

特集：高輝度 X 線 (I) — SPring-8 —

## 軟 X 線固体分光

菅 滋正

大阪大学基礎工学部\*

### Soft X-ray Solid State Spectroscopy

Shigemasa SUGA

Dept. Material Phys., Fac. Engineering Science, Osaka University

#### 1. はじめに

固体電子状態や表面構造の研究に偏光放射光の利用がいかに有用であるかを我々はこの数年間の PF や AR での研究を通して示してきた<sup>1,2,3)</sup>。SPring-8 では直線部に挿入した極性変調可能な twin-helical undulator を用いて高輝度軟 X 線円偏光を取り出し、他の放射光施設では実行の困難である 0.5 から 3 keV 領域の先端的固体物性研究を強力に推進する。放射波長は  $\lambda_u \cdot \gamma^{-2}$  ( $\lambda_u$  はアンジュレーター周期長,  $\gamma$  はリングエネルギーパラメーター) に比例するので中型リングではこのような高いエネルギーで 100% に近い完全円偏光を得るには困難がある。

#### 2. ビームライン

8 GeV リングからの軟 X 線を利用するには光学素子に対する熱負荷を低減させる必要がある。helical アンジュレーターでは光軸上にピンホールを設けて軸ずれの高調波の熱負荷を遮断し、基本波のみを取り出せる。光学系の調整を考えると円偏光の極性を反転しても光が同じ軸上に放射さ

れる事が重要である。共同チームの北村等による設計によって問題の多くが解決した。当初は 0.5~3 keV を基本波でカバーし将来は 0.1 keV まで利用を考える。遷移金属化合物磁性体や希土類化合物系をその 2p や 3d 内殻励起測定を通して精密に研究するためには、測定は高いエネルギー分解能を必要とする。第一期計画では 2 keV までを非等間隔平面回折格子分光器でカバーすることとした。分光光学系は下図および文献 4 の図 1 を参照されたい。その光学系では入射スリット S1 に集光した光を球面鏡 ( $M_1, M_2$ ) によって収束光として回折格子 (G) に導き、これによって回折された単色光が出射スリット S2 に集光される。広いエネルギー範囲をカバーするために 4 枚の回折格子を使用予定である。全光学系の ray tracing を行ったところ 1.5 keV までの範囲でスロープエラーを考慮しても  $10^4$  を越える分解能が得られる事がほぼ確実である。

#### 3. サイエンス

円偏光を用いた電子状態研究でもっとも興味あ

\* 大阪大学基礎工学部 〒560 豊中市待兼山町 1-3  
TEL 06-850-6420 FAX 06-850-2845  
e-mail suga@mp.es.osaka-u.ac.jp

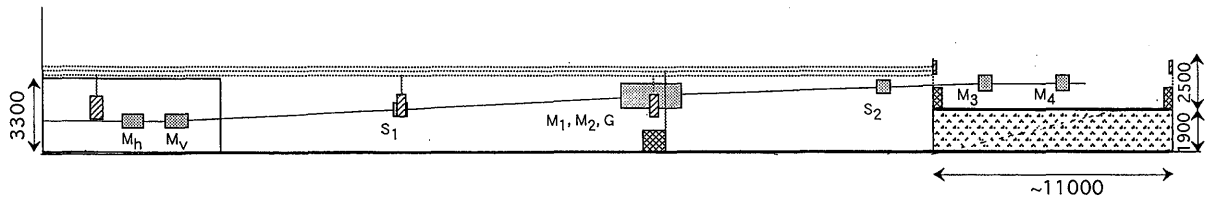


Figure 1. Layout of the SU25 soft X-ray beam line at SPring-8. The experimental deck is 1.9 m above the floor.

るのは磁性体の磁気円偏光 2 色性 (MCD) であろう。内殻吸収の MCD からは磁性をになう 3d あるいは 4f 電子系の  $S_z$ ,  $L_z$  の評価ができる。我々の最近の研究によれば  $\text{CoS}_2$  の“非磁性原子” S の 2p 内殻吸収についてさえも明確な MCD が見られる<sup>5)</sup>。  $\text{Mn}_2\text{Sb}$  などの Mn-Sb 合金でも Sb 内殻吸収に MCD が見られる。非磁性原子の電子状態と磁性原子電子状態との混成が磁性に及ぼしている影響の詳細を調べることは磁性研究に残された重要な課題であり、今後組成元素のできるだけ多くの内殻について MCD を測定したいと考えている。

次に内殻励起共鳴下でのフェルミ準位近傍電子状態の高分解能光電子分光測定があげられる。1 keV 前後の光励起で 2p 共鳴下での 3d 電子状態あるいは 3d 共鳴下での 4f 電子状態を研究することができれば、光電子分光とは言ってもかなり表面効果をおさえてバルク電子状態に迫ることができる。この種の研究は多元素から構成されている酸化物高温超伝導体や重い粒子系の電子状態を対称性を分離して議論するには不可欠である。また磁性体では光電子放出角度分布の磁気円偏光 2 色性が観測され、これをスピン偏極光電子分光とあわせれば磁性の理解が深まる。

光電子放出角度分布測定には 2 次元表示型分析器を用いるのが有利である<sup>6,7)</sup>。同時連続角度分布測定はまた非磁性体の表面構造 (原子配置) 研究にも有力である。この目的で光電子回折が用いられる。これは注目する原子の特定の内殻から運動エネルギーが数百 eV 程度以上の光電子を励

起する時、この原子からの光電子の直接放出波と、近接原子での 1 回散乱波との干渉 (さらにこれに加えて、多重散乱からの寄与があるとされる) によって光電子強度の角度分布  $I(\theta, \phi)$  が  $\theta$  と  $\phi$  に対して顕著に振動する現象である。これまで多くの解析は原子配置のモデルを立て多重散乱を考慮した  $I(\theta, \phi)$  の計算を行ない、それらが観測された  $I(\theta, \phi)$  の振る舞いを良く説明できるように原子配置パラメータの最適値を探す手法で行われることが多かった。しかし広い立体角の  $I(\theta, \phi)$  を連続測定すれば、これを直接フーリエ変換して原子の 3 次元配置を知ることが出来る。この手法は光電子ホログラフィーと呼ばれる。すでに我々は Si 単結晶 (001) 面からの Si2p 内殻光電子ホログラフィーを報告したが<sup>8)</sup> 今後は SPring-8 においてさらに多くの  $E_K$  での測定と、より精度の高い解析を行いたい。

集光鏡 M3 の後方に高分解能光電子分光装置 SCIENTA SES200 を設置する。He 冷凍器により 10 K から室温付近までの温度変化による相転移 (金属—絶縁体転移, 磁気相転移, パイエルス転移, 電荷密度波転移等) に伴う電子状態の変化を研究する。M4 の後段には 2 次元表示型のエネルギー分析器を設置する。手始めに非磁性体の円偏光励起光電子回折の 2 色性を測定し次に磁性体の円偏光励起光電子回折ならびにスピン偏極光電子回折, スピン偏極光電子ホログラフィー等の実験を行う。本計画では大門 寛, 今田 真, 斎藤祐児, 藤沢正美, 宮原恒昱, 曾田一雄氏の大きな協力をいただいている。

## 文献

- 1) S. Suga and S. Imada: *J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **78**, 231 (1996).
- 2) H. Nishimoto et al.: *J. Phys. Cond. Matter* **8**, 2715 (1996).
- 3) H. Daimon et al.: *Jpn. J. Appl. Phys.* **32**, L1480 (1993).
- 4) 岩見基弘, 谷口雅樹, 菅 滋正, 斎藤祐児:  
SPring-8 利用者情報 **1**, 24 (1996).
- 5) T. Muro et al.: *Phys. Rev.* **B53**, 7055 (1996).
- 6) 菅 滋正, 今田 真, 大門 寛: *固体物理* **31**, 775 (1996).
- 7) H. Daimon and S. Ino: *Rev. Sci. Instrum.* **61**, 57 (1990).
- 8) T. Nakatani et al.: *J. Synchrotron Rad.* **3**, 239 (1996).