

＜研究会報告＞

## 12-th Int. Conf. Vacuum Ultraviolet Radiation Physics (VUV-12) 第12回真空紫外線物理国際会議に参加して

柿崎 明人\*, 斎藤 輝文\*\*, 鈴木 功\*\*

(\*高エネルギー加速器研究機構, \*\*電子技術総合研究所)

3年前の第11回会議 (VUV-11) は、東京池袋立教大学で8月末の残暑きびしい折に行われ、地理的なハンデのため米国、欧州からの参加者は、従来より少なかったとは言え、全参加者数は500名を越え、盛会であった。それを受けて、本放射光学会誌でも特集号 (Vol. 8, No. 5) を組んで、その内容を相当詳細に伝えた。3年後の本年は場所をサンフランシスコに移し、Advanced Light Source (ALS) のスタッフが中心的な組織委員会メンバーとしてこの会が開催された (8月3日-7日)。2日夜のレセプション、3日の国際アドバイザー委員長 C. Fadley (LBNL)、国際会議委員長 N. Smith (ALS)、組織委員長 A. Schlachter (ALS) らの挨拶、全体状況の説明などの閉会式の後、研究発表に入った。午前中は全体講演とポスターセッション第1部 (7日を除く)、午後は2会場に分かれての招待講演とポスターセッション第2部があり、最終日午前中は全体講演と閉会式、午後は2班に分かれての ALS あるいは SSRL への見学ツアーであった。

初日に配布されたリストより調べた参加者の国別内訳を表1に示しておく。当日登録者を含めると、総数は506名とのことであった。最大は開催地アメリカで約30%であるが、日本からの参加者も大変多く、23%も占める。他にはドイツ、イギリス、フランスが多いが、スウェーデンが4番目の参加者数であることは注目し値する。表には、招待講演者数も示しておいたが、参加者数との比較では、ドイツ、イタリアの多いのが目を引き、日本の少なさが気になる。語学力を含めた発表能力のまずさからきているのならまだよいのだが、世界をリードする優れた研究の少なさの現れだと深刻な問題と受け止めなければいけない。また表には、発表筆頭者で整理したポスター数も示してあるが、研究の中心機関の国別でまとめた方が適切なのかもしれない。

バンケットは6日夜に、中華街の新アジアレストランで行われ、ピンク色の衣装を付けた狛犬風の二人獅子舞の曲芸の後、北京ダックや幸運クッキー (クッキーの中におみくじ) を含む中華のコース料理を楽しんだ。最後に次回2001年の VUV-13 はイタリアのトリエステで開催されることが発表された。また7日の閉会式の時、トリエステ

会議の代表を勤める G. Margaritondo がトリエステの紹介を行い、また国際アドバイザー委員会のメンバー8人の交代が発表された。委員長は、I. Lindau が勤めることになり、日本の委員は、佐藤繁 (東北大) 氏より関一彦 (名古屋大) 氏に替わった。尚、本会議のプロシーディングは、会期中での2人のレフリーの査読を行い、J. Elec. Spectrosc. Relat. Phenom. の特集号として、\$85程度で来年2月頃出版される予定である。

科学的発表内容に話を移すと、46件の招待講演と約530件のポスター発表があったが、3人の筆者でカバーできる

表1 参加者数、講演者数の国別リスト

	登録者数	招待講演者数	ポスター発表数
アメリカ	144	15	85
日本	110	6	103
ドイツ	58	9	80
スウェーデン	27	1	23
イギリス	26	3	23
フランス	25	5	31
イタリア	11	3	18
その他	85	4	139
追加	20	—	10+ $\alpha$
合計	506	46	512+ $\alpha$

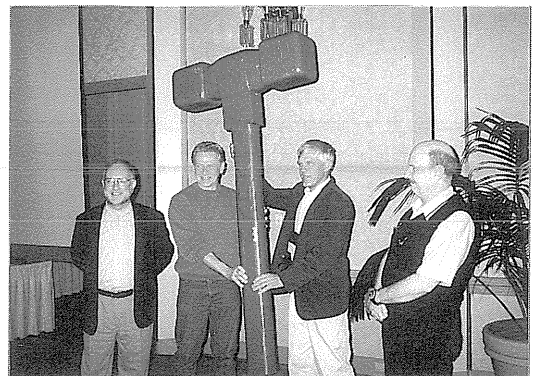


写真1 今回および次回会議の代表者の方々 (N. Smith, C. Fadley, I. Lindau, G. Margaritondo)

内容は限られているので、特に関心を引かれたもの、多くの人の話題になったものなどを紹介し、全体の傾向を感じて頂けたら有り難い。

今回の会議における真空紫外領域の固体分光分野の特徴の一つは、高分解能光電子分光、スピン分解光電子分光、軟 X 線固体発光、光電子顕微鏡など、前回の会議ではまだ目新らしさが残っていた実験が多くの物質に応用されその成果が示されたことである。会議の最初と最後の講演が各々、Z.-X. Shen (Stanford 大) による高温超伝導体をはじめとする一連のエキゾチックマテリアルの電子相関効果について高分解能光電子分光実験を用いた研究成果と、B. Tonner (Wisconsin-Milwaukee 大) による顕微分光を利用した環境関連物質に関する研究成果であったこともこのことを示している。

その他の講演、一般のポスター発表では、ともに物質の磁性を研究対象とするものが多かった。磁性体の電子状態については、光電子分光、MCD によってバルクの性質を議論したもののほか、磁性薄膜の量子井戸状態の解析や逆光電子分光による表面磁性の研究結果 (M. Donath (Max-Planck 研)) などが招待講演として取り上げられた。C. Carbone (KFA-Juelich) の講演は、磁性体の電子状態に現われる量子サイズ効果について過去数年間の研究成果をまとめたもので印象的であった。また柿崎 (高工研) は、スピン分解・角度分解型光電子分光法を用いた測定により、Ni 価電子帯の分散関係と 3d バンドの交換相互作用分裂を議論した。一方、遷移金属酸化物を始めとする強相関電子系物質については、前出の Z.-X. Shen のほかに G. Sawatzky (Groningen 大)、藤森 (東大) らの講演があり、この物質系に特徴的な低エネルギー励起状態 (素励起) を電子分光を用いて探るには、高分解能・角度分解光電子分光による電子状態の系統的な解析が不可欠であるという印象をあらためて与えた。(企業展示の中にはエネルギー分解能 2 meV (HeI) を保証する電子エネルギー分析器が並んでいた。)

もう一つ印象的であったのは、ポスター発表のなかで有機物質を取り上げたものが多かったことである。従来から行われている XANES のほかに高輝度放射光を利用する軟 X 線発光・蛍光実験が表面吸着原子・分子系などに広く利用され、構造や電子状態だけでなく解離・反応に関する研究成果がめざましいためであろう。これらは、太田 (東大) の表面 XAFS での有機吸着種の構造決定、高桑 (東北大) の UPS, RHEED を駆使した Si 表面での反応追跡の講演とも共通する流れと感じられた。ALS, ESRF, ELETTRA など既に稼働中の施設だけでなく、BESSY II などでも多くの研究が予定されており、顕微分光とともにこの分野も高輝度放射光の利用によって急速に発展していくことを窺わせた。

気相を対象にした研究では、初日 (3日) の午後、C. Greene (Colorado 大) の理論による多電子系原子の光イ

オン化の講演で、チャンネル間相互作用を入れた *ab-initio* 量子欠損法の適用につき、Ar の 30 eV 以上での 3s イオン化に現れる複雑なスペクトルや Cl, Mg などの開設原子のスペクトルの例をあげて、現在の手法の可能性を示した。F. Wuilleumier (Paris-sud 大) は、中空原子の光イオン化実験の話題を、近年最もよく取り組まれている Li について講演した。他のグループで行っている吸収の測定、多価イオンの測定とともに、自身のグループ、特に ALS を利用しての電子分光でのスペクトルと各ピークの異方性パラメータについて紹介した。

4日(火)の全体講演で、P. Morin (Paris-sud 大) は、軟 X 線領域における分子の電離性分解過程の研究展開について、日本の複数のグループの寄与を含めたこの10年程の発展を紹介した。測定手法の特徴を三原子分子を対象にしたデータから説明し、最新のダブルトロイダル型分析器による電子分光と TDC (時間-デジタル変換器) と位置敏感型検出器を組み合わせて複数イオンの飛行時間と飛行方向のコインシデンス計測を用いた CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> のデータを示した。N. Berrah (西 Michigan 大) は、ALS における原子分子を対象にした角度分解型電子分光スペクトル、高分解能スペクトルの測定を紹介した。Ne の 53 eV 付近での (2p)<sup>-2</sup> 状態でのパリティ禁制遷移の異常強度や、HCl の Cl2p→π\* でのオージェ電子、CO の C1s→π\* でのオージェ電子、OCS の S2p 光電子の異方性パラメータなどにつき、斜入射分光器、電子スペクトロメータでの高分解能化の効果を強調した。間瀬 (分子研) は、凝縮した H<sub>2</sub>O, Si に吸着した H<sub>2</sub>O からの軟 X 線照射によるプロトン脱離現象をオージェ電子・プロトンコインシデンス法で追跡した研究を講演した。オージェ電子放出で生成される二正孔状態が、深い価電子軌道によるものであるとプロトン収率は増大することを示した。M. Piancastelli (Tor Vergata 大) は H<sub>2</sub>O を取り上げて、BNL の NSLS で電子分光スペクトルを共鳴オージェ過程に適用して、非直線型の分散関係が見出されること、HASYLAB でのマルチヒット型質量分析計でのイオン計測では、H<sub>2</sub> 分子イオンが O1s<sup>-1</sup>2b<sub>2</sub> 状態を経て生成されることを発表した。

5日(水)の全体講演で、柳下 (高工研) は、3年程前から特徴的な成果を出している、空間固定した直線型分子からの内殻光電子スペクトルを発表した。フラグメントイオンとのコインシデンス計測によって、分子軸を特定した状態での光電子角度分布スペクトルにより、連続状態波動関数の部分波展開係数が求められるので、厳密な光イオン化理論との比較が従来より格段に直接的に行えるようになってきた。6日(木)の全体講演で、H. Schmidt-Böcking (Frankfurt 大) は、極低温に冷却した原子、分子ビームの二重光イオン化によって生ずるイオンを位置敏感型検出器で精密計測する測定技術を紹介し、光イオン化による粒子間のエネルギーおよび運動量移行が、いかに進展するかを示した。V. Dolmatov (Georgia 州立大) は、完全実験

で測定すべき5つのパラメータのうち、異方性パラメータが極値をとる領域では、3つのパラメータに減じうることを、理論的に示した後、Crの3d光イオン化での実験データとの比較を行った。D. Caldwell (米国科学財団)は、主にハロゲン原子を対象に、内殻光イオン化に現れる開殻構造の多電子相関効果を、ALADDINで測定した高分解能スペクトルによって議論した。J. West (Daresbury 研)は、Sr, Ca等の金属原子を対象にした光イオン化で発光と放出電子とのコインシデンス測定によって、完全実験を目指す研究を紹介した。光励起と発光を二段階モデルに基づいて解析することにより、放出電子波動関数の位相差と、双極子モーメントの比を導出した。

ポスターセッションでの気相を対象にした研究は、3割程度あり、また測定技術を主題にしたものの中にも、原子、分子をターゲットにしたものも多数あった。それらの全体的な印象としては、軟X線ビームの高分解能化と、電子分光スペクトルの高精度化が注目され、ELETTRAでのデータが出てきていることも気の付く点であった。また、軟X線絶対測定法や軟X線照射での特異的分子鎖切断反応に関する発表(電総研の鈴木ら、New York州立大のD. Hansonら、京都教育大の伊吹ら、他)も興味を集めていた。東欧からのポスター発表予定でブースが空のままになっているのが散見され、経済事情の困難さのため参加できなかったことが窺われた。

測定手法・装置技術関係については、一般的な傾向として、近年の光源の高輝度化にともなって、実験データの精緻化がより進んでいることが特に印象づけられた。すなわち、照射する光に関しては、高輝度化、高分解能化に加えて、偏光、パルス特性の積極的利用を図り、生じたイオン・電子等については、エネルギー分解のみならず、角度分解さらにはスピン分解するなどにより、いわゆる完全実験を迫及する傾向が強まっている。特に、検出系については、二次元検出器を利用して、エネルギー測定と同時に角度分布測定を可能にする方式(大門(奈良先端科技大)の方法他)の採用など高効率化が顕著な傾向となっている。

3年前の東京の会議(本誌 Vol. 8, No. 5, p. 547)と比べると、光源開発関係の発表が少ない印象を持った。一つには、各地の放射光施設で前回設計、建設段階にあった多くが完成あるいは完成間近となっていることが関係していると思われるが、laser plasmaについての発表も今回は比較的少なかったようである。また、FELに関連する発表も、筆者の知る限り、蓄積リングを用いたものは、今回なかったようである。しかし、ミラー共振器を必要としない single pathの自己増幅自発発光型のFELは、その存在価値を高めているようであり、DESYのG. Materlikは招待講演で、当面は40-120 nm域の発振を、次に6 nmまで、さらに0.1 nmまでと順次短波長化を目指す壮大な計画(開港したての香港空港ターミナルビルにそっくりの構造)を示していた。アンジュレータに関しては、引き続き偏光の

発生と変調が重要さを増しており、例えばL. Nahon (LURE)らは、電磁石によって偏光可変とする小貫型アンジュレータをSuper-ACOに設置し、preliminaryな実験結果について報告していたが、本来、偏光を変更しても一定であるべきピーク波長、パワーが変化する問題が認められたとのことであった。Microscopyに関しては、ELETTRAのSPELEEM, BESSY-IIのSMART(いずれも招待講演)とも空間分解能の向上だけではなく、光電子エネルギー分光をはじめとするさまざまな機能を付加して、種々のマッピングを可能とする意欲的な取り組みが行われている。多層膜や検出器については、件数はそれほど多くはないが、興味ある波長、空間領域にパワーを集中するため、あるいは偏光解析(東北大の山本ら、電総研の斎藤輝文など)のため、検出器の高計数率化(OmicronのJ. Westermannら)、高分解能化(LBNLのS. Friedrichなど)のため等、引き続き重要な役割を持つ傾向に変わりはない。

そのほか個別に興味を持った発表には、以下のようなものがある。S. Dambach (Kernphysik 研)は、真空紫外・軟X線領域で新しいアイデアに基づく干渉計を提案し、実験的に有効性を示したのが注目を引いた。この波長領域では、広帯域のビーム・スプリッターがほとんど実現不可能であるので、かれらは、それを用いずに、透過性のサンプルの前後に2つのアンジュレータを配置し、合成に分光器を用いるという方法を用いている。すなわち、第一のアンジュレータによって生じたアンジュレータ放射はサンプルを透過することによって位相差を持つ波連となる。サンプルを透過した電子は第二のアンジュレータに入り、サンプルによって位相差の変調を受けないreferenceとしての第二の波連を発生する。これら二つの波連は二つのアンジュレータ間の距離に比例した時間差を持つが、これは、分光器により時間差が0とされ検出器によって振幅合成され、二つのアンジュレータ間の距離を変えて、interferogramを取ることが可能となる仕組みである。この方法は、サンプルが光子に対してだけでなく、電子に対してもある程度の透過率を持つ必要がある上、サンプルでの電子の吸収、散乱のために、このシステムを電子蓄積リングに設置することはできないという制限があるが、発表のあったアンジュレータの大きさは片手に乗るぐらいコンパクトで、マイクロトロンを入射器として実験を行ったとのことであった。

M. Richter (PTB)らはシリコン結晶の光電量子効率を2-1500 eVの広い範囲で実験的に求め、いくつかの理論と比較した。また、理論の方が精度が不十分とみられるが、定性的には良い一致が得られている。また、同じくPTBのH. Hennekenらは、Au(111)面とCu(111)面からの光電子放出の量子効率を40-1500 eVの範囲で実験的に求めた。また、electron escape depthも波長依存性のない値として実験的に求め、簡単な理論モデルとの比較を行い、

Henkeらをはじめとするこれまでに報告されている実験データよりも、今回の彼女らの計測データがより理論モデルに近いことを示した。これらの研究は、基礎的な定数を利用して、誰もが普遍的に絶対測定を可能にする上で意義がある。

リソグラフィーに関しては、D. Attwood (LBNL) が、SEMATEC プロジェクトの中の候補の一つとなっている EUV リソグラフィーの手法について招待講演を行った。これは、レーザープラズマを光源とし、縮小露光を行う方式により、線幅70 nm 程度以下を目指すものであるが、他候補には、シンクロトロン放射を光源とする等倍露光方

式、電子線直接描画方式、電子線投影方式等がある。SIA (米半導体工業会) の National Technology Roadmap に基づいて、克服すべき課題を明確にし、組織的、体系的に取り組んでいる様子が強く感じられた。ここ2年くらいで、どの方式に絞るか決定するというところで、今は demonstration phase に入っているということである。それに対して、日本の取り組みは、出だしは比較的早かったものの、組織化という点では一転して劣勢に置かれているといっても過言ではないだろう。前回の会議で招待講演者を出した NTT が、現在 X 線リソグラフィー研究からの撤退を検討しているそうであるが、残念なことである。

## ◁研究会報告▷

# SPIE '98報告

小池 正記 (電子技術総合研究所)

SPIE '98年会は7月19日~24日の間、サンディエゴ国際会議センターにおいて開催された。これまで毎年、サンディエゴ (党大会等がある時はデンバー) で開催されてきており、今回が43回目である。SPIE は電磁波から X 線、さらには超電導関係まで、光に関連するすべての分野をカバーしており、約70のコンファレンスから成っている。

表1 放射光関連のコンファレンス

Program on Astronomical Sensors and Missions	
Conf. 3443	X-Ray and Ultraviolet Spectroscopy and Polarimetry 発表論文数: 19
Conf. 3444	X-Ray Optics, Instruments, and Mission 発表論文数: 77
Conf. 3445	EUV, X-Ray, and Gamma-Ray Instrumentation for Astronomy 発表論文数: 75
Conf. 3446	Hard X-Ray and Gamma-Ray Detector Physics and Applications 発表論文数: 36
Program on Synchrotron Radiation Optics	
Conf. 3447	Advances in Mirror Technology for Synchrotron X-Ray and Laser Applications 発表論文数: 16
Conf. 3448	Crystal and Multilayer Optics 発表論文数: 39
Conf. 3449	X-Ray Microfocusing: Applications and Techniques 発表論文数: 29
Conf. 3450	Theory and Practice of Surface-Relief Diffraction Gratings: Synchrotron and Other Applications 発表論文数: 14
Conf. 3451	Time Structure of X-Ray Sources and Its Applications 発表論文数: 27

このうち、放射光に多少とも関連したコンファレンスと発表論文数は、表1の通りである。ただし、Conf. 3443~3446は、大枠が“天文・宇宙応用”であるため、約半数は放射光とは無関係なものであるが、多層膜ミラーの一部や、汎用的な X 線検出器はここに含まれている。シンポジウム終了後、それぞれの番号のプロシーディングスが発表される (例えば、最初のものは、SPIE Proc. 3443となる)。Conf. 3447~3451で国別の発表件数を数えてみると、米57, 仏34, 日9, 英独6, 他となっていた。なお、これらのコンファレンスは1~3日間かけて並行して行われたので、筆者はすべて参加したわけではない。また、参加したものについても不確かなところが多いので詳細はプロシーディングスを参照されたい。以下では日付順に、筆者が多少でも参加したコンファレンスについての印象を簡



Photo. 1 サンディエゴ国際会議場