

Positronium Time of Flight Spectrum from NEG surface obtained by High-intensity Slow-positron beam

T. Kurihara¹, M. Ikeda, A. Enomoto, T. Oogoe, S. Ohsawa, Y. Ogawa,
K. Kakihara, T. Shidara, A. Shirakawa, H. Nakajima, K. Furukawa,
T. Sanami

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-0801, Japan

Abstract

A new slow positron beamline based on a dedicated linac is described. A positron beam is a useful probe for investigating the electronic states in solids, especially concerning the surface phenomena. However, such studies as low-energy positron diffraction, positronium spectroscopy and positron microscopy, which require high intensity slow-positron beams, are very limited due to the poor intensity normally obtained from a conventional radioactive-isotope-based positron source, compared with electron source. We started slow-positron beam experiments with linac based high intensity beam last year. The pulsed beam is used for positronium time-of-flight (Ps-TOF) spectroscopy. This method is applied for a study of non-evaporable getters (NEG). Positronium emission from the surface is obtained. Different process is found when the injection energy of the positron beam increase.

高強度低速陽電子ビームを用いたNEG表面 からのポジトロニウムTOFスペクトル

1. はじめに

さまざまな分野で低速陽電子ビームの利用への関心が高まっている。しかしながら、放射性同位元素を用いた陽電子線源からの低速陽電子線は、既に使われ、確立している電子線利用の分析方法における電子線源に比べて格段に弱い。これはひとえに反粒子を作り、用いることの困難さが原因である。近年、加速器利用、および原子炉利用の高強度陽電子ビームの開発がすすみ、利用できる状況となってきた。ここでは高エネルギー加速器研究機構における、新しい低速陽電子実験施設の状況を報告する。

2. 低速陽電子実験施設

高エネルギー加速器研究機構・低速陽電子実験施設^{[1][2]}は50MeVの専用電子線形加速器、低速陽電子線源部、低速陽電子輸送路、そして、ポジトロニウム飛行時間法分光装置からなる。陽電子ビームの仕様は強度、パルス幅、繰り返し等各種のパラメータがあるが、今回の実験にはパルス強度 $2 \times 10^5 \text{e}^+/\text{pulse}$ 、パルス幅20ns、繰り返し50Hzを用いた。

3. ポジトロニウム飛行時間分光

ポジトロニウム飛行時間分光 (Ps-TOF) とは陽電子を試料に入射させ、固体表面、あるいは固体内部で生成され、表面より放出されたオルソポジトロニウム

(電子と陽電子のスピンの平行な束縛状態)速度を測る測定方法である。これにより、運動量、エネルギーを求め、いわゆるポジトロニウムの仕事関数を測定することになる。この方法によれば、固体表面の電子状態、表面近傍のナノ構造の評価など、ユニークな情報を得ることができる。

具体的には電子線加速器により生成した低速陽電子を固体試料に制御されたエネルギーによって入射させ、既知の距離を隔てた位置に置いたポジトロニウム検出器によりポジトロニウムが3光子消滅をするまでの時間をデジタルオシロスコープにより記録する。図.1に試料および測定系の様子を示す。測定の開始時間は加速器のトリガーを用いる。測定の終了時間は鉛スリットを用いたプラスチックシンチレータおよび光電子増倍管(ポジトロニウム検出器)により計測する。横軸に時間ととり光電子増倍管からのパルス数を加算し、ポジトロニウムスペクトルを得る。これにより飛行距離と飛行時間から試料表面から放出されたポジトロニウムの速度、エネルギーを求めることができる。

4. NEGからのポジトロニウム放出

ポジトロニウム飛行時間分光を用いて、本施設ではQuartz等の絶縁体、low k物質等興味ある物質の測定が行なわれているが、最近Zr-V-FeのいわゆるNEGからのポジトロニウム放出を測定したので、その結果を報告する。

¹ E-mail: toshikazu.kurihara@kek.jp

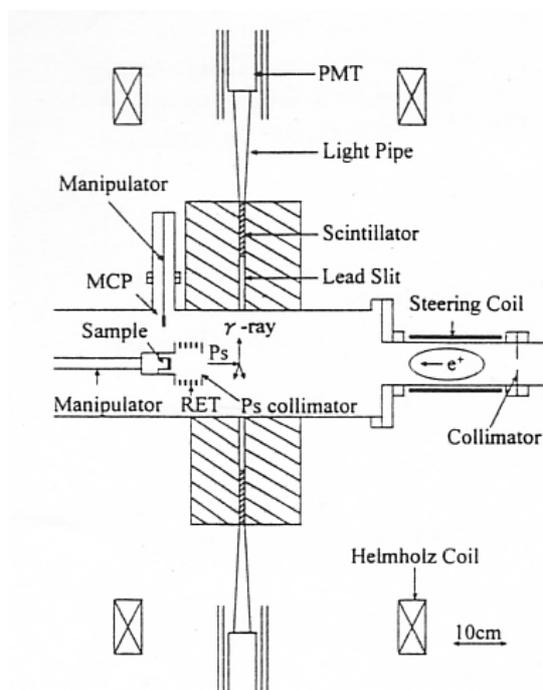


図. 1 ポジトロニウム飛行時間分光

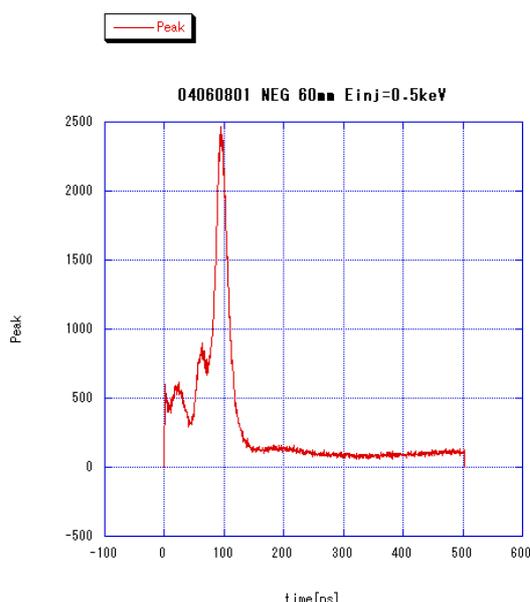


図. 2 入射エネルギー0.5keVでのポジトロニウムTOFスペクトル

陽電子を用いてポーラスな物質の研究を行なうことが行なわれているが、NEG表面はポジトロニウム生成の源として、あるいはガス吸着、および吸着ガスの拡散等の興味から対象として選んだ。試料はSAES GettersのST-707を用いた。

試料は大気中に暴露した状態、およびポジトロニウム飛行時間分光装置内で真空加熱して測定を行なった。

図. 2 にポジトロニウム飛行時間スペクトルの例

として、陽電子の入射エネルギーを0.5keVとした時のスペクトルを示す。横軸が飛行時間で加速器のトリガーから時間情報を得ている。縦軸はポジトロニウム検出器で捉えた光子数である。100ns付近の高いピークは試料に陽電子が照射されたときに生じた消滅線によるプロンプトピークである。それに遅れて200ns付近にポジトロニウムによる3光子消滅が観測される。なお、測定は50Hzのパルス数で1250000個、時間にして8時間強で1スペクトルを得ている。

入射エネルギーを0.5keVから4.9keVまで変えて測定を行なった結果を図. 3に示す。

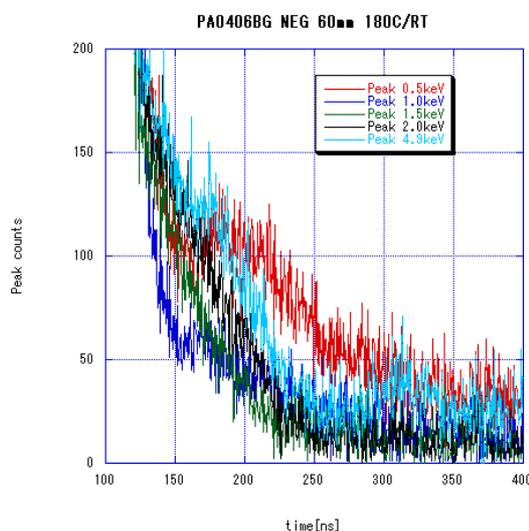


図. 3 入射エネルギー0.5keV ~ 4.9keVでのポジトロニウムTOFスペクトル

表面に浅く陽電子を入射させたデータ(0.5keV)はポジトロニウムの生成が多く、そのピークは200ns付近に持つ。1.0keVで照射すると、ポジトロニウムは出にくくなる。さらに入射エネルギーを上げ、陽電子の打ち込みを深くしていくと0.5keVで入射したときとは別の、より早い、プロンプトと分離できていない成分が出てくる。この傾向は最高エネルギーの4.9keVまで続くことがわかる。

5. 議論

入射エネルギー0.5keVでのポジトロニウムスペクトルは表面からの遅いポジトロニウムの放出と考えられる。これは入射エネルギー1.0keVまでの中間の入射エネルギーのデータにより確認されている。陽電子が深く打ち込まれて、表面からのポジトロニウムの放出が減少してくるのは妥当である。一方、入射エネルギーを増やすことにより、より深く陽電子を打ち込んだ場合、深い場所から表面に拡散して

くる陽電子の量は減少するはずで、したがって表面で生成されるポジトロニウムの量も減少するはずである。通常、陽電子の打ち込みエネルギーを増やすにつれて表面からのポジトロニウムの放出量は減少するというのが一般的な描像である。今回の結果はこれに反する結果を与えている。現在のところ、仮説に過ぎないが、NEGにはバルクでポジトロニウムを生成するサイトが存在する可能性はありうると考えられる。

なお、大気暴露、100 10分、150 10分、180 10分、の測定を行なったが、顕著な変化は見られなかった。試料温度をより上げることにより、変化が見られる可能性がある。

6 . 結論

電子線形加速器による高強度低速陽電子ビームを用いて、ポジトロニウム飛行時間分光測定を行なった。NEG試料での表面からのポジトロニウムの放出を検出した。陽電子を深く打ち込んでポジトロニウムの放出が減少しないという現象を捉えた。バルクでのポジトロニウムの生成の機構の知見が得られる可能性がある。

参考文献

- [1] T. Kurihara, et al., "Present Status of the Slow Positron Facility at KEK", Materials Science Forum , 445-446, 486 (2004)
- [2] URL: <http://www-linac.kek.jp/slowpos/>