

20a-4

FEL OSCILLATION EXPERIMENTS AND BEAM CHARACTERISTICS FOR THE L-BAND
LINAC AT ISIRS. OKUDA, Y. HONDA, N. KIMURA, J. OHKUMA, T. YAMAMOTO, S. SUEMINE^{*}, T. OKADA,
S. ISHIDA, T. YAMAMOTO, K. TSUMORI^A, T. HORI^B, S. TAKEDA^{**} and S. TAGAWAThe Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University, 8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567, Japan
^{*}Unicon System^{**}National Laboratory for High-Energy Physics, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

ABSTRACT

The oscillation of a free-electron laser (FEL) has been observed in March 1994 with the multibunch electron beam generated with the 38 MeV L-band linear accelerator (linac) at ISIR. In the oscillation experiments an electron gun with a small-sized cathode (0.5 cm^2) has been used, which has made the emittance of the electron beam 1/2 of the previous one. The macropulse length of the beam is relatively short ($1.8 \mu\text{s}$). The spectra of FEL have been measured and the tuning behavior of lasing has been investigated by changing the length of the optical cavity. The wavelengths of the observed FEL are 32 to $40 \mu\text{m}$ in the present experiments. The net FEL gain measured is 25%. The intracavity peak power of the FEL is estimated to be more than 10 kW. The detailed characteristics of the multibunch electron beam and the FEL observed in the present experiments are reported.

産研LバンドライナックによるFEL発振実験とビーム特性

1. はじめに

産業科学研究所Lバンド電子ライナックが高輝度ビームを加速できる特性を活かして、赤外自由電子レーザー (FEL) の開発研究を行っている。高輝度単バンチビームを用いて、増幅された自発放射光 (Self-Amplified Spontaneous Emission, SASE) の発生が波長 20, $40 \mu\text{m}$ で実験的に確認されている¹⁾。現在までに観測された最高のSASEのピーク出力は波長 $40 \mu\text{m}$ で14 Wである。またこの出力をさらに増大させるために、単バンチあたりの電荷量20 nC以上で、2バンチの高輝度ビームを発生させて増幅する研究を進めている²⁾。

電子ライナックによる光領域でのFEL発振実験は、世界で約10箇所の研究機関で成功している。

^APresent Address: Harima Laboratory, Sumitomo Electric Industries Ltd., Harima Science Garden City, Kamigori, Hyogo 678-12.

^BPresent Address: Spring-8 Project Team, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai, Ibaragi 391-11.

日本では、平成5年に東大原施で東大、FEL研のグループが波長 $43 \mu\text{m}$ において発振を観測している。

産研では基礎研究の後^{3,4)}、平成6年3月における実験で波長 $32\sim 40 \mu\text{m}$ において発振を観測した。本研究の特徴はバンチあたりの電荷量が多いことで、2 nCを超える実験はほとんどない。またFELの専用機によらない発振の例は3箇所程度で、広い分野にわたる電子ビームの利用環境を活かせるという特徴がある。

本報告では、発振実験におけるビーム特性およびFEL特性の測定結果について述べる。

3. 実験条件

FEL実験装置を図1に示す。これはモノクロメータによる光のスペクトル測定の配置である。ダブルアクロマティックな電子ビーム輸送系に、ビームプロファイルモニタを5箇所、ステアリングコイルを4組設けている。

光共振器鏡は銅製の金コート凹面鏡で、真空中に設置した。このあおりと共振器長を高精度で調

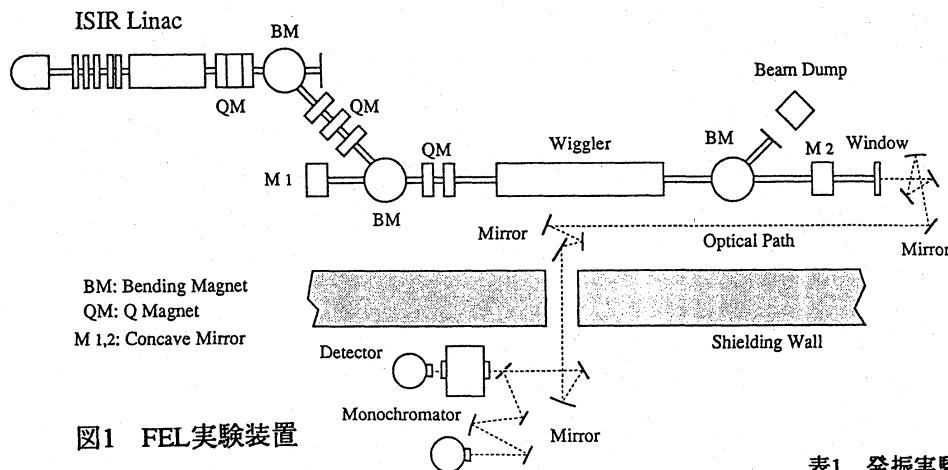


図1 FEL実験装置

整する必要があり、出口側の鏡を遠隔駆動する。部分透過鏡は中央に1 mm φの穴を設けている。赤外放射光は平面鏡および凹面鏡で反射させて輸送損失がないよう配慮して加速器室外に導き、強度を液体ヘリウム冷却 Ge:Be (波長 30~40 μm) 検出器で測定する。時間分解能は約3 μsである。絶対測定の場合は光路のパイプに窒素ガスを満たして光の吸収がないようにする。検出器のピコ秒パルス光に対する感度特性については、標準光源として黒体光源およびウイグラーからの自発放射光を用いて結果を比較することにより実験的に調べた⁵⁾。

4. FEL発振実験

本実験において第1段階での発振実験の波長を40 μmと定めた。これはFEL利得が比較的大きいこと、窓材が使いやすいなどの条件による。発振実験の条件を向上させるために最近行った、主な装置の改善は次のとおりである。

- (1) 電子銃の加速高電圧に安定化電源を用いて1桁安定度が向上した。
- (2) マイクロ波モジュレータのPFNの調整によって、リップルを0.3%以下にした。
- (3) 小口径電子銃カソードの利用により、加速ビームのエミッタンスを1/2に低減した。
- (4) レーザーによるモニタシステムを設置し、初期設定後の光共振器鏡のあおりの約0.1 mradの変化を補正することが可能になった。
- (5) ウイグラー内3箇所にはビームプロファイルモニタを設置した。

このうち(3)では小口径(0.5 cm²)の電子銃カソード(Y-646B, Varian)を持った電子銃を利用するため

表1 発振実験における電子ビームおよび光共振器の条件

<u>Electron Beam</u>	
Energy	17 - 19 MeV
Accelerator Freq.	1300 MHz
Micropulse Spacing	9.2 ns
Charge/Micropulse	2 nC
Peak Cur./Micropulse	50 A
Micropulse Length	30 - 40 ps
Macropulse Length	2 μs
Energy Spread	2%
Norm. Emittance	200 π mm.mrad
<u>Wiggler</u>	
Magnet	NdFeB
Length	1920 mm
Period	60 mm
K	1
<u>Optical</u>	
Wavelengths	32 - 40 μm
Cavity Length	5532 mm
Mirror Concave Radii of Curvature	
M1	3384 mm
M2	2763 mm
	(Hole Radius 0.5 mm)
Rayleigh Rage (at 40 μm)	915 mm
Radius at Wiggler Center	3.4 mm

に、テストベンチによるビーム特性の測定を行った。また、ピーク電流 800 mA、パルス幅 4 μs で電子ビームを入射して加速試験を行った。

発振実験における電子ビームおよび光共振器のパラメータを表1に示す。単バンチビーム発生のために最適化された3台のサブハーモニックバンチャ- (2台は基本周波数1300 MHzの1/12、1台は1/6)

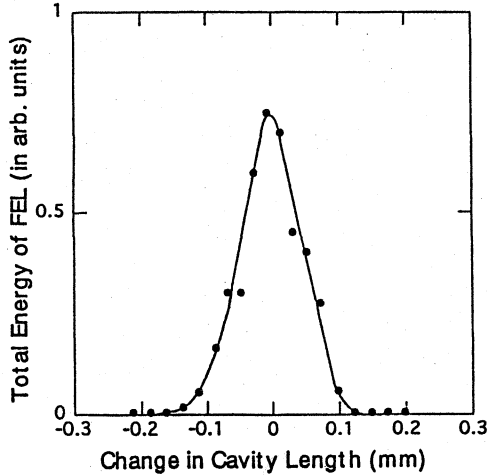


図2 FEL共振特性

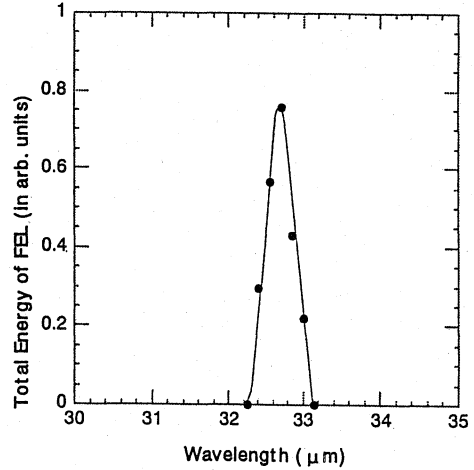


図4 FELのスペクトル測定結果

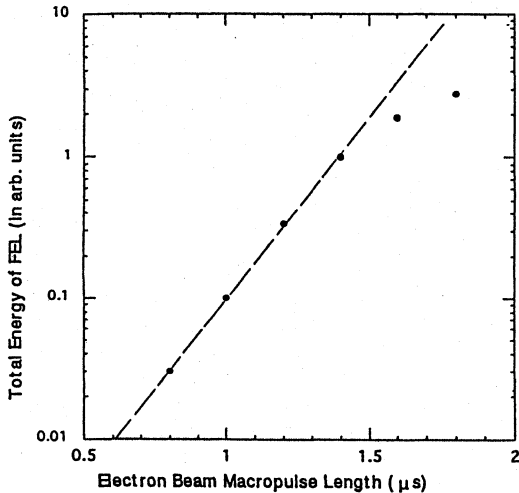


図3 FELの時間的立ち上がり特性

は、後の2台のみ比較的低出力で動作させた³⁾。3台目は、ビームにより空洞内に誘起される電場を一定レベルに保つために動作させる。

波長40 μmで、光共振器長を変化させた時のFEL出力を図2に示す。共振の幅は電子ビームのマイクロパルス幅および増幅の回数に依存して決まるが、本実験のビームの特徴を反映して比較的広い。検出器の時間分解能が大きいためFEL光の時間的変化を直接測定できない。このため、電子ビームを電子銃より入射する際のパルス幅を変えてFEL光を測定した。この結果を図3に示す。この測定で、他の全てのパルスマイクロ波に対するビーム入射開始のタイミングは変わらない。電子ビームパルスの終端付近における光出力の破線からのずれは、ビームマイクロパルス波形の終端部での不整を反映していると考えられる。この傾きより、光共振器

内損失を含んだ正味のFELの利得が求められ、この場合には25%になる。波長33 μmにおけるスペクトルの測定結果を図4に示す。半値幅は1.3%であった。インコヒーレントな自発放射光のスペクトルの半値幅は電子ビームのエネルギー広がりなどから4.0%と推定され、増幅過程をうらづけている。

今回の実験で観測されたFELの波長範囲は、32~40 μmである。光共振器内での損失が測定できなかったため、最大ピーク出力は正確に求められないが、光共振器内で10 kW以上と推定される。

5. おわりに

エミッタンスの改善を中心とした装置改良の結果、波長32~40 μmで発振を観測した。

今後FEL特性の測定精度を上げると共に、利得の向上をはかる。また単バンチあたりの電荷量が多い特徴を活かした研究の進め方が課題である。

参考文献

- 1) S. Okuda, J. Ohkuma, N. Kimura, Y. Honda, T. Okada, S. Takamuku, T. Yamamoto and K. Tsumori, Nucl. Instr. and Meth. A331 (1993) 76.
- 2) S. Okuda, J. Ohkuma, S. Suemine, S. Ishida, T. Yamamoto, T. Okada and S. Takeda, Nucl. Instr. and Meth. A341 (1994) 59.
- 3) S. Okuda, K. Tsumori, J. Ohkuma, N. Kimura, T. Yamamoto, T. Hori and S. Takamuku, Nucl. Instr. and Meth. A318 (1992) 81.
- 4) S. Okuda, J. Ohkuma, N. Kimura, Y. Honda, T. Okada, S. Takamuku, S. Ishida, T. Yamamoto and K. Tsumori, Nucl. Instr. and Meth. A331 (1993) 73.