

2D メモリデバイスにおける $1\mu\text{s}$ 以下の高速書き込み動作

Sub $1\mu\text{s}$ programming operation in 2D heretostructured memory devices

¹東大,²埼玉大,³NIMS ○佐々木 太郎¹, 上野 啓司², 谷口 尚³, 渡邊 賢司³, 西村 知紀¹, 長汐 晃輔¹

○T. Sasaki¹, K. Ueno², T. Taniguchi³, K. Watanabe³, T. Nishimura¹ and K. Nagashio¹

E-mail: sasaki@ncd.t.u-tokyo.ac.jp

【緒言】不揮発性メモリの高信頼化や将来的な材料互換性への期待から、2D 積層構造によるメモリデバイスの研究が盛んである。我々は「浮遊ゲート電位の測定」という新しい測定法^[1]を用いること、また、アクセス領域を意図的に導入しトンネルパスを 2D-2D 間に制限したデバイスを解析することで、先行研究の殆どが金属電極-2D 間をトンネルパスとしたデバイスの性能評価に留まっており、2D 層状界面を活かした「本質的な」性能が未だ理解されていないことを明らかにしてきた^[2]。近年は不揮発性ワーキングメモリへの強い要請により $1\mu\text{s}$ 以下で動作する高速デバイスが求められていることから、本研究では 2D メモリにおける 2D-2D 間トンネルの本質的な動作速度の解明を試みた。

【実験方法】90 nm $\text{SiO}_2/n^+\text{-Si}$ 基板上に、PDMS を用いた乾式転写法でグラファイト（浮遊ゲート：FG）、 $h\text{-BN}$ （トンネルバリア）、TMDC チャンネルを積層し、Ni/Au 電極を蒸着した。アクセス領域（Fig. 1）を形成したデバイス三種類（ MoTe_2 , WSe_2 , MoS_2 チャンネル）、及びアクセス領域を形成しないデバイス（ MoS_2 チャンネル）の計四種類について動作速度を調べた。高速電圧パルスの印加には Keysight B1525A HV-SPGU を用いた。

【結果及び考察】Fig. 1 に示すように、アクセス領域のあるデバイスは 2D 積層構造をトンネルパスとして動作する。一方、アクセス領域の無いデバイスは金属電極-FG がトンネルパスである。アクセス領域のある MoS_2 デバイスについて、正電圧パルスによる初期化後に -30 V で消去動作を行った際の電流・電圧波形を Fig. 2 に示す。パルス幅が 500 ms のときは消去に成功したが、 50 ms のときは失敗した。同様に各デバイスで書き込み・消去動作が行える最小のパルス幅を調べ、Fig. 3 にまとめた。驚くべきことに、寄生容量が大きなグローバルバックゲート構造であるにも関わらず、書き込み速度は最速で 100 ns を記録した。これは現在研究が盛んな不揮発性ワーキングメモリに比肩する速度である。また、アクセス領域がある三種類のデバイスについては、1) 書き込み時のドレイン電流が多いほど書き込み速度が高速であり、2) 消去時に金属電極からの正孔注入が容易であるほど消去速度が高速であった。これは、我々が明らかにしてきたメモリの動作機構と整合する（Fig. 1）。一方、アクセス領域の無いデバイスでは金属電極-FG 間で大量のキャリアをやり取りできるにも関わらず、消去動作は低速（ 5 ms ）であった。これは Ni からグラファイトへ正孔がトンネルする際、金属蒸着時にダメージを受けた層が速度を律速したためと考えられる。

以上より、2D メモリは 2D 層状界面を活用することで 100 ns もの超高速動作が可能であることが示唆された。従って、金属電極をグラファイトに置き換えることで書き込み/消去双方の高速化が期待でき、高信頼な不揮発性ワーキングメモリという新しい応用に繋がると考えられる。

【参考文献】 [1] T. Sasaki *et al.*, *small*, **16**, 2004907 (2020), [2] T. Sasaki *et al.*, *81st JSAP Autumn Meeting*, 11p-Z29-11 (2020)

【謝辞】本研究の一部はキオクシア株式会社により助成を受けた。

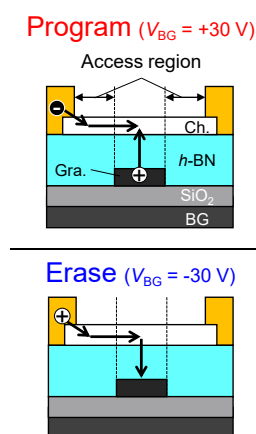


Fig. 1. Operation mechanisms.

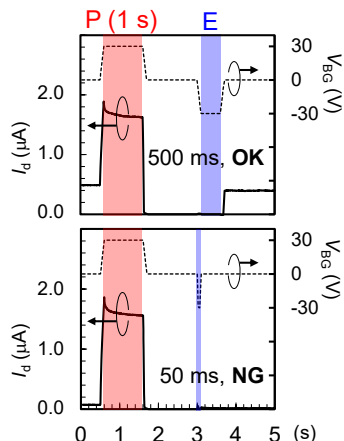


Fig. 2. P/E waveforms of MoS_2 device with access region.

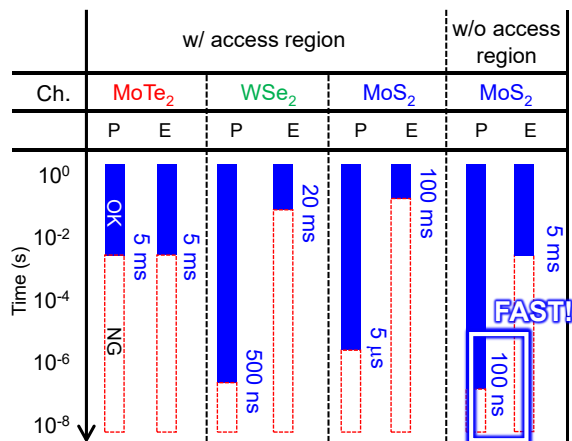


Fig. 3. Summary of P/E operation speed.