

スパッタ銅膜の表面粗さのスケーリング観察

表面物性 / 馬場研究室 大川 賢治 (M003504 OHKAWA, Kenji)

目的

近年, 電氣的, 光學的デバイスでは, ますますの微細化が進み, 薄膜表面や界面のナノメートルレベルでの幾何学的形状(マイクロラフネス)の影響を明らかにすることが期待されている. 一方, 表面の形態がフラクタル的であることが知られるようになってきている. これまで, 蒸着膜については, 薄膜の形成・成長にともなう表面の幾何学的特性の時間的发展についてある程度調べられてきたが, 熱的な非平衡性の激しいスパッタリングにおいては, まだあまり研究されていない. 本研究では, スパッタ法によって堆積させた金属薄膜(Cu: 銅)について, 表面ラフネスのフラクタルパラメータを求め, その時間とともに変化する様子にどんな特徴があるかを調べることにした.

実験の概要

表面の各場所での膜厚の標準偏差を RMS ラフネス w と定義すると, 成長時間 t , 観測スケール L に対して次の関係が成り立つ. w はラフネス指数, ξ はダイナミカル指数 と呼ばれる.

$$w(L, t) \propto \begin{cases} L^\alpha & (L < \xi(t)) \\ t^\beta & (L > \xi(t)) \end{cases}, \quad \xi(t) \approx t^\alpha \quad (1)$$

ξ は横相関長さと呼ばれ, フラクタル性を示すスケールの上限を意味する. 本実験では, スパッタ法で作製した銅膜のフラクタルパラメータを決定し, ラフネスの時間による發展を調べ, また, スパッタ時の放電ガス圧力の影響も調べる.

銅膜は, 平板型 DC マグネトロンスパッタ装置を用いて, $80\text{mm} \times 5\text{mm}^t$ で純度 99.99% の Cu 円板ターゲットから, 上方 50mm 離れた $25 \times 76 \times 1.0\text{mm}^3$ のコーニング 7059 のスライドガラス上に堆積させた. 放電ガスとして流量 10 sccm で Ar を導入し, 主バルブを微調整して, 圧力を 10 あるいは 2 Pa とした. 各圧力のもとで放電電力 100W を保つよう, ターゲットに DC 電圧をかけた. プレスパッタを 60 分間行った後, シャッタを開き, 製膜を開始した. 堆積時間 $t = 30, 45, 60, 75, 90, 120, 150, 180$ 分の試料を作った. 基板は特に加熱していない.

これらの試料は, 原子間力顕微鏡(AFM)を用いて 1 試料あたり 35 箇所表面形態の観察を行った後, 誘導結合プラズマ(ICP)分析を行って堆積量(膜厚)を決定した.

実験結果

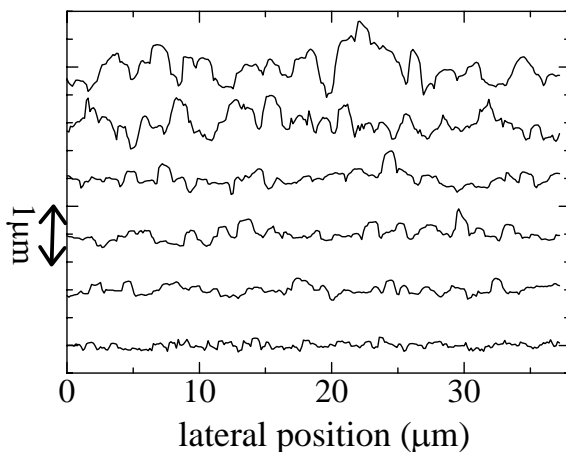


図 1. Cu 膜 (10Pa) の表面粗さ

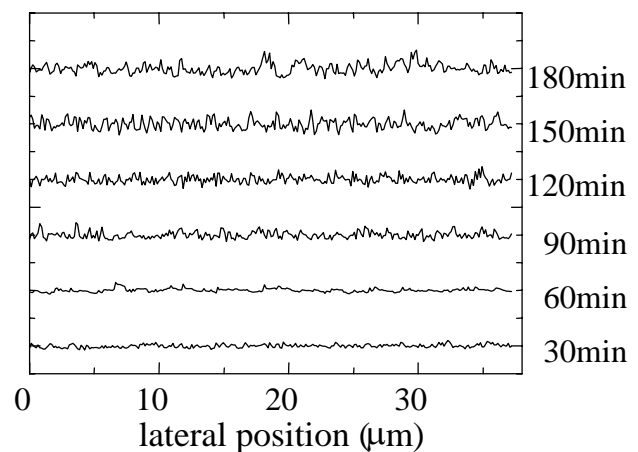


図 2. Cu 膜 (2 Pa) の表面粗さ

圧力 10Pa, 2Pa でスパッタした Cu 膜の表面の凹凸(ラインスキャン)を図 1, 2 に示す.

また、 $40 \times 40 \mu\text{m}^2$ の凹凸像から $L = 0.27 \sim 40 \mu\text{m}$ のスケールに対し $w(L)$ を算出し、両対数グラフでそのべき乗特性を調べた結果を図 3, 4 に示す。各曲線は、式(1)で予想されるよ

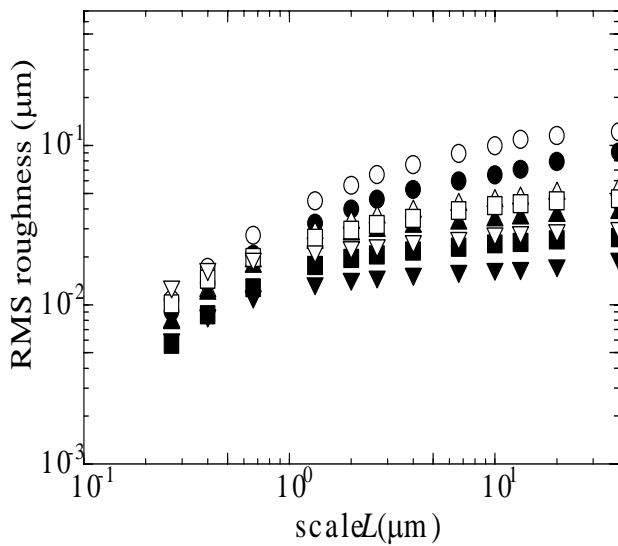


図 3. 観測スケールと RMS ラフネス 圧力 10Pa

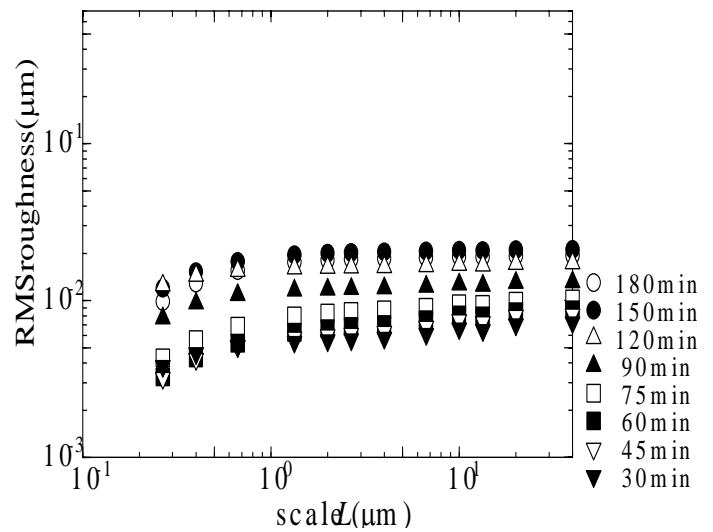


図 4. 観測スケールと RMS ラフネス 圧力 2Pa

うな“折れ線”の特徴(左側直線部の傾きがラフネス指数 α を与える)を示している。10Pa で成長させた Cu 膜では、短いスケールでのラフネスはあまり増えず、横相関長さ ξ が膜堆積とともに大きくなっている。これは、膜の堆積とともにラフネスが面内および厚さの両方向で成長していることを意味している。一方、2Pa では、どのスケールで見ても厚さ方向にラフネスが成長している。薄膜表面での原子移動が少ないことを意味している。図 5 は、横相関長さ以上のスケールに対するラフネス(従来の意味での“粗さ”)が、堆積量とともに変化する様子を示している(両対数グラフの直線の傾きからダイナミカル指数 β が求まる。値は表にまとめた)。なお、ICP 測定* から求めた Cu 膜の堆積速度は、10, 2 Pa それぞれにおいて、 1.10 ± 0.05 , 1.13 ± 0.05 nm/s と、ほとんど同じであった。

したがって、圧力によるラフネス成長の違いは、膜表面に接するプラズマの密度や電位、温度の違いによって、膜表面を拡散移動する原子の寿命に違いが出たものと考えられる。あるいは、成長面の温度に違いがあることも考えられる。

* 試料を硝酸に溶解した後、応用化学科小島研究室にて、発光強度測定を行っていただいた

圧力/Ar		
10 Pa	0.6 ~ 0.7	0.9
2 Pa	0.5 ~ 0.6	0.6

結論

DC マグネトロンスパッタ法で堆積させた

Cu 膜について、表面ラフネスのスケール依存性を調べたところ、スパッタ時の圧力によって、表面ラフネスの成長に大きな違いの生じることが見出された。特に低圧力で製膜すると、薄い膜では全てのスケールにおいてラフネスが抑制されている。

1) K.Ohkawa, T.Nakano, S.Baba: 真空 45, (2002) 掲載予定

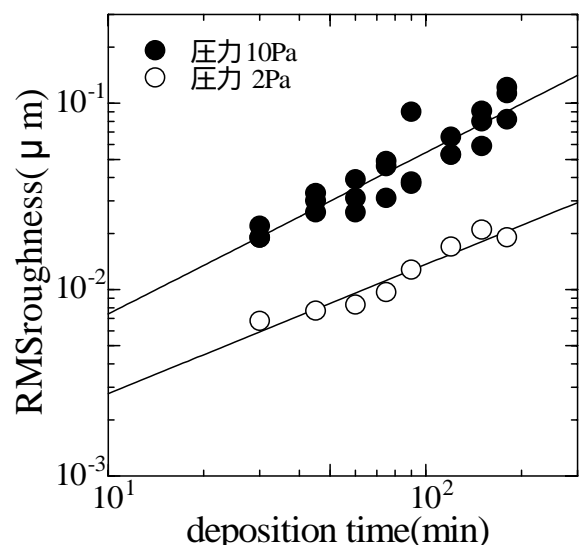


図 5. 堆積時間と RMS ラフネス