物性物理学教室

1 ゼロギャップ伝導体α-(BEDT-TTF)₂I₃の電荷秩序転移

バルクな物質で唯一のゼロギャップ状態を有するα-(BEDT-TTF)₂I₃は金属、電荷秩序、ゼロギャップの三相が 圧力下で競合する物質であるが、転移の詳細は不明であ る。電荷秩序絶縁体転移は加圧によって抑えられ、ゼロギ ャップ状態にどのように移行するのか明らかにするため に、本研究では圧力下での比熱測定を行った。加圧に伴っ て低圧下では大きな比熱の段差を保持したまま転移温度が 低下し、5.5 kbar 以上では高温相の比熱が急激に低下するこ とがわかった。これは、高温相では金属相からゼロギャッ プ相へ移行の可能性を示唆しているものと思われる。



2 有機ディラック電子系の低温電子状態

グラフェンの発見以来、固体中の質量ゼロのディラック電 子が幅広い領域で注目されている。質量ゼロのディラック 電子系は光錐状の分散(ディラックコーン)が上下突き合 わせ、「点」(ディラック点)で接する特殊なエネルギー 構造により実現するが、この構造を持つ物質がバルクとし て実現し、フェルミ準位がディラック「点」に一致するの は有機ディラック電子系のみである。本研究では、ディラ ック「点」における新しい物理現象を探索することを目的 に、有機ディラック電子系の低温輸送現象を調べた。低温 輸送現象に電子相関効果を検出した。



3 有機ディラック電子系におけるユニバーサルな磁気抵抗効果

グラフェンで質量ゼロのディラック電子が実現されて以 来、多種の物質でディラック電子が発見され、固体中電子 の一類型として広く認知された。その中の有機ディラック 電子系には、バルクとして実現し、フェルミ準位がディラ ック「点」に一致するという他の物質が叶わない特徴があ る。本研究では、ディラック「点」における新しい物理現 象を探索することを目的に、4種の有機ディラック電子系 で面内磁気抵抗効果を調べた。低温・磁場下で量子極限が 実現する過程において、ユニバーサルな磁気抵抗効果を見 出した。



西山 雄哉

和田 浩輝



五十嵐 真

4 有機ディラック電子系の圧力によるディラック質量制御

有機導体α-(BEDT-TTF)₂I₃で、電荷秩序相に隣接した質量ゼロの ディラック電子系が実現した。このように強相関電子系に隣接し たディラック電子系はこの物質が初めてである。本研究では、こ の系の電荷秩序相は質量をもつディラック電子系なのか、どのよ うに質量がゼロになるのか、あるいは反対にどのように質量を獲 得するのかという問題に取組んだ。研究手法として、正孔注入し た薄片試料で相境界近傍の量子磁気抵抗振動を詳細に調べた。量 子磁気抵抗振動の位相解析から、相境界の電荷秩序相は質量をも つディラック電子系であることがわかった。この系は圧力制御で 「質量をもつディラック電子系」と「質量が無いディラック電子 系」を行き来することができるのである。



0.5Kにおける磁気抵抗の磁場依存性。

5 常圧のα-(BETS)₂I₃における低温での量子振動

有機導体 α -(BETS)₂I₃ は圧力下で有機ディラック電子系となる α -(BEDT-TTF)₂I₃の類縁物質であり、最近、第一原理計算によって常 圧でもディラックコーンが存在する可能性が示された。そこで本研 究では常圧の α -(BETS)₂I₃におけるディラック電子を低温の磁気抵 抗で確認することを目的として、電子ドーピングによる 50K 以下 での絶縁化の抑制を試みた。

α-(BETS)₂I₃の薄い単結晶をポリイミド薄膜に接触させることで電 子ドーピングを行ったところ、絶縁化が抑制され、低温で磁気抵抗 に量子振動現象が見られた。量子振動は通常の電子によるものとは 位相が π 異なっており、第一原理計算が示すように常圧においてデ ィラック電子が存在する可能性を示唆している。

6 α-(BETS)₂I₃の基板上薄片結晶における圧力下の量子振動

有機導体 α-(BEDT-TTF)2l3 は圧力下でディラック電子系 になることが知られている。本研究ではその類似物質で ある α-(BETS)2l3 が圧力下でディラック電子系であるかど うかを調べることを目的として量子振動の観測を試み た。

ポリイミドによる接触帯電法を用いてキャリアを注入 した α-(BETS)₂I₃を 18 kbar まで加圧したところ 0.5 K で 量子振動を観測することが出来た。振動の周期と位相か ら、一方はバンド接点を囲み、もう一方は囲まない 2 種 類の軌道が存在することが示唆された。この結果、圧力 下の α-(BETS)₂I₃は通常の電子とディラック電子が混在す ることを示している。 増田 光

稗島

亮



屋代 陽大



磁気抵抗R_{xx}とホール抵抗R_{xv}の磁場依存性

7 π電子ープロトン相関型有機伝導体 κ-H₃(Cat-EDT-ST)₂における静水圧力下電気抵抗測定

 π 電子-プロトン相関型有機伝導体 κ -H₃(Cat-EDT-TTF)₂ (H-TTF)は常圧で量子スピン液体相を基底状態にもつダイマーモット絶縁体であり、静水圧力印加によってドナー分子間の水 素結合中プロトンの局在化と相関した電荷秩序化という特異な π 電子-プロトン相関現象を示す。本研究では、H-TTFの分 子上のS原子をSe原子に置換した類縁体 κ -H₃(Cat-EDT-ST)₂ (H-ST)における静水圧力下電気抵抗測定を行った。その結 果、圧力印加に伴い絶縁体ー金属転移および超伝導転移を観 測することに成功した。このことから H-ST では S/Se 置換効 果によって π 電子系が優位な圧力応答性を示していると考え られる。

8 ホール素子を用いた圧力下超伝導検出

有機導体は大きな単位格子を形成していることが、 電子の運動エネルギーを低くするために、電子間の クーロン斥力がその電子物性に重要な役割を担う。 電子相関効果により低温で絶縁体になる有機導体が 数多く存在するが、面白いことに、そのような有機 導体の一部で圧力印加に伴う新規の超伝導現象が発 見されている。しかし、圧力誘起超伝導現象検出の 多く手法は電気伝導測定が主体であり、超伝導現象 の特徴であるマイスナー効果はあまり調べられてい ない。本研究では、ホール素子を用いて圧力下超伝 導のマイスナー効果を簡単に検出する方法を開発し た。有機超伝導体 k-(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂ (*T_c*~10 K)のマイスナー効果を圧力下で調べ、超伝導体積の 圧力効果を明らかにした。 北山 元晴

久野

拓海



圧力下電気抵抗



超伝導転移温度の圧力変化と相図。

9 電気二重層トランジスタを用いた κ-(BEDT-TTF)₂Cu(N(CN)₂)Cl に対する電界効果ドーピング

岩山 大地

電子相関の影響で絶縁化しているモット絶縁体は、電子密度や圧力の制御によって劇的に電子状態を変化させ、高温 超伝導をはじめとした興味深い現象を見せる。本研究では 金属絶縁体転移のひとつであるモット転移の観測を目的と して、有機モット絶縁体である к-(BEDT-TTF)₂Cu(N(CN)₂)Cl を用いて電気二重層トランジスタを作製し、電界効果によ るキャリアドーピングを行った。試料を 220K から 2K まで 冷却し、温度抵抗依存性を調べることでモット転移が起き ていることがわかった。また、磁気抵抗の解析により、低 温で分子間距離の 10 倍以上の平均自由行程と非弾性散乱長 が見積もられた。後者はドーピングによって増大してお り、電子相関の減少を反映していると考えられる。



TTF)₂Cu(N(CN)₂)Clの電気抵抗の温度依存性

櫻糀

大仁

10 κ-(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃に対する電界効果の測定

銅酸化物高温超伝導体や一部の有機超伝導体では、 電子相関によって絶縁化したモット絶縁体にキャリアが ドープされることで超伝導が実現しているが、これらの モット絶縁体はそのほとんどが反強磁性体である。本研 究では、このような超伝導に対する磁気秩序相の影響を 調べることを目標として、極低温でも長距離磁気秩序を 示さない有機モット絶縁体 κ-(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃に対す る電界効果ドーピングを試みた。その結果十分な電界効 果移動度が得られ、電子・正孔どちらのドーピングにお いても金属伝導を観測することに成功した。



電子・正孔をドープした κ-(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃の電気抵抗の温度依存性

11 Et₂Me₂Sb[Pd(dmit)₂]₂の Mott 絶縁体—金属—電荷整列転移

Et2Me2Sb[Pd(dmit)2]2は70Kでフラストレーションを解 消するためにMott絶縁体相から電荷整列相へと相転移 を起こす。4~5kbarでは高温の安定相が絶縁体から金属 相となり三相が競合している。Mott絶縁体相から金属 相への移行することで電荷整列転移がどのように変わ るのか、未だ不明である。本研究ではAC法とDTA法 を組み合わせた方法を使い、高い精度で加圧下の比熱 測定を行った。その結果、電荷整列転移に伴うピーク がMott絶縁体相では幅広いものだったものが、金属相 では急激に先鋭化するという新しい知見を得た。Mott 絶縁体相から金属相へと相転移していると考えらえ る。



EtMe₃Sb[Pd(dmit)₂]₂の圧力下比熱の温度依存性

12 θ-(BEDT-TTF)₂TlZn(SCN)₄における電荷秩序形成過程

ある温度で一定時間保持するとθ-(BEDT-TTF)₂TlZn(SCN)₄は電荷の分布が不均一から均一なも のへと顕著に変わる。しかし相転移の議論に不可欠 な比熱の測定は未だ行われていない。本研究では、 電荷の均一化に必要な冷却速度の制御可能なシステ ムを用いて相転移近傍の比熱を測定した。その結 果、温度を一定時間保持すると低温側の不均一に伴 うなだらかなピークから、均一化に伴う鋭いピーク へと移行するが、移行の仕方が保持する温度により 大きく変わることを明らかにした。これから高温側 では核生成が、低温側では核成長が結晶化を妨げて いると考えられる。



川嶋 みらい



θ-(BEDT-TTF)₂TlZn(SCN)₄の各温度でアニールして 測定した比熱