

立体表面造形技術を駆使した 3次元ナノ超構造・物性の先導的研究

○服部 梓^{1*}¹大阪大学産業科学研究所

Realization of three-dimensional architected surface creation and investigation of novel structural and physical properties

○Azusa N. Hattori^{1*}¹Osaka Univ., SANKEN

シリコン(Si)デバイスの3次元(3D)ナノ構造化が10 nm オーダーまで進行する中、立体構造化試料の精密な作製、及びその表面制御は、IOTデバイス科学技術の革新に直結する重要な課題である。当然であるが、3D構造体上には、研磨されたウェハの一般的な2次元(2D)平面表面だけでなく、製造された構造の垂直な側面(side-surface)および傾斜のある斜面(facet-surface)という異なる配向を有する多くの表面がある。3D化しても材料成長は常に表面で始まるので、側面、斜面は構造的および物理的特性の決定において重要な役割を果たす。さらに、2D表面には存在しない面と面が交差する稜線や点が存在する。2D表面構造は、原子レベルで作製、修飾、構造評価ができる技術が確立している。一方、3D構造になると評価方法が限られ、精度や汎用性が極端に低くなる。3Dナノ構造体の構造観察に一般的に使用される走査電子顕微鏡(SEM)は、ナノメートル程度の分解能しかないため精密な評価はできず、原子分解能をもつ透過電子顕微鏡(TEM)は、観察用の試料準備が必要で、また正面から側面表面を観察することは原理的にできない。

そこで、空間的にデザインした観察用試料を作製し、装置の干渉を回避することで3次元表面である「側面」や「ファセット斜面」の原子レベルでの構造評価を実現してきた¹⁻⁴。原子精度で構造制御した立体形状を持つSi試料は、ドライ、ウェット異方性エッチングと超高真空(UHV)中での表面作製技術を組み合わせで作製した。Fig. 1に最適化条件で3Dパターン化し、(110)平面上に{111}側面を持つ3D-Siのフラッシング後の反射高速電子線回折(RHEED)像と走査型トンネル顕微鏡(STM)像の一例を示す。立体配置を反映して、視斜角と方位角の観察条件に依存して、90度回転した1/4円状の{111}7×7と半円状の(110)16×2の重畳された

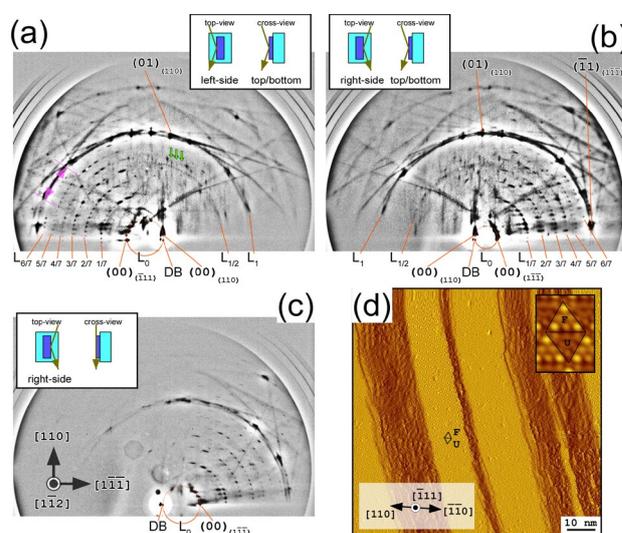


Fig. 1. Si{111}側面の(a)-(c)RHEED像、(d)STM像

RHEEDパターンが観察され¹⁾、また直接原子構造もSTMで観察できている²⁾。乱れのない原子配列立体表面の実現により、立体接合面での電気伝導測定によりファセット端での位相不整合に由来する伝導電子の散乱に起因した抵抗上昇の発見³⁾、ピラミッド構造での4つのファセット面をまたぐ非対称的な磁気渦の発生に由来した磁性変調の観察⁴⁾を実現している。

発表では、原子精度でオーダーした表面を持つ自在な立体形状構造の実現に向けた取り組み、成果、今後の展望を示す。

文 献

- 1) A. N. Hattori *et al.*, Surf. Sci., (2016) **644** 86
- 2) H. Yang *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., (2017) **56** 111301
- 3) S. Takemoto *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., (2018) **57** 085503
- 4) A. Irmikimov *et al.*, ACS Crystal Growth & Design, (2021) **21** 946

*E-mail: a-hattori@sanken.osaka-u.ac.jp