

sp 結合ナノネットワーク構造変化に起因する窒化ホウ素膜特性遷移の解析 Investigation of Transitional Behaviors in Boron Nitride Film Properties Induced by sp-Bonded Nano-Network Structure Change

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、常圧相系 BN (h-BN, r-BN) や高压相系 BN (c-BN, w-BN) に代表される種々の微視的構造 (sp 結合ナノネットワーク構造) をとりうる特異な材料である[1]. 例えば、六方晶の h-BN は 2 次元絶縁体材料として、立方晶の c-BN は超高硬度工具被覆材料として注目されている. 高機能 BN 膜の作製には、組成, sp 結合状態の精密制御が重要である. 我々はこれまで、反応性プラズマ支援成膜 (RePAC: Reactive Plasma-Assisted Coating) 法[2]を提案し、多様な BN 膜構造を実現してきた[3]. 成膜時のイオン衝撃に応じて、sp 結合状態が様々な形態をとることがわかっている. 薄膜特性最適化には、sp 結合状態の変化に伴う物理特性遷移の包括的理解が不可欠である. 本研究では成膜時の入射イオンエネルギーを制御することで、異なるナノネットワーク構造を有する BN 膜を作製し、光学および電気的特性の遷移過程を詳細に解析した.

2. 成膜・評価手法

RePAC 法では、B 蒸発源を電子ビームにより加熱し、基板に B 蒸気を輸送する. 磁場印加型真空アーク放電により高密度 N₂ プラズマを生成し、N ラジカル、イオンを供給する. 基板に印加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し、p 型 Si 基板上に BN 膜を堆積した. その後 FT-IR により膜中の sp 結合状態を解析した. 分光エリプソメトリを用いて膜厚、光学定数を推定した. 光学モデルは Air/BN/界面層/Si とし、BN の誘電関数は Tauc-Lorentz 型を仮定した[3]. また MIS 構造 (Al/BN/Si) を作製し、電流-電界 (I-E) 特性を測定した.

3. 実験結果

Fig. 1(a)に BN 膜の FT-IR 解析結果を示す. |V_{dc}|の増加とともに sp²→sp²/sp³→sp² 結合相の遷移が確認できる. sp² 結合相間において明確なスペクトルの違いは見られない. Fig. 1(b)に屈折率 (n) および消衰係数 (k) を示す. ナノネットワーク構造の違いに起因する n スペクトルの差異が確認できる. また|V_{dc}|増加に伴い sp² 結合相において k 上昇が見られ、この結果はイオン衝撃による欠陥準位形成に起因すると考えられる. Fig. 1(c)に MIS 構造の I-E 特性を示す. |V_{dc}|の増加とともに高電界領域でリーク電流が増大し、sp²/sp³ 結合相では Ohmic 型電気伝導へと遷移する. さらに高|V_{dc}|条件の sp² 結合相では再び絶縁性を有するものの、絶縁破壊電界 (E_{BD}) が顕著に低下した.

4. おわりに

RePAC 法を用いて多様なナノネットワーク構造を有する BN 膜を作製した. 成膜時のイオン衝撃に起因する微視的構造変化により、薄膜の光学的、電気的特性が大きく変化することがわかった. sp 結合状態に由来した薄膜特性遷移に関する本知見は、BN 膜特性の最適設計に有用である.

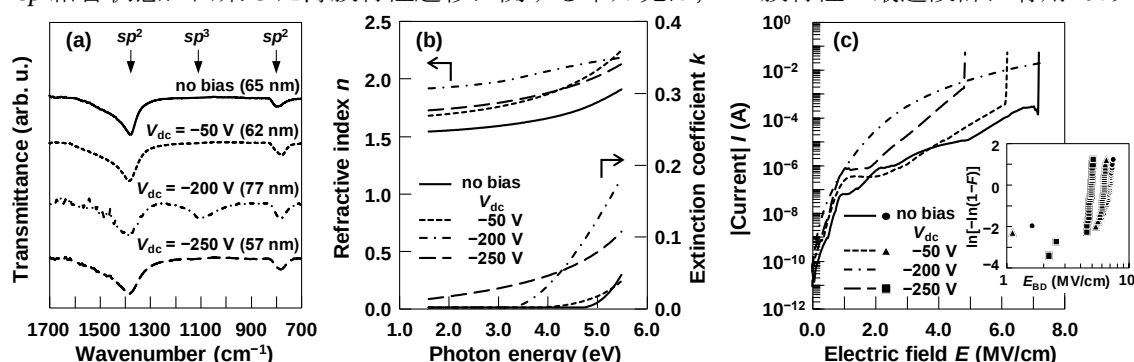


Fig. 1 (a) FT-IR spectra of BN films in response to V_{dc}.

(b) Refractive indices and extinction coefficients of BN films estimated by spectroscopic ellipsometry.

(c) Current-electric field characteristics of BN films. Weibull plots of breakdown strength are also shown.

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 (20J22727, 20H02481), 内藤泰春科学技術振興財団, 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の支援を受けて実施された.

参考文献

- [1] P.B. Mirkarimi *et al.*, Mater. Sci. Eng. R **21**, 47 (1997). [2] M. Noma *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **53**, 03DB02 (2014).
[3] T. Hamano *et al.*, Appl. Phys. Lett. (in press).