

その場観測プラズマ原子置換法による TMD ヤヌス化反応における気相内 活性種効果の解明

Effects of gas-phase reactive species on formation of Janus TMD revealed by in-situ
monitoring plasma atomic functionalization

東北大院工¹, (株)KOKUSAI ELECTRIC², [○]中條 博史^{1,2}, 青木 颯馬¹, 岩本 祐汰¹, 金子 俊
郎¹, 加藤 俊顕¹

Tohoku Univ.¹, KOKUSAI ELECTRIC Corp.², [○]Hiroshi Nakajo^{1,2}, Soma Aoki¹, Yuta Iwamoto¹,
Toshiro Kaneko¹, Toshiaki Kato¹

E-mail: hiroshi.nakajo.b2@tohoku.ac.jp

遷移金属原子を 2 つのカルコゲン原子で挟み込んだ 2 次元材料である遷移金属ダイカルコゲナ
イド (TMD) は、主に次世代光電子デバイス用材料として大きな注目を集めている。上下面が同
種のカルコゲン原子で構成されるのが一般的な TMD であるのに対し、近年上下面が異種のカル
コゲン原子で構成されるヤヌス TMD が発見された。面直方向に自発的に分極が生じる本材料は、
従来 TMD には無い新物性発現が理論的に予測されており大きな注目を集めている。しかしなが
ら、ヤヌス TMD の合成機構は不明であり、高品質化に向けた大きな課題となっている。そこで
本研究では、原子置換反応中の光学スペクトルを直接計測可能なその場観測ヤヌス化装置を開発
した。さらに、同装置に四重極質量分析器(Q-mass)を組み込むことで、ヤヌス化反応中の気相内
の活性種計測も同時に行える機構とした。

TMD 試料として、機械剥離法により準備した単層ニセレン化タングステン(WSe₂)を用いた。ヤ
ヌス化反応は、硫黄粉末を配置したマイルド水素プラズマを室温下にて WSe₂ に連続的に照射す
ることで行った。ヤヌス化反応はラマン分光法と蛍光発光(PL)分光法をリアルタイムで計測・評
価することで判別し、その際の気相活性種は Q-mass で計測した。

Q-mass 計測の結果、マイルド水素プラズマにより、気相内に硫黄の水素化物 (SH, SH₂) と酸
化物(SO, SO₂)が生成されることが明らかとなった。SH 系に対して SO 系が十分少ない場合は高品
質のヤヌス TMD が創製された(Fig.)。一方 SH 系に対して SO 系が過剰となる場合、ヤヌス化反応
は行われるものの、PL 強度が徐々に減衰
することが明らかとなった。これは、過
剰の SO 系活性種によって、ヤヌス化し
た最表層の S が酸化され再脱離した効果
と考えられる。以上の結果から、高品質
のヤヌス TMD 創成において SH と SO 系
活性種のバランス制御が重要であること
が明らかとなった。

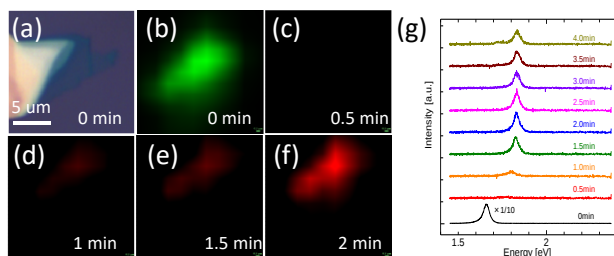


Fig. Typical (a) optical microscope and (b-f) PL mapping image of WSe₂ measured by in-situ monitoring plasma atomic functionalization. (g) Time evolution of PL spectra during Janus reaction.