

# MEASUREMENT OF WAVELENGTH SPECTRA OF A FAR-INFRARED FEL WITH A GRATING MONOCHROMATOR

Jie Shen, Ryukou Kato, Keigo Kawase, Akinori Irizawa, Sho Hirata, Masaki Fujimoto,  
 Fumiyoishi Kamitsukasa, Hiroki Osumi, Goro Isoyama  
 Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University  
 8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

## Abstract

We have got ahead in the free electron generators of infrared wavelength radiation by the L-band electron linac at the Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University. Many experiments of the infrared free-electron laser (FEL) are in progress, and one of them is measurement of wavelength spectra. It is well known that the wavelength spectra of FEL is related to the magnetic field strength of wigger, the cavity length and the macro pulse duration of electron beam etc. In this conference, we are going to present an interesting phenomenon of the variation of wavelength spectra of FEL with changing the cavity length and macro pulse duration of the electron beam.

## 回折格子分光器を用いた遠赤外 FEL の波長スペクトル測定

### 1. はじめに

大阪大学産業科学研究所(ISIR)では、L バンドライナックを基盤とした波長可変な遠赤外自由電子レーザーの開発研究を行っている。平成4年に、単バンチ電子ビームを用いて 20~40 μm の波長を持つ Self-Amplified Spontaneous Emission (SASE) を観測した。平成6年3月に、マルチバンチ電子ビームを用いて波長 32~40 μm 付近で光強度の大幅な増大とその光強度の光共振器長の依存性及び波長スペクトル幅の光共振器長の依存性を確認し、FEL の発振に成功した。その後、FEL 発振装置及び測定環境を利用に適したシステムにするため、様々な改良が行われ、現在我々は波長 20~160 μm の範囲で飽和に達する大パワーの遠赤外 FEL の発振に成功している。

FEL の特性と物理を理解するために、光共振器の上流側球面鏡中央の直径 3mm の穴から取り出した光を回折格子分光器で分光した後、Ge-Ga 半導体検出器や Si ボロメーター、焦電素子などの検出器で波長スペクトルを測定する。前で述べたとおり、波長スペクトルは光共振器に依存している。その他に、新しい試みとして電子ビームのマクロパルス長を変えさせ、波長スペクトルを FEL 増幅回数として測定することにより、パワー発展に伴う波長スペクトルの変化を観測した。

### 2. 回折格子について

次にレーザーの周波数領域を測定する方法を紹介する。普通、可視光や赤外線分光には図1のようなのぎり状の切り口を持った平面回折格子が用いられる。これをエシェレット格子(echelette grating)という。図のように入射角をα、回折角をβとした時の条件は

$$g(\sin \alpha \pm \sin \beta) = m\lambda \quad (1)$$

で与えられ、回折格子面への垂線 N に対し、入射

光と回折光が同じ側であれば正符号を、図のように異なる側であれば負符号をとる。g は格子定数、m は回折の次数と呼ばれる。式(1)から回折格子の回折格子の角分散

$$\frac{d\beta}{d\lambda} = \frac{m}{g \cos \beta} \quad (2)$$

がえられ、波長が dλ だけ異なった光は、dβ = mdλ / gcosβ だけ異なった回折角を示すことになる。当研究室の分光装置では、入射光を回折光の方向は一定に保ち、回折格子を回転して波長を変化させる。

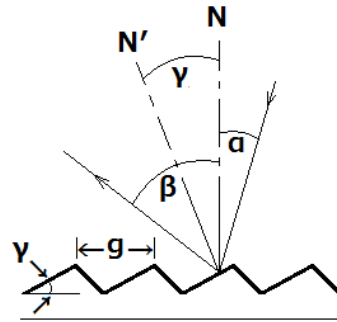


図1: エシェレット回折格子による分散

### 3. 実験の概要

我々の研究室のLバンドライナックは、普段、3台のSHBの中に2台のSHB(108MHzと216MHz)を用い、電子エネルギーを10~20MeVまで加速し、マルチバンチモードの運転では約20~30psのマイクロパルスが9.2ns間隔で約8μsのマクロパルスを構成し

# peter25@sanken.osaka-u.ac.jp

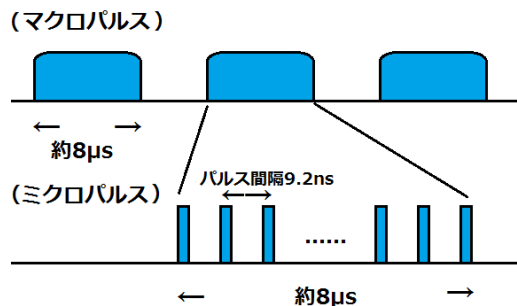


図 2: 電子ビームパルスの構造

ている。一方、球面鏡の光共振器を用いて発振する FEL の波長スペクトルは、その共振器長に大きく依存する<sup>1)</sup>。電子ビームパルスの構造と共振器に対するレーザー強度を図 2 と図 3 に示す。

本実験では節 2 で述べた回折格子を通った単色光を分光器のダイヤモンド窓から導き出す。乾燥窒素パージしながら、Ge-Ga 半導体検出器で検出する。図 3 と同じ共振器長-180 μm、40 μm、-14 μm でそれぞれ測定を行った。新しい試みとして共振器長-40 μm において図 2 に示したマクロパルス長 100dgt(3.6 μs)、140dgt(5.6 μs)、200dgt(7.3 μs) で測定を行った(当実験室 L バンドライナックの制御システムにおいては 220dgt に対応するマクロパルス長は 8 μs である)。

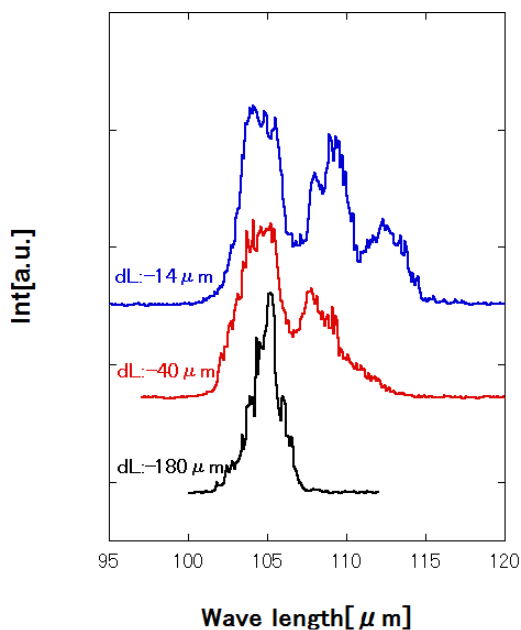


図 4: 共振器長に対する波長スペクトル

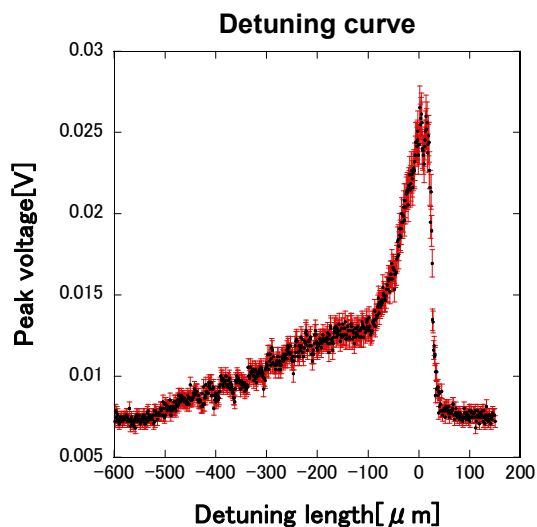


図 3: 共振器長に対する FEL 強度の変化

測定条件

電子エネルギー:15MeV

ウイグラーギャップ:30mm

電子ビームのマクロパルス長:8 μs(220dgt)

#### 4. 波長スペクトルの測定結果

図 4 に共振器長に対する波長スペクトルの変化を示す。図 5 に共振器長を-40 μm に固定し、マクロパルス長に対する波長スペクトルの変化を示す。

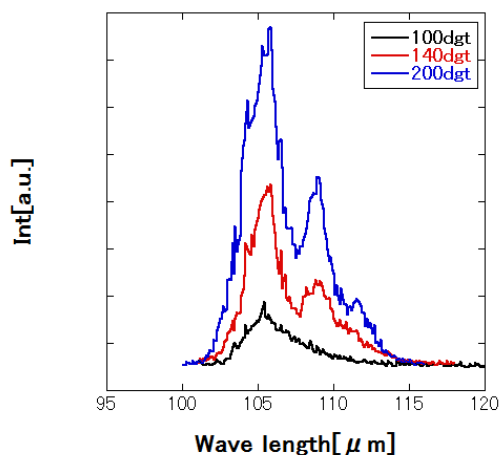


図 5: マクロパルス長に対する波長スペクトル

波長スペクトルは明確に共振器長と電子ビームのマクロパルスに対して依存している。共振器長は

レーザー強度最大の位置に近づくにつれて、FEL の波長スペクトルは2つ又は3つのピークから構成されている。新しい試みとしての測定で、興味ある現象が見つかった。パワー発展に伴って、FEL の波長スペクトルの変化は共振器長を変える場合と同じ特徴を持つ。すなわち二つ目三つ目の中心波長に対する FEL が順番に起こる。さらに、2種類の測定における次々に発振し始まった FEL の中心波長もほぼ一致になっている。

ここで注意すべきなのは共振器長-40  $\mu\text{m}$  において前後2回の波長スペクトルの様子が少し異なること。理由としては2回測定時刻の間隔に応じてずれていると考えられる(温度の変化による共振器長の変化<sup>[2]</sup>)。

## 5. まとめと今後課題

阪大産研 L バンドライナックにおいて 95  $\mu\text{m}$ ~125  $\mu\text{m}$  波長領域の波長スペクトルを測定した。共振器長に対する FEL の波長スペクトルの変化と電子ビームのマクロパルス長に対する FEL の波長スペクトルの変化との共通点を確認した。但し、測定の内容は少し変動したので、さらにデーターを正しく測定するには検出器の線形性と波長依存性の校正や測定時刻の短縮などの手法が必要である。または二つ目と三つ目の中心波長に対する FEL の発振のメカニズムを探る。

## 参考文献

- [1] Benson, et al., 1983
- [2] R. Kato, et al., "Recent progress in development of the terahertz FEL at ISIR, Osaka university", Proceedings of the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan ( August 4-6, 2010, Himeji, Japan)