

BL15XU

広エネルギー帯域先端材料解析

1. ビームライン概要

本ビームラインは、独立行政法人物質・材料研究機構の専用ビームラインとして放射光を使った材料の先端解析また先端材料開発や新規物質開発支援を行うため、さまざまな結晶構造並びに電子構造の分析を行っている。リボルバー切替方式のアンジュレーターを用いることにより、一本のビームラインで軟X線から硬X線までの広い範囲（0.5～60keV）で高輝度放射光の発生を実現している。また二結晶分光器も広いエネルギー範囲をカバーするため計算結合方式のゴニオ制御を行い、Si(111)二結晶分光器の1次光として2.2～19.8keVのエネルギー領域をカバーしている。

広いエネルギー範囲で高輝度の単色X線を自由に選んで利用できることは複数の分析手法を活用できるだけでなく、ある特定の分析手法に限っても対象物質を広く選択することが可能である。この特徴は、文部科学省ナノテクノロジー総合支援事業（2002B期より開始し2006年度が最終年度）においても、外部利用者によるナノ構造物質の物性解明に活かされてきた。2007年度からは文部科学省のナノテクノロジー・ネットワーク事業がスタートし、より高度になった外部利用者のニーズに沿ったビームライン利用を推進することとなった。

2008年度下期（SPring-8 2008B期）からは、Si二結晶分光器の冷却方式を“ピンポスト結晶を水冷する直接冷却方式”から“液体窒素を用いた間接冷却方式”に変更し、冷却能力を高め、より良質の単色光を実験ステーションに導入する予定である。

2. ビームラインの現状

・多波長のX線を使った硬X線光電子分光系の整備

（財）高輝度光科学研究センター、独立行政法人原子力研究開発機構、広島大学HiSORの協力の元、2006年度に硬X線光電子分光装置の導入を行った。Si(333)のチャンネルカット結晶をビームラインに導入し、6 keVの高分解能単色X線を用いることによりAuのFermi端の実測値として60meVのエネルギー分解能を実現している。前述したように本ビームラインは広エネルギー帯域の特徴を有していることから、硬X線光電子分光技術においても多波長（かつ高いエネルギー分解能を持つ）の単色X線を利用することが望ましい。そこで、従来のSi(333)チャンネルカット結晶に加えてSi(311)、Si(220)チャンネルカット結晶を使用するため、これら複数の反射面を高精度で切り替えて使用できるチャンネルカット結晶用ゴニオメータを新

たに導入した（図1）。これによって4 keV以下で高分解能単色X線を利用した光電子分光も可能になり、多波長のX線を使った深さ方向に対する電子状態の解析を行うことが可能になった。また、一般にX線のエネルギーが高くなると元素のイオン化断面積が小さくなるため硬X線光電子分光では微量な軽元素の観察が困難という問題があったが、4 keV以下の中エネルギー領域のX線を使うことによってこの問題を改善したバルク敏感光電子分光が可能となる。

なお、全体のX線光学系は、Si(111)分光器で分光し、更に後段のチャンネルカットSi結晶を使って高分解能化し、1枚のベント・シリンドリカルミラーを使って試料上に集光する光学系で、2006年度のX線光学系と基本的には変更はない。

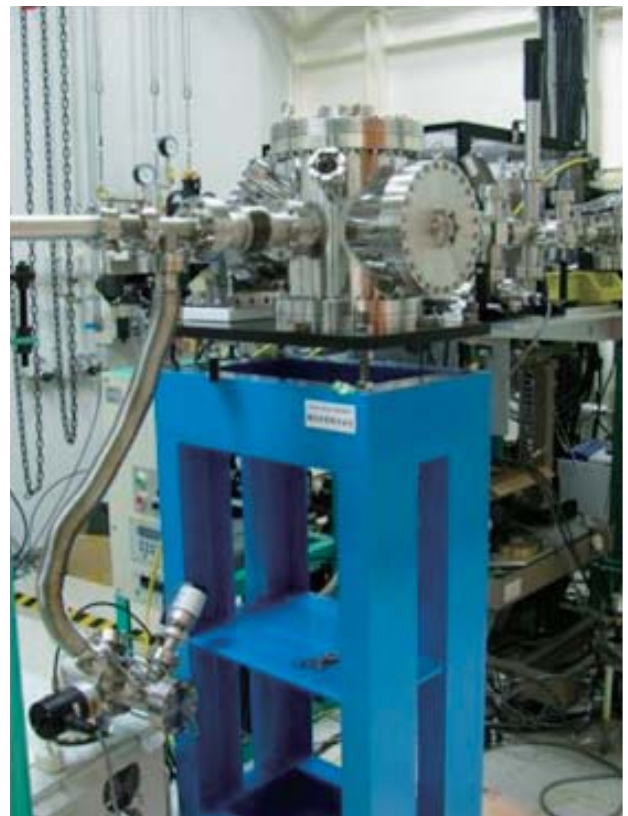


図1

3. 硬X線光電子分光の実施例

前節で述べたように、硬X線光電子分光装置によって試料のより深部の分析が可能となり、ナノ構造材料の物性研究に多数利用されるようになった。一例として、2007年度からスタートした文部科学省のナノテクノロジー・ネット

ワーク事業で行ったドイツGutenberg大学のFelser教授らのグループの結果を以下に簡単に紹介する。

ハーフメタリックホイスラー合金 Co_2MnSi と MgO とのトンネル接合による素子はスピントロニクス的重要な要素であるが、その接合界面や埋もれた層の電子状態の解析が6 keVの硬X線を使った光電子分光によって可能となった。図2は、 AlO_x (1nm)/ MgO の下に埋もれた Co_2MnSi の価電子帯スペクトルを示しており、 MgO 層が20nm厚の時 (b) でも MgO のバンドギャップの中に深層の Co_2MnSi 由来の電子状態密度 (図2中の矢印) が見えている。この結果から、 Co_2MnSi は界面において変質を起こさずバルクと同じCoやMnのdバンド (Co t_{2g} state, Mn e_g state) の特徴的な電子状態を維持し、同ホイスラー合金がスピントロニクスデバイスとしての機能性材料として有力であることが分かった^[1]。

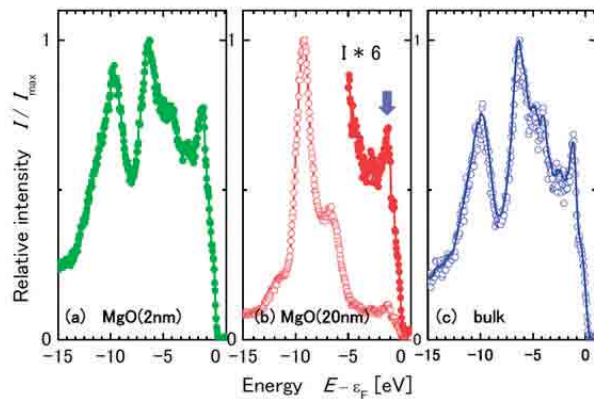


図2

4. 二結晶分光器の液体窒素冷却化のための設計

2008年度下期よりSi二結晶分光器の冷却方式を“ピンボスト結晶を水冷する直接冷却方式”から“液体窒素を用いた間接冷却方式”に変更する予定であるが、2007年度はそのための設計を行った。二結晶分光器としては72°の高Bragg角まで掃引が可能な計算結合型分光器の基本構造は維持しつつ、結晶の冷却方式を液体窒素による間接冷却化する。二結晶の幾何学的配置は、シンプルな平行平板配置とする。また、二結晶分光器のいっそうの広エネルギー帯域化を実現するため、既にBL11XUで採用されているSi (111) 結晶とSi (311) 結晶の並列配置の採用を検討した。Si (311) 結晶の導入により、二結晶分光器の一次光のエネルギーの上限値を36keVまで上げることが可能になる。本ビームラインは、高次光の除去法として、回転傾斜配置によって生じる“一次光と高次光の空間的な分離”を利用してスリットで高次光を除去する簡便な方法を従来採用してきたが、液体窒素化後はシンプルな平行平板配置となり従来の高次光除去法が適用できないため新たに+-配置の高次光カット用ミラーを導入する。

5. 謝辞

BL15XU/SPRing-8での光電子分光装置の導入にご尽力いただいた広島大学HiSORの有田将司氏、島田賢也氏、生天目博文氏および谷口雅樹氏、独立行政法人原子力研究開発機構・放射光科学研究ユニットの竹田幸治氏および齊藤裕児氏、(財)高輝度光科学研究センターの池永英司氏に感謝いたします。

ビームラインの液体窒素化の設計にあたりご指導を頂いた、(財)高輝度光科学研究センターの望月哲朗氏、後藤俊治氏、竹下邦和氏、古川行人氏および松下智裕氏、独立行政法人日本原子力研究開発機構の塩飽秀啓氏および桐山幸治氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] G. H. Fecher et al.: Applied Physics Letters **92** (2008) 193513.

(独) 物質・材料研究機構

吉川 英樹、上田 茂典、山下 良之
田中 雅彦、小林 啓介
スプリングエイトサービス(株)
勝矢 良雄、野本 大介