

p 型二硫化モリブデン TFT の硫化アニール処理

日大生産工(院) ○李 柯澄 日大生産工 清水 耕作

1. まえがき

OLED は現在主流の液晶ディスプレイと違い、LED バックライトを設置しない。各画素は n 型と p 型の薄膜トランジスタ (TFT) で発光素子を挟み電圧をかけることで光を発生させることができる。しかし、非晶質酸化物半導体の多くが n 型材料であるため、高精細 OLED を実現するには高移動度の p 型材料を求めるのが非常に重要である。

近年、遷移金属ダイカルコゲナイド (TMDs : Transition Metal Dichalcogenides) の一つである硫化モリブデン (以降 MoS_2) がその二次元的な性質、TMDs の中での広いバンドギャップを有し[1]、高移動度などの利点より、大きな注目を集めている[2]。単層または多層 MoS_2 は半導体機能として、エレクトロニクスやフォトニクスなどの様々な分野での応用を検討されている。

スパッタリングで成膜した非晶質 MoS_2 が p 型であることはよく知られている[3]。しかし、スパッタリング法を用いて成膜した MoS_2 薄膜には、硫黄抜けが発生することが分かっており、その欠損がドーパントとして働き、n 型キャリア密度を増加させ、膜面上にトラップを形成する。 MoS_2 には硫黄の抜けが発生することにより TFT の性能を低下させている。その影響を防ぐため、原子状酸素処理を施しデバイスの性能を向上させることに成功した。一方では移動度を向上させることができたが、OFF 電流が上がる結果となった。

本研究の目的は MoS_2 膜を硫化アニール処理で移動度が $50\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上を目指す。OFF 電流を下げて伝達特性を改善する。

2. 実験方法

2-1. 原子状酸素処理

RF スパッタリング法で成膜した MoS_2 に原子状酸素処理を行い伝達特性の測定をおこなった。原子状酸素処理の機構は図 1 に示す。

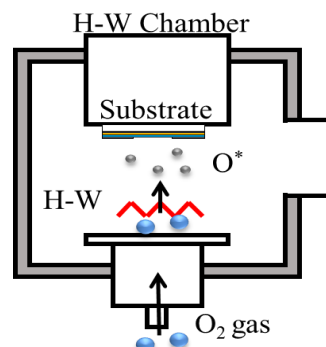


図 1 H-W による原子状酸素処理

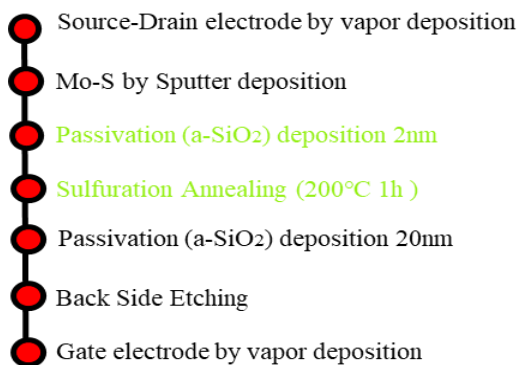
タングステンワイヤを用いたホットワイヤ法で原子状酸素処理を行った。

2-2 硫化アニール処理

硫化アニールは、硫黄粉末と素子を同じ炉で同時にアニールし、硫黄雰囲気化に素子を置くことで簡易硫化アニールを行う。

2-3 素子の構造及び作製プロセス

実験に使用される素子はシリコン基板の上に、スパッタリング法を用いて薄膜を作製した。実験用の素子作製の流れを図 2 実験用の素子の構造を図 3 に示す。

図 2 MoS_2 TFT の作製工程

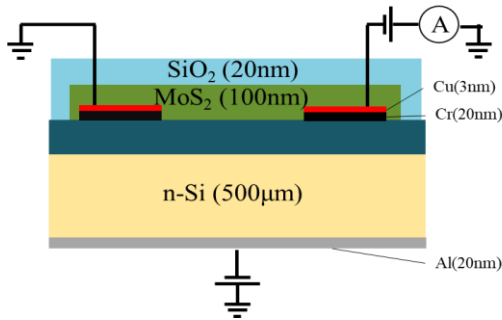


図3 MoS₂の素子構造

3. 実験結果および検討

3-1 原子状酸素処理による伝達特性

図4は大気雰囲気下で200°Cのアニール処理と原子状酸素処理を行い200°Cでアニール処理を行った素子のTFT伝達特性を比較する結果である。

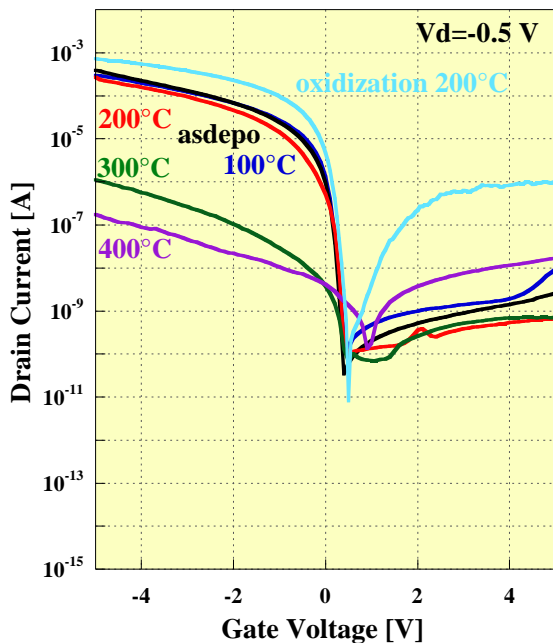


図4 原子状酸素処理した伝達特性

大気雰囲気下で 200°Cのアニール処理と原子状酸素処理を行い 200°Cでアニール処理を行った素子比較すると移動度が 51.42 cm²/Vs から 62.73 cm²/Vs に向上した。MoS₂内に酸素が入ることで移動度が増加した。原子状酸素処理により off 電流が高くなるため適切な酸素化の条件を検討する。

3-2 硫化アニール処理による伝達特性

先に述べたように、スパッタリング法を用いて成膜した MoS₂が S 抜けなどの欠損が存在するので、TFT の特性を改善するため、硫化アニール処理することで、硫黄欠陥の補填

を行う必要がある。200°C硫化アニールした TFT の伝達特性を図5に示す。

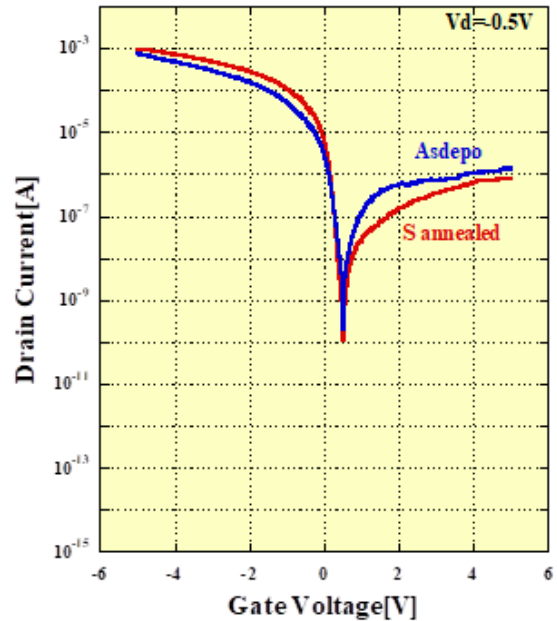


図5 硫化アニール処理した伝達特性

結果 3-1 の述べたように、200°Cの伝達特性が最も良いため、本実験では硫化アニールの温度を 200°Cに設定した。図6より、硫化アニール処理を行った素子の伝達特性は asdepo より良くなることが確認でき、移動度も 43.20cm²/ Vs から 54.94cm²/ Vs に向上が確認できた。S の抜けより MoS₂膜面上にはトラップを形成したため、n 型のキャリア密度を増加させた。S の補填より、MoS₂膜面上の S 欠損が減少され、伝達特性が良くなって、移動度が向上した。しかし、OFF 電流が10⁻⁶A と高い値であるため、OFF 電流を抑える条件を検討する必要がある。

3-3 保護膜あり硫化アニール処理による伝達特性

3-1、3-2の結果より、原子状酸素処理、通常の硫化アニール処理を施すことで、OFF電流が増加した。そのため、OFF電流を抑制する対策として、硫化アニール処理の工程を改善し、硫化アニール処理を行う前に、硫化モリブデン薄膜の上に約2nmの保護膜を成膜した。保護膜がある状態で硫化アニール処理を施したTFTの伝達特性を図7に示す。図7より、保護膜がある状態は硫化アニール処理よりOFF電流が抑えられ、10⁻⁶Aから10⁻¹⁰Aに下がった。

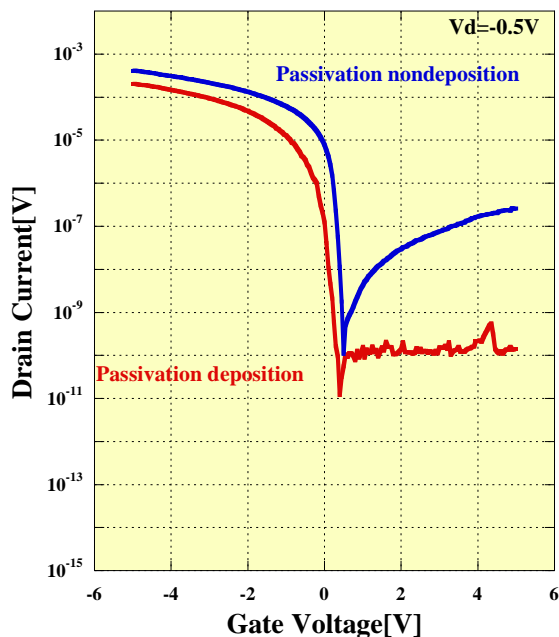


図 6 保護膜ありの硫化アニール処理した伝達特性

硫化アニール処理中では保護膜の役割が確認できた。OFF 電流の減少ができた理由について考察する。保護膜ある状態で硫化アニール処理を行う際に、S の分子または原子は保護膜の中で拡散して、MoS₂ 膜の S 抜けを補填する。そして、そとからの酸素が保護膜より硫化モリブデン半導体層と接触できないため、リーク電流の発生、バックチャネルの準位形成を阻止した。そこで、OFF 電流の減少ができた。それから、硫化アニール処理を行う前に堆積された保護膜の厚さが MoS₂TFT の伝達特性にどのような影響があるか調べた。図 8 より成膜時間 42 秒、膜厚 1nm の場合、最も良い伝達特性を得たことが分かった。

3-4 保護膜の膜厚、アニール温度による影響

硫化アニール処理における主なパラメータは二つがある。一つ目は硫化アニール処理する前に成膜した保護膜の厚さである。二つ目は硫化アニール処理の温度である。図 7 の結果は保護膜の厚さが 0.5nm、1.0nm、2nm、4nm に変化させて TFT 伝達特性を調べた。図 8 はアニール温度が 150°C、200°C、250°C、300°C、400°C、に変化させて TFT の伝達特性を調べた。結果によって保護膜の厚さが 2nm、硫化アニール処理が 200°C、1 時間での結果が最も良好な伝達特性が得られた。

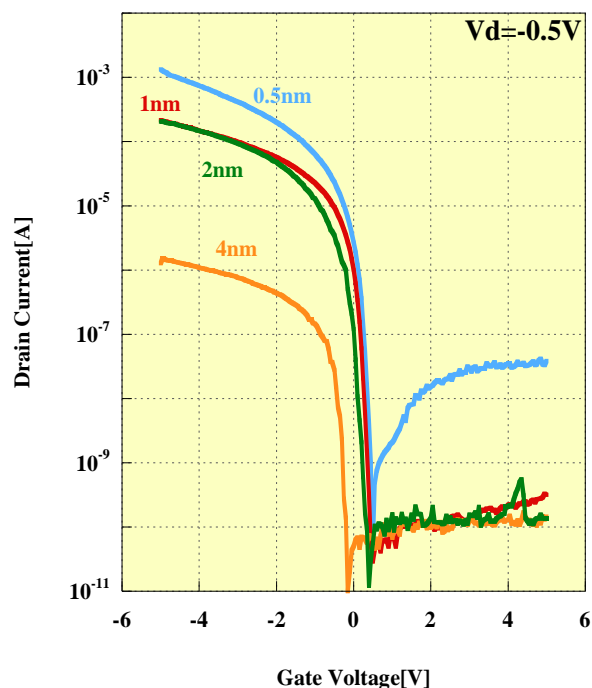


図 7 膜厚による伝達特性に及ぼす硫化アニール処理の影響

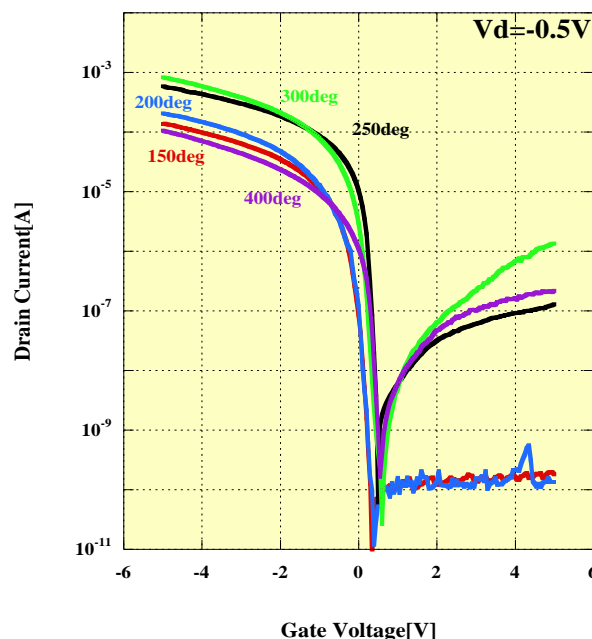


図 8 アニール温度による伝達特性に及ぼす硫化アニール処理の影響

4. まとめ

1. 伝達特性の向上を目的として硫化アニール処理を行った結果、移動度：43.20cm²/Vsから54.94cm²/Vsに向上した。また、OFF電流：10⁻⁶ Aから10⁻¹⁰ Aに低減させることができた。

2. 硫化アニール処理の結果より保護膜が2nm、硫化アニール処理が200°C、1時間でのTFTの性能が最も良かったことが確認された。

参考文献

[1] Shrestha Tyagi, Ashwani Kumar, Manoj Kumar, Beer Pal Singh,

Large area vertical aligned MoS₂ layers toward the application of thin film transistor, Materials Letters, Volume 250, 1 September 2019, Pages 64-67,

[2] 安藤 淳, 森 貴洋, 久保利隆, 化合物ナノシートのエレクトロニクス, 表面科学 Vol. 37, No. 11, pp. 527-534, 2016,

[3] Adam T. Neal, Ruth Pachter, and Shin Mou, P-type conduction in two-dimensional MoS₂ via oxygen incorporation, Appl. Phys. Lett. 110, 193103 2017