

[A18a05]

Simultaneous two-color lasing at mid- and far- infrared region FEL with two undulators

Akira Zako, Yasushi Kanazawa, Akio Nagai and Takio Tomimasu

Free Electron Laser Research Institute, Inc.
2-9-5 Tsuda-Yamate, Hirakata, Osaka, 573-0128 Japan

Abstract

In the previous papers we have reported lasing at mid-infrared region with the undulator-1 ($\lambda_u=34\text{mm}$, $K=0.5-1.5$, $N_u=34$) in 1994 and lasing at far-infrared region with the undulator-4 ($\lambda_u=80\text{mm}$, $K=1.26-3.37$, $N_u=30$) in 1996. The undulator-4 is installed at the downstream of the undulator-1 and an electron beam is transported through an S-type BT line including two 45° bending magnets. In the present paper we have demonstrated two-color FEL lasing with these two undulators. The simultaneously observed FEL wavelengths were $4.65\mu\text{m}$ and $19.4\mu\text{m}$. These were measured by two monochromators combined pyro-linear array detectors. These average powers are about 10mW. When an optical shutter was inserted into the mid-infrared range optical cavity line for the undulator-1, the far-infrared FEL power from the undulator-4 increased. This shows that the insertion stops the lasing with the undulator-1 and gets rid of the electron beam energy loss which are transferred to FEL light at the undulator-1.

2台のアンジュレータを用いた中赤外、遠赤外域 FEL の二波長同時発振

1. はじめに

自由電子レーザー研究所 (FEL 研) では 1994 年の中赤外域の初発振[1]して以来、近赤外域の発振、可視・紫外域の発振[2]と発振実験に成功してきたが、1996 年 12 月 Halbach 型アンジュレータで遠赤外領域の発振にも成功 ($\lambda=18.6\sim 40\mu\text{m}$) [3]した。その後、主に FEL の利用実験施設としての役割に重点が置かれていたため、中赤外域での利用研究が主体となり、中赤外域用アンジュレータによる $5\sim 13\mu\text{m}$ 帯を用いた利用実験が主体で $40\mu\text{m}$ より長波長域の発振実験は中断した。一方、半導体分野での THz 領域でのデバイスの特性評価や材料・デバイス特性向上など、

遠赤外領域の利用設備としての FEL 装置の発展が期待されている[4]。したがってこれらの波長領域の異なる二波長を同時に発振させること自体初めての試みであり、ポンプ・プローブ実験などその応用面で新しい道を拓くものと期待できる。

本報告では中赤外域用アンジュレータとその下流側に配置した遠赤外域用アンジュレータの2つのアンジュレータからなる構成で得られた FEL 二波長同時発振に成功した実験結果について記す。

2. FEL 装置の構成

図 1 に本実験に関する FEL 装置の概略図を示す。

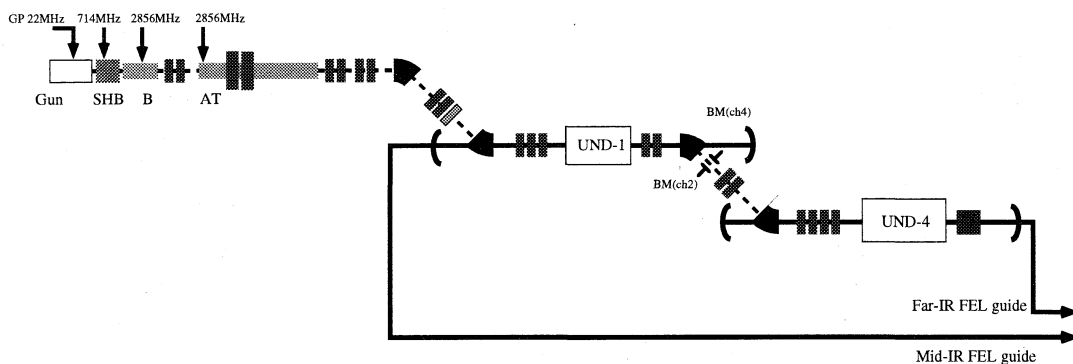


図 1 二波長同時発振 FEL システム概略図

電子入射器はマイクロパルス 22.3125MHz の繰り返して電子ビームマクロパルス長 $\sim 24\mu\text{s}$ 、10pps で動作させる。発生した電子ビームは 714MHz のサブハーモニックバンチャと 2856MHz のバンチャ、3m 進行波型加速管で 30MeV 前後まで加速された後、22.5 度および -22.5 度の 2 回の偏向を受け、中赤外域用アンジュレータ (UND-1) へと導かれる。その後、45 度および -45 度の 2 回の偏向を行い、遠赤外域用アンジュレータ (UND-4) に導かれる。2 台の FEL 発振器の主要なパラメータを表 1 に示す。遠赤外域用共振器内で発振・増幅した FEL 光は、共振器側とはダイヤモンド窓で仕切られた光伝送系ダクト内を伝搬し計測室へと導かれる。この伝送用ダクトは、FEL の大気中での減衰を軽減すべく、真空中に排気されており、FEL の取出部では KRS-5 またはポリスチレンの窓材を用いている。

表 1 主要諸元

	Mid-IR	Far-IR
Undulator type	Halbach	Halbach
Undulator period [mm]	34	80
Period number	58	30
Gap length [mm]	15-25	30-55
K value	0.56-1.42	3.37-1.26
Material of permanent magnet	Nd-Fe-B	Sm-Co
Cavity type	Fabry-Perot	Fabry-Perot
Cavity length [m]	6.72	6.72
Rayleigh length [m]	1.0	0.54
g-parameter	-0.93	-0.89
	-0.76	-1.01
Mirror curvature [m]	3.490	3.555
Material of the mirrors	Au / Cu	Au / Cu
Aperture dia. of an outer Coupler [mm]	1.5	2.5
Window for FEL guide	KRS-5 ZnSe	Diamond KRS-5, Polystyrene

3. 二波長同時発振実験

図 2 に計測機器の構成を示す。中赤外域 FEL 光、遠赤外域 FEL 光は別々の FEL 装置から各々独立した光路を伝搬してくるので、基本的に計測機器類を 2 式準備した構成である。モノクロメータとその出口に、パイロ素子が 128 個並んだのリニアアレイセンサを配置して、発振波長の検出を行った。通常モノクロメータによる波長計測では、内部のグレーティングをスキャンさせながら角度に応じた波長を計測するので、FEL のようなパルス出力光を一時に検出するのは困難であった。リニアアレイセンサで光を拡げて計測する場合、波長の分散を別にすれば、有用な計測といえる。半導体 (HgCdTe) 検出器で FEL マクロパルスの検出を行ったが、互いの FEL 散乱光

を誤って検出しやすいため、それぞれの計測系の間に仕切りを設け信号を分離した。パワーメータにより FEL 平均出力を計測した。

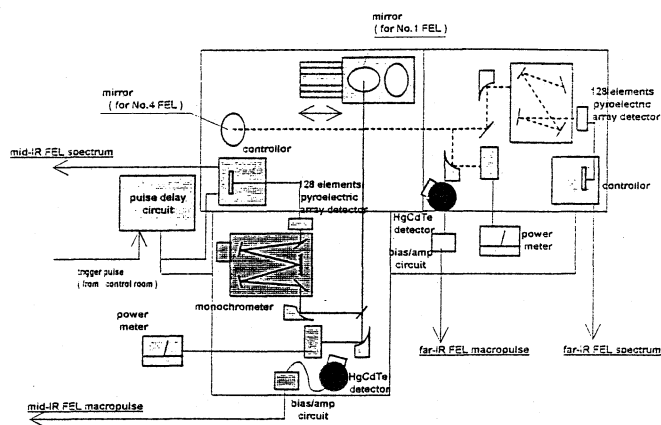


図 2 FEL 計測器平面配置図

実験ではまず UND-1 のギャップ長を上げ K 値を十分に小さくして中赤外域での発振を起こさないようにして UND-4 で遠赤外域の発振を行い、発振条件を固定した。次に中赤外域での発振条件にパラメータをシフトさせながら UND-1 のギャップ長を狭めていき、中赤外域 FEL の発振を得た。これにより 2 台のアンジュレータによる二色同時発振を達成した。

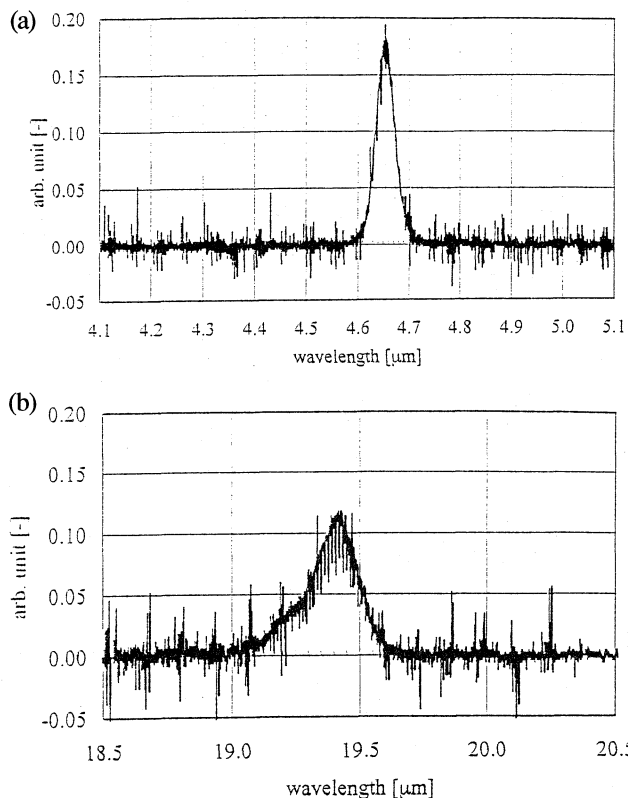


図 3 FEL スペクトル (a) 中赤外域 (b) 遠赤外域

図3は各々、バックグラウンドノイズを較正した中赤外域および遠赤外域の発振波長スペクトルを示したものである。発振波長は各々4.65 μm 、19.4 μm で、スペクトル幅はそれぞれ0.85%と1.06%である。図4はHgCdTe半導体検出器で得られたFELマクロパルス信号である。本来なら遠赤外域の方が中赤外域より小信号利得が大きいため、電子ビームのマクロパルス内で早く立ち上がるべきなのだが、UND-1を通過(発振)した電子ビームはFELと相互作用することによりそのエネルギーの一部を失うため、エネルギー拡がりが大きくなりUND-4での利得が下がり、信号の立ち上がりが悪くなっている。また電子ビーム軌道も変動する。

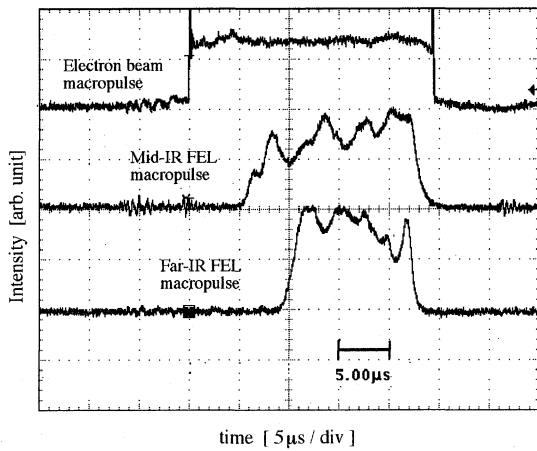


図4 FELマクロパルス出力

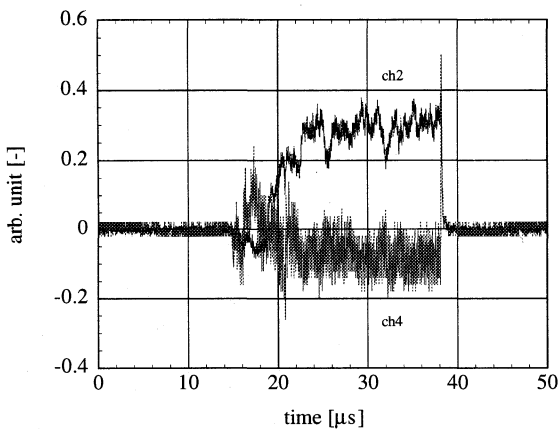


図5 ボタンモニタ出力の差分

図5はUND-1とUND-4の間の2つの45度偏向電磁石の間に配置したボタンモニタの水平方向の左右2チャンネル(ch2,ch4)からの信号をそれぞれ、UND-1の発振時と共振器内にシャッタを挿入して強制的に発振をさせなかった場合の差をとったもので

ある。ch2側のボタンモニタ信号が大きくなっているが、これはUND-1の発振によりビーム広がりが大きくなり、偏向部で軌道が大きく曲げられ、ch2に電子ビームが近づき、発振前と比べ信号が見かけ大きくなった結果である。

図6はそれぞれのアンジュレータにおける単独のFEL発振平均出力と今回の二波長同時発振時の出力を示したものである。今回の実験ではまだ調整が途上であるため、波長を変化させると発振しなくなっている。

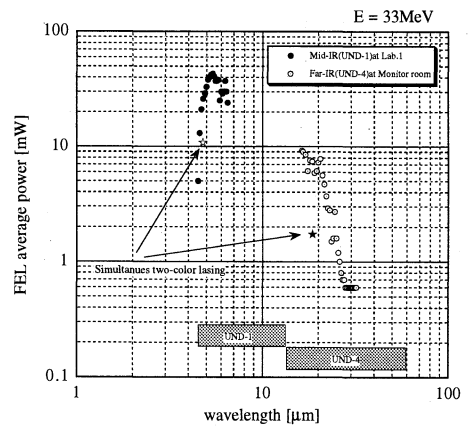


図6 E=33MeVにおけるFEL発振出力

4. まとめ

本実験でFELの二波長同時発振に成功したものの波長可変性という点ではまだ入口に立ったに過ぎず、諸条件を詰めていく必要がある。また二波長のプロファイル、タイミングなど諸特性も未計測であり、データの蓄積が必要である。

References

- [1] T.Tomimasu et al., IEEE Proc. PAC'95 (Dallas, May 1-5,1995) p.257.
- [2] T.Tomimasu et al.,Nucl.Inst and Meth. A383(1996)337-341
- [3] T.Takii et al., Proc., Nucl. Instr. and Meth. A407 (1998) 21-25
- [4] 三露常男他、「アイオニクス」第23巻11号p.37-46 1997年