

電子状態と磁性原子電子状態との混成が磁性に及ぼしている影響の詳細を調べることは磁性研究に残された重要な課題であり、今後組成元素のできるだけ多くの内殻についてMCDを測定したいと考えている。次に内殻励起共鳴下でのフェルミ準位近傍電子状態の高分解能光電子分光測定があげられる。1keV前後の光励起で2p共鳴下での3d電子状態あるいは3d共鳴下での4f電子状態を研究することができれば、光電子分光とは言ってもかなり表面効果をおさえてバルク電子状態に迫ることができる。この種の研究は多元素から構成されている酸化物高温超伝導体や重い電子系の電子状態を対称性を分離して議論するには不可欠である。磁性体では光電子放出角度分布の磁気円偏光2色性が観測され、これをスピン偏極光電子分光とあわせれば磁性の理解が深まる。

光電子放出の角度分布測定には2次元表示型分析器を用いる。同時連続角度分布測定はまた非磁性体の表面構造(原子配置)研究にも有力である。この目的で光電子回折が用いられる。

当初希望に対する満足度は50%。

当初目標に対しての満足度は75%。

## 軟X線光化学ビームライン

### ◇軟X線光化学SG

姫路工業大学 理学部  
小谷野猪之助

軟X線光化学ビームライン(BL27SU)は、SPring-8における3本の軟X線ビームラインの一つであり、いわゆる”8の字アンジュレーター”からの直線偏光を利用する。軟X線光化学サブグループは、独自の設計になる高分解能分光器を導入することによってこの領域における世界最高の分解能と強度を実現し、内殻励起分子の分光学的および光イオン化/解離ダイナミックスの研究を行うことを目指している。

上記の分光器には、光子エネルギー1 keVにおける最高分解能0.01eV (相対分解能 $\Delta E/E = 10^{-5}$ )、この分解能で照射位置に最終的に得られる光子数 $10^{12}/s$ 、さらに照射位置でのビームサイズは $0.5 \times 0.5 \text{ mm}^2$ 以下という性能が要請されている。これらの要請を満たす分光器として、等間隔直線刻線溝をもつ平面回折格子と放物面結像鏡を用いるタイプのものが考えられている。分光器の後ろに観測チャンバーには、上記の目的を達成するために光電子/オージェ電子エネルギー分析器、イオンエネルギー/質量分析器、リフレクトロン型質量分析器等が備えられ、それらを入射光の光軸の周りにセットで回転できるようになっている。さらに、電子とイオンの検出器相互の角度も変えられる設計になっており、これによって光電子や解離イオンの角度分布のみならず、電子-イオン間の角度相関もとるこ

とができる。

この装置を用いて、軟X線光化学グループが目指している研究テーマは、(1)内殻励起領域における超高分解能分子分光、(2)原子・分子の光イオン化および緩和ダイナミックス(3)内殻励起/イオン化多原子分子の解離経路の完全決定、(4)軟X線をメスとする分子内結合の選択的切断、(5)SRとレーザーの組み合わせ(ポンププローブや2重共鳴)による新奇な(内殻)励起状態の生成とダイナミックスなどである。とりあえずはレーザーを用いずに行える(1)~(4)から始めることになる。(1)~(3)で追究される主要な物理は、分子内電子の電子相関、非断熱遷移等の問題であり、これらは孤立多体系の量子論の基本に関わるものである。内殻励起分子のダイナミックスにおいては、核の動き(分子振動)とカップルした電子過程を観測することが重要であり、そのためには、この領域で最大限に振動構造を分離した励起が必要になる。 $10^{-5}$ という高い分解能が要請されるゆえんである。それに加えて、電子エネルギー分析器の高い分解能も要求される。一例について述べると、内殻共鳴励起におけるオージェー崩壊と結合解離過程の競争の問題がある。たとえば、HBr分子でBrの3d内殻電子を最低の非占有反結合性分子軌道へ励起すると、分子は内殻に正孔を残したまま解離し、完全にフリーになったBrの正孔状態からのオージェー電子が観測されることが知られている。反発性ポテンシャルに沿って軽いH原子が重い相手から離れていく速度よりもオージェー崩壊の速度が遅いことを意味する。類似の3原子分子ではどうか? HCNでは、H-C結合が強い反発性になる内殻(C:1s)正孔状態が存在することが当サブグループの岩田らによって計算されており、内殻正孔CNラジカルからのオージェー電子が観測されることが期待される。しかし3原子分子には複数の振動モードがあり、HBrとは異なって解離ダイナミックスにはそれらとのカップルの問題が新たに付け加わる。これらの様子が高分解能の共鳴オージェー電子分光やオージェー電子の角度依存性に反映される可能性がある。また、H原子を順次重い原子に変えた一連の化合物、HCN, FCN, ClCN, BrCN, ICNについてこれらがどう変わっていくかを見ることも興味ある課題である。外殻領域で実時間で測定されているこれらの分子の解離速度をクロックとしてオージェー過程の寿命が測定される可能性を秘めている。(4)の課題は分子過程の光による制御を目指したものであり、物質創製という応用的観点ばかりでなく原理の探求としても興味がある。これまでに気相および固体表面に吸着した分子について行われた研究から、やはり高分解能、高強度で行うことの必要性が痛感されている。

## ◇軟X線CVDSG

名古屋大学 工学部

正島 宏祐

本ラインでは、軟X線アンジュレーターから供給される高輝度及び波長選択性の軟X線光を用いて、薄膜形成や微細加工現象の科学的及び技術的な面で新しい側面を切り開こうというものである。特に、現在軟X線領域で得られている光よりも2桁以上も強い良質の

光が得られるので、光励起プロセスの研究においてこれまでのSR光源では不可能であった問題点を新たに解明できることが期待できる。

本プロジェクトでは、光励起による薄膜形成や微細加工現象の多くの課題を持っている。アンジュレーターからの軟X線ビームを分光せずに直接照射するダイレクトビームと、集光鏡によるマイクロビームとに分けて利用する計画をもっている。この研究の特徴でもあるので、マイクロビーム用の集光鏡は是非とも早めに予算化して頂きたい。しかし、設備上の制約から最初の1年は、使用できるガス試料には制約があり、したがって実現可能な実験は制約がある。既に我々が行ってきた研究から、SRの導入ビームラインの真空を乱すことなく反応試料室を0.5Torr程度までの反応気体を満たすことはなんら問題なく行える。従って、本ビームラインで行う研究は、技術的に処理装置を必要としない気体試料を使用するかまたは気体試料を用いない実験に限られてくる。初期の実験では、既知波長の軟X線を固体ターゲットに局所的に照射した結果起こる、エッチング、蒸発、昇華等の過程を解明する。特に、エッチング過程では、中性の脱離種が主であると信じられているが、従来の軟X線では観測できなかった光励起脱離種の同定を、本ビームラインにおいては検出できると期待される。

試料としては、既に波長選択されていないSR光を用いて研究が進んでいるSi、ダイヤモンド、グラファイト、SiO<sub>2</sub>等の蒸発、昇華等の過程を研究する。さらに、0.1Torr程度の反応性気体（エッチャント）を導入した際に、エッチング速度が励起波長によってどのように変わるかは極めて興味のある点である。何故ならば、これまでの実験では、光強度の制約から、エッチング反応が進んでいる条件下で測定されたエッチング速度の波長依存性は得られなかったので、反応機構に関する情報は、極めて限られていた。これから行う実験では、エッチング反応速度の波長依存性が測定できると信じている。また、エッチング反応によって脱離した中性の化学種やイオンも検出できるので、反応機構に関する知見は飛躍的に増大し、その質的な理解の向上は極めて大きいと期待できる。

次に、強力な軟X線マイクロビームを用いて、難加工性の物質の微細加工を試みたいので、是非とも集光鏡の建設を早急に予算化していただきたい。その結果得られる表面形状の形状だけでなく、表面の物理的、化学的特性についても明らかにする。この場合には、特に、高い光エネルギーによる励起という励起手段によって引き起こされる蒸発、昇華等の過程が、通常の温度上昇とどのように異なるかは興味ある問題である。

本研究を推進するために、各種の計測装置、ガス供給・除害システム、試料前処理室等が必要であるが、当面の実験には、表面の評価のための計測機器（LEED、オージェ分光装置、質量分析器、イオン計測装置一式）類が必要である。この研究のために必須であるクリーンルームの建設も是非とも予算化していただきたい。

## ◇原子分子SG・イオンの光電離過程

立教大学 理学部

小泉 哲夫

### 1. 研究目的

我々のグループではSPring-8のアンジュレーターから得られる高輝度光を使って、重い原子（分子も含む。ここでは原子番号 $>10$ の原子を重原子とよぶ）およびその多価イオンの内殻電子の分光特性および動的過程を研究することを目的としている。

原子や少数原子からなる分子の外殻電子に対しては、既存の放射光施設やレーザーなどを用いることによって今まで多くの分光学的研究がなされてきた。しかし、得られる光子のエネルギーや強度から来る制約によって、重原子の内殻を対象とした研究はきわめて少ない。その多価イオンになると電離ポテンシャルさえよく分かっていないのが現状である。相対論的効果やQED効果が顕著に現われるのは重原子の内殻準位においてであるし、電子相関も重原子では重要な役割を演じる。応用上からもこのような研究は、プラズマ物理学、天体物理学、地球物理学など高電離状態のイオンが関わる研究分野だけでなく、生物や物質・材料における放射線効果を考える上でも必要な基礎データを提供する。

このように多くの重要な課題があるが、我々はまず手始めに今までR&DとしてKEK-PFで行われてきた重原子イオンの内殻の光電離過程の研究をさらに高エネルギー側に拡張し、より深い殻についての分光的研究を行う。

### 2. 研究方法

我々の研究における標的は原子（分子）およびそのイオンである。多くの場合、標的粒子はガス状であり、密度は小さい（ $10^{10}\text{cm}^{-3}$ 程度）。イオン標的の場合は標的密度はさらに5、6桁小さくなり、残留気体密度と同じ程度になってしまう。最近のイオン源の発達や、大強度の放射光をもってしてもイオン標的の実験は容易ではない。これが最近まで光-イオン相互作用の実験的研究が進んでいなかった大きな理由である。本グループはSPring-8に向けてのR&Dを、光-イオン相互作用の実験手法を開発することに重点を置き進めてきた。イオン密度が小さいことを克服するために、光とイオンの相互作用距離を長く取れるビーム合流法を採用し、この手法の確立に努めてきた。SPring-8に置ける研究でもこの成果を生かし、ビーム合流法によるイオンの光電離の分光的研究を行う。

我々がR&Dとして行ってきた $\text{Xe}^{q+}$  ( $q=1-3$ )、 $\text{Ba}^+$ 、 $\text{Eu}^+$ の4d電子を100eV付近の光で電離したときの生成イオンスペクトルは、元素とイオンの価数によって様相がまったく異なっている。これらは内殻準位に電子相関がきわめて大きな影響を与えていることを示している。中性原子の4d電離ではスペクトルの原子番号( $Z$ )依存性を調べ、実効電荷の変化という観点からスペクトルの変化を説明している。イオン標的の場合はスペクトルの価数依存性は中性原子の $Z$ 依存性とは様相が異なり、単純な実効電荷の変化だけでは説明がつかない。より系統的な測定が望まれている。

本研究では光エネルギーを拡張するだけでなく、イオン源としてはECRイオン源を用い、種々の原子の多価イオンを研究対象にする。実験では標的多価イオンの光電離によるイオンの生成効率を光のエネルギーの関数として測定する。全イオン生成効率スペクトルは標的による光の吸収断面積に相当するものになる。これの原子番号依存性やイオン価数依存性を系統的に調べ、電子相関効果について知見を得たいと考えている。

### 3. 現状

現在、ビーム合流実験装置については既に詳細設計・建設が始まっている。現状では種々の事情により、当初に予定されていたビームラインに設置できない状況に陥っている。腰を据えて研究が行えるようなビームラインへの設置を強く希望する。

現在の達成度 20%

その理由 R&DはPFで行い、装置は発注したが、相乗りBLが未確定である。

## 結晶構造解析ビームライン

### ◇結晶構造解析ビームラインにおける構造相転移SGの活動状況と予定

千葉大学 理学部

野田 幸男

#### § 1. 測定系の設計状況と装置の特徴

BL02B1に設置する結晶構造解析ビームライン(BM1)は、かなり測定理念の違う4SGの相乗りになっており、構造相転移SGが責任SGとなっている。基本的な製作方針の合意として、7軸回折装置に様々な試料環境調整系と付属装置類を取り付けることにより、4SGの要求を充たすようにしている。全体の概念設計の後、入札・製作会社であるマックサイエンスと仁木工芸とで、会合を5月以降それぞれ11回と6回行った。現在、かなり具体的な設計図が出来上がりつつあり、4SGの主要なメンバーが11月2日に集まり、多数にわたる設計図を基にして検討作業を行う予定である。装置の特徴は、SPring-8のホームページ(<http://www.spring8.or.jp/JAPANESE/>)の共用ビームラインの[BL02B1]に、かなり詳しく書かれているので、そちらを参照してもらいたい。基本的には、単結晶と粉末試料のX線回折実験が50keVの高エネルギーまで様々な試料環境の下で出来る。

#### § 2. 試料環境調整系と付属装置類

このビームラインで何が出来るかは、どのような試料環境調整系と付属装置類を用意しているかに依っている。単結晶構造解析用(試料の大きさが300 $\mu\text{m}$ 程度)には10Kから300Kの低温クライオスタットと300Kから1000Kまでの電気炉が用意されている。また、大型試料用の15Kから300Kのクライオスタットに10GPaまでの高圧用ダイヤモンドアンビルセルを取