

次世代デバイス用機能性薬品の開発

住友化学工業(株) 精密化学品研究所
高島 正之
一木 直樹

Advanced Cleaning Chemicals for Next Generation Semiconductor Device

Sumitomo Chemical Co., Ltd.
Fine Chemicals Research Laboratory
Masayuki TAKASHIMA
Naoki ICHIKI

RCA cleaning is widely used to remove contaminants such as particles and metal impurities on a wafer in semiconductor manufacturing. This cleaning is, however, said not to be suitable enough for semiconductor devices of next generation. The great reason is an application of new materials such as Cu, W, and Low-k film, most of which are corroded by the cleaning solution.

In this paper, we describe the problems on RCA cleaning from a viewpoint of material corrosion in the application of it to advanced semiconductor devices. Finally, in order to solve this problems, we propose our new type of cleaning chemicals with low corrosion.

はじめに

“Only the Paranoid Survive(Intel 元CEO Andrew S. Grove 氏のことばより)”と言われる半導体デバイスの世界は、今大きな転換期を迎えている。これまで技術革新の先導役と言われてきた DRAM はその主役の座を降り、MPU や DSP に代表されるロジックデバイス、あるいはメモリーとロジックを1つのチップの中に作り込むシステムLSI が脚光を浴びている。現在国内の半導体デバイスメーカーは、従来のDRAM 中心の生産から、これらロジック・システムLSI 中心の生産に大きく軸足を移しつつある。

しかも従来の微細化のトレンドはロジック系デバイスにおいても踏襲され、さらには、より高性能なデバイス実現のために、新しい材料、新しいプロセスが次々に導入されつつある。1970 年代初期に登場したLSI で使用された薄膜材料は、Si、SiO₂、Al だけであり、元素まで掘り下げてみてもSi、O、B、P、Al の5種類から成り立つ極めて単純なものであった。それが今日では、Si₃N₄、W、Ti、ポリシロキサンやポリイミド系の樹脂が導入され、今後は配線用にCu やTa、電極用にはPt、Ru、配線間の絶縁膜には多孔質薄膜(低誘電率膜、又はLow-k 膜)等が使用さ

第1表 次世代デバイスのデザインルールと材料¹⁾

デザインルール(μm)	0.35	0.25	0.18	0.13	0.10
ゲート絶縁膜	SiO ₂		SiON		Si ₃ N ₄ , Ta ₂ O ₅
ゲート電極	WSix / Poly-Si			W / Poly-Si	
キャパシター	ONO		Ta ₂ O ₅		BST
キャパシター電極	Doped Poly-Si			Pt, RuO ₂	
サリサイド	Ti		Co		
配線材料	Al		Cu		
層間絶縁膜	SiO ₂ , BPSG, SOG etc			Low-K	

れようとしている¹⁾(第1表)。

当社はこれまで、こうした材料のエッチング用、及び基板表面の洗浄用として、高純度電子薬品をビジネス展開してきた。これら電子薬品の特徴は、薬品中の不純物を極限まで除去した文字通り高純度な薬品であり、薬品の精製技術、装置や容器の高純度化技術、超微量分析技術等が結集して初めて可能になる製品である。

半導体デバイスメーカーでは、プロセスで発生する各種の汚染物に対し、これらの薬品を組合わせた洗浄液を使用しているが、最も有名な組合わせは1970年にRCA社が開発したRCA洗浄法である。第2表にRCA洗浄液の組成と除去対象物を示す。組成を見てわかる通り、本洗浄法は過酸化水素水をベースに、

第2表 RCA 洗浄液の組成と除去対象汚染物

洗浄液	液組成	除去対象汚染物
SPM 洗浄	H ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂	有機物、金属不純物
APM 洗浄	NH ₄ OH + H ₂ O ₂ + H ₂ O	微粒子、有機物
HPM 洗浄	HCl + H ₂ O ₂ + H ₂ O	金属不純物
DHF 洗浄	HF + H ₂ O	酸化膜、金属不純物

アンモニア水や硫酸、塩酸等を混合することにより、微粒子や金属不純物を除去している。薄膜のエッチング方法がウェットからドライに、不純物導入法が熱拡散からイオン注入に、平坦化法がエッチバックからCMP(Chemical Mechanical Polishing 化学的機械研磨)へと、デバイスの製造プロセスが時代と共に進化していくなか、洗浄方法だけはこのRCA法が採用され続けていることは、いかにこの方法が優れたものであるかを物語っている。

しかしながら、30年近く利用されてきたRCA洗浄法も、最近その性能の限界が指摘されてきている。

本稿では、まず従来のRCA洗浄では今後導入が予想される材料やプロセスに対応できない可能性があることを実験データに基づいて述べ、それらに対して当グループが開発した新しい洗浄液(機能性洗浄液)とレジスト剥離液について紹介する。

RCA 洗浄の限界

1. 新材料への対応

RCA洗浄の中でもアンモニア水と過酸化水素水と水を混合して用いるAPM洗浄(別名SC1洗浄)は、ウエハー表面の微粒子を除去するための洗浄として広く利用されている。

APM洗浄によって粒子が除去される機構については広く検討されているが、現在では下記のように説明されている²⁾。

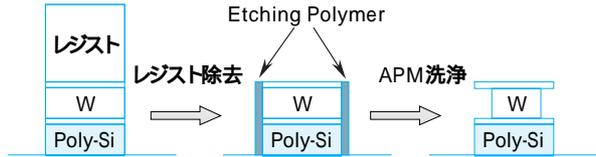
すなわち、アンモニア水で基板のSiウエハー表面を薄くエッチングすることにより、付着している粒子を基板から剥離させる。アルカリ性水溶液中では、ほとんどの物質の表面電位(ゼータ電位)は負に帯電するため、一度剥がれた粒子と基板の間には反発力が発生して再付着することがない。しかし、アンモニア水単独では基板表面のエッチングが激し過ぎるために、過酸化水素水を加えて表面を薄く酸化させることで過度のエッチングを防止している。

しかしながら、第1表に示される今後導入が予想される材料の中には、アンモニア水や過酸化水素水に対し、十分な耐性を示さない材料が含まれている。以下にその例を2つ示す。

第1図 ゲート電極構造・材料の推移



第2図 ゲート電極形成方法とその問題点



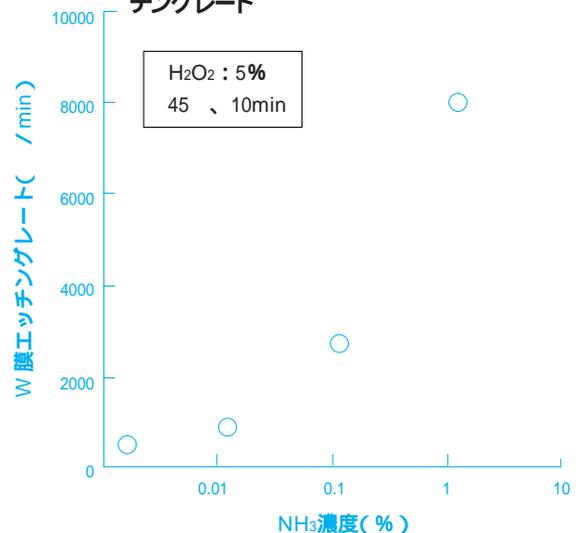
(1) ゲート電極まわりの洗浄

第1図に、今後採用が予想されるゲート電極の構造、及び材料の推移を示す³⁾。これまで電極の材料には、高温での安定性や薬品に対する耐性に優れたPoly-Siが長く使用されてきた。現在はゲート電極の抵抗を下げるため、Poly-Si上部に金属シリサイド膜を張り付けたポリサイド構造が用いられている。今後のデバイスにはさらなる低抵抗化を目的に、金属を張り付けたポリメタル電極が用いられようとしている。使用される材料としては、熱安定性に優れたWやWN_xが有力である。

ゲート電極の形成工程においては、電極のパターニングを行い、レジストを除去した後、電極側面にはEtching Polymerと呼ばれるものが残留する。従来このような残留物はAPM洗浄により除去していた(第2図)。しかしながら、電極材料をWとしたメタルゲート電極の場合、APM洗浄を行うと、W部分でサイドエッチングが発生する問題がある。

第3図には、W膜のAPM洗浄におけるエッチングレートを示す。

第3図 APM 洗浄液中のアンモニア濃度とW膜エッチングレート



W膜はAPM洗浄液により非常に激しくエッチングされることがわかる。アンモニア濃度約1%は、一般的なAPM洗浄液の組成(アンモニア水：過酸化水素水：水=1：4：20、容量比)であるが、この濃度では、短時間で膜がエッチングされてしまい、全く制御することはできない。

第4図には5%の過酸化水素水に浸漬した場合のW膜表面の変化を示す。

W膜表面には穿孔状の腐食が見られ、かつエッチングされていることがわかった。表面分析の結果、W膜の表面は酸化されていることが確認されている。酸化Wはアルカリ性溶液には非常にエッチングされやすいことが知られている。つまり、過酸化水素はPoly-Siにとっては表面を保護するものとして作用したが、Wにとってはエッチングを促進させるものとして作用していることから、APM洗浄液は洗浄ではなくエッチング液として働いていることがわかる。

第4図 5%過酸化水素水浸漬後のW膜表面SEM観察

未処理膜



5%過酸化水素水 45、10分浸漬



これらの結果より、Wをメタルゲートに用いた場合、APM洗浄液を用いて、パターン側面に残留するEtching Polymerを除去することは困難である。

(2) Cu-CMPプロセスにおける洗浄

配線材料にはこれまで、加工性に富むAlが使用されてきたが、近年のデバイスの高速化に対応するために、より低抵抗の材料が求められている。

Cuは最も有力な材料であるが、ドライエッチングによる加工性が乏しく、腐食されやすい材料であるため、その実現はまだ先のことであると言われてきた。

しかしながら、近年CMPによる平坦化プロセスが導入され、その応用として、Cu配線のダマシンプロセス、あるいはデュアルダマシンプロセスが開発されたことから、実用化は近いものとなっている。

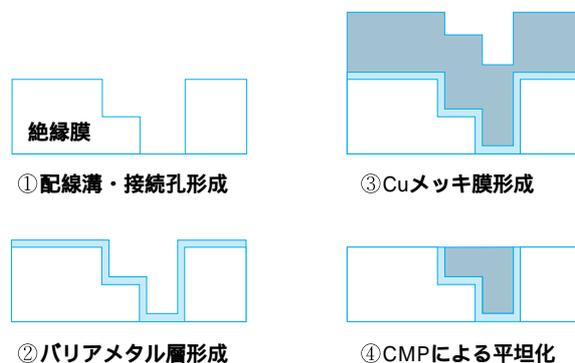
CMPとは、デバイスを製造する際に発生する凹凸を、薬品を添加した特殊な研磨剤(スラリー)により研磨し、平坦化させる方法である。当初は絶縁膜の凹凸を平坦化させるために導入されたプロセスであるが、現在は金属膜の配線形成用として実用化の検討がなされている。

第5図に、このCMP技術を用いてCu配線を形成するデュアルダマシンプロセスの概略図を示す。まず①CMPにより平坦化した絶縁膜に配線溝、及び接続孔を形成する。②バリアメタル層(通常はTa)を薄く成膜した後、③全面にCuを成膜する。(バリアメタル層は、Cuの絶縁膜中への拡散を防止する役割がある。)その後④CMPによる平坦化を行い、溝以外の部分のCu及びTaを除去して配線を形成する。

従って、CMP処理を行った後のウエハー表面には、スラリー中の砥粒や研磨屑が大量に付着している。この大量の付着物を除去しなければ次の工程に進むことはできない。しかしここでの問題点は、洗浄液によるCuの腐食である。

前述したように、ウエハー上の粒子状汚染物の洗浄にはAPM洗浄が使用されてきていたが、Cuはアンモニア水と容易に水溶性の錯体を形成し、溶出さ

第5図 CMP技術を用いたCuデュアルダマシンプロセス



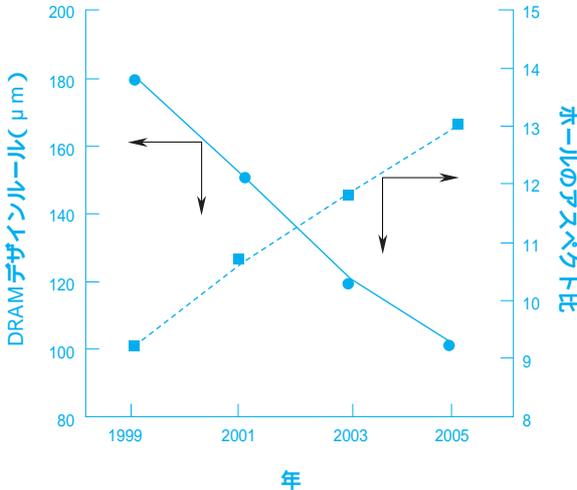
れてしまう。また、過酸化水素水はCuと接触すると容易に分解する。従ってCuを成膜したウエハーをAPM洗浄した場合、Cuのエッチングと過酸化水素の分解が起こり、洗浄液としての役割を果たせない。

2. 微細化への対応

RCA洗浄が限界と言われるもう一つの理由は、微細化への対応である。

第6図に、今後のデバイスのデザインルールと、コンタクトホールのアスペクト比の推移を示す⁴⁾。微細化が進行するに伴い、ホールのアスペクト比は急激に大きくなるのがわかる。すなわち、コンタクトホール形状は、今後更に小さく深いものになっていくので、ホール内の不純物をRCA洗浄で除去できるのかといった問題がある。

第6図 デザインルールとホールのアスペクト比の推移⁴⁾



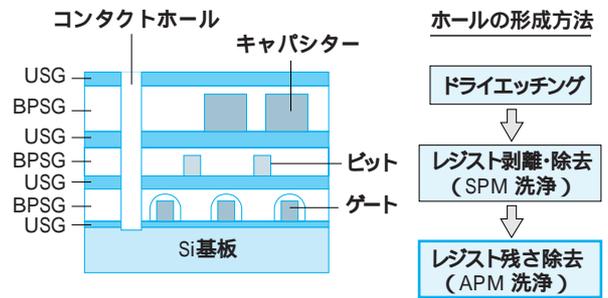
(1) 微細コンタクトホール内の洗浄

第7図に、メモリーデバイス(DRAM)のゲート電極周辺の断面構造の例を示す。

集積度の向上に伴って、ゲート電極の上層にビット配線やキャパシターを積層するといった多層構造になっていく。多層構造とすることで、同一面積の中に各素子を詰め込むことが可能となるため、構造の多層化は今後ますます増加すると思われる。こうした構造でデバイスを製造するには、各層間での良好な絶縁性と平坦性が必要である。ゲート電極周辺の絶縁平坦化には、熱処理によってリフロー平坦化するBPSG膜(BやPのような不純物を含むSiO₂膜)と、BやPが拡散しないように防御するための、不純物を含まないSiO₂膜(USG膜)の積層膜が信頼性の理由で広く採用されている。

形成された多層構造の素子及び絶縁膜間を上下に貫いた接続プラグを形成する工程においては、同じ

第7図 メモリーデバイスの断面構造例と洗浄プロセス

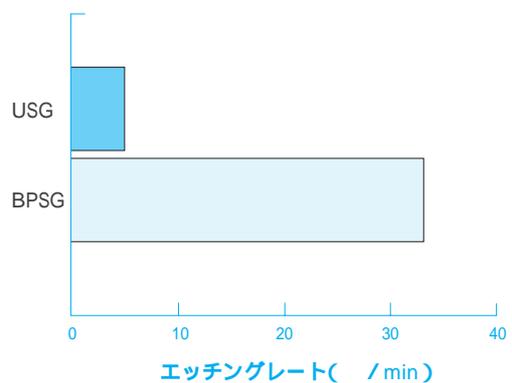


く第7図で示したように、プラグ用コンタクトホールをドライエッチングで加工し、酸素プラズマと硫酸・過酸化水素水混合液(SPM洗浄液)にてレジストを除去する。しかし、ホール最表面やホール内部には洗浄除去しきれないドライエッチング堆積物が残留するため、さらにAPM洗浄をする必要がある。

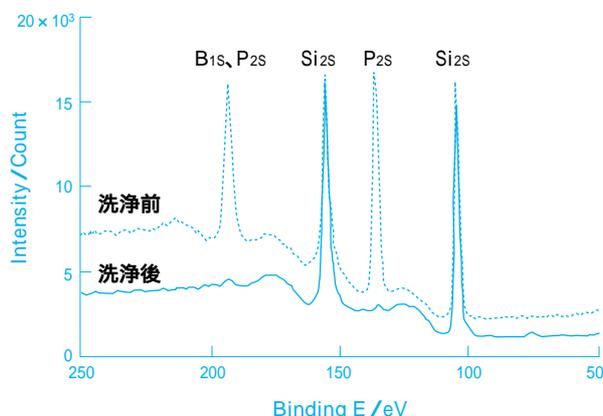
しかしながら、ホール口径が微細化し、かつBPSG膜とUSG膜の積層数が増加すると、これまでは許容された現象が問題となるのがわかってきた。

第8図にBPSG膜とUSG膜を積層したホールパターンウエハーを、APM洗浄した場合の断面SEM写真を示す。洗浄後のホール側面には数百の凹凸が発生している。これはBPSG膜のAPM洗浄液に対

第8図 APM洗浄後のホール断面観察結果とエッチングレート



第9図 XPSによるAPM洗浄後のBPSG膜表面



するエッチングレートが、USG膜に比べ数倍～十倍程早いことに起因している(第8図の下図)。

この現象は従来から観察されてはいたが、これまでホール径が大きかったため、問題とはならなかった。また、なぜBPSG膜とUSG膜でエッチングレートに差が生じるのかといった理由についても、あまり検討はされていなかった。第9図に、BPSG膜をAPM洗浄した前後の表面をXPSにより分析した結果を示す。APM洗浄によってBPSG膜最表面のBとPが抜けていることがわかる。このため、BPSG膜最表面は多孔質な構造になっており、そのことにより膜内部への液の浸透性が向上し、エッチングが促進されるのではないかと考えている。

BPSG膜とUSG膜間の凹みは、ホール径によらず一定であるため、ホール内の体積に占める凹み部分の体積は、径が小さくなるにしたがって大きくなる。ホール形成後はCVDにより金属膜を埋め込むので、側面に凹み部分があると完全に金属が埋め込まれないという問題が生じる。

機能性洗浄液の提案

以上述べてきたように、今後のデバイスの微細化や高速化のために導入が予想される新しい材料に対し、従来のRCA洗浄は十分に対応できなくなることが考えられる。そこで、当研究グループでは下記のようなコンセプトに則り、新しい機能を持たせた洗浄液の開発に取り組んできた。

<機能性洗浄液の開発コンセプト>

- ・ユーザーニーズに直結した洗浄液を開発すること。
- ・従来の洗浄液と同等以上の洗浄性能を有すること。
- ・洗浄対象となる材料に対して腐食等のダメージを与えないこと。
- ・廃液処理が容易で、環境に優しいこと。

上記コンセプトに従い、現在各デバイスメーカーにサンプルワークし、また一部採用されている機能性洗浄液を第3表に示す。本稿ではこれらの中からReps-203S、Reps-211C、及び銅配線用に開発を行っているレジスト剥離剤であるReps-SSCについて以下に紹介する。

第3表 Repsシリーズのグレード名一覧

グレード名	腐食抑制対象物	洗浄の適用例
Reps-203S / 302S	Si、Poly-Si、a-Si	Wメタルゲート 微細コンタクトホール
Reps-110W / 210W	W	Wメタルゲート W-CMP後洗浄
Reps-301B	BPSG	微細コンタクトホール
Reps-211C / 310C	Cu	Cu-CMP後洗浄
Reps-X01C	Cu	Cu酸化抑制剤
Reps-SSC	Cu	Cu用レジスト剥離剤

1. Reps-203S

(1) 基本性能

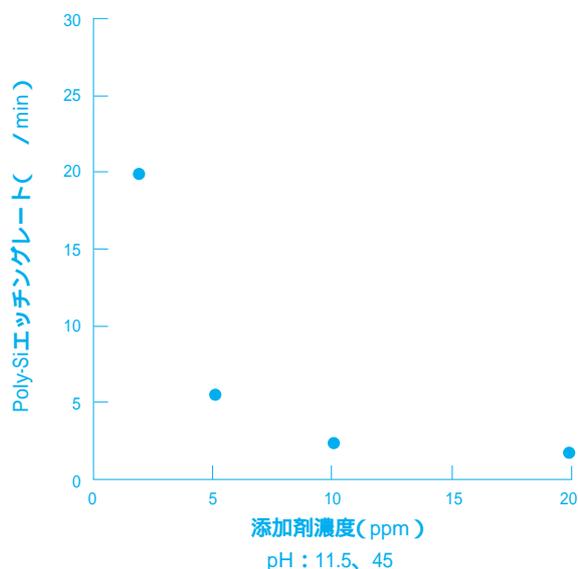
Reps-203Sはシリコンの腐食を抑制したアルカリ洗浄液である。

前述の通り、ウエハー上の異物除去にはAPM洗浄液のようなアルカリ性洗浄液が有効であるが、下地のシリコンがエッチングされてしまうため、従来は過酸化水素を加えてそれを防止していた。

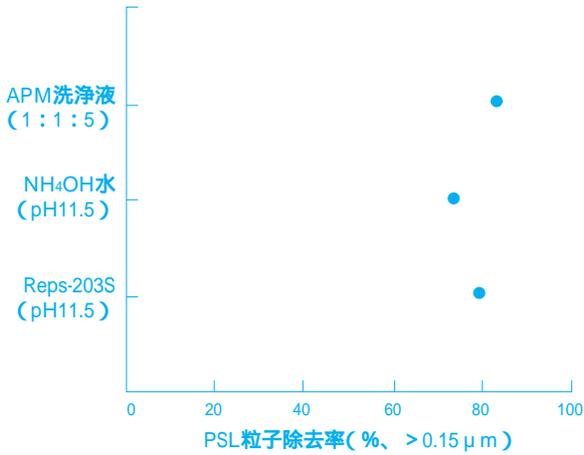
これに対しReps-203Sでは、アルカリ性洗浄液に特殊な添加剤を加えることで、過度のエッチングを防止している。

第10図にアルカリ性洗浄液に対する添加剤の濃度とPoly-Siのエッチングレートの関係を示す。本洗浄

第10図 添加剤濃度とPoly-Siエッチングレート



第 11 図 Reps-203S の粒子除去性能



液中の添加剤は10ppm 程度の低濃度でPoly-Siのエッチングを抑制していることがわかる。

第 11 図に、Reps-203S による粒子除去性能を示す。

汚染粒子として、0.23 μm の標準ポリスチレン粒子(PSL)を用い、洗浄前後のウエハー上の粒子数を

測定してその除去率を求めた。その結果、Reps-203S で洗浄した場合も、従来の APM 洗浄液で洗浄した場合も、粒子の除去率はほぼ同等であることが確認された。

第 12 図に、a-Si を Reps-203S で処理を行った場合の表面荒れ状態を AFM により測定した結果を示す。アルカリ性洗浄液であるにもかかわらず、洗浄前後で表面状態に変化は見られなかった。

第 13 図に、Reps-203S によるレジスト残さ除去性を示す。サンプルとしてホールを形成した後、酸素プラズマアッシングによりレジスト除去を行ったものを使用した。洗浄前に存在していたレジスト残さが、Reps-203S で洗浄すると除去されることがわかる。

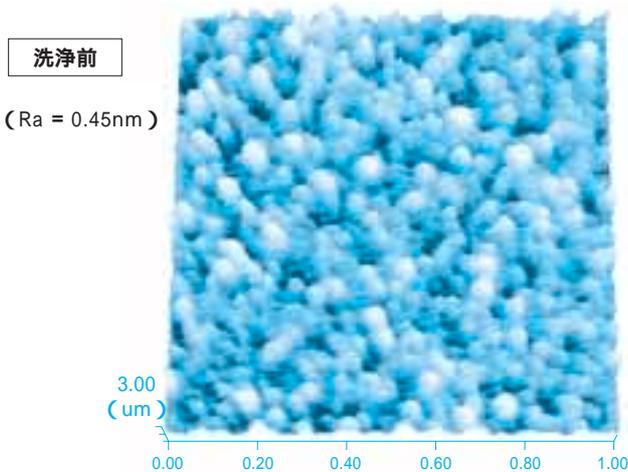
Reps-203S を用いた洗浄の応用例として、前述の W ゲート電極まわりの洗浄、及び微細コンタクトホール内の洗浄があげられる。

(2) 適用例

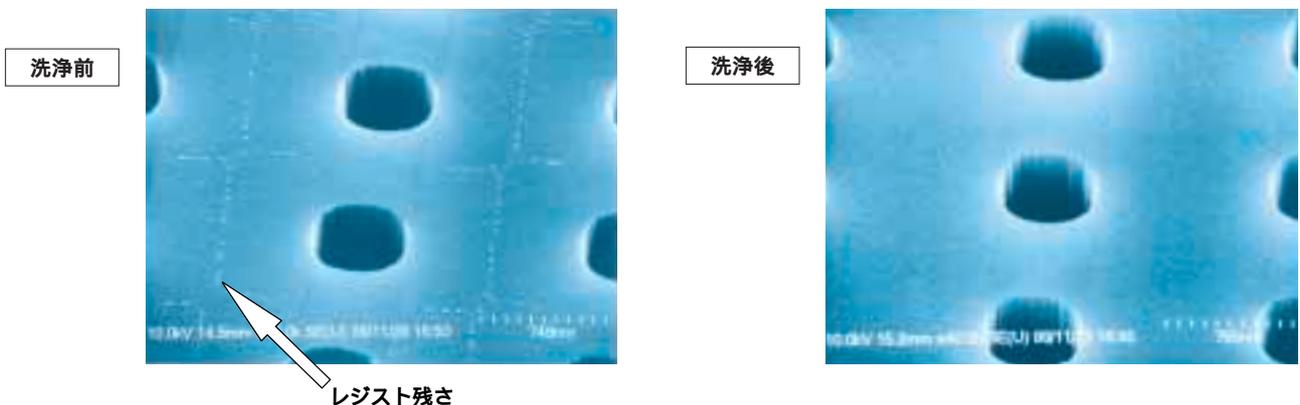
① W ゲート電極まわりの洗浄

前述したように、W は APM 洗浄液のような酸性性

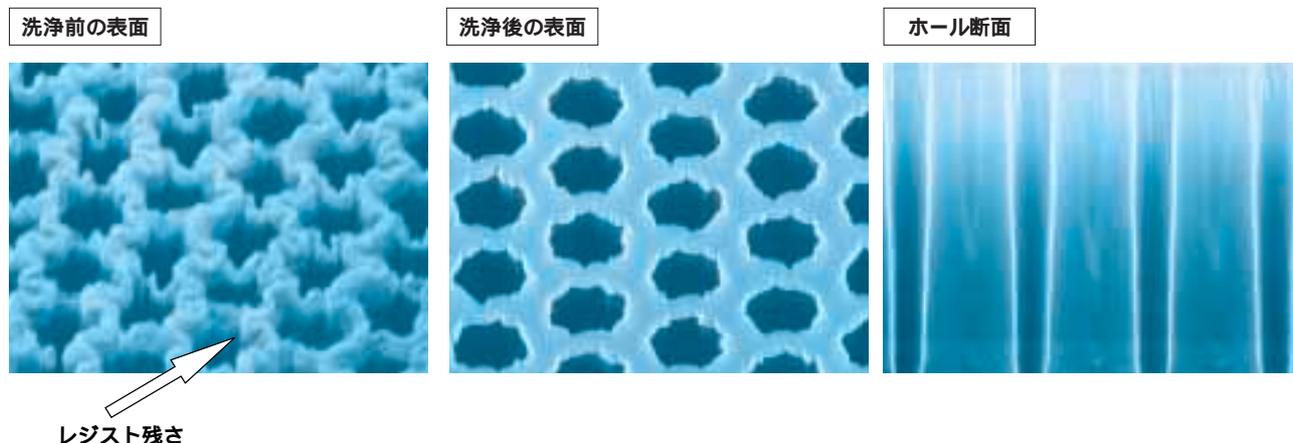
第 12 図 Reps-203S で洗浄する前後の a-Si 膜表面



第 13 図 Reps-203S によるレジスト残さ除去性



第14図 Reps-203S によるコンタクトホール洗浄



第15図 Reps-211C のCu 腐食抑制



のアルカリ性水溶液中では激しいエッチングが生じる。しかしながら、過酸化水素のような酸化剤を含まないアルカリ性水溶液中では、極めて堅牢である。一方、Wの下層にあるPoly-Siや下地のSi基板は、アルカリ性水溶液により容易にエッチングされる。Reps-203Sを用いることで、両者ともエッチングを抑制することができ、エッチングポリマーのような残さを除去することができると思われる。

また、Wはゲート電極だけではなく、多層配線構造における上層配線と下層配線とを接続するプラグとしてもよく使用されている。プラグ形成における洗浄、あるいはその後各種成膜処理を行った後の洗浄等にも利用が考えられる。

② コンタクトホール内の洗浄

Reps-203Sはレジスト残さの除去性も優れているところから、前述のコンタクトホール内の洗浄への応用が考えられる。

第14図に、レジスト残さが付着したコンタクトホールを、Reps-203Sで洗浄した後の表面SEM観察結果を示す。ホール周辺に無数に付着していたレジスト残さは完全に除去されており、ホール内側面の凹凸も発生していない。

2. Reps-211C

(1) 基本性能

Reps-211Cは、Cuの腐食を抑制したアルカリ性洗浄液である。この洗浄液はCu-CMP後の後洗浄を目的に開発されたものである。

Cuの腐食防止剤としてはこれまで、ベンゾトリアゾール(BTA)が広く使われてきた。しかしながらこのBTAは水に対する溶解性に乏しく、また、芳香族系の化合物であることから、廃液処理が困難である。

このBTAと同等のCu腐食抑制効果を示す新たな化合物の探索から、BTAと同等の防食効果を持ち、かつ水に対する溶解性に富んだ脂肪族系の化合物を見いだした。

第15図に、アンモニア水溶液にこの化合物を添加した場合のCu腐食抑制効果を示す。シリコンウエハー上にCuを成膜したサンプルを、pH11のアンモニア水溶液に浸漬した場合、Cuは容易にアンモニア水に溶解、エッチングされるため、浸漬後の表面は非常に荒れた状態になる(第15図左)。それに対し、同じアンモニア水ベースであるReps-211Cの場合、同じpHにおいてもほとんどCuが溶解、エッチングされることはない(第15図右)。

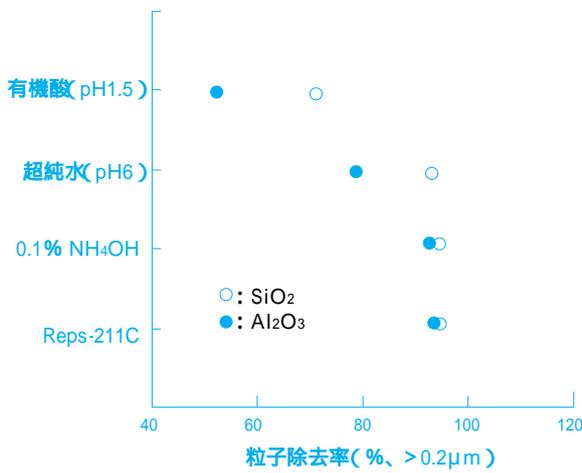
(2) 適用例

① Cu-CMP 後洗浄液

第16図に、ブラシ洗浄機を用いて行った粒子除去性の評価結果を示す。CMPスラリー中の砥粒としては、様々なものが提案されているが、ここでは最も一般的なSiO₂とAl₂O₃の結果を示す。

SiO₂又はAl₂O₃を分散させた超純水中に酸化膜付きウエハーを浸漬させることで粒子汚染させたサンプルを用い、第16図に記載の洗浄液で洗浄性能の比較を行った。

第16図 Reps-211Cによる粒子除去性能



SiO₂粒子の場合は、有機酸系洗浄液以外の洗浄液では、どれもほぼ同等の除去性を示したが、アルミナ粒子の場合は、有機酸や超純水ではその除去性が低下していることがわかる。SiやSiO₂の中性溶液中での表面ゼータ電位は一般的には負に帯電しているのに対し、Al₂O₃は正に帯電していると言われており、このことが、Al₂O₃粒子の除去性が低い理由である。しかしながら、アルカリ性溶液中では、Al₂O₃も負に帯電するために、pH11付近のアンモニア水、及びReps-211Cでの除去性はSiO₂同様良好である。Cu-CMP用スラリーは現在開発段階にあるが、スラリー中の砥粒は主にAl₂O₃が使用されている。アンモニア水単独ではCuに対するダメージがあるため、防食効果に優れたReps-211Cが、Cu-CMP後の粒子除去には適した洗浄液と考えている。

Reps-203S、及び211Cについては現在、数社の大手デバイスメーカー、及び装置メーカーにサンプルワークを行い、評価を受けている段階である。

新しいレジスト剥離剤の提案

ウエハー表面の洗浄液としては、これまで述べてきたように、今後導入される新しい材料に対して有効

な新しい機能性洗浄液が必要とされつつある。一方、レジスト除去用の剥離剤についても事情は同様である。そこで当グループで取り組んでいるレジスト剥離剤について紹介する。

1. レジスト剥離剤の問題点

レジスト剥離剤の種類は、機能別に分けて2つ、液組成別に分けて2つの種類がある。機能別では、ドライエッチング後のレジストをそのまま剥離・溶解させるバルクレジスト剥離剤と、レジストをO₂プラズマ等でアッシングした後の残さを除去するレジスト残さ剥離剤である。特に最近では、後者の需要が伸びている。

一方、組成別では、アルカノールアミンのような水溶性アミンを主成分とする有機系レジスト剥離剤と、水を主成分にして有機アルカリやフッ素系化合物を混合した水系レジスト剥離剤に分けられる。近年の環境問題への対応という観点からは後者への関心は高いが、一般的に前者の方が性能は優れている。

レジスト剥離剤の主な用途は、配線形成時に用いられたレジストの除去である。従ってレジスト剥離剤に要求される性能としては、レジストの剥離性能が良好で、配線材料や、配線間の層間絶縁膜にダメージを与えることがあってはならない。前述したように、配線材料は今後AlからCuに移行し、層間絶縁膜はSiO₂系材料からより低誘電率の材料(SiO₂膜中にHを含ませたHSQ膜や有機樹脂膜、多孔質膜等)が採用される動きにあるが、従来のAl用レジスト剥離剤ではエッチングやダメージが大きいため対応できない。

2. Reps-SSCの紹介

(1) 基本性能

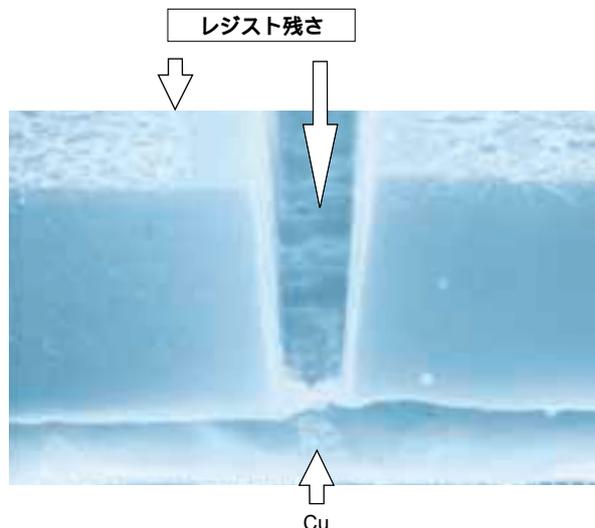
Reps-SSCはCuプロセス用途に対応できる新しいレジスト剥離剤である。

Reps-SSCは有機アミン系化合物を主成分とし、バルクレジスト及びレジスト残さを同時に剥離・除去することが可能で、Cuに対してエッチングやダメージが小さいことが特徴である。特にCuに対するダメージを抑制する添加剤として、オリジナルな化合物を

第4表 Reps-SSCの各材料に対するエッチングレート (単位: /min)

	温度()	Cu	TaN	FSG膜	TEOS膜	Al
Reps-SSC	70	1	< 0.1	< 0.1	0.2	10
他社剥離剤	70	13	< 0.1	< 0.1	0.2	5.6

第17図 Reps-SSC によるレジスト残さ除去性能評価結果



選択している。第4表に各種材料に対するReps-SSCのエッチングレートの測定結果を示す。70℃の高温でもCuに対しては良好なエッチング抑制効果を示している。有機アミンを主成分とするレジスト剥離剤の場合、剥離処理後のウエハーをそのまま超純水でリンスすると、ウエハーに同伴されて超純水中に混入するアミン成分によって水が弱アルカリとなり、リンス工程においてもCuがエッチングされることがある。そのため、通常はIPA等による中間リンスを必要とする場合が多いが、Reps-SSCでは防食剤による被覆効果により、溶剤による中間リンスを省略し、直に超純水リンスを行うことができる。

(2) 適用例

第17図にレジスト残さの除去性評価を行った結果を示す。剥離処理前の残さ物は除去され、露出しているCuに対してダメージ等は発生していない。

おわりに

以上、次世代半導体デバイスに対応できる洗浄液として、「腐食抑制」をポイントにした機能性洗浄液、剥離剤について紹介した。今後の展開として、これまでに開発してきた洗浄液のさらなる性能向上に努めていきたい。

引用文献

- 1) 松下晋司：月間Semiconductor World, 10, 70 (1999)
- 2) 高島 正之, 讃良 憲一：住友化学, 1996-I, 61(1996)
- 3) 岩井洋, 大見俊一郎：応用物, 69, 1, 4 (2000)
- 4) Semiconductor Industry Association：“The National Technology Roadmap for Semiconductors”, 1999 edition

PROFILE



高島 正之
Masayuki TAKASIMA
住友化学工業株式会社
精密化学品研究所
半導体プロセス材料グループ
主任研究員



一木 直樹
Naoki ICHIKI
住友化学工業株式会社
精密化学品研究所
半導体プロセス材料グループ