

斜入射X線回折法によるガスクラスタライオンビーム加工の 表面損傷の評価

平野辰巳(実験責任者)¹⁾、上田和浩¹⁾、角田茂²⁾、
松尾二郎³⁾、瀬木利夫³⁾、二宮啓³⁾、羽田真毅³⁾

¹⁾ (株)日立製作所 日立研究所、²⁾ (株)日立製作所 中央研究所、
³⁾ 京都大学量子理工学研究実験センター

磁気ヘッド浮上面の低損傷加工を目的に、微小角入射のX線回折法を用いて、ガスクラスタライオンビーム(GCIB)照射による PtMn 膜(fcc 構造、無配向)の加工損傷を評価した。GCIB の斜め照射により、3nm より深い領域で歪が変化しない低損傷な加工が実現できる。一方、3nm から最表面に向けて歪が圧縮方向に 0.2%増加する損傷部の存在が明らかになった。今後、最表面のより低損傷な加工には、GCIB 照射条件の最適化が重要となる。

1. 緒言

現在の磁気ディスク装置(HDD)の記録密度は年率 30%程度で向上しており、記録密度が 400Gb/in² の HDD が研究されている。その開発課題の一つは磁気ヘッドの低浮上化である。この解決には、ヘッド浮上面を超平坦化する高度な加工技術が必要となる。また高記録密度化に伴い素子高さも減少し、ヘッド素子の加工損傷も無視できない状況となる。400Gb/in² のヘッドで要求される面粗さは数 nm 以下で、この実現には全く新しい考え方に基づく平坦化加工プロセスが必要と考えられる。そこで、低損傷加工と超平坦化が可能なガスクラスタライオンビーム(GCIB)に着目した。

低損傷プロセスを開発する上で、GCIB 照射による加工損傷の評価は、非常に重要である。これまで、磁性膜(PtMn)を GCIB 加工した時の損傷を二次イオン質量分析法(SIMS)による組成分布で評価してきた¹⁾。その結果、1)Mn の選択エッチによる表面側の Ptリッチ層の形成、2)加工損傷層を 3nm 以下に低減できることがわかった。しかし、SIMS では GCIB 照射が結晶構造に与える影響を評価できない。磁気特性は結晶構造の変化に敏感であるため、その評価は不可欠である。

そこで、本報告では、微小角入射X線回折法を用い、GCIB 照射した PtMn 磁性膜の表面損傷の評価を目的とした。

2. 実験方法

試料は Si 基板上に成膜した PtMn(膜厚

60nm)を用いた。PtMn は熱処理をせず、無配向、fcc 構造である。表 1 に試料番号、試料条件の一覧を示す。基板面法線に対する GCIB の照射角 θ をパラメータとし、照射角による表面損傷の差異を評価した。試料 A はアズデポの比較試料である。試料 B は GCIB の照射角 θ が 0 度、試料 C の θ は 80 度である。ドーズ量は同じとした。表 1 に示したエッチング量は、GCIB 照射前後で測定した蛍光X線法による膜厚から算出した。

GCIB 照射には、京都大学量子理工学実験施設に設置された装置を用いた。加速電圧は 20kV、クラスタガスは Ar である。

微小角入射X線回折法は、X線を基板面にすれすれに入射することでX線の侵入深さを制御して、その回折線を測定する手法である。本報告では、微小角入射の薄膜回折と面内回折を測定した。前者は、入射X線と回折X線とからなる散乱面が基板面に垂直で、回折角を 2θ として、基板面と θ 傾いた格子面からの回折を測定する。後者は、散乱面が基板面とほぼ平行で、基板面に垂直な格子面からの回折を測定する。両者の測定結果から試料の歪を算出し、GCIB による照射損傷の深さ分布を評価した。

測定には SPring-8 の BL19B2 の回折装置を用いた。回折線は、波長:1.5418 Å、入射強度: 1.7×10^9 cps、ビームサイズ: 0.2×8 mm、角度広がり:0.013 度(垂直方向)、ソーラースリット:0.1 度、 2θ 走査の条件で測定した。

3. 実験結果

測定した回折線を Voigt 関数でフィッティングし、その面間隔を算出した。薄膜回折からの(111)面間隔 (d_{out})²⁾と面内回折からの(111)面間隔 (d_{inp})を用いて試料の膜歪を計算し、図1に示した。(111)反射の回折角度 2θ は約 40 度であるため、薄膜<111>方向は、基板法線に対して約 20 度傾いている。一方、面内<111>方向は基板面内にある。次式で歪を定義した。

$$\text{歪 (\%)} = \frac{d_{out} - d_{inp}}{d_{inp}} \times 100$$

定義より、歪が正であれば圧縮応力、負であれば引張応力が膜面内に存在する。

アズデポの試料 A では、膜全体で+0.4%の圧縮歪となり、最表面で-0.4%の引張歪となっている。従来より、PtMn 膜は圧縮応力がかかっていることが知られており、妥当な結果となっている。照射角 0 度で GCIB 加工した試料 B では、膜全体の歪は+0.1%程度(圧縮)と小さくなり、表面ではほぼ歪:0の状態となっている。これは GCIB 照射による Mn 欠損/Ptリッチ領域の形成により応力が緩和したことを示しており、この照射条件では損傷が大きいことがわかる。照射角 80 度の試料 C のエッチング量は 7nm である。GCIB 照射による加工損傷がまったくなければ、その歪分布は試料 A の 7nm 以降と同じ分布になると予想される。両者を比較すると、試料 C の 3nm 以降の分布は試料 A の 7nm 以降の分布と類似しており、GCIB 照射の低損傷加工が実現されていることがわかる。一方、3nm から最表面に向けて歪は圧縮方向に 0.2%増加する損傷部が存在する。試料 C の AFM 像から、GCIB の斜め照射により Ra: 1.5nm、サイズ: 50-100nm の凹部が形成されている。この結果から、GCIB で形成された凹部の周辺で圧縮応力が増加していると推察される。

図2に GCIB 照射による損傷の模式図を示す。今後、最表面のより低損傷な加工には、GCIB 照射条件の最適化が重要である。

- 1) S. Kakuta *et. al.*; Mat. Res. Soc. Symp. Proc. vol.843, T5.5 (2005)
- 2) 試料すれすれに入射したX線は試料内で大きく屈折する。薄膜X線回折で測定した回折角は、この屈折した角度方向を含むため面間隔の算出には、その屈折効果を補正した。

表1. 試料条件

試料	条件	エッチング量 (nm)
A	アズデポ	0
B	$\theta = 0^\circ, Va=20kV$ Dose= $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$	13.4
C	$\theta = 80^\circ, Va=20kV$ Dose= $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$	7.4

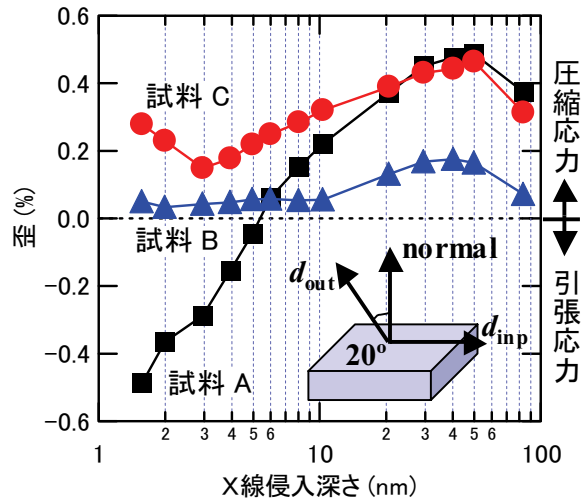


図1 歪のX線侵入深さ依存性

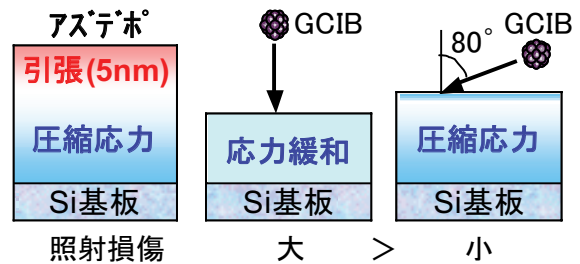


図2 GCIB照射による損傷の模式図