

SPRing-8

年報 2006年度

(追補版)

追加項目

3. 施設の現状と進展

3.3 ビームライン実験ステーション

3.3.1 共用ビームライン

BL47XU 硬X線光電子分光



2006年度には一般共用、ナノテク支援、産業兵庫県地域結集事業課題を支援する一方でビームラインの高度化を行った。また、新たに先端計測分析機器開発事業（JST）に参画し、3次元化学状態走査硬X線光電子顕微鏡装置の開発を進めた。BL47XUは2005B期から本格的な一般共用ビームライン（硬X線光電子分光およびX線CT課題に特化）として稼動しており、学術研究利用のみならず産業利用も大きく増大し、バルク敏感であることや界面における電子状態を測定可能である特徴を十分に活かしたユーザー利用が活発に行われている。前年度までは、分光できる光電子の運動エネルギー値の上限が6keVであったが、硬X線光電子分光アナライザーの耐電圧性能を向上させたことによってエネルギーの上限を8keVから10keVに上げることができた。これにより、さらに15~20nmにも及ぶバルク部の埋もれた界面の電子構造解析が可能となった。この高エネルギー化に伴い、そのエネルギー領域での高エネルギー分解能を実現するために、Siのチャンネルカット結晶を真空ビームラインに導入した。また硬X線を用いた光電子分光では、物質の光イオン化断面積が小さいために捕集効率・スループットが小さくなる。この問題を克服し、更なるハイスループットを目指し、光学ハッチに縦集光ミラー（反射材：Rh）2部の増設を行った。この縦集光ミラーと実験ハッチに横

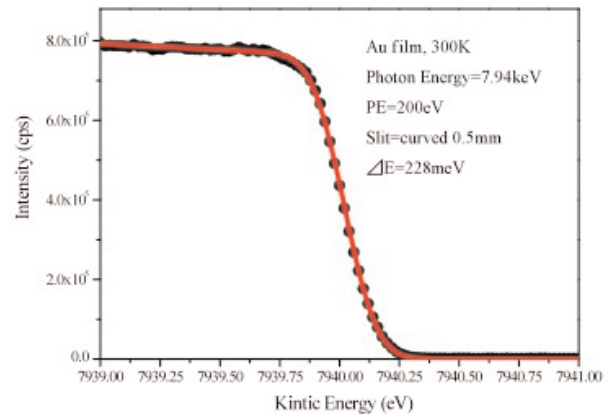


図2

集光光学ミラーを配置・組み合わせることで、試料位置でのビームサイズ垂直 $38\mu\text{m}$ ×水平 $34.8\mu\text{m}$ の集光を達成できた。このX線光学系を図1に示す。これにより、従来よりも50倍程度の光電子捕集強度向上が達成できたとともに、金のFermi端近傍を実測した結果として、228meVのエネルギー分解能を実現している（図2）。

3次元化学状態走査硬X線光電子顕微鏡の開発（JST先端計測分析機器開発事業：2006年度より）もBL47XUをホームグラウンドとして進めている。これは、SPring-8のX線アンジュレーターからの6keV-10keVの高輝度高度単色化収束硬X線を試料表面に照射し、広い捕集立体角を持った広角対物レンズと角度分解型アナライザーの組み合わせに

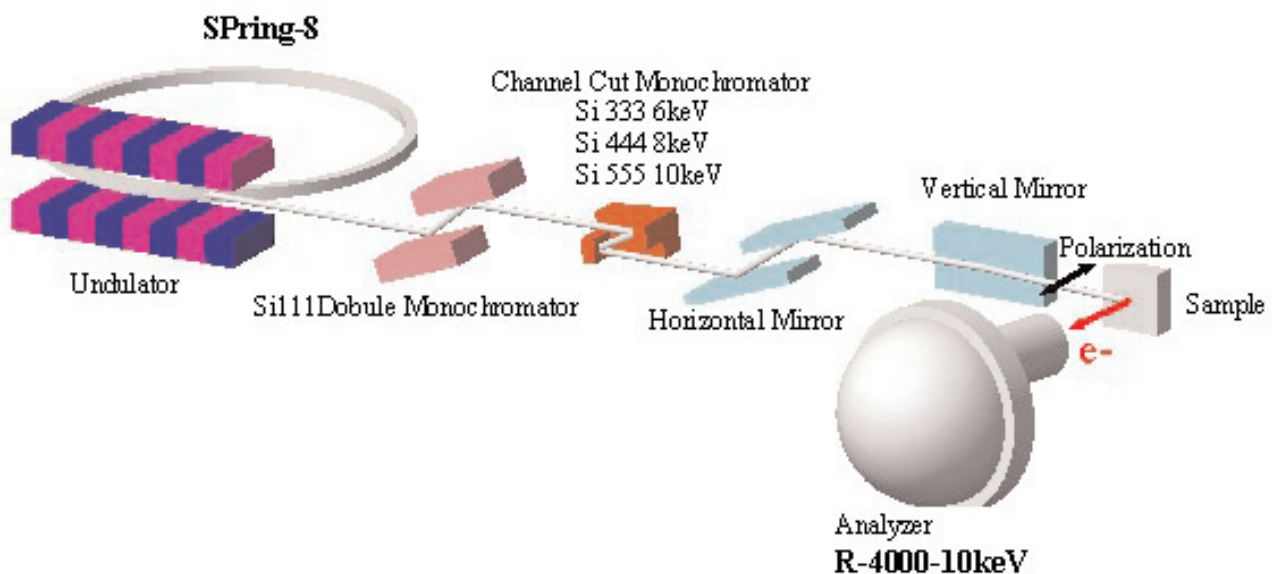


図1

よって試料の角度を変えずに光電子を分析し、その脱出角依存性から深さ方向の化学状態分布を知るものである。さらに試料を2次元走査する事により、化学状態の3次元分布を知ることが出来る。この装置開発により、Si-LSIを初めとする2次元、3次元ナノ構造を持ったデバイスの研究開発に資すると期待される。主なJASRI分担開発内容は1. 広角対物レンズの開発、2. K-Bミラーを導入し、硬X線光電子分光法に特化したシステムの構築、3. 1と2のそれぞれの開発要素を最適な組み合わせで行う際に不可欠で基盤となる真空槽や架台を新たに構築することである。

広角対物レンズの開発では既設のR-4000 SCI-ENTAアナライザー（捕集立体角 $\pm 7^\circ$ ）の前段部に 60° 以上の広い捕集立体角を持った広角対物レンズを設置し、さらなるハイスループット化を実現するとともにアナライザーを回転させることなく角度分散の情報を取得する。この対物レンズの主要開発要素は、1. 補正電極部構造の簡素化による放電防止対策を行うこと、2. 等電位を乱す表面粗さを除くためAl材適応鏡面仕上げとすることであり、その特徴は捕集立体角 $\pm 45^\circ$ でWorking Distanceが10mmと非常に小さい点にある。またレンズでは、収差をおさえるために、回転楕円形状meshを採用している点が、特徴として挙げられる。2006年度内に、対物レンズ自身は完成し、電子収束状態評価が進行している。

またK-Bミラーの導入では $\phi 1\mu\text{m}$ ～サブミクロンのスポットサイズを目標とする。図3にK-Bミラ

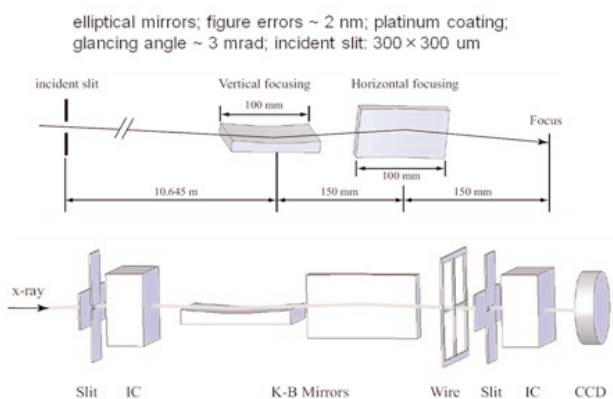


図3

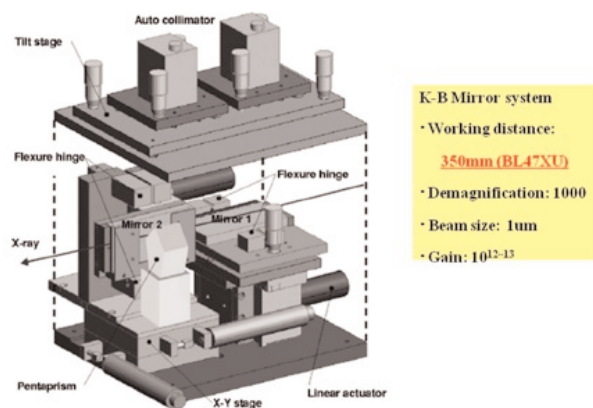


図4

ーシステムのX線光学系を、図4にK-Bミラーのマニピュレータと特徴を示す。硬X線光電子分光法は回折実験や吸収、反射測定に比べて高フラックスの励起光源を必要とするため、スループットの大きいK-B配置ミラー方式の集光が有利で、大阪大学と理化学研究所がSPring-8で開発を進められてきた高精度ミラーシステムはスループットも十分に大きく（1ミクロン集光で1011 photons/sec）、本開発の目的に最適であると判断した。入手可能なミラーの焦点距離が100mmに限られていること、及びアライメント機構が非常に複雑精妙で、真空内に設置するには根本的な設計の変更が必要であることなどが問題であったが、主真空槽をコンパクトに設計することにより解決案を見出した。また、ワーキング・ディスタンスが350mmのミラーを作製が可能であることも Ray Trace 計算から示唆されており、開発設計を進めている。

利用研究促進部門
分光物性IIグループ
池永 英司