

[13P-43]

Development of the slow positron beam source

Tomohiro Yamaguchi*, Yoshihide Honda, Mutsumi Tashiro, Norio Kimura,
Seiichi Tagawa, Goro Isoyama

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

Abstract

In collaboration with the Radiation Laboratory, Studies on production and brightness enhancement of the slow positron beam have been carried out. A new extraction system of the positron beam magnetic transport system is designed and constructed to obtain high brightness positron beam using reflection-type moderator. The obtained transport efficiency based on this system is reported.

高輝度低速陽電子ビーム源の開発

1. はじめに

現在、産研ではSバンド電子線形ライナックを用いて、大強度の陽電子ビームを生成している。この陽電子ビームを用い、物質の表面解析への利用を考えている。

このように加速器を用いて生成された陽電子ビームはそのサイズ、エネルギー広がりがともに大きく、表面解析に利用するためには生成された陽電子ビームを高強度のままサイズを絞り、高輝度化する必要がある。これまで陽電子ビームを高輝度化する装置の開発を行ってきた。しかし、これまでの装置ではビームサイズは絞れたものの、ビーム強度の減少が大きく十分な輝度が得られていないことが分かってきた。

考えられる原因として、入射ビームのエミッタンスが大きい、モデレータ前の電極が不正であった、などが挙げられる。ビームのエミッタンスが大きいのは、陽電子発生部に起因した問題であるが、他の点についてはモデレータや、電極系を再検討することで解決できると考えられる。以下では新しく設計・製作した反射型輝度増強装置とそれを用いた初期実験について示す。

2. 高輝度化の方法

一般に輝度 B は定数項を除いて以下のように表される。

$$B \propto \frac{I}{\varepsilon^2}$$

ここで I はビーム強度、 ε はビームのエミッタンスを表す。輝度 B を増加させるためには、 I を大きくし、 ε を小さくすればよい。

しかしながら、保存場中を輸送される粒子に対してエミッタンスは保存する。したがってエミッタンスを小さくするためには非保存の過程、例えばスリットを通してビームを削るなどの方法を使う必要がある。

3. 再放出現象を利用した高輝度化

陽電子を高輝度化する場合、再放出現象と呼ばれる方法を使うことができる。多くの固体は陽電子に対する仕事関数は負であるため、このような固体に注入された陽電子は熱化・拡散する。この過程で陽電子は急速にエネルギーを失い、固体内の電子と対消滅せずに固体表面近傍まで拡散してきた陽電子はこの負の仕事関数のため、表面から垂直に仕事関数分のエネルギーを持って放出される(Figure 1.)。このように陽電子の再放出現象を利用して、陽電子の運動エネルギーを揃える

T, Yamaguchi, 06-6879-8486, yamagu25@sanken.osaka-u.ac.jp

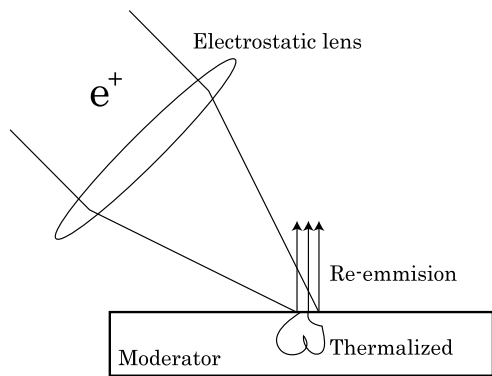


Figure 1. Scheme of the reflection type Remoderator.

ために用いられる物質はモデレータと呼ばれている。

このとき固体からの再放出陽電子ビームの強度が入射ビームよりも減少するが、この強度の減少分よりもエミッタンスの減少分、すなわち発散角、径の減少分が小さければ輝度は増加する。以上が再放出現象を利用した陽電子ビームの高輝度化の原理である。

陽電子が入射面から放出される場合、反射型と呼ばれる。

4. 高輝度化装置

Figure 2に反射型高輝度化装置の概略図を示す。装置は、磁場からの引き出し部、モデレータ、再放出陽電子を収束させる静電レンズ部で構成されている。

これまでの実験により磁場からの引き出し部の電極は複雑な電極系とするよりも、単純なアインツェル電極に

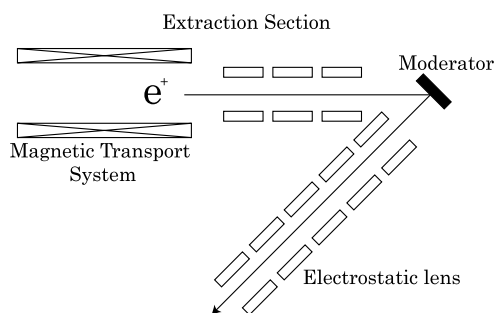


Figure 2. Brightness enhancement system.

して、素早くモデレータに入射するほうが良いという結果が得られている。

再放出部のモデレータは50 mm × 50 mm × 10 μmのタングステンを表面処理のため1500 °Cで15分間アニールしたものを使用した。タングステンの陽電子に対する仕事関数は2.54 eVである。

続くレンズ系は再放出ビームのビーム径をさらに小さくできるように設置している。この電極系は倍率および結像点を任意に決められるよう5電極となっている。

ビーム強度の測定は高純度ゲルマニウム半導体検出器、ビームサイズの測定はMCPを用いて行った。

5. 磁場からの陽電子の引き出し

磁場からの引き出し前のビームのエネルギースペクトルを Figure 3.に示す。中心で約 800 eV、半値全幅で約 400 eV と広がっている。このビームを磁場から自由空間へそのまま引き出した場合、発散角は 14°である。この発散を抑えるために設置してあるのが Figure 3.の 3 電極で、これまでの実験結果から、この部分で多くの陽電子が発散によって失われていることがわかっている。さらに、この電極によってモデレータまで輸送されたビームのサイズが再放出後の陽電子ビームの初期条件となる。これらのことから引き出し部の特性を調べることは、高輝度ビームを得るためには非常に重要であるので、引き出しからモデレータまでのビーム輸送を行った。

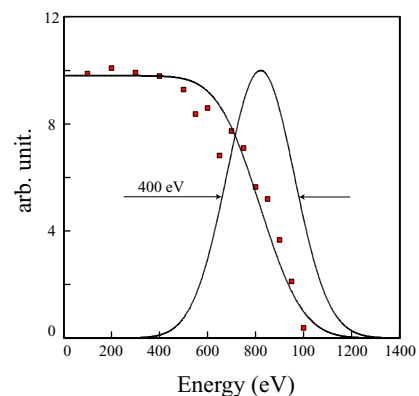


Figure 3. Energy spectrum of the incident positron beam.

A square points are measurement value.

6. 輸送実験結果

Figure 4.に引き出しからモデレータ上までの輸送実験の結果について示す。引き出し電極には中央の電極に-10 kV印可している。

図中左のビーム像は磁場輸送系のMCP上、右はモデレータまで輸送したものである。中心の明るい部分のサイズを比較すると、入射ビームの5 mmに対してモデレータ上では15 mmとなった。ビームサイズは約3倍に広がっている。また、同じ位置で半導体検出器を用いて測定したビーム強度は、入射ビームが 0.37×10^6 /secに対してモデレータ上で 0.33×10^6 /secとなった。強度的には、ほぼモデレータまで輸送できている。

現在のところ、これらの結果(Table 1.)はビームの軌道計算により得られている値とほぼ一致しており、本装置の引き出しレンズ系のアクセプタンスから避けられないと考えている。

Table 1. Beam intensity and size.

Position	Intensity (/sec)	Size (mm)
Incident	3.7×10^6	5
On Moderator	3.3×10^6	15

7. まとめ

陽電子ビームを磁場から引き出し、モデレータまで輸送を行った。その結果ビーム強度はロスなくモデレータまで輸送できていることがわかった。ビームのサイズはモデレータ上で大きく広がってしまう結果となった。ビームの軌道に関しては、ほぼ計算値と同じ値になることがわかった。今後、引き出し効率 90%以上、ビームサイズ数 mm でモデレータ上へ輸送できるよう、より大きいアクセプタンスを持った引き出し電極の検討、引き出し時のビームの発散を抑える方法の検討を行う予定である。

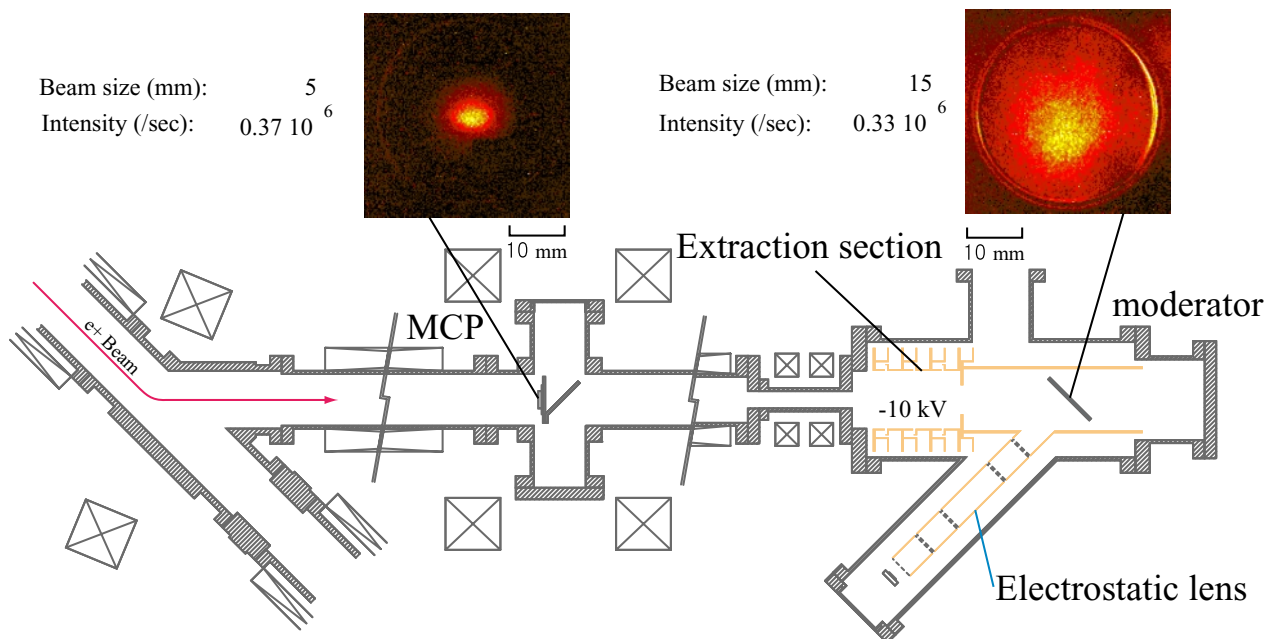


Figure 4. Experimental result.