

プラズモニク・メタマテリアルとその応用
(独)理化学研究所 河田ナノフォトニクス研究室, JST さきがけ
田中 拓男
E-mail: t-tanaka@riken.jp, HP: <http://optsun.riken.jp/tanaka/>

空間中を伝搬する光の振る舞いはMaxwell方程式で記述できるが、実際にその伝搬方向を決めるのは空間に広がる物質の分布であり、それは物質の持つ比誘電率(以下誘電率もしくは ϵ)と比透磁率(以下透磁率もしくは μ)の分布である。つまり光の伝搬をどれだけ自由自在に制御できるかは、扱える物質の種類とそれらの物質をどれだけ自在に空間に配置できるかによって決まる。ところがこの観点から自然界に存在する物質を評価すると、自然界にある物質のバラエティは極めて強い制限を受けていることがわかる。なぜなら、本来物質の屈折率は ϵ と μ の2つの自由度を持っているはずであるが、実際には自然界に存在する物質の μ は1.0に固定されており、物質の違い(屈折率の違い)は ϵ ただ1つの変化によって決定されている。これは自然界に存在する物質が光波の磁場成分とは相互作用しないことを意味する。そこで、金属を用いて光の波長より小さなナノメートルサイズの磁気共振器を作り、これをホストとなる材料中に3次的にアレイ状に作り込む。この材料に光を照射すると、埋め込んだ個々の磁気共振器が光の磁場成分と共振してマクロスコピックな物質の磁気的特性を変化させ、物質の実効的な μ が変化する。また ϵ についても、 μ と同様に電気共振器を物質中に組み込めば、本来物質毎に決まっていた ϵ を人工的に操作できるようになる。このように光の波長よりも小さな金属製の共振器をアレイ状に構成し、共振器中の電子と電磁場との共振を利用すると、物質のマクロスコピックな誘電率や透磁率を人工的に制御できる物質ができる。我々はこのような物質を「プラズモニク・メタマテリアル」と呼んでいる。この技術を用いると、これまで物質固有と考えられていた ϵ や μ を自在に操作でき、光を制御する際の物質の選択肢を飛躍的に拡大することができる。特に先に述べたように1.0以外の透磁率を持つ物質は自然界に存在しないので、このような物質を作り出すことは、これまで人類が手にしたことのない物質を創造することに相当する。そして、このような新物質は従来にはない全く新しい光学現象を発現させる。我々は早くからこの光学領域におけるメタマテリアルの潜在能力に着目し、まず光学領域においても本当に金属ナノ共振器アレイによって ϵ や μ を制御できるかの検証と、そのために最適な金属材料選択やその構造の最適化を検討した [1, 2]。また、光周波数領域において磁性を示すメタマテリアルによって、従来の古典光学の範疇では不可能とされていた物理現象を発現させることが可能となることを見出した[3]。その1つがs偏光の光に対するBrewsterの発現である。本講演では、このプラズモニク・メタマテリアルの動作原理とその特性について述べた後、それらが発現する新奇な光学現象をs偏波に対するBrewsterを中心に議論する。また時間が許せばこのような3次元の金属構造を持つメタマテリアルの加工方法についても議論したい [4, 5]。

参考文献

- [1] A. Ishikawa, T. Tanaka, and S. Kawata, Phys. Rev. Lett. **95**, 237401 (2005).
- [2] A. Ishikawa, T. Tanaka, and S. Kawata, J. Opt. Soc. Am. B (accepted for publication).
- [3] T. Tanaka, A. Ishikawa, and S. Kawata, Phys. Rev. B **73**, 12, 125423 (2006).
- [4] T. Tanaka, A. Ishikawa, and S. Kawata, Appl. Phys. Lett. **88**, 8, 81107 (2006).
- [5] A. Ishikawa, T. Tanaka, and S. Kawata, Appl. Phys. Lett. **89**, 11, 113102 (2006).