

光電流スペクトルを用いた MoS_2 単層膜における誘電遮蔽効果の解明

Dielectric screening effect in monolayer MoS_2 revealed by photocurrent spectrum

千葉大院理 荒居 誠也、梶野 祐人、音 賢一、山田 泰裕

Chiba Univ. Masaya Arai, Yuto Kajino, Kenichi Oto, and Yasuhiro Yamada

E-mail: masaya@chiba-u.jp

遷移金属ダイカルコゲナイド MX_2 ($\text{M} = \text{Mo}, \text{W}$; $\text{X} = \text{S}, \text{Se}$) 単層膜は、グラフェンに類似した結晶構造を持つ理想的な 2 次元半導体である。 MX_2 は結晶構造に由来した強い 2 次元性によって大きい励起子束縛エネルギーを持ち、バンド端の光学特性は励起子が支配している。また、 MX_2 では高い表面積比から周囲の環境に敏感であり、最近では外部誘電率を用いた誘電遮蔽効果による物性の制御（クーロンエンジニアリング）が注目されている。 WS_2 単層膜においては高次の励起子遷移から励起子束縛エネルギーとバンドギャップエネルギーの両方を推定することで誘電遮蔽効果による光学特性制御が報告されている[1]。しかし、 MoS_2 単層膜においてはより高エネルギー側の励起子遷移の影響により反射スペクトルを用いた一般的な方法ではバンドギャップを正確に決定できず、外部誘電率によるバンド端構造の変化を正確に評価することは困難であった。

そこで、本研究では励起子共鳴エネルギーとバンドギャップエネルギーを決定する手法として光電流に着目した。電気的に中性な励起子は光電流に寄与しない一方、バンド間励起によって生じる自由キャリアが光電流として強く検出されるため、光電流スペクトルにはバンド間遷移の寄与が強く現れると期待される。従来の金属電極ではショットキーバリアの影響により、低温における光電流スペクトルの測定は困難であったため、 MoS_2 単層膜と金属電極の間にグラフェンを挟むことで、ショットキーバリアを大幅に軽減した。本研究では、数層グラフェンを電極として用いた MoS_2 単層膜の低温における光電流スペクトルを測定し、誘電率の異なる基板を用いることで誘電遮蔽効果によるバンド端エネルギー構造の変化を解明する。

MoS_2 天然結晶から金剥離法[2]を用いて作製することで大面積の MoS_2 単層膜を作製し、AFM による単層膜の同定を行った。PMMA を用いたウェットプロセス[3]による転写によって MoS_2 単層膜と金属電極の間に数層グラフェンを挟み、低温での電気伝導測定を行った。また、光電流によるバンド端構造の解明のため波長可変レーザーを用い、ロックイン検出を行うことで光電流スペクトル測定を行った。

実験の結果、グラフェン電極における活性化エネルギーは Au/Ti 電極に比べ 1 桁以上小さくなり、ショットキーバリアの大幅な軽減がみられた。光電流スペクトルでは Si/SiO₂、Al₂O₃、SrTiO₃ 基板上に作製した MoS_2 単層膜において 120K において A 励起子、B 励起子吸収に加え、バンドギャップエネルギー付近に構造がみられた。講演では光励起電子の生成モデルと合わせ外部誘電率によるバンド端構造の変化について報告する。

参考文献 [1] A. Raja *et al.*, Nat. Commun. **8**, 15251, (2017). [2] S. B. Desai *et al.*, Adv. Mat. **28**, 4053-4058 (2016). [3] T. Roy *et al.*, ACS nano **8**, 6259-6264 (2014).