

[12A-02]

Current Status of Femtosecond Triplet Linacs 2000

○M. Uesaka, T. Watanabe, T. Kobayashi, K. Yoshii, T. Ueda, G. Wu,
R. G. Hemker, K. Kinoshita, N. Hafz, Y. Muroya, H. Okuda, K. Nakamura,
A. Fukasawa, T. Morioka, K. Nakajima and Y. Katsumura

Nuclear Engineering Research Laboratory, University of Tokyo
2-22 Shirakata-shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1106, JAPAN

Abstract

Femtosecond Ultrafast Quantum Phenomenon Research Facility has been commissioned in 2000. It consists the femtosecond linac-laser synchronization system, the 12 TW 50 fs laser system and the analyzing system. Laser photocathode RF gun produced $1 \text{ kA} = 7 \text{ nC} / 7 \text{ ps}$ for $250 \mu\text{J}$ 267 nm laser irradiation, synchronization of 300 fs (rms) for minutes and 1.9 ps (rms) for hours was established. Efforts to avoid such long-term drift are under way. This system is applied to subpico- and picosecond pulseradiolysis for radiation chemistry of water and supercritical water. Laser plasma linac works are under way to generate 20 MeV/10fs electron bunch and ps ion beam using the 12 TW 50 fs laser. Further, the time-resolved X-ray diffraction is close to dynamic visualization of atomic motions.

フェムト秒トリプレットライナック現状報告 2000

1. 序論

フェムト秒量子ビームポンプ&プローブ分析研究を推進するべく、東大原施に 1998 (平成 10) 年度中にフェムト秒高速量子現象研究設備が構築された。そのシステム構成は、

- (a)フェムト秒ライナック・レーザー同期システム、
- (b)12TW 50fs テーブルトップレーザーシステム、
- (c)分析システム (X 線解析、X 線 CCD カメラ、IP リーダー、XPS、FTIR)、

である。この新規システムを使用した最新研究成果をまとめる。

2. フェムト秒電子ライナック・レーザー同期システム

フェムト秒Sバンドラインライナック、0.3TW 100fs レーザーおよび同期のとれたフェムト秒電子・レーザーパルスワークカメラ(200ps)での測定結果をそれぞれ Figs.1,2,3 に示す。フェムト秒ライナック・レーザー同期システムでは、従来のピコ秒精度同期実績を発展させ、数分間で 330fs(rms)、数時間で 1.9ps(rms)に同期精度を達成した [1]。長時間での時間ジッターの原因は、主にライナック加速管の数度の温度変動であること

がわかった。それを改良すべく、 0.01°C 以内の温度コントロールシステムを導入した。また、24 時間内 1°C 以内制御の空調も導入検討中である。すでにこのシステムを使った水・超臨界圧水の放射線化学分析実験がスタートしている [2]。

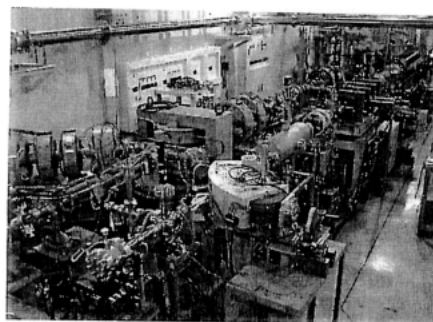


Fig.1 Femtosecond S-band twin linacs

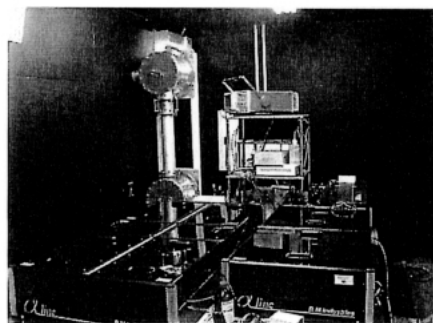


Fig.2 0.3 TW 100 fs laser

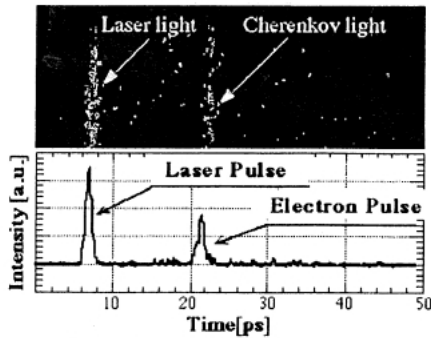


Fig.3 Synchronized ps electron and laser-pulses measured by the femtosecond streak camera

3. レーザーフォトカソード高周波電子銃

レーザーフォトカソード高周波電子銃の銅カソードにて、250 μ J 267nm レーザー光照射により、7nC/7ps=1kA の世界最高電流を記録した [1]。この最大の要因は NEG ポンプ導入によるキャビティでの 10⁻¹⁰Torr 台の高真空の達成である [3]。しかしながら、真空ポートからの観察から、カソード裏面には無数の ϕ 数十 μ m のクレーターが一様に生じていることがわかった [1]。そのエシタンスへの影響も評価中である。

4. 電子ビーム計測

フェムト秒ストリークカメラ(FESCA-200)、コヒーレント遷移放射干渉法に加えて、東北大学科研開発の 2 枚の回折格子を使った広波長域ポリクロメーターによってサブピコ秒電子パンチのシングルショット測定に成功した Fluctuation 法の測定も開始した。

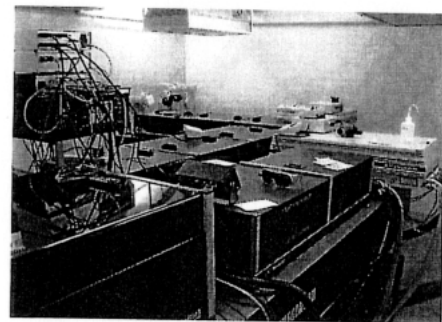
5. レーザープラズマライナック

もう一つのライナックであるレーザープラズマライナックは、12TW 50fs レーザーを 70 気圧 ϕ 1mmHe ガスジェットに ϕ 10 μ m にフォーカス照射して達成する [4]。レーザー出力が極めて高い ($\sim 10^{19}$ w/cm²) ためレーザープラズマ航跡場が碎波して、こぼれ出る電子が航跡場で加速、バンチングされる。PIC-2D コードによると、20MeV 10fs 3 π mm-mrad 50pC 程度の極短電子パンチが生成される。1TW レーザーによる予備実験では、50keV 電子が観察された。電子ビーム発生後、残された He イオンがイオン爆発、電磁流体力によって加速され、1Mev 程度のビームが生成されることが期待される。すでに 12TW レーザーを銅固体ターゲット照射により、50keV 程度の Cu イオン生成を CR39 フィル

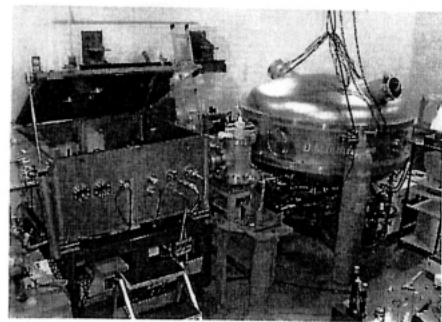
ム分析により確認している [4]。12TW 50fs レーザーシステムを Fig.4 に示す。

6. 時間分解 X 線回折

12TW 50fs レーザーシステムを使ったポンプ&プローブ分析に関しては、ビームスプリッターよりレーザーパルスをもつポンプ・分析パルスを分岐し、様々なビームを変換生成し、光路調整によって遅延をつければ、5 μ m 位置設定精度は 33fs 時間精度となる。しかも遅延方式はすべてエレクトロニクスに頼ることなく全く受動的であるため、時間的ジッターが全くなくなる。これにより 33fs 精度のポンプ&プローブ分析が可能となる。本システムは超小型・低コスト放射線源として革新的である。



(a) Laser



(b) Optical compressor and experimental chamber

Fig.4 12 TW 50 fs laser system

このシステムによる時間分解 X 線回折実験をすでに始めており、銅固体ターゲット照射によるレーザープラズマ X 線の生成と GaAs, Si, Ge 等の半導体単結晶の X 線回折像取得に成功している。さらに、得られた X 線回折結果から、GaAs 内の定在波光学フォノンと非平衡熱膨張、進行波音響フ

オノンと衝撃波過程における原子の動画像化に成功した (OPEN-GL 使用)。これは、4次元 (3次元空間+時間) の顕微鏡の実現を意味する。実験体系、GaAs X線回折パターンおよび原子動画像スナップショットを Fig.5 に示す。

7. 結び

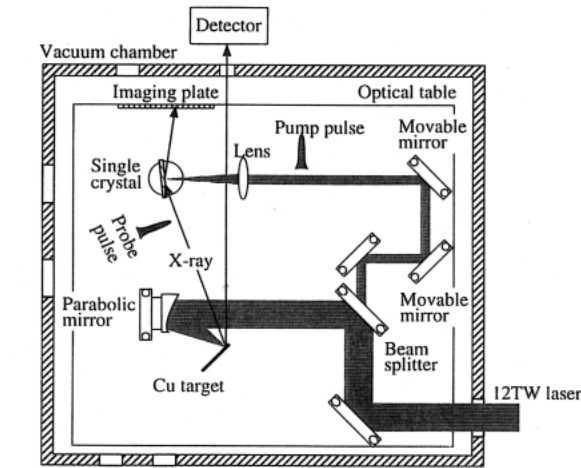
フェムト秒電子ライナック・レーザー同期システムはフェムト秒コヒーレンス X線源たる第 4 世代放射光源の原型である。レーザープラズマライナックは、ノイズ放射線の出ないクリーンな第 5 世代放射光源 (マルチビーム源) である。いずれもたゆまぬ要素技術開発が必要である。先進加速器科学研究に貢献していきたい。

謝辞

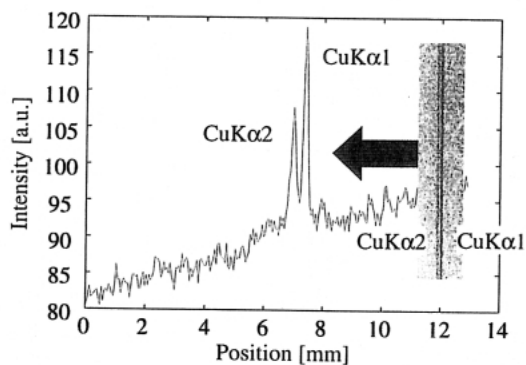
本研究には、電子ビーム計測につき東北大学科学計測研究所、X線計測について原研光量子科学研究センターの協力を得た。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

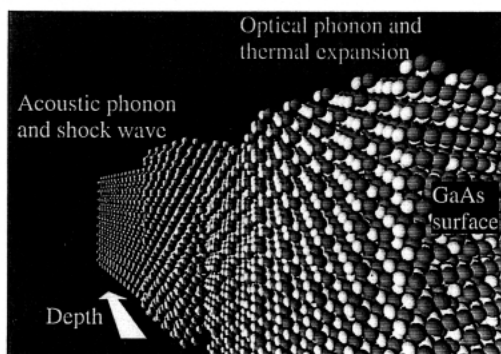
- [1] 小林他、本 proceedings。
- [2] 室屋他、同上。
- [3] 上田他、同上。
- [4] 奥田他、同上。



(a) Experimental setup



(b) X-ray diffraction pattern from GaAs



(c) Visualized atomic motion after laser-irradiation

Fig.5 Time-resolved X-ray diffraction