大口径ベアウェーハの平坦化研磨技術*

Planarization Polishing Technique for Large Diameter of Bare Silicon Wafer

新井初雪*

Hatsuyuki ARAI

Key words

bare silicon wafer, planarization, CMP, near edge, roll off, double sided polisher, polishing pad, compressibility, hardness, carrier, dresser

1. はじめに

300 mm ウェーハデバイス製造ラインへの投資は増加の一途をたどり、自らウェーハの消費量も継続的に増加が続いている。一方でデザインルールが微細化するにつれてウェーハに求められる精度もさらに厳しくなっている。最近ではナノトポグラフィーから、液浸露光装置導入を迎え、エッジ、ニャーエッジという領域の平坦性に問題が移行し、その課題を乗り越える技術が求められてきている。ベアウェーハ用ベストセラー両面研磨装置 DSM20B-5P-4D を世に送り出したサプライヤーとして、大口径ベアウェーハの平坦化研磨技術についての取り組みを紹介する。

2. 両面研磨方式の優位性

ラップ加工やポリッシング加工で最も広汎に利用されている 4 way 方式についてポリッシング加工をベースに説明する。装置外観を図 1 に、装置の構成を図 2 に示す。

研磨パッドが貼られた上下定盤、被加工物であるウェーハを収納する複数のキャリア、そのキャリアとギアもしくはピンで噛み合い回転運動を与える定盤中心部に位置する太陽ギア、定盤外周部にあってキャリアと噛み合い回転運動を与えるインターナルギアから加工部は構成される。

薄い加工物の上下面を精度よく研磨できることを主眼に開発され加工物の運動量が上下等量になるように構成されている。

ここで下定盤の回転数を 1 とし、回転方向を反時計方向とすると、上定盤の回転数は 0.3333 で時計方向になるよう構成される。キャリア数は上定盤からの荷重バランスや

図 1 装置外観 DSM20B-5P-4D

定盤と摺接する軌跡のランダムイズをできるだけ多くしてパッドの均等摩耗を促すためにも多くは 5 枚以上のキャリアが搭載される構成が多い。キャリアの運動には公転と自転がある。各々太陽ギアとインターナルギアの回転速度によって決まる。

公転速度とはキャリアの中心が上下定盤間を移動する速度である。基本的にはキャリア中心が下定盤と同一方向に 0.3333 程度の速度で移動する。

するとキャリア内に収納された被加工物の下面と下定盤面との相対速度は $1 - 0.3333 \div 0.6666$ となり、一方、上定盤とキャリア内の被加工物の上面との相対速度は方向が逆であることから加算されて

$$0.3333 + 0.3333 \div 0.6666$$

となるよう構成している。ウェーハの上下面から見ると少なくとも等量研磨するための運動量が担保されたことになる。

キャリアの自転については前述したように自転も重要な意味をもち、この運動により厚みばらつきの改善やパッド面偏摩耗低減さらには研磨レートの向上等が計られる。キャリアの公転速度を維持した状態で太陽ギアの数 $>$ インターナルギアの数であると時計方向に自転し、一方キャリアの公転速度を維持した状態で太陽ギアの数 $<$ インターナルギアの数とすると自転方向は反時計方向に回転す

*原稿受付 平成 19 年 5 月 14 日

**スピードファム株式会社（神奈川県綾瀬市早川 2647）

新井初雪

1972 年芝浦工業大学電子工学科卒業。同年、スピードファム株式会社入社。以来、片面研磨装置、両面研磨装置、評価装置、CMP 研磨装置の研究開発に従事。

図2 両面研磨装置の機構と回転比

る。ラップ定盤ではこの特性を利用してラップ定盤の平坦度を維持するために一定時間時計方向その後反時計方向のように切り替えることで、定盤平坦度を管理する方法もある。一般的に4 way タイプの研磨装置の各回転比は固定のものが多い。しかし上記のような回転比の近傍で被加工物に最適な回転比を得るために、もしくはある特殊な加工を行うような場合に対応すべく四つの回転を独立に設定できるようにしたもののがウェーハの両面研磨装置として認知されるようになってきている。

3. 高平坦度ウェーハの製造

(その他の平坦性を向上させるためのポイント)

原則的なウェーハ加工プロセス用の装置をこれで入手したことになるが、これでは高平坦度ウェーハは作れない。ベアウェーハ用研磨プロセスはほぼ 100% CMP (Chemical Mechanical Polishing) であるといってよいだろう。この作用には適度の温度上昇が求められる。その際、定盤を構成する金属の変形が大きいと常温でよい平坦度が定盤に得られていたとしても、もはやその平坦性がウェーハに転写できないことになる。したがって、熱変形が少なく、温度変化や温度勾配を無視できるような材質の選定が重要になる。さらに言えば、温度を一定に保ち、ケミカルダメージを低減できるようにする目的で定盤を冷却する機構を具備し、温度管理をするなど大きなエラーの摘発や小さなエラーの除去の努力の集約が高平坦性ウェーハ製造プロセスを安定的にし差別化できた原動力である。

図 3²⁾にウェーハー平坦度測定データを示す。

4. ウェーハーエッジとニヤーエッジの問題

最近ではウェーハ外周とエッジ近傍の平坦性が問題視されてきている。図 4¹⁾に 300 mm ウェーハの最も一般的な平坦度評価法である SFQR 値を記したサイトマップの一部を示す。ウェーハが適用されるデザインルールに合致した SFQR 値が要求されるわけであるが、今一般的な 90 nm のデザインルールに適用しようとするとき一目瞭然周辺部のパーシャルサイト（網掛け部分）の値は 90 を超えており、周辺部に特有の現象であることは理解できよ

図3 ウェーハー平坦度データ

図4 SFQR データ

う。また、このマップにおけるエッジ・エクスクルージョン（エッジ除外域）は2 mm に設定して計測しているが、今後1.5 mm に移行するようになればさらに困難な状況に陥るであろう。しかも、エッジロールオフはエッジエクスクルージョンの外から発生するのであれば問題ないのであるがどこから発生するかはまったく不明ゆえに平坦性に関わる問題も内包している。また、結果的にはリソグラフ工程の問題となるのであるが、ROA がCMP 加工へも影響を与える可能性のあることを窺わせる結果について解説され、ROA の大きさによってはCMP 加工後エッジ周辺の平坦性に影響があると解析している。ROA の評価法についてもSFQRではなくて外周を等角度で扇状に分割

表1 パッドの種類と特性

タイプ	発砲ウレタンパッド	不織布パッド	スエードパッド
写真
代表的な商品名	MH	Suba	Supreme
硬度	(JIS-A) 84	(Asker C) 80	
弾性圧縮率	3.0 (%)	4.0 (%)	13.0 (%)
ウェーハー研磨工程	両面	両面	最終研磨用
平坦性	良好	普通	良くない
エッジロールオフ	小	中間	大
表面粗さ	大	中間	良好

することによりさらに精度の高い測定と部分的な ROA が測定可能となった ESFQR の適用、さらにはエッジの形状の最適化への活動が解説されている¹⁾。

最外周から 1 mm までの部分におけるロールオフ量 ROA (Roll off amount) の問題はどこからくるのか検証してみることにする。

5. ROA は何に起因するのか

原因は明らかで使用する研磨布に起因するのは間違いない。研磨布は大別すると 3 種類に分類できる。

“硬い”といわれる性質の方から見てみよう。簡単に表 1²⁾³⁾にまとめたので参照されたい。

パッドの特性についていえば重要な硬度と圧縮弾性率により発砲ウレタンパッド、不織布パッド、スエードタイプパッドに大別される。

・発砲ウレタンパッド

表に示したように硬度の高い発砲ウレタンパッドがウェーハーの主要部分の平坦性を向上させて、かつ微小うねりであるナノトポグラフィーの低減に寄与しているロールオフも最小化される。しかしその反面、表面粗度から見るとマイクロラフネスを満たしているとはいえない、硬度によるダメージも依然として存在する。

〈概略製造プロセス〉³⁾

原材料の配合—型枠に注入—養生—スライス—切り出し—両面テープ貼付

・不織布パッド

特徴は発砲ウレタンパッドとトレードオフの関係にあり、硬度がやや低い分、平坦性とロールオフに難があるといえるが、表面粗度においては発砲ウレタンパッドに比して優位にあるといえる。したがって、どのようなパッドを使用してプロセスを構築するかは様々で、一概に結論づけられないようである。

最近ではユーザーからの要望も様々であり、それに対応するようにバラエティーに富んだ硬度・圧縮弾性率をもったパッドがメーカーから供給されている。

〈概略製造プロセス〉³⁾

原材料フェルト—ウレタン含浸—洗浄—乾燥—表面平滑加

工—切り出し—両面テープ貼付

・スエードタイプパッド

表面粗度の達成度では定評のあるスエードタイプパッドを使用して前加工プロセスで形成した形状精度を悪化させないようにし、極力短時間に片面研磨装置によって表面粗度・マイクロラフネスを目標値まで向上させることになる。この工程はロールオフを悪化させる可能性が高く注意を要する工程である。

〈概略な製造プロセス〉³⁾

原材料フェルト—ウレタン塗布—凝固—洗浄—乾燥—表面平滑加工—切り出し—両面テープ貼付

以上、3 種類のパッドを例に引いて研磨プロセスとの関係を簡単に説明したが、各パッドの適応範囲を明確にして平坦性 (含むロールオフ)・面粗度を各々きちんと達成できることが重要となる。

6. ドレッシングの重要性

さて、パッドの組み合わせだけですべてプロセスが順調にいくわけではない。特に、硬質系両面用研磨パッドには厚みばらつき、表面には平坦性のばらつきやうねり、さらに表面粗さのばらつきが存在し、両面研磨装置の上下プラテンに張りつけたままでは使用に供することはとてもできない。ウェーハーに与える平坦性・ナノトポグラフィー・ロールオフ・表面粗度のどれをとっても改善は期待できない。

パッドの初期化には必ずドレッシングプロセスが必要である。先に記した様々なパッド表面に存在するエラーを除去しウェーハー加工に供するようにする。ドレッサー・ドレッシングは CMP プロセスが市民権を得てから大きく進歩発展したといえる。ドレッサーとして最もよく知られているのはダイヤモンドドレッサーであろう。特に発砲ウレタンと不織布についてはなくてはならないツールである。パッドをプラテン上に両面テープで固着させた後、表面上のイレギュラーやエラーを除去し、パッド形状をプラテンの平坦度に合わせるなどノウハウを駆使して作り上げる。

両面研磨装置用ドレッサーの一例を図 5 に示す。

管理するポイントは 1) ドレッサーの材質とパターン、

図5 ドレッサーとその種類

2) ダイヤモンドの粒径, 3) ダイヤモンドの保持と保持材料, 4) ダイヤモンドの分散・配列などが挙げられよう。初期化だけでなく, 加工の合間に表面に固着したスラリや反応生成物の除去を目的にドレッシングを行うがパッドそのものも削られて摩滅する。それを避けるために, 高压純水をパッド上に吹き当て, 固着したスラリや反応生成物をまさに掻き出すことによりプロセス性能を復活させる方法もかなり採用され, 特にダイヤモンドによる除去が無理なスエードタイプや不織布などに向いている。さらには古典的なブラシを植毛したのも同様の目的で採用されている。

7. ロールオフ低減へのアプローチ

様々なロールオフの因子とその低減対策について述べてきた。そして何より小さなエラーをこまめに見いだして対策することがエッジやニャーエッジの改善策として重要であることを述べた。さらなる低減へのアプローチについて少し述べてみる。図6²⁾は従来の両面研磨装置の模式図である。キャリアの厚さはおよそウェーハの2/3程度である。

この場合, 上下のパッドの弾性率はウェーハと接するときのみ圧縮される傾向にある。ウェーハの外周部ではパッドの変形領域がトライアングル状に発生し, ロールオフを助長していると考えられる。

そこでエッジ周辺に発生するパッドの変形領域を何らかの形で管理する方法について図7²⁾にその模式図を示す。

CMPにおけるエッジコントロールのためにリテーナリングによって, パッド表面を押下してエッジ部がパッド中に潜り込む状況を極力最小化しようとする 것과相通じるものである。

この結果, ウェーハ周辺部のパッド変形領域(パッドへの弾性率分の潜り込み量)を低減でき, ロールオフ量(ROA)の低減にも期待できる¹⁾。

誌面の関係で1方向のみであるがロールオフデータを図8²⁾に示す。

図6 従来の両面研磨方式の模式図

図7 ロールオフ低減を考慮した研磨模式図

図8 ロールオフデータ

9. おわりに

弊社のベアウェーハ用両面研磨装置で採用してきた技術について簡単に解説を試みた。度々書いたが, 小さなエラーを見つけだす感覚や問題意識を磨き, それらのエラーを低減する機構・装置として研磨装置にどれだけ反映していけるかが課題であり, ウェーハ精度・品質の向上に欠かせないものであるゆえ, 今後もユーザーの要望に真摯に耳を傾けていきたいと思う。

参考文献

- 1) 福田哲生: はじめての半導体シリコン, 工業調査会(2006) 158.
- 2) 新井初雪: 次世代ウェーハに向けて, 2006年12月7日, SEMI主催セミナー予稿集.
- 3) ニッタ・ハース株式会社: 資料提供.