

第 34 回欧州表面科学会議 (ECOSS34) 報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター
 利用研究促進部門 室 隆桂之

第 34 回欧州表面科学会議 (The 34th European Conference on Surface Science) が、2018 年 8 月 27 日から 8 月 31 日の 5 日間にわたってデンマークの Aarhus で開催された。会場は、Aarhus の中心部に位置するスカンジナビアンコンGRESSセンター (Scandinavian Congress Centre) であった。筆者は今回が初めての ECOSS への参加であったが、オランダのアムステルダムで第 1 回会議が開催されたのが 1978 年であり、表面物理・化学の基礎から応用に至る分野を俯瞰的に議論する伝統ある会議とのことである。そのような会議の特色を反映してか、今回の会議でもセッショントピックス数は 15 に及び、常時 5 つのセッションが並行して進められるマルチトラックセッションの形態であった。ただし、基調講演に関しては各開催日の開始時間から全員が参加する形で行われた。全体で 6 件の基調講演と 27 件の招待講演、271 件の一般講演、および 129 件のポスター講演が行われた。最終日は 2 件の基調講演と各賞の授賞式のみという構成であった。

初日のオープニングセレモニーにおいて、この 10 年余りの間に特に盛んになった研究として二次元物質とダイナミクス観測が挙げられていたが、それを反映するように、“2D materials”と“Ultrafast dynamics and



図 1 マルチトラックセッションの様子

electronic structure”のセッションが設けられていた。特に、“2D materials”の講演件数 (招待講演を含む) は 45 件であり、“Oxide surfaces and thin films”と並んで本会議で最多であった。現在の表面科学のトレンドを反映しているものと思われる。初日の Ulrike Diebold (TU Wien) の基調講演によると、酸化物の研究もまた過去 10 年で盛んになり、ECOSS で一つのセッションに成長したとのことであった。“Ultrafast dynamics and electronic structure”の講演件数は 14 件と特別に多いというわけではなかったが、電子状態研究のセッション名に“ultrafast”の文字が冠せられているのは、時分割計測が欧州で特に盛んであることを物語っているように感じられた。

筆者は今回、自身が SPring-8 の BL25SU で開発した阻止電場型光電子分析器¹⁾の紹介を目的に、“Novel advancements in theoretical and experimental methods”のセッションに参加したのだが、筆者自身は表面研究の経験がほとんどなく、また前述のように ECOSS への参加も初めてであったため、いささか自身の興味に偏った報告となることをご容赦いただきたい。以下、いくつかの講演について紹介する。

会議のオープニングの基調講演を行った前述の Ulrike Diebold は、酸化物表面を 25 年にわたって研究しているとのことであったが、過去 10 年は基礎表面科学をエネルギー関連の応用に結び付ける取り組みであったという導入からスタートした。酸化物表面の走査型トンネル顕微鏡 (scanning tunneling microscopy: STM) による観察では伝導性の問題が生じる。そこで、超高真空 (UHV) 環境下での酸化物表面の原子分解能観察を可能にするために開発した非接触原子間力顕微鏡 (noncontact atomic force microscopy: nc-AFM) を紹介し、STM では empty states として観測される領域が nc-AFM では観測可能であるという例を示した。表面科学の会議というこ

ともあり後述の講演紹介も含めて全体を通じて走査型プローブ顕微鏡による研究講演が多く、装置開発のためゆめなき努力が続けられていることを実感した。

会議初日の“Ultrafast dynamics and electronic structure”のセッションで招待講演を行った Ralph Ernstorfer (Max-Planck-Gesellschaft) は、電子と格子との相互作用を観測するために、時分割角度分解光電子分光 (time- and angle-resolved photoelectron spectroscopy: tr-ARPES) とフェムト秒電子線回折 (femtosecond electron diffraction: FED) を相補的に用いて行った MoS_2 の研究を紹介した。Tr-ARPES では、500 kHz でパルス幅が 22 fs のレーザー光を用い、非占有状態に励起された電子を数 10 fs の時間間隔で観測した結果を示した。将来の展望は excited state microscopy に結び付けるとのことであった²⁾。Cheng-Tien Chiang (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg) は、同じくパルスレーザーを用いた double photoemission (DPE) の手法を紹介した。2 台の飛行時間 (time of flight: TOF) 型電子エネルギー分析器を用いてコインシデンス測定を行うものである。DPE が電子相関に起因するという特徴を利用し、Cu および Ag に対して電子相関の強さを評価した結果を示した。電子相関の強さは、single photoemission に対する DPE の強度で評価することである。Jan Gerrit Horstmann (University of Göttingen) は、彼らが開発した超高速低速電子線回折 (ultrafast low-energy electron diffraction: ULEED) を紹介した。電子銃のチップへのレーザーパルス照射によって放出された電子パルスを用い、1 ps の時間分解能を達成したとのことである。特別に開発したという直径が数 10 μm の電子銃には驚かされた。適用例として、1T-TaS₂ の電荷密度波 (charge density wave: CDW) 状態への相転移や、Si(111) 上の In ワイヤーにおける構造相転移の測定結果が示された。なお、Horstmann はこの講演により、会議最終日に ECOSS 賞を受賞した。

会議 2 日目の基調講演の Anders Nilsson (Stockholm University) は、触媒反応における中間状態の観測の重要性を説き、SLAC 国立加速器研究所の LCLS および Elettra Sincrotrone Trieste の FERMI において自由電子レーザーを用いて進めている時分

割の X 線吸収分光 (X-ray absorption spectroscopy: XAS) および X 線発光分光 (X-ray emission spectroscopy: XES) による研究を紹介した。400 nm のレーザーをポンプ光とするポンププローブ法により、200~300 fs の時間分解能でのワンショット測定が実現しているとのことであった。Ru(001) 単結晶上での CO 酸化反応の研究を例として示し、中間状態の観測に初めて成功したことを強調した。

“Novel advancements in theoretical and experimental methods”のセッションでは、Eli Rotenberg (Advanced Light Source: ALS) が、ALS のビームラインである MAESTRO (the Microscopic And Electronic STRucture Observatory) に関する招待講演を行った。10 μm の光スポットによる microARPES に加えて nanoARPES を開発し、現在のところ 100 nm 程度の空間分解能での測定が実現しているとのことであった。また、エアロックから各測定装置まで試料を自動で搬送する装置を開発したとのこと、その様子を撮影した動画が紹介された。同じく本ビームラインに設置されている PEEM 装置も含め、将来的にはビームラインの全ての装置間で試料を大気暴露することなく搬送できるシステムにするとのことである。nanoARPES 装置の開発もさることながら、この搬送システムの構築にも膨大な時間と労力が注がれているものと推察され、同じく共同利用装置を担当する者として感服する思いであった。Alfred J. Weymouth (University of Regensburg) は、lateral force microscopy (LFM) に関する招待講演を行った。通常の AFM ではチップを試料表面に対して垂直に振動させるが、LFM では表面に平行な方向に振動させることにより短距離力の原子間力への感度を高める。その適用例として、Si(100) の水素終端面におけるドメイン境界を用いて 1 原子レベルでの摩擦を検出したという研究が紹介された。また、チップの先端に CO の 1 分子を吸着させ、さらに試料表面にも CO 分子を吸着させた状態で LFM を行い、CO のねじれバネ係数を決定した結果が示された。

3 日目の基調講演は、Roman Fasel (Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology) によるグラフェンナノリボン (GNR) の生成とその物性に関する講演であったが、今後数十

年の目標は UHV 環境での基礎研究をクリーンルームでのデバイス作成に変えていくことであるとの導入からスタートした。グラフェンは高い移動度を持つが、バンドギャップを持たないためそのままではデバイスに応用できない。GNR の場合、リボンの幅でバンドギャップが制御できるため、デバイス応用が期待できる。講演では GNR のボトムアップ方式による生成法や、電界効果トランジスタ (FET) にする際に必要となる絶縁体基板への転写の方法、GNR で作成した FET の性能などが示された。GNR の成長プロセスは UHV 環境下において全てコンピューター制御で行われているとのことであった。筆者も過去にグラフェン関係の研究プロジェクトに参加した経験があるが、現在もデバイス応用に向けた努力が続けられていることを実感した。

“Organic molecules and molecular architectures on surfaces”のセッションでは、Leonhard Grill (University of Graz) の招待講演において、STM によるポリマーの伝導性測定が紹介された。基板上でボトムアップ方式により分子をポリマー化したのち、STM の探針でポリマーの片側の端をピックアップして持ち上げ、もう一方の端が基板表面に接している状態で電圧を印可し、電流を測定するという手法である。例として、グラフェンナノリボンのエッジに周期的に欠陥がある試料を測定すると、探針を持ち上げる高さに依存して電流が階段状に変化するという結果が示された。筆者はこのような手法があることに驚かされたのであるが、本会議中に他の講演者も同様の測定を示していたことから、多用されつつある手法なのかもしれない。

会議最終日の基調講演では、Jinfeng Jia (Shanghai Jiao Tong University) が、分子線エピタキシー (molecular beam epitaxy: MBE) を用いて作成した様々な物質に関する研究を紹介した。Jia は、STM や ARPES といった手法を *in situ* で行うことの重要性を強調した。例えば、スタネン (スズの二次元物質) の研究では、彼らは *in situ* で STM 観察を行った後に ARPES を測定し、その結果を理論計算と比較していたが、STM で構造を確認しているので理論計算との比較が可能なのとのことであった。筆者も自身が担当する装置で表面研究を推進しようとしているのだ

が、このような *in situ* での試料作製の必要性を認識することができた。

さて、ECOSS という会議であるが、前述のように一般公演数が 271 件に対してポスター講演数が 129 件と口頭発表に比重がおかれている。つまり、講演申込が口頭発表として受理される可能性が比較的高い会議と期待され、海外での口頭発表の経験を積みたいとお考えの学生・若手研究者の皆様にはお勧めの会議ではないかと感じた (筆者も今回、口頭発表として受理していただいた)。次回の会議 (ECOSS35) は、2020 年の 8 月 23 日から 28 日にルクセンブルグ大学で開催されるとのことである。「グラフェンの発表は 2004 年であったが、ルクセンブルグ大学はその前年の 2003 年に設立された新しい大学」という紹介が印象的であった。

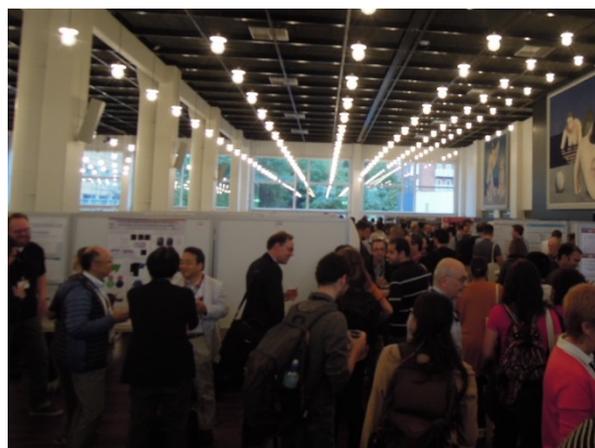


図2 ポスター会場の様子

参考文献

- [1] T. Muro, T. Ohkochi, Y. Kato, Y. Izumi, S. Fukami, H. Fujiwara and T. Matsushita: *Rev. Sci. Instrum.* **88** (2017) 123106.
- [2] P. Puschnig, S. Berkebile, A. J. Fleming, G. Koller, K. Emtsev, T. Seyller, J. D. Riley, C. Ambrosch-Draxl, F. P. Netzer and M. G. Ramsey: *Science* **326** (2009) 702-706.

室 隆桂之 *MURO Takayuki*

(公財) 高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0802 ext 3869
e-mail : muro@spring8.or.jp