

論文の内容の要旨

論文題目 超高分解能迅速 Brillouin スペクトロスコーピー

氏 名 南 康夫

物体内の音波の伝わる速さを調べることで物質の弾性率を求めることができ、音波の減衰する様子を調べることで、音波が媒質中のさまざまな自由度と結合しそのエネルギーが流れていく過程を知ることができる。弾性率や粘性率は物質の力学的性質を特徴付けるもので、その測定をすることは工学的にあるいは物理学的に非常に重要である。

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、受信つまり検出には光を用いて測定する方法などがある。しかし、上述の測定法はどれも圧電素子を接触させるため音場を乱す場合や、そもそも測定対象に圧電素子を取り付けられない場合などの問題がある。

接触式の測定方法の問題を解決する方法としてBrillouin散乱を用いた方法がある。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散乱を用いた音波の測定方法は熱フォノンの伝わる速さや減衰する様子を調べる方法であるが、超音波の送信にデバイスを用いる必要がなく、また、超音波の受信つまり検出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散乱を用いた測定方法を採用するが、Brillouin散乱を用いた方法にも熱フォノンと光の相互作用時間が十分に長くないことによって、

測定精度に不確定性が生じるといった問題がある。この問題は特に音速が速く、減衰が小さい固体の物質で深刻な問題となり、MHz域の超音波吸収係数を求めることは事実上不可能である。

そこで、本研究では光との相互作用領域内を熱フォノンが何度も往復できるように試料をキャビティ内に閉じ込め、同一のフォノンを何度も測定する手法を用いた。この手法により見かけ上の熱フォノンと光の相互作用時間を長くし、測定の不確定性を低減させることに成功した。本研究により 10^{-6} という超高精度で音速を測定することが可能となった。

Brillouin散乱の散乱能は小さいため、Brillouinピークの観察は困難であった。したがって、これまではロックイン検出を利用していたのであるが、最近の測定感度の向上により $100\ \mu\text{s}\sim 100\ \text{ms}$ でBrillouinスペクトルの観察が可能となった。

さらに、上述の手法を組み合わせることで散乱能が気体固体に比べて大きい液体では超高分解能迅速Brillouinスペクトロスコーピーを完成させ、 $10\ \text{ms}$ オーダーという短い時間で 10^{-4} という高い精度で音速を測定することが可能となった。

熱揺動によって起こる密度の揺らぎが液体の表面に現れ、表面張力を駆動力とする波が常に伝搬している。この表面張力波をリップロン(Ripplon)とよぶ。Brillouin散乱に似た原理でリップロン光散乱が起こる。リップロン光散乱を用いたリップロンの観察方法により、表面張力、純ずり粘性といった流体の運動を記述するには欠かせない物性値を測定することができる。これらの値は工学的のみならず、物理学的にも重要である。というのは、例えば純ずり粘性の周波数依存性を調べ

ることにより粘性緩和，つまり，試料内分子などが種々の自由度間でエネルギーのやりとりをする時定数を調べることができるためである．従来のリブロン光散乱法ではリブロンが波として伝搬していることが大前提であったため，水や液体金属といった粘性の小さい液体にしかリブロン光散乱法を適用することはできなかった．本研究では，粘性が大きな液体に光散乱法を適用し，伝搬しないリブロンを観察することにより，1000 cStという非常に高い粘性を測定するのに成功した．