

# 陽電子を用いた物質研究の将来と物構研低速陽電子実験施設の役割

永井 康介

KEK 物質構造科学研究所 低速陽電子実験施設  
東北大学 金属材料研究所

物構研の量子ビーム 4 本柱の一つである低速陽電子の共同利用研究は、2010 年以降めざましい発展を遂げ、今や実質的に世界最高強度の陽電子源を提供するとともに、これを用いたユニークな物質研究により世界的な注目を集めるに至った。講演者は、本年 10 月より当グループにクロスアポイントメントにより加わったばかりであるが、これらの成果が、放射光科学研究系に属する、常勤職員のいない 1 グループによって成し遂げられたことは、驚くべきことと感じている。

本講演では、最近の代表的な研究を 2 つほど紹介し、陽電子による物質研究が新たな段階に入ったことを示すとともに、当施設の将来に期待することを私見も含めて述べてみたい。

## 1. 全反射高速陽電子回折 (TRHEPD) による表面物理

反射高速電子回折 (RHEED) の電子を陽電子に置き換えた TRHEPD は、エネルギー 10keV 程度の陽電子を表面にすれすれの角で入射して、表面の原子配置を調べる手法である。電子の場合と異なる際立った特徴は、陽電子の全反射が起きること、その結果、最表面電子層に対する卓越した感度をもつことである。最近、当施設の世界最高強度の高輝度陽電子ビームを活用して、様々な物質表面構造を決定している。たとえば、光触媒として有名なルチル型  $\text{-TiO}_2(110)\text{-}(1\times 2)$  の表面構造が“非対称  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  モデル”で説明できることを示し、30 年間論争に決着をつけた。また、次世代デバイス材料の候補として注目されているシリセンやゲルマネンなどの二次元物質の構造（特に、電子構造に影響を与えるバックリングの大きさや基盤との距離）を決定し、この方法がいつでも有効に使えることを示した。

## 2. ポジトロニウム負イオン ( $\text{Ps}^-$ ) の光脱離の実現とその応用研究

$\text{Ps}$  は絶縁体や磁性体表面研究の新たなプローブとして期待されているが、中性かつ短時間で消滅してしまうため、その高強度なエネルギー可変ビームの生成は困難と思われていた。しかし、アルカリ金属を蒸着したタングステン表面から高効率で放出される  $\text{Ps}^-$  にレーザー光を照射して電子を光脱離させることにより、世界最高強度のエネルギー可変  $\text{Ps}$  ビームの形成に初めて成功した。さらに、この光脱離過程に含まれる Shape Resonance の存在を実証した。最近、このエネルギー可変  $\text{Ps}$  ビームを用いた  $\text{Ps}$  回折実験も行われており、今後、我が国発の新たな固体表面分光法に道を拓くものと期待されている。

これらの研究をさらに進めるには、常勤スタッフが必要なことはいうまでもないが、ハードウェアとしては、陽電子ビーム強度の 1 桁以上の増強を実現したい。これにより、ビームラインの分岐によって同時並行で様々な実験が行えるようになり、成果の飛躍的な増大が見込まれる。また、陽電子マイクロビームを使った表面近傍の欠陥解析の実空間 3 次元分布解析や、動的過程の追尾など、従来は不可能であった実験も可能になろう。実のところ、当施設のビーム強度は、設置場所の天井の厚みで制限されていることから、天井が厚い北側の旧テスト・リニアック室に専用リニアックを移設すれば、大規模実験施設の建設を最小限に抑えてビーム強度の 1 桁増強が可能であり、早期に実現したいと考えている。