

## 外部誘電率を利用した単層 MoS<sub>2</sub> の光学特性制御

Control of Optical properties in monolayer MoS<sub>2</sub> by external dielectric constant

千葉大院理 小山 星児, 梶野 祐人, 荒居 誠也, 山田 泰裕

Chiba Univ. Seiji Koyama, Yuto Kajino, Masaya Arai, and Yasuhiro Yamada

E-mail: seiji\_koyama@chiba-u.jp

代表的な遷移金属ダイカルコゲナイドである二硫化モリブデン (MoS<sub>2</sub>) はグラフェン同様の層状物質である。その単層膜は理想的な2次元半導体であり、偏光保存性やバレー自由度などのユニークな特性を持つことから、近年注目されている。単層 MoS<sub>2</sub> は大きな励起子束縛エネルギーを持っているため、室温においても励起子および荷電励起子 (トリオン) が安定に存在し、このためバンド端近傍の光学特性は励起子とトリオンに支配されている。

構成原子がすべて表面に存在する単層物質では、その物性は必然的に周囲の環境、特に誘電率に敏感である。特に、励起子束縛エネルギーは誘電率の二乗に反比例することから、外部誘電率により MoS<sub>2</sub> の実効誘電率が変化すれば、励起子特性の変化を通して光学特性を制御することが可能になると期待される。実際、有機溶媒中に分散させた MoS<sub>2</sub> 単層膜の発光ピークエネルギーが、溶媒の誘電率とともに高エネルギー側にシフトすることが報告されている[1]。これは、光励起によって生成した電子-正孔間のクーロン相互作用が誘電遮蔽効果によって減少するためと解釈されている。しかしながら、有機溶媒は誘電率が 1.89~32.6 程度と小さいため、発光ピークエネルギーのシフトも高々 30meV 程度と極めて微小であった。本研究では、誘電遮蔽効果による巨大な光学特性変化の実現のため、巨大な誘電率を有する酸化物基板上に MoS<sub>2</sub> 単層膜を作製し、発光測定によりその光学特性を評価した。

本研究では、MoS<sub>2</sub> 単層膜は剥離法により作製した。基板には、Si/SiO<sub>2</sub> 基板、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基板、LiTaO<sub>3</sub> 基板、KTaO<sub>3</sub> 基板、SrTiO<sub>3</sub> 基板を用い、紫外線オゾン洗浄処理および有機超酸(TFSI)薬品処理[2]により発光効率の改善を行った。また、MoS<sub>2</sub> 単層膜試料のサイズが~10 μm 程度と小さいため、顕微鏡下での空間分解分光を行った。

実験の結果、誘電率の小さい Si/SiO<sub>2</sub> 基板 ( $\epsilon=3.2$ ) 上に作製した単層 MoS<sub>2</sub> では文献値の通り 1.88eV に励起子由来の発光ピークが観測され、基板の誘電率が上がるとともに発光ピーク位置が低エネルギー側にシフトした。最も誘電率の高い SrTiO<sub>3</sub> ( $\epsilon=310$ ) 基板上の単層膜では発光ピーク位置が 1.83eV であり、これは Si/SiO<sub>2</sub> 基板におけるトリオン発光ピーク (1.85eV) より低エネルギーである。したがって、このようなピークシフトが励起子からトリオンへのクロスオーバーによるものではないと結論できる。この結果は、外部誘電率による誘電遮蔽効果によって単層 MoS<sub>2</sub> の光学特性を制御できたことを示唆している。しかし、誘電遮蔽効果による励起子束縛エネルギーの減少とトリオン/励起子発光強度比の減少を考慮した単純なモデル (文献[1]参照) では、本実験結果を定性的にも説明できない。発表ではこの原因についての考察を結果と合わせて報告する。本研究の一部は、科研費 (15K17678) の支援による。

[1] Y.Lin *et al.*, Nano Lett. **14**, 5569–5576 (2014). [2] M. Amani *et al.*, Science **350**, 1065-1068 (2015).