

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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	劉 芽久哉	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	森川 淳子	教授	塩谷 正俊	准教授
	審査員	大内 幸雄	教授	J.-C. Batsale	特任教授
		扇澤 敏明	教授		
		石川 謙	准教授		

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

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)と題し、英文で書かれている。新規温度波熱分析(TWA)法の開発により、液晶・高分子材料など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、ナノ/マイクロスケール測定により明らかにするとともに、サーモスペクトロスコーピー法の提案により、輻射率補正による精密な熱イメージングの動的描画を可能とした。同時に、ソフトマテリアルの熱伝導の物理について、非弾性散乱法によりフォノン分散関係を実測するなど、新たな展開を示している。

第一章 General Introduction では、ソフトマテリアルの熱伝導の解析法について、ラプラス空間における交流温度場の熱伝導方程式の解析解を Transfer Matrix 導入による Quadrupole 法により求め、1次元熱流を仮定した多層系について、実験系への適用の可能性を論じている。熱インピーダンスの周波数依存性の予測や、自己規格化法の提案により、標準物質による熱量校正を必要としない、熱浸透率項の実験的導出を可能であることを、数学的に示した。

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'-ペ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ーピー法を設計・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なった。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。

以上を要するに、本研究において提案した新規温度波熱分析(TWA)法及びサーモスペクトロスコーピー法は、ソフトマテリアルの高次構造と熱物性の相関を、ナノ/マイクロスケールの精密測定より明らかにするとともに、これらの結果を非弾性散乱法によるフォノンスペクトルの結果と併せて考察することで、ソフトマテリアルの熱物理の進展に貢献するなど、新たな展開を示している。このような複雑な構造不均一性の定量評価手法の確立により、熱物性制御に向けた材料設計・開発効率の向上が期待され、博士(工学)の学位に値する論文と結論された。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。