

丸尾 昭二

横浜国立大学大学院工学研究院
教授

光駆動ドロプレット・プリンティングの開発と応用

§ 1. 研究成果の概要

これまで、フォトリソグラフィーを基礎とする半導体製造技術を駆使して、集積回路、センサー、ディスプレイなどのあらゆる電子機器の高集積化・微小化・高精細化が実現されてきた。しかしながら、現在、Society 5.0 や Industry 4.0 に代表されるパラダイムシフトが起こり、(1)多様な用途に応えるマスカスタマイゼーションの実現、(2)有機材料を用いた柔軟・伸縮性のあるウェアラブルデバイスの創製、(3)3D プリンティングによる複雑な3D デバイスの製造、など新しいニーズが拡大している。

そこで本研究では、微細な3D 構造体を作製できるマイクロ光造形法を駆使して、基板やフィルムに滴下した液滴(数 μL)を原料として、nm から μm の加工線幅で2次元パターンニングや3D造形を行うことが可能な「ドロプレット・プリンティング技術」の開発と応用に取り組んでいる。本年度は、まず、マイクロ光造形法を用いて高精細・微細な2Dパターンニングや3D造形を大面積に行うために不可欠なオートフォーカスを実現する新たな手法を開発した。開発した方法では、光造形法で微細構造を形成する際に光硬化性樹脂内部に生じる微小な硬化形状(ボクセルと呼ぶ)を、画像処理された顕微鏡の明視野像の輝度値の差分を検出することで、約250nmのボクセルを検出できる方法を確立した。そして、98%の成功率で多数個造形できることを実証した。図1は、100 μm 角のらせん状パターンを約1mm角のエリアに25個造形した例である。本手法は、微小部品の量産だけでなく、微細パターンを基板やフィルム全体に連続的に造形を行う際に、基板の傾きやゆがみを補正して、基板全体に高精細なプリンティングを実現できる。

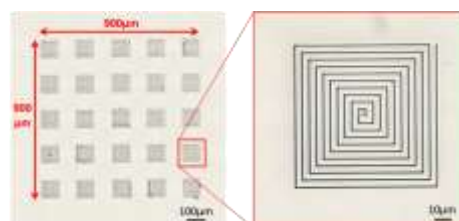


図1 オートフォーカスによる微細パターンの多数個造形の実証例

また、本研究では、マイクロ光造形法によって複数の光硬化性樹脂を用いてマルチマテリアル

構造体を形成し、フォトニクス、エレクトロニクス、マイクロメカトロニクス、再生医療など幅広い応用を目指している。本年度は、複数の光硬化性樹脂を用いたマルチマテリアル造形を可能とする装置を構成し、マルチマテリアル 3D微小構造体を造形できることを実証した。

さらに、上野グループとの共同研究において、マイクロ光造形法によるフレキシブルな微小エレクトロニクス素子の実現を目指して、液体金属ナノビーズを用いた高導電性伸縮材料の開発に取り組んでいる。本年度は、高い電気伝導性と高い熱伝導性を有し、人体へ無害な常温で液体の金属である Ga-In 共晶合金に着目し、これを超音波処理によってナノビーズ化して液体金属-高分子ゲル複合体を形成した。そして、この材料の電気伝導性や機械的強度に対する液体金属ナノビーズ表面の酸化皮膜の影響を明らかにした。

また、飯島グループとの共同研究において、白血病などの治療に役立つ造血幹細胞の誘導・培養を目的として、擬似体液から得られるヒドロキシアパタイト粒子を用いて人工骨髄を構築する研究に取り組んでいる。今年度は、3D 造形に用いる骨類似ヒドロキシアパタイト粒子の形態制御を目指して、さまざまな合成条件で粒子を合成し、その形状やサイズを評価した。今後、合成した骨類似ヒドロキシアパタイト粒子をマイクロ光造形法に適用し、造形性能の評価を行う。

【代表的な原著論文】

1. Y. Fujishiro, T. Furukawa, and S. Maruo, “Simple autofocusing method by image processing using transmission images for large-scale two-photon lithography”, Optics Express vol. 28, No. 8, pp. 12342–12351 (2020).
2. S. Kozaki, Y. Moritoki, T. Furukawa, H. Akieda, T. Kageyama, J. Fukuda, S. Maruo, “Additive Manufacturing of Micromanipulator Mounted on a Glass Capillary for Biological Applications”, Micromachines, vol. 11, 174 (2020).

§ 2. 研究実施体制

(1) 丸尾グループ

- ① 研究代表者：丸尾 昭二（横浜国立大学大学院工学研究院 教授）
- ② 研究項目
 - ・光駆動ドロプレット・プリンティング技術の開発
 - ・光硬化性ナノコンジットスラリーの開発と3D造形への適用
 - ・微小光学素子、メタマテリアル、マイクロメカニカル素子などの創製

(2) 上野グループ

- ① 主たる共同研究者：上野 和英（横浜国立大学大学院工学研究院 准教授）
- ② 研究項目
 - ・液体金属を用いた高導電性伸縮材料の開発
 - ・高性能フレキシブルバッテリーの開発
 - ・液体金属を用いた電子素子の開発

(3) 飯島グループ

- ① 主たる共同研究者：飯島 一智（横浜国立大学大学院工学研究院 准教授）
- ② 研究項目
 - ・ヒドロキシアパタイト粒子の合成と評価
 - ・生体模倣骨髄の形成と機能検証
 - ・骨－軟骨組織の形成と機能検証