

主 論 文 要 旨

報告番号	① 乙 第	号	氏 名	嘉副 裕
主 論 文 題 目： Electroosmotic Flow Structure in Microchannel with Nonuniform Wall Zeta-Potential Measured by Fluorescence Imaging Technique (蛍光画像計測技術を用いた非一様壁面ゼータ電位を有するマイクロ流路内電気浸透流動構造)				
(内容の要旨) <p>代表長さ 1 mm 以下のマイクロ流れに特有な電気浸透流は、電界による流動制御が容易であることやシステムの小型化に有利であることから、キャピラリー電気泳動やマイクロ化学デバイスといったマイクロ熱流体システムに広く利用されている。しかし、電気浸透流の支配的物理量である時系列速度および壁面ゼータ電位の二次元計測技術の欠如により、イオンや熱輸送を伴う混合・化学反応場および複合材質の流路において発生する非一様ゼータ電位を有する流れの研究が困難であった。本研究では、過渡状態における流動を詳細に捉える速度計測技術、および従来では困難であった壁面ゼータ電位時空間分布計測を可能とするナノ・レーザ誘起蛍光法の開発を行い、電気浸透流の流動構造に関する実験的な研究を行った。実験結果より、電気浸透流の過渡状態における運動量輸送、およびイオン輸送に依存した壁面ゼータ電位分布の形成について考察を行った。</p> <p>第 1 章では、研究背景、電気浸透流の特徴、従来の計測技術および関連研究の概要を述べることで新規計測技術開発の必要性を明らかにし、本研究の目的を示した。</p> <p>第 2 章では、界面動電現象を含むマイクロ流れの支配方程式、マイクロ流路作製に用いたソフトリソグラフィ法および顕微鏡を用いた蛍光画像計測に関する基礎事項について述べた。</p> <p>第 3 章では、ミリ秒オーダーの電気浸透流の過渡状態における流動計測に向けて、高速度 CMOS カメラ及び粒子追跡法を用いた速度計測技術の開発を行った。低レイノルズ数流れの再現性に着目した反復計測を行うことで高空間分解能計測を実現した。落射照明および壁面近傍 100 nm に発生するエバネッセント波を用いたバルク流速および壁面極近傍流速の複合計測システムを開発した。</p> <p>第 4 章では、蛍光色素およびエバネッセント波を用いたナノ・レーザ誘起蛍光法の開発を行った。壁面ゼータ電位によって分布した蛍光イオンをエバネッセント波で励起することで、蛍光強度からゼータ電位を計測することが可能となった。2つのプリズムを用いたエバネッセント波照射システムを新規に開発することで壁面ゼータ電位の広視野計測を実現した。</p> <p>第 5 章では、第 3 章で開発した速度計測法を用いて、材質が異なる流路、複合材質で構成された流路および壁面に表面修飾を施した流路における電気浸透流速度の時系列計測を行った。いずれも代表長さが 10^{-4} m であったために、電気浸透流は電界印加後 10^{-3} s 程度で定常状態となった。それぞれの流路における流動構造は壁面ゼータ電位分布によって異なる様相を呈するが、体積流量とゼータ電位の平均値は常に比例関係を示すことが理論的および実験的に明らかとなった。</p> <p>第 6 章では、第 4 章で開発した流路壁面ゼータ電位計測技術およびマイクロ粒子画像流速計を用いて、イオン濃度の異なる二流体混合場における壁面ゼータ電位分布計測および速度計測を行った。計測により得られた壁面ゼータ電位分布は、混合場における対流および拡散による局所的なイオン濃度分布に依存していることが定量的に示された。また、イオン輸送に伴う壁面ゼータ電位分布に依存した流動構造を有する電気浸透流の発生を実験的に確認した。</p> <p>第 7 章では、各章において得られた知見を総括し、本研究において開発した計測技術の有効性、及び今後のマイクロ熱流体システム開発への応用を示して本論文の結言とした。</p>				