九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

SiC(0001)上のSi2N3表面ハニカム格子

安藤, 寛

https://hdl.handle.net/2324/4060154

出版情報：Kyushu University, 2019, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

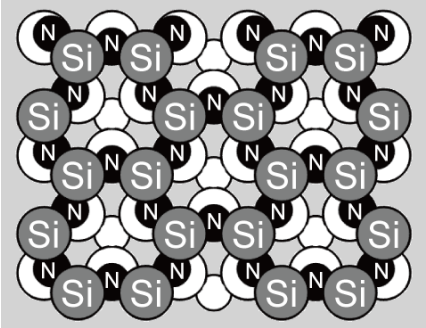
(様式 2)

氏　　名：　安藤　寛

論 文 名：　SiC(0001) 上の Si_2N_3 表面ハニカム格子

区　　分：　甲

論　文　内　容　の　要　旨



SiC(0001) 上の Si_2N_3

結晶は原子レベルで周期的な構造であるため, その切断面である結晶表面も周期的な構造をもつ. 低次元物質の研究において, 多くの場合, この結晶表面をテンプレートとして, 他の原子や分子を吸着することでサンプルを作製する. 作製された低次元物質は, 自然界には存在しない人工的なもので, 奇妙な性質を持つものも多い. 低次元物質特有の奇妙な性質を解明し, これまでにないデバイスを作ることが低次元物質研究のゴールである. しかしながら, 低次元物質のテンプレートとして使用する結晶表面の構造は, 結晶の周期性を反映するので, “三角格子” や “正方格子” 等, 限定的な表面構造しか使うことができない. このため, この結晶表面上に作製される低次元物質も, 結晶表面の構造を反映した限定的なものしか作ることができず, 理論的に面白い物性が予測された物質であっても, 実際にそれが高品質に実現できるかどうかにはさらに実験的なチャレンジが必要となる.

本研究では, シリコンカーバイド (SiC) 表面に単層のシリコンナイトライド (Si_2N_3) を成長すると, これまでに実現していなかった “ハニカム格子” (図参照) をもつテンプレートになることを見いだし, 実験的に実現した. 超高真空中で, SiC をアンモニアとシリコンで処理することで作製した Si_2N_3 は, 低速電子回折 (LEED), オージェ電子分光 (AES) 及び原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて評価し, LEED I–V 解析を行い構造決定した. ハニカム格子 (正六角形) は, 1 種類で平面を充填できる正多角形 (正三角形, 正方形, 正六角形) の 1 つであるにも関わらず, 3 次元結晶を切断することでは得られないため, これまでそのような 2 次元物質テンプレートは存在しなかった. 最近 15 年間, 2 次元ハニカム構造を持つ物質は活発に研究され, Dirac 電子系をはじめとする奇妙な物性を持つものが多くあることがわかってきたが, ハニカム格子を持つテンプレートを作製できたことで, これまでに実現されていない 2 次元ハニカム物質の作製も期待できるだろう.

本論文は, 全 5 章で構成した. 以下に各章ごとの概要をまとめた.

第 1 章 Introduction SiC-MOSFET の性能を向上できると期待されるシリコン酸窒化超薄膜 ($Si_4O_5N_3$) を酸化膜無しに実現できれば (= Si_2N_3), “ハニカム格子” をもつ 2 次元物質テンプレートになる, という着想に至った経緯を述べた.

第 2 章 Si_2N_3 の応用例 Si_2N_3/SiC(0001) 上及び SiC(0001) 上の原子 X (X=Sb, Bi, Sn, Pb) 吸着構造を仮定し, 吸着自由エネルギーを第一原理計算により求めることで, Si_2N_3/SiC(0001) をテンプレートとして用いた場合には, SiC(0001) をそのまま用いた場合と比べて, xenes (X 原子で構成された 2 次元ハニカム物質) が高品質に成長する可能性があることを示した. また, Si_2N_3 上の xenes 及び xenes nanoribbon の電子状態を, 第一原理計算を用いて調べた結果を簡単に説明した. 特に bismuthene nanoribbon/Si_2N_3 では, 2 次元トポロジカル絶縁体のヘリカルエッジ状態が実験的に観察しやすいであろうことを示した. さらに, Si_2N_3 を基板として用いた, 任意の形状の xenes nanoribbon のパターニングを提案した.

第 3 章 水素終端 SiC(0001) 予備実験として, 超高真空中で Si adatom/SiC(0001) に原子状水素を照射することで SiC(0001) を水素終端する実験を行った結果と考察を述べた. 水素終端構造は LEED I–V 解析を行い構造決定した. その構造は, 表面再構成していない SiC(0001) の最表面 Si に単に水素が吸着した構造だとわかった. LEED I–V 解析及び AFM を用いた表面モフォロジーの観察から, 4H–SiC(0001) の 2 つ積層順序 ($S2 = ABCB...$, $S1 = BCBA...$) のうち, $S2$ ドメインが支配的 (91%) であることを示した. このことから考察し, 原子状水素の照射により, 吸着 Si は除去されるものの, SiC 表面はエッチングされないことを見いだした.

第 4 章 ハニカム表面 Si_2N_3/SiC(0001) 超高真空中で Si adatom/SiC(0001) に NH_3 と Si を同時照射することで, Si_2N_3/SiC(0001) を作製する方法を提案した. 高品質な Si_2N_3 を作製するには, 吸着 Si 量を精密にコントロールする必要がある. これまでに研究されてきた SiC(0001) 上の Si 吸着構造の Si 被覆率と電子回折パターンを考慮して, Si フラックスを決めると, 簡単かつ精密に吸着 Si 量をコントロールできることがわかった. また, 原子状水素照射により, Si_2N_3 を壊すことなく水素終端できることを見いだした. (逆に, 水素終端 Si_2N_3 を 600∼800 °C 程度の温度でアニールすると, Si_2N_3 を破壊せずに脱水素できることもわかった.) 作製した Si_2N_3/SiC(0001) は, LEED I–V 解析を行い構造決定した. AES を用いて, Si_2N_3/SiC(0001) に酸素 (O) が吸着していないことを確認した. AFM を用いた表面モフォロジーの観察から, SiC のテラス上に一様に Si_2N_3 が成長していることを確認した.

第 5 章 まとめと展望 本研究をまとめ, 今後の展望を述べた.