大規模 NBD マップの解析により明らかにする 個々の多結晶 Si ナノワイヤ TFT 中の粒界構造と素子特性との対応関係 Correspondence between Grain Boundary Structures and Transistor Characteristics in Individual Poly-Si Nanowire TFTs Revealed by Analysis of Massive NBD Maps 東芝研究開発センター 浅野孝典,高石理一郎,小田穰,佐久間究,齋藤真澄,田中洋毅 Toshiba Corporate R&D Center, T. Asano, R. Takaishi, M. Oda, K. Sakuma, M. Saitoh, and H. Tanaka E-mail: takanori1.asano@toshiba.co.jp

[はじめに] 三次元集積回路では、多結晶Siナノワイヤ(NW)薄膜トランジスタ(TFT)が有望である[1,2]。 チャネルの結晶性が高性能の鍵と考えられるが、nmスケールのチャネルを個別に調べ、その結晶性を素 子特性と対応づけることは困難であった。我々は特定位置の薄片加工技術を開発し、電気的に評価した 正にその素子の分析を可能にした[3]。本報告では、結晶性の解析にナノビーム電子回折(NBD)マッピ ング法を適用し、得られた大規模データの解析手法(結晶粒の可視化や方位関係の決定)を開発するこ とで、高性能 NW TFT[4]に含まれる粒界の数、位置および結晶構造を個別の素子について詳細に調べ、 素子特性との対応関係の解明を試みた。

[実験方法] 高い I_{ON} と低い I_{OFF} のために最適化された固相結晶化手法[4]により、大粒径の多結晶 Si NW チャネル(長さ230nm,幅80nm,厚さ35nm)を形成した。電気特性測定後(図1(a))、集束イオンビーム法を用いてチャネル上下部の素子構造を除去した(図1(b))[3]。走査透過電子顕微鏡を用いてチャネル全領域をNBD 法でマッピングした(空間分解能:3nm)(図1(c))。NBD マップから暗視野像を再構成し、 それらを用いて各色が結晶粒を示す多成分暗視野像を作成した(図1(d))。

[結果] 設計が同一である多結晶 Si TFT の I_{d} - V_{g} 特性(全 68 素子、 V_{d} =50mV)には、単結晶 Si Tr.には無い大きな特性ばらつきがある(図 1(a))。これらのうち、 I_{ON} の異なる代表的な3素子を分析した。

試料 High には、端に粒界があるものの大きな結晶粒がある一方、試料 Low と Mid のチャネルは粒界 によって分断されている。特に試料 Low は比較的大きな 2 つの粒から成るにも関わらず I_{ON} は低いことか ら、高い I_{ON} の実現には、大粒径だけでなくソースからドレインへと連続する結晶粒が必要と考えられる。 また、試料 Low と Mid の I_{ON} の差異は、キャリアが通過する粒界の数だけでは説明できない。そこで、 NBD 図形を基に粒界の結晶構造を解析した。試料 Mid において、粒界を跨いだ両側の粒からの NBD 図形に 111 回折スポットがあり、かつ高次の回折スポットは {111} 面で対称であることから、粒界は Σ 3 {111} と考えられる。一方、試料 Low には対応粒界の関係は確認されないため、ランダム粒界と考えられる。

バルクSi結晶では様々な粒界の電気的特性が知られているが[5]、我々はnmスケールの実際のTFT において粒界の結晶構造と素子特性との対応関係を初めて示した。この分析手法は、nmスケールの粒 から成る多結晶材料や三次元デバイスの分析に幅広く応用できる。

[参考文献] [1] C.-C. Yang et al., IEDM2013, p. 29.6. [2] P. Batude et al., VLSI2015, p.T48. [3] 渡辺圭 他、応用物理学 会秋季学術講演会2017. [4] M. Oda et al., IEDM2015, p. 6.1. [5] B. Chen et al., J. Appl. Phys., **105** (2009) 113502.



Fig. 1: Conceptual view of this work and experimental results. (a) After the electrical characterization of TFTs, (b) the poly-Si channels of the same TFTs were extracted by FIB technique for NBD specimens. (c) NBD mapping measurements were carried out and (d) the channel crystallinities were characterized. The grain structures were visualized as similar color regions in the multicomponent dark-filed (DF) images, which were reconstructed by superimposing DF images. (e) Finally, the relationship between electrical characteristics and crystallinity was analyzed.