

Present Status of Slow Positron Source at ISIR in Osaka Univ.

Honda Y., Yamamoto T., Okuda S., Sawada J., Yamada M.,
Yamamoto T., Isoyama G. and Tagawa S

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

ABSTRACT

Slow positron source using electron linear accelerator has been developed at ISIR in Osaka University. In our system, produced slow positrons were transported along magnetic field. To obtain good transport efficiency, the relationship between diameter and number of positrons are measured simultaneously and optimum condition for extraction and stepwise voltage in the moderator, which consists of three layers, is also investigated. Obtained conversion efficiency from electron to positron is 1.3×10^6 .

阪大・産研低速陽電子源の現状

1 はじめに

阪大・産研に設置されているSバンド電子ライナックを用いて低速陽電子源の開発を進めてきている。開発当初は陽電子輸送方式を静電場のみを用いて建設を行ってきたが、多量のバックグラウンドのために計測に支障をきたしたため、現在では陽電子輸送方式を磁場輸送方式に変更し、この装置の設計・製作を行い陽電子ビームを得ている。電子ライナックと陽電子発生部は同じ部屋（第1照射室）にあり、現在の陽電子ビームラインは第1照射室と2.5mの重コンの壁を隔てたスイッチャード室内まで設置が終わり、この位置で陽電子量の評価を行った。磁場からの陽電子ビームの切り離しに関しては、現在実験を開始している段階である。本装置では大型モデレーターを使用しているために、磁力線を発生部のところで絞り込むことで陽電子ビームも絞り込んでいる。以下では陽電子のビーム像と陽電子量との関係を調べ、最適な運転条件を得るための実験について示す。

2 陽電子量の測定

2.1 実験条件

本実験ではコンバーターは大気中にあるため、電子ライナックとコンバーター間に真空シールのためのチタン箔（厚さ $50 \mu\text{m}$ ）や約40cmの空気層が存在し、空気による電子ビームの発散が起こり電子ビーム径が広がるので、実験に用いたコンバーターは直径2cmで長さが7mmと大面積となっている。モデレーターは $20\text{mm} \times 100\text{mm} \times 25 \mu\text{m}$ の短冊状のタングステンフォイルを9枚平行に並べたものが3

層になっており、電子ビームと直交するように並べてある。厚さ $25 \mu\text{m}$ のタングステンフォイルは 1800°C 以上で約10分間維持しアニールした後、大気中で組み上げ、モデレーターを作成した。コンバーターとモデレーターの距離は絶縁破壊や引き出し電場の不正を抑えるために26mm離してある。コンバーターとモデレーター間にある真空隔壁は厚さ0.2mmのアルミの板で、コンバーターと接触している。陽電子のモニターはビームライン中に設けたMCPを用いて行い、また陽電子量の評価はここで消滅する γ 線量を同時計測することで行った。消滅 γ 線は消滅部から3.9m離れた位置で、NaIシンチレーションカウンターを用いて計測し、NaIの直前には $4\text{mm} \times 10\text{mm} \times 100\text{mm}$ の鉛のコリメーターが設置してある。陽電子ガイド用の磁場強度はソレノイド部で約150Gであり、陽電子輸送系の真空度は約 5×10^{-8} Torrであった。

電子ライナックのビーム条件は電子エネルギー100MeV、パルス幅 $2 \mu\text{s}$ 、ピーク電流 $10 \sim 20\text{mA}$ 、繰り返し30pps、コンバーターでのビーム径は2cm以下であった。この条件は陽電子量を計測するために、検出器でのパイルアップを抑える目的でピーク電流を低くしてあるが、実際には他の条件は上と同様で400~500mAビーム電流を常時得ることができる。

2.2 陽電子ビームの絞り込み

陽電子を絞り込むことは、すでに実験を開始している磁場から陽電子を切り離した後、静電レンズ系を用いて輝度強化を行う上で必要なことである。実験ではモデレーターを取り囲むヘルムホルツコイル

の磁場強度を調整し、陽電子ビーム像と陽電子量を測定した。

モデレーターを通過する磁場の強度を変えたときに得られた陽電子の像を図1に示す。コンバーターはこの像の右側にあり、エネルギー的に拡がった陽電子やX線等は右からモデレーターに入射している。像の中で各縦線は全部で8本確認できることから、タングステン箔間に対応しているものと考えられる。図の右下に見える明るい部分、及び下に見える歪んだ矩形は電子の像である。図1の右側の波形は水平断面の強度分布を表しており、モデレーターを囲むヘルムホルツコイルの電流値 (I_H) が5Aの場合である。これから縦線に対応して鉅菌状の分布が得られているのがわかる。 I_H が小さいときにはビームは絞れているが強度も弱くなっており、特にモデレーター周辺部の陽電子が輸送されてきていないことから、ミラー磁場による影響と考えられる。 I_H が増加するにつれ像も大きくなり周辺部もはっきりしてくる。陽電子ビームの像で縦筋の内、一番右の縦線が下方に移動しているが、これはコンバーターの後ろの真空隔壁がモデレーターに接近していることから、電位分布のひずみによるものと考えられる。

図2に I_H を変化させたときの陽電子量の計測結果を示す。ここでは横軸にコイル電流を、縦軸に電子-陽電子変換効率を示してある。この場合の電子電流は電子ライナックのピーク電流値から求めたものである。陽電子量を測定するうえで2本の γ 線の同時計測は行っていないが、この時のバックグラウンドの量は陽電子量の1/100以下であり、1本の γ 線だけを計測しても問題ない。図2から I_H が8A程度までは単調に増加するがその後飽和するよう見える。これは I_H を増加させることでミラー磁場で反射する量を減らすことができるが、ある程度以上はその効果が薄れることを示している。陽電子ビーム径と陽電子量の関係は、磁場輸送系からの陽電子ビームの引き出しの効率と密接に関係している。

2.3 モデレーター内電位分布および引き出し電圧の最適化

本実験で使用しているモデレーターは引き出しに対する有効面の大きさが8x8 cmあり、奥行も6 cmあるため、3分割しそれぞれに電位をかけ有効に陽電子が引き出されるようにしている。最適な条件を探すために、モデレーター内の3分割したそれぞれ

の電位差を25, 50, 100, 200V、引き出し電圧を0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4kVにしたときの陽電子量の計測を行った結果を表1に示す。誤差表示のないものは1回の測定で得られたものであり、他の0.5kV-50Vの場合は4回、1kV-100Vの場合は8回の測定の平均値である。傾向として引き出し電圧は0.5-1kVをピークに減少するが、モデレーター内の層間電圧を変化させても余り変化しないのがわかる。これから各層で放出される陽電子がそのままモデレーターからでてくるのではなく、タングステン箔に対し入射、再放出を繰り返すものと考えられる。この場合、回数により差がでるものと考えられ、層間電圧が小さいときには回数が増えると予想されるが、実際の配置はタングステン箔がきれいに平行に並んでいるわけではないので、このような結果になったと考えられる。

3 考察

今回の実験では検出器のパイルアップを抑える目的で電流値は約13~16mAであったが、単純に常時使用している400mAまで外挿すると、得られるであろう最大陽電子量は約 $2 \times 10^8/s$ となる。輸送系(引き出し系)の効率やモデレーターから出てくる陽電子が、設計段階で予想したものと同程度か否かをシミュレーションを用いて評価した。計算にはEGS4コードを用いた。EGS4で示される結果は10keV以下になったときの陽電子の位置である。タングステン内での拡散距離は1380Å程度であり、また各タングステン箔での消滅確率を一定と仮定する。

計算は、厚さ7mmのタンタルの軸に垂直に運動エネルギー100MeVの電子を垂直に入射させ、タンタルの直後には厚さ0.2mmのアルミ板と(空隙はない)、長さ26mmの真空層があり、この後にモデレーターアセンブリーが設置されているという、実際の配置に近い条件で、異なる乱数を用いて計50万個の電子を入射し行った。タングステン箔で10keV以下になる陽電子量の分布を図3に示す。この図では図1の場合と異なり、左側にコンバーターが位置しており、従って、左から陽電子やX線がモデレーターに入射している。ギャップナンバーが8の部分で陽電子量が多くなっているのは、厚さ1mmのタングステン板による後方散乱がかなりあることを示している。また電子-陽電子変換効率は0.67%であっ

た。シミュレーションの結果と実験結果とを比較すると、ミラー磁場の影響を比較的受けていないと思われる、特に $I_H=9A$ の場合にはタングステン箔間の強度比も計算に近い値となっている。しかしミラー磁場の影響は $I_H=9A$ の場合でも現われており、このためモデレーター両端からの陽電子量が減少しているものと考えられる。計算結果から仮にモデレーター周辺部からの陽電子が全て輸送できたとしても、おおよそ10%程度の増量しか見込めないことがわかる。上の結果から、10keVから熱化した後再放出され、輸送される陽電子の割合は、陽電子引き出し用メッシュの効率を92%、周辺部での損失を10%とすると、実験で求められた全電子-陽電子変換効率が約 1.3×10^{-6} であることから、 2.3×10^{-4} 程度となる。これは理想に近い状態に比べ約500倍小さい値となっているが、先にも示したように陽電子の拡散距離が1380 Å程度であるのに対し、実験で用いたタングステン箔の厚さは $25 \mu m$ と、約100倍であることから、実質約1/5程度の損失となっている。

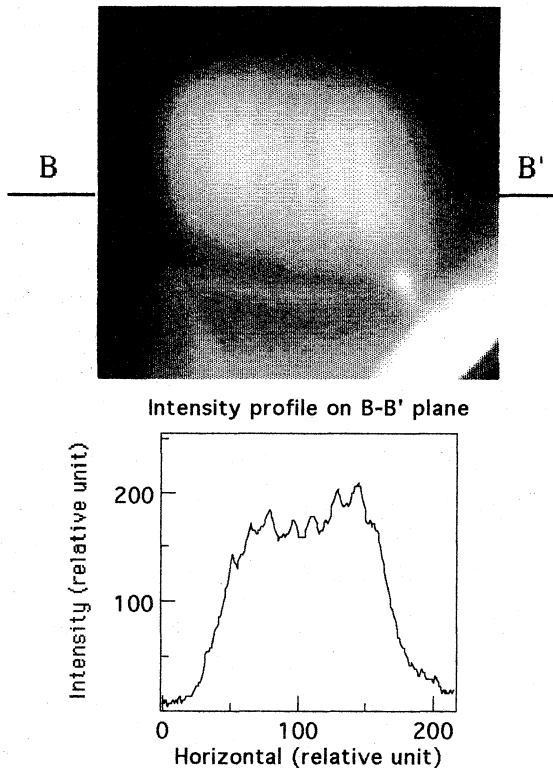


図1 $I_H=5A$ の時の陽電子ビーム像

4 まとめ

- ・タングステン箔を $1800^\circ C$ 以上でアニールすることにより、電子から陽電子への変換効率として約 1.3×10^{-6} が得られた。これは電子ライナックの通常運転時に約 $2 \times 10^8 e^+/s$ の陽電子ビームが得られることを示唆している。
- ・輸送系の最初に磁場分布が急速に変化するところでミラー磁場による陽電子の損失があることがわかった。ここでの損失は磁場系から陽電子を引き出すときの効率と関連しているので、現状においてはこの部分での優劣は判断できない。
- ・現在のコンバーター、モデレーターの配置に関しては、 $I_H=9A$ の時ではシミュレーションとの比較から、ミラー磁場の影響がない場合に比べ、約90%程度の陽電子が得られていることがわかった。
- ・シミュレーションとの比較から、陽電子の引き出し効率は、理想に近い場合に比べ約1/5程度となっていることがわかった。

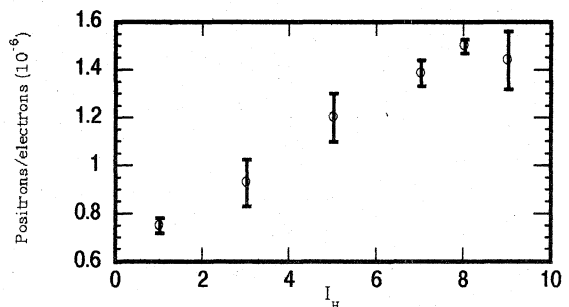


図2 I_H と変換効率との関係

表1 変換効率と引き出し電圧、層間電圧との関係
positrons/electrons ($\times 10^6$)

		Extraction voltage					
		0.25 kV	0.5 kV	1 kV	2 kV	3 kV	4 kV
ΔV	25 V	0.75	1.19	1.32			
	50 V	0.98	1.36 ± 0.03	1.39	1.10		
	100 V	1.25	1.34	1.32 ± 0.08	1.14	0.98	0.95
	200 V		1.40	1.35	1.03	1.03	0.82

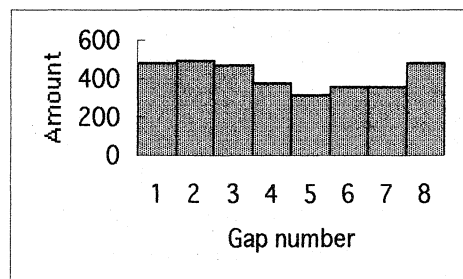


図3 EGS4によるシミュレーション結果