

# 半導体製造CMP工程後の洗浄技術

## Cleaning Technology of Post Semiconductor Production CMP Process

株式会社荏原製作所 精密・電子カンパニー CMP事業部 CMPプロセス部 プロセスソリューション課 参事 **今井 正芳**  
 Masayoshi Imai (Senior Manager)  
 Process Solution Section, CMP Process Department, CMP Division, EBARA CORPORATION Precision Machinery Company



### キーワード

CMP、半導体、洗浄

## 01 はじめに

近年、モビリティを中心としたライフスタイルにより、そこで扱われるビッグデータをクラウドとして、IoT、ロボット分野が活発な様相を示し始めている。このような新たな技術革新は、半導体産業ビジネスにも大きな影響を与えており、目的に合わせた製品が必要となってきた。このことから、電子媒体である半導体チップの構造も、微細化一辺倒から三次元化も含めて形態が複雑化してきており、半導体製造工程も多角化している。そこに使用される材料も変化を余儀なくされ、製造に使われる半導体装置や材料の技術革新はまだまだ止まることがない。半導体製造工程の一つであるCMP技術も、埋め込み⇒平坦化を目的とした基本的な工程は変わらないが、微細化、高集積化

に伴う半導体チップに使われる材料の変化、平坦性、ディフェクト(Defect:欠陥)の更なる厳しい管理が求められている。ここではCMP装置の基本的な移り変わりから、特にCMP洗浄の基礎技術について述べる。

## 02 半導体製造工程におけるCMP

半導体分野で呼ばれているCMPとは当初、一般に使われていた化学機械研磨(Cheical Mechanical Polishing)の頭文字の組み合わせであったが、半導体工程でのCMPはほとんどが平坦化を目的としていることから、「平坦」を強調するために化学機械平坦化(Cheical Mechanical Planarization)と表現されてきている。

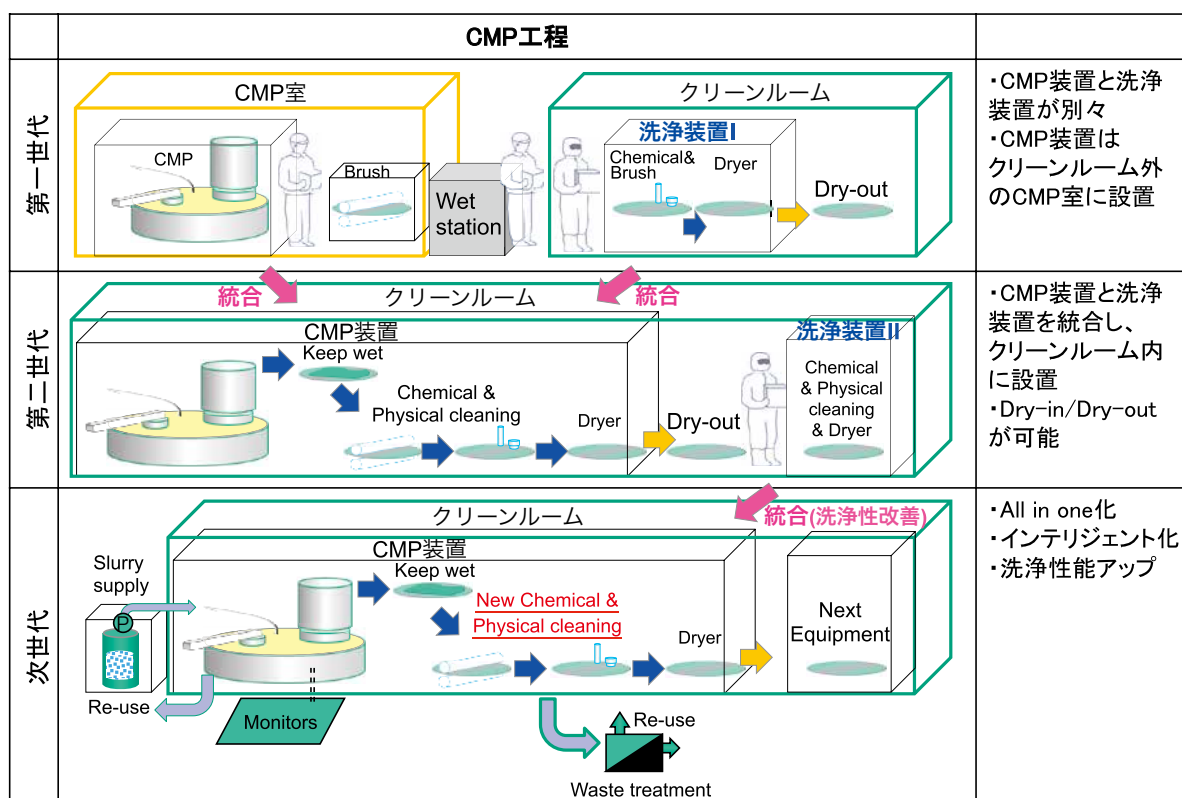


図1 CMP工程の変遷

## 03 | CMP工程の変遷

図1にCMP工程の変遷を示す。CMP工程では、スラリーに含まれる砥粒や研磨屑などに起因するパーティクルが大量に発生するため、次工程までの運用で、他の装置とは全く異なる変遷を経てきた。第一世代のCMP装置は、クリーンルームで扱う半導体製造装置から発するパーティクルや不純物の許容範囲を超えており、そのままクリーンルームには置くことができなかった。CMP専用の部屋を作り、そこで研磨し、ウェーハの表裏が洗える回転ブラシ(当時はナイロンブラシ+純水)にてスラリーを落としてから、特殊なCMP工程後専用容器にてクリーンルームまで運ばれていた。CMP工程の後の工程は主にリソ工程になるため、ウェーハ表裏の高い清浄度が要求される。クリーンルームに入ったウェーハは更に洗浄装置にて、物理作用や薬液を用いて表裏の精密洗浄を行っていた。このクリーンルーム内での精密洗浄工程前に、研磨後のウェーハが一部でも乾燥するような箇所があれば、残っているスラリーが固着し、除去が大変困難になる。そのため、CMP室からクリーンルーム内の洗浄装置までの間は、ウェーハ全体が常に水にぬれている状態を作る必要があった。CMP室で処理されたウェーハはCMP室とクリーンルーム間、もしくは通路の間の保管室にシャワーを設けてウェットな状態をキープし、特殊な容器でクリーンルーム内に運んでいた。また、当時の洗浄装置のローダー側はウェーハカセットが水没するタイプの装置で対応していた。

第二世代のCMP装置は、第一世代で異種文化であったCMPが、半導体製造工程には欠かせない存在になり、非効率なクリーンルーム外での処理ではトータルコストがかかるため、CMP装置には、スラリーや薬液供給方式と廃液の分離方法の確立、排気設備の充実、数多い消耗部材の交換方法のルール作りを行い、特に洗浄装置と一体化したDry-in / Dry-out方式を採用することで、クリーンルーム内で処理することが可能になっ

た。現在はこの第二世代が主流になって活躍している。但し、CMP装置に統合された洗浄装置(図1の洗浄装置I)だけでは、次工程で要求される清浄度が得られない場合もあり、洗浄工程(図1の洗浄装置II)を追加するケースもある。

次世代のCMP装置は、スラリーや薬液の供給システムも付帯させ、新たな薬液や物理洗浄の導入により、前述の様な追加の洗浄工程を必要としないなどのAll in one化が始まっている。また、更なるランニングコスト低減を図ることが求められ、スラリーや洗浄液を効率良く使用する工夫(リユース)、研磨状態の常時モニタリングによる製品品質の安定化、IoTを駆使した消耗部材の交換時期や機器の自己診断機能などを搭載した装置開発の取り組みなどのインテリジェント化も始まっている。

## 04 | 各CMPに対する洗浄目的と技術

CMP装置と洗浄装置を一体化した、Dry-in / Dry-out技術は、次工程のウェーハのみならず、クリーンルームへの配慮にも貢献した。また、研磨から洗浄装置までの安定した時間短縮も可能となり、固着しやすいスラリーの除去効果も増したことでウェーハ表面の清浄度も向上することとなった。ここでは、この第二世代における各CMPに対するやるべき洗浄方法と装置でのメカニズムを考慮した手段について、基本作用から装置への展開について述べる。

## 05 | 薬液と装置の基本的役割

図2は研磨後のウェーハの表面状態やその後の洗浄について、比較的複雑なCu-CMP工程を簡易的な図で示した。CMP後の表面状態は、スラリー中の砥粒を始め、削る行為で発生す

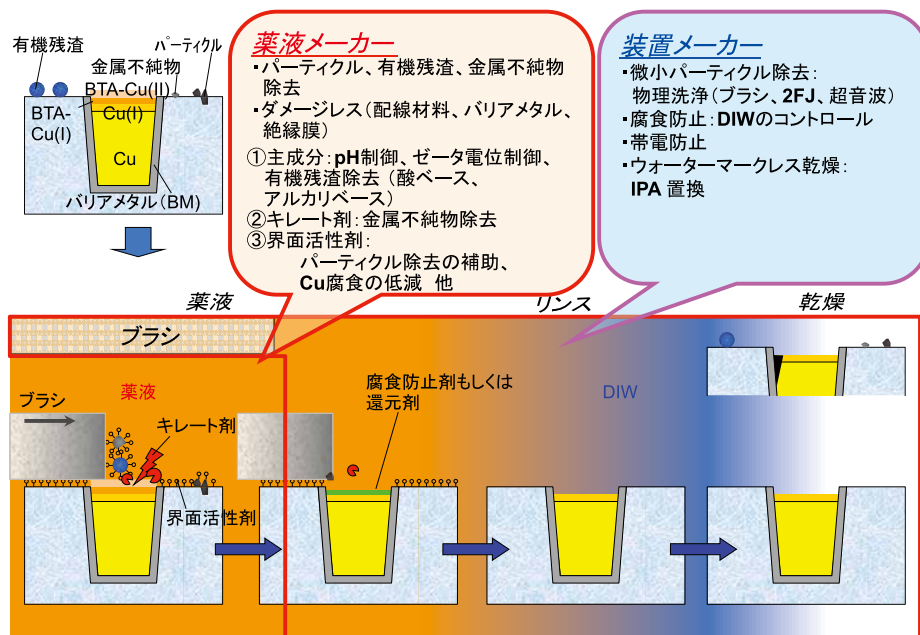


図2 CMP後の洗浄の流れと薬液と装置の位置付け

る研磨屑、有機残渣など、他の工程とは比較にならない様々な異物が付着している(図2左上の図参照)。この表面を次工程が要求する表面状態にするには、CMPのプロファイルの他、CMPで使われていたスラリーや消耗材で変化した表面状態を熟知することが前提で、洗浄側でも、この表面状態に見合った薬液の選定、薬液の処理方法、物理洗浄との組み合わせ方法、薬液から純水への置換方法、純水リンス方法、乾燥方法とあり、各工程での表面状態を把握する必要がある。

## 06 | パーティクル除去技術

ウェーハ表面に付着したパーティクルを浮かせ、その場所からウェーハ外部へ流す作用になる。パーティクルを浮かすには、薬液によるウェーハ表面を微量エッチングするリフトオフ作用と、物理的にパーティクルを移動させる物理作用の組み合わせで行うことが多い。近年の半導体デバイスは非常に微細な構造であることから、エッチングは制限され、物理的作用に頼る場合が多く、薬液は補助的な役割を担う。薬液の作用については、専門の薬液メーカーに任せるとして、洗浄装置で使用されるパーティクル除去方法について述べる。

図3にパーティクルの除去に必要な作用を示す。物理洗浄は表面状態に合わせ、接触式、非接触式を選択し、薬液の補助的作用を併用するのが一般的である。

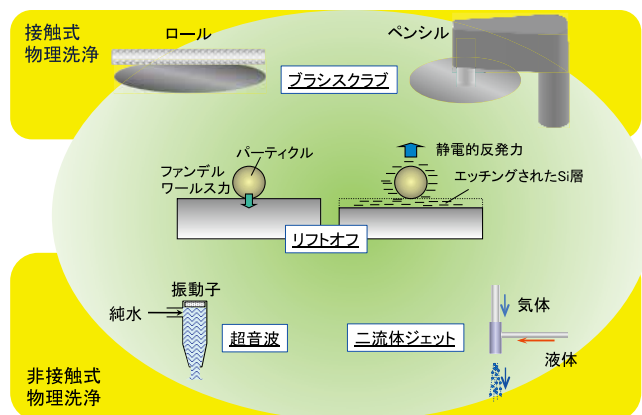


図3 パーティクルの脱離に必要な作用

### 6-1 接触式物理洗浄

#### ・ロールブラシ洗浄

洗浄部材は筒状のPVA(ポリビニルアルコール)スポンジを使い、ウェーハ接触部分に多数の円形のノジュールが接触するような構造になっており、ロールを回転して、ウェーハにある程度の圧力を与え、接触洗浄によりパーティクルを移動させ、除去する。

#### ・接触式ペンシルブラシ洗浄

洗浄部材はロールブラシと同様にPVAを用いる。ペンシルは液体が流れている回転したウェーハ上を中央からエッジに向かって一方通行で掃き出すように洗浄する。ロールは回転することで、一度ロールに付着したパーティクルが再付着することがあるが、ペンシルはその心配が少ないため、一般的にロール

ブラシの後に構成され、仕上げ洗浄の役割をする。

### 6-2 非接触式物理洗浄

#### ・超音波洗浄

コントロールされた溶存気体を超音波でキャビテーションを発生させることによりウェーハ近傍のパーティクルを剥がす作用を起こす。主に研磨後のスラリーによるブラシへの汚染低減のため、粗洗浄の形で用いられることが多い。ただし、出力パワー、周波数帯によってはCMP後のウェーハ表面にダメージを与えることがある。

#### ・二流体ジェット洗浄(2FJ)

液体と気体を特殊な形状のノズルで混合させ、非常に高速かつ微細な液滴を作りだす。ウェーハの上面に当てて、液滴の変形エネルギーによりウェーハ表面に付着したパーティクルを弾き飛ばすことが出来る。

## 07 | パーティクル再付着防止技術

前項で述べたリフトオフ作用や物理洗浄でウェーハから分離したパーティクルは、ウェーハ外に排出する必要がある。図4が示す内容は、薬液中であればパーティクルが付着しにくい、その後の純水リンス中ではゼータ電位の相対的電位が変わり、付着しない作用が薄れてしまう。したがって、薬液処理後の純水リンスは、パーティクルをなるべくウェーハより離す作用を持たせるため純水の流速を早くする必要がある。

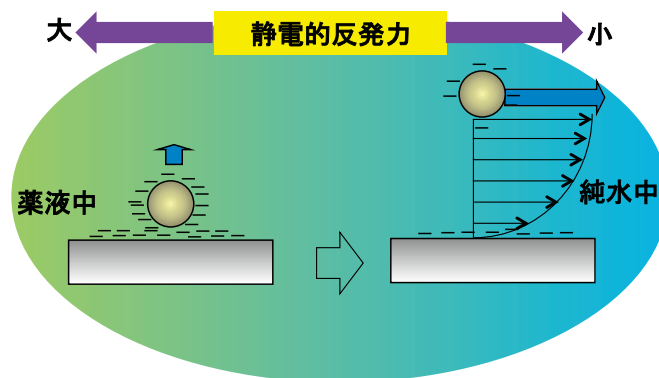


図4 液の違いによる液中パーティクルの静電的反発力

## 08 | 乾燥技術

枚葉洗浄装置でのウェーハ乾燥方法は、高速スピン乾燥が一般的であるが、ウォーターマークを嫌う工程では、表面の純水をIPA(2-プロパノール)に置換してから乾燥することで、純水中の酸素が原因で引き起こされるウォーターマークを防ぐことができる。

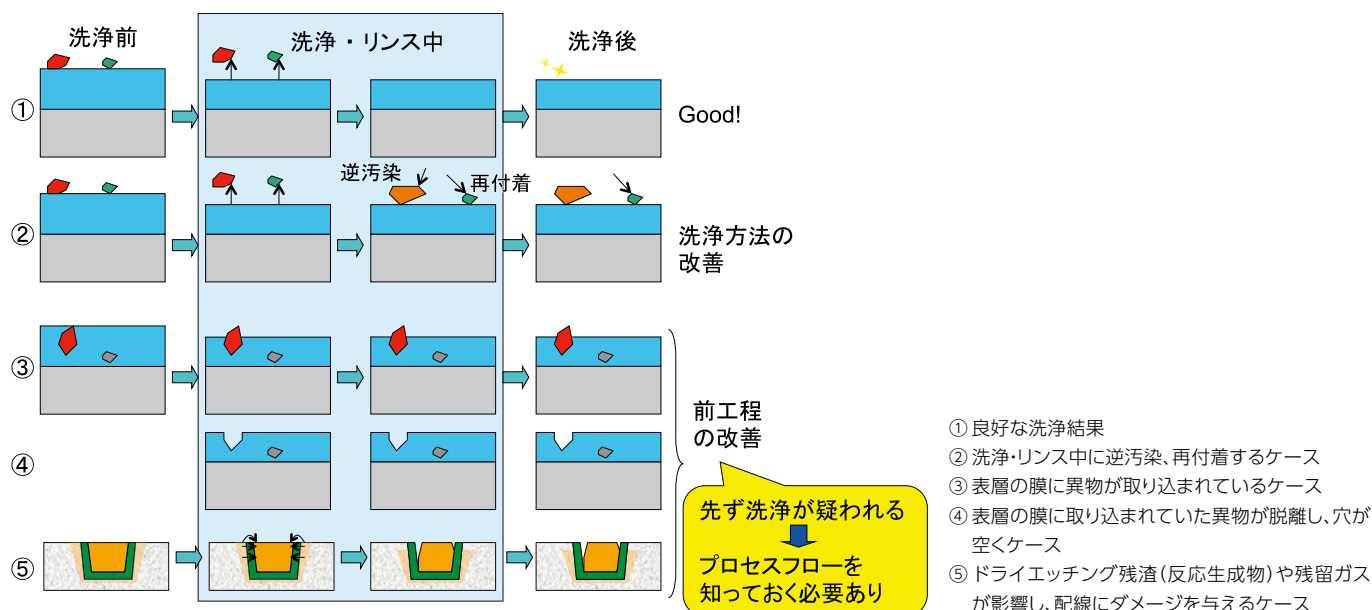


図5 洗浄技術者が経験するウェーハの表面状態

## 09 | 洗浄技術者は前後の工程も把握が必要

洗浄技術の目的は次工程が要求している表面状態を作ることだと述べたが、洗浄装置の環境や、使用する消耗材、薬液や純水が完全に管理されていても、ディフェクトが発生する場合があります。図5は洗浄技術者が良く経験するウェーハの表面状態である。洗浄工程の問題だけではなく、前工程が起因しているディフェクトの可能性もあり、前後の工程を十分に把握する必要があります。

## 10 | 各CMP後の洗浄目的と装置処理形態

図6-①②③に主なCMP後の表面状態に対する、洗浄する対象物の除去手段とメカニズムについて示す。絶縁膜-CMP (STI、ILD-CMP)、W-CMP、Cu-CMPなどの工程があるが、各工程において除去すべく対象物質の性質を念頭において、薬液による化学的作用、ブラシや液流などの物理的作用がもつメカニズムを考慮してレシピを作成する必要がある。

### 10-1 FEOL (Front End of Line) 工程のCMP後洗浄

半導体のFEOL工程のCMP後洗浄では、電子工業用のアンモニア水、過酸化水素水、フッ化水素酸などの薬液を混合、もしくは希釈して使用されている (SC-1: アンモニア水+過酸化水素水+水、希釈アンモニア水、DHF: 希釈HFなど)。W-CMPの後の洗浄では、近年配線材料へのダメージを極僅かに低減した薬液が求められており、薬液メーカーの開発品が、導入され始めている。

### 10-2 BEOL (Back End of Line) 工程のCMP後洗浄

05項の薬液と装置の基本的役割でも述べたが、この工程は、装置メーカーの協力が必要となる。

## 11 | 薬液の重要性と今後

BEOL工程では、さらに進む微細化とバリアメタルの材料変更でガルバニック腐食を中心とした腐食対策が重要となっている。FEOL工程では、今までは薬液に比較耐性のある材料が使われてきたが、近年は進む微細化と構造の複雑化から、材料がBEOL工程と同様多様化し始めており、難しい対応が迫られている。特に、装置側では薬液成分を落とし、ウォーターマークなどの生成物を作らず乾燥する必要がある。たとえば、リンスで希釈しても性能を落とさず、パーティクルの再付着防止、防食作用を維持する機能などが必要になる。薬液メーカーでは主に成分や添加剤の開発が重要になるが、その薬液の性能を最大限に活かせる環境はあくまでも装置側にあり、今後は処理環境についても協業する必要がある。

## 12 | おわりに

CMP後の洗浄技術は、他の洗浄工程とは比べものにならない程の汚染されたウェーハを洗浄する技術であることを述べた。今後ますます微細化するデバイス構造から洗浄への要求は厳しさを増してくることは必至である。繰り返しになるが、各工程での表面状態を把握するために、スラリーメーカー、消耗部材メーカー、薬液メーカー、装置メーカーのコラボレーションが重要である。



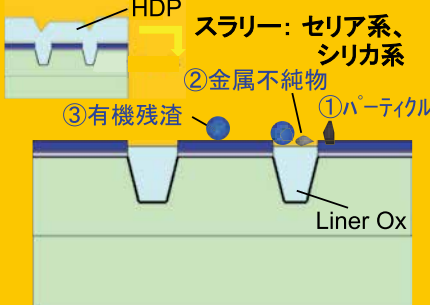
| STI-CMP後の表面状態                                                                                                                                                      | 洗浄方法                                                                                           | 乾燥方法                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|  <p>スラリー: セリア系、シリカ系</p> <p>②金属不純物</p> <p>③有機残渣</p> <p>①パーティクル</p> <p>Liner Ox</p> | 除去手段とメカニズム                                                                                     | <p>振切&amp;蒸発</p> <p>↓</p> <p>スピンドライ</p> |
|                                                                                                                                                                    | <p>①②③ 粗洗浄</p> <p>①③ 異物脱離</p> <p>② 異物脱離、溶解</p> <p>①③仕上洗浄 (逆汚染物除去/微小パーティクル除去)</p>               |                                         |
|                                                                                                                                                                    | <p>液流</p> <p>ブラシ+ゼータ電位反発作用</p> <p>エッチング作用</p> <p>物理洗浄+ゼータ電位作用</p>                              |                                         |
|                                                                                                                                                                    | 装置での手段                                                                                         |                                         |
|                                                                                                                                                                    | <p>シャワー</p> <p>ロール+SC-1 or NH<sub>3</sub></p> <p>DHF 処理</p> <p>物理洗浄 SC-1 or NH<sub>3</sub></p> |                                         |
| ILD-CMP後の表面状態                                                                                                                                                      | 洗浄方法                                                                                           | 乾燥方法                                    |
|  <p>スラリー: シリカ系</p> <p>②金属不純物</p> <p>③有機残渣</p> <p>①パーティクル</p> <p>PSG</p>           | 除去手段とメカニズム                                                                                     | <p>振切&amp;蒸発</p> <p>↓</p> <p>スピンドライ</p> |
|                                                                                                                                                                    | <p>①③ 粗洗浄</p> <p>①③ 異物脱離</p> <p>② 異物脱離、溶解</p> <p>①③仕上洗浄 (逆汚染物除去/微小パーティクル除去)</p>                |                                         |
|                                                                                                                                                                    | <p>液流</p> <p>ブラシ+ゼータ電位反発作用</p> <p>エッチング作用</p> <p>物理洗浄+ゼータ電位作用</p>                              |                                         |
|                                                                                                                                                                    | 装置での手段                                                                                         |                                         |
|                                                                                                                                                                    | <p>シャワー</p> <p>ロール+SC-1 or NH<sub>3</sub></p> <p>DHF 処理</p> <p>物理洗浄 SC-1 or NH<sub>3</sub></p> |                                         |

図6-① STI(Shallow Trench Isolation)、ILD(Inter Layer Dielectric)-CMP後の洗浄

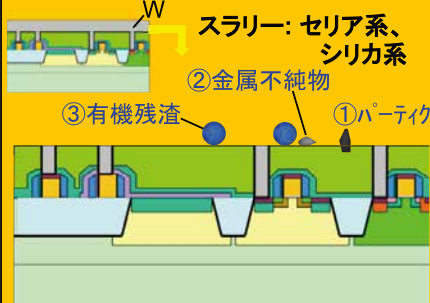
| W-CMP後の表面状態                                                                                                                                                   | 洗浄方法                                                                                                | 乾燥方法                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|  <p>スラリー: セリア系、シリカ系</p> <p>②金属不純物</p> <p>③有機残渣</p> <p>①パーティクル</p> <p>W</p> | 除去手段とメカニズム                                                                                          | <p>振切&amp;蒸発</p> <p>↓</p> <p>スピンドライ</p> |
|                                                                                                                                                               | <p>①②③ 粗洗浄</p> <p>①③ 異物脱離</p> <p>② 異物脱離、溶解</p> <p>①③仕上洗浄 (逆汚染物除去/微小パーティクル除去)</p>                    |                                         |
|                                                                                                                                                               | <p>液流</p> <p>ブラシ+ゼータ電位反発作用</p> <p>エッチング作用</p> <p>物理洗浄+ゼータ電位作用</p>                                   |                                         |
|                                                                                                                                                               | 装置での手段                                                                                              |                                         |
|                                                                                                                                                               | <p>シャワー</p> <p>ロール+SC-1 or NH<sub>3</sub></p> <p>DHF, 有機酸 処理</p> <p>物理洗浄 SC-1 or NH<sub>3</sub></p> |                                         |

図6-② W(タングステン)-CMP後の洗浄

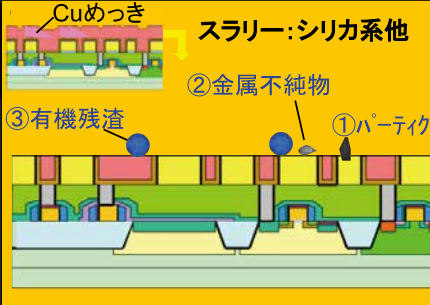
| Cu-CMP後の表面状態                                                                                                                                                  | 洗浄方法                                                                                        | 乾燥方法                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|  <p>スラリー: シリカ系他</p> <p>②金属不純物</p> <p>③有機残渣</p> <p>①パーティクル</p> <p>Cuめっき</p> | 除去手段とメカニズム                                                                                  | <p>蒸発時液体のコントロール要</p> <p>↓</p> <p>IPA 乾燥</p> |
|                                                                                                                                                               | <p>①②③ 粗洗浄</p> <p>①②③ Cu表面保護、汚れの分解、汚れの脱離、汚れの捕獲、再付着防止</p> <p>①②③仕上洗浄 (逆汚染物除去/微小パーティクル除去)</p> |                                             |
|                                                                                                                                                               | <p>液流</p> <p>薬液作用、物理作用、防食作用</p> <p>物理洗浄+防食作用</p>                                            |                                             |
|                                                                                                                                                               | 装置での手段                                                                                      |                                             |
|                                                                                                                                                               | <p>シャワー</p> <p>Cu専用薬液 処理+物理洗浄+防食処理</p> <p>物理洗浄 防食処理</p>                                     |                                             |

図6-③ Cu(銅)-CMP後の洗浄