

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：11301
 研究種目：基盤研究(B) (一般)
 研究期間：2017～2019
 課題番号：17H03423
 研究課題名(和文) レーザー誘起転写法による二次元ナノ構造の形態・組織制御と高密度ナノデバイス応用

研究課題名(英文) Laser-induced forward transfer of 2-dimensional structures for high-density nanodevices

研究代表者
 中村 貴宏 (Nakamura, Takahiro)
 東北大学・多元物質科学研究所・准教授

研究者番号：50400429
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、金属二次元ナノ構造体をレーザー誘起前方転写法(LIFT)により任意基板上に位置選択的に直接転写することを目的に研究を行った。透明基板上に形成した金属二次元構造体を対象に、横断面強度分布が一定のフェムト秒レーザーパルス照射した。光吸収層がアブレーション反応のエネルギー閾値の低減に寄与する、二次元構造を対象としたLIFTにより異方性形状を反映した構造体の転写が可能である。金属物質を対象としたLIFTでは基板上から剥離された物質が、凝集・融合しながら対向する基板上に堆積する、フェムト秒レーザーの単パルス照射により光硬化性樹脂パターン上の金属を選択的に除去できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義
 本研究では、二次元ナノ構造の作製手法として世界的な広がりを見せているナノインプリントリソグラフィ(NIL)と、任意形状を有する構造体を所定の位置へ配置できる可能性を有するレーザー誘起前方転写法という二つの手法を組み合わせた画期的な直接造形手法である。特にNILによる微細構造作製は既にデバイス応用に展開しつつあることから、本研究を通じて得られる結果は、三次元ナノデバイス作製まで発展する可能性も高く、実用への応用も大いに期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we studied direct formation of two-dimensional metal micro- and nanostructures by laser-induced forward transfer (LIFT) using single pulse of a femtosecond laser. Single pulse of a femtosecond laser with a flat-top intensity distribution was exposed to two-dimensional metal structures prepared by laser lithography or nanoimprint lithography on a transparent substrate. According to the research, four following results were obtained; 1. A LAL contributed to reduction of the energy threshold for ablation reaction by single pulse of a femtosecond laser. 2. Two-dimensional metal structures were formed on an acceptor substrate by LIFT. 3. Ablated metals were fused and coalesced then deposited on an acceptor substrate by LIFT. 4. Metal films formed on a UV-imprinted patterns were selectively removed by single pulse of a femtosecond laser.

研究分野：工学

キーワード：レーザー誘起前方転写法 二次元構造体 フェムト秒レーザー 光吸収層 光硬化性樹脂 光ナノインプリントリソグラフィ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

情報システムが日常生活の隅々まで浸透しつつある今日のユビキタス社会では、電子機器の小型化が求められ、集積回路や構成する配線ならびに素子のさらなる高密度化が必要となっている。集積回路の高密度化は、電子ビームや集束イオンビームを用いた直接描画やリソグラフィ技術をはじめとした最先端の微細加工技術によって達成されてきたが、より簡便かつ低コスト、省資源、省エネルギーなナノ加工技術の開発が期待されている。これに対し、近年ナノ構造の工業的量产が可能で次世代技術としてナノインプリントリソグラフィ (nanoimprint lithography, NIL) が注目を集めている。NIL は任意のパターンを有するモールドを用いる複製プロセスであり繰り返し精度に優れ、ナノスケール構造の大量生産も可能であるが、パターンのサイズ低減に伴う構造再現性や、高アスペクト比のナノ構造形成が困難といった課題もある。一方、近年インクジェット手法を用いた導電性細線などの直絶描画に関する研究や応用も進められているが、その線幅は一般にミクロンオーダーであるためリソグラフィ技術を用いた加工精度には及ばず、粒径の揃った数ナノメートルの金属ナノ粒子を表面修飾して安定化する技術、濡れ性などを考慮した溶媒の選定や、不純物の除去や導電性の改善のための焼結プロセスが必要である。

申請者はこれまでレーザー誘起転写法 (laser-induced forward transfer, LIFT) を用いたナノ構造の直接描画に取り組んできた。レーザーアブレーション技術に基づく LIFT は、透明基材上に均一に堆積させた物質 (ドナー) に対して、基材後方からパルスレーザーを照射することで、そのドナー物質を対向する基板 (アクセプター) に転写する直接描画法である (図 1)。同手法は、金属だけでなくセラミックスや生体材料など様々なドナー物質を任意のアクセプター基板にワンステップで転写することができる極めてシンプルな直接描画手法であり、マスクなどを用いることで任意形状の物質を堆積したりそれらを三次元的に積層することも可能である (J. Wang et al., *Adv. Mater.*, 22, 2010, 4462-4466)。LIFT ではドナーとして透明基材上に堆積した薄膜物質を対象とすることが一般的であるが、その場合、転写される物質の大きさはドナー物質の種類や膜厚、照射レーザーのレーザーフルエンスやスポット径に依存し、一般にサブミクロン程度となる。

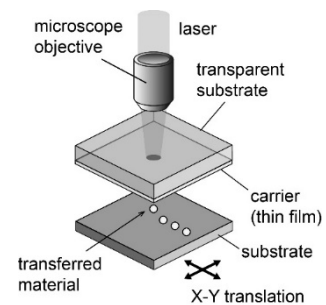


図 1 レーザー誘起転写法 (LIFT) の概念図。

2. 研究の目的

上述した背景に基づき、本研究では高密度ナノデバイスの実現に向けて、透明基材上に形成した金属二次元ナノ構造体を LIFT により任意基材上に位置選択的に直接転写することを目的に研究を行った。この際、転写物質の組織あるいは構造を評価することでその形成メカニズムについても検討した。通常の LIFT では、薄膜のドナー物質にガウスビームを集光・照射することが一般であるが、本研究では透明基材上に形成した金属二次元構造体をドナーとして用いて、横断面強度分布が一定のフラットトップビームを照射する。さらに、本研究では基板と対象とする構造体との界面にレーザー光のエネルギーを吸収し、ナノ構造の転写に寄与する光吸収層 (light absorption layer, LAL) を導入することで、二次元構造体の形状を保った直接転写を目指した。

3. 研究の方法

(1) フラットトップビームを用いたレーザー照射のための実験光学系の構築

本研究ではドナーに照射するレーザー光の横断面強度分布が均一なフラットトップビームを用いた。フラットトップビームを用いたレーザー照射のための実験光学系を図 2 に示す。フェムト秒パルスレーザー (波長 800 nm, パルス幅 100 fs) のガウスビームを特注のレーザービームホモジナイザー (浜松ホトニクス製) を用いて四角形状のフラットトップビームに変換した。変換したビームプロファイルを縮小光学系により対物レンズ (倍率 10x, NA 0.3, Nikon) を通じてドナー物質に照射する光学系を構築した。対物レンズ後の結像面におけるビームプロファイルはビームプロファイラー (Spiricon, OPHIR Photonics) によって評価した。レーザービームホモジナイザー前に設置した可変アッテネーターによりレーザーエネルギーを調節し、照射レーザーエネルギーの違いが LIFT 現象に及ぼす影響について調べた。

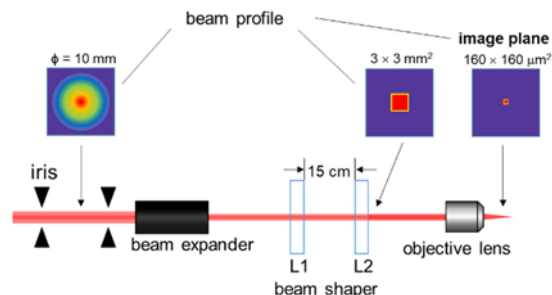


図 2 フラットトップビームを用いたレーザー照射のための実験光学系。

(2) 光吸収層 (LAL) の形成と白金薄膜への単パルスレーザー照射

NIL によるナノ構造の形成が可能で光硬化性樹脂に対して、フェムト秒パルスレーザーの発振波長 (800 nm) 近傍に吸収ピークを有する色素を添加して LAL としての機能を評価した。主剤モノマーを BPAEDM (Shin-Nakamura Chemical), 開始剤を Omnirad 369 (former

Irgacure369, BASF) として, BPAEDM : Irgacure369 = 1 : 0.04 (mol) となるように調節することで光硬化性液体 BE369 を作製した. 作製した BE369 に対して, フェムト秒パルスレーザーの発振波長 800 nm に吸収ピークを有する色素 FDN-002 (Yamada Chemical) の濃度を変えて添加して色素含有光硬化性液体 BE369BL を作製した. BE369BL のスピコート膜に紫外線を照射して厚さ光硬化樹脂薄膜を作製し, FDN-002 の BE369 に対する溶解度限界を明らかにした. 膜厚 200–1,000 nm とした BE369BL 光硬化薄膜上にマグネトロンスパッタにより 40 nm の白金薄膜を堆積した. 作製した積層膜に対して, フェムト秒レーザーのフラットトップビームを単パルス照射して照射領域のドナー基板と対向するアクセプター基板を観察した.

(3) 白金二次元マイクロ構造体に対するフェムト秒レーザーの単パルス照射

フォトリソグラフィにより作製した白金の二次元マイクロ構造体を対象とした LIFT により, 基板上への直接転写を試みた. LAL 層として膜厚約 15 nm のカーボン蒸着膜を用いた. その上にマグネトロンスパッタにより白金 34 nm とアクセプターとの密着性を向上する目的でチタン 7.5 nm を堆積した. 作製した積層膜基板上にポジ型フォトレジストをスピコート塗布したのち乾燥し, フォトマスクを介して h 線 (波長 405 nm) を照射した. 現像後, レジストパターンを有する積層膜基板を Ar ビームミリングによりエッチングしたのち, 残膜を除去することで Ti7.5nm/Pt34nm/C15nm 積層膜の二次元マイクロ構造体を作製した. 作製した二次元マイクロ構造体に対して, フェムト秒レーザーのフラットトップビームを照射エネルギーを変えて単パルス照射して, ドナー基板と対向するアクセプター基板上に形成された構造を観察した.

(4) 金属微細パターンのドライ現像

光硬化性薄膜の LAL 層の有無によって, レーザーアブレーション閾値が異なることを利用して, 残膜を除去した NIL 成形樹脂パターン上にクロム薄膜を堆積し, フラットトップビームの単パルス照射によって二次元クロムパターン構造の作製を試みた. 密着層処理を施した溶融シリカ基板上に上記光硬化性液体 BE369BL (色素濃度 14%) を配置して, 離型処理を施したシリカモールドを用いて易凝縮性ガス (1,1,1,3,3-pentafluoropropane, PFP) 雰囲気下にて光インプリント成形を行った. 酸素反応性イオンエッチングにより残膜を除去した後, マグネトロンスパッタによりクロム層を 30 nm 堆積した. 溶融シリカ側からフェムト秒レーザーのフラットトップビームを単パルス照射し, 照射後のアクセプター基板表面を光学顕微鏡により観察するとともに, 飛行時間型二次イオン質量分析法 (time-of-flight secondary ion mass spectrometry, TOF-SIMS) を用いて表面の二次元元素分析を行った.

4. 研究成果

(1) フラットトップビームを用いた LIFT のための実験光学系の構築

フェムト秒パルスレーザーのレーザービームホモジナイザー導入後の変換ビームの対物レンズ後の結像面におけるビームプロファイルを図 3 に示す. ホモジナイザー導入後の変換ビームのプロファイルは四角形状であり全域にわたって均一な強度分布となっていることが確認された. ビーム強度横断面強度分布を評価するため, ビームプロファイルの各ピクセルにおける強度を数値化して, ピーク値, 平均値, 標準偏差, 変動係数を求めた. 変換ビームの変動係数 (0.262) はガウスビーム (0.560) に比べて低い値を示し, 面内においてレーザー強度が均一化されていることが確認された.

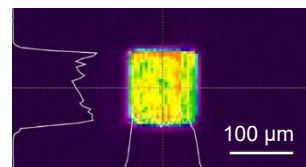


図3フラットトップビームの結像面における強度プロファイル.

(2) 光吸収層 (LAL) の形成と白金薄膜への単パルスレーザー照射

フェムト秒レーザーの波長域に吸収を有する色素 FDN-002 の濃度 0.5–15.0 wt% の光硬化樹脂薄膜では, 基板中心付近において均一な薄膜が形成されたが, 色素濃度 16.7 wt% の際には薄膜の脱濡れが確認された. 光硬化樹脂薄膜の紫外一可視光透過スペクトルを図 4 に示す. 色素濃度 0.5–15.0 wt% の薄膜では, 色素含有量の増加に伴い波長 800 nm 近傍の吸収ピークが大きくなった. しかし, 色素濃度 16.7 wt% の薄膜では吸収ピークが小さくなることが分かった. これは, 色素の溶け残り粒子を核とした薄膜の脱濡れに起因しているものと考えられる. 従って, 色素を含む均一な薄膜の形成のための FDN-002 の BE369 に対する溶解度限界は 15.0–16.7 wt% の間にあることが示された. 光硬化性液体に添加する色素濃度が高くなると色素の会合が生じ, 光硬化樹脂薄膜の光吸収率が低下する可能性がある. 従って, 紫外一可視光透過スペクトルにおける波長 814.0 nm および 525.5 nm の透過率, 微細形状測定器により得られた膜厚の測定平均値をもとに, 各色素濃度における膜厚 1.0 μm の薄膜当たりの吸光度を算出し, 濃度と吸光度の関係求めた (図 5). 波長 814.0 nm および 525.5 nm のいずれにおいても, 色素濃度 0.5–14.0 wt% の間では濃度と吸光度が線形関係を示したが, 色素濃度 15.0 wt% では 14.0 wt% とほぼ同じ吸光度を示した. これは, 色素濃度 15.0 wt% の薄膜では, 濃度と吸光度が比例関係であるとする Lambert-Beer の法則から外れていることを示している. また, 色素濃度 15.0 wt% の薄膜光吸収ピークの長波長シフトが確認された. 従って 15.0 wt% 以上の色素濃度では色素の会合が起きている可能性が示唆された. 以上のことから, 光硬化性液体 BE369 に対する色素 FDN-002 の溶解度限界は 14.0 wt% であることが明らかとなった.

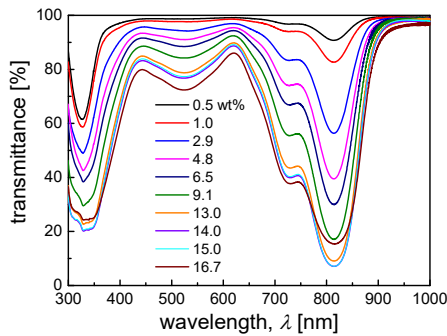


図4 色素 FDN-002 の濃度を変えて作製した光硬化樹脂薄膜の紫外—可視光透過スペクトル。

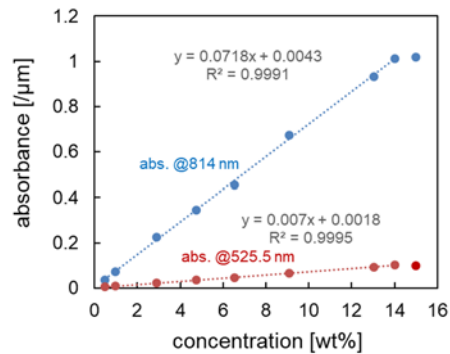


図5 各色素濃度における膜厚 1.0 μm の薄膜当たりの吸光度との関係。

作製した BE369BL の LAL としての効果を調べるため、合成石英ガラス基板上に膜厚 500 nm の BE369BL (色素濃度 14.0 wt%) 光硬化樹脂薄膜を形成した後、膜厚 40 nm の白金薄膜をスパッタ堆積した積層膜に対して、照射レーザーエネルギーを変えてフェムト秒レーザーの単パルス照射を行った。LAL を導入した積層膜へのレーザー照射では、レーザーエネルギーが 500 μJ の際にドナー基板におけるレーザー照射領域の白金薄膜の剥離が確認されたが、LAL を導入しない場合では、レーザーエネルギー条件が 700 μJ においても、レーザー照射領域全体にわたる薄膜の剥離が確認されなかった。このことから色素を含有した光硬化性樹脂薄膜を LAL とすることで、アブレーションのためのレーザーエネルギー閾値の低減が認められた。

一方、アクセプター基板上に形成された堆積物は、照射レーザープロファイルのサイズに比べて大きく広がっていることが確認された。これはレーザー照射による LAL のアブレーション反応に起因して生じているものと考え、LAL として用いる光硬化性樹脂薄膜の膜厚をそれぞれ 1,000, 200 nm とし、その上に膜厚 40 nm の白金薄膜をスパッタ堆積した積層膜に対して、照射レーザーエネルギー 500 μJ でフェムト秒レーザーの単パルスを行った。また、アクセプター基板上に形成された堆積物に対して、LAL 由来の有機物を除去することを目的に酸素プラズマ処理を施した。図 6 にレーザー照射後のドナー基板、アクセプター基板ならびに酸素プラズマ処理後のアクセプター基板の光学顕微鏡観察結果を示す。いずれの場合においても、ドナー基板においてレーザー照射領域の薄膜の剥離が確認された。酸素プラズマ処理によりアクセプター基板上に堆積した黒色の飛散物が低減していることから、これらは LAL に由来する有機物の残渣であると考えられる。LAL として用いた光硬化性樹脂薄膜の膜厚が 200 nm の場合には、アクセプター基板上に照射レーザープロファイル (図 3) を反映した四角形状の堆積物が形成していることが確認された。スピコートを用いて作製することのできる最小膜厚は 200 nm である。孔版印刷と平板モールドによる押しつけ光硬化によって 100 nm 以下の樹脂薄膜の作製が可能であることが示されており、LAL の膜厚低減に関して検討を継続する。また、薄膜物質を対象とした LIFT ではレーザーの単パルス照射によって薄膜を剪断する応力を与える必要がある。ドナー基板上に形成された二次元構造体対象とすることで薄膜の剪断プロセスを考慮しない二次元構造体の転写が予測された。

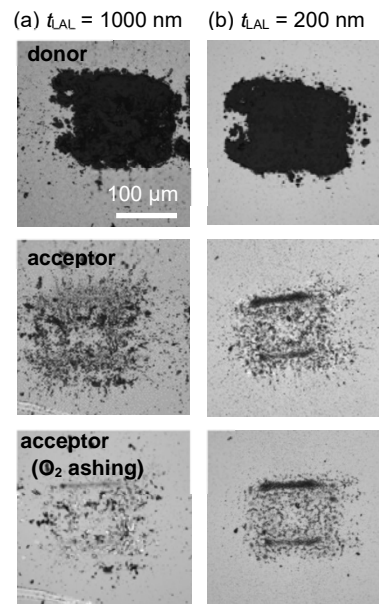


図6 膜厚の異なる LAL を含む積層膜へのフェムト秒レーザーの単パルス照射後のドナー薄膜およびアクセプター基板上の堆積物の光学顕微鏡像。(a) LAL 膜厚 1,000 nm および(b) 200 nm の結果。

(3) 白金二次元マイクロ構造体に対するフェムト秒レーザーの単パルス照射

光硬化性樹脂薄膜を LAL として用いた場合、レーザー照射によって転写物に残渣が生じたことから、全波長領域に吸収を有し、ナノ薄膜化が可能なカーボンを用いた LAL を採用し、その上にフォトリソグラフィにより白金の二次元マイクロ構造体を作製した。作製したマイクロパッド構造に対して、フェムト秒レーザーをエネルギーを変えて単パルス照射した際に、合成石英基板 (ドナー基板) 表面ならびに対向するシリコン基板 (アクセプター基板) 表面に形成された構造体の光学顕微鏡像を図 7 に示す。照射パルスエネルギー 0.8 および 1.0 mJ の際にドナー基板から構造体全域の剥離が確認された。一方、アクセプター基板表面に形成された構造体は、レーザー照射対象の白金二次元マイクロ構造体の形状を反映しているものの、凹凸構造を有する表面形態となっていることが示された。照射パルスエネルギー 1.0 mJ の条件でアクセプター基板上に形成された構造体の表面プロファイルを表面形状測定機によりレーザー照射によってアク

セプター上に形成された構造体の凹凸構造の高さは数 10 nm から数 100 nm となっていることが分かった。LIFT のためのレーザーエネルギー閾値が高いこと、レーザーアブレーション反応によってドナー基板上から剥離された白金が、アクセプター上で凝集・融合しながら堆積した可能性が考えられる。LAL 層と金属層の密着性を低減して LIFT の際のレーザーエネルギー閾値を低くする、対象とする金属構造体にヤング率の高い支持層を導入することで、ドナー基板上に形成した二次元構造体の形態を維持した転写が可能となるのではないかと考える。

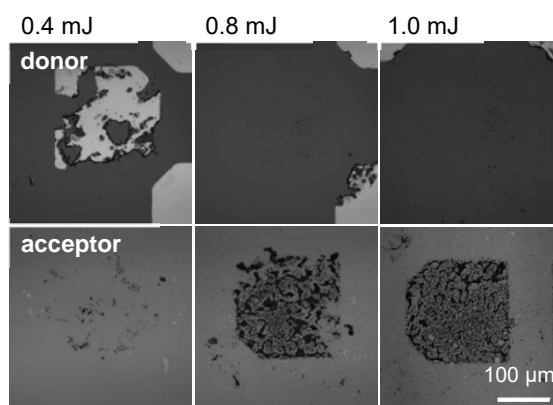


図7 フェムト秒レーザー単パルス照射後の(上)ドナー基板表面および(下)アクセプター基板表面の光学顕微鏡像。

(4) 金属薄膜/光硬化樹脂パターン積層構造体へのフェムト秒レーザーの単パルス照射による金属微細構造形成

これまでの研究において、LAL 層を導入した場合に、アブレーションのためのエネルギー閾値が低減することが示された。従って、ドナー基板上の金属微細構造の加工が可能ではないかと考えた。すなわち、LAL 層の有り無しによって、レーザーアブレーション閾値が異なることを利用して、光ナノインプリントリソグラフィ (UV-NIL) により形成した光硬化樹脂パターン上にクロム薄膜を堆積した積層構造に対して、フェムト秒レーザーを単パルス照射することで光硬化樹脂パターンのドライ現像による金属微細構造形成を試みた。フェムト秒レーザーの単パルス照射前後のクロム薄膜/光硬化樹脂パターン積層構造表面の光学顕微鏡像を図 8 に、レーザー照射後の同じ箇所二次元元素マッピング結果を図 9 に示す。レーザー照射後の光学顕微鏡写真では、光硬化樹脂パターン部のみが黒く変化しており(図 8(a)), 同じ箇所の TOF-SIMS による二次元元素マッピング(図 9)からも、光硬化樹脂パターン上のクロム層のみが選択的に除去されていることが示された。一方、レーザー照射によってクロム層が除去された箇所には光硬化樹脂パターンが残存していることが明らかとなった。レーザー照射前後のクロム薄膜/光硬化樹脂パターン積層構造の AFM 像では、レーザー照射前後でパターンの表面形態に大きな違いは見られなかったが、レーザー照射前のライン部のパターン高さが 283 nm であるのに対し、レーザー照射後のパターン高さは 246 nm であり、その差は 37 nm であった。光硬化樹脂パターン上に堆積したクロム薄膜の膜厚は 30 nm であることから、レーザー照射によってクロム薄膜に加えて界面の光硬化樹脂も一部剥離していることが示唆された。このことから、UV-NIL により形成される光硬化樹脂パターン高さを 10 nm 程度とすることで、フェムト秒パルスレーザーの単パルス照射によって、基板上に光硬化樹脂パターンが残存しない金属微細構造を直接形成できる可能性が示された。

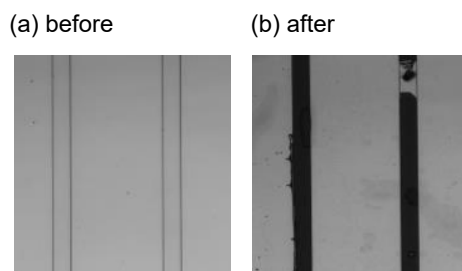


図 8 フェムト秒レーザーの単パルス照射前後のクロム薄膜/光硬化樹脂パターン積層構造表面の光学顕微鏡像

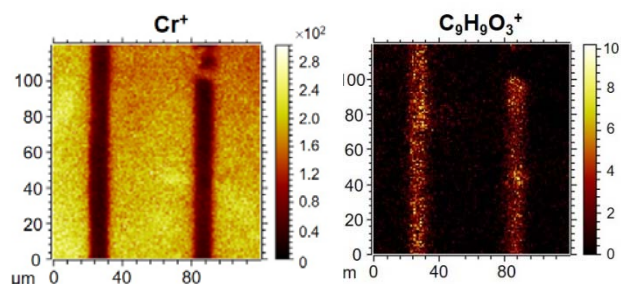


図 9 フェムト秒レーザーの単パルス照射後のクロム薄膜/光硬化樹脂パターン積層構造表面の二次元元素マッピング結果

本研究課題により、1. LAL の導入がフェムト秒レーザーの単パルス照射によるアブレーション反応のエネルギー閾値の低減に寄与すること、2. 二次元微細構造対象とした LIFT により異方性形状を反映した構造体の転写が可能であること、3. 金属物質を対象とした LIFT ではレーザーアブレーション反応によって基板上から剥離されたドナー物質が、アクセプター上で凝集・融合しながら堆積すること、4. フェムト秒レーザーの単パルス照射により光硬化性樹脂パターン上の金属を選択的に除去できることを明らかにした。得られた成果をもとに、LAL の膜厚や材料の選択、レーザー照射対象物質としてヤング率の高い材料の選択、レーザーを照射する二次元微細構造のパターンサイズの低減に関して研究を継続する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Yuki Ozaki, Shunya Ito, Takahiro Nakamura, and Masaru Nakagawa	4. 巻 58
2. 論文標題 Sequential infiltration synthesis- and solvent annealing-induced morphological changes in positive-tone e-beam resist patterns evaluated by atomic force microscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDJ04
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/1347-4065/ab0496	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Takahiro Nakamura, Kento Seki, Kazuro Nagase, Masaru Nakagawa	4. 巻 43
2. 論文標題 Pulsed Laser Drilling of Engineering Plastic Films to Fabricate Through-Hole Membranes for Print-and-Imprint Method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Transactions of the Materials Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 289-292
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.14723/tmrsj.43.289	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yuki Ozaki, Shunya Ito, Nobuya Hiroshiba, Takahiro Nakamura, Masaru Nakagawa	4. 巻 57
2. 論文標題 Elemental depth profiles and plasma etching rates of positive-tone electron beam resists after sequential infiltration synthesis of alumina	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 06HG01-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.7567/JJAP.57.06HG01	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Takuya Uehara, Shinya Sato, Shunya Ito, Haruna Yano, Takahiro Nakamura, Masaru Nakagawa	4. 巻 91
2. 論文標題 Development of UV-Curable Resins Suitable for Reverse-Tone Lithography for Au Metamaterials Using a Print-and-Imprint Method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 178-186
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1246/bcsj.20170280	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Takahiro Nakamura, Kento Seki, Kazuro Nagase, Masaru Nakagawa	4. 巻 35
2. 論文標題 Gold microelectrodes fabricated by a print-and-imprint method using laser-drilled polyimide through-hole masks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Vacuum Science & Technology B	6. 最初と最後の頁 06G301-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1116/1.4991629	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計19件(うち招待講演 4件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Yusuke Isawa, Takahiro Nakamura, Masaru Nakagawa
2. 発表標題 Laser-Induced Forward Transfer of 1-dimensional Cr Structures by Shaped Femtosecond Laser Pulses
3. 学会等名 Tohoku University's Chemistry Summer School (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井澤 優佑, 中村 貴宏, 中川 勝
2. 発表標題 レーザー誘起前方転写法による二次元Crマイクロ構造の形成
3. 学会等名 第47回東北地区高分子若手研究会夏季ゼミナール
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke Isawa, Takahiro Nakamura, Masaru Nakagawa
2. 発表標題 Laser-Induced Forward Transfer from Cr Thin Films Depending on Applied Laser Pulses
3. 学会等名 The 10th International Symposium on Integrated Molecules and Materials Engineering (IMSE) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊東駿也, 上原卓也, 尾崎優貴, 中村貴宏, 中川勝
2. 発表標題 トリメチルアルミニウムを用いた3種類の化学気相反応法による光硬化レジストの有機 - 無機ハイブリッド化の膜厚方向の化学組成解析
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村貴宏, 遠藤功望, 中川勝
2. 発表標題 Print-and-imprint 法におけるレーザー加工孔版印刷での低粘度化
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Nakamura, Narumi Endo, and Masaru Nakagawa
2. 発表標題 Surface modification of polyimide laser-drilled screen-printing masks for low-viscosity liquids in print-and-imprint method
3. 学会等名 31st International Microprocesses and Nanotechnology Conference
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村貴宏
2. 発表標題 レーザープロセッシングの新展開 - 研究予算獲得と異分野領域融合
3. 学会等名 日本セラミックス協会マテリアル・ファブリケーション・デザイン研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村貴宏
2. 発表標題 異分野領域融合によるレーザープロセッシングの新展開
3. 学会等名 第2回技術調査専門委員会研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村貴宏, 中川勝
2. 発表標題 マクロ技術とナノ技術を融合したprint and imprint法
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第30回秋季シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 関健斗, 中村貴宏, 佐藤慎弥, 熊谷真莉, 永瀬和郎, 中川勝
2. 発表標題 Print and Imprint法によるマイクロ電極作製に向けた残膜厚均一化の検討
3. 学会等名 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 関健斗, 中村貴宏, 永瀬和郎, 中川勝
2. 発表標題 Print and Imprint法に向けたピコ秒パルスレーザーによる異なるエンジニアリングプラスチックフィルムへの貫通孔の形成加工
3. 学会等名 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村貴宏
2. 発表標題 共同研究によるレーザープロセッシングの新展開
3. 学会等名 高分子・ハイブリッド材料研究センター (PhyM) 講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村貴宏, 関健斗, 永瀬和郎, 中川勝
2. 発表標題 スクリーン印刷用孔版の作製のためのエンジニアリングプラスチックフィルムへのパルスレーザー穴あけ加工
3. 学会等名 第27回日本MRS年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 遠藤功望, 中村貴宏, 中川勝
2. 発表標題 レーザー加工孔版印刷におけるポリイミドの表面修飾の効果
3. 学会等名 017 年度高分子・ハイブリッド材料研究センター (PhyM) 若手フォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takahiro Nakamura, Masaru Nakagawa
2. 発表標題 Print and Imprint method for Nanoimprint lithography with high-viscosity photo-curable resins
3. 学会等名 2017 International Conference on Electronics Packaging (ICEP2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takahiro Nakamura, Kento Seki, Shinya Sato, Mari Kumagai, Masaru Nakagawa, Kazuro Nagase
2. 発表標題 Fabrication of Polyimide Screen Masks with Through Holes by Laser Drilling for Print and Imprint Method
3. 学会等名 The 61st International Conference on Electron, Ion, and Photon Beam Technology and Nanofabrication (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takahiro Nakamura, Masaru Nakagawa
2. 発表標題 Print and Imprint Method for Fabricating Gold Microelectrodes
3. 学会等名 21st International Symposium on Advanced Display Materials & Devices (ADMD 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takahiro Nakamura, Kento Seki, Shinya Sato, Mari Kumagai, Masaru Nakagawa
2. 発表標題 Print and imprint methods using laser-drilled polyimide through-hole masks for fabrication of gold microelectrodes
3. 学会等名 The 16th International Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technology (NNT 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	中川 勝 (Nakagawa Masaru) (10293052)	東北大学・多元物質科学研究所・教授 (11301)	