

数層六方晶窒化ホウ素の化学気相成長と磁気トンネル接合素子への応用 Synthesis of few-layer hexagonal boron nitride for magnetic tunnel junction application

九大院総理工¹, 産総研², 阪大産研³, 九大院理⁴, 九大半導体セ⁵ ○江本 暁¹, 楠瀬 宏樹¹,
益田 純奨¹, 深町 悟¹, Yung-Chang Lin², Haiming Sun³,
末永 和知³, 木村 崇^{4,5}, 吾郷 浩樹^{1,5}
Kyushu Univ.^a, AIST^b, Osaka Univ.^c ○Satoru Emoto^a, Hiroki Kusunose^a,
Shunsuke Masuda^a, Satoru Fukamachi^a, Yung-Chang Lin^b, Haiming Sun^c,
Kazu Suenaga^c, Takashi Kimura^a, Hiroki Ago^a
E-mail: ago.hiroki.974@m.kyushu-u.ac.jp

高感度磁気センサや MRAM などに用いられている磁気トンネル接合(MTJ)素子は、高集積化や低消費電力の観点から界面磁気異方性や高いトンネル磁気抵抗(TMR)比を実現可能なトンネル層の材料選択が必要である。近年では、二次元材料である六方晶窒化ホウ素(hBN)を絶縁層として用いることで、三回対称性をもつ hBN に fcc(111)構造をもつ強磁性金属電極を用いると、対称性の整合性によってコヒーレントなスピントンネリングが起こり、非常に高い TMR 比を示すと理論的に予測されている [1]。しかし、hBN-MTJ の研究などに広く利用されている単結晶 hBN からの剥離片は、層数のばらつきやデバイス作製過程の強磁性金属の酸化などによって TMR 比は~1%にとどまっておき [2]、理論計算のような高い TMR 比は得られていない。これまで我々は、サファイア上に堆積した Ni-Fe 薄膜を用いると、化学気相成長 (CVD) 法によって、大面積に数層 hBN が合成できる [3,4] ことを見出している。本研究では、下部強磁性電極として Ni-Fe 触媒をそのまま利用し、転写による不純物の混入や電極の酸化を抑制することで hBN-MTJ 素子の TMR 特性を評価したので報告する [5]。

数層 hBN は、サファイア基板上に成膜した Ni₇₀Fe₃₀ 薄膜を、ボラジンガス (B₃N₃H₆) と 1200 °C で 30 分間反応することにより合成した。TEM グリッドに転写した hBN の走査型透過電子顕微鏡 (STEM) 測定から、約 65%程度が二層 hBN でそれ以外は単層 hBN と三層 hBN であることが分かった。AFM 測定による hBN の厚さは 1~2 nm で、STEM の結果と一致していた。as-grown の数層 hBN の上部に、リソグラフィとメタルマスクを組み合わせ、直径が 10~40 μm の Au/Co 電極パターンを作製した。図 1(a)に示すように断面 STEM 像から 3 層 hBN が Co と Ni-Fe によって挟み込まれた MTJ 構造を確認できた。hBN の絶縁破壊電圧を測定したところ、5~10 MV/cm の高い耐圧性が得られ、CVD 成長した数層 hBN の高い結晶性を示した。次に、低温プローブにより、この素子の磁気特性を測定したところ、図 1(b)に示すように 10 K で約 10%の高い TMR 値が得られた。素子の抵抗値から hBN のおよその層数を見積もり、TMR 値を層数に対してプロットした結果、三層 hBN が最も高い TMR 値を示すことが明らかになった。今後、三層以上の hBN を選択的に合成し、上部電極を結晶化することなどで、TMR 値のさらなる向上が期待できると考えている。

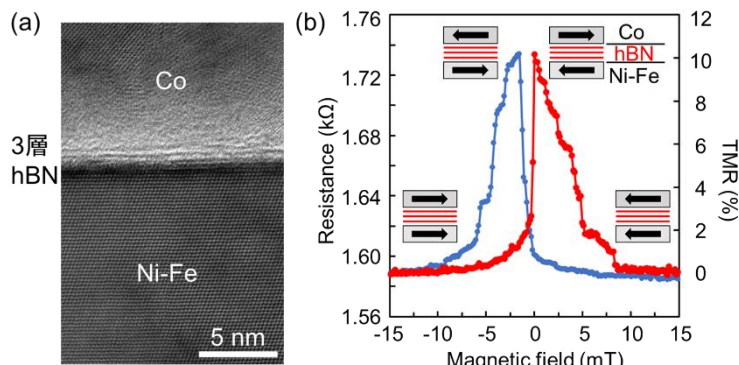


Fig. 1. (a) Cross-sectional STEM image of the hBN-MTJ device, (b) TMR behavior of Co/hBN/Ni-Fe with a 10 μm channel size.

- [1] H. Lu *et al.*, *Appl. Phys. Rev.*, **8**, 031307 (2021).
[2] P. U. Asshoff *et al.*, *2D Mater.*, **4**, 031004 (2017).
[3] Y. Uchida *et al.*, *ACS Nano*, **12**, 6236 (2018).
[4] Y. Uchida *et al.*, *ACS Appl. Electron. Mater.*, **2**, 3270 (2020).
[5] S. Emoto *et al.*, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **16** 31457 (2024).