

阪大産研 Lバンド電子ライナックを用いた短パルス陽電子ビームの生成

菅田義英¹、神野和哉、田代 睦、寺島孝武、磯山悟朗、田川精一

大阪大学産業科学研究所

〒567-0047 大阪府茨木市美穂が丘 8-1

概要

固体中あるいは表面でのポジトロニウムの状態、時間推移等を調べる目的で短パルス陽電子ビームとレーザーとの同期実験を行おうとしている。このような実験では高密度短パルス陽電子ビームが必要となる。従来行っているSバンドライナックを用いた短パルス陽電子ビームのパルスあたりの陽電子数は、平均1以下であるため、新たにLバンド短パンチ電子ビームを用いた、陽電子ビーム生成を試みた。この結果、パルス幅20 ns、陽電子数約2500個以上の短パルス陽電子ビームを生成することができた。

1. はじめに

固体内でのポジトロニウムの状態を調べるために行う、ポジトロニウムの励起を直接調べるような実験においては、短パルス高強度陽電子パンチビームが必要となり、通常のパルス陽電子ビームは利用できない。そこで、本研究ではもう一台のL-バンドライナックを利用することにした。Lバンドライナックは高電荷密度のシングルパンチを発生することができ、仕様は最大エネルギー28 MeV、クーロン数約91 nC、繰り返し120 pps、パルス幅約20 psである^[1]。この短パンチ電子ビームをコンバーターに当て、陽電子を生成し、モデレーターを用いずにそのまま低エネルギー成分を、測定室に導くことにし装置の設計^[2]、製作、実験を行った。

2. 実験装置

陽電子の発生はLバンドライナックの設置されている部屋で行い、生成された陽電子の内、低エネルギー成分だけを隣室（発生室とは厚さ2.5mの重コン隔てられている）に導き、ここで陽電子像や陽電子量の計測を行った。発生室側の陽電子ビームラインを図1に示す。270°電磁石で曲げられた短パルス電子は、シングレット、トリプレットQ電磁石で絞られ、陽電子生成用ターゲット（コンバーターと呼ぶことにする）に入射する。コンバーターからは陽電子以外にも電子、X線などが多量に発生するため2箇所曲部を設け、遮蔽できるようにし、コンバーター容器周り及び壁付近の輸送系周辺は鉛で囲み、できるだけ測定室に漏洩しないようにした。一方、陽電

子のビームラインに沿って電子や高エネルギー陽電子など、望まれないものも輸送されてくる。これらは初段の曲管を通過することでドリフトし、低エネルギー陽電子とある程度分離できるため、曲管と曲管の間に遮蔽板を設け、ここで阻止することにした。実験で用いたLバンドライナックの仕様は前述のとおりであるが、実際は270°電磁石で曲げられる際に電荷量の損失があり、実験に用いた電子ビームのクーロン数はパルスあたり約40nCであった。

ターゲットチェンバーを図2に示す。Lバンドライナックとは真空がつながっていないため、真空シールにはBe膜（厚さ50 μm）を用い、この後ろに厚さ4 mmのコンバーター（タンタル板）を設置し、コンバーターの直後に、アニール（1400°で数秒間加熱）したタングステン箔（厚さ10 μm）を設置した。また、

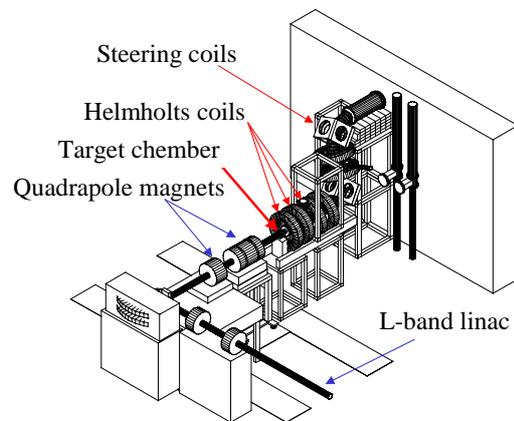


図1： 陽電子ビームライン

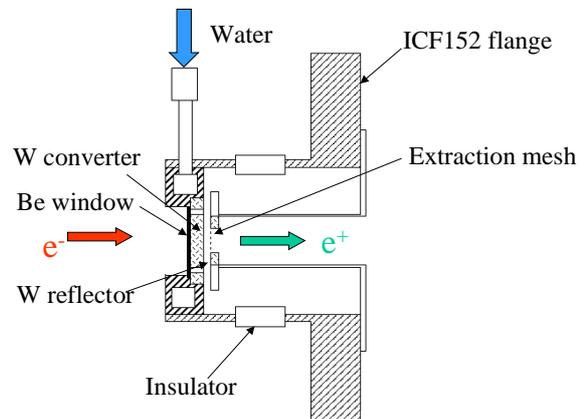


図2： ターゲット部

¹ E-mail: honda@sanken.osaka-u.ac.jp

コンバーター直後の陽電子引出し用メッシュ電極の周りに図 2 に示すような反射板（タングステン、厚さ 3 mm）を設置し、できるだけ計算体系に近いものとした。更に図 1 に示されているターゲットを囲むヘルムホルツコイルの内部にも鉛を隙間無く入れ、漏洩放射線の影響をできるだけ少なくするようにした。

3. 結果と考察

陽電子ビーム像の確認を MCP を用いて試みたが、電子の像が明るく観測することはできなかった。そこで、陽電子が実際輸送されてきているかどうかを確認するため、消滅線を計測を行った。測定系を図 3 に示す。陽電子ビームのパルス幅も同時に測定できるように、計測系は通常の陽電子寿命測定に用いる体系を利用した(図 3(a))。ただし、スタート信号としては、ライナックの電子銃トリガを用いた。バックグラウンドを低減させるために、コンスタントフラクシオンディスクリミネーター(CFDD)のディスクレベルを 511 keV に合うように調整し、これ以外のエネルギー成分は計測しないようにした(図 3(b))。

陽電子ビーム像が確認できなかったため、低速電子が MCP の中心付近に来るようにコイル条件を調整し計測を行った。エネルギースペクトルの計測結果を図 4 に示す。これは図 3(b)の測定系で、CFDD を入れずに測定した結果である。この時の BaF₂ の直前に設置した鉛のコリメーター径は 1cm、消滅部とシンチレーターとの距離は 93cm であった。コンバーターへの印加電圧は電圧のリークがあり一定ではなく、2-3kV であったが、511 keV の位置に光電ピークを確認することができた。図 4 でピークの高い波形はターゲットに電圧を印加した時に対応しており、低いピークの波形は、ターゲット電圧が 0V の時に対応している。印加電圧が 0 V の時にも光電ピークが現れているのは、ターゲットからの高速陽電子成分が輸送されてきているからだと考えられる。このことから、この光電ピークでの差が印加電圧に対応したエネルギーで輸送されてきた低速陽電子成分であると考えられる。これから 1 電子線パルス当たり 2454 個の低速陽電子が輸送されてきたことがわかった。実際には陽電子ビーム径が 1 cm 以上あることが予想され、立体角が大きいことなどから、パルス当たりの陽電子数は 2500 個以上は輸送されてきていると考えられる。

時間スペクトルの測定結果を図 5、図 6 に示す。図 5 は図 4 の場合に対応しており、100 ns から 200 ns にかけての部分でカウント数が多いものが、ターゲットに電圧を印加したものである。10 ns 付近での最初のピークは電子ビームがターゲットに当たったときに発生した X 線の一部であり、また 50 ns 付近のピークは、ターゲットから来る高速陽電子成分であ

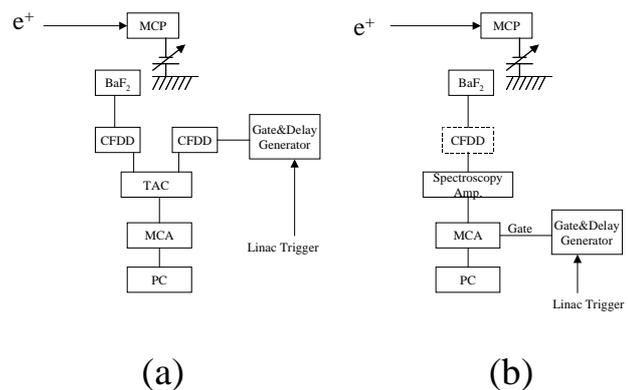


図 3: 測定系。(a): 時間スペクトル測定用、(b): エネルギースペクトル測定用

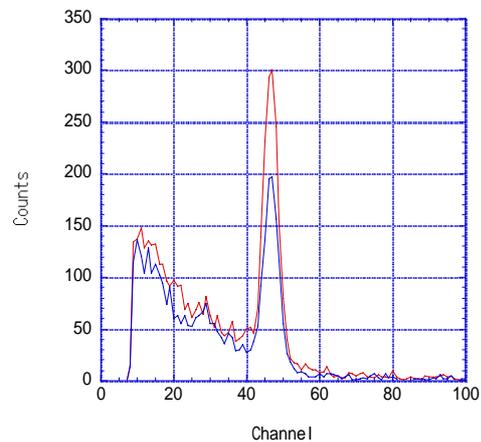


図 4: BaF₂ シンチレーターにより計測されたエネルギースペクトル。ピークは 511 keV に対応。高いピークはコンバーターに電圧を印加した時、低いピークは電圧を印加しなかったときのもの。

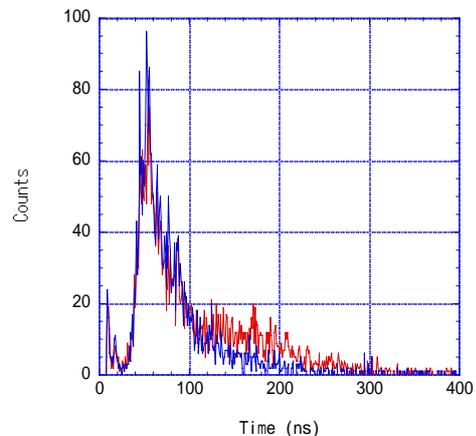


図 5: 511 keV の光電ピークに寄与する線の時間分布。コンバーターへの電圧印加の有無による差。170 ns 近傍で高い値を示しているのが電圧を印加した時に対応。

ると考えられる。また、この時には陽電子の消滅部である MCP の入射電極側に -3.7 kV を印加した。ターゲットへの印加電圧が一定ではなかったため、このように時間的に広がってしまったと考えられる。この実験時の体系では、 1 kV 程度が一定電圧として印加できる上限であったため、ターゲットに 1 kV を印加して測定した結果が図 6 である。図中で 200 ns 付近でピークが鋭くなっている波形は、MCP 入射側電極への印加電圧が 0 V の時に得られたものであり、なだらかなピークを持っているのは図 4 と同様に -3.7 kV 印加した時に得られたものである。これから、MCP 付近での電位分布がパルス幅に影響を及ぼしていることがわかる。この実験結果から陽電子が輸送される間に、パルス幅が 20 ns 程度にまで広がってしまうことがわかった。また、全体の輸送長から 1 keV の陽電子が MCP まで到達するためには 270 ns を要するはずであるが、 200 ns 程度で到達していることになる。これについては今後調べていく必要がある。

4. まとめ

固体内でのポジトロニウムの状態を調べる目的で、バンチあたりの電荷量が多い L バンドライナックを利用することにし、実験を行った。陽電子ビーム像は確認できなかったが、エネルギースペクトルの測定では消滅線を計測することができ、この光電ピークの量から少なくとも $2500 e^+/\text{pulse}$ の陽電子が輸送されていることが確認できた。これは計算に比べ約 $1/30$ である。この原因としては計算で用いたコンバーター内での消滅率が実際にはもっと大きいこと、タングステン箔からの再放出効率を計算では考慮していないこと、タングステン箔をコンバーター後端に設置したことなどが考えられる。また、時間スペクトルの測定では、生成された陽電子の高速成分に加え、コンバーターに印加した電圧に対応する運動エネルギーで輸送されてきていると見られるピークも確認できたが、その時間幅は半値幅で約 20 ns と非常に広がっていた。この原因としてはコンバーター

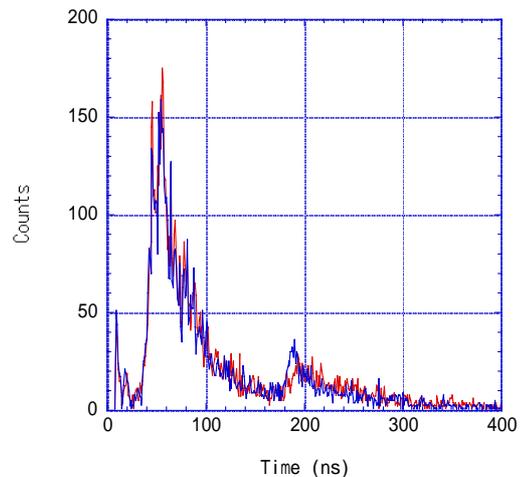


図 6 : 511 keV の光電ピークに寄与する線の時間分布。MCP 入力面への負電圧印加の有無による差。 200 ns 近傍でよりシャープな波形が MCP に負電圧を印加しなかった時。

後端に設置したタングステンフォイルの表面が平坦ではなかったため、磁場の方向に対し角度を持って放出される陽電子が存在したことが原因だと考えられる。また、このコンバーターへの印加電圧に対応したエネルギーをもつ陽電子によるピーク位置も、予想される時刻より早い時刻に現れた。これについてはコンバーターへの印加電圧を変化させて検討を加える必要がある。しかしこのようなビームに対しても、同期を行うことでレーザーによるオルソポジトロニウムの励起は可能であり、これを確認することは今後の課題である。

参考文献

- [1] S. Okuda, T. Yamamoto, S. Suemine and G. Isoyama, Proc. 20th International Linac Conference (Monterey, USA, Aug. 21-25, 2000) 140-142.
- [2] Y. Honda, M. Tashiro, T. Yamaguchi, P.K. Pujari, N. Kimura, T. Kozawa, S. Nishijima, G. Isoyama and S. Tagawa, *Material Science Forum*, **363-365**, (2001) 667-669.