

物性研だより

BUSSEIKEN DAYORI

第57巻
第1号
2017年4月

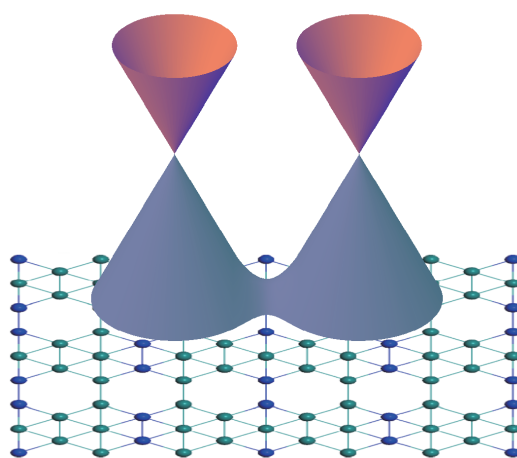
ブリージングパイロクロア磁性体における
新しい量子状態の観測

ホウ素単原子シート「ボロフェン」と
ディラックフェルミオン

スピン液体状態における熱ホール効果の発見

鉄系超伝導体FeSeが示す特異な高圧下電子状態相図

スパーモデルリングにより電子のさざなみを見る
—走査トンネル顕微・分光法による準粒子干渉計測の高速・高精度化—



東京大学物性研究所

Copyright ©2017 Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo. All rights Reserved.

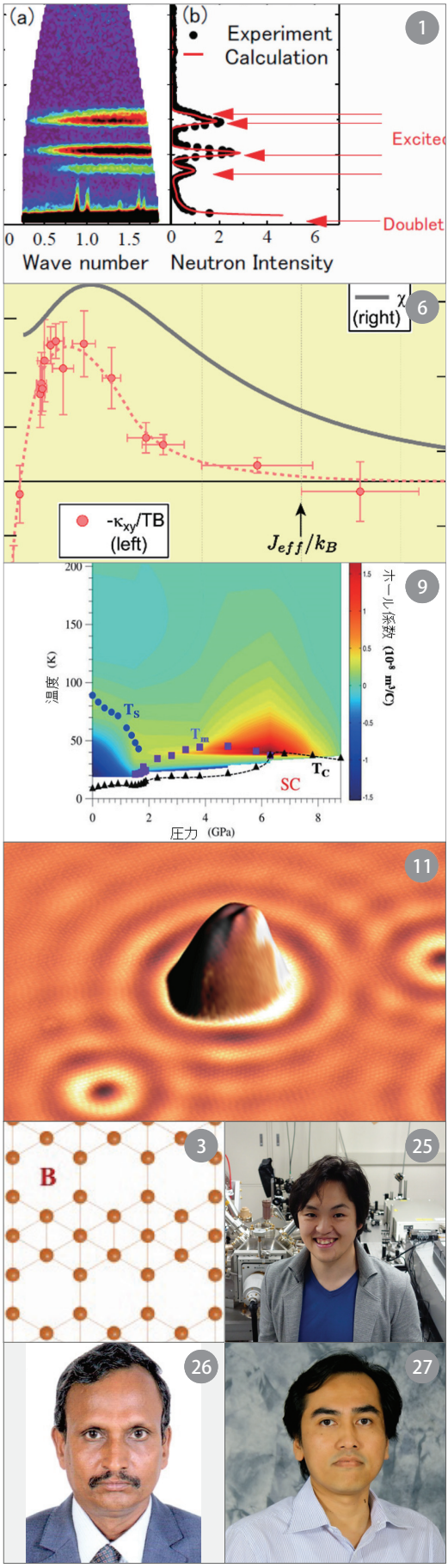
ISSN 0385-9843

contents

1	ブリージングパイロクロア磁性体における新しい量子状態の観測	益田 隆嗣
3	ホウ素単原子シート「ポロフェン」とディラックフェルミオン	Baojie Feng、松田 巖
6	スピン液体状態における熱ホール効果の発見	山下 穰
9	鉄系超伝導体 FeSe が示す特異な高圧下電子状態相図	松浦 康平、芝内 孝禎、程 金光、上床 美也
11	スパースモデリングにより電子のさざなみを見る —走査トンネル顕微・分光法による準粒子干渉計測の高速・高精度化—	吉田 靖雄、土師 将大、長谷川 幸雄
14	国際会議 ECOSS-32 において SFV “Michel Cantarel” student grant を受賞して	高橋 文雄
16	国際会議 IVC-20 において IUUSTA-VASSCAA-Elsevier Student Award を受賞して	土師 将裕
17	第 40 回応用物理学会講演奨励賞を受賞して	笠松 秀輔
18	第 40 回応用物理学会講演奨励賞を受賞して	齋藤 成之
20	国際会議 ISUPTW2016 において Best Conference Paper Award を受賞して	玄 洪文
23	日本中性子科学会奨励賞を受賞して	左右田 稔
25	物性研に着任して	谷内 敏之
26	外国人客員所員を経験して	Sonachalam. ARUMUGAM
27		Agustinus Agung Nugroho
29	平成 28 年度 物性研究所一般公開の報告	上床 美也

【物性研究所短期研究会】		
36	○「原子層上の活性サイトで発現する局所機能物性」の報告	
41	○「走査トンネル顕微鏡による物性研究の現状と展望」の報告	
【ISSP ワークショップ】		
46	○磁性・強相関電子系分野の中性子散乱研究の新展開 ～JRR-3 再稼働を見据えて～	
【物性研究所談話会】		
51 【物性研究所セミナー】		
【物性研ニュース】		
59	○平成 28 年度外部資金の受入について	
61	○人事異動	

編集後記
 物性研だよりの購読について



ブリージングパイロクロア磁性体における新しい量子状態の観測

中性子科学研究施設 益田 隆嗣

研究背景と経緯

物質の振る舞いを支配する熱力学第三法則は、絶対零度でのエントロピーは0であり、基底状態は非縮退であることを教えている。一方、歪みのない完全な正四面体の頂点上にハイゼンベルグスピンの配置した系を仮想的に考えた場合、基底状態は二重縮退となることが知られているが、これは熱力学の法則と矛盾する。この仮想的な正四面体スピンを現実の物質の中に置いたら何が起こるのか興味もたれるところだが、これまで歪みのない正四面体スピン物質はほとんど報告されてこなかった。この点、ブリージングパイロクロア磁性体 $\text{Ba}_3\text{Yb}_2\text{Zn}_5\text{O}_{11}$ は、スピン 1/2 を有する Yb イオンが正四面体を形成し(図 1)、幅広い温度領域で歪みが観測されていない稀有な物質である。Yb 四面体は Zn イオンによって隔てられているため、それぞれは、ほぼ孤立した正四面体スピンとなっている。数多くの原子から構成されることを前提とし、熱力学の法則に支配される自然界において、少数のスピンからなる孤立したプラストレート磁性体を現実物質の中に実現させることは、いわば熱力学への挑戦ともいえることであり、この挑戦を受けて立つ自然界がどのような新しい状態を見せるのか興味深い。

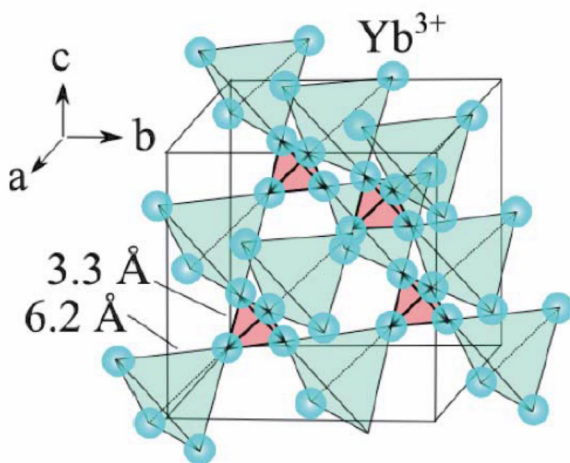


図 1:ブリージングパイロクロア磁性体 $\text{Ba}_3\text{Yb}_2\text{Zn}_5\text{O}_{11}$ の結晶構造

実験結果

物質のスピンダイナミクスは中性子磁気散乱実験により調べることができる。そこで我々はオーストラリア ANSTO の研究用原子炉 OPAL に設置されている高分解能中性子分光器 PELICAN を用いて、 $\text{Ba}_3\text{Yb}_2\text{Zn}_5\text{O}_{11}$ の中性子スペクトルを測定した。その結果、4 種類の異なるエネルギーを持つ励起状態が観測された(図 2(a))。励起は非常にシャープで、正四面体の中で相互作用がある場合に生じるぼやけは観測されず、理想的な孤立スピン系であることが分かった。さらに、Yb 間の相互作用を含んだ正四面体スピンモデルによりスペクトルの解析を行ったところ、1.5K で得られたスペクトルは計算により完全に再現された(図 2(b))。相互作用パラメータは $J_x = -0.57 \text{ meV}$, $J_z = -0.56 \text{ meV}$, $J_{DM} = 0.11 \text{ meV}$ と見積もられ、大きな Dzyaloshinskii-Moriya(DM)相互作用が存在していることが分かった(負符号は反強磁性的であるように定義されている)。高温では励起状態からの遷移も観測されるため、モードの数は増えスペクトルは複雑になるが、高温のデータも上記のパラメータで完全に再現された。DM 相互作用は基底状態の非磁性二重項と磁氣的励起状態とを混ぜる効果はあるが、二重縮退を解く効果はない。もしこの状態が実現しているとすれば、四面体 1 つあたりの基底状態は二重縮退となっており、エントロピーは絶対零度でも有限な値となり熱力学第三法則と合致しないことになる。そこで、極低温比熱の測定を行いエントロピーの見積もりを行ったところ、図 2(c) のように、1 K 以下で徐々にエントロピーがゼロに向かい、ついに一つの安定状態が選択される様子が観測された。スピンの秩序化を示唆するような、比熱の急激な変化は観測されなかった。このことから自然界は、何らかの摂動的相互作用を通じて、新しいスピン液体状態を出現させていることが明らかになった。理論的には、弱い四面体間相互作用により部分ダイマー秩序やカイラル秩序を有するスピン液体が実現することが予想されている。また、スピンと格子の間の相互作用が強い場合には、格子が動的に歪むことによるスピン液体が実現されている可能性も考えられている。

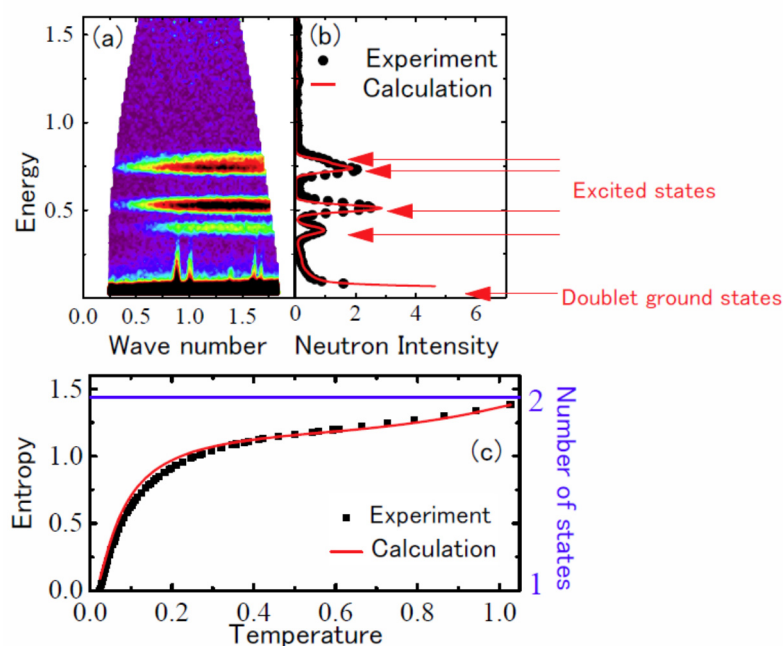


図 2: $\text{Ba}_3\text{Yb}_2\text{Zn}_5\text{O}_{11}$ の中性子スペクトルとエントロピー。
 (a) 温度 1.5K で測定された中性子スペクトル。
 (b) 基底状態と励起状態のエネルギー分布。
 (c) エントロピー変化の様子。絶対温度 0 度に向かってエントロピーが 0 に向かい、状態の数が 2 つから 1 つに減っていく様子が観測された。

今後の展開

本研究では、ブリージングパイロクロア磁性体において、中性子散乱実験と極低温比熱測定を組み合わせることで、新しいスピ液体が実現していることを明らかにした。このスピ液体の詳細をさらに知るためには、極低温高分解能中性子実験や、現実物質に即したさらなる理論研究が重要である。

なお本研究の詳細な内容は、T. Haku, K. Kimura, Y. Matsumoto, M. Soda, M. Sera, D. Yu, R. A. Mole, T. Takeuchi, S. Nakatsuji, Y. Kono, T. Sakakibara, L.-J. Chang, and T. Masuda, *Phys. Rev. B* **93**, 220407(R) (2016). で閲覧することができる。

謝辞

本研究成果は、白椽大博士(東大物性研、現横河電機)、松本洋介博士(物性研、現 MPI)、左右田稔博士(物性研、現理化学研究所)、中辻知教授(物性研)、河野洋平氏(物性研)、榊原俊郎教授(物性研)、木村健太博士(大阪大学)、世良正一氏(大阪大学)、竹内徹也博士(大阪大学)、

Richard Mole 博士(オーストラリア ANSTO)、Dehong Yu 博士(オーストラリア ANSTO)、Lieh-Jeng Chang 博士(台湾成功大学)との共同研究によるものである。オーストラリア ANSTO での実験を行うにあたり、物性研中性子施設の海外実験支援プログラムにより旅費支援をいただいた。

参考文献

[1] T. Kimura, T. Goto, H. Shintani, K. Ishizaka, T. Arima and Y. Tokura. *Nature* **426**, 55–58 (2003).
 [2] S. Seki, Y. Onose and Y. Tokura. *Phys. Rev. Lett.* **101**, 067204 (2008).
 [3] H. Katsura, N. Nagaosa, and A. V. Balatsky. *Phys. Rev. Lett.* **95**, 057205 (2005).
 [4] C. Jia, S. Onoda, N. Nagaosa, & J. H. Han. *Phys. Rev. B* **76**, 144424 (2007).
 [5] H. Murakawa, Y. Onose, S. Miyahara, N. Furukawa, and Y. Tokura. *Phys. Rev. Lett.* **105**, 137202 (2010).
 [6] J. Romhanyi, M. Lajkó, and K. Penc. *Phys. Rev. B* **84**, 224419 (2011).

ホウ素単原子シート「ボロフェン」とディラックフェルミオン

極限コヒーレント光科学研究センター Baojie Feng、松田 巖

周期表 5 番目のホウ素についてはこれまで多数の同素体が報告されており、室温大気条件下における最安定構造および相図についても未だに議論が続いている。一方、昨今の物質構造の研究では、Graphene (C)に代表される単元素から構成される 2 次元シートが世界中で注目を集めており、Silicene (Si)、Germanene (Ge)、Stanene (Sn)、Phosphorene (P)などの報告も続いている。ホウ素単原子シートの物性についても様々な理論研究が実施され、その結果、3 次元結晶と同様にホウ素の 2 次元結晶にも複雑な原子構造が多数存在することが分かってきた[1]。興味深いのは、これらホウ素シートの中には金属的なものも予言されていることである。ホウ素の純粋結晶では未だ金属的なものは確認されておらず、単原子シートの合成に成功すれば、固体物理の歴史において珍しい金属的なホウ素同素体が発見されることになる。そんな中、ごく最近、金属結晶基板上にホウ素を蒸着すると 2 次元層が合成されることが走査型トンネル顕微鏡(Scanning Tunneling Microscope, STM)で観測された[2]。そこで我々は本シートの原子構造及び電子状態を理論計算と光電子分光法で調べたところ、これらの 2 次元結晶が金属的なボロフェン Borophene(B)であることが分かり[3]。さらに本シートの電子状態の中にはディラックバンドも観測された[4]。

ボロフェンの合成では、まずその基板となる Ag(111)単結晶表面を超高真空中でアルゴンスパッタリングと加熱処理のサイクルを繰り返して清浄化する。そしてその後高純度(99.9999%)のホウ素を約 600K で蒸着することでボロフェンが自己組織的に成長する。表面実空間の様子を STM で観察すると、図 1(a)のように Ag(111)表面上にボロフェンのドメインが形成されている。ドメインの中を観察すると、ボロフェンには局所的な構造に加えて長周期な構造も存在することが判る。局所領域を視ると図 1(c)のように明点が線状に並んだ様子が確認できる。この線状の構造は 2 次元層同士で互いに 120°回転した関係(3 回対称)にあり、またその周期構造の大きさと向きも $[1\bar{1}0]$ 方向に 5.0Å、 $[\bar{1}12]$ 方向に 2.9Å である。この STM 像による局所領域観察の結果を元に、Ag(111)表面上ボロフェンの原子配置を密度汎関数法による第一原理による構造最適化計算

を行った結果を図 1(d)に示す。このボロフェンの構造で、これまで理論的に予想されてきたホウ素シートモデル[1]の 1 つであり、「 β_{12} シート」構造と呼ばれる。少し複雑に見えるが、3 角格子から周期的に原子欠陥を導入することでこの構造モデルを再現することができる。図中の単位ユニットセルで示すように、STM で観測された周期構造はボロフェンのものに対応しており、直線的な構造もホウ素の原子構造内の密度分布の違いを反映していることが分かる。

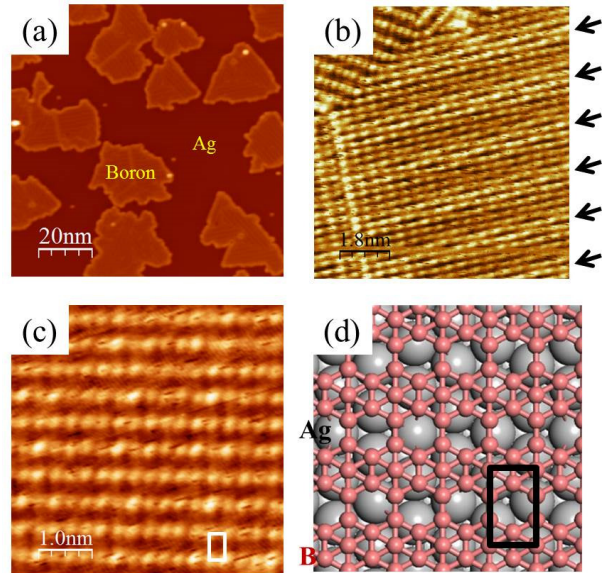


図 1 Ag(111)表面上ボロフェンの(a-c)STM 像(70K)と(d)原子構造モデル

ホウ素の 2 次元シートの中には金属的なものが存在することが理論的に予測されていたが、 β_{12} シートについては実験当初、バンド計算の研究報告がなかった。そこで、このボロフェンの電子状態を調べるために角度分解光電子分光法によるバンドマッピングを実施した。図 2(a)は各結合エネルギーにおける光電子強度マップで、強度が大きいところにバンド(電子状態)が存在する。結合エネルギー 0(フェルミ準位)の光電子強度マップにおいて明確な形状(フェルミ面)が幾つか確認でき、それぞれ B1,B2,B2'バンドとして各エネルギーマップでもその分散が追跡できた。基板が Ag 結晶なので、その金属バンド(Ag *sp*)も異なる波

謝辞

本研究にあたり、東京大学物性研究所の外国人客員所員 Tai C. Chiang 氏、杉野修氏、笠松秀輔氏、Ro-Ya Liu 氏、飯盛拓嗣氏、小森文夫氏および KEK Photon Factory 湯川龍氏、組頭広志氏に感謝致します。また、中国の共同研究者 Jin Zhang 氏、Chao Lian 氏、Hui Li 氏、Lan Chen 氏、Kehui Wu 氏、Sheng Meng 氏に感謝致します。また、東京大学物性研究所の共同研究者杉野修氏、笠松秀輔氏、Ro-Ya Liu 氏、飯盛拓嗣氏、小森文夫氏および KEK Photon Factory 湯川龍氏、組頭広志氏に感謝致します。本研究は JST ACT-C と文科省光融合プログラムの元、実施されました。

参考文献

- [1] X. Wu, J. Dai, Y. Zhao, Z. Zhuo, J. Yang, and X. C. Zeng, *ACS Nano* **6**, 7443 (2012).
- [2] B. Feng, J. Zhang, Q. Zhong, W. Li, S. Li, H. Li, P. Cheng, S. Meng, L. Chen, and K. Wu, *Nat. Chem.* **8**, 563 (2016).
- [3] B. Feng, J. Zhang, R.-Y. Liu, T. Iimori, C. Lian, H. Li, L. Chen, K. Wu, S. Meng, F. Komori, and I. Matsuda, *Phys. Rev. B* **94**, 041408(R) (2016).
- [4] B. Feng, O. Sugino, R.-Y. Liu, J. Zhang, R. Yukawa, M. Kawamura, T. Iimori, H. Kim, Y. Hasegawa, H. Li, L. Chen, K. Wu, H. Kumigashira, F. Komori, T.-C. Chiang, S. Meng, I. Matsuda, *Phys. Rev. Lett.* **118**, 096401 (2017).
- [5] G. van Miert and C. M. Smith, *Phys. Rev. B* **93**, 035401 (2016).
- [6] E. S. Penev, A. Kutana, and B. I. Yakobson, *Nano Lett.* **16**, 2522 (2016).
- [7] A. Nagashima, N. Tejima, Y. Gamou, T. Kawai, C. Oshima, *Phys. Rev. Lett.* **75**, 3918 (1995).



が発達し始めていることがわかる。また、 T_p とほぼ同じ温度から比熱に磁気比熱の寄与が観測された。特に、低温では大きな磁気比熱の寄与が観測され、ゼロ温度外挿で有限の C/T が存在することからギャップレススピン励起があるスピン液体相であることがわかる。

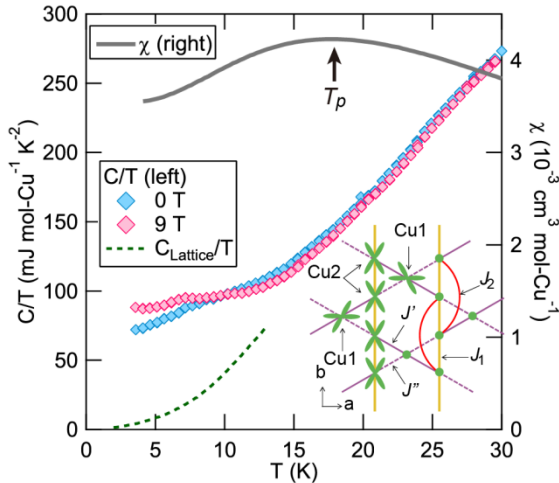


図 1 ボルボサイトの比熱を温度で割った量 C/T (左軸) と磁化率 χ (右軸) の温度依存性。点線は類似物質から見積もった格子比熱の温度依存性。右下の内挿図は a - b 面における銅イオン (Cu1, Cu2) の配置とその間のスピン相互作用 (J_1, J_2, J', J'') の関係を表している。

ボルボサイトの縦熱伝導率 κ_{xx} の温度依存性を示したのが図 2 である。熱伝導率においても $T < T_p$ の温度領域で磁場によって減少する磁場依存性を示すことがわかった。詳細な磁場依存性の解析からこの減少分はスピンによる熱伝導率の寄与を表していることがわかった[4]。

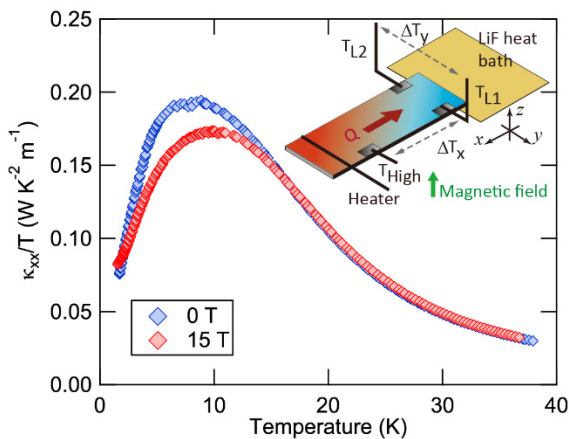


図 2 ゼロ磁場と 15 T 磁場下 ($H//c$) における縦熱伝導率 κ_{xx}/T の温度依存性。内挿図は測定の設定アップを示している。

熱ホール伝導率 κ_{xy} の温度依存性を示したのが図 3 である。熱ホール伝導率が $T \sim J_{eff}/k_B$ の温度から上昇し、磁化率が極大を示す T_p より少し下の温度から急に減少して T_N より少し上の温度で符号が反転していることがわかる。磁化率の温度変化と相関して κ_{xy} も温度変化していることから、この熱ホール効果の起源はスピン励起であると考えられる。この κ_{xy} の温度依存性から $T > J_{eff}/k_B$ の常磁性相では熱ホール伝導率はなく、スピン相関が発達して液体相に入るにしたがって熱ホール伝導率が現れていることがわかった。これは熱ホール伝導率がスピン液体相の形成を特徴づける量であることを示唆している。磁化率の極大を示す T_p より下の温度で観測された急激な温度変化の起源は分かっていないが、熱ホール効果の起源となるスピノングージ場が磁気秩序相に近づくことによって不安定化する可能性や、スピン相関の発達によって別のスピン励起が現れた可能性などが考えられる。

磁場による κ_{xx} の減少分からスピンによる κ_{xx} を見積もり、スピン励起がフェルミ統計に従うと仮定すると、観測された κ_{xy} の大きさと Wiedemann-Franz 則からスピン励起を感じる有効的な磁場と電荷の大きさ $(eB)_{spin}$ を見積もることができる。非常に大雑把な近似であるが、この見積もりから、通常の電子のもつ $(eB)_e$ に対して、 $|(eB)_{spin}/(eB)_e| \sim 0.01$ と評価できる。すなわち、スピン励起は有効的に印加した磁場の $\sim 1/100$ を有効的に感じて曲げられていると評価できる。

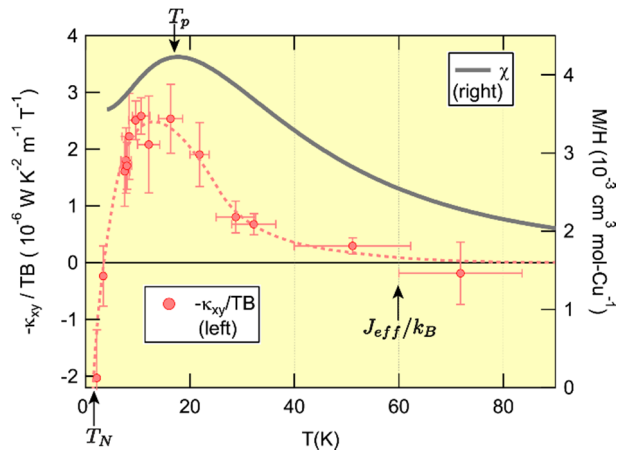


図 3 15 T の磁場下で観測された熱ホール伝導率 κ_{xy} を温度と磁場で割った量の温度依存性 (左軸) と磁化率の温度依存性 (右軸)。

鉄系超伝導体 FeSe が示す特異な高圧下電子状態相図

東京大学大学院新領域創成科学研究科 物質系専攻 松浦 康平、芝内 孝禎
中国科学院 物理研究所 程 金光
物性研究所 物質設計評価施設 上床 美也

はじめに

鉄系高温超伝導体が発見されて以来、その超伝導発現機構の解明に向けて様々な研究がおこなわれてきた[1]。特に、超伝導相近傍に反強磁性相および直方晶歪を伴う電子ネマティック相が存在することから、磁気揺らぎや軌道揺らぎなどの複数の発現機構が提唱されており、それらの量子揺らぎの協奏の効果など新しい物理が模索されている。

鉄系超伝導体の中でも最も単純な結晶構造を有する FeSe は $T_c = 9$ K の転移温度を持つ超伝導体であり[2]、非磁性のネマティック秩序を持つことや薄膜化での高温超伝導出現、さらには BCS-BEC クロスオーバーの可能性など様々な特異な物性を持つことから、最近非常に注目されている[3]。この FeSe は、高圧下において超伝導転移温度が 4 倍以上上昇し、38 K に達するという異常な振舞い示すことが早くから知られていたが[4]、その起源については大きな謎となっていた。その後、 μ SR 測定により圧力誘起の磁気秩序が存在することが明らかとなった[5]。さらに、最近の単結晶の純良化により電気抵抗測定による磁気転移温度 T_m の測定が可能になった[6]。我々は、キュービクアンビルセルを用いた 10 GPa 級の高圧下輸送現象特性の測定を行い、その圧力下電子相図の詳細を明らかにした[7,8]。その結果、圧力誘起磁性相がドーム状の特殊な形状をしており、6 GPa 以上で磁性相が抑制されるとともに超伝導転移温度が急激に上昇することを明らかにした。さらにホール係数および磁気抵抗測定により、高温超伝導相では反強磁性揺らぎが増大していることを示唆する結果を得ている。これらの結果は、銅酸化物高温超伝導体の電子相図との共通性が見られ、高温超伝導の起源の解明への、重要な糸口になると考えられる。

実験結果

FeSe の純良単結晶試料を用いた電気抵抗率の圧力下温度依存性測定から電子ネマティック転移に相当する正方晶-直方晶構造転移温度 T_s 、超伝導転移温度 T_c 、磁気相転移温度 T_m を観測し、それらの圧力依存性を調べた結果より、

図 1 の圧力下電子相図を完成させた。低圧側の測定についてはピストンシリンダー型圧力セルを用い、高圧側では定荷重式キュービクアンビルセルおよびクランプ式キュービクアンビルセルを用いたが、すべての測定で定量的にコンシステントな結果を得ている。常圧で 90 K 程度であった T_s は圧力により急激に減少し、消失する前に磁気秩序相が出現する。圧力上昇とともに磁気相転移温度 T_m は上昇し、4 GPa 程度でブロードなピークを示した後減少に転じ、6 GP 以上で磁気秩序が抑制されるとともに超伝導転移温度 T_c が急激に増大するという結果が得られた。

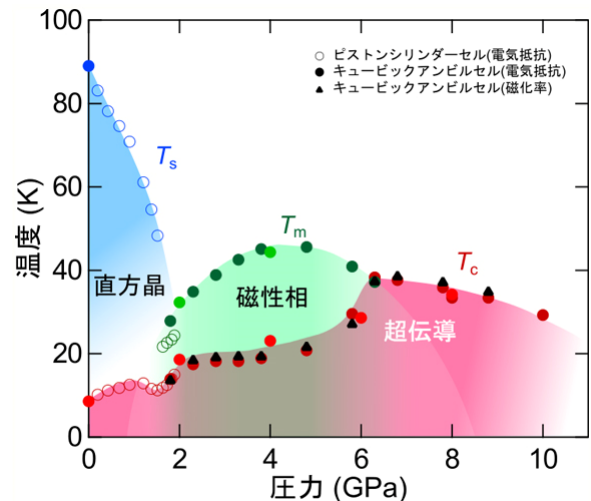


図 1 本研究により決定した FeSe の圧力下電子相図[7]。構造転移温度 T_s 以下では直方晶で面内異方性が大きな電子ネマティック相が実現していると考えられている。圧力誘起の磁気秩序が T_m 以下で現れ、高圧で磁性相が抑制される場所で高温超伝導が実現している。

ドーム状の磁気秩序相の最高 $T_m \sim 45$ K は高温超伝導相の $T_c \sim 38$ K と同程度であり、エネルギースケールの近い磁気秩序と超伝導が競合しているという非常に特徴的な電子相図となっている。このような電子相図は、電荷秩序(電荷密度波)相と超伝導相が同程度のエネルギースケールで競合している銅酸化物高温超伝導体の電子相図との一種の共通性があると考えられる。さらに、FeSe の高圧下高温超伝導相では、電気抵抗率の温度依存性が温度にほぼ比例

する非フェルミ液体的な振る舞いを示している[7]ことも銅酸化物高温超伝導体と類似している点である。また、圧力下磁場中測定により求めたホール係数は、図 2 に示すように高圧高温超伝導の転移温度以上の常伝導状態において、 T_c に向かって発散的に増大する振る舞いを示すことも明らかになった[8]。さらに、磁気抵抗の解析から、通常金属で成り立つコーラー則が破綻しており、むしろ磁気抵抗がホール角 Θ_H を用いての $\tan^2\Theta_H$ でスケールすることが示され、銅酸化物や重い電子系などの反強磁性揺らぎが増大した異常金属に共通する物性を示すことが分かった。

これらの結果から、FeSe の圧力下における 4 倍以上高い転移温度を持つ高温超伝導相は、競合する磁気秩序の抑制に伴う反強磁性揺らぎと密接な関係を示すことが明らかとなった。これは、鉄系超伝導体の統一的理解に向けての重要な結果であると考えられる。

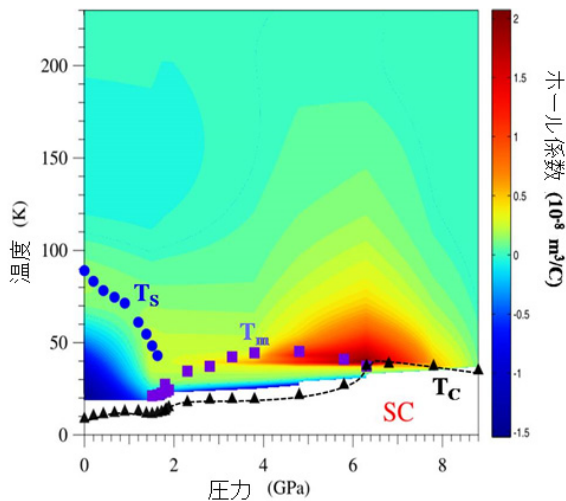


図 2 温度圧力相図上にホール係数の値をカラープロットしたもの[8]。低圧においては、超伝導転移直上のホール係数は負であるのに対し、高圧下の高温超伝導相においてはホール係数が正となり、高温から転移温度に向かい発散的に増大する振る舞いが観測された。このような強い温度依存性は、反強磁性揺らぎが強い系で見られるものである。

今後の展開

FeSe 系では Se サイトの一部を等電荷元素の S で置換することにより磁性を発生せずに電子ネマティック転移温度 T_s を絶対零度まで抑制し、ネマティック量子臨界点を実現できることが知られている[9]。この S 置換系における圧力下電子相図を調べることで、ネマティック揺らぎと反強磁性揺らぎを独立なパラメータとして、この系の超伝導特性に各揺らぎがどのような影響を及ぼしているかを明らかにできる可能性がある。このような研究により、

鉄系超伝導で提唱された複数の量子揺らぎの協奏の効果に関して重要な知見が得られるのではと期待している。

謝辞

本研究は、東京大学の水上雄太、下澤雅明、山下穰、電気通信大学の松林和幸、京都大学の綿重達也、笠原成、松田祐司、名古屋大学の紺谷浩、中国科学院の J.P. Sun、G.Z. Ye、オークリッジ研究所の J.-Q. Yan、B.C. Sales の各氏をはじめとした多くの方々との共同研究によるものである。なお、本研究は日本学術振興会科学研究費の支援の下に行われました。

REFERENCES

- [1] レビューとして、例えば、H. Hosono and K. Kuroki, *Physica C* **514**, 399 (2015).
- [2] F.-C. Hsu, J.-Y. Luo, K.-W. Yeh, T.-K. Chen, T.-W. Huang, P. M. Wu, Y.-C. Lee, Y.-L. Huang, Y.-Y. Chu, D.-C. Yan, and M.-K. Wu, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **105**, 14262 (2008).
- [3] 芝内孝禎, 松田祐司, *固体物理* **51**, 649 (2016).
- [4] S. Medvedev, T. M. McQueen, I. A. Troyan, T. Palasyuk, M. I. Eremets, R. J. Cava, S. Naghavi, F. Casper, V. Ksenofontov, G. Wortmann, and C. Felser, *Nat. Mater.* **8**, 630 (2009).
- [5] M. Bendele, A. Ichsanow, Yu. Pashkevich, L. Keller, T. Strässle, A. Gusev, E. Pomjakushina, K. Conder, R. Khasanov, and H. Keller, *Phys. Rev. B* **85**, 064517 (2012).
- [6] T. Terashima, N. Kikugawa, S. Kasahara, T. Watashige, T. Shibauchi, Y. Matsuda, T. Wolf, A. E. Böhrner, F. Hardy, C. Meingast, H. v. Löhneysen, and S. Uji, *J. Phys. Soc. Jpn.* **84**, 063701 (2015).
- [7] J. P. Sun, K. Matsuura, G. Z. Ye, Y. Mizukami, M. Shimozaawa, K. Matsubayashi, M. Yamashita, T. Watashige, S. Kasahara, Y. Matsuda, J.-Q. Yan, B. C. Sales, Y. Uwatoko, J.-G. Cheng, and T. Shibauchi, *Nat. Commun.* **7**, 12146 (2016).
- [8] J. P. Sun, G. Z. Ye, P. Shahi, J.-Q. Yan, K. Matsuura, H. Kontani, G. M. Zhang, Q. Zhou, B. C. Sales, T. Shibauchi, Y. Uwatoko, D. J. Singh, and J.-G. Cheng, arXiv:1611.07973; *Phys. Rev. Lett.* (in press).
- [9] S. Hosoi, K. Matsuura, K. Ishida, H. Wang, Y. Mizukami, T. Watashige, S. Kasahara, Y. Matsuda, and T. Shibauchi, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **113**, 8139 (2016).

スパースモデリングにより電子のさざなみを見る —走査トンネル顕微・分光法による準粒子干渉計測 の高速・高精度化—

ナノスケール物性研究部門 吉田 靖雄、土師 将大 (現、京都大学)、長谷川 幸雄

表面に束縛された二次元電子は、ステップや不純物などで散乱され、干渉することによって、電子定在波を形成する。この現象は、およそ四半世紀前に、走査トンネル顕微法・走査トンネル分光法 (STM/STS) 用いて、貴金属の (111) 表面において初めて観察された [1, 2]。最近ではその適応範囲が広がり、非従来型超伝導体 [3, 4]、トポロジカル絶縁体 [5]、ワイル半金属 [6] などにおいて、フェルミ面、バンド分散、超伝導ギャップの対称性などの性質を調べるために用いられており、(衣を着た電子、準粒子による) 準粒子干渉 (QPI) 計測と呼ばれている。STM は、原子スケールで局所的な観察を得意とする手法であるが、この QPI 計測は、定在波によって空間的に起こる電子状態の変調から、マクロな情報を引き出すという手法であり、角度分解光電子分光 (ARPES) と相補的な測定手法であると考えられている。また、ARPES が不得意とする、フェルミレベル以上の非占有準位の観察や超低温・強磁場中での測定 [4, 7] が可能である。QPI 計測を用いると、STM という一つの実験手法から、マイクロとマクロの情報を同時に引き出すことが可能になるため、多電子系の物性研究において近年広く用いられ始めている。

しかし、その一方で、その普及を妨げる幾つかの問題も存在している。まず、物理的に意味のある情報を得るためには測定するデータ数が膨大になる点である。低波数の電

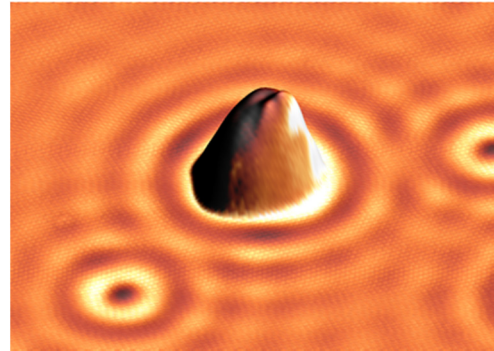


図 1. 銀の(111)表面において得られた STM 像。散乱体の周辺に電子定在波が観察されている。

子状態に関する情報を得るには、長周期の電子定在波の観測が必要となり、広い範囲でのトンネルスペクトル測定が要求される。一方、ブリルアンゾーン全域の情報を得ようとするれば、原子間隔でのトンネルスペクトル測定が必要である。よって、長周期の電子定在波が観測できるほどの領域を原子間隔のメッシュで区切った全てのピクセルでトンネルスペクトル測定を行うとすれば、とにかく時間がかかる。例えば、測定したい表面の領域を 256 行 256 列のメッシュで区切った場合、 $256 \times 256 = 65536$ 点の測定が必要となる。一点での IV 特性もしくは、微分伝導度 (dI/dV) の電圧 V 依存性カーブの測定時間に 3 秒かけるとすれば、全点の測定を終えるには、55 時間を要する。

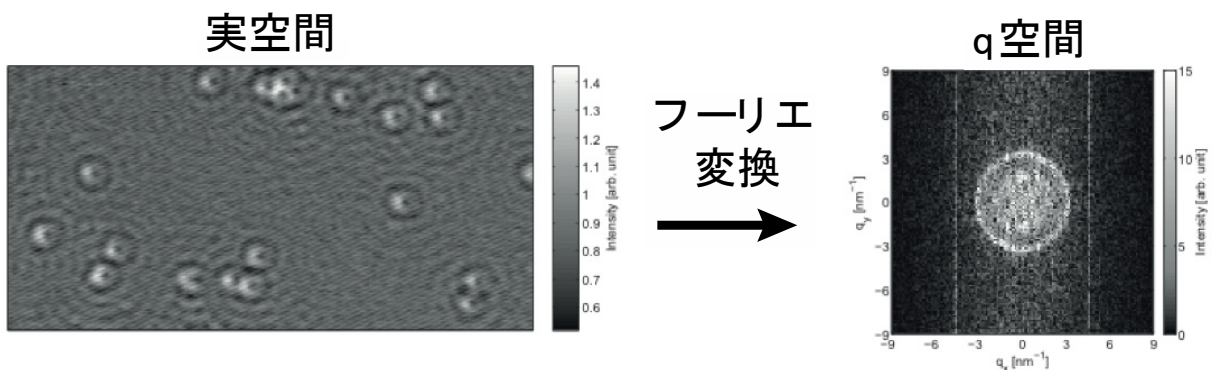


図 2. 銀の(111) 表面において得られた局所状態密度像と、その二次元フーリエ変換によって得られた散乱ベクトルパターン。パラボリックな等方的バンド分散を反映して、円形の散乱ベクトルパターンが現れる。

また、この長い測定時間内に複雑な熱的なドリフトの影響を受けると、測定結果の解析が困難となるため、熱ドリフトが極端に少ない安定性の高い STM が必要となる。このため、熱によるドリフトが大きい室温での測定は困難であり、通常は液体ヘリウムを用いて極低温において測定が行われる。更に、長時間の測定を必要とすることから、近年価格が上昇傾向にある液体ヘリウムが大量に必要となり、コスト面でも困難な点が存在する。このような条件から、QPI 計測は低温 STM を所有していれば誰でもできるというところまでは達しておらず、特に国内では非常に限られたグループでのみ行われている。しかし、QPI 計測がより手軽に行えるようになり、更には室温での測定も可能になれば、物質科学の進展に大きく寄与できる可能性を秘めている。

我々はこの QPI 計測の長い測定時間を短縮することができないかと思案する中で、東大新領域の岡田真人教授と議論を行い、スパースモデリングこそが、解決の糸口となるという結論に至った。スパースモデリングとは、観測するデータの中で、実際に必要とされる真のデータが少なく、得られたデータが実質的にはスカスカである(データがスパース性を持つ)場合に適応が可能となる。QPI 計測では、STS を用いて定在波による局所状態密度の空間変調を観察し、各エネルギーでの実空間画像に二次元フーリエ変換を施すことで、それぞれのエネルギーでの定在波の波長に対応した散乱ベクトル $\mathbf{q}=\mathbf{k}_i-\mathbf{k}_f$ の分布が得られる。この q 空間におけるエネルギーに依存した散乱ベクトルパターンこそが、欲しい情報となる。例えば、今回我々が用いた銀の (111) 表面では、パラボリックな等方的バンド分散に対応した円形の散乱ベクトルパターン(図 2 右)が得られる。この散乱ベクトルパターンは、 q 空間の限られた領

域しか占めないために、所謂スカスカなデータとなる。そのため、スパースモデリングの適応が可能となるのである。

我々は銀(111) 表面において QPI 計測を行い、その実空間のデータを間引いていくことで、どこまで元データと同じ q 空間の情報が得られるかの検証を行った[8]。この検証を行う中で、すぐに明らかになったのは、周期的にデータを少なくすると、繰り返し雑音(エイリアシング)と呼ばれるアーティファクトが現れることである(図 3(a))。これは、実際に観測する必要のある定在波の波長より、測定するピクセルの間隔が大きくなると、ピクセル間隔に相当する波数での折り返しが生ずることによる。この問題は、周期的ではなくランダムにデータを減らすことで解決されることが明らかになった(図 3(b))。しかし、このランダムに減らされたデータを、 q 空間のデータに変換する際に、最小二乗法的な手法を用いることから、全体的にホワイトノイズが増加する(図 3(b))。ここで、スパースモデリングが効果を発揮する。

一般的な QPI 計測において、実空間と散乱ベクトル空間の間は、フーリエ変換によって繋がれており、実空間の観測 y から、 q 空間の解 x を求める連立一次方程式と考えることができる。しかし、データを間引いてしまうと、実空間と q 空間を繋ぐ連立方程式が、式の数が解の数より少ない不定方程式となってしまう、解が一意に決まらない。そのため、一般的なフーリエ変換は使うことができなくなる。そこで、上では最小二乗法により解を求める手法を用いた。ここで、今回のように、データがスパースであるという仮定が成り立つならば、Least Absolute Shrinkage and Selection Operator(LASSO)と呼ばれる手法を用いてスパースな解を選び出すことが可能となる。この LASSO を施し、データの再構築を行った結果が図 3(c)に示されて

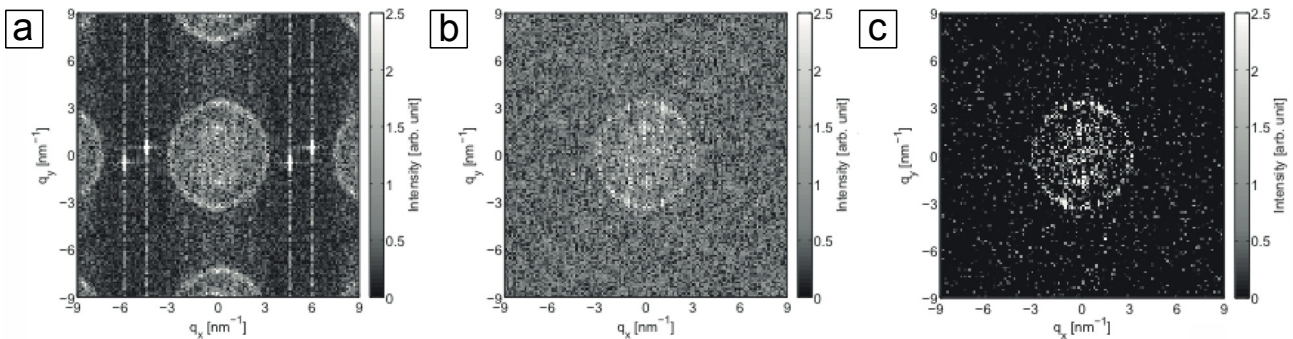


図 3 (a)元画像(図 2 左)を 1/9 まで周期的にダウンサンプリングした局所状態密度像のフーリエ変換像。繰り返し雑音が観察されている。(b) 1/9 までランダムにダウンサンプリングした局所状態密度像を、最小二乗法的な手法を用いて再構築した散乱ベクトルパターン。ホワイトノイズの増加が著しい。(c)(b)と同じ局所状態密度像にスパースモデリングを適応して再構築された散乱ベクトルパターン。ノイズの増大もなく、元データ(図 2 右)に近い散乱ベクトルパターンが得られている。

おり、元データの約 1/9 のデータ数でも、元データと同程度の必要な情報が得られるということが明らかになった。これは、少なくとも 銀の(111) 表面の定在波に関しては、長い QPI 計測の測定時間を 1/9 まで落とせることを意味しており、QPI 計測の高速化が実現可能であることを示している。また、散乱ベクトルパターンの散乱ベクトル空間における解像度は、実空間での測定範囲の広さに比例して高くなるため、この手法を用いて、同じ測定時間で、できる限り広い範囲での測定を行うならば、高分解能化も可能となることを示している。現在は、本研究で明らかになったランダム計測の有効性を確かめるべく、ランダムな QPI 計測を行い、スパースモデリングにより解析を行うという研究が進行中である。この手法が確立すれば、将来 QPI 計測がより一般的な測定手法になる可能性を秘めている。

近年、データ駆動科学と呼ばれる学融合的な分野が注目を集めており、通常は別々に研究することの多い様々な分野の自然科学の研究者と情報科学の研究者が共同参画し密接に連携している。データ駆動科学は、自然科学で得られる高次元の計測データから効率的に科学的知見を得るために、分野によらない普遍的な方法論を探求する。本研究では、生物学や地学を中心に発展したスパースモデリングと呼ばれるデータ解析の方法論を、我々の手法である STM/STS に適用した。このような手法が、物性物理学においても有効であることを示した本研究は、データ駆動型物質科学の嚆矢となるであろう。

謝辞

本研究は東京大学大学院新領域創成科学研究科岡田研究室の中西(大野)義典氏(現、東京大学大学院総合文化研究科)助教と岡田真人教授、東京大学大学院総合文化研究科の福島孝治教授との共同研究として行われた。研究における主な解析手法の考案と改良・計算は中西氏、土師将大氏によって行われた。本研究は、科研費新学術領域研究「スパースモデリングの深化と高次元データ駆動科学の創成」(公募研究：極低温走査トンネル顕微鏡を用いた物性物理学実験へのスパースモデリングの適用、研究代表：吉田靖雄)の支援のもとに行われた。

参考文献

- [1] Y. Hasegawa, and P. Avouris, *Phys. Rev. Lett.* **71**, 1071 (1993).
- [2] M. Crommie, C. Lutz, and D. Eigler, *Nature* **363**, 524 (1993).
- [3] J. E. Hoffman, *et al.*, *Science* **297**, 1148 (2002).
- [4] T. Hanaguri, *et al.*, *Science* **323**, 923 (2009).
- [5] T. Zhang, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **103**, 266803 (2009).
- [6] H. Inoue, *et al.*, *Science* **351**, 1184 (2016).
- [7] M. Hamidian, *et al.* *Nature* **532**, 343 (2016).
- [8] Y. Nakanishi-Ohno, *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 093702 (2016).



る、表面の平均的な構造対称性や規則度を同定する手法を用い、試料の構造や質などが議論されます。しかしながら今回の研究では、この LEED では分からないレベルの原子点欠陥が、実は周囲の電子状態を広範に変調しており、それが磁気モーメントを大幅に減少させていることが明らかとなりました。この結果は、今までの薄膜磁性研究では見過ごされてきた原子レベルでの構造・電子状態解析の重要性を実証したという点で、磁性分野における一般的な知見を与えたと期待しています。

以上、受賞対象を含めた博士課程での研究を簡単に紹介させて頂きました。鉄窒化物の構造と電子・磁気状態との関係を微視的・巨視的両側面から明らかにしただけでなく、将来的な低次元物性研究の指針となりうる研究に携われたことは、自分にとって大きな財産となりました。今後も博士課程で培った経験を活かしながら、基礎・応用両面において低次元物性研究を進めていきたいと思えます。

参考文献

1. Y. Takahashi, T. Miyamachi, K. Ienaga, N. Kawamura, A. Ernst, and F. Komori, "Orbital Selectivity in Scanning Tunneling Microscopy: Distance-Dependent Tunneling Process Observed in Iron Nitride", *Physical Review Letters* **116**, 056802 (2016).
2. Y. Takahashi, T. Miyamachi, S. Nakashima, N. Kawamura, Y. Takagi, M. Uozumi, V. Antonov, T. Yokoyama, A. Ernst, and F. Komori, "Thickness-dependent electronic and magnetic properties of γ -Fe₄N atomic layers on Cu(001)", arXiv:1702.01509 (2017).
3. Y. Takahashi, "Electronic and magnetic structures of iron-nitride atomic layers on Cu(001)", PhD thesis, The University of Tokyo (2017).



第 40 回応用物理学会講演奨励賞を受賞して

笠松 秀輔

このたび、2016 年 3 月に東京工業大学大岡山キャンパスで行われた第 63 回応用物理学会春期学術講演会にて行った口頭講演、「強誘電体薄膜のドメインダイナミクスと負のキャパシタンスの第一原理計算」に対して、第 40 回応用物理学会講演奨励賞を受賞しました。応用物理学会とこの講演奨励賞の規模感をお伝えするために幾つか数字を挙げますと、2016 年春期講演会では 3725 件の一般講演と 48 件のシンポジウム講演があり、そのうち 797 件が事前の申請により審査対象となり、38 名が講演奨励賞に選出されました。

本研究では、ナノメートルスケールのキャパシタに電圧を印加したシミュレーションを行うための第一原理計算手法を考案し、常誘電体/強誘電体薄膜 2 層キャパシタに適用しました[1-3]。これによって、電圧印加下での強誘電体における分極ドメイン構造の変化と、実験で観察されている「負のキャパシタンス」発現の第一原理シミュレーションに初めて成功しました。物性研・工学系研究科共同でプレスリリースを打ち、物性研だより第 56 巻第 2 号では解説記事を書かせて頂いたので、詳しい内容についてはそちらをご参照頂ければと思います。

本研究で用いた計算手法は、工学系研究科マテリアル工学専攻の博士課程在籍 1 年目に、ソウル国立大学の Seungwu Han 先生の元に 3 ヶ月滞在して考案・開発したものを、その後発展させてきたものです。博士後期課程進学前後の時期だったかと思いますが、指導教員である渡邊聡先生に呼び出され、いきなり「ソウル大の Han 先生は切れ者なのでためになると思う。何ヶ月か韓国に行っていないか」と言われたときは驚いたものです。専攻が交流のための予算(日本学術振興会アジア拠点プログラム)を取ったのがきっかけだったのですが、当初は研究テーマすら決めていませんでした。韓国に着いてみると、Han 先生に呼び出され、「こんな風にするとそれほど大きな計算コストをかけずにバイアス電圧を考慮できる気がするのだけれど」といわれて議論がスタートしました。結果的にこの 3 ヶ月は大変有意義なものになり、送り出してくれた渡邊先生を始めとし、韓国で迎えてくれた Han 先生および学生の皆さんには感謝してもきれません。ちなみに余談で

すが、韓国料理がおいしすぎてその 3 ヶ月で 10 キロ近く太ってしまい、今でも韓国以前の体重までは戻すことができていません。

計算対象とした強誘電体薄膜が示す負のキャパシタンスについては、ソウル大の薄膜デバイスの専門家である Cheol Seong Hwang 先生に教えてもらいました。第一原理計算で計算出来るモデルの時空間スケールは限られており、実デバイスに対して言えることはどうしても限られます。そのため、このテーマについて博士課程在学中は十分な計算ができず、論文を通すことができなかったのですが、幸い、物性研に着任してからも他のテーマと平行してこのテーマを続けることができました。最終的には、Hwang 先生の熱意と知識欲・理解欲あふれるメール攻撃と、物性分野に特化した計算インフラとして世界最高レベルである物性研スパコンのおかげで、論文を出版することができました。

今回受賞した研究は、博士課程の延長という色合いが強いものでしたが、今後は、物性研発の成果をもっと挙げていきたいと思っています。実験家の皆様とももっと交流を深めていけたら幸いです。

参考文献

1. S. Kasamatsu, S. Watanabe, and S. Han, Phys. Rev. B 84, 085120 (2011).
2. S. Kasamatsu, S. Watanabe, and S. Han, Phys. Rev. B 92, 115124 (2015).
3. S. Kasamatsu, S. Watanabe, C. S. Hwang, and S. Han, Adv. Mater. 28, 335 (2016).

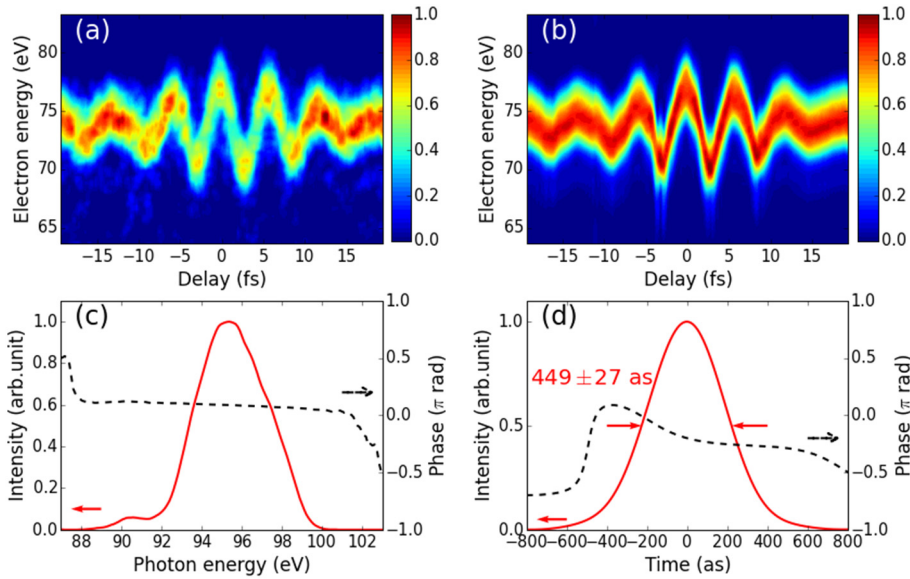


図 2. (a)測定されたスペクトログラム。FROG-CRAB 法で再構築した (b)スペクトログラム、(c)高調波のスペクトル、(d)時間波形。

得られたスペクトログラム及び FROG-CRAB 法による再構築の結果を図 2 に示します。スペクトログラムには、単一アト秒パルスを示唆する赤外電場による光電子スペクトルの明瞭な変調が観測されました。また、FROG-CRAB からは、高調波のパルス幅は 449 ± 27 as であることが分かりました[1]。これは世界で初めて $0.8 \mu\text{m}$ より長波長の光源から発生させたアト秒高次高調波パルスの時間波形を計測したものであり、赤外光源によるアト秒分光の大きな可能性を示した点で意義深いものであると言えます。

将来的には、軟 X 線、具体的には炭素 K 吸収端(284 eV)において同様の手法に挑戦したいと考えています。炭素は次世代エレクトロニクスや人工光合成等で重要な構成元素であり、このエネルギー領域でのアト秒分光の確立は応用上大きな意味を持ちます。本研究で得られた高調波光量と計測時間を考慮し、さらに実験系にいくつかの改善等を行えば、軟 X 線におけるアト秒ストリーク測定は実現可能という見通しが得られています。また軟 X アト秒ストリーク計測と並行して、超高速軟 X 線吸収分光の物性応用も行う予定であります。

最後に、このような栄誉ある賞を頂きましたのも、ひとえに板谷治郎 准教授、石井順久 助教をはじめとする諸先生方や、同僚、家族の惜しみないサポートのおかげです。この場をお借りして深く感謝申し上げます。

- [1] Nariyuki Saito, Nobuhisa Ishii, Teruto Kanai, Shuntaro Watanabe, and Jiro Itatani, “Attosecond streaking measurement of extreme ultraviolet pulses using a long-wavelength electric field,” *Scientific Reports* **6**, 35594 (2016).

国際会議 ISUPTW2016 において Best Conference Paper Award を受賞して

極限コヒーレント光科学研究センター 小林研究室 玄 洪文

The 8th International Symposium on Ultrafast Phenomena and Terahertz Waves (ISUPTW 2016) in Chongqing, China on Oct. 10th, which was an international symposium organized by Chinese Academy of Sciences (CAS) and the Optical Society of America (OSA), evolved 150-300 participants every 2 years. On ISUPTW 2016 in Chongqing, there were more 200 participants and 8 persons won Best Conference Paper Award. The paper with the title of “High power Yb:YAG ceramics laser and diamond Raman laser for frequency conversion to DUV.” won the Best Conference Paper Award on this symposium. The content is about the high power Yb:YAG amplifier and new method by use of Raman laser to generate high power DUV laser at 193 nm that was carried out in Kobayashi Lab during last two years. The awarded contents will be introduced simply as following.

Extreme ultra-violet (EUV) laser lithography at 13.5 nm is now the most expected powerful technology to achieve the sub-10 nm node in the following years. However, it still takes a long time to overcome the power consumption and the throughput problems. ArF excimer laser at 193 nm with narrow-linewidth and high coherence is a profitable light source for interference lithography as a substitute towards the sub-10 nm node before EUV is ready[1]. Hence, the generation of deep ultraviolet (DUV) laser at 193 nm for seeding the hybrid ArF excimer laser is a necessary and important topic. Currently, the most popular method to generate ultraviolet (UV) or DUV laser is the frequency conversion scheme in nonlinear crystals such as second harmonics generation (SHG), sum frequency generation (SFG). In the past decades, it took a lot efforts for many studies to generate UV or DUV laser at 193 nm mainly focused on the Nd-doped lasers, Ti:Sapphire lasers or fiber lasers as fundamental. However, the reported fiber laser was running at CW mode or at lower power level, limiting the

power scaling of DUV laser, as well as the Nd-doped lasers and Ti:Sapphire lasers. Thus, a high power fundamental power at longer wavelength is necessary for obtaining a high power UV and DUV laser.

Solid-state lasers such as the slab amplifier, the thin disk amplifier and the single crystal fiber (SCF) amplifier had demonstrated their ability of achieving hundreds of watts average output power. We have also already obtained 300 mW average power of DUV laser at 193 nm by use of a SCF amplifier as the fundamental [2]. This time we used a Yb:YAG ceramics rod amplifier ($\Phi=1\text{mm}$, $L=40\text{mm}$) with a double-pass configuration[2]. The pump source was a 110 W laser diode ($105\mu\text{m}$, $\text{NA}=0.22$) at the wavelength of 940 nm. The seed laser for the Yb:YAG was at the repetition rate of 10 kHz with the pulse duration of 10 ns. The highest output of the Yb:YAG ceramics amplifier is 27 W at 1030 nm under the pump power of 116.3 W at 940 nm when the seed power of 1.25 W using a double pass amplification configuration as shown in Fig 1.

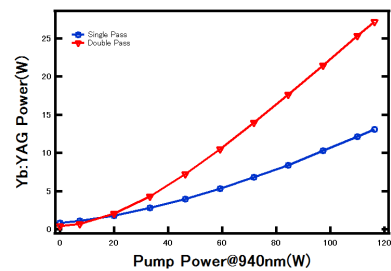


Fig.1 Yb:YAG SCF amplifier power pumped by a higher power LD at 940 nm.

We used the same LBO and CLBO crystal for SHG and FHG, respectively, as those in Ref. [2]. SHG and FHG powers were both demonstrated under the higher fundamental power of Yb:YAG ceramics laser. 15 W of 515 nm and 6 W of 258 nm were obtained, respectively. The conversion efficiency is more than 65% for the SHG and 40% for the FHG from 515 nm to 258 nm.

We used the above Yb:YAG ceramics laser and an external cavity figure to achieve the Raman laser oscillation. The experimental setup is demonstrated in Fig. 2. In the setup, the light at 1030 nm from the Yb:YAG amplifier was the pump. A convex focal lens ($f=150$ mm) was used to focus the pump beam to the surface of the diamond from the radius of ~ 700 μm . The Raman material is a CVD diamond with the dimension of $6\times 6\times 1.5\text{mm}^3$ and anti-reflection (AR) coating at 1030 nm. The pump laser went through the diamond crystal direction of $\langle 110 \rangle$ which is the crystal axis. The laser cavity is a linear and short cavity with the length of 25 mm. The radius of the input mirror (M1) was 75 mm and the radius of the output coupler (OC) mirror was 50 mm. The coating for the input mirror was high transmission (HT) at 1030 nm and high transmission (HR) at both of the 1st and 2nd Stokes wavelength which is 1194 nm and 1420 nm. The OC mirror was coated with HR coating at 1030 nm and 1194 nm. Three different values of the output transmission at 1420 nm were tried experimentally which is 5%, 20%, and 50%.

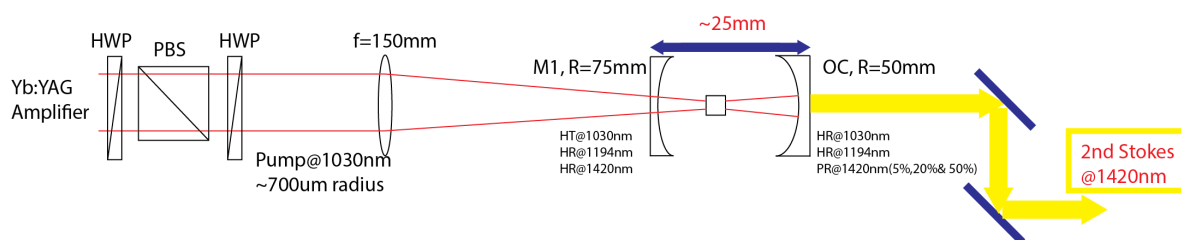


Fig.2 Setup of the external cavity diamond Raman laser (HWP: half wave plate)

After the Raman laser cavity, two reflection mirrors were used to remove the residual power of pump laser at 1030 nm and the tiny power of the 1st Stokes laser at 1194 nm for diagnostic of the generated 2nd Stokes laser. The Raman laser could easily achieve lasing at the pump laser power more than 1.25 W shown in Fig. 3. The threshold was difference for 3 OCs, which was around 1.5 W. It also depicted a higher OC corresponding to a higher threshold. To avoid the damage inside the cavity, the pump power for 5% and 20% OC was limited to 3.0 W. At the same pump of 3 W, the output power of the Raman laser at 1420 nm was 130.6 mW, 293 mW and 325 mW by use of 5%, 20% and 50% OC, respectively. The highest output power of 1420 nm was 0.586 W when the pump

light was 4.2 W. The slope efficiency with 50% OC was approximately 23%, which is a satisfactory value comparing to the previous reports.

This was a primary experiment for our next step of choosing suitable high power pump and high power Raman wavelengths to generate DUV laser at 193 nm. However, 1420 nm is still an interesting wavelength because its FHG is 355 nm, which is a common but useful UV wavelength in laser machining.

This time we reported a 27 W Yb:YAG ceramics rod type laser at 1030 nm. The SHG to green and FHG to UV laser power were 15 W and 6 W, respectively. A $6\times 6\times 1.5\text{mm}^3$ CVD diamond was used as the Raman crystal in an external cavity pumped by this laser. The highest power of 0.586 W was obtained at the 2nd Stokes light at 1420 nm. To the best of our knowledge, it is the first time to achieve this wavelength by use of diamond Raman laser. Appropriate pump and Raman wavelengths will be studied in future for 193 nm laser generation.

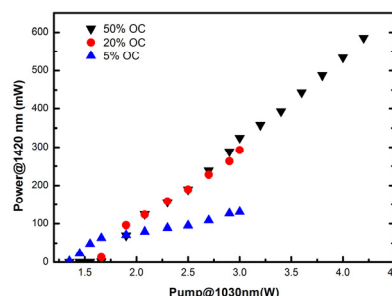


Fig. 3 Output Power of 2nd Stokes (1420nm) vs. Pump power

References

- [1] S. Tanaka, M. Arakawa, A. Fuchimukai, Y. Sasaki, T. Onose, Y. Kamba, H. Igarashi, C. Qu, M. Tamiya, H. Oizumi, S. Ito, K. Kakizaki, H. Xuan, Z. Zhao, Y. Kobayashi, H. Mizoguchi, "Development of high coherence high power 193nm laser ",in Proc. SPIE (San Francisco, CA, 2016),972624
- [2] H. Xuan, Z. Zhao, H. Igarashi, S. Ito, K. Kakizaki, and Y. Kobayashi, "300-mW narrow-linewidth deep-ultraviolet light generation at 193 nm by frequency mixing between Yb-hybrid and Er-fiber lasers," Opt. Express 23, 10564-10572 (2015)
- [3] R. Williams, O. Kitzler, A. McKay, and R. Mildren, "Investigating diamond Raman lasers at the 100 W level using quasi-continuous-wave pumping," Opt. Lett. 39, 4152-4155 (2014)
- [4] J. Feve, K. Shortoff, M. Bohn, and J. Brasseur, "High average power diamond Raman laser," Opt. Express 19, 913-922 (2011)

日本中性子科学会奨励賞を受賞して

中性子科学研究施設 益田研究室 左右田 稔

この度、私が研究している「中性子散乱による磁性と誘電性の新奇関係の研究」の成果に対して、第14回日本中性子科学会奨励賞を頂きました。私は名古屋大学修士課程の頃より、中性子散乱を用いて磁性、強相関電子系物質の研究を行ってきており、現在も中性子散乱による固体物理学の研究を継続しております。しかし、2011年の東日本大震災以降、日本原子力機構のJRR-3での実験ができなくなり、中性子散乱実験のマシントime確保のため、J-PARC、海外施設での中性子研究を行うことになりました。海外中性子施設での実験を頻繁に行うことができたのは、東京大学における大学共同利用旅費による海外実験支援プログラムのサポートのおかげであります。この場を借りて深く感謝申し上げます。また研究成果は、特定領域研究「フラストレーションが創る新しい物性」のポストドクとして大阪大学に所属していた頃に行っていた研究と、東京大学物性研究所益田研究室で行っている研究によって得られたものです。益田隆嗣先生、廣田和馬先生、木村剛先生、若林裕助先生をはじめとして数多くの方との共同研究であり、深く感謝申し上げます。

電気と磁気の交差相関が、近年精力的に研究されており、電場印加による磁性の変化、磁場印加による誘電性の変化といった電気磁気効果は、基礎・応用両面において重要な研究テーマとなっています。大きな電気磁気効果を示す物質として、(反)強磁性と(反)強誘電が共存するマルチフェロイックスが精力的に研究されており、多くのマルチフェロイック物性がサイクロイダル磁気構造などの特異な磁気構造を起源とする事が明らかになっています。我々も以前より中性子散乱を用いたマルチフェロイックス研究を行っており[1]、螺旋スピンの右巻き・左巻きカイラリティーが電場によって制御可能である事を直接的に明らかにしてきました。スパイラル磁気構造起源のマルチフェロイック物質に対する物質開発が進められている一方で、我々は新たな誘電性と磁性の関係を探索することも重要であると考え、磁性と誘電性の新奇関係を探索しています。研究では、構造と磁性をともに観測できる中性子散乱の特徴を生かし、弾性・非弾性中性子散乱実験、偏極中性子回折実験等を行

い、磁性と誘電性の新奇関係を解明しました。その結果、(1)プロパースクリュー磁気構造を持つマルチフェロイック物質の起源解明、(2)磁性イオンを持つリラクサー誘電体における特異な超常磁性、(3)スピン・ネマティック相互作用起源の磁気異方性といった研究において新たな磁性と誘電性の関係性を発見することに成功しました。下記には、それぞれの研究で明らかになった特異な磁性と誘電性の関係について簡単に述べます。

(1)プロパースクリュー磁気構造を持つマルチフェロイック物質の起源解明

サイクロイダル磁気構造を持たないマルチフェロイック物質 CuCrO_2 に注目し、電場中・磁場中偏極中性子回折実験を行うことによって発現機構を解明した研究です。プロパースクリュー磁気構造をもつ CuCrO_2 に対する電場中偏極中性子回折実験[2]を行った結果、低対称性結晶構造におけるスピン依存 d - p 混成モデルで CuCrO_2 の強誘電性が説明可能であることを明確にしました。spin helicity だけではなく、磁気ドメイン、酸素配置(結晶構造ドメイン)を全て考えることで実験結果を説明できます。さらに磁場中偏極中性子回折実験[3]を行った結果、磁場印加によりプロパースクリューからサイクロイダル磁気構造に変化することがわかり、この系の強誘電性と磁性の関係をより明確なものにできました。

(2)磁性イオンを持つリラクサー誘電体における特異な超常磁性

磁性イオンをもつリラクサー誘電体(リラクサー磁性体)において、polar nanoregion (PNR)を起源とする新奇超常磁性を発見した研究です。この研究では、単結晶を用いた中性子回折実験を行うことで、PNRに起因する核散漫散乱と短距離磁気秩序を同時に直接観測できます。ペロブスカイト格子系のリラクサー磁性体 $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ では、磁気相関長が PNR によって制限されるため、磁気ドメインもナノサイズの大きさを持ち、そのナノ磁気ドメインが超常磁性の振舞いを示すことを明らかにしました。[4] さらに、三角格子をもつリラクサー磁性体 LuFeCoO_4

においても PNR 起源のナノ磁気ドメインが超常磁性を示すことを明らかにできました。[5] 結晶構造の異なるリラクサー磁性体において、ともに PNR 起源の超常磁性が観測されており、構造に不均質を持つリラクサー磁性体における磁性・誘電性の関係という新たな研究分野を開拓した研究となっています。

(3) スピン・ネマティック相互作用起源の磁気異方性

マルチフェロイック物質 $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$ における磁気異方性がスピン・ネマティック相互作用に起因するものであることを発見した研究です。 $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$ では、Co サイトのスピン四極子(スピン・ネマティック)は電気分極と等価となり、誘電的性質をスピン・ハミルトニアン of 枠組みの中で解析することが可能となります。この研究において、磁化で観測された磁気異方性や中性子散乱測定での磁気異方性ギャップをスピン・ネマティック相互作用によって定量的に解析することに成功しました。[6] さらに、スピン・ネマティック相互作用に起因する電気磁気効果も明らかにすることができました。[7] これは、連続的にスピンの方向を電場で制御できる新規電気磁気効果であります。

上記で述べた 3 つの研究は、磁性と誘電性について多方面より注目し、それぞれ異なる新奇関係を発見した研究成果です。基礎・応用両面において重要なテーマであり、マルチフェロイックス分野だけでなく、磁性・誘電性の両研究分野を大きく進展させるものであると期待しています。

- [1] M. Soda, T. Ishikura, H. Nakamura, Y. Wakabayashi, and T. Kimura, Phys. Rev. Lett. 106, 087201 (2011).
- [2] M. Soda, K. Kimura, T. Kimura, M. Matsuura, and K. Hirota, J. Phys. Soc. Jpn. 78, 124703 (2009).
- [3] M. Soda, K. Kimura, T. Kimura, and K. Hirota, Phys. Rev. B 81, 100406(R) (2010).
- [4] M. Soda, M. Matsuura, Y. Wakabayashi, and K. Hirota, J. Phys. Soc. Jpn. 80, 043705 (2011).
- [5] M. Soda and T. Masuda, J. Phys. Soc. Jpn. 85, 034713 (2016).
- [6] M. Soda, M. Matsumoto, M. Månsson, S. Ohira-Kawamura, K. Nakajima, R. Shiina, and T. Masuda, Phys. Rev. Lett. 112, 127205 (2014).
- [7] M. Soda, S. Hayashida, B. Roessli, M. Månsson, J. S. White, M. Matsumoto, R. Shiina, and T. Masuda, Phys. Rev. B 94, 094418 (2016).

物性研に着任して

極限コヒーレント光科学研究センター 辛研究室 谷内 敏之

2016年11月1日付けで極限コヒーレント光科学研究センターの辛研究室にて特任助教として着任いたしました谷内敏之と申します。私はこれまでも物性研にて仕事させていただいており、所属する辛研究室だけでなく、多くの所員、スタッフ、学生の皆様に研究内外で大変お世話になっております。また秘書の皆様、物性研事務・柏地区共通事務の皆様には陰に陽に日々多大なご支援を頂いております。この紙面をお借りし厚く御礼申し上げます。

私は東京大学工学部応用化学科の橋本和仁研究室にて卒業研究を行った後、同工学系研究科応用化学専攻に進学し、尾嶋正治先生のご指導のもと修士・博士課程の5年間、放射光を光源にした光電子顕微鏡(PEEM)の開発とナノ磁性研究を行ってきました。私はその頃から物性研との縁が深く、測定試料の作製では Mikk Lippmaa 先生にお世話になりました。また、大学院時代を通して放射光施設 KEK-PF に常駐していた関係で、物性研つくば分室にも頻繁にお邪魔し、木下研そして柿崎研の研究室セミナーにも毎週参加させていただきました。木下研の皆様には同じく放射光 PEEM の研究を行っていることから多くのご指導を頂きました。また柿崎研の時には研究外でも芋煮会・スキー合宿にも参加させていただき大変楽しい思い出を作ることができました。

私が学生時代から現在に至るまで携わってきた PEEM は、広く普及している走査型電子顕微鏡(SEM)や透過型電子顕微鏡(TEM)と同じ電子顕微鏡の一種です。最大の特徴は、SEM・TEM のように電子を照射し電子を取り出す一般の方式とは異なり、光を照射し放出する電子を取り込む方式を採用していることです。この方式により PEEM は光-物質の間に起こる多様な相互作用を実空間で観察することが可能であり、例えば元素・価数の識別や導電性、磁性、結晶性の不均一性のイメージングに用いられます。PEEM を使った仕事では、ノーベル化学賞を受賞した表面科学の大家 Gerhard Ertl 教授による触媒表面の反応機構に関する研究が最も有名ですが、それ以外にも主に基礎研究の分野で様々な物性研究がなされています。

博士課程を修了し、物性研リサーチフェローとして辛研究室に着任した私は、新たにレーザーを光源とした装置

(レーザーPEEM)の開発を開始しました。光源を放射光からレーザーに換えるとイメージングの特長が大きく変わります。放射光は原子の内殻を励起できることから元素識別性が高く、詳細な化学状態のイメージングを可能にします。一方、レーザーは高いコヒーレンスを持つことからフェムト秒の高速時間分解実験が可能であり、当時いくつかの研究グループが実験を開始し始めていました。私はその路線とは別に空間分解能に着目し、レーザーの性質を最大限に活かすことで空間分解能を限界まで引き上げられると考え、超高空間分解能「レーザーPEEM」装置の開発に取り掛かりました。その結果、特に深紫外レーザーをベースにした顕微鏡装置は世界最高分解能を得るまでになり、従来 10 ~ 20 nm が実質的な限界だった PEEM の空間分解能を 3 nm 以下にまで向上させることに成功しました。さらに最近、この超高分解能レーザーPEEM を利用することで非磁性であるチタン酸化物において、その表面に強磁性ナノドメインが形成することを発見しました。

特任助教着任後は、レーザーPEEM のさらなる高度化と物性研究を推進すると同時に、レーザーPEEM の産業応用を実現するべく汎用性・実用性を高めるための研究開発を進めていきます。現在の電子デバイスの製造技術の発展は、プロセスルールが 10 nm を切るところまで来ています。上司である辛先生は折りにふれて「分解能が1桁上げれば物理が変わる」という言葉を口にされますが、これからの研究開発が物理はもとより産業界にも変化を与えるきっかけになればと期待しています。基礎に応用に、より広く利用してもらえる分析手法の実現を目指していきます。どうぞよろしく願いいたします。



外国人客員所員を経験して

Sonachalam. ARUMUGAM

**Centre for High Pressure Research, School of Physics
Bharathidasan University, Tiruchirappalli 620 024, India
(*sarumugam1963@yahoo.com, +91-95009 10310*)**

My Experience at ISSP

I made my first visit to Prof. Mori's Lab, ISSP in September 1997 after attending AIRAPT conference at Kyoto and followed by two year visit under JSPS program (1998-2000) as a Post Doctoral Researcher. The association and collaboration initially with Prof. N. Mori and then followed with Prof. Uwatoko and it continues from 2000- till date. I made several visits to ISSP through Indo-Japan (DST-JSPS) program, DST_JSPS exploratory visit, short term JSPS, COE fellowship and conference visits etc. These visits were helpful for me and my students to learn and improve various experimental skills such as piston-cylinder techniques, cubic press method for transport measurements, modified Bridgman anvil pressure cell and diamond anvil cell for electrical resistivity measurements and uniaxial pressure device for magnetic measurements under the extreme conditions of high pressure, low temperature and high magnetic field. The amazing instrumentation capability and dedication of Prof. Uwatoko at ISSP led to various unique facilities (palm type cubic press, miniature uniaxial pressure cell for magnetic measurements, pressure cell for neutron diffraction and structural measurements etc) to study the structural, transport, magnetic and thermal properties at extreme conditions of high pressure, low temperature and high magnetic field. I can simply say that World of high pressure techniques at the door step of University of Tokyo and realized the same.

My stay at ISSP as a Visiting Professor during August 2016 to November 2016 with my wife had a wonderful and memorable experience in both personal and scientific

aspects. Even though I visited ISSP several times in the past and this was the second long visit with my family after 16 years. The aim of my visit to ISSP is to continue my investigation of transport and magnetic properties under hydrostatic of BiS₂ based superconductors and topological semimetals. Further, we continued the magnetic properties of selected inorganic spin ladder system under uniaxial pressure. The ISSP infrastructural experimental facility and fast development of in and around Kashiwanoha campus are enormously changed, and it helps the researchers to spend more time in research rather than other activities. I have visited various countries in the world and stayed for short time and I could find 100 % peace, comfort and safety in Japan than any other country in the world and similar to my feeling of staying in my home country.

I am very much attracted towards the Japanese traditional culture and arts, Japanese calligraphy, sumo wrestling, Pottery and Ceramics, Japanese traditional foods, technology mindset and special kindness. Hence, the collaboration keeps continue to ahead for so long time. My stay at ISSP was more comfortable due to systematic effort and help of Prof. Y. Uwatoko, Shoko Nagasaki san, Akiko Kameda san, Atsuko Yamauchi san, Kento Ishigaki san and Bosen Wang san.

I thank the ISSP and Prof. Y. Uwatoko for the wonderful opportunity given to me.

(S. ARUMUGAM)

外国人客員所員を経験して

Agustinus Agung Nugroho
Institut Teknologi Bandung
Jl.Ganesha 10 Bandung, INDONESIA
nugroho@fi.itb.ac.id

I had visited ISSP (at Nakatsuji lab.) almost every year since 2009 during my semester break. In collaboration with Prof. Satoru Nakatsuji, I was always excited in synthesizing new materials and more interestingly to follow its flourishing the new physics. In 2015, Nakatsuji group discovered a large anomalous hall from antiferromagnetic Mn_3Sn and Mn_3Ge . It was a great challenge for me to take a one-year visiting professor position at ISSP to extensively explore the fundamental science as well as the application of Mn_3Sn related compounds. After getting permission from the rector of my institute, Institut Teknologi Bandung (ITB), as a sabbatical leave, a quick arrangement was carried out by the ISSP ILO team to complete the administration procedures in order to start the project as early as possible. Finally, the program was set from the beginning of March 2016 to the end of February 2017.

The exploration to enhance the properties of Mn_3Sn was attempted using various kinds of doping to tune the chemical potential of the system. The physical properties of the doped samples show significant changes and require a better theoretical model to understand all of the effects. On the other hand, the enhancement with respect to the performance criteria for the application is still far from being achieved. One year has turned out to be quite short for me to fulfill this target. However, since not all the possibilities have been explored, there is still chance that it could be realized. All of this work was carried out using single-crystalline sample. I would like to thank Takashi Nishikawa (M1) and my students from ITB, who assisted me to characterize, orient and cut the crystals having a suitable size for physical characterizations. Those are time-consuming work and

share much of responsibility. I also thank Akito Sakai (research associate) for providing heat and electrical transport data to judge the performance criteria of our samples. Fortunately, the crystal growth facility and all the characterizations can be carried out in Nakatsuji lab. I thank Ishii for helping us measuring the elemental compositions. Beside Mn_3Sn and Mn_3Ge , I also explored various compounds predicted to have Weyl fermion and the results are still in progress. Related to the Mn_3Sn project, I had opportunities to collaborate with the group of Prof. Yoshichika Otani which focused on the spintronics and the group of Prof. (Associate) Takeshi Kondo which focused on ARPES measurement. The internal collaboration among research groups in ISSP to investigate the electronic structure, the magnetic structure as well as the physical properties of Mn_3Sn including its potential for spintronic application was very interesting activities during my stay.

When I started to work at ISSP, it was nearly spring. I had an opportunity to observe the new academic atmosphere in Kashiwa campus, especially at ISSP. During my stay at ISSP, I enjoyed many social activities: starting from hanami in spring, barbecues in summer, music festival and end year party in winter. I think those activities are quite positive for the interaction between students and staffs. During the ISSP barbecue, I could chat with Prof Osamu Yamamuro and invited him to the international conference organized by the association of Indonesian material science in Bali. In the future, I expect many ISSP staffs could make their time to attend an international conference in Indonesia.



Although I have visited Japan, in particular ISSP, many times, I have very little Japanese survival sentences. After a one-year duration of stay, I still have not improved my Japanese. Maybe the life between ISSP and Kashiwa Lodge where I stayed was very convenient so I had less cultural experience. During summer, my family visited me in Japan. They had already experienced the summer in Tokyo, which is quite hot, so with the help of Akiko Kameda and Dr. Hiro Suzuki, I could place them in Sendai and they enjoyed exploring touristic spots around Tohoku area.

I had a great time during my stay at Nakatsuji's group and at ISSP. For that, I would like to thank: Masaki Tsujimoto and Dr. Takahiro Tomita for their technical assistance, our group secretaries Mariko Suzuki and Yuko Ishiguchi for their help with administration, and ISSP ILO team Akiko Kameda, Atsuko Yamauchi and Ayano Hashiguchi for helping me settle to live in Kashiwa and work at ISSP. I hope, in the future, I could contribute more to Nakatsuji group as well as to ISSP.

平成 28 年度 物性研究所一般公開の報告

一般公開委員長 上床 美也

平成 28 年度の東京大学柏キャンパス一般公開「発見・体験！柏の知」が、10 月 21 日(金)および 22 日(土)の両日開催され、平成 27 年度の 13000 人には及ばないながら 9000 人もの方々に来場頂きました。物性研においては「不思議なモノを見つけよう」をキャッチコピーとして開催し、昨年に迫る 3600 人もの方々に見学頂きました。柏キャンパス来場者の 4 割程度の方に物性研を見て頂けたこととなります。昨年度同様、パンフレットの増刷を行い、受付業務は大変ながら嬉しい悲鳴となり、事務および研究室ボランティアの皆さんにも大奮闘頂きました。見学者の皆さんには、物性研一般公開を十分堪能し、物性研究所の内容も理解頂けた事と思います。



図 1：物性研一般公開の web トップページ

今年の一般公開ホームページは原沢あゆみ委員(附属極限コヒーレント光科学研究センター)により作成されました。

「<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/openlab/index.html>」

来場者の多くは、このホームページを頼りに来られるようです。今年に来場者が多かったのもこのホームページのおかげかもしれません。気の抜けないホームページ作り有り難うございました。

図 2、3 は、来場者全員に配布したクリアファイルおよびリーフレットです。このクリアファイル(図 2)とリーフレット(図 3)は森田悟史委員(附属物質設計評価施設)により作成されました。クリアファイルの図柄はここ数年同じですが、スピン(矢印)の配置が違うことにお気づきでしょうか?何を意味しているかお考えください。リーフレット(図 3)表紙の白抜き文字が生える図柄は、字形から不思議な物作りや発見の様子が窺われる気がします。

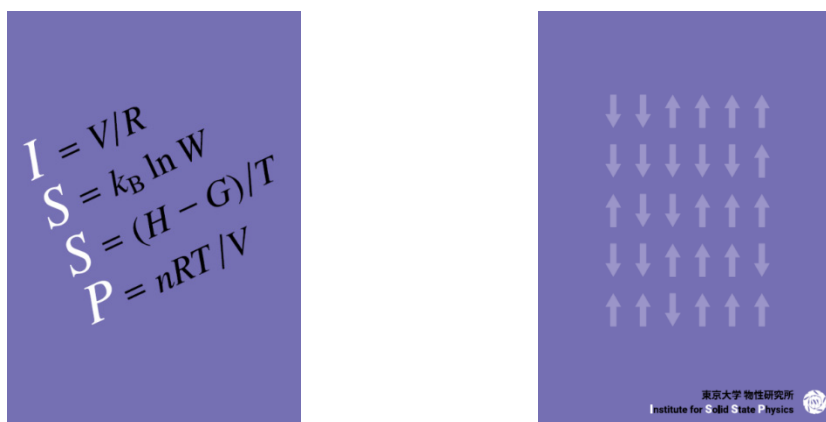


図 2：来訪者に配付したクリアファイル

(表)

(裏)

イベント案内

A サイエンス・カフェ
「量子力学の不思議な世界」

10月22日 [土] 12:30～
7a (A棟) 6階 ラウンジ

ミクロの世界では、粒子が水面の波紋のように広がる波の性質を持つという不思議な性質が現れます。こうした不可解な世界についてわかりやすく解説します。



講師：山下 謙 先生

B ガイドツアー

10月21日 [金] 15:00～
10月22日 [土] 11:00～、13:30～、15:00～
7a (A棟) 1階 中庭 (受付裏) にお集まりください

「どこを見学したらよいか分からない」「研究をしている人の話を聞きたい」そんな見学者の皆さんのために物性研究所のスタッフがガイドになって、一般公開の見学や研究の現場を一掃に見学します。もちろん、道中での質問もOK。分かる範囲でお答えいたします。

所要時間：約60分

C 公開実験クイズ
目指せ物性研博士!

10月21日 [金] 14:30～
10月22日 [土] 10:30～、14:30～
7a (A棟) 1階 中庭




物性研の研究室による公開実験や、物性研についてのクイズを出題。成績優秀なあなたを、物性研博士に認定します!

所要時間：約30分

D わたしと図書館 2016
～先輩リケジョからのメッセージ～

常設展示・7a (A棟) 6階 図書室前

物性研の女子大学生が普段の研究生活や女子中高生へのお薦め図書を紹介したパネル展示を行っています。オリジナルグッズなど、お土産も用意しています!



物性研究所ってどんな所?

物性研究所では、「物質」の「性質」(＝物性)を研究しています。例えば、「物質がどうして磁石になるのか?」、「超伝導はどうして起こるのか?」など、様々な物質の性質を物理的に解き明かしたり、または新しい現象を見いだしたり、さらに今までにない性質を示す新物質を作り出したりしています。そのため物性研究所には、様々な世界最高レベルの研究設備があります。物質の性質を見極めるために、マイナス270℃の極低温や、普通の磁石の約5千倍にあたる1000テスラという超強磁場や、10万気圧の超高圧力などを作り出す装置を開発し、それらの極限状態で物質の性質を観測しています。更に、物質は原子からできているので、物質の性質を原子から研究するためのナノテクノロジーや、世界最高性能のX線・中性子ビーム・レーザーなどを使い、普通には見えない世界を見ることにより、物質をまさに丸裸にしています。

物性研究所は約60年前の昭和32年に、全国の物性研究者のための共同利用施設として設立され、今では1年間に千人以上(そのうち外国から百数十人)の物性研究者が訪れています。



アンケートにご協力ください!

物性研公式キャラクター「物性犬」



皆さまのご意見・ご感想をお聞かせください。受付にてアンケートにお答え頂いた方に、物性研ジュートバックを贈呈いたします。

※ 数に限りがあります

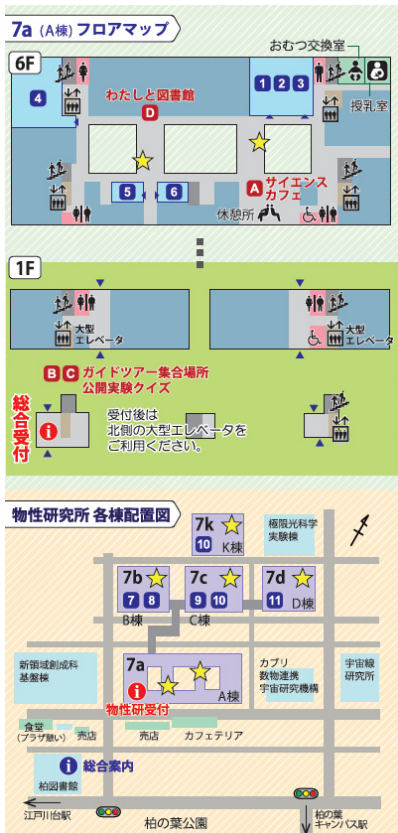
物性研究所 一般公開



不思議なモノを見つけよう

2016年10月21日(金)▷22日(土)
10:00～16:30
東京大学 柏キャンパス

<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/>

体験企画・展示内容

- 1 原子分子をみて動かす 表面ナノサイエンス**
原子分子をみてみよう。
[小・中・高・一・二]
- 2 ミクロな磁石がつくる世界**
ちっちゃな磁石が織りなす世界をほんの少しだけご紹介いたします。
[小・中・高・一・二]
- 3 スピンにさわって感じよう!**
スピンの気分が不思議体験!? 物体の自転運動を体験しよう!
[小・中・高・一・二]
- 4 物性科学とスーパーコンピュータ**
スパコンを身近に見てみよう
[小・中・高・一・二]
- 5 ミネラルモンスター～ルビー&サファイア～**
ゆめとぼろけんとであに、あまたミネラルモンスターのせかに、ゆきを、もってとびこんで、あてくれ!
[幼児・小・学]
- 6 目で見える物性理論**
チョコレートでたくさん認めよう!
[幼児・小・中・高・一・二]
- 7 超高压の世界**
氷が沈む?!
[小・中・高・一・二]

- 8 低温と遊ぼう**
「低温」の不思議な世界を体験!
[小・中・高・一・二]
- 9 かたちと量子**
量子の縞模様を見てみよう!
[小・中・高・一・二]
- 10 世界最高磁場の秘密**
世界最強の磁場を発生するマグネットや電源が見られる磁場発生を体験できる
[小・中・高・一・二]
- 11 光とレーザー**
レーザーで遊ぼう!
[小・中・高・一・二]

物性研スタンプラリー

地図中の★マークのついた場所に物性研究所オリジナルスタンプがあるよ。スタンプ4つ以上で、物性研オリジナルグッズを1つプレゼント! (※ 数に限りがあります)



LED付きドライバ、物性犬マグネット、3色のジャンボールペン

7a A棟 6階-1	7a A棟 6階-2	7b B棟
7c C棟	7d D棟	7k K棟

図3：物性研一般公開リーフレット

例年のアンケートで「企画や展示場所がわからない」と言われていました。今年はこの解消すべく、図4にあるような路上矢印シールの導入や案内ポスターの工夫をいたしました。さらに、路上矢印シールは受付での流れを一方向に促すとともに、連続した動線での見学が可能となりました。また、より具体的できめ細かな案内を行えるよう、各所に昨年導入された物性研ブルゾンを着用したボランティアスタッフを増員させました。全てのセッティングを前日までに完了させ、当日を迎えました。



図4：路上矢印シール

案内ポスター

図5は玄関前の様子です。当日は正面に大きな紫色の幕が張り出され、多くの人が立ち止まっていました。特に玄関右側に張り出された、物性研公式キャラクター(物性犬)の様々な表情(図5右下)は多くの人の目を奪い、興味をもたれ、記念写真のスポットになっていた気がします。

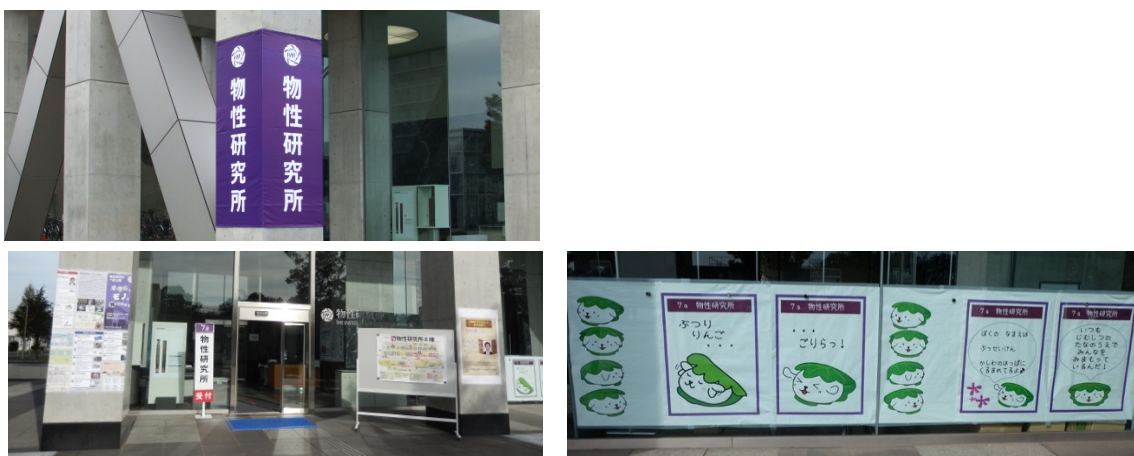


図5：物性研、玄関前の様子

一般公開の中身としては、図3のパンフレットにありますように、サイエンスカフェ、ガイドツアー(体験企画・展示)、公開実験クイズ、わたしと図書館2016、を中心に公開されました。

サイエンスカフェ(図6)では、「量子力学の不思議な世界」をテーマに、山下穰准教授に講話していただきました。図6はサイエンスカフェの様子です。テーマを頂いた当初は、正直、硬い物理を連想させ、少し不安がありました。蓋を開けると多くの方に来場いただき、客席の追加ではまかないきれない立ち見が出るほどの盛況ぶりでした。講演内容は量子現象の具体的な例を身近な事象で例えた説明は私自身改めて認識させられる部分が多々あり多くの刺激を受けました。講演後は多くの質問があり途中で遮らないといけない事もしばしばでした。終了後も1時間近くの個別質問が続きました。

山下先生には丁寧に对应いただき有り難うございました。改めて日本人の科学への興味の深さが感じられたサイエンスカフェでした。サイエンスカフェのもう一つの主役であるコーヒーも講演終了と共に売り切れ全てが終了となりました。

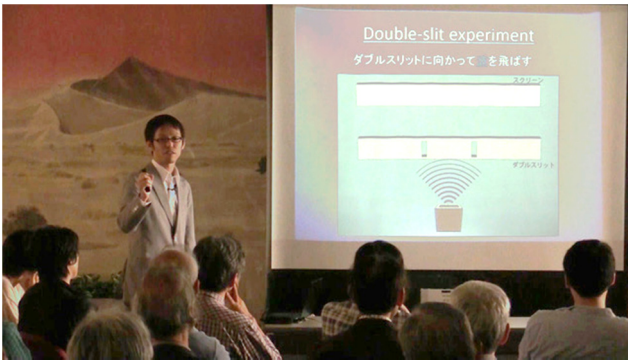


図 6：サイエンスカフェの様子



図 7：ガイドツアー出発前の様子

ガイドツアーは、21日の午後1回、22日に3回の計4回、公開実験クイズ後の時間帯を利用する形で、11の企画を3グループに分け、ボランティアスタッフによる引率にて行われました。図7は、出発前のガイドツアーに集まった人々です。多くの方に参加頂き、臨時にツアーを組まなければならないこともしばしばありました。

物性研究所 一般公開 ガイドツアー-2016



ようこそ東京大学物性研究所へ。
物性研究所のスタッフが最先端の研究現場へご案内いたします。

<p>開始時刻: 10月21日(金) 15:00 (各1時間程度) 10月22日(土) 11:00, 13:30, 15:00</p> <p>集合場所: 物性研究所A棟[建物番号7a] 1階受付裏</p>	 <p style="font-size: small;">A棟1階の平面図</p> <p>●←ガイドツアー集合場所 受付</p>
--	---

Aコース「光とナノの世界」

11 光とレーザー (7d) 極限コヒーレント光科学研究センター
レーザーで遊ぼう!

1 原子分子をみて動かす表面ナノサイエンス (7a6階) 小森研究室
原子分子をみてみよう

9 かたちと量子 (7c) 長田研究室
量子の縞模様を見てみよう!

3 スピンにさわって感じよう! (7a6階) 大谷研究室
スピンの気で不思議体験!? 物体の自転運動を体験しよう!

Bコース「極限を識る」

8 低温とあそぼう (7b) 低温液化室
「低温」の不思議な世界を体験!

10 世界最強磁場の秘密 (7c、7k) 国際強磁場科学研究施設
世界最強の磁場を発生するマグネットや電源が見られる磁場発生を体験できる

7 超高压の世界 (7b) 上床研究室
氷が沈む!?

Cコース「物性科学を楽しもう」

4 物性科学とスーパーコンピュータ (7a6階) 計算物質科学研究センター
スパコンを間近に見てみよう

2 ミクロな磁石がつくる世界 (7a6階) 榊原研究室
ちっちゃな磁石が繰り広げる世界をほんの少しだけご紹介します。

6 目で見える物性理論 (7a6階) 物性理論研究部門
チョコレートをたくさんつまよう

5 ミネラルモンスター「ルビー&サファイア」 (7a6階) 廣井研究室
ゆめとぼうけんとであいにみちたミネラルモンスターのせかいへ

※ 内の数字は、各企画の部屋番号に対応しています(物性研リーフレットを参照)

図 8：ガイドツアーのパムフレット

図 8 はガイドツアーのパンフレットです。今年は、11 テーマの企画・展示が集まりました。企画・展示共に多くの見学者の訪問により、皆さん忙しく対応されていました。

A 棟 6 階では、「原子分子をみて動かす表面ナノサイエンス：ナノスケール物性研究部門」、「ミクロな磁石がつくる世界：榊原研究室」、「スピンにさわって感じよう！：大谷研究室」、「物性科学とスーパーコンピューター：附属物質設計評価施設物質設計部」、「ミネラルモンスター〜ルビー&サファイア〜：廣井研究室」、「目で見る物性理論：物性理論研究部門」の各企画・展示が行われました。

図 9 は企画・展示の様子です。



図 9 ガイドツアーの様子(左上)、「ミネラルモンスター〜ルビー&サファイア〜：廣井研究室」(右上)、
「物性科学とスーパーコンピューター：附属物質設計評価施設物質設計部」(真ん中)、「低温とあそぼう：低温液化室」(左下)、「世界最強磁場の秘密：附属国際超強磁場科学研究施設」(右下)



大講義室では丁度ガイドツアーが訪れ、スピンを見て触っている様子が窺われています。また、3D プリンターによる構造模型の出来映えは目を見張るモノでした。

B 棟では、「超高压の世界：上床研究室」、「低温と遊ぼう：低温液化室」の企画・展示が行われました。低温と遊ぼうでは、液体窒素に直に触れる事が出来、子供から大人までみんな 1 つになり楽しんでいました。体験する事の素晴らしさを実感出来たと思います。

当頂いた原沢あゆみ委員(技術専門職員：附属極限コヒーレント光科学研究センター)、リーフレットおよびクリアファイル暗号作成を担当頂いた森田悟史委員(助教：附属物質設計評価施設)、企画募集および会場割り振りを担当頂いた近藤猛委員(准教授：附属極限コヒーレント光科学研究センター)、ガイドツアーおよびボランティア割り振りを担当頂いた秋山英文委員(教授：附属極限コヒーレント光科学研究センター)、公開実験クイズを企画担当頂いた鈴木博之委員(ISSP URA)、各委員の辣腕が発揮された良い一般公開になりました。また、実際の開催にあたり 1 年を通して準備を頂いた、矢作直之事務長、岩村ときわ副事務長、鈴木貴博専門員、矢口隆紀係長、竹山牧子主任、瀧澤悠一般職員および関係された事務の方々には心より感謝いたします。お陰様で私は、終始ハイと返事するだけで無事終えることが出来た気がしております。チーバ君も両日駆けつけて頂き盛り上げて頂きました(図 11 参照)。有り難うございます。



図 11：チーバ君が駆けつけてくれたときの様子

最後になりますが、物性研の皆さんのご協力に改めて感謝いたします。来年度(平成 29 年度)は、山室修委員長の下で進行します。さらなる協力を頂ければ幸いです。どうぞよろしく願いいたします。



物性研究所短期研究会

「原子層上の活性サイトで発現する局所機能物性」の報告

日時：2016年12月20日（火）13:00～12月21日（水）15:30

場所：物性研究所 本館 6階 大講義室(A632)・ラウンジ



主催：東京大学物性研究所

共催：科研費新学術領域「3D 活性サイト科学」「原子層科学」

研究提案代表者：大門寛(奈良先端大)

共同提案者：齋藤理一郎(東北大)、木下豊彦(JASRI)、長田俊人(物性研)

最近の物性研究の発展は、省エネ、持続的社会的実現を目指すための新機能材料創出と密接に結びついている。それらに関わる、半導体デバイス、磁性物質、電池電極材料など様々な応用材料の機能の発現には、3次元の周期構造を持つバルクとしての物性だけでなく、ドーパントなどの活性サイト構造に基づく物性の理解が重要である。また、最近ではグラフェンの発見後、単原子層や数原子層薄膜及び表面・界面の2次元物質で発現する機能もまた、応用も視野にいられた研究が大きく進展している。このような局所領域まわりのゼロ次元から2次元の物性研究は、その重要性にもかかわらず、3次元の周期を持たないため構造解析が実験的に困難であった。今後の発展のためには、原子構造観測手法の発展、実験的根拠に基づく理論研究の発展と、それに基づく物質開発を広く行っていく必要がある。観測手法に関しては、走査型のプローブ顕微鏡が局所構造や物

性の測定に有効であるが、原子配列の3次元構造は測定できない状況であった。最近、日本で開発されたいくつかの原子分解能ホログラフイー技術が実用段階に至り、着目している原子の周りの3次元的な原子配列が可視化できるようになっている。現在、本企画のテーマである局所機能物性に関連した新学術領域（「3D 活性サイト科学」と「原子層科学」）が走っており、多くの物性研究者が参加している。本短期研究会では、両領域に参加している研究者のみならず、関連する研究者が一堂に会して、関連の機能性物質開発、デバイス応用、観測手法の発展、理論との競合、などが議論され、共同研究の種をお互いに見出し、新しいサイエンスの芽を生み出す可能性を共有することができた。参加者は、登録していない物性研の所員の方も参加され、90名程度で活発に行われた。



●プログラム

12月20日(火)

13:00~13:05 副所長挨拶 小森文夫(物性研)

●Session 0: 3D 活性サイト科学と原子層科学 座長: 木下豊彦(JASRI)

13:05~13:25 大門寛(奈良先端大):

3D 活性サイト科学の紹介と原子層科学との接点

13:25~13:45 齋藤理一郎(東北大):

原子層科学の紹介と3D 活性サイト科学との接点

●Session 1: 3D 活性サイトの先端観測手法 座長: 木下豊彦(JASRI)

13:45~14:15 松井文彦(奈良先端大):

光電子ホログラフィーの原子層科学への応用

14:15~14:40 林好一(名工大):

蛍光X線ホログラフィーの最近の応用と原子層観測への可能性

14:40~15:05 若林裕助(阪大):

CTR 散乱法による非破壊・深さ分解表面構造解析

15:05~15:30 郷原一寿(北大):

グラフェン上への単原子分散と電顕による吸着サイトの原子分解能イメージング

15:30~15:50 室隆桂之(JASRI):

マイクロビーム光電子分光法の開発

●Session 2: 原子層の設計・合成・評価 座長: 長田俊人(物性研)

16:05~16:25 楠美智子(名大):

均質グラフェン・新規原子層合成と提供活動

16:25~16:45 上野啓司(埼玉大):

層状カルコゲナイドの単結晶合成とデバイス応用

16:45~17:05 斉木幸一朗(東大):

グラフェン化学気相成長核形成サイトのリアルタイム観察

17:05~17:25 劉崢(産総研):

ステップエッジからのグラフェン面内成長その場観察

17:25~17:45 中村潤児(筑波大):

窒素ドープカーボン燃料電池触媒の活性サイト

17:45~18:05 福村知昭(東北大):

異常原子価 Bi 正方格子を含む層状酸化物の超伝導

18:05~18:25 岡田晋(筑波大):

原子層ナノ構造物質複合系の電子状態計算

18:30~20:30 ポスターセッション&懇親会(物性研本館6階ラウンジ)

●ポスターセッション

P1 大山研司(茨城大院理工):

白色中性子ホログラフィーによるBドープSiの局所構造解明



- P2 田中慎一郎 (阪大産研) :
Direct probe of the electron-phonon coupling among the empty states in graphite by means of the high-resolution electron energy loss spectroscopy
- P3 井岡賢志 (岡山大院自然) :
鉄系超伝導体 Pr ドープ CaFe_2As_2 の蛍光 X 線ホログラフィー法による局所構造解析
- P4 内富直隆 (長岡技術科学大学) :
蛍光 X 線ホログラフィー顕微鏡を用いた $\text{ZnSnAs}_2\text{:Mn}$ 薄膜の Mn 活性サイト局所構造の直接観測
- P5 森川良忠 (阪大院工) :
First Principles Analysis of Adsorption Geometry and Electronic Properties of Monolayer Naphthalene on Graphene
- P6 吉田善紀 (奈良先端大) :
光電子回折法による $\text{MoSe}_2(0001)$ 表面の局所構造解析
- P7 中埜彰俊 (名大院工) :
 Eu^{2+} 付活ハロリン酸赤色蛍光体の放射光粉末 X 線構造解析
- P8 田縁俊光 (東大物性研) :
薄膜グラファイトにおける磁場誘起電子相転移の層数依存性
- P9 大澤尚幸 (東大物性研) :
アクセプタをドープした SrTiO_3 における光励起電気伝導特性
- P10 永井 豪 (首都大) :
溶液 XAFS 手法を用いる分子触媒の活性サイト解析: パナジウム触媒によるエチレン二量化・重合
- P11 小幡誠司 (東大新領域) :
 CH_4/H_2 プラズマを用いた酸化グラフェンからの高結晶性グラフェン合成
- P12 佐藤駿介 (筑波大) :
フェナセンの電子状態と分子間相互作用
- P13 嶽 太輔 (奈良先端大) :
光電子回折分光法による Rh ドープ SrTiO_3 光触媒の原子構造解析
- P14 久保利隆 (産総研) :
2次元層状物質の原子層レベルでの薄層化と SPM 評価
- P15 前田崇博 (筑波大) :
カルコゲノフェン系新規有機半導体材料の第一原理計算
- P16 細川喜久 (東大物性研) :
Rh ドープ SrTiO_3 薄膜の成膜条件の最適化
- P17 深津裕一郎 (名工大) :
逆光電子ホログラフィーの Pt 薄膜試料への応用
- P18 田尻寛男 (JASRI) :
透過 X 線回折による $\text{Si}(111)\text{-}7\times 7$ 上ビスマス初期成長過程のその場観察
- P19 前田恭吾 (東工大) :
ヒドロシリル化反応に高活性を示す Rh 錯体-第三級アミン固定化触媒の構造解析
- P20 季子祐太郎 (筑波大) :
[n]フェナセンの結晶構造についての第一原理計算
- P21 吉信淳 (東大物性研) :
シリセン/ $\text{ZrB}_2/\text{Si}(111)$ 表面における NO の吸着と熱反応過程

- P22 松浦賢太朗 (東工大) :
硫黄雰囲気硫化プロセスによるスパッタ MoS_2 薄膜のキャリア密度低減
- P23 遠藤彰 (東大物性研) :
SiC 上エピタクシャルグラフェンの磁気輸送
- P24 米田允俊 (奈良先端大) :
スパッタ法で作製された MoS_2 薄膜の RHEED と光電子分光による評価
- P25 比嘉友大 (奈良先端大) :
角度分解光電子分光を用いたサブバンド測定によるイオン打ち込み Si(001)の反転層ポテンシャル勾配及び活性ドープメント濃度の評価
- P26 安藤淳 (AIST) :
機能性原子薄膜を用いたセンシングデバイス
- P27 藤田善樹 (奈良先端大) :
光電子回折法による 4H-SiC の表面終端局所構造の面方位依存性
- P28 中田彩子 (NIMS) :
金ナノ粒子触媒の構造及び電子状態に関する大規模第一原理計算
- P29 吉村健太 (東大物性研) :
有機ディラック電子系の電荷秩序相における金属状態
- P30 廣瀬康平 (東大物性研) :
黒リン超薄膜 FET 素子の高移動度化と量子振動の観測

12月21日(水)

●Session 3 : 活性サイトの観測 座長 : 松井文彦 (奈良先端大)

- 09:00~09:25 佐々木裕次 (東大) :
生体物質の活性サイトのイメージング
- 09:25~09:45 工藤一貴 (岡山大) :
蛍光 X 線ホログラフィーによる局所構造解析を利用した鉄系超伝導体の物質開発
- 09:45~10:05 筒井一生 (東工大) :
デバイス高性能化に向けた Si 中ドープメントサイトの研究
- 10:05~10:25 永村直佳 (NIMS) :
3D ナノ ESCA による低次元系デバイスの局所電子状態
- 10:25~10:45 山田容子 (奈良先端大) :
ナノリボンボトムアップ合成

●Session 4 : 原子層の局所分光 座長 : 町田友樹 (東大)

- 11:00~11:20 重川秀実 (筑波大) :
光励起 STM による TMD ヘテロ界面の局所分光
- 11:20~11:40 加藤俊顕 (東北大) :
単層 WS_2 における原子・分子の局所・選択的付加による局在励起子の観測
- 11:40~12:00 矢野隆章 (東工大) :
原子層物質表面の近接場ナノ分光計測
- 12:00~12:20 柳和宏 (首都大) :
原子層の近接場分光と電界効果



●Session 5: 伝導物性と素子応用 座長：上野啓司（埼玉大）

- 13:30~13:50 町田友樹（東大）：
ファンデルワールス接合における量子輸送現象
- 13:50~14:10 若林整（東工大）：
MoS₂のデバイス応用
- 14:10~14:30 長汐晃輔（東大）：
2次元電子デバイスのギャップエンジニアリングと信頼性評価
- 14:30~14:50 塚越一仁（NIMS）：
自己形成ヘテロ構造原子膜半導体の伝導特性

14:50~15:20 自由討論 進行：齋藤理一郎（東北大）

15:20~15:30 まとめ 大門寛（奈良先端大）



物性研究所短期研究会

「走査トンネル顕微鏡による物性研究の現状と展望」 の報告

期間：平成 28 年 10 月 31 日(月)13:00~11 月 1 日(火)18:00

場所：東京大学物性研究所大講義室

ナノスケール物性研究部門 長谷川幸雄

平成 28 年 10 月 31 日(月)と 11 月 1 日(火)の 2 日間にわたって、物性研究所 A 棟 6 階大講義室において、物性研究所短期研究会「走査トンネル顕微鏡による物性研究の現状と展望」が開催された。

走査トンネル顕微鏡(STM)は、ナノスケールでの表面構造の観察と同時に局所領域における電子状態・励起スペクトル測定を可能とする手法として、物性研究に大いに利用されている。関連計測技術の進展による測定条件・環境の多様化に伴い研究対象も広がり、表面科学はもとより、超伝導・磁性体や分子系、最近ではグラフェンを始めとする層状物質、トポロジカル絶縁体など、さまざまな研究分野への展開が進行している。一方で、共通の実験手法・装置を使用しているにもかかわらず、それぞれの研究成果を発表する学会が分散しており、互いのサイエンスや計測技

術のノウハウを共有する機会が無いのが現状である。そこで、STM を用いた物性研究の第一線で活躍している国内研究者を一堂に集め、それぞれの分野での最先端の研究内容を紹介していただくとともに、討論を通じた情報交換・ノウハウ共有の場を提供することが当該分野のみならず我が国の物性研究全般の発展に極めて重要と考え、本短期研究会を企画した。

提案者は、花栗哲郎(理研)、米田忠弘(東北大多元研)、重川秀実(筑波大数理物質系)、小森文夫(東大物性研)、金 有洙(理研)であり(敬称略)、長谷川(物性研)が代表兼世話役を務めた。

プログラムは以下のとおりで、24 件の依頼講演、39 件のポスター発表の合計 63 件の発表が行われた。



物性研究所短期研究会

「走査トンネル顕微鏡による物性研究の現状と展望」

期間：平成 28 年 10 月 31 日(月) 13:00～11 月 1 日(火) 18:00

場所：東京大学物性研究所大講義室

プログラム

10月31日(月)

12:50- 研究会趣旨説明 (長谷川幸雄)

座長 今田 裕/岡 博文

13:00 重川 秀実 (筑波大数物系) 「光と STM を組み合わせること」

13:30 片山 郁文 (横国大工) 「探針増強テラヘルツ電場による超高速・ナノスケール電子制御」

14:00 奥山 弘 (京大理) 「STM 探針とベンゼン環の界面制御」

14:30 岡林 則夫 (金沢大数物) 「STM と AFM の融合による規定された条件下でのトンネル電流の計測」

座長 幸坂 祐生

15:10 西田 信彦 (豊田理研) 「渦糸ダイナミクスの STM 測定と H-T 相図」

15:40 黒澤 徹 (北大理) 「STM/STS からみた銅酸化物高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ の擬ギャップと電荷秩序」

16:10 浴野 稔一 (広大総合科学) 「鉄セレン系超伝導及び母物質の STM/STS と BJTS によるギャップ分光」

座長 内橋 隆

17:00 笠原 裕一 (京大理) 「重い電子系人工超格子による磁性および超伝導の制御とエピタキシャル薄膜における *in situ* STM 測定」

17:30 平原 徹 (東工大理) 「トポロジカル絶縁体/磁性絶縁体超薄膜ヘテロ構造: 磁化によるディラックコーン変調に向けて」



18:00 ポスターセッションおよび懇親会（物性研本館 6 階）

- P1 福田 常男 (阪市大工) 「2 次元 CuNi 合金の STM 観察—スピノーダル分解の直接観察の可能性—」
- P2 柄原 浩 (福岡大) 「Si(111)7×7 表面上でのホモエピタキシーの微視的機構：高温その場 STM 観察の重要性」
- P3 山田 正理 (東大物性研) 「Cu(001)面上に形成した六方構造鉄窒化膜の構造モデル」
- P4 楊 昊宇 (奈良先端大) 「エタノール飽和吸着 Si(111)7×7 表面への Fe 初期吸着」
- P5 宮崎 洋記 (東大新領域) 「室温 STM を用いた Au ナノクラスターの作製とその特性評価」
- P6 鈴木 孝将 (福岡大) 「Si(111)- $\sqrt{7} \times \sqrt{3}$ -In 表面上への TCNQ 吸着による表面構造相転移」
- P7 寺崎 航平 (横浜市大) 「生体分子の単一分子 STM 観察を目指したエレクトロスプレー蒸着法の構築」
- P8 岩田 孝太 (東大新領域) 「室温 AFM による Si(111)-(7×7)表面上の有機分子の観察」
- P9 塩足 亮隼 (東大新領域) 「原子間力顕微鏡によるアズレン—フルバレン転位反応の高分解能測定」
- P10 Yu Wang (東北大多元研) 「STM Observation of Temperature Dependent Phase Transition of All-Trans-Retinoic Acid (ReA) on Au(111)」
- P11 Nguyen Tat Tung (東北大多元研) 「Dopamine molecule on several substances: SPM study」
- P12 湊 丈俊 (京大) 「金属酸化物の欠陥が創成する物性」
- P13 柳生 数馬 (福岡大) 「Pd のインターカレシヨインによる電氣的に中性なグラフェンの生成」
- P14 久保 利隆 (産総研) 「プローブ顕微鏡を用いた層状物質材料の評価」
- P15 安藤 淳 (産総研) 「機能性原子薄膜デバイス研究におけるプローブ顕微鏡利用」
- P16 田中 友晃 (東工大) 「単一ユニットセル FeSe の構造と電子状態:STM/STS 観察」
- P17 Hung-Hsiang Yang (東大物性研) 「Protecting Topological Surface State by Organic Monolayer」
- P18 岩谷 克也 (理研) 「高絶縁性トポロジカル絶縁体上に形成した Pb 薄膜の STM 観察」
- P19 山本 駿玄 (東大物性研) 「Ag(111)表面上に物理吸着した酸素分子の磁性」
- P20 服部 卓磨 (東大物性研) 「STM による Cu(111)面上の窒化鉄単原子層膜の形成過程と構造の観察」
- P21 高山 あかり (東大理) 「走査トンネル分光測定による(Tl, Pb)/Si(111)表面超構造における超伝導の観測」
- P22 吉澤 俊介 (NIMS) 「走査トンネル分光法による Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ} の非平衡渦糸観測」
- P23 藤澤 唯太 (東理大理) 「STM/STS による CrSe₂ における軌道秩序の直接観察の試み」
- P24 水田 崇聖 (北大理) 「STM/STS による銅酸化物高温超伝導体 Bi₂212 の局所電子状態の観察」
- P25 杉本 暁 (広大総合科学) 「頂点フッ素系多層銅酸化物超伝導体における不均一ギャップの温度変化」
- P26 志賀 雅亘 (九大院工) 「点接合アンドレーフ反射法を用いた超伝導体/CeB₆ の微分伝導度測定」
- P27 高田 弘樹 (九大院工) 「金属ナノコンタクトへの低温水素吸蔵と共鳴トンネル現象」
- P28 勘原 宏大 (北陸先端大) 「YIG 球を用いた走査磁気共鳴プローブを用いた磁気センシング」
- P29 岩田 景子 (北陸先端大) 「ダイヤモンド中の NV 中心を用いた走査磁気センシングプローブの開発」
- P30 Dwi Prananto (北陸先端大) 「Detection and Imaging of Stray Magnetic Field from Magnetic Particle with an Ensemble of Nitrogen Vacancy Center in Diamond」
- P31 浜田 雅之 (東大物性研) 「Si(111)-(7×7)表面上の位相境界における電気伝導評価」
- P32 杉田 佳弘 (筑波大) 「単一分子接合形状の 3 次元動的制御とコンダクタンス計測」
- P33 汪 子涵 (筑波大) 「Ultrafast Carrier Dynamics in MoS₂ Probed by Time-resolved Multi-probe Scanning Tunneling Microscopy」
- P34 大畑 慧訓 (奈良先端大) 「XSTM/STS による劈開 Si-MIS のゲート電圧印加時におけるバンド湾曲測定」
- P35 今田 裕 (理研) 「STM 発光分光法を応用した単一分子吸収スペクトル測定」
- P36 幸坂 祐生 (理研) 「準粒子干渉におけるスピン軌道散乱」
- P37 町田 理 (理研) 「17.5T-強磁場極低温走査型トンネル顕微鏡の開発と評価」
- P38 蛭沢 貴 (東大物性研) 「超低温・面内強磁場 STM の開発」



P39 吉信 淳 (東大物性研)

「水素雰囲気中におけるPd(110)表面のオペランドSTM観察: 水素吸着・吸蔵による表面再構成とモルフォロジーの変化」



11月1日(火)

座長 長谷川 幸雄/黒澤 徹

- 9:00 土師 将裕 (京大理) 「スピン偏極STMを用いたW(110)上のMn薄膜のらせん磁気構造のカイラリティ評価」
- 9:20 吉田 靖雄 (東大物性研) 「表面において誘起される軌道秩序の実空間観察」
- 9:40 内橋 隆 (NIMS) 「有機分子を用いた超伝導・ナノメカニクス制御」
- 10:10 坂田 英明 (東理大理) 「遷移金属ダイカルコゲナイドにおけるモット状態の融解」

座長 岡田 佳憲

- 11:00 花栗 哲郎 (理研) 「分光イメージングSTMによる非従来型超伝導体FeSeの研究」
- 11:30 長谷川 修司 (東大理) 「パリティの破れた原子層超伝導」
- 12:00 岡 博文 (東北大多元研) 「スピン偏極STMによる強磁性Co ナノアイランドのスピン分解バンド構造の測定」

座長 平原 徹/吉田 靖雄

- 13:30 井上 博之 (プリンストン大) 「ワイル半金属TaAsにおける表面-バルク結合性の検出」
- 14:00 岡田 佳憲 (東北大WPI) 「遷移金属酸化物薄膜のSTM/STS計測」
- 14:30 高木 紀明 (東大新領域) 「吸着分子が示す近藤効果について」
- 15:00 河江 達也 (九大工) 「トンネル効果による金属内への水素吸蔵・拡散と生成水素化物の物性解明」

座長 岩谷 克也/高木 紀明

- 15:50 金 有洙 (理研) 「分子間エネルギー移動の実空間計測」
- 16:20 蟹澤 聖 (NTT) 「化合物半導体表面における原子操作の電子過程」
- 16:50 米田 忠弘 (東北大多元研) 「単一分子レベルのスピン測定・制御」
- 17:20 小森 文夫 (東大物性研) 「SiC(0001)表面上のナノファセットに形成したグラフェンの局所電子分光」

講演およびポスター発表も、物性研内外の多くの聴衆・参加者を集めて、概ね盛況であった(参加者数：初日 99 名、二日目 100 名)。

今回発表された研究の中で特筆すべき事としては、光と組み合わせた STM 研究において著しい進展が見られ、日本が主導するいくつかの成果が報告されたことであろう。ポンププローブによる時間分解 STM や、それを見据えた TH_z パルスとの融合、さらにはレーザー照射による単分子からの発光の検出など、驚くべき成果が得られており、今後の STM 研究の一つの柱となりつつあることを実感させた。一方、ナノスケール・原子スケールでの磁化・スピン方向を明らかに出来ることから、物性研究においては重要な手法となり得るスピン偏極 STM に関しては、国内でも優れた研究成果が報告されはじめ、その技術が定着したことを感じさせた。

研究対象の側面から見ると、本研究会でも議論されたグラフェン等の二次元物質やトポロジカル絶縁体・ワイル半金属に関する研究は、昨今の物性研究の潮流であり、STM では必ずしもその特性をそのままプローブできる訳ではないものの、益々その研究対象を拡げている印象である。一方、超伝導に関しては、ギャップ測定による局所評価が直接可能なことから、非従来型超伝導体を中心に低温・磁場下での局所計測が展開されている。また、STM を駆使して原子・分子を操作しその物性を探る研究もその制御性の高さが感じられ、その技術の進歩に目を見張るべきものがあつた。

また、今回の研究会で網羅出来なかった関連分野としては、原子間力顕微鏡(AFM) が挙げられる。AFM においても、力の検出感度が向上するとともに、水晶振動子の導入により扱いが容易になり極限環境における計測も行われるようになってきている。探針制御技術も進み、探針先端に CO などの単分子を吸着させることで探針への力の及ぶ範囲を絞り込むことによって、空間分解能を飛躍的に高める研究などが進められている。物性研究、特に磁性体や量子スピン系材料には、伝導性が低いものが少なくないことから、近い将来こうした物性研究に AFM が適用され、原子スケールでの構造・スピン物性が解明されるものと期待される。今回は議論を拡散させないために、敢えて STM に限定した研究会としたが、今後も物性研究との絡みからその進展を注視していきたい。

今回、STM による物性研究をキーワードとして、さまざまな分野の研究者に声をかけ、講演をお願いしており、通常の学会・研究会では会うことのない研究者同士の交流を喚起できたのではと思われる。STM 研究の応用範囲が

益々拡がり、その学際的な交流の中から新奇の研究提案が芽生え、ユニークな成果に繋がる。この研究会がそんな流れを引き起こす一翼となっていれば、存外の喜びである。



JRR-3 の必要性を十分に議論した上で、物性研、JAEA 研究炉部、東北大が協力的にワーキンググループを作る必要があるとの指摘がなされた。三軸分光器の性能向上が見込めることから、JRR-3 の積極的利用のための将来計画ワーキンググループを作るべき、との指摘がなされた。また、現状に即した課題申請、実験受け入れ態勢、共同利用体制の見直しも必要であろうとの指摘もなされた。共同利用のあり方を見直しについては、人的資源の不足を補うために外部の協力が不可欠であること、JAEA と物性研の組織の壁を取り除くことを検討すべきである、などの意見が出された。

最後の総括では、KEK 物質構造研究所所長の山田和芳氏から、パルス中性子と定常中性子の相補利用により研究成果の最大化サイクルを回すことが重要である、とのコメ

ントがなされた。J-PARC センターMLF ディビジョン長の金谷利治氏からは、J-PARC と JRR-3 の間では試料環境、試料、人的交流などの流動性を持たせることが大切である、とのコメントがなされた。

参加者数は1日目が64名、2日目が49名であった。国内の主だった三軸分光器研究者、JRR-3 と関連の深い施設・分野の研究者による活発な議論が行われ、三軸分光器の重要性が再確認された。また JRR-3 将来計画のワーキンググループの策定が提案された。

参加者の方々には、連休と重なる日程であったにも拘わらず多数の方々にご出席いただいたことに、厚くお礼申し上げる。最後に、この研究会の運営に携わった中性子科学研究施設の事務・技術補佐員、学生、スタッフにもお礼を申し上げる。



プログラム

10月7日

13:00 施設長挨拶 柴山 充弘

セッション1 装置の高度化、装置担当者からの研究提案 座長 藤田

13:05 益田 隆嗣 東大物性研 「物性研三軸分光器の今後の方向性」

13:30 佐藤 卓 東北大 「原子炉中性子源における非弾性散乱研究の最近の展開」

13:55 金子 耕士 JAEA 「原子力機構三軸分光器群の展望と試料環境」

セッション2 利用者からの装置に対する研究提案 (1)

14:20 有馬 孝尚 東大新領域 「偏極非弾性散乱の意義：電気マグノンを例に」

14:50 木村 健太 大阪大 「特異な結晶構造を持つ磁性体の開拓と新奇量子磁性・電気磁気特性の探索」

休憩 15:15-15:25

セッション2 利用者からの装置に対する研究提案 (2) 座長 益田

15:25 李 哲虎 産総研 「鉄系超伝導体のスピン揺動」



- 15:45 山浦 淳一 東工大 「X線、中性子、ミュオンを協奏的に利用した物性研究-鉄系超伝導体を中心に」
- 16:05 目時 直人 JAEA 「磁性・強相関電子系分野における四軸自由度の導入」
- 16:20 安井 幸夫 明治大 「パイロクロア酸化物の磁気ダイナミクス」
- 16:40 佐藤 正俊 名古屋大 「三号炉での研究進展に対する期待」

休憩 17:05-17:20

セッション3 全体討議 座長 吉沢

17:20 セッション1、2の講演・議論に関する全体討議

コメント 遠藤 康夫

10月8日

セッション4 他施設、他の量子ビーム、計算物質科学との関係 座長 佐藤卓

- 9:00 梶本 亮一 J-PARC 「パルス中性子源と定常中性子源の相補利用とその現状」
- 9:20 石井 賢司 SPring8 「放射光共鳴非弾性X線散乱によるスピン・電荷励起」
- 9:40 和達 大樹 東大物性研 「放射光共鳴軟X線散乱で見た遷移金属酸化物の新しい磁気秩序」
- 10:00 加藤 岳生 東大物性研 「磁性体・強相関電子系の数値計算アプリケーションの現状」
- 10:20 髙本 亘 JAEA 「ミュオン実験から見た中性子との相補性」
- 10:40 門野 良典 KEK 「中性子散乱研究への期待—マルチプローブ研究の視点から」
- 11:00 藤田 全基 東北大 「中性子物性研究新時代へ」

休憩 11:20-11:35

セッション5 パネルディスカッション 司会 益田

11:35 JRR-3での研究推進に向けた将来計画策定について

セッション6 総括

- 12:05 山田 和芳
- 12:15 金谷 利治
- 12:25 おわりに



[k]

物性研究所談話会

標題：機械学習入門 – 科学者が機械学習に目覚めるとき –

日時：2017年2月23日(木) 午後4時～

場所：物性研究所本館6階 大講義室 (A632)

講師：大関 真之

所属：東北大学大学院情報科学研究科

要旨：

世界中で隆盛を極める人工知能、機械学習の発展、特に有名な、深層学習に興味を素朴に持っている人々も多いだろう。その中身は大量のデータから法則を抽出することにある。そう聞くと例えば物理学者はこれまでやってきた実験と理論の両輪による科学的営みそのものではないかと感じるだろう。物理学に限らず自然科学の多くはそうやって進めてきたはずだ。その意味で機械学習に興味を抱くのは自然なのだ。うまく扱うことでこれまで以上のスピードで研究を進めることができるはずだ。データから本質的な部分を見える形で取り出せる技術として重要視されるスパースモデリングを中心に、少ない情報から本質的な部分を明らかにすることで、大きな情報利得を得る圧縮センシングなど、今後のデータ駆動科学において重要なキーテクノロジーを紹介する。

備考：【講師紹介】 大関先生は、有限次元スピングラス理論など統計力学を軸とした理論物性研究に加えて、機械学習・データ駆動科学・ビッグデータといった分野への研究活動を積極的に展開されている若手研究者です。また、「機械学習入門」「量子コンピュータ」「人工知能」等に関する一般向けの本も執筆されており、その解り易い解説にも定評があります。今回の談話会では、まずは「機械学習」とは何か、そして、この技術が物性研究へいかに展開されて行くか、その展望について語っていただきます。当該分野の動向を探る上での絶好の機会と言えるでしょう。

標題：物性研談話会&森野レクチャー「Molecular Surface Science: Uncovering Reaction Mechanisms in Electronics and Catalysis」

日時：2017年3月13日(月) 午前11時～午後0時

場所：東京大学 柏図書館メディアホール

講師：ステイシー・ベント教授

所属：スタンフォード大学化学工学科

要旨：

Surface and interface science serves as the foundation for numerous applications, ranging from microelectronics to bio-sensing to heterogeneous catalysis. Surface chemistry thus informs important technologies of today that drive multibillion dollar industries, and understanding the fundamental chemistry at a molecular level is key to future advances. This talk will examine my group's studies of molecular surface science in two key areas: electronics and catalysis.

On the topic of electronic materials, I will describe our work on the adsorption of organic molecules at semiconductor surfaces, aimed at the ultimate goal of controlling the chemical and electrical properties of these hybrid systems. The presentation will examine model systems of molecular adsorption on the Ge(100)-2×1 surface using a combination of experimental and theoretical methods. The reactivity of different functional groups will be described, with particular focus on reactions of bi- and trifunctional molecules. The results help elucidate the way in which the molecular structure as well as the identity of the reactive moieties affects the product distribution of the molecules upon adsorption.

On the topic of heterogeneous catalysis, I will describe recent studies on supported metal catalysts for the conversion of synthesis gas ($\text{CO} + \text{H}_2$) to synthetic liquid fuels and high-value chemicals. The interactions between the metal, the support and promoters, and adsorbed reaction intermediates are of particular interest. Experimental and theoretical studies provide strong evidence of structure sensitivity in syngas conversion on Rh catalysts. Further, atomic layer deposition is applied as a method to achieve atomic scale catalyst design, allowing study of the important effects of promoters and supports, which strongly influence the performance of Rh catalysts. Our results show that the activity and selectivity is highly sensitive to the identity as well as the placement of the promoters, and in situ spectroscopy combined with theoretical calculation helps provide a mechanistic understanding of the relationship between surface reaction intermediates and the desired products.

物性研究所セミナー

標題：理論セミナー：Self-organization of Golgi body during mammalian cell division

日時：2017年1月16日(月) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：立川 正志

所属：理化学研究所

要旨：

Our (eukaryotic) cells have a complex structure consisting of various organelle; cellular subunits made of lipid membrane. Organelle allows cells to carry various chemical reactions in parallel, to realize complex cellular functions and to construct complex multicellular organisms. However, because of the small size, the organization mechanism of the cellular complex structure remains elusive. In this study, we consider organization of Golgi body; a membrane-bound organelle working as the hub of the cellular logistics. Golgi body has a characteristic morphology; several flattened of lipid membrane sacs (cisternae) stacking to each other. At the cell division in mammalian cells, Golgi body is newly formed from assembly of small vesicles. We adopted dynamical triangulation method for coarse graining of membrane performed Monte-Carlo simulation to reproduce the Golgi organization process. We found that the control of membrane fusion based on local membrane structure is necessary to organize and maintain the fine Golgi-like shape. We also characterized the self-organization of fine Golgi-like shape via balances among three time scales of vesicle aggregation, membrane shape relaxation and membrane fusion.

標題：中性子セミナー：粉末中性子磁気構造解析の現状

日時：2017年1月17日(火) 午後2時～午後3時

場所：物性研究所本館6階 第2セミナー室 (A612)

講師：萩原 雅人

所属：物性研究所

要旨：

中性子回折法は磁性体の磁気構造決定において最も強力なツールである。従来数ミリオーダー以上の単結晶試料による弾性散乱測定により磁気構造が決定されてきたが、中性子線の出力や回折装置の高度化により微小単結晶でも解析できる十分なデータが得られるようになった。一方、結晶の方向の情報が失われる粉末試料においても、結晶の空間群の対称性を用いた磁気モデルの構築を利用することにより、磁気構造解析が結晶構造解析と同じく一般的なものになってきた。この背景には磁気既約表現によるモデリング[1]と、FullProf[2]や GSAS[3]等の Rietveld 粉末解析ソフト、VESTA[4]等の可視化ソフトとの密接な連携がある。最近では元の空間群との関係や、対称性と物理的性質のつながりを明確にする観点から、磁気空間群を用いた磁気モデルの構築が再評価されており、この支援環境も充実しつつある[5]。

本セミナーでは既約表現や磁気空間群による磁気構造解析の概要を示すとともに、実際にオークリッジ国立研究所の研究用原子炉 HFIR など測定された回折実験のデータをもとに、各支援ソフトを用いた磁気構造解析例を示す。

備考：

[1] Y. A. Izyumov and V. E. Naish, J. Magn. Magn. Mater. 12, 239 (1979).

[2] J. Rodriguez-Carvajal, Physica B 192, 55 (1993).

[3] A.C. Larson and R.B. Von Dreele, Los Alamos National Laboratory Report LAUR 86-748 (2000).

[4] K. Momma and F. Izumi (2011): J. Appl. Crystallogr., 44, 1272-1276.

[5] M. I. Aroyo, J. M. Perez-Mato, D. et al., Bulg. Chem. Commun. 43(2) 183-197 (2011).



標題：ナノサイエンスセミナー：Heat-/Electron-/Light-/Force-induced tautomerization in a single porphycene molecule

日時：2017年1月17日(火) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：熊谷 崇

所属：フリッツ・ハーバー研究所

要旨：

Tautomerization in a single organic molecule is a fascinating model to study hydrogen dynamics and has recently obtained increasing attention in the field of nanoscale science because the process resembles a single-molecule switch. We have studied tautomerization of porphycene (a structural isomer of free-base porphyrin) by using low-temperature scanning probe microscopy (LT-SPM). Porphycene exhibits particularly interesting tautomerization behavior due to its strong intramolecular hydrogen bonds, and the investigation with LT-SPM opens a unique opportunity for studies of hydrogen-bond dynamics at the single-molecule level. I will discuss direct observation and control of tautomerization in the porphycene molecule on metal surfaces induced by different external stimuli-heat, tunneling electron, light, and force.

標題：ナノサイエンスセミナー：Machine learning to physics: extracting information from imaging and spectroscopic data in microscopy

日時：2017年1月20日(金) 午後1時30分～

場所：物性研究所本館6階 大講義室 (A632)

講師：Dr. Rama K. Vasudevan

所属：Center for Nanophase Materials Sciences, Institute for Functional Imaging of Materials and Oak Ridge National Laboratory

要旨：

The past decade has seen enormous increases in the size and quality of datasets produced by techniques such as scanning probe microscopy and x-ray diffraction from synchrotrons globally. However, the necessary pathways to both mine the large datasets to derive understanding of fundamental mechanisms, as well as synthesize and compare the results across the wider available literature, are still generally limited. Here, I will present case studies involving our use of machine learning and deep data analysis of scanning probe microscopy datasets for understanding of physical mechanisms.

I will first outline the new suite of techniques that we have developed using scanning probe microscopy, which we term the "General mode" acquisition technique, that streams all of the information available from the measurement system (photodetector, current amplifier, etc.) to be captured and analyzed. This large increase in data volume allows for a wide variety of subsequent analysis, including data-driven filtering, digital lock-ins, and denoising. These techniques can greatly increase the acquisition speed by orders of magnitude for typical SPM experiments, such as in I-V curve acquisition on conductive oxides, and hysteresis loop acquisition for ferroelectrics.

Throughout the talk I will emphasize techniques to learn physics from the large datasets captured, including examples of endmember extraction, Bayesian inference, matrix factorization and convolutional neural networks that can be utilized to automatically learn appropriate features from images for classification, and from which subsequent physics is then derived by combining the information with first principles and thermodynamic models. These advances point to the big-data driven future of scanning probe microscopy as a vital tool for materials science researchers, as a means towards understanding local physics in complex material systems.

This work has been performed in collaboration with Suhas Somnath, Petro Maksymovych, Maxim Ziatdinov, Stephen Jesse, and Sergei V. Kalinin. The imaging and deep data analysis portion was sponsored by the Division of Materials Sciences and Engineering, BES, DOE. This research was conducted and partially supported at the Center for Nanophase Materials Sciences, which is a US DOE Office of Science User Facility.

標題：理論インフォーマルセミナー：First-principles design of magnetic topological insulators

日時：2017年1月20日(金) 午後3時30分～午後4時30分

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Prof. Arthur Ernst

所属：Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik, Germany

要旨：

It is a well known fact that a magnetic field can break the time reversal symmetry and therewith can destroy a topologically protected surface state in topological insulators. However, the interplay between magnetism and topological order can yield a number of interesting phenomena such as the quantum anomalous Hall effect, a topological magneto-electric effect, and quantised Kerr- or Faraday rotation. This motivates researcher for a search of new magnetic topological insulators and for an intensive study of their electronic and magnetic properties. In my talk, I'll give an overview of our first-principles investigations on this class of materials. In the first part, I'll present a method and approximations used in our simulations and then talk about several examples of magnetic topological insulators, studied in our group within the last three years. First of all, I'll discuss topological insulators doped with magnetic impurities, which can imply various magnetic order in these materials. A special attention will be devoted to the exchange interaction between magnetic impurities and to the impact of electron-magnon interaction on the electronic structure in some doped topological systems. As next, I'll demonstrate how some defects or impurities without magnetic moments can induce magnetism in topological insulators and discuss the main features of magnetic interactions in these systems.

標題：第二回量子物質セミナー：Antiferromagnetic spintronics - spin-transfer torque and spin-motive force

日時：2017年1月27日(金) 午後2時～午後3時

場所：物性研究所本館6階 第4セミナー室 (A614)

講師：山根 結太

所属：The Institute of Physics at Mainz University

要旨：

Louis Néel, who received Nobel Prize in Physics 1970 for his pioneering work on magnetic properties of solids, commented in his Nobel lecture that "They (antiferromagnets) are extremely interesting from the theoretical viewpoint, but do not seem to have any applications." More than 40 years after his winning the prize, now antiferromagnets seem to be finally finding their major applications in the field of spintronics; people are realizing that replacing ferromagnets involved in spintronic devices by antiferromagnetic materials can lead to downsizing of the devices as well as much faster operations. One of the difficulties in dealing with antiferromagnetic materials, however, comes from the absence of macroscopic magnetization, making it hard to control them by magnetic fields. In this talk, we will discuss two phenomena, spin-transfer torque and spin-motive force, which could provide a route to generate and detect dynamical antiferromagnetic textures by electrical means.



標題：理論セミナー：Toward accurate description of surfaces and interfaces

日時：2017年1月27日(金) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Ikutaro Hamada

所属：Center for Green Research on Energy and Environmental Materials, National Institute for Materials Science

要旨：

Accurate description of complex systems including heterogeneous interfaces, such as molecule/metal and solid/liquid interfaces is important in diverse fields, e.g., heterogeneous catalysis, molecular electronics, and electrochemistry, but it poses a challenge on the electronic structure method as it requires the accurate description of the different interactions on the same footing. I will discuss the van der Waals density functional (vdW-DF) [1,2] as one of the efficient approaches to describe complex interfaces and show that by appropriate design of the exchange and correlation functionals [3], it is possible to accurately describe wide range of materials, including graphene on metal surfaces [4].

References

[1] M. Dion, H. Rydberg, E. Schroder, D. C. Langreth, and B. I. Lundqvist, Phys. Rev. Lett. 92, 246401 (2004).

[2] K. Lee, D. D. Murray, L. Kong, B. I. Lundqvist, D. C. Langreth, Phys. Rev. B 82, 081101(R) (2010).

[3] I. Hamada, Phys. Rev. B 89, 121103 (2014).

[4] F. Huttmann, et al, Phys. Rev. Lett. 115, 236101 (2015).

標題：ナノスケール量子物質セミナー：二次元物質ファンデルワールスヘテロ界面における 電子・光・スピン・超伝導制御

日時：2017年2月2日(木) 午後1時30分～午後2時30分

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：守谷 頼

所属：東京大学生産技術研究所

要旨：

1原子層・1分子層の厚みでも安定に存在できる物質、それが二次元物質である。これらの物質は面直方向には結合手を持たないため、異なる物性、結晶構造、格子定数を持つ単結晶薄膜をファンデルワールス(vdW)力によって自由に積層した、vdWヘテロ構造の実現が可能である。我々はこれまでに様々なvdWヘテロ構造を作製し電子・光・スピン・超伝導分野との融合を目指してきた。

超伝導を示す二次元物質 NbSe₂ 同士を意図的にずらして積層させた vdW 接合においては超伝導体間の波動関数の結合が切れ、ジョセフソン電流が流れることを発見した。外部磁場による超伝導電流の位相変調に成功し、vdW 界面がジョセフソン接合として振る舞うことを見出した [1]。またグラフェン/NbSe₂ 構造においては、超伝導近接効果によりグラフェン内への超伝導ギャップの形成に成功した。

二次元の結晶構造はスピン依存伝導やスピン軌道相互作用の研究の場としても興味深い。我々は単原子層 h-BN トンネルバリアを介したスピン依存伝導や、グラフェンへのスピン注入、さらに二次元物質強磁性体とそのヘテロ構造の実現等の成果をもとに、二次元物質 vdW 界面におけるスピントロニクス技術の確立を目指している [2]。

グラフェンは状態密度が通常の金属と比べて極めて小さいため、グラフェン/MoS₂ ヘテロ接合においては界面のショットキー障壁の伝導が外部電界により、ほぼ絶縁からオーミックまで大きく変調されることを示した [3]。

その他セミナーでは二次元物質の持つ様々な可能性と展望についても紹介する予定である。

参考文献

- [1] N. Yabuki, R. Moriya et al., Nature Communications 7, 10616 (2016).
- [2] T. Yamaguchi, R. Moriya et al., Appl. Phys. Express 6, 073001 (2013); M. Arai, R. Moriya et al., Appl. Phys. Lett. 107, 103107 (2015); T. Yamaguchi, R. Moriya, et al., Appl. Phys. Express 9, 063006 (2016).
- [3] Y. Sata, R. Moriya, et al., Appl. Phys. Lett. 107, 023109 (2015); R. Moriya, et al., Appl. Phys. Lett. 106, 233103 (2015); T. Yamaguchi, R. Moriya, et al., Appl. Phys. Lett. 105, 223109 (2014); R. Moriya, et al., Appl. Phys. Lett. 105, 083119 (2014); R. Moriya, et al., ECS Trans. 69, 357 (2015).

標題 : Cathode lens electron microscopy

日時 : 2017 年 2 月 7 日(火) 午後 4 時~午後 5 時 30 分

場所 : 物性研究所本館 6 階 第 1 会議室 (A636)

講師 : Ernst Bauer

所属 : Department of Physics, Arizona State University

要旨 :

Cathode lens electron microscopy is a method for imaging surfaces and thin films with reflected or emitted low energy electrons. This talk will discuss the principles, possibilities and limitations of the various operation modes. They include the reflection modes low energy electron microscopy (LEEM) and mirror electron microscopy (MEM), the emission modes photo emission electron microscopy (PEEM) with UV, laser and synchrotron X-ray light excitation and Auger electron emission microscopy. Some of these operation modes give not only structural information but also magnetic information, making use of the spin dependence of the reflectivity or the circular dichroism in emission. Chemical information can be obtained with X-ray PEEM (XPEEM) and Auger electron emission microscopy (AEEM) via energy filtering. In addition to imaging most instruments allow also diffraction and spectroscopy. Combining several of these techniques a rather comprehensive characterization of surface and thin films on the 1 to 10 nm resolution level is possible, depending upon operation mode and instrument design. The ultimate resolution is limited by the long wavelength of low energy electrons to about 2 nm in aberration-corrected instruments.

The talk assumes familiarity with the basic physical processes involved in these imaging modes, such as electron diffraction, UV and X-ray photoelectron emission and Auger electron emission, in order to allow enough time for the illustration of their application with examples.

General reference: E. Bauer: Surface Electron Microscopy with Slow Electrons, Springer, New York, 2014

標題 : 理論セミナー : Rare-earth magnet

日時 : 2017 年 2 月 10 日(金) 午後 4 時~午後 5 時

場所 : 物性研究所本館 6 階 第 5 セミナー室 (A615)

講師 : 三宅 隆

所属 : 産業技術総合研究所、物質・材料研究機構

要旨 :

Rare-earth magnets are mainly composed of 3d transition metals (T) and rare-earth metals (R). The former yield large magnetization, while the latter are a source of strong magnetocrystalline anisotropy (at low temperature). Strong magnet compounds, such as Nd₂Fe₁₄B and Sm₂Fe₁₇N₃, contain a light element (X) as a third element. We will discuss the role of the X element in the magnetism of R-T-X systems. First-principles calculations [1] clarify that

the magnetic moment depends sensitively on X as a consequence of orbital hybridization between X-2p and T-3d. Crystal-field coefficients at the R sites are also affected by X. This suggests that magnetocrystalline anisotropy can be controllable by additive elements. We will also present a combined first-principles and classical spin model analysis of magnetocrystalline anisotropy at finite temperature [2,3,4].

- [1] Y. Harashima et al., Phys. Rev. B 92, 184426 (2015).
- [2] M. Matsumoto et al., J. Appl. Phys. 119, 213901 (2016).
- [3] Y. Toga et al., Phys. Rev. B 94, 174433 (2016).
- [4] T. Fukazawa et al., arXiv:1612.04478.

標題：理論インフォーマルセミナー：Finite-temperature magnetism of 4f-3d intermetallics: a set of ab initio studies

日時：2017年2月24日(金) 午後4時~午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：松本 宗久

所属：東京大学物性研究所

要旨：

Rare-earth permanent magnets are important materials both technologically and scientifically. They are used in traction motors of hybrid vehicles and power generators to provide a sustainable solution to the energy problem. In those industrial applications, a recent challenge has been to soften a high-temperature degradation of the magnetic properties. Engineering of microstructure to better control the extrinsic properties has been pursued while we propose an intrinsic solution spotting a key energy scale of an exchange coupling between the anisotropic 4f-electron cloud in rare-earth atom and the magnetically polarized 3d-electron bands coming from the Fe-group elements. A simplified spin model derived basically from first principles shows that a slight enhancement of 4f-3d exchange coupling helps in partially avoiding the temperature degradation of the magnetic properties around the room temperature or higher [1]. Calculated temperature dependence of magnetic properties in our ab initio spin model is not entirely consistent with experimental results [1,2] of which reason can be at least partially tracked down to the fundamental issue in describing the nature of delocalized electrons on the basis of localized degrees of freedom. Other independent ab initio finite-temperature calculations for rare-earth permanent magnet compounds [3] provide a cross-check with ab initio description of itinerant electrons within Korringa-Kohn-Rostoker (KKR) method for the electronic structure calculation combined with coherent potential approximation (CPA) [4]. Finite-temperature scaling analysis between magnetization and uni-axial magnetic anisotropy energy elucidates the common nature and a difference between a spin model description, ab initio KKR-CPA, and the experimental results. Thus rare-earth permanent magnet makes a good playground for solid-state physics to address the nature of localized and itinerant magnetism. Extensions of the present models toward a finite-temperature description of magnetization reversal processes pose another challenge in statistical physics, and are under progress with several different approaches in implementing a scale-bridging scheme [5].

References

- [1] MM, H. Akai, Y. Harashima, S. Doi, T. Miyake, J. Appl. Phys. 119, 213901 (2016).
- [2] Y. Toga, MM, S. Miyashita, H. Akai, S. Doi, T. Miyake, A. Sakuma, Phys. Rev. B 94, 174433 (2016).
- [3] MM, R. Banerjee, J. B. Staunton, Phys. Rev. B 90, 054421 (2014).
- [4] H. Shiba, Prog. Theor. Phys. 46, 77 (1971); H. Akai, Physica 86-88B, 539 (1977).
- [5] H. Sepehri-Amin, J. Thielsch, J. Fischbacher, T. Ohkubo, T. Schre, O. Guteisch, K. Hono, Act. Mater. 126, 1 (2017).

標題：凝縮系インフォーマルセミナー：Toward unified physics of quasi-one-dimensional organic superconductors: (TMTTF)2X in the metallic state (X=Br)

日時：2017年2月27日(月) 午後4時~午後5時

場所：物性研究所本館6階 第2セミナー室 (A612)

講師：Prof. Woun Kang

所属：Ewha Womans University, Seoul, Korea

要旨：

(TMTTF)2X is the sulfur analog of the well-known quasi-one-dimensional (Q1D) organic superconductor (TMTSF)2X and precedes it in the development of organic metals. Although they are metallic at room temperature, they undergo transitions into various insulating states at low temperature. While the insulating states deserved intensive study by themselves, efforts have been made to bring (TMTTF)2X to a metal at low temperature and to find superconductivity therein. Over a period of 14 years, superconductivity was confirmed in four members of (TMTTF)2X such as X=Br, PF6, AsF6, SbF6 under relatively high pressure. On the other hand, a generic phase diagram has been proposed to assume that the physics of the selenium and sulfur series must be treated on an equal footing. In an effort to support this idea, there has been a number of attempts to verify if the metallic state of (TMTTF)2X has indeed the same ingredients as those of (TMTSF)2X, but without much success until recently. In this study, we chose (TMTTF)2Br for a practical reason and studied the angular dependent magnetoresistance oscillations (AMRO) and the Hall effect under high pressure. Two of the most representative properties of Q1D metals, three-dimensional AMRO oscillations (including Lebed resonances, Danner-Chaikin oscillations, and the third angle effect) and field-induced spin-density-waves accompanied with quantized Hall resistance, were unambiguously confirmed in (TMTTF)2X in the end. These results suggest that physics of Q1D electronic system is universal regardless of the sulfur and selenium series.

標題：理論セミナー：Shot noise and Bell pair creation in nonlinear current of Kondo quantum dots

日時：2017年3月3日(金) 午後4時~午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：阪野 塁

所属：京大学物性研究所

要旨：

Low energy properties of the Kondo-correlated quantum dots are described by the local Fermi-liquid which is an extension of famous Landau's Fermi-liquid to impurity systems where the Coulomb interaction works only for electrons in the impurity site. The non-equilibrium Kondo state has been intensively investigated in quantum dots, where non-equilibrium state is finely tuned and investigated by applying small bias-voltages between electric leads connected to the dot. A prominent result from the non-equilibrium Kondo effect is that residual interaction of the Fermi liquid generates quasiparticle pairs with 2e effective charge in nonlinear currents, and the pair can be observed as an enhancement of the shot noise.

We show theory and experiments on Fermi-liquid nature in shot noise measurement in a carbon nanotube quantum dot¹⁻³. Particularly, current and noise due to the Kondo effect in carbon nanotube quantum dot where the local moment constituted of not only spin and but also chiral or orbital degrees of freedom emerges are discussed. Furthermore, a new entangled-electron-pair generator utilizing the pair creation of the local Fermi-liquid in electric current in a quantum dot device is discussed. It is elucidated that local-Fermi-liquid exchange interaction violates



the Clauser–Horne–Shimony–Holt type Bell’s inequality for nonlinear currents through correlated two different channel of a double quantum dot device.

1. Ferrier, RS, *et al.*, Nat. Phys., **12**, 230–235 (2016).
2. Y Teratani, RS, *et al.*, J. Phys Soc. Jpn. **85**, 094718 (2016).
3. M Ferrier, RS, *et al.*, submitted to PRL.

標題：理論セミナー：On the dynamics of a 1D and 2D prototype quantum many body system

日時：2017年3月10日(金) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Xenophon ZOTOS

所属：ISSP, The University of Tokyo / University of Crete

要旨：

I will present recent results

- (i) on a novel thermal Bethe ansatz approach to magneto-thermal transport in the Heisenberg spin 1/2 chain, as well as an extension to far out of equilibrium thermal transport (thermal quench) [1],
- (ii) on the high temperature dynamics of quantum compass models [2].

References:

[1] X. Zotos, arXiv: 1604.08434

[2] A. Briffa and X. Zotos, arXiv: 1611.00637

標題：LASOR セミナー：Exploration of novel two-dimensional materials

日時：2017年3月21日(火) 午前10時30分～

場所：物性研究所本館6階 第1会議室 (A636) TV会議 (SPRING-8 中央管理棟 3階 TV会議室)

講師：Dr. Baojie Feng

所属：東京大学物性研究所軌道放射物性研究施設 松田巖研究室

要旨：

During the last decade, two-dimensional (2D) materials, exemplified by the well-known graphene that can be exfoliated from the bulk phase, have attracted intensive attention. The advent of novel 2D materials makes it possible to fabricate devices at the atomic scale. Here, I will briefly introduce three of the newly emerging 2D materials: silicene, borophene and Cu₂Si. These materials contain only one atomic layer and have been successfully synthesized on metal substrates by molecular beam epitaxy (MBE). Scanning tunneling microscopy (STM) and angle resolved photoemission spectroscopy (ARPES) measurements have unraveled intriguing properties in these materials, such as the Dirac cones in silicene and borophene and Dirac nodal lines in Cu₂Si. These novel properties are not only of fundamental interest but also essential for the future device applications.

平成 28 年度外部資金の受入について

1. 奨学寄附金

件数	金額(円)
19 件	32,134,000 円

2. 民間等との共同研究

研究題目	相手側機関	共同研究経費(円)		研究担当職員
		相手側負担分	本学負担分	
樹脂の架橋構造解析	(株)デンソー	1,000,000		附属中性子科学研究施設 教授 柴山 充弘
高繰返し高出力ハイブリッドArFエキシマシステムレーザの開発	ギガフoton(株)	22,140,000		附属極限コヒーレント光科学研究センター 准教授 小林 洋平
大規模電子状態計算技術の構築	新日鐵住金(株)	540,000		附属計算物質科学研究センター 特任教授 尾崎 泰助
各種散乱法を用いた高分子電解質ゲルのゲル化過程および内部構造の解析	(株)日本触媒	1,000,000		附属中性子科学研究施設 教授 柴山 充弘
強磁場マグネット用導体材料の開発とその応用	(国)物質・材料研究機構	0		附属国際超強磁場研究施設 教授 金道 浩一
高次高調波発生用エキシマレーザーの高出力化と応用研究に関する調査研究	ギガフoton(株)	3,000,000		附属極限コヒーレント光科学研究センター 准教授 板谷 治郎
次世代半導体デバイスの生産性向上に向けた高出力深紫外線レーザーの開発	(株)オキサイド	4,320,000		附属極限コヒーレント光科学研究センター 教授 辛 埴
軽希土類-遷移金属化合物の物性研究	トヨタ自動車(株)	22,100,000		附属計算物質科学研究センター 特任教授 赤井 久純
顕微動的散乱を用いたCNT分散液の研究	(国)産業技術総合研究所	0		附属中性子科学研究施設 教授 柴山 充弘
強相関f電子系化合物の物性科学研究	(国)日本原子力研究開発機構	0		凝縮系物性研究部門 教授 榊原 俊郎
EUV光反射率測定用光源へのHHG技術の適用に関する基礎研究	ギガフoton(株)	15,000,000		附属極限コヒーレント光科学研究センター 准教授 小林 洋平
水溶液中における糖質と水との相互作用に関する軟X線分光研究	林原(株)	1,000,000		附属極限コヒーレント光科学研究センター 准教授 原田 慈久
散乱法による熟成酒中の分子の存在状態に関する研究	サントリーグローバルイノベーションセンター(株)	1,100,000		附属中性子科学研究施設 教授 柴山 充弘
第一原理伝導計算による新規材料・構造デバイスにおける研究	(株)富士通研究所	1,000,000		附属計算物質科学研究センター 特任教授 尾崎 泰助
次世代半導体の生産性を上げる新方式連続波高出力深紫外線レーザー	(株)オキサイド	1,404,000		附属極限コヒーレント光科学研究センター 教授 辛 埴
太陽電池の発光特性解析を用いた多接合太陽電池の耐放射線性向上の研究	(国)宇宙航空研究開発機構、(大)京都大学	0		機能物性研究グループ 教授 秋山 英文
強磁場共用装置を用いた有機伝導体における磁気特性の解明・開発に関する研究	(国)物質・材料研究機構	0		凝縮系物性研究部門 助教 下澤 雅明
溶液中のアイオノ形態と物性相関に関する研究	トヨタ自動車(株)	2,700,000		附属中性子科学研究施設 教授 柴山 充弘
Ce-Fe系金属間化合物の磁性検討	(国)産業技術総合研究所、信越化学工業(株)	1,620,000		附属計算物質科学研究センター 特任教授 赤井 久純
合計		77,924,000		

人事異動

【研究部門等】

○平成 29 年 3 月 31 日付け

(辞職)

氏名	所属	職名	備考
左右田 稔	附属中性子科学研究施設	助教	理化学研究所 研究員へ

○平成 29 年 4 月 1 日付け

(採用)

氏名	所属	職名	備考
樋口 祐次	附属物質設計評価施設	助教	東北大学金属材料研究所 助教から

○平成 29 年 4 月 1 日付け

(兼務)

氏名	所属	職名	備考
常行 真司	附属計算物質科学研究センター	教授	本務：東京大学大学院理学系研究科 期間：平成 29 年 4 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日
藤堂 眞治	附属計算物質科学研究センター	准教授	本務：東京大学大学院理学系研究科 期間：平成 29 年 4 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日

(委嘱「客員：テーマ限定型」)

氏名	所属	職名	備考
有田 亮太郎	量子物質研究グループ	教授	本務：理化学研究所創発物性科学研究センター ・チームリーダー 期間：平成 29 年 4 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日
瀧本 哲也	物性理論研究部門	教授	本務：新潟大学工学部・教授 期間：平成 29 年 4 月 1 日～平成 29 年 9 月 30 日
春山 純志	ナノスケール物性研究部門	准教授	本務：青山学院大学大学院理工学研究科・准教授 期間：平成 29 年 4 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日
萩田 克美	附属中性子科学研究施設	准教授	本務：防衛大学校・講師 期間：平成 29 年 4 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日
吉田 鉄平	附属極限コヒーレント光科学研究センター	教授	本務：京都大学大学院人間環境学研究科・教授 期間：平成 29 年 4 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日

(委嘱「客員：テーマ提案型」)

氏名	所属	職名	備考
湊崎 員弘	物性理論研究部門	教授	本務：愛媛大学大学院理工学研究科・教授 期間：平成 29 年 4 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日

【事務部】

○平成 29 年 4 月 1 日付け

(転 出)

氏 名	所 属	職 名	備 考
金 井 秀 雄	共同利用係	係 長	大気海洋研究所国際・研究推進チーム 係長へ
瀧 澤 悠	総務係	一般職員	研究推進部研究推進企画課 一般職員へ

(転 入)

氏 名	所 属	職 名	備 考
原 田 正 史	共同利用係	係 長	医学部附属病院総務課総務企画チーム〈庶務担当〉 係長から
山 本 佳 奈	総務係	一般職員	新規採用

編集後記

物性だよりで紹介されている研究成果記事は、プレスリリースを行い物性研ホームページでもニュース記事になったものを中心に物性研だよりへの寄稿をお願いしています。ここ数年のプレスリリースは月にして1件のペースだったのですが、昨年は年間25件と大幅に増え、最近の物性研の皆さんのアクティビティの現れの1つだと思います。一方、プレスリリースでは記事にされるのが第1の目的となるため、内容はどうしても一般向けになります。結果として、著者の方にはプレスリリースの一般向けと、物性研だよりの研究コミュニティ向けの内容の2つを書いて頂いていることになり、広報としては負担の軽減について今後考えていくべき点です。また、良い研究成果であってもプレスリリースには不向きとなるのが基礎研究分野では往々にしてあり、掲載される記事も偏りが生じてしまっている観も拭いきれません。現在、物性研のホームページの更新を今年度中に予定しております。そこでは、研究成果を発信する媒体として魅力を感じて頂けるようなホームページにすることにより、プレスリリース以外についても物性研の皆さんに、更には共同利用研として共同研究の方々から寄稿して頂くことによって、物性研究の多様で深みがある研究を広くアピールすることができればと思っております。というわけで、今回の編集後記は広報の宣伝にさせていただきます。ちなみに今回の記事の1つの松田巖先生は昨年プレスリリースが5件ありアクティブな方のお一人です。

鈴木博之

物性研だよりの購読について

物性研だよりの送付について下記の変更がある場合は、お手数ですが共同利用係まで連絡願います。

記

1. 送付先住所変更（勤務先⇔自宅等）
2. 所属・職名変更
3. 氏名修正（誤字脱字等）
4. 送付停止
5. 送付冊数変更（機関送付分）

変更連絡先：東京大学物性研究所共同利用係

〒277-8581 柏市柏の葉 5-1-5

メール：issp-kyodo@issp.u-tokyo.ac.jp

