

■CMPにおけるCの比率をどう見積もるか？

アラ・フィリップシアン、アリゾナ大学

CMPにおけるCの比率をどう見積もるか？

Cu-CMPの研究を始めて以来、Cu-CMPプロセスでの「化学的作用」と「機械的作用」の比率はどのくらいだろうか？というのがずっと疑問でした。もちろん、CMPは化学的効果と機械的効果を合わせることによりその長所を発揮していることは誰でも知っています。しかし、驚いたことに、私の問いに対する答えはどこにも発表されておらず（少なくとも私の知る限りは）、それに関する情報もほとんど逸話に近いものでした。実際に、約6カ月の間、会議やミーティングのたびに以前の同僚やこの分野のエキスパートの方々に質問してみましたが、私の得た答えは、すべてのCuポリシングプロセスの中で化学的作用はおよそ60～80%と見積もられていました。

そのようなことで、私はこの問題について深く考えるようになりましたが、この問題の答えを探り当てるような実験のアイデアは湧いてきませんでした。ある日、私の研究室のPh. Dコースの学生であるJam SorooshianがCuのリムーバルレートに関する実験データを持ってきました。その実験というのは、私の友人のいる、フジミ(PL-7102)、ロデール・ニッタ(IC-1000)からの寄付による消耗資材(スラリーとパッド)を用いて、プラチナの温度、ウエハ圧力、および、パッド-ウエハ間の相対速度を変化させた実験でした。

彼の実験は、圧力と速度の積に対するリムーバルレートに関する等温線図を形成するというものでした。この実験の結果について議論を始めたところ、突然、理論的には動的エッチレートを表す等温線のY切片が、プラチナ温度の上昇につれ高くなっていることに気がつきました。すぐに、私たちはジャックポット、すなわち大当たりを当てたことに気づきました。そして、しばらく後に、Cu-CMP全プロセス中に占める化学的作用の相対的な寄与率を決定することができました。もう、6時になっていました。研究室へピザを配達してもらった後で、Jamと私はアレニウスの速度表示式と一般化されたプレストンの式に基づき、単純なモデル式を考え始めました。

下に示すプレストンの式では、

$$R = k \cdot P^n \cdot U^m + RR_0$$

RR₀は材料除去速度、kはプレストン定数、Pは作用するウエハ圧力、Uはパッド-ウエハ間の平均速度、そしてRR₀は圧力と速度が作用していない時のその材料に対する動的エッチレートを示しています。この式はきわめて一般的ですが、ひとつの定数kに依存してプロセスの化学的、機械的な複雑さに目をつぶっています。このことは、明らかに、さらなる研究による解明を求めています。

Jamはプレストン定数kの新しい定義、すなわち、アレニウスの関係式を通してポリシング温度の効果を検討し、「温度独立定数」 κ の新しい定義を考え始めました。下の式において、Eはプロセスの全活性化エネルギーを示しています。Jamが新しく定義した活性化エネルギーはCMP中に温度により影響されるすべての化学的、機械的事象を表しています。RとTは、各々、気体定数とプロセス温度を示しています。

$$k = \kappa \exp\left(\frac{-E}{RT}\right)$$

上の定義式をプレストンの式にまとめると、リムーバルレートと温度の逆数間の直線的な関係が形成され、扱いやすい式になります。この解析では、実効リムーバルレートとして次式で表されるウエハ圧力とパッド-ウエハ間速度がゼロではないときのすべてのリムーバルレートの成分が定義されます。

$$RR_e = RR - RR_0$$

対数をとると、プレストンの式は次のようになります。

$$\ln(RRe) = \frac{-E_{\text{chemical}}}{RT} \ln(\kappa) + \ln(Pn \cdot U^m)$$

実効リムーバルレートと温度の逆数を自然対数でプロットすると、アレニウスの関係式はプロセスの全活性化エネルギーを表すEにより容易に記述することができます。データに基づいてJamが用いたスラリーとパッドの組み合わせの全活性化エネルギーは、およそ50kJ/moleでした。このプロセスの実際の化学的活性化エネルギーを得るために、上記の式をもう一度、動的エッチレートデータ(定義によれば、機械的現象を含んでいないのですが)に適用して続けました。

$$\ln(RRe) = \frac{-E_{\text{chemical}}}{RT} \ln(\kappa)$$

私たちのデータは、動的 Cuエッチレートに基づいて、プロセスの真実化学的活性化エネルギーは約34kJ/moleであることを示していました。

すでに、9時を過ぎていました。私たちのシンプルな解析によれば、これらの二つの活性化エネルギーの比率はCu-CMPの化学現象への相対的寄与率をあらわしており、それはPL-7102とIC-1000の組み合わせにおいておよそ70%になりました。ここに述べた方法は、他の消耗資材、例えば、日立化成のアブレイブフリースラリーや、Cabotのアルミナベースのスラリー、およびこれらとともに用いるロデールのIC-1000やJSRのWSPパッドの解析においても同様に用いることができます。もちろん、このような場合には、これらの消耗資材は各々異なる活性化エネルギーの組み合わせを有するため、結果は異なってくると考えられます。私たちは春休みの終わった4月からこれらの新しいテストを始めようと計画しています。いつの日か、東京の精密工学会において、このデータを発表できたら、これに優る栄誉はありません。私たちの結論を裏付ける理論を考えることができたのですから、70%(広く信じられている60~80%の範囲内)という値を十分なものとして持ち続けようと思いません。

多くの式を書きましたが、読者の皆さんが退屈しないように願っています。式をなるべく使わないように心がけましたが、正直なところ、理論解析なしにこのメッセージを伝える方法は思いつきませんでした。この記事に関する皆さんのコメント、ご意見などをいただけたらありがたいと思います。

何はともあれ、今、私の左側を富士山が通り過ぎようとしています。なんとすばらしい景色でしょう。

2003年3月18日

名古屋 発、東京 行、のぞみ44号 グリーン車 9号車 11A 席にて



No. 1: With students and friends at my house in Arizona
No.1: アリゾナの自宅での学生と友人達



No. 2: Taking visitors on a tour of the UA campus
No.2: アリゾナ大学のキャンパスでゲストを案内



No. 3: Giving a presentation at the recent CMP-MIC Conference in Marina Del Rey, California
No.3: カリフォルニア州マリナデルレイで開催された最近のCMP-MIC会議でのプレゼンテーション



No. 4: Spending some time off from work with my students
No.4: 研究室の学生たちとの休憩