

2 県有ビームライン

1. 県有ビームラインの現状

7本の県有ビームラインでは表1に示す通りEUV、軟X線、Tender X線、及び硬X線を用いた利用研究が行われている。なお、BL18は過年度より継続的に実施してきた利用再開に向けての整備が概ね完了して2020年度より利用者受け入れを開始し、2021年度には複数の課題が実施された。以下に2021年度に実施した主な機器整備について報告する。

(1) BL07 形状可変集光ミラーの導入

放射光の集光によるマイクロビーム形成には反射面を楕円筒形状に精密加工した全反射ミラー2基を組み合わせたKirkpatrick-Baez (K-B) ミラーが広く

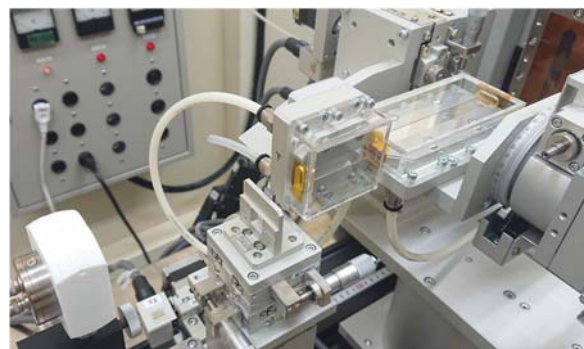


図1 BL07光学ハッチに設置したK-Bミラー用いられている。光源が超伝導ウイグラーであるBL07が得意とする高エネルギー域におけるX線マイクロビーム形成とX線顕微鏡の開発を目指してK-Bミ

表1 県有ビームラインの概要

ビームライン	光源	光子エネルギー	主な実験手法
BL07 バイオ・イメージング	超伝導ウイグラー (4 T)	5 keV – 35 keV 白色光 (ピーク 8 keV)	<ul style="list-style-type: none"> ・ X線イメージング (CT) ・ X線回折 ・ タンパク質 X線回折 ・ 高エネルギー-XAFS ・ 蛍光 X線分析 ・ 照射 (放射線効果)
BL09 照射・結晶構造	偏向電磁石	白色光 (ピーク 4 keV)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 照射 (放射線効果) ・ 白色・単色 X線トポグラフィ
BL10 ナノサイエンス	偏光可変 アンジュレータ	40 eV – 900 eV	<ul style="list-style-type: none"> ・ 光電子顕微鏡 ・ 角度分解 X線光電子分光 ・ NEXAFS
BL11 局所構造	偏向電磁石	2.1 keV – 23 keV	<ul style="list-style-type: none"> ・ XAFS ・ X線小角散乱
BL12 表面界面	偏向電磁石	40 eV – 1500 eV	<ul style="list-style-type: none"> ・ NEXAFS ・ X線光電子分光
BL15 物質科学	偏向電磁石	3.5 keV – 23 keV	<ul style="list-style-type: none"> ・ X線回折 (薄膜、粉末) ・ X線反射率測定 ・ 単色 X線トポグラフィ ・ XAFS
BL18 EUV 光照射	偏向電磁石	～ 92 eV	<ul style="list-style-type: none"> ・ EUV 光照射

ラーを導入した(図1)。図2に焦点位置で測定したマイクロビーム形状の例を示す。水平(横)方向(図2上)・鉛直方向(図2下)ともに約1 μm 幅に集光したX線が得られている。

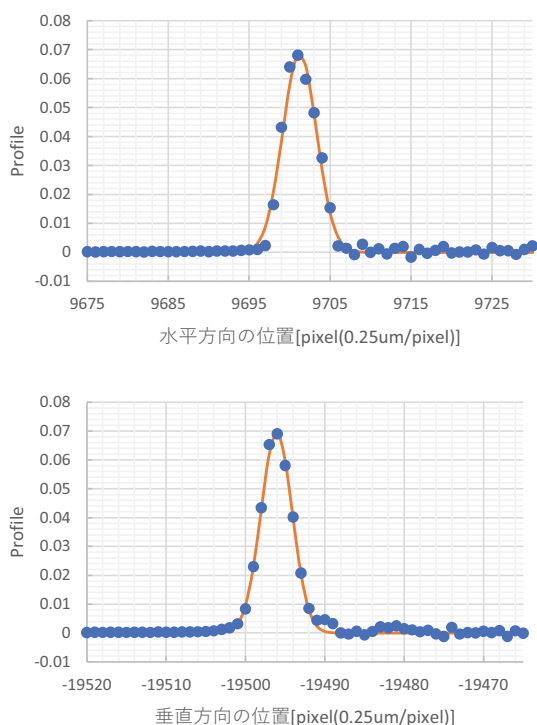


図2 水平方向(上)及び垂直方向(下)のビーム形状

(2) 波長分散型XAFS測定技術の開発

XAFS測定は光源からのX線に対する分光結晶の角度の走査により吸収スペクトルを取得することが一般的な方法である。しかし、全測定エネルギー域のスペクトルを同時に得ることができないため経時変化を追跡する時分割測定の時間分解能は分光結晶の操作時間で律速される。一方、偏向電磁石光源やBL07のような超伝導ウイグラー光源では水平方向に広がった白色X線が得られるため、一定の曲率で湾曲させた単結晶を分光結晶に用いることにより焦点位置で一定のエネルギー範囲で連続スペクトルを有するX線を形成することが可能である。焦点位置に置かれた試料に入射するX線の進行方向とエネルギーは1対1に対応するため、試料を透過したX線強度の分布を位置敏感検出器で測定することにより全エネルギー範囲での吸収スペクトルを同時に測定することが可能である(Dispersive XAFS、以下DXAFS)。しかしながら、分光結晶を理想的な形状に湾曲させることが難しく

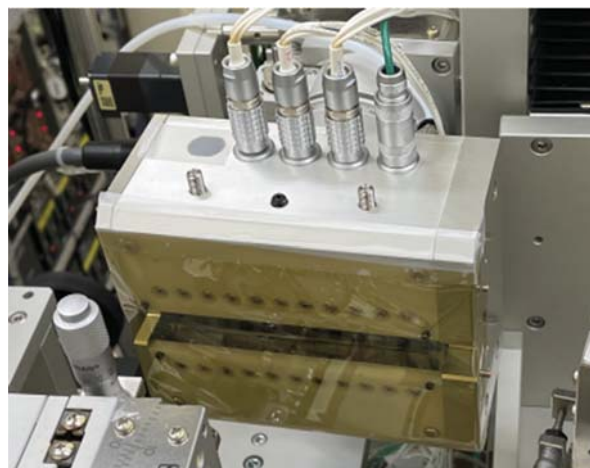


図3 可変集光分光結晶の外観。アクチュエーターが取り付けられた分光結晶本体(厚さ0.5 mm のSi(111)単結晶)は筐体に収納されている。

収差によるスペクトルのゆがみが発生しやすい。そこで、結晶の湾曲形状を精密に制御するため裏面に複数のアクチュエーター(ピエゾ素子)を取り付けた分光結晶(図3)の開発を通じてDXAFSの立ち上げに着手した。

図4はPilatus 100Kを用いて測定した透過光強度プロファイルから導出した Nb_2O_3 のBN希釈ペレット(上)及びNb箔(下)のXAFSスペクトルであり、NbのK吸収端が明瞭に捉えられるとともにそれぞれのXAFS振動の違いを反映した信号が得られている。今後も、分光結晶の湾曲形状制御の更なる精密化やX線エネルギー較正法等の技術検討を継続的に実施する予定である。

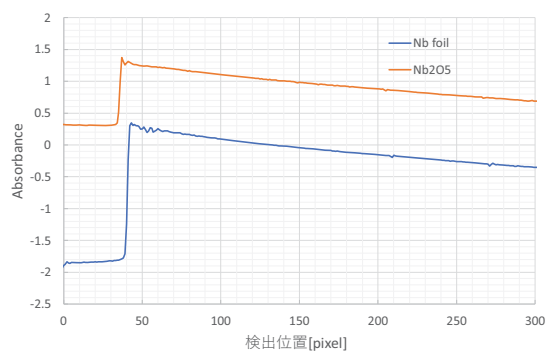


図4 Nb_2O_3 (上)とNb箔(下)のDXAFSスペクトル

(3) NEXAFS用蛍光X線検出器

光電子分光と軟X線吸収分光(NEXAFS)の課題実験を受け入れているBL12に全蛍光検出NEXAFS測定用に真空対応蛍光X線検出器(単素子SDD)を導入した。BL12では炭素等の軽元素を対象としたNEXAFS測定が多いため、容易に減衰する低エネルギーの蛍光X線の検出が必要である。軽元素の蛍光X線の検出感度を高めるため、今回導入したSDDは窓材による減衰がないウィンドウレス(窓無し)としている。導入したSDDを用いた測定例として全蛍光収量法によるHOPGのC-K吸収端のNEXAFSスペクトルを図5に示す。

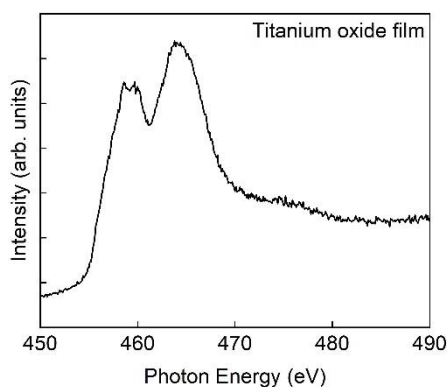


図5 HOPG C-K吸収端のNEXAFSスペクトル

(4) 光電子顕微鏡装置高電圧電源更新

BL10に設置された光電子顕微鏡(PEEM)装置は導入後十数年が経過しており、電子レンズ及び信号検出系の高電圧電源の経年劣化により不安定性の兆候や表示部の不具合が発生していたため新しい装置に更新した(図6)。更新に際しては、測定操作の半自動化や測定ソフトウェアとの連携等によってPEEMの操作性を向上させるため、LabViewを使用したPC上からの遠隔制御を可能とする機能を持たせた。



図6 更新したPEEM高電圧電源

(5) 高温加熱器試料ホルダー部材更新

BL09で主に実施されているX線照射とX線トポグラフィの実験でもちいる1500°Cまでの試料加熱に対応した高温加熱器が備えられている。高温になる試料ホルダーや熱電対などの試料周辺部材はモリブデンなどの耐熱材料だが、繰り返し使用するうちに高温による劣化・損傷が顕在化してきた。そこで図7に示すように、これらの試料の周辺部材の更新を行った。



図7 更新したBL09高温加熱器耐熱試料ホルダーと熱電対

2. まとめ

上記の通り2021年度を通じて経年劣化への対応を含めて7本の県有ビームラインの維持管理を行うとともに、県有ビームラインの利用者に対する利用支援を継続的に行った。更に利用者の利便性向上に向けた測定機器の更新・導入とそれらの立ち上げ調整、及び利用技術高度化の研究開発を継続的に行った。

九州シンクロトロン光研究センター
ビームライングループ
廣沢 一郎