

[1 a - 1]

First Oscillation of Visible- and UV-range FELs Using FELI Linac with a Thermionic Gun

Tomimasu T., Oshita E., Okuma S., Wakita K., Takii T., Nishihara S., Koga A., Wakisaka K.,
Tongu E., Nagai A., Miyauchi Y.*, Saeki K.** , Kobayashi A.*** and Yasumoto M.****

Free Electron Laser Research Institute, Inc. (FELI)
2-9-5, Tsuda-Yamate, Hirakata, Osaka 573-01, Japan

Abstract

The FELI has succeeded in lasings of GW intracavity power level at $0.54\text{--}0.63\ \mu\text{m}$ and $0.339\text{--}0.353\ \mu\text{m}$ using the FELI linac with a thermionic gun in December 1995. The FELI has set a new world record of $0.278\ \mu\text{m}$ for the shortest lasing wavelength achieved by a linac-based FEL.

Machine troubles dealt with and efforts done before FEL lasings are reported.

熱陰極型電子銃を用いる電子リニアックによる可視・紫外域FELの初発振

1. はじめに

昨年の研究会では、FEL装置1とFEL装置2による中赤外～可視域での自由電子レーザー（以下FEL）発振と赤外域FELの利用実験室へのFEL伝送系について報告した[1]。FEL研では、昨年10月よりFEL装置1からの $20\sim 4.8\ \mu\text{m}$ の中赤外域FELが週2日（水、金）利用研究に使用され、週3日でFEL装置2の出力増強とFEL装置3による紫外域FEL発振実験を続け、12月19日に $0.63\sim 0.54\ \mu\text{m}$ の可視域で、12月26日に $0.353\sim 0.339\ \mu\text{m}$ の紫外域で、それぞれ発振に成功した。利用研究の成果については、JJAPなどにすでに十数編の論文が報告され、本報告集に「FEL研FEL利用研究施設の現状」としても報告される。

本報告では、FEL装置3による可視～紫外域FEL発振前後の経緯と現状について、165MeV電子リニアックの故障修理、電子ビームの増強も含めて報告する。

2. 165MeV電子リニアックの故障修理

1995年7月25日には、科学技術庁による電子リニアック施設（図1）検査を受け、8月1日付で合格となったが、その後電子銃（EIMAC Y646B）の交換に手間取った。FEL研の電子銃にはDC 120kVを印加するが、100kV前後での放電によるエージング失敗もあって交換に2週間かかった。このためFEL装置3[2]で自発放出光の観測ができたのはFEL'95会議に出席する僅か3日前であった。

9月5日と18日にはFEL装置1のFELビーム取り出し窓であるkBr窓が破損し、加速管に大気が入る。10月からはFEL装置1の出力窓を $1\text{mm}\ \phi$ 孔 (filling factor 40%) にしてFELによる虫歯切削やSiCのレーザーアニーリング、遺伝子導入などの中赤外域FELによる利用研究が始まったが、10月17日には、図2に示す電子入射器[3]の第4集束コイル（米国マックスウエル社製）がレアショートした。このコイルは、バンチャー近くで約1100ガウスを発生する主

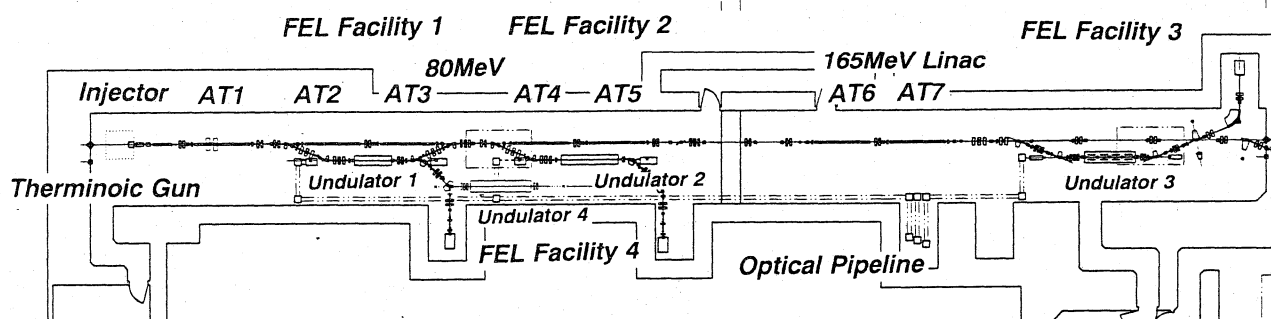


図1 FEL研165MeV電子リニアックとFEL装置1、2、3、4の配列

* Ishikawajima-Harima Heavy Industries, Ltd.: 1-6-2, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japan

** Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.: 2-7, Matsuba-cho, Kadoma, Osaka 571, Japan

*** Kobe Steel, Ltd.: 1-5-5, Takatsukadai, Nishi-ku, Kobe 651-22, Japan

**** Osaka National Research Institute: 8-31, Midorigaoka, Ikeda, Osaka 563, Japan

要コイルなので、納期の短い国産コイルを発注した。テクノ電気工業㈱に約3週間で作ってもらい、11月末に電子ビームを加速できるようになった。

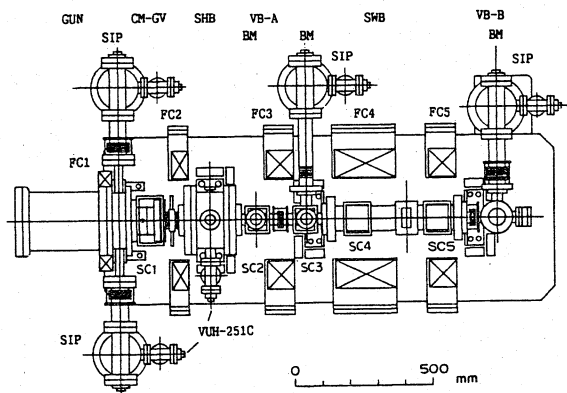


図2 6MeV電子入射器

12月になって遅れた利用研究にマシンタイムを優先したため、12月19日の0.63~0.54 μm FEL発振までにFEL装置3に費やした日数は5日で、FEL装置3に電子ビームを通して発振実験を行った日数は8月の3日間と合わせて僅か8日間であった。そして、9日目の12月26日には0.353~0.339 μm で発振した。図3の上段に0.353 μm FEL出力のマクロパルスを、下段にボタンモニタ[4]による加速電流のマクロパルス波形を示す。

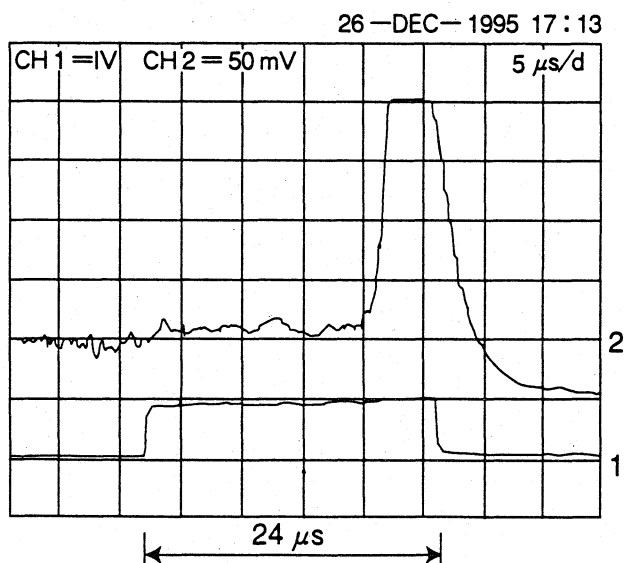


図3 0.353 μm FELマクロパルス出力(上段)と24 μs 電子ビーム電流(下段)

図4に0.353 μm FELスペクトルを示す。

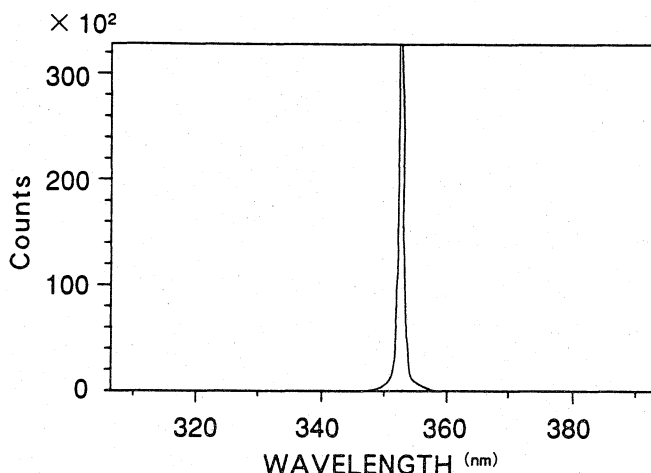


図4 0.353 μm FELのスペクトル

表1に1994年と1995年の2年間で電子リニアックを運転してFEL発振実験ができた日数、電子リニアックなどの装置の据付や故障修理に費やした日数、FEL装置1、2、3で発振するまでに費やした日数を示す。2年間でおよそそのところ運転に1/3、装置据付改造に1/2、故障修理に1/6が費やされた。また、発振までに要した日数が装置1に32日、装置2に13日、装置3に9日と段々短くなっている。これは電子ビームの加速、位相合わせ、電子ビーム輸送、FEL発振のノウハウの蓄積によるものである。

表1 1994年と1995年の2年間でFEL装置が運転できた日数と発振までの日数

	運転日数	発振までの日数
FEL装置1	138日	32日
FEL装置2	31日	13日
FEL装置3	9日	9日
合計	178日	

後の約320日は据付調整と故障修理

故障した装置

- ・320kV-24 μs クライストロンパルサー
- ・120kV-DC 電子銃電源 4台が湿気のため放電故障
- ・電子入射器集束コイル

対策

- ・湿度60~70% → 50%以下に保つ
- ・電源の改良

3. 集束コイル修理による加速電流の増強

電子入射器第4集束コイルの修理では、加速電流のマクロパルス波形がきれいになり、マイクロパルス当たりの加速電荷量が0.42nCから0.65nCに増加するという思わぬ効果があった。電子ビームのマイクロパルス幅は、FEL装置1(33MeV)で遷移放射光(OTR)をストリークカメラで測定して10psを得ている。したがって、FEL装置での電子ビーム電流は約60Aである。FEL装置3(120~165MeV)での電子ビームのマイクロパルス幅はまだ測定されていないが、約7psとすると電子ビーム電流は約90Aになる。

原因の1つは、マックスウェル社のコイルの作り方(エッチング法)によると考えられるが、レアーショートを起こす前に小さな放電を生じていたらしく、電子ビームのマクロ波形を示すボタンモニタの出力波形は図3の下段のように平坦ではなかった。もう1つは、改造コイルのターン数を2割ほど増やすため、コイルの外径と長さは変えられないので、内径を小さくしてターン数を多くした。加速電流の増強は、放電がなくなったことによる磁場安定と改造コイルの磁場分布の変化によると考えている。

熱陰極型電子銃からの電子ビームのバンチングプロセスと磁場集束は、FEL発振に必要な高輝度電子ビームの発生のキーポイントである。

4. GWレベル共振器内パワーによる多層膜ミラーの損失

加速電流の増加により、FEL装置3のアンジュレータ($\lambda_0=4\text{cm}$, $N=67$, $K=0.95$)と144MeV電子ビームによる($\Delta E/E=0.5\%$, $\varepsilon_0=26\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$) $0.3\mu\text{m}$ FELの小信号・単パルス利得は7%から10%に増加し、今年6月には図5に示すように $0.278\mu\text{m}$ でも発振するようになった。図3上段のFELマクロパルスは利得7%のときのもの。

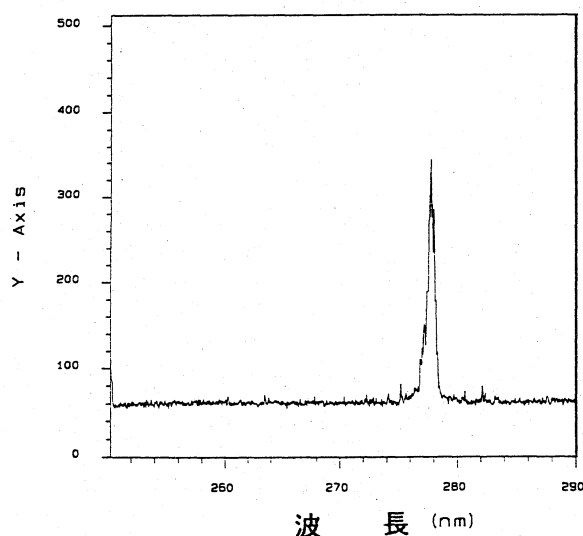


図5 $0.278\mu\text{m}$ FELスペクトル

利得計算式[5]は日本ではあまり使われていないが、1988年には完成されていて、電子ビームのパルス長効果、エネルギー幅、エミッタンスによる効果が考慮されている。ただし、共振器内の光と電子ビームのfilling factorに対する考慮は十分ではない。

しかし、いつも良いことばかりではなく、共振器内にGWレベルのパワーが蓄えられること、また、下流のミラーは高エネルギーX線の被爆が加わるので、写真1のように3cm径ミラーの表面に $0.2\sim 0.3\text{mm}$ 径位のクレータ状の穴があいた。照射時間は約50時間で、被爆線量測定も行っている。

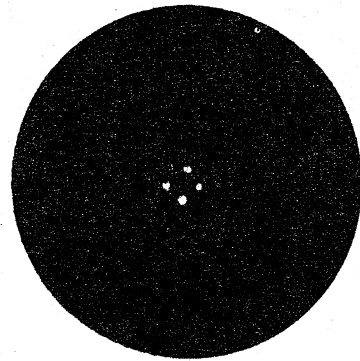


写真1 損傷した多層膜ミラー ($\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$)

5. おわりに

昨年10月より週2日、FEL装置1の中赤外域FEL($20\sim 4.8\mu\text{m}$)を用いる利用研究が始まり、また12月にはFEL装置3で $0.63\sim 0.54\mu\text{m}$ 、 $0.353\sim 0.339\mu\text{m}$ で発振した。今年6月には $0.278\mu\text{m}$ と電子リニアックによる最短波長FEL発振の記録を更新中であるが、電子リニアックの故障修理には、1994年と1995年の2年間で約100日近くかかっている。それでも電子入射器の集束コイル故障時の修理のように改造による加速電流の増強が実現する場合もあり、装置の故障は性能向上のチャンスでもある。

参考文献

- [1] T. Tomimasu, et al., Nucl. Instr. Meth., A375 (1996) 626.
- [2] Y. Miyauchi, et al., Nucl. Instr. Meth., A375 (1996) ABS42
- [3] T. Tomimasu, et al., Nucl. Instr. Meth., A358 (1995) ABS11.
- [4] A. Zako, et al., Proc. 20th Linear Accelerator Meeting in Japan (FELI, Osaka, Sept. 6-8, 1995) p.260
- [5] P. W. van der Amersfoort, et al., The FELIX Project Status Report (FOM, April 1988) p.88