

第二次高調波発生による二次元半導体材料の高精度結晶方位評価

High-precision crystal orientation evaluation of two-dimensional semiconductor materials by second harmonic generation.

○清水 歩, 茂木 裕幸, 嵐田 雄介, 吉田 昭二, 武内 修, 重川 秀実 (筑波大学)

○Ayumi Shimizu, Hiroyuki Mogi, Yusuke Arashida, Shoji Yoshida, Osamu Takeuchi, Hidemi Shigekawa (Univ. of Tsukuba)

近年、遷移金属ダイカルゴゲナイド(TMDC)二次元半導体が、Si に匹敵する移動度を有することや単層で直接遷移型のバンド構造を持つと共に、励起子特性が強く発現すること等から光-物質相互作用が強く生じるため、デバイスなどへの応用が期待されている。

TMDCは化学的に安定であり、機械的剥離法による単層の剥離やその転写が容易である。このTMDCの単層やグラフェンなどの二次元物質同士を重ねたヘテロ接合は、モアレ超格子構造と呼ばれる長周期の格子構造をつくる。この構造によりバンド構造が変化し、光電子特性等に影響を与えることが知られている。たとえば、WSe₂とMoSe₂からなるヘテロ接合は、モアレによる電子状態の変化や、励起子の量子閉じ込めの発現やそれに伴う光学特性の変化などが報告され、積層角度を変化させることにより特性をチューニング可能なことが最大の特徴である[1]。

また、TMDCは空間反転対称性が破れているため、光パルスを照射することにより第二高調波発生(second harmonic generation, SHG)が可能である。第二次高調波(SH光)強度の結晶軸に対する偏光依存性を調べることで、結晶の配向方向を測定できることが知られている。先行研究の一例では、精度は±1.12°程度である[2]。より高精度に結晶格子の配向を決定することができれば、重ね合わせる二次元半導体の格子の角度を自由に選択することができ、さまざまな光学・電気特性をもつ半導体ヘテロ構造を作製することができる。

本研究では、光学系の改善を行い、SH光強度の測定による単層MoS₂試料の結晶方位の決定をより高精度に行った結果を報告する。

Fig.1に今回作成した光学系を示す。入射光強度変調に電氣的にタイミングを制御するポッケルスセルを用いてロックイン検出を行うことで、測定精度を改善した。

波長800nm, レーザーパワー密度11.0mW/μm²でレーザーを単層MoS₂試料に照射しながら、入射光の偏光方向に対する試料角度のSH光強度依存性を測定し、フィッティングを行った。その結果をFig.2に示す。結晶のアームチェア方向を示す角度θのフィッティング誤差は0.017°であり、先行研究の誤差±1.12°に比べ50倍程度

小さくなった。また、試料上同一点で三回測定を行い、再現性を確かめた。その結果、θの誤差は±0.028°の範囲内であり、再現性も確かめることができた。

これによって、従来方法より高精度な結晶方位決定に成功した。これにより今後、ヘテロ接合の積層角を正確に制御することが可能となり、積層角度と特性の対応を、より詳細に明らかにすることが期待される。

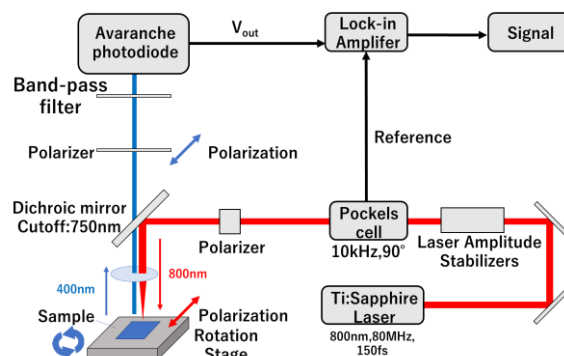


Fig. 1 本研究で構築した光学系

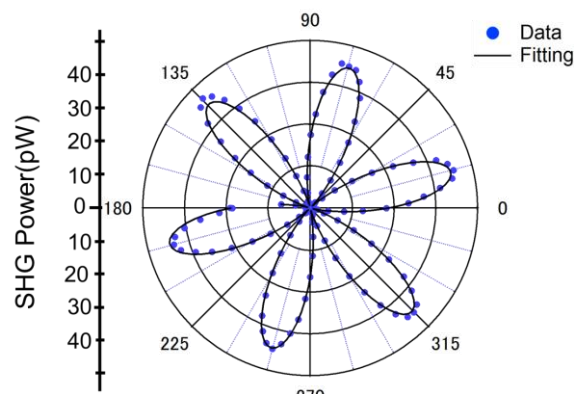


Fig. 2 SH光強度の試料角度依存性

参考文献

- 1) K. Tran et al., "Evidence for moiré excitons in van der Waals heterostructures," Nature, vol. 567, no. 7746, pp. 71–75, 2019.
- 2) S. N. David et al., "Rapid, all-optical crystal orientation imaging of two-dimensional transition metal dichalcogenide monolayers," Appl Phys Lett, vol. 107, no. 11, p. 111902, 2015

P-