

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2020

課題番号：19K21914

研究課題名（和文）近接場光とナノ厚さ液体膜積層を用いたナノ分解能3Dプリンティング

研究課題名（英文）Nano 3D printing using near-field light and nano-thick liquid film lamination

研究代表者

福澤 健二（Fukuzawa, Kenji）

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：60324448

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、近接場光を用いた微細加工をこれまでの2次元から3次元加工に拡張するナノ3次元構造形成法のための基盤技術を確立することを目的とした。ナノ3次元構造形成法実現のキー技術となる、ナノ厚さ液膜積層について、ナノ厚さ液体膜特有の基板面との分子間相互作用に着目した独自の方法を提案し原理実証に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ナノスケールの3次元構造は、様々な分野で新領域開拓をもたらすと期待されているが、ナノスケールの部品組み立ては困難なため構造形成法は確立されていない。本研究の成果は、その実現の基盤技術となることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we tried to establish the basic technology for nano-3D structure formation by extending near-field optical fabrication from two-dimensional to three-dimensional processing. We have proposed and successfully demonstrated an original method for nano-thickness liquid film lamination, which is a key technology for realizing the nano-3D structure formation. In this method, we focused on the molecular interaction between the liquid film and the substrate surface, which provides unique properties of nano-thick liquid films.

研究分野：ナノ計測工学

キーワード：3Dプリンティング 近接場光 分子間力

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ナノ 3 次元構造形成法が確立すれば、形成の困難さゆえ比較的単純な構造に留まっている Nano-Electro Mechanical Systems (NEMS) を、より複雑な構造の機械システムに発展させ、多様な機能・性能を発揮する微小機械とすることができる。また、ナノスケールで 3 次的に物質を配置することで、光を反射しないあるいは負の屈折率を有するなど、ナノスケールの人工的な物質構造によりこれまでにない物性を有する材料(メタマテリアル)を実現できる。さらに、マイクロ化学チップにおいては、ナノスケールの複雑な流路構造を可能として、ナノスケールの分析・反応場を利用した高効率な化学チップも可能となり、化学、生物学、医学の新領域開拓が期待できる。以上のように、ナノスケールの 3 次元構造は、様々な分野で新領域開拓をもたらすと期待されているが、ナノスケールの部品組み立ては困難なため構造形成法は確立されていない。

一方、3D プリティングは組み立て不要で 3 次元構造を形成できるため、これに基づいたナノ構造形成が期待されている。しかし、加工分解能は、最も高い光造形法(光硬化性の液体に光を集光させ、集光点で光硬化させることで所望の構造を形成する方法)でも、光の波動性に起因する原理限界(回折限界、光の波動性により波長程度の大きさにしか集光できない)により、加工分解能は、波長程度の 100 nm であった。

そして、光の原理限界を超える方法として近接場光を用いるものがある。光は金属膜を透過できないが、ナノサイズの穴(開口)を設けると、開口から伝播しない光(近接場光)が漏れる。この光は通常の光のように伝播せず開口付近に局在するため、近接場光を用いた局所的な光硬化により開口径程度の加工分解能でナノ構造が形成できる。しかし、近接場光は開口近傍にしか存在しないため深さ方向の加工が困難で、2 次元的な表面加工しかできないと考えられていた。

2. 研究の目的

ナノ 3 次元構造形成ははまだ実現されておらず、これが実現できれば、3 次元構造形成法の適用領域を大きく広げることができる。本研究では、近接場光加工を 2 次元から 3 次元加工に拡張し、ナノ 3 次元構造形成法の基盤技術を確立することを目的とした。ナノ 3 次元構造形成法実現のキー技術となる、ナノ厚さ液膜積層についてはこれまで例がなく、マクロスケールの技術では困難であるため、本研究では、ナノ厚さ液体膜特有の基板面との分子間相互作用に着目した独自の方法を提案する。本研究ではナノスケールの液体膜の特性に着目した独自の的方法論により、近接場光加工の 3 次元加工への拡張を可能とするための基盤技術を確立する。

3. 研究の方法

本研究では、3 次元構造形成法として、積層型の 3D プリントングに着目した。積層型 3D プリントングでは、造形する前の液体膜を土台に塗布し、その層の所望の部分を紫外光により光硬化させ造形物を形成する。そして、その上に第 2 層を形成し、第 2 層のみ光硬化させ、造形物を形成する。これにより、第 1 層と第 2 層に異なる造形物を形成できる。そして、この積層と硬化を繰り返すことで、3 次元的な構造を形成する。

本研究では、近接場光加工を 2 次元加工にとどめていた「近接場光は開口近傍にしか存在しない」という性質を逆に活用して、ナノ積層型 3D プリントングを提案する。近接場光を用いてナノ厚さの紫外線硬化樹脂液膜(第 1 層)にナノ構造を形成する。さらに、ナノ厚さの樹脂液膜を第 1 層上に積層する(第 2 層)。近接場光の性質を用いて最表層の第 2 層のみ光硬化させ、第 2 層に第 1 層と異なる構造を形成する。このナノ厚さ液膜積層と近接場光硬化を繰り返すことで、近接場光加工を 3 次元ナノ加工へと拡張できる。本研究では、この方法の基盤技術の確立を

目指した。

このナノ厚さ液膜積層として、ナノ厚さ液体膜の性質に着目した独自の方法を提案した。積層する液体膜をシリコン基板製の土台構造に形成する。そして、液体膜・土台構造表面間の分子間相互作用を外力を用いて調整することで、ナノ厚さの液体膜の厚さを制御する。また液体の速やかな移動のため、液溜めと土台構造はマイクロ流路で接続するなどマイクロ構造を基本とした構造を検討した。そして、半導体微細加工技術を基にしたマイクロマシン技術によるマイクロ土台構造の作製を試みた。作製したマイクロ土台構造、外力印加系、ナノ厚さ膜厚測定系を組み合わせた膜厚制御の原理確認実験系を構築した。これを用いて、調整用外力を印加した際の液体膜の膜厚を、走査型エリプソメータを用いて計測し、分子間相互作用の調整によるナノ厚さ液体膜制御の原理的な可能性を確認した。

4. 研究成果

図1にナノ厚さ液膜制御の原理実験の結果を示す。制御対象の液体は、近接場光加工可能な紫外線硬化樹脂のモノマー液体とした。この液体は、紫外光照射により光重合が進行し、光硬化物を形成する。図1に示した結果は、マイクロ土台構造を介して、外力のレベル(青線)を時間的に変えたときに、マイクロ土台構造上の液体膜を走査型エリプソメータで計測した値(赤線)である。ナノ厚さの液膜が制御でき、1 nm オーダの制御が達成できていることが示された。

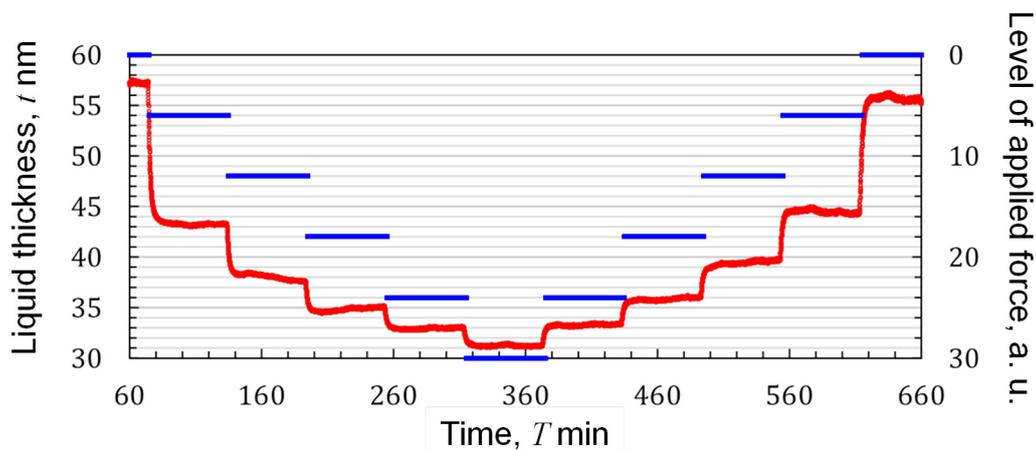


図1. 外力によるナノ厚さ膜厚の制御。青線が外力のレベル，赤線が制御対象の液体膜厚さ。ナノメートルレベルでの制御を達成。

また、近接場光による光硬化については、光ファイバに微小開口を設けた近接場光プローブがある。光を波長以下の大きさの微小開口を通過させることで、波長のサイズ以下に局在した近接場光を発生できる。このプローブを用い、積層に応じてプローブを動かしながら近接場光硬化することで、近接場光造形が実現できる。

以上から、上で達成したナノ厚さ液膜積層法と微小開口付き光プローブを組み合わせることで、提案するナノ3次元構造形成法が原理的に可能となる。このように、提案する構造形成法実現の基盤技術を確立できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------