Si ウエハの Chemo-Mechanical-Grinding(CMG)に関する研究*

— 第3報：砥石に含まれる塩基の作用の解明と砥石物性値の最適化によるCMGの確立 —

田代芳章^{**},[†] 周 立波^{***} 清水 淳^{***} 篠田知顕[†] 三上祐樹[†],[†]

Research on Chemo-Mechanical-Grinding (CMG) of Si wafer

- 3rd report: Behavior of sodium carbonate in CMG wheels and effect of CMG wheel mechanical properties -

Yoshiaki TASHIRO, Libo ZHOU, Jun SHIMIZU, Noriaki SHINODA and Yuuki MIKAMI

In semiconductor industry, production of ever flatter, thinner and larger Si wafer are required to fulfill the demands in high integration and cost reduction. A severe problem encountered in wafer thinning process is the warp and distortion of wafer induced by the residual stress and subsurface damage. Chemo-mechanical grinding (CMG) process is emerging process which combines the advantages of fixed abrasive machining and chemical mechanical polishing (CMP), offers a potential alternative for stress relief. However, since the sodium carbonate is used as additives in previously developed CMG wheels, the metal ions like sodium ion were possibly introduced on the machined wafer surface, and could risk in metal contaminations. In order to develop the high quality CMG wheel excluding sodium carbonate, CMG wheels with different recipe were developed. So far, CMG has been studied to investigate the effects of wheel geometry and grinding conditions on the removal rate, and effects of bond materials and additives on the surface quality in our previous researches. In this study, the focus was given to the wheel mechanical property (bending strength, elastic modulus) of CMG wheels. The difference in wheel properties is discussed by association with CMG performance including wheel wear and surface roughness. The result have demonstrated that the surface roughness of newly developed CMG silicon wafer is equivalent to that of CMG containing sodium carbonate as additive silicon wafer without any grinding marks.

Key words: chemo-mechanical grinding (CMG), stress relief, Si wafer, thinning process, design of experiment (DOE)

1. 緒 言

近年携帯電話、音楽プレイヤーやデジタルカメラなどのモバイル機器の内蔵メモリ容量が急増している。それを可能にしたのは2つのコア技術である。1つは、回路の線幅を小さくし単位面積当たりの集積度を上げる半導体材料の微細加工技術(デザインルールの進化)である。そしてもう1つは、極薄チップを立体的に積み重ねるLSIなどの3次元実装技術である¹⁾²⁾。Siチップを薄くして3次元積層すれば、回路線幅の微細化に頼らずLSIの大容量化、低コスト化を実現できる。従来のワイヤー・ボンディングによる多層(multi chip package)技術に代わって、チップ間のスペースを必要としないSi貫通電極による積層技術TSV(Through Silicon Via)では、シリコンウエハの厚さが30~50 μm 程度に薄片化されたものが要求されている。

しかしながら、ウエハ厚さが100 μm 以下になると、図1(a)に示すようにウエハに反りが発生し、ハンドリングの際にウエハが破損を伴う場合がある³⁾。この反りの原因を解明するためにTEM (Transmission Electron Microscope: 透過型電子顕微鏡)を用いて研削後のウエハの断面観察を行った結果、図1(b)のような加工変質層(結晶破壊層)が生じていることを確認した。加工変質層は機械的材料除去によって生じたものであり、残留応力の発生原因となり、ウエハに反りを発生させ歩留まりを大き

く低下させる。このことから周知のとおり、半導体プロセスにはストレスリリーフと呼ばれる加工変質層を除去する工程が必要となる。

著者らは、ストレスリリーフの技術として、砥粒とSiの固相反応を積極的に研削工程に取り入れた Chemo-Mechanical-Grinding(CMG)の開発を行っている⁴⁾⁵⁾。セリア砥粒を研磨材とする特定の条件(主として温度と圧力)下でSiウエハを加工するとSi表層が徐々に除去され新しい原子層が現れることが知られている⁶⁾。この現象を利用し、セリア砥粒を主成分とするCMG

(a) Ground wafers

(b) Cross-section of ground wafers

Fig.1 Ground wafers and subsurface damage

* 原稿受付 平成26年7月24日

掲載決定 平成27年6月29日

^{**} 正会員 茨城大学大学院理工学研究科(日立市中成沢町4-12-1)^{***} 正会員 茨城大学工学部(日立市中成沢町4-12-1)[†] (株)東京ダイヤモンド工具製作所(東京都目黒区中根2-3-5)^{††} 茨城大学大学院 (現:キャノンモールド(株))

砥石を開発して、ドライ環境下で加工変質層を完全に除去した 300mm 径の Si ウエハの Defect-free 表面創成に成功した⁷⁾。ここでは、CMG による加工ワークに対して平坦度、表面粗さ等を調査し、市販品のポリシングと同等以上の結果が得られている。しかし、実用化を見据えると、これまでの CMG 砥石は組成上の問題を内包している可能性がある。ボンド材に添加されている Na_2CO_3 が加工点で熱分解⁸⁾して Na^+ イオンが微量発生することで半導体製造工程において金属イオンコンタミネーションを引き起こす恐れがある。ところが開発当初、 Na_2CO_3 またはその他の塩基は、砥粒と Si との固相反応を促進させる作用があると位置づけられていた。つまり、これまでは表面品位及び加工効率などの加工結果に基づき、当該仕様において、 Na_2CO_3 は加工中に化学的作用をもたらし、ストレスリリーフに寄与していると考えられていた。

本報は、 Na_2CO_3 を不要とする組成下で同等の効果を得るため新たな添加剤の探究や砥粒率の最適化、砥石の製造工程に着目して高品位 CMG 砥石の開発を目的とする。まず、2 章で必要不可欠とされていた Na_2CO_3 の作用を究明するとともに、CMG 砥石の物性値（抗折強度、弾性率）とケモメカニカル現象との相関を明確にする。また第 3 章では CMG 砥石の製造手法に実験計画法 L8 を導入して、各因子が物性値に及ぼす影響を探索し、CMG 砥石の製造手法の確立を試みる。

2. CMG における塩基 Na_2CO_3 の作用の解明

2.1 試験片の定義と準備

これまで CMG 砥石の開発において必要不可欠としてきた Na_2CO_3 をはじめとする塩基の作用について、ここで改めて検証する。そこでまず、表 1 に示すようにケモメカニカル現象の発現が確認されている仕様 L を中心に全 7 仕様の組成を定義した。具体的にはセリアの粒度を 3 水準用意し、各々の粒度に Na_2CO_3 を添加剤とするものと非添加な仕様の 2 水準を設ける。ボンド組成はフェノール樹脂を主成分とするバインダでセリアを保持する単純構造であるものの、従来の研究成果⁹⁾から得られたケモメカニカル現象を発現するための有効な組成比に準じて I, J, K, M, N, O を製作した。また、仕様 O についてはバインダとなるフェノール樹脂の成分を維持させながら、1 次粒子の細かいものを採用したもので仕様 L との差別化を図っている。 Na_2CO_3 が不要と分かれば、ケモメカニカル現象に寄与する主成分はセリア単体であることが特定できると共に、セリアの粒径が及ぼす影響を検証するために粒径 D は 3 水準とした。ケモメカニカル現象を実現し得るサブミクロンの $D < 1\mu\text{m}$ 、ついで中粒の $2\mu\text{m} < D < 3\mu\text{m}$ 、最も粗粒の $D > 10\mu\text{m}$ である。

これらを一定水準の製造工程を経由して、角材(40×10×5mm)の試験片を製作した。上記で定義した砥石と同じ組成の定形小片モデルを用いて、機械特性（抗折強度と弾性率）を調査した結果を図 2 に示す。なお、この試験には 3 点曲げ試験機を用いて、同一条件下で 3 点曲げによる抗折試験を行い、抗折強度と弾性率について調査した。その結果、試作した 7 つの仕様の機械的特性値は広い範囲に分布しており、 Na_2CO_3 の有無やセリア粒径との相関関係は認められない。また、抗折強度は結合度と強い相関を持ち、その相関は比例関係にある¹⁰⁾。この任意に分散した数値データを念頭に置き、実際に本試験に臨む。

2.2 加工機械と加工条件

標準と位置づけられている仕様 L を例に砥石外観を図 3 に示す。砥石形状はリング型の外径 $\phi 300\text{mm}$ のカップ型ホイールであ

Table 1 Specifications of CMG wheel

CMG wheel	Additive	CeO ₂ size μm
I	N/A	$D < 1$
J	N/A	$2 < D < 3$
K	N/A	$D > 10$
L(*)	Na_2CO_3	$D < 1$
M	Na_2CO_3	$2 < D < 3$
N	Na_2CO_3	$D > 10$
O	Na_2CO_3	$D < 1$

(*): Reference specification

Fig.2 Mechanical properties of CMG wheel

Fig.3 Developed CMG wheel (L*)

Table 2 Test conditions

Process pressure	0.13 MPa
Wheel revolution	200 min ⁻¹
Work revolution	50 min ⁻¹
Process time	20 min
Work piece	8" Si-wafer
Grinding fluid	N/A (Dry grinding)

り、砥石幅は 10mm の寸法を有する。この砥石形状は CMG 専用に設計された横軸の平面研削盤に搭載可能である。CMG 専用研削盤の詳細は過去の論文にて紹介され¹¹⁾、ケモメカニカル現象の実現とその再現性を含めて多くの実績を持っている。また、本試験に適用する加工条件は表 2 に示すとおりで、加工方式はウエハ裏面研削（または Back grinding）によく用いられるインフィード方式を採用する。対象となる加工物は市場性と処理面積を勘案して 8" のシリコンウエハとし、加工雰囲気はクーラントを全く必要としない乾式で実施する。

加工圧力については、過去の要素実験を基に選定しているが、実験データから圧力に関しては最適化が成されており、最も安定して加工が進捗する 0.13MPa を採用した。同時に、加工時間は仕様 L を用いて 10~15min で CMG が完了することが確認さ

れていることから 20min と設定した。また、ウエハの前加工面は、ビトリファイドボンドホイール(SD3000V)を適用して、およそ 5.0nmRa の表面性状を成していることを確認している。

2.3 実加工試験による Na_2CO_3 の作用の考察

上記実験条件でそれぞれ行った結果から 4 サンプルを抽出した代表例を図 4 に示す。図 4 において、 Na_2CO_3 の有無とスクラッチの発生状況を対比したが、ウエハ外観によるマクロ観察においては、その両者に相違性は認められなかった。代表サンプルの例では “粗粒のセラミ+ Na_2CO_3 含有なし” の仕様 K では完全鏡面が確認されており、CMG 砥石における従来仕様の L と比較しても表面性状は遜色のないものを得ることができた。

また、これらの加工ワークを対象に走査型白色顕微鏡干渉計を用いて、表面粗さを確認した。ここで表 2 に示した加工条件下で得られたその代表例を図 5 に示す。図 5(a)は仕様 L で、図 5(b)は仕様 O の砥石による結果である。これまでの研究成果報告と同様に完全鏡面サンプルは総じて、目視及び走査型白色顕微鏡干渉計を用いた観察結果において、その加工表面には方向性のある研削条痕が見当たらないのが特長である。逆説的には図 5 (a) のような表面性状を実現することがケモメカニカル現象を実現する必要条件になっている。今回の実験でも一部の仕様ではこれと同じものを得た。断面図の波形からも分かるように、短波長でサブナノレベルの極小振幅であることが確認されている。一方、スクラッチが確認された加工面表面性状を(b)に示す。従来の研削加工面と同じように方向性のある研削条痕を観察することができる。このように、ケモメカニカル現象が発現したか否かは、加工面品位で判別が可能である。またケモメカニカル現象発現時の定量的な判断基準の一つとして、表面粗さが $Ra < 2\text{nm}$ を達成していることが基礎実験¹²⁾で明確になっている。そこで、全実験データを Na_2CO_3 の有無でグループ分けをし、その両者を対比したものを図 6 に示す。図 6 に示すように、仕様 K において添加剤 Na_2CO_3 を用いずとも、CMG 研削に成功した。また一方で、 Na_2CO_3 の添加により面粗さが悪化するケースも確認した。 Na_2CO_3 が必ずしもケモメカニカル現象の発現に必要な条件とは限らないことがわかる。

本研究において、仕様 K の加工結果により Na_2CO_3 を含まない砥石の組成で Si ウエハの完全鏡面を創成したことから、CMG 砥石に従来必要とされていた塩基の役割の究明がますます重要になる。そこで、砥石の内部構造を SEM により観察し、ミクロ的に Na_2CO_3 がボンド内部に与えている影響を調査した(図 7)。前項で述べた図 2 の示す試験片の機械的物性強度とミクロ的構造は密接な関係となっており、鏡面創成を実現した K と L は構造体としてはいくつかの共通項があることに気付く。単一原料の粒界または単粒子が単独で存在しており、構造が多気孔組織の疎な構造体である。一方、鏡面創成が不能であった J や O は図 7 で示すとおり、L と O の単純比較において成分比が同一にもかかわらず、構造体に気孔がほとんどないマトリクス構造になっている。そのため加工物との接触点で作用メカニズムが異なることからケモメカニカル現象が発現しないものとみられる。

具体的には、ボンド内部に内包している Na_2CO_3 が大気中の水分などと反応してのちに再結晶化することにより十水和物($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)を形成し、この十水和物が風解することにより一水和物となる。また、これらの水和物が水分と反応することでアルカリ性を示す。この過程でバインダとしての役割のフェノール壁面を脆化させてマクロ強度を弱めていることが SEM による観察および 3 点曲げ試験で分かった。一般的にフェノール

Fig.4 Overview of Si-wafer by CMG

(a) Mirror surface by wheel L

(b) Scratched surface by wheel O

Fig.5 Surface topographies

Fig.6 Surface roughness

樹脂は酸性環境には強いがアルカリには非常に弱いことが知られている。現に、 Na_2CO_3 は水に溶解すると強いアルカリ性をもつことが知られているのに加え、フェノール樹脂はアルカリ溶媒に溶け込むと変色を伴い溶解する。かつて開発当初の頃は CMG 砥石の多くはその色調が経時変化し、加工性能が変動することが見られた。このことから、ボンドに添加された Na_2CO_3 が経時変化によりボンド強度を低下させ、砥石およびウエハ界

面に多数のセリア砥粒をリリースすることが塩基の作用としての実態である。加工メカニズムにおいて Na_2CO_3 には化学作用があるとされた当初は、上記の再結晶、風解などの作用により、ボンドの強度がケモメカニカル現象を発現できる適性範囲に物性値を有した CMG 砥石を使用して加工実験を行ったためと推察される。これらの仮説を検証するため、次章では Na_2CO_3 を排除した仕様展開を図り、CMG を実証することでその成立条件を明らかにするとともに、化学作用が発現できる CMG 砥石の製造手法を確立する。

3. 実験計画法と製造手法の確立

3.1 実験計画法 L8 による影響因子の探求

Na_2CO_3 の主な働きがボンド強度ないしは砥粒の保持力の低下作用であるとすれば、 Na_2CO_3 を除去した砥石の機械強度を適切に制御して同等な加工性能を実現することは可能である。そこで3章では、これに伴い CMG 砥石の持つ物性値に着目して製造手法との関連性を調査する。まず、仕様を決定するにあたり実験計画法 L8 による検証方法を採用して、影響因子の探求を行うこととする。

L8 に用いた因子と水準を表3に示す。設定項目は3因子2水準であり、ここで3因子は物性調整用の添加剤の有無(X_1)、原料混合方式の違い(X_2)、機械的強度と分散性に影響する混合原料のフィルタリングの有無(X_3)である。砥石のもつ機械的物性値は、自明である砥石の3要素(砥粒、結合剤、気孔)をはじめとする組成比もさることながら、すでに過去の実績からセリアの適性含有率は少なくとも40vol%である必要があるため固定値として定義した。よって、差し引き60vol%の範囲で成分構成を検討して物性値を調整する。機械的強度にもある程度の水準を設けるために、任意の添加剤が物性調整用途で必要になるため因子として取り込んだ。ここでは、シリコンウエハの量産工程で多用されるコロイダルシリカの効果を転用して SiO_2 と定義する。一般的に細粒な程、粉体原料の均質分散は原料間の比重差異やファンデルワールス力の作用などの外乱に影響されやすく、均質状態を確保し難い。また、前節よりケモメカニカル現象はセリア粒子単体とシリコンウエハの表層間の化学反応により発現することが確認された。このことより、セリアの作用を他の原料が阻害することを懸念して、0.4~0.5 μm の粒子径を有する SiO_2 を添加剤として採用する。また、主原料の混合方式の違いにより物性値が大きく異なることから、乾式混合（ボールミルを用いた混合方式）と湿式混合（原料粉体が不溶な分散溶媒を用いた混合方式）を採用した。なお、作用砥粒においては化学的に材料除去する作用が効率的に発現する必要があるが、理想的には凝集がなく、すべての原料が一樣に分散することで実現できる。原料粉体がサブミクロン粒子ゆえにN次粒子となり得るが、その凝集体を極力分散されるために目開き 30 μm のふるいを用いて、それを専用の媒体で分散させて通過したものを回収して原料粉末とする。

3.2 機械的強度と実験結果

L8 に適用する際、試作した CMG 砥石を仕様 A~H として定義し、それぞれのパラメータを表4に示すとおり L8 の直交表に割り当てる。たとえば、 X_1 の割り当ては添加剤の有無であり、A~D はバインダとしてのフェノール樹脂とセリア砥粒だけで構成される添加剤のないもの、E~H は A~H のバインダ占有体積の一部を添加剤 SiO_2 に転換させた仕様である。残りの2因子についても L8 の直行表に基づき割り当ててことで、影響因子を調査する。

Fig.7 Micro structure of CMG wheel

Table 3 Factors and levels for L8

Factors	Levels	
	-	+
X_1 Additive	N/A	SiO_2 (Sub-micron)
X_2 Mixture method	Dry	Dry + wet
X_3 Filtration	N/A	Applied (#30 μm filter)

Table 4 Wheel specifications for L8

CMG wheel	Additive	Mixture method	Filtration
A	N/A	Dry	N/A
B	N/A	Dry	Applied
C	N/A	Dry+Wet	N/A
D	N/A	Dry+Wet	Applied
E	SiO_2	Dry	N/A
F	SiO_2	Dry	Applied
G	SiO_2	Dry+Wet	N/A
H	SiO_2	Dry+Wet	Applied

Table 5 Mechanical properties and test results

CMG wheel	Wheel properties		Grinding results
	Bending strength MPa	Elastic modulus MPa	
A	114	5593	1.4
B	155	5964	2.0
C	135	5657	1.5
D	148	5677	2.6
E	120	6319	1.7
F	135	6408	3.9
G	97	6418	1.8
H	125	6404	2.9

本章でも2章で述べた試験片と砥石形状は同形状のものを試作し、また L8 に適用する加工条件は前節と同じとする。試験片の機械的特性及び加工試験から得られた表面粗さを表5に示す。すべての仕様において抗折強度と弾性率を出力した。また、加

工試験により得られた表面粗さ R_a も併示した。その他、砥石の摩耗率 G $\mu\text{m}/\text{min}$ を加えて計4つの評価パラメータにより砥石物性と加工性能の関連性を調べた。

試験結果を参照すると、前節同様に機械的物性値が広い範囲で分布しており抗折強度では $97\sim 148\text{MPa}$ を示し、弾性率では $5593\sim 6418\text{MPa}$ の範囲で分布する。これは、一般的なフェノール系レジンボンドの分布範囲であり特殊な物性値を有していないことがわかる。これらを用いて同一条件下で加工試験を行った。そこから得られた表面粗さおよび表面性状についても多岐にわたることが確認された。ケモメカニカル現象が実現し得るかを判断する重要な要素である表面粗さ R_a については、前節同程度の数値分布をとり、 $1.4\sim 3.9\text{nm}$ に推移している。

これらの結果を基に、実験計画法¹³⁾を用いて各因子 X_i に対しての影響度を出力する。高次項の影響を無視すれば、出力応答 Y_i は、入力因子 X_i と式(1)に示す線形関係にある。それぞれの係数 E_i は各因子の影響度を示し、式(2)に定義される。実験から得られた数値を Y_i に代入することで E_i が算出される。

それぞれの評価パラメータに対して出力した結果を図8～図11に示す。図8より、抗折強度については SiO_2 を添加することで低くなることが分かる。添加剤を使用したことで結合剤比率 V_b (vol%) が減少し、砥石の結合度が低下したためと考えられる。

$$Y_i = E_0 + \frac{E_1}{2} X_1 + \frac{E_2}{2} X_2 + \frac{E_3}{2} X_3 \quad (1)$$

$$E_0 = \frac{1}{8} (+y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8)$$

$$E_1 = \frac{1}{4} (-y_1 - y_2 - y_3 - y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8)$$

$$E_2 = \frac{1}{4} (-y_1 - y_2 + y_3 + y_4 - y_5 - y_6 + y_7 + y_8) \quad (2)$$

$$E_3 = \frac{1}{4} (-y_1 + y_2 - y_3 + y_4 - y_5 + y_6 - y_7 + y_8)$$

一方でフィルタリングをすることで抗折強度は高くなる。砥石の組織がフィルタリングによって微細粒化した原料粉体が均質化したことにより密な構造体を形成して、結合が強くなるためと考えられる。また、混合方式はいずれの手法も同程度の分散状態から構成されたことにより抗折強度にほとんど影響しないことが判明した。

弾性率については、図9が示すとおり添加剤の有無が最も寄与しており、 SiO_2 を添加することで結合剤が形成するボンドブリッジを細小化することで脆化し高値を示したと想定する。他の2因子については影響度が極めて低く、同一原料の構造体であることから材質固有の物性値が現れたものとみられる。

次いで、表面粗さに対する影響を図10に示す。最も影響度が高かったのがフィルタリングで、砥石の構造において均質性を上げ加工品位の向上を試みたがフィルタリングを行うことにより品位の悪化につながった。また、微粒の SiO_2 を添加したことで逆にシリコンウエハとセリアとの化学反応を鈍化させたことがわかる。これは、 SiO_2 などの添加剤が介在するとセリアが効率よく作用しない為であり、CMGにおいては Na_2CO_3 同様、添加剤は加工促進に寄与していないことが裏付けられた。

最後に、図11に示す砥石摩耗率 G に関してはフィルタリングの有無が最も影響度が大きい。フィルタリングにより凝集体を排除し、原料の均質性が向上したことで機械的物性値の過剰な強化につながり、摩耗特性が鈍化したことが結果的に表面粗さ

Fig.8 Effect on bending strength

Fig.9 Effect on elastic modulus

Fig.10 Effect on surface roughness

Fig.11 Effect on wear characteristics

の悪化につながった。CMG に必要な要素として適度な摩耗率 G が確保できれば加工品位の向上が望める。

4. 考 察

CMG においては、セリア砥粒とシリコンウエハ間での化学反応の促進を必要条件としているが、その発現は添加剤の有無よりはむしろ砥石が持つ機械的物性値によって支配されている。図 12 に本報で用いた 12 種類の CMG 砥石の機械的物性値(抗折強度, 弾性率)と表面粗さの関係を示す。うち J, K, L, O の 4 種は 2 章で用いた砥石で、裏付けを取るために本章の結果に追記し俯瞰する。

加工試験の結果より、図 12 に示すように横軸に抗折強度(X 軸)、縦軸に弾性率(Y 軸)をとり、各仕様結果についてプロットした。このうち、鏡面創成が確認された仕様は A, C, K, L である。ここで座標(x, y)=(140, 5800)を原点とする領域について着目した。すると、CMG が成立し得る領域は第 3 象限のみに限定されるのがわかる。

次いで、製造手法について言及する。まず、添加剤は原点を基準に第 2 象限方向に導く作用があり、混合方式は影響度が少ないながらも湿式混合を経由することで第 4 象限に導く。また、最も影響度が大きかったフィルタリングの作用は第 1 象限に導く作用があることが判明した。

このことから、3.1 節で掲げた仮説どおり CMG 砥石は機械的特性値(抗折強度)の低い仕様、すなわちボンドの結合度が低い仕様が適している。加工中に定常的な砥石摩耗を伴い絶えずリリースされる遊離状態化した砥粒と固定砥粒の作用が同時に発生することが望ましい。具体的には、砥石の抗折強度と弾性率を通して個々の砥石摩耗形態を制御すれば、CMG 加工が成立する。得られた結果から CMG の成立条件として機械的物性値を数値化したものを表 6 に示す。少なくとも、抗折強度は 140MPa 以下でかつ弾性率 5800MPa 以下であることが必要である。また、添加剤により砥石機械特性値を制御することは可能であるが、仕上げ面粗さの観点から阻害要因になりやすく好ましくない。また、CMG において得られるケモメカニカル現象はあくまでもセリア砥粒に起因するものであり、添加剤は物性値の制御には有効であるが加工点に介在するとそれを鈍化させる可能性がある。一方、混合方式にはほとんど依らず、安定した摩耗形態を得る目的で設定したフィルタリングについては不要であることが分かった。CMG 砥石を製造する場合、これら諸点を十分に留意して方法を確立する必要がある。

5. 結 言

本研究はシリコンウエハに対する CMG 砥石の検証として第 3 報となるが、砥石機械的物性値に着目してケモメカニカル現象を発現する要素を解析し、新たに次のような結果を得た。

- (1) Na_2CO_3 の効果は固相反応の促進ではなく、結合剤を脆化させることである。抗折強度すなわち結合度を下げ、CMG 砥石の適正な物性値を導出し、ケモメカニカル現象を発現しやすくするための有効因子である。
- (2) CMG を成立させるための必要条件として、砥石の機械特性(抗折強度, 弾性率)が重要である。具体的には、抗折強度 140MPa 以下、弾性率 5800MPa 以下であることが望ましい。
- (3) 砥石の抗折強度を低くすることで、砥石の定常的な摩耗が行われやすいが、混合方式を乾式+湿式を採用することで摩耗特性が良化しケモメカニカル現象を発現しやすい。

Fig.12 Relationship between mechanical property and surface roughness

Table 6 Necessary condition for CMG

Parameters	Outputs
Bending strength	< 140 MPa
Elastic modulus	< 5800 MPa

- (4) セリアを主砥粒として組成比、組織などの拘束条件を満足し、かつ機械強度を調整したボンド組成であればCMGを効果的に発現する。

謝 辞

本研究の一部は平成 27 年度科学研究費(No.15H02213)、平成 23 年度科学研究費(No. 23360062)及び NSFC(No. 51228501)の助成により行われたことを記し謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) T.Hwang, D.Park, et al: Board level reliability assessments of thru-mold via package on package (TMV™ PoP), ICEPT-HDP '09 International Conference, 8(2009) 1124.
- 2) 中村吉宏, 加藤木茂樹: 半導体実装基板材料の歩みと今後の技術動向, 日立化成テクニカルレポート, 55, 6(2013) 25
- 3) T.Tsuruga, B.Soltani, H.J.Sasaki, T.Mitsuta, J.Shimizu, L.Zhou, H.Eda: Study on Thinning Process of Large Size Si Wafer, Proc. 10th ISAAT, (2007) 67.
- 4) 周立波, 河合真二, 本田将之, 清水淳, 江田弘, 焼田和明: Si ウエハの Chemo-Mechanical-Grinding(CMG)に関する研究 一第 1 報: CMG 砥石の開発一, 精密工学会誌, 68, 12(2002) 1559.
- 5) 周立波, 清水淳, 江田弘, 木村俊一郎: Si ウエハの Chemo-Mechanical-Grinding(CMG)に関する研究 一第 2 報: 固定砥粒によるφ300mm Si ウエハの完全表面創成一, 精密工学会誌, 71, 4(2005) 466.
- 6) M. Kerstan, G. Oietich: Silicon Wafer Substrate Planarization Using Simultaneous Double-disk Grinding, Advances in Abrasive Technology III, (2000) 211.
- 7) L. Zhou, H. Eda, J. Shimizu, S. Kamiya, H. Iwase, S. Kimura: Defect-free Fabrication for Single Crystal Silicon Substrate by Chemo-Mechanical Grinding, Annals of the CIRP, 55, 1(2006)313.
- 8) T.Asakai, T.Ogura, et al: Investigation of Drying Conditions for High-Purity Sodium Carbonate, Journal of The Japan Society for Analytical Chemistry 57, 1(2008)49.
- 9) H.Takahashi, Y.B.Tian, J.Sasaki, J.Shimizu, L.Zhou, Y.Tashiro, H.Iwase, S.Kamiya: Effects of sodium carbonate and ceria concentration on chemo-mechanical grinding of single crystal Si wafer, Advanced Materials Research, 76-78, (2009) 428.
- 10) 庄司克雄: 私論 研削加工-3D で見る研削加工の真髄-, (2014) 42-44
- 11) 江田弘, 周立波, 他 4 名: 大口径φ300Si ウエハ用超加工機械の開発, 精密工学会誌, 67, 10(2001) 1693.
- 12) L.Zhou, Y.B.Tian, H.Huang, H.Sato, and J.Shimizu: A study on the diamond grinding of ultra-thin silicon wafers, J.Engineering manufacturing, 226, (2013) 66-74
- 13) 中村義作: よくわかる実験計画法, 近代科学社, 1, (1997) 82.