

トンネルダイオード振動法を用いた超高压力下における 磁気相図決定手法の開発

プロジェクト代表者：理工学研究科 准教授 小坂昌史

1. 研究目的

超高压力下において精度の高い転移点の決定手法を開発することが本研究の目的である。磁気相図の作成は物性研究において最も重要であり、秩序変数の特性がそこに如実に現れ、多くの情報を得ることができる。しかしながら、4GPa(4 万気圧)を超える圧力領域では光学測定を除けば、電気抵抗が唯一測定可能な物理量といっても過言ではないのが現状である。電気抵抗は全ての相転移には敏感とは言えず、磁気転移点などの決定には常に不明瞭さを伴っている。最も相転移に敏感な比熱測定は、圧力媒体中に試料を置かねばならない制約から圧力下への対応は困難な状況にある。そこで、比較的容易に転移点を決定できる新しい手法が求められている。本研究は下記に述べる二つの技術を互いに最適化し、組み合わせることによって、4GPa を超える圧力領域で精度の高い磁気相図決定手法を確立することを目指した。

2. 研究計画

申請者はこれまでに高压力下での磁化、電気抵抗などの基礎物性測定をピストンシリンダー型の圧力セルを用いて行ってきた。ピストンシリンダー型圧力セルの特徴は比較的広い試料空間（ $\phi 5 \times 10 \text{mm}$ ）を確保できるところにある。現在、このタイプのセルの最大発生圧力は4GPa 弱であり、申請者が加わったグループが開発した NiCrAl 超硬合金と CuBe 合金製のハイブリッドタイプの非磁性セルが物性研究のスタンダードとなっている。しかし、より高い圧力下での測定を行うためには圧力発生空間をより小さくする（ $\phi 1.0 \times 2.0 \text{mm}$ 以下程度）ことを余儀なくされる。そこで、今回は最も発生圧力の高いダイヤモンドアンビルセル（DAC）を用いることを計画した。

一方、申請者は平成17年度に文部科学省の「海外先進教育研究実践支援プログラム」により米国フロリダ州の国立強磁場研究所に10ヶ月間滞在し調査・研究を行い、相転移に敏感な測定手法に出会った。トンネルダイオード振動法（TDO）と呼ばれ、トンネルダイオードを用いた共振回路を使用し、共振周波数の変化から試料表面に流れる電流の変化（表面インピーダンス）を検出するものである。国内では数名の研究者が行った報告があるのみである。TDO法の特徴的な点は非接触で測定できること、また必要なコイルの巻き数は僅か数ターンで十分な感度を得られることである。これは極めて狭い空間での測定が可能であることを意味しており、DAC中での測定にも対応できるはずである。また、非接触であるため、従来の電気抵抗測定に比べ試料のセッティングは格段に容易になる。さらに、トンネルダイオードを用いた共振回路は15mm \times 5mm程度の基板上にまとめることができるため、回路全体を冷却して熱雑音を減少することができる。まさに、TDO法は極低温・強磁場・超高压という多重極限環境下での測定に打って付けだと考えている。

本研究はダイヤモンドアンビルセル（DAC）を用い、その極微小試料空間（ $\phi 0.4 \times 0.08\text{mm}$ ）において、TDO法により相転移点での異常を明確に検出できるシステムを作ることにある。

3. 研究成果

本年度の目標は常圧下でのトンネルダイオード振動法（TDO）の開発と超高圧力を発生することができるダイヤモンドアンビルセル（DAC）の制作と改良であった。図1に作成したTDOサーキットを示す。下方向に見えるコイルに試料を設置して測定することになる。試行錯誤の末に観測に十分な発振を確認することに成功した。現在は参照試料を用いた実験を極低温環境下で行うためにプローブ等の準備を進めている段階である。

DACに関しては目覚ましい進展があった。本研究で用いるDACは超小型（外径10mm ϕ 、長さ9.5mm）であることにその特徴がある。そのため、簡便に極低温に冷却することが可能になる反面、ダイヤモンドの平衡調節機構を廃したことにより到達圧力に若干の不安があった。しかしながら、8GPa（8万気圧）を容易に達成できることがわかった。目標である最高発生圧力の10GPaにも届く感触を得ることができた。本研究でDACの設計について、いくつかの改良点を見いだすことができ、今後改良を加えていく予定である。

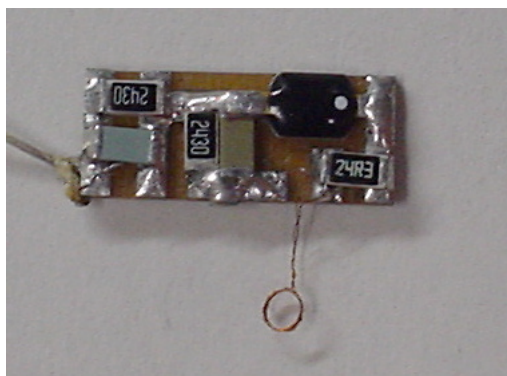


図1. トンネルダイオードを用いた発振回路。コイル内に測定試料をセットして、温度や磁場などの外部環境の変化に対して、表面電流の変化分を回路の共振周波数の変化として検出する。駆動電圧が低く発熱の心配もないため、ヘリウム温度以下でも高感度の測定を行うことが可能である。

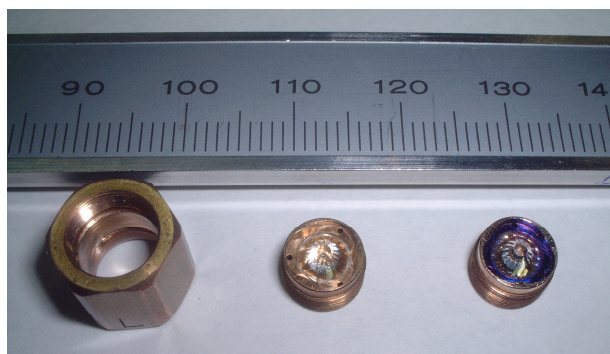


図2. 超小型化を試みたダイヤモンドアンビルセル。研究室所有の ^3He 冷凍機に取り付けることができる。