

六方晶窒化ホウ素の高電界下における電気伝導と絶縁破壊

Breakdown and tunnel injection of hexagonal boron nitride under high-field

神戸大院工 ○服部 吉晃

Kobe University ○Yoshiaki Hattori

E-mail: hattori@eedept.kobe-u.ac.jp

層状物質である六方晶窒化ホウ素(hBN)はダングリングボンドがなく、高い表面光学フォノンエネルギーを持つために、リモートフォノン散乱を抑制することができるため、二次元材料を積層させて作製するヘテロ構造電子・光デバイスにおいて、理想的な絶縁基板と認識されている。そのため hBN は、従来の三次元材料において重要な絶縁膜である SiO₂ の、二次元版の代替材料のように考えることもできる。これまで我々は、デバイス応用で重要な絶縁性に着目し、単結晶 hBN の研究を行ってきた。表 1 に hBN の絶縁特性に関して SiO₂ との比較を示す[1-7]。

hBN は結晶構造に高い異方性をもつために、絶縁特性にも異方性が現れることが特徴である。hBN の *c* 軸に水平方向(*//c*)の絶縁破壊強さは、垂直方向($\perp c$)に比べて 4 倍程度大きく [5], 12 MV/cm であり、SiO₂ に匹敵する破壊強さと信頼性を有する [3, 4]。一般的に、絶縁破壊強さはバンドギャップが大きく、誘電率が小さいほど高いが、hBN のバンドギャップは SiO₂ の 2/3 倍程度である。それにもかかわらず、*//c* 方向に高い破壊強さを有している理由は、結合に異方性をもたせることで、*//c* 方向の結合力が弱まり、高い電界が印加された際の電離衝突による伝導キャリアの増殖が抑えられることに起因すると考えられる[6]。また、絶縁体に電圧を印加する際の電極/絶縁体の接合に関して、SiO₂ はフェルミ準位ピンニングが生じにくく、Fowler-Nordheim トンネル効果により注入される電子のバリアハイトは電極の仕事関数によって変わる。一方、hBN は強固な B と N の共有結合が面内で閉じていて、原子レベルに平坦な表面を有する特徴的な界面をもっているが、ピンニングは生じるため、電極の仕事関数の影響は小さくなる[7]。そのピンニングの効果と、hBN のバンドギャップが SiO₂ より小さいことに由来し、一般的な金属電極で絶縁膜に高い電界を印加した際、hBN の場合には、電子よりホールバリアハイトが小さくなり、ホールが支配的に注入される[7]。すなわち、SiO₂ は電子により破壊され、hBN はホールにより破壊される。

本講演では近年の hBN の研究として単層 hBN の可視化についても紹介する[8]。

なお、hBN の絶縁特性の研究は、東大の長汐晃輔先生と実施した研究である。実験に用いた単結晶 hBN は物質・材料研究機構の谷口尚博士と渡邊賢司博士に提供していただいた。

表1 絶縁性に関するSiO₂とhBNの比較

	SiO ₂	hBN 
Bandgap(eV)	~9	6 [1]
Relative permittivity (-)	3.9	3.38 (<i>//c</i>) [2] 6.61 ($\perp c$) [2]
Breakdown strength (MV/cm)	~14	~12 (<i>//c</i>) [3, 4] ~3 ($\perp c$) [5]
Ionization impact coefficient (cm ⁻¹) @10 MV/cm	~10 ⁴	~10 ⁴ (<i>//c</i>) [6]
Pinning factor (-)	~1.0	~0.3 [7]
Injection carrier	Electron	Hole [7]

【参考文献】 [1] G. Cassabois, et al. *Nat. Photonics* **10**, 262 (2016). [2] N. Ohba, et al. *Phys. Rev. B* **63**, 115207 (2001). [3] Y. Hattori, et al. *ACS Nano* **9**, 916 (2015). [4] Y. Hattori, et al. *Appl. Phys. Lett.* **109**, 253111 (2016). [5] Y. Hattori, et al. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **8**, 27877 (2016). [6] Y. Hattori, et al. *Phys. Rev. B* **97**, 045425 (2018). [7] Y. Hattori, et al. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **10**, 11732 (2018). [8] Y. Hattori, et al. *Nanotechnology*, **33** 065702 (2022).