

原子・分子の自在配列と特性・機能
2020年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

北浦 良

物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクニクス研究拠点
主席研究員・グループリーダー

二次元系の自在超構造化と機能創出

研究成果の概要

本研究では、「二次元系の超構造化を通じた新奇二次元系の創出を軸とした物性科学を展開する」ことを目的としている。この推進にあたって柱となる

(I) 超構造化法の開拓

(II) 超構造の機能・物性開拓

のうち、本年度は(I)を進めつつ、(II)について、①第一原理計算による電子状態解析および②光起電力の測定を進めた。以下、その概要を示す。

① 昨年度までに、有機金属化学気相成長(MOCVD)法によって、六窒化ホウ素(hBN)を基板として Et_2S 供給下で $(\text{t-Bu=N})_2\text{W}(\text{NMe}_2)_2$ および $(\text{t-Bu=N})_2\text{Mo}(\text{NMe}_2)_2$ を交互に供給することで WS_2/MoS_2 接合超格子を作製した。さらに、予備的な結果ながら、接合超格子が積層した新規ナノ構造を実現することができた。これらは次元が混合した構造体であり、二次元構造でありながら、内部により低次元な局所構造を含む。この局所構造が擬似的な低次元状態として振る舞うかどうかを調べるため、筑波大学のグループと共同で第一原理計算による検討を進めた。その結果、実験的に実現した二次元構造体では、ゼロ次元および一次元の局所領域に電子蓄積が可能であることがわかった。さらに、電子密度が高くなると、電子蓄積が二次元に変化することも明らかとなった。以上のことは、低次元局所電子状態を利用した量子ビットや非古典光源への展開の可能性を示していることに加え、キャリア密度によって電子系の次元性が変わるユニークな系であることを示している。

② 昨年度まではナノスケールの接合構造の構築法に主眼をおいた研究を進めていたが、横に接合することに加えて、縦に積層する形での超構造化も可能である。組み合わせとしては比較的単純な、 WS_2 と MoS_2 の積層構造を乾式転写法で作製し、そこに2端子を付した素子とした。 WS_2 および MoS_2 は三回対称を有する結晶であるが、界面では回転軸が一致する場合を除いて回転対称性が破れる。この超構造化による対称性の変化が、何らかの機能に結びつく可能性がある。 WS_2/MoS_2 を633 nmのレーザー光で励起したところ、バイアス電圧がゼロの状態でも30 nA程度の光電流を観測した。また、レーザー光を試料上で走査して光電流によるマッピングを行ったところ、 WS_2 および MoS_2 のみの部分では光電流がほぼゼロであり、 WS_2/MoS_2 の部分だけ光電流が生じることがわかった。このことは、光電流は積層構造がもつ電子状態に起因することを示している。KPFM測定の結果から WS_2/MoS_2 に内蔵電位が存在しないことがわかり、光電流が通常のpn接合とは異なる起源をもつことがわかる。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Gate-Induced Trans-Dimensionality of Carrier Distribution in Bilayer Lateral Heterosheet of MoS_2 and WS_2 for Semiconductor Devices with Tunable Functionality”, Mina Maruyama, Nanami Ichinose, Yanlin Gao, Zheng Liu, Ryo Kitaura, and Susumu Okada, *ACS Applied Nano Materials* 6, 7, 5434 (2023)

- 2) “Observation of the photovoltaic effect in a van der Waals heterostructure”, Shaochun Zhang, Mina Maruyama, Susumu Okada, Mengsong Xue, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Kazuki Hashimoto, Yasumitsu Miyata, Ruben Canton-Vitoria, and Ryo Kitaura, *Nanoscale* 15, 12, 5948 (2023)
- 3) “Field-effect transistor antigen/antibody-TMDs sensors for the detection of COVID-19 samples”, Ruben Canton-Vitoria, Kotaro Sato, Yashiro Motooka, Shinya Toyokuni, Zheng Liu, and Ryo Kitaura, *Nanoscale* 15, 9, 4570 (2023)