

オプトメカトロニクス・シニア研究者の経験と 若い研究者への期待

—将来型半導体基板の加工プロセスのブレークスルー—

九州大学・埼玉大学 名誉教授/Doi Laboratory Inc.
土肥俊郎

1. はじめに

先端的技術やその概念を表すのに、日本人は“ナノテクノロジー”やオプトメカトロニクスの基になっている“メカトロニクス”などのような将来を見据えた的確な造語を創造してきた。もちろん技術面でも繊細で精巧な日本人の得意とする超精密金型の加工技術、半導体プロセス技術など、多くの秘めたる加工技術があって日本人のものづくり、その匠みを誇っていた。良いものがあれば、当然、日本のお家芸であっても何時かは他国でも真似られていく。例えば、金型技術は中国や他の東南アジアでもできるようになったのは典型例である。半導体関係について言えば、日本は先見の目があったが、1990年前後まで世界を席卷していたあの活力が持続しなかった。しかしながら、関連する産業の裾野を拡げ日本を裕福にしたことを考えれば、そして後進国であった東南アジア諸国のオプトメカトロニクス・半導体産業を育て発展させたと考えれば、それはそれで良いとしよう。

ここでは、オプトメカトロニクス/エレクトロニクス分野の中の半導体デバイスに焦点を当てて、どういう経緯で日本が強みを出して発展し、将来どういう方向を目指して展開すべきか、今後期待される若い研究者・技術者のために考えてみたい。

まず認識しておきたいことがある。LSIデバイスの配線多層化における平坦化加工処理に、**CMP (Chemical Mechanical Polishing) 法**を先駆けて導入したのは、残念ながら“ものづくり立国”日本ではなかった。先駆的かつ挑戦的発想を持った米国であった。それに続いて素早く、日本が得意とする機械装置化と要素技術、周辺技術を立ち上げた。その背景には、**精密工学会「プラナリゼーションCMP研究・専門委員会」**(委員長・土肥)を設立したことが在ると考える。CMPの教育啓蒙活動を念頭にしながら、日本の半導体デバイス、装置、加工、洗浄、計測などの関連企業120社以上が纏まって技術の向上を目指してきた。今、思うとそのことが功を制したと自負している。この研究会の組織とその運営手法は、韓国、アメリカ、台湾、ドイツなどにも波及し大きなインパクトを与えた。さらにそれは、日本が提唱・創設してCMPに関する国際会議ICPT(当初はPac Rim)にも発展する礎になったことを観れば頷けることである。その後、CMP技術はアメリカと日本が先導することになったが、今や中国、シンガポール、台湾、韓国を含めたアジアの国々でも沸々と立っている。

半導体プロセスにおけるCMP技術の位置づけ・存在意義の違大さについては、次の挿話が分かりやすい。大きな国際会議SSDM(国際固体素子カンファレンス)2018で、“**ムーアの法則**”で著名なゴードン・ムーア博士が「ムーアの法則が進展するにあって最も驚かされた技術は何であったか」と問われ際に、「それは(リソグラフィーの深化ではなく)平坦化CMPである」と、即座に答えたという。このインタビューにおけるムーア博士の受け応えに対して、すべての研究者は大変驚嘆されたに違いない。それほどCMP技術は、半導体プロセスの進展に果たした役割が巨大で威力があったことを示唆するのである。CMP技術の導入がなかったらどうなっていたか。ある処でムーアの法則が崩れ、成り立たなくなっていたか、それは分からない。仮定の話をするのは未練がましいが、もし日本がCMP技術に着眼して先陣を切って半導体製造プロセス・デバイス工程にCMP導入を提唱してもっと早くから

力を入れて研究開発をしていたならば、日本の科学技術の発展・経済状況は大きく変わっていたのではなかろうか。その過去の苦い同じ轍を踏むことなく、今、日本の半導体産業の再生を目指して努力をしなくてはならない。

アメリカ未来学者のレイ・カーツワイルによれば、先述のムーアの法則のように技術の進展を予測すると、“シン

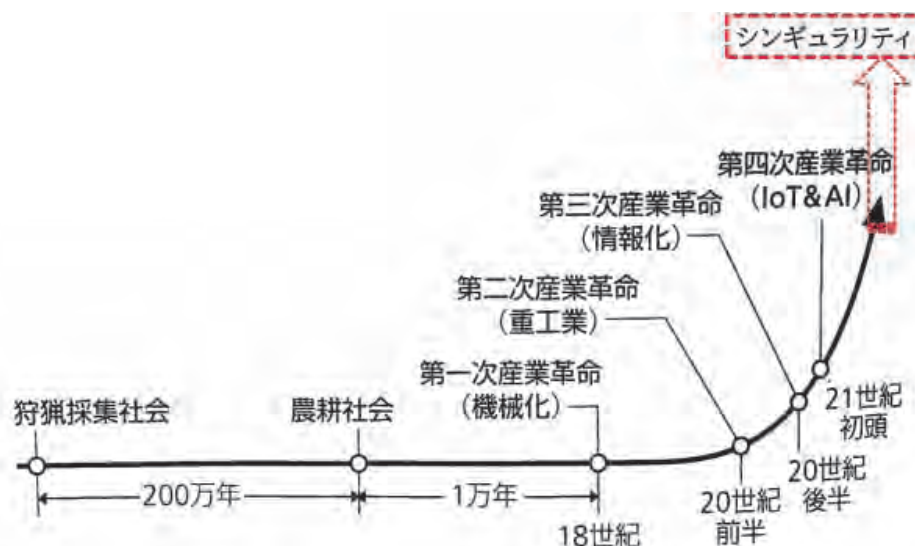


図1 産業革命以来指数関数的に加速するイノベーション

ギュラリティ (技術的特異点)” が2045年に想定されるという(図1)。人類の生活を根本的に変える「情報革命」が訪れ、人類が経験したことのない人工知能の世界の幕開けとされている。いうまでもなく、それは半導体産業が必須・基盤となる。そういったことをも念頭にして、半導体基盤技術の一つと位置付けられるシリコンデバイスにおける平坦化(Planarization) CMPを中心とする今日的課題と、将来デバイスに不可欠の超難加工材料/化合物半導体やダイヤモンド基板の高効率加工プロセスについて考え将来に備えたい。

筆者は、これまでオプトメカトロニクス分野における研究に携わって世の中に貢献しようと心懸けてきたところであるが、その中で新しい加工技術を追究すべく新奇な装置を提案してきた。本稿では、筆者の幾つかのユニークな原理試作装置を紹介し、それがどういう背景・動機であったかを振り返りながら、それを踏まえて将来的課題を乗り越えるブレークスルーのヒントとしていただきたく、私見を交えながら考察したい。それが将来にかけける加工技術の提言・指針の一助となることを期待するものである。特に、将来を支える若い研究者が夢をもって新しい技術開発に挑戦してもらうために、2045年に想定されるシンギュラリティを見据えて考えてほしい。さらには将来の量子コンピュータにも関わりあえるよう、大きな研究テーマに挑戦していただければこの上ない。

2. 半導体デバイスを支える必須加工プロセス技術—平坦化 CMP を例とする発展経緯—

20 世紀における最大の発明とされているトランジスタの登場 (1947 年) は、現在の ICT 社会の構築の始まりであった。まさにそれに合わせるかのように、超精密研磨/CMP 技術の進歩があった。Ge や Si などの半導体結晶が有する特異な特性を発揮するためには、平滑な無擾乱鏡面に加工することが必須であることを考えれば頷ける。従来の機械的研磨作用のみでは加工変質層が残留するために平滑・無擾乱表面を創製することが困難であったこともあり、1960 年代に考案されたのが化学的 (溶去) 作用を複合化した CMP が登場した。この化学的複合研磨こそが CMP であり、革新的研磨技術であったといえる。1960 年代中頃に米国 IBM、ベル研究所などから提案され、CMP もしくは MCP (Mechano-Chemical Polishing) と呼称され 1970 年代以降に急速に発展した²⁾。

超精密 CMP 技術は、高品質・半導体シリコン (Si) による IC, LSI, 超 LSI デバイスの超高密度・微細化と大口径ウエハ化に併せて、CMP 技術は極めて重要な役割を担う一方、驚異的進化を遂げる。それはムーアの法則に従って、進歩する半導体デバイス側からのシリコン (Si) 基板への厳しい要求条件があつて強い要請でもあつた。CMP 導入による半導体 Si 基板の超精密加工プロセスは、1980 年代には平滑・無擾乱鏡面・高精度平坦化を成し遂げ、一層高度化されかつ洗練された技術に至った。このアトミックオーダーのシリコン基板創製の実績は、多くの他種材料への超精密加工する際の加工

法・条件モデル/模範となって大きなインパクトを与えてきた。

1980年代後半から1990年代になると、超精密CMP技術の卓抜された平坦性・平滑性・高品位の実績から、超LSIデバイスの多層配線用の平坦化加工処理法として目が向けられた。これまでは“研磨は汚染源そのもの”であると決めつけられていたこともあって、聖域・半導体プロセスに導入することに違和感があると指摘されていた。それにも関わらず、米国IBMなどではその疑問視を振り払って平坦化処理にCMP導入が試みられた。その検討の結果、他の平坦化手法に対してCMPによる平坦化手法は抜群の精度を醸し出すことが検証された。そうすると平坦化CMP技術が、各半導体デバイス研究機関を中心に予想を絶する物凄い勢いで広まり進展することとなった。当初はとて信じられない技術導入手法であったが、今では当たり前の重要な不可欠技術として定着し、装置のほかパッド、スラリー、洗浄、制御・計測（エンドポイント検出含む）など多方面にわたる要素技術を競い合って、詳細な検討が展開された。そして、深化・発展を促しつつ大きなビジネスチャンスを与えることとなった。さらに配線メタルにAl合金からCu配線が採用されると、埋め込みダマシンプ配線が一般化して電気めっき技術とともにCMP技術はさらに高度化し、装置であれ消耗品であれ、日本人のものづくり“匠の技”を發揮するに至っている。図2は、半導体微細化の推移と将来予測（東大・平本俊郎教授;日経新聞2018年）に平坦化CMP技術の進展を加筆したものである。

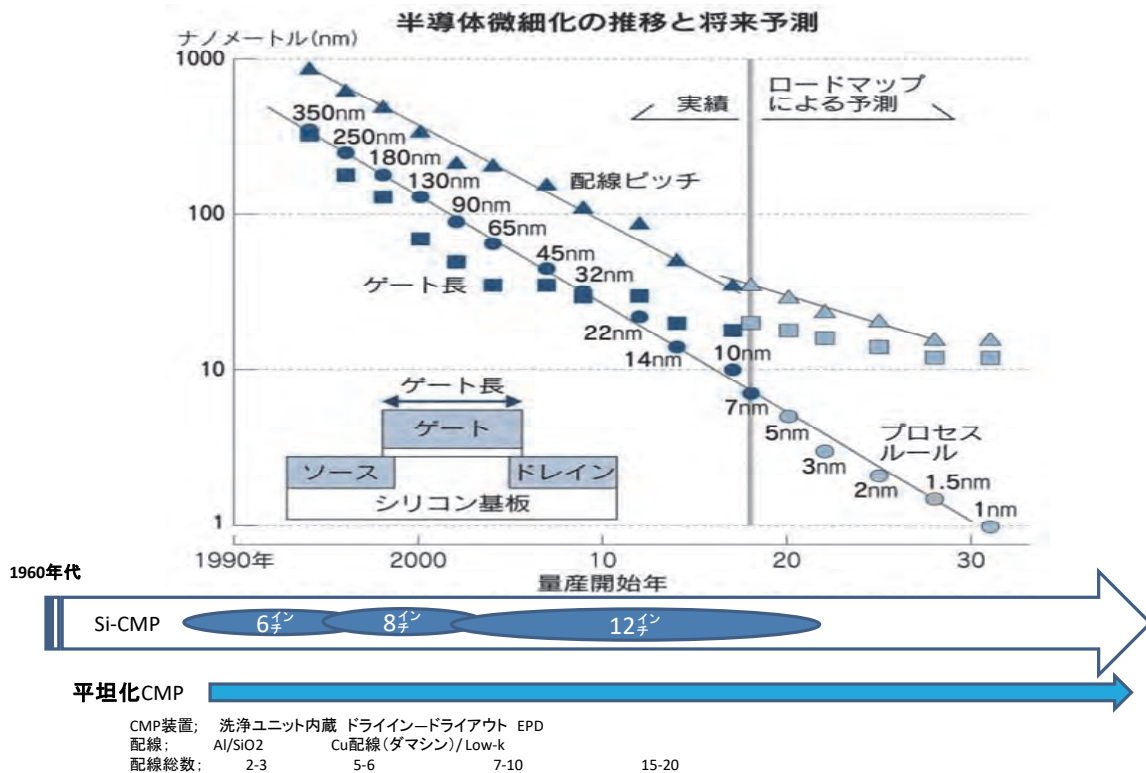


図2 半導体微細化の推移と将来予測（東京大学・平本教授の原図にCMP関係を加筆）

ところが、過去のITRSあるいはIRDSのロードマップにあったように、超LSIの超微細化・高密度化が進む状況の中で一つの大きな壁に打ち当たる。配線パターン幅が微細化されMPUゲート長10nm以下を狙うとき、露光の波長をパターンに合わせて小さくしなければならず、EUVをも用いなければならず技術的・コスト的にも限界に達する。そこで、Mooreの法則に従った集積度の向上を狙う“More Moore”だけではなく別方向の考え方も出てきた。それが“More than Moore”であって、三次元的デバイス(3D-IC)はじめDRAMやNANDフラッシュメモリに代わる新規不揮発性メモリ、電源効率の向上を狙う高周波パワーデバイス、白色LED、新奇MEMS、量子デバイスなど、多岐に亙る研究開発である(図3)。デバイス構造のみならずここに登場するのは、Siの物性限界を大幅に打破できるポスト・シリコン/或いは次世代LEDと言われている次世代型半導体材料SiCやGaNなど、多種多様な機能性

結晶材料である。これら結晶基板を用いると、様々な特異な優れた耐電界、耐温度等の耐環境性を有し、高耐圧で超低ロスのパワーデバイス・高周波デバイス、超高速電子デバイスや高効率・長寿命の青色や緑色の発光ダイオード (LED)・レーザダイオード (LD) などの実現が可能となる。さらに、特に将来型の究極のデバイスあるいは前述のシンギュラリティ問題³⁾に最有力の半導体ダイヤモンド結晶が、夢のグリーンデバイスとして期待されている。

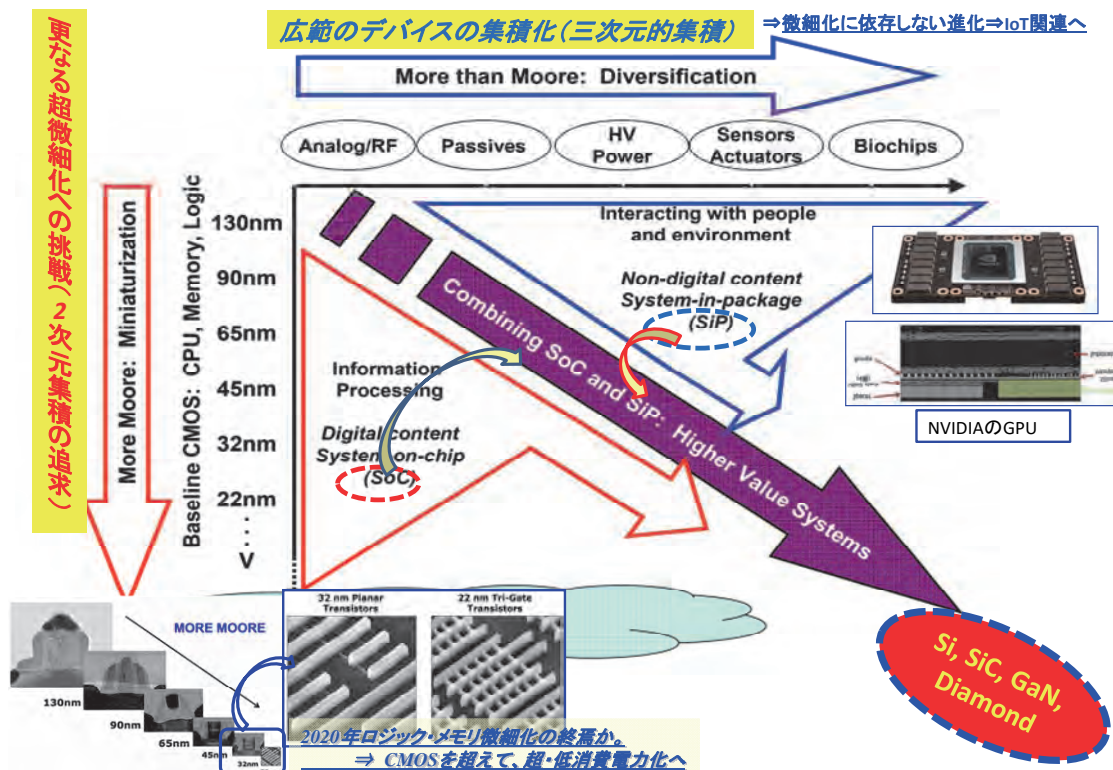


図3 今後の半導体デバイスの超微細化と高機能化

3. 新奇 CMP 加工技術・装置の考案事例と次世代型融合加工技術の考え方

これまでに半導体デバイス・プロセスにおいて、高効率・高品位加工を狙って、いろいろな加工装置が提案され試されてきた。ここでは、僭越ながら、筆者の若き時代に世の中にないユニークな加工技術を考案して、その装置化に挑戦した事例を幾つか紹介したい。

3-1 新奇 CMP 加工技術の考案とその装置化事例

平坦化 CMP を行うためには、基礎的な加工原理として考えるのは、加工レート R は加工圧力 P と相対速度 v に比例するという経験則、所謂、Preston の式 ($R=k \cdot P \cdot v$) である。したがって、加工すべきデバイスウエハ内における何処の位置においても、加工圧力 P と相対速度 v が均一・同一でなければならない。そして、微細なパターンの凹凸がある凸部のみを優先的に除去すること、もちろんスクラッチなどの加工欠陥がない平滑無擾乱鏡面であることが前提である。世の中に確固とした平坦化 CMP 装置が発表される以前に、筆者はこれらの基本を踏まえてマイクロモーション (オービタル運動ともいう) による均一 CMP 装置の概念とその基本装置化を発表した(図 4)。この原理試作装置は、ウエハの裏面から水/空気を入れた超薄弾性膜で硬めの樹脂パッドに押付ける等分布均等加圧機構と小円運動 (マイクロモーション) 機構を備えた極微量のプラナリゼーション CMP 装置である³⁾。この原理試作装置によって、デバイスモデル (TEG) ウエハで平坦化を実現できる確認をして各研究機関、装置メーカーなどに模範を示した。このマイクロモーションは、ナノトポグラフィーの僅少化のための両面同時研磨装置にも導入され発展した⁴⁾。

一方、当時 (1995 年前後) のシリコンウエハが 6 インチであったが、8 インチ、そしていずれ 12

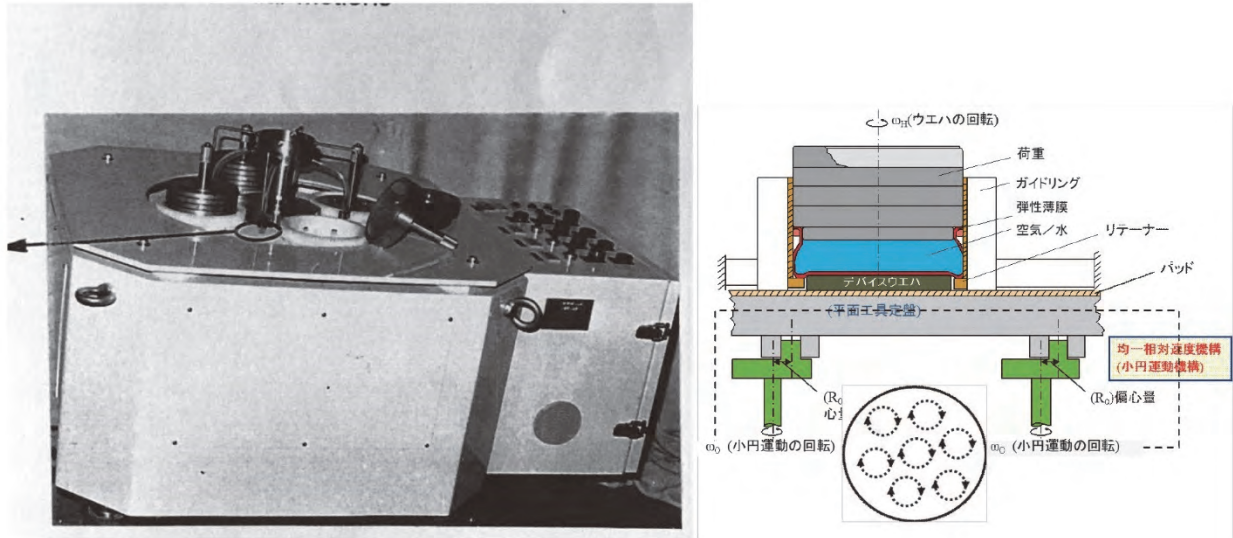


図4 CMP装置の基本的概念を装置化した均等加圧機構と小円運動（マイクロモーション/オービタル運動）による均一相対速度機構模式図（右）と原理試作した装置の外観写真（左）

インチへと大口径化に移行することは必至であった。その大口径化ウエハになることを考えると、将来的にベアシリコンも含めて均一な加工が困難になることを危惧した。すなわち、ウエハが大口径化になるとウエハの中心、内部、外周ではスラリーの這入り込み方、発熱分布などの相異があつて微妙な加工メカニズムがウエハ内でアンバランスが出るため、何らかの手法で大口径ウエハ全面を均一・同一に平坦化 CMP できることが必要である。そこで考えたのは、従来の面接触型加工ではなく線接触型の加工法であつて、加工局部を線に限定しその集合体で面加工仕様とするものである。この線接触加工法は、加工中の雰囲気・均一性などを管理しつつ加工条件をコントロールしやすく、また in-situ でデバイス化ウエハの表面状態の観察も終点検出も容易にできる利点がある。筆者らは、長尺のパッドを螺旋状に巻き付けたドラムを回転させて、そこにウエハを押し付けて加工しようとする加工手法を提案した。これをドラム式線接触 CMP 装置と呼称し原理試作(図5)した⁵⁾。振り返れば、当時の1997年前後に某大企業が関心を示し実用化の話が進みつつあつたが、諸般の事情で頓挫したのは誠に残念至極であつた。ただし、この考え方は CMP 装置メーカーでも検討が一部なされた経緯もあり、それなりのインパクトはあつたものと自負している。現在主流のφ300mm ウエハの次に来る450mm ウエハも、近年のうちに主流となるかもしれない。そしてデバイスウエハの平坦化 CMP の分野に限らず、他の大口径基板の加工法には活用できるものであるので、今後の活用に期待したいところである。

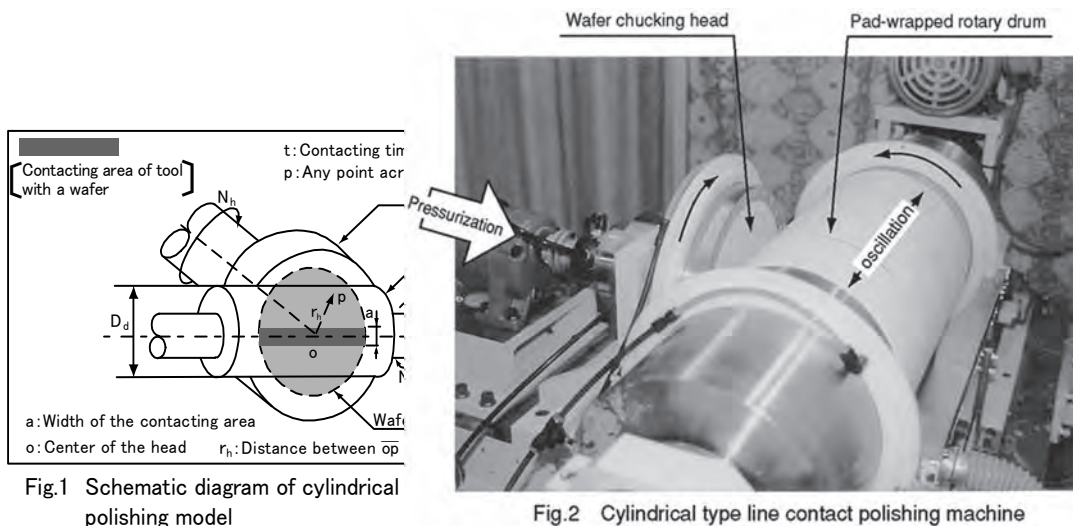


Fig.1 Schematic diagram of cylindrical polishing model

Fig.2 Cylindrical type line contact polishing machine

図5 ドラム式線接触 CMP 法とその原理試作装置の外観写真

さて、挑戦的に原理試作したユニークな装置として挙げたいのは、**密閉式ベルジャー型 CMP 装置**である。CMP はケミカルの要素の比重が非常に大きいので、筆者は以前から加工環境雰囲気に着目すべきと考えていた。そこで、耐圧容器の中でいろいろな高圧ガス雰囲気、或いは真空中で CMP を試みようとした。世界的にみて加工環境に着眼した研究例はないので大変興味深く研究開発を展開した。図 6 は、設計試作した高圧雰囲気下で CMP を可能とする密閉式（ベルジャー型）CMP 装置である⁶⁾。2002 年の埼玉大学教授時代の頃、米国・アリゾナ大学から客員教授招聘の話があり、高度約 1000m のアリゾナ・ツーソン市で CMP を行う場合とどう違いが出るのかも興味もあったので、同じ装置を試作して埼玉大学とアリゾナ大学で研究を行った⁷⁾。しかしながら、その程度の気圧差では加工特性に差異は見られなかったが、ステンレス製の耐圧容器（チャンバー）内で各種基板（Si, SiO₂, サファイア, Cu）を真空～数 100kPa～1MPa（ゲージ圧）の減圧/加圧下で、CMP を行うと加工特性がずいぶん異なることを発見した⁸⁾。不活性ガス（窒素ガス）雰囲気では、Cu の場合は通常の加工レートよりも半減し、増圧側でも加工レートの増加はわずかであった。ところが、特に酸素を含む高圧下では 1.2～数倍の加工レートになることを発見した。このことから、想定していた CMP の加工メカニズムが検証されるとともにその詳細が明らかとなった。特に高圧の酸素雰囲気の関与が、CMP の加工メカニズムに与える影響が極めて大きいことを明らかにし得た。ここで得られた知見は、次の光触媒反応援用型の CMP へと展開されることになった。

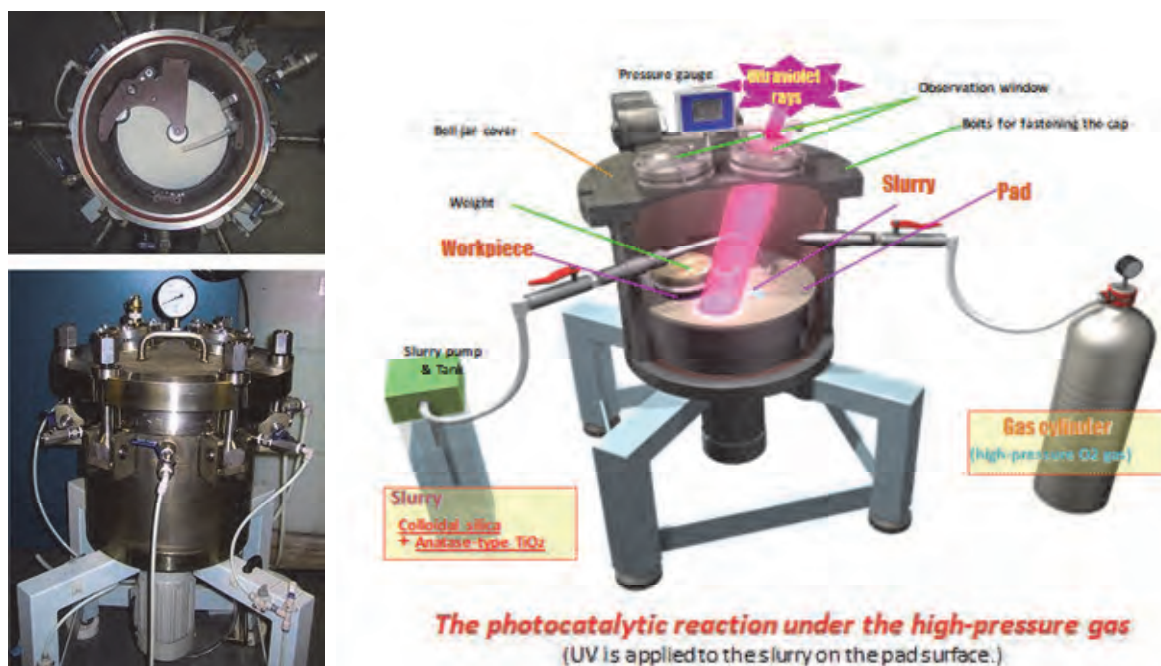


図 6 考案・試作した高圧密閉式の“ベルジャー型 CMP 装置”の外観写真と光触媒反応アシスト方法の装置構造模式図

密閉型光触媒反応アシスト CMP 装置の構造模式図(図 6)の原理試作機を適用して、SiC 基板の CMP を行った時の加工特性例を把握した。図 7 に示すように、高圧 (500KPa) の酸素雰囲気下における加工レートは通常 (常圧下) CMP の 4 倍以上となることが分かる。高圧酸素雰囲気では、光触媒反応に起因する活性酸素の効果によって加工レートを促進するのである⁹⁾。常圧下では光触媒反応による活性酸素の寿命は短い、現在のところ、高圧酸素雰囲気ではそれが長くなるものと解釈されている。本着想が新奇であることから文部科学省の科学研究費 (基盤研究 A) が認められて、両面同時の密閉式光触媒反応アシスト CMP 装置の試作もし、その波及効果も大きかった(図 8)。

以上、新奇な挑戦的加工を世界に発信することを心掛けて、筆者が原理試作した主な CMP 装置を事例に紹介した。

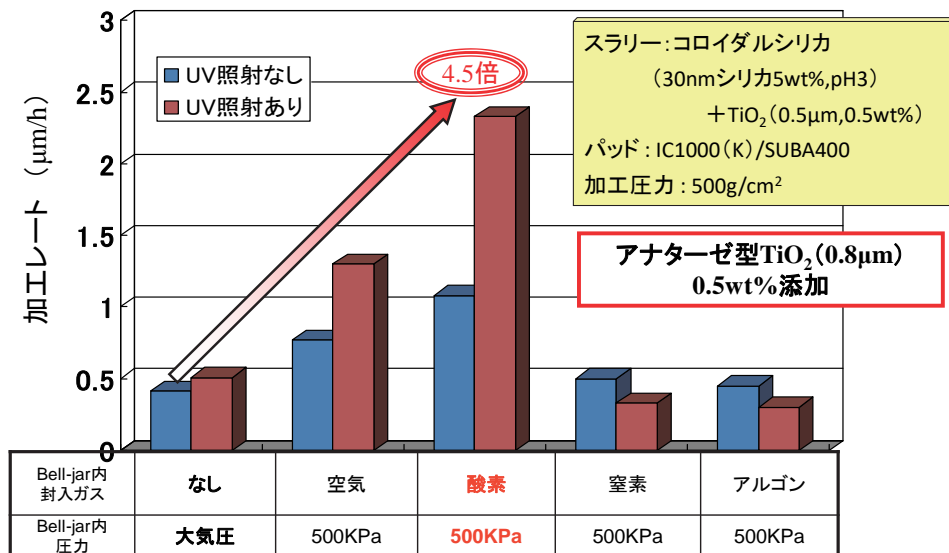


図7 Bell-jar内の各種雰囲気におけるSiC基板のCMP特性—チタニア添加スラリーへの紫外線照射の有無による加工レートの比較—

基盤研究(A)展開(H. 20~22)

**密閉式の両面同時加工できる
高圧ガス雰囲気で行う光触媒反応援用
加工システムの開発**

これらの中で大きな成果:

酸素を含む高圧環境の中で紫外線照射による光触媒反応を発見
SiCなどの難加工材料も従来研磨の4~5倍の加工速度が得られることを発見。《世界初》
この成果の応用: ガラス研磨

希少金属Ceを含むセリア砥粒の50%以上の削減実現と新しい代替砥粒(MnO₂, Mn₂O₃)提案し、ガラス研磨業界に大きく貢献。

《NEDOの高い評価》

MnO₂, Mn₂O₃ 砥粒によるSiCをはじめ難加工材料の加工にも効果的であることを見出し商品化を実現。



図8 両面同時加工に挑戦した密閉式ベルジャー型CMP装置とその波及効果—超精密加工技術に関する研究実績—

3-2 将来を見据えた次世代型融合加工技術の装置化事例

SiC, GaN やダイヤモンドなどの結晶基板は極めて硬く化学的にも安定しているため、Si基板のように単純に化学的複合加工/CMPで高能率加工は極めて困難である。機械的に極めて硬いので粗加工・前加工にはダイヤモンド粒子を適用せざるを得ない。続く仕上げ加工ではコロイダルシリカで無じょ

う乱鏡面にしようとしても、Si 基板の加工プロセスの数 10 倍以上、ダイヤモンド基板に至っては数 100 倍以上の長時間を要するのが実情である¹⁰⁾。

これら超難加工材料の製造プロセスの中で、コロイダルシリカによる最終仕上げ工程が律速となる。そのために、コロイダルシリカポリシングで除去すべき量を徹底的に低減して負担軽減する考え方もある。ところが、加工条件の改善だけでは高効率加工が極めて困難である。とくにダイヤモンド基板の加工に対しては、単純な砥粒加工法では生産ベースに見合う高効率化は不可能に近い。この場合は、新規加工法導入による挑戦的加工プロセスを考案・構築せざるを得ない。以上の基本的考え方を踏まえて、筆者らが行っている事例を紹介する。

将来型超難加工材料に対する超精密加工プロセスの考え方は、高能率・高品位加工を可能とする CMP と P-CVM (Plasma-Chemical Vaporation Machining) を融合した加工法である。すなわち、ポリシング/CMP などによって疑似ラジカル場を形成させながら平坦化加工 (in-situ 疑似ラジカル形成と平坦化加工) を施すと同時に、等方性の高能率エッチングを加工原理とする P-CVM による無歪加工を行う。その際、 O_2 , SF_6 などの反応性ガスの雰囲気下における CMP と P-CVM の融合作用によるシナジー効果を期待して高効率・高品位化を図る。この考案加工法を“**プラズマ融合 CMP (plasma-fusion CMP)**”法 (商標登録) と呼称する。この考え方は、文部科学省の科学研究費・基盤研究 S が認められて、研究推進を展開した¹¹⁾。

これまでに原理試作した将来型融合加工装置(図 9)は、等方性エッチング P-CVM 法に微細な凹凸解消 CMP 法を想定した場合、定盤/研磨ヘッドの回転運動中に加工基板に対して連続的かつ均一にプラズマを発生させる必要がある。プラズマ発生マイクロ電極を多数内蔵させた定盤 (パッド) を、加工基板に対して高密度のプラズマが作用するように設計し、CMP 用スラリーが該電極には入らないようにプラズマ用ガスで制御する構造としている。プラズマ融合 CMP 装置により SiC, GaN 基板の加工を試みたところ、CMP 単独、P-CVM 単独加工の相和よりもはるかに大きな加工レートが得られた。表面粗さは、加工条件の適正化により向上できる。

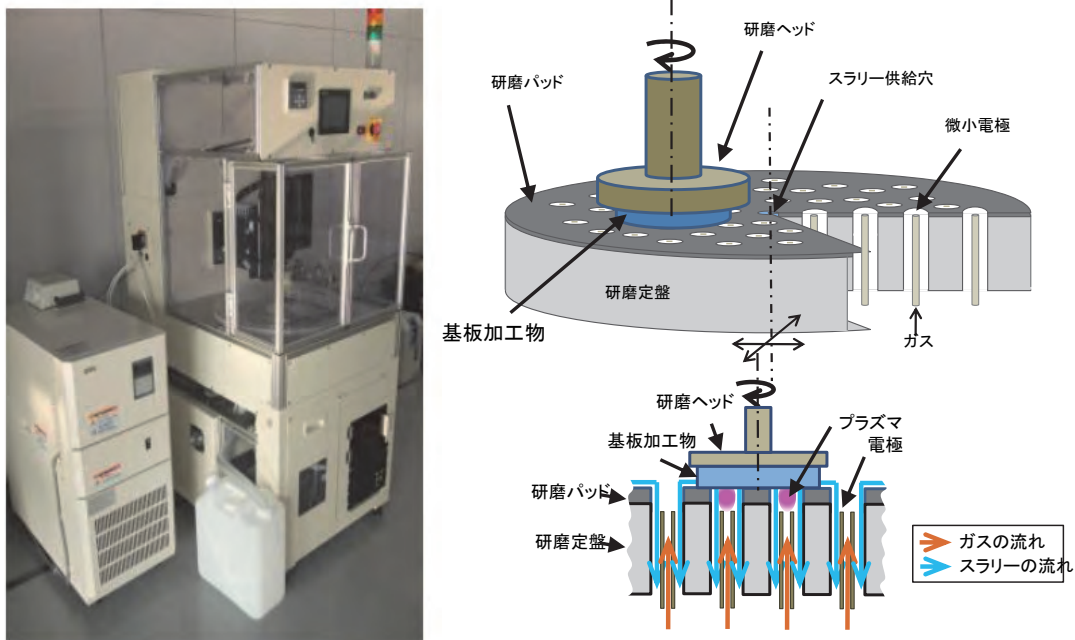


図 9 CMP とプラズマ (CVM) 加工を融合した革新的“プラズマ融合 CMP”装置とその原理図 (文科省・科学研究費/基盤研究 (S)による)

ダイヤモンド基板の検討では、作用プラズマ密度を高めるため、高投入電力、マイクロ電極との間隙ならびに反応ガスについても検討を行っている。想定通り O_2 を反応ガスとして用いた場合のダイヤモンド基板の P-CVM 加工では、 SF_6 ガスによる加工よりも加工レートと表面粗さ Ra の改善率がともに高く、酸素プラズマの方がダイヤモンドの加工に適す。その一例を紹介すると、CMP 単独では加工レートがほ

とんどゼロ (1.9nm/hr) であるが、P-CVM と CMP を同時に行うプラズマ融合 CMP 加工ではシナジー効果が発揮された高い加工レート (670nm/hr) を得ている。これらの結果から、開発したプラズマ融合 CMP 加工は、CMP による平坦化性能と P-CVM による高効率エッチングの利点を反映し、ダイヤモンド基板であっても高効率・高品位の加工を実現できることを実証した¹²⁾。

現在、さらに詳細実験が展開されており、汎用性ある超難加工材料の将来型プラズマ融合 CMP 装置の商品化に期待しているところである。

4. シンギュラリティを見据えた革新的オプトエレクトロニクス部品創出に向けて

超精密加工技術の変遷を振り返ってみると、様々な「機能性材料」とその「加工プロセス技術」、「デバイス化技術」の三位一体の研究開発によって、今日の高度情報化社会における高性能のオプトエレクトロニクス部品・システムを実現してきた。革新的オプトエレクトロニクス分野で期待される部品製作には、超精密研磨の適用が不可欠であることは周知の事実である。半導体産業分野だけではなく平坦化 CMP/超精密研磨技術は必須であり、将来の高性能デバイス創製のキー技術と言っても過言ではない。根幹となる半導体デバイスに象徴されるように、機能性材料の平坦化 CMP/薄膜化加工を導入した三次元加工を目指すことになる。その実現のために超精密研磨技術が駆使されつつ、異種機能性材料基板の超精密ボンディングが必須となる。半導体デバイスを例にすれば、ますます“More Moore”の方向に進む一方、“More than Moore”の方向に展開し、SOC (System on Chip) と SiP (System in Package) に象徴される高度な技術融合による高機能化を進めることになる。そのみではなく、前述のように多岐にわたる新規材料が続々と出現し、超高性能デバイスが構築・提案されてこよう。

図 10 は超精密平坦化 CMP 技術、狭ピッチ TSV 形成技術と超精密接合技術を適用して、東北大・小柳光正教授らが開発した二次元積層型イメージセンサーの SEM・X 線 CT 画像である¹³⁾。車載用の自動運転システムのみならず人工知能などに必須の構成要素として期待されている。小柳らの開発技術は、ソニー社のカメラモジュールでイメージセンサーチップとロジック回路チップを CMP した SiO₂ 同士の直接接合で形成した技術にも活用されている。

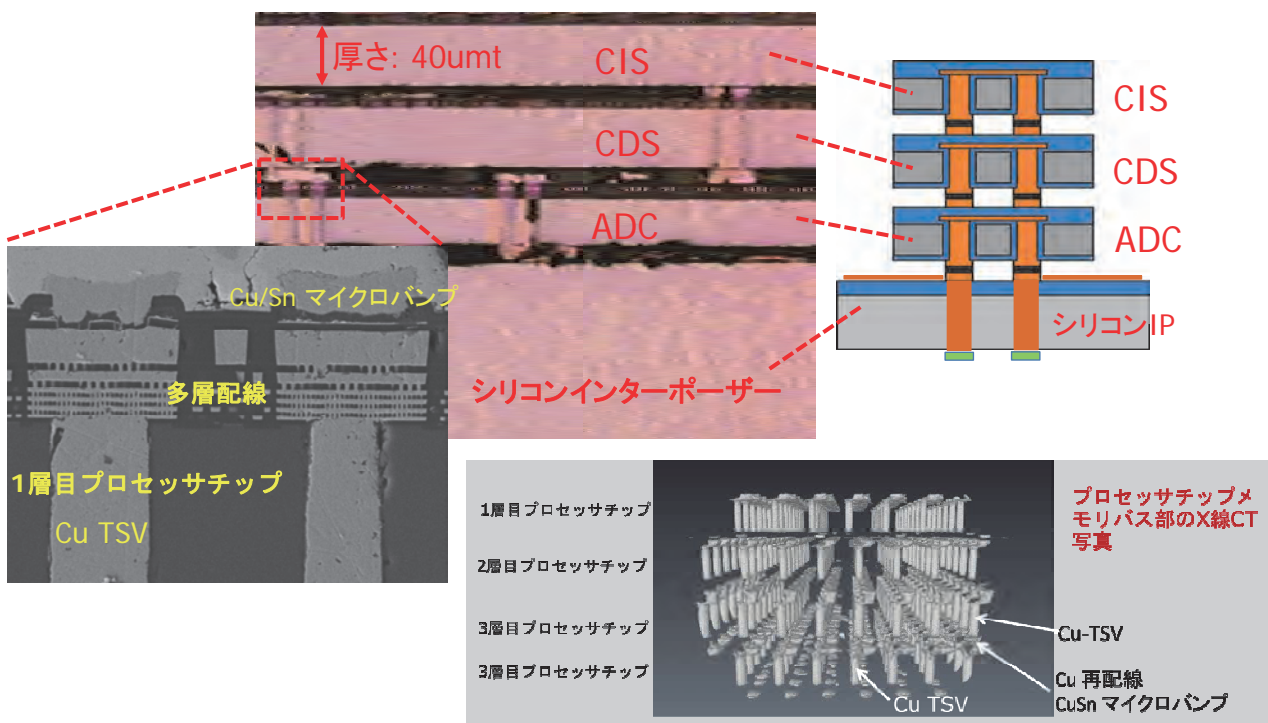


図 10 4 層積層 3 次元積層型イメージセンサーの断面写真とプロセッサチップの 4 層積層 X 線 CT 写真 (東北大・小柳教授のご厚意による)

近年、各方面でテクノロジーが突出され、思いつくままにキーワードを挙げると MEMS センサー、自動運転、IoT、AI、3次元デバイス・実装、ロボティクス医療機器、3Dプリンティング、量子コンピュータ、等々、数えきれない。日経新聞の記事によれば、各国の研究開発力を探るために世界の研究者が注目する研究テーマ別ランキングをまとめたところ、次世代の電気自動車 (EV)、ロボットなど産業のかなめとなる電池や新材料などが目立っている。表1は、日本経済新聞社とエルセビア社がまとめたものであるが、注目される30研究テーマランキングの例である。これらの中のオプトエレクトロニクス分野は、欧米、中国、日本などを中心とする諸国で開発競争が激しいが、その革新的部品製作には特に半導体デバイス応用が付き物であって、当然その超精密加工技術の適用を必須とすると考えて間違いない。

表1 世界の研究者が最も注目する先端技術の研究テーマ別ランキング
(日本経済新聞社がオランダ・エルセビアと共同でまとめた
30研究テーマ/日本経済新聞 2018.12.31日より。)

注目されている研究 テーマランキング			論文数の国別順位		
			カッコ内は国別の論文シェア・%		
			中国	米国	日本
1位	ペロブスカイト	電池	1位 (41.4)	2位 (21.5)	4位 (6.9)
2	単原子層	半導体	1 (35.1)	2 (32.5)	4 (6.6)
3	ナトリウムイオン電池	電池	1 (58.1)	2 (17.4)	4 (7.8)
4	ニッケルや鉄酸化物の触媒	新材料	1 (54.2)	2 (19.2)	8 (3.6)
5	ジカウイルス感染症	医療バイオ	3 (9.1)	1 (40.2)	20 (1.0)
6	リチウム硫黄電池	電池	1 (59.9)	2 (23.7)	7 (2.8)
7	ゲノム編集	医療バイオ	2 (22.6)	1 (43.9)	3 (8.0)
8	有機薄膜太陽電池	電池	1 (31.8)	2 (14.3)	6 (3.8)
9	電気二重層コンデンサー	電池	1 (65.3)	4 (7.5)	10 (2.0)
10	免疫療法	医療バイオ	5 (7.8)	1 (43.3)	3 (9.2)
11	酸化還元	化学	1 (63.5)	2 (14.1)	4 (5.2)
12	光触媒	新材料	1 (78.3)	2 (5.3)	8 (2.6)
13	水素発生触媒	新材料	1 (69.4)	2 (15.7)	9 (2.5)
14	核酸を標的にしたがん治療	医療バイオ	1 (72.6)	2 (15.7)	4 (2.1)
15	腸内細菌	医療バイオ	2 (16.8)	1 (31.1)	11 (3.8)
16	カーボン量子ドット	新材料	1 (61.5)	3 (8.8)	13 (1.3)
17	フレキシブル材料	新材料	1 (36.0)	2 (29.2)	4 (5.9)
18	放射化分析	化学	1 (45.6)	2 (12.8)	4 (7.7)
19	細胞間シグナル伝達	医療バイオ	2 (22.7)	1 (33.4)	4 (6.0)
20	光熱療法	医療バイオ	1 (69.8)	2 (18.0)	15 (1.0)
21	二酸化炭素の有効利用	化学	2 (27.9)	1 (34.0)	3 (10.0)
22	微生物燃料電池	電池	1 (37.2)	2 (18.0)	9 (3.1)
23	光電気化学	新材料	1 (34.8)	2 (23.7)	5 (5.4)
24	コンデンサーへの炭素の利用	電池	1 (60.6)	2 (11.1)	5 (3.8)
25	有機金属構造体	化学	1 (38.4)	2 (18.8)	7 (4.5)
26	レーザー溶融	新材料	2 (20.0)	1 (22.9)	12 (2.5)
27	バイオ炭	環境	1 (42.1)	2 (19.3)	24 (1.3)
28	ナノ発電機	新材料	1 (50.9)	2 (31.5)	9 (2.0)
29	リチウムイオン電池	電池	1 (41.6)	2 (27.1)	5 (5.7)
30	セルロースナノクリスタル	新材料	1 (19.5)	2 (16.4)	9 (5.3)

各国の開発競争が激化している中で、2045年に想定されている“シンギュラリティ”(技術的特異点)の将来を見据えて加工技術の未来像とどう取り組むべきか、情報収集・分析し真摯に課題などを的確に把握しなければならない。従って、より高度な超精密加工プロセス技術の確立と新たなブレークスルーが極めて重要なキーとなることを認識したい。12月にノーベル賞を受賞した本庶 佑博士が「イノベーション

は、とんでもないと思うことから始まって革新生む。若い研究者の“一見ばかげた挑戦”によって秀でた結果を出してほしい、と日経新聞のインタビュー記事で述べていたが、筆者も同感である。

オプトメカトロニクスの将来像は、前述の世の中の動向を認識したうえで、例えば三次元デバイス・実装概念をさらに超高速・超高機能・知能化して超高性能デバイスを人工頭脳化へと一層深化させていくためには、若い次の世代の双肩に懸かっているのが、突拍子もないアイデアとその実現に向かって挑戦する、そのスピリッツに期待するのである。

5. おわりに

オプトメカトロニクス分野の将来動向を考えたとき、18世紀の産業革命に匹敵するIT産業に一層拍車がかかり、人工知能に限りなく近づけるべく、様々な多数のMEMS・センサーや高機能半導体デバイスなどを満載した自動運転車のように、新方式の高機能化システム・部品が出現することは必至である。同時に新材料・新構造部品の出現は、いわゆる、車の両輪の関係にある。新材料の特異な特性をどうやってどのように利用するか、そのためには加工・処理技術のみならず評価・計測技術の研究開発が不可欠となる。

半導体デバイス、スーパーコンピュータのみでなく、量子コンピュータの実現も早まると予測されている。今後のオプトメカトロニクス部品あるいはシステムの開発に対応して、より高度な超精密加工プロセス技術の確立と新たなブレークスルーが極めて重要なキーとなることを認識しなければならない。激しさを増す技術競争に勝つためにはイノベーション・シーズを求めて、異分野にも出向して技術を取り込むくらいのスピリッツが欲しいところである。

以上そういった意味で本稿では、僭越ながらイノベーションのシーズを追究してきた筆者の挑戦的テーマを紹介してきたが、今後とも考え抜いて飽くなき挑戦をする若き学生に期待するところである。

参考文献

- 1) R. Kurzweil: The Singularity is Near/翻訳版, NHK 出版 (2010)
- 2) E.Mendel:Polishing of Silicon,SCP & Solid State Technology, 10, 8 (1967) 27-39
- 3) T. Doi, “Dreaming of manufacturing technology and the progress,” Optical & Electro-Optical Engineering Contact, Vol.55, No.1,pp. 16-25, 2017 (in Japanese).
- 4) 土肥, 市川:砥粒加工学会誌, 48, 8 (2004)421-425
- 5) T. K. Doy: Development of a new drum-type line contact CMP machine, Int. J. of Material & Product Technology, 18, Nos. 4・5・6 (2003)
- 6) T. Doi et al.:Electrochemical & Solid-State Letter, 7(8) G158-G160 (2004) ベルジャー
- 7) 土肥ら:プラナリゼーション CMP 技術に関する研究—アリゾナ大アクトの日米共同—, 埼玉大学教育学部紀要, 54, 1 (2005) 69-79
- 8) T. K. Doy et al.: Austceram 2002 Proceedingg (2002) 249-250
- 9) T. K. Doi et al.: Impact of Nevel Bell-jar-type CMP Machine on CMP characteristics Optoelectronics Materials, Int. J. for Manufactuaring Sciencw & Tech., 9, 1, 5-10 (2006)
- 10) 會田, 土肥:真空ジャーナル, 165号 (2018年7月) 11-13
- 11) T. K. Doi et al. Sensors & Materials, 26, 6 (2014) 403-415
- 12) T. K. Doi: Int. J. of Automation Technology, 12, 2 (2018) 145-153
- 13) M. Koyanagi : Heterogeneous 3D Integration-Technology Enabler toward Future uper-Chip (Plenary Talk) Technical Digest of IEEE (IEDM) 1.2, pp.8-15 (2013)



土肥俊郎 DOI, Toshiro

九州大学・埼玉大学 名誉教授/Doi Laboratory Inc.

〒814-0001 福岡県福岡市早良区百道浜 3-8-33 福岡システム LSI 開発センター401