

SNS2019 の Young Researchers Award を受賞して

附属極限コヒーレント光科学研究センター 岡崎研究室 鈴木 剛

この度、Spectroscopies in Novel Superconductors 2019(SNS2019)の Young Researchers Award を受賞させていただきました。1991 年から続くこの国際会議は、現在では3年に1度開催され、分光学やそれを利用した超伝導などの新物質・材料の研究について発表、議論されます。2019 年は東京大学本郷キャンパス伊藤国際学術研究センターで開催され、そこで発表された中から、特に優秀なものに本賞が贈られました。このような歴史ある国際会議で栄誉ある賞を頂き、大変光栄です。辛先生、岡崎先生をはじめ、本研究にご協力いただいた全ての共同研究者の皆様に、この場をお借りして心より感謝申し上げます。

受賞対象となったのは、“Time-Resolved ARPES Study on Ta₂NiSe₅”(「時間分解光電子分光法による Ta₂NiSe₅ の研究」)です。先行研究として我々は、昨年、英雑誌 Nature Communications にて発表させていただき [1]、物性研だより第 58 巻第 4 号にも「電子と正孔が結合した絶縁体において実現した光誘起半金属状態」として取り上げていただきました。そこでは、励起子絶縁体の有力な候補物質として注目されている Ta₂NiSe₅ が、光励起により半金属状態になることを報告しましたが、その機構や状態というのは未解明でした。そこで本研究では、新しい分光手法「周波数領域角度分解光電子分光法」を開発し、その結果、励起状態における電子・格子相互作用を詳細に調べることに成功しました。以下、この物質 Ta₂NiSe₅ の基本的な特徴と光誘起相、そして本手法の将来展望について述べさせていただきます。

励起子というのは、電子と正孔がクーロン引力によって対になった準粒子で、主に光励起した半導体で観測、研究されてきました。しかし、光励起した半導体では、電子と正孔はやがて寿命を迎え、励起子は消滅してしまいます。そこで、光励起しないでも平衡状態として励起子が存在し、さらに、自発的に凝縮することにより、電子正孔 BCS 状態や励起子 BEC 状態といった量子凝縮状態が形成されないかと予言されました [2]。これが励起子絶縁体です。しかし、理論的な予言から長らくの間、その候補物質が見つからなかったために、励起子絶縁体の研究は約四半世紀ほど目立った進展はありませんでした。その後、1T-TiSe₂

などの間接遷移型半金属が候補物質として注目されましたが、励起子凝縮が電荷秩序波相(CDW)への転移に伴って生じる機構であることから、純粋なクーロン引力が引き金となっているのかといった曖昧さが残っておりました。そこで近年注目されているのが、本研究対象物質である Ta₂NiSe₅ です。この物質は、直接遷移型の狭ギャップ半導体であり、CDW 転移を伴わずに励起子凝縮が起こると提唱されていることから、励起子絶縁体の理想的な条件を備えていると考えられてきました。

Ta₂NiSe₅ の平衡状態については、これまで光電子分光をはじめとする一連の研究が行われ、励起子絶縁体の特徴を持っているということが分かってきました [3]。そしてごく最近では、平衡状態のみならず光励起状態についても興味を集めるようになり、様々な研究・現象が報告されるようになりました。これは、レーザー技術の飛躍的な進歩により、光励起後の非平衡状態をフェムト秒の時間分解能で観測することが可能になってきたことが大きく貢献しています。このような背景のもと、我々は、パルスレーザーを用いた時間分解光電子分光を Ta₂NiSe₅ に対して行い、思いがけず、光励起により半金属状態になることを見出しました。しかしながら、その機構・状態は未解明というのが前回までの内容でした。

そこで我々は、まずその光励起状態を詳細に調べるために、我々の先行研究 [1] と比べてより信号対雑音比の高い測定を行いました。その結果、エネルギー・運動量空間上で、光電子強度にコヒーレントフォノンに起因する多数の振動が明確に表れました。この各振動成分の強度をフーリエ変換で抽出し、エネルギー・運動量空間上に表したのが、今回我々が開発した周波数領域角度分解光電子分光法です。これにより、電子バンドとフォノンモードの結合について選択的に判別でき、特に、光誘起相は、2 THz のコヒーレントフォノンに相当する格子変調と最も相関が強いことが判明しました。

最後に、少し紙面を割いて、本手法の将来展望と私の今後の研究について述べさせていただきます。本手法は、電子バンドが時間領域で振動することを利用したのですが、これは電子格子相互作用に限るものではなく、マグノンな

ど他のボソンと電子バンドとの結合にも適用できるものです。さらに、現在は近赤外の励起光源を用いて、電子励起を起こした結果としてコヒーレントフォノンを励起しておりますが、励起波長を、例えば中赤外やテラヘルツ領域まで長くすることができれば、赤外活性のフォノンそのものを励起することも可能となります。現在私は、岡崎研究室において、高次高調波レーザー時間分解光電子分光法を主に開発・管理しておりますが、今後の研究展望として、特に、励起光源を広げていき、様々な励起現象を捉えていくことに興味を抱いております。若輩者ですが、今後ともどうぞよろしくお願い申し上げます。

- [1] K. Okazaki, *et al.*, Nat. Commun. **9**, 4322 (2018).
- [2] D. Jérôme, *et al.*, Phys. Rev. **158**, 462 (1967).
- [3] Y. Wakisaka, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **103**, 026402 (2009).

