

高輝度低速陽電子ビームの生成

山口 倫宏^{1,A)}、菅田 義英^{B)}、田代 睦^{C)}、磯山 悟朗^{A)}

^{A)} 大阪大学産業科学研究所量子ビーム発生科学

^{B)} 大阪大学産業科学研究所放射線実験所

^{C)} 大阪大学産業科学研究所量子ビーム物質科学

〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1

概要

現在、阪大産研では S バンド電子線形加速器を用いて、大強度の低速陽電子ビームを生成し、この陽電子ビームを用いた利用方法のひとつとして、物質表面の構造解析を考えている。表面構造の解析に陽電子ビームを利用するためには、大強度を維持したままビームのサイズを絞り、高輝度化する必要がある。既存の高輝度化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わかった。さらなる大強度の高輝度の陽電子ビームを生成するため、新しい装置の開発を製作し、実験を行った。その結果、ビーム径 3 mm、ビーム強度 10^4 cps の陽電子ビームを得た。本稿ではこの装置の設計指針とこれを用いた実験結果を報告する。

1. はじめに

電子線形加速器をもちいて生成された低速陽電子ビームはコイルなどの軸対称磁場を利用し測定室まで輸送される。測定室の磁場輸送中に測定された低速陽電子を図 1 に示す。

測定室には低速陽電子ビームの高輝度化装置が設置しており、この装置は次の 3 つの部分よりなる(図 2)。

- ・ 磁場からの切り離し部
- ・ 反射型リモデレーター
- ・ 収束部

以下ではこれら装置の各部の詳細および実験結果について示す。

2. 高輝度化装置

2.1 低速陽電子ビーム

生成された陽電子ビームは、陽電子発生部に設置された単色化装置(以下、モデレーター)により単色化される。このため生成時のビーム径はモデレーターの大きさにほぼ等しく 80 mm である。このビームをソレノイドコイルなどの磁場を利用し絞り込むことで輸送時、その径は 20 mm になる。このときビーム強度は 10^6 cps である。

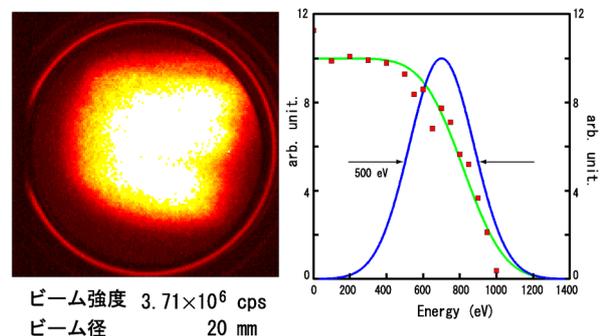


図 1 : 測定室での陽電子ビーム像とエネルギー広がり

2.2 磁場からの切り離し部

低速陽電子ビームはコイル磁場によって輸送されている。表面解析を行うには、表面へ入射した陽電子の散乱線を観測できるようにしなければならない。磁場が存在すると散乱線が乱され測定は不可能である。このため磁場からの陽電子の切り離しが必要になる。

ソレノイドコイル等が作る軸対称磁場中、陽電子などの荷電粒子の正準角運動量は保存する。このため磁場がなくなると、ビームが大きく発散することになり、ビーム強度の減少につながる。ビームの発散角は、おおむね輸送時の磁場による絞込み角に比例し、磁場がなくなったとき発生時の大きさとなる。今回の実験の場合磁場がなくなる位置では発生部モデレーターの径と同程度 80 mm にもなってしまう。

磁場からの切り離し部ではビームの発散抑えるよう同軸円筒のアインツェルレンズを使用している。このレンズ収束作用により、次に示すリモデレーター位置でのビーム径は 40 mm となる。

2.3 反射型リモデレーター

陽電子が物質に入射すると、仕事関数が正であるため一部の陽電子は物質表面から再放出される。放出される陽電子は入射した物質表面が平らなら、垂

¹ E-mail: yamagu25@sanken.osaka-u.ac.jp

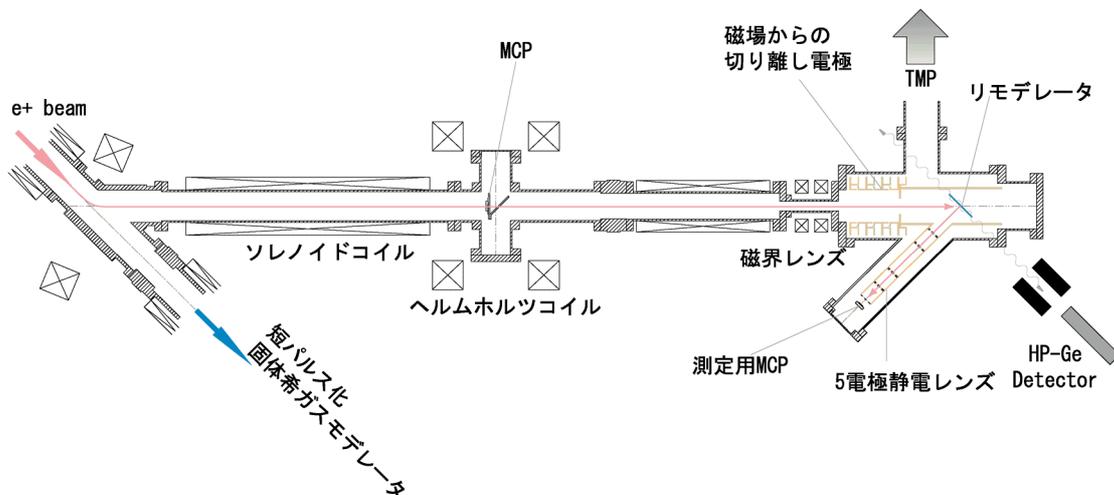


図2：磁場輸送系と高輝度化装置

直に放出される。この性質は陽電子ビームの単色化、低速化に利用されている。

このような性質をもつ物質を(リ)モデレータとよび、入射面と放出面が同じ場合、反射型とよばれる。

ビームウエストの部分でリモデレータに入射すると垂直に放出されるのでエミッタンスが減少する。2.2 で示した磁場からの切り離し部ではエミッタンスは横に広がるが、再放出をすることでエミッタンスを小さくできる。

リモデレータの材質は、これまで実績のあるタングステン箔を使用し、表面処理のためアニーリングを行っている。これまでの研究により上記の材質を使うと 30%の再放出効率が得られるということがわかっていて、また、磁場からの切り離しで広がったビームを入射できるように、そのサイズは大きくし、50x50 mm のものを使用している。

2.4 収束部

再放出した陽電子ビームを収束させるため5電極からなる静電レンズを設置している。5電極にしたのは、倍率および像点が任意に決められるからである。またこれらに印可する電圧は、測定用MCP位置で1 mmにできるように設定した。

3. 実験結果

図3に各位置(a：磁場輸送中、b：反射型リモデレータ、c：測定用MCP)でのビーム像を示す。MCPの蛍光をCCDカメラ、光学カメラで写し、像の測定を行った。

磁場輸送中のビーム径は約20 mmである。磁場輸送中のビームに横の縞模様があるのは、発生部モデレータの階層構造を示している。リモデレータ上のビームはMCPの有効径31 mmよりも大きくなった。ビーム径の計測は、リモデレータ位置でビームを左右に振ることでその曲率から判断した。この時のビ

ーム径は約40 mmであった。測定用MCP上ではビームはCCDに写らないほど暗かったため、通常の光学カメラを使用し露光時間を長く取り測定した。この時およそ3 mmのビームであった。

表1に高輝度化装置の各位置におけるビーム強度およびビーム径の変化を示す。ビーム強度の測定にはHP-Ge半導体検出器を使用した。

磁場からの切り離しによるビーム強度の変化を見ると、ここで大幅な強度の減少があることがわかる。これは、磁場からの切り離し時のビームの発散が大きすぎ、電極による収束が足りないためであると考えている。

反射型リモデレータから収束部をへて測定用MCPまでの強度の減少の原因は以下の理由が考えられる。

- 1、 モデレータからの再放出による減少
- 2、 再放出ビームの径が大きすぎる

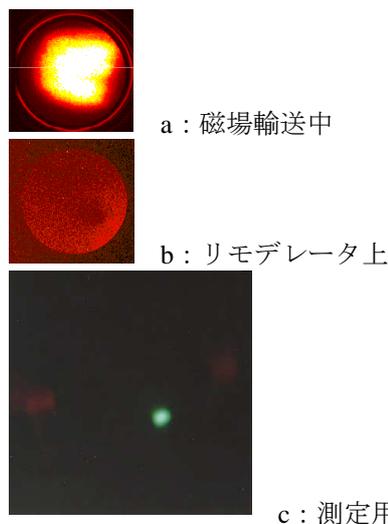


図3：陽電子ビーム像
a：磁場輸送中
b：リモデレータ上
c：測定用MCP上
ビーム径はMCP有効径、ウィンドウから見積もった。上から順に20、40、3 mm。

図3：陽電子ビーム像

表 1 : ビーム強度、ビーム径の変化

	磁場中	反射部	測定用 MCP	強度減少率
強度 cps	1.87×10^6	6.78×10^5	1.431×10^4	0.8%
径 mm	20	40	3	—

1 についてはリモデレータを使用する場合必須のものであるが、その減少率は 2.3 で述べたように 30% と既知である。この分を差し引くと再放出した陽電子が収束部をへて測定用 MCP に到達できる割合は 1% となる。

4. 考察

ビーム径についてはおおむね数値計算を行ったものと一致している。測定用 MCP 上のビームサイズからリモデレータ上のビーム径を数値計算により逆算すると 35 mm となり、ほぼ実験結果とおなじである。同時に、このことは収束部の静電レンズが 40 mm のビームを 1 mm まで収束する能力が無いということ

を示している。収束部でさらにビーム径絞るためには高倍率の電極が必要であることがわかった。ビーム強度の大幅な減少は、これまでの実験結果を総合すると、本質的には陽電子の発生時のビームサイズ、すなわちモデレータが大きすぎることに原因があるといえる。

5. まとめ

ビーム径 3 mm、ビーム強度 10^4 cps の陽電子ビームがえられた。更なる高輝度化を行うためには発生部モデレータの小型化と収束部の改良をおこなう必要がある。