

スパッタ成膜速度分布のガス圧力およびターゲット-基板配置への依存性

薄膜・表面物性研究室 山崎 遼
M136134 Ryo Yamazaki

背景と目的

スパッタリングによる成膜では、放電ガス圧力やターゲット基板間の距離 (T-S 距離) により、スパッタされた粒子が基板に到達するまでの輸送過程が複雑に変化する。低圧下では、スパッタ粒子は放電ガスとあまり衝突せず、高速のまま基板に到達する。圧力が上がると放電ガスと粒子との衝突回数が増えて、方向変化や減速・熱化が起こる。この現象により拡散的な輸送が支配的となり、容器壁面の影響をより強く受けるようになる。このため、高圧になるほど成膜速度は減少する。

本研究では、原子質量の異なる金属をターゲットとして DC スパッタリングを種々の条件で行い、成膜速度を計測した。これよりスパッタ粒子の輸送過程で、ガス分子との衝突がもたらす影響について考察した。

実験方法

図1のスパッタ装置で、Al (27), Ti (47.9), Cu (63.5), Mo (96)をターゲットに用いて DC マグネトロンスパッタリングを行った (括弧内の数字は原子量)。放電ガス Ar 10 sccm を流入させ、容器内ガス圧力 0.5~20 Pa、DC 放電電力 50 W, 100 W で放電した。T-S 距離は 40~70 mm の間で 5 mm 毎に変え、基板ホルダの中心 (Center) と端 (Edge) に設置した水晶振動子膜厚モニタ(QCM)を用いて、成膜速度を測定した。

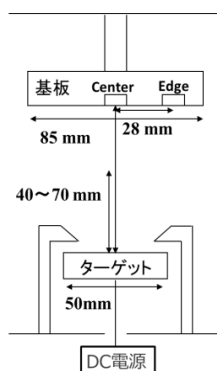


図1. スパッタ装置

実験結果と考察

図2は Center で測定した成膜速度の T-S 距離依存性を両対数グラフで示したものである。成膜速度は T-S 距離の増加に対し、ほぼべき乗関数的

に減少した。両対数プロットの傾きは高圧の方が急で、また成膜速度そのものも小さくなった。このグラフを $R \propto d^{-n}$ (R : 成膜速度、 d : T-S 距離) でフィッティングし、傾きを示す指数 n を求めた。図3は圧力と指数 n との関係である。圧力が高いほど指数 n が大きくなった。指数 n が大きく変化するのにはスパッタ粒子の輸送過程が弾道的なものから拡散的なものに移行して、ターゲット近傍の装置壁面が吸収境界として作用した結果と考えられる。元素により指数 n に変化の生じる圧力が違うのは、Ar 原子との衝突に伴うエネルギー伝達や運動量交換の程度が違うからである。ターゲット元素の質量が大きい方が減速や方向変化をしにくく、拡散的な移動になりにくい。Edge での成膜速度は Center 部より小さいが、圧力が高いほど Center 部に対しての低下が激しかった。指数 n は

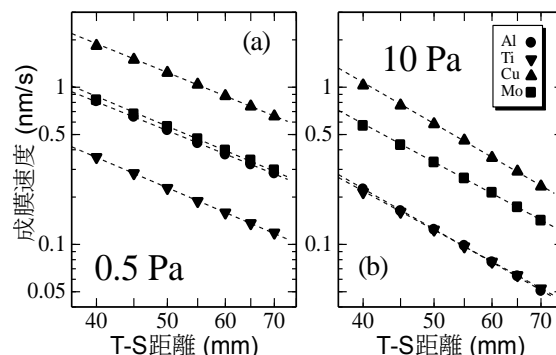


図2. Center 成膜速度の T-S 距離依存性

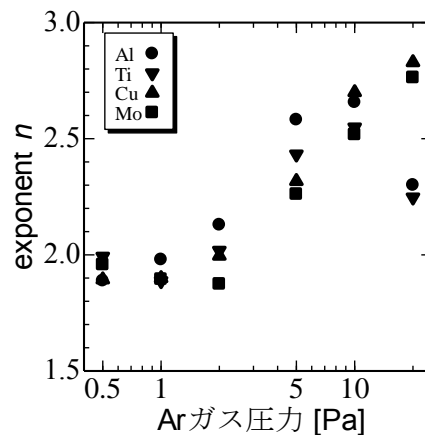


図3. 指数 n の圧力依存性

Center 部よりも値が小さく、拡散的輸送への変化が早く起きていると考えられる。

以上までの成果は[1]の論文として報告した。この結果は我々の研究室で行われたシミュレーションの結果[2]とも整合していた。

図4は膜厚均一性(Edge/Center)のT-S距離依存性であり、放電電力による違いを示した。100 W のとき、同じ圧力、距離での成膜速度が大きかった。

電力50 Wと100 Wの条件で実験測定した成膜速度Edge/Center 比の T-S 距離依存性を図4で比較した結果、Alを除けば違いはほとんど見られなかった。Alについて測定結果が異なるのはスパッタ粒子の放出角度分布が影響していると考えられる。

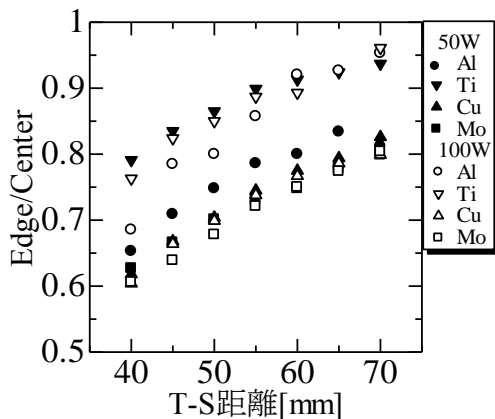


図4. 成膜速度 E/C 比の T-S 距離依存性における放電電力 50 W と 100 W の比較

膜厚分布のシミュレーション

実験の結果、熱化の前後で成膜速度や膜厚分布の T-S 距離依存性が変化すること、熱化は軽い金属元素ほど低い圧力で生じることなどがわかった。ただし、実際に膜厚分布を予測するには、ターゲットからのスパッタ粒子の放出角度分布の情報が不可欠である。実際に放出角度分布は、ターゲット金属の種類や放電電圧によって顕著に変化することが実験によって示されている [3]。そこで、低圧領域での成膜速度や膜厚分布の実験結果を簡単な無衝突近似の計算結果と比較して、スパッタターゲットからの放出分布について考察した。

図 1 の装置に対応する境界条件で、分割したターゲットの各領域をQCMから見込む立体角を幾何学的に求め、積算することで成膜速度を計算した。放出角度分布としては、[3] で用いられていたオーバークサイン分布 ($J = \cos^n \theta$) およびアンダーコ

サイン分布 ($J = \cos \theta (1 + \beta \cos^2 \theta)$) を仮定した。また、スパッタ実験後に実測したエロージョンの形状を考慮した。

計算結果と考察

計算で得た Center 成膜速度 (R) の T-S 距離 (d) 依存性は、 d の大きい領域で $R \propto d^{-2}$ となり、低圧での実験結果図 2 (a) に対応する結果となった。また d の小さい領域も含め、実験の結果と比較的良好一致を示した。

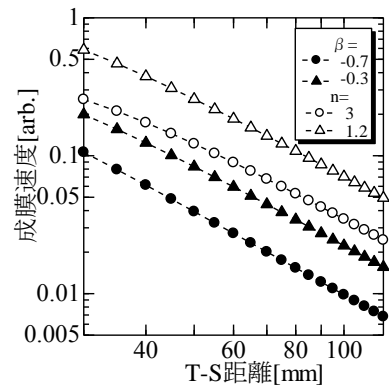


図5. 成膜速度の T-S 距離依存性 (計算結果)

図 6 に、角度分布の効果がより顕著に現れると考えられる Edge/Center 比について、実験、計算結果をそれぞれ示した。放電電圧 500 V では、Al はオーバークサイン、Ti, Mo はアンダーコサイン、Cu は両者の中間の放出角度分布を示す、という結果が得られていたが[3]、我々の結果では全ての実験結果はアンダーコサインを示唆する傾向となっている。実験を行った装置形状ではマイナスの値を持つ β が減少し、スパッタ粒子の横への放出割合が広がるほど膜の均一性が良くなっている。

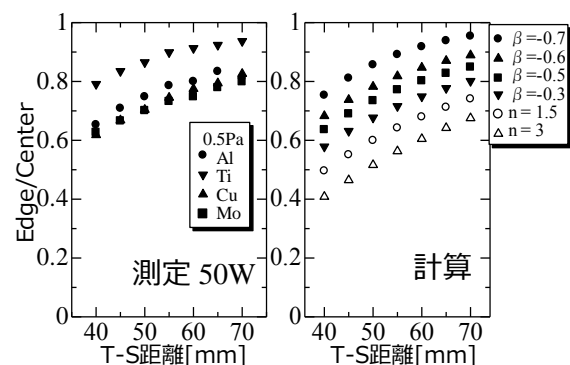


図6. 膜厚均一性の T-S 依存性における実験 (左) と計算 (右) の比較

[1] T. Nakano, R. Yamazaki and S. Baba: J. Vac. Soc. Jpn. 57 (2014) 152
 [2] T. Nakano and S. Baba: JJAP 53 (2014) 038002
 [3] T. Yamazaki, et al.: J. Vac. Soc. Jpn. 56 (2013) 382