マテリアル先端リサーチインフラ利用報告書
ARIM User's Report

【Release：2025.06.10】　【Update：2025.04.18】

課題データ / Project Data

課題番号 Project Issue Number	24NU0014
利用課題名 Title	ナノ力学計測法を用いたナノ閉じ込め液体の潤滑現象解明
利用した実施機関 Support Institute	名古屋大学 / Nagoya Univ.
機関外・機関内の利用 External or Internal Use	内部利用（ARIM事業参画者以外）/Internal Use (by non ARIM members)
ARIM半導体基盤PF 関連課題 Related to ARIM-SETI	指定なし / No Designation
横断技術領域 Cross-Technology Area	計測・分析/Advanced Characterization
重要技術領域 Important Technology Area	高度なデバイス機能の発現を可能とするマテリアル/Materials allowing high-level device functions to be performed
キーワード Keywords	nanotribology, lubrication, nanogap,ハイブリッドボンディング/ Hybrid Bonding,電子顕微鏡/ Electronic microscope,電子回折/ Electron diffraction,MEMS/NEMSデバイス/ MEMS/NEMS device,電子分光/ Electron spectroscopy

利用者と利用形態 / User and Support Type

利用者名（課題申請者） User Name (Project Applicant)	伊藤 伸太郎
所属名 Affiliation	名古屋大学 大学院工学研究科
共同利用者氏名 Names of Collaborators Excluding Supporters in the Hub and Spoke Institutes	福澤健二,水谷昴琉,Yi Hongdong
ARIM実施機関支援担当者 Names of Supporters in the Hub and Spoke Institutes	樋口 公孝
利用形態 Support Type	機器利用/Equipment Utilization

利用した主な設備 / Equipment Used in This Project

利用した主な設備 Equipment ID & Name	NU-105：バイオ/無機材料用高速FIB-SEMシステム

報告書データ / Report

概要（目的・用途・実施内容） Abstract (Aim, Use Applications and Contents)	電気自動車の開発において，電気駆動ユニット用フルード（E-Axleフルード）の高性能化が必要とされている．E-Axleフルードは油を主成分とし，減速機の潤滑と同時にモータの冷却を担う．粘性摩擦の低減と冷却効率の向上を両立するには，油の低粘度化が必須であるが，負荷容量が低下するために高摩擦な境界潤滑状態となりやすい．そこで油に高分子を添加する技術が注目されている．先行研究において，添加した高分子が表面に吸着膜を形成し，高温において低摩擦化の効果が高いことが報告された．本研究ではそのメカニズム解明に向けて，高分子吸着膜の力学特性（ずり粘弾性）の温度依存性を定量化し，摩擦特性との相関を明らかにすることを目的とした．
実験 Experimental	鉱油に高分子添加剤を2.0wt%で添加した．高分子にはポリアルキルメタクリレート（PAMA）を用いた．PAMAは吸着基をもつモノマーと吸着基のないモノマーが重合した直鎖状の高分子である．高分子内に吸着基がランダムに分布するもの（ランダムコポリマー，r-PAMA）と，吸着基が片端に偏ったもの（ブロックコポリマー，b-PAMA）の二種類を用いた．ずり粘弾性測定にはファイバーウォブリング法（FWM）を用いた．しゅう動子の作製において，集束イオンビームトリミング加工により作製した．集束イオンビーム（FIB）加工には， ETHOS NX5000（日立ハイテク）を利用した．摩擦係数の測定には，ボールオンディスク型摩擦試験機を用いた．
結果と考察 Results and Discussion	摩擦試験結果より，室温に比べ高温（60℃）でb-PAMAは摩擦係数が増加したが，r-PAMAは減少した．FWMによりr-PAMAとb-PAMAの吸着膜のずり粘弾性をの温度範囲で測定した．r-PAMAとb-PAMAで粘度の温度依存性に差はみられなかった．一方で弾性の温度依存性は，b-PAMAでは温度に依存せず一定であるのに対して，r-PAMAでは温度に比例して増大した．これらの結果から，弾性の増大が高温下での摩擦係数の低減に寄与した可能性が示唆される．高分子吸着膜が高弾性化したことにより，荷重支持力が増大し，固体の直接接触を抑制したために低摩擦化が達成されたと考えられる．r-PAMAの弾性が温度に比例して増加するのは，エントロピー弾性（ゴム弾性）が起源と考えられる．吸着点がゴムにおける架橋点の役割を果たし，吸着点間の高分子鎖が引き伸ばされた時に，エントロピー弾性が発現した可能性がある．r-PAMAはb-PAMAよりもMcが小さい分，弾性の温度依存性の傾きが大きくなり，高温下で高弾性化したと考えられる．
図・表・数式 Figures, Tables and Equations	
その他・特記事項（参考文献・謝辞等） Remarks(References and Acknowledgements)	なし

成果発表・成果利用 / Publication and Patents

DOI（論文・プロシーディング） DOI (Publication and Proceedings)	
口頭発表、ポスター発表および、その他の論文 Oral Presentations etc.	
特許出願件数 Number of Patent Applications	0件
特許登録件数 Number of Registered Patents	0件