

BL25SU 軟X線固体分光

BL25SUは、ツインヘリカルアンジュレーターによる円偏光制御と高いエネルギー分解能を特徴とし、光電子分光(PES)装置、光電子顕微鏡(PEEM)、二次元表示型光電子アナライザー(2D-PES)、磁気円二色性(MCD)測定装置が常設装置として利用されている。また、最下流持込スペースでは、自然円二色性実験や反射法MCDによる深さ分解磁気分極分布解析実験が継続的に進展している。本年度はビームラインの高度化として高フラックスのビームを提供するため回折格子を新たに導入した他、持込スペースでは新たな取り組みとしてフーリエ変換ホログラフィーによる磁気イメージング、および、パルス強磁場MCD測定技術開発がスタートした。本年次報告では、2008年度に実施したビームラインの高度化と測定技術開発の状況について示す。

1. 高効率回折格子の導入

BL25SUは高エネルギー分解能の実現を重視して設計されたビームラインである。しかし、PEEMではBL25SUの円偏光制御が重要であって必ずしも高エネルギー分解能を必要としていない。この場合、エネルギー分解能を多少犠牲にしても、試料上での光子密度がより高いビームを生成することが強く望まれる。特に、ポンプ&プローブ時間分解実験を行う際には必須である。そこで、新たに刻線密度

300本/mmのラミナー型回折格子を導入した。その結果、光子密度が約8倍に増加し、PEEMだけでなく、2D-PESやMCD実験でも測定効率が大きく向上した。この回折格子は半面を高エネルギー用、もう半面を低エネルギーで性能が発揮できるよう刻線深さを最適化してあり、1枚の回折格子を左右にスライドさせることで、広い光エネルギー範囲をカバーすることができる。

2. 既設装置の高度化開発

[PES装置における光学顕微鏡を用いた試料位置調整システムの開発]

PES装置では試料上で軟X線のビームスポットが縦、横とも100 μm 程度に集光されている。よって、これと同程度に小さな試料を測定することが可能だが、そのためには、真空槽内でその小さな試料を集光ビーム位置に効率良く合わせる必要がある。これを目的に、真空槽外からの観察が可能な長距離光学顕微鏡を導入し、試料の拡大視とビーム位置への効率的な位置合わせが可能なシステムを構築した。このシステムは、試料上でのある領域、たとえば、表面清浄化のための劈開が部分的に成功した領域に選択的に軟X線を照射するような場合にも有効である。試験測定の結果(図1)と合わせて、この成果を文献^[1]に発表した。

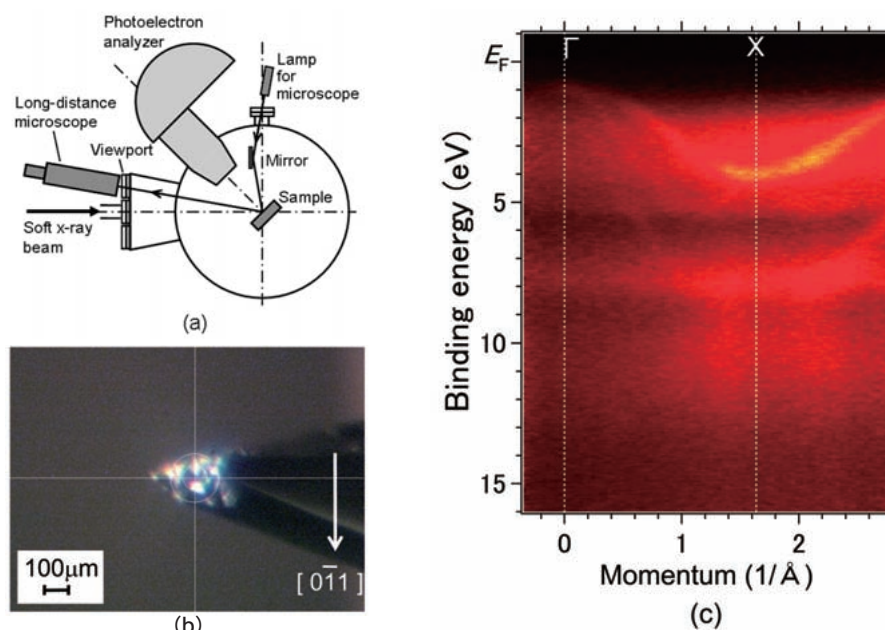


図1 (a) 長距離光学顕微鏡を備えたPES装置のレイアウト。
 (b) テスト実験に用いたシリコン単結晶を、真空槽外から長距離顕微鏡で観察した写真。中央にある縦幅約200 μm の劈開領域に集光軟X線を照射した。
 (c) (b)の劈開領域で観察されたシリコンのバンド分散。

[2D-PESによる表面吸着状態の高精度測定]

2D-PES実験では、測定法に関する技術的ノウハウの蓄積により、これまで困難とされてきた物質最表面構造（たとえば、表面吸着物質など）の光電子回折パターンを精度良く測定することが可能となった。これは、オージェ電子の光エネルギー依存性測定、および、バックグラウンド除去法が新たに確立されたことによって実現した。この技術を応用し、グラフェン/SiC, $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ Ga/Si (111), O/Si, InGa/Si 等などの実験が遂行された。

3. 最下流持込スペースを利用した研究と開発

[反射法MCDによる深さ分解磁気分極分布解析]

本研究は軟X線共鳴磁気反射率による薄膜表面および界面の磁気構造研究であり、測定には偏光エリプソメーターが利用されている。磁気反射率は左右円偏光の散乱強度差として与えられ、磁気散乱振幅分布の深さ変調情報を含む。実験結果とモデル計算プロファイルのフィッティング解析を通じて、原子層オーダーでの磁気分極分布決定が可能である。

[フーリエ変換ホログラフィーによる磁区イメージングの開発]

本開発は、XFEL利用推進研究課題「極小デバイス磁化挙動解析のための回折スペckル計測技術の開発（代表：東北大・角田准教授）」の下で進められている。軟X線を用いた透過型のホログラフィー実験であり、主として磁性膜の磁区構造を数十nmの高空間分解能で得ることができる」と期待される。本年度はフィージビリティ実験が行われ、実際に磁区構造が得られることが確認された。高空間分解能化をはじめ発展的な実験開発の段階に移行していく予定

である。

[パルス磁場による強磁場MCD測定技術の開発]

本開発は、JASRIの競争的資金（GIGNO、中村哲也）の下で、JASRIと東北大学金属材料研究所、東京大学物性研究所の共同研究で進められている。本年度は試験測定機を用いて10テスラまでのパルス磁場による元素選択磁化測定に成功した。今後は20テスラ以上の磁場下での測定を実現することを目標とし、また、その後の本格的な測定が出来るようにクライオスタットや試料マニピュレーターなどの機器整備を行う予定である。

参考文献

- [1] T. Muro, Y. Kato, T. Matsushita, T. Kinoshita, Y. Watanabe, A. Sekiyama, H. Sugiyama, M. Kimura, S. Komori, S. Suga, H. Okazaki and T. Yokoya : “*In situ* positioning of a few hundred micrometer-sized cleaved surfaces for soft-x-ray angle-resolved photoemission spectroscopy by use of an optical microscope” , Rev. Sci. Instrum. **80** (2009) 053901.

利用研究促進部門 分光物性Ⅱグループ

中村 哲也、木下 豊彦

応用分光物性グループ

室 隆桂之

制御・情報部門 制御グループ

松下 智裕