

【基盤研究(S)】

総合・新領域系（複合新領域）



研究課題名 ポジトロニウム負イオンの光脱離を利用した ポジトロニウムビーム科学の展開

東京理科大学・理学部・教授

ながしまやすゆき
長嶋 泰之

研究分野：複合新領域

キーワード：電子・陽電子

【研究の背景・目的】

陽子と電子が束縛しあえば水素原子が形成される。水素原子中の陽子を電子の反粒子である陽電子に置き換えると、ポジトロニウムと呼ばれる中性粒子になる。ポジトロニウムを構成する電子と陽電子は、125ps、あるいは142nsという短い寿命で対消滅するが、消滅までの間、中性原子として振る舞う。つまり、ポジトロニウムは最も軽い「原子」である。ポジトロニウムは電子を中性化した粒子とみなすこともできる。これをエネルギーの揃った、しかもそのエネルギーを自由に換えられるビームにすれば、物質表面の有効な分析手段になり得ることは、古くから予測されていた。しかし実際にそのようなビームを生成するのは容易ではない。これまでに作られているポジトロニウムビームは、低速陽電子ビームを気体標的に入射したときに電荷交換反応によって下流側に生成されるもので、強度が弱くエネルギーが400eV以下に限られている。

我々は近年、アルカリ金属を蒸着したタングステンに低速陽電子を入射すれば、ポジトロニウムに、さらにもう1個の電子が束縛したポジトロニウム負イオンが表面から大量に放出されることを見出した。ポジトロニウム負イオンは電荷をもつため、電場で容易に加速することが可能である。我々は、このようなポジトロニウム負イオンにレーザー光を照射して光脱離（電子とポジトロニウムに分離すること）させることにも成功している。この技術を用いれば、任意のエネルギーを有するポジトロニウムビームを生成することが可能である。1keV以上のエネルギーを持ったビームを生成すれば、短い寿命の間にも物質の分析に十分な距離を飛行するようになる。

本研究課題では、この現象を利用して本格的なエネルギー可変ポジトロニウムビームを生成する。得られるビームは高品質でかつ高強度である。これを用いれば、ポジトロニウムビームの科学という人類未踏の分野を切り開くことが可能になる。

【研究の方法】

ポジトロニウム負イオンの寿命は479psと短いため、光脱離させるためには、高出力パルスレーザー光を照射する必要がある。本研究課題では、パルスレーザーと同期して使用可能な陽電子源として、次の2つを用いる。1つは、線形加速器を利用して生成される低速陽電子ビーム、もう1つは、密封線源から放出される陽電子を減速して溜め込んだ状態から引き出される、パルス状低速陽電子ビームである。

加速器で生成される陽電子源には、高エネルギー加速器研究機構低速陽電子実験施設で得られるパルス状低速陽電子ビームを利用する。もう一方の溜め込み陽電子を用いるパルス状低速陽電子ビームでは、放射性同位元素 ^{22}Na の β^+ 崩壊で放出される陽電子を用いる。十分に減速して磁場と電子で溜め込み、そこからパルス状ビームとして引き出して利用する。加速器を用いる装置と比べるとコンパクトで、通常の大学の研究室規模でも実現可能である。

【期待される成果と意義】

ポジトロニウムは多くの物質に対して負の親和力をもつため、試料表面第1層の分析に威力を発揮すると考えられる。しかも電気的に中性であるため、表面が帯電しやすい絶縁体に入射しても、入射エネルギーが帯電の影響を受けない。このことを利用して、絶縁体最表面の分析手法の開発を行う。特に、表面すれすれの角度で入射して回折像を得る手法の確立を目指す。

同時に、本研究課題で得られるエネルギー可変ポジトロニウムビームは、未だ十分に研究され尽くされていないポジトロニウムやポジトロニウム負イオンの性質の研究に利用可能である。本研究課題では、このようなレプトンからなるエキゾチックな束縛状態の解明にも迫る。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Y. Nagashima, T. Hakodate, A. Miyamoto and K. Michishio, *New J. Phys.* 10 (2008) 123029.
- H. Terabe, K. Michishio, T. Tachibana and Y. Nagashima, *New J. Phys.* 14 (2012) 015003.
- K. Michishio, T. Tachibana, H. Terabe, A. Igarashi, K. Wada, T. Kuga, A. Yagishita, T. Hyodo and Y. Nagashima, *Phys. Rev. Lett.* 106 (2011) 153401.
- K. Michishio, T. Tachibana, R. H. Suzuki, K. Wada, A. Yagishita, T. Hyodo and Y. Nagashima, *Appl. Phys. Lett.* 100 (2012) 254102.

【研究期間と研究経費】

平成24年度～28年度
167,500千円

【ホームページ等】

<http://www.rs.kagu.tus.ac.jp/ynagahp/>