	研究代表者	国立研究開発法人物質・材料研究機構・ナノアーキテクトニクス材料研究センター・グループリーダー 北浦 良（きたうら りょう） 研究者番号:50394903
	研究課題情報	課題番号：23H05469 研究期間：2023年度～2027年度 キーワード：二次元物質、人工原子、量子技術

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

材料の性質は、材料の中でどのように原子が並んでいるのかで決まる。もし、原子を思い通りに並べることができれば、望ましい性質を持った望み通りの材料を人工的に生み出すことができる一方、原子のような極微の粒子を思い通りに並べるとは極めて困難である。これまでに、原子を並べる方法がいくつか提案されてきたが、作製に特殊な環境を必要としたり、作製した構造を調べる実験に制限があったりといった問題があった。この問題を解決するために着目したのが、「二次元物質」と「人工原子」である。具体的には、「二次元物質」に、複数の原子からなる原子様の状態「人工原子」を埋め込むという戦略に基づく物質開発である。この戦略にしたがって生み出される新物質から、さまざまな性質を引き出すことを目指して研究を進めていく。

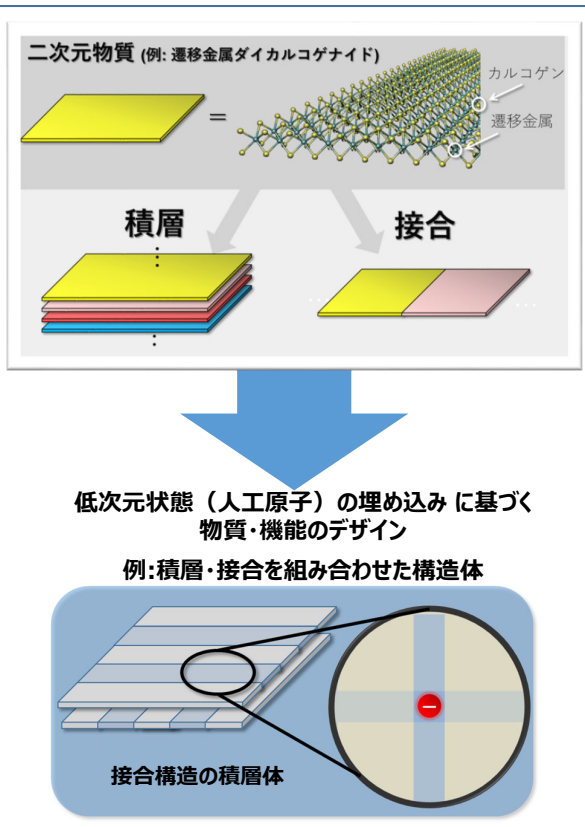


図1 低次元状態の埋込のイメージ図

二次元物質とは、原子がせいぜい数個分という極薄の物質である。左に示した例は、遷移金属ダイカルコゲナイドという物質で、その厚さは10億分の1メートル以下しかない。このような、極薄の物質を、10億分の1メートルのスケールで、重ねたり、接合させたりすることで、これまでになかった物質をデザインして実現することができる。この研究では、積層・接合に基づくナノスケールのデザインによって、二次元物質に原子様の状態を埋め込む。

たとえば、左図の下に、積層と接合を組み合わせた構造体を示した。この構造体には、リボン状の構造の交点に、まるで原子のような状態が生じる。構造体を制御して作製する技術を高度化していくことによって、このような原子のような状態を、思いのままに配列させることができるだろう。

上記の構造は、ほんの一例にすぎず、二次元物質を母体とした構造体をデザインすることで、多様な配列系が実現可能である。過去の研究（基盤(B)や挑戦的研究）で培った技術（有機金属化学気相成長(MOCVD)法など）を用いて、様々な構造体をデザインし、新物質科学を拓いていくことがこの研究の目標である。

●実験計画・方法

本研究では、はじめにナノ構造作製法を確立する。右図は、この目的に用いる手法を示している。MOCVD装置によって接合を、マニピュレーション技術によって積層を行う。こうして作製した構造体は、その光学および電気的性質を詳しく調べるために、さまざまな先進的な手法を適用していく。まずは、髪の毛よりも細い金属の配線を取り付けることで、電気の流れ易さを調べるとともに、レーザー光を当てて光学的な応答を調べる。このような実験を通して、様々な特性を明らかにしていく。

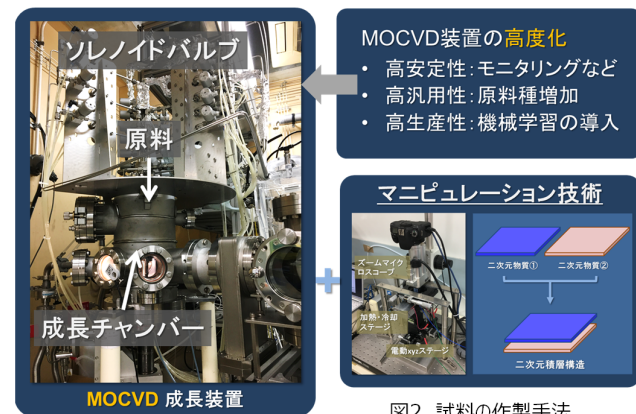


図2 試料の作製手法

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●学術的な問い

本研究で設定した学術的な問い（Research Question）は、

新規「人工原子の自在配列系」は  
物性科学・量子技術の新プラットフォームとなるだろうか？

である。本研究では、  
(1)人工原子配列法の有効性の実証  
(2)機能創出の実証  
の二つを行うことを通して、上記の問いに答えていく。

(1)では、上記したMOCVD法およびマニピュレーション技術を極限まで高度化するとともに、先進的な加工技術も援用することで、二次元物質を母体として「人工原子の配列」が可能であることを実証する。これを達成するためには、新たな装置の開発、新たな手法を開発を通じた「オンリーワンの手法」の確立が不可欠となる。

(2)では、微細な配線を取り付けることで、人工原子配列系の素子（電圧を印加する、あるいは電流を測定するための配線が付いた構造）を作製して、詳細な計測を進める。電気の流れ易さの測定からは、配列パターンの独特な現象が現れると期待できる。たとえば、配列の距離によって電気が流れる状態と流れない状態のはざまにあるような状態ができれば、ちょっとした刺激でその性質を大きく変える面白い性質が出てくるだろう。また、人工原子にとらわれた電子は、量子力学に基づく不思議な性質を利用した新たな技術（量子技術）につながるも期待される。



図3 配列系の量子技術への展開

例えば、左図にある様に、交点に電子や励起子と呼ばれる電子と電子の抜け穴のがペアになったものが閉じ込められていると、量子コンピュータの心臓部である量子ビットとして、また原理的に安全な量子暗号通信を行うためのツールとしての利用が可能になるかもしれない。