物性研だより

第34巻
第6号
1995年 3月

目　　次

物性研の新しいスーパーコンピュータシステムについて …… 常行　真司 … 1
研究室だより
○ 上田（寛）研究室 …… 上田　寛 … 3
○ 末元研究室 …… 末元　徹 … 11
物性研の拡充・改組計画の進捗状況 ……竹内　伸 … 17
物性研短期研究会報告
○ 「SOR-RINGから物性研高輝度光源へ－20年の歩みと将来－」…… 18
世話人　佐藤　繁，菅原英直，渡辺　誠，　片山武司，宮原恒昱，北村英男，
石井武比古，神谷幸秀，柿崎明人，辛　埴
○ 「固体表面の微細構造制御による新物性の発現」…… 65
世話人　川合知二，井野正三，川村隆明，新庄輝也，田中虔一，小森文夫
物性研究所談話会 …… 87
物性研ニュース
○ 東京大学物性研究所　教官公募 …… 92
○ 人事異動 …… 94
○ テクニカル・レポート　新刊リスト …… 95
○ 物性研だより　第34巻目録（第1号～第6号） …… 96
編集後記

東京大学物性研究所

ISSN　0385-9843

物性研究所の新しいスーパーコンピュータシステムについて

常 行 真 司

物性研究所に念願のスーパーコンピュータシステムが導入され，平成7年1月4日より運転を開始しました。このシステムは全国の先端的な物性研究者の共同利用に供し，他の大型計算機センターではできないような大規模なプロジェクトや手法開発等を効果的に行うことを目的としています。予算獲得交渉から機種選定のためのベンチマークテストにいたるまで，全国の物性研究者の皆様に様々な形でご支援を賜りましたことをお礼申し上げますとともに，運用に直接携わるものとして，このシステムの育成と活用に今後ともご協力下さいますようお願い申し上げます。

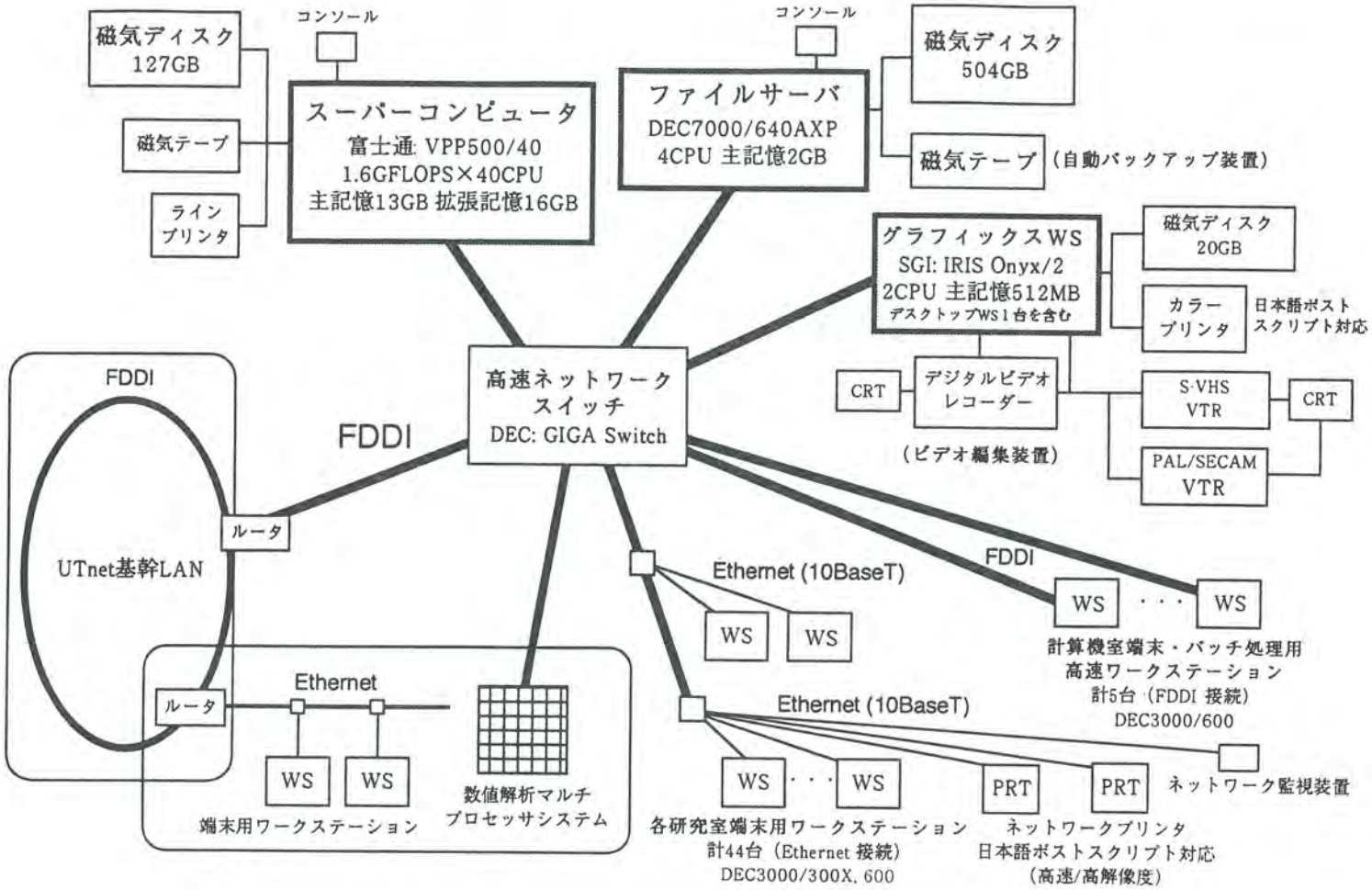
本システムは，スーパーコンピュータ本体，ファイルサーバ，グラフィックスワークステーションとビデオ編集装置，各研究室の端末ワークステーション群，バックアップ装置やプリンター等の周辺装置，ならびにそれをつなぐネットワーク装置から構成されます。(次ページ図)。スーパーコンピュータ本体は40個のCPUを持ち，総合最大演算性能 64GFLOPS 主記憶13GBという世界でも有数の性能を誇ります。ユーザ用のディスク領域としてはファイルサーバと合わせて400GB 以上を用意しています。スーパーコンピュータとファイルサーバ（それぞれ“icho”と“ginnan”という名前がついています）に登録されたユーザは，世界的な情報通信ネットワークであるインターネットを通じて，世界中どこからでもこのシステムを利用することができます。また来所してグラフィックスワークステーションとビデオ編集装置を使うことにより，数値シミュレーション結果の画像出力をアニメーションとしてVTR に編集録画することができます。物性研究所電子計算機室では，4月からの正式な共同利用にむけて，運用体制の確立を急いでいます。

スーパーコンピュータの共同利用は，約15名の委員（内約半数が所外委員）から成る「スーパーコンピュータ共同利用運営委員会」により運営されます。本システムを利用したいユーザには，原則として年2回の共同利用の公募時に課題申請を行っていただきます。各ユーザ（グループ）から申請された課題は約30名の委員からなる「スーパーコンピュータ課題審査委員会」で審査され，その結果を基に運営委員会が計算時間を配分します。所内ユーザであっても，スーパーコンピュータ本体を利用したいときには所外ユーザと一緒に課題審査を受けなければなりません。課題申請の方法や運営委員会規則等については，「物性研だより」第34巻第4号（1994）の物性研ニュース欄をごらんください。

なお電子計算機室では，システムの規模に比べて極端に少ない人員で運用を行っております。そのためユーザの皆様からご要望やご質問をいただきましても，必ずしもすぐには対応できないことがありますが，どうぞご了承下さい。またシステムの改善に役立つ提案やユーティリティソフトウェアの作成・インストールなど，ユーザの皆様からの積極的なご協力のお申し出をお待ちしております。

東京大学物性研究所スーパーコンピュータシステム構成図

（ 内は従来の装置）



研究室だより

上田（寛）研究室

上　田　　寛

「40才，平成元年4月」というおぼえ易く，きりのいい年に物性研に着任したのであるから，もうというかまだというか，とにかく6年になろうとしています。物性研に応募してみないかという話しがあったときは，物性の総本山である物性研で化学屋が何をするのか，また，当時は高温超伝導体が発見されて研究が爆発的に展開している真っ最中でもあり，そんな時に研究室の建ち上げに時間をとられることへの不安など，迷いましたが，新しくできた部門（新物質開発部門）であり，かなりの予算措置が見込まれることなどを耳にし，楽しみに京都を後にしたのが懐かしく思い出されます。実際に着任してみると現実はそんなに甘いものではなく，あてがわれた実験室は開かずの間と呼ばれた怪しげな実験室で，入ってみるともう何年も使った痕跡がないようにクモの巣がはっていて，床や机にほこりが厚く積もっているような状態でした。それからの半年は，物品の整理と不要物品の廃棄そして掃除の明け暮れで，鼻の穴が真っ黒になる毎日でした。それでも，夏をすぎる頃には整理もほぼ終わり，続いて，壁の塗り変えや床の張り替えにより見違えるような実験室になり，11月には助手の林昭彦氏が着任し，研究室の建ち上げに強力な助っ人を得ることになりました。

まずはじめに，ドラフトなどの設備や合成用の電気炉などを購入し，とりあえず合成が出来る態勢を整えて実験を始めました。平成2年には回転対陰極型強力X線回折装置と低温（8Kまで）および高温（1500℃まで）回折装置を事務方の努力により導入していただき，化学の基本である合成とキャラクタリゼーションが一応できる態勢が整いました。その後，不定比性の研究と熱分析のための熱重量天秤を平成3年度に，また，酸素量分析のための水素雰囲気下での熱重量分析が可能な，Mo金属でできた試料ホルダーとW-Re熱電対を装着した熱重量天秤を平成4年度にさらに導入しました。

この間，人的には，着任の年に面接した藤原陽子氏が平成2年4月に技官として着任し，また，翌平成3年には，初めての学生として，修士課程に田村弘康君，博士課程に越智健二君が入学し，急ににぎやかになりました。平成4年には新物質開発部門つきの技官として磯部正彦氏が着任しました。しかし，平成5年には藤原さんが助手として学習院大学に転出し，また，田村君が修士課程を卒業し東芝に入社するなど少しさびしくなりましたが，平成6年3月に外国人研究員としてロシアよりリコフ氏を，また，4月には空白であった技官ポストに元気者の関西人山内徹氏を迎え，現在に至っています。

以上がこの5年間あまりの研究室の簡単な歴史です。ところで，化学の基本は物質の合成とその

化学的評価にあると思います。物性研に着任するにあたり，従来からの化学屋としての自分のスタイルを変えることなく，物理にも貢献できればと考えてきました。私自身は無機固体化学が専門ですし，主に遷移金属の酸化物やカルコゲン化物などの結晶性固体物質を扱ってきましたが，これらの化合物のひとつの特徴として，不定比性（非化学量論性）の問題があります。不定比性は化学平衡の観点から興味深い現象ですが，相関系や構造のみならず，結果として，キャリアー数の変化や混合原子価状態をもたらし，物性に大きな影響を与えます。高温超伝導体をはじめ，新物質開発部門のプロジェクト研究で対象とする多くの強相関物質は典型的な不定比化合物で，その物性解明には不定比性のコントロールが不可欠です。そこで，当研究室では，さまざまな方法で不定比性を制御することにより，不定比性と相関係・構造および基本的物性との関連を研究し，それに基づいて良く規定された試料の合成を行い，物理グループとの共同研究により，微視的物性の解明を行うことを目的としてきました。その結果，物質開発よりは，試料の質にこだわり，良質試料の創製による質の高い物性データの蓄積に重きを置く結果となりました。以下に，これまでの研究の幾つかを，当研究室で共同利用できる装置との関連において，紹介します。

「La - Cu(Ni) - 214 化合物における過剰酸素の挙動についての研究」

La_2CuO_4およびLa_2NiO_4は同じK_2NiF_4型構造を持ち，格子間位置に酸素を含むことにより過剰酸素側に酸素不定比性を示す。La_2CuO_4は，La サイトをSr(Ba)で置換することにより超伝導を示すようになるが，その発見からあまり時を隔てない段階でLa_2CuO_4自身においての超伝導性も報告されていた。その後，高酸素圧処理したLa_2CuO_{4+y}において，室温以下で酸素濃度の異なる2相への相分離現象が，中性子回折より初めて観察された。長年酸化物を扱ってきた者として，酸素イオンの長距離拡散を伴う相分離現象が室温以下で起こること，ましてや，その過剰酸素は高酸素圧下で導入されたもので，相分離現象を起こしている環境は通常の環境である。即ち，この相分離現象は何ら気相との化学平衡とは関係なく生じている点において私の知る限り初めてで，強く関心を持ち，当時X線回折による実験報告はなかったので，早速，360 気圧の酸素圧下で熱処理したものについてX線回折のその場観察を試みました。結果の一部を図 1 に示し

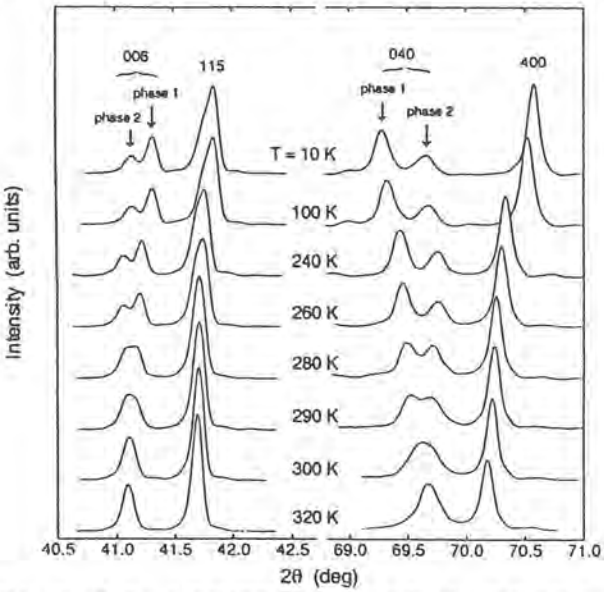


図 1．$La_2CuO_{4.03}$のX線回折パターンの温度変化。室温以下で2相に相分離する様子がわかる。相 1 は反強磁性絶縁体で，相 2 は超伝導体である。酸素量はそれぞれ4.00, 4.08 と見積もられ，両者とも構造は斜方晶Bmabである。

ますが，X線回折においても明瞭に相分離現象を観察することができました。続いて，通常合成では超伝導を示さないSr (Ba) 低濃度領域でも，高酸素圧処理によりすべて超伝導を示すようになること，X線回折からそれらは何れも相分離を示すことが確認できました。これらの結果からLa_2CuO_4においてはSr(Ba)置換とともに，相分離現象による過剰酸素の偏析により，超伝導を示すのに十分なホール濃度が供給されることが判明しました。その最低値はCuの平均原子価にして約2.05である。ところで，室温以下で酸素イオンがそんなに長距離拡散するとは考えにくく，この相分離現象はかなりマルテンシチックな性格を有すると考えられるが，そのダイナミカルな面は未だ明らかでない。

La_2CuO_4は数百気圧の酸素圧下でもたかだか$y=0.03$程度しか導入できないのにたいし，同じ構造を持つLa_2NiO_{4+y}の場合は300気圧までの範囲で$y=0.18$程度まで過剰酸素を導入することができ，過剰酸素の挙動を調べる上で格好の物質である。この化合物についても，様々な方法で過剰酸素量を制御し，X線回折のその場観察でその相関係を調べた。結果を状態図の形で図2に示す。La_2NiO_{4+y}においてはLa_2CuO_{4+y}においてみられたような相分離現象はみられず，214高温超伝導体関連において見出された各種の相転移が観測される。一般的には，過剰酸素の導入は，214化合物に特徴的なMO_6八面体の傾きを伴う構造(Bmab, $P4_2/ncm$, Pccn)への相転移を不安定にし，MO_2正方格子自身の歪みを伴う構造(Fmmm)に導くといえる。さらに，La_2NiO_{4+y}においては，電子線回折および格子像観察において，過剰酸素の秩序配列を示唆する結果が得られた。このことは，過剰酸素イオン間に働く相互作用が反発力であることを物語っている。一方，相分離現象は相互作用が引力であることを示している。これらLa_2CuO_{4+y}とLa_2NiO_{4+y}における相互作用の違いは，過剰酸素イオンの存在形態の違いによるかも知れない。酸素分圧と過剰酸素量の関係から，La_2NiO_{4+y}における過剰酸素イオン種としては通常のO^{2-}が示唆されるが，La_2CuO_{4+y}の場合は$(O_2)^{2-}$として存在する可能性がある。

これらの研究においては，熱重量天秤が酸素不定比性の研究と酸素量の分析に，また，出力18kWの回転対陰極型強力X線回折装置およびその低温（8Kまで）・高温（1500℃まで）装置が構造相転移のその場観察に，その威力を発揮しました。尚，田村君はLa_2NiO_{4+y}の研究で修士の学位を得ました。

「ペロフスカイト型銅酸化物における酸素不定比性・構造・超伝導性」

La(Y)-Sr(Ba)-Cu-O系での相関係と酸素不定比性・構造・物性との関連について調べた結果，その構造・酸素不定比性および超伝導性については，Aサイト金属のサイト選択性・配位選択性の観点から理解できる。LaとSrは，そのイオン半径や配位選択性の類似からペロフスカイト構造の同じAサイトをランダムに占める傾向にあり，その結果LaサイトのSrによる置換がすすむにつれ，酸素量は減少し，酸素量に応じた固有の空格子点規則配列を持つ酸素欠損型構造が現れる。その結果，これらの化合物自身は酸素不定比性をほとんど示さず，また，いずれも金属的伝導を示

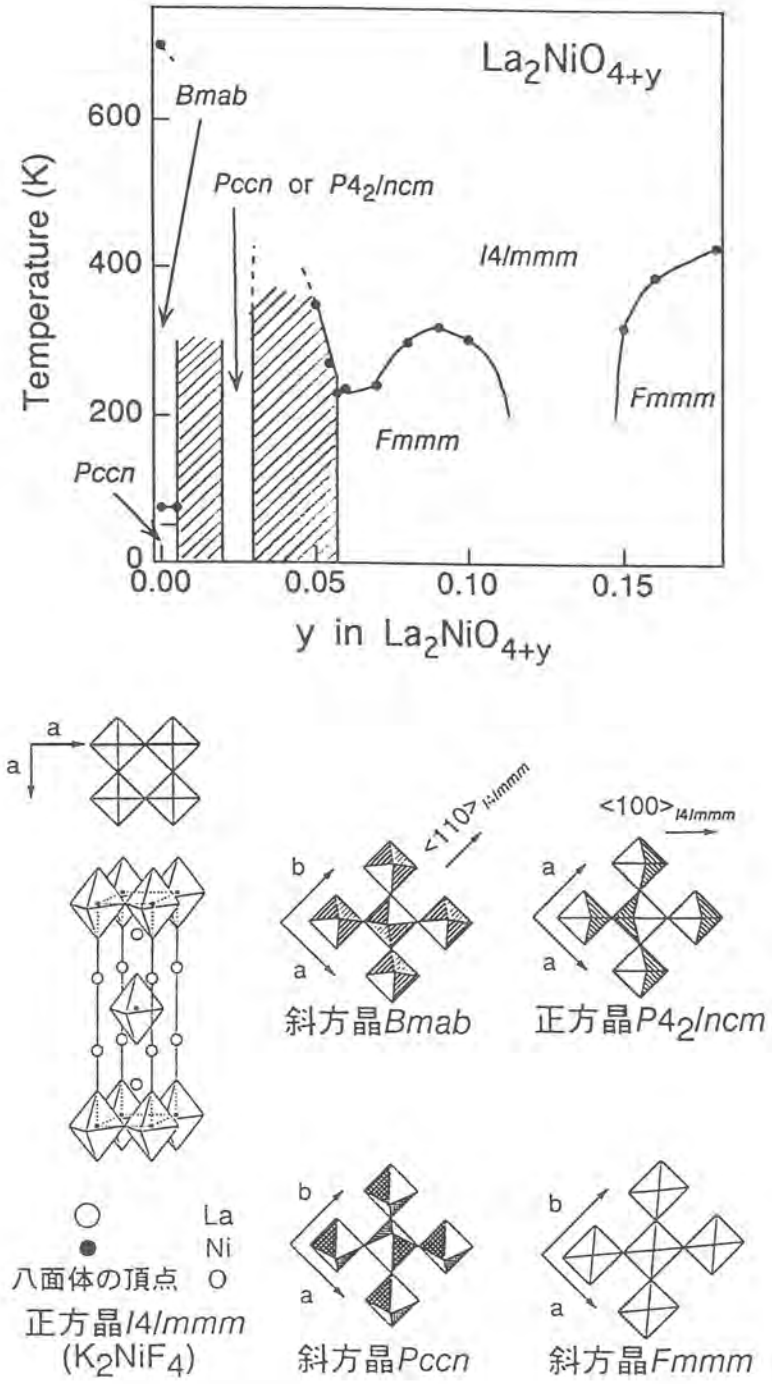


図２． La_2NiO_{4+y}の相図および各相の模式的構造図

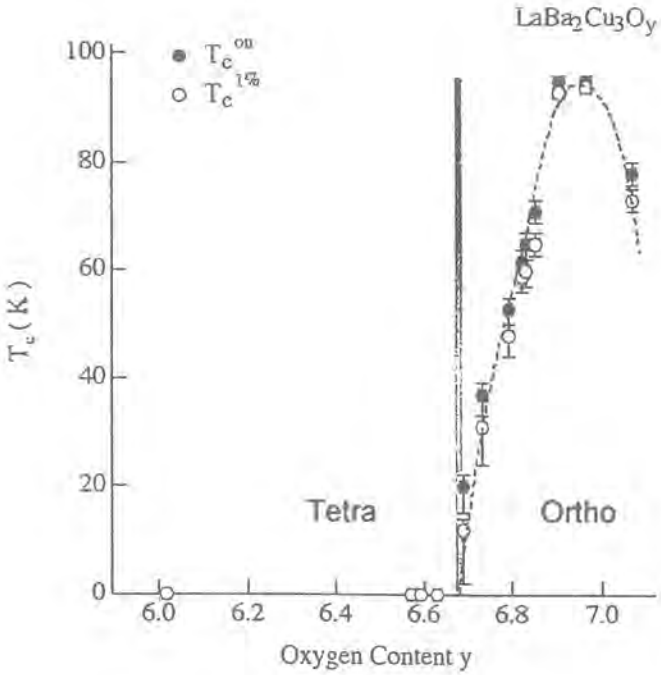


図3．$LaBa_2Cu_3O_y$におけるT_cの酸素量変化

すが，その3次元的構造のため超伝導体は示さない。一方，YとBaでは，サイト選択性の違いにより規則配列し，その結果，構造の2次元化が生じ，CuO_2層を持ち幅広い酸素不定比性を示す高温超伝導体(Y-123)が生成する。LaとBaは，両者の中間的性質を持ち，部分固溶をゆるす規則配列を示す傾向にある。

ところで，最近，La-123系で，123化合物としては初めて酸素量が7を越え，しかも，Tcが酸素量とともに極大値を経て再び下がる，即ち，オーバードーピング挙動を見出した（図3）。正方晶－斜方晶相転移や微細構造の検討からLa-123では，Y-123に比して，基底状態でもCuO層での酸素の規則配列に部分的乱れが存在することが示唆され，そのために，高酸素圧処理により酸素量が7を越えて導入できるものと思われる。これはLaのBaサイトへの部分置換により，Laはそのまわりに酸素を強く引き付けるために，結果として，本来空格子点である酸素サイトが部分的に占有されるためと推測される。核磁気緩和によるスピンダイナミクスの検討からは，スピンギャップ的挙動が始まる温度が，超伝導転移温度の極大値を必ずしも終点としないことを示していて興味深い。また，La-123では，$y \leq 6.7$では正方晶で超伝導を示さず，Y-123にみられるような所謂60K相はなく，構造と超伝導の密接な関係を示している。

これらの研究においても，熱重量天秤と強力X線回折装置が活躍しました。尚，越智君は，これらの研究を基に学位論文をまとめ，今春学位を得る予定です。

「高不活性雰囲気の創製とアルカリ土類金属酸化物を用いての物質合成」

$Tl_2Ba_2CuO_y$は，そのシンプルな構造と，酸素不定比性により超伝導体から通常の金属状態まで変化させうることや，Tl核は核磁気共鳴実験にもってこいの核種である点など，高温超伝導研究のための格好の物質であるが，Tlの酸化物は蒸発しやすく，通常の合成法では酸素のみならず金属イオンのストイキオメトリをコントロールすることが難しい。そこで，Auチューブに封じての合成を試みることにしたが，そのためには，出発物質としてBaOを使う必要があり，BaOは空気

中では大変不安定であるため，バキュームドライボックス中での取り扱いが要求される。バキュームドライボックスは高価であるので諦めかけていたが，地下倉庫を物色中，総アルミ製の立派なバキュームドライボックスを見つけ，それを譲り受け，秤量天秤，プレス器等を内蔵すると共に電気炉を直結し，すべての操作がバキュームドライボックス中でできるように改造した。現在，水分および酸素除去のガス循環精製器も修理し，バキュームドライボックス中で裸のフィラメントが点灯するほどの不活性雰囲気を誇っていて，アルカリ土類金属酸化物を使う各種酸化物，希土類金属化合物の合成のみならず，各種カルコゲン化物の合成にもその威力を発揮している。

$Tl_2Ba_2CuO_y$については，徹底した生成図の研究から，単相領域がTl欠損・Cu過剰組成領域に存在していて（図4），そのために，必然的にホールが供給された状態にあること，従って，低ドーピング領域は実現されないことが判明した。Tlサイト，Cuサイト，Oサイトの核磁気共鳴による微視的電子状態の研究は，安岡研究室との共同研究でなされ，オプチマムドーピングから通常金属状態に至る領域でのスピンダイナミクス等に関する興味深い成果が得られたが，それについては論文を参照していただくことにして，ここでは割愛する。また，このバキュームドライボックスを使っての，BaOを出発試料とする高品質Y-123およびY-124の合成も行い核磁気共鳴実験に供してきた。最近は，ペロフスカイト型バナジウム酸化物の合成にも力を注いでいます。酸化バナジウムについては，学生のころから研究を続けてきました。2元系酸化バナジウムの多くは，温度による金属－絶縁体転移を示し，その金属相の性質は強い電子相関によって特徴づけられます。ペロフスカイト型バナジウム酸化物は，2元系酸化バナジウムの多くがVO_6八面体の稜共有あるいは面共有で結び付いた構造を有しているのたいし，角共有で連結した構造を持ち，従って，これらバナジウムの化合物は，V-O結合の性質（化学結合）やバンド構造，また，そのなかで運動する電子に働く相互作用などについて，系統的に研究する場を与えてくれます。現在，核磁気共鳴による微視的電子状態の解明を共同研究で行っています。一般的には，電子相関の強さは，角共有から稜共有，面共有になるに従い強くなる傾向にあります。私自身は，超微細相互作用の違い（それは化学結合の違いを反映しているものと思われる）にも興味があります。化学的には不定比性の違いなども興味深い点です。実際，$SrVO_3$はほとんど

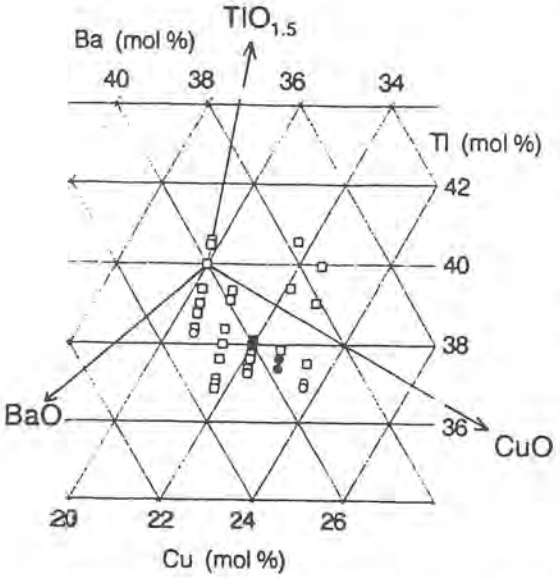


図4. Tl_2O_3-BaO-CuO相図。黒丸および黒四角印は，それぞれ正方晶，斜方晶$Tl_2Ba_2CuO_y$が単相で得られた組成を示す。

不定比性を示さないのにたいし$CaVO_3$は酸素欠損を示し，定比化合物以外に新たに2つの酸素欠損化合物の合成に成功しました。ところで，最近，モット転移近傍の異常金属相ということで，V_2O_3が再び注目されてきていますが，長年V_2O_3を研究してきた私としましては大いに歓迎する次第です。V_2O_3につきましては，不定比性およびTi置換により金属相を低温まで安定化でき，その基底状態は遍歴反強磁性状態であることを見出したのはもう十数年前になります。最近，中性子散乱実験から基底状態としてSDW状態が報告され注目されているが，我々の観測したNMRスペクトルにはSDWとしての特徴がみられない。常磁性金属相については，局所帯磁率に相当するナイトシフトのスピンギャップ的挙動をVサイト・Oサイトの両方で観測し，ICM'94で発表しました。この現象は以前温度による磁気モーメントの誘起現象として説明されたものです。この現象や遍歴反強磁性状態（あるいはSDW）が不定比性やTi置換に起因するのかあるいはV_2O_3の金属相固有の性質なのか残された課題である。

「^{17}O富化試料の合成」

物性研着任前からY-123化合物の酸素不定比性の制御と構造・相関係の研究を行い，それを基にして良質試料の合成を行い，共同研究で特に核磁気共鳴による微視的電子状態の解明に取り組んできましたが，着任後も引き続きその研究を行ってきました。物性研においては，特に，酸素サイトの電子状態の解明を目指して，酸素同位体^{17}Oを含む良質試料の合成とそのためのガス置換装置の作成を行いました。以前にも簡易型の装置を作成していましたが，こちらでは，各パーツに少し投資して本格的なものをセットアップしました（図5）。^{17}O富化試料の合成と^{17}O核磁気共鳴による酸素サイトの電子状態の研究は123化合物に留まらず，T1系超伝導体，各種バナジウム酸化物，$CuGeO_3$等におよんでいます。その詳しい研究内容につきましては，すでに発表している論文に譲りますが，^{17}O核磁気共鳴から得られた酸素サイトの情報として，高温超伝導体での酸素のナイトシフトはかなり大きな値を示すが，伝導性バナジウム酸化物ではその値は小さいことがあります。このことは，高温超伝導体はCu-O結合の共有結合性が強く，バナジウム酸化物ではその結合はか

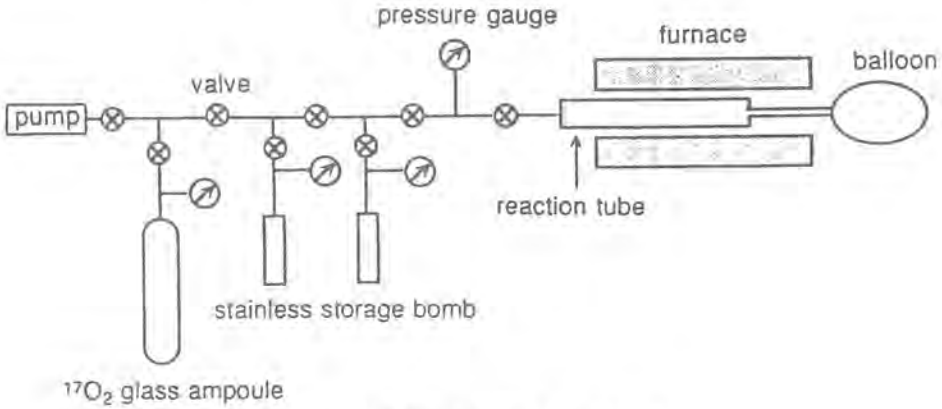


図5.　^{17}Oガス交換反応装置の模式図

なりイオン的であることを物語っている。ところで，バナジウム酸化物の合成には高温超伝導体と違って還元雰囲気が必要で，それゆえ，ガス交換反応では^{17}O富化試料を合成することが出来ず，バナジウム金属の$^{17}O_2$ガスによる直接酸化と固相反応法により^{17}O富化試料を合成しています。

着任以来，研究室の建ちあげには，事務や施設の方々をはじめ所全体のお世話になりました。また，ここに紹介しました研究をはじめ，当研究室の研究成果は，助手の林氏，技官の藤原氏，礒部氏，山内氏，それに大学院生の諸君の努力のたまものであり，また，所内外の共同研究の方々のお陰であります。この場をかりてお礼申し上げます。特に，助手の林氏には，研究室の建ちあげをはじめとし，装置類の整備・維持管理に至るまで面倒をみていただき感謝しています。また，共同研究や共同ゼミをとうして，物理学の立場からサジェッション・サポートをいただいている安岡先生および研究室の皆様には衷心よりお礼申し上げます。

最後にこの６年間を振り返ってみるとき，平成３年１月開催の第２会ＩＳＳＰ国際シンポジウムで財務（資金調達係り）を担当することになり，自分の研究室の建ちあげもままならない状態で，各方面に寄付のお願いをしてまわったのが懐かしく思い出されます。また，この間，新物質開発部門としては，新しくできた部門としての予算措置を継続して概算要求してきましたが，実現に至らなかったのがいささか残念であります。しかし，新たに，将来計画としての新物質科学研究部門とその施設である物質評価施設という形での実現に向けて努力したいと考えていますので，皆様のご協力をお願い致します。

末元研究室

末元　徹

1．平成のおとずれとともに

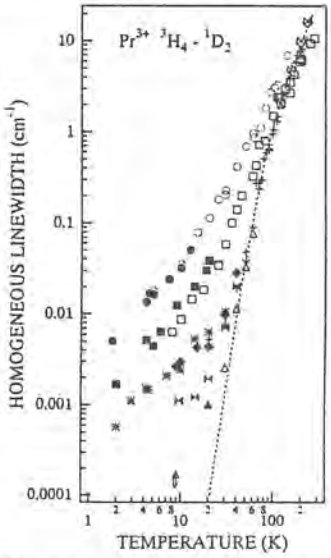
ついこのあいだ「着任の挨拶」を書いたばかりだと思っていたら，もう「研究室だより」の順番が回ってきたというので，時の流れのあまりの速さに驚いている。着任したのは平成元年の4月，ちょうどバブル経済の絶頂期で家さがしにも苦労したものであるが，この間に政治も経済もずいぶん変わり，（変わっていないとう見方もあるが，）やはり時間の流れを感じる事ができる。今思い起こしてみると，1年目にやったのは仙台での仕事の後始末と，実験室の片付けと整理，新しい装置の選定と図面引き位で，研究らしい事は何もしてなかったような気がする。1人では何か実験をはじめても雑用で数日実験室を離れているとまた最初からやり直しということになるので，あせらない事にした。実はすぐにでも助手をほしかったのであるが，その年はあいにく全く人材がなかったので，諦めて新卒が出るのを待つことにした。その年の暮れに小山技官，翌年の4月に田中助手と2人の学生が来てくれて，ようやく研究室の体裁が整った。その時自分なりに設定した目標は，とにかく松岡先生の定年までに一人前の研究室を作り上げ，極限レーザーの分光グループを維持する体制を作ることであった。

2．ホールバーニングと高分解分光

それまで9年間ほど準弾性光散乱やブリルアン散乱といった高分解のスペクトロスコピーをやってきたので，まずは比較的見通しのきくこの方面からスタートすることにした。最初に手掛けたのは永続的ホールバーニングである。これは，媒質の不均一性に基づくいわゆる不均一幅をもった光吸収スペクトルの中を単色光のレーザーで叩くと，吸収スペクトルに穴（ホール）が掘れ，それが半永久的に維持される（多くの場合低温でという条件がつく）現象である。実は数年前からこれをやってみたいと思い，少しづつ準備をしていたのであるが，転任を機に本腰をいれて始める事にした。ホールバーニングに目をつけた理由は，これがいわば選択励起分光の究極であると考えたからである。それまで数年間，超イオン導電体という非常に乱れの大きな系を研究していたのであるが，何を測っても不均一幅の広いスペクトルしか得られないので，乱れた系の中から特定の部分集団を取り出して計測する，選択励起分光の有効性を試してみたいと考えていたのである。そしてもう一つ魅力を感じた点は，ホールバーニングがまだ「物性」のセンスで積極的に利用されてはいないように思われたからである。そこでまず狭帯域（2 MHz）のリング色素レーザーを導入し，とりあえずそれまでに最も扱い慣れていた立方晶ジルコニア（ZrO_2 - Y_2O_3）にPr^{3+}をドープしたものを使って実験を始めた。やってみたら以外に簡単に見事なホールが掘れてしまった。この物質はれっきした結晶であるが，ホールの幅や生成メカニズムはむしろガラスの場合に近く，結晶とガラスの中間的な性質を示す面白い系である事が分かっ

た。外国の某雑誌に投稿したら，アクセプトの知らせが来る前に，サンプルを貸してくれという手紙が舞い込んで慌てたりしたものである。閲読者以外には知る機会はなかったはずである！これと平行して発光スペクトルを高分解能で測定するためにタンデム・ファブリーペロー干渉計の製作に取り掛かり，小山技官と一緒に一年余りかかって完成させた。その部品は実は東北大学科研の工場で作ってもらったものである。この装置はよく知られているとおり非常にデリケートなもので，現在研究室でこれを使いこなせるのは彼女だけである。

ホールバーニング関連の仕事は，いくつかのサブテーマに分かれたが，ジルコニア，イットリア(Y_2O_3)系統は主に奥野君によって進められ，Y_2O_3に二価の金属イオンをまぜることによって欠陥濃度を制御し，乱れの程度とホールの幅や生成効率との関係を調べた博士論として完成した。雙木君にはGeO_2ガラス中のナトリウムイオンの影響を調べてもらったが，これもガラスの組成を系統的に変えて研究したものとしては最初であろう。また最近ある種のイットリアやβ"アルミナで，生成メカニズムも均一幅も異なる2種類のホールが共存するという奇妙な現象が見つかったが，この解釈についてはまだ思案中である。



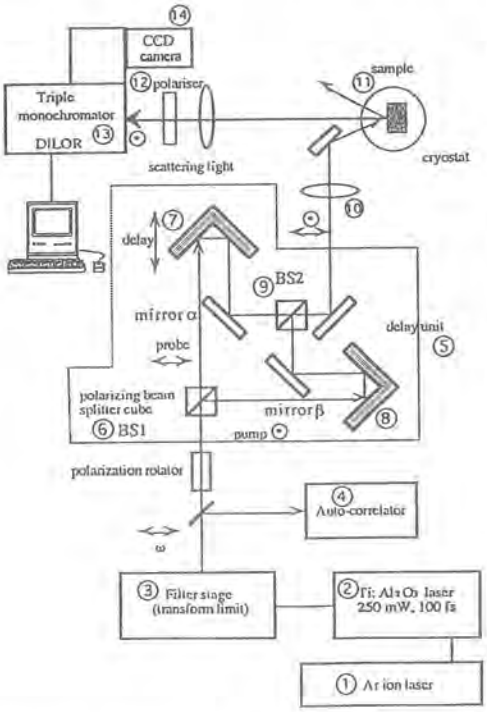
第1図 いろいろな酸化物における均一幅の温度変化
●シリケートガラス，■立方晶ジルコニア，
◆Y_2O_3＋1% MgO ⋈ Y_2O_3＋0.1% MgO，
▲良質のY_2O_3
乱れが大きくなるほど低温でのT-linear成分の寄与が大きくなっている。
(CLEO Pacific Rim '95 Proceedingsより)

第1図にいろいろな乱れの大きさを持った酸化物における均一幅の温度依存性を示した。20K以下の低温で乱れの程度に応じて均一幅が変わっているのがわかるだろう。これを突き詰めて行けば，将来欠陥やTLSなどの物性測定のプローブとして，ホールバーニングを利用できるようになるかもしれないというのが我々の夢である。問題はまだあるが，ここ数年で無機物質中のホールバーニングについては，ずいぶんいろいろな事が分かってきたような気がする。しかし世の中も（と言っても競争相手はアメリカ，オランダ，オーストラリアに1グループづつ位であるが）同じ様な方向に動いているので，一本取ったり，取られたりという状況である。

3．周波数分解から時間分解へ

ホールバーニングの方で少し成果が上がって精神安定剤を手にしたので，いよいよ極限のレーザーの名にふさわしい事を始めようと考え，研究室でいろいろ勉強したり議論した結果，サブピコ秒時間分解ラマン散乱をやってみようという事になった。確か分子研で開かれたある研究会（90年夏）で研究開始を宣言した。そして，矢島先生の残していかれたキャビティダンパー付き同期励起色素レーザーを使って，田中助手を中心にGaAsでの追試を手始めに実験を開始した。

このレーザーはファイバー圧縮器付きで，60フェムト秒のパルスが安定して得られるので，なかなかのものであったが，使いこなすのは簡単とは言えず，当事者は相当苦労したはずである。何ぶんローダミン6Gというポピュラーな色素を使っているため，今までにない新しい実験を工夫するのがむずかしかった。試料の方で勝負しようと，三菱電機の井須氏，徳田氏の協力を得て，量子井戸サンプルを作ってもらったりしたのであるが，発光が強すぎてラマンが見えなかったり，ことごとく失敗であった。そうこうするうち，世の中ではモードロック・チタンサファイアレーザーという画期的なものが普及し始め，ついに松岡研究室と共同で製作することになった。今度は，今まであまりよい光源のなかった近赤外（750から900nm）で，しかも極めて安定した光が得られることになり，問題は半分は片付いた。第2図に装置のブロックダイアグラムを示す。特徴は，励起光のスペクトル純度を上げるために前置分光系を置いていること，測定に冷却CCDを使っている事である。さて次は測定対象の物質であるが，レーザー分光の宿命で，波長に合うものを捜して来なければ仕事にならない。これも帯に短し襷に長しで紆余曲折はあったが，結局ゲルマニュームに落ち着いた。今まで余り研究されていなかった間接ギャップ半導体の超高速ダイナミックスをやるというのが，最近の当研究室のお題目であるが，どちらかと言えばこれは後からこじつけたものである。経緯はともかくこの組合わせは結構当たって，電子のΓバレーからLバレーへの流れ込みの時定数約1ピコ秒を得て，宿願のPRLに出すことができた。その後もホールのインターバンド共鳴ラマン散乱を見つけたり，それを使ってホールの緩和を見たり，いろいろ発展している。100フェムト秒の分解能で（自然放出）ラマンを測っているのは多分まだ我々だけだと思う。最近はチタンサファイアの2倍高調波を使って対象をワイドギャップの半導体に広げ，青色半導体レーザーなどで話題になっているII-VI属の高速緩和現象に迫って見ようと思っている。



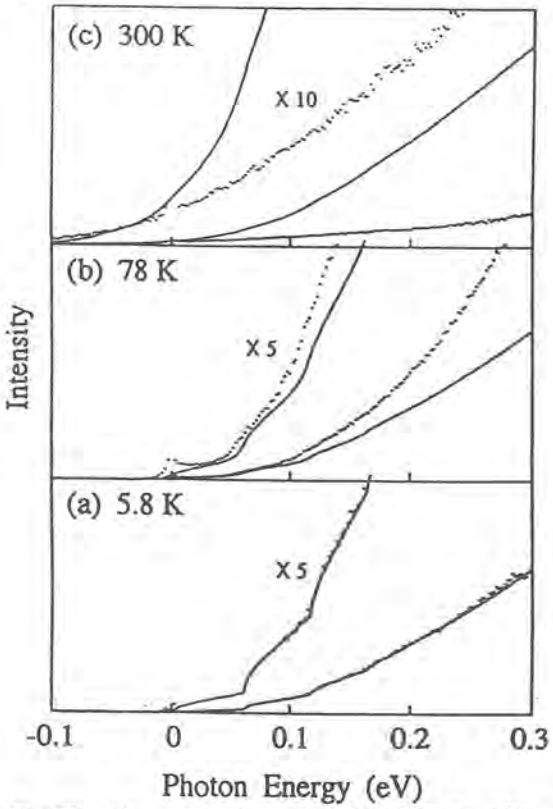
第2図　100フェムト秒の分解能を持つ時間分解ラマン散乱測定装置

こうしてしばらくやってみてつくづく思うのは，一つの手法だけでやってみても「象」のごく一部しか触れられないもどかしさが残ると言うことである。解決策の一つとして一昨年からアップコンバージョン（和周波ゲート）法による時間分解発光分光も始めた。いまのところ400フェムト秒の分解能しか得られていないが，ZnSeで少しデー

タが出てきている。

4．光るシリコン顛末

さきに述べた2つのテーマは，基本的には一応最初からの研究計画に沿ったものであるが，行きがかりで入る事になってしまったのが，この世界である。シリコンが光るという騒ぎが，物理学会でも話題になり出したのは，91年の秋の頃だっただろうか。シリコンは間接ギャップ半導体で，バンドキャップの大きさが赤外波長域にあるので，普通可視領域で発光することはないが，表面を陽極化成処理してやると赤色の発光を示すようになるというのである。これは表面がポーラス（多孔質）になったために，残ったシリコン柱に閉じ込められた電子，ホールのエネルギーがいわゆる量子閉じ込め効果で大きくなり，見かけ上ギャップが広がって可視領域に入って来る事によると説明されている。しかもサイズ効果でk保存則が壊れて直接ギャップ的遷移が可能になり，発光強度が増大するという風に考えられていた。しかし本当の事は今もって分かっていない。発光のスペクトルが非常に広く，一見して不均一幅が大きそうなので，選択励起分光の恰好の対象と見えた。更にこのような今日的問題にも，物性研の光グループとして無頓着であってはいけない，というような気負いもあって手をつける事にした。92年の春の学会の時，富士通の中島氏からサンプルの提供をしてもらえる約束をとりつけ，春から夏に掛けてラマンや発光の実験を散々やった。いろいろ励起エネルギーを変えて共鳴ラマンを観測しようとしていたが，発光に隠されて見えなかった。秋の学会も近づいたある日，ヘリウム温度で発光スペクトルを調べていたら，レーリー線の下に明らかにラマンではない構造が見えてきた（第3図（a）参照）。しかもそのエネルギーが結晶シリコンのそれとピッタリ一致したのである。これはフォノンを伴った吸収のスペクトルが，裏返しになって発光のスペクトルに現れたものと考え付き，早速間接ギャップ半導体の典型的な吸収端形状を仮定してスペクトル形状を解析したところ，うまく説明できる事がわかった。当時，発光の起源が本当にシリコンの微細構造によるのか，表面に吸着したシロキセンなどの分子によるのかと



第3図　ポーラスシリコンの選択励起発光。低温では60,120meV付近にステップ状のフォノン構造が見える。(PRL 70, 3659(1993) より)

いう論争が，世界的な規模で繰り広げられていたところだったので，これに決定的な結論を下す証拠ではないかと思い，すぐにレターを書きはじめ，11月には投稿までにこぎ着けた。その半年余りの間にスペクトルを何百枚取ったか分からないが，このころはあいにく助手も学生も自分のテーマに取りついていて手がなかったので，珍しく実験もほとんど自分でやった。このテーマは今はドクターコースの学生に任せている。

後日談であるが，この論文が世に出た翌年の６月，まだ物性研の図書室にも雑誌が届かないうちに，また手紙が舞い込んだ。そのフォノン構造は自分たちが発見し，既に論文になっており，プライオリティーは彼らにあるというのである。実際アクセプトはこちらが早かったが，印刷されたのは向こうが先であった。以後ほとんど１年近くにわたって解釈の違いを巡って手紙で論争したが，DPCの会議で直接会って話しをしてからは，こんな複雑な物質なのに，世界の片隅で全く独立に測ったものが，ぴったり一致するのだから，よほど確かな結果だとお互いに自信を深め，相手方のNash氏とはずいぶん親しくなったのであった。

５．共同利用と光学測定室について

以上のような経緯で，ホールバーニング，フェムト秒分光，半導体微細構造という現在の３本の柱が出来上がったわけである。少々手を広げすぎたかと思ったが，現在は学生も増えて，常時６人ほどいるので，彼らすべてのテーマをまかなうためには，これぐらいでちょうど良かったという気がする。

この間ずいぶん共同利用のグループにも利用していただいた。すぐに面白い結果が出たものもあるし，そうでないものも沢山あったが，いろいろ違った物質や現象を勉強させてもらい，感謝している。共同利用で一番活躍しているのは，共鳴ラマン散乱の測定システムである。もう十年近く前の事になるが，Max - Planck固体研のCardona研究室にいたとき，あらゆる波長のレーザーが用意されていて，どんな波長でも即座に共鳴ラマンの測定が出来るようになっているのを目のあたりにし，新しい研究室を整備する時には是非同じ様な体制を作りたいというのが夢であった。そこでトリプル分光器に窒素冷却CCDを組合わせ，数台の色素レーザーを用意することを考え，早速ローダミン，DCM，ピリジンⅡの３台のレーザーを手作りで揃えた，実はその後共鳴ラマンの仕事はさっぱり芽が出ず，研究室の重心はよりソフィスティケートされた分野へと移ってしまったので，現在はもっぱら微粒子関係の発光の実験に使っている。例のチタンサファイアレーザーも加わったので，現在では570から850ナノメートルの間がカバー出来ている。ちょっと励起波長を変えてみたいが，そのためだけに新たな設備投資をするわけにもいかず，またその時間的余裕もないといったケースが，利用者としては多いようである。この種の利用は短期滞在でずいぶん成果が上がるようである。一方，フェムト秒分光の方は実験そのものが簡単ではなく，一度レーザーが機嫌をそこねると２，３日つぶしてしまったりするので，今のところ共同利用向きにはなっていない。しかし，少し時間的余裕がある場合には使えると思う。

これは「研究室だより」に含めてよい話かどうか分からないが，Ｃ棟の実験室が一応整ってからは，Ａ棟の５階にあるいわゆる光学測定室のお世話もしている。レーザーグループが新築のＣ棟へ移って以来，かつての物性研光物性の黄金時代に活躍した品々が放置されていた場所であるが，35周年の記念公開を機に部屋をきれいにしてもらい，だいぶ使いやすくなった。アルゴンレーザーとダブルの分光器があるので，普通のラマン散乱の測定ならばいつでも可能である。また，森垣先生の退官の時に管理替えしてもらったエキシマーレーザーとボックスカー一式があるので，ちょっとした（ナノ秒）時間分解測定も出来るようになっている。今のところ外からの利用者はあまりないが，物性研の中にも光に関心のある人がもっと増えて，これらの設備も活用してくれることを願ってやまない。

最後になってしまったが，このように比較的短期間に研究室を軌道に載せられたのも，立ち上げから研究室の中心となって働いてくれた助手の田中耕一郎君（１月より新技術事業団に転出）のおかげである。また本文中には名前を挙げなかったが，多くの学生諸君（大竹，斉藤，福岡，岡田，南晴，西田，中野，レブハン）にも少なからず協力してもらった事を記し，あわせてここに感謝の意を表したい。

物性研の拡充・改組計画の進捗状況

竹内　伸

移転を前提とした物性研の拡充・改組計画については，本誌にも度々報告して来ており〔32巻2号(1992年7月)，32巻5号(1993年2月)，33巻4号(1993年11月)，34巻3号(1994年9月)〕，物理学研究連絡会で承認を得た拡充・改組計画の骨子に従って具体的な作業が進められている。最大の問題は，東京大学が取得を計画している柏新キャンパスに，何時，どのようなスケデュールで移転できるかということである。確実に東大のキャンパス計画が進展しているのは事実であるが，残念ながら上記の問題についての明確な見通しがまだ得られていないのが現状である。

平成6年度には東京大学に「キャンパス再配置計画に関する調査費」が認められ，駒場地区，本郷地区，柏地区を三つの極とするいわゆる三極構造のキャンパス構想について東京大学全体で検討が進められて来た。そして，平成6年度当初には，平成7年度に柏キャンパス取得の概算要求を行うべく準備していたのであるが，諸般の事情により，結局，7年度は「東京大学新キャンパス等構想策定調査経費」という6年度よりは一歩進んだ準備的経費が認められるに止まった。この予算を用いて，平成7年度中に柏キャンパスのボーリング調査等が行われる予定である。

柏キャンパス計画については，昨年暮から新たに吉川総長自らが委員長を務める「新キャンパス等構想委員会」なる委員会が発足し，その下に企画部会，基盤科学研究科部会，先端生命科学研究科部会，環境学研究科部会，国際協力学研究科部会，共同利用施設部会の6部会が設置されて，精力的にキャンパス構想の最終的な検討が進められている。柏キャンパスには上記の4研究科の新設，物性研究所，宇宙線研究所，気候システム研究センター，人工物工学研究センターなどの全面移転のほかいくつかの施設，センターの設置が計画されている。上記委員会ではこれらの計画の詰めを行うと共に，相互の調整をはかり，新キャンパスの理念を構想する作業が進められている。平成6年度中に本委員会の報告書がまとめられる予定である。物性研究所は，新キャンパス計画の中で最初に移転する部局と見なされていて，平成8年度に少なくとも柏キャンパスの一部を東京大学が取得できれば，平成9年度から移転を開始することが想定されている。しかし，移転に何年かかり，何年度に移転が完了するのかは，現時点では明らかではない。もし，移転に5，6年の期間を要する場合には，物性研の将来計画は段階的に進めなければならない。なお，拡充・改組計画の実行が段階的になる場合にも，部門組織の全面改組は初年度に一斉に行うことになると思われる。いずれにしても，物性研としてはできるだけ早期に将来計画の実現をはかるべく最大限の努力をはらって行きたい。(平成7年2月10日)

物性研短期研究会報告

SOR - RINGから物性研高輝光源へ
－20年の歩みと将来－

世話人　東北大・理　佐藤　繁
群馬大・教育　菅原英直
東北大・科研　渡辺　誠
東大・核研　片山武司
高エ研・ＰＦ　宮原恒昱
高エ研・ＰＦ　北村英男
東大・物性研　石井武比古
東大・物性研　神谷幸秀
東大・物性研　柿崎明人
東大・物性研　辛　埴

物性研短期研究会“SOR - RINGから物性研高輝度光源へ－20年の歩みと将来－”はSOR - RINGの試運転成功からちょうど20年を経過した記念すべき日（正確には1日早い）の平成6年12月13，14日の両日，ゆかりの深い東京大学原子核研究所講堂において開催された。SOR - RINGが物性研軌道放射物性研究施設に移管されてからは19年経過しているが、お祝い事は早く行うものなのだそうで同施設の設立20周年を同時に記念する研究会でもある。

SOR - RINGの建設予算は，昭和46年，それ以前の10年近くにわたるINS - SORの先輩方，関連分野の方々の努力の結果認められた。また建設作業は各大学からのボランティアからなるSOR - RING作業グループにより進められた。一方ボランティアが作業できる環境は，東大核研，物性研の支援によりつくりあげられた。研究会の前半では，あまり知られていない，風化しかかっているSOR - RING建設に関わる“前史”を回顧する。

次に昭和50年，SOR - RINGが物性研に移管されてからの経過を現在のスタッフやユーザーを中心に概観する。このセッションでは，特に“最初から光ありき”で育った若いスタッフの生き生きとした施設現状報告が興味深い。さらにこの20年間我国の放射光科学の先端を切り拓いてきた代表的な研究成果が時間を追って紹介される。最近のトピックスはスピン分解光電子分光、共鳴蛍光，共鳴光散乱等である。

結びのセッションではSOR - RINGの発展形として期待される物性研高輝度光源計画の将来展望を議論する。ここではいままで詳細にわたって検討されてきた光源加速器，ビームライン設計，利用研究が紹介され，実現性を検討する。

我国の放射光科学を20年にわたって先導してきたSOR-RINGが田無から柏にところを変えて高輝度VUV光源に大きく発展することを祈念する次第である。

なお研究会開催にあたっては物性研軌道放射物性研究施設の石井，神谷両先生を始めスタッフの方々に御協力をいただいた。INS-SORグループを始めユーザーの分も含めて御礼を申し上げる。

（世話人代表，佐藤）

プ ロ グ ラ ム

日　時　：　平成6年12月13日（火）～12月14日（水）

場　所　：　原子核研究所　講堂

12月13日（火）

SOR-RINGの回顧（座長：［午前］菅原英直，［午後］佐藤繁）

10：30～12：00

(1) SOR-RING誕生のいきさつ	佐々木泰三	（高エ研・名誉教授）
(2) SOR-RINGの概念設計	片山武司	（東大・核研）
(3) SOR-RINGの詳細設計	宮原恒昱	（高エ研・ＰＦ）
(4) SOR-RINGの建設　Ⅰ	佐藤　繁	（東北大・理）
(5) SOR-RINGの建設　Ⅱ	渡辺　誠	（東北大・科研）

12：00～13：30　＜昼食＞

13：30～14：40

(6) リングの性能向上とアンジュレータ事始め	北村英男	（高エ研・ＰＦ）
(7) 測定系の建設　Ⅰ	加藤利三	（京大・理）
(8) 測定系の建設　Ⅱ	菅原英直	（群馬大・教育）
(9) SOR-RINGでの初期の実験	村田好正	（東大・物性研）

SOR-RINGの現状（座長：片山武司）

14：45～15：15

(1) マシーンの現状	小関　忠	（東大・物性研）
(2) 測定系の現状	手塚泰久	（東大・物性研）

15：15～15：30　＜休憩＞

SOR-RINGにおける研究成果（座長：渡辺　誠）

15：30〜17：45

(1) 我が国におけるVUV-SX分光の発展　石井武比古（東大・物性研）
(2) BL-1の測定装置と主な研究成果　藤沢正美（東大・物性研）
(3) 共鳴から始まったSOR-RING光電子分光　菅　滋正（阪大・基礎工）
(4) SOR施設におけるPGMとその研究成果　辛　埴（東大・物性研）
(5) 放射線生物効果研究への貢献　檜枝光太郎（立教大・理）
(6) 変調分光法（アルカリハライドの応力変調反射率スペクトル）　三須　明（東京理大・理）
(7) 金属－半導体界面形成過程　－光電子分光法－　日下征彦（岡山大・理）

12月14日（水）

PF・BL18，BL19における研究成果（座長：宮原恒昱）

10：00〜10：30

(1) BL-19 におけるスピン分解光電子分光　柿崎明人（東大・物性研）
(2) 金属／Si 初期界面の光電子分光　河野省三（東北大・科研）

高輝度光源計画（座長：菅　滋正）

10：45〜12：00

(1) VUV-SX分光研究の将来展望　小山章雄（東大・物性研）
(2) 加速器設計　神谷幸秀（東大・物性研）
(3) ビームライン設計　柿崎明人（東大・物性研）
(4) 利用研究　辛　埴（東大・物性研）

SOR-RING 誕生のいきさつ

高エ研・名誉教授　佐々木　泰　三

1974年12月15日，SOR-RING に最初のビームが蓄積されて20年が経った。東大物性研軌道放射物性研究施設は此の新しい光源加速器の完成を待って，此の光源も含めて従来原子核研究所内にあったシンクロトロン放射実験施設をすべて物性研に移管することにより発足した。従って此の施設も近く1995年４月で満20年を迎える。今回の短期研究会はこれを記念して，本施設設立の経緯に立ち帰ってその初心を再確認するとともに，その後の活動を総括し，今後の展望を明らかにしよう

とするものであるという。此の施設は設立後二十年を経て今なお活発な研究活動を続けており，今日の状況ではもはや小規模の施設に属するとはいえ，わが国のこの分野のパイオニアとして学界に与えたインパクトは極めて大きい。表題の話は此の研究会で，施設発足の歴史について，後に続く講演の序論となるものである。紙数の制限が厳しいので，文章にすることは断念し，当日用いたOHPを縮刷して報告に代える。

SOR-RINGについての事実

光源として作られた世界最初の蓄積リングである		○
光源として利用された世界最初の蓄積リングである		×
日本最初の蓄積リングである		○
日本最初の大型超高真空装置である		○
Undulator Radiationの理論の実験的検証を世界ではじめてやった		○
総工費は1億円以下であった		×
建設費は主に	物性研　が受け持った	×
	核研	○
	INS-SOR	×
User（素人）が作った世界唯一の光源加速器である		○

何故SOR-RING建設を計画したか？

1. 放射光研究の大きな未来への予感が実証された(1965)。
2. 核研ESに寄生しているだけではユーザーの希望に応じきれず，研究の発展は望めなかった。
   居候　三杯目にはそっと出し
3. 光源専用の加速器ならば
   すべてのビームタイムを利用できる。
   ビームラインをたくさん取れる。
   光源として最適化するようなR＆Dが自由にやれる。
4. 蓄積リングはシンクロトロンよりも光源の性能（強度・輝度・安定性）が良い。
   軌道に大きな電流を蓄積できる。
   エネルギーが一定でスペクトルの時間変化がない。
   強度・位置・大きさ・形の変化がずっと少ない。
5. 日本の高エネルギー物理学は当時プロトン加速器を志向していた。
   電子・陽電子衝突リングに寄生する，あるいはそのお下がりをもらうチャンスは殆どなかった。

外国の例：(DORIS, ADONE, ACO, DCI, SPEAR, TANTALUS, VEPP Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ)
欲しければ自分で作るしかなかった。

SOR - RING 建設年表

1962		核研ES運転開始
1963	4月	INS - SOR結成；日本物理学会（日大）
	夏	WG結成，BL建設
1964	春秋	分光予備実験(可視・SX)
1965	3月	SX写真分光実験成功
1965	10.15	専用光源建設を決議(INS-SOR総会，岡山)
1966	1.14	物小委
	1.15	物研連　推進方策を決議（物性研）
	8月	物性若手夏の学校（野沢）
		東北大核理研に光源付設要望（物小委仲介）
1968	5月	VUV - 2(Gatlinburg)
	夏	東北大回答；LBS計画案を基に交渉
1969	春	核研特別設備費要求；SOR - RING案
	秋	SOR - RING計画，文部省ヒアリング
1970年度		文部省予備費；設計と予備実験
1971－73年度		核研特別設備費による建設
1973－1977		物性研客員部門設置
1974.12.15		入射試験成功（非公開）
1975. 3.25		公開入射試験
1975年度		高周波電源・空胴製作（科研費）
		物性研軌道放射物性研究施設設立
1976年度		完成；一部利用開始

日本の放射光研究の発展

I.　1962－1965：開拓時代（核研ES）

放射光の持つ大きな学術的価値と技術的可能性が実証された。

2. 1965－1974：次の飛躍を目指す
   専用光源(SOR-RING)の建設
3. 1975－1994：第二世代の放射光利用
   物性研：分子研：電総研：高エ研　各施設専用光源加速器による放射光研究の発展
4. 1980－1994：第三世代への展開
   Undulatorの実用化
   光源の高輝度化（低エミッタンス）
   SPRing－8
   物性研高輝度光源計画

SOR-RING 関係文献

T.Miyahara, H.Kitamura, T.Katayama, M.Watanabe, S.Sato, E.Ishiguro, M.Endo, S.Yamaguchi, T.Yamakawa, S.Yamaguchi and T.Sasaki, "SOR-RING, an Electron Storage Ring Dedicated to Spectroscopy : I. Design", INS-TH-107, June 1976, 53pp.

H.Kitamura, T.Miyahara, S.Sato, M.Watanabe, S.Mitani, E.Ishiguro, T.Fukushima, T.Ishii, S.Yamaguchi, M.Endo, Y.Iguchi, H.Tsujikawa, T.Sugiura, T.Yamakawa, S.Yamaguchi and T.Sasaki, "SOR-RING, an Electron Storage Ring Dedicated to Spectroscopy : II. Construction and Performance", INS-TH-108, June 1976, 53pp.

T.Miyahara, H.Kitamura, S.Sato, M.Watanabe, S.Mitani, E.Ishiguro, T.Fukushima, T.Ishii, S.Yamaguchi, M.Endo, Y.Iguchi, H.Tsujikawa, T.Sugiura, T.Katayama, T.Yamakawa, S.Yamaguchi and T.Sasaki, "SOR-RING, an Electron Storage Ring Dedicated to Spectroscopy", Particle Accelerators 7 (1976) 163－175.

佐々木泰三,
「日本と世界の放射光研究－－回顧と展望－－I, II」, 固体物理 22(1987)1007-1016, 23(1988)142-150.

東京大学原子核研究所, 核研二十年史 1955-1975, p.83-87.

SORINGの概念設計

東大・核研　片山武司

1. リング設計に私が関わったいきさつ

昭和41年に私は東大の基礎科学科を卒業し，同大学院の修士課程に入った。石黒浩三先生，佐々木泰三先生の指導で金属単結晶の真空紫外領域での光学特性を測定することになった。当時私は金属内のプラズマ現象に主な興味を持っていた。江尻さんや那須さんが助手としておられ，また福谷さんが博士課程でおられた。石黒先生が仁科奨励賞を受賞した際に製作されたスライディングスパークを用いた真空紫外分光器があり，ヘリュウム，アルゴンガスなどを詰めてはバチバチと放電させて分光測定を行った。数カ月程して佐々木先生に核研に連れてきて頂き，核研電子シンクロトロンのSOR施設を見学した。当時はSOR施設といってもESから光パイプが一本あり，それに専一分光器がぶらさがっているだけで，コンクリートシールド外に小さな小屋もどきものがあっただけである。しかしESからはぎらぎら輝く放射光が見えた。INS-SORグループはこの時すでに光源専用のストレージリングを建設する運動を始めており，私は佐々木先生から電子ストレージリングの設計を行わないかと勧誘された。ベリュウム単結晶の光学特性の測定をほぼ終えていたこともあり，また世界最初の光源専用リングだという魅力にもひかれ，怖いもの見たさもあり私は方向転換することにした。昭和41年の秋である。

加速器の専門家に教えていただくために，私は佐々木先生から核研高エネルギー部の山口省太郎先生を紹介された。早口でぶっきらぼうに話す山口先生に私は当初困惑したが，次第に慣れてくると先生の暖かい気持ちが分かるようになった。核研の高エネルギー部に出入りさせて貰うことになり，机を本館の304号室の片隅において頂いた。山口先生，秘書の田沢さんが住んでおられ（佐々木實先生も同居？），私のような身体の大きい人間が入り込んで誠に迷惑であったと思う。円型加速器に関する教科書を2冊教えて頂き(Livingwood, Kolemensky Levedev)，数カ月必死で勉強して電子ストレージリングの設計方法なるものがおぼろげながら分かった。そこで実際のSORINGの概念設計を開始した。昭和42年の冬である。

2. SORINGの概念設計

リング性能の大略の指標は次のようなものであった。

1)ピーク波長は真空紫外領域で概ね100Åとする。2)リング直径は5m程，3)蓄積電流は100〜200mA，4)また入射エネルギーはフルエネルギー入射とする。これらの指標は核研ESの周辺にリングを設置することを想定して決められた。リングの軌道半径ρと電子エネルギーEを指定した時，パワースペクトルピーク波長及びその波長での放射光を光源から1m離れた距離にある10μ巾のスリットを通過させた時の光子数が6.25×10^{7}/秒であるためのリング内の周回電流Iが決まる。同時に電子をその半径に拘束しておくのに必要な磁場の値も定まる。図1にそれらを示

した。エネルギー350MeVで$\rho=1$ mの時$\lambda_{\parallel}=50$Å，I＝150mA，B＝1.1 Teslaであり，また$\rho=4$ mで，$\lambda_{\parallel}=200$Å，I＝620mA，B＝0.35 Teslaである。

短波長の光と，長波長の光を同じビーム条件で取り出すことができれば，ユーザーにとって便利であろうと判断し，1ヶのリング内に$\rho=1$ mと$\rho=4$ mの2つの異なる軌道半径を持つ偏向電磁石を配置する案を思いついた。そのようなストレージリングは未だかつて世の中に存在しないし，またベータトロン運動等が安定であるかは全く不明であった。図2にその平面図を示す。リングは4回の対称性を持ち，1つのセルは（LI，BM1，BM2，BM3，BM2，BM1，L1)で構成される。ここでL1は長さ0.4mの直線部，BM1は軌道半径1 m，偏向角20.5度，n値が3.30の偏向電磁石，BM2はBM1と同じであるが，n値が-2.20のものであり，BM3は軌道半径4 mで，偏向角8.0度，n値が0の偏向電磁石である。解析の結果，ベータトロン振動数は$Q_x=1.231$，$Q_y=1.191$であり，またTWISSパラメーターは図3に示すようになっていることが分かり，電子ストレージリングとして安定に稼働できる見通しを得た。図2には4重極電磁石は示されていないが，ベータトロン振動数を微調整するために2組の4重極電磁石を配置することにしてあった。

昭和42年当時はこれらの軌道計算を行うための計算機は素研準備室のPDP11があり，紙テープに8ビットの穴をあけたものを入力メディアとして用いていた。現在のようなワークステーションや確立した軌道解析プログラムもなく，出力データーは手作業でグラフ用紙にプロットしたものである。このベータトロン振動解析の過程で，TWISSパラメーターを解析的に求める方法を考案し論文にまとめた（文献1)。1ヶのリング内に2つの異なる軌道半径を積極的に採用する考えは，放射光源リングとしてユニークであったので私の修士論文としてまとめた（文献2)。しかしその後リングの建設が実施可能な段階になった時，未だ電子ストレージリングが我が国で存在せず，また失敗も許されないなどの緊張感から，設計方針を変更して$\rho=1.1$ m，エネルギー300MeVのいささか保守的な今のSORING（図4）の型に変更した。

ここで述べた事は，SORINGの建設が具体的になり，その活動ぶりがSORINGレポートとしてまとめられるようになる時期の前夜の話である。

文　献

1. "Note on the Analytical Formula of Betatron Oscillations"
T. Katayama and T. Miyahara
INS TH-70(1971)

2. "SOR分光のためのストレージリングの軌道計算"
山口省太郎，片山武司
核研シンクロトロン軌道放射を利用する分光研究資料1，昭和42年度文部省科研費総合研究報告書（代表者　小塩高文）

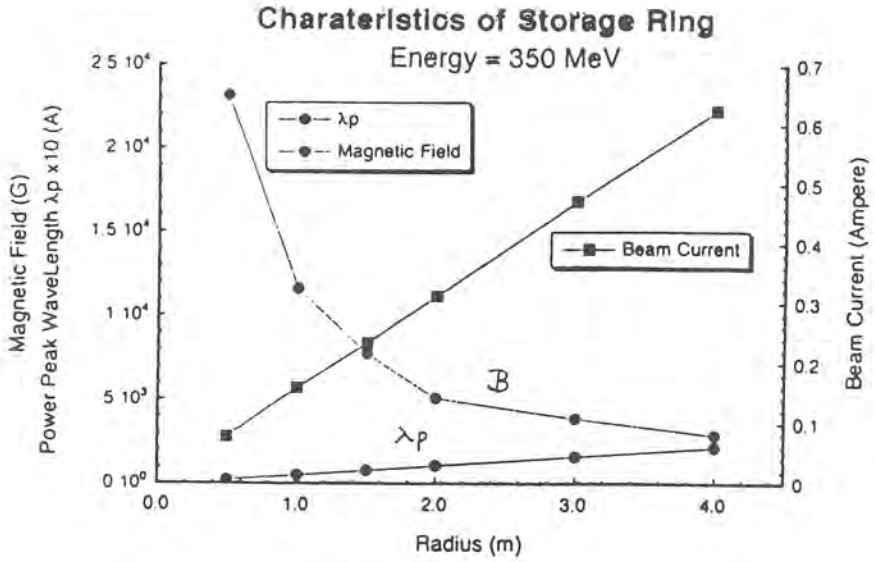


図１　放射光リングのパラメーターの関係

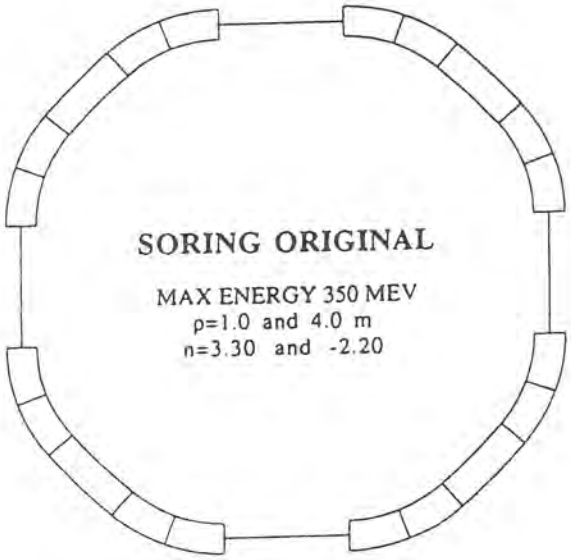


図２　SORING Original 案の平面図

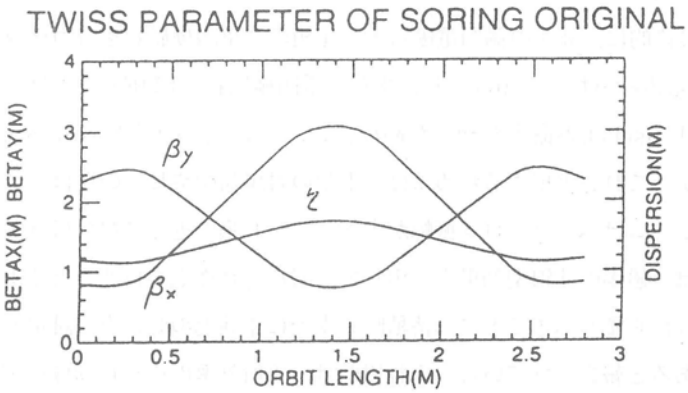


図 3　SORING Original 案のTWISS パラメーター

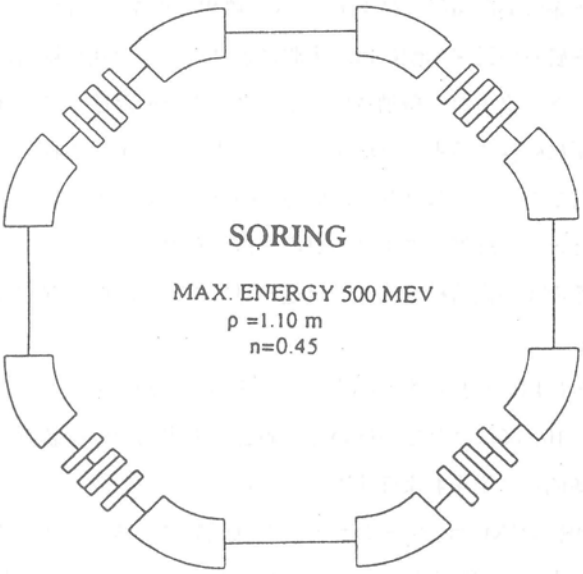


図 4　SORING 現在案のリング構成

SOR-RINGの詳細設計

高エ研・ＰＦ　宮原恒昱

SOR-RINGは最終的に，８ケの偏向電磁石と，４組の３重四極磁石を持つ構成に決定された。偏向電磁石は磁場勾配をつけてn＝0.5とし，また３重四極磁石のFDFの長さは１：２：１とした。ビームの動作点はTouschek寿命をかせぐために，$\nu_x \simeq \nu_y$なる差共鳴(difference resonance)の近くに設定したが，これを実現するためには，上記の磁場勾配や長さの比は好都合である。

一方，入射時のビームはベータトロン振幅が大きく，差共鳴の近くでないほうがよいことから，入射時と蓄積時では，磁場の非線型効果を利用して，異なる動作点を自然にとるようにしたつもりであった。しかしながら驚くべきことに，蓄積時に本当に差共鳴の動作点に設定できるようになったのはごく最近であると報告されている。それ以前は，入射効率の点から動作点が決められており，むしろ和共鳴の近くであったと報告されている。

入射は，ＰＢ２という遅いパルス電磁石で軌道をずらしておいて，Ｋ２と呼ばれる速いキッカー電磁石で電子ビームを曲げる，本質的には５回転入射の方式を採用した。

ＥＳから取り出した電子ビームをSOR-RINGまで運ぶビーム・トランスポート系においても可能な限り，分散関数およびベータ関数の整合をとるようにした。この整合をとりやすくするために，ビーム・トランスポート系の偏向電磁石にもｎ＝0.5の磁場勾配をつけた。

さて，リングの偏向電磁石の磁場勾配には，実測により，非線型性が見出された。この非線型性は，クロマティシティ（ベータトロン振動数の電子エネルギー依存性）に大きな影響を与えるばかりでなく，振動数が振幅に依存するという結果をもたらすことが予想された。実は，この結果はある意味できわめて好都合であった。なぜなら，何らかの外力により電子ビームが有害な共振状態におちいりそうになったとき，非線型性により，真の共振から逃げてしまい，決して破壊的な共振に至らないからである。その後の高蓄積電流化の経過を見ても，上記の非線型性は主として良い方向に作用したことがわかる。

ＲＦ空洞は当初はＥＳに用いられた中古品を用い，その後，銅とステンレスのクラッド板を用いたものに変えられたが，10,000に満たない低いＱ－値と，大出力の励振装置のおかげで，ビームが誘起する電磁場も，破壊的な作用をおよぼすものにはなっていない。

以上，要するに，SOR-RINGは，ビームサイズを意図的に大きくして，Touschek寿命を長くし，かつ適度な非線型性とＲＦ空洞の低いＱ－値を利用して，必ず安全にまわるべく設計されたということが，結果的に総括されるのである。

SOR-RING の 建 設 I

東北大・理　佐 藤　繁

SOR-RINGの設計は東大核研から要求していた特別設備費が昭和46年度に認められ，以後48年度まで3年にわたって進められた。この1年前の昭和45年に文部省留置金816万円が認められ，真空装置関係の予備実験と設計作業が始められていたので，実質的には昭和45年度から建設が始められていたということができる。本予算が通ったのは，INS-SORグループを始め広い分野における諸先生，先輩方の10年近くにわたる努力，協力，支援が積み重ねられた結果である。総予算は留置金を含めて7000万円だった。そのほか三菱財団科学研究助成金として45，46年度合わせて640万円が交付された。当初計画における高周波加速空洞は自励式の東大核研電子シンクロトロン(ES)の“おふる”だったので，SOR-RINGの試運転が成功した後の，昭和49年，科研費一般研究(A)2800万円により他励式，出力20 kW 高周波加速装置に更新された。

SOR-RINGの設計，予備実験，建設作業のため，全国各大学等から参加する作業グループの旅費，研究連絡費としては科研費総合研究（A，B）があてられた。昭和48年1月には東大物性研客員研究部門が発足し，建設に拍車がかけられた。そして昭和49年12月14日夜半からSOR-RINGの試運転が始まり，翌15日零時15分，最初の電子ビーム蓄積に成功した。SOR-RINGの性能向上は，運転経費不足のため，昭和50年4月の物性研軌道放射物性研究施設(SOR 施設) 発足まで持ち越され，本格的な稼働はそれ以降に行われた。SOR 施設発足後の経過は既に報告がいくつかあるので省略する。第1表に昭和50年3月におけるSOR-RING作業グループの名簿を当時の所属のままで記す。

SOR-RINGの多岐にわたる建設作業のなかで，本稿では建設と電磁石，制御モニター系について概略を紹介する。詳細はSOR-RINGレポート(№1～№7)に記されている。

(1) 建　物

SOR-RING実験棟は当初現在の位置ではなく，旧SX実験室の西側の空き地を予定していたが，そこに素研泡箱実験棟が建つことになり，現在のES棟の東南角に決められた。建築設計，設備などについて昭和47年2月の予算内定後，SX側担当者（佐々木，佐藤，渡辺）と東大施設部，核研施設部との間で10数回にわたる打合せ，設計作業の結果現在の形になった。鉄筋コンクリート3階建，総面積482㎡，工費5200万円！（当初予算）であった。建物の構造についてはよくしられているので省略し，建設のスケジュールについて特筆すべきことを示しておきたい。建物工事着工の時期は種々の事情を踏まえて昭和47年8月21日に決まった。しかし電子シンクロトロン棟を囲む厚さ2.5 m，高さ4 m，全長25mの放射線シールド壁（コンクリート枠に土が充填されている）を撤去し，それに相当するSOR-RING実験棟の外壁（1階部分）を5週間で立上げなければ，その後予定されているＥＳ共同利用実験を再開することができない。もちろん，1階

RING室の床工事まで含めて，関連する全ての工事を5週間（当初は4週間を予定）で終わらせるのである。この間行った工事は，上記シールド撤去，多数あるケーブル，ガス管，給排水管などの埋設物撤去，移設，埋めもどし整地，測量，迂回道路の建設，基礎杭打ち，根伐り，割栗，捨コンクリート，基礎の配筋，コンクリート打設，さらに1階RING室の電磁石基礎，ケーブル用ピットを含めた床面のコンクリート打設（外壁は当然含まれる）であった。これら全てを9月25日に終了した。この強行スケジュールが成功したことで，以後の工事はそれほど大きな支障はなく，順調に進行した。このあいだ，関係各部局には大変お世話になった。

(2) 電　磁　石

SOR-RINGの直流電磁石系はビームトランスポート(ＢＴ)系用とSOR-RING本体用の二つのグループに大別される。ＢＴ系電磁石は47度，68度偏向電磁石(Bt_1, Bt_2)と3組の4極電磁石（2台1組)から成る。特徴は2つあって1つは鉄材(S10C)が珪素鋼板をつくる途中の“セミプロセススラブ”で寸法が108×450×26.5cm厚（重量10.1ton)であり，各磁石の概形を溶断して切りだした後，精密加工をしたこと，もう1つは4極電磁石の磁極断面形状の双曲線を円と直線の組み合せで近似し加工したことである。性能的には問題がなかった。

SOR-RING本体用電磁石は8台の偏向電磁石と，4組の4極電磁石（3台1組）から成る。やはり鉄材と磁極形状が特徴である。またＥＳに対するSOR-RINGの位置決めや電磁石系の据付調整を石井武比古氏ら素人が自ら行った点である。鉄材について述べる。ヨーク(継鉄)はS10C，磁極は純鉄2種（Ｆ61)である。Ｆ61の飽和磁束密度は1.5Tである。磁極間隔を45mmとし発生磁束密度を1.1Tとして，磁束密度のしみ出しが磁極間隔の1/2という仮定で全磁束を求め，ヨークの断面積を決めた。また偏向電磁石の磁極断面形状を純鉄の加工性を考慮してn(磁場勾配)＝0.5に対応する非常にゆるい双曲線ではなく直線で近似した。これに対して4極電磁石は加工可能なほど変化分が大きかったので双曲線で加工した。磁束の見積りがオーバーだったことと名伯楽の神谷幸秀氏が物性研に着任したことで，設計エネルギー値300MeV(0.9T対応)から500MeV(1.5T対応)までSOR-RINGの運転エネルギーを上げることができたということである。もちろん，偏向磁石の磁場勾配が高次成分を含んでいて対策に苦労したというまずい面もあったようである。

(3) 制御回路及びモニター

4ケの電子ビーム入射用パルスマグネットK_1, K_2(早い動作，～10nsec)，PB_1, PB_2(遅い動作，～100 μsec)の動作のタイミングを制御するのが制御回路であり，プリセットカウンターを用いている。ＥＳの交流磁場の立上がり(ゼロ磁場パルス)を基準にしＶ－Ｆ(ボルト－周波数)パルスに基づいてタイミングを決めパルスマグネットを制御する。回路は山口重雄氏の手作りであり，北村氏を始めＢＴグループの名人芸で入射に成功した。電子ビーム位置モニターとしては，溶融石英棒を挿入し，電子ビームが通過するとき発生するチェレンコフ光を光電子増倍管で受け

るチェレンコフモニターが用いられた。チェレンコフモニターはＢＴ系とリング内に設置された。位置分解能はミリメーターの精度である。当初ＢＴ系では写真フィルムがビームの位置出しに用いられた。また入射ビーム観測にはストリークカメラが用いられた。SOR-RINGに蓄積された電流の測定はフォトカソード，静電モニターにより行われ，較正は光電子増倍管により微小電流時の出力信号を外挿して行われた。ビーム位置モニターのその後の進歩は著しく現在ではミクロンの精度で検出可能である。

表1

SOR-RING作業グループ（昭和50年3月）

氏　名	所　属	分　担
佐々木　泰　三	東大教養・核研	責任者・真空
渡　辺　　誠	東大物性研	ＢＴ・安全
佐　藤　　繁	東大物性研	電磁石
宮　原　恒　昱	東大教養	軌道計算・ＢＴ
北　村　英　男	京大理・東大核研	ＢＴ・真空
石　井　武比古	東北大理	電磁石
山　口　重　雄	都立大理	制　御
三　谷　七　郎	大阪市大原研	ＲＦ
石　黒　英　治	大阪市大工	ＲＦ
菅　原　英　直	東北大理	真　空
永　倉　一　郎	群馬大教養	真　空
SOR-RING作業グループ（旧メンバー）		
井　口　裕　夫	教育大光研	真　空
遠　藤　真　広	放医研（東大教養）	真　空
杉　浦　孝　雄	東大教養	真　空
芝　口　　孝	教育大光研	真　空
松　川　徳　雄	東北大理	電磁石
核研ＥＳマシングループ		
山　口　省太郎		全　般
山　川　達　也		電磁石・制御・ＢＴ
片　山　武　司		軌道計算・ＢＴ
福　島　敏　孝		ＲＦ
辻　川　　浩		真　空

SOR-RING の 建 設 Ⅱ

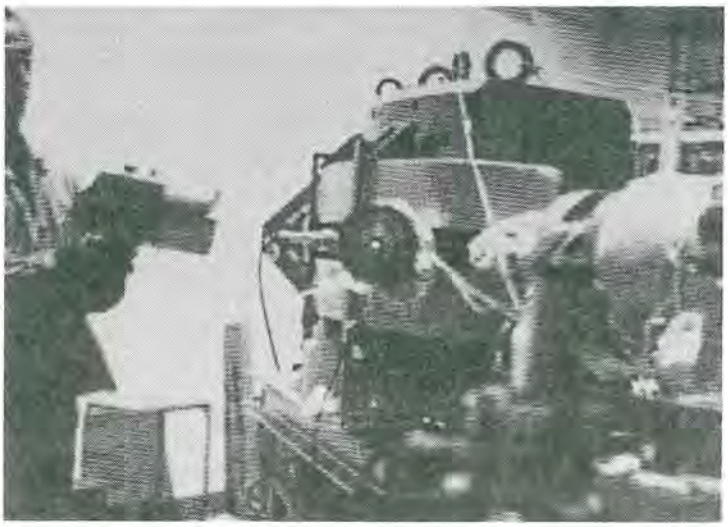
東北大・科研　　渡　辺　　誠

建設初期におけるSOR-RINGの高周波加速系，真空系および出射・入射系についてとSOR-RING入射試験について述べる。

高周波加速系の担当は，石黒（大阪市大工），三谷（大阪市大原子力）および福島（東大核研）の三氏であった。初めは核研シンクロトロンのお古を使った。空洞は電極部のみ真空内にあり，外側は空気中にあるというもので，電源は自励振であった。入射試験時はこれを用いて貯蔵に成功した。それと平行して，科研費一般研究（A）（代表者：佐々木（東大教養））の援助を受けて，全体が超高真空に排気できる空洞と電力のとれる他励振の電源を製作し，試運転成功後これに切り換えた。

真空系の担当は，井口・芝口（教育大光研），遠藤・杉浦・佐々木（東大教養），長倉・菅原（東北大理）および辻川（東大核研）の各氏であった。SOR-RINGの真空系の特徴は，直接通電による焼き出しと組み込みポンプである。直接通電のため磁石の磁極間隔を小さくすることができ，経済的になっている。組み込みポンプは入念な予備テストが行われて製作された。超高真空のリング本体と，通常真空の輸送系の真空はカプトン膜で仕切られている。

出射・入射系のパルスマグネットの担当は，渡辺・北村（京大理），宮原（東大教養）および片山（東大核研）の四氏であり，輸送経路およびリング内の電子ビームのモニターおよびパルスマグネットのタイミング回路の担当は山口氏（都立大理）であった。速さの必要な取り出し用キッカーおよび入射用パータベイターの電源には，スパークギャップを用いた。現在ではサイラトロンが主流であるが，当時はサイラトロンの速さがまだ十分ではなかったこと，お金がなかったこと等によりスパークギャップを採用した。スパークギャップをはじめ多くの部分は核研の工作室に作ってもらった。また，自作の部分も多くある。



電磁石の据付の後，真空槽が搬入され次々と接続された。それと並行して，入射用のパルスマグネットやモニター等も設置した。出射系単独の試験は1974年７月にマシンタイムをもらって行ない，

300MeVの電子の取り出しに成功した。リングへの入射試験は同年12月に行った。第一週では，リングの真空が1 x 10^{-8} Torr 程度の状態で試験を行った。パルスベンディングマグネット（セプタムマグネット）を電子が通過したかどうか，入射された電子が1周まわったかどうかを確認した後，パータベイターと高周波加速系を動作させ，パータベイターの電圧やタイミングを調整することにより貯蔵に成功した。それは15日の早朝（というよりは0時をいくらかまわった頃）であった。山口先生（東大核研）のシャンペンで乾杯した。このときの電流は0.4μAであり，寿命は2分程度であった。第二週では，リングを焼き出して真空度を1 x 10^{-8} Torr 程度として行い，最大電流8 mA，1 mA時の寿命2.5時間を得た。

前頁の写真は第一周に初めて電子を貯蔵した時のSOR の光である。

測定系の建設 I

京大・理　加藤利三

日本における初期のSOR用測定系（分光器）の建設は，おおよそ二つの時期にわけられる。前期は，核研のES-SORを利用した測定系の建設で，後期は物性研に客員部門が発足し予算がついてからのSOR-RING用超高真空測定系の建設である。前期はINS-SORグループのボランティヤが主体になった時期であり，その経験は客員部門が主体になった後期の建設に生かされた。

その歴史的経過を次表に示す。

1963	INS-SORグループ結成，	
1964	核研のES-SOR利用実験開始	
1966	専Ⅰ分光器（2 m斜入射分光写真機）の製作	専用Ring建設計画
1967	専Ⅰ分光器による実験開始……第1ダクト	
	専Ⅱ分光器（瀬谷型－50cm）製作（光電測光用）	
1968	専Ⅱ分光器用開始	
1969	専Ⅲ分光器（平面回折格子型，入射スリット無し）	Ringの検討・設計
1970	ダイトの移転など，専Ⅲの立ち上げ遅れる	並行して進む
1971	3 rd ICVUV……専Ⅲの初データ報告	
1972	物性研に客員部門発足（測定系の検討始まる）	SOR-Ring
1973	佐川，加藤，佐藤，渡辺，山口* 客員部門に着任	建設開始
	測定系　working-group 設計開始	Ring建物完成
1974	予算決定（6000万円）発注製作	
1975	測定系 搬入・組立て・調整（佐川，加藤 客員退任）	Ring試運転成功
	佐々木，石井 客員に着任　　ビームライン建設，Ringと接続	

＊山口重雄氏は客員研究員としてSOR-RING および測定系の建設に参加された。

私は専Ⅲ分光器の設計製作に携わり，山下，石井，佐藤，渡辺の各氏と共同して平面回折格子分光器を製作，立ち上げを行った。DESYのC.Kunz等も同じ時期に同じideaの分光器を作っていた。専Ⅲ分光器の概念図および当時の測定データーの一部を図1に示す。

引き続いて1973年に佐川，佐藤，渡辺氏らと共に客員部門に着任し，Working Groupの方々と共にSOR - Ring建設チームとの連繋のもとに測定系の設計製作にあたった。

Working - Groupのメンバーおよび建設の基本方針は概ね次表に示したとおりである。

測定系Working Group			SOR - Ring建設Group	
神前　熙	佐川　敬		*佐々木泰三	核研グループ
小塩　高文	加藤　利三		*石井武比古	
中井　祥夫		*佐藤　繁	宮原　恒昱	
波岡　武		*渡辺　誠	北村　英男	
中村　正年		*山口　重雄	井口　裕夫	
*菅原　英直	*石黒　英治	*三谷　七郎	*永倉　一郎　他	（＊このメンバーは両グループに参加し活躍された）

測定系建設方針（1974年度：予算総額～6000万円）

縦分散 瀬谷型分光器　（1 m）4000～300A,(1200本/mm) 2階に設置

縦分散 斜入射分光器　（2 m） 400～80 A,(1200本/mm) 1階に設置

McPherson社 瀬谷型分光器　（50cm）6000～300A,(1200本/mm)（通常光源用）

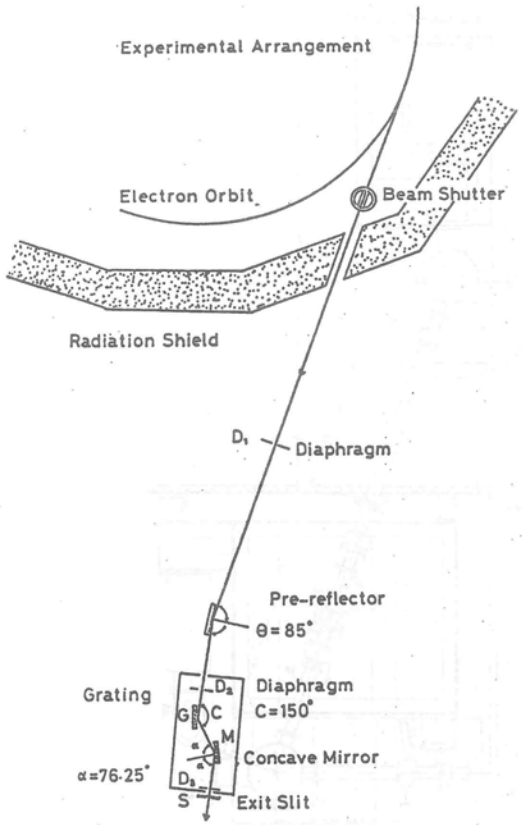
横分散 Vodar型分光器　（2 m） 200～30 A,(1200本/mm) 1階に設置（次年度送り）

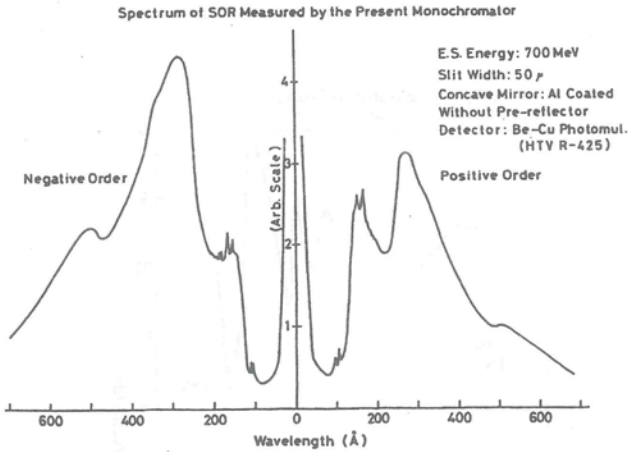
光電子分光装置および試料槽

差圧排気系　等

計測・制御系

縦分散型分光器本体は神津精機K.K.が製作し，超高真空装置は日電バリアン社に発注した。図2に瀬谷型分光器の設計図ならびにこれによる初期のデータを示す。斜入射分光器およびその他の測定系については「測定系の建設Ⅱ」の菅原氏の項で報告される。


Experimental Arrangement
Electron Orbit
Beam Shutter
Radiation Shield
D1
Diaphragm
Pre-reflector
θ=85°
Grating
D2
Diaphragm
C=150°
G
C
M
Concave Mirror
α=76.25°
D3
S
Exit Slit


Spectrum of SOR Measured by the Present Monochromator
E.S. Energy: 700 MeV
Slit Width: 50 μ
Concave Mirror: Al Coated
Without Pre-reflector
Detector: Be-Cu Photomul.
(HTV R-425)
Negative Order
Positive Order
(Arb. Scale)
4
3
2
1
600
400
200
0
200
400
600
Wavelength (Å)

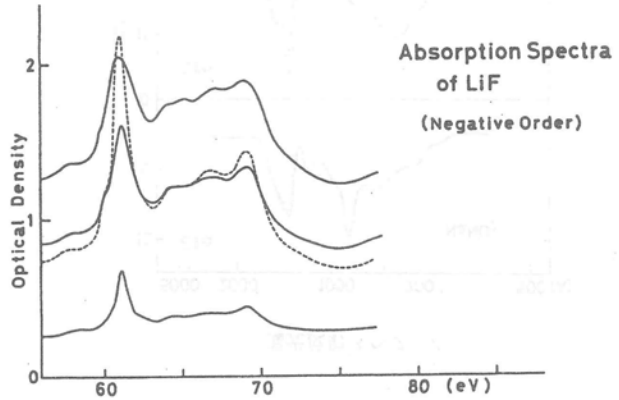
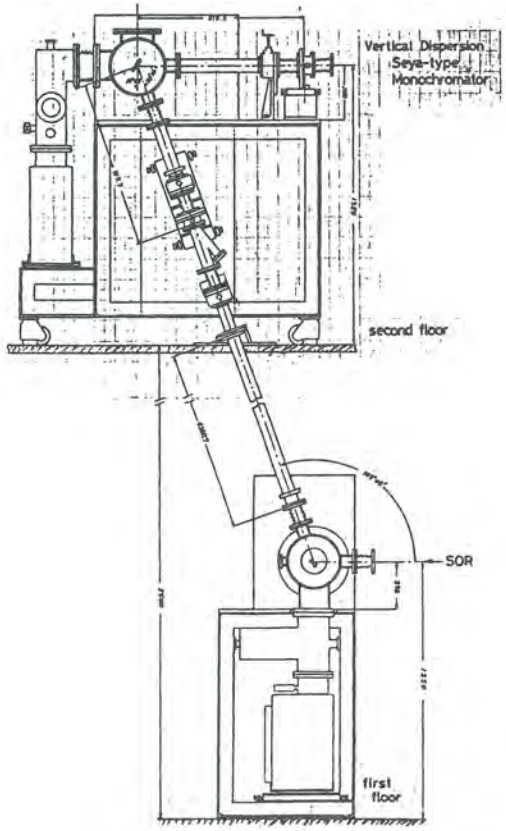

Absorption Spectra
of LiF
(Negative Order)
Optical Density
2
1
0
60
70
80 (eV)

図 1


Vertical Dispersion
Seya-type
Monochromator
second floor
SOR
first
floor

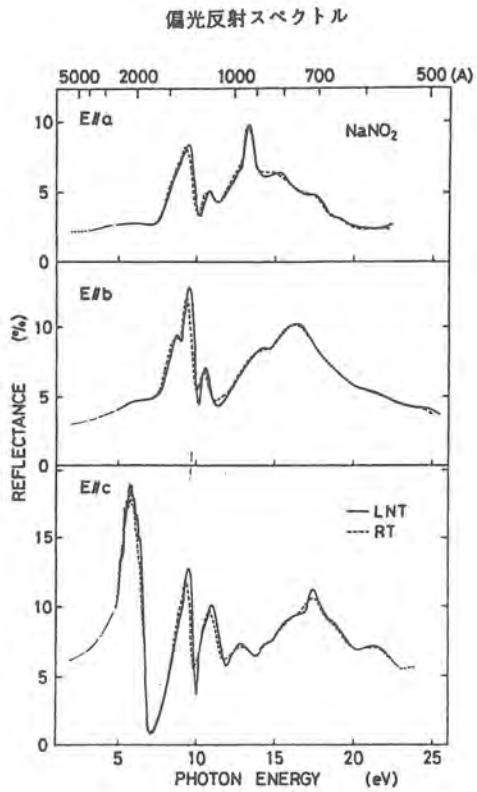

偏光反射スペクトル
5000 2000 1000 700 500 (A)
E//a
NaNO2
E//b
E//c
— LNT
---- RT
REFLECTANCE (%)
PHOTON ENERGY (eV)

図 2

測定系の建設 II

群馬大・教育　菅原英直

ここでは「測定系の建設 I」に続き，20年前の斜入射分光器周辺の建設事情について述べ，今後分光器の設計に当たって参考になると思われる事柄について触れたい。

この分光器は，現在SOR-RINGのBL-2に設置されて稼働中のものである。これは，当初BL-1とBL-4に設置される瀬谷－波岡型分光器とVodar型分光器の中間の波長領域を分担する斜入射Rowland circle mounting分光器として計画された。1974年に設計，製作を終え，翌年に組み立て，真空テスト及び光学調整が行われて，1977年2月からSOR-RINGを光源として測定が始められた。数名の方々の手によって，いくつかの物質についての吸収スペクトルの実験がなされたあと，光電子分光装置（設計は石井，勾坂両氏）が接続されて，光電子スペクトルの実験が開始され，1978年10月に共同利用に公開された。

この分光器の設計に課せられた条件は次のようなものであった。(1) 分光器の入射光と出射光の方向が波長走査時に不変，(2) 光子エネルギー領域は30-150eV，(3) 縦分散Rowland circle mounting，(4) 高次光の除去，(5) 試料上で集光させる。このうち，(1)は光源と分光器の後にくる装置の両方がいずれも大型の場合にはいつも必要な条件である。(2)のうち，高エネルギー端は遷移金属のM吸収をcoverするように選ばれたもので，当時はまだ希土類のことはそれほど念頭になかった。(3)については，光源の偏光性を利用できるように考慮するということ，光の取込み角が大きいということから縦分散を採用したものである。(4)，(5)では，鏡と回折格子の入射角を適当に選ぶことによって高次光の反射強度を抑え，また鏡の曲率半径を選ぶことによって分光器の出射光を試料上に集光させることとした。

この分光器の原理を図 I に示す。回折格子Gの入射角 α と回折角 β の和 $\alpha+\beta$ を一定として，Rowland 円の中心OとGを結び，入射スリットS_1，出射スリットS_2とOを頂点とする三角形OS_1S_2を入射光軸に沿って動かせば波長を走査できる。平面鏡M_1の役割は，M_2以下の素子を入射光SRによる表面の汚染から守ること，SRの入射軸と分光器の入射スリットの駆動軸S_1Gとを平行に保つことである。M_2はトロイダル鏡であり，縦方向をS_1上へ，横方向は回折格子Gとトロイダル鏡M_3との組み合わせで試料上に集光する。M_1，M_2，GおよびM_3の入射角は全反射角の波長依存性を考慮して決めた。

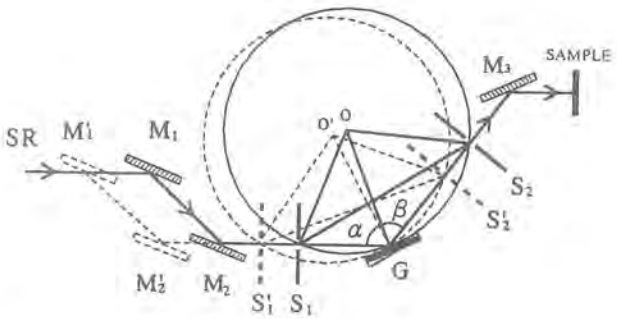


図 1

設定した主なパラメーターは次の通りである。(1)Rowland 円直径：2 m，(2)有効波長域：1200本/mm の回折格子使用の時80～400A(30～150eV)，(3) $\alpha+\beta=155°$，(4) M_1，M_2の入射角: 65°～80°(可変)，M_3：77.5°，(5)出射光の集光位置：M_3 から480mm。

分光器の製作は神津精機K.K.が行った。完成した分光器は当初の条件をほぼ満たすものであった。分解能としては10μmスリットを使って70eV付近で約2000である。高次光は機械刻線の回折格子ではほとんど観測されなかったが，最近ホログラフィックグレーティングに交換したら高次光がはっきり観測されたということである。

この分光器の特長は次の通りである。

(1) S_1，S_2 およびG だけで定偏角の分光器を構成している。(2) M_4 によるS_1 上へのfocusが非常に鋭い（<200 μm）ので，slitlessで使ってもかなり良い分解能が得られること。これは光源点から離れるほど有利になるので，高エネルギーリングでの使用がより有効となる。(3) 波長走査で出射光の波長は常にblaze波長を追いかけて変わるので，常に強度の大きい領域で使用していることになる。(4) negative orderの回折を使用しているので，回折格子の入射角が常に高次光を減衰させる方向に変わる。

この分光器の短波長端をもっと短波長まで広げるには，$\alpha+\beta$の値を大きくすることが本質的である。もっと曲率半径の大きい回折格子を使えば，高い分解能も得られるし，空間的な素子の配置も楽になるはずである。

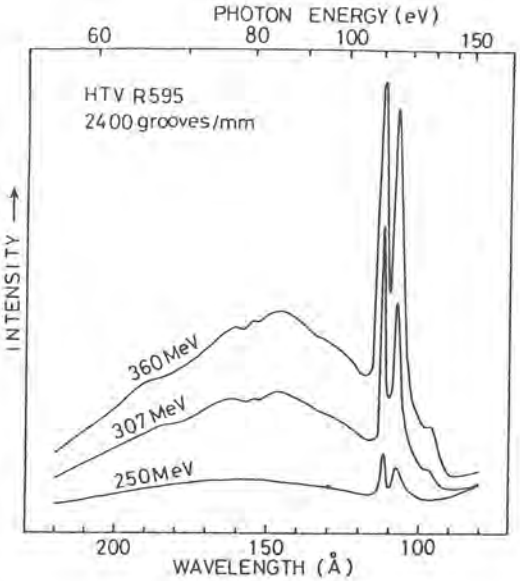


図2

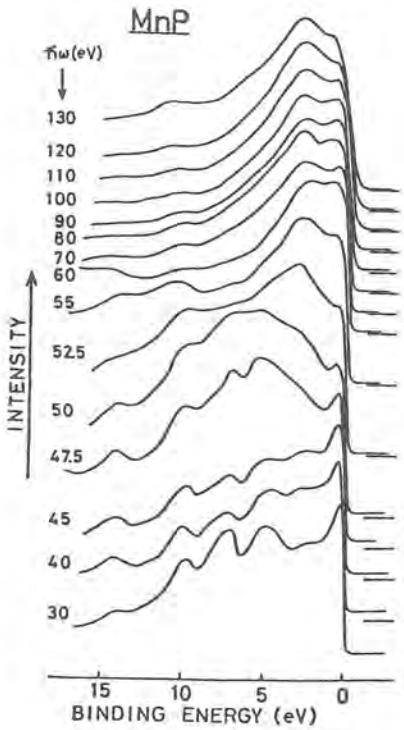


図3

参考のため，図2に分光器の完成当時に得られた分光スペクトルを示す。検出器はBeCuO電子増倍管で，SOR-RINGのエネルギーを変えてスペクトルの変化を観測したものである。図3はMnPの光電子スペクトルである。

SOR-RINGでの初期の実験
－最近の研究へのつながり－

東大・物性研　村田好正

BL－2を用いて，MgO(001)へき開面の電子状態（共鳴光電子放出と帯電効果），Ni/Si(111)(界面反応と電子構造)，Si酸化膜のスパッタリングの前駆過程，水素化Si-C混合系の電子構造，Ni/Siの共鳴光電子放出，Si，GaAs，Al/GaAsの共鳴光電子放出，Cs/Si(111)の電子構造，Au,Ag/Si(111)の電子構造（合金形成，共鳴光電子放出），またBL－4では，平面回折格子型分光器および角度分解型光電子分光装置の製作，Ni(001)c(2×2)－S(2p)の光電子回折などの研究を日立中研の小林啓介さん等，武蔵工大の服部健雄さんのグループ，阪大工の岩見基弘さん，SOR施設の菅滋正さん等との共同研究として行ってきた。

これらのうち，最近の研究へのつながりが特に大きい「3d遷移金属－Si(111)の電子構造」を取り上げる。そしてこれに関連した最近の研究「Pt(111)－Ge合金からのNOのレーザー誘起脱離」について述べる。これらの研究は，前者は，日立中研の小林啓介，白木靖寛，石坂彰利，菅城象二郎，物性研の大門寛の諸氏，後者は，物性研の福谷克之，T.T.Magkoev，融合研の寺倉清之の諸氏との共同研究である。

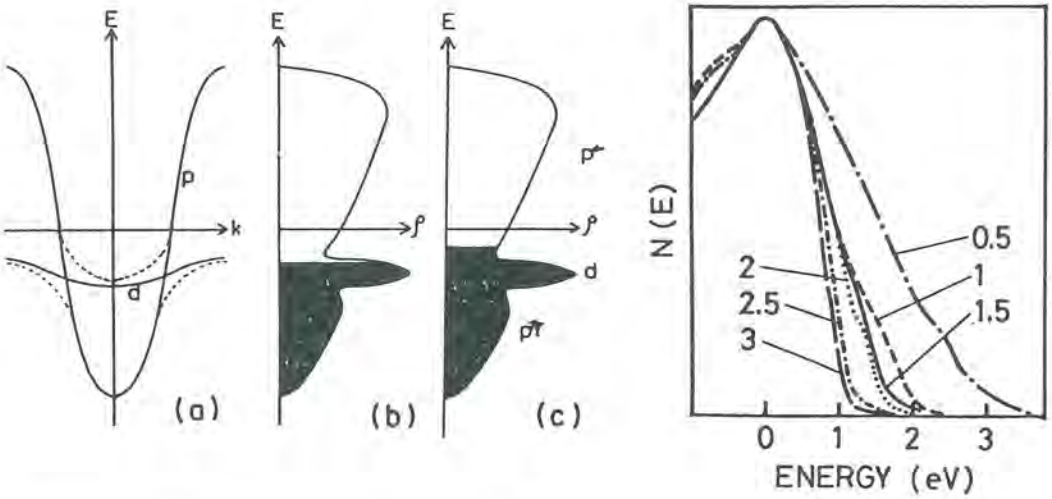
1.　3d遷移金属－Si(111)の電子構造

この測定は上掲のNi/Si(111)の界面反応の研究が始めた動機である。Si清浄表面として真空へき開面を用いた。室温でNiを蒸着していったところ，Niの膜厚が増すにつれNiのdバンドのピーク位置がシフトし，フェルミ準位に近づくことが観測された。この結果は図1に示すp－d混成の単純なバンド模型で説明できる。これはSiのpバンドのセンターがNiのdバンドより少し高いエネルギー位置にあるリジッドバンドモデルである。すなわちNiが少ない領域では図1(c)に示すスキームで，Niの割合が増すにつれて，図1(b)のスキームに変化する。またNiをある程度厚く蒸着し(～80A)，700℃に熱処理した表面は図1(c)に対応する。このモデルの妥当性を確かるために，Ni_x Siのx＝0.5，1，1.5，2，2.5，3の結晶を作製し，光電子スペクトルを測定した。d－バンドのピーク位置で規格化した結果を図2に示すが，上記のモデルの妥当性を確かめることができた。さらにCr，Mn，Co,CuをSi(111)へき開面上に蒸着した系で光電子スペクトルを測定した。これら金属のdホールの数を反映した，やはりp－d混成モデルで説明できる結果が得られた。dホールの多いCr,Mnは図1(b)に対応するフェルミ準位に，全ての膜厚で

鋭い立ち上がりが観測された。一方，Co は膜厚の薄い領域で図 1 (c) の肩構造が現れる緩い立ち上がりになる。d ホールのないCuでは常に図 1 (c) の肩構造が観測された。

K.L.I.Kobayashi, S.Sugaki, A.Ishizaka, Y.Shiraki, H.Daimom and Y.Murata, Phys. Rey. B25, 1377(1982),

Y.Shiraki, K.L.I.Kobayashi, H.Daimon, A.Ishizaka, S.Sugaki and Y.Murata, Physica 117B & 118B, 843 (1983).



2. Pt(111)−Ge合金からのNOのレーザー誘起脱離

Pt(111) 表面にGeを蒸着し，そのGeを蒸発させるという操作を繰り返すと，Geが不純物としてPtに混入した合金相が形成されることを見いだした。その合金相は，オージェ電子分光の測定結果によると，Pt に対して0.1 原子層に相当するGeが存在する。この表面にNO分子を吸着させ，そこからの紫外レーザー誘起のNO分子の脱離を観測した。さらに反射吸収赤外スペクトルによるN −O 伸縮振動の波数の変化，熱脱離による脱離エネルギーなども測定した。それらの結果は上述の 3 d 金属のシリサイド形成と同様，不純物のGeとPtの間での s，p −d 混成により，Ptのd ホールの量が減少し，フェルミ準位がシフトするモデルで説明できた。一方，電子励起に伴う光刺激脱離には顕著な反応選択性が観測されているが，これらの結果は反応選択性の原因を考える上で重要な知見である。表面物性の基礎研究は静的な原子配列，電子構造などの研究から動的物性，しかも電子過程を通しての動的物性の研究へと変遷しつつある。この研究はその一つの典型例である。

SOR-RINGの現状 －加速器－

東大・物性研　小関　忠

SOR-RINGは，建設後20年を経た大ベテランの加速器であるが，性能の改善やマシーン・スタディは現在も継続的に行われている。基本的には週に4日間（火曜から金曜）運転され，通常の共同利用運転では原則として1日3回の入射（9：30，13：30，16：30）を行う。（ただし，最近はビーム寿命が長くなったため朝夕2回とする場合もある。）ここ3，4年は年間運転時間がおよそ2000時間におよび，そのうち6－8週間程度が，夏期シャットダウン後の焼きだし運転を含むマシーン・スタディに当てられている。以下ではここ1，2年の間に行われた3つの改良を中心に，加速器の現状を報告する。

1. ビーム寿命の改善

従来，SOR-RINGでは，和共鳴線付近に動作点（ベータトロン振動数の縦方向，横方向の組）をとり，共鳴によってバンチ形状を膨らませることで，Touschek効果（同一バンチ内のMφller散乱によって電子が安定領域からはじき出される現象）によるビーム損失を軽減していたが，和共鳴はエミッタンスの増大を助長する可能性のある危険な共鳴であることから，93年春のスタディでは動作点の見直しを行った。その結果，差共鳴線の近くに，より安定な動作点を見いだすことができた。また，SOR-RINGでは，イオン・トラッピング（真空チェンバー内の正電荷を持つ残留イオンが，電子ビームに捕獲される現象）によると思われるビームの不安定がしばしば観測されていたが，92年の夏期停止期間中にリング内4カ所にイオン除去用電極を新設し，各電極に2kV程度の電圧を加えることにより，その不安定を大きく抑制することができるようになった。93年春以降の共同利用では，新しい動作点での運転を開始し，さらにイオン除去用電極を常時使用することで，SOR-RINGのビーム寿命はかなり改善された。図1にエネルギー380MeVにおける典型的な運転状況（共同利用中の）を示す。(a)は，92年春（改善前），(b)は94年春（改善後）の運転である。(a)では，蓄積電流200mAの時にビーム寿命は約200分であるが，(b)では，200mAに対して，600分を越えるビーム寿命が得られている。この程度のビーム寿命があれば，1日2回の入射でも，必要なビーム強度を十分保つことができる。

2. ビーム・エネルギーの増強

SOR-RINGはこれまで380MeVを定格のビーム・エネルギーとしてきたが，電磁石系および高周波加速系は500MeV付近でも運転し得るだけの能力を有している。ただし実際上は，光モニター・ポート部での放射光による発熱が大きく，ビーム・エネルギーを増強するとそれに伴う放射光パワーの増加が深刻な真空劣化を引き起こすため，高エネルギー運転で高いビーム電流値を実現することはできなかった。そこで，93年夏に，光ポートの石英窓付近の構造を一新し，放射光による熱負荷を軽減するように作り替えた。このことにより，最大エネルギー500MeVで，

十分なビーム電流を蓄積することができるようになった。500MeVの場合，例えば放射光エネルギー200eV付近では，380MeVに比べて2倍以上の光強度が得られることになる。94年秋には定格500MeVでの共同利用運転を開始した。開始当初は電磁石電源のトラブルも多少はあったが，それも現在は解決し，安定な運転ができるようになっている。

3. ビーム軌道の安定化

92年夏期停止中に，高輝度光源加速器のR＆Dの一環として開発したビーム位置モニターをリング4カ所に設置，これにより，0.4μm以下の高精度でSOR-RINGのビーム軌道が測定できるようになった。さらに同時期にステアリング用補助コイルを新設し，これと高周波加速系の周波数微調とを併用する事によって，ビームのC.O.D.補正が可能となった。93年秋には，それらを計算機コントロールする軌道フィードバック・システムが完成した。94年春以降，このフィードバック・システムは共用利用運転時にも起動され，SOR-RINGのビーム軌道は常時20-30μm以内のばらつきで制御されている。

さて，SOR-RINGにおける加速器屋の仕事を大別すると，以下の3つに分けられるのではないかと思う。すなわち，(1) SOR-RINGの維持と性能向上（言い換えれば，安定な放射光の供給ということ），(2) SOR-RINGを用いた加速器物理学の研究，(3) 高輝度光源加速器のためのR＆D，である。ここでは，時間（紙面）の関係で，(2)，(3)の最近の進捗状況についてはほとんど紹介できなかったが，いずれも現在精力的な研究が続けられている。そのような意味で，SOR-RINGは建設後20年を経た今もなお，単に放射光利用者にとってのみならず，われわれ加速器屋にとっても実にexcitingな研究対象である。しかし，施設の老朽化は如何ともし難く，老朽化によるトラブルは，年々その数を増しつつある。かつて世界に先駆けて放射光専用リングを完成させた物性研が，これからも加速器科学の分野において世界の第一線で貢献し続けるためには，一日も早い高輝度光源加速器計画の実現が望まれるところである。

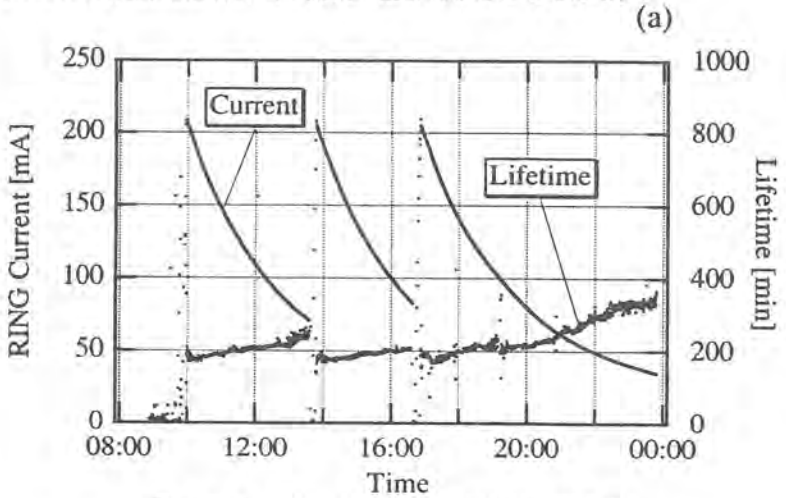


図1：(a) SOR-RINGの運転状況　92年春

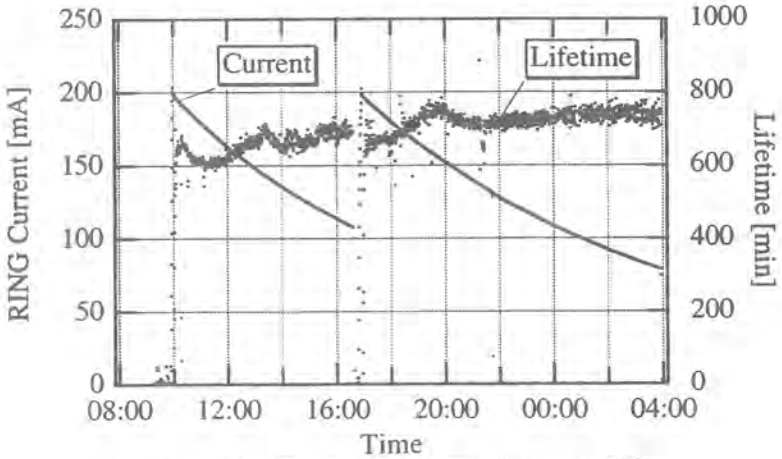


図１：(b) SOR - RINGの運転状況　94年春

測定系の現状

東大・物性研　手塚泰久

現在，マシンタイムの申請は，年に２回に分けて募集されている。前期は４月から７月，後期は10月から翌年３月までである。共同利用の総数は，年によって増減があるが，おおよそ年間25週である。BL - 1及びBL - 2は，通常２週間単位で共同利用に供されている。図は，BL - 1とBL - 2に関して，過去８年における申請数と採択数の数を，半期ごとに示した図である。ほぼ毎年，総数を上回る申請がなされている。

BL - 1は，１mの瀬谷波岡型分光器が設置されている。この分光器は，1200 lines/mmと600 lines/mmの２種類のグレーティングを備えており，波長範囲は，それぞれ3000～300 Åと6000～500 Åである。これらのグレーティングは，真空中で交換可能である。このビームラインでは，主に，光反射及び吸収の実験が行われているが，最近では装置の自動化が進み，使い勝手が向上している。また，利用者が測定槽を持ち込むことも可能で，真空紫外光を用いた実験全般に供せられる。

BL - 2は，２mの変形Rowland 型分光器が設置されている。偏角 155°で，1200 lines/mmのグレーティングを用いており，エネルギー範囲は32～140eV である。グレーティングは，最近ホログラフィック・グレーティングに交換された。その結果，それまで高エネルギー側に観測されていた迷光が著しく減少し，光の純度が増大している。また，入出射スリットの改良が行われ，マイクロメータによって真空槽外部から連続的に変更できるようになっている。測定槽には，電子エネルギー分析器(DCMA)が設置され，積分型光電子分光の測定が行われている。また，励起源として電子銃を用いることにより，LEEDおよびAuger の測定が可能になっている。更に，室温用のマニュピレータの代わりに，液体窒素用クライオスタット又は，He冷凍機を取り付ける事により，

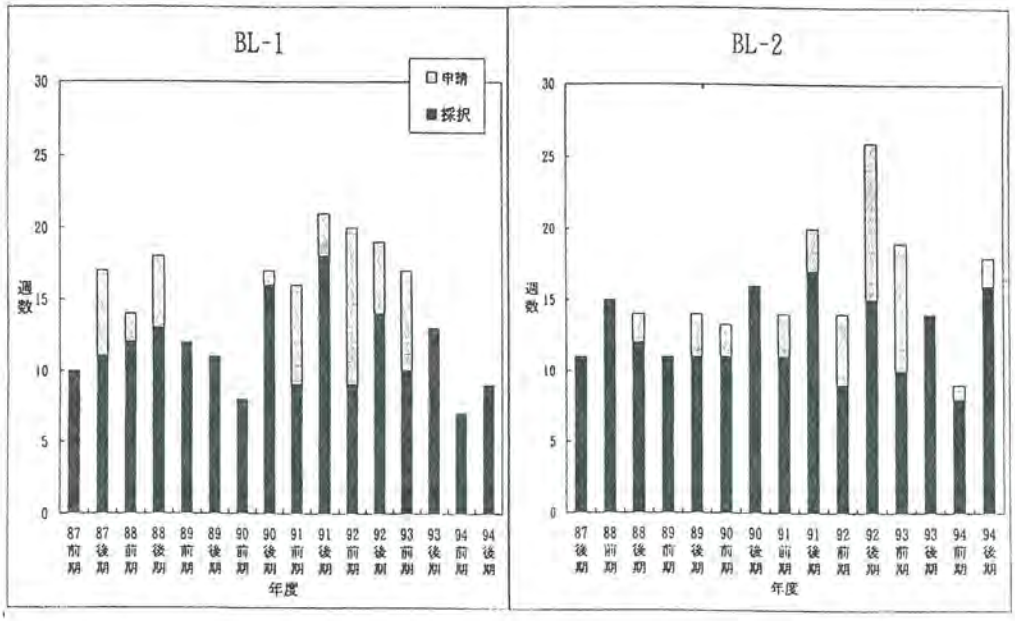
低温での測定が可能である。

BL-3とBL-4は，長期占有型共同利用の形をとっており，新たな装置の開発を伴う実験や，技術的困難の為に時間を要する実験などに用いられている。

BL-3には，かつてWadsworth 型の分光器が設置されていたが，現在は撤去されている。現在，このビームラインは，フリーポートとして供されている。最近，東北大・通研のグループが，半導体表面に対する光照射の実験を行っている。さらに，干渉型の赤外分光器を用いた，赤外反射の実験も行われている。

BL-4 は，平面回折格子型分光器が設置されている。この分光器は，かつてBL-3に設置されていた分光器である。この分光器のエネルギー範囲は，2400 lines/mmのグレーティングを用いたとき，20～200eV である。このビームラインでは，1992年10月から 2 年間は，DCMAを用いて積分型光電子分光を行っていた。その後，1994年10月に，大阪大学のグループによって，2 次元の電子アナライザーが設置され，現在立ち上げを行っている最中である。このアナライザーによって，角度分解光電子分光が，従来の装置よりも短時間で測定可能に成ることが期待される。また，角度積分型の光電子分光や，LEED，Auger の測定も，このアナライザーで行うことが出来る。

BL-5 は，国際基督教大及び立教大を中心とした生物グループによって運営されている。マシンタイムは，申請代表者が一括して申請し，グループ内で割り振りを行っている。このビームラインには，Wadsworth 型分光器が設置されており，波長範囲は500 ～1500 Åである。このビームラインでは，主に生体や有機物に対する光の照射の実験が行われている。



我国におけるVUV－SX分光研究の発展

東大・物性研　石　井　武比古

我国において真空紫外線・軟X線(VUV－SX)領域の分光研究がどのように発展してきたか，若い人達に話しておきたい。私の知っている範囲での古い話に重点を起き，多くの人が知っている最近の話しは淡白に済ませたい。

放射光の出現以前の話をどこまで辿ればよいのかわからないが，尤もらしい研究がスタートしたのは，1950年代の中頃か1960年頃であったと見てよい。東北大学理学部の林研究室では，内殻準位への電子遷移による軟X線の放射スペクトルの測定が行われていた。また，大阪大学理学部の澤田研究室でも同様の目的の研究が行われていたようであるが，この研究室はその後消滅した。この種の研究は，当時，学会ではほとんど注目されなかった。良い放射源がなく，当時の先端的計測技術が使われず，真空技術が良くなかったので，信頼性の高いデータが得られなかった。研究者は，エネルギーバンド描像のような，当時としては固体物理学の中心的な概念を駆使してデータを解析して自分達の存在を誇示することはしなかった。

そのほかに，波長の長い極紫外線の吸収スペクトルや極紫外線によって誘起される固体試料の光化学変化の研究をしようとしていた研究室があった。東北大学理学部の上田研究室（アルカリハライド），京都大学理学部の内田・中井研究室（アルカリハライド），東京大学物性研究所の長倉研究室（有機物質），東京大学教養学部石黒研究室（軽金属）などである。励起子研究が当時の光物性研究者の大きな関心事であった。理論の方が断然優れており，スペクトル線形状に関する豊沢理論，田辺－菅野－上村の配位子場と多重項スペクトル理論など世界的に知られた研究成果が発表されたのはこの時代であった。後になって，励起子の研究は，バンド幅の狭いイオン結晶，磁性化合物，有機物を研究対象物質にして，ワニヤ励起子，フレンケル励起子，ポラリトンなどについて世界的に優れた実験が行われた。極紫外線域のデータとしては，富来哲彦氏らのKClとNaClの反射スペクトル，加藤利三氏のLiFの反射スペクトルが有名である。

原子分子の分光研究のうちVUV－SX領域のスペクトル研究は，東京教育大学の光学研究所で活発に行われていたようである。私は専門外であり，学術的成果のことは知らない。有名な瀬谷－波岡分光器や三宅－加藤型分光器が生まれたことを思い，藤岡由夫先生がおられたことを思うと，高水準の研究がなされていたに違いない。後に，東京教育大学からの研究者として，尾中研究室，中村研究室が放射光分光の世界で活躍した。

1965年以降に，VUV－SX分光計画は画期的に進展した。その最大の要因は放射光の利用が始まったことにある。それまで事実上不可能であったLiF窓のカットオフ波長よりも短波長側での吸収スペクトルの測定が可能になったのである。NaClとKClのL_{23}吸収スペクトルが測定され，軟X線領域での内殻励起子吸収線が美しく描き出されたほか，高エネルギー域に2電子励起のスペ

クトルが出現する，という結果が出された。2電子励起とは，今日言うところのシェーク・アップのことである。後年，このスペクトル構造は，もっと一般的な終状態の多電子的相互作用によるとされた。ArのL23吸収スペクトルにおいては，内殻電子の励起スペクトルにリュードベリ系列が現れるのをはじめて発見した。軽金属(Be,Alなど)の吸収スペクトルも，従来知られているデータを塗りかえた。この時代に，放射光と共に研究の質を変えたのは，光電子分光である。現在なおよく研究されている希土類化合物の4d→4f吸収スペクトルや内殻電子のXPSスペクトルの研究がスタートしたのもこの時代であった。同様に，3d遷移金属化合物の吸収スペクトルと光電子スペクトルの研究も行われた。希土類内殻電子励起に対する小谷・豊沢理論や遷移金属の内殻準位線の多重項構造に関する菅野理論が発表され，世界のこの分野の研究に大きなインパクトを与えた。そのほかに，アルカリハライドの光電子収量スペクトルとアルカリ金属の最外p殻電子の吸収スペクトルが有名である。

ストーリジリングと挿入光源を用いた放射光による分光研究の全盛時代には，放射光励起による光電子分光実験の方法が確立したのが特徴である。研究成果は良く知られているので，具体的に説明する必要はあるまい。ここでは，それらを項目的に列挙するにとどめる。

ストーリジリングの時代

共鳴光電子分光（強相関電子系物質の研究），逆光電子分光（強相関電子系物質および半導体の電子構造解析），角度分解光電子分光（エネルギーバンドのマッピングと固体表面の研究），変調分光，蛍光の時間分解計測，磁気円2色性，気体の高分解能分光，光電離スペクトルの精密測定，照射効果の実験，クラスタ計算によるスペクトルの理論解析。

挿入光源の時代

形状共鳴スペクトルの精密測定，高分解能光電子分光（強相関電子系物質および半導体表面の研究），スピン分解光電子分光（3d遷移金属とその化合物の研究），蛍光と光散乱の研究。

近い将来の見通し

VUV-SX分光研究は物質科学研究の側面と分光学研究の側面に分化するであろう。早急にやるべきことは，低温における計測をルーティン化すること，高分解能計測をルーティン化することである。理論では，逆光電子分光スペクトルの本格的な解析法を確立することであろう。これからは光電子分光と共に，蛍光・散乱分光研究が主流になるであろう。レーザーの同時照射による測定とコインシデンス計測が研究の重要な部分を占めることになろう。

BL-1測定装置と主な研究成果

東大・物性研　藤沢正美

SOR-Ring BL-1には，セヤーナミオカ型分光器が設置され，光子エネルギー約35eV以下での分光測定が可能である。共同利用に公開されてから16年になる。公開された当時は，BL-1固有の測定装置は準備されておらず，ユーザーは自ら測定装置を用意しなければならなかった。そのため，かなり限られたユーザーしか実験ができなかった。ユーザーも，実験のたびに測定装置をビームラインに設置し直すために，ビームタイムの損失を避けられなかった。この時期には，光学定数を求めるための反射率測定が多いが，他にも変調分光，発光，吸収率測定などがあった。後年に比べれば件数は少ないが，成果は着実に上げられていた。

'86年に，標準的な反射・吸収測定システムを施設で準備した。高温超伝導物質が多く合成されたこともあり，ユーザー数は飛躍的に増えた。ユーザー自身が測定装置を設置する必要がないため，ビームタイムの損失は少なくなった。その後，測定システムや分光器は改良を重ねられ，実験効率はかなり向上した。特に，新物質の光学定数を求めるための反射率測定実験の割合が大きくなり，他の測定は続いてはいるが割合は小さくなった。

現在，高温超伝導ブームも去り，放射光を使った物性研究の主力が光電子分光測定や発光等に移ってしまったため，BL-1のユーザー数は減っている。BL-1の光子エネルギー範囲での需要が無くなったわけではない。BL-1では光量不足のため測定種類が限られてしまい，発光や光電子分光等の2次過程の測定実験をしたいと思うユーザーの要望に答えられないためである。光量不足は，SOR-Ringの建物の制約から適切な光学配置が取れないためで，簡単には解決しない。分解能等を考慮に入れれば，高輝度光源に新しいビームラインを作る方が建設的であろう。高輝度光源が早く建設されることが望まれる。

共鳴から始まったSOR-RING光電子分光

阪大・基礎工　菅　滋正

SOR-RINGに電子が蓄積されてから今年で丁度満20年となる。私は物性研究所軌道放射物研究施設助教授として1976年から1989年の13年間田無にある東大原子核研究所の電子シンクロトロンに隣接した物性研の同施設で放射光の全国共同利用の推進にたづさわってきた。この研究会では当時の関係者から多くの講演があるので話題をBL-2を中心とした共鳴光電子分光に限りその歴史と今後の発展を述べる。

話題は 1. 実験装置の改良　2. 当時のトピックス　3. 共鳴光電子分光の始まり　4. 底辺の広がり　5. その後の展開　6. 将来　の順で話す。

装置については科研費でΦのDCMA電子分析器を分割払いで購入し新しく設計した分析器室をBL-2に設置して以来，習熟した研究者なら誰にでも容易に光電子分光測定ができるようになったと記憶している。この分析器には角度分解用のアパーチャーも付けたので暗くはなるもののいくつかの角度分解光電子分光（ARUPS)に挑戦する利用者もあった。ただし本格的なARUPSはPFの物性研ビームラインBL-18Aの共同利用まで待たなければならなかったと言うのが実状である。当時の谷口助手の努力によって標準的な試料導入系(air lock system)が完成し，数個の試料を超高真空中に格納できる試料バンクの利用とあいまって10^{-10} Torrの前半の真空でへきかいやfilingにより清浄化した表面の光電子スペクトル測定が可能であった。たとえば超高真空中でへきかいしたInSb清浄表面でのInおよびSbの内殻準位シフトの発見は当時の世界のフロンティアに日本の放射光物性がやっと再びたどりついたとの感があった。またKMo酸化物では興味ある物性を示す多様な物質が知られているが，ブルーブロンズと呼ばれる$K_{0.3}MoO_3$は約180Kで金属－絶縁体転移を示す準1次元物質であり，$K_{0.33}MoO_3$であらわされるred bronzは半導体、purple bronzと呼ばれる$K_{0.9}MoO_3$は120KでCDW転移を元す準2次元金属がある。これらの価電子帯の定始状態スペクトル(CIS)を測定するとMo4p→4d内殻励起領域で，ある束縛エネルギー(E_B)領域の光電子強度が共鳴的に増大する。これを共鳴光電子放出と呼ぶが，物資によって共鳴の振る舞いが大いに異なる。これからO2pとMo3dの軌道混成に対する貴重な情報が共鳴光電子分光より得られるのである。またpurple bronzの価電子帯の分散が，さきのARUPSによって測定されたのも初期の頃の興味ある成果である。いまはやりの強相関電子系における金属－絶縁体転移に伴う電子状態の変化についても当時院生であった辛君とVO_2の測定を行ったのはもう15年も前になる。そのころのV_2O_5, V_6O_{13}, VO_2, V_2O_3の共鳴光電子分光を含むデーターは最近さらに高い分解能での測定がされ，理論の進展とあいまって多くの興味ある結果を生んでいる。

強相関絶縁体系はその後バンドギャップの性格によってcharge transferギャップのregimeとMott-Hubbardギャップのregimeに分けられる事が，Zaanen，Sawatzky，Allen等によって提案され，これらの性格を共鳴光電子分光で測定する事が盛んになった。物性研のSOR-RINGのBL-2は遷移金属の3p内殻励起領域で2次光の少ないすぐれた性能を発揮したので，遷移金属化合物について多くのデータを提供し国際的に注目を集めた。藤森らによる遷移金属酸化物，石井等による遷移金属ハライド化合物などがそれである。また菅，谷口らによる半導体や層状物質での共鳴光電子分光も注目を集めた。

その後もSOR-RINGでの共鳴光電子分光は精力的に続けられているが，よりエネルギーの高い遷移金属2p内殻励起や希土類金属3d内殻励起共鳴光電子分光研究はPFを中心に進められている。いっぽう角度分解光電子分光は有限の角度分解能の検出器を用いて試料あるいは検出器を回転してある方位での角度分析をする段階から，同時計測のできる2次元検出器を用いる計測の方に大きく転換しているように感じるこのごろである。また磁性体についてはスピン偏極光電子放出を測定す

る方法と相補的に，光電子放出強度の磁気２色性を測定する事も行われるようになってきた。この場合にも２次元検出器が威力を発揮する事になる。我々はむかし村田研といっしょに整備したPGMのBL-4にこの２次元検出器をつけて２次元光電子計測を行う計画を進めている。近い将来SOR-RINGから新しい光電子分光結果を出せるよう期待している。もとより物性研の高輝度放射光計画のスタートが１日も早からんことを祈る。

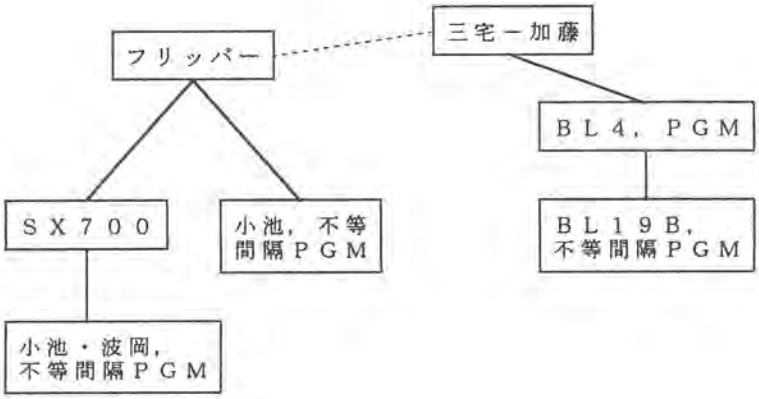
SOR 施設における平面回折格子分光器(PGM) とその研究成果

東大・物性研　　辛　　埴

SOR 施設にはこれまで３種類のPGMがある。それぞれ，輝かしい歴史を持っており，独創性あふれたアイデアに満ちている。私は，学生の時から，３つの分光器の立ち上げ，調整に関わってきた。

1. 第一には，専三分光器と呼ばれるものである。この分光器は，ES-SORの時代に作られた。昔は製作した分光器を専一，専二のように呼んでいたらしい。作った人の名から，三宅－加藤分光器と呼ばれることもある。現在はこの方がわかりやすい。この分光器は簡単な原理であるが，世界で初めて，放射光が平行性が高いという特性を念頭に置いた画期的な分光器である。ほとんど同じくしてドイツでもフリッパーという同じ原理による分光器が考案された。このことは，当時ドイツに滞在していた佐々木先生の話が詳しい。いずれにしても，専三分光器は，すべてのPGMの原点あるいは，放射光専用分光器の原点といってもいい。この分光器によって得られた研究成果としては遷移金属化合物の３ｐ吸収のデータを紹介した。
2. 第二の分光器としては，一号機の欠点を解消するために，超高真空と高エネルギー範囲をカバーし，何よりも縦分散にすることによって，高分解能を実現しようとした。また，物性研の工場でこのような超高真空装置を製作した事も画期的である。この分光器は，SOR施設と表面部門との共同研究でなされた事も特筆するべきである。いろいろな意味で意欲的であった。最初は，当時流行であった角度分解光電子分光を行うために，BL3 に設置された(現在はBL4)。研究成果としては，Niの上の硫黄原子の光電子回折のデータを紹介した。10年以上も前の実験であるが，高輝度光源計画にも関係するうような先見性の高い実験である。
3. 第三には，現在，PFのBL19Bに設置されている不等間隔型のPGMである。リボルバーという挿入光源を使用した高輝度光源専用分光器である。高分解能，高強度，小スポットサイズを両立する事のできた画期的な分光器であるが，現在はまだ調整中である。ガスの吸収実験によると，分解能は，400eVで6000に達する。研究成果として，軟Ｘ線蛍光・ラマン散乱の実験を紹介した。図にも示すように，高輝度光源分光器の１つの将来は，不等間隔回折格子を使用する方向にあり，極めて先見性に満ちた分光器である。

ＰＧＭの系統図



放射線生物効果研究への貢献

立大・理　　檜　枝　光太郎

色素性乾皮症という遺伝病がある。この遺伝病の患者の細胞は，太陽や人工的な光源からでる紫外線によって，細胞内DNA にできる分子的なキズ（ピリミジン２量体）を治すことができない。そのため，皮膚ガンを多発して死亡する。この例で代表されるように，放射線でできたDNA のキズ（損傷）が生物的な効果（この場合は発ガン）として発現する過程には，DNA 修復が介在し現象を複雑にしている。現在の放射線生物学の主力は，このDNA 修復の分子生物学的機構の解明に挑戦している。

しかし，できあがってしまったDNA 損傷の行方ばかりを追っても，放射線生物作用の完全な理解には到達できない。放射線の種類ごとに作られるDNA 損傷の種類と量を調べ，さらに損傷の生成機構を解明する必要がある。特に，生成機構の研究のためには，放射線エネルギーの吸収過程と各種DNA 損傷生成の関係を調べることが重要である。この課題を研究するために，真空紫外線から軟Ｘ線のエネルギー領域の単色光子の導入がきわめて大きな役割を果たしてきたし，今後もさらに重要性を増すであろう。というのは，この領域で光子エネルギーを増すと，外殻電子の励起，いわゆる超励起，電離，さらには軽元素から重い元素の内殻の電離へと一連のエネルギー吸収過程を，制御することができる。この種の研究には，任意のエネルギーの単色光子が，十分な強度で利用できることが必須である。ここに，本SOR - RINGの果たしてきた役割の大きさがある。

1977年11月に，SOR - RINGから得られる白色のシンクロトロン放射をMgF_2窓越しに，各種生物試料に初めて照射した。1980年９月には，変形ワーズワース型の分光器を導入し，真空紫外線領

域の単色光の利用が開始された。その後の何回かの改良をへて，現在，50nmまでの単色光子の照射実験が可能な装置としてBL-5に設置されている。この装置を利用して行われた，放射線生物研究の成果は，国外の雑誌を中心として，53編の英文論文として公表されている。これまでになされたあるいは現在進行中の主要な研究課題を列挙すると，(1) DNA およびDNA モデル分子の放射線損傷，(2) アミノ酸のラジカル生成，(3) 細胞の致死および突然変異の誘発，(4) ミドリムシの走光性，(5) 原始大気の化学進化における真空紫外線の役割，などがある。これらの研究は，他の放射光施設ではほとんど行われておらずユニークな研究として，SOR-RING の特色の一つとなってきたといえる。一つだけ例を挙げると，8 eVの光子でDNA 2本鎖切断が誘発されることを初めて明らかにし(Hieda et al., J. Rad. Res.,35, 104)，放射線生物学者の常識を大きく変えた。最近，英国のダースベリでもDNA 主鎖切断の光子エネルギー依存性が真空紫外線領域で研究されはじめたので，我々も研究の速度を速める必要がある。

今後は，さらにDNA 損傷の分析を詳細に進めるとともに，物理化学的な分析手法を導入し，損傷誘発の機構に迫る必要がある。また，原始大気に真空紫外線を照射し，生体関連物質の生成を見る研究は，化学進化における真空紫外線の役割を明らかにする点で重要であり，今後発展させたい研究課題である。このように，放射線生物研究においても，単色真空紫外線を利用する研究は重要性を増すので，次期の物性研高輝度光源計画においても，放射線生物関連の研究が一層充実して実施できるように期待したい。

変 調 分 光 法
(アルカリ・ハライドの応力変調反射率スペクトル)

東理大・理　三 須　明

光子エネルギーの高い真空紫外スペクトルのあまり強くない外場による効果は，変調分光法によって調べることができる。ただしこれは外場ゼロでの電子エネルギー状態の情報を与えることになる。この波長域の固体分光では測定された反射率スペクトルの K・K 変換が使われる。変調分光法の場合は，K・K変換や角度依存性から変調された吸収スペクトルを導くより，変調反射率スペクトルから直接に共鳴エネルギーのシフト量などを求めることができる。

立方対称なアルカリ・ハライドの応力変調では，運動学的係数の対称性を利用して有意の変調反射率スペクトルを求めた。吸収端励起子については，既知の電子構造に関するエネルギー因子に3つの歪ポテンシャルを加えて，その応力変調スペクトルを説明することができた。歪ポテンシャルの相対値から励起子波動関数の広がりについて情報が得られると考えている。重い陽イオンの内殻励起子については，多重項それぞれの歪ポテンシャルの計算値が実験値と一致した。しかし，バン

ド間遷移によると見られる構造の変調スペクトルの解析はまだできていない。

以上，これまでのマシン・タイムで実験して得た結果を報告した。

金属－半導体界面形成過程　－光電子分光法－

岡山大・理　日下征彦
岩見基弘

SOR-RING BL-2に於いて岩見らが行った標記題目に関係した研究の内，Au/Si系に関する成果について講演した。以下にその概略を示す。

金属と半導体との界面で起こる現象の中でも，低温（室温）合金化現象の解明は学術的興味ばかりでなく応用的，特に電子素子の分野でも重要な課題となっており，金属－半導体界面形成の初期過程の研究はこの為の大きな手掛かりを与える。岩見らは従来この研究に多く用いられてきた電子分光法(AES，EELS等)にはない特徴を持つ放射光を用いた光電子分光法に着目して上記の研究を行った。

Si単結晶を超高真空中で劈開して得たSi(111)2x1清浄表面上にAuを真空蒸着法により堆積し被覆率θ (1ML=7.8x10^{14}atoms/㎠)の異なる試料を作製後，試料の光電子スペクトル(Si-2p，Au-4f，価電子帯)を測定した。Si-2p及びAu-4f$_{7/2}$の結合エネルギーE_bのθ依存性を図1に示す。E_bの変化の傾向は$\theta\sim1$を境に反対になっているとともに$\theta<<1$及び$\theta\sim20$におけるAu-4fのE_bの値は金属Auの値とは異なっている。また，Au-5dのspin-orbit splitingの値のθ依存性も図1に示した特性と傾向は似ていた。さらに，$E_b\sim7$ eV($\sim$Au-5d$_{3/2}$)における信号強度はSi-2p内殻励起閾値近傍の入射エネルギーについて図2に示すようなFano型の共鳴特性を持っている。一方，同時に行ったLEED像の観察の結果はSi(111)2x1構造のLEED像が$\theta\sim1$で消失することを示した。また，二つの異なったエネルギーの入射光を用いて測定した光電子スペクトル(Au-5d)の強度比からは$\theta\sim1$においてAu原子はSi基板表面を層状に覆っているという結果を得た。

これらの実験結果はこれまでに提唱されてきた低温合金化現象を説明するモデル，遮蔽モデル及び格子間モデルとは合致しない。岩見らは新たに化学結合モデルを提案し，上述の実験結果を説明した。詳細は下記の論文を参照されたい。

1) M.Iwami, T.Terada, H.Tochihara, M.Kubota and Y.Murata, in Proceedings of the 18th International Conference on the Physics of Semiconductors, Stockholm, edited by O.Engstrom(World Scientific, Singapore, 1987),339.
2) M.Iwami, T.Terada, H.Tochihara, M.Kubota and Y.Murata, Surf. Sci. 194(1988)115
3) M.Iwami, M.Kubota, T.Koyama, H.Tochihara and Y.Murata, Phys. Rev.38(1988)1047

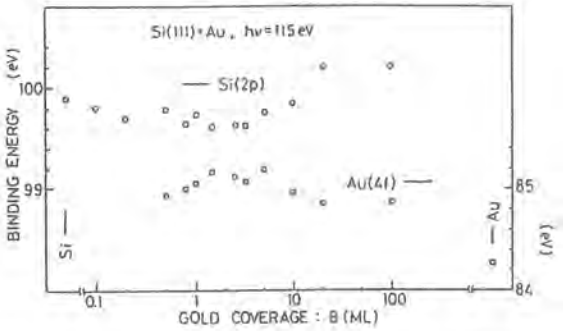


図1　Si（2p）及びAu（4f）結合エネルギーの被覆率依存性

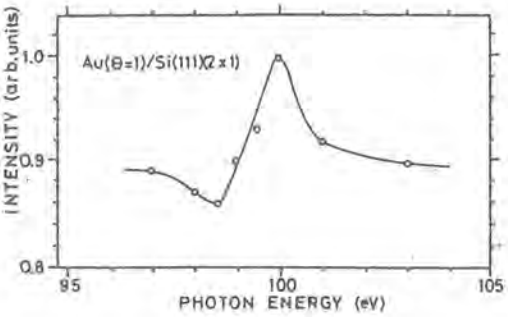


図2　E_b＝7eV の信号強度の入射光エネルギー依存性

BL-19におけるスピン分解光電子分光

東大・物性研　柿崎明人

スピン分解(偏極)光電子分光(Spin Resolved Photoemission Spectroscopy (Spectra)=SRPES)は，光電子のエネルギー，運動量の他にスピンも測定し，解析する分光法である。光電子のスピン偏極光電子分光スペクトルを測定することによって，強磁性体のバンド構造を交換分裂したそれぞれのスピン電子状態に分解して解析したり，非磁性物質のスピン軌道分裂した電子構造のスピン依存性を明らかにすることができるだけでなく，内殻電子励起とそれに伴う様々な多電子効果のスピン依存性を知ることもできる。特に，放射光真空紫外線を励起光源とすると，光電子スペクトルの表面感度が大きいため，磁性体表面のほかに表面吸着原子，超薄膜などのスピンに依存した電子状態に関しても詳細な情報がえられる。このため，スピン分解光電子分光は表面磁性の研究にも欠くことができない。

物性研SOR施設では，物質のスピンに依存した電子構造，光電子励起過程および緩和過程のスピン依存性などの解析によって，物性研究の新しい展開をはかる目的で，高エネルギー研フォトンファクトリーに，10eVから1000eVの真空紫外領域を基本波でカバーするアンジュレータとスピン分解光電子分光実験装置を備えた2本のビームライン（BL19A, B)を全国の多くの研究者の協力をえて，建設，整備し，共同利用にオープンした。BL19A は，スピン分析器として100kVモット検出器をもつ光電子分光実験装置を備え，19Bは，SPLEED をスピン分析器とする光電子分光実験装置をもつビームラインである。講演では，スピン偏極光電子分光実験の概略と最近BL-19で行われた実験のうち強磁性Niのスピン・角度分解光電子分光(19A)，Ni3p 内殻スピン分解光電子分光(19B) について紹介する。

1) 強磁性Niのスピン角度分解光電子分光

強磁性体では，キュリー点 (Tc) 以下で電子スピンが秩序状態を作り，自発磁化を生じる。強磁性体から取り出した光電子のスピン状態を解析することによって，強磁性体の交換分裂した電子状態，有限温度でのスピン揺動についての情報が得られる。図1は強磁性Ni(110) 価電子帯の第1ブリルアン域のX点及びK点近傍でT/Tc=0.5－0.9の範囲で測定したスピン角度分解光電子分光スペクトルである。スペクトルの温度および波数ベクトル依存性は，T/Tc＞1でも局所的な強磁性バンド構造が保存されているとする，いわゆる強磁性のlocal band modelで矛盾なく説明されることが分かった。[1]

2) 強磁性Niの3p内殻スピン分解光電子分光

光電子のスピン解析は，光電子の励起・緩和過程で生じる多電子効果についても貴重な情報を与える。図2は，強磁性Ni(110) の3p内殻スペクトルである。3p主ピークの他に約20eVの結合エネルギーの幅にわたって3p内殻励起に伴うサテライトが観測され，スピン偏極度も大きな変化を示す。Thole and van der Laanによる計算結果 (点線) と比較すると，3p - 3d相互作用の大きさが計算では大きく取り過ぎていることがわかる。また，スピン偏極度が計算よりもかなり小さくなることも明らかになった。[2]

現在，BL - 19Aは共同利用にオープンされており，磁性単結晶の実験が可能である。しかし，ユーザーからは磁性薄膜，磁性化合物についての実験申請が多く出されており，今後は，薄膜作成技術，磁場印加の方法などを開発し，ユーザーの要望に答えたい。

1) J.Fujii et al. : Solid Satate Commun. in press.

2) Y.Saitoh et al. : to be submitted.

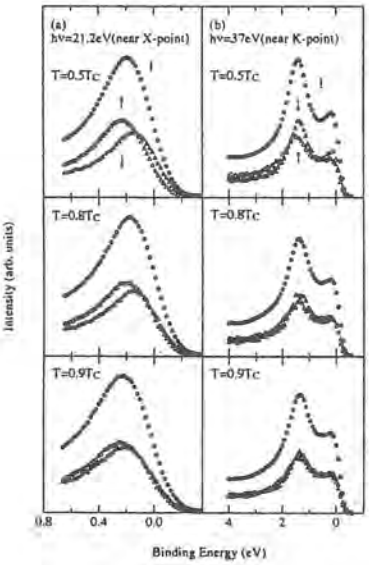


図1

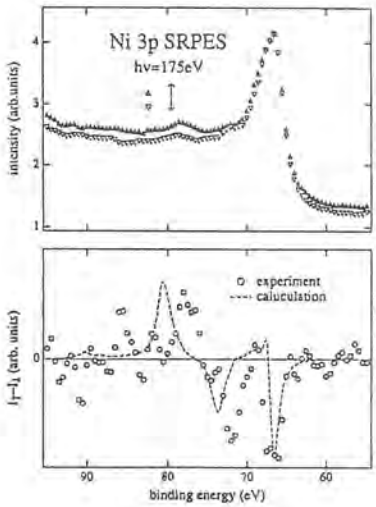


図2

金属/Si初期界面の光電子分光

東北大・科研　河 野 省 三

1. はじめに

講演ではPF BL-18Aにおいて今まで行った我々の共同利用実験について報告した。実験は主に次の3つのテーマから成っている。

1) Si(001)2x1表面上へのアルカリ金属吸着[1),2)]

2) Si(111)表面上へのIn金属吸着

3) Si(001)表面上へのⅢ属金属吸着

このうち，1)については内容が少し古いので，2)と3)の成果について報告した。

2. Si(111)表面上へのIn金属吸着

Si(111)表面にInが吸着すると4x1周期が出現するが，その対称性から通常の下地では3つの分域が混在した表面に成る。本研究では，特殊な下地Si(111)表面を準備し，単分域Si(111)4x1-In表面を作成した。角度分解光電子分光実験を行い，その表面の表面電子状態の分散関係を決定した。[3)] また，角度積分高エネルギー分解光電子分光実験を行い，Si2p，In4d内殻スペクトルの表面成分を同定した。

3. Si(001)表面上へのⅢ属金属吸着

Si(001)清浄表面は室温2x1周期を呈するが，対称性から通常の下地では2つの分域が混在している。本研究では，特殊な下地Si(001)表面を準備し，単分域Si(001)2x1表面を作り，その上にAl, In金属を吸着させ，やはり単分域の2x2-Al[4)]，2x2-In，2x3-In表面を作成した。これらの表面に角度分解光電子分光と高エネルギー分解光電子分光を適用し，表面電子状態の分散関係を決定し，またSi2p内殻および吸着金属の内殻スペクトルの表面成分を同定した。

4. 終わりに

今までの共同利用実験においては，次のことに留意して研究を進めてきた。すなわち，良く規定された試料表面の準備である。具体的には，周期性の良い単分域表面の準備である。これら表面を準備し，その表面電子状態分散関係と対称性，表面内殻準位の決定を進めてきた。今後は，この方向での研究を進めるとともに，光電子回折実験と結果の動力学計算を行い，清浄表面，吸着表面の構造決定をも進める計画である。

文　献

1) Angle-resolved photoemission study of a single-domain Si (001)2x1-K surface with synchrotron radiation:symmetry and dispersion of surface-states, T.Abukawa et al. Surf. Sci. 261('92)217.

2) Angle-resolved photoemission study of a single-domain Si (001)2x1-Na surface with

synchrotron radiation, T.Abukawa et al. Surf. Sci. 303(1994)146.

3) Surface electronic structure of a single - domain Si(111)4x1 - In surface, T.Abukawa et al., Surf. Sci., in press.

4) H.W. Yeom et al., Surf. Sci. 321(1994)L177.

VUV - SX分光研究の将来展望

東大・物性研　小 谷 章 雄

高輝度光源の実現によって期待されるVUV - SX分光研究の将来について，理論家の立場から展望を行った。

VUVおよびSX領域の光電子分光（以下，まとめてXPSと省略）やX線吸収分光(XAS) は，高輝度光源の実現により高分解能測定が可能となり，物性研究に一段と大きな寄与をするであろう。高分解能で得られた角度分解・スピン偏極XPSからは，固体の準粒子のエネルギー分散がその交換分裂も含めて高い精度で決められる。その温度，圧力，磁場に対する依存性からは，種々の相転移に伴う電子状態の変化に対する直接の知見が得られる。このことは，固体のバルクの電子状態だけではなく，表面・界面の電子状態の研究に大きな寄与をするだろう。XAS に対しても，同様に大きな期待がもたれる。特に，最近大きな関心がもたれているXAS の円偏光磁気二色性の研究が，高輝度光源によって発展するであろうことを強調したい。

さて，XPS やXAS にも増して，高輝度光源によってその発展が約束される分光分野として，2 次光学過程の分光をあげたい。XAS やXPS は 1 次の光学過程であるが，その終状態は更にオージェ遷移や発光遷移によって緩和する。X線による励起過程からこれらの緩和過程までを，ひとつながりの量子過程として捉えたものを 2 次光学過程と呼ぶことにする。上に述べたように，1 次光学過程の果たす役割は極めて大きいが，更に 2 次光学過程の情報を組み合わせることによって高エネルギー分光の威力は倍加する。

X線励起過程には，XAS に対応する閾値近傍への励起とXPS に対応する高エネルギー連続状態への励起の 2 種類があり，また緩和過程としてオージェ遷移(AES) と発光遷移(XES) の 2 種類があるため，それらの組み合わせによって得られる 2 次光学過程には 4 種類のものがある。このうちで，XAS とAES の組み合わせからなる 2 次過程（図の 1）は共鳴光電子過程として良く知られている。一般に 2 次光学過程は，その特別な場合として 1 次光学過程を含んでいるが，1 次光学過程だけからは得られないより豊富な情報を含んでいるのが特徴である。例えば，共鳴光電子過程の全収量スペクトルはXAS に帰着するが，共鳴光電子を分光したCIS,CFS,EDC 等から得られる情報は，単なるXAS の情報に比べて一段と幅広いものであることは周知の事実である。XAS は入射光子エネルギーΩだけの関数であるのに対して，共鳴光電子分光はΩと光電子（またはオー

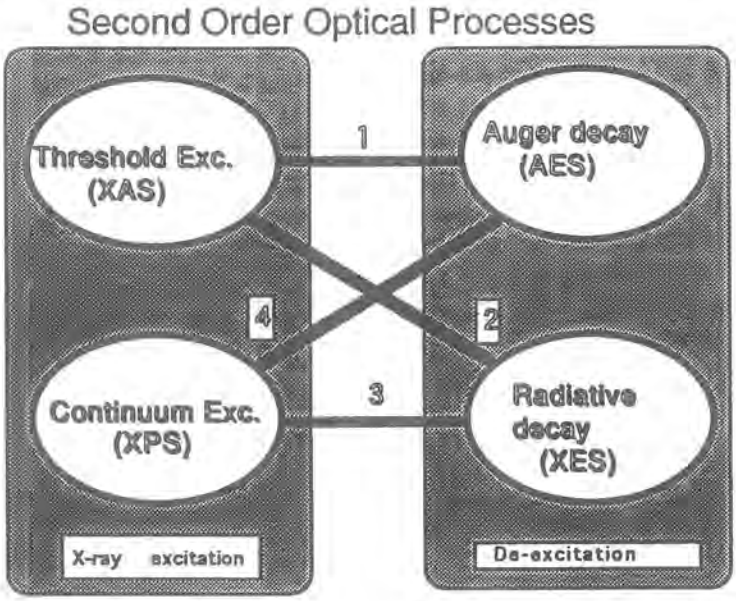
ジェ電子）の結合エネルギー E_B との２変数の関数であることに注意したい。

XAS-XES（図の２），XPS-XES（図の３），XPS-AES（図の４）の組み合わせからなる２次光学過程の研究は，XAS-AESの共鳴光電子分光に比べて幾分立ち遅れているが，高輝度光源の利用をはじめとする技術的進歩により今後の大きな発展が期待される。また，その萌芽的な成果は既に得られているし，新しい実験に対する理論的予測も行われている。

XAS-XESの２次光学過程のスペクトルは，入射光子エネルギーΩと放出光子エネルギーωの２変数の関数であり，一定のωの下でΩ依存性を見たものを励起スペクトルといい，一定のΩの下でω依存性を見たものを共鳴発光（あるいは共鳴X線散乱）スペクトルという。ωを高分解能で固定したときの励起スペクトルからは，通常のXASでは内殻正孔の寿命のために隠されている微細構造を見ることが出来る。また，共鳴発光スペクトルからは，光学吸収では禁止遷移になっている励起状態の構造が２次光学過程の終状態構造として観測できる。

XPS励起による２次光学過程を２変数の関数として把握するには，同時計測が必要である。例えば，XPS-XESを２変数の関数として把握するには，光電子と放出光子の同時計測が必要である。重い稀土類の4dや重い遷移元素の3p内殻のXPSの終状態のオージェ遷移による寿命は著しい多重項依存性をもつことが最近明らかにされたが，この効果はXPS-XESやXPS-AESの２次光学過程のスペクトルに顕著に現れるはずである。これまでのことろ，固体における同時計測の観測例は少ないが，将来の実験研究の発展を期待したい。

以上に述べたように，VUV-SX分光研究においては，XASやXPSだけではなく，それらに引き続いて起こる発光遷移やオージェ遷移までを含めて把握することにより新しい展望が開ける。この際に，X線の偏光や光電子のスピン偏極にも着目すればさらに大きな将来の展望が期待できる。



加 速 器 設 計

東大・物性研　神 谷 幸 秀

東京大学物性研究所が建設することを計画している，我が国で唯一のVUV・軟X線用高輝度光源リングはいわゆる第三世代に属する放射光リングであり，高輝度の放射光（非常に明るい放射光）を発生させることを目的としたものである。第1世代や第2世代の放射光リングでは，電子を曲げるための偏向電磁石から得られる，可視光からX線までの広い範囲に及ぶ連続スペクトルの放射光を主に利用してきたが，第3世代のリングでは，アンジュレータからの準単色スペクトルをもつ放射光を利用することを主たる目的としている。この第3世代のリングから高輝度の放射光を得るためには電子（または陽電子）ビームのエミッタンスが小さいことが必要であり，このことから必然的に，第3世代の放射光リングは低エミッタンス・リングとなる。現在，この高輝度光源計画を推進するために加速器，ビームライン，利用の三つのワーキング・グループが組織されているが，このうち，加速器グループは主に物性研・SOR加速器グループと高エネルギー物理学研究所・放射光実験施設・光源系のメンバーから構成されている。現在，ほぼ定期的にグループ・ミーティングに相当する「加速器検討会」を物性研とKEKで交互に開催している。また，約1年前より，この加速器グループを九つのサブ・グループ（全体調整，ラティス設計及びビーム・ダイナミックス，電磁石，RF，真空，モニタ，制御，入射器，挿入光源）に分けて，加速器各部の検討や概念設計を行っている。さらに，民間会社数社の協力を得て，それらをより具体化するための詳細設計や技術開発も行っている。その他，設計検討資料として「Accelerator Design Note」を発行しており，現在，既にその数は100篇以上になっている。

この放射光リングを加速器という立場に立って見ると，それは高エネルギー実験（素粒子実験）のための衝突型リングと同様の貯蔵リング（ストーレジ・リング）であり，リングの大きさは最大級の衝突型リングと比べると小さいが，それでも通常の実験装置と比べたら規模の大きい複雑でかつ精巧なシステムである。また，放射光リングの場合には，ビームの位置がずれると，それから発生する放射光の位置や方向もずれてしまうので，ビーム位置の安定性が重要であり，さらに多数のユーザが比較的短期間で実験を行うという性格上，加速器全体に高い信頼性が要求される。特に，高輝度光源リングの場合には，以下の諸問題について十分な対策を講じることが必要である。

(1) ダイナミック・アパーチャが狭いこと：低エミッタンス・リングでは，ビームを強く絞り，かつ分散関数が小さいために，クロマティシティ補正用の六極電磁石による非線型の効果が大きくなり，粒子の運動が安定である領域が非常に狭くなってくる。

(2) ビーム寿命が狭いこと：ビームの粒子密度が高い（タウシェック効果），またアンジュレータのギャップが非常に狭い（クーロン散乱）。

(3) ビーム不安定性：大ビーム電流の多バンチ運転に伴って，高周波加速空洞によるバンチ結合型

の不安定性が発生しやすい。

(4) 軌道安定性：ビームの中心軌道の変動要因の除去及び軌道フィードバックの開発。

本計画の加速器は，図1に示すように，入射器と光源リングから構成され，さらに入射器は線型加速器（ライナック）とシンクロトロンとから成り立っている。ライナックには最新のライナック技術を採用しており，全長が約50mで，エネルギー数百MeVの電子または陽電子をシンクロトロン（周長：約100m）に供給することが可能である。また，将来的には直接，低速の陽電子を物性研究に利用することもできる。シンクロトロンはこの電子または陽電子を2GeVまで加速してリングにフル・エネルギー入射する。リングは，ビーム・エネルギー2GeVでエミッタンス5nm・radのストーレジ・リングであり，14ケ所に7mの直線部と4ケ所に約13mの長直線部をもつ周長約400m弱のほぼ円形のリングである。また，このリングには，ビームの集団的不安定性が起こらないようにするために，現在，開発を行っている高周波加速空洞や，SOR-RINGを用いて開発を行っているビーム位置検出器が採用される。図2に，このリングから得られる偏向電磁石及びアンジュレータからの放射光の基本波に関する輝度を示す。

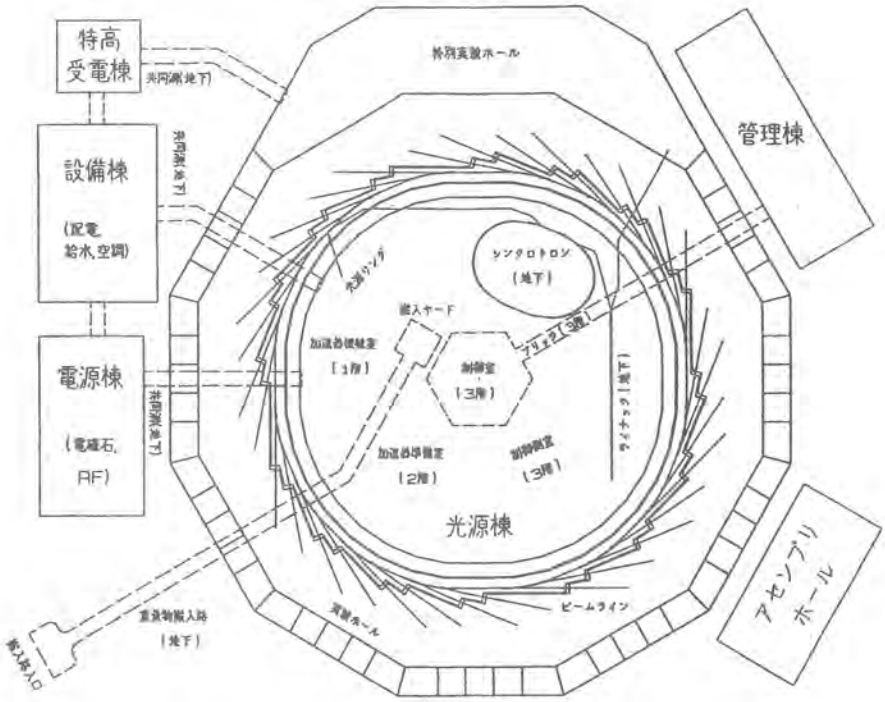


図1． 光源施設の配置図

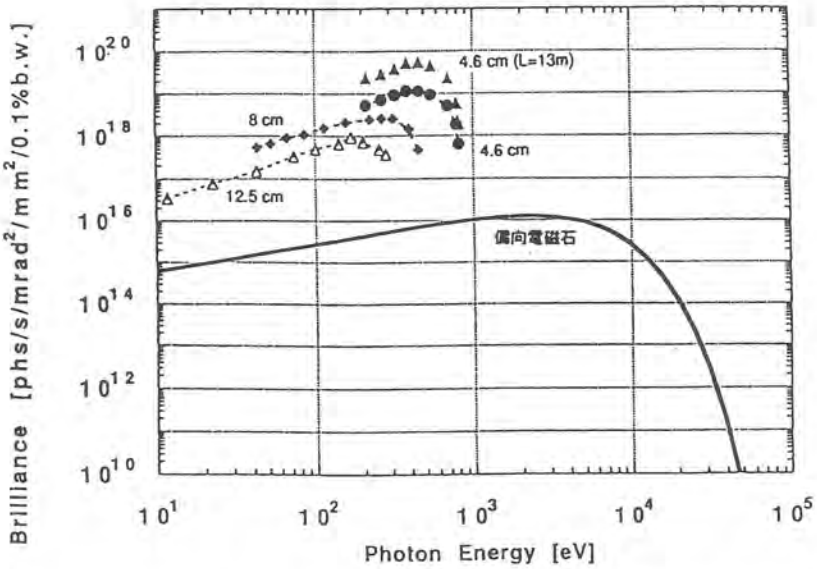


図２．　偏向電磁石及びアンジュレータからの放射光の輝度

ビームエネルギー　2GeV、　ビーム電流　400mA
エミッタンス　4.88nmrad
アンジュレータ周期長　4.6cm、8cm、12.5cm　（全長5m）
アンジュレータ周期長　4.6 cm　（全長13m）

高輝度光源計画　－ビームラインの設計－

東大・物性研　　柿　崎　明　人

物性研高輝度光源研究施設は，高輝度放射光専用加速器を建設し，そこから得られる高輝度放射光を利用して先端的物性研究を行うことを目的として計画されている。計画の具体化のために，光源加速器，ビームライン，利用実験（リサーチワーク）の３つのサブグループがつくられ，1991年からこれまでに様々な検討がなされてきた。ここでは，主に分光光学系の検討を行ってきたビームラインサブグループの活動と現状について述べる。

ビームラインサブグループでは、リサーチワークサブグループと共同で高輝度放射光を利用する実験のサーベイを行い，

1. 高分解能光電子分光
   偏向電磁石から分岐したビームライン，高分解能光電子エネルギー分析器
2. スピン分解光電子分光
   直線及び円偏光アンジュレータビームライン，モット型スピン検出器，SPLEED，VLEED
3. 固体発光
   長・短２本のアンジュレータビームライン
   レーザー・放射光の二重照射，XESとPESのコインシデンス
4. 原子・分子の分光
   偏光面を自在に変えるアンジュレータ，パーフェクトロン
5. 有機固体の光電子分光
6. 表面・界面の分光実験
   偏向電磁石から分岐したビームライン，二次元検出器，PSD

の６つの測定器系に対応するビームラインを検討してきた。さらに，それぞれの必要とする光のエネルギー領域，分解能を整理し，10-150eVおよび，10-1000eVをカバーする斜入射分光器についてレイトレイスによる設計を行っている。設計の目標は，

1. 光の入射，出射方向が変わらない
2. 入射，出射スリットの位置が変わらない
3. 光路関数の高次項が最小になる（メリジョナルフォーカス，コマ収差など）
4. 入射光子数が大きい（少ない光学素子）
5. 調整がしやすい
6. 熱負荷の影響が小さい

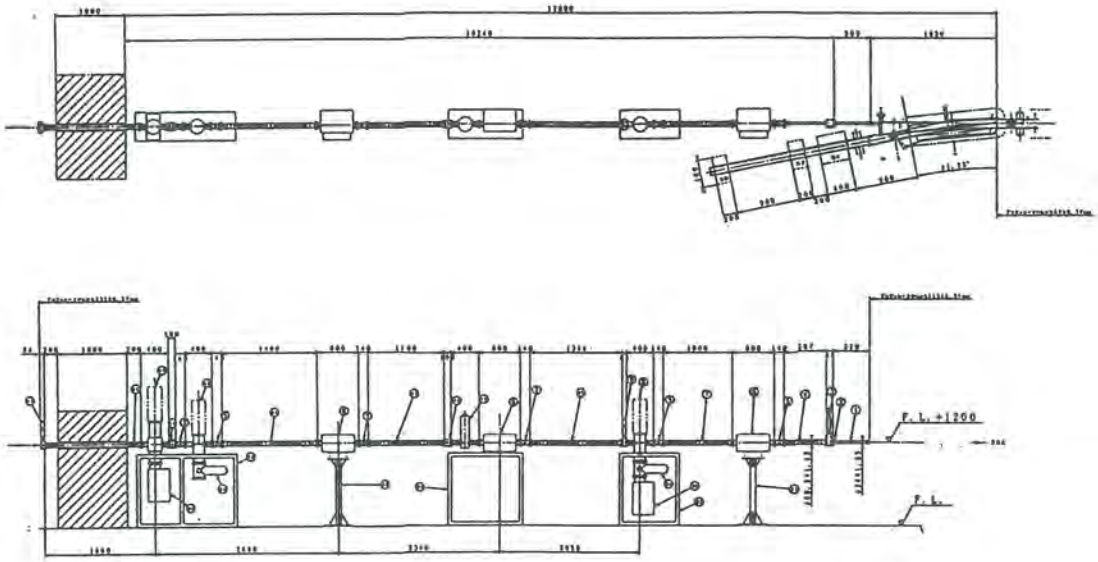
とし，既知の平面回折格子分光器（SX700型），球面回折格子分光器（ローランド型，非ローランド型，ドラゴン）を出発点として不等間隔刻線回折格子分光器などについても考えていくことと

した。現在，SX700 型では，12 - 1200eV の光子エネルギー領域で10000 の分解能が達成できること，ドラゴン型の分光器でも10ミクロンのスリットを用いることにより同様の分解能が13 - 1000eV の領域で得られることがわかった。

一方，高分解能を実現するにはビームラインの長さが光源点から40 - 60mにもなることから，それぞれの測定器の実験ホール内での場所の選定などについても十分な議論が必要となっている。

また，基幹チャンネルについては，フォトンファクトリーで蓄積されたノウハウを出きるだけ有効に活用するという方針で設計作業が行われており，水冷アブソーバー，水冷マスク，ビームシャッターなどの各部品を規格化して経費の節減，建設期間の短縮を目指している。下図はこれまでの議論をもとに作成したアンジュレータビームラインの基幹チャンネルである。

ワーキンググループでは，本年度中に測定器も含めた実験ホール配置図の第一次案を完成させたいと考えている。なお，研究会で御指摘のあった赤外分光，40eV以下の領域の高分解能実験などについても順次検討していく。気がついたことがありましたらどんな御意見でもお寄せいただきたい。



物性研リングのアンジュレータビームラインの基幹チャンネル

高輝度光源計画：利用計画

東大・物性研　幸　　埴
柿　崎　明　人

数年前から，利用計画グループは継続的に活動を行っている。それぞれの時期に応じて報告書がでているので，それに従って述べる。

まず，いくつかのワーキンググループの結成を行った。ＰＦ，分子研，東北大，東大，群大，名大，阪大の協力によって，いくつかのワーキンググループが結成された。高分解能光電子分光，発光，有機固体，光電子ホログラフィー，光刺激脱離，原子分子，赤外などのテーマ別にグループが形成された。以上の結果をまとめて，1992年11月に報告書１が出された。

更に，1994年３月までに３回ワークショップが開かれた。実験技術の最近のトピックスを中心に，何人かの理論家のコメントを求めた。報告書２として，まとめられた。

今年の末(1994年12月）までは，サブグループをこれまでの経験を基に以下のように，再結成した。

・スピン偏極光電子，高分解能光電子，発光，レーザーと組み合わせ分光
・超高分解能分光
・表面，有機固体，原子・分子

である。近々，報告書３としてまとめられる予定である。

以下に，それぞれのグループが計画していることを簡単にまとめる。

・スピン偏極光電子

磁性体，薄膜，表面磁性など，すべての物質を研究対象にして，価電子帯，内殻のスペクトルを研究する予定である。

・高分解能光電子

重い電子系，金属絶縁体相転位，電子格子結合系，不規則電子系，低次元系について，エネルギー分解能10meV，角度分解能１度以下で行う。共鳴光電子分光についても高分解能で行う。

・発　光

３種類のビームラインで実験を行う。①高分解能ラマン散乱により物質の初期状態を明らかにする。②低分解能で蛍光を測定しやすくし，物質科学的な使い方を行う。③レーザーと同時照射による組み合わせ分光を行い，物質の励起状態を調べる。４光波混合などによる非線形光学も行う。

・レーザーと組み合わせ分光

レーザーグループの設備と隣接させ，クリーンルームを設置する。①SOR単独で，時間分解蛍光を行う。②モード同期レーザーと同期させ，吸収，ラマン，光電子のポンププローブ実験を行う。２光子励起吸収，光電子分光を行う。カスケード励起実験を行い励起状態の研究を行う。

・超高分解能分光

100eVで分解能10万をめざす分光器を作製する。

・表面

①表面の超構造とその相転移の研究，②表面の反応性，吸着・脱離の研究，③表面特有の現象（ex. 表面磁性, 表面SHG)など光電子を中心とした様々な実験手段により，表面の複合的研究を行う

・有機固体

光電子分光と，軟X線吸収により，有機固体専用の複合的な実験システムを作る。

・原子・分子

①高分解能吸収分光により，振動構造, リドベルグシリーズを調べる。②高分解能光電子分光により，光イオン化のダイナミクス, 電子緩和のダイミナクスを調べる。③電子－イオン，イオン－イオンのコインシデンス分光により，分子解離のダイナミクスを調べる。電子－電子，電子－光のコインシデンス分光により，光イオン化のダイナミクスを調べる。

来年からは，各グループのビームラインの具体的な設計により，測定装置の仕様決定，分光器の仕様決定，アンジュレーターの仕様決定を行う予定である。

その後，先行ビームラインの建設を行う。

固体表面の微細構造制御による新物性の発現

大阪大学産業科学研究所　　川　合　知　二

日　時：1994年12月19日（月）　10：00－17：30

12月20日（火）　9：30－15：30

場　所：東京大学生産技術研究所　第1会議室

世話人　阪大・産研　川　合　知　二
東　大　・　理　井　野　正　三
山梨大・教育　川　村　隆　明
京大・化研　新　庄　輝　也
東大・物性研　田　中　虔　一
東大・物性研　小　森　文　夫

STMを用いて固体表面に原子スケールの微細な人工構造物を作り，表面定在波等の量子現象を直接観察することができるようになった。また，$Si-\sqrt{3}\times\sqrt{3}Ag$ 表面への0.1原子層程度のAgの吸着により，電気伝導の異常な増加現象が観測されたり，Au上のCoが歪みをもったbcc構造となり，ある臨界薄膜以上で構造相転移や磁気相転移を起こす現象が見出されている。このような，表面の「極微細構造」や「二つの物質が界面を介して原子レベルで整合性構造を持ったコヒーレント超薄膜」は，特異な物理的性質を示す重要な系となりつつある。これらの系は，よく規定された低次元系であり，この微細な舞台で新しい物性物理が生まれることが期待される。量子カオス，低次元超伝導などの新現象もそれにふくまれる。

本研究会は，近年著しい進展を見せている表面の微細構造制御による新物性の発現に焦点を絞り，幅広い分野の研究者の討論によって新しい研究の流れを作り出すことを期待して計画された。この分野で中心的役割を演じている研究者が一堂に会し，広く多角的立場から集中的討論を行えたことは有意義であった。講演者ならびに熱心な討論を行って下さった参加者に感謝する。

プ ロ グ ラ ム

日　時：1994年12月19日（月）～12月20日（火）

場　所：東京大学生産技術研究所 第1会議室（東京都港区六本木）

12月19日（月）10：00～

10：00～10：15	イントロダクトリートーク	川 合 知 二（阪大・産研）
10：15～10：45	新しい表面物質相の創成 －金属表面およびバイメタル表面のChemical Reconstruction －	田 中 虔 一（東大・物性研）
10：45～11：05	表面のストライプ構造の格子気体モデル	佐々木 一 夫（東北大・工）
10：05～11：25	第一原理からの表面構造最適化	小 口 多美夫（広大・理） 浜 田 典 昭（JRCAT）
11：25～11：45	銅（基盤金属）－リチウム（吸着金属）系の作る新しい表面秩序構造	栃 原 浩（北大・触媒ｾﾝﾀｰ）
11：45～12：05	STMを用いた原子スケール構造の作製と評価	橋 詰 富 博（日立・基礎研）
	昼　食（12：15～13：30）	
13：30～14：00	コヒーレント超薄膜の構造と物性	井 野 正 三（東大・理） 長谷川 修 司（東大・理）
14：00～14：20	銀吸着Ge(001)面の低温での物性	小 森 文 夫（東大・物性研）
14：20～14：50	STMによる表面微細構造制御の理論	塚 田 捷（東大・理）
14：50～15：10	高温超伝導体表面の微細構造制御	川 合 真 紀（理研）
	休　憩（15：10～15：30）	
15：30～16：00	表面超構造と電子物性	青 木 秀 夫（東大・理）
16：00～16：30	薄膜・表面の興味ある量子物性発現	西 田 信 彦（東工大・理）
16：30～16：50	化合物半導体AlAs上のNiAl量子細線のMBEによる成長機構	佐 野 直 克（関西学院・理）
16：50～17：10	NiAl細線の一次元的電気伝導	勝 本 信 吾（東大・物性研）
17：10～17：30	STMによる表面電子定在波の観察	長谷川 幸 雄（東北大・金研）

12月20日（火）9：30～

9：30～12：00　パネル討論

「表面微細構造制御とコヒーレント超薄膜の量子物性」

話題提供

計算科学による表面物性予測の可能性　宇田　毅（JRCAT）

半導体表面構造の制御　川村隆明（山梨大・教育）

結晶成長や表面相変化の遷移温度にみられる共通な規則性

石坂彰利(新技団・日立・中研)

酸化物薄膜・表面の電子構造　川合知二（阪大・産研）

トンネルスペクトルとクーパー対の対称性

川崎雅司（東工大・工材研）

STM/HREELSによる表面電子状態　須藤彰三（東北大・理）

昼　食（12：00～13：00）

13：00～13：30　表面及び界面磁性と伝導現　前川禎通（名大・工）

13：30～14：00　金属人工格子の磁気抵抗効果　新庄輝也（京大・化研）

14：00～14：20　化合物半導体上のエピタキシャル強磁性薄膜

田中雅明（東大・工）

14：20～14：40　酸素モノレーヤーの磁気秩序　壽栄松宏仁（東大・理）

14：40～15：00　ヘリウム3薄膜の2次元核磁性　福山寛（筑波大・物理）

15：00～15：30　薄膜・表面のスピン・角度分解光電子分光

柿崎明人（東大・物性研）

新しい表面物質相の創成

－金属表面及びバイメタル表面のChemical Reconstruction－

東大・物性研　田中虔一

清浄な金属表面は表面に垂直方向は結合距離が短くなっているが平面方向はバルク構造を保った(1x1)構造が安定な系が多い。しかしPt(100), Pt(110), Au(100), Au(110), Au(111)に代表されるように(1x1)構造が準安定構造の場合もある。このような場合はある温度になると不可逆的に"Thermal Reconstraction"を引き起こす。一方，金属表面の多くは化学的に活性であるので種々の気体分子を化学吸着する。化学吸着が起こると(1x1)構造と異なる周期構造を示すことが多い。新しい周期構造は吸着分子あるいは原子が規則的に配列した構造の場合と，吸着に伴って表面原子自身の配列が(1x1)から別のより安定な配列構造に変わる場合とがある。後者のような現象を

"Adsorption Induced Reconstructin" と呼び，これまでは表面構造の変化は "Thermal Reconstraction" か "Adsorption Induced Reconstructin" のどちらかの場合と考えられてきた。これらの構造変化に共通することとして，表面原子は元の平衡位置から少し移動しエネルギー的により安定な配列構造を構成している点である。

本短期研究では，これらとは本質的にことなる "Chemical Reconstruction" について述べ，この概念が今後の表面研究に極めて重要であることを示す。即ち，金属表面に反応性の分子が来ると室温でも容易に金属原子と気相分子の反応が起き「低次元の疑似化合物の生成とその配列」と言える現象が起きることを先ず示す。このことは固体表面が今後興味ある全く新しい物質系であることを示す重要な概念である。特にバイメタルあるいは合金の表面を考える上で重要になる。これまでの概念では合金やバイメタル表面で起きている現象を理解できなかった。しかしこの新しい概念を導入することによって，単に現象を理解するだけでなく，これまでにない新しい低次元物質や全く新しい人工的な表面を合成できることを示す。具体的にはPt-Rh(100)合金表面とPt/Rh(100), Rh/Pt(100)バイメタル表面出 "Chemical Reconstruction" による p(3x1)Rh-O/Pt/Pt-Rh(100), p(3x1)Rh-O/Pt/Rh(100), p(3x1)Rh-O/Pt(100) 等の新しい物質相が生成し極めて高い触媒活性を示すこと，また，p(2x1)Cu-O/Cu(110)及びp(nx1)Ag-O/Ag(110)表面を基にAg(110) 表面に一次元の(-Cu-O-)鎖を並べた全く新しい表面の合成と，その表面を使った究極の表面描像である "アトムスケールでの表面リソグラフィー" を化学反応を用いて行なえることを述べる。

表面のストライプ構造の格子気体モデル

東北大・工　佐々木　一　夫

銀や銅などのfcc格子構造の金属の(110) 表面上には，適当な条件下において，特定の方向にのびる直線状の原子列が形成される。多数の原子列が形成されると，それらは規則正しく周期的に配列することが多い。被覆率や温度を変えることにより，様々な周期構造を観測することができる。

本講演では，直線状の原子列が平行に並んでできる周期構造（ストライプ構造）を，1次元格子気体モデルを用いて解析した結果を報告する。このモデルでは，1次元格子上の一つの格子点を占める粒子が，金属表面上の一本の原子列を表す。原子列間の相互作用が，遠くでは斥力，近くでは引力となるような場合について，エネルギー的に安定な構造を数値的に求めた。

引力と斥力の強さの比や，原子列の数を抑制するパラメタ（化学ポテンシャル）を変えることにより，様々な周期構造が得られることが分かった。これらの構造は，実験で観測される多くの構造を含む。特に，銅の(110) 表面上に酸素を吸着させた場合に得られる構造について，理論と実験の比較を行った。

1次元格子気体モデルでは，一本一本の原子列は完全にまっすぐであると仮定しているけれども，走査型トンネル顕微鏡によって撮影された像を見ると，視野の範囲で完全にまっすぐな原子列もあれば，多少「くねくね」しているものもある。くねくねした原子列は，熱平衡状態において存在するゆるぎであるという可能性や，平衡状態へ到達する途中の過渡的現象である可能性などがある。原子列の乱れが熱ゆらぎであるならば，どのような現象が期待されるかについて言及する。

第1原理から表面構造最適化

広大・理　小口多美夫
JRCAT　浜田典昭

表面では固体結晶系にはみられない原子配列（表面構造）が現われる。これは，表面に垂直方向の並進対称性がなく原子の配列の自由度が増加したことによるが，その構造の抑制・解析を可能にするように表面が外界に対してオープンであることが重要である。その表面構造の安定性を考える上で表面における電子状態の特異性を忘れることはできない。その顕著な例は表面に現われるさまざまな緩和現象・再配列構造である。定性的には，半導体表面系の場合にはダングリングボンドの再結合による安定化の機構により，また金属表面系の場合には電子ガス中のembeddingエネルギーやバンドfillingの効果により説明がなされてきている。しかしながら，例えばSi(111)表面の(7x7)構造や最近報告がなされている遷移金属表面での表面合金の形成などにおいては構造が複雑で単純な安定的解釈は困難であり，その構造安定性の議論のために第1原理からの電子状態計算が重要な役割をもっている。

局所密度汎関数法に基づく電子状態計算により全エネルギーや原子に動く力が精度よく計算可能となり表面系に対して興味ある応用がはじめられている。我々は最近，Cu(001)表面上のLi原子吸着系の計算を進めている。c(2x2)構造は180Kのクリーンなcu(001)表面にLiを吸着させると現われる構造である。これに対して，栃原らはLEED解析に基づきホロー位置への吸着であるとしている。ホロー位置およびオントップ位置に対する全エネルギー計算はホロー位置の安定性を示しており，またLi原子の吸着の高さやLi原子の振動数に関してもホロー位置を支持し実験とつじつまが合っている。このような計算は準安定構造や一般的な配置構造のエネルギーを求めることが可能であり，表面における拡散等を議論する上での基本的なパラメータを与えてくれると期待される。

銅（基盤金属）－リチウム（吸着金属）系の作る新しい表面秩序構造

北大・触媒セ　栃原　浩
水野清義

基盤金属表面へ異種金属を1原子層程度付けた場合，吸着層，置換，表面合金形成などの成長モードが観察されている。後の2つのモードでは，基盤金属の表面原子が結晶格子位置から離脱してしまう。

本研究では，Cu(001),(111),(110)の低指数面に室温でリチウム原子を付けたときに出現する複雑な表面秩序構造について述べる。(3x3)[1]，(4x4)[1]，(2x2)[2]，(4x1)[3]，(5x1)[3]，などの表面構造を低速電子回折(LEED)によって見出した。それらの構造モデルを提出していたが，最近テンソルLEED法によって，Cu(001)—(3x3)-5Li[4]，Cu(111)-(2x2)-3Li[2]の構造を決定した。図1，2に示すようにどちらの構造も，吸着リチウム原子と置換リチウム原子の2つの構成要素から成っている。前者については，最近行われた走査トンネル顕微鏡(STM)によって確認された。今後，ほかの構造についても構造解析を進め，各面に形成する複雑な表面秩序構造の類似点・相違点を明らかにする予定である。表面物質研究がスタートしたと考えている。

1) H.Tochihara and S.Mizuno : Surf. Sci.279, 89 (1992).
2) S.Mizuno et al : Phys. Rev. B 51, March 15 (1995) in press.
3) S.Nakanishi et sl. Phys. Rev, B49, 4850 (1994).
4) S.Mizuno et al. Phys. Rev. B 51, 1969 (1995).

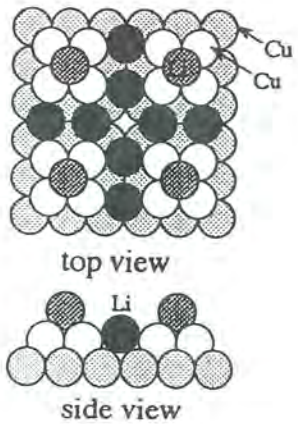


図1．Cu(001)-(3x3)-5Li

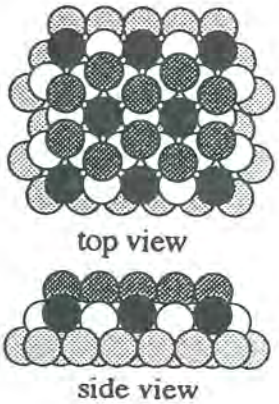


図2．Cu(111)-(2x2)-3Li

STMを用いた原子スケール構造の作製と評価

東北大・金研　桜井利夫
日立製作所・基礎研　橋詰富博

STMを用いた原子操作により原子レベルでの人工構造が構築され新しい物理が議論され始めている。これらの原子スケール構造においては，マクロ・メゾスコピック系の物理法則が当てはまらない現象や理論的に理解できていない現象が種々存在していて，今後も基礎・応用両面での発展が期待される。本発表では，吸着原子と基板表面間の相互作用のいくつかの例を紹介し，吸着原子と基板表面間の相互作用をとりあげ，人工構造における安定性・電子状態について議論した。

Si(111)7x7DAS構造では，(a)アドアトム，(b)レストサイト，(c)コーナーホールに合計単位胞あたり19個のダイグリングボンドが存在していて，電子状態や化学反応性を特徴づけている。化学吸着する基素によっては吸着確率がアドアトムの種類によりことなる例がSTMにより報告されている。一般的には，原子状水素のように吸着エネルギーが特に大きな吸着種はアドアトムの種類に関係なくダングリングボンドと化学吸着して，アンモニア分子やアルカリ原子のように吸着エネルギーが比較的小さな吸着種はアドアトムの電子状態の大小にともない相対的な吸着確率が変化すること（選択則）が知られている。Si(100)2x1構造のダイマーでは，Si原子に1個づつのダングリングボンドがカップルして結合状態であるπ状態と反結合剛体であるπ^*状態を形成し，フェルミ順位の上下に状態密度ピークを持っている。SI(100)2x1表面における化学反応は，このダイマーのダングリングボンドによって特徴づけられると考えられる。Si(111)7x7表面におけるダングリングボンドは，簡単にいうと単独のダングリングボンドであり，Si(100)2x1表面ではペアになったダングリングボンドである。Si(100)2x1表面に原子状水素をわずかに吸着させると，水素原子1個が吸着したダイマーの電子状態を測定でき，ダングリングボンドペアと1個残ったダングリングボンドの電子状態の差が議論できる。AsリッチなGaAs(001)-2x4表面においてはAsダイマーが基本となっている。ダイグリングボンドはAsダイマーにも2層目のGaにも存在しているが，Asのダングリングボンドは占有電子状態でGaのダングリングボンドは完全に非占有状態である点がSi表面の場合と大きくことなる。

表面により異なるダングリングボンドの性質は，これらの表面におけるアルカリ金属，水素，フラーレンなどの吸着の仕方の変化として，STM/STSにより研究でき，原子レベルの構造を制御するためには重要な要因となると思われる。

STM/STSの出現により，従来はなし得なかった原子・分子レベルでの化学反応を直接観察できる時代になった。STMだけではなく，用いるメディアをトンネル電流から，原子間力，磁気力，スピン偏極トンネル電流，光などに変えて様々な物理相互作用を原子レベルの空間分解能でマッピングする走査プローブ顕微鏡(SPM)も考案，実現されつつあり，今後のブレークスルーが非常に楽

しみである。

コヒーレント超薄膜の構造と物性

東大・理　井野正三
東大・理　長谷川修司

結晶表面に異種原子層を吸着・成長させると，通常のバルク結晶には見られない特異な原子配列構造と電子状態が形成される。私たちは，そのようなコヒーレント超薄膜の特殊な構造を原子レベルで解析・制御して，通常の状態では現れない特異な機能物性を見い出し，その発現機構を解明し，さらにはそれらの制御をめざして研究を行っている。

例えば，最近私たちは，シリコンの表面に銀原子を吸着させて「$\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 構造」と呼ばれる表面超構造を形成すると，その表面電気伝導度と電界効果，光伝導度が清浄表面の場合と著しく異なることを見出した。また，それらの表面上の銀原子層の成長の様子も著しく異なった。このように，極表面の1，2原子層原子配列構造が物性やエピタキシャル成長を支配する。この研究のために，構造の解析・制御とその電気特性の測定を超高真空中で同時に「その場」で行える新しい実験手法を考案した。この例のように，表面超構造に起因する特異な物性や「機能」を議論するとき，表面近傍の原子層のみが特異な性質を持つ「コヒーレント超薄膜」になっているという捉え方をすると，対象がより明確化する場合がある。

銀吸着Ge(001)面の低温での物性

東大・物性研　小森文夫

Ⅳ族半導体のシリコンやゲルマニウムと貴金属との組合せにより超伝導が現われることがいくつか報告されている。特に，銀とゲルマウムの組合せは，その間の化学結合が弱いにもかかわらず，新しい物性が発現しているという点で注目に値する。われわれは，超伝導に特有な抵抗の温度や磁場依存性が報告されているAg/Ge(001)系について，走査トンネル顕微鏡による観察とトンネル分光および抵抗測定を液体ヘリウム温度で行っている。

走査トンネル顕微鏡としては，試料を試料作製室より超高真空中で搬送して顕微鏡に装着し，そのまま超高真空中で2K以下まで冷却して，顕微鏡観察およびトンネル分光測定が可能である装置を用いている。また，抵抗測定は，以前の報告と同じように，大気中に試料を取り出した後に行っている。

ゲルマニウム（001)面を清浄化し，その上に銀を平均膜厚5Aから60A蒸着した試料を作製した。これらの抵抗の温度依存性を液体ヘリウム温度域で測定すると，銀の膜厚が10Aの場合に，低温で，

抵抗の減少および正の磁気抵抗が観測された。この結果は，既に超伝導として報告されている現象と定性的に同じである。ただし，銀の平均膜厚は一致していない。

超高真空中での走査トンネル顕微鏡観察によれば，平均膜厚６Ａ銀を蒸着した表面は，ほぼ，長方形の島と比較的平坦な部分から構成されている。これは，既に低速電子回折，オージェ電子分光，光電子分光などの結果から予想されていたものに一致しており，島は銀が核成長した部分で，平坦な部分には銀が極めて薄く蒸着されていると解釈されている。この表面の島の上ではトンネル接合によるクーロンブロッケイドに特徴的なスペクトルが観察され，平坦な部分では金属的なスペクトルが観測されている。しかしながら，超伝導に特徴的なスペクトルはまだ確認していない。

今後，条件を変えて作製した試料で観察を続け，どのような物性が発現しているかを明らかにすると同時に，表面の構造・電子状態などを原子レベルで理解したいと考えている。

高温超伝導体表面の微細構造制御

理研　川合真紀

高温超伝導体として知られる銅酸化物超える伝導体はペロブスカイト型複酸化物をその基本構造とし，超伝導を司るCuO2面を含む二次元層がｃ軸方向に積層した構造をしている。超伝導性の発現にはCuO2面の存在と，この面への過剰のキャリアーの導入を実現するキャリアー調整層が必要である。CuO2面を含むペロブスカイトの最小単位はACuO2(Ａはアルカリ土類金属)である。そこで，ACuO2相を基本に，周期的に電荷バランスを崩すような相を挿入することができれば，新たな超伝導相の形成が期待できる。人工的な銅酸化物超伝導体の形成には二次元構造を確実に形成する必要があり，このため原子層単位での層形成が重要となってくる。

基本骨格となるACuO2相は類似構造を有するSrTrO3(001)表面に原子層単位でエピタキシャル成長させることができるが，ここで重要なことは，接合界面の制御と，原子層成長表面の理解である。電荷的に中性な層からなるSrTiO3と(＋2)価のSr層と(－2)価のCuO2層からなるSrCuO2相との接続には電荷の調整を司る層として二つのSr-0面を形成し，酸素量により電荷の調整をとるとよい。また，酸化雰囲気中でSr, Cuを交互に供給し，原子層単位でSrCuO2を形成する場合，供給された元素が表面層を形成しており，その表面構造は，酸化剤の圧力，基板温度により規定される熱力学的な平衡相となっている。特にCu-O表面では表面酸素量の大小により二種類の構造が電子回折により確認され，酸素量の多い領域で観測される不整合構造がSrCuO2相形成中の表面層となっている。

この様にして原子層単位で形成されたSrCuO2相を基本に，周期的にアルカリ土類金属の酸化物相，炭素酸化物相などを挿入して二次元面と垂直方向に超構造を形成し，CuO2面へのキャリア供給を試みている。

表面超構造と電子物性

東大・理　青　木　秀　夫

・表面に新しい物性をもつ超薄膜を期待するときに，「コヒーレント」ということを最も量子力学的に解釈すると巨視的量子位相コヒーレンスとなるが，ここでは，表面超構造(lateral superstructure)が新しいバンド構造および多体効果による新奇な物性をもたらす例を提案する。

・半導体超格子や量子ドット・アレイに対して，原子的スケールの超周期をもつ表面構造を考えることができる。この直接の動機はフラレンを有機合成化学的に合成する試みの副産物としてできたと主張された2次元平面状物質“平らなフラレン”(超周期グラファイトまたは原子サイズの量子ドット・アレイ）を念頭に置いている。一般に超蜂の巣のような超構造に，単純なミニゾーン境界でのミニギャップ出現を超えた物性があるであろうか。伝導的π電子を見るためにtight-binding模型をとり，群論を用いると，グラファイトと異なり，半導体／半金属／金属の全てのクラスがある。

・さらに分散のない平坦バンドをもつ（量子化学的にはnon-bonding分子軌道が単位胞の数だけある）クラスが存在し，この場合電子間斥力を考慮すると電子相関によりスピン強磁性基底状態となり，普通のネスティングの物理と全く異なり興味深い[1]。平坦バンドが分散をもっても或る臨界値までは強磁性が保たれ[2]，かつ現実的LDA計算でも平坦バンドは殆ど平坦のままである。また，積層すると，面内平坦，面間分散バンドという“擬1次元系”となる斥力・引力変換から，普通の場合と異なり平坦バンド上の斥力による強磁性は（下地との相互作用などのために何らかの有効引力が働いて）引力模型側となると自然なBCS状態に対応する。2次元でも相転移は起こり，しかもこれはユニバーサルであり超伝導薄膜での超伝導・絶縁体転移や量子ホール系での磁場誘起金属・絶縁体転移を包含する。

・このような超構造を表面を合成の舞台としてつくれるであろうか。最近では有機物質（フラレンやフタロシアニン等）がファンデルワールス・エピタキシーされ表面で自己凝集はするが[3]，さらに分子間を化学結合させられれば面白い重合膜ができよう。また，清浄表面構造自身にsuperhoneycomb構造が現れる例も観測されている。

超構造にゼオライトのようにゲスト分子を組み込む可能性，磁場を加えたときの効果なども興味深い。

本研究は，バンド構造に関しては島信幸氏（姫路工大・理），磁性に関しては草部浩一氏（物性研）との共同研究である。

[1] N.Shima and H.Aoki, Phys. Rev. Lett. 71, 4389(1993).

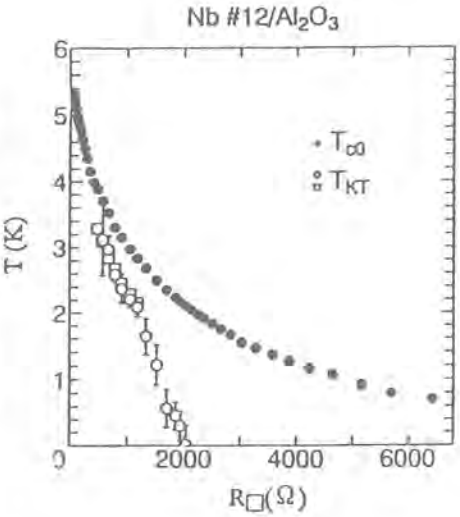
[2] K.Kusakabe and H.Aoki, Phys. Rev. Lett. 72, 144(1994)

[3] 多田博一，小間　篤，表面科学14, 452(1993)。

表面・界面・薄膜の興味ある量子物性発現

東工大・理　西田信彦

清浄物質表面や半導体Si, Geや清浄金属表面に吸着した，1，2原子層の構造は電子顕微鏡を初めとした色々な最新の研究手段によって明らかになってきた。これらの系には興味ある構造をとるものが多数あり，その物性研究は大変に興味がある。そのような系の物性の実験的研究は，超高真空技術と極低温実験技術とを組み合わせた新しい測定手段の開発によって可能にあると考えられる。我々は，極低温と超高真空技術を組み合わせた実験開発を行って来た。4.2K極低温基板上にNbをクエンチ凝縮することによって1，2原子間隔の厚さから電気伝導を測定できるアモルファスNb超薄膜の作成に成功している。この超伝導超薄膜を用いた超伝導揺らぎの研究について述べる。複素数で表される超伝導体の秩序変数について，その振幅は十分成長しているつまりはクーパー対は存在するが，位相の揺らぎ絶対零度まで存在する新しい相が観測されている可能性があり (図) その結果を紹介する(1)。



また，表面状態の研究が物質のバルクの性質の研究に密接な関係をもつ例として，従来の超伝導体と異なえ，p波やd波の対象性をもつのではないかと考えられる高温超伝導体やヘビーフェルミオン超伝導体の超伝導秩序変数の対称性の研究の例を話す。

(1) 朝光敦：博士論文 "Disappearance of Superconductivity in Ultra Thin Amorphous Nb Films".(東京工業大学理学部)
A.Asamitsu, M.Iguchi, A. Ichikawa and N.Nishida, Physica B 194-196(1994)1649.

化合物半導体AlAs上のNiAl量子細線のMBEによる成長機構

関西学院大・理　佐野直克

閃亜鉛構造をなす化合物半導体AlAs(100)面上に格子定数の非常に近いCsCl構造をなす金属間化合物NiAlを分子線エピタキシーで成長させると，ある成長条件の元ではNiAlは幅数十nm，長さ数μmの細線となる。このNiAl細線の低温での電気伝導は一次元的なメソスコピック現象を示す。

一般的なエピタキシー成長ではこのような細線になることはなく，NiAl/AlAs特有なものであ

る。NiAlとAlAsの界面で原子レベルで整合性構造をなすためにこのうな量子細線が成長することをNiAl/AlAs界面の断面高分解能電子顕微鏡像の観測とその像の計算機シミュレーションにより界面構造を明らかにした。AlAs(100)上のAs面にNiAlが最初に成長する際にAlAs(100)上のAs原子とNi原子が[110]方向のみ強く結合し，[1$\bar{1}$0]方向には原子は入らない。次にNi原子とAl原子が[110]方向に強く結合する。Al原子は[110]方向にも入りNiA(100)面のAl面が形成され，その上にはCsCl構造のNiAlが成長する。界面のAl面においてNi - Al結合が強いために[1$\bar{1}$0]方向せん断弾性定数が[110]方向より大きくなると考えられるのでNiAlの[1$\bar{1}$0]方向の格子定数は基板のAl(Ga)Asに一致し，[1$\bar{1}$0]方向には格子不整合による転移は入らず，数μmにも長くなる。一方,[110]方向は格子不整合による格子歪みが大きくなり，転移が入りながら結晶は成長する。この転移が最初入る長さは計算によると約17nm，2つ目の転移が入る長さは約32nmで実際に観測された細線の幅と非常に良い一致している。

このような界面に於ける原子レベルで整合性構造を明らかにすることにより，特異な物理的性質を持った物質を作り出していけることが期待できるものと思う。

NiAl細線の一次元的電気伝導

東大・物性研　勝本信吾
関西学院大・理　佐野直克
東大・理　小林俊一

分子線エピタキシーを用いてAlAs上にNiAlを成長すると，成長初期には幅200Å長さμm程度の針状の結晶ができる。極めて細かく，結晶性も良好であるため，針に沿っての一次元的な電気伝導が期待できる。そこで，結晶群の上に電子線リソグラフィーを用いて微細電極を形成し，電気伝導の測定を試みた。いずれも金属的な伝導を示したが，使用したウェハによって抵抗のかなり高いもの（〜数kΩ）と低いもの(10〜100Ω)があり，ばらつきがある。

高めの抵抗を持った，従ってポテンシャル乱れの程度の大きな試料は，温度の平方根の逆数に比例する温度依存性を示した。これは，弱局在領域で，長距離クーロン相互作用によって生じる一次元系に特徴的な温度依存性で，この試料でも電気伝導は実効的に一次元的であることを示している。

抵抗の低い試料では，時間に依存するユニバーサルな伝導度揺らぎが現れ，これは双安定な欠陥や島状の磁気ドメインのマクロ量子トンネル効果によるものと考えられる。また，これまでの理論では説明できない強い伝導度の温度依存性が現れ，興味が持たれる。電子相関によって特に一次元系で生じると予言されている温度依存性が現れている可能性がある。

STMによる表面電子安在波の観測

東北大・金研　長谷川　幸　雄

表面の原子構造を実空間観察することのできる走査トンネル顕微鏡（STM），表面の電子状態分布を原子レベルの空間分解能で観察することのできる走査トンネル分光(STS)を用いて，金表面上のステップでの散乱により生成された電子定在波を観察することができた。定在波の周期は同表面の電子状態の波数より計算される値と一致しており，表面の電子状態のエネルギー分散関係を反映して，観察する電子状態のエネルギーレベルに応じて変動する。定在波の構造を詳細に調べることにより，ステップにおける散乱現象の基本的パラメータである散乱強度や位相のずれ等について直接的に情報を得ることができた。これらの実験結果は，金の(111)表面には表面に局在した2次元的な電子状態が実現されていることを示している。

また，STMを使ってナノメートルサイズの接触面積を持つ点接触を作成し，その電気伝導が半導体表面の表面準位を介した電気伝導を反映したものではないかとの可能性を指摘した。この研究において，シリコン(111)表面の7x7構造上にさらにシリコンを蒸着してアイランド構造を作成しアイランド上で点接触させたところ，その電気伝導の値が平坦な部分での値より小さくなっていることが観測された。アイランドを囲むステップにより表面準位を介する電気伝導が散乱され防げられることによってこの現象が説明できると考えられている。

以上2つの研究はいずれも表面に局在した電子準位に関したものであり，表面そのものが2次元電子系の舞台として研究対象となりうることを示唆するものである。

計算科学による表面物性予測の可能性

アトムテクノロジー研究体　宇　田　　毅

コンピータの急激な性能向上と，第一原理分子動力学法に関する高速アルゴリム(Car-Parrinello法)の開発によって，固体の安定構造とその物性の，計算だけによる予測が高い精度で可能になってきた。10年前には不可能と考えられていた問題が続々解かれつつある。しかし，計算は万能ではない。演算時間が原子Nの3乗に比例するために，扱える原子数はまだまだ非常に限られているからである。このような制約のもとで，したがって，3次元系よりも2次元系の方がはるかに扱いやすい。第一原理計算が，好んで表面状態の解析に応用されているのはこのためである。もちろん，表面は厳密には2次元系ではなく，膜厚の効果が重要である。膜厚は大であるほど望ましいが，ほぼ10層あれば，表面の物理を損なわないと信じられている。例えば，Si(001)面再構成の全エネルギーの計算において，10層以上では，c(4x2)が，p(2x2)より安定であるが，8層以下ではこの関係が逆転する。物質によってはより多くの層が必要であるかもしれないし，逆に，

もっと少なくてもすむ場合もあるだろう。この問題についての系統的な調査はまだなされていない。

現在の高性能スーパーコンピュータ（主記憶５Ｇバイト，演算速度10Gフロップス程度を想定）を駆使すれば，擬ポテンシャルの収束性の良い場合には，約500個の原子からなる系の１ピコ秒におよぶ動的振舞を数百時間の計算で追跡することができる。シリコン(001)4x2表面上のシリコン原子のマイグレーション，結晶成長の初期過程，また，ごく最近では(111)7x7再構成の表面振動の解析などがなされている。炭素，酸素，窒素などのように，擬ポテンシャルの収束性が悪くなると，扱える原子数は半減するが，ダイヤモンドや，窒化ホウ素の表面構造の解析などが行われている。遷移金属になるとさらに事情は悪化するが，銅表面上での水素分子の解離の計算などがある。遷移金属表面は触媒反応から興味ある表面である。

以上の例は現在までに行われた計算のごく一部であり，より多くの興味ある計算がなされている。また，現在の計算手法と計算機の枠内でも解析可能な問題が山積みである。しかしながら，より多くの原子系を，より速く計算する方法の開発が必須であることは言うまでもない。N^3則の壁を打ち破らない限り，計算機の性能向上のみに頼っていては限界がある。このような問題意識から，最近，演算時間が原子数に比例するような計算法（オーダN法）が提案されている。精度の点ではまだ問題があるが，今後の発展が期待される。

半導体表面構造の制御

山梨大・教育　　川 村 隆 明

量子井戸，量子細線をはじめとする量子デバイスの作製という応用上の興味もあり半導体の分子線エピタクシー(NBE)，有機金属MBEなどの成長法が注目されている。

MBE法では半導体の表面構造を制御しながら成長させる必要があり，このため「その場」観察法として反射電子解析(RHEED)が用いられているが，実空間の原子配列を直接見ることはできない。一方，走査トンネル電子顕微鏡(STM)では実空間の原子配列を反映した像を直接見ることはできるが，通常のMBE成長条件での「その場」観察ができない。そこで，これら２つの方法を補い，MBE法での成長の再現と，成長機構の解明をするためモンテ・カルロ・シミュレーションが重要な手段となっている。モンテ・カルロ法は第一原理電子状態に基づく分子動力学に比べると，現象論的取り扱いであるが，現実的な大きさの表面を扱って成長を再現できる点に大きな特徴がある。

エピタクシャル成長のモンテ・カルロ・シミュレーションは，成長をⅰ)表面への原子の到着，ⅱ)原子の表面上での拡散，ⅲ)表面からの原子の再蒸発，の３つの事象に分け，それぞれの確率を与えて行う。ⅱ)およびⅲ)の確率は注目する原子の回りの第二隣接位置までの原子配列の関数として与えられる。Si(001)面上のホモエピタクシーでは，この他にダイマーの形成，ダイマーは作

りうる配置に原子があるときは，次の事象が起きるより十分速く形成されるものとし，ダイマー列形成は原子の拡散がその形成を有利にするように起きるものとする。

このシミュレーション結果に基づき，以下の2点を中心に話題提供した。Si(001)上のホモエピタクシー成長中の表面モルフォロジーとそれを急冷却をした場合のモルフォロジーとの比較から，表面の付加原子(adatom)，欠陥(vacancy)，ステップの形状，キンクの形状の4つの成長中の重要な要素および特徴が急冷却中に失われる点，すなわち温度による表面原子配列の変化が大きい点を指摘した。これは，現在STMを使った成長過程の解析において，試料を急冷した後観察している場合にこれら4つの要素の情報が失われていることを明らかにしている。また，量子細線などをMBE法で作るとき，熱拡散による効果を制御して原子のデポジションを行うことが重要で，かつ難しいことを示す一例である。

次に平坦面を得るための新しい手法として金子らによる原子層単位のGaAsのエッチングの結果とそれに対応するシミュレーション結果について述べた。これは$AsBr_3$で表面をエッチングするものであるが，シミュレーションによってもエッチング過程再現され，表面を平坦化する高温でのエッチングと，表面の面方位によって速度が異なり表面形状を抑制できる低温でのエッチングがあることが明らかになった。またこのとき，成長及びエッチングにおけるステップ端原子の種類の違いによる位置選択性が重要であり，これを用いると抑制できるパラメータが増え，表面の形状制御に有利であることが判明した。

結晶成長や表面相変化の遷移温度に見られる共通な規則性

新技術事業団「さきがけ研究21」　石　坂　彰　利

はじめに

結晶表面の反応や構造の制御ために［温度］は有効なファクターの一つである。単純な系としてホモ系に限定し，種々の物質の結晶成長や表面相変態の遷移温度について比較検討した。

Si(111)表面の構造変化

Si(111)表面の構造と温度との関係[1]を，反射電子回折法を用いて調べた(図1)。その結果，回折スポットの強度の温度依存性はT/Tm＝0.49(～1/2),0.66(～2/3),0.83(～5/6)で変化した(Tm:Siの融点)。即ち表面構造の変わる温度は融点の3/6, 4/6, 5/6と1/6毎に丁度等幅の階段のように変化していることを見いだした。ここで,T/Tm～1/2での変化は7x7構造においてなんらかの変化（おそらく吸着原子層の不規則化）が生じているものと推定されるが，詳細はまだ明らかでない。T/Tm～2/3で変化は良く知られた7x7から1x1への相変態である。T/Tm～5/6での変化は1x1表面構造の不規則化と考えられる。

種々の物質系における結晶成長や表面相変態の遷移温度

Si(111) 表面の構造変化現象において，遷移温度が単純で規則的に変化していることをヒントに，他の物質系について文献調査した。[2-8] 結晶成長や，表面構造変化の遷移温度に関して，種々の報告データーをまとめた結果を表１に示す。遷移温度は各々の物質の融点で規格化してある。比較検討を始めたばかりで，断定はできないが，表１から，ｉ）物質が違っても遷移温度には共通の規則性がある。ii）物質の違いよりも面方位の違い方が影響が大きい。例えば(111) 面で遷移が生じているのは融点の2/6, 3/6, 5/6 の温度であり，(001) 面では1/8, 2/8, 4/8, 6/8で生じている。また，iii）物質の結合型（金融結合，共有結合，等）や，表面再配列構造（例えば7x7 や2x1 等）の違いは遷移温度にあまり反映しない（温度スケールが粗いこともある）。

以上の表１の特徴から，スペキュレーションではあるが，遷移温度には結晶表面のテラス，レッジ，キンク構造が関係していると，推定している。

注意すべきことは，遷移温度が融点の簡単な分数であらわせるだけで，簡単な分数の温度でも遷移が生じるとは限らないことである。例えばSi(001) を例にすると，T/Tm～1/8 から3/4 まで2x1 構造のままである。

以上，まだ，検討を始めたばかりで粗い議論ではあるが，従来にはない視点から，表面の構造遷移現象に関して話題を提供した。

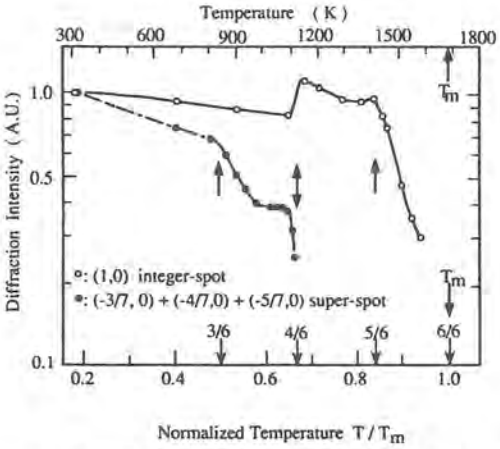


Fig.1 Temperature dependencies of RHEED intensities diffracted from Si(111) surface. RHEED intensities are normalized by those at room temperature. Intensities changed at T/Tm=0.49 (830K), T/Tm =0.66 (1110K) and T/Tm =0.83 (1413K). (Tm: melting temperature of bulk Si)

Table1 Normalized transition temperatures in MBE and surface structure changes for various materials

Phenomena	Material & Orientation	Normalized Transition Temperature T/T_m						
		1/8 (=0.13)	1/4 (=0.25)	1/3 (=0.33)	1/2 (=0.50)	2/3 (=0.67)	3/4 (=0.75)	5/6 (=0.83)
MBE growth	Si(111)			0.34	0.52			
	GaAs(111)				0.51			
	Si(001)		0.25		0.52			
	GaAs(001)		0.24		0.51			
	InP(001)		0.28					
Phase Transition	Si(111)				0.49	0.66		0.83
	Ge(111)				0.49			0.83
	Au(111)					0.65		
	Pt(111)					0.65		
	Si(001)	0.12					0.74	
	Ge(001)	0.17						
	Au(110)				0.48			
	Pt(110)				0.53			
	Pb(110)						0.75	
	Ni(110)						0.75	
	Cu(110)						0.75	
	Ag(110)						0.80	
	Al(110)						0.70	
	In(110)						0.69	

考文献

1. Ishizaka, A.& Doi, T.Phil. Mag. Lett. 65, 95 - 100(1992).
2. Ishizaka, A.& Murata, Y.J.Phys. Condens. Matter. 6, L693 - L698(1994).
3. Frenken, J.W.M, & van der Veen, J.F., Phys. Rev. Letters, 54, 134(1985)
4. Bennet, P. & Webb, M.W.Surf. Sci. 104, 74 - 104(1981).
5. Abernathy, D.L.Gibbs, D.Grubel, G.Hung, K.G.Mochrie, S.G.J.Sandy, A.R. & Zehner, D.M. Surf. Sci. 283, 260 - 276(1993).
6. Conrad, E.H & Engel, T.Sur. Sci, 299/300, 391 - 404(1994).
7. Kubota, M. & Murata, Y.Phys. Rev. B.49, 4810 - 4814(1994).
8. Campuzano, J.C.C. et. al, Phys. Rev. Letters, 24, 2684(1985).

銅酸化物薄膜・表面の電子状態：キャリヤドープに伴う状態密度変化のSTM/STS 観察

阪大・産研　川 合 知 二

走査トンネル分光（STS)はフェルミ準位の上下の状態密度を連続的に測定することが出来るため，占有状態と非占有状態の状態密度を局所的かつ同時に得ることが出来る。そこで原子層単位で制御した高温超伝導体表面における絶縁体から金属にわたるフェルミ準位付近の状態密度変化を調べる目的で，(Ca, Sr)CuO_2 無限層薄膜及びSr置換，酸素アニールよりキャリア量を制御した$La_{2-x}Sr_xCuO_4$ 薄膜について室温でSTM/STS 測定を行った。スペクトル解析においては，バリア高さとチップ－サンプル距離をパラメータとするトンネル確率を考慮に入れた(dI/dV)/(I/V) の規格化を行い，トンネル確率の大小が状態密度に与える影響を減少させることを試みた。その結果，(Ca, Sr)CuO_2 及びLa_2CuO_4 表面において電荷移動型ギャプに相当する約1eV のバンドギャップが存在し，キャリヤドープに伴い占有状態と非占有状態の両側から裾を引く形でフェルミエネルギー付近の状態密度が増加することが初めて観察された。またその状態密度は占有状態側に比べ，非占有状態が優性に増加していることが観察された。これらの変化と電気伝導特性の変化を相関づけて考察を行い，強相関電子系の立場から議論した。

トンネルスペクトルとクーパー対の対称性

東工大・工材研　川 崎 雅 司
新技団・さきがけ

高温超伝導体薄膜の表面を舞台とする量子物性への切り口として，我々が行ってきた低温STMの実験結果を紹介する。パルスレーザ堆積法により作製したYBCO薄膜の配向方位を様々に変え

て，低温でSTM観察を行った。薄膜の結晶性を向上させると，表面の構造が安定となり，大気に暴露後でも原子像と超伝導ギャップスペクトルの同時観察が可能であった。STMの実験は，東大工学部北沢研究室の南任氏，長谷川先生と共同でおこなった。

(001)配向薄膜では，ゼロバイアスでのコンダクタンスがほぼゼロで，ギャップの底で平らな構造をもつスペクトルが得られた。STMが実空間でミクロなプローブであることから，トンネルスペクトルには運動量空間の情報が平均化された状態密度を反映するはずである。従って，超伝導波動関数は，全ての運動両方向で有限のギャップ構造を有すると判断できる。超伝導波動関数は，節を持つd波よりは，BCS同様のs波であることを，この結果は示唆する。今後は，STMで，運動量空間のどこまでをどんな重みで平均化しているかを検討する必要がある。

チップと表面の距離を系統的に変化させてトンネル分光を行い，超伝導波動関数の真空への広がりを評価した(001)方向では，バリアを厚くするとギャップ構造が急激に減衰するのに対し(110)方向では遠くまで超伝導ギャップ構造が観測された。コヒーレンス長の異方性を反映していると思われる。

(110)表面でのSTSの結果から，フェルミ面付近の状態密度は，CuO鎖面よりもCuO2面内で高いことが明らかとなった。c軸を寝かした薄膜を極薄化することにより，超伝導量子細線アレーの構築が可能であることを示唆する。

STMでは，運動量子空間の平均化を逆手にとって対称性を検討した。光電子分光では，運動量を保存した状態密度の決定が可能である。従来法では，電子のエネルギー分析器の分解能や光源の純度からくる制限で，スペクトルの分解能は30meV程度と悪い。我々は，光電効果の原理どおりの実験方法である，イールドスペクトル法を用いて，フェルミ準位付近での分解能を10meVまで向上した。超伝導ギャップ構造らしきスペクトルを得ることができた。今後の実験に期待したい。

表面及び界面磁性と伝導現象

名大・工　前川禎通

磁性金属人工格子及び微粒子合金で現れる巨大磁気抵抗効果（Giant Magnetoresistance, GMR)は，磁性金属と非磁性金属との界面での電子構造と磁性により支配されている。そのため，界面磁性と伝導現象の関連についての研究が注目を集めている。ここでは，まずGMRの機構について述べ，種々の界面及び表面での電子構造と磁性について議論する。Fe/Crで代表される強磁性金属と非磁性遷移金属（TM)から成る人工格子や微粒子合金では，界面での交換ポテンシャルの乱れが磁気散乱の原因である。我々は種々の人工格子の界面での電子構造と磁気モーメントの空間分布をリカージョン法で求めた。[1] この方法は実空間で電子状態を計算できるため，このような問題に適した方法である。計算結果より，Fe/TMの界面では磁気モーメントの振動がみられる

が，Co/TMの界面では，そのような振動は見られない。このような界面での磁気モーメントの分布の違いと伝導現象の関係は今後の１つの問題であろう。

Co/Cu で代表される強磁性金属と貴金属から成る人工格子では界面の乱れにより現れるvirtual bound state のスピン依存性がGMR の原因になっている。Ni/Cu人工格子でもGMR が観測されるが，これはNiとCuの界面ではNiが磁気モーメントを持っていることによる。詳しい電子構造の計算により，界面でのNiの磁気モーメントとGMR の関係が読み取れる[2]

人工格子の界面の乱れは磁性薄膜間に長距離交換相互作用を引き出す。この相互作用はGMR にとっても重要であるがまだ未解決の問題である。

[1] H.Itoh. J.Inoue and S.Maekawa: Phys. Rev.B47(1993)5809.

[2] H.Itoh. T. Hori, J. Inouse and S. Maekawa: J.Mag.Mag. Mater. 136(1994)L33.

金属人工格子の磁気抵抗効果

京大・化研　新 庄 輝 也

人工格子は数原子層の厚さの超薄膜を繰り返し積層したものであり，エピタキシャル人工格子はコヒーレント超薄膜の集合体といえよう。コヒーレント超薄膜が特異な物性を持つならば，その性質をバルクの物性として発揮させる場が人工格子である。金属の場合，非平衡結晶相がコヒーレント超薄膜では安定化される実例としては，(1)Cu上のbcc - Co，さらに新しい例としては(3)Pt上のfcc - Fe，が知られている。(1)の例では格子定数が小さいときには磁気モーメントを失うが，(2)(3)の例では常に強磁性で，一見バルクの性質と大差なく見える。コヒーレント超薄膜が得られても直ちに特異な物性に結びつかない場合が多い。しかし，磁気抵抗効果はコヒーレント超薄膜の界面構造に依存し，磁気抵抗特性の向上（より大きな磁気抵抗変化をより小さな磁場で実現する）には界面の磁性，磁気異方性，結晶性の乱れなど考察が不可欠で，コヒーレント超薄膜の基礎研究の重要性は明らかである。特に磁気抵抗効果を生じさせるメカニズムである「スピン依存散乱の確率がどのような界面状態の時に増加するのか」は興味深く，かつ未開拓の基礎研究課題である。実験的には，界面のラフネスの制御状態が必要であり，その目的には表面状態が規定された基盤を利用する方法が考えられる。さらに，膜面垂直方向の電流についての磁気抵抗効果を測定する手段として微細加工基板の利用が有効であることを紹介する。

化合物半導体上のエピタキシャル強磁性薄膜の成長とその物性

東大・工　田 中 雅 明

Mn_xGa_{1-x}(x= 55 - 60%)は，正方晶(tetragonal)構造の熱力学的に安定な強磁性金属間化合物

（キュリー温度は350℃前後）であり，①Ga原子を共有するⅢ-Ⅴ化合物半導体であるGaAs上で界面反応や相互拡散がなく原子レベル急峻な界面が形成できること，②ａ軸方向の格子定数（2.77A)がGaAsなどⅢ-Ⅴ半導体のそれの半分に近いこと，③従ってGaAsなど閃亜鉛鉱型の結晶格子上でcube-on-cubeのエピタキシャル関係が実現されれば，MnGaの容易な磁化方向がｃ軸であるためⅢ-Ⅴ上で垂直磁化膜が得られることなど，非常にユニークですぐれた特長をもっている。Ⅲ-Ⅴ化合物半導体上にこのような高品質・単結晶の垂直磁気異方性をもつ強磁性体薄膜をエピタキシャル成長させることができれば，Ⅲ-Ⅴと磁性体を組合わせた新しい人工材料を作製することができ，たとえばⅢ-Ⅴの基板上にモノリッシックに不揮発性メモリを実現する可能性など新しいデバイス応用が期待でき，半導体をベースとしたエレクトロニクス・フォトニクス技術と強磁性材料を融合あるいは集積化させることも期待できる。

我々は分子線エピタキシー（MBE)法を用いて(001) GaAs基板上に単結晶のMnGa超薄膜を期待どうりのエピタキシャル関係で成長させることに成功し，反射高エネルギー電子線回折（RHEED)および透過型電子顕微鏡（TEM)格子像による構造評価，VSMによる磁気測定，異常ホール効果（EHE)測定などによって垂直磁化膜が得られたことを実証した。また，より高機能の材料を作製することを目指し，GaAS基板上にMnGa/NiGaから成る強磁性体／非磁性体超格子のMBE成長を行った。MnGaは正方晶構造で強磁性金属であり，NiGaは立方晶CsCl型の構造で非磁性金属であるが，いずれも面内方向（ａ軸）の格子定数がGaAsの格子定数のほぼ半分でありヘテロエピタキシーにおける整合性がよい。本研究ではこの超格子を原子レベルで膜厚制御しながら作製し，設計どうりの構造ができていることを実証した。さらにその磁性，磁気伝導を調べた結果，より強い垂直磁気異方性，複数のステップをもつヒステリシス特性など興味深い性質が明らかになった。

1) M. Tanaka et al. Appl. Phys. Lett. 62, 1565 (1993).
2) M. Tanaka et al. Appl. Phys. Lett. 63, 696 (1993).

酸素分子モノレイヤーの磁性

東大・大理　　壽榮松　宏　仁

層状結晶などの表面上に物理吸着によって成長させたモノレイヤー結晶は，極めて理想的な２次元系を構成すると考えられる。特に，吸着原子（または分子）が磁気モーメントを持つ場合には，最も典型的な２次元磁性体となることが期待される。グラファイト表面上の酸素分子モノレイヤーは，磁気秩序相を持つ唯一の例である。

酸素モノレイヤー結晶には，分子軸が基盤表面に平行なδ相と垂直なζ相が存在するが，ここでは2D三角格子ζ相から低温相ε相（歪んだ三角格子）への反強磁性相転移について，高感度磁化測定および中性子回折の実験結果を報告する。

第1層結晶の磁化率は，T_N＝12K以下に反強磁性体に特徴的な減少が観測されるが，通常の反強磁性体と比べ遙に鋭い指数関数的な温度依存性が観測され，今後の問題と考えられる。一方，中性子回折実験では，T_N以下で，核散乱ピークの分裂が観測され格子変形を伴う相転移が帰結され，さらに磁気散乱ピークが初めて観測され，磁気秩序相の存在が確認された。こられ回折線の温度依存性はT_Nで不連続変化を示し，この磁気相転移が1次転移であることを示している。これは，酸素分子間のファン・デア・ワアールス力と酸素分子スピン間の直接交換相互作用の競合によって生じるものであるとしたモンテカルロ計算の結果と矛盾しない。

この系の最も顕著な結果は，磁気散乱強度から計算した酸素分子の磁気モーメントがS＝0.69となり，分子軌道法から求められるS＝1より非常に小さい。この例外的に顕著なスピンの減少がいかなる原因によるものか，低次元効果および揺動効果に起因するのかどうか今後検討するべき問題である。

もう一つは，第2層結晶の磁気的性質で，磁化測定および中性子磁気散乱の結果でこの層が磁気的寄与をしていない事実であり，磁気的秩序に関与していないように考えられる。これは，物理吸着系でも基盤結晶を通じての磁気的相互作用が重要であることを示している。今後，種々の基盤結晶について，磁気秩序の形成過程を研究する必要がある。

ヘリウム3薄膜の2次元核磁性

筑波大・物理　福山　寛

ヘリウム3（^{3}He）の多体系は，弱いvan der Waals引力相互作用をもつ剛体球的なフェルミ粒子系として低温で多彩な量子物性を示す。最近ではグラファイト表面に^{3}Heを物理吸着させた数原子層の薄膜がmK以下の超低温度域で興味深い2次元核磁性を示すことが分かってきた。例えば吸着第2層の磁性は^{3}He面密度を増してゆくと反強磁性相から強磁性相へと変化する。それぞれの相は下地の第1層の^{3}Heに対し整合および不整合な三角格子構造をもつと考えられている。

3次元の固体^{3}Heは交換相互作用（｜J｜≈数mK）程度の有限温度で秩序相へ相転移するが，薄膜の強磁性相の場合は｜J｜/30の温度まで明確な磁気相転移を示さない。これは2次元系に特有の性質と解釈できる。また反強磁性相が基底状態付近で多くのスピン自由度を残したフラストレーションの顕著な相であることも比熱測定から示されている。この相は2次元カゴメ格子上のスピン1/2ハイゼンベルグ反強磁性体の理想的なモデル物質ではないかとして最近注目されている。

この種の2次元物性の研究では吸着基盤の表面状態が決定的に重要である。我々は走査型トンネル顕微鏡を用いて，基盤であるグラフォイル(exfoliated graphite film)のミクロな表面評価を行った。その結果，表面が60Å程度の単結晶子(platelet)から成っていること，各plateletは平均10°前後の方向の分布をもつこと，platelet表面は原子スケールで平坦であることなどが確認され

た。これらの数値は強磁性相の低温での磁化やNMR線幅に表れるサイズ効果から求めたものと良く一致する。He原子の波動関数はまるいので0点振動による核スピン間の交換相互作用は完全に等方的である。すなわち^{3}He薄膜の磁性は純粋なハイゼンベルグ型としてユニークな存在である。今後は基盤に異分子を吸着したり微細加工技術を用いてさざまな周期構造や有限サイズの^{3}He薄膜を設計し，その磁性を低温で調べることができるようになるかもしれない。

薄膜，表面のスピン，角度分解光電子分光

東大・物性研　　柏　崎　明　人

固体表面に紫外線やX線をあてると真空準位よりも高く励起された電子の一部は外部に放出される。この電子のエネルギー，運動量などを解析する光電子分光は，固体表面の電子状態を研究する重要な手段として古くから用いられてきた。近年，アンジュレータによる高輝度放射光の利用，高い効率の電子スピン検出器の出現により光電子のスピン解析が容易になりつつある。特に，真空紫外から軟X線領域の放射光で励起される光電子の平均自由行程は数オングストロームと小さく，光電子のスピン解析は表面電子状態の↑スピン状態↓スピン状態の評価，表面吸着原子のスピンに依存した電子状態の解析などに応用できる。また，電子励起のスピン依存性についても詳しい情報を与える。

我々は，100keVモット検出器とアンジュレータ放射を併用して強磁性Ni(110)単結晶のスピン・角度分解光電子分光をおこない，Ni価電子帯スペクトルの温度依存性がいわゆるfluctuating local magnetic moment modelで説明できることを示した。また，C/Fe(100), S/Fe (100)などの表面吸着原子の交換相互作用の評価も行った。

最近は，Fe/Pd(100)薄膜のスピンに依存した電子状態の解析など，我々の目指している方向の研究も多い。今後は，薄膜試料作成技術，磁場印加法などの課題を解決しつつ，金属表面の磁気的性質の本質にせまりたいと考えている。

物性研究所談話会

日　時Q　1995年1月20日（金）　午後1時30分～2時30分

場　所　物性研究所旧棟1階講義室

講　師　Prof. Andreas Klümper

(所属)　（ケルン大学理論物理学教室）

題　目　Thermodynamics of Integrable Quantum Chains:
The Quantum Transfer Matrix Approach

要　旨

The thermodynamics of integrable one-dimensional quantum spin and correlated fermion systems is studied. In particular Heisenberg and Hubbard chains are considered.

The treatment of the thermodynamics of the models consists of two steps. First, a mapping is established of the quantum chains at finite temperature to two-dimensional classical models under preserving integrability. In a second step the spectrum of the quantum transfer matrix (QTM) of the two-dimensional system is analyzed. The free energy is given by just the largest eigenvalue of the QTM whereas the next-leading ones yield the correlation lengths which are not accessible in more tranditional approaches. All eigenvalues of the QTM satisfy Bethe ansatz like equations. The study of the limit of infinite Trotter-Suzuki number can be done analytically by employing transformations to (non-linear) integral equations.

The analytical and numerical results in the low-temperature limit are compared to predictions by conformal field theory.

日　時　1995年2月9日（木）　午後1時30分～2時30分

場　所　物性研究所旧棟1階講義室

講　師　Dr. Arkadi Odintsov

(所属)　電子技術総合研究所・Moscow大学

題　目　1D Josephson arrays: superlattices and waveguides for single Cooper pairs

要　旨

We investigate one-dimensional arrays of small Josephson junctions. The

Josephson energy is assumed to be small compared to the Coulomb energy. For a ring - shaped array pierced by a magnetic flux the Josephson current I_J changes stepwise as a function of a gate voltage reflecting changes in the number N of extra Cooper pairs in the array. For small concentrations of extra Cooper pairs the current I_J increases monotonously with N.

At higher concentrations the extra Cooper pairs form a kind of a 1D Wigner lattice and the Josephson current strongly depends on its commensurability with an array of junctions. For a realistic Coulomb interaction the pinning of the Wigner crystal by the array is described by a Kosterlitz - Thouless type transition.

By applying a time - dependent perturbation (changing the gate voltages in time) one can inject a Cooper pair into an empty linear array. Injected Cooper pair propagates through the array as a wave packet.

日　時　1995年２月10日（金）　午前11時00分～12時

場　所　物性研究所旧棟２階第２会議室

講　師　Prof. C. K. Rhodes

(所属)　イリノイ大学　教授

題　目　Muitiphoton Processes and Coherent X ray generation

要　旨

Rhodes教授のグループは超短パルスエキシマーレーザーを用いて，多光イオン化，高次高調波，高励起状態の分光，多光子過程による内殻励起などの分野で先駆的な研究を行ってきた。最近ではレーザーチャネリング・原子クラスターからのX線発生の研究で成果を上げている。講演はこれらの話題について行われる。

日　時　1995年２月13日（月）　午前４時～５時

場　所　物性研究所Q棟１階講義室

講　師　Dr. J. Flouquet

(所属)　(CENG - Grenoble)

題　目　Magnetic Instability in Heavy Fermion Compounds

要　旨

Studies on the heavy fermion system $Ce_{1-x}La_2Ru_2Si_2$ are revisited and data are compared with recent theoretical predictions (Mills, Moriya). Differences

between theory and existing materials are discussed.

日　時　1995年２月15日（水）　午後４時～５時

場　所　物性研究所Ｑ棟１階講義室

講　師　Dr. P. D. Drummond

(所属)　オークランド大学（ニュージーランド）

題　目　Triple Correlations Parametric Oscillation

要　旨

Three measurements on quadruture phases of the pump, signal and idler fields of parametric oscillator are theoretically considered. This is beleived to be a new test of quantum mechanics.

日　時　1995年２月17日（金）　午前１時30分～２時30分

場　所　物性研究所旧棟１階講義室

講　師　Professor W. Gilbert Clark

(所属)　Department of Physics and Astronomy, University of California at Los Angels

題　目　NMR Studies of the Static and Dinamic Properties of Spin Density Waves

要　旨

ABSTRACT

A spin density wave (SDW) is the broken symmetry ground state of several organic conductors. In the case of $(TMTSF)_2PF_6$ and similar materials, the SDW is incommensurate and pinned by imperfections. Several recent studies of the static and dynamic properties of this SDW measured by NMR are discussed: (a) It is shown from the NMR spectrum that the transition is weakly first order, in contradiction to the usual mean field theory of the transition, which predicts a second order transiton with a BCS - like behavior for the order parameter. (b) A spin echo measurement of the quasistatic displacement of the SDW throughout the volume in response to an applied electric field below the depinnig threshold is used to obtain the pinnig force on the SDW. (c) When a high enough electric field is applied to the sample, the condensate is depinned and slides through the sample. The corresponding effect on the spin echo is

used to measure the sliding velocity in the volume of the sample. A comparison of this velocity with that inferred from the broad noise spectrum of the sliding SDW indicates that the wavelength of the impurity pinning potential is half the SDW wavelength.

日　時　1995年2月27日（月）　午前1時30分～2時30分

場　所　物性研究所旧棟1階講義室

講　師　田中虔一　所員

（所属）　東京大学物性研究所極限物性部門

題　目　金属表面における擬似化合物の生成とその自己秩序化
－Atom-scale Chemistry からの新しい概念の提出－
(Growth and Self-ordering of Low-dimensional Compounds on Metal Surfaces)

要　旨

室温あるいはそれより高い温度で金属表面に酸素や水素を触れさせると，従来の吸着の概念では全く理解できない現象が普遍的に起こる。我々はこのような現象は「表面に特異的な擬似化合物あるいは擬分子の生成とその自己秩序化」であるとする概念を提案してきた。

この現象が従来から知られている“Adsorption Induced Reconstruction”とは本質的に異なる現象であることは特にに重要である。この概念の価値は，表面現象をアトムスケールで理解したり説明するだけでなく，表面にアトムスケールで全く新しい人工的な物質を設計し創成することを可能にすることもある。具体的な成果を紹介する予定である。

日　時　1995年3月13日（月）　午前1時30分～2時30分

場　所　物性研究所旧棟1階講義室

講　師　笠井秀明 氏

(所属)　大阪大学基礎工学部，東京大学物性研究所

題　目　金属表面近傍の電子励起に伴う吸着分子の離脱

要　旨

成分や分子の吸着，解離，拡散，組み替え，離脱などの素過程からなる表面反応は，表面近傍の電子系の状態遷移と原子や分子の運動状態変化が多様な時間・空間・エネルギースケールで絡み合いながら進行する動的現象であり，物性物理学の研究対象としては極めて特異な現象であると思う。しかし，それは生命現象をはじめ自然界のあらゆる現象に必ずと言えるくらい普遍的に含まれており，その解明が自然界の現象の理解の一助になればと思う。これが，表面反応に関する研究を行う

動機の一つである。

本講演では，素過程の一つである脱離現象について，特に金属表面近傍の電子励起に伴う吸着分子の脱離現象について，最近行っている計算の結果を中心に，話す予定である。

物性研ニュース

東京大学物性研究所の教官公募の通知

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

1. 研究部門名等及び公募人員数

軌道放射物性部門　助教授　1名

2. 研究内容

本研究所は，附属軌道放射物性研究施設に，0.5GeV電子ストーレジリング(SOR-RING)とそれに付設された分光実験設備を有し，それらを全国共同利用に提供している。また，高エネルギー物理学研究所内にある同研究施設の分室には，フォトンファクトリーリングに設置されたアンジュレータを光源とする2基の実験ステーションと偏向電磁石を光源とする1基の実験ステーションを有し，高エネルギー物理学研究所と共同してそれらの管理・運営を行っている。さらに，我が国における放射光科学の飛躍的発展を目指して，次世代の真空紫外線・軟X線高輝度光源の建設計画を推進している。

今回公募の所員には，SOR-RINGの維持・管理及び性能向上と関連する加速器科学の研究を行うとともに，高輝度光源計画における加速器の設計及び開発研究を担当してこれを積極的に推進していただく予定である。

3. 公募締切

平成7年3月17日（金）必着

4. 就任時期

決定後なるべく早い時期を希望する。

5. 提出書類

（イ）推薦の場合

○推薦書（健康に関する所見を含む）

○履歴書（略歴で結構です）

○主要業績リスト（必ずタイプすること）

○主要論文5編の別刷

○研究業績の概要（2000字程度）

（ロ）応募の場合

○履歴書

○主要業績リスト（必ずタイプすること）

○主要論文5篇の別刷

○健康診断書

○研究業績の概要（2000字程度）

○本人に関する意見書（２名）

6. 宛　先

〒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(3478)6811　内線 5022，5004

7. 注意事項

「軌道放射物性部門助教授応募書類在中」と朱書し，書留郵送のこと。

8. 選考方法

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

平成６年12月22日

東京大学物性研究所長

竹　内　　伸

人　事　異　動

研　究　部

（辞　職）

所　　属	職・氏名	発令日	備　　考
極限物性第一部門 極限レーザー	助　手 田　中　耕一郎	6.12.31	7.1.1 新技術事業団研究員へ

（休　職）

所　　属	職・氏名	発令日	備　　考
凝縮系物性部門	助　手 神　戸　振　作	7. 2. 1	平成8年1月31日まで

（採　用）

所　　属	職・氏名	発令日	備　　考
凝縮系物性部門	助　手 藤　原　直　樹	7. 2. 1	

Technical Reports of ISSP 新刊リスト

Ser. A

No. 2915 ^{51}V NMR Studies of $CaVO_3$ and $SrVO_3$, by Yasuhiro Uyeda, Hiroshi Yasuoka, Atushi Goto, Masahiko Isobe and Yutaka Ueda.

No. 2916 Dynamical Theory of X-Ray Diffraction for the Study of Crystal Surfaces, by Toshio Takahashi and Shinichiro Nakatani.

No. 2917 The Hall Coefficient for the Hubbard Model, by F. F. Assaad and M. Imada.

No. 2918 Single-Particle States on the Sphere with a Magnetic Field and Disorder, by Yshai Avishai, Yasuhiro Hatsugai and Mahito Kohmoto.

No. 2919 Magnetic Transitions in Triangular Antiferromagnets with Distorted Exchange Structure, by M. E. Zhitomilsky, O. A. Petrenko and L. A. Prozorova.

No. 2920 Universal Finite-Size Scaling Function of the Ferromagnetic Heisenberg Chain in a Magnetic Field, by Hiroaki Nakamura, Naomichi Hatano and Minoru Takahashi.

No. 2921 Charge Transfer to the Local Singlet States as a Function of Li Content in $La_2Cu_{1-x}Li_xO_4$ and $La_{1.85}Sr_{0.15}Cu_{1-x}Li_xO_4$, by A. I. Rykov, H. Yasuoka and Y. Ueda.

No. 2922 Role of Alkali Ions on Persistent Hole-Burning in Pr^{3+}-Diped Germanate Glasses, by Tohru Suemoto, Mitsuru Namiki and Kazuko Koyama.

No. 2923 Temperature Dependence of the Spin-and Angle-Resolved Valence Band Photoemission Spectra of Ni(110), by Jun Fujii, Akito Kakizaki, Kenya Shimada, Kanta Ono, Toyohiko Kinoshita and Hirohito Fukutani.

No. 2924 On the Theory of Two Magnon Raman Scattering, by Simon M. Manning and Feodor V. Kusmartsev.

No. 2925 Universal Correlations in the Random Matrices and 1D Particles with Long Range Interactions in a Confinement Potentical, by Y. Morita, Y. Hatugai and M. Kohmoto.

物性研だより第34巻目録（第１号～第６号）

第34巻　第１号　1994年５月

所長に再任されて …… 竹内　伸 …… 1
第８回物性専門委員会（第15期）議事録 …… 4
物性研究所談話会 …… 9
物性研ニュース
○ 東京大学物性研究所　助手公募 …… 11
○ 人事異動 …… 15
○ 平成６年度　物性研究所協議会委員名簿 …… 18
○ 平成６年度　共同利用施設専門委員会委員名簿 …… 19
○ 平成６年度　軌道放射物性研究施設運営委員会委員名簿 …… 20
○ 平成６年度　外来研究員等委員会委員名簿 …… 21
○ 平成６年度　人事選考協議会委員名簿 …… 21
○ 平成６年度　中性子散乱研究施設運営委員会委員名簿 …… 22
○ 平成６年度　中性子散乱実験審査委員会委員名簿 …… 23
○ 平成６年度　前期短期研究会一覧 …… 23
○ 平成６年度　前期外来研究員一覧 …… 24
○ 平成６年度　中性子回折装置共同利用採択課題一覧 …… 56
○ 平成６年度　後期共同利用の公募について …… 64
○ 物性研究所物性科学入門講座 …… 84
○ 東京大学物性研究所における大学院修士及び博士課程進学ガイダンスのお知らせ …… 85
○ テクニカル・レポート　新刊リスト …… 86
第39回物性若手夏の学校 …… 89
編集後記

第34巻　第２号　1994年７月

○ 冷中性子分光器ＡＧＮＥＳの建設に当たって …… 梶谷　剛 …… 1
○ 雑　感 …… 森垣　和夫 …… 3
○ 物性研を去って …… 寺倉　清之 …… 5
物性研究所談話会 …… 10
短期研究会報告
○ 「ペロブスカイト型結晶の構造相転移と物性」 …… 13

世話人　石橋，重成，藤井，辛
物性研ニュース
○ テクニカル・レポート　新刊リスト …… 37
編集後記

第34巻　第3号　1994年9月

「物性研究拠点整備計画」…… 物性物理専門委員会 …… 1
「物性研究における大型施設の将来計画(Ⅲ)」…… 物性物理専門委員会
大型施設ワーキンググループ …… 12
「物性研改組計画の概算要求について」…… 竹内　伸 …… 21
物性研に着任して …… 上田　和夫 …… 23
高木　英典 …… 25
研究室だより
○ 家　研究室 …… 家　泰弘 …… 27
○ 八木研究室 …… 八木　健彦 …… 33
物性研究所談話会 …… 39
物性研ニュース
○ 東京大学物性研究所　客員部門教授・助教授公募 …… 42
○ 東京大学物性研究所　助手公募 …… 44
○ 1995年度日米科学協力事業「中性子散乱」研究計画の公募 …… 50
○ 人事異動 …… 51
○ テクニカル・レポート　新刊リスト …… 52
編集後記

第34巻　第4号　1994年11月

雑　感 …… 小川　信二 …… 1
研究室だより
○ 高橋(敏)研究室 …… 高橋　敏男 …… 3
○ 久保田研究室 …… 久保田　実 …… 9
短期研究会報告
○ 「超低温物理の最近の動向と展望」
世話人　石本英彦，佐藤武郎，馬宮孝好，児玉隆夫 …… 16
物性研究所談話会 …… 41

物性研ニュース
○ 東京大学物性研究所　助手公募 …… 44
○ 人事異動 …… 46
○ 平成6年度　物性研究所協議会委員名簿 …… 47
○ 平成6年度　スーパーコンピュータ共同利用運営委員会委員名簿 …… 48
○ 平成6年度　スーパーコンピュータ共同利用課題審査委員会委員名簿 …… 49
○ 平成6年度　後期短期研究会一覧 …… 50
○ 平成6年度　後期外来研究員一覧 …… 51
○ 平成7年度　前期共同利用の公募 …… 83
○ 平成7年度　前期スーパーコンピュータ共同利用の公募 …… 107
○ 東京大学物性研究所スーパーコンピュータ共同利用運営委員会規則の制定…… 114
○ 東京大学物性研究所スーパーコンピュータ共同利用課題審査委員会規則の制定…… 115
○ 東京大学物性研究所附属中性子散乱研究施設共同利用研究員宿泊施設使用規則…… 116
○ テクニカル・レポート　新刊リスト …… 117
編集後記

第34巻　第5号　1995年1月

「SOR-RINGの20年」…… 石井武比古 …… 1
物性研に着任して …… 松下　裕秀 …… 20
第9回物性専門委員会（第15期）議事録 …… 22
物性研短期研究会報告
○ 「新しいスピンパイエルス物質$CuGeO_3$の物性」…… 26
世話人　本河　光博，内野倉　國光，秋本　純，今田　正俊
物性研究所談話会 …… 47
物性研ニュース
○ 外部評価実施計画 …… 竹内　伸 …… 50
○ 退官記念講演会 …… 51
○ 人事異動 …… 53
○ テクニカル・レポート　新刊リスト …… 54
編集後記

第34巻　第6号　1995年3月

物性研の新しいスーパーコンピュータシステムについて …… 常行　真司 …… 1

研究室だより

○ 上田（寛）研究室 …… 上田　寛 …… 3

○ 末元研究室 …… 末元　徹 …… 11

物性研の拡充・改組計画の進捗状況 …… 竹内　伸 …… 17

物性研短期研究会報告

○ 「SOR - RINGから物性研高輝度光源へ－20年の歩みと将来－」 …… 18

世話人　佐藤　繁，菅原英直，渡辺　誠，　片山武司，宮原恒昱，北村英男，
石井武比古，神谷幸秀，柿崎明人，辛　埴

○ 「固体表面の微細構造制御による新物性の発現」 …… 65

世話人　川合知二，井野正三，川村隆明，新庄輝也，田中虔一，小森文夫

物性研究所談話会 …… 87

物性研ニュース

○ 東京大学物性研究所　教官公募 …… 92

○ 人事異動 …… 94

○ テクニカル・レポート　新刊リスト …… 95

○ 物性研だより　第34巻目録（第1号～第6号） …… 96

編集後記

編　集　後　記

“物性研だより”第34巻第６号をお届けします。本号は２つの短期研究会「SOR-RING……」及び「固体表面……」の報告のほかに，物性研の将来計画，とくに柏移転問題の進捗状況の説明を所長にお願いしました。この問題は現在進行中ですが，間違った情報も流れやすいので，ここで中間報告させていただきました。また，新たに導入されたスーパーコンピューターシステムについての紹介（常行所員）が行われております。

なお，次号より編集責任者が交代となり，安藤所員が全体の統括を行います。次号の原稿締切は４月10日ですので，ふるってご投稿下さい。

所属，住所変更の場合などは事務部共同利用掛までご連絡願います。

武　居　文　彦
高　橋　　実