

砥粒加工における技術革新

Technological Innovation in Abrasive Processing

谷 泰 弘*

Yasuhiro TANI

超精密加工の代名詞のように言われてきたシリコン基板や磁気ディスク基板の加工工程が、複数の加工工程にわたって最近大きく変わろうとしている。その変革はこれらの基板の寸法変化に伴うスループットの低下を防止することが主目的となっているが、加工の不安定性などの技術的な問題がその変革の理由となっているケースもある。本解説ではこれらの変革の中で、砥粒加工に関連するものを取り上げ、どういう理由でどう変わろうとしているのか、またその時の技術的な問題や開発の主眼点が何であるのかについて解説する。

1. はじめに

このところ砥粒加工の分野で大きな技術革新が起ころうとしている。これは、半導体基板が大口径化して、従来の加工技術ではその適用に種々の問題があると認識されているからであり、また一方磁気ディスク基板は小径・薄肉化し、やはり工程を変革する必要があると考えられているからである。これら超精密加工を牽引してきたキーパーツである製品の工程の変化が、砥粒加工の分野に大きな変革を促している。これらの工程変革の大部分はスループットを考えた選択となっているが、中には技術的な理由からその選択が行われているものもある。本報ではその工程変革の具体的内容とその原因、今後の方向等について解説する。

2. ベアウェーハの加工工程

図1¹⁾は、信越半導体の阿部孝夫氏がまとめられたシリコン基板の大口径化に伴う工程変革を示したものである。シリコンウェーハはICのコストアップを抑えるためにロードマップにしたがいほぼ順調にその口径を拡大しており、今後現在の8インチから300mm、400mmと進行するものと予想されている。そのため、その加工工程が大きく変わろうとしている。

まずインゴットの切断工程は、高スループットの確保のために、これまでの内周刃砥石による研削切断からワイヤソーによる遊離砥粒を用いた切断に変わりつつある。

この変革はすでに始まっており、8インチウェーハでもこの変革が進んでいる。この傾向が続けば、300mmウェーハでは全てワイヤソー切断に変わるのではないかと予想されている。最近の環境問題や自動化の観点から遊離砥粒加工を固定砥粒加工に変えたいと考える向きが多い中

プロセス	従来工程	新工程
1. スライス	<p>ブレード、インゴット、カーボン</p>	→ワイヤソー
2. ラップ	<p>砥粒、ラップ盤、ウェーハ、キャリア</p>	→平面研削(DMG)
3. エッチ		
4. CMP	<p>ワックス、ウェーハ、鏡面研磨、研磨布</p>	→浅いCMP →プラズマエッチ(PACE)

平坦度検査

図1 シリコンウェーハの製造工程¹⁾

*東京大学生産技術研究所 第2部

で、この工程変革は全く逆行する動きであり、技術の後退を意味している。このため、300 mm ウェーハ用の内周刃砥石や内周刃切断装置の開発も行われているものの、工程変革の動きを止めるまでには至っていない。

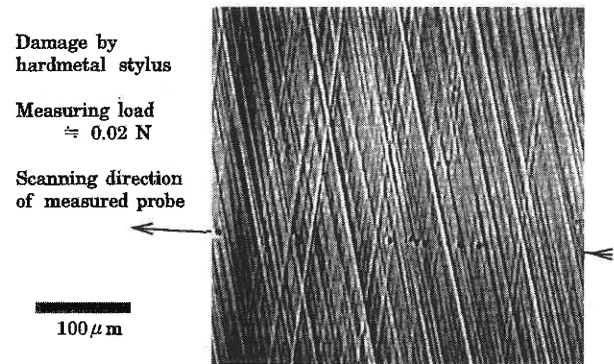
また、内周刃研削切断は固定砥粒による加工なので2~3 μmRt 程度の仕上げ面粗さになるが、ワイヤソー切断は遊離砥粒加工でしかも工具の剛性が低いために仕上げ面粗さが5~10 μmRt と悪くなっている。もちろんワイヤの張力を高めたり、切断速度を遅くすることで、この仕上げ面粗さをもう少し向上させることができるが、これはワイヤ破断の確率を高め、スループットを低下させることになる。しかし、遊離砥粒加工特有の作業環境の悪さはいかんともしがたく、今後に残している。こうした現状を改善するために、ワイヤソー切断を固定砥粒加工に変えようとダイヤモンドワイヤソーの研究が盛んに行われている。しかし、現状の電着ワイヤはねじり強度が低く寿命の点で問題が残っている。

切断工程上がりの仕上げ面粗さが悪いと、次工程のラッピング工程の加工負荷が大きくなる。このため、従来の1段のラッピング工程から2段の工程への変換が試みられている。と同時に大口径化に伴い、1バッチでの処理枚数が減少することから、スループットの観点では研削加工へ移行した方が好ましいのではないかと予想されている。そこで、現在では、①研削工程を入れた後、ラッピング工程に入る、②研削工程で完全にラッピング工程を置換する、③研削工程により1次ポリシング上がり相当の加工面にまで仕上げる、の3通りの方向で検討されている。もちろん完成度の点では、①から③の方に向かった方が好ましいには違いないが、研削工程の不安定性と加工変質がそれを拒んでいる。

図2²⁾は現在SSI(スーパーシリコン研究所)におられる阿部耕三氏が過去に調べられた延性モード研削での加工変質の状態を示したものである。透過型電子顕微鏡により評価されたもので、表層の黒ずんだ部分が加工変質を受けている部分を表している。この結果から判断すると、研削加工では加工変質層の厚い部分と薄い部分でその厚みに3倍以上の開きがあり、またその開きは仕上げ面粗さ(最大高さ粗さ)の5倍以上となっている。もし②の状況になると、研削工程後のエッチング工程でこの歪みの大きい部分が取り除かれ、研削時の仕上げ面粗さよりはるかに悪い面となってしまふ。これに対して、現状のラッピング上がりの仕上げ面粗さは約0.4 μmRt で、これをエッチングした後の仕上げ面粗さが約0.5 μmRt であることを考えれば、ラッピング面の加工変質層の厚みは大きいものの、そのばらつきはほとんど仕上げ面粗さと同等程度であると考えられる。このように、研削工程で生じる加工変質のばらつきは仕上げ面粗さの値に対し

で非常に大きく、また固定砥粒加工特有のスクラッチの発生の問題も無視できない。

研削工程でもう一つの話は、片面研削(図3)か両面研削かである。もちろんスループットの観点からは両面研削の方が好ましいことは確かである。また、片面ずつの研削では両面に残る加工変質の程度が同程度になりやすく、TTVはそれなりのものが達成できても、そりについで安定を欠く結果になる。そういった状況から両面研削が優れていると判断されているものの、工作物の把持技術と駆動方法の点で最善の方法が見い出されていない。粗研削においては研削抵抗が小さいため、種々の方



(a) シリコン研削面の送りマーク



(b) シリコン研削面表層の加工変質層

図2 延性モード研削での送りマーク²⁾

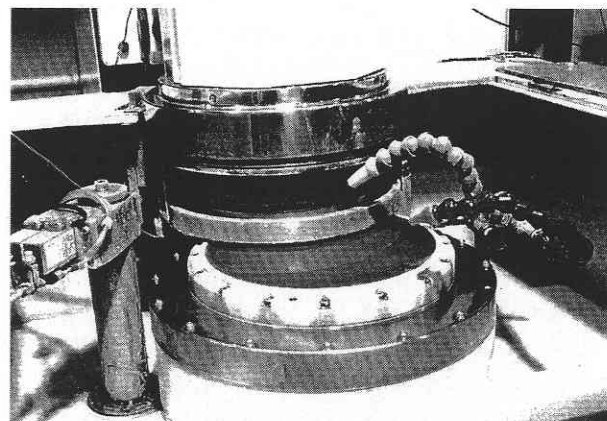


図3 片面研削

法の可能性があるが、仕上げ研削ではその要求される仕上げ面粗さから高番手のカップ型レジソンドダイヤモンドホイールが用いられることになる。この際、結合剤部分の摩擦等によりかなり大きな研削抵抗が作用するため、工作物をどう保持した駆動するかが大問題である。また、スクラッチの発生につながる目づまりの問題も大きい。

ポリシング工程はこれまで同様CMP（ケミカルメカニカルポリシング）により行われるが、片面研磨の前に両面研磨を導入することが計画されている。これはエッジポリシング同様内在するクラックや歪み等による後工程中での裏面のかけ等を防止することが目的となっている。小径のウェーハの場合においてもこれまで何度となく両面研磨やバック材（図4）を用いたワックスレス研磨が検討されてきたが、これらはいずれもウェーハを低ヤング率の素材で挟むことになり、セラミックスプレート（図5）を用いた現在のCMPに比較して基準面のない加工となり、高平坦度を維持することが難しいことが確認されている。このことは現在のデバイスウェーハのプラナリゼーションでも同様の問題に直面している。この二段階の工程が実際に導入されるのであろうか。

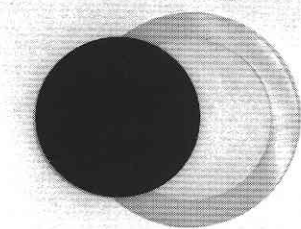


図4 ワックスレス吸着板

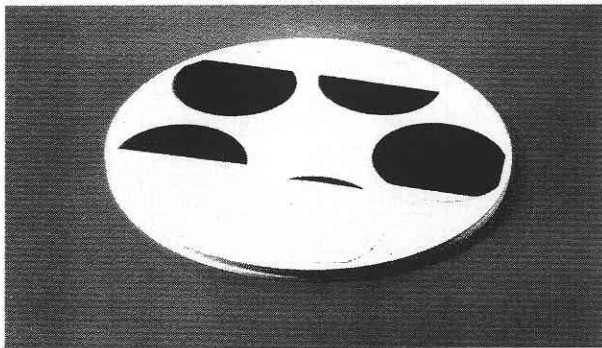


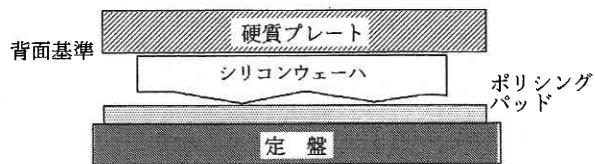
図5 セラミックスプレート

3. デバイスウェーハのプラナリゼーション

デバイスウェーハの多層化に関して断線等の防止のために平坦化加工を図6(b)のように工程中に導入することが必要となっており、その平坦化加工の一つとしてCMP加工が採用されている。ここでベアウェーハの場合と異なることは、ベアウェーハでは裏面基準の加工となっているが、デバイスウェーハでは表（おもて）面基準の加工が要求されていることである³⁾。そのため、図6(b)のようにポリシャとして硬質のものを使用し、ウェーハは軟質のバック材で吸着する方式が多用されている。しかし、これは上述のようにシリコン基板よりもヤング率の低い素材で挟むことになり、平坦度を維持することが困難な状況になっている。

このため、コンディショニングと称してメタルボンドダイヤモンドホイールによりポリシャ表面を常にドレッシングすることが行われている。これはポリシャの平坦度を維持するだけでなく、ポリシャの目立てを行い切れ味の低下を防止することも重要な目的となっている。この作業でダイヤモンドが脱粒すると加工面に傷を付けることになることから、脱落のない強固にダイヤモンドを保持した砥石が求められている。また、最近金属汚染の問題が注目され始めており、メタルボンド以外の結合剤でこれに変わる砥石の開発が求められている。しかし、本来はこういうドレッシング作業を行わなくても平坦度や切れ味が維持されるポリシャの開発が急務であろう。

加工装置としてもプラナリゼーションを考慮した新しい形態のものが開発されている。一般的に使用されているのは図7のような遊星運動形式のものであるが、これは図8⁴⁾のように摩耗するため、これに揺動運動を加えた



(a) ベアウェーハの研磨方法



(b) デバイスウェーハの研磨方法

図6 ウェーハの研磨方法

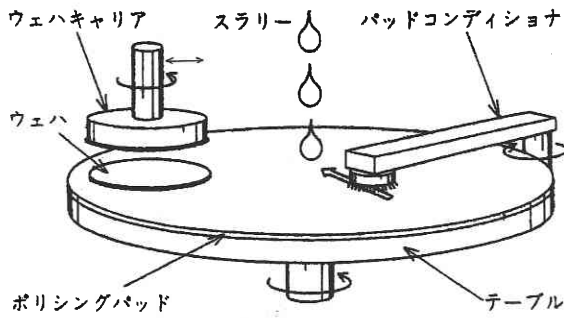


図7 プラナリゼーション用研磨装置³⁾

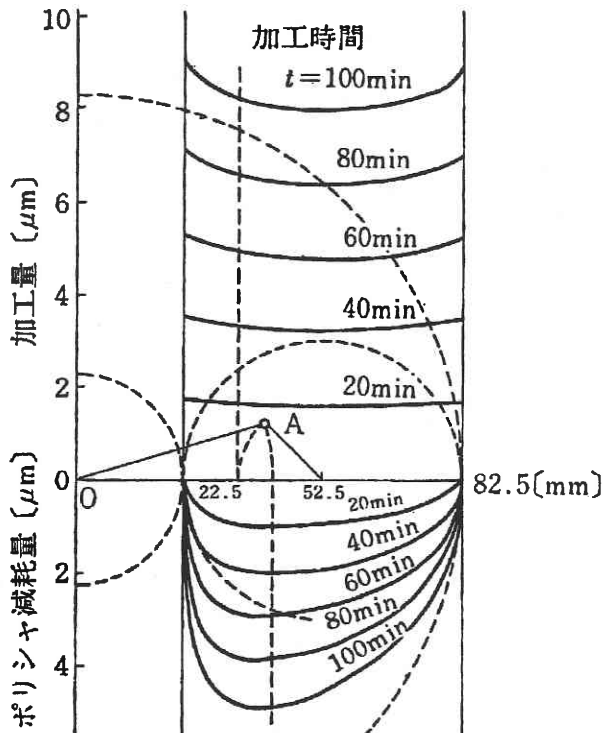


図8 遊星運動方式での摩耗形態⁴⁾

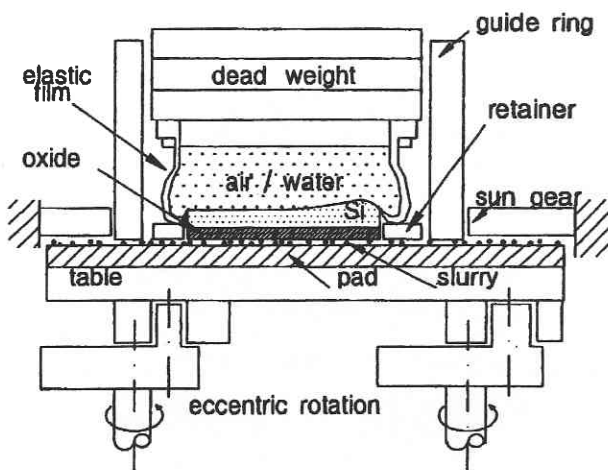


図9 小円運動を援用したCMP装置⁵⁾

ものも多く採用されている。これに対して、小円運動を用いたもの(図9)⁵⁾やポリシヤが高速に直線運動をするもの(図10)⁶⁾が提案されている。特に後者のものはこれまでにない形式のもので興味深い。この場合には、ポリシヤの幅方向の平坦度管理や加工圧力の調整、工作物前端でのポリシヤの変形等が焦点になるものと思われる。

4. 磁気ディスク基板の加工工程

図11⁷⁾は磁気ディスクアルミニウム基板の加工工程を示している。サブストレートの加工でダイヤモンド切削が姿を消したことは非常に残念なことである。小径化に伴いスループットが悪くなったことや片面ずつの加工による加工歪みの不均質に伴うそりが不安定性であったことが主原因であろうが、超精密切削がポリシングに置き換わったことは技術の後退であり、悲しいことである。同様の話が粗加工の場合にもあり、多結晶ダイヤモンド

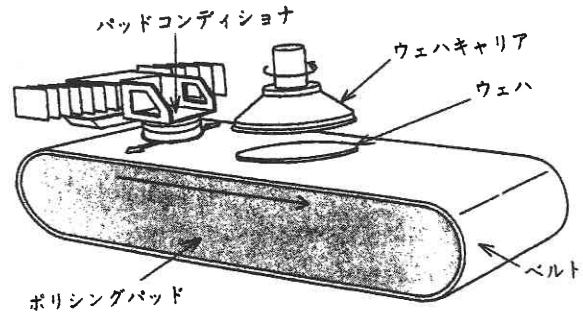


図10 リニア高速CMP装置⁶⁾

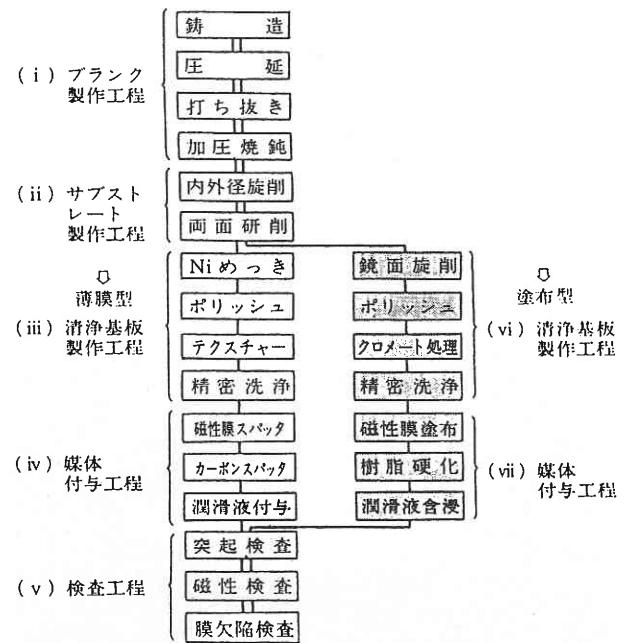


図11 磁気ディスクの製造工程⁷⁾

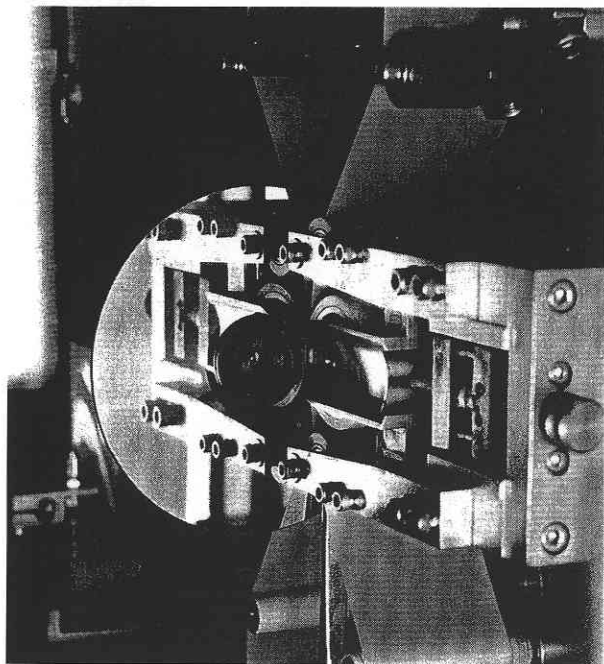


図 12 テクスチャリング

5. おわりに

最近の砥粒加工に関する工程変革をシリコン基板と磁気ディスク基板の場合に関連して述べた。遊離砥粒加工よりは固定砥粒加工の方が作業環境がよく、しかも自動化が簡単であるとの理由から、次世代には遊離砥粒加工から固定砥粒加工に変わるだろうと誰もが予想しているながら、現実にはこれに逆行する工程変革が起こっている。このいずれもが固定砥粒加工の不安定性に起因することである。遊離砥粒加工は固定砥粒加工よりもパラメータが多い加工で素人には難しい加工方法であるが、逆に熟練工のノウハウが加工工程を安定化させることを容易にしている。プラナリゼーション加工で進められているシミュレーション技術はこの熟練工の対応をコンピュータ化して、高精度の加工を維持することが目的であるが、我々技術者としてはより高度の固定砥粒加工を使いこなす方法を模索したい。このためにも新しい固定砥粒工具の開発が重要である。

(1997年7月4日受理)

参考文献

バイトによるダイヤモンド切削が、PVA 砥石を用いた両面の平面ホーニング⁸⁾に完全にとってかわられている。

技術の後退はテクスチャリングの工程でも起こっている。テクスチャリングは磁気ヘッドの安定浮上を実現するために行われている表面の荒らし工程である。最近レーザー加工のような方法も提案されているが、現在の主流は砥粒加工により円周方向に傷をつける方法(図12)である。1990年頃には研磨テープを用いた二段の加工が行われていたが、これが研磨テープ/遊離砥粒加工に変わり、最近では二段とも遊離砥粒による加工になっている。これは研磨テープを用いた固定砥粒加工ではスクラッチとばりの発生が避けられないと判断されたためである。固定砥粒加工の不安定性がここでも大きな障壁となったのである。

- 1) 阿部孝夫・中里泰章：大直径シリコンウェーハの超平坦化技術，電子情報通信学会誌，77，11 (1994) 1109.
- 2) K. Abe et al.: Development of an Ultraprecision Grinding Equipment for Ductile Mode Surface Finishing of Brittle Materials, Proc. of 7th Int. Precision Engg. Seminar, (1993) 153.
- 3) 宮下直人・安部正泰：デバイス製造の立場からみた機械的プラナリゼーション加工の現状と今後の課題，精密工学会誌，62，4 (1996) 491.
- 4) 砥粒加工研究会熊谷記念会編：超精密加工技術，(1984) 工業調査会，462.
- 5) H. Joeng, et al.: Integrated Planarization Technique with Consistency in Abrasive Machining for Advanced Semiconductor Chip Fabrication, Annals of the CIRP, 45, 1 (1996) 311.
- 6) 山下義典：CMP装置「AURORA」，電子材料，(1997-3) 99.
- 7) 中尾政之：高密度磁気記録を可能にする加工技術，応用物理，63，3 (1994) 268.
- 8) 藤本日出男：アルミグラインドサブストレート加工技術，砥粒加工学会誌，40，1 (1996) 21.