

[08-A03]

Construction of Pulsed MeV Positron Source

Masaki Maekawa, Masakazu Kondo, Sohei Okada

Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
1233 Watanuki-machi, Takasaki, Gunma 370-1292, Japan

Abstract

We have been constructing a pulsed MeV positron beam line (PUMPS: Pulsed MeV Positron Source). PUMPS can form a high-energy (1MeV) short-pulsed (100ps) positron beam. It enables study of materials bulk properties under extreme conditions such as high temperature and under stress with PALS (Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy) measurement. The main parts of PUMPS were already installed, and the acceleration up to 1MeV was confirmed by using an electron beam. The beam characteristic parameters, 0.5mm beam diameter, 150ps pulse width and low normalized emittance, were also observed.

高速短パルス陽電子ビーム形成装置の開発

1. はじめに

日本原子力研究所高崎研究所では、高時間分解能陽電子ビームの形成をめざし、ビームエネルギー1MeV、パルス幅数十psの高速短パルス陽電子ビーム形成装置の開発を行ってきた¹⁾。数10keVまでのエネルギー可変短パルス陽電子ビームはすでに電子技術総合研究所で開発され²⁾、表面及び表面近傍の研究に利用されている。

しかし、固体固有の性質を決定しているバルク(固体内部)を調べるにはよりエネルギーの高いビームが必要となる。ビームエネルギーが1MeVあれば陽電子を内部まで送り込むことが可能である。陽電子ビームを測定系の時間分解能以下に短パルス化することにより陽電子消滅寿命測定法の利用が可能となる。エネルギーが高いためウインドウを介してビームを大気中に取り出すこともでき、高温下・応力下など極限状態の試料の測定が可能となり、応用範囲が大きく広がることが期待できる。

2. 高速短パルス陽電子ビーム形成装置の概要

通称PUMPS(Pulsed MeV Positron Source)の概略を図1に示す。²²Na陽電子線源(3.7GBq)より生成された陽電子は厚さ6 μ mのタングステンモデレーターにより減速・熱化される。再放出陽電子を直流の低速単色ビームとして取り出し、磁場により輸送する。

タングステンメッシュに高速パルスジェネレータで矩形波を印加することによりビームチョッピングを行い、幅2nsのパルス状に切り出す。続くサブハーモニッ

クバンチャー(SHB)部において178.5MHzの高周波電場を用いビームに速度変調をかけ、およそ100psのパルス幅にまで時間的に圧縮する。2空洞定在波型加速管によりビームエネルギー1MeVにまで加速し、同時にパルス幅を数十ps程度にまで圧縮する。加速管のRF源には周波数2856MHz、出力400kW、最大繰り返し100ppsのクライストロン(三菱電機製PV-2012)を用いた。

陽電子ビームが加速管を通過する際、加速管内で発生した放電電子が大量に含まれることが明らかとなった。放電電子は通常どのような型の加速管でも暗電流として観測されるが³⁾、サンプルに照射損傷を与える可能性があり、陽電子の特性を生かした高感度の測定を行うためには除去する必要がある。このような放電電子はベンディングマグネットとアパーチャにより構成される磁気フィルターにより分離し、同時に加速ビームのエネルギー弁別も行う。加速ビームはトリプレットQマグネットによりターゲット上に集束させる。陽電子はターゲット内で消滅 γ 線を発生するので、プラスチックシンチレータとフォトマルにより検出し、入射時刻との時間差を測定することにより陽電子寿命測定を行う。

パルスビームはSHBの動作周波数に同期し、178.5MHz周期(5.6ns間隔)となる。これは陽電子消滅寿命測定に必要な時間間隔である。チョッパーの動作状態を変えることでこの時間間隔を変更することが可能であり、長寿命のサンプルの測定にも用いることが出来る。

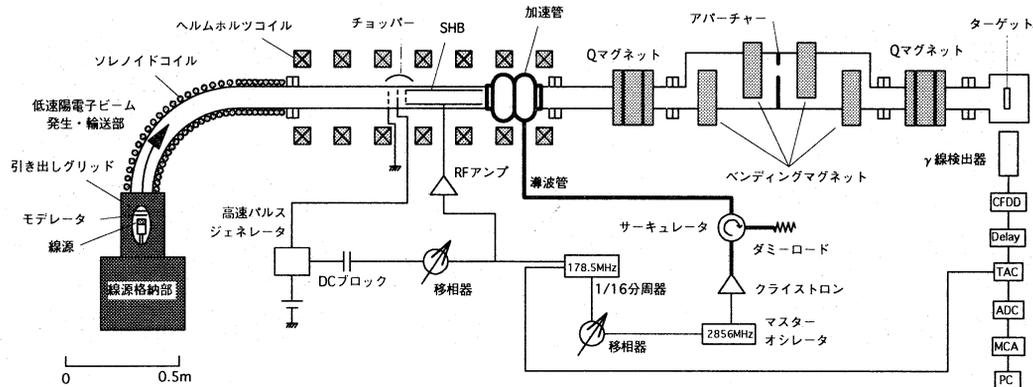


図1 高速短パルス陽電子ビーム形成装置 概略図

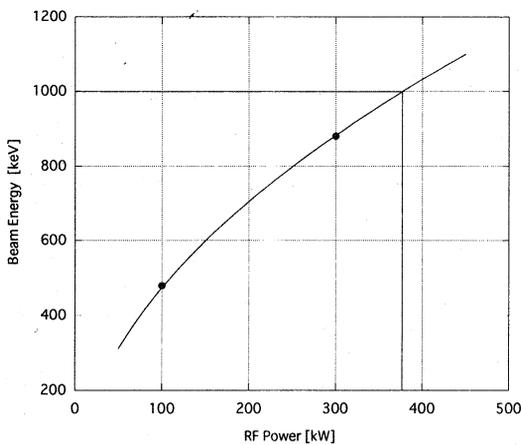


図2 ビームエネルギー測定の結果

表1 鉛直方向規格化エミッタンス測定結果 [π mm · mrad]

ビーム エネルギー [MeV]		ビーム電流 [mA]	
		0.42	0.9
0.594		33.1	89.2
0.801		98.6	263.0

表2 水平方向規格化エミッタンス測定結果 [π mm · mrad]

ビーム エネルギー [MeV]		ビーム電流 [mA]	
		0.42	0.9
0.594		2.24	4.64
0.801		69.99	49.56

効果的に集束が行えることが確認された。磁気フィルターの極性を反転させると電子ビームは観測されず、電子と陽電子の分離が完全に行えることも確認した。

3. 本装置の現状

これまで電子銃を用いて装置の動作試験を行ってきた。以下に代表的なものについて報告する。

ビームエネルギーの測定

加速された電子ビームのアルミニウム中の飛程を測定しビームエネルギーの測定を行った⁴⁾。その結果を図2に示す。定在波型加速空洞のエネルギーゲイン特性式 ($E \propto \sqrt{P}$) にフィッティングさせた結果、本装置のクライストロン定格出力内 (400kW) でビームエネルギー 1MeV が得られることを確認した。

ビーム像の観測

(a) チョッパー部、(b) 加速管直後、(c) ターゲット上で観測されたビーム像を図3に示す。(b) が $\phi 10$ mm であるのは加速管の放電電子による影響である。(c) では $\phi 1$ mm 程度であることから、Q マグネットにより

エミッタンスの測定

Q マグネットの集束力を変化させターゲット上でのビームエミッタンスの測定を行った⁵⁾⁶⁾⁷⁾。鉛直方向の規格化エミッタンスの測定結果を表1に、水平方向の規格化エミッタンスについては表2に示す。エミッタンスの値は総じて小さく、比較的質の良いビームが形成されている。鉛直方向と水平方向のエミッタンスに差があるのは、磁気フィルターによるエネルギー弁別が水平方向のみに作用した効果である。ビームエネルギーや電子銃のエミッション電流を増加させた場合のエミッタンスの悪化は、加速管内部で発生した放電電子や空間電荷効果の影響であると考えている。

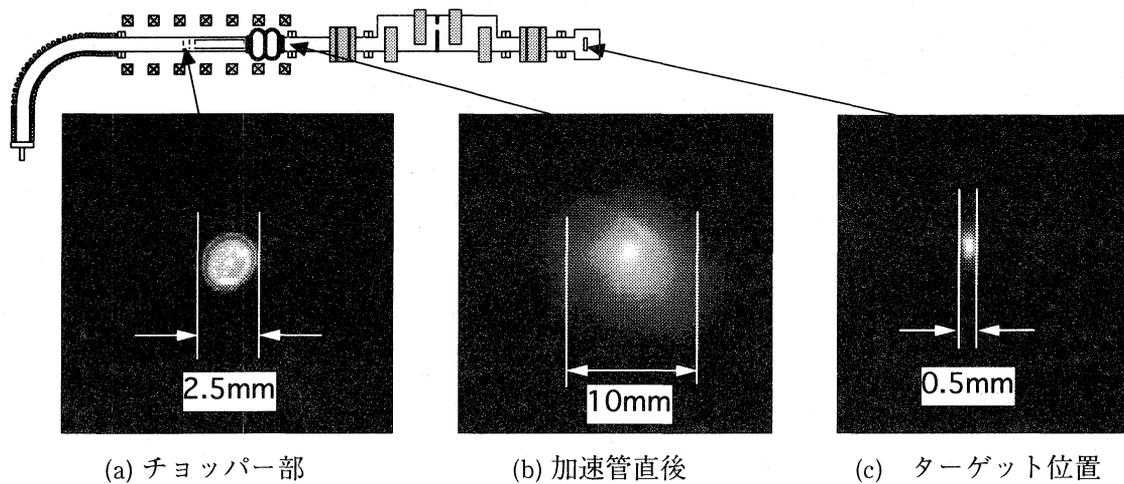


図3 観測されたビーム像

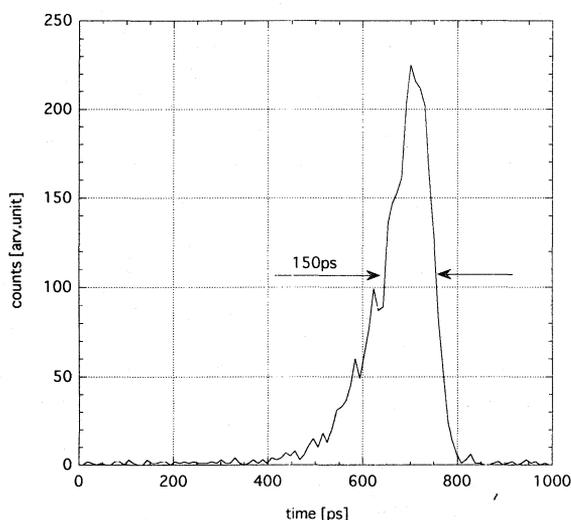


図4 パルス幅測定の結果

パルス幅評価

パルス幅の測定⁸⁾を行った結果を図4に示す。チョッパーを使用せずとも150psのパルス幅を得た。なお、本測定時の計測系の時間分解能は100ps程度であった。

4. まとめ

最大エネルギー1MeV、パルス幅数十psの陽電子ビームを形成する装置の開発を行ってきた。電子銃を用いた動作検証の結果、クライストロンの定格出力内でビームエネルギー1MeVが得られたこと、ビーム径は1mm程度に集束可能であること、規格化エミッタンスは数十 $\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ 程度であること、ビームパルス幅は100ps程度であることなどを確認した。

今後陽電子線源を取り付け陽電子ビームに対して動作確認を行った後、応力下での原子力材料のボイド生成過程の解明やポリマーの応力緩和過程の解明、高温

下のシリコン熱欠陥生成挙動の解明等に用いる予定である。

参考文献

- 1) M.Maekawa et. al.: Proceedings of the International Workshop on Advanced Techniques of Positron Beam Generation and Control (1998) 80.
- 2) R.Suzuki et. al.: Jpn. J. Appl. Phys. 30 (1991) L5321-L534.
- 3) 斎藤芳男: '高周波放電と表面' OHO'90 VIII-6
- 4) Nicholas Tsoulfanidis 著, 阪井英次訳: 放射線計測の理論と演習 (1986) 140
- 5) Hermann Wollnik: Optics of Charged Particles(1987) 151
- 6) 菊池光男: 'ビームトランスポート' OHO'90 V-3
- 7) K. L. Brown: Nucl. Instr. And Meth, 187 (1981) 51.
- 8) 鈴木良一: 電子技術総合研究所研究報告第928号 (1991) 117