

(様式第4号)

**実施課題名** SiC(0001)上に形成した酸化窒化シリコン2重層膜の PES と XANES の測定  
**English** Measurement of XANES and PES of a silicon oxynitride double layer epitaxially grown on SiC(0001)

**著者氏名** 栃原 浩  
**English** Hiroshi Tochihara

**著者所属** 九州大学  
**English** Kyushu University

### 1. 概要

6H-SiC(0001)の上の酸化窒化シリコン2重層超薄膜(SiON)の軟X線吸収スペクトルをBL-12において測定した。特に、酸素の1s準位から伝導帯への吸収端近傍について、全電子収量法とオージェ(KLL)収量法により詳細に測定した。2つの方法による吸収スペクトルには差はなく、541.5 eVの主ピークの他に538 eVに明瞭な肩が観測された。偏光依存性等から、スペクトルにおけるこれらの構造は、SiONに由来することが結論された。

(English)

Soft X-ray absorption spectroscopy (SXA) of silicon oxynitride double layer formed on 6H-SiC(0001) has been measured at BL-12. The SXA from O 1s to edge of the conduction band was studied in detail by using methods of total electron yield and Auger (KLL) electron yield. The two methods showed similar SXA spectra which demonstrate a main peak at 541.5 eV and a shoulder at 538 eV. It is concluded by measurements of polarization dependence of SXA spectra that these spectral features are originated from the SiON structure.

### 2. 背景と研究目的:

最近、我々は6H-SiC(0001)の上に窒化シリコンの1分子層と酸化シリコンの1分子層からなる酸化窒化2重層超薄膜(SiONと表示)の作製と構造決定に成功した[1]。構造モデルを図1に示す。SiON/SiC(0001)を基盤とした電子デバイス作製のために、酸化窒化2重層がどのようなバンドギャップやバンドオフセットを持つのかを知ることが必要である。これまでに、SPRING-8のBL-27SU(アンジュレーター)において、内殻光電子分光、軟X線吸収分光(SXA)、軟X線発光分光により、上記の情報を得るために実験を行った。酸素の1s準位から伝導帯の酸素2p状態への吸収、すなわちO1s SXAスペクトルでは、541.5 eVの主ピークの他に538 eVに明瞭な肩が観測された。この肩は、SiON/SiC(0001)に存在するSi-O-Si結合角が180°の酸素(図1参照)に由来すると考えた。主ピークは、したがってSi-O-Si結合角が143°の酸素(バルクSiO<sub>2</sub>)に由来することになる。しかし、SiONにはSiO<sub>2</sub>と思われる3D-like small islandsがSiONの上に存在していることが走査トンネル顕微鏡(STM)観察によりわかってきた。3D-like small islandsの表面密度は、SiONの作製条件による。

本研究では、3D-like small islandsの表面密度の大きいサンプル(サンプル大と呼ぶ)と小さいサンプル(サンプル小)を用意し、O1s SXAの538 eVの肩の起源を明らかにすることを目的とする。

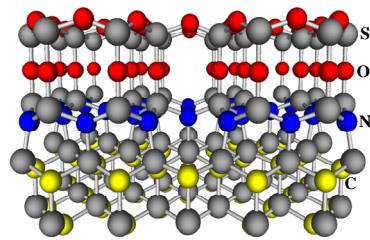


図1 SiON/SiC(0001)の構造モデル[1]

### 3. 実験内容:

実験はBL-12でおこなった。O1sおよびN1s SXAは、全電子収量法(TEY)とオージェ電子収量法(AEY)とで測定した。オージェ電子(KLL)は、光電子分光で使用する半球型エネルギー分析器により測定した( $\Delta E \sim 0.4$  eV)。C1s SXAは、鏡等における炭素の存在により、信頼できる吸収端を求めることができなかった。入射光のエネルギー

幅は、O1s, N1sにおいて、それぞれ0.2, 0.1 eVとした。主測定チェンバーの下流に設置された別のチェンバー、そこではサンプルの極角変化ができる、にサンプルをセットし、O1s SXAの偏光依存性を調べた。サンプルは、表面清浄化処理を行わず、室温で測定した。あらかじめ低速電子回折(LEED)およびSTMにより、SiON構造の形成と3D-like small islandsの密度の大小を確認した。

#### 4. 結果、および、考察：

(1) O1s SXA において、541.5 eV の主ピークとは別の 538 eV の明瞭な肩は、サンプル大とサンプル小ともに観測された。その強度比も変わらなかった。したがって、538 eV の明瞭な肩は、3D-like small islands に起因せず、SiON 構造自体によるものと思われる。

(2) O1s および N1s の SXA の検出方法、すなわち、TEY と AEY によるスペクトルの差はほとんどなかった。したがって、(1) の結論は測定法によらない。

(3) O1s SXA の偏光依存性を、サンプルの [11-20] 方位について調べた (TEY)。入射光の電気ベクトルとサンプル表面の成す角が 0, 15, 30, 45, 60° において、各 O1s SXA の形状はほとんど変わらなかった。この実験は、538 eV の明瞭な肩が、Si-O-Si 結合角が 180° の酸素 (図 1 参照) によるものではないかという可能性を実験的に確認するために行なった。541.5 eV の主ピークと 538 eV の明瞭な肩は偏光依存性を示さなかったため、538 eV の肩は Si-O-Si 結合角が 180° の酸素に起因しないことが明らかになった。すなわち、541.5 eV の主ピークと 538 eV の明瞭な肩は、SiON に特有な伝導帯状態密度 (O 2p) を反映していると結論した。

#### 5. 今後の課題：

SiON の上に金属を吸着させて、MOS 構造を作り、そのバンドギャップ構造を調べることは興味深い。しかし、現在の主測定チェンバーの真空度をあと一桁よくしなければ、汚染のために実験できない。

#### 6. 論文発表状況・特許状況

本研究の成果は、現在論文として執筆中である。国際的学術誌に投稿の予定である。

#### 7. 参考文献

[1] T. Shirasawa et al. Phys. Rev. Lett. 98 (2007) 136105.

#### 8. キーワード

・軟 X 線吸収分光法

硬 X 線領域よりも長波長 (低エネルギー) 領域 (その境界は目安として 2 keV) の X 線を軟 X 線と呼び、それを物質にあてて吸収の度合いを入射光のエネルギーを横軸として示す。

・SiC

シリコンカーバイド . 約 3 eV のワイドバンドギャップの半導体 . 高絶縁破壊電界強度 (Si の約 10 倍) . 高い熱伝導度 (Si の約 5 倍) などの優れた特性を持ち、パワー電子デバイスとして用いられている。

・SiON

シリコン酸窒素化合物 . 組成は通常  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  と表す。本研究での SiON は、表面新物質の一つで、SiC(0001) 上の 2 重層構造であり、組成は  $\text{Si}_4\text{O}_5\text{N}_3$  である。

