

## 超音速分子線を用いた化合物半導体表面の酸化過程

Oxidation process on compound semiconductor using supersonic molecular beam

有賀 哲也<sup>1)</sup> 高橋 真<sup>1)</sup> 寺岡 有殿<sup>2)</sup> 吉越 章隆<sup>2)</sup>  
 Tesuya ARUGA, Shin TAKAHASHI, Yuden TERAOKA, Akitaka YSHIGOE

<sup>1)</sup>京都大学      <sup>2)</sup>原子力機構

超音速分子線分子線および高分解能 XPS を用いて 4H-SiC(0001)表面の酸化過程を検討した。常温で高い並進運動エネルギーに設定した酸素分子線を表面に照射することで酸化反応中に Si-O が脱離し、表面にカーボン膜が形成されることを見いだした。

キーワード : 4H-SiC(0001), Supersonic molecular beam, High resolution XPS, Oxidation

### 1. 目的

元素半導体である Si や Ge に比べて SiC 等の化合物半導体はキャリアの移動度が高いことから今後の高速デバイスの材料として開発が進められている。SiC 表面に酸化膜を形成することで MOS 構造を作製できるため、表面酸化反応過程は自然科学的な興味のみならず工業的な観点からも重要である。一般的には温度・圧力が反応制御のパラメータであるが、本研究では反応分子の並進運動エネルギーも反応制御パラメータにできる超音速分子線を用いて酸化反応を試みる。また、高分解能 X 線光電子分光 (XPS) により化学結合状態を詳細に評価し、化合物半導体表面の酸化のダイナミクスを検討する。

### 2. 方法

試料の清浄化および反応、XPS 測定はビームラインに設置されている超高真空 (UHV) チェンバー内で行った。SiC 表面は HF 处理により自然酸化膜を除去後、UHV チェンバーに導入し 1000°C でアニールすることで清浄表面を得た。表面の不純物の有無および表面構造は LEED および XPS で確認した。得られた清浄表面に超音速酸素分子線を一定量ずつ照射し、各段階で高分解能 XPS 測定を行った。反応させる分子の並進運動エネルギーはキャリアガス (He, Ar) の混合比で設定した。ガスの混合は表面化学実験ステーションに設置されているガスマキサーを使用した。本実験では並進運動エネルギーを 0.5eV に設定した。超音速分子線を使用した場合と酸素ガス雰囲気中で酸化した場合を比較し反応過程・化学結合状態の違いを考察した。実験はすべて室温下で行った。

### 3. 研究成果

今回の実験では高い並進運動エネルギーに設定した超音速分子線を用いて酸化反応過程を検討した。その結果、これまでに報告されている酸素雰囲気中で酸化した場合<sup>1)</sup>と異なる過程で酸化反応が進行したことがわかった。

### 4. 結論・考察

清浄化した表面を LEED で観察したところ  $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30$  再構成表面が確認された。清浄表面の Si 2p スペクトルには Binding energy (BE) = 99.5, 100.5, 101.1 eV 付近にピーク成分が現れ、それぞれ adatom Si, Top-layer Si, バルク SiC に帰属した。C 1s スペクトルでは BE = 282.7, 283.4, 284.8 eV 付近にピークが現れ、それぞれを Top-layer C, bulk C, 表面上にわずかに残留したカーボンにそれぞれ帰属した。この表面の C 1s の成分はピークフィッティングにより一つの成分でフィット出来るが、二つの成分に分ける事もできる。この場合、BE の位置から sp<sup>2</sup> 混成軌道を持つグラファイト状カーボン (BE = 284.7 eV) と sp<sup>3</sup> 混成軌道を持つダイアモンド状カーボン (BE = 285.1 eV) に帰属することが適當であると考えられる。しかし、一般的に sp<sup>2</sup> のカーボンは 284.4 eV 付近に現れることが報告されており、今回の結果ではやや BE

が高い。このピーク分離の妥当性については今後の課題として検討する必要がある。

超音速酸素分子線（並進運動エネルギー $E_t = 0.5$  eV, 照射量  $1.6 \times 10^{17}$  molecules/cm<sup>2</sup>）照射後のスペクトル変化を検討した。Si 2p スペクトル中のピークは全体に高 BE 側にわずかにシフトし、これは Si<sup>+</sup> の成分が現れたことと、Si と C の比がわずかに変化したことが関係していると考えている。また、今回の酸化反応実験では Si<sup>4+</sup> の成分が現れなかった。分子線を用いない酸素ガス雰囲気中での酸化では Si<sup>4+</sup> の成分が大きく成長すると報告<sup>1</sup>されており、大きく異なる結果である。この違いについては酸化反応中に Si-O が脱離したためと考えている。

C 1s スペクトルでは表面のダイアモンド状カーボンに帰属される成分が大きく成長した。グラファイト状カーボンに帰属される成分は成長していない。また、BE = 286.8 eV 付近に新たな成分が現れ、これは C-O に帰属した。この結果は上述した酸化反応中の Si-O 脱離を支持するものである。これまでにこのような結果を報告した例はなく、高い並進運動エネルギーを与えたために誘起された反応過程である。

この他、分子線照射後にサンプルをアニールしたところ、C-O の成分は消失し、更に、表面のカーボンはダイアモンド状からグラファイト状に変化することがわかった。SiC を  $1 \times 10^{-2}$  Torr 程度の真空中で 1500°C まで加熱することで不均一ではあるが配向性の良いカーボンナノチューブ薄膜が形成されることが報告されている。本実験では得られたグラファイトの形状についての知見を得ることは出来ないが、材料作製技術の観点から、今回の実験で得たグラファイトは興味深い。

## 5. 引用(参照)文献等

<sup>1</sup> C. Virojanadara L. I. Johansson, Surface Science 505 (2002) 358.