

博士論文審査報告書

論文題目：ナノインプリントにおける離型メカニズムに関する研究

申請者：岡田 真

1. 論文内容の要旨

ナノインプリントリソグラフィー (NIL) はコンタクトプロセスであり、モールドが転写材料(レジスト)に直接接触する。そのため、離型問題が最も大きな問題となっている。ナノインプリントプロセスを考慮するとナノスケールの離型特性評価法を適用する必要がある。本研究ではナノインプリント離型膜、UV ナノインプリントレジスト、ガス雰囲気効果に対して走査型プローブ顕微鏡 (SPM) を用いたナノスケール離型特性評価を行った。

SPM による付着力、摩擦力測定によって、フッ素含有数が異なるフッ素含有自己組織化膜 (F-SAM) を評価した。その結果、フッ素数が増加するにつれ、付着力、摩擦力は低下する事を示した。離型膜成膜法として反応性イオンエッチング装置を用いたフッ素含有ダイヤモンドライクカーボン膜成膜法を提案し、ナノインプリント離型膜として適用可能である事を実証した。さらにフッ素を含んでいない離型膜としてポリジメチルシロキサン (PDMS) 薄膜を新規に見出し、一般的に用いられている F-SAM と比較評価を行った。その結果、水滴接触角測定では F-SAM に比べ約 10° 低いものの接触角は 100° を超えており、SPM による摩擦力測定では F-SAM 上では摩擦力が検出された一方、PDMS 薄膜上ではほとんど 0 という値を示し、PDMS 薄膜がナノインプリント離型膜として適用可能である事を実証した。

UV ナノインプリントレジストにはラジカル重合系レジストとカチオン重合系レジストがあり、違いとして酸素阻害の有無が挙げられる。この酸素阻害の影響をフォース-ディスタンスカーブ測定によって評価した。その結果、ラジカル重合系レジストでは酸素の有無によって硬化速度が劇的に変化することを実証した。マイクロ粘弾性-AFM (VE-AFM) は局所領域における粘弾性評価が可能である。この VE-AFM を用いることで、UV ナノインプリントレジストの硬さを評価可能である事を示した。レジストにフッ素系添加剤を加えることにより離型特性を付与し、その効果を SPM で評価した。その結果、添加量が約 2wt% であっても付着力は約 60%、摩擦力は約 30% に減少した。

ペンタフルオロプロパン (PFP) ガスはバブル欠陥を除去する方法として報告されており、さらに PFP ガス雰囲気下でナノインプリントを行うとモールド離型力が低下する事が見出されている。そこで、SPM を用いて局所領域における PFP ガス効果を調べた。その結果、PFP 雰囲気下で測定すると付着力は減少した。この結果から局所領域においても PFP ガスによる離型力低下効果が示されることを実証した。

大気中と PFP ガス雰囲気下で繰り返し UV ナノインプリントを実施し、離型力評価を行った。その結果、大気中に比べ PFP ガス雰囲気下の方が離型力は 1 桁低く、かつインプリント回数も劇的に向上した。

2. 論文審査結果

ナノインプリントの離型評価として、これまでマクロスケールの接触角測定法が用いられており、ナノスケールの局所領域離型特性評価を行うことができなかった。しかしナノインプリントでは、離型膜およびレジストのナノスケール離型特性評価は必須である。本論文では、SPM 用いたナノスケール離型特性評価法を提案し、ナノインプリント離型膜、UV ナノインプリントレジスト、ガス雰囲気効果に対する評価を行った。

離型膜の評価では、一般に用いられているフッ素含有自己組織化膜の評価、新たに提案した成膜法により成膜したフッ素含有ダイヤモンドライクカーボン、および、フッ素を含有していない離型膜として新規に見出したポリジメチルシロキサン（PDMS）薄膜の評価についてそれぞれ詳細に述べられている。特に、PDMS 薄膜の評価ではマクロスケール離型特性評価法のみでは見出せなかった事象を SPM 測定で見出しており、この結果は SPM を用いたナノスケール離型特性評価が必須であることを端的に示す非常に重要な研究成果だと言える。

UV ナノインプリントレジストに関しては、ラジカル重合系レジストとカチオン重合系レジストの酸素阻害の影響、マイクロ粘弾性-AFM（VE-AFM）を用いた局所領域粘弾性、フッ素添加剤含有カチオン重合系レジストの離型特性評価の SPM 評価を初めて行った。ナノインプリントの観点からすると、離型特性が付与されたレジストの評価は重要であり、わずか 2wt%の添加量で付着力、摩擦力が劇的に低下する事を見出している。

ペンタフルオロプロパン（PFP）ガス雰囲気下ではナノインプリント時における離型力が低下する事が報告されているが、ナノインプリント離型力評価ではレジストや離型膜など様々な要因が絡んでしまう。PFP ガス雰囲気下で SPM による付着力測定を行うことにより、離型膜およびレジストに対する離型力低下を独立して測定できることを示した。上記した研究成果は、独創性が高く、ナノインプリント離型メカニズム研究において有意義な成果であると評価できる。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。

また、平成24年1月24日、論文内容およびこれに関連する事項について試問を行った結果、合格と判定した。

主査：松井 真二 印

副査：杉村 高志 印

：水谷 文雄 印

：平井 義彦 印

（大阪府立大学工学研究科、教授）