微小液滴レーザー発振子によるマイクロスケールの対流の精密計測

Microdroplet Optical Laser Oscillator as a Precise Flowmetry

筑波大院数理物質 [1]　○(M2)藤田　圭太郎 [1]，山岸　洋 [1]，山本　洋平 [1]

Grad. Sch. Pure Appl. Sci., Univ. Tsukuba[1], °Keitaro Fujita[1], Hiroshi Yamagishi[1], Yohei Yamamoto[1]

E-mail: s2020366@s.tsukuba.ac.jp

【緒言】 流体の中を動く物体は、種々の流体抵抗によって運動エネルギーを阻害され続ける。特に高速で移動する船舶や航空機において、流体抵抗を軽減し燃費を向上することが長らく追求されている。主にマイクロスケールの形状によって支配されている圧力抵抗を軽減する試みは古くから検討されている一方、表面の微小な凹凸により生じる表面極近傍の渦による摩擦抵抗の微視的な評価は計測手法が未発達なため困難であった。本研究では不揮発性のイオン液体からなる微小液滴レーザー発振子を開発した。液滴の形状が僅かな外場で変化することから、その表面極近傍領域における空気の対流が精密に検知可能であることを明らかにした。

【結果・考察】 発光色素(acidred52)を溶解したイオン液体(1-etyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate)を超撥水性基板上に滴下し、直径 3-10μm 程度の微小液滴を作製した。撥水性基板上の微小液滴の接触角は約 160°であり、バルクの状態と比較して接触角が大きく、ほぼ真球の液滴を形成した。フェムト秒パルスレーザーを励起光源として微小液滴の顕微発光測定(μ-PL 測定)を行った結果、閾値 1.21 ± 0.25 μJ/cm^2 でレーザー発振することを明らかにした。当量の発光色素を添加した有機固体レーザー(polyvinyl alcohol)のレーザー発振閾値(29.3 ± 18.1 μJ/cm^2)と比較して液滴レーザーの閾値は 1/20 以下にまで改善しており、液滴の真球度および表面平滑度が極めて良好であることが示唆される。

一般に、球体共振器から生じるレーザーの波長が球体円周におおよそ比例することから、レーザー発振子はレーザー光源としてだけでなく、極めて高感度な物理・化学センサーとしての利用が可能である。通常の固体レーザーに比べて、今回開発した微小液滴は流動性が高く、わずかな外場の変化に応答して形状が変形する。従って、従来の方法では検知できなかった微小な環境変化にも応答することが期待できる。本研究ではこの一例として、ガスの対流センシングを試みた。

微小液滴を設置した基板表面に対し、水平方向に N_2 ガスを送風しながら μ-PL 測定を行った結果、流速の上昇に伴いレーザーピークが青方遷移し、ピークシフトの大きさは流速とほぼ線形の関係を示した。このとき、微小液滴は対流によって縦長の楕円球体に変形し、光路長が短くなっていると考えられる(Fig. 1a)。また、このピーク変化は再現性があり、繰り返し計測が可能である。さらに、送風の方向を変化させた際の共振ピークの挙動と微小領域での対流の特性についても詳細に検討している(Fig. 1b)。したがって、今回開発した微小液滴レーザー発振子は、表面極近傍領域における空気の対流を検知する流速センサーとしての利用が期待できる。

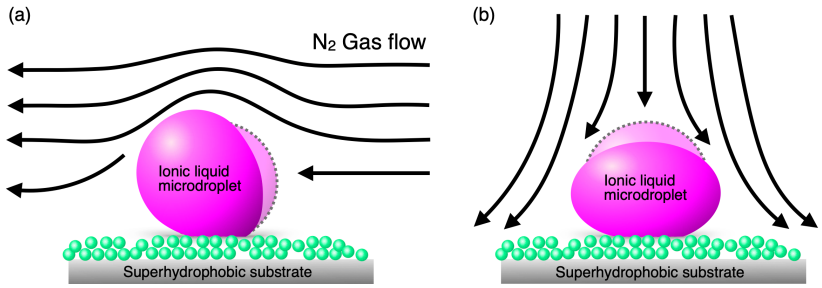

Fig. 1. Schematic image of microdroplets on superhydrophobic substrate under (a) horizontal and (b) vertical N_2 gas flow.

© 2021年 応用物理学会