

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 南 康夫

本論文は「超高分解能迅速 Brillouin スペクトロスコーピー」と題し、フォノンの光散乱計測における周波数分解能の飛躍的な向上と迅速化を実現する超高分解能迅速 Brillouin スペクトロスコーピーを開発することを目的としている。

物体内のフォノンの伝搬から広帯域にわたる物質の力学物性を調べることができる。特に高周波域において熱フォノン計測により与えられる弾性率や粘性率は、物質の力学的な性質を分子ダイナミクスのレベルから解明する上で物理工学上非常に重要である。

最も一般的な音波の測定法には超音波パルス法や超音波共鳴法といった圧電素子を用いて超音波を送受信することによって測定するものや、Bragg 反射法や光偏向法といった超音波の送信には圧電素子を用い、検出には光を用いて測定する方法などがある。しかし、上述の測定法はいずれも圧電素子を接触させるため音場を乱す、あるいは高圧・高温などの極限環境下のように測定対象に圧電素子を取り付けられない、という欠点があった。また波長が光波長と同程度となる高周波域では音波の励振そのものが困難になるという問題があった。

これら超音波励起型の測定方法の問題を解決する方法として、Brillouin 散乱を利用した方法がある。物質中では、熱揺動によって起こる密度の揺らぎが超音波となって常に伝搬しており、この熱揺動が起源の超音波のことを特に熱フォノンという。Brillouin 散乱を用いた熱フォノン測定では、超音波の送信に接触型圧電デバイスを用いる必要がなく、また、超音波の受信には光を用いるため完全に非接触である。本研究ではこの Brillouin 散乱を利用した測定方法を採用するが、これまでこの方法には光学的分光器の分解能の不足により測定精度が超音波計測に比して決定的に劣るという欠点があった。また、熱フォノンによる Brillouin 散乱は一般に光の散乱能が非常に小さく、その検出には長時間を要するといった問題点があった。そこで、本研究では以上の問題点を解決すべく、周波数分解能の向上、光ビート分光法の迅速化、測定感度の向上を図り、超高分解能迅速 Brillouin スペクトロスコーピーを開発した。

本論文は 8 章から構成されている。

第 1 章は「導入」であり、本研究の背景と目的、および本論文の構成について述べられている。

第 2 章は「Brillouin 散乱」と題し、本研究で扱う Brillouin 散乱の基礎について詳述されている。

第 3 章は「装置幅と散乱光強度の実際」と題し、本研究で解決すべきフォノン測定の不確定性について詳述されており、また気・液・固体の三相についての Brillouin 散乱光強度の理論計算と実際の実験結果が比較検討されている。

第 4 章では「迅速 Brillouin スペクトロスコーピー」と題し、従来のロックイン検出による Brillouin スペクトロスコーピーを高感度化することにより、時間領域のゆらぎの実波形解析から Brillouin スペクトルを得る新たな分光法の開発について詳述されている。

第 5 章では「超高分解能迅速 Brillouin スペクトロスコーピー」と題し、共鳴器中で熱フォノンが共鳴する様子を上述の迅速 Brillouin スペクトロスコーピーで観察することにより、非常に高い周波数分解能が達成されたことが詳述されている。

第 6 章では「気体の回転緩和測定」と題し、気体水素の並進回転緩和を光散乱により観察した結果が述べられている。

第 7 章では「過減衰リブロン観察による高周波数における粘性測定」と題し、過減衰リブロンを観察することで、従来は観察できなかった高粘性の液体にリブロン光散乱法を適用できることが述べられている。この手法により 1 cSt~1000 cSt と広範囲の粘性測定が可能となり、ある種の会合性液体については粘性の緩和現象を示唆する結果も示された。

第 8 章では「結語」と題し、本論文の内容を簡潔にまとめている。

以上のように、本研究では熱フォノン共鳴観察および時間領域でのゆらぎ測定という新たな技術を導入し、フォノン測定の精度と迅速性を飛躍的に向上させることに成功した。また測定感度の向上にも取り組み、これまで検出が難しかった気体・固体中のフォノンについても上述の高精度・迅速測定が適用可能になった。さらに、過減衰リブロン光散乱測定により、これまで測定が困難であった kHz ~MHz 域の液体の粘性測定を可能にした。

このように本研究の成果は、フォノン物性を測定するの極めて高精度の手法を確立したという点で理工学への貢献が大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。