

立体側面を起点とした 3 次元ナノ構造造形

Creation of well-defined three-dimensional nanostructures initiated from the atomically ordered side-surfaces

服部 梓 (阪大産研、JST さきがけ)

Azusa N. Hattori (ISIR, Osaka Univ., JST-PRESTO)

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

ナノエレクトロニクス的重要性が増す中で、精密制御された 3 次元(3D)ナノ構造体の形成が求められている。高度に発展してきた面垂直(c 軸)方向への薄膜作製技術を面内方向にスイッチ出来れば、制御性が 2 次元から 3 次元へと飛躍的に発展したナノ構造体の造形が可能となる。3D 構造上では基板面に平行な一般的に表面と定義される面だけでなく、垂直方向の表面である側面も存在する。Si を中心としたマイクロマシン造形においては側面形状の制御がなされてはいるが、成長の起点として求められる原子レベルで平坦でオーダリングしている表面状態を持った側面構造制御は行われていなかった。

我々は側面が制御された 3D パターン基板を実現することで、形状・サイズと位置制御を両立した機能性 3D ナノ構造創製を実現してきた。傾斜蒸着により単結晶側面を持つ 3D パターン MgO 基板(3D-MgO)の側面を起点として成長させた $(\text{Fe,Zn})_3\text{O}_4$ (FZO)ナノ細線構造を図 1 に示す。FZO は 3D-MgO と面内ヘテロ界面を有してエピタキシャル成長をしている。蒸着物のサイズは、通常の蒸着法と同じく蒸着量(時間)で制御できるため、原理的に原子層オーダーでナノ構造体の創製が可能である。本手法は材料を限定しない手法である。この技術により作製したマンガン酸化物ナノ細線では、単一ナノ電子相の特性を捕えることに成功しており[2]、本手法は難加工材料である遷移金属酸化物材料のナノ構造化、ナノ物性研究に有効なアプローチであると言える。

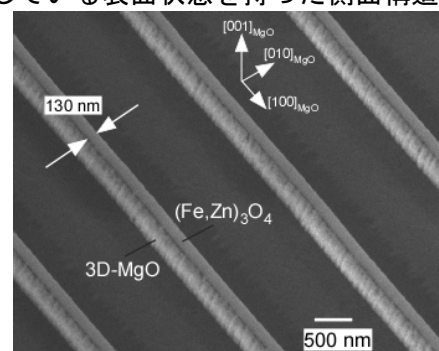


図 1 3D-MgO 側面を起点として成長した線幅 130 nm の FZO ナノ細線構造。

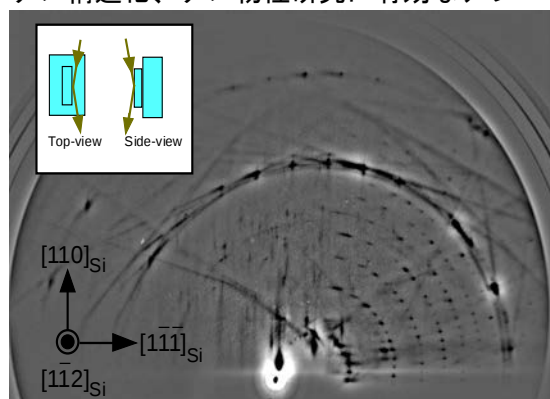


図 2 3D-Si(110)からの RHEED 像。Si(110)2×16(表面)と Si(1-1-1)7×7(右側面)の重ね合わせになっている。

最も表面構造が良く研究されている Si に対しては、異方性エッチングと超高真空中での表面作製技術の組み合わせにより、Si の主な低指数面での原子レベルで平坦かつ欠陥のない 3 次元側面構造: $\{100\}2\times1$, $\{110\}2\times16$, $\{111\}7\times7$ を実現した[3,4]。図 2 に 3 次元パターン化 Si(110) (3D-Si(110))からの RHEED 像を示す。3D-Si(110)基板は、フォトリソグラフィ技術を用いて側面が $\{111\}$ 面となるようにパターンされている。RHEED 像は、Si(110)表面からの 2×16 回折パターン、Si(1-1-1)側面からの 7×7 回折パターンを同時に示し、表面、側面ともに原子レベルで制御できていることがわかる。

これらの成果は、表面科学、薄膜成長で確立された技術が 3D 展開できることを意味しており、講演では側面構造の作製法の紹介、これらの応用展開について議論する。

参考文献 [1] A. N. Hattori *et al.*, Appl. Phys. Express, 7 (2014) 045201. [2] A. N. Hattori *et al.*, Nano Lett., 15 (2015) 4322.

[3] A. N. Hattori *et al.*, Surf. Sci. 644 (2016) 86. [4] A. N. Hattori *et al.*, Appl. Phys. Express, in-prepress.