

ポリマー液体・ソフトマター中の熱輸送と固体接合界面熱抵抗低減

Thermal Transport in Polymer Liquids and Soft Matter and Its Application to Reduction of Thermal Resistance at Solid Contact

東北大流体研 小原 拓、菊川 豪太、松原 裕樹

Institute of Fluid Science, Tohoku Univ., Taku Ohara, Gota Kikugawa, Hiroki Matsubara

E-mail: ohara@ifs.tohoku.ac.jp

1. はじめに

液体の熱物性は、熱媒の特性として熱工学で従来から重視されてきたものである。近年では、その対象がソフトマターや界面などバルク液体以外にも拡大し、また、目的に適合した物質を創製する材料設計への志向が流体に及ぶに至って、液体の熱物性を決定する分子スケールの機序を解明することは、熱工学の重要な課題となっている。本稿では、この問題に関して著者らが行っている研究について述べる。

2. マクロ熱輸送と分子のエネルギー伝搬

液体中の熱輸送については、気体の分子運動論や固体のフォノン伝導のような研究者間に共通する土台が存在せず、議論の障害となっている。著者らは、分子間力が分子になす仕事率が物質中のマクロな熱流束を構成するとして、その総和が教科書的な熱流束の分子動力学表現式¹⁾に一致することを示した²⁾。これに基づいて分子間を伝搬されるエネルギーをその分子対の特性により分類すれば、熱流束への寄与を評価することができる。この考え方は内部自由度をもつポリマーに拡張され³⁾、分子間の伝搬に加えて分子内の伝搬が熱流束になす寄与が解析された。図1はアルカンの熱伝導になす各種相互作用の寄与を示したものであるが、分子の鎖長が長くなると分子内の伝搬が卓越す

ることがわかる。このことは、分子が一定方向に配向するソフトマターや界面近傍のポリマー液体にとって重要で、分子の方向にエネルギー伝搬が集中する結果、高い異方性熱伝導率が生じることが脂質二重膜⁵⁾や自己組織化単分子膜(SAM)⁶⁾において観察されている。

3. 応用

上述の解析法がアモルファスポリマーに適用され、架橋の影響の機構が解析された⁷⁾。また、分岐アルカン、アルコール、水、アンモニアなど工業的にも重要な液体に対する網羅的な研究に展開され、分子内・分子間の個々の相互作用を熱伝搬の経路(Atomic Heat Path)と定義してその密度と1本あたりの熱輸送性能とを定量的に評価し、特徴的な分子基による熱伝導率への効果を整理する研究⁸⁻¹⁰⁾が進行中である。

固液界面では、界面熱輸送を支配する分子運動モードが解析され^{11,12)}、最近では、パワーモジュールの発熱に関する問題を背景に、固体部材の接合界面における熱抵抗をSAMによる分子修飾¹³⁻¹⁴⁾や熱界面材料の選択等により低減させようとするプロジェクトが開始された。

謝辞 以上述べた研究は、JSPS 科研費、NEDO「未利用熱エネルギー」、JST CREST「熱制御」の支援を受けている。関係各位に謝意を表する。

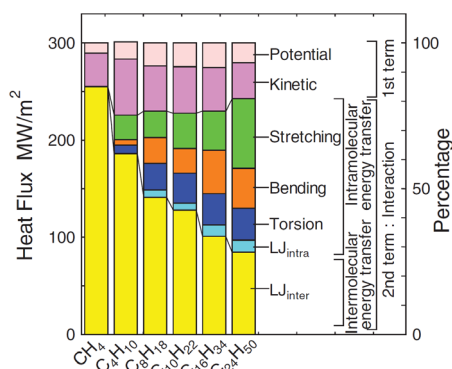


Fig. 1 Contributions of each mechanism of thermal energy transfer to the macroscopic heat flux in the saturated liquids of various *n*-alkanes at $0.7T_c$. Reprinted from ref. 4), permitted by AIP Publishing.

文献 1) J. H. Irving and J. G. Kirkwood, *J. Chem. Phys.*, 18, 817 (1950). 2) T. Ohara, *J. Chem. Phys.*, 111, 6492 (1999). 3) D. Torii et al., *J. Chem. Phys.*, 128, 044504 (2008). 4) T. Ohara et al., *J. Chem. Phys.*, 135, 034507 (2011). 5) T. Nakano et al., *J. Chem. Phys.*, 133, 154705 (2010). 6) G. Kikugawa et al., *Int. J. Heat Mass Transf.*, 78, 630 (2014). 7) G. Kikugawa et al., *J. Appl. Phys.*, 114, 034302 (2013). 8) H. Matsubara et al., *Fluid Phase Equilibria*, 441, 24 (2017). 9) H. Matsubara et al., *Int. J. Heat Mass Transf.*, 108, 749 (2017). 10) H. Matsubara et al., *J. Chem. Phys.*, 142, 164509 (2015). 11) D. Torii et al., *ASME J. Heat Transf.*, 132, 012402 (2010). 12) D. Torii and T. Ohara, *J. Chem. Phys.*, 126, 154706 (2007). 13) G. Kikugawa et al., *J. Chem. Phys.*, 130, 074706 (2009). 14) G. Kikugawa et al., *ASME J. Heat Transf.*, 136, 102401 (2014).