

ナノスケール・サーマルマネジメント基盤技術の創出
2018年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

高橋 厚史

九州大学 大学院工学研究院
教授

二次元材料とナノ計測の融合による相変化伝熱の革新

主たる共同研究者:

吾郷 浩樹 (九州大学 グローバルイノベーションセンター 教授)

山口 康隆 (大阪大学 大学院工学研究科 准教授)

研究成果の概要

本研究は、二次元材料の平坦性と構造の自由度を活かして相変化伝熱の性能を大幅に上げることを目指し、ナノ計測と分子シミュレーションと材料創製を融合的に研究している。本年度は、ナノ計測としては、これまで TEM 観察で用いてきたグラフェンウォーターポケットの内部圧力を正確に測定することに初めて成功し、その最大圧力を予測する実験式を提案した。グラフェンナノスクロール内部に残る水の膜形状を調べたところマクロな流体力学に分子間力を付加することでナノ空間の特異な構造を説明することができた。液滴の AFM 計測からはグラフェン上での接触角にサイズ依存性はないことを確認するとともに、SiO₂ 等の通常の固体表面では表面粗さが 1nm 未満であっても厚さが 10nm のオーダーの薄い液膜に対しては強いピンニングが働くことを明らかにした。一方、これまでに開発した分子動力学解析から界面張力を精密に算出する方法を中心に、実在分子への適用性、物理的正確性などの観点からみた各方法の長所、拡張性などをレビューのかたちで発表し、分子動力学シミュレーションを用いた界面、特に濡れの解析の認知を国内外に深めた。固液摩擦の解析についても、平衡系において Green-Kubo 関係を拡張することで固液摩擦力を抽出する方法論を提案してきたが、新たに非平滑な固体面にも拡張できる方法を開発した。加えて濡れとすべりが複合的にかかわる動的接触線周りの解析において、とくに後退接触角まわりで特異な温度の低下がみられることが明らかにし、そのメカニズムを詳細に検討した。材料創製としては、六方晶窒化ホウ素 (hBN) を用いたウォーターポケットの清浄化、グラフェンを用いた三次元構造体の作製、ならびに多層 hBN とグラフェンとのヘテロ積層技術の開発を進めた。特に転写法の改善やその後の処理の最適化による残渣の低減などの検討を進め、転写膜や積層膜の高品質化を実現した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Random but limited pressure of graphene liquid cell
Sota Hirokawa, Hideaki Teshima, Pablo Solís-Fernández, Hiroki Ago, Qinyi Li, Koji Takahashi
Ultramicroscopy, vol. 250, 113747, 2023
- 2) Observation of Interfacial Instability of an Ultrathin Water Film
Yoko Tomo, Sarthak Nag, Hiroshi Takamatsu
Phys. Rev. Lett. 128, 144502, 2022.
- 3) Nanoscale Contact Line Pinning Boosted by Ångström-Scale Surface Heterogeneity
Yuta Heima, Hideaki Teshima, Koji Takahashi
Journal of Physical Chemistry Letters, vol. 14, pp. 3561–3566, 2023
- 4) (Invited) Nanoscale Wetting and Its Connection with Macroscopic Young's Equation
Yasutaka Yamaguchi, Hiroki Kusudo, Carlos Bistafa, Donatas Surblys, Takeshi Omori, Gota Kikugawa
ECS Transactions, vol. 108, pp. 93-102, 2022.
- 5) Large-area synthesis and transfer of multilayer hexagonal boron nitride for enhanced graphene device arrays
Satoru Fukamachi, Pablo Solís-Fernández, Kenji Kawahara, Daichi Tanaka, Toru Otake, Yung-Chang Lin, Kazu Suenaga, Hiroki Ago

Nature Electronics, vol. 6, pp. 123-136, 2023