

機関番号：13801

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760046

研究課題名(和文) 自己組織化法による金属ナノレンズの作製

研究課題名(英文) Fabrication of metallic nanolens by self-organization method

研究代表者

小野 篤史 (ONO ATSUSHI)

静岡大学・若手グローバル研究リーダー育成拠点・特任助教

研究者番号：20435639

研究成果の概要(和文)：

本研究は、光ナノイメージングを目的とし、銀ナノワイヤアレイ構造の作製手法を確立する。銀ナノワイヤは表面プラズモン共鳴によって光を伝送する特性をもつ。申請者は、銀ナノワイヤをアレイ状に配列した構造がレンズの役割を果たすことを世界で始めて見出した。さらにワイヤ径程度の数十ナノメートルに限られた領域の光電場情報を伝送するため、従来不可能であった回折限界を超えた光ナノイメージングを実現するデバイスとして有用である。

本研究では、デバイス作製にあたり、重要となる銀ナノワイヤのワイヤ長、周囲媒質に対する共鳴波長依存性について計算により調べた。任意の径、ピッチを有するナノホールアレイを自己組織化的に作製し、ナノホール内に電気めっきにより銀を充填するため、アルミニウムの陽極酸化装置、ならびに電気めっき装置を開発した。

研究成果の概要(英文)：

Fabrication method of silver nanowire array is established for optical nano-imaging. Silver nanowires have the property of optical transfer by surface plasmon resonance. We found out the array of silver nanowires act as one of the lens. Furthermore, it is useful as nano-imaging device beyond the diffraction limit, because it transfers the electric field confined to several tens of nanometer as wire diameter.

In this research, I have simulated the resonant spectra depending on the wire length and wire diameter for the device fabrication. The apparatus for anode oxidization of aluminum and electro plating was developed to fabricate nanohole array in self-organization process and fill their nanoholes in silver, respectively.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：近接場光学，プラズモニクス

科研費の分科・細目：応用光学・量子光工学

キーワード：近接場光学，表面プラズモン，イメージング，金属ナノロッド

1. 研究開始当初の背景

金属ナノ構造体表面に誘起されるプラズモン増強効果とその閉じ込め効果を利用したプラズモニック光ナノイメージングは、光の波動性による空間分解能の制限、回折限界を打ち破り、高い信号雑音比でナノイメージングを実現する手法として、近年盛んに研究が行われている。我々は、ナノサイズの金属がレンズの作用をすること、さらに従来のレンズをはるかに凌駕する解像度が得られることを提案し、計算により示した。そのイメージングデバイスの作製技術は確立されておらず、新しいナノイメージング法の実証に向けて、作製手法の確立が重要であると考えた。

2. 研究の目的

本研究は、光ナノイメージングを目的とし、銀ナノワイヤアレイ構造の作製手法を確立する。作製手法の確立にあたって、作製可能なワイヤ長、ピッチを明らかにする。周囲媒質屈折率やワイヤ長に対する共鳴波長、イメージングスポット径の変化を計算により調べる。

3. 研究の方法

(1) 周囲媒質、ワイヤ長に依存して、プラズモン共鳴波長が異なるため、その特性を3次元 FDTD 法により解析する。インパルス光源を設置し、銀ナノワイヤを介してインパルス応答を取得する。フーリエ変換することによってスペクトルを解析する。この計算により銀ナノワイヤが有するプラズモン共鳴波長が分かる。さらに、共鳴波長における電場強度分布を計算することにより、画像伝送現象を可視化する。

(2) 銀ナノワイヤアレイ構造の作製手法として自己組織化法を適用する。アルミニウムを陽極酸化することによって、高アスペクト比を有するナノホールアレイが自己組織化的に形成されることが知られている。このナノポーラスアルミナを鋳型として、電気めっきにより銀を埋め込み、目的とする銀ナノワイヤアレイを作製する。電気めっき法は、充填金属の膜厚コントロールが容易である。本手法はアスペクト比の高い金属ナノワイヤアレイを大面積に一括して作製するのに適している。さらには直径数 10nm と微細なホールにも金属を充填できるため、本研究目的に適した手法と考える。

4. 研究成果

(1) デバイス作製にあたり、重要となる銀ナノワイヤのワイヤ長、周囲媒質に対する共鳴波長依存性について3次元 FDTD 法により計算した。

図 1 (a)は、銀ナノワイヤ、ワイヤ径 20nm、ワイヤ長 450nm のときの画像伝送共鳴スペクトルを示す。複数のピークが見受けられた。これらのピークはワイヤ縦軸方向に振動する局在表面プラズモンの高次振動モードである。図 1(b)は、共鳴波長 465nm (7次振動モード)において銀ナノワイヤに誘起される局在表面プラズモンポラリトンの電場強度分布を示す。定在波が励起されていることが分かる。この共鳴振動により、銀ナノワイヤを介して物体からの光情報を高効率に伝送できる。アレイ化した銀ナノワイヤでは、このワイヤが伝送素子の役割を果たすため、2次元の画像を一括して伝送することが可能となる。アレイ間隔が狭いほど、鮮明な画像が伝送される。共鳴プラズモンを利用した本手法は、光の波動性による回折限界の制約を受けない。数 10nm の超空間分解能をもって画像伝送できるため、新しい光学レンズとして期待される。

図 2は銀ナノワイヤ、ワイヤ径 20nm としたときのワイヤ長に対する共鳴波長依存性を示す。ワイヤを長くすると、基本振動モードは長波長側へシフトし、可視光領域には高次の振動モードが励起された。

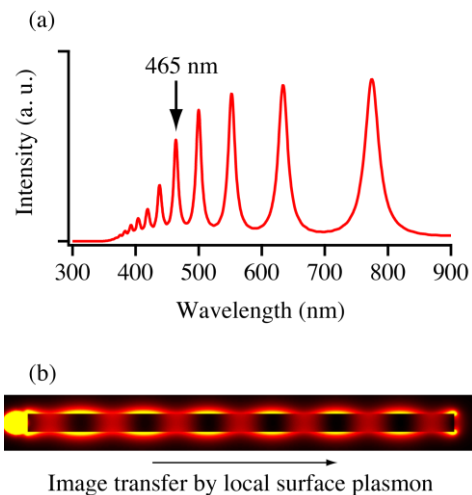


図 1 銀ナノワイヤ、ワイヤ径20nm、ワイヤ長450nmのときの(a) 画像伝送共鳴スペクトル、(b) 波長465nmにおける強度分布

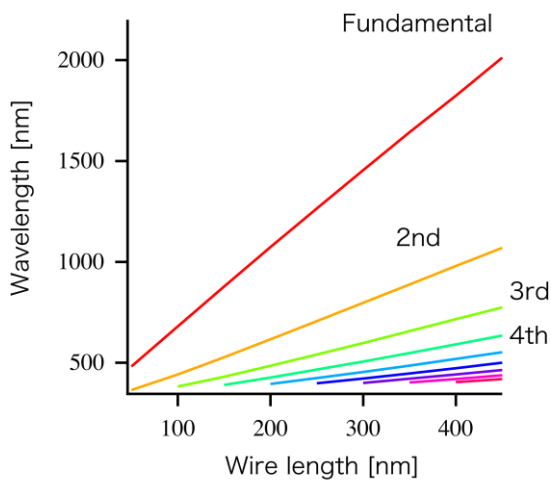


図2 銀ナノワイヤ、ワイヤ径 20nm としたときのワイヤ長に対する共鳴波長依存性

図3は周囲媒質屈折率変化に対する局在表面プラズモン共鳴波長を示す。銀ナノワイヤは、ロッド長 50nm, ロッド径 20nm とした。周囲の屈折率に対して線形に長波長側シフトすることが分かった。また、周囲媒質が透明材料であれば、伝送強度、イメージングスポット径は変わらないことが確認された。

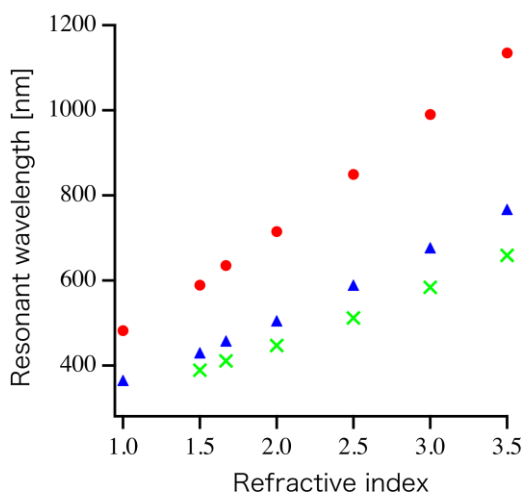


図3 銀ナノワイヤ、ワイヤ長 50nm, ワイヤ径 20nm としたときの周囲媒質屈折率に対する共鳴波長依存性

(2) アルミニウムを陽極酸化するための装置を開発した。アルミニウムを陽極酸化し、テンプレートとなるナノホールアレイが自己組織的に形成される。ナノホールアレイのピッチやホール径は電解液浴槽温度に依存するため、浴槽内全体の温度が制御できる装置を用いた。アルミニウム膜を浴槽内において安定して保持できる治具を作製した。電極線を定電圧電源につなぎ、浴槽付近の電極線はテフロンで被覆した。電気めっきにおいても同装置が用いられるように、治具等を工夫した。

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)

[雑誌論文] (計 1 件)

“ナノ分解能イメージングを実現する金属ナノレンズ”, 小野篤史, 表面科学, 31, 9, 500-505 (2010). 査読無

[学会発表] (計 5 件)

① “Plasmonics for nano-imaging”, Atsushi Ono, 2nd Collaborative Forum between Shizuoka University and the National Institute Fusion Science (Shizuoka univ., Shizuoka, Japan, February 15th, 2011).

② “ナノサイズの金属による超解像レンズの実現に向けて -プラズモニクス研究-”, 小野篤史, 創造科学技術大学院・平成 22 年度第 3 回研究フォーラム (静岡大学, 浜松, 2010 年 11 月 15 日).

③ “Optical nano-imaging by plasmonic device”, Atsushi Ono, Korea-Japan Joint Symposium (Yonsei Univ., Seoul, Korea, June 25th, 2010).

④ “光の高効率利用 -ナノプラズモニクス-”, 小野篤史, 第 3 回研究・開発成果発表会 (アクトシティ浜松 研修交流センター, 浜松, 2010 年 6 月 16 日).

⑤ “Plasmonic nano-imaging with metallic nanolens”, Atsushi Ono, Prabhat Verma, and Satoshi Kawata, 8th International Conference on Global Research and Education (Kazimierz Dolny, Poland, September 14th-17th, 2009).

〔その他〕

第22回安藤博記念学術奨励賞受賞

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野 篤史 (ONO ATSUSHI)

静岡大学・若手グローバル研究リーダー育

成拠点・特任助教

研究者番号：20435639