MoS₂ FET の電気特性を向上させるための熱処理プロセスの検討

Experimental Study on Annealing Processes for MoS₂ FETs

慶應大理工 電子エ¹, JST CREST²

^O佐野 宏亮¹, 足立 薫彦¹, 下川 慶久¹, 高橋 綱己^{1,2}, 内田 建^{1,2}

Dept. Electronics and Electrical Eng., Keio Univ.¹, CREST, Japan Science and Technology Agency² ^oKosuke Sano¹, Nobuhiko Adachi¹, Yoshihisa Shimokawa¹, Tsunaki Takahashi^{1,2}, and Ken Uchida^{1,2} E-mail: sano@ssn.elec.keio.ac.jp, uchidak@elec.keio.ac.jp

【目的】近年,原子層材料の二硫化モリブデン(MoS₂)が注目を集めている.MoS₂は原子層材料であり ながらバンドギャップを持つという特徴から,リークを抑制した低消費電力デバイスとしての応用が 期待されている.しかし,MoS₂トランジスタは移動度が低いということが問題となっている.移動 度の向上にはトランジスタの熱処理が効果的であると一般的に考えられており,熱処理がMoS₂トラ ンジスタの電気特性に与える影響に関する研究が行われている[1][2].しかし,MoS₂トランジスタの 電気特性を向上させるために最適な熱処理の条件に関しては必ずしも明らかになっていない.本研究 では,MoS₂トランジスタを作製し,異なる温度・雰囲気下(真空,窒素,フォーミングガス)での 熱処理を施し電気特性の評価・比較を行った.

【実験方法】Si 基板を酸化し 90 nm の酸化膜を形成した基板上に MoS₂を剥離・転写した.ソース・ドレイン電極として Cr/Au をそれぞれ 10/100 nm 蒸着した.その後, 裏面に Cr/Au をそれぞれ 10/100 nm 蒸着し, バックゲート型トランジスタを作製した.また,トランジスタ特性は真空中で測定した.

【結果】トランジスタの真空中での輸送特性を測定したところ、ゲート電圧の掃引によってヒステリ シスを生じていることが分かった.また、真空中において147℃の温度でトランジスタを2時間加熱 し、その後の輸送特性を測定した.その結果、図1のような結果が得られ、真空下での熱処理によっ て、ヒステリシスが消失し、また、トランジスタの立ち上がりが良くなるということが分かった.こ れは、真空中での加熱により、ヒステリシスの原因である MoS2 チャネル上の水分や酸素が脱離する ためだと考えられる.次に、ガス雰囲気下における熱処理が電気特性に与える影響について調査した. 熱処理に使用する気体として,窒素,窒素と水素の混合ガスである Forming Gas(FG)の2種類を使用 した.FG 中の水素濃度は4%である.表1の順にトランジスタの熱処理を行い,真空アニール後の輸 送特性を取得した.図2は、それぞれの熱処理後のトランスコンダクタンスを示したものである.こ の図より、200℃の窒素雰囲気下における熱処理によってトランスコンダクタンスが最大、つまり移 動度が最大となることが分かった.これは、トランジスタの作製プロセス中に基板上に付着するレジ ストなどの残留物が除去されるためだと思われる.一方,300℃で熱処理を行った場合は,真空アニ ールのみを行っている場合に比べて、移動度が低くなっており、また、しきい値電圧が負の方向ヘシ フトしていることが分かった.これは、300℃で MoS2 中の硫黄と FG 中の水素ガスが反応を起こし硫 化水素になることにより、MoS2 チャネルに硫黄欠陥を与えているのではないかと考えられる.硫黄 欠陥が散乱源となることから移動度の低下につながり、また、MoS2に対して電子を与えることが知 られている[3]ので、しきい値電圧のシフト方向とも一致する.

【結論】MoS₂トランジスタを真空中で加熱することにより、トランジスタの電気特性が改善すること が示された.200℃の窒素雰囲気下における熱処理により、トランジスタの移動度が最も向上するこ とが明らかになった.一方、300℃のFG 雰囲気下における熱処理では移動度が劣化した.

[1]H. Qiu et al., Appl. Phys. Lett., 100, (2012), 123104.

[2] S. D. Namgung et al., Nanoscale Research Lett., 10, (2015).

[3]W. Zhou et al., Nano Lett., 13, (2013), 2615.





表1 アニール処理の順番と条件

	使用ガス	温度	時間
1			
2	N_2	200°C	20 min
3	FG	200°C	20 min
4	N_2	300°C	20 min
5	FG	300°C	20 min