

[P8-07]

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF THE SLOW POSITRON BEAM BASED ON THE ELECTRON LINAC

Yoshihide Honda, Pradeep K.Pujari, Tomohiro Yamaguchi, Mutsumi Tashiro, Norio Kimura,
Takahiro Kozawa, Shigehiro Nishijima, Goro Isoyama and Seiichi Tagawa

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567-0047

The new beamlines in the experimental room are constructed to make some kinds of experiment possible without wasting time. The efficiencies of the beamline for brightness enhancement experiment are estimated and improved system is proposed. The pulsing system is also constructed and recent results are presented. The slow positron beam is applied to the polymer thin layered films to obtain the informations about the buried boundaries.

電子ライナックを用いた陽電子ビームの生成と利用

1. はじめに

低速陽電子源の開発では、Sバンド電子ライナックを用いて、大強度の陽電子ビームを生成する研究と、それを用いた利用研究を進めている。陽電子寿命の測定や陽電子回折の実験を行うために必要となる、陽電子ビームの短パルス化の検討や輝度増強実験を行ってきたが、複数の実験を効率よく行うために、実験室内に2つのビームポートを持つ新たなビームラインの建設を行った(図1)。これには陽電子ビームの並進エネルギーを調整するための陽電子再放出部(リモデレーター)¹⁾、DC化部、パルス化部、高輝度化部が設置されている。現在、高輝度化、短パルス化を中心にして、固体

希ガスによるリモデレーターの開発、利用研究としては、高分子薄膜の自由体積に関する研究を中心に行っている。

2. 陽電子ビームの高輝度化、短パルス化

高輝度化部は、陽電子ビームの磁場輸送系からの引き出し部、5電極からなる静電輸送部、リモデレーター部で構成されている。これまでの実験では、再放出された陽電子強度が大幅に減少し、装置全体としての陽電子ビームの輸送効率は0.2%であった。輝度強化部の設計時では、静電輸送系から以降を中心計算し、最適条件を見出してきたが、今回、陽電子が本装置のどこで多く失われているかを調べるため、新たに磁場輸送系からの引き出し部も含め、近軸近似をもとにした軌道計算を行った。この結果、現在のシステムでは最大でも1.0%程度しか得る事ができないことが分り、また損失が大きい最大の理由は、磁場から引き出された陽電子をリモデレーターまで導くための静電輸送系のうち、特に引き出し部に近い位置での電極構造が不適当であったためだと分かった。新たに電極系の設計を行い求めたリモデレーター上でのエミッタンス図を図2に示す。これから磁場中に設置したリモデレーターを用いて、陽電子ビームのエネルギー拡がりを抑えても、あまり引き出された後のビームの質に影響を与えない事が分か

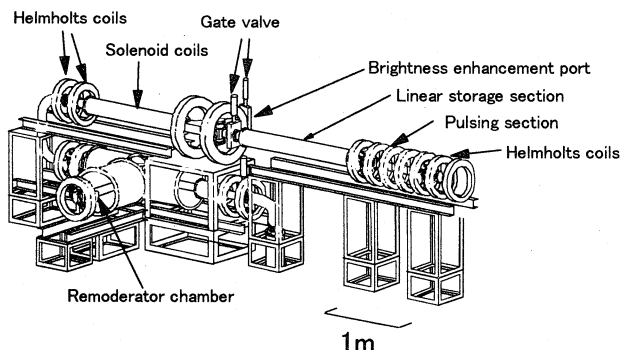


図1 新たに製作した陽電子ビームライン

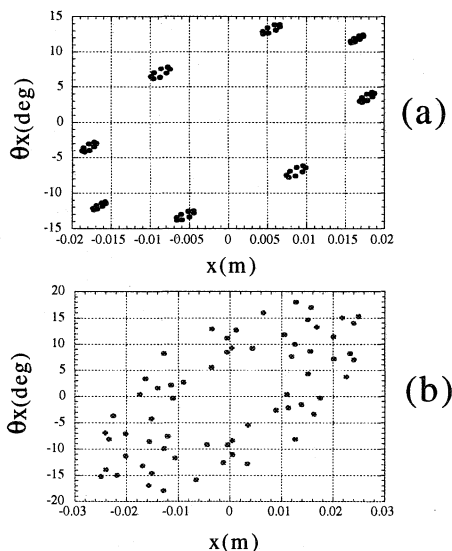


図2 リモデレーター上でのエミッタンス図。磁場輸送系での磁場と垂直方向のエネルギーが(a)2eVの場合と、(b)100eVの場合

る。実際のリモデレーターはこのビームを全て受けられるほど大きくできないため、やはり損失はあるが、これを基に再放出陽電子量を評価すると、磁場中を輸送されてくる陽電子強度の1割程度のビーム強度は得られることが期待できる。現在この装置を用いた高輝度化実験を準備中である。また再放出陽電子量を増やすため、リモデレーター材の検討、特に固体アルゴンに対して計算を中心に検討を行った。固体希ガスの製作については、単に固体希ガスのリモデレーターを作り、再放出陽電子量を測定するだけでなく、計算による構造評価も合わせ行うことで、リモデレーターとして望ましい結晶構造を有する材料の製作条件や、さらには実際の希ガス固体の寿命測定から結晶性の評価などが可能になることが期待される。また、本手法の発展として、従来からなされている陽電子消滅法から導かれる自由体積に構造評価を与えることができるようになるものと期待される。

陽電子のパルス化には、RFを用いる方法²⁾と任意波形発生器を用いる方法³⁾が通常用いられているが、阪大・産研では後者の方法を取っている。ライナックで生成された陽電子ビームのパルス幅は $2\mu\text{s}$ と、陽電子寿命測定に対しては長すぎ、またエネルギー拡がりも大きいため、一度陽電子を蓄積し再度パルス化する必要がある。このため、パルス化部は陽電子蓄積部、チョッパー、バンチャーで構成されており、それぞれメッシュで区切られている。それぞれのメッシュに電圧を印

加し、実験を行ったところ、特にバンチャーに印加する電圧がダイナミックに変化するため、チョッパーに与える影響が大きく、初期の実験での時間分解能は4nsと悪かった。このバンチャーとチョッパーとのカップリングを抑えるために間にメッシュを1枚挿入したところ、2nsが得られた。現在は更に時間分解能を向上させるため、チョッパーやバンチャーへの印加電圧の調整を行っているところである。

3. 陽電子ビームを用いた高分子薄膜の研究

アモルファス高分子膜の表面や境界での性質を基本的に理解することは、多くの応用において重要である。高分子のバルクの性質が薄膜のものと比べ違っていることは良く知られている。これまで光や粒子の散乱を利用した手法がこの種の表面研究にも用いられてきているが、最近、陽電子消滅法が高分子を研究する有力なプローブであることがわかってきた。これは多くの高分子の性質を左右する自由体積に対し非常に感度が良いということに起因している。さらに陽電子ビームを用いることで、薄膜内の自由体積の深さ方向に関する分布を知ることも可能である。薄膜の表面に対し多くの研究が報告されているが、陽電子ビームを用いた高分子薄膜同士の境界に関する研究はまだ行われていない。以下では陽電子ビームを高分子境界面適用した結果について記す。

対象としてポリスチレン膜を選び、シリコンとガラス基板上に、それぞれスピンコーティング法を用いて作成した。接触法を用いて測定した膜厚は約500nmであった。ガラス基板上に生成された薄膜は、水中で浮かした後、シリコン基板上に作成した膜上に移送し、深さ約500nmの所に境界面を持つ2重膜を作成した。このサンプルを24時間真空中で乾燥させた後、このサンプルからの陽電子消滅 γ 線のドップラー拡がりを、入射陽電子のエネルギーを変化させ測定した。スペクトルの変化はSパラメーターと呼ばれる量で評価した。このSパラメーターは光電ピーク全体の計数量に対するピーク近傍での計数量の比であり、陽電子と消滅する電子のエネルギーが低いほど、ピーク位置の量が増える事になるため、Sパラメーターは増大する事になる。入射陽電子ビームのエネルギーは表面からポリスチレン膜、シリコン基板までを網羅できるように50eVから9keVまで変化させた。

測定結果を図3に示す。Sパラメーターは入射

陽電子のエネルギーが増えるにつれ単調に増加し、約2keVでから6keVでほぼ一定となっている。しかし5keV付近にわずかながら明らかな窪みが見えているのがわかる。この位置はちょうど境界に対応している。また図4に3光子消滅と2光子消滅の比を示す。3光子消滅を起こす割合は深さとともに(陽電子入射エネルギーの増加とともに)減っていくが、ちょうど図3に現れた5keV付近における窪みに対応して、わずかな増加が見られる。これらの結果から、表面付近に局在している陽電子は、陽電子やポジトロニウムとして一部は真空中へ逃げていき、残ったポジトロニウムは長寿命で、3光子消滅により消滅するものと考えられる。⁴⁾注入の深さが増大するに従い、真空中へ逃げていく量は減り、2光子消滅するポジトロニウムの割合が増える。これはエネルギースペクトルにおける511keVの光電ピークの中心付近の計数量を増加させるため、Sパラメーターも増加していることに対応している。2-3keV以上での飽和は、ほとんどすべての陽電子が高分子中で消滅していることを示している。また、図3におけるポリスチレン膜間の境界付近に対応する位置に現れている小さい窪みや、図4に現れているわずかな増加についても、境界面上では5nm以下程度の荒さがあることを考慮すると、

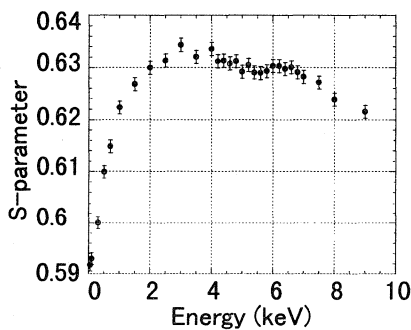


図3 入射陽電子エネルギーとSパラメーターとの関係

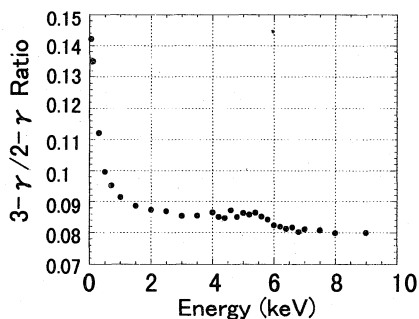


図4 入射陽電子エネルギーと3光子消滅、2光子消滅の比との関係

表面近傍での挙動と類似した現象が起こっているものと考えられる。一方、6keVより上の高エネルギー側では多くの陽電子はシリコン中で消滅する。シリコン中ではポジトロニウムが生成されず、陽電子と消滅する相手の電子の運動量大きいため、 γ 線スペクトルも幅広い分布を持つことから、Sパラメーターが減少していると考えられる。

4. まとめ

陽電子寿命測定、Sパラメーター測定、陽電子回折実験などが効率よく行えるように、2つのポートを持つ新たな陽電子輸送ビームラインを建設した。陽電子回折に必要な高輝度ビームを得るために、これまで高輝度化の実験を行ってきたが、輸送効率が著しく悪く実際の利用が困難であったため、新たに磁場輸送系を含む軌道計算を行い、輝度強化部を改良した。パルス化については任意波形発生器を用いたパルス化装置を製作し実験を行ったが、まだ時間分解能が悪いため、印加電圧やパルス化部の形状を検討し直しているところである。また陽電子ビームの利用として、高分子薄膜間境界に関する研究を開始した。ポリスチレン膜間の境界を陽電子で調べた結果、Sパラメーターに差が現れたことから、数nm程度のギャップに対しても、陽電子は敏感に反応することがわかった。今後、熱を加えることで境界の変化やここを横切る高分子の拡散と陽電子との関係、自由体積とポジトロニウムの生成過程などに関し検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) Y. Honda, M. Maekawa, N. Kimura, T. Kozawa, S. Nishijima, G. Isoyama, S. Tagawa, *Material Science Forum*, **255-257**(1997)677.
- 2) R. Suzuki, Y. Kobayashi, T. Mikado, H. Ohgaki, M. Chiwaki, T. Yamazaki and T. Tomomasu, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **30** (1991), L532.
- 3) M. Hirose, T. Nakajyo, M. Washio, *Appl. Sur. Sci.* **116** (1997) 63.
- 4) H.Cao, R.Zhang, Y-P.Yuan, C-M.Huang, Y.C.Jean, R.Suzuki, T.Ohdaira, B.Nielsen, *J.Phys. : Condens. Matter*, **10**(1998)10429.