

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Developing Novel Temperature Wave Methods and Application to Nano/micro Scale Anisotropic Heat Transfer of Soft Materials
著者(和文)	劉芽久哉
Author(English)	Meguya Ryu
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11454号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:森川 淳子,大内 幸雄,扇澤 敏明,石川 謙,塩谷 正俊,Jean Christophe BATSALE
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11454号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

(博士課程)

Doctoral Program

論文要約

論文の要約

本研究は, Developing Novel Temperature Wave Methods and Application to Nano/Micro Scale Anisotropic Heat Transfer in Soft Materials (温度波法に基づいた新規熱物性測定法の開発と、ソフトマテリアルのナノ/マイクロスケール異方性熱伝導への応用) という題目で、本文は英文で書かれている。本研究では温度波熱分析法を、積分変換を用いた熱拡散方程式の解析に基づいて体系的に整備し、幅広いアプリケーションへの適用を試みた。有機・高分子材料などのソフトマテリアルは、多様なサンプル形状を持ち、物性発現に寄与する構造も幅広いスケールに分布している。したがって、ナノ/マイクロスケール測定によって熱物性値を実測し、ソフトマテリアルの高次構造と4熱物性(熱拡散率、熱浸透率、熱伝導率、体積比熱)の相関を明らかにすることは、ソフトマテリアルを基板とした熱制御材料の開発において必須である。本研究では、温度波法の拡張とともに、サーモスペクトロスコピー法による、輻射率補正による精密な熱イメージングの動的描画や、非弾性散乱法によるフォノン分散関係の実測などと組み合わせによる新たな展開を提案する。

第一章 General Introduction では、積分変換による熱拡散方程式の解法により、多様な測定系に適用できる温度波の解析解を求めた。これにより、薄膜状のサンプルでの信号の内部較正、アスペクト比が低い形状を持つサンプルに対する多次元の解析、多層膜における特定の層の熱拡散率の見積もりなどの手法が体系的に整備された。これにより、多くの形状、形態をとる有機物に対して、広いスケールでの測定が可能であることが数学的に示された。

第二章 Measurement of the Multi-scales and Multi-thermophysical Properties Based on the Temperature Wave Analysis (TWA) Method では、3種の新規 TWA 法として、(1)自己規格化法による熱拡散率・熱浸透率同時測定法、(2)フォトサーマル型マイクロ TWA 法、(3)電子線を用いた TWA 法、について各々論じている。(1)では4-シアノ-4'-ベンチルオキシビフェニル液晶の液相・ネマチック相転移について、ダブルロックイン法による温度信号の自己規格化により、4熱物性の同時測定が可能であることを実験から示した。(2)ではマイクロスケール有機単結晶(PI, TPA)の熱拡散率測定を、熱起電力型マイクロ温度プローブの開発と、マイクロ径スポットレーザー照射によるフォトサーマル法の組み合わせにより実現し、応力誘起相転移下の熱拡散率変化を捉えた。(3)では、電子線リソグラフィによるナノスケール起電力型温度センサーを、ナノ薄膜上に作成し、電子線の交流照射によるナノ径スポット加熱によるナノスケール熱拡散率測定を可能とするなど、マルチスケールへの TWA 法の適用を実現した。

第三章 Temperature Imaging of the Emissivity Distributed Field by Means of the Thermo-spectroscopy では、赤外線 CCD を用いて、分散型赤外分光と輻射強度分布の同時イメージングを行うサーモスペクトロスコピー法を設計・開発し、(1)n-アルカンの相転移、(2)マイクロ流路内のスチレンラジカル重合、(3)マイクロ流路内の水-アルコール、酸-塩基相界面反応、における熱現象の定量的観測を、高速かつマイクロスケールの時空間分解能で行った。一般に、相転移や化学反応では、物質の輻射率が変化するため、輻射強度のみから温度を求めることは難しいが、開発した方法によれば分光したスペクトル情報から輻射率分布の変化を求め、正確な温度に変換することが可能である。

第四章 Anisotropic Phonon Propagation in Liquid Crystalline では、(1)ブリリュアン散乱(BLS)法、(2)非弾性 X 線散乱(IXS)法の2種類の非弾性散乱法によるソフトマテリアルのフォノン分散スペクトルの測定を行った。BLS 測定は 532 nm の入射光を用い、透過型の配置によってフィルム試料内を伝搬する弾性波の伝搬速度(音速)を求めた。透過型では、後方散乱型や反射型と異なり、得られるスペクトルのブリリュアンシフトがサンプルの屈折率に依存しないため、音速の絶対値を計測するのに有利である。BLS によって測定したフェニルピリミジン液晶の相転移に伴う音速の変化の異方性は、分子長軸方向に対して、各方向 1~2%程度であり、熱拡散率測定によって得られた 2 倍以上の異方性と大きく異なる結果となった。これらの比較により実効的なフォノンの平均自由行程を見積もり、この異方性が熱拡散率異方性を支配していることを明らかにした。

第五章 Spectroscopic Evaluation of the Anisotropy in Soft Materials では、光学的手法によるソフトマテリアルの異方性のイメージング解析法を、シンクロトロン赤外分光法とフェムト秒レーザー照射による微細加工プロセスと組み合わせることで、高空間分解能の分光異方性イメージング法として提案している。さらに、複屈折と分光二色性を同一波長で同時測定する方法論を提案し、Malus の Beer の法則を統合する光学的異方性測定法を提案した。

第六章 Concluding Remarks では、第二章から第五章の結果をまとめて総括し、開発した技術と新たに得られたソフトマテリアルの熱物理についてまとめ、今後の展望を述べている。