

結合状態を制御した窒化ホウ素膜の高速堆積に向けた窒素ラジカルフラックス最大化に関する研究

Study on Nitrogen Radical Flux for Controlling Throughput and Bonding Structure in Plasma-Assisted Deposition of Boron Nitride Films

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 ○朝本 雄也^{1,5}, 濱野 誉^{1,5}, 松田 崇行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 ○Yuya Asamoto^{1,5}, Takashi Hamano^{1,5}, Takayuki Matsuda¹, Masao Noma², Shigehiko Hasegawa³, Michiru Yamashita⁴, Keiichiro Urabe¹, and Koji Eriguchi¹

E-mail: asamoto.yuya.78z@st.kyoto-u.ac.jp

【はじめに】窒化ホウ素(BN: Boron Nitride)は複数の結合状態(sp^2 , sp^3 結合)をとりうる材料である[1]. 特に sp^3 結合相からなる c-BN は超高硬度工具被覆材料として注目されている. 我々は, 反応性プラズマ支援成膜(RePAC: Reactive Plasma-Assisted Coating)法を提案し, sp^3 結合領域を多く含む BN 膜構造を実現してきた[2]. RePAC 法では, ホウ素(B), 窒素(N)ラジカルの高フラックス供給源を搭載し, BN 膜の高速堆積が期待される. 一方, sp^3 結合相形成には成膜中の基板への荷電粒子による運動量輸送(高エネルギーイオン衝撃)が重要であることが報告されている[3]. したがって, sp^3 結合相を含む BN 膜の高速堆積には, B フラックスの増加とともに, 基板への N ラジカルフラックス・イオン運動量フラックスの両方を高める必要がある. 本研究では, 放電解析に基づき, 基板へのイオン衝撃を担保しつつ N ラジカルフラックスを最大化する方法論を提示する.

【実験】Fig. 1 に示すように RePAC 法では, 磁場閉じ込め型真空アーク放電により, 基板にイオン・N ラジカルを供給する. B の電子ビーム加熱により, B 蒸気を基板へと輸送する. 直流自己バイアス電圧(V_{DC})により入射イオンエネルギーを制御する. ガス総流量は一定とし, アルゴン(Ar), 窒素(N_2)分率($R_{Ar} \equiv Ar/(Ar + N_2)$)の異なる条件で BN 膜を堆積した. 膜中の結合状態は FT-IR により解析した. 次に, 様々な R_{Ar} 条件に対し, 放電電流を変化させることで密度の異なるプラズマを生成し, 基板への総イオンフラックス Γ_{ion} と N 原子発光(821 nm)強度 I_N の関係を解析した.

【結果及び考察】Fig. 2 に FT-IR スペクトルの例を示す. 各 R_{Ar} 条件で, $|V_{DC}|$ が一定値以上の場合 sp^3 結合相の形成が確認された. sp^3 結合相が確認された条件のうち, 最小の $|V_{DC}|$ における基板へのイオン運動量フラックス J_M を算出すると, 各 R_{Ar} 条件でこれらは近い値を示した. したがって, 過去の報告例[3]と同様に J_M は sp^3 結合相形成を支配すると考えられる. Fig. 3 に, Γ_{ion} から算出した J_M と I_N との関係を示す. この際, 入射イオンエネルギーは 100 eV と仮定した. 各 R_{Ar} 条件で得られる最大の I_N は, $R_{Ar} = 0.2$ で極大値をとる. これは, R_{Ar} 増加とともに N ラジカルの母ガス分子(N_2)密度が減少する一方, 放電中に供給できる電子の量が増加する[4]ためであると考えられる. また, R_{Ar} 減少とともに, 得られる最大の J_M は減少しており, 低 R_{Ar} 領域で基板への運動量フラックスを十分に得るためには, 入射イオンエネルギー($\sim |V_{DC}|$)の増大が必要になると示唆される.

【おわりに】本研究では N ラジカル生成量を最大化するガス混合条件を探索し, 最大量の決定機構を解析した. また, N ラジカル生成量最適化に伴う, ガス混合比率の変化がイオン運動量フラックスに及ぼす影響を解析した. 本研究は, 結合状態を制御した BN 膜の高速堆積に有用である.

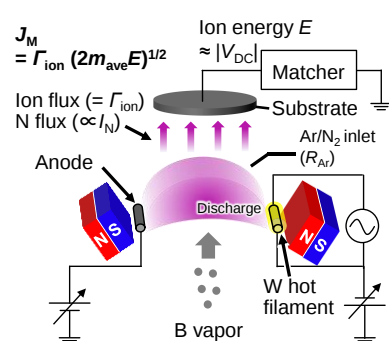


Fig. 1. Schematic illustration of BN deposition in a RePAC system.

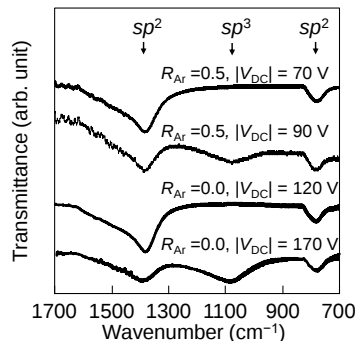


Fig. 2. FT-IR spectra of BN films for each deposition condition.

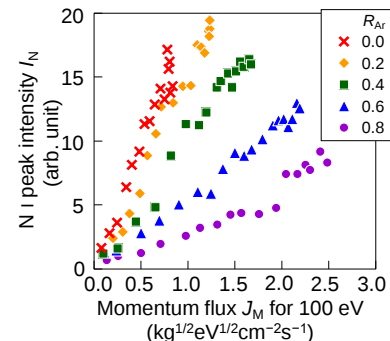


Fig. 3. N I emission intensity as a function of momentum flux onto the substrate.

謝辞 本研究の一部はJSPS科研費(20H02481, 22J23802), 内藤泰春科学技術振興財団, 大澤科学技術振興財団のサポートを受けたものである.

参考文献 [1] P. B. Mirkarimi *et al.*, Mater. Sci. Eng. R **21**, 47 (1997). [2] T. Matsuda *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **61**, SI1014 (2022). [3] D. J. Kester *et al.*, J. Appl. Phys. **72**, 504 (1992). [4] Y. Asamoto *et al.*, Proc. Int. Symp. Dry Process, 83 (2021).