MoS₂/h-BN/Graphite 積層構造による不揮発性メモリデバイスの動作解析 Operation mechanism analysis of MoS₂/h-BN/Graphite stack based non-volatile memory device 東大¹, NIMS² O佐々木 太郎¹, 谷口 尚², 渡邊 賢司², 西村 知紀¹, 長汐 晃輔¹ O Taro Sasaki¹, Takashi Taniguchi², Kenji Watanabe², Tomoki Nishimura¹, and Kosuke Nagashio¹ E-mail: sasaki@ncd.t.u-tokyo.ac.jp

【緒言】 従来の Si 系不揮発性メモリは、トンネル絶縁膜/Si 界面での電気的欠陥形成のため書 き換え耐性が比較的低いことが問題となっている.書き換え耐性向上のため、絶縁破壊の起点と なるダングリングボンドが存在しない二次元層状材料(2D)におけるファンデルワールス(vdW)界 面のメモリデバイスへの応用が検討されている^[1,2].基本的な 2D メモリ構造は、Fig. 1(a)に示す ように、Si バックゲート(BG)上に構築された Floating Gate(FG)、トンネルバリア(*h*-BN)、チャネル の二次元積層構造からなる.しかしながら、一部先行研究では、FG と S/D 金属電極とのオーバー ラップ領域が存在し、S/D 電極と FG とが電荷のやり取りを行っている可能性や、FG からゲート 酸化膜を通して BG へ電荷がトンネルする可能性は検証されていない.二次元材料の積層構造に よるメモリデバイスの性能を評価・議論し、書き換え耐性のポテンシャルを明らかにしていくた めには、二次元材料の積層構造内での vdW 界面を利用した双方向トンネルに限定されたメモリ動 作の実験的検証が必要である.本研究では、MoS₂チャネル/*h*-BN/Graphite FG の積層構造を試作し、 その動作解析を行った.

【実験方法】 Al₂O₃(21.3 nm)/SiO₂(7.5 nm)/n⁺-Si 基板上に PDMS を用いた積層手法によって MoS₂(5.2 nm)/*h*-BN(7.1 nm)/Graphite(11.5 nm)の積層構造を作成し,最後に Ni/Au 電極を形成した. Fig. 1(b)の概念図及び Fig. 2(a)の実デバイス写真に示すように,Graphite と S/D 電極とのオーバー ラップ領域を無くし,ゲート絶縁膜よりもトンネルバリアに高い電界が印加されるように設計し ている.

【結果及び考察】 試作デバイスの I_d - V_{BG} 特性を Fig. 2(b)に示す. BG 電圧(V_{BG})が±4 V ~ ±6 V のときはほぼヒステリシスが見られないが, ±7 V ~ ±10 V の範囲で, ヒステリシスが増加しメ モリ動作していることがわかる.次に,Graphite – MoS2間のトンネル電流を Graphite の電圧(V_{gra})の関数として Fig. 3 に示し,上側軸にはゲート容量とトンネル絶縁膜容量の比から求めた V_{BG} を示す.これより, V_{gra} が正領域(V_{BG} 正側に相当)では Graphite と MoS2の間に nA オーダーのトンネル電流を観測し,このトンネル開始電圧は $V_{BG} = 8.3$ V に相当することを確認した.一方, V_{gra} が 負領域(V_{BG} 負側に相当)ではほぼ電流が観測されず,同様に Graphite–BG 間にも明確な電流は観測 されなかった.しかしながら,Fig. 2(b)に示すように V_{BG} 負印加に対し閾値が負方向シフトするメ モリ動作から,実際の BG 動作時には Graphite – MoS2間でキャリアのやり取りが行われていることがわかる.Si-メモリと異なり,Ni/MoS2 コンタクトにおいては Ni のフェルミ準位が MoS2 の伝 導体にのみ接続されていることから,正孔を計測出来ないことに起因すると考えられる.以上より,Graphite と S/D 電極とのオーバーラップ領域を無くし,ゲート絶縁膜よりもトンネルバリアに高い電界が印加されるように設計した MoS2/h-BN/Graphite の二次元積層構造においては,vdW 界面を通した双方向トンネルによってメモリ動作していることが分かった.

【参考文献】[1] M. Sup Choi *et. al.*, Nat. Commun. 2013, **4**, 1624. [2] Q. A. Vu *et al.*, Nat. Commun. 2016, **7**, 1. 【謝辞】本 研究は JSPS 科研費,「研究拠点形成事業 (A.先端拠点形成型)」,「日中韓フォーサイト事業」により助成を受けた.

