

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 12057 号
------	---------------

氏 名 荒金 駿

論 文 題 目

Three-dimensional Cu-based microfabrication using femtosecond laser-induced reduction of CuO nanoparticles
(CuOナノ粒子のフェムト秒レーザー還元を用いた三次元Cu微細構造体の作製)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	秦 誠一
委員	名古屋大学	准教授	櫻井 淳平
委員	名古屋大学	教授	新井 史人
委員	名古屋大学	教授	大岡 昌博

論文審査の結果の要旨

荒金駿君提出の論文「Three-dimensional Cu-based microfabrication using femtosecond laser-induced reduction of CuO nanoparticles (CuOナノ粒子のフェムト秒レーザー還元を用いた三次元Cu微細構造体の作製)」は、フェムト秒レーザー還元直接描画法を用いて、二次元及び三次元Cu微細構造体を作製し、その加工特性を明らかにするとともに、本描画法の熱式流量センサの作製への応用について述べている。各章の概要は以下の通りである。

第1章「Background」では、本研究の背景と目的を述べている。現在、多様なセンサやアクチュエータは、ブリッジ構造等の微細な三次元構造を有している。これらのセンサは従来、MEMS技術により作製されるが、作製工程が多く、真空環境が必要であるなどが問題点であった。一方で、レーザー粉末焼結法や、電子ビーム溶解法は、レーザーや電子ビームを真空環境下で金属粉末に照射することで、三次元バルク金属構造を積層造形することができる。しかし、これらの方法を微細加工へ応用する際、使用する金属粉末が酸化しやすく、金属微細構造作製に不向きであった。そこで、本論文では、フェムト秒レーザー還元直接描画法を用いて、大気中で二次元及び三次元Cu微細構造体を作製し、センサへ応用することを目的としている。

第2章「Experimental methods」では、本研究の実験方法・評価法について述べている。フェムト秒レーザー還元直接描画法では、まず、CuOナノ粒子 (NPs) をポリビニルピロリドン及び還元剤と混合し、CuO NP溶液を調製している。次に、調製したCuO NP溶液をディスペンサ及びスピノコータにより塗布している。その後、フェムト秒レーザーを照射することで、CuO NPsの還元・焼結反応を誘起し、Cuをパターニングしている。三次元微細構造体を作製する際は、ディスペンサによる塗布とレーザー照射を繰り返すことで積層造形している。最後に有機溶剤にて未照射部を洗浄し、二次元及び三次元Cu微細構造体を得ている。

第3章「Two-dimensional Cu micropatterning」では、二次元Cu微細パターンを作製・評価している。最初に、均一で良好なレーザー還元を示すCuO NP溶液を作製するためのCuO NPs、ポリビニルピロリドン及び還元剤の濃度比を検討している。次にレーザーの照射条件を制御することで、CuO NPsの還元度を制御し、Cu-richとCu₂O-richパターンを選択的に作製できることを示している。また、この選択的作製を応用し、Cu-rich電極とCu₂O-richセンサ部を有する高感度 ($-1 \times 10^{-2}/^{\circ}\text{C}$)・高精度 (6.3%F.S.) な温度センサを作製している。

第4章「Three-dimensional Cu microfabrication」では、三次元Cu微細構造体を積層造形し、評価している。作製した三次元Cu微細構造体は、積層数増加に伴い抵抗が減少したことから、下層と上層のパターンが電気的に接続されていることを明らかとしている。また、最上層の一辺および高さ (高さ) 約250 μm 、積層数10層からなるピラミッド状のCu微細構造体を作製し、本描画法により三次元の微細構造体を作製可能であることを示している。

第5章「Three-dimensional microdevices」では、前章までに検討したフェムト秒レーザー還元直接描画法による三次元Cu微細構造体の積層造形を応用し、Cu-richとCu₂O-richブリッジ微小ヒータを有する2種類の流量センサを作製している。これら微細ヒータは、ブリッジ構造がガラス基板からの熱絶縁として機能し、ヒータ部のみで発熱したことを確認している。作製したCu-rich流量センサは、定温度回路を用いて動作させたところ、0-450 cc/minの広範囲で検出が可能としている。また、Cu₂O-rich微小ヒータと2つのCu₂O-rich温度センサからなるCu₂O-rich流量センサは、差動駆動回路を用いることよって、高精度に2方向の流量の検出を可能としている。

第6章「Conclusions and future works」では、本研究の結論として、各章で得られた結果をまとめるとともに、今後の課題を述べている。

以上のように本論文では、フェムト秒レーザー還元直接描画法を用いて、二次元及び三次元Cu微細構造体を作製し、その加工特性を明らかにするとともに、本描画法を熱式流量センサの作製へ応用している。このフェムト秒レーザー還元直接描画法と得られた結果は、各種センサなどに応用可能な二次元及び三次元のCu微細構造体を、一般的なMEMS技術に比べ簡便に実現するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である荒金駿君は博士 (工学) の学位を受けるに十分な資格があると判断した。