

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

共同研究・国際連携で広がる 2.5次元物質科学

AO4班

物性開拓班 研究分担者
国際連携支援・共同利用拠点運営
(シリセンなど単一組成原子膜と複層化による新奇電子物性創出)

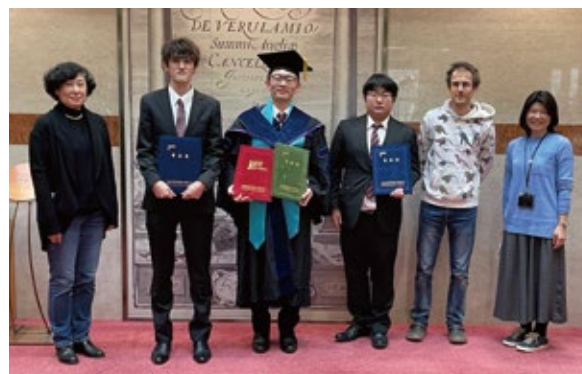
高村(山田) 由起子

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科先生が進めていらっしゃる研究について
教えてください。

高村 私たちの研究室では薄膜や二次元材料を研究しています。成果の中で有名なものはシリセンです。シリセンはグラフェンの炭素原子をケイ素に置き換えた、蜂の巣状の結晶構造をもつ物質で、1994年ぐらいに理論計算でこういうものができてもおかしくないと予想されていました。このシリセンについて、理論の論文はとてたくさんありましたが、実験でできたという報告は2012年の我々やエクス=マルセイユ大学(仏)のGuy Le Lay先生などの論文が初めてと言われてます。このシリセンの発見ですが、作ろうと思ってできたのではなく、できているのを発見したというのが実際の経緯です。元々シリコン基板の上に二ホウ化ジルコニウムを成長させる研究を進めており、その過程で薄膜の表面構造を走査トンネル顕微鏡(STM)で見っていました。そこで見えたのは想定と異なる構造でした。STMは電子状態の分布を見る顕微鏡で、そこにどんな元素があるのかは分からないもの。そこでいろいろな人と共同研究をしながら、その表面の謎を解いていくうちに、基板から拡散してきたケイ素原子がこの薄膜上に蜂の巣構造をつくっているということが分かり、大発見につながりました。

シリセンとは、どのような材料でしょうか？

高村 シリセンはとても期待値の高い材料です。グラフェンと同じような性質を持つことが電子状態から予見されていて、さらに我々が到達できる程度の低温で2次元トポロジカル絶縁体*1になるという予測もあります。しかし理論で扱われているシリセンは、基板上ではなく真空中に自立したものです。現実世界でシリセンを作ると



修了する学生さんと

基板との相互作用があり、理論で予言されているような性質をなかなか発揮してくれません。シリセンについては、まだまだやるべきことがいろいろあるという状況です。私たちはシリコン基板上に成長させた二ホウ化ジルコニウム上のシリセンを使い、例えば六方晶窒化ホウ素(hBN)と二ホウ化ジルコニウムにサンドイッチされた構造を作る、ゲルマニウムを混ぜて二次元的なアロイを作るといった試みを進めています。

先生はもともと何に興味を持たれて、
どのような研究をなさっていましたか？

高村 小学生の時にNASAがあるヒューストンのクリアレイクシティで暮らしていたこと、高校生の頃に日本初の国産スペースシャトルを作るといった話があったことなど、それらが宇宙や工学、材料分野に興味を持つきっかけになっています。また海外の人と働く機会の多かった父から、博士号を持っている人が多いと聞いていました。そのため大学の先生になろうとは思っていませんでしたが、博士号は取ろうと考えていました。

大学ではプラズマプロセスを使って、普通ではできない材料を作る研究に携わり、窒化ホウ素膜を成長させていました。窒化ホウ素には黒鉛とダイヤモンドの関係のように、同じ元素の組み合わせで異なる性質の物質が存在します。六方晶のhBNが炭素系の黒鉛に相当し、立方晶窒化ホウ素(cBN)がダイヤモンドに相当します。ダイヤモンドに次ぐ硬さを持つといわれているcBNは、鉄を加工するときには有効です。ダイヤモンド薄膜に比べると研究しているところは少なく、世界でも研究者が少な

い、ちょっとマイナーな材料でした。そのようなcBNに関して、バイアスパタリングという成長表面にもイオンがエネルギーを持ってぶつかってくる、非平衡プロセスを使って薄膜を作る、そんな研究をしていました。普通ではできない物質が特殊なプロセスを経るとできる、それが面白いと感じていましたね。それは今にも通じていて、二次元材料の中でも普通ではできないようなものを作ること、普通とは違う構造を持つものを見つけることが楽しくて研究しています。

ご担当されている、共同利用拠点について
お聞かせください。

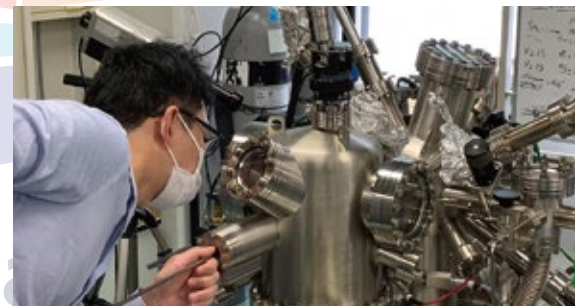
高村 構造の分析拠点では、主に透過電子顕微鏡(TEM)を用いて、いろいろな方のサンプルを見ています。私はどちらかというと走査プローブ顕微鏡が専門ですが、そちらよりもTEMの依頼の方が多く、私が代表を務める北陸先端科学技術大学院大学(JAIST)の文科省マテリアル先端リサーチインフラ事業を通じて、TEM専門の先生に協力してもらっているところです。皆さんのサンプルをTEMで見ると、モアレ構造が回折パターンだけではなく実空間像でも見ることができるので感動します。松田さん(A03)、町田さん(A02)、一番使ってくれているのは宮田さん(A02)でしょうか。皆さんが工夫を凝らしたサンプルを持ち込んでくださり、こちらが見たことのないものを見ることができて、とても面白い思いをしています。

共同利用拠点の担当者としては、この領域だから開発できた測定法を実現させたいです。TEMの中で電圧をかけた時に構造がどう変化するかを原子分解能で見えていくなど、自分たちで工夫しながら、何か面白い測定ができるように試行錯誤しています。

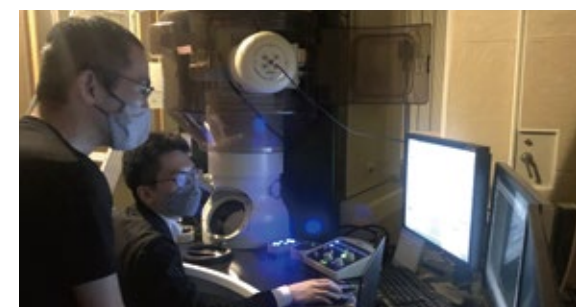
国際連携もご担当し、多くのセミナーを開催して
いらっしゃいますね。

高村 私が所属しているJAISTは、国際交流しやすい環境が整っている大学です。事務からのメールも全部日英併記ですし、学内も察も英語に対応しています。共同研究による繋がりやインターンシップで受け入れた学生の方など、様々な経緯でいろいろな国の学生が研究に来ていて国際色豊かです。そのような経緯もあり国際連携を担当しています。

国際連携では、日本の二次元材料研究の成果をもっと海外の人々に知ってもらい、一緒に研究することで新し



走査プローブ顕微鏡を使った研究の様子



透過電子顕微鏡を使用した共同利用の様子

い成果をあげられるといいなと考えています。ワークショップをしていて感じるの、お互いに相手の研究内容を知るところまではいけているけど、その先に今ひとつ進めてないということ。一部ではいい関係の構築が進んでいるので、さらに相互に行き来ができるようになることより発展していくのではないかと考えています。

この分野ではせっかく日本にいい研究者がたくさんいるので、皆さんのことが国際的に知られて欲しいです。これから伸びていく学生さんや若手の方もどんどん成果を出して、世界で活躍してくれるといいなと思っています。

領域活動も後半戦に入りました。
今後の活動について一言お願いします。

高村 共同利用拠点からのメッセージとしては、成果になるか分からないから声をかけにくいという気持ちの方がいらしたら、やってみないと分からないので遠慮なく利用して欲しいです。公募班で参加しているメンバーの方々は、短い期間の中でどのように成果に結びつけるか難しい面もあると思います。共同利用拠点は2.5次元領域ならではの取り組みの1つなので、ぜひ活用下さい。お声がけ、お待ちしております！

2.5次元物質の自分の研究に関しては、シリセンやゲルマネンのように、基板の上でしかできない、あるいは非平衡プロセスでしかできない材料を作るのが私たちのオリジナリティだと思っています。そういった積層構造であつと驚くようなものができたらいいですね。

用語説明

*1トポロジカル絶縁体：中身は電気を流さない絶縁体、表面(エッジ)は電気を流す金属的性質を持つ物質。その性質は、表面と中身で化学組成が異なる等に起因せず、価電子帯における波動関数のねじれに起因している。



高村(山田) 由起子

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科
教授ライター：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3月26日)