

X 線逆格子空間マッピングを用いた メサ構造状カーボンドープシリコンにおける 3 軸歪評価 Triaxial Strain Evaluation for Mesa-structured Carbon-doped Silicon using X-ray Reciprocal Space Mapping

明治大理工¹、高輝度光科学研究センター²、明大 MREL³

○吉岡和俊¹、小原田賢聖¹、小笠原凱¹、廣沢一郎²、渡辺剛²、横川凌^{1,3}、小椋厚志^{1,3}

Meiji Univ.¹, JASRI², MREL³

○K. Yoshioka¹, M. Koharada¹, G. Ogasawara¹,

I. Hirosawa², T. Watanabe², R. Yokogawa^{1,3}, and A. Ogura^{1,3}

E-mail: k_yoshioka@meiji.ac.jp

背景と目的: カーボン(C)とシリコン(Si)の格子定数には大きな差があることから、Si に 1% 程度以下の C を添加したカーボンドープシリコン(Si:C) は n-MOSFET のチャンネルに引っ張り歪を印加して移動度を向上させるストレス材料として利用されている[1]。しかし、Si:C を微細加工すると印加されていた歪に緩和が生じ、薄膜状の Si:C よりも引っ張り歪量が減少してしまう。我々はこれまでにラマン分光法を用いたメサ構造状 Si:C の歪緩和について報告を行ってきたが、それらは面外方向の歪緩和が無いものと仮定した 2 軸歪緩和に止まっていた[2]。そこで本研究では、メサ構造状 Si:C について放射光 X 線を用いた逆格子空間マッピング(RSM: Reciprocal Space Mapping)測定による異方性 3 軸歪緩和の評価を行った。

実験: 分子線エピタキシー法により Si (001)基板上に成膜した C 濃度 0.60, 0.83, 1.1% の Si:C 薄膜を、電子線描画およびドライエッチングによりメサ構造状に微細加工したものを試料とした。メサ構造は長辺を[110]方向、短辺を[-110]方向にそれぞれ平行とした。長辺の長さは 10 μm で一定とし、短辺の長さを 1000, 500, 200, 100 nm と変化させて微細加工を施した。また、十分な RSM 強度を得るため、測定領域に同一なメサ構造を多数作成した。本測定は SPring-8 の BL19B2 において、多軸回折装置を用いて行った。(課題番号: 2020A1748, 2020A1849) X 線のエネルギーは 10 keV とし、C 濃度 0.60, 0.83% Si:C は 337 面近傍、C 濃度 1.1% Si:C は 115 面近傍についてそれぞれ RSM 測定を行った。

結果: Fig. 1 (a)に C 濃度 0.83% 未加工 Si:C 薄膜における RSM 像、Fig. 1 (b)に C 濃度 0.83%, 幅 500 nm のメサ構造状 Si:C における短辺方向についての RSM 像をそれぞれ示す。Fig. 1 (a), (b)ともに、 $qx = 4.91$, $qz = 8.11$ 付近に見られるプロファイルは Si 基板の回折プロファイルの裾部分にあたり、 $qz = 8.17$ 付近に見られるピークが Si:C の回折プロファイルである。Fig. 1 (a)

より Si 基板と Si:C 薄膜のプロファイルが同じ qx 上に得られたことから、微細加工前の Si:C 薄膜の面内格子定数は Si 基板と等しく、引っ張り歪が印加されていることが分かる。Fig. 1 (b)より、Si:C 薄膜と比較すると、幅 500 nm のメサ構造状 Si:C は qx が増加し、 qz が減少していることが分かる。これは、微細加工によって Si:C の面内格子定数が減少し、面外格子定数が増加したことを表しており、すなわち Si:C に印加されていた引っ張り歪が微細加工によって面内、面外方向ともに緩和したことを示している。デバイスのスケールである数十 nm よりも大きな 500 nm への微細加工でも、印加されていた歪が明確に緩和してしまうことが確認されたことは、歪制御における重要な知見になると考えている。

[1] Tsung-Yang Liow, *et al.*, IEEE Trans. Electron Devices **55**, 2476 (2008).

[2] 吉岡他、2019 年春応物 (12a-M113-5).

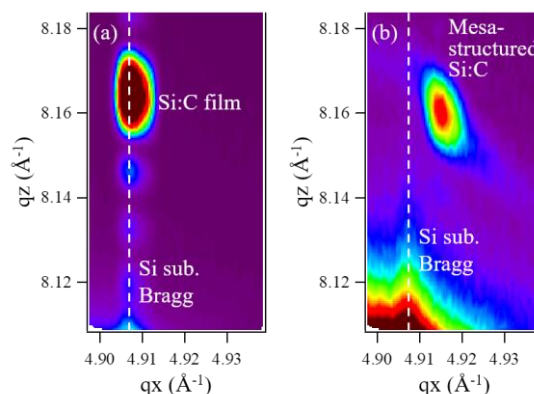


Fig. 1 RSMs of Si:C (C: 0.83%). (a) Thin film. (b) Mesa-structured with 500 nm width, short side direction.