

Femtosecond Ultrafast Quantum Phenomena Research Project

Mitsuru UESAKA, Takahiro KOZAWA, Akira TAKESHITA,
Toshiaki KOBAYASHI, Toru UEDA and Kenzo MIYA

Nuclear Engineering Research Laboratory, University of Tokyo
2-22, Shirakata-shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, Japan

Abstract

Femtosecond Quantum Phenomena Research Project is proposed at Nuclear Engineering Research Laboratory, University of Tokyo. The research facility consists of an X-band (11.424GHz) femtosecond electron linac, a femtosecond Ti-sapphire laser, two S-band (2.856GHz) picosecond electron linacs and measurement machines. Especially, we aim to generate a 100fs (FWHM) electron single bunch with more than 1nC at the X-band linac. Ultrafast processes in radiation physics, chemistry, material science and microscopic electromagnetic phenomena are going to be analyzed there. The specification of the facility is presented.

フェムト秒高速量子現象研究計画

1. はじめに

東京大学工学部附属原子力工学研究施設ライナックでは、昨年度世界先駆けパルス幅(半値)700fs、電荷量1nC/バンチの高輝度サブピコ電子シングルバンチの発生と計測に成功し、現在その利用実験を実施中である。その次期計画としてフェムト秒高速量子現象計画を提案し、その設計研究と現有ライナックでの予備実験を実施中である。本研究設備は、Xバンドフェムト秒ライナック、チタンサファイアフェムト秒レーザーおよび2台のSバンドピコ秒ライナック(高輝度用、チェレンコフ光源用)、各種分析装置より構成される。本研究設備が実現すれば、放射線照射による励起、イオン化、緩和などの放射線物理化学の超初期課程、材料放射線損傷のダイナミクスおよびそれらの3次元動画像化が可能となる。

2. 装置構成と仕様

各装置の仕様および設計研究の現状を以下に述べる。本研究設備のレイアウト案を図1に示す。また、主な仕様パラメータは表1にまとめた。

(i) Xバンド(11.424GHz)フェムト秒電子ライナック

リニアコライダ用にKEKおよびSLACにて開発中のXバンド(11.424GHz)を主RFとして採用する。その理由は次の通りである。我々の研究グループは現有Sバンドライナックによってすでに10ps(FHWM)シングルバンチをサブピコ秒に安定に磁気パルス圧縮し、フェムト秒ストリークカメラにてシングルショットにて計測することに成功している[1]。この実験結果は3次元電子トラッキング解析とも良好に一致し、ビームパラメータは的確に把握されていると判断できる。また、磁気パルス圧縮において

も、マイクロ波によるエネルギー変調と磁気オプティクスによる軌道差変調のベストマッチングをはかるべく、非線形エネルギー変調を考案・成功した。このようにSバンドライナックにおける磁気パルス圧縮はほぼ最適化された判断できる。そこで、極端パルス発生に関して先行しているチタンサファイアレーザーの100fsに匹敵する電子シングルバンチを生成するには加速マイクロ波をXバンドに高周波化し、パルス圧縮前のパルス幅を1ps程度にしておくことが、不可欠と判断した。Xバンドクライストロンとしては出力パワー20~30MW、パルス幅~300nsを想定しており、加速管は $2/3\pi$ モード定インピーダンス型0.6m管を2本使用し、最終エネルギーは現有Sバンドライナックと同様35MeVである。前段には先端に $0.7c \rightarrow 0.9c$ へと加速・集束されるバンチャセクションを設け、後段は磁気パルス圧縮エネルギー変調用を使用した。電子銃は低エネルギー電子輸送効率を上げるため、200keV熱電子銃を使用し、高速グリッドパルスにより半値幅200ps、ピーク10Aの電子を発生させる。Xバンドの1周期87.5ps以降の放射線誘起現象を分析するためには、

シングルバンチの発生が不可欠である。476MHz、2.856MHz単空洞型の2段のサブハーモニックバンチャーシステムを採用することとした。終端には、非分散型の磁気パルス圧縮器(45°偏向電磁石2台、収束電磁石4台)を設置する。

(ii)フェムト秒チタンサファイアレーザー
フェムト秒・ピコ秒吸収パルスラジオリス測定の際の分析光として使用する。電子ライナックと1ピコ秒以下のジッタで同期されていることを目指す。

(iii)高輝度Sバンド(2.856GHz)ピコ秒電子ライナック

高速量子現象の理解には、フェムト秒時間領域のみの分析では不十分で、ピコ秒、ナノ秒時間領域を含めて総合的な分析が必要である。本装置はそのための高SN比分析に供する。電子銃電圧を現有90keVから200keVに上げ、バンチングシステムもそれに対応して変更し、5nC/バンチのSバンドライナックとしては高電荷量化を目指す。非分散型磁気パルス圧縮によってサブピコ秒シングルバンチも生成可能である。また、レーザーフォトカソードRF電子銃の導入も検討中である。

(iv)チェレンコフ光源用Sバンド電子ライナック

主にピコ秒・ナノ秒吸収パルスラジオリス測定用の分析光を供する。現有Sバンドライナック(28Lライン)とほぼ同仕様で、磁気パルス圧縮によってサブピコ秒シングルバンチすなわちチェレンコフ光も生成可能である。

(v)運転制御システム

マスターRFは476MHzと設定し、逡倍器によってSバンド、XバンドRFを生成、増幅して電子ライナックを、分周器によって79.3MHzを生成しフェムト秒レーザーをドライブする。ストリークカメラなどの測定

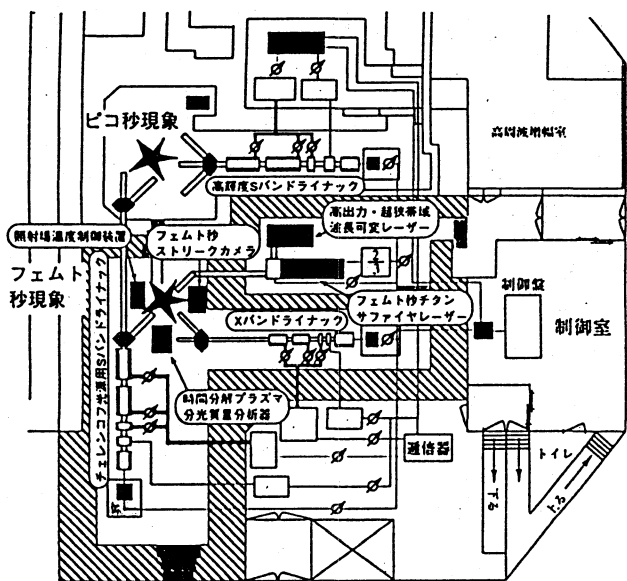


図1、フェムト秒高速量子現象研究設備

