

氏 名	まる やま りゅう じ 丸 山 龍 治
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2465 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 原 子 核 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	中性子共鳴スピンエコー分光法のパルス中性子源への応用に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 川 端 祐 司	教 授 森 島 信 弘	教 授 伊 藤 秋 男
--------	----------------------	-------------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、中性子共鳴スピンエコー (NRSE) 分光法のパルス中性子源への応用とその高エネルギー分解能化に関する研究を行ったものであり、5章からなっている。

第1章は「序論」である。本研究の背景と目的及び意義を述べ、本論文の目的が以下の3点であることを明らかにしている。1) パルス中性子ビームに対して機能する共鳴スピンフリップパー (RSF) を開発すること。2) 1で開発した RSF を用いて、NRSE 分光法のパルス中性子ビームへの応用に関する基本的な原理を実証すること。3) NRSE 法のエネルギー分解能を高め、かつ中性子ビームの発散角を大きくとり入射中性子強度を稼ぐために、ビーム発散補正法を開発すること。

第2章では、「パルス中性子源に適用できる共鳴スピンフリップパーの開発」について述べている。まず、TOF 法を用いるとパルス中性子ビームは時間的に単色化されるという原理を利用した、RSF をパルス中性子ビームに適応する方法を述べている。次に、その方法に基づいて開発されたフリップパーに適用される磁場を制御するシステムについて述べ、このシステムを用いた RSF の性能を実際にパルス中性子ビームを用いて測定した結果を述べている。RSF における中性子スピンの反転過程及びスピン反転率を、シュレーディンガー方程式に基づいて考察し、RSF に適用される振動磁場の振幅を中性子飛行時間に反比例させて変調することで、0.3-1.0nm という広い波長域をもつパルス中性子ビームに対して RSF が適応可能であることを示している。

第3章では、「パルス中性子源に適用できる共鳴スピンエコー法の実証実験」について述べている。まず、実験配置を示し、中性子のフライトパスに沿った中性子スピン状態間の位相差について述べている。それによって、その実験配置で得られるシグナルが NRSE 分光器で得られるそれと同等であることを示し、本実験が NRSE 分光法のパルス中性子源への適応の実証実験としては十分なものであることを示している。次に、NRSE 法のパルス中性子源に適応する基本的原理が実証されたことを、実験結果によって示し、結論を述べている。

第4章では、「高分解能中性子共鳴スピンエコー分光法のためのビーム発散補正法」について述べている。中性子スピンエコー法のエネルギー分解能は、サンプルの上流、下流で蓄積される中性子スピン固有状態間の位相差に比例するため、実際の分光器では、磁場の不均一さや中性子ビームの発散角により、蓄積される位相差にばらつきが生じる。サンプルで散乱させないダイレクトビームを測定する場合には、それらの影響はサンプルステージの上流、下流で相殺さる。しかし、サンプルからの散乱ビームを測定する際には、散乱前後で発散角に関する相関が失われるので、位相差のばらつきはサンプルの上流、下流で独立に生じる。この位相差のばらつきが π rad と比較して無視できないほど大きくなると、サンプルでの散乱過程においてエネルギー遷移がないにもかかわらず散乱ビームの偏極率が減少し、中間散乱関数 $I(Q, t)$ の測定ができなくなってしまう。本章ではまずこの影響によって NSE 法のエネルギー分解能が制限されることを定量的に示し、次に、この制限を取り除くための位相差のばらつきを補正する方法について、これまでの開発の現状とともに本研究で新しく開発された方法を述べている。これは、従来の NRSE 分光器におけるゼロ磁場のフライトパスの代わりに、発散ビームに対して

最適化されたガイド磁場を用いる方法である。この補正法の有効性を確認するために、コイルで発生する磁場を Biot-Savart の法則に従って求め、その結果を用いてシミュレーションによる評価を行っている。シミュレーションの方法と結果について述べ、さらに実際の NRSE 分光器で実現するための課題と共に結論を述べている。

第5章では、各章で得られた結果をまとめるとともに、今後の課題を加えて本研究の総括を行っている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、中性子共鳴スピンエコー（NRSE）分光法のパルス中性子源への応用とその高エネルギー分解能化に関する研究を行ったものであり、以下のような成果が得られた。

- 1) 共鳴スピンフリップパー（RSF）における中性子スピンの反転過程及びスピン反転率を、シュレーディンガー方程式に基づいて考察し、RSF に適用される振動磁場の振幅を、中性子飛行時間に反比例させて変調することにより、0.3-1.0nm という広い波長域をもつパルス中性子ビームに対して RSF を適応させることができることを示した。
- 2) パルス中性子源に適応できる RSF によって NRSE 分光法もパルス中性子源に適応できることを示すために、分光器を単純化したスピン干渉システムを提案し、実際のパルス中性子源におけるスピンエコーシグナルの実測に成功した。その結果、NRSE 分光法をパルス中性子源に適応するための基本的な原理が実証された。
- 3) 中性子ビーム発散補正は、スピンエコータイムの大きい（エネルギー分解能の高い）中性子共鳴スピンエコー分光器開発に不可欠である。ここでは新しい考え方に基づく方式を提案し、その有効性を示すためのシミュレーション計算を行った。Biot-Savart の法則に基づいてガイドコイル（ビーム発散補正コイル）により生じる磁場分布を計算し、さらにその磁場分布を用いて発散ビームに対して生じる位相差、ガイド磁場領域を通過した際の偏極率およびサンプルで弾性散乱された際のスピンエコーシグナルを計算した。その結果、本研究で提案したビーム発散補正コイルが極めて有効であることを示すことができた。

本論文は、中性子共鳴スピンエコー分光法の実用化のため、実際にパルス中性子源において原理実証を行うと共に、高性能化のために必須である中性子ビーム発散補正の新しい方式を提案し、その有効性を示したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年12月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。