

# Cu配線材の電気化学的ポリシング法の基礎的研究(2)

## Study of Electro-Chemical polishing method for Cu Wiring

富永 茂<sup>1\*</sup>、土肥 俊郎<sup>2</sup>

Shigeru Tominaga<sup>1</sup> Toshiroh Doi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>株式会社ロキテクノ

ROKITECHNO CO.,LTD

<sup>2</sup>埼玉大学教育学部

Faculty of Education, Saitama University

### Abstract

Cu/Low-k デュアルダマシン配線形成プロセスにおけるCu配線膜研磨において、超低压研磨条件で高い加工能率を得ることを目的とした新しい電気化学的研磨方法を検討した。本方法は導電性表層と絶縁層を有する多層構造の電解セルパッドをプラテン・ロータリー型ポリシング装置に適用したもので、リン酸水溶液、硫酸銅水溶液及びクエン酸水溶液を電解液に使用し、定電流電解によるCu配線膜の加工特性を測定した。リン酸水溶液を電解液とした場合、高い研磨レートが得られたが、エッチング量が大きく、研磨面の表面粗さも過大であったが、クエン酸水溶液との混合電解液とした場合、エッチング量、表面粗さともに改善できることを示した。また、BTAを電解液に添加することで、段差解消性の改善ができることを示した。

### 1. はじめに

65nm世代デバイスのCu多層配線に使用される低誘電率の層間絶縁膜は、Cu配線材のCMPプロセスにおける機械的ストレスによって、ダメージを受けることがある。このため、Cu多層配線形成プロセスでは低ストレスCu研磨技術の開発が課題となっている。

電気化学的研磨方法はCu配線材を電気化学的溶解除去する方法で、低ストレスCu研磨技術の有望な技術の一つとされている。

筆者らは、CMP装置のプラテンに貼付して電気化学的研磨が行える電解セルパッドを試作して、その加工特性を測定し、低ストレスの加工条件(0.06psi)でも高い研磨レートと面内均一性が得られることを報告した。[1]

しかし、Cu多層配線形成プロセスでは、研磨レートや面内均一性ととともに、鏡面性や段差解消性が重要な技術要求事項である。本報告では、試作した電解セルパッドを使用して、電解液の種類と電気化学的研磨性能の比較結果を報告する。特に、リン酸水溶液、硫酸銅水溶液、クエン酸水溶液の3種類の電解液と、それらの混合水溶液を電解液として使用した場合の研磨レートと鏡面性を比較した。また、硫酸銅水溶液に

BTAを添加した電解液を用いて、段差解消性能を測定し、BTAの添加効果を検討した。

### 2. 実験装置及び実験方法

#### 2.1.1 電解セルパッドの構造と電気化学的研磨方法

Fig.1に実験に使用した電解セルパッドの構造の模式図を示す。電解セルパッドは、導電性表層と絶縁層及びカソードとなるステンレスシートの3層から構成され、電解液収容部となる導電性表層と絶縁層を貫通する貫通孔が多数設置されたものである。直流電源のプラス極を電極に接続し、ステンレスシートをマイナス極に接続し、電解液収容部に電解液を満たすことで、基板/貫通孔/カソードで電解セルが形成され、基板の研磨面がアノード溶解する。

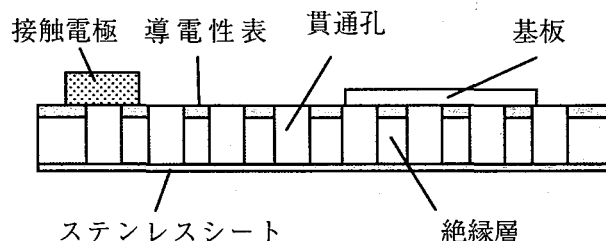


Fig.1 電解セルパッドの構造図

〒140-8576 東京都品川区南大井6-20-12

TEL: 03-5764-1142 Fax: 03-5763-0820

Email: [S.Tominaga@rokitechno.co.jp](mailto:S.Tominaga@rokitechno.co.jp)

### 2.1.2 実験装置

プラチン・ロータリー型研磨装置は、研磨パッドが貼付されたプラチンとその駆動機構、研磨ヘッドとその駆動機構、およびスラリー供給機構などで構成される。[2] 特に、この型の装置は、ウエハの研磨面を研磨パッドと接触させるため、フェイスダウン型とも言われている。

本報告では、この研磨装置の基本構成を利用し、通電装置を追加することで、電気化学的研磨を行う方法を検討した。Fig.2に本報告で検討した電気化学的研磨装置の構成を示す。プラチン、研磨ヘッドの機構は従来のプラチン・ロータリー型研磨装置と同様とし、スラリーの代わりに電解質電解液を供給し、研磨パッドに換えて電解セルパッドを使用した。通電装置は、直流電源と接触電極で構成し、接触電極、導電性表層を介して、Cu配線膜をアノードバイアスした。

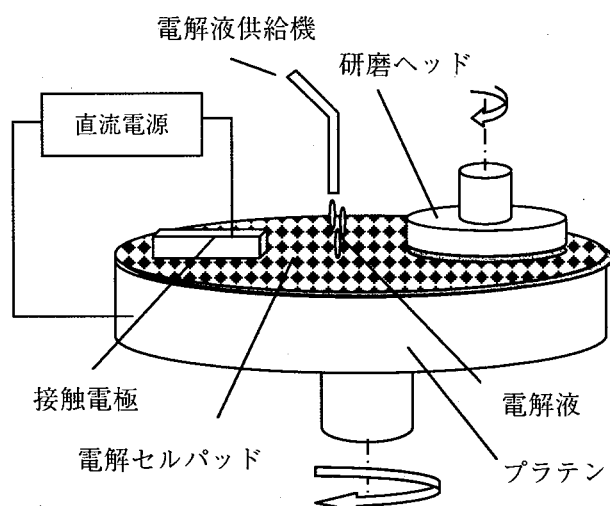


Fig.2 電気化学的研磨装置の構成

### 2.2 実験方法

Table 1 に適用した加工条件を示す。加工資料は、市販のプリント配線基板（膜厚  $30\mu\text{m}$ ）、Cu ブランケットウエハ基板（膜厚  $1\mu\text{m}$ ）及び L&S TEG ウエハをそれぞれ  $40\text{mm} \times 40\text{mm}$  にダイシング加工した基板とした。

電解条件としては、定電流電解とし、電解電流密度は資料の単位面積当りの電解電流とした。

Cu 膜の研磨レートは、精密天秤を用いて、加工前と加工後の Cu 基板の重量差を測定して、1分当たりの除去量（重量法）で示した。

Table1 適用した加工条件

CMP 装置	リング式加工装置（プラチン径 $\phi 340\text{mm}$ ）
加工試料	Cu 膜ブランケット基板（ $40 \times 40\text{mm}$ ） 膜厚： $30\mu\text{m}$ ， $1\mu\text{m}$
電解セルパッド	貫通孔 $\phi 8-10\text{P}$ （開口率 50%）
加工圧力	0.32 psi
回転数	プラチン：20rpm 研磨ヘッド：18rpm
電解液	リン酸、硫酸銅、クエン酸
電解液供給量	20ml/min
加工時間	60 sec
電解電流	~4A

研磨後の鏡面性の検討では、表面粗さ計を使用して算術平均粗さ Ra を用いて比較した。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 電解液の種類と研磨レート

Fig.3~5 にそれぞれ、電解液にリン酸水溶液、硫酸銅水溶液、クエン酸水溶液を使用したときの、定電流電解条件での研磨レートと電解電流密度の関係を示す。各電解液の濃度と電流密度を Table2 に示す。

Table2

電流密度 (A/scm)	0, 0.06, 0.13, 0.19, 0.25
リン酸濃度 wt%	0.7, 11.5, 13, 46
硫酸銅濃度 wt%	0.5, 2, 5, 10
クエン酸濃度 wt%	3.3, 6.75, 13.5, 27

Table2 の電流密度 0 は、電解を実施しない場合で、化学研磨、または化学的機械的研磨 (CMP) を実施した場合に相当する。ただし、電流密度 0 で顕著な研磨レートを示すのはリン酸水溶液だけであるので、使用した電解セルパッド及び電解液では CMP 研磨能力はないものと判断され、電流密度 0 の時の研磨レートをエッチングレート（量）とした。

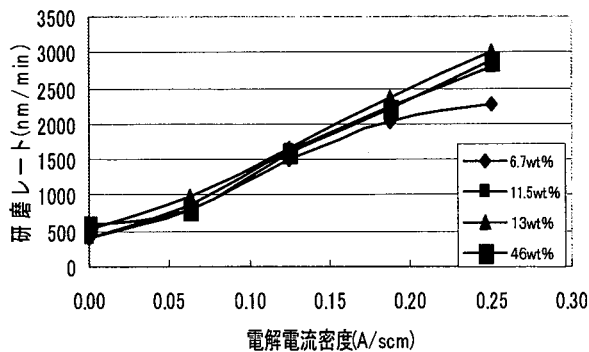


Fig. 3 リン酸水溶液の濃度と研磨レートとの関係

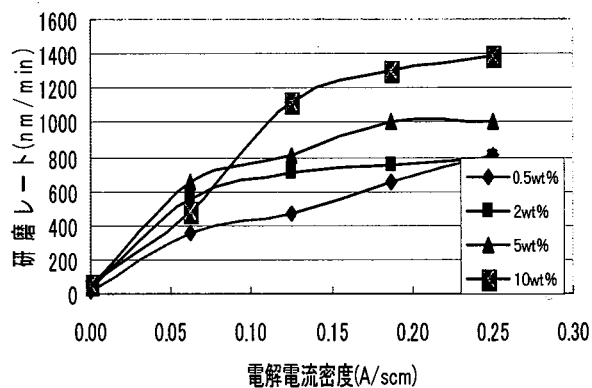


Fig. 4 硫酸銅水溶液の濃度と研磨レートとの関係

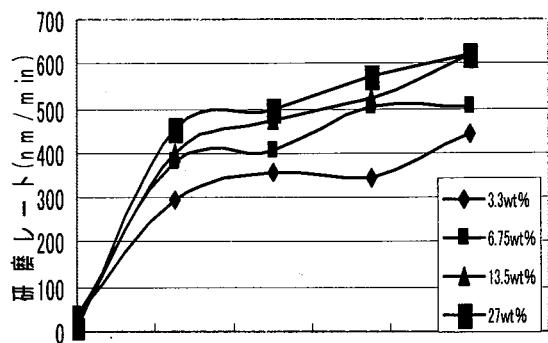


Fig. 5 クエン酸水溶液の濃度と研磨レートとの関係

リン酸水溶液を電解液とした場合の研磨レートは、6.7~46wt%の広い濃度範囲ではほぼ一定の値を示し、電流密度の増加に対しては、高い研磨レートの値まで直

線的に増加した(Fig.3)。しかし、電流密度0での研磨レート(以下エッチング量という)は、500nm/minと高水準にあり、Cu配線材の電解研磨研磨量の制御に関しては、課題がある。

一方、硫酸銅水溶液及びクエン酸水溶液を電解液とした場合の研磨レートは、濃度に依存し、リン酸水溶液と異なり、電流密度の増加に対して、研磨レートの増加が飽和する傾向を示した(Fig.4,5)。クエン酸水溶液を電解液とした場合は、リン酸、硫酸銅の場合と比較して、研磨レートが低く、電流密度を増加させても、大きな値が期待できないが、研磨表面の鏡面性は最も良好であった。

### 3.2 混合電解液の研磨特性

リン酸とクエン酸、及び硫酸銅とクエン酸の混合水溶液を電解液に使用した場合の研磨レートと混合比率の関係を、それぞれ Fig.6, Fig.7 に示す。また、エッチング量、表面粗さと混合比率の関係を Fig.8, Fig.9 に示す。

電解条件は、0.13A/scmの定電流電解とした。

混合比率は、13.5wt%のクエン酸水溶液にそれぞれ23wt%リン酸、5wt%硫酸銅水溶液を混合し、リン酸、硫酸銅の混合濃度をwt%で表した。従って、リン酸、硫酸銅の濃度が高くなると、クエン酸濃度が低下し、リン酸23wt%また、硫酸銅5wt%ではクエン酸濃度がゼロとなる。

リン酸とクエン酸の混合電解液の場合、クエン酸にリン酸を1~2wt%混合すると、研磨レートが急激に増加するが5wt%以上の混合では、リン酸単体の電解液と同一の研磨レートを示す(Fig.6)。

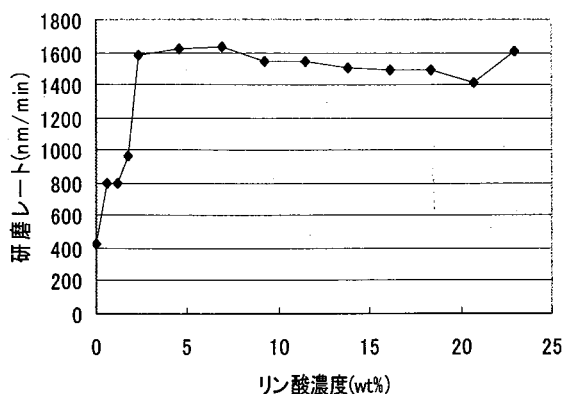


Fig. 6 クエン酸/リン酸混合水溶液の濃度と

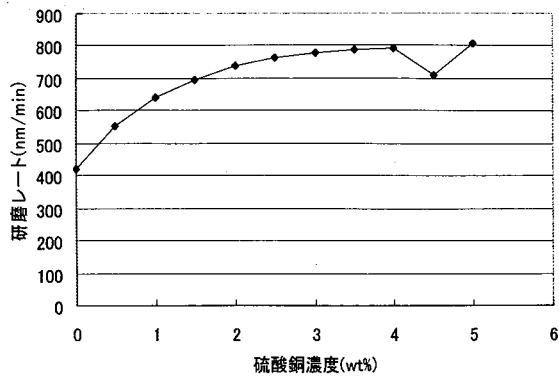


Fig. 7 クエン酸／硫酸銅混合水溶液の濃度と

クエン酸に硫酸銅を混合した電解液の場合、硫酸銅の混合比率(硫酸銅濃度)の増加に従って、研磨レートが緩やかに増加した(Fig. 7)。

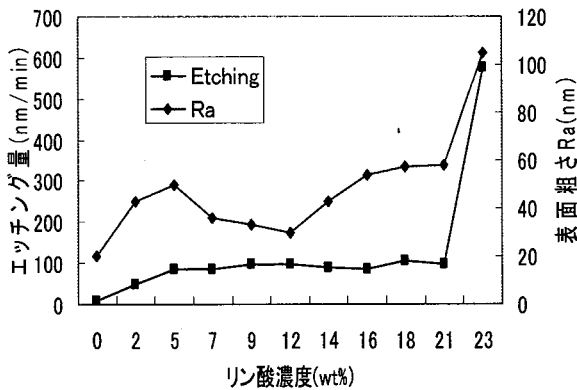


Fig. 8 クエン酸／リン酸混合水溶液の濃度と

リン酸電解液は、エッチング量が大きく、研磨面の表面粗さも大きいが、クエン酸混合電解液では、リン酸濃度を低下させると(クエン酸が増加する)、エッチング量が急激に低下し、Raも除去に低下する。また、エッチング量と表面粗さの改善に効果がみられた(Fig. 8)。しかし、クエン酸と硫酸銅の混合電解液の場合は、もともと硫酸銅水溶液のRaが低いこともあり、改善がみられなかった(Fig. 9)。

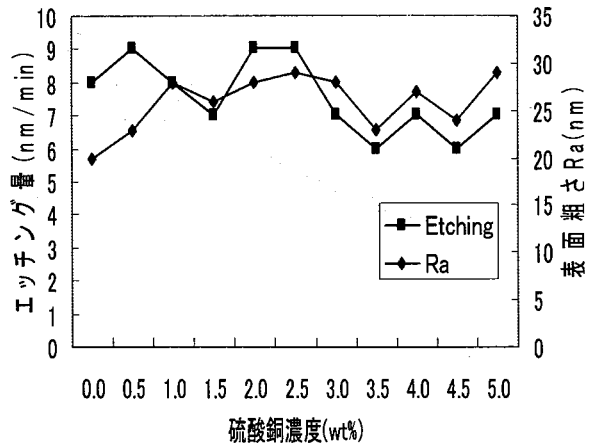


Fig. 9 クエン酸／硫酸銅混合水溶液の濃度とエッチング量、Raとの関係

### 3.3 段差解消性の検討

Cu多層配線形成プロセスにおけるCu配線材の研磨の目的は、low-k層間絶縁膜に設置された配線溝に銅配線材を埋め込むことである。Fig. 10(a)、(b)、(c)に埋め込みプロセスを模式的に示す。(a)は層間絶縁膜に設置された配線溝の上に銅配線材がメッキされた研磨前の状態で、配線溝深さに相当する段差が形成される。(b)は銅配線材の除去の途中を示す。配線溝上部の銅配線材(line部)も研磨されるが、space部の研磨量が大きいため段差が解消され、最終的には余剰銅配線材がすべてクリアーされた状態で配線溝に銅配線材が残され、埋め込み配線が形成される。(c)

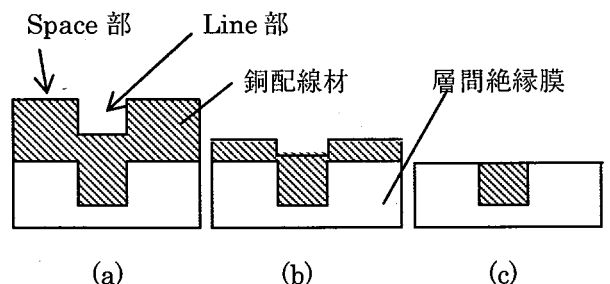


Fig. 10 配線埋め込みプロセスの模式図

しかし、電解研磨では、銅配線材のspace部とline部の除去速度が同じで、余剰銅配線材がすべてクリアーされた状態では、溝部の銅配線材も除去され、配線が形成されない問題がある。このため、銅配線材の表面にパッシベーションフィルムを形成し、line部の