

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820020

研究課題名(和文) マイクロ空洞共振器を用いた波長選択スイッチに関する研究

研究課題名(英文) Wavelength selector with micro optical cavity

研究代表者

前田 悦男 (Maeda, Etsuo)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：60644599

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)：近年、情報通信の分野において、次世代ネットワークを構成する光通信網の研究・開発が進められている。本研究では、新しい波長選択スイッチの構成要素として、マイクロ空洞共振器アレイを提案した。実験・シミュレーションの双方からマイクロ空洞共振器アレイの波長選択性を示すとともに、空洞共振器の電場増強効果を用いたセンサデバイスを実現した。

研究成果の概要(英文)：Recent years, optical switches are expected to be improved. In this research, the micro cavity array was proposed as a new component of optical switches. Through experimental and computational work, the wavelength selectivity and electric field enhancement ability were revealed.

研究分野：光工学、ナノ・マイクロ加工

キーワード：プラズモン 空洞共振器 光通信

## 1. 研究開始当初の背景

近年、情報通信の分野において、次世代ネットワークを構成する光通信網の研究・開発が進められている。増大する通信量に対応するため、光通信網では、光波長多重通信技術を用いて通信の高速化および大容量化が図られている。光波長多重通信技術とは、一本の光ファイバに複数の異なる波長の光信号を挿入する通信技術である。

光波長多重通信技術を構成する重要な要素として、波長選択スイッチ(図1)が挙げられる。波長選択スイッチを用いることで、任意波長の光を通信ポートに割り当て、複数経路へのスイッチ切替を任意波長の光単位で行うことが可能になる。一般に、波長選択スイッチは、分光デバイス、光スイッチデバイスおよび光学系から構成される。これまでに、アレイ導波路回折格子や光学回折格子によって分光し、デジタルミラーデバイスによって波長選択スイッチを実現する構成が提案されている[1]。

本研究では、新しい波長選択スイッチの構成要素として、マイクロ空洞共振器アレイ(図2)を提案する。空洞共振器は、矩形の導波路から成り、電波の領域において任意波長の電波の透過、反射および吸収に対して高い選択性を有することが知られている。マイクロスケールの空洞共振器アレイをデジタルミラーデバイス上に一体形成することで、回折格子等の分光デバイスを用いる事なしに、波長選択スイッチを実現することが可能となる。

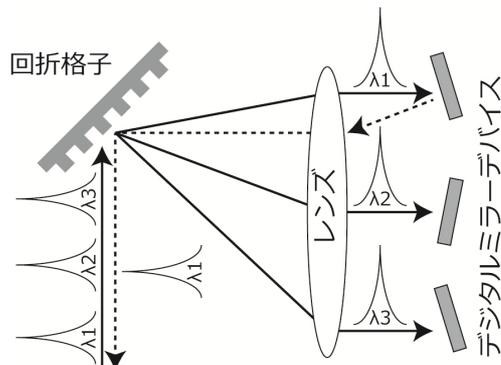


図1 波長選択スイッチの構成

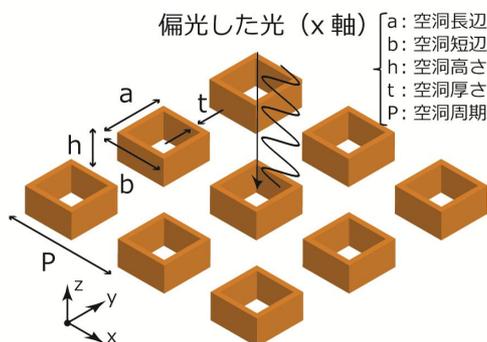


図2 マイクロ空洞共振器アレイ

これまでの研究で、高アスペクト比の金ナノフィン配列が光渦を発生し、表面の屈折率変化に敏感に反応することが明らかとなった。この現象は高アスペクト比な金属構造に特有のものであり、空洞共振器アレイにおいても同様に高アスペクト比な金属構造を用いる事で高性能な光の特性を得られることが期待される。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、マイクロスケールの空洞共振器アレイと液晶を用いた、Q値の高い光通信用波長選択スイッチを実現することである。空洞共振器は、電波の領域における共振器として用いられてきた。これまでは、光の領域における空洞共振器を、簡便なプロセスで作ることが困難であった。本研究では、フォトリソグラフィを用いた新しいプロセスによって、マイクロ空洞共振器アレイを実現する。試作したマイクロ空洞共振器アレイの反射光特性と、液晶の屈折率偏光依存性とを組み合わせることで、Q値の高い光通信用波長選択スイッチに応用する。本研究は高性能・低価格な光スイッチデバイスの実現に貢献する。

## 3. 研究の方法

(1) マイクロ空洞共振器をアレイ化することで生じる現象の解明  
過去の研究から、電波の領域において空洞構造が優れた共振器となることが知られている。しかし、光の領域において空洞共振器を実現した研究は数少なく、大面積にアレイ化した際の光学特性は未解明である。したがって、光学シミュレーション等を用いて、マイクロ空洞共振器アレイで生じる現象を解明する必要がある。

(2) 高アスペクト比なマイクロ空洞共振器の試作  
申請者は、これまでの研究において、マイクロフィン形状を有する光学デバイスを試作し、屈折率変化に対する光学特性の変化を評価してきた。マイクロ空洞共振器を用いてQ値の高い共振を実現するには、高い加工精度が要求される。したがって、試作プロセスの最適化が課題となる。

(3) 液晶を用いた温度および偏光による波長選択フィルタスイッチングの評価  
マイクロ空洞共振器は、共振器近傍の屈折率が均一な場合でのみ、高いQ値を示す。本研究では、液晶の屈折率が温度および偏光方向依存性を有することに着目し、屈折率整合によるスイッチング制御の実現を目指す。

## 4. 研究成果

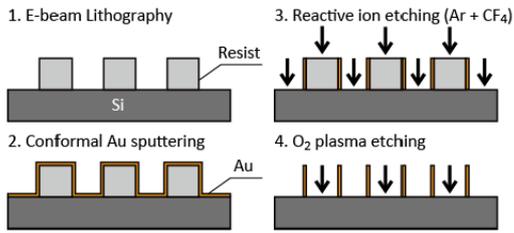


図3 マイクロ共振器アレイの試作プロセス

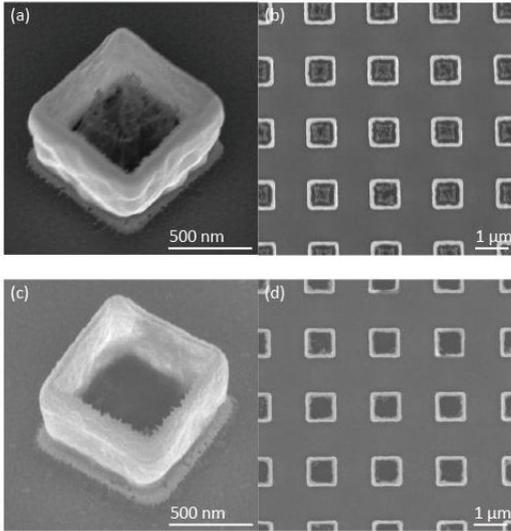


図4 試作したマイクロ共振器アレイの電子顕微鏡観察像(a)および(b)レジスト除去前、(c)および(d)レジスト除去後

図3にマイクロ共振器アレイの試作プロセスを示す。まず、Si基板上にレジストでパターンニングし、金をコンフォーマル積層する。その後、異方性エッチングにより、上面の金を除去することで、マイクロ共振器アレイを得る。試作したマイクロ共振器アレイの電子顕微鏡観察像を図4に示す。

試作したマイクロ共振器アレイについて、光学シミュレーションと測定を実施した。光学系の配置を図5に示す。光学シミュレーションには、厳密結合波解析を用いた。実験では、入射角0度を実現することができないため、入射角5度、15度、30度、45度、60度の条件でシミュレーションした(図6)。実験には、紫外-近赤外分光器を用いた(図7)。1.75 μmの領域において、ディップが観測された。光学シミュレーション結果と、実験結果を比較すると、低波長域のディップが観測されないものの、高波長域に置いては、ディップ出現位置が比較的一致しており、想定に近いデータを得ることが出来た。また、レジストを除去することで、ディップが先鋭化することが示された。

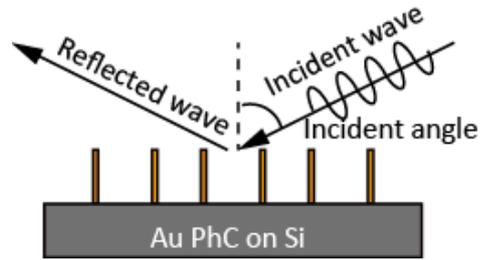


図5 実験系の模式図

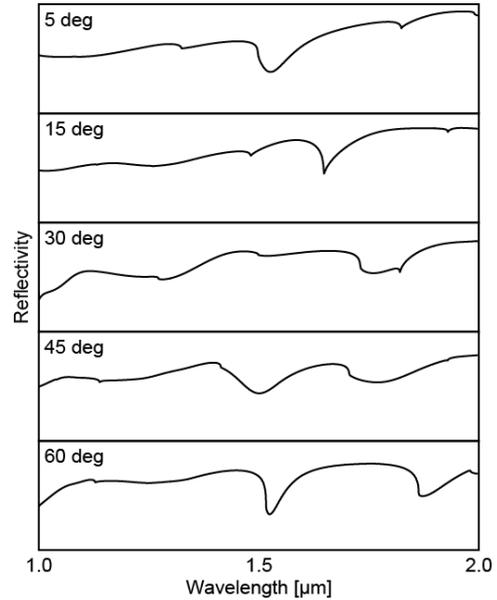


図6 光学シミュレーションによるマイクロ空洞共振器アレイの反射率データ

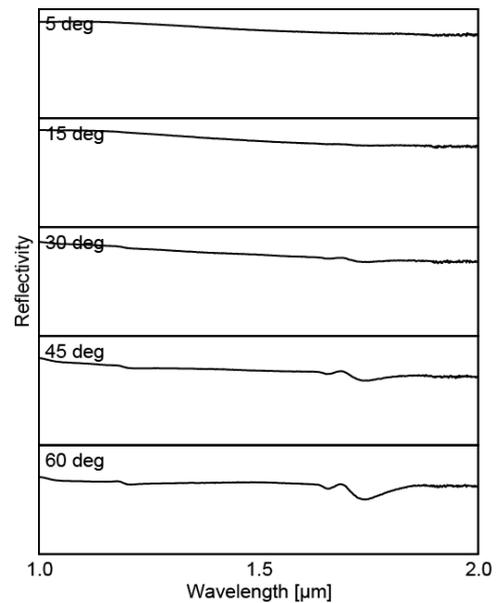


図7 実験によるマイクロ空洞共振器アレイの反射率データ

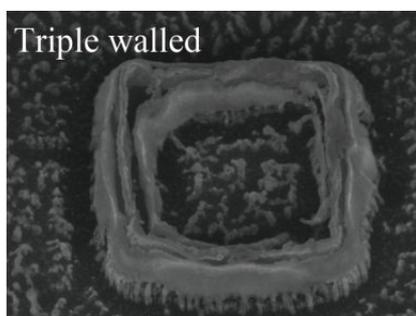


図 8 三層マイクロ空洞共振器

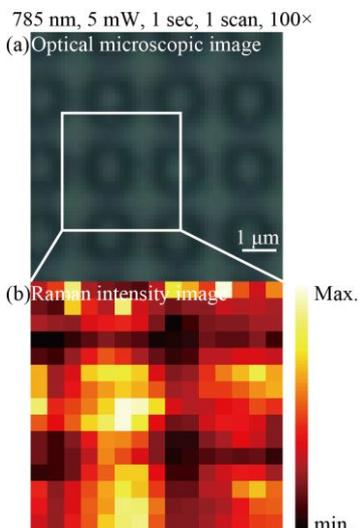


図 9 三層マクロ空洞共振器アレイの顕微鏡写真とラマン強度マッピング

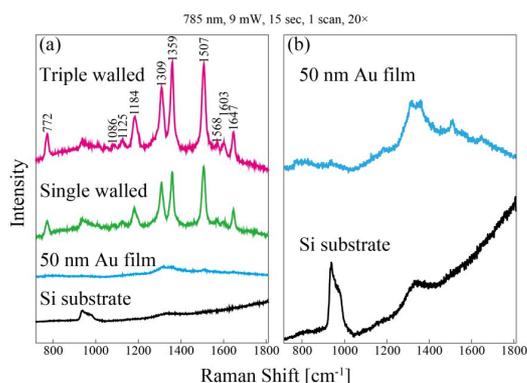


図 10 表面増強ラマン散乱の結果

マクロ空洞共振器アレイの実験の過程で、空洞共振器を複数層に重ねることができたことが分かった(図8)。重複した層の間で強い電場増強が生じることから、表面増強ラマン分光デバイスとしての応用可能性が示された。

そこで、三層マイクロ空洞共振器アレイを試作し、0.020 wt% ローダミン 6G を用いた表面増強ラマン散乱分光を実施した(図9)。

測定結果から、 $5.7 \times 10^7$  の増強度が確認され、本構造が、空洞共振器だけでなく、電場増強による表面増強ラマン分光デバイスとしても応用可能であることが示された。

#### 参考文献

[1] T. A. Strasser *et al.*, "Wavelength-selective switch for ROADM Applications," IEEE journal of selected topics in quantum electronics, 16, 1150, 2010.

[2] E. Maeda *et al.*, "Sensitivity to refractive index of high aspect-ratio nano-fins with optical vortex," Nanotechnology, 23, 505502, 2012.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 3件)

Etsuo Maeda, Fabrication Technology for Three Dimensional Metallic Photonic Crystal Slab, IEEE NEMS 2014, 13-16 April, 2014, Hawaii, USA.

Tatsuya Baba, Yaerim Lee, Ai Ueno, Ryo Takigawa, Reo Kometani, and Etsuo Maeda, Triple-Walled Gold Structures with Nano-Gaps for Non-Resonance Surface Enhanced Raman Scattering of Rhodamine 6G molecules, MNC2014, 4-7 November, 2014, Fukuoka, Japan.

馬場 達也、イエ リム、上野 藍、多喜川 良、米谷 玲皇、前田 悦男、表面増強ラマン散乱のためのラメラ状金属構造に関する研究、第 6 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム、20-22 October, 2014, 松江, 日本。

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

前田悦男 (Maeda, Etsuo)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号: 60644599