

平成 21 年 5 月 25 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19540387

研究課題名(和文) 質量ゼロのディラック粒子をもつ有機ゼロギャップ半導体の電流磁気効果

研究課題名(英文) Transport property of zero-gap conductors with massless Dirac particles.

研究代表者

田嶋 尚也 (TAJIMA NAOYA)

独立行政法人理化学研究所・加藤分子物性研究室・専任研究員

研究者番号：40316930

研究成果の概要：我々は高圧下にある α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ でバルクのゼロギャップ電子系を見出してきた。通常、磁場をかけると固体中の電子のエネルギーは、とびとびの値しかとれない。これをランダウ準位と呼ぶ。ゼロギャップ電子系では、ゼロモードと呼ばれる特別なランダウ準位が、エネルギーギャップがゼロの位置に磁場によらず常に現れることが特長である。本研究では、層間方向の電気抵抗を50mK程度の極低温状態の磁場下で調べ、このゼロモードを観測することに成功した。この有機導体物質が確かにゼロギャップ電子系であることの決定的な証拠となる。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2007年度 | 2,300,000 | 690,000 | 2,990,000 |
| 2008年度 | 1,300,000 | 390,000 | 1,690,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,600,000 | 1,080,000 | 4,680,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性II

キーワード：有機導体、質量ゼロのディラック電子、ゼロモードランダウ準位、層間磁気抵抗

1. 研究開始当初の背景

有機導体の研究は、非金属元素からなる有機分子を使って金属伝導をつくりだし、さらには超伝導を実現させるという、合成化学的な課題として出発したといえる。その結果、現在までに100種以上の超伝導体が報告されている。こうして、金属元素に限られていた電気伝導や超伝導の研究対象を、有機分子の化合物にも広げるといふ当初の目論見は達成され、有機分子を使って、金属伝導をつくり出す指針もかなり確立されており、超伝導

転移温度の制御などが残された問題となっている。一方で、物性物理学の研究対象として有機導体を多くの研究者が取り上げるからには、そこに無機物質にはない新しい物性を期待している。そういう新規物性としては、これまでに一次元性に由来する密度波転移、擬二次元性に基づいた角度磁気抵抗振動等によるフェルミ面の形状の研究などが行われてきて、強結合バンド理論の適用可能性が確立されるに至っている。しかしながらこれらも主として、従来の低温金属電子論枠内の

もので、有機導体特有のものとは必ずしも言えないのが現状である。そこで有機導体に特徴的な電気伝導現象を見出すべく研究を進めている。その過程で、無機物質では発見されていない特異な電気伝導現象を発見した。

有機導体を幅広く見渡すと、低温で $10^6 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 程度の非常に高い易動度をもつのに(つまり非常に綺麗な物質なのに)、電気伝導度が室温から低温(1.5K)まで殆ど温度に依存していない物質が数多く存在することに気がつく。これは今まで知られていない全く新しい電気伝導現象である。我々はこの新しい電気伝導現象に有機伝導体の特徴が出ていると考えている。さらに、この易動度は最も高い易動度をもつとしてよく知られている GaAs に匹敵する高さであり、有機導体の高い易動度を解明し、制御することは「分子デバイス」へと発展できると考えている

2. 研究の目的

本研究計画の期間内においては、我々が見出した新しい電気伝導現象を示す担体の基本的な性質を 0.05K までの極低温・14T までの磁場中で調べることを計画する。

この新しい電気伝導現象をもつ物質について現在までにわかっている特徴は以下である。

"温度変化がない電気伝導性"を持つ有機導体の担体系の特性について研究を進めていくと、無機物では発見されていない新しい性質を持つ。例えば、その中の 1 つである $\alpha\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{I}_3$ という物質では、1.5GPa 以上の高圧下で電気伝導度の温度変化がないのに、担体濃度は温度の低下に伴い室温から 1K まで 6 桁以上急激に減少する。一方、易動度は室温から低温まで 6 桁ほど増大するのである。低温では 10^{15}cm^{-3} 程度の極低担体濃度、 $10^6 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 程度の極高易動度の状態にある。すなわち、担体濃度の温度変化と易動度の温度変化が相殺した結果、電気伝導度が温度に依存しないのである。この現象は、有機・無機物質含めて、今までに発見されていない新しい現象である。そういった意味で、この系の物質は"新しい型の電気伝導体"であると言える。

この特異な性質を持つ"新しい物質"はゼロギャップ半導体であることが申請者等の実験結果と小林等(名古屋大)によるバンド計算、木野等(NIMS)の第一原理計算から明らかになってきた。 $\alpha\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{I}_3$ では、担体濃度(n)は 50K 以下の温度(T)域で $n \propto T^2$ に従い、この温度依存性はフェルミエネルギー近傍で二次元線形分散型のバンド構造をもつゼロギャップ半導体であること、質量ゼロのディラックフェルミオン系が実現したことを

強く示唆する。このような質量ゼロのディラックフェルミオン系では電気伝導度(σ)が量子抵抗($e^2/h=25.8\text{k}\Omega$)に量子化されるという理論があるが、驚いたことに、幾つかの試料でこの系の物質の温度に依存しない伝導度を伝導層一層あたりに見積もると、ファクター 3 以内で量子抵抗(e^2/h)に一致するのである。以上、我々は質量ゼロのディラック粒子をもつ二次元ゼロギャップ半導体をバルクの単結晶で見つけることができた。

しかし何故、ゼロギャップ半導体状態が安定して現れるのか未だわかっていない。同じ現象が幾つかの類縁物質でも見られる。従って、この現象が偶然におこっているとは考えにくい。この手の物質にはゼロギャップ半導体になる何らかの機構があるように見受けられる。ゼロギャップ半導体状態の機構を明らかにすることが新物理探索、新物質創成への手がかりになると考えている。

そのためには、幾つかのゼロギャップ半導体物質について、担体の運動を極低温で詳細に調べる必要がある。この系の物質では、1K でも熱エネルギーが担体系に及ぼす影響は大きい。そこで本研究では、希釈冷凍機を使用して最低温度 0.05K まで測定温度領域を拡張し、担体の基本的な性質を理解するために、磁気抵抗とホール効果等を 2.5GPa 以下の高圧力領域で調べることを計画する。先ずゼロギャップ半導体状態がこのような高圧力下・極低温まで安定しているのかを調べることが重要である。次に、線形分散型のエネルギーバンドによる質量ゼロのディラック粒子が系にどのような効果を与えるのか、どのようなランダウ準位なのかを調べることを計画する。新しいタイプの量子効果が期待できる。

3. 研究の方法

我々は有機導体にゼロギャップ半導体が存在することを幾つかの物質で発見し、ゼロギャップ半導体状態の出現が有機導体の特徴を何か反映していると考えている。本研究では、ゼロギャップ状態の機構を探索してその背景にある新しい物理を目指しており、期間内では有機ゼロギャップ電子系がもつ質量ゼロのディラック粒子の性質、この系の量子効果(特徴的なランダウ準位)を調べることを計画する。

以下が期間内に計画する研究方法である。

(1)ホール効果と磁気抵抗効果: 質量ゼロのディラック粒子の性質を明らかにするには、電子と正孔それぞれの易動度と濃度を分離する必要がある。そこで、低磁場におけるホール効果と磁気抵抗効果をそれぞれの温度で

調べる。

(2)層間磁気抵抗効果:ゼロギャップ電子系の場合、そのランダウ準位はさまざまな点でほかの電気伝導体のものとはまったく異なるが、最も重要な特徴は、コンタクトポイントの位置に特別なランダウ準位 ($n=0$:ゼロモード)が磁場に依存せず常に現れるという事実である。本研究では、ゼロモード電子の特徴を層間磁気抵抗から調べる。

(3)局在性:ゼロギャップ電子系の特徴の1つは後方散乱を抑制する効果があることである。本研究では、散乱体が非常に多い α -(BEDT-TTF)₂I₃の電気伝導性から、ゼロギャップ電子系における反局在性を調べる。

(4)ゼロギャップ電子系の探索:現在、ゼロギャップ電子系が見つかったのは α -(BEDT-TTF)₂I₃を含め4つだけであり、降圧下で実現する。本研究では、新たなゼロギャップ電子系の探索を広範囲の有機伝導体にわたって行う。

4. 研究成果

(1) ホール効果と磁気抵抗効果(論文 ⑤, ⑧):

2次元ゼロギャップ電子系の特徴は担体濃度(n)が $n \propto T^2$ と書けることである。実際に、 α -(BEDT-TTF)₂I₃のホール効果から見積もった担体(正孔)濃度はこの式に従う。しかし、このようなゼロギャップ構造をした系では、熱励起された電子と正孔の両方が伝導性を支配しており、質量ゼロのディラック粒子の性質を明らかにするには、電子と正孔それぞれの易動度と濃度を分離し、実際の担体濃度を明らかにすることが大事である。そこで、低磁場におけるホール効果と磁気抵抗効果をそれぞれの温度で調べた。

一般に電子と正孔の易動度をそれぞれ分離することは非常に困難である。しかし、フェルミ準位が常にコンタクトポイントにある場合、電子と正孔の濃度が等しいと仮定することができ、それぞれの易動度と濃度を求めることができる。ホール効果と伝導度とから得る有効易動度(μ_{eff})は電子易動度(μ_e)と正孔易動度(μ_h)を用いて $\mu_{\text{eff}} = \mu_e \cdot \mu_h$ と書ける。一方、低磁場で磁気抵抗は $M = (\alpha\tau)^2 = (\mu_M B)^2$ と書ける。ここで $\mu_M^2 = \mu_e \cdot \mu_h$ は磁気抵抗易動度である。有効易動度と磁気抵抗易動度とから電子と正孔それぞれの易動度と担体濃度を分離したのが図1である。

$n \propto T^2$ に従う担体濃度はこの系が確かに2次元ゼロギャップ電子系であることを強く示唆する。さらに、担体濃度の傾きから平均

フェルミ速度(v_F)が $v_F \sim 10^5$ m/sと見積もることができた。

一方、広い温度範囲で電子と正孔の易動度はファクター2以内で一致する。これがこの系の電子-正孔対称性である。また、これらの易動度は次のように決まる。担体が弾性散乱を受けている場合、Mott等によれば、担体の平均自由行程はその波長より短くならない。散乱体濃度が十分高い場合は、平均自由行程 \approx 波長となる。温度が低下して、担体のエネルギーが下がると波長が長くなるので、平均自由行程も長くなる。結果として、易動度が温度低下と共に増大することになる。2次元伝導体の場合、易動度が温度の二乗に逆比例すること、その結果、電気伝導度は物質にも温度にも依存しない、いわゆる量子化伝導度(e^2/h)となることが導き出されるのである。

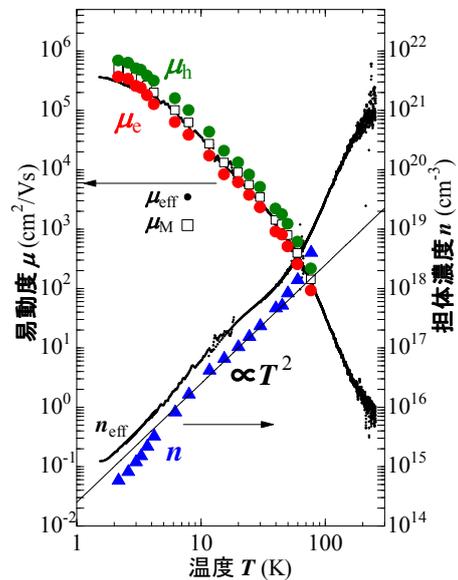


図1 担体濃度と易動度の温度依存性

μ_{eff} と n_{eff} はホール効果から得た有効易動度と有効担体濃度、 μ_M は磁気抵抗の低磁場域から見積もった磁気抵抗易動度である。これらから実際の電子と正孔の易動度 μ_e, μ_h 、担体濃度 $n_e = n_h = n$ が見積もられる。

(2) 層間磁気抵抗効果(論文 ①, ⑤):

ゼロギャップ電子系の場合、そのランダウ準位はさまざまな点でほかの電気伝導体のものとはまったく異なるが、最も重要な特徴は、コンタクトポイントの位置に特別なランダウ準位($n=0$:ゼロモード)が磁場に依存せず常に現れるという事実である(図2)。我々は、これを調べることで、ゼロギャップ電子系が α -(BEDT-TTF)₂I₃で実現している決定的な証拠を得ることに成功した。

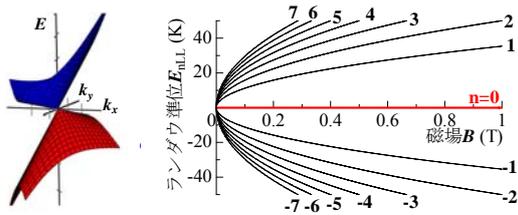


図2 高圧下における α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ のゼロギャップ構造(ディラックコーン:左)とランダウ準位(右)

ゼロギャップ構造に磁場をかけると、この準位は温度に依存せず、磁場強度に比例した数の担体が発生する。2次元面一層当たりの担体濃度は、例えば5Tの磁場で、約 $10^{11}/\text{cm}^2$ であるが、この値は4.2Kの温度(熱)で生じる電流担体の濃度 $10^9/\text{cm}^2$ と比較して2桁も大きい値である。このことは、低温状態では、弱い磁場を印加しただけで、熱励起された担体がゼロモードのランダウ電子にとって代わられることを示している。そこで本研究では、層(2次元面)方向に垂直な電流を流した場合に着目した。この実験では、磁場も層に垂直な方向にかかっているため、電流と磁場の相互作用はなく、直接、担体濃度の磁場変化だけを検出できるのである。従って、磁場を強くすると、ゼロモードのランダウ電子濃度が増えて、層間方向の電気伝導度が增大することが期待できる。

我々は、低磁場でもゼロモードのランダウ電子が支配的となる、十分な低温状態で、層間方向の電気抵抗を調べた。その結果、磁場を強くするとゼロモードのランダウ電子濃度が增大するのを反映して、層間抵抗が磁場強度に反比例して減少する巨大な負の磁気抵抗を観測することに成功した(図3)。例えば、4Kの低温状態で0.2Tから3Tまで磁場を変化させると、電気抵抗は約70%も減少する。磁場方位を層に垂直な方向から水平方向に傾けていくと、電気抵抗は単調に増大し続け、2次元伝導面に平行な磁場方位で鋭い極大のピークを示す。この実験結果は、長田(東京大学物性研究所)による理論計算結果と非常によく一致する(図3)。

さらに、低温・高磁場で、ゼロモードのランダウ電子のエネルギーが磁場で分裂するゼーマン分裂を観測することに成功した。分裂幅(エネルギーギャップ)は磁場に比例して増大するため、分裂幅がゼロモードのエネルギー幅(ランダウ準位は電子散乱などで幅を持つ)よりも十分大きくなる低温・高磁場では、電気抵抗は磁場強度に対して指数関数的に増大する(図4)。

この層間電気抵抗の振る舞いは、磁場下ではゼロモードのランダウ電子が、 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の伝導性の主役であること

を示し、この物質がゼロギャップ電子系であるという決定的な証拠となりうる。

ゼロギャップ電子系の物質としては、グラフィンが、2005年に新奇の量子ホール効果を示すことが発見されて以来、大変注目されているが、グラファイトを1層だけにした特殊な構造の物質である。それに対して、 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ は、世界で初めてバルク(多層状)物質で実現した2次元ゼロギャップ電子系である。今後、この物質を舞台に、ゼロギャップ電気伝導体の物理が発展していくことになると期待される。

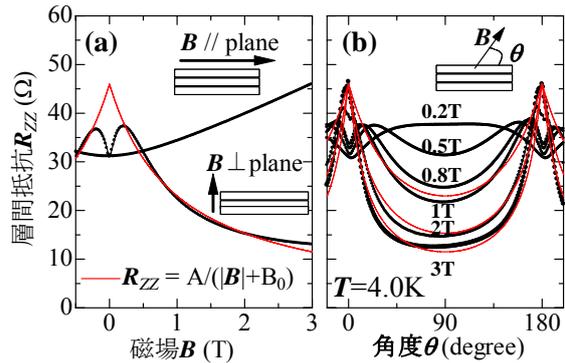


図3 層間抵抗の磁場依存性と角度依存性

磁場方位が層に垂直な場合、層間抵抗の磁場依存性は、0.2T以上の磁場領域で、長田俊人准教授(東大物性研)による理論曲線(赤い曲線)とよく一致し、磁場に比例して電気抵抗が大きく減少する。

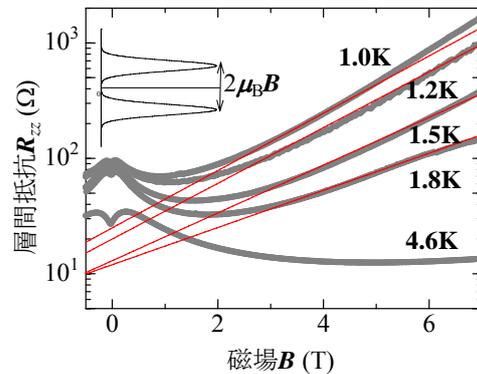


図4 層間抵抗の低温磁場依存性

低温・高磁場で層間抵抗は指数関数で増大する(赤い曲線)。この振る舞いは、ゼロモードのランダウ電子のエネルギーが分裂(ゼーマン分裂)し、分裂幅(エネルギーギャップ)が磁場に比例して増大するためである。

(3) 局在性(論文④):

どんなに散乱体があっても局在は起こさずに、電気伝導度は量子化伝導度(e^2/h)で一定になるのもゼロギャップ電気伝導体の大き

な特徴である。本研究では、散乱体が非常に多い α -(BEDT-STF)₂I₃(1.8GPa以上)の電気伝導性から、ゼロギャップ電子系では確かに後方散乱を抑制する効果があることを明らかにした。

α -(BEDT-STF)₂I₃は図5に示した非対称なBEDT-STF分子から構成されたゼロギャップ電気伝導体である。この物質の特徴は、結晶構造は α -(BEDT-TTF)₂I₃と同じだが、非対称なBEDT-STF分子の左右方向がランダムになって配列していることにある。従って、非常に乱れた電子系である。

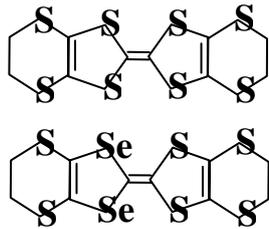


図5 BEDT-TTF分子とBEDT-STF分子

本研究ではまず、高圧下にあるこの物質がゼロギャップ電子系であることを明らかにした。担体濃度は50K以下で $n \propto T^2$ に従い、一方一層あたりの抵抗は量子抵抗(e^2/h)で表わされる。さらに、層間電気抵抗は低磁場下でゼロモードランダウ電子による負の磁気抵抗を示し、高磁場下ではゼーマン分裂で指数関数に従うのである。

驚くべきことは、非常に乱れた系なのに、高圧下にあるこの物質は低温で大きな正の磁気抵抗を示し、 $10^4 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 以上の高い易動度をもつことである。さらに驚くべきことは、ゼロモードのディンクル温度($2\hbar/\nu$)が約2K程度と非常に低いことである。この値は、量子振動が観測されている他の綺麗な有機金属に匹敵する。一方、低圧下にあるこの物質は低温で電荷秩序絶縁状態にあるが、そこでは局在による負の磁気抵抗が見られる。以上は、ゼロギャップ電子系では後方散乱を抑制する効果があることを強く示唆する。

(4) ゼロギャップ電子系の探索(論文②):

本研究では、広範囲の有機伝導体にわたって新たなゼロギャップ電子系を探索した。新たにゼロギャップ電子系を見つけることはできなかったが、以下の重要な情報を得た。

β' -(BEDT-TTF)₂ICl₂は、8GPaの超高圧下で有機導体の中では最も高い $T_c=14.2\text{K}$ を持つ有機超伝導体である。一方で、常圧下では約22Kで反強磁性転移を示すモット絶縁体である。電気抵抗は室温から高い抵抗値を持ち、その温度依存性は半導体的である。圧力に非常に鈍感で、2GPaまで加圧しても電気

抵抗の金属的な振る舞いは観測されない。

本研究では、この物質の電気抵抗とホール効果を0.2GPaの圧力領域で調べた。

常圧下でこの物質は電荷ギャップ $\Delta \sim 280 \text{meV}$ 、有効質量 $m^*=(m_a m_b)^{1/2} \sim 6 m_0$ を持つモット絶縁体であることが判明した。一方、2GPaまで加圧すると、 $\Delta \sim 120 \text{meV}$ 、 $m^* \sim 2.8 m_0$ まで減少する。重要なのは、有効質量と電荷ギャップとの間に $1/m^* \propto (1-\Delta/U_{\text{eff}})$ の関係式を見出したことである(図6)。この関係式から有効オンサイト・クーロン反発エネルギー U_{eff} は約445 meVと見積もることができた。この値は他の実験値($\sim 550 \text{meV}$)とよく一致する。

最も重要なのは、高圧下では $1/m^* \propto (1/\Delta)$ に従うことである。これは通常のパラギャップ半導体に見られる特徴である。パラギャップ半導体と同様、モット絶縁体もエネルギーギャップが狭くなるとバンド間の相互作用によって軽い有効質量が増進されるのである。

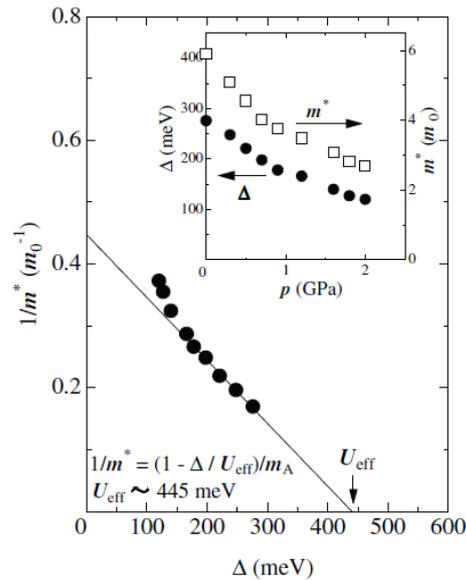


図6 β' -(BEDT-TTF)₂ICl₂における $1/m^*$ vs. Δ 曲線

(5) その他の研究(論文③, ⑥, ⑦):

本研究課題と関連して、内外部の研究者との共同研究を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8件)

- ① N. Tajima, S. Sugawara, R. Kato, Y. Nishio and K. Kajita,

- “Effect of the Zero-Mode Landau Level on Interlayer Magnetoresistance in Multilayer Massless Dirac Fermion Systems”,
Phys. Rev. Lett., 102, 176403/1-4, (2009), 査読有
- ② N. Tajima, R. Kato and H. Taniguchi
“Transport Properties of an Organic Mott Insulator β' -(BEDT-TTF)₂ICl₂”,
Europhys. Lett., 83, 27008/1-5, (2008), 査読有
- ③ Y. Kawasugi, H. M. Yamamoto, M. Hosoda, N. Tajima, T. Fukunaga, K. Tsukagoshi, and R. Kato
“Strain-induced superconductor / insulator transition in thin organic single crystal field effect channel”,
Appl. Phys. Lett., 92, 243508/1-3, (2008), 査読有
- ④ M. Sato, S. Sugawara, N. Tajima, Y. Nishio and K. Kajita
“Transport property of the organic conductor α -(BEDT-STF)₂I₃ in the magnetic field”,
J. Phys.: Conf. Ser., 132, 012001/1-6, (2008), 査読有
- ⑤ 梶田晃示, 田嶋尚也
“分子性導体の中の不思議な電子”,
パリティ, 23, 23-26, (2008), 査読無
- ⑥ K. Katayama, T. Nagai, H. Taniguchi, K. Satoh, N. Tajima, and R. Kato
“High-Pressure Electronic State of κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br Probed by Hall Effect”,
J. Phys. Soc. Jpn., 76, 194-195, (2007), 査読有
- ⑦ S. Sugawara, T. Ueno, N. Tajima, Y. Nishio, and K. Kajita
“Magnetoresistance of quasi two-dimensional organic conductors κ (BEDT-TSeF)₂FeX₄ (X=Cl, Br) and mapping of Fermi surface”,
J. Phys. Soc. Jpn., 76, 114706/1-5, (2007), 査読有
- ⑧ N. Tajima, S. Sugawara, M. Tamura, R. Kato, Y. Nishio and K. Kajita,
“Transport Properties of Massless Dirac Fermions in an Organic Conductor α -(BEDT-TTF)₂I₃ under pressure”,
Europhys. Lett., 80, 47002/1-5, (2007), 査読有
- [学会発表] (計 35 件)
- ① 田嶋尚也, 菅原滋晴, 加藤礼三, 西尾豊, 梶田晃示
“有機ゼロギャップ電子系におけるゼ
ロモード効果 II”,
日本物理学会第 64 回年次大会, 2009 年 3 月 29 日, 立教大学
- ② 佐藤光幸, 三浦克哉, 西尾豊, 梶田晃示, 菅原滋晴, 田嶋尚也, 加藤礼三, 村田恵三
“ゼロギャップ電気伝導体 α -(BEDT-TTF)₂I₃ の層間ホール効果”,
日本物理学会第 64 回年次大会, 2009 年 3 月 29 日, 立教大学
- ③ 荒井健一, 鷹野芳樹, 開康一, 原田史朗, 高橋利宏, 田嶋尚也, 加藤礼三, 内藤俊雄
“ α 型 ET₂I₃ の類似系物質の NMR II”,
日本物理学会第 64 回年次大会, 2009 年 3 月 29 日, 立教大学
- ④ 田村圭, 谷口弘三, 佐藤一彦, 田嶋尚也, 加藤礼三
“ドープ型有機伝導体 κ -(BEDT-TTF)₄Hg_{2.78}Cl₈ の圧力下ホール効果”,
日本物理学会第 64 回年次大会, 2009 年 3 月 28 日, 立教大学
- ⑤ 川楮義高, 山本浩史, 田嶋尚也, 福永武男, 塚越一仁, 加藤礼三
“ κ 型 ET 塩に対する静電キャリアドーピング II”,
日本物理学会第 64 回年次大会, 2009 年 3 月 28 日, 立教大学
- ⑥ 田嶋尚也
“分子性 Dirac 電子系の電気伝導特性”,
第 8 回琉球大学物性研究会, 2008 年 11 月 29 日, 琉球大学
- ⑦ N. Tajima
“Transport Phenomena in Organic Zero-Gap Conductors”,
International Symposium on Anomalous Quantum Materials, 2008 年 11 月 8 日, 東京大学
- ⑧ 川楮義高, 山本浩史, 田嶋尚也, 福永武男, 塚越一仁, 加藤礼三
“ κ 型 ET 塩に対する静電キャリアドーピング”,
日本物理学会 2008 年秋の分科会, 2008 年 9 月 23 日, 岩手大学
- ⑨ 田嶋尚也, 菅原滋晴, 田村雅史, 加藤礼三, 西尾豊, 梶田晃示
“有機ゼロギャップ電子系におけるゼロモードのゼーマン分裂”,
日本物理学会 2008 年秋の分科会, 2008 年 9 月 22 日, 岩手大学
- ⑩ 金谷親英, 齊藤敏明, 西尾豊, 梶田晃示, 山本浩史, 田嶋尚也, 加藤礼三
“ α -ET₂I₃ のゼロギャップ近傍における磁性”,
日本物理学会 2008 年秋の分科会, 2008 年 9 月 22 日, 岩手大学

- ⑪近藤隆祐, 鹿兒島誠一, 田嶋尚也, 加藤礼三
“ゼロギャップ半導体 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ 及び α -(BEDT-TSeF) $_2$ I $_3$ の静水圧力下構造解析”,
日本物理学会 2008 年秋の分科会, 2008 年 9 月 22 日, 岩手大学
- ⑫佐藤光幸, 三浦克哉, 田嶋尚也, 加藤礼三, 西尾豊, 梶田晃示
“ゼロギャップ電気伝導体 α -(BEDT-TSF) $_2$ I $_3$ の層内・層間伝導”,
日本物理学会 2008 年秋の分科会, 2008 年 9 月 22 日, 岩手大学
- ⑬佐藤光幸, 三浦克哉, 田嶋尚也, 加藤礼三, 西尾豊, 梶田晃示
“ゼロギャップ電気伝導体 α -(BEDT-TSF) $_2$ I $_3$ の層内・層間伝導”,
日本物理学会 2008 年秋の分科会, 2008 年 9 月 22 日, 岩手大学
- ⑭荒井健一, 鷹野芳樹, 開康一, 原田史朗, 高橋利宏, 田嶋尚也, 加藤礼三, 内藤俊雄
“ α 型 ET $_2$ I $_3$ の類似系物質の NMR”,
日本物理学会 2008 年秋の分科会, 2008 年 9 月 22 日, 岩手大学
- ⑮ N. Tajima
“Transport properties of massless Dirac fermions system in an organic conductor α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ ”,
The 9th International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology, 2008 年 8 月 26 日, 日立基礎研究所
- ⑯ N. Tajima, S. Sugawara, M. Tamura, R. Kato, Y. Nishio and K. Kajita
“Effects of Zero-Mode Landau Level on Transport Property in an Organic Massless Dirac Fermions System α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ under high pressure”,
25th Low Temperature Physics, 2008 年 8 月 8 日, Amsterdam
- ⑰ N. Tajima
“Transport properties of massless Dirac Fermions system α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ ”,
International Symposium on Molecular Conductors, 2008 年 7 月 23 日, 分子科学研究所
- ⑱ S. Sugawara, N. Tajima, Y. Nishio and K. Kajita
“Positive interlayer longitudinal magneto-resistance in a quasi two-dimensional organic zero gap semi-conduct α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ ”,
International Symposium on Molecular Conductors, 2008 年 7 月 23 日, 分子科学研究所
- ⑲ M Sato, S. Sugawara, N. Tajima, Y. Nishio and K. Kajita
“Transport property of organic conductor, α -(BEDT-STF) $_2$ I $_3$, in the magnetic field”,
International Symposium on Molecular Conductors, 2008 年 7 月 23 日, 分子科学研究所
- ⑳ 田嶋尚也,
“分子性 Dirac 電子系の電気伝導特性”,
東京大学物性研究所 極限セミナー, 2008 年 6 月 10 日, 東京大学物性研究所
- ㉑ 田嶋尚也,
“有機導体における Dirac 電子系: 電気伝導特性について”,
京都大学 基礎物理学研究所セミナー, 2008 年 5 月 30 日, 京都大学基礎物理学研究所
- ㉒ 松岡七絵, 金谷親英, 齊藤敏明, 西尾豊, 梶田晃示, 山本浩史, 田嶋尚也, 加藤礼三
“ α -ET $_2$ I $_3$ のゼロギャップ状態における反磁性”,
日本物理学会 第 63 回年次大会, 2008 年 3 月 24 日, 近畿大学
- ㉓ 田嶋尚也, 菅原滋晴, 田村雅史, 加藤礼三, 西尾豊, 梶田晃示
“有機ゼロギャップ電気伝導体のゼロモードと電磁伝導性”,
日本物理学会 第 63 回年次大会, 2008 年 3 月 24 日, 近畿大学
- ㉔ 佐藤光幸, 佐野康一郎, 菅原滋晴, 田嶋尚也, 加藤礼三, 西尾豊, 梶田晃示
“有機伝導体 α (STF) $_2$ I $_3$ の磁場中伝導特性”,
日本物理学会 第 63 回年次大会, 2008 年 3 月 24 日, 近畿大学
- ㉕ 荒井健一, 原田史朗, 鷹野芳樹, 開康一, 高橋利宏, 田嶋尚也, 加藤礼三, 内藤俊雄
“ α -(BEDT-STF) $_2$ I $_3$ の電荷不均化 II”,
日本物理学会 第 63 回年次大会, 2008 年 3 月 24 日, 近畿大学
- ㉖ 田嶋尚也,
“有機ゼロギャップ導体の電気伝導性”,
基研研究会「分子性ゼロギャップ物質の新物性」, 2007 年 12 月 3 日, 京都大学基礎物理学研究所
- ㉗ 田嶋尚也,
“圧力でゼロギャップ状態と金属(超伝導)を行き来する有機導体”,
東邦大学複合物性研究センターシンポジウム「新規多機能有機素材の創成と評価」, 2007 年 10 月 13 日, 東邦大学
- ㉘ 菅原滋晴, 田嶋尚也, 西尾豊, 梶田晃示
“平行磁場下における層状金属 α -(BEDT-TTF) $_2$ TlHg(SeCN) $_4$ の層間磁気抵

抗”，
日本物理学会 第62回年次大会，2007年9月23日，北海道大学

⑳森慶祐，菅原滋晴，田嶋尚也，西尾豊，梶田晃示

“層状有機伝導体 κ -(BEDT-TSeF)₂FeCl₄の1軸圧縮効果”，

日本物理学会 第62回年次大会，2007年9月23日，北海道大学

㉑田嶋尚也，菅原滋晴，田村雅史，加藤礼三，西尾豊，梶田晃示

“有機ゼロギャップシステムの低温電流磁気効果”，

日本物理学会 第62回年次大会，2007年9月22日，北海道大学

㉒田嶋尚也，菅原滋晴，田村雅史，加藤礼三，西尾豊，梶田晃示

“有機ゼロギャップシステムの低温電流磁気効果”，

日本物理学会 第62回年次大会，2007年9月22日，北海道大学

㉓荒井健一，開康一，鷹野芳樹，原田史朗，高橋利宏，田嶋尚也，加藤礼三，内藤俊雄

“ α -(BEDT-STF)₂I₃単結晶の電荷不均化；⁷⁷Se NMR”，

日本物理学会 第62回年次大会，2007年9月22日，北海道大学

㉔佐藤光幸，菅原滋晴，田嶋尚也，加藤礼三，西尾豊，梶田晃示

“有機伝導体 α -(BEDT-STF)₂I₃の間伝導特性”，

日本物理学会 第62回年次大会，2007年9月22日，北海道大学

㉕川相義高，池田睦，山本浩史，田嶋尚也，塚越一仁，加藤礼三

“シリコン基板上でのBEDT-TTF錯体合成と輸送特性の評価”，

日本物理学会 第62回年次大会，2007年9月22日，北海道大学

㉖田嶋尚也，

“有機ゼロギャップシステムの最近の進展について－圧力と磁場”，

東邦大学複合物性研究センター研究会「ゼロギャップ電気伝導体」，2007年7月30日，東邦大学

[その他]

プレスリリース(2009年4月30日)

「多層状単結晶で世界初の二次元ゼロギャップ電気伝導体を実現－有機導体 α -(BEDT-TTF)₂I₃で、ゼロギャップ電子系の決定的な証拠を得る－」

<http://www.riken.jp/r-world/info/release/press/2009/090430/detail.html>

新聞記事：化学工業日報7面(2009年5月7日)

「多層状単結晶で世界初の二次元ゼロギャップ電気伝導体を実現 理研・東邦大が世界初」

ホームページ

<http://www.riken.jp/lab-www/molecule/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田嶋 尚也(TAJIMA NAOYA)

独立行政法人理化学研究所・加藤分子物性研究室・専任研究員

研究者番号：40316930