

電子ビーム露光によるSiNxメンブレンの表と裏両面への正方形Auパッチの作製

Fabrication of square Au patches on both of front and back of a SiNx membrane by electron beam exposure

鈴木 健仁^a, 朝田 晴美^{a,b} / Takehito Suzuki^a, Harumi Asada^{a,b}

(^a東京農工大学, ^b学振特別研究員DC / ^aTokyo University of Agriculture and Technology, ^bResearch Fellow DC of Japan Society for Promotion of Science)

▶ ユーザー氏名

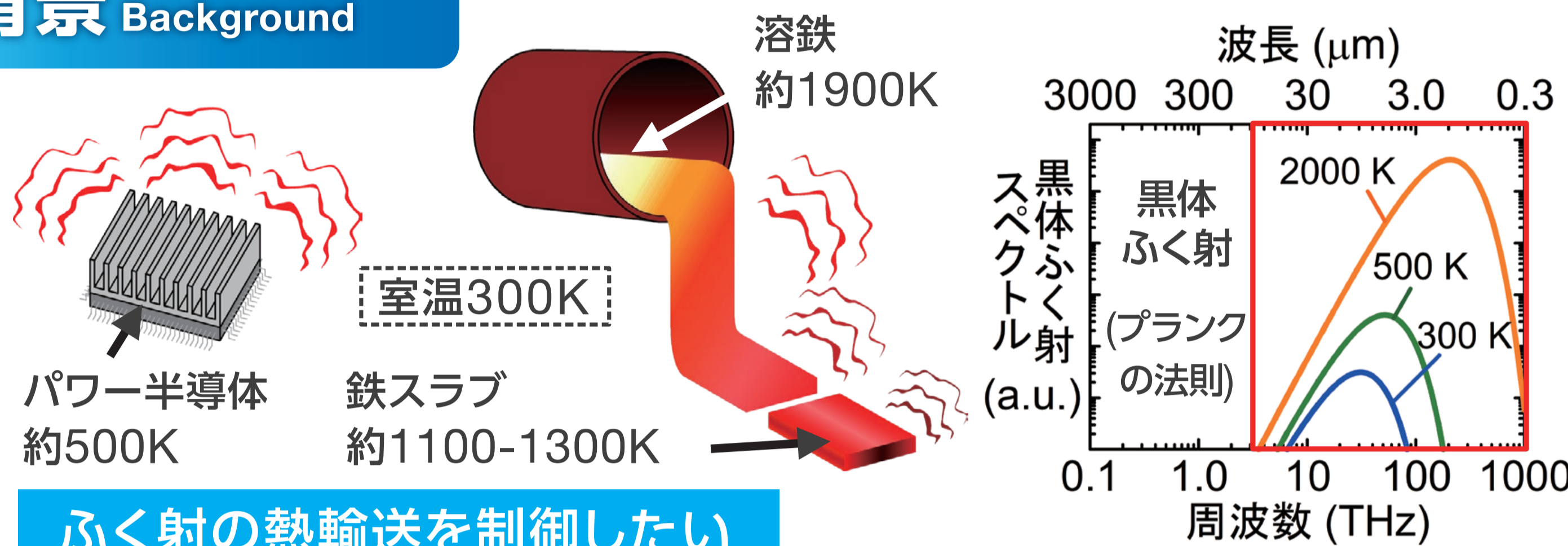
▶ 実施機関担当者

宮本 恭幸, 梅本 高明 / Yasuyuki Miyamoto, Takaaki Umemoto
(東京工業大学 / Tokyo Institute of Technology)

KEY WORDS

Metasurface, Electron Beam Exposure, Thermal Radiation Control

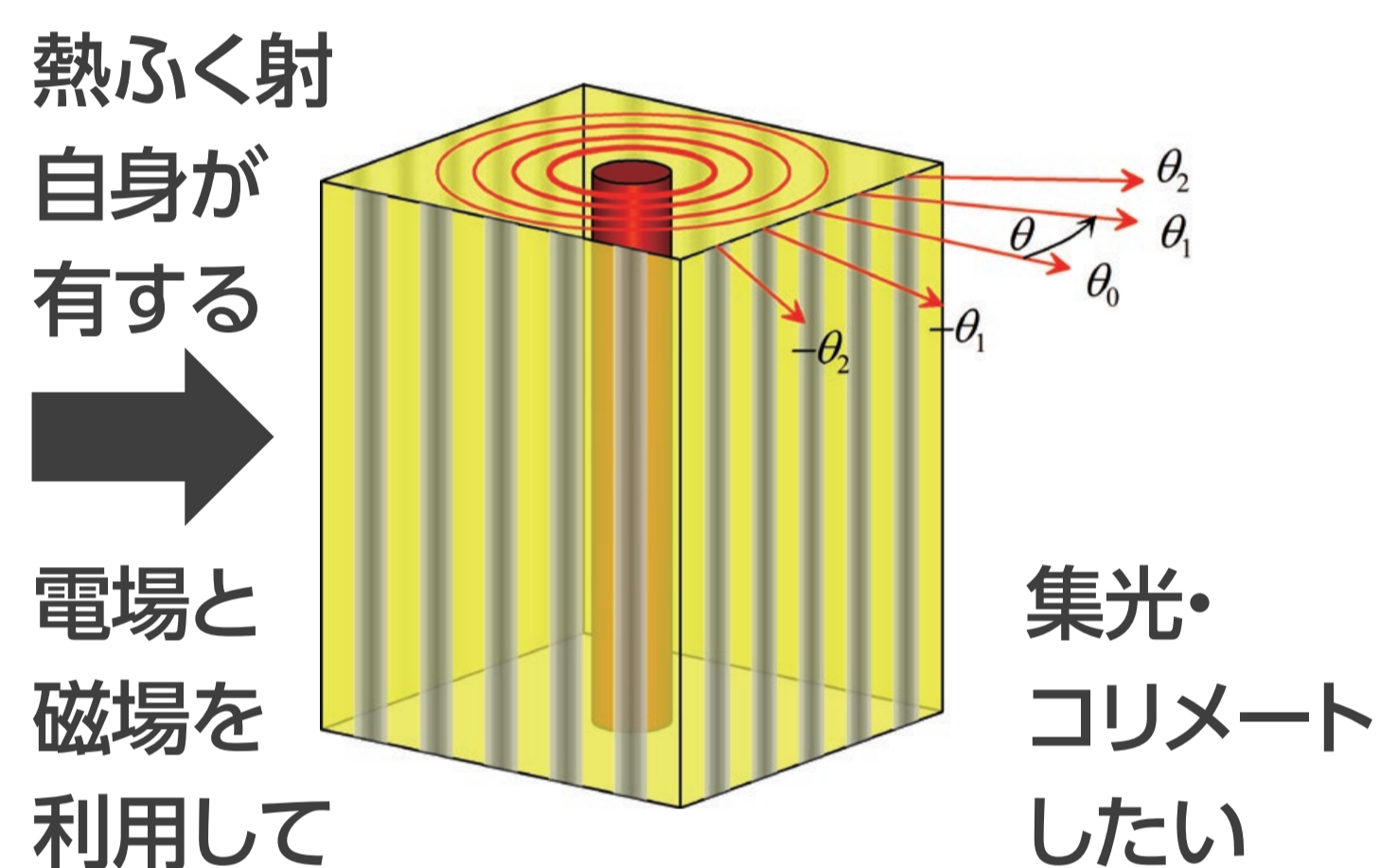
背景 Background



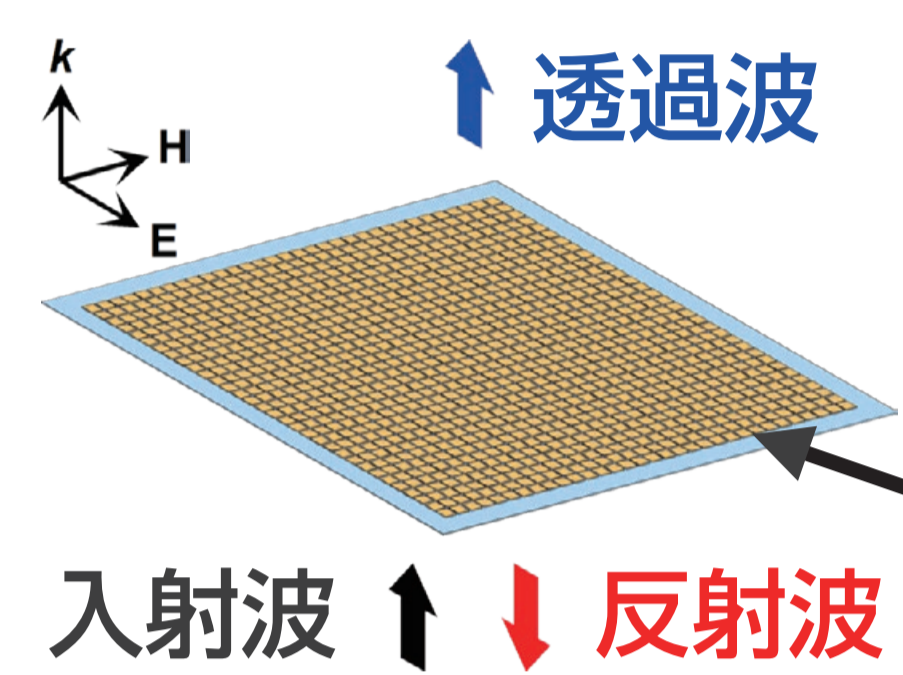
ふく射の熱輸送を制御したい

空間に放射された熱ふく射をナノスケールのメタアトムでスペクトル学的に制御できるか?

熱ふく射は等方的な指向性なので

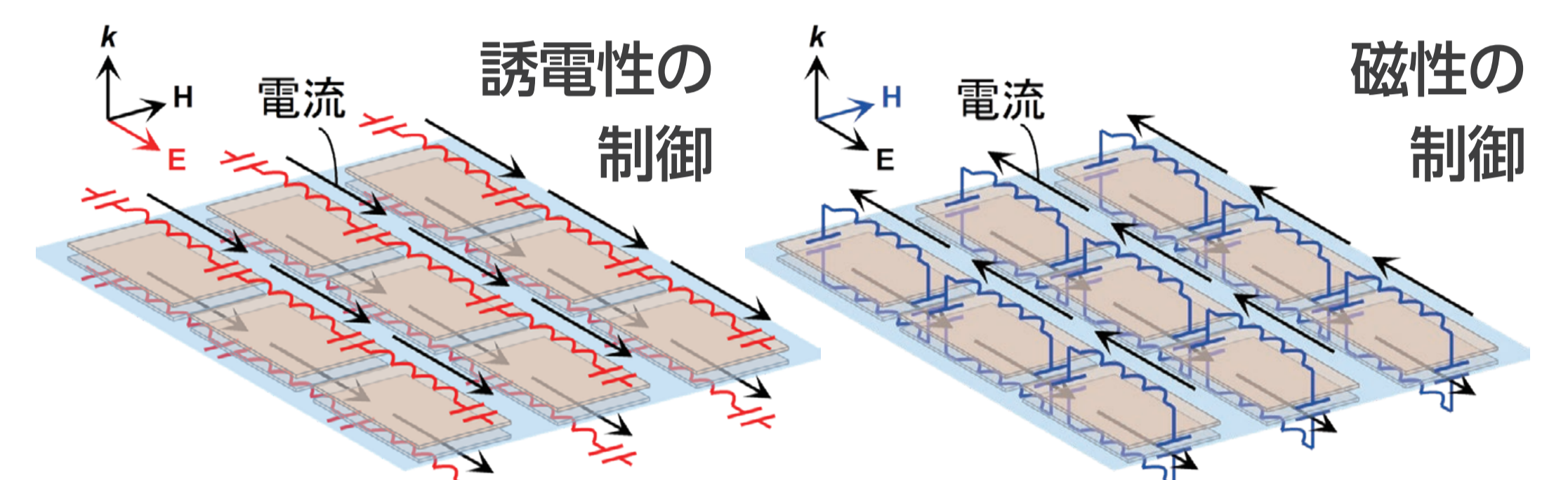


目的 Purpose



一旦放射された熱ふく射を後から指向性制御できる人工構造材料の概念の実証と社会展開

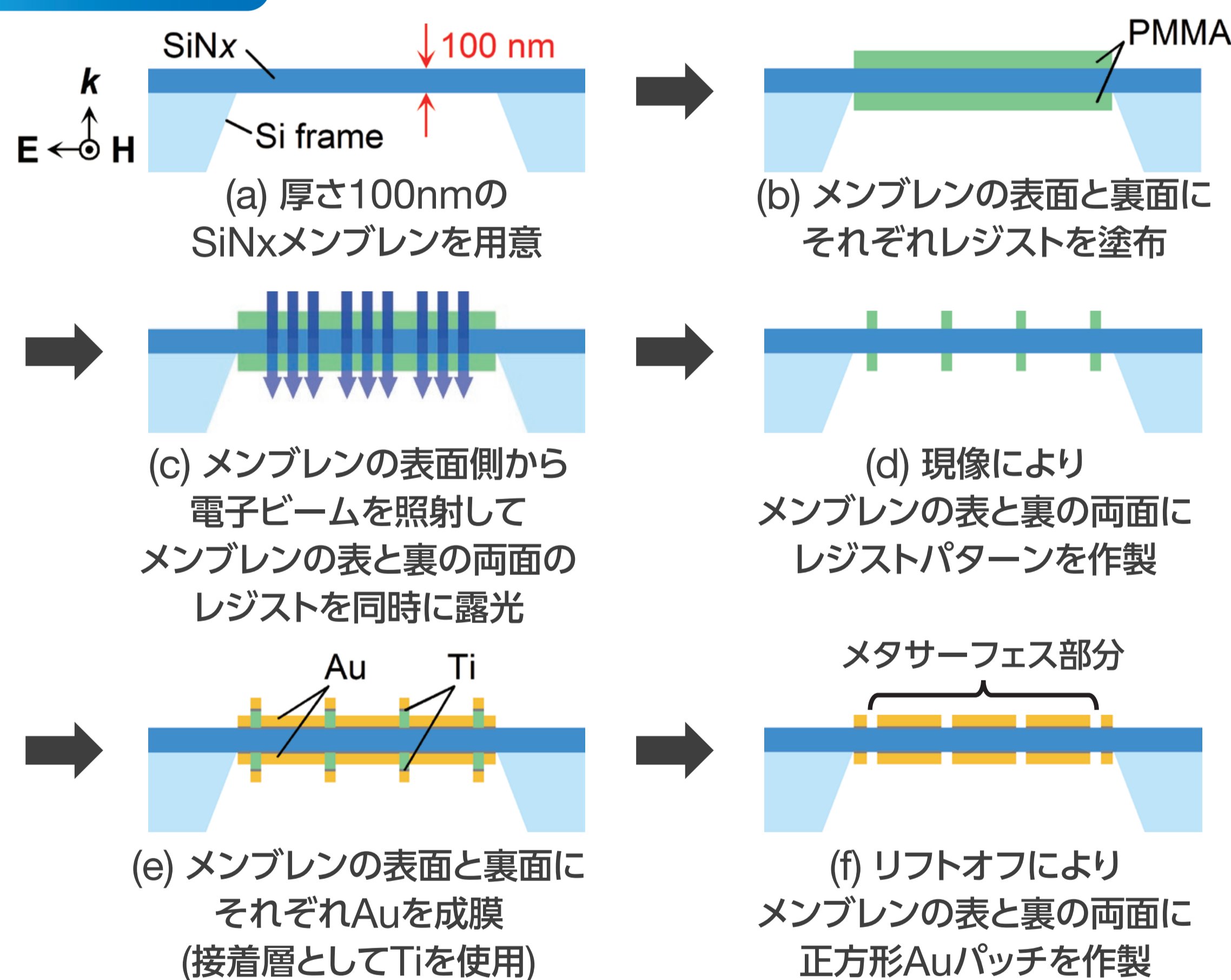
既存のふく射経路に自由に導入できる極限屈折率材料
[9, 12, 13, 日本特許6596748, 米国特許10,686,255B2, 特願2019-159868, 国際公開番号 WO 2021045022]



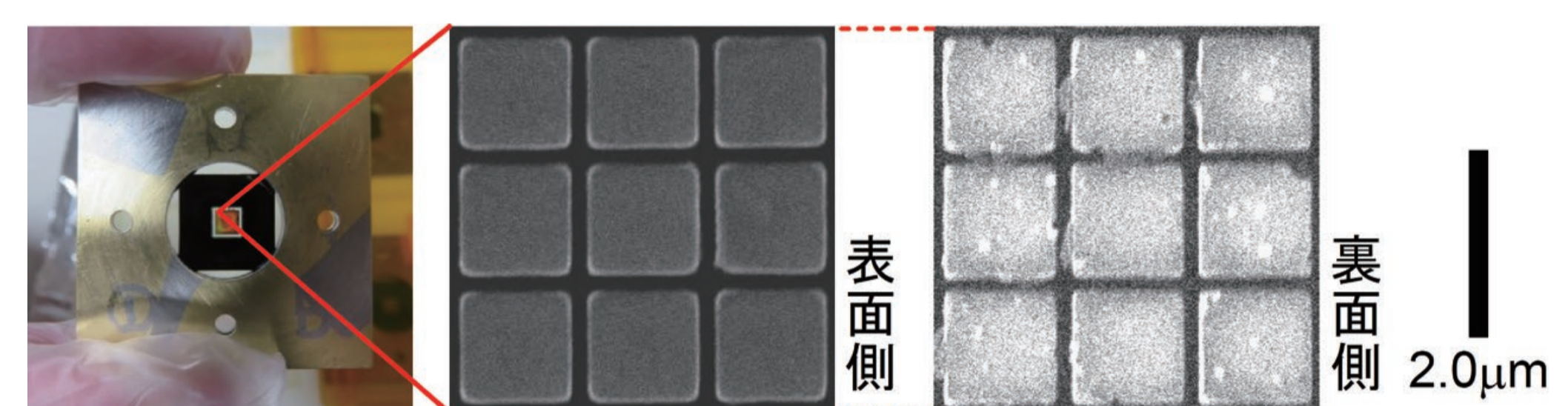
独自材料では熱ふく射の電場だけでなく磁場も共振(探索を機械学習で自動化)

成果 Results

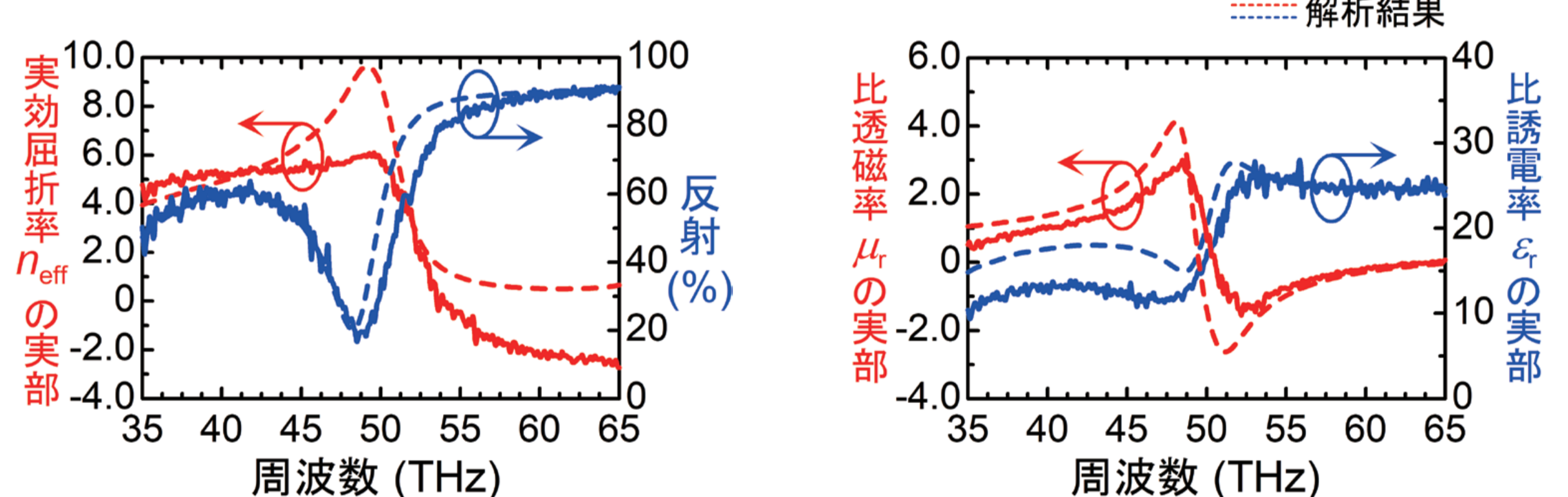
● 両面同時電子ビーム露光法の構築



● コロナウィルスの直径と同じ薄さ(100nm)の誘電体膜の表と裏の両面に1辺1200nmの正方形Auパッチを作製



● FTIRで磁性的の共振(強い磁気応答)を確認



48.5THzで屈折率5.9, 反射16.7%, 比透磁率3.0, 比透電率11.7

● 本課題で実現した高屈折率低反射な人工構造材料の独創性とインパクト

発表年	周波数 (THz)	メタアトムの構造	作製の有/無し	屈折率の実部	屈折率の虚部	性能指数 (屈折率の実部/虚部)	比透磁率	比透電率	反射率 (%)	透過率 (%)	
2011	0.52	I構造金属パッチ	有り	24.3 (実験値)	約2.0° (実験値)	>100(0.23THz)	約400° (解析値)	>約1.0° (解析値)	-	-	[1]
2013	0.48	I構造金属パッチ	有り	18.4 (実験値)	約19° (実験値)	約0.9° (実験値)	-	-	-	<10° (解析値)	[2]
2015	2.1	I構造金属パッチ	無し	67.9 (実験値)	約28° (解析値)	約2.4° (解析値)	-	-	>90° (解析値)	<10° (解析値)	[3]
2015	0.32	Z構造金属パッチ	有り	14.4 (実験値)	約6.2° (実験値)	約2.3° (実験値)	約90° (解析値)	>約0.74° (解析値)	>90° (実験値)	<10° (実験値)	[4]
2016	0.75	交差構造金属パッチ	無し	約80° (実験値)	約24° (解析値)	約3.4° (解析値)	約240° (解析値)	>約4.5° (解析値)	>90° (解析値)	<10° (解析値)	[5]
2017	0.84	窓型金属パッチ	無し	約45° (実験値)	約21° (解析値)	約2° (解析値)	-	約4.3° (解析値)	>90° (解析値)	<10° (解析値)	[6]
2018	0.44	一層金属リング	無し	91.3 (実験値)	約52° (解析値)	約1.8° (解析値)	2623 (実験値)	-	-	-	[7]
2020	1.1	両面金属リング	無し	約30° (実験値)	約24° (解析値)	約1.3° (解析値)	約-51° (解析値)	約5.3° (解析値)	約88° (解析値)	<10° (解析値)	[8]
2017	0.31	両面ベアカット金属ワイヤー	有り	6.7 (実験値)	0.12 (実験値)	54 (実験値)	7.0 (実験値)	6.1 (実験値)	1.2 (実験値)	91.8 (実験値)	[9]
2017	0.83	両面窓型金属パッチ	有り	約0.8° (実験値)	約0.29° (解析値)	約24° (解析値)	約8.1° (解析値)	9.8 (実験値)	約5° (解析値)	約42° (実験値)	[10]
2018	1.2	両面ベアカット金属ワイヤー	無し	15.4 (実験値)	約1.9° (解析値)	約8.0° (解析値)	約15° (解析値)	約3.5° (解析値)	約20° (解析値)	約67° (実験値)	[11]
2021	2.97	両面ベアカット金属ワイヤー	有り	5.9 (実験値)	1.6 (実験値)	6.7 (実験値)	6.7 (実験値)	5.0 (実験値)	1.3 (実験値)	95.7 (実験値)	[12]
2021	48.5	両面正方形金属パッチ	有り	5.9 (実験値)	2.4 (実験値)	2.5 (実験値)	11.7 (実験値)	3.0 (実験値)	16.7 (実験値)	28.9 (実験値)	[13]

[1] M. Choi et al., Nature 470(7334), 369–373 (2011).
[2] H. T. Yudiantira et al., Appl. Phys. Lett. 103(21), 211106 (2013).
[3] Z. Liu et al., Opt. Mater. Express 5(9), 1949–1953 (2015).
[4] S. Tan et al., Opt. Express 23(22), 29222–29230 (2015).
[5] X. Jing et al., Appl. Opt. 55(31), 8743–8751 (2016).
[6] X. Jing et al., IEEE Photonics J. 9(1), 1–7 (2017).
[7] B. Fang et al., RSC Adv. 8(40), 22361–22369 (2018).
[8] L. Jiang et al., Opt. Laser Technol. 123, 105949 (2020).
[9] K. Ishihara and T. Suzuki, J. Infrared Millim. THz Waves 38(9), 1130–1139 (2017). (0.3THz帯-海外誌招待論文)
[10] L. Singh et al., J. Appl. Phys. 121(23), 233103 (2017).
[11] X. Gui et al., Appl. Phys. B 124(68), 1–6 (2018).
[12] H. Asada, K. Endo, and T. Suzuki, Opt. Express 29(10), 14513–14524 (2021). (3.0THz帯)
[13] 朝田 晴美, テラヘルツ科学の最先端VIII, オンライン開催, Nov. 2021. (本課題で作製した素子-優秀学生発表賞を受賞・JSPS学振特別研究員DC, JSTさきがけ(熱制御)による成果の一部)

Visions for 2050



熱ふく射の指向性制御を可能にする機能性材料へ展開し、熱ふく射のパワー密度を高め、既存技術[14-16]では到達できない発電効率を熱ふく射領域で達成したい

[14] A. Sharma et al., Nature Nanotechnology 10(12), 1027–1032 (2015).
[15] P. S. Davids et al., Nature Nanotechnology 10(12), 1033–1038 (2015).
[16] P. S. Davids et al., Science 367(6484), 1341–1345 (2020).

CONTACT

実施機関: 宮本 恭幸 東京工業大学 / Yasuyuki Miyamoto, Tokyo Institute of Technology
ユーザー: 鈴木 健仁 東京農工大学 / Takehito Suzuki, Tokyo University of Agriculture and Technology