

◇ 特集 砥粒加工の想・記・伝 ◇

真髓を言い顕した一言

A phrase expressing the essence

安永暢男*
Nobuo YASUNAGA

Key words : polishing process, ultra-precision grinding, silicon wafer processing

1. はじめに

大学を卒業して通産省電気試験所(現経産省産業技術総合研究所)に奉職したのが1965年(昭和40年)。その後1986年から新日本製鉄(株)に、さらに1993年から2010年まで東海大学に勤務する機会を得た。正に官産学を渡り歩いて半世紀近く精密加工の研究に携わって来たので、ターニングポイントの一つや二つは直ぐにでも思い出せるだろうと軽く考えて本稿執筆を引き受けたのが間違いだった。後でじっくりと己の来し方を振り返ってみたものの、あれがターニングポイントでした、と胸を張れるような転機も飛躍も一向に思い浮かばない。いかにメリハリのない研究生活を延々と送って来たことか、今更ながら気付かされた。というわけで、本特集号の趣旨から外れた苦し紛れの話で誠に恐縮ではあるが、昔研磨の大先輩から聞いたある一言が、技術の進むべき方向を筆者に確信させてくれる大きなきっかけになった、という忘れ難い記憶を紹介させて頂くことでお許し願いたい。

2. よい研磨とは研磨しないこと?

1985年前後のことだったように記憶する。小林昭先生(当時埼玉大学教授)が主査をされていた日本學術振興会第136 将来加工技術委員会のある研究会に、委員の一人として筆者も出席した。研究会の帰路、会場出口でたまたま(株)イマハシ製作所の今橋孝弘社長と一緒に、最寄りの四ッ谷駅まで同道させて頂いた。今橋氏には、以前メカノケミカル研磨に関する研究を進めていた頃から何かとお世話になり、懇意にもして頂いていた。研磨関連の話でもしながら歩いていたのだったか、一瞬会話が途切れた後、今橋氏から、「安永さん、“良い研磨”ってどんな研磨か知ってる?」と問い掛けられた。いきなりの想定外の質問に、ウーン? 良い研磨?? 絶句して一瞬立ちすくんでしまった。

実は筆者は、その数年前から通産省の大型プロジェクト「超高性能レーザー応用複合生産システム(レーザー大プロ)」(1977~1984年)に参加してレーザー加工技術の研究開発に注力しており、この時期は研磨関連の研究から少し離れていた。だからという訳では勿論ないが、今橋氏のこの不意の問い掛けに返す言葉を見出せずに黙っていた。筆者の困惑顔を目にしつてこりやダメだと判断したらしく、今橋氏は「良い研磨というのはねえ、できるだけ研磨しないことですヨ」と仰った。直

ぐにはその意味が理解できず茫然と歩を進めているうちに駅へ着いてしまい、その真意を質すこともしないままお別れした。独りとなって帰る道々筆者なりに思いを巡らせているうちに、おぼろげながら氏の言わんとするところが見えてきた。

ワークの表面に加工変質層を残さずに平坦化・平滑化を図るのが「研磨」の目的であり、そのための工具として一般に粘弾性的変形特性を有する研磨布(ポリシャ)が使われている。ポリシャは加圧すれば多少なりとも変形して沈み込むものなので、研磨すればするほどワークの平坦性が損なわれたり、縁ダレが大きくなるなど形状崩れが大きくなる。この形状劣化を抑えるには、出来るだけ研磨量(研磨代)の少ないうちに研磨を終了させるのが望ましい。つまり出来るだけ研磨しないで済むように研磨するのがよい研磨、ということになるのだろう。なるほど、研磨の真髓とはこのことかと大いに感じ入った。そうと分かってみれば極く当たり前のことのようにも思えて来て、その後今橋氏のこの格言を思い出すこともなかった。

3. シリコンウェハ加工の高精度化へ

レーザー大プロが終了して間もない1986年に筆者は新日鉄に転職し、横浜市日吉にあった新素材関連の研究所に勤務することになった。産業構造が、戦後復興を支えた重厚長大産業からエレクトロニクス中心の軽薄短小型産業へと急速に転換し始めた時代で、いつまでも鉄は国家なりと威張っては居れないと危機感を抱いた鉄鋼メーカーはこぞってエレクトロニクス関連素材の開発・事業化に取り組み始めていた。新日鉄もマーケットの拡大が見込めるシリコンウェハの製造に乗り出したものの、社内にその分野の専門家は少なく、ウェハメーカーやデバイスメーカー、大学・公設機関などから技術者・研究者をスカウトして対応せざるを得なかった。筆者も加工技術の専門家として招かれたのだったが、シリコンウェハの生産現場については経験も知識もほとんどなかったので、正直のところからの勉強を余儀なくされた。

200mm サイズのウェハが主流になりつつあった時期で、「半導体デバイスの集積度が3年で4倍アップ」といういわゆるムーアの法則に沿って高集積化が進むという前提で、シリコンウェハの更なる大口径化や高平坦化が叫ばれていた。単結晶インゴットの外周研削→内周刃スライシング→外周面取り→両面ラッピング→エッチング→研磨 というのが当時のウェハ加工の基本プロセスで、加工変質層を残留させずにいかに平坦性・平滑性を向上させるかが最大の課題であった。特

* 元東海大学:〒413-0231 静岡県伊東市富戸866-15
(学会受付日:2016年 9月30日)

に最後の研磨工程が重要で、ポリシャの材質・変形特性や加工条件の最適化が求められた。先行ウエハメーカーには十分なノウハウの蓄積があったであろうが、我々のような“新参者”としては、現場実験を繰り返して多数の加工データを解析することによって望ましいポリシャ特性を明らかにするなど、地道な努力を重ねて前に進むしかなかった。

そんな苦闘の中、ふと思いついたのが「よい研磨とはできるだけ研磨しないこと」という今橋氏のあの銘言である。研磨精度を上げるためには、ポリシャ特性や研磨条件をいじるだけでなく、その前工程をも見直して、より少ない研磨量で研磨を終了させるプロセスに変更する、というアプローチの仕方でも必要では、と考え始めた。従来プロセスのラッピング加工では、脆性破壊によってウエハ表面を削って行くので、10 数 μm 以上の深さにまでクラック層が残留する。これを除去するためのエッチング作業で大きな材料ロスと形状劣化が生ずる。当然次の研磨工程での除去量を大きくせざるを得ず、形状精度の確保も難しくなる、という従来プロセスに内在する‘負の実相’が見えてきた。「ラッピング→エッチング」に替る新たな「次の研磨工程での研磨量を小さくできる前加工プロセス」を採用しない限り“よい研磨”には辿り着けないだろうと確信した。

4. シリコンウエハ超精密研削への挑戦

「ラッピング」に替る現実的プロセスとは何か？加工屋として直ぐに思い付くのは「研削」であるが、研削技術に関する知識も経験も乏しかった筆者には、脆性材料の研削といえば“深いクラックを入れながらガリガリ削る脆性破壊型の粗加工”というイメージしかなく、ラッピングに代り得るプロセスとは考えもしなかった。しかしまたまこの頃、小林昭先生が編集代表をされ、筆者自身も研磨関連の記事を分担執筆させて頂いた「超精密加工技術実用マニュアル」というハンドブックの中に、宮下政和先生が書かれた「脆性材料の超精密研削加工の基礎」という解説記事を見つけた。脆性材料であっても極めて微小な切込み深さで削れば脆性破壊を伴わない塑性変形領域での研削が可能との内容で、切込み量 $0.2\mu\text{m}$ で水晶の延性モード研削を実証した顕微鏡写真や、シリコンウエハでもビッカース圧子による超微小引掻き試験で塑性変形のみを痕跡を示す外国文献などが紹介されていた。これだ、と直感した。クラックを発生させずに鏡面に近い超精密研削が可能であるならば、塑性変形層が残留するとしても高々 $2, 3\mu\text{m}$ の深さに収まるであろうから、エッチング処理なしでも僅かな研磨代で最終仕上げに至るのではないかと、まさしく“できるだけ研磨しない良い研磨”が実現できる筈という期待を密かに抱いた。

その後の調べで、宮下先生は既に80年代初頭から脆性材料の塑性変形領域での超精密研削技術に関する研究を精力的に推進して来られ、実用化のためには砥石軸の回転振れやテーブル振動が極めて小さく、かつ超微小切込みの可能な高剛性研削装置が必須と主張され、それに必要な要素技術も数多く開発されていることを知るにつけ、シリコンウエハに対する超精密研削技術の実現可能性を確信した。とは言

え、ウエハ生産ラインへの超精密研削技術の導入など未だ話題にもならない時代である。後発のウエハメーカーである新日鉄でいきなり超精密研削を、と叫んでも相手にされそうになかったが、幸いセラミックス系新素材の研究開発・商品化に取り組むグループが興味を示してくれたので、宮下先生に何回かレクチャーをお願いして社内の理解を深めるよう努めた。その中に FRP クリーナーの研究開発に従事していた阿部耕三氏(現浜田重工(株)がおり、その後の超精密研削装置の開発に中心的役割を果たしてくれることになった(1990年頃)。

シリコンウエハのクラックレス研削を可能とする最小切込み量はいくらか？この値を正確に押さえることがすべての出発点となる。研究所内の材料強度の専門家に協力を仰ぎ、ビッカース圧子の静的押込みモデルについて試算してもらったところ、シリコン(100)面に対しては $0.09\mu\text{m}$ という値が得られた。即ち $0.1\mu\text{m}$ 以下の微小切込み量で確実に研削ヘッドを駆動できる高精度・高剛性研削機構が必要で、そのためには更に1桁下のワンステップ 10nm での研削ヘッド送り制御機構が必須との結論に至った。軸固定型油静圧軸受を用いた研削軸、複合案内機構、力操作型リニアアクチュエータによる位置決め駆動系など、宮下先生らの開発した高精度駆動機構を利用すれば実現可能との見通しを得て、 200mm ウエハ対応のカップホイール・ロータリーテーブル型超精密研削盤の試作に取り組むことにした。宮下先生のご指導や宮下研究室に派遣した阿部氏の熱意が実る形で試作装置が完成し、 150mm ウエハを用いて試し研削を行ったところ、期待した通りクラックレスの延性モード研削が実現できることを確認した。一連の成果は精密工学会誌 1993年12月号に掲載された。

この頃筆者は東海大学へ転職して生産現場から離れることになったが、阿部氏はこの後、将来のシリコンウエハ生産技術に対する先行投資という位置付けで通産省(現経産省)が主導した SSi プロジェクト(スーパーシリコン研究所)に参加された。現在主流となっている 300mm ウエハへの関心が高まり始めたばかりの頃であったが、その先に予想される 40mm ウエハの製造に必要な基礎技術を共同開発しておこうという国家プロジェクトであった。この中で阿部氏は、新日鉄で開発した上記超精密研削装置をベースに氏独自のアイデアを盛り込んだ新たな超精密研削盤を試作して 400mm ウエハの延性モード研削に成功し、今後の大口径シリコンウエハ製造に必須となるであろうキーテクノロジーの基盤を確立された(2000年頃)。

5. おわりに

超精密研削技術は既にウエハ生産現場に導入されているという話も聞く。このように辿ってみると、たまたま今橋氏から「良い研磨とはできるだけ研磨しないこと」という研磨の真髓を教示されたことが、後に宮下先生のご指導のもとシリコンウエハの超精密研削技術の開発・実用化への大きなキッカケとなり、生産技術の向上に多少なりとも貢献できたと言えるのかも知れない。これまでご協力頂いた全ての皆様に深く感謝申し上げます。