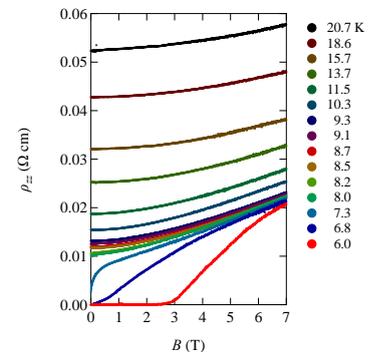


物性物理学教室

1 有機超伝導体 β -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ における層間縦磁気抵抗効果

長谷川 竜也

非従来型の超伝導体では、超伝導転移よりも高温から短距離の超伝導状態が生じる超伝導揺らぎ現象が起き、この理解が超伝導機構解明の手掛かりの1つとなるといわれている。これまで、超伝導揺らぎ状態を調べる手段は、NMR測定やネルンスト係数測定が主であった。本研究では、有機超伝導体 β -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ を題材にして、ゼロ磁場近傍の層間縦磁気抵抗効果が超伝導揺らぎを検出するのに優れたプローブになることを提案する。超伝導転移温度直上でフェルミ面の形状・大きさが変化することが示唆された。

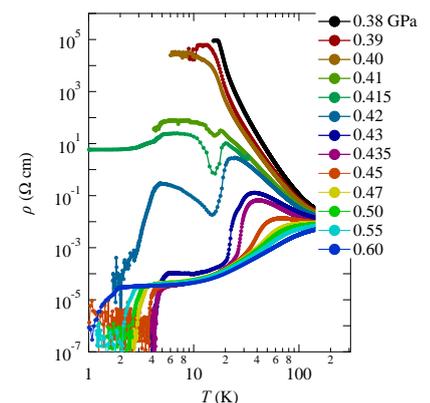


層間縦磁気抵抗の磁場依存性

2 分子性伝導体 EtMe $_2$ P[Pd(dmit) $_2$] $_2$ の圧力下における超伝導

五十嵐 考輝

Valence Bond Solid (VBS) 状態からの超伝導転移が分子性伝導体 EtMe $_3$ P[Pd(dmit) $_2$] $_2$ の圧力下で発見された。本研究では、電子対を形成したVBS相が超伝導発現にどのように関与するのかという問題に取り組み、この物質における圧力下電気伝導性から詳細に調べた。結果、VBS相から起きる超伝導状態はパウリ極限を超える非常に高い上部臨界磁場をもつことを発見した。さらに、超伝導コヒーレンス長は非常に短く、約5 nm程度であることがわかった。一方、圧力でVBS相を抑制し、金属相から起きる超伝導状態では、非常に低い上部臨界磁場、約30nmを超える長い超伝導コヒーレンス長をもつことがわかった。

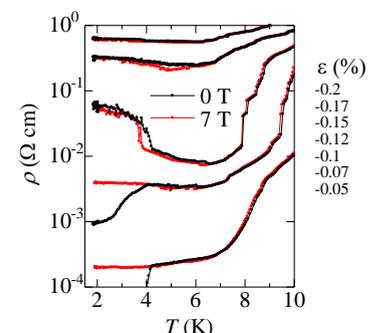


圧力下電気抵抗の温度依存性

3 量子スピン液体候補物質 κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ における磁気抵抗効果

山崎 柊太郎

有機モット絶縁体 κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ は約20年にわたって磁気フラストレーションによって反強磁性秩序が抑えられた量子スピン液体だと考えられ、数多くの理論・実験研究の対象となってきた。しかし最近、電子スピン共鳴などによってこの物質の基底状態が量子スピン液体でなく、スピングャップの開いたvalence-bond solid(VBS)である可能性が指摘された。これを検証するため、基板曲げひずみの手法を用いて κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ の圧力を微調整し、モット転移近傍の温度圧力相図や、磁場に対する応答を調べた。その結果、絶縁相と金属相の境界線の傾きや磁場による変化から、先行研究の指摘の通り κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ の基底状態がVBSである可能性が示唆された。



電気抵抗率のひずみ依存性

4 κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃に対する電界効果とひずみ効果

笹本 尚哉

有機導体の薄い単結晶を基板に貼り付け、曲げることで実効的な圧力を、ゲート電圧でキャリア密度を同一試料で変化させることができる。これまでの研究で、この手法を用いて有機スピン液体候補物質 κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ の圧力とキャリア密度を制御し、超伝導相が相図上でどのように分布されているかが調べられてきたが、電界によって誘起されたゼロ抵抗状態はこれまで観測されていなかった。本研究では、同様の手段を用いて電界効果の再現性を確認するとともに、初めてゼロ抵抗状態を観測することに成功した。

5 電荷秩序絶縁体 α -(BEDT-TTF)₂I₃に対する電気二重層ドーピング

石井 宏和

モット絶縁体や電荷秩序絶縁体などの強相関絶縁体は一般的に格子ポテンシャルに対するキャリア濃度の整合性が高いときに実現し、わずかなバンドフィリング制御で金属絶縁体転移を起こす。最近ではこれを電界効果で制御することが可能になってきており、有機モット絶縁体を用いたトランジスタでは金属絶縁体転移や両極性超伝導などが観測されているが、有機電荷秩序絶縁体においては数十パーセントの抵抗変化にとどまっている。本研究では有機電荷秩序絶縁体 α -(BEDT-TTF)₂I₃ を用いて電気二重層トランジスタを作成し、イオンゲートによるバンドフィリング制御の効果を調べた。その結果、絶縁層における電気抵抗は最大で数分の1程度に減少し、電界効果移動度は約 $10\text{cm}^2/\text{Vs}$ に達した。しかし金属伝導は見られず、活性化エネルギーのゲート電圧依存性からは、注入キャリアは電荷秩序を制御しているというよりも、乱れなどによって生じたギャップ中の局在準位に入っていることが示唆された。

6 電界効果トランジスタを用いた有機ディラック電子系のキャリア数制御のためのゲート絶縁膜材料の探索

氏家 孝輔

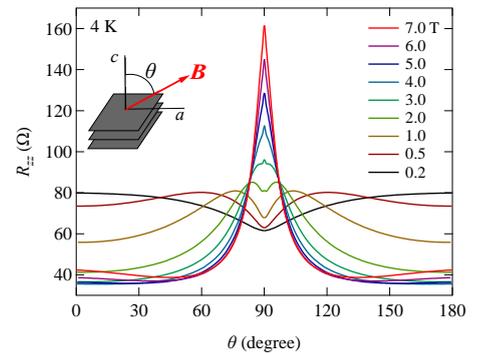
有機導体 α -(BEDT-TTF)₂I₃ は圧力下でディラック電子系となることが知られているが、グラフェンで行われているような電界効果によるキャリア数制御は行われていない。これは圧力下で動作する良質な電界効果トランジスタ試料を作製するのが難しいためである。一昨年田島の研究では、圧力下でも有機導体を破損しない有機絶縁膜および有機基板を用いて、 α -(BEDT-TTF)₂I₃ の電界効果トランジスタ作製し、電界効果ドーピングを試みた。その結果、電解効果によってキャリア密度を制御することに成功した。しかし、理想的な電界効果トランジスタと比べて、1/20程度のキャリア数しか制御できておらず、ディラック点を超えてフェルミエネルギー制御を可能にするためには、材料や構造に改善を要するという結論に至った。

本研究では、ゲート絶縁膜を変更し、電界効果トランジスタを用いたキャリア密度制御の改善を試みた。その結果、田島の結果に対し2.5倍以上のキャリア密度を制御することに成功した。

7 有機ディラック電子系における層間伝導のコヒーレンス

秋野 利宗

高圧下にある α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ で質量ゼロのディラック電子系が実現した。グラフェンと異なり、最初にバルク結晶で実現した質量ゼロのディラック電子系である。これまで、この系の特徴的な電磁伝導性は2次元ディラック電子系の描像で理解されてきた。しかし、本研究では、この系は低温で3次元ディラック半金属であることを実験的に実証した。1.7 GPaの高圧力下・低温で層間磁気抵抗の磁場角度依存性の測定とその詳細な解析から、層間伝導はコヒーレントであることが判明した。磁場を層平行にかけたときに抵抗ピークを観測し、その磁場角度依存性は半古典的モデルで計算した数値計算結果と非常に一致した。詳細な解析から、層間ホッピングエネルギーは約1 meVと見積もられた。



層間磁気抵抗の角度依存性

8 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ に対する曲げひずみによるディラック電子相の実現

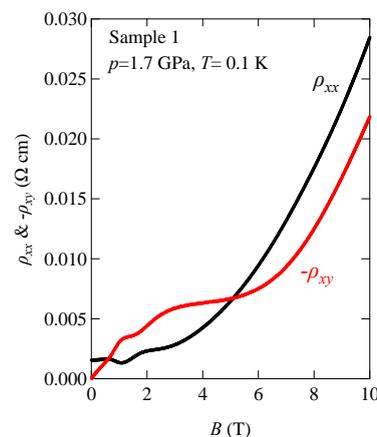
鈴木 遥人

静水圧力下の α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ は初めて見出された代表的な有機ディラック電子系である。電荷秩序相と隣接した電子間相互作用の強い系であることなどから注目を集めているが、1.5 GPa以上の圧力が必要であるため、実験は圧力媒体及び圧力セルに覆われた状態で行えるものに限定されている。本研究では、試料を圧力媒体で覆うことなくディラック電子相を実現することを目的として、薄片状結晶を用いた曲げひずみ制御の手法を α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ に適用した。その結果、曲げることによる一軸圧縮ひずみで絶縁体転移温度を減少させることに成功した。さらに1%程度までのひずみで絶縁体転移は消失し、ディラック電子相で見られる特徴的な磁気抵抗を観測した。このことから、曲げひずみによって異方的に圧力をかけることにより、圧力媒体なしでディラック電子相が実現できたと考えられる。

9 有機ディラック電子系 α -(BETS) $_2$ I $_3$ における $\nu = 1$ 量子ホール効果観測

小柴 彰斗

有機導体 α -(BETS) $_2$ I $_3$ の高圧力下で質量ゼロのディラック電子系が実現した。本研究では、この系の質量ゼロのディラック電子の基本的な性質を明らかにすることを目的に、0.1 Kの低温で輸送特性を調べた。結果、フェルミエネルギーはディラック点から約1.4-1.5 Kほど高い位置にあることがわかった。最も重要な成果は、 $\nu = 1$ の量子ホール効果を観測したことである。一般に、量子ホール効果は2次元電子系で実現する現象である。バルクな(3次元)結晶で量子ホール効果が実現する例は非常に希少である。

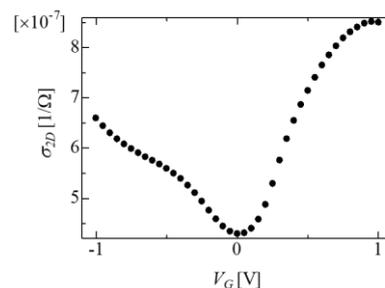


0.1 Kにおける抵抗とホール抵抗の磁場依存性

10 機械的剥離法を用いた層状半導体 Nb_3I_8 の薄膜および電気二重層トランジスタの作製

坂下 直義

Nb_3I_8 は機械的剥離法が適用できる層状の半導体であり,また単層にすると2次元強磁性体になることが予想されるなど,電界効果による電子状態制御の興味深い対象物質である.しかしこれまで,薄膜試料を用いた電界効果デバイス化の報告はなされていない.本研究では電界効果による Nb_3I_8 の物性制御を目的として,機械的剥離法を用いた薄膜試料の作製を試みた.その結果,最も薄いもので4nm程度(Nb_3I_8 の単位胞程度)の厚さの薄膜試料の作製に成功した.また, Nb_3I_8 結晶を用いて電気二重層トランジスタを作製したところ,両極性電界効果トランジスタとして動作することが確認できた.金属絶縁体転移は観測されなかったものの,活性化エネルギーを1/6程度に減少させることに成功した.



Nb_3I_8 を用いて作製した電気二重層トランジスタにおける電気伝導度のゲート電圧依存性(230K)

外部研究: 生命圏環境科学科 大気科学星間化学研究室

11 星間空間でのヒダントインの探索を目標とした分光学的研究

亀山ともか

生命の起源を探るにはどのような化学進化を経たのか明らかにすることは星間化学分野において重要である。生命を構成するタンパク質の原料で最も単純構造であるアミノ酸、グリシンの前駆体ヒダントイン分子について観測に必要な分子定数を求めるため純回転スペクトルの解析を行った。この分子は振動基底状態、2種類の振動励起状態の分光学的同定は完了している。本研究ではその際取得した大量のスペクトルデータの未帰属線を再解析することで新規励起状態の帰属を目指した。その結果新たな振動励起状態を6つ見つけ出すことができた。