

<計画研究代表 自己紹介>

研究項目 A02:計画研究才

「共振型3次元メタマテリアルの作製と機能評価」

田中拓男（理化学研究所）

計画研究才代表の田中拓男です。自己紹介として、私の研究バックグラウンドとそこからどのようにメタマテリアルの研究に辿り着いたかを紹介させていただきます。

私の専門分野を一言で言うと「光計測」になります。中でも光学顕微鏡技術、特に3次元的な構造を持つ試料をそのまま観察する顕微光計測技術が専門です。光学顕微鏡と言え、小学校の理科室にもある実験器具の1つで、ある意味完成された技術といっても過言ではありません。その光学顕微鏡に残された最大の課題は、光の波長の制限を超えて微小なものを観察する技術と、3次元的な立体構造を持つ試料を、切片化といった物理的な破壊をせずにそのままの形で可視化する技術の開発です。前者は、近接場顕微鏡を中心としてエバネッセント場を検出することで新しい顕微鏡として研究が進められています。私の専門は後者の3次元を可視化する顕微鏡技術で、これを一貫して研究しています。顕微鏡としては共焦点顕微鏡や2光子顕微鏡として、医学・生物学等の分野としては、当たり前前の技術として利用されるようになっていきます。そこで、この技術を、単に試料を観察する技術のみならず、3次元的に情報を記録する光メモリや、3次元的な構造を光で加工する技術に展開して研究しています。



3次元多層光メモリに関する研究は、博士課程の学生時代から今も続けている研究テーマの1つです。CDやDVDといった光ディスクは、音楽、映像、コンピュータのデータなどを保存し、また広く流通させるために無くてはならない技術の一つです。この光ディスクは、光を使って情報を読み書きするものですが、その装置の構造は光学顕微鏡と全く同じものです。そのため、昔のレコードと異なり、非接触で情報にアクセスできるという最大のメリットを享受できる反面、情報は数ミクロンの薄い2次元の平面にしか記録できず、メディアが持つ約1mmの厚みもほとんど利用することができないという欠点を顕微鏡から受け継いでしまいます。この光メモリに、3次元試料を可視化できる顕微

鏡技術を導入すると、3次元空間の中に自由に情報を記録・再生できる光メモリを実現することができます。そして、我々は、この3次元光メモリを実現する記録材料も併せて開発しました。それが、蛍光色素と金イオンとの相互作用を利用して、色素分子の蛍光発光を金イオンで制御する新しい記録材料です。開発した材料は、ローダミン B という色素と塩化金酸を PMMA 樹脂の中に混合したものです。ローダミン B は、色素レーザーに利用される非常に効率の高い色素で、緑色の光を照射するとオレンジ色の蛍光を發します。しかし、この色素分子の近くに塩化金酸から出る三価の金イオンがあると、緑色光で励起されたローダミン B 分子のエネルギーは、金イオンに遷移し、ローダミン B 分子は消光状態となって蛍光發光しなくなります。次に、この材料に、近赤外のフェムト秒レーザーを照射すると、このレーザーを金イオンが二光子吸収して、金ナノ粒子に還元されます。還元された金ナノ粒子はローダミン B 分子を消光しないばかりか、ちょうどローダミン B 分子の励起光波長に局在モードの表面プラズモン共鳴を持つため、微粒子近傍に強い増強電場が生成され、近くにあるローダミン B 分子の励起・發光が増強されて明るい蛍光が検出されるようになります。すなわち、金原子がイオン状態にあるか、ナノサイズの金微粒子状態にあるかに応じて、ローダミン B の蛍光發光を制御し、さらに表面プラズモン共鳴を利用して、色素からの發光強度を増強し、コントラストの高い蛍光パターンを材料内に記録し、それを再生できるようになります。

この材料を用いて試作した多層光ディスクと、キューブ型光メモリを図 1 に示します。現在、Blu-ray と同等の面内密度で 20 層の記録層が多層化された 3次元光ディスクの試作に成功し、その動的情報記録・再生の特性評価を行っています。

この多層光メモリは、3次元顕微鏡技術の 1 つの応用例ですが、別の観点から見ると、まさに金属ナノ粒子の局在モードプラズモンを利用した、プラズモニクス技術の応用例とも捉えることができます。

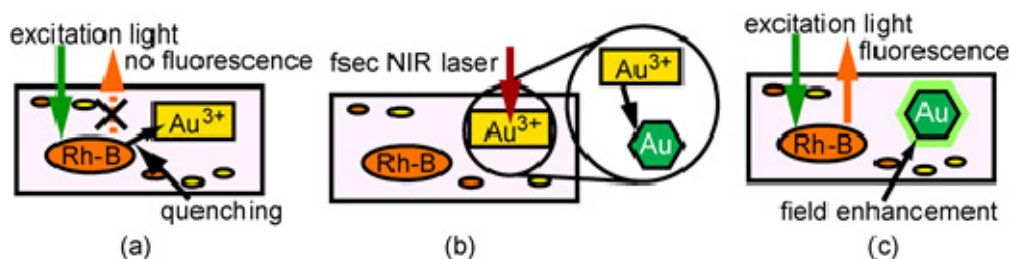


図 1 プラズモニック光メモリ材料の記録メカニズム

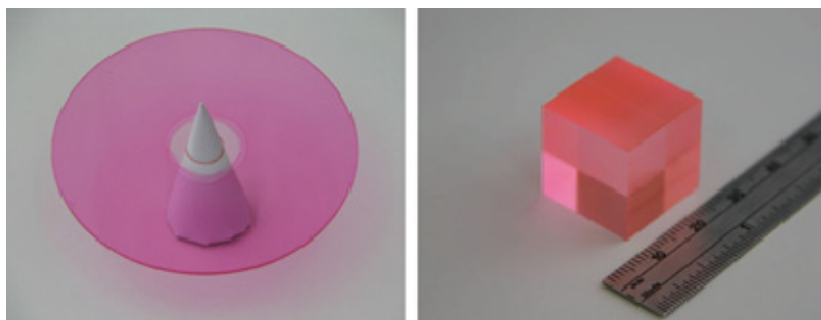


図2 3次元光ディスクと3次元光キューブ

さて、この3次元光メモリ用材料では、フェムト秒レーザーを照射して金イオンを二光子還元し、金ナノ微粒子に変えることで、蛍光色素の発光状態を制御しました。ポイントは、金イオンから金への変化です。すなわち、レーザーの照射によって、樹脂内部では金属（金）を作り出されています。この部分に着目したのが、現在メタマテリアルの加工に利用している二光子還元法です。

そもそも私がメタマテリアルの研究を始めたのは、2004年頃でした。当時は、既にPendryのSRRや、Smithらのマイクロ波領域での実験も報告されており、ちょうどZhangの1THz域のメタマテリアルの論文がScienceに掲載された頃でした。すなわち電子線描画装置や集光イオンビームによる微細加工を駆使したメタマテリアルの加工と基礎的な光学特性の取得が盛んに始まった頃です。このような中、後発としてオリジナリティをアピールするには、3次元化を目指すしかないと判断し、先述の3次元顕微鏡技術を最大限に活用する事を着想した次第です。

計画班オの紹介で述べましたが、この分野の研究のトレンドは、構造の微細化による動作周波数の高周波数化とそれによる光メタマテリアルの実現が大きな柱ですが、さらにその先を見ると、メタマテリアルの実用化に当たっては、メタマテリアルを構成する構造の三次元化、大面積化、大ボリューム化、加工の低コスト化等が必ず必要になります。本研究計画では、私が研究してきました光を用いたトップダウン的な3次元微細加工技術に、分担者が持つボトムアップ加工技術を導入し、それを新しいナノ加工技術の開発に応用し、共振型光メタマテリアルの実現へ繋げたいと考えています。また、試作した光メタマテリアルの特性評価手法の開発、電磁界計算技術を用いたメタマテリアルの設計手法の確立も平行して進めていく予定です。計画班間の連携も含めて、いろいろとお世話になると思います。どうかよろしく願いいたします。
