

阪大産研低速陽電子ビームの短パルス化と陽電子寿命測定

田代 睦¹、菅田義英、山口倫宏、寺島孝武、神野和哉、渡辺元嗣、木村徳雄、磯山悟朗、田川精一

大阪大学産業科学研究所

〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1

概要

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短パルス化を進めている。これを用いて高分子薄膜材料等の陽電子寿命の深さ方向依存性を測定することを目的としている。装置は、陽電子蓄積部、チョッパー及びバンチング部から構成される。これまで、時間分解能として 550ps 程度を得ている。しかし、準連続化したビームのエネルギー拡がりや計数率の面からも現実的でなく、目的の時間分解能を得ることはできない。そこで、図 1 のシステム図に示すように、陽電子蓄積部で陽電子を貯め込み準連続ビーム化することにより、エネルギー拡がりを更に抑え、計数率を向上させた。このビームに対してチョッパーおよびバンチ電極により、それぞれビームの切り出しおよび速度変調による時間空間的な圧縮を行うことにより短パルス化を行った^[3]。バンチ電極に掛けるべき電圧は、

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、電子ライナックの特性上、~2 μs のパルス幅で繰り返し 30 pps であり、~1 keV の輸送エネルギーで~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]、~7±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、実際に装置を組み上げ実験を行った^[2]。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

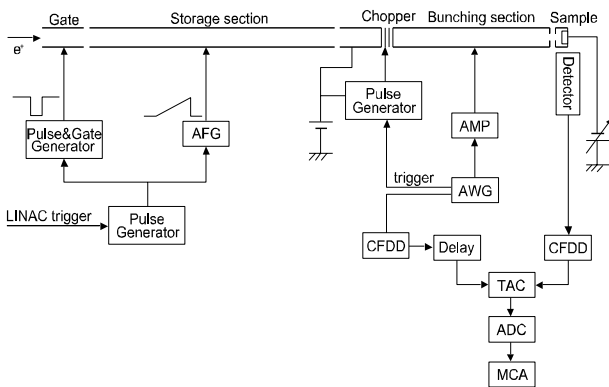


図 1 : 陽電子蓄積・バンチングシステム

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。これらの現状・問題点やその改善策などについて以下に述べる。

2. 短パルス化

陽電子発生部から得られる低速陽電子ビームは、上述のように~2 μs のパルス幅で繰り返し 30 pps であり、磁場中再放出装置を導入して低速・単色化を行い、~7±2 eV のエネルギーで輸送している。これをそのまま短パルス化することは、エネルギー拡がりや計数率の面からも現実的でなく、目的の時間分解能を得ることはできない。そこで、図 1 のシステム図に示すように、陽電子蓄積部で陽電子を貯め込み準連続ビーム化することにより、エネルギー拡がりを更に抑え、計数率を向上させた。このビームに対してチョッパーおよびバンチ電極により、それぞれビームの切り出しおよび速度変調による時間空間的な圧縮を行うことにより短パルス化を行った^[3]。バンチ電極に掛けるべき電圧は、

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

で表される理想曲線とそれをつなぐサイン波を任意波形発生器(AWG)およびそれに続く増幅器で発生させている。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。その結果、図 2 に示すように、およそ 550 ps 程度の時間分解能を得た^[4]。

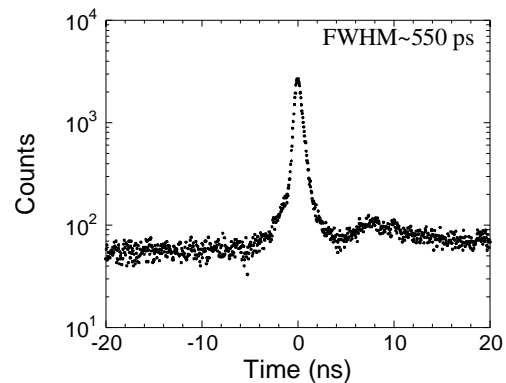


図 2 : 短パルス化したビームによる陽電子寿命スペクトル (ターゲット: 銅板)

¹ E-mail: tashiro@bms.sanken.osaka-u.ac.jp

3. 問題点および対応策

今回得られた時間分解能は期待する 300 ps よりも大きく、また SN 比は 60 程度と小さくバックグラウンドが大きい。この原因としては、準連続化したビームのエネルギー拡がり期待したものよりも大きいことが考えられる。図 3 は準連続化したビームに追い返し電圧を掛けることによって得たビームエネルギーの積分分布であるが、基準の 10 eV に対して +2 eV 程度の陽電子が存在している。このエネルギー拡がりの存在により、パルス幅が増大し、チョッパーでの陽電子の切り出しにおいて陽電子を遮断しきれずにバックグラウンドが増大するものと考えられる。

エネルギー拡がり蓄積後も大きい原因としては、(A)電源グラウンドの揺らぎに伴う電圧変動、(B)陽電子が蓄積中に残留ガスなどで散乱されることによりラーマ運動のエネルギーが並進エネルギーに変換される、(C)陽電子がメッシュ電極で散乱あるいは入射後放出されることが考えられる。

(A)に関しては、チョッパーからバンチ電極にかけての電圧変動を調べたところ、最大 ± 0.4 V 程度であった。そこでこれらを絶縁トランスによりグラウンドを共通にしたが、パルス幅に変化は見られなかった。(B)に関連しては、真空度、陽電子数、ストレッチ時間などの条件を変えてエネルギー拡がりの測定を行った。しかし、どのような条件で実験を行っても若干の違いがあるものの合理的な結果は得られず、常にある程度同様のエネルギー拡がりを持つことがわかった。(C)に関しては、陽電子のラーマ半径がメッシュの格子間隔と同程度であり、蓄積部の出口付近で並進エネルギーがほとんど 0 になることから、大きな要因の一つと考えられた。しかし、メッシュを取り除いた状態でエネルギー拡がり測定を行ったところ、メッシュがあるときとほとんど変わらない結果が得られた。このことから、実際メッシュの影響はあまりないものと考えられる。

このように、蓄積後のビームの大きなエネルギー拡がりの原因は現段階としては不明である。この原因究明が、時間分解能および SN 比を向上の本質的な解決と考えられる。しかし、我々の目的である高分子薄膜の自由体制評価としては、数ナノ秒程度の陽電子寿命を測定するので、現在の時間分解能でも対応できる。したがって、実際の寿命測定を行うためには SN 比の向上を行う必要がある。

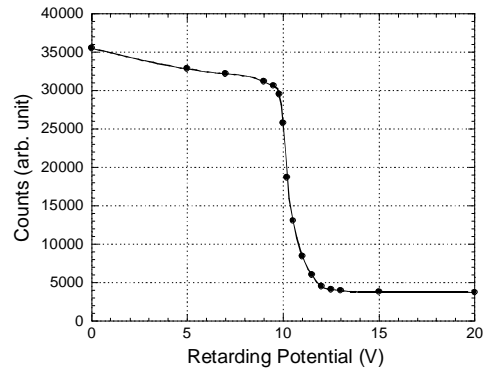


図 3 : 準連続化した陽電子ビームのエネルギー拡がりの積分分布

SN 比の向上のため、チョッパー用電源を高電圧のものに変更してバックグラウンドを抑え、検出器の位置を試料に近づけてバンチされた陽電子による消滅ガンマ線の計数率を向上させることを試みている。これにより SN 比を数百程度にして実際の寿命測定を行う。その結果については講演時に報告する予定である。

今後時間分解能の更なる向上のためには、バンチ電極の周波数特性を上げてより高周波の波形を用いるか、あるいはまた高出力の増幅器を用いて理想波形の高電圧の部分を利用することが必要になると考えられる。

4. まとめ

低速陽電子ビームの短パルス化により現在 550 ps 程度の時間分解能を得た。実際の寿命測定を行うために SN 比の向上を行った。この装置を用いて陽電子寿命測定を行い、薄膜材料の極微構造の深さ依存性を調べる予定である。

参考文献

- [1] Y. Honda, et al., Material Science Forum, 255-257 (1997) 677-679.
- [2] M. Tashiro, et al., Proceedings of the 25th Linear Accelerator Meeting in Japan, Himeji, July 12-14, 2000, pp. 407-409.
- [3] M. Tashiro, et al., Radiation Physics and Chemistry, 60 (2001) 529-533.
- [4] M. Tashiro, et al., Material Science Forum, 363-365 (2001) 664-666.