

GAIN MEASUREMENT OF AN INFRARED FREE-ELECTRON LASER AT THE INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH, OSAKA UNIVERSITY

Okuda S., Ishida S.*, Honda Y., Kato R. and Isoyama G.

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567, Japan

ABSTRACT

Free-electron laser (FEL) experiments have been conducted with the 38-MeV L-band electron linac at the Institute of Scientific and Industrial Research (ISIR), Osaka University. The first lasing was observed in 1994 at wavelengths of 32-40 μm . In the present work the behavior of light in the optical resonator has been investigated by making time-resolved measurements of the output light from the FEL at a wavelength of 40 μm . The output light was detected with a Ge:Be infrared detector which has a time resolution of 170 ns. The net gain of the FEL and the loss of the optical resonator for one round-trip were measured as 58% and 6.2%, respectively. The highest output energy of the FEL in a micropulse so far obtained in the experiments is 75 μJ .

阪大産研の赤外自由電子レーザーの増幅率の測定

1. はじめに

大阪大学産業科学研究所では、高強度の電子ビームを加速できる放射線実験所の38 MeV Lバンドライナックを用いて、赤外自由電子レーザー (FEL) の開発研究を行っている。これまでの研究で、単バンチビームからの自発放射光増幅型FELを観測した¹⁾。また発振実験では、マイクロ波装置の動作条件を調べてマルチバンチビームを発生させ、平成6年3~4月の実験において、波長32~40 μm で最初の発振に成功した²⁾。本研究では、波長40 μm でFELの最大出力を調べる実験を行うと共に、高速型の赤外光検出器を用いてFELの増幅率を測定した。

2. 実験条件

FEL実験装置の概念図を図1に示す。この図で光計測系の配置は、分光器によってFELの波長スペクトルを測定する時に使用した配置である。発振実験で用いたマルチバンチビームの条件を表1に示す。電子銃を直径8 mmの小口径の熱陰極 (Y646B, EIMAC) を持つものと交換した結果、加速後のマルチバンチビームのエミッタンスは通常

の値の約2分の1になった。電子銃からパルス幅4 μs 、ピーク電流600 mAの電子ビームを、加速エネルギー100 keVで入射した。電子銃の後に2台の12分の1サブハーモニックプリバンチャー (1/12-SHPB)と1台の1/6-SHPBがある。電子銃から入射する電流のピーク値は単バンチビームのそれに比べて10分の1以下と低いので、2番目の1/12-SHPBと3番目の1/6-SHPBだけを運転する。3番目の1/6-SHPBはバンチ列の通過で誘起されるマイクロ波の時間変化を打ち消すように動作させる。電子銃より入射するビームのパルス幅を4 μs と2 μs とに変えた場合の、加速後の電子ビームのエネルギースペクトルの測定結果を図2に示す。後半のパルス幅1.8 μs のビームが比較的エネルギーがそろっており、ウイグラーへ輸送される。このパルス幅は光共振器中での光の往復時間の49倍である。これはFELの増幅回数となる。加速器システムおよび各要素の動作条件の詳細は文献3で報告した。

FELと光共振器のパラメータを表1に示す。ウイグラー内の3ヶ所にビームプロファイルモニタを設置した。ここでのビームの直径は約5 mmであった。光共振器の反射鏡は銅基板に金をコートしたものである。下流側の反射鏡の中央には、光共振器からFEL光を取り出すために直径1 mmの穴を設けている。この反射鏡の2方向のあおり角は、ステップ

*Present Address: Nissin Electric Co., Ltd., Minamiku, Kyoto 601, Japan

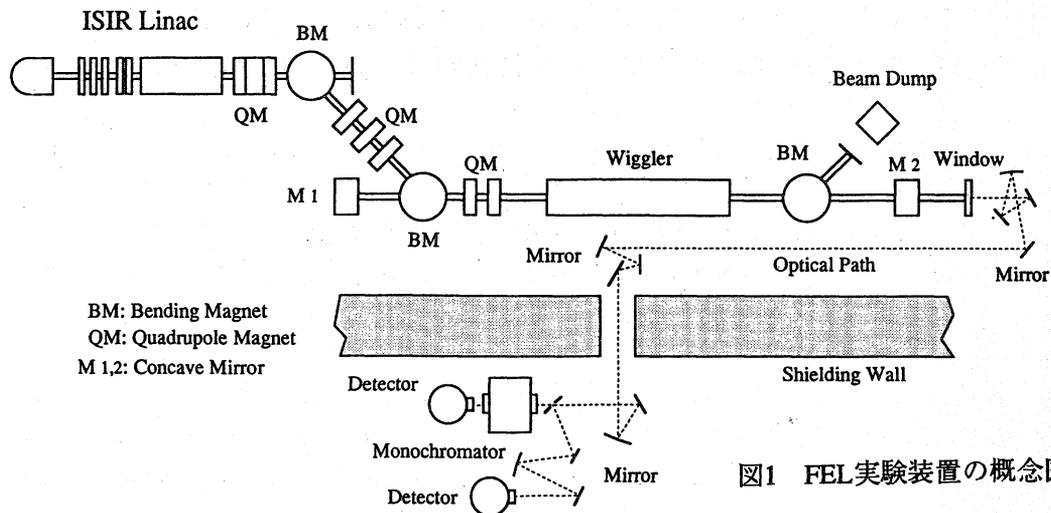


図1 FEL実験装置の概念図

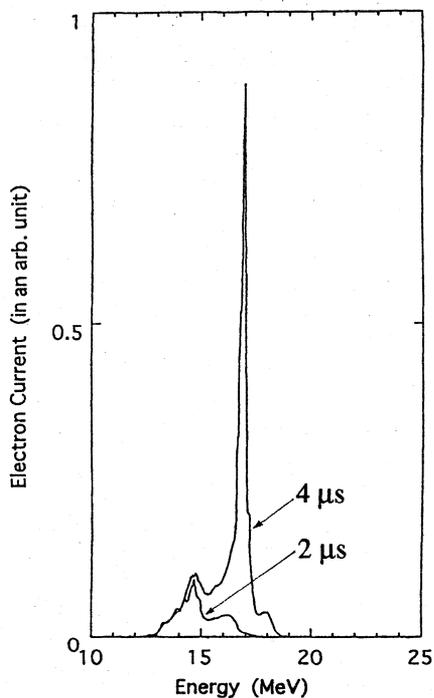


図2 加速後の電子ビームのエネルギースペクトルの測定結果 (パルス幅2および4 μ s)

表1 電子ビームとFEL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 Current/Micropulse	50 A
Micropulse Length	30 - 40 ps
Macropulse Length	1.8 μ s
Energy Spread	1.8 - 2%
Norm. Emittance	200 π mm \cdot mrad
<u>Wiggler</u>	
Magnet	Nd-Fe-B
Length	1920 mm
Period Length	60 mm
Number of Periods	32
K	1
<u>Optical</u>	
Wavelength	32 - 40 μ m
Cavity Length	5532 mm
Radii of Curvature of the Concave Mirrors	
M1	3384 mm
M2	2763 mm
(Hole Radius 0.5 mm)	
Rayleigh Range	915 mm (at 40 μ m)
Radius at the Wiggler Center, w_0	3.4 mm (at 40 μ m)

ングモーターを使い遠隔で調整できる。反射鏡の
あおり角の変化を高精度でモニタするために、
He-Neレーザーによる診断システムを設けた。この
レーザーは分割して、検出器までのFELの光路を
示すためにも利用した。FEL光を真空容器から取
り出すための真空窓は厚さ5 mmのKRS-5の板を用
いた。光の透過率は波長40 μ mで42%である。出力
光は、金をコートした平面鏡と、凹面鏡を用いて、
加速器室から検出器が置かれた計測室へ輸送する。
空気中の水分による光の吸収を防ぐために、光路

にプラスチック製のパイプを用いて中に乾燥窒素
を封入した。遠赤外光を検出する液体He冷却
Ge:Be光検出器の感度は、黒体光源およびウイグラー
からの自発放射光を用いて実験的に調べた。従来
から使用していた時間分解能3 μ sの検出器に加え
て、今回の実験では高速型検出器を用いた。単パ
ンチビームから放射される自発放射光増幅型FEL
の単パルス光 (時間幅30 ps程度と推定される) に
対する高速型検出器の出力波形を図3に示す。この
図より高速型検出器の時間分解能は170 ns

(FWHM)であることがわかる。FELの強度を計測可能な値まで減衰させるために、光路にテフロンシートを挿入した。

3. FEL発振実験の結果と考察

波長40 μm において、FELの出力を測定しながら加速器の運転条件を変えた。光共振器鏡から取り出されたFELのエネルギーの最大値は、マクロパルス当り12 mJであった。この時マイクロパルスでの最大値は75 μJ である。

発振波長40 μm のFELの出力光の時間スペクトルを高速型の遠赤外光検出器で測定した結果を図4に示す。この波形の立ち上がりから、FELの正味の増幅率(利得)が求まり、電子ビームが通過し終えた後の減衰から光共振器中での光の損失が得られる。測定結果から、正味のFEL利得は58%、光の損失は光共振器中での1往復に対し6.2%と計算された。この正味の利得と損失の和64%は、損失がない理想的な条件でのFELの利得を表すと考えられる。この値は、2次元モデルに基づく計算で得られた利得70.6%と良く一致している。

FELのマイクロパルス波形は観測されていないので、FELのピーク出力は直接には得られない。ここでマイクロパルス幅の推定を行う。FEL光がマイクロパルス全体にわたりコヒーレントになった場合に、そのマイクロパルス幅から波長スペクトルの幅が決まる。FELの波長スペクトルの半値幅に、実測値である1.1%を適用すると、マイクロパルス幅として9 psが得られる。このマイクロパルス幅を仮定すると、実験で光共振器から取り出されたFELのピーク出力の最大値は8.3 MWとなる。

発振実験中の電子ビームのマイクロパルス形状は測定していない。加速器の運転条件によってFELの出力は大きく変化するので、今後パルス形状をはじめとするビームについての精度の良い計測が必要である。

4. おわりに

産研Lバンドライナックのマルチバンチビームによって波長32-40 μm でFELの発振実験を行った。高速型の遠赤外光検出器を用いてFELの増幅挙動を調べた結果、波長40 μm での正味の利得は58%、光共振器の損失は6.2%であった。波長40 μm で光共振器から取り出されたFELの最大のエネルギーは、マクロパルスで12 mJ、マイクロパルスで75 μJ

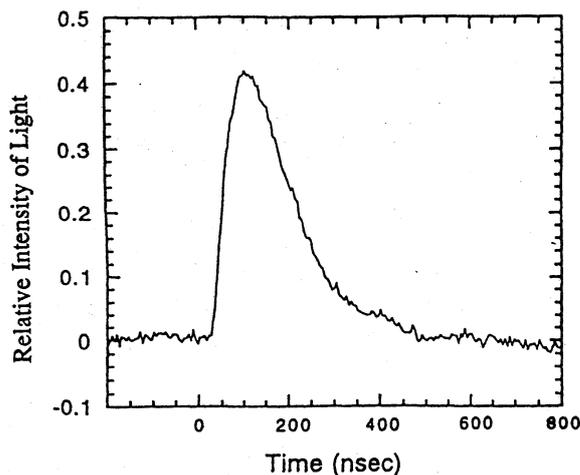


図3 波長40 μm のピコ秒単パルス光に対するGe:Be赤外検出器の出力波形

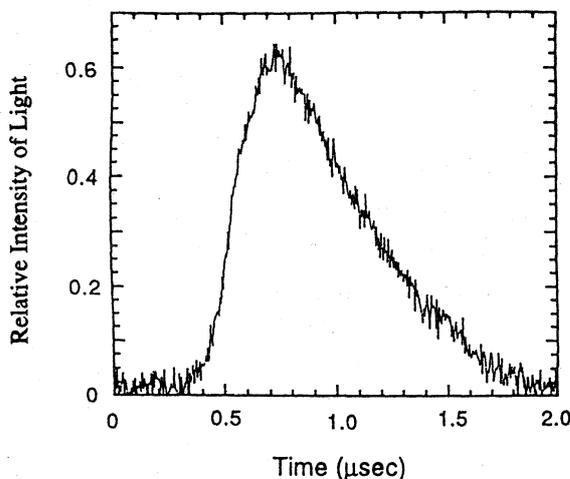


図4 発振波長40 μm でのFEL光の時間スペクトル

である。この時、マイクロパルスのピーク出力の推定値は、8.3 MWである。

産研の装置の条件は、比較的長い波長でのFEL実験に適している。今後さらにFEL特性を詳細に調べると共に、波長域の拡大や安定性の改善をはかる予定である。

参考文献

- [1] S. Okuda et al., Nucl. Instr. and Meth., A331 (1993) 76.
- [2] S. Okuda et al., Nucl. Instr. and Meth., A358 (1995) 244.
- [3] S. Okuda et al., Nucl. Instr. and Meth., A358 (1995) 248.