磁性膜用ターゲットの新しい試み

A New Sputtering Source for Magnetic Film Preparation

大内 一弘
秋田県高度技術研究所

Kazuhiro OUCHI

A I T (Akita Research Institute of Advanced Technology)

Abstract A new sputtering source has been proposed, especially aiming to fabricate a Co-Cr composite medium for perpendicular magnetic recording. The source consists of facing side walls and a bottom plate of a source magnetic material. The wall targets work as a part of a magnetic circuit for getting a strong enough magnetic field. Targets of permalloy and Co-Cr were constructed for a test. A well confined plasma makes discharge characteristics of low discharge voltages very stable even at low argon gas pressures. Wide film thickness homogeneity was obtained due to the collimated atoms sputtered from the gun structure type target. Recovery factor of sputtered materials to the substrate was 10 times or more than those of conventional sources. The deposited permalloy films show low coercivities with high crystal orientations even at a high input power. These imply that the new sputtering source is one of promising means for fabricating Co-Cr composite media with a high throughput.

Key words: high rate sputtering source, perpendicular magnetic recording media, discharge characteristics, thickness distribution, recovery factor.

1. はじめに

超高密度な垂直磁気記録方式の実現にはCo-Cr 二層膜垂直磁気記録媒体の量産技術、効率の良い高速作製法を確立する必要がある。垂直磁化層であるCo-Cr 層の膜厚は通常 $0.1\mu\text{m}$ 程度であるのに対し、軟磁性裏打ち層はヘッドの設計にも依るが、一般にこれより厚めの膜厚が必要である。長手媒体のような極限的な薄い厚みを必要としない代わりに、製膜速度の向上が量産性の鍵になる。

さらに、パーマロイ系の裏打ち層では高い透磁率を得るために低温スパッタが望ましい。低温作製は基板の熱劣化を防ぎ、熱膨張による媒体カールを低減する上でも重要である。これまで、GTターゲットやFTS ターゲットなど高速・低温スパッタが可能でスパッタ源が開発されているが、放電特性や回収効率などの点で必ずしも十分なものではなかった。

ここではこれらを改善した新しいタイプのマグネトロンスパッタ源の特徴と、Co-Cr 媒体における軟磁性裏打ち層の高速・低温作製の結果を中心に回収効率も含めた評価と、さらに改良すべき課題について述べる。

2. スパッタソースの問題点

Co-Cr 二層膜垂直記録媒体の作製法上の課題は軟磁性裏打ち層の低温・高速スパッタを図ることのほか、その上のCo-Cr 層の結晶配向の向上も記録性能上重要で、Co-Cr 膜作成条件のみならず、その基板となる裏打ち層の結晶配向も優れる必要がある。このためには二つの層ともに低ガス圧でスパッタリングする必要がある。

これまでにいくつかの高速成膜スパッタリングソースが提案され、低ガス圧放電性[1]やターゲット寿命[2]などの点で改善されている。しかし高い結晶性を得るには、マスキングにより最適な初期入射角度を設定するため[3]、堆積領域が大幅に制限され原材料の回収率が極めて低かった。

たとえば筆者らの実験ではGTターゲット方式[2]は高速成膜性はあるものの次の問題点があることが知られた。

- 1) ギャップの加工(時間・コスト)
- 2) エロージョンに伴う放電特性の変化。使用初期には低ガス圧放電が困難。
- 3) 膜厚均一範囲が狭い。
- 4) 大電力投入時の基板温度上昇が大きい。
- 5) ターゲット使用効率が30~40%と低く、回収効率は更に低い。

対向ターゲット(FTS)方式[4]では高速で結晶性に優れた膜を得ることができるが、スパッタ原子の散乱範囲が広いのでその回収効率を上げる必要があると思われる。

トロイダルプラズマ式・磁極露出型[5,6]は透磁率が小さいCo-Cr 合金では強い磁界強度が得られ、高い堆積速度が達成される。しかし、主ターゲット部に厚い高透磁率材料を用いた場合には遮蔽効果によりターゲット表面磁界が弱くなり、放電特性が劣化すると予想される。

3. 新スパッタソースの設計

新スパッタソースでは従来のターゲットの欠点を補うため次の点に留意して設計した。

- i) 回収効率を高めるため、片側からのスパッタ方式とする。
- ii) プラズマ閉じ込め効率の向上のため強い平行磁界を作る。
- iii) ターゲット材加工の容易な構造とする。
- iv) ターゲット用磁性材料をマグネロン磁界発生用の磁路の一部として積極的に利用する。

これらのことを考慮して図1のようなスパッタリングソース構造を考案した。同図には比較として基本的には平板マグネロン型であるGTターゲットの構造も示し

である。

新スパッタリングソースは平板型マグネトロンターゲットと異なり、膜形成する基板面に垂直にターゲット材が配置されている。スパッタ原子は基板方向にのみ飛び、回収効率の高い構造となっている。

磁界発生用永久磁石はターゲット底面とターゲット側面とに配置し、ターゲット材の透磁率が高いほど底面に平行、壁面に垂直な強い磁界が発生する。底面にもターゲット材が配置され、ターゲット壁面に対してはFTS方式、底面に対しては平板マグネトロン方式に対応した磁界分布のため両者の放電モードが重畳した効果が期待できる。

エロージョンは主に垂直配置されたターゲット内壁部で生じ、基板面に垂直な方向にコリメートされたスパッタ原子の放出が期待される。

ターゲット材は基本的には平板の組合せであり、高度な加工を必要としない。

図2にパーマロイ材(Cu3.5, Mo4.5, Ni77.7, Fe14.3wt%)を用いて実際に作製したスパッタリングソースでの磁界分布と磁界強度をGTターゲットのそれとともに示す。

新構造では水平磁界成分 H_x が垂直成分 H_y に比べて大きく、磁界はほぼ水平方向を向いていることがわかる。しかも、上面から底面まで400 Oe以上の強い磁界が発生している。

このことは高透磁率ターゲット材が磁路短絡ではなく必要な磁路の一部として効率良く働いていることを示している。この磁界分布によりプラズマはターゲット構造内に効率良く閉じ込められることが予想される。

4. 新スパッタソースの特徴

4-1. 放電特性

図3に新スパッタソースの放電特性を示す。初期状態でも1 mTorrと低いAr圧力での安定なマグネトロン放電が可能であった。2 mTorr以上では500 V以下の大電流・低電圧放電が達成されており、プラズマの閉じ込めが効率よく成されていることを示している。磁気回路構成からエロージョンが進行してもこのプラズマ閉じ込めの様子は変わらず放電特性の変化も少ないと予想される。

放電特性のArガス圧力依存性が少ないことも特徴的である[7]。同図にGTターゲットの放電特性も示している。使用初期状態では2 mTorrでも安定なマグネトロン放電は困難で、かつエロージョンの進行に伴い放電特性がかなり変化することがわかる。また、対向ターゲット方式と比べ低電圧で放電が開始することもわかっている。

4-2. 堆積速度

図4に新スパッタソースの堆積速度の投入電力依存性をGTターゲットのそれとともに示す。この場合ソースの上面からみた面積は同一である。ターゲット上面と基板間距離は45 mmである。堆積速度はそれぞれ最大膜厚部分一点での観測値である。

新スパッタソースは投入電力に比例して堆積速度が増加するが、その値はGTターゲットのほぼ1/2であった。ただし、ターゲットの内側表面積が約2倍あり、単位面積あたり投入電力に対しては同程度の堆積速度で、回収効率や膜厚均一性を考えると新スパッタ源の方が優れる。最大の堆積速度は3 kWの投入電力で0.6 $\mu\text{m}/\text{min}$ であった。投入電力の制限は電源容量と側面ターゲットの加熱による放電特性の若干の劣化とに依る。したがって、側

図1. ターゲット構造の比較

図2. 磁界分布の比較

図3. 放電特性の比較

図4. 堆積速度の比較

図5. 静止スパッタ時における膜厚分布

面ターゲットを冷却し、大容量電源を用いればさらに高速堆積が可能と言える。

4-3. 膜厚分布

図5にターゲット長手方向(図ではTD方向)と幅方向(図ではMD方向)の膜厚分布を示す[7]。新ターゲットソースはGTターゲットに比べターゲット長手方向で約3倍、幅方向で約2倍の均一分布範囲を得ている。したがって6倍の均一膜厚面積が得られたことになる。これは新ターゲットソースはガンタイプであるため、スパッタ原子が基板方向にはば集中して飛び出し、無駄なく回収されているためである。

4-4. 結晶配向性と抗磁力

図6に本ソースによるパーマロイスパッタ膜の結晶配向度 $\Delta\theta_{50}$ (fcc構造の(111)面反射のロックン曲線半値幅)と抗磁力のガス圧依存性を示す。

新スパッタソース作製膜の膜厚は $0.5\mu\text{m}$ とGTターゲットで作製した膜の $0.8\mu\text{m}$ に比べ薄いにもかかわらず、ほぼ同程度の配向性とスパッタガス圧力依存性を示している。 2mTorr 以下の低圧力作製条件とすることにより、 $\Delta\theta_{50} < 7^\circ$ の高結晶配向性と、 10e 以下の低抗磁力が得られる。連続作成では図7に示すように基板送り出し側で、基板へ垂直入射する角度の位置(基板側ではターゲットの端部真上)に防着マスクを設定すれば回収効率を下げずにさらに結晶配向を改善できる[8]。

ただし、静止対向型でディスク等を作製する時には図8に示すように中心部の結晶配向がやや劣るので[8]、サイドヨーク、センターヨークなどの寸法比など改良する必要がある。

GTターゲットでこの改善を行うには防着マスクをターゲットの中心位置に設定する必要があった[3]。これはGTターゲットの回収効率をさらに $1/2$ に下げることになる。

図6. ガス圧による保磁力と結晶配向の変化

図7. マスク位置の決定条件

図8. 静止スパッタ時における結晶性の分布

4-5. 付着強度・低温スパッタ

作成した膜のポリイミド基板への付着力を調べたところ二倍以上の付着力の向上が同一スパッタ圧力で得られた。これは飛来原子の垂直入射等、新しいターゲットの特徴によるものと考えられる[7]。

また、投入電力を増し堆積速度を上げた場合の温度上昇はGTターゲットに比較して極めて少なく、約3倍以上の堆積速度（連続作成にてフィルム送り速度換算）においても低保磁力のパーマロイ膜が作成できている。すなわち放電プラズマからの電子衝撃等が極めて少ないことが知られた。

5. 連続作成した媒体の特性と今後の課題

Co-Cr 膜をパーマロイ膜上に連続作成した場合でもヘテロエピタキシー効果が現れ、結晶配向の改善も容易にできることを確かめている。さらに上でのべたマスクによる入射原子の方向を的確に制御すればさらに結晶配向を改善できる。

Co-Cr 膜の保磁力も低温スパッタにもかかわらずターゲット・基板間の調節により所望のものが得られることが知られ、Co-Cr 二層膜媒体としての記録性能も十分に改善できることがわかった。側面磁石にサイドヨークを設けるとより強い磁界を発生させることができ、プラズマをさらに収束させることができる[8]。このような磁気回路の改善や側面ターゲットの水冷など、より高速な膜堆積を可能にすること、あるいは堆積面積の拡大の可能性を追求することなどが課題として残る。

6. まとめ

新しいスパッタソースを考案し、Co-Cr 二層膜媒体の作成実験結果に基づきその特徴を明らかにした。新スパッタソースにはさまざまな特徴のあることが判ったが、その重要な点は 1) 膜厚均一性の著しい向上、2) 原材料の回収効率に優れること、3) 低い電圧での大電流放電が可能なこと、3) 膜の基板への強い付着力などである。

1) は個別ターゲット対応の不連続・多層スパッタを行う磁気ディスク媒体の作製に特に有効な点であり、

2) はフレキシブル媒体の連続作成も含め量産装置における装置汚染の軽減、省エネルギー、省資源に有効と考えられる。

媒体試作結果は低温スパッタの特徴が発揮され、スパッタ中の昇温を抑制でき軟磁性膜の作成に特に有効であることがわかった。Co-Cr 膜にも十分適用可能であったが更に各種透磁率の異なる磁性材料に対する設計法の確立、磁気ヘッド用材料への適用など今後の新しい展開を図ることも必要であろう。

なお、本研究は東北大学電気通信研究所岩崎研究室、ならびに中村研究室において行われたものをまとめたものである。常にご指導いただく岩崎東北工業大学学長、中村東北大学教授に感謝いたします。また、実験や材料提供等にご協力頂いた関係各位に感謝する。

参考文献

- 1) 星、直江、山中;「対向ターゲット式高速・低温スパッタ法とその磁性膜作製への応用」,電子通信学会論文誌(C),J65-C(6),490(1982)
- 2) K. Nakamura, T. Yamada, Y. Ohta & A. Itoh; "GT TARGET" A NEW HIGH RATE SPUTTERING TARGET OF MAGNETIC MATERIALS", IEEE Trans. on Magn., MAG-18(1080(1983)
- 3) M. Yasumura, K. Ouchi and S. Iwasaki; IEEE Trans. on Magn., MAG-24, p. 2794, 1987
- 4) M. Naoe, S. Yamanaka & Y. Hoshi; "FACING TARGETS TYPE OF SPUTTERING METHOD FOR DEPOSITION OF MAGNETIC METAL FILMS AT LOW TEMPERATURE AND HIGH RATE", IEEE trans. on Magn., MAG-16, 640(1980)
- 5) 高橋、宮田、吉田;「EPマグネトロンスパッタ法によるCo-Cr膜の作成と特性」,応用磁気学会誌,10(2),51(1986)
- 6) R. Kukula, J. Kieser & M. Mayer; IEEE Trans. on Magn., MAG-23, 137(1987)
- 7) 大内、石黒、中村;「垂直磁気記録媒体連続作製用ターゲットの構造と媒体の特性」,応用磁気学会誌,14(2),65(1990)
- 8) K. Ouchi, H. Ishiguro, S. Ohkijima and Y. Nakamura; IEEE Trans. on Magn., Vol. 27(6), 1991, S. Ohkijima, K. Ouchi and Y. Nakamura; Journal of Magn. Soc. of Japan, Vol. 15 suppl. No. S-2 (1991)