

物性研だより

第47巻
第4号

2008年1月

目次

- 1 次世代スーパーコンピュータについて 常次 宏一
- 5 高輝度光源施設計画の中止と東京大学アウトステーション計画について 柿崎 明人
- 外国人客員所員を経験して
- 6 Daniel Agterberg
- 7 Jianshi Zhou
- 物性研究所短期研究会報告
- 8 ○ 圧力を物理パラメータとした低温物性研究の今後の展望
- 37 ○ 低温走査トンネル顕微鏡の現状と展望
- 63 ○ 計算物性物理学の進展
- 66 ○ 物性化学のフロンティア2007：これから何をめざすのか？
- 69 物性研究所談話会
- 物性研ニュース
- 71 ○ 物性研だより第47巻 目録（第1号～第4号）
- 編集後記



短期研究会「物性化学のフロンティア2007」で講演される井口洋夫先生

東京大学物性研究所

ISSN 0385-9843



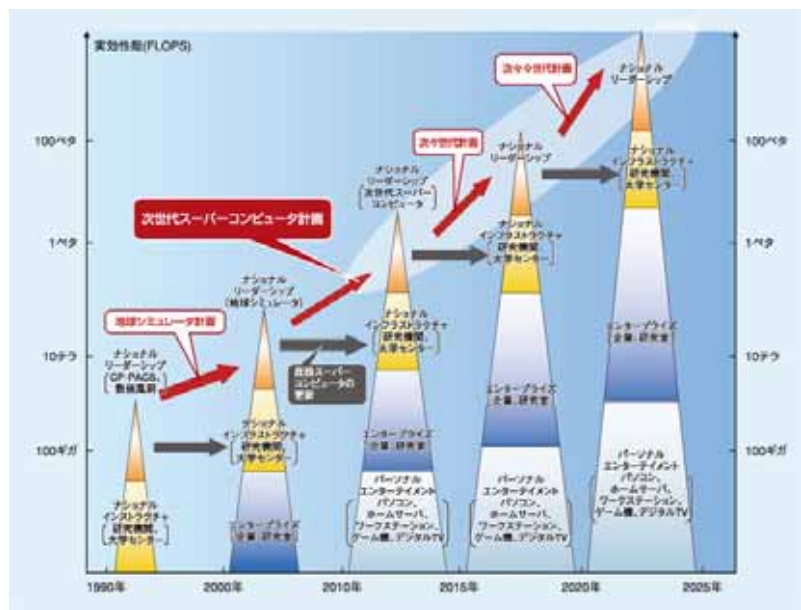
次世代スーパーコンピュータについて

物性理論研究部門 常次 宏一

最近、京速計算機や次世代スーパーコンピュータという言葉が報道などでお聞きになっておられるでしょう。大型数値計算に関わる日本の計算機環境は今後このプロジェクトを核として推移していくものと予想され、物性科学においても理論家を中心として関心を持たれている方が多いと思いますが、全体像が複雑ですので簡単にまとめることを試みました。関係する問題についての今後の皆さんの議論の参考になれば幸いです。

京速計算機は正式には「最先端・高性能汎用スーパーコンピュータの開発利用」と呼ばれる文部科学省のプロジェクトであり、平成 18-24 年度の 7 年間で 10 ペタ (= 1 京) FLOPS 級の演算速度をもつ世界最先端・最高性能の計算機の開発と整備、およびそれを最大限利活用するためのソフトウェアの開発と普及が目的にされています。このプロジェクトは長期的な国家戦略をもって取り組むべき国家基幹技術の 1 つとして位置づけられ、第 3 期科学技術基本計画における 6 つの目標実現へ貢献するとともに、次世代スパコンの開発により我が国の科学技術創造立国としての国際的評価を確立することが期待されています。その背景には、半年ごとに発表される世界のスーパーコンピュータ TOP500 ランキング²⁾で 2002 年 6 月から 5 期連続で 1 位に輝いた地球シミュレータ³⁾も昨年 11 月のランキングでは 30 位に下がり、日本のトップが東工大の TSUBAME の 16 位という米国の後塵を拝した状況があり、次世代スパコンによって巻き返しを図ろうとしています。

次世代スパコンは地球シミュレータに続く最先端計算機の開発プロジェクトですが、異なる性格を持っており、それは汎用性ということです。地球シミュレータは地球環境の変化の評価・予測を主たる目的としてきましたが、次世代スパコンは産業応用まで含めた、科学技術の広い分野における利活用が目的とされています。さらに、継続性ということが大きなポイントとされています。次世代スパコンは単発のプロジェクトというわけではなく、今後、継続して国家事業として開発していく最先端計算機の 1 つの世代であり、その終了後には次々世代、その次の世代と引き継がれていくという位置づけです。そのためには、計算機の階層的配置および階層間の連携が重要と考えられています。まず国家のフラッグシップとして次世代スパコンをはじめとする各世代の最先端スパコンがあり、NLS (National Leadership System) と呼ばれる第 1 層となります。次に各分野で広く活用されている、大学・研究所に配置されたスパコンがあり、NIS (National Infrastructure System) と呼ばれる第 2 層を形成します。さらに研究室、ユーザーの身近にあるワークステーション、パソコンの第 3 層となります。これら第 2 層、第 3 層の計算機は、新しい世代においては前の世代における上の第 1 層、第 2 層の技術が応用されることによって開発され、これは垂直展開と呼ばれます。この垂直展開を効率的に行うことが、今後の我が国における計算機の将来に重要な役割を果たすでしょう。



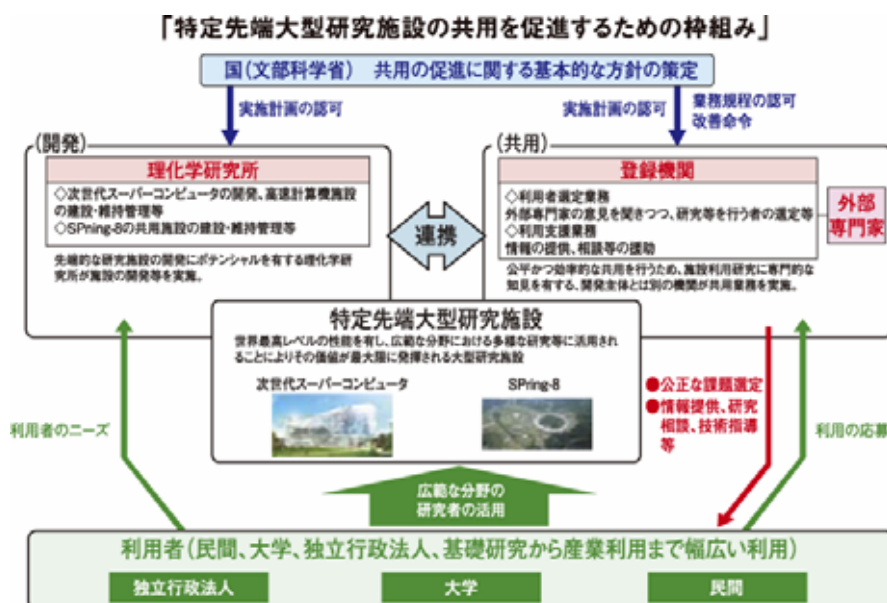
【開発スケジュール(予定)】

		2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度
						稼働▲	完成▲	
システム	演算部	概念設計		詳細設計		試作・評価	製造・据付調整	
	制御フロントエンド (トータルシステムソフトウェア)		基本設計	詳細設計	製作・評価		性能チューニング・高度化	
	共有ファイル		基本設計	詳細設計	製造・据付調整			
ソフトウェア アプリケーション 開発	次世代ナノ統合 シミュレーション	開発・製作・評価					実証	
	次世代生命体統合 シミュレーション	開発・製作・評価					実証	
施設	計算機棟	設計		建設				
	研究棟	設計		建設				
運用		方針・体制の検討			準備活動	運用		

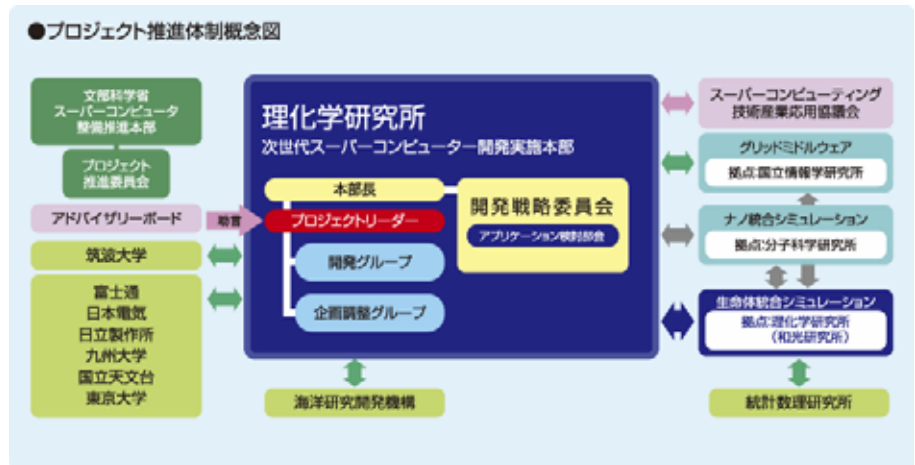
プロジェクト全体のスケジュールについては、ハードウェアに関しては現時点で概念設計が終了して詳細設計に入ったところで、その後、試作と評価を経て、まず、平成 22 年度末に稼働を始める予定になっています。平成 23 年度末にはフルスペックで運転を開始し、平成 24 年度は性能のチューニングや高度化が行われます。施設の立地については 15 の候補地の中から昨年 3 月に神戸市に決まりました。ポートアイランドの中のポートアイランド南駅に隣接した場所に計算機棟と研究棟が建設されます。

次世代スパコンの運用に関しては、SPring-8⁴⁾と同じく共用法(「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」)⁵⁾が適用されます。この法律上、計算機の開発および施設の建設・管理を行う設置者が置かれますが、これは理化学研究所に決まっています。その他に、利用者の選定および利用支援を行う登録機関(正式には登録施設利用促進機関)が共用法によって置かれることになり、SPring-8 においては高輝度光科学研究センター(JASRI)がそれにあたりますが、次世代スパコンについては未だ決まっていません。

実際に計算をされておられる研究者が最も興味をもたれるであろうシステム構成については、文部科学省および総合科学技術会議の評価を踏まえて理化学研究所において昨年 9 月に決定されましたが、詳しいことが公表されておりません。開発は理化学研究所と富士通、日本電気、日立製作所のメーカー 3 社が共同で行うことになりました。最も大きな特徴はスカラ部とベクトル部から構成される複合汎用システムということであり、その特性を生かした高い汎用性と、計算能力の高い拡張性、将来の第 2 層スパコンへの展開性が重視されたポイントのようです。

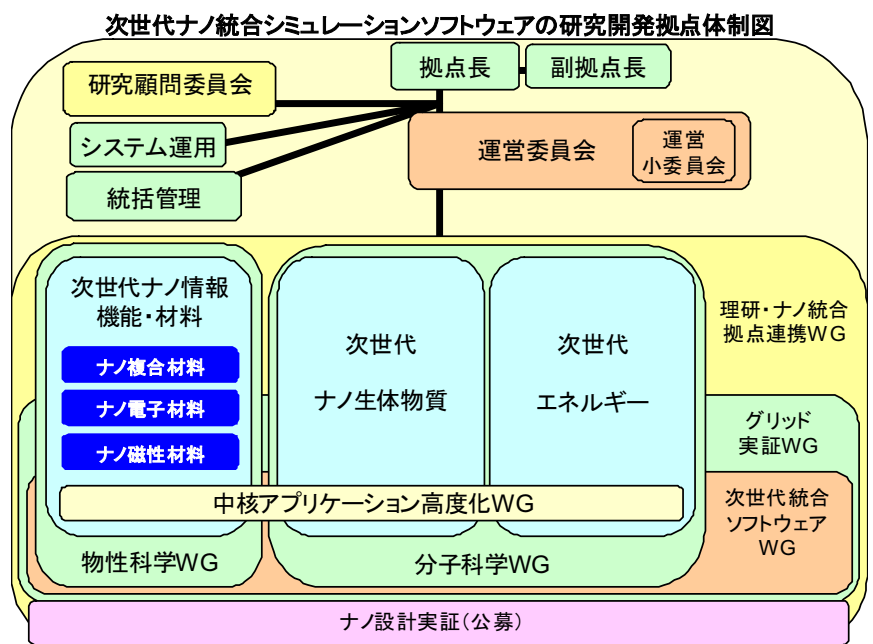


プロジェクト全体の体制を簡単にまとめると次のようになっています。設置者の理化学研究所の中には野依良治理事長を長とする次世代スーパーコンピュータ開発実施本部がおかれ、渡辺貞プロジェクトリーダーのもと、システムのハードウェア・ソフトウェアの開発や、アプリケーション環境の構築・アプリケーション開発支援が、システム開発を行っているメーカーと協力して行われています。



その他に、次世代スパコンを最大限利活用するためのソフトウェアの研究開発としてグランドチャレンジ(GC)アプリケーションと呼ばれるプロジェクトがナノテクノロジーとライフサイエンスの2つの分野に設けられ、おのおの「次世代ナノ統合シミュレーションソフトウェアの研究開発」⁶⁾、「次世代生命体統合シミュレーションソフトウェアの研究開発」という名前がついています。また、産業活用を推進するため、スパコン利用技術の開発、普及などを推進する目的で「スーパーコンピューティング技術産業応用協議会」⁷⁾が設立され、174の企業、団体、大学、機関が会員となっています。また、文部科学省の中にはプロジェクトの総合調整を行うために、12月にスーパーコンピュータ整備推進本部が設けられました。さらに、科学技術・学術審議会の中の情報科学技術委員会に次世代スーパーコンピュータ作業部会が設置され、プロジェクトの今後の推進方策や評価のありかたを調査、審議する予定になっています。

上記のナノ分野のグランドチャレンジは、計算物性科学、計算物質科学に深く関係しているのこれに興味をもたれている方も多いと思います。これは平成15年度に始まった文部科学省の「超高速コンピュータ網形成プロジェクト」(通称NAREGI)⁸⁾を継承して、平成18年度から平田文男先生を拠点長、分子科学研究所を拠点としてスタートし、次世代スパコンの稼動が始まる平成22年度末までに開発、製作、評価を行い、平成23年度は実機を用いた実証を行う計画です。ターゲットの対象によって、拠点の中には「次世代エネルギー」(リーダー 平田



文男)、「次世代ナノ生体物質」(リーダー 岡崎進)、「次世代ナノ情報機能・材料」(リーダー 常次宏一)の3つのグループが置かれ、前の2つは分子科学研究所および最後のグループは物性研究所を拠点としています。「次世代ナノ情報機能・材料」は次世代の新規電子デバイスや巨大・超高速応答光スイッチ、超高密度磁気記録の基礎となる理論・計算科学方法論の確立を目指しており、さまざまな大学、研究所、機構、企業の多くの研究者がナノ複合材料(リーダー 寺倉清之)、ナノ電子材料(リーダー 前川禎通)、ナノ磁性材料(リーダー 常次宏一)の3つのサブグループに分かれて研究開発を行っています。

拠点の中には専門的な問題についてのいくつかのワーキンググループ(WG)が置かれていますが、その中に、コミュニティとプロジェクトの連携を取るための、「計算物性科学 WG」⁹⁾(主査 寺倉清之)があります。広くコミュニティの意見を次世代ナノ GC プロジェクトに反映させるために設立されました。筆者も幹事の1人ですが、物性研究所のスーパーコンピュータの利用者に留まらず、さまざまな機構、機関、企業の計算科学研究者、さらには関心のお持ちのナノ分野の実験研究者の意見を伺いたいと思っておりますので、是非、下記のホームページ⁹⁾より会員の登録をお願いします。これまでの活動の中で、文部科学省の募集している特定高速電子計算機施設の共用の促進に関する基本的な方針に対する意見募集に対して、次世代スパコンの提言をまとめる作業に関わりました。この提言は次世代スパコンの課題設定、課題選定に関する意見をまとめたものです。また福山秀敏先生を世話人代表として「計算物質科学連絡会議」¹⁰⁾が組織されました。計算物質科学コミュニティの窓口として、次世代スパコンプロジェクトを視野に入れ、計算物質科学の研究・教育活動に関する全国的な情報および意見交換の場を提供する活動をされています。現在、国立大学の法人化に象徴されるように我が国の研究環境は急激な変化を遂げつつあり、最初に述べましたようにスーパーコンピュータの環境もその例外ではないと思われます。その核となるのが次世代スーパーコンピュータであり、それと物性研究所のスーパーコンピュータの連携をうまく取っていくことが、日本の計算物性科学研究者のアクティビティーを支える重要なポイントになります。この問題については、広くコミュニティの中で議論を積み重ね、有効な方策を取っていくことが必要です。本稿がそのための議論のお役にたてば幸いです。次世代スパコンのための COE など、今回書かなかった重要な問題については、機会を改めて紹介したいと思います。

本文中の最初の3つの図表は理化学研究所次世代スーパーコンピュータ開発実施本部のパンフレットから転載させて頂きました。使用の許諾を下さったことに感謝いたします。

- 1) 理化学研究所の次世代スパコン開発本部のホームページ <http://www.nsc.riken.jp/project.html> 理化学研究所によるプレスリリースは <http://www.riken.go.jp/r-world/info/release/press/2006/060919/index.html>
- 2) <http://www.top500.org/> 2007年11月のランキングで1位は米国ローレンスリバモア研究所の BlueGene/L で 478 テラ FLOPS。米国以外ではドイツ、インド、スウェーデンが 10 位以内、スペインが 13 位。
- 3) <http://www.es.jamstec.go.jp/index.html>
- 4) <http://www.spring8.or.jp/ja/>
- 5) <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H06/H06HO078.html>
- 6) <http://nanogc.ims.ac.jp/nanogc/>
- 7) <http://www.icscp.jp/>
- 8) <http://www.naregi.org/index.html>
- 9) <http://mswg.issp.u-tokyo.ac.jp/>
- 10) <http://www.jaist.ac.jp/cmsf/>

高輝度光源施設計画の中止と東京大学アウトステーション計画について

軌道放射物性研究施設 柿崎 明人

物性研究所は、附属軌道放射物性研究施設とともに全国の研究者の支援を受けて、極紫外・軟 X 線領域の高輝度放射光光源施設を建設する計画を推進し、柏キャンパス移転の最重要課題として掲げ、各方面にその実現を強く働きかけてきました。一方、東京大学では、平成 17 年度に小宮山総長の新執行部発足を機に、物性研究所を中心とする全学プランとして推進してきた柏キャンパス極紫外・軟 X 線高輝度放射光光源計画について、総長室のもとに検討ワーキングを設け、施設建設の必要性、実現可能性などについて具体的な検討を行ってきました。その結果、一国立大学法人である東京大学が高輝度放射光光源施設を独力で建設し維持することは財政上困難であること、また他機関からの強力な援助を得る見通しが立たないことのため、総長室としては施設建設計画を中止せざるを得ないとの判断が同年 10 月に示されました。

東京大学では、これまで全国の関連研究者の協力のもとで進められてきた極紫外・軟 X 線高輝度光源建設計画の学術的資産をコミュニティに還元し、高輝度放射光利用研究の一層の推進をはかるために、既存施設の利用を軸とした新しいビームライン計画（東京大学アウトステーション計画）を推進しています。平成 18 年 5 月に総長直轄の組織として物質科学部門、生命科学部門の 2 部門からなる東京大学放射光連携研究機構が開設され、既存施設（SPring-8 と PF など）に放射光ビームラインを建設して高輝度放射光を利用した物質、生命科学を推進するための具体的な作業が行われてきました。物質科学研究の推進に関しては、SPring-8 の長直線部に直線偏光（水平、垂直）と円偏光を切り替えることが出来る偏光制御軟 X 線アンジュレータとビームラインおよび分光光学系の建設・整備を計画され、それを大学の独自予算で行うことにして今年度からその建設がスタートしました。平成 19 年度の予算でアンジュレータの水平偏光部を建設し、平成 20 年度中にビームラインおよび分光光学系を整備して 250 eV～2 keV の軟 X 線領域で高輝度放射光を利用した物質科学研究がスタートする予定です。

現在、コミュニティの協力を得て、若手研究者を中心にしたサブグループによる高輝度軟 X 線を利用する実験装置の仕様策定、全国共同利用体制の検討などが行われています。検討中の主な研究テーマのいくつかを以下にあげます。

- 1) ナノ領域高分解能光電子分光（走査型）によるナノ物質の電子状態・構造の解析、電子・光・磁気デバイスの界面電子状態解析
- 2) 軟 X 線発光分光による表面吸着物質の触媒反応や生体物質の機能解明、光合成反応や有機電子デバイス界面の電子状態・機能解明
- 3) フェムト秒時間分解分光実験による磁性体の磁化過程、表面化学反応、光誘起相転移のダイナミクスの解明
- 4) エネルギー分析型光電子顕微鏡（投影型）によるナノ構造物質の構造と機能解析、デバイス界面劣化の動的観察
- 5) コヒーレンス利用軟 X 線回折顕微鏡によるナノ磁性体の磁気構造と時間依存性の解明、生体物質の構造と機能解析

附属軌道放射物性研究施設は、これまで極紫外・軟 X 線領域の放射光利用研究者ばかりでなく物質科学研究に携わる数多くの分野の人々の期待を担い、さまざまなご協力をいただきながら高輝度光源計画を推進してきました。今後も広くコミュニティの支援を受けて放射光を利用する物質科学研究に取り組んでいきたいと考えています。そのため、新しい計画の中では放射光連携研究機構の物質科学部門を併任してビームラインと実験設備を建設・整備し、高輝度軟 X 線を利用して先端的物質科学研究を行うとともに、全国共同利用を推進していくことにしております。

外国人客員所員を経験して

Daniel Agterberg
Physics Department,
University of Wisconsin-Milwaukee, USA
agterber@uwm.edu

I visited the ISSP from August 1 to November 30, 2007. During this time, I investigated novel magnetic and superconducting order in strongly correlated electronic systems with the group of Prof. Tsunetsugu. This collaborative effort turned out to be very fruitful and provides a firm basis to carry out collaborations in the future. During the visit, two problems have been addressed and significant progress was made in each of these. Work on the first problem with Prof. Tsunetsugu has led to an understanding of a new class of topological defects in pair density wave superconductors. Work on the second problem has progressed well. In this problem, Dr. Hattori also made significant contributions. This work addressed the possibility of composite order (also known as nematic order) in unconventional superconductors.

In addition to the excellent scientific collaboration, my visit to the ISSP was also an enjoyable experience for my family and myself. The main reason for this was the outstanding support provided by the ISSP for visiting scientists. The help of the International Liaison Office staff, in particular, that of Ms Kameda and Ms Kubo was indispensable. Ms Kameda and Ms Kubo were always very helpful and tried their best to address any request we had. We very much appreciated this help and could not have done without it. Also of tremendous help were Ms. Habu and Ms. Tsuji who work for the division of condensed matter theory.

My three children attended Toyofuta elementary school which is located very close to the ISSP. As far as I am aware, this is the first time that a visiting scientist at the ISSP has had children in a Japanese public school. My children had taken only a beginning Japanese course before arriving, so there was a large language barrier. To help ease this barrier, the school arranged for a private Japanese tutor that my children visited twice a week. Overall, this turned out to be an excellent experience. My children enjoyed Toyofuta elementary school and will have fond memories of it. A variety of people helped us to communicate with the school. In particular Ms. Kameda and Ms. Onuki helped considerably, and we also had help from a variety of parents of other children at the school.

Also important to the success of my visit was the housing provided by the ISSP. We stayed in the Kashiwa International Lodge, which is a series of furnished apartments available for visiting scientists. This Lodge is conveniently located close to the ISSP and places to shop. It is also of sufficient size for our family. The proximity to other families in the Lodge was very useful in many ways.

In summary, the visiting scientist position at the ISSP provided me with a fruitful scientific collaboration and my family with an unforgettable and enjoyable experience.

外国人客員所員を経験して

Jianshi Zhou

**Texas Materials Institute, Mechanical Engineering,
University of Texas at Austin, USA**

Near the end of my stay in the ISSP, I was asked to write an essay which can be anything but research. Nice examples of essays written by previous visiting professors make me feel I have nothing else to say about this new research institute filled with the sophisticated equipments and its beautiful surroundings. When thinking about leaving for United States, I have a lot to tell to all friendly people in the ISSP.

As they come to this world, Japanese know God places them in a small island and leave them with very limited resources and no oil. Perhaps, these make everyone here appreciate what they have and respect each other.

It was first time for me to contact with a government agent when I applied the resident card after arriving at Kashiwa campus. Talking with the agent is like a reunion with an old friend. Even so, I was told that the government agency here is blamed the most for not being polite enough in dealing with customers. My experience to extend my US passport before I left for Japan was not as pleasant as this. A lady receiving my case seems to have no function of smile.

The public transportation system in Japan is very impressive. It is so reliable that one can make a travel plan down to minutes. Anyone who has a driving experience in the bay area in United States knows that highway 880 and 580 are like parking lots for the most time in a day, cars are burning gasoline for nothing. The BART (the mass transportation system in the bay area) system does not cover this far for some reason. I am thinking that the desire for oil may not be so urgent if the money is used to build the transportation system in some highly populated area instead of spent on Iraq war.

While waiting at Osaka train station, I was watching a guy cooking noodle in a small booth nearby. Some white hexagons are floating in a pot full with boiling water. Noodles are cooked by merging a net bowl inside the pot. Initially I thought those hexagons are some kind of food. I was told that the hexagons are used to cover most surface of boiling water, which prevents water from converting into steam. Keeping water boiling for a whole day heats up the small room in the booth and adds a huge load for a AC to take the heat out. By using this small trick, both heating and AC energy consumptions are reduced significantly. This zoom-in episode reflects how Japanese use some basic science in their daily life in order to do their part for curbing the global warming.

I have poor capability to imagine what a modern society should look like. But, when you see metal detecting doors everywhere, when you hear the news of school shootings, shopping mall shootings before you forget the last one, when you deal with a government agent through a liquid-crystal monitor or through a small and deep window, something goes fundamentally wrong.

I miss all food in Japan, vegetable tastes like vegetable, fruits are tasty and more colorful. But what I miss the most is a peaceful and responsible society in Japan.

物性研究所短期研究会

圧力を物理パラメーターとした低温物性研究の今後の展望

日時：2007年10月10日(水)～10月12日(金)

場所：東京大学物性研究所大講義室(6階A632室)

世話人：村田 惠三(大阪市大理)

○清水 克哉(阪大極限)

高橋 博樹(日大文理)

上床 美也(物性研)

巨海 玄道(九大理)

最近、高圧を用いた物性研究の進歩は著しく、圧力を物理パラメーターとした種々の物性測定が数多くなされ、圧力誘起の超伝導、磁気秩序、金属-絶縁体転移などの研究が多数報告されている。これは、新しい、材料を用いた最近の圧力発生技術の進歩に負うところが大きく、比較的簡単に良い静水圧性を 3GPa 程度までの高い圧力まで、発生出来るようになった事に起因していると思われる。また、10GPa 以上の高い圧力においても、静水圧性を考慮した物性研究がなされ再現性のある測定が報告されている。

本研究会では、これまで発見された、圧力誘起相転移を示す物質について議論し、高圧下物性研究のための圧力技術の最近の現状を理解し、今後の圧力下物性研究のあり方について(1)最近の圧力誘起相転移研究の最近の話題、(2)圧力装置の技術開発状況、(3)圧力下物性研究で明らかに出来る物理の展望、を中心に議論を深める。

プログラム

10月10日

座長：上床 美也(東大物性研)

- | | | | |
|---|-------------|---|---------------|
| 1 | 13:05～13:30 | はじめに | 清水 克哉(阪大極限セ) |
| 2 | 13:30～13:55 | 阪大極限センターにおける10GPa域の低温・高圧下物性研究の現状 | 加賀山朋子(阪大極限セ) |
| 3 | 13:55～14:20 | キュービックアンビル装置 | 竹下 直(産総研強相関セ) |
| 4 | 14:20～14:45 | 改良型ブリッジマンアンビルセルの開発とビスマスの圧力誘起超伝導 | 石川 文洋(新潟大院自然) |
| 5 | 14:45～15:10 | 10GPa 級 NMR/NQR の現状 | 深澤 英人(千葉大院理) |
| 6 | 15:10～15:35 | β - $\text{Na}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$ の高圧物性 -10GPa 級高圧 NMR 測定- | 伊藤 正行(名大院理) |
| | 15:35～15:55 | 休憩(20分) | |

座長：高橋 博樹(日大文理)

- | | | | |
|----|-------------|--|--------------|
| 7 | 15:55～16:20 | 4万気圧級定荷重方式 NMR 装置の開発と圧力誘起超伝導体 14-24-41 系への適用 | 藤原 直樹(京大院人環) |
| 8 | 16:20～16:45 | f 電子系の高圧赤外分光 | 岡村 英一(神戸大院理) |
| 9 | 16:45～17:10 | 高圧下赤外顕微鏡分光法による LiV_2O_4 の圧力で誘起される新しい電子相の研究 | 入澤 明典(神戸大) |
| 10 | 17:10～17:35 | 圧力下比熱と磁化測定法の開発と重い電子系 YbAgGe の圧力誘起磁気秩序 | 梅尾 和則(広大自然セ) |
| 11 | 17:35～18:00 | BiNiO_3 の圧力誘起サイト間電荷移動 | 東 正樹(京大化研) |

10月11日

座長：加賀山朋子（阪大極限セ）

- | | | | |
|----|-------------|---|--------------|
| 12 | 9:00～ 9:25 | 高圧下熱電能測定の開発 | 辺土 正人（琉球大理） |
| 13 | 9:25～ 9:50 | ピストンシリンダー型圧力セルを用いた高圧下強磁場 ESR 測定装置の開発 | 太田 仁（神戸大分子セ） |
| 14 | 9:50～10:15 | He ガス駆動型ダイヤモンドアンビルセルを用いた低圧領域での X 線回折実験の試み | 中尾 裕則（東北大院理） |
| 15 | 10:15～10:40 | Pressure-Induced Magnetic Quantum Phase Transition and Magnetic Excitations in Gapped Spin System $KCuCl_3$ | 田中 秀教（東工大） |
| | 10:40～11:00 | 休憩（20分） | |

座長：太田 仁（神戸大分子セ）

- | | | | |
|----|-------------|---|---------------|
| 16 | 11:00～11:25 | 硫化スピネル超伝導体の圧力誘起超伝導－絶縁体転移 | 伊藤 昌和（鹿児島大理） |
| 17 | 11:25～11:50 | 圧力下での擬二次元三角格子 $FeGa_2S_4$ 、 $Fe_2Ga_2S_5$ の伝導 | 富田 崇弘（東大物性研） |
| 18 | 11:50～12:15 | パイロクロア型モリブデン酸化物の圧力誘起相転移 | 井口 敏（東大院工） |
| 19 | 12:15～12:40 | 圧力下比熱でみた KOs_2O_6 の基底状態 | 井澤 公一（東工大理工院） |
| | 12:40～13:25 | 昼休み | |

座長：松林 和幸（東大物性研）

13:25～15:25 ポスターセッション

- | | | |
|----|--|----------------|
| 1 | Cu_2O の ^{63}Cu -NQR による圧力媒体の比較 | 平山 憲史（千葉大院） |
| 2 | ピストンシリンダー型圧力セルによる中性子回折 | 阿曾 尚文（東京大物性研） |
| 3 | Palm Cubic Anvil 圧力発生装置 | 小林 広貴（東京大物性研） |
| 4 | NiCrAl 合金製 SQUID 用圧力装置の開発と圧力下 Ca_2RuO_4 の遍歴強磁性 | 竹本 哲雄（広島大院） |
| 5 | $SrCu_2(BO_3)_2$ の圧力誘起磁気相 | 和気 剛（東京大物性研） |
| 6 | ホーランドイト型バナジウム酸化物 $K_2V_8O_{16}$ の金属－絶縁体転移における化学圧力効果 | 磯部 正彦（東京大物性研） |
| 7 | $Hg_2Ru_2O_7$ の圧力下絶縁体金属転移 | 竹下 直（産総研強相関セ） |
| 8 | クロムスピネルの磁気転移と圧力効果 | 植田 浩明（東京大物性研） |
| 9 | $Pr_2Ir_2O_7$ における近藤効果の可能性と圧力下電気抵抗測定 | 高城 重宏（東京大物性研） |
| 10 | 圧力 tuning による、物質の電荷自由度の多様性 | 山内 徹（東京大物性研） |
| 11 | 高圧下における層状ニッケル酸化物の金属－絶縁体転移 | 高橋 博樹（日本大文理） |
| 12 | $(TMTSF)_2FSO_3$ の電子相：圧力下における電荷不均化 | 薩川 秀隆（学習院大） |
| 13 | 有機超伝導体への一軸性圧縮と三角格子相図 | 伊東 裕（名古屋大） |
| 14 | β' 型 BEDSe-TTF 塩の 8GPa 級超高压下物性 | 小松 宏彰（埼玉大院） |
| 15 | 1/2 充填からずれた κ -型 BEDT-TTF 塩の圧力下非線形電流電圧特性 | 田村 圭（埼玉大院） |
| 16 | 有機超伝導体の圧力下交流磁化率測定 | 渡辺 純也（埼玉大学院） |
| 17 | 小型クランプセルを用いた $Et_2Me_2Sb[Pd(dmit)_2]_2$ の圧力下比熱測定 | 高岡 佑衣（東邦大理） |
| 18 | 分子性導体の圧力下磁性研究 | 石井 康之（理化研） |
| 19 | 鉄コバルトシアノ錯体 $K_{0.4}Co_{1.3}Fe(CN)_6 \cdot 4.7H_2O$ の多重相と静水圧力下反射率測定 | 糸井 充穂（青山学院大理工） |
| 20 | チェッカーボード型電荷秩序状態と競合する新規有機超伝導体 β -meso-DMBEDT-TTF $_2PF_6$ | 森中 直紀（東京大物性研） |
| 21 | 圧力誘起超伝導体 $(TMTTF)_2SbF_6$ の磁場中電気抵抗測定 | 狩野 みか（東京大物性研） |
| 22 | 超伝導ダイヤモンドの圧力特性 | 富岡 史明（物材機構） |
| 23 | 磁気秩序と共存する超伝導状態の低温高圧下 NQR 測定 | 原田 淳之（大阪大基礎工） |
| 24 | Ce_2CuGe_6 の高圧下電気抵抗 | 中島 美帆（信州大理） |
| 25 | 物質探索と圧力を用いた新奇物性開拓 | 海老原孝雄（静岡大理） |
| 26 | $Yb_2Rh_3Ga_3$ の量子相転移 | 藤原 哲也（山口大院） |
| 27 | Pressure induced magnetic order of $Yb_2Pd_2In_{1-x}Sn_x$ | 玉里 康侑（大阪大極限セ） |

- 28 YbCo₂Zn₂₀ の高圧力下物性 才賀 裕太 (埼玉大学院)
 29 Development of the method to measure thermal expansion under high pressure 長田 俊祐 (大阪大極限セ)

15:25~15:35 休憩 (10分)

座長: 辺土 正人 (琉大理)

- 20 15:35~16:00 CeRhSi₃ の圧力下のフェルミ面 寺嶋 太一 (物材機構)
 21 16:00~16:25 重い電子系化合物 CeRhIn₅ の圧力-温度相図(NQR による研究) 八島 光晴 (阪大基礎工)
 22 16:25~16:50 立方晶 CsCl 型化合物 YbPd における圧力効果 光田 暁弘 (九大理)
 23 16:50~17:15 YbCo₂Zn₂₀ における高圧下比熱測定 松林 和幸 (東大物性件)
 24 17:15~17:40 Ca₂RuO₄ の多彩な圧力誘起量子相転移 中村 文彦 (広大先端物質)

18:00~ 懇親会

10月12日

座長: 村田 恵三 (大市立大)

- 25 9:00~ 9:25 高圧力下熱容量測定を試み 梅原 出 (横国大)
 26 9:25~ 9:50 UIr における圧力誘起一次相転移と超伝導の関係 小手川 恒 (岡大)
 27 9:50~10:15 希土類・アクチノイド化合物の高圧下物性研究 立岩 尚之 (原研先端基礎セ)

10:15~10:35 休憩 (20分)

座長: 清水 克哉 (阪大極限セ)

- 28 10:35~11:00 シアノ架橋金属錯体の温度圧力相図と構造スケーリング 守友 浩 (筑波大数理)
 29 11:00~11:25 1/2 充填からずれたκ型 BEDT-TTF 塩の圧力下輸送特性 谷口 弘三 (埼玉大理)
 30 11:25~11:50 おわりに 村田 恵三 (大市立大)

O-1

阪大極限センターにおける Mbar 圧力下での物性測定の実況

清水 克哉 (大阪大学極限量子科学研究センター)

最近の高圧力を用いた物性研究の進歩は著しく、物理学会等の講演にも圧力を用いた超伝導、磁気秩序、金属-絶縁体転移など研究が多数報告されてきている。特に新材料の開発をはじめ圧力の発生技術、さまざまな測定法の開発に負うところが大きいと考えられる。さらに 10GPa を超える圧力においても、常圧力下に匹敵する精度や再現性の物性研究がなされている。本研究会ではこのような圧力をパラメータとして最近進展している低温物性研究の実況を共有して今後の展開について議論したい。講演では、上記の趣旨の詳しい紹介をしたうえで、阪大極限センターにおいて現在取り組んでいるさらに高い圧力域(~100GPa)での物性測定の実況も紹介する。

O-2

阪大極限センターにおける 10GPa 域の低温・高圧下物性研究の実況

加賀山 朋子 (大阪大学極限量子科学研究センター)

圧力が物質におよぼす基本効果はいまでもなく原子間距離の減少にあり、その結果としてさまざまな物性の変化が生じる。複数の物理量を圧力の関数として総合的に議論して理解を進めるために、同じものとして扱える精密に制御された圧力環境、そして物質への圧縮効果を具体的に評価することが必要となる。近ごろでは 10 GPa 級の圧力にまでそのような要求が高まるとともにそれに応える技術も進んできている。われわれのグループでは、極低温下での使用に有利な小型の圧力装置という面ではもっとも有効であるダイヤモンドアンビルセルを中心に、その小さな試料空間で実現し得る限り

圧力の質や精密な物性測定技術の向上に努めてきた。電気抵抗や帯磁率、熱膨張や交流比熱などの技術開発の最近の取り組みについて、スクッテルダイト化合物の例を挙げて紹介する。図1は $\text{PrRu}_4\text{P}_{12}$ について電気抵抗測定に使用する電極を熱電対材料で形成することにより同じ温度・磁場・圧力条件下で電気抵抗率と交流比熱を測定した結果である。約 60 K 以下で半導体的な電気伝導特性を示していたのが圧力下で金属的になっていく。放射光による X 線回折実験でわかった P 原子多面体構造の変形(図2)と比熱にみられるピーク構造の解析から結晶場準位の圧力変化等を考慮して金属-絶縁体転移の発現機構が説明できた。

[1] A. Miyake *et al.*, to be published in Physica B (2007).

[2] A. Miyake *et al.*, Physica B, **378-380**, 199 (2006).

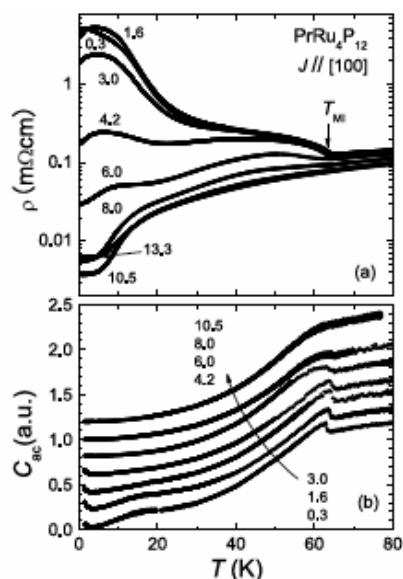


図1. 圧力下における $\text{PrRu}_4\text{P}_{12}$ の電気抵抗と交流比熱の温度依存性。

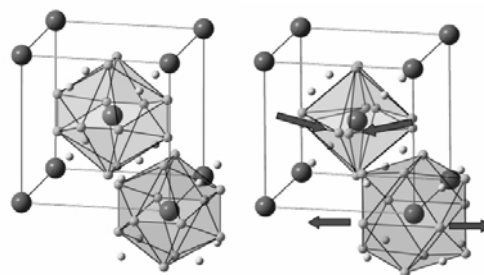


図2. $\text{PrRu}_4\text{P}_{12}$ の低温 (10 K)、高圧力 (左: 2.2 GPa、右: 17 GPa) 下の P 原子の変位 (20 倍に強調して示してある)。

O-3

キュービックアンビル装置

竹下 直 (産総研 CERC)、高木 英典、十倉 好紀 (産総研 CERC、東大、理研)

当初は地球科学用途の実験のため開発の行われた 1-4-1 式(DIA 型)キュービックアンビル装置 [1]は、さらに毛利、高橋らによって低温用キュービックアンビル高圧力装置 [2]として進化し、多種の物性実験に使用されるようになった。現在、このキュービックアンビル装置がピストンシリンダー型装置の守備範囲を越える圧力領域では、最も easy に信頼性の高い結果の得られる装置であると考えられることができる。我々は、このキュービックアンビル装置のメリットを最大限に生かすべく、1. 従来のサイズの装置を改善し、より高い圧力発生を行う、2. 10 GPa 程度に発生圧力を制限することで、可能な限りの小型化を行い、NMR 実験などのより難易度の高い実験に応用する、の二つの方向性で開発を進めている。これらの現状について解説を行いたい。なお、この実験は小堀、深澤らの千葉大グループ、溝口、遠藤らの首都大学東京グループ、ロックゲート株式会社と共同で行っている。

[1] J. Osugi *et al.*: Rev. Phys. Chem. Jpn. **34** (1964) 1.

[2] N. Mōri *et al.*: High Pressure Research **24** (2004) 225.

O-4

改良型ブリッジマンアンビルセルの開発とビスマスの圧力誘起超伝導

石川 文洋 (新潟大学大学院自然科学研究科)

改良型ブリッジマンアンビルセルは、試料空間にテフロンカプセルと圧力媒体液を利用することで静水圧性の良い圧力を発生することが可能であり、約 10GPa の圧力下での物性測定を可能とする。我々はこの圧力セルを用いて、ビスマスの高圧相における超伝導転移に対する圧力効果を明らかにすることを目的として 10GPa 級の圧力下でのビスマスの四端子法による電気抵抗測定を行った。ビスマスの超伝導転移に対する圧力効果は過去になされているが、固体媒体を用いた二端子法による精度の良くないと考えられる測定しか報告されていない。

室温においてⅢ相に相当するいくつかの圧力を印加し、4K までの冷却を行った。その結果いずれの圧力でも 7K 付近で超伝導転移を生じるが、過去の報告のような明瞭な圧力に対する変化は観測されなかった。しかし、常伝導状態における電気抵抗の振る舞いは 5GPa を境界として変化しており、相境界の存在を示唆している。また V 相においては 9K 付近で超伝導転移が観測された。

O-5

10GPa 級 NMR/NQR の現状

深澤 英人、平山 憲史、山崎 岳洋、小堀 洋 (千葉大院理)、松本 武彦 (東大物性研)
寺倉千恵子、竹下 直 (産総研 CERC)、高木 英典、十倉 好紀 (産総研 CERC、東大)

近年、圧力下での興味ある物理現象が多数発見され、圧力をパラメータとして様々な物理量の測定が行なわれている。NMR/NQR については、ピストンシリンダーセルを用いた 3-4GPa 程度までの測定はほぼ一般化されつつあると言えるが、それ以上の圧力下での測定となると、まだまだ一般的に行なわれているとは言えない。我々は、この状況を打開するべく、改良型ブリッジマンアンビルセル[1]、小型キュービックアンビルセルを用いて 10GPa 程度までの NMR/NQR 測定に取り組んでいる。これまでに改良型ブリッジマンアンビルセルを用いて Cu₂O の 63Cu 核の信号を使って、約 10GPa での信号の検出にも成功しているが、試料空間の制約があるのも事実である。このため、現在小型キュービックアンビルセルを用いて、より広い試料空間を確保し、高圧下での信号検出にむけて研究開発を行なっている。講演では、これらの研究の詳細を紹介するとともに、ピストンシリンダーセルを用いた実験においてよく用いられている液体の圧力媒体の評価を Cu₂O の 63Cu-NQR で行なったので[2]、その結果についても紹介する予定である。

[1] H. Fukazawa *et al.*: Rev. Sci. Instrum. 78 (2007) 015106-1-4.

[2] H. Fukazawa *et al.*: submitted to J. Phys. Soc. Jpn.

O-6

β -Na_{0.33}V₂O₅ の高圧物性 – 10GPa 級高圧 NMR 測定 –

伊藤 正行 (名古屋大学大学院理学研究科)

バナジウム・ブロンズ β -Na_{0.33}V₂O₅ は、バナジウム酸化物で初めて超伝導が発見された系である。この超伝導は、電荷秩序相を圧力で抑制した後、約 8GPa、9K で出現することから、電荷揺らぎを媒介とした超伝導発現機構の可能性が指摘され、その高圧物性に興味を持たれている。NMR を用いて、この系の高圧物性について研究するためには、10GPa 級高圧 NMR 測定が必要となる。しかし、従来の NMR 測定で常用されてきたピストン・シリンダー・セルの圧力限界は約 3.5GPa であり、新たな圧力セルを用いた NMR 技術の開発が望まれていた。私たちのグループは、室温で約 10GPa の圧力を発生させることが可能な改良型ブリッジマン・アンビル・セルを用いた高圧 NMR 実験の技術開発を進

め、微小な試料空間(約 1mm 径×約 1mm 長)内で、約 8GPa の圧力下での NMR 実験に成功した。現在、この圧力セルを用いて、 β - $\text{Na}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$ の温度-圧力相図の確立を目指した高圧 NMR 実験を進めている。反強磁性転移温度と Na の秩序無秩序転移温度の圧力変化、ナイトシフトの圧力効果などの実験結果について報告する。本研究は、竹下直博士(産総研)の研究グループおよび上田寛教授(東大物性研)のグループとの共同研究である。

O-7

4 万気圧級定荷重方式 NMR 装置の開発と圧力誘起超伝導体 14-24-41 系への適用

藤原 直樹 (京都大学大学院人間・環境学研究科)

定荷重方式によりピストンシリンダー型圧力セルに 4 万気圧級の圧力を低温、磁場下で印加することのできる NMR 用温度可変インサートを製作した。NiCrAl を用いた圧力セルで 4 万気圧近く達成することに成功し、しかも、シリンダー部分は再利用可能であることが明らかになった。圧力は、ルビー蛍光法と Cu_2O の核四重極共鳴法による同時計測によりモニタして、荷重と圧力の関係、つまり荷重に対する圧力効率や、荷重に対する歪み方などの基礎計測を行った[1, 2]。この装置を用いて、3.8 万気圧下で梯子格子銅酸化物 $\text{Sr}_{12}\text{Ca}_2\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ の NMR 測定を行った。この梯子格子銅酸化物は 3 万気圧から超伝導が出現し、4 万気圧が最適圧力である。常圧から 3.8 万気圧までの緩和率の測定から、スピンギャップは圧力印加とともに減少することが明らかになった。従来梯子格子の横木対にホールペアが形成され、超伝導の発現機構になると理論予想されてきたが、常圧からすでにホールペアが存在し、圧力印加とともに解離し易い状態がノーマル状態で実現すると考えれば、測定結果は矛盾なく説明される。当日は、超伝導状態での緩和率とシフトの結果も紹介する。

[1] N. Fujiwara, *et. al.*, Rev. Sci. Instrum. 78 (2007) 073905

[2] 藤原直樹、他 固体物理 掲載予定

O-8

f 電子系の高圧赤外分光

岡村 英一 (神戸大院理)

希土類元素を含む「重い電子系」物質では、希土類元素の 4f 電子がその物性に重要な役割を果たすことが多い。元来局在性が強い 4f 電子が伝導電子との混成を通じて部分的に非局在となることで、様々な興味深い物性の発現につながると考えられる。我々は最近多くの Ce, Yb 化合物について赤外光学伝導度の測定を行ったところ、4f 電子の局在・非局在性を反映した特徴的な励起ピークを見だし、そのエネルギーがこれら物質の混成エネルギーと普遍的にスケールアップしていることを見いだした[1]。一方、同一の物質に圧力を印加することで 4f 電子の局在性や混成の度合いをチューニングして光学伝導度の測定を行えば、4f 電子のミクロな混成電子状態に関してさらに多くの情報が求まると期待できる。ここでは最近我々が行っている Yb, YbAl_2 の高圧下における赤外分光実験の結果[2]を紹介したい。いずれの物質でも圧力増加と共に Yb の価数が 3 価に近づく、すなわち f 電子の局在性が増していくにつれて、f 電子(正孔)の混成エネルギーが減少していく様子が明確に捉えられている。

[1] H. Okamura *et al.*, JPSJ 76 (2007) 023703.

[2] H. Okamura *et al.*, JPSJ 76 (2007) Suppl. 9.

高圧下赤外顕微分光法による LiV_2O_4 の圧力で誘起される新しい電子相の研究

入澤 明典 (神戸大院自然)

AB_2X_4 型で表されるスピネル化合物 LiV_2O_4 は、d 電子系で初めて重い電子的な振る舞いをする事が発見され、数少ない金属伝導を示すスピネル酸化物として注目されている。本物質における重い電子状態は、物性に寄与する電子が 3d 電子であるため f 電子系での近藤効果に基づいた描像とは異なると考えられ、スピネル構造の幾何学的フラストレートという観点なども含め、その起源を解明することが非常に重要となる。また、圧力効果についても研究されており、7 GPa 以上の高圧低温下で絶縁体化することが電気抵抗測定から知られている。本研究は、温度、圧力のパラメータを変えた赤外反射測定を行い、低温での重い電子状態から圧力下での絶縁体状態に変化する過程を直接観測することを目的とした。遠赤外～可視光反射実験は SPring-8 BL43IR の放射光および実験室光源を用いおこなった。圧力はダイヤモンドアンビルセル(DAC)を用いて発生させ、温度可変プローブにセットした DAC 内の単結晶試料に対し、赤外顕微鏡を用いて 6～300 K の温度範囲で、常圧～20 GPa の圧力下での反射測定をおこなった。

電気抵抗で絶縁体への変化が現れ出す 7 GPa 前後から反射率にも変化が見られ、9 GPa 以上では大きく反射率が減少した絶縁体を示す状態になる。その際、中赤外ピークおよびエネルギー幅のある遠赤外ピークが光学伝導度に出現し、それぞれ電気抵抗の温度変化でみられる特徴に対応することを温度-圧力相図から解明した。これらをもとに赤外分光測定から見た圧力下での LiV_2O_4 の電子状態の変化を説明する。

圧力下比熱と磁化測定法の開発と重い電子系 YbAgGe の圧力誘起磁気秩序

梅尾 和則 (広大自然セ)、久保 博一 (広大院先端物質)、加藤 健一 (防衛大応物)
落合 明 (東北大院理)、高島 敏郎 (広大院先端物質)

我々はこれまで Ce や Yb を含む重い電子系化合物の磁気量子臨界点近傍で出現する非フェルミ液体的挙動や特異な圧力誘起磁気秩序の研究のため、2 GPa 以上の圧力、1 K 以下の低温、10 T までの強磁場下での比熱と磁化測定法の開発を行ってきた。本講演では、それらの開発の現状を紹介し、重い電子系 YbAgGe の測定例を示して、それらの方法の今後の展望について議論したい。

圧力下比熱測定には交流法熱量計とブリッジマンアンビルセルを組み合わせた装置を新たに開発した。温度計とヒーターを圧力のかからないガスケットの縁に取り付けることで、高圧下でも常圧下と同じ測定精度で比熱を測定できた。それを用いて重い電子系反強磁性体 YbAgGe の比熱を 3.2 GPa まで測定した。その磁気転移温度は 1.6 GPa の 0.9 K から 3.2 GPa の 1.7 K まで急上昇するが[1]、磁気エントロピーから見積もった近藤温度は 1.6 GPa 以上でほとんど変化しない。このことは、転移温度の急上昇が近藤効果の抑制ではなく Yb イオンの作る擬カゴメ格子の磁気フラストレーションの部分的緩和であることを示唆する。

2 GPa 以上の圧力下、0.3 K までの極低温下での磁化測定のため、NiCrAl 合金と Cu-Be 合金を組み合わせた小型二層式圧力セルをキャパシタンスセルを用いたファラデー法[2]による磁化測定装置に組み込んだ。これまでの最高圧力は 2 GPa である。 YbAgGe の磁化を測定し、4.5 T 付近で見られるメタ磁性的な磁化の増大が 1 GPa 以上で、低磁場側にシフトすることがわかった。また、4 T 以上、1 K 以下で新たな磁気相が出現することがわかった。

[1] K. Umeo, *et al.*: Physica B 359-361 (2005) 130.

[2] T. Sakakibara, *et al.*: JJAP. 33 (1994) 5067.

BiNiO₃は $\sqrt{2}a \times \sqrt{2}a \times 2a$ のユニットセルを持つ、三斜晶のペロブスカイトである(図1)。2サイトあるビスマスイオンが3+と5+に電荷不均化しており、酸化状態はBi³⁺_{0.5}Bi⁵⁺_{0.5}Ni²⁺O₃、Ni²⁺を反映して、 $S=1$ を持つ反強磁性絶縁体である。この物質においては、4GPa以上に加圧することで金属化が起こる。絶縁体-金属転移のメカニズムとして、1. 加圧によってBi³⁺+Bi⁵⁺の電荷不均化が融ける、2. Bi⁵⁺からNi²⁺への電荷移動が起こり、ニッケルが3価になるために金属化がおこる、の2通りが考えられる。どちらが起こっているのかを検証するため、イギリス RAL ISIS のビームライン PEARL で、圧力下の粉末中性子回折実験を行った。精密化した構造パラメータから見積もったBond-Valence Sumを図2に示す。常圧相では3価と5価に不均化していたBiの価数が高压相では3になり、それに伴ってNiが2価から3価へと酸化されたことが分かる。つまり、BiNiO₃の圧力誘起絶縁体-金属転移は、AサイトからBサイトへの電荷移動によって起こることが明らかになった。

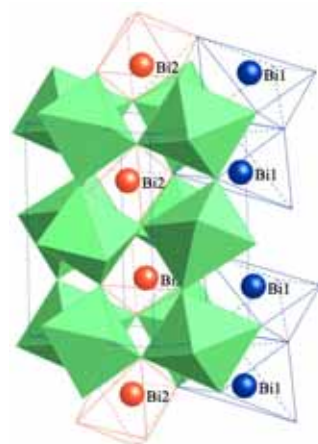
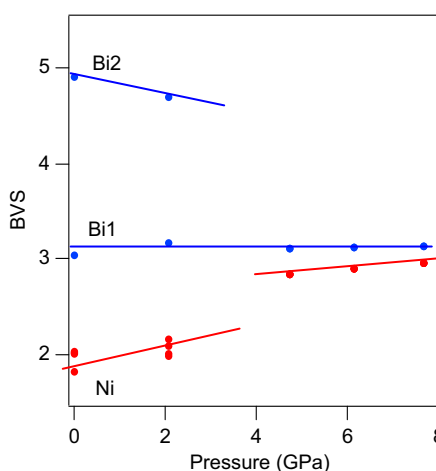
図1 BiNiO₃の結晶構造

図2 ボンドバレンスサムの圧力依存性

熱電能(TEP、ゼーベック係数)は、電気抵抗や比熱と相補的な関係にある重要な輸送係数であるが、測定の煩雑さや解析に用いる手頃な理論がないなど、あまり一般的ではないと思われる。しかし、近年、熱電材料の探索や強相関電子系での大きな熱電特性に注目が集まっている。我々は、以前から、低・高温領域や強磁場中に加えて、高压下での熱電能測定を行ってきたのでそれを報告する。

一般的に熱電能測定は、直流法か交流法で測定することになると思われるが、我々は「シーソーヒーティング法」という独自の方法を開発し、それにより従来方法よりも高精度な測定が可能になった。電気抵抗やホール効果の電流・磁場反転と同様に、熱流の反転により余分な起電力を取り除き精度を上げていると考えると分かりやすい。先に熱電対の起電力校正をしておく、熱平衡に達した起電力値をそれぞれ測定することで、試料の熱電能を決めることができる。また、電流端子を導入することで熱平衡時に電流を印加し、電気抵抗も同時測定することが可能である。

その測定例として、 $P_C \sim 1.25$ GPaで価数転移を起こすYbMn₂Ge₂を紹介する。[1,2]この系では、常圧でYbイオンが混合原子価状態にあり、磁性はMn間の交換相互作用によって特徴づけられ、AFM I相(163K<T_{N1}<~400K)とAFM II相(T_{N2}<163K)の2つの反強磁性秩序を示す。高压下では、1.25GPaでYbがほぼ3価となる価数転移を示し、それによ

り磁気状態も変化している。それを熱電能でみると、価数転移前後で大きく温度依存が変化し、 T_{N2} で大きく折れ曲がっていた変化が、低温での大きなピーク構造の直前に肩構造として見えている。価数転移後の T_{N2} での変化は電気抵抗では観測できず、熱電能で観測された転移温度は、帯磁率測定でのそれにより一致をみせている。詳細は本講演で紹介する。

[1] T. Fujiwara *et al.*: Acta Phys. Pol. B 34 (2003) 1541.

[2] T. Fujiwara *et al.*: J. Magn. Magn. Matter 272-276 (2004) 599.

O-13

ピストンシリンダー型圧力セルを用いた高圧下強磁場 ESR 測定装置の開発

太田 仁 (神戸大学分子フォトサイエンス研究センター)

圧力は、温度や磁場とならんで物質の状態を変化させる重要なパラメーターである。そこで我々は、圧力という新しいパラメーターを強磁場 ESR 測定に付加する目的で、強磁場 ESR 用の透過型ピストンシリンダー圧力セルの開発をすすめてきた[1]。この圧力セルの特徴は、NiCrAl 合金をセル本体に使いつつ、電磁波の透過を可能にするためピストンやプラグにジルコニアやサファイアを使用している点にある。現在この圧力セルで 1.1GPa の圧力の発生に成功している[1]。また、NiSnCl₆·6H₂O を用いて、ESR による圧力較正法を開発した[1]。本講演では、このように我々が開発した高圧下強磁場 ESR 測定システムを紹介するとともに、この測定システムを用いておこなったスピンドライマー系 KCuCl₃ におけるスピンギャップの圧力依存性の測定結果についても紹介する。なお、本研究は、櫻井敬博(神戸大)、上床美也(東大物性研)、田中秀数(東工大)との共同研究である。

[1] T. Sakurai *et al.*, Rev. Sci. Instrum. 78 (2007) 065107.

O-14

He ガス駆動型ダイヤモンドアンビルセルを用いた低圧領域での X 線回折実験の試み

中尾 裕則 (東北大学 大学院理学研究科)

本研究会の趣旨にあるように、近年の高圧下の実験技術の発展は著しい。このなかで X 線回折実験も、ダイヤモンドアンビルセル(DAC)を用いいくつかのグループにより行われている。しかしながら DAC は、到達圧力が 100GPa をはるかに越える性能がある半面、物性で重要となっている 1GPa, 10GPa といった圧力下での圧力制御は、セル等の熱収縮の影響のために試料部の圧力が温度とともに大きく変化してしまい難しい。このため、あまり多くの研究が行われていないのが現状である。そこで我々は、「任意の圧力(約 10GPa 以下、圧力精度 0.1GPa 以下)・温度(10~300K)での、DAC を用いた X 線散乱実験を自由に行うこと」を目的とし研究を始めた。

そこで、1. 圧力制御に用いる He ガス圧の自動化。2. 圧力マーカーとして NaCl の格子定数の利用。を行った。その結果、各温度・圧力下での X 線散乱実験が自動化でき、さまざまな条件下での測定が比較的容易に行えるようになった。特に測圧に NaCl の格子定数を用いたことで、これまで主流であったルビー蛍光法と X 線散乱実験の組合せに比べ簡便に測圧が行えるだけでなく、0.1 GPa の圧力精度が十分に得られることもわかった。

Pressure-Induced Magnetic Quantum Phase Transition and Magnetic Excitations in Gapped Spin System KCuCl_3

Hidekazu Tanaka

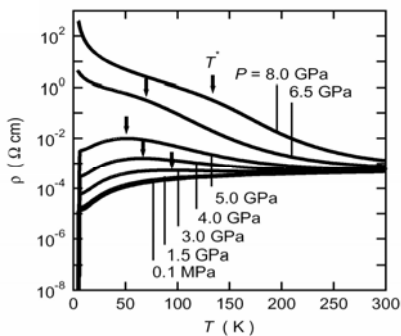
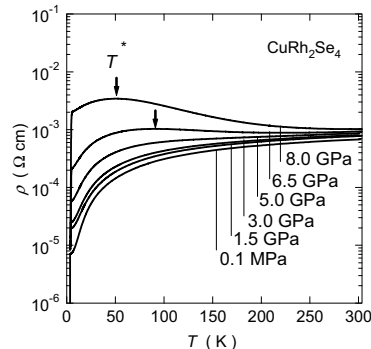
(Department of Physics, Tokyo Institute of Technology)

Magnetization and neutron elastic scattering measurements under a hydrostatic pressure were performed on KCuCl_3 , which is a three-dimensionally coupled spin dimer system with a gapped ground state. The gap decreases with applied pressure. The pressure dependence of the gap was obtained. A quantum phase transition (QPT) from a gapped state to an antiferromagnetic (AF) state occurs at $P_c = 8.2$ kbar. For $P > P_c$, magnetic Bragg reflections were observed at reciprocal lattice points equivalent to those for the lowest magnetic excitation at zero pressure. This confirms that the spin gap decreases and closes under applied pressure. The ground state for $P > P_c$ can be described by the coherent superposition of the singlet $|0,0\rangle$ and two triplet components $|1,\pm 1\rangle$. To investigate the pressure effect on magnetic excitations, we also carried out neutron inelastic scattering experiments at 4.7 and 6.4 kbar using a newly designed cylindrical high-pressure clamp cell. A well-defined single excitation mode is observed. The dispersion relations along four different Q directions were obtained. The softening of the excitation mode due to the applied pressure is clearly observed. Using the random phase approximation, we have analyzed the dispersion. From the analysis of both magnetic susceptibility data and dispersion relations, it was found that an intradimer interaction decreases with increasing pressure, while sum of interdimer interactions increases. These pressure dependences of the exchange interactions give rise to reduction in spin gap and the pressure-induced QPT from a gapped ground state to an AF state in KCuCl_3 .

硫化スピネル超伝導体の圧力誘起超伝導絶縁体転移

伊藤 昌和 (鹿児島大理)

AB_2X_4 (X:カルコゲン) で表されるカルコゲナイドスピネルは、磁性や電気伝導において様々な物性を示す。たとえば CuRh_2S_4 や CuRh_2Se_4 が超伝導体 (T_c はそれぞれ 4.7, 3.5 K) であるのに対し、 CuIr_2S_4 は金属絶縁体転移 ($T_{MI} = 226$ K) を起こす。格子定数は、 CuRh_2Se_4 (格子定数 $a = 10.269$ Å)、 CuIr_2S_4 ($a = 9.844$ Å)、 CuRh_2S_4 ($a = 9.787$ Å) の順に小さくなり、この順序で化学的圧力が強くなっていると見なせる。こういった背景で我々はこの系の圧力効果に興味を持ち、研究を行っている。 CuRh_2S_4 の圧力下電気抵抗率 ρ の温度依存性を図-1 に示す。圧力範囲 $P < 5.0$ GPa では超伝導転移を示すが、 $P > 6.0$ GPa では超伝導転移が消失し、 ρ の温度依存性も絶縁体的となる。つまり圧力誘起超伝導絶縁体転移が起きている。図-2 に CuRh_2Se_4 の圧力下電気抵抗率を示す。 CuRh_2S_4 のように圧力印可による電気抵抗率の増大が見られるが、8GPa までの圧力範囲では圧力誘起超伝導絶縁体転移は起きていない。発表では $\text{CuRh}_2(\text{S}_{0.8}\text{Se}_{0.2})_4$ の圧力下電気抵抗率測定の結果も併せて報告する。

図-1 CuRh_2S_4 の圧力下電気抵抗率図-2 CuRh_2Se_4 の圧力下電気抵抗率

圧力下での擬二次元三角格子 FeGa_2S_4 と $\text{Fe}_2\text{Ga}_2\text{S}_5$ の伝導

富田 崇弘^A、殿村 宏史^B、南部 雄亮^{AB}、松本 洋介^A、中辻 知^A、松林 和幸^A、上床 美也^A
(東大物性研^A、京大理院^B)

カルコゲナイド化合物 FeGa_2S_4 、 $\text{Fe}_2\text{Ga}_2\text{S}_5$ は、 $S=2(\text{Fe}^{2+})$ の擬二次元三角格子を持つ反強磁性体である。 FeGa_2S_4 (trigonal 構造) は、 Fe^{2+} が二次元三角格子を形成し、低温まで長距離秩序を示さずに 18 K でスピン凍結する。一方、 Fe^{2+} が二枚積層した構造である $\text{Fe}_2\text{Ga}_2\text{S}_5$ (rhombohedral 構造) の場合、最近接相互作用より次近接相互作用の方が強い。このため、磁性を考える上で有効な格子はフラストレーションのない四副格子からなるハニカム格子となると考えられる。それに対応して、この物質は、磁化、比熱により 113K に反強磁性転移を示すことがわかっている。 FeGa_2S_4 、 $\text{Fe}_2\text{Ga}_2\text{S}_5$ は共に常圧で絶縁体である。我々は、これらのフラストレーションを伴う $S=2$ の二次元三角格子を持つ系において、金属化を目指して高圧実験を行った。 FeGa_2S_4 は加圧や温度上昇に伴い電気抵抗は減少した。一方、 $\text{Fe}_2\text{Ga}_2\text{S}_5$ は室温付近では加圧に伴い抵抗は減少するが、低温では一転して、加圧と共に絶縁体化することが観測された。この電気抵抗から見積もられた FeGa_2S_4 と $\text{Fe}_2\text{Ga}_2\text{S}_5$ のエネルギーギャップ(図2参照)は、それぞれ 0.12、0.005 eV となった。 FeGa_2S_4 は圧力と共に単調に電荷ギャップが減少し、室温では 12GPa 程でギャップが潰れると考えられる。一方 $\text{Fe}_2\text{Ga}_2\text{S}_5$ は、それとは逆にギャップが開く振る舞いを見せ金属化する傾向は見られなかった。

パイロクロア型モリブデン酸化物の圧力誘起相転移

井口 敏^A、花咲 徳亮^B、絹原 政樹^A、田口康二郎^C、
竹下 直^D、寺倉千恵子^D、高木 英典^{D,E}、十倉 好紀^{A,D,F}
(東大工^A、岡山大理^B、東北大金研^C、産総研 CERC^D、東大新領域^E、ERATO-MF^F)

パイロクロア型モリブデン酸化物 ($R_2\text{Mo}_2\text{O}_7$, $R = \text{Nd-Lu}$, Y) は、特徴的な格子系に由来するスピンプラストレーションと希土類イオン半径の違いによるバンド幅の変化により、強磁性金属からスピングラス絶縁体へと変化する非常に貴重なモット転移系である[1]。我々はこの系の圧力下での全体像を理解するため常圧下で金属強磁性体である $\text{Nd}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ から同じくスピングラス絶縁体である $\text{Dy}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ までの各試料で高圧力下の抵抗率、磁化率を測定した。

$R_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ における圧力効果の大きな特徴は、圧力パラメータが希土類イオン半径の違いによる化学圧力パラメータとスケールするペロブスカイトマンガン酸化物[2]などとは大きく異なるということである。常圧で強磁性金属である $\text{Sm}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ 、 $\text{Nd}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ では、圧力増加とともに強磁性転移温度が下がっていき、スピングラス的な磁性を示すようになる。さらに高圧力下ではスピングラス的な転移も消失してしまい、常磁性金属状態へと転移することが分かった。常圧でスピングラス絶縁体である $\text{Gd}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ でも高圧下ではスピングラス転移が消失し常磁性金属状態に転移する。

これらの相転移は常圧での金属-絶縁体転移点に近いほど低い圧力下で起こり、強磁性金属相、スピングラス絶縁体相、常磁性金属相が集まった多重臨界点を形成していることがわかった。

[1] T. Katsufuji, *et al.*, Phys. Rev. Lett. 84, 1998 (2000).

[2] H. Y. Hwang, *et al.*, Phys. Rev. B 52, 15046 (1995).

圧力下比熱でみた KOs_2O_6 の基底状態

井澤 公一^{A,B,C}、Bernard Salce^B、Jacques Flouquet^B、山浦 淳一^C、廣井 善二^C
(東工大理工^A、CEA グルノーブル^B、東大物性研^C)

ベータ型パイロクロア酸化物超伝導体 AOs_2O_6 ($A=\text{Cs, Rb, K}$) は OsO_6 八面体の作る比較的大きな籠の中にアルカリ金属イオン A が存在することにその構造的な特徴をもち、その構造からアルカリ金属イオンによるラットリングが低温においても残るといふ特異な性質をもつ。さらにこのラットリング運動の存在が電子-格子相互作用を通して低温での特異な電子状態を実現させていることが期待され、多くの研究者により興味を持たれ精力的に研究がなされている。この特徴はアルカリ金属イオンが K の場合に顕著となる。実際、 KOs_2O_6 では低温で非常に大きな格子比熱が見られ、さらに超伝導転移温度 ($T_c=9.6$ K) とは別に構造由来と思われる異常な 1 次転移が $T_p=7.5$ K に見られる。この転移温度 T_p は磁場に対して非常に鈍感であることが分かっているがその詳細はよく分かっていない。仮に T_p の起源が構造に由来すると考えると、大きな圧力依存性が期待されるためその詳細を調べる上で圧力下での物性測定がきわめて重要であると考えられる。そこで我々はダイヤモンドアンビルセルを使い、 KOs_2O_6 の比熱を 12 GPa までの圧力下で測定し、 T_c および T_p の圧力変化を調べた。測定には交流法を用い圧力媒体として Ar を用いた。

その結果、常圧では T_c で比熱に明確な異常が見られた。一方、 T_p では他の報告で見られるような明確なピーク構造ではなくショルダー状の異常が見られた。圧力をかけると T_c そのものはそれほど変化しないものの T_c での異常がブロードになり同時に T_p では明確な異常は見られなくなった。このことは T_p での異常が圧力に非常に敏感であることを示唆している。また 1.6 GPa 以上の圧力領域で T_c での異常が再びシャープになる事を考えると、低圧領域で T_c での異常がブロードに見えるのは T_c と T_p の 2 つの異常が重なっていることに起因している可能性がある。さらに圧力を増加させてゆくと T_c は徐々に低下し 5 GPa 付近で急激に減少・消失する。この T_c が急激に変化する領域での実験結果を詳細に調べると T_c よりも低温側に小さい異常が見られることが分かった。この低温側の異常の起源はまだ明らかではないが、超伝導が一次転移的に消失していることと深く関係している可能性がある。

CeRhSi_3 の圧力下のフェルミ面

寺嶋 太一、山口 尚秀、松本 武彦、宇治 進也 (物材機構)
木村 憲彰、青木 晴善 (東北大極低セ)
播磨 尚朝 (神戸大理)

結晶構造に反転対称性を持たない重い電子系 CeRhSi_3 は、常圧では低温で反強磁性を示すが、加圧により磁性が消失する。また、加圧下で超伝導を示す[1]。上部臨界磁場 B_{c2} は大きな異方性を示し、 B_{c2} の高い c 軸方向では、約 1 K の低い超伝導転移温度にもかかわらず、30 T 近い異常に高い $B_{c2}(0)$ が観測される[2]。30 kbar までの高圧力下で c 軸方向の dHvA 測定を行ったところ[3]、フェルミ面の大きなシートが磁性・非磁性転移圧力をまたいで連続的に観測され、磁性状態でも Ce 4f 電子は遍歴していると思われる。dHvA 振動は超伝導状態でもよく見え、振動強度の磁場依存性を解析すると、そこには超伝導ギャップの影響が見られなかった。

[1] N. Kimura *et al.*, PRL 95, 247004 (2005).

[2] N. Kimura *et al.*, PRL 98, 197001 (2007).

[3] T. Terashima *et al.*, PRB 76, 054506 (2007).

O-21

重い電子系化合物 CeRhIn_5 の圧力-温度相図 (NQR による研究)

八島 光晴 (阪大基礎工)

重い電子系化合物 CeRhIn_5 は、常圧では反強磁性 ($T_N = 3.8 \text{ K}$) を示すが、約 1.5 GPa 以上の高圧下で超伝導が発現することが分かっている。重い電子系超伝導に関する研究では、反強磁性と超伝導の関係を解明するために、反強磁性がいかにして超伝導に移行していくのかが興味持たれるところである。これまでの研究からは、この物質では反強磁性が超伝導相と接したところで一次相転移的に消失しているのではないかと報告されているが(比熱など)、この反強磁性磁気臨界点近傍の振る舞いを正確に見極めるために NQR 測定を試みた。今回の発表では、NQR 測定から得られた磁気臨界点近傍の詳細な相図を紹介する。

圧力装置はピストンシリンダー型高压セルを用いている。今回の測定では、NQR スペクトルの解析からおよその圧力分布を見積もっており、それをもとに磁気臨界点近傍の T_N の圧力変化を決めることができ、約 2.1 GPa で反強磁性が消失することを明らかにすることができた。驚くべきことは、この反強磁性相転移線が超伝導ドーム ($\sim 2 \text{ K at } 2 \text{ GPa}$) に潜り込んでいることであり、このことから CeRhIn_5 には四重臨界点(常磁性相、反強磁性相、共存相(反強磁性+超伝導)、超伝導相)が存在していると考えられる。

O-22

立方晶 CsCl 型化合物 YbPd における圧力効果

光田 暁弘、山田 健二、和田 裕文 (九大院理)

YbPd は立方晶 CsCl 型構造をもち、基礎物性の測定から $T = 0.6, 2.0, 105, 125 \text{ K}$ で相転移を示す物質として報告されていた[1]。170Yb メスバウアー効果の測定[2]から、 2.0 K は磁気転移によるものとされているが、それ以外の相転移の機構は明らかになっていない。また、低温における磁場中メスバウアー効果の測定[2]によって、Yb は磁性的なものと非磁性的なものがほぼ $1:1$ で存在すると報告されている。結晶学的に Yb は 1 サイトであるので、2 つの異なる磁性をもつ Yb が共存することは興味深い。今回、我々は、この非磁性的な Yb は 2 価 ($4f^{14}$) 寄りの価数状態によって発現しているものと予想し、圧力による 3 価 ($4f^{13}$) 方向へのシフトとそれに伴う新しい相の発現を期待して、圧力下における電気抵抗を測定した。測定は現在進行中で 1.6 GPa まで測定が進んでいる。これまでの測定の結果、加圧とともに $105, 125 \text{ K}$ の相転移は急激に低温へシフトし、 1.6 GPa において、 20 K 以下にまで下がった。一方、 2.0 K の磁気転移に相当する異常は 3.0 K 付近に観測され、加圧とともに顕著になっていく。磁気秩序が安定化していることを示しているものと考えられる。更に加圧とともに最低温度の電気抵抗が上昇していくことから、非磁性的な Yb が磁性的な方向へシフトし、価数揺らぎが大きくなっている可能性を示唆している。

[1] R. Pott *et al.*, PRL 54 (1985) 481

[2] P. Bonville *et al.*, PRL 57 (1986) 2733

O-23

重い電子系物質 $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$ における高圧下物性測定

松林 和幸、才賀 裕太^A、辺土 正人^B、梅原 出^C、藤原 哲也^D、小坂 昌史^A、片野 進^A、上床 美也
(東大物性研、埼玉大院理工^A、琉球大理^B、横国大院工^C、山口大院理工^D)

最近、立方晶の結晶構造を持つ一連の物質群 $\text{YbT}_2\text{Zn}_{20}$ ($T = \text{Fe, Co, Ru, Rh, Os, Ir}$) において、低温で重い電子状態を示すことが報告された。常圧における磁化率の温度依存は Yb^{3+} 状態によるキュリー・ワイス則に従うが、低温において

磁気秩序は示さない。いずれの物質においても電子比熱係数は非常に大きな値を示し、特に $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$ においては数 J/mole K^2 以上にも達する。我々は $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$ の物性に着目し、単結晶試料の育成および高圧下物性測定に取り組んできた。興味深いことに最近の我々の研究結果によれば、約 1 GPa の高圧域において磁気秩序相の存在を示唆する実験結果が得られている。本講演では、高圧下比熱測定に関する実験結果と過去に行われた電気抵抗・磁化測定結果を紹介し、 $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$ の低温における電子状態について議論する。

O-24

Ca_2RuO_4 の多彩な圧力誘起量子相転移

中村 文彦 (広島大学先端物質科学研究科)

強相関電子系物質を加圧することで興味ある奇量子現象が発見されている。なかでも Ru 酸化物ではモットの金属-絶縁体転移、異方的巨大磁気抵抗効果、遍歴電子磁性、エキゾチック超伝導など多彩な新奇量子現象が現れる。また、この系の物理を理解するために、量子臨界、エキゾチック超伝導、マルチバンドモット転移、軌道秩序、遍歴電子強磁性理論などの強相関電子系特有の重要概念が考えられている。

我々は、反強磁性を基底状態に持つ Mott 絶縁体 Ca_2RuO_4 を加圧し Sr_2RuO_4 と同じ p 波超伝導を出現させることを目指している。現在までに Ca_2RuO_4 の圧力相図から判ったことは[1,2]、①わずか 0.5 GPa で反強磁性を基底状態とするモット絶縁体から強磁性を基底状態とする 2 次元金属へ転移する。(現在、2 次元金属で強磁性が出現する唯一の系である)②磁化過程から強磁性の遍歴パラメータや異方性パラメータを決定した。その結果、圧力誘起強磁性が MnSi と同程度の遍歴強磁性で、d 電子系強磁性体では希にみるほど大きな異方性を持つ③ $1\sim 2 \text{ GPa}$ の圧力範囲で磁気構造の磁場変化に関係して異方的巨大磁気抵抗、特に 10 T で 80% もの正の巨大横磁気抵抗が現れる。④強磁性転移温度は約 5 GPa で最高の 25 K となったあと減少し、約 8 GPa で消失、臨界を示す。

この系で圧力誘起される新奇量子現象が多彩であることは、電子状態(フェルミ面)の 2 次元性と関係すると考えられるが、これを明らかにし、さらに興味ある現象を探索するには高温超伝導で行ったような、異方的圧力実験[3]が有効であろう。

[1] F. Nakamura, *et. al.*, Phys. Review B 65 (2002) 220402(R).

[2] F. Nakamura, J. Phys. Soc. Jpn. Supl A 76 (2007).

[3] F. Nakamura, *et. al.*, Physical Review B 61 (2000) 107-110.

O-25

高圧力下熱容量測定の試み

梅原 出、小川 敏寛、吉岡 顕人、富岡 史明(現 NIMS) (横浜国大・工学研究院)
松林 和幸、上床 美也 (東大・物性研)
辺土 正人 (琉球大・理学部)

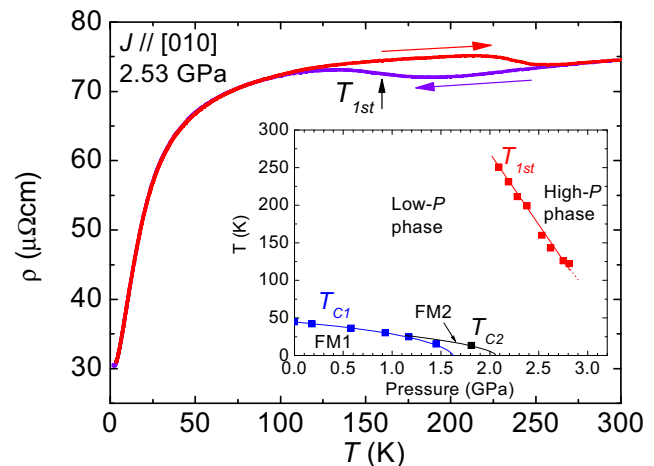
高圧力下での熱容量測定システムの開発とその応用例に関して報告する。熱容量測定法は断熱法と交流法である。断熱法は、希釈冷凍機をもちいて、 100 mK からの測定が可能である。最高到達圧力は、約 1.5 GPa である。このシステムを用いて、 CeRhSi_3 に応用した。結果、重い電子反強磁性秩序状態と超伝導状態がバルクで共存する事を見出した。交流法は、 ^3He のクライオスタットを用いて 450 mK からの測定が可能である。最高到達圧力は、現在のところ、 NiCrAl-CuBe のハイブリッドセルを用いているため、 3 GPa の程度である。このシステムを用いて、 CeIrSi_3 、 CeRhSi_3 に応用した。 CeIrSi_3 に関しては、約 2.2 GPa が臨界圧力であるように見える。つまり、重い電子反強磁性秩序状態と超伝導状態は、基本的にはバルクで共存しない、あるいは、バルクで共存する圧力領域は極めて狭いように見える。 CeRhSi_3 に関しては、現在進行中であるが、 1.93 GPa で、重い電子反強磁性秩序状態と超伝導状態はバルクで共存しているように見える。これは、断熱法の結果と矛盾しない。今後の課題として、断熱法のさらなる高圧力化と交流法をキュービックアンビルへ応用する事をあげたい。

UIr における圧力誘起一次相転移と超伝導の関係

小手川 恒、堀 彰宏、入江 祐太、日高 宏之、小林 達生、赤澤 輝彦^A
 山本 悦嗣^B、池田 修悟^B、芳賀 芳範^B、大貫 惇睦^{B,C}
 (岡大院自然、神大海事科学^A、原研先端研^B、阪大院理^C)

UIr は空間反転対称性を持たない強磁性体であり、2.5–2.7 GPa の高压下で超伝導が出現する。[1] 圧力下では3つの強磁性相 (FM1–FM3) が現れ、超伝導は FM3 が消失する直前で観測される。[2] しかし、[010] 方向の残留抵抗が 1.5–2.5 GPa で急激に増大するため、構造相転移と思われる圧力誘起の一次相転移と、それに伴う広い圧力範囲での相分離の可能性があり、[2] 超伝導が FM3 と微視的に共存しているのかどうかは結論できていない。

これまでの圧力実験は全て圧力媒体としてダフネオイル 7373 を用いていたが、より静水圧性を高めるため、室温で固化する圧力が高い石油エーテルを用いた。図に電気抵抗の温度変化を示すが、2.53 GPa では温度に対してヒステリシスが観測された。このヒステリシスは 2.1–2.8 GPa の広い圧力範囲で観測される。図のように降温過程の midpoint を T_{1st} と定義して相図に表すと、高压相と低压相の存在が明らかになる。一方、圧力媒体にダフネオイル 7373 を用いた場合はヒステリシスが観測される圧力範囲が狭く、2.5 GPa 程度では低温まで高压相が安定であることが分かった。低压相が安定な石油エーテルの実験では FM3 相への転移と超伝導転移は確認できなかったため、FM3 と超伝導は高压相で起きていると推測される。また、我々が用いているインデンターセルとその改良の状況についても紹介する予定である。



図：石油エーテルを用いた圧力下電気抵抗と得られた相図

[1] T. Akazawa *et al.*, JPSJ **73** (2004) 3129.

[2] T. C. Kobayashi *et al.*, JPSJ **76** (2007) 051007.

希土類・アクチノイド化合物の高压下物性研究

立岩 尚之、池田 修悟、芳賀 芳範 (原子力機構・先端基礎研セ)
 竹内 徹也、撰待 力生、大貫 惇睦 (阪大院理)

私たちのグループでは主に高压下交流比熱測定を通して希土類・アクチノイド化合物の磁性・超伝導を研究している。熱力学的測定から磁気・超伝導転移温度を正確に決定し、電子比熱の(相対的)圧力変化等を通して磁気消滅臨界圧力近傍の電子状態の特異性と超伝導発現との対応関係を調べる。本研究会では私達の過去3年間の研究結果を紹介する。

私達は AuFe 系熱電対を用いた交流比熱測定を通して結晶構造に反転対称性のない CePt₃Si, UIr, CeIrSi₃ などの(圧力誘起)超伝導物質の研究を行ってきた([1], [2], [3])。CePt₃Si では希釈冷凍機を用いた最低温度 70 mK までの高压下比熱測定を通して磁気臨界圧力が決定され、バルクな超伝導相と磁気秩序相との関係が議論された[1]。UIr では 60 K の高温領域まで交流比熱測定を拡張させた。緩和法による比熱測定結果との比較から高温まで信頼できる交流比熱測定が可能であることを示した。さらに高压下比熱測定から UIr の高压相(FM1,2,3)の相境界を決定した[2]。さらに CeIrSi₃ では一つの試料を用いて電気抵抗と比熱を「同時」に測定し、ゼロ抵抗から決定された超伝導相とバルクの超伝導相との違いを議論した。また、磁気臨界圧力(2.25 GPa)以上では超伝導転移温度における比熱異常($\Delta C_{ad}/C_{ac}(T_{sc})$)は 5.7 もの大きな値を示す[3]。この値は過去の超伝導物質と比較しても最大の値であり、強結合超伝導状態が実現していることが示唆される。また上部臨界磁場 B_{c2} の異常な温度依存性などを含めて強結合超伝導という観点で諸実験結果が説明できることが明らかとなった[3]。

研究会では CeIrSi_3 の実験結果を中心に紹介するが、さらに我々が最近取り組んでいる研究テーマ：ウランカルコゲナイトの高圧研究(物性研上床研究室との共同研究)、ダイヤモンドアンビルセルを用いた超高压下物性測定システムの開発についても紹介する。前者については常圧で常磁性絶縁体 US_2 の圧力誘起相転移相と巨大な磁気抵抗効果との関係について議論する。後者について私達は最近希ガス(アルゴン)を圧力媒体とした電気抵抗測定によるウラン化合物の高圧研究を始めた。その基本的手法などについてご紹介したい。

- [1] N. Tateiwa *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. 74 (2005) 1903 .
 [2] N. Tateiwa *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. 76 (2007) Suppl. A, 140.
 [3] N. Tateiwa *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. 76 (2007) 083706

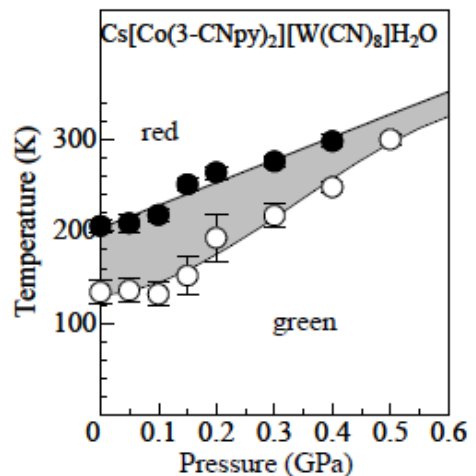
O-28

シアノ架橋金属錯体の温度圧力相図と構造スケーリング

守友 浩 (筑波大学数理物質科学研究科)

CoW シアノ錯体 ($\text{CsCo}[\text{W}(\text{CN})_8](3\text{-CNpy})_2\text{H}_2\text{O}$) では、金属がシアノ基に架橋され二次元的なネットワークを形成している。(Y. Arimoto, S. Ohkoshi, *et al.* J. Am. Chem. Soc. 125, 9240 (2003)) CoW シアノ錯体は温度の上昇に伴い 216K で電荷移動相転移を示し、 W^{4+} から Co^{3+} への電荷が移動する。この相転移に伴い、磁性が非磁性から常磁性へと変化する。また、低温で光誘起磁性を示すことが知られている。我々は、この光誘起磁性が光誘起による準安定構造へと構造変化に起因することを明らかにした。(J. E. Kim, *et al.* Phys. Rev. B 76, 014106 (2007)) 次に、我々は、静水圧力が電荷移動相転移に及ぼす効果を多角的に研究した。

まず、電荷移動相転移が非磁性-常磁性の磁性変化を伴うことを利用して、圧力下での磁化率の温度依存性より臨界温度を決定した。圧力印加には、ピストンシリンダー型の圧力セルを用い、ダフニンオイルを圧力媒体とした。得られた温度圧力相図を左に示す。Red は常磁性相、green は非磁性相に対応する。臨界温度は、250K/GPa といた大きな割合で上昇した。この大きな圧力係数は、電荷移動相転移に伴う大きな体積変化 ($\Delta V/V=0.08$) に起因すると考えられる。こうした温度圧力相図と構造との相関を調べるために、高輝度である放射光 X 線を用いて構造の温度依存性及び圧力依存性を調べた。粉末パターンの温度依存性は、SPring-8/BL02B2 ビームライン、圧力依存性は BL10XU ビームラインで測定した。講演では、構造の温度変化及び圧力変化に基づき、この物質の電荷移動相転移に及ぼす圧力効果を議論する。



O-29

1/2 充填からずれた $\tilde{\kappa}$ -型 BEDT-TTF 塩の圧力下輸送特性

谷口 弘三 (埼玉大学大学院理工学研究科)

κ -型 BEDT-TTF 塩は、擬二次元性や超伝導相の反強磁性絶縁相との近接という特徴を持つことから、有機超伝導体の中でも最も研究がなされている系である。この系では、伝導層内において、分子の強い二量体化構造を持つことから、バンド充填は厳密に 1/2 である。したがって、圧力によって、バンド幅を制御することにより、金属-絶縁体転移が実現し、そこで超伝導が出現していると考えられる。近年、我々は、 κ -(BEDT-TTF) $_4\text{Hg}_{3.8}\text{X}_8$ (X=Cl, Br) と呼ばれる、 κ -型でありながら、水銀の不定比組成に起因した 1/2 充填からわずかにずれた系に注目している。この系の物性は、銅酸化物超伝導体との比較の意味でも大変興味深い。当日は、圧力を関数として調べた、電気抵抗やホール効果などの輸送特性を報告したい。

Cu₂O の ⁶³Cu-NQR による圧力媒体の比較

平山 憲史、山崎 岳洋、深澤 英人、小堀 洋 (千葉大院理)

ピストン・シリンダーセルを用いた圧力範囲での圧力媒体の特性、特に NMR/NQR 実験への適性を調べるために、フロリナート 70-77、グリセリン、イソペンタン・n-ペンタン 1:1 混合液、ダフニー7373 オイルについて、圧力の均一性、及び熱収縮によるヘリウム温度 (4.2K) での圧力損失の効果を Cu₂O の ⁶³Cu-NQR を用いて調べた結果について報告する。

各種の圧力媒体を用いて、加重を変化させながら、室温とヘリウム温度で Cu₂O 中の ⁶³Cu-NQR スペクトルを測定した。⁶³Cu-NQR は共鳴周波数と圧力の間にほぼ直線的な相関があり、またずれ応力、圧力分布も共鳴線の線幅の増加となるために静水圧性の良いプローブとなる。

室温における圧力と共鳴線の線幅(半値全幅)については、0.5GPa 以下の圧力では圧力媒体の種類に依らない。1 GPa を超えたところでフロリナートを用いた場合に、線幅の急激な増加が観測される。これはフロリナートが、1GPa 以上で室温で固化し、この状態で加重を上げたために大きな圧力勾配が発生するためである。同様にダフニーオイルを用いた場合でも 2 GPa 以上で固化後、フロリナートほど急激ではないが共鳴線幅の増加が観測される。グリセリンを圧力媒体として用いた場合、常温で固化していないと考えられるがやや広い共鳴線が観測される。ポスターではこれらのことについて詳しく報告する。

[1] H. Fukazawa, K. Hirayama, *et al.* : submitted to J. Phys. Soc. Jpn.

ピストンシリンダー型圧力セルによる中性子回折

阿曾 尚文 (東京大学物性研究所・附属中性子科学研究施設)

高圧力下中性子散乱による磁性体の研究にはある程度の試料体積が必要であるため、ピストンシリンダーを用いた研究が極めて有効である。しかし、中性子科学の分野においては、中性子に対する圧力セル自身の透過や散乱の問題があり、特に(欧米に比して)日本ではあまり開発等が行われてこなかったのが現状である。原研改三号炉では改良型 McWhan セル、所謂「小野寺セル」が汎用型圧力セルとして広く使用されてきて、幾つかの大きな成果をあげてきたが、その大きさ(直径~100mm)の問題から特性温度の低い希土類・ウラン系の重い電子系の極低温での研究には不向きであった。

そこで、物性研中性子グループと高圧グループ(上床研)は、各種冷凍機に取り付け可能な各種小型圧力セルの開発し、「中性子回折による磁気構造決定のため」の、CuBe 製の単胴型や NiCrAl/CuBe 製の二重型のピストンシリンダー等を製作してきた。NiCrAl/CuBe の二重セルは NiCrAl 自身を薄くする等の改良を加えても 2.5GPa 以上の圧力が実現しているが、Ni の非干渉性散乱が大きいために 1 μB 程度以上の磁気構造の決定が可能である。また、外径 8.8mm の CuBe 製のものは、0.2μB 程度以上であれば磁気構造の決定が可能である。また、各種圧力媒体も中性子に対する特性(透過と散乱)や静水圧性についても調べられ、例えば、Daphne7373 は水素 H を含み透過性能が悪いため、磁気モーメントの小さい研究対象には不向きであり、重水素化したアルコール系の媒体が適当である。静水圧性を無視すれば、フッ素系のフロリナートは最も透過性能がよい。

CeRhIn₅ は、常圧で反強磁性体($T_N=3.8K$)であり、最新の結果では $T_{sc}=90mK$ にて超伝導を示す。加圧とともに T_N は徐々に減少するのに対し T_{sc} は上昇し、1.9GPa の臨界圧力近傍の複雑な温度・磁場・圧力相図が CeCoIn₅ の超伝導と比較・議論されている。磁気構造は非整合な波数ベクトル $k=[0.5,0.5,0.297]$ で記述される螺旋構造をとる。そこで、我々は CeRhIn₅ の磁性と超伝導との関連性を調べる目的で CuBe 製のピストンシリンダー(φ8.8)を用いた中性子回折による磁気構造の圧力依存性を調べている。現在 1.2GPa までの圧力下にて磁気反射の観測に成功しており、これまでの圧力下中性子回折結果に比して最も SN 比のよい。さらに驚くべきことは、重水素化したメタノール・エタノール混合液を圧力媒体として用いたことにより、フロリナートを用いた過去の結果と非整合値の圧力依存性が大きく異なる結果を得たことである。(即ち、圧力の質により磁気構造が異なる。) 詳細は当日紹介する。

圧力セルの開発は上床美也(東大物性研)、藤原哲也(山口大院理工)両氏との、CeRhIn₅ の研究は、石井究、宮野博行、吉澤英樹(東大物性研)、陳根富、佐藤憲昭(名大院理)氏との共同研究である。

P-3

Palmtop Cubic Anvil 圧力装置の開発

小林 広貴、辺土 正人、松本 武彦、藤原 哲也^A、繁岡 透^A、田渡 正史^B、安藤 大介^B、高木 克啓^B、上床 美也
(東京大学物性研究所、山口大理^A、住重テクノ^B)

Cubic Anvil 圧力装置は、低温においてもより良い静水圧性を実現する装置として定評がある。発生圧力は 10GPa まで可能であり、およそ 1.8K 程度まで冷却できる。

重い電子系物質で研究されている量子臨界現象の研究には、良い静水圧下におけるより低温での物性測定が必要不可欠である。Cubic Anvil 圧力発生装置は、良い静水圧を発生できるが、現在の熱容量の大きい現在の装置ではより低温での測定は不可能に近い。この点を克服するためには、静水圧性を犠牲にせず、より低温度領域で測定できる小型の圧力装置が必要である。

今回我々は、より低温での測定を目指し、装置の小型化を行ったのでその結果を報告する。

P-4

NiCrAl 合金製 SQUID 用圧力装置の開発と圧力下 Ca_2RuO_4 の遍歴強磁性

竹本 哲雄、中村 文彦 (広島大学先端物質科学研究科)

最近、多くの物性研究者が Quantum Design 社の MPMS を利用した磁化測定を行っている。また、約 1GPa までの圧力下での磁化測定も BeCu 製ピストンシリンダーセルで可能になっている。しかし、1GPa を超えて、常磁性磁化も測定できる圧力セルは、今のところ希少である。そこで、我々は NiCrAl 合金 cylinder、特殊加工により圧縮強度・靱性に優れた ZrO_2 piston を用いた圧力セルを開発した。内・外径は $\phi 2.5/\phi 8.5$ 、全長 150mm、圧力媒体としてダフニオイル 7243 を用いている。その結果、室温で 2.4GPa、Sn の超伝導転移温度から決定した低温での圧力は 1.8GPa であった。また、圧力セルに入れた Pb の超伝導 (5K, 0.1mT) と Pd (5K, 1T) の磁化の質量依存性を測定し、測定可能な最小磁化の値を $2 \times 10^{-9} \text{emu}$ と決定した (バックグラウンド差し引きプログラム使用せず)。

さらに、この圧力セルで強磁性を基底状態とする圧力誘起 2 次元金属 Ca_2RuO_4 の磁化測定を行った。強磁性転移温度以上の Curie-Weiss 則に従う磁化率の温度依存性から $p_{\text{eff}} \sim 1.84 \mu\text{B}$ を、低温での強磁性磁化曲線から飽和磁化値 $M_{\text{rem}} \sim 0.42 \mu\text{B}$ を得た。よって遍歴パラメータは $p_{\text{eff}}/M_{\text{rem}} \sim 4.4$ である。また、最低温での磁化曲線の Arrott Plot (M^2 vs H/M) よりスピニゆらぎのパラメータを $T_0 \sim 70\text{K}$ 、 $T_A \sim 640\text{K}$ と求め、generalized Rhodes-Wohlfarth Plot にて代表的な遍歴強磁性体 MnSi と同程度の遍歴性を持つことが分かった。その他、磁化困難軸に対しても同様の測定を行い、磁化曲線より異方性エネルギーを 100kJ/m^3 と求めた。この様に Ca_2RuO_4 の強磁性は d 電子系では磁気異方性が非常に大きいことがわかった。

P-5

$\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ の圧力誘起磁気相

和氣 剛 (東大物性研)

$\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ は $\text{Cu}^{2+}(S=1/2)$ の二量体を基調とした二次元フラストレーション反強磁性体である。Cu 間の二次元的な相互作用は Shastry-Sutherland モデルと同型であり、それに三次元的な相互作用を考慮した相図上では、本系は反強磁性秩序相及びブラケット相近傍のダイマーシングレット相に位置する。我々はこれまでに磁化及び ^{11}B -NMR 測定から、圧力下において温度誘起磁気相転移が起こることを明らかにした[1]。

ダイマーを基調としたスピニギャップ物質の代表例である TlCuCl_3 では、圧力によりギャップが低下し、その消失と同時に反強磁性秩序が現れる。一方本系では、スピニギャップは圧力に対し単調に減少するが、消失する以前の圧力下で磁気相が出現する。また、圧力セルを磁場中で回転させる機構を備えたプローブを用いて行った ^{11}B -NMR 測定から、圧力下磁気相は、有限のスピニギャップを有する二量体とギャップレスな二量体が周期的に配列し、かつゼロ磁場で自発磁化が無い状態にある。

当日は、本系の相図及び、秩序相の磁気状態について報告する。

[1] T. Waki, *et al.* J. Phys. Soc. Jpn. 76 (2007) 073710.

P-6

ホーランド型バナジウム酸化物 $K_2V_8O_{16}$ の金属-絶縁体転移における化学圧力効果

磯部 正彦、小石 茂功、山内 徹、植田 浩明、上田 寛 (東京大学 物性研究所)

我々は、新たな強相関電子系物質の開発を目的として、バナジウム酸化物を中心に物質開発を行ってきた。ホーランド型バナジウム酸化物 $K_2V_8O_{16}$ は、室温で V イオンの結晶学的サイトは 1 つであり、形式的に $V^{3.75+}$ となる混合原子価化合物である。最近、我々は高压合成法 (4GPa, 1200°C) により $K_2V_8O_{16}$ の合成に成功し、初めて約 160K で金属-絶縁体転移することを観測した [1]。またこの金属-絶縁体転移に伴い、構造相転移を示し結晶構造がゆがむ。また同時に帯磁率が急激に減少するが、転移温度以下で磁気秩序を示さない。したがってこの相転移において、電荷秩序を起こし、同時に $V^{3+}\cdot V^{3+}$ 対, $V^{4+}\cdot V^{4+}$ 対を形成し、転移温度以下で、スピン・シングレット状態になっている可能性がある。さらに、K サイトを Rb に、V サイトを Ti に置換した時の相転移の影響を調べた。K⁺ サイトを大きなイオン Rb⁺ に置換することは、負の化学圧力効果に対応する。圧力下での帯磁率の測定結果と比較し、議論する。

[1] M. Isobe *et al.*, J Phys Soc Jpn 75 (2006) 073801.

P-7

$Hg_2Ru_2O_7$ の圧力下絶縁体金属転移

竹下 直 (産総研 CERC)、山本 文子 (理研)、
高木 英典、十倉 好紀 (産総研 CERC、東大、理研)

山本らによって合成されたパイロクロア型 Ru 酸化物 $Hg_2Ru_2O_7$ は構造的に磁気的な不安定性を持っていると考えられるが、常圧においては 108K 付近において金属絶縁体転移を起こす。この際、磁化の減少が観測されており [1,2]、磁気的なペアが形成されているものと考えられる。同時に体積の増大が見られるため、静水圧力を加えることでこの金属絶縁体転移が抑制されると思われる。従って、十分に高い圧力を用いることでこの転移を抑制し、高温側の磁気的に不安定な金属状態を基底状態まで存続させることが可能である。このエキゾチックな金属状態に興味を持ち、実際にキュービクアンビル装置およびブリッジマン型高压装置をもちいて電気抵抗率測定を 12GPa までの圧力範囲でおこなったのでこれを報告する [3]。

[1] A. Yamamoto *et al.*: J. Phys. Soc. Jpn. **76** (2007) 043703.

[2] W. Klein *et al.*: J. Mater. Chem. **17** (2007) 1356.

[3] N. Takeshita *et al.*: J. Phys. Soc. Jpn. **76** (2007) 063707.

P-8

クロムスピネルの磁気転移と圧力効果

植田 浩明 (物性研究所)

クロムスピネル MCr_2X_4 ($M=Zn, Cd, Hg, X=O, S, Se, Te$) は、パイロクロア格子を組んだクロムイオンのみが磁性を担う $S = 3/2$ のハイゼンベルグ磁性体である。酸化物においては、最近接相互作用が反強磁性的であり、スピンの幾何学的フラストレーションの舞台として着目されている。これらのうち $CdCr_2O_4$ および $HgCr_2O_4$ では、強磁場の印加によって、クロムの全磁化の半分の磁化を持つ磁場誘起相がそれぞれ $H > 28 T$ および $H > 10 T$ で現れることが知られている。[1,2] この磁場誘起相は、四つのクロムのつくる正四面体の中で、三つが磁場と平行、一つが磁場と反平行になることによって、反強磁性的な結合を多く残したままで大きな磁化を出すような構造になった結果として現れると理解されている。この磁気転移は、クロムイオン間の磁気的な相互作用に支配されており、磁気相互作用エネルギーを変化させる

ことによって大きな影響を受けると予想される。今回、クロムスピネルの磁気特性の圧力効果を測定したので、その結果の報告および議論を行う。

[1] H. Ueda, *et al.*, Phys. Rev. B **73**, 094415 (2006).

[2] H. Ueda, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **94**, 047202 (2005).

P-9

Pr₂Ir₂O₇における近藤効果の可能性と圧力下電気抵抗測定

高城 重宏、町田 洋、松林 和幸、中辻 知、前野 悦輝^A、上床 美也（東大物性研、京大理^A）

パイロクロア化合物 Pr₂Ir₂O₇は、フラストレーションがあるために 70mK まで長距離磁気秩序を示さない。その一方で電気抵抗測定では、近藤効果のような抵抗値の極小が観測されている[1]。

我々はこの現象の本質を突き止めるため、単結晶に関し圧力下電気抵抗測定を行った。その結果、抵抗極小の温度は圧力増加と共に高温側にシフトすることが明らかとなった。さらに多結晶試料において電気抵抗測定を行ったところ、単結晶試料と同様の電気抵抗の極小が観測された。興味深いことに、単結晶試料とは異なり低温で近藤格子系と類似した振る舞いが観測された。

本講演では、両試料の実験結果の詳細と近藤効果の可能性に関して議論する。

[1] S. Nakatsuji, *et. al.*, Phys. Rev. Lett, **96** (2006) 087204

P-10

圧力 tuning による、物質の電荷自由度の多様性

山内 徹（東京大物性研）

一般式 $\beta\text{A}_x\text{V}_2\text{O}_5$ (A = Li, Na, Ag, Ca, Sr, Pb, $x \sim 0.33$) で表すことが出来る、一連の擬一次元伝導体バナジウム酸化物は圧力下で、電荷自由度が絡んだ、驚くほど多彩な現象を示す。例を挙げると、電荷秩序と競合した超伝導や、Si-MOSFET でのキャリア制御型金属絶縁体転移と同じ臨界指数をもった量子相転移、さらには、電荷自由度が、格子系の対称性そのものと、強くカップルした為に起っているであろうと考えられる、素数周期のみが現れる悪魔の階段的相転移などなど、たった一つの物質群から驚異的と言って良いほど多彩な物理が、その圧力下の性質の中にちりばめられている。本講演では、それらの興味深い物理を、出来るだけ平明に俯瞰することを目的にしている。

P-11

高圧下における層状ニッケル酸化物の金属-絶縁体転移

細矢 哲平、井川 一美（日大院総合基礎）、高橋 博樹、竹内 佳子、吉田かほり（日大文理）

代表的な酸化物超伝導体の一つである La_{2-x}Sr_xCuO₄(LSCO)と同様の結晶構造をもつ R_{2-x}Sr_xNiO₄(R=La,Nd)(RSNO)は電氣的、磁氣的にも銅酸化物と似た性質を示すことから精力的に研究がなされている。RSNO は LSCO に比べて電荷移動ギャップや電子-フォノン相互作用が大きいことから金属化するためには多くの Sr ドープ(ホールドープ)が必要である事が知られている。また三成分系の La-Ni-O 化合物には Ruddlesden-Popper 型である、La_{n+1}Ni_nO_{3n+1} が知られており本研究では n=1 の Nd_{1.6}Sr_{0.4}Ni_{1-x}Cu_xO₇のほかに n=2 の La₃Ni₂O₇の合成も行い、圧力下で電気抵抗を測定することにより金属-絶縁体(MI)転移について調べた。

電気抵抗測定は四端子法を用い、高圧発生にはピストンシリンダーと圧力媒体としてフッ化ナトリウムを使用して 2.5GPa まで測定を行った。またダイヤモンドアンビルセル(DAC)を用いた高圧下での電気抵抗の測定には圧力媒体として NaCl を用い、最大 20GPa まで測定を行った。

Nd_{1.6}Sr_{0.4}Ni_{1-x}Cu_xO₇ の合成を行ったところ、x=0.5 の試料が 220K で MI 転移を起こしている事が確認でき、この試料の高圧下での電気抵抗の測定を行った。ピストンシリンダー装置による結果からは MI 転移温度は圧力に対し緩やかに減少する傾向にある。また La₃Ni₂O₇ においても MI 転移が約 130K に確認され、2 GPa までの圧力下では -12.5K/GPa の割合で減少することが観測された。しかしながら、DAC を用いた測定では全温度領域で試料が絶縁体的性質を示し、MI 転移は確認できなかった。現在 10GPa 付近の圧力下でマルチアンビル等、静水圧性のよい高圧装置での測定を計画している。

P-12

(TMTSF)₂FSO₃ の電子相：圧力下における電荷不均化

薩川 秀隆¹、開 康一¹、高橋 利宏¹、Haeyong Kang²、Y. J. Jo²、W. Kang²、O. H. Chung³
(¹学習院大学、²梨花女子大、³順天大学)

分子性導体(TMTSF)₂FSO₃ は、非対称な四面体アニオン FSO₃⁻ が電気双極子モーメントを持っていることが特徴的である。様々な圧力下での電気抵抗率、熱起電力測定の結果から、他の TMTSF 塩とは異なる複雑な圧力-温度相図が報告された[1]。我々は、各相の電子状態、磁気構造を調べるため、NMR 測定を行っている。以前の ⁷⁷Se-NMR 測定で、圧力下、低温で電荷不均化と予想される吸収線の広がりを観測した[2]。そこで、この電荷不均化の確かな証拠を得るため、圧力下で ⁷⁷Se-NMR の吸収線の角度依存性を測定した。圧力セルは超伝導コイル内を回せるよう、梨花女子大の W. Kang 教授が考案した小型の Be-Cu セルを使用している。測定は、150 K、50 K、15 K の3つの温度で測定した。どの温度でも吸収線は三角関数的にシフトすることを観測した。また、50 K で得られた吸収線は、金属相(150 K)での吸収線に比べて、大きく広がった。この吸収線の広がりの角度依存性は、Knight shift の角度依存性と対応していることから、この温度域で電荷の不均化が起こっていることがわかった。さらなる詳細は当日発表する。

[1] Y. J. Jo *et al.*, Phys. Rev B **67**, (2003) 014516

[2] H. Satsukawa *et al.*, Synth Met. **153**, (2005) 417.

P-13

有機超伝導体への一軸性圧縮と三角格子相図

伊東 裕、石原 哲夫 (名古屋大学)、山田 順一 (兵庫県立大)

近年、2次元有機導体の示す金属絶縁体転移、超伝導転移の異方的三角格子上のモットハバード模型に基づいた理解が進みつつある[1]。特にκ-(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ は極低温まで転移の生じないフラストレーション系として注目されている。鹿児島らによって開発された一軸性圧縮法[2]は、異方的三角格子の *t* と *t'* をほぼ独立に制御でき、三角格子上で電子相転移を研究する上で有力な手法となる。κ 型 BEDT-TTF 塩の3種類の塩について前里らにより一軸性圧縮下の超伝導転移が調べられており、*t'/t*=0.7 付近に超伝導転移温度 *T_c* の最大値が来るように結果が整理される[3]。これは理論的に調べられた相図と対応している。

今回我々は、山田らによって新しく開発された分子 BDA-TTP を用いた2次元有機超伝導体 β-(BDA-TTP)₂SbF₆ (*T_c*=7 K) [4]について、*T_c* に対する一軸性圧縮効果を調べた。その結果、*t* を増大させるスタック垂直方向では *T_c* が低減し、*t'* を増大させるスタック方向では、*T_c* が 3kbar まで上昇した後下降に転ずることがわかった。これは、この物質においても *t'/t*=0.76 付近に *T_c* の最大値があることを示している。

[1] For example, B. J. Powell and R. H. McKenzie, J. Phys. Cond. Matt. **18** (2006) R827.

[2] M. Maesato *et al.*, Rev. Sci. Instrum., **71** (2000) 176.

[3] M. Maesato *et al.*, *Synth. Metals* 137 (2003) 1243; erratum, 143 (2004) 145.

[4] J. Yamada *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* 123 (2001) 4174.

P-14

β' 型 BEDSe-TTF 塩の 8GPa 級超高压下物性

小松 宏彰、吉田 哲茂、片山 和弘、谷口 弘三、佐藤 一彦、
河本 充司^A、辺土 正人^B、上床 美也^B、中村 文彦^C
(埼玉大院理工、北大院理^A、東大物性研^B、広島大院先端物質^C)

β' -(BEDSe-TTF)₂X (X=ICl₂, IBr₂)は有機物では最高である $T_c=14.2\text{K}$ の圧力誘起超伝導体 β' -(BEDT-TTF)₂ICl₂ と同様の結晶構造を持つ反強磁性絶縁体である[1]。今回我々は、二層式ピストンシリンダー型圧力セル及びキュービックアンビルを用い、 β' 型 BEDSe-TTF 塩の電気抵抗の圧力依存性を測定した。その結果を下図に示す。左図は今回測定した β' -(BEDSe-TTF)₂ICl₂ と β' -(BEDT-TTF)₂ICl₂ の抵抗率の圧力依存性のグラフ、右図は β' -(BEDSe-TTF)₂ICl₂ の各圧力における抵抗率の温度依存性のグラフである。8GPa の圧力下ではほぼ全温度領域で金属化に成功した。しかし、 β' -(BEDT-TTF)₂ICl₂ では 8GPa で超伝導が観測されているのに対し β' -(BEDSe-TTF)₂ICl₂ では、その兆候すら観測されなかった。IBr₂ 塩に対しても同様である。

当日は今回得られた相図などを用い詳しい考察を紹介する予定である。

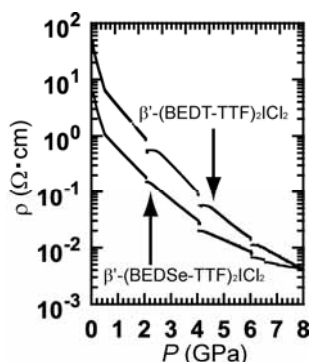


図1 抵抗率の圧力依存性

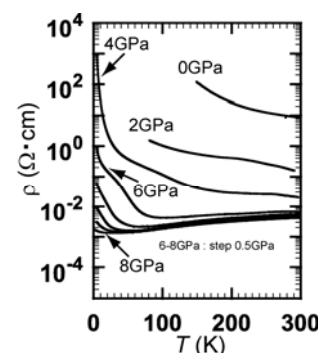


図2 β' -(BEDSe-TTF)₂ICl₂ の抵抗率の温度依存性

[1] J. Sakata, Master Thesis, Tokyo Institute of Technology, (1998)

P-15

1/2 充填からずれた κ -型 BEDT-TTF 塩の圧力下非線形電流電圧特性

田村 圭、谷口 弘三、佐藤 一彦 (埼玉大学大学院理工学研究科)

近年、多くの有機伝導体で非線形電流が観測されている。近年観測されているものの多くは、電荷秩序相もしくはその近傍の物質において見出されたものである。場合によっては半導体的な振る舞いが、電流の上昇によって金属的なものに変化するということも報告されており、このような現象は CDW のスライディングなどに見られる古典的な非線形電流現象とは全く異なるものである。今回、有機超伝導体の一種である、 κ -(BEDT-TTF)₄Hg_{2.89}Br₈ の常伝導状態を圧力と電流をパラメーターとして調べた結果、非線形電流電圧特性が得られたので、結果について報告する。この物質は、常圧から高压域まで低温で超伝導をしめすが、非線形電流が観測されたのは、低压域の超伝導直上の常伝導状態のみであり、圧力の上昇によって、通常のオーミックな振る舞いに変化した。この物質では、電荷秩序相のような相はまず考えられないが、低压域では高抵抗状態にあり、なんらかのドメイン構造の存在も否定できない。当日は、詳細な結果について報告する。

1) H. Endo, T. Kawamoto, T. Mori, I. Terasaki, T. Kakiuchi, H. Sawa, M. Kodani, K. Takimiya, and T. Otsubo, *J. Am. Chem. Soc.* 128, 9006-9007 (2006).

有機超伝導体の圧力下交流磁化率測定

渡辺 純也 (埼玉大学大学院)

κ -(BEDT-TTF)₄Hg_{2.89}Br₈(常圧有機超伝導体)と κ -(BEDT-TTF)₄Hg_{2.78}Cl₈(以後、それぞれ HgBr と HgCl 略す)の反磁性応答を温度と圧力の関数として、相互誘導法による交流磁化率を測定して調べた。その結果、HgBr では常圧における転移はかなり幅広く、1.3Kにおいて超伝導体積分率は、わずか5%しか観測されないが、圧力下ではほぼ100%観測された(Fig. 1.)。また、反磁性応答測定での onset- T_c と電気抵抗測定での onset- T_c の圧力依存性を Fig. 2.に示した。そこでは、共通して0.7GPa付近にピークが観測された。我々は、常圧での超伝導体積分率の減少とピーク構造の起源について議論したい。

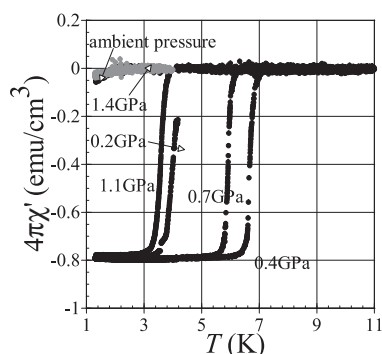


Fig. 1. Temperature dependence of ac susceptibility of HgBr at low pressures

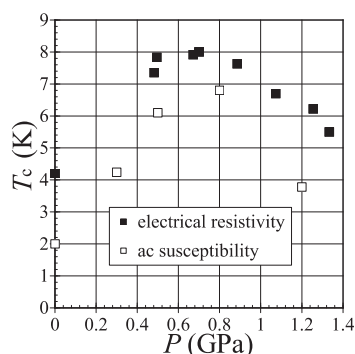


Fig.2. Transition temperature of HgBr estimated by electrical resistivity and ac susceptibility.

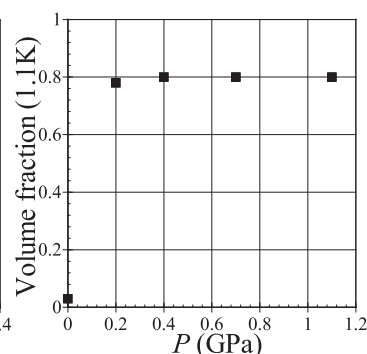


Fig. 3. Pressure dependence of volume fraction of superconductivity of HgBr

小型クランプセルを用いた $\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ の圧力下比熱測定

高岡 佑衣^A、天野 暁^A、西尾 豊^{AB}、梶田 晃示^{AB}、加藤 礼三^C
(東邦大理^A、東邦大複合物性セ^B、理研^C、JST-CREST^C)

有機導体において多様な相転移の存在が圧力下で明らかとなり、転移の性格付けを行う上で不可欠な熱力学的測定の必要性が増している。本研究では小型クランプセルを用いた圧力下での比熱測定装置の開発を行い、 $\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb}$ 塩の相転移についての測定を行った。この系はアニオン分子が二量体を形成しスピン一つを有する。これらが準三角形に配置しフラストレーションがあるため反強磁性転移を示さないが、そのかわり 70K で電荷の移動による半導体-絶縁体転移を起こす。この転移は加圧に伴い転移温度が上昇したのち、約 10kbar を境に転移温度は下降し、低圧側の高温相は半導体的性質であったものが高圧側では金属的に変化する。われわれはこの特異な相転移を比熱測定で明らかにするため、DTA法を応用した圧力中の比熱測定を行った。

その結果、低圧側 ($P < 10\text{kbar}$) での転移温度の上昇及び高圧側 ($P > 10\text{kbar}$) での転移温度の下降が見られ、低圧側では比熱ピークとエントロピー値が減少した。高圧側でも余剰比熱が観測されたが低圧側よりも比熱ピーク、エントロピーともに小さくなっていた。今回は低圧側での相転移(半導体-絶縁体)と高温側での相転移(金属-絶縁体)について議論する予定である。

石井 康之、田村 雅史、加藤 礼三、渡邊 功雄 (理研)

分子性物質を含む強相関電子系の電子状態について、磁性測定は重要な情報を与えるが、圧力下での研究例は少ない。分子性導体の磁化率が小さいので、圧力容器の材質や形状に特別な工夫を凝らさなければ信頼できる結果が得られないからである。我々は市販の SQUID 磁束計に組込むことのできる圧力セルを最適化し、一連の分子性導体[Pd(dmit)₂]塩の電子物性研究に応用している。[Pd(dmit)₂]塩は常圧下ではモット絶縁体で、局在スピンの二次元三角格子上でフラストレートしている。圧力下で[Pd(dmit)₂]塩の示す特徴的な物性として、金属状態へのモット転移および超伝導が挙げられる[1, 2]。これらについて、磁性の観点から研究を進めた。

常圧では低温で Valence Bond Order(VBO) 状態を示す EtMe₃P[Pd(dmit)₂]₂ では、圧力下で VBO(スピンギャップ)相に隣接してバルク超伝導相が発現することを見いだした[3]。注目すべき点は、低圧側の絶縁体相が反強磁性絶縁相ではなくスピンギャップ相であるという点で、Valence Bond 形成と超伝導対形成の関連に興味をもたれる。

また現在我々は、理研-RAL 支所において世界最強のパルス状ミュオンビームを利用した圧力下 muSR 実験装置を開発中である。ミュオンはサンプル中の内部磁場の変化に非常に敏感で、また元素核種にもよらず磁場も必要としないことから、基底状態を探る磁気的プローブとしては非常に優れている。この圧力下 muSR 実験装置は 2008 年初頭には最初のデータをとることができる計画であり、分子性導体の磁性研究にも応用していく予定である。

[1] R. Kato: Chem. Rev. 104 (2004) 5319.

[2] M. Tamura and R. Kato: J. Phys.: Condens. Matter 14 (2002) L729

[3] Y. Ishii, M. Tamura, and R. Kato: J. Phys. Soc. Jpn., 76 (2007) 033704.

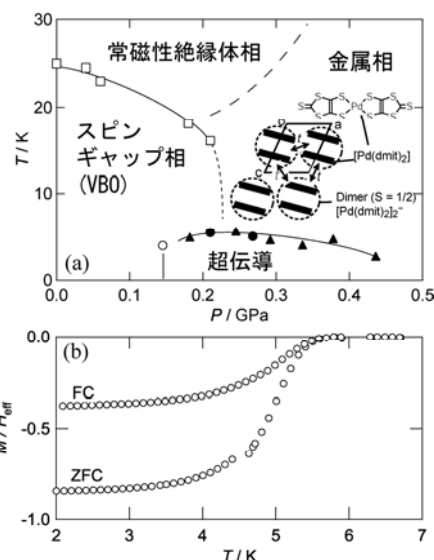


Fig.1. (a)Pressure-Temperature phase diagrams for the (C₂H₅)(CH₃)₃P salt. The data points are from susceptibility measurements (□), diamagnetic onset *T*_c of the polycrystalline sample (▲) and that of the single crystal (●). (b)Magnetization at 0.21 GPa using single crystal sample corrected for demagnetization effect. Zero-field-cooled and Field-cooled data are denoted by ZFC and FC, respectively.

Reflectivity measurement of Cobalt-Iron Prussian Blue Analog K_{0.4}[Co_{1.3}Fe(CN)₆]•4.7H₂O under Hydrostatic Pressure

M. Itoi^{1*}, I. Maurin², C. Chong¹, K. Boukheddaden¹, A. Rotaru¹, E. Codjovi¹, F. Varret¹, D. Chernyshov³, J.-H. Park⁴, D. M. Pajerowski⁴, M. W. Meisel⁴, F. Frye⁴, D. R. Talham⁴

¹Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, ² Ecole Polytechnique, ³ ESRF, ⁴University of Florida
(*Present address: Aoyama Gakuin University)

Prussian blue analogs, such as K_{0.4}[Co_{1.3}Fe(CN)₆]•4.7H₂O, are typical examples of multifunctional materials, combining spin-crossover (SC) transition, magnetic ordering and photo-magnetic properties. Recently, the multi-stability was evidenced by magnetic investigations using different kinetics of temperature in the title compound [1]. By flash cooling (more than 100 K/min), a sizeable macroscopic fraction of the high temperature (HT) phase, that is Co^{II} (*S* = 3/2)-Fe^{III} (*S* = 1/2), is trapped at low temperature in the Q-phase for which it corresponds the highest value of the magnetization. This Q-phase undergoes a thermal relaxation at 160 K, at which the magnetization drastically decreases because thermal charge-transfer produces the non-magnetic state Co^{III}(*S* = 0)-Fe^{II} (*S* = 0) (LT-phase). On

the other hands, by slow cooling (~1 K/min) from the HT phase, the system reaches an intermediate (IM) state, the magnetization of which is located between that of LT- and Q-phases. In addition, the spontaneous charge-transfer transition $\text{Co}^{\text{III}}(S=0)\text{-Fe}^{\text{II}}(S=0) \leftrightarrow \text{Co}^{\text{II}}(S=3/2)\text{-Fe}^{\text{III}}(S=1/2)$ is accompanied by a thermal hysteresis loop. To understand the multistability of the present sample, we measured photo-induced magnetization, powder X-ray diffraction under light and reflectivity measurement under pressure. Here, we report on result of reflectivity measurement under pressure in Potassium Cobalt hexacyanoferrate.

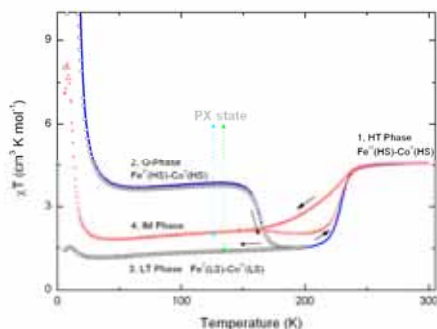


Figure 1. Temperature dependence of magnetic susceptibility of $\text{K}_{0.4}[\text{Co}_{1.3}\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 4.7\text{H}_2\text{O}$ in several phases. High Temperature phase has spin configuration of $\text{Fe}^{\text{III}}(\text{HS})\text{-Co}^{\text{II}}(\text{HS})$ (1. High Temperature state). The kinetic hysteresis loop is observed by slow cooling and heating (2 Intermediate state). The spin state keeps the high temperature spin configuration by direct insertion to 10 K (3. Quench Phase), which shows high magnetic susceptibility. LT phase ($\text{Fe}^{\text{II}}(\text{LS})\text{-Co}^{\text{III}}(\text{LS})$) is obtained by thermal relaxation of Q-phase (4. LT phase). All susceptibilities were measured with 1 K/min sweeping rate.

References

- [1] J.-H. Park, F. Frye, N. E. Anderson, D.M. Pajerowski, Y. D. Huh, D.R. Talham, M. W. Meisel, *J. Mag. Mag. Mat.* 310, 1458 (2007).

P-20

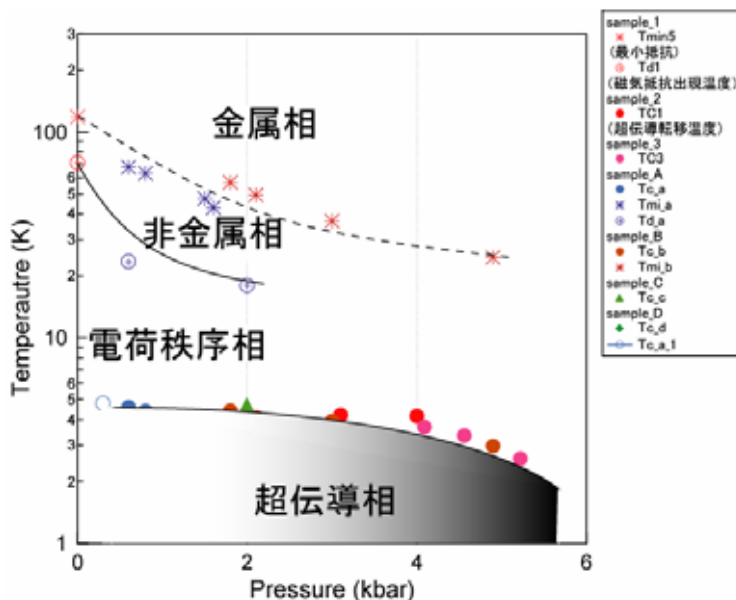
チェッカーボード型電荷秩序状態と競合する新規有機超伝導体 $\beta\text{-(meso-DMBEDT-TTF)}_2\text{PF}_6$

○森中 直紀、吉兼芙美子、高橋 一志、森 初果、藤原 哲也、上床 美也、西尾 豊、梶田 晃示
(東大物性研、CREST、東邦大理)

近年、強相関有機超伝導体で、電荷秩序を伴う相転移[1]、および、その圧力[2]、電場[3]、磁場[4]による外場応答が、注目を浴びている。我々は、バンド幅と、サイト内あるいはサイト間のクーロン反発の比である強相関パラメータを分子に立体障害を導入することによって変化させ、絶縁体から、超伝導、金属までの物性、およびその外場応答を調べ、特異な電子状態を探索している。

その中で、ET分子にメチル基を導入した meso-DMBEDT-TTF の PF_6 塩である $\beta\text{-(meso-DMBEDT-TTF)}_2\text{PF}_6$ は、常圧で室温の伝導度が、 $10\text{-}20 \text{ Scm}^{-1}$ で、90Kまで弱い金属性を示し、それ以下で絶縁化する[1]。X線回折実験を行ったところ、(1) 70 K以下で、 $(h, k/2, l/2)$ の超格子が成長していること、(2) 11.5 Kで超格子を含めた構造解析より、チェッカーボード型の電荷秩序形成していることが明らかとなった[5]。この電荷秩序化はラマン分光でも確認されている。さらに、

圧力下で、超伝導転移することが観測されたが、超伝導相と電荷秩序相の関係ははまだ不明である。そこで、本研究では、圧力下での詳細な超伝導転移および、その磁気抵抗を測定し、電荷秩序と超伝導の競合状態を調べた。その結果、電荷秩序相と超伝導相が隣接し、さらに超伝導転移の直上で、短距離の電荷秩序形成を示唆する大きな磁気抵抗が観測されたので報告する。



$\beta\text{-(meso-DMBEDT-TTF)}_2\text{PF}_6$ の相図

- [1] H. Seo, C. Hotta, and H. Fukuyama, Chem. Rev., 104, 4887-5782(2004).
 [2] S. Kimura, T. Maejima, H. Suzuki, R. Chiba, H. Mori, T. Kawamoto, T. Mori, H. Moriyama, Y. Nishio, and K. Kajita, Chem. Commun., 2454-2455(2004).
 [3] F. Sawano, I. Terasaki, H. Mori, T. Mori, M. Watanabe, N. Ikeda, Y. Nogami, and Y. Noda, Nature, 437, 522-524(2005).
 [4] T. Yamaguchi, T. Konoike, K. Enomoto, M. Nishimura, T. Terashima, S. Uji, and H. M. Yamamoto, Phys. Rev. Lett., 98, 116602(2007).
 [5] S. Kimura, H. Suzuki, T. Maejima, H. Mori, J. Yamaura, T. Kakiuchi, H. Sawa, and H. Moriyama, J. Am. Chem. Soc., 128, 1456-1457(2006).

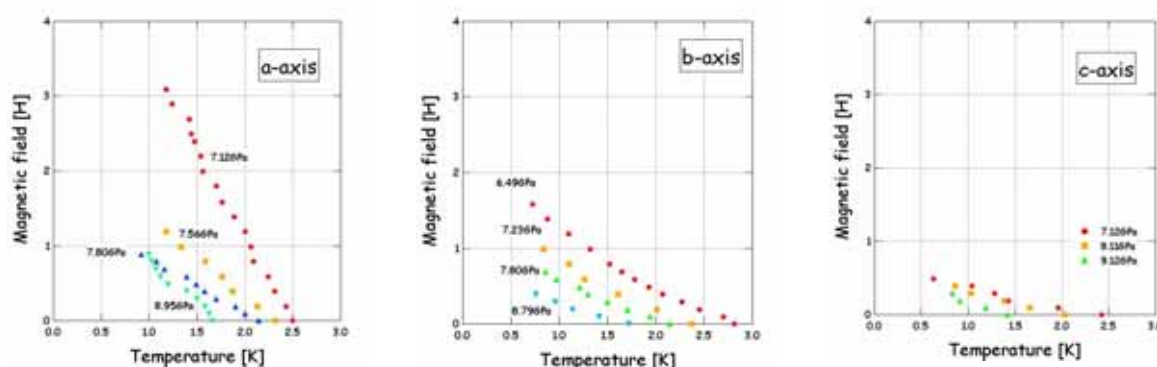
P-21

圧力誘起超伝導体(TMTTF)₂SbF₆の磁場中電気抵抗測定

狩野 みか (物性研)、辺土 正人 (琉球大)、中村 敏和 (分子研)、上床 美也 (物性研)

我々のグループは過去に、擬一次元有機導体、(TMTTF)₂SbF₆における圧力下の電気抵抗測定において P=6GPa、T=2.5K付近で急激なドロップが観測されたことを報告してきた[1]。しかし、その測定は T=2.0K程度までしか冷却できないキュービックアンビルプレスを用いて行われたためゼロ抵抗の観測には至らなかった。本研究ではターンバックル式小型ダイヤモンドアンビルセル(DAC)を用いることにより、さらなる低温領域において磁場中電気抵抗測定を行い、ゼロ抵抗の観測および磁気抵抗の軸依存性の測定に成功した。発表では、小型 DACにおける加圧のメカニズム、セッティング方法などについての詳しい解説も行う予定である。

- [1] 荒木ら(修士論文)



P-22

超伝導ダイヤモンドの圧力特性

富岡 史明^A、津田 俊輔^A、山口 尚秀^A、川原田 洋^B、高野 義彦^A
 (材料研究機構^A、早稲田大^B)

ダイヤモンドは、5.5eVのバンドギャップを有する典型的なバンド絶縁体であり、非常に良い熱伝導性(22W/cm K)と高いデバイ温度(2200K)を持つことで良く知られている。また、純粋なダイヤモンドにボロンをホールとしてドーピングすることにより絶縁体からp型半導体へと変化し、さらにボロンの濃度を増加すると金属になるという特性がある。このような特異な物性のために、ダイヤモンドは新デバイスとしての活用が期待され、盛んに研究されている。

2004年、Ekimovらにより高温高圧法で合成された高濃度ボロンドープダイヤモンドがT_c~4Kで超伝導を示すことが発見され、さらに注目されるようになった。その後、MPCVD法を用いたボロンドープダイヤモンド薄膜の合成の成

功により、(100)面や(111)面にホモエピタキシャル成長させた薄膜試料の研究が進み、(111)面方向に成長させたボロンドープダイヤモンドの超伝導転移温度は約 10K まで上昇することが報告された。また、ボロン濃度が同じでも(111)面方向に成長させた試料の超伝導転移温度が(100)面方向のものよりも高いということが分かってきた。

我々は結晶成長方向によって超伝導転移温度に違いがあらわれるという特徴に着目し、これまでに報告の無い圧力による物性の変化を明らかにするために、様々な圧力下での電気抵抗測定を行った。測定試料には MPCVD 法によって合成されたボロンドープダイヤモンド薄膜、圧力発生には NiCrAl-CuBe ハイブリットピストンシリンダー型圧力セルを使用した。

P-23

磁気秩序と共存する超伝導状態の低温高圧下 NQR 測定

原田 淳之、椋田 秀和、北岡 良雄、Thamizhavel Arumugam^A、奥田 悠介^A、
撰待 力生^A、大貫 惇睦^A、伊藤 公平^B、E. E. Haller^C、播磨 尚朝^D
(阪大基礎工、阪大理^A、慶応大理工^B、カリフォルニア大^C、神大理^D)

CeNiGe₃は常圧 $T_N=5.5\text{K}$ の反強磁性体である[1]。そして電気抵抗測定より、高圧下 $P=1.9\text{GPa}\sim 3.5\text{GPa}$ と $5.9\text{GPa}\sim 7.3\text{GPa}$ の2つの圧力領域で超伝導が確認されている[2]。興味深いことに低圧側超伝導相はこれまでに発見されてきた多くの Ce 系重い電子系超伝導体と異なり、磁気臨界点から離れ T_N が最も強められた状況で超伝導転移温度も高くなっている。

我々はこれまでに高圧下・極低温 ⁷³Ge-NQR 測定を行い、CeNiGe₃ の低圧側の超伝導相では異方的超伝導が実現し、また反強磁性と一様に共存していることを明らかにしてきた。今回、超伝導の背景である反強磁性状態で特徴的な振る舞いを観測したのでこれまでの研究内容と合わせて報告する。

[1] M. Nakashima *et al.*, J. Phys.: Cond.Mat.16 (2004) L255-L262.

[2] H. Kotegawa *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn 75 (2006) 044713

P-24

Ce₂CuGe₆の高圧下電気抵抗

中島 美帆^A、狩野 みか^B、河井 友也^C、下田 哲哉^C、竹内 徹也^D、米山 琢也^A、天児寧^A、
松田 達磨^E、芳賀 芳範^E、清水 克哉^F、松林 和幸^B、上床 美也^B、撰待 力生^C、大貫 惇睦^{C,E}
(信州大理^A、東大物性研^B、阪大院理^C、阪大低温セ^D、原子力機構先端研^E、阪大極限セ^F)

Ce₂CuGe₆は斜方晶の結晶構造をもち、およそ 15 K で磁気転移を示す反強磁性体である[1, 2]。フラックス法により得られた単結晶サンプルの磁化測定により、[010]方向(b 軸)が磁化容易軸であることが分かっている[3]。我々はこの物質における圧力誘起超伝導の可能性を探るため、圧力下での電気抵抗測定を行っている。常圧下での電気抵抗温度依存性の振る舞いは、およそ 120 K あたりにゆるやかな山を持ち、ネール温度 15 K で急激に減少する。加圧とともに、この山は増強され、ピーク位置は低温側へシフトする。また、ネール温度はおよそ 3 GPa までの圧力ではほとんど変化しないが、より高圧下では減少する傾向を示している。高圧下での測定は、インデンターセル、ブリッジマンセル、ダイヤモンドセル(DAC)など計 4 種類の圧力装置を用いた。キュービックアンビルセルと DAC の結果から臨界圧力(P_c)はおよそ 7.2 GPa と見積もられる。また、 $\rho(T)=\rho_0+AT^2$ における残留抵抗値 ρ_0 および係数 A の圧力依存性は、加圧とともに増大し、 P_c 付近で最大値をとるような形をしている。これら 4 種類のセルおよび ³He 冷凍機、希釈冷凍機などを用いた測定結果を合わせて発表する。

[1] M. B. Konyk *et al.*, Kristallografia 33 (1998) 838.

[2] O. Sologub *et al.*, J. Alloys and Compounds 227 (1995) 37.

[3] M. Nakashima *et al.*, Physica B, to be published.

物質探索と圧力を用いた新物性開拓

海老原孝雄（静岡大学理学部）

新たな物性や機能を開拓する場合、従来は物質の組成や組み合わせを換えることが主であった。この場合、組成比が外部パラメーターとして作用している。例えば重い電子系では、いずれも AuCu_3 型立方晶を持つ CeIn_3 や CeSn_3 がその代表例で、周期律表の隣り合わせの In と Sn を同一の Ce に組み合わせるだけで、重い電子系反強磁性体 (CeIn_3)、4f 電子遍歴物質 (CeSn_3) と全く異なる基底状態を持つことになる。

他方 1990 年台の中頃、 CeIn_3 における圧力下 (約 2.5 GPa) で超伝導が見いだされ、重い電子系での超伝導物質が磁気媒介超伝導体の格好例として脚光を浴びるとともに、外部パラメーターとしての圧力の有効性が改めて着目されるようになった。

今回の研究会では、既に見いだされている重い電子系における、超伝導物質でのメカニズム解明への圧力効果の適用例と、物質開発と圧力下物性測定を用いて新機能開拓を目指していることについて発表する。

 $\text{Yb}_2\text{Rh}_3\text{Ga}_9$ の量子相転移藤原 哲也、才賀 裕太^{A,B}、松林 和幸^B、上床 美也^B、繁岡 透（山口大院理工、埼玉大院理工^A、東大物性研^B）

我々は、 Yb 化合物における量子相転移の探索を目的とした研究を行っている。今回、斜方晶 $\text{Y}_2\text{Co}_3\text{Ga}_9$ 型結晶構造を有する金属間化合物 $\text{Yb}_2\text{Rh}_3\text{Ga}_9$ を研究対象物質として選定した。これまでに、本化合物において Yb は価数揺動状態にあり、低温まで磁気秩序を示さない事が報告されている[1]。我々は、 Ga セルフ・フラックス法にてこれら両系の大型単結晶の育成に成功した。これらの化合物において磁化、電気抵抗、比熱の評価を行った。さらに電気抵抗の圧力効果を調査した。加圧に伴って、低温における電気抵抗の温度依存性が急速に変化し、残留抵抗が著しく増大していく様子を観測した。低温で電気抵抗の T^2 項の係数 A は 2.0 GPa 以上で発散傾向を示し、残留抵抗 ρ_0 は 2.4 ~ 3.5 GPa 付近で最大となり、量子臨界点が存在することを示唆している。詳細は本講演において発表する。

[1] N. O. Moreno *et al.*, Phys. Rev B, 71, 165107 (2005).

 $\text{Yb}_2\text{Pd}_2\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x$ の圧力誘起磁気秩序玉里 康侑、村松 孝樹、加賀山朋子、清水 克哉、Ernst Bauer^A（阪大極限セ、ウィーン工大^A）

$\text{Yb}_2\text{Pd}_2\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x$ は、 $x=0.6$ 前後の狭い範囲でのみ反強磁性を示し、 $x=0, 1$ の両端の物質では磁気秩序は現れない[1]。結晶中の Yb の価数は、反強磁性を示す $x=0.6$ 前後では $\nu=3$ となっており、それ以外では $\nu \approx 2.9$ となっている。また、ユニットセルの体積は $x=0.6$ 付近で極小をとる。 $\text{Yb}_2\text{Pd}_2\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x$ の限られた x での磁気秩序、価数の変化ならびにユニットセルの体積の変化から、我々は $\text{Yb}_2\text{Pd}_2\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x$ の圧力効果に注目した。 $x=1$ にあたる $\text{Yb}_2\text{Pd}_2\text{Sn}$ では、圧力が 1.0 GPa から 4.0 GPa の範囲にあるときに磁気秩序が観測された。現在は、 $x=0$ にあたる $\text{Yb}_2\text{Pd}_2\text{In}$ の圧力誘起磁気秩序を探索しているところである。

圧力発生にはダイヤモンドアンビルセルを用いた。先端径 800 μm のダイヤモンドアンビル、ガスケットに SUS310S、圧力媒体に NaCl を用いた。ガスケットと測定系との絶縁層として $c\text{-BN}$ とエポキシ樹脂の混合物を用いた。また本研究では、磁気転移点を明確にとらえるために、電気抵抗測定と同時に交流比熱測定も行えるようセッティングした。

[1] E. Bauer *et al.*, J. Phys. Cond. Matter. 17(2005)S999

YbCo₂Zn₂₀の高圧力下物性

才賀 裕太、松林 和幸^A、藤原 哲也^B、小坂 昌史、片野 進、上床 美也^A
(埼玉大院理工、東大物性研^A、山口大院理工^B)

RT_2Zn_{20} ($R = \text{rare earth}$, $T = \text{Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Os, Ir}$)は立法晶 ($Fd\bar{3}m$; space group, $Z=8$)であり、その結晶構造の特徴は R 、 T 原子がそれぞれ 3 つの結晶学的に異なるサイトを持つ Zn のカゴに囲まれていることである。この化合物において R イオンは必ず局在し、 3^+ の価数を持つ。[1][2] その中でも $YbCo_2Zn_{20}$ はとても興味深いことに $T < 0.2 \text{ K}$ で重い電子状態 ($\gamma = 7900 \text{ mJ/mol K}^2$) を形成しており、 $T \sim 50\text{mK}$ まで磁気秩序を示さない。我々は Zn フラックスを用いて育成した単結晶試料 $YbCo_2Zn_{20}$ を用いて圧力下電気抵抗測定を行った結果、($P_c \sim$) 1GPa 程度の圧力下の低温領域において Yb イオンの磁気秩序転移と考えられる異常を見出した。この圧力誘起相に関する磁気的な情報を得るために圧力下での磁気抵抗測定を行った。当日は圧力下電気抵抗測定の結果から得られた T - P 相図や T^2 依存性から得られる係数 A 、 ρ_0 の圧力依存性とともにも磁場効果についても報告する予定である。

[1] T. Nasch *et al.*, Zeitschrift für Naturforschung, B: Chem. Sciences 52 (1997) 1023.

[2] M. S. Torikachvili *et al.*, Proc Natl Acad USA 104 (2007) 9960

Development of the method to measure thermal expansion under high pressure

長田 俊祐、三宅 厚志、加賀山朋子、清水 克哉 (阪大極限セ)

Thermal expansion is important physical value. There are some methods to measure thermal expansion such as electric dilatometer, X-ray diffraction and strain gauge. To make high pressure, piston cylinder cell and diamond anvil cell (DAC) are often used. Piston cylinder cell is available commercial strain gauge. On the other hand, it is too large to use in DAC. So we make micron size strain gauge and introduce the making process.

物性研究所短期研究会

低温走査トンネル顕微鏡の現状と展望

日時：2007年10月12日(金)～2007年10月13日(土)

場所：東京大学物性研究所本館6階大講義室(A632)

提案代表者	福山 寛	東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 教授
提案者	西田 信彦	東京工業大学理工学研究科 教授
	花栗 哲郎	理化学研究所 専任研究員
	小森 文夫	東京大学物性研究所 教授
	長谷川幸雄	東京大学物性研究所 准教授

1982年の発明以降、走査トンネル顕微鏡(STM)技術は急速に成熟し、現在ではさまざまな対象かつ条件・環境下での計測に利用されている。物性研究への展開が期待される低温 STMに限っても、表面はもとより、超伝導・半導体・磁性など広範囲にわたる研究分野への応用が進行している。このように共通の実験手法・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・分科が異なるため、互いの講演を聞くことや実験技術のノウハウを共有する機会はこれまでほとんど無かったのが実情である。そこで、低温 STMを用いた物性研究を推進する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互いに紹介し、討論を通じて情報交換・ノウハウ共有の場を提供することは当該分野のみならず物性研究全般の発展に重要と考え、本短期研究会を開催することとした。

研究会では、以下のプログラムのように、24件の口頭発表と14件のポスター発表が行われた。準備期間が短く各コミュニティへの十分な周知がなされているか危惧されたが、世話人の予想を超える98名の参加者があり、同手法に対する注目・期待の高さが伺われた。表面、超伝導、半導体・メゾスコピック物理、光応答など各分野での優れた講演がなされ、分野内の研究者間での激論が展開される一方で、異分野の研究者からの意表を突いた質問などがあり、研究者間の交流や相互理解の場としては大変有意義なものであった。

さらに今後に向けた提案として、装置の技術面に重点を置いた会の開催や海外からの研究者へも門戸を広げた研究会への展開などが議論されており、この研究会を端緒として新たなコミュニティ形成に繋がるものと期待している。

プログラム

10月12日(金)

13:00-13:05 開会の辞 福山 寛 (東大理)

座長 白濱 圭也 (慶大理工)

- | | | |
|----------------|-----------------------------|---------------|
| 1. 13:05-13:35 | トンネルキャリア注入と伝播による可逆原子操作 | 小森 文夫 (東大物性研) |
| 2. 13:35-14:05 | 絶縁膜上単一分子の STM/STS | 小川 直毅 (東大先端研) |
| 3. 14:05-14:35 | 量子ホール転移の実空間観察 | 橋本 克之 (東北大理) |
| 4. 14:35-15:05 | 低温走査ゲート顕微法による量子ポイントコンタクトの観察 | 青木 伸之 (千葉大) |

座長 花栗 哲郎 (理研)

- | | | |
|----------------|---|---------------|
| 5. 15:20-16:00 | 走査トンネル分光法による超伝導渦糸状態の研究 | 西田 信彦 (東工大理工) |
| 6. 16:00-16:25 | 転位を媒介とした $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ 渦糸格子集団運動実時間・実空間測定 | 内山 和治 (東工大理工) |
| 7. 16:25-16:50 | $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ 渦糸格子 STS 測定 | 金子 真一 (東工大理工) |

座長 市村 晃一 (北大工)

- | | | |
|----------------|---|-------------|
| 8. 17:00-17:30 | 高温超伝導体 Bi2201 及び Bi2212 の STM/STS | 伊土 政幸 (北大理) |
|----------------|---|-------------|

9. 17:30-18:00 STM/STSによる銅酸化物超伝導体の局所仕事関数の測定 浴野 稔一 (広大総合科学)

18:00 - 20:00 ポスターセッション

- P01. 長辺型水晶振動子を用いた極低温 FM-AFMによる原子分解能観察 安 東秀 (東大物性研)
- P02. パルス噴霧法で吸着させた 10nm オリゴチオフェン分子ワイヤの STM 観察 西山 文貴 (横浜市大)
- P03. STM で見るプロトンのトンネルダイナミクス 奥山 弘 (京大理)
- P04. 磁性原子対吸着系の磁気相互作用と STS 測定 南谷 英美 (阪大工)
- P05. 低温多探針走査プローブ顕微鏡の開発 宮武 優 (ユニソク)
- P06. 電子スピン共鳴 STM の開発と単一スピン検出に向けて 小野 雅紀 (理研)
- P07. STM/STSによる $\text{Sr}_3(\text{Ru}_{1-x}\text{Mn}_x)_2\text{O}_7$ 観察 坪井 紀子 (理研)
- P08. 低温走査トンネル顕微鏡を用いたボロンドープ超伝導ダイヤモンド薄膜の研究 西寄 照和 (東北大金研)
- P09. 有機伝導体における電荷秩序相の STM 観察 米山 直樹 (東北大金研)
- P10. Pb 置換 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+\delta}$ における低バイアス STM 像のキャリア濃度依存性および磁場依存性 工藤 一貴 (東北大金研)
- P11. 低温走査トンネル顕微鏡による高温超伝導体のエネルギーギャップと LDOS 空間変調の観察 加藤 拓也 (東理大理)
- P12. 水晶振動子を用いた極低温走査プローブ顕微鏡の開発 斉藤 広大 (慶應大理工)
- P13. Zn ドープ $\text{Bi}_2\text{212}$ における不純物共鳴状態の温度依存性 神原 浩 (東大理)
- P14. 超低温 STM を用いた自己組織化膜に対する非弾性電子トンネル分光 岡林 則夫 (東北大多元研)

10月13日(土)

座長 長谷川幸雄 (東大物性研)

10. 9:00- 9:20 超伝導ナノアイランドにおける vortex の低温 STM 観察 西尾 隆宏 (東大物性研)
11. 9:20- 9:40 遮蔽ポテンシャルとフリーデル振動の実空間観察 小野 雅紀 (理研)
12. 9:40-10:10 吸着分子系の振動励起と反応：非弾性トンネル電子による反応誘起メカニズム 川合 真紀 (理研・東大新領域)
13. 10:10-10:40 低温 STM による吸着分子間双極子相互作用の直接計測 横山 崇 (横浜市大)

座長 坂田 英明 (東理大理)

14. 11:00-11:30 酸化物超伝導体における STM/STS 小林 典男 (東北大金研)
15. 11:30-12:00 高温超伝導体における短距離秩序の可視化 幸坂 祐生 (理研)
16. 12:00-12:25 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ 渦糸芯電子状態の高空間分解能 STS 松葉 健 (東工大理工)

座長 小林 典男 (東北大金研)

17. 13:30-14:00 光励起 STM の開発と半導体局所キャリアダイナミクス解析への応用 重川 秀実 (筑波大数理物質科学)
18. 14:00-14:30 低温近接場光学イメージングによる半導体量子構造の電子状態マッピング 松田 一成 (京大化研)
19. 14:30-15:00 半導体表面に形成された低次元電子状態の STM 観察 長岡 克巳 (物材機構)
20. 15:00-15:30 半導体ヘテロ構造劈開面のSTM/STS 鈴木 恭一 (NTT物性科学基礎研)

座長 福山 寛 (東大理)

21. 15:50-16:20 有機超伝導体の STM 分光 市村 晃一 (北大工)
22. 16:20-16:50 希薄ドープ状態の金属酸化物の STM/STS 松田 梓 (早大理工)
23. 16:50-17:20 低温強磁場 STM による強相関電子系の電子状態イメージング 花栗 哲郎 (理研)
24. 17:20-17:50 グラフィンおよびグラファイト表面の STM/STS 観測 松井 朋裕 (東大理)

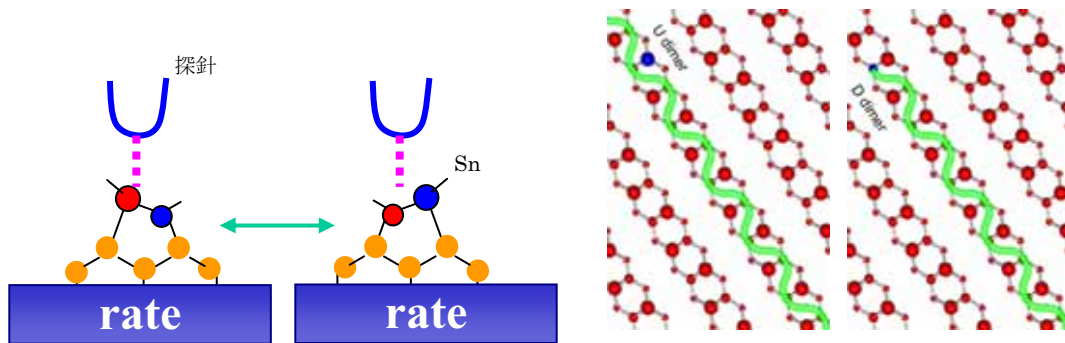
1. トンネルキャリア注入と伝播による可逆原子操作

小森 文夫 (東京大学物性研究所)

清浄な Ge(001)表面では、STM 探針からのキャリア注入により、80 K 以下の低温において $p(2\times 2)$ と $c(4\times 2)$ の2つの超構造を可逆的かつ局所的に遷移させることができる。この構造変化は、マイクロには、二つの超構造の境界である“キंक”の対生成と移動という過程で理解できる。探針から注入されたキャリアは、表面状態を伝搬し、表面上でキंक対を生成させる。一度生成したキंकは、注入されたキャリアによって電子励起され、さらに移動する。このキंक生成と移動は、キャリアのエネルギーが格子系に移動して、表面を構成する Ge 傾斜ダイマーの傾斜向きを反転させる過程である。構造変化のためのバイアス電圧しきい値は、キंक対の生成に必要なキャリアのエネルギー値に対応している。

探針を固定してパルスのキャリアを注入した際に局所的に生成された超構造領域の形状は、表面電子状態の異方性に依存している。非占有表面電子状態は、表面 Ge 傾斜ダイマーの下側原子のダングリングボンドに由来した擬1次元状態でバルクバンドギャップ中にあり、ダイマー列方向のバンド分散が大きい。このために、パルス電子注入では1次元的な $p(2\times 2)$ 領域が $c(4\times 2)$ 表面に形成される。また、表面に注入された電子はダイマー列方向には遠くまで伝搬し、100nm 以上離れたキंकを動かすこともできる。一方、占有電子状態は Ge 傾斜ダイマーの上側原子のダングリングボンドに由来した擬2次元状態であり、バルク電子状態に共鳴している。そのために、パルスホール注入では2次元的な $c(4\times 2)$ 領域が $p(2\times 2)$ 表面に形成される。注入されたホールはバルクへと急速に緩和するためにその伝播距離は短い。

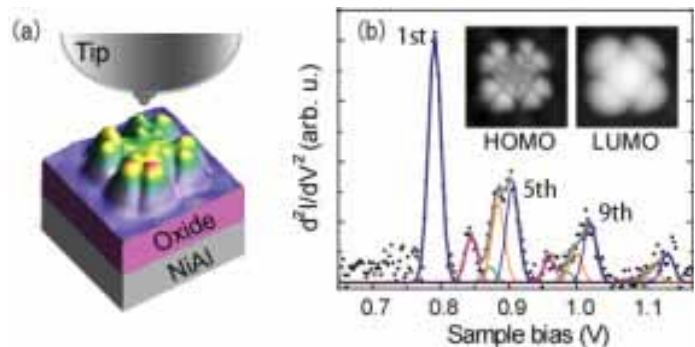
この現象の応用として、下図のようなゲルマニウム(001)表面にスズを蒸着した場合にできるスズ-ゲルマニウムダイマーの同定と、それを用いた1次元電子系の原子スイッチ実現について述べる。



2. 絶縁膜上単一分子の STM/STS

小川 直毅 (東京大学先端科学技術研究センター)

STM において試料となる原子・分子を非常に薄い絶縁膜上に配置することにより、試料と金属基板の相互作用を低減することができる。このとき、原子・分子本来の電子状態が陽に現れ始めるとともにその励起状態の寿命は長くなり、様々な興味深い現象が発現することが知られている。これまでに単一原子・分子の charging やスピン間の相互作用が確認され、STM 像では分子軌道がより鮮明になり、またスペクトル幅の減少により STS や STM-LE では分子の振動準位(vibronic states)が観測にかかるようになる。NiAl(110)基板上的極薄酸化膜を用いた際の(i) 針内で光励起されたトンネル電子の分子軌道への共鳴トンネルと単一分子 charging、(ii) 非弾性トンネルを用いた STM-vibronic 分光によるサブ分子分解能での分子振動の検出、この他にいくつかの実験結果と用いた実験装置系について紹介したい。



(a) NiAl(110)基板上 AlO_x 絶縁膜の上に配置した Naphthalocyanine 分子 (LUMO)。 (b) 単一 Naphthalocyanine 分子の振動分光と分子軌道 STM 像 (inset)。分子上の各点に探針を配置することにより、その分子部位の構成要素を反映した vibronic progression が観測される。

本研究はカリフォルニア大学アーバイン校 Wilson Ho 教授研究室で行われました。

[文献]

G. Mikaelian *et al.*, J. Chem. Phys. 124, 131101 (2006)

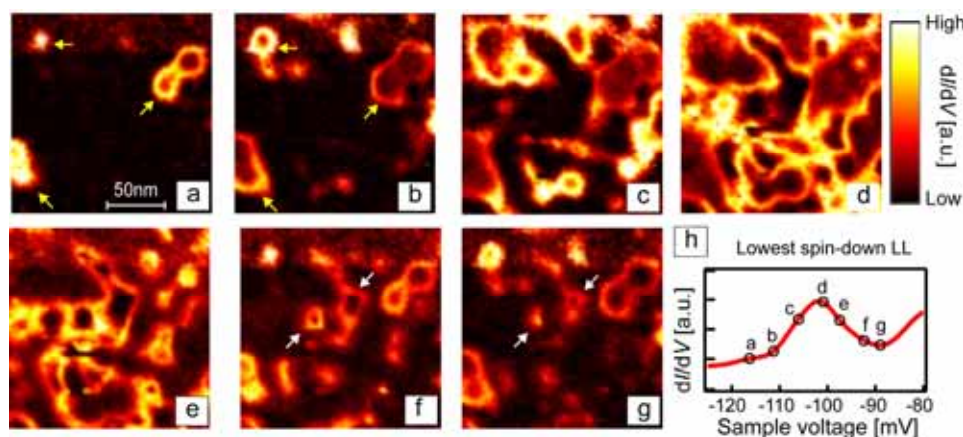
S. W. Wu *et al.*, Science 312, 1362 (2006)

N. Ogawa *et al.*, Phys. Rev. Lett. 98, 166103 (2007)

3. 量子ホール転移の実空間観察

橋本 克之^{1,2}, C. Sohrmann³, J. Wiebe¹, 稲岡 毅⁴, Y. Hirayama², R. Wiesendanger¹, R. A. Römer³, and M. Morgenstern⁵
(¹Hamburg University, ²東北大学大学院理学研究科, ³University of Warwick, ⁴岩手大学工学部, ⁵RWTH Aachen University)

二次元系の相転移の3つの顕著な例として、乱雑ポテンシャルが引き起こす金属-絶縁体転移、量子ホール転移、超伝導体-絶縁体転移があげられる。これらの相転移はすべて微視的なパーコレーションモデルで記述され、最近ではそれらを統一するモデルも提案されている。しかし、その微視的描像は、実験的にはいまだ明らかにされていない。我々は、整数量子ホール状態において、量子ホール転移での電荷密度の振舞いを、走査トンネル分光により直接観察した。実験は、1%ML Cs/n-InSb(110)の表面に形成された二次元電子系を試料とし、極低温($T = 0.3$ K)、強磁場($B = 12$ T)、超高真空($P < 1 \times 10^{-8}$ Pa)の下で行った。図 a-g に、異なる電圧 V_s で測定した dI/dV マップを示す。走査領域内で平均化した dI/dV カーブ(図 h)に示すように、測定電圧はスピンスeparated 最低 Landau level(LL)上のエネルギーに一致している。LL の低エネルギー側の裾野 $V_s = -116$ mV(図 a)と高エネルギー側の裾野 $V_s = -89$ mV(図 g)では、黄色と白矢印でそれぞれ示した、空間的に孤立したリングやデスク型のパターンが見られた。それらの外周の大きさは、LL 中央方向にエネルギーをずらすと共に拡大した(図 b, f)。リングパターンの半値幅がサイクロトロン半径 7.4nm に近いことから、図 a,b(f, g)で黄色(白)矢印で示されたパターンはポテンシャルの極小(極大)に局在した、下向きスピン・ドリフト状態であると考えられる。エネルギーが LL 中央に近付くと、隣り合った局在状態がポテンシャルの鞍点付近で交わり始め(図 c, e)、LL 中央 $V_s = -98$ mV では、図 d に示すように閉じたネットワーク構造を形成した。このネットワーク構造は、試料全体に浸透する extended 状態であると考えられる。これらの実験結果は、理論的に予想された量子ホール転移における電子状態の微視的振る舞いに合致する。



4. 低温走査ゲート顕微法による量子ポイントコンタクトの観察

青木 伸之、落合 勇一 (千葉大学大学院融合科学研究科)

走査トンネル顕微鏡 (STM) の発明以来、多岐に渡る走査プローブ顕微法 (SPM) が開発されてきた。そのほとんどは SPM 探針で検出された物理的情報をマッピングすることで実現されてきたのだが、我々が用いている走査ゲート顕微法 (SGM) では、探針からの電場変調による試料側の電気伝導特性変化を検出する。これにより、基板に固定されたゲート電極による従来の伝導現象評価法に対し、SPM 探針を利用した“可動ゲート電極”を用いることで、微細構造における電気伝導特性を空間的に視覚化して検証することが可能となってきた。このような方法は、半導体量子ポイントコンタ

クト(QPC)や量子ドット、カーボンナノチューブなど、SPM 探針先端と同程度の大きさを持つナノ伝導体の電気伝導特性評価に用いられてきている。とくに伝導度が量子化される QPC では、QPC から出た電子流がチャネルの伝導モードに対応して分岐する様子が示された研究は有名である[1]。一方で我々は、QPC の内部における伝導現象の視覚化に注目し、GaAs 系 2次元電子ガス(2DEG)に比べて不規則性の強い InGaAs 系 2DEG 上に作製された QPC の低温 SGM を用いた量子輸送現象の観測を行ってきた[2, 3]。

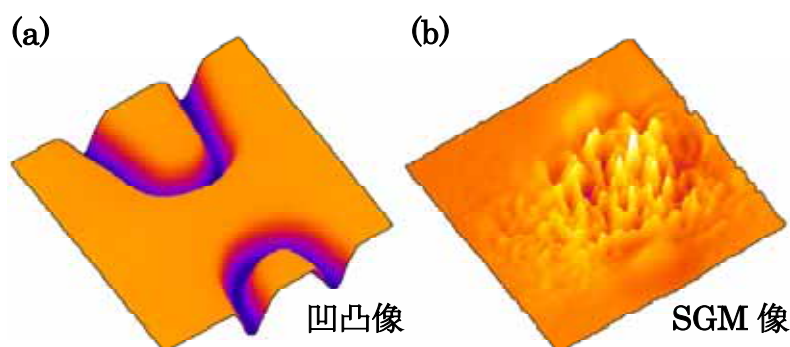
我々が研究に用いた低温 SPM では、 ^3He クライオスタットの先端に取り付けられた非磁性の SPM ヘッド内にボンディングを施した試料を導入し、ピエゾ抵抗型の自己検知カンチレバーを用いて測定を行った。系の最低温度は 0.28 K であり、 ± 8 T の磁場印加が可能となっている。ロックインアンプを用いた 4 端子測定により、QPC の伝導度を測定しながら、その値を探針の位置に同期させてコンピュータに取り込むことで、位置による電気伝導特性の変化をマッピングしている。

図(a)は実験に用いた QPC の凹凸像であり、走査範囲は $2.7\mu\text{m} \times 2.7\mu\text{m}$ である。SGM 測定時の探針の走査を妨げないように、構造はエッチングによって作製されており、V 溝の内側はインプレーン型のサイドゲートとして機能する。図(b)は、サイドゲート電圧 -3.2 V で得られた SGM 像をハイパスフィルター処理したものであり、チャネル内での伝導度ゆらぎ(UCF)が現れている。このほか、モードに依存したピーク、バックグラウンドポテンシャル、磁場印加による伝導度ゆらぎの変化、高磁場における量子ホールエッジ状態などが視覚化されている。

[1] 例えば、M. A. Topinka *et al.*, Science 289, p.2323, 2000.

[2] 青木伸之、落合勇一、固体物理 42, p.9, 2007.

[3] N. Aoki *et al.*, Phys. Rev. B 72, p.155327, 2005.



5. 走査トンネル分光法による超伝導渦糸状態の研究

西田 信彦 (東工大)

1981 年に、G. ビニッヒと H. ローラーによって、走査トンネル分光顕微鏡 (STM/STS) が発明され、原子を直接観測でき、さらに、表面の電子状態を原子スケールで測定できることが示された。銅酸化物超伝導体 LaBaCuO が発見された 1986 年、発明者はノーベル賞を受賞している。1989 年ベル研究所の Hess らが、STM が超伝導研究に非常に有用であることを示した。彼らは、超伝導渦糸格子を観測したのみならず、クーパ対が壊されて生じた準粒子が渦糸芯に閉じ込められた束縛状態を初めて観測し、STM が超伝導研究の新しい切り口を提供しうることを示した。渦糸芯の準粒子束縛状態は、超伝導秩序変数の対称性を反映したものであるため、その後、多くの超伝導体の渦糸芯 STM 研究が行われたが、試料の純度または表面状態のせいかわ不明であるが、あまり多くの超伝導体で、渦糸芯束縛状態は測定されていない。また、銅酸化物超伝導体のコヒーレンス長は $1\text{-}2\text{nm}$ であり、酸素量が完全に制御できないことや、モット絶縁体に混ぜものをしてキャリアを注入するので、乱れがさけられず、ナノメータスケールの不均一が存在しうる。ナノメータスケールの電子状態の不均一について、STM が測定手段として唯一の方法であり、高温超伝導研究に STM は特徴ある貢献をすることになった。高温超伝導体の発見と同じころに、STM が発明されていたことは、興味深く感じる。STM/STS を用いた超伝導研究について、渦糸状態研究を中心にいままでの研究について簡単な解説を行う。

6. 転位を媒介とした YNi₂B₂C 渦糸格子集団運動実時間・実空間測定

内山 和治、桑原 陽、鈴木 慧、金子 真一、竹屋 浩幸^A、平田 和人^A、西田 信彦（東工大理工、物材機構^A）

第二種超伝導体に磁場を加えると混合状態(渦糸状態)に至る。磁束は量子磁束 Φ_0 を単位として試料内に侵入し渦糸格子を形成する。我々は、この超伝導渦糸格子の運動を走査トンネル顕微鏡で微視的に研究している。本講演では、まず渦糸ダイナミクスに関する研究の現状を概観し、次に走査トンネル顕微鏡で渦糸を可視化する方法と特色を示し、続いて我々の研究で明らかになってきた渦糸格子の運動のメカニズムについて話す予定である。

7. PrOs₄Sb₁₂ 渦糸格子 STS 研究

金子 真一、古山 昌治、高野 浩史、菅原 仁^A、青木 勇二^B、佐藤 英行^B、西田 信彦（東工大理工、徳島大総合科^A、首都大理工^B）

PrOs₄Sb₁₂は充填スクッテルダイト化合物と呼ばれる物質群(RT₄X₁₂)の一つである。結晶は立方晶で、R 原子の周りを 12 個の X 原子が 20 面体で取り囲む籠型の構造をしている。またこの物質群は T_h という結晶の対称性を持ち、結晶の回転に対しては 4 回対称軸を持たず 2 回対称でしかない。2001 年に PrOs₄Sb₁₂ が温度 1.85K で超伝導に転移することが発見された。Pr を含む金属化合物では初めての超伝導体で、有効質量の大きい重い電子系超伝導体であった。そして超伝導状態における自発磁化の出現、上部臨界磁場より高い磁場で新たな秩序相が出ることなど、特異な現象が報告されている。

我々は PrOs₄Sb₁₂ において極低温走査トンネル顕微鏡・分光法(LT-STM/STS)による測定を行ってきた。試料表面は液体ヘリウム温度で単結晶試料を割ることにより準備し、そのまま試料を低温に保ちつつ ³He の蒸発冷却により 0.4K での STM/STS の実験を行った。STM の観測では PrOs₄Sb₁₂ の格子定数に対応する粒状の構造が得られた。PrOs₄Sb₁₂ の結晶構造における籠状の部分を見ていると考えられる。また我々は磁場中における STS により渦糸格子の観測に成功した。磁場を結晶の[001]方向にかけると菱形の渦糸格子が観測され、磁場を変えると菱形の形状は徐々に変化した。またこの菱形の向きはいつも同じ向きを向いており、結晶の T_h 対称性を反映したものになっていた。講演では PrOs₄Sb₁₂ における STM/STS の結果について紹介する。

8. 高温超伝導体 Bi₂201 及び Bi₂21 の STM/STS ; チェッカーボード超格子とギャップ構造

伊土 政幸（北大院理）

最近、Bi₂212 系や Na-CCOC 系の STM 実験から、高温超伝導を特徴づける擬ギャップ状態で伝導電子密度にチェッカーボード状の超格子(以後、単にチェッカーボードと呼ぶ)が現れることが報告され、擬ギャップ状態の“隠れた秩序”ではないかと大きな注目を集めている(1,2)。このチェッカーボードの周期は STM のバイアス電圧(エネルギー)に依らず、非分散性と言われる。その後、非分散性で擬ギャップ状態と同一の周期をもつチェッカーボードが超伝導状態でも存在することが確認された。STM 像に現れるチェッカーボードは強い場合と弱い場合があるが、前者の場合、STM 像と同一場所で測定された超伝導ギャップは、ギャップの底部を除いて空間的に非常に不均一となる。また、チェッカーボードは、主に超伝導ギャップ内のエネルギー領域(バイアス領域)で現れるが、ギャップの底部に相当するゼロバイアス付近で著しく抑制される。高温超伝導体のような d 波超伝導体では、ゼロバイアス付近の STM 像やトンネルスペクトルにおけるギャップ底部の構造は、k 空間におけるノード付近のギャップ構造やその準粒子状態に支配される。そのため、チェッカーボードや超伝導ギャップの不均一は、共に超伝導ギャップのアンティノード近傍の電子対状態あるいは準粒子状態と関係していると考えられる。

今回は、主に最適ドープ付近の Bi₂201(T_c=32K)と Bi₂212(T_c=88K)及びアンダードープの Bi₂201(T_c=25K)の試料について行った STM/STS 実験の結果を基に、チェッカーボード自身のホール濃度依存性や超伝導ギャップ・擬ギャップとの関連性を紹介する。本実験では約 9K の超高真空中で結晶をへき開し、はじめに STM 像を測定し、その後、同一場所で STS 測定を行った。その結果、アンダードープ領域では $\sim 4a \times 4a$ であった Bi₂201、Bi₂212 のチェッカーボードの周期が最適ドープ近くでは共に $\sim 5a \times 5a$ となることが分かった。この周期の変化は、チェッカーボードの形成にフェルミ面

のネスティングが絡んでいることを示唆していると思われる。また、Bi2201系のSTSの結果から、1) ARPES実験から報告されているように、擬ギャップは超伝導状態まで生き残っていること、2) 擬ギャップの大きさは空間的に非常に不均一だが、平均の大きさは最近のARPES実験の報告と一致すること、3) ギャップ内に現れるサブギャップはアンティノード付近で形成される電子対(ホール対)のギャップであること等が分かった。また、擬ギャップの不均一性を利用して求めたフェルミ・アーク端におけるギャップの大きさ Δ_s は、超伝導の T_c にスケールすることについても紹介する。

- 1) M. Vershinin, *et al.* : Science 303 (2004) 1995.
- 2) T. Hanaguri, *et al.*: Nature 430 (2004) 1001.

9. STM/STSによる銅酸化物超伝導体の局所仕事関数の測定

浴野 稔一、杉本 暁 (広島大学大学院 総合科学研究科)

走査トンネル顕微分光(STM/STS)は試料表面からのトンネル電流により表面の電子状態を観測するものである。この手段によりBi系銅酸化物超伝導体ではnmスケールでのギャップの不均一性や局所状態密度の変調が普遍的に観測されている。その起源に関してはキャリア濃度分布や結晶構造に起因する乱れが議論されており、また超伝導発現機構の解明の手がかりを与えるものとして数多くの研究がなされている。Bi系超伝導体では、Bi₂O₂面が最表面層として露出し、超伝導を担うCuO₂面はSrO面を経由して2層分だけ下方に位置する。しかし、劈開性などの理由でCuO₂面を直接観測するのは非常に難しく、一般のSTM/STS観測では清浄表面を得ることが容易なBiO表面を用いている。したがって、この観測結果がCuO₂面に直接関わるバルク状態を表しているか否かは自明ではなく、得られた不均一性が高温超伝導発現に本質的かどうかに関して一致した見解は得られていない。

このような状況の中で我々は、表面状態を敏感に反映する情報を得ることが出来る手段を通して超伝導ギャップとの関連性を調べ、これが表面状態に強く影響をうけたものであるのか否かを探ることを目的として、Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+y}(Bi2212、最適ドーブ)単結晶の局所障壁高さ(Local Barrier Height, LBH)の実空間分布を観測し、STM表面像やギャップパラメーター Δ の実空間分布を原子レベルで詳細に比較した。LBHは仕事関数に対応しており、探針-試料間を流れるトンネル電流の減衰係数に相当する。図は同時に観測された同領域におけるSTM表面像、 Δ 像、及びLBH像を示す。STM表面像とLBH像には大きな負の相関があり、表面での変調構造を大きく反映していることがわかる。さらに詳細に解析した結果、LBHは変調構造と完全に対応している訳ではなく、変調構造により生じたBi原子間隔の大小に大きく依存していることを見出した。 Δ 像とLBH像を比較してみると、両者の間に強い相関は認められず、実際、相関係数は-0.15とわずかな負相関を示している。このような Δ の不均一性は表面の影響を強く受けたものではなく、CuO₂面でのバルクの状態を反映していると考えられる。

謝辞：Bi2212単結晶試料は永崎洋氏(産総研)より提供をうけた。

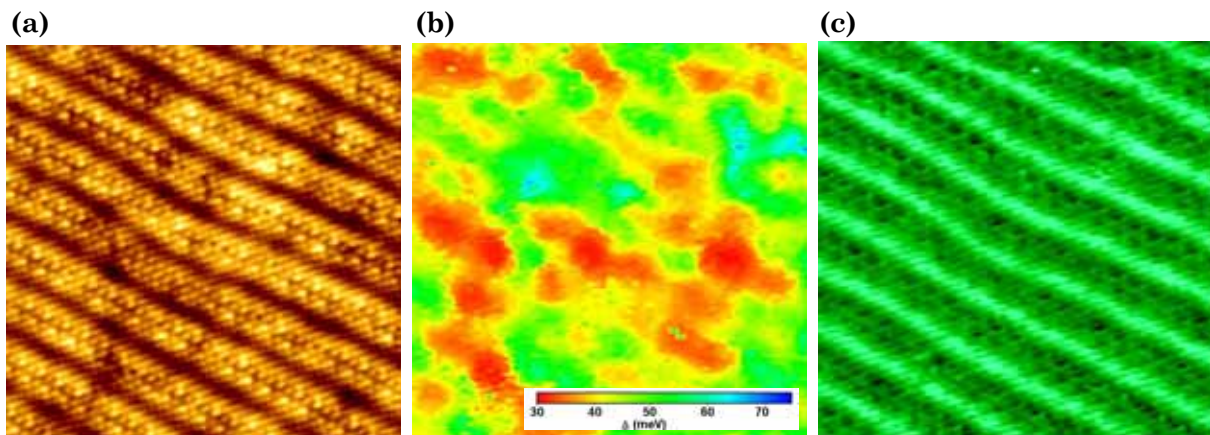


図 Bi2212単結晶における(a) STM表面像、(b) Δ 像、(c) LBH像(20 nm x 20 nm, 5K).

10. 超伝導ナノアイランドにおける vortex の低温 STM 観察

西尾 隆宏、安 東秀、野村 淳士^A、江口 豊明、坂田 英明^B、長谷川幸雄
(東大物性研、東理大基礎工^A、東理大理^B)

表面科学的な手法を駆使することによって微小なナノ構造体を形成し、その超伝導を調べる研究が盛んになされている。例えば Si(111) 清浄表面上の Pb 超薄膜においては、原子層オーダーのラフネス制御によるボルテックスのピンニングが報告されており[1]、応用の観点からも超伝導のサイズ効果について明らかにしていくことは非常に重要である。

我々はこれまでに超伝導のサイズ依存性について、超高真空中で作製したサイズ・膜厚が共によく制御された Pb ナノアイランド構造に着目して液体ヘリウム3冷却超高真空 STM を用いて観察を行ってきた[2]。今回は図 1 (a) 示すようなアイランドにおいて磁場中での超伝導ギャップ測定を行い、その分布について調べた。特にゼロバイアスコンダクタンス (ZBC) を超伝導の指標と考えてアイランド内において ZBC のマッピングを行った。その結果、vortex の形成に伴う ZBC の上昇を観測した(図 1 (b))。さらに様々なサイズのアイランドについて同様の測定を行った結果、vortex の形成はアイランドのサイズと密接に関係しており、線形化された GL 方程式を用いた計算結果の傾向とほぼ一致していることが分かった[3]。

参考文献

- [1] M. M. Özer *et al.*, Nature Phys. 2, 173 (2006).
- [2] T. Nishio *et al.*, Appl. Phys. Lett. 88, 113115 (2006).
- [3] V. A. Schweigert *et al.*, Phys. Rev. B 57, 13817 (1998).

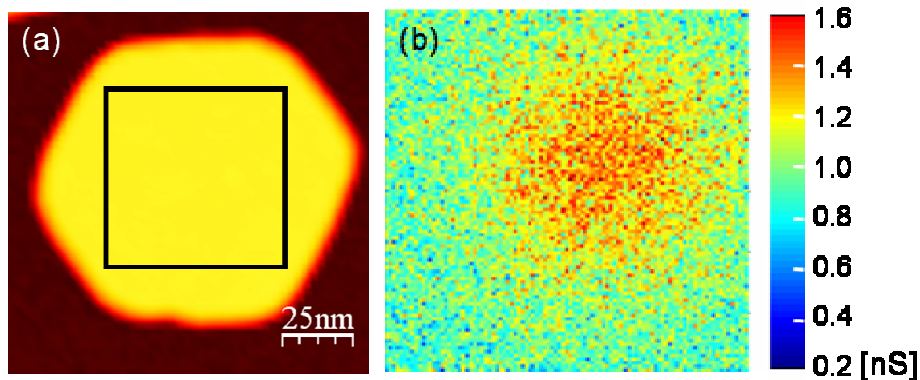


Fig.1 (a) Pb ナノアイランド(12 ML)の STM 像(125 nm x 125 nm)
(b) (a)中の枠線で囲まれた部分の ZBC 像(T = 2.0 K, B = 0.6 T)

11. 電子定在波とフリーデル振動の実空間観察

小野 雅紀^{A,B}、西尾 隆宏^B、江口 豊明^B、長谷川幸雄^B (理研^A、東大物性研^B)

電荷により誘起される真空中の静電ポテンシャルは一般にクーロンポテンシャルで記述される。固体内では周囲の媒質に依存し、自由電子系に囲まれている場合には、系内の電子がクーロンポテンシャルを打ち消そうとする遮蔽効果が生ずる。この遮蔽効果により、クーロンポテンシャルはより急峻に変化する局所的なポテンシャルとなる。例えば金属中の場合には、固体物理の教科書に載っているように、湯川型ポテンシャルすなわち指数関数的に減少する形状となることが知られている。そしてその高い電子密度による強い遮蔽効果によって、電荷によるポテンシャルはわずか 0.1 nm 程度の距離で減衰してしまう。このような遮蔽効果は、物質内での電子の振る舞いやそれに関連した物質の諸現象を理解する上で基本的かつ重要な現象の一つであるが、金属内での遮蔽効果の観察は、STM の空間分解能をもってしても困難である。

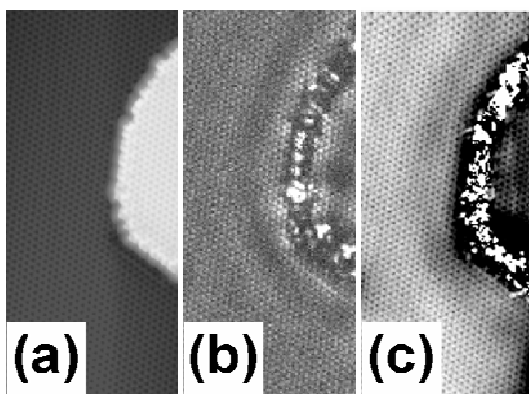


図. (a)STM 像、(b) dI/dV 像 ($V_s=0V$)、(c)ポテンシャル像。(a)には $\sqrt{3}Ag$ の島の一部分が観察され、(b)ではその島によるステップ周辺での電子定在波が観察され、(c)中には同領域のポテンシャルの振動が観察されている。

そこで、本研究では、遮蔽された静電ポテンシャルを局所的に観察するために、遮蔽効果の弱い2次元電子系を用いた。2次元電子系では、外部電荷による3次的に広がったポテンシャルを2次元内に閉じ込められた電子が遮蔽するために、遮蔽効果が3次元の場合に比べて弱い。観察に適した表面として、 $Si(111)\sqrt{3}\times\sqrt{3}-Ag$ 表面(以下 $\sqrt{3}Ag$)を対象とすることとした。この表面は、 $Si(111)$ 面上に銀を1原子層(ML)蒸着して形成される再構成表面であり、金属的な表面準位を有し自由電子的な2次元電子系を形成することが知られている。

本研究ではこのような2次元電子系を持つ表面上において、STM/STSを用いて、遮蔽効果を示す静電ポテンシャルの実空間直接観察を行い、左図のように遮蔽されたポテンシャルの減衰と、そのポテンシャルの振動構造をサブナノスケールの分解能で実空間観察に成功した[2]ので報告する。

[1] N. W. Ashcroft and N.D. Mermin: "Solid State Physics", (Saunders College, Philadelphia, 1976).

[2] H.Ono, Y. Nishigata, T. Nishio, T. Eguchi and Y. Hasegawa, Phys. Rev. Lett. 96, 016801 (2006).

12. 吸着分子系の振動励起と反応：非弾性トンネル電子による反応誘起メカニズム

川合 真紀 (東大大学院新領域創成科学研究科、理化学研究所)

金属に吸着した分子の振動状態が非弾性過程で励起され、コンダクタンスにも変化を与えることが知られているが[1,2]、STM非弾性トンネル分光では、限られた振動状態のシグナルしか検出されていない。一方、分子を透過する電子はこの多電子過程で分子の振動状態を励起し、ある確率で化学反応を誘起する[2,3]。透過する電子の運動エネルギーに対する分子の運動の応答から、ひとつの分子から振動スペクトルの取得が可能である(アクションスペクトル)[4]。検出された振動モードと透過する電子がテンポラルにトラップされる電子状態との関係を実験および密度汎関数法による理論計算により調べ、電子状態に共鳴的に作用していることを明らかにしつつある[5,6]。

励起された振動モードが反応座標に直交する場合、振動モード間の非調和結合の大きさが、反応効率に大きく寄与することをこれまでに示してきた[3]。最近、非調和結合の大きさが、振動量子数によりことなることを実験的に見出したので、併せて紹介する[7]。

参考文献

[1] S. Katano, Y. Kim, M. Hori, M. Trenary and Maki Kawai, Science 316 (2007) 1883.

[2] Y. Kim, T. Komeda, Maki Kawai, Phys. Rev. Lett. 89 (2002) 126104.

[3] T. Komeda, Y. Kim, Maki Kawai, B. N. J. Persson, H. Ueba, Science 295 (2002) 2055.

[4] Y. Sainoo, Y. Kim, T. Okawa, T. Komeda, H. Shigekawa, and Maki Kawai, Phys. Rev. Lett. 95 (2005) 246102.

[5] M. Ohara, Y. Kim and Maki Kawai, Chem. Phys. Lett. 426 (2006) 357-360.

[6] 小原通昭、金 有洙、川合真紀、表面科学 27 (2006) 401-407.

[7] T. Okada, Y. Kim and M. Kawai, to be submitted (2007).

13. 低温 STM による吸着分子間相互作用の直接計測

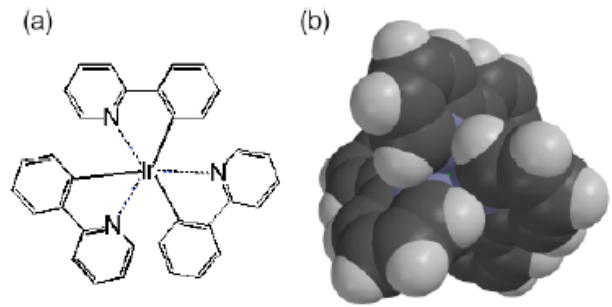
横山 崇 (横浜市立大学大学院 国際総合科学研究科 ナノ科学専攻)

我々はこれまで、金属表面上におけるナノサイズ分子のコンフォメーション[1]や選択的な分子間相互作用による自己組織化構造[2]を低温 STM によって明らかにしてきた。これらの研究では分子間に働く引力的な相互作用を利用してきたが、本研究では斥力的な双極子相互作用を利用することで、表面上で単一分子を均一に分散させ、その分子間相互作用

を直接計測することを試みた[3]。

図は本研究で用いた IrPPY と呼ばれる分子であり、Ir の周りに3つのフェニルピリジンがプロペラ状に配置した形状を取っている。この分子は C_3 軸方向に 6.5Debye の大きな双極子モーメントを示すことが知られている。この IrPPY を Cu(111)上に蒸着すると、単一分子に分散していることが低温 STM によって明らかになった。高分解能 STM 観察によって、IrPPY 分子の C_3 軸が基板表面に対して垂直になっていることが分かり、さらに半経験的な分子軌道計算によって、分子の双極子モーメントは基板側を向いていることが分かった。つまり、斥力的な双極子相互作用によって単一分子に分散していると結論づけられる。

さらに、分子の最近接距離分布を調べることで、分子間に働くポテンシャルを求め、斥力相互作用は鏡像双極子による相互作用によってさらに強められていることが明らかになった。さらに蒸着量を増加させると、 0.24nm^{-1} の臨界分子密度で一定になり、過剰分子は二次元島を形成した。この二次元島は分子4層からなり、多層構造を形成することで、双極子モーメントを相殺していることが分かった。



[1] J. Chem. Phys. 115, 3814(2001); J. Phys. Chem. B110, 18130(2006) 他

[2] Nature 413, 619(2001); Appl. Phys. Lett. 88, 253113(2006); Adv. Mater. 19, 117(2007).他

[3] Phys. Rev. Lett. 98, 206102 (2007).

14. 酸化物超伝導体における STM/STS

小林 典男、西寄 照和、工藤 一貴 (東北大金研)

我々のグループでは、10 年ほど前に超高真空仕様の低温・磁場中 STM/STS を導入し酸化物超伝導体の電子状態の研究を始めた。その後、3He・11T 仕様の2号機を導入、さらに簡便な装置を自作し研究を進めている。研究対象は酸化物超伝導体 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ と Pb を添加した $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+d}$ の電子状態と磁束状態、超伝導ダイヤモンド薄膜の電子状態、有機超伝導体における電荷秩序などである。

酸化物超伝導体では、STM/STS, NMR, 中性子回折などの測定から、電荷やスピンの長周期秩序が観測され、これが高温超伝導の機構とどのように関連するか興味もたれている。我々は酸化物超伝導体 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (YBCO)単結晶のへき開面において STM/STS の測定を行ない電荷秩序の存在を探った。

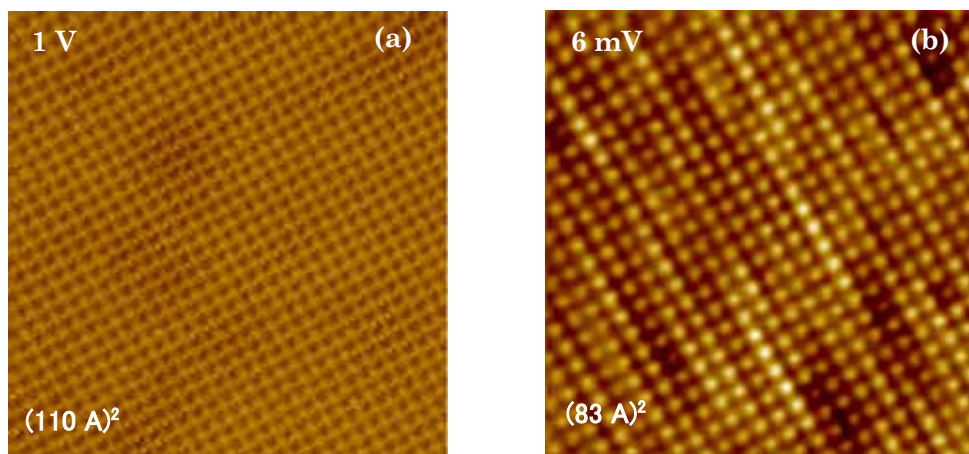


図1 BaO 面における STM 像のバイアス依存性。(a) 1V, (b) 6mV.

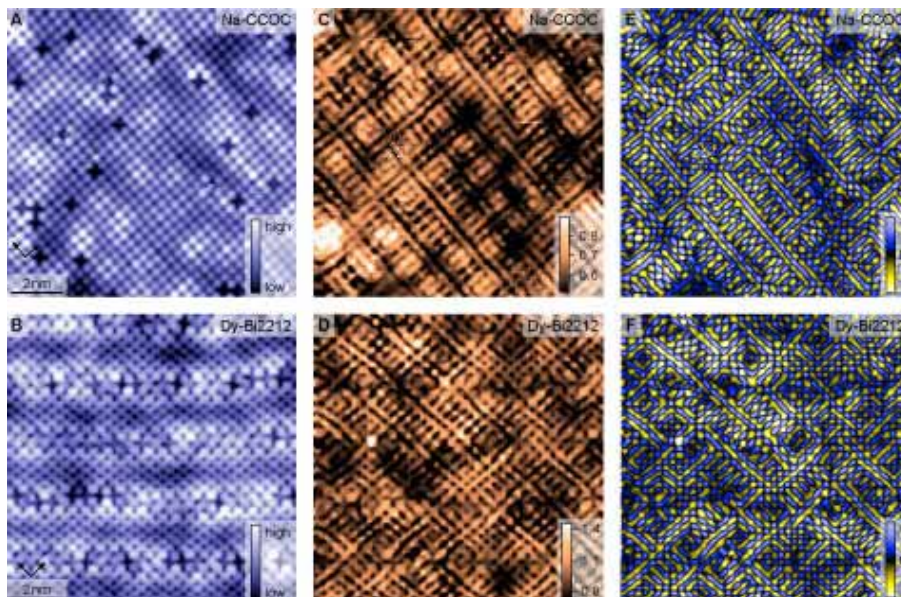
YBCO のへき開面は CuO 鎖面または BaO 面によって構成される。CuO 鎖面のトンネルスペクトルは超伝導特性を示すが BaO 面は示さない。また、CuO 鎖面上では多くの酸素欠損が観測されるが、BaO 面にはほとんど欠損が見られない。BaO 面の STM 像を図 1 (a), (b) に示す。高バイアスにおける STM 像はほぼ完全な格子像を示している (図 1 (a))。一方、10 mV 以下の低バイアスの STM 像は BaO 面の直下にある CuO₂ 面の電子状態を反映していると思われるが、1 次元的な変調構造が観測されている。その配列は、Bi₂Sr₂CaCu₂O_y や Ca_{2-x}Na_xCuO₂Cl₂ で観測されたチェッカーボードパターンとは異なり、不規則で短距離的である。さらに、この 1 次元変調構造の起源を探るために不純物効果やバイアス依存性について測定した。これらの結果について報告する。

15. 高温超伝導体における短距離秩序の可視化

幸坂 祐生 (理研)

銅酸化物における高温超伝導は、モット絶縁体にキャリアをドーピングすることで発現します。絶縁体から超伝導体への発達過程においては、いわゆる擬ギャップやストライプ秩序といった興味深い現象が見出され、これらの理解が超伝導発現機構の解明と密接に関連していると考えられています。その一方で、キャリアドーピングが化学的に行われるため、乱れが不可避的に導入され、高温超伝導体においては空間的に不均一な現象がいくつか報告されています。

このような対象に我々は STM を用いた分光測定を行い、励起スペクトルのフェルミエネルギーに関する非対称成分の空間分布に、幅が 4a₀ (a₀ は最近接銅-銅距離) の一軸性のドメイン構造があることを発見し、それが物質によらず見出されることを報告しました [Y. Kohsaka *et al.*, *Science* 315, 1380 (2007)]。このナノストライプ状の構造は非周期的に分布していて、全体として電子クラスターグラスを形成しています。ドメインの内部構造は銅-銅の結合上に中心がある特徴的なもので、物質によらず同一であることがわかりました。こうした、非周期的な構造を、乱れの存在下においても明らかにできるのは、STM の非常に強力な点であると言えます。講演では、これらの結果を、STM から得られるデータの解釈における新たな側面とともに紹介します。



16. Bi₂Sr₂CaCu₂O_x 渦糸電子状態の高空間分解能 STS

松葉 健、吉澤 俊介、望月 勇吾、茂筑 高士^A、平田 和人^A、西田 信彦 (東工大理、物材機構^A)

第 II 種超伝導体に $H_{c1} < H < H_{c2}$ (H_{c1} , c_2 : 下部臨界磁場, 上部臨界磁場) にある磁場をかけると、磁場は量子磁束 ($h/2e = 2.07 \times 10^{-15}$ Wb) に分かれて試料内に侵入する。あたかも、量子磁束を針とした剣山で試料を突き抜いたかのようなことになる。この状態を混合状態と呼ぶ。量子磁束のまわりには超伝導電流が渦状にながれていることから、量子磁束のこ

とを渦糸ともいう。渦糸では、中心から超伝導コヒーレンス長さの範囲で超伝導秩序変数の振幅が減少しており、また、磁場侵入長さの範囲で磁場が侵入している。前者の領域では超伝導が弱くなっており、まわりとは異なる電子状態となっている。そのため、この領域を特に渦糸芯と呼ぶ。渦糸芯での電子状態を調べることは第 II 種超伝導体の磁場中の性質を知る上でとても重要である。STM の探針を磁場と同じ方向から試料表面に近づけ、走査トンネル分光法 (STS 法) を適用すると、渦糸芯での局所状態密度を調べることができる。また、渦糸芯の内部と外部で状態密度が異なることを使い、渦糸芯を画像化することも可能である。

我々は、温度 4.2K・磁場 14.5T のもと混合状態にある高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ に対して STS 法を用い、0.47 Å/ピクセルという極めて高い空間分解能で渦糸芯の電子状態を調べることに成功した[1]。図 1 に測定された一つの渦糸芯の STS 像を示す。 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ の渦糸芯には約 ± 9 mV に状態が存在することが報告されている[2]。左図は +9 mV における微分伝導度で画像化した像であり、右は -9 mV での像である。ともに中央の白い領域が渦糸芯である。両方の像において、渦糸芯内部に変調構造が観察されている。その向きは Cu と O の結合方向に沿っている。さらに二つの像を見比べると、+9 mV の渦糸芯像で明るい場所は -9 mV では暗く、逆に -9 mV で明るい場所は +9 mV で暗くなっていることがわかる。渦糸芯において電子的な状態とホールのな状態が互いに逆位相の変調を示すことが見いだされている。詳細は講演にて述べる予定である。

[1] K. Matsuba *et al.*: J. Phys. Soc. Jpn. 76 (2007) 063704.

[2] K. Matsuba *et al.*: J. Phys. Soc. Jpn. 72 (2003) 2153.

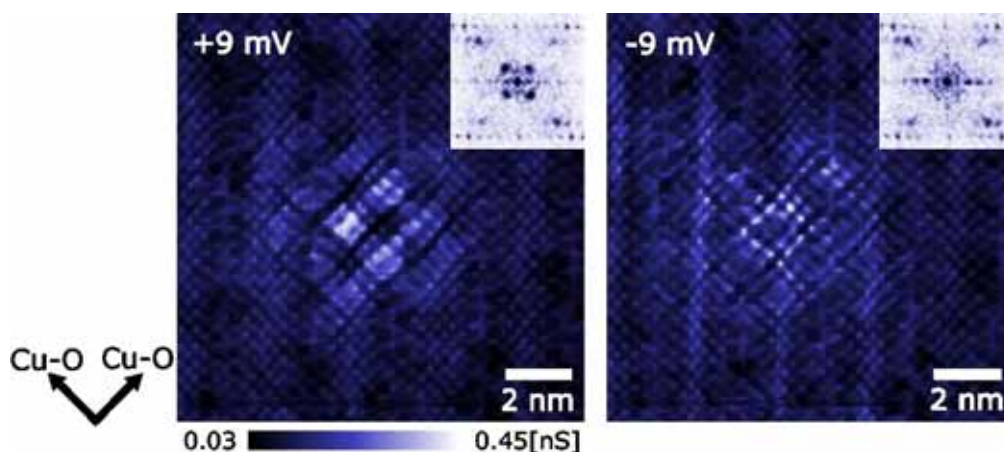


図 1: 温度 4.2K・磁場 14.5T のもとで測定された単一渦糸芯。二つの像は同時に測定されている。右上にフーリエ変換像が示されている。

17. 光励起 STM の開発と半導体局所キャリアダイナミクス解析への応用

重川 秀実 (筑波大学数理物質科学研究科・物質先端創成科学専攻)

ナノスケールで構造を制御し新しい機能(物性)を実現するには、微細構造の作製・制御技術の開発とあわせて、これら機能を正しく評価する技術の確立が必要不可欠である。例えば、半導体デバイスは微細化技術の進展により対象とする構造が数十 nm の領域に達しており、離散したドーパントの分布や界面のラフネスなど原子スケールの揺らぎや局所的な構造は機能に影響を与えるだけでなく、素子全体の動作特性そのものを左右する段階に至っている。

我々は、走査トンネル顕微鏡 (STM) と量子光学の技術を融合することによって、例えば、ナノスケールの光誘起応答を高い空間・時間分解能で解析することが可能な技術の開発を進めてきた。本講演では、こうした一連の手法の中から、光変調トンネル分光法による局所キャリアの可視化、時間分解 STM によるダイナミクスの解析などについて、最近の結果を紹介する。

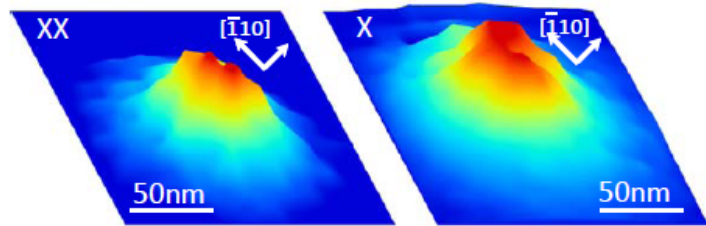
18. 低温近接場光学イメージングによる半導体量子構造の電子状態マッピング

松田 一成 (京都大学化学研究所附属元素科学国際研究センター)

光学顕微鏡では、光の回折限界によってその空間分解能がおよそサブミクロンに制限されている。これに対して、光近接場技術を利用したプローブ顕微鏡(近接場光学顕微鏡)は、回折限界を超えた高空間分解能での観測が可能であり、その潜在的なポテンシャルの高さから新しいツールとして期待されている。しかし実際には、その特徴を生かした100nm以下の空間分解能での詳細な分光・イメージング測定は技術的に容易ではない。最近ようやく50nm以下の領域まで到達し、これまでとは質的に異なる測定が可能になってきている[1-4]。

近接場光学顕微鏡では、プローブと呼ばれる部分の性能が顕微鏡としての明るさや空間分解能を大きく左右する。我々は、これまでに培ってきたプローブ作製技術をベースに、従来のものに比べスループット(明るさ)が大幅に向上した二段テーパー型形状のプローブを開発してきた[2]。その一方で、ここで対象とする半導体量子構造の高分解能測定には、顕微鏡の性能とともに試料構造の最適化が必要である。これらを検討し、近接場光学顕微鏡を用いて量子ドットでの測定から、空間分解能30nmでの発光イメージング測定が可能であることがわかった[1]。

ここでは、近接場光学イメージングの特徴を生かした量子ドットの励起子の波動関数マッピングについて紹介する。試料はGaAs/AlGaAs単一量子井戸中に生じたアイランド(量子ドット)構造である。量子ドットの発光スペクトルには励起子(クーロン相互作用により束縛した電子-正孔対;X)および励起子分子(2つの励起子の束縛状態;XX)発光が観測されている。図にそれらの強度をモニターしながら得られた発光イメージを示す。励起子発光イメージには、量子ドットの形状異方性が確認され、さらに発光イメージのサイズよりも高い空間分解能で測定であることを考慮すると、このイメージはドット内での励起子波動関数を直接可視化していることに対応する[3]。さらに、励起子分子発光イメージではその拡がり、励起子のそれと比べ一回り小さくなっている。励起子分子発光イメージの空間的な拡がり、励起子分子を形成する2個の励起子間の空間相関を反映し、励起子波動関数より局在することが期待される。実際、理論計算による結果からこの実験結果を再現することがわかった[1]。このようなナノイメージング分光と呼べる高空間分解能での光学イメージングは、様々な系への応用が考えられる。講演では、この近接場ナノイメージングの特徴と今後の展望などについて述べる。



- [1] K. Matsuda, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **91**,177401 (2003), Physical Review Focus Story, 22 October (2003) and Physics Today, **11**, 14 (2003).
- [2] K. Matsuda, S. V. Nair, H. E. Ruda, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **90**, 013101 (2007).
- [3] K. Matsuda, T. Saiki, T. Yamada, and T. Ishizuka, Appl. Phys. Lett. **85**, 3077 (2004).
- [4] K. Matsuda, T. Saiki, S. Nomura, and Y. Aoyagi, Appl. Phys. Lett. **87**, 043112 (2005).

19. 半導体表面に形成された低次元電子状態のSTM観察

長岡 克己^{A,B}、柳沼 晋^{A,C}、長尾 忠昭^{A,B}、中山 知信^{A,B,C} (物材機構^A、科技構 ICORP^B、筑波大院数物^C)

低温 STM/STS は、高い空間分解能(<1 nm)、及び、高いエネルギー分解能(~ 3.5kBT)で試料表面(または、その近傍)の電子状態を実空間で画像化できる優れたツールである。本講演では、半導体表面に形成された低次元ナノ構造の電子状態測定について紹介する。

(1) 量子ポイントコンタクト(QPC)[1]

Si(111)基板上に成長させたマルチドメイン Bi 薄膜のドメイン境界(幅 1nm 以下の空間的ギャップ)を利用し、QPC を作製した。この場合、QPC は表面平行方向に形成されるため、STM で観察可能となる。そこで、電子状態の場所依存性を QPC 周辺で測定した。QPC 領域ではドメイン領域にはない離散的な電子状態が存在し、その準位間のエネルギー差

は適当な直径の擬1次元円筒内に閉じ込められた電子状態としてよく説明される。

(2) 2次元サブバンド

Si(111)- $\beta\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -R30°-Bi(以後、 $\beta\sqrt{3}$ -Bi)表面のSTM測定において電子定在波が確認された。これは、2次元な電子状態が形成されていることを意味する。この電子定在波の波長はサンプル電位の増加とともに減少し、エネルギー分散は自由電子的であった。このことは、これまで報告された表面電子定在波の特徴と一致するが、本試料の場合、以下の点で異なる。(1) $\beta\sqrt{3}$ -Bi表面は半導体的で、そのバンドギャップはSiよりも大きい。(2) p型基板でのみ定在波が観察され、n型基板では観測されなかった。(3) p型基板において観測された2次元自由電子バンドの底は、基板Siのバルク伝導帯の底よりもエネルギー的に低い位置に存在した。これらのことから、表面ではなく、空間電荷層内に形成された量子井戸内に閉じ込められた2次元サブバンドの電子状態であると考えている。

[1] K. Nagaoka *et al.*, PRB 74, 033310 (2006).

20. 半導体ヘテロ構造劈開面のSTM/STS

鈴木 恭一 (NTT 物性科学基礎研究所)

半導体ヘテロ構造は、量子ホール効果を始めとした二次元系特有の性質が現れるなど物理的に興味深い系であり、また、高周波素子や光素子等、応用上も重要な材料系である。これまで、これらヘテロ構造の特性は、マクロスコピックな光学的測定や電氣的測定により調べられてきたが、物理現象の完全な理解や素子特性向上を目指す上で、ヘテロ構造内部における波動関数の実空間解析が望まれる。

上記を実現する方法の一つとして、ヘテロ構造劈開面の走査トンネル分光(STS)が挙げられる。STSは探針直下の局所状態密度(LDOS)をエネルギーの関数として知ることができる。一般的なIII-V族半導体の清浄な(110)面は、フェルミレベルピンニングによる表面への電子の蓄積がないことが知られており、そのヘテロ構造を真空中で(110)面が出るように劈開し、STS測定を行うことで、ヘテロ構造内部における、成長軸方向に対するLDOSの空間分布(波動関数の二乗に対応)を知ることができる。

我々は、InAs/GaSbヘテロ構造を試料とし、(110)劈開面の低温STS測定を行ってきた。本発表では、これまでに観測された、量子閉じ込めにより形成された電子および正孔のサブバンド、量子井戸間の波動関数の結合、単一ポテンシャル障壁による入射/反射電子波の干渉について紹介する。

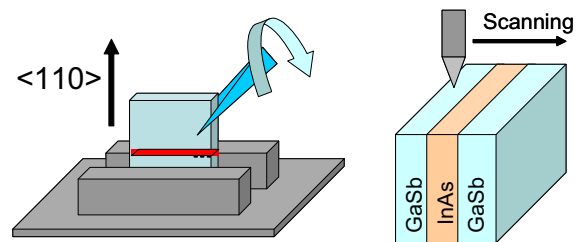


図1. ヘテロ構造劈開面のSTM/STS測定。清浄で平坦な(110)表面を得るため、試料は超高真空中($\sim 10^{-10}$ Torr)で劈開され、低温STM(~ 5 K)へ搬送される。

K. Suzuki *et al.*, Phys. Rev. Lett. 98, 136802 (2007).

K. Suzuki *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., 46, 2618 (2007).

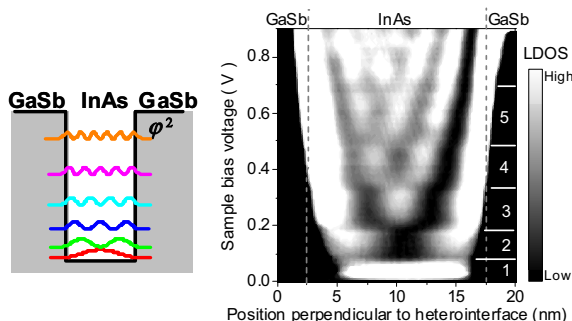


図2. InAs/GaSb量子井戸のSTS測定。InAs量子井戸に形成されたサブバンドが明瞭に観測されている。LDOSを空間的に積分すると、エネルギーに対して階段状に変化する二次元系特有の状態密度分布が得られる。

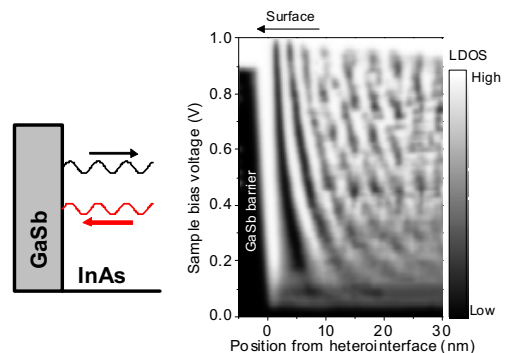


図3. InAs/GaSb単一ヘテロ界面付近のSTS測定。InAs層からGaSbポテンシャル障壁に入射する電子がそこで反射されることで、干渉パターンが生ずる。電子波長のエネルギー依存性から分散関係を直接求めることができる。

21. 有機超伝導体の STM 分光

市村 晃一¹、高見 信²、野村 一成² (¹北大・工・応用物理、²北大・理・物理)

2 次元的電子バンドを持つ有機超伝導体 κ -(BEDT-TTF)₂X の系では、反強磁性絶縁相に接して超伝導相が出現し、銅酸化物高温超伝導体と共通の相構造を持つことから、強相関電子系に出現する超伝導に興味をもたれている。我々は、超伝導状態の STM 分光測定によりギャップの対称性を明らかにする研究を行ってきた。今回は κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br の単結晶試料における、2次元面に垂直な側面における角度依存を含めた STM 分光測定の結果から、ギャップの対称性を議論する。

κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br の2次元伝導面(a-c 面)に垂直に STM 探針をアプローチしたときの微分コンダクタンスの関数形は、いずれの場合も V 字型をした異方的ギャップを示しており、d-波に特徴的なものとなっている。一方、面方位の異なる側面において得られたトンネルスペクトルは図1に示すように系統的な角度依存を示す。ここで、トンネル方向を示す角度 ϕ は伝導面内での a 軸からの角度を表す。 ϕ が増加するにしたがい、ギャップ幅は大きくなり、ゼロバイアスでコンダクタンスの値がゼロに落ち込んでいく。

またゼロバイアス近傍でのコンダクタンスの立ち上がり、 $\phi = 40^\circ$ では鋭く $\phi = 9^\circ$ では平坦であるといった関数形の違いもわかる。

これらは、 κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br よりも電子相関が弱い κ -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂[1] のときと同様に d-波の対称性で理解できるとともに、ノードの方向が k_a 及び k_c 軸から $\pi/4$ の方向 ($d_{x^2-y^2}$) にあることを示している。

また、異方的超伝導体に特有の zero bias conductance peak (ZBCP) が初めて側面で観測された。ZBCP は κ -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂ では観測されなかったが、両者の違いは元の電子バンドがフェルミ面上でギャップを持つかどうかの違いで理解できる。この ZBCP が $\phi = 45^\circ$ に近い方位でのみ観測されることから、超伝導ギャップがノードを持つことの別の強い証拠を与えている。

[1] T. Arai *et al.* Phys. Rev. B 63, 104518 (2001).

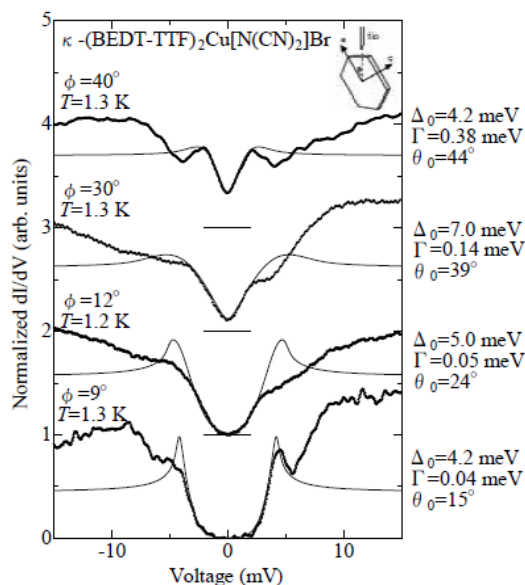


図1. トンネルスペクトルの角度依存

22. 希薄ドーピング状態の金属酸化物の STM/STS

松田 梓 (早大理工)

高温超電導体は、underdope 領域で擬ギャップ現象などの異常が現れることはよく知られている。我々は、Bi-2212 を用いて状態密度の doping 依存性を調べてきたが、 $T_c \rightarrow 0$ にいたる underdope 側の試料作成が困難であったため、広い範囲での doping 依存性は調べられなかった。最近、幾つかの方法で underdope 試料の作成に成功したので、その結果を報告する。また、擬ギャップ現象や Bi 系高温超電導体で広く観察される不均一ギャップ分布の普遍性を調べるために、Bi 系 Co 酸化物 [BiSrO₂]₂[CoO₂]_{1.82}(BC-2202) の表面構造や状態密度を調べた結果を、Bi-2212 の結果と比較しながら報告する。

underdope 域の高温超電導体の大きな特徴は、超伝導ギャップ(擬ギャップ)が T_c が低下するのにもかかわらず増加し続けることで、そのため超伝導のエネルギースケールが状態密度にあらわに現れない。我々は、当初分布するギャップ中で最低エネルギーのギャップが T_c を決定すると考えたが、実験結果は否定的であった。次に k 空間での分離の可能

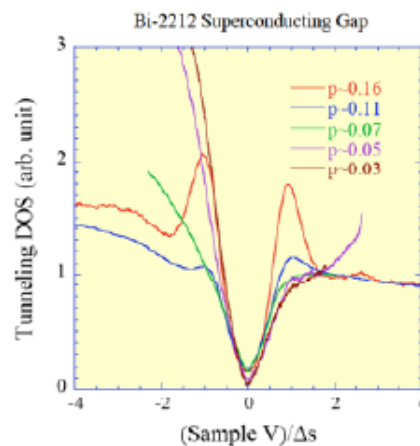


図1

性を考えるため、図1は最適ドーブから $T_c=0$ の絶縁体までの空間平均状態密度をギャップ値で規格化して示した。絶縁体の擬ギャップ状態から、超伝導状態までスケールしてしまい、これらのギャップは同じ k 依存性を持つこと、擬ギャップと超伝導ギャップは、状態密度からは区別できないことを示している。

図2は、BC2202 の表面 topo 像である。BC2202 は、Bi-2212 と同じように Bi-0 面で劈開するが、その表面原子配列はかなり異なっている。図3は、状態密度であるが擬ギャップが観測される。これは、SDW によるものと考えられるが、詳細は明らかでない。状態密度は、絶縁体の Bi-2212 と類似している。

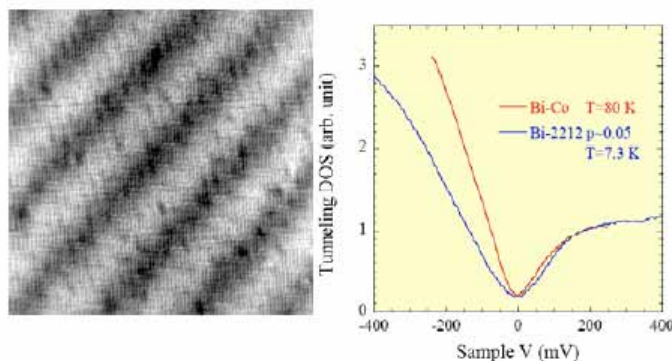


図2 250Å×250Å

図3

23. 低温強磁場 STM による強相関電子系の電子状態イメージング

花栗 哲郎 (理化学研究所)

銅酸化物における高温超伝導の発見を契機として、遷移金属酸化物の物性研究は飛躍的に進み、高温超伝導以外にも、マンガン酸化物における超巨大磁気抵抗効果や、コバルト酸化物における巨大熱起電力など、興味深い物性が発見されている。これらの物質群の多くは、クーロン相互作用のために電子が局在した Mott 絶縁体を母物質として持つ強相関電子系である。電子の持つ自由度の内、電荷の自由度のみが重要であるドーブされたバンド絶縁体とは異なり、ドーブされた Mott 絶縁体ではスピンや軌道の自由度も生き残っている。このようなさまざまな電子の自由度の競合によって生み出される非自明な電子相の探索と解明のため、温度や磁場といった外部パラメータを広い範囲で変化させて電子状態イメージングが可能な STM の開発を行っている。

強相関電子系で興味ある低エネルギー励起はしばしば meV のオーダーになる。また、磁場効果を考える際に最も基本的なエネルギースケールである Zeeman 分裂は、10 T の磁場中でも高々 0.6 meV でしかない。したがって、温度によるブロードニングの効果を除くため 1 K 以下の低温での実験が不可欠である。一方、微分コンダクタンスマッピングは極めて強力な電子状態の評価方法であるが、測定には通常 10 時間以上を要するため、安定な STM の開発は非常に重要である。我々は様々な試料への適用可能性と高いスループットを確保するため、広パラメータ可変に加えて超高真空中で試料や探針のその場交換が可能な高安定 STM の開発を試み、0.4 ~ 60 K 程度の可変温度、11 T までの強磁場、 10^{-10} Torr 程度の超高真空環境で動作し、最低温での水平方向の機械的ドリフト 0.1 nm/day 程度、z 方向の振動ノイズ 1pm 以下という性能を実現した。本講演では、この STM の技術的側面を議論するとともに、応用例として高温超伝導体における準粒子干渉効果の観測と、その磁場効果について報告する。

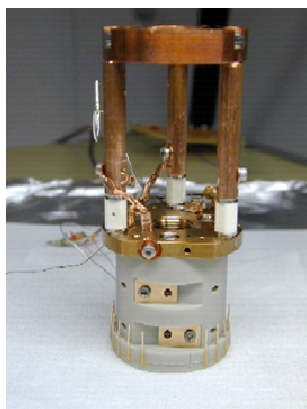


図1 本研究で開発した STM ユニット

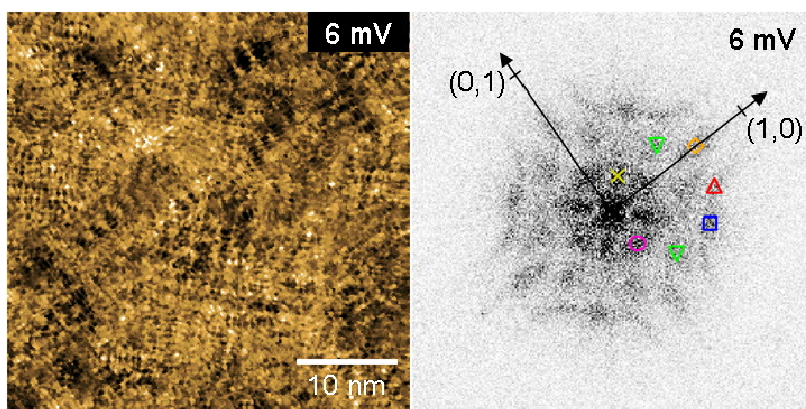


図2 Fermi エネルギーを挟んだ同じエネルギーでとられた微分コンダクタンスの比のマップによって得られた高温超伝導体 $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ における Bogoliubov 準粒子干渉パターンとその Fourier 変換像。このパターンのエネルギー依存性から超伝導ギャップ分散が、磁場依存性からコヒーレンス効果に関する情報がそれぞれ得られる。測定温度は 0.4 K

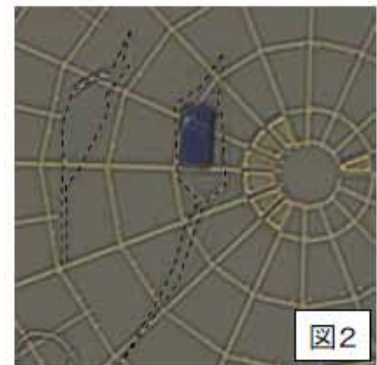
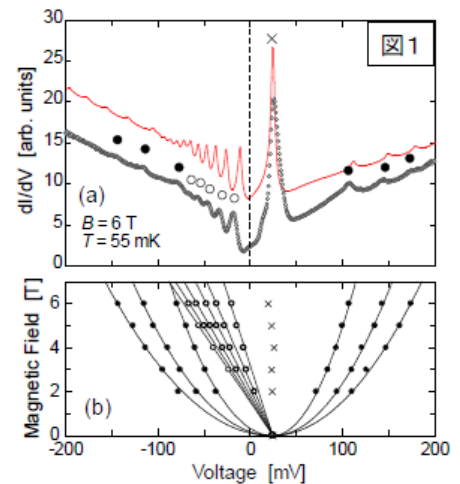
24. グラフィンおよびグラファイト表面の STM/STS 観測

松井 朋裕、小島 治樹、R. Deacon^A、山本 倫久^A、樽茶 清悟^A、福山 寛 (東大院理、東大院工^A)
(東大物性研、東理大基礎工^A、東理大理^B)

グラファイトは層状物質で劈開性があるため原子レベルで清浄な表面を容易に得ることができる。そのため STM の標準試料として古くからよく研究されてきた。近年、その単層シートであるグラフィンの作成が成功し注目を集めている。グラフィンの準粒子は無質量 Dirac fermion (DF) として記述され、Schrödinger 方程式で表される通常の電子系とは異なり、相対論的な Dirac 方程式に従う。そのためゼロ磁場で半整数のホール伝導度ステップをもつ量子ホール効果など、様々な興味深い物性が報告されている。その量子ホール効果に対応するランダウ準位(LL)を直接とらえ、吸着子やエッジ近傍での局所的な磁場中電子状態を精密に調べるには、低温での STM/STS 技術が威力を発揮する。

本講演ではまず、グラフィンの母物質であるグラファイトの表面における STM/STS 観測について紹介する。グラファイト表面の磁場中トンネル・コンダクタンスには磁場に依存したピーク構造、すなわち LL 構造が観測される[1]。これは伝導度などに現れるバルクのグラファイトの LL 構造では説明できず、グラファイトの最表面における LL を考えることではじめて理解されるものである。図 1 (a)は 6 T の磁場下で得られる Kish graphite 表面でのトンネル・コンダクタンス(黒丸)である。実線はグラファイト最表面に対して計算された LL であるが、実験をよく再現しているのが分かる。一方、グラファイト表面の不純物周辺では、その LL 構造に対応して、量子ホール状態で期待される電子の局在状態と拡がった状態が明瞭に観測された[2]。一方 LL のエネルギー値の磁場依存性には図 1 (b)に示すような 2 種類があることが分かった。すなわち低エネルギー側の磁場に比例する LL(白丸)と、高エネルギー側の磁場の平方根に比例する LL(黒丸)である。前者はグラファイトの種類によって更に異なる特性を示すが、HOPG (Highly Oriented Pyrolytic Graphite) の場合は 2 層のグラファイトに期待されるような質量を持つ DF と同様の振る舞いをする。一方、後者はグラファイトの種類によらず、グラフィンと同様の無質量 DF の性質を持つことが分かった。全ての LL をゼロ磁場に外挿すると磁場によらない LL(cross)に収束し、この LL がグラフィンの Dirac point に対応することが分かる。

一方、グラフィン試料は SiO₂ 基盤上にグラファイトを劈開することで作成した。そのホール伝導度は期待される量子化値を示しており、単層グラフィンが作成できていることが確認された。絶縁体である SiO₂ 基盤は、試料部分を除いて金薄膜で覆い、さらに試料の位置を示す金の蜘蛛の巣構造をその上に微細加工で作ることで、STM 探針によるアプローチを可能にした。図 2 はそうした STM 用試料の一例である。点線で囲った位置にグラフィンを含むグラファイトのフレークがある。



[1] T. Matsui *et al.*, Phys. Rev. Lett. 94, 226403 (2005).

[2] Y. Niimi *et al.*, Phys. Rev. Lett. 97, 236804 (2006).

P01. 長辺型水晶振動子を用いた極低温 FM-AFM による原子分解能観察

安 東秀^{1,2}、野村 淳士³、西尾 隆宏¹、江口 豊明¹、小野 雅紀¹、秋山 琴音^{1,2}、長谷川幸雄^{1,2}
(¹東大物性研、²科学技術振興機構、さきがけ³東理大基礎工)

極低温下において、走査トンネル顕微鏡 (STM) 観察は多く報告されているが、原子間力顕微鏡 (AFM) 観察は未だに報告例が少ない。これは、通常、カンチレバーの振動振幅検出に用いられるビームデフレクション法に必要な光学系の位置あわせが、クライオスタットで囲まれた極低温下では難しいためである。今回、我々は、AFM の力検出プローブに、

図1に示すように、長辺振動型の水晶振動子(quartz LER (Length Extension Resonator)、共振周波数:1MHz)を、先端に微小なタングステン探針を取り付けて用い、周波数変調(FM)-AFM のシステムを構築した。LER は圧電効果を利用した自己検出型であるため、極低温下での位置合わせ等が不要である[1]。さらに、³He 冷却の極低温 STM システム[2]の探針ホルダーを二電極用に改良することで、容易に FM-AFM システムを実現できる(図1)。

使用した LER は、ばね定数が 540000 N/m と非常に大きな値であるため、振動子の振幅を 100 pm 以下に設定することができ、短距離力の分解能を向上できる。図2には、120 pm の小振幅を用いて、4.3 K の極低温下で得られた Si(111)7x7 表面の原子分解能像を示す。

プローブにタングステン探針を用いているため、トンネル電流の同時検出も可能であり、STM 観察時に、探針-表面原子間に働く相互作用力や、エネルギー散逸などの情報を検出することが可能である。

[1] T. An, T. Eguchi, K. Akiyama, and Y. Hasegawa, Appl. Phys. Lett. 87, 133114 (2005).

[2] T. Nishio, M. Ono, T. Eguchi, H. Sakata and Y. Hasegawa, Appl. Phys. Lett. 88, 113115 (2006).



図1 二電極探針ホルダーに取り付けられた水晶長辺振動子

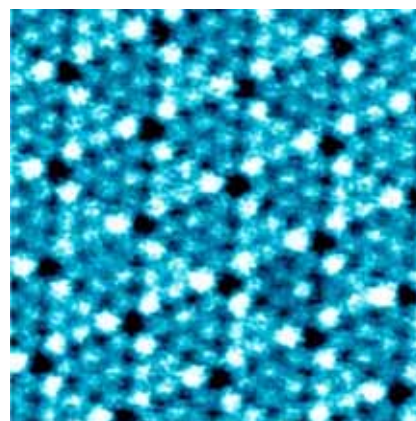


図2 Si(111)7x7 表面の FM-AFM 像
T = 4.3K, $f_0 = 995990$ Hz, $\Delta f = -1.2$ Hz,
振幅 = 120pm, 11nm x 11nm

P02. パルス噴霧法で吸着させた 10nm オリゴチオフェン分子ワイヤの STM 観察

西山 文貴、小川 健悟、横山 崇、田中 彰治^A (横浜市国際総合科学、分子研^A)

複数のチオフェン環からなるオリゴチオフェンは、高い電子移動度を持つことなどから、電子素子材料として注目されている。そこで本研究では、単一分子ワイヤへの応用を目的として合成されたオリゴチオフェン(24T-Si-Dod) [1]に着目した。図1に示すように、24T-Si-Dod は 24 個のチオフェン環が 10nm の分子ワイヤを形成しており、保護基としてシリル基、可溶性のためドデシル基が付加されている。チオフェンワイヤの各チオフェン環の間には回転自由度があり、各々が *cis* 型と *trans* 型のコンフォメーションを持つ[2]。安定な *trans* 型は直線状になるのに対し、準安定な *cis* 型では湾曲することが予想できるため、24T-Si-Dod の構造は複雑化していると考えられる。そこで本研究では、STM 観察によって個々の分子構造を調べることで、コンフォメーション解析を行った。

24T-Si-Dod は分子量(7183.9)が大きく、通常の真空蒸着法を用いることができない。そこで、分子を含んだ溶液を真空装置内の Au(111)基板にパルス噴霧することで、室温の表面上に分子を吸着させた。その後、低温(63K)で STM 測定を行った。

パルス噴霧後の STM 像(図2)では、多数のひも状のものが Au(111)表面上に分散している。それらの長さは一様に 10nm であり、分子の鎖長と一致することから、ひも状構造は単一分子に相当すると考えられる。さらに、24T-Si-Dod は直線形状だけではなく、折れ曲がった構造も持つことが分かった。図3は代表的な単一分子の STM 像であり、シリル基に対応する 8つの楕円輝点で構成されていた。STM 像より、この楕円間の角度は 180°、140°、110°に分類され、41:37:22 の比で存在していることが分かった。これらの角度は、シリル基間にある 4つのチオフェン環の *cis* や *trans* の組み合わせで再現することができ、分子の折れ曲がり角度とコンフォメーションの関係が分かった。さらに詳細なコンフォメーション解析は当日にて報告する。

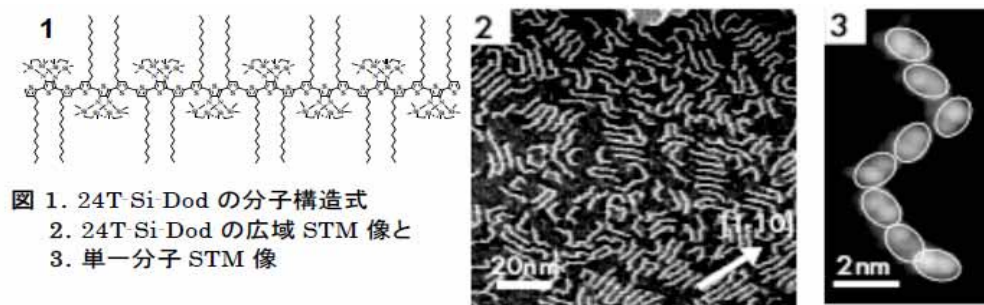


図 1. 24T-Si-Dod の分子構造式
2. 24T-Si-Dod の広域 STM 像と
3. 単一分子 STM 像

- [1] S. Tanaka, Y. Yamashita, *Synth. Metals*, 119, 67 (2001)
[2] T. Yokoyama, S. Kurata, S. Tanaka, *J. Phys. Chem. B*, 110, 18130 (2006)

P03. STM で見るプロトンのトンネルダイナミクス

奥山 弘、熊谷 崇、八田振一郎、有賀 哲也 (京都大学大学院理学研究科)

プロトン(または水素原子)のトンネル過程は、気相分子を対象として多くの研究がなされてきた。アンモニアのトンネル反転[1]は最も有名な例である。吸収分光法によってそのトンネル分裂が詳細に調べられており、基底状態は $10^{11}(\text{s}^{-1})$ の速度でトンネル反転(傘が裏返る)していることがわかっている。また分裂幅が比較的小さいことから近年になって明らかにされたのが、水分子二量体のプロトン交換過程である[2]。これはプロトンのドナーとアクセプターの「役割」が入れ替わる現象で、交換頻度 $10^9 (\text{s}^{-1})$ が測定されている。我々はこのようなプロトンのトンネル過程を、実空間、単一分子レベル、さらに実時間で観測、制御することを目的として STM による研究を行っている。発表では(1)水分子二量体の水素結合交換過程、および(2)表面水酸基のプロトンスイッチ過程、の結果について述べる。

- [1] Herzberg, “Molecular spectra and molecular structure”.
[2] R. S. Fellers *et. al*, *Science* 284, 945 (1999).

P04. 磁性原子対吸着系の磁気相互作用と STS 測定

南谷 英美¹、中西 寛¹、Wilson Agerico Dinô²、笠井 秀明¹ (¹阪大院工、²阪大院理)

近年、STM(Scanning tunneling microscopy)技術の発達により、原子レベルでの観測が行われている。それにより、金属表面上の多体効果を直接観察することが可能となった。その一例として Cu 表面の Co 原子に対する STS(Scanning tunneling spectroscopy)スペクトルに近藤効果に由来するフェルミ面近傍のピークが観測されるなどの実験結果が報告されており、理論面からも詳細な研究が行われている[1-4]。

金属表面上に2つの磁性原子を吸着させた系では金属表面と磁性原子間の相互作用に加えて磁性原子間の直接・間接の相互作用がある。その結果、STS スペクトルは単一磁性原子の場合とは大きく異なることが報告されている[5,6]。こうした相互作用を取り扱う、固体中の2不純物のモデルとしては2不純物アンダーソンモデルがよく知られており、これまでに多くの研究がなされている[7-9]。表面の2不純物に対する STM 観察に対しても同様のモデルが適用できると考えられるが、加えて STM 探針による電圧の影響や表面特有の効果を検討する必要がある。本研究では STM 電流の計算を、有限電圧下という非平衡状態を扱うために非平衡グリーン関数法により導出した。そして、グリーン関数の計算において、金属表面と2つの磁性原子の系を2不純物アンダーソンモデルで記述し、クーロン相互作用を摂動として取り扱った。また、微分コンダクタンスを計算する際、表面から STM 探針への直接の電子移動も加味することで、ファノ効果を取り入れた。発表では主に STM の微分コンダクタンスに現れる磁性原子間の相互作用の影響について述べる。

- [1] M. F. Crommie *et al.*, *Science* 262 (1993) 218
[2] H. Kasai *et al.*, *Surf. Sci. Rep.* 43 (2001) 1
[3] T. Kawasaka *et al.* *Jour. Appl. Phys.* 86 (1999) 6970
[4] Y. Shimada *et al.* *Appl. Phys.* 94 (2003) 334

- [5] C. F. Hirjibehedin *et al.*, Science 312 (2006) 1021
 [6] P. Wahl *et al.* Phys. Rev. Lett. 98 (2007) 056601
 [7] C. Jayaprakash *et al.* Phys. Rev. Lett. 47 (1981) 737
 [8] B. A. Jones *et al.* Phys. Rev. Lett 61 (1988)125
 [9] R. M. Fye *et al.* Phys. Rev. B 35 (1987) 4901

P05. 低温多探針走査プローブ顕微鏡の開発

宮武 優、森田 幸治、胡 小 鵬、水村 公俊、佐々木 徹、石川 憲一、杉山 一郎、水野 博之、長村 俊彦
 (株式会社 ユニソク)

プローブを測定対象物に接近させて物理的相互作用を検出することを特徴としている走査プローブ顕微鏡は、表面構造の観察にとどまらず、局所的な物性評価の手法として活用されるようになってきている。特に、ナノ構造体や、人工的な微細構造の直接的な電気特性の評価手法として、SPM を活用したプロービング装置の活躍が期待されている。また、このようなナノ構造の物性評価は時として、電子状態の揺らぎを嫌うため、低温での実施を要求される。われわれは、こうしたニーズに応える装置を提案し、実現したのでここに報告する。

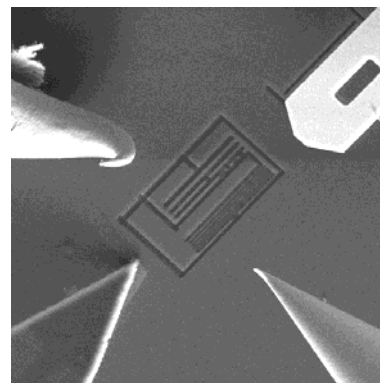
まず、微細構造物の評価を行なう場合、プローブを測定対象上に効率よく移動させる必要がある。そこで、走査電子顕微鏡によりプローブ位置をナノスケールで観察する機能を取り付けた。つぎに、プローブを互いにナノスケールまで接近させるために、ピエゾモーターを利用したステージを開発し、数ミリメートルの範囲において、ナノメートルの精度で4つのプローブの位置を制御する機構を実現させた。さらにこれらプローブを STM 走査することにより表面構造の観察を可能にした*1。しかし、微細構造物の電気特性を計測する場合、基板の効果を無視するため、基板には絶縁性材料が選択されることが多く、STM による表面観察では、用途に限界があった。そこで、自己検出型のプローブを採用することにより AFM によっても、表面構造の観察を実現することに成功した。これにより、絶縁性の基板上にある構造体にプローブを接近させることが可能となった。さらにわれわれは、これらの機能を有する多探針走査プローブ顕微鏡を、液体 He のタンクを備えた真空装置内に設置することにより、10K 以下の環境を実現させた。また、4つのプローブホルダーおよびサンプルホルダーは UHV 中での交換を実現している。研究会では、これらの評価実験に関する結果について報告する。

今後は操作性、安定性を向上させ、微細な超伝導物質の評価や、微小空間での量子効果の観察、微細構造体のデバイス特性の評価といった分野に活用されることを期待している。

* 1 (独) 科学技術振興機構、先端計測分析技術・機器開発事業において東京大学・大阪大学と共同で開発。



図：低温4探針走査プローブ装置の外観図

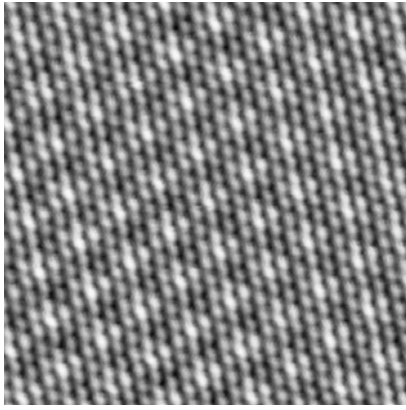


図：AFM プローブ等の SEM 像

P06. 電子スピン共鳴 STM の開発と単一スピン検出に向けて

小野 雅紀^{A,B}、坪井 紀子^{A,B}、花栗 哲郎^{A,B}、高木 英典^{A,B,C}、山田 太郎^{A,B}
 (理研^A、CREST/JSTB^B、東大新領域^C)

スピンを持った電子に磁場を印可すると、ゼーマン効果により2つのエネルギー準位に分裂し、磁場の強さに依存した摂動エネルギー対応した周波数(ラーモア周波数)で電子スピン歳差運動(ESP : electron spin precession)を引き起こす。



NbSe₂ の STM 像。9nm x 9nm
Vs: 20 mV, It: 20 pA,

すなわち数百ガウスの外部磁場 B によるエネルギー分裂の幅は $g\mu_B B$ (g : g 因子、 μ_B : ボーア磁子) より数 μeV 程度であり、対応するラーモア周波数は数百 MHz となる。また、その様な ESP はトンネル電流中にその周波数のノイズを発生させ、その信号を検出することで表面上の局在スピンを検出できると報告されている(例えば Phys. Rev. Lett. 62, 2531(1989))。しかしながら、これまでの実験は表面の作成方法・磁場の印可方法などに問題あり、定量性・再現性のあるデータはほとんど無い。そこで本研究では表面の ESP 信号分布像観察を確実なものとするために、新たに低温超高真空 STM を立ち上げ実験をすすめている。STM は低温($\sim 5\text{K}$)・超高真空($< 5\text{nPa}$)で観察できる装置となっており、超伝導マグネットにより ESP を引き起こすための外部磁場($< 1\text{T}$)を精度良く発生させることができる。現状では左図のように STM 自体は立ち上がっており、現在 Fe/Si 表面上での ESP 信号検出を試みているので、当日は進捗状況について発表する予定である。

P07. STM/STS による Sr₃(Ru_{1-x}Mn_x)₂O₇ 観察

坪井 紀子^{AB}、佐藤 誠一^{AC}、岩谷 克也^{AB}、吉田 良行^D、池田 伸一^D、花栗 哲郎^{AB}、高木 英典^{ABC}
(理研^A、JST-CREST^B、東大新領域^C、産総研エレクトロニクス^D)

Sr₃Ru₂O₇ は強磁性に非常に近い常磁性金属であり、 $H_{lc}=8\text{ T}$ でメタ転移が起こる。また、約 5% の Mn ドープで系が反強磁性絶縁体へと転移する。本研究では、STM/STS を用いて、磁場や不純物が作り出す電子状態の観察を目指した。

Figure 1 は Sr₃Ru₂O₇ のフェルミエネルギー近傍の dI/dV スペクトルの磁場変化(H_{lc})である。0 T ではフェルミエネルギーを挟んで -3 mV と $+4\text{ mV}$ にピークが存在する。メタ転移の生じる 8T までは磁場の増加に伴い、 -3 mV の電子状態が -1 mV へ、 $+4\text{ mV}$ の電子状態が $+2\text{ mV}$ へとその比重がシフトし、8T を超えるとフェルミエネルギーでの電子密度が増加する。これらの結果から、メタ転移に伴いフェルミ面付近の電子状態が磁場に対して系統的に変化していることがわかった。

次に、Mn ドープ試料の観察を行った。Figure 2 は Mn 1% ドープの STM イメージである。左下の四角が基板格子(一辺 $\sim 4\text{ \AA}$)に相当し、明るく見えているのは Sr サイトと考えられる。不純物として、輝点(Bulge, C)、周囲の暗い輝点(Eye, A,B)の 3 種類が存在する。基板との位置関係から、輝点の位置が基板格子と半周期ずれる A、C を Ru サイトに位置する Mn 原子と、また輝点の位置が基板格子と一致する B を酸素欠損によるものと考えた。STS を用いて不純物周りの詳細な電子状態の観察を行った。

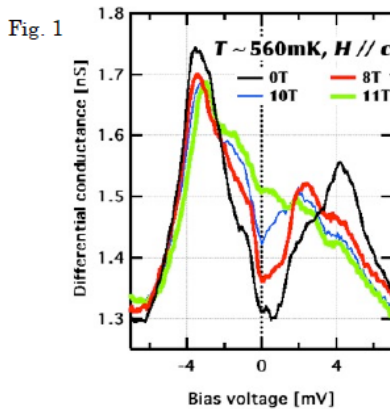


Fig.1 Sr₃Ru₂O₇ のトンネルスペクトルの磁場依存性 ($I=50\text{ pA}$)

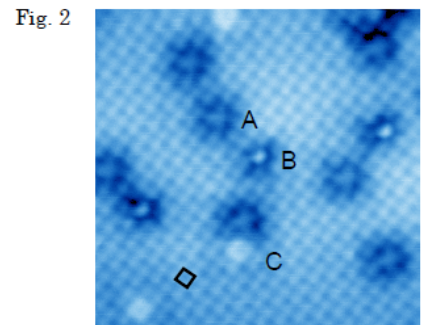


Fig. 2 Sr₃(Ru_{1-x}Mn_x)₂O₇ $x=0.01$ の STM 像 ($80 \times 80 \text{ \AA}^2$, $V_{\text{sample}}=-50\text{ mV}$, $I=100\text{ pA}$)

P08. 低温走査トンネル顕微鏡を用いたボロンドープ超伝導ダイヤモンド薄膜の研究

西寄 照和、高野 義彦^A、長尾 雅則^A、竹之内智大^B、川原田 洋^B、小林 典男
(東北大金研、物材機構^A、早大理工^B)

ダイヤモンドに高濃度のボロンをドープすることにより $T_c=2.3\text{ K}$ で超伝導が発現することが Ekimov らによって発見された[1]。その後、薄膜試料で超伝導転移温度がさらに増大する($T_c \sim 7.4\text{K}$)ことが示され[2]、更なる T_c の上昇を目指し

た合成プロセスとその電子状態に関して興味もたれている。超伝導発現機構に関しては、MgB₂と同様にフォノンとの強い相互作用による機構や、不純物準位における強い電子相関を起源とする機構などが提案されている。本研究では超伝導ダイヤモンド薄膜の表面構造と電子状態に関する情報を得るために、³He 冷凍機を用いた低温走査トンネル顕微/分光 (STM/STS) 測定を 0.47K まで行った。測定には、高周波プラズマ CVD 法で作製された (111) 配向エピタキシャル薄膜 (T_c ~ 5.4K) を用いた。超伝導ダイヤモンド薄膜の表面には、数十 nm 程度の粒状に近い微細構造が観測されるが、その中で原子像を観測することに成功した。図 1 に示すように、得られた原子像は C(111)1×1:H 構造であると考えられる。0.47K での STS によるトンネルスペクトルは表面の構造に依存せず、ほぼ同等な超伝導特性を示した。図 2 に典型的なトンネルスペクトルを示す。スペクトルを Dynes 関数でフィットすることで、ギャップパラメータ $\Delta=0.83\text{meV}$ 、ブロードニングパラメータ $\Gamma=0.41\text{meV}$ が得られた。また、 $2\Delta/k_B T_c \sim 3.57$ の値は、弱結合の BCS 理論値に近い値になることが分かった[3]。発表では、高温領域での測定結果もあわせて超伝導ダイヤモンドの電子状態を議論したい。

[1] E.A. Ekimov *et al.*, Nature 428 (2004) 542.

[2] Y. Takano *et al.*, Appl. Phys. Lett. 85 (2004) 2851.

[3] T. Nishizaki *et al.*, Physica C 460-462 (2007) 210; New Diamond and Frontier Carbon Technology 17(2007) 21.

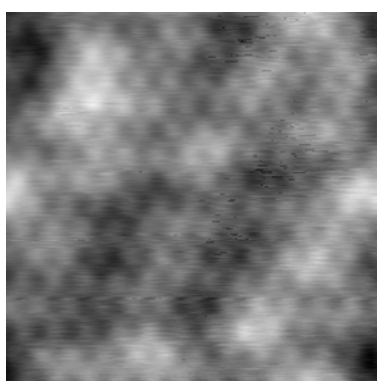


図 1 : ボロンドーブダイヤモンド(111)の配向薄膜の STM 像。C(111)1×1:H 構造 (3.2×3.3 nm², V = 500 mV, I = 0.1 nA)

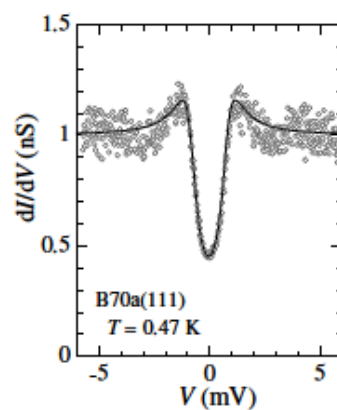


図 2 : 超伝導ダイヤモンド薄膜のトンネルスペクトル(T=0.47K)。実線: Dynes 関数によるフィット。

P09. 有機伝導体における電荷秩序相の STM 観察

米山 直樹、佐々木孝彦、西岸 照和、小林 典男 (東北大金研)

有機伝導体 θ -(BEDT-TTF)₂RbZn(SCN)₄ は、徐冷下において TMI=190K で c 軸方倍周期となる構造相転移を伴って絶縁体化する。この低温絶縁相は電荷秩序状態であることが様々な実験によって確かめられており、いわゆる横ストライプ型配列パターンを取ることが知られている。一方、試料を急冷した場合は TMI で顕著な絶縁体転移が起こらず、急冷低温相は高温金属相が凍結した状態と考えられている。実際エックス線では高温金属相で見られる $q=(1/3 \text{ k } 1/4)$ の超格子スポットが、急冷下では TMI 温度直下でも観測される[1]。本物質の電荷秩序相の STM による直接観察は興味を持たれるが、TMI 以下では電気伝導性が大きく損なわれる。そこで我々は、徐冷相に関して 0.3V 以上の比較的高バイアス電圧を印加して観察を行った。徐冷下では c 軸二倍周期構造を持つ STM 像が得られ、一方で急冷下では低バイアスでの測定で $(1/3 \text{ k } 1/4)$ に相当すると思われる変調構造の観測に成功した。

本研究では自作の STM ヘッドと市販コントローラを組み合わせる実験を行った。測定は 1 気圧ヘリウムガス雰囲気下において as-grown 表面 (二次元伝導 ac 面) での STM 観察を行った。徐冷下の電荷秩序相におけるトンネル電流像を Fig. 1 に示す。探針の衝突を防ぐため、高めのバイアス電圧 (0.3-0.4V) を印加しており、charge gap を越えた状態密度を見ていると考えられる。得られた分子像の解像度は室温のものに比べてかなり落ちるが、本物質の電荷秩序相の特徴である c 軸方向二倍周期を反映したものになっている (Fig.1 右の断面図において、それぞれ A-B、A'-B' 方向が c 軸方向であるが、電流像の空間周期は 2c になっている)。急冷下で得られる像の多くは高温相と変わらないものであるが、今回はその分子像に重鎮した変調構造を見出した (Fig. 2)。挿入図は実空間像の FFT 像で、Bragg 反射とは別におよそ $q'=(0.31 \pm 0.13) a^* + (0.28 \pm 0.04) c^*$ の位置に衛星反射が見られる。実像からは、変調構造は短距離的で乱れが大きいながら、c 軸方向に $(1 \ 1 \ 0 \ 0)$ 型の周期を持っているように見える。

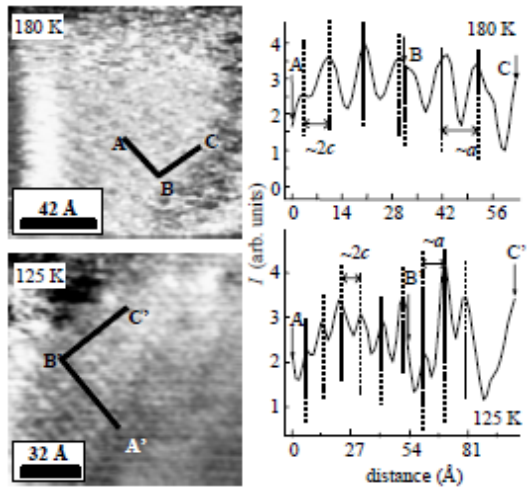


Fig.1 徐冷下の電流像と断面図
(180K: V=0.3V, I=0.1nA, 125K: V=0.4V, I=0.09nA)

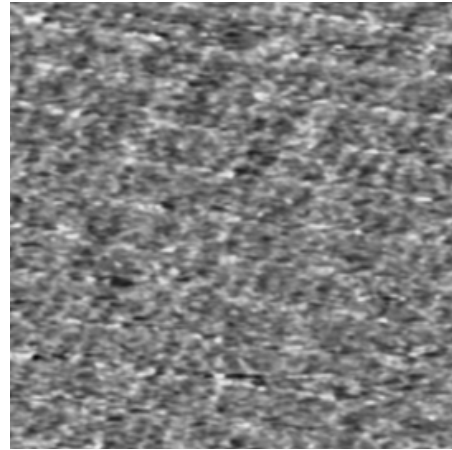


Fig.2 急冷下の電流像
(173K, V=20 mV, I=0.5 nA)

1. M. Watanabe *et al.*, *Synth. Metals*, 135-136 (2003) 665.

P10. Pb 置換 Bi₂Sr₂CuO_{6+δ} における低バイアス STM 像のキャリア濃度依存性および磁場依存性

工藤 一貴、西寄 照和、奥村 直幸、小林 典男 (東北大金研)

我々は、銅酸化物高温超伝導体の相図上において広範囲のキャリア濃度領域および温度領域で観測されている電子秩序状態と、高温超伝導発現の関係を明らかにするため、Pb 置換 Bi₂Sr₂CuO_{6+δ} (Bi2201) の STM 測定を行っている。重要と考えられるポイントは、電子秩序状態に対する(1)キャリアドーピングの効果、(2)磁場印加の効果、(3)結晶構造の効果の解明であるが、それらを調べる上で、Pb 置換 Bi2201 は最適の系である。なぜなら、Pb 置換 Bi2201 では、(1)キャリア量を極端な不足ドーピングから極端な過剰ドーピングまで変化させることができ[1]、また、(2)超伝導転移温度 T_c が比較的低いため、電子状態に対する磁場効果が顕著であり[1]、さらに、(3)置換する Pb 量を調整することによって、Bi-O 面の結晶変調の度合いを調整できる[2,3]からである。今回は、それら3つのパラメータを変化させて実験した中から、結晶変調を完全に抑制した単結晶試料(FZ法で育成)[1]の測定結果を報告する。図1に、最適ドーピング OPT ($T_c = 22K$)、過剰ドーピング OD1 ($T_c = 7K$)、過剰ドーピング OD2 ($T_c = 4.5K$)の STM 像を、温度 $T = 4.6 K$ 、サンプルバイアス $V_s = 5 mV$ で測定した結果を示す。いずれの試料においても、数 100 mV の高 V_s では明瞭な Bi(Pb)-O 原子面が観測されたが、図1に示すとおり、10 mV 以下の低 V_s では、電子相関を反映した構造が観測された[3,4]。OPT では、明るい原子が列をなし、列が数本集まって束を作り、束が直交する2つの Cu-O-Cu 方向に沿ってランダムに配列している(図1(a))[4]。同様の構造は、キャリア濃度の高い OD1 でも観測されたが(図1(b))、さらにキャリア濃度の高い OD2 ではほとんど観測されなかった(図1(c))。以上はゼロ磁場での結果であるが、一方で、 $H = 7T$ の磁場中では、OD2 においても原子列構造が観測された。これらの結果は、CuO₂ 面には、キャリアドーピングによって抑制され、磁場印加によって増強される1次元な電子相関が存在することを示唆している。

[1] K. Kudo, Y. Miyoshi, T. Sasaki, T. Nishizaki, N. Kobayashi, *J. Phys. Soc. Jpn.* 75, 124710 (2006).

[2] T. Nishizaki, K. Kudo, N. Okumura, N. Kobayashi, *Physica C* 460-462, 156 (2007).

[3] K. Kudo, T. Nishizaki, N. Okumura, N. Kobayashi, *Physica C* 460-462, 948 (2007).

[4] K. Kudo, T. Nishizaki, N. Okumura, N. Kobayashi, *Physica C* 463-465, 40 (2007).

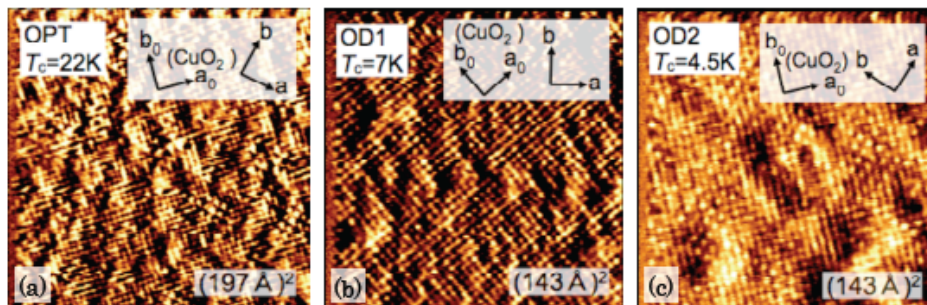


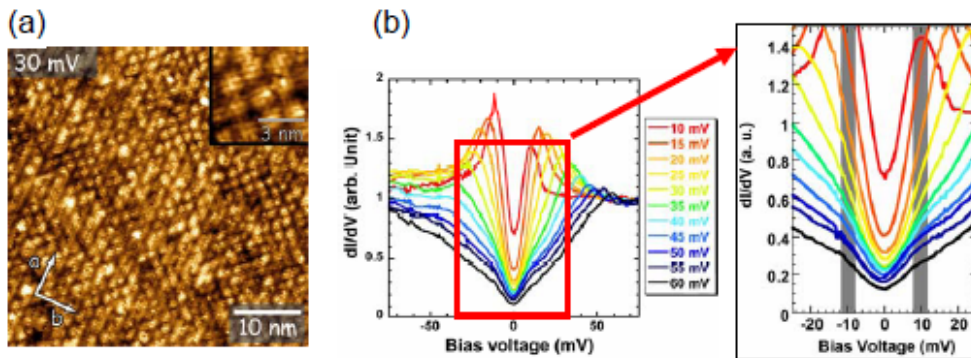
図1. $T = 4.6 K$, $V_s = 5 mV$ における Pb 置換 Bi2201 の STM 像 (Bi (Pb)-O 面)。

P11. 低温走査トンネル顕微鏡による高温超伝導体のエネルギーギャップと LDOS 空間変調の観察

加藤 拓也 (東京理科大学 理学部第一部 物理学科)

高温超伝導体における超伝導ギャップの観測はその発現機構を明らかにする上でも最も重要な研究の一つである。最近の STM/STS 研究によって、銅酸化物高温超伝導体では電子状態がナノスケールで不均一に空間変化していることが明らかになり、準粒子の局所状態密度 (LDOS) の空間分布を直接観測できる STM/STS は非常に重要な実験手段となった。さらに近年、いくつかの銅酸化物高温超伝導体において LDOS の二次元的な空間変調が観察されている。いずれの物質においても LDOS は CuO₂ 面の格子定数 (a₀) の 4~5 倍程度の周期で Cu-O-Cu 結合方向に変調しており、その起源や高温超伝導との関係に興味を持たれている。

我々のグループではこれまで、STM/STS を用いて銅酸化物高温超伝導体 Bi₂Sr_{2-x}La_xCuO_{6+δ} (La-Bi2201) の幅広いキャリア濃度領域における電子状態を研究してきた。その結果 LDOS の空間変調を観察し (図 a)、変調周期はキャリア濃度の減少とともに短くなることを発見した。このような顕著な変調周期のキャリア濃度依存性は他の物質では確認されていないが、この現象の起源を考える上で非常に重要な情報であると考えられる。またトンネルスペクトルに観察されるエネルギーギャップ Δ は他の物質と同様にナノスケールで不均一に空間変化し、キャリア濃度の減少にともない超伝導転移温度の低下に反して大きくなることが分かった。我々はこのエネルギーギャップ内に折れ曲がり (キंक構造) を見出し (図 b)、キंक構造が現れるエネルギーは Δ にもキャリア濃度にもほとんど依存しないことを明らかにした。さらに LDOS の変調の極大点ではこのキंक構造がピークへと発達する。これらのことから LDOS の変調はなんらかの電荷秩序であり、キंक構造はそれによって誘起されたギャップ内構造であるとする考えもある。一方で、最近の角度分解光電子分光によってギャップの角度依存性が調べられており、単純な d 波からの逸脱、および二種類のエネルギーギャップの存在を示す結果が次々と報告されている。したがってトンネルスペクトルに観察されるキंक構造は、新たに見つかったもう一つのエネルギーギャップである可能性もある。当日はこれらの結果について報告する。



(a) La-Bi2201 (x=0.6) における低バイアス STM 像に観察された格子状の LDOS 変調。

(b) La-Bi2201 (x=0.4) の典型的なトンネルスペクトルとギャップ内に観察されたキंक構造。

P12. 水晶振動子を用いた極低温走査プローブ顕微鏡の開発

齋藤 広大、林賢 一、柴山 義行、白濱 圭也 (慶應大理工)

物質表面の局所物性を測定する走査プローブ顕微鏡 (SPM) は、低温物性実験においても強力な測定手法である。中でも走査トンネル顕微鏡 (STM) は、超伝導体の研究に広く応用されており、その有用性は揺るぎ無いものとなっている [1]。

一方、原子間力顕微鏡 (AFM) や、その応用型である静電気力顕微鏡 (EFM)、磁気力顕微鏡 (MFM) といったチップ-試料間に働く力を測定する SPM も、低温物性実験において有用な装置となり得る。これらの SPM は超伝導体のみならず低次元電子系、メゾスコピック系、また液体ヘリウムの超流動などにも応用が期待される。そこで我々は新たな低温実験技術として、希釈冷凍機温度 (10 mK) での動作を目標とした AFM の開発を行っている。

極低温環境を維持するためにカンチレバーとして熱の発生が少ない音叉形水晶振動子を採用し [2]、またカンチレバーの Q 値上昇により低温下での良好な動作が期待される周波数変調型原子間力顕微鏡 (FM-AFM) を装置の雛形とした。今回、1.3 K までの低温環境下において動作実験を行った。

図1にカンチレバーの共鳴曲線の温度依存性を示す。横軸は共振周波数で規格化してある。1.3 Kにおいて105程度の高いQ値を実現しており、水晶振動子が低温下でのFM方式に適合していることを示唆している。図2に1.3 Kにおいて回折格子(周期: 830 nm、高さ: 380 nm)表面を走査した結果を示す。測定はチップ-試料間の弾性変形による斥力[3]が働く位置でスキャナーにフィードバックをかけて行い、1.3 Kという低温環境下においてサブミクロン程度の形状測定に成功した。現在、低温環境下において原子ステップの測定を目指し、システムの改良を行っている。

- [1] O.Fisher et.al, RMP 79, 353(2007).
- [2] F.J.Giessibl, RMP 75, 949(2003).
- [3] F.J.Giessibl, APL 73, 3956(1998).

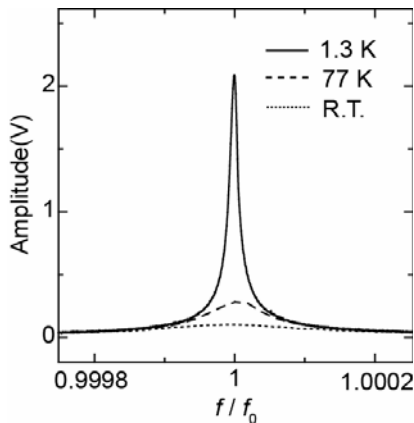


図1 : カンチレバーの共鳴曲線の温度依存性

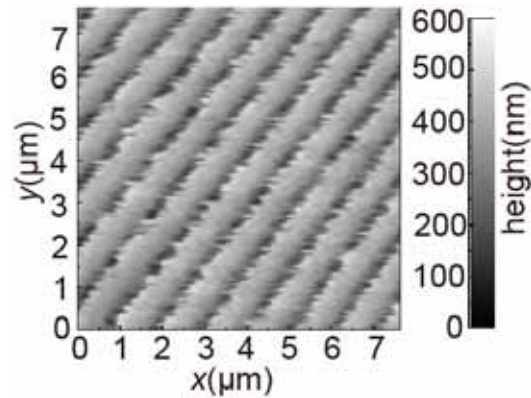


図2 : 1.3 Kにおける回折格子像

P13. Zn ドープ Bi2212 における不純物共鳴状態の温度依存性

神原 浩、新見 康洋、石角 元志、内田 慎一、福山 寛 (東大院理)

高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (Bi2212)に Zn を不純物としてドープした系では、不純物原子周囲で超伝導状態が局所的に破壊され、トンネルスペクトルにはフェルミエネルギー付近に鋭いピーク構造(Near Zero Energy Peak: NZEP)が現れることが知られている[1]。しかし、NZEP の起源については理論的な解釈にまだ結論がついていない。理論的には 1) 不純物散乱共鳴[2]、2) アンドレーエフ共鳴[3]、3) 近藤共鳴[4]というシナリオが考えられている。これらの実験的な検証を行うために、我々は低温のみならず高温でも超高真空環境を維持できる超低温 STM 装置[5]を使用し、30 mK から 52 K に至る高温までの STS 温度変化測定を最適ドープ試料 ($T_c=89$ K) に対して行った[6]。

図はトンネルスペクトルの温度変化である。これらのスペクトルは同一不純物サイトで得られたものではないが、十分高温まで NZEP が存在することが実験的には確かめられた。点線のスペクトルは 1.8 K のデータを基にし、フェルミ分布関数の温度依存性を考慮した計算結果である。ピークの減衰、ピーク幅の広がり温度によるスミアリングとして説明できると考えられる。近藤共鳴シナリオでは、特徴的な温度 T^* (近藤温度)が約 15 K と見積もられ、その T^* をクロスオーバー温度とするピークウエイトの温度依存性が予言されている[7]が、その詳細な議論は今後の課題である。また、アンダードープ試料における高温での擬ギャップ領域における測定から、NZEP の起源が超伝導状態に関係したものであるかどうかを調べることも今後の重要な課題と考えられる。

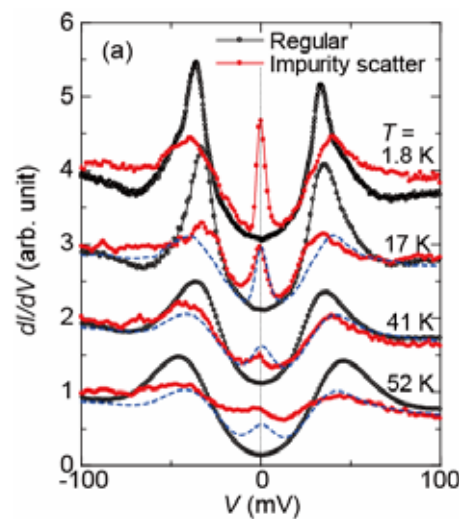


図 : Zn ドープ Bi2212 のトンネルスペクトルの温度依存性。不純物近傍では NZEP が観測される。点線は 1.8 K のデータを基にした温度スミアリングの計算結果。

- [1] S.H. Pan *et al.*, Nature 403, 746 (2000).
- [2] M.I. Salkola *et al.*, PRL 77, 1841 (1996).
- [3] Y. Tanaka and S. Kashiwaya, PRL 74, 3451 (1995).
- [4] A. Polkovnikov *et al.*, PRL 86, 296 (2001).
- [5] H. Kambara *et al.*, RSI 78, 073703 (2007).
- [6] H. Kambara *et al.*, PRB 76, 052506 (2007).
- [7] M. Vojta and R. Bulla, PRB 65, 014511 (2001)

P14. 超低温 STM を用いた自己組織化膜に対する非弾性電子トンネル分光

岡林 則夫^{1),2)}、今田 洋平¹⁾、米田 忠弘^{1),2)} (東北大多元研¹⁾、CREST-JST²⁾)

分子を通過する電子の伝導特性(伝導機構、コンダクタンス、振動モードとの相互作用、局在スピンとの相互作用等)は、分子エレクトロニクスとの関連から、近年盛んに行われるようになってきた。STM を用いた金属-(真空)-分子-金属という接合は、そのような特性を調べる良い試料であり、低温における測定は、接合の機械的安定性が増し、エネルギー分解能が向上するという利点がある。本研究では、超伝導磁石付き希釈冷凍機(大陽日酸、TC330-SC)と STM ユニット (UNISOKU, USS-9990)を組み合わせ、磁場可変超低温 STM を開発した。本研究で用いた希釈冷凍機は図1のような構造をしており、混合器の最低温度は 90 mK、最大磁場は 5T である。STM は、超低温部と 4He 槽とを隔てる真空断熱槽に配置されており、最低温度は 260 mK(以下)である。試料は、室温大気中で STM に取り付け、真空排気した後、液体窒素での予冷を経て、超低温まで温度が下げられる。3He ガスラインと 1K ポットは、それぞれ除振用の重りを經由してロータリーポンプに接続されている。

図2に 260 mK における Au(111)表面上のオクタンチオール自己組織化膜のトポグラフ像を示す。現状では、1K ポット用ポンプの除振が十分でないため像がみだれるので、STM 動作中はポンプを停止している。この状態では、2時間程度で循環ガスの流量が顕著に増えるほど 1K ポットの温度が上昇する。したがって2時間おきに、STM 動作を中断し 1K ポットを排気するという作業を行っている。図3に、260mK での非弾性電子トンネル分光の結果を示す。(D)の CH 伸縮振動の強度が最も強く、(C)の CH ひねり振動もしくは縦揺れ振動もしくははさみ振動、(B)の CC 伸縮振動、(A)の CH 横揺れ振動もしくは CS 伸縮振動が超低温条件で観測できた。

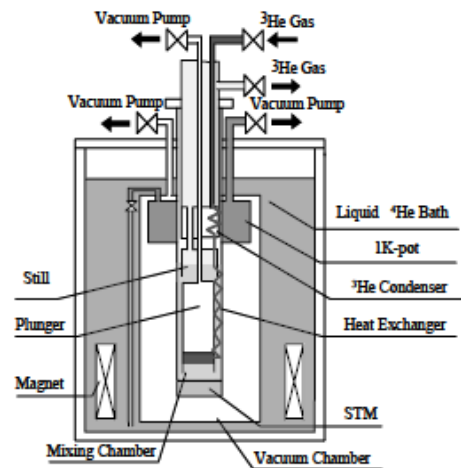


図1：磁場可変超低温 STM の概念図

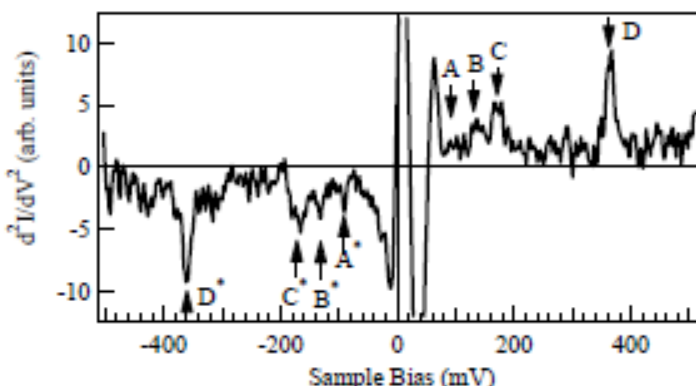


図3：同じ表面に対する 260 mK での IETS。セットポイントは 500 mV、200pA、変調電圧は 7.2mV(rms)、掃引時間は7分で、135 回積算の平均である。

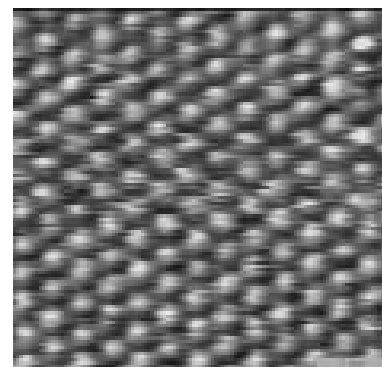


図2：260 mK における Au(111)表面上のオクタンチオール自己組織化膜のトポグラフ像 (-2.2 V, 92 pA, 5 nm × 5 nm)。

物性研究所短期研究会 計算物性物理学の進展

日時：2007年11月1日(木)～11月2日(火)

会場：東京大学物性研究所本館講義室

提案者：川島 直輝（物性研究所 准教授（代表））

古川 信夫（青学大理工 教授）

常行 真司（東大院理 教授）

富田 裕介（物性研究所 助教）

鈴木 隆史（物性研究所 助教）

物性科学諸分野における近年の数値計算手法の発展は目覚しく、各分野で多くの成果をあげている。物性研究所スーパーコンピュータ共同利用として採択される約 200 の申請課題はおおむね(1)第一原理による電子状態計算、(2)強相関量子系、(3)複雑系・非線形系の3分野に分類される。第一原理計算分野にあつては、方法論の主要部が確立され、応用上重要な問題に関する知見が続々と生み出されている一方、量子モンテカルロ法などと組み合わせた新しい方法論の開発も試みられている。強相関電子・スピン系にあつては、問題の特殊性に応じた最適な計算手法の開発が必須であるが、動的平均場理論、クラスタアルゴリズム、密度繰り込み群の方法など、ある程度広い応用範囲を持つ方法が成功を収めている。複雑系、非線形系については、応用対象がより一層多岐に渡っている為ひとくくりにすることはできないが、最適化分野における拡張アンサンブル法など有望な方法が生み出されている。これら興味深い計算物理上の進展を概観し、新しい研究の展望をひらくために本研究会は開催された。本研究会はまた物性研スーパーコンピュータの共同利用成果報告会としての性格ももっており、スパコンのヘビーユーザの方々を主要な講演者としている。とくに、近年注目される業績を挙げられ、物性研究所スーパーコンピュータアクティビティレポート 2006 において巻頭論文をお願いした4グループの代表の方々(森川良忠(阪大産業科学研)、佐々木志剛(東北大工)、渡辺真仁(東大工)、紺谷浩(名大理)の4氏)には、特別講演をお願いした。第一日目は第一原理計算に重点をおいたプログラム、第二日目は強相関系や非線形現象に重点をおいたプログラムとしたが、両日とも40名程度、延べ約80名の参加があつた。講演数は44件(オーラル30件、ポスター14件)を数えた。講演およびそれに続く討論は、共同利用を通じて行われているアクティビティの質の高さを示すものであつた。また、本研究会では、研究報告会としての通常セッションの他、10ペタ級の計算機開発・利用を目指す次世代スパコンプロジェクトに対して、物性研を核とする計算物性科学コミュニティがどのように関わっていくべきかに関して討論するための、特別セッションも設けられた。

プログラム

11月1日(木)

- | | | |
|-------------|---|------------------------|
| 9:50-10:00 | あいさつ/事務連絡 | |
| 10:00-10:20 | イオン伝導体-金属接合型原子スイッチの界面構造と伝導特性に関する第一原理計算 | 多田 朋史 (東大工) |
| 10:20-10:40 | Unusual Schottky barrier at metal/high-k interfaces | 中山 隆史 (千葉大理) |
| 10:40-11:00 | 固液界面の構造とダイナミクス | 杉野 修 (東大物性研) |
| 11:00-11:20 | 多体効果を考慮し LDA をこえた取り扱い
-GWA と LDA+DMFT- | 藤原 毅夫 (東大大学総合教育研究センター) |
| 11:20-11:40 | Pr2Ir2O7 の電子状態と金属 “スピン・アイス” | 小野田繁樹 (理研) |

11:40-12:00	有機分子のシリコン表面への化学吸着プロセスの第一原理計算による解明	赤木 和人 (東大理)
12:00-13:00	ランチ	
13:00-13:30	第一原理分子動力学法による化学反応過程の研究	森川 良忠 (阪大産業科学研)
13:30-13:50	高速、多価イオンと物質との相互作用の計算方法	宮本 良之 (NEC)
13:50-14:10	白金表面上鉄薄膜の構造緩和と磁気異方性計算	小田 竜樹 (金沢大自然科学)
14:10-14:30	ラッシュバ効果の第一原理計算	小口多美夫 (広大先端物質科学)
14:30-15:30	ポスター (分野1 : 第一原理計算)	
15:30-15:50	グラフェン関連物質における欠陥と磁性	斎藤 峯雄 (金沢大理)
15:50-16:20	数値的実空間繰り込み群法によるイジング EA スピン	
	グラスの研究	佐々木志剛 (東北大工)
16:20-16:40	ランダム系の臨界普遍性の非平衡緩和解析	尾関 之康 (電通大電気通信)
16:40-17:00	レア・イベント・モンテカルロ法に応用	福島 孝治 (東大総合文化)
17:00-17:20	定温分子動力学法とエルゴード性	渡辺 宙志 (名大情報科学)
17:20-17:40	粒子シミュレーションによる非平衡現象へのアプローチ	湯川 諭 (阪大理)

11月2日(金)

9:00-9:20	摩擦の物理	松川 宏 (青学大理工)
9:20-9:40	分子性結晶への拡張 Ewald 法の適用	淵崎 員弘 (愛媛大理工)
9:40-10:00	スピンモデルと画像領域分割	岡部 豊 (首都大理工)
10:00-10:20	長距離相互作用をもつ量子磁性体の臨界現象	藤堂 眞治 (東大工)
10:20-10:30	ブレイク	
10:30-12:00	計算物性科学 WG 会合	
12:00-13:00	ランチ	
13:00-13:20	3次元ハイゼンベルグスピニングラスの大規模数値シミュレーション	川村 光 (阪大理)
13:20-13:40	2次元量子スピン系における VBS 状態	川島 直輝 (東大物性研)
13:40-14:00	Critical Exponents of the Anderson Transition	Keith Slevin (阪大理)
14:00-14:30	価数転移の量子臨界点の性質 —ゆらぎ、超伝導、磁場効果—	渡辺 真仁 (東大工)
14:30-14:50	2次元フラストレート電子系の有限温度モット転移	川上 則雄 (京大理)
14:50-15:50	ポスター (分野2 : 強相関電子系、分野3 : スピン系・非平衡現象)	
15:50-16:20	d 電子系における異常ホール効果およびスピンホール効果	紺谷 浩 (名大理)
16:20-16:40	強相関電子系に対する大規模数値計算 —Hund 結合系、Holstein-Hubbard 系	青木 秀夫 (東大理)
16:40-17:00	奇周波数電子対と超伝導不均一系	田仲由喜夫 (名大工)
17:00-17:20	銅酸化物における共鳴非弾性 X 線散乱スペクトル	筒井 健二 (原研)
17:20-17:40	強相関電子系と第一原理計算	今田 正俊 (東大工)

ポスター講演リスト：

11月1日(木)

- | | | |
|-----|---|-----------------|
| A 1 | 力定数法によるフォノン分散の第一原理計算 | 小杉 太一 (東大理) |
| A 2 | トランスコリレイティッド法の共有結合性およびイオン性
固体への応用 | 袖山慶太郎 (東大理) |
| A 3 | 第一原理ダウンフォールディング法に基づく固体電子励起
状態の理論的研究 | 中村 和磨 (東大工) |
| A 4 | SiC(0001)表面上 SiON 超薄膜の電子状態計算 | 安藤 康伸 (東大理) |
| A 5 | 時間依存密度汎関数法を用いた非断熱遷移を伴う化学反応
のシミュレーション | 平井 宏俊 (東大物性研) |
| A 6 | Mn 酸化物マルチフェロイクスの第一原理計算 | 石井 史之 (金沢大自然科学) |

11月2日(金)

- | | | |
|-----|---|---------------|
| B 1 | 粉体のジャミング転移と動的不均一性 | 波多野恭弘 (東大地震研) |
| B 2 | スピンパイエルズ物質 K-TCNQ におけるポーラロン状態の
理論的解析 | 前島 展也 (分子研) |
| B 3 | ET 塩の電荷秩序化に対する電子格子相関効果 | 宮下 哲 (分子研) |
| B 4 | 弱い鎖間相互作用を持つ反強磁性 $S=1/2XXZ$ モデルの磁場中
秩序状態 | 鈴木 隆史 (東大物性研) |
| B 5 | 量子ホール系の時間発展と、ラフリンの議論に関する非断熱
効果 | 丸山 勲 (東大工) |
| B 6 | モット絶縁体-超流動転移：量子モンテカルロ法を用いた
ボーズハバードモデルのシミュレーション | 加藤 康之 (東大物性研) |
| B 7 | 長距離アルゴリズムの1次元ダイポール系への適用 | 富田 裕介 (東大物性研) |
| B 8 | 面間フラストレーションをもつ磁場中3次元古典ハイゼン
ベルク模型の臨界現象 | 紙屋 佳知 (東大物性研) |

※本研究会の多くの講演については、講演者から講演資料 (pdf ファイルやパワーポイントファイルなど) をご提供頂いている。それらの講演資料は以下のページから閲覧可能である。

<http://kawashima.issp.u-tokyo.ac.jp/super2007/program.html>

物性研究所短期研究会

物性化学のフロンティア2007

－これから何をめざすのか？－

日時：2007年11月20日(火)～11月22日(木)

場所：東京大学物性研究所本館6階大講義室

提案者代表	吉信 淳 (東京大学物性研究所)
	松本 吉泰 (京都大学大学院理学研究科)
	川合 真紀 (東京大学大学院新領域創成科学研究科)
	佐藤 直樹 (京都大学化学研究所)
	大門 寛 (奈良先端科学技術大学院大学)
	上田 寛 (東京大学物性研究所)
	辛 埴 (東京大学物性研究所)
	末元 徹 (東京大学物性研究所)
	柴山 充弘 (東京大学物性研究所)
	廣井 善二 (東京大学物性研究所)
	田島 裕之 (東京大学物性研究所)
	森 初果 (東京大学物性研究所)
	山室 修 (東京大学物性研究所)
	杉野 修 (東京大学物性研究所)

今年設立 50 年を迎えた物性研究所は、固体物理学に軸足を置く全国共同利用研究所として理論と実験の両面から物性研究を推進してきた。物性研の英語名が当初は「Institute for Solid State and Chemical Physics」になるはずであったが、最終的に「Institute for Solid State Physics」になったことはあまり知られていない。しかし、設立当初から化学系の研究室をいくつか擁し、無機化学、有機化学、表面物性などの分野で世界的に見てもユニークな成果を生んできた。これらは、物性物理学との緊密な相互作用（コラボレーション）の結果でもある。

本短期研究会は、物性物理とのコラボレーションが可能な領域を抽出し、新たな「物質科学」を創出するためのつぼとなるシンポジウムをめざして、「光と物質のインタープレイ」「ナノスケール・低次元物質と物性」「アモルファス・液体におけるダイナミクス」「エキゾチックな物質の合成と物性」「ソフトマターにおける自己組織化」「新材料開発と応用」のセッションで各数名の講演と討論を行った。また、30 件のポスターセッションでは、若手を中心に活発な討論が行われた。2 日目に特別講演として、本年度京都賞を受賞された物性研究所元所員の井口洋夫名誉教授に特別講演をしていただいた。公的にはのべ 192 名（実際はそれ以上）の参加者があり、凝縮系を対象とした物性化学について3日間活発な討論が繰り広げられた。

プログラム

11月20日(火)

13:00 はじめに

世話人

セッション1：アモルファス・液体におけるダイナミクス（座長：吉信 淳）

13:10 分子液体とイオン液体のガラス転移

山室 修（東大物性研）

13:30 イオン液体：この不思議なもの

濱口 宏夫（東大院理）

14:00 一成分単純液体のガラス化

小田垣 孝（九大院理）

14:30 水の電子状態と平均局所構造モデル

原田 慈久（東大院工、SP8）

15:00 白金／水溶液界面の構造と反応性

杉野 修（東大物性研）

15:20	アモルファス及び液体 Si におけるポリアモルフィズムの解明に向けて ー第一原理分子動力学計算による取り組みー	森下 徹也 (産総研)
15:50	休憩	
セッション2：新材料開発と応用 (座長：柴山 充弘)		
16:00	コンビナトリアル固体化学	川崎 雅司 (東北大金研)
16:30	有機単結晶トランジスタの高移動度キャリア伝導	竹谷 純一 (阪大院理)
17:00	生命科学時代が求める新材料ーソフト&ウェットマテリアルの創製	龔 劍萍 (北大院理)
17:30	可視光応答性エネルギー変換型光触媒材料の開発	堂免 一成 (東大院工)

11月21日(水)

セッション3：ナノスケール・低次元系の構築と物性 (座長：松田 巖)

9:00	巨大 Rashba 効果と界面スピントロニクス	有賀 哲也 (京大院理)
9:30	ナノグラフェンの幾何学構造と特異な電子・磁気特性発現	榎 敏明 (東工大院理)
10:00	有機/金属界面の第一原理シミュレーション	森川 良忠 (阪大産研)
10:30	単分子化学反応	川合 真紀 (東大院新領域)
11:00	有機薄膜の構造・電子構造・電子物性	佐藤 直樹 (京大化研)
11:30	新奇ナノピーポットの創製と評価	篠原 久典 (名大院理)
12:00	昼食	

セッション4：光と物質のインタープレイ (座長：辛 埴)

13:00	低次元原子構造の電子状態の3次元解析と立体原子顕微鏡	大門 寛 (奈良先端大)
13:30	25mアンジュレーター高輝度光源による時間分解軟 X 線分光の新展開	松田 巖 (東大物性研)
13:50	光と磁性の新規相関現象の創出	大越 慎一 (東大院理)
14:20	ナノ分光イメージング：金属ナノ構造における光電場分布と波動関数	岡本 裕巳 (分子研)
14:50	超高速非線形分光による吸着種の振動ダイナミクス	松本 吉泰 (京大院理)
15:20	極限コヒーレント光科学プロジェクト	末元 徹 (東大物性研)
15:40	休憩	

特別講演 (座長：上田 寛)

15:50	分子性結晶研究の残照	井口 洋夫 (JAXA、東大名誉教授、分子研名誉教授)
16:30	物性化学コミュニティーと物性研	上田 和夫 (物性研所長)

ポスターセッション

16:50~18:00

P1	内殻励起による有機薄膜の反応過程	和田 真一 (広大院理&広大放射光センター)
P2	パイロクロア酸化物におけるラットリングフォノンと超伝導	山浦 淳一 (東大物性研)
P3	圧力下の、擬一次元伝導体バナジウム酸化物のもつ電荷自由度の多様性	山内 徹 (東大物性研)
P4	有機薄膜における配向状態と電流電圧特性との関係	小簀 剛 (東大物性研)
P5	分子性導体の光電子分光： E_F 近傍の電子状態	木須 孝幸 (東大物性研)
P6	遷移金属酸化物の新奇な相転移	磯部 正彦 (東大物性研)
P7	金属イオンを含むイオン液体の構造と物性	佐々木岳彦 (東大新領域)
P8	粘弾性測定および光散乱法によるゲル化点決定	松永 拓郎 (東大物性研)
P9	Dielectric relaxation and dynamic light scattering study of DNA in aqueous solutions	Shyamal Kumar Kundu (東大物性研)
P10	Computational electrochemistry：電気化学反応に対する新規第一原理 アプローチ	館山 佳尚 (物材機構)
P11	更なる極低温・超高分解能を目指した新型レーザー光電子分光装置の開発	下志万貴博 (東大物性研)

P12	Rh(111)表面での氷薄膜成長過程	紅谷 篤史 (東大物性研)
P13	クロムスピネルとその新奇な磁気特性	植田 浩明 (東大物性研)
P14	超高真空・極低温・強磁場印加型独立駆動マルチプローブシステムの開発	宮田 伸弘 (東大物性研)
P15	Al ナノクラスター表面上の Co クラスターの原子・電子構造研究	成田 尚司 (東大物性研)
P16	スピנקロスオーバー錯体の薄膜作成	松田 真生 (東大物性研)
P17	スピנקロスオーバー伝導体におけるカップリングメカニズム	高橋 一志 (東大物性研)
P18	Na_xCoO_2 における Na 不定比性の精密制御	岡本佳比古 (東大物性研)
P19	SnO_2 薄膜における紫外光照射効果	田久保直子 (東大物性研)
P20	ルベアン酸銅錯体の水分子拡散とプロトン伝導機構	与那嶺 亮 (東大物性研)
P21	新規バナジウム酸化物 V_4O_9 の構造及び物性	山崎 悟志 (東大物性研)
P22	表面振動励起による非弾性光電子放出過程の観測	荒船 竜一 (東大新領域)
P23	高密度分子性ガラス生成緩和	仲山 英之 (学習院大理)
P24	弾性樹脂を用いた有機半導体単結晶/イオン液体界面の作製と電気二重層トランジスタ	平原 律雄 (阪大院理)
P25	イオン液体の融解・ガラス転移におけるイオンサイズ効果	守屋 映祐 (東大物性研)
P26	イオンゲル PMMA/EMITFSI におけるガラス転移とイオン拡散挙動	染谷 武紀 (東大物性研)
P27	ポルフィリン金属錯体を用いた EL 素子のスペクトル変化	磯崎 晶 (東大物性研)
P28	亜クロム酸水素結合系の赤外スペクトルにおける透過窓領域の解析	松尾 隆祐 (元 大阪大学大学院理学研究科)
P29	エチレン終端 Si(100)基板における $\text{F}_4\text{-TCNQ}$ の吸着状態：電荷移動とダイマー形成	向井 孝三 (東大物性研)
P30	高温超伝導 μSQUID 磁束計によるマイクロ結晶の磁化測定	武田 啓司 (東大物性研)

11月22日(木)

セッション5：ソフトマターにおける自己組織化 (座長：山室 修)

9:30	ゲル化の物理化学	柴山 充弘 (物性研)
9:50	ABC スターポリマーの構造構築—アルキメデスタイリングから準結晶へ	松下 裕秀 (名大院工)
10:20	紐を折りたたんでナノ秩序構造を創り出す：DNA の実験と理論による一般化	吉川 研一 (京大院理)
10:50	Field Theoretic Approach in the Theory of Polymeric Materials	土井 正男 (東大院工)
11:20	フォトンクスポリマーの基礎と機能創造	小池 康博 (慶応理工)
11:50	昼食	

セッション6：エキゾチックな物質の合成と物性 (座長：森 初果)

13:00	有機薄膜デバイスの光電流磁場効果の実験	田島 裕之 (東大物性研)
13:20	金属と有機物との連携が生み出すエキゾチックな分子性導体	加藤 礼三 (理研)
13:50	局在と非局在の狭間にみる分子スピン機能の新しい展開	阿波賀邦夫 (名大院理)
14:20	結晶の“すきま”を利用する物質開発	山中 昭司 (広大院工)
14:50	固体ナノプロトニクス	北川 宏 (九大院理)
15:20	新奇な物性を示す酸化物の開発	上田 寛 (東大物性研)
15:40	おわりに	世話人

物性研究所談話会

日時：2007年10月4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 大講義室(A632)

講師：徳永 将史

(東京大学物性研究所附属国際超強磁場科学研究施設)

題目：ビスマス系マンガン酸化物の異常な電子物性

要旨：

ペロフスカイト型マンガン酸化物は、スピン・電荷・軌道などの自由度の競合で様々な電子相が出現する舞台として広く研究されてきた。その中でペロフスカイト構造のAサイトにビスマスを含む系では電子物性が他と大きく異なる事が知られている。キャリアのいないBiMnO₃は強磁性強誘電体であるという報告[1,2]もあり、マルチフェロイクスの観点からも注目されている。BiをSrやCaで置換してキャリアを導入した系では最高600Kという非常に高温から電荷・軌道秩序が生じる[3]。

この系はFZ法による結晶成長が困難であるため結晶試料に対する物性評価はあまり行われて来なかった。我々はフラックス法を用いてビスマス系マンガン酸化物の結晶を作製し、様々な物性測定を行ってきた。本会では以下3点の内容を中心に報告する。

- (1) 二重交換相互作用による典型的強磁性金属La_{1-x}Sr_xMnO₃と非常に安定な電荷秩序を持つBi_{1-x}Sr_xMnO₃との混晶系における電子相図
- (2) マンガン酸化物中で最も安定な電荷整列相の諸物性と磁場効果
- (3) 電荷整列相における巨大な負の熱起電力[4]の組成依存性と、その起源

[1] R. Seshadri and N. A. Hill, Chem. Mater. 13 (2001) 2892.

[2] T. Kimura et al., Phys. Rev. B 67 (2003) 180401(R).

[3] C. Frontera et al., Phys. Rev. B 68 (2003) 134408.

[4] J. Hejtmanek et al., J. Appl. Phys. 93 (2003) 7370.

日時：2007年10月25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 大講義室(A632)

講師：小池 康博

(慶應義塾大学理工学部)

題目：フォトニクスポリマーの基礎と新展開

要旨：

光学ポリマーは「透明性が低い」、「複屈折が大きい」、「屈折率の波長分散が大きい」、「光学的均一性が低い」などの問題点が従来から見出されており、光学ポリマーデバイスの性能向上と用途拡大を大きく妨げている。このような問題は、高分子固体が巨大分子鎖の集合体である複雑系に起因するものとして、光学ポリマーに避けられない固有な特性であると考えられてきた。そのため、「光をより遠くへ飛ばす」、「超高速な信号をより歪なく伝送する」、「光の偏波をより正確に制御する」、「より集光する」、「光をより増幅する」といった次世代フォトニクス分野には不向きであると考えられてきた。「本当にそうであろうか。」ということが、我々の研究の原点である。我々は、光の偏波またはフォトンが、さまざまな高分子の鎖(Åのオーダー)やその集合体(数百Å)、高次構造、さらに巨大な不均一構造とどのよ

うな関わりを有するかを、その起源まで遡って検討し、また、それらの基礎研究を基に、今まで無機ガラスの独壇場であったフォトニクス分野において、ガラスの代用ではなく、新しい光機能をもったフォトニクスポリマーの提案に努めてきた。その成果について具体的に述べる。

日時：2007年12月14日(金) 午後1時30分～午後2時30分

場所：物性研究所本館6階 大講義室(A632)

講師：小林 伸彦

(物性研、筑波大学大学院数理物質科学研究科)

題目：ナノスケール系の第一原理量子輸送計算

要旨：

ナノスケール系の電子輸送特性を理論的に解明することはナノスケールトランジスタやナノ配線材料への応用研究のためにも重要な課題である。最近の原子細線、単一分子、カーボンナノチューブ等の電気伝導測定実験の展開とともに、そのためのナノ構造の伝導特性を解析するための理論的方法論も急速に発展している。ナノ構造の伝導特性はその電子状態や電極との結合状態に強く依存するため、電極接合した系を考慮した精密な電子状態理論により伝導特性を解析することが重要となってくる。セミナーでは密度汎関数理論と非平衡電子論を融合させた第一原理電気伝導計算による伝導解析の現状を我々の研究を紹介しながら議論し、今後の展開について述べたい。

物性研だより第 47 巻目録 (第 1 号～第 4 号)

第 47 巻第 1 号 2007 年 4 月

大強度陽子加速器施設 J-PARC について	藤井 保彦	1
JRR-3 と J-PARC を融合した中性子科学の創成		
— 物性研究所附属中性子科学研究施設における J-PARC への取り組み —	吉澤 英樹	11
ミステリアスな Ammann 氏と三次元ペンローズ・タイリング	高倉 洋礼	16
外国人客員所員を経験して	Federico ROSEI	20
物性研究所国際シンポジウム報告		
○表面におけるナノサイエンス		22
物性研究所短期研究会報告		
○計算物性科学におけるスーパーコンピュータ利用の現状と展望		25
物性研究所 ISSP ワークショップ報告		
○パイロクロア酸化物の特異な電子物性		43
物性研究所談話会		45
物性研ニュース		
○人事異動		47
○東京大学物性研究所教員公募のご案内		50
○平成 19 年度前期短期研究会一覧		51
○平成 19 年度前期外来研究員一覧		52
○平成 19 年度前期スーパーコンピュータ共同利用採択課題一覧		62
○平成 19 年度中性子回析装置共同利用採択課題一覧		66
○平成 19 年度後期共同利用の公募について (通知)		80
○共同利用申請の web 化についてのお知らせ		81
○平成 18 年度外部資金の受入れについて		82
○第 52 回物性若手夏の学校		83
編集後記		

第 47 巻第 2 号 2007 年 7 月

研究室だより

○森研究室	森 初果	1
総長賞を受賞して		
○柏キャンパス高圧ガスボンベ一括管理体制の構築	野澤 清和	8
	土屋 光	
	鷺山 玲子	

物性研に着任して	常次 宏一	12
	松田 巖	
	徳永 将史	
	大久保 潤	
	服部 一匡	
	鴻池 貴子	
	松林 和幸	
物性研を離れて	大道 英二	26
	山下 良之	
外国人客員所員を経験して	Satish BHARGAVA	28
物性研究所短期研究会報告		
○強相関係における ESR の新展開		29
物性研究所談話会		48
物性研ニュース		
○人事異動		50
○東京大学物性研究所教員公募のご案内		51
○物性研究所創立 50 周年記念事業のお知らせ		56
○共同利用申請の web 化についてのお知らせ		57
○ガラス工作室からのお知らせ		58
編集後記		

第 47 巻第 3 号 2007 年 10 月

外国人客員所員を経験して	Thomas Dahm	1
	Robert H. Blick	
物性研究所短期研究会報告		
○高輝度軟 X 線放射光が拓く物質科学の新たな地平		3
○Foundations and Applications of the Density Functional Theory (密度汎関数理論の基礎と応用)		18
物性研究所談話会		39
物性研ニュース		
○人事異動		41
○平成 19 年度後期短期研究会一覧		42
○平成 19 年度後期外来研究員一覧		43
○平成 19 年度後期スーパーコンピュータ共同利用採択課題一覧		55
○平成 20 年度前期共同利用公募のご案内		57
○物性研究所共同利用申請 Web 化のお知らせ		58
○平成 19 年度外部資金の受入れについて		60
編集後記		

第 47 卷第 4 号 2008 年 1 月

次世代スーパーコンピュータについて	常次 宏一	1
高輝度光源施設計画の中止と東京大学アウトステーション計画について	柿崎 明人	5
外国人客員所員を経験して	Daniel Agterberg	6
	Jianshi Zhou	
物性研究所短期研究会報告		
○圧力を物理パラメーターとした低温物性研究の今後の展望		8
○低温走査トンネル顕微鏡の現状と展望		37
○計算物性物理学の進展		63
○物性化学のフロンティア 2007 : これから何をめざすのか?		66
物性研究所談話会		69
物性研ニュース		
○物性研だより第 47 巻目録 (第 1 号~第 4 号)		71
編集後記		

編集後記

今号の特集記事は、常次所員による「次世代スーパーコンピュータについて」でした。私は大規模な数値計算が専門と言うわけではありませんが、いろいろな意味で私を含めて今後の理論研究に影響が大きいものとして注目しております。いまさら言うまでもありませんが、いわゆるムーアの法則に従ってここ数十年間コンピュータの能力が指数関数的に発達してきたことは（既に当然のことのようにもなっていますが）驚くべきことです。しかし、いくら高い計算能力が得られてもそれで十分と言うことは無く、もっと欲しくなるのが研究者です。最近、学生さんに「試しに計算」をしてもらおうと、数百サイトの量子モンテカルロの結果を持って来てくれたりして、時代を感じてしまいます。

Fermi-Pasta-Ulam の研究など、多くの重要な研究が今から見ればごくわずかな計算機資源を活用して得られたことは忘れてはいけません。このように計算能力の大きさだけに頼らない「エレガントな」研究も、今後も必要と思います。しかし、十分な計算能力があつてはじめて可能な研究もある以上、スーパーコンピュータの開発が国家的プロジェクトになるのも必然と感じます。

コンピュータの飛躍的な発展の基礎は物理学者による半導体の研究で築かれてきましたが、その後はコンピュータの開発は主に電子工学やコンピュータサイエンスの問題となり、現在では物理学者は主にユーザとして関わっていると言えるでしょう。しかし、現在さかんに議論されている量子コンピュータのように、再び物理学がコンピュータの発展に大きな役割を果たす時期が来るかもしれません。量子コンピュータの実用化の可能性、あるいはその時期についてはいろいろな見方があります。しかし、仮に量子コンピュータを抜きにしても、最近“**Performance per Watt**”（消費電力あたりの計算能力）という言葉が注目されているように、コンピュータの計算能力を実際に制限するのは消費エネルギーの制約になりつつあります。計算に伴い必要なエネルギー消費については、**von Neumann**、**Landauer** 以来古くから議論されて来ましたが、このような物理学上の基礎的な問題が実用上も重要になるのは意外と早いかもしれません。私個人はいまのところほとんど野次馬のような状態ですが、スーパーコンピュータをはじめ、コンピューティングの動向を注視していきたいと思います。

最後になりましたが、今号の記事の執筆者の皆さん、実際の編集作業に御尽力頂いた共同利用係の辻角さんに感謝致します。

押川 正毅