

## Si(110)面初期酸化過程の放射光光電子分光解析 SR-PES analysis on the initial oxidation of Si(110) surface

末光 眞希<sup>1)</sup> 富樫 秀晃<sup>1)</sup> 松本 光正<sup>1)</sup> 斎藤 英司<sup>1)</sup> 山本 喜久<sup>1)</sup>  
Maki SUEMITSU Hideaki TOGASHI Mitsutaka MATSUMOTO Eiji SAITO Yoshihisa YAMAMOTO  
寺岡 有殿<sup>2)</sup> 吉越 章隆<sup>2)</sup>  
Yuden TERAOKA Akitaka YOSHIGOE

<sup>1)</sup>東北大学 <sup>2)</sup>原子力機構

次世代半導体デバイスへの活用が期待される Si(110)面に関し、その表面酸化カインेटィクスをリアルタイム放射光光電子分光を用いて詳細に調べ、その特徴について明らかにした。

キーワード：シリコン、酸化カインेटィクス、光電子分光

### 1. 目的

次世代 CMOS テクノロジーにおけるキー・サフェスと目される Si(110)表面のドライ酸化過程を、リアルタイム放射光光電子分光を用いて評価する。具体的には、高温酸化時における Si 2p および O 1s 光電子スペクトルのピーク分離を行い、Si および O 原子の結合状態を解析する。また、諸酸化状態の時間発展と相互変換過程を求め、Si(110)表面における酸化反応カインेटィクスを解明するとともに、酸化構造と電気特性との関係を明らかにする。

### 2. 方法

表面化学実験ステーションにてエネルギー650eV および 365 eV の励起光を用いて光電子分光実験を行った。シリコン表面酸化時における Si 2p および O 1s 高分解能スペクトルを求め、スペクトル解析により酸化状態に関する情報を抽出する事で、酸化反応経路と酸化膜界面の結合状態を調査した。

### 3. 研究成果

酸素圧力・基板温度の関数としての O 1s 及び Si 2p スペクトル、及びそれらの時間発展を得た。Si 2p 酸化成分 ( $Si^{n+}$ :  $n = 1 - 4$ ) の時間発展を求め、結果を Si(001)面酸化の報告と比較する事で、Si(110)表面酸化過程の特徴を明らかにした。

### 4. 結論・考察

①酸素圧力  $1.1 \times 10^{-5}$  Pa, 基板温度 540°C 酸化時において、 $Si^{2+}$ 成分の時間発展にオーバーシュートを観察した。これは、表面酸化経路内に  $Si^{2+}$ の形成を経る反応経路が存在する事を示唆している。  
② $Si^{2+}$ のオーバーシュートは基板温度 597°C での酸化では消失し、酸化飽和時(1 原子層酸化膜形成時)における  $Si^{2+}$ 成分の割合も 540°C 酸化時の約 50% となった。これは、高温において  $Si^{2+}$ から  $Si^{3+}$ や  $Si^{4+}$ へと転換する反応過程が熱的に活性化され、界面での酸化がより進行した事を示している。  
③Si(110)表面酸化では、1 原子層酸化膜形成に至るまで一貫して  $Si^{3+}$ 成分が  $Si^{4+}$ 成分よりも多く、 $Si^{4+}$ 成分の形成が優勢となる Si(001)表面酸化\*とはまったく異なる傾向を示すことを明らかにした。このような  $Si^{3+}$ 成分の支配には、Si(110)面の結晶構造が反映していると考えられる。すなわち、Si(110)表面には第1層 Si 原子間の結合(A-bond)と、第1層-第2層 Si 原子間の結合(B-bond)の2種類の結合が存在するが、この2種類の結合は酸化の際に異なる反応性を示すものと考えられる。A-bond は面内方向に配置されているため、酸化に伴い生じる面内歪の緩和が困難であると予想されるのに対し、B-bond は酸化による歪を縦方向の伸縮により緩和することが可能なため、酸化されやすいものと考えられる。両結合の反応性の違いのため、Si(110)面上の1原子層酸化膜中には未反応のA-bondを含む酸化構造が多数形成され、これが  $Si^{3+}$ として観測されている可能性がある。

### 5. 引用(参照)文献等

\* Y. Enta et al., J. Vac. Sci. Tech. A16(3) (1998)1716.