

電気伝導機構解析による窒化ホウ素膜/Si 構造の剥離機構の検討

Electrical characterization of adhesion property degradation in BN/Si devices

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) は物理化学的に安定で様々な形態をもつ材料である。sp³結合からなる cubic BN (c-BN) は超高硬度を、sp²結合からなる hexagonal BN (h-BN) は高絶縁性を有するため、それぞれハードコーティング、電子デバイスなどへの応用が期待されている[1]-[3]。これまでプラズマを用いた様々な BN 形成プロセスが提案されてきた[2][4]。BN 構造評価には、機械特性解析に加え電気特性解析も行われてきた[2][4]。母材との界面近傍に形成される残留応力などによる BN 膜の剥離は、幅広い応用に向けた BN 膜の最重要課題と認識されている[2][5]。この剥離現象はこれまで構造観察により評価されてきたが、未だその(経時的)機構については不明な点が多い。今回我々は、様々な BN 薄膜における剥離機構を電気特性解析より詳細に検討した。反応性プラズマ支援成膜 (RePAC: Reactive Plasma-Assisted Coating) システム[6]において基板への入射イオンフラックスを制御し、機械特性の異なる h-および c-BN 膜を作製した。h-および c-BN 膜からなる Al/BN/Si デバイスの電気特性変化の解析により、BN 膜の剥離機構について検討した。

【デバイス作製と評価方法】Fig. 1 (上) に Al/BN/Si デバイスにおける BN 膜の剥離の様子を示す。Si 基板との界面から BN 膜が部分的に剥離しつつある。Fig. 1 (下) に Al/BN/Si デバイスのレイアウトを示す。Fig. 2 に RePAC による種々の BN 膜の機械特性を示す。Layout-1 では、Fig. 2 の (a) で示す h-BN 膜に、フォトマスクを用いてパターンを転写し Al 電極を形成した。これらデバイスの一部では、マスク、Al 除去時のエッチングにより部分的に h-BN 膜が剥離しつつある(している)と推測される。Layout-2 では、Fig. 2 の (b) で示す c-BN 膜に、物理マスクを用いて Al 電極を形成した。これらデバイスの一部では、c-BN/Si 界面での残留応力により、剥離が経時的に進行しつつある(している)と推測される。なお、前者の BN 膜は成膜後 3 ヶ月、後者の BN 膜は 2 ヶ月経たものを用いた。これら BN 膜からなるデバイスを作製し電流電圧特性 (I-V) を解析した。

【結果および考察】Fig. 3(a) に Al/h-BN/Si デバイス (50 サンプル) の I-V 特性を示す。概ね 2 つのリーク電流特性を持つデバイス群に分類できることがわかる。Fig. 1 で示す部分的に剥離しつつあるデバイスは、低リーク電流特性を示すデバイス群に属する。Fig. 3(b) は Al/c-BN/Si デバイス (30 サンプル) の I-V 特性である。この場合も概ね 2 つのリーク電流特性を持つデバイス群に分類できる。剥離しつつある(している)デバイスは、印加電圧 |V_b| = 2 V 近傍で低リーク電流特性を示すデバイス群に属する。観測されたリーク電流減少量は、電極面積減少によるそれよりも大きく、BN/Si 界面の電気特性変化に起因すると我々は考えている。BN 膜の進行しつつある剥離機構の解析には、構造観察に加え、複数のデバイスを用いた電気特性評価は有効である。

【おわりに】BN 膜剥離に伴い Al/BN/Si デバイスの I-V 特性が変化することがわかった。BN 膜の剥離機構の解析には、電気伝導機構 (リーク電流) 解析が有効であると言える。

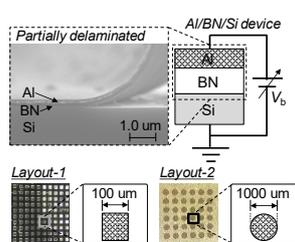


Fig. 1 SEM image of BN film delaminated in part and probing pad layouts of Al/BN/Si devices.

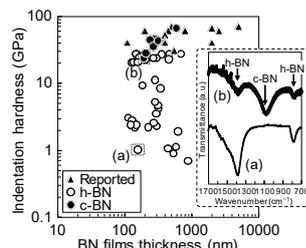


Fig. 2 Thickness dependence of hardness and typical FT-IR spectra of h- and c-BN films.

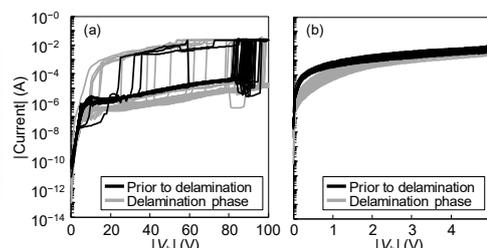


Fig. 3 I-V characteristics of (a) Al/h-BN/Si and (b) Al/c-BN/Si devices.

謝辞 本研究の一部は科研費 (JSPS) 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, 石川航佑氏 (京都大学) のサポートを受けたものである。

参考文献 [1] Y. Tian *et al.*, Nature **493** (2013) 385. [2] C. B. Samantaray and R. N. Singh, Int. Mater. Rev. **50** (2005) 313. [3] Hattori *et al.*, Appl. Phys. Lett. **109** (2016) 253111. [4] S. Noor Mohammad, Solid-State Electronics **46** (2002) 203. [5] I.-H. Kim *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. A **16** (1998) 2295. [6] T. Matsuda *et al.*, DPS (2021) 159.