

[P8-11]

Development of New Pulse Radiolysis Method by Using Laser Photocathod RF

Y. Yoshida, T. Kozawa, A. Saeki, S. Seki, T. Yamamoto, S. Tagawa  
\*A. Endo, \*\*Y. Aoki, \*\*H. Sakai, and \*\*J. Yang

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

\*The Femtosecond Technology Research Association (FESTA)  
5-5 Tokodai, Tsukuba, 300-2635, Japan

\*\*Sumitomo Heavy Industries, Co. Ltd., Yato-cho, Tanashi, Tokyo 188-8585, Japan

A Laser photocathod RF electron gun was equipped with the 150 MeV s-band linac at ISIR, Osaka Univ. to obtain the single bunch without the sub-harmonic buncher system. By using the performance of the new gun, a new subpicosecond pulse radiolysis studies has been planed. The rf, triggering, pulse compression and experiment systems are reported.

レーザーファトカソードRF電子銃システムによるパルスラジオリシス法の開発

1. はじめに

阪大産研では、現在、38MeV Lバンド及び 150MeV Sバンド電子ライナックが稼動している。Lバンドライナックは、ピコ秒パルス発生が可能であり、パルスラジオリシスを始め、多くの短パルス利用が行われている。一方、Sバンド版度ライナックは、短バンチ発生のためのサブハーモニックバンチャー (SHB) システムを装備しておらず、マシンスタディーや低速陽電子発生の利用などの限られていた。

現在、Sバンドライナックでは、従来の熱電子銃 (Y796) の代わりに、レーザーファトカソードRF電子銃を組み込み、加速試験を行っている。このシステムでは、短バンチの発生が可能であり、また、低エミッタンスのビームが得られるので、磁気パルス圧縮によりサブピコ秒のパルスを容易の得られことが予想されている。さらに、Lバンドライナックには、加速管が一本しかないため、理想的なパルス圧縮が難しいが、Sバンドライナックは、複数 (三本) の加速を持ち、この点でも有利であると考えられる。そこで、レーザーファトカソードRF電子銃システムを用いたピコ秒・サブピコ秒パルスラジオリシス実験を計画した。本予稿執筆時点では、すでに加速試験には成功しているが、パルスラジオリシス実験は終了していない。そこで、システムについての紹介に重点をおいて述べ、得られた結果については当日報告する。

2. システム全体の概要

本パルスラジオリシスでは、いわゆるストロボスコピック方式を採用した。これは、物質 (サンプル) に、短い電子線パルスを入射し物質中で起こる反応を検出するために、ほぼ同時にサンプルに入射した短い分析光パルスの吸収強度を測定することにより、時間分解過渡吸収を得る方法である。過渡吸収の時間プロファイルを得るためには、光学遅延装置等を用いて、電子線パルスと分析光パルス間の時間差を順次変える。

既に阪大産研では、Lバンドからのピコ秒電子線と Ti-サファイアフェムト秒レーザーからの分析

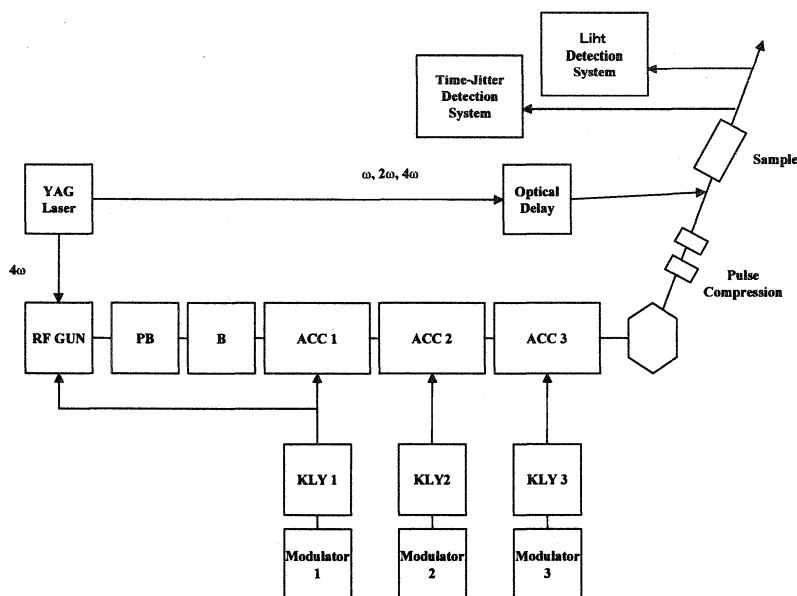


図1. パルスラジオリシスシステム全体

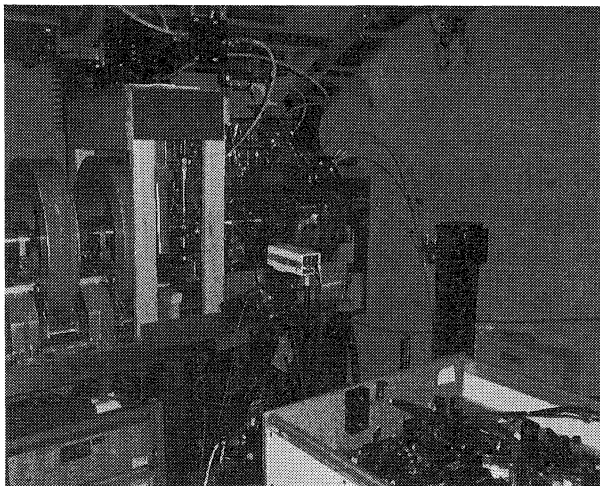


図2. レーザーフォトカソードRF電子銃

光を用いたストロボスコピックのシステムが稼動している。これは、LバンドライナックとレーザーをRFで同期することにより、ピコ秒電子線パルスと分析光の時間ジッターを最小に押さえ込んでいる。過渡吸収の時間分解能は、通常で50ピコ秒程度である。さらに、磁気パルス圧縮器と時間ジッター検出システムを組み込むことにより、数ピコ秒の時間分解のが得られている。

本システムでは、一つのレーザーからフォトカソ

ード用のレーザーと分析光を取り出すことが可能となり、Lバンドにおけるシステムより、時間ジッターが低減できる可能性がある。

図1にパルスラジオリシスシステム全体の図を示す。RF電子銃からの電子は、既存の加速管により加速される。加速感3の後方に設けられた偏向電磁石およびQマグ(ダブレット)により磁気パルス圧縮部を構成した。レーザーフォトカソードは、ピコ秒のYAGレーザーの第4高調波(266nm)により駆動される。分析光には、YAGレーザーからの基本波(1064nm)、第2高調波(532nm)、第4高調波(266nm)を用いる。光遅延を経由した後、サンプルに入射する電子と同軸方向に分析光を入射する。

### 3. レーザーフォトカソードRF電子銃

レーザーフォトカソードRF電子銃本体については、別に詳細な報告があるので、ここでは、概要のみにとどめる。住友重機とブルックルックヘブンの共同開発による1.6セル構造のガンを用いた。フォトカソード面の材質は、銅である。図2にSバンドライナックに取り付けた状態の電子銃の状態を示した。

写真の手前側に見えるのが使用したLD(半導体レーザー)励起YAGレーザーである。発振部、再生増幅部、増幅部、高調波発生部が一体化されており、

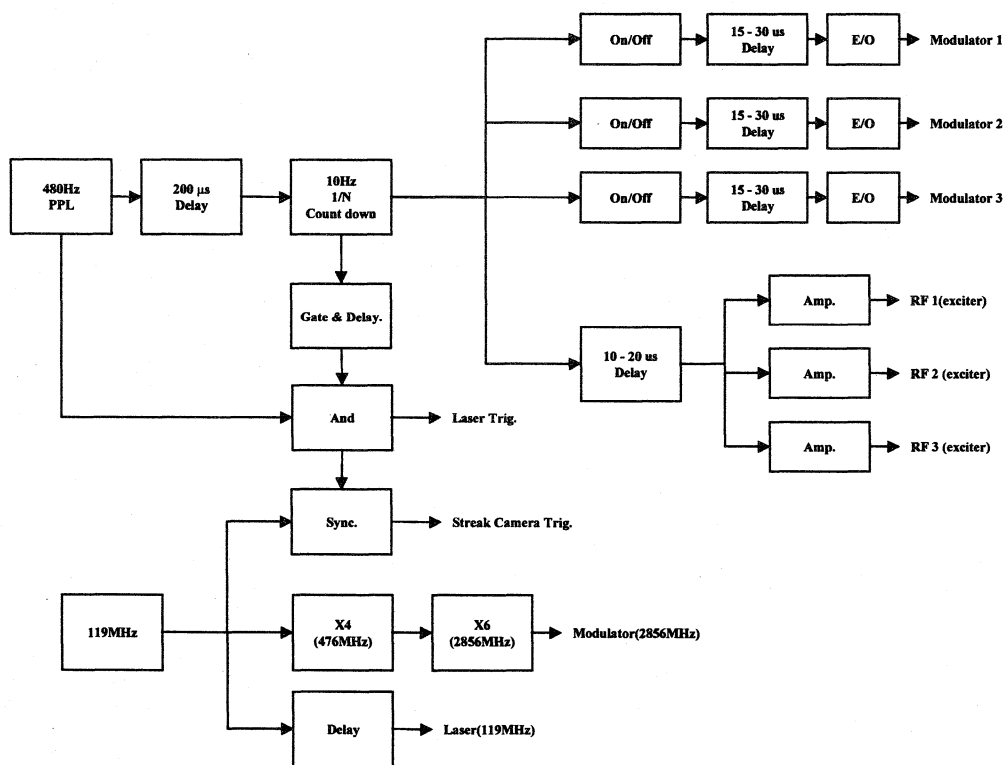


図3. RFオシレータ・トリガー系

非常にコンパクトにまとめられている。レーザーの発振部は 119MHz であり、タイミングスタビライザーにより、時間ドリフトが最低限に抑えられている。第三高調波 (266nm) でパルス当たり 100 $\mu$ J の出力が得られる。パルス幅は 10ps、繰り返しは 10Hz で運転を行った。

#### 4. オシレータ・トリガー系

本実験に対応して、従来の S バンドのオシレータ及びトリガー系の変更を行った。他の実験に影響を及ぼさなように、既存のトリガー系を最大限生かすようにした。

図 3 にオシレータ及びトリガー系を示した。RF のオシレータは、従来は 2856MHz を用いていたが、レーザーと同期させるために、119MHz を基準発振とした。4 通倍 (476MHz) 及び 6 通倍 (2856MHz) することにより、ライナックの RF 系に供給している。119MHz は、レーザー及び同期回路に供給した。同期回路からのトリガー出力は、ストリークカメラ等の測定器に供給した。この、トリガーは、レーザーの再生増幅部のポッケルセルにも供給する予定であるが、現時点ではレーザー側がその仕様に対応しておらず、レーザー内部の同期回路から供給している。

励起用の LD を駆動するためには、レーザーのパルス出力の 200 $\mu$ s 前にトリガーをレーザーシステムに与える必要がある。そこで、本来は、LD トリガーをライナックの RF 系トリガーより 200 $\mu$ s 早く出す必要があるが、既存のトリガー系システムでは改造が困難であった。次善の策として、一つ前のクロックから、LD トリアガーを作る事とした。もともと、S-バンドライナックは、480Hz を基準クロックに用いており、カウントダウン回路と連動するような回路系を構成した。

#### 5. 加速試験及びパルス圧縮

最初に述べたように、既に加速試験には成功しており、現在、各種のビームパラメータの測定を行っている。本来、プレバンチャー及びバンチャーに供給していた 2856MHz の RF は、RF ガンに供給されており、このシステムでは駆動していない。RF 系、トリガー系とも、問題点の改善等は終わっており、パルスラジオリシス実験に使用できる見通しが得られている。

磁気パルス圧縮に関しては、既存の振り分けマグネットと Q マグネット (ダブルレット) を利用することを予定している。加速管 ACC 1 及 ACC 2 の 2 本は加速に用いられるが、ACC 3 は、ビームのエネルギー変調用に用いる予定である。レーザーフォトカソードによるビームエミッタンスの減少によりフェムト秒のパルス圧縮が期待されている。

一般にパルスラジオリシスで用いられる電子線

パルスのエネルギーは、20~30MeV である。それに対して、本実験では、100MeV 近くに達することが予想される。100MeV と 20MeV の電子線の LET (阻止能) はほとんど同じであり、放射線化学的には、起こる現象はほとんど同じである。唯一、100MeV の弱点は、核反応のため放射化が起こることである。実験者の安全のためには、エネルギーを抑えることが重要となる。加速管を 2 本のみ使用することを検討しているが、空間的な問題で取り出し口を設置するスペースがなく、現状では、まだ解決していない。

#### 6. 測定系

測定系は光過渡吸収用のストロボスコピックに対応したものを準備中である。時間プロファイルを得るためには、サンプルに入射する電子線パルスと分析光であるレーザーパルス間の時間間隔を変化させる必要がある。レーザーに供給している 119MHz の位相を変化させることにより可能になるが、本実験では、レーザーの安定度を考慮して、分析光のラインに光学遅延装置を設置した。

パルスラジオリシスの時間分解能は、主に、電子線パルスの時間幅、分析光レーザーパルスの時間幅、両パルス間の時間ジッタ、サンプルの厚みで決まる。サンプル中での電子線の速度はほぼ光速であるが、分析光の速度は、サンプルの屈折率に応じて遅くなる。本実験では、レーザーのパルス幅は 10ps であり、これが、ほぼ時間分解能を決めてしまう。

レーザーに関しては、ピコ秒 YAG レーザーに同期したフェムト秒レーザーが近い将来利用可能になる。もしくは、現在のピコ秒レーザーを再度パルス圧縮してフェムト秒にする計画も考えられる。これらが実現すると、理想的なフェムト秒パルスラジオリシスが可能となる。

しかしながら、サブピコ秒のパルスでは、ビーム強度がどうしても小さくなるのが避けられず、吸収強度が低下してデータの S/N が劣化する。サンプルを厚くすると S/N は向上するが、時間分解能が劣化する。従来は、S/N をよくするために、データ取得の繰り返しを増やすことが行われたが、ライナックやレーザーの安定度の問題で、フェムト秒の領域でどの程度の安定度の向上が望めるかは疑問である。最後に残された方法は、弱いビームでも、ビーム径を小さくすることである。体積当たりの活性種の濃度を稼ぐことにより、S/N は確保される。レーザーフォトカソード RF 電子銃は、この点でも有利であると思われる。

本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) から研究を委託された技術研究組合・フェムト秒テクノロジー研究機構 (FESTA) の研究の一環として行ったものである。