

## ◁研究会報告▷

13th International Conference  
on Vacuum Ultraviolet Radiation Physics

高田恭孝 (理化学研究所放射光物性研究室)

上記国際会議 (VUV-XIII) が、2001年7月23日から28日にわたって、イタリアのトリエステで開催された。M. Altarelli 議長の下トリエステの ELETTRA 放射光施設が運営主体となり、組織委員長は G. Comelli 氏が務められた。450余名の参加者があり、その約半数を EU 圏が占め日本からは111名が参加した。余談ではあるが、日本人の参加者は前回のサンフランシスコとびったり同数であったそうである。本学会は真空紫外・軟X線領域の放射光利用研究者にとって中心的な国際会議であるため、その発表内容は多岐にわたっており、異なる分野の発表の中にも興味を引かれるものや、実験技術で自分の研究に生かせそうなものがあり、非常に有益であった。ここで全てをカバーすることは筆者の能力をはるかに超えているので、以下断片的であったり分野に偏りがあることをお断りして、印象に残った点を紹介させていただく。なお発表件数は、口頭発表 (全て招待講演) 53件、ポスター発表500余件であった。

原子・分子のセッションでは Uppsala Univ. の O. Björneholm 氏による講演が興味深かった。酸素や弗化水素分子の内殻共鳴オージェ電子を、分子軸に平行な向きから検出することで、解離原子のオージェ電子の運動エネルギーにドップラーシフトを観測することに成功している。このシフトが解離原子の運動エネルギーによるとの解釈から、速度の見積りなどフェムト秒領域で起きる分子の解離ダイナミクスについての情報を得ており、巧みな実験であると感じた。日本からは、東北大の上田氏が SPring-8 で行われている高エネルギー分解能共鳴内殻分光について講演された。

固体の光電子分光関係では、いくつかのセッションがあったが、高エネルギー分解能を必要とする測定や角度分解測定の大部分はガンマデータシエンタ社の半球型アナライザーを使って行われていた。もはやこの分野で標準化されたアイテムと化した感がある。Lund Univ. の J. N. Andersen 氏の講演では高エネルギー分解能で測定した金属単結晶表面および吸着系の光電子スペクトルを示され、表面層の内殻準位シフトや吸着分子の振動構造について議論された。20 meV まで高分解能化することでベリリウムやアルミの単結晶表面の光電子スペクトルにおいてフォノンによる構造を、明確に測定できている。阪大の菅氏は、SPring-8 で行われている強相関係のバルク敏感光電子スペクトルについて、最新の角度分解データも含めて講演さ

れた。氏のグループの Nature に掲載された論文以降、表面の影響についてかなり注意が払われるようになったことがいくつかの発表から感じられた。東北大の高橋氏の講演は He 放電管を使った 1 meV に迫る高分解能スペクトル関するもので、酸化物超伝導体や f 電子系さらには準結晶にいたる迫力あるものであった。

内殻共鳴過程が絡んだ話としては、U. C. Davis の C. S. Fadley 氏の講演が、筆者にとって最も密接でかつ興味があった。というのも、多原子間内殻共鳴過程 MARPE (Multi-Atom Resonant Photoemission) が起きるとい報告が SCIENCE になされた後の一連の騒動 (少なくとも筆者にはそう見えた) を経た後の、氏の認識 (起きるのか、起きないのか) を知りたかったからである。最初の光電子の論文の後、軟 X 線発光スペクトルにおいても多原子間共鳴過程が観測されたという報告があり、強い関心を抱いたあるいは同種の実験を試みたのは筆者だけではないであろう。その後、スウェーデンのグループによって、光電子検出器のリニアリティーのなさ原因があり、当初言われていたほどの効果はないという論文が出たのに続き、発光の方でも実験誤差を超えては観測できないという論文が出たというのが筆者の理解している経緯である。講演において氏は、「MARPE is REAL」と書かれた OHP を出されていたが、確証に足る実験データは出されなかったと筆者は感じている。なお、多層膜を基板として定在波を立て、その上に試料を付けて表面・界面の電子構造を調べる方法や、蛍光 X 線ホログラフィーなど興味ある新たな展開についても紹介された。

先端材料研究と銘打ったセッションでは、ALS の L. J. Terminello 氏がグラファイトなどの基板の上の Si や Ge などのナノクラスターの特性について講演された。内殻吸収・光電子・軟 X 線発光スペクトルを併用してバンドギャップを決定し、クラスターのサイズ効果や、Si と Ge で見られるその違いについて報告された。量子ドットなどナノ構造に関連した発表はポスターセッションでも幾つか見受けられたが、現状では数多くの粒子の平均としてスペクトルが得られている。実現は容易ではないが、今後単一粒子のスペクトルを測定したいという要請が強くなるのではないだろうか。

ナノ構造の電子物性研究の手法として上記軟 X 線分光とは競合関係にある走査トンネル分光 (STS) の講演が Univ. Hamburg の R. Wiesendanger 氏によってなされ

た。本学会のカテゴリー外かも知れないが、この分野に疎い筆者にとって良い勉強になった。チップのバイアス極性を反転させることで、占有・非占有準位を原子レベルの空間分解能をもって測定できることは勿論のこと、チップの先端に Fe もしくは Gd をコートすることで、10 nm サイズの磁区構造の観察がなされている。これはチップと同じスピンの向きを持つ磁区に対してトンネル電流が大きくなる現象を利用したもので、タングステンステップ面上に作成した鉄のナノストライプの隣り合う磁区でスピンの向きが反転する様子や、さらにはアイランドを形成した鉄のナノドメインの中で、近接したもの同士が強い相関を持ってスピンの向きが時間とともに反転していく画像など筆者にとってはとてもインパクトがあった。光電子顕微鏡 (PEEM) とはまさに競合関係にあり、画像当たりの測定時間など違いはあるのだろうが、空間分解能だけに限定すると当然のことながら STS は非常に強力だと感じた。

その光電子顕微鏡であるが、ドイツで進められている SMART 計画の進捗状況について Univ. Wurzburg の Th. Schmidt 氏が講演された。現状では低速電子について 5 nm、光電子について 20 nm 程度の空間分解能を、それぞれ 1 nm と 2 nm (!) まで向上させ、かつ光電子についてはエネルギー分解能 0.1 eV (!) を目指した計画である。球面収差・色収差を抑え、かつ透過率を 2~3 桁向上させたオメガフィルターは単体で 1 nm の分解能を既に実現しており、エネルギーアナライザーも 0.5 eV の分解能は達成しているとのことで、全てを組み合わせた状態で 2001 年末までには BESSY-II のビームライン U49 で実験に入るとのことであった。設計通りの性能が実現されれば、市販の装置を寄せ付けない強力なものとなる。

第 3 世代の VUV リングが稼働し始めて顕著に発展した分野である軟 X 線顕微鏡に関しては、やはり ALS の成果が中心を占めた。U.C. San Francisco の C. A. Larabell 氏の講演では、直径 10  $\mu\text{m}$  のガラスキャピラリーに細胞を入れ、これを回転させてとった 48 個のイメージをコンピュータ処理して得た 3 次元のトモグラフィ像が示された。50 nm 以下の分解能で細胞中の蛋白の位置がわかるほどの鮮明さである。さらに細胞分裂の様子 (時間変化) をとらえた像も示された。McMaster Univ. の A. P. Hitchcock 氏は走査型透過軟 X 線顕微鏡について講演された。ポリマーを対象としたイメージが幾つか示され、炭素・窒素・酸素原子周りの化学環境の違いによって吸収スペクトルにあらわれるピークのエネルギーが異なるため、吸収係数に違いが生じ、結果として透過率が変化することを利用したもので、薄い試料が用意できるこの種の試料には材料分析法として非常に強力であるようだ。軟 X 線顕微鏡では生物やポリマーのような“ソフトな”試料が専ら対象であり、どの研究においても光照射による損傷に非常に注意が払われていた。

分光法そのものに関しては、ESRF の M. Krisch の硬 X 線を使った軽元素のラマン散乱に関する講演が印象に残っている。東北大の宇田川氏がなされた研究の延長にあ

るものと解釈したが、リチウムの Li-K 吸収や水・氷の O-K 吸収に相当するスペクトルを、エネルギー 10 keV、分解能 80 meV の硬 X 線のラマン散乱として測定している。散乱光用の分光器の分解能は 1 eV 以上あるためエネルギー分解能は高くないが、軽元素 ( $Z < 12$ ) の吸収相当のスペクトルが透過法でかつ大気中で測定できる点は非常に魅力的であると感じた。ただ、高輝度光源である ESRF でも測定に 10 時間以上かかるようである。

次世代 (第 4 世代) 光源として位置づけられている FEL については、HASYLAB の J. Feldhaus 氏の TESLA 計画についての講演と、SSRL の I. Lindau 氏の LCLS 計画についての講演を聴いた。ともに SASE (Self-Amplified Spontaneous Emission) に基づく線形加速器を利用したものである。TESLA の方は 2000 年 2 月に 109 nm での発振に成功した後、しばらくスタディで進捗がなかったが 2001 年 7 月にゲイン・強度とも大幅に改善したとのことであった。本来硬 X 線までを目指した計画であるが第 1 期のマシンの目標達成ということで、この波長で非線形現象などの利用実験を計画しているとのことであった。一方後発の LCLS の方は既に大型の線形加速器を有している強みがあったわけだが、2001 年 6 月に予算化の決定がなされたとのことで 2003 年秋までにデザインを固め、2006 年秋までに建設完了、翌 2007 年春から運転に入るというスケジュールが示された。セッションがクローズする段になって W. Eberhardt 氏が登壇し、TESLA は硬 X 線のマシンなので 20-1000 eV を目指した FEL 計画を BESSY-II でも立ち上げると報告された。マシンによって技術開発要素の多い計画であり、軟 X 線領域で利用実験ができるようになるのはまだ先かも知れないが、シンクロトロン放射光とはパルス特性・パルス強度・コヒーレンスにおいて全く性格の異なると言って良い光が現実のものとなるのは確かなようである。

以上、招待講演を中心に非常に限定された内容になってしまったがご容赦願いたい。ポスター発表については殆ど紹介できなかったが、ベストポスタープレゼンテーション (500 件余りの中から選ばれた 3 件) に奈良先端大の松井氏の発表が選ばれことを記しておく。立命館の放射光施設で 2 次元球面アナライザーを使って測定した単結晶グラフィットのバンド分散に関するもので、プリリュアンゾーン全体にわたってバンド分散を  $\pi \cdot \sigma$  の対称性を分離して描いた 3 次元プロットは目を引くものがあり、受賞の際の急あつらえの講演も素晴らしかった。

Spring-8 よりも辺鄙なのでは、と感じた ELETTRA 見学ツアーやバンケットのことなど、まだ書くことがある気もするがここまでとさせていただきます。閉会に当たり、Advisory Board のメンバー 20 人のうち 7 名が入れ替わり Woodruff・Hitchcock・Nordgren・Morin 氏ら他 3 名が新メンバーとなり、新しい議長に菅氏が選任されたことが告知された。また、次の第 14 回 VUV 国際会議は、2004 年にオーストラリア (ブーメランと名付けられた放射光計画がある) のケアンズで開催されることとなった。