

# 陽電子-電子対消滅による固体表面からのイオン脱離

立花 隆行\* (東京理科大学理学部第二部 takayuki.tachibana@gakushuin.ac.jp)

長嶋 泰之 (東京理科大学理学部第二部 ynaga@rs.tus.ac.jp)

近年、低エネルギーの陽電子をTiO<sub>2</sub>結晶表面に入射すると、O<sup>+</sup>イオンが真空中に脱離する現象が観測された。この陽電子刺激脱離は、陽電子と内殻電子の対消滅によって引き起こされる。

電子や光子を固体表面に入射したときに、電子励起やイオン化を経由して起こる粒子の脱離は、表面科学の基礎的現象として古くから研究されてきた。特に、TiO<sub>2</sub>結晶表面におけるO<sup>+</sup>イオンの脱離は、内殻電子の励起やイオン化を初期ステップとするイオン脱離の典型的現象として、その過程が詳細に調べられてきた。内殻電子を励起・イオン化できるエネルギーをもつ電子や光子の入射によって固体表面を構成する原子の内殻軌道に正孔が生成すると、その不安定な状態が緩和する過程で原子内や隣接する原子との間で複数の電荷の移動が起こる。その結果、表面で生成したO<sup>+</sup>イオンが周辺のイオンとクーロン反発を起こして脱離する。内殻正孔状態が緩和する過程で生じるイオン脱離は、表面吸着種においても観測される。

一方、陽電子刺激脱離では、固体表面で入射陽電子が内殻電子と対消滅することによって内殻正孔が生じる。その状態の緩和過程においてイオン脱離が起こる点は、電子や光子の入射による脱離と同じである。しかし、陽電子が固体に入射してから消滅するまでの振る舞いが脱離の特徴として反映される。

固体内に侵入した陽電子は、電子と対消滅する前に様々な過程を経由する。電子との対消滅の断面積は、散乱断面積よりも遥

かに小さく、入射陽電子は固体内で電子散乱やフォノン励起を繰り返して急速にエネルギーを失う。熱エネルギー程度まで減速した陽電子は、固体内を熱的に拡散した後電子と対消滅する。数keVまでの比較的低い入射エネルギーであれば、陽電子の固体への侵入長よりも拡散長の方が長くなり、入射陽電子の多くは拡散中に表面まで戻ってくる。このような陽電子が表面にある原子の内殻電子と対消滅することで、イオン脱離が誘起される。

陽電子が電子と対消滅するのに入射エネルギーの消費を必要としないので、陽電子刺激脱離は入射エネルギーがほぼゼロでも起こる。また、拡散中に表面まで戻ってきた陽電子は、表面上に形成されているポテンシャル井戸に束縛されることで、表面層の電子と対消滅する確率が大きくなる。この表面局在性から、陽電子刺激脱離におけるO<sup>+</sup>イオンの収率は電子を入射した場合と比較して桁違いに大きい。さらに、陽電子は消滅するサイトを自ら選択するという性質をもつために、特定のイオン種の脱離が顕著になる。

陽電子入射に特有の脱離現象は、他の粒子を入射した場合とは異なる化学結合の切断や結晶構造の変化を固体表面にもたらすことを意味する。すなわち、陽電子刺激脱離過程の解明は、未解明である陽電子と固体表面の動的な相互作用の理解に繋がるだけでなく、陽電子ビームを用いた新たな表面分析法や表面微細加工法の開発に道を拓く可能性がある。

## 用語解説

### 対消滅：

ある素粒子とその反粒子が衝突した際に、静止質量エネルギーを含むすべてのエネルギーが光子やその他の粒子に転換する現象を指す。電子と陽電子が対消滅した場合には、主に2本のγ線に転換する。

### TiO<sub>2</sub>結晶表面：

TiO<sub>2</sub>は光触媒や太陽電池などに応用される機能性の高い物質である。その重要性から、結晶表面の原子配列や電子状態が古くから研究されてきた。表面における動的過程に関する研究についても精力的に行われており、特に電子や光子の入射で起こる粒子の脱離過程について最も調べられてきた試料である。

\* 現所属：学習院大学理学部