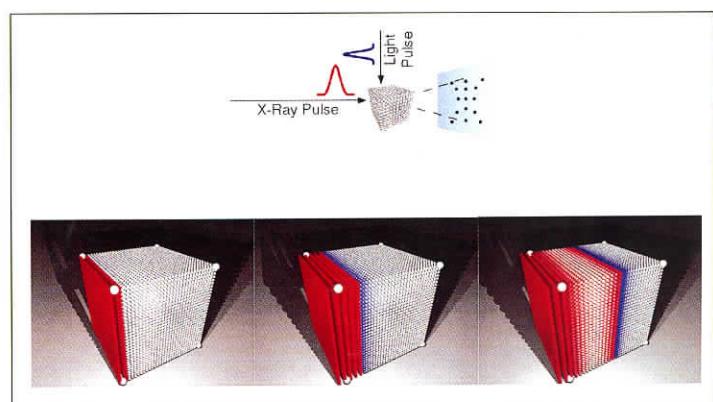


# 物性研だより

第41巻  
第5号

2002年1月

- 目 次
- 1 物性研に着任して Mikk Lippmaa
  - 3 PONTAとの10年間、それから？ 加倉井 和久
  - 6 物性研究所短期研究会報告
    - 「新しいコヒーレント光源の利用研究と将来の展望」
  - 29 物性研究所ISSPワークショップ報告
    - 「強磁場技術と物性研究」
  - 59 物性研究所談話会
  - 物性研ニュース
  - 64 ○東京大学物性研究所の助手公募の通知
  - 65 ○人事異動
  - 66 ○テクニカル・レポート 新刊リスト
- 編集後記



東京大学物性研究所

ISSN 0385-9843

# 物性研に着任して

先端領域研究部門 Mikk Lippmaa

昨年 7 月に柏キャンパスの物性研に助教授として着任し、東大のコミュニティーの一員に加えていただきました。大変暖かく迎えていただき、新しい職場環境への適応も協力的にすすめてくださいました。今後、研究所の一員として、私もここに皆さんに科学領域に限らず何らかの協力ができたらと願っております。

物性研に着任して私にとっての最大の変化は管理事務的な仕事の割合が増大したことでしょう。これは、即、わたしが実験に費やせる時間が削られることに直結しました。その結果、実際に実験に費やせる時間がこれまで以上に貴重なものとなり、これを享受できる幸せをかみしめています。実験屋の私としては、実験室から離れる時間が長くなるにつれて、センスを失うのではないかという恐怖さえ感じ、学生から「先生が触ると装置を壊す危険があるので触らないでほしい」と遠慮がちに断られる日がまだまだこないことを祈るばかりです。

物性研における私のターゲットは酸化物薄膜です。特に私が興味をもっているのは、複合酸化物の成長ダイナミクスです。この領域は、将来の新材料・結晶構造あるいは新デバイスのための薄膜形成技術の発展につながるものと期待しています。酸化物は極めて魅力的な材料で、これまでに数十年にわたって調べられてきているシンプルな単結晶構造であるにもかかわらず、その電気的特性は謎に満ちています。 $\text{SrTiO}_3$  がそのよい例でしょう。この物質は過去数十年にわたって調べられており、もう「よく知られた」物質であるにもかかわらず、我々の知りうる特性はまだ限られているのです。新たな実験によって、構造・成長ダイナミクス、および電気的・光学的特性が明らかになりつつあります。

薄膜成長は、個々の単位ブロックの組み合わせによってあらゆる複合結晶をつくりあげることが（少なくとも理論的には）可能であるという点で、これまでにない新たな可能性を秘めています。現在の薄膜堆積技術は、異なる單原子層の積層化、あるいは酸化膜では任意の順序に分子層を重ねあわせるといった手法により原子レベルで結晶構造を制御することが可能です。薄膜堆積技術の進歩によって無限の新規結晶構造が可能になれば、その薄膜特性もまた無限の可能性を秘めているといえます。

これが、私が現在ターゲットにしている領域です。現在進行中のプロジェクトは、酸化膜の表面と界面の成長過程と結晶に関与しています。実際の成膜温度領域における表面の変化の過程を詳細に理解することは、複合材料さらには超格子、ヘテロエピタキシャルデバイスの結晶構造を理解する上での key になると想っています。構造解析には *in-situ* 電子回折、イオン散乱分光、トンネル電子顕微鏡、*ex-situ* AFM、X 線回折、高分解能 TEM を組み合わせた分析を用いています。

表面変化の過程の観察には、とくにパルスレーザー堆積法が適しています。これは、基板上に

物質をデルタパルス状に供給した直後のごく短時間の過飽和過程と、それに比較してやや長い時間をかけた膜の緩和過程を繰り返す堆積技術になります。表面の構造は、このうちの膜が緩和する時間に高速度電子回折を用いて測定するか、あるいは急激にクエンチすることにより高温での表面状態を取り出すことにより分析します。クエンチ後にはより時間のかかる走査型の測定を行うことが可能となります。

このような表面ダイナミックスをより深く理解することが、さらに複雑な複合構造たとえば様々なナノ構造の形成をデザインする上で重要となります。この手法の応用によって酸化物のナノドット・ナノ線材・ナノリングの形成が可能であることをこれまでに示してきました。複合膜中にこれらのナノ構造を埋め込むことによって、完全なエピタキシャル混合材料のみで fractional-layer 超格子を作成するという応用などが考えられます。このような複雑な材料の特性を理解するには、電気的特性と酸化物ヘテロ界面の構造を解析することが key となります。この解析には、超高品质な薄膜試料と、試料表面からは測定不可能な界面特性のプローブとしての先端分析技術が要求されます。このための分析技術にはイオン散乱分光法、光電子分光法および磁化／伝導測定が有効になります。

ナノ構造のサイズは割合と簡単に制御することが可能で、このため光学応用の新材料としての利用が期待されます。私自身、近い将来には酸化物の光学的特性に関する応用が可能だと考えています。これまでの酸化物の評価は主に誘電・伝導・磁気特性に基づいてきました。光学的特性的評価には欠陥のない高品质な結晶試料が必須であり、そのため困難とされてきたからです。しかし、最近のエピタキシャル堆積技術の進歩により、この光学的特性評価に耐えうる高品质なナノ構造の作成が可能になったと考えています。特に、光励起に敏感な酸化物ベースのキャパシタあるいはトランジスタ構造への応用が期待されます。多くの酸化物は、磁気的特性と電気的特性が相互に関連していることはよく知られています。さらに、光学的特性がどのようにからんでいるのかを新規ナノ複合構造をもじいて明確にしていくことは、非常に興味深い点です。

小さな研究グループにとって、先に挙げたような複数の分析技術を同時にリンクさせて解析していくというのは困難なことでした。わたしの目的は、薄膜の成長過程の理解を深め、これらの分析に必要なベストなサンプルを作成していくことにあります。研究の方針としては、薄膜の成長過程の理解とその制御です。研究の大部分は *in-situ* における成長モニタリングと表面分析技術になります。実際の薄膜解析に関する部分では、外部を含めた複数の研究室と共同にすすめていくことになります。こういった新規性に富んだエキサイティングな酸化薄膜の研究開発をすすめていく上で ISSP は最適な環境にあると確信しています。

# PONTAとの10年間、それから

日本原子力研究所先端基礎研究センター 加倉井 和久

「ポン太」(PONTA) は小生が物性研中性子散乱研究施設勤務中、装置責任者であった原研改3号炉に設置されている偏極中性子三軸型分光器 (Polarized Neutron Triple Axis) の愛称です。この装置は中井裕、伊藤雄而、河原崎修三、角田頼彦、西正和、各氏が中心になって建設され、小生が10年前物性研に赴任した時には丁度立ち上がったばかりの状態がありました。そこで西さんと一緒にこの装置の非偏極、そして偏極モードの立ち上げに携わることになりました。西さんが通算で1年間Institut Laue Langevinに滞在され、苦労して作成に関わってこられた偏極中性子用ホイスラー単結晶をモノクロメータとアナライザーとして設置して、MnF<sub>2</sub>の常磁性散乱を偏極中性子散乱で初めて観測して、その強度がBrookhaven High Flux Beam Reactorが60MWで運転していた時の偏極中性子強度と同等の結果が出た時には感動したことを今日のように覚えています。それ以来、昨年3月に原研先端基礎研究センターに移るまで、「ポン太」は非偏極、偏極中性子散乱実験を原子炉稼働中は日夜休み無く、全国共同利用のために働いてくれました。勿論「ポン太」は機械ですから、実はこれは彼女の功績では無く、「ポン太」をつくって下さった方々、面倒を見て下さった方々、そして素晴らしい実験を提案して、使って下さった全国の利用者のお陰であります。この紙面をお借りして、上記の先生方、施設の技官の方々、すべての共同研究者の方々へお礼を申し上げます。特に西、中島両氏には長い間「ポン太」のすべてにおいてお世話になりました。本当に有り難うございました。実は「ポン太」の妙名の時に、小生勝手に西さんが考えておられた可愛い“PONY”という名前を変えてしまったのです。(西さん、ごめんなさい!) また中島さんにはPONTAのプログラム及び縦磁場、横磁場超伝導マグネットに関して全面的に面倒を見ていただきました。その西さんと中島さんとの共同研究の例としてCuGeO<sub>3</sub>の磁気励起の実験結果及び熱中性子スピニエコーオプションによるKDCO<sub>3</sub>の構造相転移の際に観測された動的Huang散乱を6年前の物性研便りで紹介させていただきました。

PONTAで行われたその他の数々の実験や成果に関しては施設が刊行しているActivity Reportを参照していただくことにして、ここでは我々のグループが上田(寛)研との共同研究で物性研で初めて作成されたSrCu<sub>2</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>の単結晶を用いて行った最近の中性子散乱研究の進展について簡単に紹介し、この研究の進展を通して将来小生が原研先端基礎研究センターで何を計画しているのかを簡単にお話したいと思います。

SrCu<sub>2</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>の物性に関しては陰山氏らの報告[1]の後に世界的に数々の研究が行われてきたのでここで改めて紹介する必要は無いと思われます。二次元直交型ダイマー系として昔にShastry-Sutherlandにより提案された特殊な次近接相互作用を取り入れた最近接相互作用正方格子にマップできるとの指摘が宮原、上田(和)[2]によりなされ、帯磁率の結果や磁化のプラトー形成が、この幾何学的な構造に由来するフラストレートした系の極端に局在している第一トリプレット状態の特徴として理解できることができ明らかになりました。当初PONTAの実験で中性子散乱によるスピンドライナミックスの波数依存性の観測を利用して、3meVの励起エネルギーを持つ第一トリプレットに0.2meV以上の分散が無いことを明らかにし、この局在化を実験的に明らかにしました[3]。この第一励起の更に詳細な性質を調べるために、分解能をさらに上げ、磁場中におけるゼーマン分裂を

0.1meV程度の分解能を持つ冷中性子三軸分光器で観測しました。その結果が図1に纏めてあり、第一励起が更に分裂して小さな分散を示し、更にそのゼーマン分裂の仕方が波数依存性を持つことが明らかです。実は $Q=(2, 0, 0)$ に同等な $Q=0$ における第一励起のゼーマン分裂の特異な磁場方向依存性がすでにESRにより野尻氏等[4]により観測されていましたが、その異方性が何に由来するのかは明らかになっていませんでした。上記の中性子散乱実験により初めて明らかにされた $Q=(2, 0, 0)$ から $(1.5, 0.5, 0)$ にかけてのゼーマン分裂の波数依存性により、この異方性が結晶構造の低対称性のため存在する二次元面に垂直なDzyaloshinski - Moriya (DM) 異方性相互作用の項によるものであることが明らかになりました[5]。また $Q=(1.5, 0, 0)$ のゼーマン分裂の様相はこのDM異方性相互作用が二次元面内の成分を持ち、結果的に異方性相互作用のベクトルが二次元面に垂直ではなく、交互に傾いでいること（バックリング）で説明ができると示唆しています。この異方性相互作用の二次元面内成分は直交するダイマーが上下に二次元面からずれることで可能になります。この系で面白いのは観測される小さな分散が完全にDM異方性相互作用のみを反映していることで、これは実際にはもっと大きい次近接相互作用がフラストレートしていることに因ります。そこでこのDM異方性相互作用の存在が結晶構造の低対称性により可能になるならば、この相互作用は格子の局所的対称性に強く依存するはずであり、ある特定の対称性を低くする格子揺らぎと強くカップルすることが期待できます。実際にこの系の偏極遠赤外線実験で観測される選択則は磁気的、電気的双極子遷移では解釈できない振る舞いを示しており[6]、上記のようなスピントフォノンのカップリング（動的DM相互作用）のメカニズムでしか解釈できないようです。このようなスピントフォノンのカップリングを直接観測できないのでしょうか？実はこのような観測を原理的に可能にする核-磁気干渉散乱項が偏極中性子散乱における中性子偏極ベクトルの変化を記述する式に存在します。上で示したエネルギー遷移の波数依存性だけでは無く、中性子偏極ベクトルの波数依存性を観測出来れば、スピントフォノンのカップリングが強くなる格子揺らぎの波数で中性子偏極ベクトル変化に異常が観測できるはずです。この核-磁気干渉散乱項による中性子偏極ベクトルの変化の観測を可能にするとと思われる装置が三次元偏極中性子解析装置CRYOgenic Polarization Analysis Device (CRYOPAD)で、干渉項による任意の偏極ベクトルの変化を測定するために試料周辺の無磁場状態を超伝導マイスナー効果を利用して実現させるものです。昨年の4月から原研先端基礎研究センターに移ってから、フランスの研究グループとの共同研究でこの三次元偏極中性子解析装置を開発、製作して、原研の改3号炉で近い将来このような実験を可能にしようと努力しています。しかし要求されるのは中性子スピントの完全制御であり、大きな試料を必要とする非弾性散乱でこのような中性子スピント制御が実際にできるかが大きな課題ですが、スピント格子相関の役割を解明して次世代の新機能物質の理解、開発に寄与できればと夢見る今です。考えてみれば「ポン太」で培ってきた偏極中性子散乱研究の延長をその隣で（CRYOPADを設置しようとしている分光器はTAS-1で、「ポン太」と同じ炉室内にあります）続行しているわけで、PONTAのスピントエコーとTAS-1のCRYOPADと定常炉中性子源ならではの偏極中性子散乱手法を物性研究に役立てることができればと思っていますので、これからも物性研在任中と変わらない皆様のご指導ご支援をよろしくお願ひいたします。最後になりますが、物性研でお世話になった方々、特に中性子回折部門及び中性子散乱研究施設の方々にこの場をお借りしてあらためてお礼を申し上げます。

それでは新年が物性研の皆様にとって良い年になりますように。

## Reference

- [1] H. Kageyama et al., Phys. Rev. Lett. 82 (1999) 3168.
- [2] S. Miyahara and K. Ueda, Phys. Rev. Lett. 82 (1999) 3701.
- [3] H. Kageyama et al., Phys. Rev. Lett. 84 (2000) 5876.
- [4] H. Nojiri et al., J. Phys. Soc. Jpn. 68 (1999) 2906.
- [5] O. Cepas et al., Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 167205.
- [6] T. Room et al., Phys. Rev. B61 (2000) 14342.

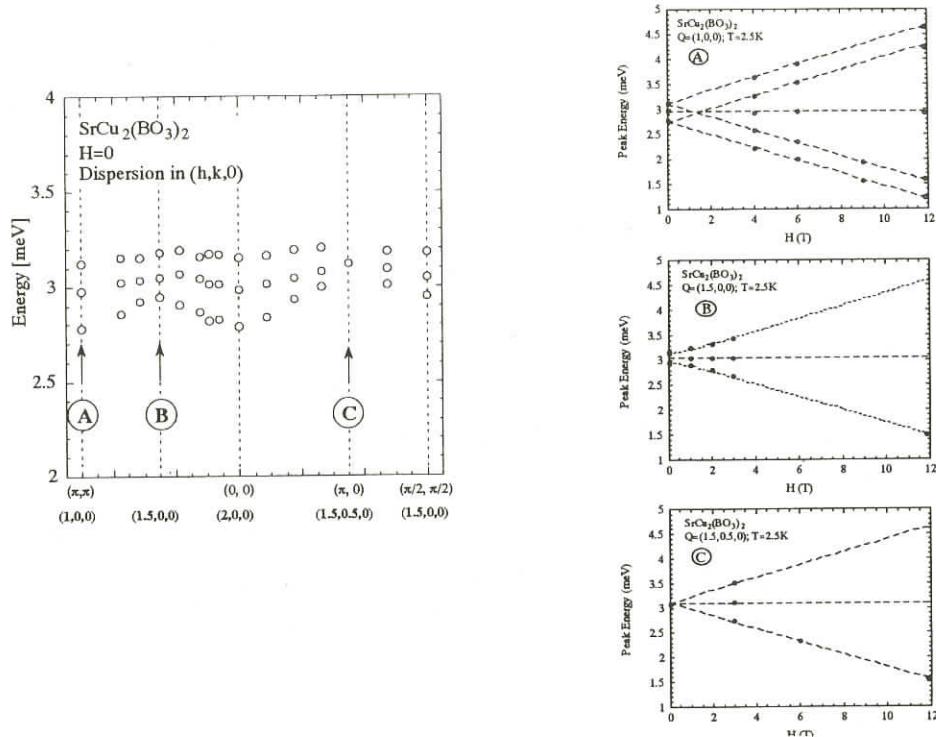


図1：冷中性子非弾性散乱実験により得られた $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ における第一励起の分散及び異なる波数におけるゼーマン分裂の様子。

## 物性研究所短期研究会

# 「新しいコヒーレント光源の利用研究と将来の展望」

日時 2001年11月19日(月)～20日(火)

場所 東京大学柏キャンパス物性研究所大講義室（6階A632）

提案者 渡部俊太郎（東大物性研）

末元 徹（東大物性研）

辛 増（東大物性研）

鎌田 雅夫（佐賀大）

加藤 義章（原研関西研）

近年、軌道放射光源(SR)の高輝度化が進み、長尺アンジュレータからの放射光は、すでにレーザーと比肩するコヒーレンスの高い光源となりつつある。また、高出力レーザーの高調波を用いた軟X線光源、自由電子レーザーによる遠赤外光源、フェムト秒レーザーを用いたテラヘルツ光源など新しいコヒーレント光源が次々に登場している。さらにSR光をレーザーで切り出してフェムト秒パルスを得るなどの複合的新技術も生まれ、実用レベルに達しつつある。一方、固体物性や生体物質の研究分野では、これらのコヒーレント光源を有効に用いて、物質構造や相転移ダイナミクスなどの研究を始める機運が高まっており、時間分解X線回折などいくつかの興味あるデモンストレーションも報告されている。今回の短期研究会では、光源開発、分光実験、理論の研究者が一堂に会して、新光源を用いた研究ならびに新しい分光の雛型となる可視、近赤外領域での研究について、成果、現状および計画の紹介を行い、将来の方向性について展望した。

### プログラム

11月19日(月)

〈午前の部〉

座長：末元 徹

10:00-10:10 開会の辞

10:10-10:40 高強度レーザーによるX線レーザーおよび多価イオンの生成と利用

原研関西研 加藤 義章

10:40-11:10 超短パルスVUV XUV光と固体分光への応用

東大物性研 渡部俊太郎

11:10-11:40 次世代放射光光源の潮流

理研 北村 英男

11:40-12:10 軟X線領域における種々の多光子効果と物性

都立大理 宮原 恒昱

12:10-13:00 昼食

〈午後の部〉

座長：近藤 泰洋

13:00-13:30 超短光パルス発生とその分光への応用

東大理 小林 孝嘉

13:30-14:00 多光子過程における共鳴効果とコヒーレンス

奈良先端大 相原 正樹

14:00-14:30	インコヒーレント光を用いた時間分解分光	香川大工 中西 俊介
14:30-15:00	東京理科大学赤外自由電子レーザ研究センターの現状	東理大総研 河合 正之
	15:00-15:30 休憩	
座長：相原 正樹		
15:30-16:00	短バンチ電子線パルスによる白色パルスTHz波発生	東北大工 近藤 泰洋
16:00-16:30	高強度テラヘルツ電磁波の発生とその応用研究	分子研 猿倉 信彦
16:30-17:00	時間領域テラヘルツ分光	阪大 萩行 行憲
17:00-17:30	中遠赤外時間領域分光法による光誘起現象の研究	東大物工 島野 亮
	18:00-20:00 懇親会	

## 11月20日（火）

### 〈午前の部〉

座長：辛 埼		
9:00- 9:30	硬X線領域でのコヒーレンスの利用	理研 石川 哲也
9:30-10:00	最近のホログラフィー実験	筑波大物工 渡辺 紀生
10:00-10:30	時間分解X線回折の現状と展望	東大工原施 上坂 充
	10:30-11:00 休憩	
座長：上坂 充		
11:00-11:30	Femtosecond X-Ray diffraction studies of ultrafast phase transitions Lawrence Berkeley National Lab. A. Cavalleri	
11:30-12:00	強電子-格子結合系の物性開拓とフォトクリスタログラフィーの役割 -光誘起構造相転移の実時間観測-	東工大理 腰原 伸也
12:00-12:30	X線領域の光物性理論	東大物性研 小谷 章雄
	12:30-13:30 昼食	

### 〈午後の部〉

座長：鎌田 雅夫		
13:30-14:00	軟X線発光分光とそのコヒーレンスの利用	東大物性研 辛 埼
14:00-14:30	レーザー光電子分光法による表面電子励起状態の測定と顕微分光への試み	理研 宗像 利明
14:30-15:00	放射光とレーザーの組み合わせによる真空紫外域の変調反射分光	岡山大理 有本 收
	15:00-15:30 休憩	
座長：小谷 章雄		
15:30-16:00	長尺アンジュレーターの利用	東大物性研 末元 徹
16:00-16:30	放射光とレーザーの複合実験 -光誘起現象-	佐賀大 鎌田 雅夫
16:30-16:40	閉会の辞	

# 高強度レーザーによる X 線レーザーおよび多価イオンの生成と利用

日本原子力研究所関西研究所 加藤 義章

小型超短パルスレーザーにより、相対論光学、光核科学、高輝度 X 線・イオン・中性子源の生命科学・医療・産業応用など、基礎科学から産業にわたり広範囲の展開がもたらされつつある<sup>1)</sup>。

光量子科学研究センターでは、100TW, 20fs, 10Hz Ti:sapphire レーザー<sup>2)</sup>を用いた最初の実験として、相対論域での原子の光電離特性を調べている。高強度光場とクーロン場が重ねあわされた電界下で電子はトンネル電離され、多価イオンの生成確率は ADK(Ammosov-Delone-Krainov)<sup>3)</sup>等の理論で記述される。希ガス原子の多価電離に関する多くの実験結果は ADK 理論と良く一致することが知られているが、2 電子同時電離における電子相関の効果（再衝突による電離、など）は十分解明されていない。また、光電界で駆動される電子の速度が光速と同程度になる相対論域（波長 800nm で約  $2 \times 10^{18} \text{ W/cm}^2$  以上）での電離過程は調べられていない。我々は、上記レーザーの前置増幅器出力光（5-10TW）を、集光径  $6.8\mu\text{m}$ （全半値幅）に集光し、 $1.1 \times 10^{19} \text{ W/cm}^2$  で Ar<sup>16+</sup> (He-like Ar)までの多価イオンを観測した。多価イオン生成率の強度依存性を詳細に測定し、 $10^{17}\text{W/cm}^2$  以下で生成される Ar<sup>1+</sup>-Ar<sup>8+</sup>では（電子相間に起因すると解釈される）ADK との不一致が見られるが、 $10^{18}\text{W/cm}^2$  以上で生成される Ar<sup>8+</sup>-Ar<sup>9+</sup>では ADK と良く一致するとの結果が得られた。相対論域では、電子に働く力  $F = e(E + vxB)$  の右辺第 2 項が第 1 項と同程度になる。第 2 項は電子を前方にドリフトさせるので再衝突の確率が減り、ADK と良く一致するようになると考えられる。

近年粒子線ガン治療が臨床的に確立されつつあるが、普及には小型化・低価格化が必要である。 $10^{19}\text{W/cm}^2$  以上の高強度で薄膜ターゲットを照射すると、約 30MeV を超える高エネルギーイオンが生成されることが知られている。我々はレーザーイオン源を入射器とし、小型シンクロトロンを主加速器とする小型粒子線装置の開発を、京大、KEK 等と共同で開始している。最近のシミュレーション (J. Koga) によれば、超短パルスレーザーがプラズマ中で電子を押しのけ、 $6.5\text{TeV/m}$  と極めて強い電界が生成される。レーザー光のみで数 100MeV までイオンを加速する全光イオン加速器も考えられる。

T3 ガラスレーザーを用いた電子衝突励起 X 線レーザーにおいて、進行波励起により Ag 12.9nm, Sn 11.9nm で飽和增幅 ( $10^{10}\text{photon/pulse}$  以上の出力) を得ている。また、最近 La 8.8nm での增幅も観測した。Ag レーザーを用い、X 線パラメトリック誘導散乱の実験（並河教授との共同研究）を開始している。このような非線形光学過程には光の縮退度が重要であるので、高次高調波光をプラズマ増幅器で増幅し、高コヒーレンス X 線レーザー光を生成する予定である。過渡現象の単一ショットコヒーレント計測など、多様な応用が可能になると期待される。

- 1) OECD Global Science Forum Workshop on Compact High-Intensity Short-Pulse Lasers: Future Directions and Applications, May 28-30, 2001,  
[www.oecd.org/oecd/pages/home/displaygeneral/0,3380.EN-document-49-1-no-21-19951-0,FF.html](http://www.oecd.org/oecd/pages/home/displaygeneral/0,3380.EN-document-49-1-no-21-19951-0,FF.html)
- 2) K. Yamakawa, et al., Opt. Lett. 23, 1468 (1998).
- 3) M. V. Ammosov, et al., Sov. Phys. JETP 64, 1191 (1986).

## 超短パルス VUV XUV 光と固体分光への応用

東京大学物性研究所 渡部 俊太郎

### [1]高繰り返し高ピーク出力レーザー

チタンサファイアレーザーの出現により 5fs 以下のパルスが実現され、ピーク出力も 100TW が得られている。一方で応用を考えると、高繰り返し化が重要である。これまでに全固体チタンサファイアレーザーを用いて 1KHz で 0.7TW、5KHz で 0.2TW の出力を得た。さらに KrF レーザーでは 200Hz で 50W の紫外光を得た。

### [2]高次高調波によるアト秒パルスの発生

チタンサファイアレーザーの波長では 5fs のパルスは 2~3 サイクルに対応し、ほぼ限界に近い。更に短パルス化を目指すには、高次高調波が有力な手段である。最近 13nm 近辺で約 2fs のパルスが観測された。また、チタンサファイアレーザーの 11~19 次の高調波の相互の位相を測定することにより、250as のパルス列が得られているものと予想される。今後の課題はフーリエー限界に近い、アト秒単一パルスの発生である。このためには高次高調波の位相を正しく測定する必要がある。この目的のため 2 光子イオン化を用いた FROG 法を初めて実現した。

### [3]固体内殻励起とともに超高速緩和

高次高調波は XUV、軟 X 線領域のコヒーレント光源である。高次高調波の特徴は超短パルスと高ピーク出力である。この特徴を生かし、軟 X 線領域の非線形分光や超高速分光が期待される。アルカリハライド結晶の内殻励起とともにオージェフリー発光の時間分解分光を行った。短波長側がほぼ装置の時間分解能で立ち上がるのに対し、長波長側は約 200fs で立ち上がる。この立ち上がり時間は、内殻ホールが格子歪みにより自己束縛状態に緩和する時間と考えられる。

## 次世代放射光光源の潮流

理化学研究所・播磨研究所大型放射光 北村 英男

ここ 9 年の間に ESRF、APS、SPRING-8 等の第三世代放射光源がルーチン運転に入り、広範囲の科学分野で目覚ましい成果が上がっている。しかし、これに飽きたらず、さらに高い性能を有する放射光源への希求が日増しに高くなっているのも事実である。分光器が不要となる単色性能の高い、サブピコ性能を有する極短パルス特性をもつ、あるいはレーザーだけがもつ高ボーズ縮重度性能を持つ新しい放射光源への希求である。しかし、このような性能をもつ放射光源を実現するには現

在最良のツールとみなされている蓄積リングは不適当である。低エミッタンスは容易に得られるものの電子ビームのエネルギー拡がりを小さくするにはリングサイズを極端に大きくするしか他に方法がないからである。また、パンチ長も短くとも 30psec(FWHM)程度にしかならない。以上の性能限界は全て蓄積リングの原理として必ず発生する放射光によるものである。したがって、放射光発生がほとんどない線型加速器（L I N A C）に目が向けられることになる。L I N A Cに基づく高性能光源としては 70 年代後半に端を発する自由電子レーザー（F E L）がある。現在においてはその原理はほぼ確立しており紫外域より長波長側では数多の成功例が報告されているが、いわゆる放射光域（軟X線、X 線）においては加速器性能が及ばず、長い間夢の光源であると思われてきた。しかし、リニアコライダー開発の副産物として極低エミッタンス、低エネルギー拡がり、および極短パルス特性をもつ高性能 L I N A C が開発されるに及んで現実のものとなってきた。もちろん、放射光域においては共振器型 F E L ではなく、長尺アンジュレータにもとづく自己增幅型 F E L （S A S E）が採用されることになる。このように高ボーズ縮重複特性をもつ放射光源が近い将来実現されるのは間違いない、X 線域での非線形現象を研究できる日はそう遠くないものといえよう。一方、最近になって新しい原理に基づく線型加速器（Energy Recovery LINAC、E R L）が提案され、SASE 型の新型光源とは異なる特性をもつ放射光源が可能となりつつある。その特徴は、決して F E L にはなり得ないが大平均電流（100mA）が期待できることである。LINAC 特有の低エネルギー拡がり、極短パルス特性（ピコ秒以下）を持っているのでこれでもって新しい放射光分野を開拓することが可能となろう。本報告では以上の新しいふたつの放射光源の詳細について述べるものである。

## 軟X線領域における種々の多光子効果と物性

東京都立大学大学院・理学研究科 宮原 恒昱

物質世界に階層性があるのと同様に、光と物質の相互作用にも階層性がある。レベル 2 である長尺アンジュレータは多光子励起を起こすことはできるが、その濃度が小さく対象試料の基底状態はほとんど変更を受けない。しかし、多光子効果がいかにおきるかは基底状態にも依存しており、このことから波動関数の広がりに関する定量的情報が得られる。一方、軟X線 F E L はレベル 3 に属し、多光子励起の濃度は極めて高く基底状態を大きく変更してしまう。しかしながら物質の運動と電磁場の結合（連成）はまだ大きくない。レベル 4 になると、物質と電磁場の結合が極めて強くなり電磁場と物質の強い連成振動により「強く衣を着た」状態が主要な状態になる。

結合が強いときの電磁場の量子化は難解な（非常に non-trivial な）問題であるが、レベル 2 までにおいては、多光子効果と非線形効果を場の量子論で記述することは一応可能である。特に物質中に生ずる波束の運動がどのような観測にかかるか、それがどのような物性にかかわるかを考察することは興味深い。レベル 3 の物理はかなり様相が異なり、巨大な波束の運動を時間領域で観測することが主要な方法論になるであろう。

# 超短光パルス発生とその分光への応用

東大院理 小林 孝嘉

## [I] 3.9fs パルス発生

1999 年度に開発した 4.7fs パルス発生装置を改良することによって、さらに短い 3.9fs パルスを発生させることに成功した。改良した点は次のとおりである。

(1) 信号光はプリズム対によって予備圧縮した。(2) 励起光パルスを石英ガラスブロックによって、大きくチャーピングさせた。(3) 励起光パルスにプリズムによって角度分散をつけた。(4) 出力光を可変型鏡を用いて位相を制御した。

## [II] 分光への応用

パルス光源の応用として可視サブ 5 フェムト秒パルスを発生する非平行光パラメトリック増幅器 [1-3] を光源として、(1)ポルフィリン J 会合体[4]、(2)ポリアセチレンのサブ 5 フェムト実時間分光を行った。

### (1) J 会合体

スペクトル幅 250nm のブロードなレーザースペクトルは、ポルフィリン(tetraphenylporphine tetrasulfonic acid) J 会合体の最低励起一重項状態 (Q バンド) 共鳴励起する。時間分解透過率変化と、そのフーリエ変換から次のことが分かった。1.77eV 以下では褪色が、1.77eV 以上では誘導吸収が見られた。褪色は約 2ps の時定数で回復しているが、これはこれまでの 100fs ポンプ・プロープ分光の結果から、Q 励起子の熱化過程によるものと考えられる。透過率変化の振動成分をラマンスペクトルと比較し 241cm<sup>-1</sup> の ruffling mode と同定した。このモードは、会合により 30 倍程度増強する。241cm<sup>-1</sup> 振動成分の振幅スペクトルと位相スペクトルを示す。振動の振幅は 1.77eVにおいて最小になり、同時に、褪色と誘導吸収が入れ替わっている。位相スペクトルから、褪色と誘導吸収の信号強度が同位相で増減しているのがわかる。透過率変化における振動の起源が、ruffling mode を介した、B バンド (第二励起状態) から Q バンドへの intensity borrowing による、Q バンドの双極子モーメントの変調によるものと解釈することで、実験結果を説明できる。

### (2) ポリアセチレン

ポリアセチレンは最も単純な構造をもつ共役ポリマーである。白川秀樹前筑波大学教授らによる試料作成法の確立以降、実験面での研究が急速に進み、また、一次元電子系のモデル物質として、理論的にも様々な興味を引いている。ポリアセチレンには二重結合の立体配置により t (trans)型と c(cis)型の 2 種類が存在するが、そのうち t-polyacetylene では基底状態の 2 つの相、すなわち (-C=C-)<sub>n</sub> (A-phase) と (=C-C=)<sub>n</sub> (B-phase) が縮退している。このため、2 つの相の境界に結合欠陥(ソリトン)が存在可能である。それに対して polydiacetylene(PDA)では、光励起種の強い空間的閉じ込めの結果、励起子が形成されるが、これは、基底状態が非縮退であることによって説明される。t-PA におけるソリトン対については、寿命が ps 程度と比較的長く、それらの存在を示唆するような実験結果が既に提示

されている。Bishop 等による SSH ハミルトニアンを用いたシミュレーションによると、ソリトン対の分離に要する中間状態の寿命はおよそ 100fs とされている。この中間状態においては、ソリトン対は強い空間的閉じ込めを受け exciton-like な振る舞いを見せ、さらに、「ブリーザ(breather)」と呼ばれる、周辺格子の振動を伴うダイナミカルなソリトン対の結合状態が存在することも、Fukutame 等及び他のグループにより予想がされていた。しかし、実験的には、ソリトン対分離におよそ 100fs かかったとする誘導吸収の論文が Shank 等により報告された程度で、ブリーザそのものの存在が示された例はない。今回初めてブリーザの実験的証拠を得ることに成功した。

### 参考文献

- [1] A. Shirakawa, I. Sakane, M. Takasaka, and T. Kobayashi, Appl. Phys. Lett. 74, 2268 (1999).
- [2] T. Kobayashi, A. Shirakawa, H. Matsuzawa, and H. Nakanishi, Chem. 321, 385 (2000).
- [3] T. Kobayashi and A. Shirakawa, Appl. Phys. B70, S239 (2000).
- [4] H. Kano, T. Saito, and T. Kobayashi, J. Phys. Chem. B, 105, 413 (2001).

## 多光子過程における共鳴効果とコヒーレンス

奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科 相原 正樹

強相関電子系における多光子励起状態と超伝導、及び光励起された高密度電子正孔系における巨視的量子状態について発表した。強相関電子系は、高温超伝導を始めとする多様な物性を示すが、従来の研究は主にその低エネルギー励起状態に限られていた。

しかし、最近、異常に大きな非線形光学応答や、特異なパルス光応答など、電荷と спинの自由度の絡み合いを反映すると思われる興味深い実験も報告されていて、光励起状態と関係した現象が新たな展開を見せている。

そこで、光励起した低次元強相関電子系の電子状態をハバードモデルを用いて調べた。クーロンエネルギー  $U$  が十分に大きい場合の有効ハミルトニアン ( $t-J$  ハミルトニアンの励起状態への一般化) を導出し、それを厳密対角化して、電荷相関関数、スピントン相関関数、射影スピントン相関関数を計算した。1 次元系では、 $U$  が非常に大きい場合は長岡強磁性状態となり、それ以外の場合は、光キャリア注入により部分的に破壊された反強磁性状態における電荷とスピントンの分離／束縛の様相が明らかにされた。また、2 次元系では、スピントン・スパイラル状態、及び  $d$  波の超伝導相関が存在する事が示された。20 サイトの 2 光子励起状態における計算のため、真の非対角長距離秩序の存在を確認するまでには至っていないが、その存在を強く示唆する結果である。

光励起された固体における巨視的量子現象として、半導体中の高密度電子正孔系がある。励起エネルギーの空間伝播の研究により、励起子超流動状態あるいはそれと関連したコヒーレントな伝播現象

が生じている事が実験的にもほぼ検証されている。巨視的量子現象としては、BCS 超伝導とヘリウムのボーズ凝縮状態 (BEC) における超流動が典型例であるが、それらの秩序状態は全く異なっている。即ち、前者の秩序変数はフェルミ面上のエネルギーギャップであり、後者のそれは運動量ゼロの粒子数である。高密度電子正孔系では、その密度を変化させる事により、BCS-BEC クロスオーバーを同一の物質で系統的に調べる事ができる。一般化された乱雑位相近似と BS 方程式を解く事により、粒子数密度が増大する従い、低密度での励起子 BEC 発光線から、励起子間多体相互作用を反映した P 発光線、更には、BCS ギャップを持つ縮退したフェルミ系に特徴的な光スペクトルに変化する様相が明らかにされた。

## インコヒーレント光を用いた時間分解分光

香川大学・工学部・材料創造工学科 中西 俊介

光学的遷移の時間分解分光は、単に光学遷移のダイナミックスについての情報を与えるだけでなく、光学遷移をする原子・分子や励起子の環境を形成しているホストの動的な変化を時間領域で観測できるため、非常によく用いられる方法である。時間分解分光で時間分解能を上げるためにには励起パルスを超短パルスにする必要がある。しかし、位相情報を検出するような場合には、パルス幅の広いインコヒーレント光を用いても高時間分解能の測定が可能である。このような分光法は、レーザーほどコヒーレンスが良くないシンクロトロン放射光を時間分解分光に応用する場合にヒントを与えるかもしれない。

インコヒーレント光を用いる時間分解分光法では、その時間分解能は用いる光の電場相関時間（1次のコヒーレンス時間）や強度相関時間（2次のコヒーレンス時間）で決定される。コヒーレンス理論によれば、あるバンド幅  $\gamma$  の幅で切り出した黒体輻射（熱輻射）光でも相関関数（1次コヒーレンス関数）

$$g^{(1)}(\tau) \equiv A \langle E^*(r_1 t_1) E(r_2 t_2) \rangle, \quad \tau = t_1 - t_2$$

は  $\gamma \tau < 1$  の時間では有意の大きさになり、可干渉になることが知られている [1]。インコヒーレントなレーザー光でも基本的には同様になるので、バンド幅の大きなインコヒーレントレーザー光を用いると簡単に時間分解能を上げて測定できる。以下では、このようなインコヒーレント光の可干渉性を四光波混合法に適用して時間分解分光を行った例を示す。

四光波混合法では励起パルス光を2つに分け、一方に時間遅延をかけた後、2つのビームを試料にレンズで集光して照射する。励起ビームの波動ベクトルを  $k_1, k_2$  とすると四光波混合信号は  $k_s=2k_2-k_1$  方向に放出され、その強度を励起光パルス間の遅延時間  $\tau$  の関数として測定することにより試料の位相緩和時間を測定することができる。この方法では光学遷移の量子力学的位相の減衰を測定していくことになり、試料の不均一拡がりが大きい場合には光エコーと呼ばれるものと同等になる。図1は

インコヒーレントレーザー光を用いて、高分子ホストにドープした色素(NB)の四光波混合信号を測定した例である [2]。励起光はパルス幅8ns、バンド幅1.6nm(@ $\lambda=670\text{nm}$ )のインコヒーレント光である。励起光のパルス幅が8nsであるにも拘わらず、ps領域の減衰が明瞭に観測できている。時間分解能は励起光の電場相関時間で決まっており、この場合には約0.5 psである。遅延時間を電場相関時間より大きくした場合でも信号が現れているのは、電場の位相情報を試料が記録しているために2つの励起光間で試料を通じて干渉が生じるためである。

シンクロトロン放射光を用いても同様の測定ができるかを分子研のUVSORを用いて確かめる実験を行った。SRはレーザーに比べると極端にコヒーレンスが悪くなるが、原理的には電場相関が観測での例きれば四光波混合法の測定が可能である。図2はSRの可視域全体の光を用いて観測した電場相関である。この場合の電場相関時間は光のバンド幅で決まっており、約3fsである。この電場相関を利用して四光波混合法の測定を行った[3]。

#### (参考文献)

- [1] 花村榮一、「量子光学」(岩波講座 現代の物理学8、1992)
- [2] S. Nakanishi et al., J. Chem. Phys. 100 (1994) 3442.
- [3] H. Itoh et al., Phys. Rev. A 50 (1994) 3312.

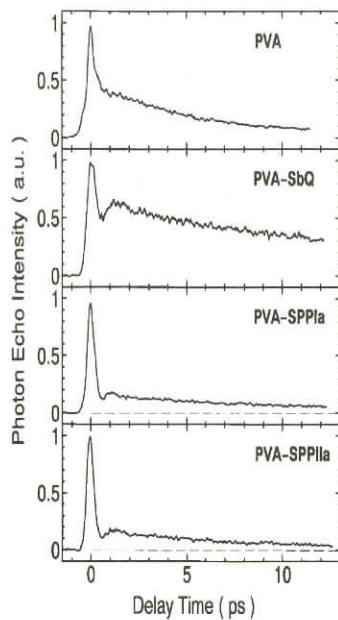


図1：四光波混合信号

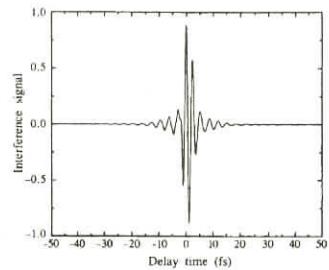


図2：SRの電場相関の測定

## 東京理科大学赤外自由電子レーザ研究センターの現状

東京理科大学総合研究所 河合 正之

東京理科大学赤外自由電子レーザー研究センターは平成12年春から赤外自由電子レーザーの発振に向けて加速器パラメータの最適値の探索、光共振器の調整の作業をおこなってきた。7月6日には、レーザー発振を初めて観測した。さらに電子ビーム入射機器の改善を行ってきた結果9月27日には、飽和出力に達した。この赤外自由電子レーザー装置(FEL)は、東京理科大学と川崎重工業との間で平成14年4月に締結された協定に基づいて、光利用の観点からFELに求められる諸条件について討議し、その結果を踏まえて、川崎重工が設計製作した。はじめから光利用を目的にしてFELが設計製作されたのは世界的に見ても本センターが最初であろう。本学の赤外FELは、光利用専用のFEL施設としては国内唯一のものであり、平成11年度からは文部省の「学術の新しい展開のためのプログラム」による研究プロジェクト「赤外自由電子レーザーの高性能化とこれを用いた光科学」(研究リ

ダー：黒田晴雄、実施期間 5 年間）が発足し、学内外の多くの研究協力のもとに研究が推進されつつある。すでに、ビームライン等の光利用の基盤設備や、気体多光子解離実験装置、時間分解赤外吸収実験装置、赤外近接場走査顕微鏡装置、ミクロ照射・顕微 FTIR 装置、レーザー同位体分離実験装置とうの光利用実験装置の製作が完了し本格的な利用研究が進んでいる。

## 短パンチ電子線パルスによる白色パルス THz 波発生

東北大学大学院工学研究科 近藤 泰洋

電子が加速度運動をすると電磁波が放射されるが、定速で走っても電子の周囲の環境が空間的に一様でない時はやはり電磁波が放射される。更に、媒質が一様でも、媒質中の光の位相速度よりも電子の速度が速い場合には電磁波が放射される。

シンクロトロン放射は最初の例の一つで、次の例には遷移放射や回折放射が対応し、最後の放射はチェレンコフ放射として知られている。電子集団を小さくまとめて（パンチ）加速した場合、パンチの長さより長い波長領域では、各電子からの放射を重ねた時に位相が揃い、放射強度が  $N^2$  に比例して増大する。

この効果を以後コヒーレント効果と呼ぶ。

シンクロトロン放射におけるこのような効果は東北大グループによって 1989 年初めて観測され、THz 領域でこの増率が  $10^6$  以上にもなることを報告している。以後同様な効果がチェレンコフ放射、遷移放射、回折放射などにおいても報告されている。これらの放射の特徴は、電子線パルスのパンチ長程度の波長までの領域で連続スペクトルを持つパルス光源となっていることである。

電子線による放射のもう一つの特徴は、放射の位相が放射発生の場所によって決まっているという事である。

そこで、電子線が幾つかのパンチから成っている時、異なるパンチからの光の干渉を観測でき、適当な手段で重ね合わせると放射強度を増大させる事ができる。この場合、放射光のスペクトルは連続ではなく、位相条件によって決まる幾つかの波長でピークを持つ。

電子線に摂動を与える媒質が空間的に周期を持つ場合にも電子からの放射はピークを持つ。一つの例はスマス・パーセル放射と呼ばれもので、回折格子の近くに電子線を通すことによって放射される。さらに、フォトニック結晶の表面近くに電子線を走らせると、フォトニック結晶内部での光の分散関係を反映して特定の方向に放射が観測される。いずれの場合にも電子線がパンチされているとコヒーレント効果を示す。

研究会では以上で述べたパンチされた電子線からのいろいろな放射についてこれまでの実験結果とその装置について概略を紹介した。

## 高強度テラヘルツ電磁波の発生とその応用研究

分子科学研究所 猿倉 信彦

電波と赤外線の中間に位置するテラヘルツ電磁波領域は最後の未開拓電磁波領域として基礎物性ならびに応用物性の両面から急速に脚光を浴びつつある。この電磁波領域（数百 GHz～数十 THz）は、適当な光源や検知器が限られていたため、その発展は比較的緩やかであった。しかし、近年、フェムト秒パルスを半導体素子や半導体に照射することによって、テラヘルツ電磁波を放射させる手法が米国のオーストン等の報告をはじめに数多くなされ、これらの素材から新たなる遠赤外光源が作れるのではないかと期待されている。これまでの研究により、フェムト秒レーザーを磁場中に配置した半導体(InAs)に照射して得られるテラヘルツ電磁波強度は、およそ百マイクロワットに達しており[1-3]、遠赤外領域における光源の開発、特に実用的な放射強度をもったコヒーレントなテラヘルツ電磁波光源の開発はほぼ応用可能な段階に入りつつある。また、高強度テラヘルツ電磁波を用いて画像化システムを構築することにより、半導体産業で応用が期待される可視領域で不透明な物質のイメージングや、生命科学研究で広く応用が期待されるガン組織などの生体イメージングなどが可能になるため、次世代の学術・科学技術を展開に大きく貢献するものである。

実際の応用例は超臨界状態の分光、タンパク質の分光、そしてインクの膜圧と水分含有量の同時測定等があげられる。超臨界状態の分光では、CF<sub>3</sub>H や CO<sub>2</sub>の超臨界状態におけるテラヘルツ電磁波透過スペクトルを詳細に測定し、超臨界状態下での新しい「相」を発見した[4]。また、タンパク質に関してはチトクロム C 等を用いて研究を行い、nature と denature の状態でテラヘルツ電磁波スペクトルに大きな違いが発見された。この違いはタンパク質の機能発現過程に関連したモードである可能性があり、現在、詳細な解析が行われている。さらに、インクへの応用研究に関しては、従来の素子や光を使った計測技術では測定不可能だった黒色インク（墨色インク）の膜圧と水分含有量の同時測定に、テラヘルツ電磁波を用いることにより初めて成功した。黒色インクの膜圧、水分量調整はベテランの職人に依存しており、大規模オフセット印刷などの完全自動化には最大の障害になっていた。現在、実験室段階でのシステム構成及び測定はほぼ完了し、応用研究は工場実機による実地段階に入りつつある。

- [1] N. Sarukura, H. Ohtake, S. Izumida, and Z. Liu, J. Appl. Phys. vol. 84, 654-656 (1998).
- [2] H. Ohtake, S. Ono, M. Sakai, Z. Liu, T. Tsukamoto, and N. Sarukura, Appl. Phys. Lett. vol. 76, 1398-1400 (2000).
- [3] S. Ono, T. Tsukamoto, E. Kawahata, T. Yano, H. Ohtake, and N. Sarukura, Appl. Opt. vol. 40, 1369-1371 (2001).
- [4] K. Saitow, H. Ohtake, N. Sarukura, and K. Nishikawa, Chem. Phys. Lett., vol. 341, pp86-92 (2001).

## 時間領域テラヘルツ分光

大阪大学・超伝導フォトニクス研究センター 萩行 行憲

超短光パルスを半導体光スイッチに照射して、時間幅が 0.5ps 以下の電磁波パルス(テラヘルツ波パルス)を自由空間に放射する手法が 1980 年代に開発されたが、固体超短パルスレーザーの発展に伴つてこの手法も急激な発展を遂げ、分光やイメージングに応用され始めている。筆者らが 80 年代後半に、電子管を 2 本用いて 75~170GHz の干渉分光計を試作し、苦労して半導体などの分光を行っていた時代のことを考えると隔世の感がある。<sup>1)</sup>

筆者らは、1995 年に高温超伝導体薄膜を加工して超伝導バイアス電流を流し、これに超短光パルスを照射することによってテラヘルツ波を放射させる新しい手法を開発し、<sup>2)</sup>この現象を利用した高出力のテラヘルツ波放射素子、超伝導電流イメージング、超伝導光磁束トラップメモリなどの新しいアイデアの提案と実現を行ってきた。<sup>3)</sup>また、半導体表面からのテラヘルツ波放射についてもその放射機構について研究を進めてきた。<sup>4)</sup>最近は、分光とイメージングへの応用にも力を入れている。<sup>5)</sup>

テラヘルツ波の基本的な応用のひとつは分光応用であるが、波形そのものが測定できるので各周波数で振幅と位相の両方の情報が得られ、クラマース・クローニッヒ変換によらずに複素光学定数を求めることができる。この分光法はテラヘルツ時間領域分光法と呼ばれるが、インパルス応答を求める手法といってよい。時間領域で単周期あるいは半周期に近いテラヘルツ波パルスが試料内を透過あるいは反射してきた波形をそのまま見ることができるので、試料中で起こっている現象を物理的に理解しやすいメリットもある。我々は、透過型や反射型装置の試作、また、エリプソメトリの応用などの分光手法の開発を行ってきた。また、高価なフェムト秒レーザーの代わりに CW マルチモードレーザーダイオードを使用した「貧乏人のサブテラヘルツ分光装置」の開発も行った。<sup>5)</sup>分光応用に関しては、半導体の自由キャリヤ吸収、高温超伝導体の準粒子吸収の温度依存性と電子対の波動関数の対称性、誘電体球配列や金属(超伝導体を含む)フォトニック結晶の透過特性などの研究を行ってきた。特にフォトニック結晶については、周期がミリからサブミリ程度のため精度が良くてかつ適度な大きさの試料を準備でき、しかもテラヘルツ波は振幅と位相両方の測定が可能ということで、他の波長域に比べて完全な実験と理論の比較が可能となった。その結果、2 次元誘電体球配列フォトニック結晶については千葉大の大高らの理論計算と非常に良く一致するという結果が得られている。

### 参考文献

- 1) 萩行ら, 固体物理 31 (1996) 335.
- 2) M. Hangyo et al., Appl. Phy. Lett. 69 (1996) 1948.
- 3) 萩行, 高温学会誌 27 (2001) 131 及び その中の参考文献.
- 4) M. Hangyo et al., J. Appl. Phys. 90 (2001) 3409, Appl. Phys. Lett. 79 (2001) 3437.
- 5) O. Morikawa et al., Appl. Phys. Lett. 75 (1999) 3772, Appl. Phys. Lett. 75 (2000) 1519.

## 中遠赤外時間領域分光法による光誘起現象の研究

東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻 島野 亮、五神 真

チタンサファイアレーザーを基礎とする超短パルスレーザー技術、特にその増幅および波長変換技術の目覚しい進歩により、紫外域から、可視、近赤外、中赤外、さらには遠赤外（THz 周波数）領域にわたる広い波長範囲で、コヒーレントな超短パルス光源が得られるようになった。これは強相関電子系などの広いエネルギー階級での分光が必須な系の物性研究にとってきわめて重要な手段となり研究が活発になってきている。特に中赤外、遠赤外領域のコヒーレント光源とそれを用いた時間分解分光法はこれまでの光物性研究を一新する大きな可能性があると感じている。本講演では、我々の研究室で進めている 2, 3 の研究を具体例として紹介しながら、このような長波長域の時間分解分光法が、物性研究にどのような新しい側面をもたらしつつあるのかを議論した。

### 半導体高密度電子正孔系の時間分解中赤外分光

半導体中に光励起された電子正孔系は、密度、温度、圧力に応じて、励起子や電子正孔気体（プラズマ）、電子正孔液体などの多様な相を形成する。これら高密度電子正孔系の研究は、励起子系の金属絶縁体転移（励起子モット転移）や電子正孔系の気体—液体転移といった固体物理研究の基礎的問題と関連して 1970 年頃から盛んに進められてきた。本講演では、この高密度電子正孔系研究の新たな切り口として、中赤外領域の時間分解分光法を紹介した。光励起された高密度電子正孔系のバンド内運動（自由キャリア運動）をサブピコ秒の時間分解能で追跡することで電子正孔プラズマの生成、冷却過程、電子正孔液滴の形成を観測することが可能となった。また高い時間分解能を持つ測定によって初めて、直接遷移型半導における電子正孔液滴の形成をその短い寿命内に観測することが可能となつた[M. Nagai, R. Shimano, M. Kuwata-Gonokami, Phys. Rev. Lett. **86**, 5795, (2001)]。

### 強相関電子系における光誘起現象の遠赤外 THz 時間分解分光

フェムト秒パルスを用いて発生した THz 電磁波はモノサイクル的なコヒーレントな超短パルスであり、またその周波数はより伝導現象に近い領域にある。このため、低エネルギー領域での超高速時間分解伝導プローブとして、例えば光誘起金属絶縁体転移などの相転移のダイナミクスを調べる手段としても有効である。講演では光整流法および EO サンプリング法による THz 電磁波発生、検出法について紹介し、一例として強相関電子系における光励起 THz プローブの実験について報告した。（二重交換相互作用により）電気伝導と磁性が強く相関する遷移金属酸化物  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  を例として、光励起に引き続く系の変化を THz 電磁波領域でプローブし、伝導率の変化をピコ秒の時間分解能で追跡した。瞬時的な光励起に伴って伝導率が減少することが見出され、伝導率変化の温度依存性から約 100 ピコ秒の時間スケールで減少する成分が、スピノの乱れを反映したものであると結論された。

### THz 領域の偏光分光法と磁気光学測定への応用

THz 時間領域分光の物性評価法への応用例として、偏光分光法とこれを用いた磁気光学測定につい

て報告した。特に、透過配置での測定が困難な場合にも適用できる反射配置（磁気カ一効果）の測定手法を紹介し、誘電関数（伝導率）を決定する手法について報告した。THz 周波数での非接触ホール測定に対応しており、移動度やキャリア密度といった半導体基礎評価技術として、また種々の磁性体における磁性発現機構を探る有用なプローブとしても幅広い応用が期待される。

## 硬X線領域でのコヒーレンスの利用

理化学研究所・播磨研究所 石川 哲也

第三世代放射光の稼働により、10keV 以上の硬X線領域でもコヒーレンスを利用した応用研究が可能になってきた。特に、ESRF と SPring-8 では、エミッタансカップリングが小さく（1%以下）、少なくとも垂直方向に関しては「回折限界」に近い硬X線ビームが利用できる。また、現在ドイツ(DESY)、アメリカ(SLAC)および日本(SPring-8)で建設が進められている SASE 型 FEL では、空間的に完全にコヒーレントな硬X線ビームを得ることが可能であり、硬X線領域でのコヒーレンス利用は、今後真剣に対応すべき問題であると認識されている。

しかしながら、コヒーレント X 線を扱う X 線光学素子開発は漸くその端緒についたばかりである。とくに放射光ビームラインでの重要な光学素子である全反射ミラーは、ESRF、APS、SPring-8 の多くのビームラインで、ミラーの形状誤差に起因する反射ビーム強度の空間的非一様性が問題になっており、X 線ビームの位相空間内分布を著しく歪めてしまう結果となっている。第三世代、及び第四世代放射光での光学素子としての X 線ミラーを、コヒーレンスを保存するような小さな形状誤差で製作することが、放射光 X 線光学での重要な課題となってきた。

SPring-8 では、大阪大学超精密科学研究センターと協力し、そこで開発されている Chemical Vaporization Machining (CVM) [1] および Elastic Emission Machining (EEM) [2] による超平坦 X 線ミラーの開発と評価に取り組んできた。SPring-8 の 1km ビームライン (BL29XUL) [3] では、全反射ミラーに対して、完全コヒーレント照射の条件が満足でき、大阪大学での光学干渉計によるミラー形状計測の結果に基づいて、Fresnel-Kirchhof 積分を数値的に求めることによって、観察された反射ビーム強度の空間分布を再現することが出来た[4]。また、逆に異なるミラー・検収器距離での強度分布から、ミラーの形状誤差を計算するアルゴリズムを開発し、その結果は光学干渉計での計測結果と極めて良く一致している[5]。これらの開発により、現在非球面ミラーであっても形状誤差を抑制して設計性能をほぼ満足する加工が可能になってきた。

コヒーレント X 線照射での X 線散乱測定では、周期性を持たない試料での構造解析が可能である[6]。現在、SPring-8 の BL29XU では、8nm 分解能での二次元構造の解析に成功し、10nm 分解能程度での三次元構造解析が進行中である[7]。近い将来、原子分解能に到達することは確実であると考えている。

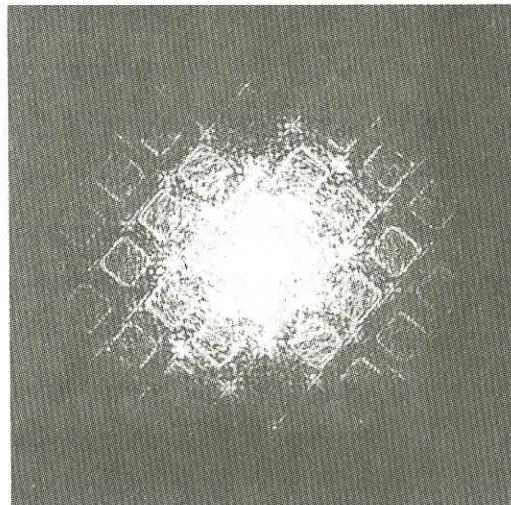
- [1] Y. Mori, K. Yamauchi and K. Endo: Precision Engineering, **9** (1987) 123-128.
- [2] Y. Mori, K. Yamamura and Y. Sano: Rev. Sci. Instrum. **71** (2000) 4620-4626
- [3] T. Ishikawa et al.: Proc. SPIE, **4145** (2001) 1-10.
- [4] Y. Mori et al.: Proc. SPIE, **4501** (2001) 30-42.
- [5] A. Souvorov et al.: J. Synrotron Rad., submitted.
- [6] J. Miao et al.: Nature (London), **400** (1999) 342-344.
- [7] J. Miao: private communication.

## 最近のホログラフィー実験

筑波大学・物理工学系 渡辺 紀生、青木 貞雄

最近の第3世代放射光光源におけるX線アンジュレーターの開発は、エネルギーが数 keV 以上のX線領域においても  $100 \mu\text{m}$  を超える空間コヒーレンスを持つようになってきた。特に SPring-8 BL20XU 中尺ビームラインでは光源から 200 メートル以上離れた位置で実験を行なえるため、非常に広い空間コヒーレンス領域を利用することができる。ここでは、BL20XU にて 8 keV X 線で行なったフーリエ変換ホログラフィーの結果を紹介する。

実験では 2 結晶分光器のすぐ下流側に  $50 \mu\text{m}$  のクロススリットを設置し、そこから 190m 離れた位置に光学系を設置した。最外輪帯幅  $0.1 \mu\text{m}$ 、直径  $155 \mu\text{m}$  のゾーンプレートをビームスプリッターとして、その1次集光ビームを参照光源とした。ゾーンプレート集光面に  $50 \mu\text{m}$  ピンホールと試料を置いて、下流 4 m の位置に CCD カメラを置いて干渉縞を観察した。図に Cu #2000 メッシュの再構成像を示す。低周波成分がダイレクトビーム等のかぶりで利用できないため高周波成分のみの像となっているが、エッジ部分がコントラスト良く観察できる。



Cu #2000 メッシュ再構成像

## 時間分解 X 線回折の現状と展望

東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設 上坂 充

今日、第 3 世代放射光源が順調に稼動し、高輝度 X 線 SR の精力的利用研究が実施されている。その SR パルス利用研究の中で、高時間分割 X 線回折は最も多く採用されて、先駆的実験が世界各国で行われている。特に GaAs、InSb、Si のコヒーレント音響フォノンの観察、その X 線スイッチへの応用、光受容タンパク質／色素の動的構造解析が実施されている。一方、短パルス X 線光源として X-FEL、レーザープラズマ X 線、逆コンプトン散乱 X 線等が開発研究されつつあり、短パルス線生成技術、測定の時間分解能も急速に向上してきている。特にレーザープラズマ X 線では GaAs の熱膨張、コヒーレント音響フォノン、衝撃波、LB 膜の損傷過程などが観測されている。現在、東大原施のフェムト秒高速量子現象研究設備においては、二つの電子ライナックと 0.3TW100fs レーザーから成るフェムト秒ライナック・レーザー同期システム（電子レーザー同期精度 330fs(rms)）と、12 TW50fs テーブルトップレーザーシステムが稼動中である。後者を銅ターゲットにフォーカス照射して 10 ピコ秒程度の X 線パルスを発生させ、高時間分割 X 線回折実験を実施している。レーザープラズマ X 線によるポンプ・プローブ実験で GaAs 単結晶の熱膨張と音響フォノンを観察し、その原子動画像化を行った。真空容器内に導入された 12TW50fs レーザーはビームスプリッタによって、メインパルスとポンプパルスに分けられる。メインパルスは銅板ターゲットに集光し、プローブ光となるレーザープラズマ X 線を発生させる。一方、ポンプパルスは可動ミラーに反射した後、過渡変化を誘起するポンプ光となる。ポンプされた結晶にプローブ光があたると、プローブ光と結晶表面のなす角度がブリッジ角となる方向にのみ X 線が回折していく。この X 線は過渡変化の格子構造情報を含んでおり、イメージングプレートを用いてその X 線回折像を取得する。GaAs 単結晶(111)の原子配列モデルから X 線回折のシミュレーションを行い、実験結果とのおおむねの一一致を確認した (Fig.1)。次なるターゲットとしては、SPring8 で実施されている光受容タンパク質 (Fig.2) の動的構造解析を予定している。分子数数十万のタンパク質の動的構造解析をレーザープラズマ X 線で行うことは、強度的にもスペクトル的にも困難である。タンパク質の動きもマイクロ・ミリ秒領域で、レーザープラズマ X 線回折の時間分解能では速すぎてしまう。そこで、タンパク質に付着している色素の構

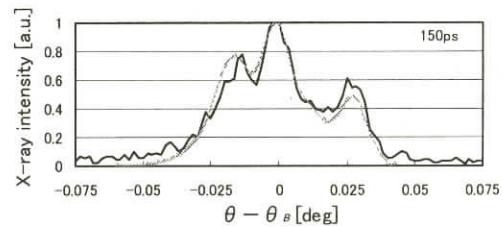


Fig.1 Comparison between experimental (solid line) and numerical (broken line) results of X-ray diffraction pattern.

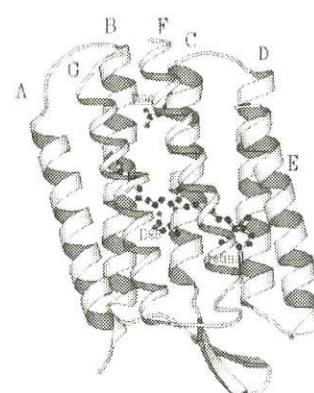


Fig. 2 Structure of photoactive protein (bacteriorhodopsin)

造変化を、レーザープラズマ X 線にてピコ秒からナノ秒の時間スケールで時間分解粉末デバイ・シェラー回折法でとらえる。また、マイクロ・ミリ秒時間領域のタンパク質構造変化を SPring8 で観察する。両者の構造変化がうまく繋げられないかと期待している。これらの研究を継続していければ、現状まだ時間分解 X 線回折の成果はややデモ的な測面があるが、未知のミクロダイナミクスの発見と新しいナノダイナミクスとの言える産業応用も見出せるであろう。また、XFEL、レーザープラズマ X 線源、逆コンプトン散乱 X 線源、X 線レーザーなど、新しい短パルス X 線源の開発も着々と進行している。光源開発と先駆的利用を並行して行っていけば相方のレベルは同時に向上する。様々なパルス X 線源の長所をいかして、相補的に活用にいくことも重要と考える。

### Femtosecond X-Ray diffraction studies of ultrafast phase transitions

Lawrence Berkeley National Lab. A.Cavalleri

Photoinduced phase transitions in femtosecond-laser-irradiated crystalline materials are studied with time-resolved optical-pump femtosecond x-ray diffraction probe techniques. Ultrafast nonthermal melting, occurring on a time scale significantly faster than normal thermal melting, has been observed directly, for the first time, in thin Ge-111 films grown on Si-111 substrates by a novel surfactant mediated growth technique. Preliminary results in nonthermal solid-solid transitions in vanadium dioxide will also be discussed, as well as the study on anharmonic acoustic dynamics in thin Ge films.

### 強電子一格子結合系の物性開拓とフォトクリスタログラフィーの役割 —光誘起構造相転移の実時間観測—

東京工業大学・物質科学専攻 腰原 伸也

「固体の構造と物性」という 2 つの要素間の関連を解明する、並びにそのための実験技術を開拓することは、今日の物質科学における最も基本的テーマである。基底状態ないしその近傍のエネルギー状態にある物質に関しては、観測技術も発達し、膨大な知見とそれに基づく精密な理論が構築されつつある。ところが光励起状態のような高いエネルギー状態にある固体などの凝縮系物質に関しては、実験技法の困難さもあって、「励起状態の固体構造と物性」という視点での研究はほとんど皆無なのが現状である。一方、我々はこの 15 年間継続して、光誘起相転移現象（光誘起ドミノ倒し）の探索研究を実施してきた。この未踏分野の研究を進めて行く過程で、光誘起相転移発現に伴って非線形光学特性、光学特性、磁性、磁気伝導、誘電特性など数々の物性に大きな変化が起きることを我々は明らか

かにし、応用的にも興味深い現象であることを報告してきた。さらに近年になって、これらの特性変化が固体の光誘起構造変化と密接な関連があることに気が付くに至った。この着想を確認するためには、光励起下におけるアトムレベルでの結晶構造や表面構造変化の動的測定技術（フォトクリスタログラフィー）を発展させ、光誘起相転移に伴う物質構造変化の実証、さらにはそのダイナミクスを観測することが必要不可欠である。この目的達成のための第一段階として、我々は4年前より ESRF（ヨーロッパ軌道放射光施設：グルノーブル）において、レンヌ大学のグループと協力して、フェムト秒再生増幅レーザーの SOR リングとの同期運転装置を開発し、電荷移動錯体における光誘起構造相転移ダイナミクスの直接観測研究に着手した（ESRF Annual Report ID09-CH807）。その結果、光励起による動的スピンドルス歪みとその自発秩序化の観測に成功したので、報告する。

## X 線領域の光物性理論

東京大学物性研究所 小谷 章雄

X 線領域の光物性において、これまで理論が大きな寄与をしてきた分光分野として（1）光電子分光（内殻および価電子）、（2）X 線吸収分光（多重項効果と円偏光磁気二色性）、（3）X 線発光分光（特にその共鳴効果）が挙げられる。（1）と（2）に比べて（3）の研究は大きな遅れをとっていたが、最近、高輝度光源による実験の進歩に呼応して著しい進展がみられる[1]。また、（1）と（2）は1光子過程であるのに対して、（3）は2光子過程（2次光学過程）であり、線形光学から非線形光学への展開の一つの道筋とみることもできる。

このような観点から、本講演ではまず共鳴 X 線発光分光の最近の成果について紹介し、次に今後の発展が期待される共鳴 X 線 2 光子吸収分光に対する一つの理論的試みについて述べる。共鳴 X 線発光分光は、通常、コヒーレントな 2 次光学過程として理論で取扱われているが、そのコヒーレンスを反映する干渉効果（異なった中間状態を経由する過程間の干渉効果）がどの程度重要であるか、どのような場合に重要な役割を果たすかがこれまで明らかではなかった。これに関して、ごく最近、強磁性体の共鳴発光分光の円偏光磁気二色性(MCD)において、入射光と磁化の間の角度を変化させると干渉効果の寄与が系統的に変化するという新しい事実が理論と実験の両面で明らかにされた[2]。特に、入射光方向が磁化方向に垂直（横配置と呼ぶ）になると、MCD の全強度に対して干渉効果の占める割合が 100% に達するという極めて特異な振舞いが明らかになり、その場合のスペクトル形状、強度とその発光方向依存性が GdCo アモルファス合金に対する実験で確認された。

その後、われわれは基本的に同様な現象が強磁性体の共鳴 X 線 2 光子吸収でも起こりうることを、理論的に見出している。この場合は、入射光の一方が横配置をとると、その光に対する MCD が 100% の干渉効果を示す。また、この理論の枠組みは一般的であり、例えば、放射光・レーザー同時照射実験にも適用できるであろう。

最後に、X 線領域の非線形感受率、ポンプ・プロープ分光、および超短時間分光に関する田中智氏ら[3]の最近の理論について、簡単に紹介する。

[1] A. Kotani and S. Shin: Rev. Mod. Phys. 73 (2001) 203.

- [2] K. Fukui, H. Ogasawara, A. Kotani, T. Iwazumi, H. Shoji and T. Nakamura: J. Phys. Soc. Jpn. **70** (2001) 1230, and to be published in J. Phys. Soc. Jpn.
- [3] S. Tanaka and S. Mukamel: Phys. Rev. A**64** (2001) 32503, and to be published in J. Chem. Phys.

## 軟X線発光分光とそのコヒーレンスの利用

東京大学物性研究所 辛 塙

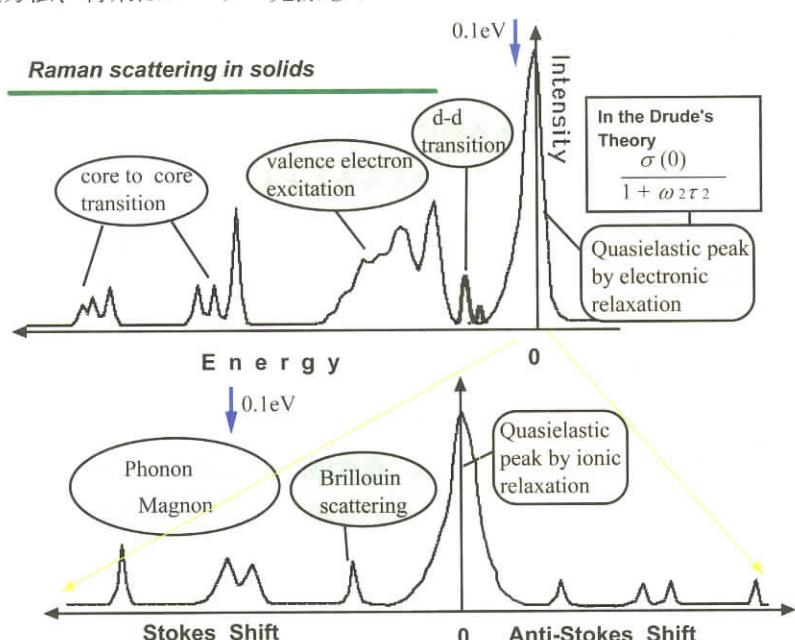
電子線や、強力X線管などを用いたX線領域の蛍光分光は、古くから、物質の電子状態を知る手段となっている。最近、放射光源の進歩に伴って、高輝度の励起光を利用することが可能になり、レーザーが可能にしたような光物理研究が、軟X線領域においてもようやく始まってきたといつてよい。このような研究により、物質の電子状態だけでなく、内殻励起状態における格子緩和・電子緩和の仕組みが明らかになることが期待されている。軟X線発光分光は、将来、光電子分光に取って代わるべき電子状態の新しい研究方法であるが、以下のような特徴を持っている。

1. 高輝度な放射光源を要する実験方法、将来はレーザー光源も？
2. 元素選択的電子状態
3. 双極子遷移
4.  $k$  依存性
5. 試料を選ばない（生体物質でも可）

分光法としては確立しつつあるものの、強度、分解能で実用上問題ために、更に高輝度が必要である。

一方、コヒーレントを利用した軟X線発光分光の可能性も考えられている。特に物質の時間相関による Dynamic light scattering が有用であろう。軟X線領域の Dynamic light scattering では以下の特徴を持っています。

- 酸素、窒素、炭素等の軽元素のイオンの揺らぎ
- 遷移金属、希土類等の磁性元素のイオンの揺らぎ
- 超高分解能分光
- 電子の揺らぎ



# レーザー光電子分光法による表面電子励起状態の測定と顕微分光への試み

理化学研究所・表面ダイナミクス研究ユニット 宗像 利明

**[序]** 表面での構造変化や吸着分子の化学反応は電子励起状態を経由して進行すると考えられている。表面電子励起状態については不明なことが多いのが現状であるが、2光子光電子(2PPE)分光法が有力な測定法として進展しつつある。我々は、これまで、NO やベンゼン吸着 Cu(111)面のほか、Si(001),(111)などの 2PPE 分光を行ってきた。その結果、電子励起状態への共鳴幅は 0.3 eV 以下と狭いことや、遷移の選択則を明らかにしてきた。本講演では、高温超伝導体 Bi2212 の 2PPE 分光による電子励起状態の分光測定を報告し、さらに、微小領域の電子状態研究のために試みている顕微光電子分光装置の開発を報告する。

**[Bi2212 の 2PPE]** 2PPE では価電子帯でのバンド間遷移を捉えるので、非占有準位について逆光電子分光 (IPES) などとは異なる情報が得られる。図 1 に 2PPE スペクトルと IPES を比較する。2PPE は分解能が <30meV であるので、高分解能分光に適している。図中の A のピークは Cu3d<sub>z2</sub> を主成分とする非占有準位で、バンド幅が 0.3eV と極端に狭い。また、B のピークは A のサテライトと思われるが、IPES では分離されていない。これらの結果の意味するものを充分に議論するには至っていないが、2PPE の特徴を例示している。

**[顕微光電子分光装置]** VUV 域のレーザー光を回折限界まで絞り込むことで、サブミクロン領域の光電子分光を 30meV 分解能で測定すること試みてい

る。パルス幅 100fs の Ti:Sa レーザーの第 6 高調波 (140nm、8.9 eV) を開口数 0.29 の反射対物レンズで試料面上に集光する。光電子は飛行時間型エネルギー分析器で検出される。エネルギー分解能 30meV(@4eV) が実現しているが、この分解能はパルス幅で決まる限界値 18meV に近い。Si 上に Pd を 5.9μm 周期で蒸着した試料の測定例を図 2 に示す。PEEM 画像では Pd が明るく、Si が暗い縞として観測されている。420nm 光による 2PPE では Si のバンドギャップ領域に Pd の鏡像準位による鋭いピークが観測される。空間分解能は 1μm 以下である。さらに、140nm 光を用いることで回折限界に近い 0.3μm の空間分解能で光電子分光が可能になった。

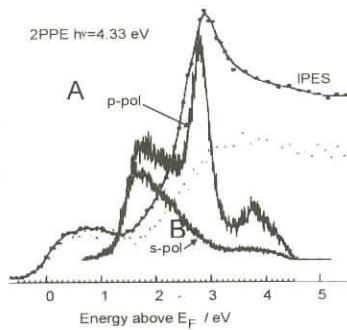


図 1. Bi2212 の 2PPE。比較の IPES は Drube et al, PRB39, 7328(1989).

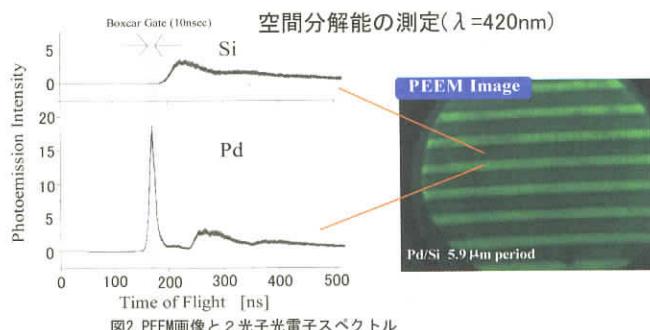


図 2. PEEM 画像と 2 光子光電子スペクトル

## 放射光とレーザーの組み合わせによる真空紫外域の変調反射分光

岡山大学・理学部物理学科 有本 收

広範なエネルギー領域にわたって連続した分布を持つ放射光と、非常に大きな強度を持つレーザー光を併用した組み合わせ実験は、多彩なバリエーションが可能であり、今後ますます発展すると思われる。我々はこれまで、放射光とレーザー光の同時照射によって誘起される微弱な固有発光を高感度に検出することにより、ワイドギャップ絶縁体  $\text{BaF}_2$ ,  $\text{CaF}_2$  の価電子および内殻励起子の2光子分光を行ってきた[1-4]。最近、組み合わせ実験の新たな展開をはかる目的で、反射配置の測定系を構築し、種々の半導体結晶を対象に真空紫外域の光変調分光を実施している。レーザー光によって誘起される微弱な反射率変化を、放射光をプローブ光として検出する本手法は、発光や吸収の観測が困難な場合にも適用できる。研究会では  $\text{ZnSe}$  に対する結果を中心に紹介した。

実験は分子研 UVSOR 施設の BL1B で行った。試料には MBE 法により作製した  $\text{ZnSe}$  薄膜結晶 ( $d = 0.6 \mu\text{m}$ ) を用いた。モード同期チタンサファイアレーザーの2倍波 (3.12 eV) で  $\text{ZnSe}$  ( $E_g = 2.82 \text{ eV}$ ) をバンド間励起しながら、放射光をプローブとして試料からの反射光を真空試料槽内に配置した光電子増倍管 (PMT) で検出する。レーザー光には 100 Hz 程度の強度変調をかけ、これに同期した反射率変化を Lock-in 検出する。現在のところ  $\Delta R/R = 10^{-5}$  程度の感度を持つ。この PMT は CsI 光電面を持ち、レーザー光の波長には感度がないため、発光観測の場合に問題となるレーザーの強い散乱光の影響を排除できる。なお必要に応じて、90 MHz で完全同期した放射光パルスとレーザー光パルスの間で時間遅延 (0~11 ns) をかけることができる。上記の条件下で光変調反射スペクトルを測定したところ、6.5 eV から 7 eV にかけて  $\Delta R/R = 10^{-4}$  程度の顕著な反射率変化を得た。解釈の詳細は当日報告するが、この反射率変化は、レーザー光による変調帯間励起によって、バンドベンディングした結晶表面にフリーキャリアーが生成され、その結果、表面電場 (built-in field) が変調を受けることによって生じたものである。従って、このシステムは透明電極を用いない真空紫外域での（無接触）電場変調分光として利用できる。当日はこの他、 $\text{ZnSe}$  励起子の吸収端域変調分光や n 型及び p 型 GaAs の真空紫外域変調分光の結果、 $\text{TlBr}$  の内殻励起子に対する予備測定の結果、等について紹介した。

- [1] O. Arimoto *et al.*: J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **92** (1998) 219.
- [2] S. Asaka *et al.*: Rev. Sci. Instrum. **69** (1998) 1931.
- [3] T. Tsujibayashi *et al.*: Phys. Rev. B **60** (1999) R8442.
- [4] J. Azuma *et al.*: Nucl. Instrum. Methods **467-8** (2001) 1452.

## 長尺アンジュレーターの利用

東京大学物性研究所 末元 徹

近年、挿入デバイスの使用を主眼とした高輝度放射光リングの建設が世界各地で進んでいる。これらの光源から得られる光は、いろいろな面でレーザーに近い特性を持つようになってきており、非線形光学や超高速分光など新しい利用法への期待が高まっている。この講演では東大高輝度光源計画に予定されている 27m アンジュレータから得られる光の特性をレーザーと比較して明らかにするとともに、その利用研究について議論する。

アルゴンレーザー、Ti サファイアレーザーとアンジュレータの輝度を SR の分野で常用されるブリリアンス (photon/sec/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>/0.1%BW)) によって比較すると下表のようになる。この表からアンジュレータ光のブリリアンスは 30mW の CW アルゴンレーザーと同じ程度であり、輝度の面ではすでにレーザーに近い光源であると言えることがわかる。更に回折限界まで絞り込む場合を考えると、波長が短いので可視光に比べて 3 衍の電場増強が期待される。

コヒーレント状態（光子数状態でなく）を利用する実験を行なうためには、ボーズ縮重度が高いことが必要であるが、分光器なしの配置を用いればレーザーの  $10^8 \sim 10^{10}$  には遙かに及ばないものの、1 よりは格段に大きく、十分に実用に耐えると思われる。

また、パルスレーザーの電場と電子を相互作用させて、アンジュレータからの軟 X 線パルスを切り出す技術を用いれば、フェムト秒領域でのポンププローブ時間分解分光が可能になる。この場合、フォトン数は時間幅に比例

	アンジュレータ (27m)	Ar レーザー (1W)		モードロック Ti サファイアレーザー-(1W, 100fs)
		CW	モードロック	
フォトンエネルギー	1 KeV		2 eV (514nm)	1.5eV (800nm)
フォトン数			$2.6 \times 10^{18} / \text{s}$	$4 \times 10^{18} / \text{s}$
回折限界 (F=1000)			0.3mm $\varphi$	0.5mm $\varphi$
バンド幅			0.0005%	0.5%
Brilliance	$2 \times 10^{20}$		$6 \times 10^{21}$	$3 \times 10^{18}$
Brilliance (尖頭値)	$2 \times 10^{22}$		$6 \times 10^{23}$	$3 \times 10^{23}$
ボーズ縮重度 $\delta$	6000 (@100eV)	$1.3 \times 10^8$		$2 \times 10^{10}$

して少なくなるので、元のフォトン数が大きいことが重要であり、長尺アンジュレータが威力を発揮するものと期待される。

## 放射光とレーザーの複合実験　－光誘起現象－

佐賀大学・シンクロトロン光応用研究センター 鎌田 雅夫

真空紫外、軟X線領域における光源は、約50年前にシンクロトロン光が発見されて以後の放射光利用の進展とともに大きく成長し、性能が大幅に向上している。現在は、第一世代から第三世代の段階にあり、さらに第四世代光源が言われている。挿入光源の発展やビーム物理のお陰で、高輝度光の利用が現実のものとなっている。一方、レーザーも約50年前にルビーレーザーが報告されて以後、主として可視・紫外領域でその有用性を発揮してきたが、最近は真空紫外・軟X線領域においても性能を高めつつある。さらに、電子線とレーザーを用いたトムソン散乱によるX線発生や、ライナックによる誘導放出過程を利用したX線発生が行なわれるようになってきた。また、X線レーザーやプラズマX線など多様な光源が開発され、利用可能な光源の種類が大きく広がってきた。

真空紫外線や軟X線の特徴は、高輝度性、短パルス性、偏光性、コヒーレンス性などいろいろあるが、物性のダイナミクス研究を行なう上で、パルス性は特に重要である。この優れた光源性能を有効に利用するには、単に光源性能だけでなく、高速の検出系、時間原点の決定法、試料のダメージなどを含めた測定系周りの総合力が重要である。我々は、この問題を避けるために、高繰り返しの放射光とレーザーのポンプ・プローブ法による複合実験などを行っている。

本報告では、放射光とレーザーの複合実験による半導体表面の光誘起現象の例を紹介することで、優れた光源を利用した物性研究の興味ある課題を遂行する上での参考としたい。

半導体からスピノン偏極した電子を引き出すには、伝導帯の底が真空準位より上になる、いわゆる負の電子親和力表面を作る必要がある。しかしながら、この表面に短パルスで高強度の光を当てると、表面ポテンシャルが動いてしまい、電子を取り出せなくなるという問題が指摘されている。これは Surface Photo-Voltage (SPV) Effect によるものと考えられ、その効果を抑制する上での提案がされている。我々は、内殻光電子分光により、表面の電子準位を測定し、可視レーザー励起による表面ポテンシャルの変化を直接測定している。また、放射光とレーザーの同期システムを構築し、SPV 効果の時間応答性を測定した。その結果、ナノ秒よりも早い時間応答と、より遅い時間応答が観測された。そこで、マイクロ秒領域においての時間応答性を測定するための実験システムを構築し、GaAs 系試料における SPV 効果が、広い時間領域で生じていることを明らかにした。また、負の電子親和力表面の生成方法にはすくなくとも3種の方法があり、SPV効果も異なることなどの興味深い結果が得られている。また、実用上有用と考えられている人工格子を基にしたスピノン偏極電子源についてもSPV効果を測定し、かなりSPV効果が抑制されることを確認した。

# 物性研究所ISSPワークショップ

## 強磁場技術と物性研究

日時：平成13年11月5日(月)～11月6日(火)

会場：東京大学柏キャンパス物性研究所6階第1会議室

司会者 三浦 登（東大物性研）

後藤 恒昭（東大物性研）

長田 俊人（東大物性研）

強磁場下での物性研究は我が国において伝統的に盛んな分野であり、東北大金研、阪大強磁場、東大物性研、旧金材技研などの中規模実験施設を中心とした研究活動は世界を先導してきた。ところが近年、合衆国やヨーロッパ連合において国家的規模の大型強磁場施設の建設が相次ぎ、この情勢が変化しつつある。そこで我が国における強磁場研究体制を強化するために、個々の研究グループの連携・協力関係を一層緊密にする必要が認識され、「強磁場研究フォーラム」が設立されつつある。本研究会は、フォーラムの活動の一環として毎年開催されるものであり、本年度は物性研の所長裁量経費により開催された。

本研究会の目的は、国内の主要強磁場研究グループの研究者が一堂に会し、各グループの研究状況の情報交換を行い、新たな方向性を切り開くための議論を行うことである。特定の物性物理学のテーマについて討論するのではなく、強磁場発生技術とその下での物性計測技術、研究開発の将来の方向性について討論することに主眼が置かれている。

### プログラム

#### ●11月5日(月)

13:30-13:40 はじめに 三浦 登（東大物性研）

Session 1：強磁場発生技術 (13:40-15:00) 座長：嶽山正二郎（千葉大理）

13:40-14:00 電磁濃縮法の最近の発展 松田 康弘（東大物性研）

14:00-14:20 阪大強磁場マグネットの問題点 金道 浩一（阪大極限セ）

14:20-14:40 無冷媒型ハイブリッドマグネットの建設 渡辺 和雄（東北大金研）

14:40-15:00 CuNb/Nb<sub>3</sub>Sn 超伝導コイルの強磁場下での特性 西島 元（東北大金研）

15:00-15:15 休憩

Session 2：強磁場物性 (15:15-17:15) 座長：金道 浩一（阪大極限セ）

15:15-15:30 BETS系有機伝導体における磁場誘起超伝導 宇治 進也（物材機構）

15:30-15:45 強磁場下における遠赤外分光法を用いたCuGeO<sub>3</sub>の研究 竹端 寛治（物材機構）

15:45-16:00 強磁場におけるII-VI族半導体2次元電子系の発光特性 今中 康貴（物材機構）

16:00-16:15	磁性半導体Cd <sub>1-x</sub> Co <sub>x</sub> Seのミリ波・サブミリ波ESR	品川 秀行(物材機構)
16:15-16:30	超音波と磁化測定による強相関電子系の強磁場物性	鈴木 修(物材機構)
16:30-16:45	希薄磁性半導体ナノ構造中の強磁場光励起物性	三野 弘文(千葉大理)
16:45-17:00	磁化プラトー物質における低エネルギーギャップ	野尻 浩之(岡山大理)
17:00-17:15	YbInCu <sub>4</sub> の温度および磁場誘起価数転移	後藤 恒昭(東大物性研)
17:15-17:30	量子スピン系Cs <sub>2</sub> CuBr <sub>4</sub> の磁化プラトー	田中 秀数(東工大理)
17:30-19:30	懇親会(@カフェテリア)	

### ●11月6日(火)

#### Session 3 A : 強磁場下測定技術A (9:00-10:15)

9:00-9:15	超低温における強磁場ESR
9:15-9:30	VNAを用いた強磁場サイクロトロン共鳴
9:30-9:45	強磁場中材料プロセス
9:45-10:00	ナノマテ研強磁場走査顕微鏡開発
10:00-10:15	未定

座長:野尻 浩之(岡山大理)
左近 拓男(東北大金研)
小山 佳一(東北大金研)
茂木 巍(東北大金研)
木戸 義勇(物材機構)
高増 正(物材機構)

10:15-10:30 休憩

#### Session 3 B : 強磁場下測定技術B (10:30-12:00)

10:30-10:45	高圧下強磁場ESR装置の開発とその応用
10:45-11:00	超ロングパルス磁石による2次元電子ガス系の 高分解能フォトルミネッセンス測定
11:00-11:15	超強磁場における磁気光学スペクトロスコピー
11:15-11:30	ストレインゲージによるMn酸化物の磁歪測定
11:30-11:45	ピエゾローテータによる精密試料回転とカンチレバーによる精密磁化測定
11:45-12:00	高周波バイアスによる超強磁場下伝導測定

座長:高増 正(物材機構)
大久 保晋(神戸大)
横井 裕之(産総研)
内田 和人(東大物性研)
林 崇(東大物性研)
大道 英二(東大物性研)
長田 俊人(東大物性研)

12:00-13:30 昼食

#### Session 4 : 強磁場ネットワーク (13:30-16:00)

13:30-14:00	「強磁場における物理現象」国際会議
14:00-16:00	討論会

座長:本河 光博(東北大金研)
三浦 登(東大物性研)

※講演時間は2～3分の質疑応答時間を含む。

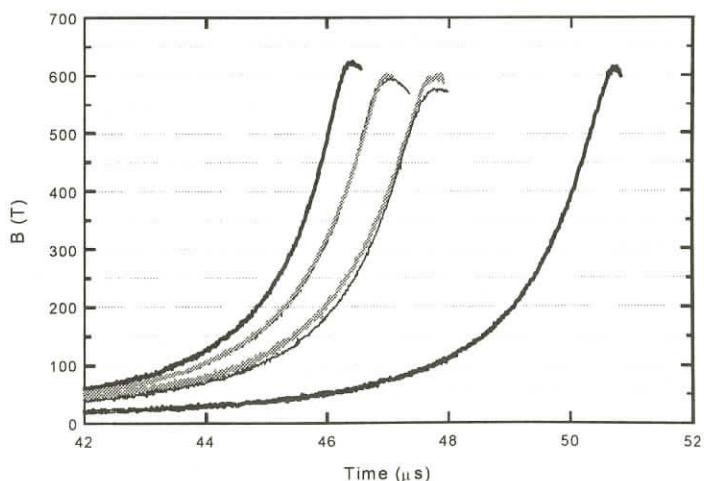
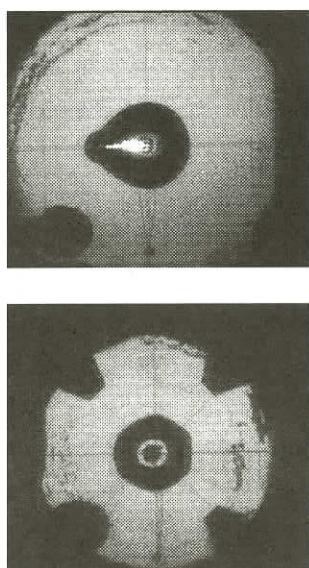
## 電磁濃縮法の最近の発展

東大物性研 松田 康弘

電磁濃縮法はコンデンサーバンクに蓄えたエネルギーを用いて磁束を濃縮するため、爆薬などを用いる方法（爆縮法）に比べエネルギー変換効率が良く、また制御性も優れているため物性研究への応用に適している。これまでの最高到達磁場は約 500 T であり、爆縮法で可能な 1000 T 程度までの磁場発生を可能とする技術開発が望まれている。

磁場発生の上限を決めている主な因子の一つに磁束を濃縮するライナーの収縮過程における安定性がある。従来の方式では、一次コイルの feed gap 付近のマクスウェル応力が他の部分に比べて弱いため、比較的初期の段階でライナー形状の対称性が悪くなり、磁束濃縮過程の最終段階に至る前にライナー内部で放電などが起こり、高い磁場が得られなかった。最近 feed gap compensator または flux concentrator (FC) と呼ぶ銅のブロックをライナーと一次コイルの間に 3~6 個挿入し、feed gap 効果による応力の減少を補償して、結果的にライナーを加速するためのマクスウェル応力を周期的に変調させる方式を開発した。これにより、収縮時のライナーの対称性は格段に向上し、平均しておよそ 80 T 程度、最高磁場を向上させることができた。最高磁場記録も 622 T と更新し、さらに磁場の波形にターンアラウンドと呼ばれる磁場の折り返しが観測できるようになった。ターンアラウンドの観測は、最終段階まで安定して磁束濃縮が行われている証拠であり、均一性などの磁場の質的な面も大きく改善されていると期待できる。

今後は、一次コイル、ライナー、FC の形状や材質の工夫などによってライナーの収縮速度の向上を図り、更なる磁場記録の更新を目指す予定である。750 T 程度の磁場が得られれば、実質的にはほぼ爆縮法と同程度の実験が可能となるため、稼働率の圧倒的な優位性から探索型の研究においてさらに威力を発揮すると期待できる。



左図 磁束濃縮過程の最終段階近くでのライナーの収縮。  
(上) FC なし。(下) FC あり。

右図：様々な条件下で得られた磁場波形。最近得られた磁場波形のうち最高磁場が高いものから 6 つを選んだ。

## 阪大強磁場マグネットの問題点

大阪大学 極限科学研究センター 金道 浩一

阪大ではこれまで非破壊パルスマグネットの発生磁場の上昇を目指し、かつ開発されたマグネットによる物性研究を行ってきた。その過程で我々に課された命題は「発生できる最高磁場を伸ばす」事と「マグネットの寿命を延ばす」事の二点に絞られる。二番目の命題については、物性研究を遅滞なく行うためには重要なテーマであり、ある程度最初のテーマに含まれる部分がある。つまり、最高磁場が上昇することでそれまで物性研究に使われていた磁場が楽に発生できるようになるため、寿命が伸びると考えられるからである。しかし、マグネットの発生磁場を規定している原因を解明していくと、最高磁場を目指して壊されたマグネットと寿命で壊れたマグネットでは壊れた部分に違いがあることなどが分かってきて、どうやら二つのテーマが目指す方向に微妙なズレがあると感じられるようになった。

具体的なきっかけは、82.7T 発生後の 18L (Layer) マグネットを分解した時に、内部の変形と無傷の一層目を確認した事である。この 18L マグネットは内側から 1L、3L、5L、9L と分割して巻かれ、各コイル間はマルエージング鋼で補強されていたのだが、3L および 5L の外側が変形して膨らんでいたのに対し、1L はまったく損傷を受けていなかったのである。コイルにかかる電磁応力を計算すれば、18L 程度の多層マグネットになると内側よりも 4、5 層目にかかる応力の方が大きくなる結果となり、一層目が無事であることは理解できるが、コイルが外側に変形して壊れる様子は金道方式によるこれまでのマグネットでは見られなかつたことであった。ここで言う金道方式とは、コイル部分を密着して巻き、その外側をまた密着した形で十分に厚いマルエージング鋼で補強する方法である。そこで、これまで作ってきた形のマグネットで発生磁場を徐々に増加して限界となる磁場で壊れた時にマグネットのどこが壊れていたのかをあらためて調べてみたところ、磁場中心からずれた点にダメージが生じることが分かった。寿命で壊れたマグネットでは、磁場中心の位置にある最内層コイルで金属疲労によるものと思われる破断が必ず見つかっていた。

さてこの結果を受けて、私はこれまで一体何を見てきたのだろうかと思いつつ、仕様のあらゆる点について、再検討を加えているところである。ここで試しているマグネットの仕様は次の通りである。

内径 : 18mm φ 外径 : 60mm φ コイル長 : 120mm 層数 : 9 線材 : Cu-Ag wire 線の太さ : 2mm × 3mm 強度 : 900MPa 絶縁 : カプトンテープ二重巻き

現在までに得られたいくつかの結果について報告したい。まず、再検討するべきポイントを列挙する。  
①マグネットの内径  
②コイル長  
③層数  
④線の太さ  
⑤線の引っ張り強度  
⑥絶縁の厚さについてである。具体的には、①について、10mm φ から 60mm φ までのマグネットを製作して試験中である。②はコイル長を 90mm として試験を行った。③についても 13L までの試験を行った。④は 2.5mm × 4mm の線材で作ったマグネットを試験した。⑤では 960、900、800MPa の各強度および強度の小さい極限として銅線を用いたマグネットの試験も行った。⑥についてはカプトンテープ一重巻での試験を予定している。それぞれの結果は以下に示すとおりである。  
①現在進行中だが、内径 58mm φ で 44.5T、14mm φ で 77.2T が得られている。ただし、後者は 10L の結果である。  
②コイル長 90mm では 66.2T となった。長いコイルはエネルギーに関しては非効率であるが、磁場に対しては良さそうである。  
③層数が少ないと磁場が出ない結果は当たり前であるが、多くしても 11L で 66.0T、13L で 67.4T と多層化の効果が現れない。  
13L では一層目より三層目のコイルにダメージが大きく見られている。これは、上述した 18L の結果につながる現象として興味深い。また、三層目の線が軸方向に振幅を持った波型(wavy)変形をしている。  
④2.5mm × 4mm の線材で 68.4T であった。ただし、すべてをスケール倍するならばコイル長を 160mm 程度にするべきであった。また、小さな放電跡が一層目から二層目に移る折り返しで起きた点や線が wavy になっていないことから最高磁場はもう少し上にあると思われる。  
⑤Cu wire で 60.5T を発生。しかしこの限界もコイルの巻き始めの線の導入部分が内側に引き込まれ

たためである。960MPa で 70.8T、900MPa で 68.4T、800MPa で 72.5T とこの辺りの強度ではあまり違いが現れない。また、この三個のマグネットはどれも磁場中心からはずれた部分にダメージを受けている。磁場中心と巻き始めの間に何らかの異常が見られた。⑥に関しては、カプトンテープ一重巻きの銅銀合金線を製作依頼中である。

以上は不完全ではあるが、これからマグネットについて考えるには十分な結果を出している。詳しい説明をするスペースがないため、結論だけを述べるが、今の形で作るマグネットは 80T 辺りが限界であろう。しかし、もっと大きな磁場を発生する可能性は見えている。現有の電源と、線材なら内径を小さくしなければならない。いろんな測定が行えるマグネットにしたければ、もっと巨大な電源と、巨大な線材さえあれば可能である。阪大強磁場はそれを証明しようとしているのである。

### 無冷媒 23T ハイブリッドマグネットの建設

東北大金研 渡辺 和雄

磁気浮上による無重力状態を利用して新材料を開発するプロセスには、定常強磁場を発生するハイブリッドマグネットが極めて有効である。しかし、ハイブリッドマグネットを構成している大口径超導マグネットは大量の液体ヘリウムを必要とし、運転時間も短く限られてしまう問題がある。この問題を解決して強磁場利用の新しいプロセスを飛躍的に発展させるために、ハイブリッドマグネット用のコンパクトな無冷媒大口径超伝導マグネットを製作した。表 1 に 360mm の室温ボア 8.0T を発生で凍機冷却超伝導マグネットの設計値を示す。高強度 CuNb/ Nb<sub>3</sub>Sn 線材にかかる最大応力を 210M までとした。外層の NbTi コイルはインダクタンスを小さくするためと応力を緩和するために 2 分割されている。最外層は 1.2mm 直径の線材を用いて運転電流 198A とし、その内側に 1.2 mm 直径の線材で 145A の運転電流とした。NbTi コイルコイルは中心に 4.59T を発生できる。このバックアップ磁場の内側に CuNb/ Nb<sub>3</sub>Sn 強磁場発用コイルを挿入する。360mm の室温ボアに合計で 8.0T を発生できる冷凍機冷却超伝導マグネットとなる。現在据え付けを完了し、水冷マグネットとの組み合わせで磁場中心設定の調整運転を始めたところである。

表 1. 無冷媒 23T ハイブリッドマグネット用大口径超伝導マグネット

		全体	内コイル	外コイル
内径	( mm )	φ 400	φ 400	φ 491
外径	( mm )	φ 584	φ 461	φ 584
長さ	( mm )	450	450	450
線材長さ	( m )	41236	15720	25515
線材		CuNb/ Nb <sub>3</sub> Sn		NbTi
電流	( A )	198/145	145	198
電流密度	( A/mm <sup>2</sup> )	-	123	141
発生磁場	( T )	8.0	3.41	4.59
最大経験磁場	( T )		8.41	5.52
エネルギー	( MJ )	3.50		
応力 Bjr	( MPa )		207	191

# CuNb/(Nb,Ti)<sub>3</sub>Sn 超伝導コイルの強磁場下での特性

東北大金研 西島 元, 淡路 智, 高橋 弘紀, 渡辺 和雄, 本河 光博

## 1. はじめに

React and Wind (R&W)法による(Nb,Ti)<sub>3</sub>Sn 超伝導コイル製作が可能になると超伝導マグネット製作の低コスト化, 熱処理炉のコンパクト化, 臨界電流( $I_c$ ) 最適化のための歪み制御などメリットがある。従来の(Nb,Ti)<sub>3</sub>Sn 超伝導線は機械的特性が弱く、React and Wind (R&W)法によるコイル製作には不向きであった。そこで、CuNb, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ta などで内部から補強したした(Nb,Ti)<sub>3</sub>Sn 超伝導線の開発が行われてきた。我々が開発を行ってきた CuNb/(Nb,Ti)<sub>3</sub>Sn 超伝導線は従来の(Nb,Ti)<sub>3</sub>Sn 超伝導線に比べて 2 倍程度の強度であり、R&W 法によるコイル製作にも耐えうることが分かっているが、CuNb/(Nb,Ti)<sub>3</sub>Sn 超伝導線を用いて R&W 法による強磁場超伝導マグネットを製作するためには、超伝導線の強磁場下における特性を理解することが重要である。今回、CuNb/(Nb,Ti)<sub>3</sub>Sn 超伝導線を用いて単層コイルを試作し、強磁場中での超伝導特性、機械特性を調べた。

## 2. 実験

図 1 に製作した超伝導コイルとそれに用いた超伝導線の写真を、表 1 に超伝導線の諸元をそれぞれ示す。超伝導コイルは熱処理を行った CuNb/(Nb,Ti)<sub>3</sub>Sn 超伝導線をステンレス巻枠に巻いた。ターン数は 50 で、樹脂を塗りながら巻線する方法で含浸した。コイル表面には電磁力による歪みを測定するために歪みゲージを貼り付けた。また、電圧タップも各ターン毎に取り付けた。

外部磁場印加には 360mm 径の常温ボアを有する 12T 超伝導マグネットを用いた。マグネット常温ボア中に試料コイルを取り付けた実験用クライオスタットを据え付け、液体ヘリウム浸漬冷却とした。実験では外部磁場を保持した状態で試料コイルに通電し、超伝導特性、機械特性を測定した。

## 3. 実験結果

図 2 には試料コイルのケンチ電流を示す。短尺試料の臨界電流値に対して 83~96% の値であった。

図 3 に応力-歪み特性の測定結果を示す。図は測定した電磁力による応力-歪み特性を、巻線張力、巻線張力の緩和、冷却による歪みを考慮に入れてプロットしたものである。また、図中の白抜き丸印は今回のコイルと同じ構造の CuNb/(Nb,Ti)<sub>3</sub>Sn 超伝導線短尺試料の応力-歪み特性である。また、試料コイルは巻線の際に巻線張力による引っ張りだけでなく、曲げ歪みが加わっていることを考慮し、点線のカーブを得た。このことから、試料コイルの応力-歪み特性は曲げ歪みを考慮することで説明できることがわかった。

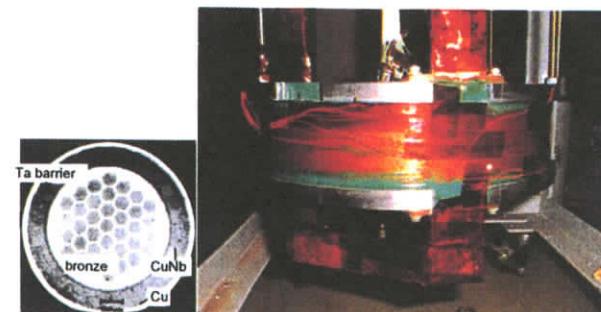


図 1 CuNb/(Nb,Ti)<sub>3</sub>Sn-R&W 超伝導線材及び製作した試料コイル

表 1 CuNb/(Nb,Ti)<sub>3</sub>Sn 超伝導線諸元

直径	1.0 mm
ブロンズ	Cu-13wt%Sn
コア	Nb-1.2wt%Ti
フィラメント径	3.0 μm
フィラメント数	8066
Cu/CuNb/non Cu 比	0.54/0.73/1.00
バリア	Ta

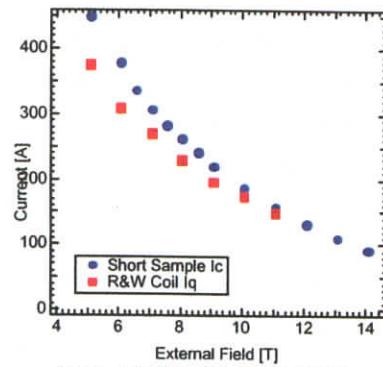


図 2 試料コイルの臨界電流

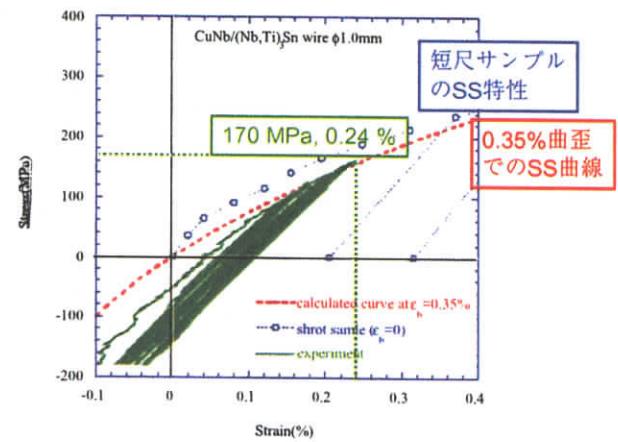


図 3 試料コイルの応力-歪み特性

## BETS系有機伝導体における磁場誘起超伝導

S. Uji<sup>a</sup>, H. Shinagawa<sup>a</sup>, C. Terakura<sup>a</sup>, T. Terashima<sup>a</sup>, T. Yakabe<sup>a</sup>, Y. Terai<sup>a</sup>, S. Yasuzuka<sup>a</sup>, Y. Imanaka<sup>a</sup>, M. Tokumoto<sup>b</sup>, F. Sakai<sup>c</sup>, A. Kobayashi<sup>d</sup>, H. Tanaka<sup>e</sup>, H. Kobayashi<sup>e</sup>, L. Balicas<sup>f</sup>, and J. S. Brooks<sup>f</sup>

<sup>a</sup>National Institute for Materials Science, Tsukuba, Ibaraki 305-0003, Japan

<sup>b</sup> National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba, Ibaraki 305-8568, Japan

<sup>c</sup>Institute for Solid State Physics, Kashiwa, Chiba 277-8581, Japan

<sup>d</sup>Research Centre for Spectrochemistry, Graduate School of Science, The University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

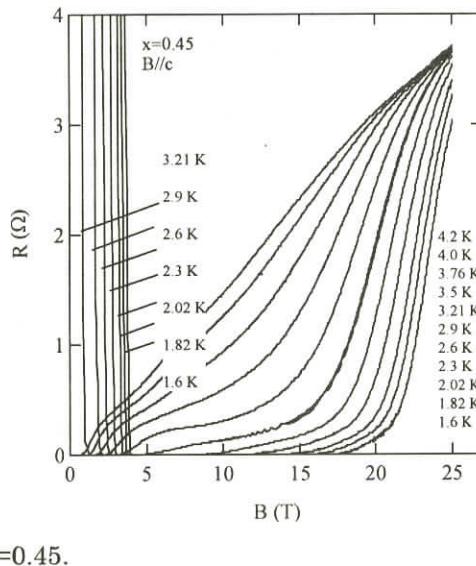
<sup>e</sup>Institute for Molecular Science, Okazaki, Aichi 444-8585, Japan

<sup>f</sup>National High Magnetic Field Laboratory, Florida State University, Tallahassee FL 32306, USA

Studies on organic conductors have brought us deep understanding of physics in low dimensional electronic systems. Among various organic conductors, BETS family containing magnetic Fe ions is one of the most attractive compounds in the last ten years because strong competition is expected between the antiferromagnetic order of the Fe moments and the superconductivity [1,2]. Among them,  $\lambda$ -(BETS)<sub>2</sub>FeCl<sub>4</sub>, where BETS is bis(ethylenedithio)tetraselenafulvalene, is known to have a unique phase diagram. At zero magnetic field,  $\lambda$ -(BETS)<sub>2</sub>FeCl<sub>4</sub> shows a metal-insulator transition around 8 K, while the iso-structural salt  $\lambda$ -(BETS)<sub>2</sub>GaCl<sub>4</sub> undergoes a superconducting transition around 6 K. We have studied the high field electronic states for the alloy systems,  $\lambda$ -(BETS)<sub>2</sub>Fe<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Cl<sub>4</sub>. We report that the superconducting state is induced when the magnetic field is applied parallel to the conducting layers for  $x \geq 0.45$  [3]. For  $x=0.45$ , the superconducting transition from the insulating state is observed around 4 T. The global phase diagram is discussed in terms of Jaccarino-Peter compensation effect.

### References

- [1] L. Brossard et al. Eur. Phys. J. B1 (1998) 439
- [2] H. Kobayashi et al. J. Am. Chem. Soc. 118 (1996) 368
- [3] S. Uji et al. Nature 410 (2001) 908



## 強磁場下における遠赤外分光法を用いた $\text{CuGeO}_3$ の研究

物質・材料研究機構 竹端 寛治

我々の研究グループは、物質・材料研究機構内の強磁場マグネットとフーリエ変換型干渉分光計とをライトパイプシステムを用いて組み合わせることにより、強磁場下において遠赤外線領域から中赤外線領域にかけての分光測定を行っている[1]。現在、18 Tまでの強磁場下において、 $10\sim1000 \text{ cm}^{-1}$ 程度の波数範囲で測定を行っている。

この分光システムを用い、スピンドルス物質  $\text{CuGeO}_3$  に関して強磁場下における遠赤外分光測定を行った。

$\text{CuGeO}_3$  は無機物質で初めてスピンドルス転移が発見された物質であり、中性子非弾性散乱や不純物置換効果など数多くの研究がなされた。しかし、スピンドルス転移発現と密接に関連しているスピンドルス結合モードが観測されないことや強磁場中で現れる不整合相に関する研究などが必ずしも十分でなかった。そこで、スピンドルス結合モードの観測とその特性評価によるスピンドルス転移発現機構の解明を目的とし、 $\text{CuGeO}_3$  に関して、二量体相(D 相)、及び不整合相(IC 相)にわたる広い磁場温度範囲で遠赤外分光測定を行った。

実験の結果、 $98 \text{ cm}^{-1}$  にスピンドルス転移に伴い折返しフォノン線 (FP1) が出現することを見いたした[2]。FP1 モードを含めた折返しフォノンモードの D 相から IC 相に掛けての振る舞いを詳細に調べた結果、FP1 以外の従来見つかっている折返しフォノンは分裂しないが、FP1 モードについて初めて IC 相で特異な分裂を発見した。分裂幅は IC 相における不整合性に比例し、磁場と共に大きくなる。この不整合相での特異な振る舞いを解析した結果、この FP1 がスピンドルス結合モードであると同定された[2, 3]。スピンドルス結合モードはスピンドルス転移を引き起こすモードであり、相転移のメカニズム解明のためにも重要な発見であった。また、不純物添加  $\text{CuGeO}_3$  に関する FP1 モードの研究を行った結果、強磁場相(不整合相および反強磁性秩序を伴う不整合相)においてスピンドルスと不純物との間に働く相互作用の存在を示す振る舞いを観測し、未だに解明されていない不純物添加  $\text{CuGeO}_3$  における強磁場相の物性を知る上で重要な知見が得られた[4]。

### References

- 1) K. Takehana et al., International Journal of Infrared and Millimeter Waves 17, 1851 (1996).
- 2) K. Takehana et al., Phys. Rev. B 62, 5191 (2000).
- 3) K. Takehana et al., J. Phys. Soc. Jpn. 70, 3391 (2001).
- 4) K. Takehana et al., Phys. Rev. B 63, 245413 (2001).

## 強磁場における II-VI族半導体 2 次元電子系の発光特性

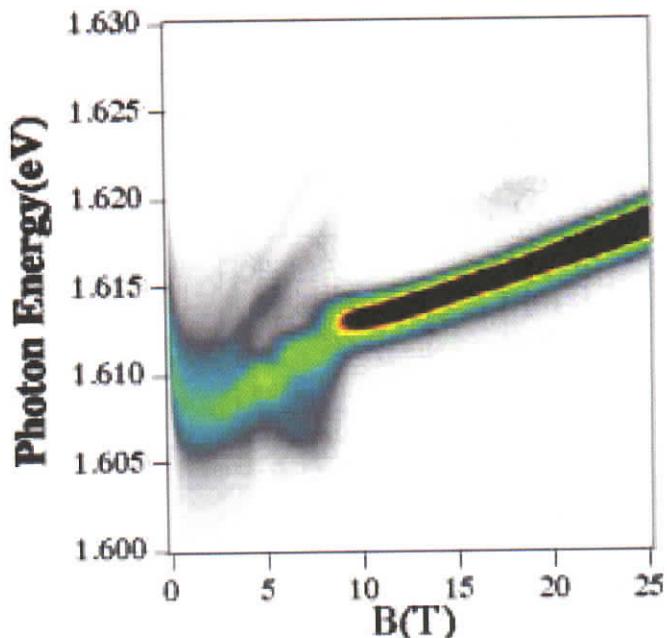
物材機構ナノマテ研, ポーランド科学アカデミー<sup>2)</sup>

今中康貴, 高増正, 木戸義勇, G. Karczewski<sup>a)</sup>, T.Wojtowicz<sup>a)</sup>, J.Kossut<sup>a)</sup>

我々はこれまで II-VI族半導体 2 次元電子系の磁気発光測定を 355 T, 400Kまでの強磁場, 極低温で行い, 発光スペクトルの Mn 濃度依存性やキャリア濃度依存性について系統的に調べてきた。一般的に希薄磁性半導体量子ホール系(CdMnTe/CdMgTe)では, 数%程度の Mn イオンの導入により巨大ゼーマン効果が起り, 2 次元電子スピンの完全偏向に伴い, ゼロ磁場付近を除いて磁気発光スペクトルが  $\sigma +$  に偏光する。また非磁性の系(CdTE/CdMgTe)と同様に, 2 次元電子ガスの存在によって起きる振動的な振る舞いが発光スペクトルに見られ, その発光のメインピークが電荷エキシトン的描像で理解されることが様々な実験から明らかになってきている。特に占有率 1 で観測される発光位置の不連続は, 占有率 1 近傍での 2 次元電子ガスのスピン偏向度が関与していることがキャリア濃度依存性の研究から直接明らかになった。これらと比較して磁性イオンを非常に少量導入した系は, 電子の有効 g 因子が実効的に 0 に近くなり, スカーミオン等の量子ホール系のスピン秩序に関する詳細な研究が可能になると思われる。

今回我々は, 高度移動の希薄磁性半導体 2 次元電子系 (CdMnTe/CdMgTe 量子井戸, Mn~0.1%) の磁気発光測定をヘリウム 3 温度で行い, 占有率 1 近傍の振る舞いを調べた。右下にその結果を示すが, わずかに Mn が導入された試料においても磁気発光スペクトルは  $\sigma +$  に完全偏光し, 図にあるように巨大ゼーマン効果による発光ピークの急激なレッドシフトが低磁場領域で観測された。これは p-d 交換相互作用によるホール側の巨大ゼーマン効果によるものであり, レッドシフトが飽和した 2T より強磁場側では整数占有率で非磁性の試料同様の振動的な振る舞いが観測されている。

この試料で特に興味深いのは占有率 1 近傍 (18T) で, メインピークに不連続が観測されず, 代わりに高エネルギー側に占有率 1 を中心とする新たな発光ピークが観測された点である。この発光ピークは温度変化や磁場の角度変化に非常に敏感であることから, 2 次元電子スピンの低エネルギー励起が関与しているものと現在考えている。



# 磁性半導体 $Cd_{1-x}Co_xSe$ のミリ波サブミリ波 ESR

品川 秀行、木戸 義勇、高増 正、安達 信泰<sup>A</sup>  
 ナノマテ研（物材機構）、<sup>A</sup>名工大

15/17 T 超伝導磁石とベクトルネットワークアナライザ（ABmm）とにより、45–500 GHz のミリ波からサブミリ波に及ぶ領域において電子スピン共鳴（ESR）の実験が比較的手軽に行えるようになった。マイクロ波はオーバーサイズの円形導波管で磁場中に導かれ、試料は導波管を絞った部分におかれる。試料を透過してきたマイクロ波が検波される。試料部分には変調コイルが巻かれており、必要に応じて変調磁場を印加することができる。標準的な物質である DPPH を用いて装置の較正を行ったところ、この装置は現状では概ね 70 GHz において  $10^{15}$  spin/Gauss、または 300 GHz において  $10^{16}$  spin/Gauss 程度の感度をもつことがわかった。

$Cd_{1-x}Co_xSe$  はいわゆる I–V 族半導体である  $CdSe$  の一部の  $Cd^{2+}$  が磁性イオン  $Co^{2+}$  で置換されたもので、ウルツ鉱型の結晶構造をもつ。 $Co^{2+}$  の基底状態  $^4F$  は結晶場とスピノー軌道相互作用項により最終的には 2 つの Kramers 項に分裂し、磁場中におけるエネルギー図は、図 3 に示すようになることが予想される。既存の実験としては、遠赤外レーザーとパルス磁場を用いたサブミリ波領域での実験 [N. Adachi et al., Physica B 177, 453 (1992)、T. Hamamoto et al., J. J. A. P. 32, 386 (1993)] があるが、精度等必ずしも十分とはいいがたかった。今回我々は、0–15 T、45–500 GHz の領域で  $x=0.02$  の試料について ESR のより精密な測定を行った。得られた ESR スペクトルは図 1 ( $H//c$ ) および図 2 ( $H \perp c$ ) に示される。 $H//c$  については 5 つ (a–e)、 $H \perp c$  については 6 つ (a–f) の共鳴ピークが見出された。図 1、図 2 の挿入図の直線は理論式によるものであるが、 $g_{\parallel}=2.295 \pm 0.005$ 、 $g_{\perp}=2.300 \pm 0.005$ 、 $2D=0.9 \pm 0.1 \text{ cm}^{-1}$  として、実験結果はよく説明されることがわかった。

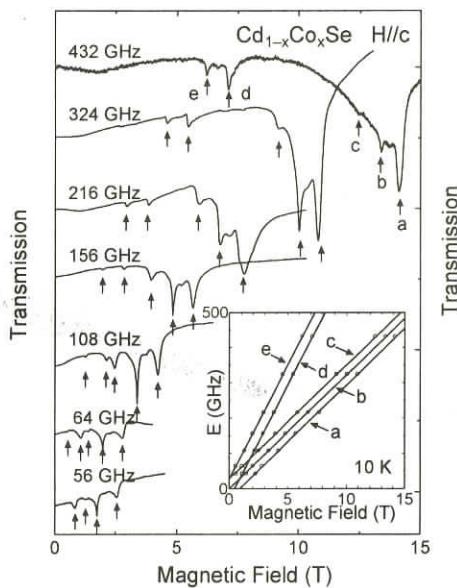


図 1

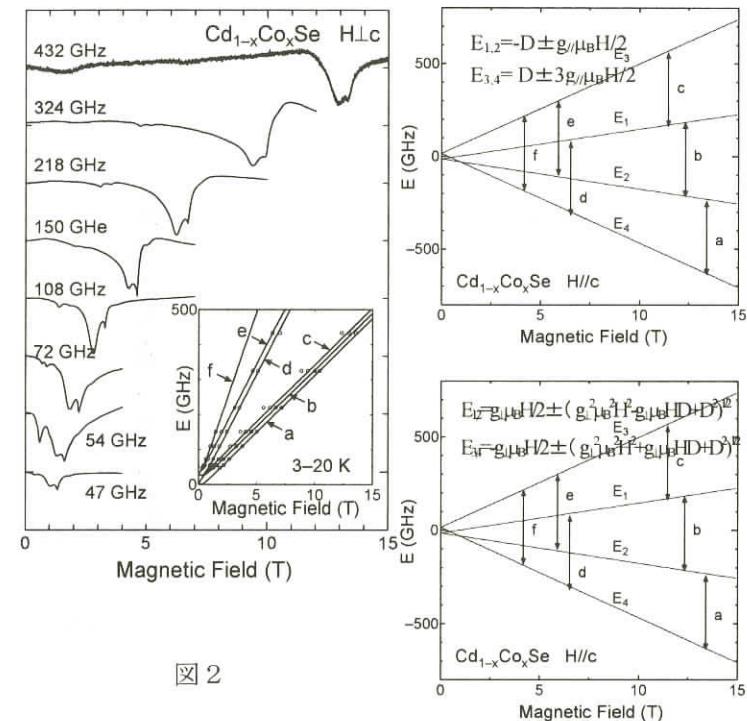


図 2

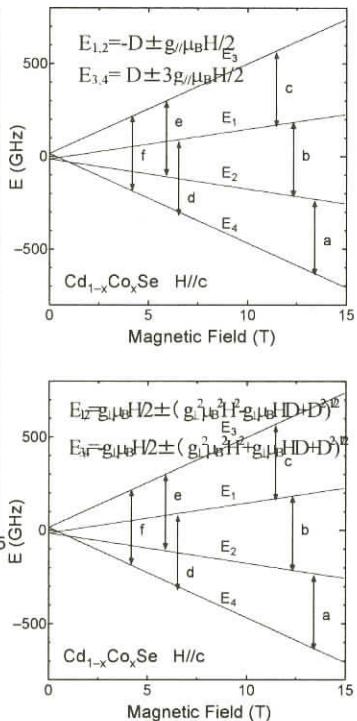


図 3

## 超音波と磁化測定による強相関電子系の強磁場物性

鈴木修, 高増正, 北澤英明, 加藤誠一, <sup>A</sup>宇田川知生,

<sup>A</sup>森田憲吾, <sup>A</sup>田巻明, 木戸義勇

物・材機構ナノマテリアル研, <sup>A</sup>東京電機大工

磁気モーメントの応答を帶磁率, 磁化測定により観測できることと同様に, 超音波を用いた弾性定数測定により局在電子系の四重極子感受率を直接観測することが出来る. ここではハイブリッド磁石を使用して行った極低温, 強磁場中での超音波, 磁化測定の結果を紹介する.

六方晶の希土類化合物である  $\text{PrNi}_5$  は, 非磁性の結晶場基底状態  $\Gamma_4$  と第一励起状態の  $\Gamma_1$  一重項が約 20 T ( $H//a$ ) で準位交差を示すことが磁化測定から報告されている. また磁化過程は反強的四重極子相互作用を考慮することにより, よく説明できると報告されている. 図 1 に示すように,  $\text{PrNi}_5$  の横波弾性定数  $C_{66}$  の磁場依存性には 18 T 近傍で鋭い極小が観測された. この極小は四重極子感受率  $\chi_{\Gamma_5}$  が準位交差近傍において急激に変化していることを示唆している. 図 1 の点線で示された計算には反強的四重極子相互作用が取り入れられており磁化測定により得られた結果を支持している. 磁場中の準位交差近傍での四重極子感受率の温度変化は, 低温で発散的な振舞いを示し, 更に低温の磁場中では弾性定数が 0 に近づき構造相転移する可能性もある.

正方晶の絶縁体である  $\text{HoVO}_4$  の結晶場基底状態は非磁性の  $\Gamma_1$  一重項であり, 約 12 T ( $H//[001]$ ) で準位交差することが報告されている. 図 2 に示したように,  $H//[001]$  の場合, 11.5 T で  $8 \mu\text{B}$  以上の磁化の急激な増大が観測された. これは  $|J_z=0\rangle$  の状態から  $|J_z=-7\rangle$  の状態へ基底状態が変わったことにより説明される.

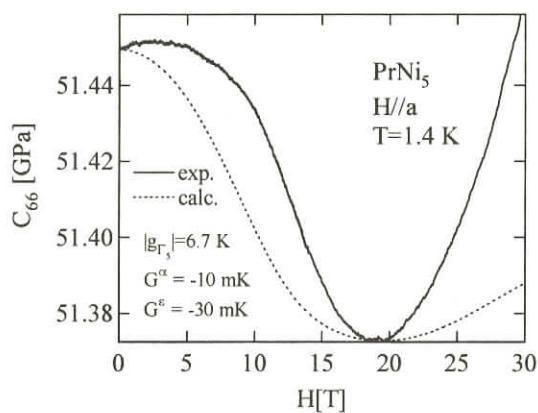


図 1

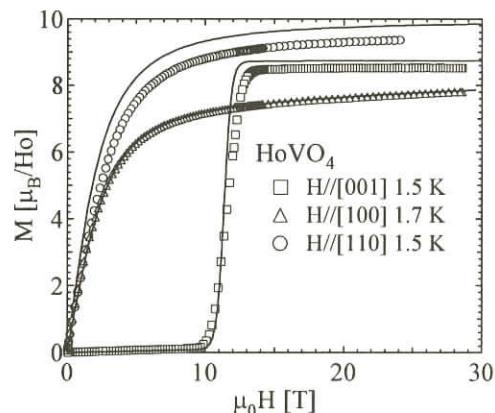


図 2

## 希薄磁性半導体ナノ構造中の強磁場光励起物性

三野弘文, 嶽山正二郎<sup>A</sup>, 足立智<sup>B</sup>, G.Karczewski<sup>C</sup>, T.Wojtowicz<sup>C</sup>, and J.Kossut<sup>C</sup>  
千葉大院・自然科学, 千葉大・理<sup>A</sup>, 北大院・工<sup>B</sup>, ポーランド科学アカデミー<sup>C</sup>

希薄磁性半導体では、印加磁場による磁性イオンのスピン配向が、光励起で生成される電子スピンにのみ強く相互作用し、巨大ゼーマン分裂を引き起こす。従って、磁気分光測定から、励起電子のスピン状態を容易に観測でき、かつ巨大内部有効磁場を感じた電子スピン状態を調べることができる。我々が研究対象としている希薄磁性半導体非対称量子井戸  $\text{Cd}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}\text{Te} / \text{CdTe} / \text{Cd}_{0.9}\text{Mg}_{0.1}\text{Te}$  では、低温でスピン一重項励起子分子発光が強く観測される[1,2]。図1(a)は Ar イオンレーザー励起で得られた、励起子(X)と励起子分子(XX)

発光ピークエネルギー値の磁場依存を示す。磁場印加で生じる X のゼーマン分裂が、スピン一重項 XX の X と同量のピーケシフトを上手く説明する(図1(b)参照)。しかし、この XX 系では、比較的弱励起下で XX 形成、XX 発光強度は X 発光強度に対し線形応答、強磁場下においてスピン三重項の XX の存在を示唆など、よく知られている半導体結晶中の励起子分子系とは異なる性質を有する。その原因として、II-VI族特有の性質、障壁層の磁性 Mn とのスピン間相互作用、混晶

に由来の界面搖らぎの影響などを考え、環境(強磁場、温度、励起強度など)に応じた X、XX ダイナミクスからの解明を試みた。

図2は Ti:Sapphire 超短パルスレーザー(2倍波 400nm)を用いた時間分解分光測定による X、XX 発光強度の時間応答を示す。XX 発光の立ち上がりの遅れ(約 30psec)は XX 形成時間に対応する。光励起後 400psec 以内において XX 発光の緩和時定数が X に比べ長くなる結果は、他の励起子分子系と逆の傾向である。これは、XX が完全に Free な状態ではなく、界面搖らぎに弱く局在しているためと考えられる。局在状態を取る場合、XX の発光強度は X に対して 2乗で効かなくなり、発光の立ち上がりが遅れる傾向にあることも、この系が局在 XX であることを示唆する。温度增加で XX 発光の立ち上がり時間は増加し、緩和が速くなることから、局在 XX から Free XX への遷移、XX から 2つの X への熱解離が示された。強磁場印加下での XX 発光は積分強度が減少するにもかかわらず、発光緩和に変化は見られない。このことは、強磁場印加で XX 形成は抑制されるが、一旦生成された XX は磁場に影響されないという興味深い結果を示す。

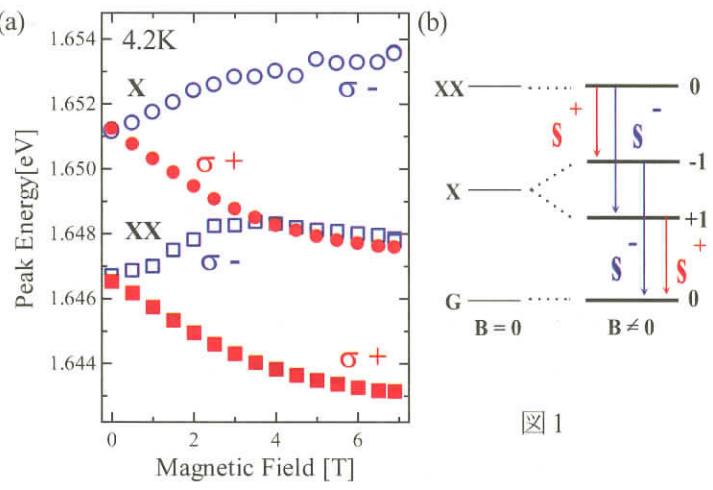


図1

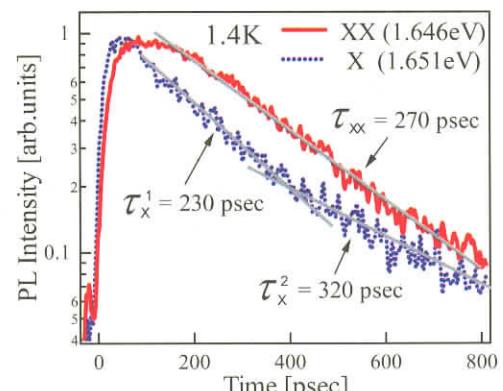


図2

- [1] S. Adachi, Y. Takagi, and S. Takeyama, *J. Cryst. Growth* 214-215, 819 (2000)
- [2] H. Mino, S. Takeyama, S. Adachi, G. Karczewski, T. Wojtowicz, and J. Kossut, *Physica B* 298, 421 (2001)

# 超強磁場下遠赤外分光技術の現状と将来

岡山大学理学部 野尻 浩之

遠赤外域の磁気光分光とりわけ、電子スピン共鳴は、磁性体や半導体におけるスピン状態や電子状態を探る有力な手段である。これまでに、多くの研究がなされ、特に非破壊パルス磁場中では、高分解能での磁気励起スペクトルを強磁場中で測定出来る手段として注目されている。実際に、多くのスピンギャップ系において、基底状態一重項から励起三重項への遷移がテラヘルツの高周波域で詳細に観測され、 $k=0$  の励起を高分解能でみることが出来る手段としての地位が確立してきた。以下では、これらの遠赤外磁気光分光あるいはテラヘルツ ESR の現状に関して、磁場領域を分けながらまとめてみたい。

## (1) 40 テスラまでの非破壊磁場

この領域では、最高 7THz までの測定が可能であり、現在、岡山大でも装置を導入している。従来の単発パルス磁場に加えて、岡山大では繰り返しパルス磁場を磁場発生に用いることにより、一桁以上の感度向上を目指した開発研究が進んでおり、予備的ではあるが、実際に感度向上が実証されている。

## (2) 80 テスラまでの非破壊パルス磁場

7THz の高周波を生かすためには、磁場発生領域を増やすことが必要であり、この点、大阪大の開発した 80 テスラマグネットを用いた ESR 測定は、高いポテンシャルをもっている。特に、緩和が速くて、従来の低周波 ESR では観測が困難であったイオンなどにおける ESR 測定への応用が期待される。

## (3) 一巻きコイル及び電磁濃縮における ESR

電磁濃縮を用いると、レストラーレンバンドを越えた領域での ESR、すなわち光 ESR が実現できる可能性がある。しかし、現状では多くの問題がある。例えば、検出器の感度であるが、応答速度を稼ぐために、通常の非破壊磁場に比べて感度を 2 枠落とさざるを得ないので大変厳しい。高速の検出器開発で 1 枠、光学系の改良で 1 枠稼ぐことを目指して R&D が進行中である。温度も現状の 10K 程度より一桁下げることが期待される。より先の課題としては、遠赤外域の自由電子レーザー等を光源として導入することが検討されるべきであり、これが可能になれば、600T までの全磁場領域で、現在の非破壊磁場を凌ぐ感度での測定が可能になり、そのインパクトは計り知れない。

## YbInCu<sub>4</sub> の温度および磁場誘起相転移

東大物性研 後藤 恒昭

YbInCu<sub>4</sub> は、温度を下げるとき  $T_v=42K$  で 1 次転移を起こし、Yb の価数が 3 価から 2.9 価の価数揺動状態に変化して、フェルミ液体の振舞いを示す。また、価数揺動状態に強磁場を加えると 33T でメタ磁性を起こし、Yb<sup>3+</sup>の状態に転移する[1]。これまで多くの研究が行われたが、価数転移のメカニズムは未だ解明されていない[2]。本研究では、価数転移のメカニズムを解明するために、YbInCu<sub>4</sub> の磁気的な性質に対する原子置換と圧力効果の研究が行われた。

YbInCu<sub>4</sub> の Yb サイトを Y や Lu で置換すると、価数転移の温度  $T_v$  および磁場  $H_v$  は急激に減少し、置換元素の濃度が Y では 30%、Lu では 15% に達すると価数転移は消失する。また、 $T_v$  と  $H_v$  との間には  $kT_v=g\mu_B H$  ( $g=1.86$ ) の関係が成り立ち、置換にともなって低温相の磁化率が上昇することが判明した。同様な現象は圧力を加えてもみられる。磁化率の解析から、YbInCu<sub>4</sub> の低温相および高温相における近藤温度はそれぞれ  $T_K=700K$  および 30K と見積もられている。同じ方法によって低温相(価数揺動状態)における  $T_K$  を見積もったところ、原子置換および加圧の実験から得られた  $T_v$  と  $H_v$  は  $T_K$  に比例することが明らかにされた。この結果は、近藤効果の増加によって価数揺動状態が安定化され Yb 3 価の状態から 2.9 価の価数揺動状態に転移することを示している。

一方、YbInCu<sub>4</sub> の価数転移のメカニズムを解明するために、Yb<sup>3+</sup>の基底状態を性質を調べることも非常に重要である。そこで、高圧・低温下における Yb<sub>0.8</sub>Y<sub>0.2</sub>InCu<sub>4</sub> の磁化測定を行った。Yb<sub>0.8</sub>Y<sub>0.2</sub>InCu<sub>4</sub> を 8kbar 以上加圧すると全温度領域で Yb<sup>3+</sup>の状態が安定に存在し、 $T_c=1.7K$ 、 $M_s=0.05m_B$  の非常に弱い強磁性が発現した。YbInCu<sub>4</sub> の Yb<sup>3+</sup>の状態はコヒーレントな近藤状態で、低温で弱い強磁性を示すと考えられる。

上記の研究成果は京大理の吉村一良氏のグループおよび後藤研に在籍した光田暁弘氏（現富山大）との共同研究で得られたものである。

- [1] K. Yoshimura, T. Nitta, M. Mekata, T. Shimizu, T. Sakakibara, T. Goto, and G. Kido, Phys. Rev. Lett. 60 (1988) 851.
- [2] J.L. Sarrao, Physica B 259-261 (1999) 128.

## 超低温における強磁場 ESR

東北大金研、岡山大理 A、九州大理 B

左近拓男、小山佳一、野尻浩之 A、浅野貴行 B、網代芳民 B、本河光博

ESR experiments at ultra-low temperatures using a dilution refrigerator

IMR, Tohoku Univ., Dept. Phys., Okayama Univ.A, Dept. Phys., Kyushu Univ.B

T. Sakon, K. Koyama, H. NojiriA, T. AsanoB, Y. AjiroB, M. Motokawa

f電子系化合物にみられる重い電子系や、低次元量子スピン系などの強相関電子系では、特性温度が1Kから数Kと極めて低く、1K程度で反強磁性などの磁気転移を示す物質がある。また、遷移金属化合物の量子スピン系磁性体においても1K以下の極低温で興味ある磁性を示すものも見つかっている。これらの物質の基底状態、励起状態を系統的に研究するためには1K以下の超低温強磁場下の極限条件において磁気状態の精密な観測が必要である。

今回我々は超低温での物性研究を遂行するために希釈冷凍機を用いたESR実験装置を開発した。本発表ではこのシステムについて詳細な紹介を行う。

測定には45GHzから110GHzのマイクロ波を用いた。発振及び検波には高性能なベクトルネットワークアナライザ(ABmilimetre社製)を用いた。外部から冷凍機の試料空間(キャビティ)へのマイクロ波の導入には金属できた導波管を用いる必要がある。熱流入を最小限に抑えるために熱伝導が極めて低く肉薄のキュプロニッケル管を用い、導波管内における室温部からの輻射を抑えるためのフィルターも設置した。アナライザからのマイクロ波の出力を抑るために、30dB減衰のアッテネーターを取り付けた。また、適所に熱アンカーを設置し、キャビティー及びその周辺を全て熱伝導の良好な銅製とすることで160mKでのESR測定が可能となった。これを用いて量子一次元スピン鎖のCu-BenzooateのESRを測定した。以前の0.5KまでのESRの実験ではもっともギャップの大きなc軸方向の磁場誘起ギャップに伴うモードが観測されたが、本実験では超低温領域まで下げることで、c軸と同様に、b軸方向のモードをはつきりと観測することが出来た。このESRの結果から求めた磁場誘起ギャップの大きさは、以前の比熱から求められたギャップと良く一致した。

T. Sakon et al., J. Phys. Soc. Jpn. 70 (2001) 2259.

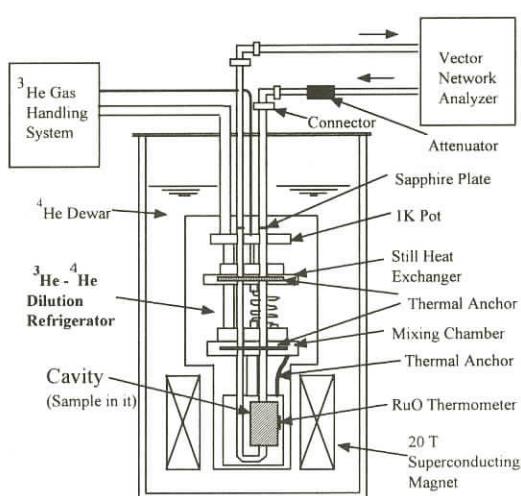


図1 ESR装置

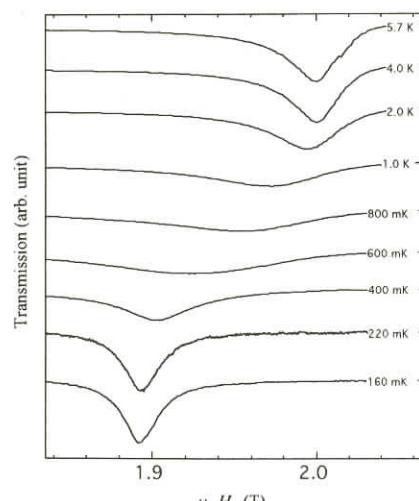


図2 Cu benzoateのESR

## VNA を用いた強磁場サイクロトロン共鳴

東北大金研 小山 佳一

近年、物性物理学の分野でいわゆる“重い電子”など、“電子相関”が織り成す様々な異常物性について、その機構解明のため多くの研究が行われてきている。物質中のキャリヤーの有効質量は電子相関と深く関連しており、良伝導性物質についてはこれを求めるため dHvA 効果や SdH 効果の測定が精力的に行われてきた。これらの測定は統計力学的状態量の磁場に対する変化（量子振動）を見ていることになり、得られる有効質量 ( $m^*_{Q0}$ ) は統計的平均量となっている。一方、サイクロトロン共鳴 (CR) はサイクロトロン有効質量 ( $m^*_{CR}$ ) を“直接” 測定できる点で最も有効な実験手段であるが、その実験には、高周波、強磁場、極低温が必要で、さらに良伝導性物質では表皮効果によりマイクロ波が物質中に十分に侵入せず、良伝導性強相関物質についての CR 測定は極めて難しいものであった。

我々はこれを克服するために、マイクロ波のロックインアンプであるベクトル・ネットワーク・アナライザーを用いたサイクロトロン共鳴装置を製作、周波数 30GHz～180GHz、磁場～20T、温度 0.5K～300K での高感度測定ができるようにした。さらに、希釈冷凍機を用いれば最低温度 0.16K における測定も可能とした。

サイクロトロン共鳴の測定結果の一例として、図 1 に LaSb についての結果を示す。図中の矢印は共鳴吸収位置を表している。共鳴 C と D は、原点を通る直線的な周波数一磁場関係を示し、通常のサイクロトロン共鳴である。見積もられたサイクロトロン有効質量  $m^*_{CR}$  は  $0.2m_0$  と  $0.45m_0$  で、その角度依存性から希土類モノブリクタイドの a と g フェルミ面上のキャリヤーのものと判明した。さらに、a フェルミ面の dHvA 効果から見積もられる  $m^*_{Q0}$  ( $=0.15m_0$ ) に比べ大きいことが明らかとなった。一方、共鳴 E と F は磁場に対して直線的な増加ではなく、磁場のほぼ自乗的な変化を示すことを新規に見出した。現在この変化の起源を解明するために、さらに詳細な実験を行っている。

本研究は、本河光博、吉田誠、富松孝宏、野尻浩之、左近拓男、落合明、李徳新、二森茂樹各氏との共同研究である。本研究の実験は東北大学金属材料研究所付属強磁場超伝導材料研究センターで行った。

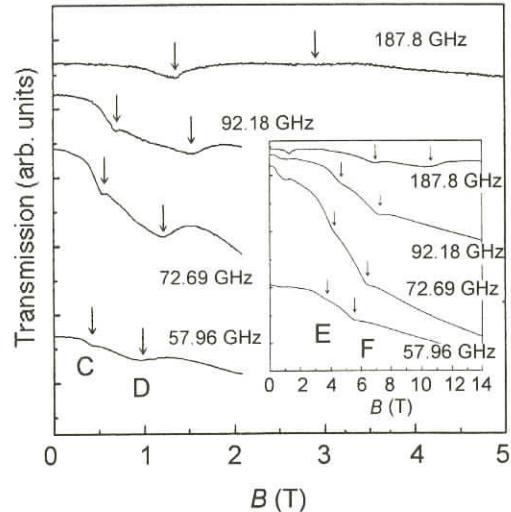


図 1. LaSb の 1.6K におけるマイクロ波透過強度の磁場変化

## 強磁場中材料プロセス

-----磁気浮上状態での結晶成長-----

(東北大金研・CREST-JST) 茂木巖, 浜井美歩, 淡路智,  
渡辺和雄, 本河光博

磁場中に置かれた反磁性物質は反発力として磁気力を受けるが, この磁気力を重力とバランスさせると物質を浮上させることができる。そのような状態を磁気浮上状態という。磁束密度  $B$  の磁場中で磁気浮上状態にある磁化率  $\chi$  の反磁性物質は下式(1)で表されるポテンシャルエネルギー

$$E = -\frac{\chi}{2\mu_0} B^2 + gz + C \quad (1) \quad C : \text{定数}, g : \text{重力加速度}$$

の極小地点で安定に浮上し続けるため, 磁気浮上状態の下で無容器・非接触の物質合成を行うことが可能である。磁気力は物質内の分子一つ一つに作用するので磁気浮上している物質は擬似的な微少重力環境にあるといえる。さらに, 磁気対流や磁場配向などといった磁場効果も加わり, 磁気浮上では重力場や微少重力環境の下とは異なった現象が期待される。このような磁気浮上状態を物質合成の新たな環境として扱うことは興味深い。

我々はこれまでに金研強磁場のハイブリッドマグネットを用いて, 磁気浮上状態での水の凝固<sup>1)</sup>, 水溶液からの NH<sub>4</sub>Cl の結晶成長<sup>2)</sup>に成功している。NH<sub>4</sub>Cl の結晶成長では二種類の実験を試みた。磁気浮上させた NH<sub>4</sub>Cl 水溶液の液滴中における結晶成長と, 磁気力, 重力および浮力をバランスさせて溶液中に結晶を浮遊させる成長方法である。磁気力による力の釣り合いは水溶液の磁気浮上状態をつくるほか, 溶液中の結晶の位置を制御することにも利用できる。通常, 容器の底に沈む結晶は容器の壁面により結晶の成長方向が妨げられるが, 磁気力を使って結晶の位置を制御し容器の壁と非接触状態にすれば結晶は三次元方向に自由な成長を遂げることになる。他方, 磁気浮上に CO<sub>2</sub> レーザーを組み合わせることにより磁気浮遊炉として利用することが可能となり, ガラスの無容器溶融凝固の実験などが行われた<sup>3)</sup>。

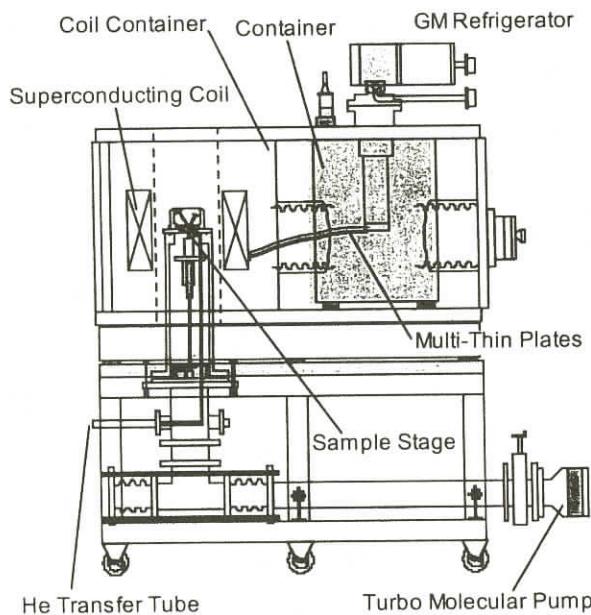
- 1) M. Tagami, M. Hamai, I. Mogi, K. Watanabe, M. Motokawa, J. Crystal Growth 203 (1999) 594.
- 2) M. Hamai, I. Mogi, M. Tagami, S. Awaji, K. Watanabe, M. Motokawa, J. Crystal Growth 209 (2000) 1013.
- 3) N. Kitamura, M. Makihara, M. Hamai, T. Sato, I. Mogi, S. Awaji, K. Watanabe and M. Motokawa, Jpn. J. Appl. Phys. 39 (2000) L324.

## ナノマテ研の強磁場 SPM開発研究

独立行政法人物質・材料研究機構ナノマテリアル研究所（NML）

木戸義勇，品川秀行，高増正，藤田大介

ナノマテリアル研究所では強磁場極低温STM開発を量子計算機の基盤技術開発と表面状態の観測技術開発の2面から行っています。前者の装置は直径18.5cmの室温空間を有する強磁場コイル、走査プローブ顕微鏡(SPM)、極低温発生装置そして100-500GHz帯のミリ波発生器から構成されています。これまでに SPM 装置の磁性顕微鏡(MFM)モードが強磁場中うまく作動するかどうかを図の様な構成試験しました。温度変化は液体ヘリウムの流量とヒーター電化変化で10~600Kの範囲で制御出来ます。プローブはコバルト蒸着したSiチップを用いています。今回使用した装置では表面からの信号は光てこによる方法で検出しています。磁気像の観測は原子像観測により表面の凸凹を測定した後、一



一定間隔を離してスキャンすることによって得ます。高密度磁気記録媒体の磁化パターンが磁場印加で消える様子を7.5Tまで測定することに成功しました。分解能がMFMモードで0.05Tの印加で増大し、20nm以上あることが解りました。今回の成功を基に極低温クライオスタットの開発と自己検知型のSPMを開発中です。同装置にはミリ波の光を導入し電子スピノ共鳴を用いたコントラスト生成を可能にしています。

表面状態の観測技術開発としては、

これまに培って超高真空低温STM技術を発展し、350mKに至る極低温と11T強磁場中で非接触原子間力顕微鏡(NCAFM)などのSPM観測を可能にすることを目指しています。装置が完成しますと電子密度マップのフーリエ変換からフェルミ面の外形もほぼリアルタイムで観測できるようになります。同装置には超高真空中で分子線照射によるドットの成長と試料への応力印加が出来るように構成されており、超高真空から試料を大気中に出すことなく表面観測が可能です。今年度中に装置全体の大枠を完成し、来年度一杯で完成させる予定です。

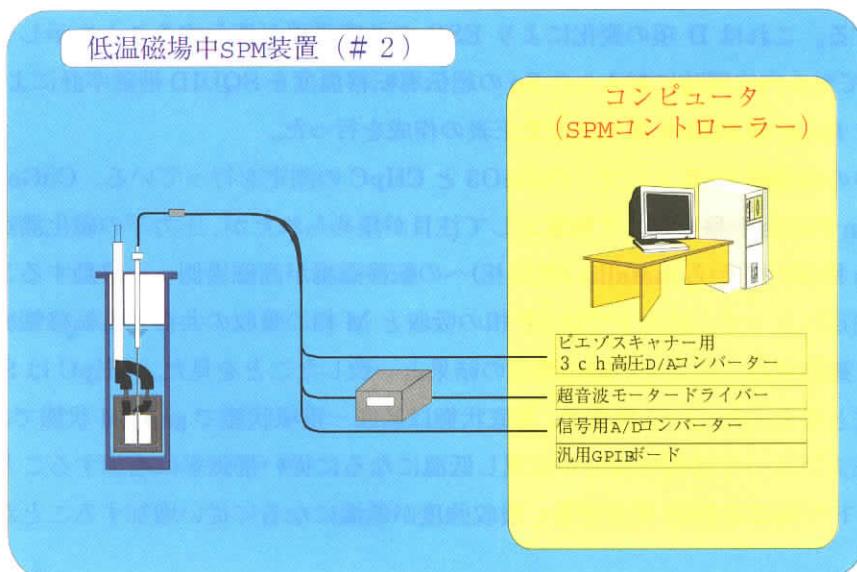
## GaAs/AlGaAs 中 2 元電子系の強磁場物性研究

物質・材料研究機構 高増 正

GaAs/AlGaAs 中 2 次元電子系を用いた量子ホール効果を中心とした物性研究において、その電子波動関数の特徴は、その非局在性にある。こうした電子状態を研究する上で、局所的な電子状態の変化に伴うマクロな物理量の変化を調べることが重要であると考えられる。そこで、我々は、低温強磁場中で、様々な局所状態変化を起こせる走査型プローブ顕微鏡型の測定装置を以前より開発してきた。最近、より低温で電気的に全ての走査を行える SPM 装置の開発を行っている。下図は、そのシステム構成のポンチエである。その主な特徴は、

1. 自己検知型カンチレバーの使用によって、制御測定を全て電気的に行えるため、SPM ヘッド部の小型化、構造の単純化が可能となった。
2. ヘッド部の部品に非磁性体を使用し、粗動制御に超音波モーターを使うことにより耐磁場性設計を行った。
3. 制御、測定を PC への A/D 変換ボード、D/A 変換ボードにより行うことで、廉価で失敗ない作製が可能となった。

である。現在、基本測定プログラムと室温での動作試験をクリアしており、将来的には、ヘリウム 3 までの温度での動作が可能になると考えられる。



## 「高圧下強磁場 ESR 装置の開発とその応用」

神戸大学分子フォトサイエンス研究センター 大久保晋、太田仁  
神戸大学自然科学研究科 櫻井敬博、猿橋正芳  
東京大学物性研究所 上床美也

物性研究において、物性を変えうる外部パラメータとして磁場、温度、圧力などのパラメータがある。中でも圧力は物質の格子定数を変えることによりバンドを変えることができ、電子系の状態を大きく変えることができるパラメータである。極限状態における物性の興味から古くから超高压へのあくなき探究が行われてきた。古くは、マルチアンビルセルや衝撃高圧発生法など、現在はダイヤモンドアンビルセルを用いて超高压下の物性測定が試みられている。しかし、この種の高圧発生装置では測定可能な物性測定法が限られており、強磁場との組み合わせが困難であった。近年、上床によって開発された小型のピストンシリンダー型のセルによって、超高压は達成できないが SQUID を初めとする磁気測定装置への高圧の応用が可能となった。我々は、これをさらに推し進めてパルス強磁場を用いた強磁場 ESR 装置と組み合わせることが可能な高圧装置の開発を行った。

新開発の圧力セルは、銅ベリリウム製のピストンシリンダー型圧力セルの上下のクランプ部分に電磁波を導入する穴を空け、圧力媒体を押すピストンとしてサファイヤを用いた透明なピストンを用いている。圧力媒体としてフロリナートを用いて、最大圧力は約 3Kbar を発生させることができ。これに専用設計の透過光法の ESR クライオスタットを開発し、最大 16T の磁場、ヘリウム減圧により 1.8K までの低温、最低 80GHz の周波数領域の測定を可能とした。

現在、圧力更正表を作成するための測定を行っている。方法としては Ruby でみられる 3 本の ESR 吸収の変化を観測する。これは D 項の変化により ESR の共鳴磁場が変化することを示している。今回は、圧力更正としてセル内に同時に封入した Sn の超伝導転移温度を SQUID 帯磁率計により測定し、圧力を同定した後に Ruby の ESR を測り圧力更正表の作成を行った。

これまでに圧力中の強磁場 ESR として、CuGeO<sub>3</sub> と CHpC の測定を行っている。CuGeO<sub>3</sub> は無機物として初めて Spin-Pierls 転移を起こす物質として注目が集められたが、圧力下の磁化測定によって圧力下で Spin-Piels 相(SP 相)から metallic 相(M 相)への転移磁場が高磁場側へと移動することが分かっている。我々の測定によって、圧力下では SP 相の吸収と M 相の吸収の共存する転移領域の共鳴磁場がより高磁場側に観測され、圧力中の磁化測定の結果と一致したことを見た。CHpC は S=1/2 のスピニ子の候補物質と考えられている物質で、基底状態は基底一重項状態で gapped 状態であるが、圧力下の帶磁率から圧力によって常磁性成分が出現し低温になるに従い帶磁率は増加することが示されている。我々の圧力下の強磁場 ESR 測定からも吸収強度が低温になるに従い増加することが観測されている。

高圧下強磁場 ESR 装置の開発は從来から行われている空洞共振器を用いた ESR の装置では不可能で、透過型の ESR 測定法によって初めて可能となったものである。発生可能な圧力が 3Kbar と小さいことや現在のシステムで可能な磁場領域、温度領域が小さいことなどの問題点があるが、今後、セルの材料開発と測定システムの見直しにより改善していく予定である。

## 反強磁性体 $ZnCr_2O_4$ 単結晶の強磁場 ESR

福井大学工学部 菊地彦光

神戸大学分子フォトサイエンス研究センター 大久保晋、太田仁

$ZnCr_2O_4$  は室温では正スピネル構造をとり, B サイト上にある磁性イオン  $Cr^{3+}$  間に働く反強磁性相互作用により, 總合的スピンフラストレーション効果が現れる。磁化率及び X 線回折測定の結果,  $T_N=13.5K$  において, 構造相転移を伴う一次転移的な磁気転移が生じる事がわかった。磁気的長距離秩序は, 構造転移により格子対象性が低下によってスピンフラストレーションが部分的に解消される結果生じるものと考えた[1]。この特異な磁気秩序過程に関する動的かつ微視的情報を得るために, これまですでに, 多結晶試料に対する  $\mu$  SR 実験[2]や強磁場 ESR 実験を行ってきた[3]。今回, 単結晶試料を得ることができたので, 強磁場を用いた ESR 測定を行った[4]。

単結晶は  $Bi_2O_3$  を用いたフラックス法で作製した。実験に使用した神戸大学の強磁場 ESR 装置は, パルス幅約 10msec のパルス磁場を用いており, 磁石中心におかれた試料の透過光を, 液体ヘリウムで冷やした InSb 検出器で検出する。今回測定した周波数域は 40~315GHz で, 電磁場の光源としては 30~160GHz 域はガン発振器, 180GHz 以上の周波数は 2 及び 3 遍倍器を用いて出力した。測定した温度範囲は 1.8~80K である。磁場は, 八面体形状をした単結晶の向かい合う頂点を通る軸(軸 1)とそれに垂直な軸(軸 2)の二軸に沿って印加した。

約 13K の  $T_N$  以上では常磁性共鳴がみられた。共鳴線幅は降温とともに少し増加したが,  $T_N$  での発散は見られなかった。磁場を軸 1, 軸 2 にかけた両配置ともに,  $T_N$  以下で, 低磁場側に反強磁性共鳴と思われる新たな共鳴ピークが出現した。1.8K での共鳴信号の周波数・磁場依存性はいわゆる容易面型磁気異方性をもつ系の反強磁性共鳴モードの特徴を示した。得られた実験結果を分子場近似による理論式と比較して磁気異方性パラメータを決定した。軸 1, 軸 2 のどちらに磁場を印加しても同様の周波数・磁場依存性が見られたのは, 結晶に互いに結晶軸方向の異なる二種以上のドメインが存在している事を示唆する。

単結晶試料を提供していただいた早稲田大学理工近研究室の皆様に感謝致します。

- [1] H. Kikuchi and H. Mamaiya, Proceedings of ICF 8 September, 2000.Kyoto Japan.
- [2] H. Kikuchi, H. Fukushima, W. Higemoto and K. Nishiyama, Hyperfine Interactions,ins press.
- [3] H. Ohta, S. Okubo, H. Kikuchi and S. Ono, Can. J. Phys. 79(2001) in press.
- [4] H. Kikuchi, H. Ohota, S. Okubo, I. Kagomiya., M. Toki, K.Kohn and K.Shiratori, Proceedings of APES2001, Kobe, Japan.

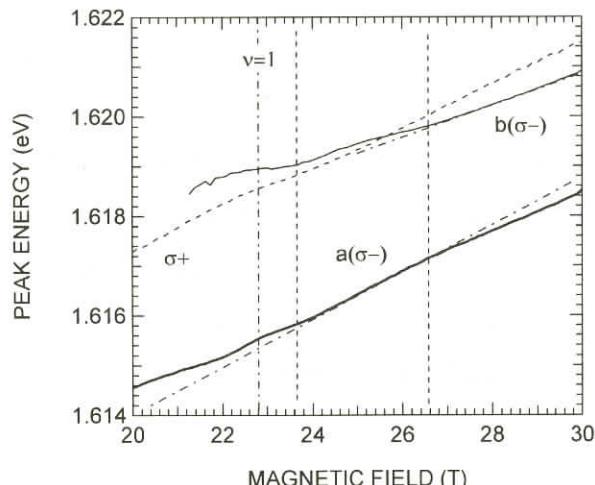
## 超ロングパルス磁石による2次元電子ガス系の高分解能フォトルミネッセンス測定

産総研 横井 裕之

現在、定常磁場で得られる最高磁場は 45Tまで更新されているが、世界でそのような定常強磁場を発生できる施設は限られており、日本では、およそ 35T が最高の定常強磁場である。パルス磁場を用いればそれ以上の強磁場を発生することが可能となるが、そこで問題となるのは、得られる測定データの質である。一般に、パルス磁場下では磁場を高速で掃引しながら短時間で測定することになるので、S/N 比が悪くなったり、個々の測定点での磁場精度が悪くなるなどといった不利な点がある。磁場変化が小さくなる磁場パルスの頂点域で測定を行う方法もあるが、その場合には測定磁場を細かく取ることが現実的に困難となる。本講演では、パルス持続時間が 2 秒に及ぶ超ロングパルス磁場を用いることにより、詳細な議論に堪える品質のスペクトルデータを 60Tまで得ることに成功した例を報告する。

磁場は米ロスアラモス国立研究所内の国立強磁場研究所において、1.4GW/600MJ のモーター発電機から多層コイルに電流を供給することにより発生させた。磁場の掃引速度は、最も速い 30T~60T の領域で 150T/s であった。フォトルミネッセンス測定系は、He-Cd レーザーからの 442nm の励起光と試料からの発光をそれぞれ試料と分光器まで運ぶ一本の光ファイバーと分光器、液体窒素冷却背面照射型 CCD からなる。CCD で受けたスペクトルデータは 2ms ごとにコンピュータに取り込まれた。CCD の感度が高いために入射光強度は数百 mW まで弱くしても十分な S/N 比でスペクトルが取れる上に、30T~60T の領域でも 0.3T ごとにスペクトルデータを取ることができた。このような強磁場域にもかかわらず 1T 以下の間隔で弱励起かつ S/N 比の高いスペクトルデータを得ることは従来困難であった。

下図に、変調ドープ n-CdTe/(Cd, Mg, Mn)Te 量子井戸における  $s\pm$  偏光発光ピークエネルギーの磁場変化を示した。このような 2 次元電子ガス系ではランダウ・フィリング因子  $n$  が整数となる磁場で励起子発光エネルギーが振動する現象が観測されるが、 $n$  が 1 よりわずかに小さい磁場領域では  $s^-$  の低エネルギー側のピーク位置が二段のステップ状に磁場変化するという特異な振る舞いが見られた。その磁場角度依存性を調べることにより、これは singlet の荷電励起子からの発光構造であることがわかった。このような微細な構造がパルス強磁場下の測定で得られる意義は大きいと考える。



## 超強磁場における磁気光学スペクトロスコピー

極限環境物性研究部門 内田 和人

極限環境物性研究部門における光物性研究は、電磁濃縮法、一巻きコイル法、およびパルスマグネットによる超強磁場発生技術と、ストリーカカメラや OMA を用いたストリーカ分光測定技術を組み合わせ、主に半導体低次元構造や磁性半導体等の強磁場中の電子状態の解明を主なターゲットとして行っている。以下に、各種測定法、およびそれらを用いた主な研究の概要を示す。

### ● イメージコンバーターカメラを用いたストリーカ分光測定法

数  $\mu$ s の時間に連続的に変化する分光スペクトルを検出するため、高感度のイメージコンバーターカメラと CCD 検出器を組み合わせたストリーカ分光測定装置を開発した。たとえば、この装置を電磁濃縮法と組み合わせることによって、0 T から 600 T を越える超強磁場までの連続的に変化する磁場中の光学スペクトルを、横軸波長、縦軸時間（磁場）の 2 次元画像として捉えることができる。電磁濃縮法や一巻きコイル法と組み合わせることにより、これまでに半導体量子井戸構造において、励起子準位からランダウ準位へと移行する様子を観測し、200 T を越える超強磁場領域において最低ランダウ準位の高エネルギー側に新たな吸収帯が出現することや、2 次元励起子の磁場による 3 次元的収縮に起因すると思われるランダウ準位の半値幅の増大現象等を観測した。

### ● OMA を用いた CCD ストリーカ分光測定法

OMA の検出器である CCD の受光面の一部にスペクトルを照射することにより、CCD の電荷移動（シフトレジスタ）機構によりスペクトルの時間変化を逐次記録していくという CCD ストリーカ分光測定法を開発した。これは、ストリーカカメラほどの時間掃引速度はないが、原理的に画像の歪みが全くない画期的なものであり、開発段階では他に例のないものであった。この測定技術をパルスマグネットと組み合わせることにより、GaP/AlP 系や GaAs/AlAs 系低次元ヘテロ構造の間接型励起子系において、強磁場中で発光強度が急激に減少するという異常が観測され、界面付近の電子状態に起因した磁場誘起キャリア局在効果として説明できることを明らかにした。このほかにも、パルスマグネット中で使用できる圧力セルを開発し、50 T 程度の強磁場、4.2 K の低温下において、静水圧、一軸性応力、とともに約 1.6 GPa の高圧の発生に成功し、圧力による直接・間接遷移型の制御等に応用している。

## ストレインゲージによる Mn 酸化物の磁歪測定

東大物性研 林 崇、三浦 登

ストレインゲージによる磁歪測定法は、キャパシタンス法などの他の方法と比べて非常に手軽で安価であるにも拘わらず精度の高い方法として有用である。しかしながらこの方法では電気抵抗の微小変化を測定する必要があるため、パルス磁場下では不利と考えられ、これまで敬遠されてきた。我々はホイートストーンブリッジ法による電気抵抗測定をストレインゲージ法に適用することによってパルス磁場中で精度高い磁歪測定を行う方法を開発し、マンガン酸化物における強磁場中の磁歪の異常な振る舞いを見出すことに成功した。

図 1 のように、ガラスエポキシ基盤上にゲージを貼り付けた試料とエポキシ基盤に直に貼り付けたダミーゲージを並べ、ブリッジを構成する。これにより、ゲージ自体がもつ磁気抵抗を差し引くことができる。定常磁場中では、交流電源を用いてロックイン検波をすることによって精度の高い測定ができるが、数 10 msec のパルス磁場下で交流測定を行う場合には 100 kHz 程度の高周波が必要となり、そのためブリッジには大きな虚数成分が重畠してしまう。そこで測定は直流で行った。通常の磁気抵抗測定技術と同様に、補償用コイルを設けてそれに生じる誘導電圧を分圧して電圧端子の一方に重ね合わせて誘導電圧を差し引く。さらに同一のパルス磁場を 2 回発生して、それぞれの磁場で逆向きの電流で測定した信号の差を取ることによって誘導電圧による偽の信号をほとんど完全に除去することができた。

測定例として層状ペロフスカイト型 Mn 酸化物  $\text{LaSr}_2\text{Mn}_2\text{O}_7$  の磁歪を図 2 に示す。測定感度は  $dL/L$   $\sim 10^{-5}$  に達し、これはキャパシタンス法にも匹敵する感度である。このようにストレインゲージ法は数 10 msec のパルス磁場においても磁歪測定法として有力な方法であることが明らかとなった。測定結果の物理的内容については別途発表する。

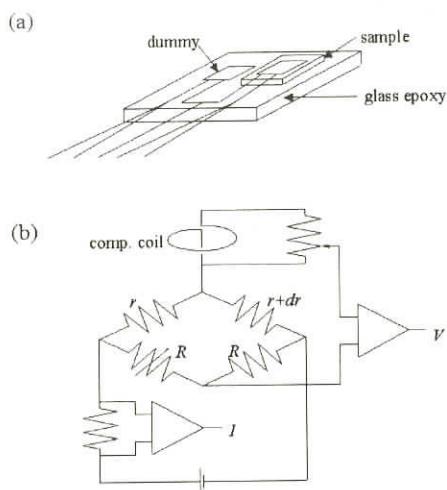


図 1

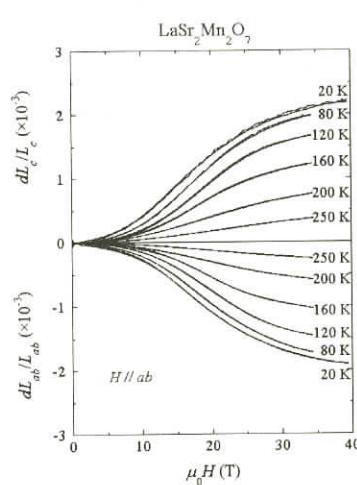


図 2

## ピエゾローテータによる精密試料回転とカンチレバーによる精密磁化測定

東大物性研 大道 英二

近年、非破壊パルス磁場下における高精度測定の重要性は増してきており、長時間パルス磁石と組み合わせることで定常磁場と同様の測定が可能になりつつある。本講演ではこのような試みとして、パルス強磁場下におけるピエゾローテータを用いた精密角度回転とカンチレバーを用いた精密磁化測定の例について報告する。

ピエゾローテータとは図1に示したような構造からなり、シアピエゾにのこぎり状の波形をもつた電圧を印加することで試料台を回転させることが出来る。また非常にコンパクトなことからパルス磁場測定のように非常に狭い空間にも対応出来る。可動範囲は $\pm 10^\circ$ 程度であるが、角度精度は $0.01^\circ$ 程度で制御する事が出来る。実際、有機超伝導体 $\kappa\text{-}(BEDT-TTF)_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$ について測定を行ったところ、磁場の行き帰りで抵抗の振る舞いが一致したことからパルス磁場とピエゾローテータ組み合わせが有用であることをわかった。また様々な磁場方位で磁場掃印を行うことで、上部臨海磁場の精密角度依存性を1.5Kまでの低圧下、40Tまでの強磁場下で測定することが出来た。

一方、パレス磁場下における微小単結晶の磁化測定を行うためにマイクロカンチバレーを用いた磁気トルク測定装置を開発した。自己検知型カンチレバーによりトルクの変化を精度良く測定出来る。また測定に用いたカンチレバーは高い固有振動数を有しており、非常に速い信号あるいは短いパレス磁場に対する応答がすぐれていることがわかった。試料として $1\text{ }\mu\text{g}$ 程度の $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ を用い、38Tまでの測定を行ったところ明確なde Haas.van Alphen振動が観測された(図2)。これらの結果から磁化の測定感度は $10^{-12}\text{Am}^2$ 以上と見積もられ、パルス強磁場下における新しい磁化測定手法として有効であることを示した。

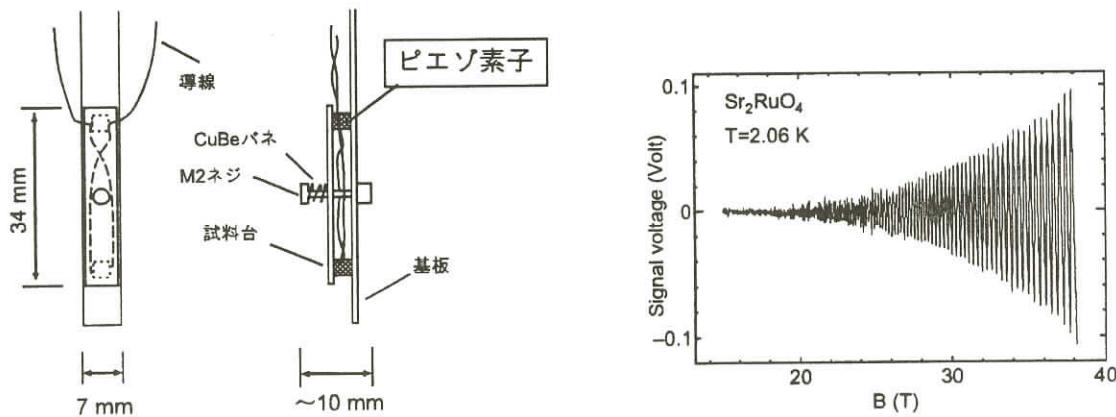


図1(左):ピエゾローテータの構造。図2(右): $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ の磁気トルク。

## 高周波バイアスによる超強磁場下伝導測定

東大物性研 長田 俊人

100Tを超える超強磁場領域での電気伝導測定は未開拓の実験技術であるが、この超強磁場下の低次元電子系や強相関系において予想される新奇な電子物性を探索・解明する研究を進める上で不可欠の実験技術である。そこで物性研究所が保有する電磁濃縮法および一巻きコイル直接放電法による超強磁場発生装置と組み合わせられる電気伝導測定技術の開発を行っている。

幅数  $\mu$  秒の単発パルスとしてのみ発生可能な超強磁場の下での物性測定は、磁場発生時の巨大な放電雑音や誘導起電力、また電磁誘導による導電性試料の自己発熱のため極めて困難である。この困難を局限するための技術として、今回は高周波バイアスによる電気伝導測定を試みたが、その結果と問題点について報告する。

単結晶グラファイト、低次元有機導体( $BEDT\cdot TTF$ )<sub>2</sub>KHg(SCN)<sub>4</sub>などを試料として、縦型一巻きコイル装置を用い高周波実験系の整備と調整を行った。100MHz帯の高周波を試料に加え、応答を周波数検波・位相検波して、回路特性から電気抵抗に変換する。試料はFRP製デュワーで液体ヘリウムに直接浸して冷却している。

実験の障害となる巨大な放電雑音や誘導起電力は検波技術により十分除去できることがわかった。また試料中に電磁誘導された渦電流による試料の自己発熱による温度上昇の影響が、致命的に大きいことも分かった。試料(電子系)の熱応答は非常に速く、温度は発熱(すなわち  $dB/dT$ )の関数になっているように見える。この発熱の影響は試料の微細化に局限できることを示した。より信頼性の高い測定のためには、放電と磁場発生の時間タイミングがずれており、しかも磁場の立ち上がりが緩やかな電磁濃縮法を用いることが有効であると思われる。

以上は主として大学院生の井口智明君、斎藤正樹君の研究成果である。

## 第4回「強磁場における物理現象」国際会議報告

東京大学物性研究所 三浦 登

第4回「強磁場における物理現象」国際会議 (International Conference on Physical Phenomena at High Magnetic Fields - IV, 略称 PPHMF - IV) が、2001年10月20日—25日にわたって米国ニューメキシコ州のサンタフェで開かれた。この会議は米国の国立強磁場研究施設(National High Magnetic Field Laboratory、略称 NHMFL)が主催するもので、第1回が1991年に開かれて以来、ほぼ3年おきに開かれて今回が4回目にあたる。NHMFLの研究活動の一環として、同研究施設から出てきた研究成果を中心に世界の強磁場における研究成果の中から主なものをとりあげて議論を行うことを目的としている。国際勧告委員会には海外から多くの研究者が参画しているものの、組織委員会はすべてNHMFLの主要メンバーで構成されており、この組織委員会がプログラム委員会も兼ねている。このことから同施設の広報活動としての色彩が非常に強い会議である。NHMFLでは、Schrieffer, Gor'kovという著名な理論家が主研究者として研究をリードしているため、会議の内容も理論を含め、物理的な内容に重点がおかされている。そのため強磁場といつても、磁場の強さそのものにはあまり重点がないようで、むしろ現在NHMFLでの主要な研究テーマである重い電子系や高温超伝導、強相関電子系、有機伝導体の物理を中心としてプログラムが組まれていた。そのためプログラムの中にはたとえば1T以下の現象も数多く扱われている。現在強磁場関係の国際会議にはこの他にもいくつかのシリーズがあるが、その中にあってSchriefferのカラーの強い特色ある会議といってよい。

前3回の会議はすべてNHMFLの本部と定常磁場施設のあるフロリダ州Tallahasseeで開かれてきたが、今回は同施設のもう一つの柱であるパルス磁場施設がおかっているLos Alamos研究所の披露という意味から、Los Alamosに近いSanta Feで開かれたものである。第1回目はまだ同施設が完成していないときに開かれ、施設計画の国際的な公表といった色彩の会議であった。第2回目(1995年)は施設がフルに活動を開始して成果が出始めた時期に開かれ、同施設の完成が印象づけられた。第3回(1998年)は「メガガウス超強磁場国際会議」と同時期に行われて、超強磁場のコミュニティーとの交流が図られ、同時に、分数量子ホール効果の発見でノーベル賞を受賞したばかりのStormerとLaughlinが出席して、強磁場の重要性を世に訴えるよい機会となった。

このように毎回それぞれに特色が打ち出されているが、今回は前日にSchriefferの70歳誕生日を記念した「磁性と超伝導」というシンポジウムが開かれ、多くの参加者が両方に出席することとなった。このシンポジウムでは、Anderson, Laughlin, Stormer, Heegerといったノーベル賞受賞者が5人講演を行い、この他に出席したKohnとSchrifferご本人も含めると6人のノーベル賞受賞者が顔を揃える豪華な会議となった。講演者としては、この他にSchriefferとつながりの深いFisk, やBatloggが講演を行った。皆それぞれにSchriefferとの関係についてジョークを織り交ぜた逸話を紹介した後、それぞれの分野における歴史的な研究の流れと現状をレビューする講演を行った。世界の頂点に立つ人々の話だけあって、研究の流れやそれに対する視点がよく分かり、素晴らしいシンポジウムであつ

た。講演会の後には、100人以上の人々が参加して70歳の誕生日を祝うバケツが開かれた。食事が一通り終わった後、いろいろな関係者がスピーチと記念品贈呈を行った。APS、NSF、をはじめアメリカ政府機関などからの多くの記念品が贈呈されたが、それぞれのスピーチにはユーモアがあつて笑いや拍手を誘うなごやかな雰囲気が非常に印象的であった。アメリカ化学会からは Schrieffer が化学者になるかも知れなかつたことが紹介され、実験用白衣がプレゼントされ、最後にご本人がこれを着たままかなり長いスピーチを行つた。Bardeen の下で超伝導理論を研究することになつたいきさつや、ノーベル賞受賞のためのストックホルムへの旅行、その後のペンシルベニアやサンタバーバラでのことなど、興味溢れるスピーチであった。特に最初に Bardeen から半導体トランジスタの表面の研究するためにいわれ、金線をつけるために水素を流していたところこれが爆発したことや、コペンハーゲンで夫人と始めて会つたときのことなどが紹介されたが、これらはふだんはあまり聞くことのできない逸話で、参加者の興味を誘つた。

さて本題の PPHMF-IV に戻ると、同時多発テロの影響で多少海外からの参加者が減つたが、それでも主催者によると参加者数は結局 200 人近い数であった。日本からは筆者その他、国際勧告委員会委員の安岡弘志氏(原研)、招待講演者の宇治進也氏(物質材料研究機構)、中辻知氏(京都大学、現 NHMFL 滞在中)、また若手の人々が数名であった。出席のキャンセルがあったこともあるつて少ない数ではあるが、米国中心の会で、諸外国からの参加者もそれほど多くはなかつた。会場は Sweeney Convention Center で広い会場の前の方に椅子を並べて Oral セッションが行われた。エクスカーションの日を除いた 5 日間に 46 の招待講演と、11 の一般講演、Facility に関する特別セッション、それに 95 件のポスターセッションという論文が発表され、毎日、朝 8 時から午後 6 時近くまでセッションが並んでおり、昼休みも 1 時間だけというかなり忙しい日程であった。前述したように取り扱われたトピックスは NHMFL で注目すべき成果のあったものにかなり絞られており、量子ホール効果(講演数 12 件)、重い電子系(講演数 13 件)、高温超伝導(講演数 12 件)、Re 化合物と磁性(講演数 10 件)、有機伝導体(講演数 6 件)、その他の話題(講演数 3 件)、施設の新しい進展に関する特別セッション(講演数 5 件)という配分であった。ポスターでは Semiconductors/Quantum Hall effect 9 件、Heavy Fermions 9 件、Molecular conductors 9 件、Quantum solids and liquids 4 件、Superconductivity 25 件、Magnetism & magnetic phenomena 30 件、Other aspects of studies in high magnetic fields 9 件がプログラムに載っていたがキャンセルしたものがいくつかあり、空いている箇所がいくつか見られた。

ここではあまり多くの発表について述べる紙面の余裕はないが、筆者の興味を惹いた講演をあげると、Eisenstein による 2 層系の量子ホール状態でのトンネル効果に現れる電子相関、Composite Fermion の概念を提唱した Jain 自身による Composite Fermion 同士の相互作用の話、Pan による高移動度 GaAs 試料における 4/11, 7/11 という分数量子ホール効果の観測の話、Batlogg による Tetracene など分子性結晶の FET における広範囲にキャリア濃度を変えたときの超伝導から整数および分数量子ホール効果の観測の話、宇治による  $I$ -(BETS)<sub>2</sub>Fe<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Cl<sub>4</sub> の磁場誘起超伝導の話、中辻による Ca<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>RuO<sub>4</sub> の x を変化させたときの磁性と超伝導の話、Alloul による銅酸化物超伝導体における Li などの Spinless 不純物の近藤効果的振る舞いの NMR による観察の話、Krusin-Elbaum による

る Bi-2212 超伝導体の強磁場下 c 軸伝導にみられる負の磁気抵抗の話、等々であった。Krusin-Elbaum は Los Alamos 研究所の 60 T 超ロングパルス強磁場による見事な測定データを示した。

ポスターでは、NHMFL からの発表が目立ったが、Crocker は短パルスレーザーによる光伝導とストリップラインを用いた強磁場でのテラヘルツスペクトロスコピーは将来のパルス磁場への応用という意味で興味が持たれた。

施設のための特別セッションでは、いくつかの新しい計画が披露された。ここで興味深いことはドイツでの 2 つの大型計画である。ヨーロッパでは EU による欧州大型強磁場施設計画(European Large Magnet Facility)という計画が長年議論されて、欧州のどこかに 100 T ロングパルス磁場施設、ないし大型の定常磁場を発生する施設の建設を検討してきたが、なかなか進むべき方向が定まらずに閉塞状態にある。これに対してドイツでは一国で特徴ある大型施設を建設しようとする 2 つのかなり具体的な計画が出てきた。1 つは Dresden の Forschungszentrum Rossendorf 研究所の大型パルス強磁場計画である。講演を行った責任者の F. Pobell 教授によると、50 MJ のコンデンサーバンクを建設して、100 T/10 ms、70 T/100 ms、60 T/1 s あるというパルス磁場を発生する計画である。同研究所には超伝導線形加速器を用いた赤外 FEL 施設(波長 5-150 mm、連続出力 10 W 以上)を建設中であり、これと組み合わせることが大きな目的であるとのことであった。またもう一つの大型計画は Berlin の Hahn-Meitner 研究所の中性子回折装置と組み合わせるための大型定常磁場計画である。すでにそのテストプラントとして 1 MJ のエネルギーのコンデンサーバンクで 60 T の磁場を発生することに成功している。計画の代表者である M. Meissner 教授が講演を行ったが、40 MW の電源を設置して水冷型のマグネットを運転することにより、同研究所の中性子散乱施設のよって、強磁場下の中性子散乱を行う計画であるという。小角散乱用のマグネットで 40 T、中性子回折用のスプリットマグネットによって 30 T の定常磁場の発生が予定されている。どちらの計画も来年のドイツ Scientific Council によるレビューと予算決定を待っている。ドイツのこれら 2 つの計画について共通して注目すべきことは、電源は自作するが、マグネットは米国 NHMFL に注文して購入する予定であるということである。信頼性のあるマグネットの製作には多くの経験とノウハウが必要であり、新たな開発には多大な努力と投資を払わなければならない。既存のものを単に購入するということも一つの方法である。それにしても国立の研究機関である NHMFL が研究所として装置の販売もできるということは、日本にはない機能であり、NHMFL の世界的立場を強化することにも役立っている。

またこのセッションでは、三浦が最近、物性研究所で得られた 622 T の発生と 100 T 以上の磁場での研究成果について講演した。

会議 4 日目の 10 月 23 日には、Los Alamos のパルス強磁場施設の見学を中心とするエクスカーションがあった。この施設には時間が比較的短い(数 ms) 60T パルス磁場と、巨大な発電機を電源とする 60T 超ロングパルス(全パルス時間幅 2 秒)という 2 つの施設がある。このうちの超ロングパルスの方は、長いパルス時間を活かして比熱の測定や精密な光学測定などで成果をあげていたが、昨年 7 月にマグネットの爆発事故があり、現在は休止中である。その事故はちょうど 90 MJ という巨大なエネルギーがマグネットに投入された磁場のピーク時に発生したために破壊力がものすごく、マグネットやクラ

イオスタッフはもとより建物の一部も損傷するほどのものであった。マグネットは広い部屋の一隅にピット上につくられたセルに置かれていたが、現在ではセル付近はきれいに片づけられていた。1年余りのうちには復旧するための作業を続けているとのことであったが、まだセルの周辺には、壁に取り付けられたまま曲がった配管類、飛翔物によって開いた壁の穴などが事故の大きさを物語っていた。何よりも印象的なのは、厚さ 1m 近くあると思われるセルの仕切壁が数 cm 動いたとのことで仕切壁も曲がっている。幸い、人身事故や電源などの周辺装置への被害には至らなかったとのことであるが、大きなエネルギーを扱う磁場発生には、いかに万全の配慮が必要であるかを如実に物語る光景であった。興味深かったのは、同施設が以前から進めている同じ発電機を使った 100T ロングパルス発生計画が、60T マグネットの復旧とは独立して進行していることであった。前者がエネルギー省、後者が NSF というように、異なる財源によって計画されているために、並行して計画を進められることは幸いであったと関係者は語っていた。

一方、短時間パルスの設備はコンデンサーバンクを電源とするためにこれとは独立の装置である。筆者が前回訪れた 1997 年当時に比べると、長時間パルス用の建物に移転して、共同利用施設として非常に整備されていた。全部で 6 つのセルがありそれぞれは壁で仕切られていて、どの部屋でも他の部屋とは独立して実験の準備を進め放電を行うことができるようになっている。そして共通のコンデンサーバンクを使うことから予想されるすべての危険を未然に防ぐために、セルの入り口のキーを使ったインターロック装置が整備されている。パルス磁場のショットは各セルの外からスタートする。このセル構造は期せずして物性研究所の長時間パルス磁場施設とまったく同様な構造であり、日米で独立に時を同じくして同様な構造を建設することになったことは興味深い。ただし各セル間やセルと外の空間を仕切る壁の高さが不十分で、マグネットが万一破壊したときには発生する飛翔物をくい止めるために問題があるとのことであったが、この点もまだ事故が起こっていないとは言え、物性研究所で懸念していることと共通の問題であった。この施設は現在では多くの利用者によって共同利用されており、会議でもその成果がいくつか発表されていた。これまでに同施設を用いて得られた成果に関する論文の別刷りを自由に取れる棚が用意されていて、いかに同装置が役立っているかを宣伝することにもかなり気が配られていることも目についた。いずれにしても物性研究所のパルス超強磁場施設のうちの長時間パルス施設とは多くの共通点やまた異なる所もあり、参考になる Lab. Tour であった。なおこの会議の会議録は ”Physical Phenomena at High Magnetic Fields - IV” として World Scientific 社から出版されることになっている。また次回は 2004 年 7 月に Tallahassee で開かれることがアナウンスされた。

# 物性研究所談話会

日時: 2001年11月7日(水) 午後2時~3時

場所: 物性研究所6階 A615号室

講師: Prof. Arthur Sleight

(Oregon State University)

題目: Delafossites as p-type transparent conductors

要旨:

The ideal formula for the delafossite ( $\text{CuFeO}_2$ ) structure is  $\text{AMO}_2$  where the A cation in two-fold coordination can be Cu, Ag, Pd, or Pt. The octahedral M cation can range in size from Al to a rare earth. Some of these compounds with Cu as the A cation can be doped p-type by oxygen intercalation or partial substitution of a divalent cation on the M site. In transparent thin films, we have achieved room temperature conductivities as high as 200 S/cm through such doping. Studies on structure and on electrical and optical properties will be presented.

日時: 2001年11月8日(木) 午後4時~5時30分

場所: 物性研究所6階 A615号室

講師: 上村 洋

(東京理科大学大学院理学研究科)

題目: 強磁場下タイプII型超格子・ヘテロ構造系における励起子状態と異常発光現象の研究

要旨:

GaP/AIP 短周期超格子及びヘテロ構造など、励起された電子ホールが異なった層に存在するタイプII型半導体システムは、可視光域で直接ギャップ半導体並の強い発光を示すことで注目を集めてきた。1996年に、三浦登教授のグループは、GaP/AIP 短周期超格子の界面に垂直に磁場を加えた時、強磁場領域で上記の発光が磁場の強さとともに急激に減少するという異常な現象を発見し[1]、大きな関心を集めた。また最近、白木靖寛・三浦登両教授のグループは、歪みを加えたタイプII型の系では、減少しつつある発光強度が、ある磁場の強さから再び強くなることを見いだした[2]。

本講演では、われわれのグループによる最近の研究結果[3,4]に基づいて、タイプII型半導体系で見いだされた、強磁場下の異常発光の起源について議論する。特に、界面に存在する欠陥に束縛された励起子が、発光の異常な振る舞いに重要な役割を演じていることを指摘し、このことから界面における欠陥の同定に、強磁場下の発光の振る舞いが役立つことを示唆したい。

[1] K. Uchida, N. Miura, J. Kitamura and H. Kukimoto, Phys. Rev. B53(1996)4809.

[2] N. Usami, T. Sugita, T. Ohta, F. Isshiki, Y. Shiraki, K. Uchida and N. Miura, Phys. Rev. B 60(1999)1879.

[3] Y. Kobayashi, K. Kouzu and H. Kamimura, Solid St. Commun. 109 (1999) 583.

- [4] K. Kouzu, M. Nishimura and H. Kamimura, Proc. 25th Int. Conf. Physics of Semicond., eds. N. Miura and T. Ando, p. 545(Springer, 2001).

日時: 2001年11月13日(火) 午後2時～3時

場所: 物性研究所6階 A615号室

講師: Prof. V. Sechovsky

(Department of Electronic Structures, Charles University)

題目: Physics of UCoAl - An Itinerant 5f - Electron Metamagnet

要旨:

UCoAl exhibits attributes of an itinerant 5f-electron metamagnet. It is para-magnetic down to lowest temperatures but the c-axis susceptibility shows a maximum around  $T_{max} \approx 20K$ . When a field larger than  $B_c \approx 0.6T$  is applied along the c-axis of hexagonal structure a ferromagnetic ordering of U moments is induced at low temperatures. The critical parameters  $T_{max}$  and  $B_c$  are sensitive to alloying and hydrostatic pressure. In the latter case values of both,  $T_{max}$  and  $B_c$ , are increasing with increasing pressure, i.e. metamagnetism is suppressed towards a conventional paramagnetism. Application of a c-axis uniaxial pressure has an opposite influence on  $T_{max}$  and  $B_c$  leading to ferromagnetism in zero field. A scenario of the physics of UCoAl is presented accounting for effects of hydrostatic and uniaxial-pressure on the lattice and consequences in the 5f-electron delocalization and anisotropy of hybridization-mediated exchange interactions. Role of antiferromagnetic correlations that are reflected by the magnetoresistance, magnetoelastic and magnetothermal phenomena will be discussed, as well.

日時: 2001年11月29日(木) 午後10時30分～11時30分

場所: 物性研究所6階 A615号室

講師: Dr. Eric Vincent

(Service de Physique de l'Etat Condens, CEA Saclay, France)

題目: Aging, Rejuvenation and Memory Effects in Spin Glasses

要旨:

In spin glasses, the dynamic response slowly evolves with the time elapsed from the quench ("aging"). But, in contrast with most structural glasses and polymers, aging is hardly influenced by the cooling rate. Each further cooling step tends to restart aging ("rejuvenation"), while the "memory" of previous agings at different temperatures can be retrieved when re-heating.

These phenomena can be well described in terms of a hierarchical organization of the metastable states as a function of temperature. On the other hand, in the real space of spins, aging can be thought of in terms of a slow growth of spin-spin correlations, which has(indirectly) been characterized in some experiments. Remarkably, the obtained growth law is the same as observed in numerical simulations of the Edwards - Anderson model, although in a very dif-

ferent time (and length) range.

But rejuvenation and memory effects show that more than one single correlation length must be at play. In the experiments, it is possible to store independently several different memories of aging at different temperatures. This might correspond to imprinting the memories of various spin arrangements at well separated length scales, which are selected by temperature[1].

We shall discuss the experimental evidences of such phenomena in several spin glasses of Ising and Heisenberg type [2]. The properties of the glassy phase observed in some frustrated but non-disordered compounds will also be compared with those of conventional (site-disordered) spin glasses[3].

- [1] J.-P. Bouchaud, V. Dupuis, J. Hammann and E. Vincent, e-print cond-mat/0106539.
- [2] V. Dupuis, E. Vincent, J.-P. Bouchaud, J. Hammann, A. Ito and H. Aruga Katori, Phys. Rev. B 64, 174204(2001).
- [3] V. Dupuis, E. Vincent, J. Hammann, J. E. Greidan and A. S. Wills, e-print cond-mat/0109242.

日時: 2001年11月29日(木) 午後2時~3時

場所: 物性研究所 6階 A612号室

講師: Prof. Roman Swietlik

(Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznan, Poland)

題目: INFRARED AND RAMAN STUDIES OF CHARGE ORDERING IN SOME BEDT-TTF SALTS

要旨:

Using IR and Raman spectroscopy we studied the charge ordering phenomena in two different kinds of conducting charge-transfer salts formed by the organic donor BEDT-TTF and inorganic anions. Three isostructural BEDT-TTF salts with magnetic trianions  $M(CN)_6$  ( $M = Co^{III}, Fe^{III}, Cr^{III}$ ) exhibit semiconducting properties and undergo phase transitions at  $T=240\text{ K}$  and  $150\text{ K}$ . In these compounds the pairs of BEDT-TTF molecules in conducting layers are arranged almost perpendicularly to each other, after a characteristic manner of the  $\kappa$ -phase structure. Infrared reflectance and Raman spectra were measured as a function of temperature to investigate charge redistribution inside the BEDT-TTF layers. Charge ordering has a considerable influence on both electronic and vibrational spectra. Below  $150\text{ K}$  a new charge-ordered state, due to long range electron-electron correlations, is formed. Analogous studies were carried out for the metallic salt  $\gamma-(BEDT-TTF)_3(HSO_4)_2$  which undergoes a metal-insulator transition at  $T=130\text{ K}$ . In this case spectroscopic data also provide an evidence of charge ordering in the BEDT-TTF layers. The charge redistribution yields modifications of vibrational features, especially those related to C=C stretching, but an electronic plasma-edge-like dispersion remains nearly unchanged.

日時: 2001年12月4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: Prof. Vladimir I. Inozemtsev

(京都大学 基礎物理学研究所)

題目: Bethe - ansatz equations for quantum spin chains with elliptic exchange

要旨:

It is shown that the eigenvectors of the integrable Hamiltonian  $\mathcal{H}_N$  of the 1D XXX quantum spin  $N$ -site chains with elliptic exchange are connected with the double Bloch meromorphic solutions of quantum continuous elliptic Calogero - Moser problem. This fact allows one to find the eigenvectors via the solution to the system of highly transcendental equations of Bethe - ansatz type which is presented in explicit form. The perspectives of extending these results to the 1D Hubbard model with variable range elliptic hopping are also discussed.

日時: 2001年12月10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: Prof. Qimiao Si

(Rice University)

題目: Local Criticality and non - Fermi Liquid Behavior in Heavy Fermions

要旨:

Quantum criticality provides a means to understand the apparent non - Fermiliquid phenomena in strongly correlated metals. Heavy fermion metals have emerged as a prototype system; many of them explicitly display a magnetic QCP. Experiments have shown that the quantum critical behavior is much richer than expected. One surprise came from neutron scattering, which found that the spin dynamics is anomalous not only near the antiferromagnetic wavevectors but also essentially everywhere in the Brillouin zone. In this talk, I will review these experiments and describe some recent theoretical work on the subject. The notion of "local criticality" will be introduced and will be argued to apply to the heavy fermions. Some broader implications of our results will also be discussed.

日時: 2001年12月17日(月) 午後2時～3時

場所: 物性研究所6階 A615号室

講師: 森 初果

(東京大学物性研究所)

題目: 有機伝導体におけるバンド幅制御とバンドフィーリング制御

－有機物でできること、無機物でできること－

要旨:

1980年に最初の有機超伝導体が発見されて以来、約80種開発され、その最高転移温度は（C<sub>60</sub>系を除くと）κ系[1]の13K[2]である。このκ系は、基底状態が反強磁性絶縁相で印加してバンド幅を

広げることにより超電導相が得られている。このように有機電導体は通常バンド幅で電子状態が制御される。我々は有機物でもバンド幅ばかりでなくバンドフィーリング制御、ひいてはキャリアドーピング制御で電子状態を制御することができないかと試みたところ、最近系統的にフィーリングを変えた単結晶の作成に成功した。<sup>[3]</sup> 様々な基底状態をもつ系について調べ、(a)反強磁性絶縁体、(b)非磁性絶縁体、(c)電荷秩序物質、(d)バンド絶縁体へドーピングを行った。(a)～(c)では半導体が良半導体に変化し、(d)では半導体が金属（的挙動）に変化した。これより1/2充填バンドをもつ系へのフィーリング制御が一番効果的であることが明かとなった。同じ系でバンドフィーリング制御とバンド幅制御を比較検討した結果も紹介する。無機物において発現した超電導、磁性超電導、バンドフィーリング制御も有機物で可能となり、有機物でのスピンドライバスも無機物で見い出された。有機物ならではの特性を考え、最近進めている研究も紹介する。

[1]: H. Urayama - Mori, et al., Chem. Lett., 1988, 55.

[2]: J. M. Williams, et al., Inorg. Chem., 29, 3272(1990).

[3]: H. Mori, et al., J. Am. Chem. Soc. in press.

日時: 2001年1月9日(水) 午後3時～4時

場所: 物性研究所6階 A615号室

講師: 清水 克哉

(阪大基礎工)

題目: 超高圧下の電気抵抗測定：鉄や酸素の超電導

要旨:

極低温・超高圧下の物性研究を我々のグループでは<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 希釈冷凍機と超高圧発生用小型ダイヤモンドアンビルセル(DAC)を用いて行ってきた。100GPaを超える高圧下で電気磁気光学的測定技術の開発を行い、絶縁体分子結晶である固体ヨウ素の圧力下超電導の発見以後、固体臭素、硫黄、固体酸素等の分子性結晶において金属化、分子解離、超電導性等の一連の発見に至った。また、一般の磁性金属における超伝導性の探索の結果、鉄の低温・圧力下における超伝導性の発見に至った。酸素と鉄の超伝導性は、磁性分子または元素が示す超伝導ということで超伝導性発生の新しい機構に関連して注目を集めている。今後の磁性-超伝導性の競合と共存という新しい課題に極めて重要な指針となりうると考える。

参考文献

K. Shimizu et al., Nature 393 (1998) 767.

K. Shimizu et al., Nature 412 (2001) 318.

# 東京大学物性研究所の助手公募の通知

下記により助手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（リップマー研究室） 助手 1名

2. 研究内容

当研究室では酸化物薄膜とナノ構造の成長に関する研究を推進している。薄膜作製にはパルスレーザー堆積法を用い、薄膜の成長ダイナミクス解析と特性評価を行っている。また、薄膜の構造をSTM、AFM、XRD及びイオン散乱分光装置により解析すると共に、デバイス構造を作製して電気及び磁気特性の評価も行っている。本公募では、これらの研究を意欲的に行う若手研究者を希望する。

3. 応募資格

修士課程修了、又はこれと同等以上の能力をもつ人。

4. 任期

内規により5年を原則とする。

この内規は、大学の教員等の任期に関する法律（平成9年法律第82号）に基づくものではありません。

5. 公募締切

平成14年2月20(水)必着

6. 就任時期

決定後なるべく早い時期を希望する。

7. 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（略歴で良い）
- 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編程度）

(ロ) 応募の場合

- 履歴書（略歴で良い）
- 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編程度）
- 所属の長又は指導教官等の本人についての意見書（宛先へ直送）
- 健康診断書

8. ①書類提出先

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5丁目1番5号

東京大学柏地区庶務課人事掛

電話 0471 (36) 3205、e-mail:jinji-kakari@issp.u-tokyo.ac.jp

②問い合わせ先

東京大学物性研究所 先端領域研究部門

助教授 ミック・リップマー

電話 0471 (36) 3315、e-mail:mlippmaa@issp.u-tokyo.ac.jp

助教授 小森 文夫

電話 0471 (36) 3310、e-mail:komori@issp.u-tokyo.ac.jp

9. 注意事項

「先端領域研究部門（リップマー研究室）助手応募書類在中」、又は「意見書在中」の旨を朱書きし、郵送の場合は書留とすること。

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13年11月30日

東京大学物性研究所長

福山秀敏

# 人 事 異 動

## 【研究部門等】

○ 平成13年12月1日付け

(採用)

氏 名	所 属	職 名	異 動 内 容
辺 土 正 人	極限環境物性研究部門	助 手	新規採用
浜 田 雅 之	先端領域研究部門	技 官	新規採用

# Technical Report of ISSP 新刊リスト

## Ser. A

- No. 3636** Theoretical and Experimental Study of Surface/Bulk Contributions in Resonant Inverse Photoemission of  $CeRh_3$ , by T. Uozumi, K. Kanai, S. Shin, A. Kotani, G. Schmerber, J.P. Kappler and J. C. Parlebas.
- No. 3637** Polarization Dependence of Resonant X-Ray Emission Spectra in  $3d^n$  Transition Metal Compounds with  $n=0, 1, 2, 3$ , by Masahiko Matsubara, Takayuki Uozumi, Akio Kotani, Yoshihisa Harada and Shik Shin.
- No. 3638** High-Resolution Photoemission Study of Low- $T_c$  Superconductors : Phonon-Induced Electronic Structures in Low- $T_c$  Superconductors and Comparison with the Results of High- $T_c$  Cuprates, by T. Yokoya, A. Chainani, T. Kiss, S. Shin, K. Hirata, N. Kameda, T. Tamegai, T. Nishio and H. Uwe.
- No. 3639** TBA Equations of 1D Hubbard Model and High-Temperature Expansion, by Minoru Takahashi and Masahiro Shiroishi.
- No. 3640** Triplet Superconductivity Induced by Screened Phonon Interactions in Ferromagnetic Compounds, by Hiroshi Shimahara and Mahito Kohmoto.
- No. 3641** Emptiness Formation Probability for the One-Dimensional Isotropic XY Model, by Masahiro Shiroishi, Minoru Takahashi and Yoshihiro Nishiyama.
- No. 3642** Theory of Ballistic Transport in Carbon Nanotubes, by Tsuneya Ando, Hajime Matsumura and Takeshi Nakanishi.
- No. 3643** Insulator-Quantum Hall Transition in Antidot Lattices, by Seiji Uryu and Tsuneya Ando.
- No. 3644** Superconducting Gap Structure of  $K-(BEDT-TTF)_2Cu(NCS)_2$  Probed by Thermal Conductivity Tensor, by Koichi Izawa, Hidemasa Yamaguchi, Takahiko Sasaki and Yuji Matsuda.
- No. 3645** Shapiro Step Response in the Coherent Josephson Flux Flow State of  $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ , by Yuri I. Latyshev, Marat B. Gaifullin, Tsutomu Yamashita, Masahiko Machida and Yuji Matsuda.
- No. 3646** Quasiquartic Excitation in and Around the Vortex Core of Under-doped  $YBq_2Cu_4O_8$  Studied by Site-selective NMR, by Kosuke Kakuyanagi, Ken-ichi Kumagai and Yuji Matsuda.
- No. 3647** Fermi Surface Sheet-dependent Superconductivity in  $2H-NbSe_2$ , by T. Yokoya, T. Kiss, A. Chainani, S. Shin, M. Nohara and H. Takagi.
- No. 3648** Orbital Magnetism in Confined Two-Dimensional Systems, by Hidetoshi Fukuyama, Takahiko Sasaki, Ken Yokoyama and Yasushi Ishikawa.
- No. 3649** Electrical Conductance under Periodic Magnetic Field, by Takahiko Sasaki and Hidetoshi Fukuyama.
- No. 3650** Chiral Correction to the Spin Fluctuation Feedback in Two-Dimensional p-wave Superconductors, by Jun Goryo and Manfred Sigrist.

## 編 集 後 記

2002年最初の物性研だよりをお届け致します。新年からよい天気が続いていますが、1／12日からは、日本放射光学会が物性研究所と東京大学柏キャンパス隣の東葛テクノプラザで開催されました。土日に開催されたために、多少交通の便が懸念されましたが、大きな混乱もなく500人以上の参加者の活発な議論がなされました。柏キャンパスには、次々と新しい建物が建設されていますので、これからは、このような学会が開かれる機会も増えてくるはずです。本号には、逆に小規模の研究会として最近始まったISSPワークショッピ報告が掲載されています。この枠組みで、焦点の絞られた研究会をタイムリーに開催することができるようになりました。また、本号には、昨年7月に先端領域研究部門に着任したリップマー所員の新任の挨拶と加倉井元所員の寄稿があります。編集担当は、リップマー所員から英語原稿を予想していましたが、本稿は夫人のご協力により日本語に翻訳したものだそうです。

次号の締切は2月15日です。

所属または住所変更の場合等は事務部共同利用掛までご連絡願います。

小 森 文 夫

