28a-G6-1

## 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 および基板に与えるダメージの評価

Characterization of Structure and Growth of Tungsten-Based Pillars Deposited by Helium Ion Microscope and Beam-Induced Substrate Damages

産総研<sup>1</sup>, 学振特別研究員<sup>2</sup> ○<sup>(P)</sup>小濱 和之<sup>1,2</sup>, 飯島 智彦<sup>1</sup>, 林田 美咲<sup>1</sup>, 小川 真一<sup>1</sup> AIST<sup>1</sup>, JSPS<sup>2</sup> <sup>○(P)</sup>Kazuyuki Kohama<sup>1,2</sup>, Tomohiko Iijima<sup>1</sup>, Misa Hayashida<sup>1</sup>, Shinichi Ogawa<sup>1</sup> 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]。本研究では、タングステンカルボニル(W(CO)<sub>6</sub>)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、成長速度などを調べた。それに加え、 ピラー作製時のビーム照射により Si 基板中に形成されるダメージを観察評価し、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)<sub>6</sub> ガスを HIM 内に導入し、基板上の一点にヘリ ウムイオンビームを一定時間照射し、タングステンピラーを形成させ た。ピラー成長方向はビーム入射方向の 180°逆向きである。基板と して、主に単結晶 Si(100)ウエハーを用いた。ビーム電流、ビームエネ ルギー、ビーム径、基板上へのガス供給量を変化させて作製した試料 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。ピラーの成長速度は、形成されたピラーの体積をへ リウムイオンの総ドーズ量で割った値(nm<sup>3</sup>/ion)を用いて評価した。

【実験結果】種々の実験結果の一例として、ビーム電流を変化させて Si ウエハー上に作製したピラーの高角度散乱暗視野 (HAADF) STEM 像を Fig.1 に示す[2]。Fig.1(a)のように、直径 50-60 nm 程度、長さ 500 nm - 1.5µm 程度のピラーが形成され、HIM を用いて高アスペクト比か つ微細なピラー形成が可能であることがわかった。ビーム径に比べて ピラー径が著しく大きい理由は明らかではないが、ピラー成長中にお けるピラー先端とビームの相互作用(例えばビーム散乱機構や二次電 子発生機構等)に起因すると考えている。別に行った電子回折パター ン解析から、いずれの条件で作製したピラーも、FCC構造のWC1xま たは W2(C,O)の多結晶で構成されていることがわかった。一方、ピラ ーと Si 基板の界面において、Si 基板の隆起が観察され、Si 隆起部はア モルファス化していた。ビーム照射により Si がアモルファス化し、体 積増大により隆起したと考えられる。ビーム電流の増大とともに Si 隆起の高さは増大していた。また Fig.1(b)のように、ピラーの中心部に 数 nm 幅の柱状ボイドが観察され、ビーム電流の増大とともにボイド 幅は増大していた。柱状ボイドの形成は、ビーム照射位置においてビーム照射によるエッチングが起こったことを示唆している。さらに Fig.2のように、ビーム電流の増大とともにピラー成長速度(nm<sup>3</sup>/ion)は 減少し、ピラー成長速度が速いほど柱状ボイド幅と Si 隆起高さが減少 するという関係があることがわかった[2]。ビーム電流以外に、ビーム エネルギー、ビーム径および基板上へのガス供給量をそれぞれ変化さ せた実験においても、ピラー成長速度が速いほど柱状ボイド幅と Si 隆起高さが減少していた。これらの結果から、ピラー作製時には、ピ ラーの堆積、Si 基板の隆起、柱状ボイドの形成(ビームによるエッチ ング)、という少なくとも3つの現象が競合しており、柱状ボイド幅と Si隆起高さは、ビーム条件やガス供給量等のパラメータに直接依存し ているわけではなく、ピラー成長速度に支配されていると示唆された。

【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。

S. Ogawa *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 49, 04DB12 (2010).
K. Kohama *et al.*, submitted to J. Vac. Sci. Technol. B.





Fig. 1 (a) A typical HAADF-STEM image of the tungsten-based pillars deposited on the Si substrate by the HIM with the beam current in the range between 1.0 to 3.5 pA. The beam energy and the beam irradiation time were 30 keV and 60 s, respectively. (b) Magnified images of the pillars shown in (a). ©American Vacuum Society [2].



Fig. 2 The pillar deposition rate plotted as a function of the beam current. ©American Vacuum Society [2].