

レーザー誘起ドーピング技術を用いた高性能 TFET の作製 Fabrication of TFET with high performance via laser-induced doping

千葉大物質¹ 埼玉大物質² 謝天順¹, 柯梦南¹, 上野啓司², 青木伸之¹

Chiba Univ.¹ Saitama Univ.² Tianshun Xie¹, Mengnan Ke¹, Keiji Ueno² and Nobuyuki Aoki¹

E-mail: xietianshun@chiba-u.jp

従来の金属-酸化膜-半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) は熱拡散によりキャリアの注入を行うことから、オン・オフ特性の立ち上がりの急峻さを示すサブスレッショルド・スイング(SS)の値は、室温で 63 mV/decade に制限されてしまう。そこで、MOSFET に代わる低消費電力トランジスタとして、半導体のエネルギーバンド間のトンネル効果を利用することで SS 値の限界がないトンネル電界効果トランジスタ (TFET) が注目されている。次世代半導体チャンネル材料と期待されている遷移金属ダイカコゲナイド (TMDC) を用いた TFET の作製に関する研究は盛んに行われている。例えば、東京大学の長汐グループでは、 p^+ -MoS₂ または p^+ -WSe₂ をソース、MoS₂ を n 型チャンネルとしてゲート酸化膜に Al₂O₃ を用いることによって、n 型 TFET を作製した[1]。我々はこれまで TMDC の一種である二テルル化モリブデン(MoTe₂) における高性能化 TFET の作製に注目し、レーザー誘起ドーピング技術を用いて 300 nm SiO₂ を絶縁膜として in-plane の p 型 TFET を成功に作製した。これに関して前回の応用物理学会に報告した。In-plane TFET の利点は、out-plane TFET と比べてソースとチャンネルを一つの結晶中に組み込むことができるため、応用化プロセスにおいて簡単になる。しかしながら、in-plane TFET では p/n 界面がしっかり分けられるかどうか重要となっていた。我々はレーザー照射によってソース部分だけにドーピングして、チャンネルの部分を h-BN で守ることによって、p/n 界面をある程度厳密に分けられると考えている。前回報告した試料では最小の SS 値が 1 V/dec であったが、今回 300 nm SiO₂ の代わりに 30 nm 程度の h-BN を絶縁膜として用いることで、TFET 特性の向上に成功した。本実験で用いた TFET 試料の作製では、用意した graphite/h-BN 上にボトム電極 (Cr/Pd) を作製し、その上にトランスファー法により h-BN/MoTe₂ ヘテロ構造を置いた。この試料では MoTe₂ 結晶の半分が h-BN でカバーされ、残りの半分は外にはみ出しており、はみ出した結晶を部分的に真空中でレーザー照射することで n^+ 領域を形成し、面内で n^+/i 接触を形成した。図 1 と図 2 はこの試料の構造の模式図と顕微鏡画像を示す。図 3 に示すように、ゲート電圧依存性は負側は BTBT、正側は熱拡散によって伝導する両極性を示した。負側の TFET の特性における SS の最小値は 290 mV/dec を達成した。さらに、 p^+ -MoTe₂/i-MoTe₂/ n^+ -MoTe₂ 構造を作製することで、低温で SS 最小 45 mV/dec を観測した。

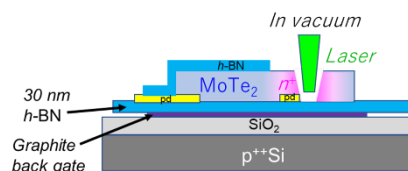


図 1. サンプルの模式図

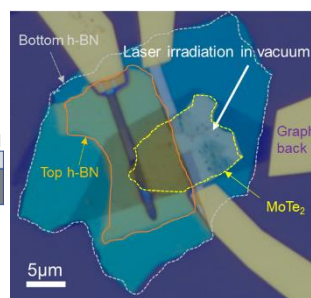


図 2. サンプルの顕微鏡画像

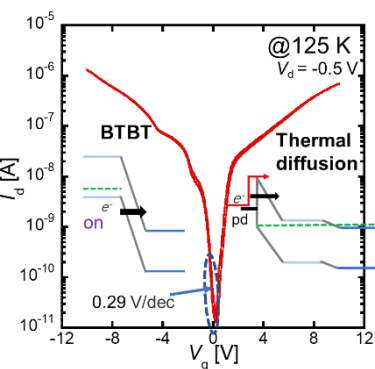


図 3. ゲート依存性

[1] N. Keigo, *et al.*, ACS Applied Materials & Interfaces **12**, 51598 (2020).

[2] 謝天順, 福田和紀, 柯梦南, 青木伸之, 22a-B202-2, 2022 年秋応用物理学会.