

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

二次元物質を繋げる、重ねる

A02班 集積化班 研究代表者
(2.5次元物質の化学気相成長と集積化)

宮田 耕充
東京都立大学



2022年度の研究室メンバーの皆さんと

先生は元々、何にご興味を持たれて、どのようなご研究をされていたらっしゃいましたか？

宮田 高校の時は、生き物や生命ってなんだろうみたいな話にすごい興味があったんですね。でもその後、予備校の物理の先生の授業が非常に面白かったので物理にも興味を持つようになりました。例えば量子力学でみえる小さな世界では、通常の感覚とは違う不思議な性質が出てきて、日常とはかけ離れたような現象が見えるよ。すごいなあ不思議だなあ、そういうところを理解したいな一と思って、物理学科を選んだみたいな経緯がありますね。

2000年に都立大に入学して4年生の時に、物理学科に片浦先生(現産総研)という方がいらっやまして。研究室見学の時にカーボンナノチューブを例にして、このような構造では、円周方向に電子の周期的境界条件というのが課せられて量子効果が顕著に見られるよ、そんなお話をされていました。そういう「物質の不思議な性質」などに予備校の時から興味があったのと研究職志望だったこともあり、そこで大学院まで行って博士号を取りました。その後は産総研で1年間学振のポスドクをしてから、2009年から名古屋大学の篠原先生の研究室に移りました。篠原研ではナノカーボンを中心に研究されていて、幸い、いいタイミングで助教になることができたんです。

篠原先生も自分も新しいテーマとしてグラフェンに注目していたんですが、ちょうど合成ができる篠原研にいったのもあったので、ずっとやりたかった「モノを作るところ」をしたい、と。それまでは主に遠心分離を使った、カーボンナノチューブの分離精製をやっていたんです。でもそれって、買って来たサンプルを使っていたので、いろんな面で制限を感じていました。

確かに合成した方が小回りが利きそうですね

宮田 ええ。当時カーボンナノチューブの合成法で「化学気相成長(CVD)ってやり方があり、これはグラフェンでも有用だろうと予想されていました。2009年に自分たちも始めたんですが、1年以内くらいにCVDで単層のグラフェンが合成できたとサイエンス誌に発表されて、さらに盛り上がってきたんです。その翌年頃に、六方晶窒化ホウ素(hBN)の上にグラフェンを置く、という研究が出てきました。二次元物質は非常に安定な薄い物質で、ファンデルワールス力で違うものを重ねることが出来るよ、と。それも非常に面白いなあと思ったんです。この領域でもこの論文の共著者の渡邊さんがいらっやして、今でも重要なトピックになってます。ただまあ、そこもガイム先生のようなノーベル賞クラスの研究者はじめ沢山の人がそっちの研究に手を出し始めて、同じことをやるのもなあ、と思って(笑)。じゃあ、横の方につなげてみようよ。

横につなげる、とはどういう意味ですか？

宮田 1枚のグラフェンとhBNを端で繋げる、という感じですね。当時2つの異なる結晶を組み合わせたヘテロ構造の合成は、既に十分に確立された分野でした。その考え方を二次元物質に持ち込もう、と。で、実際にグラフェンに繋げるものとしては、格子定数がほぼ等しいhBNになるんですよ。当時は危険なボラジン等がhBNの原料として主流でしたが、名古屋大学で同僚だった瀬川先生(現分子研)にアンモニアボラン(BNH₃)を教えてくださいました。大気中での安定性が高く、約60℃から気相で供給できる非常に扱いやすい原料です。そのとき4年生で入った学生さんが楽しんで進めてくれたこともあって、一緒に約1年目標としていたヘテロ構造を作ることができました。

それが、新奇性の高い研究結果に繋がった、と

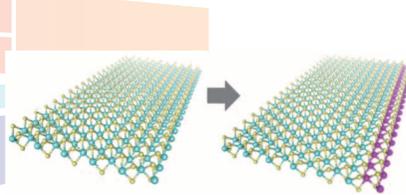
宮田 いや。そう話は単純でもなくて。この研究とは別に、カーボンナノチューブのレイリーイメージングという面白い研究をしていたJiwoong Park先生という方がコーネル大学にいて、2012年に2か月くらいその研究室に滞在していたことがあるんです。実はこの先生のグループは、まさにそのグラフェンとhBNのヘテロ構造の研究もやっています。私達の論文(Appl. Phys. Express誌)の掲載と同じ月に、ネイチャー誌にその論文が出てきました(笑)。

衝撃でしたねえ。やはり、仕事のクオリティが凄く高いんです。着眼点って意味では非常に近かったし、始めた時期もそこまで違わないようでした。ただ、あちらのグループは共同研究が上手いし非常に速い。ポスドクや博士の学生が大勢で協力してプロジェクトを進めている。一方で当時私は、そのようなやり方に慣れてなく、すぐに相談できる知り合いも今と比べればずっと少なかった状況でした。現地でも滞在しながら、その様子を間近で見ることができたのは、本当に良い勉強になりましたね。

なるほど。では、そこから「2.5次元物質」を研究しようとなった理由は何でしょう？

宮田 またグラフェンとhBNの話に戻るのですが、グラフェンは電気を流す金属、hBNは絶縁体になります。ならばやっぱり半導体も欲しいな、と。そこから遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDC)にターゲットが流れていきました。その後、このTMDCでもヘテロ構造が出来まして、このTMDCの研究を進めていくうちに、自然と研究対象になっていったという感じです。

私たちの場合は、普通の単一な二次元物質とはちょっと構造が違うものを作ったり、重ねることで、何か新しいことができるだろう。そう期待していることが、考え方のベースになっています。例えば、二次元物質の周りにちょっとだけ別の二次元物質を成長させてあげる。すると、細長いリボン状の構造をした二次元物質ができる。グラフェン/hBNの研究を始めたころからずっと考えていたのですが、2019年に出したTMDCの合成に関する論文で、ようやくそのような構造について報告できました(下図)。最近では、このような構造を構成材料として上に積み上げることで、単に二次元物質を使っただけではできないような物が出来ないかな、とも考えています。



単層のTMDCの端から別の組成を成長させたナノリボン構造のイメージ図

吾郷さんと一緒に研究をしようと思われたきっかけなどはあるのでしょうか？

宮田 2013年に篠原研から都立大に移った後、その年にJSTの戦略的創造研究推進事業の「さきがけ」に採択されて、ちょうど吾郷さんと長汐さんと同じ研究領域だったんです。そこで、皆さんと結構話すようになったんですよ。「さきがけ」のユニークなところなんですけど、年2回の宿舎があるんです。そこで必ず研究の進捗や方向性などを発表しないといけない。しかも同じ場所に泊りがけでやるっていうのが、面白い点で。普通の学会などと比べて、滞在時間が長いんですね。そこで今いる領域の皆さんとも結構話して、仲良くなったかな一と。

それがまさに、この領域が生まれるひとつのきっかけだったのかな、そう思います。このような経験を通じて、普段は話さない人たちと出会うことが出来た。それが非常に良かったですね。

先生の所属していらっしゃるA02班とは、どのようなポジションに当たっているのでしょうか？

宮田 私たちのA02班は集積化班と言って二次元物質同士や二次元物質と分子膜を重ねたり、二次元物質同士を繋げたり、そのすき間に原子を入れたりといういろんな研究をやっています。その中で私は先ほども言いましたが、二次元物質を繋げたり、重ねたりみたいなのをしています。例えば他の班にサンプルを作って提供したり、合成班から頂いた物質を使って新しいものを作ってみたいとか。要は単純な二次元物質からもう一捻り入ってるみたいな2.5次元物質を作る、そんな感じのことをしています。

最後に、今後の展望について一言お願いします

宮田 この二次元物質をベースにしたモノづくりやその物性・応用研究は、まだまだ沢山の新しいことが出来るんだなあ、非常に面白く感じています。また、領域での連絡ツールとしてSlackを使い始めたおかげで、沢山の研究者の皆さんと気軽に連絡できるようになりました。今後も領域の中だけに限らず、多くの方々と共に研究を通じて楽しんでいければと考えています。

CVDで合成したTMDCの試料に興味があれば、是非お気軽にご連絡を頂ければと思います。



宮田 耕充

東京都立大学
理学研究科
准教授領域ホームページ <https://25d-materials.jp>
(ニュースレター公開日:2022年7月7日)