

半導体製造装置用高機能ふっ素ゴム VERSAL ARMOR™

1. はじめに

近年の半導体市場は、データセンター向けAI処理需要の世界的な拡大を背景に、中期的な成長が継続すると予測されている。特に高性能メモリーやAI用ロジック製品に対する需要の増加が顕著であり、メモリーの高積層化やロジックの微細化に向けた先端プロセスへの投資が各国で加速している。これにより、半導体市場規模は1兆ドルに近づきつつあり、製造装置分野でも高い設備投資が続く見通しである。

こうした先端化の進展に伴い、半導体製造装置内部では高温・高真空・高反応性ガスなど、シール材にとって厳しい環境条件が広がっている。プロセスの安定性や歩留まり確保の観点から、シール材は微細化技術を支える重要な構成要素であり、その性能要件は年々高度化している。このように、装置性能の更なる向上が求められる中で、シール材には単なる耐久性だけでなく、プロセス安定性の向上にも寄与する高付加価値機能が求められる傾向が強まっている。

今回当社ではこれらの課題に対応するため、従来品をベースに耐ラジカル性を向上させた高機能ふっ素ゴム「VERSAL ARMOR」を開発した(Figure1)。

VERSAL ARMORは、当社製品でゲートシールなどの動的シール用途で実績のあるULTIC ARMORと同様のバランスの取れた機械特性を有し、また、固定部向け材料として使用されてきたDC156の耐ラジカル性を更に強化した材料である。この結果、幅広い用途で使用出来るハイエンドモデルとして位置づけられるため、本報にてその特長を紹介する。

2. VERSAL ARMOR™の特長

本材料は、半導体製造装置の過酷なプロセス環境に対応するため、耐ラジカル性、低固着性、純粋性、優れた機械特性を兼ね備えた高機能ふっ素ゴムである。以下各特性について紹介する。



Figure1 VERSAL ARMOR

2-1) 耐ラジカル性

半導体製造プロセスの中でも、エッチング工程では CF_4 (四ふっ化炭素)や O_2 (酸素)をプラズマ化し、生成したラジカルによるエッチング処理が一般的に用いられる。この際、プラズマ中のふっ素(F)ラジカルや酸素(O)ラジカルはシール材表面にも作用し、化学的劣化を引き起こす要因となる。こうしたラジカルによる劣化は、シール材の表面荒れやエッチングを誘発し、パーティクル発生やリークトラブルへとつながる可能性があるため、耐ラジカル性はエッチング装置を始めとする半導体製造装置における重要な性能指標の一つである。

VERSAL ARMORの耐ラジカル性を評価した結果をFigure2に示す。VERSAL ARMORは当社従来品、及び汎用ふっ素ゴムと比較して約3～6倍高い耐ラジカル性を示し、ラジカル暴露環境下での劣化抑制に優れることが確認された。この特性により、シール材のメンテナンス周期の延長、パーティクル低減、更にはプロセス安定性の向上に寄与することが期待される。

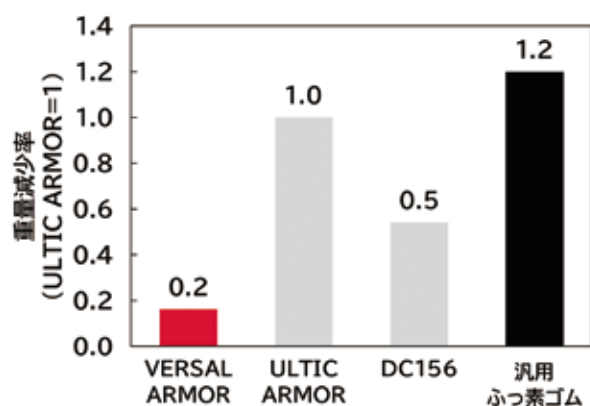


Figure2 耐ラジカル性評価結果

【試験条件】

- ・出力: 2000W
- ・温度: 200℃
- ・ガス種: $\text{CF}_4/\text{O}_2 = 1/9$
- ・試料形状: $\phi 3.53 \times 22\text{mm}$

2-2) 低固着性

半導体製造装置では、ウェーハ搬送時のゲートバルブにゲートシールが用いられるが、シール材と部材の固着が発生すると、バルブの動作遅延やシール材の脱落といったトラブルを招く恐れがある。そのため、シール材は低固着性が重要となる。また、メンテナンス時も同様に固着力が高いとフランジやチャンバーの開放作業が困難となり、工数増加や部材損

傷のリスクが高まる。このように、プロセス安定性と保守性の両面から低固着性は不可欠な特性と言える。

VERSAL ARMORの固着力評価を実施し、Figure3に試験概要を示した。固着評価フランジの溝にO-ringを装着してボルトで均一にフランジを締結し、そのフランジを規定温度で一定時間加熱後、フランジを23℃まで放冷した。その後、引張試験機にフランジを装着し、所定速度で引きはがすことで固着力を測定した。Figure4に示した結果では、VERSAL ARMORが当社従来品、及び汎用ふっ素ゴムより明確に低い固着力を示した。特に、動的用途で実績のあるULTIC ARMORの約半分程度の固着力であり、ゲートシールのような開閉動作を伴うシール用途において高い適用性が確認された。これにより、装置稼働率の向上やメンテナンス負荷の低減が期待され、長期運用における信頼性向上にも寄与すると考えられる。

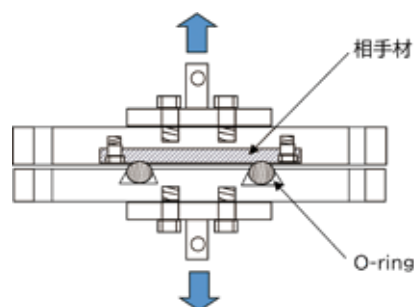


Figure3 固着力評価の試験概要

【試験条件】

- ・加熱温度: 150℃
- ・加熱時間: 72h
- ・試料形状: AS568-214 O-ring
- ・引張速度: 300mm/min
- ・相手材: アルミニウム

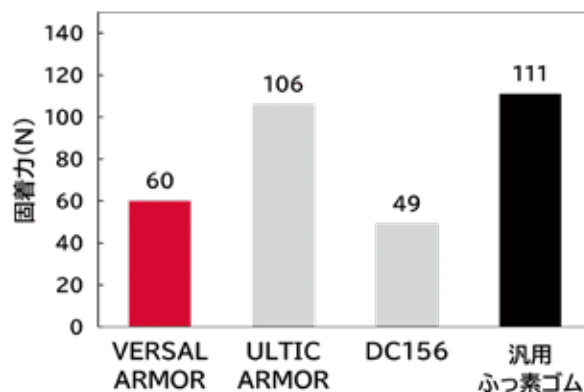


Figure4 固着力の試験結果

2-3) 純粋性

半導体製造プロセスにおいて、シール材がラジカルエッチングを受けると、含有される金属成分がパーティクルとして系内に飛散し、プロセス汚染を引き起こす可能性がある。プロセス汚染は製品歩留まりの低下や品質不良につながるため、シール材の含有金属成分を低減することが求められる。

Figure5にVERSAL ARMORの評価結果を示す。汎用ふっ素ゴムはカーボンなどのフィラーを含むため金属成分が多い一方、VERSAL ARMORは当社従来品と同様に金属成分の含有は低い製品であった。そのため、VERSAL ARMORはプラズマエッチング環境下における金属成分の飛散を抑制し、パーティクル発生を最小限に抑えることが可能である。これにより、半導体製造プロセスの安定性・信頼性の向上に寄与するとともに、装置稼働率の向上や歩留まりの向上にも貢献出来ると考えられる。

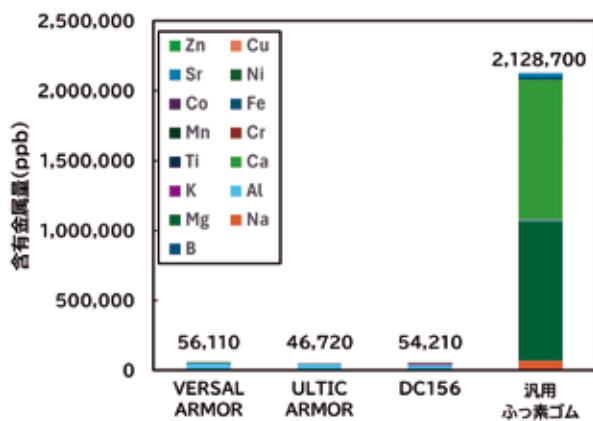


Figure5 含有金属測定結果

【評価条件】

- ・前処理：硝酸灰化法
- ・測定機器：ICP-MS
- ・測定元素：62元素（検出限界以下の元素は非表示）

2-4) 機械特性

VERSAL ARMORの常態物性をTable1に示す。VERSAL ARMORは動的用途で実績のあるULTIC ARMORと比較して引張強度、伸び、100%引張応力が向上しており、これまでULTIC ARMORが使用されてきたゲートバルブなどの動的部位においてもその適用が期待される。

Table1 VERSAL ARMORの機械特性

	VERSAL ARMOR	ULTIC ARMOR
色調	茶	濃琥珀透明
硬度 (Shore A)	68	68
引張強さ (Mpa)	18.2	15.9
伸び (%)	240	230
100%引張応力 (Mpa)	3.9	2.9

3. VERSAL ARMOR™の用途

VERSAL ARMORは、従来材料と比較して優れた耐ラジカル性、低固着性、純粋性を備え、更に機械特性のバランスにも優れた材料である。これらの特性により、半導体製造装置におけるエッチング、成膜、アッシングといった多様なプロセス環境での適用が期待される。

特に、真空環境やプロセス条件を維持するために使用されるゲートバルブは、開閉動作を繰り返す動的部位であり、シール材には高い耐久性と低固着性が求められる。また、金属とゴムを一体化したBondedシールにも使用可能で、ゲートバルブの動作安定性の向上に寄与することが期待される。

更に、フランジ部のような静的シール用途においても、耐ラジカル性や純粋性に優れており、長寿命化及びパーティクル低減といった効果が期待出来る。動的・静的のいずれの用途にも適用できる性能を有することから、装置構成や使用部位に応じて柔軟な用途選定が可能となる点も特長である。

4. おわりに

本報で紹介した高機能ふっ素ゴム「VERSAL ARMOR」は、当社 ARMOR シリーズにおけるハイエンドモデルとして位置づけられる材料であり、動的・静的のいずれの用途においても適用可能な特性を備えている。

当社では、今後も半導体製造プロセス装置の高度化に対応するため、材料技術の更なる向上と新規シール材の開発に取り組んでいきたいと考えている。なお、本文中で示したデータは当社の評価環境下で得られた一例であり、すべての使用条件に適合することを保証するものではない。実際の

運用に際しては、装置仕様やプロセス条件に応じた評価の実施について、ご協力をお願いする次第である。

5. 参考文献

1) 土岐 真之：バルカー技術誌. No.1, 5-8 (2001)

※ VERSAL ARMOR、ULTIC ARMOR、ARMORは
株式会社バルカーの商標または登録商標です。



野口 仁志

高機能シール本部
高機能シール開発部
材料開発チーム