

X線分光を用いた超強磁場下での新奇電子・磁気状態の探索法の確立

岡山大・院自然 原田 勲 東北大・金研 野尻浩之、松田康弘

1. はじめに

スピンを用いた物質制御は21世紀のキーテクノロジーとして期待されており、強磁場を用いたスピン制御が注目されている。一方、最近の放射光施設の進展により、高エネルギーX線分光を用いた元素別かつ殻別電子状態の詳細な研究が可能になっている。従って、この高エネルギーX線分光を用いて、強磁場下での新しい量子物理現象やそれらに伴う新機能の研究を基本的な電子状態に立ち返って理解し、それらより新しい材料の開発を行うことが可能になりつつある。

2. 研究経過

しかしながら、未踏の強磁場を用いたX線分光は多くの技術的難題をクリアしなければならない。その一つの重要な柱が理論的解析手法の確立である。この様な状況のもと、高エネルギーX線分光およびそれらの磁気円二色性の理論解析に実績を持つ岡山大・原田研と強磁場下におけるX線分光に実績を上げている東北大金研・野尻研が協力し、強磁場下における磁性体の新しい相の解明や機能を探索するため、様々な物質の実験スペクトルの集積とそれらの定量的な理論解析を行うことに同意し、この1年間共同研究を実施してきた。この様な得意分野を持つ両研究室が共同研究を開始し、新しい研究分野を切り開きつつあることはタイムリーで、十分価値のあることである。

3. 研究成果

私たちはこれまで、理論的立場より長い間混乱していた希土類元素L吸収端磁気円二色性の解釈に1つの解答を与え、その機構について様々な角度から検討し、多くの実験結果と矛盾しないことを確かめてきた。この共同研究の初期段階においても、そのことを確認する研究を行い、USAで開かれたXAFS13などで成果を発表した。

それらの基礎に立ち、本年度は特にEuNi₂(Si_{1-x}Gex)₂における磁性と磁場誘起価数転移についての研究を行った。金研・野尻グループによって観測されたEuNi₂(Si_{1-x}Gex)₂ x=0.82でのEu L端X線吸収スペクトルはEuの2つの原子価に対応する特徴的な2つのピーク構造を持っており、それらの強度は磁場とともに変化する。測定されたこのEu L吸収端スペクトルの磁場変化を解析し、Euの価数転移について詳細な検討を行い、これが磁場による価数転移であることを確認した。この価数転移は温度効果としても観測されているが、両者（量子揺らぎと温度揺らぎ）の類似性と相違性について現在検討中で、それらをまとめた成果として論文を準備中である。

これらの成果をもとに、理論の側からは更に実験中にリアルタイムで解析できるソフトを開発し、実験グループに提供することを目指している。

4. まとめ

本研究は単に実験の解析に留まらず、X線分光による強磁場下での未知なる電子・磁気状態の探索、解明に力点を置き、新しい物理現象の起源解明、機能性材料の評価、新しい機能性材料の開発指針の発見に寄与することを目指した。

このように、強磁場下での高エネルギー分光による研究は始まったばかりであり、将来におけるこの分野の学問的広がりには計り知れない。そのような状況で私たちの研究、実験家と理論家の密接な協力による共同研究、は未開拓の分野では欠かせない作業であり、1つの方向を示している。勿論、実験手法の開拓や理論からの新しい観測の提案など各々による努力が必要であることは言うまでもない。

1. 発表（投稿）論文

“X-ray magnetic circular dichroism at Rare-Earth in the L_{2,3} absorption edges in various compounds and alloys”, J.C.Parlebas, K.Asakura, A.Fujiwara, I.Harada and A.Kotani, Phys. Rep. 431 (2006) 1-38.

“X-ray magnetic circular dichroism at L edges of Er in Laves phase compounds, I. Harada, A. Fujiwara and A. Kotani, AIP Conf. Proc. 51 (2006) 425-427.

小型強磁場分光システム開発

熊大・院・自然 横井 裕之 東北大・金研 野尻 浩之

1. はじめに

近年、パルス磁場発生技術の大幅な進展により、非破壊で80 T級の磁場が得られ、非破壊100 T磁石の開発も夢でなくなりつつある。従来、80~100 T以上の磁場は、破壊的に数マイクロ秒のパルス幅でしか得られなかったが、ミリ秒オーダーの非破壊100 T磁場が得られるようになれば、測定精度が格段に上がるとともに、極低温域の超強磁場物性など、新たな物性探索を大いに進められると期待される。しかしながら、そのようなシステムは、フライホイール等を有する大型施設となり、ランニングコストやマシンタイム等の制約を受けることが予想されるので、強磁場に関連した研究課題を効率的にこのような非破壊超強磁場システムにステップアップさせる必要がある。そのためのひとつの方策として、大学の一研究室規模で簡便に運用できるパルス強磁場物性測定システムを開発して、予備実験を念入りに行うことが有効であると考えられる。

本研究では、数 kJ レベルのミニコンデンサーバンクを電源とするミニマグネットシステムに、磁気光学測定系を組み合わせた小型強磁場分光システムを開発し、光吸収やフォトルミネッセンスを 30 T 域の強磁場まで簡便に測定可能とすることを目的とする。本年度は、まず、ミニコンデンサーバンクシステムの設計と製作を行った。

2. 研究経過

光学測定の場合、Voigt 配置で磁場中心位置にプリズムを 2 個配置したプローブを挿入することを想定して、磁場コイルのボア直径を少なくとも 8 mm とする必要がある。用意したコンデンサーの充電エネルギーは合わせて 2 kJ 程度であり、0.3 m²程度の床面積しか必要としなかったが、ボア直径が 8 mm のコイルでも将来的に 30 T 域の磁場が発生できて、かつ、実験室間の移動が容易に行えるように、デスクサイズ (0.8 m²) の可搬型コンデンサーバンクとした。制御系には磁気物理学研究室で開発されてきた制御回路にパルス光源や検出器とのタイミング合わせのためのトリガー回路を加えた。

3. 研究成果

図 1 にコンデンサーバンク部を示す。軽量化のため乾式コンデンサーを設置した。充放電回路部はこの上部に連結する。図 2 に放電制御回路とサイリスター駆動回路を示す。どちらの回路についてもさまざまなパルス磁場測定に対応できる汎用的な回路設計を行った。さらに、回路をプリント基板化することにより部品と回路の標準化を図ったので、さまざまな研究開発分野の一研究室規模でパルス強磁場を利用することが容易になった。本研究ではこのような普及型の 2 kJ コンデンサーバンクにより 30 T の磁場発生が可能となった。



図 1 キャスター付コンデンサーバンク。奥行きを 820 mm 弱としているので、標準的な実験室のドアを通過できる。

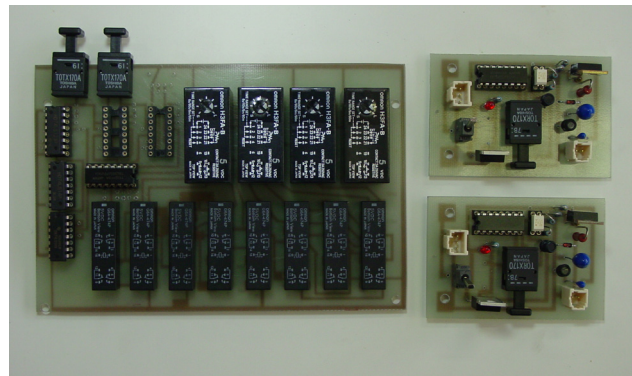


図 2 放電制御回路 (左) とサイリスター駆動回路 (右 2 つ)。回路はどちらもプリント基板化した。放電制御回路の空 IC ソケットはトリガー回路を拡張する場合に用いる。

4. まとめ

小規模な研究室でも簡便にパルス強磁場が利用できる普及型の 2kJ コンデンサーバンクシステムの開発を行い、30 T のパルス磁場発生を可能とした。光学測定ばかりでなく各種パルス磁場測定に対応できるトリガー回路を組み入れた汎用的な放電制御回路設計と回路のプリント基板化により、幅広い研究開発分野にパルス磁場研究が普及すると期待される。

5. 発表（投稿）論文

なし