

Cu メッシュ電極のフレキシブル基板上へのレーザ直接描画と温度センサ作製

Direct writing of Cu mesh electrodes on flexible substrates and fabrication of thermal sensors

○溝尻 瑞枝¹, (B)Ha Phuong Nam¹, 伊藤 恭章², 秦 誠一²

Nagaoka Univ. of Tech.¹, Nagoya Univ.², Mizue Mizoshiri¹, Ha Phuong Nam¹, Yasuaki Ito², Seiichi Hata²

E-mail: mizoshiri@mech.nagaokaut.ac.jp

金属微細パターンのレーザ直接描画法は、プリントエレクトロニクスや微細 3D プリンティングにおいて重要である。特に、大気中で任意パターンの描画が可能なレーザ還元焼結法は多く報告がある[1]。我々もまた、フェムト秒レーザ還元直接描画法により CuO ナノ粒子 (NPs) の還元描画を行い、還元度を制御して金属 Cu や半導体 Cu₂O-rich パターンを選択描画することによって、ガラス基板上に温度センサや流量センサを作製してきた[2]。しかしながら、描画中に基板の伸縮が大きなフレキシブル材料への Cu パターン作製は、焦点位置がデフォーカスされる問題があり、高導電率パターンの描画は困難であった。本研究では、焦点深度の長い低開口数(NA)レンズを用いてデフォーカスの描画への影響を低減し、フレキシブル性の期待できる Cu メッシュ電極を直接描画した。

フェムト秒レーザ描画には、パルス幅 120 fs, 波長 780 nm, 繰返し周波数 80 MHz を用い、対物レンズで集光した。対物レンズには、NA0.45 のものを用い、比較のために NA0.80 も併用した。CuO NP 溶液は、CuO NPs (粒径<50 nm), エチレングリコール, ポリビニルピロリドン (M_w~10000) を 41.1 wt%, 50.0 wt%, 8.9 wt% の比で混合し調製した。CuO NP 溶液は PDMS 基板上にスプレーコートし、膜厚約 8 μm 塗布した。溶液塗布後の PDMS 基板をステージ走査させることによって、大気中で任意形状を描画した。最後に未照射部の CuO NPs をエチレングリコールで除去した。

Figure 1 に焦点位置のデフォーカス条件における線幅を示す。パルスエネルギーは 0.45 nJ, 描画速度は 15 mm/s とした。CuO NP 溶液膜表面を基準としたとき、対物レンズ NA0.45 を用いた場合には、±5 μm で約 20 μm の均一な線幅の描画が行えた。一方、NA0.80 の場合には、線幅はデフォーカス位置によって大きく依存した。このことは、長焦点深度の対物レンズを用いた集光描画により、デフォーカスによる線幅への影響を抑制できることが明らかになった。

次に、走査ピッチを調整して描画形成したパターンの還元度と抵抗率の関係を調査した。描画速度 15 mm/s, パルスエネルギー 0.45 nJ とし、対物レンズ NA0.45 を用いて描画した。還元度を簡易に評価するため、XRD スペクトルからピーク強度比 ICu(111)/ICu₂O(111)を算出して指標とした。Figure 2(a)に示すように走査ピッチ 50 μm としたとき、メッシュ電極の抵抗率は最小となった。Figure 2(b)に走査ピッチ 50 μm とした描画したメッシュの光学顕微鏡像を示す。ライン間に明確なスペースを有した。これらの結果から走査ピッチが狭いほど、隣り合うラインへの熱影響が大きくなり、再酸化したと考えられる。最後に、Cu-rich メッシュ型温度センサを試作した。描画条件は、Figs. 2 と同じ条件を用いた。センサは正の抵抗温度係数+0.004/°C (22–55°C) を有し、温度センサとして利用できることを示した。

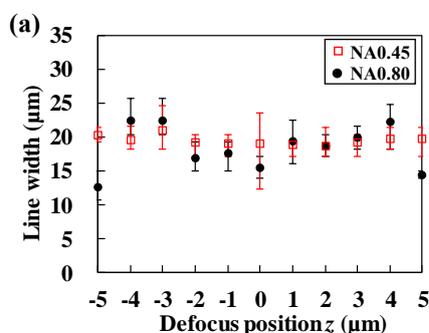


Fig. 1 Relationship between line width and defocus position z from the surface of the CuO NP solution film.

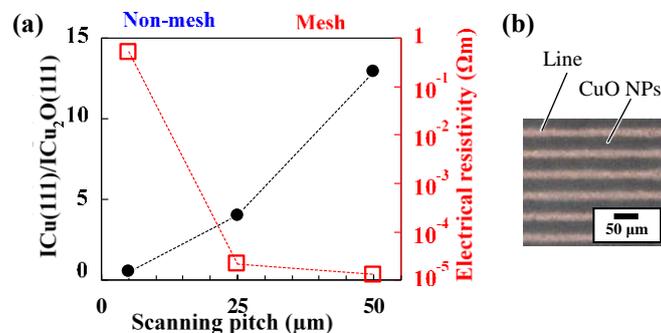


Fig. 2(a) Scanning pitch dependencies on degree of reduction ICu(111)/ICu₂O(111) and electrical resistivity, and 2(b) optical microscope image of mesh patterns at scanning pitch of 50 μm.

[1] B. Kang, *et al.*, J. Phys. Chem., 115 (2011) 23664. [2] M. Mizoshiri, *et al.*, APEX, 9 (2016) 036701.