

[13P-44]

## BUNCHING OF THE SLOW POSITRON BEAM PRODUCED USING S-BAND ELECTRON LINAC AT ISIR, OSAKA UNIV.

M. Tashiro\*, Y. Honda, T. Yamaguchi, P. K. Pujari, N. Kimura,  
T. Kozawa, G. Isoyama and S. Tagawa

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

### Abstract

A pulsing system of slow positron beam has been developed in order to measure positron lifetime for thin films. Positrons are produced using a S-band electron linac. The pulsing apparatus consists of positron storage section, chopper and bunching section. The storage section has been equipped to reduce the energy width and make a quasi-continuous beam. Positrons are bunched by suitable time-varying voltage which is produced by an arbitrary waveform generator and a following amplifier and is periodically applied to the bunching electrode. The time width of bunched positrons has reached  $\sim 780$  ps (FWHM) with positron mean energy of  $\sim 100$  eV at present.

## 阪大産研 S バンド電子ライナックから発生した低速陽電子ビームのバンチング

### 1. はじめに

低速陽電子ビームは薄膜材料の極微構造評価に有力なツールである。薄膜材料での陽電子寿命を測定するため、我々のグループでは阪大産研の S バンド電子ライナックから発生した低速陽電子ビームの短パルス化を進めてきた。要求される時間分解能は数百ピコ秒程度であるため、バンチの時間幅も同程度にしなければならない。発生部から得られる陽電子は、 $\sim 2 \mu\text{s}$  のパルス幅で繰り返し 30 pps、 $\sim 1 \text{ keV}$  の輸送エネルギーで $\sim 440$  eV のエネルギー拡がりを持っている。エネルギー拡がりを抑えるため、これまで磁場中再放出装置を導入して更なる低速・単色化を行い[1]、 $\sim 7 \pm 2$  eV のエネルギーで輸送している。このビームを用いてバンチを行うため、電極類の設計や時間幅の評価を行い[2]、実際に装置を組み上げ実験を行った。装置は陽電子蓄積部およびバンチング部から構成されている。陽電子蓄積部で陽電子を貯め込み準連続ビームを形成し、その後任意波形発生器から得られる波形を増幅して電極に与え、陽電子を時間的に収束させている。これらについてその現状を述べる。

### 2. 陽電子蓄積・DC 化

磁場中再放出後の陽電子ビームは、ライナックからのビームであるため時間幅 $\sim 2 \mu\text{s}$  で繰り返し 30

pps、 $\sim 7 \pm 2$  eV のエネルギーで輸送している。これをそのままバンチすることは、エネルギー拡がりが大きく、また計数率の面からも効率的ではない。そこで、陽電子蓄積部を設置して一度陽電子を貯め込みその後 DC 化を行うことにより、更なる単色化と計数率の向上を行った。

陽電子蓄積部の電極構造の模式及び電圧の時間変化を図 1 に示す。陽電子蓄積・DC 化は以下のようにして行う。(1) 陽電子パルスが蓄積部に来たとき、電極 A、B の電圧を下げておき、陽電子を B 内に注入する。(2)  $2 \mu\text{s}$  後に A の電圧を上げ、陽電子を B 内に閉じ込める。(3) B の電圧を徐々に上げていき、C の電圧に近づけていく。それにより、C の電圧を超えたポテンシャルを持つ陽電子が次々に C を通過していく。この方法により DC 化した陽電子ビーム

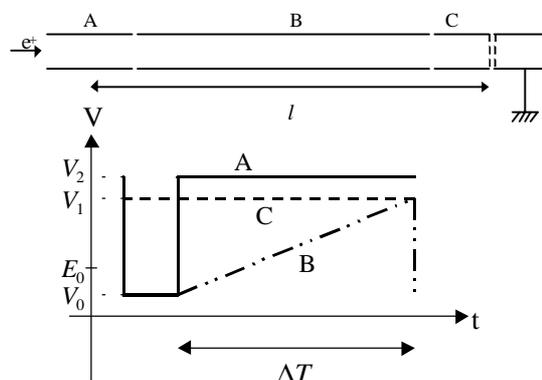


図 1 蓄積部の電極構造と与える電圧

\* M. Tashiro, 06-6879-8502, tashiro@bms.sanken.osaka-u.ac.jp

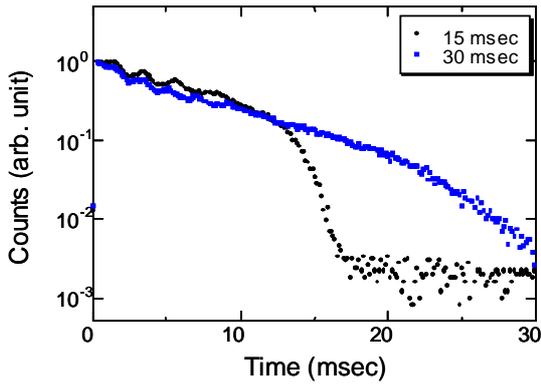


図2 準連続化した陽電子ビームの時間プロファイル

の時間プロファイルを図2に示す。Bの電圧を上げていく時間（蓄積時間）を15 ms および30 msにしたとき、元々2 μs のパルスビームをそれぞれの蓄積時間程度引き伸ばさせていることがわかる。これにより、効率的に消滅γ線を検出することができ、陽電子消滅ドップラー拡がり測定が可能なビームを形成することができた。

蓄積部通過後のビームのエネルギー拡がり、陽電子が電極Bを往復する間に増加するBの電圧と考えることができるので、次式で求められる。

$$\Delta E = \frac{2l}{\sqrt{\frac{2e(E_0 - V_0)}{m}}} \cdot \frac{V_1 - V_0}{\Delta T}$$

ここで、本実験でのパラメータは  $l=2$  m,  $E_0=7.5$  V,  $V_0=5$  V,  $V_1=10$  V,  $\Delta T=2$  ms であり、これにより  $\Delta E$  を計算すると10 meV程度となることが期待される。しかし、パンチ電極に追いつき電圧をかけることによりビームの強度を測定し、実際にビームのエネルギー拡がりを測定してみると、図3のようになり、+2 eV程度の拡がりが依然として存在することがわかった。この原因については現在明確ではないが、パンチの時間幅に大きく影響するので、今後更なる改善が必要である。

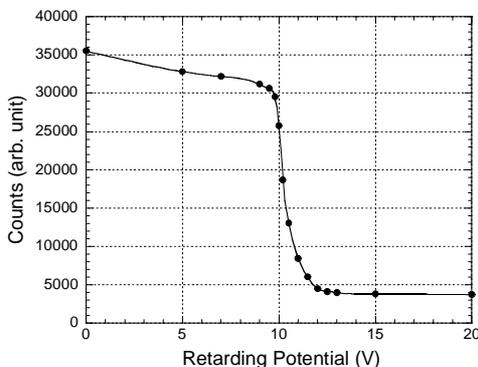


図3 準連続化した陽電子ビームのエネルギー拡がりの積分分布

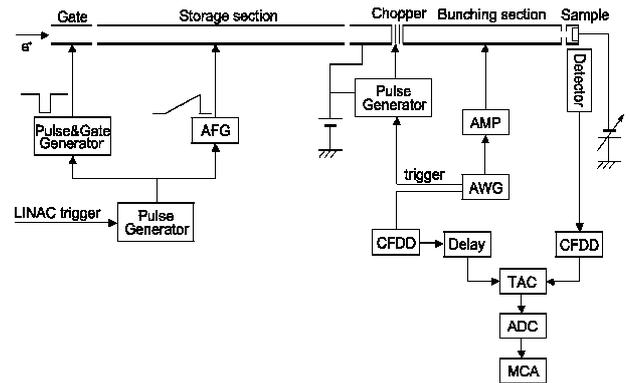


図4 陽電子蓄積・バンチングシステム

### 3. 陽電子のバンチング

陽電子のバンチングは、ビームライン中に設置された電極に時間的に変動する電圧を与え、陽電子に速度変調をかけることにより行う。陽電子ビームがある位置で加速され、距離  $L$  離れた試料部において時間的・空間的に一点に収束される時、かけるべきポテンシャル  $V$  は次式のような時間  $t$  の-2乗の関数となる。

$$V = -\frac{mL^2}{2et^2} + E_0$$

ここで  $m$  は陽電子の質量、 $e$  は素電荷、 $E_0$  はビームの初期エネルギーであり、 $t(<0)$  は試料に収束される時間を0としている。

陽電子蓄積およびバンチングシステムを図4に示す。バンチングの波形は任意波形発生器 (AWG; Sony-Tektronix AWG 510; サンプリング周波数 1 GHz; 電圧分解能 10 bit / 2 V) から生成された波形を増幅器 (AMP; Thamway T142-4029A; 100 k-350 MHz; 10 W) で増幅して電極に与えた。パンチ電極への不適切な電圧伝送を小さくするため、パンチ電極等の周波数特性から理想関数とその周期の接続部を含めた波形を調整し、オフラインで確認した。パンチの際に理想関数から外れる部分に陽電子が入射することを避けるため、パンチ電極の直前にチョッパーを挿入している。チョッパーはビームラインに垂直にメッシュを挿入し、矩形波を与えて適切なタイミング以外の陽電子を跳ね返し、必要な部分のみ通過させるようにしている。また、ターゲット部には銅を用いた。

以上の条件でバンチングを行った結果、陽電子寿命スペクトルが得られた。このスペクトルから見積もられるバンチの時間幅はおよそ 1.4 ns (FWHM) (陽電子の平均エネルギーは~30 eV) であった。しかし、期待した時間幅よりも大きくなっている。こ

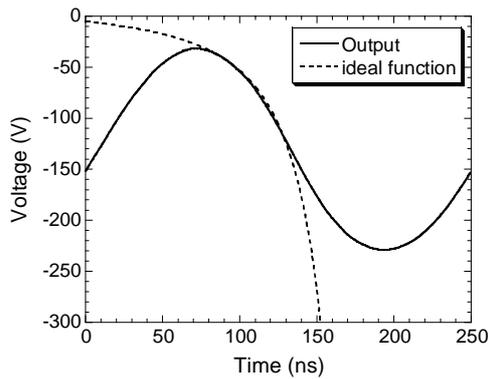


図5 バンチ電極に与えた波形（実線）と理想関数（破線）

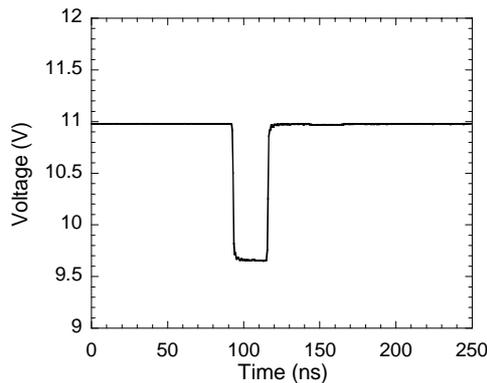


図6 チョッパーに与えた波形

の原因として、前述のように蓄積後のエネルギー拡がりが依然として存在することが挙げられる。この影響を小さくするためには、バンチング電圧をより大きくしたほうがバンチ幅を小さくするのに有効である。そこで、より高出力の増幅器(AMP; Thamway T145-5527C; 300 k-50 MHz; 300 W)を用いて実験を行った。このとき、波形のより正確な伝送とノイズの低減のため、すべての伝送線を真空内の電極まで 50 インピーダンス同軸ケーブルに変更した。このときのバンチ電極に与えた出力波形を図5に、チョッパー電極に与えた波形を図6に示す。この条件でバンチングを行ったところ、図7のスペクトルが得られた。このスペクトルから見積もられるバンチの時間幅はおよそ 780 ps (FWHM)であった。このときの陽電子の平均エネルギーは $\sim 100$  eVである。時間幅が依然として期待するものよりも大きい最大の原因は、前節でも述べたように蓄積後のビームのエネルギー拡がりであるが、DC 電圧やグラウンドの揺らぎなどがその一因であると考えられる。また、蓄積中に陽電子のドリフトによるビームの拡散が強度の

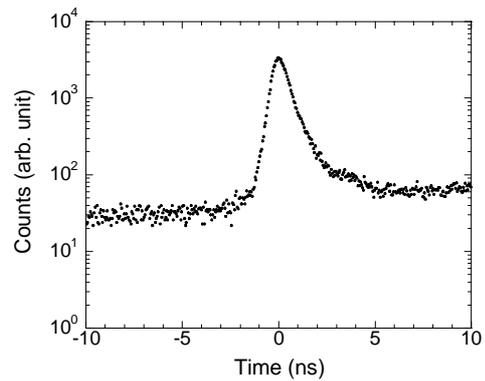


図7 バンチした陽電子の寿命スペクトル

劣化をもたらしている。これらを改善するために、今後蓄積部の電極構造や電磁場の影響を詳細に検討しなければならない。また、現段階では S/N が 50 程度であるが、精度の高い測定のため、バックグラウンドを抑えて S/N を向上させることが必要である。そのため、現段階のエネルギー拡がりが改善されないならば、より電圧の高いチョッパー波形をかける必要がある。

#### 4. まとめ

低速陽電子ビームの質向上のため、陽電子蓄積部を設置してエネルギー拡がりを更に抑え、計数効率を向上させた。しかし、ビームのエネルギー拡がりに関しては予想に反して改善されておらず、その原因を特定することが必要である。バンチングでは電極の周波数特性を考慮して波形を作成し、また伝送系の整備、増幅器の出力増加により、時間幅として 780 ps 程度のバンチが得られた。バンチの時間幅を更に小さくするためには、上述のエネルギー拡がりの問題解決や、電極等の周波数特性・増幅器の出力の許容範囲内でのバンチ波形の更なる調整が必要である。

#### 参考文献

- [1] Y. Honda, et al., "Slow Positron Beam with Small Energy Spread in the Magnetic Field Using Reflection Type Remoderator", *Material Science Forum*, **255-257** (1997) 677.
- [2] M. Tashiro, et al., "Short-Pulsed Slow Positron Beam Production Using S-Band Electron LINAC in ISIR", *Proceedings of the 23rd Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, September 16-18, 1998*, p322.