

核共鳴散乱を利用した実験の BL35XU 移転による アップグレードとコミッショニング

公益財団法人高輝度光科学研究センター

放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室

依田 芳卓、永澤 延元、バロン アルフレッド

1. はじめに

核共鳴散乱を利用した共同利用実験はビームライン再構築の先陣を切って、2021 年春に BL09XU から BL35XU に移転した。2021A にはコミッショニングが行われ、2021B からは共同利用を開始している。移転に伴い、フラックスの増強、幅広いエネルギー領域での集光、高分解能モノクロメータ出射エネルギーの安定化による実質的な分解能の向上、核種や測定手法の切替時間の短縮などのアップグレードが実現したのでここに報告する。

2. 光源・光学系

核共鳴散乱のほとんどすべての実験はシグナル強度が十分ではなく、試料への入射フラックスの増強はデータ精度の向上や測定条件・測定試料の増加に直結する。BL35XU の光源の最大の特徴は 20 mm の短周期アンジュレータである。32 mm の SPring-8 標準アンジュレータに比べて、⁵⁷Fe の 14.4 keV を含め核共鳴散乱で利用される多くの核種のエネルギーにおいて、2 倍以上の強度をもつ¹⁾。光学ハッチには液体窒素冷却のビームラインモノクロメータの下流に高分解能モノクロメータのための定盤、さらに下流には円筒面湾曲型ミラーが設置されている。定盤には核種やエネルギー分解能の迅速な切替が可能のように、6 つのゴニオメータがモータ退避が可能な形で置かれている。現在、⁵⁷Fe (3 つの分解能)、¹⁵¹Eu、¹¹⁹Sn、¹⁶¹Dy 用の高分解能モノクロメータおよび ⁶¹Ni や ¹⁷⁴Yb などの高エネルギー核種用の Si220 チャンネルカットが常設されている。また ¹⁴⁹Sm の利用も可能である。表 1 に分光後に得られた PIN フォトダイオードで測定されたフラックスを示す。ほとんどの分解能、核種で移

転前に比べ 2 倍以上のフラックスが実現している。

Pt をコーティングした円筒面湾曲型ミラーにより幅広いエネルギーでの集光が可能となっている。¹⁶¹Dy の共鳴エネルギー 25.7 keV までは焦点距離 3 m、実験ハッチ 1 の上流壁からは 1.5 m の位置に集光され、約 50 μm のビームサイズとなる。⁶¹Ni などの高エネルギー核種においては実験ハッチ 2 で集光ビームが得られる。

実験ハッチ 1 最下流には主にタンパク質の核共鳴非弾性散乱で利用される 0.8 meV の分解能を持つ ⁵⁷Fe 用モノクロメータが設置されている。高分解能モノクロメータからの出射エネルギーは光学素子の温度やメカニカルな微小回転に敏感であるため、実験ハッチ 1 および光学ハッチの高分解能モノクロメータ定盤は恒温の空気を送り出す空調機で精密空調されている。図 1 に実験ハッチ 1 の約半日の温度変化と 0.8 meV 高分解能モノクロメータからの出射エネルギーの変化を示すが、変動は ±0.1 meV に収まっており、精度の高い測定が可能となっている。

表 1 BL35XU で測定された各種高分解能モノクロメータ後のフラックスおよび BL09XU との比較

Nuclei	Energy[keV] (Resolution)	Flux [× 10 ¹⁰ ph/s]	Factor [BL35/BL09]
⁵⁷ Fe	14.4 (6 meV)	16	2.1
	14.4 (3.5 meV)	5.3	1.9
	14.4 (2.5 meV)	3.3	2.4
	14.4 (0.8 meV)	0.56	2.1
¹⁵¹ Eu	21.5 (1.2 meV)	1.5	3.2
¹¹⁹ Sn	23.9 (1.5 meV)	0.38	3.4
⁶¹ Ni	67.4 (~0.35 eV)	7.4	2.3

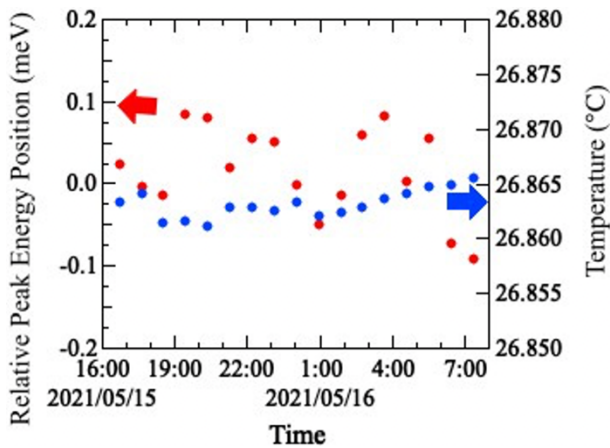


図1 実験ハッチ1の温度とハッチ下流の高分解能モノクロメータからの出射エネルギーの時間変化

3. 核共鳴散乱を利用した各種分光装置

BL35XU では核共鳴散乱を利用した異なる 3 つの手法、1) 放射光メスバウア分光 (時間領域ならびにエネルギー領域)、2) 核共鳴非弾性散乱、3) 時間干渉を利用した準弾性散乱実験がサポートされている。エネルギー領域メスバウア分光に利用されるアナライザは実験ハッチ 1 に、核共鳴非弾性散乱用のクライオスタットならびに準弾性散乱回折計は実験ハッチ 2 に常設されて、手法の切替時間を短くするとともに装置の信頼性を高めている。各分光装置のコミッショニングにおいてはユーザーも JASRI 外来研究員としてテスト実験に参加いただき、ミラーからの集光ビームを用いた DAC による高圧下での ^{57}Fe 時間領域メスバウア分光、超伝導マグネットを使った高エネルギー核種 ^{174}Yb でのエネルギー領域メスバウア分光、準弾性散乱実験などが行われた。いずれも増大したフラックスにより、より高精度なデータ取得やより短時間な測定が実現している。

4. まとめ

核共鳴散乱の共同利用実験の BL09XU から BL35XU への移転ならびにコミッショニングを行った。新たなビームラインでの実験であるため細かなトラブルはあったものの、全体としては順調に実施された。予想されたフラックスの増大が実現し、今後ユーザー実験でのデータ精度の向上や測定時間の短縮につながると期待される。ただし、14.4 keV より低いエネルギーや 29 keV から 43 keV のエネルギーは利

用できないため、 ^{169}Tm 、 ^{83}Kr 、 ^{229}Th 、 ^{40}K 、 ^{125}Te 、 ^{121}Sb などの実験には BL19LXU などの他のビームラインを利用することとなる。その場合でも JASRI スタッフのサポートは受けられるので BL35XU 核共鳴散乱の担当者にご相談いただきたい。

謝辞

上に述べた移転やコミッショニングは理研の大坂研究員、理研エンジニアリングチームを始めとする理研スタッフおよび JASRI 光源基盤部門、JASRI 技術支援チームを始めとする JASRI スタッフ、核共鳴散乱研究会を中心とするユーザーグループの方々のアイデアや協力を得て実現された。この場を借りてお礼申し上げたい。

参考文献

[1] Calculated by using SPECTRA (<http://cheiron2014.spring8.or.jp/SPECTRA/SPECTRA%20Home.htm>)

依田 芳卓 YODA Yoshitaka

(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0803 ext 3939
e-mail : yoda@spring8.or.jp

永澤 延元 NAGASAWA Nobumoto

(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0803 ext 3395
e-mail : nagasawa@spring8.or.jp

バロン アルフレッド BARON Alfred

(公財) 高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0803 ext 3883
e-mail : baron@spring8.or.jp