

光熱誘起マイクロバブルが拓く熱流体制御技術

Thermo-Fluid Phenomena Controlled by Photothermally Induced Microbubbles

京大院・工¹ °名村 今日子¹, 安田 直記¹, 松尾 竜¹, 鈴木 基史¹

Kyoto Univ.¹, °Kyoko Namura¹, Naoki Yasuda¹, Ryu Matsuo¹, Motofumi Suzuki¹

E-mail: namura@me.kyoto-u.ac.jp

近年の電子デバイスの小型化・高密度化に伴って、そのエネルギーロスによる発熱密度の高さが問題となっている。水冷は強力な冷却手法の一つであり、小型デバイスを冷却する小型水冷装置の開発が望まれている。しかし、流路の高さや幅が数百 μm 以下になってくるとレイノルズ数が小さくなり、流体の攪拌が困難になったり、圧力損失が増大したりする。そこで、微小流路内での流体駆動技術の確立が求められている。これまでに我々は薄膜の光熱変換特性を用いて発熱分布をマイクロメートルスケールで制御し、水中でのマイクロバブル生成及びその周辺に発生する対流の増強や制御に成功した。膜厚 10—100 nm 程度の光熱変換薄膜にレーザーを集光すると、光の照射された部分が熱源となる。光のスポットサイズや形、強度、さらには薄膜自体の光吸収分布を変えることで、局所的でかつ空間的・時間的にフレキシブルな加熱が可能になる。この熱源を用いて脱気水を加熱すると、1 m/s オーダーの速さの流れを伴う水蒸気バブル(直径 10 μm 程度)を生成できる[1]。また、光熱加熱の空間的自由度の高さを利用してバブル周辺の温度勾配を制御すると、流れの向きを制御することも可能である[2,3]。この技術を用いれば、微小流路内での流体攪拌やポンピングを行うことができる。しかし、現象が微細かつ高速であるため、詳しい流れの発生原理など、理解できていない部分も多かった。

最近我々は、速い流れを伴う水蒸気バブルがサブ MHz オーダーで振動していることを明らかにした[4]。バブル周辺の流れは、この振動と周辺温度分布に起因する表面張力勾配によって生じていると考えられる。これらの寄与を明らかにするためには、振動するバブルの詳しい挙動やバブル周辺温度分布を明らかにする必要がある。そこで我々は、定量位相顕微鏡を用いたバブル周辺温度分布測定や、高速度カメラ (5 Mfps , HPV-X2, 島津製作所) を用いたバブルの振動およびバブル間振動相互作用の評価を行った。本発表では、これらの最新の結果を交え、光熱加熱を利用した水蒸気マイクロバブルの生成および熱流体制御技術の開発について報告する。

[1] K. Namura, et al., Sci. Rep. 7, 45776 (2017).

[2] K. Namura, et al., Sci. Rep. 9, 4770 (2019).

[3] K. Namura, et al., Adv. Mater. Interfaces 9, 2200200 (2022).

[4] K. Namura, et al., Adv. Mater. Interfaces 7, 2000483 (2020).