

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04970

研究課題名(和文) 屈折率が10以上の超高屈折率・無反射なテラヘルツ波帯材料の研究

研究課題名(英文) Research on reflectionless metasurface with a high refractive index in the terahertz waveband

研究代表者

鈴木 健仁 (Suzuki, Takehito)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60550506

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：メタサーフェスは、多数のサブ波長サイズの構造(メタアトム)からなる人工構造材料であり、材料の誘電性と磁性の制御により任意の屈折率と反射率を実現できる。研究代表者は、2017年に0.3 THz帯で屈折率 $6.66 + j0.123$ 、反射率1.16%の高屈折率・無反射なメタサーフェスを実現した。本研究では1.0 THz以上の領域のテラヘルツ波帯で高屈折率・無反射なメタサーフェスの研究に取り組んだ。テラヘルツ時間領域分光法による実験で、2.97 THzで高屈折率 $5.88 + j1.57$ 、低反射1.3%、比誘電率 $6.73 + j0.85$ 、比透磁率 $5.03 + j2.11$ の材料特性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

テラヘルツ電磁波で動作する高屈折率・無反射な新材料を実現した。研究代表者が独自に開発した人工構造材料の特許技術(日本特許第6596748号、米国特許第10686255号、他)を応用し、電波法で電波として定義される最上限の3 THzの周波数で実現した。高屈折率・無反射なメタサーフェスは、電磁波を自在に操る平面で極薄なレンズに応用でき、6G(Beyond 5G)以降も見据えた未来の情報通信機器での展開が期待される。また、高屈折率・無反射なメタサーフェスをさらに数10 THz以上まで高周波化できれば、製鋼スラブなどから排出される熱放射を特定方向に集中させるなど熱マネジメントへの応用も期待される。

研究成果の概要(英文)：Metasurfaces are artificial materials consisting of numerous minute meta-atoms with subwavelength dimensions and enable the control of dielectric and magnetic properties resulting in the arbitrary design of a refractive index and reflectance. In 2017, we produced a reflectionless metasurface with a high refractive index of $6.66 + j0.123$ and reflectance of 1.16% in the 0.3-THz band. This research presents a reflectionless metasurface with a high refractive index in the terahertz waveband above 1.0 THz. Measurements by terahertz time-domain spectroscopy verify material properties with a high refractive index of $5.88 + j1.57$, low reflectance of 1.3%, relative permittivity of $6.73 + j0.85$, and relative permeability of $5.03 + j2.11$ at 2.97 THz.

研究分野：光工学および光量子科学関連

キーワード：テラヘルツ波 メタマテリアル メタサーフェス 高屈折率材料 極限屈折率材料

1. 研究開始当初の背景

テラヘルツ波帯は、5G 無線通信の次の世代の 6G 以降の無線通信[[1],[2]]、イメージング[[3],[4]]、トモグラフィ[5]、セキュリティ[6]への有用な候補である。長らく室温で単一周波数の連続発振(CW)光源が未開拓であった、1.0 THz 周辺の光源における THz ギャップは解消されつつある[[7]-[10]]。CW 光源から放射されたテラヘルツ波を制御するための、レンズ、波長板、偏光子、ビームスプリッター、プリズムなどの光学コンポーネントの材料には、屈折率 1.5 のシクロオレフィンポリマー[11]、3.1 の酸化マグネシウム(MgO)[12]、3.4 のシリコン(Si)[13]などがよく用いられる。従来のテラヘルツ波帯の光学コンポーネントは、これらの制限のある屈折率を有する自然界の材料をもとにして設計されている。メタサーフェスは、多数のサブ波長サイズの構造(メタアトム)からなる人工構造材料であり、材料の誘電性と磁性の制御により任意の屈折率と反射率を実現できる。研究代表者は、2017 年に 0.3 THz 帯で屈折率 $6.66 + j0.123$ 、反射率 1.16% の高屈折率・無反射なメタサーフェス[14]などを実現してきた。

2. 研究の目的

本研究では 1.0 THz 以上の領域の 3.0 THz 帯で高屈折率・無反射なメタサーフェスの研究に取り組んだ[15]。図 1 に 3.0 THz 帯の高屈折率・無反射なメタサーフェスの全体構造とメタアトムを示す。誘電体薄膜の表裏両面に対称にペアカット金属ワイヤを配置した構造である。カット金属ワイヤの長辺方向の間隔 g と長さ l により材料の誘電性と磁性を制御することで、高屈折率・無反射な特性を実現できる。比誘電率と比透磁率を同じ周波数で同値に近付けることで、メタサーフェスと真空との間のインピーダンス整合により反射を抑えている。図 2(b)、(c)に等価回路を示す。図 2(b)の片面ごとの直列 LC 共振回路により、入射電界に対して応答し、比誘電率が制御できる。図 2(c)の並列 LC 共振回路により、入射磁界に対して応答し、比透磁率が制御できる。カット金属ワイヤの寸法と配置間隔を設計し、材料の誘電性と磁性を同時に制御することで、屈折率と反射率の両方を任意に設計できる。

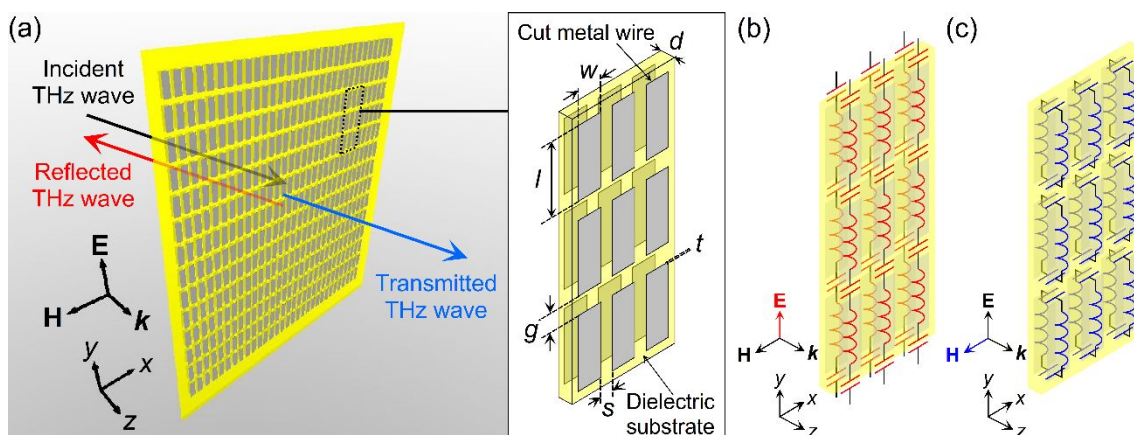


図 1 (a) 高屈折率・無反射なメタサーフェス (b) 誘電性の等価回路 (c) 磁性の等価回路

3. 研究の方法

高周波数帯でのメタサーフェスの設計では、金属の導電率の実部と虚部を考慮する必要がある[16]。図 2 に、ドルーデモデルによる銀ペーストインク、金、銅の複素導電率を示す。銀ペーストインク[17]、金、銅の導電率はそれぞれ、3.0 THz で $4.9 \times 10^5 + j1.8 \times 10^6$ S/m、 $3.4 \times 10^7 + j1.6 \times 10^7$ S/m、 $4.9 \times 10^7 + j2.3 \times 10^7$ S/m である。

図 3(a)-(d)は、それぞれ、金属ワイヤの間隔 g 、長さ l を変化させた場合の、3.0 THz での屈折率の実部、反射率、透過率、電力損失、比誘電率の実部、比透磁率の実部の等高線図の解析結果である。誘電体にはポリイミドフィルムのテラヘルツ波帯での屈折率 $1.8 + j0.04$ [18]、金属には銀ペーストインクの 3.0 THz での複素導電率 $4.9 \times 10^5 + j1.8 \times 10^6$ S/m[17]を使用した。その他のパラメータは、金属ワイヤの幅 $w = 8.93 \mu\text{m}$ 、間隔 $s = 4.5 \mu\text{m}$ 、厚さ $t = 140 \text{ nm}$ 、誘電体基板の厚さ $d = 5 \mu\text{m}$ に固定した。有限要素法電磁界シミュレータ ANSYS 社 HFSS を使用して得た S パラメータ S_{11} 、 S_{21} から、屈折率、比誘電率、比透磁率を導出した[19]。メタサーフェスの実効的な厚さは、物理的な厚さ $d + 2t$ から $5.28 \mu\text{m}$ とした。図 3 の中に灰色のドットで示した作製パラメータ $l = 25.3 \mu\text{m}$ 、 $g = 6.5 \mu\text{m}$ で、屈折率 $7.91 + j1.17$ 、反射 9.87%、比誘電率 $5.52 - j3.12$ 、比透磁率 $6.96 + j7.28$ を設計できる。比透磁率が高い値で比誘電率と同値に近付くことで、高屈折率かつ低反射な特性になっている。

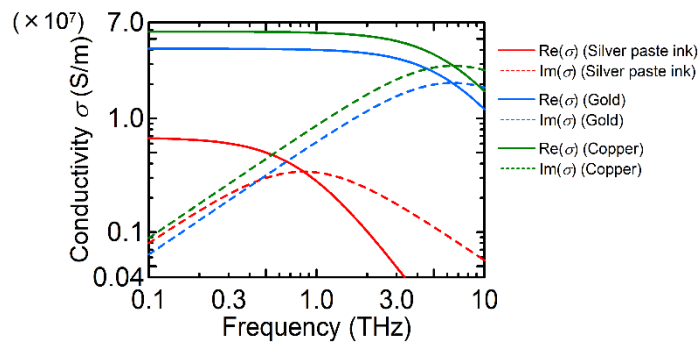


図2 ドルーデモデルによる複素導電率の周波数特性

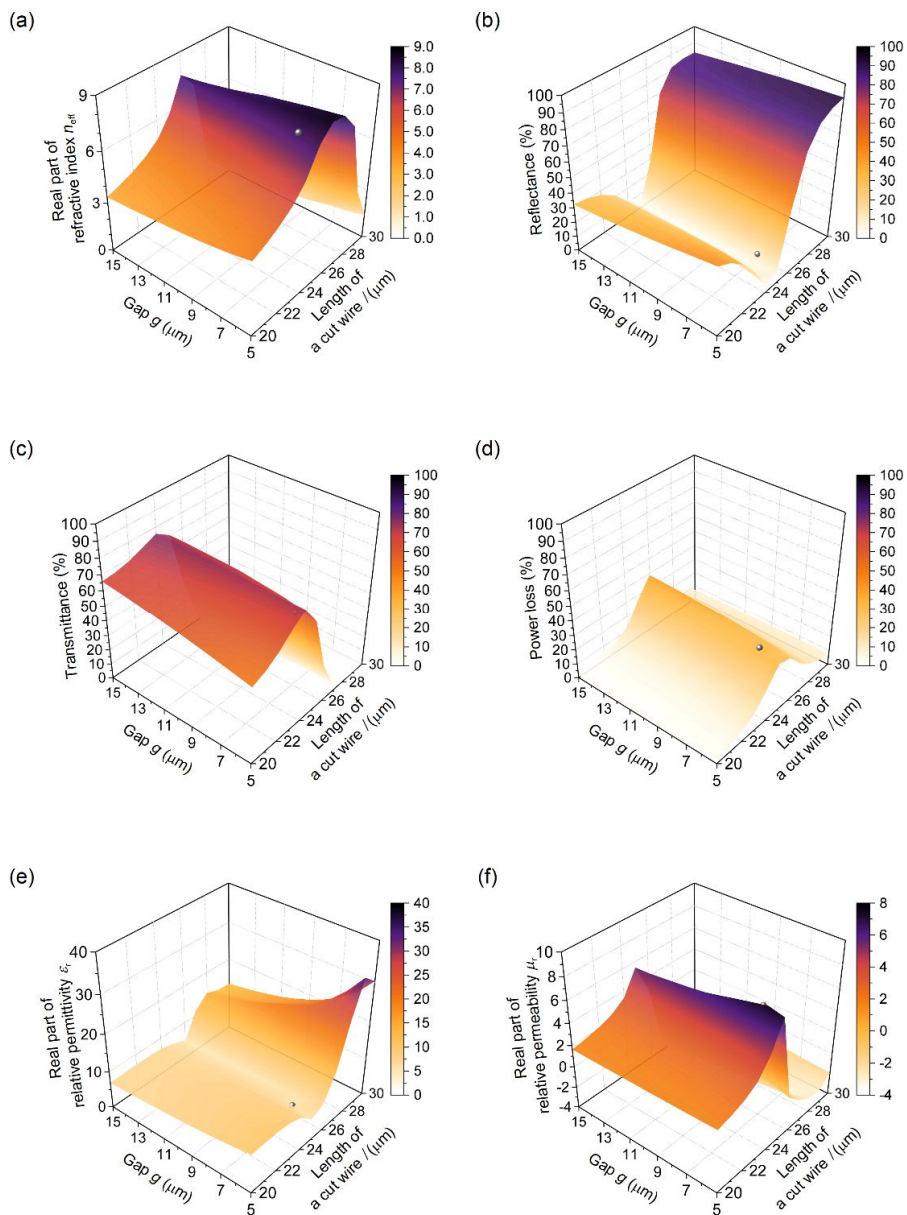


図3 (a)屈折率の実部 (b)反射率 (c)透過率 (d)電力損失 (e)比誘電率の実部 (f)比透磁率の実部の等高線図の解析結果

4. 研究成果

テラヘルツ時間領域分光違法(THz-TDS)による実験で、作製したメタサーフェスの光学特性を評価した。実験には Toptica 社 Teraflash を使用した。透過測定では 3.0 THz でスポット径 0.4 mm、焦点深度 2.0 mm の集光系を使用した。素子を置いていない状態(乾燥空気)での測定データをリファレンスとして使用し、サンプル測定とリファレンス測定の両方で 1000 回積算平均した。反射測定では 3.0 THz でスポット径 0.7 mm、焦点深度 7.9 mm の集光系を使用した。素子の代わりに銀ミラーを置いた場合での測定データをリファレンスとして使用し、サンプル測定とリファレンス測定の両方で 30000 回積算平均した。

図3に(a)屈折率、(b)反射率と透過率、(c)比誘電率、(d)比透磁率を示す。丸のプロットは実験

結果、実線は解析結果を示す。ただし、サンプルの反射測定において素子が測定光の入射波に沿って約 $75 \mu\text{m}$ だけ凹面で、リファレンスに対する測定光路長が約 $150 \mu\text{m}$ 長くなっていたとして反射位相補正をしている。解析では、カット金属ワイヤの寸法パラメータにはレーザマイクロスコブによる測定値の最頻値を使用し、誘電体にはポリイミドの屈折率、金属にはドルーデモデルで計算した銀ペーストインクの複素導電率を使用した。図 3 より、実験結果と解析結果の傾向はおおむね一致している。実験で、 2.97 THz で屈折率 $5.88 + j1.57$ 、反射率 1.3% 、比誘電率 $6.73 + j0.85$ 、比透磁率 $5.03 + j2.11$ を確認した。解析では、 2.97 THz で屈折率 $7.47 + j0.79$ 、反射率 4.3% 、比誘電率 $6.61 - j1.83$ 、比透磁率 $7.30 + j3.82$ を予測している。実験結果と解析結果の誤差の要因としては、実験誤差やカット金属ワイヤの寸法のばらつきのほか、カット金属ワイヤの表面粗さの影響による、金属の導電率の低下[20]やインダクタンスの増大[21]などが考えられる。

図 4 に損失の周波数特性の実験結果と解析結果を示す。図 4(a)、(b)はそれぞれ、誘電性の損失と磁性的の損失の和、電力損失である。図 3(c)で、約 3.0 THz から 3.5 THz の領域で比誘電率の虚部が負の値となり、誘電性の損失が負となっている。図 4(a)の通り、誘電性の損失と磁性的の損失の和はともに正の値である。図 4(b)の通り、電力損失も正の値である。材料全体で、エネルギー保存則が満たされている。

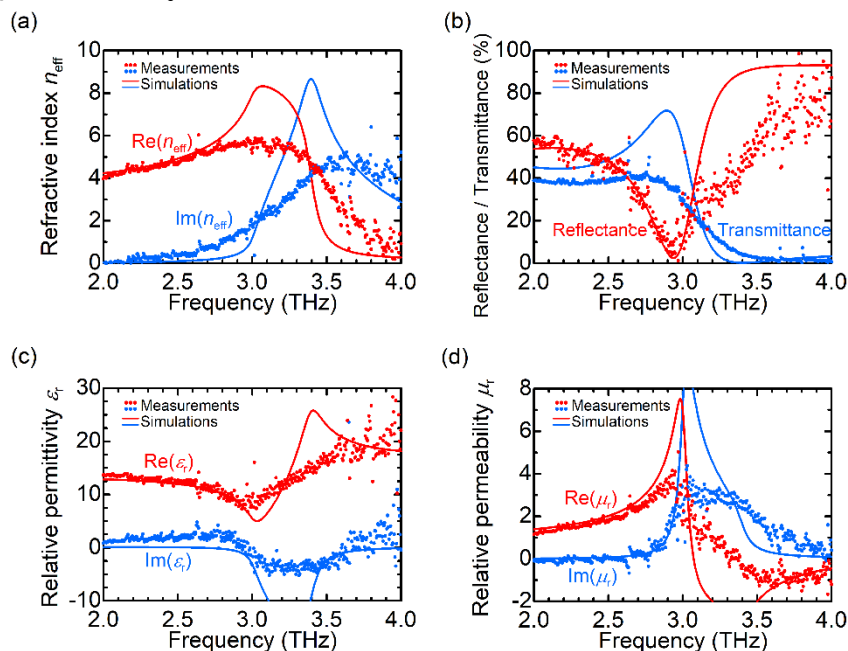


図 3 (a) 屈折率、(b) 反射率と透過率、(c) 比誘電率、(d) 比透磁率の周波数特性

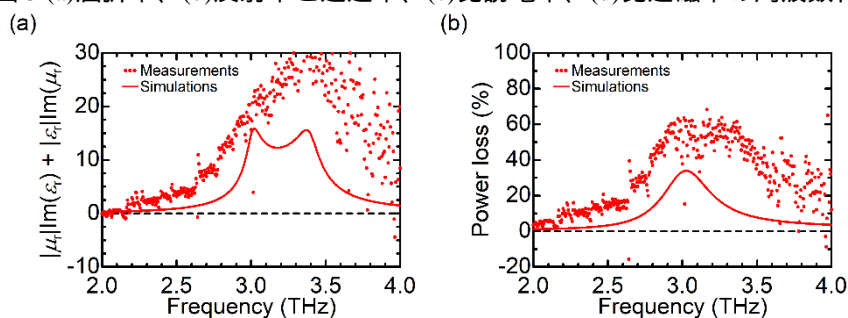


図 4 (a) 誘電性の損失と磁性的の損失の和 (b) 電力損失の周波数特性

<引用文献>

- [1] S. Dang, O. Amin, B. Shihada, and M.-S. Alouini, "What should 6G be?" *Nat. Electron.* 3(1), 20–29 (2020).
- [2] T. Nagatsuma, G. Ducournau, and C. C. Renaud, "Advances in terahertz communications accelerated by photonics," *Nat. Photonics* 10(6), 371–379 (2016).
- [3] H. Guerboukha, K. Nallappan, and M. Skorobogatiy, "Toward real-time terahertz imaging," *Adv. Opt. Photon.* 10(4), 843–938 (2018).
- [4] D. M. Mittleman, "Twenty years of terahertz imaging [invited]," *Opt. Express* 26(8), 9417–9431 (2018).
- [5] T. Nagatsuma, H. Ishii, and T. Ikeo, "Terahertz imaging based on optical coherence tomography [invited]," *Photon. Res.* 2(4), B64–B69 (2014).
- [6] J. Ma, R. Shrestha, J. Adelberg, C.-Y. Yeh, Z. Hossain, E. Knightly, J. M. Jornet, and D. M. Mittleman, "Security and eavesdropping in terahertz wireless links," *Nature* 563(7729), 89–93 (2018).
- [7] S. Hayashi, A. Ito, M. Hitaka, and K. Fujita, "Room temperature, single-mode 1.0 THz semiconductor

- source based on long-wavelength infrared quantum-cascade laser,” *Appl. Phys. Express* 13(11), 112001-1–112001-4 (2020).
- [8] M. Asada and S. Suzuki, “Room-Temperature Oscillation of Resonant Tunneling Diodes close to 2 THz and Their Functions for Various Applications,” *J. Infrared Millim. THz Waves* 37(10), 1185–1198 (2016).
- [9] T. Maekawa, H. Kanaya, S. Suzuki, and M. Asada, “Oscillation up to 1.92 THz in resonant tunneling diode by reduced conduction loss,” *Appl. Phys. Express* 9(2), 024101 (2016).
- [10] M. Razeghi, Q. Y. Lu, N. Bandyopadhyay, W. Zhou, D. Heydari, Y. Bai, and S. Slivken, “Quantum cascade lasers: from tool to product,” *Opt. Express* 23(7), 8462–8475 (2015).
- [11] T. Kaji, Y. Tominari, T. Yamada, S. Saito, I. Morohashi, and A. Otomo, “Terahertz-wave generation devices using electro-optic polymer slab waveguides and cyclo-olefin polymer clads,” *Opt. Express* 26(23), 30466–30475 (2018).
- [12] J. Han, B. K. Woo, W. Chen, M. Sang, X. Lu, and W. Zhang, “Terahertz Dielectric Properties of MgO Nanocrystals,” *J. Phys. Chem. C* 112(45), 17512–17516 (2008).
- [13] D. Grischkowsky, S. Keiding, M. v. Exter, and C. Fattinger, “Far-infrared time-domain spectroscopy with terahertz beams of dielectrics and semiconductors,” *J. Opt. Soc. Am. B* 7(10), 2006–2015 (1990).
- [14] Koki Ishihara and Takehito Suzuki, "Metamaterial Demonstrate Both a High Refractive Index and Extremely Low Reflection in the 0.3-THz band," *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, vol.38, no.9, pp.1130-1139, Sep. 2017.
- [15] Harumi Asada, Kota Endo, and Takehito Suzuki, "Reflectionless metasurface with high refractive index in the terahertz waveband," *Optics Express*, vol.29, no.10, pp.14513-14524, Apr. 2021.
- [16] F. Monticone and A. Alù, “The quest for optical magnetism: from split-ring resonators to plasmonic nanoparticles and nanoclusters,” *J. Mater. Chem. C* 2(43), 9059–9072 (2014).
- [17] K. Takano, T. Kawabata, C.-F. Hsieh, K. Akiyama, F. Miyamaru, Y. Abe, Y. Tokuda, R.-P. Pan, C.-L. Pan, and M. Hangyo, “Fabrication of terahertz planar metamaterials using a super-fine ink-jet printer,” *Appl. Phys. Express* 3(1), 016701 (2010).
- [18] H. Tao, A. C. Strikwerda, K. Fan, C. M. Bingham, W. J. Padilla, X. Zhang, and R. D. Averitt, “Terahertz metamaterials on free-standing highly-flexible polyimide substrates,” *J. Phys. D: Appl. Phys.* 41(23), 232004 (2008).
- [19] X. Chen, T. M. Grzegorzczak, B-I. Wu, J. Pacheco, Jr., and J. A. Kong, “Robust method to retrieve the constitutive effective parameters of metamaterials,” *Phys. Rev. E* 70(1), 016608 (2004).
- [20] M. P. Kirley, Student Member, IEEE, and John H. Booske, “Terahertz conductivity of copper surfaces,” *IEEE Trans. THz Sci. Technol.* 5(6), 1012–1020 (2015).
- [21] A. F. Horn, J. W. Reynolds, and J. C. Rautio, “Conductor profile effects on the propagation constant of microstrip transmission lines,” in *Proceedings of 2010 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IEEE, 2010)*, pp. 868–871.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Takehito Suzuki, Kota Endo, Jaeyoung Kim, Kazuisao Tsuruda, and Masashi Sekiya	4. 巻 28
2. 論文標題 Metalens mounted on a resonant tunneling diode for collimated and directed terahertz waves	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 22165-22178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.427135	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Harumi Asada, Endo Kota, Takehito Suzuki	4. 巻 29
2. 論文標題 Reflectionless metasurface with high refractive index in the terahertz waveband	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 14513-14524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.420827	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takehito Suzuki, Kota Endo, and Satoshi Kondoh	4. 巻 28
2. 論文標題 Terahertz metasurface ultra-thin collimator for power enhancement	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 22165-22178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.392814	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takehito Suzuki and Harumi Asada	4. 巻 28
2. 論文標題 Reflectionless zero refractive index metasurface in the terahertz waveband	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 21509-21521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.395223	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takehito Suzuki, Masashi Sekiya, and Hideaki Kitahara	4. 巻 58
2. 論文標題 Terahertz beam focusing through designed oblique metal-slit array	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 4007-4013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takehito Suzuki, Tatsuya Sato, Masashi Sekiya, and John C. Young	4. 巻 58
2. 論文標題 Epsilon-near-zero three-dimensional metamaterial for manipulation of terahertz beams	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 3029-3035
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.58.003029	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 劉 久美子, 朝田 晴美, 鈴木 健仁
2. 発表標題 50THz 帯の両面構造正方形金属チップアレーアンテナの設計
3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浦島 康平, 遠藤 孝太, 中尾 春映, 鶴田 一魁, 鈴木 健仁
2. 発表標題 スーパーインクジェットプリンタによる作製に向けた 0.3THz 帯コリメートメタレンズの設計
3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kota Endo, Jaeyoung Kim, Takehito Suzuki
2. 発表標題 High Refractive Index Metasurface For Terahertz Flat Optics
3. 学会等名 MM6, IRMMW-THz 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 建都, 鈴木 健仁
2. 発表標題 無偏光・超高屈折率・低反射なメタサーフェスとメタレンズへの応用
3. 学会等名 2020年第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 朝田 晴美, 鈴木 健仁
2. 発表標題 熱ふく射制御に向けた高屈折率無反射メタサーフェスの研究
3. 学会等名 日本熱物性学会 ふく射性質とその放射制御に関する研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中尾 春映, 鈴木 健仁
2. 発表標題 積層構造メタサーフェスによるテラヘルツ光渦コンポーネント
3. 学会等名 2020年第67回応用物理学春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木 健仁
2. 発表標題 テラヘルツ産業応用のためのメタサーフェス
3. 学会等名 MWE 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 建都, 中尾 春映, 鈴木 健仁
2. 発表標題 高屈折率無反射メタサーフェスの高機能化
3. 学会等名 2019年第80回応用物理学秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 遠藤 孝太, 金 在瑛, 鈴木 健仁
2. 発表標題 両面構造ベアカットワイヤーアレーアンテナと0.3THz帯共鳴トンネルダイオードの短距離融合による指向性実験
3. 学会等名 2019年第80回応用物理学秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朝田 晴美, 鈴木 健仁
2. 発表標題 熱輻射制御に向けた高屈折率無反射メタサーフェスの設計
3. 学会等名 2019年第80回応用物理学秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruaki Nakao and Takehito Suzuki
2. 発表標題 Terahertz 3D Components Made from Metamaterials
3. 学会等名 IRMMW-THz 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木 健仁
2. 発表標題 テラヘルツ連続発振光源のためのメタサーフェス
3. 学会等名 テラヘルツ応用システム研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takehito Suzuki, Harumi Asada, Kazuhisa Watai, Haruaki Nakao, and Kota Endo
2. 発表標題 Reflectionless metamaterials with high refractive indices for manipulation of thermal radiation
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Radiative Transfer (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takehito Suzuki
2. 発表標題 Double-side paired cut wire array antenna for directivity enhancement and control of terahertz sources
3. 学会等名 JSPS metamaterials 187 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuhisa Watai, Harumi Asada, Kota Endo, Haruaki Nakao, and Takehito Suzuki
2. 発表標題 Meta-surfaces with high refractive index and low reflectance in the 50- and 200-THz bands
3. 学会等名 JSPS metamaterials 187 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朝田 晴美, 鈴木 健仁
2. 発表標題 スーパーインクジェットプリンタで試作した3.0THz帯高屈折率低反射メタサーフェスの実験評価
3. 学会等名 2019年第66回応用物理学春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 遠藤 孝太, 金 在瑛, 鈴木 健仁
2. 発表標題 短焦点0.3THz帯両面構造ペアカットワイヤーアレーアンテナによる共鳴トンネルダイオードからの放射位相の制御
3. 学会等名 2019年第66回応用物理学春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関谷 允志, 金 在瑛, 鈴木 健仁
2. 発表標題 両面構造ペアカットワイヤーアレーアンテナによる0.3THz帯共鳴トンネルダイオードの指向性の向上と制御
3. 学会等名 2019年第66回応用物理学春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takehito Suzuki
2. 発表標題 Transparent Terahertz Metamaterial with an Extremely Wide Range of Refractive Indices for Antenna Applications
3. 学会等名 The Third A3 Metamaterials Forum (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中尾 春映, 鈴木 健仁
2. 発表標題 バルク材料のための10を超える超高屈折率・低反射な積層構造メタマテリアル
3. 学会等名 2018年第79回応用物理学秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木 健仁
2. 発表標題 熱輻射アクティブ制御デバイスの開拓に向けた極限屈折率材料とテラヘルツデバイスの研究
3. 学会等名 日本熱物性学会 ふく射性質とその放射制御に関する研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京農工大学 工学研究院 鈴木研究室
<http://web.tuat.ac.jp/~suzuki-lab/index.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------