

2次元遷移金属カルコゲナイド結晶の高品位化に向けた調査研究

概要

グラフェンを初めとする2次元電子系物質の研究が国内外で活発に進められているが、MoS₂等の遷移金属カルコゲナイド(以下TMDC)は半導体であるため、応用面で特に重要な研究対象である。しかし、既存の気相合成法により得られているTMD系ではキャリア移動度が低く、その改善が課題である。

本調査研究では、高圧、高温下でTMDC結晶の分解を抑制しつつ融解-再結晶することにより良質結晶を合成し、その特性を明らかにする。

目的

層状TMD結晶は新奇物性に加えて、高いキャリア移動度や良質な半導体特性が理論的に期待されているものの、現状では10²cm²・V⁻¹・sec⁻¹程度の低い値にとどまっている(グラフェンは10⁴cm²・V⁻¹・sec⁻¹以上)。現状の気相合成法では数百ppmオーダーのアニオン欠損(二硫化モリブデン中の硫黄の欠陥など)が生じやすく、その改善が課題である。本研究では結晶品質を向上させることで、TMD結晶のキャリア移動度向上の可能性を調査する。

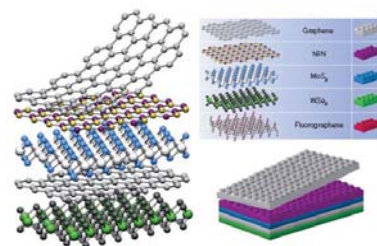
具体的には、高圧、高温下でsやSeの分解、蒸発を抑えた上で、一致熔融状態からの除冷法により単結晶を合成し、そのキャリア移動度等を評価する。対象物質群としては、MoS₂、MoSe₂、MoTe₂、WS₂、WSe₂等のTMD(合金系)を中心に進める。

本研究において、高品質単結晶合成の前提となる高圧下での圧力-温度相図は、TMD系においてはほぼ未知であり、最適な合成条件を策定する上で高圧、高温下でのTMD結晶の融解条件を明らかにする必要がある。

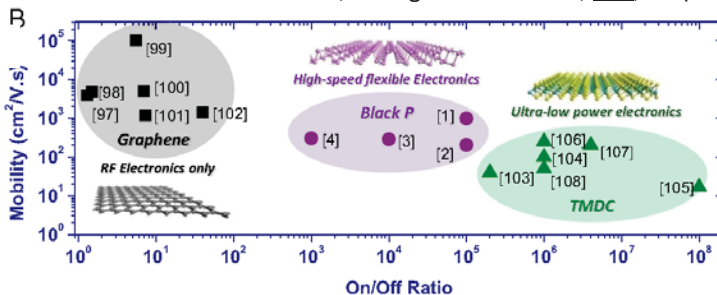
参加各機関が連携することで、課題である高圧下でのP-T相図の作成、単結晶合成、結晶性の評価、並びに、デバイスの基礎物性(キャリア移動度)評価を相互補完的に進める。

研究実施内容、連携体制

2次元電子系デバイス

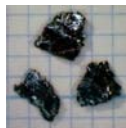


A.Geim,I.V.Grigorieva, Nature, 499,419(2013).



X.Linga et al.,PNAS, 112,4523(2015).

黒鉛結晶



グラフェン
μ ~ 10⁴ cm²/Vs
デバイス化しにくい

黒リン
E_g = 0.3 eV
μ ~ 10³ cm²/Vs
酸素、湿気に弱い



黒リン結晶



KEK: 亀卦川班
温度-圧力相図、
融解曲線を調査

NIMS: 谷口班
高温高圧下で
単結晶を合成

TMDC系
E_g = 1.7 eV
μ ~ 10² cm²/Vs



高圧合成したMoS₂結晶

MoS₂, WS₂, MoSe₂,
WSe₂, MoTe₂等

天然結晶、気相合成試料には各種欠陥がある



筑波大: 松石班
単結晶のラマン散乱、
発光測定
点欠陥、局所構造等の評価

産総研: 藤久班
結晶性の評価
新相構造解析

東大: 長汐班
単結晶から原子薄膜
デバイスを作成
移動度等の電気物性評価

移動度の高い良質なTMDC結晶を合成し、実用デバイス化の可能性を探索