

イオンフラックス制御型反応性プラズマ支援成膜法による窒化ホウ素膜構造制御に関する研究

Structural Design of Boron Nitride Films Using Ion-Flux Controlling Reactive Plasma-Assisted Coating (RePAC) Technique

京大院工¹, 神港精機², 兵庫県立工業技術センター³, 阪大産研⁴, ○松田 崇行¹, 濱野 誉¹,
朝本 雄也¹, 野間 正男², 山下 満³, 長谷川 繁彦⁴, 占部 継一郎¹, 江利口 浩二¹

Kyoto Univ.¹, SHINKO SEIKI. Co., LTD.², Hyogo Prefectural Institute of Technol.³, Osaka Univ.⁴

○T. Matsuda¹, T. Hamano¹, Y. Asamoto¹, M. Noma², M. Yamashita³, S. Hasegawa⁴,

K. Urabe¹, K. Eriguchi¹

E-mail: matsuda.takayuki.66w@st.kyoto-u.ac.jp

【はじめに】 窒化ホウ素 (BN) は様々な構造・形態 (立方晶, 六方晶, アモルファス) をとりうる物理化学的に安定な材料である. 立方晶の c-BN は超高硬度, 六方晶の h-BN は高絶縁性を有し, ハードコーティング, 2D 電子デバイス, 極限環境材料として注目されている[1]-[5]. これまで様々な BN 膜形成プロセスが提案されてきた[6]. 例えばプラズマプロセスによる c-BN 形成ではイオンエネルギー (E_{ion}) や B, N フラックスが重要なパラメータと認識されている. また, プロセス中の定常的イオンフラックス供給が剥離のない c-BN 形成に有効であることも報告されている[7]. しかしながら c-BN から h-BN まで様々な構造を有する BN 膜の形成プロセスならびに系統的な物性解析の報告はあまりなかった. 幅広い応用が期待される BN 膜実現に向けて, 用途に応じたその構造・形態を実現する技術が望まれる. 今回我々は, 磁場印加型アーク放電をベースとする Reactive Plasma-Assisted Coating (RePAC) プロセスを構築し, 基板への入射イオンフラックス (I_{ion}) を制御することで, 様々な構造・形態を有する BN 膜形成を実現した. その詳細を報告する.

【RePAC システム】 今回構築した系では, I_{ion} をアーク放電電流 (アノード電流 I_A) で制御する[8]. 以下で示すように, 従来の主要パラメータ E_{ion} (~基板バイアス V_{dc}) ではなく, I_{ion} により BN 膜の構造・形態が制御できる. B 供給が別チャンバーでプラズマ源と分離制御されている.

【BN 膜作製, 基礎物性・プラズマ曝露耐性に関する評価結果, および考察】 Ar/N₂ 流量比~1.0, プロセス圧力~ 3.0×10^{-2} Pa とし, $I_A = 2 \sim 6$ A の範囲で I_{ion} を制御し, 様々な BN 膜を Si 基板上に作製した. 得られた BN 膜の FT-IR 解析結果を Fig. 1 に示す. I_A 制御による h-BN, c-BN に対応するピークが確認できる. Fig. 2 に XRD (c-BN), XPS による構造・組成解析結果を示す. BN 膜の機械的強度は, これまで精力的に研究されてきた指標の 1 つである. Fig. 3 にナノインデンテーション法により求めた硬さ (H_{IT}) を示す. これまでの報告例もあわせ, その膜厚依存性を示している. RePAC により様々な構造・機械特性を有する BN 膜が形成できることが確認できる. また, I_A 制御により c-BN/h-BN 積層構造形成が可能であることも確認済みである. Fig. 4 に, 誘導結合型 Ar プラズマ曝露を成膜後に実施し BN 膜のスパッタ耐性[9]について検討した結果を示す. SiO₂ 膜のスパッタ耐性もあわせて載せている. 高 Ar スパッタリングエネルギー (高 "Sputtering $|V_{dc}|$ ") 領域において, RePAC プロセスによる BN 膜が高いスパッタ耐性を示すことがわかる.

【おわりに】 I_{ion} 制御型 RePAC 法を提案し, Si 基板上への様々な構造・物性を有する BN 膜形成を実証した. 本システムは多様な用途が期待される将来の多様な BN 膜形成に有効である.

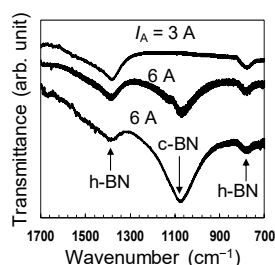


Fig. 1 FT-IR spectra of various BN films.

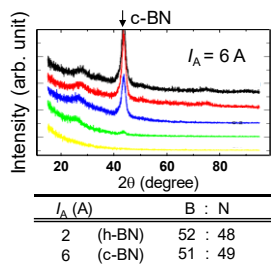


Fig. 2 XRD spectra of a c-BN film and XPS results for c- and h-BN films.

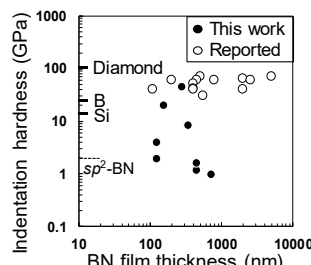


Fig. 3 Thickness dependence of hardness of various BN films.

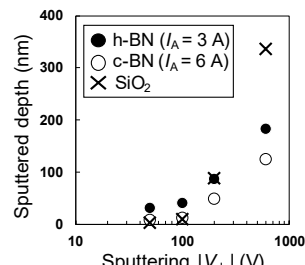


Fig. 4 Sputtered depth as a function of $|V_{dc}|$ for various BN films

謝辞 本研究の一部は科研費 (JSPS) 20H02481, 大澤科学技術振興財団, 京都大学微細加工プラットフォーム, 京都大学 菌林豊氏 (XPS 解析) のサポートを受けたものである.

参考文献 [1] Tian *et al.*, *Nature* **493** (2013) 385. [2] Liu *et al.*, *Nat. Comm.* **4** (2013) 2541. [3] Hong *et al.*, *Nature* **582**, (2020) 511. [4] Hattori *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **109** (2016) 253111. [5] Levchenko *et al.*, *Nat. Comm.* **9** (2018) 879 [6] Samantaray and Singh, *Int. Mater. Rev.* **50** (2005) 313. [7] Noma *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **53** (2014) 03DB02. [8] 朝本ら, SPP-38/SPSM33, LO29-PM-A-03. [9] Reinke *et al.*, *Surf. Coat. Technol.* **74-75** (1995) 723.