

次世代通信技術に向けて



・フィジカル空間とサイバー空間を融合させた高度なデジタル社会の実現に向け、高速・大容量・低遅延・多数同時接続・低消費電力・セキュアな次世代の通信技術が期待されている。
 ・未開拓な高周波帯のテラヘルツ電磁波の利用が求められているが、この電磁波領域は無線技術と光技術の谷間で“テラヘルツギャップ”と呼ばれ、高効率光源、指向性制御、検出素子、増幅回路、材料評価法などに多くの課題がある。
 ・特にテラヘルツ電磁波は、電磁波の回り込みが少なく、一方で大気への吸収が多く、遠距離伝搬が困難である。

[a] “無線・光融合基盤技術の研究開発～次世代通信技術の高度化に向けて～” JST CRDS 戦略プロポーザル, Mar. 2022. 研究代表者も戦略プロポーザルに参画

本創発的研究の目的

本研究では、研究代表者が独自に発見した高屈折率で無反射な人工構造材料を深化し、6G通信のさらに次の世代の7G通信まで視野に入れたテラヘルツ電磁波領域(0.3~3THz帯)の光源と融合し、未来社会を担う次世代通信技術に必要な超高効率なテラヘルツデバイスの開拓に挑戦する。
 設計理論の確立、作製法の体系化、実験による証明を通して、独自に生み出した材料をテラヘルツデバイスへ応用した際の学理を確立する。

独自の人工構造材料の構造と動作原理

正方形金属パッチの1辺の長さ l 、メタアトム、誘電体膜、隣との間隔 s 、透過波、入射波、反射波、無偏光・高屈折率・低反射なメタサーフェス

電界成分・誘電性の共振 → 比誘電率 ϵ_r を制御
 磁界成分・磁性の共振 → 比透磁率 μ_r を制御

比誘電率 ϵ_r と比透磁率 μ_r の両方を高い値かつ同値に制御することで高屈折率・無反射な材料特性を実現でき、極限屈折率材料を生み出せる。

実効屈折率 $n_{\text{eff}} = \sqrt{\mu_r \times \epsilon_r} \rightarrow$ 高
 反射率 $R \rightarrow 0$
 (比インピーダンス $Z_r = \sqrt{\mu_r / \epsilon_r} \rightarrow 1$)

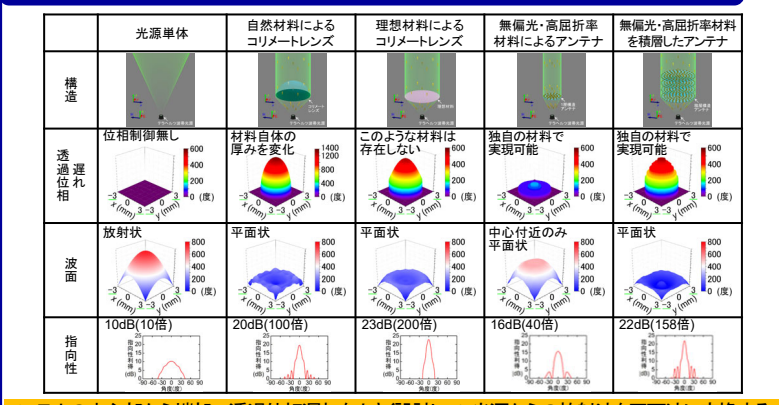
・K. Ishihara and T. Suzuki, J. Infrared Millim. Terahertz Waves 38(9), 1130-1139 (2017).
 ・H. Asada, K. Endo, and T. Suzuki, Opt. Express 29(10), 14513-14524 (2021).
 ・K. Sato and T. Suzuki, Nanophotonics 12(13), 2537-2544 (2023).

独自の人工構造材料

周波数	0.31THz	2.97THz	0.31THz	1.2THz	0.83THz	0.52THz
高屈折率材料						
研究グループ	研究代表者 (2023)	研究代表者 (2021)	研究代表者 (2017)	CJLU (2017)	NTU (2017)	KAIST (2011)
屈折率	14.0	5.9	6.7	15.4(解析)	6.8(解析)	24
反射率	1.0%	1.3%	1.2%	20%(解析)	5%(解析)	大
比誘電率 ϵ_r	13.9	6.7	7.0	15(解析)	8.1(解析)	約400
比透磁率 μ_r	13.8	5.0	6.1	3.5(解析)	9.8(解析)	約1.0
偏光特性	全方向	一方向	一方向	一方向	全方向	一方向
特許	日本特許6996748号, 米国特許10886255, 国際公開番号WO/2021/045022, 日本特許6676238号, 米国特許10093379					特許5764769号, WO/202111991

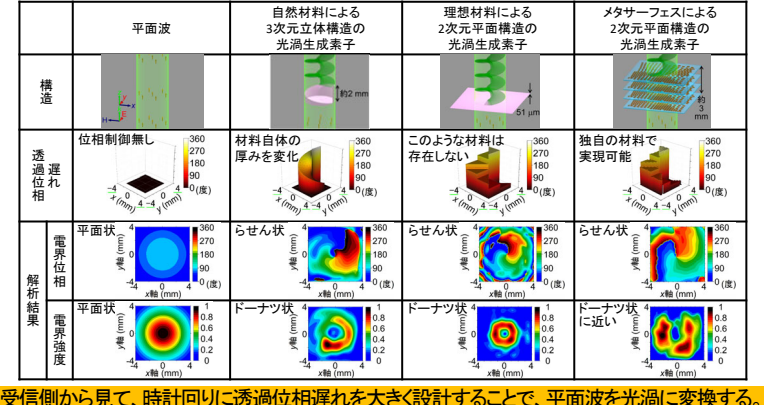
比誘電率 ϵ_r と比透磁率 μ_r の両方を制御した高屈折率・無反射な材料を独自に生み出した。

独自の人工構造材料による高指向性なアンテナ



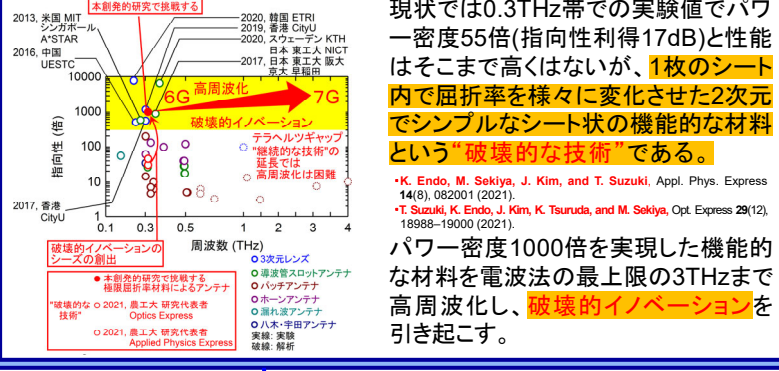
アンテナの中心部から端部へ透過位相遅れを小さく設計して、光源からの放射波を平面波に変換する。

独自の人工構造材料による光渦の生成



受信側から見て、時計回りに透過位相遅れを大きく設計することで、平面波を光渦に変換する。

破壊的イノベーション



研究設備

電磁界シミュレータ

アンテナや光渦素子の設計・解析に使用する。合計7台(合計RAM 3.3TB)のワークステーションにより、アンテナや光渦素子の設計・解析を並行して進めることができる。ワークステーション同士を連結(メモリ共有)することで、より大規模な解析も可能である。

・T. Suzuki, K. Endo, and S. Kondoh, Opt. Express 28(15), 22165-22178 (2020).

サブフェムトインクジェット加工装置

数μm単位の超微細構造を印刷技術により多量に単画できる。フィルム上に金属インクで微細構造を描画することで、メタサーフェスの作製が可能である。作製した3THz帯高屈折率・無反射なメタサーフェスは、80,036組の銀ナノインクのカットワイヤを0.5μmの厚さのポリイミドフィルムの表と裏に有している。

・H. Asada, K. Endo, and T. Suzuki, Opt. Express 28(10), 14513-14524 (2021).

レーザー顕微鏡

作製したアンテナや光渦素子の数μm単位の微細なパラメータを測定できる。作製した素子の水平方向だけでなく、高さ方向のパラメータも測定可能のため、サンプルの形状を3Dで表示できる。実験室で作製したアンテナや光渦素子その場で測定し、測定した作製誤差を考慮した設計を加速できる。

デュアルコム分光法光ネットワークアナライザ

テラヘルツ帯より高周波な近赤外域の200THz帯の光の電場波形を測定できる。材料を透過・反射した光の電場波形の振幅と位相から、200THz帯での材料の特性(屈折率、比誘電率、比透磁率など)を評価できる。

0.3THz帯遠方界・開口振幅分布測定装置

テラヘルツ波の指向性と開口振幅分布を測定できる。送信器と受信器を取り換えることで、様々なアンテナや光渦素子の性能評価が可能である。また、装置本体と装置を囲う電波吸収体はテラヘルツ波の干渉を約40dBまで抑えている。

・K. Endo, M. Sekiya, J. Kim, and T. Suzuki, Appl. Phys. Express 14(8), 082001 (2021).
 ・H. Asada, K. Endo, and T. Suzuki, Opt. Express 28(12), 18986-19000 (2021).

テラヘルツ時間領域分光法装置

テラヘルツ波の振幅と位相を測定できる。自然材料や人工構造材料を透過・反射したテラヘルツ波の振幅と位相を測定することで、テラヘルツ帯での材料の周波数特性(屈折率、比誘電率、比透磁率など)を評価できる。

・K. Ishihara and T. Suzuki, J. Infrared Millim. Terahertz Waves 38(9), 1130-1139 (2017).
 ・H. Asada, K. Endo, and T. Suzuki, Opt. Express 28(10), 14513-14524 (2021).
 ・K. Sato and T. Suzuki, Nanophotonics 12(13), 2537-2544 (2023).