

半導体市場での需要増加によって、世界的に半導体製造装置の販売額の拡大が見込まれている。SEMIによると、半導体向けシリコンウエハーの出荷面積の年次予測は、2020年は前年比2.4%の成長を予測しており、その後も継続的な成長を見込んでいる。また、有機ELなどのパネル市場においても、中国の投資が進むと見られている。

半導体ウエハーや液晶パネル、LEDなどの製造工程では、シリコンインゴットを精製するための単結晶上げ装置や成膜加工、各工程でウエハーを移動させるための搬送ロボットが用いられる。本稿では、真空環境で運動伝達機構に用いられる真空装置向けの真空シール技術を紹介する。

### 真空シールの構造

真空シールは、磁性流体を利用し、ガスや真空雰囲気内への回転運動の導入機としての役割を担う(図1)。軸径が数mmサイズのものから、全長2mに迫る大型多軸真空シール(図2)も開発され市場に投入されている。

永久磁石と磁性流体、磁性材料であるシャフトおよび二つのポールピースで構成される。磁性材料のシャフトとポールピースが形成するすき間に磁界を発生させて磁性流体を導くことで、リング状となった磁性流体が空気を遮断・密閉する仕組みとなっている。

シャフトには間隔を空けて多数のステージが設けられている。磁性流体はステージごとに保持され、真空シール内は多数の流体リングが並ぶような構造となっており、この流体リングによってすき間を作ることなく外気を遮断する。一つのステージは約0.15~0.2気圧の圧力差を支えられ、ステージの合計がシールの耐圧性能と比例する。

同シールは、不活性で安定した磁性流体を使用し、複雑な構造を用いない磁気回路を採用したことで、長寿命化を実現する。さらに、基本的に1本の回転軸でトルク伝達を行うため、高精度でトルクを伝達できるほか、磁性流体の粘性抵抗が低く、滑らかに回転を伝えることが特徴となる。

### 真空シールの用途

空気、ガス、蒸気、微粒子に対する気密性に優れ、接触式シールのような摩擦がないため、基本的にメンテナンスフリーで稼

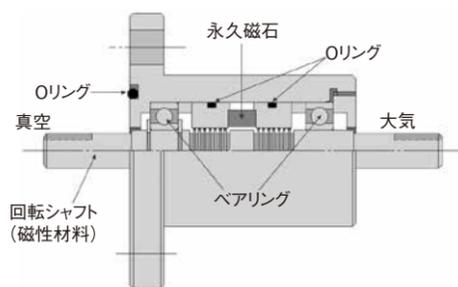


図1 構造図

### 技術トピックス

## 真空シールと磁性流体の開発動向



図2 大型多軸シール

動するケースが多い。さらに高精度な同シールは、半導体や有機ELパネルなどの製造工程に数多く採用されている。

半導体製造装置では、シリコンなど単結晶上げ装置(図3)、スパッタリング装置、CVD装置、イオン注入装置、エピタキシャル成長装置、真空蒸着装置、ステッパー露光装置、イオン注入装置、エッチング装置、ガス導入機、真空チャック、インライン製造装置の搬送機構部など、様々な工程で活用されている。

露光装置では、チャンバーを真空状態にした後の、ArF(アルゴンフッ素) 雰囲気下の加圧環境下での回転導入機構で採用される。CVD装置などもチャンバー内を真空にした後にガスを導入するが、成膜時は高精度で均一な膜を形成するために、ウエハーを回転させる。こうした回転機構に真空シールが用いられている。そのほか、真空による吸引力を利用して、ウエハーやガラス基板を固定する真空チャックなどの動力伝達部に採用されている。

有機ELでは、有機EL素子の薄膜を製造するために真空蒸着が行われるが、蒸着ガラス基板サイズの大型化に対応した直径450mmの大型の真空シールなども開発されている。

そのほかにもスマートフォンのガラスの反射防止用のコーティング工程や、医療分野では粒子線治療装置などにも使用される。

同社は、磁性流体の配合や製造工程の最適化による真空シールのトルク低減技術を開発し、従来の1/3のトルク低減を実現している。半導体や有機ELの製造工程では、省エネルギーや



### (株)フェローテックホールディングスに聞く

装置のコンパクト化のニーズがあり、その要求に対応するのが真空シールの起動トルク低減の実現だった。真空シールのエネルギー効率が向上することで、動力伝達に使用するモーターや電源装置などの関連装置の小型化が見込めるほか、起動時の負担軽減が見込まれる。

また、高温下では、真空シール内の磁性流体の蒸発量低減も引き続き研究開発が進められるほか、熱に対する性質の安定性も磁性流体には求められている。

### 磁性流体の開発動向

真空シールの核となる磁性流体は、シール機能のほか、潤滑、放熱などの機能も備えている。直径約10nmの磁性微粒子と界面活性剤、ベースオイルで構成され、ベースオイルには炭化水素系油などが用いられる。磁性流体がその性能を発揮するためには、磁性微粒子を均一に分散させて安定したコロイド溶液の状態とすることが重要となる。そのために、界面活性剤が活用されている。各々の粒子表面に均一に吸着された界面活性剤によって、粒子同士の距離が一定以上に保たれるため、結果的にベース液中で磁性微粒子を凝集させることなく分散させることができる。



図3 単結晶上げ装置

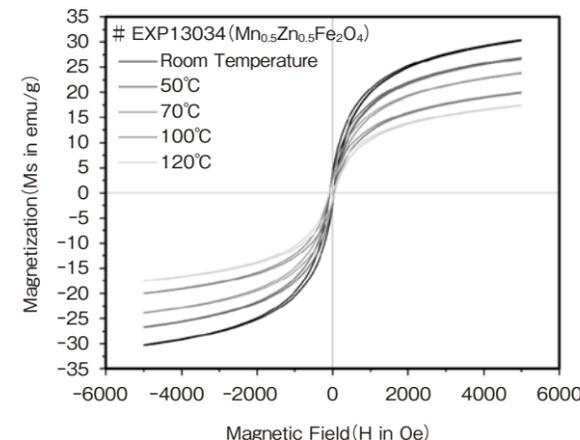


図4 各温度における磁化特性

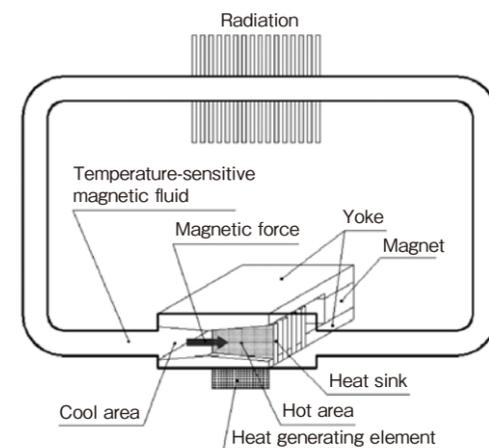


図5 感温性磁性流体を用いた熱輸送システムの概念図

る。同システムは、循環する流路上に存在する温度差のある区間に磁場を設置することで、温度の低いところから高い方向に磁性流体が流れる仕組みとした(図5)。システムのコンパクト化や省電力化、静粛・低振動性などを実現するため、大型ディスプレイなど継続的な冷却が必要な機構や、将来的には自動車部品などへの適用も視野に入れる。

また、特殊な事例として発色する磁性流体が開発されている。磁性ナノ粒子が安定分散した磁性流体は、光を内部に吸収する特徴があるため全体として黒色となり、着色することは難しかった。そこでベースオイルに、磁性流体の性能に影響を与えない蛍光染料を加え、UV照射をすることで発光する製品を開発した。現在、赤、緑、黄緑、青などの発色を実現している。

開発品は、ディスプレイ用、素材・部品などのクラックやピンホール検出向けなどに工業用途にも採用が期待される。通常のUV蛍光材料は、機械部品のクラック検出に広く採用されている。そこで、蛍光磁性流体を用いた実験では、磁性流体の持つ磁気導性によって、通常のUV蛍光材料の約1/5の時間でマイクロクラックを検出することに成功している。

真空シールなどに採用される磁性流体は、温度変化による性質変化の少ない安定した特性が求められるが、一方で意図的に温度によって特性が大きく変化する磁性流体も開発されている。

その一つである感温性磁性流体は、高温時に磁化が小さくなり、逆に低温時には磁化が大きくなる性質を持つ(図4)。従来は可燃性溶剤のベース液を使用したものはあったが、このほど水をベース液とした不燃性の感温性磁性流体を開発し、これを利用した電源や動力源を必要としないクローズドループの熱輸送システムを提案してい