ナノインプリンティング技術の 情報記憶装置への応用*

岩満 寛**

Application of Nano-Imprinting Technology for Recording Devices / Hiroshi IWAMITSU

Key words: nano-imprinting technology, UV curable resist, template

1. はじめに

近年情報化社会が急激に発展するにともない、日常生活に必要となる情報量の急激な増大が続いており、ストレージメディアとしてハードディスクドライブ(HDD)は年々大容量化が進んでいる。ユビキタスをキーワードに、携帯電話やPDAなど小型モバイルにも大容量、高速、超小型ハードディスクの搭載が盛んに検討されている。

ハードディスクの記録密度は、1992年にMRヘッド(磁気抵抗効果ヘッド: Magnet Resistive head)の導入により、それまでの年率25%の増加率(10年で10倍)から年率60%(10年で100倍)の増加率に転じ、1997年からは、GMRヘッド(巨大磁気抵抗効果ヘッド: Giant Magnet Resistive head)の登場によって年率100%(10年で1000倍)の増加率となっている(図1)。

しかし高密度化が進む反面、狭トラック化にともなう隣接トラックからのクロストーク、ヘッド磁界のフリンジ効果による書きにじみ、また媒体磁性膜の結晶微細化にともなう熱揺らぎなど克服すべき課題がある。そこでこれらの技術課題をブレイクスルーするため、ディスクリットトラック、さらにはパターンドメディアが有力な候補として挙げられている。

ディスクリットトラックは記録トラックを物理的に分離加工し、隣接トラックへの磁氣的干渉を低減するというアイデアである。また、パターンドメディアは記録磁区のサイズに磁性薄膜を形成することで、熱揺らぎ問題を回避するというアイデアである。これらのアイデアに対して、双方ともいかにして微細な形状を安価に形成するかが最大の課題である¹⁾。

そこで、次世代の微細加工技術の1つとして昨今脚光を浴びているナノインプリントが、HDD製造プロセスにお

いても注目を集めている。本文では、まだなじみの薄いナノインプリント技術とその情報記憶装置への応用例を紹介するため、ナノインプリント技術に特化した企業としては、世界最大の規模を誇る米国 Molecular Imprints, Inc. (MII) 社のナノインプリント技術を紹介する。

2. ナノインプリントの新潮流

ナノインプリント装置は安価でありながら、ナノレベルの解像度を有するリソグラフィー技術として、近年注目を集めている。ナノインプリントでは、熱可塑性樹脂などにガラス転移温度以上の熱を加え、微細な凹凸パターンを施した金型をプレスすることにより微細パターンを転写するホットエンボス方式が広く一般的に行われている。しかし、温度の昇降に時間がかかることによるスループットの低下、温度変化などによる寸法変化、転写パターン精度の低下、圧力を加えることによる金型の耐久性などの問題があった。そこでこれらを解決するために開発された、UV式ナノインプリント技術を次に紹介する。

図1 ハードディスクの記録密度の変遷(IBM社資料より)

* 原稿受付 平成16年8月27日

** 伯東(株)電子機器第一事業部(東京都新宿区新宿1-1-13)
岩満 寛
伯東(株)電子機器第一事業部グループ長。

UV 式ナノインプリントは、一般的に液状の光硬化性のある樹脂に対して、金型(テンプレート)を押し当て、UV 光により樹脂を硬化させ、パターンを形成する手法である。この手法では、パターン形成はUV 光の照射のみで行えるのでスループットが速い、室温でインプリントが行えるために温度変化によるパターンの寸法変化がない、低圧力でインプリントが可能であるためにテンプレートの変形が少ない、高精度なアライメントが可能であるなどの特長がある。

これらの特長から、UV 式ナノインプリント技術は、微細化が進む半導体プロセスにおいても、現在の光リソグラフィーに換わる次世代リソグラフィー技術として期待されている。特に、解像度に関しては、UV 式ナノインプリントでは、光リソグラフィーとは異なり、近接効果などの影響を考慮しての OPC(近接効果補正: Optical Proximity Effect Correction)パターンなどを作製する必要がなく、テンプレート上のパターンに対して極めて忠実な高解像度パターンを再現性良く形成できる。

しかしながら、UV 式ナノインプリントも、UV 硬化後の樹脂とテンプレートの付着力が強く、離形する際に欠陥が生じやすい、インプリントの際にテンプレートの凹凸に大気が入り込み、バブル欠陥が生じるなどの問題点が一般に指摘されている。だが、新たな技術アプローチの採用により、これらの問題を解決した新しいインプリント技術が MII 社より提案されており、その技術は“Step and Flash Imprints Lithography (S-FIL™)”と呼ばれる。

3. S-FIL プロセス

S-FIL プロセスの詳細説明を下記に示す(図 2)。

3.1 ステップ 1: テンプレート

UV 光はテンプレートを通過して UV 硬化樹脂へ照射されるため、テンプレートは UV 光が透過できる材料である必要があり、MII 社では合成石英でできたマスクブランクスを用いて作成している。ブランクス上に、転写するパターンを電子線描画装置またはレーザー描画装置で描画し、光リソグラフィー用フォトマスク作成と類似したプロセス処理を経てテンプレートが作成される。

また、テンプレート表面には、事前に離型材が塗布される。

3.2 ステップ 2: UV 硬化樹脂の滴下

パターンニングする UV 硬化樹脂は基板全面にスピンコートされることはなく、インプリントエリアごとにインプリントする直前に専用ノズル(インクジェットヘッドの改良版)で滴下される。UV 硬化樹脂の滴下量を、パターンのサイズ、形状、密度に合わせて、厳密にコントロールすることで、各パターンに最適な UV 硬化樹脂の量でのインプリントを可能にしている。なお、ここで使用される UV 硬化樹脂は、S-FIL プロセス専用に開発されたものであり 1 ~ 5 cP と非常に低粘度である。

3.3 ステップ 3: 低圧インプリント(常温)

UV 硬化樹脂の滴下後、テンプレートをその樹脂に接触させるだけで、UV 硬化樹脂が低粘度のため、テンプレ

図 2 S-FIL プロセスの概要

ト上に形成されている微細なパターンに対して、速やかに浸透する。これにより、テンプレートにかかる力は非常に低圧で、テンプレートおよび基板が破損するリスクも軽減されている。なお、このプロセスは接触プロセスのため、インプリント前にテンプレートとウエハを平行にする必要があり、装置内に各センシング&レベリング機能が搭載されている。また、バブル欠陥を避けるために、テンプレートを UV 硬化樹脂に接触させる際、その箇所のみ He 雰囲気下にし、大気の入りを防いでいる。

3.4 ステップ 4: UV 照射

テンプレート背面から波長 365 nm の UV 光で、基板上的 UV 硬化樹脂を数秒間照射する。これにより樹脂が架橋結合によって硬化され、テンプレート上のパターンが転写される。なお、パターンの解像度および精度は、テンプレートに依存する。

3.5 ステップ 5: 離型

UV 硬化樹脂が硬化された後、テンプレートが離型され、基板上にパターンが形成される。離型材及び引張り強度と破断伸度が高い UV 硬化樹脂を使用することにより、離型時に危惧されるパターンの型崩れ、破損を防止している。この離型材も S-FIL 専用に開発されたものが使用されている。

(a) エッチングプロセス

(b) エッチング後の高アスペクトパターン(線幅 40 nm ライン、アスペクト比 8 : 1)

図 3 パターン転写

図 4 光露光リソグラフィーとナノインプリント

4. パターン転写

インプリントで実際に作成されるパターンはアスペクト比 2 以下で、そのパターンを基板上にあらかじめ塗布しておいた平坦化膜へ転写することにより高アスペクト(最大 10 : 1)のパターンが形成できる(図 3)。インプリントされたパターンには残レイヤーが生じ、これにハロゲン系ガス(CF_4 , O_2)でブレイクスルーエッチングを施し、その後ガスを酸素(O_2)に切り替えることにより平坦化膜をエッチングする。インプリント用 UV 硬化樹脂は、最終パターンが形成される平坦化膜に対してエッチング選択比が高く、またその平坦化膜との密着性に優れているなどの特長も有している。

5. 装置概要

UV 式ナノインプリント装置は、パターン形成には UV 光を利用するが、従来の光リソグラフィーのようなパター

ン転写を目的としたものではなく、UV 硬化樹脂の硬化のみを目的としているため本装置では複雑な光学系を必要としていない。比較のため、従来の光露光装置と S-FIL 技術を適用したナノインプリント装置の概要を図 4 に示す。

チャンバー内の構成は X-Y ステージと Z 軸ヘッドに大別される。X-Y ステージは基板固定用の真空チャックが搭載されている。Z 軸ヘッドには UV 硬化樹脂を滴下するためのディスペンサーなどが搭載され、パターン形成の鍵であるテンプレートが真空チャックで保持される。UV 光の光源には水銀ランプが使用されており、パターン形成時には Z 軸ヘッド・テンプレートを通過して UV 硬化樹脂に照射される。

6. 情報記憶装置用ナノインプリント装置

図 5 に、情報記憶装置のディスクリットトラックや、パターンドメディアをターゲットとした、本手法を用いた実験結果を示す。図 5(a)では、線幅 30 nm ラインが、また、

(a) 30 nm L/S

(b) 65 nmφ コンタクトホール

図5 高解像インプリントの例

図6 ステップ&リピート方式

図5(b)では、およそ $\phi 65$ nm のコンタクトホールが実現されており、優れた解像度が実証されている。

現在の装置では、図6に示すように、ステップ&リピート方式を採用しており、インプリントサイズは最大で 40×40 mm である。しかしながら、HDD、各種メディア向け装置として、上記で紹介した技術を採用し、より生産性の高い、大面積一括転写が可能な次世代機の開発も進められている。

7. おわりに

S-FIL プロセスを採用した UV 式ナノインプリントは、極めて優れた解像度を実証しており、次世代の情報記録装置の製造にも寄与するポテンシャルを十分に秘めていると

いえる。

また、ナノインプリントでは、装置のみならずテンプレート、UV 硬化樹脂、離型材などの周辺部材およびプロセスノウハウのすべてが重要な鍵を握っているが、S-FIL プロセスにおいては、これらが一貫して研究開発されている点も大きな特徴である。これらの特徴をふまえ、S-FIL プロセスが、今後の情報記憶装置製造へ寄与することが期待される。

参考文献

- 1) 高井 充, 大川秀一, 諏訪孝裕, 中田勝之, 森谷 誠: ディスクリートトラック型垂直磁気記録媒体の作製方法, 第27回日本応用磁気学会学術講演概要集, (2003) 369-370.