

ナノビーム RHEED による Si 基板上マイクロ構造の局所表面構造解析

Surface structure analysis of microstructure on Si substrate by nano-beam

Reflection High-Energy Electron Diffraction

東北大多元研¹, 東北大理², 阪大産研³, 奈良先端大⁴ °(M2)中塚聡平¹, 内藤完¹, 今泉太志¹,

虻川匡司¹, 江口豊明², 服部梓³, 田中秀和⁴, 服部賢⁴

IMRAM, Tohoku Univ.¹, Dept. of Phys., Tohoku Univ.², ISIR, Osaka Univ.², NAIST³

°Sohei Nakatsuka¹, Kan Naito¹, Taishi Imaizumi¹, Tadashi Abukawa¹, Toyoaki Eguchi², Azusa N. Hattori³,

Hidekazu Tanaka³, Ken Hattori⁴

E-mail: sohei.nakatsuka.t2@dc.tohoku.ac.jp

1. 諸言

3D ナノデバイスのさらなる微細化のためには、材料のナノスケール表面を理解することが重要となる。我々は今回、Si(110)基板上にフォトリソグラフィとエッチングによって(111)面と(110)面で囲まれた3D マイクロ構造^[1]を作製し、その後基板に直流電流を流し加熱することでマイクロ構造の形状を変化させ、その表面を走査電子顕微鏡 (SEM) とナノ電子ビームを用いた反射高速電子回折法 (RHEED)^[2]を用いて観測した。

2. 実験

フォトリソグラフィにより Fig.1(a)に示す3D マイクロ構造を作製した。マイクロパターンは上面が(110)で両側面がそれに垂直な(111)で囲まれた幅20 μm 、高さ10 μm の矩形ロッド構造を基板上に40 μm 間隔で等間隔に形成したもので、ロッドの長軸方向は[1-12]方向となっている。本研究ではこのSi基板に11.0Aの電流を流すことで1260 $^{\circ}\text{C}$ で5秒間加熱し、+/-両方向にそれぞれ100回程度ずつおこなった。通電加熱後の基板表面をSEMの電子銃を使ったナノビーム RHEED 装置を用いて観察しSEM像、回折パターン、暗視野像をそれぞれ測定した。

3. 結果と考察

実験は10⁻⁸Pa 台まで真空引きしたUHVチャンバー内で行なった。加熱前のロッドは箱形の角が立った形状であり、ナノビーム RHEED による観察ではSi基板のロッド上面の(110)面からは明瞭な16 $\times$ 2パターン、ロッド側面の(111)面からは7 $\times$ 7パターンがそれぞれ加熱前の表面から観察された。16 $\times$ 2は(110)の清浄面、7 $\times$ 7は(111)面の清浄面でそれぞれ観測される超周期構造である。この後通電加熱をおこなった結果、Fig.1(b)に示すようにロッド長軸方向の断面は角がとれ丸みを帯びた形状へと変化した。加熱後の基板表面を1 μm 間隔でナノビーム RHEED 測定を行い各点の回折パターンを観察した結果、表面から加熱前には見られなかった複数の特徴的な回折パターンが観察された。得られた各回折パターンを分析したところ、加熱前から表面に見られていた16 $\times$ 2パターン以外にも6種類の回折パターンが確認され、基板表面は多数の結晶面に囲まれた構造となったことが分かった。回折パターンの傾きからそれぞれの結晶面は(791), (641), (131), (311), (-153), (5-13)面であると見られ、またロッドは左右非対称でなだらかな形状となっていた。

それぞれの結晶面が基板表面上に存在する領域を定量的に評価するため、我々は新たに実験装置にスポット強度計測装置を取り付け、各回折パターン固有のスポット強度を測定することで暗視野像の観測を可能にした。Fig.1(c)に実際に(791)面特有の回折スポットから得られた暗視野像(上)を示す。同一領域におけるSEM像(下)と暗視野像を比較することで、ロッド上面の3ヶ所に(791)面の領域が線状に存在していることがわかる。今回我々は各結晶面から得られる暗視野像を同一領域上で測定し、各結晶面の分布領域の可視化を実現した。講演では通電加熱によりロッド形状が左右非対称に変化した要因に関しても考察する。

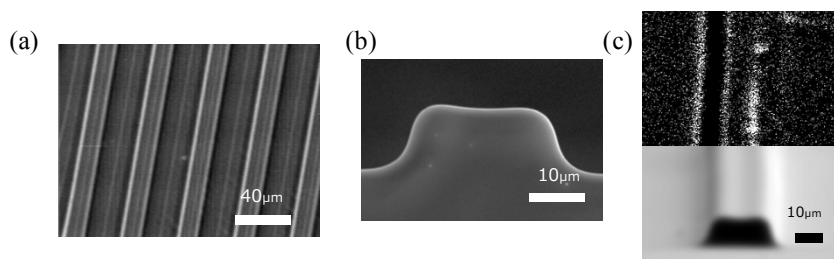


Fig.1 (a) SEM image of rectangular rods structure. **(b)** SEM cross sectional image of rectangular rods structure after 100 times flashes. **(c)** Dark field image (above), and SEM image (below) of rectangular rods after 100 times flashes.

参考文献

- [1] Azusa N. Hattori, Ken Hattori, Shohei Takemoto, Hiroshi Daimon, and Hidekazu Tanaka, Surf. Sci. **644**, 86–90 (2016).
- [2] T. Abukawa, T. Yamasaki, K. Yajima and K. Yoshimura, Phys. Rev. Lett. **97** 245502 (2006).