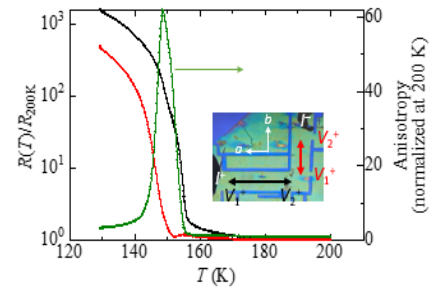


物性物理学教室

1 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の基板上薄片単結晶における電気抵抗の異方性

秋元 颯貴

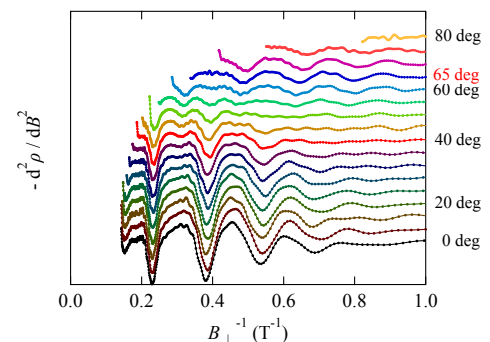
擬2次元有機導体 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ は135Kで金属からストライプ型の電荷秩序絶縁体に相転移する。これまでに転移温度付近で電気抵抗率の面内異方性が增大する現象が知られており、電荷秩序形成にともなう格子変形と関連した現象であると考えられてきた。本研究では、 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の薄片状単結晶を基板に固定し、レーザーで異方性を調べやすい形に加工して転移温度付近の電気抵抗率の面内異方性を調べた。その結果、バルク結晶よりも1桁以上大きい顕著な面内異方性が見られた。電荷ストライプに沿った b 軸方向の転移温度はそれと垂直な a 軸方向の転移温度よりも5K程度低く、その間の温度領域で擬2次元導体において他に類を見ない約70倍の面内異方性が観測された。結晶が基板に固定され、格子変形が抑制されることで異方性が增大するとみられる。

シリコン基板に固定した α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ 薄片状単結晶における電気抵抗の面内異方性

2 有機ディラック電子系の電子-正孔対称性

倉田 真由美

高压下にある α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ で電荷秩序絶縁相に隣接した質量ゼロのディラック電子系が実現した。質量ゼロのディラック電子と強相関効果の協奏は未開拓な分野であり、この物質を舞台に強相関ディラック電子の物理展開が期待できる。本研究では、この系の電子-正孔対称性を明らかにすることを目的に、キャリアを注入した試料の量子磁気抵抗振動観測からディラックコーン対のフェルミ速度 v_F^e, v_F^h を調べた。結果、 $v_F^e/v_F^h \sim 0.91$ であることが分かった。これがこの系の電子-正孔対称性である。さらに、磁場方向を2次元面に垂直な方向から平行方向へ傾けることにより、 $E_N + \mu_B B$ と $E_{N+1} - \mu_B B$ のランダウ準位の準位交差を観測した。

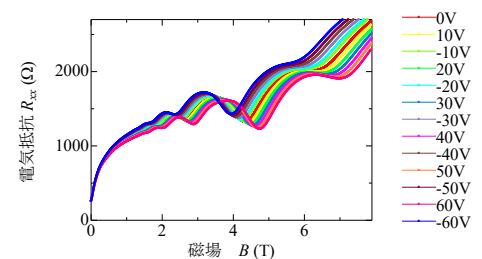


0.5 Kにおける磁気抵抗振動の角度依存性

3 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

田島 迅人

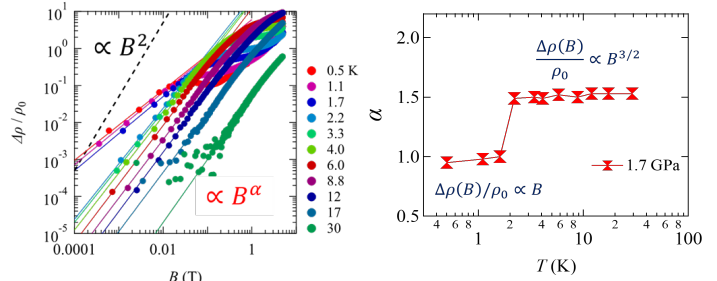
有機導体 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ は圧力下でディラック電子系となることが知られているが、グラフェンで行われているような電界効果によるキャリア数制御は行われていない。これは圧力下で動作する良質な電界効果トランジスタ試料を作製するのが難しいためである。本研究では、圧力下で有機導体を破損しない有機絶縁膜および有機基板を用いて α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の電界効果トランジスタを作製し、圧力下でディラック電子相に対する電界効果ドーピングを試みた。その結果、 n 型の電界効果が得られ、シュブニコフドハース振動の解析から、電界効果によってディラック電子相のキャリア数を $8 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 程度変化させていることがわかった。

 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ のディラック電子相における磁気抵抗のゲート電圧依存性

4 有機ディラック電子系における磁気抵抗効果

竹内 健大

グラフェンで質量ゼロのディラック電子系が発見されて以来、多種の物質でディラック電子系が発見され、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とし、有機ディラック電子系 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の磁気抵抗効果を調べた。低温・磁場化で量子極限が実現する過程において、磁気抵抗効果に臨界現象を見出した。

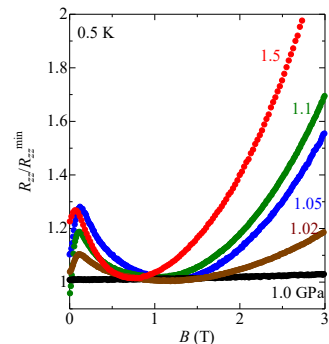


30K 以下における抵抗の磁場依存性(左)と指数 α の磁場依存性(右)

5 有機ディラック電子系における量子相転移

美名川 有沙

有機導体 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ 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り、圧力で電子相関効果を制御できる唯一の系である。本研究では、「質量ゼロのディラック電子系の電子間相互作用を強くしていくと、どのように電荷秩序相に量子相転移を起こすのか」という問題に取り組み、この系の層間磁気抵抗効果を圧力・温度・磁場をパラメータに調べた。驚くべきことに、質量ゼロの性質を保持したまま量子相転移を起こすことを示唆する結果を得た。

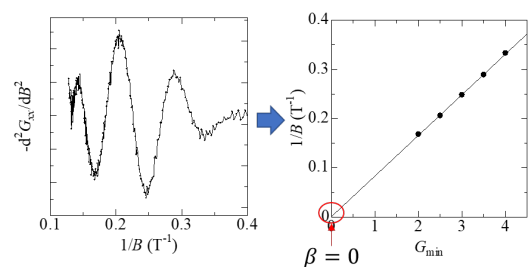


圧力下層間抵抗の磁場依存性

6 有機導体 α -(BETS) $_2$ I $_3$ におけるシュブニコフドハース振動の解析

片桐 将志

有機導体 α -(BETS) $_2$ I $_3$ は圧力下で有機ディラック電子系となる α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ 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。本研究では常圧の α -(BETS) $_2$ I $_3$ におけるディラック電子を確認することを目的として、接触帯電法によるドーピングと磁気抵抗の測定を行った。シュブニコフドハース振動の位相を電気抵抗および電気伝導度から詳細に調べた結果、第一原理計算の結果と異なり、常圧でディラック電子は存在しないことがわかった。

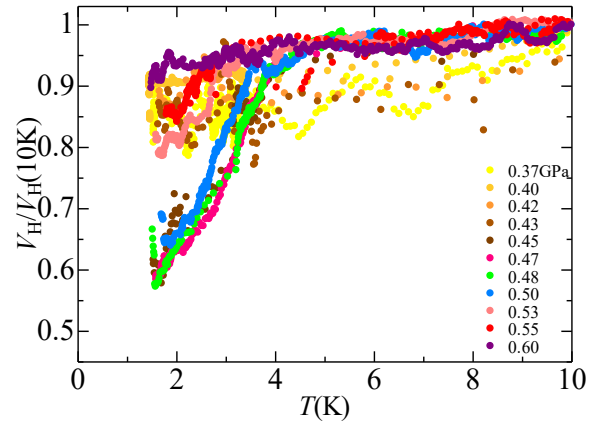


α -(BETS) $_2$ I $_3$ におけるシュブニコフドハース振動(左)と Landau fan diagram (右)

7 ホール素子を用いた $\text{EtMe}_3\text{P}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ の圧力下超伝導検出

岩瀬 陽香

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と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、そのような有機導体の一部で圧力印可に伴う新規の超伝導現象が発見されている。そのなかで、低温で形成する **valence bond order (VBO)** と呼ばれる状態に隣接した超伝導が $\text{EtMe}_3\text{P}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ で実現した。電子対を形成した VBO 相が超伝導発現にどのように関与するのかという点で非常に注目されている。本研究では、ホール素子を用いてこの系の圧力下超伝導のマイスナー効果を検出することを目的にし、温度-圧力相図を明らかにした。

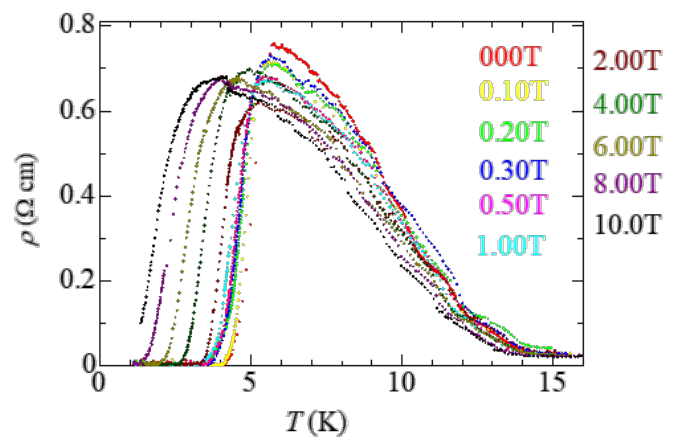


$\text{EtMe}_3\text{P}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ の圧力下超伝導転移

8 分子性導体 $\text{EtMe}_3\text{P}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ の一軸圧縮効果

今井 星麗

Valence Bond 秩序 (VBO) 状態からの超伝導転移が分子性導体 $\text{EtMe}_3\text{P}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ の静水圧力下で発見された。本研究では、電子対を形成した VBO 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、一軸圧縮法で異方的に圧力をかけることから VBO 相と超伝導相の関係性を調べた。VB 形成方向と垂直方向への一軸圧縮では、VBO は弱い圧力で抑制できるが、超伝導現象は約 1K の低温まで観測できなかった。ところが、VB を形成する方向への一軸圧縮下で、静水圧力の約 1/2 の圧力印加で明瞭な超伝導現象を検出した。0.245GPa のとき、超伝導転移温度は約 5K である。驚くべきことに、この超伝導は磁場に非常に強固であり、上部臨界磁場はパウリ極限(約 9.3T)を超えることがわかった。

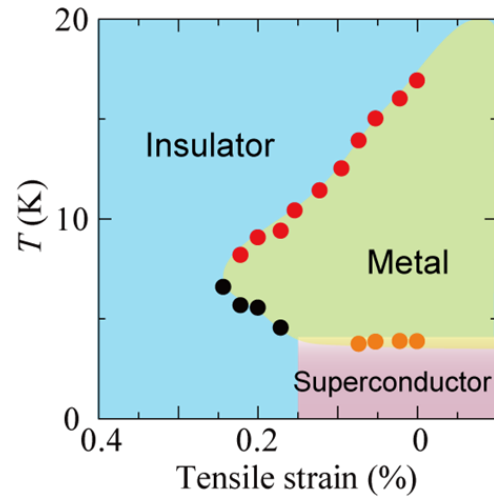


$\text{EtMe}_3\text{P}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ の一軸圧縮効果

9 κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ における曲げ歪みの効果

持田 律

強相関物質では電子同士が強く反発しており、キャリア密度とバンド幅を変えることで、絶縁体の状態から超伝導状態まで幅広く性質が変わることが知られている。最近、有機導体を用いることで一つの物質で電子の数と動きやすさを同時に変えることが可能になり、反強磁性モット絶縁相の周りを超伝導相が囲んでいることが明らかになった。本研究では、長距離磁気秩序をもたないモット絶縁相近傍の超伝導相を調べることを目的として、量子スピン液体 κ -(BEDT-TTF)Cu $_2$ (CN) $_3$ の基板上結晶における曲げひずみの効果を調べた。その結果、電気抵抗から求めたひずみ-温度相図は定性的にバルク結晶の静水圧-温度相図と一致することがわかった。

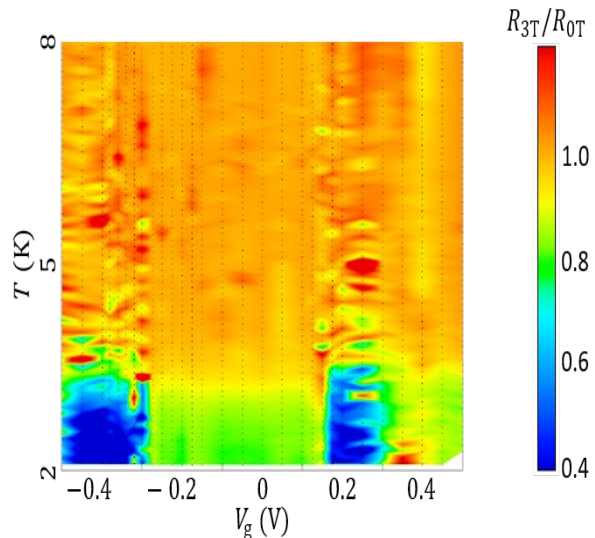


κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ の電気抵抗から得た温度-歪み相図

10 κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ に対する電気二重層ドーピング

人見 康太

モット絶縁体はバンド理論からは金属と期待されるにもかかわらず電子間のクーロン反発によって絶縁化した物質である。モット絶縁体はドーピングまたは圧力によって金属化し、一部の物質ではその過程で転移温度の高い超伝導が現れる。最近、反強磁性有機モット絶縁体 κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$]Clの同一試料におけるドーピングと圧力の同時制御と超伝導相図が報告された。本研究では、反強磁性秩序を持たない量子スピン液体と考えられている κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ に対して圧力とドーピングの同時制御を行って超伝導相図を得ることを最終的な目的とし、 κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ に対する電気二重層トランジスタを用いたドーピングを行った。その結果、電気二重層ドーピングによる超伝導体積分率の増大を示唆する結果が得られた。



κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ の電気抵抗のゲート電圧・温度依存性