拡張

将来的なテラヘルツ波帯でのオンチップ回路への応用

テラヘルツ波帯
 100 GHz ~ 1 THz ~ 10 THz
 (3 mm) (300 μm) (30 μm)



謝辞

本研究の一部は、総務省SCOPE(122103011)の委託を受けたものです。本研究を大きく推進してくれました入江克成氏(学部・修士修了 現・茨城県庁)、今野拓矢氏(学部・修士修了 現・日立オートモティブシステムズ株式会社)、與那嶺 広樹氏(学部卒業 現・株式会社協和エクシオ)、研究室の学生、スタッフの方々に深く感謝いたします。

また以下の共同研究者の皆様、日頃より貴重なアドバイスを頂いている皆様に深く感謝申し上げます。

萩行正憲教授(大阪大)、高野恵介博士(大阪大)、北原英明博士(大阪大)、谷正彦教授(福井大)、山本晃司准教授(福井大)、永井正也准教授(大阪大)、Withawat Withayachumnankul 博士(アデレード大)、御田護博士(株式会社M&M研究所)、舘野貴一様、滝田隆夫様、稲田禎一博士(左記 3 名 日立化成株式会社)、直之進様、John C. Young博士(ケンタッキー大)、広川二郎准教授(東工大)、安藤真教授(東工大)

ご清聴ありがとうございました。

