

Title	Plasmonic nanorod array for nano-imaging
Author(s)	小野, 篤史
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46925
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	小野篤史
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 20295 号
学位授与年月日	平成 18 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科応用物理学専攻
学位論文名	Plasmonic nanorod array for nano-imaging (プラズモニックナノロッドアレイを用いたナノイメージング)
論文審査委員	(主査) 教授 河田 聡 (副査) 教授 萩行 正憲 教授 八木 厚志 基礎工学研究科助教授 高原 淳一

論文内容の要旨

本論文では、銀チップや銀薄膜など、プラズモニックな金属ナノ構造に着目し、近接場を高効率に伝送する銀ナノロッドアレイ構造を世界で初めて提案した。本研究では、この構造を用いた光周波数領域での新しい超解像イメージングを目的とし、銀ナノロッドアレイの近接場光伝送メカニズムと特性を数値解析により明らかにした。提案した銀ナノロッドアレイ構造は、高さ 50 nm、ロッド径 20 nm の銀ナノロッドをピッチ 40 nm で六方最密構造状に配列した構造であった。銀ナノロッドアレイに対して垂直方向に振動する電気双極子光源をアレイ底面近傍に配置すると、ロッドアレイを介して反対面にロッド径程度のナノスポットが得られることを計算によって明らかにした。計算には 3次元有限差分時間領域 (FDTD 法) を適用した。透過スペクトルを計算すると、波長 488 nm 近傍に周波数ピークが得られた。ナノスポットの形成には、ロッド縦軸方向に振動する電子によって誘起される表面プラズモンポラリトン (SPP) が寄与していることが 3次元 FDTD 解析から分かった。

第一章では、金属ナノ構造体上に誘起される SPP について述べた。金属チップや金属ナノワイヤーなどに誘起される SPP を利用してナノイメージングやナノ光導波路を実現した研究について紹介した。

第二章では、金属薄膜によってナノイメージングが可能であることを述べた。金属がもつ負の誘電率によってナノイメージングに欠かすことのできないエヴァネッセント波が増強されることを解析的に示した。また金属薄膜両界面に誘起される SPP がナノイメージングに寄与していることを FDTD 計算によって明らかにした。

第三章では、金属ナノロッドをアレイ状に配列させた構造によって金属薄膜よりも超解像かつ高効率なナノイメージングが可能であることを FDTD 計算により示した。また光源からのインパルス応答をフーリエ解析することによって金属ナノロッドアレイがもつスペクトル特性を示し、その超解像イメージングメカニズムについて述べた。

第四章では、銀ナノロッドアレイがもつ像特性の構造パラメータ依存性を示した。

第五章では、可視光領域における長距離近接場像伝送を目的とした積層型金属ナノロッドアレイを提案した。そのスペクトル特性や像分布、積層間距離依存性を示した。

第六章では、提案した金属ナノロッドアレイ構造のナノテクノロジーへの応用について述べた。

最後に総括と今後の展望について述べた。

論文審査の結果の要旨

光学顕微鏡の空間分解能は、光の波長によって制限される。可視光で試料を観察すると、光の波長による制限から空間分解能は 300 nm 程度が限界であった。本研究は、複数の金属ナノロッドを剣山のように並べた構造が、ナノメートルレベルの空間分解能を有するレンズの働きをすることを提案し、基本原理を計算により実証している。以下に本論文の研究成果をまとめる。

本論文では、直径 20 nm、高さ 50 nm の銀ナノロッドを、40 nm 間隔で配列させた構造によって、空間分解能 40 nm の光ナノイメージングが可能であることを解析的に示している。解析手法には有限差分時間領域法を用いている。銀ナノロッドアレイによる光ナノイメージングは、各ロッドに誘起される表面プラズモンポラリトンを利用している。銀ナノロッドアレイに試料を近接させて光を照射すると、試料の情報を含んだ光が各銀ナノロッドの先端面で表面プラズモンに変換されて伝わり、もう一方の端面で再び光に変換される。この光と表面プラズモンとの作用は各銀ナノロッドで独立してロッド径程度の範囲内でのみ起こるため、直径 20 nm という可視光波長より十分小さな構造をアレイにして用いることで回折限界を超えたナノイメージングが可能となる。

銀ナノロッドアレイ構造の有する光学特性では、アレイピッチが 40 nm 以下になると、複数のロッドに表面プラズモンが誘起されナノスポットを形成しないことを明らかにしている。複数のコヒーレント光が存在する場合、像面において互いに干渉を及ぼしあいアーティファクトが得られることを示している。アスペクト比 7.5 の銀ナノロッドでは 3 次までの高次プラズモン振動モードが誘起されることを確認している。2次元長距離光伝送を目的とした積層型ナノロッドアレイを提案し、非積層型と比較して 3 倍伝送効率が向上することを計算により示している。

金属ナノロッドアレイによるイメージングは、光を用いているため電子顕微鏡などでは不可能な生体試料の観察が可能である。イメージング側に感光材料を置けばナノパターニングが可能である。半導体集積回路製造における光リソグラフィや新素材の開発、バイオサイエンス研究分野に応用すれば従来の光技術の限界を超える技術革新につながる。本論文の研究成果は、将来的な産業応用、実用化が期待され、応用物理学特にプラズモニクス研究分野に貢献するものと考えられる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。