

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏 名 齋藤 公世  
 学 位 博士（ 工学 ）  
 学 位 記 番 号 新大院博（工）第401号  
 学位授与の日付 平成25年 9月20日  
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当  
 博 士 論 文 名 超伝導磁気浮上を適用した半導体製造用非接触スピン処理装置の  
 要素開発研究

論文審査委員 主 査 准教授・福井 聡  
 副 査 教 授・小椋 一夫  
 副 査 教 授・岡 徹雄  
 副 査 教 授・加藤 景三  
 副 査 准教授・菅原 晃

博士論文の要旨

近年の半導体デバイスの微細化の進展から、そのフォトリソグラフィープロセスに用いるマスター原版であるフォトマスクには極めて厳しいパターン精度が要求されるようになってきている。一般にフォトマスクのパターンは、合成石英ガラスの基板の上にスピン処理を用いて形成される。このスピン処理装置の回転軸受から微粒子状ダストの放出が起こり、処理中のフォトマスク周囲のクリーン度が低下する。その結果、パーティクルがパターン間に混入して、パターン形成不良を引き起こし、製品の低品質化或いは生産歩留まり低下の原因となっており、この問題の解決が切望されている。本研究では、高温超伝導バルクによる磁気浮上をスピン処理装置に適用し、上述したような問題点を解決できる非接触スピン処理装置実用化のための基礎的な研究を行うことを目的としている。

本研究ではまず、高温超伝導磁気浮上の基本的な適用性を評価するため、スラスト浮上方式とラジアル浮上方式の2方式のモデル装置の開発を行った。浮上させたターンテーブルを非接触回転させるために、磁気カップリングを用いる。2種類のモデル装置を用いた浮上回転試験の結果から、両方式共にターンテーブルの振動が大きく、目標とした性能は得られなかった。特に、回転加速時にターンテーブルが浮き上がる現象が顕著であった。この原因は、磁気カップリングの根本的な特性によるものであり、当初設計試作したモデル装置の単純な延長では、目標性能を達成することは極めて困難であるという認識に至った。

そこで、モデル装置設計の方針を転換し、回転加速時に大きな起動トルクを必要としない低慣性モーメント型磁気浮上系と吸引力変化が発生しにくい電磁誘導型カップリングを採用したモデル装置の開発に着手した。磁気浮上系を中心部分に配置して、直径を小さくすることにより慣性モーメントの大幅な低減を図り、また、回転加速時に浮上力変化が発生しにくい電磁誘導カップリングを外周部に用いることにした。このような構造の低慣性型スラスト浮上方式のモデル装置を設計、製作し、浮上回転試験を行った。その結果、回転軸方向（ $z$  軸方向）の浮上現象は前述のモデル装置よりも低減することができた。しかしながら、回転軸と垂直な方向（ $x$  軸方向）のフレは大きくなった。

本モデル装置を用いて、ターンテーブルの回転ダイナミクスを詳細に評価した。ターンテーブルには部品加工上の中心となる幾何学的センタ、質量分布の中心となる重心、及び磁束分布の中心となる磁気センタの 3 つのセンタが存在する。また、ターンテーブルに作用する力は、超伝導磁気浮上系のピン止め効果による浮上力と調心力、駆動系の  $x$  軸及び  $z$  軸方向の調心力、回転軸の不一致による遠心力、更に、高速回転時のジャイロ効果による重心を通る軸で回転しようとする力が働く。上記のターンテーブルに作用する力は回転数に対応して変化するので、回転数に応じて回転軸も変化する。低速域・中速域・高速域のターンテーブルの振動の過渡現象を詳細に評価し、回転センタの移動現象を同定した。これに基づき、本研究では、ターンテーブルの安定化対策として、3 つのセンタの統合化手法を検討した。このセンタの統合化について実験的な評価を行ったところ、依然として中速回転領域において、フレの大きくなる回転数帯が存在するものの、大幅な低減効果を確認した。上記のセンタの統合化の手法は、装置の実用化にあたって有効な方法であることを示すことができた。

## 審査結果の要旨

半導体関連製造装置で用いられるスピン処理装置では、回転軸受等から発生する微粒子状のダストが処理対象物を汚染することが大きな問題となっている。本研究では、高温超伝導バルクを用いた磁気浮上を適用することにより、この問題を根本的に解決する非接触スピン処理装置の開発を目指すものである。しかしながら、高温超伝導磁気浮上は自立安定な浮上系を簡便に構成することができる反面、中立点付近の浮上剛性が不足するという弱点がある。よって、超伝導磁気浮上を適用して非接触型のスピン処理装置を実用化するには、中立点付近の剛性不足による振動発生の問題を克服する必要がある。本論文では、モデル装置の開発を通して上記の問題点を定量化し、その解決法を提案し、その有効性を示した。

これらの研究成果は非接触スピン処理装置の早期実用化に向けて大きな工学的寄与を与えるものである。

以上のように、本研究は独創性と新規性が認められるとともに、その工学的な発展にも大いに寄与するものである。よって、本論文は博士（工学）の論文として十分であることを認定した。