

PRESENT STATUS OF S-BAND ELECTRON LINAC IN OSAKA UNIVERSITY

Y. Yoshida¹, J. Yang, T. Kondoh, H. Honda, T. Kozawa, T. Yamamoto, G. Isoyama, S. Tagawa, T. Majima
The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University,
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047, JAPAN

Abstract

The facilities of S-band linear accelerators (linacs) based on a thermal electron gun and a photocathode rf gun have been constructed in Osaka University. The thermal-gun-based linac is used to generate a slow positron beam for the researches of nano-materials and polymers. The photocathode electron linear accelerator has been developed successfully for the study of radiation-induced ultrafast physical and chemical reactions. A 32 MeV femtosecond single electron bunch was generated in the linac with a magnet bunch compression system and used successfully for the development of femtosecond pulse radiolysis. Moreover, a new femtosecond electron source based on the photocathode rf gun is constructed for the femtosecond time-resolved MeV-electron diffraction. In this source, an MeV sub-100-fs electron beam with the relative energy spread of 10^{-4} at bunch charge of 0.1-pC is generated by using a femtosecond laser light.

阪大産研Sバンド電子ライナックの現状報告

1. はじめに

大阪大学産業科学研究所産業科学ナノテクノロジーセンター・加速器量子ビーム実験室では、40MeV Lバンド電子ライナックのほかに、150MeVのSバンド電子ライナック、40MeVのレーザーフォトカソードRF電子銃ライナックの2台のSバンド線形加速器の維持・運転も行っている。150MeVのSバンド電子ライナックは低速陽電子発生のための装置として利用され、40MeVのレーザーフォトカソードRF電子銃ライナックはナノ空間内高速現象の解明を目指して平成14年度に設置された。現在は、そのフォトカソードRF電子銃ライナックを利用して、サブフェムト秒・アト秒短パルス電子ビーム発生の研究、フェムト秒短パルス電子ビームを利用した超高速反応現象の解明（フェムト秒パルスラジオリシス）やビームの高精度制御、濃淡電子ビームの開発と新規放射線の医療応用の基礎研究などさまざまな研究開発とビーム利用を行っている。

さらに、昨年度から、KEKとの共同研究として、新たな100フェムト秒短パルスフォトカソードRF電子銃の開発をスタートした。実現すれば、次世代の高輝度電子源として、フェムト秒時間分解電子線回折の実現が期待でき、物質科学においてさまざまな新しい発見が期待される。

2. SバンドフォトカソードRF電子銃ライナックの開発

阪大産研では、レーザーフォトカソードRF電子銃ライナックを導入し、フェムト秒電子パルスの発生とフェムト秒パルスラジオリシスの開発を行っている。本ライナックは、1.6セルのフォトカソード

RF電子銃、Sバンド加速管、磁気パルス圧縮器から構成されて、低エミッタンス電子ビームの発生にはピコ秒Nd:YLFレーザーを利用している。現在までは、フォトカソードRF電子銃を用いて低エミッタンスのピコ秒電子パルスを発生し、ライナックより加速の共にパルス圧縮時高次効果を補正するための非線形エネルギー変調を行い、98フェムト秒（rms）の短パルス電子ビームの発生に成功した[1]。

性能向上を目指して、照射室の温度変化、湿度変化、空気の流れを抑えるために、レーザーとビーム利用のスペースにクリーンブースを設置した。クリーンブースの設置により、電子ビーム発生用レーザーの安定性が向上し、従来のビームドリフトの問題が解決でき、長期安定なビームの発生とビームの高度利用ができるようになった。また、ライナックの運転とビームの調整を簡単化するために、PLCを導入し、コンピューターによりフォトカソードRF電子銃S-バンドライナックの制御システムを製作した。これにより、ビームを高精度で調整でき、ビームの高品質化につなげる。さらに、利用実験の再現性の向上も期待できる。

フェムト秒電子パルスを精密に測定するため（特に100フェムト秒以下のパルス幅にはストリークカメラによる測定は適用できないため）、我々は、半導体（GaAs、AlGaAs等）の超高速キャリア現象を用いた電子線パルス幅計測を提案し、その可能性について研究を始めた[2]。半導体における超高速キャリア現象はフェムト秒レーザーを用いた光励起によるポンプ・プローブ実験で研究された。フェムト秒レーザーを半導体表面に照射すると、電子がフェムト秒またはフェムト秒以下の時間内、荷電子帯から伝導体へ励起される。その結果半導体でのバンド間

¹ E-mail: yoshida@sanken.osaka-u.ac.jp

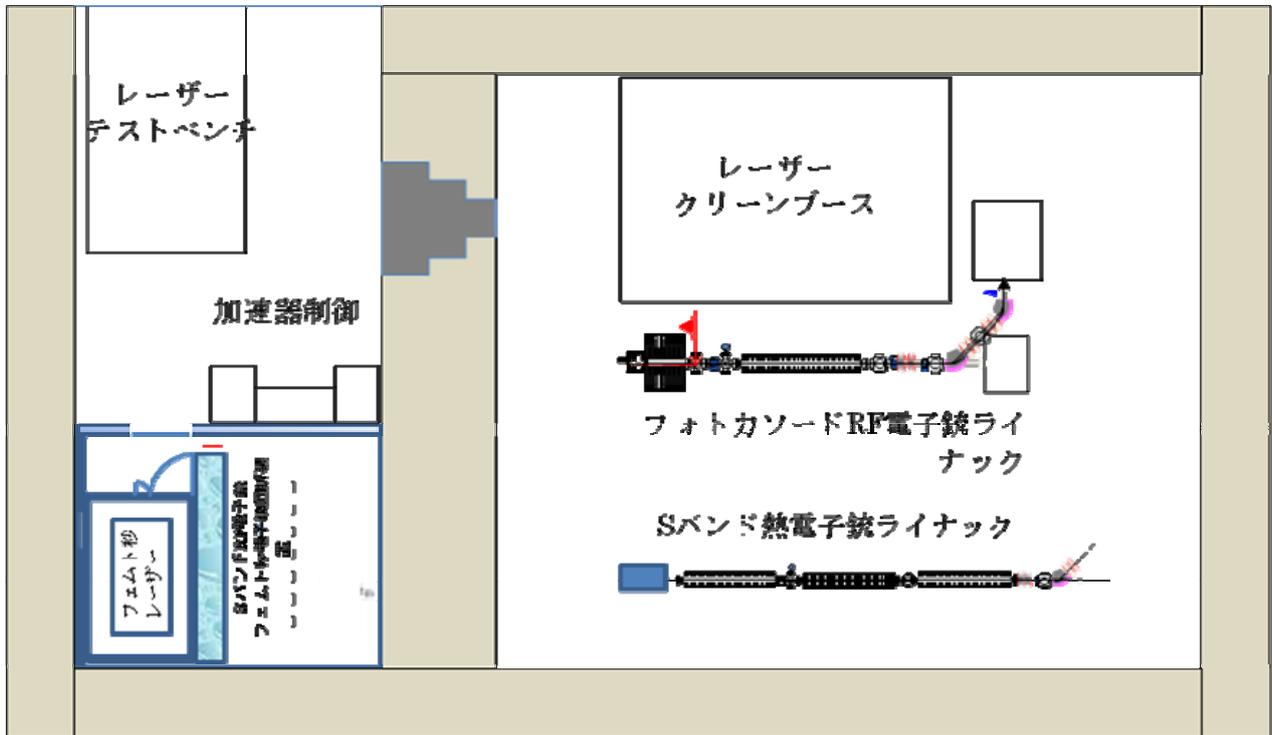


図1 阪大産研Sバンド電子ライナックの構成と配置

遷移による光吸収が減少し、反射率の増加がレーザー照射と同時に起こる。さらに、励起された電子は、伝導帯内か荷電子帯へ遷移し、バンド間遷移による光吸収が増加し、その結果反射率が減少する。電子線誘起で同様な現象を観測することができれば、反射率が透過率の増加の立ち上がり時間を測定することにより、フェムト秒電子パルス幅の測定が可能と考えられる。

3. SバンドフォトカソードRF電子銃ライナックの利用

平成19年度には、フォトカソードRF電子銃S-バンドライナックは主に、フェムト秒パルスラジオリシスの開発、パルスラジオリシスを通して微細加工の精度を決めるナノ空間における反応機構や放射線化学初期過程の解明、医療応用のための電子ビーム形状整形や動的強度変調の研究に利用された。運転状況としては、電子ビーム発生用のピコ秒レーザー発振器のレーザーダイオードの故障以外、順調に運転しており、年間運転日数は72日であった。平成19年度に実施した研究課題及び研究内容は、下記の通りである。

等価速度分光法フェムト秒パルスラジオリシスの研究

電子ビーム波面制御と計測、フェムト秒パルスラジオリシス測定システムの構築[3]。

ピコ秒パルスラジオリシスの研究

イオン液体中の溶媒和電子の生成過程の研究、ジェミネートイオン再結合の研究。

アト秒電子ビーム発生とダブルデッカー電子ビーム加速器の開発

アト秒電子ビームによる集団イオン化の研究、ダブルデッカー電子ビーム加速器を用いたパルスラジオリシスの研究。

ガン治療のための濃淡電子ビーム発生の研究
電子ビーム形状の整形と測定、電子ビームの動的強度変調の研究。

4. 時間分解電子線回折用フェムト秒フォトカソードRF電子銃の開発

ここ数年、フェムト秒超短パルスレーザービームの登場により、フェムト秒での時間分解・構造変化が追跡可能となり、「フェムト秒短パルスビーム」は今まさに物質科学の新しい時代を切り開き始めている。同様に、加速器から生成した短パルス電子ビームも、物質内超高速反応・現象の解明などのさまざまな先端的な研究に欠かせない道具となっており、また、荷電粒子性といった見地からレーザーと異なった短パルスビームとして注目されている。一つ例としては、時間分解電子線回折である。時間分解電子線回折によるフェムト秒時間領域でのダイナミクスの解明は、新しい物質の創製や物質科学にとって極めて重要である。

阪大産研では、フォトカソードRF電子銃の利点

(低エミッタンス・短パルス)を生かし、高エネルギー加速器研究機構との共同研究として、新規なフォトカソードフェムト秒短パルス電子銃の開発をスタートした。

目標のビームは、パルス幅が100フェムト秒、エミッタンスが0.1mm-mrad、エネルギー分散が 10^{-4} 、パルス当りの電荷量は0.1~1pCである。実現すれば、従来のバンチ圧縮が要らなくなり、フォトカソードRF電子銃を利用することで、低エミッタンスのフェムト秒、MeVエネルギーの電子ビームを得ることが可能となり、次世代の電子源として、フェムト秒時間分解MeV電子線回折の実現が期待でき、物質科学においてさまざまな新しい発見が期待される。図2に、今年7月に完成したフォトカソードRF電子銃を利用した時間分解電子線回折システムとフェムト秒フォトカソードRF電子銃を示す。図3に、フォトカ

ソードRF電子銃におけるフェムト秒短パルス電子ビーム発生シミュレーション結果を示す[4]。

参考文献

- [1] J. Yang, T. Kondoh, K. Kan, T. Kozawa, Y. Yoshida, S. Tagawa, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 556(2006)52-56.
- [2] 菅晃一、「超高速キャリア現象によるフェムト秒電子線パルス測定の可能性」、本加速器学会。
- [3] 近藤孝文、「等価速度分光法パルスラジオリシスのための電子バンチ回転と計測」、本加速器学会。
- [4] 楊金峰、「フォトカソードフェムト秒短パルスRF電子銃の開発」、本加速器学会。

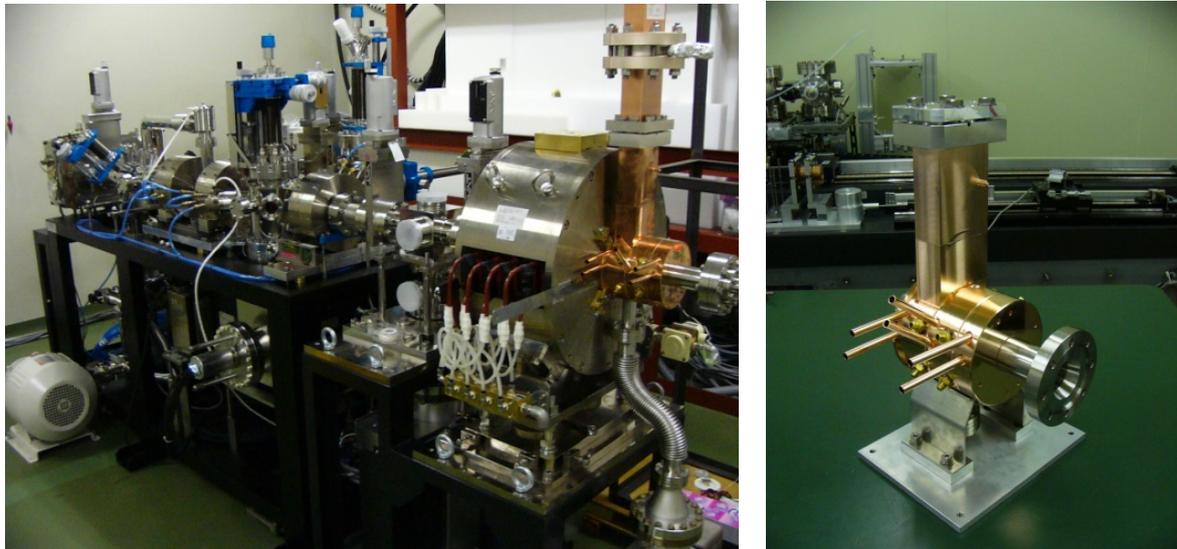


図2 フォトカソードRF電子銃を利用した時間分解電子線回折システムとフェムト秒RF電子銃

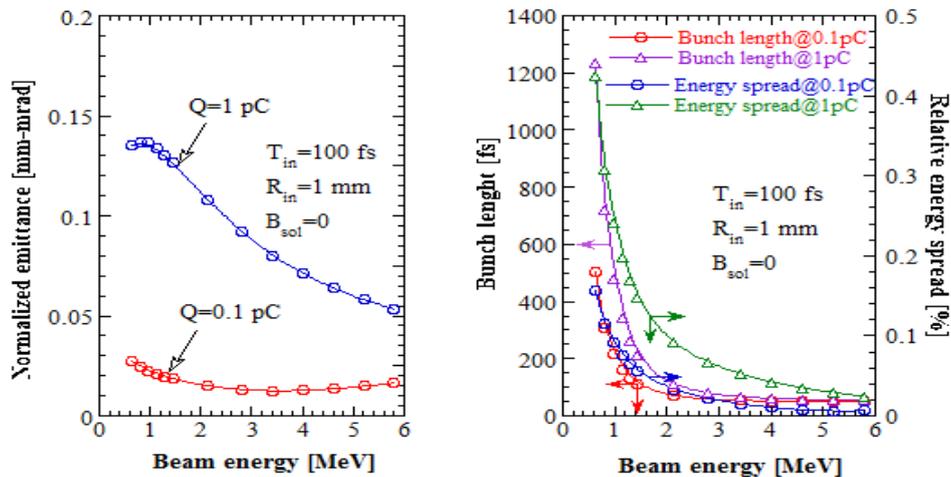


図3 フェムト秒電子パルス発生シミュレーション結果