

物性研だより

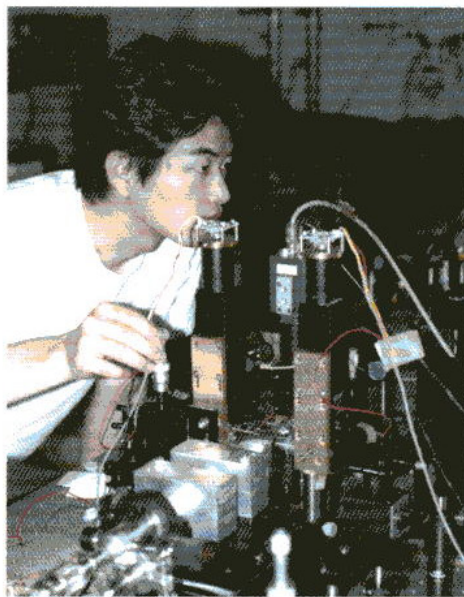
第43巻
第2号

2003年7月

目次

- 1 物性研に赴任して…………… 嶽山正二郎
3 中性子科学研究施設…………… 吉澤英樹
- 研究室だより
- 6 ○秋山研究室…………… 秋山英文
- 物性研究所短期研究会報告
- 15 ○摩擦の物理
- 51 物性研究所談話会
- 物性研ニュース
- 55 ○受賞
58 ○東京大学物性研究所の教官公募の通知
64 ○人事異動
65 ○テクニカル・レポート 新刊リスト

編集後記



光導波路顕微透過計測装置

東京大学物性研究所

ISSN 0385-9843

物性研に赴任して

極限環境物性研究部門 嶽山正二郎

4月1日付けで物性研極限環境物性研究部門電子物性所員として赴任しました。1983-1990年の7年半を六本木時代の超強磁場部門助手として物性研にお世話になり、その後、できたてほやほやの姫路工業大学理学部での助教授、1999年に千葉大学理学部への教授赴任で、最終駅が出発駅同じという、「でもどり教官」ということにあいなりました。「物性研を後にして」という題名にてこの欄での執筆をしたのはつい先日のように思い出せます。

千葉大学は、わずか4年在任でした。旧建物の改装を経験し、新しい建物への引越し、とにかく、実験装置を抱えての引越しにつぐ引越しの4年間でした。今回は、やっと研究室立ち上げが終わった段階でしたので、慌しい移動であり、どうも引越し貧乏を地で行く人生を歩んでいるようです。千葉大学に実験設備や院生の大半を残しておりますので、現在は、まさに、掛け持ち操業状態といったところでしょうか。千葉大学の物理学科の方々の多大な支援の下に物性研赴任可能になったといっても過言ではありません。感謝の意を表したく思います。千葉大学とは国道16号線で南北に結ばれておりまして、1日100kmの自動車による移動は、まさに、姫路工業大学理学部時代を思い出す日々であります。ただ、車窓が随分平坦であり、無数の信号と渋滞が多いにはさすがに参っております。ただ、時間帯を選ぶことによって思っていたよりも早く、1.5時間程度でたどりつくことができ、なんとかできております。

この2ヶ月は、六本木時代とは様変わり物の物性研に驚かされる毎日を送っております。いろいろな設備と施設が充実し、工作室やストックルームの近代化だけでも、さすがに感心させられました。また、10年以上前の私の助手時代にお世話になった懐かしい方々に廊下などでお会いして挨拶する回数もかなりのものです。しかしながら、千葉大と異なり若い学生さんの数が少ないことや、周辺環境が閑散として寂しいこと、A棟が大きくて入り口の多さには困惑しております。

千葉大学理学部では、教授会は学部と自然科学研究科両方があり、それに加えて、先進科学センターに深く関与している物理学科はこの教員会議なども加わり、とにかく会議が多い毎日でした。それらの会議では、まさに、学生や入試に関する議論でほぼ埋め尽くされる状態でしたが、さて、物性研の所員会の議論の内容はおよそ異なることにも、少なからぬ驚きを感じました。学生や院生、入試に関する議論がなければすぐに終わると期待した私は甘かったようです。

さて、研究に関してですが、千葉大学ではフェムト秒レーザー周りの非線形磁気光学現象解明に力を注いで参りました。とりわけ半導体量子構造や半導体ベースの磁性体との複合量子構造（いわゆる希薄磁性半導体）を対象物質として、スピンと光の関わりを中心研究課題として研究を進めてまいりました。

そこで、必然的に、物性研超強磁場でも光とパルス強磁場を組み合わせた物性研究を前任の三浦登教授から引き継ぐ形となります。三浦教授は強相関物質、超伝導物質の磁気量子伝導、磁化測定研究もカバーされていたので、この分野は長田所員が主に担っていかれることになると思われまます。千葉大では、超強磁場ではなくフェムト・ピコ秒領域でのレーザー光物性に主力をおいた展開を行おうとしておりました。大勢の院生の研究課題は急に変えることはできないため、千葉大での研究課題をスムーズにシフトしていく必要があり、工夫と努力を要しております。

ところで、現在、日本の強磁場物性研究は、この分野に大きな貢献をなされてきた研究者の相次ぐ退官により、大きな岐路に立たされています。また、米国および欧州での強磁場施設の強化される流れの中で、伝統ある日本のお家芸の一つでありました強磁場物性研究は順風とは言いがたい状況にあります。大阪大学の極限科学研究センターと東北大学金属材料研究所強磁場施設との強い連携とそれぞれの施設の相補的な色分けも強く求められておりますし、世界を視野にいれた戦略展開を行う必要性を感じます。強磁場物性は日本の物性研究の発展のなかで大きな役割を果たしてきただけに、周囲からの期待はいまだ多大であり、それに答えるべき努力は物性研究全体の活性化のためにも必要です。

このような時期を迎える寸前に「強磁場フォーラム」という研究連絡組織が形成されて活動を開始したことは時期を得ていたと思われまふ。このフォーラムの結成に当たっての大阪大学金道氏、岡山大学野尻氏の熱意と努力には脱帽せざるを得ません。「強磁場フォーラム」の行く末もこれからですが、このような状況の中、周りからの物性研究所強磁場グループへの期待はおのずと大きく、それを強く認識させられております。まさに、頂上の見えない大きな絶壁の前に立ち、そこをどのように攻め登りきるかを、はるかかなたの絶壁の上の理想郷を想像しながら、思案しているところであります。とにかく物性研強磁場グループの再編成と自分の研究室の立ち上げを行う必要があることはもちろんです。いまや、ロスアラモスでも一卷きコイル超強磁場発生装置設置に予算が確定し、スタートしていると聞いております。とにかく、米国は定常磁場 45 T、ロングパルス 60 T、更には、一卷きコイル 200 Tを手中に入れ、世界での独占を狙っています。私たちは、もはや世界に他の追従を許さない電磁濃縮超強磁場発生法を主砲にして、パルス強磁場 60 T以上での物性展開でリードしていくのが得策であろうと考えております。幸いにも物性研超強磁場では、数 10 m秒から数 μ 秒領域でのパルス磁場発生の下、可視領域光吸収、反射、発光、赤外・遠赤外レーザー分光、磁化測定、電気伝導測定装置の充実と計測技術では世界のトップレベルにあります。また、今回の物性研柏移転の折に、5 MJ の大型コンデンサーバンクも一新され、後 10 年は首尾よく働いてくれるはずで、一卷きコイル磁場発生装置も、縦・横 2 機が装備され、それぞれバンク容量も強化され複雑な測定でも 200 Tまでの磁場発生が容易となっております。これらの資産をうまく活用し次の展開に連結し、長田研究室と協力し合って世界をリードしていく意気込みでおります。

さて、短いパルス時間継続の超強磁場で考えられる今後の課題は、1) 物性測定手法の開発、2) 測定精度、信頼度の更なる向上、3) 人を惹きつける面白い物性物理研究の展開があげられます。1) は例えば、光で言えば、時間分解分光、空間顕微分解分光を取り入れることや、他の物理パラメータ、温度、高圧との複合化でありましょう。2) については、いかに、定常磁場測定の信頼度に近づけるかが課題となります。100 T磁場発生を従来の μ 秒オーダーからミリ秒オーダーまで伸ばすことが常套手段となります。時間が延びることにより、データの質は格段に上がります。また、現在長田研究室が取り組んでいる、全ての測定対象をマイクロ化する、いわゆるマイクロ計測の開拓も良い方向です。特に、現在の電磁濃縮法による超強磁場は測定対象が小さくなればなるほど磁場強度も上げることができます。3) これが、一番の難題ですが、一番重要課題だと認識しております。(磁場/温度) で決まるのではなく、また、物質パラメータの変化で追従できるのでもなく、磁場の大きな絶対値が要因となる物性研究を考える必要があります。こうなるとおのずと 1 電子近似や平均場からはずれた多体現象が関与する物性を考えることになりそうです。現在 1 つの課題として、励起子鎖状態や励起子ポーズ凝縮を超強磁場でより安定化することなどに興味をもっております。

超強磁場は特殊な故の様々な制限がありますが、芸術もいろいろな制限の中から素晴らしい造形が得られます。世界のどこにもない装置で物理実験を楽しむことのできる幸せをかみしめながら、いろいろな仲間と研究と創造を満喫し、コンデンサーバンクの任期、後 10 年をまっとうできることを願って、皆様にご挨拶とさせていただきます。

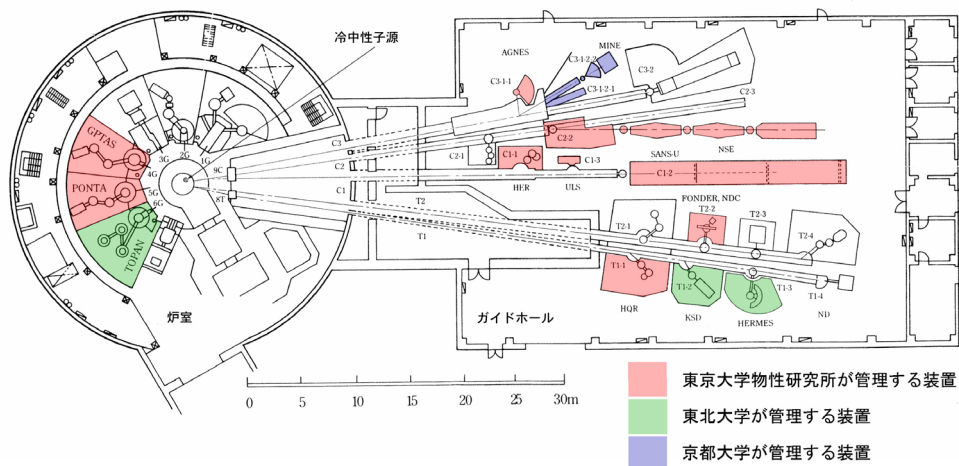
中性子科学研究施設

「中性子散乱研究施設」から「中性子科学研究施設」へ

附属中性子科学研究施設 吉澤 英樹

物性研究所の附属中性子散乱研究施設は、本年4月に10年の時限到来による改組を経て名称を「中性子科学研究施設」と改め、施設第2期のスタートをきりました。中性子科学研究施設では、設備更新を施すことにより10年を経過した中性子散乱実験設備群の高度化を図った上で、これまで以上に研究に力点を置いて施設の活動を展開していくことにしています。

振り返れば、平成5年度（1993年度）に設立された中性子散乱研究施設は、折しも改造され中性子ビーム実験炉として世界有数の性能を誇るようになった日本原子力研究所の研究炉（JRR-3M）に9台の中性子散乱実験装置を設置し、東北大学や京都大学が設置した4台の中性子分光器も含めて中性子散乱研究の全国共同利用を全力で推進してきました。この10年間で大学の中性子散乱研究設備を利用するためにJRR-3Mを訪れる研究者の延人数は毎年4000人（約7000人日/年）を超えており、申請課題数も250～270件/年で推移するようになりました。このように研究炉（JRR-3M）の高度化と中性子散乱研究設備の充実をバネに、10年間で中性子散乱研究は大いに発展し、全国共同利用を支えてきた中性子散乱研究施設は、その使命を十分に果たしてきたと言えましょう。（図1は物性研究所を含めた大学が日本原子力研究所の研究炉（JRR-3M）に設置している中性子分光器の配置を示したものです。）



JRR-3M 原子炉室およびガイドホール内
中性子散乱装置 配置図

しかしながら、様々なレベルで生じている中性子散乱を取り巻く環境の変化は附属中性子科学研究施設の第2期のあり方に大きな影響を与えようとしています。まずは、来年度からの独立法人化をひかえて大学が置かれている環境が大きく変化することは、施設の所属する物性研究所の全国共同利用研究所としてのあり方どのような影響を与えることになるのか、今のところ不透明なままです。このような大きな問題は、一個人や小さな組織の解決できる問題ではありませんから、ひとまず置いておくとしても、中性子散乱自身を取り巻く研究環境も、大きな変化を迎えています。

1981年以来、物性研究所が大学側の対応機関として実施してきた「日米科学協力事業：中性子散乱」においても大きな変化が生じました。物性研が実施してきた日米協力の重要な米国側パートナーであったブルックヘブン国立研究所においては、1997年に研究用原子炉HFBRの使用済み燃料貯蔵プールからの漏水に端を発した近隣井戸水のトリチウム汚染が発生し、米国エネルギー省は1999年11月にとうとうHFBRの永久停止を決定するに至りました。エネルギー省はHFBRの停止に伴う措置として、日米協力により物性研究所がブルックヘブン国立研究所に設置していた3軸型中性子分光器をオークリッジ国立研究所にエネルギー省の費用をもって移設する事を決定し、現在、物性研究所の3軸分光器のHFIRへの移設作業が順調に進行しています。また、もう一方の日米協力のアメリカ側受入れ研究所であるオークリッジ国立研究所においては、研究用原子炉HFIRの大規模な改造計画が実施に移されており、その改造工事の完成後には、冷中性子源からのびる中性子ガイド管には2台の小角散乱装置も設置され、世界最高性能を誇る小角散乱装置となる見込みです。これらの変化により、物性研究所が推進してきた中性子散乱の日米協力事業では、その軸足をオークリッジ国立研究所に移し物性研究所の3軸型中性子分光器と平行して世界最高性能の小角散乱装置群が自由に使用できるため、強相関係の物理はもちろんのこと、高分子科学等のいわゆるソフトマテリアルの科学の発展に、これまで以上に寄与していくものと期待されています。また、文部科学省が生まれたことにより、旧文部省と科技厅の

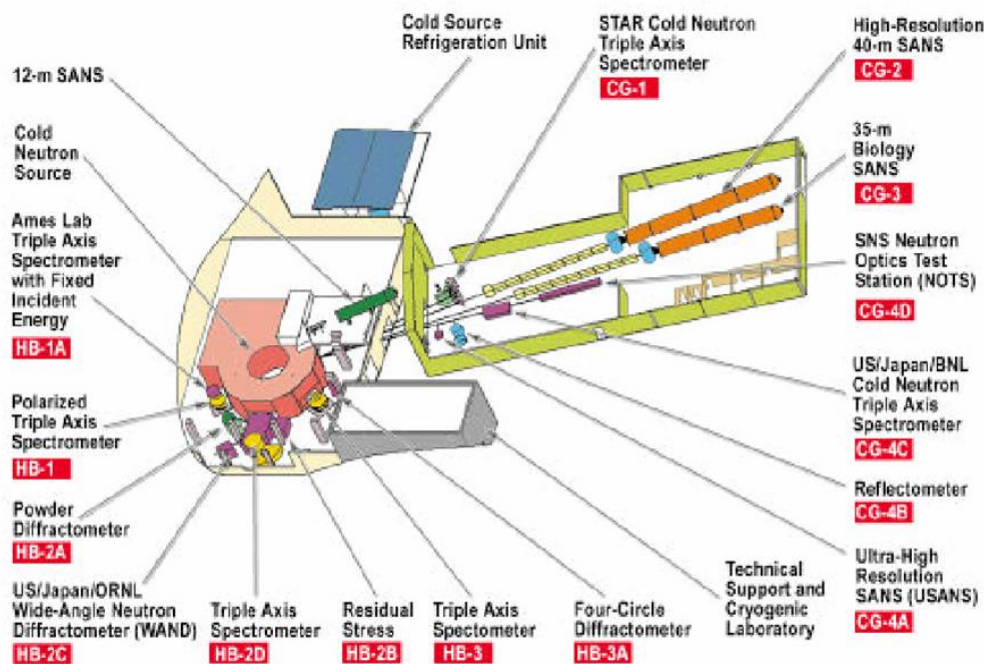


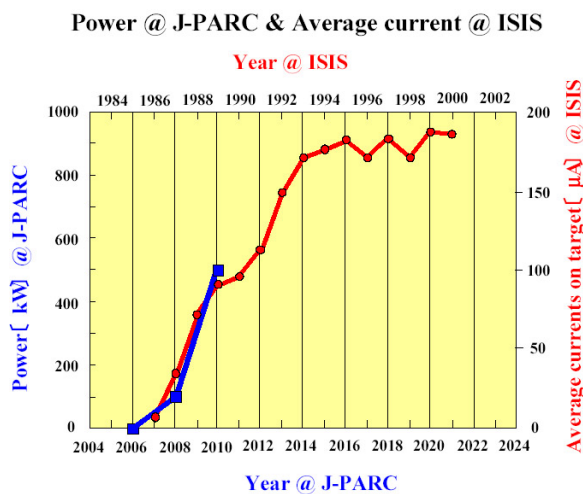
図2： 米国オークリッジ国立研究所の研究炉HFIRの改造後の装置配置図
(H.A.Mook博士の好意による)

2本立てであった日米協力事業は文部科学省に一本化されるため、中性子科学研究施設の果たしていく役割は、ますます重要なものとなっていくことでしょう。(図2は米国オークリッジ国立研究所の研究炉HFIRの改造後の装置配置を示す図であり、日米協力による物性研究所の3軸分光器はCG-4Cビームポートに、日本原子力研究所の回折計(WAND)はHB-2Cビームポートにそれぞれ設置されます。また2台の小角散乱装置がCG-2, CG-3ビームポートに建設されます。)

翻って国内の問題に目を転ずれば、中性子科学研究施設の置かれている東海村では、日本原子力研究所と高エネルギー加速器研究機構が共同で推進する大陽子加速器計画(J-PARC計画)の加速器設備の建設が進行し

ています。このJ-PARCパルス中性子計画への施設第2期の中性子科学研究施設の取り組みですが、物性研究所が得意とする研究分野に焦点を絞ったパルス中性子分光器を建設して、原子炉とパルスの長所を生かした研究を展開していく予定です。パルス源ベースの中性子散乱と原子炉ベースの中性子散乱実験には、各々得意とするところがあり相補的な研究手段ですから、中性子散乱を用いた物性研究を展開していく上で、両者を研究手段とすることは当然の判断と言えます。

しかし、世の中がデフレ基調で長らく不景気が続いていることや原子力予算が非常にタイトであることなどにより、日本原子力研究所では加速器の建設を予定通り進める事に対して非常な困難に遭遇していると聞いています。仮に公表されている予定通りに建設が進行したとしても、中性子散乱に使用される加速器が完成するのは平成18年度（2006年度）ですし、加速器の性能は、その後、5～6年をかけて徐々に向上していくのが常識ですから、中性子強度が上昇して満足のいく中性子散乱実験が行なわれるようになるのは、まだまだかなり



※ISISにおけるビームカレントの増強経過に基づく J-PARC計画の運転開始当初の出力の増強予測

先のことであり、現状の建設計画によると1 MWが達成されるのは平成27年度（2015年）頃であろうとみられています。図3は英国のパルス中性子散乱研究施設（ISIS）において加速器完成後のビームカレントの増強されていった経過を参考にJ-PARC計画に置いて加速器が完成する予定の平成18年度（2006年度）からどのようにビームカレントが増強されるかを予測して見た図です。このようにパルス施設がフル稼働するまでに相当の時間がかかることに鑑みて、中性子科学研究施設が提供している研究炉の中性子散乱分光器群による全国共同利用は、今後も日本の中性子散乱利用による物質科学の研究の中心的存在であり続けることでしょう。

このような内外の状況の変化を踏まえ、第2期の中性子科学研究施設では、施設のあり方や全国共同研究の進め方を時代にあった制度に柔軟に変革していく必要があります。その第1歩として、施設第1期には装置を管理運営するチーム（装置グループ）をIMT（Instrument and Maintenance Team）と呼び、その主たる業務を装置の維持・管理と共同利用実験の補助に限っていましたが、施設第2期では装置グループ自身の研究や後継者の育成（大学院生の教育）を、その活動の重要な柱に加え、チームの名称もIRT（Instrumentation and Research Team）と改めました。また希釈冷凍機や超伝導マグネットを使用する実験に関しては、装置の立ち上げそのものに数日間かかることや装置の運転に相当の熟練が必要であることなどから、最も効率的に実験を実施するためにマシンタイムの設定を施設側のイニシアチブで行い、それぞれの研究が成果をあげるように施設が積極的に関与し支援して行くこととし、このような運営方針の転換に関して、課題を申請している研究代表者の方々に、ご理解とご協力をお願いしています。

中性子科学研究施設が提供する中性子分光器群には、強相関係の物性を中心としたハードマテリアルの研究に適する装置群と、高分子やミセル・ゾル・ゲルなどを中心としたソフトマテリアルの研究に適した装置群とがあります。それらの装置群や日米協力事業による装置、さらにはパルス源の装置を用いることにより、施設第2期では、これら二つの研究分野を一層発展させるために活動していきたいと考えております。施設第2期の「中性子科学研究施設」に対しても、これまで以上のご支援を賜りますよう、お願い致します。

研究室だより

秋山研究室

物性研究所 先端分光研究部門 秋山 英文

秋山研究室は、2003年7月現在、私（秋山）と、助手1名、PD1名、大学院生7名、秘書1名の総勢11名の研究室です。発足は約7年前で、これまでの卒業生は、修士から2名と博士から1名の合計3名です。以下で、我々の研究目標と背景、量子細線レーザー研究の現状、ナノ構造の光学評価計測手法、研究室のメンバーからのメッセージなどを紹介して、読者の皆様との今後の共同研究およびコミュニケーションの一助にしたいと思います。

1. 研究目標と背景

秋山研究室の中心的な研究テーマは「高品質の量子細線レーザーを作製し、低次元半導体レーザーが本当に優れた性能を示すのか？その物理は如何なるものか？」を解明することです。半導体ナノ構造の光物性研究は世界的なブームとなっていますが、多くの研究者がナノ構造研究の動機の筆頭に「半導体を低次元構造にしてゆくと状態密度が先鋭化し、レーザーなどのデバイス特性が向上する」ということを挙げるのをよく耳にします。このナノ構造光物性研究の主要命題を、実験的に直接検証したいのです。

電子状態が3次元的であるダブルヘテロ構造レーザーに比べて、電子状態が2次元的である量子井戸レーザーが優れた性質を示すことは確かに事実です。産業的にも、半導体レーザーに高性能が要求される場合には量子井戸レーザーが用いられています。そこで、さらに電子状態が低次元化した、1次元量子細線レーザーや0次元量子ドットレーザーへの期待が高まるわけです。しかし、実際には、構造均一性の高い高品質の試料を作ることがとても難しく、構造ゆらぎのために電子状態は先鋭化するどころかむしろブロードになってしまい、低次元化のご利益を引き出すことは困難となっています。ですが、私たちは、とにかく、「ナノ構造の優れた光学評価手法を開発し、試料品質の改善に活用しよう」、「そして、品質の高い均一性の良い試料を作り、その試料の性質を調べよう」、という、正面突破というか正攻法の方針をとることにしています。

試料の品質は、もちろん、結晶成長や加工などのナノ構造作製技術に拠っているのですが、毎回の作製の間に行う評価計測からのフィードバックがなければ、いくら作製を繰り返しても品質の改善はなされません。ですので、優れた光学評価手法の開発は、ナノ構造の光物性研究全体に有効な貢献となるはずで、私たちは、そうした貢献も、全国共同利用研究所である物性研究所のミッションの一つとして、重視したいと思っています。

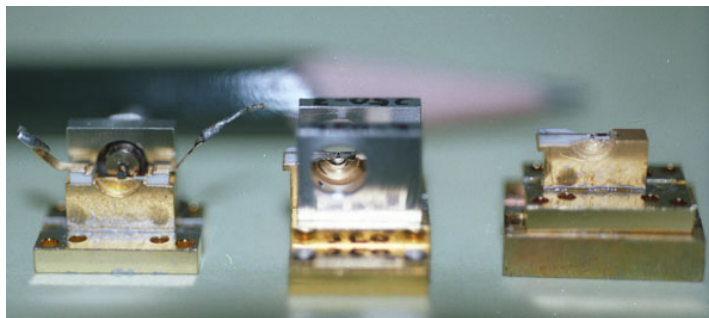
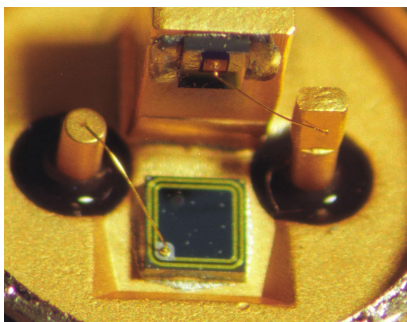


図1 今日実用されている半導体レーザー素子の例

2. 量子細線レーザー

世界で最初の量子細線レーザーは、1989年に Kapon らによって報告されました。彼らは V 型量子細線と呼ばれる構造を用いました。ところが、この細線レーザーは細線の断面サイズが数十 nm と大きく、電子の運動が完全な 1 次元にはなっていないマルチサブバンド細線レーザーであり、レーザー発振はその励起サブバンド状態でしか起こりませんでした。基底状態での量子細線レーザーは、1993年に Wegscheider らによ

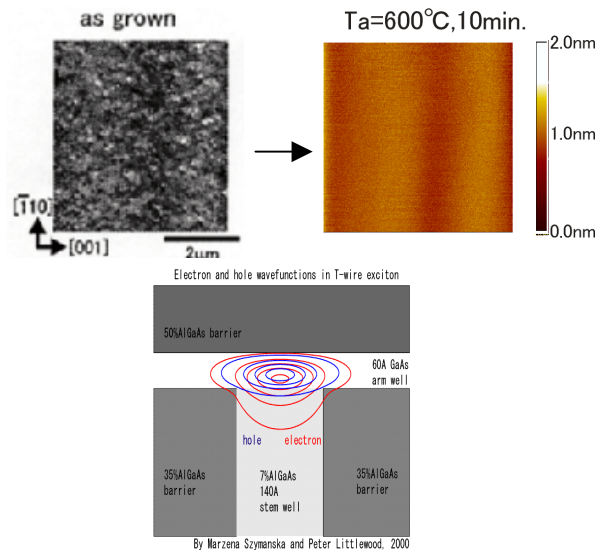


図2 T型量子細線構造と界面の品質向上

て初めてなされました。彼らは断面寸法が $7\text{nm} \times 7\text{nm}$ の T 型量子細線 22 本~15 本からなるレーザーを作製し、低温・光励起および低温・電流注入で基底状態からのレーザー発振を観測しました。この報告では、「レーザー発振の起源が励起子によるものだ」との主張がなされたため、多くの反論をよびました。というのも、励起子はボゾンであり、常に、利得を上まわる吸収が存在し、レーザー発振起源にはなり得ないと思われるからです。それ以降、量子細線レーザーの発振メカニズムの解明、基底状態で発振する単一量子細線レーザーの実現、室温量子細線レーザーの実現などが大きな課題として意識されるようになりました。

私自身は 1993 年ころから量子細線の研究を行ってきました。初期の試料は、構造ゆらぎ・構造不均一性が大きかったため、量子細線の形成の検証自体が大きな課題で 1 次元の特徴を抽出することには大変苦労しました。1996 年に物性研に着任してから、助手の吉田正裕さんと共に、顕微分光・画像計測法や、ソリッドイメージングレンズという光学素子を用いた顕微分光法の開発、それらを用いた量子細線試料の評価、AFM（原子間力顕微鏡）を用いた構造評価など、評価手法開発を中心に研究を行ってきました。その過程で、当時の T 型量子細線試料の品質を制限していた要因とそれを取り除く手法のヒントのようなものを得ることができました。この結果に強い関心を持ってくれた米国ルーセント・ベル研究所のファイファー博士らと、1999 年ころから共同研究が始まり、現在に至っています。

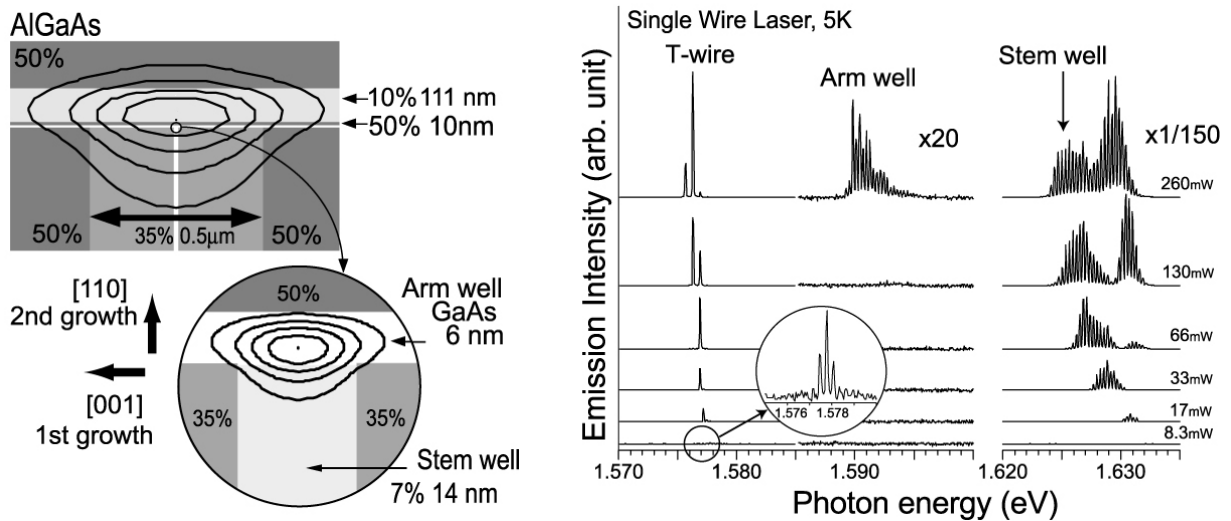


図3 単一量子細線レーザーの構造（左）とレーザー発振スペクトル（右）

図 2(下)に示したのは、T 型量子細線の断面図です。T 型量子細線は、分子線エピタキシー（MBE）法を 2

回使って形成されます。まず、図の縦向きの(001)薄膜構造を MBE 成長し、その結晶を真空中でへき開して、露出した(110)断面に 2 回目の MBE 成長を行います。ところが、(110)断面上の MBE 成長は難しい点が多く、それが量子細線の品質を制限していました。図 2 左上は、従来の条件で作製した T 型構造の上側界面の様子を AFM 観察した結果を表していますが、極めて凸凹が多いことがわかります。一方、図 2 右上は、私たちが成長中断アニールという方法を適用して平坦化に成功したときの AFM 像を表しています。驚くほど平坦な面が得られるようになりました。

この高品質 T 型量子細線を作製するための手法（成長中断アニール法）が 1999 年ころに開発できたことにより、2000 年ころから様々な高品質量子細線が得られるようになりました。これまでに、単一量子細線 FET（電界効果トランジスタ）構造、光励起 20 周期 T 型量子細線レーザー（4–120K）、光励起単一量子細線レーザー（4–60K）などが達成されました。これらの量子細線 1 本 1 本の断面寸法は 14nm×6nm です。特に、単一量子細線レーザーは、たった 1 本の 14nm×6nm 量子細線を活性層として用いており、私の知る限り世界で一番細いレーザーです。図 3 は、単一量子細線レーザーの構造とレーザー発振スペクトルを表しています。

上記の詳細や文献については、解説[1]をご覧ください。現在、私たちはこれらの試料の物理計測を進めると同時に、電流注入量子細線レーザーと室温量子細線レーザーの作製に向けて努力をしています。

3. ナノ構造の顕微光学評価システム

秋山研究室で開発・整備して用いている顕微分光を主体とした評価計測手法について説明します。

顕微 PL スペクトルと画像計測 量子細線などのナノ構造は、占有体積が小さいため、吸収や反射の信号は通常は小さすぎて測定が困難です。そこで、光学評価には、レーザー光を照射してナノ構造からの発光（フォトルミネッセンス:PL）を測定することが主に行われています。通常の光学顕微鏡の分解能は光の波長 λ と対物レンズの開口数 NA に応じて $\lambda/2NA$ で与えられ、可視～近赤外光に対してはサブ μm ～ μm 程度の大きさになります。約 $1\mu\text{m}$ という典型的な分解能の値は、個々のナノ構造の寸法と比べるとはるかに大きいです。しかし、それでも、そのサイズの領域内に存在するナノ構造のみを周囲の構造と分離して観測の対象とすることは有効です。また、 $1\mu\text{m}$ という値は、光励起キャリアの拡散距離や結晶成長時の原子の拡散距離と同程度であるので、ナノ構造の均一性や界面凸凹の分布を評価するには十分に有効です。

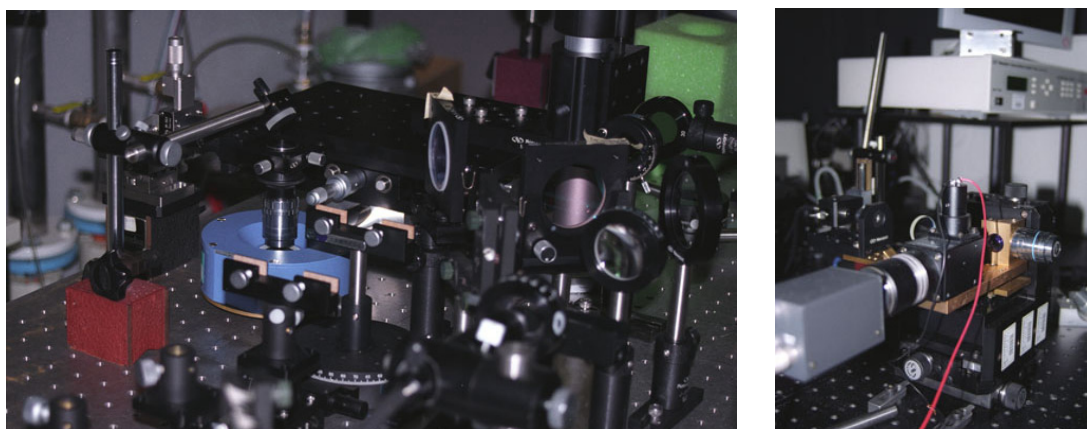


図 4 顕微 PL 測定装置の例

顕微 PL 測定にはいろいろなバリエーションがありますが、(A) 試料を点励起してそこからの発光スペクトルを計測する、(B) 試料上を走査しながら点励起して発光スペクトルを計測する、(C) 試料を一様に励起し

て波長ごとの発光強度の顕微画像を計測するといった手法を、私たちはよく用いています。限界性能よりも利便性・試料の安全などを優先して、通常は、4–300K のヘリウムフロー型クライオスタットと NA=0.5 の対物レンズを用いて、分解能 $\lambda/2$ で測定を行っています。 $\lambda/2$ およびそれ以上の分解能が必要なときには後述するソリッドイマージョンレンズを導入します。

図 4 は、測定系の写真を表しています。図 4(左)の方は、光学顕微鏡のパーツをバラバラに 1.2m×2.4m の光学定盤上に配置しており、測定上の大きな自由度を持たせているので、様々なレーザーからの励起光や、種類の異なるスペクトロメータ、高感度 CCD カメラなどを組み合わせて用いるのに使います。図 4(右)のほうは、顕微分光装置のヘッド部分を小型のユニットにして自動 XYZ ステージの上に載せ、走査型計測が効率よく出来るようにしたものです。

顕微 PL 励起スペクトル計測 上記のとおりナノ構造の吸収測定は困難なことが多いので、吸収スペクトルを取得したい場合には、通常は PL 励起スペクトル (PLE) 測定が代わりに用いられます。我々は、上記の顕微 PL 分光系に、波長を自動走査できるようにした CW チタンサファイアレーザーを組み合わせて用いて、顕微 PLE 測定を行っています。励起光の強い散乱光を除去して、弱い PL 信号を計測するために、クライオスタットの窓配置や計測配置に工夫を加えています。

光励起半導体レーザー発振計測 市販の半導体レーザーは、電流を流してレーザーを発振させる電流注入型レーザーダイオード (LD) 構造になっていますが、研究段階では、光励起で発振する半導体レーザーを作製して調べることも重要です。半導体レーザー試料を光励起するには、励起光を幅 1~数 μm のフィラメント形状に絞って試料に照射します。我々は、その励起光学系と検出光学系とに、2 つの顕微鏡対物レンズを用いた顕微光学測定系を作製し、量子細線半導体レーザーの励起に用いています。図 5 左がその写真です。また、量子細線半導体レーザー構造を部分的に励起することで、量子細線レーザーの利得係数やスペクトルを計測することも行っています。

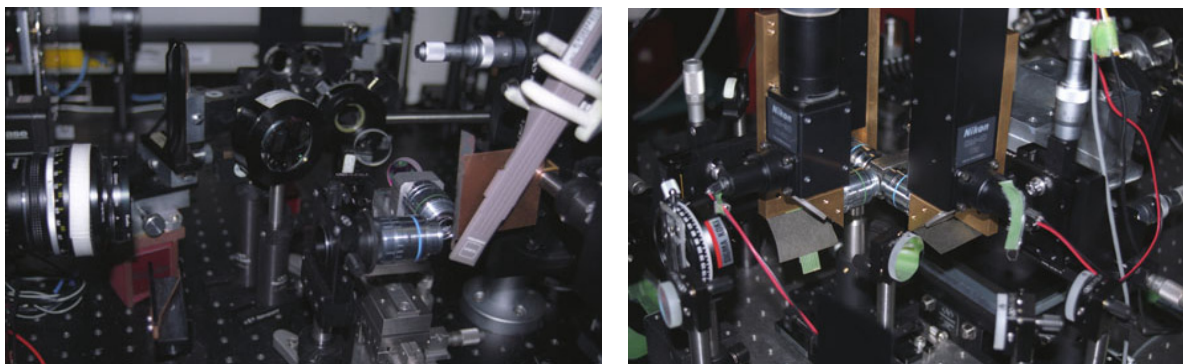


図 5 光励起半導体レーザー発振計測装置 (左) と光導波路顕微透過計測装置 (右)

光導波路顕微透過計測 約半年前から、顕微鏡対物レンズ 3 つを用いて量子細線半導体レーザー構造を 3 方向から励起/検出する計測システムの開発を行っています。図 5 右がその写真です。現在、実際に測定を繰り返しながら、試料の振動やドリフトの除去、光軸の調整法などの改良を進めているところです。この計測システムを用いると、クライオスタットにセットした半導体レーザー試料の光導波路に外部から光を入射結合させて透過・吸収スペクトルを測定したり、それと同時に横方向からフィラメント励起を行って利得スペクトルを測定することが出来ます。「量子細線などのナノ構造の吸収測定は通常困難だ」と先ほど述べましたが、光

導波路と組み合わせることによって光路長を稼げば、吸収測定も可能になるはずですが、この測定系が完成すれば、さらに、量子細線を用いたポンププローブ実験、光変調実験、近視野像測定、電流注入型半導体レーザーの光学評価など様々な計測が可能になります。

顕微赤外透過計測 ナノ構造＝量子構造の電子状態の評価を行うのに最も直接的な方法は、量子化によって生じた量子準位間の遷移、即ち、サブバンド（レベル）間遷移を測定することです。通常、その光学遷移の波長は赤外領域に対応し、例えば、GaAs の電子を 10nm に閉じ込めると第 1-第 2 量子化準位間のエネルギー間隔は 160meV となり光学遷移波長が $8\mu\text{m}$ となります。この領域の赤外光の分光測定には、顕微フーリエ変換赤外（FTIR）分光装置を用います。サブバンド間遷移では、通常、発光効率が低いので発光計測は困難で、もっぱら吸収測定が行われます。私たちは、計測の SN 向上のために装置に若干の改造を加え変調吸収分光が行えるようにしています。とはいえ、基本的に赤外光の透過吸収測定なので、光学濃度の小さいナノ構造の計測は困難です。現状では、2次元量子井戸構造の測定のみが可能で、1次元量子細線や0次元量子ドットの測定は将来の課題です。

ノマリスキー顕微鏡と原子間力顕微鏡 秋山研究室のオリジナルの技術ではありませんが、私たちは、薄膜試料評価法として、ノマリスキー（微分干渉）光学顕微鏡観察と大気中 AFM（原子間力顕微鏡）観察を重視して多用しています。ノマリスキー顕微鏡は光学顕微鏡なので、横方向分解能は $\lambda/2$ 程度しかありませんが、高さ（厚み）方向の変化に対して非常に敏感で $\lambda/10$ 程度の検知能力があるといわれています。また、AFM は、横方向分解能は 5nm 程度ですが、高さ（厚み）方向では 0.2nm の 1 原子層のステップも明瞭に見ることが出来ます。両者とも極めて簡便で、高さ（厚み）方向に高い感度を有するため、ナノ構造作製の基本である薄膜成長の評価法として非常に有効なのです。

電子準位と波動関数の数値計算 実験手法ではありませんが、計算プログラムの開発も重要です。たとえば、ナノ構造や光導波路構造をもつ試料の設計やデータ解析には、電子準位や波動関数の数値計算が不可欠です。量子閉じ込めが一方向のみである量子井戸構造ではエネルギーレベルや波動関数の計算は簡単です。しかし、閉じ込めが 2-3 方向である量子細線や量子ドットでは有限要素法や共役勾配法などを用いたやや大掛かりな数値計算が必要です。秋山研究室では、学生達や共同研究者である英国ケンブリッジ大のシマンツカ博士の努力のおかげで、最近、図 2(下)の等高線で示されたような、実際の量子細線構造中の励起子準位の計算などが自力で行えるようになりました。

4. 顕微計測技術について

「顕微」技術は、その名のとおり小さな世界を見る技術です。顕微 PL 計測では、対物レンズの開口数 NA という量が非常に重要で、すでに述べましたが光学顕微鏡の分解能は $\lambda/2NA$ で表されます。従って、高い分解能を得ることは大きな NA (≤ 1) を用いることに他なりません。一方、対物レンズで集光できる PL 光の立体角の割合（集光効率） η も NA を用いて、 $\eta = [1 - (1 - NA^2)^{0.5}] / 2$ ($\sim NA^2/4$ 、ただし $NA \ll 1$ のとき) で表されますので、大きな NA は高い集光効率 η をも意味します。従って、顕微技術は、小さい世界を見る技術であると同時に、微弱な光を計測する技術でもあるのです。実は、ナノ構造や単一分子などの顕微 PL 計測では、高い分解能もさることながら、むしろ高い検出効率のほうが重要な場合が非常に多いのです。しかも、NA 値

が規定された対物レンズで集光を行ってれば、集光効率 η も値が決まるわけで、光量の定量計測が可能です。私たちは、顕微技術のこうした意義にも着目しています。

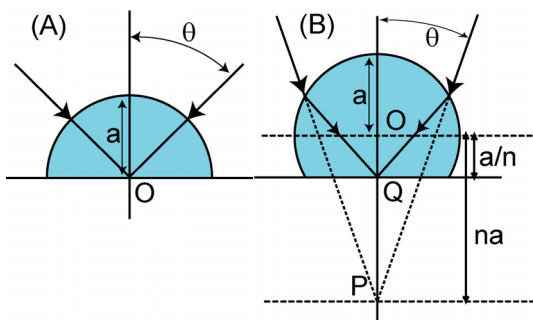


図6 ソリッドイマージョンレンズ

さて、NAの値は1を超えないので、通常の光学顕微鏡の分解能は $\lambda/2$ 、集光効率は50%が限界です。これらの限界を超える一つの方法として、私たちは、ソリッドイマージョンレンズを用いた近接場顕微PL計測技術を開発し、活用しています。ソリッドイマージョンレンズとは、図6に示すような高屈折率ガラスでできた(A)半球型あるいは(B)ワイエルストラス球(超半球)型の無収差条件を満たす微小レンズのことです。このレンズを試料に密着させ、これを通して顕微計測を行います。原理は油浸顕微鏡などと同様で、波長を屈折率 n の分だけ短くし

て分解能を $\lambda/2nNA$ に上げるといいますが、全固体技術なので低温や真空中で使えるほか、試料の汚染がないなどの利点があります。しかし、もっと重要で注目すべきことは、レンズの近接場領域に存在する発光体に対して90%などといった高い集光効率を可能にするという点です。近年、進歩・普及が目覚ましい先鋭化光ファイバプローブを用いた走査型近接場顕微鏡(NSOM)は、高い分解能を実現する代わりに集光効率を犠牲にします。ソリッドイマージョン顕微鏡も、近接場顕微鏡の一種ですが、分解能と集光効率をともに向上させる点が、NSOMと大きく異なります。詳細は、解説[2,3]をお読みください。

私たちの努力は、顕微分光技術により「小さい領域からの弱い光を効率よく計測する」ことに払われています。このような技術は、現在の私たちのターゲットである半導体ナノ構造の他にも、もっともっと広い応用の場があると信じています。この点については、本稿の読者の皆さんからのご助言を期待しています。

5. 展望

秋山研究室は、物性研究所の先端分光部門の「極限レーザー」プロジェクトに属する研究室ですので、レーザー技術そのものの研究も重要なミッションの一つです。その観点から、レーザーを活用した顕微分光計測の開発とともに、半導体レーザー技術の研究・開発を進めています。

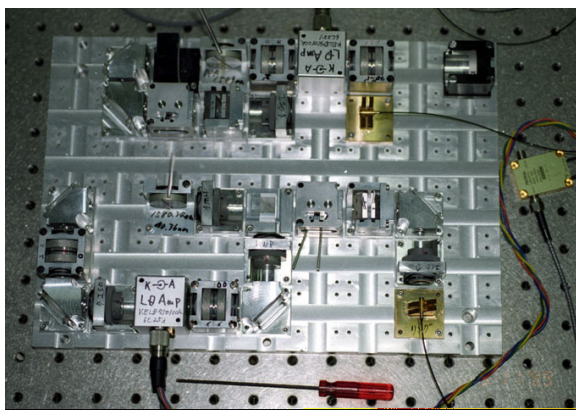


図7 線型およびリング型外部共振器半導体レーザー

半導体レーザーのポテンシャルを最大限に生かすためには、量子井戸・細線・ドットなどナノ構造を利用して活性層の電子状態を制御することも重要ですが、外部共振器構造を採用してレーザー共振器の構成の自由度を広げること重要だと考えられます。そのため、最近私たちは、図7に示すような外部共振器構造半導体レーザーを用いた波長の制御や短パルス光を発生する技術などにも取り組み始めました。

一般に、レーザー技術は、エネルギー効率と制御性の向上に向かって進んでいます。技術は、初期のフラッシュランプ励起の固体レーザーや放電励起のガスレーザーなどから、よりエネルギー効率の高いレーザーへと変遷しつつあります。私は、やがては、現存する最もエネルギー効率の良いレーザーである半導体レーザーがレーザーの主役になり、さまざま特性の光が半導体レーザーから

直接取り出せるところまでゆくのではないかと考えています。

現在、極限レーザープロジェクトの中核はチタンサファイアレーザー技術です。チタンサファイアは非常に優れたレーザー媒質で、ハイパワーレーザー、短パルスレーザー、狭帯域レーザーなど、多くの極限的・高性能レーザーにはチタンサファイアレーザーが用いられています。ただしそれでも、チタンサファイアレーザーの励起光源には、半導体レーザー励起の固体レーザーが普及するところまで来ています。また、チタンサファイアレーザー類似のレーザーを半導体レーザーで直接励起する技術も盛んに研究されています。半導体レーザーそのものが極限レーザーとして活躍する日も遠くないかもしれません。我々の研究が、そんな時代の実現に繋がってゆくことを私は夢見ています。

図 8 は、日ごろから一緒に楽しく研究をさせていただいている共同研究者や研究室メンバーの写真です。この機会に、改めて感謝の意を表したいと思います。(以上：秋山英文による)

6. 研究室メンバーからのメッセージ

吉田正裕(助手) 秋山研に着任してから早いもので 6 年もの歳月が経ってしまいました。当初 2~3 人だった学生の数もここ 1~2 年で倍増し、研究室には若いパワーが溢れています(私は圧倒されています。)。研究では顕微計測を中心に行っています。半導体ナノ構造だけでなく、新物質の光物性にご興味のある方、秋山研にきて測定してみませんか?ぜひご一報下さい。

呉智元(PD) 私は、韓国から日本に来て 8 年目になります。日本の大学で修士と博士課程を修了し、この研究室で学振外国人研究員をしております。現在、量子井戸の発光イメージと表面の研究を行っております。GaAs 量子井戸の(110)表面のナノ構造を原子間力顕微鏡を用いて観察、評価しています。また、顕微分光法で量子井戸からの発光イメージと分光を行っております。さらに私は、共同研究者の方々と有機 PL 薄膜の評価、および窒化物半導体の発光測定も行っております。このように様々な分野、いろんな関心事を持っている方と交流しながら、実際、研究を行っておりますし、さらなる交流をまた期待していますので、気軽に話しかけて下さい。

鶴沼毅也(D2) 私は、GaAs 系量子井戸のサブバンド間遷移を研究しており、始めてから 3 年少しが経ちました。手法としては、顕微 FTIR による中赤外光の透過計測を主に使い、ホール測定、PL 測定や電子ラマン散乱測定と組み合わせて緩和や多体効果の問題に取り組んでいます。数値計算を行うことや理論的な背景が難しい問題に突き当たることも多いため、今後、理論がご専門の方々との交流も期待しています。

早水裕平(D2) 現在、顕微分光技術を用いて T 型量子細線レーザーの特性評価を行っております。実験は難しいこともありますが、単一 T 型量子細線のレーザー発振に成功した夜はとても興奮したことを覚えています。和気藹々とした雰囲気の中でのびのびと研究できる秋山研究室の環境は非常に魅力的です。これからは研究室外のいろいろな方とのコミュニケーションも大事にして研究を行っていきたいと思います。

高橋和(D1) 私は、量子細線レーザーの光導波路の透過測定を行っております。実験の簡易性と精密性を追求しながら、他の物質でも簡単に測定できる実験系を追求しています。研究以外の物性研での生活も充実しており、6 階レクリエーションルームでの卓球、筋トレ、物性研裏ではテニス、ゴルフ、菜園、野生動物観測を

しています。一番の趣味は、乗馬です。

安東頼子(D1) 今年の4月、博士課程から秋山研に入りました安東です。「絶対値光量測定」というテーマで研究を行っていて、今は発光タンパク質や、有機 EL 等の発光を測定しています。生物発光を測定するからには生物についてもっと知らなくては！と思いネットで色々調べていたら、なんと近所の公園 (in 埼玉) で蛍が見れる！！というではありませんか。期待して楽しみに見に行ったら、たった1日だけ、しかも虫かごに入った蛍が公開される・・・というちょっと悲しいものでした・・・物性研で野生の蛍が見れるようになったらうれしいのになあ。。。

伊藤弘毅(M2) 物性研に来て1年すこし経ちました。来たばかりはそれこそ右も左も判らぬ有様でしたが、今では大分慣れてきました。半導体量子細線の発光励起スペクトル測定が私のテーマですが、最近は計算機関連の事柄を中心に取り組んでいます。物性研内の方々とそれほど交流を持っていないのをちょっぴり残念に思っております。諸イベントの際に見かけましたら、何か話しかけてやって下さい。よろしく願います。

井原章之(M1) 物性研に通い始めて数ヶ月間、A棟居室・先端分光棟に加えて図書館・6階の卓球ルーム・仮眠室などを生息地として研究生生活を送っています。趣味はアコースティックギターとスキーを少々、中高の部活動としての卓球、それとプログラミングは趣味であると同時に研究やバイトでもお世話になってます。物性研ではスポーツ大会・ビアパーティやボウリング大会があつて交流が深められるのがいいですね…ついでに卓球大会もあればなあ、と考える今日この頃です。

木下基(M1) 私は外部共振器型レーザーの研究を行っています。物性研には今年の春から来ていて、この環境にも徐々に慣れてきました。はじめは交通の便などが心配でしたが、それも最近では気にならなくなってきました。また設備も整っていて、シャワー室や仮眠室などをよく利用しています。私のように家が遠い人には大変有難いものです。

高橋登美子(秘書) 私が秋山研に勤め始めたのはちょうど昨年の夏からです。日々難しい研究に勤しむ研究者達。はじめのうちは何を話しかければいいのか皆目検討もつきませんでした。でも、スポーツ好きなみんなとテニスや卓球、ゴルフを通じてワイワイ楽しむうち、とっても気さくでおもしろい研究者の素顔に触れられました。最近では、学生さん達が畑でナスやトマト、ピーマンなどの栽培をはじめました。収穫物のおいしさもひとしおですが、一生懸命に育てている学生さんや、一緒に繰り出しキジやウサギを発見して喜ぶ、みんなの生き生きした表情を見れるときが何より嬉しいひとときです。

7. 秋山研究室 WWW ページ

<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/spectroscopy/akiyama/index.html>

8. 参考文献 (原著論文は以下の解説の参考文献に挙げられていますのでご参照ください。)

[1] 秋山英文、吉田正裕、ローレン・ファイファー、ケン・ウエスト「高品質 T 型量子細線レーザーの一次元電子状態とレーザー発振起源」、固体物理 37、771 (2002)。

[2] 吉田正裕、小山和子、馬場基芳、秋山英文 「ソリッドイマージョンレンズを用いた顕微蛍光計測法」、日本物理学会誌 55、 772 (2000).

[3] 秋山英文、吉田正裕、馬場基芳 「ソリッドイマージョンレンズ (SIL) を用いた近接場蛍光顕微計測法」応用物理 71、 716 (2002).



図 8 (上段)H15 年 7 月の東大物工五神研・上智大江馬研・慶応大齋木研との 2 泊 3 日の合同合宿、(中段左および右)H15 年 5 月の阪大小川研・アトー(株)との深夜 12 時まで続いた合同セミナー、(下段左) H15 年 5 月のケンブリッジ大シマンツカ博士 1 ヶ月招聘中の日光旅行、(下段右) H14 年 6 月の那須ゴルフショートコースツアー

物性研究所短期研究会

摩擦の物理

世話人

川端 和重・北海道大学大学院理学研究科

加藤 孝久・産業技術総合研究所

高山 一・東京大学物性研究所

渡邊 聡・東京大学大学院工学系研究科

前田 京剛・東京大学大学院総合文化研究科

鈴木 勝・電気通信大学電気通信学部

白浜 圭也・慶應義塾大学理工学部

三浦 浩治・愛知教育大学教育学部

松川 宏・大阪大学大学院理学研究科 (現在 青山学院大学理工学部)

固体界面の滑り摩擦は最も身近な物理現象の一つであり、古くから多くの研究が行われてきた。また、界面摩擦に類似の現象は電荷・スピン密度波、ウィグナー結晶、磁束格子、ドメイン壁のピン止めと運動など固体内でも観測される。これらの多様な系の摩擦現象には多数の共通する性質（普遍性）と、各々の個性がある。そのような普遍性の典型は、運動を引き起こすためにあるしきい値以上の外力を加える必要があるという”静摩擦力”と、運動するときにエネルギー散逸を伴うという”動摩擦力”の存在であろう。日常生活の摩擦でしばしば現れるスティックスリップ運動も、地震から、巨視的な界面の間に粉体を挟んだ系、さらには数10オングストロームの膜厚の潤滑剤を含んだ界面間、さらには電荷密度波などにおいても見られる。これらの共通に見られる現象にも、より詳しくみれば違いがあり、各系の個性がある。各系が示す”摩擦”の普遍的側面と個別的側面をもたらす機構はどのようなものであろうか。この問に対する答えを含め、摩擦の物理に関しては基本的な多くの問題が未解決である。この原因は、これまで、滑り摩擦を発生する試料表面の制御が困難であったことや、実験手段が極めて限られていたことにある。加えて、動摩擦は基本的にエネルギー散逸を伴う非平衡現象であることが、多くの物性科学研究者の挑戦を退けてきた原因にあげられる。しかし、近年の物質科学・実験技術の進歩は、摩擦顕微鏡など新しい多くの実験手段を用いた制御された条件下での摩擦の研究を可能とし、高速化した計算機によるシミュレーションも試みられている。また、最近の非平衡系の科学の発展は目覚ましく、その成果を利用することにより摩擦の研究には新展開が期待されるとともに、その展開は非平衡系の研究に新たな概念を生むものとなる。一方、近年の技術の進歩は、ナノ・マイクロスケールの摩擦など多くの新しい摩擦の問題を引き起こし、その解決のため摩擦機構の解明が急務となっている。それらは物性科学の問題としてもほとんど未開拓の分野であり、学問的にも極めて興味深い。このように、現在、摩擦機構の解明が学問的・社会的に強く要請されている。そして、摩擦を物質科学の新しい手段、視点により研究するための環境は急速に整いつつある。

本研究会では、次のような目標のもとに、様々な分野の研究者が集まり活発な議論を行った。”現代物質科学・技術の成果をもとに新しい視点から、様々な分野における多様な系・レベルの摩擦機構の研究を有機的に繋げ、ミクロスケールからマクロスケールにわたる現象の階層性を正しく取り込み、摩擦の普遍性と個別性を明らかにすることによって、物質科学としての摩擦の基礎的・統一的描像を確立する。さらに、その成果を工学上の問題に展開する。”

このような趣旨の研究会は1999年11月に物性研で開催したのが始まりである。その後、2000年11月に京都大学基礎物理学研究所、2001年8月に大阪大学理学研究科で開催した。物性研での開催は今回、2度目であるが、前回はなかなかかみ合わないこともあった異なる分野の研究者間の議論が、今回は活発にたたかわされ、これまでの研究会を契機とした研究報告もなされ、4年間の活動の成果が現れた。それとともに、今後のより一層の交流の必要性も感じられた。

プログラム

10月23日 午後

物性研究所 6F 講義室

1 : 00 ~ 1 : 05	松川 宏	阪大理	はじめに
1 : 05 ~ 1 : 50	山田 真爾	花王(株)構造解析	○液体超薄膜のガラス転移挙動とナノトライボロジー
1 : 50 ~ 2 : 10	後藤 実	豊田工業大学工	Ag 潤滑膜の nm 領域における膜厚効果
2 : 10 ~ 2 : 30	松川 宏	阪大理	ナノスケール潤滑膜の有効モデル
2 : 30 ~ 2 : 55	森田 裕史	東大工	○高分子膜表面におけるナノトライボロジー —実験とシミュレーション—
2 : 55 ~ 3 : 15	藤田 光宏	東工大院生命理工	○摩擦力顕微鏡によって観測される金 —チオール自己組織化単分子膜の摩擦の温度依存性
3 : 15 ~ 3 : 35	休憩		
3 : 35 ~ 3 : 55	河野 彰夫	理研	○マイクロ凝着に及ぼす環境湿度の影響
3 : 55 ~ 4 : 20	前田 亟	北大理	○地震系列の型と岩石の破壊・スティックスリップ
4 : 20 ~ 4 : 40	吉岡 直人	横浜市立大総合理	砂山崩しの実験とセルラーオートマトンモデルによるシミュレーション
4 : 40 ~ 5 : 00	H-G.Matuttis	東大工	○Friction modeling in the simulation of granular materials
5 : 00 ~ 5 : 20	三本木 孝	北海道情報大学情報メディア	○固体間摩擦におけるクリープと接触点成長
5 : 20 ~ 5 : 40	小林 大	科技団	○イオン性材料—金属界面の摩擦への電界効果
5 : 40 ~ 6 : 00	平塚 健一	千葉工大工	マイルド摩耗の機構

10月24日 午前

宇宙線研 6階大セミナー室

9 : 00 ~ 9 : 30	前田 京剛	東大総合文化	高温超伝導体磁束格子系の動的相図の実験的研究
9 : 30 ~ 9 : 50	野島 勉	東北大極低温科学センター	○アモルファス超伝導膜の Vortex dynamics と周期的ピニングの効果
9 : 50 ~ 10 : 10	鎌田 幹雄	東工大極低温	○電流駆動されたボルテックスガラスのダイナミクス
10 : 10 ~ 10 : 25	休憩		
10 : 25 ~ 11 : 05	佐々木成朗	成蹊大工	非接触原子間力顕微鏡の緒問題
11 : 05 ~ 11 : 30	川井 茂樹	東大生研	○ノンコンタクトモードラテラルフォース顕微鏡に向けて
11 : 30 ~ 11 : 50	星 泰雄	東大生研	○カンチレバーのねじれ固有振動数における探針の試料面内振動振幅マッピング
11 : 50 ~ 1 : 00	昼食		

10月24日 午後

物性研究所 6F 講義室

1 : 00 ~ 1 : 50	S.Brazovskii	Orsay and Moscow	Plasticity in sliding and in current conversion of charge density waves.
1 : 50 ~ 2 : 15	宮野健次郎	東大先端研	○電荷密度波における光励起脱ピン止め効果
2 : 15 ~ 2 : 35	小矢野幹夫	北陸先端大学院	○電荷密度波のピン止め効果と光照射

2:35~2:55	長澤 光晴	電大工	○有機導体 (DMTSA) BF_4 の絶縁体領域における非線形電気伝導
2:55~3:15	能川 知昭	阪大理	○CDW, 磁束格子等における塑性変形を伴う輸送現象
3:15~3:35	休憩		
3:35~3:55	三浦 浩治	愛教大物理	○ナノメートルスケールでの OMCTS 溶液上のフレイクのダイナミクス
3:55~4:15	沖田 俊一	名大工	○ C_{60} 単層膜のナノ摩擦: SFA 実験
4:15~4:35	松下 勝義	阪大理	○グラファイトフレイクとグラファイト基板間の原子スケール摩擦
4:35~4:55	阿見 政宏	阪大理	○拡張2次元 Frenkel-Kontorova モデルによる摩擦の研究
4:55~5:15	後藤 真宏	物質・材料研究機構	○表面ナノ構造・組成が真空摩擦に及ぼす影響
5:15~5:35	加々田 剛	北大理	高分子ゲル表面の静止摩擦特性
5:35~5:55	加藤 秀章	北大理	○寒天ゲル-ガラス界面における接触時間による潤滑-摩擦状態の転移
6:15	懇親会	物性研究所前カフェテリア	

10月25日 午前

物性研究所 6F 講義室

9:00~9:50	木塚 徳志	筑波大物質工	○原子を観て、操り、測るアトムファクトリー-ナノコンタクトの原子挙動-
9:50~10:15	影島 賢巳	産総研	○単一分子の摩擦計測
10:15~10:35	鈴木 勝	電通大電気通信	○ヘリウム吸着膜の界面摩擦
10:35~10:50	休憩		
10:50~11:10	川端 和重	北大理	○双晶境界面の運動における待機時間効果
11:10~11:30	中野 愛	北大理	○ランダム媒質中における界面運動の MC シミュレーション解析
11:30~11:50	土居 健祐	千葉大自然科学	○原子気体ボース凝縮 2 成分系の波束ダイナミクスにおける摩擦
11:50~12:10	三浦 裕一	名大理	○超臨界流体の熱輸送における摩擦
12:10~1:10	昼食		

10月25日 午後

物性研究所 6F 講義室

1:10~2:00	年吉 洋	東大生研	○表面と摩擦に関する半導体マイクロアクチュエータの諸問題
2:00~2:25	水上 雅史	東北大多元物質科学研	○固-液界面における液体の構造形成-水素結合分子マクロクラスター-
2:25~2:45	大内 幸雄	名大理	光 SHG 法と軟X線吸収分光法を用いた液晶配向用高分子膜表面のラビング効果に関する研究
2:45~3:05	須田 斎	東海大開発	○自律的運動系を用いた摩擦の法則
3:05~3:25	山崎 義弘	中大理工	Dynamical-Morphological Property of Adhesive in Peeling

液体超薄膜のガラス転移挙動とナノトライボロジー

花王(株)構造解析センター 山田 真爾

固体平板間に挟まれた液体薄膜は、その膜厚が分子数層のオーダーまで薄くなると急激に流動性を失い、実質的に固化することが知られている。液体の超薄膜状態における実効粘度を表面力測定装置(Surface Forces Apparatus, SFA)を用いて実験的に求め、バルク粘性と比較することにより、固化の分子メカニズムについて考察した^[1-3]。

低分子液体(炭化水素, エステル油等)から高分子(炭化水素系, ポリジメチルシロキサン等)に至る7種の液体を雲母基板間に挟み、垂直圧力により hard wall 状態まで薄膜化した。一定速度 V によるせん断を加え、摩擦力 F を測定した。それと同時にせん断中の膜厚 D と接触面積 A を実測し、Couette の式(1)から超薄膜液体の実効粘度 η_{eff} を求めた。

$$F = \eta_{\text{eff}} A V / D = \eta_{\text{eff}} A \dot{\gamma} \quad (1)$$

実効粘度のせん断率依存性を文献値^[4,5]と合わせて図1. に示す。実効粘度はせん断率と共に直線的に減少する shear thinning を示し、以下の式で近似できることがわかった。

$$\log_{10} \eta_{\text{eff}} = C - n \log_{10} \dot{\gamma} \quad (2)$$

定数 C , n は液体の分子構造やせん断条件に敏感でなく、 $C \approx 4.9 \pm 0.2$, $n \approx 0.9 \pm 0.1$ が得られ、実効粘度にマスターカーブが存在することが示唆された^[3]。

液体を固体平板間に挟んでその膜厚を小さくすることは、分子体積の減少により液体分子の運動を抑制する点で、バルク液体の温度を下げることと同様の効果を持つ^[3,5]。したがって、超薄膜液体における固化現象はガラス転移の観点から考察することができる。hard wall 膜中での液体構造は、バルクのガラス転移温度近傍における微視的構造に対応すると考える。その場合、系のダイナミクスは排除体積効果に支配され、実質的に分子(鎖)全体の運動では無く、セグメントレベルの(局所的な)緩和過程に依存することになる。そのため、液体分子の化学構造の違いが実効粘度に反映されず、マスターカーブが得られたものと考えられる。本結果をもとに、薄膜化に伴う液体の粘度特性変化を図2. に示す粘性マップに整理することができた。

【文献】

- [1] Yamada, S.; Nakamura, G.; Amiya, T. Langmuir 2001, 17, 1693.
- [2] Yamada, S.; Nakamura, G.; Hanada, Y.; Amiya, T. Tribol. Lett. Accepted for publication.
- [3] Yamada, S. Tribol. Lett. 2002, 13, 167.
- [4] Hu, H. W.; Carson, G. A.; Granick, S. Phys. Rev. Lett. 1991, 66, 2758.
- [5] Luengo, G.; Schmitt, F. J.; Hill, R.; Israelachvili, J. Macromolecules 1997, 30, 2482.

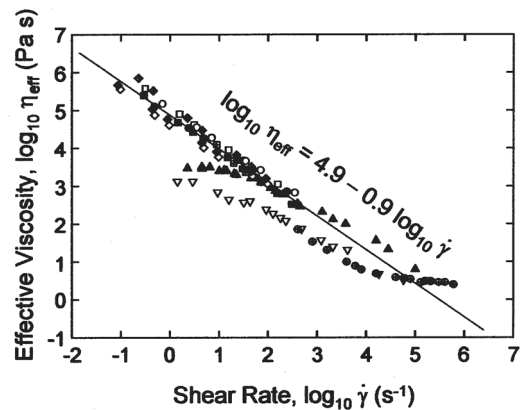


図1. 種々の液体薄膜のhard wall状態における実効粘度のせん断率依存性

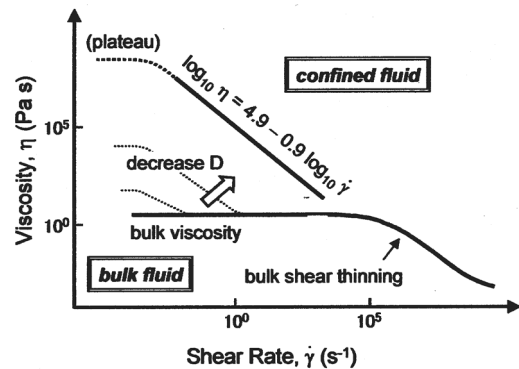


図2. 液体の薄膜化に伴う粘度特性変化の模式図

高分子膜表面におけるナノトライボロジー —実験とシミュレーション—

東京大学大学院工学系研究科 森田 裕史、西 敏夫

近年表面プローブ顕微鏡 (SPM) の発達により、原子スケール、ナノスケールでの表面物性をより簡便に測定できるようになった。また、高分子系のシミュレーション技術も OCTA (<http://octa.jp>) の公開により、様々なナノ領域におけるシミュレーションが自由に行えるようになってきた。本講演では、これらの AFM 測定実験及びシミュレーション技術を組み合わせて、高分子表面におけるナノレオロジー、ナノトライボロジー現象に関して研究を行ったので報告する。

実験に関しては、室温で硬 (PS) 軟 (PVME) の差のあるポリマーをブレンドすることによって作成したガラス状態と流動状態のサンプルに関して測定を行っている。Force-Distance カーブ測定では、流動状態において、鎖を引っ張り上げるとされる長距離にわたる引力が測定された。また、このような長距離でみられる引力の現象は、押し込み速度を遅くすることでも観測できる。¹⁾ 一方 Friction の測定では、Mica 等の非常に硬いサンプルでは、Friction Loop (FL) において静止摩擦部分と一定の動摩擦部分が観測できるが、軟らかい PS60% のサンプルでは、Fig. 1 に示すような緩やかに摩擦力が変わる FL が得られた。FL 中 A-E の位置における値の変化は、図に示すとおり探針近傍の表面形状変化によるものと現在考えている。²⁾

探針-表面近傍における表面や鎖の形状変化を明らかにするために、beads-spring モデルを用いたシミュレーションを行った。モデル作成法の詳細は省略するが、ソフトウェアとして、現在公開中の OCTA に含まれる COGNAC (MD プログラム) を一部修正して用いた。

結果として、Force-Distance カーブでは、鎖を引っ張り上げる状態が流動状態の温度領域で見られた。一方、シミュレーションによっても Fig.2 に示すような FL が得られた。なお、探針の上下動、Friction 動の双方において、探針に引力相互作用している鎖は主に、壁への吸着に考えられる Train 状 (ポリマー途中が接触した形状) の吸着による効果が大いことが示された。

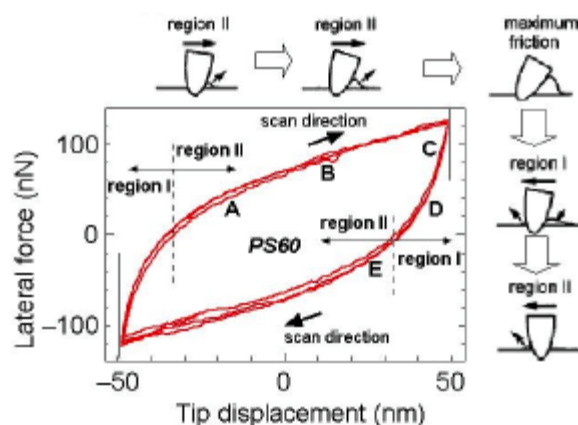


Fig.1 Friction Loop of the PS60% sample

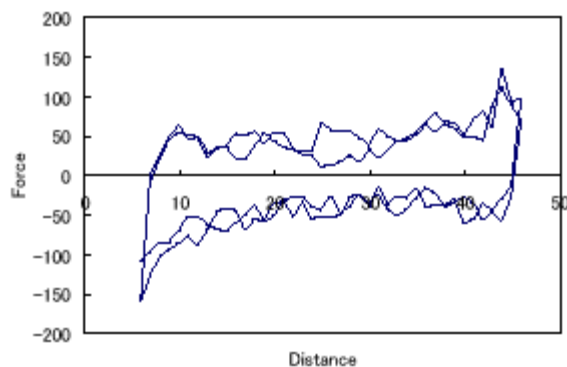


Fig.2 Friction Loop obtained by MD simulation

- 1) K. Nakajima, H. Yamaguchi, J-C. Lee, M. Kageshima, T. Ikehara, T. Nishi, Jpn. J. Appl. Phys., 36, 3850 (1997)
- 2) Y. Terada, M. Harada, T. Ikehara, T. Nishi, J. Appl. Phys., 87, 2803 (2000)

摩擦顕微鏡によって観測される金・チオール自己組織化単分子膜の摩擦の温度依存性

東京工業大学 生命理工学研究科

藤田 光宏

藤平 正道

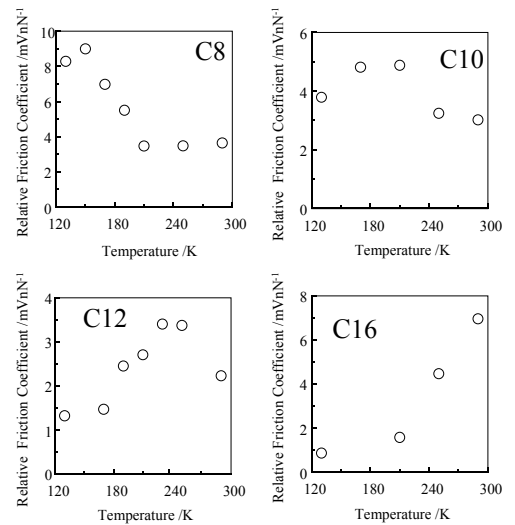
近年の分子動力学計算^[1]による研究によって、有機単分子膜の摩擦は、単分子膜の回転相転移温度で摩擦力が最大になるという特徴的な温度に対する依存性を持つことが示唆された。しかし、このような摩擦の温度依存性は実験によって確認されていない。そこで、本研究ではこの現象を実験的に裏付ける事を目的とした。本研究では有機単分子膜として鎖長の異なる四種類のアルカンチオール(オクタンチオール C8、デカンチオール C10、ドデカンチオール C12、ヘキサデカンチオール C16)の自己組織化単分子膜(SAM)を用い、摩擦力の定量は高真空下(10^{-6} Torr 以下)で摩擦顕微鏡(FFM)を用いて行なった。また、アルカンチオール SAM の他に、フェニレンオリゴマー誘導体(ベンゼンメタンチオール BMT、ビフェニルメタンチオール BPMT)の SAM についても同様の実験を行なった。

図 1 は、温度(130 K~290 K)に対して、相対摩擦係数(印加した垂直荷重に対する FFM の摩擦力信号の傾き)をプロットしたグラフである。図から分かるように、アルカンチオール SAM の摩擦は温度によって劇的に変化し、C10 では 190 K 付近で、C12 では 240 K 付近で摩擦が最大値を持つ様子が観察された。C8 と C16 では摩擦が最大値を持つような傾向は観察されなかったが、これらの結果はアルカンチオールの鎖長が増大するに伴って、摩擦が最大になる温度が高温側にシフトするためであると解釈することができる。また、一般に単分子膜の回転相転移温度は鎖長の増大に伴い高温になるものと考えられるので、これらの結果は分子動力学による研究の結果を支持するものといえる。ただし、アルカンチオール SAM の回転相についての実験的知見は極めて乏しく、この摩擦の最大化が回転相転移によってもたらされたと断言することはできない。

また、フェニレンオリゴマー SAM の場合については、アルカンチオール SAM の場合とは異なり、温度の上昇に対してその摩擦係数は単調に減少する様子が観察された。

[1] T. Ohzono and M. Fujihira: Phys. Rev. B 62 (2000) 17055.

アルカンチオールSAM



フェニレンオリゴマー誘導体SAM

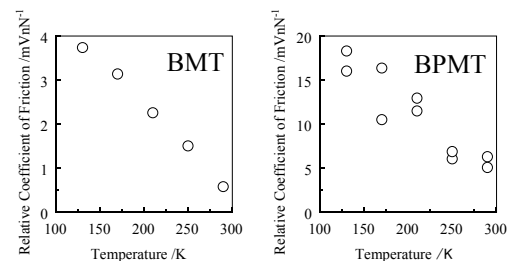


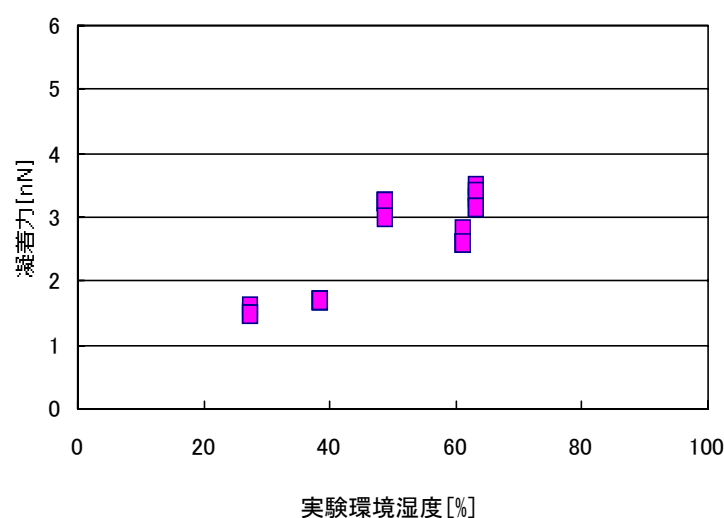
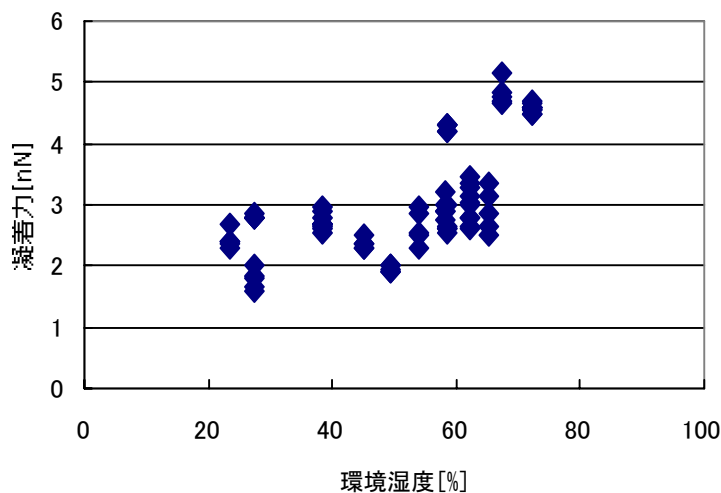
図 1. SAM の摩擦の温度依存性

マイクロ凝着に及ぼす測定環境の影響

理化学研究所 河野 彰夫

マイクロ凝着とは、AFM 装置で探針／サンプル間の単一接触動作のさいに記録される探針／サンプル間の最大引き離し力をいう。この力は画像採取時の探針とサンプルの接触を確認する動作（アプローチ）では、接触位置の検出のために実際に使われているが、その、詳しい物理的意味に関して、かならずしも満足に検討されているとはいえない。

その理由は、再現性の悪さにあると考えられる。その再現性の悪さの原因の一つと推定される測定環境湿度の影響について、検討をおこない、2, 3の結果をえたので報告したい。マイクロ凝着の値に環境湿度がどのように影響するかを、検討するために、AFM の測定部分をビニールで囲い、なかに乾燥剤と水を適宜配置することで、湿度を長期間（1週間～一ヶ月）一定に保持した後、同一サンプルで測定をおこない同じ動作をまた異なった湿度でくり返す。その結果、金／金でえた測定結果を上図にしめす。環境湿度が60%を越えたあたりから、測定値が増加しているのがわかる。また下図はガラス／金の結果で、同様の傾向がみられる。現在、その増加の機構などについて検討をおこなっている。



地震系列の型と岩石の破壊/スリップ

北大・理・地球惑星・地球物理 前田 亙

地震は時空間領域で大きく見るとランダムに起こるが、ある空間領域に限ってみると群れて生じる事がある。その一連の地震発生様式は幾つかの型に分類されている。本震一余震型、前震一本震一余震型、群発型が主なものである。群発型には小さな地震が比較的短い期間に集中して起こる型と大きさの異なる本震一余震系列が多重に生じる型がある。余震活動は経験的に時間に逆比例して減衰する規則性があるが、前震に関してはその活動の時間的推移はさまざまである。(前震は後にならないと前震であると判別出来ない！)

地震現象はスティックスリップ現象の一種と見做される事があるが、その立場から見た時、地震系列の多様性は何処から来るのであろうか。これを岩石の破壊或いはスリップ実験で考えてみる。通常、岩石破壊実験では地震に対応する現象として、微小クラック発生に伴う高周波音 (AE) を観測して岩石の破壊に到る過程をモニターするが、余震に対応する過程に対しては無力である。そこで試料が破壊した後でも同じ水準で引き続き過程をモニタ出来る方法として破壊に伴って発生する発光現象 (Triboluminescence、以下 TL) を観察した。TL の測定はカミオカンデと同様の高感度光電子倍增管を¹本だけ使い、そのパルス出力を一定の時間間隔で計数した。TL は微弱で連続光になるほどではないのでその時間変化は離散的で地震の発生率に似ている。

TL の時間変化を地震の単位時間当たりの個数に対応させた場合、花こう岩では地震で分類されている系列の型の全てが再現されるが、単一鉱物組成を持つ大理石や潜晶質石英岩では再現されない。しかし、余震の減衰に対応する TL の減衰はどの岩石も時間に逆比例して地震と同じ振る舞いをする。これは TL を地震活動に対応させる正当性の根拠と考えられるが、ならばさまざまな地震系列の起生は非均質性と関連づけられるであろう。

また重要な事は、本震に対応する試料本体の破壊以後の TL は破片の破壊に伴うものであるが、その破片には通常の意味の外力 (荷重) は加わってはいない事である。場合によっては破片は空中を飛行しながら「分解」して TL を発生させている。これを地震の場合に当てはめれば、余震の起生は領域全体の応力の再配分ではなく局所の状態 (履歴も含めた) に依存して居る事を示唆する。

以上の場合の不均質の主因は鉱物組成であるが、試料が大きくなれば機械的な不均質、例えば、摩擦係数の表面に沿った方向での不均質、が悪戯をすると期待出来る。接触面が $10 \times 10 \text{cm}^2$ 程の大きさのカンラン岩でスティックスリップ実験を行った。この時、摩擦面の状態によってはスティックスリップが起こる。スリップの成長過程を AE でモニタすると滑りが滑らかに加速されているのではなく、不連続に AE パルスを発生させながら滑り出している事が観察される。この AE パルスの列は地震の前震に対応させる事が出来るであろう。AE パルスの振幅 (その対数が地震のマグニチュードに対応) は時間と共に指数的に大きくなるが、実際に 1969 年 8 月 12 日の根室沖地震でこの様な現象が観測されている。

結論: 地震現象がスティックスリップで期待されるほどには周期的に生じない事、実際の起こり方にはさまざまなパターンがある事、は媒質の不均質性によると実験的に説明付けられる。

Modeling friction in granular Materials

Hans-Georg Matuttis University of Electro-Communications, Department of Mechanical and Control Engineering. Chofu Chofugaoka 1-5-1, Tokyo 182-8585

Alexander Schinner GeNUA mbh, Räterstraße 26, 85551 Kirchheim, Germany

We are dealing with friction from the viewpoint of granular material research, where heaps can maintain their shape only in the presence of Coulomb friction.

One of the elementary problems in computational mechanics is the determination of static/Coulomb friction between contacts of a non-holonomic particle system.

Typical examples for such systems are aggregates of granular materials like sand heaps or silo fillings. Fig. 1 shows a simple non-holonomic system with Coulomb friction as a prototype of a granular configuration.

The "stick-slip" oscillator in Ref.^[1] (Fig.2)

$$\ddot{y} + 2D\dot{y} + \mu \text{sign}\dot{y} + y = A \cos(\omega t)$$

is solved as a differential algebraic systems and a Runge Kutta type time integrator. One of the results was that stick-slip could occur for the parameters $D=0.1$, $\mu=4$, $A=2$, $\omega=\pi$ and the initial conditions $v(0)=4$, $x(0)=3$ if the coefficient of static Coulomb friction μ_{sta} is chosen the same as the D . This occurs for many substances, especially ceramics (tables which only give a single coefficient of friction can be found in Ref.^[2,3]). As the mass and Young-modulus of granular materials leads to a certain step size anyway, in this case the use of integrators with constant time steps is preferable.

We have therefore recomputed the problem in Ref. ^[1] with constant time step and found that the error was negligible, and that the stick-slip for $\mu_{sta}=\mu_{dyn}$ was still preserved. Reference runs where we set $\mu_{sta}=1.1 \cdot \mu_{dyn}$ showed no significant deviation from the original results.

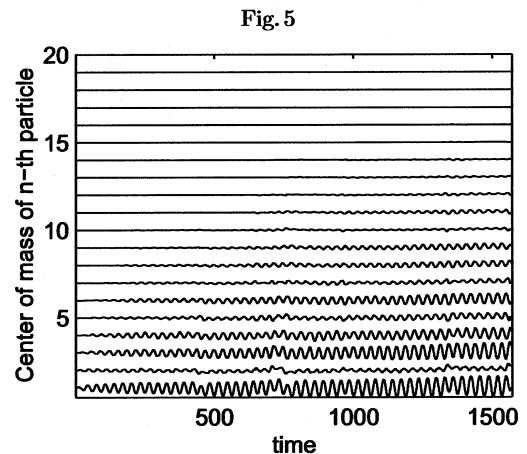
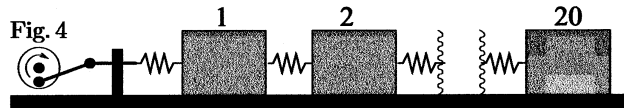
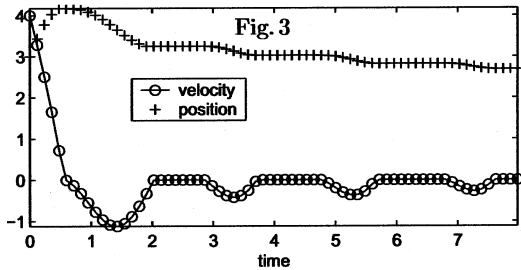
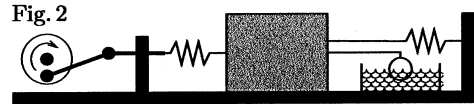
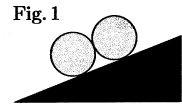
In the next step, we applied the method to a coupled chain of stick-slip oscillators with 20 elements (Fig. 4), and for the parameters $m=1$, spring-constant $k=50$, $D=0.00001$, $\mu=0.3$, $A=.1k$, $\omega=\sqrt{(k/m)}$ And lattice-constant $a=1$, we found that the last five particles do not move any more for the implementation after Ref.^[1], see Fig.5. In contrast, for the naive implementation, the last five particles still move. Reference runs with the static friction model from Ref.^[4] gave good agreement for reasonable choice of the model parameters.

Acknowledgments:

We are indebted to Christian Lubich at the institute for numerical mathematics at the University of Tübingen for the detailed instruction on the numerical methods involved. H.-G. M. acknowledges the financial support of the Inoue foundation.

References:

- [1] E. Hairer, S. P. Noersett, G. Wanner, Solving Ordinary Differential Equations I, 2nd Edition, Springer 1993, page 1999.
- [2] Engineering Material, Ashby, Jones, Pergamon 1980.
- [3] CRC Handbook of Lubrication and Tribology, CRC 1994.
- [4] P. A. Cundall, O. D. L. Strack, Géotechnique, vol 29 Nr. 1, p.47-65 (1979)



固体間摩擦におけるクリープと接触点成長

北海道情報大学 三本木 孝

固体間の静摩擦係数は物質定数ではなく測定方法・手順に大きく依存する。和紙を使って、静摩擦の時間依存・履歴現象を調べた。その主な要因としてcreep と接触点成長が挙げられる。

(1) creep:track 上の slider をポテンシャル中の代表点でおきかえることができると仮定する。接線力 F_s が加わるとエネルギー障壁が減少する。有限温度では障壁が残っていても ($F_s < F_s^0$) 熱活性過程によってスリップが発生するであろう。

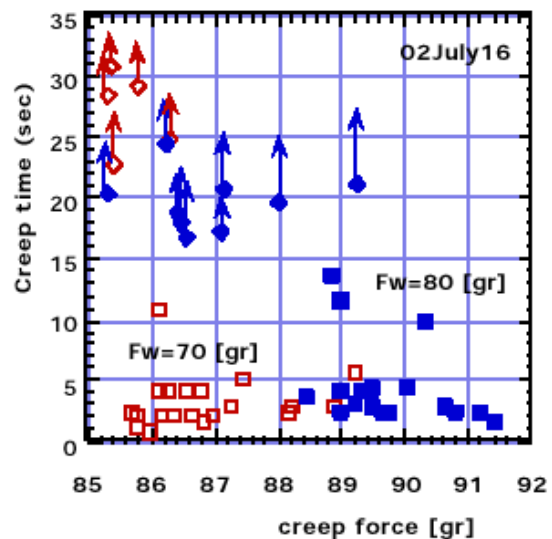
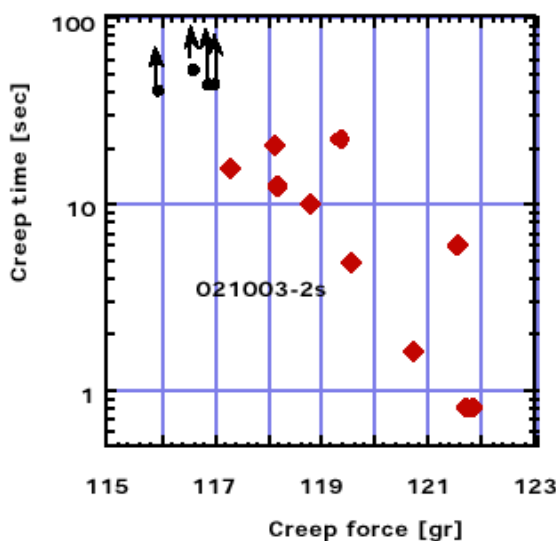
(2) 法線力 (例えば荷重) の下で凝着が生長するため、実験的には、静摩擦力はスリップ発生以前に経過した時間の対数にほぼ比例して増加する。接線力も加わると、"junction growth" により、さらに大きくなる。その時間依存性には未だ解明されていない点が多い。

常識的な静摩擦力は F_s を時間的に一定の割合で増加するときのスリップ発生から得られる。以下の実験では、 F_s を小さな値 F_c に保ちマクロなスリップが発生するまでの時間 t_c を測定した。ただし、直前の測定の影響を消去し初期条件を一定にするため、予め接線力 $F_w < F_c$ を $t_w = 2[\text{min}]$ だけ加えた後に F_c まで増加しスリップの発生を観測した。つまり、 (F_w, t_w) によって生長した junction 集団 を初期状態とした。

試料：純ミツマタ紙同士、純コウゾ紙と純ミツマタ紙の2種 (いずれも静摩擦係数は0.4程度)。和紙の違いは接触点の空間密度の違いに相当するものと期待される (コウゾ紙はミツマタ紙に比べ、バルクの密度が小さく、セルローズ繊維が太い)。また、塗工されていない和紙はセルローズフィブリルの3D ネットワークのみから構成されるので、そのバルクの弾性は普通の固体 (普通紙を含め) と異なるものと期待される。

結果：ミツマタ紙 vs ミツマタ紙 (左図) では一定の (F_w, t_w) の下で、 t_c は F_c の増加につれて指数的に減少した;スリップの特性距離を $L = 1 [\mu\text{m}]$ とすると、 $t_c \propto \exp(-F_c L / \Omega)$ 。 Ω の値は $\approx 6 \times 10^{12} \times (300\text{K}) [\text{J}]$ 。

右図 (コウゾ紙 vs ミツマタ紙) に示すように F_w とともにスリップが観測される力は増加する。"junction growth" の効果は明らかであるが接触点の面積の増加のみに起因するかは不明。また、右図に見られる大きな F_c での t_c のプラトーの起因もまだ不明である



イオン性材料-金属界面の摩擦への電界効果

Electric Field Effect to Friction Between Ionic and Metallic Materials

科学技術振興事業団研究員（東大生産技術研究所川勝研究室） 小林 大

図1に示すような一对の金属電極の片側に「イオン性材料」を張り、その表面でもう一方の電極表面を摩擦する際、電極間に印加する電圧にともなって摩擦係数が変化する。「イオン性材料」とは、紙や皮革に界面活性剤水溶液をしみ込ませたものや、イオン交換濾紙に水をしみ込ませたものを指すこととする。界面には印加電圧の自乗に比例する静電引力が発生するので、これが垂直荷重に重畳されて図1の(a)のような放物線的な摩擦係数変化が生じることは容易に予想されるが、ここで取り上げようとするのは、同図(b), (c)のように電圧の正負によって摩擦係数が異なる変化を示す現象である。

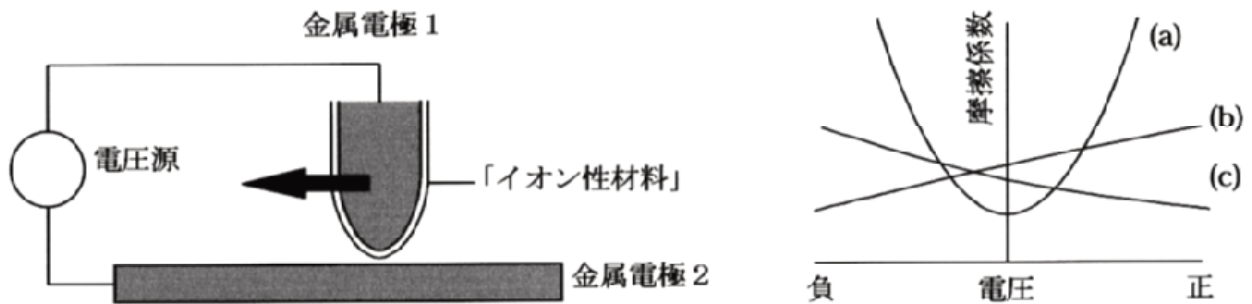


図1 イオン性材料-金属界面摩擦への電界効果

剪断型ピエゾ素子を力センサに使用した摩擦力測定装置を構成していろいろなイオン性材料と電圧-摩擦力特性を測定した結果を図2に示す。4つのプロットはいずれも金属電極2に対する金属電極1の電位を横軸に、摩擦力を縦軸（ただし上が減少、下が増加）にとった。

(a)と(b)はイオン性材料として紙+界面活性剤（それぞれ親水基が陰イオンおよび陽イオンであるオレイン酸ナトリウムおよび塩化ベンザルコニウム）を用いた場合を示す。イオンの極性によって電圧-摩擦力曲線の傾きが逆になっている。この特徴は、陰イオン型および陽イオン型に属する他の界面活性剤でも共通している。

(c)はイオン性材料としてカルボキシメチル(CM)基を持つ陽イオン交換濾紙を用いた場合で、CM基自体は陰イオンである。陰イオン型界面活性剤と同じ特徴が見られた。(d)は反対にジエチルアミノエチル(DEAE)基を持つ陰イオン交換濾紙で、DEAE基自体は陽イオンであり、陽イオン型界面活性剤と同じ特徴が見られた。

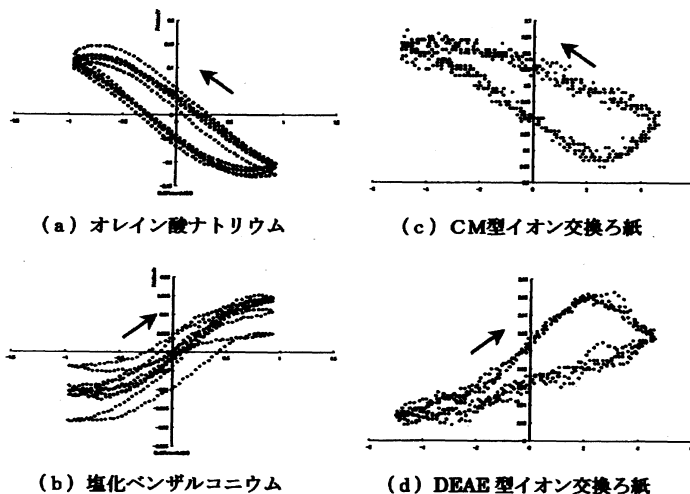


図2 いろいろなイオン性材料と電圧-摩擦力曲線

アモルファス超伝導膜の vortex dynamics と周期的ピンングの効果

東北大学極低温科学センター、A 千葉大学理学部、B 千葉大学工学部

野島 勉、黒須 由香^A、桑沢 好則^A、山本 和貴^B

第II種超伝導体の混合状態において試料に電流を流すと、磁束は駆動力として Lorentz 力を受け運動する。この運動は、磁束コアで散逸を伴う一種の動摩擦運動である。また試料中に欠陥や不純物、マイクロホールといった超伝導でない部分があると、それらは磁束に対しピン止め力（静摩擦力）となる。よって磁束系は反発相互作用する粒子系の摩擦運動に対するよいモデルとなる。これまでランダムに配置するピン止め場所を含む二次元磁束系でのダイナミクスに関しては、実験、理論計算の両方で調べられてきた。しかしピン止め場所が周期的に配列している系に関してはほとんど知られていない。そこで本研究では、バックグラウンドとしてのランダムなピンング力が小さいことで知られるアモルファス W(3-2nm)/Si(1nm)多層膜中に、四角格子 (WS4)、三角格子 (WS3) 状に周期的配列した antidot 列（直径 1 μ m、間隔 2 μ m）を作り、そこでの磁束ダイナミクスを磁場中の電流-電圧 (I-V) 特性により調べた。多層膜は超高真空蒸着法により、Antidot 配列は電子線リソグラフィ法により作成した。超伝導転移温度は WS4 が 3.4K、WS3 が 2.8K である。

図 1、2 にそれぞれ典型例として WS4（四角格子配列）と WS3（三角格子配列）の 0.2T における I-V 特性の温度依存性を示す（ここで I は駆動力に、V は磁束の速度に比例する）。両試料において磁束液体-固体相転移と考えられる温度 T_a 以下において、①低電流域での I-V 曲線が温度によらず傾き 1 でほぼ一致する、②電流を増加させるとある電流 I_{c1} において両対数プロットの傾きが 1 より小さくなり $V \propto I^{0.7}$ となる、③WS3 ではさらに傾きが I_{c2} で負になる、という異常なふるまいが観測された。Antidot を含まない試料の I-V 曲線は、 T_a 以下の温度において I の増加とともに、non-linear から linear に変化し、温度の下降とともに高電流・高電圧側にシフトする（この結果はよく知られた plastic flow から Moving lattice 状態への動的転移で説明できる）。よって①-③の異常なふるまいは周期的ピンングを含む系特有の性質である。本試料では Antidot のピンング力により、Antidot 列に沿った磁束運動は列の間の磁束運動にくらべ遅いと予想され、この2種類の運動が特異なダイナミクスの原因であると考えられる。①は Antidot 列間にあるピンングの影響を受けない磁束が自由に流れる現象で説明可能である。②-③の結果は、電流の増加とともに、Antidot 列間を流れる磁束の数が減少することを意味し、列間で運動する速い磁束が列に沿った運動の遅い領域に取り込まれる新しい現象であると考察される。

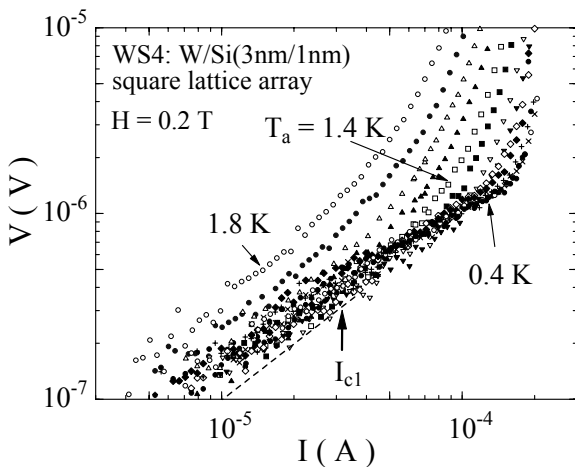


図1 WS4(四角格子 array)の I-V 特性

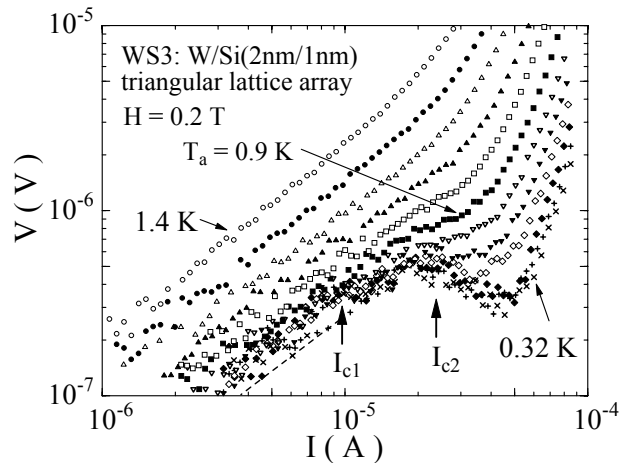


図2 WS3(三角格子 array)の I-V 特性

電流駆動されたボルテックスガラスのダイナミクス

東京工業大学極低温物性研究センター 鎌田 幹雄, 大熊 哲

磁束ガラスを電流駆動させると、ピン止めされた磁束ガラス状態から **plastic flow** 状態へ変わることが予想されている^[1,2]。しかし、実験的研究はクリーンな磁束格子系のみで、磁束ガラス系における研究はほとんど行われていない。これまで我々は、磁束ガラス転移を示す厚いアモルファス(α -)Mo_xSi_{1-x} 膜(膜厚100 nm)を用いて、電流によって駆動された磁束ガラスのダイナミクスを調べてきた。さまざまな磁場において、電流を印加したときの電圧Vと電圧ノイズスペクトラム $S_V(f)$ を同時に測定した結果、磁束ガラス相において広い磁場領域にわたって $1/f$ 型の S_V が観測された。これに対して、磁束液体相では、 S_V は測定感度以下に減少することがわかった^[3]。ところで、NbSe₂の単結晶でも融解磁場直前の限られた磁場域で、磁束格子の **plastic flow** に伴う大きな S_V が観測されている^[4]。また、我々が得た S_V の磁場依存性と同一ような結果が、ピンニングポテンシャル中を運動する磁束格子のシミュレーション^[5]からも得られている。これらの事実から、我々が磁束ガラス相で観測した S_V の物理的起源は、磁束ガラスの **plastic flow** であると解釈してきた。ところが詳しく見ると、 S_V は電圧Vの出現(その電流値を I_c と定義する)と同時に観測されるのではなく、 I_c よりも大きいある特徴的な電流値を超えたときにはじめて観測される。その理由については不明であり、磁束ガラスのダイナミクスに関するさらに詳しい研究が待たれていた。

本研究では、磁束系に歪を与えて回転運動させることができる Corbino-disk (CD) 形状の電極をもつ α -Mo_xSi_{1-x} 膜試料を用いて、**plastic flow** 状態に至るまでの磁束系のダイナミクスを電流電圧特性によって調べた。比較のため、同一試料で Strip 的形状の電極における測定も同時に行った。CD形状では電流が中心から放射状に流れるために、磁束は同心円状に回転する。電流密度の大きさは半径に反比例するので、電流密度の大きさと空間的な勾配は中心に近いほど大きい。CD形状と Strip 的形状で得られた結果(図)を比較すると、磁束液体相 ($B > 4.4$ T) では両方の形状で I-V 曲線の形に際立った違いが見られなかったのに対して、磁束ガラス相 ($B < 4.4$ T) では CD 形状の場合、 $d \log V / d \log I$ が極小値をとるという異常が見られた。その電流値を I^* (図矢印) とすると、 I^* は磁場の増加と共に減少し、磁束ガラス転移磁場で消失した。この結果を、同じく CD を用いた、運動する磁束格子の横方向の相関を求める López らの研究結果^[5]を用いて解釈する。彼らによると、磁束格子を電流駆動させると、低電流の間は異なる回転半径の磁束でも角速度は一定で、磁束はディスクのように剛体的に回転する(**elastic flow**)。ところが電流を増加させると、中心に近い場所に位置する磁束がディスクから切れて速い角速度で (**plastic flow** 的に) 回転する。さらに電流を増加させると、速く回転する (**plastic flow**) 領域が半径方向に成長する^[5]。

我々の磁束ガラス系でも同じように、低電流側では磁束は剛体のように回転 (**elastic flow**: S_V 小) し、電流を増加させると、**plastic flow motion** の領域 (S_V 大) が中心側から広がると考えられる。電流が I^* を超えた瞬間が、ちょうど **plastic flow** 領域が電圧端子にさしかかったときに対応する。磁束液体相では当然このような現象は観測されない。ここで得られた結果は理論^[1,2]とは異なり、ピン止めされた磁束ガラス状態と **plastic flow** 状態の間に **elastic flow** 状態が存在することを示唆している^[6]。

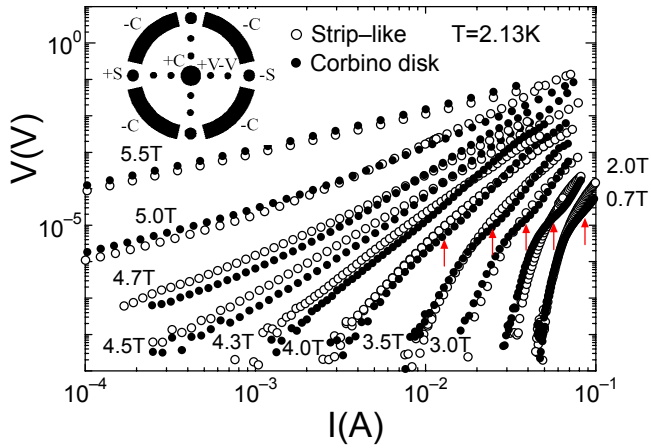


図 Corbino-disk 形状(●)と Strip 的形状 (○)における厚い $a\text{-Mo}_x\text{Si}_{1-x}$ 膜のさまざまな磁場における $T=2.13\text{K}$ の電流電圧(I - V) 特性。矢印は I - V 曲線のべき $d\log V/d\log I$ が極小値をとる電流値 I^* を示す。磁束ガラス転移磁場は約 4.4 T である。

- [1] L. Balents, M. C. Marchetti, L. Radzihovsky Phys. Rev. B 57 (1998) 7705.
- [2] C. J. Olson, C. Reichardt, F. Nori, Phys. Rev. Lett. 81 (1998) 3757.
- [3] S. Okuma, N. Kokubo, Phys. Rev. B 61 (2000) 671.
- [4] A. C. Marley, M. J. Higgins, S. Bhattacharya, Phys. Rev. Lett. 74 (1995) 3029.
- [5] D. López, et al., Phys. Rev. Lett. 82 (1999) 1277.
- [6] M. Kamada, Y. Arakawa, S. Okuma, submitted to Proc. ISS02.

ノンコンタクトモードラテラルフォース顕微鏡に向けて

東京大学生産技術研究所マイクロメカトロニクス国際研究センター

川井 茂樹、小林 大、川勝 英樹

近年のプローブ顕微鏡 (SPM) [1]の発達に伴い、ナノメートル領域の摩擦現象の関心が高まっている。一般的に SPM を用いて摩擦量を観察するのに摩擦力顕微鏡 (FFM) という撮像モードを用いられる。FFM は、カンチレバー (プローブ) の試料への印加力と、試料を動かしたときのカンチレバーの準静的な振れ量により試料表面の摩擦量を測定する顕微鏡である。

我々は、試料への印加力を減らし非接触領域での摩擦現象の観察できるノンコンタクトモードラテラルフォース顕微鏡を開発している。FFM では、印加力の減少とともに摩擦による振れ量が減少し信号対雑音 (S/N) 比が著しく劣化する。そこで、カンチレバーの変位信号をアクチュエーターに正帰還することによるカンチレバーの自励振動[2]を利用した。試料とカンチレバーの距離に依存し、共振周波数が変化する (Fig.1)。この周波数変化量 δf を制御対象にすることにより距離 (印加力) を制御する。また、そのときに発生する摩擦により振動エネルギーが散逸し、カンチレバーの振動振幅が減少する。この振幅変化より摩擦を測定することを目指している。

ノンコンタクトモード用のカンチレバーの振れ共振周波数は、一般的に 1.5~2MHz の範囲である。通常用いる撓みの共振周波数と比較し、10 倍程度高い。そこで、測定対象の振動周波数が高くなるほど S/N 比が向上するレーザードップラー干渉計を検出系に応用した[3]。この干渉計のキャリア周波数は 1.1GHz と高く、100MHz までの振動速度信号を検出可能である。また、レーザースポット径は 1.2 μm のため、カンチレバーの局所的な速度を検出することが可能である。スポットの位置をカンチレバーの先端端部にあてることにより、ティップ先端での振幅が 0.1nm_{p-p} 以下の自励振動を起こすことが可能である。

本発表では、共振周波数のシフト δf を距離制御に用いたグラフィットの Topography を報告した。このときのティップ先端で振動振幅は、1nm_{p-pd} である。

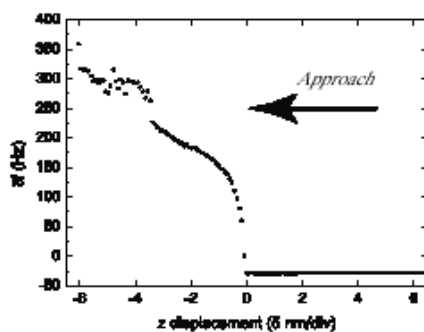


Figure 1: z - δf curve.

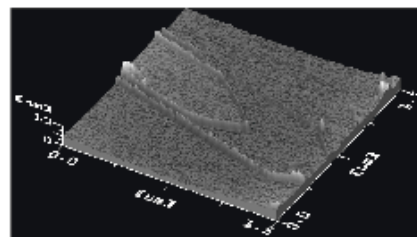


Figure 2: Topography.

- [1] G. Binnig, C. F. Quate, Ch. Gerber, "Atomic Force Microscope," Phys. Rev. Lett., 56 (1986) 930-933.
- [2] T. R. Albrecht, P. Grüttr, D. Horne, and D. Rugar, "Frequency modulation detection using high-Q cantilevers for enhanced force microscope sensitivity," J. Appl. Phys., 69 (1991) 668-673.
- [3] H. Kawakatsu, S. Kawai, D. Saya, M. Nagashio, D. Kobayashi, H. Toshiyoshi, and H. Fujita, "To-wards atomic force microscopy up to 100 MHz," Rev. Sci Instrum, 73 (2002)2317-2320.

カンチレバーのねじれ固有振動数における探針の試料面内振動振幅マッピング

東京大学生産技術研究所 星 泰雄

一般に摩擦力顕微鏡では、カンチレバー（片持ち針）先端の探針を試料に接触させ、カンチレバーのたわみ量（垂直抗力に相当）を一定に制御しながら、カンチレバーがねじれる方向に試料を走査し、摩擦力に相当するねじれ量を検出する。このねじれには探針先端換算でサブ nm に相当するカンチレバーのねじれ固有振動が重畳しており、その振幅変化は探針と試料の吸着状態の変化と密接につながりがあると考えられる。この振動振幅の性質を調べるため、図 1 に示すように、せん断ピエゾ素子を用いて試料あるいは探針をさまざまな周波数で振動させながら試料を走査し、その周波数の振動振幅を画像としてマッピングするシステムを構築した。

金(111)面に自己組織化単分子膜をパターンニングした試料の観察例を図 2 に示す。各画像の中央部分が親水基 COOH を持つ 16-Mercaptohexadecanoic acid（鎖長 2.3nm、以下 MHDA）、その周囲は疎水基 CH₃ を持つ Octadecanethiol（鎖長 2.6nm、以下 ODT）である。励振周波数はカンチレバーの固有振動数 446kHz の前後 5kHz と、比較のため低周波側 10kHz と高周波側 550kHz で固定している（Fixed frequency excitation mode）。ねじれの振幅は探針先端換算で約 0.5nm_{pp} である。凹凸像（図 2 (a)）や摩擦力像（図 2 (b)）に比べて、振動振幅像は全体的により明瞭なコントラストを与えることがわかる。低周波では探針先端が試料表面を滑って境界面の摩擦力を、高周波ではより試料の深部（恐らく金表面まで）の弾性力を反映した像が得られると考えている。その間にあたる固有振動数では探針が表面と固着した状態における境界面の機械特性を捉えている可能性があり、定量化の方法を検討中である。固有振動数の前後で共振曲線の変化に起因したコントラストの反転が見られるため、現在は自励ループ（Self-excitation mode）により共振状態を維持しながらの観察を試みており、振幅が数 nm_{pp} の場合については良好なコントラストを得ている。

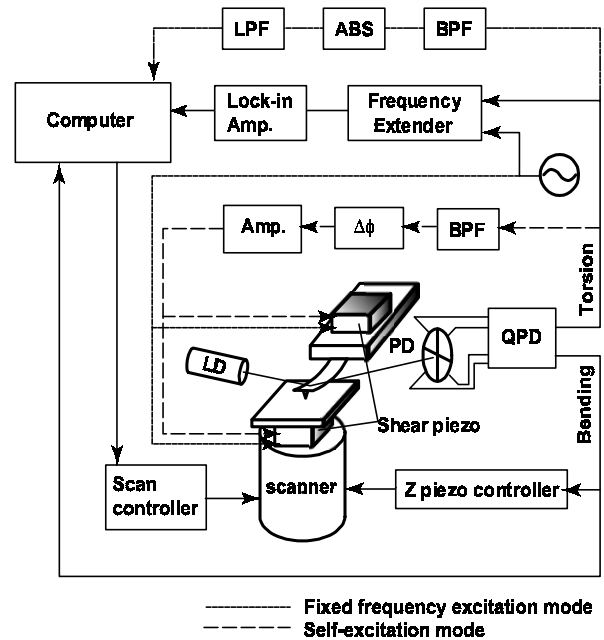


図 1. ねじれ振動振幅マッピングシステム

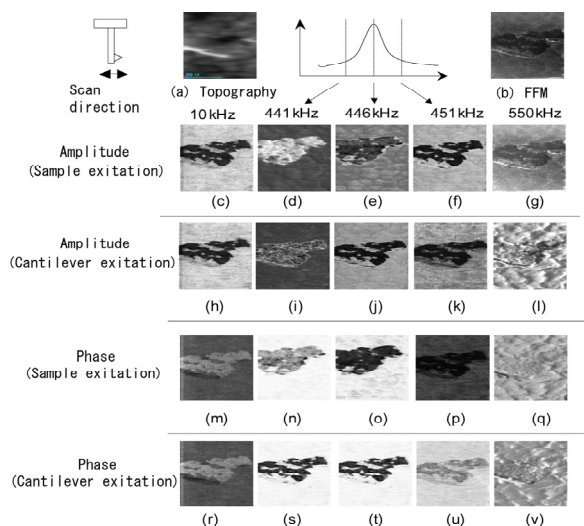


図 2. 自己組織化単分子膜の観察結果

電荷密度波における光励起脱ピン止め効果

東京大学先端科学技術研究センター・宮野健次郎

摩擦を考える上で最も根本的な三つの要素は、物を動かそうとする外力、系が持っている弾性、そして物がある位置に止めておこうとする「ピン止め力」である。事情を複雑にしているのは、この中でも「ピン止め力」に含まれる乱雑さ（一般には時間依存する）相互作用の強さ、その空間配置）と、これに「弾性」が反応して蓄積する歪みが、時間・空間的に不均一なことである。従来、摩擦の研究は、ピン止め力の統計性を様々に制御した多数回の実験を行う事によって、そのマイクロな機構の解明に迫ろうとしていた。このような中で、我々は電荷密度波（CDW）のピン止め力が光励起によって変調されることを偶然発見した。これは、光励起が高い時間・空間分解能を持つこととあわせて、摩擦の研究に質的に全く新しい研究法を提供するものである。

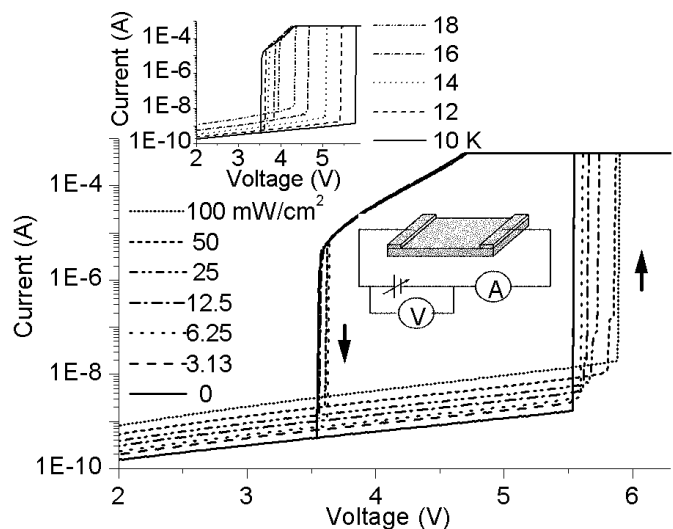
ブルー・ブロンズ、 $K_{0.3}MoO_3$ 、は低温（ $<20K$ ）で殆ど熱的に励起された準粒子の無い「裸の」CDW状態を呈する。この場合、ピン止めが有効であるときには電流はゼロであり、そのような外力（電圧）範囲は非常に小さく、実験に殆どかからない。電流が測定にかかるようになった時（ $<1pA$ ）には、系はすでに「クリープ」状態にある。これは、CDWが個々のピン止めをインコヒーレントに乗り越えている状況に相当する。さらに印加電圧を増やしていくと、ある電圧（ V_s ）で電流値が数桁にわたって不連続な飛びを示す。これはCDWがピン止めをよりコヒーレントに乗り越えるようになったためと考えられ、「スライド」状態と呼ばれる。いったんスライドを始めたCDWは電圧を V_s 以下にしてもスライド状態を維持し、別の電圧 $V_s' (<V_s)$ でクリープに戻る。このような「スイッチング」と「ヒステリシス」を示すCDWに光を照射するとそのI-V特性が大きく変化する。その様子を下図に示した。

光照射の影響は、CDWの「すべり」の状態に依存するが、いずれもピン止めの実効的な数を減少させていると考えると説明できる。クリープ状態では、ピン止めの減少によってクリープの速度が上昇し、電流が増加している。これは一見、CDWギャップを越えた励起により生成されたキャリアによる光伝導のようにも見えるが、バンド半導体でないこのような物質中では通常の光伝導は起こらない。より顕著な効果はスイッチング電圧 V_s の増加である。これは、光による昇温効果（図中の挿図）とは全く相容れない。クリープからスライドへの動的な相転移は、ピン止めにおける歪みの蓄積がある臨界値を越えることが必要だと考えられるが、光によってピン止め数を実効的に減少させることによって、歪みの蓄積が阻害され、スライドへの転移が高電圧側へと移ったと説明できる。

このように、光励起はピン止めを瞬時に消すことによって、動的な振る舞いを大きく変更することが示された。

[文献]

N. Ogawa et al. Phys. Rev. Lett. 87, 256401 (2001), Phys. Rev. B65, 155107 (2002), Appl. Phys. Lett. 80, 3225 (2002).



電荷密度波のピン止め効果と光照射

北陸先端科学技術大学院大学, 材料科学研究科 小矢野幹夫, 加藤 素文

擬一次元伝導体中の伝導電子は, パイエルズ転移温度以下で電荷密度波 (Charge-density wave; CDW) へ凝縮することが知られている. 基底状態の CDW は, 不純物や格子欠陥などのポテンシャルにピン止めされているため, 電気伝導に寄与することは無い. しかし CDW の波長と元の格子周期の波長が不整合である場合, ピン止めポテンシャルを超える電場が印加されると, CDW は運動を開始し電気伝導に寄与し始める. ピン止めに外れた CDW のダイナミクスは, ランダムなポテンシャルや熱励起された準粒子の中で, CDW 自身が変形しながら運動するという複雑なものである. 我々はこのような複雑な摂動を受けて運動している CDW に, さらに光を照射したとき, そのダイナミクスがどのように変化するかということに興味を持ち研究を進めている.

このような CDW のダイナミクスに対する光照射の影響を明らかにするため, 我々は擬一次元伝導体 TaS_3 単結晶の電流-電圧特性を測定した. 本研究で用いた TaS_3 は Ta と S で形成される三角柱のユニットが結晶の b-軸方向に伸びた構造を持っており, 約 220 K のパイエルズ転移温度以下で, 不整合な周期を持つ CDW が発生することが知られている.

パイエルズ転移温度以上では, 試料を流れる電流は印加電圧に比例し, オームの法則が成立する. これに対して転移温度以下では, しきい電場以上で CDW が運動を始めるため, 電流が増加し非オーム性伝導となる. この状態に波長 488 nm の弱いレーザー光を照射すると, しきい電場近傍の電流値が増加することが観測された. このときの光照射による電流の増加分 $\Delta I = I_{\text{irrad}} - I_{\text{dark}}$ は電圧とともに増加し, しきい電場近傍で最大値を取った後, 高電場側でゼロに漸近する [1]. このような CDW の運動に対する光照射効果は低温で消失することから, ブルーブロンズで観測されている光照射効果 [2] とは異なる, 以下に示すようなメカニズムに起因するものと考えられる.

しきい電場以下では CDW はピン止めポテンシャルに捕獲されているが, 光照射によって励起された準粒子がピン止めポテンシャルを遮蔽することにより, ポテンシャル障壁が低下し CDW が運動を始めその結果として CDW 電流が増加する. このときに光励起される準粒子の割合は, 元の準粒子数に対しておよそ 2~7% と実験的に見積もられた. しきい電場以上では, 遮蔽によるピン止めポテンシャルの低下に比べて外部電場の影響が大きくなるため, 光照射をした場合としない場合の違いは相対的に小さくなる. そのため, ΔI は高電場側でゼロに近づいてゆく.

以上の結果は, 光照射によってピン止めポテンシャルの強さを制御できる可能性を示唆しており, 摩擦を伴う物体の運動と電磁波の相互作用という観点からも興味深い視点を提供するものと考えられる.

[1] M. Koyano, M. Kato and S. Katayama, Int. Conf. on Low Temp. Phys. (August 2002, Hiroshima), 21CP66.

[2] N. Ogawa, A. Shiraga, R. Kondo, S. Kagoshima, and K. Miyano, Phys. Rev. Let. 87 (2001) 256401.

有機導体(DMTSA)BF₄ の絶縁体領域における非線形電気伝導

東京電機大学 工学部 基礎教育センター・環境物質化学科 長澤 光晴

有機錯体 (DMTSA) BF₄ は結晶構造的には 1 : 1 塩であるにもかかわらず、室温で高い電気伝導度 ($\sigma_0 \sim 200 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$) を示す。常圧下において、電気伝導度は高温で金属的、 $T < 150 \text{K}$ で熱活性化的に振る舞う。この金属—絶縁体“転移”は、密度波相転移の場合に観測される金属—絶縁体転移とくらべると非常に緩やかである。誘電率と電気伝導度の異方性を調べたところ、約 90K で明確な異常を観測した。これは相転移が存在することを強く示唆し、電荷の局在化による相転移である可能性も考えられる。しかし、この温度付近で磁化率などに異常が観測されていない、低温での電子比熱が大きいなど、不明な点も多い。

我々は (DMTSA)BF₄ の絶縁体領域 (常圧下低温) における電流—電圧特性を測定し、しきい電場を伴う非線形電気伝導が存在することを明らかにした (図 1)。明確なしきい電場が観測されたこと、しきい電場が数 V/cm と比較的小さいことなどから、ツェナー破壊やホットエレクトロン効果である可能性は低いと考えられる。この現象は、多くの密度波相において観測される非線形電気伝導と類似している。したがって、(DMTSA)BF₄ の絶縁体領域においても密度波とは別の集団運動が起きている可能性が高い。しきい電場の温度依存性や非線形電気伝導の電場・温度依存性を調べることは、電子系における“摩擦”を考える上で意義深い。今後、密度波系との比較を詳細に行うために、非線形電気伝導領域において雑音測定なども行う予定である。

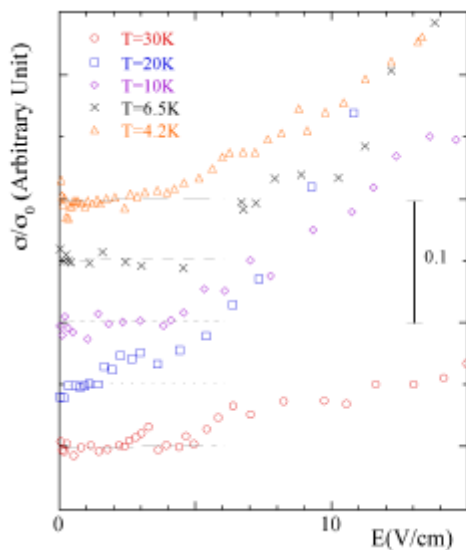


図 1. 規格化された電気伝導度の電場依存性
[(DMTSA)BF₄]

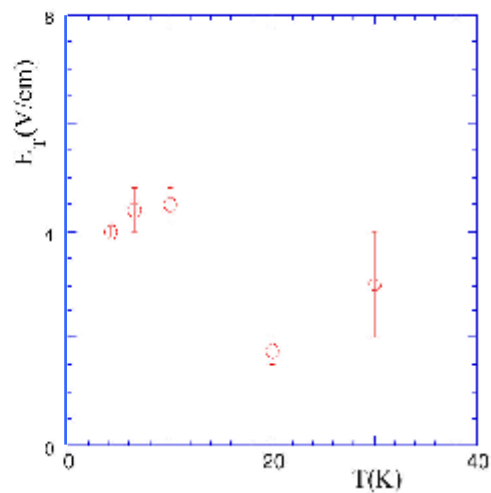


図 2. しきい電場の温度依存性
[(DMTSA)BF₄]

CDW, 磁束格子等における塑性変形を伴う輸送現象

大阪大学理学研究科 能川 知昭、松川 宏、吉野 元

CDW や磁束格子に外力を加えて駆動すると、複雑な応答を示す。そこでは、構造の持つ内部変形の自由度と不純物等によって及ぼされるランダムなピン止め力が重要な役割を果たしている。これらの系では、外力があるしきい値より小さければ系は静止するが、大きければ運動が生じるという非線形な伝導現象が知られているが、このしきい値は最大静止摩擦力に相当するといえる。近年では、運動状態の中にも、いくつかの区別されうる状態が存在して、その間の動的な相転移があるのではないかということが関心を集めている。

CDW などのように、不純物がなければ周期構造をとる系では、小さな外力のもとでは欠陥（局所的なピン止め領域）を残したまま一部が流れる「塑性流動」を行うが、大きな外力では周期性を回復して系全体がコヒーレントにスライディングを行うことが知られている。我々は、このような外力に応じた動的状態の変化を、塑性変形を取り扱うことのできる3次元 driven random - field XY model に基づいて数値シミュレーションによって調べた。このモデルの運動方程式は次のように表される。

$$\dot{u}_i = -J \sum_j \sin(u_i - u_j) - h \sin(u_i - \beta_i) + f$$

ここで u_i はドメインの位相揺らぎを表す力学変数で、その時間微分は CDW の場合には電流に相当する。右辺第1項はドメイン間の相互作用、第2項は不純物から受ける力、第3項は外場である。更に β_i は不純物の乱雑さを表現する一様なランダム変数である。相互作用は位相差に非線形な形であるが、位相差が小さい極限では線形で、よく調べられている弾性体モデルに帰着する。

この運動方程式を数値的に解いた結果、外力を徐々に大きくしていくと、系全体がピン止めされた状態から塑性流動へ、更に位相がそろって運動する弾性フローへという3つの状態間の遷移が見られた。塑性流動の状態では、局所的なピン止めサイトが存在するが、これらはトポロジカルな欠陥（磁性体の XY スピンモデルで言うボルテックスループ）を生じる。また局所的な速度が空間的に一様でないため、位相差は次第に大きくなりいわゆる位相すべりを起こす。電流の時間ゆらぎは広い周波数帯域を持つ。一方、弾性フローでは速度は一様で、不純物の周期ポテンシャルによって変調された洗濯板ノイズを生じる。この塑性流動と弾性フローの間の遷移ではヒステリシスや遅延時間を伴うスイッチングなど、実験で観測されているものと同様の振る舞いが見られた。また塑性流動から弾性フローへの緩和は欠陥の減少によってよく特徴づけられるが、その減少は（外場無限大の極限で）時間のべき乗に比例するという遅い緩和であった。

今回発表したシミュレーションの結果では、有限の外場において塑性流動から弾性フローへの転移が起こったが、これが有限サイズのサンプルでしか起こらない現象である可能性がある。系のサイズが無限大の熱力学極限でも起こるのか、あるいは弾性フローの相は存在しないのかを明らかにするのが今後の課題である。

OMCTS 溶液の上のフレークのダイナミクス

愛知教育大学物理領域 三浦 浩治

固液界面で起こる摩擦の素過程を調べるために、Octamethylcyclotetrasiloxane (OMCTS)溶液の上のグラファイトフレークとマイカフレークのダイナミクスがフレーク介在型摩擦顕微鏡を用いて研究された。図1にそれぞれ、グラファイトフレーク、マイカフレークを介在した場合の荷重に対する摩擦力の関係を示す。グラファイトの場合は、荷重に対して摩擦力は一定なのに対し、マイカでは線形に増加する。これは、OMCTS溶液とフレークとの接触面積の荷重に対する振る舞いを示している。図2に見られるように摩擦力の速度依存性は、どちらのフレークの場合も速度の対数に対し、線形に増加している。ただし、グラファイトの場合に比べてマイカでは勾配は6倍大きい。このことを熱的に励起された Tomlinson モデルで解析すると、単位荷重あたりのフレークと OMCTS 界面の相互作用ポテンシャルの増加、さらにフレークが OMCTS 溶液上をすべるために必要な熱活性エネルギーを見積もることができる。単位荷重あたりの相互作用ポテンシャルの増加は、グラファイトでゼロ、マイカで 0.3eV/nN である。また、熱活性エネルギーはグラファイトで $36\text{k}_B\text{T}$ 、マイカで $200\text{k}_B\text{T}$ である。これは、エネルギー散逸に関わっている分子が、グラファイトでは単分子程度、マイカでは数分子程度であることを示唆している。

図 1

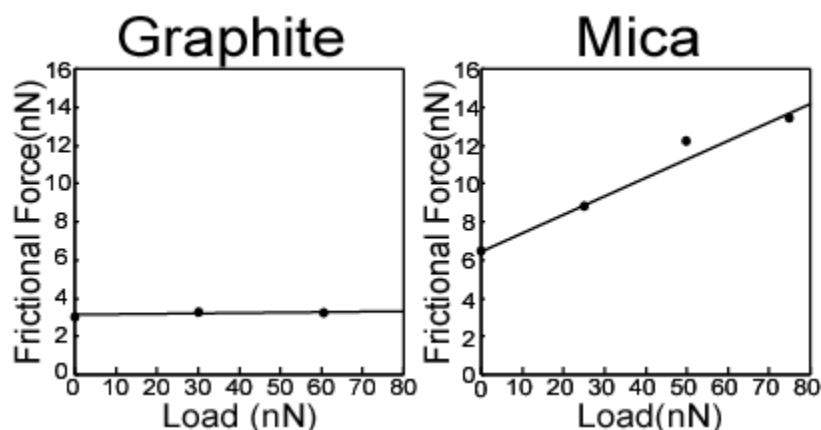
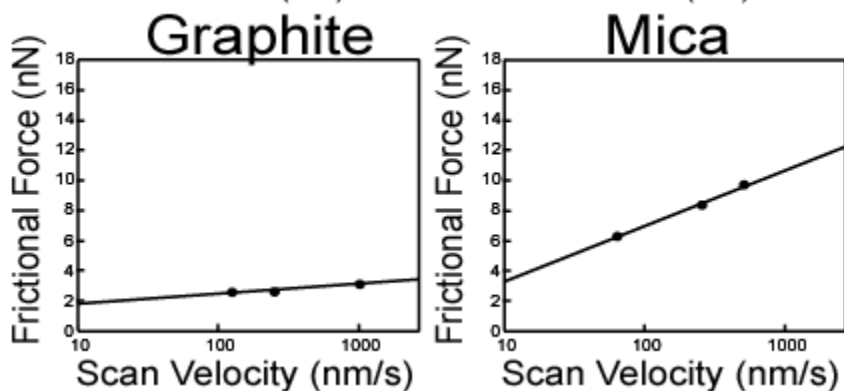


図 2



C₆₀ 単層膜のナノ摩擦：SFA 実験

名古屋大学大学院 沖田 俊一

マイクロマシンなどで使用できる潤滑膜として、C₆₀ 薄膜は非常に有効である。単層 C₆₀ 薄膜の形成条件を明らかにし、マイクロスケールの接触における C₆₀ 単層薄膜の摩擦特性を評価した。

単層 C₆₀ 膜の形成は基板を mica, Si, KCl(001), グラファイト(HOPG)上に真空蒸着法で行った。mica, KCl(001)には C₆₀ 薄膜は島上成長し、Si 上には C₆₀ 薄膜は観察されなかった。一方、グラファイト基板にはエピタキシャルに成長し、単層 C₆₀ 膜の形成が可能となった。これはグラファイトの C₆₀-基板相互作用が C₆₀-C₆₀ 相互作用より大きくなったためである。

摩擦試験機の概略図を図 1 に示す。この装置は SFA の原理を用いており接触面積、荷重、摩擦力の同時測定が可能となる。摩擦実験は室温、大気中で行い実験中の接触半径は数十 μm 程度であることが確認された。

図 2 に荷重-摩擦力のグラフを示す。単層 C₆₀ 膜-グラファイト間、多層 C₆₀ 膜-グラファイト間、グラファイト-グラファイト間の摩擦挙動を示す。多層 C₆₀ 膜は膜厚 10~15nm の薄膜を使用した。

多層 C₆₀ 薄膜は荷重の増加と共に摩擦力も増加する。これはヘルツ接触における接触面積の増加によるものと考えられる。

単層 C₆₀ 薄膜の場合、荷重 10mN までの摩擦力は 2mN と一定となる。荷重 10mN 以上で摩擦力が増加し、20mN 以上ではグラファイト同士と同様な摩擦挙動を示した。これは単層 C₆₀ 薄膜の破壊、剥離が生じたためである。

つまり C₆₀ 薄膜の摩擦特性には層数依存性があり、単層での摩擦力は多層の 5 分の 1 と非常に小さい値となった。このことからナノ・マイクロマシンで用いられる領域でのフラーレン C₆₀ 分子の潤滑膜としての有効性が示された。

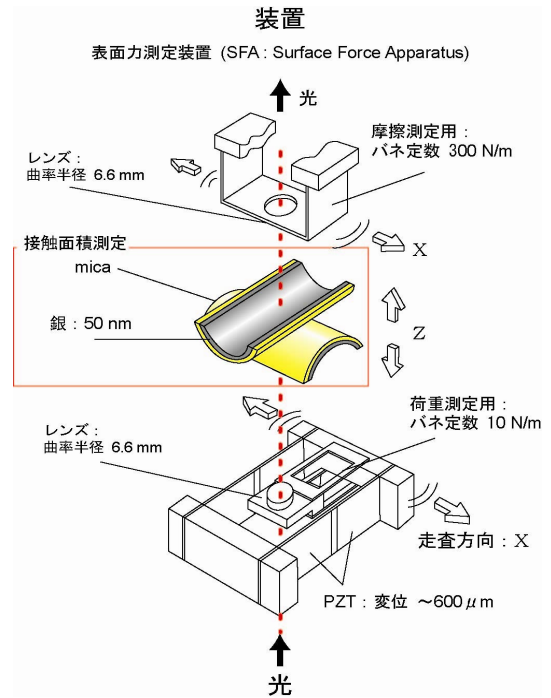


図 1

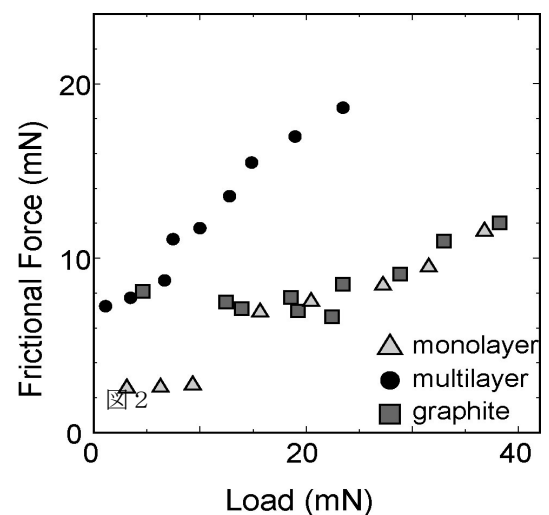


図 2

グラファイトフレークとグラファイト基板間の原子スケール摩擦

阪大院理^A、成蹊大学^B、科技団さきがけ^B 松下 勝義^A、佐々木成朗^B、松川 宏^A

近年、摩擦顕微鏡 (FFM) などの発展した実験手法による原子スケールでの摩擦 (ナノトライボロジー) の研究が盛んに行われるようになった。グラファイトの FFM 実験では、小さい摩擦係数を伴う荷重に比例する動摩擦力や、チップの原子スケールでのスティックスリップ運動が観測された。また、実験と単原子チップによるシミュレーションで同じ FFM 像が得られた場合、実験ではシミュレーションに比べ荷重が百倍大きいという結果が報告されている。これらの結果は、実験ではグラファイト基板からグラファイトのフレークが剥離し、FFMチップがそのフレーク引きずることにより生じているのではないかと考えられている。本研究の目的はこれらの原子スケールでのグラファイトの摩擦現象の機構と、マクロなグラファイトの摩擦、潤滑特性の機構のミクロレベルでの解明にある。

今回、我々は図1に示されている単層グラファイトフレーク、単層グラファイト基板そしてフレークを駆動するチップを模したバネからなるモデルで摩擦の分子動力学シミュレーションを行った。その結果、実験で観測されているフレークの原子スケールでのスティックスリップ運動と、図2で示されている小さい摩擦係数 μ が再現された。前者は、フレークと基板が成すバルクグラファイトの積層配置にフレークが束縛され、スティックすることが原因で、後者は、フレーク内の二種のサイト間で基板から受ける力が異なり、摩擦力が打ち消しあい、フレークの感じる摩擦力が小さくなることによっている。

さらに我々は動摩擦力の駆動チップのバネ定数の基板に平行な成分と、フレークサイズに対する依存性を調べ、次の三つの性質を得た、

- バネ定数依存性：

- ー荷重を固定した場合、動摩擦力はバネ定数の増加に伴い単調に減少する。

- ーバネ定数が固定されその値が小さい場合、動摩擦力は荷重に線形に依存し、有限の凝着項を有す。他方、バネ定数が大きい場合、動摩擦力は荷重の減少に伴い、線形より速く0に近づく。

- フレークサイズ依存性：

- ーフレークサイズが大きい場合、動摩擦力は荷重へ線形に依存し、有限の凝着項を有す。他方、フレークサイズが小さい場合、動摩擦力は荷重の減少に伴い、線形より速く0に近づく。

これらの性質は、動摩擦力とフレークの運動の関係、面間相互作用と駆動バネの硬さの競合により引き起こされるフレーク運動のスティックスリップ運動と断熱的運動の間の転移の二つから理解できる。

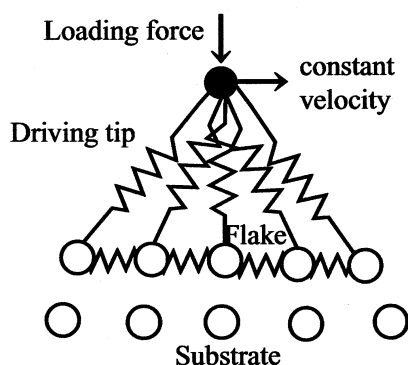


図1：模型の概念図。

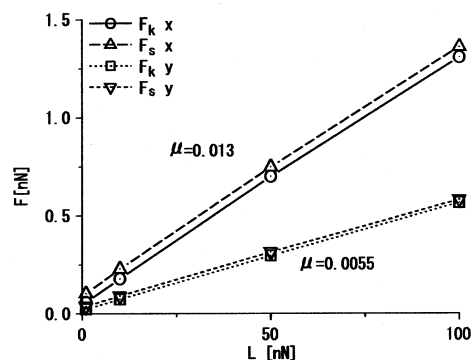


図2：摩擦力の荷重依存性。 F_k 、 F_s 、 L はそれぞれ動摩擦力と最大静摩擦力と荷重。 x と y は駆動方向を示す

拡張 2 次元 Frenkel-Kontorova モデルによる摩擦の研究

阪大院理 阿見 政宏、松川 宏

滑り摩擦の研究において、典型的なモデルの 1 つとしてあげられるものに 1 次元の Frenkel-Kontorova モデル (以下 FK モデル) がある。これは、滑りあう 2 つの表面において、一方の面を粒子どうしがバネでむすばれた atomic-chain と考え、その chain がもう一方の面が作る sinusoidal なポテンシャルの上を外力によって駆動されることで動いていくというモデルである。このモデルでは、一方の表面はもう片方の表面に比べて十分硬いと考えられ、ポテンシャルそのものは形を変えることはない。一方、松川-福山、川口-松川らによって考察された two-chain モデルは、1 次元 FK モデルの拡張であり、両方の表面を atomic-chain として扱ったものである^{[1][2]}。

上記のモデルはいずれも 1 次元系であり、滑り方向以外の自由度は取り入れられていない。そこで今回我々は、tow-chain モデルの自然な拡張として X-Y 平面内の 2 つの自由度を取り入れたモデルである拡張 2 次元 FK モデルを考え、数億シミュレーションを行った。

取り扱う運動方程式は以下のように書ける。

$$m\ddot{u}_{i,j} + m\gamma (\dot{u}_{i,j} - \langle \dot{u}_{i,j} \rangle_{i,j}) = K(u_{i+1,j} + u_{i-1,j} + u_{i,j+1} + u_{i,j-1} - 4u_{i,j}) + \sum_{i',j'}^N F_I(u_{i,j} - v_{i',j'}) + F_{\text{ex}}$$

m は質量、 γ 散逸の大きさをきめるパラメータ、 K は弾性格子のバネ定数、 $u_{i,j}$ と $v_{i',j'}$ はそれぞれ (i, j) 番目の粒子、反対側の格子の (i', j') 番目の粒子の位置座標である。 $\langle \cdot \rangle_{i,j}$ は粒子平均であり、 F_I は反対側のレイヤー内の粒子から受ける相互作用、 F_{ex} は外力である。

上記のモデルによる計算機シミュレーションの結果、静止摩擦力、動摩擦力それぞれにおいて、次元性による摩擦力の振舞いの違いが見られた。2 次元系の動摩擦力は、測定したパラメータ領域では、全ての速度において 1 次元系のそれよりも小さな値となった。また、レイヤー間の相互作用を大きくすることによって、それらの相対的な差が小さくなった。一方最大静止摩擦力は、レイヤー間相互作用を大きくすることで、 $1D > 2D$ から $1D < 2D$ と、大小関係が逆転することがわかった。

以上のように、系の次元性による振舞いの違いは、レイヤー間の相互作用の大きさと強く関係している。動摩擦力については摂動展開による解析的な手法を用いて、最大静止摩擦力についてはレイヤー内での粒子の集団の振舞いをさらに詳しく調べることによって、解析を進めるのが今後の課題である。

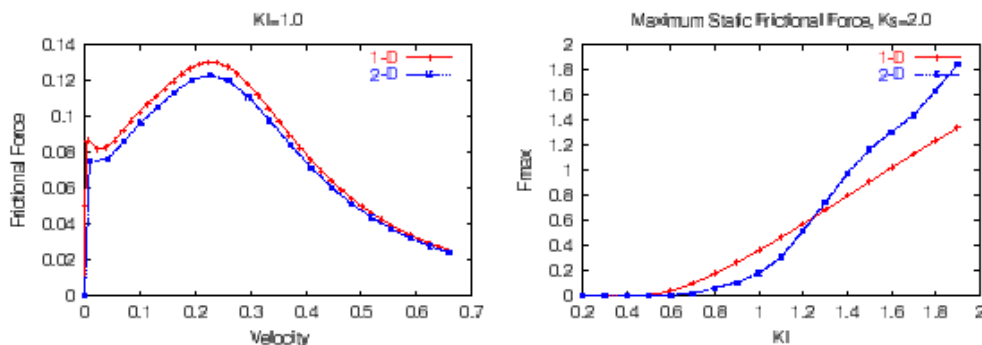


図 1: 左は動摩擦力の速度依存性と次元性による違い。右は最大静止摩擦力の K_I (レイヤー間相互作用) 依存性と次元性による違い

参考文献

- [1] H. Matsukawa and H. Fukuyama: Phys. Rev. B. 49, 17286 (1994).
- [2] T. Kawaguchi and H. Matsukawa: Phys. Rev. B. 56, 13932 (1997).

表面ナノ構造・組成が真空摩擦に及ぼす影響

物質・材料研究機構 ナノマテリアル研究所

後藤 真宏、笠原 章、大石 哲雄、土佐 正弘、吉原 一紘

真空環境下における摩擦現象が注目を集めつつある。例えば、都市社会の近代化による大規模な電力受変電システムに必要な真空遮断器、宇宙開発の飛躍的な進歩がもたらした宇宙ステーション用駆動システムの摩擦等がそれにあたる。これらはいずれも超高真空雰囲気中における摩擦特性に支配されることから、これまで一般に知られてきた大気中でのマクロな摩擦特性とは全く異なる挙動を示す。したがって、これら真空環境下における摩擦現象の知見は、それら様々な応用を実現する上で必要不可欠な要素である。しかしながら、これら真空環境下における摩擦の研究は多くは行われておらず、現象の本質の理解や材料開発の指針は完全には得られていない。

当研究所では、混合状態の異なる複合材料薄膜^{1,2)}、エキシマレーザーによる表面改質³⁾、ならびに結晶構造、組成の制御された複合材料薄膜、の3つの手法を駆使して材料の表面微細構造や表面エネルギーを制御し、真空環境下における摩擦特性との相関を調べることにより、統一的な知見を得ることを試みた。さらに、機械的、化学的研磨を利用して粗さの異なる試料を作製し、粗さの摩擦現象に与える影響を調べた。

研究成果の一例を図に示す。窒化ホウ素と銅の複合材料スパッタコーティングにより膜中に生じる内部応力をトリガーとし、真空中(10^{-4} Pa)で低温アニールを施すことにより膜表面上に窒化ホウ素のナノ凝集体を生成し、in situ で LFM を用いてマイクロトライボロジー測定を行った結果である。673K より高温の処理温度では、2つの異なる摩擦係数を有する部分が現れる。これは、表面への窒化ホウ素ナノ凝集体の成長に伴って、窒化ホウ素と銅の混合割合の異なる2つの領域が生成されるためと考えられる。673K でアニールされた薄膜の表面の一部は、摩擦係数(μ)が約0.02となり、超低摩擦現象が発現していることがわかった。つまり、内部応力を用いて窒化ホウ素と銅の混合状態を制御しナノ凝集体を創製すれば、低摩擦現象を発現させることが可能であることが示された。

本研究は、NEDO による平成14年度産業技術研究助成事業により実施されました。

(1) M.Goto et al., Thin Solid Films, 405 (2002) 300-303

(2) M.Goto et al., Applied Surface Science, 185 (2002) 172-176

(3) M.Goto et al., J.Vac.Sci.technol.A,20 (2002) 1458-1461

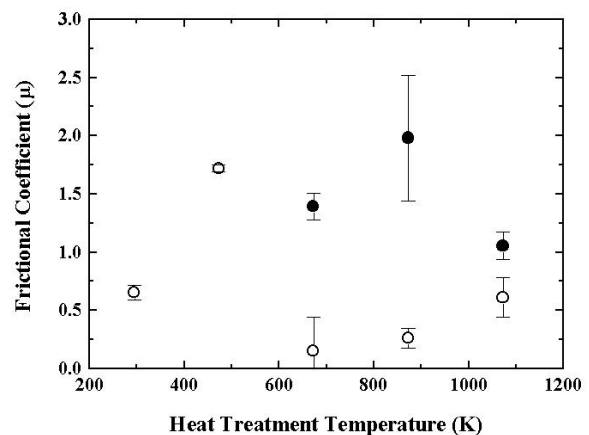


図 窒化ホウ素-銅混合薄膜のアニール温度の違いによる摩擦係数の変化 (673K 以上では、二つの領域に分かれる)

寒天ゲル-ガラス界面における接触時間による潤滑/摩擦状態の転移

北海道大学大学院理学研究科

加藤 秀章、新田 高洋、芳賀 永、川端 和重

ゲルは高分子鎖および溶媒からなる粘弾性体である。ゲルは、プリンやところてんといった食品として、また生体内の運動機構の構成要素として、様々な場面でそのソフト&ウェットな性質をいかしている。ゲルのこのような **soft material** としての機能は昨今注目を集めており、ミクロなレベルからマクロなレベルまで様々なレベルでその物性、構造解明へのアプローチがなされている。我々は、ゲルのミクロな構造により引き起こされるマクロな物性として表面すべり摩擦に注目し、その研究を進めている。我々が実際に寒天ゲル-ガラス界面における水中での静置摩擦力を測定した結果、i) 静置摩擦力は接触時間のべき乗で増加する ii) 見かけの接触面積を変えてもべき指数に変化はない iii) 荷重と共にべき指数は大きくなる (Fig.1) ことが分かった。

本報告では、水中における短い接触時間領域における、寒天ゲルの静置摩擦力の接触時間依存性を調べた。その結果を Fig.2 に示す。ある接触時間 t_c を境に静置摩擦力の接触時間依存性が大きく変わる。これは潤滑状態から摩擦状態への転移によると考えられる。また t_c は荷重に依存し、見かけの接触面積に依存しないことが分かった。このことは、この転移が界面間の単なるバルク水の **squeezing** 現象としては説明できないことを示唆している。

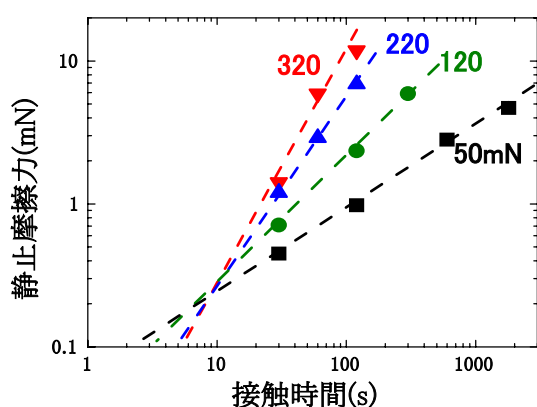


Fig. 1 静置摩擦力の接触時間依存性

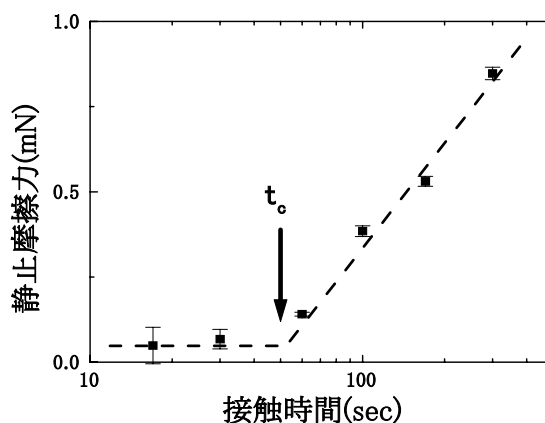


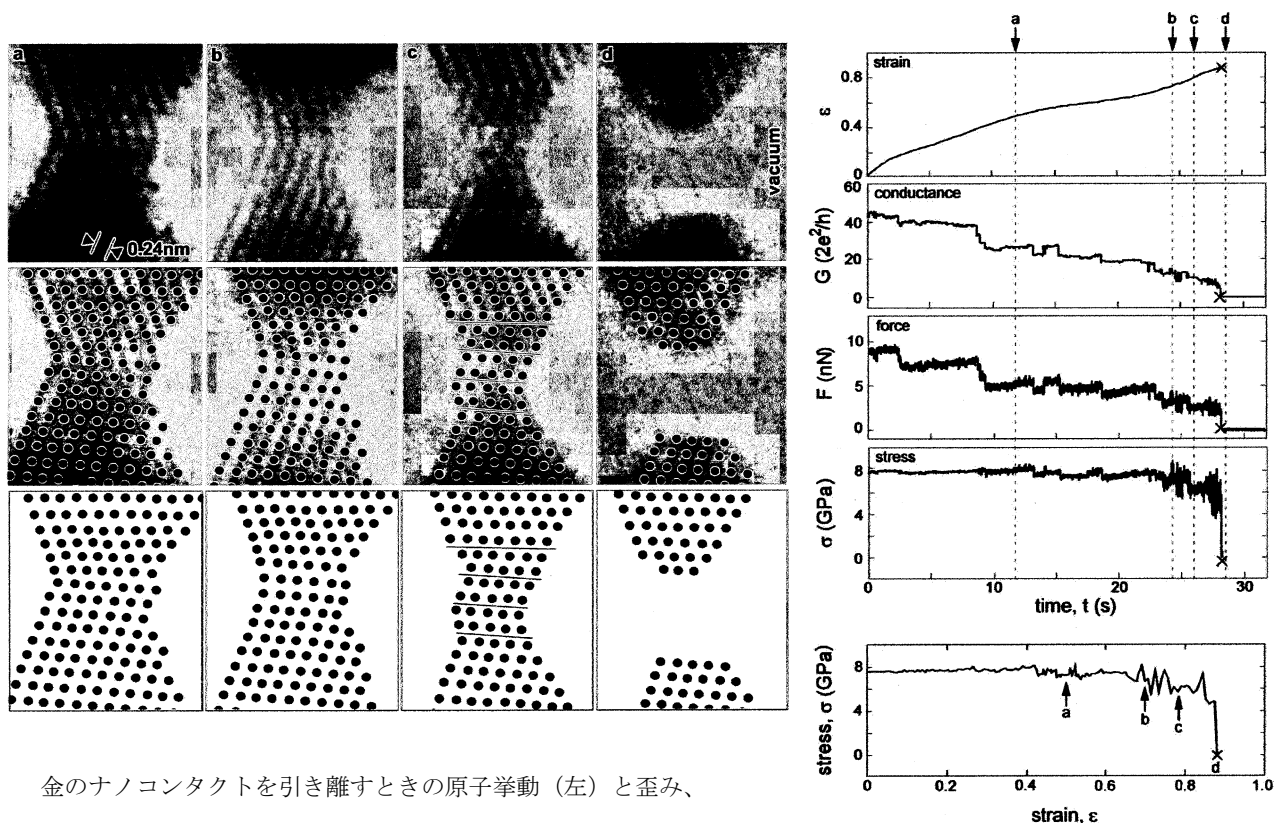
Fig. 2 静置摩擦力の接触時間依存性

原子を観て、操り、測るアトムファクトリー — ナノコンタクトの原子挙動 —

筑波大学物質工学系 木塚 徳志

摩擦を微視的にとりあつかおうとしたときに、問題となってきたことが、接触領域で実際にどのような原子的挙動が生じているのか、それがわからなかったことである。これまで、摩擦を起こす前と後の構造が観察され、摩擦が生じている最中の原子挙動が類推されてきた。極単純な条件を仮定したとしても、それは容易ではなく、また実際に確かめることもできなかった。接触している微小領域の動的な構造変化を原子配列レベルで観るといふ、摩擦の高度な制御とそれに対応する観察手法自体の空間・時間分解能が十分でなかったことが原因である。

本講演では、ナノメートルサイズの固体チップを使って摩擦やその素過程である接触を生じさせ、そのときの原子挙動をその場で観察し、力学特性と電気伝導特性を同時に調べる手法を用いた研究について紹介した。この手法の試料操作分解能は10pm、観察空間分解能は0.1nm、応力検出最小値は10pN、および電流検出最小値は10pAである。力やコンダクタンスは260 μ s間隔で記録できるようになっている。孤立したナノ構造、もしくは単一の界面を変形させ、その歪みと応力を実測して、弾性率、弾性限界、強度をはじめとする各種力学特性を直接解明できる。原子スケールの材料力学研究の実験が可能である。



金のナノコンタクトを引き離すときの原子挙動（左）と歪み、コンダクタンス、力、応力および歪みー応力関係（右）。

単一分子の摩擦計測

産業技術総合研究所ナノテクノロジー研究部門 影島 賢巳

単一の分子やクラスターが表面を運動する際に感じるポテンシャルを測定することは、摩擦の微視的解明だけではなく、結晶成長や触媒反応などにおいても非常に重要である。原子間力顕微鏡(AFM)はこのような研究を実現する可能性を持っているが、通常のカンチレバー型センサーの場合、横方向の感度は縦に比べて約2桁程度低く、横の感度を向上させるためにセンサー全体の弾性を下げれば、センサーは基板との引力で基板に引き込まれてしまい、操作対象物との力だけを取り出すことはできない。本研究では、典型的共有結合の弾性定数と同程度まで横の弾性を下げた特殊な横方向センサー(図1)

を開発し^[1]、測定対象の系としては、Si(001)表面上に吸着したC₆₀分子を取り上げた。C₆₀はSi(001)の2x1再構成構造の異方性に応じて、その異動度が方位により大きく異なることが報告されている。測定は超高真空環境で動作するAFM装置にこのセンサーを装着し、探針からのトンネル電流で基板との距離制御を行いながら、その帰還制御の時定数に比べて十分に早く探針を走査し、制御に追従しきれない探針が吸着分子に接触

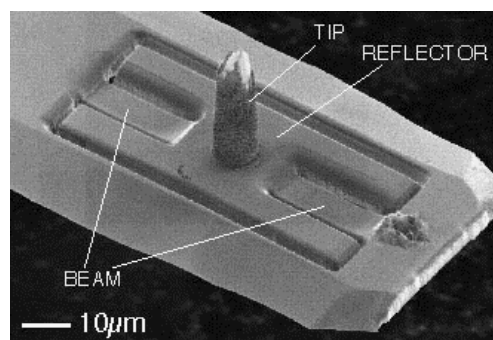


図1 横方向力センサー

する状況を実現することによって行われた。図2に分子を動かしながら走査した際のトンネル電流と同時計測された横

方向力のマッピングを示す。分子は図2(a)に示すダイマー列構造の周期で表面をホッピング的に動いており、その動きに応じて図2(b)のように2-3nN程度のスパイク状横方向力が検出された。C₆₀の弾性は、力の印加方向にもよるが、40-100N/mとされているので、分子に蓄えられた弾性エネルギーにより分子が移動するとすれば、そのしきい値は0.1-0.7eV程度ということになる。C₆₀のSi(001)への吸着については化学吸着であるとする説が有力である。さらに吸着サイトは4つのダイマーで囲まれた対称性の高いサイトであるとされているので、結合本数は複数と考えるべきであり、結合1本を切るためのエネルギーは典型的化学結合エネルギーに比べてかなり低いことになる。これは、表面上での分子の異動のバリアーが脱利のそれに比べて低い事を示唆している可能性がある^[2]。

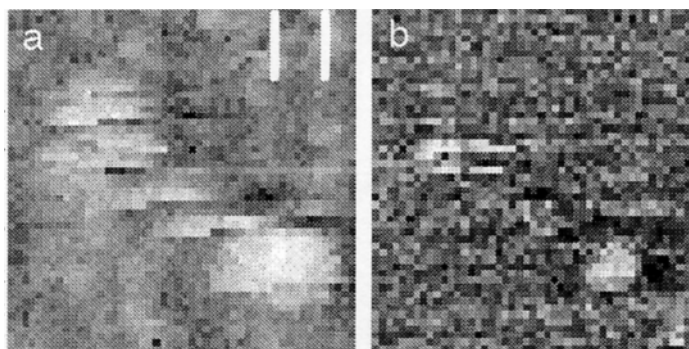


図2 (a)トンネル電流像と(b)横方向力像 5.8 nm x 5.8nm

本研究は、産業技術総合研究所の小木曾久人、徳本洋志と共同で、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)より支援を受け、実施されたものである。

[1] M. Kageshima, H. Ogiso, S. Nakano, M.A. Lantz and H. Tokumoto, Jpn. J. Appl. Phys. 38 (1999) 3958.

[2] M. Kageshima, H. Ogiso and H. Tokumoto, Surf. Sci. Lett. 157 (2002) 557.

ヘリウム吸着膜の界面摩擦

電通大 量子・物質工学科 鈴木 勝、小倉 寿人、細見 斉子

物理吸着膜の界面摩擦は、摩擦の素過程の問題にミクロな視点から実験的にも理論的にもアプローチできるとして興味を持たれている。1998年、Krim らは水晶マイクロバランスを用い、Au 基板上Kr 単層膜の摩擦力の測定を行い、固相膜の摩擦力が液相膜よりも小さいことを見出した。¹⁾

本研究ではグラファイト基板上的He 吸着膜の界面摩擦を測定し、膜構造と界面摩擦の関係を明らかにすることを目的とした。低温のヘリウム吸着膜を研究対象として選ぶ理由は、吸着膜の構造や吸着膜内の素励起等が詳細に調べられていること、また界面摩擦は基板と吸着膜との分子間力が弱い条件下で多様な性質を示すことが期待されるからである。特に後者に関して、ヘクトライト基板上的 He 吸着膜では吸着膜の面密度と温度により摩擦力が大きく変化することを報告している。²⁾

グラファイト基板上的 ^4He 吸着膜の測定結果を図1に示す。水晶マイクロバランスでは、吸着膜の摩擦力が減少し基板振動に追従しなくなると共振振動数上昇となる。面密度で35 atoms/nm² での共振振動数の上昇は ^4He 吸着膜の超流動によるものである。一方、12.5 atoms/nm² から観測されている共振振動数の上昇は ^4He 吸着膜の界面摩擦の減少によりスリップが起こったと考えることができる。 ^4He 吸着膜の摩擦力が低温で減少することはこれまでもヘクトライト基板上で観察されている。またこれは吸着膜の構造的な乱れが摩擦力を作る重要な要因であることを示唆する。

図2に面密度と図1のスリップ開始温度 T_s と超流動温度 T_c の関係を示した。図中の数字は ^4He 吸着膜の原子層の完結する面密度を表す。また、ねじれ振子による超流動温度も○で示した。³⁾ 図から明らかなようにスリップ開始温度は2層完結の面密度で不連続に変化する。測定の温度範囲では2原子層、3原子層の ^4He 吸着膜第1層は不整合固相である。したがって、吸着膜の界面摩擦にとって基板に接する吸着膜構造のみが重要なのではなく吸着膜全体の構造とも密接に関係することを意味する。

以上、グラファイト基板上的ヘリウム吸着膜も特徴的な界面摩擦を示すことが明らかになった。

- 1) C.Mak and J.Krim:PRB 58(1998)5157.
- 2) M.Hieda et al.:PRL 85(2000)5142.
- 3) P.A.Crowell and J.D.Reppy:PRB 53 (1995)2701.

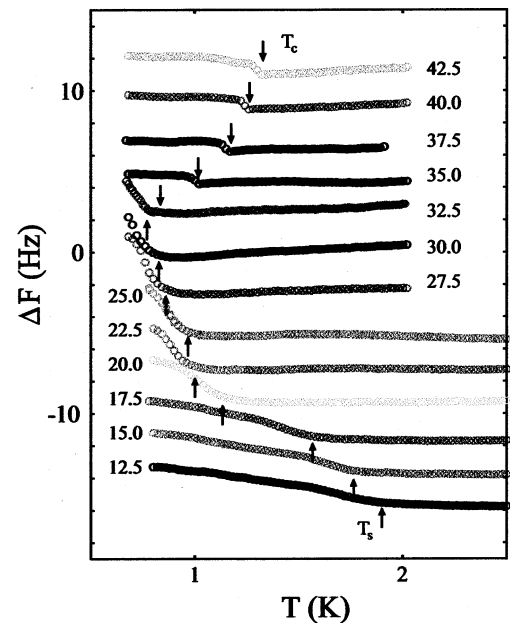


図1：共振振動数の温度変化。図中の数字は ^4He 吸着膜の面密度を表し、単位は atoms/nm² である。

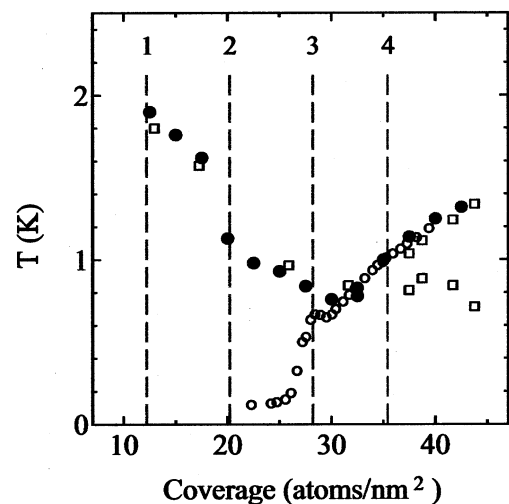


図2：面密度とスリップ開始温度。

双晶境界面の運動における待機時間効果

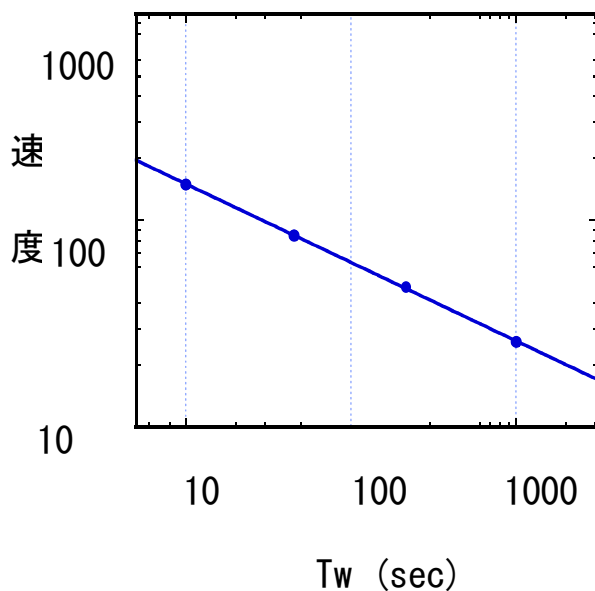
北海道大学大学院理学研究科 川端 和重

双晶変形は、転位と並び塑性変形の基本的な現象である。双晶変形をおこした結晶部分と元の部分は境界面に関して鏡映対称の関係にある。外力の印加によって、境界面は結晶内を運動する。このような境界面の運動は、双晶境界のみならず、強磁性体、強誘電体等のドメイン境界でも見られる。境界面における分子の集団運動および境界面と結晶内の不完全性と相互作用によって、外力のもとでドメイン境界は複雑な運動を示す。一方、双晶境界面が1格子間隔を進む時、境界面における凝着分子が解離と再結合をする。このような界面における分子の運動を考えると、双晶境界面の運動は、整合格子の無潤滑・無磨耗のすべり摩擦運動と非常に類似の状況にあるといえる。

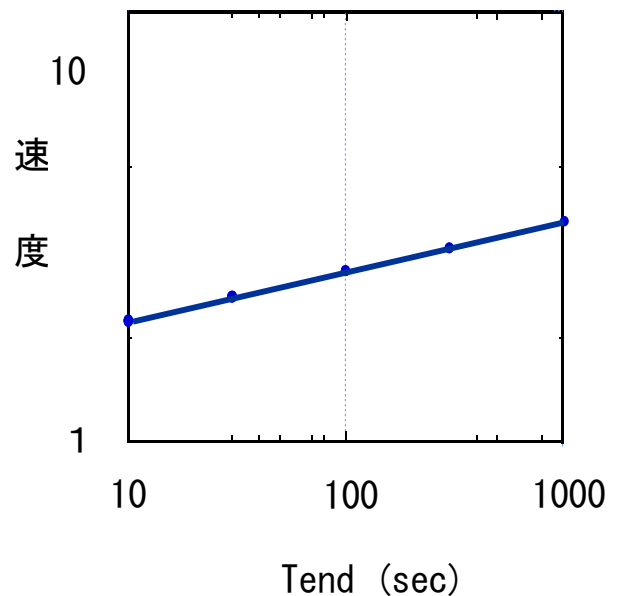
双晶境界面の運動速度〔移動度〕は、運動開始前の待機時間に強く依存する。結晶内の場所ごとに待機時間を変えることにより、この待機時間における変化が、境界面ではなく結晶の各点で起こっていることを見出した。出発点で待機させた場合は、待機時間の増加に伴って速度は減少するが、終点で待機させると、待機時間の増加に伴って出発点での速度はわずかに増加することを見出した。

これらの結果をもとに、運動速度の待機時間依存性を説明するモデルとして、結晶内の乱れによって移動度が上昇するというモデルを提案する。このモデルの要点を以下に列記する。1)境界面の押し戻し運動によって、結晶内に乱れが生じる。2)発生した乱れは、待機時間において緩和し回復する。3)乱れが多ければ多いほど移動度は増加する。

このモデルによって、待機時間の出発点と終点での移動度に与える効果の違いを定性的に説明することができる。



速度の待機時間依存性（出発点）



速度の待機時間依存性（終点）

ランダム媒質中における界面運動のMC シミュレーション解析 Monte Carlo analysis of domain-wall motion in random media

北大院理 中野 愛 根本 幸児
Hokkaido Univ. Ai Nakano Koji Nemoto

Model:ランダム媒質中における界面運動について、以下のモデルを用いてモンテカルロシミュレーションを行った。

$$\mathcal{H} = - \sum_{\langle ij \rangle} s_i s_j - \sum_i (\eta_i \sigma_i + H) s_i, \quad P(\eta) = \frac{1}{\alpha} \exp(-\eta/\alpha) \quad \eta \geq 0.$$

$$\begin{cases} s_i : \text{Ising spin (表スピン)} & \sigma_i : \text{Ising spin (裏スピン)} \\ \eta_i : \text{random local field} & H : \text{一様磁場} \end{cases}$$

このモデルは σ_i をランダムに固定すると、Random Field Ising Model に一致する。ここでは、 σ_i は固定しないで、 s_i と σ_i が大きさ η_i で強磁性的に結合しているもの考えた。格子は立方格子で、運動の方向を z 方向にとり、 x 方向と y 方向には周期境界条件を課す。また、系の最上層は $s_i = -1$ 、最下層は $s_i = +1$ に固定して界面をつくる。

Simulation:

1. s_i, σ_i すべて -1 の状態から磁場 $+H$ をかけて、表スピンを更新して界面を系の上部に向けて動かす。一定間隔おきに裏スピンも更新する。(以下の結果は毎回更新している)
2. 最上部に達したら $-H$ の磁場をかけ、元の状態に押し戻す。この時、ごみが残る。
3. ごみが残っている状態で磁場をかけないでしばらく待ち(待機時間)、 $+H$ の磁場をかけ、再度、上部に向けて動かす。
4. 待機時間を変えながら3.を繰り返す。

Results and Summary:

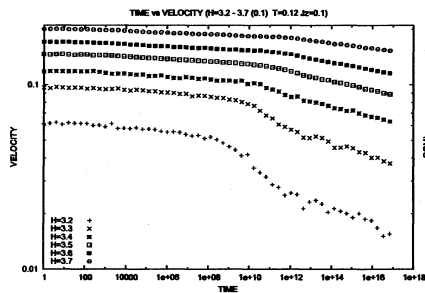


図1:速度の待機時間依存性

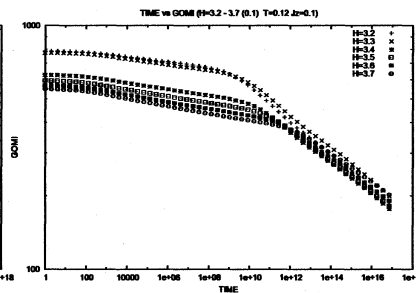


図2:ごみの数の待機時間依存性

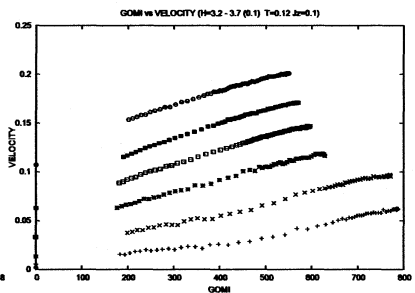


図3:速度のごみの数依存性

1. 速度の待機時間依存性:図 1 より、

$$v \propto t_w^{-\nu}, \quad \nu \simeq 0.01 \sim 0.05$$

という結果が得られ、定性的には実験とよく一致する。しかし、得られた ν の値は実験に比べて1/10程度と小さく、定量性にはまだ問題が残った。また、速度がごみの数に支配されていることもわかった。

2. ごみの数の待機時間依存性:ごみが消え始めるまでにかかる時間は、

$$\tau_{\min} \sim \tau_0 \exp(AH/T), \quad A: \text{定数.}$$

であることが示唆され、図 2 の折れ曲がる点だと考えられる。これより、ごみの数 $n(t)$ は、

$$n(t) \propto t^{-\nu}, \quad \nu = T/\alpha A$$

と表せることがわかり、ごみの数と速度の関係を合わせて考えると、速度と待機時間のグラフに折れ曲がる点があるのは、このごみの待機時間依存性を反映していることがわかった。

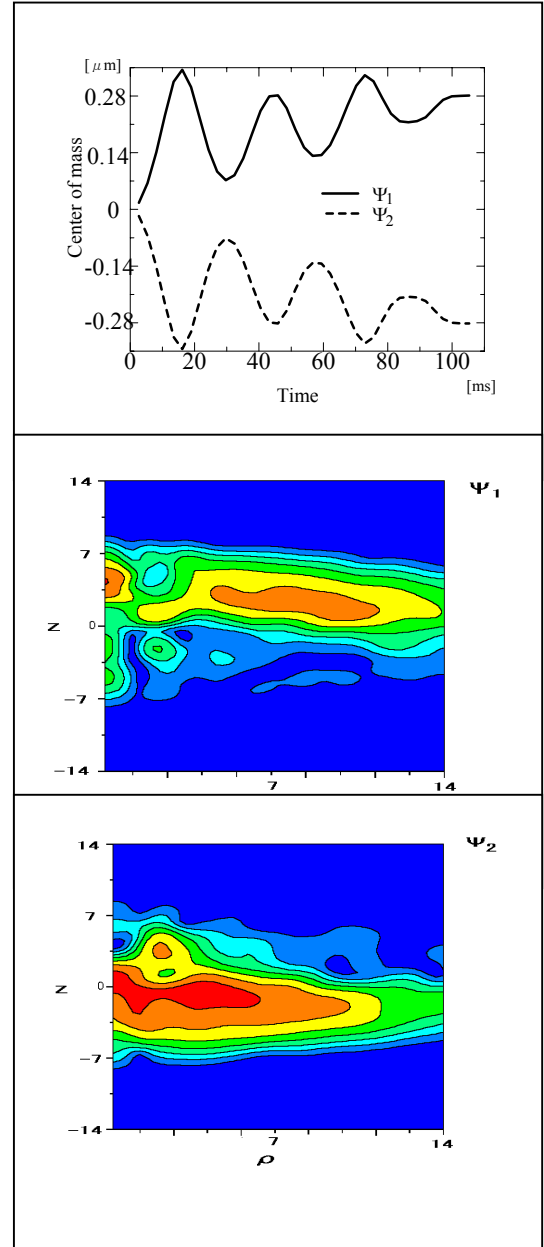
原子気体ボース凝縮体 2 成分系の波束ダイナミクスにおける“摩擦”

千葉大学大学院自然科学研究科 土居 健祐, 夏目 雄平

2 成分系の原子気体 Bose 凝縮系は量子状態とは何かという基本課題としても重要であり, 特に成分間の斥力相互作用に着目して, ゆらぎの解析が行われている. [1,2] また, JILA では, 実験において trap 中で 2 つの成分を +z, -z の逆方向にずらした後, それらの集団運動が振動的に振舞うことを報告している. [3] これに対応して, 波束ダイナミクスを数値的にシミュレーションするとそのような振舞いがきれいに再現される. [4] ところがさらに時間を進めると, 長波長の集団運動が減衰するとともに波束は次第に細かく分裂し複雑化する. これは, 扱う Gross-Pitaevskii 方程式において, 成分内成分間の相互作用が非線形であるためである. 実際, 2 つの成分 Ψ_1, Ψ_2 の質量中心を調べると, 右上図のように巨視的には, “減衰振動”とみなされる. 長い時間の後, その動きがとまるが, それはあくまでも平均としての質量中心の“静止”であって, 個々に波束を調べると, 右中図 (Ψ_1) 右下図 (Ψ_2) のようにますます細かくなってゆく. ここで, 横軸は radial 方向 ρ , 縦軸は z 方向である. この振る舞いは“量子カオスの兆候”と解釈できるが, 最も標準的には“摩擦”が生じたというべきであろう. ここでの課題は, 我々が物理学をどう捕らえるかということである.

参考文献

- [1] K.Doï and Y.Natsume, J.Phys.Soc.Jpn. 70, 167 (2001).
- [2] K.Doï and Y.Natsume, to be submitted to J.Phys. Soc.Jpn.
- [3] D.S. Hall, M.R. Matthews, J.R. Ensher, C.E. Wieman and E.A. Cornell, Phys. Rev. Lett. 81, 1539 (1998).
- [4] K.Doï and Y.Natsume, Proc. LT23 (to be published in Physica B).



超臨界流体の熱輸送における摩擦

名大 院理 三浦 裕一

臨界点近傍の流体における特異な熱輸送現象に及ぼす摩擦の効果について議論した。

気相-液相臨界点近傍において流体の等圧比熱 C_p や等温圧縮率 k_T は強く発散している。特に、圧縮率の発散的増大により流体は重力環境では自重で潰れる効果が顕著となり、垂直方向に大きな密度勾配が生じることになる。そのため平均密度を臨界値に合わせても密度が分布し、実効的に臨界点に接近できる限界は試料容器の高さに依存する。 ${}^3\text{He}$ は最も臨界密度の小さい流体であるがそれでも僅か 1 mm の高さの容器で約 3% の密度勾配ができる。そこで、宇宙ステーションにおける微小重力環境の実験を前提とした予備実験として、臨界流体特有の高速の熱輸送現象の実験を進めている。

流体が熱平衡に要する緩和時間は熱拡散係数 $D = \kappa / \rho C_p$ (熱伝導度 κ , 密度 ρ) から計算されると従来考えられて来た。臨界点に接近すると、分母が強く発散するため熱拡散係数は減少することになる。よって熱緩和時間は増加し、臨界減速と呼ばれる。しかし、これと全く逆の早い熱輸送現象が微小重力環境での実験において発見され、その機構の解明が進められている。理論(Ref.)によれば圧縮率の発散的増大により、加熱された壁近傍の熱拡散層から断熱音波が発信される機構が提唱されている。この音波はピストン波と呼ばれる。非常に臨界点に接近した場合、計算によれば、臨界減速により 10 万秒と予想される緩和時間がこの機構により 0.1 秒まで劇的に短縮される。しかし音速レベルの早い熱輸送の素過程の測定は技術的に困難であり、これまでは数秒から数百秒以上の時間平均された結果しか得られていなかった。

測定の結果、超臨界状態の ${}^3\text{He}$ において熱伝導の高速成分を見出した。しかし、理論的予想よりも信号が小さいことが分かった。ピストン機構では、熱エネルギーが加熱面で機械的エネルギー(音波)に変換されて音速で移動し、セルの対面で熱に逆変換されることになる。よって伝播の途中でバルク粘性率やシア粘性率による「摩擦」損失も考えられる。今のところ、伝播の途中で断熱音波が減衰しているのか、或いは熱エネルギーが断熱音波に変換される効率が低いのか、まだ不明である。

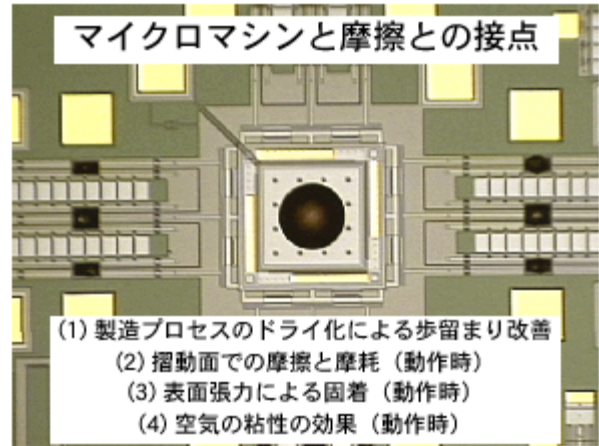
また、熱測定に対応した超臨界 CO_2 における高速密度測定も宇宙開発事業団、航空宇宙技術研究所、三菱総研、と共同で進行中である。これによりピストン波の波面を高速密度測定により検知し、直接に減衰機構を調べる予定である。

Ref: A. Onuki and R. A. Ferrell, Physica A 164, 245 (1990).

表面と摩擦に関する半導体マイクロアクチュエータの諸問題

東京大学生産技術研究所 年吉 洋

80年代後半に出現したマイクロマシニング技術も、ここ数年になって、本格的実用化段階に入ってきた。ここで言うマイクロマシンとは、半導体プロセス技術を応用して、多結晶シリコン薄膜やバルクシリコンから製作した機械構造のことである。その応用例として、1ミリメートル以下の微小なミラーを印加電圧の静電引力で駆動して光ファイバの光スイッチングを行う光マイクロマシン方面への応用や、幅数十ミクロンの流体チャネルをガラス基板上に加工して、電気泳動によるDNA解析を行ったり、胚細胞を個々にハンドリングするバイオマイクロマシンへの応用が盛んに検討されている。



右上図は、多結晶シリコンの表面マイクロマシニング技術で製作したマイクロレンズスキャナである。直径260ミクロンのレンズがXYステージの上に形成されており、その東西南北に配置されたマイクロアクチュエータによって基板面上を移動する。このレンズを透過してきた赤外光はレンズの移動量に比例した角度でスキャンされる。著者の研究室では、このメカニズムを応用した光ファイバスイッチマトリクスを検討中である。

この構造のように、機械部品がマイクロ領域まで微細化されると、重力や慣性力といった物体の体積に比例する力よりも、表面張力や摩擦力といった物体の表面積に比例する力の方が格段に影響力を増してくる。このため、マイクロマシンの製作時においては、エッチングに用いる薬品をウェット（液体）からドライ（気体）に変えることで、液体の流れや表面張力による部品の破損を極力低減する努力がなされている。特に、プロセスの最終段には、機械構造を可動にするために、犠牲層と呼ばれる材料を選択的にエッチングして除去する工程がある（犠牲層リリース）が、マイクロマシンの歩留まりはほとんどこのステップで左右されている。また、マイクロマシンの動作時においても、可動構造がほかの部材にいったん接触すると剥がれなくなったり、接触部分が摩擦によりスムーズな駆動ができなくなる等の表面力に由来する問題が顕在化してきた。さらには、流体チャネルにおいても、チャネル表面の異種材料間の表面自由エネルギーの差や、その経時変化により、流体や細胞のハンドリングが困難になる等の問題も生じている。また、高速動作するアクチュエータにとっては、空気の粘性ですら動特性を左右する要因となる。このように、摩擦や表面張力を低減することは、マイクロマシン・デバイスの本格的実用化のための急務課題となっている。

本研究会では、マイクロマシンの基本プロセスを解説し、現在問題となっている上記課題について説明を行った。

固-液界面における液体の構造形成-水素結合分子マクロクラスター-

Novel Liquid Structuring at the Solid-Liquid Interface -Hydrogen-Bonded Molecular Macrocluster-

東北大学多元物質科学研究所 水上 雅史、栗原 和枝

Tohoku University, Masashi Mizukami and Kazue Kurihara

1. はじめに

固-液界面近傍やナノメータスケールの空間に閉じこめられた液体はバルクとは異なる相挙動を示したり、秩序構造を形成することが知られている。また近年デバイスや材料の微細化が進む中で、固-液界面やナノ空間中の液体の物性の理解はますます重要となってくる。我々は固-液界面を研究する新規方法論として、表面力測定、全反射赤外吸収分光法(ATR-FTIR)、吸着等温線測定を用いることにより、シリカ表面にアルコール(カルボン酸)が水素結合により10nm以上の厚さのクラスターを形成することを見いだしてきた(我々は表面マクロクラスターと呼んでいる)。本発表ではマクロクラスターの分子レベルのキャラクタリゼーションと新規ナノ薄膜調製法への応用について紹介する。

2. アルコールマクロクラスター¹⁻⁴⁾

シクロヘキサン-エタノール2成分液体中ではエタノール濃度0.1 mol%において35 nm 以上の長距離から引力、近距離の斥力が出現した。ATR-FTIR スペクトル測定より、シリカ表面での水素結合を介したエタノールクラスター層の形成が示され、長距離引力はこの層の橋かけより説明される(図2)。また濃度上昇に伴う引力の減少は、バルク中にも形成されたクラスターとの間の分子交換によると考えている。

3. カルボン酸マクロクラスター⁵⁾

シクロヘキサン-カルボン酸2成分液体中においても同様に、表面から水素結合により直鎖状につながったクラスター形成が見いだされた。またアルコールの場合より高濃度(20mol%以上)まで長距離引力が観測された。これは溶液中のカルボン酸環状二量体との分子交換が少ないためと解釈され、マクロクラスターの動的構造の濃度依存性モデルの妥当性を支持する。

4. モノマーマクロクラスターのその場合^{5,6)}

マクロクラスターの材料設計への応用としてプロピオン酸と類似の構造をもつアクリル酸をシリカ表面でその場重合させる方法を考案した。これにより膜厚20-30 nm で分子レベルで平滑、規則構造をもつ重合膜を得ることに成功した。LB 法やスピコート法に比べて、この方法は簡便、基板形状を選ばない、低コストなどの利点を持ち、様々な材料設計への応用が期待される。

5. 文献

1) M. Mizukami, M. Moteki, and K. Kurihara, J. Am. Chem. Soc., 2002, 124, 12889-12897. 2) M. Mizukami, K. Kurihara, Chem. Lett. 1999, 1005-1006. 3) M. Mizukami, K. Kurihara, Chem. Lett. 2000, 256-257. 4) M. Mizukami, K. Kurihara, Prog. Colloid and Polymer Sci. 2001, 117, 13-17. 5) K. Kurihara, M. Mizukami, Proc. Japan Acad. 2001, 77B, 115-120. 6) K. Kurihara, M. Mizukami, S. Nakasone, T. Miyahara, Trans. MRS-J 2001, 26, 913-916.

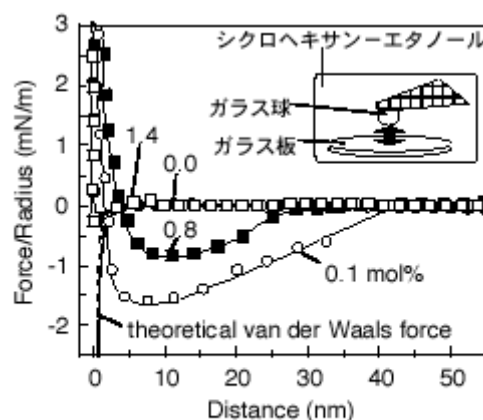


図1 シクロヘキサン-エタノール2成分液体中のガラス表面間の表面力曲線

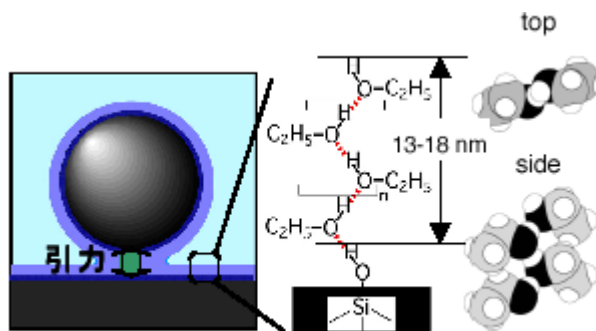


図2 エタノールマクロクラスター模式図

自律的運動系を用いた摩擦の法則

東海大・開発工・生物工 須田 齋

筋収縮の運動論は、ミオシンの力発生に伴うアクチン線維からの破断力による解離速度定数を用いることにより記述することが可能である⁽¹⁾。我々は、一般則として定着させるべく、表面自由エネルギー勾配をもったガラス基板上を水滴が自動的に運動する実験系を用いて運動則の一般論を確立することをめざしている。

速度V、発生力を(1つの結合当り) f とするとその間に成立する一般式は、

$$V = 2\ell k_0 \sinh (fd/k_B T) \quad \text{----(1)}$$

で与えられる⁽²⁾。ここで、 ℓ は結合部位間距離、 k_0 は発生力がゼロのときの1個の結合間の解離速度定数、 d は実効的破断距離 (ℓ のほぼ半分)、 k_B ボルツマン定数、 T 絶対温度である。これは、発生力が自らの結合を切りつつ、前進運動をするというアイデアに基づいて導かれている。もし、 f を2接触物体の滑り運動を引き起こす外力とすると(1)式は、摩擦の一般則に代わる。

液滴の発生力は、ガラスマイクロニードルを用い直接的方法で測定した。結果を図1に示す。一般に発生力はヤングの式によって与えられるように液滴の前方と後方での接触角の差が確かに液滴の運動の発生力の起源であることを示している。また、液滴が滑り運動を行うときの力と速度との関係は、直線的でなく、式(1)に非常によく適合していた。結果を図2に示す。この結果は、液滴とガラス基板との界面での相互作用が流体力学的な連続体モデルに矛盾し、境界面では水滴は約 $1\mu\text{m}$ のドメイン構造の集合体からなるガラス基板と固体-固体相互作用と見なすべきであることを意味している。その個々のドメインの協調的な逐次的な結合と破断の繰り返しの結果として液滴全体の滑り運動を引き起こしているというのが最もありそうな描像である。

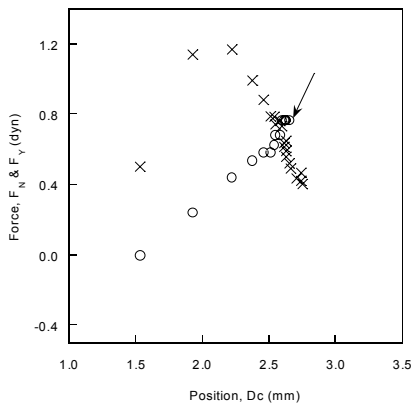


図1 発生力の直接測定図
○は、ガラス針の力、Xは、ヤングの式から計算した値である。矢印の点で両者の力が釣り合っている。

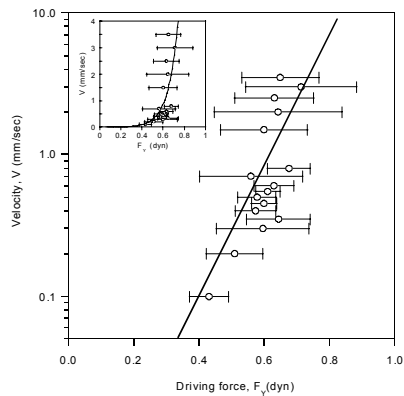


図2 発生力と速度との関係
実線は、式(1)で曲線回帰した。

【文献】

- (1) H. Suda, Langmuir, Vol.17, No.20 (2001) 6045-6047.
- (2) 須田 齋, トライボロジスト, 46巻4号 (2001) 324-330.

物性研究所談話会

日時：2003年5月12日（月） 午後1時30分～2時30分

場所：物性研究所 6階 A615号室

講師：辻井 宏之

(理化学研究所低温物理研究室)

題目：二次元スピン系 $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ の強磁場比熱

要旨：

二次元スピン系 $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ は、スピン1/2のダイマー二次元面内で直交した Shastry-Sutherland 模型が実現している物質であり、その磁化曲線には、飽和磁化の1/8、1/4、1/3に磁化プラトーが観測されている。これらのプラトー相では、スピンの励起にギャップが存在し、一方、非プラトー相では、磁気励起はギャップを持たないことが理論的に予測される。

我々は、 $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ の 1/8 プラトー相及びその近傍の磁氣的性質を明らかにするため、33T までの強磁場中で比熱測定を行った。有限磁化の現れる約 21T から 1/8 プラトーまでの磁場では、それ以下の磁場と同様にギャップを持つことが示された。これは単純な理論的予測とは矛盾するが、NMR 及び ESR の結果と合致している。1/8 プラトー相では、全スピン数の 1/8 からなる二次元ボース気体が形成され、さらに、1/8 プラトー以上の磁場では、このスピン気体の状態が保たれたのち、低温で磁気秩序を起こすことがわかった。^[1]

講演では、これらの結果の報告とともに、比熱測定を行った米国国立強磁場研究所の施設の紹介も行いたい。

[1] H. Tsujii, C. R. Rotundu, B. Andraka, Y. Takano, H. Kageyama, and Y. Ueda, cond-mat/0301509.

日時：2003年5月13日（火） 午後1時30分～2時30分

場所：物性研究所 6階 A615号室

講師：Dr. Marzena H. Szymanska

(Theory of Condensed Matter Group, Cavendish Laboratory, University of Cambridge)

題目：Polariton condensation and lasing - decoherence driven crossover

要旨：

There are two distinct systems where the quantum coherence has been observed on the macroscopic scale: the laser and Bose Einstein Condensation (BEC). Although the physics underlying both processes is fundamentally different they both potentially could be observed in optical microcavities and could be a source of a coherent light.

In the first part of my talk I will review recent experiments concerned with exciton and polariton BEC which reported some interesting novel effects, theoretically still not understood. Polariton condensate can not be directly probed, leaving luminescence as the only source of information about the state, and thus it can be easily misinterpreted with traditional laser, where coherence exists in the photon field alone.

An important question: "how to distinguish polariton condensate from a laser" is closely connected with decoherence phenomena. In the second part of my talk I will discuss our theory of polariton condensation in the

presence of decoherence which allows to establish a crossover to "laser" in the same framework.

We study a model of a photon mode dipole-coupled to a medium of two-level oscillators (excitons) in a microcavity in the presence of dephasing processes introduced by coupling to external baths. Decoherence processes can be classified as pair-breaking or non-pair-breaking in analogy with magnetic or non-magnetic impurities in superconductors. In the absence of dephasing, the ground state of the model is a polariton condensate with a gap in the excitation spectrum. Increase of the pair-breaking decoherence reduces the gap and the conventional laser regime is obtained in a way that demonstrates its close analogy to a gapless superconductor. In contrast, weak non-pair-breaking processes have no qualitative effect on the condensate or the existence of a gap, although they lead to inhomogeneous broadening of the excitations.

日時：2003年5月26日（月） 午後4時～5時

場所：物性研究所6階 A615号室

講師：Stanley Tozer

（物性研究所・米国国立強磁場研究所）

題目：Realization of the FFLO State in CeCoIn_5 at Ambient Pressure: Simple Lesson about Extreme Conditions' Research

要旨：

A brief introduction to recent high pressure transport and magnetization experiments in pulsed and dc magnetic fields and some promising initial results will be followed by a presentation of our ambient pressure studies of the FFLO state recently found in CeCoIn_5 . This phase was first predicted in 1964 by Fulde & Ferrell and, independently, Larkin & Ovchinnikov. They showed that, in the paramagnetic limit, an applied magnetic field H coupling to the individual electron spins of superconducting Cooper pairs could induce a phase transition from a uniform to a novel spatially varying superconducting phase. Buzdin and Brison predicted in 1996 that, within this FFLO phase, solutions corresponding to higher Landau level states of the order parameter should occur. I will present heat capacity measurements on the layered structure heavy fermion superconductor CeCoIn_5 revealing a phase transition within the standard BCS superconducting state at high field and low temperature for fields parallel to the layers. Within this wedge of phase space, our magnetization measurements display a cascade of first order phase transitions.

The observation of steps in the magnetization is a result of orbital quantization of the order parameter and, with the heat capacity measurements, provides the first direct evidence of the existence of the FFLO phase.

The work presented is the result of an extensive collaboration funded by an NHMFL In-house research proposal, the State of Florida, the Department of Energy, and the National Science Foundation. I would like to acknowledge my colleagues H.A. Radovan, T.P. Murphy, S.T. Hannahs, E.C. Palm, N.A. Fortune, C. Agosta, I. Mihut, C. Catalin, D. Hall, J. Singleton, and A. Bangura.

日時：2003年6月17日（火） 午後3時～4時

場所：物性研究所6階 A615号室

講師：Otto Glatter

(Institute of Chemistry, University of Graz, AUSTRIA)

題目：Recent Developments in Small-Angle Scattering: Application to Surfactant Systems

(小角散乱法の最近の発展：界面活性剤系への応用)

要旨：

In the case of very dilute solutions there exists a direct relation between the particle and its scattering data by means of a Fourier transformation. Increasing the concentration leads to interaction effects that cannot be neglected and make the evaluation of small-angle scattering data much more complicated. Scattering curves $I(q)$ from semidilute systems show typically a decreased forward scattering followed by an interaction peak. The corresponding Fourier transform, the $p(r)$ function, is dominated by strong oscillations making a shape determination impossible; its second maximum is often misinterpreted as the next neighbours position.

We have developed a new method to determine size and shape of particulate systems over a wide concentration regime. In addition to intraparticle scattering interparticle scattering is taken into consideration. The former can be expressed by the so-called form factor $P(q)$. The latter corresponds to the structure factor $S(q)$ that is necessary for the description of interacting systems and depends on the relative locations of the individual particles. Our generalized indirect Fourier transformation (GIFT) method enables us to determine the form factor and the structure factor simultaneously from experimental data with a minimum of a priori information. The form factor is absolutely model free but the structure factor must be described by models taking into account excluded volume effects, different interaction potentials and polydispersity.

Latest developments concern a similar description for ordered lamellar stack. For such systems we can not only determine the repeat distance as usual, but also find the flexibility, thickness and internal structure of the bilayers. Different practical applications to SANS and SAXS data will demonstrate the new possibilities of data evaluation and its limitations.

日時：2003年7月7日（月） 午後1時30分～2時30分

場所：物性研究所6階 A615号室

講師：嶽山 正二郎

(東京大学物性研究所)

題目：偏光選択励起四光波混合非線形分光による 半導体量子構造での複合励起

要旨：

光学材料のレーザー応用などを考えるとまずは強い発光なのであるが、発光などのデコヒーレント状態の情報はその物理的起源を知るのに限界がある。非線形分光手法である四光波混合計測は短時間分光手法の中でもコヒーレント励起状態に関して有効な情報を与えてくれる。特に、入射2光子の偏光選択励起により素励起の選択および同定が可能であり、発光情報を力強く後押ししてくれる。我々は、II-VI族化合物半導体量子構造で見られる強いがしかし多様で特異な様相を示すバンド端発光とそれに関与するであろう励起子分子、荷電励起子などの複合励起状態に着目した。フェムト秒レーザーを用いた四光波混合計測を光励起強度、偏光の組み合わせ、磁場、温度を変えた系統的实验をいくつかの量子構造に適

用し、励起子分子の選択的励起と励起子との量子ビート、強磁場下で顕著になる反結合励起子分子のスピン状態とその位相緩和に関する情報を得た。また、スペクトル分解四光波混合によって励起子と励起子分子の結合・反結合状態の磁場下での振舞いを明らかにできた。すなわち、励起子分子のスピン状態を含めた内部構造を明らかにすることができたと言える。また、荷電励起子の選択励起と励起子との量子ビートの特徴も理解することができた。励起強度依存性から荷電励起子から励起子分子への移行過程の観測にも成功した。これらの実験により希薄磁性半導体量子井戸で見られる特異なバンド端発光についてかなり解明されてきたので、それらを紹介する。

日時：2003年7月9日（月） 午後1時30分～2時30分

場所：物性研究所6階 A614号室

講師：Cun-Zheng Ning

(Center for Nanotechnology, NASA Ames Research Center, USA)

題目：Many-Body Effects and Lineshape of Intersubband Transitions in Semiconductor Quantum Wells

要旨：

Intersubband transitions in semiconductor quantum wells are physical basis for some of the most important optoelectronic devices developed in the last decade such as quantum cascade lasers and quantum infrared photodetectors. At the same time, many-body Coulomb interaction between electrons in the subbands also leads to fascinating collective excitations such as the Fermi-edge singularity and intersubband plasmon. In this talk, I will show how the interplay of such collective excitations changes the intersubband absorption spectrum dramatically.

I will begin with the density-matrix theory for intersubband transitions including the first- and second-order Coulomb interaction. While the first-order interaction contains the intersubband “exciton”, exchange self-energy, and the intersubband plasmon, the second order contains both in- and out-scatterings in the off-diagonal matrix element equation which lead to optical dephasing. The intersubband absorption spectral features are determined self-consistently by the collective excitations, the second-order scatterings, and the non-parabolicity.

Finally I will show that recently experimental measurements of the infrared absorption spectra are well explained by the theory described above after taking into account interface-roughness and LO-phonon scatterings.

受 賞

お知らせ

木下名誉教授及び福山教授（元所長）については、柏市一般講演会（10月11日（土）13：00～15：30
場所：アミュゼ柏）で受賞講演を行います。

木下名誉教授 日本学士院賞受賞

元物性研究所教授、東京大学名誉教授の木下 實 先生が、伊藤公一先生（大阪市立科学館長・大阪市立大学名誉教授）、岩村 秀 先生（放送大学教授・東京大学名誉教授）とともに、平成 15 年度の日本学士院賞を共同受賞されることが決まりました。

学士院賞は学術上特にすぐれた論文・著書その他研究業績を顕彰するものですが、「分子性磁性体の研究」が評価されたものです。

木下先生のもっとも著名な業績は、物性研究所在職時の 1991 年に、強磁性特性をもつ有機遊離基の構造を精緻に解析して探索の方針を定め、有機強磁性体単結晶（*p*-ニトロフェニルニトロニルニトロキシド[p-NPNN]の β 相、 $T_c=0.6$ K）を、世界に先駆けて発見されたことです。当時の常識では、有機物は強磁性を持つことは不可能とされていたので、この発見は衝撃的でした。木下先生は、また、共同受賞された、伊藤先生、岩村先生と並んで、日本における分子磁性研究を長年リードされるとともに、分子性超伝導体の研究等、有機物性研究一般に関しても、多大な貢献をはたされています。



木下 名誉教授

参考文献

Bulk ferromagnetism in the β -phase crystal of the *p*-nitrophenyl nitronyl nitroxide radical M. Tamura, Y. Nakazawa, D. Shiomi, K. Nozawa, Y. Hosokoshi, M. Ishikawa, M. Takahashi and M. Kinoshita, Chem. Phys. Lett., 186, 401 (1991)

福山教授 紫綬褒章受章

物性研究所の福山秀敏教授が、平成 15 年春の紫綬褒章を受章されました。紫綬褒章は、学術・芸術分野を対象にした褒章ですが、福山先生は〈物性理論学研究〉に対する貢献により、受章されました。

福山先生は、一次元電子系が格子振動と結合したパイエルス系の集団励起による伝導、アンダーソン局在の問題に対する電子間相互作用の効果をはじめとする量子輸送現象の理論的解明などに多くの貢献をされてきました。また、高温超伝導に対してもスピギャップの重要性をいち早く指摘し、理論と実験の両面に対して指導的役割を果たしてこられました。

なお、福山先生は平成 11 年度から 14 年度まで物性研究所長として研究所の運営に当たってこられました。



福山秀敏 教授

上田(寛)教授・磯部技官 日本物理学会第 8 回論文賞受賞

物性研究所の上田寛教授と磯部正彦技官が、日本物理学会第 8 回論文賞を受賞されました。受賞の対象となりました論文は、

題 目 : Magnetic Susceptibility of Quasi-One-Dimensional Compound α' - NaV_2O_5
— Possible Spin-Peierls Compound with High Critical Temperature of 34 K

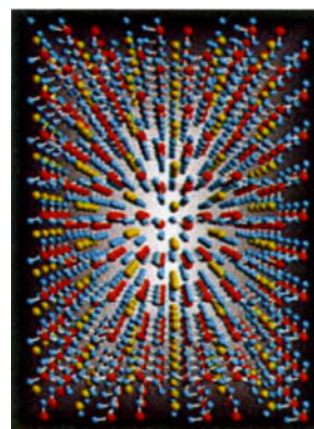
著 者 : Masahiko Isobe (磯部正彦)、 Yutaka Ueda (上田寛)

掲 載 誌 : JPSJ, Vol. 65 No.5 (1996) 1178-1181

です。これは無機強相関電子系物質の一つである α' - NaV_2O_5 が低温においてスピン-重項状態へと相転移することを最初に報告した論文であり、その後の爆発的な研究の発端となったものです。当初、その低次元的な結晶構造から類推して、無機物としては CuGeO_3 に次ぐ 2 例目のスピン・パイエルス物質の可能性が指摘されましたが、その後の詳細な実験と理論解析から、電荷の無秩序状態から秩序状態への新しいタイプの相転移であることが判明しました。本論文は、その後盛んに行われてきたスピン・電荷・格子の協力現象による新奇な相転移研究の引き金となったもので、その引用回数は極めて多く (250 以上)、また、世界的に研究が展開されてきたことにも著者らによる研究の価値の高さが現れており、論文賞にふさわしいと判断されました。



平成15年3月30日、授賞式で行われた仙台国際センターにおいて授賞式直後に撮影



α' - NaV_2O_5 の結晶構造

富田助手 井上研究奨励賞受賞

物性研究所の富田裕介助手が第 19 回井上研究奨励賞を受賞されました。井上研究奨励賞は自然科学のすべての分野において新しい領域を開拓する可能性のある優れた博士論文の提出者に対して贈られるものです。

受賞対象となりました博士論文は、「Probability-Changing Cluster Algorithm for the Study of Critical Phenomena (確率変動クラスターアルゴリズムによる臨界現象の研究)」で、研究指導は岡部豊教授(都立大院理)があたられました。



富田裕介 助手

本論文で提唱された確率変動クラスターアルゴリズムは、いくつかのデータ点で臨界現象を解析する従来のアルゴリズムに対し、1つのデータ点で解析することのできる効率のよい数値計算方法です。

このアルゴリズムによる研究から、2次元希釈イジングモデル、2次元 q 状態クロックモデルなどで新しい知見が得られました。

この研究が今後も計算物理学の発展に貢献する卓越した研究として評価され、受賞にふさわしいと判断されました。

東京大学物性研究所の教官公募の通知

下記により助教授又は教授の公募をいたします。適任者の推薦、希望者の応募をお願いいたします。

1. 研究部門名及び公募人員数

先端領域研究部門 助教授（又は教授） 1名

2. 研究内容

物性研究所先端領域研究部門では表面・界面・人工物質・極微細系を対象とする物性研究を推進している。本公募では、これらに関連する分野における独創的な研究を遂行し、ナノスケール領域で展開される量子物性を探求する意欲的な研究者を求めます。

3. 任 期

助教授：任期は10年とする。ただし再任（期間10年）は可とし、1回を限度とする。なお、教授昇任審査は定期的（約3年毎）に行われる。

教 授：任期は10年とする。ただし再任（期間10年）は可。再任回数に制限はない。

なお、任期制の詳細については下記問合せ先までお尋ねください。

4. 公募締切

平成15年10月31日（金）必着

5. 就任時期

決定後なるべく早い時期を希望する。

6. 提出書類

（イ）推薦の場合：

- 推薦書（健康に関する所見を含む）
- 履歴書（略歴で結構です）
- 業績論文リスト（必ずタイプし、特に重要な論文に○印をつけること）
- 主要論文の別刷（5編以内）
- 研究業績の概要（2000字程度）
- 着任後の研究計画書（2000字程度）

（ロ）応募の場合

- 履歴書（略歴で結構です）
- 業績論文リスト（必ずタイプし、特に重要な論文に○印をつけること）
- 主要論文の別刷（5編以内）
- 研究業績の概要（2000字程度）
- 着任後の研究計画書（2000字程度）
- 健康診断書
- 所属の長などによる本人に関する意見書（宛先へ直送）

7. 書類提出先

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5-1-5 東京大学柏地区庶務課人事掛

電話 04(7136)3205 e-mail jinji-kakari@issp.u-tokyo.ac.jp

8. 本件に関する問い合わせ先

東京大学物性研究所 先端領域研究部門 家 泰弘

電話 04(7136)3300 e-mail iye@issp.u-tokyo.ac.jp

9. 注意事項

「先端領域研究部門助教授（教授）応募書類在中」、又は「意見書在中」の旨を朱書し、郵送の場合は書留で郵送のこと。

10. 選考方法

東京大学物性研究所教授会で審査決定いたします。ただし、適任者のない場合は、決定を保留いたします。

平成15年8月1日

東京大学物性研究所長

上 田 和 夫

下記により教授の公募をいたします。適任者の推薦、希望者の応募をお願いいたします。

1. 研究部門名等及び公募人員数

極限環境物性研究部門 教授 1名

2. 研究内容

100T 級ロングパルス磁場発生技術の開発と、高圧、極低温を組み合わせた測定系の構築。その環境下で量子スピ
ン系など磁性分野での物性研究を意欲的に推進する研究者を求める。

3. 任 期

任期は10年とする。ただし再任（期間10年）は可。再任回数に制限はない。なお、任期制の詳細については下記問
合わせ先までお尋ねください。

4. 公募締切

平成15年10月31日（金）必着

5. 就任時期

決定後なるべく早い時期を希望する。

6. 提出書類

（イ）推薦の場合：

- 推薦書（健康に関する所見を含む）
- 履歴書（略歴で結構です）
- 業績リスト（必ずタイプし、特に重要な論文に○印をつけること）
- 主要論文の別刷（5編以内）
- 研究業績の概要（2000字程度）
- 着任後の研究計画書（2000字程度）

（ロ）応募の場合

- 履歴書（略歴で結構です）
- 業績リスト（必ずタイプし、特に重要な論文に○印をつけること）
- 主要論文の別刷（5編以内）
- 研究業績の概要（2000字程度）
- 着任後の研究計画書（2000字程度）
- 健康診断書
- 所属の長などによる本人に関する意見書（宛先へ直送）

7. 書類提出先

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5-1-5 東京大学柏地区庶務課人事掛
電話 04(7136)3205 e-mail jinji-kakari@issp.u-tokyo.ac.jp

8. 本件に関する問い合わせ先

東京大学物性研究所 極限環境物性研究部門 嶽山正二郎
電話 04(7136)3335 e-mail takeyama@issp.u-tokyo.ac.jp

9. 注意事項

「極限環境物性研究部門教授応募書類在中」、又は「意見書在中」の旨を朱書し、郵送の場合は書留で郵
送のこと。

10. 選考方法

東京大学物性研究所教授会で審査決定いたします。ただし、適任者のない場合は、決定を保留いたします。

平成15年8月1日

東京大学物性研究所長
上 田 和 夫

下記により助教授の公募をいたします。適任者の推薦、希望者の応募をお願いいたします。

1. 研究部門名及び公募人員数

附属中性子科学研究施設 助教授 1名

当施設は日本原子力研究所研究用原子炉（JRR-3M）を用いた中性子散乱実験の全国共同利用研究施設であり、茨城県東海村に設置されている。そのため主たる勤務地は同設置場所である。

2. 研究内容

多様な中性子散乱装置を駆使して物性研究を強力に推進し、かつパルス源も含めた中性子散乱実験法の開発研究に意欲のある若手研究者を希望する。本所は全国共同利用研究機関であり、かつ日米科学技術協力事業「中性子散乱」の実施機関でもあるため、これらに関連する業務を分担して頂く。

3. 任期

任期は10年とする。ただし再任(期間10年)は可とし、1回を限度とする。なお、教授昇任審査は定期的(約3年毎)に行われる。当公募による研究室には、一期目の任期の前半5年間は助手の着任は無い見込みである。任期制の詳細については下記問い合わせ先までお尋ねください。

4. 公募締切

平成15年10月31日（金）必着

5. 就任時期

決定後なるべく早い時期を希望する。

6. 提出書類

(イ) 推薦の場合：

- 推薦書（健康に関する所見を含む）
- 履歴書（略歴で結構です）
- 業績論文リスト（必ずタイプし、特に重要な論文に○印をつけること）
- 主要論文の別刷（5編以内）
- 研究業績の概要（2000字程度）
- 着任後の研究計画書（2000字程度）

(ロ) 応募の場合

- 履歴書（略歴で結構です）
- 業績論文リスト（必ずタイプし、特に重要な論文に○印をつけること）
- 主要論文の別刷（5編以内）
- 研究業績の概要（2000字程度）
- 着任後の研究計画書（2000字程度）
- 健康診断書
- 所属の長などによる本人に関する意見書（宛先へ直送）

7. 書類提出先

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5-1-5 東京大学柏地区庶務課人事掛
電話 04(7136) 3205 e-mail jinji-kakari@issp.u-tokyo.ac.jp

8. 本件に関する問い合わせ先

〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方 106-1
東京大学物性研究所附属中性子科学研究施設 吉澤 英樹
電話 (029)287-8902 ファックス (029)283-3922
e-mail yoshi@issp.u-tokyo.ac.jp

9. 注意事項

「附属中性子科学研究施設助教授応募書類在中」、又は「意見書在中」の旨を朱書し、郵送の場合は書留で郵送のこと。

10. 選考方法

東京大学物性研究所教授会で審査決定いたします。ただし、適任者のない場合は、決定を保留いたします。

平成15年8月1日

東京大学物性研究所長
上 田 和 夫

下記により助教授の公募をいたします。適任者の推薦、希望者の応募をお願いいたします。

1. 研究部門名及び公募人員数

附属物質設計評価施設 助教授 1名

2. 研究内容

計算物性物理。物性物理学・統計物理学の分野で計算物理的手法を新たに開発し、適用して研究を進めることに意欲的な研究者。なお、物性研究所共同利用スーパーコンピュータシステムの管理運用も担当できる方を希望する。

3. 任 期

任期は10年とする。ただし再任(期間10年)は可とし、1回を限度とする。なお、教授昇任審査は定期的(約3年毎)に行われる。任期制の詳細については下記問い合わせ先までお尋ねください。

4. 公募締切

平成15年10月31日(金) 必着

5. 就任時期

決定後なるべく早い時期を希望する。

6. 提出書類

(イ) 推薦の場合：

- 推薦書(健康に関する所見を含む)
- 履歴書(略歴で結構です)
- 業績論文リスト(必ずタイプし、特に重要な論文に○印をつけること)
- 主要論文の別刷(5編以内)
- 研究業績の概要(2000字程度)
- 着任後の研究計画書(2000字程度)

(ロ) 応募の場合

- 履歴書(略歴で結構です)
- 業績論文リスト(必ずタイプし、特に重要な論文に○印をつけること)
- 主要論文の別刷(5編以内)
- 研究業績の概要(2000字程度)
- 着任後の研究計画書(2000字程度)
- 健康診断書
- 所属の長などによる本人に関する意見書(宛先へ直送)

7. 書類提出先

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5-1-5 東京大学柏地区庶務課人事掛
電話 04(7136) 3205 e-mail jinji-kakari@issp.u-tokyo.ac.jp

8. 本件に関する問い合わせ先

東京大学物性研究所附属物質設計評価施設 高山 一
電話・FAX 04(7136)3440 e-mail takayama@issp.u-tokyo.ac.jp

9. 注意事項

「附属物質設計評価施設助教授応募書類在中」、又は「意見書在中」の旨を朱書し、郵送の場合は書留で郵送のこと。

10. 選考方法

東京大学物性研究所教授会で審査決定いたします。ただし、適任者のない場合は、決定を保留いたします。

平成15年8月1日

東京大学物性研究所長
上 田 和 夫

本研究所において、テーマ（分野）「限定型」及びテーマ（分野）自体を提案いただく「提案型」の客員教授（助教授）を下記のとおり公募します。

I. 公募の区分

1. 「限定型」

(1) テーマ（分野）

- a : 金属水素系の高圧低温相の研究
- b : 金属表面合金の表面電子状態
- c : 超高压下での比熱測定
- d : 回転超流動研究
- e : 高輝度光源アンジュレータ・ビームラインの開発・研究
- f : 中性子散乱
- g : 無機強相関物質開発研究

(2) 公募人員

- a : 教授 1名 c : 助教授 1名 e : 教授 1名 g : 助教授 1名
- b : 助教授 1名 d : 助教授 1名 f : 助教授 1名

(3) 期 間

- a c e : 平成16年4月1日～平成16年9月30日（前期）
- b g : 平成16年10月1日～平成17年3月31日（後期）
- d f : 平成16年4月1日～平成17年3月31日（通年）

(4) 研究条件

- ① 研究室の共用、その他可能な範囲で研究上の便宜を計る。
- ② 研究費及び本研究所との間の往復旅費、滞在費を支給する。
- ③ なるべく多くの時間を本研究所における研究活動にあてること。

2. 「提案型」

(1) テーマ（分野）

応募者自らテーマ（分野）を提案

(2) 公募人員 教授または助教授 2名

(3) 期 間 通年：平成15年4月1日～平成16年3月31日 半期：平成15年4月1日～平成15年9月30日 または 平成15年10月1日～平成16年3月31日

(4) 研究条件

- ① 研究室の共用、その他可能な範囲で研究上の便宜を計る。
- ② 研究費として通年で最大300万円（理論150万円）、及び本研究所との間の往復旅費、滞在費を支給する。
- ③ 滞在日数は半期で1ヶ月以上をめどとする。

3. 参考として、本研究所に外国人客員研究員として招へいを予定している者は下記のとおりである。

氏 名	国 籍	所 属	招へい期間	担当所員
BOOS, Herman	ロシア連邦	Institute for High Energy Physics	H15.9～16.2	高橋(實)
SAMPATHKUMARAN, Echur	インド共和国	Tata Institute of Fundamental Research	H15.8～16.4	上床
BEHNIA, Kamran	フランス共和国	Laboratoire de Physique Quantique (UPR5-CNRS) Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles(ESPCI)	H16.5～16.7	松田
TANATAR, Makariy	ウクライナ	Institute of Surface Chemistry, National Academy of Science of Ukraine	H16.8～17.1	長田
KOJIMA, Haruo	アメリカ合衆国	Serin Physics Laboratory, Rutgers University	H16.9～16.12	石本

II. 公募締切

平成15年11月28日（金）（必着）

III. 提出書類

(イ) 推薦の場合：

- 推薦書（本人の本研究所における研究計画に関する記述を含む）
- 履歴書
- 業績リスト（必ずタイプすること）ほか出来れば主要論文の別刷

(ロ) 応募の場合

- 履歴書
- 業績リスト（必ずタイプすること）ほか出来れば主要論文の別刷
- 所属の長などによる本人についての意見書（書類提出先へ直送）
- 研究計画書（本研究所滞在可能期間の推定を含む）

(ハ) 「提案型」の場合は、上記（イ）又は（ロ）の他に、次の資料が必要です。

- テーマ（分野）及び具体的研究計画
- 通年か半期の別
- 主要論文の別刷5編
- 物性研における研究関連所員名（複数も可）および関連所員との事前打合せに関する記述（必ず事前に所員と連絡をとること）
- 予定滞在日数
- 必要研究経費（概算）

IV. 書類提出先及び問い合わせ先

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉 5-1-5 東京大学柏地区庶務課人事掛
電話 04-7136-3205 e-mail : jinji-kakari@issp.u-tokyo.ac.jp

V. 注意事項

- (1) 応募に際しては本研究所所員とあらかじめ連絡をとること。
- (2) 封筒に「客員教授応募書類在中」或いは「意見書在中」と朱書きし、書留で郵送のこと。

VI. 選考方法

東京大学物性研究所人事選考協議会での審議に基づき、物性研究所教授会で決定する。

平成15年8月1日

東京大学物性研究所長
上 田 和 夫

人 事 異 動

【研究部門等】

○ 平成15年 5月 1日付け

(昇 任)

氏 名	所 属	職 名	異 動 内 容
馬 場 基 芳	先端分光研究部門	助 手	教務職員から

○ 平成15年 5月16日付け

(転 出)

氏 名	所 属	職 名	異 動 内 容
陰 山 洋	附属物質設計評価施設	助 手	昇任 (京都大学理学研究科助教授へ)

○ 平成15年 7月 1日付け

(昇 任)

氏 名	所 属	職 名	異 動 内 容
花 咲 徳 亮	新物質科学研究部門	助 手	昇任 (大学院工学系研究科物理工学専攻講師へ)

Technical Report of ISSP 新刊リスト

Ser. A

No.3693

Structure Dependent Ultrafast Relaxation Time of Photo-excited Carriers in SiC. by T. Tomita, S. Saito, and T. Suemoto

No.3694

Study on Sublattice Reversal in a GaAs/Ge/GaAs(001) Crystal by X-ray Standing Waves. by S. Kusano, S. Nakatani, T. Takahashi, K. Hirano, S. Koh, M. Ebihara, T. Kondo, and R. Ito

No.3695

Crystal Orientation of Silver Films on Silicon Surfaces Revealed by Surface X-ray Diffraction. by A. Hata, K. Akimoto, S. Horii, T. Emoto, A. Ichimiya, H. Tajiri, T. Takahashi, H. Sugiyama, X. Zhang, and H. Kawata

No.3696

X-ray Diffraction Study of the Phase Transition of Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag Surface. by T. Takahashi, H. Tajiri, K. Sumitani, K. Akimoto, H. Sugiyama, X. Zhang, and H. Kawata

No.3697

A Phase Retrieval Method for Noncrystalline Layers on Crystal Surfaces. by W. Yashiro, K. Sumitani, Y. Yoda, and T. Takahashi.

No.3698

Pairing Symmetry in Two Distinct Superconducting States of CeCu₂Si₂. by M. Ishikawa, N. Takeda, M. Koeda, M. Hedo, and Y. Uwatoko

編集後記

比較的凌ぎ易かったとは言え、梅雨明けが遅れる傾向にあるのは少々気懸りです。

久しぶりに何度目かの図書委員の役が回って来ました。物性研自体の変容振りを反映してか『物性研だより』も内容をはじめ表紙から発行間隔まで随分様変わりしました。

本号では、極限環境物性研究部門にこの4月1日付けで着任された嶽山所員の赴任あいさつをお届けします。又、移転などのためしばらくお休みしていました『研究室だより』が“様相”新たに復活しました。柏での研究室の活躍振りを今後できるだけ定期的にお届けしたいと考えています。中性子科学研究施設への改組に際し、施設長の吉澤所員から今後の抱負等お寄せ頂きました。

今後ともご支援の程よろしくお願い致します。

石川 征 靖