

松井 真二

兵庫県立大学高度産業科学技術研究所・教授

超高速ナノインプリントリソグラフィ技術のプロセス科学と制御技術の開発

1. 研究実施の概要

先端デバイスリソグラフィへ適用可能な高スループット光ナノインプリントを実現するために、容積均一化モールドの開発と凝縮性ガスを利用したナノインプリント評価において、容積均一化モールドのプロトタイプを作製し光ナノインプリントを行い、その効果を確認した。さらに、高スループット化に向けて、レジスト充填時のバブル発生メカニズム解明のため、数値シミュレーションによる基本的な解析を行った。ナノトライボロジーによる離型解析では、原子間力顕微鏡を基本としたナノインプリントモールド離型評価システムの導入し、自己組織化離型膜の離型解析を行った。さらに、離型分子層の崩壊の一因と考えられる光硬化性樹脂との相互作用を定量的に検討するために、離型分子層を形成させたモールド基材表面と光硬化性樹脂との間に働く付着力を測定するための力学セルを作製し、離型分子層の構造の変化を、静的接触角、並びに動的接触角測定により追跡できることを確認した。

2. 研究実施内容

光ナノインプリントを先端デバイスリソグラフィへ適用するために、(1)高スループット（目標値：100 枚/時間）、(2) 量産離型（目標値：10 万ショット）の 2 課題が解決すべき研究課題である。

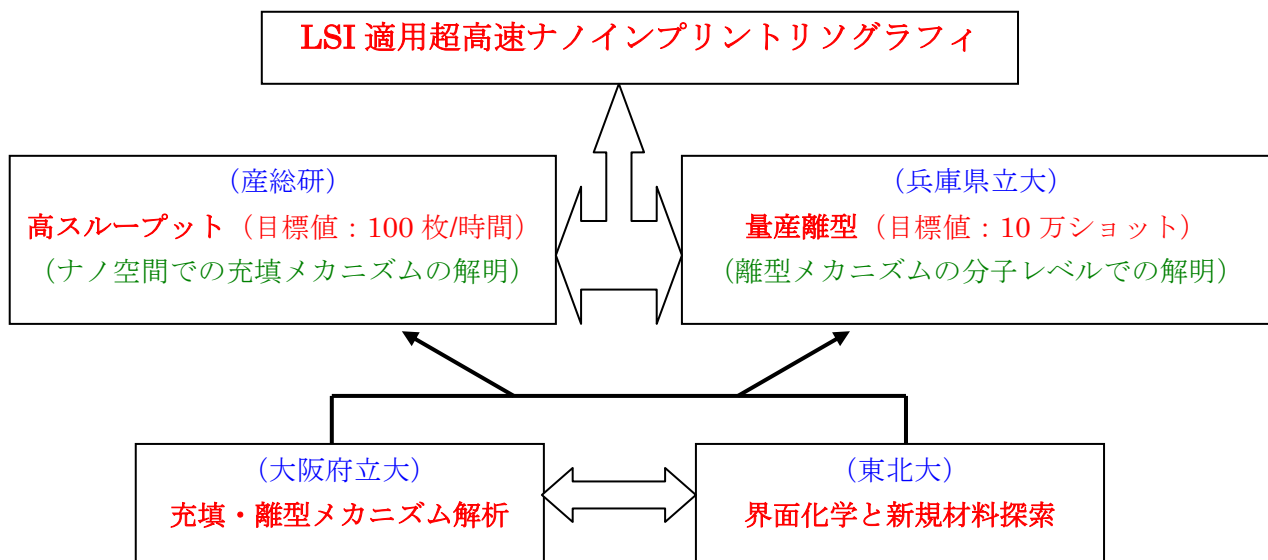


図1 研究課題と分担

図1に示すプロジェクトチームの各分担研究課題を相互に連携して進めた。

(兵庫県立大学)

ナノトライボロジーによる離型解析では、光ナノインプリントプロセス(光波長・強度、圧力等)依存性を、SAM離型膜表面分子と光硬化樹脂表面分子とのナノ領域での分子間摩擦力、付着力等の測定により評価するために、原子間力顕微鏡を基本としたナノインプリントモールド離型評価システムの導入を行った。本装置を用いて、既存のSAM離型膜の離型解析を行い、装置の有効性を確認した。離型材の耐久性評価とCD制御では、実用レベルである10万ショットのナノインプリントモールド離型耐久特性評価を行うために、設計基本概念に、産総研グループのバブル欠陥除去ガス導入システムおよび離型力自動測定システムを導入した、モールド耐久性評価試験自動測定装置の設計を行った。

(産業技術総合研究所)

超高速ナノインプリントのためにはモールドに充填される樹脂の移動を最小化する工夫が必要である。このためにはモールドの局所的容積に対応させて樹脂をウエハ上に分布させなければならない。容積均一化モールドは粗密パターンでありながらモールドの深さを変調することでその単位面積あたりの容積を均一化したモールドであり、原理的には樹脂の適応的供給を不要とする。容積均一化モールドの実用的な作製プロセスを開発し、均一な塗布膜であるスピコート膜を利用して光ナノインプリントを行った。モールド作製時に、第1マスクを残したまま第2マスクを利用してリソグラフィを行う、多段構造の容積均一化モールドを作製するプロセスを考案し、この手法で作製した容積均一化モールドにより従来型モールドよりも残膜の均一性が良好な光ナノインプリントを行えることを確認した。従来型モールドではパターンの粗密に対して、不均一な残膜が形成されるが、この不均一性の改善を長時間インプリントにより試みた。結果として、インプリント領域の端部のわずかな領域で残膜の薄膜化は可能であったが、内部の大部分の領域では薄膜化は起

こらない。結局、モールドへの樹脂充填完了時点でインプリント領域全域で薄い残膜が形成されていなければならないということが分かった。低残膜となるインプリント条件において容積均一化モールドを適用し、パターン密度 0.25~0.75 の混在パターンにおいて、平均残膜 33.2nm、標準偏差 3.4nm を実証した。この残膜の標準偏差は、従来型モールドを使用した場合の 1/4 であり、容積均一化モールドにより残膜を薄く均一に形成できることが分かった。

(東北大)

超高速ナノインプリントを実現するためには、できるだけ薄く、かつ、耐久性に優れた離型分子層を見出す必要がある。このためには、離型分子層の崩壊挙動の追跡を行い、分子レベルでの原因の究明が不可欠である。また、離型分子層の崩壊の一因と考えられる光硬化性樹脂との相互作用を定量的に検討すべきと考える。本年度は、離型分子層を形成させたモールド基材表面と光硬化性樹脂との間に働く付着力を測定するための力学セルを作製した。100 回まで手動で樹脂を繰り返し硬化させることにより、離型分子層の構造の変化を、静的接触角、並びに動的接触角測定により追跡できることがわかった。上述の力学セルを基本骨格とした高信頼性力学測定システム的设计を行い、異なる離型分子層での付着力測定を行う装置を準備することができた。パターン形成不良を低減させるために光硬化性樹脂とシリコンウエハの界面に形成させる密着分子層を設計し、密着分子層を形成させるための化合物を合成した。シリカ基板にナノ薄膜を形成できることを分光学的に確認した。光硬化性樹脂とシリコンウエハの界面に形成した密着分子層の特性評価を行うための光ナノインプリント装置を準備した。

(大阪府立大)

レジストがモールドパターン部分に充填する際のバブルの発生状態を、流体モデルによりシミュレーション解析を行った。モールドと基板の一定隙(レジストの残膜に相当する部分)に一定速度でレジストが注入されるとしてモデル化を行い、バブルの発生状況とレジストの粘性率、モールドの表面エネルギーなどに関する依存性について解析した。その結果、バブルはレジストの流れがモールドのエッジ部分で分岐するときに発生し、モールドの表面エネルギーが減少してレジストとの接触角が増大すると、バブルが発生しやすいことがわかった。また、レジストの粘性率が低下すると、パターン部分にレジストが流入しない状態になることもわかった。これらは、離型性を改善する方向とは相反する方向となり、離型性を含めたプロセス・材料の最適化が必要となることがわかった。

次に、UV ナノインプリントプロセスで生じるレジストの光硬化収縮による影響を定量的に掌握するため、レジストを等方的に収縮する弾性体と仮定して、収縮によって生じる残留応力を計算した。これより、レジストがモールド側壁に与える垂直な応力をコンタクトフォースとして算出し、コンタクトフォースのレジストの残膜厚、モールドの横幅、レジストを塗布した基板の横幅などにについての依存性を計算した。その結果、モールド面積が広く、残存レジスト膜厚の極めて薄い状態では、基板と平行方向の収縮の影響によるコンタクトフォースは、モールド端部の限られた領域で発生し、モールド中央部分では、パターン溝内部で収縮する力が支配的であることが予測できた。

3. 研究実施体制

(1)「兵庫県立大学」グループ

① 研究分担グループ長:松井 真二(兵庫県立大学、教授)

② 研究項目

量産離型

- ・ ナノトライボロジーによる離型解析
- ・ 離型剤の耐久性と CD 制御

(2)「産業技術総合研究所」グループ

① 研究分担グループ長:廣島 洋((独)産業技術総合研究所、主任研究員)

② 研究項目

高スループット

- ・ 容積均一化モールドの開発と凝縮性ガスを利用したインプリント評価
- ・ 高速充填プロセスの実証

(3)「大阪府立大学」グループ

① 研究分担グループ長:平井 義彦(大阪府立大学大学院、教授)

② 研究項目

充填離型メカニズム解析

- ・ モデル化とシミュレーションデータ取得
- ・ レジストの充填、気泡発生メカニズム解析
- ・ レジストの離型メカニズム解析

(4)「東北大学」グループ

① 研究分担グループ長:中川 勝(東北大学、教授)

② 研究項目

界面化学と新規材料探索

- ・ 1nm 未満の離型剤分子の探索
- ・ 光反応性単分子膜密着層の開発

4. 研究成果の発表等

(1) 論文発表 (原著論文)

1. M. Okada, K. Nakamatsu, M. Iwasaki, K. Kanda, Y. Haruyama, and S. Matsui, “ Room Temperature Nanoimprinting Using Release-Agent Spray-Coated Hydrogen Silsesquioxane”, Appl. Phys. Express **2** (2009) 016502.

(2) 特許出願

平成 20 年度 国内特許出願件数：1 件（CREST 研究期間累積件数：1 件）