

Oscillation of the free electron laser at a wavelength of 126 μm

Kondo G., Kato R., Okuda S., Kondo S., Kobayashi H., Igo T., Isoyama G.
and Suemine S.*

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

*Unicon System Co.Ltd.

Abstract

The infrared free electron laser at ISIR, Osaka University, is being modified in order to extend the wavelength region up to 150 μm . After remodeling the wiggler in 1996, FEL experiments were conducted in the wavelength region between 60 and 90 μm . In April 1997 we obtained lasing at a wavelength of 126 μm , which is the longest wavelength ever obtained in the FELs based on RF linacs.

波長 126 μm での自由電子レーザーの発振

1.はじめに

大阪大学産業科学研究所では、附属放射線実験所のLバンド電子ライナックを用いて、利用を目指した遠赤外自由電子レーザーの開発研究を行っている。一昨年冬、ウィグラーを磁極ギャップ可変型に改造した結果、磁場掃引によりレーザーの発振波長を連続的に変えられるようになった¹⁾。また、光共振器内での回折損失の主要な原因であった前後の偏極磁石とその真空チェンバーを改造して回折損失を減らした²⁾。

今年2月、エネルギー18MeVの電子ビームを用い、波長30~50 μm での発振実験とレーザー光の測定を改造後に行った。レーザー光の時間分解測定よりFELゲイン及びロスを求め、ゲインが理論計算と一致している

ことと、ロスが低減されていることを確認した。さらには、電子ビームのエネルギーを14MeVに下げた実験を行い、発振波長を長波長側へ拡大させた。そして今年4月、RFライナックを用いたFELとしては世界最長となる、波長126 μm での発振に成功した³⁾。

ここでは、ウィグラー及び真空チェンバー改造後の実験とその解析結果について報告する。

2.改造後のFEL発振実験

産研自由電子レーザーの主要パラメータを表1に示す。この実験で使用した電子ビームのエネルギーは18MeVで、K値を0.64~1.47まで変化させてFEL発振を観測した。この時に測定されたFELゲインを図1に波長の関数

表 1 FEL の主要なパラメータ

電子ビーム	
エネルギー	$E = 18\text{MeV}$
最大電流	$I = 50\text{ A}$
規格化エミッタンス	$\epsilon_N = 200\pi\text{ mm mrad}$
ベータatron関数	$\beta = 1.0\text{ m}$
ビームサイズ	$\sigma = 2.4\text{ mm}$
ウィグラー	
周期長	$\lambda_u = 6.0\text{ cm}$
周期数	$N = 32$
全長	$L = 1.92\text{ m}$
ギャップ間隔	$g = 30 \sim 120\text{ mm}$
光共振器	
ウェストサイズ	$W_0 = 3.4\text{ mm}$ ($\lambda = 40\mu\text{m}$)

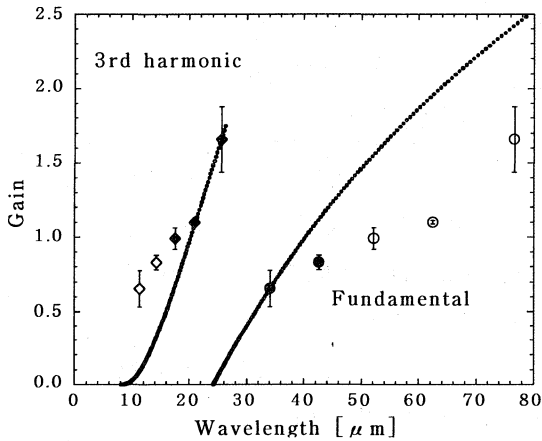


図 1 FEL ゲインの測定値と計算値の比較

として示す。実線は表 1 の値を用いて計算したゲインである。レーザー波長は電子ビームのエネルギーとウィグラーの周期長ならびに K 値より求めた。光の測定に分光器を使用していないので、基本波と 3 次の高調波の区別がつかない。図 1 には増幅率を両方の波長に対して示した。この測定で用いた Ge:Be 半導

体検出器は、波長 $20\sim 50\mu\text{m}$ に検出感度を持つので、基本波で $50\mu\text{m}$ を越える領域では 3 次の高調波を検出し、3 次光で $20\mu\text{m}$ 以下の領域では基本波を検出したと思われる。図 1 で黒いポイントで示した基本波と 3 次の高調波の増幅率は計算結果と良く一致している。

偏向磁石部の真空チェンバーを交換した前後に波長 $40\mu\text{m}$ で測定した光共振器の損失を表 2 に示す。真空チェンバー交換によって回折損失が低減された。改造後の損失は光取り出しによる寄与が大きいものと考えられる。

表 2 偏向磁石部真空チェンバー改造前後の光共振器の損失比較

	(波長 $\lambda = 40\mu\text{m}$)	
	ミラーの 光取り出し穴	光共振器の 損失
改造前	3ϕ	16.0%
改造後	3ϕ	6.6%

3. 発振波長の拡大

電子ビームのエネルギーを 14MeV に下げて FEL 発振実験を行った。この時の電子ビームのエネルギースペクトルを図 2 に示す。この実験では、普段の FEL 発振実験で使用される

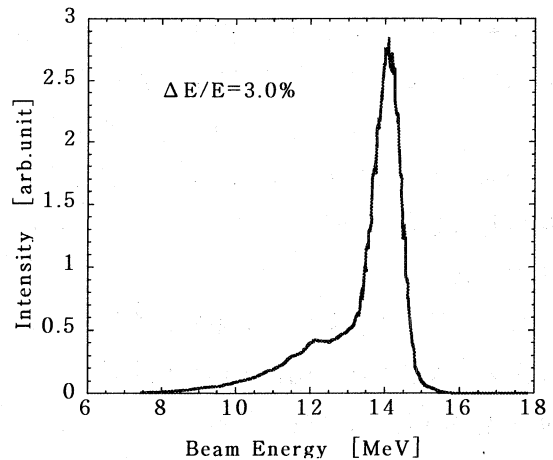


図 2 電子ビームのエネルギースペクトル

低エミッタンスの電子銃：Y646Bではなく、通常運転時用電子銃：YU156を使用した。レーザー光の測定には長波長用の検出器として、波長50～140 μm に検出感度を持つGe:Ga半導体検出器を使用した。K値が最大の1.47の時に、波長126 μm のFEL発振に成功した。これはRFライナックを用いたFEL発振としては世界最長である。その時の発振波形を図3に示す。レーザー光のパワーが大きいため出力波形のピークは飽和している。測定の際、約5mm厚(透過率 \sim 10%)のテフロンシートを光路上に挿入したが十分ではなかった。このときのFELゲイン及びロス \pm 9%、3.0

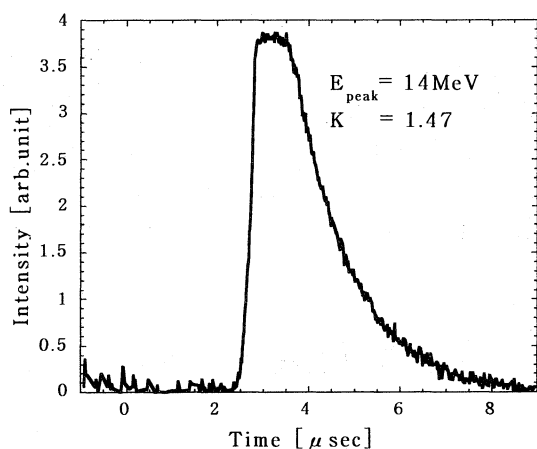


図3 波長126 μm FELの発振波形

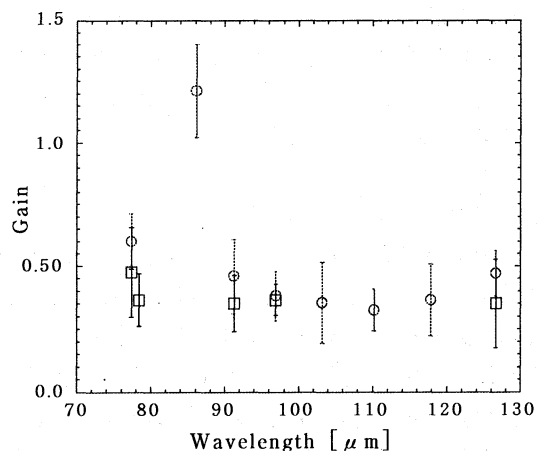


図4 長波長側でのFEL-Gain

\pm 0.7%であった。

図4に、波長77～126 μm のFELゲインを示す。通常運転用電子銃を使用したため、増幅率が低下したものと考えられる。この領域では空気中の水蒸気による吸収が大きいため、波長によってはFELパワーも急減した。

4.まとめ

偏極磁石部分の真空チェンバーを改造した結果、波長30～50 μm の領域で回折損失が低減できた。この領域で得られたFELゲインは計算結果と良く一致した。基本波で波長50 μm を越える領域では3次高調波が検出されたと思われる。また、ウィグラーを磁極ギャップ可変型に改造したことにより、FELの発振波長領域が拡大し、RFライナックを用いたFELとしては初めて、波長126 μm のFEL発振に成功した。

今後の予定としては、発振波長の長波長側への拡大に伴い問題となってくる、光共振器内でのロス \pm を低減させるため、ミラーを直径60mmから80mmのものに交換し、光共振器部の真空チェンバーも同時に改造する。さらに、ミラーステージも5軸制御用に更新し、より容易にFEL発振が可能になるよう改良する。

5.参考文献

- [1] G.Isoyama, et al, Proc.21th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokyo, 1996, p.68.
- [2] Y.Nakajima, al., Proc.21th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokyo, 1996, p.65.
- [3] W.B.Colson, Nucl. Instr. and Meth. A 375 (1996) 669.