

審査の結果の要旨

氏名 坂根 康夫

本論文は「凍結レプリカ法による磁気ディスク用潤滑液の耐摩耗性の解明」と題し、7章からなる。

近年、インターネットの普及と情報のマルチメディア化が進み、コンピュータの高速化と取り扱うデータの巨大化が進んでいる。そのような中で現在まで、このコンピュータで取り扱う各種データの内部/外部主記憶装置として、ハード磁気ディスクドライブがその主役の座を占め、絶え間無い高速化/大容量化が図られてきている。中でも磁気ディスクの面記録密度の上昇は速く、最近では年率100~150%で増加している。今後もこのような伸び率を維持しながら、さらなる高密度化を達成するためには、磁気ヘッドと磁気ディスクのすきま（スペーシング）を小さくし続けることが重要になり、2002年現在でそのスペーシングは10 [nm] を下回っている。なぜなら、磁気スペーシングが小さいほどヘッドからの書き込み磁束は鋭くなり、より小さなエリアを1ビットとして記録できるからである。しかし同時に、この狭スペーシング化は、磁気ヘッドと磁気ディスクとの接触を原因とするお互いの摩耗の発生を引き起こし、両者の破壊に至る可能性を高くする。このため、様々な手段により磁気ディスク装置の安定した長期間の信頼性を確保することが行われているが、磁気ディスク表面にナノメートルオーダーの厚みで塗布された極薄潤滑液層の付着形態とその作用機構を詳細に解析し、耐久性の高い潤滑液層の設計をすることが高信頼性の達成には必須である。このような現状から、本研究は極薄潤滑液層の付着状態を観察する新たな手法を開発し、その観察結果をもとにして潤滑液層の耐摩耗性のメカニズムを解明し、次世代の高性能潤滑液層の設計指針を得ることを目的として行われたものである。

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。また、磁気ディスク装置の現状と、これまでに行われてきた潤滑液層の解析や観察に関する研究について紹介し、従来の方法では空間分解能が不十分であることを指摘している。

第2章は、本研究で開発した「凍結レプリカ法」と呼ぶ新しい観察手法について解説している。この方法により、本研究ではnmオーダーの空間分解能で潤滑液の付着形態観察を可能にしている。

第3章は、凍結レプリカ法と透過電子顕微鏡観察とを組み合わせることにより、ジルコニア保護膜上の潤滑液の付着状態を観察している。観察から、潤滑液のボンド層は均一に全面を覆う付着層（均一分布層）と、その中に潤滑液が離散的に凝集したクラスタ（凝集クラスタ群）とからなる2元構造であることを初めて明らかにしている。これにより従来からの潤滑液の付着形態についての議論（単純なアイランド型）に決着をつけ、Stranski-Krastanov 型の付着形態で有ることを見いだしている。

第4章は、凍結レプリカ法と原子間力顕微鏡とを組み合わせることにより、カーボン保護膜上での潤滑液の付着形態観察にも応用できることを示している。ジルコニア保護膜の場合と同様に、カーボン保護膜上でも均一分布層と凝集クラスタ群という2元構造で潤滑液が付着していることを明らかにしている。また、CSS試験後の磁気ディスク表面の潤滑液層を観察することにより、磁気ヘッドと磁気ディスクとの接触により潤滑液層は摩耗するが、同時に新たな場所への再付着が発生していることも確認され、この摩耗と再付着との繰り返しがバランス良く発生していることが磁気ディスクにおける長期間の耐久性を説明するものであると述べている。同時に、より高い被覆率で表面を覆うボンド層は、より高い耐摩耗性を示すので、ボンド層の均一分布層をこれ以上化学吸着しなくなるまで付着させる飽和吸着処理が重要であることも観察から導いた。

第5章では、分子量の異なる潤滑液を、超臨界流体抽出法を用いて狭い分子量分布で分離・塗布し、凍結レプリカAFM法により観察を行っている。分子量が付着形態に与える影響として、その分子量が大きくなるに従って、ボンド層の2元構造における均一分布層の厚みが増加し、凝集クラスタ群の高さと直径が大きくなることを明らかにしている。この時、そのクラスタの高さは分子量によらず、その分子量での分子ジャイレーション半径の約3倍であることを見いだした。

第6章では、得られた知見をもとに、磁気ディスク装置の各種の起動・停止方式に合わせた最適な潤滑液の設計手法についてまとめている。

第7章は「結論」であり、上述した内容を総括している。

以上を要すると、磁気ディスクの潤滑液の耐摩耗性を向上するには、表面に存在する潤滑液の量だけが問題ではなく、潤滑液が高い被覆率で均一に分布していることが高い耐摩耗性を実現すると結論している。そのためには、潤滑液の付着状態をnmオーダで観察して潤滑液の種類やその分子量や付着量を磁気ディスクドライブの各方式に合わせて適切に設計することが重要であることを明らかにしている。また、本研究で新たに開発した凍結レプリカAFM法は、その形状が柔らかく観察が難しい液体有機薄膜の形態観察に広く応用できる手法である。そして本研究で得られた知見である、「表面を分子レベルでできる限り覆うように潤滑液のボンド層を形成した上に、潤滑性と修復性に優れる薄い潤滑液のモバイル層を形成するという2層構造による潤滑」という考えは、磁気ディスクに限らず一般的に応用できる薄膜潤滑液の基本デザインであり、機械工学およびトライボロジに寄与するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。