

単結晶六方晶ボロンナイトライドの絶縁破壊強度の異方性

Anisotropic dielectric breakdown strength of single crystal hexagonal boron nitride

○服部吉晃¹, 谷口尚², 渡邊賢司², 長汐晃輔^{1,3} (1.東大マテリアル, 2.NIMS, 3.JST-さきがけ)

○Y. Hattori¹, T. Taniguchi², K. Watanabe², and K. Nagashio^{1,3} (1. Tokyo Univ., 2. NIMS, 3. PRESTO-JST)

E-mail: hattori@adam.t.u-tokyo.ac.jp

【緒言】層状絶縁物質である六方晶ボロンナイトライド(*h*-BN)はグラフェン FET のゲート絶縁膜や積層型電子デバイスの基板として理想的な物質として広く認識されている。これまでに我々は、コンダクティブ AFM を用いた *c* 軸に水平方向の電界($E_{//c}$)印加により、2 次元層状物質特有と考えられる Layer-by-layer で破壊が進行し、破壊強度は ~ 12 MV/cmであることを報告してきた[1]。しかしながら、層状構造に起因した絶縁破壊強度の異方性は本質的な特徴であると予想されるが、未だ明確となっていない。本研究では *c* 軸に垂直方向の電界($E_{\perp c}$)を *h*-BN に印加して破壊試験を行い、層状物質の異方的な絶縁破壊挙動を理解することを目的とした。

【実験方法】機械的劈開法によって剥離した厚さ 10-100 nm の *h*-BN を、平坦な(RMS=0.4 nm)合成石英基板(ES グレード)に転写した後、EB リソグラフィによって結晶の表面上にギャップ間隔 100-1200 nm を有する一組の Cr/Au 電極を作成した。図 1 に実験装置の概略図を示す。破壊試験は、作成した電極間に 0 V から 210 V まで 1.25 V/s の上昇速度で破壊に至るまで電圧を印加して IV 測定を行った。

【結果及び考察】 $E_{//c}$ と異なり、 $E_{\perp c}$ の場合には *h*-BN 表面が存在するため吸着水の影響を排除する必要がある。加湿器により湿度 68%一定時の絶縁破壊強度は ~ 1 MV/cm であり、水の絶縁破壊強度に近い値を得た。吸着水除去のため、(i) 真空中測定、(ii) 200°C 真空加熱後の真空中測定、(iii) 絶縁油中(フッリナート)の 3 種類の条件で測定を行った。図 2 に示すように、いずれの結果も破壊電圧はギャップ間隔に比例し、破壊電界($E_{BD}=V_{BD}/\text{gap}$)は ~ 3 MV/cm を示した。*h*-BN を転写せずに同様の試験を行い下地の合成石英基板の絶縁破壊強度を調べたところ ~ 6 MV/cm を得たことから、図 2 に示す結果は *h*-BN 自身の破壊特性を示していると考えられる。*h*-BN の絶縁破壊時に電流は急激に上昇し、強い発光が観測され、破壊時の過電流によって電極と *h*-BN の表面が大きく損傷する。図 3 に典型的な絶縁破壊後の AFM 像を示す。電極下およびギャップ間で表面から 10 nm 程度窪んでいる。電極の構成上、*h*-BN の表面ほど電界が強くなるため、*h*-BN の上部が優先的に破壊されたと考えられる。

ここで、平行平板を仮定できない電極形状なので集中電界効果を考慮する必要があるが、合成石英基板を用いた破壊実験から形状因子は 1.6 倍程度と見積もられるため、*h*-BN の実効的な破壊電界値は $E_{BD\perp c} = 5$ MV/cm と計算される。この値は $E_{BD//c} = \sim 12$ MV/cm と比較して半分程度の値である。一般に、破壊電界は、 $E_{BD} \propto \hbar\omega/\lambda_{ph}$ ($\hbar\omega$:フォノンのエネルギー、 λ_{ph} :格子散乱長)で整理される[2]。ここで、格子散乱強度は誘電率に依存する。*h*-BN の誘電率の異方性は、他の常誘電体よりも大きく 1.5 倍程度の異方性を有することから[3]、破壊電界の異方性は誘電率の異方性に起因していると考えられる。図 4 に破壊電界と誘電率の関係整理した。グラファイトの電気伝導率は Pz 軌道の重なりによる異方性ゆえ 3 桁の違いがあるが、*h*-BN の絶縁破壊電界は電界の方向に依らず sp² 結合を切る必要があるため、桁で大きく異なることはないといえる。

【謝辞】本研究の一部は科研費により助成を受けて行われました。ここに深く感謝致します。【参考文献】[1] Y. Hattori, et al., *ACS Nano* **9**, 916 (2015). [2] A. von Hippel, *JAP*, **8**, 815 (1937). [3] N. Ohba, et al., *PR-B*, **63**, 115207 (2001).

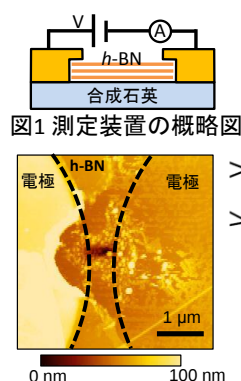


図1 測定装置の概略図

図3 絶縁破壊後のAFM像

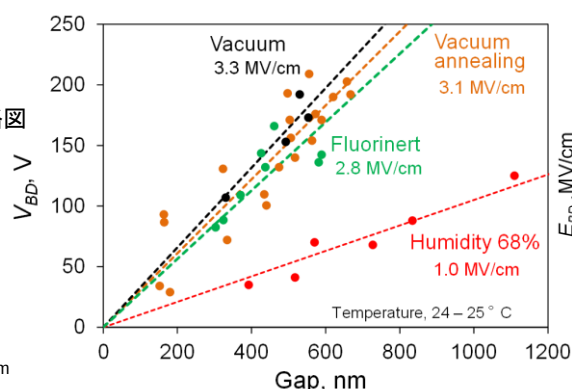


図2 *h*-BN の絶縁破壊電圧

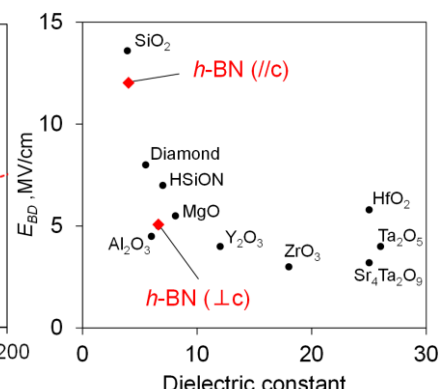


図4 破壊電界と誘電率との関係