

A New Study on Quantum Science Using Both Ultra Short Electron Pulse and Photo Quantum Beam -Development of Femtosecond Pulse Radiolysis System-

Yoshida Y., Seki S., Okuda S., Honda Y., Kimura N., Yamamoto T., Ushida K.*,
Kozawa T.**, Naka Y., Tagawa S.

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

Abstract

New picosecond pulse radiolysis system by using a 20 ps electron pulse from the 38 MeV L-band linac is under construction. The femtosecond laser pulse which is synchronized with the electron pulse within 10 ps, is used for analyzing light. The synchronization technique can be adapted for pulsed slow positron beam and free electron laser instead of the electron pulse. Also, the femtosecond pulse radiolysis will be developed by using the laser technique.

超短電子線パルスと光量子ビームの複合利用 -フェムト秒パルスラジオリシスの開発-

1. はじめに

最近、各種の量子ビームを材料等の反応解析や分析に利用する研究が進められている。その中で、同時に2つ以上のビームを用いた新しい研究手法が注目を集めている。図1は、大阪大学産業科学研究所における今後の量子ビームの利用を示している。量子ビームとしては、極短電子線パルスビーム、自由電子レーザー(FEL)、スローポジトロン、レーザーがあり、それらを相互に組み合わせることにより、多角的な研究を進めることが可能となる。この場合には、量子ビームの時間的あるいは空間的制御をいかに行うかが重要な鍵となる。ここでは、反応解析に有用なパルスラジオリシス法における短パルス電子ビームとレーザーの複合利用に目的を絞り、その研究内容や装置の概要を報告する。

現在、最初の段階として、レーザーをピコ秒電子線短パルスにマイクロ波を介して同期したピコ秒パルスラジオリシスの開発を行っている。

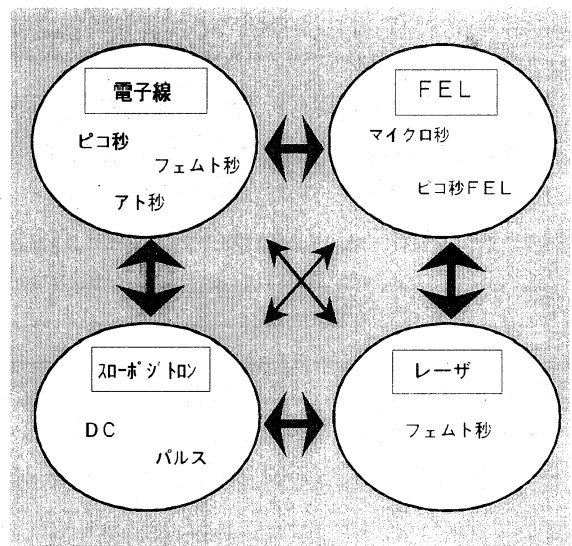


図1 量子ビームの複合利用

る。パルスラジオリシス法とは、非常に短い量子ビーム(多くの場合電子線)を物質に照射し、その後起こる反応を分光的に測定することにより、短寿命活性種を検出することが可能であり、反応解析の手法としては非常に優れている。レーザーパルス进行分析光として用いることは、紫外から赤外領域の波長での測定が可能となり、

*Institute of Physical and Chemical Research
2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-01, Japan
**Nuclear Engineering Research Laboratory, Faculty of Engineering, The University of Tokyo
2-22 Shirakata-Shirane Tokai-mura, Ibaraki 319-11, Japan

今まで未解決であったピコ秒領域の初期過程における多くの問題を解決することができる。

2. ピコ秒電子線パルスと分析光パルスの同期

ピコ秒パルスラジオリシス法では、通常、ストロボスコピックと呼ばれるパルス分析光を用いた分光法を用いる。この場合の時間分解能は、電子線パルスと分析光パルスの時間幅に依存するばかりでなく、電子線パルスと分析光パルス間時間的なゆらぎ（時間ジッター）にも依存し、その時間ジッターを如何に抑えるかが重要な技術的問題点となる。

図2は、ライナックを使用したパルスラジオリシス法における電子線パルスと分析光パルスの発生法を示している。(a)の方式は、ツインライナックと呼ばれる、2台のライナックを使用する方式である。一方のライナックで照射のための電子線パルスを発生し、もう一方のライナックではチェレンコフ光を発生させ、分析光パルスとして用いている。電子線パルスおよびチェレンコフ光のパルス幅は10ピコ秒程度である。両パルスがRF（マイクロ波）に完全に同期しており、またマイクロ波間のジッターは無視できるので、時間ジッターはピコ秒以下と考えられる。

一方、(b)に示す方式は、分析光パルスとし

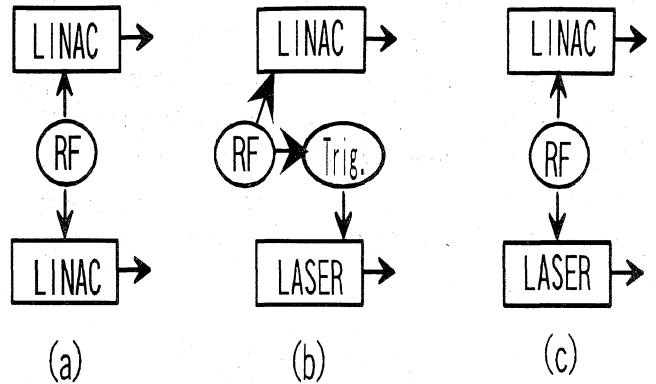


図2 超短パルスと分析光パルスの発生

てレーザーを使用する場合である。ここでは、ピコ秒半導体レーザーを使用することにより、はじめて、ピコ秒の時間でライナックとレーザーの同期運転を可能にした。半導体レーザーの駆動にはトリガーが必要となるが、そのトリガーの精度が両パルス間の時間ジッターをきめる。(a)のマイクロ波系とは異なり、トリガー系の電気的なジッターは10ピコ秒以下にすることは困難である。但し、このシステムでは、半導体レーザーの取り扱いが簡単であるため、非常に容易に装置の構築できるメリットがある。

分析光パルスとしてレーザーを使用することは、強度の高い分析光を得られる点や、白色光

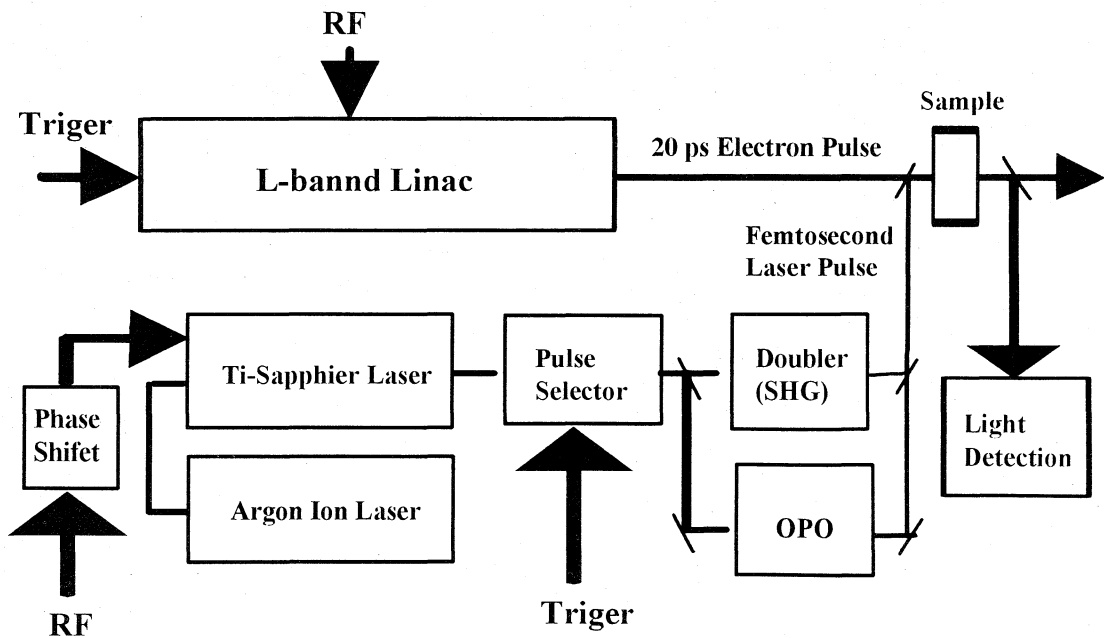


図3 マイクロ波同期によるレーザーを用いたピコ秒パルスラジオリシスシステム

の発生、高調波やパラメトリック発振等の利用により波長領域を広げることができる点など、非常に利点が多い。しかしながら、従来は、半導体レーザー以外の他のレーザーの利用は、時間ジッターの問題で困難であった。それを解決するために、(c)に示すような、マイクロ波制御によるレーザーを使ったシステムを採用することとした。

3. マイクロ波同期レーザーを使用したピコ秒パルスラジオリシス

図3は、現在開発中のマイクロ波に同期したレーザーを用いたピコ秒パルスラジオリシスのシステムを示している。フェムト秒チタン・サファイヤレーザーは、マイクロ波を基準にしたレーザーキャビティー長の調整機構 (Lock to Clock等と呼ばれている。)を持っており、マイクロ波に対する時間的なジッターを10 ps以下に抑え込むことができる。

レーザーに供給するマイクロ波の位相を変化させることにより、電子パルスとレーザーパルスの時間間隔を調整し、過渡吸収の時間変化を測定することができる。そのために、レーザーのマイクロ波ラインにパルスモータ駆動のフェーズシフターが挿入されている。

Lバンドライナックの繰り返しは60Hzであるが、フェムト秒チタン・サファイヤレーザーは81MHzの繰り返しである。そこで、パルスセレクタにより、レーザーを間引く必要がある。また、両者の同期を取るため、図4に示すマイクロ波及びトリガー系の製作を行った。Lバンドの108MHzとレーザーの81MHzの最大公約数である27MHzで同期回路を駆動する方式を取っている。

レーザーの発振領域は、720~1000nmであるが、SHG (第2高調波) やOPO (パラメトリック発振) を使用することにより、紫外から赤外領域の広範囲での測定が可能となる。

本システムにより行われる予定の研究については当日報告する。また、電子線パルスを自由電子レーザーやスローポジトロンビーム等の他の量子ビームとレーザーとの複合利用にも応用することが可能である。

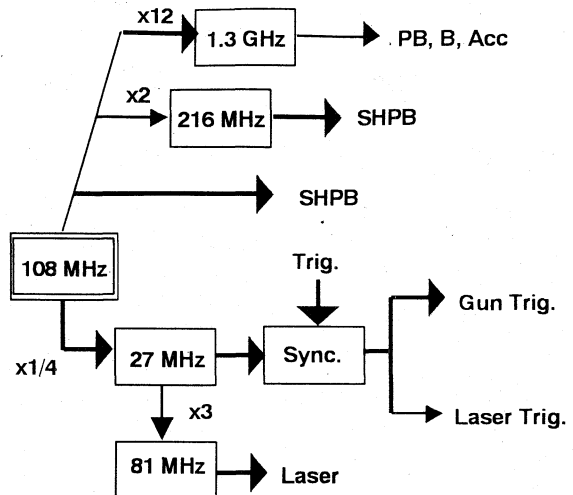


図4 レーザー同期のためのマイクロ波同期系

3) 次世代のフェムト秒パルスラジオリシス

さらに、次世代のフェムト秒のパルスラジオリシスを想定すると、レーザーを用いた方法が非常に有力となってくる。これは、レーザー航跡場加速によりフェムト秒電子線パルスを発生する方式で、レーザープラズマウェーク場加速器 (Laser Plasma Wake Field Accelerator:LPWFA)と呼ばれている。T³レーザー(TW, TableTop)のような強力レーザーによりプラズマ中に発生する非常に周波数の高い電界を利用して電子を加速する、テーブルトップフェムト秒パルス加速器である。多くの基礎研究が行われており、現在では、実機の試作が開始され始めている。

LPWFAを利用する利点は、電子の加速と、分析光パルスの発生を同じレーザーで行うことである。そのため、電子線パルスと分析光パルスの時間ジッターをかなり小さくすることができ、十分にフェムト秒領域の測定が可能になる。詳細については、当日報告する予定である。

[参考文献]

- S. Tagawa et al., Radiat. Phys. Chem., 34 503 (1989).
- Y. Yoshida et al., Radiat. Phys. Chem., 34 493 (1989).
- Y. Yoshida et al., Nucl. Instrum. Meth., A327, 41 (1993).