

GENERATION OF SHORT PULSED POSITRON BEAM WITH HIGH BRIGHTNESS USING ELECTRON LINAC

Masayoshi Hirose, Yoshihide Honda¹, Norio Kimura, Jinfeng Yang, Yoichi Yoshida, Goro Isoyama, Seiichi Tagawa
The Institute of Science and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567-0047

Abstract

The pulsed positron beam and the high-brightness positron beam have been developed using electron linac. Integration of these beams makes positron more effective especially for the surface characterization of the materials. However there are some problems to develop a new beamline. In this report the outline of our machine is presented together with the problems and several ideas to be improved are also shown.

電子ライナックを用いた高輝度短パルス陽電子ビームの生成

1. はじめに

これまでSバンド電子ライナックを用いて短パルス陽電子ビームの生成、高輝度電子ビームの生成を行ってきているが、これらを組み合わせることで、陽電子回折や陽電子寿命測定が同時に行うことができるようになり、表面のキャラクタリゼーションにより有効なプローブとなる。以下では現在の装置の状況、及び問題点を示し、これらを解決するための方法について述べる。

2. 背景

高強度陽電子ビームの生成には電子ライナックを用いる方法が有効である。ライナックからの高速電子がコンバーターと呼ばれる重金属に入射し、制動放射X線からの対生成により陽電子は生成される。このため、多くの陽電子を発生させるためには、より多くのX線を利用する必要がある。コンバーターで発生する陽電子はエネルギー的に拡がっており、実験室まで陽電子を導くためには、エネルギーをそろえる必要がある。このために用いられているのがモデレーターと呼ばれるタングステンアセンブリーで、コンバーターの直後に設置してある。モデレーターの役割はコンバーターで発生した陽電子のエネルギーをそろえることと、モデレーター内での対生成による陽電子発生である。高強度陽電子ビームを得るためには、コンバーターからのX線を有効利用する必要があり、このため、大型のモデレーターを使用している。モデレーターからの低速陽電子ビームは磁場を使って陽電子用実験室までガイドされる。モデレーターからは陽電子のほかに電子も多量に輸送されてくるため、モデレーター部分での陽電子の

損失を抑えるとともに、磁場輸送中の曲部で電子、陽電子を曲率ドリフトを利用して分離し、陽電子だけを輸送するように、モデレーター電位(引き出し電圧)を1kVに設定してきた。阪大産研に設置されている陽電子用実験室内の陽電子ビームラインを図1に示す。図に示されているように、本装置は短パルス陽電子ビーム生成用ビームラインと高輝度陽電子ビームラインを有している。モデレーターからの陽電子ビームは、電子ライナックの電流と同様のパルスビームであり、われわれの場合30Hzでパルス幅は2-3 μ sである。陽電子寿命測定にはこのビームをそのまま利用することはできないため、一旦蓄積し、その後、再度パルス化するという操作を行っている。また、蓄積するためには1keVというのは高すぎるため、陽電子の再放出現象を利用する、リモデレーターを用いて低速化している。一方、高輝度化とは陽電子特有の性質を利用するものである。タングステン等陽電子に関して仕事関数が負となる物質に陽電子を絞って入射すると、非弾性散乱し熱化した後再び表面付近に拡散してきたものは、表面にほぼ垂直に放出される。この時、陽電子の強度も減るが、エミッタンスの減少のほうが大きければ結果的に輝度は上がることになる。高輝度ビームの生成に関しては、モデレーターからの陽電子ビームを低速化や蓄積を行うことなく、磁場輸送系から切り離し静電的にリモデレーターまで輸送し、高輝度化ビームラインに導いている。測定用サンプルの小型化に対しては陽電子ビームを削ることでこれまで対処してきた。この場合の計数率は通常に比べ下がる。この方法は磁場中で計測を行う陽電子寿命測定では有効であるが、高輝度化

¹ E-mail: honda@sanken.osaka-u.ac.jp

では有効ではない。

3. 問題点

高輝度短パルスビームの生成を行う際に、パルス化をリモデレーター以降で行うか、あるいは以前で行うかを決めなければならない。リモデレーターに入射した陽電子ビームが拡散後再放出するまでに要する時間は100 p s以内がほとんどであるため、パルス化したビームをリモデレーターに入射させることも考えられる。この時間問題となるのは、リモデレーター上での陽電子ビーム径の大きさである。径が大きいと、静電レンズ中での軌道差が大きくなり、時間分解能の劣化につながる。従って、如何に高輝度化用リモデレーター上のビーム径を小さくするかが重要課題となる。高輝度化用のビームラインでは、モデレーターから磁場中を輸送された陽電子ビームは、磁場から切り離された後、静電的にリモデレーターに集束されるが、この過程で正準角運動量は保存する。従って、モデレーター部に磁場が存在するとベクトルポテンシャルが存在し、磁場輸送系から引き出す際に、ビームの拡がりに大きな影響を及ぼす。われわれの陽電子ビームのビーム径は約15 mmであり、ラーマ半径は数mmと考えられるため、リモデレーター上でのビーム径に与える磁場からの寄与は大きい。従って、モデレーター部にはできるだけ磁場が無いほうがよい。一方、リモデレーター上でのビーム径を小さくするためには、輝度は保存するから陽電子ビームを加速する必要がある。ここ

では前述のように磁場中のリモデレーターで低速化させることはできない。より小さなビーム径にするためには、加速前後でのエネルギー差を大きくしなければならない。このためにはモデレーターへの印加電圧を低く設定する必要がある。引き出しエネルギーが小さいと、モデレーター部での消滅量も増えるし、電子-陽電子の分離が不可能となる。この問題を避けるには、モデレーターへの印加電圧は小さくし、一旦高電圧でモデレーターから引き出した後、元に戻す方法と、曲部に入る前に高圧に加速し、電子陽電子を分離させ、陽電子だけを導くようにした後、元に戻す方法の両方を行えばよい。一方、非磁場中にモデレーターを置く際、モデレーターを構成するタングステン箔に垂直に陽電子は放出されるため、ビームの拡がりが大きくなるという問題もある。

4. 設計方針・まとめ

以上の問題点を改善するために、下記に示す点を検討し装置設計する予定である。詳細については発表時に報告する。

- リモデレーター上でのビーム径を小さくするためのモデレーター電位の低電圧化の検討
- モデレーターの形状及び磁場輸送系に陽電子を効率よく入れる方法の検討
- 曲部に入る前で加速し、電子陽電子を分離
- パルスビームの時間分解能の検討

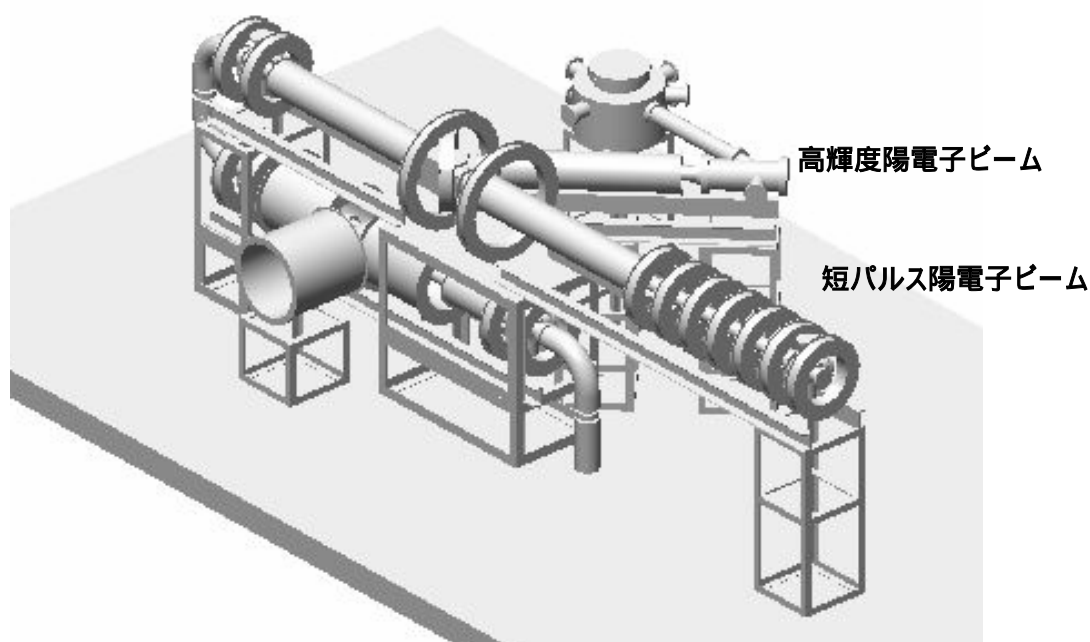


図1. 陽電子実験室内での陽電子ビームライン