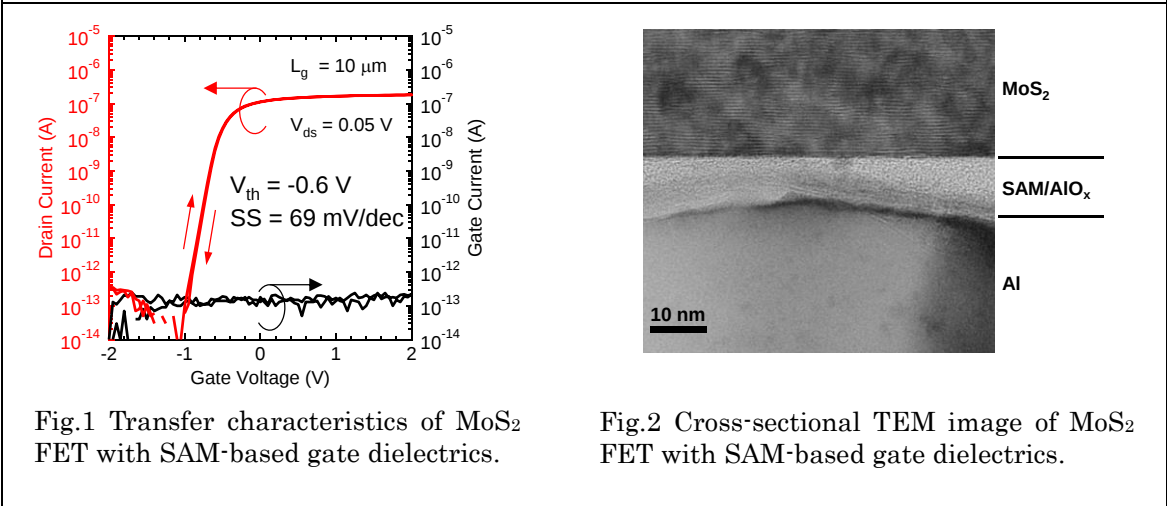


平成 27 年度工学系共通経費による顕彰と研究助成 成果報告書

所 属	量子ナノエレクトロニクス研究センター
研究者 (ふりがな)	川那子 高暢 (かわなご たかまさ)
タイトル	自己組織化単分子膜を用いたゲートスタック技術の開発とナノ電子デバイス応用
助 成 名	新任助教研究助成
採択金額	70 万円
研究の背景 固体表面上に有機分子が自発的に高密度に集合して形成される自己組織化単分子膜 (Self-Assembled Monolayer: SAM) は、数 nm の極薄膜厚領域においても高い絶縁特性を得られるため、ナノスケール電子デバイスのゲート絶縁膜として有望と考えられる。本研究の目的は、SAM をゲート絶縁膜に用い、層状半導体である二硫化モリブデン (MoS_2) をチャネル層に用いた電界効果トランジスタ (FET) の作製と界面評価である。	
結果と考察 SAM ゲート絶縁膜を用いた MoS_2 FET の作製プロセスを検討した。作製プロセスは、主に SAM の選択形成と MoS_2 の転写から成る。熱酸化した $\text{SiO}_2(400\text{nm})/\text{Si}$ 基板上に、フォトリソグラフィーを用いて $\text{Al}(80\text{nm})$ gate 電極を作製した。続いて lift-off プロセスによって、Al 上に $\text{Au}(20\text{nm})$ パッドを形成した。その後、$\text{Au}(40\text{nm})/\text{Al}(10\text{nm})$ の source/drain コンタクトを lift-off によって作製した。Al は Au と SiO_2 との密着層として用いた。Gate と source/drain の間には、$7\mu\text{m}$ のギャップがありオーバーラップは無い。その後、酸素プラズマ (プラズマパワー 300 W、真空度 300 mTorr、酸素流量 100 sccm、照射時間 20 min) を基板に照射し、Al 表面に AlO_x とヒドロキシル基を形成した。続いて、SAM (オクタデシルホスホン酸: ODP) を 2-プロパノールに 5mM 溶かした溶液に基板を 1 時間浸漬し、SAM を AlO_x 上に形成した。浸漬後に、2-プロパノールで基板を洗浄し、窒素ブローを行った後、ホットプレートで 100°C、10 分間乾燥させた。本実験で使用した ODP は、金属酸化物表面のみに吸着、形成する。よって、source/drain コンタクト用の Au 電極上には、ODP は形成されない。次にスコッチテープを用いた剥離法によって、MoS_2 を基板上に転写した。スコッチテープによって剥離した MoS_2 の薄片を、光学的に透明な誘電体エラストマーである PDMS の表面に転写する。次に PDMS をガラスマスクに貼り付け、マスクアライナのマスクホルダに取り付ける。マスクアライナに備え付けてある光学顕微鏡とマイクロマニピュレータを用い、PDMS 表面の MoS_2 とパターンニングした基板の gate の位置合わせを行う。位置合わせの後に、マイクロマニピュレータを用いて PDMS エラストマーを基板と接触させる。その後、PDMS エラストマーをゆっくりと基板から剥がすことで、MoS_2 の薄片を基板上に転写する。最後に、窒素雰囲気中、140°C、30 分間の熱処理を行い、素子の電気的特性と物理分析を行った。正常な $I_d\text{-}V_d$ 特性が得られたことから、本作製プロセスの有効性を確認することができた。また、$I_d\text{-}V_g$ 特性から 2V 駆動の MoS_2 FET の作製に成功した (Fig.1)。これは、SAM/AlO_x を用いた 2 層ゲート絶縁膜が極薄膜かつ高い絶縁性を有するからである。ゲートリーク電流は、ゲート電圧 2V において 2×10^{-13} A と低い値であった。さらに、$I_d\text{-}V_g$ 特性からヒステリシスは認められず、サブスレショルドスロープは 69mV/dec であることから、良好な界面特性が実現できることを示した。作製した FET のゲート構造を確認するために透過電子顕微鏡 (TEM) による断面観察を行った。断面 TEM 像から、MoS_2 層、SAM/AlO_x ゲート絶縁膜、Al gate 電極が明確に確認でき、意図した構造になっていることを確かめた (Fig.2)。また、TEM から MoS_2 層の膜厚は約 45nm であることが分かった。またラマン分光の結果から、基板上に転写した MoS_2 はバルクの MoS_2 とまったく同じ特性を示すことを確認	

した。これは作製プロセスによる MoS_2 層へのダメージは、無視できるほど小さいことを示唆するものである。 I_d - V_g 特性と同様に、 C - V 特性にもヒステリシスは無いことを確認した。SAM ゲート絶縁膜の電気的特性を評価するために、Metal-Insulator-Metal(MIM)キャパシタも作製した。SAM/ AlO_x を用いた 2 層ゲート絶縁膜は、酸素プラズマによって作製した単層 AlO_x に比べて絶縁特性が優れていることを実験的に示した。一方、SAM/ AlO_x を用いた 2 層ゲート絶縁膜は、単層 AlO_x に比べて容量値は低下する。これは、2 層ゲート絶縁膜の場合は、絶縁膜の膜厚が厚くなるためである。



結論と今後の課題

SAM を用いたゲート絶縁膜を MoS_2 FET の作製に適用した。SAM を用いたゲート絶縁膜によって、低いゲートリーク電流を実験的に実証した。さらに、ヒステリシスが無くサブスレショルドスロープは 69mV/dec という良好な界面特性を SAM/ MoS_2 構造で実現した。SAM が低リーク電流と良好な界面特性に大きく寄与していることが分かった。本研究によって、SAM ゲート絶縁膜の有効性を示すことができた。また、SAM に関する基礎的な理解を得ることもできたと考えている。今後は、SAM の用途をゲート絶縁膜に限定するのではなく、素子作製のプロセスにも展開したいと考えている。

使用内訳書		
費 目	内 訳	金 額
備品 1		
備品 2		
消耗品	素子作製用マスク、研究用試薬、蒸着用ボート	499, 480
旅 費		
その他	外部期間分析依頼 (TEM)、論文投稿の英文校閲	200, 520
合 計		700, 000

記入上の注意：
備品は、品名ごとに記入。
差額が生じた場合は、消耗品で調整。
消耗品を購入しなかった場合は、経費の差額と補填した予算科目名を合計額の内訳欄に記入。