

令和3(2021)年度学術変革領域研究(A)

2.5次元物質科学：
社会変革に向けた物質科学のパラダイムシフト

公募班メンバー特別対談 13

A01班

物質創製班 公募研究

(ハイレントロピー遷移金属ダイカルコゲナイドの創製と物性開拓)

平井 大悟郎

A02班

集積化班 公募研究

(材料次元性の異なるナノシート結晶の積層・集積と機能開発)

菅 大介

公募班にご応募された理由を教えてください。

菅 我々は原子レベルに近い薄膜結晶を、基板の原子の並びに合わせて結晶成長させており、その土台ありきの薄膜結晶を長いこと研究してきました。二次元材料はどこにでも重ねることができる、転写できるという大きなメリットがあります。二次元材料のようなことを我々の薄膜試料でもやりたいと思う中で、薄膜結晶を基板から剥がす取り組みを始めました。すると、これまでは難しいと考えられてきた、薄膜結晶で二次元材料のように自在に重ねる可能性が見えてきたのです。そのため他の材料と組み合わせる好機になると考え、今回の応募につながりました。

平井 私はこれまでバルクの3次元の物質を扱っていたので、二次元材料には縁がありませんでした。最近では5種類以上の元素が大体等しい割合で固溶したハイレントロピー化合物*という、新しい物質群を扱っています。その中でも金属と絶縁体の真ん中あたりを狙って研究を進めています。そこを狙うと候補として考えられる陰イオンがいくつかあり、その中には遷移金属カルコゲナイドで使われているカルコゲナイドが挙げられます。遷移金属カルコゲナイドは二次元材料でも頻繁に用いられているもの。そこで、それら元素でハイレントロピー化合物を作製したら面白いのではないかと考えています。

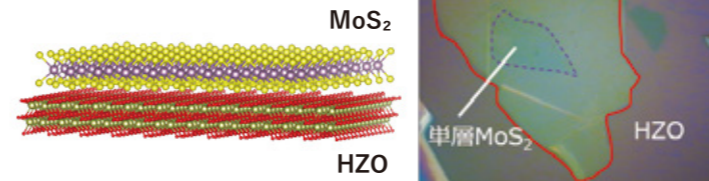
このハイレントロピー化合物はまだ新しい物質群で研究している人が少ない分野です。金属から始まり、次に酸化物で見つかっていますが、どんなことが起こるか全然わかりません。バルクでも未知の部分が多いのですが、薄片化や単層、ヘテロにすることで、さらに予測できないことが起こる可能性があり、それらに挑戦したいと考えています。

これまで進めてこられた研究についてお伺いしたいです。

菅 はじめは酸化物のエピタキシャル成長、その後コンビナトリアルをやりたくなり、日本でも可能でしたが環境を変えたいと思いアメリカに行きました。3年程研究して、知りたかったことを掴めたところで帰国。その後はまた京都に戻り、はじめと同じ酸化物を作りますが、通常着目されている遷移金属ではなく、あまり見られていない方の酸素に着目し、界面の構造を調べるなど進めていきました。現在の主要な研究は酸化物のエピタキシャル薄膜という、単結晶が規則的に並んだ薄膜の研究になります。この取り組みを進める一方で、土台の結晶構造にとらわれない薄膜作りがしたいという思いから、薄膜を剥がす試みを始めました。現在では薄くても強誘電分極という電荷がたまるような材料、主にハフニウム化合物を扱っています。これは蛍石構造の HfO_2 などをベースにした薄膜で、準安定相を作り出して強誘電性が出るような材料に着目し進めています。思うがままに進んでいますが、いろいろと研究して考えあぐねたときの悩みが何か最先端のものに繋がっているように今では思っています。どう転ぶかわかりませんが、そのようなことを大切にしています。

平井 アメリカのどちらに行かれていたんですか？

菅 メリーランドの竹内一郎先生のところでした。日本でも研究できましたが、場所や視点を変えたくて。みんなで一斉に同じ方向に進みたくないというか(笑)。一緒にいたいけれども微妙に変えたい、みんなと違うけれどもメインストリームに片足を残したいという。2.5次元でも王道への憧れがありますが、自分は少し違う方からアプローチして関わりたい、そんな風に思っています。

ハフニウム二次元強誘電体($\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$, HZO)と二次元材料(MoS_2)の積層・顕微鏡写真とモデル図(菅)

平井 僕もみんなと一緒にすることはやりたくないというのはよくわかります。あまりに離れると誰も相手にしてくれないから難しいですよ(笑)。

菅 そうですよ(笑)。そうは言いながらも、アメリカでは当時流行っていた BiFeO_3 にドーパントを変えて強誘電性の変化を調べることを進めていて、メインストリームだったわけですが、でも日本ではあまり盛り上がりがないように感じ、国によってテーマの温度差があることを実感しました。平井さんが研究対象とされているハイレントロピー化合物はアメリカでしょうか？海外発ですよ(笑)。

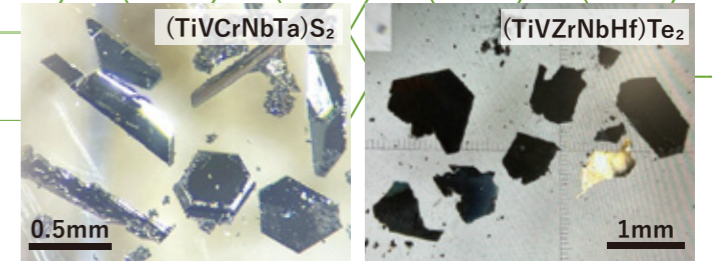
平井 台湾とイギリスのグループが最初で、今では全世界で研究されています。私も菅さんとオリジンが似ていて、遷移金属化合物の電子物性を研究してきました。修士までは遷移金属化合物の高圧合成を行っていましたが、博士過程から扱う金属の種類を変えて、周期表で鉄、銅などの下に位置する重い元素へ変換しました。その時期は鉄ニクタイト超伝導体(LaFePO)の発見があった頃で、その流れの中、とある機会に鉄ニクタイト超伝導体と同じ結晶構造に重い金属元素を合わせて、イリジウムの化合物を作りました。調べてみると、その化合物が超伝導を示したのです。その後はイリジウム化合物について研究し、さらにイリジウム以外にも対象を広げ、白金族元素を扱っていきました。白金族は一見反応性が悪そうですが、実際は酸素と反応させると様々な化合物ができ、新しい物質もできるため面白く、ずっと続けているテーマの1つになっています。その後は環境の変化に応じて、薄膜装置の立ち上げと研究に関わったり、レニウムとの出会いがあったりしました。

ハイレントロピー化合物を始めたのは、名古屋大学に移った時からです。菅さんと同じで私もメインストリームに片足を入れつつ、ちょっと違うことをやりたかったので、新しい取り組みとして始めました。ハイレントロピー化合物は世界中でもとても流行っている分野です。その中でもみんながやっている合金や酸化物ではなく、ちょっと毛色の違うものを進めています。

本領域の印象を教えてください。

菅 非常に手厚くて、領域内で一体となって活動してる雰囲気がよく伝わってきます。

平井 とてもフレンドリーだと感じています。領域会議では初めてお会いする方ばかりでしたが、懇親会でも多くの方に声をかけていただきました。「さん付けキャンペーン」など、さまざまな工夫の効果かなと思います。



育成したハイレントロピーTMDの単結晶(平井)

領域内でどのような研究を進めていきたいですか？

菅 自分の作っている物質と、今まで知らなかった物質を融合させるとどんなことが起きるのが知りたいですね。何の材料との組み合わせがよいか、どのように重ねるかなど、わからないことが多いので、少しずつでも進めていきたいです。実は先日、松田さんのところで試してみたのですが、ファンデルワールス結合が弱すぎるという問題が分かりました。これからどうしようかと……。しかしこれも試行する中で分かったことの1つなので、なんとか次につなげたいです。二次元材料の分野は積層や自由に組み合わせるなど、先駆的な研究や方針を多く出していて、そのように二次元材料でしかできなかったことを薄膜や他の材料に展開することがこれからの課題だと思っています。うまくいかなかった事柄からもポジティブマインドで何かを掴んでいきたいです。

平井 私は電子物性にとても興味を持っています。ハイレントロピー化合物における電子の振る舞いは、従来の物質と全く異なるはずなので、電子分光専門の方と一緒に研究したいと希望していました。そのため坂野さんとの共同研究が始まるころです。またSTMを専門とする方も一緒に進めたいと考えています。他にも、触媒活性の視点から調べてみましょうと高橋さんからお声がけいただいたり、蒲江さんとデバイスの共同研究をさせていただいたり、いろいろな方に助けていただいています。このような広がり嬉しく、本当に楽しいです。

*ハイレントロピー化合物:カクテル効果と呼ばれる、混合前の個々の物質の性質を単純に足し合わせただけでは説明できない優れた性質を示すことから大きな注目を集めている物質群。例えば、従来材料を超える機械強度や超イオン伝導性、高い触媒活性を示すことが報告されている。

Interviewees

平井 大悟郎
名古屋大学
工学研究科
准教授菅 大介
京都大学
化学研究所
准教授

(活動班順 敬称略)

ライター：柏田 百代(広報担当)

領域ホームページ <https://25d-materials.jp>

(ニュースレター公開日:2024年12月23日)