

審査結果の要旨

氏名 谷 弘詞

本論文は「分子挙動に基づく潤滑膜の被覆状態の解明と磁気ディスクの潤滑膜設計に関する研究」と題して、10章で構成される。

情報化社会の進展とともに、磁気ディスク装置の記憶容量は増加の一途をたどっている。大記憶容量化のために必要となる記憶密度の向上には、記録・再生磁場を高効率で電気信号に変換するために、磁気ディスクと磁気ヘッドのすきまの低減（ヘッド低浮上化）が必須である。しかし、このヘッド低浮上化は磁気ディスクとヘッドとの接触頻度を増加させるため、ヘッド・ディスク・インタフェースの信頼性を低下させる。そこで、様々な手段によりこの信頼性を長時間維持することが行われている。その一つとして、磁気ディスク上に液体潤滑膜が形成される。磁気ディスク上の潤滑膜は1~2nmの極薄膜でありながら、磁気ディスクの耐摩耗性維持には必要不可欠である。しかし、この潤滑膜が潤滑性を長時間維持するように潤滑膜を論理的に設計する手法（潤滑膜設計手法）は明確にされていない。このような現状から、本研究は潤滑膜の被覆状態および被覆状態変化の機構を潤滑剤分子の挙動に基づき明らかにすること、および磁気ディスク潤滑膜が潤滑状態を維持するための条件（潤滑条件）を明らかにすることを目的として行われたものである。そのための方法として、潤滑膜をナノメータオーダーの空間分解能で観察する手法を開発し、潤滑膜の観察結果から潤滑膜の吸着モデルを提案している。その吸着モデルから潤滑剤分子の挙動に基づき被覆状態変化の機構として修復モデル・摩擦移動モデル・スピンオフモデルを導き検証している。さらに前述の手法により潤滑状態にある潤滑膜の観察結果から潤滑条件を明らかにしている。そして被覆状態変化機構と潤滑条件に基づいて潤滑膜設計手法を提案し検証している。

第1章は、「序論」であり、研究の背景と目的、本論文の構成について述べられている。研究の背景では、磁気ディスクの潤滑膜の被覆状態や被覆状態の変化に関する従来の研究について紹介し、従来の研究では潤滑膜の被覆状態および被覆状態変化の機構が十分解明されていないこと指摘している。そして、それらの問題点から本研究の目的を導いている。

第2章は、「AFMを用いた潤滑膜観察結果に基づく吸着モデルの提案」である。本研究で開発したフッ素コーティングしたAFM探針で潤滑膜表面を観察する手法で、潤滑膜の被覆状態が観察可能であること示している。そして、潤滑膜厚の増加とともに潤滑膜の表面被覆率が増加すること、潤滑膜の第1層の分子膜厚は潤滑膜厚に依存せず一定であること、その分子膜厚は潤滑剤分子の平均分子回転直径とほぼ等しいこと、固定潤滑剤分子は保護膜表面のグレイン形状の凹部に選択的に吸着することを観察結果で示している。さらに、その観察結果に基づき潤滑膜の吸着モデルを導いている。

第3章は、「潤滑状態の検証と潤滑剤分子挙動モデルの提案」であり、2章で示したAFM観察の手法により潤滑状態にある潤滑膜を観察して、表面被覆率が1以上であれば、潤滑状態を維持することを検証している。さらに、吸着モデルに基づいて潤滑剤分子の移動確率を算出し、潤滑剤分子に力が作用しない場合、摩擦力が作用する場合、遠心力・半径方向エアシア（空気流れのせん断力）が作用する場合のそれぞれについて、修復モデル・摩擦移動モデル・スピンオフモデルを導いている。

第4章は、「磁気ディスク潤滑膜の修復モデルの検証」である。まず、潤滑膜の修復が潤滑性に影響することを実験結果に基づき示している。次に、修復モデルに基づいてモンテカルロ法を用いて計算した修復による潤滑膜厚変化が実験結果と一致することを示し、修復モデルを検証している。

第5章は、「磁気ディスク潤滑膜の摩擦移動モデルの検証」であり、摩擦移動モデルに基づいてモンテカルロ法を用いて計算した潤滑膜に摩擦力が作用したときの潤滑膜厚減少が実験結果と一致することを示し、摩擦移動モデルを検証している。

第6章は、「磁気ディスク潤滑膜のスピンオフモデルの検証」であり、スピンオフモデルに基づいてモンテカルロ法を用いて計算した潤滑膜に遠心力・エアシアが作用したときの潤滑膜厚減少が実験結果と一致することを示し、スピンオフモデルを検証している。

第7章は、「潤滑条件と潤滑膜設計手法の提案・検証」である。まず、潤滑膜の被覆状態が変化しても表面被覆率が1以上であるための、修復量・摩擦移動量・スピンオフ量の相互関係で満たされるべき必要条件を潤滑条件として提案している。次に、その潤滑条件を満たす潤滑膜を設計するための潤滑膜設計手法を提案し検証している。

第8章は、「潤滑剤供給方式の提案」であり、潤滑条件を満足させる1つの手段として潤滑剤供給方式を提案している。そして、潤滑剤をヘッドのサスペンションへ滴下し、その潤滑剤をガスとして磁気ディスク面へ供給することによって、スピンオフ量を低減するとともに磁気ディスクの耐摩耗性を著しく向上させることが可能であることを実験結果に基づき示している。

第9章は、「本研究成果の適用範囲と他分野への応用例」であり、HDIにおける摺動条件を明確にして本研究成果の適用範囲を明確にするとともに、マイクロマシンへ潤滑膜設計指針が応用可能であることを示している。

第10章は、「結論」であり、上述した内容を総括している。

以上をまとめると、潤滑膜の被覆状態変化の機構として修復・摩擦移動・スピンオフの少なくとも3つの機構を考慮することが必要であり、それらの機構は潤滑剤分子挙動に基づいて分子の移動確率を計算することにより修復モデル・摩擦移動モデル・スピンオフモデルとして表される。さらに磁気ディスクの潤滑膜が潤滑性を維持するためには、それぞれの被覆状態変化量の相互関係が潤滑条件を満たすことが必要であり、その設計手法が潤滑膜設計手法として導かれる。

従来は、試行錯誤して要求を満たす潤滑膜を模索していたのに対して、潤滑剤分子の挙動に基づき潤滑膜の被覆状態変化機構を示し、その機構を前提とした潤滑膜の設計手法を明確に示した本研究は、薄膜潤滑膜を対象とするトライボロジおよび機械工学の発展に大きく寄与すると考える。

さらに、本研究で潤滑膜を観察する手法として開発されたフッ素コーティングした探針を用いたAFM測定は、薄膜有機液体の形態観察に広く応用できる手法である。また、潤滑剤分子の挙動に基づくモンテカルロ法による潤滑膜厚の計算方法は、薄膜液体膜の拡散などの予測などに広く応用できる。したがって、本研究は工学と他分野との融合領域の発展にも大きく貢献すると考える。

よって、本論分は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。