

審査の結果の要旨

氏名 金長吉

本論文は、ソフトリソグラフィ技術を用いて非平面基板上に適している新規マイクロパターンニング方法を開発するものである。

現在微細加工技術のコア技術と呼ばれるフォトリソグラフィは硬いフラットのフォトマスクを使用しており、非平面上には基板との完全な接触が出来なく、微細パターンニングが困難である。現在、3次元基板上へのマイクロパターンニング技術としてビームライティング、インクジェット液滴パターンニング法、薄膜輪郭除去法、レーザープリント法、凸版シリンダーを用いた高精細印刷法などの手法が提案されているが、まだ $10\mu\text{m}$ 以下の微細パターンを安価でかつ容易にできるパターンニング技術に関する研究事例は少ない。そこで、柔らかいポリマー基板の材料を用いるソフトリソグラフィ技術は非平面上にもより柔軟な対応ができると言われる。なお、従来の光学リソグラフィ技術と比べ、比較的簡単で環境の制約が少ない、かつ低コストという長所があり、最近次世代リソグラフィ技術の一つとして関心を引いている。代表的なソフトリソグラフィ技術には、マイクロコンタクトプリンティング(μCP)、ナノインプリンティング等があり、色々な非平面上でサブミクロンスケールのパターンニングまで成功した事例がある。しかし、実際的な産業工程に適用することにはまだいくつかの問題が残っている。それから、非平面上、例え3次元的な曲面上へのマイクロパターンニングを実現した研究事例は少ない。

本論文では、このような問題点を着目し、自己組織化単分子膜(SAM)を用いたソフトリソグラフィ技術として主に三つの研究を行い非平面上のマイクロパターンニングのための新しいソフトリソグラフィ手法を考案した。

まず、 μCP 技術を応用した液中ローラープリンティング法を用いて曲面上にマイクロパターンを転写する技術を開発した。代表的なソフトリソグラフィ技術と呼ばれる μCP 技術は、高分子ポリマースタンプを用いて微細パターンを直接基板上に写す手法であり、低コストで解像度の高いパターンニングを大量で均一に製作できる。しかし、現在の μCP 技術は産業工程に実用化および商用化するのにまだ以下の問題点があげられる。スタンプのチップの変形、スタンプの曲り、SAM分子の拡散など、幾つかの弱点による再現性高いナノパターンニングの実現での問題である。近年、このような弱点を改善するために基本的な μCP 法を拡張した技術として、例えばSAMの拡散を減らす方法、複合スタンプを用いる方法等が開発されている。本論文では、今まで報告された改善策らに基づいて“液中プリンティング技術”の開発に取り組んだ。まず、この技術の効用性を検証するため、ピラミッド型のスタンプを製作し、その先端部を用いて平面上に様々な条件で μCP 実験工程を行った。その結果、スタンピング中

接触時間に対するSAM分子の拡散現象とスタンピング力に対するスタンプチップの変形に因るパターンの変化を定量的に分析し、液中プリンティング技術が上記の問題点の改善に効果があることを証明した。最終的にローラスタンプを用いた液中 μ CP 技術を試して曲率半径 2mm 以上の曲面基板上にマイクロパターンを製作し、液中 μ CPを通じて曲面パターンニング法の可能性を検証した。今後、この技術はSAM以外に金属インク、バイオ物質などの多様な物質を用いて曲面マイクロデバイスの製作に応用し、その拡張性を広げると期待される。

一方、フレキシブルなポリマー基板上へのマイクロパターンの製作に関して、SAMの表面エネルギー差を用いたマイクロ金属パターン転写技術を考案した。この技術は最近のMEMS技術分野に関心を引いているポリマーエレクトロニクス装置及びフレキシブルディスプレイなど、その応用価値が高い。

さらに、新規ソフトリソグラフィ技術として、曲面上の光学ソフトリソグラフィ法を提示した。本技術は非平面上のマイクロパターンニングのため考案した新概念技術であり、従来のフォトリソグラフィとソフトリソグラフィの長所を纏めたハイブリッド型パターンニング技術である。工程の基本的な原理はフレキシブルなフィルム型フォトマスクを従来のフォトリソグラフィに導入することである。フレキシブルなフォトマスクは上記に提案された金属パターン転写技術を用いて製作した。このような方法で作られたフィルム型マスクは非平面上にも完全に密着することが可能になり、従来のフォトリソグラフィにあった基板制約の問題点を解決する。その結果、様々なマイクロ金属パターンが曲率半径 2mm 以上の曲面上に転写された。

以上の三つのソフトリソグラフィ法を通じて、非平面基板上へのマイクロパターンニング技術の開発に関して本研究を行った。この技術は従来のリソグラフィ技術では困難であった曲面基板及びフレキシブルな基板上に $10\mu\text{m}$ 以下のマイクロパターンをより簡単に製作することのみならず、安価でかつ高スループットの工程を通じて大量生産への応用可能性も示した。追って、この技術をもちいて超小型電子デバイス、機械駆動装置、ポリマーエレクトロニクス、薄膜型電子装置の製作など、現在の微細加工技術の応用拡張性を広くすると期待される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。