

氏名（本籍） <sup>おか</sup> <sup>べ</sup> <sup>たか</sup> <sup>お</sup> 岡 部 貴 雄（神奈川県）  
学位の種類 博士（工学）  
学位記番号 甲第 929 号  
学位授与の日付 平成 29 年 3 月 18 日  
学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当  
学位論文題目 イオン液体を用いた高真空用非接触回転機構  
に関する研究

論文審査委員 （主査）教授 佐々木信也  
教授 荒井 正行 教授 石川 仁  
准教授 宮武 正明 教授 近藤 行成  
教授 谷口 淳

## 論文内容の要旨

近年の情報社会の急速な発展に伴い、情報を記録する記録メディアの大容量化が常に行われている。特に、記録メディアの一つである光ディスクは、既存の情報を配布する手段として、また長期間データを保管するストレージとしての汎用性が高いために世界的に広く普及し、常に利用者からは更なる大容量化が要求されている。光ディスクを製作するためには、光ディスクおよびそれを量産するための金型表面に情報を表すマイクロメートルオーダー以下の微細なパターンが加工対象を回転させながら刻み込まれる。より大容量の光ディスクを製造するためには、このパターンの密度を高くしなければならない。このパターンを加工する方法として現在用いられている方法は露光と呼ばれ、加工対象表面に光等のビームを照射することで行われる。これまでの大容量化の研究開発は、このビームが照射される面積を小さくすること、すなわちビームの波長を小さくする試みがなされた。これまでの可視光や深紫外線を用いた方法は限界に達し、これをブレイクスルーするために電子線を露光に使用する方法が提案された。電子線でディスク形状の記録媒体を加工するためには、その正確な照射のために超高真空チャンバ内で加工対象を回転させる必要がある。超高真空という環境が必須であることが、加工対象を回転させる機構に、これまでは必要なかった技術が付加される必要が生じた。

可視光や深紫外線を用いる加工方法の研究開発では、回転機構に流体潤滑軸受が多く採用された。流体潤滑軸受は、流体の圧力によって機構の可動部品を浮上させ非接触支持する機構である。非接触支持の特徴である高精度な運動が注目され、特に高回転精度が必要

な加工装置に採用された。しかしながら、流体潤滑軸受は、既存のものはその特徴上、電子線回転描画が必要とする高真空環境での利用には適さない。このため電子線を用いた回転描画のために流体潤滑軸受を真空環境に適応する研究が行われ、真空対応型静圧気体軸受が提案された。これまでに提案された真空対応型静圧気体軸受は、回転軸を浮上するために外部から加圧気体の供給を受けている。この気体が軸受外の高真空環境に流出することを防ぐ差動排気システムと粘性シールを軸受構造内に持ち、このシステムが高精度な流体潤滑軸受の回転をEB描画に生かすことを可能にした。この方法は、可視光や深紫外線を用いる加工よりもさらに大容量のディスクを試作することに成功した。

近年ではさらに次世代の次の情報記録方式として、ホログラフィックディスクメモリなどの、超高密度の記録媒体が検討されている。超高密度の記録媒体を回転描画で加工する場合、当然真空対応型静圧気体軸受の回転機構と電子線の組み合わせが有用であると想像され、研究が行われた。しかしながら、真空対応型静圧気体軸受には二つの問題点が挙げられていた。一つ目は、装置が極めて大型複雑で、軸受の加工難易度が高いことであり、二つ目は軸の回転中に真空度が不安定もしくは劣化することである。高い真空度を安定的に維持することができる、より構造が簡素な機構の存在は、電子線を用いた電子線描画にとって、更なる高密度化がより高剛性の機構で行えることになるため、有利である。

この問題を解決する方法として、本研究では、低い蒸気圧を持つイオン液体を潤滑液として用いた超高真空対応動圧スピンドルを提案した。提案の方法を用いることで上記2つの問題点をブレイクスルーし、次世代の次の情報記録媒体を製造する方法の可能性を広げた。本論文は、提案の方法を実験的に検討し、提案の方法がより簡素、すなわち軸受の性能の主となる軸受面に多くのスペースを与えることのできる方法で、既存の真空対応型静圧気体軸受よりも高い真空度を安定的に維持できるという知見を得た過程を示したものである。この知見をベースに置き、様々な加工条件に対応できる高真空対応型流体潤滑軸受機構を開発し、これらの高い真空対応性を加えて示している。

## 論文審査の結果の要旨

本研究では、非接触回転機構をより真空度の高い環境下で利用できるようにすることと、機構の小型簡素化を実現するため、イオン液体を用いた非接触回転機構を新たに提案した。提案した非接触回転機構の有用性を示すため、特に低アウトガスが求められる回転EB描画装置用非接触回転機構として、イオン液体を用いた動圧型回転機構と磁性流体シールを設計試作した。これらの性能評価を踏まえ、有用性について考察を行った。

第2章においては、イオン液体を潤滑液体に用いる流体潤滑軸受を提案し、差動排気シールを用いない小型で簡素な動圧型回転機構の設計と試作を行った。試作した動圧型回転機構は、 $10^{-6}$ Pa 台の超高真空環境で、真空圧力を安定的に維持した状態で回転でき

ることを確認し、回転EB 描画への影響が懸念されるようなアウトガスを発生しないことを確認した。また、試作した動圧型回転機構の回転精度は、次世代、次々世代の光学メディアの加工装置に要求される精度を十分に満たすものであることを実証した。

第3 章においては、試作した動圧型回転機構を回転EB 描画装置に組み込み、描画特性の評価を行った。開発した動圧型回転機構を用いることで、回転描画装置を既存の研究の物と比較して大幅に小型簡素化できることを示した。また、開発した回転EB 描画装置は、真空度が高いため低加速電圧を用いても既存の回転EB 描画装置と同レベルの微細加工が可能であり、約40 nm 線幅の溝加工を行えることを実証した。

第4 章においては、イオン液体を用いた非接触シールを提案し、イオン液体を基油に用いた磁性流体を開発した。開発した磁性イオン液体は、安定的に $10^{-6}$  Pa 台の超高真空環境を維持し、オイルベースの真空用磁性流体と比較して優れることを確認した。また、磁性イオン液体を用いた非接触シールとオイルベースの真空用磁性流体を比較し、同等の耐圧性能を示すことを明らかにした。

以上より、イオン液体を潤滑液体に使用した真空用非接触回転機構は、回転EB 描画装置に代表される高真空環境を必要とする精密加工装置への展開において、高い優位性と有用性を持つものと考えられる。