

氏 名 原 裕 紀
 学位の種類 博士 (工 学)
 学位記番号 論工博第 3746 号
 学位授与の日付 平成 15 年 7 月 23 日
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 2 項該当
 学位論文題目 Studies on The Micro-Lubrication of Magnetic Recording Media
 (磁気記録媒体のミクロな潤滑に関する研究)

論文調査委員 (主査) 教授 木村健二 教授 小寺秀俊 教授 池内 健

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ハードディスク媒体 (HD) / ヘッド疑似接触状態における再生信号劣化のメカニズムをミクロな分析手法によって解明し、この問題の解決のために、トライボロジー特性の優れた新しい潤滑方法を提案し、検証したもので、7章からなっている。

第1章は緒論であり、まず磁気記録の発展の歴史、ハードディスクドライブ装置 (HDD) の構造、信号の記録再生原理について述べている。これまで行われてきたHDの表面微細形状、保護膜、潤滑膜に関する研究を整理して述べると共に、浮上高の低下に伴い、HD/ヘッドが完全浮上から疑似接触状態に入り、通常のHDD運転中ですら再生信号が劣化するという問題が新たに発生していることを説明し、この問題の解決に向けた本研究の目的、位置づけについて述べている。

第2章は本研究で使用したHDの構造、製造工程、機器、製作条件、潤滑剤の分子構造などについて述べている。直径95mm、厚さ0.8mmのアルミ合金に、非晶質で厚さ10 μ mのNiPを無電解メッキし、ポリッシュ、同心円状のテクスチャを行い、更に、HDDの起動・停止時の、HD/ヘッド間の吸着を避けるために、パルスレーザを用いて、基板の内周側にのみ高さ18nmの突起 (バンプ) を20 μ m間隔で形成している。次にDCマグネトロンスパッタリング法によって、厚さ40nmのCr膜、厚さ40nmのCoCrTa膜、厚さ10nmのダイヤモンド状カーボン膜を成膜し、大気中でパーフルオロポリエーテル (PFPE) 系潤滑剤を厚さ2nmで塗布している。その後研磨、検査工程を経て、HDを仕上げている。

第3章では、上述のHD/ヘッドの疑似接触における、再生信号劣化問題のメカニズムを実験的に解明し、解決策を提案、検証している。まず、劣化原因がヘッドにあることを明確にし、ヘッドの記録・再生素子を走査型原子間力顕微鏡、走査型磁気力顕微鏡、オージェ電子分光法によって評価した。その結果、HD/ヘッドの疑似接触によって素子表面が摩耗し、極表面が本来のパーマロイから、カーボン、酸素を含む混成状態に変化して磁気特性が劣化し、再生信号劣化が引き起こされたことを明らかにしている。またこの原因は、摩擦熱とヘッド材料 (Al₂O₃TiC) による触媒反応によって、潤滑膜が化学的に分解し、素子とHDのカーボン保護膜が直接接触することにあると考え、この分解反応を抑制するために、シクロトリフオスファゼン (X-1P) を潤滑膜に添加する手法を提案し、再生信号の劣化をなくせることを検証している。

第4章では、既存の潤滑剤にX-1Pを添加した場合、長時間の経過の後にディスク表面が白濁し、再生信号が著しく劣化する現象の解明とその解決策の提案を行っている。まず、白濁の原因が、HD表面に生じた微小な突起物であることを、原子間力顕微鏡による観察により明らかにし、再生信号の劣化はこの突起物とヘッドの衝突によると結論している。次に突起物を構成している物質が相分離したX-1Pであることを、飛行時間型2次イオン質量分析法 (TOF-SIMS) で明らかにしている。これを避けるためには、X-1Pの溶解度が高くかつHD表面のカーボン膜との結合性の高い潤滑剤を採用することが必要であるが、そのような潤滑剤としてアリルアルキル系官能基を持った潤滑剤を提案している。

第5章では、市販のアリルアルキル系官能基を持つ潤滑剤 (AM3001) が、HD上で化学変化する問題があることを示し、化学変化しないアリルアルキル系官能基を持つ潤滑剤を分子設計、合成し、その性能を検証している。まず、AM3001の官

能基がディスク上で化学変化し、最終的にX-1Pの溶解度の低い水酸基に変わることを、TOF-SIMS, NMR, FT-IRで確認している。この化学変化は、官能基中のベンゼン環に起因する共鳴効果による加水分解かラジカル化反応によるものと考え、これらの反応を引き起こさないアリルアルキル官能基（3フェニルプロピル）を持つ潤滑剤（LUB-B）を提案し、HD表面で長期的に変化しないことを検証している。

第6章は、第5章で合成したLUB-Bが、狙い通り高いX-1Pの溶解度を持つことを検証し、更にその他のHD性能も評価して、実用上問題ないことを述べている。まず、LUB-B潤滑膜へのX-1Pの溶解度が市販の潤滑剤に比べ高く、工業プロセスで使用できることを述べている。更に、HDD起動停止時のヘッドの離着陸による、HD/ヘッド間の摩擦力の上昇がなく、異常摩耗もないこと、80℃雰囲気中での潤滑膜の減少が市販潤滑剤より少ないことを明らかにしている。以上により、本研究で提案した新しい潤滑システムが、当初の目標を達成し、実用上必要な仕様を満足することを示している。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、ハードディスク媒体（HD）/ヘッド疑似接触状態における再生信号劣化のメカニズム解明と、その解決法に関する研究成果をまとめたものであり、得られた主な成果は以下のとおりである。

1. ミクロな分析、観察手法を用いて、再生信号劣化の原因は、HD/ヘッドの疑似接触によってヘッドの素子表面が摩耗、変質し、磁気特性が劣化したことにあることを見いだした。また、素子表面の磨耗の原因は、摩擦熱とヘッド材料（ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{TiC}$ ）による触媒反応によって、潤滑膜が化学的に分解し、素子とHDのカーボン保護膜が直接接触することにあると考え、この分解反応を抑制するために、シクロトリフオスファゼン（X-1P）を潤滑膜に添加する手法を提案し、再生信号の劣化を防ぐことができることを示した。
2. これまでHDに使われていた既存の潤滑剤にX-1Pを添加した場合、長時間の経過の後にディスク表面が白濁し、再生信号が著しく劣化した。この原因が、X-1Pの相分離により生じた微小な突起物であることを明らかにした。これを避けるためには、X-1Pの溶解度が高くかつHD表面のカーボン膜との結合性の高い潤滑剤を採用することが必要であるが、そのような潤滑剤としてアリルアルキル系官能基を持った潤滑剤を提案した。しかしながら、既存のアリルアルキル系官能基を持つ潤滑剤では、HD上でアリルアルキル系官能基が分解して水酸基に変化し、X-1Pの溶解度が低下するため使用できないことを示した。この官能基の分解メカニズムについて考察を加え、分解の原因は官能基中のベンゼン環に起因する共鳴効果にあると予測し、共鳴効果による分解を生じないアリルアルキル系官能基（3フェニルプロピル）を持つ潤滑剤を分子設計し、合成した。さらに、合成した潤滑剤がHD上で分解しないことを確認した。
3. 合成した潤滑膜中のX-1P溶解度が十分に高く、工業プロセスで使用できることを検証した。更に実用上必要な他の性能評価も行い、本研究で提案した新しい潤滑システムが、実用上問題ないことを示した。

以上要するに、本論文はハードディスク媒体（HD）/ヘッド疑似接触状態における再生信号劣化のメカニズムを解明して、マイクロトライボロジーについての新たな知見を与えるとともに、磁気記録媒体の記録密度向上に必要な潤滑システムを実現するための重要な指針を与えたものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また平成15年5月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行なった結果、合格と認めた。