

論文審査の結果の要旨

氏名 木原 工

本論文は5章から構成されている。

第1章は序章であり、パルス磁場下における熱量測定の先行研究や、磁気熱量効果の常温付近での磁気冷却技術への応用研究に関する記述の後に、本研究の目的が簡潔に述べられている。

第2章は磁気熱量効果の測定原理とパルス磁場を用いた磁気熱量効果測定装置の開発について詳しく述べられている。磁気熱量効果とは、断熱状態にある試料にかかる磁場を変化させた場合に試料の温度が変化する現象を指す。パルス磁場下では磁場の変化が速いために断熱条件が得られやすいが、その反面、試料の温度を速い応答速度で読み取らなければならないという困難さがある。ここでは抵抗温度計として高温用 (Au) と低温用 (AuGe 合金) の2種類を用い、これらを試料表面に直接蒸着することにより試料と温度計の間の熱緩和時間を最小にし、パルス磁場の時間変化に対して遅れることなく試料温度を読み取ることに成功している。また強磁場下では抵抗温度計の磁気抵抗効果を無視することができないが、これも正確に測定し補正を行っている。

第3章では2種類の標準試料を用いた磁気熱量効果の測定例について紹介している。第一は常温にキュリー温度を持つ強磁性体 Gd で、キュリー温度付近における正の磁気熱量効果がパルス磁化下で正確に測定され、試料と温度計が熱平衡にあること、試料が断熱条件にあることなどが示されている。またゼロ磁場での比熱測定から求められたエントロピー曲線を基に磁場中のエントロピーの温度依存性を実験結果から求め、これが定常磁場下の比熱測定の結果とよく一致することがしめされている。第二は GGG ($\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$) で、この系は Gd スピン ($S=7/2$) がゼロ磁場下では低温まで秩序化しないことが分かっている。よってゼロ磁場では 1 K 以下に大きなエントロピーが残っている。そのため、ゼロ磁場での比熱測定からは系の全エントロピーを評価することが難しい。ここでは GGG の 6 K から 30 K までの磁気熱量効果の測定を行い、10 K での定常磁場下の比熱測定から求めたエントロピーの温度依存性を基に種々の磁場、特にゼロ磁場におけるエントロピーの温度依存性が評価可能であることを示した。

第4章では、メタ磁性を示す形状記憶合金である NiCoMnIn における磁気熱量効果の実験結果について詳しく述べられている。NiCoMnIn 合金 ($\text{Ni}_{45}\text{Co}_5\text{Mn}_{36.5}\text{In}_{13.5}$) は 300 K 付近を境に高温では立方晶オーステナイト相の強磁性、低温では正方晶マルテンサイト相の常磁性状態にあり、オーステナイトからマルテンサイトへの結晶変態が形状記憶作用を示すことが知られている。またマルテンサイト相において強磁場をかけると、メタ磁性転移とともにオーステナイト相への逆変態が起こることがわかっている。またこのとき、大きな負の磁気熱量効果を示すことが知られていたが、磁気熱量効果の起源についての詳しい研究はこれまでなかった。木原氏はこの磁場誘起のマルテンサイト逆変態に伴う磁気熱量効果をパルス磁場下で詳細に測定し、系のエントロピー変化の寄与を特定することに成功した。磁気熱量効果の解析の結果、オーステナイト相は有効スピンの 0.88 の強磁性平均場モデルに良く合い、マルテンサイトは有効スピンの 0.65 の常磁性状態で理解できることがわかった。すなわち、マルテンサイト相からオーステナイト相への磁場誘起転移におけるエントロピーの変化は、有効スピンの増加による増分と、強磁性転移に伴う減少分との競合によってわずかに負の値を取る。一方、比熱測定の結果から、両相で伝導電子のエントロピーの差は無視できるほど小さいが、格子系のエントロピー変化は大きな正の値を示すことがわかった。これらの結果から、木原氏は NiCoMnIn 合金のマルテンサイト逆変態に伴う負の磁気熱量効果の起源は、格子エントロピーの増加と磁気エントロピーの減少との競合によって起きていることを示した。

第5章は全体の総括に充てられている。

以上のように本研究はパルス磁場下における磁気熱量効果の測定法を確立し、それが磁場誘起の相転移の研究に有効であることを示した。これらの成果は強磁場科学の発展に対する貢献度が大きいと評価される。

なお、本論文第2章および第3章は徳永将史氏、小濱芳允氏、橋本義昭氏、勝本信吾氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって装置開発および試験を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって審査員一同は、本論文が博士(理学)の学位を授与するにふさわしいものであると認定した。