

◁「海外ビームライン」シリーズ▷

## SRC の直入射型高分解能ビームラインを用いて

横谷 尚睦 (東京大学物性研究所\*)

1995年から1997年までの3年間に計5回、米国ウィスコンシン州のストートンにある Synchrotron Radiation Center (SRC) の直入射型高分解能ビームラインを用い、酸化銅高温超伝導体の高分解能角度分解光電子分光実験をする機会を得ました。1995年当時、酸化銅高温超伝導体の光電子分光研究は超伝導機構を直接的に反映する超伝導ギャップの対称性を確定するために、より品質の高い試料を用いたより精密な実験が求められていました。私は東北大の高橋隆助教授のもとで、ヘリウム放電管を用いた角度分解光電子分光装置を使用して超伝導ギャップの対称性を研究していましたが、それをより高分解能で検証するとともに、ドーパ量を系統的に変えたときの電子状態変化を調べるのが求められていました。そのような状況のもとで、東北大-アルゴンヌ-金材研の共同研究がスタートし、光エネルギー20 eV 付近で当時世界最高分解能を有していた SRC の高分解能ビームラインを用いて実験を行うようになったわけです。

SRC については、そのホームページ (<http://www.src.wisc.edu/>) や、本紙第11巻5号に掲載された報告を参考にさせていただくこととして、ここでは私が使用した高分解能ビームラインやその周りの様子、またこのビームラインを實際用いてみて気付いたことなどについて述べたいと思います。

高分解能ビームラインは、MacPerson 型の直入射分光器を備えたビームラインで、通常 4 meter-NIM とよばれています。名前の 4m は、曲率半径 4 m のグレーティングを用いていることに由来するそうです。その特徴は高分解能かつ高強度にあります。高強度を説明するのは難しいですが、VG のヘリウム放電管を使って1時間はかかっていた Bi 系超伝導体のフェルミ準位付近の角度分解光電子スペクトルが、十数分で測定できたと言えおおよその見当はつくのではと思います。外観では、大きなグレーティングチェンバーとそこからコンパスのよりのびた長い足が印象的です。写真1で右側の太い筒の部分がグレーティングチェンバーで、そこから上にのびているのが足の片方です。グレーティングは低エネルギー用と高エネルギー用を使い分けており、4-62 eV のフォトンを得ることができるそうです。グレーティングの交換、光のエネルギー選択、スリットの調整は、専用のコンピュータで一括制御す



写真1 4m-NIM の全景。本文参照。

る方式になっています。これとビームラインのバルブ類の開閉のスイッチが一つのラックに入れられてビームラインの横におかれています。写真では足の向こう側に見える灰色のラックがそれです。直線偏向性を高めるために光を下から上へと跳ね上げており、結果的に光電子分光装置などの実験装置は地面から1 m 程の高さのプラットフォームにおかれることとなります。プラットフォームは、人間の作業部分と装置自体を載せる部分の二重構造になっています。これは、人間の動きによる振動が装置に伝わらないようにするためですが、我々の用いた装置は架台が作業台部分にはみ出してしまったために、測定中はプラットフォームなるべく上がらないように注意していました。

4m-NIM は SRC が所有しておりその調整等は SRC のスタッフが行います。しかし、実験装置は各ユーザーが自前で調達しなければなりません。従って、マシンタイム(通常3週間)の前後に、装置の取り付け、調整、ペークおよび取り外しを行う必要があります。いくら高分解能、高強度のビームラインを使用しても光電子分光装置自体の分解能が悪ければ全分解能が悪くなりますから、高分解能を目差すグループは装置の性能向上にもかなり力を入れているような印象を受けました。実際、アルゴンヌグループでは検出器の改良をはじめ測定プログラムの開発まで独自に行っていました。最近では SRC 所有の Scienta アナライザー付きの装置を借りることもできるようになりました。

\* 東京大学物性研究所柏分室 〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5-1-5  
TEL/FAX 0471-35-1225 e-mail yokoya@issp.u-tokyo.ac.jp

た。しかし、ユーザーからの使用要請が多く、借りるまでには時間がかかるようです。日本から装置を持って行って測定することは難しいので、向こうのユーザーと普段から仲良くなっておいて、いざというとき貸してもらえるようにすることが必要です。

一方、高精度の実験を行うためには、装置について熟知する事が必要なことは言うまでもありません。このビームラインを使い始めた頃、光エネルギーの経時変化が問題になりました。これは、数 meV のギャップの大きさを議論しなければならない酸化銅高温超伝導体の超伝導ギャップの研究には致命的でした。その原因を探すのにかなりいろいろと試行錯誤を重ねた結果、グレーティングに光をあててある程度暖めてから測定を開始することで解決することができました。これは、ビームライン側で何とかできた話ですが、ストレージング側が原因で起こっているような問題もありました。SRC では 1 GeV (0-8 時) と 800 MeV (12-24) の 2 モードで運転していますが、1995-1996 年頃は 1 GeV モードでは光エネルギーのずれが頻繁に起こっていました。そのため 1 GeV モードは使わないことが多く、使っても相当注意を払っていました。しかし最近では、1 GeV モードも問題なく使うことができるようになったそうです。

さて、4m-NIM の周りに眼を向けてみましょう。SRC には 4m-NIM の他にも高分解能ビームラインがいくつかあります。その一つは、アイオワ州立大学の C. G. Olson 教授が建設した高分解能ビームライン (Extended Range Grasshopper-Seya Namioka monochromators) です。Bi 系超伝導体の超伝導ギャップを角度分解光電子分光ではじめて観測したのがこのビームラインです。ミネソタ大-アルゴンヌ国立研究所の共同で建設された全く同じ型のビームラインが 4m-NIM の隣にありますが、緊急の場合を除いてはあまり利用されていませんでした。また、立ち上がったかどうかわかりませんが、Olson 教授はそのほかにもう一本別のアンジュレータ付き直入射型分光器を建設していました。徹夜で実験していると、休日にも拘わらず真夜中まで仕事をしている Olson 教授をよく見かけました。

1998 年以降、SRC を訪れていないのですが高分解能化



写真 2 右から H. Ding 氏, A. F. Bellman 氏, 筆者。背後は実験装置を載せるためのプラットフォーム。H. Ding 氏の後ろに光電子分光装置が見える。

について大きな進展が見られているようです。まず 200 eV ぐらいのまでの光をカバーするためにアンジュレータ付きの平面グレーティングビームライン (PGM) が立ち上がり、着々とデータが出始めています。さらに高強度、高分解能を目標としたアンジュレータ付きの 4m-NIM ビームラインも調整の最終段階に入ったと伝え聞きました。これらのビームラインに関しては、また別の機会に実際に使用した人からの報告を聞きければと思います。

SRC の 4m-NIM やその周りの様子、気付いた点などを思いつくまま書いてきました。現在日本では、ヘリウム放電管を用いた高分解能装置 (分解能 $\sim 5$  meV) が数台稼働しはじめています。しかし、小スポットサイズ、直線偏光、エネルギー可変の放射光は非常に魅力的です。光電子分光装置のエネルギー分解能も含めた全エネルギー分解能が 1 meV に迫るような超高分解能ビームラインが、日本にもできることを願ってやみません。最後に、SRC の高分解能ビームラインを使う機会を与えてくださった東北大学院理学研究課の高橋隆助教授、アルゴンヌ国立研究所の J. C. Campuzano 教授、また、ともに実験を行い何かとお世話になった現ボストン大学助手の H. Ding 氏に感謝いたします。