

ラッピング・ポリシング装置

宮下 忠一（不二越機械工業株式会社）

1. はじめに

遊離砥粒を用いた研磨方法にラッピングとポリシングがある。いずれも一定の圧力下で、砥粒を懸濁した加工液（スラリー）を介して工作物と定盤（工具）を相対運動させる加工法である。ラッピングは粗い砥粒を用いて行う機械研磨であり、高い寸法精度と形状精度が得られる。ポリシングは工具に軟質の研磨布を用いて、1 μm 未満の微細砥粒と化学作用を持つ加工液を用いて行う化学機械研磨（CMP:Chemical Mechanical Polishing）であり、加工変質層のない平滑な鏡面が得られる。

ラッピング装置もポリシング装置も基本的な装置構造は同じである。用途に応じて定盤には砥石や金属銅、御影石、セラミック、発泡樹脂材などの様々な部材を選択できる。

ラッピング装置は加工の進行に伴い定盤面の摩耗が進行するため、定盤面の精度を維持する修正機構が必要である。ポリシング装置は化学作用を持つ加工液を使用するため耐薬品性の部品が使われる。また研磨熱による定盤変形を抑制するため、冷却機能付きの定盤や低熱膨張合金定盤が使われる。

本解説では区別が必要な場合にはラッピング装置、ポリシング装置と表記し、そうでない場合は研磨装置と記載する。研磨装置の区分を表1に示す。

表1 研磨装置の区分

装置仕様	定盤(工具)	修正治具/方法	定盤摩耗形状変化
ラッピング	鋳物定盤(FCD)	修正リング(FC)	大 ↑
	砥石定盤(ビトリファイト)	ドレスリング(メタルボンド)	
	金属定盤(銅、錫)	修正リング(セラミック)	
ポリシング	樹脂金属(樹脂銅、樹脂錫)	修正リング(セラミック) /フェーシング	小 ↓
	ピッチ(アスファルト系、ウッド系)	新品へ交換	

2. 研磨装置の分類

研磨装置はラッピング、ポリシングなど研磨方法による区分の他に、工作物の片面を加工する片面研磨装置と、両面を同時に加工する両面研磨装置に分類される。また生産方式では工作物を一枚ずつ加工する枚葉方式と、複数の工作物を同時に加工するバッチ方式に分類される。

3. 片面ラッピング・ポリシング装置

3.1 片面研磨装置の特徴

片面研磨装置は工作物を定盤面に押し当て定盤面の形状を転写する加工機である。図1に装置構造図を示す。装置は定盤と定盤を支持する回転軸受と駆動源からなるシンプルな構造である。回転軸受は通常の精度品には転がり軸受が、オプティカルフラットなどの超精密品には静圧軸受が用いられる。片面研磨装置は枚葉式片面研磨装置とバッチ式片面研磨装置に分類される。

(1) 定盤修正

ラッピング装置での定盤形状の管理は直径形状と半径形状で行う。片面ラッピング装置では工作物精度への影響が大きい半径形状を基準に管理している。定盤面の摩耗特性は工作物のサイズや配置によって変わるため、それに合わせた形状の修正リングを使用する。一般的に工作物を加工すると定盤の半径は凹形に摩耗するため、定盤半径の幅より大きい内径寸法の修正リングを使用する。工作物の加工と同時に修正リングを使用し形状を維持する運用や、定期的に形状の修正作業を行う運用がある。

(2) フェーシング・溝入れ加工

金属定盤、樹脂金属定盤、ピッチ研磨用の装置には定盤面のフェーシングや溝入れ機構が搭載される。フェーシング機構に取り付けたバイトにより定盤面を切削加工することができる。機上で定盤形状を高精度に整えることができる反面、機上での作業はダウンタイムになるため生産性が低下する。量産工場では研磨装置とは別に専用のフェーシング加工機を準備し、定期的に予備定盤と交換することで生産性を落とさず運用している。

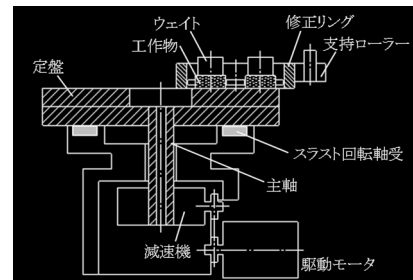


図1 片面研磨装置の構造図

* 不二越機械工業株式会社：〒381-1233 長野県長野市松代町清野1650

3.2 枚葉式片面研磨装置(オスカー型, 軸支持式)

枚葉式研磨装置は工作物の中心軸を支持する構造が特徴であり、オスカー型や軸支持式、軸駆動式といった装置がある。図2に模式図を示す。

オスカー型装置はドイツのオスカー社の装置が原型となっており、回転する定盤に工作物を押圧し、カンザシと呼ばれる軸で工作物の中心を支持し連れ回りさせながら、軸を円弧に揺動させ加工する研磨装置である。装置の特徴は工作物の中央を支持押圧することで工作物は定盤面へ微い、平面形状も曲面形状も創成が可能である。凹や凸形状の定盤を用いて曲面レンズの加工に使われている。

オスカー型から派生した装置に軸支持式、軸駆動式がある。装置の特徴は工作物の中心軸上に自在軸受を備え、軸を介して加工荷重の制御ができる点と、中心軸を回転駆動することで容易に工作物の回転制御ができる点である。近年、難加工基板のバッチ方式の加工装置に使用されている。

枚葉式片面ポリッシング装置は主に半導体デバイスウェーハのCMP工程で使用されている。これらの装置には流体加圧式の研磨ヘッドが採用されており、ウェーハ(薄物工作物)の全面または一部を選択加圧できる機能など、デバイスウェーハ専用の研磨装置として進化している。図3にCMP装置の研磨ヘッドの模式図を示す。

3.3 バッチ式片面研磨装置(修正リング式, ローラー支持式)

修正リング式は厚物工作物の加工に適しており、複数の工作物を修正リングやセラミックリングの内側のキャリアに配置し、工作物の自重またはウェイトを加えて加工するデッドウェイト式の装置である(図4)。リングの外周は回転ローラーで支持される。ラッピング装置では工作物の加工と修正リングによる定盤の形状維持を同時に行える優れた方式である。

薄物工作物は接着プレートにワックス固定し、そのプレートを定盤面に押圧して加工する。プレート単位で加工を行うバッチ式研磨であり、プレートの加圧は重りによるデッドウェイト式が適しているが、圧力調整が可能なエア加圧式の装置もある。プレートの外周を回転ローラーで支持する方式である。

いずれも平面加工用の装置であり、定盤と支持ローラーというシンプルな構成である。工作物の品質精度を得るためには支持ローラー部の剛性が重要になる。支持ローラーを回転駆動させ、リングやプレート外周との接触摩擦で工作物に回転を伝えている。このため高負荷の加工条件では工作物の回転制御が難しいといった課題がある。

接着プレートを用いたバッチ加工ではプレート中央側の加工量が低い傾向があり、工作物にテーパが発生することがある。対策としてプレート裏面とヘッド間に任意寸法の荷重調整用のスペーサ入れる手法や、プレート中央部をエア圧で加圧する中押し機構などが採用されている。半導体基板の加工に使用される量産向けの研磨装置は、1定盤に対して4プレートを同時加工できる。図5に装置外観と模式図を示す。半導

体基板の仕上げ工程では研磨装置を複数台連結し、装置間にプレートの自動搬送機能を設け、一次研磨、二次研磨、仕上げ研磨と多段階研磨を行っている。またプレートへ基板を接着する装置と、研磨後に基板を剥離する装置も連結した自動量産研磨システムが構築されている。

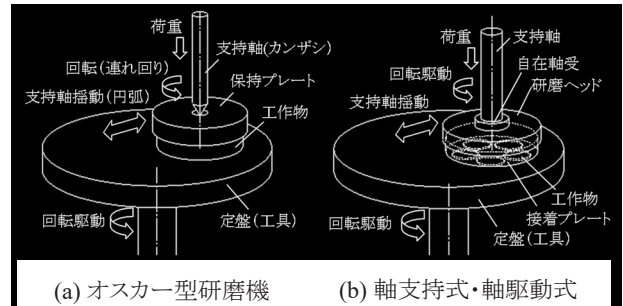


図2 装置模式図

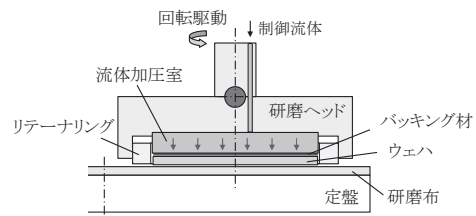


図3 CMP装置の研磨ヘッド

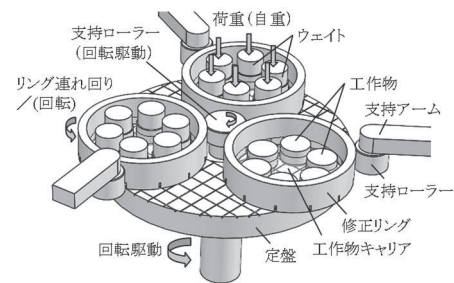


図4 修正リング式装置模式図

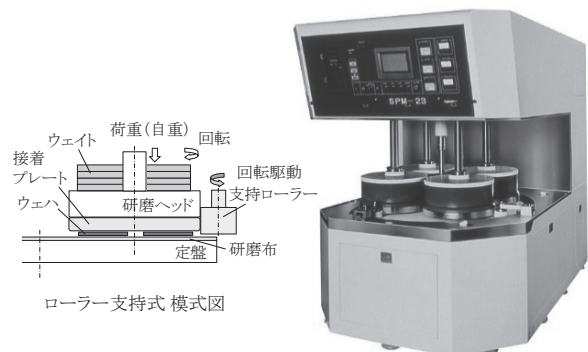


図5 バッチ式片面研磨装置¹⁾(ローラー支持式)

4. 両面ラッピング・ポリシング装置

4.1 両面研磨装置の特徴

両面研磨装置は 4Way 方式と呼ばれる遊星運動を利用した両面加工機である。図 6 に装置外観を、図 7 に模式図を示す。工作物を保持するキャリア、太陽ギヤ、インターナルギヤ、上定盤、下定盤で構成される。遊星ギヤに相当するキャリアは太陽ギヤとインターナルギヤにかみ合い、太陽ギヤを中心に自転しながら公転運動する。キャリアと上下定盤との相対運動により工作物の両面を同時に加工する装置である。複数の工作物を同時に加工できるため生産性に優れ、また荷重や回転速度などの加工条件が一定であり、得られる工作物の形状精度は非常に高く安定している。薄物工作物の加工に適しており、高い平行平面が得られる点が特徴である。

装置には上下定盤は回転せず太陽ギヤとインターナルギヤが回転する 2Way 方式。上下定盤と太陽ギヤ、インターナルギヤのすべてが回転する 4Way 方式。上定盤が回転しない 3Way 方式がある。



図 6 両面研磨装置¹⁾

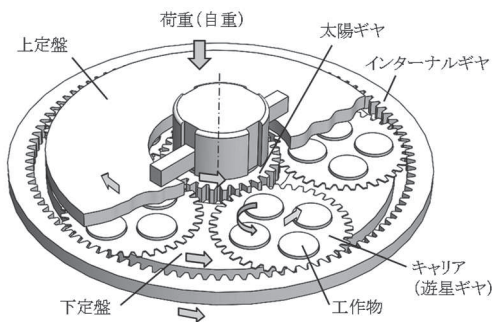


図 7 両面研磨機の模式図

表 2 キャリア寸法表

サイズ	歯形	歯数	外径mm	サイズ	歯形	歯数	外径mm
5B	DP12	32	110.1	16B	DP12	200	427.6
6B	DP12	66	143.9	18B	M3	150	456
9B	DP12	108	232.8	20B	M3	170	516
12B	DP12	134	287.9	22B	M3	184	558
13B	DP12	147	315.4	24B	M4	152	614
15B	M3	128	390	28B	M4	178	718

歯形のDPはダイアメトルピッチを、Mはモジュールを示す。 $M = 25.4 / DP$

(1) キャリア寸法

両面研磨装置は使用するキャリアの外径をインチで表し 9B, 16B などと呼ばれる。規格化はされていないが各装置メーカーともキャリア寸法は概ね共通である。表 2 に一般的なキャリアの寸法を示す。キャリア材には工具鋼(SK)、ステンレス鋼、ガラスエポキシ樹脂(EG)、塩化ビニル(PVC)などが使われる。一般的なインボリュート歯形の他に、サイクロイド歯形のキャリアを使い太陽ギヤとインターナルギヤをピン式にした装置もある。

(2) 定盤修正

両面ラッピング装置は加工の進行と共に上下定盤が摩耗し、定期的な定盤修正が必要になる。定盤面の管理は片面装置と同様に下定盤面の直径形状と半径形状で行う。4Way 方式の装置ではキャリアの自転と公転速度によって上下定盤の摩耗傾向が決まる。図 8 にキャリアの自転と公転の定義を、図 9 に定盤修正とキャリアの回転方向を示す。定盤修正には専用の修正キャリアを使用し、太陽ギヤとインターナルギヤの速度を変え修正キャリアの自転・公転速度を制御する。修正キャリアには定盤材質(FCD)よりも硬度の高い材質(FC)が使われる。定盤修正の指標にはキャリア自転速度を公転速度で除した自公転比(C/D)と、キャリア自転速度から公転速度を引いた相対自転速度($E=C-D$)がある。修正キャリアによる修正に加えて、上下定盤の面形状を合致させるために上下定盤を直接擦り合わせる共擦りや、加工用の薄板キャリアを使ったキャリア擦りも行われる。

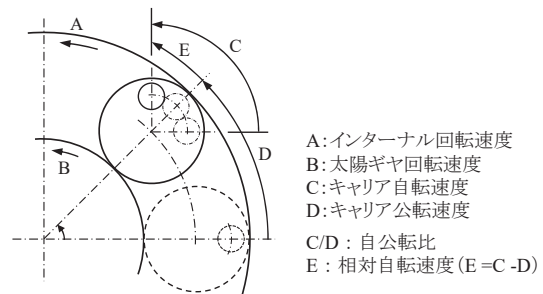


図 8 キャリアの自転・公転の定義

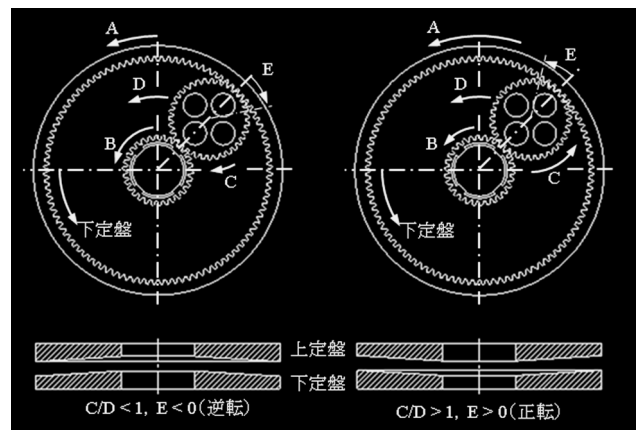


図 9 定盤修正とキャリアの回転方向

4.2 4Way 方式

4Way 方式の装置構造を図 10 に示す。上定盤はエアシリンダで上下動し、主軸中央の駆動ドラムにフックして回転する。上定盤、下定盤、太陽ギヤ、インターナルギヤの 4 つの回転を 1 つの駆動源から固定比率で回転する 1 モータ駆動式。上下定盤を 1 つの駆動源で、太陽ギヤ、インターナルギヤをそれぞれ個別の駆動源で回転させる 3 モータ駆動式。全て個別の駆動源で回転させる 4 モータ駆動式がある。下定盤を支持する回転軸受には転がり軸受、動圧軸受、静圧軸受が用いられる。

(1) 1 モータ駆動式

1 モータ駆動式は駆動軸から固定ギヤ比で各軸を回転し、キャリア公転速度を 1 として自転速度は概ね 1.25 または 0.75、下定盤速度は 3、上定盤速度は反対方向へ-1 の比率である。この速度比はキャリアに対する上面側の相対速度と下面側の相対速度が等しくキャリアに加わる荷がないため、薄板キャリアによる薄物工作物の加工に適している。

1 モータ駆動式は定盤の形状修正ができないことからポリシング装置として使用されることが多い。ラッピング装置ではクラッチを用いてキャリアの正転・逆転を切り替える自己修正機能付きの装置²⁾もあるが、任意に自公転を設定できる 3 モータや 4 モータ駆動式が選ばれている。

(2) 3 モータ駆動式

3 モータ駆動式は、太陽ギヤとインターナルギヤの回転速度を調整でき、工作物の上下面の取り代調整も可能である。ラッピング装置では定盤修正に使用できる。上下定盤の速度が固定のため調整範囲は限定される。

(3) 4 モータ駆動式

4 モータ駆動方式は、全て個別に速度調整が可能であり、幅広い加工条件の設定が可能である。設定次第では後述の 2Way や 3Way 方式と同様の運用も可能であり、工作物の上下面の取り代に差をつける加工も可能である。

ポリシング装置には上定盤の駆動源をフレームの上部に設け、上定盤の中心軸を直接回転駆動する装置もある。装置の洗浄性や研磨布交換の作業性が向上する。

4.3 2Way 方式

2Way 方式は上下定盤が回転せず(同一方向に同一速度で回転する装置もある)、太陽ギヤとインターナルギヤの回転運動で加工を行う方式である。図 11 に 4Way 方式と 2Way 方式の比較を示す。4Way は工作物の上面と下面に逆向きの力が作用するため工作物にモーメントが作用するが、2Way は上面下面とも同じ方向の力が加わるため高い平行度が得られる。しかしキャリアに加わる荷が大きいため、厚いキャリアを使いブロックゲージなど厚物工作物の加工に使用される。

4.4 3Way 方式

4Way, 2Way 方式では上定盤は回転と下定盤面への追従を両立させるため、回転軸受けと自在軸受を組合せた構造が

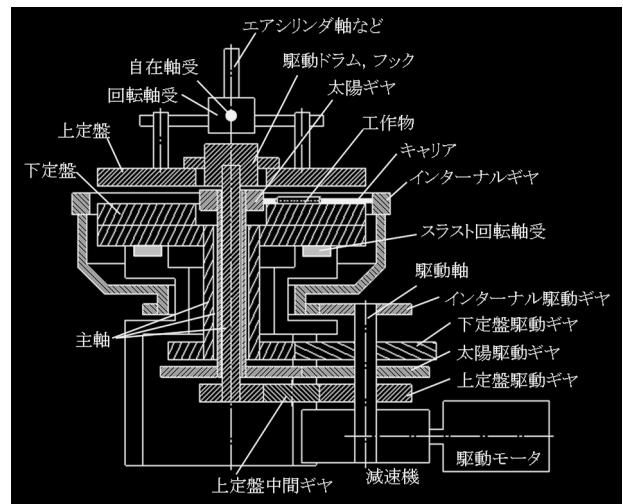


図 10 装置構造(1 モータ駆動)

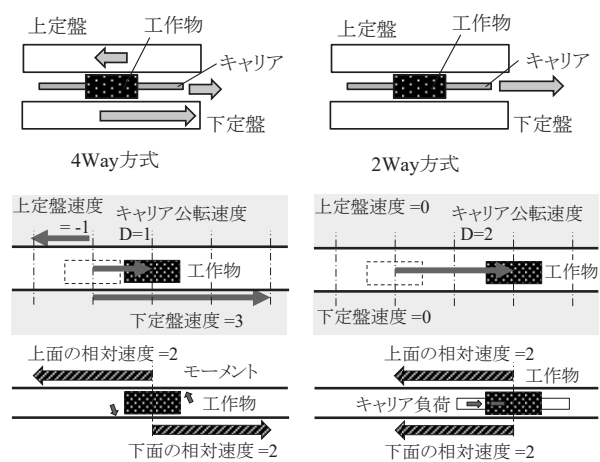


図 11 4Way 方式と 2Way 方式の比較

必要であった。3Way 方式では上定盤の回転機能を無くすことで、ワイヤー吊方式³⁾など下定盤面への追従性と研磨荷重の均等分散性の向上に特化した機構が採用されている。

4.5 自動化

両面研磨装置は遊星運動するキャリアの位置検出が難しく、装置の自動化が遅れていた。近年サーボモータの位置決め演算機能が飛躍的に向上したことで、装置の自動化が進んでいる。自動化を実現するためには、キャリアの仕込み枚数と、キャリア、太陽ギヤ、インターナルギヤの歯数を演算に適した整数倍にするなど、従来のキャリア規格の見直しが必要になる。これまで遊星運動が同じ軌跡を描かないために歯数を工夫していた。整数倍の歯数では軌跡が同期する懸念もあり、今後の装置開発の課題である。

5. 参考文献

- 1) 不二越機械工業(株): ホームページ他, <http://www.fmc-fujikoshi.co.jp>
- 2) 市川浩一郎: 超精密生産技術体系 第 2 巻 実用技術 第 3 編 超精密機械各論 第 5 章 超精密ラッピング・ポリシングマシン, フジ・テクノシステム, (1994) 228
- 3) 杉下寛: シリコン結晶技術 - 成長・加工・欠陥制御・評価 3.4.1 シリコンウェハーのラッピング, 日本学術振興会 145 委員会, (2015) 178