

SiC 酸窒化膜の立体原子写真と円偏光光電子回折
Stereophotograph and circularly polarized light photoelectron diffraction
from SiON film on the SiC surface

大門寛^a, 後藤謙太郎^a, 橋本美絵^a, 加藤有香子^b, 前島尚行^a, 松井文彦^a, 松井公佑^a, 松下智裕^b, 西
 嘉山徳之^a

Hiroshi Daimon^a, Kentaro Goto^a, Mie Hashimoto^a, Yukako Kato^b, Naoyuki Maejima^a, Fumihiko
 Matsui^a, Hirosuke Matsui^a, Tomohiro Matsushita^b, Noriyuki Nishikayama^a

^a 奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科, ^b 高輝度光科学研究センター

^a Graduate School of Materials Science, Nara Institute of Science and Technology, ^b JASRI

SiC(0001)表面上に形成した極薄酸窒化膜の原子構造について立体原子写真法を用いて研究した。T. Shirasawaらによる電子線回折を用いた先行研究では Si 原子 2 種、O 原子 2 種、窒素原子 1 種という環境の異なる5種の原子からなる極薄酸窒化膜の原子構造モデルが提唱されている。そこで σ^- および σ^+ 偏光にて N 1s 内殻準位を励起し、全半球の光電子放出強度角度分布を測定した。光電子の運動エネルギーを 400 eV に設定した。極角 30° 方位角 0°, 120°, 240° あたりに現れる輝点の方位角が両円偏光励起で反対方向にずれる「視差角シフト」を観測した。これは光電子放出原子である N 原子周囲の第二近接原子である O 原子に由来する前方収束ピークに対応している。現在、他の内殻(O1s, C1s, Si2p)の光電子パターンによる立体写真から得られる情報もあわせ、極薄酸窒化膜の総合的な原子配列モデルを検討している。

We have studied the atomic structure of ultra thin oxy-nitride film grown on SiC(0001) surface by *Stereo-atomscope*. T. Shirasawa et al. have proposed a structure model of oxy-nitride film composed with two kinds of Si, two kinds of O and one kind of N atoms based on electron diffraction measurements. In order to verify this model, we have measured full-solid-angle photoelectron-intensity angular distribution of N 1s core level excited by σ^- and σ^+ helicity light. Photoelectron kinetic energy was set to 400 eV. We have found that the position of the bright photoelectron peaks appearing at polar (azimuthal) angle of 30° (0°, 120° and 240°) show so-called *parallax shift circular dichroism*. This observation correspond to the forward focusing peak formed by second nearest neighboring O atoms around the emitter N atom. Now, we are investigating photoelectron intensity angular distributions from other core levels, e.g. O1s, C1s and Si2p for the comprehensive understanding of the atomic structure of ultra thin oxy-nitride film.

キーワード: SiC、酸窒化膜、立体原子写真、円偏光、光電子回折、構造解析

背景と研究目的: SiC は高耐性のパワーデバイス材料として有望視されているが、良質な酸化薄膜が得られないという問題を抱えている。SiC(0001)単結晶ウェハー基板を高温ガス中で処理すると $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 構造をとる酸窒化膜(SiON:サイオン膜)が生成することが報告されている[1]。この膜は Si と O と N が規則的に配列した構造をとり、数ヶ月に渡って大気中で安定に存在する強固な絶縁体であるため、数原子層の良質な絶縁体として応用上も期待されている。先行研究での構造解析は低速電子回折 LEED で行われているが、LEED は間接的な手法であるため、直接的

な立体写真法で観察することは意義深い。本研究では SiC 単結晶表面に SiON 層を構築した試料の立体原子写真[2]と円偏光光電子回折による構造解析を行った。

実験: BL25SU に設置してある二次元表示型球面鏡分析器(DIANA ; Display-type spherical mirror analyzer)を使用した。DIANA は、ある運動エネルギーを持つ光電子の角度分布を歪みなく一度に測定することが出来るユニークな装置である。この特徴を活かし、左右円偏光励起での光電子放出角度分布を二次元的に測定することに

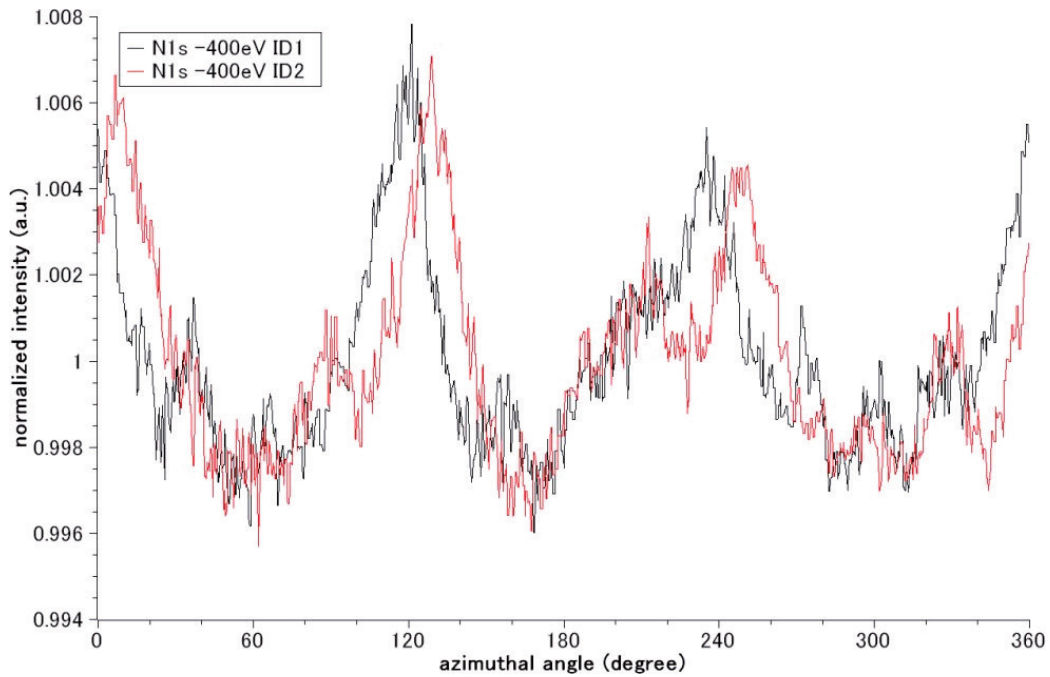


Fig.1 N 1s からの光電子強度の極角 30°における方位角依存性。光電子の運動エネルギーは 400 eV。黒および赤線はそれぞれσ-およびσ+偏光励起によるものである。方位角 0°, 120°, 240°あたりに前方収束ピークが現れている。

より、立体原子写真というユニークな測定を行うことができる。改良を重ね、最近では S/N および S/B の高い良質な全半球の光電子パターンを測定することができるようになった。

LEED で解析された SiON 膜の構造モデルでは、Si 原子 2 種、O 原子 2 種、窒素原子 1 種という環境の異なる 5 種の原子があるため、それぞれの内殻準位を分離すれば光電子発生原子が 5 種類の(少なくとも 3 種類の)光電子回折が可能であり、表面 3 原子層程度の厚さだけに存在するために、光電子回折に付き物の多重散乱の影響がほとんど無視できるという、光電子回折と立体原子写真法にとって理想的な系になっている。これまで多くの立体原子写真[3-5]を撮影してきたが、視差角が計算と合う場合と合わない場合があり、回折リングの影響や多重散乱の影響が示唆されていたが、明確にされていない。本薄膜の構造を立体原子写真法で直接的に明らかにすることにより、パワーデバイス表面極薄酸化膜の応用の指針を得るだけでなく、立体原子写真法の問題点を明確にすることにより、立体原子写真法の飛躍につながる指針を得ることができると期待される。

結果、および、考察：円偏光にて N 1s 内殻準位を励起し、全半球の光電子放出強度角度分布を測定した。光電子の運動エネルギーを 400 eV に設定した。Fig.1 に今回測定した N 1s からの光電子強度の極角 30°における方位角依存性を

示した。黒および赤線はそれぞれσ-およびσ+偏光励起によるものである。方位角 0°, 120°, 240°あたりに現れるピークの方位角が両円偏光励起で反対方向にずれる「視差角シフト」を示すことができる。これは光電子放出原子である N 原子周囲の第二近接原子である O 原子に由来する前方収束ピークに対応し、「視差角シフト」の大きさから N-O 間の距離を見積もることができる。

今後の課題：現在、他の内殻(O1s, C1s, Si2p)の光電子パターンによる立体写真から得られる情報を統合し原子配列モデルを検討している。

謝辞：本測定に用いた試料はこの酸化窒素膜を発見者である九州大学田中悟教授のグループにご提供いただいたものである。

参考文献：

- [1] T. Shirasawa, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **98**, 136105 (2007).
- [2] H. Daimon, Phys. Rev. Lett. **86**, 2034 (2001).
- [3] F. Matsui, H. Daimon, F.Z. Guo, T. Matsushita, Appl. Phys. Lett., **85**, 3737 (2004).
- [4] Y. Kato, F. Matsui, T. Shimizu, T. Matsushita, F.Z. Guo, T. Tsuno, H. Daimon, Sci. Tech. Adv. Materials, **7**, 45 (2006).
- [5] 松下智裕, 郭方准, 松井文彦, 安居院あかね, 大門寛, まてりあ(日本金属学会誌) **45**, 791 (2006).