

波長選択メタマテリアルの 応用デバイス(分光・遮熱)

東北大学 大学院工学研究科
ロボティクス専攻

教授 金森 義明

2021年7月27日

新技術の概要

波長選択メタマテリアルは、周期や構造幅などを制御することによって反射率や透過率特性を変化させることができ、高度な光学設計を可能にします。本発明によって、波長選択メタマテリアル一体型分光デバイス及びその製造方法を提供することが可能になりました。また、赤外線を反射し可視光を通過させる遮熱窓の応用を可能としました。

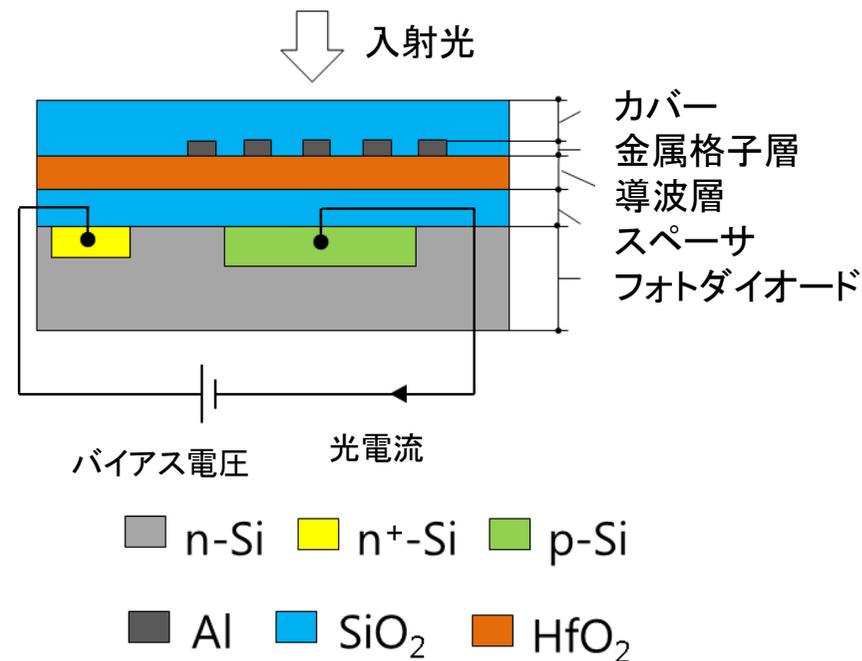
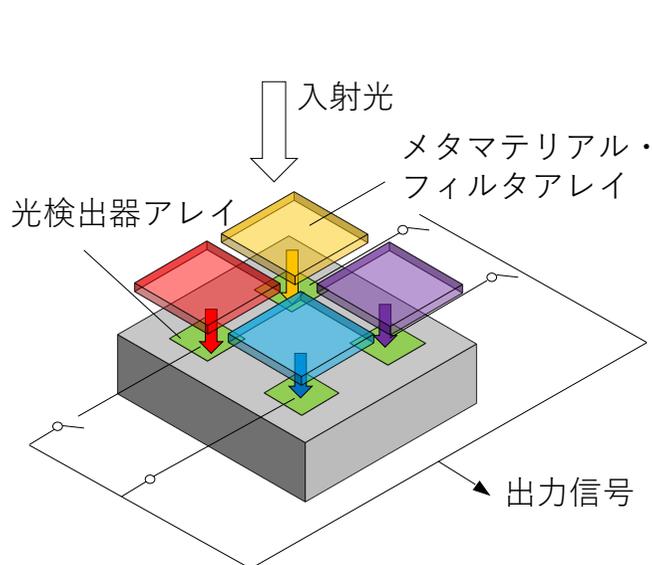
波長選択メタマテリアル一体型 分光デバイス

従来技術とその問題点

光計測・分析、光情報処理・表示等に用いる従来の分光器は回折格子を用いたものが主流であるが、分光に用いる空間が必要なため小型化に限界があり、コストもかかるという課題がある。

超小型分光器の概念図

メタマテリアルの波長選択フィルタアレイと光検出器アレイを集積化した**新原理の分光器を開発**。



分光デバイス概要
(カラーフィルタ2×2個分の例)

カラーフィルタ1素子分の構造断面図

半導体微細加工技術により安価・大量生産が可能であり、スマートフォンやIoT機器に搭載可能。

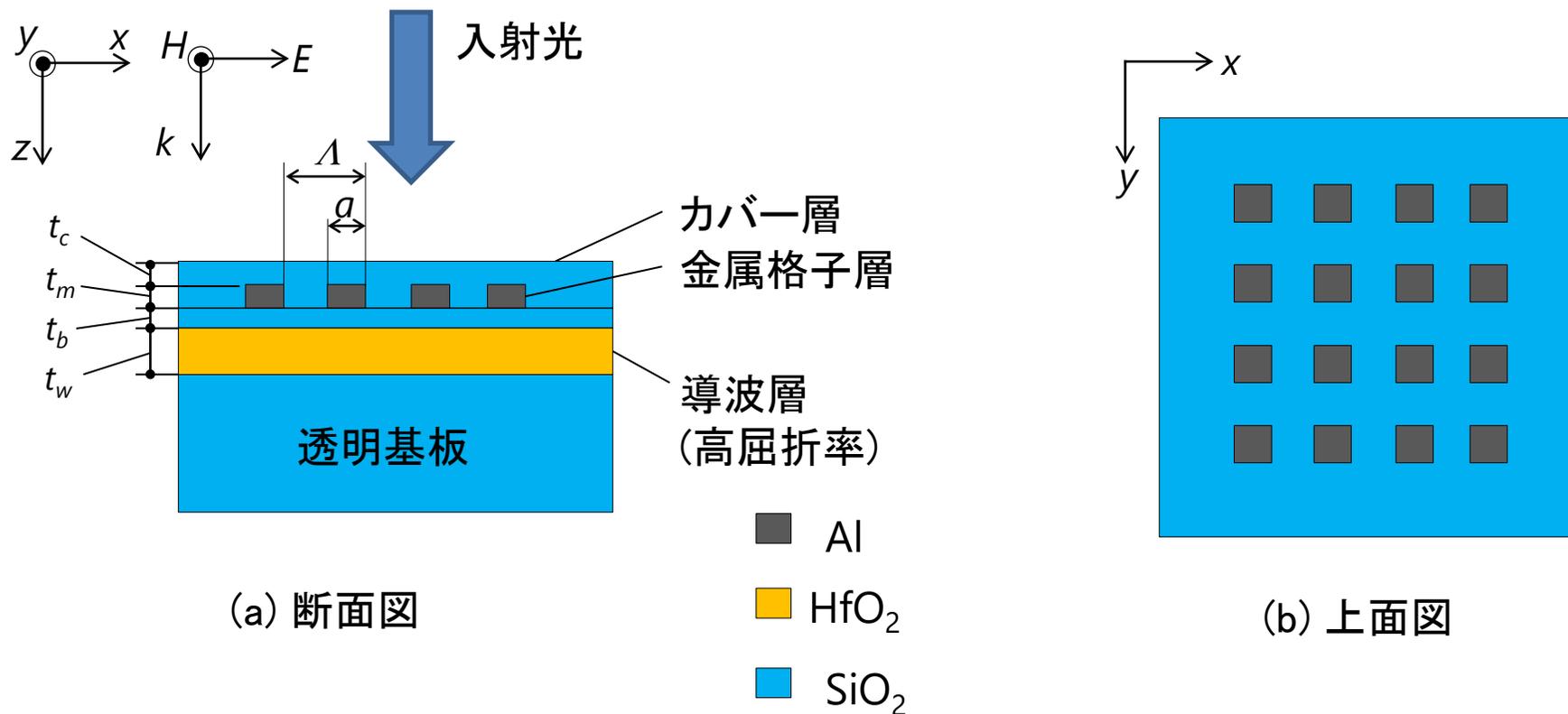
新技術の特徴・従来技術との比較

- これまでの分光器より桁違いに小さな分光器ヘッド(指先に乗るほどの大きさ)が実現可能です。
- 従来のカラーフィルタよりも1/10ほど薄型で、多色を実現でき、より高密度にフィルタを配置できます。
- 従来のプラズモニック構造より設計自由度が高く最適化が容易です。

メタマテリアルを用いた新しい カラーフィルタ構造

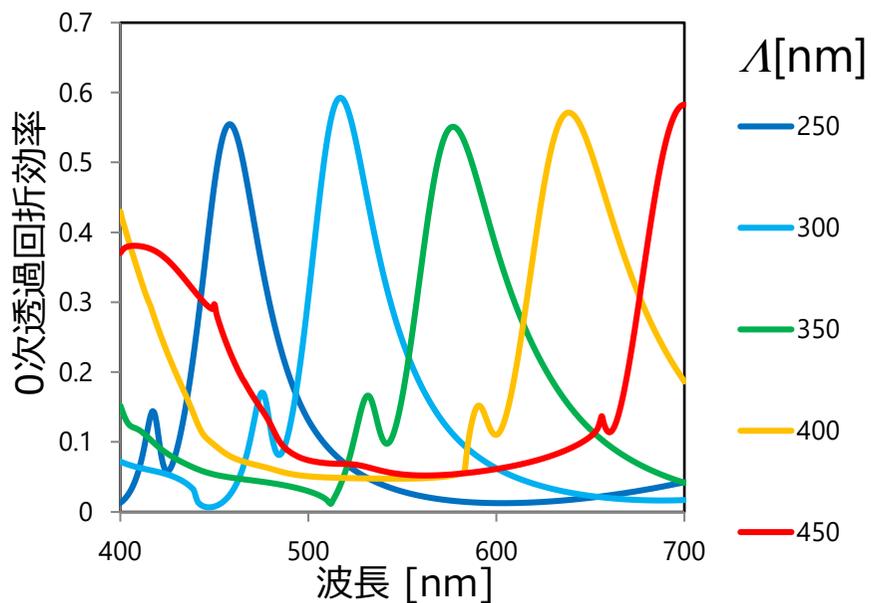
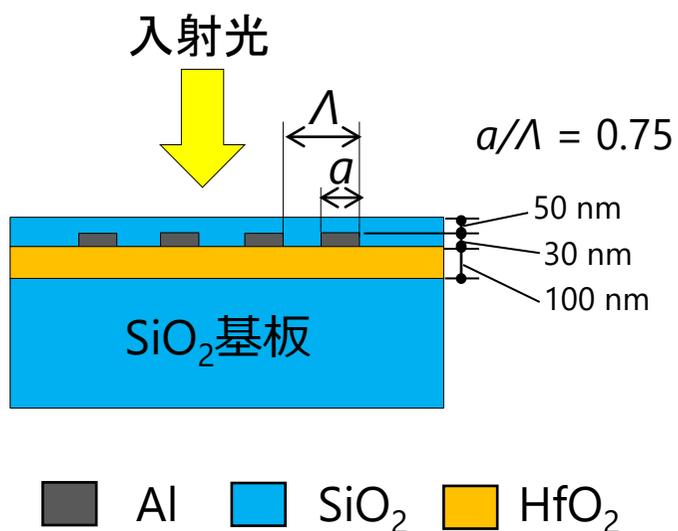
導波モード共鳴金属格子

高 Q 共振器 波長選択器



光学設計: カラーフィルタ

RCWA(Rigorous Coupled Wave Analysis)法による 光学特性のシミュレーション



製作工程

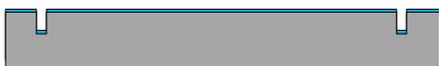
(a)n-Si 基板



(b)Si エッチング(FAB)



(c)SiO₂ 成膜(CVD)



(d)イオン注入(P)

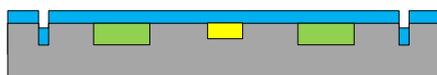


(e)イオン注入(B)

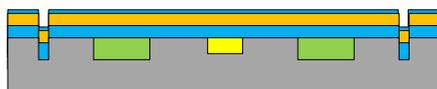


(f)アニール(RTA)

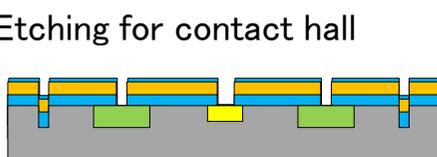
(g)SiO₂ 成膜(CVD)



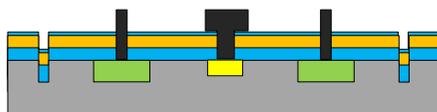
(h) HfO₂ 成膜(EB蒸着)



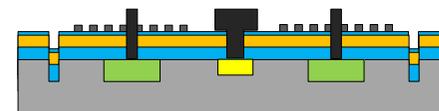
((i)SiO₂ 成膜(スパッタリング))



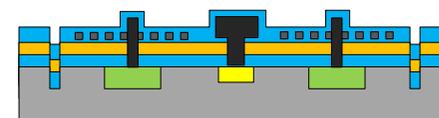
(k)Al-Si 成膜・パターニング



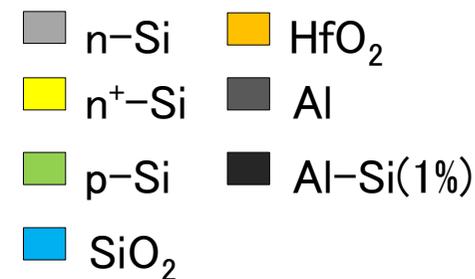
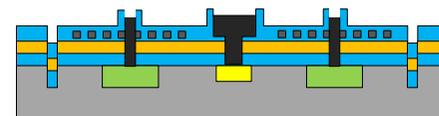
(l)Al 成膜・パターニング



(m)SiO₂ 成膜(スパッタリング)

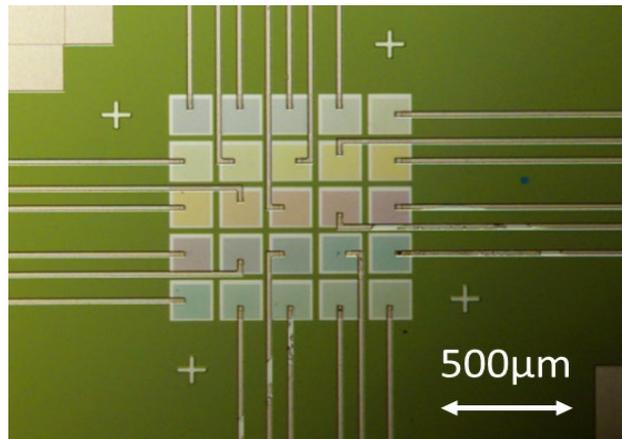


(n) コンタクトホール形成



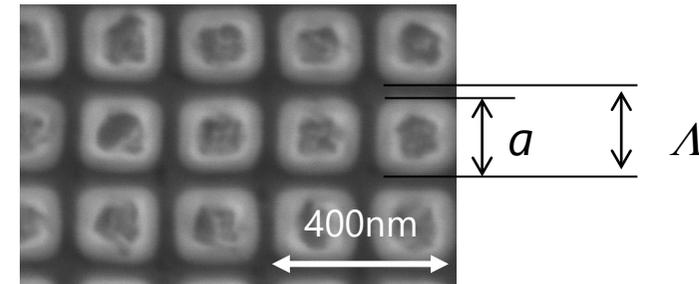
製作結果

既存の回折格子型分光器では達成できない、
米粒より小さな超小型分光器の開発に成功。



試作した超小型メタマテリアル分光デバイス

フィルタアレイの種類 $\Lambda=220\sim460\text{nm}$
(10nm刻み、25パターン)

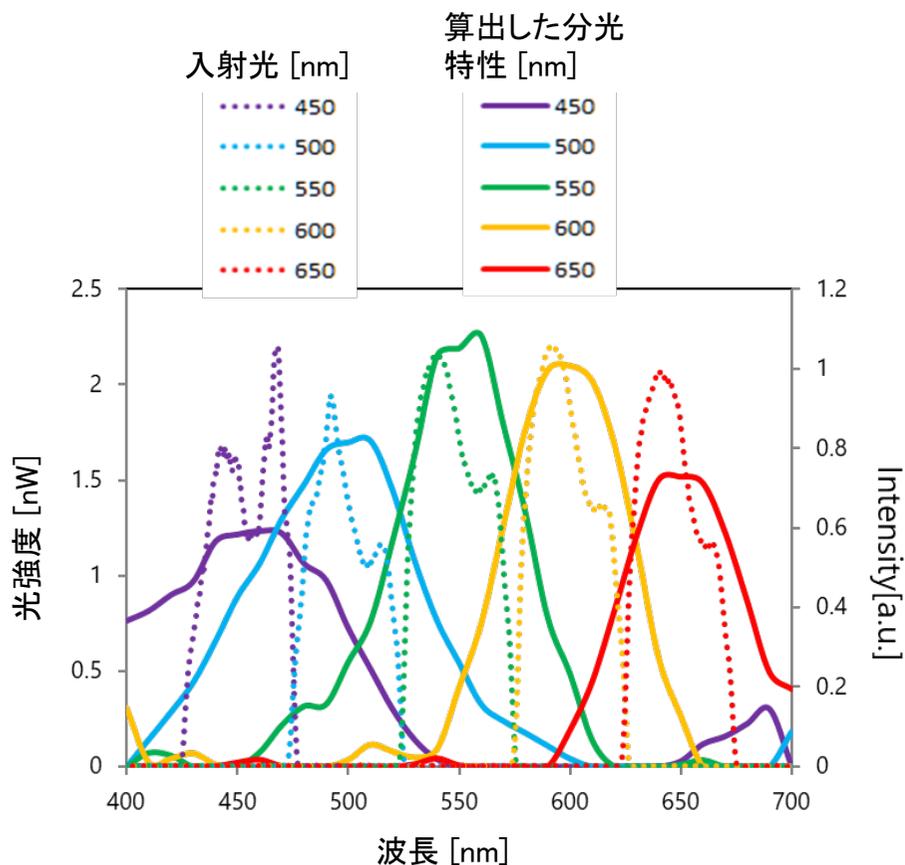


製作した構造の最小パターン

	Λ [nm]	a [nm]
設計値	220	176
実測値	223	181

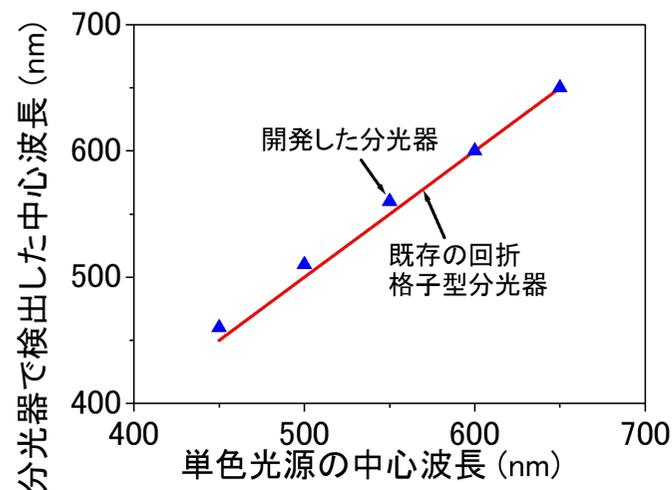
従来の回折格子を用いた分光器寸法(1辺数cm~数十cmの直方体)と比べ、本分光器寸法(1辺数mm~1cmの直方体)は圧倒的に小型。

分光特性



デバイスへの入力光(点線)と算出した分光特性(実線)

従来の分光器と本分光器は同等のピーク波長検出性能を有することを示した。



入射光(単色光)のピーク波長と分光デバイスで求めたスペクトルのピーク波長との比較

- デバイスにモノクロメータの光を入力し、その応答から分光特性を算出した。
- 帯域幅40nmの入力光の検出に成功した。

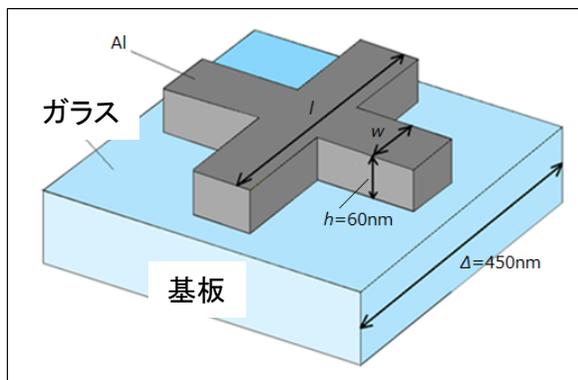
想定される用途

- ロボット・ウェアラブルデバイス(スマホなど)内蔵超小型分光センサ
- 食品の鮮度・おいしさ管理、製品の色や品質管理、印刷物やインク・塗料の管理、美容アドバイス、エンターテイメント
- 光通信、光計測・分析、光情報処理

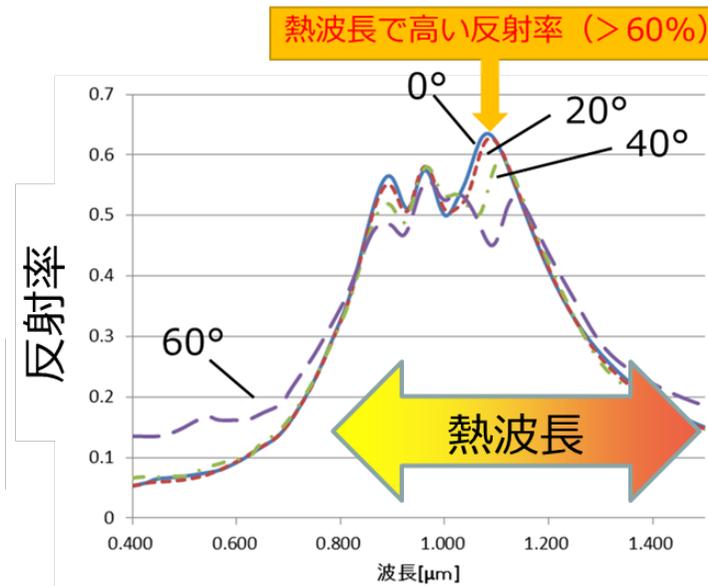
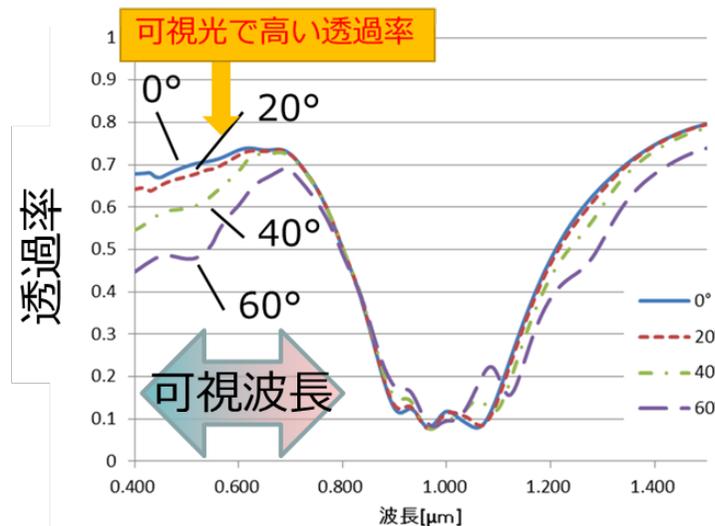
赤外線を反射し可視光を通過させる 遮熱窓

従来技術とその問題点

自動車や建物の窓等からの熱線の侵入を防ぐため、赤外線を反射する熱線遮蔽材（例えば、1種以上の金属粒子を利用）を使用する従来技術が存在する。当該熱線遮蔽材は、赤外線などの限定波長での反射率は優れているが、金属粒子をランダムに配置するため、他の波長での透過率が低下するなど、任意の波長選択性を持たせることは困難といった課題があった。



メタマテリアルのモデル：
2次元周期構造の単位構造



透過・反射スペクトル

可視光での高い透過率と熱波長での高い反射率を
両立する新しいメタマテリアルの設計技術を確立

新技術の特徴・従来技術との比較

- 本発明は、上記課題を解決し、ある工夫をすることで、安価に、設計自由度が高く最適化が容易な波長フィルタリングを提供可能である。
- 入射角度依存によるフィルタリングを活かしたアプリケーションも可能であり、多岐に渡る応用が可能である。

製作工程

(a) 基板洗浄



(b) Al 成膜



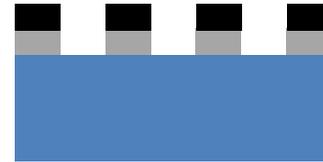
(c) レジストコート



(d) 電子線描画



(e) プラズマエッチング

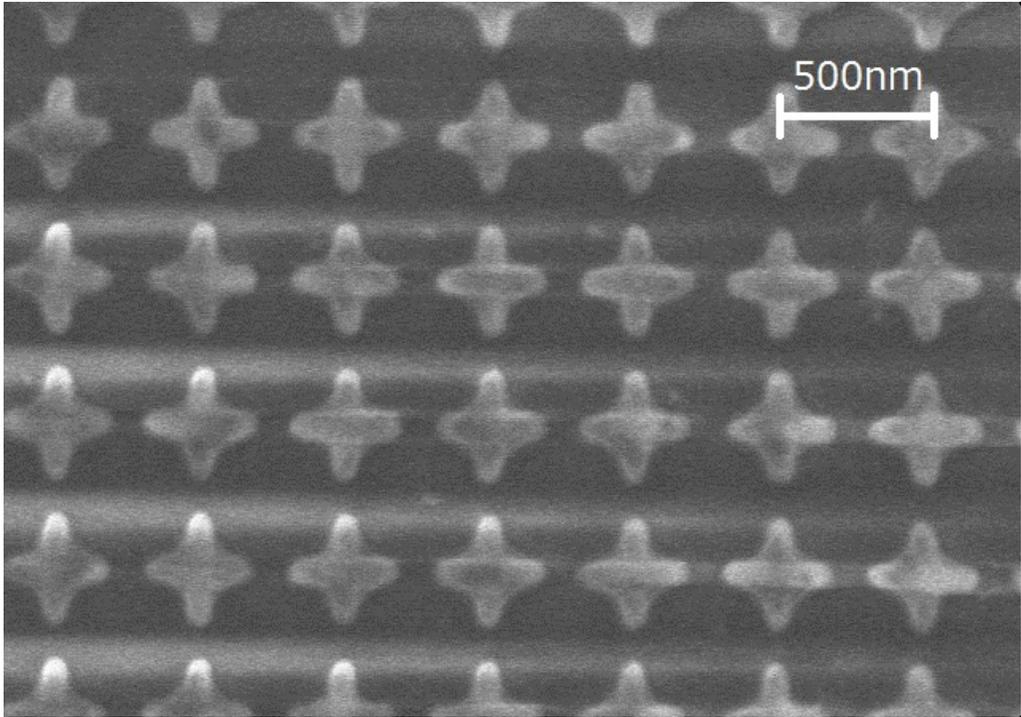


(f) 残膜レジスト除去

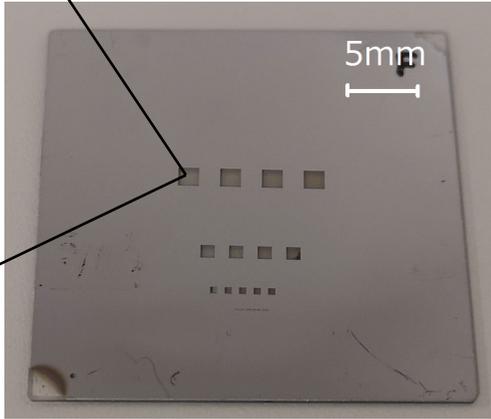


製作結果

SEM画像を元にした測定値



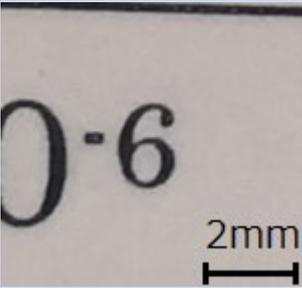
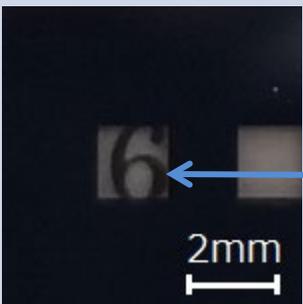
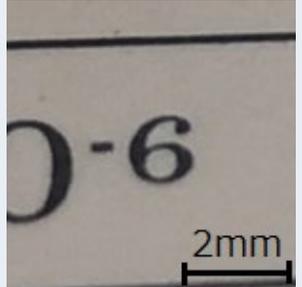
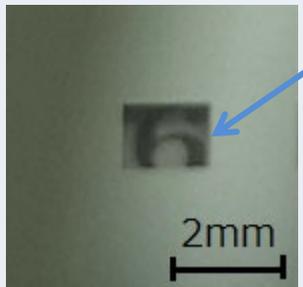
Sample No.	測定値[nm]	
	<i>w</i>	<i>l</i>
①	82	325
②	104	345
③	106	360
④	122	373

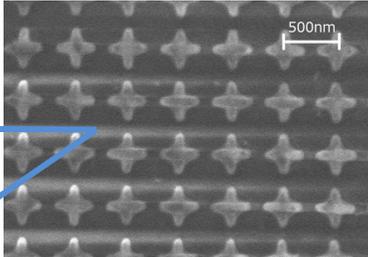


SEMによる観察結果

十字の構造を崩さず均等に配列。

透明度の観察結果

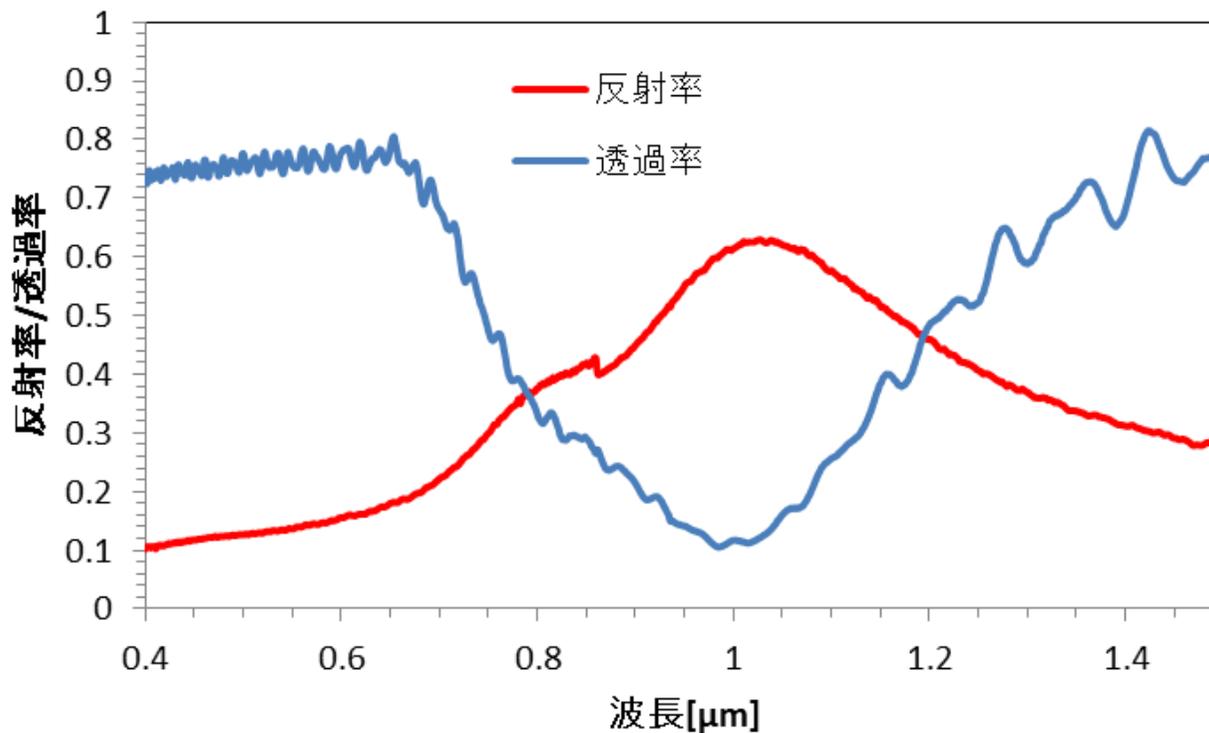
角度	元の文字	製作したメタマテリアル越しに見た文字
0°		
約40°		



開口部にメタマテリアルが配列されている。

- 0° (垂直)から見たときほぼ変わらず製作したメタマテリアル越しでも文字が読める。
- 40° 傾けると僅かに暗くはなったが、十分に製作したメタマテリアル越しに文字が読める。
- 全体が均一な寸法、周期でできている。

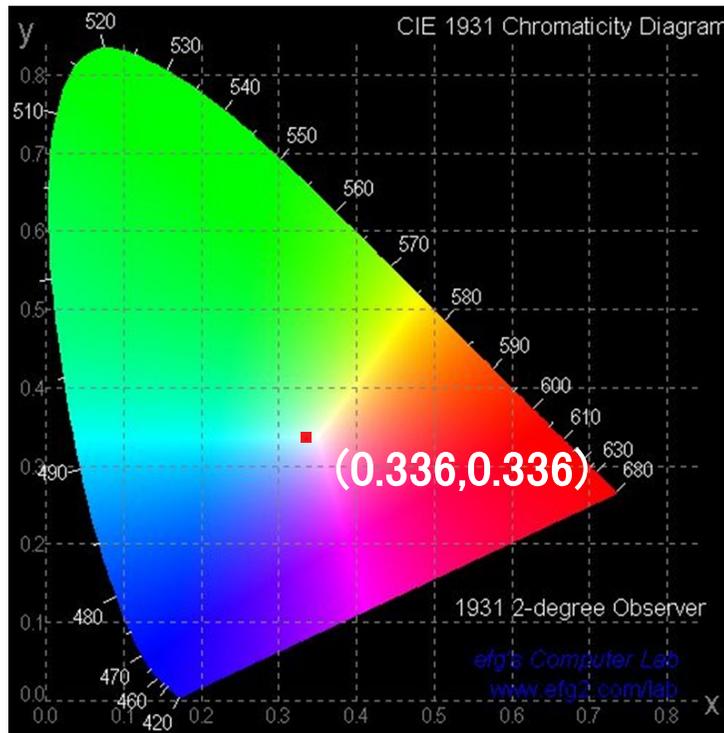
① $w = 82\text{nm}$, $l = 325\text{nm}$ の測定結果



- 可視領域で70%以上の透過率。
- 近赤外領域で最大62%の反射率のピーク(共振波長1040nm)。

① $w = 82\text{nm}$, $l = 325\text{nm}$ の色度図と遮熱性能

・色度図



■ メタマテリアル

・遮熱性能

$$(\text{日射反射率}) = \frac{\int (\text{太陽光エネルギー}) \cdot (\text{反射率}) d\lambda}{\int (\text{太陽光エネルギー}) d\lambda}$$

日射反射率

	可視領域(400~700nm)	近赤外領域(700~1500nm)
本発明	14%	43%
従来(ガラス)	3%	3%

近赤外領域においてガラスの約14倍、太陽光のエネルギーを反射することができる。

想定される用途

- 自動車・建材用遮熱窓
- スマホ、電子デバイス等のぞき見防止フィルタ

実用化に向けた課題

- 今後、メタマテリアル(金属ナノパターン)の量産技術と大面積製作技術を確立する必要がある。

企業への期待

- メタマテリアル(金属ナノパターン)の量産技術を持つ、または量産技術を開発中の企業との共同研究を希望。
- また、メタマテリアル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。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称:

透過型導波モード共鳴格子一体型分光デバイス及びその製造方法

- 公開番号:

再公表WO2019/039371、米国2020-0386619、台湾201920916

- 出願人:

国立大学法人東北大学

- 発明者:

金森 義明、羽根 一博、江間 大祐

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：
選択波長反射体
- 公開番号：
再公表WO2019/102813
- 出願人：
国立大学法人東北大学
- 発明者：
金森 義明、羽根 一博、尾藤 正斉

問い合わせ先

東北大学

産学連携機構 総合連携推進部

Website <https://www.rpip.tohoku.ac.jp/jp/>

TEL 022-795-5274

FAX 022-795-5286

E-mail souren@grp.tohoku.ac.jp