

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

三木 一司^a, 大橋 勝文^a, 成島 哲也^a, 矢代 航^a, 寺岡 有殿^b, 吉越 章隆^b

^a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,

^b日本原子力研究所 放射光科学研究センター 表面化学反応グループ

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) 7×7再構成表面構造の片方 (F site) のみを活性な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と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り試みた。

本研究を実施することで、Si (111) 7×7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、その原因を利用することで、ナノ構造の特定の個所に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電子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。本研究の発展により化学的手法により、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格子パターンは、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以上に、スピン相互作用が可能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SPring-8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、白木法により試料基板を薬液洗浄した。その後、超高真空中で1300K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) 7×7構造を確認した。酸素分子線照射前の表面からは、酸素のピークは観測されなかった。

本実験は、3 eVと0.7eVの超音速酸素分子線ビームを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20度とした。

結果および考察

3 eVと0.7eVの2種類の並進エネルギーの

酸素分子をSi (111)-7×7表面に照射した時のO-1sの信号強度変化を測定した結果、2種類の並進エネルギーに対して飽和吸着量（図1の右側の直線）が大きく異なった。

さらに酸素分子が飽和吸着した時の2種類のSi-2pの光電子スペクトルには、Si⁴⁺のピークに明確な差が現れた。また、これら2種類の照射での酸素分子の飽和吸着時のO-1sとSi⁴⁺の信号強度比が約2倍であった。

このことから、低いエネルギーの場合には比較的酸化しやすいFHが選択的に酸化され、高いエネルギーになるとその選択性が消失するといった酸化反応の制御が、並進エネルギーの違いを利用することにより行なえる可能性があることがわかった。

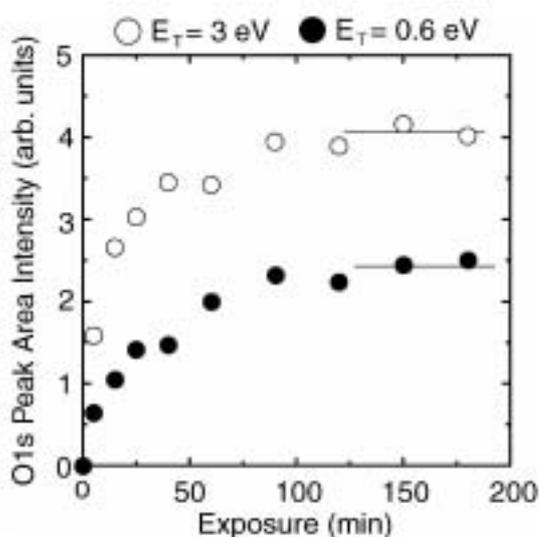


図1 酸素ピークの面積強度の酸素分子照射量依存性。○並進エネルギーが3 eVの場合、●並進エネルギーが0.7 eVの場合。
[1]

今後の課題

今回初めて明らかにした並進エネルギーの超音速酸素分子線照射によりSi (111)表面の酸化過程が大きく異なる現象は、本方法によりSi (111)の酸化状態を任意に制御することが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）。