2308 3次元形状シミュレータによるMRヘッ드의

イオンミリング、スパッタ成膜プロセスの数値解析

Numerical Analysis of the MR head process by the 3-D topography simulator

○古屋篤史(富士通) 清水香彦(富士通)

Atsushi FURUYA, Koichi SHIMIZU

FUJITSU Limited, kamikodanaka 4-1-1, Nakahara, Kawasaki, Kanagawa

In the HDD head process, the control technology of the 3-D shape of the GMR((Giant MagnetoResistance) head is important. This paper presents the numerical analysis of the ion milling process by the 3-D topography simulator. This simulator uses the Level Set Method[1] and the physical model for the moving surface velocity which is based on the experimentally measured etching rate.

Keyword: topography simulator, ion milling, spattering process, Level Set Method

1. 緒言

磁気記録装置の記録容量の増大に伴い、素子の微細化が進んでいる。媒体に磁気記録された情報を読み取るのに外部磁場変動に応じて抵抗変化することを利用したGMR((Giant MagnetoResistance)ヘッドが用いられているが、微細化に伴ってGMRヘッドの素子幅が100nm前後となるため高度な形状制御性が求められている。特にGMRヘッド作成プロセスにおいては、イオンミリングとスパッタリング成膜が素子形状およびGMRヘッドの特性に大きく影響を与える。しかし、これらのプロセスでは3次元立体形状での再付着・シャドウ効果が素子形状に大きく影響を与えるため簡単な予測が困難であり、シミュレーションによる形状予測技術の確立が今後重要である。

本稿ではレベルセット法[1]を用いた3次元形状シミュレータによるイオンミリングプロセス解析について検討を行った結果を報告する。第一原理から解析するのではなく実験値に基づく物理モデルを構築することで現実的な計算時間で3次元での形状を予測することが可能となった。

2. 3次元形状シミュレータ概要

本シミュレータでは形状変化アルゴリズムとしてLevel Set法[1]を用いている。Level Set法では直接界面のデータ構造を扱わず界面からの距離を表すレベル関

数 Ψ により形状を表現し、リメッシュ処理が不要であるために安定でかつ精度よく形状変化を扱うことが可能である。レベル関数 Ψ は式(1)のHamilton-Jacobi方程式にしたがって時間変化する。

$$\delta \Psi / \delta t + F_{\text{srf}} |\nabla \Psi| = 0 \quad (1)$$

ここで F_{srf} は界面の移動速度を表しており、速度 F_{srf} は物理モデルにより決定される。

3. イオンミリングプロセスの物理モデル

イオンミリングとはArガス等をプラズマ化し電極により加速させ、被エッチング素材に照射することで物理的にエッチングする微細加工方法の一つである。イオンにより被エッチング素材がどの程度削られるかはミクロな構造や照射イオン等に依存しており、汎用的なモデルの構築は困難である。また、分子動力学等の第一原理に近い数値計算法では数十nm程度以上の立体形状予測は不可能に近い。そこで予めエッチングレート $Er(\theta)$ を各素材毎に測定し、それを元に3次元での形状変化を計算するモデルを用いた。また、エッチング面において一旦削られた粒子が飛散し吸着する現象をモデル化するために、エッチング面からの再付着率 β_1 を定義する。

$$F_{\text{surf}}(x,y,z) = - \int I_{\text{ion}}(\theta, \phi) Er(\theta) / \rho d\theta d\phi \\ + \beta_1 \int I_{\text{redepo}}(\theta, \phi) \cos(\theta) / \rho d\theta d\phi \quad (2)$$

ここで (θ, ϕ) は各表面からみた仰角と方位角、 $I_{\text{ion}}(\theta, \phi)$ と $I_{\text{redepo}}(\theta, \phi)$ はイオンビームおよび再付着粒子の流束密度、 $Er(\theta)$ は表面素材のエッチングレートである。

Fig.1: Illustration of Visibility calculation using Z-buffer Method. Evaluation points which are covered with the other surface component are updated.

$I_{\text{ion}}(\theta, \phi)$ と $I_{\text{redepo}}(\theta, \phi)$ を評価する際、 (θ, ϕ) 方向にどの表面およびイオン源が存在するかの可視性を3次元的に表現する必要があり、この可視性の評価計算が最も処理時間がかかる部分である。そこで本シミュレータでは、3次元構造での可視性を評価するためにCADで用いられるZバッファ法を応用した手法を開発した。Fig.1にその概念図を示す。

Fig.2: The configurations of resist and GMR layer before ion milling process

4. 底レジストによるGMR層イオンミル解析

イオンミリングプロセスでは薄膜エッチングの際、被エッチング粒子がレジスト壁面へ付着する現象がみられる。この付着がレジスト除去後に残らないようにするため、底形状のあるレジストを用いる方法があるが、再付着およびレジストのシャドウ効果から薄膜のエッチング形状が予測しにくい問題がある。そこで、Fig.2に示されるような薄膜上に底形状をも

Fig.3: The simulation result of the ion milling process. The GMR layer has the finite tilt on the edge caused by the shadowing effect of the resist and redeposition of the etched material..

つレジストを形成しイオンミルする場合でシミュレーションと実測との精度検証を行った。

なお、薄膜としてリード素子で用いられるGMR層を使用した。GMR層は一般的に多層膜から構成されるが、シミュレーション上では1層としてモデル化を行っている。

シミュレーションによるイオンミル後のGMR層および再付着の断面形状をFig.3に示す。GMR層の傾斜角度およびレジスト壁面への付着厚さを実測と比較した結果、誤差20%以内で実測との一致を確認した。底形状のあるレジストを用いた場合、GMR層は垂直ではなく、ある傾斜をもってエッチングされる。これは3次元的なイオンビーム入射に対するレジストの斜影効果および再付着効果により形成されており、3次元計算を行うことで精度よく再現ができたと考えられる。

5. まとめ

本研究では、3次元形状シミュレータを用いたGMRヘッドプロセスの数値解析において実験値に基づくシミュレーション適用の可能性について検討を行った。底形状をもつレジストでの薄膜イオンミルについて解析した結果、GMR傾斜角度および付着厚さ等加工後形状において実験とよい一致がみられ、GMRヘッドプロセスを検討する上で本シミュレータの適用が有効な手段であることを確認した。

参考文献

- [1] D. Adalsteinsson and J.A. Sethian :J. Comp. Phys., 122, 2, pp.348-366 (1995)