

USD10にて Young Researcher Poster Award を受賞

松田（巖）研究室 博士課程2年 伊藤 俊

この度、2017年6月11日~16日にドイツのInzellにて開催された超高速現象の国際会議 The 10th International Symposium on Ultrafast Surface Dynamics (USD10) にて、“Photo-induced ultrafast potential shift observed at a metal-semiconductor interface of a Bi thin film”という講演を行い、Young Researcher Poster Awardを受賞致しました。超短パルスレーザーを用いた物質表面での超高速ダイナミクス研究に特化した会議であり、フェムト秒(10^{-15} 秒)時間分解光電子分光・電子回折、テラヘルツ時間領域分光、そしてアト秒(10^{-18} 秒)パルス発生などの幅広いトピックで第一線の研究者が一同に会しました。若手研究者・学生を中心に約 50 件のポスター発表が行われ、その中から 3 名が Award を受賞しました。

物質表面・界面に光を照射したときに電位(ポテンシャル)がシフトする現象は、光誘起起電力としてよく知られており、太陽電池やフォトダイオードなどの光エレクトロニクスデバイスを駆動する基本原理です。その基本的な機構は、光生成したキャリア対(電子・正孔ペア)が、表面・界面でのバンドベンディングに沿って空間分離することに基づき理解されてきました。実験的な検出にはもちろん電圧を直接測ることもできますが、物質に光を照射したときに放出される光電子を使うこともできます。光電子の放出過程ではエネルギーおよび運動量が保存されるため、光電子分光法は物質のバンド分散を直接取り出せる強力な手法です。光電子は物質表面の数原子層から放出されるため、基板に対するポテンシャル変化を、バンド分散がエネルギー方向へシフトする形で検出することができるのです。

さらに光としてパルス光を用いて、ポンプ光とプローブ光の2つのパルスの時間遅延を制御することで、起電力が時間的に変化する様子を取り出すこともできます。これまで、マイクロ秒(10^{-6} 秒)~ナノ秒(10^{-9} 秒)の時間スケールの起電力ダイナミクスが盛んに観測され、キャリアが熱的に拡散する過程やトンネリングする過程に基づき理解されてきました。しかし、さらに速いフェムト秒~ピコ秒(10^{-12} 秒)スケールの起電力ダイナミクスが調べられるよ

うになったのはつい最近であり [1]、未解明の領域です。とくに、バンドベンディング領域でのキャリアの空間分離と起電力の変化が同じ時間スケールで起きてしまうため、従来のシンプルな描像が適用できるかは非自明であり、この時間スケールでの起電力の存在を疑問視する意見もありました。

本研究では、ゲルマニウム(Ge)基板上に成長させたビスマス(Bi)薄膜の金属-半導体接合のバンドベンディング領域において、フェムト秒からピコ秒の時間スケールで起電力が生成・緩和する様子を捉えました。このような超高速の時間スケールでポテンシャルが変化すると、検出器へ飛行中の光電子がダイナミカルに加速(減速)されることが予想されており [2]、その特異な時間構造を捉えることで起電力の変化が起きていることを確認しました。さらに、起電力の時間変化が、光電子スペクトルの経時的な変化におよぼす影響を明らかにしました。また、キャリアの空間分離をその初期過程から考えた場合、従来の描像においても、このような超高速の時間スケールで起電力が生じうることを示しました。これらの結果は、物質表面・界面での起電力ダイナミクスの理解をより速いスケールまで拡張していく第一歩になると考えております。現在、議論の精密化を行って、この時間スケールでの起電力ダイナミクスの包括的な理解を目指しています。

また最近私たちは、高分解能光電子分光測定と量子干渉効果を組み合わせた独自の測定によって、Bi が近年注目を集めるトポロジカル物質であることを解明しました [3]。トポロジカル物質の表面では無磁場下でもスピン偏極した電子状態が存在し、スピンを情報伝達に用いた次世代デバイスへの応用が活発に研究されています。とくに最近では、トポロジカル絶縁体表面での光起電力を利用した新しい素子の提案がなされており [4]、トポロジカル物質と光起電力の結合はより重要なトピックになっていくと予想されます。

少し余談になりますが、今回の会議は合計 200 名程度の参加者が合宿場に宿泊する形式であったため、セッション

の時間だけでなく、コーヒースタンドや食事などの全ての時間を通して、様々なバックグラウンドを持つ各国からの参加者と議論を楽しむことができました。会議も1つのホールに集まるシングルセッションの形で行われたため、非常に濃密な議論が交わされ、最先端の超高速ダイナミクス研究を十分に味わうことができました。また今回実感したのは、この分野におけるドイツの存在感です。他国の最高レベルの環境を持つグループが複数、それも様々なトピックにおいて存在していることは大変な驚きでした。一方で、お互い競争的な関係にあるグループ間でも和やかに議論が交わされており、共同研究の試みも多数なされているなど、建設的で親密なコミュニティが形成されていると感じました。ドイツを中心とするヨーロッパ各国がこの分野を牽引していくことを強く印象づける会議であり、研究成果以外にも多くのことを学ぶことができました。

最後に、本研究を行うにあたって多大なご支援をいただきました、物性研究所の辛埴教授、松田巖准教授、石田行章助教、山本達助教、吉本真也助教に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Y. Ishida *et al.*, *Scientific Reports* **5**, 8160 (2015).
- [2] S. Tanaka, *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **185**, 152 (2012).
- [3] S. Ito *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **117**, 236402 (2016).
- [4] Y. Ishida, private communications.



授賞式の様子。時間分解光電子分光の大家である Martin Aeschlimann 先生(左)と Ulrich Höfer 先生(右)から受賞者に賞状が贈られました。お二人は長年日本のコミュニティとの交流が深く、また今年還暦を迎えられるため、赤いちゃんちゃんこがプレゼントされていました。