

Si(111)表面のナノスケール選択酸化初期過程の 高分解能光電子分光解析

三木一司^{a,b}、大橋勝文^{a,b}、矢代 航^a、成島哲也^a、寺岡有殿^c、吉越章隆^c

^a独立行政法人 物質・材料研究機構ナノマテリアル研究所、^b独立行政法人 産業技術総合研究所ナノテクノロジー研究部門、^c日本原子力研究所 放射光科学研究センター 表面化学研究グループ

背景

年々進歩する半導体の加工技術において、現在、ナノスケールのプロセスが要求され、多くの研究者がナノオーダーの反応制御技術の開発を行なっている。特に、ナノスケールのパターンでシリコン表面を酸化させることは、量子デバイスの開発等に最も重要な技術の一つである。最近、我々は異なる電子状態の二つの三角形 (F site、U site) で構成されたひし形の Si(111) 7x7 再構成表面構造の片方 (F site) のみを活性化酸素分子を用いて選択的に酸化させ、二次元構造の三角格子パターン形成に成功した¹⁾。しかし、我々は、この現象における原因の明確な解答を持っていない。そこで、本研究により、活性化させた酸素分子の選択酸化によるナノスケールのパターン形成の原因を探る。

超音速分子線は表面反応ダイナミクスの研究に古くから使用されてきたが、近年、この分子線の持つ並進エネルギーの制御性の高さや狭いエネルギー幅を利用した表面加工プロセスの研究が進められている。しかも、寺岡らは超音速酸素分子線によりエネルギー障壁の大きさを明らかにし Si(100) 表面の酸化反応制御のための重要な知見を

得ている²⁾。そこで、本研究では、このナノサイズの選択酸化反応制御を超音速分子線の並進エネルギーを選択することによって試みた。

本研究の実施により、Si(111) 7x7 表面の酸化反応における自己選択的なナノスケールのパターン形成機構を知ることができれば、その情報を基に、ナノ構造の特定の個所のみ反応する化学手法を開発でき、より複雑なナノ構造の作製が可能となる。現状では、物理的に走査型トンネル顕微鏡を使ってナノ構造へのアクセスが模索されているが、非常に困難な技術と言わざるを得ない。本研究の発展による化学的手法を用いることで、この困難を乗り越えることが可能となる。また、本研究で扱う二次元構造の三角形パターンは、サイズと間隔が 2.7nm に揃っており、電子のトンネルが可能な上に、スピン相互作用が可能なスケールになっている。従って、扱っている材料そのものがナノテクノロジー分野で大きなインパクトとなる。

実験

実験は SPring8 の軟 X 線ビームライン BL23SU に設置してある表面化学研究専用

の実験ステーション(SUREAC2000)を用いて行った。

試料基板として Si(111)基板を用いた。まず、試料基板を RCA 洗浄した。その後、超高真空中で 1300 K のフラッシュ加熱を数回繰り返した。次に、室温まで自然放冷した後、低エネルギー電子線回折 (LEED) にて Si(111) 清浄表面を示す Si(111)7x7 構造を確認した。酸素分子線照射前の表面からは、酸素の光電子ピークは観測されなかった。

本実験は、1eV から 3eV の超音速酸素分子線を Si(111)基板上に垂直に照射して行った。表面近傍の情報を詳しく得るために、光電子の検出角度を表面から計って 20 度とした。

結果及び考察

Si(111)7x7 清浄表面構造は複雑なため、通常の光電子測定によるスペクトルを個々の Si 原子のピークに分離することは困難であった。しかし、SPring-8 の非常に単色化された放射光を用いることで Si(111)7x7 清浄表面内の個々の Si 原子を示すピークを特定することができた。

1eV から 3eV の異なる並進エネルギーの酸素分子を Si(111) 7x7 清浄表面に照射し、酸素分子が飽和吸着した状態の高分解能光電子分析を行った。その結果、3eV の並進エネルギーの酸素分子を照射することで酸素分子が飽和吸着した Si(111)酸化表面の Si-2p の光電子スペクトルは非常に大きな Si³⁺ と Si⁴⁺ のピークを示した[図 1]。この酸化反応が室温の Si(111)表面で起こったにもかかわらず、3eV の酸素分子線照射により酸化反応が酸素分子の暴露に比べて非常に進行することが明らかになった。

今後の課題

今回初めて明らかにした超音速酸素分子線の並進エネルギーの違いにより Si(111)表面の酸化状態が大きく異なることは、本方法により Si(111)の酸化状態を任意に制御可能であることを示した。この方法を実用化することで、ナノテクノロジーの革新的な制御法を得ることが期待される。本課題によって得られた情報から本方法を実用化するためには、各並進エネルギーそれぞれの酸化表面状態を原子スケールで知る必要があり、より詳しい実験が必要である。そのために、引き続き酸素分子の運動エネルギー励起による Si(111)表面のナノスケール選択酸化の実験を計画したい。

参考文献

- 1) 三木一司他, Phys. Rev. Lett., to be submitted.
- 2) Y. Teraoka *et al.*, Surf. Sci., **507-510**, (2002) 797 .

発表論文

- [1] 大橋勝文、成島哲也、矢代 航、吉越章隆、寺岡有殿、三木一司、春季第 50 回応用物理学関連連合講演会（口頭発表）。

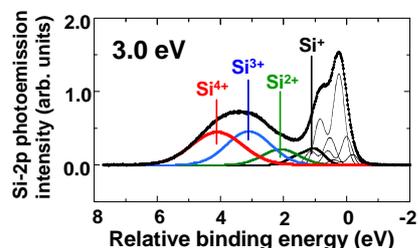


図 1 3eV の並進エネルギーの酸素分子を照射することで酸素分子が飽和吸着した Si(111)酸化表面の Si-2p の光電子スペクトル