

論文審査の結果の要旨

氏名 齋藤 晴雄

本論文は5章からなり、第1章では導入説明、第2章では実験方法、第3章では実験結果、第4章では結果の考察が述べられている。そして、第5章に結論がまとめられている。

ポジトロニウムは電子とその反粒子である陽電子が水素原子のように結合したものである。ポジトロニウムの全スピンの0のものをパラポジトロニウム、1のものをオルソポジトロニウムと呼ぶ。真空中では、パラポジトロニウムは寿命 125ps で対消滅し2つの γ 線になり、オルソポジトロニウムは寿命 142ns で3つの γ 線になる。物質に入射した陽電子が消滅する際の γ 線を検出することにより物質の性質や物質と陽電子の相互作用に関する情報を得る方法は陽電子消滅 γ 線検出法と総称され、陽電子寿命スペクトルの測定、2光子角相関測定および γ 線ドップラー幅測定などがある。

陽電子寿命スペクトルは、一般に、ns以下の短寿命成分と数十～100ns程度の長寿命成分が現れる。前者はポジトロニウムを形成せずに消滅したものとパラポジトロニウムを形成後消滅したものであり、後者はオルソポジトロニウムを形成した後消滅したものである。この長寿命成分の

割合と寿命はオルソポジトロニウムと物質の相互作用に関する情報を担っている。

2光子角相関法や γ 線ドップラー法では対消滅直前の電子・陽電子の全運動量の分布が得られる。この運動量分布は、一般に、熱化された、あるいは熱化に近いエネルギーまで減速されたポジトロニウムの自己消滅による幅の狭い成分と、ポジトロニウムを形成せず、あるいはポジトロニウムの相手の電子以外の電子との対消滅による、幅の広い成分からなる。

論文提出者は、試料として粒径の異なる2種類のシリカ微粒子とアルミナ超微粒子の3種類を用い、陽電子源自身および紫外線の照射下で、2光子角相関測定、ドップラー広がり測定および陽電子寿命測定を低温(13 K)から室温において行い、オルソポジトロニウムが放射線照射によって生じた常磁性中心とのスピン交換反応により、短寿命化することを初めて示した。

これらの酸化物微粒子集合体に陽電子が入射すると、eV程度の運動エネルギーのポジトロニウムが微粒子間の空隙に放出されることが知られている。ポジトロニウムは微粒子内部に再侵入せず、微粒子表面との衝突を繰り返し、エネルギーを失い、熱化されるか、その途中で消滅する。1992年 Dauwe らは、アルミナ微粒子で生成されたオルソポジトロニウム

の寿命が液体窒素温度で短くなることを見出し、オルソポジトロニウムが、陽電子照射によってアルミナ表面に生じた照射損傷と相互作用していることを示唆した。

本論文では、強い ^{22}Na 陽電子源による照射下での2光子角相関測定から、低温において2光子崩壊が増加すること、増加分の運動量分布は狭いことを見出した。この狭い運動量分布は、熱エネルギー程度に対応する運動量をもつポジトロニウムの全運動量を反映しており、その増加は、本来は2光子崩壊しないオルソポジトロニウムがスピン交換反応によりパラポジトロニウムに変換されたことを明確に示している。さらに、磁場をかけて人為的に2光子崩壊を増すことにより、低温においてのみこのスピン交換が頻繁であることを見出した。

また、強度の異なる陽電子源による陽電子寿命測定を行い、弱い線源では照射効果は見られないが、強い線源の照射では低温において寿命の短縮が起こることを確認し、短寿命化が起こったときのドップラー広がり測定から、この変化が狭い運動量分布をもった成分の増加、すなわち、オルソポジトロニウムがスピン交換して 2γ 崩壊したことによることを証明した。このスピン交換速度が照射時間に比例すること、温度の上昇によって減少することから、この反応が、放射線の照射によって生じた常磁性中心との相互作用によること、この常磁性中心は低温でのみ安定

であることを示した。

さらに、紫外光照射の効果を寿命測定とドップラー広がり測定によって調べ、2種類のシリカ微粒子については紫外光照射によっても上の変化が起こることを確認した。同時にESRにより、スピン交換反応の相手が、 $-\text{OCH}_2\cdot$ ラジカルであることを同定するとともにその量を求め、寿命測定から求めたポジトロニウムのスピン交換速度からポジトロニウムと $-\text{OCH}_2\cdot$ ラジカルとのスピン交換反応断面積を見積った。

以上のように、本論文はポジトロニウムが酸化物微粒子表面の放射線照射によって生じた不対電子とスピン交換反応していることを明確に示すとともに、スピン交換反応断面積を見積り、さらに、ポジトロニウムが微粒子表面の常磁性中心を検出する手段として有効であることを示して、新しい表面研究手法を提案しており、意義のある研究である。

なお、本論文の研究は、兵頭俊夫氏、長嶋泰之氏らとの共同研究であるが、論文の提出者が主体となって分析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって本論文は博士（理学）の学位請求論文として合格と認められる。