



自然科学研究機構 分子科学研究所
極端紫外光研究施設

UVSORで利用できる実験装置群

ビームライン	実験装置
BL1U	円偏光紫外自由電子レーザー、レーザーコンプトン散乱ガンマ線光源 紫外コヒーレント高調波利用装置 円偏光紫外線照射装置
BL1B	テラヘルツ固体吸収反射分光装置 〔Martin-Puplett型フーリエテラヘルツ干渉計 0.5~30meV〕
BL2A	軟X線固体分光装置 〔集光型二結晶分光器 585~4000eV〕
BL2B	有機固体角度分解光電子分光装置 〔18m球面回折格子分光器 23~205eV〕
BL3U	高輝度気体・液体・固体内殻分光装置 〔不等刻線平面回折格子分光器 60~800eV〕
BL3B	真空紫外固体吸収・発光分光装置 〔2.5m直入射分光器 1.7-31eV〕
BL4U	走査型透過軟X線顕微鏡装置 (STXM) 〔不等刻線平面回折格子分光器 75~770eV〕
BL4B	気体分光・固体分光装置、軟X線磁気円二色性分光(XMCD)装置 〔不等刻線平面回折格子分光器 25~1000eV〕
BL5U	高分解能スピン・空間・角度分解光電子分光装置 〔不等刻線平面回折格子分光器 20~200eV〕
BL5B	機器校正装置 〔平面回折格子分光器 6~600eV〕
BL6U	高分解能角度分解光電子分光装置 〔不等刻線平面回折格子分光器 40~700eV〕
BL6B	赤外・テラヘルツ顕微分光装置 〔Michelson型フーリエ赤外干渉計 4meV~2.5eV〕
BL7U	高分解能真空紫外角度分解光電子分光装置 〔10m 直入射分光器 6~40eV〕
BL7B	高分解能真空紫外固体分光装置 〔3m直入射分光器 1.2~30eV〕
加速器等	電子入射器、電子蓄積リング、スピン偏極電子源、 加速器同期レーザー等

※ビームライン：挿入光源（黄色）、偏向電磁石（緑色）
実験装置：施設利用（緑色）、所内研究者との共同研究利用（橙色）



UVSORを利用するには

★大学・国立研究機関の方

UVSORは大学共同利用機関である分子科学研究所の施設です。大学や国立の研究機関の方は原則無償でご利用いただけます。旅費の支給を受けることもできます。

★民間企業などの方

装置や時期によりご利用いただける場合があります。原則有償です。

★詳しくはUVSORのWEBページをご覧ください。

自然科学研究機構 分子科学研究所
極端紫外光研究施設 (UVSOR)

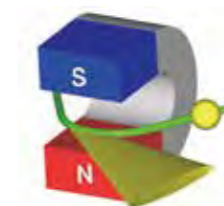
〒444-8585 愛知県岡崎市明大寺町字西郷中38
TEL. 0564-55-7402 FAX. 0564-54-7079 <http://www.uvsor.ims.ac.jp>

2019.3

シンクロトロン光とは



ほぼ光の速さで走るエネルギーの高い電子が磁場によりその進行方向を曲げられる際に放出する光（電磁波）がシンクロトロン光です（下図参照）。放射光と呼ばれることもあります。シンクロトロン光は、マイクロ波から赤外線、可視光、紫外光、極端紫外光、X線まで広大な波長領域で、非常に明るく高い指向性・優れたパルス特性・偏光特性を合わせて持っています。分子科学、物質科学、材料科学、生命科学、宇宙科学などの幅広い分野の研究ツールとして、活発に利用されています。



電子をほぼ光の速さまで加速し、偏向磁石の磁場でその進行方向を曲げると白色のシンクロトロン光が放出されます。偏向放射と呼ばれます。



多数の磁石列の磁場の中で電子を走らせると、電子は蛇行しながら進み、単色のシンクロトロン光を放出します。光の波長や偏光を変えることもでき、アンジュレータ放射と呼ばれます。

UVSOR-IIIとは

極端紫外光研究施設UVSOR（ゆーぶいそーる）は1983年に建設された分子科学研究所の大型実験施設です。シンクロトロン光を利用した実験を行います。1周約50mの電子蓄積リングから放射されるシンクロトロン光は10数台の実験装置に導かれます。これらの実験装置は国内外の研究者に広く開放され、分子科学をはじめとする様々な研究に利用されています。

UVSOR-IIIの特長

UVSORはシンクロトロン光源としては比較的小型で低エネルギー領域のX線よりも波長の長い極端紫外線を発生することを得意とします。極端紫外線は物質と強く相互作用する光で、電気伝導や磁性、発光など、物質が示す様々な特性の起源を探る研究において重要な役割を果たします。

UVSORはおよそ30年前に建設された施設ですが、2003年（UVSOR-II）、2012年（UVSOR-III）に行われた改造を通じて新しい技術を積極的に取り入れることで、今日でも小型低エネルギーシンクロトロン光源としては、世界最高水準の高い性能を誇っています。

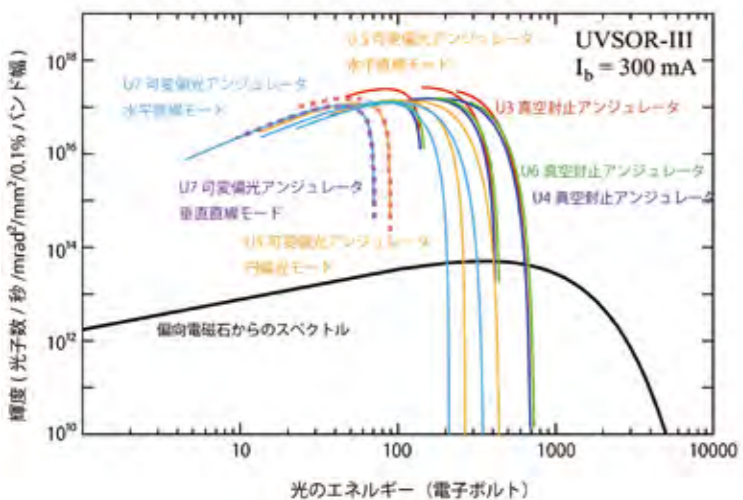
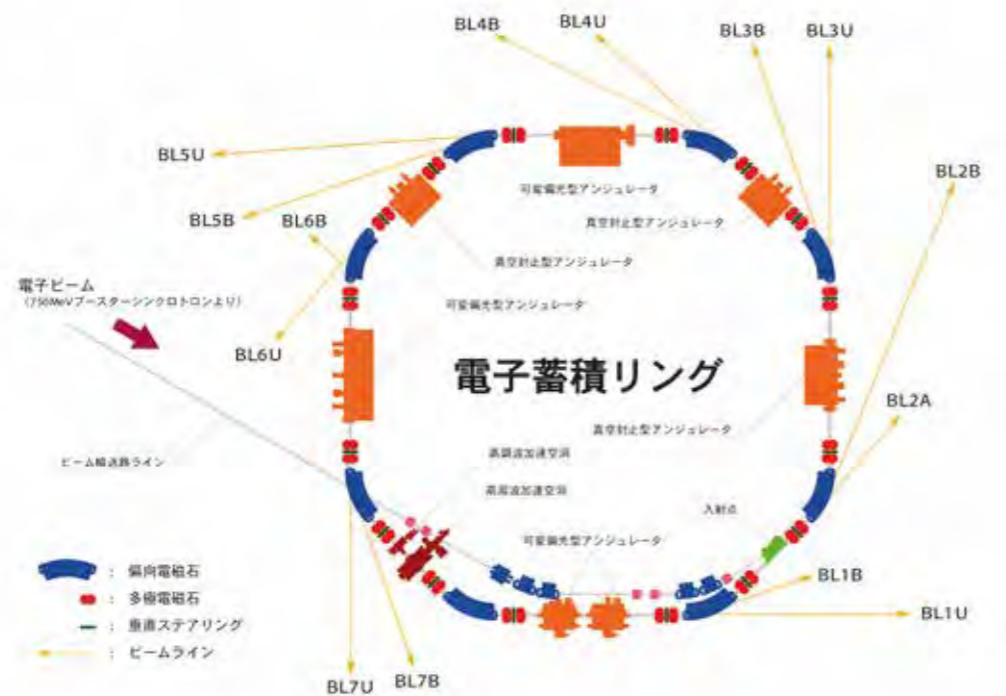


Institute for Molecular Science
National Institutes of Natural Sciences
UVSOR Synchrotron

UVSOR-IIIの光源加速器とビームライン

UVSOR-IIIの光源加速器

UVSOR-IIIは、電子ビームを作り出し加速するための入射器、電子ビームのエネルギーを一定に保ち長時間安定に反時計回りに周回させる電子蓄積リング(右図)を備えています。電子ビームのエネルギーは7.5億電子ボルト、リングの1周は53mです。電子ビームは周回しながら、8台の偏向電磁石(青色部分)と6台のアンジュレータ(橙色部分)の中でシンクロtron光を放出します。UVSOR-IIIでは磁石配置を工夫することで電子ビームの指向性を高め、またトップアップ運転と呼ばれる技術により光ビームの強度を高めています。



UVSOR-IIIのシンクロtron光の特長

UVSOR-IIIは、8台の偏向電磁石によりテラヘルツ波から4キロ電子ボルト程度の軟X線までのシンクロtron光を供給します。また6台の挿入光源(アンジュレータ)装置により、様々な偏光特性を持つ高輝度な光を提供します。



ビームライン

電子蓄積リングから出たシンクロtron光を実験装置に導くための装置がビームラインです。目的の波長をもつ光のみを選び出すための分光器や光ビームの形状を整えるための集光ミラー等から構成されています。UVSOR-IIIは最大16本のビームラインが建設可能で、現在は14本が運用されています。



挿入光源(アンジュレータ)

アンジュレータは永久磁石列により周期磁場を発生し電子ビームを繰返し蛇行させることで、より明るいシンクロtron光を発生します。円偏光など様々な偏光を作り出すこともできます。UVSOR-IIIには異なる特徴を持つ6台のアンジュレータが導入されています。



入射器

電子ビームを作り出す直線加速器と電子ビームを加速するブースターシンクロtronからなります。蓄積リングのビーム電流が減少すると即座に電子を補給するトップアップ運転と呼ばれる方式で運転されています。

UVSOR-IIIが誇る最先端の実験装置群



[BL4U] 走査型透過軟X線顕微鏡装置(STXM)

X線を30ナノメートルの微小スポットとして試料上に集光し、エネルギーを変えながらその透過光強度を計測することで、試料の高空間分解能2次元化学状態分析を行う事ができます。水中や大気圧下の試料観察も可能です。



[BL4B] 高磁場極低温軟X線磁気円二色性測定装置

磁性体中の元素選択的磁化などを観測する装置で、最大7テスラの磁場中、最低5ケルビンの温度で測定できます。試料準備槽で作製した磁性薄膜などを超高真空状態のまま観測できる特徴があります。



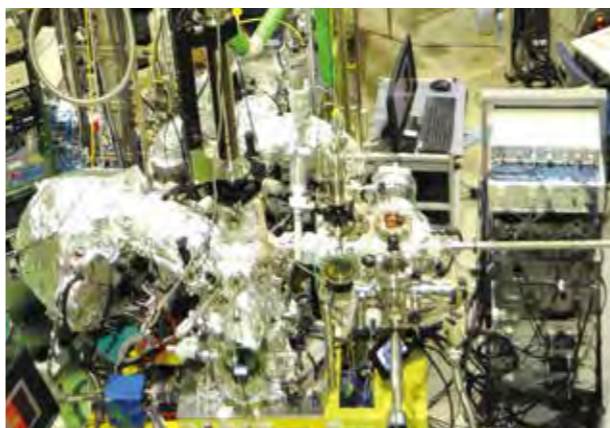
[BL5U] 高分解能スピン・空間・角度分解光電子分光装置

マイクロメートルサイズに集光した真空紫外光を物質に照射して、微小な物質や不均一な物質の電子状態を調べることができます。固体から放出された電子の角度・エネルギー情報だけでなく、スピンの情報も調べることができます。



[BL3U] 液体のその場観測軟X線吸収分光装置

液体層の厚さを1マイクロメートル以下に薄くすることで、元素を選別して、液体の局所構造を調べることができます。更に、様々な液体セルを設置することで、触媒反応、電気化学反応などをオペランド(実動作下)条件下で、透過型の軟X線吸収分光法で調べることができます。



[BL6U] 波数空間分解光電子分光装置

価電子の特異な振る舞いによって超伝導・磁性・触媒活性など様々な電子物性や機能が発現します。軟X線の広い光エネルギー範囲と広角取込電子エネルギー分析器の特質を活かし固体物性物理・分子科学の研究を推進しています。



[BL7U] 高分解能角度分解光電子分光装置

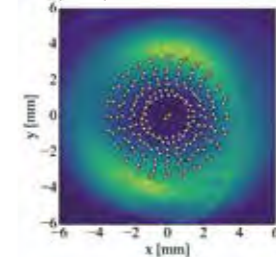
10電子ボルト以下の低いエネルギーの励起光を用いた高分解能角度分解光電子分光装置です。光を物質に照射して固体内部深から放出された電子の放出速度と方向を調べ、対象とする物質の特微的な性質(電気伝導、誘電特性、磁性、超伝導など)が発現する機構を調べることができます。

UVSOR-IIIを利用した研究成果

シンクロtron光で科学する原子・分子、物質、生命、宇宙

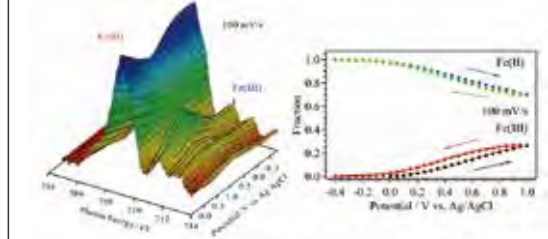
[BL1U] 放射光ベクトルビームの発生

ベクトルビームというのは、光ビーム内の偏光方向が一定の規則に従って空間的に変化する特殊な光です。顕微鏡、ナノテクノロジー、情報通信技術などへの応用を目指して活発に研究されています。なかでも、超高分解像度の顕微鏡への応用が2014年のノーベル化学賞の受賞対象となったことはよく知られています。UVSORでは、2台のアンジュレータを用いてベクトル放射光ビームを生成することに世界で初めて成功しました。この成果を応用することで強力なベクトルビームを紫外線やX線の波長領域で生成できるようになり、物質科学や生命科学における新たな研究手法の開発に結び付くことが期待されます。参考文献: Matsuba *et al.*, Appl. Phys. Lett. 113, 021106 (2018).



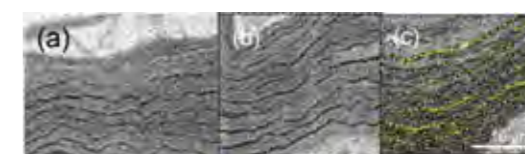
[BL3U] 電位変調XAS法による電気化学反応のオペランド観測

電池などの様々なデバイスの動作メカニズムを理解するうえで、オペランド(実動作下)条件下で電気化学反応を調べることが重要です。軟X線吸収分光法(XAS)は溶液中の特定原子の局所構造を調べることができる手法です。本研究では、一つの光エネルギーごとに電極電位を掃引して、その時の吸収量を一度に測定する、電位変調XAS法を開発することで、サイクリックボルタメトリーと同じ電位掃引速度で電気化学反応をオペランド観測することに成功しました。図は硫酸鉄水溶液のFe-L端のXASを100mV/sの電位掃引速度で測定した結果で、電位変化により鉄イオンの価数が変化することを見出しました。本研究で開発した測定手法により、電池などのデバイスの実動作下での電解質溶液と電極固液界面の元素選択的な局所構造解析への道が開かれました。参考文献: M. Nagasaka *et al.*, Rev. Sci. Instrum. 85, 104105 (2014).



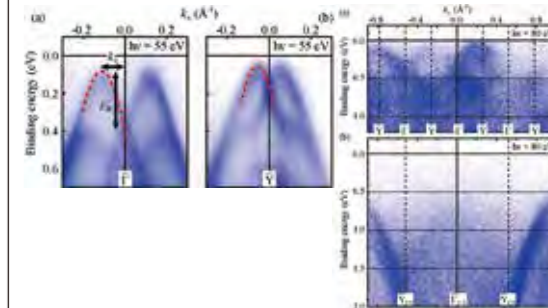
[BL4U] ヒト皮膚への薬剤浸透分布の観測

これまでは細胞のサイズ以下の高分解能で、皮膚への塗布薬が浸透する様子を観察する手段はありませんでした。この研究では、高分解能で2次元化学分析の可能な走査型透過X線顕微鏡を用いて、皮膚炎の塗布薬であるデキサメタゾンの皮膚の深さ方向への浸透の様子の観察を行いました。その結果、塗布薬の分布を示す化学的指標として、皮膚とデキサメタゾンそれぞれの化学的構造の違いを利用しました。その結果、表皮脂質の多い角質細胞の層に多く蓄積されていることが分かりました。この他に細胞、ナノ物質、隕石、燃料電池など、様々な試料を対象に研究を行なっています。参考文献: K. Yamamoto *et al.*, J. Control. Release 242, 64 (2016).



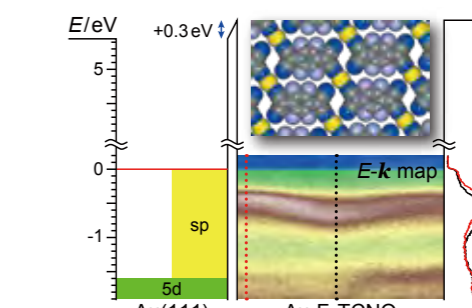
[BL5U] 結晶表面の1次元原子鎖におけるスピン軌道分裂

近年、次世代の半導体素子の要素技術として、電子の持つスピン(極小の磁石的性質)を電荷と併用するスピントロニクス技術に注目が集まっています。この研究では、半導体結晶の表面に形成された単原子鎖状構造の電子状態とスピン構造を角度分解光電子分光と理論計算の組み合わせにより調査しました。その結果、磁化インジウム表面に作製したビスマス単原子鎖において、これまでに観測された中でも最大級のスピン軌道分裂が現れていることを明らかにしました。今後、結晶表面の1次元スピン構造に関する理解が進み、スピントロニクス技術の進展に寄与することが期待されます。参考文献: T. Nakamura *et al.*, PRB 98, 075431 (2018).



[BL6U] 金原子と有機単分子層の高電導ネットワーク

有機半導体は光エレクトロニクスやエネルギー変換素子として有望な材料です。電子を引き付けやすい有機半導体として有名なF₄TCNQ分子を用いて高い電気伝導度を持つ単分子層膜を作製することに成功しました。電子回折と角度分解光電子分光を用いて、単結晶表面上でF₄TCNQ分子が金原子とネットワークを形成し、金原子から分子への電荷移動により強い分子間相互作用が実現されることを解明しました。参考文献: H. Yamane, N. Kosugi, J. Phys. Chem. Lett. 8, 5366 (2017).



[BL7U] 有機結晶中の伝導電荷は振動の十二単を纏う

有機半導体の電気伝導特性の本質はまだ完全に理解されていません。角度分解紫外光電子分光により、ルプレン分子の結晶中を伝搬する電荷は、エネルギーの小さな集団振動とエネルギーの大きな局所的な分子振動から受ける多重の量子効果で、その運動を大きく変化させることが初めて明らかとなりました。高性能有機材料の実現には、個々の分子デザインだけでなく、集合したときの結晶構造とそこにおける分子の相対関係が重要な因子であることを意味します。参考文献: F. Bussolotti *et al.*, Nat. Commun. 8, 173 (2017).

