

KEK 物構研における陽電子表面回折の最近の進展 Recent Progress in Positron Diffraction at KEK-IMSS

兵頭 俊夫
KEK 物構研

電子線による表面構造解析法である RHEED と LEED において、電子を陽電子に置き換えたものが TRHEPD (Total-reflection high-energy positron diffraction) と LEPD (Low-energy positron diffraction) である。

TRHEPD は純日本発の手法で、一宮(名大)によって提唱され河裾・岡田 (JAEA) によって実用化された。一方、LEPD は Canter (Brandeis 大)、Mills (AT&Bell 研) らによつて実用化された。これらでは、陽電子源として ^{22}Na 、 ^{58}Co 等の放射性同位体が用いられた。TRHEPD は 2010 年から KEK 物構研の電子リニアックを用いて生成した高輝度・高強度陽電子ビームによる測定が開始された。LEPD も、高輝度・高強度ビームによる世界初の測定を 2016 年内に実現することを目指して、物構研で整備が進められている。

電子回折の表面高感度性の由来は非弾性散乱である(深く侵入するほど非弾性散乱される確率が増えて干渉性を失い回折スポットに寄与しなくなる)。陽電子回折でも、表面高感度性の由来の一つは非弾性散乱である。

しかしさらに、陽電子には電子にはない特徴がある。それは、すべての物質で内部の静電ポテンシャルが正(平均ポテンシャルが $\bar{U} = +10\text{V} \sim +30\text{V}$ 程度)であるための表面超高感度性である。すなわち、TRHEPD では、入射エネルギー E と $e\bar{U}$ で決まる臨界角 $\theta_c = \sin^{-1} \sqrt{e\bar{U}/E}$ より小さい視射角で入射した陽電子は全反射され、最表面の情報のみを含む回折パターンが得られる。さらに、視射角を臨界角よりわずかに大きくすると、陽電子ビームは表面に近くように屈折して侵入するので、表面直下の情報が得られる。電子では、入射エネルギーが 0 の極限でも物質内に引き込まれて全反射されず、入射後は表面から離れるように屈折するので、最表面やその直下のみの情報を含む回折パターンは原理的に得られない。

以上の理由から、陽電子回折は、放射光(X線)回折が固体やタンパク質の 3次元構造の決定に果たしているような役割を、表面(2次元)や表面近傍(2+ α)次元の構造の決定に果たすようになるものと期待される。

既に KEK 物構研では、10年間論争が続いていた Ge(001)-(4×2)-Pt ナノワイヤ表面や 30年間論争が続いていた TiO₂(110)-(1×2)表面の原子配置を決定したり、最近作製されるようになった Ag(111)表面上のシリセンのバックリングの大きさと Ag 表面からの距離、Cu(111)表面および Co(0001)表面上のグラフェンのバックリングの有無と表面からの距離の違いなどを決定してきた。

これらの結果について紹介する。