

---

# 会場 B

## 領域 6, 8, 9

---

### B-1 点接合分光法を用いた YbInCu<sub>4</sub> の電子状態測定

九大工<sup>A</sup>, 九大院工<sup>B</sup>, 九大院理<sup>C</sup> 高橋拓也<sup>A</sup>, 志賀雅亘<sup>B</sup>, 原田琢良<sup>B</sup>, 光田暁弘<sup>C</sup>, 稲垣祐次<sup>B</sup>, 和田裕文<sup>C</sup>, 河江達也<sup>B</sup>

YbInCu<sub>4</sub> は T<sub>v</sub> 42K で価数が一次転移 (価数転移) する珍しい物質である。Yb イオンの価数は、高温では  $v 3+$  であるのに対し、T<sub>v</sub> を境に低温では  $v 2.8+$  まで減少することが知られており、価数転移に伴って磁化率、電気抵抗率なども大きく変化する。また、磁化率の温度依存性から求めた近藤温度は、高温域では 25K、低温域では 400K であると見積もられている。これらの結果から、YbInCu<sub>4</sub> は価数転移によって電子状態が大きく変化し、低温域では近藤格子の形成に起因して、f 電子が遍歴的な状態になっていると考えられている [1]。そこで、我々は YbInCu<sub>4</sub> の低温における近藤格子の形成を直接観測するために、点接合分光法を用いた YbInCu<sub>4</sub> の電子状態測定を試みた。

講演では微分伝導度の温度依存性など詳細なデータを報告する予定である。

[1]M. Y. Zhang et al., Phys. Rev. B 95, 165104 (2017)

## B-2

### 点接合分光法を用いた EuNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub> の混成ギャップの観測

九大院工<sup>A</sup>, 九大工<sup>B</sup>, 九大院理<sup>C</sup>, 福工大情工<sup>D</sup> 志賀雅亘<sup>A</sup>, 原田琢良<sup>A</sup>, 高橋拓也<sup>B</sup>, 光田暁弘<sup>C</sup>, 丸山勲<sup>D</sup>, 稲垣祐次<sup>A</sup>, 和田裕文<sup>C</sup>, 河江達也<sup>A</sup>

Eu 化合物では、Eu<sup>2+</sup> と Eu<sup>3+</sup> の状態間を熱的に揺らぐことで中間価数状態が実現する。そのため、ほとんどの Eu 化合物は基底状態では中間価数状態が実現しない。一方で、EuNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub> は低温で平均価数が 2.6 価をとる中間価数物質であり、比熱や電気抵抗測定結果から低温で重い電子状態を形成していると考えられている [1]。今回我々は、EuNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub> の低温での中間価数状態や重い電子形成の起源を明らかにする為、点接合分光法を用いた EuNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub> の電子状態測定を行った。

図 1 に EuNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub>/W 界面で得られた微分伝導度を示す。ここで見られる非対称なダブルピーク構造は探針に Pt を使用した場合でも観測され、これが本質的な信号であることがわかった。実線は Maltseva らによって提案された理論フィッティングであり、実験結果をよく再現する。この理論は探針から近藤格子への電子トンネル過程に注目しており、これより図 1 のダブルピーク構造の起源は c-f 混成による混成ギャップであると結論付けられる [2]。つまり、低温での中間価数状態や

重い電子の形成は、c-f 混成による重い準粒子バンドの形成に由来していると考えられる。講演では理論計算で得られる混成ギャップの大きさやその温度依存性について報告する。[1] Y. Hiranaka, et al., J. Phys. Soc. Jpn. 82, 083708 (2013) [2] M. Maltseva et al., Phys. Rev. Lett. 103, 206402 (2009)

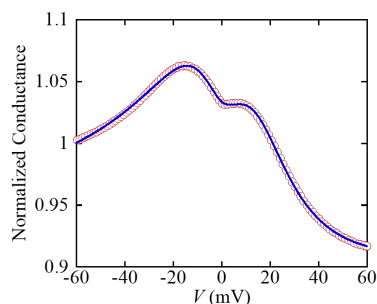


図 1  $T = 9.4$  K における EuNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub>/W 界面での微分伝導度。実線は理論計算によるフィッティング

## B-3

### 点接合分光法を用いた近藤絶縁体 SmB<sub>6</sub> の微分伝導度測定

九大院工<sup>A</sup>, 茨城大院理工<sup>B</sup> 原田琢良<sup>A</sup>, 志賀雅亘<sup>A</sup>, 高橋拓也<sup>A</sup>, 沖村健吾<sup>A</sup>, 稲垣祐次<sup>A</sup>, 伊賀文俊<sup>B</sup>, 河江達也<sup>A</sup>

典型的な近藤絶縁体として知られる SmB<sub>6</sub> は、近年、極低温下でトポロジカル絶縁体 (TI) になるのではないかと提案されている [1]。TI とは、表面は金属的だがバルクは絶縁体的であり、その表面のみ電流が流れる物質のことである。また、TI は高いスピン分極率を有することが理論的に予測され、これまでに Bi 系 TI と超伝導体界面での点接合アンドレエフ反射分光実験 (PCARS) により実験的に観測されている [2]。よって、同様の測定を行うことで SmB<sub>6</sub> が TI である証拠を得られると考えられる。以上のような背景で今回我々は SmB<sub>6</sub> について超伝導探針を用いた点接合分光法による微分伝導度測定を行った。図 1 は SmB<sub>6</sub>/Nb 界面の微分伝導度の温度依存性を示している。この図を見ると、Nb の超伝導転移温度である 9.3K より低温では、ゼロバイアス付近に異常が発生していることがわかる。当日はより詳細なデータとその考察な

どを報告する予定である。[1] X. Zhang et al., Phys. Rev. X 3, 011011 (2013). [2] K. Borisov, C.-Z. Chang, J. S. Moodera, and P. Stamenov, Phys. Rev. B 94, 094415 (2016).

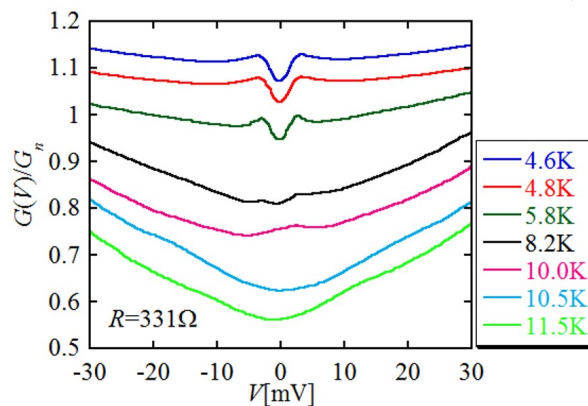


図 1 SmB<sub>6</sub>/Nb 界面の微分伝導度の温度依存性

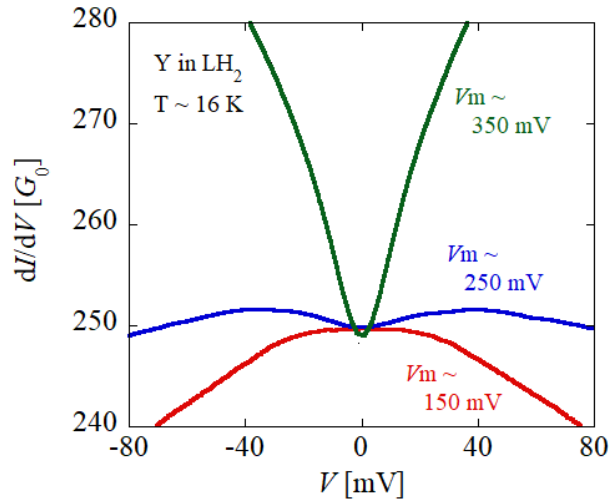
## B-4

### 低温で作成した Y 水素化物ナノコンタクトの電子輸送特性

九大院工<sup>A</sup> 宮川一慶<sup>A</sup>, 高田弘樹<sup>A</sup>, 山口大志<sup>A</sup>, 六本木雅生<sup>A</sup>, 稲垣祐次<sup>A</sup>, 河江達也<sup>A</sup>

我々はこれまでに、低温でも金属への水素吸蔵が生じるのかを調べるため、金属ナノコンタクトを液体水素中 (LH2) に浸した状態で点接合分光実験を行ってきた。これまでの実験から、 $T \sim 20$  K の低温でも、ナノコンタクト両端へ電圧を印加すれば水素吸蔵が誘起されることを明らかにし、低温下における金属水素化物の生成を実証している [1]。そこで我々は、水素化により金属-絶縁体転移が起きることが知られているイットリウム (Y) に着目した。本手法を用いて LH2 中で Y 水素化物を作成し、その低温における電子輸送特性の微視的観測を行った。図 1 は LH2 中の Y ナノコンタクト両端に  $V_m = 150 - 350$  mV の電圧を印加した後で測定した  $dI/dV$  信号を比較したものである。まず  $V_m = 150$  mV では、他の金属ナノコンタクトでの  $dI/dV$  信号と同様、上に凸の形状をしている。 $V_m = 250$  mV になるとゼロバイアスがくぼみだし、電子状態が変化し始めていると思われる。より変化が現れるか調べるため、さらに  $V_m = 350$  mV を印加すると、信号が V 字型へと変化する。この変化は、コン

タクト部が水素化し絶縁体転移したことに起因していると考えられる。本講演ではこれらの結果について報告する。[1] K. Ienaga, et al, Appl. Phys. Lett. 106, 021605 (2015).



## B-5

### 液体水素中に浸した Mg の点接合分光実験

九大工<sup>A</sup>, 九大院工<sup>B</sup>, 金沢大教育<sup>C</sup> 六本木雅生<sup>A</sup>, 宮川一慶<sup>B</sup>, 山口大志<sup>B</sup>, 辻井宏之<sup>C</sup>, 稲垣祐次<sup>B</sup>, 河江達也<sup>B</sup>

我々は液体水素中に浸した金属ナノコンタクトの非弾性電子分光実験を行い、電気伝導特性の変化を観測することにより低温における金属内部への水素の吸蔵・拡散過程を研究している。これまでの実験より水素が吸蔵されることによる金属ナノコンタクトのフォノンスペクトルの変化に注目することで、金属内部での水素の挙動を追跡することが可能であることがわかった [1]。そこで今回は代表的な水素吸蔵金属の一つであるマグネシウム (Mg) のナノコンタクトを液体水素中に晒すことで低温でのマグネシウム内部への水素吸蔵を試み、微分伝導度スペクトルの変化からその過程を追跡した。図 1・2 は  $T \sim 15$  K における真空中及び液体水素中で測定した場合の信号を比較したものである。真空中での信号に比べ液体水素中での信号は  $dI/dV$  信号がブロード化していること、さらに液体水素中での  $d^2I/dV^2$  信

号に  $|V| \geq 20$  mV で真空中では現れなかったスパイク状のピークが現れることが分かった。これらの傾向は他の金属を用いた同様の測定においても観測されているため、水素が Mg 内部に侵入したことに起因するものと考えられる。当日はこれらの信号の振る舞いについてより詳細に報告する。[1]K. Ienaga, et al, Appl. Phys. Lett. 106, 021605 (2015)

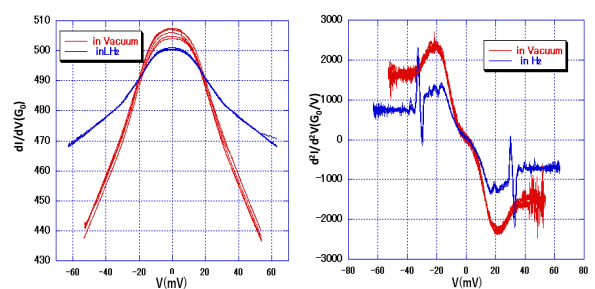


図1.  $T \sim 15$  Kで真空中及び液体水素中における Mgナノコンタクトの  $dI/dV$  信号

図2.  $T \sim 15$  Kで真空中及び液体水素中における Mgナノコンタクトの  $d^2I/dV^2$  信号

## B-6

### プラスチックターゲットを用いた炭素系薄膜のプラズマ成長

九州工業大学工学部総合システム工学科<sup>A</sup>, 九州工業大学工学研究院<sup>B</sup> 岩永 泰輔<sup>A</sup>, 山元 隆嗣<sup>A</sup>, 孫 勇<sup>B</sup>

最近、ナノ炭素系材料の研究が盛んになっている。その作製方法の中にはマグネトロンプラズマスパッタリング法は利便性からよく使われている。しかし、固形炭素材料をターゲットとするこの方法では、ターゲットの利用効率や薄膜の成長速度などにおいて更なる改善が期待されている。本研究では、成膜速度改善の立場から炭素系有機物のプラズマ蒸発効果を利用し、黒鉛ターゲットの表面に炭素系有機材料を載せ、薄膜の成長速度や膜質の評価を行い、プラズマ蒸発効果を調べた。前回の塩化ビニル実験の結果を踏まえ、ポリプロピレンについて研究した。薄膜の成長にマグネトロン型高周波 Ar プラズマスパッタリング装置を用いた。ターゲットと基板間の距離は 50mm、ターゲットの直径は 75mm であった。黒鉛ターゲットの上にポリプロピレンの破片を載せ、破片の質量を事前に計測した。rf パワーを 100W、基板温度を 200 210 °C に固定し、スパッタガス圧を 6Pa~10Pa の間に変化させ 40 50 分間薄膜を成長させた。赤外線と可視光吸収の測定に対応し、Si(001) と熔融石英の基板を用いた。200 °C の基板温度で得られた薄膜はアモルファス的で C の含有量は O の約百倍であることが分かった。また、膜の成長速度は 6Pa~10Pa の圧力範囲で約 1.5~2.0nm/min であった。更に、薄膜は半導体であり、ほぼ透明でエネルギーバンドギャップは 3.2~3.4eV の範囲にあった。薄膜の成長速度は黒鉛ターゲットのみの場合と比べると改善されたことは確認された。

## B-7

### 酸素制御した $\text{Ca}_2\text{RuO}_{4+\delta}$ 単結晶の電気二重層トランジスタの実験

久留米工業大学工学部<sup>A</sup> 古賀悠<sup>A</sup>, 中島弘樹<sup>A</sup>, 小倉弘幹<sup>A</sup>, 酒見龍裕<sup>A</sup>, 井野明洋<sup>A</sup>, 中村文彦<sup>A</sup>

我々は、モット絶縁体  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  が、40 V/cm の電場印加で構造変化を伴って金属化し、また、電場印加下で一度金属化すると電流を流し続けることで、金属状態を低温まで維持できることを発見した。これらの実験は単結晶試料に金蒸着した電極から直接電場を印加したが、電場印加と同時に電流も誘起されるため、電場誘起相転移が、電場と電流のどちらの効果なのか判別できない。そこで本研究では、電気二重層トランジスタ (図 1) を作製し、イオン液体で電場を印加 (電荷を高濃度に注入) した効果を調べる。この方法では試料に電流が流れないため、電流効果を検証できる。

図 2 に、260 K での電場印加下での電気抵抗の時間依存性を示す。4 V まで印加電圧を上昇させると抵抗値が大きく減少した。約 10 時間電圧を 4 V 印加し続けることで、抵抗値は 30% 以上減少した。さらに、電圧を 4 V から徐々に 0 V まで下げると元の抵抗値に戻る。これらのことから、この抵抗減少は表面電荷の効果では説明できないほど大きく、酸素放出などの化学反応のような不可逆効果ではない、CRO の本質的な変化だと考えられる。

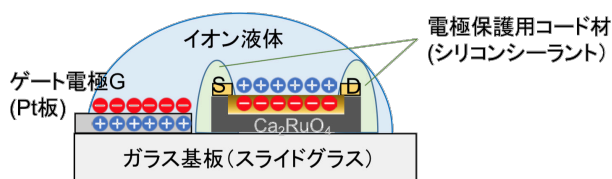


図1 電気二重層トランジスタ概念図

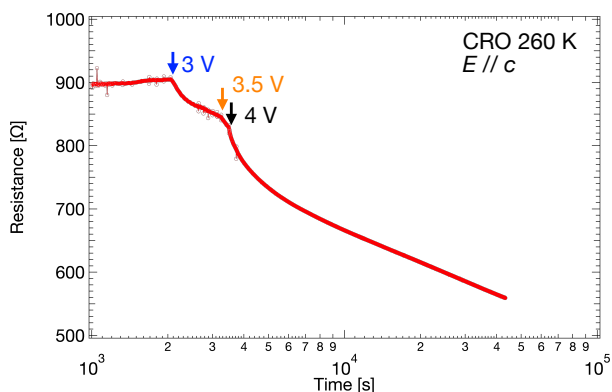


図2 CROでの電場印加中の電気抵抗 時間依存性

## B-8 酸素制御した $\text{Ca}_2\text{RuO}_{4+\delta}$ 単結晶の物性

久留米工業大学工学部<sup>A</sup> 中島弘樹<sup>A</sup>, 古賀悠<sup>A</sup>, 小倉弘幹<sup>A</sup>, 酒見龍裕<sup>A</sup>, 井野明洋<sup>A</sup>, 中村文彦<sup>A</sup>

モット絶縁体  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  は、わずかな外場で金属転移し、様々な新奇量子現象を示す。これまでの研究は、化学量論的酸素量の単結晶を用いて行われてきた。しかし、わずかな酸素量の違いが物性に及ぼす影響は未だ分っていない。我々の以前の研究では、酸素欠損を導入した  $\text{Ca}_2\text{RuO}_{4+\delta}$  単結晶は FZ 法で育成困難であったが、過剰酸素を導入した単結晶は育成可能である。本講演では、酸素分圧を調整し育成した単結晶、過剰酸素を持つ多結晶と化学量論的組成の単結晶の物性を調べた。 $\text{Ca}_2\text{RuO}_{4+\delta}$  単結晶は、FZ 法で育成した。化学量論的単結晶は 10 気圧の雰囲気ガスの酸素分圧を 1 気圧で育成することで得られる。これを 5 気圧まで高めることで単結晶への過剰酸素導入を目指した。また、空気中で焼結した多結晶体も作成し、各種物性量の比較を行った。その結果、熱重量 (TG/DTA) 分析から過剰酸素量  $\delta$ , X 線回折実験により  $c$  軸長, 比熱から金属-絶縁体転移温度  $T_{\text{MI}}$  を求めた。その結果、多結晶体では  $\delta \sim 0.2$ ,  $c \sim 11.9578 \text{ \AA}$ ,  $T_{\text{MI}} \sim 330 \text{ K}$ , 酸素 5 気圧育成の単結晶 (酸素過剰) で  $\delta \sim 0.07$ ,  $c \sim 11.9578 \text{ \AA}$ ,  $T_{\text{MI}} \sim 365 \text{ K}$ , 酸素 1 気圧育成の単結晶で  $\delta \sim 0$ ,  $c \sim 11.9145 \text{ \AA}$ ,  $T_{\text{MI}} \sim 360 \text{ K}$  であることが分った。この様に、単結晶にも過剰酸素導入可能だが、多結晶体ほどの過剰酸素導入は困難である。

## B-9 YBCO 超伝導薄膜およびセラミックスの弱磁場下磁束ガラス相

九工大工<sup>A</sup>, 徳島大理工<sup>B</sup>, 京都工繊大工芸<sup>C</sup> 浦本翔吾<sup>A</sup>, 出口博之<sup>A</sup>, 美藤正樹<sup>A</sup>, 堀出朋哉<sup>A</sup>, 松本要<sup>A</sup>, 久田旭彦<sup>B</sup>, 小山晋之<sup>B</sup>, 萩原亮<sup>C</sup>

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (YBCO) のセラミックス試料および非超伝導体  $\text{BaHfO}_3$  ナノロッドの磁束ピンニングセンターを導入した YBCO の単層および多層薄膜試料について低磁場下における磁気ガラス特性を研究している。その結果、様々な共通した磁気特性を示すことが明らかになった。しかし、YBCO セラミックスはジョセフソン接合のネットワーク系とみなせ、カイラルガラス相の存在が予想されるのに対し、YBCO 薄膜はジョセフソン接合は存在せず、ナノロッドに磁束がピン止めされた磁束系と考えられる。この二つの系における磁気ガラス特性の相違を調べた。  $f = 1 \text{ Hz}$ ,  $h_{\text{ac}} = 0.1 \text{ Oe}$  において交流磁化測定を行ったところ、ガラス転移を特徴づける線形磁化 ( $T_{\text{m}''}$ ) および非線形磁化のピーク ( $T_{3\omega L}$ ,  $T_{3\omega U}$ ) が両者ともに観測された。図 1 に YBCO セラミックス及び薄膜のガラス転移温度の磁場依存を示す。YBCO セラミックスでは上に凸、YBCO 多層薄膜では下に凸の磁場依存を示し、かなり異なっている。YBCO

セラミックスの磁場依存はカイラルガラス転移のそれと類似、YBCO 多層薄膜ではスピングラス転移の AT-line 磁場依存に近い。発表では YBCO セラミックス、YBCO 多層薄膜および単層膜における磁束ガラス相の特性について比較検討を行う。

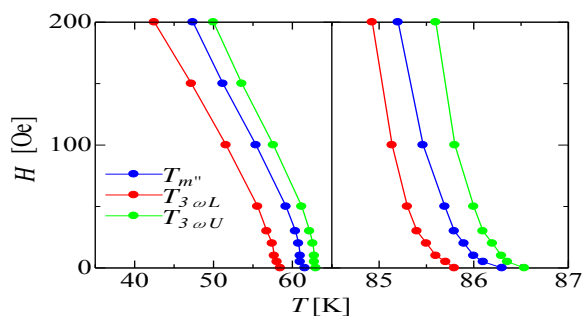


図 1. YBCO セラミックス(左)及び多層薄膜(右)のガラス転移の磁場依存

## B-10 Lieb 格子におけるフラットバンド bcs 超伝導の理論

福岡大学大学院<sup>A</sup> 寺本圭志<sup>A</sup>

電子系の多体問題において、バンド構造は非常に重要な役割を担っている。中でもフラットバンドを持つような系では、フラットバンド強磁性に知られるような特異な性質が現れる。フラットバンドにより誘起される特異な現象の一つとして、フラットバンド誘起の BSC 高温超伝導状態が提唱されている [1]。本研究では、Lieb 格子に斥力相互作用を入れ、その影響を考察する。更に、平均場近似により、フラットバンド誘起の超伝導が出現する可能性を模索する。

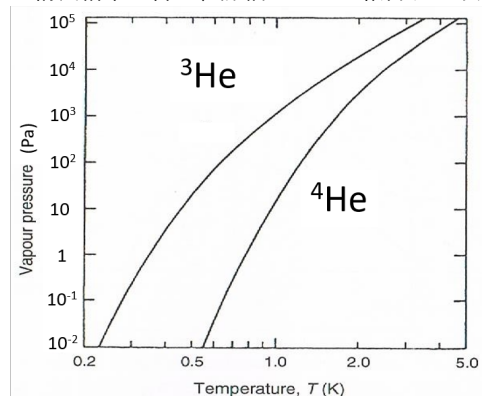
[1] S. Miyahara, S. Kusuta, and N. Furukawa, Physica C 460-462, 1145 (2007).

## B-11 3He-4He 混合ガスからの 3He ガス精製技術の開発

九大院工<sup>A</sup>, 九大工<sup>B</sup> 岩波舜也<sup>A</sup>, 永石誠之助<sup>B</sup>, 植嶋玄<sup>A</sup>, 稲垣祐次<sup>A</sup>, 河江達也<sup>A</sup>

ヘリウムの同位体である 3He の重要性は年々大きくなっている。例えば、量子計算を実施する際には、波動関数の位相情報が熱擾乱により消失しないよう極低温環境が不可欠となるため、極低温生成用に多量の 3He ガスが必要となる。つまり量子計算機の研究発展には 3He は不可欠となる。他にも、高感度の中性子検出器として使用されるなど、他元素では代替できない重要な特性を持つ。しかし、現在 3He ガスの入手が非常に困難な状況にあり、低温物理や量子工学の発展に対して大きな障害となっている。今回我々は、希釈冷凍機の冷媒として使用されてきた 3He ガスの再利用に注目した。希釈冷凍機は装置により必要なガス量が異なるとともに、以前は 3He が安価だったこともあり、多くの大学などで 3He-4He 混合ガスの状態で放置されている可能性がある。そこで本研究は 3He と 4He の蒸気圧差を利用して、3He を高純度ガスとして再資源化する装置を試作した。図に示すように、3He と 4He の蒸気圧の差は低温になるにしたがい急激に増大する。2K では約 10 倍の蒸気圧の差が、1K になると 100 倍以上の差になる。この蒸気圧差を利用する

ため、試作装置は混合ガスを液化後に、 $T < 1\text{K}$  の環境で 3He を蒸発排気できるようになっている。試作装置を用いて 3He、4He の濃度比が 74.2 % : 25.8 % の混合ガスから 3He を精製した。この結果、3He を 97.5 % 程度まで精製できることがわかったが、わずかに 4He の混入も見られた。これは、4He フィルムフローによる影響と考えられ、さらなる装置改良が必要であることがわかった。講演では、異なる濃度のガスの精製結果も含め、詳細について報告する予定である。



## B-12

### パラジウム水素化物 PdH<sub>0.6</sub> における水素拡散現象

九工大工<sup>A</sup>, 九大院工<sup>B</sup>, 九大 WPI-I2CNER<sup>C</sup> 福山智也<sup>A</sup>, 北村雄一郎<sup>B</sup>, 美藤正樹<sup>B</sup>, 堀田善治<sup>B</sup>, Kaveh Edalati<sup>C</sup>

PdH<sub>x</sub>は  $x > 0.8$  で超伝導を示すことが古くから知られているが、最近の High- $T_c$  超伝導体の水素化物の相次ぐ発見によって、その重要性が再認識されている。一方、金属材料研究の分野では、水素電池や構造材料として側面から微細組織材を利用した水素吸蔵材料の研究が盛んである。この PdH<sub>x</sub> を大気雰囲気中に置くと、それは水素拡散系の研究対象になる。PdH は非磁性体であるのに対し、Pd は常磁性体である。つまり、磁気測定を通じて、PdH から Pd の変化を追跡できる。構造解析が構造周期性を有する部分の情報を反映するのに対し、磁気測定ではその制約が無く、拡散現象に対する追跡分解能は高い。

本研究では、高圧加工材への水素吸着によって作製した

PdH<sub>0.6</sub> における水素拡散現象を、磁気測定と構造解析の両面で追跡したので報告する。大気暴露直後とその一か月後の磁気測定の結果を図1に示す。時間経過に伴い、磁化が増加していることから、PdH から Pd の変化を観測できる。

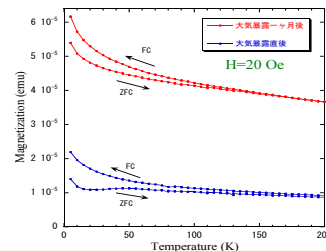


図1 PdH<sub>0.6</sub>材の磁化の温度依存性

## B-13

### 水素濃度の異なる PdH<sub>x</sub> の超伝導特性に関する研究

九大院工<sup>A</sup> 廣田壮平<sup>A</sup>, 司文<sup>A</sup>, 稲垣祐次<sup>A</sup>, 河江達也<sup>A</sup>

PdH<sub>x</sub> は水素濃度  $x$  ( $x = H/Pd$ ) が約 0.75 以上で超伝導転移を示す。転移温度  $T_c$  は  $x$  に依存して上昇し、 $x = 1$  で約 10 K に達する。加えて逆同位体効果や臨界磁場の直線的な温度依存性など従来型の超伝導とは異なる振る舞いが報告されている。以上の報告は 1970 年代に集中的になされ、以後、今日に至るまで目立った報告例はなく、上記の興味深い現象の本質は未解決のままである。研究が停滞している要因の一つに試料作成の困難さがある。室温で均一且つ高濃度水素試料を作成するには高圧水素ガスが必要不可欠であるが、その為の環境を整備することは容易ではない。この他、低温での電解チャージやプロトン注入などによる方法があるが、不均一性の問題や正確な吸蔵量の同定、その場観察の困難さを伴う。パラジウム金属への水素吸蔵過程は発熱反応であり、従来から低温吸蔵の有用性は認識されていたが、最近、1 気圧でも低温であれば高水素濃度試料が得られることが秋葉らによって報告された (1)。彼らは 210 K で  $x = 0.829$  の試料を作成し、比熱測定を通じて“50 K 異常”の起源を議論している。そこで我々は秋葉らの報告を参考に 200K で水素吸蔵を実施し、PdH<sub>0.82</sub> 及び PdD<sub>0.79</sub> の作製、超伝導転移の観測に成功した (2)。今回、更に低い 150 K と 120 K で水素吸蔵を定量的に行い、 $x = 0.87$  と 0.91 の試料を得た。その場冷却した後の低温磁化から見積もられた体積分率はほぼ 1 で均一試料が出来ていること、 $T_c$  は従来の  $x$  依存性とほぼ一致することが確認された。一方で、それぞれの試料に対する  $T_c$  の磁場依存性や  $M-H$  曲線から得られる温度-磁場相図は過去の報告と異なり、典型的な第 2 種超伝導体の振る舞いを示していることなども明らかになった。講演では、上述の結果を含めた詳細について報告する。(1) H. Akiba, et al., Phys. Rev. B 92, 064202 (2015) (2) Y. Inagaki, et al., J. Phys. Soc. Jpn. 87, 123701 (2018)

## B-14

### 超伝導ナノコンタクトの水素吸蔵・吸着による電気伝導特性の変化

九大院工<sup>A</sup>, 金沢大<sup>B</sup> 山口大志<sup>A</sup>, 宮川一慶<sup>A</sup>, 六本木雅生<sup>A</sup>, 辻井宏之<sup>B</sup>, 稲垣祐次<sup>A</sup>, 河江達也<sup>A</sup>

我々は金属内への水素の吸蔵・拡散現象を、金属試料の電子輸送特性変化という観点から解明するため、液体水素中に金属ナノコンタクトを浸して点接合分光を通して調べている。これまでの実験より、金属コンタクトに電圧を印加すると金属内への水素吸蔵が誘起され、その過程を微分伝導測定を用いて、観察できることを明らかにしている [1]。しかし、この手法では分光測定に必要な電圧でも吸蔵が誘起されるため、今回は水素吸蔵をより高精度に観測することを目的に、超伝導ナノコンタクトを用いた実験を行った。図1は、水素吸着した Nb ナノコンタクトに電圧  $V_m$  を印加後に測定した  $dI/dV$  スペクトルである。ナノコンタクトに水素が吸着すると超伝導ギャップ内に複数の鋭いピークが観測されている。これらのピークは温度等を変化しても、エネルギーシフトは見られない。電圧  $V_m$  を徐々に上げて行き 50 mV 以上印加すると、超伝導ギャップ  $2\Delta$  (図中矢印) が低エネルギー側へシフトする。これは水素がコンタクト内に侵入したことに起因すると考えられる。本講演ではこれら結果の詳細を報告する。[1] K. Ienaga, H. Takata,

Y. Onishi, et al., Appl. Phys. Lett. 106, 021605 (2015).

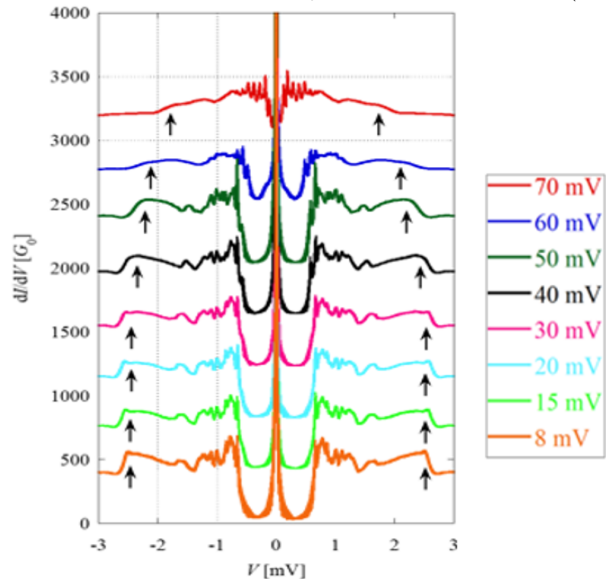


図1 印可電圧依存性8~70mV@4.6K

## B-15

### MoReN 薄膜の作製と評価

熊大自然<sup>A</sup>, 産総研<sup>B</sup>, 九大理<sup>C</sup>, 熊大理<sup>D</sup> 武田寛喜<sup>A</sup>, 澤田元気<sup>A</sup>, 溝上裕也<sup>A</sup>, 牧瀬圭正<sup>B</sup>, 篠崎文重<sup>C</sup>, 市川聡夫<sup>D</sup>

薄膜や細線化した低次元超伝導デバイスの評価方法を開発するために、超伝導薄膜の諸特性を定量的に調べている。これまで研究を行っていた MoRe に続き、今回は  $N_2$  ガスを導入して作製した MoReN 薄膜に対して、超伝導-絶縁体転移 (S-I) 転移の臨界面抵抗  $R_c$ 、臨界温度  $T_c$  などの超伝導パラメータを求めた。窒素の導入は  $R_c$  上昇と酸化防止を狙いとしている。試料は質量比 75:25 の MoRe をターゲットに RF スパッタリング装置を用いて作製した。スパッタガスには Ar、 $N_2$  ガスの混合ガスを用い、全ガスに対する  $N_2$  ガスの流量比  $Q(N_2)$  やスパッタ時間の調整により膜厚も変化させた。温度範囲 2K ~ 300K、磁場-7T ~ 7T の範囲において抵抗や Hall 抵抗、臨界磁場を測定した。測定の結果、膜厚が小さく  $N_2$  ガス流量比が多いものほど  $T_c$  は低く、室温での面抵抗  $R_{sq}$  は大きかったため、 $Q(N_2)$  に対する  $T_c$  や  $R_{sq}$  の変化量は薄い膜ほど大きく、窒素による乱れの影響の膜厚依存性を調べる必要がある。Finkel' stein 理論式によるフィッティングから MoReN 薄膜の  $R_c$  は約 1.7k  $\Omega$  となっており、窒素導入により MoRe の約 1.5k  $\Omega$  に比べ若干大きくなっているが、量子抵抗 (6.45k  $\Omega$ ) の 1/4 程度である。拡散係数やコヒーレンス長などのパラメータへの影響は見られなかった。EPMA による組成分析を行った結果、薄膜に窒素の組成は確認できた。しかし、同時に酸素も検出されたため、これが酸化によるものか基板から検出されたものかはさらに検証する必要がある。引き続き超伝導デバイス評価方法の開発のため、作製条件を変えての試料作製を行い、幅広いデータの収集が必要である。



## B-16

### 面平行強磁場中の準1次元超伝導体におけるFFLO状態に対するフェルミ面効果

崇城大総合教育<sup>A</sup>, 広大院先端<sup>B</sup> 板橋克美<sup>A</sup>, 嶋原浩<sup>B</sup>

面内磁場中の準1次元有機超伝導体 (TMTSF)<sub>2</sub>ClO<sub>4</sub> において, FFLO 状態を示唆する実験結果が報告されている. 特に, Yonezawa らによれば, 超伝導オンセット温度の面内磁場角度依存性  $T_c^{\text{onset}}(\phi)$  において, 強磁場中で主軸がシフトすることが観測され, FFLO 状態が出現していることが示唆されている [1]. ここで,  $\phi$  は結晶軸  $a$  と磁場の方向  $H$  との間の角度である. この主軸の変化が FFLO 状態によるものであるとすれば, 強磁場中の主軸はフェルミ面のネスティング効果 (フェルミ面効果と呼ぶ) によって決定されていると考えられる. さらに, この物質では, 軌道磁性効果が無視できないため,  $q \parallel H$  が成り立つと考えられる [2, 3]. ここで,  $q$  はクーパー対の有限な重心運動量である. 従って, 実験において  $H$  の方向を変化させることは, FFLO 状態を仮定すれば,  $q$  の方向を変化させることであると考えられる. 我々は, これらの考察に基づき, FFLO 状態の安定性の面内磁場角度依存性を調べている. これまでに, 特定の方向において, FFLO 状態が極端に安定となることを示しており, 現実的なパラメーターにおいて, 実験結果をおおむね再現できている [4]. また, 幅広いパラメーター領域での FFLO 状態が安定となる方向とフェルミ面の構造との相関についても調べた. 講演では, これらの内容について詳しく発表する.

- [1] S. Yonezawa, et al., Phys. Rev. Lett. **100**, 117002 (2008)
- [2] L. W. Gruenberg and L. Gunther, Phys. Rev. Lett. **16**, 996 (1996).
- [3] H. Shimahara and D. Rainer, J. Phys. Soc. Jpn. **66**, 3591 (1997).
- [4] K. Itahashi and H. Shimahara, J. Phys. Soc. Jpn. **87**, 083701 (2018).

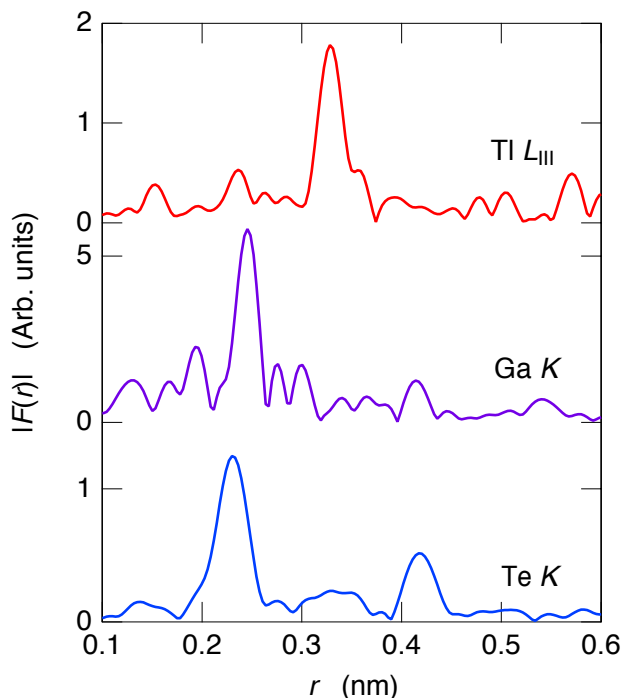
## B-17

### XAFS による TlGaTe<sub>2</sub> 熱電材料の局所原子配列の研究

熊本大理<sup>A</sup>, 熊本大院先端<sup>B</sup>, 富山大理<sup>C</sup> 皆川雄大<sup>A</sup>, 細川伸也<sup>B</sup>, 池本弘之<sup>C</sup>

TlMX<sub>2</sub> (M = In, Ga, X = S, Se, Te) は, 熱起電力が極めて大きい, 適当に良い電気伝導度を保つため, 熱電材料として十分な機能を持つ物質群である. そのうちの TlGaTe<sub>2</sub> は TlInSe<sub>2</sub> とともに MX<sub>4</sub> が作る結晶枠の間に Tl が鎖状に配置している. この物質が持つ特異な電気的性質は, その Tl 鎖の構造に大きく依存する. すなわち, その位置はおよそ 100K でコメンシュレート-インコメンシュレート転移を起こす. これまでわれわれは TlInSe<sub>2</sub> について XAFS によってその原子間距離とそのゆらぎを詳細に調べ, 相転移による原子構造の特徴的な変化を見出した [1]. 今回は同様の実験を, Tl LIII, Ga K および Te K 吸収端付近で行った. 図は得られた XAFS 振動をフーリエ変換して求めた  $-F(r)$  を示す. 講演では, 詳しいデータ解析の結果を示す.

- [1] Phys. Status Solidi A **215**, 1700416 (2018).

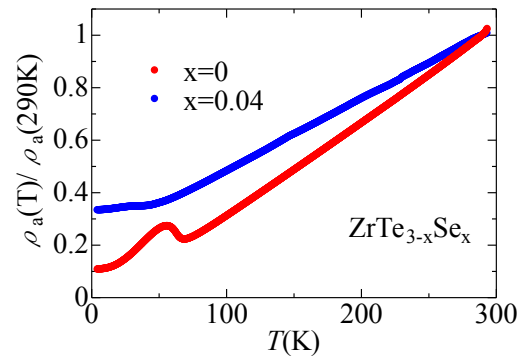


## B-18 ZrTe<sub>3</sub> の電荷密度波が示す電気的性質

佐賀大理工<sup>A</sup>, 日大理工<sup>B</sup>, 東理大理<sup>C</sup> 藤本裕二<sup>A</sup>, 真木一<sup>A</sup>, 出村郷志<sup>B</sup>, 坂田英明<sup>C</sup>

ZrTe<sub>3</sub> は、63 K でパイエルズ転移を起こし、電荷密度波 (CDW) 状態へと転移する。CDW 転移においてはコーン異常が観測されており、回折実験からは (0.07a\*, 0, 0.33c\*) のスポットが生じることが報告されている。さらに温度を下げると、2K以下の温度で、今度は超伝導状態へと転移する。CDW と超伝導が共存する物質は他にも多く知られるが、ZrTe<sub>3</sub> においても、その機構は明らかになっていない。特に CDW は非常に長周期で、鎖方向である b 軸には成分をもたないことが特徴であり、そのような CDW がどのように安定化しているかに興味をもたれる。我々は、Te サイトを同原子価の Se で置換すると、CDW が抑制されていくことに注目し、その電気的性質の推移を調べることにした。図は、ZrTe<sub>3</sub> と、Se を 4% 混入した試料の a 軸方向の電気抵抗率の温度依存性である。CDW 転移に伴う異常が Se

ドーブで抑制される様子が分かる。当日は、b 軸方向の結果や非線形性を調べた実験結果と共に、詳細を報告したい。

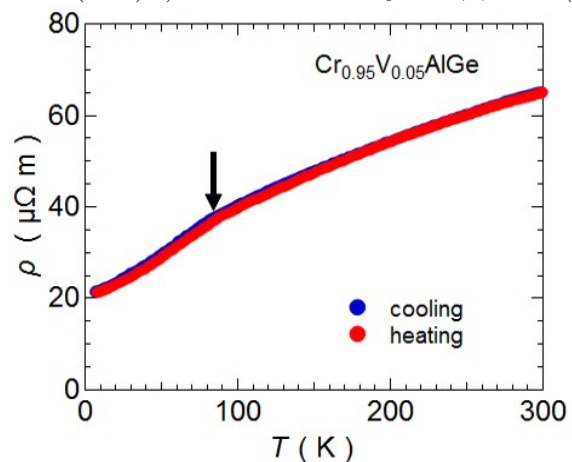


## B-19 CrAlGe の輸送特性

鹿児島大理工<sup>A</sup>, 鹿児島大教セ<sup>B</sup> 白濱透<sup>A</sup>, 恩田圭二郎<sup>A</sup>, 増満勇人<sup>A</sup>, 小山圭一<sup>A</sup>, 藤井伸平<sup>A</sup>, 三井好古<sup>A</sup>, 伊藤昌和<sup>B</sup>

Cr 基三元化合物 CrAlGe は斜方晶 TiSi<sub>2</sub> 型構造を取り、キュリー温度 T<sub>c</sub> = 80 K 飽和磁化 M<sub>s</sub> = 0.45 μB/f.u. を持つ弱い遍歴電子強磁性体であることが報告されている 1). 一方で、交流磁化率の詳細な解析から、T<sub>c</sub> で見られる磁化異常の原因は、長距離秩序を持たない強磁性クラスターガラスによる可能性が最近指摘された 2). 前回、我々は比熱をはじめとする熱測定の結果から、この系の磁化で見られるガラス的な振る舞いは、クラスターガラスではなく、むしろ単純なスピングラスであることを指摘した。今回、CrAlGe のスピングラスにおける置換効果を調べるため、Cr<sub>0.95</sub>T<sub>0.05</sub>AlGe (T:3d 遷移金属) の熱特性を調べた。図-1 に Cr<sub>0.95</sub>V<sub>0.05</sub>AlGe の電気抵抗率, ρ, の温度依存性の測定結果を示す。CrAlGe の ρ では、異常は確認できなかったが、Cr<sub>0.95</sub>V<sub>0.05</sub>AlGe では T = 90 K で強磁性転移に起因すると思われるキックが現れている。つまり

V 置換系では強磁性リエントラントスピングラスの存在を示唆している。講演では比熱、熱伝導率、ゼーベック係数についても報告する。1)S.Yoshinaga et al:Phys Pro V,75 918-925(2015) 2)M.U.Khan et al:Phys Rev,1,034402(2017)



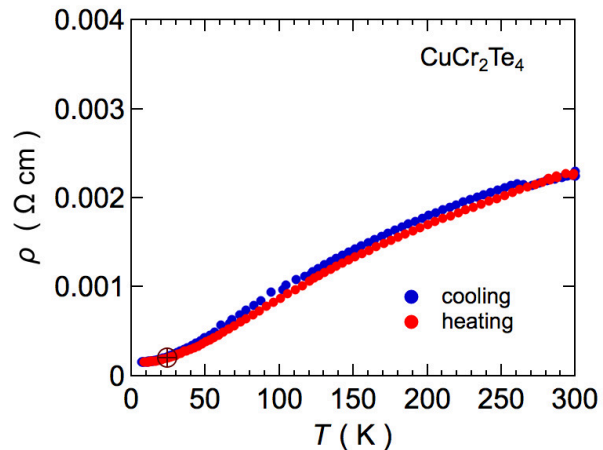
## B-20

### CuCr<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> の輸送特性

鹿児島大学理工<sup>A</sup>, 鹿児島大学教セ<sup>B</sup>, <sup>L</sup> 今村有助<sup>A</sup>, 鹿島頌太<sup>A</sup>, 伊藤昌和<sup>B</sup>

化学式 AB<sub>2</sub>X<sub>4</sub>(AB:遷移金属, X:カルコゲン) で表されるカルコゲナイドスピネルは、さまざまな物理的性質を示すことで興味を持たれており、古くから研究されている系である。これまでこの系における研究の殆どは、酸化物系あるいは硫化物系について行われており、テルル化物についてはあまり調べられてこなかった。テルル化スピネル CuCr<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> はキュリー温度、TC= 326 K の強磁性体であることが報告されているが、熱・電気輸送特性は調べられていない [1] 今回我々は、CuCr<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> の熱・電気輸送特性を調べたので報告する。Cu 基カルコゲナイドスピネルでは、B サイトのイオンが +3 価と +4 価で存在する、原子価混合状態にあるものも多く、原子価混合状態が系の輸送特性に与える影響についても興味を持たれるところである。図-1 に CuCr<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> の電気抵抗率の温度依存性を示す。全温度域で、 $\partial \rho / \partial T > 0$  で定義される、金属的な振る舞いを示す

ることがわかる。講演では、この系の熱伝導率、ゼーベック係数についても議論する。[1] Takeshi Suzuyaama et al. Journal of Solid State Chemistry 179 (2006) 140 - 144



## B-21

### CuIrRhS の輸送特性

鹿児島大学 理工<sup>A</sup>, 鹿児島大学 共セ<sup>B</sup> 鹿島頌太<sup>A</sup>, 今村有助<sup>A</sup>, 伊藤昌和<sup>B</sup>

スピネル構造は金属酸化物やカルコゲナイドなどによく見られる構造であり、AB<sub>2</sub>X<sub>4</sub> という組成式で表すことができる。A,B サイトには遷移金属が、X サイトには酸素や硫黄などのカルコゲンが入る。AX<sub>4</sub> で四面体、BX<sub>4</sub> で八面体構造を作り、磁性における幾何学的フラストレーションを持つことでも知られている。また B サイトの形式価数は +3.5 価となり、これは 3 価と 4 価を持つ B イオンが同時に存在する混合原子価状態を持つことを意味する。硫化スピネル CuIr<sub>2</sub>S<sub>4</sub> は TMI ≃ 230 K で電荷秩序化による金属-絶縁体転移を示すことが知られている。(1) また結晶構造は立方晶 (高温相) から斜方晶 (低温相) へ変化する。一方、CuRh<sub>2</sub>S<sub>4</sub> は Tc ≃ 4.7 K の超伝導体である。(2) 今回、CuIr<sub>2</sub>S<sub>4</sub> の Ir サイトに Rh をドーブした試料の輸送特性を調べたので報告する。図-1 に CuIr<sub>1.9</sub>Rh<sub>0.1</sub>S<sub>4</sub> の電気抵抗率の温度依存性を示す。TMI は 190 K まで減少するものの、明確なヒステリシスを伴う、金属-絶縁体転移を示

しており、電気抵抗率が 5 桁程度増加していることがわかる。発表では、この系の熱伝導率、ゼーベック係数の温度依存性についても議論する。1) H. Kang et al., Journal of Alloys and Compounds 267 1-5 (1998) 2) M. Tachibana, Solid State Communications 152 849-851 (2012)

