

【基盤研究(S)】 大区分D



研究課題名 非平衡過程の実空間観察手法の転換：TEM による溶液からの核生成過程の解明

北海道大学・低温科学研究所・准教授
きむら ゆうき
木村 勇気

研究課題番号： 20H05657 研究者番号：50449542

キーワード： 核生成、ナノ粒子、透過型電子顕微鏡、その場観察、結晶成長

【研究の背景・目的】

核生成は、原子や分子などが集合して粒子を形成するプロセスで、生成粒子のサイズや数密度、晶癖(形)、結晶構造などを決めるため、そのメカニズムの理解は物質形成において決定的に重要である。例えば、我々が取り扱うテーマだけでも、様々な工業利用における微粒子の合成、貝殻やサンゴなどの生体鉱物の制御機構、宇宙に存在するダストと呼ばれるナノ粒子の生成過程と物質進化、経口投与による薬が溶け残らないようにするための結晶多形制御、気候に関わる雲核の生成などが挙げられる。しかしながら、核生成の物理、化学過程の理解は未だに乏しく、そのために核生成理論も発展途上である。本研究では、「安定核の生成までに何が起きているのか?」、「安定核の生成ルートはどのように決まるのか?」を明らかにするために、溶液中の核生成に影響を与える要因の寄与の程度と物質依存性を解明し、核生成ルートを決めるキーファクターを見つけることを目的とする。

【研究の方法】

水溶液からの核生成の透過型電子顕微鏡“その場”観察実験を軸に、水和層の役割を理解するために、水和層の無いイオン液体溶液と気相からの核生成実験を対照実験として実施する。

水溶液からの核生成の透過型電子顕微鏡“その場”観察実験では、これまでに進めてきた溶液試料を観察できる3つの手法(窓板ホルダー(図1)、溶

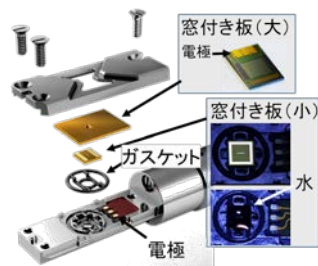


図1 透過型電子顕微鏡に水溶液を導入する3つの手法のうちの一つ。窓付き板2枚の間に溶液を封入する加熱機構付きの窓板ホルダー。中央の切欠き位置にある30nm厚の非晶質窒化シリコン膜が窓であり、電子線はこの窓を透過して溶液を観察できる。100°Cまでの加熱や観察中に2液を混合できる。

液セル、グラフェン膜)を駆使して、核生成のその場観察実験を行う。透過型電子顕微鏡観察では、結晶の成長速度、形、集合、配列、サイズなどを直接観察でき、加えて電子回折パターンで相同定も同時に行えるため、飛躍的な成果が見込める。ここに、本研究課題で機械学習を用いた新規の非平衡過程の動的観察手法を確立することで、透過型電子顕微鏡を用いた“その場”観察により、溶液から前駆体を経て結晶ができるまでの核生成過程の一部始終を可視化する。

【期待される成果と意義】

本課題では、単に個々の物質や形成条件における成果に留まらず、ナノ粒子の物性の決定や水和層の役割の理解(物質と水の界面エネルギーや界面構造の決定)、粘性の効果、ダイマーの形成といった核生成を支配するキーファクターを理解する点において革新的な基礎科学研究となる。これにより、核生成の理論モデルが構築可能となり、原子や分子から材料を作るボトムアップによるナノ粒子や結晶の生成過程をデザインできる世界の到来が期待される。超新星などで生成する宇宙に存在するナノ粒子の生成プロセスも正しく理解できたり、約半数が難溶性の結晶である薬を溶けやすくするために準安定相を析出させる条件を導出可能になったりと、分野を超えた波及効果が見込まれる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ T. Yamazaki, Y. Kimura, P. G. Vekilov, E. Furukawa, M. Shirai, H. Matsumoto, A. E. S. Van Driessche, K. Tsukamoto, Two types of amorphous protein particles facilitate crystal nucleation, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 114 (2017) 2154-2159.
- ・ Y. Kimura, K. K. Tanaka, T. Nozawa, S. Takeuchi, Y. Inatomi, Pure iron grains are rare in the universe, Science Advances, 3 (2017) e1601992.

【研究期間と研究経費】

令和2年度-6年度 154,900千円

【ホームページ等】

<http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/astro/ykimura/index.html>
ykimura@lowtem.hokudai.ac.jp