

MoS₂の電気伝導におけるAr⁺ビーム照射と 水素曝露の影響

山崎, 弘平 / YAMASAKI, Kohei

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学研究科編

(巻 / Volume)

65

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2024-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00030677>

MoS₂ の電気伝導における Ar⁺ ビーム照射と水素曝露の影響

EFFECTS OF Ar⁺ BEAM IRRADIATION AND HYDROGEN EXPOSURE
ON THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF MONO-LAYER MoS₂

山崎弘平

Kohei YAMASAKI

指導教員 高井和之

法政大学大学院理工学研究科応用化学専攻修士課程

In two-dimensional materials such as mono-layer MoS₂, the presence of defects affects molecular adsorption and electrical conductivity because all constituent atoms are present on the surface. Meanwhile, the electrical conductivity can be easily modulated by the adsorption of surrounding gases in mono-layer MoS₂. In this study, the effect of exposure to hydrogen gas on monolayer MoS₂, in which defects as adsorption sites were introduced by Ar⁺ beam irradiation in a well-controlled manner, was investigated by electrical conductivity measurements.

Key Words : MoS₂, Ar⁺ beam, vacancy, adsorption, hydrogen

1. 緒言

2次元系である単層 MoS₂ (1L-MoS₂) の電気伝導は電子キャリアにより担われており、パーコレーションパスの観点から欠陥の存在に敏感であるだけでなく、表面部位のみで構成されていることから分子吸着にも大きく影響を受ける。また欠陥は表面の並進対称性が破るため、気体分子の選択的な吸着サイトとなり得る。そこで欠陥を吸着サイトとして 1L-MoS₂ へ意図的に導入し、分子吸着を促進させることで電気伝導性を変調することにより、電子デバイス材料への利用に適した性質を付与できることが期待される。MoS₂ の欠陥種には S 欠陥, Mo 欠陥, MoS₆ クラスター欠陥がある [1]。1L-MoS₂ に欠陥を導入する方法として希ガスのイオンビーム照射が知られており、導入する希ガスの圧力, 加速電圧, 照射時間によって欠陥の量や種類が制御可能である [2]。本研究では Ar⁺ ビームの照射により欠陥を導入した 1L-MoS₂ へ水素ガス曝露を行った影響を電気伝導度測定で調べた。

2. 実験

2.1 電界効果トランジスタの作製と評価

MoS₂ は SiO₂ (285 nm) / Si 基板上にへき開法を用いて転写を行い、光学顕微鏡像の基板と試料のコントラスト比より層数を評価し、単層 (1L) であることを確認した。電界効果トランジスタ (FET) は電子線描画装置 (ELS-7500, Elionix) を用いて MoS₂ 上にソース(S)ードレイン(D)電極 (Cr: 1 nm, Au: 10 nm) を形成し、基板の裏側にバックゲート(G)電極 (Cr: 15 nm) を蒸着して作製した。

10⁻⁵ Pa 以下に排気した電子輸送測定用真空チャンバー内で、1L-MoS₂-FET デバイスのアニール処理 (150 °C, 5 h) を行い、放冷した後に室温まで下がってから S-D 電流 I_{SD} のゲート電圧 V_G 依存性 (伝達曲線) を S-D 電圧 V_{SD} を 0.1 V に固定して V_G を -50 V から 50 V の範囲で掃引させて測定した。電気伝導度は 2 端子および 4 端子法を用いて測定を行った。

2.2 MoS₂ への水素曝露

1L-MoS₂-FET デバイスのアニール処理後、真空チャンバー内に水素ガスを 10 kPa 導入して MoS₂ に 1-3 min 曝露させた (H₂ 1-3 min)。その後排気し、1L-MoS₂-FET の電気伝導度測定を行った。

2.3 欠陥導入 MoS₂ への水素曝露

真空チャンバー内で加速電圧 0.1 - 0.5 kV, ドーズ量 0.2 - 3 × 10¹³ ions · cm⁻² · s⁻¹ での Ar⁺ ビーム照射を行い、1L-MoS₂-FET の電気伝導度測定を行った (1st Ar⁺)。Ar⁺ ビーム照射後、真空チャンバー内に水素ガスを 10 kPa 導入して MoS₂ に 1 min 曝露させた (1st H₂)。その後排気し、1L-MoS₂-FET の電気伝導度測定を行った。同様の Ar⁺ ビーム照射と水素曝露をもう一度繰り返し、それぞれ電気伝導度測定を行った (2nd Ar⁺, 2nd H₂)。

3. 結果・考察

3.1 MoS₂ への水素曝露による電気伝導度の変化

Fig. 1 にアニール処理後 (Anneal) の 1L-MoS₂-FET へ水素曝露 (H₂ 1-3 min) した際の伝達曲線を示す。閾値電圧 V_{TH} は FET が ON 状態となり、I_{SD} が急激に増加し始める

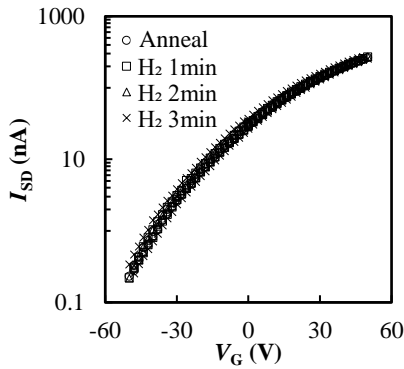


Fig. 1 V_G dependence of I_{SD} for H_2 adsorption after FET anneal

転換点の V_G である。アニール処理後の水素曝露では V_{TH} が $-1 - 0.01$ V シフトしていることがわかる。デバイス作成時に生成された欠陥のみ水素が吸着するため V_{TH} シフトがほとんど起こらなかったと考えられる。

3.2 Ar^+ ビーム照射と水素曝露による電気伝導度の変化

Fig. 2 に 100 eV の Ar^+ ビーム照射前後と水素曝露後の伝達曲線を示す。 Ar^+ ビーム照射前後で V_{TH} は -15 V シフトを示した。S 欠陥で生じた隣接 Mo 原子の不飽和電子が MoS_2 に電子を与えるため [3]、この電子ドープ側へのシフトは、 Ar^+ ビーム照射で生成された S 欠陥によるものと考えられる。欠陥導入後の水素曝露では 4 V の正方向の V_{TH} シフトを示した。これは欠陥を導入した MoS_2 に水素を暴露するとホールドープを生じる Mo-H 結合を持つ欠陥が形成され [4]、 $1L-MoS_2$ 中の電子キャリアが減少したためと考えられる。

3.3 異なる加速電圧による Ar^+ ビーム照射と水素曝露による電気伝導度の変化

Fig. 3 に 500 eV の Ar^+ ビーム照射前後と水素ガス曝露後の伝達曲線を示す。 Ar^+ ビーム照射後の I_{SD} 値が大きく減少し、水素曝露後にさらに I_{SD} 値が減少していることがわかる。

また、Fig. 4 に異なる加速電圧での Ar^+ ビーム照射後に水素曝露処理を行った前後における MoS_2 -FET の閾値電圧と移動度の変化量 ΔV_{TH} , μ/μ_0 を示す。 100 eV と 500 eV で

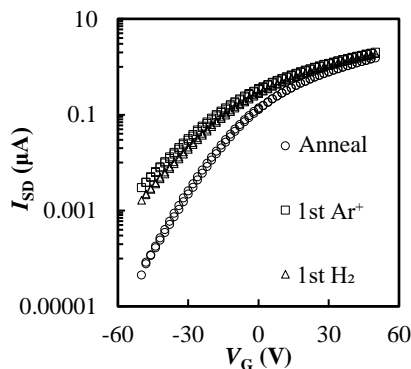


Fig. 2 V_G dependence of I_{SD} for H_2 adsorption after Ar^+ irradiation at $V_A=100$ V

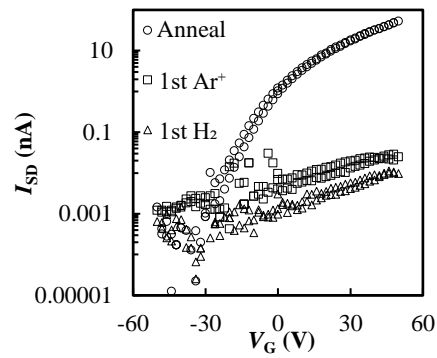


Fig. 3 V_G dependence of I_{SD} for H_2 adsorption after Ar^+ irradiation at $V_A=500$ V

のアニール後の Ar^+ ビーム照射後の ΔV_{TH} はそれぞれ -15 V と -23 V であり、 500 eV の照射では移動度が大きく低下している。 V_{TH} の負のシフトは欠陥の導入によって電子ドープされたことを示し、移動度の低下は欠陥が大量に入ったことによるキャリア散乱の増加を示している。 $2nd$ Ar^+ ビーム照射と水素曝露では $1st$ Ar^+ ビーム照射と同じシフト傾向を示している。 $2nd$ Ar^+ ビーム照射でさらなる欠陥導入が起こり、水素吸着によりホールドープを生じる欠陥構造が $1L-MoS_2$ 内でさらに形成されていることがわかる。

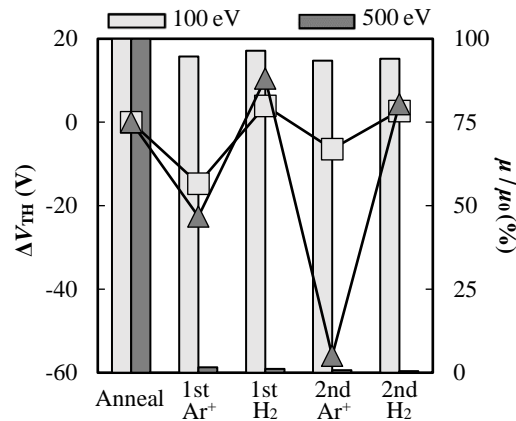


Fig. 4 Change of ΔV_{TH} (line) and mobility μ/μ_0 (bar) of MoS_2 upon Ar^+ irradiation and H_2 exposure

4. 結言

Ar^+ ビーム未照射の $1L-MoS_2$ に水素曝露をすると伝達曲線に変化が見られなかった。一方で照射後の $1L-MoS_2$ への水素曝露ではホールドープが確認された。 Ar^+ ビーム照射によって吸着サイトとなる欠陥が新たに導入され、水素吸着が促進されたことを示唆している。また、加速電圧を増やすことで多くの欠陥が導入され、水素の吸着がより促進されることを示唆している。

参考文献

- [1] 横田弘樹, 法政大学, 卒業論文 (2017).
- [2] Y. Zhao *et al.*, *Nuclear Inst. Methods in Phys Res. B* (2023).
- [3] Qiu, H., *et al.*, *Nat. Commun.*, **4**, 2642 (2013).
- [4] S.Han *et al.*, *PCCP*, **21**,15302 (2019).