

# 物性研だより

第27卷  
第3号

1987年9月

## 目 次

○物性研の内と外から .....	豊沢 豊 .....	1
○回想とこれから .....	今田 正俊 .....	5
○内と外から見た物性研 .....	中野 昇 .....	8
物性研短期研究会報告 .....		10
○真空紫外および軟X線分光研究の最近の成果と将来の展望 .....		10
世話人 塙 賢二郎, 国府田隆夫, 近藤 泰洋		
石井武比古, 山口 重雄, 宮原 恒昱		
○三元および多元化合物の基礎物性 .....		41
世話人 佐藤 勝昭, 青木 昌治, 新井 敏弘		
飯田 誠之, 入江 泰三, 高橋 清		
竹野下 寛, 増本 剛, 山本 信行		
○中性子散乱による生体物質の研究 .....		63
世話人 伊藤 雄而, 新村 信雄, 前田 豊		
伊豆山健夫, 三井 利夫, 山田 安定		
物性研究所談話会 .....		85
物性研究所創立30周年記念行事のお知らせ .....		86
物性研ニュース		
○東京大学物性研究所 助手の公募 .....		87
○1988年度日米協力事業「中性子散乱」研究計画の公募 .....		89
○人事異動 .....		90
○テクニカルレポート 新刊リスト .....		91
編集後記		

東京大学物性研究所

ISSN 0385-9843

## 物性研の内と外から

豊沢 豊

物性研を離れてからまたたく間に数か月経ちました。退官前は事実上できなかった身辺の整理と新しい仕事への対応に追われ、物性研だよりの編集部にはしばらくの猶予をお願いしてきましたが、夏休みに入って一息つき、後ればせながら感想を綴りたいと思います。

夏休みといえば、物性研での生活には夏休みなどありませんでした。所内外の共同研究や国内外での研究集会などで、むしろ年間の最も忙しい季節でした。もっともそのような生活も最後の3年間は所長を仰せつかったため様変りになってしましましたが、この期間中のことについては別な場にまとめて書くよう求められていますので、ここではそれ以前のこともふりかえりながら気楽に書かせて頂きます。

思えば物性研着任以来27年余り、私の研究生活の大半をここで過したことになります。その間、所内外の多くのすぐれた研究者と知り合うことができ、色々と啓発され、互に協力し、共になやみ共に喜んで充実した年月を送ることができたことを、心から感謝しています。その研究生活の一端についてはすでに退官記念講演会で話させて頂きました。それでこゝでは、研究生活の周辺から幾つかの思い出を拾うことにします。私は生来不器用で、研究以外の面で人の役に立てるようなことは大してできそうもないと思っていましたので、他のことに関わりをもつことには概して消極的でした。従って、はからずも関わってしまった少数の例外は、まわりから仰せつかってお断りできなかったか、あるいは自分自身で余程強く感ずる所があったかのいずれかです。

SORとの関わりは後者でした。新しい短波長光源として軌道放射(SOR)が注目され始め、昭和40年頃国内の研究者達が田無で核研シンクロトロンの放射光を用いた先駆的な分光実験を始めた頃、私は理論屋ながら忽ちそのシンパになってしまいました。今後の物性研究に不可欠の実験手段になるに違いないと感じ、物性研の中にもその研究活動をとり入れるか、少くとも支援すべきであると強く主張しました。しかし所内は概して極めて慎重であり、時には批判的でさえありました。創設以来の所の研究体制にすぐにはなじまないbig science特有の問題をSOR研究はあまりにも多くかかえていましたから、今から思えばそれは健康体が当然示すアレルギー反応であったといえます。それでも私の方は若気の至り、めくら蛇に怖じず、放置して世界に後れをとったらどうするのかと、時には過激なことまで申しました。

別段私が叫んだからというわけではありませんが、所としても客観的にSORの重要性を認識し始めました。様々な議論の結果、所の従来の研究体制と異和感を起こさぬよう漸進的にとり組むという路線がとられ、初めての客員部門「固体物性」を概算要求して当初5年間はそれをSOR研究にあてる、という方針が打ち出されました。こうして昭和48年から、当時SOR研究推進の中核にあった方々を

長期間にわたって物性研の客員部門にお出で頂き、田無で進められていた日本最初の SOR リング建設を物性研として本格的に支援することになりました。

しかし SOR 研究は核研にとってはシンクロトロン電子ビームの一共同利用者に過ぎず、研究内容からすれば物性関係の共同利用研が SOR リングの完成と管理運営に当たるのが本筋ではないか、という議論が核研側から起り、協議の末昭和 50 年度にそれが物性研に移管され、軌道放射物性研究施設となって現在に至っています。その間リングおよび測定装置の建設と運営に当たられた内外の研究者の労苦は大変なものでした。

SOR 問題が引金となり、物性小委員会ではこれを一般化・定式化した small science と big science の問題として大きく取り上げました。論客ぞろいのこの委員会は、まさに侃侃諤諤、何回にもわたって激しい議論が続けられました。その頃までの物性研究の実験手法は小規模のものが主であり、研究者個人の創意と工夫を何よりも大切にする気風が一般に強かったので、大きな予算で中心的装置を一つ建設し、大グループで共同利用・共同研究をやるといった、従来と異なるスタイルの研究には強い抵抗を感じる人が多数派でした。大型予算のプロジェクトは個々の研究者の創意を没却し、やがて精神の荒廃に導くという尖鋭な意見もありました。ある時は、委員会を終えて数人の委員と近くの飲み屋に行き、一息いれている中に、そこでまた大議論が始まり、お前が SOR にかかわるのは危険だから自制せよという強い忠告まで私は受けました。誰もがそのように純粹であり真剣であったのです。

たしかに、このように鋭く考えが分れて激論になるような要素を、small 対 big science の問題は含んでいました。私自身の心の中でも small と big の葛藤は続いていましたし、事の次第と内容によっては big に対して強いアレルギー反応を起したことでも一再ならずあります。しかし科学の進歩にどうしても不可欠の大型化なら、それといかに共存するかを考えるべきだと思います。その後の物性研が歩んできた道は、それに対する一つの一“唯一の”ではないにしても一解答になっています。それは極限物性のように内部にあった研究活動を再編成して大型化したものと、SOR 物性、中性子物性のように巨大装置をもつ他の研究機関との協力で推進するものと、2 つのタイプのやり方をとっているわけです。

ところで、一寸した偶然で私は昭和 45 年からの期に物小委の委員長を仰せつかってしまいました。偶然というのは、私の前の委員長が大学紛争のさ中で一時健康を損ねられてその期の最終回の委員会に欠席され、たまたま幹事をしていた私に委員会の司会と次期委員長の選出事務を代行せよとの事で、その通りにしましたらこの結果でした。天の声も時には変なことがあるそうですが、物小委はこのとき二つの過ちを犯しました。第一は私のような不適任な者を選んだこと、第二は物性研の人間を選んだことです。第一点は新しい幹事の方々が大変有能で私の足りない所をカバーして下さり、また実際によく協力して下さったことで救われました。特定研究「物性の制御」の立案から採択、実施まで、ま

たその他万般についても、皆様の御協力がなければとてもつとまらなかつたと思います。

第二の点で困つたのは、物性グループの代表としての物性小委員会から全国共同利用研としての物性研に色々申し入れたり要望を出したりすることが当然ながら屢々起りますが、今の場合、現実には物性研の一所員から所長に申し入れることになります。私の方も所長の何分の一かは所内の事情を知っていたので事柄によっては矛先が鈍って一向に迫力が出ず、また所員の立場を一時離脱して純粹に物性グループの立場から物申すという器用さも持ち合わせないものですからサマにならず、いつも中途半端な気持ちでした。幸いその時の所長は物小委からの申し入れとして折目正しく受けとめられましたが、やはり委員長には所外の方がなられるべきでした。

しかし物小委のような場に長くいたことは、私にとって物性研を外から眺める目を養うよいチャンスでもありました。物小委は共同利用研としての物性研の設立について中心的な役割を果しただけでなく、その後もずっと物性研の存在と発展を深い所から支え続けてきたことが、私にもよくわかりました。物性研が一大学の一附置研に堕することなく、常に全国物性研究者の據り所としての役割を維持してきたのは、まさに物小委による所が大きいのです。新しいスタッフの方には説教がましく聞こえるかも知れませんが、物性研の中にどっぷりつかったまゝではこのことはわからなくなるのです。物性小委員会は最近物性委員会となり、またその仕事は学術会議の物性専門委員会に次第に引きつがれて行くそうですが、次期には物性研から何人かの委員を送り込み、単にパイプを太くするだけではなく絶えず所外から物性研を眺めて頂くことを希望致します。

さて物性研のあり方として、上にのべた small 対 big science のほかにも、基礎と応用、研究と教育、対象と手法など対置される二つの要素をどのように調和させるかという問題が屢々議論されてきました。いずれの一つをとっても大きな問題ですが、物性研にとり特に重要なものとして、共同利用のサービスと研究のピークの問題があります。従来この二つはそれぞれの狭い意味に解釈され、それらをどう両立させるかという方向でのみ論じられて来て、別な視点が欠けていたように思います。

共同利用のあり方については、本誌 7 月号の興味深い特集記事を拝見しましたが、たしかに物性研の所内でも所外でも、共同利用、共同研究の様々な可能な形を考える余地はまだあります。実態は制度よりも柔軟かつ多様化しているのかも知れませんが、実際の進め方にもう少し工夫があつてもよさそうです。私自身のことを反省してみると、大抵は所外の方からこれこれの問題で一緒に仕事をしてみたいという申し入れがある、どちらかといえば受身で始まった共同研究（但し手続上では「施設利用」と分類されています：物性研の理論家は実験装置と同じく施設だそうです）が多く、それ自体としては充分意義があったと思っていますが、共同研究の進め方にももっと新しい工夫をこらしたり、また私から積極的により多くの方に働きかけるべきではなかつたか、と思います。

このことはもう一つの要素—研究のピークを出すことにもつながります。一般的にピークを出すだけなら、研究者はどこにいても能力と努力と運次第でそれはできますし、それはすべての研究者に

期待されるべきことです。物性研でピークを出せという期待はそのような意味ではなく、物性研という「場」でなければ出せないようなピークを出せ、という意味にとるべきでしょう。ピークを出す人は所内の人でも所外の人でもよいわけです。施設利用や共同研究の進め方に工夫を加えるとともに客員部門も一層機動的に活用することにより、所外の人が物性研の高度の実験装置や豊富な情報をより有效地に利用できるようになれば、<sup>11</sup> ピークの出る確率もそれだけ高まる筈です。

昔の思い出を綴りながら筆を走らせていく中に、いつの間にか、去る者に残された唯一の特権行使して、自分のなし得なかったことを後の人々に託す仕儀となりました。どうか御寛恕下さい。

長い間の皆様の御厚情と御協力に心からお礼を申し上げ、物性研の一層の発展を祈って筆を擱きます。

## 回 想 と こ れ か ら

開けた式物理やあるアカデミーで、今もまだその自、これまでにはある式あるアカデミーの式も開けた式の式をアカデミーで、あれと思ふ式が今もまだ今田正俊

回想などというと、「もう現役を引退したような時に使う言葉で、「そうか、彼はもう研究をやめたか」と思われるかもしれません、実はふり返って何か書くほどに、実質的な内容を持って、物性研での助手としての年月を積み重ねたわけでもなくして、題名だけでもりっぱそうにしておこうということです。ところで物性研に在籍してから離れた人にはここに一文を書く義務があるそうで、そのような中に物性研にいた間の不平不満やら批判がときどき見られるということで、大変よく読まれているのだそうですが、私の駄文には残念ながらそのような野次馬精神を満たすような内容はなくて、物性研を離れてもう時間がたってしまって、いやなことはあったとしても忘れてしましましたし、今もって共同利用として時々計算機など利用させていただいている身としては、あまり気分を害しそうなことは口が裂けても言えないわけです。

冗談はさておくとして、学術審議会の大学附置研究所の評価の中で、物性研究所について、アクセシビリティは高いがもっと物性科学の学際的応用にも目を向けるべきであるという趣旨のことが書かれているのだそうですが（事の真偽はよく知りませんが）、これは例えば私の属していた理論部門での観点から見ると、局在だの磁性だの超伝導だと固体の電子系の理論のことばかり執着していないで、物性理論できたえ上げられてきた方法論なども駆使して、例えば脳の機能のような生物学的な問題に目を向けるとか、あるいは流体力学や素粒子物理の理論分野などとの接触も深めなさいという、偉い先生方の御意見が目に浮かぶような気がします。私のように視野が狭くて、至らない若輩（もう若いもない……か？）の目から見ていますも、かねがねそのようなことはあるかもしれないなあと思いもし、また精密科学ではなくて海のものとも山のものともしれない広大な領域に踏み込んでの開拓に参加したいという一種のロマンチズムとあいまって、学際的な応用という言葉が大変わかりやすく感じられるわけです。

人間というのは不思議なもので、例えばエベレストに登頂したというと、エベレストを征服したと思いがちな傾向があります。酸素ボンベやら何やら動員して、山の御機嫌をうかがいながら、何とかかんとかスキについて、一瞬頂上に立ったにすぎなくてもそれで征服であり、そのあとの冒険は、例えば酸素ボンベを使わずに登ったりという試みが続くと「そろそろやる事に事欠いてきたのか」といわれかねない側面もあります。大学の物理学科を卒業する時点で、大学院での理論分野を決めるときに素粒子論に人気が集まることがあるのはこの「全く未知なもの」への志向のあらわれなのでしょう。

わずかな点と線をたどって、たどりついた所でも、まあその周辺は似たようなものであろうという予測はたしかにしばしばあたるわけですし、自分の人生をついやして手がけてきた分野はだいたい開拓されてきて、おおかたの様子はつかめたと思うほうですが、いろいろやってきてわざかにわかったが結局ほとんどよくわからっていないと考えるよりは気持がよいに決まっているわけです。

話を元に戻して物性研について思い至ったことは、何をやろうとしても、自分の非力さのゆえにまともな取り扱いができないことで、もうある程度開拓されてきている分野であるはずなのに、実はそれは（特に理論について）点と線にすぎないのではないかと思わされることの連続でした。最近の高温超伝導の話題の中で、このようなことは、あまり説明を要しないかもしれません。実際、春の学会の超伝導シンポジウムで、田中昭二先生が「実はまだ我々はまだ何もわからっていないのではないか」とおっしゃった言葉は印象に残るものでした。「なに、たかが  $T_c$  が 300 K になったにすぎないんで、どこに根本的な問題があるのか」と平然として自分の研究を続けていられるのが、やはり一つの望ましい態度なのでしょうが、私のような小心者は事態の進行に「またしても」と動搖してしまって、どうも最近は「理論屋」の1人としてみられるのに抵抗を感じたりもします。

このような絶望感のような意識が計算機を用いた方法に強くかわっていく原因となってきたわけですが、バンド理論の発展と対比すると、シミュレーションの現段階はバンド計算の20年前の段階であるという楽観的な言葉もある一方で、自分に都合のよい分子場理論とそのたぐいや、集められる部分だけダイアグラムを集めた語と比較して、せいぜい基盤はどうかすると五目ならべみたいな小さなサイズで、なんだと思うと、どっちもどっちということになります。シミュレーションのような方法論がそれほど有効なものになりうるのかという先生方の疑義は大変強い励ましと感じられて闘志をかきたてられたりもするわけですが、いかに物理的内容と結びつけていくのかが重要という点では、これは全く実験と同じ性質と言わざるを得ません。

ついでにこの場を借りて言わせていただければ物性理論や統計力学の分野の研究者が、分子研や高エネルギー研やプラズマ研に出かけていって、お忙しい計算機の稼動時間の一部をわけていただき計算しているという事態はやはり異常というべきで、早く物性研にスーパーコンピュータを何台か導入していただく必要があるように思われます。いまの物性研の計算機もデバックなどには役に立つのですが。アメリカが日本に負けると危機感あおって、スーパーコンピューターセンターを何ヶ所の大学にも作ったわけですが、物性研の対応はやや遅れているように見えます。しかしそれにしても、本当に必要だと思えるような実績をあげていかなくてはならないのは確かでしょうが。

話は変わって、物性研を外から見ていた時期がサンタバーバラに出かけていた間と、そして昨年物性研を離れてから現在までと2回あるわけですが、その両方で共通して感じことがあります。時々物性研に対する批判のされ方として、ヒットを打ちつけなければいけないという意識が強すぎて、ホームランが生まれないというのがあります。私のあさはかな見方からしますと、これは派生的な

結果にすぎないように思われます。たしかに問題が生じたときにレスポンスの早さが重視されすぎることの問題と多様な価値観に充分に寛容であるのかという問題はありますが、むしろ連鎖反応によって、どんどん内容を深めていけるだけの層の厚さが日本全体としてまだ欠けているだけのことではあるまいかと考えます。相當に専門分化してしまってもまわりに議論できる相手がいるということは大切です。何か大変根本的で重要なことだけれども困難が大きいという場合、わずかずつでも成果が出てきたときに（あるいはすぐに成果はでなくても）、それを評価し、議論できる人がいるという環境がないと、その問題にかかわることがむつかしくなります。かなり離れた立場から見ている人にとっては、大変そうな問題だからはたしてどうなるかと傍観し、途中で出てくる結果に何だその程度のことかと思いやすいわけで、やはり全体としての層の厚さに欠けるとどうしても根本的に困難なことに向かうよりは流行を追って適度に何かやって、そこそこに人と議論するということになりやすいのだと思います。もちろん強い信念と見通しを持っている人の場合はいつだって例外ですが。アメリカ人が時として、ひどく特殊なこととかどうかするとくだらないと思えるようなことがらを、実際に面白いと思っているらしく話しているのを聞くと、話術の訓練のされ方もさることながら、そんなことでも議論できる相手が普段、まわりにいるのだろうと感じさせられます。日本の場合は層のうすさの一方で、何かやっていると声高に主張しつづけないと研究費をあまりもらえないというシステムの方はでききつつあるようで、好ましいことかどうか知りませんが、ちょっと何かやって論文を書いて主張すれば研究費がつくという傾向も流行に流れる面を助長してはいるのでしょうか。

いずれにせよ物性研というのは、大きく見るとみんな同じような分野の人ばかりで、「物性」という言葉はもっと広い範疇を含むのではなかったのかという疑問は確かに正しいのでしょうが、さまざまな分野について、その分野の専門家ばかり集めた研究所をもっとたくさん作ること（あるいは既存の研究所なり大学のアクティビティをもっと高めること）の方がもっと大事に思えて、やはり日本はまだ貧しいなあという結論になるわけです。

最近は世の中いろいろだと思うとともに福沢諭吉が明治のはじめに道を歩いて人に話しかけて、武士と町人の態度を使いわけてみると相手の態度ががらりと変わるので楽しんだという話が妙に現実感をもって感じられたりするわけで、いろいろな「権威」があるのでしょうが、そろそろ自分でも何を書いているのかよくわからなくなってきたし、与えられた紙数が埋まつたので筆を置くことにします。

最後になってしましましたが、物性研の内外を問わず今まで多くの先生方同輩後輩にお世話になりました。おわびとお礼を紙上を借りて申し述べさせていただきます。

## 内と外から見た物性研

川崎製鉄ハイテク研 中野 昇

物性研究所を去って、早いものでもう十カ月になる。この十カ月の間にも、物理学の進歩にはめざましいものがあり、何年もの歳月が過ぎたような気さえする。私がこちらへ来てから始めたテーマも、ようやく装置が整い、本格的な研究に入る段階に来た。新天地での生活にも慣れた今、物性研を懐しく思い出しつつ、物性研の外の人間として感じることを、思いつくままに書いてみたい。

会社に移ってまず驚いたのは、想像していた以上に、「安全」に気を配り、その管理活動のために少なからぬ時間をさいていることである。実験設備といっても生産ラインに近いものが多く、いったん事故が起こると、企業にとってとりかえしのつかない事態になりかねないからではあるが、生命にかかわる危険といつも隣り合わせの我々にとっても、安全はすべての出発点といって過言ではないであろう。

安全管理は、身近なところでは、服装や靴の自己点検、デスク回りの整理・整頓運動から始まる。物性研当時の私をご存知の方には、私がせっせと身の回りの整理・整頓をしている姿など想像もつかないに違いない。

常にグループ内の相互注意とグループ間の安全パトロールがなされ、さらにこれらの活動の総括として定期的に安全会議が開かれて、安全に関する報告や検討が行なわれる。

物性研に限らず公的な機関では、安全の管理は研究室単位の責任において、自主性に任されてなされており、研究室間で相互に注意しあうといったことはまずない。寸刻を惜しんで学会発表や論文作成に力を注ぐあまり、安全管理はとかくおざなりにされがちであった。

物性研時代、拡散ポンプの水を止めずに席をはずし、幸い他の研究室には被害を与えずに済んだものの、水漏れ事故を起こしてヒヤリとした経験をもつ私が言うのもまことにおこがましいが、安全に関しては、『水も漏らさぬ』体制で臨みたいものだと、改めて思うのである。

さて、研究を進めていく上でしばしば、物性研の情報を得たいと思うことがある。

物性研時代、極限レーザーグループ以外の研究内容を知る公的なチャネルとしては、物性研便覧、物性研だより、不定期のセミナー等があった。しかしほセミナーに関しては、私など、その日の実験研究活動に追われて、よほど自分の研究に近い分野のものでないと、なかなか重い腰が上がらず、せっかくの先生方の講演を聞きのがしていた。またセミナーといったフォーマルな席では、練り上げられ、完成された形での発表は聞けるが、そこに至るまでのさまざまな苦労、水面下の努力、あるいは生々しい失敗談などの過程は出てこない。しかし私などにとって、そういうことがかえって、意外な所で役立つヒントになったり、異なる分野の違ったセンスでものを見るきっかけになったりする。フランクに質問し合ったり、ちょっとしたアドバイスをし合ったりできる、インフォーマルなミーティ

ングの場が欲しいと思ったものだ。

## 吉野会実業團體研究報告書

結局、他グループで行なわれている研究を知る機会は、実に少なかったように思う。

ましてや、物性研を離れた今、外の人間として、物性研の研究内容を知ることはなかなか難しい。こうした中で、物性研の公開が待ち望まれる。物性研にいたころも、物性研の公開は、他グループの研究の現状を真近に見る思いがして、大変有意義であったと記憶している。関係者の方々の努力は大変なものであろうが、物性研の公開が、数年に一度定期的に行なわれることを希望する次第である。

最後に、物性研の今後の発展と、皆様の一層のご活躍をお祈りして、ペンを置くことにしたい。

最後に、物性研の今後の発展と、皆様の一層のご活躍をお祈りして、ペンを置くことにしたい。

最後に、物性研の今後の発展と、皆様の一層のご活躍をお祈りして、ペンを置くことにしたい。

最後に、物性研の今後の発展と、皆様の一層のご活躍をお祈りして、ペンを置くことにしたい。

最後に、物性研の今後の発展と、皆様の一層のご活躍をお祈りして、ペンを置くことにしたい。

最後に、物性研の今後の発展と、皆様の一層のご活躍をお祈りして、ペンを置くことにしたい。

最後に、物性研の今後の発展と、皆様の一層のご活躍をお祈りして、ペンを置くことにしたい。

## 物性研究所短期研究会報告

### 真空紫外および軟X線分光研究の最近の成果と将来の展望

世話人代表 大阪府大・工・工・工 塘 賢二郎

最近、世界の各地に多くの光源用電子加速器が建設され、我国でも、高エネルギー物理学研究所のPFリングや分子科学研究所のUVSORの整備が進み、興味ある多くの成果が得られている。とくに、東京大学物性研究所のSOR-RINGのカバーする真空紫外(VUV)および軟X線(SX)の領域では、シンクロトロン放射の利用によってのみ完遂できる重要な研究が多い。世界の先進研究施設においては、シンクロトロン放射を用いたスピノ偏極光電子分光や低温下の光電子分光の実験が日常的なものになりつつある。また、それらの研究施設では、研究成果を討論するユーザーズ・ミーティングが定期的に開催されている。

本研究会は、シンクロトロン放射の研究施設として世界的に知られた歴史を持ち、多くの実績をあげてきた東京大学物性研究所軌道放射物性研究施設(ISSP-SRL)を利用して得られた最近の研究成果を討論し、また、それを中心にして将来の研究を展望するために企画された。そこではさらに、PFリングに新設される光電子スピノ解析や、低温光電子分光、表面・界面解析用光電子分光の各装置を用いた研究課題の開拓についても議論がなされた。

残念ながら時間と旅費に制約があった関係で、ISSP-SRLを利用した研究成果のすべてをこの短期研究会に含めることが不可能だったので、ここ数年途絶えていたINS-SORグループによるISSP-SRLユーザーズ・ミーティングを短期研究会に連動させて短期研究会の前日に開催することとした。従って、実質的には、研究討論会は3日間開催されたことになる。会場には一時立見ができるほどの多数の参加者があつて、3日間の討議を通して現状がよく分析され、また、将来を展望することができた。参考までに、ユーザーズ・ミーティングのプログラムを本報告の末尾に付記する。

一方、最近世界的な傾向として、光源用電子加速器とそれに設備される実験装置は分極化される時代を迎えており、すなわち、遠赤外からX線領域におよぶ研究を一つのストーリジリングのもとに計画するのではなく、波長領域に応じて最適の光源を建設するようになりつつある。つまり、X線用の大型リングとSX・VUV用の中・小型リングを別々に作るわけである。従来の成果を踏まえ、どのようなストーリジリングがSX・VUV領域の研究に最適か討論された。低エミッタス・リングや挿入型光源についても活発な議論が行われた。

プログラムの内容は大別すると四つのカテゴリーに分けられている。まずははじめに、一般的なこととして、VUV分光に対する問題点の紹介や内外の情勢などを問題にする序論の部分、第二は、従来の成果のまとめと現状の分析の部分、第三は将来の展望の部分、そして第四は新しい光源と分光技術および新しいタイプの実験法の部分である。将来の展望の部分では、数の方々より同じテーマを異

なる視点で眺めたコメントをいただく企画がなされた。従来の成果と現状の分析および将来の展望の両方においては、単に SX-VUV 領域の光物性研究のほかに、X線を用いた電子状態解析の現状と今後の動向についての講演も加えられた。また、分光学的な観点からは応用研究の部類に属するものとして、半導体工学上重要な光 CVD と光エッチングの問題、触媒化学や表面分析および分子構造解析上重要な SEXAFS と XANES および生体物質に対する照射効果が取り上げられた。新しい実験の部分では、全く新しくてまだ実験がスタートしていない研究というよりは最近になって始められた研究と、いわゆる古くて新しい研究すなわち古くからある研究手段を利用した新しい分野の研究に関して経験と解説と展望が述べられた。ここで言う“新しい”というものには、スピニ偏極光電子分光、逆光電子分光、遠赤外分光、コインシデンス分光のように実験手段の観点から新しいものと、高温超電導体、液体金属、クラスター、ヘテロジャンクションなど研究対象となる物質の観点から最近始められた新しい研究の二種がある。その他に、固体表面や界面の電子構造解析に関するもの、共鳴励起のような現象を利用したもの、価数搖動物質や重いフェルミ粒子系のように物質の側から研究の盛んなものが討論対象として取り上げられた。光源と分光系の部分では、最近の技術の進歩が概観されたが、それとは別に、高輝度化に伴う電子軌道の諸々の不安定性が問題にされ、光の利用者の側の過度の期待に対する警告もあった。また、分光系の方からは、光学素子の耐熱負荷の問題も解決しなければならないことが指摘された。

以下に研究会のプログラムと発表内容の概要を掲げる。

最後になったが、本研究会を採択下さった物性研究所の各位および共同提案者の方々並びに座長の労をとっていただいた方々に感謝申し上げます。

(司会) 姫代義典

### プログラム

日 時 昭和 62 年 6 月 5 日 (金) ~ 6 日 (土)

場 所 東京大学 物性研究所 旧棟 1 階講義室

6 月 5 日 (金)

10:30 ~ 12:20

(1) 開会挨拶 岐辺山幸

(2) VUV 新型光源を用いた分光研究

(3) シンクロトロン放射科学をとりまく内外の状況

(4) X 線非弾性散乱による固体の電子状態の研究 安藤正海 (高研)

(5) SRL-ISSP に於ける最近の成果 谷口雅樹 (東大物性研)

12:20 ~ 13:30 休食

スケッチャーモード

黒板用マーカー

20:11 ~ 21:00

会議室入射

スケッチャーモード

黒板用マーカー

スケッチャーモード

黒板用マーカー

座長 近藤泰洋 (東北大工)

塘賢二郎 (大阪府大工)

石井武比古 (東大物性研)

佐々木泰三 (阪大基礎工)

安藤正海 (高研)

谷口雅樹 (東大物性研)

黒板用マーカー

13:30 ~ 15:00 [コメント: 新しいSR光源への期待] 座長 石井武比古 (東大物性研)

- (6) 物質開拓の観点から見た SR 分光への期待 座長 国府田隆夫 (東大工)
- (7) 高輝度・高出力放射光源への期待 — 固体表面研究の立場から 黒田晴雄 (東大理)
- (8) X線領域での放射光科学の将来展望 菊田惺志 (東大工)
- (9) 電子ビームのマイクロ波不安定性と自由電子レーザーの利得について 宮原義一 (東大物性研)

- (10) 新しいSR光源への期待 座長 佐藤繁 (高エ研)
- (11) 新光源に期待する 富家和雄 (高エ研)

15:00 ~ 15:10 休憩

- 15:10 ~ 17:10 座長 羽生隆昭 (都立大理)
- (12) 金属表面の電子状態 加藤博雄 (高エ研)
- (13) 半導体の表面構造と光電子回折および全反射角X線分光法 井野正三, 大門寛 (東大理)
- (14) 半導体 — 金属界面およびヘテロジャンクション 村田好正 (東大物性研)
- (15) SEXAFS, XANES の固体表面への応用 太田俊明 (広島大理)
- (16) 液体金属とマイクロクラスター 柿崎明人 (東大物性研)
- (17) 生物試料における照射効果 榎枝光太郎 (立教大理)

6月6日(土)

- 9:15 ~ 11:05 座長 渡辺誠 (分子研)
- (18) 挿入光源概論 北村英男 (高エ研)
- (19) 擬似円偏光アンジュレーター 山本樹 (高エ研)
- (20) 偏光特性可変アンジュレーターの製作とその特性 小貫英雄 (電総研)
- (21) 高輝度リングのラティス 加藤政博, 神谷幸秀 (高エ研)
- (22) 高輝度リングの高周波システム 小早川久 (高エ研)
- (23) リボルバー型マルチアンジュレーターの設計(I) 三橋利行 (高エ研)
- (24) リボルバーの設計(II) 磯山悟朗 (東大物性研)

11:05 ~ 11:15 休憩

- 11:15 ~ 12:35 座長 柿崎明人 (東大物性研)
- (25) 高輝度光源とビームライン光学系及び分光系 宮原恒昱 (高エ研)
- (26) 軟X線アンジュレーター光の利用 前沢秀樹 (高エ研)
- (27) スピン解析光電子分光 曽田一雄 (東大物性研)

- 28 逆光電子分光法 菅 滋正（東大物性研）  
12:35～13:30 昼 食
- 13:30～15:10 座長 会田 修（大阪府大工）
- 29 遠赤外分光 難波孝夫, 池沢幹彦（東北大理）
- 30 ヘビーフェルミオン  $Yb_4As_3$  の遠赤外反射 鈴木 孝（東北大理）
- 31 コメント 菅 滋正（東大物性研）
- 32 分子の高励起状態 鶴飼正敏, 田中健一郎（高エ研）
- 33 コインシデンス・スペクトロスコピー 佐藤幸紀（東北大科研）
- 34 アルカリハライドの共鳴光電子スペクトル 市川公一（大阪府大工）
- 35 Photo-CVD and Photo-Etching 宇理須恒雄（NTT電通研）
- 15:10～15:20 休憩
- 15:20～17:00 座長 宮原恒昱（高エ研）
- 36 希土類化合物の軟X線放射スペクトル 会田 修（大阪府大工）
- 37 高温超伝導体の電子状態 藤原毅夫（東大工）
- 38 磁性体, 超伝導体の光電子分光 藤森 淳（無機材研）
- 39 重希土類のSR-XPS 高橋 隆, 荒井 宏（東北大理）
- 40 閉会挨拶 塙賢二郎（大阪府大工）

### VUV 新型光源を用いた分光研究

東大・物性研 石井 武比古

物性科学においては、ある特定の興味ある物性を示す物質または物質群の物理化学的性質が調べられる。その際、物質を固定して、電気的特性、磁気的特性、熱的特性および光学的特性などを多角的に調べ、その解析によってその特定の物性の発現機構を解明しようとする。そして、それを踏み台にして、基礎科学から工業化に至る様々な応用が拓ける。VUV・SXの新型光源を用いる物性研究では、応義の分光学的手段による物質の電子構造を調べる。電子加速器からの光を用いることと分光実験ということで、研究手段が固定されるので、いろいろな異った物性を示す異った物質のエネルギー準位と励起素過程が研究対象になる。たとえば、重いフェルミ粒子、価数揺動、高温超伝導、励起子、電荷密度波、吸着、界面、表面磁性、ヘテロジャンクション等々である。研究は、従来、この原則に従って発展してきた。その点は不变であるとして、今後の研究の方向は、一連の実験で用いられるパラメタを増すようになっていくであろう。

まず、計画法と計測する物理量の多様化である。これまで吸収・反射スペクトルの解析をしてきたものが、変調分光と差分分光を行うことにより、詳細な情報が得られることになった。GaAs やアル

カリ金属の内殻電子スペクトルについて見事な例がある。光電子や蛍光の収量スペクトルの測定解析によって重要な情報を得ることができるという観測結果が、試料の準備を容易にし、研究対象物質の種類が増大した。EXAFS や XANES がその典型的な例である。角度分解光電子分光にスピン解析を組合わせることにより、情報量が増えた。強磁性体の電子状態解析や表面磁性解析が良い例である。更に温度や圧力を変える実験が試みられることになる。既に報告されている Fe や Ni の例では、磁気的相転移の微視的機構が明らかになりつつある。以上のような実験は他の物性測定の分野では極めて常識的なことであるが、シンクロトロン放射を用いる分光研究の世界では、実験技術上の制約により、実験が行われるようになったのは最近のことである。分解能上昇や複雑な測定系の故に、検出信号が微小になるので、輝度の高い新型光源の出現によって研究は著しく進展するものと期待される。発光や散乱の実験は、現在、その端緒がひらかれた程度である。高輝度光源が必要となるよい例であり、今後の発展が期待できる。若干方向は異なるが、最近発表された単結晶試料を用いた直入射での反射スペクトルの研究例は、その意味で大変に示唆に富むものであった。光電子分光においては、共鳴型光電子分光が CIS の解析を通して局在電子と非局在電子の相互作用の様相の解明に寄与したほか、f 電子系の特異な物性解明に多大の貢献をしている。角度分解光電子分光によるエネルギー-バンド構造の解明や表面状態解析において、角度やエネルギーの分解能を上昇させることも広い意味でのパラメタの増大になっていると言えるかも知れない。

パラメタを増大させるもう一つのカテゴリーは異なる波長領域での実験を併用して解析をすすめることである。多くの場合、これは二種以上の異なる実験を組合わせることにつながる。これは物質を固定して計測手段を変える方向になっている。これまで、X線領域では吸収スペクトル解析や散乱実験が行われてきた。SX 領域では、XPS や XANES 解析が分光実験の中心であった。VUV 領域では、吸収反射スペクトルの測定や UPS が主であった。例えば、異なる波長領域での実験の組合せ解析により情報は詳細になり、研究が進展する。Ce 化合物の価数振動実験の解析において、内殻電子と外殻電子の相互作用が強すぎてスペクトルが複雑になる 4d 電子のスペクトル解析から、分解能は悪くなるが、より大まかな姿を写し出してくれる 3d 電子や 3p、2p 電子のスペクトル解析に移って、全体像がはっきりしてきた例がある。今後望ましいのは、VUV・SX の吸収反射分光や光電子分光に加えて、磁気散乱等を含めた X 線の非弾性散乱の実験などが組合わされることである。この種の異なる実験がリアルタイムで行われることも必要になるのではないかと考えている。技術的には、回折格子分光系と結晶分光系が同一の分光器に組込まれることになるが、そういう代物も出現している。これらの研究は、VUV 新型光源による実験という部分もあるが、むしろ現在計画の発展という側面を強くもっている。そのことの推進は、適当に低いエミッターンスの光源と挿入型光源の組合せが得られつつある現在では、将来の超低エミッターンス光源が得られるまでの技術的なつなぎとして重要な意味をもつのではないだろうか。多様な将来計画が出現して、競争が膠着状態にある現在、上述のような考え方

が発想の転換になればよいと思う次第である。

他方、上に述べた実験の多くはVUV新型光源を必要とするものであり、その設置が強く望まれるという事情もまた不变である。

シンクロトロン放射科学をとりまく内外の状況

阪大・基礎工基 佐々木 雄泰 三  
制御された高エネルギー電子の発光を研究手段として共有する学際的研究領域——これがシンクロトロン放射科学である。電子シンクロトロンに寄生して始まった1960年代の第一世代、専用光源加速器によって独立の研究施設を確立した70年代の第二世代を経て、光源の最適化を追求し、更に高輝度をめざす第三世代は90年代半ばには実現するであろう。現在はその過渡期で、高輝度光源の技術とこれを使いこなす光学技術・測定技術は開発途上にある。最適化の結果、従来の汎用光源から次第に機能別分化の途をたどり、次世代の光源は(1)X線用大型高輝度光源(6~8GeV) (2)紫外・軟X線用中型高輝度光源(1~2GeV) (3)小型単能光源(軟X線リソグラフィー等, 0.5~1GeV) (4)普及型汎用光源(第二世代型, 0.3~1.5GeV)にわかれるであろう。極紫外・軟X線・X線用のFEL(自由電子レーザー)が実現するのはやや遠い先、たぶん21世紀で、このときは第四世代と呼んでよいであろう。

次世代の高輝度光源とは(1)挿入型発光装置、とくにアンジュレーターを主力とし、(2)その性能を十分に発揮させる低エミッタنس・ビームを(3)高度の安定性で実現したものである。(2)と(3)は相反する要素があり、これを両立させるのが今後の技術開発である。

技術開発の課題はこれを用いる光学系・実験系にもたくさんあり、光の発生から測定までの全体系を一貫して設計することが求められる。

大型の次世代型光源として計画が進んでいるのはグルノーブルのESRF(6GeV)、アルゴンヌのAPS(7GeV)で、わが国でも数年来フォトン・ファクトリーを中心に検討が行われ、今年度科技庁が調査費をつけた大型光源計画の討議が公式にはじまった。

中型高輝度光源計画としてはバークレイのLBL(1~2GeV)、オルセイのSuper-ACO(0.8GeV)、ベルリンのBESSY II(1.5GeV)、物性研のSuper-SOR(1GeV)等があり、Super-ACOはこの3月以来試運転中、LBLは建設をはじめた。他にFEL専用の1GeV級リングがスタンフォードで建設中である。

### X線非弾性散乱による固体の電子状態の研究

高エ研・放射光 安藤内正 海  
PFにおいて、偏向電磁石、5T超伝導ウィグラーから各々、臨界光子エネルギー4, 20KeVの

放射光が得られている。従って実用上、各々の6倍のエネルギーまで利用可能である。これらの放射光X線利用の多くは電磁波と物質系の電子との弹性散乱を相互作用とした回折・散乱による凝縮系の構造を決める研究といえよう。この中には結晶構造解析、液体・融体構造決定、X線トポグラフィによる僅かな格子面の歪みの決定、極端条件下構造相転移の研究等が含まれる。吸収・放出を伴う相互作用を使った実験としてEXAFSによる原子の最近接位置の決定、蛍光分析による微量不純物同定、蛍光量の入射角依存性に基く表面・界面構造解析がある。非弹性散乱過程が係わる実験としてはTDS（熱散漫散乱）による回折とコントン・ラマン散乱が挙げられる。TDSは格子振動の情報が得られる。コントン散乱は基底状態の電子のエネルギー及び運動量に関する知識が得られる。単結晶を用いてコントン散乱を測定すれば、入射方向依存性は即ちフェルミ面を色々の方向から見ることに相当し、ある結合状態における電子の非等方的運動量分布が分る訳である。ラマン散乱はプラズモンなどの集団励起ないし内殻励起の情報が得られる。現在PF ウィグラー・ラインBL14Cにおいて、集光用彎曲結晶、試料、分析用彎曲結晶、1次元PSPCの組合せによってコントン散乱の予備実験を行っている。平均電流150mAにおいて、 $S/N = 150$ 、全チャネルにわたるカウント数が数10 CPS程度であるので、データ蓄積時間は30～40時間は必要である。なおX線の入射エネルギーは30 KeV程度である。この時ピーク値は $2 \times 10^4$ カウント程度である。測定時間の短縮化を図るために、散乱断面積が1桁小さい磁性電子の運動量分布測定のために、AR用高輝度光源を開発中である。

### SRL-ISSPに於ける最近の成果

東大・物性研 谷 口 雅 樹

物性研究所軌道放射物性研究施設では、固体の母体や表面・界面の電子状態、励起-緩和過程、原子配列及び生物試料に対する放射光照射効果等に関して活発に研究が行われている。

過去数年の統計をとってみると、加速器や測定機器の保守のためのビーム使用を除いて、ユーザーの共同利用実験に供されるビームタイムは、年間約1000時間程度である。また、生み出される成果として、SRL-Activity Reportと一般の学術雑誌に掲載された論文の数をとってみると、これらはいずれも年平均35編程度になる。

施設で行われている物性研究は、1) 新物質、価数揺動、近藤格子、ヘビーフェルミオン、磁気相転移、超伝導、インターラーション、フォトドーピング、電荷密度波、表面などに関連したバンド構造や電子準位の研究、2) 有機結晶中の励起子、イオン結晶や遷移金属化合物中のM<sub>2,3</sub>内殻吸収、半導体中の内殻励起子等の励起-緩和過程の研究、3) 半導体表面の原子配列の研究などである。

これらの研究には、光電子分光〔全収量スペクトル、部分収量スペクトル(定終状態スペクトル)〕、価電子帯・内殻準位スペクトル、定終状態スペクトル〕、光分光〔光吸収・反射、変調分光(エネルギー、電場、磁場、応力等)〕ならびに光電子回折の手段が用いられている。

対象となる物質は、過去3年間をとてみると約100種類にものぼっている。

物質開拓の観点から見たSR分光への期待

国府田 隆夫

数々の物性測定の手段の中で、SR分光が独自の存在理由を主張しうるためには、(1) SR分光ならでは、という特徴をもった研究対象を開拓してゆくこと、(2) 高度な物性情報をより有効に検出することができる新しい分光技術を開発すること、の両面の努力が必要である。両者が互いに協力的に進展してゆけばSR分光の活動が質、量ともに拡大するが、もしうでなければユーザーの支持を失い、多くの物性測定手段のone of themに墮して、新型光源への期待も自己目的化した展望を欠くものとなる。我々のグループがSR光源を利用して進めてきた研究を例として、いろいろな研究対象と利用技術とがこれ迄どのように関連性を保って進んできたかを考察した。

まずポリジアセチレン結晶を代表とする高分子物質では、準一次元的な主鎖電子状態の解明に偏光SR分光が威力を發揮した。次に表面状態に敏感な硫化物結晶では、良質の単結晶育成技術と超高真空中での劈開技術の組合せによって、従来なかった高度の分光測定が可能となった。さらに最近行っている有機結晶の発光励起スペクトルの測定では、電場、磁場による変調分光技術が光励起状態の緩和過程に関して新しい情報を提供しつつある。将来は実時間分解分光、様々なコインシデンス分光、高圧力下の分光などがさらにSR分光の可能性を広げるだろう。同時に、これらの新しいSR分光の対象となるべき新しい物質や現象の開拓にも一層の力を注ぐ必要がある。

### 高輝度・高出力放射光源への期待 — 固体表面研究の立場から

黒田 晴雄

固体表面の電子構造や電子状態の研究はシンクロトロン放射を用いた研究手段の導入によって飛躍的な発展を遂げつつある。EXAFSは金属担持触媒の構造の解明に重要な役割を演じ、それによって触媒研究の新しい展開がもたらされた。SEXAFSをLEED等の回折的手法と組合せて用いることによって、固体表面ならびに固体表面化学吸着層の構造や化学結合状態が詳細に研究できるようになった。また、シンクロトロン放射を光源とすることによって光電子分光法で得られる情報の内容が飛躍的に増大し、これも固体表面の研究の発展に大きな寄与をしている。

ところで、上に述べた各種の手法を用いて固体表面の研究を行う際にフォトンフラックスの不足に悩むことが多い。たとえば、SEXAFSを例に取り上げてみると、表面吸着原子からのオージュ電子収率スペクトルを測定する方法や光脱着イオン収率スペクトルを測定する方法で、表面層の原子のEXAFSを調べる時にS/N比のよいデータがなかなか得られない。フォトンフラックスが放射光実験施設で現在得られる値より2, 3桁高くなれば実験が格段に容易になり、データを解析して得ら

れる情報の質が著しく向上すると期待される。高輝度・高出力光源を用いれば、ビームを極めて細く絞って表面の微小領域の構造を SEXAFS や光電子分光法で調べることも可能になろう。固体表面吸着層の光化学反応過程の研究はこれから発展する重要な研究分野であるが、ここでも光強度の不足が研究の障害になっている。十分に強い放射光が得られるならば、表面での光化学反応によって脱着してくるイオン・分子の運動量分布・角度分布を研究したり、反応のダイナミックスを詳細に調べたりする実験ができるよう。

以上ほんの一例を述べたにすぎないが、高輝度・高出力光源で初めて可能になる実験はいろいろあり、固体表面関係の研究者が高輝度・高出力放射光源に寄せる期待は大きいということができる。しかしながら、高輝度・高出力放射光源が出来たとしても、実際に装置を作つて実験をするには技術的に未解決の問題が多く存在することに注意する必要がある。放射光実験施設の現状でも、放射光を効率的に集光すると、熱による反射鏡の変形・損傷、回折格子や分光結晶の熱膨張や損傷が深刻な問題になる。高輝度・高出力光源になれば問題が益々深刻になることは明らかである。高輝度・高出力放射光源の加速器の設計・製作にからまる問題と合わせてビームライン、モノクロメーター、測定装置に関する技術的問題も十分に検討しておかないと、強い放射光が使えてろくな実験ができないという事態になる危険性がある。「高輝度・高出力放射光源の有用性」を唱えることは簡単であるが、実際にそれを有効に利用するための技術的問題を十分に検討せずに新しい放射光源を急に求めるこことは危険である。また、光学系や測定器を工夫することによって現在稼動している放射光源で可能な限界までの実験をしているか、もしそれが行われていないとすればその原因が何処にあるかを考えてみることも必要であるように思う。

## X 線領域での放射光科学の将来展望

東大・工 菊田 惇志

X 線領域における放射光科学についての展望は、これまでに何回もシンポジウムで議論されている。最近では、PF懇談会と高エ研が共催したシンポジウムが開かれたが、その際の資料が、「X 線領域における放射光科学の展望」として KEK レポートにまとめられている(1986 年 2 月)。それを参照すれば、今後発展が期待される研究のおよそ 8 分どうりは網羅されていると思われる。主目指す方向を読みとることができる。

X 線強度が増大すれば、X 線散乱に対して X 線分光を meV の領域で行えるし、運動量分解能を  $10^{-7} \sim 8 \text{ \AA}^{-1}$  にまで高めることができる。また  $\mu\text{s} \sim \text{ns}$  の時間分解能をもつ動的構造解析が可能になる。試料についてみれば、ごくわずかな量の散乱体が対象になる。すなわち、 $\mu\text{m}$  オーダの微小体積の試料、表面・界面、あるいは微量の不純物、希薄溶液、気体などの構造解析が発展する。また相互作用の小さな弹性・非弹性散乱の基礎的・応用的な研究が進むと期待される。

次世代大型リングの実現への期待が高まっている中で、高エ研のトристン・メインリングへの入射蓄積リングの放射光利用計画がスタートした。マルチポール・ウィグラーによる高輝度光源を利用して、メスパウアーコンプトン散乱、磁気散乱、表面・界面構造解析、微小結晶の構造解析などの研究を推進するとともに、硬X線の利用に重点をおいた、極端条件下での物質構造解析、重元素EXAFS、重元素超微量蛍光分析や医学診断などの研究の進展が期待されている。ここで経験を積み、実績を上げることが、次世代リングへの重要なステップになると思う。

### 電子ビームのマイクロ波不安定性と自由電子レーザー

の利得について 東大・物性研 宮原 義一

次世代の放射光用電子貯蔵リングは、多数のウィグラー・アンジュレーターを備えたものになるとともに、自由電子レーザー(FEL)の研究開発がかなり進展すると思われる。現在、貯蔵リングを用いたFELでは、電子ビームのマイクロ波不安定性がネックになっていて、これを含めたリングの最適化が検討されている。

この不安定性について実験データはかなりあるが、理論的には十分解明されていない。但し、一様陽子ビームの同不安定性はよく解っていて、これを拡張して電子ビームに適用すると、不安定性の成長速度とシンクロトロン振動数の分布によるランダウ減衰(及びシンクロトロン放射減衰)の競合で不安定性の閾値が決まる。SPEAR IIのデータはこの考えによりうまく説明できる。

高調波空洞を追加した二重高周波システムでは、シンクロトロン振動数の分布を大幅に拡大できるので、ランダウ減衰が非常に強くなり、不安定性を抑制できると考えられる。そうするとビームエネルギー幅の拡大も抑制されるので、FELの利得は大幅に増大できる。

### 新しいSR光源への期待

高エ研・放射光 佐藤 繁

新しいSR光源はウィグラー、アンジュレーター等挿入型装置主体の高輝度ストレージリングになるであろう。それらから発生する強力なSRをVUV・SX領域で使いこなすためには、反射光学系の素材開発、精密鏡面加工、表面粗度や鏡面形状計測等が連携して、種々の厳しい使用条件を満足する光学素子をつくり上げる必要がある。強力光源の実現とミラー技術の進歩は相補的であり、強力になればなるほど反射光学系に含まれる先端的技術研究がレベルアップせざるを得ないし波及効果も大きい。この意味において新しいSR光源が早急に実現することを期待する。

挿入型光源を分光器に接続して実用化を試み、現実的問題に直面している例がある。1つはSSRL(スタンフォード)のBL-Vマルチアンジュレーター用「LOCVST」分光系(定偏角ローランド型

分光計)であり、もう1つはHASYLAB(ハンブルグ)の32極ウィグラー/アンジュレーターに接続されたFlipper平面回折格子分光計である。「LOCVST」系では分光計の入射スリット用コドリングミラーと回折格子の高輝度光による熱変形を理論的に検討してSiC素材がすぐれていることを指摘している。「Flipper」分光系では実装した無酸素銅-Niメッキミラーが水冷しているにもかかわらず熱変形し出射光強度が、ミラー照射後20秒で3分の1に低下するという報告があり、SiC等のミラー用新素材を検討中である。

PFでは現在、Nd-Fe永久磁石使用の53極ウィグラー/アンジュレーター及びビームラインを建設中である。

ここから放出されるSRは偏向電磁石からのそれに比較して10倍以上パワー密度が大きい。このためVUV・SX用分岐ラインでは耐熱性全SiC第1ミラーを、X線用分岐ラインではグラファイト熱吸収板付きBe窓を開発中である。特に全SiCミラーに対しては(1)大寸法の素材製作、(2)トロイド面等の曲面研磨、表面仕上げ、(3)曲面形状の測定等克服すべき技術的問題点が指摘されてきた。技術的進展の第1段階として50cm×4cm×5cm(厚)の全SiC平面ミラーが面精度 $\lambda/10$ 、表面粗度(中心付近)rms $6\text{ \AA}$ 程度で完成している。現在は同寸法の母線方向(入射光方向)の半径205m、子線方向平面の円筒ミラーを製作中である。

### 新光源に期待する

高エ研・放射光富家和雄

新光源は低エミッターンス・リングに多数の挿入型光源を入れたものとなろう。低エミッターンスにしたとき電子の閉軌道が動き易くなり、SR光軸が大きくゆれることに注意すべきである。SRの場合について報告する。PFリングのエミッターンスはこれまで400nm.rad.であったのを本年2月、130nm.rad.にした。これによって光源の場所で異なるが、輝度は2~20倍となった。しかし、光軸が大きく変化し始め、利用者から苦情が相ついだ。光源から12mの所での動きは、

- i) 冷却水温度 $1^{\circ}\text{C}$ につき $120\mu\text{m}$ の変化
  - ii) 外気温 $1^{\circ}\text{C}$ に対して $60\mu\text{m}$
  - iii) トリスタン最大平均漏洩磁場20ミリガウスで $160\mu\text{m}$
  - iv) 無感の微小地震が記録される
  - v) 日射、曇り、雨や雪等の天候に鋭敏に反応
- となり、リングが敏感な環境検知器となった。これに対してビーム位置変動量から、補正電磁石にフィードバックを掛けて安定化している。今回の経験は次世代のSRリング建設の際の設計思想に重要な資料を与えるものであるといえる。

## 金属表面の電子状態

高エネルギー研・放射光加藤博雄

題目は「金属表面の電子状態」という幅広いものを与えて頂いたが、今回は我々が高エネルギー研で行っている角度分解光電子分光(ARPES)から得られた結果に限らせて頂いた。

放射光を用いたARPESは放射光の連続性や偏光性を充分に活用できることから、表面電子状態の解明のためより強力な手法といえる。その反面、よく規定された単結晶清浄表面を用いなければ充分な解釈が行えない面もあり、試料はかなり制限されてくる。この中で金属表面は再配列構造をとるもののが少なく再現性ある表面清浄化も容易であることから、ARPESに最も適した対象と言えるかもしれない。最近行った一連の3d金属のARPESの結果は従来からの解釈に比べより明瞭なものになっている。有名な価電子帯サテライトピークについての知見はその一例である。Feの場合、以前から理論上説明困難なこのピークの存在は議論的となっていたが、注意深く清浄化を行ったうえでspバンドを分離したARPES実験はこのピークの存在を否定した。また、吸着実験により表面不純物が同定を誤らせる可能性があることを示した。存在が確認されているNiの場合では同様な方法により、多重項によると考えられるピークシフトが見出されている。従って、今後の研究の際には原子的清浄表面を用いることを第一とし、バンドの性格を踏まえた解釈が必要である。また、従来の結果にあっても再検討を要するものもあるのではないだろうか。

## 半導体の表面構造と光電子回折および全反射角X線分光法

井野正三、大門寛

Siなどの半導体の表面に金属などを一層程度吸着させてアニールすると種々の超格子構造が出現するが、その原子配列構造はほとんど解明されていない。ここでは、我々の研究室で開発された、新しい解析法を二つ紹介する。

最初に、運動エネルギーを変えた極角依存性光電子回折の結果を述べる。Si(111)面上に $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 構造で吸着しているAlの2p内殻から出て来た光電子の回折パターンの極角依存性を運動エネルギーを変えて測定した。その結果AlはSiの真上 $2.6\text{ \AA}$ に吸着している事がわかった。また、終状態の非対称性や多重散乱、球面波の補正などを新たに取り入れた計算を行ったが、それらの効果は何れも重要であることが分かった。

次に、RHEED励起全反射角X線分光法について述べる。RHEED実験中に放射されるX線を表面にすれすれの取り出し角で検出すると表面に吸着した原子からのX線の感度が著しく増大することを見出した。これは新しい表面の元素分析法であるので、これを用いて色々な研究が展開できる。ここでは、AuとGe吸着の例について述べる。Auを一層付けた試料で取り出し角を $0.16^\circ$ にするとAuM線が下地のSiK線と同じくらい強く検出された。Geを三十層付けた試料からは、下地のSiK

線は  $0.9^\circ$  になって初めて検出された。これは、膜厚を非破壊に精度良く測定できる事を意味しており、界面の研究にも応用できる。

### 半導体-金属界面およびヘテロジャンクション

東大・物性研 村田好正

多くの遷移金属は Si 清浄表面に吸着すると、室温で化学反応し、シリサイドを形成することが知られている。そして、半導体デバイスでは金属-半導体界面の性質が、オーミック接触、ショットキ-障壁と関連し、重要な役割りをはたす。このような見地から、我々は、遷移金属、貴金属、アルカリ金属と半導体の界面を SOR を用いて、しらべてきた。

Si 結晶を真空劈開した Si(111)-(2×1) 表面に Ni, Cr, Mn, Co, Cu が吸着した系では生成したシリサイドからの結合帯のスペクトルは、リジッドバンド模型で説明でき、Ni-Si 界面では単原子層吸着で  $\text{Ni}_3\text{Si}_2$ , 2 原子層程度の吸着後  $700^\circ\text{C}$  にアンニールすると、 $\text{NiSi}_2$  になるなどがわかった。一方、下地が GaAs(110)になると、現象ははるかに複雑である。Al 吸着では Al(2p) 励起に伴う共鳴光電子放出より、Al-As に共有性の結合が生じていることが示唆された。共鳴光電子放出が金属-半導体間の結合をしらべるのに効果的であった例として、Si-Au, Si-Ag がある。1 原子層吸着で、Si(2p) 励起に伴う結合体スペクトルに、前者にはファン型の強度増大が見られ、後者では観測されなかった。即ち、前者では共有結合が形成され、後者ではシリサイドを形成していないことを示している。 $\text{Ag/Si}(111)-(2\times1)$  より相互作用の弱い例に  $\text{Cs/Si}(111)-(2\times1)$  がある。室温での飽和吸着時(1 原子層吸着)でも、Si(111)-(2×1) の表面準位が変化しないで存在している。これは Si(111)-(2×1) 表面に特有な現象と思われる。

### SEXAFS, XANES の固体表面への応用

広島大・理工 太田俊明

SEXAFS, XANES 法の現状と将来を、解析法、実験法、対象とする系の 3 点から概観した。

#### (1) 解析法

SEXAFS の解析は既に確立されているといつて良いが、XANES の解析法の開発はこれからの課題である。現在、クラスターの MO 計算と多重散乱法の 2 つの方法が利用されているが、いずれも確立しているとは言い難い。多重散乱法の簡便化を現在検討している。

#### (2) 実験法

従来の二次電子収量法、オージェ電子収量法に加えて、最近、蛍光 X 線収量法が注目されている。特に軟 X 線領域で；下地の単結晶からの蛍光 X 線が少ない系では、S/B 比を従来より 1 枠以上あげることができる。現在、我々も超高真空で使用できる比例計数管を製作して、その性能評価を行

つては、測定のスピード化を計るため、エネルギー分散型EXAFSと反射EXAFSの組合せも、近い将来取り組むべき課題であろう。

### (3) 対象とする系

これまで、専ら、金属単結晶上のO, Sやシリサイド系等安定構造をもった系を対象としてきた。これからは、実験法の開発と相まって、反応中間体や、不安定構造種への応用が重要なテーマとなるであろう。

## 液体金属とマイクロクラスター

東大・物性研 柿崎 明人

物質は温度、圧力などの変化に伴って様々な相転移を示すことが知られており、その物質固有の電子状態を反映して電気的、磁気的性質などが相転移によって多種多様に変化する。近年、シンクロトロン放射を利用して、液体ヘリウム温度での光電子分光スペクトル、高温の金属ガスの吸収スペクトルなどが測定され、相転移と電子状態の相関を調べる研究が行われるようになった。ここでは、従来、主に超高真空中で行われることの多かった真空紫外分光実験では例の少ない、液体金属の光電子分光実験と、原子・分子と固体の間を埋める物質系として最近注目されているマイクロクラスターの分光実験について報告した。

液体ビスマスの光電子スペクトルでは、液体のフェルミ端での状態密度が固体に較べて2倍程度大きいことがUPSでも確認され、温度、蒸気圧等に充分留意すれば、液体の光電子分光実験も可能であることを示した。一方、数年前から原子の個数の定まったマイクロクラスターを大量に生成する技術が開発され、マイクロクラスターの分光実験がクラスターに含まれる原子数の関数として行えるようになった。その中から、銀ハライドによる潜像生成のしきい値を求める実験を紹介した。また、光イオン化、光脱離などの興味あるマイクロクラスターの分光実験が高輝度シンクロトロン放射を利用して容易に行えるようになることを述べた。

## 生物試料における照射効果

立教大・理 檜枝 光太郎

単色の真空紫外線や軟X線を生物試料に照射して、生物的効果の波長依存性を調べる研究は、シンクロトロン放射を光源として、最近著しく進歩した。生物試料としては、ヒト培養細胞から微生物細胞、ウイルス、DNAやヌクレオチドなどの分子にいたる広範囲のものが研究されている<sup>1)</sup>。多岐にわたる研究から、DNAおよびその関連系について概説する。

DNAの吸収スペクトルは、15 eVに大きなピークがあり、低エネルギー側に良く研究されている4.8 eV(260 nm)ピークがあり、高エネルギー側には構成元素のK吸収端による鋸歯状ピークがあ

る。しかし、光源の制限から、ほとんどの研究は 6.2 eV 以下の遠紫外・可視領域に限定されていた。我々は SOR-RING と PF に生物試料照射系を作り、波長領域を真空紫外から軟 X 線まで大きく広げた。DNA 主鎖切断について、真空紫外域では 20.7 eV まで、軟 X 線域ではリン K 吸収端 (2.1 KeV) およびプロム K 吸収端 (13.5 KeV) 付近で波長依存性を調べた。DNA 主鎖切断の化学的性質をより詳しく調べるために、オリゴヌクレオチド (dApdA) を用いた研究が行われ、真空紫外線による主鎖切断は糖の分解によることが示された (T. It. 他, 1987)。今後さらに、モデル物質の化学的変化について詳細な研究を行い、分子の化学的変化と生物活性変化の関連から、放射線生物作用の解明を進めたい。そのためには、まだ研究されていない波長領域を早急にうめる事と、低分子量のモデル物質の研究を行うためにさらに高強度の光源の開発が望まれる。

- 1) Photochem. Photobiol. 44 (1986) 235 - 423.

## 挿入光源概論

高エ研・放射光 北村 英男

挿入型光源は次世代放射光源の主力装置として大きな期待が寄せられているが、光源として高性能化（高輝度化、短周期化、円偏光等）を追求するためには多くの問題点を克服しなければならない。しかもこれらの問題点は挿入光源のデバイス技術そのもの（磁石技術、超高真空技術、精密制御技術）だけに関わるものではないということに留意しなければならない。広義の意味での挿入光源の技術体系は将来における放射光科学の技術体系そのものであるといつても過言ではない。この体系は以上のデバイス技術のほかに放射理論、加速器技術及び、放射評価技術（利用技術）より構成されている。この 4 技術は独立に成立するものではなく、互いに feed back しつつ発展するものである。例えば、PF 建設が開始された頃は、加速器屋はユーザーが何を必要としているのか理解できなかつたし、ユーザーは加速器で何ができるのかわからなかつたという時代であった。しかし、PF は試運転以来 5 年間にわたってユーザーにビームを供給し、その間、効果的な MACHINE STUDY によって、リングの性能が飛躍的に向上したのは周知の事実である。しかも、この成果は加速器スタッフ単独で成し得たものではなく、測定器スタッフによるビーム診断によるところも大きい。又、両者の相互理解が深まってきたことも見逃せない。PF の果してきた役割は単にビームを供給することだけではなく、以上の放射光技術大系を的確に把握している人材を育成したことである。挿入光源を主力とする次期将来計画を成功させるにはこのような人材が多数必要である。すなわち、光源という観点に立って加速器を考える加速器グループと強力な測定器グループが必要である。もし、このような対応が不充分なままで計画が始まると、それが完成した時点で旧式化したり、あるいは無用の長物になる恐れがある。

## 高次光利用のための擬似円偏光アンジュレーター

高エ研・放射光 山本 樹

ヘリカルアンジュレーターは、VUVからX線領域での高輝度円偏光放射光源として非常に重要な挿入光源である。しかし最も重要な軸上での放射では、1次光のみが発生されるので可能なエネルギー領域は大きな制約をうける。

我々は、電子に歪んだラセン運動（軸上でみて橙円運動；ヘリカルアンジュレーターでは完全円運動）をさせる磁場分布を持つ挿入光源を考察し、放射のスペクトルと偏光特性を理論的に考察した。計算結果は、得られる放射が次の特性をもつことを示す：① 擬似円（橙円）偏光である（円偏光度 $\gtrsim 0.4$ ）。② 高次光が利用でき、有効帯域はヘリカルアンジュレーターの数百倍（2.5 GeV リングでは 30 eV から 20 KeV, 6 GeV リングでは 200 eV から 80 KeV）にもなる。また高調波次数  $n \gg 1$  の場合の放射では、（磁極数だけの）Bend Source の重ね合わせとして非常によく近似されることがわかった。

## 偏光特性可変アンジュレーターの製作とその特性

電総研 小貫英雄

直線偏光、円偏光等の偏光した放射（可視からX線領域の広い波長範囲）を発生できる新しいタイプのアンジュレーター（挿入型光源）を提案したが、今回このタイプのアンジュレーターを試作し、当初の電子蓄積リングの直線部に挿入して、高速電子からの放射の偏光特性を評価した。

新しいアンジュレーターは二組の永久磁石列によって作られた直交した周期的な磁場によって構成され、一組の磁石列を中心軸（Z 軸）方向にずらすことによって、Z 軸を通る電子を右回りまたは左回りに螺旋回転させることができる（右回り、左回り円偏光の放射）。また磁場のずれを 0 または  $1/2$  周期長にすることにより、鉛直または水平方向に直線偏光した放射を得ることができるものである。

電総研の電子蓄積リングの直線部を改造し、本装置を挿入することにより、左・右円偏光、直交する二種類の直線偏光の発生に成功した。アンジュレーターからの放射の偏光特性に関して、電子のエネルギーを 200 MeV まで下げ、可視域の放射について測定を行った。直線偏光の放射については、直線偏光子の回転とその透過強度の関係を調べ、円偏光については、更に  $\lambda/4$  板を入れることによりその特性を調べた。これらの実験により、基本波長で円偏光の放射及び直線偏光の放射が電子から発生している事が示された。

## 高輝度リングのラティス

高エ研・放射光 加藤政博、神谷幸秀

次世代の放射光リングでは「高輝度」ということが最大の目標となる。これは、蓄積リングの低エミッターンス化と多数の挿入型光源の導入によって可能になる。低エミッターンス化に伴う問題はいくつ

かかるが、ここでは、現在PF リングでも問題になっているビームの閉軌道のゆがみについて述べる。

低エミッタанс・リングでは、四極電磁石の磁場が強く、また、その数も多くなる。このため、これらの電磁石の据付位置の微小なずれにより発生する閉軌道のゆがみも大きくなることが予想される。特に、外気温の変化に伴う建物のひずみ等により、電磁石の据付位置が時間的に変動するようになると、閉軌道のゆがみ、ひいては、放射光の光軸が時間的に変動することになる。実際、PF リングでは、低エミッタанс化後、光軸が外気温の変化に伴い大きく変動するようになった。現在、フィードバック・システムの導入により、変動を減少させることに成功しているが充分とはいえない。将来のリングでは、光ビームの大きさがより小さくなるということもあり、光軸の制御にもより高い精度が要求される。このためには、光軸モニターのためのビーム・ラインの設置や、軌道補正用の電磁石の配置等、設計段階から、光軸制御システムの導入を考慮しておくことが必要であろう。

## 高輝度リングの高周波システム

高エ研・放射光 小早川 久

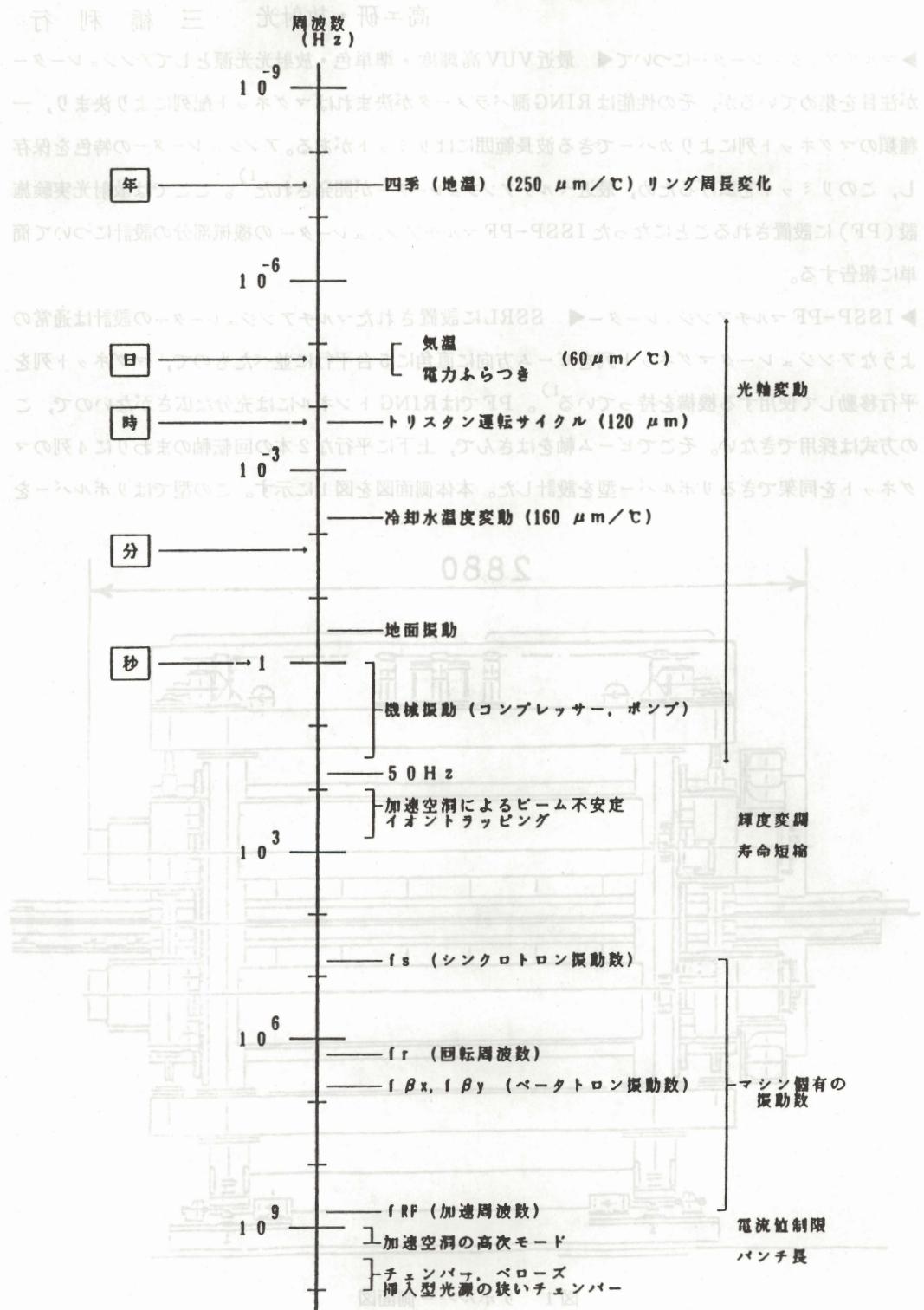
1. 高輝度リングにとってはビームの安定化が最重要、しかし実現には困難をともなう。

PF では輝度を上げる目的で水平エミッタансを  $406 \text{ nmrad}$  から  $126 \text{ nmrad}$  に下げた。その後、光軸の変動が数倍になり実験不能になるグループが続出した。この事実を見ても将来の低エミッタанс・リングが、一すじ縄ではいかないことがわかる。一般に同じリングで同じエネルギーのままエミッタансを下げればそれだけ磁場の誤差に敏感になり、たとえば 4 極電磁石の位置が建物の振動などでわずかに変動しても、電子軌道がズレ光軸変動となる。

実験精度が上がるにつれて、この光位置のズレは致命的な問題となることが予想される。図には PF のビーム不安定の周波数による分類を示す。このような不安定は、次世代リングでは総て増大する。従って将来の高輝度リングにはビームの安定化が最重要事であるが、実現するには非情な困難をともなう。

2. 高周波に関連する不安定性も増大する。PF リングでは低エミッタанс化後、加速空洞の高次モードによる不安定が増大した。このことは、ビームサイズの縮小にともない Landau Damping の効果が減少したこと、おおまかには理解できる。2 GeV 以下の小リングの場合、使用する空洞の高次モードの諸性質をあらかじめ良く測定し熟知しておけば、最適のリング周長を選ぶことで多くの不安定を避けることができる。しかし、大電流の運転時には避けられない事も考えられるので、Double PF あるいは Feedback による不安定除去を考えておく必要がある。真空チャンバーのインピーダンスにより生じる不安定は、挿入型光源の狭いギャップなどでやはり増大し、次世代リングの、特に単パンチ運転にとっては大きな問題となる。

図1 (1) 情報 PFRINGにおけるビーム不安定の周波数分析(未だ)



## リボルバー型マルチアンジュレーターの設計 (I)

高エ研・放射光 三橋 利行

► マルチアンジュレーターについて ◀ 最近 VUV 高輝度・準単色・放射光光源としてアンジュレーターが注目を集めているが、その性能は RING 測定パラメータが決まればマグネット配列により決まり、一種類のマグネット列によりカバーできる波長範囲にはリミットがある。アンジュレーターの特色を保存し、このリミットを広げるため、最近マルチアンジュレーターが開発された<sup>1)</sup>。ここでは放射光実験施設 (PF) に設置されることになった ISSP-PF マルチアンジュレーターの機械部分の設計について簡単に報告する。

► ISSP-PF マルチアンジュレーター ◀ SSRL に設置されたマルチアンジュレーターの設計は通常のようなアンジュレータマグネット列をビーム方向に直角に 5 台平行に並べたもので、マグネット列を平行移動して使用する機構を持っている<sup>1)</sup>。PF では RING トンネルには充分な広さがないので、この方式は採用できない。そこでビーム軸をはさんで、上下に平行な 2 本の回転軸のまわりに 4 列のマグネットを同架できるリボルバー型を設計した。本体側面図を図 1 に示す。この型ではリボルバーを

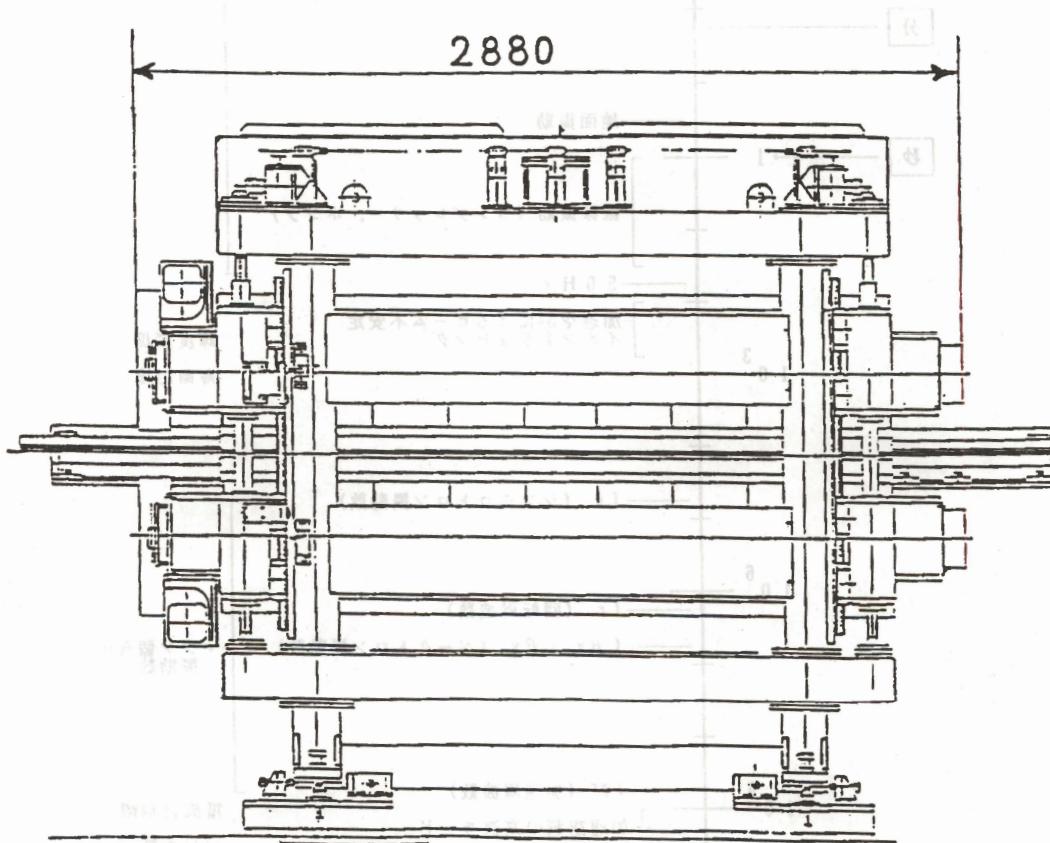


図 1 リボルバー側面図

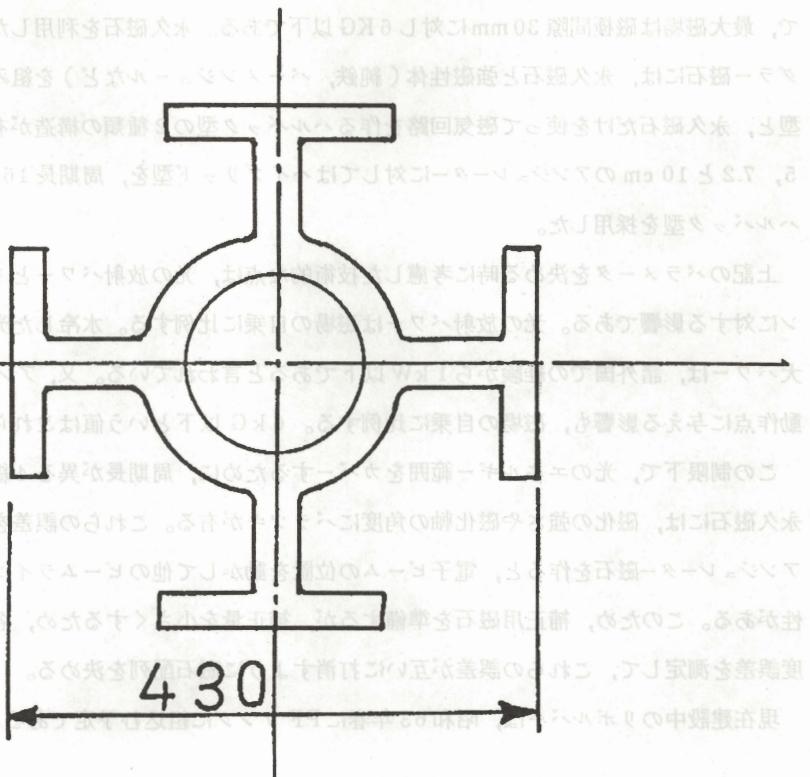


図2 リボルバー断面形状

回転することによって4台の多連アンジュレーターとして使用できる。マグネットを設置するリボルバーは、たわみ、ねじれ、平行度などの精度がアンジュレーターの性能に大きな影響を持つので断面形状として図2のような形を採用した。この結果、リボルバーたわみ(自重)  $< 16 \mu\text{m}$ , ねじれ  $0.085 \mu\text{m}/\text{mm}$ , 平行度  $\pm 40 \mu\text{m}$ (ギャップ  $125 \text{ mm}$ )、リボルバー位置決め  $5/1000$  度が得られた。

- 1) R. Z. Bachrach, R. D. Bringans, B. B. Pate, R. G. Carr, Proceedings of International Conference on Insertion Device for SR 1985, SPIE 582 p. 251.

## リボルバーの設計(II)

東大・物性研 磯山悟朗

現在、高エ研PFのBL19用多極ウイグラー(リボルバー)を高エ研PFと東大物性研の共同作業で建設中である。ここでは、リボルバー磁石部の設計と製作の中間報告をする。

BL19の利用者からの光源に対する要求は、(1) 光のエネルギー範囲  $10 \sim 1000 \text{ eV}$ , (2) 光の発散角は、水平方向  $\pm 1 \text{ mrad}$ , 垂直方向  $\pm (0.05 \sim 0.1) \text{ mrad}$ , (3) この角度内に偏向部から出るシンクロトロン放射の  $10 \sim 100$  倍の強度を持つことである。これらの要求に答えるために永久磁石を利用した水平振動型のアンジュレーターを4組準備する。それぞれの周期長は、5, 7.2, 10 と  $16.4 \text{ cm}$

で、最大磁場は磁極間隙 30 mm に対し 6 KG 以下である。永久磁石を利用したアンジュレーター / ウイグラー磁石には、永久磁石と強磁性体（純鉄、パーメンジュールなど）を組み合わせたハイブリッド型と、永久磁石だけを使って磁気回路を作るハルバック型の 2 種類の構造がある。ここでは、周期長 5, 7.2 と 10 cm のアンジュレーターに対してはハイブリッド型を、周期長 16.4 cm のものに対してはハルバック型を採用した。

上記のパラメータを決める時に考慮した技術的な点は、光の放射パワーとリングや他のビームラインに対する影響である。光の放射パワーは磁場の自乗に比例する。水冷した光学素子で受けられる最大パワーは、諸外国での経験から 1 kW 以下であると言われている。又、アンジュレーターがリングの動作点に与える影響も、磁場の自乗に比例する。6 kG 以下という値はこれらの点を考慮して決めた。

この制限下で、光のエネルギー範囲をカバーするために、周期長が異なる 4 組の磁石列を準備した。永久磁石には、磁化の強さや磁化軸の角度にバラツキがある。これらの誤差を持つ磁石を組み合わせてアンジュレーター磁石を作ると、電子ビームの位置を動かして他のビームラインに悪影響を与える可能性がある。このため、補正用磁石を準備するが、補正量を小さくするため、各磁石の磁化の強さや角度誤差を測定して、これらの誤差が互いに打消すように磁石配列を決める。

現在建設中のリボルバーは、昭和 63 年春に PF リングに組込む予定である。

### 高輝度光源とビームライン光学系および分光系

高エ研・放射光 宮原 恒 显

高輝度光源の特徴は、① 強度が大きいこと、② 指向性がよく近軸光線として扱えること、である。①の特徴により、光学系の熱負荷対策は重要な課題となる。特にビームライズ上流に位置する第一ミラーに対する熱負荷は大きいので、ホルダー部を冷却してホルダー部の熱変形を防止せねばならない。一方、ミラーの熱変形は、表面と背面の温度差によってるので、ホルダー部の冷却によって低減させることはできない。したがって、第一ミラーの熱変形を、第二ミラーによって補正してやる必要が生ずる。熱変形は、リング内の蓄積電流値などに依存した経時変化を示すから、第二ミラーは可変曲率とし、そのための機構を外部からコンピュータなどにより制御できるようになっていることが望ましい。

また、特徴の②によって、分光器の幾何光学的設計のうえでは、収差の小さい高分解能型の光学系の実現が可能となる。とりわけ、最良の分解能を得ようとすれば、分光器のアクセプタансは、与えられた波長の回折限界近くまで低減することになり、干渉性放射光の干渉的部分のみを見込むことになる。この場合は、干渉性放射光がある程度の波長掃引を行う必要がある。

分光器のアクセプタансを意図的に大きくして分光する設計方針も考えられるが、この場合は、光源の波長掃引の必要性は低減するものの、回折格子に対する熱負荷が問題となるので、回折格子の劣

化や熱変形に対する対策を必要とする。含意のとれ未空真高騒、お器付職ベコスナ重い出張袋千重長  
。ひでさき近一見一か。るあう王体のよこを出候るお得校長くよるもはこのPHD(100)W  
器出射。ハル改半端十の 軟 X 線アンジュレーター光の利用  
。るあう談ひ改版才次に送りよ。おこひ六の異次の家前 高エ研・放射光 沢 秀樹 自  
高エネルギー研・放射光実験施設では、周期長 6 cm, 60 周期の永久磁石型アンジュレーターから  
放射される軟X線アンジュレーター光を利用した実験が行われている。アンジュレーターの 1 次光は 400  
eV から 1 keV までの範囲でチューンできる。ビームラインは偏向ミラーを用いた偏向プランチと,  
このミラーを光軸からはずすことによって使う直進プランチからなる。偏向プランチには、軟X線顕  
微鏡用の精密一次元駆動装置と、斜入射回折格子分光器があり、アンジュレーターの 1 次光から 3 次光  
(400 eV ~ 1.8 keV) を用いた実験が行われており、直進プランチには InSb を用いた定出射ビ  
ーム型 2 結晶分光器があって、アンジュレーターの 4 次光から上の硬い軟X線(1.7 keV ~ 3 keV) を用  
いた分光実験が行われている。ビームラインの基本構成が、このように偏向ミラーによる偏向プラン  
チと、2 回反射光学系を持つ直進プランチという形になるのは、光源リングの直線部からくる強力な  
ガソマ線を避けるためである。このような偏向ミラーと 2 回反射系を用いたマルチプランチ方式とい  
うものが、今後のアンジュレーター用ビームラインの基本型になるものと考えられる。アンジュレーター  
光は、高次光を含めるとチャーンの巾はかなり広いと言えるが、様々な境界条件から決まる一次光の  
長波長限界があるため、アンジュレーター中心の次世代光源では、異なる周期長の組合せができるリボ  
ルバー型が主流になると思われる。

### スピン解析光電子分光

東大・物性研 曽田 一雄

固体とその表面を対象にしたスピン解析光電子分光は、この十数年間に急速に発展した。現在では、  
通常の角度分解光電子分光の手法に、光電子のもつスピンの解析も加えた、いわゆる完全実験が行わ  
れ、バルク及び表面（真性表面、界面、吸着子、被覆層）の電子状態がより詳細に研究されている。  
実験的手法は、これまでのところ、対象とする物質の磁性に従って 2 つに大別できる。磁性体では外  
部磁場を印加することにより、また、非磁性体では励起に円偏光を用いることによって、スピンの量  
子化の方向を決める。もちろん、非偏光を用いても、GaAs [110] のような二重縮退の解ける系や  
表面に垂直でない方向への電子放出の条件では、スピン偏極が生じる。しかし、このような条件下で  
の研究は、未だ少ない。現在は、対称性のよい垂直電子放出を利用するのが主流である。本講演では、  
例として、Fe のスピン分解したバンド構造や強磁性-常磁性相転移、Gd (0001) の表面磁性の再  
構成、Ni の 6 eV サテライト構造の共鳴光電子放出の機構、Pt の対称性を分けたバンド構造の研究  
を紹介した。

光電子分光用の電子スピン解析器は、超高真空条件との適合性から、Au 標的での Mott 散乱あるいは W(100) での LEED におけるスピン非対称性を利用するものが主である。各々一長一短をもつが、検出効率は同程度である。しかし、どちらの検出器も散乱現象を利用するので計数率が低い。検出器自体の改良による高効率化はほぼ限界であり、研究の発展のためには、より強力な光源が必須である。また、励起光のエネルギーが可変であること、暗黙の必要条件であり、シンクロトロン放射の果たす役割は大きい。特に、今後はアンジュレータ等の挿入型光源を用いる実験が主流となるであろう。

最後に、物性研が計画中の角度分解型スピン解析光電子スペクトロメータを紹介した。

### 逆光電子分光法

東大・物性研 菅 滋 正

固体の電子状態には充満電子帯と空の伝導帯があり軟X線分光では帯間励起に伴う結合状態密度や内殻励起子が調べられる。電子準位について独立の情報を得たい場合には前者について光電子分光法が用いられる。XPS, UPS により充満帶状態密度についての知見が得られるが、さらに角度分解測定によって運動量が固定され電子帯のエネルギー分散が求められる。そのほかスピン偏極光電子放出などが測定できる。

一方空の伝導帯については、単色電子線により高いエネルギーの伝導帯電子を励起し、これが光放射により低いエネルギーの空の伝導帯に遷移する現象を観測できる。これを逆光電子放出と呼ぶ。X 線や VUV 領域での BIS や IPES と呼ばれる手法がこれである。角度分解測定やスピン偏極電子による励起も可能である。

原理に引き続き、電子銃、検出器特性を述べた後、現在製作中の装置について紹介する。

測定例として価数揺動系 ( $\text{YbAl}_3$ ) における UPS-BIS スペクトル解析例や ARI PES による半導体や金属のイメージボテンシャル準位の研究を紹介する。最後に応用として興味ある薄膜磁性体の表面磁性の角度分解、スピン偏極測定の展望を述べる。

### シンクロトロン放射光を用いた遠赤外分光

東北大・理 難波 孝夫, 池沢 幹彦

SR の長波長域での本格的利用はようやく最近、しかも我が国の分子研の UVSORにおいて始められたばかりである<sup>1)</sup>。以下では UVSOR における現状と将来への展望を述べる。

UVSOR のビームライン BL 6A1 に設置された遠赤外分光装置は現在 SR を用いた長波長分光用の装置として稼動している唯一のものである。この装置を用いて、光が集光される試料位置での測定光束の断面の大きさを調べる目的で行った実験により、リング電流 45mA 時では直径 3mm の開口を通過する UVSOR の強度は水銀灯のそれの 5 倍程度であるという結果を得た。このことは直径数 mm

以下の微小試料を用いた場合にはUVSORの方が水銀灯よりも1桁以上高輝度であるという期待通りの結果を示している。UVSORからは波数にして  $10\text{ cm}^{-1}$  以下のいわゆるミリ波の光子も充分な強度を持って放射されていることが分かった。このようにUVSORを用いて行われた研究により、SRは長波長域で優れた光源であることが判明した。更に、長波長用光源としてのSRには改良の余地がある。計算によれば偏向電磁石の軌道半径の増大と共に放射される長波長光子数は増大し、且つビームの発散角も小さくなる<sup>2)</sup>。従って筆者らは現在よりも更に優れた長波長用SR光源を得るために次世代のストーリジ・リングの直線部の1つに大きな曲率と磁極間隔を持った“長波長ウイグラー”<sup>2)</sup>が設置されることを切望するものである。

1) T. Nanba et al: Int. J. Infrared and Millimeter Waves 11:1769 (1986).

2) 難波孝夫: 日本物理学会誌, 第40巻第10号(1985) p. 797.

Yb<sub>4</sub>As<sub>3</sub> の遠赤外反射  
東北大・理 鈴木 孝  
高濃度近藤物質の最も顕著な性質は、多体効果によるフェルミ面近傍の異常性にある。この機構を明らかにする目的で、種々の実験的研究が盛んに行われているが、特に Low Energy Excitation を調べることが重要で、世界的に中性子散乱による研究が専ら行われている。しかし、これと相補的に重要な光学的手法による研究は殆ど行われていない。最近分子研のUVSOR施設でSOR光を利用した遠赤外分光が可能となり、我々はこれによって高濃度近藤物質を系統的に調べている。この中で我々のグループによって見出された物質 Yb<sub>4</sub>As<sub>3</sub> についての測定結果を報告した。

この物質は極端にキャリヤー数が少ないにも拘らず、電子比熱  $\gamma$  が  $200\text{ mJ/mol}^{\circ}\text{K}$  と大きく、 mass enhancement を考えると記録的なヘビーフェルミオン状態にあると考えられる。この遠赤外反射は、Kondo Resonance Peakと思われる dip が、低温にすると始めて  $100\text{ meV}$  近傍に現われた。

より高いエネルギー領域についても種々異常な吸収があり、赤外、可視、極端紫外(物性研SOR施設利用)の反射結果も併せて報告された。今後の発展としては特に遠赤外においては、エネルギーはミリ波まで、温度は mK 領域、磁場は 10T 等の中での測定が望まれる。

著者: 鈴木・孝

重いフェルミオン系と考えられる Yb<sub>4</sub>As<sub>3</sub> については、遠赤外の反射分光をシンクロトロン放射を用いて精密に行うだけでなく、光電子分光測定が有用である。XPSによれば Yb<sup>2+</sup> と Yb<sup>3+</sup> は 3:1 で価数混合しているが、さらにUPSによればフェルミ面  $E_F$  での光電子放出強度はかなりの大きさ

であり、<sup>1f</sup> 電子の質量がかなり大きい事を示している。このようにX線から遠赤外にわたる光電子分光-光分光の総合的測定の重要性を指摘しておきたい。

## 分子の高励起状態

高エ研・放射光・鶴飼正敏, 田中健一郎

分子の第1イオン化ポテンシャルより高いエネルギーにある中性の励起状態（超励起状態）はエネルギーにして約20 eV以上にその多くが存在するために、従来主として真空紫外領域の光源の問題から研究が遅れていたが、近年シンクロトロン放射をこの領域の有力な武器として研究が進められてきており、数々の興味深い実験結果は理論にも大きなインパクトを与えていている。高エ研PFではBL-12Aの気体極紫外分光ラインを中心としてこのような分子高励起状態の研究が行われている。

水素分子の超励起状態は、よく知られた振動励起した1電子励起状態の他に2電子励起状態の系列が存在することが知られている。これらはフランク=コンドン領域に反発壁を有するとされており、光解離した励起断片からのLyman- $\alpha$ 発光を検出することにより、この2電子励起状態が観測される。約28 eVからいくつかの閾値が観測され、これが理論的に予測されているポテンシャルと良い対応がつくことが見出された。また、これについて光の偏光面に対する発光強度の角度分布を測定すると、各閾値に対応した角度分布の変動が観測され、異なる対称性の超励起状態の生成として理解される。さらに2つのLyman- $\alpha$ 光の同時計測を行うことによりH(2p)+H(2p)に解離する超励起状態のポテンシャルについての情報が得られた。

以上はいづれもシンクロトロン放射ならではの特性を利用することにより可能となったものであり、原子・分子物理が今なお基本的かつ興味ある研究を提供するのにシンクロトロン放射が有力であることが、今後さらに明らかになると期待される。

なお、講演ではこの他に、シンクロトロン放射を用いた気相での電子・イオンの運動エネルギー一分光への試みについても紹介した。

## 分子の光電離実験におけるコインシデンス・スペクトルスコピー

東北大・科研 佐藤幸紀

VUV・軟X線領域における分子の光電離過程を研究する際に、外殻電子の直接光電離の場合には、励起光の波長をえながらゼロ・エネルギーの光電子と生成イオンとのコインシデンス計測を行うことにより、解離性光電離の機構を詳しく調べることができる<sup>1)</sup>。

内殻電子の励起・電離領域では、内殻正孔状態が形成されると先ずオージュ過程によって外殻の結合性電子が失われ、引き続いて分子が解離するという崩壊の道筋が想定されるため、オージュ電子

と生成イオンとのコインシデンス計測が必要となる。この方法は SSRL の UR ビームラインを用いて窒素分子の K 裂離起について行われたが<sup>2)</sup>、いまのところこれが唯一の測定例である。

内殻裂離起の場合には、オージュ過程によって不安定な多価イオンが生成し、これが複数のフラグメント・イオンに解離する過程が重要である。このような崩壊の道筋を特定する方法として、生成イオン間のコインシデンス計測 (Photoion-Photoion Coincidence, PIPICO) がある。我々は PF の BL-11A にて多数の分子 ( $\text{SiH}_4$ ,  $\text{SF}_6$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$ ,  $\text{Sn}(\text{CH}_3)_4$  等) の PIPICO 測定を行ったので、研究会ではその方法といいくつかの結果を報告する。図は  $\text{SiH}_4$  分子の L 裂離起によって生成するイオンの PIPICO スペクトルの例である。

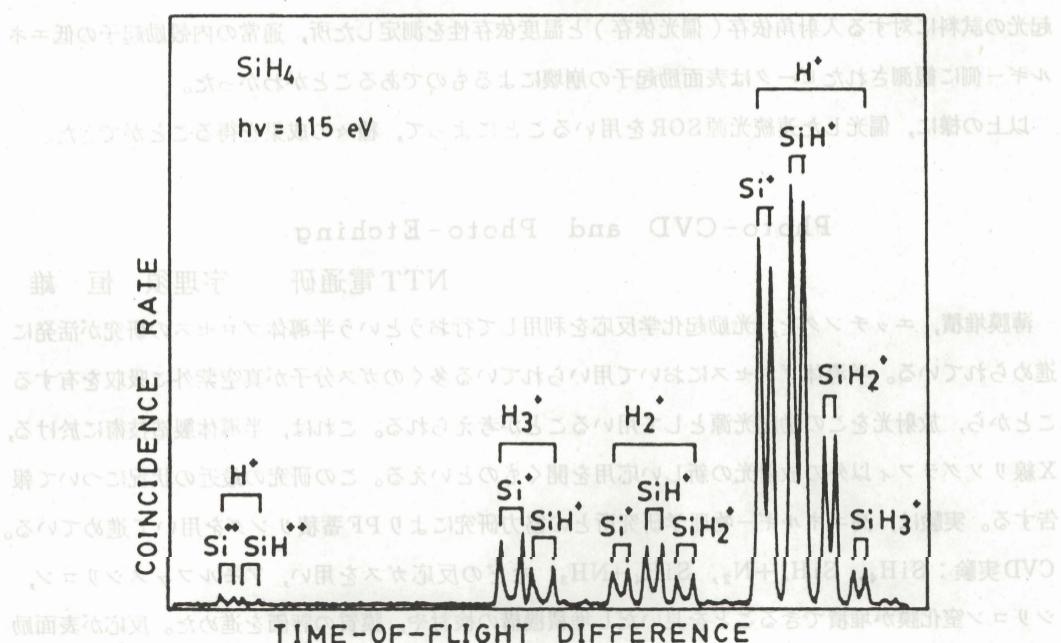


図 1 波長  $108 \text{ \AA}$  (115 eV) で測定したシランの PIPICO スペクトル

(文献) 1) 例えば, P. M. Guyon 他; J. Phys. B. 11, L141 (1978), T. Akahori 他; J. Phys. B. 18, 2219 (1985).  
2) W. Eberhardt 他; Phys. Rev. Lett. 58, 207 (1987).

### アルカリハライドの共鳴光電子

大阪府大・工 市川公一

内殻裂離起子の非輻射崩壊課程を研究するために、リチウムハライドの  $\text{Li} 1s$  およびナトリウムハライドの  $\text{Na} 2p$  内殻裂離起子の崩壊に伴う電子放射を SOR を用いて測定した。その結果、価電子帯およ

びオージェ電子の強度が内殻励起子の励起エネルギー付近で共鳴的に増大することを見出だした。

このことから、内殻励起子の非輻射崩壊には、励起子を形成する内殻空孔と励起電子が直接再結合し、そのエネルギーを価電子に与える過程と、励起子を形成する内殻空孔に価電子が遷移し、そのエネルギーを他の価電子に与えるオージェ過程の2種類が少なくとも存在することがわかった。これら2つの崩壊確率を光電子スペクトルと吸収スペクトルから算出した所、オージェ過程の方が直接再結合過程より確率が高いことがわかった。また、オージェ過程では価電子帯に残された2つの空孔と元々励起子を形成していた電子が束縛状態を作るため、伝導帯のしきい値以下の励起エネルギーに対し、放出電子の運動エネルギーは通常のオージェ電子より0.5~1 eV程度大きいことがわかった。さらに、ナトリウムハライドの価電子帯を始状態とするConstant-Initial-Stateスペクトルの励起光の試料に対する入射角依存（偏光依存）と温度依存性を測定した所、通常の内殻励起子の低エネルギー側に観測されたピークは表面励起子の崩壊によるものであることがわかった。

以上の様に、偏光した連続光源SORを用いることによって、種々の成果を得ることができた。

### Photo-CVD and Photo-Etching

NTT電通研 宇理須 恒雄

薄膜堆積、エッチングを、光励起化学反応を利用して行おうという半導体プロセスの研究が活発に進められている。半導体プロセスにおいて用いられている多くのガス分子が真空紫外に吸収を有することから、放射光をこの励起光源として用いることが考えられる。これは、半導体製造技術に於ける、X線リソグラフィ以外の放射光の新しい応用を開くものといえる。この研究の最近の状況について報告する。実験は、高エネルギー物理学研究所との協力研究によりPF蓄積リングを用いて進めている。

CVD実験： $\text{SiH}_4$ ,  $\text{SiH}_4 + \text{N}_2$ ,  $\text{SiH}_4 + \text{NH}_3$ , などの反応ガスを用い、アモルファスシリコン、シリコン窒化膜が堆積できることを見だし堆積機構の検討や、膜質の評価を進めた。反応が表面励起で進んでいること、また堆積したシリコン窒化膜の水素含有量が他の励起法と比べて低いことなどの特徴を見いだした。

エッチング実験： $\text{SF}_6$ ,  $\text{SF}_6 + \text{O}_2$ による $\text{Si}$ ,  $\text{SiO}_2$ のエッチングや $\text{O}_2$ によるカーボン膜のエッチングを行った。前者については、 $\text{Si}$ と $\text{SiO}_2$ のエッチングの選択性がプラズマエッチングと正反対であることを見いだした。また、 $\text{SiO}_2$ のエッチングバタンは、表面反応の特徴を反映して、放射光のビームの進行方向に沿ってエッチングが進んでおり、放射光の指向性がよいこと短波長であることから超微細な光異方性エッチングができる事を示している。

## 希土類化合物の軟X線放射スペクトル

大阪府大・工 会田 修

希土類およびその化合物の電子励起  $M_{4,5}$  放射スペクトルには、放射ピークが吸収ピークと同一エネルギー位置に出現する共鳴放射 ( $R: 3d^9 4f^{n+1} \rightarrow 3d^{10} 4f^n$ ) が顕著に観測され、充满  $4f$  状態からの通常放射 ( $F: 3d^9 4f^n \rightarrow 3d^{10} 4f^{n-1}$ ) はそれにかくれて明瞭に識別されない。そこで、金属 Sm および  $SmB_6$  について  $3d$  threshold 近傍のエネルギーをもつ電子の衝動による  $M_{4,5}$  放射スペクトルを測定したところ、光電子スペクトルから予想される通常放射の位置 (1075 eV) に新しいピークが識別され、このピーク位置における characteristic isochromat (CI) スペクトル強度が  $Sm^{3+}$   $M_5$  threshold (1082.2 eV) 近傍より増大することから、これは  $F$  と見ることができる。また、 $R$  (1079 eV) での CI スペクトル強度は入射電子エネルギー 1085 eV 付近より増大する。これが  $R$  ピークエネルギーや  $Sm^{3+} M_5$  threshold より大きいのは、内殻から励起された電子とエネルギーを失った入射電子が空の  $4f$  状態に捕獲され、transient な  $3d^9 4f^{n+2}$  励起状態が作られるためで、つづいて  $3d^9 4f^{n+1}$  状態に decay し共鳴放射が起こると考えられる。このようにこれらの物質では threshold エネルギー付近の電子衝激では、上述の低エネルギー電子が励起状態の生成に重要な役割を演ずると考えられる。 $SmB_6$  の場合  $Sm^{2+}$  に関する構造が明確でないのは、それが微弱であるか、または電子衝激による価数変化の可能性を示唆するのかも知れない。

金属 La ( $4f^0 5d^1 6s^2$ ) の螢光励起  $M_{4,5}$  スペクトルにも放射ピークが観測されることから、内殻空孔の出現により伝導帯より空の  $4f$  状態へ電子の移動の起こることが推察される。

会 田 修・高 岡 勉・大 井 伸

## 高温超伝導体の電子状態

東大・工 藤原毅夫

LMTO-ASA 法により求めた  $La_2CuO_4$ ,  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $\delta = 0, \pm 1$ ) の電子エネルギー・バンド構造を紹介した。 $YBa_2Cu_3O_7$  の結果は A. J. Freeman らの LAPW 法による結果と比較し、全体的にはほぼ一致しているが、なお詳細に見ると、フェルミ・エネルギー近傍の様子が少し異なる。これは、LMTO-ASA 法における原子球近似に由来していると考えられ、そのより正確な取り扱いが必要と思われる。特に、今後スピンの分極を取り入れた計算を行わなくてはならないが、その場合、それぞれの近似的取り扱いが、フェルミ・エネルギー近傍にどのような影響を与えるか、詳しく検討しなくてはならない。さらに、現在これらの系にバンド描像が成り立つかどうか、いまだ問題のある点であり、実験・理論両面での検討が必要である。

## 磁性体、超伝導体の光電子分光

無機材研 藤森 淳

3d遷移金属酸化物、硫化物の電子構造を、光電子分光法を用いて研究を行った。これらの物質の磁気的・電気的な性質は、電子相関が強く局在的なd電子とバンド的なp電子の混成が重要な役割を果たしていると考えられる。実際、光電子スペクトルは、サテライト構造を含めて、金属原子と配位子からなるクラスター内の電子相関とp-d混成を正確に取り扱うことにより再現され、d電子間の相関エネルギーU、p-d軌道の重なり( $p\sigma d\sigma$ )、( $p\sigma d\pi$ )、基底状態での電荷移動、磁気モーメントの大きさ等を評価できる。

現在までに、モット絶縁体 $\text{NiO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnO}$ 、半磁性半導体 $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ 、遍歴磁性体 $\text{NiS}$ 等が上記のクラスター・モデルで記述できることが示され、いずれの場合も、価電子帯の頂上は $p \rightarrow d$ なる電荷移動でスクリーンされたd正孔、すなわち、p正孔的性格を持つことが明らかにされた。また、最近話題になっているCu酸化物高温超伝導体についても同様なモデルで光電子スペクトルが再現され、大きなU(5-6 eV)を持つ電子相関の強い系であることがわかった。特に、フェルミ準位での状態密度はバンド計算の予測に比べ1桁以上小さく、格子変形に強く結合した電子状態がフェルミ準位付近にあり高い臨界温度の原因となっているというモデルを否定しており、BCS機構以外のメカニズムの必要性を示唆している。

## 重希土類のSR-XPS

東北大・理 高橋 隆、荒井 宏

重希土類における4f電子と価電子との混成の度合を調べる目的で、シンクロトロン放射(SR)光を用いて、重希土類金属(Er, Tm, Yb)及びその酸化物、フッ化物の3d内殻準位のXPSスペクトルを測定した。3d内殻準位は、d-f多重項の影響が小さく、3dホール状態での4f準位の緩和の見積りから4f電子と価電子の混成の程度を評価できる。軽希土類のXPS測定からは、3dレベルに $3d^9 4f^n$ 終状態に基づく“poorly-screened(PS)peak”と $3d^9 4f^{n+1}$ 終状態に対応する“well-screened(WS)peak”的二重構造が存在し、WS peakの強度が原子番号の増加と共に減少する事が報告されている。これは、ランタニド収縮のためと解釈されており、重希土類においてはWS peakは完全に消滅すると予測されていた。しかし、重希土類の3d内殻準位はエネルギー的に非常に深く、実験室系のX線源( $MgK\alpha$ 線等)では励起する事ができず、上記予測の実験的検証が成されていなかった。今回のSR光(高工研PF, BL11B)を用いた実験により初めてそれが可能となった。実験の結果、軽希土類からの予測に反し、重希土類酸化物の3d内殻XPSスペクトルに明らかにWS peakと考えられる構造が見出された。この事は、重希土類においてもf電子と価電子の混成の程度がかなり大きい可能性がある事を示している。また、Gunnarson-SchönhammerおよびKotaniの理論に示され

ているように、3dホール状態における4f空準位と価電子のエネルギー位置関係も重希土類におけるWS peakの出現に寄与しているものと考えられる。今後、見出されたWS peakの定量的解析を進めるとともに、同様な実験を重希土類の金属間化合物およびカルコゲナイト等に拡張し、希土類における4f電子と価電子の関わりについて研究を進めたい。

(東大農東) 関 葉子、斎藤順一、忠玉眞由、河井林小

水分子変換器の開発

(東大農東) 関 葉子 ISSP-SRLユーザー・ミーティング

(工大北東) 一木信封 プロトコル・マニュアル

(工大農学北東) 美原理恵

日 時 昭和62年6月4日(木)

(東大北東) 斎藤順一、忠玉眞由、河井林小

場 所 東京大学物性研究所 旧棟1階講義室

(養成東京) 稲垣卓

10:30～12:15 座長 会田千修(大阪府大工)

- (1) 開会挨拶 須二賀 典一(公田市) 塙 賢二郎(大阪府大工)  
(2) 物性研軌道放射物性研究施設の現状 石井武比古(東大物性研)  
(3) 測定系の現状(I) 藤沢正美(東大物性研)  
(4) 測定系の現状(II) 谷口雅樹(東大物性研)  
(5) 伝導性酸化物モリブデンプロシズの光電子分光 寺嶋和夫、山本良一、堂山昌男(東大工)  
(6) 磁性酸化物、硫化物の光電子分光 藤森淳(無機材研)  
(7) 酸化物超伝導体の電子状態 内田慎一、高木英典、田島節子、田中昭二(東大工)  
(8)  $RCu_6$  の光電子分光 曽田一雄、森多美子、内藤研象、石井武比古(東大物性研)

小松原武美、大貫惇睦(筑波大物質工)

12:15～13:30 昼 食

13:30～15:00 座長 羽生隆昭(都立大理)

- (9) TiS層間化合物の光電子分光 井上正(広島大理)  
(10) 光電子分光法による半導体一金属界面合金化初期過程

岩見基弘、日下政彦、平井正明、小山正(岡山大理)

窪田政一、柄原浩、村田好正(東大物性研)

- (11) ZnSおよびZrTiSの反射スペクトル 栗田進、田中正俊(横浜国大工)  
藤沢正美(東大物性研)

(12) 層状金属AgF結晶の光学的性質 王小蕾、山本逸郎、難波孝夫、池沢幹彦(東北大理)

(13) 真空紫外線(>50 nm)によるDNA損傷の研究 榎枝光太郎(立教大理)

(14) シンクロトロン放射光による真空紫外域光音響分光 稲垣卓(大阪教育大)

- さじはこ博士後輩と勉強的会話の場で、古澤圭也(東海大医)、伊藤正隆(東大教養)が講演を行った。各発表者は出でて述べた。また、さじはこの会議では、休憩時間に、15:00～15:15、15:15～17:30の二回の休憩が設けられ、15:15～17:30の座長は近藤泰洋(東北大工)である。
- (15) GdB<sub>1-x</sub>Bi<sub>x</sub> の磁気変調分光 小林正明、由利正忠、岩瀬勝彦、三須 明(東理大理)
- (16) GdB<sub>1-x</sub>Bi<sub>x</sub> のピエゾ反射スペクトル 岩瀬勝彦、由利正忠、小林正明、三須 明(東理大理)
- (17) アルカリ銀ハライドおよびアルカリ銅ハライド結晶の光学的性質 枝松圭一(東北大工)
- 淡野照義(東北学院大工)
- 山本逸郎、難波孝夫、池沢幹彦(東北大理)
- (18) アルカリハライド超薄多層膜の励起子吸収 江尻有郷(東大教養)
- (19) アルカリハライド共鳴光電子スペクトルの角度依存性 会田 修、市川公一、塘 賢二郎(大阪府大工)

以上のように、2日間にわたる短期研究会、ISSP-SRLユーザーズ・ミーティングを含めると3日間の研究会を終えることができた。

前回の研究会以来2年以上を経過しているが、その空白を埋めるかのように多くの充実した研究成果や将来の展望が発表され、またマシンサイドからは低エミッタанс・リングや挿入型光源についての有望性と問題点などが議論され将来を展望することができる。高輝度光源の開発推進が検討されている現在、本研究会をもったことは誠に時宜を得たものであった。

## 物性研短期研究会報告

### 「三元および多元化合物の基礎物性」報告

司話人代表 農工大・工 佐藤 勝 昭

標記の研究会が、1987年6月18～20日の3日間、下記のプログラムに従って物性研で64名が参加して開催された。この会議は「三元および多元化合物に関する研究会」が企画したもので、最近応用面から注目されている三元多元化合物の基礎物性の解明がどの程度明らかになっているのかについての現状を実験・理論両面から明らかにし、今後の発展のための展望を得ることを目的として開催された。

△ □ △ □ △ □ △ □

この研究会ではダイヤモンド構造から由来するカルコパイライト型の $ABC_2$  化合物を中心として、その周辺に位置するいくつかの $AB_2C_4$  型化合物、 $Zn_{1-x}Mn_xX$ ,  $Cd_{1-x}Mn_xX$  のような半磁性半導体などの三多元のカルコゲナイトに重点を置いた。

初日の「結晶成長と物性」のセッションでは9件の講演があり、三元化合物の結晶成長における基礎的問題を(1) 状態図、(2) 具体的成长方法、(3) 物性との関係の3点について論じるとともに欠陥に関連する光物性についての議論を行った。超イオン伝導体的な三元硫化物の変位型構造相転移についての報告もあった。

2日目の「光スペクトルと電子構造のセッションでは6件の報告があり、XPSスペクトルとVUV反射スペクトルなどによる電子構造の実験的研究と理論的とバンド計算との対比について論じた。また、現在話題になっている酸化物系高温超伝導体のバンド計算結果と、カルコパイライト系の電子構造との比較を論じた。

「カルコパイライト型化合物の光物性」のセッションには5件の発表があり遷移元素による光物性、吸収端の位相差反射分光、準禁制の励起子吸収、円偏光励起発光、偏極電子線源としての応用などについて討議した。

「スピネル型化合物の光物性」のセッションでは3件の発表があった。スピネル型の磁性半導体のスピノのゆらぎと格子振動との間に関連、In-チオスピネルおよびCuIn<sub>5</sub>S<sub>8</sub>について光学的研究の報告があった。

最終日の「半磁性半導体とスピングラス」のセッションには、6件の発表があった。半磁性半導体においてスピノフリップラマン散乱および励起子のピコ秒時間分解分光による磁気ポーラロンの生成消滅のダイナミクス、UPS、XPSによるMnの3d準位の位置、ファラデー回転のスペクトルなどの実験的研究が報告された。また、スピングラス相の特徴を検出するための分光測定法などを議論した。

このようにこの研究会で討議された分野は広い範囲をカバーしていたが、フランクで熱心な議論が

行われ三元および多元化合物の現状の状況がかなりはっきりし、有意義な研究会であった。以下は発表者から提出いただいた講演内容の要約である。

最後になりましたが、この研究会の企画にご協力いただいた三元および多元化合物研究会の幹事の方々ならびに座長の労をとっていただいた方々に感謝します。

世話人 青木 昌治, 新井 敏弘, 飯田 誠之

入江 泰三, 佐藤 勝昭, 高橋 一清

竹野下 寛, 増本 剛, 山本 信行

### プログラム

第1日（18日）

13:00 ~ 17:00 「結晶成長と物性」 座長 佐藤勝昭（農工大工）

研究会開催にあたって（10分） 新井敏弘（筑波大物工）

三元多元化合物の結晶成長における基礎的問題（30分） 入江泰三（東理大工）

〔コメント〕 Li を含む三元化合物の結晶成長と物性（10分） 中村久雄, 栗山一男（法大工）

〔コメント〕 溶媒法によるカルコパイライト単結晶の成長（10分） 青木昌治, 佐野雅敏（東理大工）

〔コメント〕 層状化合物 CuFeTe<sub>2</sub> の結晶成長（10分） 栗焼久夫, 平川一美（九大工）

〔コメント〕 CuGaS<sub>2</sub> のMOCVD成長（10分） 原 和彦, 栄元昌宏（東工大像情）

〔コメント〕 蒸着法によるCuInSe<sub>2</sub> のストイキオメトリの制御（10分） 小長井誠, 高橋一清（東工大工）

〔討論〕 基礎物性解明のためにどんな結晶が望まれるか（20分）

休憩（15:00 ~ 15:15）

三元多元結晶の欠陥と光物性（30分） 飯田誠之, 大家明宏（長岡技科大）

〔コメント〕 三元結晶の欠陥のTSCによる評価（10分） 滝沢武男, 蒲原康二（日大文理）

超イオン伝導体 Cu<sub>4</sub>SnS<sub>4</sub> の物性（20分） 安西修一郎, 井上郁也, 深沢唯浩, 北村和彦（慶大理工）

〔コメント〕 Defect Chalcopyrite CdGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> の導電特性について（10分） 宮内 武, 堀中博道, 上村 伸明（大阪府大工）

〔討論〕 三元結晶の欠陥制御の可能性について（20分）

第2日（19日）

9:00 ~ 12:00 「光スペクトルと電子構造」 座長 入江泰三（東理大）

Cu In<sub>x</sub>X<sub>2</sub> ( X = S, Se, Te ) の反射スペクトルと電子構造 (30分)  $\text{CuIn}_x\text{X}_2$  の反射スペクトルと電子構造

(福井大北東) 夫澤一岡 (福井農大) 朝比奈義輔 財部健一 (岡山理大), 入江泰三 (東理大工)

[コメント]  $\text{CuFeS}_2$ ,  $\text{CuAlS}_2$  の電子状態の研究 (30分)  $\text{CuFeS}_2$ ,  $\text{CuAlS}_2$  の電子状態の研究

(名古屋) 藤沢正美, 菅 滋正, 谷口雅樹 (物性研), 佐藤勝昭 (農工大工)

[コメント]  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ ,  $\text{Cd}_x\text{InGaS}_4$  のVUVスペクトル (10分)  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ ,  $\text{Cd}_x\text{InGaS}_4$  のVUVスペクトル

滝沢武男, 蒲原康二 (日大文理), 入江泰三 (東理大工)

休憩 (休憩)

三元化合物のバンド構造 (30分) 神原武志 (電通大)

[コメント]  $\text{CuFeS}_2$  の磁性と電子構造 (10分)  $\text{CuFeS}_2$  の磁性と電子構造

寺西暎夫 (幾徳大) 超伝導酸化物のバンド構造 - カルコパライトとの比較 - (30分) 小口多美夫 (金材研)

[討論] 三元化合物のバンド構造はどこまで分かったか (20分)

休憩 (休憩)

13:30 ~ 15:45 「カルコパライト型化合物の光物性」 座長 飯田誠之 (長岡技科大)

I - III - N<sub>2</sub> 族化合物の光物性 - 遷移元素の効果を中心に - (30分) 佐藤勝昭 (農工大工)

[コメント]  $\text{CuGaS}_2$  の基礎吸収端の光物性 (15分) 山本信行 (大阪府大工)

[コメント]  $\text{CuGaS}_2$  の励起子スペクトル (15分) 小林敏志, 坪井 望 (新潟大工)

カルコパライトの円偏光励起フォトルミネセンス (30分) 堀中博道, 西條隆司, 中西秀典, 宮内 武 (大阪府大工)

[コメント] カルコパライトからの偏極電子線放出 (10分)

野田泰穂, 増本 剛 (東北大工)

[討論] カルコパライト化合物の光物性の問題点

休憩 (休憩)

16:00 ~ 17:30 「スピネル型化合物の光物性」 座長 増本 剛 (東北大工)

スピネル型三元化合物の光物性 (30分) 若村国夫 (岡山理大), 新井敏弘 (筑波大物工)

[コメント] Inチオネスピネルの結晶構造と光物性 (10分) 若木守明 (東海大工)

[コメント] CuIn<sub>5</sub>S<sub>8</sub> の光物性 (10分) 遠藤三郎 (東理大工)

[討論] スピネル型化合物の光物性の問題点

休憩 (休憩)

第3日 (20日)

9:00 ~ 12:30 「半磁性半導体とスピングラスの光物性」 座長 新井敏弘 (筑波大物工)

半磁性半導体の光学的性質とその応用 (30分)

岡 泰夫 (東北大工研)

Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>X (X=S, Se, Te) 中の Mn 3d 部分状態密度と p-d 混成 (20 分)

谷口雅樹 (物性研), 藤森 淳 (無機材研), 岡 泰夫 (東北大科研)

[コメント] CdMnTe 系の磁気光学効果 (10 分) 小柳 剛, 松原覚衛 (山口大工)

[コメント] インターカレーショーン化合物 M<sub>x</sub>TiS<sub>2</sub> の光電子分光 (20 分)

藤森 淳 (無機材研), 菅 滋正 (物性研), 井上 正 (広大理)

---

休憩

---

ランダムスピン系三元混晶 (Sr, Eu) S, Eu(S, Se) の光学的性質 (30 分)

国府田隆夫, 岩佐義宏 (東大工)

[コメント] Zn<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>S の電子構造と光物性 (10 分) 田口常正, 平木昭夫 (阪大工)

[討論] ランダム系の物性は光学的研究からどの程度理解できるか

研究会開催にあたって

筑波大・物工 新井 敏 弘

1980 年東京で “三元・多元化合物” の国際会議が開催された後、この方面的研究者が一堂に会することは久しくなかったのですが、1986 年春季応物学会で “三元・多元化合物” についてのシンポジウムが開かれました。その折の参加者の多さから、この方面的研究に寄せる皆様の関心が以前にも増していることを感じました。その後同好の士の集りも作られ、その行事の一環として物性研にお願いしてこの短期研究会を企画致しました。これを機会にこの方面的研究がより一層発展することを祈っております。

三元・多元化合物と言えば当然バラエティーにとみ、その物性も多種多様で、二元化合物では得られない性質も見られるようになります。ただその多様性の為、議論が噛み合わないこともあります。そこで当研究会では、光電デバイスを中心とした応用から西側諸国でさかんな N 族半導体の延長線にある I - III - IV<sub>2</sub>, II - IV - V<sub>2</sub> 型のカルコバライトを主として、東側諸国でさかんなスピネル型化合物を従とし、更に最近のトピックスである磁性原子を含む系等を加えてプログラムを立てました。又物性研究の基礎である結晶成長・欠陥の研究、構造の特徴から来るバンド構造やそれと関係の深い光物性、特に二次化合物では見られない物性を話題の中心に置きました。

研究会としての特徴を持たせる為、1 人の方に各分野の紹介を頂いた後に特徴ある研究のコメントを頂き、その後討論を比較的長くとりました。皆様の御協力によりこの形式が成功することを期待しております。

## 三元多元化合物の結晶成長における基礎的問題

### — CuInSe<sub>2</sub>を中心として —

東理大・工 入 江 泰 三

三元多元化合物の結晶成長における基礎的問題としては、(1) 状態図、(2) 具体的成长方法、(3) 物性との関係、の三点について考える必要がある。状態図では、化合物が congruently melting compound か否かということが結晶成長における一つの問題点となる。具体的成长方法としては、Cu InSe<sub>2</sub>に限って考えると、(1) normal freezing 法、(2) zone melting 法、(3) Bridgman 法、(4) Czochralski 法、(5) chemical vapor transport 法等が試みられており、現在までに最も大きく完全度の高い結晶は(1)と(3)の方法によって得られている。われわれは(1)の方法で  $15 \times 12 \times 5$  mm<sup>3</sup> の単結晶を育成し、電子移動度として  $900 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  を得た。しかし実際には microcracking, voids, inhomogeneity 等を完全に無くすることはむつかしい。物性に関しては研究者によって不純物準位やエネルギーギャップに違いがあることが、結晶成長法の違いとして考えられている。しかしあれわれは、同じ成長法による CuInSe<sub>2</sub> の p 形と n 形で、光学吸収端の値に差があることをみいだした。

### — Li を含む三元化合物の結晶成長と物性

#### Filled tetrahedral semiconductor LiZnAs

##### の結晶成長と電気的性質<sup>1)</sup> —

法大・工 中村 文雄、栗山 一男

Zinc-blende 構造の格子間に軽元素を規則的に挿入したとき、間接遷移から直接遷移へバンド構造が変化することを Zunger ら<sup>2)</sup> は理論的に予想している。あらかじめ軽元素が挿入されているのと等価な LiZnAs [逆萤石構造: GaAs の As 原子はそのままにし、Ga 原子位置に Zn を、格子間 ( $1/2, 1/2, 1/2$ ) の位置に Li が挿入されている] に着目し、その結晶作成法と電気的測定から半導体であることを明らかにした。

580°C で直接固化法により作成した LiZnAs 結晶 (格子定数 5.940 Å) は、灰色の金属光沢を呈し、非常に酸化されやすい。いくつかの結晶で Li と Zn 間の不規則配置を示唆する X 線回折強度の変化が観測され、350 K 付近に比抵抗のディップが出現した。繰り返し測定により、これは消失し規則配置へ移行した。育成結晶の比抵抗 (室温) は  $10^{-1} \sim 10 \Omega \text{ cm}$  の範囲にあり、全て p 型を示した。移動度は 77 ~ 300 K の範囲で  $80 \sim 30 \text{ cm}^2/\text{V sec}$  に変化するがホール濃度は  $\sim 10^{17}/\text{cm}^3$  によらず一定である。450 K 以上の比抵抗の真性領域から算出したバンドギャップは約 1.1 eV であった。

1) K. Kuriyama and F. Nakamura, Phys. Rev. B (in press).

2) S. Wei and A. Zunger, Phys. Rev. Lett., 56, 528 (1986).

## 溶媒法によるカルコバイライト単結晶の成長

東理大・基礎工，<sup>中</sup>東理大・工\* 青木昌治，佐野 雅敏\*

Teを溶媒とした溶液を徐冷することにより，CuGaS<sub>2</sub>やAgGaS<sub>2</sub>などのカルコバイライト単結晶を作製し，その特性を調べている。CuGaS<sub>2</sub>単結晶の成長では，化学量論比組成の溶質からは余り大きな単結晶が得られないが，CuやSを過剰に溶質として加えることにより，成長する単結晶は大きくなる。成長開始温度(1000°C)での溶解度よりもCuを5 mol%過剰にチャージした溶液(Cu:Ga:S:Te=6:1:2:91)からは平板状で{112}面を広い面とする10×5×0.1 mm<sup>3</sup>程度の大きな暗黄色の単結晶が得られる。なお，降温速度は7°C/min，分離温度は700°Cとしている。さらに，CuばかりではなくSも過剰にチャージした溶液(例えば，Cu:Ga:S:Te=6:1:12:81)からもやはり同程度の大きさの平板状の単結晶が得られる。しかし，この場合の方が得られる結晶の純度が良いことがフォトルミネセンスの測定より確認されている。いずれの単結晶も電気的には高抵抗( $10^6 \Omega \text{ cm}$ 以上)であるが，S蒸気圧中での熱処理により $10^3 \Omega \text{ cm}$ 程度まで抵抗が下がる。AgGaS<sub>2</sub>についても，Te溶媒にAgを過剰に加えることにより，AgGaS<sub>2</sub>としては比較的大きな単結晶が，CuGaS<sub>2</sub>と同様な方法で得られる。

## 層状化合物 CuFeTe<sub>2</sub> の結晶成長

九大・工 栗焼 久夫，平川 一美

銅，鉄，テルル原料を1:1:2の割合で仕込み，ブリッジマン法により単結晶化したところ，金属光沢があり，成長方向(c軸)に対してほぼ垂直方向に極めて強い劈開性のある大きな層状物質(10 mm径)が得られた。原子吸収分光分析により組成を調べたところ，CuとFeが定比より約20%過剰なものができている事がわかった。また，電子回折および粉末X線回折から，結晶構造はTeが面心正方格子( $a=b=5.61 \text{ \AA}$ ,  $c=5.95 \text{ \AA}$ )をつくり，その下半分の位置にCuとFeが2個ずつTeのつくる4面体の中心にそれぞれ位置している事がわかった。なお単位胞の上半分はTeのみで結合しあっており，この部分のc軸方向はファンデルワールスカで弱く結合しているため(001)面に沿って劈開性の強い層状構造が実現していると推測される。層に平行，垂直方向の $\rho_{\parallel}$ ,  $\rho_{\perp}$ 及びホール係数の温度依存性により，エネルギーギャップ0.11eVのp型半導体である事がわかった。また，結晶構造の異方性を反映して，抵抗率の異方性は $\rho_{\perp}/\rho_{\parallel}=10^3 \sim 10^5$ にも及んでいる。また，ホール移動度 $\mu_H$ は室温では $2 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 程度であり，200 K以上の高温側において $\mu_H \sim T^{-2.0}$ の強い温度依存性を示した。

### CuGaS<sub>2</sub>のMOCVD成長

田嶋 大輔・東工大・工 原 和彦, 格元 宏

MOCVDはⅢ-V族やⅡ-VI族化合物の薄膜成長において優れた実績があり、カルコパライト化合物の結晶成長への応用に期待がもたれる。我々は、ワイドギャップ化合物であるCuGaS<sub>2</sub>を選び、構成元素の原としてそれぞれシンクロペンタジエニルトリエチルホスフィン銅、トリエチルガリウム、および硫化水素またはジエチル硫黄を用いてMOCVD成長を試みた。成長装置は常圧横型で、この成長のために特別に設計したものである。

600°Cを中心とした基板温度で成長を行った。X線回折の結果より、GaP(100)面上では<001>方向にエピタキシャル膜が成長するが、GaAs(100)面上では<001>および<100>に配向した多結晶膜が成長することがわかった。このように基板によって成長形態が異なるのは、基板とエピタキシャル層の格子不整合の違い、およびカルコパライト格子の異方性が関係しているためと考えられる。GaP(100) A面およびB面上では、閃亜鉛鉱構造の<111>に相当する<112>を成長方向としたエピタキシャル膜が成長する。

得られた4.2Kにおいて緑色のフォトルミネッセンスを示し、バンド端での発光が支配的である。 $\sim 2.48\text{ eV}$ ,  $\sim 2.41\text{ eV}$ に観測される発光は、それぞれ束縛励起子およびドナー・アクセプター対によると考えられる。室温においてもバンド端発光が観測される。

蒸着法によるCuInSe<sub>2</sub>のストイキオメトリの制御  
東工大・工 小長井 誠, 高橋 清  
最近、新型薄膜太陽電池材料としてCuInSe<sub>2</sub>が注目を集めている。CuInSe<sub>2</sub>は、蒸着法、マグネットロンスパッタ法、スプレー法、電界メッキ法などいろいろな手法で膜形成が試みられている。いずれも一長一短がある。効率面では、真空蒸着法により10-12%の効率が得られている。CuInSe<sub>2</sub>を形成する際の最も重要な問題は、CuとInの比の制御である。Cu/In比により、導電率が大幅に変化するだけでなく、伝導形も変化する。Cu/In比により、導電率は6桁も変化する。p形の原因是、Cuの空孔であると考えられている。Cu, In, Seの組成制御の難しさは、僅かな組成変化で大きな導電率変化をもたらす点にある。しかし、逆に組成制御を精密に行なえば、極めて再現性は高い。オープンポートを用いた蒸着法では、ビーム強度の精密な検出が望まれる(EIESセンサ)。一方、MBE法のようにクヌードセンセルを用いた場合は、高級なセンサは必要ないが、Cuのセル温度の高い点が難点となる。太陽電池の変換効率は組成比により大きく依存する。この他、酸素中で熱処理すると膜質が飛躍的に向上することが知られている。これは、酸素処理によりドナ濃度が減少することによると言われているが、定説を得るには至っていない。今後、欠陥に関する精力的な基礎研究が望まれる。

## 三元多元結晶の欠陥と光物性

長岡技科大 飯田 誠之, 大家 明広

I - III - VI<sub>2</sub>, II - VI - V<sub>2</sub> のカルコパライト型化合物を中心とした欠陥と光物性の実験データに関する調査である。これらの調査から気づいた主な点として,

- 1) I - III - VI<sub>2</sub> 族で化合物の構成元素である I 族や VI 族の空孔が生じやすいようであるが、そのレベルとして報告されている値は浅いものがほとんどである。これは対応すると考えられる II - VI 族化合物で構成元素の空孔が通常深いレベルを作ると考えられていることと合わせて理解できるのかどうか。
- 2) さらに不純物を添加した例ではむしろ深いレベルの値が報告されているようであるが、これは 1) と対応あるいは関連があるのか。
- 3) このような多元系で、新しい光物性的特性の生ずる可能性も含め、欠陥を含む化学論的考察の必要性があるのではないか。

## 三元結晶の欠陥の TSC による評価

日大・文理 滝沢 武男, 蒲原 康二

TSC ( 热刺激電流 ) は、古くから知られている TSP ( 热刺激過程 ) の一つであり、1960 年代以降電荷捕獲中心 ( ト ラッ プ ) の研究のため盛んにその測定が行われるようになった<sup>1)</sup>。理論によると TSC のスペクトルから、ト ラッ プ の エネルギー 準位、捕獲断面積、逃散周波数が求められるが、一般的には解析的な計算は不可能であり、ト ラッ プ の 各種 パラメーター を 分離して決めるのが困難である。しかし、ト ラッ プ の 準位 が それぞれ 独立 で あり、逃散周波数が 低い 場合 等 の 特別な 場合 には shape fitting<sup>2)</sup> により パラメーター が 決定 できる。CdIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> の TSC スペクトルを例に、測定と 解析結果について 報告 する。

TSC の 测定 には、次の 可変 実験 条件 がある。(1) 照射光の 強度、(2) 照射時間、(3) 加熱速度、(4) 光照射後の 待ち時間、(5) 印加電圧、(6) 照射光の 波長、(7) 光照射時の 試料 温度。これらの 条件 を 変えて 测定 した TSC の 結果 から、我々 は ト ラッ プ の 準位 が 独立 に 3 個 ある と 考え、また 発光の 寿命 および 光電流 の 時間 依存 性 より ト ラッ プ の 逃散周波数 が 低 い と 判断 し 解析 を 行った。得られた ト ラッ プ 準位 は、0.04, 0.1, 0.3 eV で あり、電子捕獲断面積 は  $10^{-23} \text{ cm}^2$  以下 と 小さく、斥力型 ト ラッ プ である。

- 1) R. Chen and Y. Kirsh, Analysis of Thermally Stimulated Processes ( Pergamon Press, 1981 ).

## 超イオン伝導体 $\text{Cu}_4\text{SnS}_4$ の物性

慶大・理工 安西修一郎, 井上 郁也

深沢 唯浩, 北村 和彦

$\text{Cu}_4\text{SnS}_4$  は、転移温度  $T_t \sim 230\text{ K}$  以上でエネルギーギャップ  $E_a = 0.03\text{ eV}$  を、 $T_t$  以下で  $0.11\text{ eV}$  を持つ p 型半導体である。<sup>(1)</sup>  $T_t$  以上の  $\text{Cu}$  の熱擾乱因子は超イオン伝導体のそれに近い。 $T_t$  では、ホール係数と電気抵抗率に飛びがあり、低温 X 線回折によって測定したセル体積の飛びは、一次転移に対するクラウジウス・クラベイロンの式を満足している。しかし、 $T_t$  での電気抵抗率の飛びは第二種超イオン伝導体におけるように大きくはない。磁化率  $\chi$  の値は  $\text{Cu}^+$  イオンに対するもので説明がつく（図 1）。低温 X 線回折により測定した軸比には  $T_t$  で飛びが観測され、何らかの変位型構造変化が予想される（図 2）。 $\text{Cu}_4\text{SnS}_4$  自体は第三種超イオン伝導体であるが、cage 構造にソフト

三泰 工人 大興東

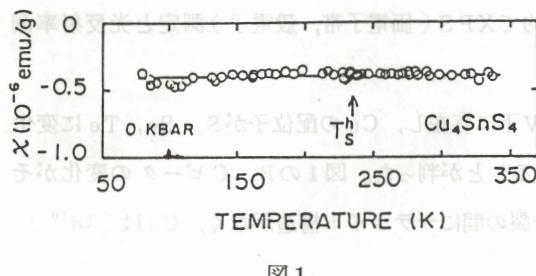


図 1

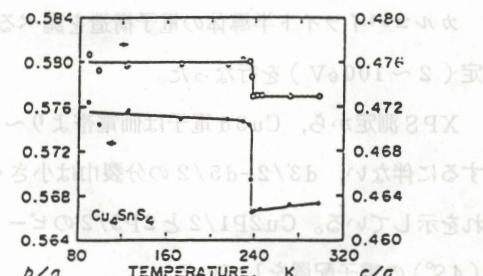


図 2

・モードによる構造相転移がおこり、変位パラメーターの大きさの変化により格子間へのイオン励起のための活性化エネルギーが変化するという機構を提唱した。<sup>(4), (5)</sup> 静水圧力  $P$  の増加は  $T_t$  を大幅に下げる ( $dT_t/dP = -9.5\text{ K/kbar}$ ; 図 3)<sup>(4), (5)</sup> しかし、 $\text{Cu}_4\text{Sn}_{1-x}\text{Ge}_x\text{S}_4$  ( $dV/dx < 0$ ) と  $\text{Cu}_4\text{Sn}_{(S_{1-y}\text{Se}_y)_4}$  ( $dV/dy < 0$ ) では各々  $T_t/dx > 0$  と  $dT/dy < 0$  であり（図 4<sup>(2), (6)</sup>），圧力の場合とは体積効果に不一致がある。この点につき、よりミクロな次元の研究を計画中である。

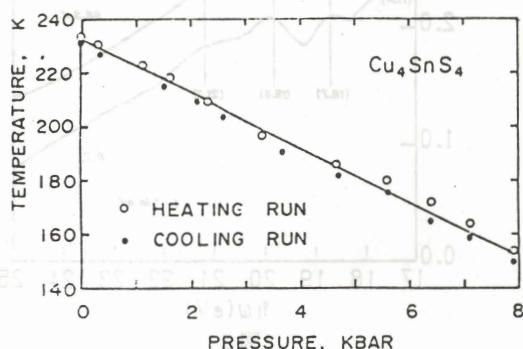


図 3

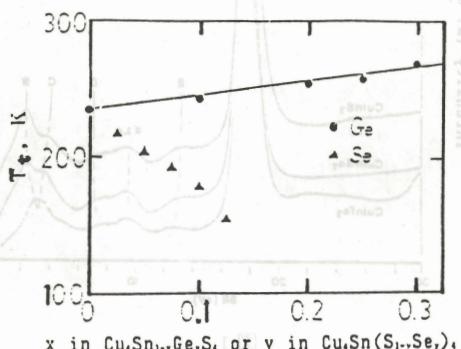


図 4

- (1) 参考文献は(2), (4), (5)を参照。
- (2) S. Anzai and T. Fukazawa : J. Phy. Soc. Jpn. 55 (1986) 701.
- (3) J. B. Boyce and B. A. Huberman : Phy. Rep. 51 (1979) 189.
- (4) 安西修一郎・小沢国夫 : JAERI-M(公刊) #84-059 (1984).
- (5) K. Ozawa and S. Anzai : Solid State Physics under Pressure, ed. S. Minomura (KTK., Tokyo and D. Reidel, Dordrecht, 1985) p. 269.
- (6) 井上郁也他 : 日本物理学会秋の分科会 (1987) 講演予定。

### CuInX<sub>2</sub> (X=S, Se, Te) の反射スペクトルと電子構造

岡山理大・理 財部 健一  
東理大・工 入江 泰三

カルコバライト半導体の電子構造を調べる目的でXPS(価電子帯, 裂電子)測定と光反射率測定(2~100 eV)を行なった。

XPS測定から, Cu3d電子は価電帯より~3 eV下に存在し, Cuの配位子がS, Se, Teに変化するに伴ない, d<sub>3/2</sub>-d<sub>5/2</sub>の分裂巾は小さくなることが判った。図1のB, Cピークの変化がそれを示している。Cu2P1/2と2P3/2のピーク分裂の間にサテライト構造がなく, Cuは(3d<sup>10</sup>) (4S°)の電子配置をしている。

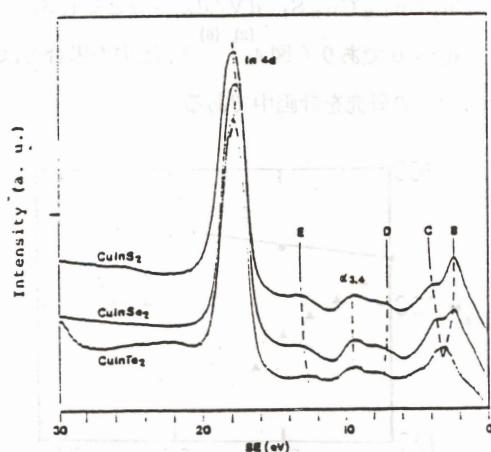


図1

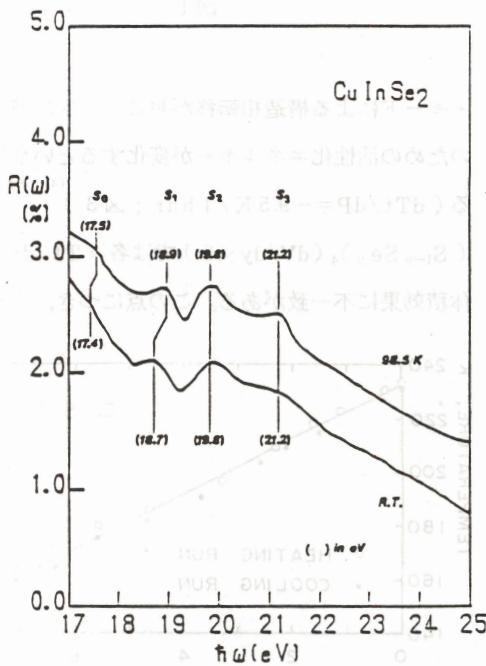


図2

一方、 $\text{CuInSe}_2$  の光学反射率からは 18~22 eV に特徴的な温度変化を示す 3 本のピークが観測された。図 2 の  $S_1 \sim S_3$  がそれである。室温と 98.5 K のスペクトルを比較すると  $S_1$  はシャープになり、0.2 eV 高エネルギー側にずれる。 $S_2$ ,  $S_3$  はシャープになるが、 $S_3$  の変化が顕著である。XPS 測定の In 4d 裂電子の位置が ~18 eV にあたると考えて  $S_1$  は  $\text{In} 4d \rightarrow \text{Se} 5p$ ,  $S_2$  は  $\text{In} 4d - \text{In} 5p$ ,  $S_3$  は  $\text{In} 4d - \text{Cu} 4p$  への遷移による構造と考えられる。概念的な状態密度を図 3 に示しておく。同様なことが  $\text{CuInS}_2$ ,  $\text{CuInTe}_2$  でも考えられる。

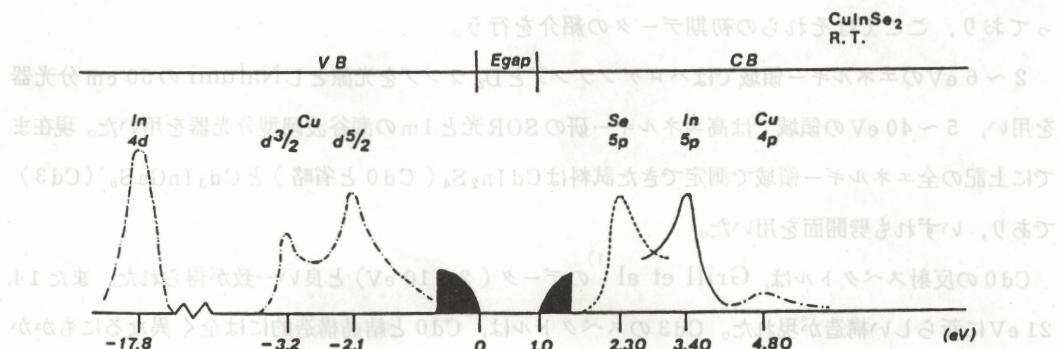


図 3  $\text{CuInSe}_2$  の XPS による状態密度の概念図

### 共鳴光電子分光法による $\text{CuFeS}_2$ , $\text{CuAlS}_2$ の電子状態の研究

東大・物性研 三藤沢 正美, 谷口 雅樹

筑波大 大庭重

農工大・工 佐藤 勝昭

$\text{CuFeS}_2$  は、ネール温度 550°C の反強磁性体であり、光学吸収端は、約 0.5 eV と他のカルコパイサイト型物質に比べて小さい。これらの性質は、Fe 3d 電子に依ると考えられる。

我々は、軌道放射光を用いて、 $\text{CuFeS}_2$  と磁性原子を含まない  $\text{CuAlS}_2$  の光電子分光測定を行ない、それらを比較することにより、 $\text{CuFeS}_2$  の価電子帯の構造について考察した。

典型的な光電子スペクトルの巾の差、及び束縛エネルギー = 1 eV の CIS (定始状態スペクトル) が、Fe 3p 内殻準位付近で、Fano 型のスペクトル形状を持つことから、フェルミレベル付近では、Fe 3d 成分を多く含むことがわかる。

$\text{Cu}$  3p 内殻正孔によるオージェ電子スペクトルの巾の比較、 $\text{Cu}$  3d バンドの  $(3d)^8$  サテライトの位置から評価される 2 個の 3d 正孔の実効的な相関エネルギーの比較から、 $\text{Cu}$  3d バンドは、 $\text{CuFeS}_2$  の方がより広がっていることが示された。

## CdIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub>, Cd<sub>x</sub>InGaS<sub>3+x</sub> (x = 1, 2, 3)

### のVUVスペクトル

日大・文理 滝沢 武男, 蒲原 康二

東理大・工 入江 泰三

CdS, In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub> の三つの二元化合物による擬三元系から、種々の四元化合物を作成することが可能である。我々は、現在、東理大入江研究室で作成されている四元化合物単結晶のうち、Cd<sub>x</sub>InGaS<sub>3+x</sub> (x=1, 2, 3)について2~35 eVのエネルギー領域で反射スペクトルの測定を行っており、ここではそれらの初期データの紹介を行う。

2~6 eVのエネルギー領域ではハロゲンランプとD<sub>2</sub>ランプを光源としNalumiの50 cm分光器を用い、5~40 eVの領域では高エネルギー研のSOR光と1mの瀬谷波岡型分光器を用いた。現在までに上記の全エネルギー領域で測定できた試料はCdIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> (Cd0と省略)とCd<sub>3</sub>InGaS<sub>6</sub> (Cd3)であり、いずれも劈開面を用いた。

Cd0の反射スペクトルは、Grill et al<sup>1)</sup>のデータ(2~10 eV)と良い一致が得られた。また14, 21 eVに新らしい構造が現れた。Cd3のスペクトルは、Cd0と結晶構造的には全く異なるにもかかわらずCd0のそれと類似の形状を示した。ただし、10と21 eVの構造は小さい。

これらのデータをバンド計算およびXPSデータと比較検討した。<sup>2)</sup>

1) Grill et al S. S. C 27 105 ('78)

2) Ihara et al S. S. C 28 563 ('78)

### 三元化合物のバンド構造

電通大 神 原 武 志

三元化合物の多くが半導体であるために、その電子構造の解明には、バンド構造の計算が有力な手段である。三元化合物のバンド計算の流れは、1970年代に遷移金属元素を含まないII-V-V<sub>2</sub>化合物について凝ポテンシャル法による計算、1980年前後に遷移金属元素を含むスピネル型化合物、I-III-V<sub>2</sub>化合物について密度汎関数法による計算が行なわれた光スペクトルの解析に活用された。1983年前後には、汎関数法の改良が行なわれスーパーコンピュータを駆使した計算が行なわれた。I-III-V<sub>2</sub>化合物について状態密度の計算やエネルギーを計算して実際の結晶構造を再現できるまでに精度も向上してきた。1986年頃より、これらの計算技術向上を背景として新しい物性を持つ物質の設計をめざした計算が現れている。

三元化合物の特性の研究は、ようやく軌道に乗ってきた感じであり、バンド構造の計算も既存の多くの化合物について行なわれることが、要求されている。特にバンド構造や状態密度の計算ばかりではなく、実験家の要求するきめの細かい物理量の計算を行なっていくことが、三元化合物のバンド計算

は体力が必要条件であり、バンド計算が活発に行なわれるためには若い人々がこの分野に興味を持つような面白い物性が、三元化合物にも見つかることを祈って筆を置きます。

### CuFeS<sub>2</sub>の磁性と電子構造

幾徳工大 寺 西 曜 夫

磁性イオンがダイヤモンド型結晶構造を作っているカルコパイライト CuFeS<sub>2</sub>は典型的な磁性半導体と考えられる。

非磁性カルコパイライト形化合物 CuAl<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>S<sub>2</sub>に Fe が薄く固溶しているときは帯磁率がキュリー・ワイス則に従うこと、d-d 遷移による光吸収を示すことからみて、磁性イオンの d 電子は局在している。

磁性イオン濃度が大きくなること、 $x = 0.1$  ( $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{S}_2$ ) 附近で帯磁率から求めた有効磁子数、電気伝導度の活性化エネルギーは急激に小さくなる。CuFeS<sub>2</sub> ( $x = 0.1$ ) は反強磁性体であるが帯磁率の温度変化は殆んどなく、ネール温度は 820 K と非常に高い。中性子線回折からの Fe の磁気モーメントは自由 Fe<sup>3+</sup> のイオンのものの 60% の大きさである。Fe が薄く固溶したものでみられる吸収が  $x$ と共に大きくなって CuFeS<sub>2</sub> の光学吸収端を形成しているとみられ、そこでは光電効果がある。但しキャリヤの移動度は  $30 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  以下である。

以上のことは、 $x = 0.1$  附近から Fe の満ちた、及び空いた 3d 状態ともに強い共有結合性によって S 或は P 状態との混成軌道を作っていることを示している。これは磁性半導体の大きな特徴と考える。

これに対し、同じダイヤモンド型結晶構造の中に Mn が固溶した半磁性半導体 Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te では 3d 電子は殆んど局在している、と考えてよく CuFeS<sub>2</sub> と際だった対照をみせている。

### 超伝導酸化物のバンド構造

#### カルコパイライトとの比較

金属材料技術研究所 小口 多美夫

超伝導酸化物  $\text{La}_{2-x}\text{M}_x\text{CuO}_4$  ( $\text{M} = \text{Ba}, \text{Sr}, \dots$ )、 $\text{YBa}_2\text{CuO}_{7-x}$  のバンド構造にはいくつかの特異性が見られる。 $\text{La}_2\text{CuO}_4$ においては層状構造に起因して  $\text{Cu}d_{x^2-y^2}$  と  $\text{O}_{px}, \text{py}$  軌道からなる状態を半分満たしてフェルミ準位がある。フェルミ準位近傍には van Hove 特異点が存在し rigid band 近似によると  $x = 0.15$  のところでフェルミ準位と一致する。フェルミ面は 2 次元的性格を強くもち、ネスティングを示すトポロジーをもっている。 $\text{YBa}_2\text{CuO}_7$ においては CuO の平面に加えて CuO の 1 次元的鎖があり、バンド構造においても 2 次元的バンドと 1 次元的バンドがフェルミ面を構成している。両酸化物ともに特徴的なことは、フェルミ準位での状態数が超伝導遷移金属化合物と較べてあまり大きくなく、酸素の占るウェイトが大きい点があげられる。

カルコパライトとの比較を通じて、Cu以外のカチオンのイオン半径の違いが構造の安定性に重要な因子である点とCuの価数の違いについて指摘した。

## I-III-VI<sub>2</sub> 化合物の光物性

### - 遷移元素の効果を中心に -

農工大・工 佐藤 勝昭

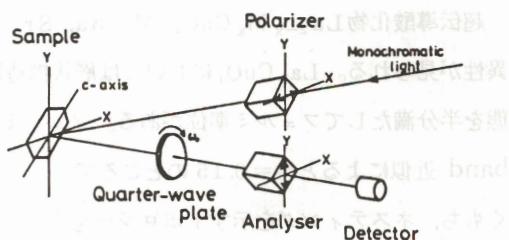
II-V族、III-V族化合物半導体中に添加された遷移元素はギャップ中に深い準位をもたらし、それらの化合物の電気的性質に大きな影響を与えるとともに、光学的には吸収端の低エネルギー側に多電子の電子状態間の光学遷移（配位子場遷移）あるいは遷移元素の光イオン化遷移（電荷移動遷移）に基づく光吸收、発光などをもたらすことが知られているが、I-III-VI<sub>2</sub>においても遷移元素はその光学的性質に大きな影響を与えることが分かっている。この発表ではFe元素に焦点を当てて、価電子帯からのFeの深い準位への電荷移動遷移がCuFeS<sub>2</sub>の吸収端につながる本質的なものであること、Fe<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>両方の配位子場遷移が見られていて、Fe濃度の低い系では3d電子は局在していること、Feと3dとSの2pの混成がかなり大きいことなどを報告する。また、最近のZungerらの理論計算によりギャップ中にできる深い準位はカチオンをFeで置換したことによって生じたダンギングボンドと3d電子との混成によって生じていることが明らかになったので、上記のFeによる電荷移動吸収とFeを含まない系で見られる欠陥に基づく吸収帶との類似性が説明できることを示す。さらに、他の遷移元素による光学的性質についてもサーベイを行い、系統的な研究の必要性について述べる。

## CuGaS<sub>2</sub> の吸収端の光物性

大阪府大・工 山本 信行、堀中 博道  
宮内 武

カルコパライト化合物の一軸異方性に注目してCuGaS<sub>2</sub>のエキシトン吸収を伴う吸収端において、反射位相差 $\Delta\phi$ の測定を行った。図1の光学系において結晶軸を45°傾けた試料にX偏光を入射させ反射光をY偏光検光子（クロスニコル）で測定 $\phi^2$ に比例する信号、 $I_{PSD}$ を得る。角速度 $\omega_0$ で回転する1/4波長板を挿入して $2\omega_0$ 成分を検出すると $\Delta\phi$ に比例する信号、 $I_{MPSD}$ を得る。

図2に通常の反射スペクトル（上図）と比較し



て、 $I_{PSD}$  と  $I_{MPSD}$  のスペクトルを示す。不明瞭な通常の反射スペクトルに比べ、 $I_{PSD}$  は鋭いピークを示しているが選択則は判定できない。これに対し、 $I_{MPSD}$  は  $I_{PSD}$  の約 10 倍の感度をもち選択則をも判別している。一般に用いられているエレクトロフレクタンスによるものと十分匹敵する鋭いスペクトルが容易に得られることがわかり、異方性結晶の吸収端の測定に有用であることが示された。

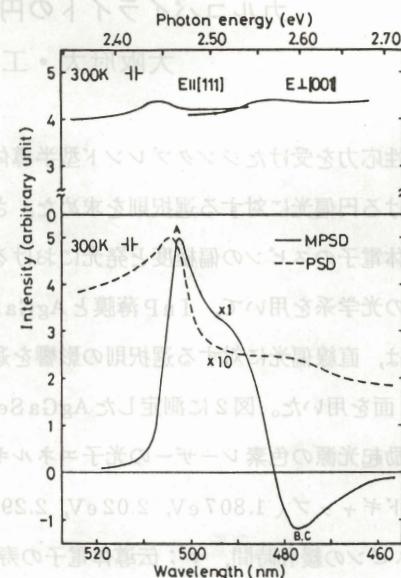


図 2 H. H. Boller and W. Kasper : Phys. Rev. B7 (1973) 740

### CuGaS<sub>2</sub> の励起子スペクトル

新潟大・工 小林 敏志, 坪井 望

$E \perp Z$  で透過率を測定したところ、77 K ではフォトンエネルギー 2.5 eV に励起子によると思われる鋭い吸収帯が観察された。温度上昇に伴い、吸収は小さくなるが、室温付近でもなお痕跡が認められたので、77 K から室温に至る各温度での励起子位置を正確に求めた。

最初に、ローレンツ振動子モデルで、反射率と吸収係数のスペクトルを、実際的なパラメータの値を使って計算して求めたところ、吸収係数スペクトルのピーク値が、最も良い精度で振動子位置に一致することがわかった。

従って、測定された透過率スペクトルから、吸収係数スペクトルを推定し、これと best fit するよう<sup>1)</sup>に励起子位置を求めた。Tell ら<sup>1)</sup>が述べているような 2 振動子モデル（一つの振動子は A 励起子に、もう一つは B 励起子と C 励起子を合わせたものに対応させる。筆者らは、後者を virtual 励起子と呼ぶ。）では、広い温度範囲にわたって良い一致をさせるようなパラメータを選ぶことができなかった。

そこで、A 励起子をローレンツ振動子としてとり扱い、virtual 励起子による吸収は Urbach 則に従うと仮定したところ、77 K から室温までに渡り、測定した吸収係数スペクトルと良い一致をさせるパラメータを選ぶことができた。このようにして、A 励起子エネルギーを求めた。

1) B. Tell and H. M. Kasper : Phys. Rev. B7 (1973) 740.

## カルコパイライトの円偏光励起フォトルミネセンス

大阪府大・工 堀中 博道, 西條 隆司, 中西 秀典

稻田 博史, 宮内 武

一軸性応力を受けたシンクプレンド型半導体のバンド構造との類似性からカルコパイライト型半導体における円偏光に対する選択則を求めた。さらに、歪みによる価電子帯の各状態に対し、予想される伝導体電子のスピントンの偏極度と発光における円偏光成分の偏りについて検討した。<sup>1)</sup>

図1の光学系を用いて、InP薄膜とAgGaSe<sub>2</sub>の円偏光励起発光の測定を行なった。AgGaSe<sub>2</sub>の測定では、直線偏光に対する選択則の影響を避けるために、励起光が自然歪みの方向に平行になる(001)面を用いた。図2に測定したAgGaSe<sub>2</sub>の発光の左円偏光成分と右円偏光成分のスペクトルを示す。励起光源の色素レーザーの光子エネルギー(1.98 eV)と反射位相差法で測定したAgGaSe<sub>2</sub>のバンドギャップ(1.807 eV, 2.02 eV, 2.29 eV)の関係からは、発光における偏りは、 $T/(T+\tau)$ ( $T$ :スピントンの緩和時間,  $\tau$ :伝導体電子の寿命)と予想され、 $T \gg \tau$ の場合には100%になる。図2では、この値より遙かに小さい偏りしか得られていない。

1) F. H. Pollak and M. Cardona : Phys. Rev., 172, 816 (1968).

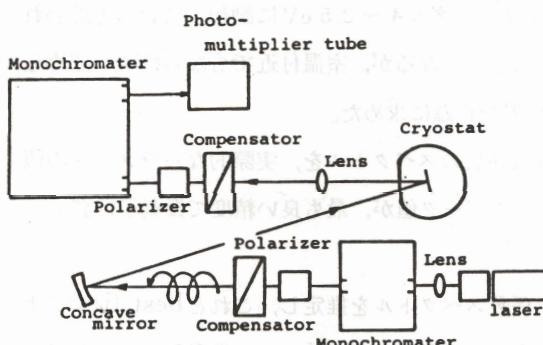


図1 光学系

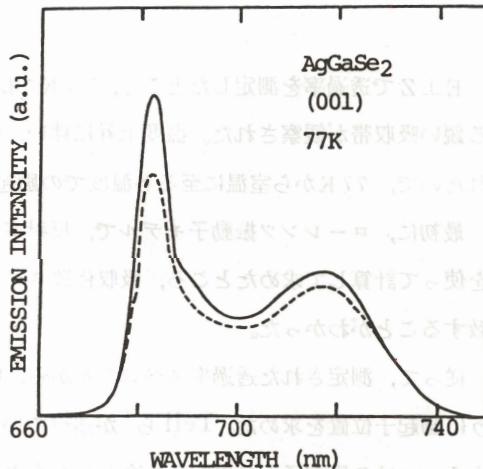


図2 AgGaSe<sub>2</sub>の発光の偏り

## カルコパイライトからの偏極電子線放出

東北大・工 野田 泰穂, 増本 剛

(+)または(-)のスピントンをもつ偏極電子は、(1)高エネルギー非弾性散乱による原子核内部の非保存パリティの解明、(2)低エネルギー電子線回折による固体表面の磁気構造の解明に有用である。高偏極電子源用化合物半導体の条件は、(1)直接遷移型バンド構造をもつこと、(2)p-state-likeな価電子帯が縮退していないこと、(3)励起光のエネルギーに対応するバンドギャップをもつこと、などで

ある。従来の閃亜鉛鉱型構造をもつ GaAs にくらべ、カルコパイライト型化合物半導体は c 軸方向に圧縮された構造をもつことから 50 % を越える偏極率が期待される。そこで本題について簡単にコメントする。

## スピネル型化合物の光物性

岡山理大, 筑波大<sup>\*</sup>, 若村 国夫, 新井 敏弘<sup>\*</sup>

スピネル型化合物のうち、磁性半導体と呼ばれる一連の Cr スピネルは磁気イオンのために幾つかの特徴的現象を示す。最近、バンド計算が、 $MCr_2Se_4$  ( $M=$  Cd, Hg) 等に対して行われ、これを手がかりに実験解析がすすみ、吸収端近くのエネルギーの構造がはっきりしつつある。又、キャリアー濃度変化による新しい現象も報告されている。ここでは加えて、最近我々の所で見つけた、誘電パラメーターへの磁気整列効果、プラズモンスペクトル及びフォノンへの spin fluctuation 効果を報告する。

赤外反射スペクトルより求めた、横、縦フォノンモード振動数、光学誘電率、有効電荷はいづれも  $T_c$  で急激な変化を示し ( $MnCr_2S_4$ ,  $M=Cd, Hg, Fe$ )、又、フォノンダンピング定数は図 1 に示すように  $T_c$  で極大をとるピークを示した。後者は温度変化の型及び短距離力への強いモードにそれが見られることから spin fluctuation によるものと考えられる。又、 $Fe_{1-x}Ga_xG_2S_4$  ( $x=0.3$ ) では free carrier による赤外反射スペクトルからプラズモン振動数、減衰定数が得られ  $T_c$  で極大を示した。今後の問題点としては、吸収端シフトの開始温度 spin fluctuation の物理量への影響、バンド構造モデルの一般化等がある。

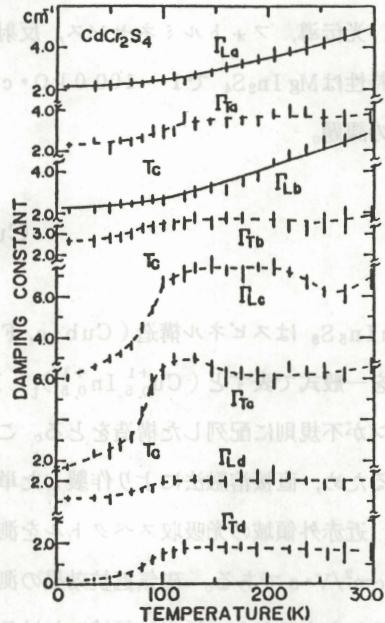


図 1 フォノンダンピング定数の温度変化

## In チオスピネルの構造パラメータ及び光物性

東海大・工, 筑波大・物工<sup>\*</sup>, 若木 守明, 新井 敏弘<sup>\*</sup>

一連の In チオスピネル  $MI_nS_4$  ( $M=Mg, Ca, Cd, Hg, Cr, Mn, Fe, Co, Ni$ ) について構造パラメータ、構造安定性、格子振動、基礎吸収端近傍の光学特性、電気的性質について議論する。M イオンにより正スピネル (Hg), 逆スピネル (Cr, Fe, Ni), 部分的逆スピネル (Mg, Ca, Cd, Mn, Co) 配置をとることを X 線構造解析 (R 因子法) より得た。各配置とパラメータはマーデルング

エネルギーを考慮した解析で比較的良い相関を示した。格子振動の基準モードは各配置を反映して、逆、部分的逆配置では正配置で期待される赤外活性モード(4本), Raman活性モード(5本)より多数のモード数を得た。正配置に対してはG-Fマトリックス法で4種類の力の定数を得たが、逆、部分的逆配置の格子振動解析は今後の課題である。基礎吸収端は遷移元素Fe, Co, Niを除いて格子定数の減少に対して増加(1.8~2.3 eV)を示す。Fe, Co, Niについては0.7~1.2 eVをとり、d-d遷移または電荷移動遷移によると思われる吸収帯を観測した。 $MgIn_2S_4$ のバンド計算は間接遷移( $E_g = 2.47$  eV)を与えており、実験結果2.28 eV(77 K)と良い一致を示した。 $MnIn_2S_4$ は光吸收、光伝導、フォトルミネセンス、反射測定より1~6 eVにかけて幾つかのレベルを観測した。電気特性は $MgIn_2S_4$ で1~100.0  $k\Omega \cdot cm$ (R.T. ~77 K)の半絶縁性を示した。不純物制御等は今後の課題。

### CuIn<sub>5</sub>の光物性

東理大・工 遠藤三郎

$CuIn_5S_8$ はスピネル構造(Cubic,  $Fd\bar{3}m$ ,  $a_0 = 10.685 \text{ \AA}$ )をもつ化合物半導体である。その構造を一般式で表すと $(Cu_{0.5}^{+1} In_{0.5}^{+3})_t [In_2^{+3}]_0 S_4$ のように表現でき、四面体点に原子価の異なるイオンが不規則に配列した構造をとる。この物質の電気的、光学的性質ならびにバンド構造を明らかにするため、直接溶融法により作製した単結晶について抵抗率及びHall係数の温度依存、磁気抵抗効果、近赤外領域の光吸収スペクトルを測定した。試料はすべてn形の伝導を示し、移動度は室温で $150 \text{ cm}^2/V \cdot s$ である。磁気抵抗効果の測定でその異方性が観測され、伝導体の極値は[100]方向にあることを示した。近赤外領域における光吸収スペクトルの測定結果、2つの構造を観測した。1つは光子エネルギー $\hbar\omega \approx 0.6$  eV以下の吸収で、波長 $\lambda$ に対し $\lambda^3$ に比例して単調に増加する。これは伝導帯の同じ谷の中にある自由キャリアの吸収と考えられる。他の構造は $\hbar\omega \approx 0.9$  eV附近での幅の広い吸収帶で、温度特性、キャリア濃度依存性から伝導帯の極小点[100]におけるサブバンド間のエネルギー帯内遷移による吸収と考えられる。

### 半磁性半導体の光学的性質とその応用

東北大・科研 岡田泰夫

II-VI族半導体の陽イオンの一部を遷移金属イオン( $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ など)で置換すると磁気的性質を備えた半導体物質ができる、これらは「半磁性半導体」と呼ばれている。母体となるII-VI族と置換する遷移金属とそのモル濃度を変えることにより、豊富な性質を持った物質群が得られる。

我々は $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ,  $Cd_{1-x}Mn_xSe$ ,  $Cd_{1-x}Mn_xS$ ,  $2n_{1-x}Mn_xTe$ ,  $Cd_{1-x}Fe_xSe$ などについて、7 Tまでの磁場の下で、スピントリップ・ラマン散乱、励起子発光のピコ秒時間分解分光

を行なった。これらの物質は混晶半導体としての諸性質を持つ他に、Mn の d-電子とバンド電子、不純物電子との交換相互作用の結果、巨大ゼーマン効果、励起子磁気ポーラロン効果や Mn スピンの濃度に依存する常磁性、反強磁性、スピングラスの磁気相などの多彩な物性を示す。ゼロ磁場におけるスピン・フリップ・散乱より束縛磁気ポーラロンの存在が明らかになり、また混晶系のバンド端振動により自由励起子、局在励起子が生じるが、これらが Mn との交換相互作用により磁気ポーラロンとなっていることが分る。ピコ秒発光分光よりこれらの磁気ポーラロンの生成消滅のダイナミクスがとらえられた。Mn 高濃度域ではスピン・グラスの影響が磁気ポーラロン効果となって現れる。これらの多様な基礎物性の応用的展望についても考察した。

- Y. Oka et al, Proc. Intern. Conf. on Physics of semiconductors (Stockholm 1986) p.1771.
- 中村、相馬、岡、藤崎、「東北大科研報告第 35 卷 p1 (1986)」

### Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>(X=S, Se, Te) 中の Mn 3d の部分状態密度と p-d 混成

東大・物性研	谷 口 雅 樹
無機材研	藤 森 淳
東北大・科研	岡 泰 夫

半磁性半導体 Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>X (X=S, Se, Te) 中の Mn<sup>2+</sup>イオン (3d<sup>5</sup>) は、high spin 状態にありスピン角運動量 5/2 を持っている。これらの Mn スピンは、互いに反強磁性的超交換相互作用 [J<sub>d-d</sub>] で結合している。また、sp バンドの電子（又は正孔）スピンとも交換相互作用 [J<sub>sp-d</sub><sup>e</sup> or J<sub>sp-d</sub><sup>h</sup>] で結合する。このために、例えば Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te では、x < 0.2 で常磁性、0.2 < x < 0.7 ではスピングラス相、更に x = 0.7 で反強磁性相が出現し、また一元で巨大ファラデー回転や束縛磁気ポーラロン等のユニークな現象が見出されている。

Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>X の示す様々な磁気的或いは磁気光学的性質を理解する上で、Mn 3d 軌道と anion p 軌道 (S 3p, Se 4p, Te 5p) の間の混成は本質的に重要である。そこで、シンクロトロン放射光電子分光から Mn 3d 部分状態密度 (P-DOS) を直接決定する事によりこの p-d 混成を詳しく調べた。

Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>X の Mn 3d P-DOS は、価電子帯頂上より下 3.3 ~ 3.4 eV に鋭いピークを持ち、強い p-d 混成のために価電子帯全域 (0 ~ 5 eV) にひろがっている。鋭いピークは内殻準位様の e<sub>g</sub> 対称性を持つ Mn 3d↑ 状態により、また価電子帯全域に及ぶ部分は、t<sub>2g</sub> 対称性を持つ Mn 3d 状態と anion p 状態の間の強い混成 [t<sub>2g</sub>↑(↓)-p↑(↓) バンド] によると考えられる。混成の強さの程度は、Te から Se, S へと増加するが、この事は、anion p 軌道と Mn 3d 軌道 (t<sub>2g</sub>) のエネルギー差と重なりを考慮して系統的に説明出来る。

## Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te 系の磁気光学効果

山口大・工 小柳 剛, 松原 覚衛

半磁性半導体である Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te は磁界中で Mn<sup>2+</sup> イオンの 3d 電子とのスピン交換相互作用により室温で巨大なファラデー回転を示す材料である。本研究では、クラスタイオノビーム法によりサファイア基板上に Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te 薄膜のエピタキシャル成長を行い、その磁気光学的性質について研究を行った。

図 1 は異なる組成をもつ Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te 薄膜の室温でのファラデー回転分散特性である。どの組成に対しても基礎吸収端付近で大きな分散特性を示し、組成 x が増加するにつれてバンドギャップが広がることに対応して分散の位置が高エネルギー側へシフトしている。また、分散ピークの高さは組成 x が増えるにしたがって交換相互作用が強まるために急激に増加している。図中の実線は、磁界中で右、左円偏向に分裂した基礎吸収端での吸収係数から、Kramers-Kroning の関係式を用いて求めた理論曲線である。この理論曲線は実際測定された分散特性と良く一致している。

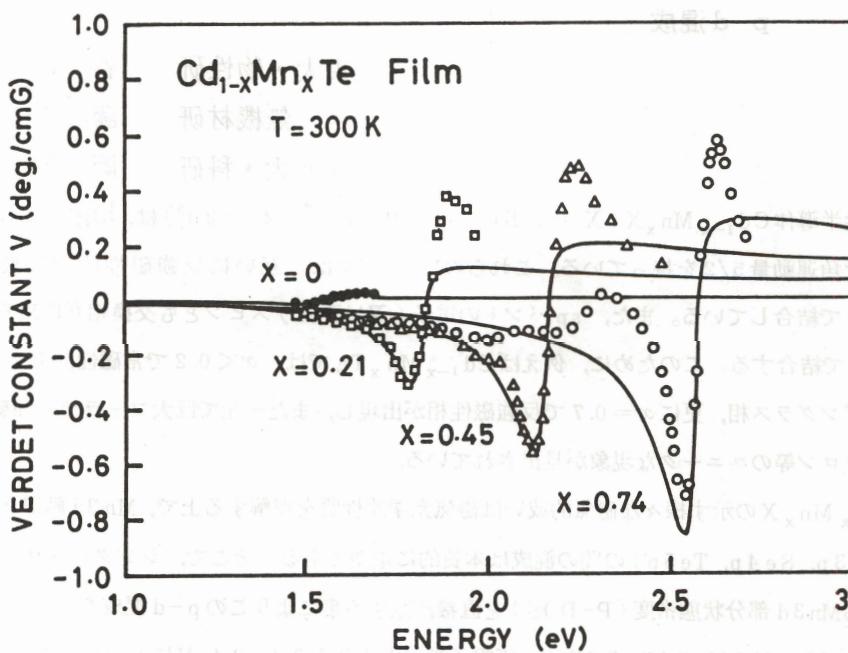


図 1 Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te 薄膜のファラデー回転分散特性

## インターラー・ショーン化合物 $M_xTiS_2$ の 光電子分光

無機材研 藤森 淳

菅 滋正

夫郎 木平 順常 口田 工・大連 広島大・理 井上 正

層状化合物  $1T-TiS_2$  のファン・デル・ワールス・ギャップに 3d 遷移金属元素をインターラー・ショーンした  $M_xTiS_2$  は、磁気的・電気的・熱的に変化に富んだ物性を示す。これは、遷移金属の d 電子とホストの電子との相互作用によるものと考えられ、電子構造の解明が重要である。

我々は、 $M=Mn, Fe, Co, Ni$ について、SOR光を用いた光電子分光及びX線光電子分光を行った。結果は、遷移金属の d 電子とホストの価電子（主に  $S 3p$ ）との強い混成、フェルミ準位近傍における d 電子成分の存在など、d 電子の部分的な非局在化を支持している一方で、遷移金属原子内のクーロン・交換相互作用が d バンド幅に比べて大きいことを示している。すなわち、d 電子のスペクトルは、原子内クーロン・交換相互作用と隣接 S 原子軌道との混成により生じる多重項構造及びサテライト構造が支配的で、遷移金属原子間の相互作用による d バンド幅はこれに比べてかなり小さい。従って、一電子的なバンド描像では不充分であり、強い電子相関を持った遍歴電子を（とくに  $Fe_x(TiS_2)$  に対して）考える必要性が示唆された。

## ランダムスピニ系三元混晶 ( $Sr, Eu$ ) S,

### $Eu(S, Se)$ の光学的性質

東大・工 国府田隆夫、岩佐 義宏

磁性半導体  $EuX$  ( $X=O, S, Se, Te$ ) は岩塙構造を有するイオン結晶であり、 $Eu^{2+}$  イオンのスピノン ( $S=7/2$ ) に由来する様々な磁気整列相を示す。半導体としての性質に関しても、 $SrS$  などの類似非磁性化合物結晶との関連性から、 $Eu^{2+}$  の 5d 軌道に由来する X 点の伝導帯とカルコゲンイオンの p 軌道による  $\Gamma$  点の価電子帶との間に間接型ギャップをもつことが明らかになった。X 点に付随するワニヤ励起子のスピノン偏極分裂が三谷らによって詳しく調べられている。

格子定数の近い  $EuS-SrS$ ,  $EuS-EuSe$ ,  $EuSe-EuTe$  系などでは組成比の全域にわたって固溶体を作ることができる。本来、 $EuX$  の磁性では最近接  $Eu$  イオン間に働く強磁性的な交換相互作用  $J_1$  と第 2 近接  $Eu$  イオン間に働く反強磁性的な交換相互作用  $J_2$  と競合しているので、希釈スピニ系 ( $Eu, Sr$ ) S や、カルコゲンイオンを介した間接交換相互作用がランダムに変化する  $Eu(S, Se)$ ,  $Eu(Se, Te)$  系では、フラストレーション系に特有なスピングラス相やリエントラント相が出現することが予想される。実際に前二者の系ではこのことが実験的に確められている。

これらの混晶系について測定した帶磁率と反射、発光、発光励起などの光学的性質の結果を紹介し、

磁気的な性質と光学的性質とがどのように関連しているかを考察した。またスピングラス相の特徴を検出するための分光測定法を議論した。

## 光電子線法

### Zn<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>S の電子構造と光物性

阪大・工 田口 常正, 平木 昭夫

半磁性半導体 (DMS) Zn<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>S は, cation-cation 間の平均距離  $d_c$  が他の II-VI 族 DMS (Zn, Cd, Hg ベース) に比べて小さいことから, antiferromagnetic 結合 ( $J_{dd}$ ) と sp-d 交換相互作用 ( $J_{sp-d}$ ) が比較的大きくなり, Mn 濃度に依存して, その物性 (特に, 磁気・光, 輸送現象) には興味が持たれる。

しかしながら, 全率固溶のバルク単結晶成長は困難であり, 現在, ヨウ素輸送法, Te 溶液法と自己封止ブリッジマン法によって  $x$  が約 0.5 までのものが作製されている。X 線回折から  $x = 0.1$  程度までは立方晶系で, それ以上では六方晶系になっている。また,  $x = 0.5$  では, ZnS と MnS の相分離が起こるが, Mn の濃度によって結晶系を変化させることが出来る特徴を持つ。

DMS ZnMnS の研究は次の 4 点を目標として行なわれている。

- ① 低濃度 Mn ( $\sim 1\text{wt\%}$ ) における Mn<sub>3d</sub> の基底状態の位置 (XPS) (1970 年の Langer ( $> 3\text{wt\%}$  以上ないと無理) の追試;  $\sigma_{3s}:\sigma_{3p}:\sigma_{3d} = 0.425:1:0.0884$ )
- ② Mn 濃度に依存した Mn 発光帶 ( $^4T_1(^4G) \rightarrow ^6A_1(^6S)$ ) の零フォノン線の変化
- ③ Mn にトラップされた等電子トラップ励起子の可能性
- ④ MOCVD 法による ZnMnS/ZnS SLS の magnetoluminescence (計画中)

#### 今までに得られた知見及び結論

- ① ヨウ素輸送法を用いて大型完全立方晶系 ZnMnS を作製出来た。また, 熱拡散で Mn を ZnTe, ZnSe, ZnS に拡散させることにより, ZnMnTe ( $x \sim 0.2$ ), ZnMnS ( $x \sim 0.1$ ) を作製することも可能であることを確かめた。
- ② Mn (3d) の基底準位は, ZnS の価電子帯下約 4 eV の所に位置し, 特に, 発光の零フォノン線の見られる低濃度 Mn 添加 ZnS:Mn においても正しいと思われる。
- ③ 零フォノン線の温度変化から, 電子-正孔の J-J 結合効果が考えられ, Mn が ZnS 中で等電子トラップを作り, 励起子を束縛していると考えられる。

## 物性研短期研究会

(予算・大東) 費用 営業  
「中性子散乱による生体物質の研究」報告

(工機基・大通) 大野正三 兼理

世話人代表 東大・物性研 伊藤 雄而

中性子散乱の特徴を生かして、生体物質の構造とダイナミクスについて、ユニークな情報を得ようとする試みは、ヨーロッパを中心に過去十余年の歴史を持ち、多数の興味ある結果を上げている。我国では、ビーム強度の強い冷中性子源設備が無いために、この分野の研究は著しく遅れをとつて来たが、最近日本原子力研究所に於ける改造3号炉計画の目玉として、新しく冷中性子源と冷中性子ガイドホールの建設が進行中であり、また京大原子炉に於いても、冷中性子設備が設置され、近々冷中性子ビームの利用が予定されている。このような情況を踏まえて、表記の物性研短期研究会が企画され、去る6月22日、23日の2日間、中性子散乱研究者、生化学、生物学の研究者、そして物性理論家を交えた学際的雰囲気の中で成功裏に行なわれた。

内容は、生体物質の諸問題から、それらの問題に対処するための中性子散乱装置についての技術的検討迄、多種に渡る広範囲のものであった。以下にプログラムの順に従がい、各講演者から寄せられたアブストラクトを掲載して研究会報告とする。

### 物性研究所短期研究会プログラム

#### 「中性子散乱による生体物質の研究」

(工機基・大通) 費用 田舎

日 時 昭和62年6月22日(月)、23日(火)

(予算) 費用 田舎

6月22日(月)

10:30～17:25 予算料金 無料

開会挨拶

伊藤雄而(東大・物性研)

〔I〕 生体物質の物性物理

座長 山田安定(東大・物性研)

〔II〕 生体関連物質の物性物理

伊豆山健夫(東大・教養)

細胞機能単位の分子構築に関する諸問題について

石田政弘(京大・原子炉)

生物現象の回折学的研究 — SR利用の経験から —

三井利夫(阪大・基礎工)

昼 食

12:15～13:30

座長 池上 明(理研)

球状蛋白質溶液による非弾性散乱

郷 信広(京大・化学)

分子形態と溶液物性 — 高分子物理の立場から —

田中文彦(農工大・物)

生体膜における脂質の役割

滝沢俊治(群馬大・教養)

能動輸送を記述するための熱力学

青野 修(自治医大・物)

蛋白質の物性と酵素活性

格 弓絃(京大・化研)

—— 休憩 15:20 ~ 15:35 ——

[II] 中性子散乱と生体物質 — 試料問題を中心として — 座長 三井利夫(阪大・基礎工)

中性子散乱で生体試料の何が見えるか? 川戸 大佳(東大・教養)

生体超分子系研究における中性子散乱への期待と重水素化試料供給体制について

好熱菌 F<sub>1</sub>-ATPase のサブユニットの大量発現と部位特異的突然変異 阿久津秀雄(横浜国大・工)

遺伝子工学による試料作製の問題点 太田成男(自治医大・生化)

好熱菌 F<sub>1</sub>-ATPase のサブユニットの選択的重水素化による中性子散乱用試料作成 原田三男(東大・物性研)

—— 懇親会 17:30 ~ 18:30 ——

6月23日(火)

9:30 ~ 16:50

[II] 中性子散乱と生体物質 — 続 — 座長 伊豆山健夫(東大・教養)

メスバウアー吸収と中性子散乱 — 巨大分子系の運動解析への応用 —

前田 豊(京大・原子炉)

生体膜研究における中性子散乱

池上 明(理研)

—— 休憩 10:40 ~ 10:50 ——

座長 新村信雄(東北大・核理研)

膜蛋白の構造研究における現在の問題点と中性子回折の応用

徳永史生(東北大・理)

生理学への中性子回折の応用

松原一郎(東北大・医)

植物ウィルスの構造と再構成機構を SANS で調べる 井上英男(農業生資研)

膜構造研究への一つの可能性 矢吹貞人(群馬大・教養)

膜中蛋白分子の協同的分子運動について 日高昌則(九大・理)

—— 昼食 12:25 ~ 13:30 ——

[III] 中性子散乱と生体物質 — 中性子散乱装置を中心とした討論会 —

座長 前田 豊(京大・原子炉)

冷中性子による生体分子の QES 分光

井上和彦(北大・工)

- 中性子時分割小角散乱による生体物質の研究 武田隆義（広大・総科）  
中性子透過率測定の生体物性研究への応用 平井光博（幾徳工大）  
KUR冷中性子実験設備の進捗状況について 山岡仁史（京大・原子炉）

—— 休 憩 14:50 ~ 15:05 ——

- 座長 井上和彦（北大・工）  
KENS 小角散乱装置と生体物質研究 新村信雄（東北大・核理研）  
中性子スピニエコー法による生体物質研究 好村滋洋（広大・総科）  
改造 3 号炉に設置する原研小角散乱装置 片野 進（原研・物）  
物性研小角散乱装置とスペクトル変調装置による生体物質研究計画

伊藤雄而（東大・物性研）  
新村信雄（東北大・核理研）

### 生 体 関 連 物 質 の 物 性 物 理

東大・教養 伊豆山 健 夫

冷中性子散乱を用いる研究の重要なテーマの一つは、膜中の複合蛋白の構造決定であるが、重水素置換等を考慮し、また脂質部分による散乱を差し引かねばならぬと言った点から考えると、かなり高度なテーマである。もう少しやさしいテーマとして、生体関連物質、特に脂質膜(LB膜, vesicles, liposomes)による冷中性子のコヒーレント小角散乱、特にその非弾性部分の解析が、分子生物学のみならず、基礎物理学、特に統計力学等にとって重要なテーマであることを指摘したい。

脂質膜による中性子散乱は、膜中蛋白の構造並びに動力学についての情報を得るためにも必要不可欠である。ここでは脂質膜の液晶相における  $d^2\sigma/d\Omega d\omega$  の特性を記述する表式を理論的に与えた。液晶相における凝臨界現象による小角散乱の enhancement、および膜面の形状ゆらぎによるそれの公式を与えた。

以上その他、水溶性蛋白の低温相で報告されているガラス状態(Mössbauer と X線の Debye-Waller 因子の差異)も中性子解析によるクロスチェックを受けることを希望。

### 細胞機能単位の分子構築に関する諸問題について

京大・原子炉 石 田 政 弘

生命に対する概念は、未だ統一された形として受け取られていない。それは生命体のもつ多様性による高度の概念に属するからである。方法論的にはこの多様性を「構造」と「機能」の両面から解釈し、両者の相関関係の一体性を見極めることが、生命の本質を知る上での原点である。

細胞は生命体存続の基本的単位である。細胞には種々の構造単位が存在し、またそれらは独立した

機能単位として存在している。それらの単位は化学的には高次の Complexity をとるが、分子構築上各種生物間では系統発生的な相関性を示す。

本講演では、細胞を構成している生命体に共通的ないくつかの基本的構造単位を取り上げ、生物学の立場からみた種々の問題点について論議したい。

- 1) 遺伝装置： 現在又クレオゾーム構造が脚光をあびているが、これはDNA-タンパク複合体のごく一部の相であり、細胞の生活環からみた染色体の分子構築の推移を系統的に論ずる。
- 2) タンパク合成器官： リボゾームの大小サブユニットの分子構築については詳しく調べられつつあるが、機能的には rRNA, tRNA, ペプチド伸長因子タンパク質間の相互配位関係が重要なものとなる。
- 3) 運動器官： 代表的なものとして筋肉収縮タンパク系がよく、調べられているが、アクチン・ミオシンとともに、チュブリン・ダイニン系も含め総合的、系統発生的に考察する必要がある。精子や単細胞性のべん毛運動、染色体運動など微小管構造も筋肉系よりも起源が古い運動器官である。
- 4) 呼吸器官： 代表されるオルガネラはミトコンドリアであるが、分子構築についてはいくつものモデルが考えられているにすぎない。生命活動の源となるエネルギー生成系として、その機能の面からも極めて重要な器官である。
- 5) 光合成器官： 太陽の光エネルギーの変換、利用のための唯一の器官である。原始的な形態のクロマトフォアや高等植物の葉緑体の光合成膜の分子集合、分子構築の解析は、将来のバイオテクにも通ずる重要な問題である。

### 生物現象の回折学的研究

#### — SR 利用の経験から —

阪大・基礎工 三井利夫

生物の機能を分子レベルで理解しようとは極めて多くの自由度を持った系を研究対象にすることであり、正攻法をとれば龐大な未知数決定の問題となる。例えば最近の風邪のウィルスの構造決定[1]では  $5 \times 10^5$  個の Bragg 反射の強度が測定されている。中性子回折ではさしあたって、このような正攻法は無理で、小角散乱法が主な手段となるかと思われる。研究会では小角散乱法における情報量や、この方法でどのような本質的貢献が可能かについて論ずる。

##### 1. 溶液散乱実験から得られる情報量

溶液散乱から得られる構造パラメータの数については、サンプリング定理に基づく議論[2]がある。コントラスト変化法は決定できる未知数の数を 3 倍にする。空間相関法を用いて決定できる未知数の数をふやそうとする提案もある。6 GeV 級の SR 源ができれば現実的な問題となり得よう。

##### 2. コロイド粒子の集合状態の変化

問題の性格上少数のパラメータ決定の問題となり、小角散乱法が大きな貢献をし得る。ひとつの例として、水中で膜間に働く力の大きさを決定した研究〔4～6〕について述べる。

### 3. 分子生理学的研究

例え筋収縮の分子機構の研究では、生理的、化学的、物理的知見と顕微鏡や回折学による構造的知見を総合してモデルを固めてゆくこととなる〔7〕。シンクロトロン放射(SR)を用いての動的X線回折法は張力の発生に際して回折像が大きく変わることを示し、その様相の研究は基本的に重要な知見をもたらした。なお〔7〕で述べたモデルはその後かなり改変され、定量的な議論も可能となった〔8〕。

### 参 照 文 献

1. M.G. Rossmann et al.: Nature 317 (1985) 145-153.
2. V. Luzzati and A. Tardieu: Ann. Rev. Biophys. Bioeng. 9 (1980) 1-29.
3. Z. Kam: Macromolecules 10 (1977) 927-934.
4. Y. Inoko, T. Yamaguchi, K. Furuya and T. Mitsui: Biochem. Biophys. Acta 413 (1975) 27-32.
5. H. Ohshima and T. Mitsui: J. Colloid Interface Sci. 63 (1978) 525-537.
6. H. Ohshima, Y. Inoko and T. Mitsui: J. Colloid Interface Sci. 86 (1982) 57-72.
7. 三井利夫: 生体物質の動的構造解剖、「シンクロトロン放射」(日本物理学会編, 培風館, 1986) 第6章
8. T. Mitsui and H. Ohshima: to appear in J. Muscle Research and Cell Motility.

### 「球状蛋白質溶液による非弾性散乱」

( ひよこり合ひ 京大・理 田代 郷 一 信 広 )

蛋白質分子の持つ生理的機能発現の仕組みを、分子構造に基づいて明らかにするためには、その立体構造を、熱運動の場で常に動きづけているダイナミックなものとして把握しなければならないとの認識が深まりつつある。中性子の非弾性散乱は、水溶液中の蛋白質分子の運動の様子に関する良質の情報を与える。

一方、立体構造の運動の様子を理論的に調べる方法として、経験的ポテンシャルのもとでの古典力学的運動を、計算機を用いてシミュレートする手法が発展して来た。その方法の一つに、ポテンシャル関数を、極小点のまわりで展開し、2次関数で近似することにより、規準振動解析をする手法がある。ポテンシャル関数が2次関数で近似できる範囲内で、蛋白質分子の運動は、規準振動の重ね合せとして表現できる。この近似が成立しない場合の蛋白質分子の運動を調べるために、モンテ・カル

□法や、分子運動法（ニュートン方程式の直接的数値積分）がある。これらの方法により、運動の非調和な側面も明らかにされつつある。

蛋白質溶液による中性子非弾性散乱の実験結果を、規準振動解析の立場から解析するための理論的取り扱いが Cusack らによって開発された。小さい球状蛋白質 BPT Iについてなされた実験と理論の比較をしてみると、一致はかならずしもよくない。原因是、溶媒である水によるエネルギーの散逸、水和水、ポテンシャル関数の非調和性等を、解析では考慮していないからであろう。

蛋白質溶液になる中性子非弾性散乱の実験は、まだ 2, 3 例が報告されているにすぎない。実験結果の解析も充分にはなされていない。しかし、本来、動的構造に関する良質の情報を含んでいる筈なので、実験・理論両面の研究の一層の進展が期待される。

### 分子形態と溶液物性

#### —高分子物理の立場から—

農工大・教養物理 田中 文彦

溶液中で高分子鎖が種々の環境パラメータの変化に伴ってひき起こす形態転移について、それが溶液の巨視的物性にどの様に反映するかという観点から話す。単一環境の設定し易い合成高分子についての実験結果の検討と予測を目標にするが、実際生体で起っている現象に強い動機づけを受けている。環境パラメータとしては、温度、溶媒、組成、流速場、pH などが考えられる。

高分子の形態を決めるセグメント間の遠隔相互作用を順に挙げると

- (1) van der Waals の力
- (2) 飽和性化学結合（水素結合、硫黄結合など）
- (3) 溶媒との親和性（両親媒性共重合体、混合溶媒など）
- (4) 静電的相互作用（電解質、電気双極子など）
- (5) トポロジー的相互作用（紐の絡まり合いによる）
- (6) 流体力学的相互作用（溶媒流の乱れによる）

などが重要と考えられる。講演ではこの順に現在までに得られている実験結果をふり返り、若干の理論的考察を行う。高分子鎖が遠隔引力によりセグメントの緊密に詰った粒子状態（グロビュール）を形成するときの過程の特徴づけと、転移の結果できるグロビュールの内部構造の解析を中心に扱う。曲り易い一本の紐を緊密に折り畳むには様々な様式があり、それらは紐のセグメント間に働く力の性質に支配されている。浸透圧や、粘性、拡散、沈降などの定常輸送係数を通じての溶液的手法による研究により、いろいろな情況証拠が挙げられているが、中性子小角散乱による解析はグロビュールの内部構造の解明に決定的な役割を果たすものと思われる。

## 生体膜における脂質の役割

群馬大・教養山大野澤俊治

リン脂質を主体とする複合脂質は生体膜の基本構造を形成する。この脂質膜内に膜機能の担い手としてのタンパク質が流動性をもって埋め込まれていることを強調した Singer らの膜モデルは生体膜にみられる諸現象を説明できるものとして支持されている。しかしながら物質透過能のような生体膜の諸機能がすべてタンパク質に由来するものとしてこのモデルを理解することには問題がありそうである。天然レシチン膜ではプロトン移動が著しく高く、膜を貫くプロトンジャンプの機構が予想されていることや、ジオレイルレシチン膜を用いて自励発振が観測されていることなどからみても、生体膜脂質は機能面でも今まであまり注目されてこなかった役割を演じている可能性がある。例えればイノシトールリン脂質は神経化学者の間で注目されてきた脂質であるが、われわれは牛脳トリホスホイノシチド(TPI)に対する  $\text{Ca}^{2+}$  の結合を熱力学的に検討した結果、つぎのような可能性を考えた。即ち、 $\text{Ca}^{2+}$  が結合していない TPI 膜では膜内部の疎水性領域にまで水が入り込んでいるため、水や 1 値イオンに対する透過能が高いが、 $\text{Ca}^{2+}$  が TPI の親水基に結合するとこの高い透過能は低下する。これは神經興奮の伝導に関する田崎の  $\text{Ca}^{2+}$  説に対応している。また TPI は最近、細胞膜の情報伝達機構に関する脂質として生化学的に注目されている。この場合、外部からの種々の情報の受け取りをトリガーとして、膜からイノシトール-3-リン酸が遊離し、これが細胞内のセカンドメッセンジャー分子となることが明らかになっている。また糖脂質ではその多様な糖鎖が細胞膜面に出ており、それが別の細胞のタンパク質の受容体となって細胞識別がなされることが知られている。このような例からわかるように、複合脂質は単に物質の透過に対する障壁としての膜を構築するだけではなさそうである。生体膜はその必要とする機能に応ずることのできるように、特定の化学構造の親水基と疎水基をもつ複合脂質をその面内に配置して機能を発現しているものと考えられる。オスファチジルコリンへの水の吸着はアシル基に不飽和結合を導入するだけで著しく増大することがわれわれの最近の測定によりわかった。このような物理化学的性質の変化をもたらす構造上の研究の進展が期待される。

## 能動輸送を記述するための熱力学

自治医大・物理 青野修

系の子可逆過程は、熱力学的な流れと力との関係として表わすことができる。通常、ある場所、ある時刻での流れは、同じ場所、同じ時刻での力によって惹き起こされると考えられている。しかし、実際には、異なる場所、異なる時刻での力にも依存するはずである。従って、現象方程式は、  

$$Y_i(r, t) = \sum_j \iint L_{ij}(\rho, \tau) X_j(r - \rho, t - \tau) d\rho d\tau \quad (1)$$

のような形のものを考えなければならない。流れ、 $Y_i$  を電束密度、力  $X_j$  を電場と考えれば、現象係数  $L_{ij}$  は誘電率に当たる。両辺をフーリエ変換した表式は良く使われている。

二つの成分から成り、化学反応  $X_1 \rightarrow X_2$  が起こる系を考える。あまり離れた場所の影響は小さいとして、非局所現象方程式(1)を展開すると

$$-\mathbf{grad}\mu_1 = L\mathbf{J}_1 - \lambda \mathbf{grad}A$$

$$-\mathbf{grad}\mu_2 = L\mathbf{J}_2 + \lambda \mathbf{grad}A$$

$$I = KA - \lambda \operatorname{div} \mathbf{J}_1 + \lambda \operatorname{div} \mathbf{J}_2$$

のような関係式が得られる。

ここで、 $\mu_i$  : 第  $i$  成分の化学ポテンシャル

$J_j$  : 第  $j$  成分の流束

$A$  : 化学反応の親和力  $A = \mu_1 - \mu_2$

$I$  : 化学反応進行速度

現象係数は熱力学に矛盾しない程度に、できるだけ簡単にしてある。系全体が静止しているとして  $J_1 + J_2 = 0$  とすると

$$L\mathbf{J}_1 = -(1-2\lambda)\mathbf{grad}\mu_1$$

$$L\mathbf{J}_2 = -(1-2\lambda)\mathbf{grad}\mu_2$$

が得られる。 $\lambda > \frac{1}{2}$  ならば、両成分とも化学ポテンシャルの大きい方へ流れる。

### 蛋白質の物性と酵素活性：トリプトファナーゼの

#### 4次構造と活性に及ぼす補酵素と $K^+$ イオンの影響。

京大・化研

トリプトファナーゼは、主としてトリプトファンからインドールとピルビン酸を生ずる化学反応を触媒し、補酵素として PLP (ピリドキサルソン酸、ビタミン  $B_6$ ) を必要とする。さらに酵素活性の発現には、 $K^+$  イオン等のカチオンがなければならない。

この酵素は 4 個のサブユニットから構成されており、PLP と結合したホロ酵素と、結合していないアポ酵素では  $20^\circ C$  での沈降速度が異なる。また  $0.1 M$  の  $KCl$  存在下で、アポ酵素を  $5^\circ C$  に冷却すると 2 重体になる。ホロ酵素の場合も  $K^+$  イオンが無い場合には、同様の事が生じる。 $K^+$  イオンの有無にかかわらず、 $5^\circ C$  ではアポ酵素に PLP が結合してホロ酵素になる事はない。このことから  $K^+$  イオンは  $20^\circ C$  以上で PLP を酵素に結合させる働きをしていると考えられる。PLP の酵素への結合は 2 分以内に完了するが、 $K^+$  イオンを加えて活性を発現させる時には、約 10 分の時間が必要である。これは、ホロ酵素に  $K^+$  イオンが加わり、活性状態の 4 次構造に変化するに要する時間と思われる。

活性発現に必要な最低限の  $K^+$  イオン濃度 ( $30 mM$ ) で、シンクロトロン放射 X 線を用いた小角散乱実験の結果では、アポ酵素とホロ酵素、 $K^+$  イオンの有無、 $20^\circ C$  と  $5^\circ C$  での回転半径の値にはほとんど差がなかった。 $K^+$  イオンを含んだアポ酵素は  $5^\circ C$  でも 4 量体であった。しかし、分子間の相互

作用はアポ酵素とホロ酵素では異っていた。K<sup>+</sup>イオンの有無による分子間相互作用の差は、蛋白質の電荷を無機イオンが遮蔽することによって説明できるが、PLPの結合による変化はこれでは説明できない。おそらく、PLPの結合によって酵素の4次構造がわずかに変り、表面電荷の状態に変化が生じたのではないかと推測される。K<sup>+</sup>イオンは、第一義的には酵素とPLPとの結合に関与し、量が増すに従って、オリゴマー構造を解離させる働きをするものと思われる。

### 中性子散乱等による筋小胞体の研究

東大・教養物理  
川戸佳  
筋小胞体のCa-ATPaseは、Ca濃度を調節して筋肉の収縮・弛緩を制御している。ペンシルベニア大学のDr. Blasieグループは最近10年間の研究で以下のような結果を得た（文献1, 2, 3）。

- (1) 重水素化した脂質を送り込むことで、脂質のみを重水素化した筋小胞体と、普通の筋小胞体の配向多層膜を用いて、中性子散乱を行った。この結果、筋小胞体中の脂質の分布を決定し、外層より内層の方に脂質分子が多いことがわかった。
  - (2) X線散乱より得られた筋小胞体の電子密度分布から、(1)の結果より計算した脂質の電子密度分布を差し引いて、Ca-ATPase（筋小胞体蛋白の約90%を占める）の電子密度分布を求めた。
  - (3) 時間分解X線散乱によって、Ca-ATPaseの静止状態に比べて、Caポンプ中の中間体状態は約8%の電子密度が膜の外側の部分から膜の内側へ移動していることがわかった。
- 我々（川戸・川喜田・池上グループ）は、蛍光偏光解消測定でCa-ATPaseのリン酸化ドメイン、ATP結合ドメインの首振り運動を独立に測ることに成功した。静止状態と比べて、Caの結合によってリン酸化ドメインの運動が少し速くなるという動的構造の変化があった。今後の研究で、Ca-ATPaseのCaポンプサイクルの各種中間体の静的・動的構造の違いが解き明かされる日が待たれる。

### 文 献

- (1) Herbette et al., Biophysical Journal (1977) 20, 245-272
- (2) Herbette et al., Biochim. Biophys. Acta (1985) 817, 103-122
- (3) Blasie et al., Biophysical Journal (1985) 48, 9-18

### 生物超分子系研究における中性子散乱への期待と重水素化試料供給体制について

横浜国大・工 阿久津 秀雄

NMRは局所的な構造と運動性について精緻な情報を提供するのに対して、中性子散乱は巨視的な構造についてユニークな情報を提供する。いずれの場合も安定同位元素を分子に導入することによりその情報はより分解能が高くなる。このようにNMRと中性子散乱は情報の面でも試料の面でも互いに

協力していくべきものであると考える。われわれはウイルスや膜系のような生体超分子系を対象として、脂質の構造及び脂質と蛋白質の相互作用について研究している。この際、<sup>2</sup>H 脂質の極性基部分を特異的に重水素化し、重水素NMRを使うことにより、重水素化部位に関する選択的情報を期待できる。このような系については既に中性子散乱による研究もされているが、選択的重水素化がその構造情報の分解能をどこまで上げうるのかということがわれわれの大きな関心事である。

更に、現在様々な物理化学的手法の発展と共に、安定同位元素の使途が急速に広がりつつある。特に生体物質を対象とした物理化学的研究においては、しばしばそれを大量に必要とする。中性子散乱の研究においてもそれは例外ではない。これらの安定同位元素標識化合物の基礎化合物の大量にして安価な供給体制が望まれる。このようなプロジェクトについても全国的規模で検討される必要があると考える。

### 遺伝子工学による試料作製の問題点

自治医科大・生化分野 太田 成男

中性子散乱法を生体高分子に適用する際には生体試料を大量に（数10 mg以上）得ること、ならびに中性子散乱の特徴を生かすために、試料の重水素化が必要である。一般には、大量に生体試料を得るのは困難で対象も限られている。そこで遺伝子工学技術を用いて大腸菌などの微生物に目的のタンパクを大量に合成させることによって、大きな飛躍がもたらせると思われる。大腸菌などは重水中でも生育できるからである。また、遺伝子=ONAの塩基を換えることによって、<sup>3</sup>H タンパク質の特異的なアミノ酸を変換することもできる。

まず、ここでは、目的の遺伝子産物を大量に得るための方法について述べる。遺伝子を大腸菌に導入するだけでは合成は起こらず、<sup>3</sup>H プロモーター、リボソーム結合部位などの構造を付加する必要がある。

次に、不安定な遺伝子産物を大腸菌内で蓄積させる工夫が必要となることもあるのでそれについて述べる。誘引可能なプロモーターを用いる、目的のタンパク質を菌体外へ放出させる、融合タンパクを合成し安定化するなどの方法についてふれた。

最後に、合成オゾンクレオチドの利用について述べる。演者は物性研の伊藤・原田らと共にウシトリプシンインヒビターの遺伝子を、プロモーターなどの発現に必要なすべての構造を含め化学合成した。この遺伝子のデザインについても述べたい。

### 好熱菌 F<sub>1</sub>-ATPase のサブユニットの大量発現と部位特異的突然変異

旭硝子研究開発部 養王田 正文

H<sup>+</sup> - ATPase は膜の内外のプロトンの濃度勾配あるいは膜電位のエネルギーを ATP の化学エネ

ルギーに変換する酵素であり、その反応機構は極めて興味深いものである。H<sup>+</sup>-ATPase は膜タンパクであるが、活性部位F<sub>1</sub>は膜結合部位より容易に解離し可溶性になり、中性子散乱などの物理化学的研究の対象になり得る。そこで、好熱菌PS3 のF<sub>1</sub>のサブユニットの大腸菌での大量発現系を作成し、さらに部位特異的突然変異を行った。 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$  の5種類のサブユニットのうち $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\epsilon$  は制限酵素で切り出し、発想ベクターのプロモーターの下流に導入することにより容易に発現した。特に $\alpha$ サブユニットは、大腸菌の可溶性タンパクの半分以上と非常に多量に発現した。 $\gamma$ サブユニットは開始コドンが大腸菌で使われないものだったので発現しなかった。そこで、合成オリゴスクレオチドを用いて開始コドンを付け換えた後に発現ベクターに組み込んだところ大量発現に成功した。発現したサブユニットは、全て大腸菌内でnativeな状態にあり、精製したサブユニットはまざるだけで容易に再構成し、活性のある複合体を形成した。さらに、この発現系を用いてスクレオチド結合部位と思われるアミノ酸を変換した $\alpha$ ,  $\beta$ サブユニットを作り、再構成後その性質を調べた。アミノ酸の変換は、DNA特定部分を1つあるいは2つ変化させた合成オリゴスクレオチドを用いることにより達成できる。このようにして作られたタンパクには、構造が大きく変わり再構成しなくなるもの、活性がなくなるもの、サブユニット間の協同性がなくなるものなどがあり反応機構解明の有力な手がかりになると思われる。

## 「好熱菌TF<sub>1</sub>サブユニットの選択的重水素化による中性子散乱試料作成」

東大・物性研 原田三男

中性子小角散乱は、生体物質の構造を調べる上で、選択的重水素化法やコントラスト変調法を用いることによって、非常に有力な手段となる。従って、いかにして重水素化したタンパク等の試料を大量に作るかということが重要な問題となってくる。ここでは、好熱菌ATP合成酵素の各構成サブユニットを遺伝子組みかえ法によって、重水中で、遺伝子を組み込まれた大腸菌の培養を行って重水素化されたサブユニットを作り、更に再構成によって選択的に重水素化された試料の作成方法について述べる。

各サブユニットの重水素化は遺伝子を組み込んだ大腸菌を最小培地(M9)で培養すれば良いわけであるが、重水中では大腸菌の成長は非常に遅くなり、菌も弱くなってしまい、死んでしまう場合があるので細心の注意を払う必要がある。

こうして大量培養された大腸菌から、カラムクロマトグラフィーによってサブユニットを分離精製する。この精製の際には、再構成後、更に分離精製を行うので、それほどきれいに分離精製を行う必要はない。重水1lから得られる重水素化されたタンパク量は10mg程度である。精製されたサブユニットの重水素化率をNMRを用いて調べてみると、75%程度が重水に置換されていることがわかる。

次に重水素化された、 $\alpha_D$ ,  $\beta_p$  サブユニットと、軽水素の  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  サブユニットを用いて再構成体を作る。組み合せは、 $\alpha\beta\gamma$ ,  $\alpha_D\beta\gamma$ ,  $\alpha\beta_D\gamma$ ,  $\alpha_D\beta_D\gamma$  の四種類である。ATP 合成酵素の各サブユニットの割合は、 $\alpha : \beta : \gamma = 3 : 3 : 1$  であるので、この割合で、各構成サブユニットを混ぜ、6 M の尿素で変性させる。そして、12 時間程度 50 mM Tris-SO<sub>4</sub> PH 7.5 で透析する。更に、透析後のタンパク試料を HPLC により、再構成体のみを分離する。（使用カラム：TSK3000 SW, 使用 Buffer 50 mM Tris-SO<sub>4</sub> PH 7.2, 1 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>）。

最後に、各再構成体についてその ATP 分解活性を調べてみた。好熱菌から取り出した ATP 合成酵素と比べると、比活性は落ちるが、再構成については問題ないと考える。なお、この試料を用いた小角散乱の実験は、BNL の小角散乱装置を用いて行う予定である。

（著者紹介は本稿の後半にて）

### メスバウアー吸収と中性子散乱

#### —巨大分子系の運動解析への応用—

京大・原子炉　前田　豊

蛋白質などの生体高分子の構造はフレキシブルで、その内部運動は機能の発現に関係している。X 線・中性子散乱や  $\gamma$  線の共鳴吸収（メスバウアー効果）を用いたダイナミックスの研究が近年盛んに行われている。これらの手法で得られる情報の特徴につき述べると共に、実験上の問題点にも触れる。

とくに、<sup>57</sup>Fe の  $\gamma$  線の共鳴吸収は、ヘム蛋白質を代表とする鉄蛋白質に応用され、超微細構造相互作用より電子状態に関する詳しい情報を与えてきたが、最近、蛋白質の構造揺動に関する研究にも利用されるようになる。

常温近くの共鳴吸収線を詳しく解析すると、弾性過程と準弾性過程が存在する。前者に基づくシャープな吸収は、無反挑率と関係づけられ、原子の運動の平均自乗変位を与える。また、後者に関する幅広い吸収は蛋白質の nsec ~  $\mu$ sec の時間スケールの内部運動に関する情報を与える。

Parak らのミオグロビンの解析によると、210 K 以下では蛋白質は凍結され、固体と同様の振動運動をしているが、210 K 以上では蛋白質は揺動を始め、多くのコンホメーション変化が起り、機能の発現と深く関係していることが明らかになった。

また、最近の発展として、メスバウアー共鳴  $\gamma$  線のレーリー散乱の利用がある。この方法によると測定対象に  $\gamma$  線共鳴吸収にあずかる原子核が含まれていなくてもよく、利用の範囲が広がるので注目されている。

## 生体膜研究における中性子散乱 理研・上田・明治大

生体膜はリン脂質二層膜に疎水的な膜蛋白質が入り込んだ、いわゆる流動モザイクモデルで代表される構造をもつている。そして生体膜の特徴ある機能を与えていた膜蛋白質の多くは、いくつかのサブユニットから出来た複雑な構造を持ち、結晶化はきわめて困難である。

このため生体膜、膜蛋白質の立体構造、立体配置を解析する方法は、X線、中性子の小角散乱や回折、電顕像の解析などに限定される。中でも中性子の利用は、蛋白質や脂質の特定の部分を重水素化し、再構成して解析できること、contrast-variation が容易にできることなので、今後有力な解析手段となるであろう。TF<sub>1</sub>-ATPase や cytochrome b<sub>5</sub>などを例にこの点を議論する。

好塩菌の紫膜には光プロトンポンプの機能を持った蛋白質バクテリオロドプシンが二次的な結晶を形成している。この蛋白質については電子線回折像の解析から 7 本の  $\alpha$ -ヘリックスが脂質二層膜をほぼ垂直につき抜けた構造をしていることが知られているが、詳しい構造は分っていない。我々は蛍光エネルギー移動法を利用して、ポンプが光を吸収する色素レチナールと、41 番目のアミノ酸リジンの立体配置を推定した。同様な立体配置については最近重水素化による中性子散乱の解析からも、報告されている。これらの結果を総合して得られる立体構造について議論する。

### 膜蛋白質の構造研究における現在の問題点と中性子回折の応用

東北大・理 永徳史 生家

膜蛋白質は一般に疎水的であり、アミノ酸配列を蛋白質化学的に決定することが困難であった。また結晶化も容易でない。最近、アミノ酸配列は遺伝子操作により知られるようになった。立体構造については、hydropathy plot から、膜中に存在する部分の推定がなされているものの、一般的にはよく分っていない。このような状況の中で紫膜は立体構造の決定に中性子回折が有効に使れた典型的な例である。その 1 つを、我々の研究結果をからめて紹介した。

Engelman らは重水素化された蛋白質分解物を含む重水培地で *Halobacterium halobium* を培養し、重水素化された紫膜を得た。紫膜をキモトリプシン処理すると、紫膜中のバクテリオロドプシン(bk)が 1箇所で切断され、5 本(C<sub>1</sub>)と 2 本(C<sub>2</sub>)の  $\alpha$ -ヘリックスに分けられる。native の C<sub>1</sub> と重水素化された C<sub>2</sub> を用いて紫膜を再構成し、それを用いて中性子回折を行なった。その結果より、紫膜二次元結晶における C<sub>2</sub> の位置を推定した。

Khorana らはバクテリオオプシンの DNA を発現ベクターに組み込み、大腸菌で発現させることに成功している。他の生物に比べ大腸菌は生育が早くまた、重水で作成した最小培地で培養することにより 70% 程度、蛋白質を重水素化できるので、特定部位を重水素化した試料の調製に発現ベクター系

は利用できる。Engelman らの結果は最終的な決定には至っていないので、上の系で調製した重水素化蛋白質を用いて更に詳細な解析が可能である。

## 生理学への中性子回折の応用

東北大・医 総理 松井 原一郎

筋肉生理学への応用と将来展望について述べる。

筋肉の中性子回折像には、X線回折の場合と同様に、ミオフィラメントの規則的配列に由来する赤道反射や、ミオシンの周期的重合に由来する子午反射が見られる。この回折像から、筋収縮の分子メカニズムに関して、X線回折では得られない種類の情報を抽出する努力が為されて来た。静止状態の筋肉をリングル液に浸して回折を行い、リングルの水を重水で置換して筋蛋白のコントラストを変ええて見る。主な赤道反射の強度は、重水 42% でゼロになる。これは予測どおりで、ミオフィラメントの中性子散乱密度をアミノ酸組成から計算すると、たしかに 42% の重水のそれと一致する。しかし、ミオシンの重合に由来する子午反射の強度は、重水 37% でゼロになる。上記の場合と明らかに異なる。この現象は、ミオシン分子内の散乱密度分布が不均一であることを意味し、細長いミオシン分子頭部が、静止状態ではフィラメントの軸に沿って傾いていることを示唆する。

アクチンに統いて、最近、ミオシンの一次構造が明らかになるに及んで、この領域への中性子回折の新しい応用が期待されはじめた。これらの蛋白の形態は、電子顕微鏡によって明らかにされている。しかし、一次構造と分子形態との対応が未だっていない。中性子回折を応用すれば、重水素化した特定のアミノ酸の位置を知ることができる、それに基づいて分子内でのペプチド鎖の走行を明らかにできると期待される。こうして収縮蛋白の三次構造がわかれれば、収縮の分子メカニズムの解明に大いに役立つであろう。

中性子回折は筋小胞体の研究にも使われている。小胞体の膜にはポンプ機能を持った蛋白があって、筋細胞の原形質からカルシウムを汲み上げている。これまで中性子回折やX線回折によって、ポンプ蛋白の質量の約半分が原形質内へ突き出していることが知られている。このポンプ蛋白の一次構造も最近決定された。将来、特定のアミノ酸を重水素化して中性子回折を行い、三次構造を明らかにすれば、ポンプのメカニズムを良く理解できるのであろう。

## 植物ウイルスの構造と再構成機構を SANS で調べる

農業生資研 園田 井上 英男

植物ウイルスは核酸、蛋白質、脂質等から構成されている巨大生体分子で、小さい球形粒子でも直径 20 nm 以上である。従ってこれらの大ささや形を調べるために中性子小角散乱 (SANS) は有用である。ウイルスを構成している核酸、蛋白質、脂質等の分子平均散乱能は互いに異なり、いわゆるコン

コントラスト変化法を用いるとウイルス構成成分の相互配置も解析できるので、植物ウイルスの構造解析にSANSが応用される例が増えている。

小型の正二十面体状植物ウイルスについて ILL の Jacrot 等が SANS 法を駆使して内部構造を解明した例はよく紹介されている。ここでは我々が ILL 及び高エネルギー研で調べた比較的大きなイネ萎縮ウイルス (RDV) の例を紹介する。RDV は直径約 70 nm の正二十面体で、内部に 12 種類の ds RNA を含み、約 7 種類の構造蛋白質がこれを取り囲んでいる。重水含量が 0, 20, 40, 70 及び 100 % の 5 種類の溶媒を用いてコントラスト変化法を使った SANS 測定によって、RDV の大きさ、形状、RNA の含量等を算出した。更に、RDV 粒は外側は主として蛋白質、内側は主として RNA と仮定した二殻モデルを使って散乱強度曲線を計算し、小角散乱測定から得られた実測値と最もよくフィットするモデルを計算すると、半径 23 nm から 36 nm の間は殆ど蛋白質、その内側は水和した RNA から構成されたモデルが得られた。現在  $q$  の範囲を拡げた SANS 測定を計画中である。

現在の中性子源では、放射光を利用した小角 X 線散乱において実用化されているストップトロー、温度ジャンプ等を用いた高速の時分割測定はまだ困難である。そこで反応の各段階で取り出した反応液を低温処理によって反応を停止させ、反応過程を SANS によって調べることが可能である。TMV は長さ 300 nm の棒状ウイルスで、外被蛋白質と RNA を適当な条件に保つと約 90 分で intact なウイルスが再構成されることが知られている。核酸と蛋白を混合してから、例えば 10 分ごとに反応液を一部取り出し、氷冷によって反応を停止させ、各段階での溶液をコントラスト変化法によって SANS 測定を行い、反応機構を解明しようと計画中である。

### 膜構造研究への一つの可能性

大・教養 矢吹貞人

第 1 日の滝沢俊治氏の講演で紹介されたように、複合脂質が生体膜で果す役割は単に物質透過の絶縁体としての 2 重膜形成に止まらず、生理学的、生化学的に重要な機能への関与の可能性が注目を集めつつある。複合脂質の中でも特に注目されるものの一つにトリホスホイノシチド (TPI) がある。その一価カチオン塩は通常の脂質と異り水溶性であるが、それに  $\text{Ca}^{2+}$  を加えると一転疎水性となる。<sup>(1)</sup> 滝沢らは TPI と  $\text{Ca}^{2+}$  の結合のエンタルピーの測定結果などから、TPI の 2 重膜では  $\text{Ca}^{2+}$  が結合していない場合、通常の脂質 2 重膜と異り、内部の炭化水素鎖間にまで水分子が入り込んでいるのでは<sup>(2)</sup> と推論している。<sup>(3)</sup> 滝沢らの提出した TPI の膜構造モデルは、水和によるラメラ周期の変化や流体力学的粒径の  $\text{Ca}^{2+}$  濃度依存性などの実験結果をうまく解釈できるだけでなく、特に興味深いことは、<sup>(4)</sup> 神經興奮の伝導に関する田崎らの  $\text{Ca}^{2+}$  説に対応できることである。<sup>(5)</sup>

炭化水素鎖間への水分子の浸透を考える TPI の膜モデルを構造学的に検証するには、X 線より中性子散乱の方が遙かに適している。H と D に対する中性子散乱振幅の大きな差が利用できるからであ

る。多層2重膜を用いて中性子小角散乱を行なう際、D化した化合物を結合させて、結合前の散乱密度分布と比較すれば、その結合部位を決定でき、<sup>(6)</sup> D<sub>2</sub>Oを用いて水和試料を作れば、膜中の水の分布も求められるとの報告<sup>(7)</sup>が合成膜についてなされている。TPIの多層2重膜について同程度の精度での膜中の水分布を求められることが期待できよう。

- (1) T. Takizawa and K. Hayashi, Abstracts of 6-th Intern. Symp. on Solute-Solute-Solvent Interactions (Osaka, Japan, July, 1982), pp. 133.
- (2) 滝沢俊治, 林浩平, 群馬大学教養部紀要, 17, 17(1983).
- (3) H. Mitomo, S. Yabuki, T. Takizawa and K. Hayashi, R. P. P. P. J., 27, 47(1984).
- (4) S. Yabuki, T. Takizawa, and K. Hayashi, R. P. P. P. J., 27, 53(1984).
- (5) I. Tasaki, Nerve Excitation, C. C. Thomas, Illinois (1968).
- (6) N. P. Fankhauser and W. R. Lieb, J. Mol. Biol., 133, 469(1979).
- (7) R. B. Knott and B. P. Schoenborn, Methods in Enzymol., 127, 217(1986).

### 膜中蛋白分子の協同的分子運動について

九大・理・日大高昌則

各種の生体膜がもつ有益な生理学的機能性は主に脂質分子量に保たれている膜中蛋白分子の特性に大きく依存する。電子線顕微鏡を用いて得られた凍結生体膜の共通した構造特性はクラスター或は鎖状に凝集した膜中蛋白分子群の空間分布である。例えば人赤血球膜では約75 Å 直径の球状粒子が数多く密集して観測される。これらの粒子は Band 3 等の膜中蛋白分子に相応する。また、筋小胞体膜では約40 Å 直径の粒子群が非対称な配置で観測される。これらの粒子は Ca<sup>2+</sup>-ATPase 分子に相応する。従って生体膜中での粒子（膜中蛋白分子）の空間分布の構造特性（短距離秩序、クラスターの形成及び形状変化、鎖状凝集、外部作用による分布状態の転移過程 etc.）を研究することは生体膜の機能性を理解する上で貴重な情報となるであろう。最近、赤血球膜及び筋小胞体膜の構造特性について時間分割型X線小角散乱回折計を用いて研究を行っている。特に、赤血球ゴースト中の Band 3 分子の陰イオン透過に関する構造変位、人工膜（脂質層）における Ca<sup>2+</sup>-ATPase 分子群の転移、拡散過程について初步的研究を行っている。将来の改3号炉に予定されている中性子小角散乱回折計を用いて、フェリチンやトリプシン処理等により作成した複合膜中蛋白分子群のもつ静的、動的構造特性を調べてみたい。

## 冷中性子による生体分子の QES 分光

北大・工井 上和彦

中性子準弾性散乱は、分子系の低エネルギーの振動運動を調べるための有用な方法であるが、生体物質研究への応用はこれから始まろうとしている。この手法は、鎖状の生体分子の構造・配列の乱れに伴う振動、あるいは、生体物質に含まれる水分子の挙動などを調べる目的にとって、極めて有効である。

これらの目的に使用する中性子準弾性散乱分光器の特性としては、エネルギー高分解能が勿論必要であるが、これまでの分子系への応用の経験から、高いQ領域、例えば $3\text{ \AA}^{-1}$ 以上、できれば $5\text{ \AA}^{-1}$ 程度まで測れることが望ましい。この性能の実現のためには、複数の分光器および冷中性子源と熱中性子源の組合せが必要となるであろう。

本講演では、生体物質研究への中性子準弾性散乱の応用の可能性に関連して、準弾性散乱で情報を取り出す原理の特徴と、それに伴って必要な分光器の特性について述べる。併せて、当面の応用で参考になる粘土結晶層間に捕獲された水の拡散定数の測定や、水分子の回転モードの測定、鎖状分子への応用例としてゴム状バルク高分子の局在モードの測定、およびアモルファス固体におけるトンネル効果による低エネルギー励起の存在の可能性を示す測定などのいくつかの測定例を紹介する。

## 中性子時分割小角散乱による生体物質の研究

広大・総科 武田 隆義

小角散乱は数 $10\sim1000\text{ \AA}^2$ 程度の構造を調べるのに有効であり、生体物質の構造の解明に用いられる。生体物質のこのような原子レベルより大きい高次構造は温度、光、電気、力、化学的等環境変化に対する緩和時間が長く、平衡状態に達するまでに時間がかかる場合が多い。このような非平衡状態の動的構造は生体機能発現と密接に関係しており、時分割測定により動的構造を解明することは生体機能を解明するために不可欠である。

最近、放射光の強力X線利用の時分割小角散乱が筋肉収縮過程の解明等動的構造研究に偉力を發揮している。生体物質は一般に原子数の半分以上が水素であり、かつ水溶液中で生理的機能を発現するものがほとんどである。このことから中性子は次のような利点をもつ。①中性子の物質透過能が大きいため、水溶液に分散した *in vivo* に近い状態の系で研究できること、②対象の特定部分の軽水素を重水素に置換する選択的重水素化法、③さらにこれに  $D_2O/H_2O$  溶液の濃度を変えるコントラスト変化法を組合せることができる点である。それ故に中性子を用いた時分割測定法は非常に有効である。

中性子時分割測定のためには①中性子の強度（入射中性子束、収束光学系、試料のコントラスト）、②検出器（二次元化および感度）の改良、③トリガーの方法、④データ処理システム等の開発が望ま

れる。

典型的なリン脂質DPPC-D<sub>2</sub>O系の時分割測定の例を紹介する。構造変化が温度変化に対して大きなヒステリシスを示し、さらにその時間変化の温度依存があることを中性子の時分割測定により明らかにした。

## 中性子透過率測定の生体物性研究への応用

幾徳工大 平井光博

生体物質には多くの水素原子が含まれ、機能的にも構造的にも重要な役割を果している。水素原子、重水素原子に対する中性子全断面積の差は大きく、また、他の構成元素と比較しても十分大きい。そこで、中性子透過率測定より、生体高分子の排除体積、解離基のH-D交換、重水素化された高分子の重水素化率などを評価することを試みた。溶媒と溶液の中性子透過率の比は次式で与えられる。

$$\ln T_B/T_S = (\sigma_S/M_S - v_a \sigma_B/M_B) N_A L C$$

ここで、 $\sigma_S$ 、 $\sigma_B$ 、 $M_S$ 、 $M_B$ は溶質分子、溶媒分子の全断面積及び分子量、 $v_a$ 、 $C$ は溶質の排除体積及び濃度、 $N_A$ 、 $L$ はアボガドロ数及びセル長を表わしている。ウシ血清アルブミン10 wt% in D<sub>2</sub>Oでは中性子透過率は、純溶媒の88%から83%に減少し( $\lambda = 1.8 \text{ \AA}$ )、透過率の溶質濃度依存性より、 $v_a \sim 0.80$ となる。透過率の溶媒中の重水濃度依存性からは、溶媒と溶質の全断面積の一致する濃度が30% D<sub>2</sub>Oであることが判り、この値及び依存性(H-D交換率)は、蛋白質、核酸、脂質など溶質の構成成分に依存した特徴を示す。また、重水中で培養された紅色イオウ細菌の菌体の重水素化率は66%と求まった。

このように、中性子透過率測定から、沈降平衡法や機械的振動法による偏比容測定や、<sup>2</sup>H-NMRによる重水素化率測定に対応する情報が得られることが判った。

尚、測定には、高研KENSの熱中性子小角散乱装置のビーム上流側と散乱検出器後方に設置された一対のシンチレーター・モニターを用いた。これらのモニターにより、入射及び透過中性子線強度が常時、簡便に測定できる。この装置では中性子線を収束しているため焦点位置の前方散乱の寄与は小さく、また、TOF法を用いているので透過率の波長依存性も同時に求めらる。上記の実験は室温で行い、10 wt%~1 wt% 溶液(0~100%D<sub>2</sub>O溶媒)に対し20分程度の露出時間であった。

### 参考文献

- (1) N. Niimura, A. Ishida, M. Ueno, K. Yamada, M. Hirai and K. Aizawa KENS REPORT VI (1985/86)III-18
- (2) M. Hirai, N. Niimura and A. Ishida Nucl. Instr. Methods (in press)

## KUR 冷中性子実験設備の進捗状況について

福島県・大迫

京大・原子炉 山岡仁史

昭和 59 年度を初年度として発足した京大原子炉冷中性子源設備の設置計画は、冷中性子源本体の製作、炉室外での性能試験、旧黒鉛集合体の撤去工事を経て、昭和 61 年度工事として、新黒鉛熱中性子設備内に液体重水素方式の冷中性子源設備を設置することにより、一段落した。その後、直ちに水素液化貯留を含む種々の試験検査を行い、昭和 62 年 1 月 8 日に原子炉施設使用前検査に合格した。

現在は、軽水素により冷中性子源設備としての特性試験を行っているが、水素液化貯留および長時間定常運転について良好な結果を得たほか、5 MW の原子炉運転時においても貯液操作を開始することができることから、核発熱を補う十分の冷却能力を有することを確認した。また、冷中性子ビーム孔からの冷中性子強度の測定および冷中性子利得の実測を行うとともに、極冷中性子導管を挿入して極冷中性子強度の予備的な測定を行い、いずれの場合にも妥当な結果を得た。

今年度は、重水素への置換および冷中性子ビームの正確なスペクトル測定を行い、さらに、中性子導管と各種測定装置の製作を行う予定である。

## KENS 小角散乱装置と生体物質研究

東北大・核理研 新村信雄

KENS には、生体物質研究に用いられる得る小角散乱装置として、SAN と WIT がある。SAN は完成した装置であり、すでに生体物質研究に充分供せられている。SAN の最大の成果は、パルス冷中性子を用いた、TOF 法による小角散乱装置を世界で始めて実用化したことである。

SAN を用いての生体物質研究は、紫膜及びコラーゲンのプラグ反射の観測を先ず実施した。次にイネ萎縮ウィルスの内部構造決定のためコントラスト変調法を試みた。いずれの実験も充分満足を得られる結果を得た。

最も時間をかけたのは、スクレオソームの構造研究である。スクレオソームは水溶液中でイオン強度変化をさせると 10 mM NaCl 添加で相転移を生ずる。特に低イオン強度では、スクレオソーム分子間相互作用が著しく強くなることが判明した。

もう一台の小角散乱装置 WIT は現在建設中である。WIT の最大の目標は熱中性子小角散乱装置の実現である。生体物質研究への応用として、アルブミンのコントラスト変調法による溶液散乱及び紫膜の面内反射の測定を試みた。これらのテスト実験の結果、検出器系の改造が必須であることが判明し、現在、設計中である。尚 WIT を使って、中性子透過率測定による生体物質研究はその有効性が判明しつつある。

最後に、KENS 小角散乱装置を使っての今後の生体物質研究について、コメントを試みた。

## 中性子スピニエコー法による生体物質研究

広大・総科 好村滋洋

中性子スピニエコー法は、凝集体における中間散乱関数 (intermediate scattering function)  $I(\kappa, t)$  を直接測定することを可能にする非弾性散乱測定法である。ここで散乱ベクトル  $\kappa$  は  $10^{-3} < \kappa < 10^{-1} \text{ Å}^{-1}$  の範囲、相関時間  $t$  は  $10^{-3} \text{ ns} < t < 10^2 \text{ ns}$  の範囲をカバーすることができる。

我々は京大原子炉KURのE-3実験孔にある中性子導管から得られる波長  $\lambda = 4 \text{ Å}$  の中性子を用いて、スピニエコー法のテスト実験を行った。その結果、世界最高の性能をもつグルノーブルILL研究所のスピニエコー装置 IN11に較べて、スピニエコー信号の強度は 1/1000 のものが得られることが判明した。しかしながら相関時間  $t$  の上限は IN11 では  $10 \text{ ns}$  であるが、我々は超伝導磁石を使うことによって、 $50 \text{ ns}$  まで拡張可能であることの見通しを得た。

このような中間散乱関数  $I(\kappa, t)$ 、あるいはそのフーリエ変換によって得られる時間空間相関関数  $G(r, t)$  は生体物質のダイナミックスの研究にとって極めて大切であると考えられる。結晶のように周期的な構造に基づく、周期的な運動を記述するには散乱関数  $S(\kappa, \omega)$  が適当である。これに反し生体物質の多くは、非周期的な構造もち、非周期的な運動を行っていると考られる。従って  $S(\kappa, \omega)$  による記述は不向きで、むしろ  $G(r, t)$  による記述が適当である。

生体膜においては周期的な構造に基づく、非周期的な運動が期待される。生体膜における  $I(\kappa, t)$  はこのようなダイナミックスを記述するのに最適である。今後生体膜における  $I(\kappa, t)$  を測定し、生体膜のダイナミックスを明らかにしてゆきたい。

### 改造 3 号炉に設置する原研小角散乱装置

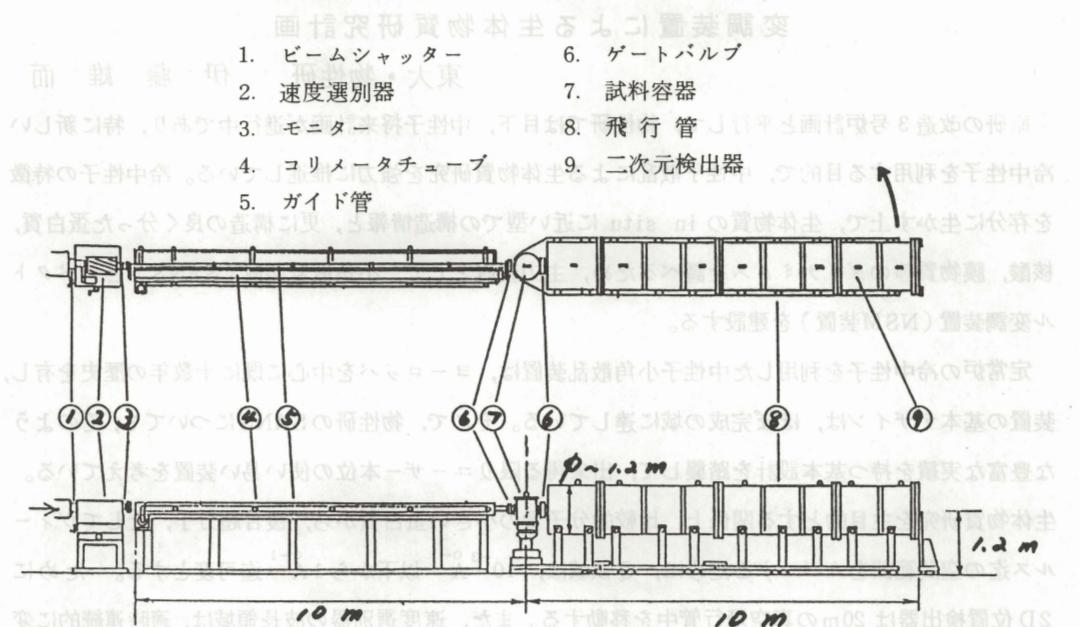
改造 3 号炉に設置する原研小角散乱装置

- 1) 分解能は中程度とし、強い散乱強度を得る。
  - 2) 小角とともに、必要に応じて高角迄測定可能とする。
  - 3) 時分割測定機能を付ける。
- などである。図に装置の概観を示した。

波長は速度選別器により  $6 \sim 15 \text{ Å}$  程度を選ぶ。ビームラインに対してこの選別器を傾けることにより波長分解能  $\Delta\lambda/\lambda$  を  $10 \sim 20\%$  の範囲で可変とする。

コリメータはピンホール配置で必要な大きさのピンホールを選択する。実験に応じて  $5 \text{ m}$  と  $3 \text{ m}$  のガイド管をビームラインに入れし、試料までの距離を  $10, 5, 2 \text{ m}$  と変える。これに対応して試料—検出器間の距離も適当に変える。分解能を上げた状態で強度がさらに必要な場合はアメリカ NBS

タイプの収束型コリメータを使用する。

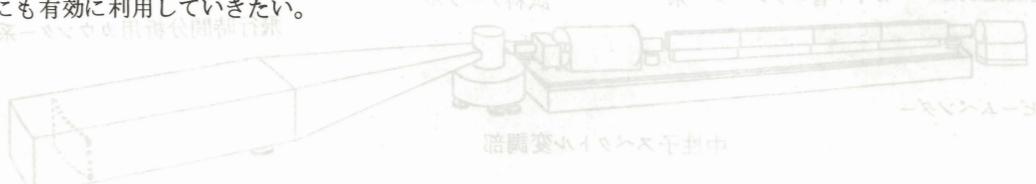


検出器は二次元<sup>3</sup>Heガスカウンターを考えている。有効面積  $60 \times 60 \text{ cm}^2$  程度、位置分解能 8mm 以下としたい。データ収集・処理はマイクロVAX IIシステムにより行う。代表的なパラメータでの装置の性能を表に示す。

$$\lambda = 6 \text{ \AA}$$

バスの長さ 試料 前・後 (m)	ピンホールの直径		Q range ( $\text{\AA}^{-1}$ )	分解能 $\Delta Q(\text{at } Q_{\min})$ ( $\text{\AA}^{-1}$ )
	第1 (mm)	第2 (mm)		
2	20	10	0.014~1	0.004
5	20	10	0.005~0.5	0.0015
7	3.5	3.5	0.003	0.0010
10	20	10	0.003~0.25	0.0007
	7	3.5	0.0015	0.0004

本装置では金属材料の研究が主となるが生体物質の研究にも充分な性能を持っている。この方面にも有効に利用していきたい。



## 物性研小角散乱装置とスペクトル

### 変調装置による生体物質研究計画

東大・物性研 伊藤 雄而

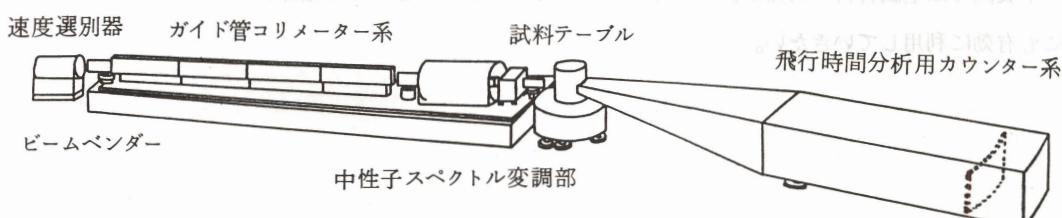
原研の改造3号炉計画と平行して、物性研では目下、中性子将来計画が進行中であり、特に新しい冷中性子を利用する目的で、中性子散乱による生体物質研究を強力に推進している。冷中性子の特徴を存分に生かす上で、生体物質の *in situ* に近い型での構造情報と、更に構造の良く分った蛋白質、核酸、膜物質等のダイナミクスを調べるために、主力装置として、小角散乱装置(SANS)とスペクトル変調装置(NSM装置)を建設する。

定常炉の冷中性子を利用した中性子小角散乱装置は、ヨーロッパを中心に既に十数年の歴史を有し、装置の基本デザインは、ほぼ完成の域に達している。そこで、物性研のSANSについても、そのような豊富な実績を持つ基本設計を踏襲して、出来得る限りユーザー本位の使い易い装置を考えている。生体物質研究を主目的とする関係上、比較的分子量の小さい蛋白質から、複合超分子、そしてヴィールス迄の空間範囲をカバーするために、Q領域は、 $10^{-3} \text{ \AA}^{-1}$  以下から  $1 \text{ \AA}^{-1}$  可変とする。ために2D位置検出器は20mの真空飛行管中を移動する。また、速度選別器の波長領域は、適時連続的に変えられ、入射コリメーター部分も容易に取換えられる等、強度のロスを最小限に止めて分解能を最適化する。

このように、構造決定用のSANSについては、従来型で、cost-performance の最適化を追求したのに比べて、生体物質のダイナミクスを調べるNSM装置は、全く新しい物性研独自の装置であるので、積極的に最新の概念と技術とを導入する。装置の概要は図に示す通りであり、全長約35mに及ぶ。特に上流の偏極ビーム・ベンダー、試料テーブル前のスペクトル変調部、そして後部の2次元位置検出飛行時間分析ディテクター・システムは、いずれも他に例を見ない設計思想によっている。Duty cycle 可変の擬ランダム変調シグナルは、百に及ぶ各TOFカウンターごとに on-line 交差相関処理を受けてから、データー解析ルーチンへ渡され、on-line display されるために、高速の特殊データー処理システムが必要となる。

これらの装置が稼動を始める2~3年後には、我国の中性子散乱による生体物質の研究は、飛躍的に発展するものと、期待されよう。

中性子スペクトル変調装置



## 物性研究所談話会

日 時 1987年7月13日(月)午後4時～5時

場 所 物性研究所旧棟1階講義室

講 師 中井 裕 氏

(所属) (客員部門(中性子部門))

題 目 Au(Fe)スピングラス系の有効磁場分布

要 旨：

スピングラス系の性質を決める重要な物理量である有効磁場分布(各磁気モーメントの見ている磁場の確率分布関数)をメスバウア吸収スペクトルより求めた。スペクトルより通常得られる hyperfine field の分布関数  $P(H_{hf})$  と求めたい有効磁場分布  $P(H)$  との関係は一般には必ずしも簡単でない。しかし、RKKYスピングラス系では、hyperfine field と有効磁場との間に一対一の対応関係を想定できるので、 $P(H_{hf})$  から一義的に  $P(H)$  を求めることができる。例として Au(Fe)スピングラス系を選び、稀薄な組成及びリエントラント領域の試料に対して、いくつかの温度で  $P(H)$  を求めた。その結果をモデルによる理論計算と比較する。

日 時 1987年7月20日(月)午後4時～5時

場 所 物性研究所旧棟1階講義室

講 師 Prof. J. H. Block

(所属) Director, Fritz-Haber-Institute

Berlin, West Germany

題 目 PHOTON INDUCED FIELD DESORPTION EXPERIMENTS  
with LASER and SYNCHROTRON RADIATION

要 旨：

The excitation of surface particles by electrons and photons leads to enhancement of field desorption rates in field ion microscopy. The re-neutralization of ions in front of the surfaces and field-dependent desorption cross-sections are complicating facts after electron or photon impact.

Experiments are performed with photon-pulses of a nitrogen-pumped Dye-laser and with synchrotron radiation, single bunch mode at BESSY and DESY. Time of flight mass analysis is applied to identify desorbed particles.



## 物性研創立 30 周年記念行事のお知らせ

物性研究所は昭和 32 年 4 月に設立されたので、本年をもって創立 30 周年を迎えることになります。この記念すべき年を迎えるに当り、当研究所では、過去 30 年の歴史を回顧・反省すると共に、将来への新たな飛躍と発展をめざして、30 周年記念行事を開催することになりました。行事の内容は、記念シンポジウム、記念講演会の開催、所内の公開、科学映画の製作、記念出版などあります。行事日程などは下記の通りです。多数の方々の御参加を期待しております。

### ○ 行事日程

12 月 2 日（水）： 記念シンポジウム「物性物理の諸概念」

12 月 3 日（木）： 記念講演会、科学映画上映および特別公開

12 月 4 日（金）  
12 月 5 日（土）  
} 所内一般公開（科学映画上映）

### ○ 科学映画製作 「極限をめざして」

### ○ 記念出版 「物性研 30 年一回顧と展望一」

なお、詳細は追って通知致します。



# 物性研ニュース

号 1 番 SS 目次 木本六因 指導研究室 001 テ

撰書人 駒井謙一郎 実験担当者 大東

## 東京大学物性研究所の助手公募の通知

真重意由 (8)

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) 研究室名及び公募人員数

極限物性部門 合計 超低温物性 助手 1 名

### (2) 内容

本部門では、小川・石本・久保田所員を中心として量子固体、量子液体、核磁性等超低温領域における物性研究を行っている。

本公募の助手は主として小川・石本所員と協力して上記研究を推進することが要請される。

超低温実験の経験は必ずしも問わないが、この分野の先端的領域の開拓に意欲ある人を希望する。

### (3) 資格

修士課程修了、又はこれと同等以上の能力を持つ人。

### (4) 任期

5 年以内を原則とする。

選員入室公募室実行 (I)

### (5) 締切

昭和 62 年 9 月 30 日 (水) (必着)

提出実行 (S)

### (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

#### (1) 推薦の場合

- 推薦書 (健康に関する所見を含む)
- 履歴書 (略歴で結構ですが、学位名・単位取得のみ・論文提出中等を明示のこと)
- 主要業績リスト (必ずタイプすること)，ほかに主な論文の別刷

#### (2) 応募の場合

- 履歴書 (学位名・単位取得のみ・論文提出中等を明示のこと)
- 業績リスト (必ずタイプすること)，及び主な論文の別刷
- 所属の長又は指導教授等の本人についての意見書 (宛先へ直送のこと)
- 健康診断書

### (8) 宛先

（該当者用紙）書類提出用紙

〒106 東京都港区六本木7丁目22番1号

東京大学物性研究所 総務課 人事掛

電話 03(478)6811 内線 5004・5022

ス 一 上 二 三 四 五 六

東京大 学

(9) 注意事項

極限物性部門超低温物性助手応募書類在中、又は意見書在中の旨を表記し、書留で郵送のこと。

(10) 選考方法

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

東京大学物性研究所長

守 谷 46 年 亭

この度は、上記のとおり公募を実施するにあたり、以下に該部門の選考方針を示す。

（1）選考方針  
（2）選考委員会構成  
（3）選考日程  
（4）選考基準  
（5）選考結果

### 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) 研究室名及び公募人員数

理論部門 高田研究室 助手 1名

(2) 研究分野

物性理論。但し、一体問題、多体問題を問わず、第一原理からの計算に意欲的に取り組んでくれる積極的な人を希望する。

(3) 資 格

修士課程修了、又はこれと同等以上の能力を持つ人。

(4) 任 期

5年以内を原則とする。

(5) 公募締切

昭和62年11月30日(月)(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

(1) 推薦の場合

○ 推 薦 書(健康に関する所見を含む)

○ 履 歴 書(略歴で結構ですが、学位名・単位取得のみ・論文提出中等を明示のこと)

- 主要業績リスト（必ずタイプすること），ほかに主な論文の別刷六四書籍京東 501 冊

(ロ) 応募の場合

宇 宏 田 山 達 実 墓 封 研 学 大 京 東

- 履歴書（学位名・単位取得のみ・論文提出中等を明示のこと）

門 壇 葵 淳 ト

- 業績リスト（必ずタイプすること），及び主な論文の別刷（土日月10月1日半1981年1月31日）

- 所属の長又は指導教授等の本人についての意見書（宛先へ直送のこと）

門 壇 葵 淳 ト

○ 健康診断書（頒布冊立国セイリヤード、お邊入るまち監所ア画情実冊式まち冠社。）

(8) 宛 騨 先 8-1 お間隔監所。まつらふ見るまと更露各 8-6 BNル（頒布冊立国セイリヤード）

〒106-8 東京都港区六本木7丁目22番1号 ガス科多封領印、封神乗せ式るまケコ画情本

日 62 年 8 月 東京大学物性研究所 総務課 人事掛

電話 03(478)6811 内線 5004・5022

。すもじさ（土）

(9) 注意事項 事務担当者、委員会委員委嘱記、おれの即不アハセニガ式画実の委持代樹のこ

理論部門 高田研究室助手応募書類在中、又は意見書在中の旨を表記し、書留で郵送のこと。

(10) 選考方法

。すもじさ 01 の大お員委の取手本の会員委画情実冊

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。

（日本）新規性社、（海外）大東、（中国）華北、（韓國）華南、（臺灣）華中、（東京大学物性研究所）

（日本）新規性社、（海外）大東、（中国）華北、（韓國）華南、（臺灣）華中、（東京大学物性研究所）

（日本）新規性社、（海外）大東、（中国）華北、（韓國）華南、（臺灣）華中、（東京大学物性研究所）

守 谷 亨

委員会委員委嘱記

宇 宏 田 山 委員委

## 1988年度日米協力事業「中性子散乱」研究計画の公募

標記の研究計画を、下記の要領で公募します。応募された研究計画は、研究計画委員会において審議の上、日米合同研究委員会で協議し決定されます。採否の決定は1988年1月以降になる見込みです。またこの協力研究は、米国の高炉性子束炉を利用するもので、国内の施設（原研原子炉、京大原子炉、高エ研ブースター利用施設等）の利用で行いうる研究は除きますので御留意下さい。

題名	記	年 曆	申 題
1. 応募資格： 全国国公私立大学、研究所所属の研究者（含大学院生）	宇 宏 田 山	1988.1.15	門 壇 葵 淳 ト
2. 提案様式： 所定の提案書（用紙は提出先に請求して下さい）とコピー2部	宇 宏 田 山	1988.1.15	門 壇 葵 淳 ト
3. 提案書送付先	宇 宏 田 山	1988.1.15	門 壇 葵 淳 ト

〒106 東京都港区六本木7丁目22番1号

東京大学物性研究所 山田 安定

合意の書

4. 応募締切

1987年10月31日(土) 暫假の文書にて、この件を了す旨の書類

5. 参考説明

(i) 採択された研究計画で派遣される人数は、オークリッジ国立研究所(ORNL)3~4名、ブルックヘブン国立研究所(BNL)6~8名程度となる見込みです。派遣期間は1~3ヶ月程度です。

(ii) 本計画にできるだけ柔軟性、即応性を持たせるため、BNL実施計画のうち、1989年1月以降に実施を計画する分については、追加応募を受けます。追加分の締切は1988年3月26日(土)とします。

(iii) この協力研究の実施方法について不明の点は、研究委員会委員長、各担当幹事、最寄りの委員にお問い合わせ下さい。また各設備に関する上記の委員にお問い合わせ下さい。

(iv) 研究計画委員会の本年度の委員は次の10名です。

山田安定(東大物性研・委員長)、国富信彦(阪大理・ORNL担当幹事)、遠藤康夫(東北大理・BNL担当幹事)、舟橋 達(原研)、伊藤雄而(東大物性研)、好村滋洋(広島大総科)、斯波弘行(東大物性研)、中井 裕(阪大理)、山口康男(東北大金研)、若林信義(慶應大理)。

日米協力事業「中性子散乱」

研究計画委員会

委員長 山田 安定

第2回協議会議事録

人 事 動 異 動

所 属	職 ・ 氏 名	発令年月日	異 動 内 容
極限物性第一部門 超 低 温 物 性	教 授 生嶋 明	62. 6. 30	辞 職
軌道放射物性部門	助 手 大熊 春夫	62. 7. 1	筑波大学研究協力部技術職員より転任
凝縮系物性部門	助 手 平林 泉	62. 7. 1	休職(西独、マックスプランク固体物理学研究所)63. 3. 31まで
軌道放射物性部門	助 手 西村 弘志	62. 7. 31	休職更新(米、カリフォルニア大学ローレンス・バーカレー研究所)63. 9. 30まで
事 務 部	施 設 掛 福田 博 文	62. 8. 1	施設部建築課へ
極限物性第一部門 表 面 物 性	技 官 荒 則 彦	62. 8. 16	採 用

Technical Report of ISSP 新刊リスト

Ser. A

- No1804 Variational Monte-Carlo Studies of Hubbard Model II. by Hisatoshi Yokoyama and Hiloyuki Shiba.

- No1805 MMR Study of Nearly Itinerant Ferromagnetic LuCo<sub>2</sub>. by Kazuyoshi Yoshimura, Kazuaki Fukamachi, Hiroshi Yasuoka and Mamoru Mekata.

- No1806 Small-Size Platinum Resistance Thermometers for Thermometry in Magnetic Fields. by Yasuhiro Iye.

- No1807 Synthesis of Active Sistes with Alkylidene Ligands on Molybdenum Oxide Films. by Mayumi Kazuta and Ken-ichi Tanaka.

- No1808 Light-Induced Metastable Defects in a-Si:H as Elucidated by Optically Detected Magnetic Resonance Measurements at 2K. by Daxing Han, Mihoko Yoshida and Kazuo Morigaki.

- No1809 Superconductivity in Metamorphic Phases of Ba<sub>2</sub>ErCu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>. by T. Takabatake, Y. Nakazawa and M. Ishikawa.

- No1810 New Spin Wave Modes in <sup>3</sup>He-<sup>4</sup>He Solution. by Hidehiko Ishimoto, Hiroshi Fukuyama, Nobuhiko Nishida, Yuichi Miura, Yasumasa Takano, Tuneo Fukuda, Tetsuro Tazaki and Shinji Ogawa.

- No1811 Mixed Phase of spin-Glass Ordering and an Antiferromagnetism in an Ising System Fe<sub>x</sub>Mn<sub>1-x</sub>TiO<sub>3</sub>. by H. Yoshizawa, S. Mitsuda, H. Aruga and A. Ito.

- No1812 Structures and Upper Critical Fields of High T<sub>c</sub> Superconductors (RE)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub>. by Tsuyoshi Tamegai, Akiko Watanabe, Isamu Oguro and Yasuhiro Iye.

- No1813 Effects of Coulomb Interaction on Superconductivity. by Yasutami Takada.

- No1814  $^{207}\text{Pb}$  NMR Study of  $\text{BaPbO}_3$ . by Toshinobu Tsuda, Hiroshi Yasuoka and J. P. Remeika.
- No1815 Investigation of Controlled Ultrashort Pulse Dye Laser for Femtosecond Nonlinear Spectroscopy. by Yuzo Ishida and Tatuo Yajima.
- No1816 Thermodynamic Properties of the Mixed Crystals of Galvinoxyl Radical and its Precursory Closed Shell Compound : The Large Entropy Cooperating with the Spin System. by Kunio Awada, Tadashi Sugano, Minoru Kinoshita, Takasuke Matsuo and Hiroshi Suga.
- No1817 Spin Fluctuations in  $\text{Y}(\text{Co}_{1-x}\text{Al}_x)_2$ : the Transition System from Nearly to Weakly Itinerant Ferromagnetism. by Kazuyoshi Yoshimura, Mamoru Mekata, Masashi Takigawa, Yoshinori Takahashi and Hiroshi Yasuoka.
- No1818  $^{63}\text{Cu}$  NMR and Susceptibility Studies of  $\text{YbCu}_2\text{Si}_2$  Single Crystal. by Tadashi Shimizu, Hiroshi Yasuoka, Z. Fisk and J. L. Smith.
- No1819 Triangle Contraction for Six-Memberd-Ring Silicon Clusters,  $\text{Si}_6$ ,  $\text{Si}_{10}$ ,  $\text{Si}_{14}$ ,  $\text{Si}_{18}$ ,  $\text{Si}_{22}$  and  $\text{Si}_{26}$ . by Susumu Saito, Shuhei Ohnishi, Chikatoshi Satoko and Satoru Sugano.
- No1820 Dynamics of Transition-Metal Clusters. by Shin-ichi Sawada and Satoru Sugano.
- No1821 Spin-Peierls Transition with Competing Interactions. by Kazuhiro Kuboki and Hidetoshi Fukuyama.
- No1822 Proximity Effect and Anderson localization. by Hidetoshi Fukuyama.
- No1823 Anisotropic Superconductivity and NMR Relaxation Rate in Organic Superconductors. by Yasumasa Hasegawa and Hidetoshi Fukuyama.
- No1824 New Determination of  $^3\text{He}$  Melting-Curve below 15 mK. by Hiroshi Fukuyama, Hidehiko Ishimoto, Tetsuro Tazaki and Shinji Ogawa.

No1825 NQR and NMR of  $^{139}\text{La}$  in Antiferromagnetic  $\text{La}_2\text{CuO}_{4-\delta}$  by Hironori Nishizawa, Hiroshi Yasuoka, Tadashi Shimizu, Toshinobu Tsuda, Takashi Imai, Susumu Sasaki, Shinsaku Kanbe, Kohji Kishio, Koichi Kitazawa and Kazuo Fueki.



## 編 集 後 記

今月号は退官あるいは転出された方々からの御寄稿と6月に行なわれた短期研究会の報告が主内容となりました。研究が国際化し、研究者の流動が活発になるに伴って研究会や国際会議が夏休みに集中し、夏休みはむしろ忙しいシーズンになってきた感があります。この時期に原稿を御執筆いただきました方々にお礼申し上げます。本号が出版される頃は暑さも峠を越えていることと思いますが残暑厳しき節、皆様の御自愛をお祈りいたします。

なお、次号の締切りは、10月10日です。

〒106 東京都港区六本木7丁目22番1号

東京大学物性研究所

田 中 虔 一

福 山 寛

