

特殊環境用軸受(Koyo EXSEV軸受)について(6)

- EXSEV軸受の現状と今後の動向 -

Bearings for Extreme Special Environments (6)

- Present State and Future Trend of Koyo EXSEV Bearing -

竹林博明 H. TAKEBAYASHI

Outlines of Koyo EXSEV bearing series (bearings for extreme special environments) have been explained in the Koyo Engineering Journal No.156, 157, 158, 160, 161. This paper is the final report of the serialization of EXSEV bearing series. Herein the present state and the future tendency of Koyo EXSEV bearing series are described concerning with bearing materials, solid lubricants and hard coatings of bearings for semiconductor equipment.

Key Words: extreme special environment, bearing material, solid lubricant, hard coating, semiconductor equipment

1. はじめに

当社では、真空、クリーン、高温等の特殊な環境や厳しい条件で使用できる軸受を、特殊環境用軸受「Koyo EXSEV(Extreme Special Environment)軸受」と名付けて商品化を進めてきた。特殊環境用軸受「Koyo EXSEV軸受」について本誌では過去5回シリーズで紹介してきた。第6回目の今回はこのシリーズのまとめとして、特殊環境用軸受の現状と今後の動向について述べる。具体的には、当社の特殊環境用軸受の代表的な用途である半導体製造装置用軸受を例にとり、軸受に要求される特性を紹介するとともに、それを実現するための軸受材料、固体潤滑剤、および表面処理技術等の現状と今後の動向について述べる。また、半導体製造装置のメンテナンス向上等を目的として現在検討されている軸受のユニット化についても紹介する。

2. 半導体製造装置用軸受に要求される特性

表1は、半導体製造の各工程で使用される半導体製造装置用軸受に要求される特性を示したものである。これらの半導体製造装置では、微細描画化、成膜・エッチングの高速処理化等により、そこで使用される軸受に対して、真空、クリーン、耐食、耐熱、非磁性等のより優れた特性が要求されている。具体的には、微細描画化の要求からは真空・クリーン・低アウトガス化の特性、成膜・エッチングの高速処理化の要求からは耐食・耐熱

表1 半導体製造装置用軸受に要求される特性

Required characteristics of bearings for semiconductor manufacturing equipment

半導体製造装置		軸受に要求される特性				
分類	装置名	真空	クリーン	耐食	耐熱	非磁性
露光,描画	ステッパ装置					
	アライナ装置 電子ビーム描画装置					
レジスト処理	コータ/デベロッパ アッシング装置					
エッチング	ドライエッチング装置 ・Poly-Si用 ・酸化膜用 ・メタル用 ウェットエッチング装置					
洗浄,乾燥	洗浄装置 乾燥装置					
熱処理	酸化・拡散炉 ランプアニール装置					
イオン注入	中電流・大電流イオン注入装置 高エネルギーイオン注入装置					
CVD	常圧CVD装置 減圧CVD装置 プラズマCVD装置 メタルCVD装置					
PVD	スパッタリング装置 蒸着装置					
CMP	CMP装置					
ウェハ検査・測定	表面欠陥検査装置					
	パターン検査装置					

の特性、微細描画化および半導体の検査に電子ビームを使用することから非磁性の特性等が、それぞれの装置の軸受に要求されている。

また、半導体製造の際に要求されるこれらの特性に加えて、半導体製造の効率向上のために基板の大型化も進んでいる。したがって、基板の大型化にともないそこで使用される軸受により大きな荷重が負荷されることになることから、軸受の耐荷重性向上(長寿命化)も要求されている。

3. 特殊環境用軸受(Koyo EXSEV軸受)の構成

図1に、現状の半導体製造装置に使用される特殊環境用軸受(Koyo EXSEV軸受)の構成を示す。ここでは表1で述べた半導体製造装置用軸受に要求される特性をもとに、それらの特性に対応するための軸受材料および潤滑剤(主に固体潤滑剤)に関して示しており、真空・クリーンに対応した固体潤滑剤、腐食環境に対応した軸受材料と固体潤滑剤、高温環境に対応した軸受材料と固体潤滑剤、非磁性用途に対応した軸受材料、耐荷重性向上(長寿命)に対応した固体潤滑剤等に関して示している。したがって、軸受に要求される特性に合わせて軸受材料と潤滑剤(主に固体潤滑剤)を検討して、最適の組み合わせをおこない軸受を構成することになる。

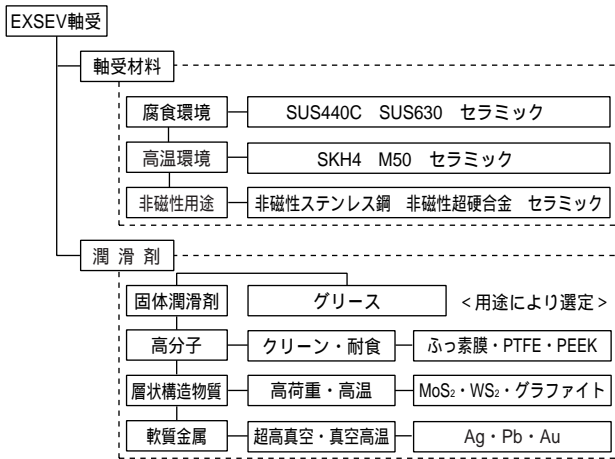


図1 特殊環境用軸受の構成
Compositions of bearings for use in extreme special environments

4. 軸受材料の現状と今後の動向

ここでは、耐食、耐熱、非磁性用途の軸受材料の現状と今後の動向に関して述べる。耐食用途では材料と表面処理、耐熱用途では材料と潤滑剤に関しても検討している。実際に半導体製造装置用

軸受を検討する場合は、これらの特性が組合わされて要求されることが多く、3つの特性を検討し最適の材料を選定する必要がある。

4.1 耐食用途

図2は、耐食用途の軸受材料に関して表したものである。横軸は耐食性に対する度合いを、縦軸はそれらの材料の軸受としての耐荷重性の度合いを示しており、図2を見ると、ステンレス材料、樹脂材料(Resin)、ステンレス材料にニッケルメッキ(NN)やPTFEコーティング(MP)を実施したもの、および各種セラミック材料の耐食性と耐荷重性の度合いを把握できる。セラミックスでは、標準の窒化けい素(NC)、焼結助剤を検討し耐食性を向上させた窒化けい素(NCT)、および炭化けい素(NCZ)まで検討している。今後は、耐食性の度合いを向上させた軸受材料を開発するとともに軸受としての耐荷重性も向上させた材料および表面処理技術を開発することが必要となる。

NC : セラミックス Si₃N₄(標準仕様)
NCT : セラミックス Si₃N₄(耐食仕様)
NCZ : セラミックス SiC
NN : Niメッキ
MP : PTFEコーティング
Resin : 樹脂軸受

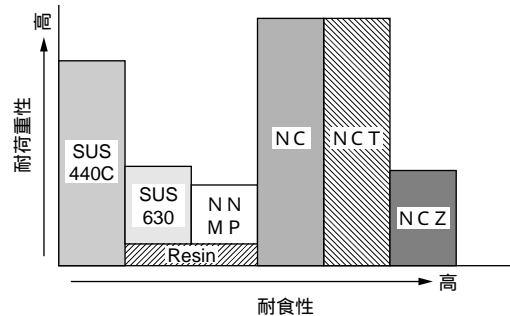


図2 耐食用途の軸受材料

Bearing materials for corrosion resistance application

4.2 高温用途

図3は、高温用途の軸受材料と固体潤滑剤に関して表したものである。縦軸は温度を示しており、軸受材料および固体潤滑剤ともにそれぞれ使用可能な限界温度を、図3から把握することができる。したがって軸受に要求される耐熱性に合わせて、軸受材料と固体潤滑剤を組み合わせることが可能となる。軸受材料としては、現在ステンレス鋼、高速度工具鋼、窒化けい素セラミックスがある。また、固体潤滑剤としては、特殊ふっ素高分子膜を用いた高温用のクリーンプロ処理、PEEK材料を用いた保持器、二硫化モリブデンコーティング、二硫化タングステンセパレータ、グラファイト保持器等がある。現在、軸受材料としては窒化けい

素セラミックスが800 まで使用できるのに対して、固体潤滑剤としてはグラファイト保持器を用いたとしても、固体潤滑剤が使用できるのは500 までである。今後は、軸受材料として窒化けい素セラミックスが使用できる800 まで使用可能となる固体潤滑剤を開発することが必要となる。

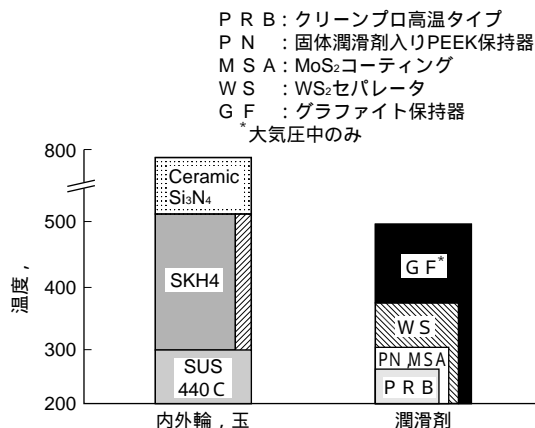


図3 高温用途の軸受材料と固体潤滑剤
 Bearing materials and lubricants for high temperature application

4.3 非磁性用途

図4は、非磁性用途の軸受材料に関して表したものである。横軸は材料の持つ磁性の度合いを、縦軸は軸受材料としての耐荷重性の度合いを示している。非磁性用軸受材料として、非磁性ステンレス鋼(Y H)、樹脂材料(Resin)、非磁性超合金(S Y)、窒化けい素セラミックス(N C)の非磁性の度合いとその耐荷重性がわかる。

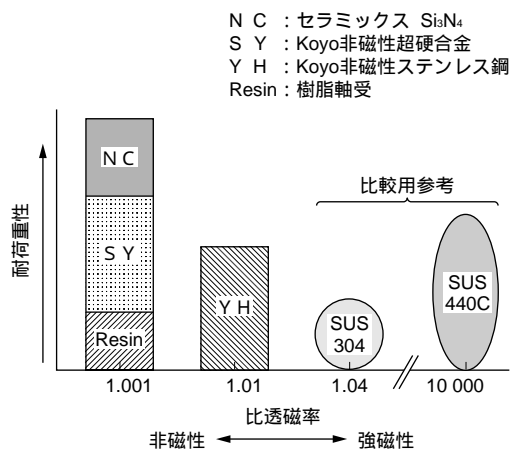


図4 非磁性用途の軸受材料
 Bearing materials for non-magnetism application

したがって軸受に要求される非磁性の度合いと荷重が与えられれば、図4より使用できる軸受を選定することが可能となる。たとえば、ここで挙げた軸受材料のなかでは、樹脂材料、非磁性超合金、窒化けい素セラミックスがほぼ完全非磁性に近く、そのなかで最も耐荷重性の優れているものは窒化けい素セラミックスとなる。

5. 潤滑剤の現状と今後の動向

ここでは、潤滑剤(主に固体潤滑剤)の寿命特性、耐真空性、クリーン性について述べる。実際に半導体製造装置用軸受の潤滑を考える場合は、寿命特性、耐真空性、クリーン性の3つの特性を検討して最も適した潤滑剤を選定することが必要となってくる。

5.1 寿命特性

図5は、各種潤滑剤(固体潤滑剤、グリース)の寿命特性を表したものである。縦軸は、クリーンプロ標準タイプ(P R , 特殊ふっ素高分子膜)を用いた場合の寿命を1とした場合の寿命比を示している。無潤滑の場合はクリーンプロ標準タイプ(P R)の1 / 100以下の寿命となる。固体潤滑の場合はPEEK保持器(P N)、二硫化タングステンセパレータ(W S , 保持器の代わりに二硫化タングステン材料をセパレータとして使用)の順に寿命は向上し、二硫化タングステンセパレータの寿命はクリーンプロ標準タイプの約10倍の寿命となる。また、クリーングリース(K D L , K H D)を適用した場合は、クリーンプロ標準タイプに比べはるかに長い寿命となることがわかる。

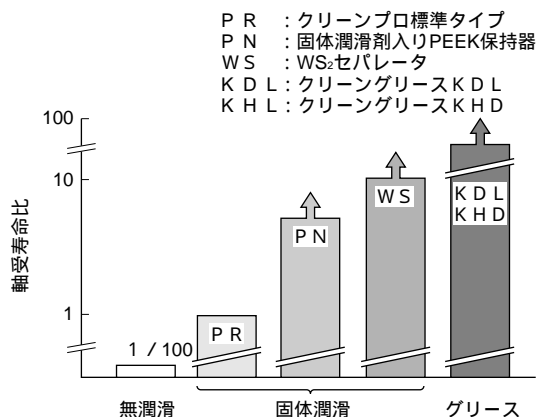


図5 各種潤滑剤の寿命特性
 Life of various lubricants

したがって、半導体製造装置用軸受に要求される寿命特性に合わせて潤滑を選定することが必要となる。ただし、半導体製造装置ではグリースの

使用が制限されることが多く固体潤滑の中から潤滑剤を選定する必要があり、現状の固体潤滑剤では軸受に要求されている寿命を満足できないことがある。今後の課題としては、固体潤滑剤でより長寿命のものとして、クリーングリースの寿命に近づくものを開発すること、また一方、半導体製造装置に要求される特性を満足させる高真空、高温対応可能なクリーングリースを開発すること等が必要と考えられる。

5.2 耐真空性

図6は、各種潤滑剤(固体潤滑剤、グリース)の耐真空性を表したものである。横軸は圧力で真空の度合いを示しており、縦軸は温度を示している。具体的にはクリーングリース(KDL), クリーンプロ標準タイプ(PR), クリーンプロ高温タイプ(PRB), PEEK保持器(PN), 二硫化タングステンセパレータ(WS), 鉛イオンプレーティング玉, 銀イオンプレーティング玉それぞれの使用できる圧力と温度を示している。クリーングリースや高分子材料系固体潤滑剤では圧力や温度で使用限界があり、超高真空かつ高温で使用できる潤滑剤としては、軟金属の鉛や銀をイオンプレーティングした玉を用いたものとなる。

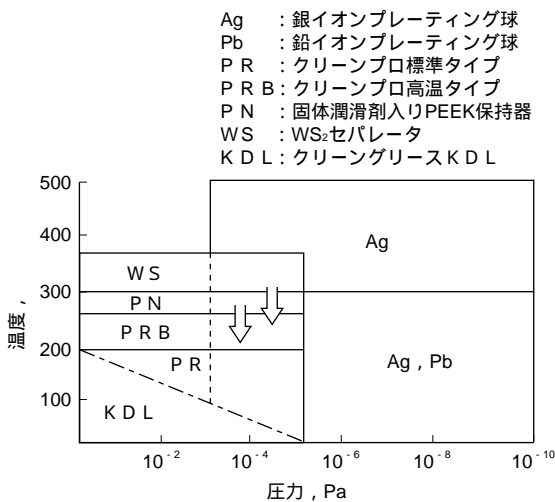


図6 各種潤滑剤の耐真空性

Applicable pressure range of various lubricants

半導体製造装置の軸受で真空の度合いと軸受の使用される温度が与えられると、そこで使用可能な潤滑剤を選定することができる。今後の課題としては、高分子系固体潤滑剤でより高真空および高温に対応できるものを開発することである。(現状では、高分子系固体潤滑剤の方が、二硫化タングステンセパレータや鉛および銀のイオンプレーティング玉よりもクリーン性がはるかに優れている為。)

5.3 クリーン性

図7は、各種潤滑剤(固体潤滑剤、グリース)のクリーン性を表したものである。横軸にクリーン度を示し、縦軸に温度を示している。具体的には、クリーングリース(KHD, KDL), クリーンプロ標準タイプ(PR), クリーンプロ高温タイプ(PRB), ふっ素樹脂保持器(FA), PEEK保持器(PN), 二硫化タングステンセパレータ(WS)等の潤滑剤の使用できるクリーン度と温度を示している。これにより、半導体製造装置用軸受に要求されるクリーン度ならびに使用される温度がわかると、それに対応した潤滑剤を選定することができる。現状では、クリーン度が最も優れ高温に対応できる潤滑剤としては、クリーンプロ高温タイプの固体潤滑剤である。

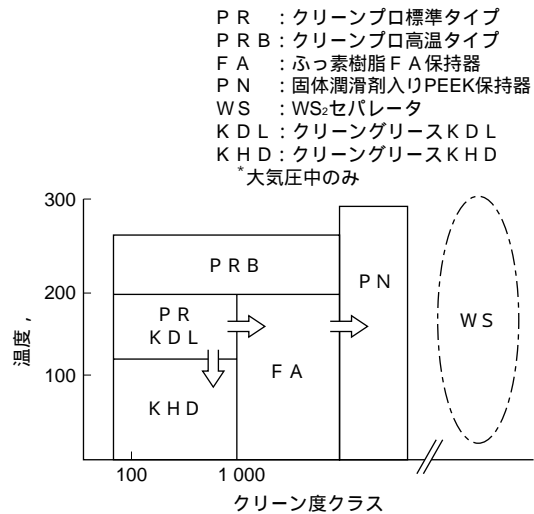


図7 各種潤滑剤のクリーン性

Cleanliness characteristics of various lubricants

今後の課題としては、よりクリーン度が優れて、かつ高温対応可能な固体潤滑剤を開発することである。

半導体製造装置用軸受では、寿命特性、真空度、クリーン度、温度等の特性がそれぞれ要求される。図5、図6、図7を参考にして最も要求される特性に近い潤滑剤を選定することが必要となる。

6. ハードコーティングの特性

半導体製造装置用軸受に代表される特殊環境用軸受には、真空、クリーン、耐食、耐熱等の特性が要求されている。各種のハードコーティングの中には、低しゅう動性(低摩擦係数), 耐摩耗性, 相手攻撃性小, 耐食性, 耐熱性等の優れた特性を示すものがある。したがって、これらのハードコーティングを半導体製造装置用軸受に適用すると

優れた特性を示す軸受となる可能性があり、低しゅう動性(低摩擦係数)、耐摩耗性、相手攻撃性小等の特性は、軸受の寿命特性の向上とクリーン性の向上につながる事が期待できる。

表2は、各種ハードコーティングの特性を表したものである。ハードコーティングとしては、DLC(ダイヤモンドライクカーボン)、TiN、CrN、TiCN等を取りあげ、それぞれの皮膜の持つ特性を比較している。これらのハードコーティングのなかでは、DLCが比較的優れた特性を示しており、今後特にクリーン性への要求が強くなってくると考えられる半導体製造装置用軸受への適用が期待される。

表2 各種ハードコーティングの特性

Characteristics comparison of various hard coatings

皮膜	DLC	TiN	CrN	TiCN
しゅう動性				×
耐摩耗性				
相手攻撃性		×	×	×
耐食性				
耐熱性				
特長	・低摩擦 ・相手攻撃性小	・耐摩耗性 ・装飾性	・耐食性	・耐摩耗性 ・切削性

図8、図9はそれぞれ各種ハードコーティングの摩擦係数と摩耗量を比較したものである。いずれも無潤滑条件で試験を行っており、摩擦係数、摩耗量をあわせて検討すると、DLCが優れた皮膜特性を示すことがわかる。

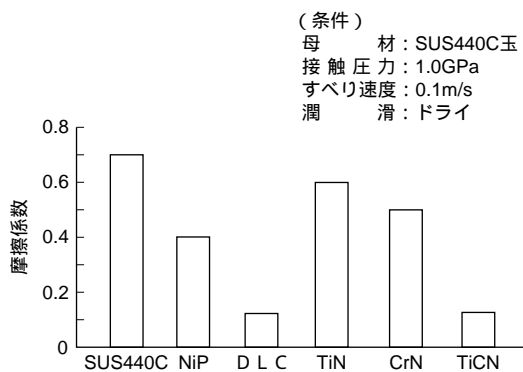


図8 各種ハードコーティングの摩擦係数
Friction coefficients of various hard coatings

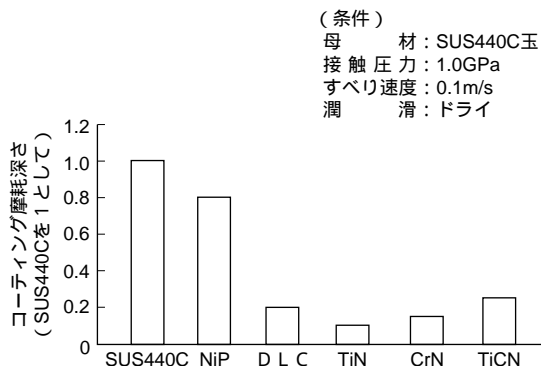


図9 各種ハードコーティングの摩耗量
Wear amounts of various hard coatings

以上のことから、半導体製造装置用軸受に代表される特殊環境用軸受にこれらのハードコーティング(特にDLC)を適用する技術を確立することが今後の課題となってくる。

7. 軸受ユニット化

半導体製造装置では半導体製造の効率向上を目的に、メンテナンス性の向上が要求されている。したがって半導体製造装置では軸受周辺の部材を取込んだ軸受のユニット化が進められている。

図10は、半導体製造装置用ロボットの関節部軸受のユニット化を示したものである。ロボット関節部で軸受周辺部材(ここではロボットのアーム部)を取り込んで軸受ユニット化することにより、あらかじめ軸受の与圧調整を行うことができるだけでなく、軸受交換等の際にもユニット化されているため取扱いが簡単となりメンテナンス性が向上することが期待できる。半導体製造装置ではこのような軸受ユニット化は、ガイドローラ部や主軸サポート部でも進められている。今後も、軸受部のユニット化は拡大していくものと考えている。

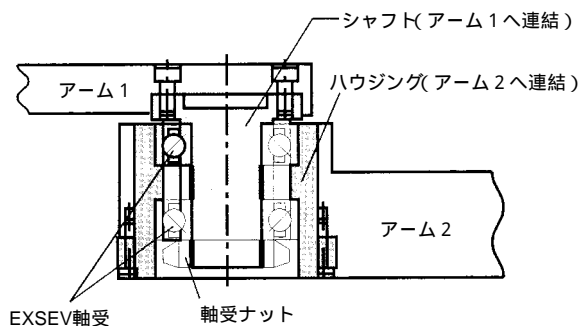


図10 軸受ユニット
Bearing unit (Arm joints of robots)

8. おわりに

特殊環境用軸受(Koyo EXSEV軸受)に関するシリーズの最後として、半導体製造装置用軸受を例にとり特殊環境用軸受の現状と今後の動向について述べてきた。特に、軸受材料では耐食性、耐熱性、非磁性等に注目し、潤滑剤(主に固体潤滑剤)では寿命、対真空性、クリーン性等に注目して現状と今後の動向を紹介した。また、今後の特殊環境用軸受の性能向上に大きく寄与する可能性のあるハードコーティング技術と、半導体製造装置のメンテナンス性向上を目的とした軸受ユニット化についても言及した。

特殊環境用軸受は、半導体製造装置を代表とする先端技術分野の軸受として使用されるため、今後も先端技術の進歩とともに軸受に対する特殊環境での性能向上が要求されることは明らかであり、特殊環境用軸受の技術開発が継続して要求されることとなる。したがって、今後も材料技術、潤滑技術、表面処理技術等の分野で研究開発を進めていくことが重要となる。

(「EXSEV」,「クリーンプロ」は光洋精工(株)の登録商標です。)

筆 者



竹林博明*
H. TAKEBAYASHI

* 軸受事業本部 欧州テクニカルセンター
工学博士