

環境制御型 nc-AFM を用いた原子状水素照射 Si エッチングの観察 Environmental controlled non-contact atomic force microscopy observation of etching of Si surfaces by atomic hydrogen irradiation

北陸先端大¹, 島津製作所², 京大院工³, 京大白眉セ⁴, JST/先端計測⁵,
○宮城 友昭¹, 笹原 亮¹, 富取 正彦¹, 粉川 良平², 大田 昌弘², 山田 啓文³,
小林 圭^{3,4}, 大藪 範昭^{3,5},
Japan Advanced Institute of Science and Technology¹, Shimadzu Corp.²,
Dept. of Electronic Sci. & Eng., Kyoto Univ.³, Hakubi Center, Kyoto Univ.⁴, JST⁵,
○Tomoaki Miyagi¹, Akira Sasahara¹, Masahiko Tomitori¹, Ryohei Kokawa², Masahiro Ohta²,
Hirofumi Yamada³, Kei Kobayashi^{3,4}, Noriaki Oyabu^{3,5}
E-mail: s1240013@jaist.ac.jp

原子状水素 (H) を固体表面に照射すると、表面が水素終端化されて化学的に安定になったり、あるいは表面の原子・分子が水素化物となって脱離してエッチングが進む。これらの現象は、半導体工業分野で微細加工や清浄化に利用されている[1]。代表的半導体材料 Si 表面への H 照射は古くから研究され、とくに H の初期吸着の研究例は多い。本研究では、実際のドライプロセスに近い条件下で、高温加熱した W フィラメントで発生させた H を Si 表面に照射し、照射前後の形状変化を高分解能非接触原子間力顕微鏡 (nc-AFM) で“その場”観察した。本 nc-AFM は、真空から大気圧までのガス環境を制御でき、かつ、試料に H を照射できる機構を備えている。

試料は B ドープされた Si(001)および Si(111)ウェハを短冊状に切り出したものである。アセトンによる超音波洗浄と半導体洗浄溶液 (セミコクリーン) によって脱脂した後、1 %HF 溶液に 3 分間浸漬した。Si(111)の場合はさらに 40%NH₄F 溶液に 7 分間浸漬し、表面を平坦化した。これらの処理によって、Si 表面の酸化膜の除去、表面の Si ダングリングボンドの水素終端化が進み、清浄かつ不活性な Si 表面が得られる。これらの試料を nc-AFM のチャンバー (到達真空度: 10⁻⁴ Pa、N₂, Ar, H₂ ガス導入可) に導入し真空排気した。排気後に、チャンバー内に装着した自作水素クラッカーの W フィラメントを約 1800 °C に通電加熱し、高純度水素ガスを導入 (流量 5 sccm) して H を発生させた。そして、Si 表面への H 暴露および nc-AFM 観察を繰り返した。

Fig. 1 に H 暴露前後の nc-AFM 観察像を示す。Si(001)の場合、H 照射する前は凹凸が 1 nm 以下の平坦な表面であった (Fig. 1(a))。この表面に H を照射すると、エッチピットが形成された。照射回数を増す毎にエッチピットは大きくなり、11 時間照射後には直径 23 nm、深さ 34 nm のエッチピットが多数観察された (図 1(b))。また、H エッチング速度は深さ方向が 3.1 nm/h、水平方向が 1.1 nm/h と算出され、深さ方向のエッチング速度が約 3 倍速いことが判明した。Si(111)の場合、NH₄F 溶液への浸漬によって形成されたと考えられる三角形状のエッチピット (深さ 5 nm) が観察された。H 照射によってこれらのエッチピットが減少し、表面が平坦化されていることが観察された。観察前の表面調製や H 照射の条件を変え、原子層毎のエッチングが可能かどうかを調べ、また AFM 用 Si 探針への H 照射効果も調べ、合わせて報告する。

[参考文献] [1] T. Morimoto et al., *J. Appl. Phys.* **44** (2005) 732735.

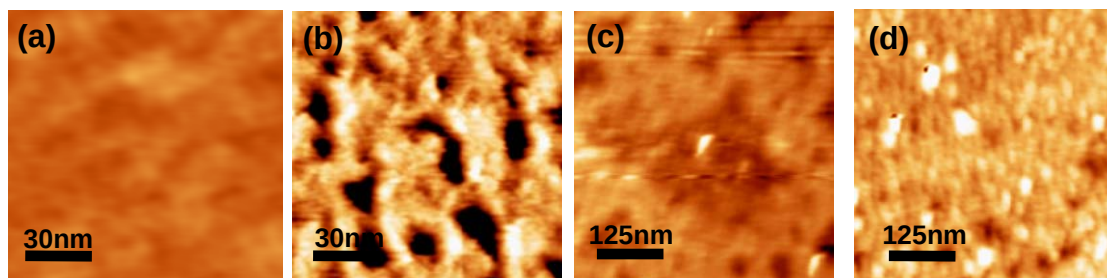


Fig. 1 nc-AFM images of Si(001) and Si(111) surfaces taken in a vacuum. (a) Si(001) before H irradiation, and (b) after the irradiation for totally 11 h. (c) Si(111) before the irradiation, and (d) after the irradiation for totally 7 h.