

◁研究会報告▷

“Taipei International Symposium on Surfaces and Thin Films”

尾嶋 正治 (NTT境界領域研究所)

去る平成7年3月27日から30日までの4日間、台湾台北市国立台湾大学構内の原子分子科学研究所 (IAMS) において、標記国際シンポジウムが開催された。この会議は1992年から毎年、同研究所においてこの分野の第一人者を世界から招待して開催されており、台湾中央研究院 (Academia Sinica) の原子分子科学研究所と物理研究所の共催である。今回が第4回目である。

今回は、7ヶ国から24名を招待し、45分ずつの招待講演を行うとともに、一般講演として口頭発表9件、ポスター発表38件があった。参加者は合計約100名で、小規模な専門家会議である。日本からは東大物性研田中教授、日立基礎研保坂氏、分子科学研究所松本助教授、電気通信大学湯郷助教授、それに報告者の5名が招待された。また Toronto 大学 J. Polanyi 教授 (1986年ノーベル化学賞受賞者)、ニューヨーク州立大学 Stony Brook の C. Ko 博士、Wisconsin 大学 B. Tonner 教授、Göttingen 大学 G. Schmahl 教授、ドイツ Jülich 研究所 W. Eberhardt 教授、Pennsylvania 州立大学 M. Cole 教授、Columbia 大学 R. Osgood 教授、Max-Planck 研究所 J. Block 教授 (欠席)、IBM の M. L. Yu 博士、台湾 SRRC (Synchrotron Radiation Research Center) の Y. C. Liu (劉遠中) 教授 (所長)、台湾中央研究院物理研究所 T. T. Tsong (鄭天佐) 教授 (所長) などが招待された。

合計71件の発表のうち放射光を用いた発表は1/3以下であったが、重要な発表が幾つかあった。また One session で at home な雰囲気が進められたため、実質的な議論が出来た。

報告者自身はこれまで高工研 PF の BL-1A で行

った研究を『SR analysis of atomically-controlled GaAs surfaces and its application to forming novel nano-crystals for quantum dots』と題して発表した。GaAs 表面を VI 族原子により原子オーダーで制御することによって、素子特性が向上するメカニズムを放射光 (光電子分光, X線定在波, EXAFS) を用いて解明し、この制御表面を活用して、ナノサイズの InSb や InAs 結晶を作成することに成功したという内容である。

まずはじめに、原子分子科学研究所 (IAMS) の S. H. Lin (林聖賢) 教授 (所長) が Opening Remarks を述べた。本会議の趣旨を説明した後、IAMS のスタッフの経歴が紹介されたが、26名全員が米国で Ph. D を取得していることに驚いた。私にとって頭の痛い『英語の壁』は彼らにはない(?) わけである。ちなみに、以下の紹介に誤りがあった場合には、私の Hearing 力の無さに免じて許して頂きたい。

続いて、SRRC の Y. C. Liu 所長が放射光施設の現状報告を行った。19nm-rad の低エミッタンスリングをアジアで初めて独力で完成させたことに強い自信を示された。目標 1.3GeV の計画で、現在 1.5GeV まで達成していること、電流についても目標 200mA (マルチバンチ)、5mA (シングルバンチ) の計画で現在それぞれ 450mA、30mA を達成していること、但し寿命は目標 8 時間に対して現在は 6 時間 (タウシェク効果のため) に留まっていることなどが判りやすく説明された。現在、3本の VUV ビームライン ① LSGM (15~200eV 用 DRAGON 分光器)、② HSGM (110~1500eV 用 DRAGON 分光器)、③ 1mSNM (瀬谷型) が完成

し、また3本の多極ウィグラービームラインを建設中で、VUV用アンジュレータビームラインとX線リソグラフィ用ビームラインを計画中であるとの説明があった。LSGMを用いて行ったガス吸収の実験では1万程度の分解能が達成出来、PF Activity Report 1993のデータと重ね併せて見ると少し凌駕していると発表された。本施設は、研究プロジェクトとして8つのPRT (Participating Research Team) を組んでおり、NSC (National Science Council) からのfundingで研究を行っている。すなわち、①光電子分光、②気相、③光刺激脱離、④XAFS、⑤顕微鏡、⑥小角散乱、⑦斜入射X線回折、⑧生物の8プロジェクトである。なお、Liu所長には3月31日にSRRCを案内して頂いた。

本シンポジウムの目玉はノーベル化学賞受賞者のJ. C. Polanyi教授 (Toronto大学、図1) であるため、放射光を使った研究ではないが最初にその発表“Photochemistry at the adsorbate-substrate interface”について触れる。LiF (100) 基板面上に吸着したHBr分子にエキシマレーザ光を照射し、放出される水素イオンの並進エネルギー分布や角度分布を測定することによって、光分解反応のダイナミクスを議論した。またAg (111) 面に吸着したCCl₄分子に数eV程度の波長の異なる光を照射し、Cl⁻イオンの方が電子より低い光エネルギーで表面から脱出 (脱離) する現象などを解析し、反応にとって重要な(1) 基板の励起⇒吸着分子への電荷移動、(2) 分子への直接エネルギー移動の2過程を区別して解析出来ることが示された。この分野には門外漢であるが放射光を用いれば面白い研究になるかもしれないと思いながら拝聴していた。この講演中に新聞社(?)の人がバチバチとシャッターを切っていた。翌日の新聞を賑わせたことであろう。

以下、主に放射光関連の発表内容を紹介する。Göttingen大学のSchmahl教授は“X-ray optics and X-ray microscopy”と題して講演した。20nmの最外殻幅を持つマイクロzone plateをGeとNiで作



図1 表面・薄膜国際シンポジウムで講演する John C. Polanyi 教授 (トロント大学化学科)

り、BESSYで透過X線顕微鏡の実験を行っている。まだ空間分解能はそれほど高くないが、液体窒素温度でのクライオX線顕微鏡によって生物試料への許容放射光照射量が3~4桁高くなることが示された。また、バクテリアなどの試料を用いて厚い試料の3次元イメージング (ステレオ像) の撮影に成功しており、双眼鏡タイプのセットが会場に回された。高分解能イメージングにはBESSY IIのアンジュレータが必要だと力説(?)していた。

次にWisconsin大学のBrian Tonner教授が“The spectromicroscopy facility at the Advanced Light Source”と題して講演した。最初の第3世代放射光施設であるU. C. BerkeleyのALS (Advanced Light Source) を用いたいくつかの研究結果が紹介された。最初は分光顕微鏡 (ultra ESCA) で、25 μmφに絞った放射光ビームでエネルギー分解能 (E/ΔE) ~1万の光電子分光を行い、通常X線源の10倍明るい分析を実現した。これにより3ngのキュリウム (Cm) を放射線の心配がない状態で測定することが可能になった。次に光電子の回折現象を利用して、表面からの光電子回折パターンをフーリエ変換して実空間の原子構造を得ることを可能にした光電子ホログラフィの説明があった。さらに、ゾーンプレート (円形回折格子) を利用して1,000 Åの空間分解能でマイクロXANESやマ

イクロ XPSを行う計画 (PRISM), さらに1998年には200 Åを達成するという計画が紹介された。『どうやってやるのか』という質問は笑ってかわした(?)。Tonner氏は毎回綺麗なイメージングをカラーOHPで示すとともに, 新しい計画を上手いネーミングでまとめあげており, 内容とともにPresentationの上手さにも感心した。

Columbia大学のOsgood教授は“Electron transfer reaction on corrugated semiconductor surfaces”と題して講演した。GaAs (110) やGdTe (110) 表面上の吸着種 (CH₃I, Br, Cl) の電荷移動反応のダイナミクスの研究を行っており, エキシマレーザによるメチルラジカルの光脱離を角度分解TOFで検出することによって2種類の脱離エネルギーを持つことが判り, 電荷移動はホットエレクトロンと熱電子の両方の移動過程で起こることが示された。また, ClsのNEXAFSなどの結果から, 吸着種の配向が脱離角度と特定の反応チャンネルに及ぼす影響を明らかにした。

SUNY (State Univ. of New York) Stony BrookのC. H. Ko氏は“Material surface imaging with the X1A scanning photoemission”と題して講演した。NSLSのX1Aアンジュレータビームラインに設置した光電子顕微鏡装置では, ゾーンプレート(ZP)によって0.2 μmに単色光を集光し, MCP付き半球型電子分析器で光電子分光を行っている。300~800eVの放射光を集光させるため, ZPの位置を可変にしている。今回は化学状態分布の並行イメージング(PICSM)の成果が発表された。MCPの16チャンネルは異なる運動エネルギーの光電子を検出しているため, おのおのチャンネルで像を出させてやると, 一度に16枚の異なる光電子による2次元像が得られる。Nbの超伝導集積回路からのNb3d光電子イメージを120 pixels x 120 pixelsで撮影している。約9分かかるとのこと。5チャンネルで約5eVの差に相当するくらいのエネルギー分解能であった。近い将来, 0.1 μmの分解能を達成出来るとのことであった。

また, SUNY BuffaloのP. C. Chen氏は“Modern biological microscopy”と題して講演した。各種顕微鏡に比べてどういう点でX線顕微鏡が優れているか, それを生物試料に適用するとどのような情報が得られるかについて説明があった後, 膨大な実験データ(顕微鏡像)がスライドで紹介された。ニューロン, カルシウム wave, 各種細胞などのイメージが約0.1 μmの分解能で撮影されていたが, 門外膜のため, そのすごさが理解出来なかった。

Jülich研究所(ドイツ)のW. Eberhardt教授は“The electronic structure of quantum confined systems: porous Si, magnetic multilayer and clusters”と題して講演した。まず, 発光素子の可能性がある多孔質Siからの放射光吸収端スペクトルから伝導帯の状態を, また軟X線発光スペクトルから価電子帯の状態を決定し, そのバンドギャップの広がりから多孔質Siの発光が量子閉じ込め効果によるものであると結論した。

さらに, 質量選別したクラスターの光電子分光を行う新しい手法が紹介された。これは, PACIS (Pulsed arc cluster ion source) を用いてパルス電場で蒸発させたクラスターをTOFで質量分離し, ガス状態で通過するクラスターに紫外線を照射して30meVの高分解能で光電子分光測定を行う手法で, Au₂, Au₄(四角), Au₆(亀甲状)クラスターの価電子状態の量子化準位が測定出来ていた。この研究はアイデアがすばらしく, また結果もクラスターサイズによって価電子帯のスプリットングが見事に变化しており, 教科書に載せられるデータだなあと感心した。また, 炭素原子5~70個のクラスターにおける振動モードのサイズ依存性が初めて明らかになったことが示された。これは近着のPhys. Rev. Lett. 74 (1995) 1095に掲載されている。

SRRCのJ. M. Chen氏は“The electronic structure, electronic decay and desorption processes of molecular film following core-level excitation

using SR”と題して講演した。SiCl_n(CH₃)_{n-4}凝縮相からのXANES, 光刺激脱離(PSD)を測定し, $h\nu = \text{約} 110\text{eV}$ に現れる2つのCl⁺ PSDピークはSi2p電子のRydberg軌道への遷移によるものであることを見出している。従って, 吸着分子の分解はSi2p正孔のspectator Auger decayが価電子帯に複数の正孔を引起し, そのクーロン反発がイオン脱離を引き起こすという機構が正しいと考えられるとしていた。共鳴光電子分光によってもこれを支持する結果を得ている。

ポスターセッションではSRRCの軟X線顕微鏡と光電子顕微鏡のプロジェクトが発表されていた。これはIAMSのT. J. Chuang教授(本シンポジウムの委員長)が中心になって進めている計画である。25名が参加する本プロジェクトでは, 電子材料, 生物材料中のナノ構造を作り, モディファイし, 解析することを目的にしており, 基礎反応機構の解明と化学プロセス制御をねらっている。これは, ツールとしてアンジュレータからの約90~400eVの単色光をSchwarzschild対物レンズで集光したものを用い, 半導体の化学エッチング, 膜堆積, ダイヤモンド表面化学, 金属クラスター, 神経や細胞などを研究対象とするという計画である。

さらに, 台湾精華大学のS. C. Yang氏らはAl(111)表面に吸着したCH_xCl_{4-x}, やCH_xI_{4-x}について光刺激脱離, 光電子分光で調べ, 解離化学吸着と物理吸着の2種類存在することを明らかにしていた。また, IAMSのJ. C. Lin氏らはダイヤモンド(111)面上の原子, 分子吸着状態を310eVから400eVの軟X線で励起した光電子分光(CIsスペクトル)から解析していた。また, SRRCのK. D. Tsuei氏らはCu(111)上のC60について光電子分光によって解析していた。さらにSRRCのT. W. Pi氏はa-Si:H, a-Si, c-Siの上にアルカリ金属を吸着させ, その価電子帯の様子を光電子分光で解析していた。

放射光関係以外にも面白い発表がいくつかあったが, 紙面の関係で2つだけ紹介する。東大物性

研の田中慶一教授は, 化学再配列(Chemical reconstruction)という概念を作り, これをCu(110)面上の酸化物鎖: <001>方向の一次元準化合物で実証した。この鎖を空想ピンセット(?)でAg(110)面に移動させて, Ag-O鎖とCu-O鎖を自己組織化によって独特の形状で共存させた。これをSTMによって観測し, さらにCu原子6個のクラスターが配列する原子スケールのパターンニングが金属表面の酸化・水素化のみで実現することを証明した。従来のリソグラフィで力まかせにナノパターンを作るやり方に比べ, 化学リソ(?)と呼べる斬新なアイデアである。

台湾中央研究院物理研究所T. T. Tsong教授(Penn-Stateに28年間滞在後に帰国)はFIM(Field Ion Microscopy)でIr(001)やPt(001)表面上の吸着原子の動きを解析し, 表面のチャンネルに沿ったmigrationは0.80eVの活性化エネルギーであるのに対して, チャンネルを作る原子を押し出して進むcross-channelのmigrationは0.71eVと低い活性化エネルギーを持つことを見出している。また, 従来は原子はステップを降りるものと思われていたが, ステップを登る原子運動もあることを見つけて出している。後日実験装置を見せてもらったが, 何の変哲もないように見える小さなFIM装置には幾つものノウハウが凝集しており, またパルスレーザTOF方式のFIM装置を使って自分で実験をしているTsong教授の研究に対するひたむきな姿勢に痛く感銘した。

他にもIBMのM. L. Yu博士のSTM先端チップを利用した高電流密度電子線描画装置, およびマルチビーム描画システムの話など興味深い話があったが, 紙面の都合で割愛する。

本シンポジウムは終始なごやかな雰囲気の中で進められた。初日の晩餐(図2)ではPolanyi教授の奥さんが中国の十二支に凝ってしまい, 手に持っている紙(写真中央)にある解説書に従ってほぼ全員に誕生年を聞き廻る始末。おかげで, 皆の歳がすっかりばれてしまった。また, さすが世界

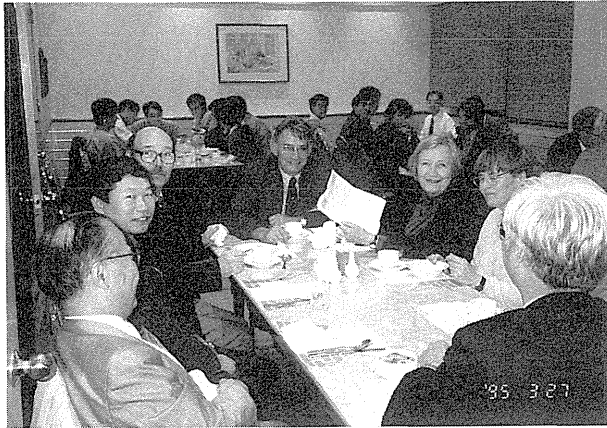


図2 晩餐会で全員の生まれ年を聞いて回り、“You are Tiger!”などと得意気な Polanyi 夫人（中央）とすっかり歳がバレてしまった人達

に冠たる(?)中国式もてなしはすばらしく、毎日誰かに晩餐に招待されて、小太り状態で帰国した。SRRCでは日本との交流が盛んなため、いろんな

人が訪問しており、好奇心の強いK元教授が露天商の?を食べた話とかいろんな面白い話を聞かせてもらった。

最後に印象を記して、筆を置きたい。恐るべき台湾パワーは自力更生精神と海外流出頭脳の環流にある。ノーベル賞学者(李遠哲教授;元 UC Berkeley)を中央研究院長に迎え、その傘下の物理研究所や原子分子科学研究所などにも超一流の研究者を揃えている。研究所の紹介パンフには最近5年間の論文リストが載せられ、一流雑誌に論文掲載出来ない研究者にはさぞ辛かろうという雰囲気である。車間距離ほぼゼロでも所狭しと走り回る台湾タクシー(日本の神風などメじゃないほどすごい)とともに『発熱アジア』の大きなうねりを強く感じた。

会員増加にご協力を

本会では、会員の増加運動を積極的に行なっております。ご周辺の方で未入会の方がおられましたら、是非ともご勧誘下さいますようお願いいたします。新たにご入会下さる方の初年度の会費年額は、半額(正会員は3,000円、学生1,000円)となっております。

入会申込みは本誌綴じ込みの「入会申込書」をご利用下さい。

その他、お問い合わせは下記まで…。

〒170 東京都豊島区東池袋2-62-8 ビックオフィスプラザ507

(有)ワーズ内

日本放射光学会事務局

TEL 03-5950-4896/FAX 03-5950-1292
