

ヘリウムイオン顕微鏡を用いたタングステンピラーの作製および 微細ヘリウムイオンビームと基板の相互作用

Tungsten-Based Pillar Deposition by Helium Ion Microscope and Beam-Substrate Interaction

産総研¹, 学振特別研究員² ○(P)小濱 和之^{1,2}, 飯島 智彦¹, 林田 美咲¹, 小川 真一¹
AIST¹, JSPS² ○(P) Kazuyuki Kohama^{1,2}, Tomohiko Iijima¹, Misa Hayashida¹, Shinichi Ogawa¹
E-mail: kazuyuki-kohama@aist.go.jp

【緒言】我々は、ヘリウムイオン顕微鏡 (HIM) に有機金属などの前駆体ガス導入機構を取り付け、nm 径のヘリウムイオンビームをガス雰囲気中で種々の基板上に照射することで、二次電子誘起ガス分子解離反応による nm オーダーのサイズの微細金属形成の可能性を検討している。ヘリウムイオンビームは直径約 0.3 nm - 2 nm 程度と小さく、また発生する二次電子のピークエネルギー (~1 eV) が小さいため、電子ビームやガリウムイオンビームなどの従来技術に比べ、非常に微細な材料形成が期待される。さらに、ヘリウムイオンビームは二次電子の発生効率が高く、ビーム照射量を低減できるため、基板中へのダメージ形成の軽減も期待される[1]。これまでに、タングステンカルボニル (W(CO)₆) ガス導入機構を用い、主に Si 基板上に微細タングステンピラーを作製し、その形状、微細構造、成長速度、ビーム照射により Si 基板中に形成されるダメージなどの観察評価を行ってきた。本研究では、Si 基板だけでなく、基板の種類の違いによるピラーおよびダメージ形成の差異を観察評価し、ビームと基板の相互作用機構や低ダメージでの材料形成条件について指針を得ることを目的とした。

【実験方法】 W(CO)₆ ガスを HIM 内に導入し、基板上の一点に 30 keV のヘリウムイオンビームを照射し、タングステンピラーを形成させた。基板の種類はアモルファスカーボン (a-C) および単結晶 Si(100)ウエハーとした。ビームと基板の相互作用を観察しやすくするため、基板の厚さは約 300 nm と薄くした。基板の作製は FIB 加工で行った。ビーム電流、ビームエネルギー、ビーム照射時間、作動距離 (WD) 等を変化させて基板上に作製したタングステンピラーを、HIM、透過電子顕微鏡 (TEM)、走査透過電子顕微鏡 (STEM) を用いて観察した。WD は、対物レンズと基板の距離であり、基板の高さ位置を変化させることで制御した。WD を増大させると、ガス導入ノズルと基板の距離が増大し、基板上へのガス供給量が減少する[2, 3]。

【実験結果】 Fig.1 は、a-C 基板上に作製したタングステンピラーの高角度散乱暗視野 (HAADF) STEM 像である。基板上へのガス供給量が比較的多い WD 10.5 mm の条件 (Fig.1(a)) では、照射時間 1 分と 3 分のいずれの条件でも、基板の表面 (ビームが飛来してくる方) に太さ 50 nm 程度のタングステンピラーが形成された。また、表面から 150 nm - 250 nm 程度の深さの基板中に球形の低密度領域が観察された。基板に入射したヘリウムイオンの大部分がこの深さ近傍で基板にダメージを与えたと考えられる。照射時間の増大とともにピラーは成長したが、基板中の低密度領域の深さや大きさは増大しなかった。これは、ピラーの長さがある程度長くなると、ピラーによってビームが遮蔽され、基板に到達するビーム量があまり増大しなくなるためと考えられる。一方、ガス供給量が減少する WD 11.5 mm の条件 (Fig.1(b)) では、基板表面だけでなく、基板の裏面にもタングステンピラーが形成された。これはビームが裏面まで貫通したことを示している。表面と裏面のピラーの中心部には、ともに幅 15 nm 程の柱状ポイドが形成されていた。柱状ポイドの形成は、ガス供給量の減少によってビームによるエッチングが促進されたためと考えている[2, 3]。また基板中には、表面から裏面にわたる細長い形状の低密度領域が観察された。これらの結果から、ビームはピラー中心部の柱状ポイドおよび基板中の低密度領域をほとんど散乱されずに直進したと考えられる。また、Fig.2 は、WD 11.5 mm の条件で Si 基板上に作製したタングステンピラーの HAADF-STEM 像である。Si 基板表面では上記と同様に柱状ポイドを有するタングステンピラーが形成されたが、裏面ではピラーは形成されなかった。Si 基板中には、比較的広範囲にわたってアモルファス化した低密度領域が観察され、特に Si 基板裏面にアモルファス化したドーム状の Si 隆起が形成された。a-C 基板の場合と異なり、ビームの大部分は Si 基板によって散乱され、裏面まで貫通しなかったと考えられる。このような基板依存性は、カーボンよりも Si の方が 30 keV のヘリウムイオンビームに対する阻止能が大きいことに起因しているのではないかと考えている[4]。

【謝辞】 STEM 観察における塚原雅宏氏、篠田啓介氏の協力に感謝する。また、秋永広幸氏の支援および助言に感謝する。なお、本研究は日本学術振興会特別研究員制度 (小濱) の助成を受けたものである。

- [1] S. Ogawa *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 49, 04DB12 (2010).
- [2] 小濱ら, 第 73 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, 12p-F5-7 (2012).
- [3] K. Kohama *et al.*, submitted to J. Vac. Sci. Technol. B.
- [4] G. Konac *et al.*, Nucl. Instrum. Meth. B. 146, 106 (1998).

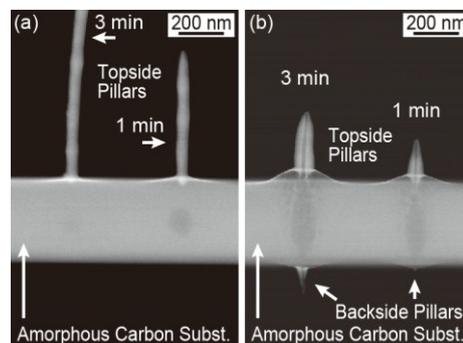


Fig.1 HAADF-STEM images of the tungsten-based pillars deposited on the amorphous carbon substrate with the WD of (a) 10.5 mm and (b) 11.5 mm, respectively.

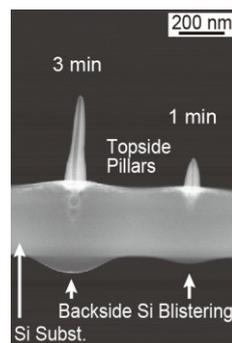


Fig.2 A HAADF-STEM image of the tungsten-based pillars deposited on the Si substrate with the WD of 11.5 mm.