

斜め堆積反応性スパッタリングにおける原料質量数の影響

Effect of Atomic Mass Number of Target Material on Glancing-angle Reactive Sputtering

○仲尾昌浩¹, 柊川尊重¹, 井上泰志¹, 高井 治² (1.千葉工大, 2.関東学院大)

Masahiro Nakao¹, Takashige Masukawa¹, Yasushi Inoue¹, Osamu Takai²

(1.Chiba Inst. Technol., 2.Kanto Gakuin Univ.)

1. はじめに

1990年代以降, 精力的に開発された斜め堆積法は, 離散的ナノ柱状構造 (Isolated Nanocolumnar Structure : INS) を精密に制御して堆積膜を作製可能な手法である. その原理は自己遮蔽効果に基づくものであり, 高真空および低基板温度が要求されるため, 反応性ガス・プラズマを利用して化合物薄膜を形成するプロセスには適用できないと考えられてきた. 一方, 筆者らは, 反応性蒸着, 反応性スパッタリングなどに斜め堆積法を適用し, 窒化物等の INS 形成に成功してきた. 本研究は, 堆積過程をコンピュータシミュレートすることによって, 反応ガスとの散乱発生時における原料原子の質量の差による影響の度合いを確認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, ターゲットから放射した原料原子が基板表面へ到達するまでの間に, 気相中のガス種からどのような散乱を受けるかを計算する. 原料原子の初期条件として, Maxwell-Boltzmann 型のエネルギー分布と, $\cos$ 型蒸発角度分布を仮定した. 気相中の散乱は, 雰囲気ガス種との単純な剛体衝突とし, 衝突が発生する確率は, 圧力から得られる平均自由行程を減衰定数とする指数関数によって算出した. 本研究では, 14 族 C, Si, Ge, Sn, Pb の 5 種の原子それぞれにおいて, N_2 雰囲気中の反応性スパッタリングによる, 薄膜堆積をシミュレートした. スパッタリングの N_2 圧力は 0.3 Pa とし, 比較のため, 散乱が発生しない条件である 0.001 Pa の場合も計算した. その他のパラメータは, 時間ステップ間隔を 1 μ s, ターゲット直径を 100 mm, チャンバー径を 300 mm, 基板サイズを 20 mm $\times$ 20 mm, 基板の設置角度を坩堝法線に対して 85°, ターゲット-基板距離 60 mm を, それぞれ入力した.

3. 結果および考察

基板表面に入射した 2^{16} 個の原子 (各 C, Si, Ge, Sn, Pb) について, Fig. 1(a), (b) および Fig. 2(a), (b) に, 0.001 Pa および 0.3 Pa における原料原子の基板表面到着時の運動エネルギー分布と入射角度分布をそれぞれ示す. 圧力 0.001 Pa では, 気相中の散乱がほとんどないため, 運動エネルギー分布, 角度分布どちらも原料原子の質量によらず, おおよそ一定の形状の分布となった. 一方, 圧力 0.3 Pa では, 質量が小さいほど運動エネルギー分布は低エネルギー側シフトし, 角度分布は低角度側へ裾野を持つようになるとともに, 高角度側のピーク形状がほぼ消失した. 特に, Si と Ge の間に大きな違いが現れている. この結果は, スパッタガス N_2 の質量数 28 が境界となり, それより大きい質量数の原料原子であれば, 反応性 N_2 プラズマ中で気相散乱を受けても, 基板傾斜による斜め堆積効果が維持できることを示す.

4. 結論

反応性スパッタリングプロセスにおいて, 原料原子の質量数がスパッタガスより大きい場合, 原料原子の入射角度分布が高角度側に維持されるため, 斜め堆積による INS 構造制御が可能である.

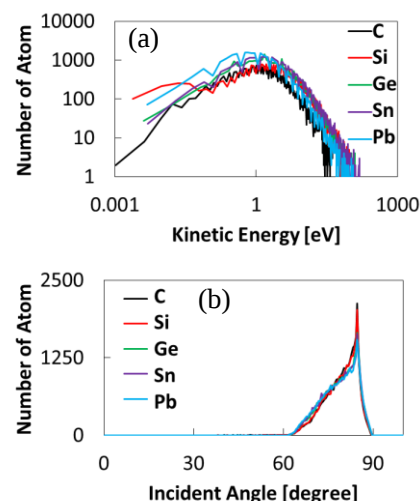


Fig.1 0.001 Pa における(a)運動エネルギー分布と(b)入射角度分布.

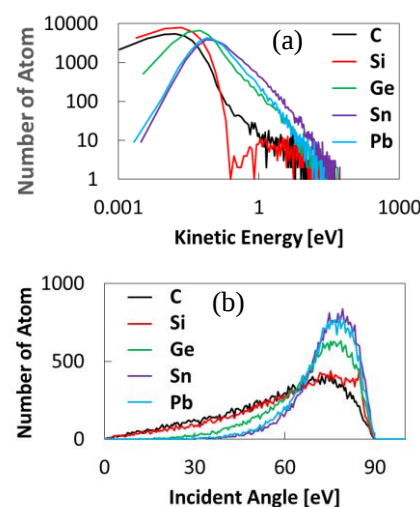


Fig.2 0.3 Pa における(a)運動エネルギー分布と(b)入射角度分布.