

斜め堆積スパッタリング法により形成される離散的柱状構造に対する圧力の影響 Influence of Pressure on Isolated Columnar Structures Fabricated by Glancing-angle Sputtering

○(M1) 泉澤 宏樹¹, 井上 泰志¹, 高井 治²

○Hiroki Izumisawa¹, Yasusi Inoue¹, Osamu Takai²

¹Chiba Institute of Technology, ²Kanto Gakuin University

E-mail: s1321029gk@s.chibakoudai.jp

1. 緒言

斜め堆積法は、離散的ナノ柱状構造 (Isolated Nanocolumnar Structure : INS) を有する薄膜を容易に作製できる手法の一つである。その原理は自己遮蔽効果に基づき、高真空が要求されるため、プラズマ環境下での適用は困難であると考えられてきた。気相中のガス種が膜原料原子の基板入射角度分布を広げるため、自己遮蔽効果が低減してしまうからである。一方、筆者らは、反応性プラズマ環境下で窒化物等の INS 形成に成功してきた。定常プラズマを維持するための圧力には下限があるが、前述のように、気相圧力が INS 制御性に影響することは明らかである。しかし、プラズマ環境下での斜め堆積法における、膜の微細構造に対する圧力の影響は十分に明らかになっていない。そこで本研究では、反応性スパッタリング法における斜め堆積プロセスをシミュレーションで再現し、成膜圧力が INS に与える影響を調査することを目的とする。

2. 研究方法

本研究で構築したプログラムは、気相中での散乱過程をモンテカルロ法に基づいて計算し、基板入射時の角度分布およびエネルギー分布を得る Unit.1 と、得られた角度分布およびエネルギー分布で基板に入射する原子が、表面でランダムな Hopping マイグレーションを経て堆積する過程をシミュレートする Unit.2 からなる。Unit.1 では、スパッタされた In 原子の初期条件として、線形カスケード散乱に基づく出射エネルギー分布および $\cos$ 型蒸発角度分布を仮定した。所定の圧力の N_2 ガス環境下で基板表面に到達するまでの間の、 N_2 分子による剛体散乱過程を計算し、基板表面到達時の速度ベクトルを記録した。実際の成膜実験結果と比較するために、成膜圧力を 0.5 Pa~2.0 Pa、基板角度をターゲット法線に対し 85° と設定した。Unit.2 では、基板温度 300 K、堆積膜の表面吸着ポテンシャル 0.2 eV、表面吸着原子から近接原子へのエネルギー移送率 0.001 eV/atom・step を仮定し、入射原子が基板温度程度に熱化するまで Hopping マイグレーションを行うとして計算した。

3. 結果と考察

Unit.1 により計算された、In 原子の基板入射エネルギー分布を Fig. 1 に示す。圧力上昇により散乱回数が増えるため、高エネルギー側の成分が大きく減少している。一方、入射角度分布には圧力の影響は小さく、角度分布の最大の支配要因は、基板とターゲットの幾何学的位置関係であると考えられる。

マトリクスサイズを $256 \times 256 \times 512$ ピクセルとした Unit.2 計算結果から作成した堆積膜の 3D 図を Fig. 2 に示す。いずれの圧力でも柱状構造間に深い空隙が見られる。0.5 Pa での堆積膜は構造の表面が滑らかであるのに対し、1.0 Pa での堆積膜は細かいコブが存在し、樹枝状に成長している。これは、高い圧力下では気相中の散乱により運動エネルギーが低下するため、マイグレーション距離が短くなり、柱状晶表面で新たな核生成が生じることに由来する。

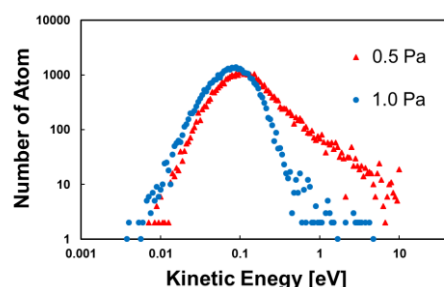


Fig. 1 Incident-energy distributions of the In atoms reached on the substrate surface.

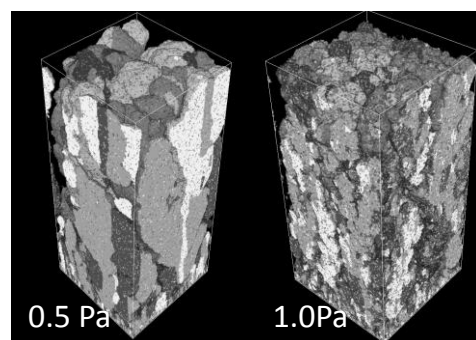


Fig. 2 3D views of the films simulated at the N_2 pressure of 0.5 and 1.0 Pa.