

## 第7節

# 洗 淨

## 1 洗淨と汚染低減

森永 均\*

ナノの世界で回路を形成する、先端LSIプロセスはまさに「汚染との戦い」である。先端デバイスでは30nmを切る配線パターンで回路が刻まれ、ナノ粒子や分子・原子オーダーの極微小汚染が問題となる。デバイスの全製造工程は1,000工程以上に及ぶが、その内の約25%が洗淨である。洗淨には、①高潔な表面を、②副作用なしで、③短時間、かつ、④再現性良く、⑤低コストで実現することが求められる。要求レベルはデバイスの高集積化、低価格化と共に年々厳しくなっており、従って洗淨技術にはそれに適合するための進化が求められる。技術の進化を支えるのは、その根底にあるメカニズムの理解である。本項では超精密洗淨のメカニズム、先端デバイス洗淨の課題と考え方、最新技術動向について解説する。

ル(微粒子)、金属、有機物に分類される。部材の過剰なエッチングや表面マイクロラフネスの増大、パターン倒壊などの副作用を起こさずに、これらの汚染を徹底的に除去することが洗淨には求められる。

極微小汚染の洗淨に必要な機能は、[機能1] 汚染の脱離機能、[機能2] 汚染の再付着防止機能、[機能3] 下地膜のエッチング機能の三つに集約される(図1)<sup>1)2)</sup>。高潔な基板表面を再現性良く得るためには、特に液中汚染の再付着防止機能が重要である。

不溶性や難溶性のパーティクル汚染を例に取れば、脱離には超音波、ブラシ、ジェット洗淨などの物理作用、再付着防止にはアルカリや界面活性剤によるパーティクル/基板表面間の静電的反発作用、下地膜のエッチングには薬液による基板表面のエッチング作用が利用されている。

液中におけるパーティクル汚染の付着防止には、基板表面及びパーティクルのゼータ電位を同極性に

### 1. 超精密洗淨のメカニズム<sup>1)~4)</sup>

極微小汚染はその形態から主としてパーティク

#### 機能1) 汚染の脱離

- ▶ パーティクル汚染(不溶性/難溶性の場合) → 物理力
- ▶ 金属汚染・有機物汚染 → 溶解・分解機能

#### 機能2) 汚染の再付着防止

- ▶ パーティクル汚染 → ゼータ電位制御、濡れ性制御など
- ▶ 金属汚染 → pH-酸化還元電位制御/キレート剤活用

#### 機能3) 下地膜のエッチング

- ▶ 膜表面と強固に化学結合している汚染、膜中に取り込まれた汚染の場合

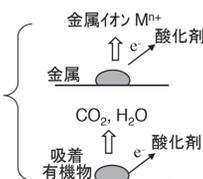


図1 極微小汚染の洗淨に必要な機能<sup>1)</sup>

\* (株)フジミインコーポレーテッド  
E-mail morinagah@fujimiinc.co.jp

制御することが重要となる。液中パーティクルが基板表面に付着する場合、主たる推進力はvan der Waals力（分子間力）と電気二重層による静電気力の二つである。van der Waals力のごく近距離で強く作用するのに対し、静電気力は比較的遠距離でも作用し、また、パーティクルと基板の帯電の仕方によって引力にも斥力にもなるという特徴を持つ。物質が極性溶媒（水溶液など）に接すると、その表面は帯電し、液中のイオンの存在により荷電界面の周りに電気二重層が形成される。電気二重層には種々の電位が定義されているが、実際に測定可能なのがゼータ電位であり、界面化学やコロイド化学の分野では液中粒子の分散・凝集などを制御する際の重要パラメータとなっている。ゼータ電位はパーティクルの基板への吸着・脱離を議論する上でも有効である。一般に、二つの物質表面のゼータ電位が同極性で大きい値であれば両者の間に反発力（斥力）が働き、異極性（片方がプラスで片方がマイナス）であれば引力が働く。アルカリ性の洗浄液中では、様々な部材の表面が共に負に帯電するために、基板とパーティクル間で反発力が生じ、パーティクルの再付着が防止できる。

可溶性の金属汚染の場合、汚染の脱離は、金属汚染を酸や酸化剤で化学的に溶解することによって行われる。有機汚染の場合も同様に溶解作用によって脱離される。

金属を溶解するための重要パラメータは、溶液のpH、酸化還元電位、錯化剤の有無であり、中でも基本となるのがpHと酸化還元電位である。酸化還元電位は溶液化学の分野で、液の酸化性、還元性を示す指標として広く用いられている。液中における水素イオンの酸化還元反応の電位を0Vとして基準とし、それよりも酸化力（電子を奪う力）の強いものを正電位、還元力（電子を与える力）の強いものを負電位で表している。単位は通常、V vs. NHE（水素イオンの電位を基準とした電位という意味）で表される。pHと酸化還元電位のマトリックスにおいて、熱力学的平衡状態にあるときの金属の状態（原子、イオン、水酸化物、酸化物等）を示した、いわゆるpH-電位図（Potential-pH Diagram、あるいは考案者のPourbaixにちなんでPourbaix Diagram<sup>5)</sup>とも呼ばれる）は液中における金属の溶解を議論する際に有効である。図2に代表的な金属のpH-電位図を示す。金属-水溶液の2相系の場合、図の溶解域（斜線の領域）になるように溶液のpHと電位をコントロールすれば金属は溶解する。金属汚染の洗浄に多用されるHPM (HCl/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O) 洗浄やSPM (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O) 洗浄は、低pH (<1) と高電位 (1.5V vs. NHE以上) を有しており、様々な金属汚染を容易に溶解することができる。但し、金属汚染は液中では溶解していても、基板表面と化学反応を起こして再付着する場合があるので注意

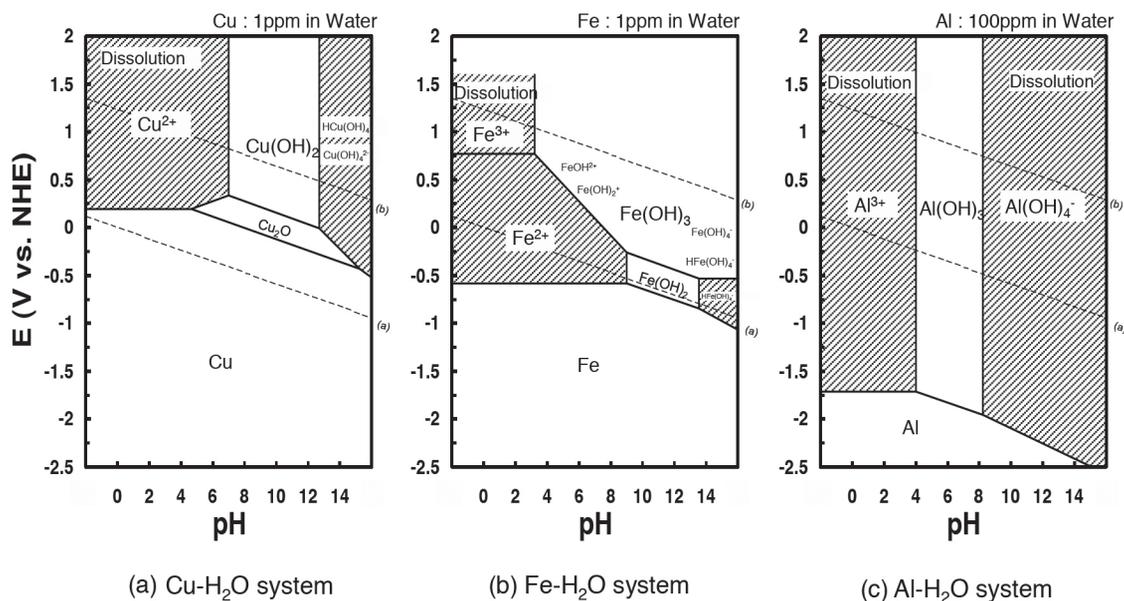


図2 代表的な三つの金属のpH-電位図 (25°C)<sup>1)</sup>

表1 液中における代表的な金属汚染の付着メカニズム<sup>1)3)4)</sup>

吸着機構	金属種	吸着が起こりやすい溶液	吸着しやすい基板表面状態
(1) 電気化学的吸着 (Electrochemical Adsorption) → 固液界面における酸化還元反応	Cu, Ag, Au… (貴金属)	希フッ酸、水、アルカリ 研磨剤スラリー (酸化剤がない場合)	ベア Si 表面 ≫ SiO <sub>2</sub> 表面 (p-Si, a-Si も含む) ※ 広くは卑金属表面全般
(2) 水酸化物吸着 (Hydroxide Adsorption) → 固液界面における脱水縮合反応	Al, Fe, Zn… (金属水酸化物)	アルカリ (APM など) 水	SiO <sub>2</sub> 表面 > ベア Si 表面 ※ 広くは OH 終端表面全般

を要する(表1)。希フッ酸(DHF)中でのCu付着、APM(NH<sub>4</sub>OH/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O)洗浄やアンモニア洗浄などのアルカリ液中でのAlやFe、Znの付着は有名である。Cu<sup>2+</sup>などの貴金属イオンは、シリコンとの酸化還元反応によってシリコン表面に吸着する。アルカリ液中ではFe<sup>2+</sup>、Al<sup>3+</sup>など様々な金属が水酸化物となり、これがSiO<sub>2</sub>表面のSi-OH基と脱水縮合反応を起こして吸着する。これらの付着は、その原動力となっている化学反応を妨げることで防止できる<sup>1)3)4)</sup>。

## 2. 先端LSI洗浄の課題と考え方

LSIプロセスは金属配線を形成する前と後で、FEOL(Front End Of the Line)とBEOL(Back End Of the Line)に大別される。より汚染に敏感なのは、半導体や極薄ゲート絶縁膜が、最も微細なパターンで形成されるFEOL工程の洗浄であり、ここでは、(金属配線が同居しないため)金属溶解能の高い、RCA洗浄(前述のHPM洗浄とAPM洗浄の組み合わせを基本とする)<sup>6)</sup>が高周波の超音波と併用されて用いられてきた。BEOLの洗浄では金属配線の腐食が問題となるために、RCA洗浄は用いることができず、超純水や薄い無機酸、有機薬液などが用いられてきた。近年、デバイスの高速化に対応するために、BEOLでは銅配線と疎水性の低誘電率(Low-k)層間絶縁膜が用いられるようになり、これらはCMP(Chemical Mechanical Planarization)工程によって配線形成されている。BEOLでは、CMPスラリー(研磨剤)にはナノオーダーのシリカや有機添加剤が用いられており、これらの微小汚染を銅配線を腐食させずに除去すること

が重要となっている。以下、FEOLとBEOLに分けて、洗浄の課題を述べるが、共通の課題は、①ナノ汚染低減とナノダメージ抑制の両立、②新材料・新プロセスに由来するクロスコンタミネーション防止である。

### 1) FEOL洗浄

FEOL洗浄にはシリコンウェハ洗浄、ゲート前洗浄、ゲートエッチング後洗浄、コンタクトホール内部の洗浄などがある。パターンの微細化と共に、より小さなパーティクルが歩留まりに悪影響を及ぼすようになる一方で、微細なパターンは、超音波などの物理作用や、薬液の化学作用に対して極めて敏感で、ダメージを受けやすい。先端LSIデバイスにおいては、この傾向は顕著となっている

もっとも清浄度を要求される洗浄は、ゲート絶縁膜を形成する前のゲート前洗浄、更にその前のシリコンウェハ洗浄である。これらの工程では金属、パーティクル、有機物といった汚染は勿論、表面マイクロラフネスも極限まで低減する必要がある。ベア(自然酸化膜のない)なシリコンウェハ表面は超純水リンス工程でさえも荒れることが知られており<sup>7)8)</sup>、洗浄やリンス中の表面荒れ抑制は極めて重要である。

ゲートエッチング後洗浄など、ゲート絶縁膜形成後の様々な洗浄では、Siや酸化膜などの膜ロス低減が重要となっている。APM洗浄やDHF洗浄などのエッチング作用を伴う洗浄では、希釈化、短時間化、低温化などによりエッチング量を抑制する必要がある。また、微細なパターンの倒壊にも注意が必要である。パーティクルの除去には従来より超音波を併用した洗浄が用いられているが、100nm以下のパターンはその作用によって極めて倒壊しやす

い。物理力を併用する洗浄には多かれ少なかれすべて同様の傾向があるため、物理力低減下での洗浄が必要となる。

コンタクトホール内部の洗浄では、ホール底部のコンタクトの自然酸化膜を確実に除去すること、ホール側壁の絶縁膜の過剰エッチングを防ぐこと、絶縁膜が多層の場合には個々の膜のエッチング量が均一になるようにすることが重要である。ベアなSiが露出する状態で洗浄を仕上げる場合には、表面が疎水性となっているために、ウォーターマークにも注意が必要である。ウォーターマークは疎水面に部分的に残った水滴の乾燥過程で、純水に溶解した $\text{HSiO}_3^-$ が析出するために起こる。防止には、乾燥過程で純水をIPAによって置換する方法、 $\text{N}_2$ 雰囲気乾燥することにより純水中にSiを溶出させない方法が用いられる。

FEOLで表面に露出している部材は、従来はSi、p-Si、 $\text{SiO}_2$ 、SilicideなどのSiあるいはSi化合物であった。これらは化学的に極めて安定な物質であり、従ってRCA洗浄のようにSiや酸化物を除くあらゆる部材を溶解してしまうような強力な薬品による洗浄が可能であった。一方で、先端LSIではゲート周辺材料にも様々な金属系材料が導入されて

いる。ゲート電極のWやAl、ゲート絶縁膜やキャパシタ絶縁膜のHfなどである。WやAlのようなメタルはAPM洗浄で容易に溶解するのでパーティクル除去にはRCA洗浄を用いることができない。また、Hfは液に溶解すると基板に再付着し、クロスコンタミネーションを引き起こす。メタル材料表面のパーティクル除去には超純水と物理洗浄の併用や界面活性剤技術の活用が、溶解したメタルの再付着防止にはキレート剤技術の活用が有効である。

近年、デバイスの微細化に応じるために、FEOLにおいて液浸露光技術が多用されている。液浸露光では、汚染を忌み嫌うべき露光工程において、基板が純水等の液体に浸漬されるが、この際にエッジ部からのパーティクル発塵があると、基板表面に再付着し、露光不良の原因となる。このようなクロスコンタミネーション防止には、エッジ部を事前によく洗浄すること、あるいはエッジ研磨によって発塵源となるエッジ部の(多層膜に由来する)バリを事前に研磨して、除去しておくことが有効である。

## 2) BEOL 洗浄

BEOL洗浄には、膜のドライエッチング後洗浄、Cu配線後のCMP後洗浄などがある。この工程で大きな課題となるのは、腐食しやすく、拡散しやすい

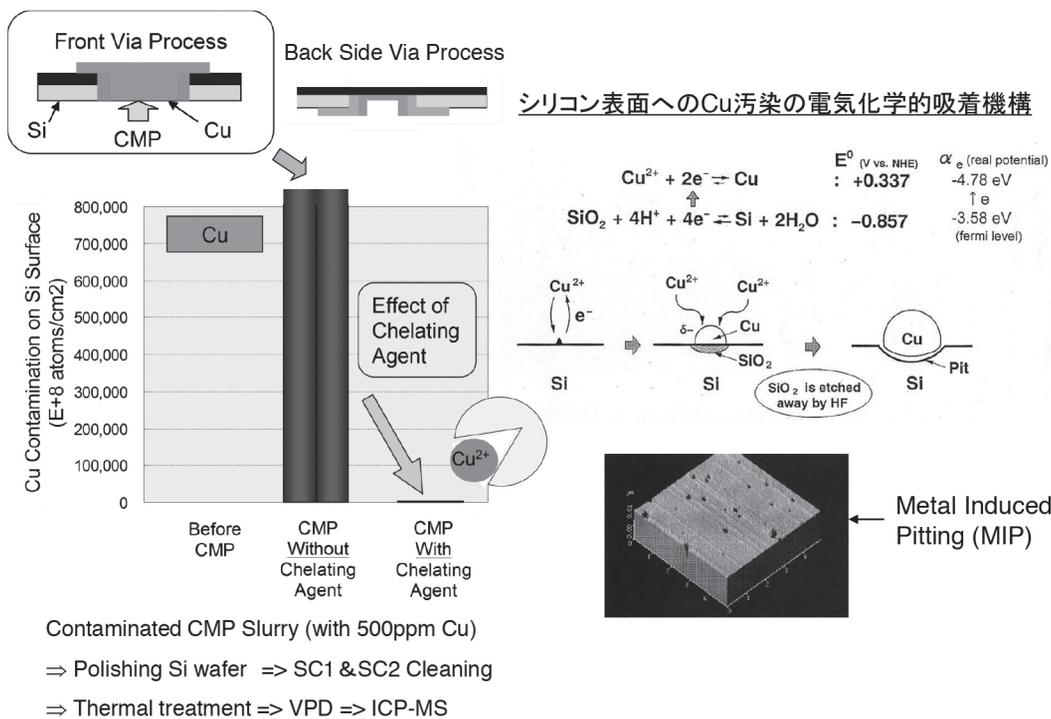


図3 TSV-CMP工程におけるCuクロスコンタミ防止に対するキレート剤の効果<sup>11)</sup>とシリコン表面へのCu付着メカニズム(右図)<sup>10)</sup>

Cu配線周辺の洗浄である。

Cu配線を絶縁するLow-k膜には種々の膜が提案されているが、有機化合物がドーブされたSiO<sub>2</sub> (SiOC、CDOなどと呼ばれる)などの絶縁膜の場合には、表面が疎水性であるために、水溶液による洗浄が著しく困難になる。疎水面の親水化には界面活性剤の添加が有効である<sup>4)9)</sup>。

先端LSIデバイスにおいては、3次元実装技術として、TSV (Thorough Silicon Via) 工程の導入が始まっている。Cuはシリコン表面に付着しやすく、付着の際にピットを引き起こすほか、付着したCuはシリコン内部で速やかに拡散する。従って、Cuは洗浄以前に「付着させないこと」が重要であり、TSV形成時に用いられるCMP工程では、Cuの付着防止技術が重要となる。Cuのシリコン表面へのクロスコンタミ防止にはキレート剤や酸化剤の添加が有効である(図3<sup>10)11)</sup>。

### 3. 最新技術動向

#### 1) 汚染脱離技術とその高性能化

汚染脱離に必要な物理/化学的作用は、半導体洗浄に不可欠なものとして多用され続けてきたが、近年のデバイスパターン微細化や新材料 (Cu配線、Low-k絶縁膜、High-k絶縁膜など) 導入によって、その使用には制限が必要となっている。物理作用による極微細パターンの倒壊、化学作用による部材の

過剰エッチング、ラフネス増大、新材料の腐食等のダメージのためである。

超音波は極微小パーティクルの脱離技術として広く用いられている。超音波は疎密波であり、定点では周期的に減圧・加圧が繰り返されている。液中の減圧部で気泡が発生し、同一部分が再び加圧されると、気泡が収縮し、崩壊する(キャビテーション現象)。このキャビテーションの威力によってパーティクルは脱離するが、激しいキャビテーション現象は同時にパターン倒壊や結晶欠陥をも引き起こすために、キャビテーション強度の均一制御が重要となる。キャビテーション強度は液中の超音波の周波数、強度、溶存ガス濃度に強く依存する。特に溶存ガス濃度の影響は大きく、汚染除去とダメージ低減の観点から研究が進んでいる(図4)<sup>12)</sup>。溶存ガスを脱気した液体中では、周波数約1メガヘルツの超音波照射によって、基板表面のパーティクルを除去する際の除去能力が著しく低下することが知られている<sup>13)</sup>。脱気液に溶存ガスとして空気や窒素、水素などを添加すれば、パーティクル除去能は再び向上する<sup>13)</sup>。微少パーティクルの除去と欠陥抑制の両立のためには、洗浄液中の溶存ガス濃度の制御と基板表面近傍での均一化が重要である。

また近年、超音波に代わる汚染脱離技術として、マイクロ(ナノ)ジェットやマイクロ(ナノ)バブルを用いた洗浄技術が提案され、活用が始まっている。

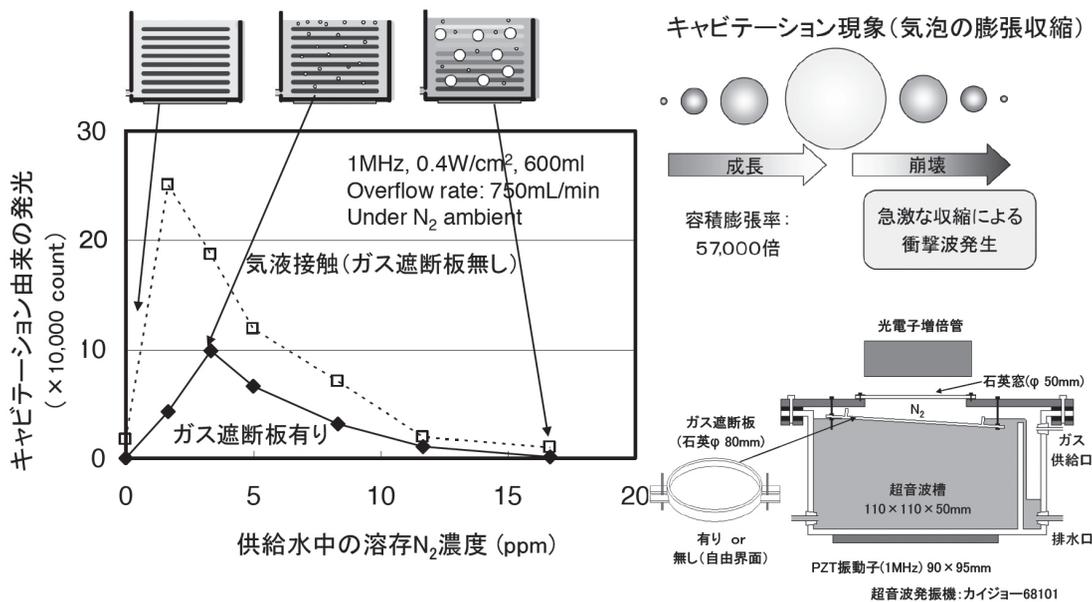


図4 超音波照射時のキャビテーション発光に及ぼす供給水中の溶存N<sub>2</sub>濃度の影響<sup>12)</sup>

脱気超純水に膜ユニット (LIQUI-CELL G420E) を用いてN<sub>2</sub>を溶解し、一定のN<sub>2</sub>濃度とした後に装置に供給。装置の槽内純水中のN<sub>2</sub>濃度は気液接触部を中心にさらに高くなっていると考えられる。

## 2) 汚染の再付着防止技術とその高性能化

物理/化学作用低減下で、高潔な表面を達成するためには、表面からほんのわずかに引き離された微小汚染を確実に捕らえる、高度な再付着防止技術を有した洗浄が必須となる。パーティクル汚染の再付着にはゼータ電位が寄与しており、その制御のために、従来の半導体洗浄（RCA洗浄など）ではpH制御、すなわち、酸・アルカリの活用のみを行ってきた。アルカリ性の洗浄液中では、様々な部材の表面が共に負に帯電するために、基板とパーティクル間で反発力が生じ、パーティクルの再付着が防止できる。しかし、より高度なゼータ電位制御には界面活性剤などの微量添加剤の活用が有効である（図5）。

界面活性剤やキレート剤などの微量添加剤は、衣類や金属部品などの洗浄分野や化学工業においては広く用いられている（キレートとはギリシャ語でカニのはさみを意味する言葉で、カニが獲物をはさみこむように、金属イオンを取り込んで、金属錯体を

作り、可溶化する性質を持つ化合物である）。しかし、半導体洗浄に従来の添加剤を用いようとすると、「残留、泡立ちなどの副作用がある」、あるいは「ごく限られた汚染種にしか効果を示さない」などの問題点があり、これが半導体洗浄へのこれらの導入を阻んできた。近年、半導体デバイス洗浄に適した活性剤・キレート剤技術の研究開発が進められ、先端半導体デバイスプロセスへの導入が進んでいる<sup>2)~4)9)</sup>。

先端半導体デバイスでは新材料の導入により、CuやCo、Ni、Hfなどがシリコン表面にクロスコンタミする可能性が増大しているが、キレート剤の活用によりその防止は可能となっている<sup>2)~4)9)</sup>。界面活性剤は、極微小パーティクルの再付着防止に効果を発揮する。常に基板表面に新液を供給できる枚葉スピンの洗浄においても、液の下流側で汚染再付着は起こりうるが、界面活性剤技術によってその抑制は可能となる（図6）。ウェハ上に形成される、種々の新材料表面間のゼータ電位差に由来するパーティクル再

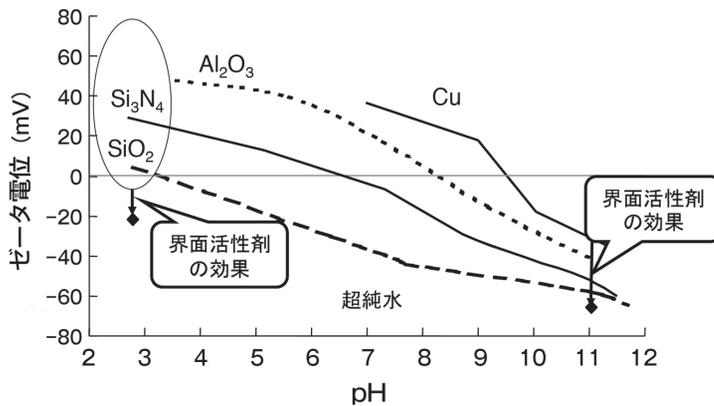


図5 様々な物質表面のゼータ電位に対するpHならびに界面活性剤の効果<sup>2) 3)</sup>

ゼータ電位はpHに依存するが、界面活性剤の添加による制御も可能である。

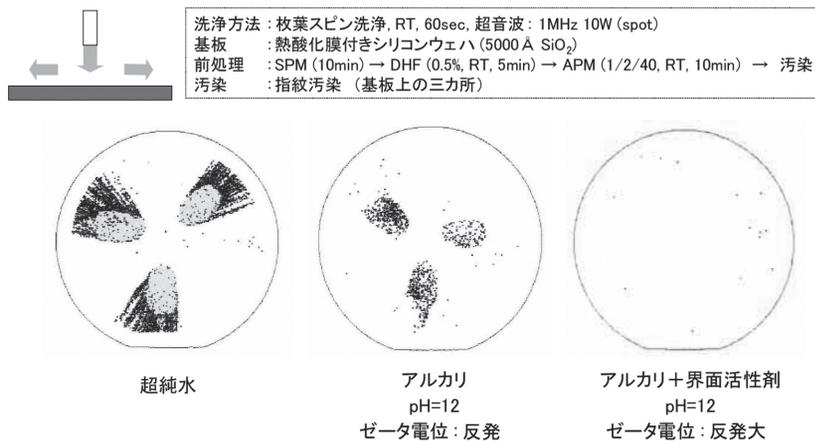


図6 枚葉スピン洗浄（超音波併用）によるパーティクル除去における汚染再付着防止の重要性<sup>3) 9)</sup>

超純水ではパーティクル再付着防止能がないために、脱離したパーティクルが下流側で再付着する。ゼータ電位による反発作用が大きいアルカリ液ではそれが防止でき、界面活性剤を添加したアルカリ液ではさらにその効果が大きくなる。

付着問題にも界面活性剤技術は有効である<sup>2)~4)9)</sup>。

### 3) 表面ラフネスの低減技術<sup>7)8)11)</sup>

ラフネス増大や意図せぬ酸化などの半導体表面のナノ構造劣化は、デバイスの電気的性能に悪影響を及ぼすため、その抑制が重要となっている。特に先端デバイスにおける、ゲート絶縁膜/シリコン界面の表面マイクロラフネスはキャリアの移動度を低下させるために、好ましくない。

シリコン表面のマイクロラフネスはウェットプロセス中に増大する。最近の研究の結果、ベアシリコン表面マイクロラフネス増大には、純水中の溶存酸

素やクリーンルーム内の蛍光灯が悪影響を及ぼしていることがわかった。シリコン表面に酸素や光が作用すると、ナノあるいはサブナノサイズの酸化物が表面に局所的にでき(図7)、これがトリガーとなって突起(シリコンの方が酸化物より溶けやすい純水中やアルカリ液中の場合)やピット(酸化物の方がシリコンより溶けやすいフッ酸含有薬液中の場合)ができて、ラフネスが増大する<sup>7)8)</sup>。

図8に水溶液中におけるシリコンの酸化メカニズムを示す。図中には個々の反応の酸化還元電位とそれから換算した電子のエネルギー準位を列記した。

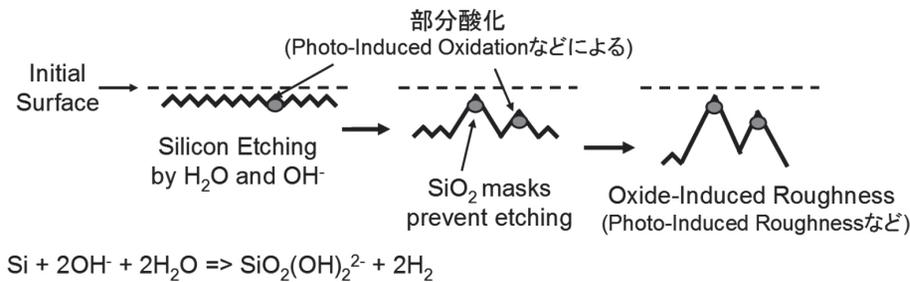
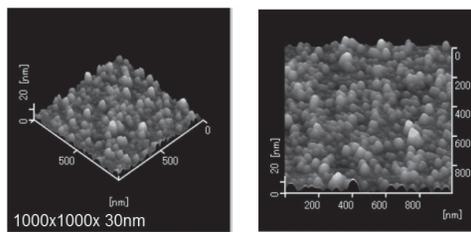


図7 局所酸化に起因するシリコン表面荒れのメカニズム<sup>7)</sup>

Eq.	Redox Reaction	E <sup>0</sup> (V vs. SHE)	E <sub>pH7</sub> (V vs. SHE)	α <sub>e/pH7</sub> (eV)
(1)	O <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup> ↔ 2H <sub>2</sub> O	1.23	0.82	-5.26
(2)	2H <sub>2</sub> O + 2e <sup>-</sup> ↔ H <sub>2</sub> + 2OH <sup>-</sup>	-0.828	-0.41	-4.03
(3)	Si + 2H <sub>2</sub> O ↔ SiO <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup>	-0.84	-1.25	-3.19
(4)	Si + 2H <sub>2</sub> O ↔ SiO <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup> (photo-excited)	-	-	-2.09

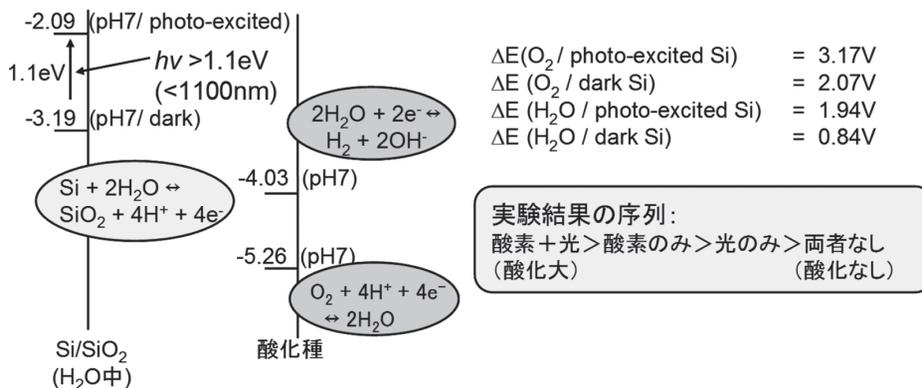


図8 水溶液中でのシリコン表面酸化のメカニズム (光と酸素の影響)<sup>7) 8)</sup>

E<sup>0</sup> : 標準電極電位、E<sub>pH7</sub> : pH7における酸化還元電位、α<sub>e/pH7</sub> : 電子のエネルギー準位、エネルギー準位差ΔE。

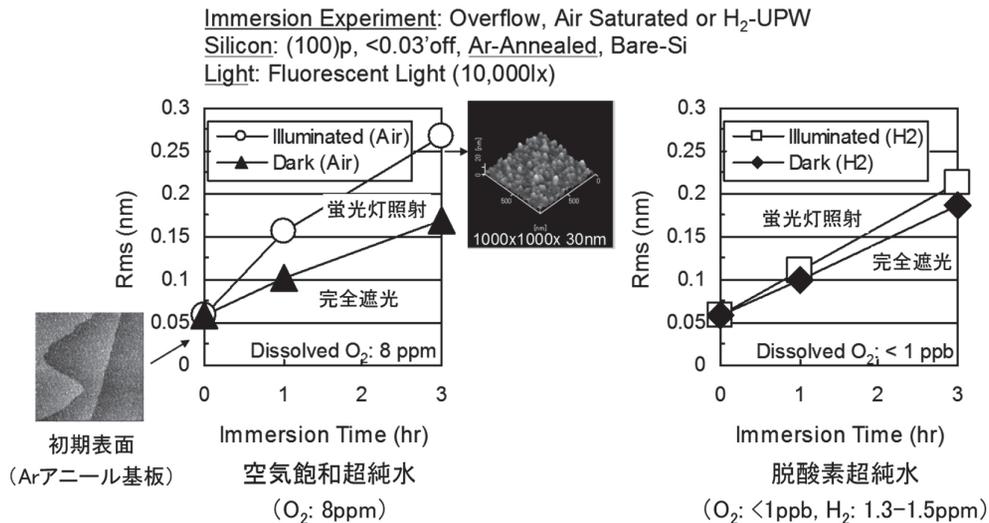


図9 超純水リンス時のシリコン表面荒れに対する光と溶存酸素の影響 (Arアニール基板使用)<sup>11)</sup>

光の遮断 (左図) と溶存酸素の排除 (右図) により、表面荒れは低減できる。

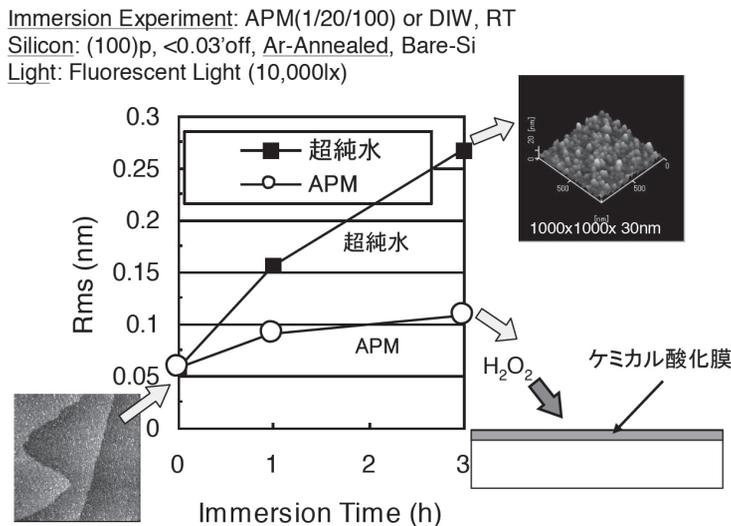


図10 酸化膜パッシベーションによるラフネスの抑制 (APM洗浄の例, Arアニール基板使用)<sup>8)</sup>

APM (NH<sub>4</sub>OH/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O) 洗浄では過酸化水素の酸化作用によってシリコン表面が均一に酸化されているために、表面荒れは抑制される。

シリコンにバンドギャップエネルギー (1.1eV) 以上の光 ( $\lambda < 1,100\text{nm}$ ) が当たると、シリコンの価電子帯の電子は伝導帯に励起され、エネルギー準位が1.1eVだけ高くなる。すなわち、光励起によって、さらに1.1V分だけ電子を奪われやすくなる。表より、個々の反応のエネルギー準位差  $\Delta E$  を求めると、液中に溶存酸素があって、光が照射された場合がもっとも大きく、すなわちシリコンが酸化されやすく、溶存酸素がなく遮光された状態では、もっとも酸化されにくいことがわかる。

光を遮断すること (図9左)、液中の溶存酸素を取り除くこと (図9右)、あるいは、表面を安定なケミ

カル酸化膜で覆うこと (図10) で、洗浄・リンス時のラフネス増大は大幅に抑制できる。

.....

ナノ加工時代に突入した先端LSIデバイスでは、ナノ汚染低減とナノダメージ抑制の両立が重要課題となっている。新材料・新プロセスの導入によりクロスコンタミの機会が増大しており、その撲滅も重大な課題である。課題解決には、汚染やダメージの発生機構を理解し、粒子から、分子、電子、光子に至る様々な汚染要因を制御することが重要である。

〔参考文献〕

- 1) 森永 均：ウェット洗浄の物理化学，応用物理，69-5，pp.568-574，(2000).
- 2) 森永 均：新材料対応洗浄技術，応用物理，70-9，pp.1067-1073，(2001).
- 3) 森永 均：エレクトロニクス洗浄技術，第3章，洗浄のメカニズム，第7章，洗浄技術の高性能化，pp.30-70，pp.195-208，技術情報協会，(2007).
- 4) H.Morinaga: Scientific Wet Process Technology for Innovative LSI/FPD Manufacturing (Edited by T Ohmi), Chapter 2. Principles of Semiconductor Device Wet Cleaning, Chapter 3-7. Surfactant and Chelating Agents Technologies for Innovating Semiconductor Cleaning, Taylor and Francis/CRC Press, pp.35-59, pp.110-119, (2005).
- 5) M.Pourbaix: Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions. London: Pergamon Press, (1966).
- 6) W.Kern, D.A.Puotinen: RCA Rev 31: pp.187-205, (1970).
- 7) H.Morinaga, K.Shimaoka and T.Ohmi: 153(7), pp.G626-G631, (2006).
- 8) H.Morinaga, K.Shimaoka and T.Ohmi: Solid State Phenomena, 134 (UCPSS VIII), pp.45-48, (2007).
- 9) H.Morinaga, A.Itou, H.Mochiduki and M.Ikemoto: Electrochemical Society Proceedings Series PV.2003-26, pp.370-377, (2004).
- 10) H Morinaga, M Suyama and T Ohmi: J Electrochem Soc 141: pp.2834-2841, (1994).
- 11) H.Morinaga and K.Tamai: ECS Transactions, 34 (1) pp.591-596, (2011).
- 12) S.Hirayama, H.Morinaga, T.Ohmi and J.Soejima: Acoustical Science and Technology, 29(6), pp.345-350, (2008).
- 13) H.Kanetaka, T.Kujime, H.Yazaki, T.Kezuka, T.Ohmi: Proceedings of UCPSS' 98, 1999, pp.43-48.