

論文審査の結果の要旨

氏名 根間 裕史

本論文は、グラファイト表面に吸着された2層目の2次元整合固体ヘリウム3の磁化を1 mK 以下において10 テスラの強磁場まで初めて測定したものであり、全6章から構成されている。

第1章は序論で単原子層固体ヘリウム3の低次元系としての特徴・位置づけと本論文の全体の構成が述べられている。

第2章では吸着基盤として用いられるグラファイトの構造と吸着原子が感じる皺状吸着ポテンシャルについて述べた後、それに物理吸着された第1層と第2層の ^3He 薄膜の相図が示されている。第1層と第2層では密度を増やすと、 ^3He 原子は2次元フェルミ流体から整合固体を経て不整合固体までを実現する。特に本論文の研究対象である第2層では、第1層の $4/7$ の密度で $4/7$ 相と呼ばれる整合固相が形成されることが示されている。

第3章では、 ^3He 薄膜の磁性について、これまでの理論的・実験的背景と本研究の目的が述べられている。固体ヘリウム3（核スピン $S=1/2$ ）の磁性は、大きなゼロ点振動による原子自身の直接の位置交換から生ずる交換相互作用で記述される。ヘリウム3原子はハードコアを持っており、その位置交換のためには、周りの原子を押し退けねばならない。その結果、原子間相互作用としては、2体のみならず3体、4体などの多体交換（MSE）が重要となる。さらに偶数体は反強磁性的、奇数体は強磁性的であり異なる交換相互作用が競合している。このフラストレーションの大きな系の基底状態の理論的予想が4体交換の強さをパラメーターとして古典系および厳密対角化による量子系について示されている。実験的には、吸着第2層の単原子層固体ヘリウム3について、これまでの比熱、帯磁率の結果を示した上で、本研究の目的が簡潔に述べられている。

第4章では、実験装置が述べられている。まず試料を強磁場のもと mK 以下の温度領域に冷却するための核磁気冷凍機と温度計などが示されている。ついで試料セルの製作、表面積の測定について述べた後、本実験において10 T までの磁化曲線を得る

ために試みられた double gradient Faraday 法と数 MHz から 350MHz までの広い周波数領域をカバーする定在波を用いる cw-NMR 法について詳しい説明がされている。

第5章は、NMR による実験結果とその考察である。はじめに、常磁性の試料を用いて、強磁場中での試料の冷却や 100 MHz 以上の高周波による発熱に対して、測定系に問題がないことを確かめた。さらに 4/7 相について、それぞれの静磁場での磁化の大きさを比較するために、次の様な工夫をした。まず Curie 則が成立する十分高温における磁化の温度依存性を用いて飽和磁化 (M_s) に対応する信号値を決め、それを用いて各磁場における偏極度 ($P=M/M_s$) の温度依存性を低温域まで求めた。こうして得られた各静磁場での偏極度 (P) の温度依存性を用いて、各温度での磁化曲線を導出した。その結果、最低温度である 0.7 mK での磁化曲線から次のことが判った。1) $P = 1/2$ に狭いながらも磁化のプラトーが存在する。これは理論的に予想されていた長距離秩序をもつ 4 副格子の uuud 構造に対応するものであると考えられた。2) P が約 1/4, 2/3 にも折れ曲がりが見られるが、新たな磁気構造のへ変化があるのかもしれない。3) 磁化の飽和は予想以上に高い約 10 T 程度の高い磁場で起こる。4) 低磁場 (<0.5 T) の磁化曲線は、より低磁場での従来の結果とも合せると原点近くを通っており、スピングャップはゼロあるいは非常に小さい。以上の結果を、公表されている MSE モデルによる予想と比べたが、その一致は十分なものとはいえない。しかしそこで用いられてきた 5 体交換相互作用 (J_5) と 6 体交換相互作用 (J_6) の大きさには不確定要素があり、 J_5 や J_6 を含めて交換相互作用パラメーターの適当な組み合わせを考えると測定結果を説明できる可能性を指摘している。さらに Mott-Hubbard モデルに基づく磁化プラトー、飽和磁場などの予想とも比較検討しているが、いずれのモデル計算も少数系に対するものであり、今後より多数のスピン系での計算が望まれている。

第6章は本論文の総括であり、本研究で明らかにされた 4/7 相の固体ヘリウム 3 に関する新しい知見の要約とともに将来の展望が述べられている。

なお、本論文は、石本英彦、山口明、早川貴裕との共同研究であるが、試料セルの作成・テスト、NMR を用いた測定とその結果の整理・分析はすべて論文提出者が主体となって行ったものである。特に超低温での測定は半年から 1 年にわたる長期の連続的な実験が必須で、論文提出者の寄与が非常に大きかったと判断される。

したがって、博士 (科学) の学位を授与できると認める。