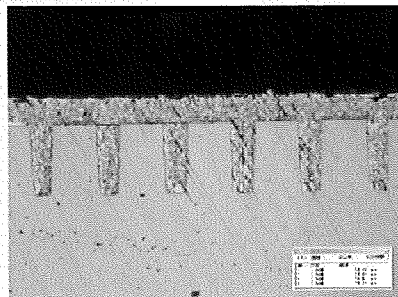


応用分野を広げ拡大するCMP市場



武野泰彦

グローバルネット株式会社代表取締役

1. パラダイムシフトが進む世界経済

米国、欧州経済が大きく揺らいでいる。リーマンショック後、中国の景気対策や新興国の経済成長により、何とか世界経済の景気は支えられていた。しかし、ギリシャの金融危機の再燃により、欧州経済が悪化し、米国にも影響を及ぼしている。日本も3.11の東日本大震災や円高により厳しい状況が続いている。米国に対抗して世界経済を牽引する国は見当たらないが、中国の存在価値が高まっている。

エレクトロニクス市場も変化が進んでいる。中国の景気対策で進めた家電下郷策によりFPDTVを中心にデジタル家電が好調であったが、欧州経済の悪化により、好調であった中国などのデジタル家電市場にも陰がさし始めている。

2. スマートフォンやタブレット型PCが半導体市場を牽引

半導体市場はその主力応用製品を汎用コンピュータ、パーソナルコンピュータ、FPDTV、携帯電話、スマートフォンと変えながら拡大してきた。汎用コンピュータの時代はDRAM(電気を供給しない

【著者問合せ】
〒104-0013 東京都中央区湊1-2-10
Tel.03-5117-2225 Fax.03-5117-2223
E-mail take@global-net.co.jp

と記憶しない素子)、パーソナルコンピュータ時代はMPU(マイクロプロセッサ)、携帯電話、スマートフォン時代はFlashメモリと、市場を牽引する半導体製品も変わってきた。今後はエネルギーや自動車、デジタル家電の進化が求められている。それはあまり集積度を求めない、LED(発光ダイオード)、パワーデバイスなどの新しい脱ムーアのグリーンデバイスである。

3. 世界経済の不安定により2011年の半導体市場は微増か

世界半導体市場統計(WSTS)の1986年から2007年までの推移を見ると、過去3回減少したが、順調に右肩上がりに推移してきた。しかし、2008年は、前年度比2.8%減の2556億ドル、2009年も11.8%減の2288億ドルと大幅に減少した。2010年はデジタル家電の好調により31.8%増の2983億ドルとなった。2011年は5月に行われたWSTS Forecast Meetingで、5.4%増の3144億ドルの予測が発表されたが、その後のギリシャ経済危機を発端とする世界経済の不安定化により、微増にとどまる可能性が高い。今半導体需要を押し上げているのはiPhoneを筆頭にしたスマートフォンとタブレットPCである。この状況下、半導体メーカーは世界の収縮した経済に合わせて、ラインや企業の統合を進めている。その結果、半導

体市場にはIDM(垂直統合製造)、Foundry(請負製造)とFabless(工場を持たない)とが共存するようになった。メモリやMPUなどの単体製品を扱うには設計、開発、製造を一つの会社ですべて行う体制が利益を上げることにつながる。技術が外部に流出することもない。一方、新しく変化に対応するようなデバイス開発をIDMで行うことが難しくなっている。そうしてFabless企業が回路設計をし、プロセスや生産はFoundryが行うという分業が行われるようになっている。また、グリーンデバイスと言われる、LED、パワーデバイスを専門に製造している会社も、新たに半導体市場に大きな存在感を示し始めている。

4. CMPはより多くのプロセスへ

この流れの中でCMP(化学機械研磨)産業は重要性を高めている。一つは、リソグラフィ技術の壁がいつそう高くなっているからである。二つ目は、スマートフォンやタブレット型PCのように薄型、高密度化に対応すべく3Dと呼ばれる薄片化と積層する技術が重要になってきたこと。三つ目は、グリーンデバイスに使用される基板のSiCやサファイヤ、GaNなど、平坦化が非常に難しい基板が登場していることである。半導体プロセスにおいても、ダマシプロセス、ILD(層間絶縁膜)、STI(浅溝形成による素

子分離技術)だけでなく、ゲート形成に使用されるPMD(配線工程前の絶縁膜)、ダミーゲート加工、ダマシゲート加工などへの応用が進んでいる。

このように、CMP技術は、複雑な構造を作りやすくする技術として、必要不可欠な技術として応用分野をますます広めている。

5. 半導体プロセスにおけるCMP技術

1983年にIBM研究所のKraus Beyerらが平坦化処理法として極秘に開発していたポリッシュして平坦化する技術は、1991年に国際学会で発表されCMPと名付けられ、半導体業界にセンセーションを巻き起こした。その後、米INTEL社ではMPUに、米MICRON社ではDRAM製造プロセスへの導入が進んだ。CMPプロセスは、MPUにおいては多層化による高機能化と高速化を進めるために、DRAMでは微細化と低コストで歩留まりを向上する重要な役割を果たし、リソグラフィへの負担を軽減させた。さらに、低抵抗のCu配線を採用するために、CMPプロセスによるダマシ技術が多層配線を可能にした。CMPプロセスには、酸化膜CMPとメタルCMPとがある。また、Si基板や他の基板、再生ウェハにもCMP技術が使用されるようになってきている。

STICMPは素子分離技術の一つである。素子間を絶縁膜である酸化膜で分離するため、ちっ化膜をストッパ膜に使用して酸化膜を研磨除去して、ちっ化膜が表面に頭出しされたところでCMPを止める。そのためには酸化膜とちっ化膜の選択性が必要になる。特にDRAMやFlashメモリでは、STIプロセスが重要で、スクラッチがメモリに影響を及ぼす。その結果二度CMPを行い、ちっ化膜までは高速に選択性高く研磨し、二回目にダメージを除去するためのCMPを行うようになった。また、デュアルキャパシタやダマシゲートを製造する上でPoly Siの研磨が必要になっている。メタルCMPは配線間をコンタクトするVia(ビ

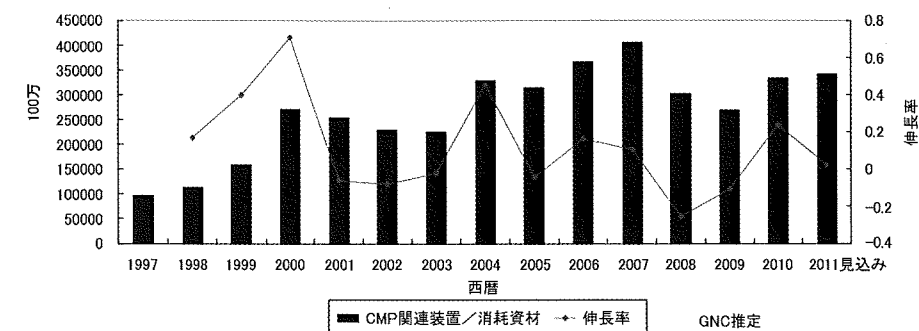


図1 世界CMP関連装置/消耗材市場推移と予測

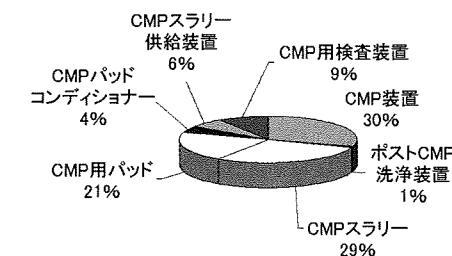


図2 2011年CMP関連装置・消耗材の種類別シェア

ア)の形成に使用される。配線と電極とのコンタクトをとる材料はWとCuになる。WCMPプロセスでは高温になりスクラッチが発生しやすくなる。Cuプロセスにおいても、エロージョンやCuのコンタクトを確実にするためにキャップ膜の検討が進んでいる。低誘電率のULK絶縁膜と呼ばれる絶縁膜の開発が進んだが、機械的な強度が弱い実装に負担がかかる。その結果、あまりULK化が進んでいない状況である。ダマシプロセスでは、Cuの埋め込みを行うため、CuのSi酸化膜への侵入を防ぐためバリア膜にTaやTa₂N₅を使用している。しかし、コンタクトViaの微細化によりバリア膜の成膜とバリア性が困難になっている。その中でRuをバリアで使用する検討が進められており、PVD(物理的に成膜)やALD(分子レベルで成膜)による開発が進められている。

また、3D実装ではTSV(貫通Si電極)プロセスにViaにCuを埋め込みCMPで行うダマシ技術が採用されている。また、チップを薄くする技術にもダメージを残さないためにCMP技術が採用されるようになってきている。

6. 寡占化が進むが、右肩上がりに拡大するCMP関連市場

CMP関連産業には、CMP製造装置、ポストCMP洗浄装置、CMPスラリー、CMPパッド、パッドコンディショナー、スラリー供給装置、検査装置などがある。これらCMP関連産業の世界市場規模は1997年には963億円であった(図1)。2000年には約3倍の2714億円となった。その後半導体市場の好調を背景にCMP

市場はダマシ配線への本格化が進み、2005年の減少はあるものの右肩上がりに拡大し、2007年には2000年の1.5倍である4055億円となった。しかし、2008年にサブプライムローン問題により半導体市場が下降局面に入り、2009年は2007年比35%減の2701億円となった。中国などの新興国の経済成長により2010年は再び上昇局面に入り、24%増の3339億円となった。2011年は世界経済の不安定化により後半に半導体市場が下降局面に入った結果、微増の3415億円が見込まれている。2010年の各分野別シェアを見ると、CMP装置が30%、次いでCMPスラリーが29%、CMPパッドが21%、CMP用検査装置が9%、CMPスラリー供給装置が6%、CMPコンディショナーが4%、と装置のシェアが高くなっている(図2)。

7. CMP装置市場

CMP装置は1983年から開発され、1990年に米Westech System社(現在は米Novellus Systems社)から量産装置として「Avant372」が登場した。同装置は、枚様式の装置で、1プラテン、枚葉式装置の第1世代装置として多くの半導体メーカーに納入された。

1992年に、荏原製作所がドライイン・

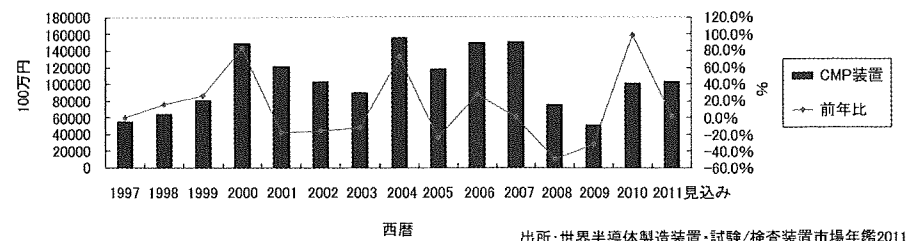


図3 世界CMP装置のトータル市場推移と予測

ドライアウトの洗浄装置を組み込んだクリーンルーム内で使用できる第2世代のCMP装置が上市された。1996年に、米Applied Materials (AMAT)社が3つのプラテンにより、連続して研磨できる第3世代のCMP装置「Mirra」を開発した。同装置は、設置面積2.3㎡で、レーザー光を使って、研磨量をモニタリングできるシステムを装備した。1995年までにCMP装置市場に参入したメーカーは20社近くあったが、市場の拡大と共に数社に絞り込まれ、米AMAT社と荏原製作所の2社による寡占となっている。米AMAT社が2009年に発表した「Reflection GT」の基本構成は3チャンパーでCuバルク研磨、バリヤ研磨、バッフィングでディッシングやエロージョンを除去するプロセスが可能となっている。ゾーンコントロールにより圧力を均一にできる研磨ヘッド2機を独立に動かし2枚のウェハを同時に研磨できる。洗浄装置にはマランゴニを使用した乾燥方式を採用している。6月には「Reflection-GTW」を発表し、DRAM、FlashメモリなどのWCMPプロセス向けに販売を強化した。1998年トップシェアであった荏原製作所は、第3世代の「F☆REX」を開発した。さらにそれを基にしてウルトラLow-k対応の研磨装置「F☆REX300S」を2005年に発表し、さらにアップグレードした「F☆REX300SII」を主力にしている。同社も研磨ヘッド「G3」を開発し、プロセスモニターにより研磨状況を検知し、スラリーとパッドの長寿命化が行える最適プロセスを可能にした。東京精密は、弾性バッキングフィルムを介しないダイレクトエアバック加圧と終点検出機構(差動トランス式マイクロメータ応用)を組み込んだヘッドが特徴のCMPシステム

「ChAMP-232,332」を主力に販売している。世界のCMP装置市場を見ると、2004年ごろから300mmウェハ対応装置が主流になっている。2006年からは旺盛なメモリメーカーの設備投資を背景に、右肩上がりに回復し、2007年は1498億となったが、2008年からは下降局面に入り、2008年、2009年と市場は縮小した(図3)。しかし、2010年は半導体メーカーの設備投資が拡大し前年比98%増の1015億円となり、2011年は微増の1029億円が見込まれる。

8. メモリ配線にCuが使用されCuスラリーがシェアを拡大

CMPスラリーは、酸化膜ILD用途に使用され拡大してきた。その後Wプラグ用途、STI(Shallow Trench Isolation)用途、Cu配線、Low-k、Poly-Si用途に応用分野を広げている。シェアとしてはDRAMやFlashメモリにCuが使用されるようになりCuプロセスが45%のトップで、次いでILDが17%、Wが15%、STIが13%、Poly Siが10%となっている(図4)。CMPスラリーの砥粒材料には、ヒュームドシリカ、コロイダルシリカ、セリア、アルミナなどがあり、プロセスの

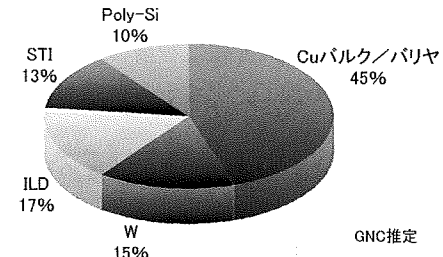


図4 2010年のスラリーのプロセス別スラリーのシェア

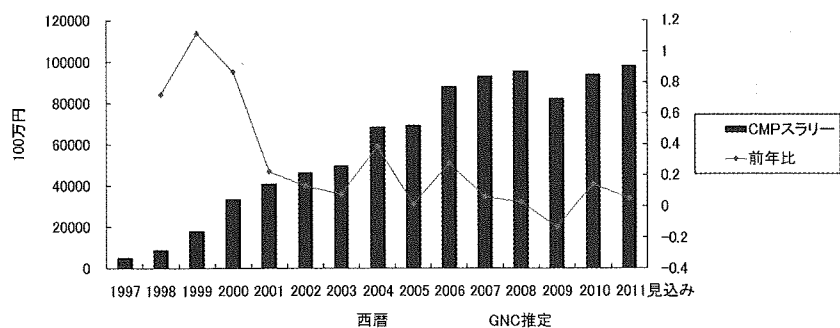


図5 CMPスラリーの市場推移と予測

高度化により砥粒においても様々な工夫が行われている。セリアは化学反応が強い材料で、混合する薬液によって酸化膜の研磨スピードを上げることができ、ちっ化膜を研磨するスピードを遅くすることができる。その性質を使ってSTIの研磨に利用されているが、酸化膜の研磨レートが高いので、ILDにも使用するようになってきた。

世界のCMP用スラリー市場は、1997年49億円であったが、CMPの応用が年々倍々近くに拡大し、2000年の332億円まで拡大した。ITバブル崩壊後も2008年の953億円まで右肩上がりに拡大した(図5)。しかし、リーマンショック後の2009年はさすがに減少し前年比14%減の821億円となったが、2010年の半導体市場は回復と同時に14%増の936億円となった。2011年は前年比5%増の980億円が見込まれる。

参入しているメーカーとしては、米Cabot社、米DOW Chemical社(Rohm & Haas)、米DA Nanomaterials社、米Planar Solutions社、米ATMI社などの大手化学メーカー、国内では日立化成工業、フジインコーポレーテッド、JSR、旭硝子、昭和電工などに淘汰されてきた。ILDではSS-12やSS-25を持つ米CABOT

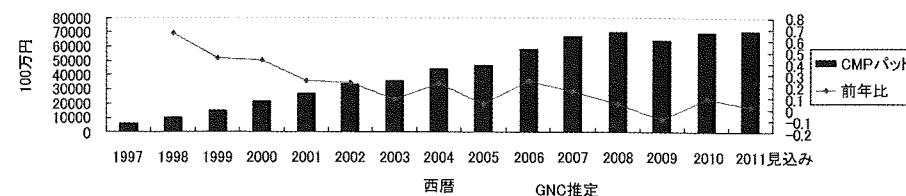


図6 CMP用パッドの市場推移

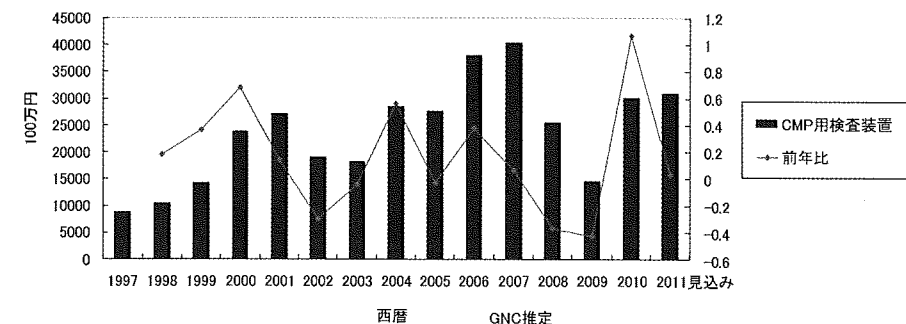


図7 CMP用検査装置市場推移

社とKrebolのDOW社が強く、それにフジインコーポレーテッドが続いている。Wスラリーは二酸化鉄を添加する特許を持っている米CABOT社が圧倒的なシェアを持っている。STIでは日立化成工業がセリアスラリーで寡占している。Cuバルク研磨では、フジインコーポレーテッド、米DA Nano社、米DOW社、米CABOT社、日立化成工業、JSR、旭硝子などが競い合っている。バリヤでは米Planar Solution社、JSR、米DOW社、日立化成工業、米DA Nano、米Cabot社のシェアが拮抗している。今後はTSV、Ru、Coなどのプロセスでの開発競争が熾烈になってくる。

9. 寡占するCMP用パッド市場に変化の兆し

CMPプロセスにおいては、発泡ウレタンを用いた格子や螺旋などの溝の入ったパッドが使用されている。プロセスによってはすぐにパッドを交換しなければならないプロセスもあり、長寿命化と高機能化が課題となっている。

半導体プロセスにおいて、それぞれのプロセスに合わせた硬いパッド、柔らかいパッドなどが、研磨対象の膜、構造により使い分けされている。STIでは低スクラッチで高平坦化のため、Cu配線では、Cu研磨の際には膜剥がれは発生し

ないが、バリヤ層と絶縁膜の界面でのストレスを緩和させるため、柔らかいパッドの採用と開発が進んでいる。

CMP用研磨パッドの世界市場は、1997年の63億円から、2003年には約7倍の363億円、2008年には2003年の約2倍の702億円と順調に市場を拡大させてきた。しかし、2009年は初めて減少し639億円となった(図6)。2010年は、半導体産業の回復と共に増加し前年比9%増の697億円となった。2011年は微増の710億円が見込まれている。

企業別に見ると特許を持っていた米ロゲル社を買収した米DOW社がILD用途に「IC1000」と「Subu400」、それを組み合わせた2層構造の「IC1400」のK-Grooveと呼ばれる同心円上の溝を加工したパッドでシェアを独占している。これに加え低スクラッチの「Vision Pad」、バリヤ研磨用ソフトパッド「Optivision Pad」、メタル用では「D-100」、「D-200」などをラインアップし、その牙城を堅守しようとしている。米国ではThomas West社、Plaxair社、NexPLANAR社、INNOPAD社などのシェア獲得が熾烈になっている。韓国では、Korea Polyol社、SKC社、日本では富士紡ホールディングス、JSR、東レ、トーヨー・アドバンス・テクノロジー、クラレなどが参入しシェア争いが激化している。

10. 歩留まり向上に必要な検査装置

CMP研磨において、研磨レートと表面状態がどうなっているかを検査する必要がある。パターンをついたウェハ上のスクラッチや欠陥を検査し、フィードバックをかけてCMPプロセスを向上させる。

CMP用検査装置市場は、1997年88億円であったが、2001年には272億円まで市場を拡大させた。しかし、2002年、2003年と減少し182億円まで下降した。2004年から増加傾向になり、2005年に若干のマイナスとなったものの、2007年には404億円の市場となった(図7)。しかし、2008年から下降傾向に入り、2009年は145億円まで下がった。2010年は前年比107%増の301億円と大幅に拡大した。2011年は前年比3%増の310億円が見込まれる。

装置としては、米KLA-Tencor社がほぼ独占状態で、表面検査・異物検査「Surfscan SP1」、「Surfscan SP1TBI」、「Surfscan SP1DLS」、最新製品「Surfscan SP2 XP」があり、さらにウェハの裏面のCu汚染やスラリー残さを測定検査する装置として「Surfscan SP1BSIM」をラインアップしている。同社はこれらの装置で検査されたデータベースを持ち、今までのマスク欠陥検査装置の画像処理技術により、欠陥の分析と歩留まり解析が行える。

11. 今後の展望

半導体プロセスでは、FEOLにおいてもCMPプロセスを使用するようになり、CMPの使用頻度は高まっている。また、スマートフォンやタブレット型PCなどの薄型で高機能なデジタル製品の登場により、薄くチップを重ねる3D実装技術にCMPが必要不可欠なプロセスとなっている。一方、省エネルギー、低炭素社会実現のためにLEDやパワーデバイスにもCMPの技術がコスト低減のキー技術となっている。今後CMPは新たなイノベーションを起こすプロセスとして、まだまだ応用分野を広げていくと考えられる。