

高記録密度磁気ディスクの電界印加ディップ塗布方法

著者	谷 弘詞
雑誌名	理工学と技術 : 関西大学理工学会誌 = Engineering & technology
巻	16
ページ	49-52
発行年	2009-12-01
その他のタイトル	Electric Field Assisted Dip Process of Magnetic Disks for High Recording Density of Hard Disk Drive
URL	http://hdl.handle.net/10112/847

高記録密度磁気ディスクの電界印加ディップ塗布方法

谷 弘 詞*

Electric Field Assisted Dip Process of Magnetic Disks for High Recording Density of Hard Disk Drive

Hiroshi TANI

概 要

高記録密度磁気ディスクに極薄膜液体潤滑膜を塗布する方法として電界印加ディップ塗布方法を開発した。この方法は、低濃度のパーフルオロポリエーテル (PFPE) 潤滑剤溶液中に磁気ディスクを浸漬 (ディップ) しながら磁気ディスクに電場を印加することで、塗布される潤滑膜の吸着状態を電場によりコントロールする方法である。この電界印加ディップ塗布方法を用いることで、潤滑膜の薄膜化、磁気ヘッドを浮上させたときの磁気ディスクとの間のすき間 (クリアランス) の増加が確認された。これらの結果から、磁気ディスクの浮上量を現状より低減でき、ハードディスクドライブの高記録密度化、大容量化のために有効な方法であることを確認した。

1. はじめに

ハードディスクドライブ (HDD) の大容量化はとどまるところを知らず、現在では2.5インチ型のハードディスクで0.5TB (テラバイト) の容量のものが発売されている。今後も HDD の大容量化は進んでいくと考えられる。HDD は磁気ディスク装置とも呼ばれ、磁気抵抗素子と書き込み素子が組み込まれた磁気ヘッドで磁気ディスク上にデータを磁気的に記録、またデータ再生を行う。この磁気ヘッドは磁気ディスクとの接触による摩擦・摩耗を回避するため、磁気ディスク上から数 nm (ナノメートル) の間隔を隔てて空気流れに

よる圧力を利用して浮上している。しかし、HDD の高記録密度化のためには、このヘッド浮上量を狭小化してより強い磁場で記録再生することが必要不可欠である。図1に HDD における磁気ヘッド浮上量と記録密度の推移を示す。記録密度の向上に伴い、磁気ヘッド浮上量は年々低下している。最近では浮上量は2-3 nm となり、磁気ディスク上に塗布されている液体潤滑膜の膜厚 (1-2 nm) と同じ程度になってきている。さらに浮上量を小さくするには、磁気ディスク上の潤滑膜の膜厚も小さくする必要が出てくる。潤滑膜は潤滑剤分子が^{まりも}毳藻状に丸まったランダムコイル形態で磁気ディスクのカーボン保護膜上に吸着して単分子膜として存在している⁽¹⁾⁽²⁾。そのため、潤滑膜の膜

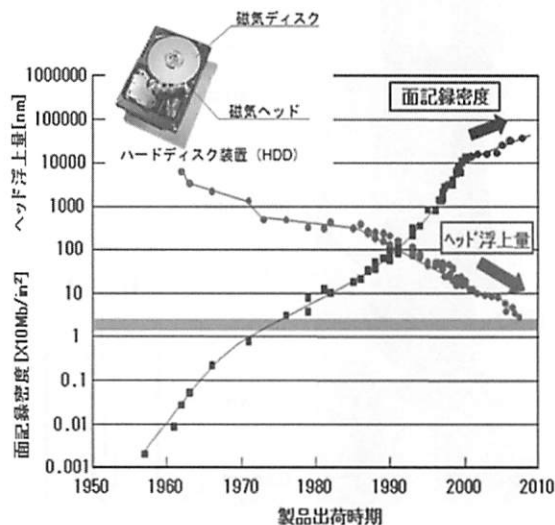


図1 ハードディスクドライブ (HDD) における面記録密度とヘッド浮上量の推移

原稿受付 平成21年 9月19日

*システム理工学部 機械工学科 准教授

厚を薄くするためには、潤滑剤分子構造や吸着形態を考慮して、より薄膜化、すなわち分子レベルで均一かつ薄い単分子膜を形成することが必要となる。磁気ディスク用の潤滑剤として使用されている潤滑剤は、カーボン保護膜との吸着力を大きくするため、分子構造の末端に水酸基が付与されている。そこで我々は、この水酸基が持つ双極子モーメントと外部電場との相互作用を利用すれば、吸着状態を変化させることが可能ではないかと考えた⁽³⁾。

2. 電界印加ディップ塗布方法

図2に、開発した電界印加ディップ塗布装置とその構成を模式的に示した。通常、磁気ディスクへの潤滑剤塗布はディップ方式と呼ばれる塗布方式で行われる。PFPE潤滑剤を溶媒で0.01wt%–0.02wt%程度に薄めた潤滑剤溶液を作成し、その溶液中に磁気ディスクを浸漬（ディップ）して引き上げることで磁気ディスク表面に潤滑膜が形成される。潤滑膜厚をコントロールするためには潤滑剤溶液の濃度を制御する。このディップ塗布方式で、潤滑剤を塗布している最中に電場を印加するため、磁気ディスクの外端に電極を接触させ、磁気ディスクの表面と溶液中の電極板との間で電場を形成した。磁気ディスク表面はダイヤモンドライクカーボン（DLC）が保護膜として形成されており、DLC自体の導電性は低い。また溶媒はフッ素系溶剤（パトレル XF）を用いており、導電性はない。そのため、電圧を磁気ディスクと電極間に印加することで電流は流れないが、図のように、ディスクに+を引出した場

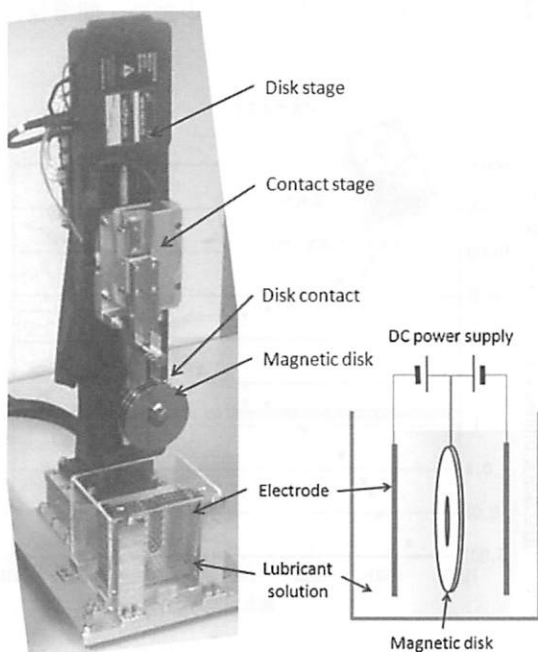


図2 電界印加ディップ塗布装置とその構成模式図

合、ディスク表面から電極へ向かっての電場が形成される。

潤滑剤の材料としては、最も一般的に使用されている Solvay Solexis 社の FomblinZ-tetraol と旭硝子社の TA-30 を使用して、電界印加ディップ塗布法の効果を検討した。潤滑剤および溶媒の分子構造を図3に示す。

Z-tetraol はフォンブリン骨格と呼ばれる PFPE 主鎖の量末端に水酸基がそれぞれ 2 個付与された構造を持つ。TA-30 は中心から 3 方向に伸びたフォンブリン骨格とは異なる主鎖構造を持ち、それぞれの末端に 1 個の水酸基を持っている。溶媒は部分的にフッ素原子の代わりに水素原子が置き換わっており、この部分で

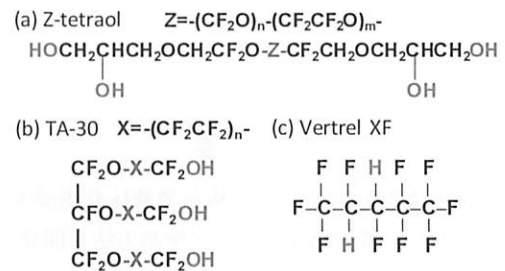


図3 検討に用いた潤滑剤と溶媒の分子構造

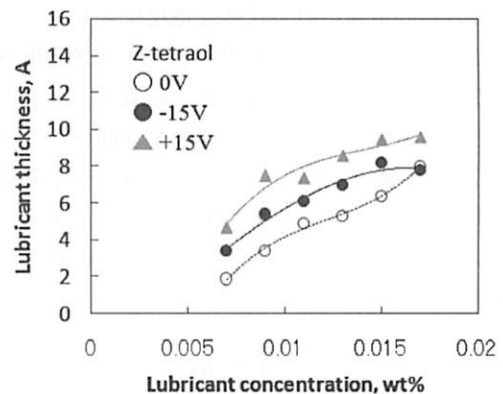


図4-(a) Z-tetraol に対する潤滑膜厚増加効果

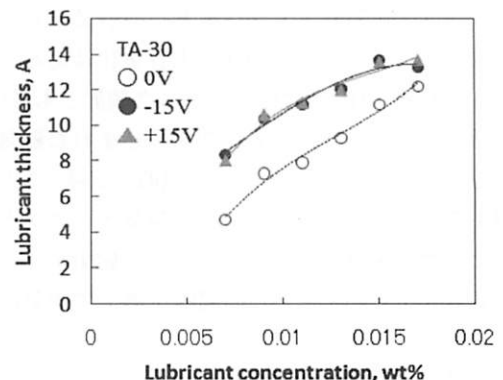


図4-(b) TA-30 に対する潤滑膜厚増加効果

電子密度が異なっており、電気的な極性分布を持っている。

磁気ディスクは65mmφのガラス基板上に磁性膜、DLC 保護膜を形成したもので、その表面粗さは0.2 nmRa と超平滑な表面となっている。

3. 電界印加効果の検証結果

図3-(a)、(b)に Z-tetraol、TA-30の濃度を变化させて塗布したときの潤滑膜厚と、電場印加の状態では塗布したときの潤滑膜厚を示す。潤滑膜厚はエリブソメータを用いてその平均膜厚を測定した。電場は、印加電圧が15V のとき1.2kV/m の電界強度となる。図からわかるように、同じ濃度で塗布した場合の電界ありなしで比較すると、電界ありの場合が、潤滑膜厚が2-3 Å 増加している。Z-tetraol では電圧印加の極性で潤滑膜厚増加量が異なり、+15V の方が-15V より大きい。TA-30では極性の差はなく、増加量は等しい。

次に濃度を変えて潤滑剤を塗布した磁気ディスクの表面の表面エネルギーを測定した。表面エネルギーは水とヘキサデカンを滴下したときの接触角より算出した。磁気ディスクは耐食性やコンタミネーションガスの吸着を防止するため表面エネルギーは低い方が好ま

しい。結果を図4に示す。Z-tetraol の場合は電界印加ありなしで表面エネルギーに差はあまり見られず、10 Å の膜厚では、ほぼ同じ表面エネルギーとなっている。TA-30の場合は電界を印加することで5 mJ/m²の表面エネルギー低減が見られた。この結果から、TA-30のような潤滑剤構造では電界印加により潤滑剤の吸着形態が変化していることが推定される。また、潤滑膜は保護膜と強く吸着しているボンド層と弱い吸着をしているモバイル層が存在していることが知られている。そこで、電界印加ありなしでボンド層の膜厚が変化しているかどうかを調べた。結果を図5に示す。Z-tetraol の場合には+電圧をディスクに印加した場合にボンド層膜厚が増加し、-電圧を印加した場合に減少している。TA-30の場合にはボンド層膜厚は電場の極性に関係なく増加している。電場を印加することにより、ボンド層の割合が変化することが判明した。

さらに、フッ素コーティング処理を施し、潤滑膜と探針との間に働くメニスカス力を著しく低減した探針を用いて潤滑膜の形状を原子力顕微鏡 (AFM) で測定し、潤滑剤分子の高さを比較した⁽⁴⁾。潤滑剤分子の高さは保護膜表面と潤滑膜との境界に現れるステップの高さ (Step height) に等しく、単分子膜厚に等しくなると考えられている。結果を図6に示す。Z-tetraol の場合は電界印加有無でほとんど高さに変化はない。TA-30の場合は0.25nm の高さ低減となっている。さらに、潤滑膜の高さ低減効果を磁気ヘッドと磁気ディスクとの間のすき間の増加として測定した。タッチダウンクリアランスは、磁気ヘッドを浮上させた状態から徐々に浮上量を低くして、磁気ディスクに接触するまでの距離 (クリアランス) を浮上量の変化分で測定する。結果を図7に示す。Z-tetraol の場合はヘッド-ディスククリアランスにほとんど変化は見られないが、TA-30の場合はステップ高さの変化とほぼ同等の0.3nm のクリアランス増加が測定された。

図4～図7に示した結果から、電界印加により TA-

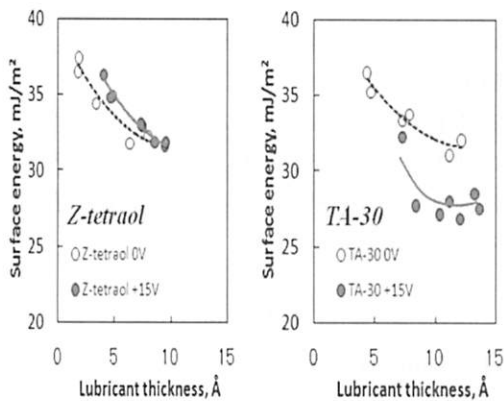


図4 電界印加による表面エネルギー変化

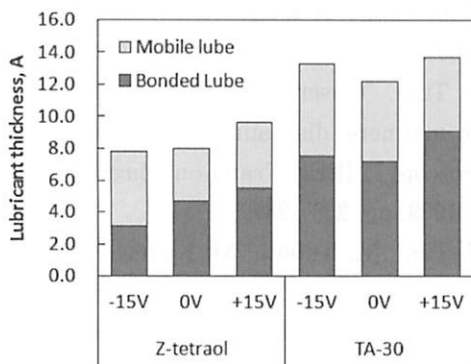


図5 ディスク面に吸着した潤滑剤分子の高さ比較

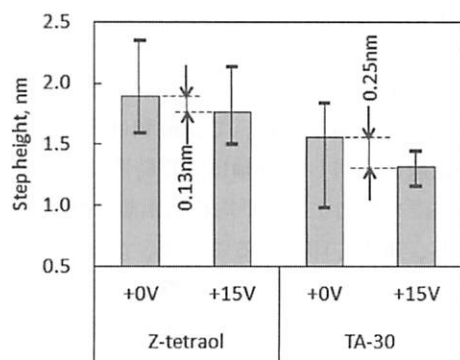


図6 潤滑膜のボンド層とモバイル層の比較

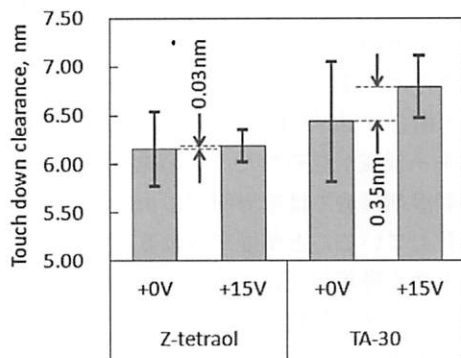


図7 電界印加によるヘッドディスク間のすき間の変化をタッチダウンクリアランスで測定した結果

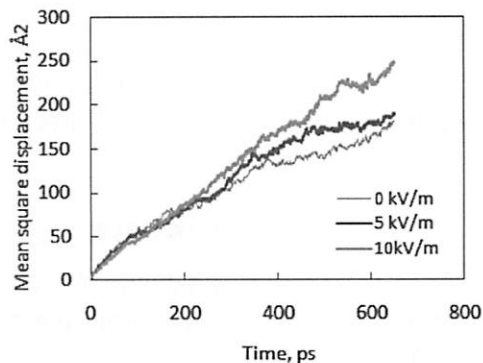
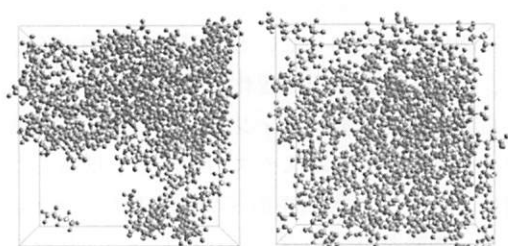


図8 電場による溶媒分子の平均移動距離の変化



(a) Electric field = 0 kV/m (b) Electric field = 10 kV/m

図8 MDシミュレーションにより求めた溶液中の分子の拡散状態

30では明らかに潤滑膜の吸着形態が変化して、潤滑膜がうすく均一に吸着していると推定される。

4. 溶液中分子モビリティのMDシミュレーション

電界印加による潤滑塗布時の膜厚増加効果のメカニズムを探るため、分子動力学 (MD)を用いた溶液中の分子のモビリティをシミュレーションした。シミュレーションは、4個のZ-tetraolの潤滑剤分子と200個の溶媒分子とを計算セル内で放置して、そのモビリティを計算した。図8にセル内の溶媒分子の状態を図7に示す。電場印加のない場合(左図)は潤滑剤分子の周りに溶媒分子が寄り集まっていることがわかる。一方、電場を印加した場合(右図)は溶媒分子が計算セル内で比較的均一に散らばっている。この差は、図9に示した溶媒分子のモビリティの増加によるものと推定される。図9において、縦軸は溶媒分子の平均的移動距離に相当し、縦軸は計算時間である。印加する電場強度を増加すると平均移動距離は増加している。すなわち、電場を印加することで、溶媒分子のアンバランスな電子密度に由来する極性部と電場間の相互作用で、溶媒分子の運動方向が一部分拘束されるため、熱エネルギーによる分子運動がはげしくなり、平均移動距離が増加すると推定される。溶媒分子のモビリティ

が増加すると、それに伴い潤滑剤のモビリティも増加する。そのため、溶液中で潤滑剤分子が磁気ディスク表面に到達し、吸着する確率が増加する。また、吸着した潤滑剤分子はモビリティの高い溶媒分子との相互作用で脱離しやすい状態となる。そのため、塗布される潤滑膜の膜厚は増加する傾向にある。また、弱い力で吸着している潤滑剤分子は溶液中に脱離しやすいことから、吸着力の強い固定潤滑膜の成分が増加して、より均一で薄膜になる傾向があると推定される。

5. おわりに

電界印加ディップ塗布により、潤滑膜の薄膜化がある特定の潤滑剤との組み合わせで可能となる。しかし、この研究は始めたばかりであり、まだ十分に電界印加による効果が発生するメカニズムは解明されていない。電界の効果と潤滑剤の分子構造の関係も視野に入れてさらにメカニズムの解明と潤滑膜の薄膜化可能性を研究する必要がある。

参考文献

- 1) H. Tani, K. Sakamoto, and N. Tagawa, "Conformation of Ultra-thin PFPE Lubricants with Different Structure on Magnetic Disks - Direct Observation and MD Simulation -", Proceedings of magnetic recording conference 2009 APMRC '09 Asia-Pacific, CB-2.
- 2) H. Tani, "Observation of PFPE lubricant film on magnetic disk surface by atomic force microscopy", IEEE Trans on Magn., Vol.35, No. 5, 1999, pp. 2397-2399.
- 3) H. Tani, M. Kubota, M. Kanda, M. Terao, and N. Tagawa, "Electric field assisted dip coating process of ultra-thin PFPE lubricant film for magnetic disks", IEEE Trans. on Magn., To be published, 2009.