

OPERATION AND STABILITY OF 18MeV LINAC (Photo-Cathode RF-GUN)

Toru Ueda, Akira Sakumi, Yusa Muroya and Mituru Uesaka
Nuclear Professional School, The University of Tokyo
2-22Shirane-shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1188

Abstract

We have been developed the photo-cathode RF-GUN and the storbo-scope pulseradiolysis system at the 18MeV S-band electron linac since 1998. The maximum beam charge from the photo-cathode RF-GUN was observed about 7nC/bunch and the accelerated beam charges were ~ 1 nC/bunch within 1.3ps pulse durations. The time resolution of the storbo-scope pulse radiolysis is less than 4ps and the system jitter between the beam and laser pulse is 1.4ps/Hr(rms)

東大18MeVライナック(フォトカソードRF-GUN)の運転実績と安定度

1 はじめに

東大18MeVライナックは、1988年に建設され初期の目的としては35MeVライナックとの組合せによりツインライナックパルスラジオリシスシステムとして放射線化学反応の初期課程を研究する目的であった。最初の18MeVライナックの構成は、熱電子銃とサブハーモニックバンチャーの組合せにより、ピコ秒単パルスが発生する性能であった。その後FEL実験の目的のため、高輝度、低エミッタンス熱電子銃の改造を行い、FEL発振実験も行った。建設より10年経過した1998年にフォトカソードRF-GUNを入射部とした18MeVライナックに改造された。最初に行われた実験は、原研、住重、KEKとの協力研究によるレーザー航跡場の加速実験であった。その後、利用実験としては、主にストロボスコピックパルスラジオリシス実験として放射線化学の初期過程の研究を行っている。ここでは今まで得られた、フォトカソードRF-GUNの性能とパルスラジオリシスに使用された加速器としての安定性等、過去の結果を整理して報告する。

2 18MeVライナックの改修

1998年にフォトカソードRF-GUN導入時から、現在に至るまでのビーム性能と安定化向上のために行われた改修の主な経過を表-1に示す。フォトカソードRF-GUNに関しては、量子効率(QE)の向上をめざし、カソード材質を銅からマグネシウムに変更した。また、従来は、フォトカソード励起用にYLFレーザーを使用し、分析用にチタンサファイヤレーザーを使用していたが、ビームとレーザーの同期精度の向上のため、チタンサファイヤレーザー1台によりその出力を2分割して使用するようシステムを変

更した。また、加速器システムとしては、以前はクライストロン(7MW)を2台使用しRF-GUNと加速管にそれぞれ供給していたが、クライストロン(15MW)を1台にし、出力を2分割して供給することにした。これによりクライストロン相互のジッターを押さえることができた。さらに、ビームパルス圧縮はシケインマグネットを使用した方式であり、圧縮後のパルス巾変動を押さえるためビームエネルギーの安定化を目的として、加速管冷却水温度の安定度を0.5°C以内から、0.01°C以内に制御した。この結果、エネルギーの安定度が向上し、パルス巾の安定度も良くなった。現在のライナックの構成とストロボスコピックパルスラジオリシスシステムをFig-1に示す。

3. 18MeV加速器のビーム性能

3-1 カソードの量子効率(銅とマグネシウム)

図-2に銅とマグネシウムをカソードとしたRF-GUNの量子効率の経年変化を示す。初期の銅カソードの量子効率が 5×10^{-5} と低かったが、カソード付近の真空度の劣化によりビーム発生量が低下することを発見した後、真空系を強化した。ゲッターポンプの採用により 1×10^{-10} Torrの真空が得られ 1.4×10^{-4} の量子効率に上った。その後、量子効率の経年変化はほとんどなかった。一方マグネシウムカソードの量子効率の目標は 10^{-3} 台をめざしたけれど結果的に銅とほとんど同じであった。これは表面の酸化により、マグネシウム本来の量子効率を得られていないものと思われる。我々のところでは、レーザークリーニング等、カソード表面の活性化対策は一度も行っていない。

3-2 電荷量(RF-GUN直後と加速ビームの電荷量

について)

図-3に電荷量の記録を示す。今まで最高でRF-GUN直後で7nCが観測されている。マグネシウムカソードに変更後は4nCしか観測されていない。この原因はマグネシウムカソードに変更した際、入射部のビームモニターの位置が変更され、RF-GUNからの距離が従来の2倍(～70cm)になった。このため半径方向の空間電荷効果によりビームが広がり100%ビームが導けないものと思われる。一方、加速ビームとしては最高で2nC/バンチ(パルス巾3ps)であるが、パルス巾を1ps程度にすると1nCまで電荷量が下がる。このようにRF-GUNの特性として、ビーム電流とパルス巾は相関があり、パルス巾を小さくすると電荷量が下がる傾向があり、現在でも、パルスラジオリシス実験における最適パラメータを調べている。

4. ビームとレーザーの同期精度

マイクロ波とレーザーの同期精度は、フォトカソードRF-GUNに対して、ビーム性能(位相安定度、エネルギー安定度、電流安定度等)に大きく影響する。一方、ストロボスコピックパルスラジオリシスにおいては、ビームとレーザーの同期精度は最終的には立上り時間分解能の重要な要因となる。今まで、システムの更新が行われるごとにその同期精度を測定して来た。測定方法は、ビームに伴うチェレンコフ光とレーザー光をストリークカメラ(時間分解能: 200fs)の同一画面に記録を取り、その相対時間を測定する。これを長時間(1時間から2時間)測定し、ドリフト及びジッターとして評価している。最初は、3.5ps(rms)あった同期精度が最近は、1時間で1.4ps(rms)に納まり、2時間でも1.6ps(rms)という結果が得られている。その結果を図-4に示す

5. 吸収波形の立上り時間分解能とS/Nの改善

ストロボスコピックパルスラジオリシスでは、立上り時間の決定要因は、電子ビームに関してはビームのパルス巾、電荷量、スポットサイズ(電子密度)がありレーザーに関してはレーザーのパルス巾とビームの同期精度(ジッターとドリフト)がある。また、時間分解能を決めるのに試料長も大きな要因である。我々のところでは、レーザーは100fsと十分に短いためビームのパルス巾でほぼ決定される。また、時間分解能を上げるため試料長を短くすると吸収量が下がり、十分な信号強度が得られない。そこで、ビームの電荷量を増そうとするとビームのパルス巾が広がる。このように、いろいろな条件が重な

り合って吸収測定の時間分解能が決定される。最初は立上り30ps程度の時間分解能でしか取れなかったものが(図-5の上)最近では立上り時間4ps程度の時間分解能まで測定できるようになった(図-5の下)これらは同期精度の向上の他、吸収測定において利用できるビームのパルス巾の短縮と電荷量の向上が大きな要因である。

6. 結論

今までフォトカソードRF-GUNを使用した18MeVライナック及びそれを用いたストロボスコピックパルスラジオリシスについて1998年の建設当時から今までの改良された経過及び、結果について述べた。現在、パルスラジオリシスとして実用的なビーム性能はパルス巾1psでは1nC/バンチであり、パルス巾～3psでは2nC/バンチである。ジッターは～500fsであり、ドリフトを含めた1時間では1.4ps程度となっている。また、吸収測定における最高時間分解能は4psの立上りが得られている。今後は受動的な安定度の追求から、能動的なフィードバックを含めた安定度の向上をめざす。例えば、温度による位相のずれを補償する。あるいは建物全体の歪によるレーザー位置を自動的にフィードバックをかけ常にレーザー強度の安定化を計る。さらに、ビーム調整における最適パラメータをさがす。(パルス巾と電荷量の関係等)最後に今までこの実験、研究に協力して下さった、BNL、日本原子力研究所、高エネルギー研究機構、Spring-8及び住友重機の関係者の方々に申し上げます。また、小林哲也様、飯島北斗様には、RF-GUNの大電流化及び安定化等に多大の貢献をして下さいました事に対して感謝申し上げます。

	RF-GUN		システム全体の改修項目
	カソード	レーザー	
1998	Cu	YLF	レーザーとクライストロン各2台
1999	Cu	Ti:Sapphire	レーザーとクライストロン各1台
2000	Cu		冷却系の更新<0.01℃
2001	Mg		伝送ラインのミラー制御
2002			建物空調更新<1.0℃
2003			
2004			レーザー室温制御<1.0℃
2005	同じ	同じ	

表-1 18Meライナックの改修経過

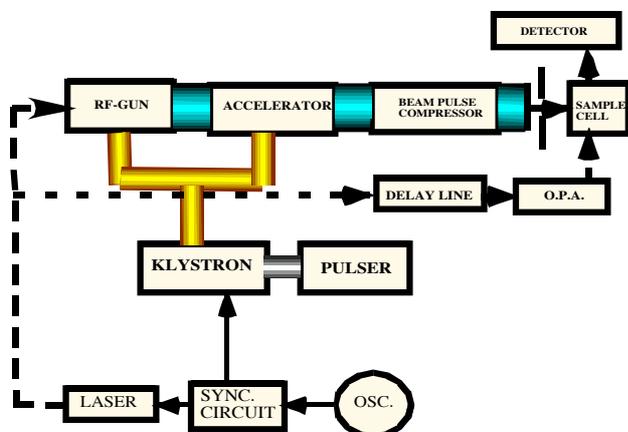


Fig.1 18MeV LINAC (PHOTO CATHODE RF-GUN) AND PULSE RADIOLYSIS SYSTEM

図-4 JITTERの経過

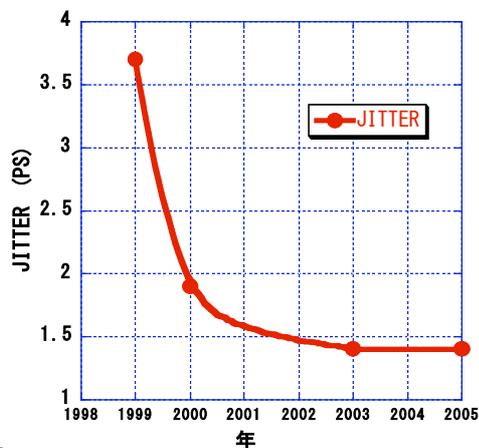


図-2 量子効率の経過

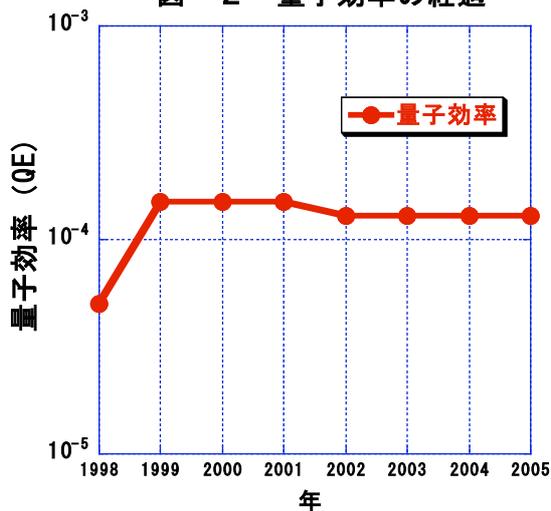


図-5 水和電子のピコ秒領域測定

	In 1999	In 2003
試料長	20 mm	1 - 10 mm
電荷量	0.8-1.0nC	1.7-2.0nC
径	4mm	3mm
パルス幅	7ps	2-3ps
測定波長	795nm (基本波)	700nm (白色光)
時間分解能	30ps	<4ps

図-3 電荷量の経過

