

# 発光強度の解析によるプラズマ中の Cu 原子密度の測定

薄膜・表面物性研究室 田中 幸治

M023504 Koji TANAKA

## 1. はじめに

銅のスパッタプラズマを分光すると、波長 324.8 nm と 510.6 nm に銅中性原子からの比較的強い二本の発光線が観測される。これらの発光遷移は始状態が共通であり、このうち 324.8 nm の終状態は銅原子の基底状態である(図 1)。このため、高圧力や高電力など、銅原子の密度が高い環境下では、510.6 nm に比べて 324.8 nm の発光は、自己吸収されて相対的に強度が減少する。したがって、二つの発光の相対強度を解析すれば、プラズマ空間にある銅原子の密度が評価できる [1]。発光強度の比と銅原子密度の関係を計算した結果を図 2 に示す [2]。

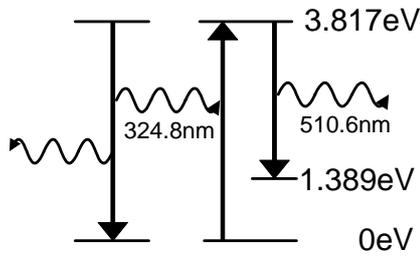


図 1 銅原子の発光遷移

ターゲットからスパッタされた高速の銅原子は、高圧(数 Pa 以上)のガス雰囲気中では、基板に到着する前にその運動エネルギーを失う(熱中性化)。熱中性化した原子は拡散的に移動し、壁に吸着する。したがって高圧力下のスパッタリングでは、空間の銅原子密度は容器の壁の位置によって影響される [3]。

本研究では、プラズマの発光スペクトルを位置分解してを測定し、CT(Computed Tomography)を用いてプラズマ内部での発光強度の空間分布を

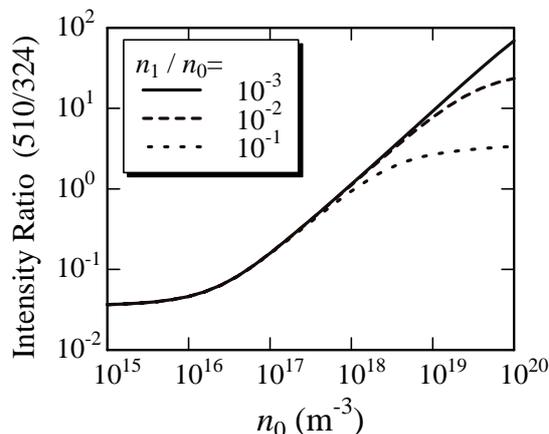


図 2 銅原子密度との発光強度比

考察した[2]。また、基板の位置を変化させることで容器の境界を変化させ、スパッタ粒子の拡散的挙動が成膜過程において果たす役割についても議論した [4]。

## 2. 実験

Ar を放電ガスに用いて、50 mm の銅をマグネトロンスパッタリングした。プラズマの発光は真空容器の側面にある石英窓から観測した。光学系は絞りとレンズとから構成され、直径数 mm のビーム状領域の光のみを取得できる。取得した光はレンズの焦点位置に置かれた光ファイバーを通して分光器に導いた。この光学系は水平/垂直方向に移動できるステージにセットされ、プラズマ空間を位置分解して観測できる。今回は、ターゲット面から 10 mm 上方の位置において、水平方向にのみ  $x = \pm 25$  mm 移動させて発光スペクトルの空間分布を観測した。スパッタ条件としては、圧力、放電電力、ターゲット-基板間距離(T-S 間距離)を変化させた。

## 3. 結果および考察

圧力 5 Pa, 電力 50 W において、T-S 間距離を 35, 55, 75 mm と変化させた時に観測された銅の発光線強度の変化(発光プロファイル)を図 3 に示す。T-S 間距離が短いと、510.6 nm の発光強度が相対的に弱くなっているが、図 2 より、短い T-S 間距離では銅原子密度が減ることを示している。つまり、観測位置に基板が近づいてくると銅原子の空間密度は減る。圧力 5 Pa の環境では、ターゲットからスパッタされた銅原子は 10 mm も離れた位置ではすでに熱中性化され、拡散的に流れていると考えられる。

次にターゲットの中心位置 ( $x = 0$ ) だけに着

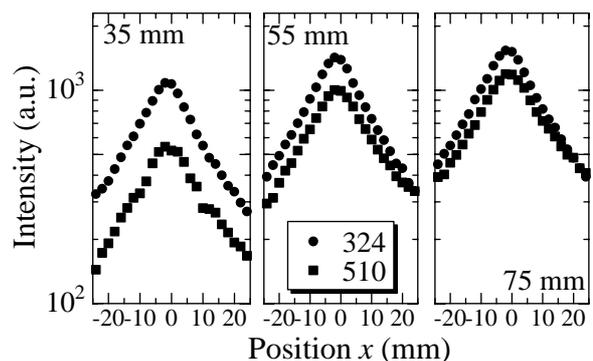


図 3 5 Pa, 50 W における発光プロファイル

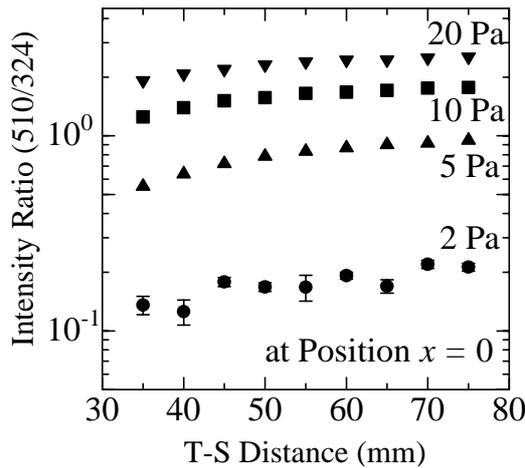


図4 発光強度比の T-S 間距離依存性

目して、発光強度の比と T-S 間距離との関係を圧力別に示す。図 4 より、どの圧力においても T-S 間距離の減少と共に発光強度比は減少している。つまりターゲットから出てきた銅原子が拡散的に移動している。また変化の仕方に着目してみると、2 Pa では変化が少ない。これは 2 Pa 程度ではまだ熱中性化されている原子が少なく、容器の境界条件にあまり影響されないためだと考えられる。

さらに横方向(水平方向)に広がる拡散も確認できた。図 5 に圧力 20 Pa, 電力 50 W における、 $x = 0$  と、 $x = \pm 20$  (平均値) で取った発光強度比を T-S 間距離の関数として示す。T-S 間距離が短い時には中心の位置での発光強度比が高いのに対して、T-S 間距離が長くなるにつれて、中心から離れた位置での発光強度比の方が相対的に高くなっている。これは T-S 距離が短い時には、銅原子の横方向への拡散を基板が阻止してしまうために、離れた位置での密度が相対的に減ってしまうのだと考えられる。

CT を用いて動径発光分布を作成した結果を図 6

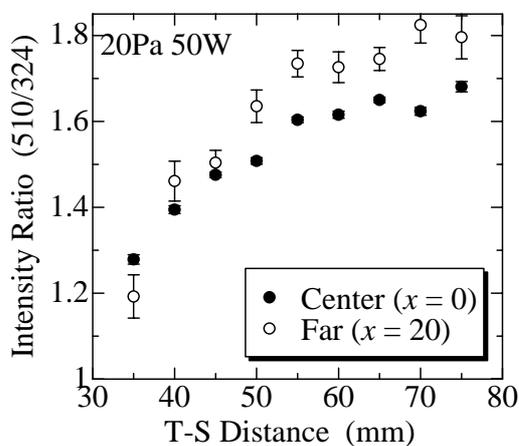


図5 中心と中心から離れた位置での比較

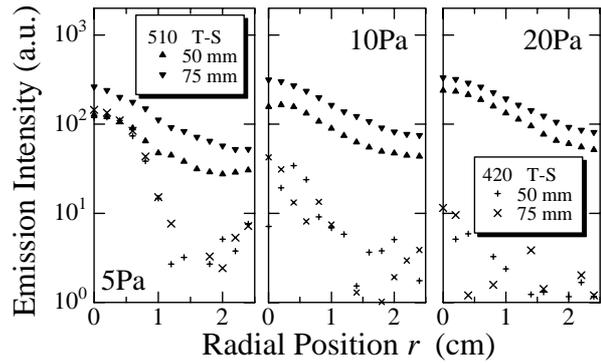


図6 CTによる動径発光分布 (50 W)

に示す。ここでは、ほとんど吸収の起こらない 510.6 nm の発光強度分布のみを CT 処理した。なお参考のため、Ar のピークである 420.1 nm の発光強度も CT で処理し、同じグラフ上にプロットした。

中心付近では Ar の発光が強い。Ar 原子はほとんど電子衝突によって励起されるので、中心付近には電子が多く存在していることを意味している。よって、銅原子の発光強度も大きい。一方、中心から離れると、Ar の発光が少なくなり、電子はあまり存在していない。しかしそのようなところでも銅原子は発光している。これは銅が光吸収によって励起されていることを示している。そして、圧力が高くなるにつれて中心からの距離  $r$  に対する銅の発光強度分布の傾きが緩やかになっている。これは中心付近で電子衝突によって励起された銅原子の発光が、周囲の銅原子に吸収される割合が増えているのではないかと考えられる。

また、この図から、Ar 原子の発光は T-S 間距離が変わっても変化していないことがわかる。基板に吸着しない Ar 原子の密度は変化しないであろうから、プラズマ内の電子密度が変化していないことを意味する。しかし銅原子の発光は T-S 間距離によって変化している。電子密度が変化していないとすると、これはプラズマ内の銅原子密度が変化しているためだと考えられる。つまり基板が近い時には銅原子が基板に吸着してしまうために密度が減り、発光が弱くなっていると考えられる。したがって、CT から銅原子の拡散移動を確認することができた。

参考文献

- [1] T. Nakano, N. Ohnuki and S. Baba: *Vacuum*, **59** (2000) 581.
- [2] K. Tanaka, T. Nakano and S. Baba: *Proc. of ISSP 2003* (2003) 112. (to be published in *Vacuum*)
- [3] 中野: *真空*, **45** (2002) 699.
- [4] 田中, 中野, 馬場: *真空*, (2004) 掲載決定