

マイクロ流れ計測のための感圧分子膜の開発と評価

Development and assessment of a pressure sensitive molecular film as a measurement technique for micro-flows

○松田 佑, 名古屋大学大学院工学研究科, 名古屋市千種区不老町, E-mail: y.matsuda@nagoya-u.jp

森 英男, 名古屋大学高等研究院, 名古屋市千種区不老町

山口 浩樹, 名古屋大学大学院工学研究科, 名古屋市千種区不老町

坂崎 良樹, 名古屋大学大学院工学研究科, 名古屋市千種区不老町

内田 徹, 名古屋大学大学院工学研究科, 名古屋市千種区不老町

新美 智秀, 名古屋大学大学院工学研究科, 名古屋市千種区不老町

Yu Matsuda, Graduate School of Engineering, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya

Hideo Mori, Institute for Advanced Research, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya

Hiroki Yamaguchi, Graduate School of Engineering, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya

Yoshiki Sakazaki, Graduate School of Engineering, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya

Toru Uchida, Graduate School of Engineering, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya

Tomohide Niimi, Graduate School of Engineering, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya

The pressure-sensitive paint (PSP) technique has the potential as a diagnostic tool for measurement in the high Knudsen number regime because it works as a so-called “molecular sensor”. However, application of the PSP technique to micro-systems is difficult because the conventional PSP is too thick owing to the use of polymer binder and does not have sufficient spatial resolution for pressure measurement of micro-flows. We constructed pressure sensitive molecular film (PSMF), using Platinum(II) MesoporphyrinIX (PtMP) as a luminescent molecule, and have examined our PSMF to evaluate the possibility of application to the measurement of micro-flows. It is clarified that the pressure sensitivity of PtMP based PSMF is equal to the that of conventional polymer PSP. The pressure distribution on the solid surface interacting with supersonic free-jet can be measured with PSMF composed of PtMP. This indicates that the PSMF is feasible to measure the pressure in high Knudsen number flows such as micro-flows.

1. はじめに

気体分子の平均自由行程 λ が大きい高真空環境や、系の代表長さ L が λ と同程度にまで小さくなるマイクロ・ナノデバイス周りの流れに代表される高クヌッセン数領域では、分子の挙動に着目して現象を扱う必要がある。そのため、高クヌッセン数領域での熱流体現象を解明するには、分子レベルでの計測が要求されるが、その計測手法の発展は著しく遅れている。

そこで、本研究では分子センサーの一種である感圧塗料 (PSP) による固体表面の圧力計測技術⁽¹⁾に着目した。PSP を用いた圧力計測法は発光分子と酸素分子との相互作用を利用した分子レベルの計測手法であり、原理的にクヌッセン数の高い領域における流れ場の解析に適している。しかし、従来の PSP は膜厚、表面粗さ、発光分子の凝集による空間分解能の低下等の問題が存在するためマイクロ流れへの適用が困難であり、これらの問題を解決できる新たな PSP の開発が望まれている。そこで我々は、PSP を分子膜化した PSMF (Pressure Sensitive Molecular Film) を作製した⁽²⁾。しかし、この PSMF は発光分子に Palladium(II) MesoporphyrinIX (PdMP) を用いており大気圧付近での圧力計測は不可能であった。そこで本研究では発光分子に Platinum(II) MesoporphyrinIX (PtMP) を用い、大気圧近傍の圧力計測が可能な PSMF を作製し、その PSMF の特性を評価することによって、マイクロ流れの計測への可能性を示す。

2. 実験方法

従来の PSP は膜厚、表面粗さ、発光分子の凝集による空間分解能の低下等の問題が存在するため PSP をマイクロ流れへ適用することは困難であった。本研究では PSP を Langmuir-Blodgett (LB) 法により分子膜化することによって、これらの問題点を解決する PSMF を作製した。本研究では、LB 法による分子膜形成に適した両親媒性物質である PtMP を発光分子として用いた PSMF の作製を行った。また、PSMF は 2 層、6 層、20 層の 3 種類を作製し、その特性を調査した。

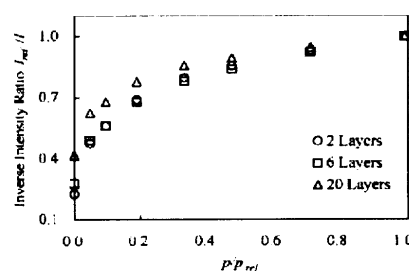


Fig. 1 Stern-Volmer plots for PSMF composed of PtMP

3. 実験結果と考察

本研究で作製した PSMF の Stern-Volmer Plot を図 1 に示す。ここで、Stern-Volmer Plot の縦軸は発光強度比の逆数 I_{ref}/I 、横軸は圧力 p/p_{ref} である。ただし I_{ref} は $p_{ref} = 2.1 \times 10^1$ kPa での発光強度である。図 1 から分かるように 2, 6, 20 層のいずれの膜層数においても圧力感度を有することが確認できた。また PSMF の圧力感度は同程度の圧力範囲で用いられる従来のポリマーベースの PSP の圧力感度と同程度であることを確認した。さらに PSMF を用い衝突噴流の圧力計測が可能であることを示した。

4. まとめ

本研究において、PtMP を用いて PSMF の作製を行い、その圧力感度の試験を行った。その結果、圧力感度は従来のポリマーベースの PSP の圧力感度と同程度であることを確認した。また PSMF を用い衝突噴流の圧力計測が可能であることを示した。以上から、本研究で作製した PSMF によってマイクロ流れの解析に適用できる可能性があることを示した。

参考文献

- (1) 浅井圭介, 可視化情報, Vol.21 Suppl.1(2001), 299-302.
- (2) Y.Matsuda, et al, Exp Fluids, Vol.42 No.4(2007), 543-550.