

平成 30 年 5 月 29 日現在

機関番号：15301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K13908

研究課題名(和文) 顕微光ビート方式ブリルアン分光法の開発

研究課題名(英文) Development of micro Brillouin spectroscopy using optical beating method

研究代表者

神崎 正美 (Kanzaki, Masami)

岡山大学・惑星物質研究所・教授

研究者番号：90234153

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は光ビート方式のブリルアン散乱分光法装置を自作して、それをフルイドと鉱物に適用すること、さらに微小試料にも応用できるように開発を行うことを目的としている。しかし、2016年10月に発生した地震の関係から、残念ながら研究の実施がひどく遅れてしまった。さらに本研究で使う予定であったレーザーにも問題が生じた。現在はブリルアン散乱分光法装置を自作するところまでは終わり、光学調整を行っているところであり、当初の目的が達成できるように今後もこの研究を進めていく予定である。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aimed to make a home-made optical-beating-type Brillouin scattering spectrometer, and apply it to fluids and minerals, and to develop a system which applicable to microscopic samples. However, due to the earthquake that occurred in October 2016, the implementation of the research was delayed severely. Furthermore, a laser which was planned to be used in this research also had problems. Currently, the Brillouin scattering spectrometer has been assembled, and optical alignments are being carried out. We plan to continue this research in the near future, so that our original goal can be achieved.

研究分野：鉱物物理学

キーワード：ブリルアン散乱 鉱物 フルイド 分光法 光ビート法

1. 研究開始当初の背景

地球科学分野では鉱物の音速測定等にファブリペロー干渉計方式のブリルアン散乱実験が1970年代から行われている。それらはマントル鉱物の音速決定などで大きな成果を挙げた。赤外分光やラマン散乱がそれぞれ新たな方法(フーリエ変換を使った分光)や新たな高感度検出器を使うことで発展する一方、ファブリペロー干渉計方式ブリルアン散乱は技術的な進展は止まってしまっている。そのため、測定はエネルギー(波長)を捜査する関係で測定時間がかかること、非常に狭い周波数領域しか測れないなどの問題は解決できない。一方、他分野では別方式のブリルアン散乱分光法がいくつも提案されているが、地球科学分野での利用はほとんどない。そのような状況下で、申請者は角度分散方式ブリルアン散乱を手持ちの光学パーツを使って試すなどの試行錯誤をここ数年行って来た。角度分散方式は冷却 CCD を 2 次元検出器として使えるために、より短時間で測定できるが、精度は犠牲となる。その後、光ビート法によるブリルアン散乱法を知り、その高速性や簡便性などの利点に魅せられて、その方法を地球科学分野に持ち込みたくて、今回の申請となった。また、光ビート法によるブリルアン散乱法は現在までマクロ測定にしか使われていない。これを微小試料に適用することができないだろうかとも発想した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、鉱物等の音速測定に利用されているファブリペロー干渉計方式ブリルアン散乱実験における諸問題を解決するために、光ビート式ブリルアン散乱分光法の開発を行うことである。光ビート分光では、入射ビームと参照ビームの 2 つが交差する部分におけるブリルアン散乱が得られるため、この空間選択性を生かすことで試料のみのブリルアン散乱測定ができると期待できるが、一方で散乱角が小さいことでこの強みを十分に発揮できない可能性もある。本研究では、まずマクロ用光ビート式ブリルアン散乱分光法の装置を自分で組み上げ、改良を行う。さらに、ここが挑戦的なところであるが、未だにマクロ測定手段として留まっている光ビート法を顕微法として発展させる。そして、ダイヤモンドアンビルセル中のフルイド・鉱物の音速測定などの惑星物質科学的な応用研究を実施し、その有用性と能力を評価する。

3. 研究の方法

光ビート法では、レーザービームを強弱の 2 つのビームに分割して、弱い方をプローブ光として使う。強いビームはブリルアン散乱発生に使う。2 つのビームは試料内で交差させる。強いビームによって試料中にブリルアン散乱がレーザーの光路に沿って四方八方に向けて生じる。当然プローブ光の方向にもブリルアン散乱は生じる。そのため、試料を通過したプローブ光には、ブリルアン散乱光も重なっている。ブリルアン散乱した光は少し

波長がずれているために、この 2 つの光が重なりと光ビート(うなり)を生じる。このうなりの周波数はちょうどブリルアン散乱の周波数となり、ビームの交差角度が数度程度であると、その周波数は 1 GHz 以下となる。1 GHz 以下の信号を電気信号として測定することは、高速の光検出器を使うと可能であり、光検出器の出力を高速のストレージ型デジタルオシロスコープで記録する。ファブリペロー干渉計方式に比べて、分光器の構成が圧倒的に単純になり、スペクトルは光ビート信号をフーリエ変換することで得られる。波長(エネルギー)を走査する必要がない利点は FT-IR にも似ており、高速測定を可能とする。一方、欠点としては、1 GHz 以下にするためには交差角度がどうしても小さくなることであり、これは特に顕微法として使う場合に難しい問題を生じさせる。

申請者は光ビート法の経験がないので、まず上記の原理のマクロ測定システムを組み上げて測定系のテストを行う。レーザーは既設の 532 nm 波長、100 mW 出力のものを利用する。ブリルアン散乱は非常に線幅の狭いレーザーを使う必要があるが、このレーザーは縦単一モードのものであり、ブリルアン散乱に適している。もう 1 つの重要な部品は検出器である。先に光ビート法の原理について紹介したように、検出器は高感度で、かつ高速(~1 GHz 帯域)でなければならない。色々探したところ、浜松ホトニクスのアバランシェフォトダイオード検出器モジュール(C5658)がそれらの条件を満たしており、それを使った。この検出器モジュールにはプリアンプが内蔵されている。さらにこの検出器プリアンプの出力をデジタルストレージオシロスコープで測定する必要がある。1 GHz 以上の帯域のデジタルストレージオシロスコープが必要であるが、その条件を満たすテクトロニクスの MD03102 を本研究費で購入した(予算が足りなかったため、運営交付金で一部負担した)。それ以外の光学パーツ(ミラー、バンドパスフィルター、光学ホルダーなど)は主にソーラボとエドモンドオプティクスから本研究費で購入した。

調整がうまくいくと、ビート(うなり)信号が測定されるはずで、これをデジタルストレージオシロスコープでサンプリングして、パーソナルコンピュータにデータ転送して、PC 側で高速フーリエ変換を行うと、ブリルアン散乱ピークを含むスペクトルが得られる。なお、デジタルストレージオシロスコープにも高速フーリエ変換機能が搭載されていることが購入後判明したので、ピークが観察されているかどうかはオシロスコープ単体でもチェックは可能であろう。それでもスペクトルの積算などは PC 側で行う必要がある。

このマクロ測定系を使って、測定しやすいとされる有機液体、水等を石英ガラス容器に入れて、マクロ測定をまず行う。ここで様々

な問題が出ると予想されるので、それらを解決していく。次に水晶、サファイア、ガラス等の大型試料(1 cm 程度)が入手可能な鉱物等についての測定を試みる。これらの測定を通して、この分光法に慣れる。また、高温下での測定も実施する。ブリルアン散乱は温度で強度が上がるために、高温下での測定は比較的簡単であると予想している。温度による相転移がある物質(水晶など)の測定にも挑戦する。

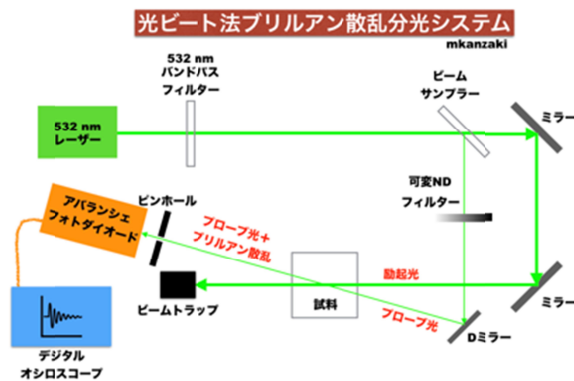
2 年目では顕微分光への展開をはかるが、これは難易度が高いと予想している。交差角の小さい(数度)の2つのレーザービームを作って、それを顕微光学系に導入する必要がある、これにはデザインを含めて、かなり試行錯誤が必要だと考えている。ここでの重要なポイントはレーザービーム径を予めかなり細くしておくことであると考えている。顕微光学系が完成すれば、1 mm 以下の試料について、測定を試みる。試料としては高圧鉱物等を考えている。最終段階では、ダイヤモンドアンビル中での測定が行えるように光学系をさらに改良する。ダイヤモンドアンビルセルでは、まず水やアルコールなど液体での測定を行い、ダイヤモンドからの散乱を低くなるようにできるか調整を行う。測定ができるようになったら、既設の外熱式ダイヤモンドアンビルセルを使って、地殻流体の音速を温度・圧力を変えて測る。また、高圧マントル鉱物結晶についての測定を実施する。

4. 研究成果

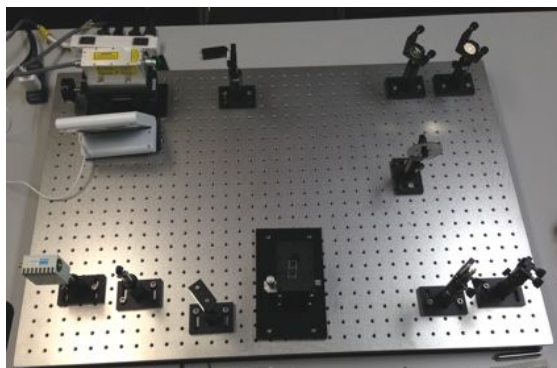
我々の三朝キャンパス内では3年前に三朝医療センターがその機能を停止して、2年前からその建物が惑星物質研究所の所有となった。申請者はこの建物の有効利用を図るために、2016年の夏前からこの建物に研究室をいち早く移動することになり、居室は移動して、実験室の移動も徐々に進めていたところであった。また、実験室として使う予定の部屋のリノベーションを実施する予定であり、その実験室の1つで本研究を進める予定であった。2016年10月21日に研究所のある三朝町内を震源とする震度5強の地震が発生した。申請者

の研究室における被害は軽微であったが、実験室の整備がこの地震の影響で実施困難になった。地震からの復旧が最優先であったため、地震の影響を直接受けていない実験室の整備のための予算はなく、居室でさえ1年半前は冬季にエアコンなしで過ごす状況であった。エアコンの新規購入もできず、当初予定していた部屋の整備は諦めて、エアコンが既にある部屋を確保して、そこに作業機を購入して、その上にプレットボードを置き、装置を組むことにした。とりあえずマクロ測定にはこれでも十分と判断した。しかし、今度はレーザー装置の問題が発生した。既存の532 nm 固体レーザーを本研究で使用する予定であったが、顕微ラマン分光法装置で使っているアルゴンイオンレーザーが故障し、532 nm

のレーザーをその代わりとして顕微ラマン分光法装置で使う必要が生じた。当時、6週間滞在の国際インターン学生および半年滞在の外国人インターン学生、ポスドクなどが顕微ラマン分光法を頻繁に使用するため、この措置を取らざるを得なかった。そのため、本研究の実施はさらに遅れることになった。さらに、顕微ラマン分光法装置でこの532 nm レーザーを使っている時に、動作不安定があることも分かった。長時間の動作において波長がずれるか、出力が突然落ちることが観察された。残念ながら、レーザーを買い換える余裕はなかった。現在は外部ファンを使って冷却しながら、調子を見ながら使っている状態である。このような様々なトラブルに見舞われ、本来予定されていた研究がほとんど進んでいないが、顕微ラマン分光法装置については、新しいレーザーを購入することができたため、動作が不完全ではあるが532 nm レーザーを本研究に再び使えるようになってはいる。現在、光学系をセットアップして、ブリルアン散乱シグナルが観察できるように調整を続けている状況である。残念ながら、上記の事情でまだ成果を挙げるところまで到達していない。しかし、マクロ測定装置自体は完成しており、さらに調整を行い、当初の成果が出せるように今後も進めていくつもりである。



光ビート式ブリルアン散乱分光装置の模式図



光ビート式ブリルアン散乱分光装置の写真 (組み上げ途中)

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.misasa.okayama-u.ac.jp/~masami/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神崎 正美 (KANZAKI, Masami)
岡山大学・惑星物質研究所・教授
研究者番号：90234153

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()