

## 研究課題別評価書

### 1. 研究課題名

「プラズモニック・メタマテリアルの創製と新奇光デバイスへの展開」

### 2. 氏名

田中 拓男

### 3. 研究のねらい

従来の光学や電磁気学理論では、物質の光学的、電磁気学的性質は、物質そのものに固有のものであって、物質が決まればその特性も自動的に決まってしまうというのが常識であった。本プロジェクトでは、この常識を覆し、物質の光学的な性質を、人工的に導入したナノサイズの金属構造によって操作する技術と、それを用いた全く新しい人工光学材料の創製を目指す。

このような人工光学材料が“プラズモニック・メタマテリアル”であり、この技術を利用すると、可視光の磁場成分と直接相互作用する物質のように、自然界には存在しない物質を作り出すことが可能となる。そして、光の世界における物質の多様性を飛躍的に拡大することができる。

このメタマテリアルを実現する上で、現在直面している技術的課題は、メタマテリアルを構成する3次元的なナノサイズの金属構造を加工するのが難しい事である。本プロジェクトでは、この問題を解決する新しい金属ナノ加工技術の開発にフォーカスを絞り、さらにメタマテリアルによって生み出される新奇な光学現象の探究と、それらを利用した全く新しい光制御素子の提案・実現を目指す。

### 4. 研究成果

#### (1) 3次元ナノ金属構造の作製技術の開発—2光子還元法

プラズモニック・メタマテリアルは、波長より小さな金属共振器を基本素子とし、これを3次元的にアレイ化させた一種の光共振器アレイである。これを作製するには、(i)高い導電率を持つ金属を、(ii)ナノサイズでデザインされた共振器の形状に加工し、(iii)これを3次元的なアレイ構造としてホスト材料中に集積化させなければならない。これら3つの要求は今日の微細加工技術にとっても困難な要求であり、それら全てを満足する技術は未だ存在しない。そこで、これら3つの要求全てに対応できる手段として、レーザーを用いて立体的な微細金属構造を3次元空間中に直接作り出す新しい加工技術の提案とその開発を行った。

研究提案者が開発した手法では、図1に示すように金属イオンをホストとなる物質中に分散させ、この材料中に近赤外の波長を持つフェムト秒チタンサファイアレーザー(波長 800nm)を集光照射する。金属イオンとは、具体的には銀イオン( $\text{Ag}^+$ )や金イオン( $\text{Au}^{3+}$ )である。これらのイオンはチタンサファイアレーザーの波長に吸収を持たないが、レーザーを集光して光子密度が高い状態を作ると、2つの光子を同時に吸収して2倍のエネルギーギャップ間を電子が遷移する2光子吸収が起こる。そして吸収された光のエネルギーは金属イオンを還元させて金属の析出が起こる。2光子吸収によって還元されるイオンの量は、光の強度分布の2乗に比例するので、結果的にレーザースポット部において局所的に金属還元が起こる。そして、このレーザースポットを3次元的に走査すれば、3次元的な金属構造を自在に描画することができる。

図2に本手法で作製した金属構造体の例を示す。図(a)、(b)は、銀イオンの水溶液中にレーザー光を集光して、それぞれゲート構造と斜めに傾いたロッドの2つの3次元マイクロ構造体を作製

し、それを電子顕微鏡にて観察した結果である。どちらもガラス基板上に自立しており、物理的な強度も十分であることがわかる。図(c)は $Au^{3+}$ をドーピングしたPoly-methyl-methacrylate(PMMA)をガラス基板上にフィルム状に塗布した後、その中に作製した金のメタマテリアル構造である。宿主材料は、単に作製した金属構造を保持するだけでなく、2光子還元法の加工分解能といった加工特性にも影響を及ぼし、材料をうまく選定すると、空間分解能を向上できる事を明らかにした。これは、特に宿主材料中における金属イオンの移動度が、レーザースポット部で消費されるイオンの量とスポット周辺部から拡散によって流入するイオンの量との関係を決定し、これが最終的な加工分解能を決めるからである。

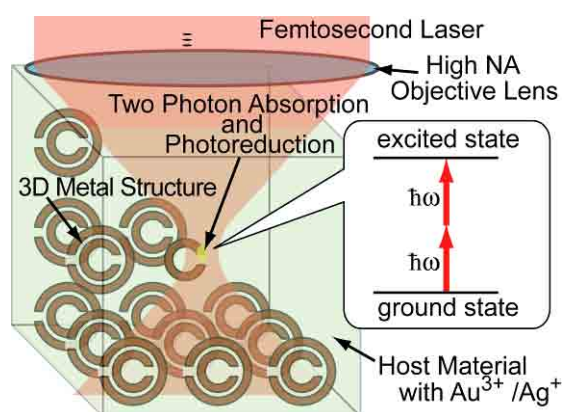


図1 金属イオンの2光子光還元を用いた3次元微細金属構造体の加工法。

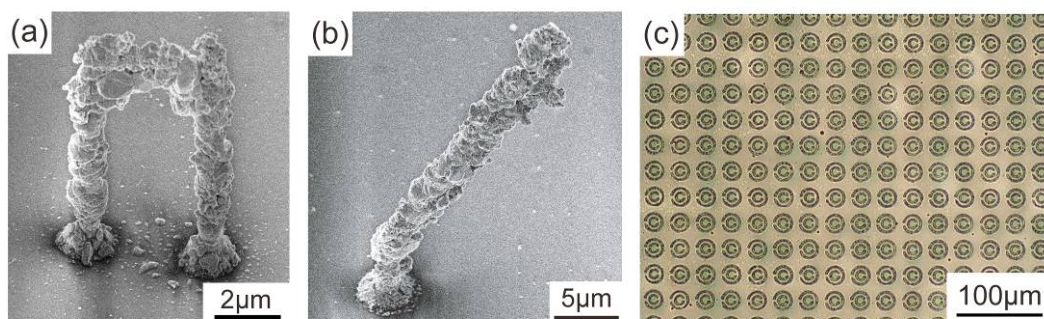


図2 2光子還元法によって作製した金属構造体。

2光子還元法では金属結晶の成長がその加工分解能を大きく左右した。レーザー照射によって金属イオンが還元されて核が生成されると、その核を中心に金属の結晶が急速に成長する。この結晶はレーザーの照射を止めてもわずかに成長を続けるため、レーザー照射部位には約 $1\mu m$ 程度にまで成長した金属結晶が生成され、これが加工分解能を低下させると共に、作製した金属構造の表面の凹凸の原因にもなる。この問題を解決して加工分解能の向上と加工物の表面形状の平滑化を行うことを試みた。

研究提案者は、金属イオンを含む加工材料中に *n*-decanoylsarcosine sodium(以下 NDSS)という界面活性剤を添加して、金属核が生成されるとすぐにこの界面活性剤の分子が核表面を覆うことで、それ以降の結晶成長を抑制し、結果として加工分解能を向上させると同時に、生成物の表面の凹凸も低下させるという手法を考案した。図3は本手法を用いて作製した銀構造のSEM写

真である。図3(a)はガラス基板表面に描画した銀ラインで、最小線幅で120nmまで細線化された。図3(b)は、それぞれ4本の銀ロッドから構成されるピラミッド構造をガラス表面にアレイ状に加工したものである。各銀ロッドの線幅は約200nmであった。これらの結果が示すように、波長800nmの近赤外フェムト秒レーザーを用いた2光子還元法において、その回折限界を超える100nmの空間分解能で立体的な金属構造を作製できる新しい加工技術の開発に成功した。

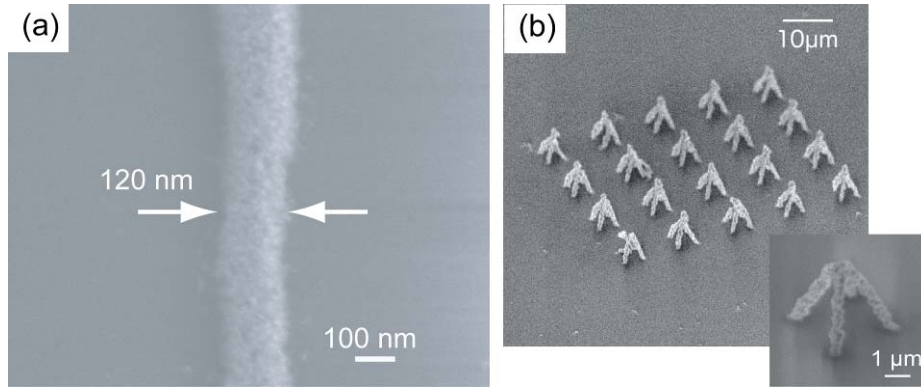


図3 界面活性剤を利用した2光子還元法で作製した3次元ナノ金属構造体

## (2) THz領域メタ実験実証

2光子還元法を利用してメタ材料構造を作製し、これが実際に光の磁場成分と相互作用するかどうかの検証実験を行った。作製したメタ材料構造は図4のように銀製のロッドペアがアレイ状に集積化されたものである。サファイア基板上に作製したロッドペアアレイに対して、光波の磁場成分がロッドペアを垂直に貫くようにs偏波成分の光を入射させ、その反射スペクトルを測定した(図5)。その結果、16.77THzに光波との相互作用に伴う共鳴吸収を観測した。次にこの周波数に測定周波数をセットし、光波の入射角を変化させることで、メタ材料構造を垂直に貫く磁場成分の大きさを変化させて、透過率の入射角度依存性を調べた。この実験では、メタ材料構造と電場成分との相互作用の影響を除去するために、銀ロッドがペアになっていない構造を比較サンプルとして用いて比較実験を行った。測定結果を図6に示す。この結果に示すように、ロッドペアアレイ構造を持つメタ材料の透過光強度のみが入射角の変化(磁場の垂直成分の変化)に応じて変化した。この結果から、2光子還元法を用いて作製したメタ材料構造が、光波の磁場成分と相互作用している事を実験的に確認した。

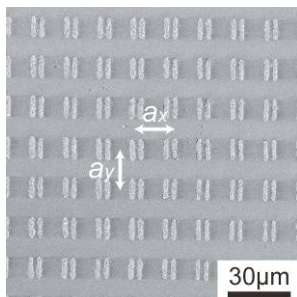


図4 ロッドペアアレイ

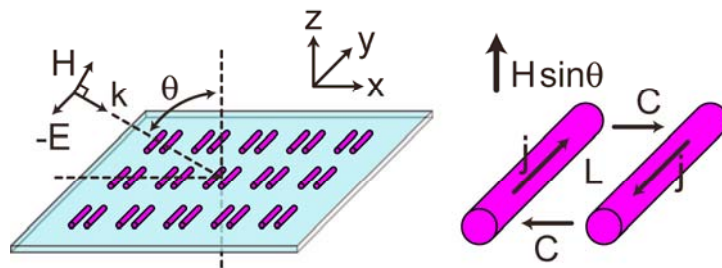


図5 光学測定配置

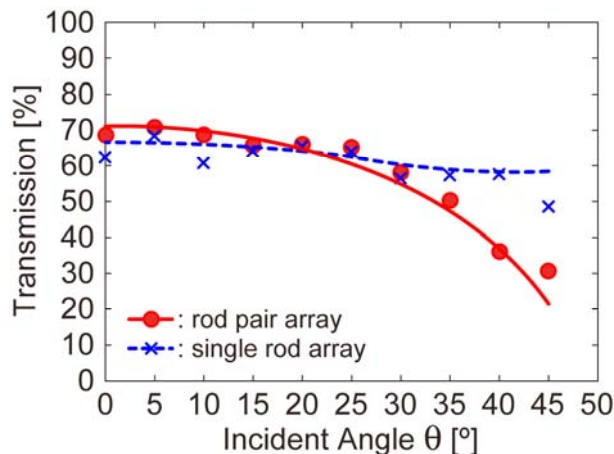


図6 試作したメタマテリアルの磁気応答

### (3) プラズモニック・メタマテリアルを用いた無反射光学素子の提案と設計

メタマテリアルの分野は、2000年頃に提案された負の屈折率媒質とそれを用いた完全レンズのアイデアの報告をきっかけとして活発化したという経緯がある。そのため、メタマテリアルが負の屈折率物質そのものであるとの誤解も多々ある。確かに負の屈折率を持つ物質は自然界には存在しないため、メタマテリアルのような人工物質でしか実現することはできず、メタマテリアルは負屈折率物質を実現する手段の1つである。しかし、提案者は本研究を通してメタマテリアルの可能性は負の屈折率物質の実現だけではなくもっと広いということを再確認し、それを実証する提案を行った。

本プロジェクトで研究したメタマテリアルは狭義には共振型メタマテリアルと呼ばれるもので、共振器と光波との共振現象を利用して物質の誘電率や透磁率を制御するものである。このメタマテリアルは、その共振周波数の高周波数側では透磁率が減少するが、低周波数側では逆に透磁率が上がる。つまり、メタマテリアルを使えば透磁率を下げることも上げることも可能になる。研究提案者は、この正方向に透磁率を制御した材料を利用すれば、p偏光のみならずs偏光に対してもブリュースター(Brewster)現象を発現させることができることを見出し、この現象を利用した光機能素子を提案した。

研究提案者は、図7(a)のように、ある特定の平面内(例えばx-y面)にのみ共振器が配列された異方性メタマテリアルという構造を考案し、これを利用することで、p、s両偏光に対して同時にブリュースター現象を発現させる新しいブリュースター素子を考案した。この素子を利用すれば、屈折率の異なる媒質間を光の反射ロスなく光を透過させることができるようなバッファ素子を実現できる。図7(b)はその一例である。真空中からガラスに向かって光が伝搬している状況で、その界面にメタマテリアルを挿入する。すると偏光に依存せずに光が真空中からガラスへと完全に透過する。これは物質の屈折率の違いによって生じる光子に対するポテンシャル障壁を除去したとも解釈できる。このように、本研究を通して、メタマテリアルは、古典光学では説明できないような未知の光学現象を生み出し、全く新しい光技術の創出へ繋がるものであることを明らかにすることができた。

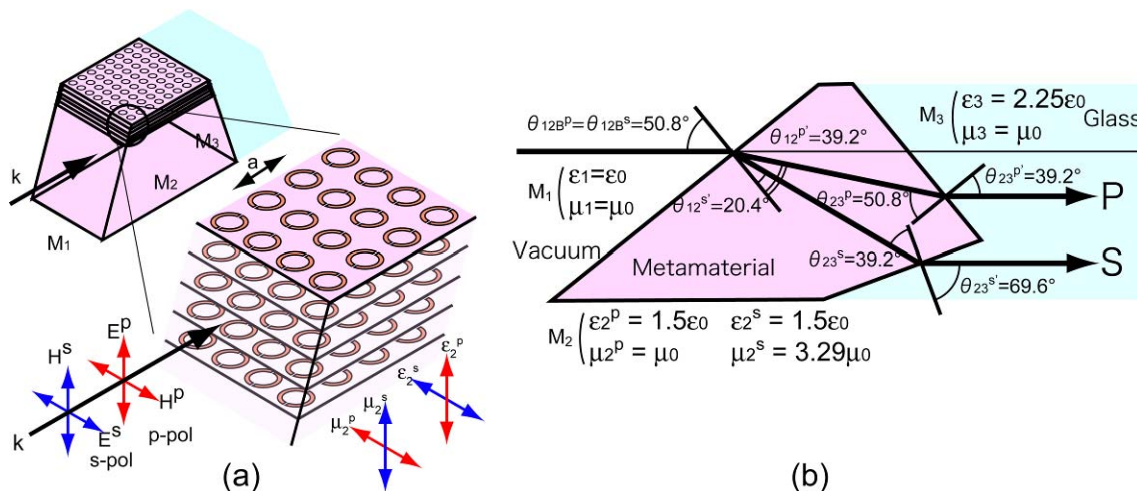


図7 異方性メタマテリアルを用いた偏光無依存ブリュースター素子

#### (4) メタマテリアルの屈折率制御への応用

メタマテリアルの応用として、人工的に透磁率を制御したメタマテリアルが、物質の屈折率を制御する全く新しい手段として利用できることを明らかにした。

物質の屈折率は、比誘電率  $\epsilon$  と比透磁率  $\mu$  のそれぞれの平方根の積で与えられるが、実際には、可視光の周波数領域では、物質の比透磁率  $\mu$  は1.0に固定されているので、屈折率は  $\epsilon$  だけで決定される。すなわち、物質の屈折率を人工的に制御しようとする場合、これまでは  $\epsilon$  しか制御できなかったもので、極めて自由度が小さかった。しかし、メタマテリアル技術を用いて  $\mu$  も変化させることができれば、結果的に高い屈折率や低い屈折率など、より自在に屈折率を制御できるようになることを見出した。

例えば、現在プラスチックレンズに利用されている樹脂の屈折率は1.76程度止まりである。この屈折率を0.04から1.80に上げようとする、 $\epsilon$  に換算して0.14も上げなければならず、これは今日の技術では困難な課題である。しかし、これを  $\mu$  の変化で補助すると状況は変わる。 $\mu$  の変化は  $\epsilon$  に対して掛け算で効くので、もともと1.0である  $\mu$  の値を僅か0.046だけ上げて1.046にするだけで、屈折率は1.76から1.80に変化する。0.046の変化で良ければ、大きなQ値を持つ共振器を作る必要はないので、可視光全域にわたるような広い帯域を実現することも可能である。このように、これまで利用することができなかった透磁率というパラメータを制御できるメタマテリアル技術を使えば、これまでとは全く異なる屈折率制御技術を生み出すことができることを理論的に明らかにした。

#### 5. 自己評価

本研究を通して、人工的に作製した金属ナノ構造で構成されたプラズモニック・メタマテリアルが全く新しい光機能性材料として動作し、これまでの光学理論では説明できない新たな光学現象を発現させることができることを明らかにできた。

さらに、このメタマテリアルを実現する上で1つのブレークスルーとなる3次元ナノ金属加工技術を提案・開発し、実際に実験を通してその有効性を確認することができた。この技術は、世界的に見ても研究提案者のみが持つオンリーワンの技術として、このコミュニティ内で認識されており、本研究プロジェクトの成果の中でもビジビリティの高い成果として一定の結果を示すことができたと考えている。

また、研究開始当初は可視光域で動作するメタマテリアルにターゲットを絞っていたが、研究が進むと同時に最近では THz波や紫外光域におけるメタマテリアルの検討も進み、周波数帯域においても幅広く拡張することができた。この成果は、メタマテリアルという研究テーマの幅の広さ、奥の深さを具体的に示すことに繋がり、本さきがけ研究成果が今後の研究テーマの基盤になると確信するに至った。

一方で、可視域のメタマテリアルの実現に関しては、未だ試作実験を続けている段階であり、研究プロジェクト期間内に目に見える形のサンプルを作る事はできなかった。これは、可視光域で動作するメタマテリアルを実現するためには、50nm 程度の空間分解能を持つ金属加工技術が必要であり、さらなる加工分解能の向上が必要であることに加え、その極微小の基本素子を膨大な数集積化しなければならないという、基本素子のサイズとメタマテリアル全体のサイズとのスケールの違いに対応できる高速性、大量生産性を実現できなかった事が原因である。これらの課題については今後も研究を継続する予定である。

## 6. 研究総括の見解

人工的に導入したナノサイズの金属構造によって、物質の光学的な性質を操作する技術と、それを用いた全く新しい人工光学材料である“プラズモニック・メタマテリアル”の創製を目指した研究を行った。

主たる成果は次の3点である。

### 1) 3次元ナノ金蔵構造の作製技術の開発—「2光子還元法」の開発

波長800nmの近赤外フェムト秒レーザーを用いた2光子還元法において、その回折限界を超える100nmの空間分解能で立体的な金属構造を作製できる新しい加工技術の開発に成功した。

### 2) プラズモニック・メタマテリアルを用いた無反射光学素子

異方性メタマテリアルという構造を提案し、p, s両偏光に対して同時にブリュースター現象を発生させる新しいブリュースター素子を考案した。これは、メタマテリアルは古典光学では説明できないような未知の光学現象を生み出し、全く新しい光技術の創出へ繋がるものであることを明らかにしている。

### 3) メタマテリアルの屈折率制御への応用

メタマテリアルの応用として、人工的に透磁率を制御したメタマテリアルが、物質の屈折率を制御する全く新しい手段として利用できることを明らかにした。

理論的で独創的な研究手法で金属ナノ構造を実現させ、3次元的なナノサイズの新しい金属ナノ加工技術開発を世界にさきがけて成功したことは高く評価できる。

研究成果は、13件の原著論文、特許出願6件、学会発表19件に纏められ、“ISOM09 Best Academic Paper Award”、第14回 東京テクノ・フォーラム21 ゴールド・メダル賞などを受賞している。更に特筆すべきは反響の大きさであり、招待講演74件、著書・解説論文22件、メディア発表21件を数えている。判りやすい実世界での応用を示し、社会からの期待の大きさを表している。

今後、可視光域で動作するメタマテリアルを実現するために、微細金属加工技術の積み上げと化学的な合成手段など別手法を取り入れ、メタマテリアルによって実現できる新奇な光学現象・効果を探究して行くことを期待する。

## 7. 主な論文等

(A) さきがけ個人研究者主導で得られた成果で主なもの

(1) 論文(原著論文)発表・・・重要なもの5件を記載、全13件。

- Yao-Yu Cao, Nobuyuki Takeyasu, Takuo Tanaka, Xuan-Ming Duan, and Satoshi Kawata, "3D Metallic Nano-Structure Fabrication By Surfactant-Assisted Multi-Photon-Induced Reduction," *Small* **5**, pp. 1144-1148 (2009).
- Atsushi Ishikawa, Takuo Tanaka, and Satoshi Kawata, "Magnetic Excitation of Magnetic Resonance in Metamaterials at Far-Infrared Frequencies," *Applied Physics Letters* **91**, 113118 (2007).
- Atsushi Ishikawa, Takuo Tanaka, and Satoshi Kawata, "Frequency dependence of the magnetic response of split-ring resonators," *Journal of the Optical Society of America B* **24**, pp. 510-515 (2007).
- Atsushi Ishikawa, Takuo Tanaka, and Satoshi Kawata, "Improvement in the reduction of silver ions in aqueous solution using two-photon sensitive dye," *Applied Physics Letters* **89**, 113102 (2006).
- Takuo Tanaka, Atsushi Ishikawa, and Satoshi Kawata, "Unattenuated light transmission through the interface between two materials with different indices of refraction using magnetic metamaterials," *Physical Review B* **73**, 125423 (2006).

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 6件

- 発明者: Takuo Tanaka and Satoshi Kawata,  
発明の名称: "OPTICAL MATERIAL, OPTICAL DEVICE FABRICATED THEREFROM, AND METHOD FOR FABRICATING THE SAME",  
出願人: 理化学研究所  
出願日: 11/455092 (2006/6/19), US2007-0140060-A1 (2007.1.18), US 7532397 (2009.5.12).
- 発明者: 田中拓男, 武安伸幸, 河田聡  
発明の名称: "パルスレーザー発生装置およびパルスレーザー発生方法"  
出願人: 理化学研究所  
出願日: 特願 2008-111610 (2008.4.22).
- 発明者: 田中拓男, 武安伸幸, 河田聡,  
発明の名称: "3次元ナノ金属構造体の光還元加工方法"  
出願人: 理化学研究所  
出願日: 特願 2008-077913 (2008.3.25).
- 発明者: 田中拓男, 武安伸幸, 河田聡  
発明の名称: "微粒子表面への金属コーティング方法および該方法によって金属コーティングされた微粒子"

出願人: 理化学研究所  
出願日: 特願 2007-174981 (2007.7.3).

- ・ 発明者: 武安伸幸, 田中拓男, 河田聡  
発明の名称: “金属コーティング方法および金属リングの製造方法”  
出願人: 理化学研究所  
出願日: 特願 2007-174980 (2007.7.3).

(3) 解説論文・・・直近のもの5件を記載、全14件。

- ・ 田中拓男, “プラズモニク・メタマテリアル,” 工業材料 **58**, pp. 68-69 (2010).
- ・ 田中拓男, “プラズモニク・メタマテリアル,” NEW GLASS (2010) (in printing).
- ・ 田中拓男, “2光子還元法を用いた3次元ナノ金属構造のレーザー加工,” レーザ加工学会誌 (2010) (in printing).
- ・ 田中拓男, “プラズモニク・メタマテリアルを用いた人工磁気光学材料,” 未来材料 **9**, pp. 22-28 (2009).
- ・ 田中拓男, “メタフォトンクスー限界を超える光学材料を目指して,” 日本磁気学会会報「まぐね」 **4**, pp. 476-483 (2009).

(4) 著書・・・直近のもの5件を記載、全8件。

- ・ Takuo Tanaka, “Using metamaterials to defy our common understanding of light,” RIKEN RESEARCH, pp. 13-16 (2009).
- ・ 田中拓男(取材:井上憲人), “メタマテリアルをデザインする3D レーザ加工技術,” Laser Focus World JAPAN, pp. 44-46 (2009).
- ・ 田中拓男, “金や銀などの金属イオンに光を当てて結晶化させる方法で金属の立体構造をナノスケールで自在に形成する技術を確立!,” JST News, p. 4 (2009).
- ・ 田中拓男, “次世代光メモリとシステム技術 第4章1「ホログラフィックメモリその技術と課題」,” (株)シーエムシー出版, pp. 166-179 (2009).
- ・ 田中拓男, “光学材料の屈折率制御技術の最前線(仮) 第3章 プラズモニク・メタマテリアル,” (株)シーエムシー出版 (2009).

(5) 招待講演(国際会議)・・・直近のもの5件を記載、全32件。

- ・ Takuo Tanaka, “Plasmonic metamaterials: their properties, fabrication technique, and applications,” RIKEN-Lund-Harverd Joint Symposium (理研, 和光キャンパス, Japan) (2009.11.17) (2009) (Invited).
- ・ Takuo Tanaka, “Plasmonic Metamaterials,” Japan-America Frontiers of Engineering Symposium (UC Irvine, US, US) (2009.11.9) (2009) (Invited).
- ・ Takuo Tanaka, “Two-photon fabrication of three-dimensional metal structures for isotropic metamaterials,” The 4th International Symposium on Integrated Molecular/Materials Engineering (Sichuan Univ. Chengdu, China) (2009.10.27) (2009) (Invited).
- ・ Takuo Tanaka, “Nano-scale fabrication technique of three-dimensional metal structures for plasmonic metamaterials,” SPIE International Symposium on



- NanoScience+Engineering (SanDiego Convention Center, SanDiego, U.S.A.) (2009.8.2) (2009) (Invited).
- Nobuyuki Takeyasu, Takuo Tanaka, and Satoshi Kawata, "Enhancement of spatial resolution with high sensitive photo-initiators in two-photon induced polymerization," SPIE International Symposium on NanoScience + Engineering (SanDiego, USA) (2009.8.3) (2009) (Invited).
- (6) 招待講演(国内会議)・・・直近のもの5件を記載、全42件。
- 田中拓男, "プラズモニク・メタマテリアル," 日本オプトメカトロニクス協会セミナー 基礎からよく分かる「ナノ領域の光学」入門 (機会振興会館, 東京) (2010.2.5) (2010) (Invited).
  - 田中拓男, "プラズモニク・メタマテリアル[Tentative]," 日本磁気学会 第170回研究会 (化学会館) (2010.1.29) (2010) (Invited).
  - 田中拓男, "プラズモニク・メタマテリアルとは," 日本科学未来館 サイエンスクロスロード(Closed) (日本科学未来館) (2010.1.25) (2010) (Invited).
  - 田中拓男, "Plasmonic Metamaterials and their related topics," 東北大学多元物質研究所 中川研セミナー(Closed) (東北大学, 仙台) (2010.1.18) (2010) (Invited).
  - 田中拓男, "メタマテリアル," (株)日立製作所 「光学応用装置の基礎技術(応用編)」 (Closed) (日立研修所, 東京) (2009.12.18) (2009) (Invited).
- (7) 学会発表(国際会議)・・・直近のもの5件を記載、全12件。
- Takuo Tanaka, Takanobu Higuchi, Tetsuro Koga, and Ayumi Mitsumori, "Plasmonic three-dimensional optical disk with ten recording layers," International Symposium on Optical Memory 2009 (Nagasaki Brick Hall, Nagasaki, Japan), (2009.10.8) (2009).
  - Nobuyuki Takeyasu and Takuo Tanaka, "Analysis of Spatial Resolution on Two-Photon Polymerization," International Symposium on Engineering Micro-/Nano-Materials based on Self-Assembling and Self-Organization (ISEM2008 Returns) (Miraikan, Japan), (2008.12.9) (2008).
  - Takuo Tanaka, "Nano-scale fabrication of three-dimensional metallic structures for plasmonic metamaterials," Gordon Research Conference, Plasmonics (Tilton, NH, USA), (2008.7.27) (2008).
  - Xuan-Ming Duan, Yao-Yu Cao, Wei-Kang Wang, Xian-Zi Dong, Wei-Qiang Chen, Nobuyuki Takeyasu, Takuo Tanaka, and Satoshi Kawata, "Metallic Structures with Nanometer Scale Resolution Fabricated by Direct Laser Photoreduction and Selected Surface Metallization," PIRES (2007).
  - Nobuyuki Takeyasu, Takuo Tanaka, and Satoshi Kawata, "Two-photon Initiators with High Initiating Efficiency for Fabrication of Nanophotonic Devices," 2008 MRS (Material Research Society) Meeting (San Francisco, CA, USA), (2008.3.25) (2008).
- (8) 学会発表(国内会議)・・・直近のもの5件を記載、全8件。
- 田中拓男, "プラズモニク・メタマテリアル," 第10回エクストリーム・フォトニクス研究会 (蒲郡, 愛知県), pp. 3-5 (2009.11.4) (2009).
  - 田中拓男, "プラズモニク・メタマテリアル," 第56回応用物理学関係連合学術講演会

- (つくば大学), 0, p. 139 (2009.3.31) (2009).
- ・ 田中 拓 男, "Nanofabrication technique of 3D metal structures for plasmonic metamaterials," 理研シンポジウム 第7回ナノフォトニクス&メタマテリアルシンポジウム (理研, 埼玉), (2008.11.7) (2008).
  - ・ 武安伸幸, 田中拓男, 河田聡, "サイト選択金属コーティング法とその3次元機能デバイスへの応用," レーザー学会第 28 回年次大会 (名古屋国際会議場, 名古屋) (2008.1.31) (2008).
  - ・ 田中拓男, 武安伸幸, 河田聡, "共振型プラズモニック・メタマテリアル," 第 53 回応用物理学関係連合講演会 シンポジウム「電磁メタマテリアル」講演予稿集 (青山学院大学相模原キャンパス) (2007.3.27) (2007).

(9)メディア発表・・・直近のもの5件を記載、全21件。

- ・ 田中拓男 (取材 サイテック・コミュニケーションズ 池田亜希子), "もっと光を有効利用するために 光工学を変えるプラズモニクス", 化学と工業.
- ・ 田中拓男, ""透明人間"姿を見せた", 日本経済新聞 2009 年 7 月 19 日 朝刊 13 面.
- ・ 田中拓男, "金や銀などの金属イオンに光を当てて結晶化させる方法で金属の立体構造をナノスケールで自在に形成する技術を確立!", JST News 2009 年 5 月号.
- ・ 田中拓男 (取材:Newton 編集部土屋健), "立体ナノ構造を"生み出す"レーザー", Newton 2009 年 7 月号.
- ・ 田中拓男, "光を手なずけ・・・目標は「透明人間」", 産経新聞 2009 年 3 月 17 日 朝刊 22 面.

(10)受賞

- ・ ISOM2009, Takuo Tanaka, Takanobu. Higuchi, Tetsuro. Koga, and Ayumi. Mitsumori, "ISOM09 Best Academic Paper Award "Plasmonic three-dimensional optical disk with ten recording layers", ISOM (2009) .
- ・ 第 14 回 東京テクノ・フォーラム21 ゴールド・メダル賞, 田中拓男, "メタマテリアルを駆使したプラスチックレンズの先端的基盤技術の開発," 東京テクノフォーラム21 (2008) .
- ・ 第 11 回 2007 年度 丸文研究奨励賞, 田中拓男, "プラズモニック・メタマテリアルの創製と新奇光デバイスへの展開," 財団法人 丸文研究交流財団 (2008) .
- ・ 平成 18 年度 第 48 回光学論文賞 , 田中拓男, "Unattenuated light transmission through the interface between two materials with different indices of refraction using magnetic metamaterials, Physical Review B 73, 12, 125423 (2006)," 応用物理学会分科会 日本光学会 (2007) .