

金属テーパー構造における光ナノ超集束の数理解析 とその実験応用

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2010-11-16 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 栗原, 一嘉, 香川, 喜一郎 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/2771

金属テーパー構造における光ナノ超集束の数理解析とその実験応用

研究代表者：栗原 一嘉（教育地域科学部、准教授）

電話：0776-27-8685、メールアドレス：kuri@u-fukui.ac.jp

共同研究者：香川 喜一郎（教育地域科学部、教授）

概 要	
金属表面を伝搬する光は、表面プラズモンとして知られている。自由空間を伝搬する光は回折限界より小さな領域に集光することはできないが、テーパー構造の金属を伝搬する表面プラズモンでは、回折限界を超えて小さなナノ寸法の領域に光エネルギーを集束させることができる。今まで円錐や楔の構造に対して光のナノ超集束を検討してきたが、本研究では、曲率半径を考慮した最も簡単な構造である放物体を検討した。驚いたことに、学会で普通に言われているのと異なり、放物体では、光ナノ超集束が起こらないことが数理解析から判明した。また、光ナノ超集束を実験的に検証するために必要なレーザー光の発生に関する基礎的な研究も行った。	
関連キーワード	ナノ光学、表面プラズモン、超集束、理論解析、金属デバイス

研究の背景

現在の情報産業を支える技術分野として、エレクトロニクス（電子工学）とオプティクス（光工学）がある。エレクトロニクスを代表するものと言えばコンピュータがあり、オプティクスを代表するものと言えば、世界中に敷設した光ファイバーによって達成されたインターネットがある。エレクトロニクスは電子の技術であり、オプティクスは光の技術であるため、それぞれが今まで独立して発展してきたが、最近、その2つの技術を融合しようという分野が出てきた。その分野はプラズモニクスと呼ばれ、金属表面を伝搬する光を利用した技術分野である。光だけでなく、金属を利用しているため電子とも相性が良く、エレクトロニクスとオプティクスを融合することが原理的に可

能である。

エレクトロニクスとオプティクスを融合するときには、電子と光の違いによる問題の他に、寸法の問題がある。エレクトロニクスを代表するコンピュータでは、現在、50 nm（ナノメートル）程の幅で電子配線が行われているのに対して、オプティクスでは、光の回折限界から、500 nmよりも小さい寸法でデバイスを作製することが極端に難しくなる。このように、エレクトロニクスとオプティクスでは、寸法に10倍の差があり、このギャップを埋めることが、プラズモニクスの大きな課題となっている。金属テーパー構造は、この課題を解決する構造として、現在、精力的に研究されている。

研究の目的

金属表面を伝搬する表面プラズモンは、金属テーパー構造の先端へ向かって伝搬すると、伝搬速度が段々と遅くなり、先端では伝搬速度が零になる。これは、先端に近づくにつれて、表面プラズモンの波長が小さくなるため、限りなく狭い空間に光エネルギーを閉じ込めることができることから、超集束（Superfocusing）と呼ばれている。表面プラズモン超集束の理論は、変数分離近似と幾何光学近似（または、断熱近似ともいう）が、いままで使われてきたが、最近、我々は、表面プ

ラズモンの超集束を議論するのに、従来の変数分離近似と幾何光学近似よりも高い精度の近似を与える解析的な方法を提案した。その新しい手法は、ヘルムホルツ方程式に対して、不完全に変数分離した解を仮定し、摂動法を用いて無限に分解した摂動方程式を順次解いていく方法である。本研究課題では、さらに、曲率半径を考慮するなど実験に適合した理論を展開し、併せて、簡単な実験を行うことにより、理論の検証を試みる。

研究の成果

本研究の成果は、金属テーパー構造における光の伝搬に関して、解析的な手法を使って放物体構造に関して詳しく調べたこと（発表論文[1]）、及び、それを実験的に検証するために必要となるビーム形状を持ったレーザー光を生成する方法に関して調べたこと（発表論文[2]）、である。

発表論文[1]では、金属放物体と空洞放物体の2構造に対して、詳しく伝搬モードを調べた結果を報告している。その報告で、第一に重要な点は、空洞放物体には伝搬モードが存在するが、金属放物体に対しては伝搬モードが存在しないことである。第二に重要な点は、空洞放物体の伝搬モードは、ナノ集束の振る舞いを示さないことである。第三に重要な点は、空洞放物体の伝搬モードはナノ集束を示さないものの、放物体の頂点付近内側で電場増強が起こることである。図1に、空洞放物体に対する伝搬モードを電気力線表示で示す。

発表論文[2]では、回折格子型位相変換器を用いて、ガウスモードのレーザー光を、エルミート・ラゲール・ガウスモードに変換する方法を詳細に報告している。回折格子を作製する方法として、二次元流体ポテンシャルの考え方を応用すると、効率的に回折格子を生成できることを明らかにしている。

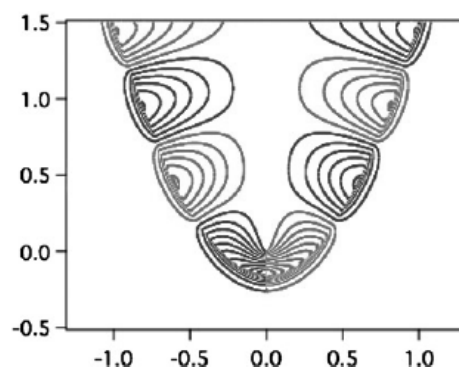


図1 空洞放物体に対する表面プラズモンのモードの電気力線表示。線の間隔が狭いほど、電場強度が強い。放物体の頂点付近内側で電場増強が起きていることがわかる。長さは、波長で規格化してある。

特記事項・発表論文など

「特記事項」

本年度において、本研究に関する初期論文の被引用件数が急速に増加した。Web of Science によれば、平成22年3月末現在で、“K.Kurihara et al. *J. Phys. A: Math. Theor.* **40** (2007) 12479”は6回引用され、“K.Kurihara et al. *J. Phys. A: Math. Theor.* **41** (2008) 295401”は5回引用されている。このことは、本研究の意義が世界的に認識され、高く評価されつつあることを示している。

「本研究に関わる発表論文」

1. Kazuyoshi Kurihara, Junichi Takahara, Kazuhiro Yamamoto, and Akira Otomo, “Identifying plasmonic modes in a circular paraboloidal geometry by quasi-separation of variables”, *J. Phys. A: Math. Theor.* **42** (2009) 185401 (38pp).
2. Atsushi Syouji, Kazuyoshi Kurihara, Akira Otomo, and

Shingo Saito, “Diffraction-grating- type phase converters for conversion of Hermite-Laguerre-Gaussian mode into Gaussian mode”, *Appl. Opt.* **49** (2010) 1513-1517.