

量子ドット実現に向けた超高 Sn 組成 GeSn の自己組織化形成

Self-organized formation of GeSn with ultra-high Sn content for realizing quantum dots

名大院工¹, 名大未来研²

○橋本 薫¹, 柴山 茂久¹, 安坂 幸師¹, 中塚 理^{1,2}

Nagoya Univ.¹, IMASS, Nagoya Univ.²

°Kaoru Hashimoto¹, Shigehisa Shibayama¹, Koji Asaka¹, Osamu Nakatsuka^{1,2}

E-mail: hashimoto.kaoru.h0@s.mail.nagoya-u.ac.jp, s-shibayama@nagoya-u.jp

【研究背景】現在、光配線技術として、Si プロセスとの親和性が高いIV族半導体、即ち、GeSn や GeSiSn で構成された赤外発光素子の研究開発が進められている。GeSn は Sn 組成制御によりバンドギャップの変調が可能な材料であり、Sn 組成 10%超で直接遷移化できる[1]。しかし、直接遷移 GeSn では、1.55 μm 帯の赤外素子実現は困難であり、バンドギャップの拡張が必要である。

我々は、量子閉じ込め効果に伴う準位制御によるバンドギャップ変調を狙う量子ドット化に着目した。これまで、GeSn 量子ドットは化学的手法による形成[2,3]やスパッタリングによる SiO₂ 薄膜中への形成[4]について報告されているが、コスト低減やプロセス簡易化の観点からは、基板上への GeSn 量子ドットの直接自己形成が重要と考える。

本研究では、GeSn 量子ドット実現に向けて、スパッタリング法による超高 Sn 組成 GeSn の自己組織化形成を試みた。その結果、GeSn 薄膜中の Sn 拡散が結晶核発生と結晶粒径に深く寄与していることが分かった。本講演では、高設計 Sn 組成とした際の GeSn 薄膜の自己組織化形成に関する報告と、この結果を踏まえ、今後の量子ドット形成に向けた議論を行う。

【実験方法】膜厚 1 μm の熱酸化 SiO₂ 付き Si(001)基板上に、室温での多元 RF スパッタ法にて、設計 Sn 組成 30%および 40%の GeSn (膜厚 30 nm) を室温で堆積した。斜入射 X 線回折 (GIXRD) 2 θ 測定により、GeSn の結晶化確認および、Sn 組成評価を行った。また、原子間力顕微鏡 (AFM) により、試料表面状態を観察した。

【結果および議論】GIXRD 2 θ 測定結果より (Fig. 1(a))、設計 Sn 組成 40%で堆積した試料では、堆積後にも関わらず、Sn 組成 33%の多結晶 GeSn と β -Sn 由来の回折ピークが確認できた。設計 Sn 組成 30%の試料では、回折ピークが見られなかったことから (掲載省略)、Sn 組成増大により、GeSn 膜中での Sn 原子拡散にともなう結晶核形成が、室温においても誘起された可能性が示唆される。

また AFM 像から (Figs. 1(b) and 1(c))、設計 Sn 組成 40%の試料では、表面に直径 25–40 nm の隆起が確認でき、GeSn や β -Sn が結晶粒として形成されていることが分かった。さらに、希フッ酸 (DHF) 浸漬により、 β -Sn を除去し、Sn 組成約 33%の GeSn 多結晶粒のみを選択的に残留させられることが明らかになった (Figs. 1(a) and 1(c))。

以上、高設計 Sn 組成の GeSn スパッタリングのみで、粒径 25–40 nm の超高 Sn 組成 GeSn を形成できることが分かった。GeSn の薄層化や熱処理等を駆使することで、各粒が独立した GeSn 量子ドットの自己組織化形成が期待される。

本研究は科学研究費助成事業 基盤研究 (B) 21H01809 の支援を受けて行われた。

[1] S. Gupta *et al.*, JAP **113**, 073707 (2013). [2] S. A. Hafiz *et al.*, APL **7**, 17, 3295 (2016). [3] R. C. Barbieri *et al.*, Chem. Mater. **33**, 6897 (2021). [4] A. Slav *et al.*, ACS Appl. Nano Mater. **2**, 3626 (2019).

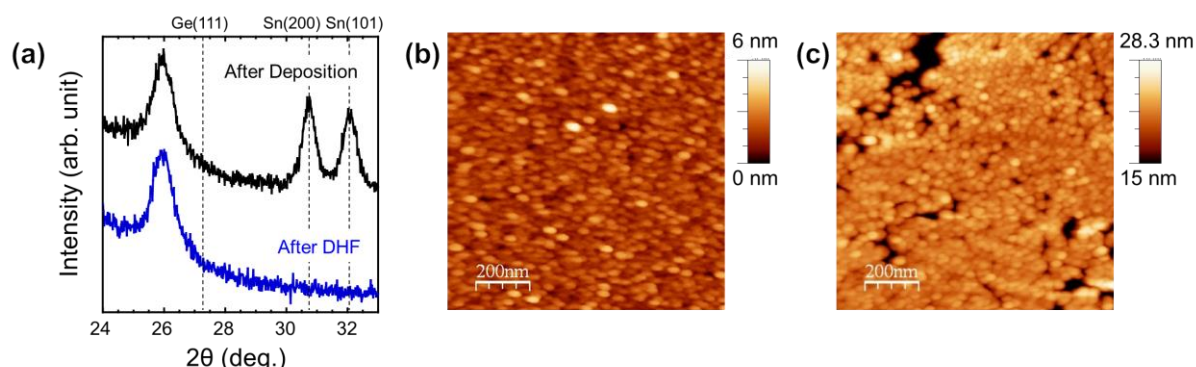


Fig. 1 (a) GIXRD 2 θ profiles of samples with a design Sn content of 40%. AFM images of the samples (b) after the deposition and (c) after the deposition and the DHF immersion.