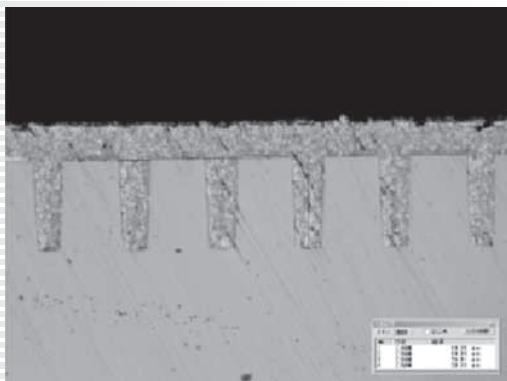


小型化／高密度化の中で、 ますます必要とされるCMP技術



武野泰彦

グローバルネット株式会社代表取締役社長

1. 世界経済は欧米からBRICs、VISTAへシフト

サブプライムローン問題やギリシャ経済の破綻により、金融投資を中心とした欧米型経済は成り立たなくなった。そして経済の中心は、実需と経済規模が拡大している中国を含めたBRICsなどやベトナム、インドネシアなどのVISTAへ大きくシフトしている。BRICsはゴールドマンサックスのアナリストが顧客に向けたレポートにGDPが今後拡大する国として、ブラジル、ロシア、インド、中国を挙げ、とりわけ中国のGDPが拡大し、2036年には米国のGDPを抜いてトップになると予測した(図1)。

この予測の通りに日本は2010年に中国の後塵を拝することになり、世界経済は確実に中国、インドなどのBRICs中心にその成長に期待せざるを得なくなった。

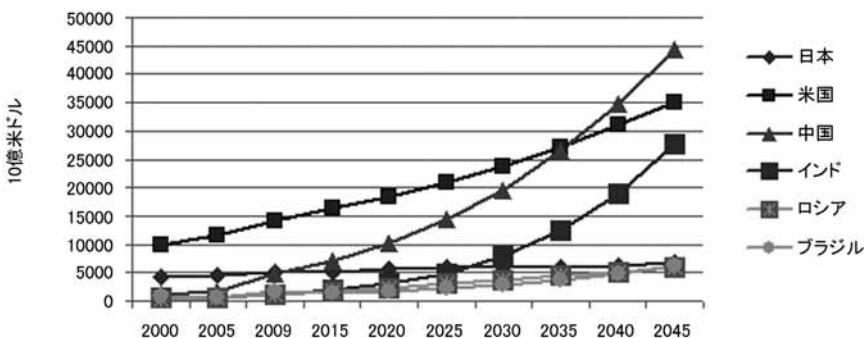


図1 ゴールドマンサックスの予測

2. 中国のデジタル家電市場拡大がエレクトロニクス産業を救う

このような世界経済の中、半導体産業も大きくサブプライムローンの影響を受けた。しかし、2009年後半よりBRICsやVISTAなどの経済成長、特に中国の家電下郷政策により、フラットパネル(FPD)テレビを筆頭にデジタル家電が好調に推移し、半導体産業はリスクを抱えながらも持ち直した。中国ではFPDテレビの潜在的需要は高く、家電下郷政策を1年間で350万人が利用した。その結果2010年のFPDテレビの出荷台数は前年比

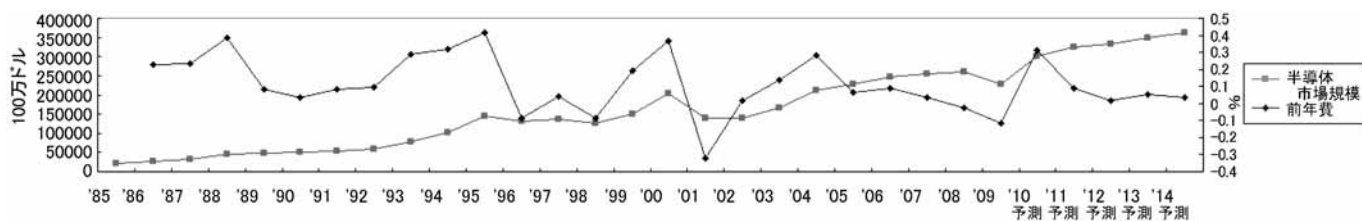
58.6%増の2380万台が見込まれている。このように今後は中国を追ってインドやVISTAなどの新しい経済圏も新しい中間所得者を生み出そうとしている。2016年のオリンピックもブラジルのリオデジャネイロに決まり、新しい時代が訪れようとしている。

3. ITからグリーンテクノロジーへ

ITバブル後は、インターネットと携帯電話などのデジタル家電が普及し世界経済は成長した。そのさなか、サブプライムローンによる経済破綻が起った。2009年1月21日に米国ではオバマ大統領

【著者問合せ先】

〒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



西暦
図2 世界半導体市場推移

が就任し、8250億ドル(73兆円)の大型景気対策によって、「グリーンニューディール」と呼ぶ環境分野の太陽光発電、バイオ燃料などの代替エネルギー経済成長を軸に世界経済を復活させようとしている。これから、グリーンテクノロジーと呼ばれるエネルギー関連の産業、ロボット、農業が新しい波を起こそうとしている。

4. 半導体産業は脱ムーアの時代に

世界経済は、産業のイノベーションとなる発明や発見によって景気の循環を繰り返している。半導体産業もシリコンサイクルと呼ばれる4年のサイクルを繰り返しながら成長した。そしてアプリケーションもコンピュータ、携帯電話、デジタル家電、自動車とその応用市場を広げている。半導体の集積度は18~24ヶ月で倍増されるというムーアの法則があるが、この法則も微細加工が物理的な限界に近づきムーアの法則があてはまらなくなっている。また、市場もコンピュータの性能向上よりも、エネルギーや自動車、デジタル家電の進化を求めている。そこではあまり集積度を求めない、LED、パワーデバイスなどの新しい脱ムーアの半導体が期待されている。

5. 2010年半導体市場は新興国のデジタル市場に期待

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31.08%増の3000億ドルが見込まれる(図2)。特に好調なのはiPhoneを筆頭にしたスマートフォンとLED FPD TVである。半導体メーカーはサブプライムローンにより収縮した経済に合わせて、ラインや企業の統合が進んでいる。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企業であれば設計、開発、製造に莫大な投資金額を用意すれば可能であるが、新しく電子機器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。その結果、米Qualcom社のようなFabless企業が半導体売り上げのトップ10の中に入ってきている。また、新しい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。

6. CMPはより多くのプロセスへ

半導体産業の大きな変化の中で、半導体プロセスも微細化を追求するメモリ、MPUと、微細化は追求しないで機能とコストを追求する開発に二分化している。

その中で平坦化技術は、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認知された。IBM研究所のKraus Beyerらが平坦化処理法として開発したポリッシュして平坦化する技術(CMP、化学機械研磨)は、米INTEL社のMPUに、米MICRON社のメモリプロセスへの導入が進んだ。CMPプロセスは、MPUでは多層化を進めるために、

メモリでは微細化を進める上でコスト低減と歩留まりを高める上で重要な役割を果たし、この技術によりリソグラフィーの負担が軽減された。さらに、低抵抗のCu配線を採用するには、Cuのドライエッチングが難しいので、CMPプロセスによるダマシン技術が6層以上の配線を可能にした。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、再生ウエハにもCMP技術が使用されるようになってきている。酸化膜CMPには、ILD(層間膜)CMPとSTI(Shallow Trench Isolation)CMP、Poly Si CMPがある。STIは素子分離技術の一つである。窒化膜をストップ膜に使用し、酸化膜と窒化膜の選択性が必要になる。特にDRAMやFrashメモリでは、3Xnmノードに入り、スクラッチが歩留まりに影響を及ぼすため、2度CMPを行い、最後にディッシングやスクラッチを除去するCMPが追加されるようになってきている。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もPoly Siを研磨することが必要になり、Poly Siの研磨を3~4回行うことが必要になっている。メタルCMPは配線と配線間をコンタクトするビアの形成に使用される。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。Cu配線プロセスは、Low-K絶縁膜との組み合わせが重要になる。ダマシプロセスでは、Cu、Low-K、バリアメタルのTa、Ta_Nなどの成膜およびCMP加工を行わなければならない。

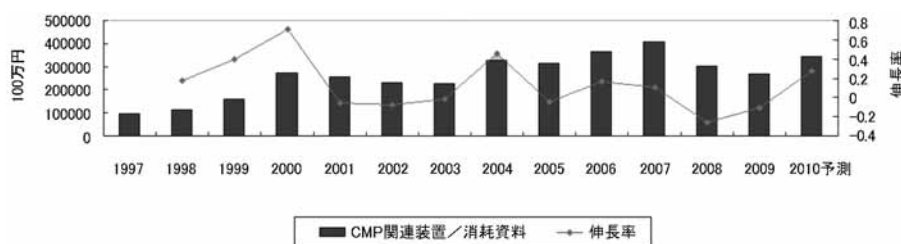


図3 世界CMP関連装置／消耗材市場推移と予測

一方実装技術は薄型、高度化への要求により、3D実装技術の開発が進んでいる。3Dには、TSV(Trough Silicon Via)にCuを埋め込みCMPで行うダマシン技術が採用されている。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の採用が検討されている。

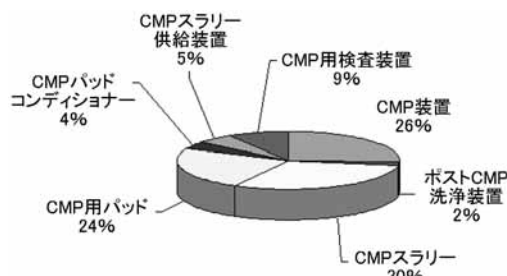


図4 2009年CMP関連装置・消耗材の種類別シェア

7. CMP関連産業市場は今後も右肩上がりに拡大

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963億円であった(図3)。2000年には約3倍の2714億円となったが、2001年はITバブル崩壊により市場は減少した。しかしデジタル家電が牽引し半導体市場の好調を背景にCMP市場はダマシン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4055億円となった。ところが、2008年にサブプライムローン問題により下降局面に入る。2009年は前年比11%減の2701億円となった。しかし、2010年は再び上昇局面に入り27%増の3444億円が見込まれる。2009年の各分野別シェアを見ると、CMP装置が26%、次いでCMPスラリーが30%、CMPパッドが24%、CMP用検査装置が9%、CMPスラリー供給装置が5%、CMPコンディショナーが4%、装置よりも消耗材市場が大きなシェアを占めるようになった(図4)。

8. CMP装置市場

CMP装置の開発は1990年以前から本格的に検討され始めたが、本格的な

CMP量産装置は、米Westech System社(現在は米Novellus Systems社)が米国のコンソーシアムであるSEMATECと「Avant372」を1990年に開発し上市した。同装置は、枚様式の装置で、第1世代の装置として多くの半導体メーカーに納入された。第1世代の装置の特徴は1プラテン、枚葉式装置である。

1992年に、荏原製作所がドライイン・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装置を開発した。次いで1996年に、米Applied Materials(AMAT)社が第3世代のCMP装置「Mirra」を開発した。同装置は、設置面積2.3㎡で三つのプラテンにより、3枚のウエハを研磨する。レーザ光を使って、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社と荏原製作所の二強時代になってきた。米AMAT社の装置は多層配線のCuダマシンプロセスに向いている。2009年に発表した「Reflection GT」は3チャンバーの装置である。基本構成は3チャンバーでCuバルク研磨、バリア研磨、バッフィングでデイスティングやエロージョンを除去するプロセスとなっている。特に、ゾーンコン

トロールの行えるtan countour研磨ヘッド2機を搭載することにより、ヘッドを独立に動かし2枚のウエハを同時に研磨していく。これによってスラリーとパッドのコストを下げるとともに、スループットを向上させた。洗浄装置にはマランゴニーを使用した乾燥方式を採用している。CMPプロセスは、スラリーやパッドを最適に使用しコストを低減するための工夫が重要になってきた。AMATでは、スループットを向上させるためにまたラジアルスキャン装置「iMap」を開発、膜厚プロファイルの情報を得ることを可能にし、Cuの除去プロファイルやエンドポイントの検出を可能にした。1998年トップシェアであった荏原製作所は、次世代のCMP装置を開発するために三菱マテリアと共同開発しサンノゼに共同出資で新会社を設立した。そして第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対応に研磨装置「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。同社も研磨ヘッドの工夫や、プロセスモニターの充実により、スラリーとパッドの長寿命化が行える最適プロセスの開発を進めている。東京精密は、弾性バックアップフィルムを介しないダイレクトエアーバック加

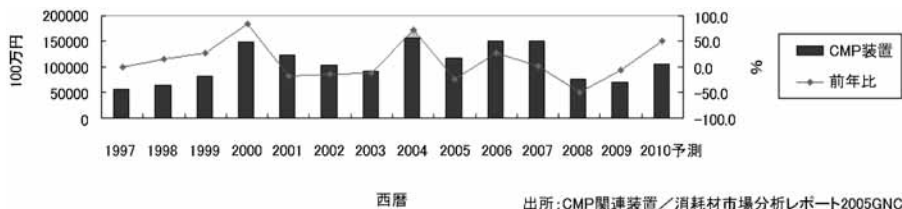


図5 世界CMP装置のトータル市場推移と予測

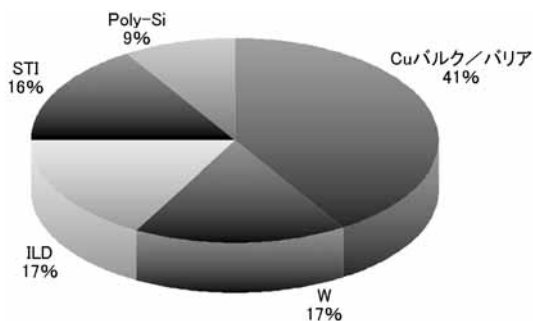


図6 2009年のスラリーのプロセス別スラリーのシェア

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を特徴とする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ウエハ対応装置が主流になり単価が上がったこともあって、前年比72.4%増の1555億円まで拡大したが、2005年にはその反動を受け、減少し1174億3000万円となった(図5)。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年からはふたたび下降局面に入り、2008年には前年比49.7%減少の753億円、2009年には7%減少の701億円となった。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45%増の1050億円が見込まれる。

9. セリアスラリーは中国輸出制限の影響が問題

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Cu用が多く41%のトップで、次いでILDが17%、STIが16%、Wが17%、Poly Siが9%となっている(図6)。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、窒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。しかし、中国のレアメタル輸出量の規制により、今後セリアスラリーに替わるスラリーを模索し始めている。

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年には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7)。しかし、リーマンショック

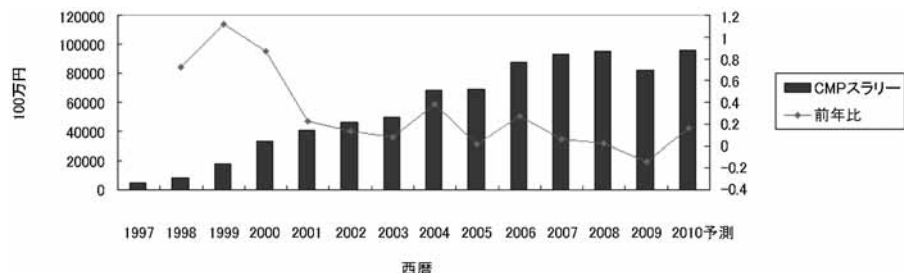


図7 CMPスラリーの市場推移と予測

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。2010年の半導体市場は回復し、16%増の956億円が見込まれる。

参入しているメーカーには、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社とKrebosolの米DOW社が強く、それにフジミが続いている。Wスラリーは二酸化鉄を添加する特許を持つ米CABOT社が圧倒的なシェアを持っている。STIでは日立化成がセリアスラリーで寡占している。Cuバルク研磨では、フジミ、米DANANO社、米DOW社、米CABOT社、日立化成、JSR、旭硝子などが競い合っている。バリアでは米Planar Solution社、JSR、米DOW社、日立化成、米DANANO、米Cabot社のシェア争いが激化している。

10. 寡占化するCMP用パッド市場に変化の兆し

CMPパッドは、スラリーとともに消耗材として必要不可欠な材料で、CMPプロセスに大きな影響を及ぼす。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、長寿命化が重要な課題となっている。

CMPのプロセスも多様化しているので、それぞれのプロセスに合わせたパッドが必要になっている。硬いパッド、柔

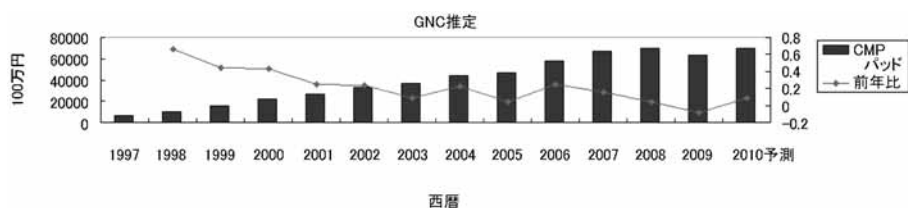


図8 CMP用パッドの市場推移

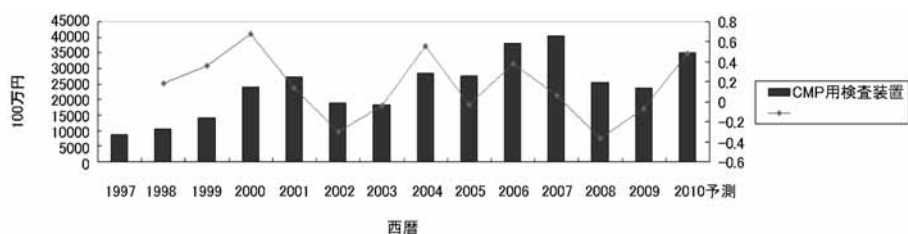


図9 CMP用検査装置市場推移

らかいパッドなど、研磨対象の膜、構造により使い分けがされている。Cu配線では、Low-k層間絶縁膜に起因する問題はさらに高まっていくと思われる。膜剥がれについては、Cu研磨の際には膜剥がれは発生しないが、その際の研磨圧力が高いことにより、バリア層と絶縁膜の界面にストレスが蓄積されるので、柔らかいパッドの使用が進んでいる。

CMP用研磨パッドの世界市場は、1997年の63億円から右肩上がりに拡大し、2003年は前年比9%増の363億円、2004年に入ると同22.7%増の445億円、そして、2005年には踊り場を迎えたものの、2006年は同24.9%増の581億円と再び2桁の増加に転じ、2007年はさらに672億円と拡大した。2008年は702億円、2009年は初めて減少し639億円となった(図8)。2010年は、前年比9%増の697億円が見込まれる。

米DOW社がILD用途に「IC1000」と「Subu400」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世界市場を席卷した。CuやSTIプロセスにおいてもパッドの溝形状やパッドの構造を工夫しながら同社のパッドが多く使用されている。同社が世界市場をほぼ独占している。しかし、ここに来て独占的であったシェアに変化の兆しが出てきている。米国ではThomas West社がWプロセスに採用され始め、そのほか、Plaxair社、

NexPLANAR社、INNOPAD社、NEOPAD社、Semi Quest社などがある。韓国では、Korea Polyol社、SKC社、日本では富士紡、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、シェア争いが激化すると予想される。

11. 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エ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年に88億円だった市場は、2001年の272億円をピークに、2002年は前年比30%減少の190億円、2003年も4%と減少し182億円と下降した。2004年から増加傾向になり、前年比38%増の284億円となり、その後2005年に276億円と若干のマイナスとなったものの、2006年は379億円と再び大幅増で2007年も緩やかな前年比6.4%増の404億円となった。しかし、2008年から下降傾向になり254億円、2009年は237億円となった(図9)。2010年は前年比48%増の351億円が見込まれる。

米KLA-Tencor社は表面検査・異物検査「Surfscan SP1」、「Surfscan SP1TBI」、「Surfscan SP1DLS」、最新製品

「Surfscan SP2 XP」があり、さらにウエハの裏面の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。このためこの分野では、ほぼ独占的なシェアを持っている。

一方、米AMAT社でもイスラエルのOLBOT社を買収して「ComPlus」を上市している。

12. 今後の展望

CMP産業は、半導体産業になくてもならない存在となった。CMPプロセスは、複雑な構造を作りやすくするプロセスである。半導体ではチップを積層する3D実装技術へCMPの応用が検討されている。LEDではサファイア基板が硬く研磨に時間がかかることが問題になっている。半導体プロセスでも、新しい材料への応用が増えCMPプロセスの回数が増加し市場が拡大すると予想される。