

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K17493

研究課題名(和文) 固液界面レーザー誘起反応を利用した透明樹脂上への微細周期構造付加技術の開発

研究課題名(英文) Development of the submicron-size periodic structures by using backside irradiation

研究代表者

中住 友香(Nakazumi, Tomoka)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・機能化学研究部門・研究員

研究者番号：80738021

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：近年、ナノサイズの構造体を基材表面上に作製することで、構造に起因する特異な機能を付与する技術が注目されている。このような技術を発展させれば基材上に、蛾の目の構造を模したモスアイ構造による反射防止フィルム等を作製することも可能である。本研究では、レーザー光の干渉と光重合技術を組み合わせることで、金型やフォトマスクを必要としない微細構造体の新規作製手法の確立を目指した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we examined the novel fabrication method for adding the specific functions onto material surfaces. By adopting the photochemical polymerization and laser interference techniques, we challenged the fabrication of the submicron-size periodic structures onto the glass surfaces. We utilized the laser diode with continuous wave at 405 nm as a light source for polymerization. Moreover, the backside laser irradiation was utilized for inducing photochemical polymerization in the close vicinity of liquid-solid interface. Reactive liquid mixture composed of an acrylic monomer and a photoinitiator, was set onto an aminosilane coated glass substrate. In this study, laser beam was once divided into four beams. Then, two or four beams were used for backside irradiation with interference. Upon two beam irradiation, fringe structures with a period was fabricated. Meanwhile, upon four beam irradiation two-dimensional array of dot structures was constructed.

研究分野：表面光化学

キーワード：レーザープロセッシング 光の干渉 機能付与 表面

## 1. 研究開始当初の背景

近年、ナノサイズの構造体を基材表面上に作りこむことで、構造に起因する特異な機能を付与する技術が注目されている。このような技術を発展させれば基材上にハスの葉の微細構造を模した撥水性表面や、蛾の目の構造を模したモスアイ構造による反射防止フィルム等を作製可能である。モスアイ構造は光の波長と同等である 300 nm 程度の周期を持つ微細な突起を表面上に無数に並べた構造であり、基材表面での屈折率変化を連続的なものにして光の反射を抑制することができる。このようなモスアイ構造の利点を、テレビやモバイル機器ディスプレイ、太陽電池、LED 等に应用するため、最適構造体の形状や作製手法について研究が活発に進められている (Y. Qiu et al., Nano Lett. 14, 2123 (2014)、T. Lin et al. Nano Lett. 15, 4993(2015)等)。実用化されているモスアイ構造を用いた反射防止フィルムは、樹脂を精密な金型と基板で挟み込み、ナノサイズのパターンを転写するナノインプリント法により製造されているのが現状である。基材表面上にこのような微細な構造体を作製する際に用いられるナノインプリント法では、金型の作製が求められる。金型の作製コストは非常に高く、一度作製してしまうと微調整が難しい欠点がある。また、金型から抜くときに微細構造体が破壊してしまうデメリットがあった。

## 2. 研究の目的

ナノインプリント法はナノサイズの構造をもつ精密な金型を必要とするのに対して、光を用いる直接描画型の構造作製では、光強

度の空間分布自体を制御するため金型が不要となる。したがって、精密な金型の作製や離形時の金型の劣化の問題を回避可能な、より自由度の高い製造手法となることが期待される。光による微細パターン形成では、薄膜状のフォトレジストを露光するフォトリソグラフィ法が一般的であるが、フォトレジスト自体には耐久性が無いため、その利用は後続工程のエッチング用マスクに限定されている。本研究では、レーザー光の干渉技術を用いて、ナノサイズの構造体を基材表面上に直接形成可能な技術の開発を目指した。この形成手法では、フォトレジストではなく、光重合反応によるアクリル系樹脂により微細な構造体形成を行った。

## 3. 研究の方法

光源には安価で汎用性が高い波長 405nm の半導体レーザーを採用した。4 光束・光学系では、1つのレーザー光を4つに分岐し、基材表面でそれぞれの光を重ね合わせることでレーザー光を干渉させた。開発した装置は、1 光束から 4 光束のレーザー光を選択的に反応溶液に照射することができる。2 光束を干渉させた場合には縞状の光パターンを、また 3 光束もしくは 4 光束を干渉させた場合にはドットアレイ状の光パターンを形成することができた。反応溶液には、アクリル系のモノマーと光ラジカル開始剤を混合させたものを採用した。

## 4. 研究成果

基材側から光を照射することで、反応溶液はシランカップリング剤で修飾されたガラス基材上で重合反応が進み構造体を形成し

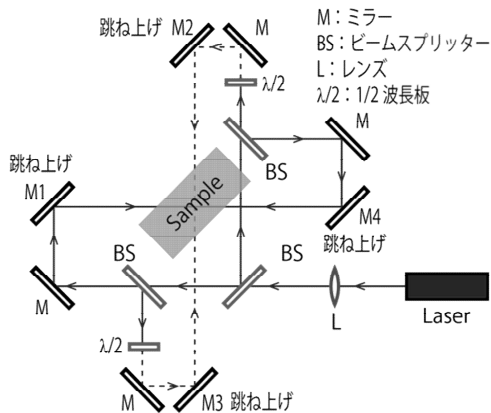


図 1.構築した光学系

た。詳細な検討を行った結果、構造形成には反応液に含まれる開始剤濃度の影響が大きいことが明らかとなった。開始剤濃度が飽和濃度に近い場合にのみ、数 100nm 周期の縞状・ドットアレイ状の構造体を形成することができた。図 2 は干渉縞を反映した構造体のレーザー顕微鏡像とプロファイルである。1 μm 周期に縞状の構造体が形成している様子がわかる。

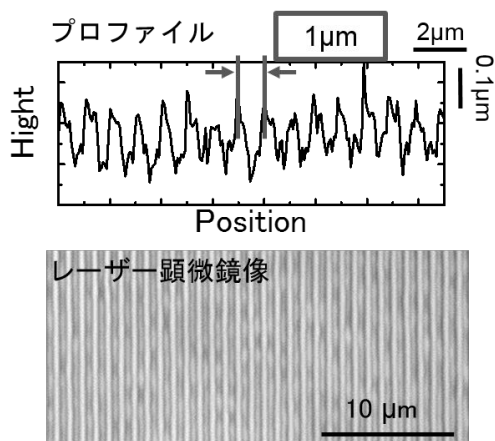


図 2.干渉縞を反映した構造体

また、微細構造を形成する上で得られた表面処理技術を応用して、キャピラリー内壁にあるフューズドシリカの表面処理についても検討を行った。本検討で得られた表面処理方法を応用することで、表面コーティング可

能なことを確認した。処理したキャピラリーに電圧を印加したところ、表面コーティングなしでは分離できない、DNA をキャピラリー内で分離することができた。今後は得られた知見を、様々な分野に応用していく。

## 5 . 主な発表論文等

( 研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線 )

[ 雑誌論文 ] ( 計 10 件 )

Tomoka Nakazumi, Tadatake Sato, Aiko Narazaki, Hiroyuki Niino, Laser marking on soda-lime glass by laser-induced backside wet etching with two-beam interference, Journal of micromechanics and microengineering, 26, 95015, 2016

Tomoka Nakazumi, Tadatake Sato, Direct Fabrication of Submicron-size Periodic Structures by Backside Irradiation, Journal of Laser Micro/Nanoengineering, 11, 317-320, 2016

中住 友香, 原 雄介, キャピラリーゲル電気泳動による DNA の分離分析, Colloid and Interface Communication, 41, 11-13, 2016

Tomoka Nakazumi, Yusuke Hara, Separation of Small DNAs by Gel Electrophoresis in a Fused Silica Capillary Coated with a Negatively Charged Copolymer, Separations, 4, 28, 2017

Tomoka Nakazumi, Yusuke Hara, Validation of separation accuracy for small DNAs in a capillary gel electrophoresis system with short-length fused silica capillary, International Journal of Pharma Medicine and Biological Science, 6, 105-108, 2017

Tomoka Nakazumi, Yusuke Hara, Influence of the sample volume upon injection on capillary gel electrophoresis for the separation of small DNA fragments, International Journal of Chemical Engineering and Application, 9, 16-19, 2018

Tomoka Nakazumi, Yusuke Hara, Influence of thickness of alkyl-silane coupling agent coating on separation of small DNA fragments in capillary gel

electrophoresis, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 242, 012034/1-6, 2017

Tomoka Nakazumi, Yusuke Hara, Effect of sieving polymer concentration on separation of 100 bp DNA Ladder by capillary gel electrophoresis, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 242, 012033/1-7, 2017

Tomoka Nakazumi, Yusuke Hara, Effect of strong acid on the self-oscillating behavior for the polymer chain with the Fe(bpy)<sub>3</sub>, Advances in Engineering Research, 102, 13-17, 2017

Tomoka Nakazumi, Yusuke Hara, Activation energy of the soluble-insoluble self-oscillation in an autonomous polymer chain, Advances in Engineering Research, 102, 8-12, 2017

〔学会発表〕(計 10 件)

Tomoka Nakazumi, Tadate Sato, Direct fabrication of submicron-size structure array by backside irradiation, LPM2016 第 17 回レーザ精密微細加工国際シンポジウム, 2016 年

中住 友香, 原 雄介, キャピラリーゲル電気泳動の光検出における DNA 濃度の影響, 2016 年度 材料技術研究協会討論会, 2016 年

中住 友香, 原 雄介, 光検出を利用したキャピラリーゲル電気泳動における電気浸透流の影響, 第 26 回 非線形反応と協同現象研究会, 2016 年

中住 友香, 原 雄介, Influence of thickness of alkyl-silane coupling agent coating on separation of small DNA fragments in capillary gel electrophoresis, The 2017 International Conference on Materials Science and Mechanical Manufacturing Engineering, 2017 年

中住 友香, 原 雄介, Effect of sieving polymer concentration on separation of 100 bp DNA ladder by capillary gel electrophoresis, The 2017 International Conference on Materials Science and Mechanical Manufacturing Engineering, 2017 年

中住 友香, 原 雄介, 被覆剤のワンステップ合成法を駆使したキャピラリーゲル電気泳動技術の開発, 2017 年若手の会サマースクール (日本油化学会), 2017 年

中住 友香, 原 雄介, 病原菌の即時分析技術を目指したキャピラリーゲル電気泳動技術の開発, 2017 年若手の会サマースクール (日本油化学会), 2017 年

中住 友香, 原 雄介, 病原体遺伝子検査への応用を目指したキャピラリーゲル電気泳動法の研究, 日本スポーツ歯科医学会 第 28 回総会・学術大会, 2017 年

中住 友香, 原 雄介, Effect of strong acid on the self-oscillating behavior for the polymer chain with the Fe(bpy)<sub>3</sub>, The 2nd International Conference on Mechanics, Materials and Structural Engineering, 2017 年

中住 友香, 原 雄介, Activation energy of the soluble-insoluble self-oscillation in an autonomous polymer chain, The 2nd International Conference on Mechanics, Materials and Structural Engineering, 2017 年

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

中住 友香 (NAKAZUMI Tomoka)

産業技術総合研究所 機能化学研究部門  
研究員

研究者番号 : 80738021