論文審査の結果の要旨

氏名　鎌田　雅博

グラファイト表面さらにはそれを修飾した表面上に吸着したヘリウム３（^{3}He）原子層は清浄極限の強く相互作用する２次元フェルミオン系を構築する。^{3}He 原子密度を関数として、フェルミ液体、整合固体、非整合固体などの多彩な相が発現する。整合固体相では核スピンの量子スピン液体の出現も報告されている。本研究では HD２層を敷いたグラファイト上の ^{3}He 原子の系、^{3}He/HD/HD/Gr、の精密比熱測定を幅広い原子密度領域で行った。その結果、圧縮性が高く、量子液晶相であることも推察される疑似 C2 相、整合固体でかつ量子スピン液体状態が実現する C3 相の二つの新しい量子相を発見した。論文は 9 章から構成されている。

第１章では本研究の導入として、二次元量子多体系の物理の研究が紹介され、その中に ^{3}He 二次元原子層の研究が位置付けられている。

第２章では、本研究の背景として、グラファイト上の ^{3}He 原子層の研究の概要と問題意識がまとめられている。グラファイト上に ^{3}He 原子を直接吸着させた系、さらに ^{3}He 一層，^{4}He 一層，H_2 二層，HD 二層、DD 二層を下地として堆積させた上に吸着させた系がこれまで研究されてきた。下地に対して、4/7 の占有率付近で出現する量子相は C2 相と呼ばれ注目されている。これまで C2 相は整合固体相と考えられてきたが、その解釈に異論も出てきている。密接に関連する話題として電子スピンの量子スピン液体の概念が最後に準備として記述されている。

第３章では、希釈冷凍機の構成、比熱測定装置と測定手順、解析などの実験手法の詳細が述べられている。

第４章では、HD の下地作製法、^{3}He の吸着法など、試料の作製法が述べられている。アモルファス相の寄与を見積もり、実効的な ^{3}He 密度の見積もりを定式化した。

第５章では、これまで二重 HD 相以外の占有率 4/7 の整合固体相で量子スピン液体の舞台であると考えられてきた C２相近傍の比熱を報告

している。比熱の振る舞いは他系で報告されたC2相の振る舞いとよく一致している。しかし、この振る舞いは極めて幅広い密度領域(5.05<ρ<7.15nm^{-2})で観測され、特徴的な温度J_cによる比熱のスケーリング挙動は系の状態が領域内で連続的に変化することを示唆する。極めて大きな圧縮性と連続性は、特定の密度で安定化される整合固体相との描像とは矛盾する。広い濃度領域にわたって存在する相を疑似C2相と名付け、その圧縮性から量子液晶相に対応すると結論している。疑似C2相よりさらに濃度の高い領域では非整合固体相が出現し、そこでの比熱の振る舞いは強磁性の出現と矛盾しない。

第6章ではC3相の発見と疑似C2相との間の相分離の観測が述べられている。疑似C2相よりさらに低密度側では、比熱の振る舞いが質的に変化する。この領域の比熱は疑似C２相の比熱ともう一成分の比熱の単純な足し合わせで表現され、二成分の寄与割合が線形に変化する。この挙動は相分離の存在を示唆する。疑似C2相との間に相分離を示す相はC３相と名付けられ、その存在濃度領域の狭鋭さから、C3相が真の整合固体であると結論された。C3相の磁気比熱は核スピンがギャップレスの量子スピン液体状態を構成していることを示唆する。

第７章では、さらに低密度のフェルミ液体領域の比熱を測定し、固液相転移の臨界挙動を探った。有効質量の臨界指数はこれまでの報告とは異なっている。

第８章では、フェルミ液体相よりさらに低密度領域を考察し、比熱の振る舞いがパドル状の自己凝縮相形成と矛盾しないと結論した。

第９章では、実験結果と考察についてのまとめと将来展望が述べられている。

以上のように、本論文は２層HDを堆積したグラファイト表面上で、ヘリウム３原子が密度の関数として織りなす多彩な量子相を、精密熱測定によって実験的に探索し、二つの新奇量子相を発見した。凝縮系物理学としての価値と独創性は十分と認められる。博士（理学）の学位論文としてふさわしい内容をもつものと認定し、審査員全員で合格と判定した。なお、本論文は、共同研究者らとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験の遂行や結果の解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断した。