

## 田中メタマテリアル研究室

主任研究員 田中 拓男 (D.Eng.)



### (0) 研究分野

分科会:工学

キーワード:メタマテリアル、ナノフォトニクス、プラズモニクス、光計測、光学デバイス

### (1) 研究背景と研究目標

これまで、物質の電磁気学的な特性は、物質固有のものであり、物質が決まれば自動的に決まってしまうものとされてきました。当研究室では、この物質固有と考えられてきた誘電率や透磁率をナノ構造体を用いることで人工的に制御し、全く新しい光機能性材料とフォトニクスにおけるブレークスルー技術の創出を目指します。これは光周波数の磁場に直接応答する物質や、屈折率がゼロ、負、もしくは何百万といった巨大屈折率物質など、「あり得ない」物質を人工的に作りだすことを意味しており、我々はこれらを総称して「メタマテリアル」と呼んでいます。我々は、この人工物質を用いて、自在に光を制御する新しいフォトニクス技術へ展開してゆきます。

### (2) 2020年度成果と今後の研究計画(中長期計画2025年度まで)

3次元プリンティング技術は、電子デバイスや光学、エネルギー、ロボティクス、生物工学、計測工学など様々な分野のデバイス加工技術における革新的技術の1つです。この3次元プリント技術をさらに極微細化すれば、マイクロもしくはナノ構造が持つ様々な優位性を有効に活用できるようになり、さらなる応用分野の拡大に繋がります。しかし、現在の3次元プリンティング技術、とりわけ金属構造の3次元プリントにおいては、金属構造の元になる材料として、金属と樹脂との混合体や、金属塩、液状インクなどが必要なため、材料の選択性や加工した構造体の純度に制限がありました。一方、エアロゾルリソグラフィとして知られる手法では、高純度の3次元金属構造を基板表面に加工することができますが、この手法では作製できる構造に制約があり、自由自在な形状を加工することはできませんでした。そこで、我々は正イオンによって帯電した金属ナノ粒子と電圧を印加したホールマスクによる静電レンズ作用を利用して、金属ナノ粒子をジェット状にシリコン基板表面に集束・堆積させる事でサブ $\mu\text{m}$ サイズの立体的な3次元金属構造を作製する手法を開発しました(図1)。この手法は、樹脂やインクを必要とせず、現像などのウェットなプロセスも不要です。また、アレイ状に円形開口を設けたホールマスクをシリコン基板表面で走査することで、周期的に配置したいくつもの3次元構造を一度のマスク走査で加工することができます。開発した装置を用いて実際に螺旋構造やナノピラー、リング構造、文字パターンなどに加えて、基板表面に垂直方向に配向させたスプリットリング共振器構造を加工しました(図2)。そして、作製したスプリットリング共振器構造が、光の磁場を相互作用するメタマテリアルとして機能することを実験で確認しました。我々が開発した3次元金属プリンティング技術は、ナノ加工技術における1つの革新技術になると期待しています。本研究は国際共同研究の研究成果で、学術雑誌natureに掲載されました。

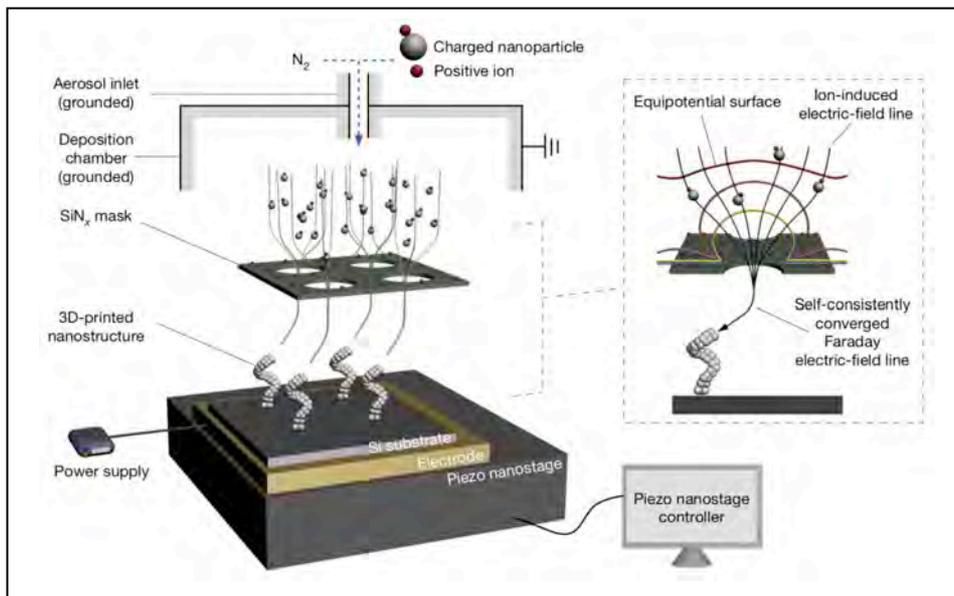


図1 開発した3次元ナノプリンティング技術。正イオンで帯電した金属ナノ粒子を電圧を印加したホールマスクの静電レンズ効果で集束し、基板表面に堆積させる。基板をコンピュータ制御のピエゾステージを用いて走査することで周期的に配列させた3次元金属微細構造を作製する。

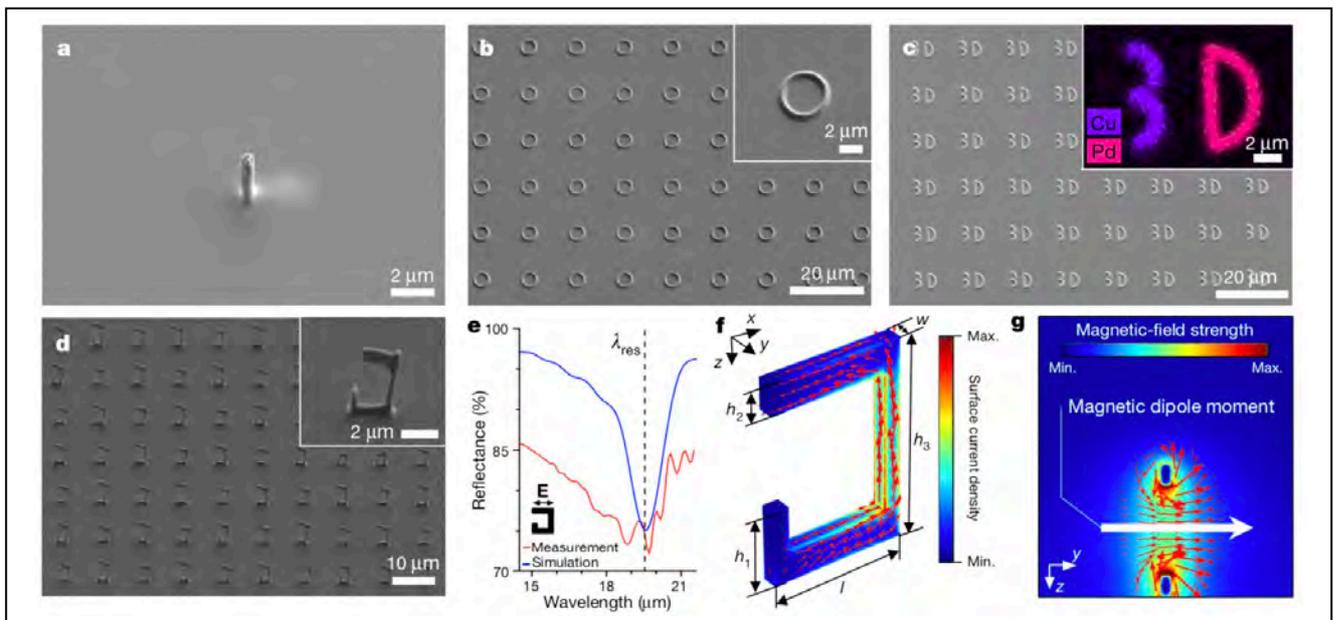


図2 開発した3次元プリンティング技術を用いて作製した微細金属構造。(a) 基板表面に垂直に配向させたナノピラー、(b) マイクロリングパターン、(c) “3D”の文字パターン、(d) 垂直配向Split-Ring共振器構造、(e) 垂直配向Split-Ring共振器構造の光学応答スペクトル、(f) 共鳴周波数における垂直配向Split-Ring共振器構造内の表面電流密度分布、(g) 垂直配向Split-Ring共振器構造内の磁場分布。

### 3) 研究室メンバー

(主任研究員)

田中拓男

(客員研究員)

矢野隆章、加藤 遼、座古 保、

武安 伸幸、富田 峻介、

神谷 典穂、Che-Chin Chen、

Renilkumar Mudachathi

(研修生)

(2021年度)

松方妙子、前川昌平、小出久美子、

原太一、藏田あかり、朝倉拓也、

堀川万泰、阿部浩幸、伊藤昂、

松澤隼、谷田部駿季、小高 敏斉、

祖川隼輝、Song Subin、竹内 祐貴、

中山 涼介、藤原将行

(アシスタント)

Yi-Jung Liang

#### (4) 発表論文等

1. "Plasmon-Enhanced Solar-Driven Hydrogen Evolution Using Titanium Nitride Metasurface Broadband Absorbers," Meng-Ju Yu, Chih-Li Chang, Hao-Yu Lan, Zong-Yi Chiao, Yu-Chia Chen, Ho Wai Howard Lee, Yia-Chung Chang, Shu-Wei Chang, Takuo Tanaka, Vincent Tung, Ho-Hsiu Chou, and Yu-Jung Lu, *ACS Photonics* **8**, 3125-3132 (2021)
2. "Molecular Monolayer Sensing Using Surface Plasmon Resonance and Angular Goos-Hänchen Shift," Cherrie May Olaya, Norihiko Hayazawa, Maria Vanessa Balois-Oguchi, Nathaniel Hermosa, and Takuo Tanaka, *Sensors* **21**, 4593 (2021).
3. "Varifocal Metalens for Optical Sectioning Fluorescence Microscopy," Yuan Luo, Cheng Hung Chu, Sunil Vyas, Hsin Yu Kuo, Yu Hsin Chia, Mu Ku Chen, Xu Shi, Takuo Tanaka, Hiroaki Misawa, Yi-You Huang, and Din Ping Tsai, *Nano Letters* **21**, 5133-5142 (2021).
4. "Metamaterial perfect absorber simulations for intensifying thermal gradient across a thermoelectric device," Shohei Katsumata, Takuo Tanaka, and Wakana Kubo, *Optics Express* **29**, 16396-164065 (2021).
5. "Three-dimensional nanoprinting via charged aerosol jets," Wooik Jung, Yoon-Ho Jung, Peter V. Pikhitsa, Jicheng Feng, Younghwan Yang, Minkyung Kim, Hao-Yuan Tsai, Takuo Tanaka, Jooyeon Shin, Kwang-Yeong Kim, Hoseop Choi, Junsuk Rho, and Mansoo Choi, *nature* **592**, 54-59 (2021).
6. "Transient transmission of THz metamaterial antennas by impact ionization in a silicon substrate," Matias Bejide, Yejun Li, Nikolas Stavrias, Britta Redlich, Takuo Tanaka, Vu D. Lam, Nguyen Thanh Tung, and Ewald Janssens, *Optics Express* **29**, 170-181 (2020).
7. "Angular Goos-Hänchen shift sensor using gold film enhanced by surface plasmon resonance," Cherrie May Olaya, Norihiko Hayazawa, Nathaniel Hermosa, and Takuo Tanaka, *The Journal of Physical Chemistry Part A* **125**, 451-458 (2021).

#### Supplementary



#### Laboratory Homepage

<https://www.riken.jp/research/labs/chief/metamaterials/index.html>  
[http://metamaterials.riken.jp/index\\_j.html](http://metamaterials.riken.jp/index_j.html)