

PFにおける軟 X 線ビームライン・測定技術の発展と今後の展望

雨宮健太

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

PF では、これまでに様々な真空紫外・軟 X 線ビームラインが建設されてきた。主に軟 X 線領域をカバーする斜入射分光器に限っていえば、当初はフリッパー型、グラスホッパー型、ドラゴン型などの分光器が採用されてきたが、90年代後半に Monk-Gillieson 型不等刻線間隔回折格子分光器が登場し、2000年代半ばの可変偏角機構の付加を経て、現在ではほぼ確立した感がある。確かに、エネルギー分解能($E/\Delta E$)10,000程度を狙う限りにおいては、2軸回転のみで比較的広いエネルギー範囲をそれなりの分解能でカバーできる、この分光器が有効であろう。しかしながら近年、ビームライン(発光分光器のような二次分光器も含む)に対して、さらなる高分解能化の機運が高まりつつあり、例えば 1000 eV において 10 meV、すなわち分解能 100,000 というとてつもない要望も聞かれるようになってきた。こうした超高分解能を、フラックスと両立しつつ達成するためには、高輝度光源の実現はもちろんのこと、新たなコンセプトにもとづくビームライン設計、回折格子やミラーといった光学素子の高精度化、振動やドリフトの制御など、様々な技術のさらなる発展が必要である。また、こういった技術は、マイクロ、ナノといった微小ビームの生成においても必須要件となる。

一方で測定技術の発展も目を見張るものがある。例えば軟 X 線領域の吸収測定には古くから電子収量法が用いられてきた。これは一つには、このエネルギー領域では蛍光 X 線の放出確率が Auger 電子のそれに比べてはるかに小さいことが原因であるが、軟 X 線領域の蛍光 X 線に利用できる検出器が、フォトダイオードかマイクロチャンネルプレートくらいしかなかったことも大きな障害であった。ところがここ数年、シリコンドリフトディテクター(SDD)が急速に発達し、軟 X 線領域でも手軽に部分蛍光収量法による吸収測定が可能になった。よく知られているように蛍光 X 線の減衰長は電子のそれに比べて 100 倍程度長いので、これまで表面感性ゆえに軟 X 線領域では敬遠されていた試料も次々に測定されつつある。光電子分光に関しては、原理的に電子を検出する手法なので、そこまで劇的な変化はないが(もちろん、二次元電子検出器と電子レンズの組み合わせにより、測定効率は飛躍的に向上している)、それでも準大気圧中での光電子分光が可能になるなど、より適用範囲を拓けようという動きが続いている。このような動きは今後もさらに加速すると考えられ、吸収分光法、光電子分光法ともに、ガス雰囲気中、デバイス動作中といった、いわゆるオペランド測定に向けて測定技術を開発していくとともに、エネルギー分解、角度分解、位置分解、スピン分解といった基本的な測定技術についても、より高精度、高効率化を進める必要がある。

本講演では、PFにおけるこれまでの真空紫外・軟 X 線ビームラインおよび測定技術の発展を振り返るとともに、高輝度光源が実現した際にはどのような進展が期待され、そのためにはどのような技術が必要となるかを議論したい。