

低速陽電子ビーム技術の新展開

New development of slow positron beam technology

東理大理¹、KEK²、長嶋 泰之^{1,2}

Tokyo University of Science¹, KEK², Yasuyuki Nagashima^{1,2}

E-mail: ynaga@rs.tus.ac.jp

電子の反粒子である陽電子は、フェルミ面の測定や金属・半導体の格子欠陥の研究、ポリマーの研究などに用いられ、固体のバルクに関する情報をもたらすプローブとして大きな役割を果たしてきた。また、気体分子との相互作用やポジトロニウムに注目して原子物理学としての研究にも用いられてきた。近年、高強度の単色陽電子ビームの使用やそれを溜め込んで高密度の陽電子ビームを得ることが可能となり、陽電子を用いた研究が新たな時代を迎えている。

陽電子による分析では、線源（放射性同位元素 ^{22}Na が用いられる）から放出される陽電子を直接試料に入射して測定が行われることが多い。線源から放出される陽電子は数 100 keV のエネルギーをもって放出されるが、陽電子の散乱断面積は電子との対消滅の断面積と比べてはるかに大きいので、試料中で極めて短時間のうちに熱化し、熱化後の対消滅によって放出される γ 線を通して情報を提供する。ただし放出時のエネルギーによって試料中を広がってしまいバルク中の平均的な描像しか得られず、例えば表面に特化した研究は難しい。これを解決するために、陽電子のエネルギーをいったん数 eV 程度にまで減速し、それを再加速して単色の陽電子ビームとして用いる技術が開発された。このようなビームは、低速陽電子ビームと呼ばれる。ただし、減速の過程で陽電子の多くが対消滅によって失われるためビーム強度に限界があり、研究の進展が妨げられていた。近年、加速器を用いて 50 MeV 程度まで加速した電子を重金属中に入射し、制動 X 線から対生成によって発生する陽電子を減速することで、従来よりも数桁強い低速陽電子ビームが安定して得られるようになった。このような低速陽電子ビームは、現在、高エネルギー加速器研究機構の低速陽電子実験施設や産業技術総合研究所で利用されている。また、原子炉で発生する大量の γ 線の対生成で発生する陽電子を減速して低速陽電子ビームとして利用することも可能で、ミュンヘン工科大や京大複合原子力科学研究所で実用化されている。さらに、陽電子の減速材に固体ネオンを用いることによって、 ^{22}Na から放出された陽電子を従来より効率よく低速化することが可能になり、大型施設ほどではないが、やはり従来よりも高強度の低速陽電子ビームを利用することが可能となっている。

以上のような高強度ビームを用いることによって次のような研究が行われている。

- ・陽電子回折による結晶最表面の構造解析
- ・金属・半導体中の格子欠陥 3 次元分布の測定
- ・表面スピンの研究
- ・反水素原子やレプトン束縛系の物理の新展開

講演ではこれらの研究の中からいくつかを選んで紹介する。