

熱放射を制御するメタレンズ型 赤外放射メタ表面

横浜国立大学 大学院工学研究院 知的構造の創生部門
准教授 西島 喜明

2025年6月10日

本日発表する技術の特徴

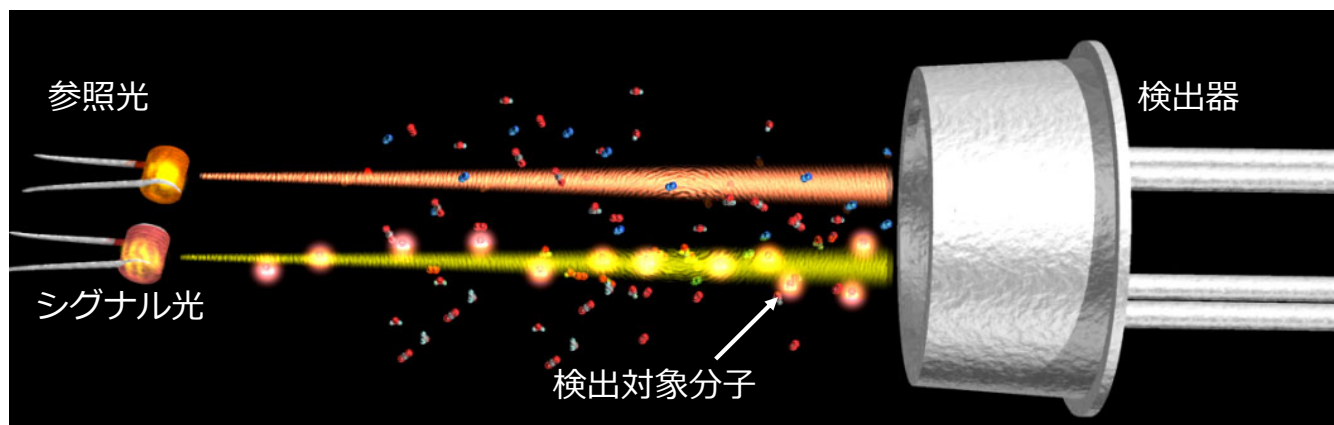
レンズやミラーを使わずに、赤外の光を効率よく集光できる
赤外放射デバイス



赤外光源の部品点数を削減し
低コスト高効率の光源を実現します！！

想定される用途

赤外光センサーによる分子検出



NDIR (non-dispersive infrared) 方式のセンサー



今回の発表技術
これまでにない新しい赤外光源を実現した

新技術の特徴・従来技術との比較

各種赤外光源の比較

	黒体放射	赤外LED	量子カスケードレーザー	プラズモン放射	本研究の狙い
出力	○	×	○	○	○
電力効率	○	○	×	△	○
小型化	○	○	×	○	○
放射線幅	×	△	◎	△	○
駆動方法	CWのみ	パルスのみ	CW/パルス	CW/パルス	CW/パルス
放射拡がり	×	×	○	×	○

1. 真の完全吸収と完全放射の実現（放射効率の改善）
2. メタレンズ構造による赤外集光（放射拡がりの改善）

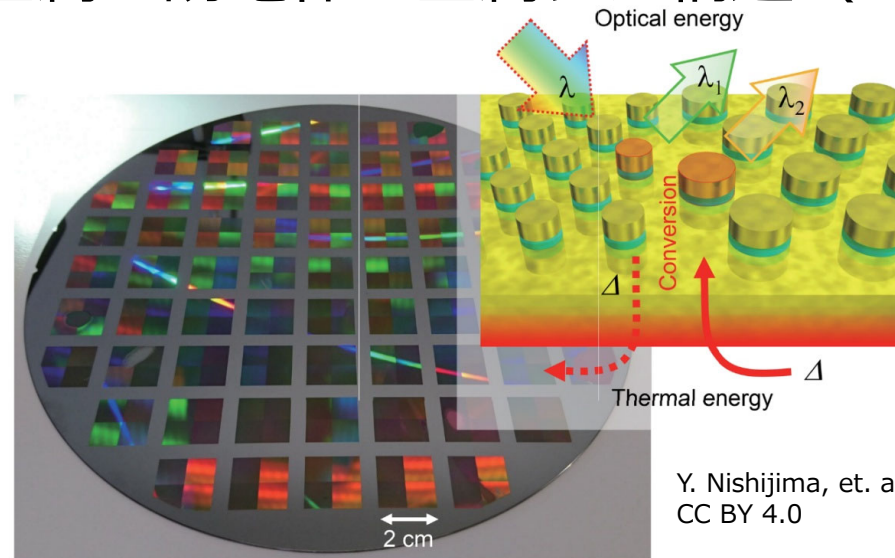
プラズモンによる光熱変換

Kirchhoff's law of thermal radiation

Thermal radiation efficiency (ε) = absorption efficiency (α)
良く光を吸収するもの（黒体）は良く光を放射する

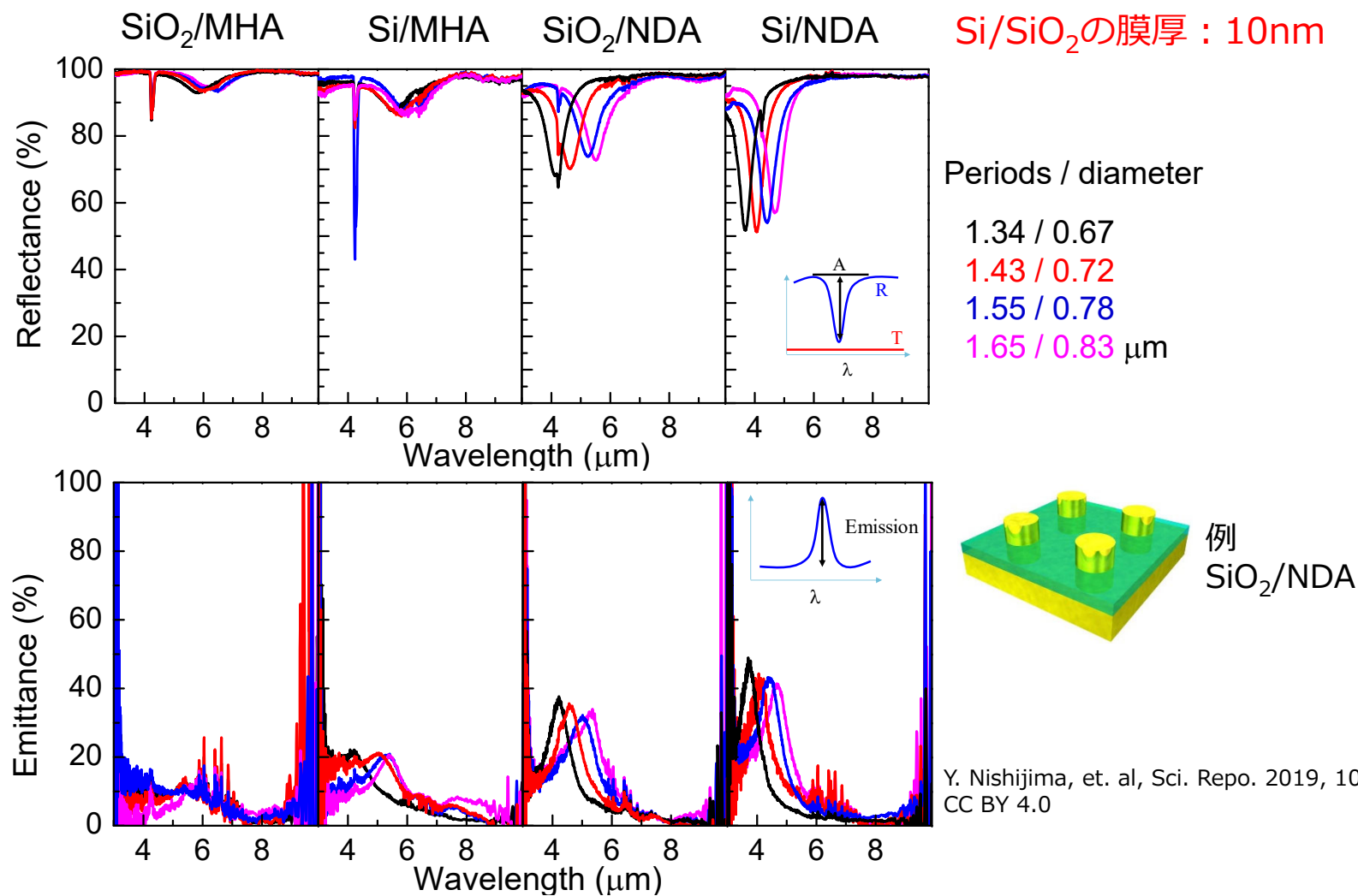
光吸収性の高いプラズモン材料

→金属－誘電体－金属ナノ構造（MIM）メタ表面

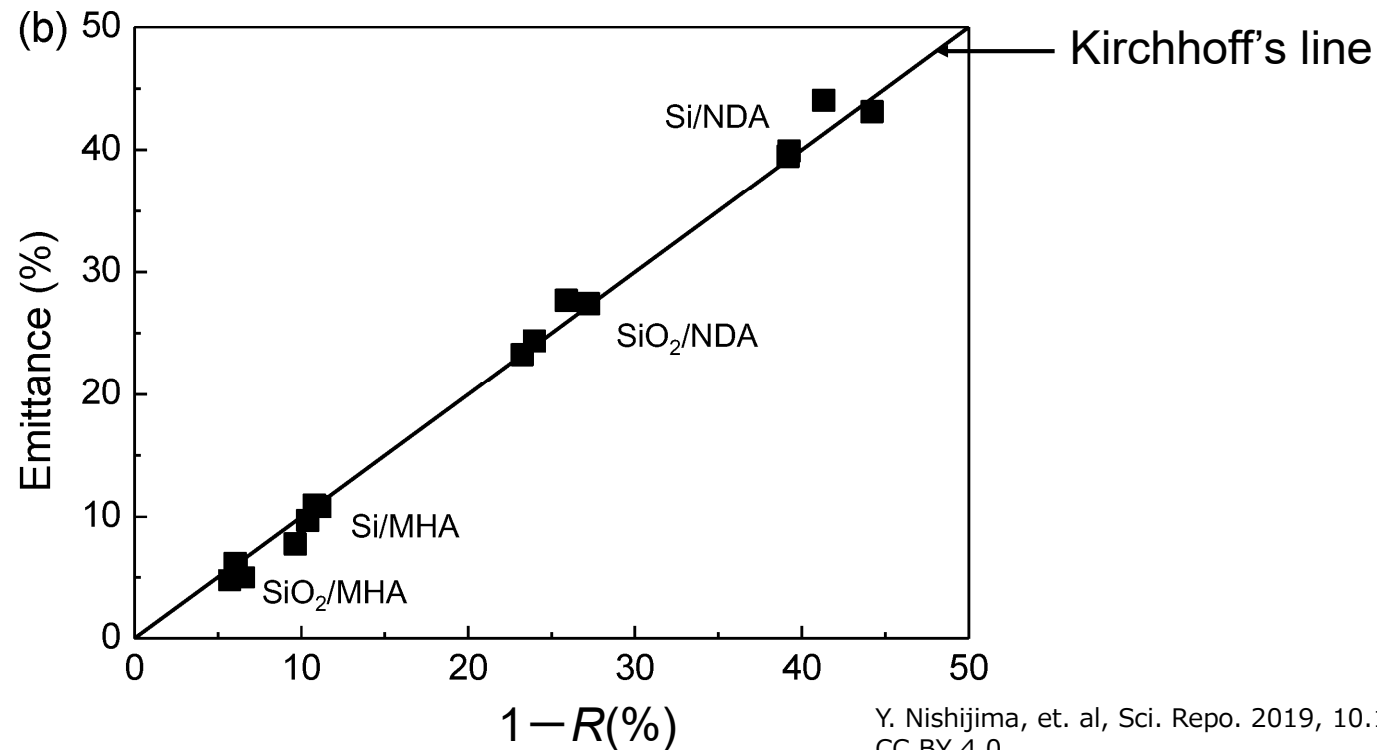


Y. Nishijima, et. al, Sci. Repo. 2019, 10.1038/s41598-019-44781-4
CC BY 4.0

反射スペクトルと放射スペクトル



吸収と放射の関係性



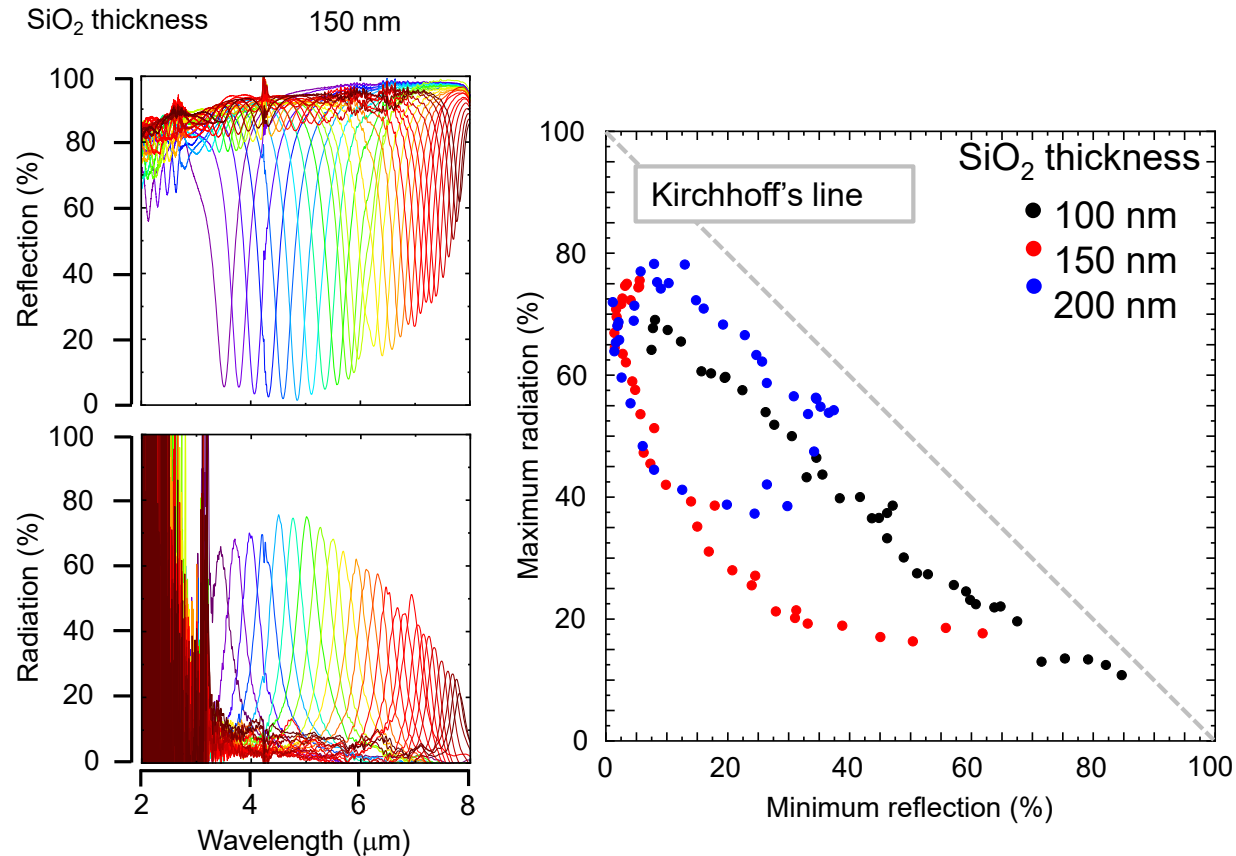
$1-R$ がemittanceとほぼ同じ

→Kirchhoffの法則とよい一致を示す

誘電体膜厚が10nmでは反射率は40%程度が限界

→ **$R \sim 0$ になれば100%の放射**が得られる？

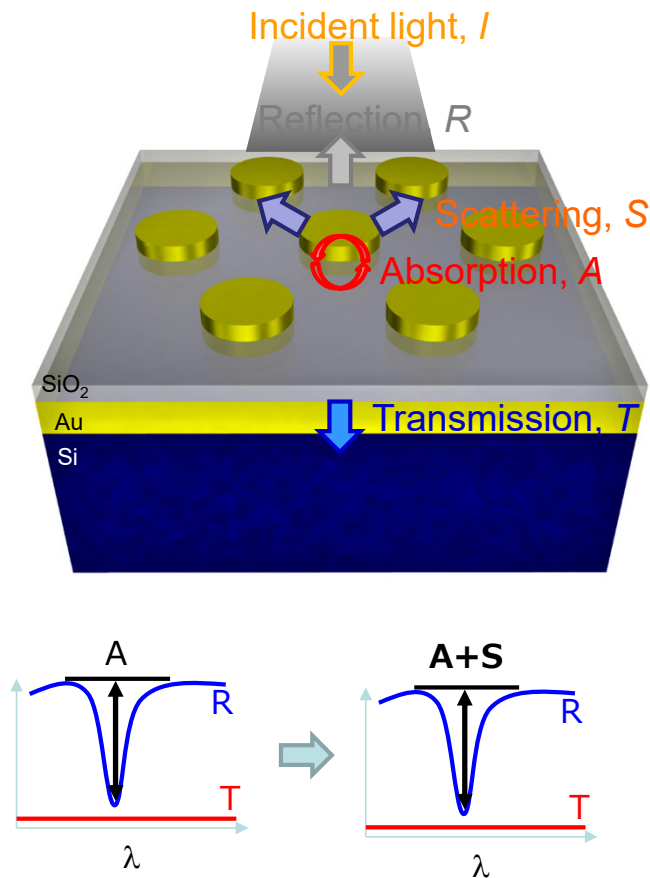
無反射条件でも放射率が100%にならない！？



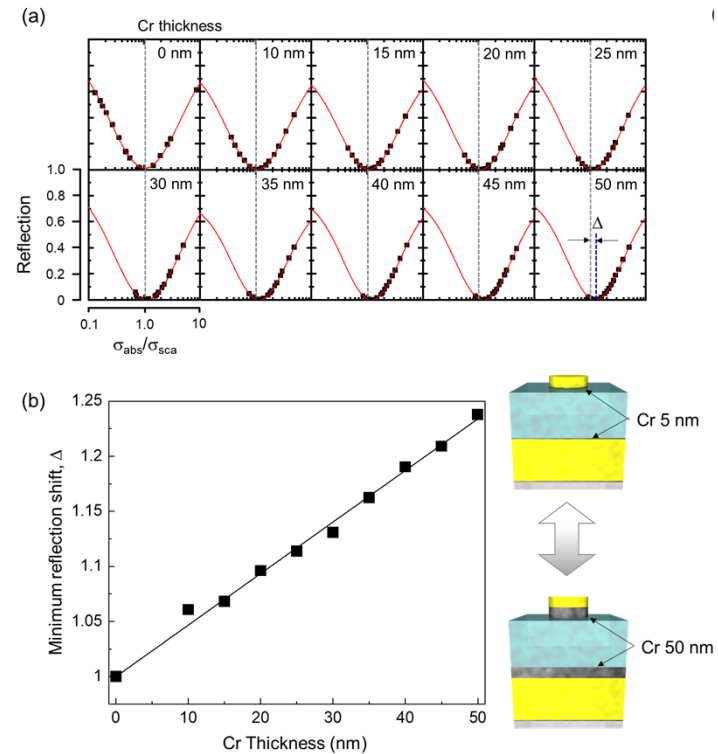
様々な条件で網羅的に試したが、放射率の最大は約80%

→何が原因か？

光のエネルギー収支と吸収効率の改善



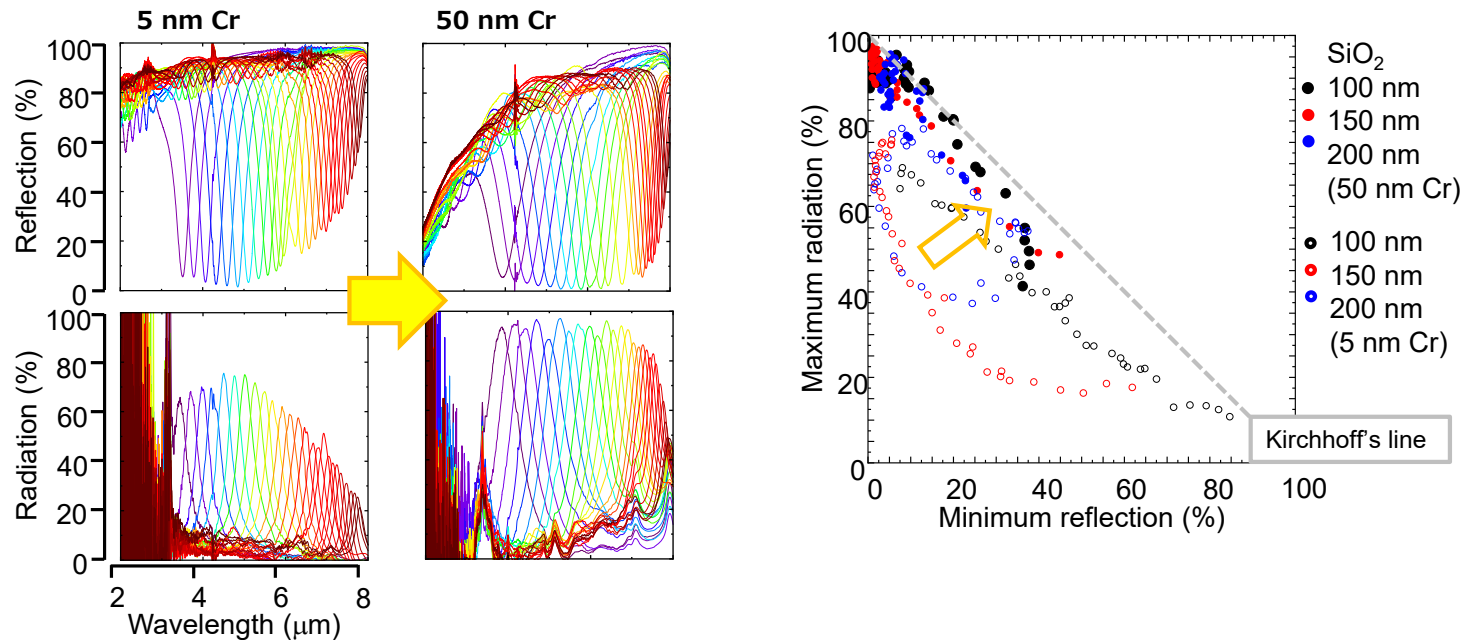
吸収の効果を増やせば
放射効率が向上するか？



Y. Nishijima, et.al, ChemRxiv. 2021, 10.26434/chemrxiv-2021-tl6l4
CC BY 4.0

Crの増加で吸収効率が向上することを確認

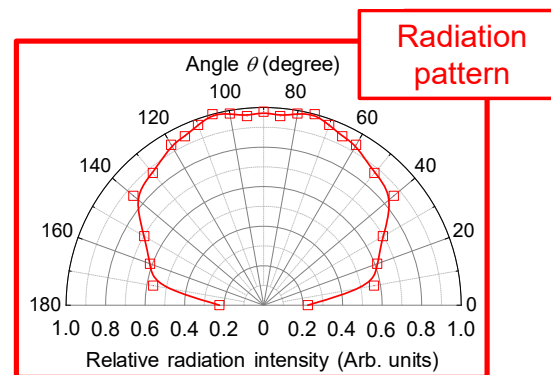
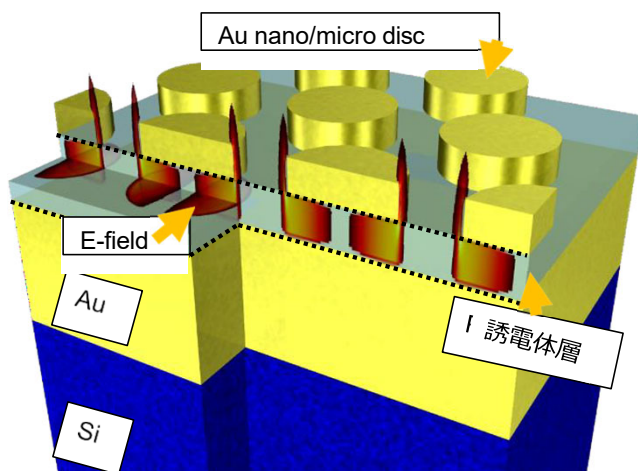
Cr層による放射効率の改善（完全吸収・完全放射の実現）



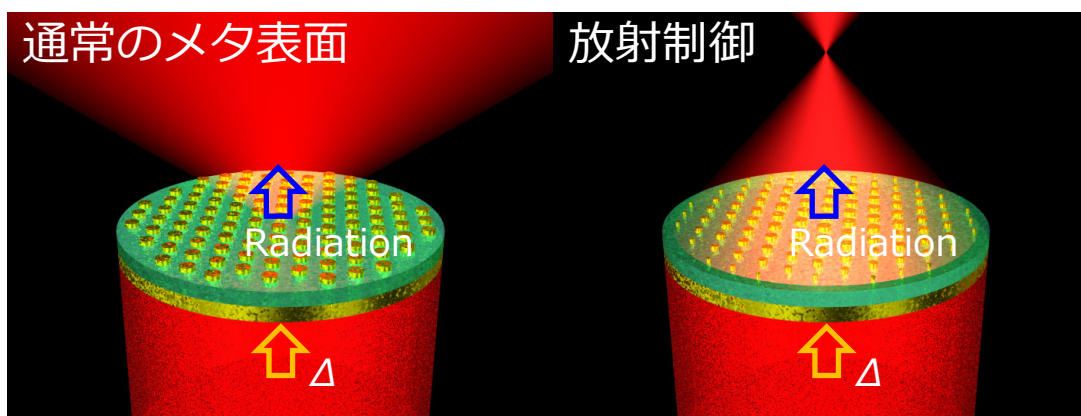
Cr層により放射効率の大幅な改善を実現
(ほぼ完全吸収・完全放射を達成)

**放射効率はこれで最大化ができる！
では検出器に効率よく光を入れるには？**

メタ表面の放射パターンを制御



Y. Nishijima, et. al, ChemRxiv. 2021, 10.26434/chemrxiv-2021-4mktw, CC BY 4.0

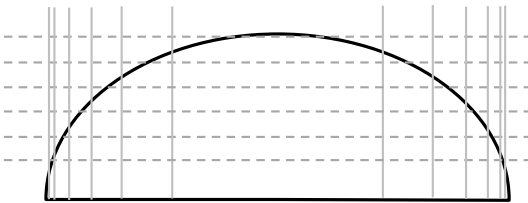


メタ表面の放射指向性を制御（メタレンズ構造を提案）

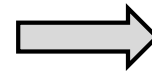
レンズ薄膜化技術の概要

屈折式レンズ

球面レンズ



2次元薄型化



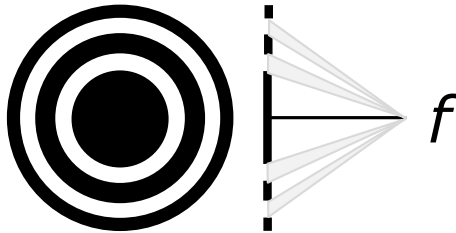
フレネルレンズ



灯台、太陽光集光
などに利用

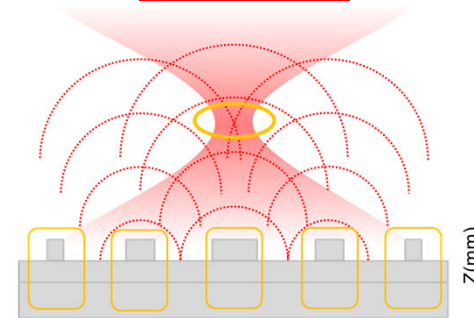
回折式レンズ

フレネルゾーンプレート



$$f \sqrt{1 + \left(\frac{r_n}{f}\right)^2} = n \left(\frac{\lambda}{2}\right)$$

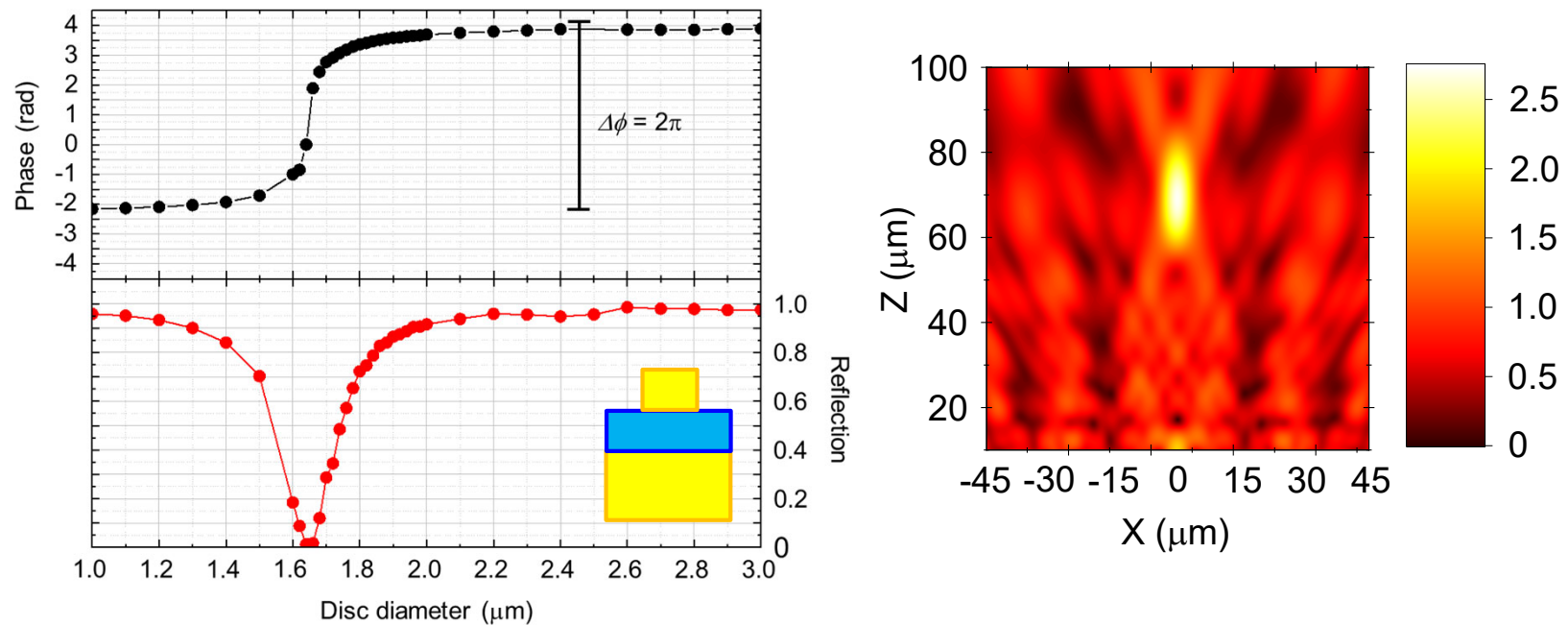
メタレンズ



$$\varphi(x, y) = \frac{2\pi}{\lambda} (f - \sqrt{f^2 + x^2 + y^2})$$

MIM型メタ表面の熱放射にメタレンズ構造を導入
→放射部=レンズ：レンズフリーで光を集光

メタレンズを導入したMIMの放射制御

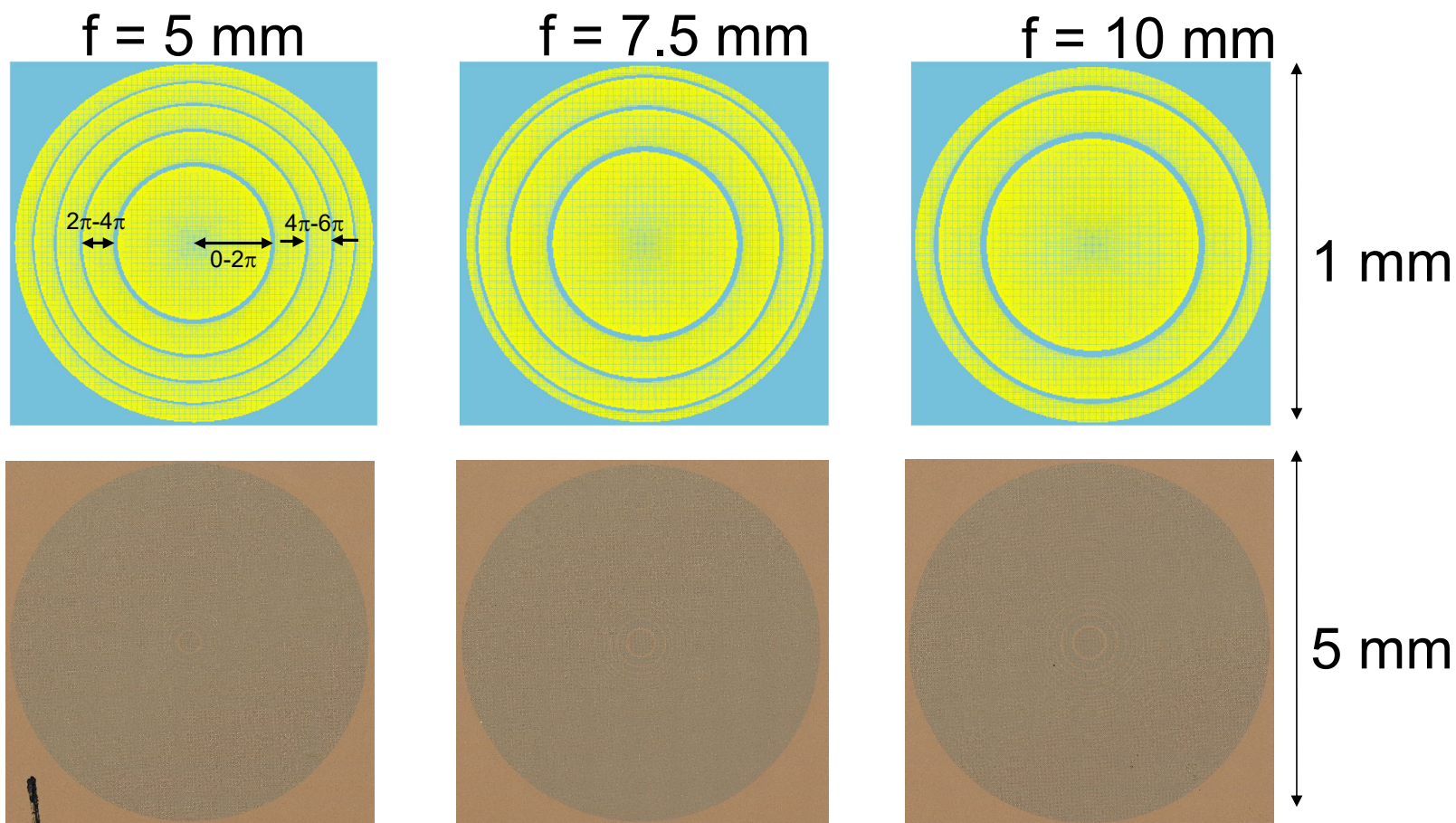


Y. Nishijima, et. al, ChemRxiv. 2025, 10.26434/chemrxiv-2025-swmcj, CC BY 4.0

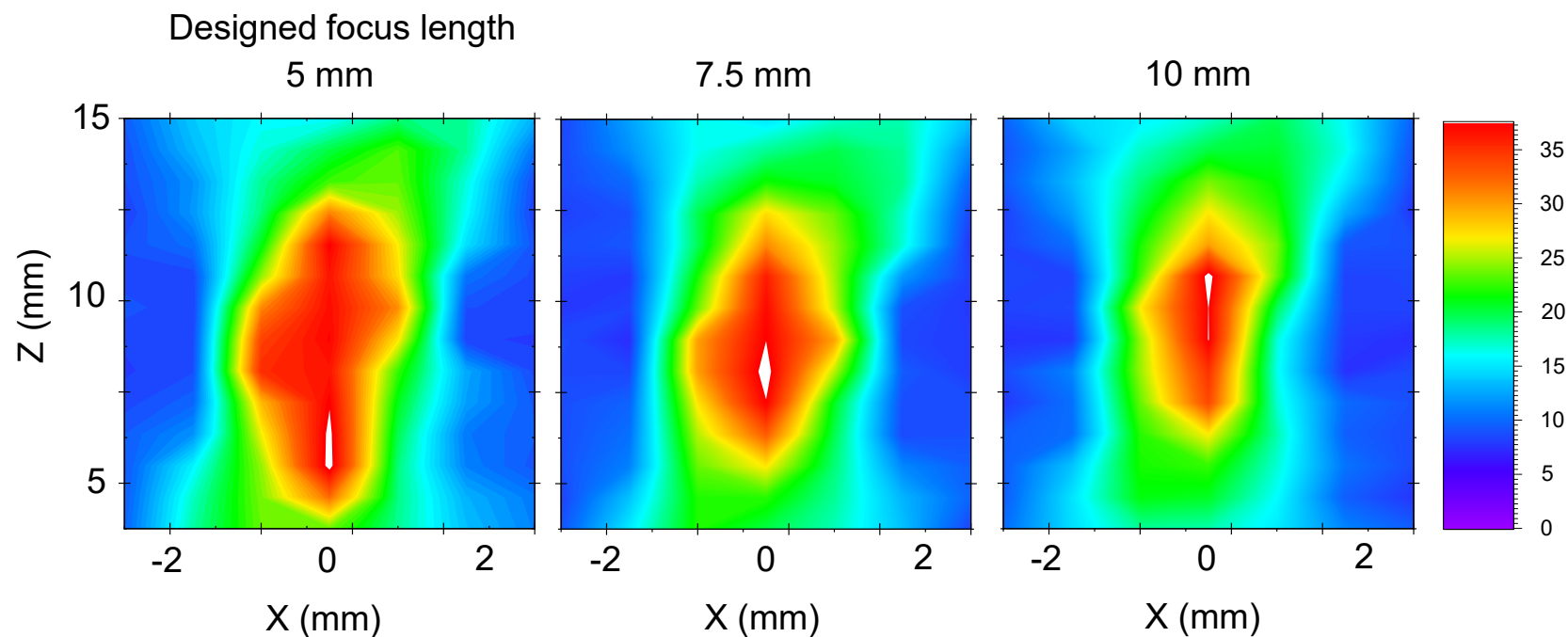
0~ 2π の範囲の位相変化を持つメタ表面の条件を見出した
FDTD計算により、集光状態を確認した。

CADデザインと試作した構造

様々な焦点でCADをデザインし、電子線リソグラフィーで作製



放射実験結果



Y. Nishijima, et. al, ChemRxiv. 2025, 10.26434/chemrxiv-2025-swmcj, CC BY 4.0

論文執筆中、特許出願中
PCT出願に向けJST支援申請中

課題点：集光効率の向上

実用化に向けた課題

- 現在、レンズを用いることなく光集光ができることを証明済みである。今後、集光効率のさらなる向上を目指して実験を進めていく

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・完全放射、光集光の実現を実証	
現在	・メタ表面の設計方法と放射計測手法が実現	
5年後	・放射効率の進展 ・メタレンズに関する集光効率の向上が実現	・デモンストレーション実施 ・JSTのA-STEP事業へ応募し研究資金獲得
10年後	・電気系を接続し集積型光源を実現	サンプル提供の実現
15年後	・長時間安定性の性能向上（耐性調査実験の検討）	試験サービスの実現

企業への期待

- 製品化に向けて集積化、パッケージングができる技術を有する企業との共同研究を希望。
- また、赤外光センサを開発中の企業、赤外線カメラ分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。
- 本格導入にあたっての技術指導等が可能
- 関連する赤外光利用に関する連携も可能

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 加熱式光源
- 出願番号 : 特願2024-124832
- 出願人 : 横浜国立大学
- 発明者 : 西島喜明、川合田剛士、関谷一真

産学連携の経歴

- 2019年度-2024年度 A社と共同研究実施
- 2021年度 JST A-STEP産学共同（育成型）採択
- 2021年度-2022年度 NEDO官民による若手研究者発掘支援事業/マッチングサポートフェーズ採択
- 2025年度 NEDO官民による若手研究者発掘支援事業スタートアップ課題解決支援型採択

お問い合わせ先

横浜国立大学

研究推進機構 産学官連携推進部門

産学官連携支援室

T E L 0 4 5 – 3 3 9 – 4 4 5 0

e-mail sangaku-cd@ynu.a c . j p