

ナノネットワーク構造解析に基づく微細トレンチ内の窒化ホウ素膜特性予測 Prediction of Boron Nitride Film Properties Deposited on Micro-Trench Structures Using Nano-Network Structure Analysis

京大院工¹, 神港精機², 阪大産研³, 兵庫県立工技センター⁴, 学振特別研究員 DC⁵ ○濱野 誉^{1,5},
松田 崇行¹, 朝本 雄也¹, 野間 正男², 長谷川 繁彦³, 山下 満⁴, 占部 継一郎¹, 江利口 浩二¹
Kyoto Univ.¹, SHINKO SEIKI. Co., LTD.², Osaka Univ.³, Hyogo Pref. Inst. Technol.⁴,
JSPS Research Fellow⁵, °Takashi Hamano^{1,5}, Takayuki Matsuda¹, Yuya Asamoto¹, Masao Noma²,
Shigehiko Hasegawa³, Michiru Yamashita⁴, Keiichiro Urabe¹, and Koji Eriguchi¹
E-mail: hamano.takashi.35c@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

窒化ホウ素 (BN) は、多様な微視的構造 (ナノネットワーク構造) をとりうる元素系であり、エレクトロニクス、トライボロジー分野への応用が期待される[1,2]。BN 膜堆積では、照射イオンエネルギー (E_{ion}) に依存して膜中のナノネットワーク構造が変化し、薄膜特性が幅広く変化することが知られている[3]。工学的応用で重要となる 3 次元構造体への成膜では、構造体中の面方向とイオン入射方向の関係により各面上での薄膜特性が変化すると予測されるが、その評価は難しくこれまで報告例は少ない。本研究ではナノネットワーク構造と薄膜特性の相関に基づき、微細トレンチ構造を有する Si 基板上に堆積した BN 膜の局所領域における薄膜特性を予測した。

2. 成膜・評価手法

幅 2 μm 、深さ 0.5 μm のトレンチ構造を Si 基板上に作製し、反応性プラズマ支援成膜法[4]により BN 膜を堆積した。本手法では電子ビーム加熱により B 蒸気を、真空アーク放電 (圧力: 0.03 Pa) により N ラジカル、イオンを基板へ供給する。B 加熱、放電生成条件は固定し、基板に印加される直流自己バイアス電圧 (V_{DC}) の制御により E_{ion} のみを変化させた。その後 FT-IR により膜中の結合状態を解析した。走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察によりトレンチ内の膜厚分布を評価した。極微電子回折法を用いてトレンチ内の局所領域に対してナノネットワーク構造を解析した。

3. 実験結果

Fig. 1(a)に Si 基板 (平面) 上に堆積した BN 膜の電子回折像を示す。 E_{ion} 増加とともに sp^2 、 sp^3 結合相間の遷移が確認でき、ナノネットワーク構造中の sp^2 結合相の配向が変化する。微視的構造変化に対応した電気的特性 (リーク電流)、機械的特性 (押し込み硬さ) の変化が確認された (Fig. 1(b))。 Fig. 1(c)に $V_{DC} = -70 \text{ V}$ の条件下でトレンチに堆積した BN 膜の断面 SEM 像を示す。イオン衝撃に起因した BN のスパッタ、再堆積により構造体内で膜厚分布が変化した。 Fig. 1(d)にトレンチ構造内各面の局所領域における電子回折像を示す。上面、底面では $sp^3:sp^2$ 結合相が形成された一方、側壁では sp^2 結合相のみが確認された。ナノネットワーク構造と薄膜特性の対応関係 (Fig. 1(a), (b)) により、トレンチ内では各面上において BN 膜特性が大きく異なることが予測される。

4. おわりに

微細トレンチ内に作製した BN 膜の各面におけるナノネットワーク構造を解析した。 E_{ion} を変化した平面構造での結果と比較することで、構造体内における薄膜特性の差異が予測された。 3 次元構造特有の微視的構造、薄膜特性変化に関する本知見は、BN 膜の機能設計に有用である。

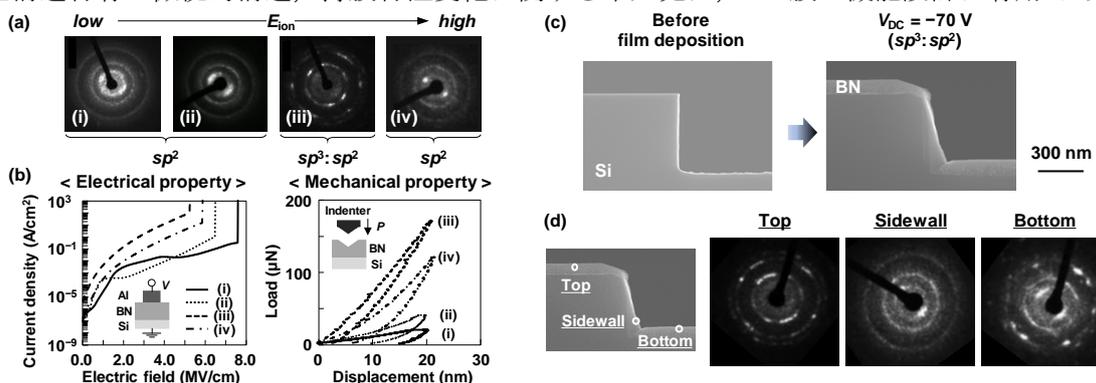


Fig. 1 (a) Nano-beam diffraction (NBD) patterns for various BN nano-network structures on Si substrates (i.e., planar structures). (b) Electrical and mechanical properties of the BN films on Si substrates. (c) Cross-sectional SEM images of the micro-trenches before and after BN-film deposition. (d) NBD patterns of BN at the top, sidewall, and bottom of the micro-trench deposited under $V_{DC} = -70 \text{ V}$.

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 (20J22727, 20H02481)、文部科学省マテリアル先端リサーチインフラ事業 (京都大学, 奈良先端大学院大学)、郷矢崇浩氏 (京都大学) の支援を受けて実施された。

参考文献

- [1] Y. Hattori *et al.*, ACS Appl. Mater. Interfaces **8**, 27877 (2016). [2] I. Bello *et al.*, Diamond Relat. Mater. **14**, 1784 (2005). [3] T. Hamano *et al.*, JSAP spring meeting, 25p-E104-9 (2022). [4] T. Matsuda *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **61**, SI11014 (2022).