

論文審査の結果の要旨

氏名 丹治亮

本論文は、制振材料と呼ばれる、力学的に特異な性質（機械的なエネルギーを散逸する能力が極めて大きい）を示す材料の物性に関する研究をまとめたもので、6つの章と付録からなる。第1章では、序論として、構造体の損傷、騒音、雑音の回避に振動抑制は重要な技術である点、その中で、構造体自体に機械振動の散逸機能（内部摩擦）を持たせる制振材料技術は、システムの簡素化・省スペース化などの視点から期待できる点が述べられ、従来、行われている研究の多くが室温以上の温度領域での応用を想定しており、これに対して極低温を対象とした研究は数少ないことが指摘されている。その上で、真空・低温環境では高分子材料の機能が厳しく制限されるため、非高分子制振材料の研究が重要である。しかし、内部摩擦の機構に関しては不明な点が多く、物性の観点からの研究が必要である。そこで、その代表的なものである Mn-Cu 合金の内部摩擦の極低温での振る舞いと磁性の関連を系統的に調べるとともに、実用性を検討することを目的とすることが述べられている。

第2章では、今回、試料に用いた Mn-Cu 合金の性質が概観されている。80 at.%程度の Mn を含む γ 相 Mn-Cu は常温近くで大きな内部摩擦を有することが良く知られている。しかし、極低温での振る舞いに関しては、あまりデータがない。また、 γ -Mn-Cu は磁気的な乱れによって低温でスピングラスとなる。特に、 $\text{Mn} > 70 \text{ at.}\%$ では、反強磁性相からの冷却によってスピングラスとの共存が起こる。これをリエントラントスピングラス(RSG)と呼ぶ。RSG は凍結の過程が未だ明らかにされていないことなどから現在も研究の対象になっていることが述べられている。ただし、強磁性 RSG の場合と比べて反強磁性 RSG の研究は磁気応答が小さいことのために非常に少ない。したがって力学的手法を用いた本研究は反強磁性 RSG に関する貴重な情報を提供できる可能性があることを指摘した。

第3章では、今回行った実験の概要が述べられている。試料には、(独)物質・材料研究機構から提供された γ - $\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x$ ($x=0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.40$) の鋳造材を用いた。内部摩擦測定は今回の研究のために作製した。試験片と、無酸素銅製のクランプでカンチレバーを構成し、これを GM 型パルスチューブ冷凍機の 4K コールドステージにマウントして冷却した。カンチレバーのたわみ計測には、光センサーを用いた。すべての測定は、汎用アプリケーションを利用して作成した自動測定用プログラムを用いて行った。

第4章では測定結果を報告している。測定には、共振法を用い、カンチレバーの基本モードの自由減衰振動から、位相と振幅の時間変化を抽出し、これらに回帰を施すことで共振周波数(100Hz 程度)と内部摩擦を求めた。具体的には以下の特性を調べている。

- 振幅一定条件下の温度依存性
- 等温条件下の振幅依存性
- 温度・振幅依存性に対する振動周波数の影響

● 温度・振幅依存性に対する磁場の影響

また、磁気凍結温度 T_f を求めるため、SQUID 磁束計(MPMS、 Quantum Design)を用いて磁気測定を行い、磁気相図や過去の測定結果と比較して、矛盾がないことを確認している。

第5章では、測定結果に対して考察を行っている。 $x=0.15$ の場合、250K を中心とした比較的鋭いピーク P_2 と、150K 以下に広く分布したピーク P_1 が見られた。このうち前者は従来から知られている双晶境界の運動に関連した緩和型ピークである。また、磁化測定結果との強い相関や、 $x>0.30$ での P_1 の消失などから、スピングラスのリエントランスが重要であることが分かった。さらに、 P_1 は強い振幅依存性を持つことから、リエントラント相の反強磁性磁壁の運動が内部摩擦の起源になっていることを指摘している。そして、この見解に基づいて、2つの理論モデルを用いて振幅依存性を解析し、比較し、磁壁のダイナミクスの変化が温度変化に影響しているとするピンギの影響の下で運動する転位(磁壁)が、粘性を受けることによってエネルギーを散逸させるモデルに基づいて議論を進め、この描像によって、内部摩擦に対する周波数や磁場の影響もある程度理解することを示した。

第6章では、全体をまとめており、Mn-Cu 内部摩擦の低温ピーク P_1 と磁化との強い温度相関を明らかにし、スピングラスに起因した内部摩擦という非常にユニークな提案を裏付けた。さらに、双晶境界のピンギが関与していることや、ピンギエージェントが磁気凍結によって生じているという新たな見解が得られたことを述べている。付録では、試料の形状に対する力学モデルを説明した。

本論文においては、試料の準備や磁気測定に関しては、物質・材料研究機構の殷福星氏、松下明行氏との共同研究であるが、本人の寄与が極めて大きいことが認められた。したがって、博士(科学)の学位を授与できるものと認める。