

Time bunching system for intense slow positron beams

R. SUZUKI, T. MIKADO, H. OHGAKI, M. CHIWAKI, S. SUGIYAMA, K. YAMADA,
T. YAMAZAKI, T. TOMIMASU and Y. KOBAYASHI^A

Electrotechnical Laboratory, National Chemical Laboratory for Industry^A

ABSTRACT

A time bunching system to modulate intense slow positron beams is being developed. A preliminary test has been carried out with electron and positron beams. A time spectrum of the bunched electron beam has been measured with micro channel plates. The pulse width is estimated to be about 100 psec. Furthermore, a positron lifetime spectrum has been successfully measured with the bunched positron beam by means of a BaF₂ scintillator and a photomultiplier. Results of this work are expected to lead to high count rate positron lifetime measurements on surface layers.

高強度低速陽電子タイムバンチャー

1.はじめに

短パルス化した低速陽電子ビームによる物質中での寿命測定は、試料への入射エネルギーを変えることによって消滅位置を制御できるため、放射線損傷を起こしたものやイオン注入により表面を改質したもの等種々の物質の表面近傍の物性を非破壊で詳しく調べることができる新しい測定法として期待されている。しかし、現在のところ、実用的な陽電子の短パルス化装置は世界に1つ¹⁾しかない。この装置はRIから低速陽電子を作り出し短パルス化させているため計数率が70cps程度と低く高精度の測定は難しい。リニアック等で発生させた高強度低速陽電子ビームを短パルス化できれば、従来のRIを用いた寿命測定のようにコインシデンスをとる必要がないため高計数率測定が可能である。そこで、我々は、リニアックによって生成した高強度低速陽電子ビームを短パルス化するタイムバンチ装置を開発し、高計数率の陽電子寿命測定を行おうとしている。今回、このタイムバンチ装置に電子及び陽電子ビームを通し、これらのビームの短パルス化に成功したので報告する。

2.低速陽電子タイムバンチャー

低速陽電子のバンチャーは、他の荷電粒子のバンチャーと同様に、キャビティにRFを印加しキャビティの電極間に生ずる時間的に変化する電界でビームを変調し短パルス化するが、陽電子の寿命を測定するには次の条件を満たさなければならない。

- バンチャーの周期は測定する陽電子の寿命 (100psec~1nsec)に比べて十分長くなければならない。

- パルス幅は陽電子の寿命に比べて短くなければならない。

今回開発した低速陽電子のバンチャーキャビティは、高純度無酸素銅製の $\lambda/4$ 同軸キャビティで、共振周波数は上の条件から150MHz(周期:6.7nsec)とした。キャビティのQ値は約2000である。我々の行った計算によると、²⁾キャビティに3次高調波を加えることによりバンチ効率が約30%向上しパルス幅も約10%短くなることがわかっている。そこで、このキャビティは、3次高調波を加えることができるようになっており、基本波と3次高調波の共振周波数を合わせるチューナーを有する。図1はこのチューナーを変化させた時のチューニング特性である。チューニング曲線と、 $f_3 = 3 \cdot f_1$ の直線が交わるところでこのバンチャーを動作させる。

3.電子ビームによるバンチングテスト

図2は、前節のバンチャーで221eVのDCの電子ビームをバンチさせ、マイクロチャンネルプレート(MCP)に入射して時間スペクトルを測定したものである。この測定系は、図3のBaF₂と光電子増倍管(PMT)をシングルアノードMCPと高速プリアンプに変えたものにほぼ等しい。このスペクトルの半値幅は153psecであるが、測定系の分解能を考慮すると、100psec程度にバンチされていると考えられる。

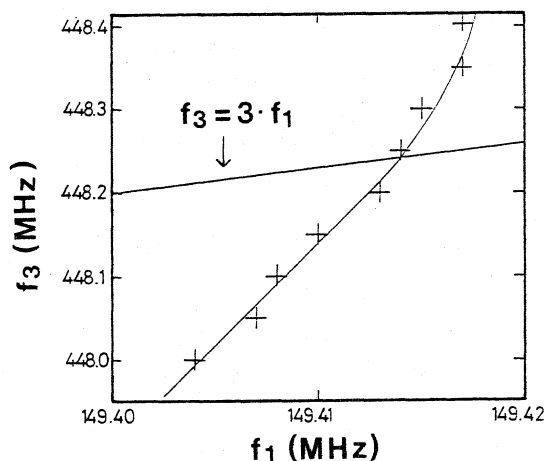


図1 バンチャーのチューニング特性
 f_1 :基本波の共振周波数
 f_3 :3次高調波の共振周波数

4.陽電子ビームによるバンチングテスト

陽電子ビームは、リニアックで加速した約75MeVの電子ビームをタンタルコンバータに入射することによって生成され、タングステンのモデレータで減速され、陽電子ビームラインを通過してタイムバンチ装置に入る。ビームラインの途中にはペニングトラップによる陽電子のストレージ部³⁾があり、リニアックの電子ビームのパルスとパルス間に陽電子ビームを徐々に出すようにして測定系のパイルアップを防いでいる。図3は、今回の陽電子ビームの短パルス化実験の測定系のブロック図である。原理的には陽電子ビームも電子ビームのようにMCPによる時間スペクトルの測定が可能であるが、バンチャー以後の真空槽内は全て200V以上の電圧がかかっており高速信号の絶縁の問題などから、MCPによる時間スペクトルのデータには信頼性がない。そこで、1/2inch厚のBaF₂シンチレータと高速PMTで、陽電子の消滅 γ 線を検出して直接陽電子の寿命スペクトルを測定した。図4はその結果である。試料(MCP)への陽電子の入射エネルギーは1.65keV、ビーム強度が 10^5 positrons/sec程度で、計数率は約400cpsであった。この時のCFD(constant fraction discriminator)のディスクリレベルは約400keVである。このスペクトルから時間分解能をフィッティングによって計算すると約330psecである。BaF₂+PMTによる測定系の時間分解能は、RIによる分解能の測定から、160~170psecであることがわかっており、これから陽電子のパルス幅を見積もると、約280psecであり

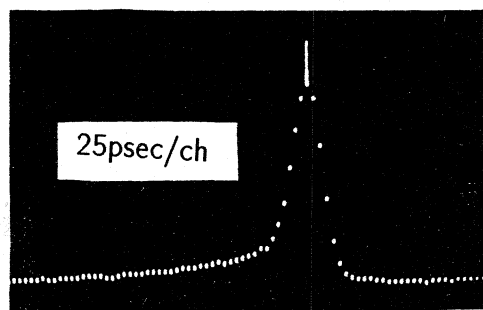


図2 バンチされた電子の時間スペクトル

電子ビームによるテストの場合よりもかなり大きな値である。これは、ストレージ部の電極によって陽電子ビームのエネルギーが時間とともに数eV程度変動するためであると考えられ、バンチャーから試料までのビームのドリフト時間をより短くすればエネルギーのアクセプタンスが広くなり改善できる。

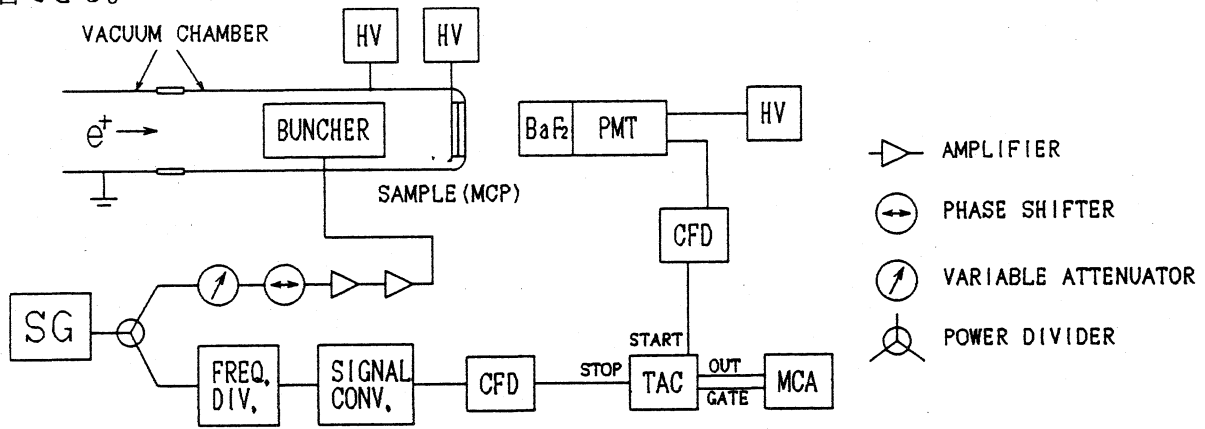


図3 陽電子バンチングテストの測定系ブロック図

5.まとめ

陽電子寿命測定用の低速陽電子タイムバンチ装置を開発し、電子及び陽電子ビームの短パルス化に成功した。リニアックで生成した高強度低速陽電子ビームの短パルス化は世界初である。電子ビームによるバンチングのテストでは、DCビームが約100psec程度にバンチされていることを確認した。陽電子ビームのテストでは、陽電子の寿命スペクトルを測定し、陽電子のパルス幅を見積もることができた。今後、陽電子ビームの変換効率及び伝送効率を上げ、3次高調波による高効率化を行うことによって200psec程度の時間分解能で 10^4 cps以上の高計数率測定が可能になるであろう。そうすると、打ち込み深さと温度に対する寿命の依存性等、マルチパラメータの寿命測定が可能になり、試料の物性をより詳しく調べることができるようになる。

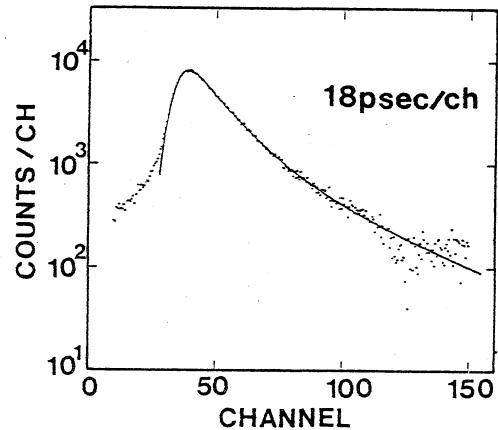


図4 短パルス化した陽電子ビームによる陽電子寿命スペクトルとフィッティング曲線

参考文献

- 1) D. Schödlbauer, P. Sperr, G. Kögel, and W. Triftshäuser, *Nucl. Instr. and Meth. B34*(1988)258.
- 2) R. Suzuki, T. Mikado, H. Ohgaki, M. Chiwaki, T. Yamazaki, T. Tomimasu, and Y. Kobayashi, *Proc. 7th Symposium on Accelerator Science and Technology, 1989*, 225.
- 3) T. Akahane, T. Chiba, N. Shiotani, S. Tanigawa, T. Mikado, R. Suzuki, M. Chiwaki, T. Yamazaki, and T. Tomimasu, "Positron Annihilation", eds. L. Dorikens-Vanpraet, M. Dorikens, and D. Segers(World Scientific, Singapore, 1989) p.592.