

[1 a - 6]

DEVELOPMENT OF A FAR-INFRARED FREE-ELECTRON LASER FOR USER EXPERIMENTS

Okuda S., Kato R., Nakajima Y., Iwase Y., Kondo G., Kobayashi H., Isoyama G.

Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567, Japan

Abstract

The infrared free electron laser at the ISIR, Osaka University is now being remodeled in order to extend the wavelength region from 20 down to 150 μm for user experiments. Among several activities on that, remodeling of the wiggler and experiments for characterization of an infrared detector are reported here. The wiggler with the fixed magnet gap has been remodeled so that the gap can be varied from 120 down to 30 mm using a stepping motor. The vacuum chamber has been replaced with a new one with the vertical inner size of 25 mm. The characteristics of the Ge:Be detector cooled with liquid Helium has been measured with a blackbody radiation source. An optimum bias voltages was obtained for each of the two short-wavelength cutoff filters equipped with the detector. The sensitivity of the detector was deduced.

利用を目指した遠赤外自由電子レーザーの開発研究

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た赤外自由電子レーザーの開発研究を 1990 年頃から行っている。1994 年 3 月に波長 32~40 μm で最初の発振に成功した[1]。その後の実験では、推定で MW を越えるピーク出力を得ている。また高速型の赤外検出器を用いてレーザー光の時間スペクトルを測定し、FEL の増幅率を約 58% と求めた[2]。次の段階として我々はこの自由電子レーザーを試験的な利用実験に供すべく準備を進めている。

この L バンド電子ライナックは大阪大学の学内共同利用に供されており、所内および学内の多くの利用者が年間を通して実験研究を行っている。自由電子レーザーの実験を行うためには電子銃を通常使用している大電流低輝度型から高輝度電子銃に交換しなければならない。電子銃の交換と復旧に 10 日ほどの日数が必要なためマシンタイムの利用効率が悪い。そこで通常の実験と共用可能な電子銃に交換するか、または通常使用する電子銃を交換が容易な物に置き換える必要がある。

潜在的な FEL の利用者は 10 μm から 100 μm を越える遠赤外領域までの広い波長範囲に興味を持っている。現有の FEL 装置では、ウイグラーには磁極ギャップが固定された簡単な構造を採用したために波長を掃引する必要のある利用実験には適さ

ない。光共振器とその真空チェンバーは長波長側では光の回折損失が大きくなるので、回折損失が小さいより大きな内径を持つ真空チェンバーと大きな反射鏡に交換する必要がある。

この様な考えに基づき昨年度から自由電子レーザー装置の改造を始めた。昨年度は、(1) 大電流高輝度電子銃の特性評価、(2) 広い波長領域での FEL 増幅率と回折損失の計算、(3) ウイグラーを磁極ギャップ可変型に改造、(4) 赤外光検出器の特性評価装置の整備と特性評価などを行った。

(1) と (2) に関してはこのプロシーディングスの別の場所で詳しく述べられるので、ここではウイグラーの改造と赤外検出器の特性評価について述べる。

2. ウイグラーの改造

FEL 増幅率と回折損失の計算に基づきウイグラーの最小磁極ギャップを決めて、ウイグラーをギャップ可変型に改造した。今まで使用していた磁場分布を可能な限り乱さないため、永久磁石とそれが固定されている 4 分割された取り付け基盤はそのまま使用する。架台もそのまま使用する。改造後のウイグラーを図 1 に示す。永久磁石と基盤は、上下 1 対の厚さ 120 mm、横幅 130 mm の鋼鉄製の梁に取り付けられている。上下の梁は 4 本のガイドレールと 4 本のボールネジにより上下に動き磁極ギャ

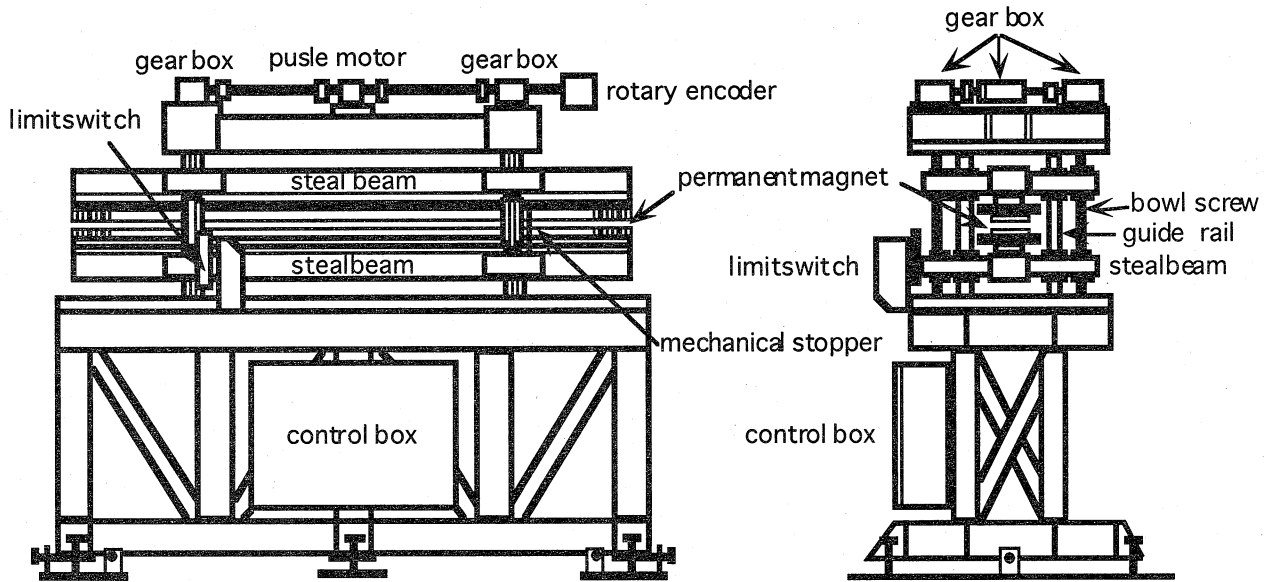


Fig. 1. Mechanical structure of the wiggler.

ップを変える。4本のボールネジはギアで連結されてウイグラー上部に取り付けられた1台のパルスモーターで駆動される。パルスモーターおよびギアシステムを乗せた上部構造は4本のガイドレールにより支えられている。

本体の制御は制御箱に収められたシークエンサーを用いて行う。制御箱の前面は現場操作盤である。ここでは、磁極ギャップ値とウイグラーの動作状態の表示ならびに、ギャップ目標値設定と各種の操作スイッチが取り付けられている。ギャップ値は絶対値型のロータリーエンコーダーで読み取るので電源を切っても値は保存される。表1に改造前後のウイグラーの主なパラメーターを示す。

ウイグラーの操作は、計測室に置いたマッキントッシュ計算機で行うことができる。計算機と加速器室のウイグラー本体は光ケーブルに変換したRS232Cラインで接続した。制御プログラムは、グラフィカル・ユーザー・インターフェイスを持つLabViewというソフトウェアを用いて製作した。

改造前後でギャップの最小値が変わり、今まで使

Table 1. Main parameters of the wiggler before and after remodeling.

| | 改造前 | 改造後 |
|--------|---------------|-------------------|
| 周期長 | 60 mm | |
| 周期数 | 32 | |
| 全長 | 1920 mm | |
| 永久磁石 | Fe Nd B | |
| 磁極ギャップ | 固定 (44 mm) | 可変 (30~120 mm) |
| K 値 | 0.707 | 0.001~1.472 |
| 真空槽外法 | 38~40 mm | 30 mm |
| 真空槽内法 | 30~35 mm | 25 mm |

用していた真空チェンバーが使用できないので新しい真空チェンバーを製作した。新しい真空チェンバーの断面は長方形で、鉛直方向の内法は25 mmである。肉厚は1.5mmであるので外法は28 mmになるが、実際は溶接による真空チェンバーの歪のため30 mm ぎりぎりである。真空チェンバーの材質は非磁性ステンレスのSUS316Lを使用した。脱ガス量を減らすため、組み立て前に内面を電解研磨でみがいた。以前と同様にウイグラー上流、中流と下流の3カ所にビーム位置調整のための出し入れ可能な蛍光板モニターを設けた。

改造が終了したウイグラーを再び元の位置に据え付けた。真空チェンバーのビーム軸方向の長さも変えなかったため、フランジサイズを変えたことによる両側のベローの交換という最小限の変更で真空システムも復旧した。平成8年4月初めに自由電子レーザーの発振実験を行い、磁場分布などが元の状態を再現していることを確認した。

3. 遠赤外検出器の特性評価

使用した赤外検出器は液体ヘリウム冷却型 Ge:Be 半導体検出器である。この検出器は波長 30 ~ 50 μm に検出感度を持つ。検出器のバイアス電圧を変えて測定した出力電流を図2に示す。点線は検出器の入射窓を金属板で閉じて測定した暗電流であり、実線は温度573Kの黒体炉からの光を入射した場合の出力電流である。共に低いバイアス電圧側では絶縁状態、高電圧側では導通状態を示している。光の検出感度はバイアス電圧をしきい値付近に設定した時が高い。検出器の感度を正確に求めるために光チョッパーとロックインアンプを用いて同様の測定を行った結果を図3に示す。検出器には

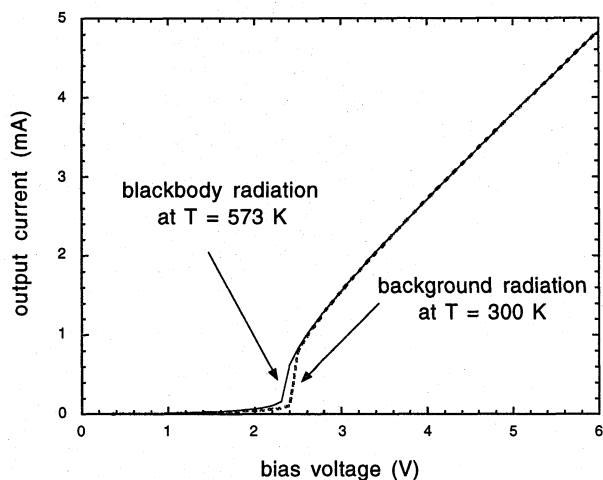


Fig. 2. Output current of the Ge:Be detector as a function of the bias voltage.

20 μm と27 μm の2種類の短波長カットフィルターが装備されている。それぞれの場合について黒体炉の温度を573から1273Kまで変えてロックインアンプの出力電圧を測定した。両者共にそれ以上高くすると検出感度が無くなるバイアス電圧が存在し、それは黒体炉の温度には依らないことが観測された。27 μm のフィルターに対してはこのバイアス電圧と図2に示すしきい電圧と近い値を示している。

検出器のバイアス電圧を各々のフィルターに対する適正值に設定し、黒体炉の温度を573~1273Kの範囲で100度おきに変えて出力電圧を測定した。黒体炉の温度を検出器に入射する光のパワーに換算して全入射光パワーに対する出力電圧の比として検出感度を求めた。黒体炉の放射パワーはプランクの輻射式を用いて計算した。それに検出器の分光感度特性、フィルターと入射窓の透過率、および幾何学的効率を補正して全入射パワーを求める。図4に全入射パワーに対する Ge:Be 検出器の出力電圧

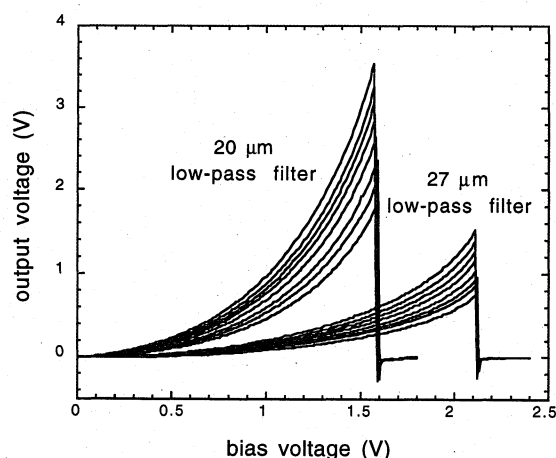


Fig. 3. Output voltage of the lock-in amplifier as a function of the bias voltage.

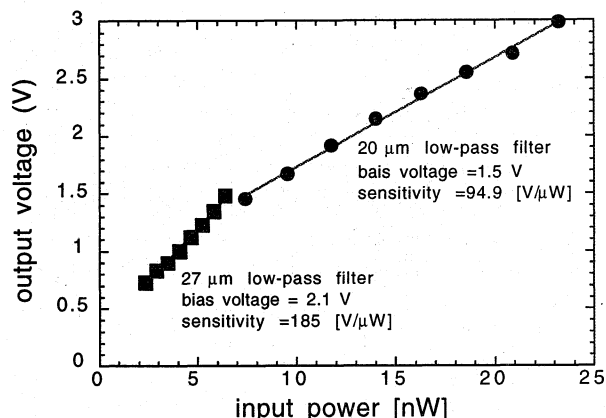


Fig. 4. Output voltage from the lock-in amplifier as a function of the input power from a blackbody radiation source.

を示す。この傾きが検出感度である。最小2乗法に依り求めた検出感度は、20 μm フィルターを使用した場合 95.5 V/ μW 、27 μm フィルターの場合は 185 V/ μW である。

4. 今後の計画

本年度は引き続き FEL と関連装置の改造を進める予定である。電子銃を新型に交換して通常の運転に使用する。この電子銃でそのまま FEL の発振ができる可能性がある。その場合は通常の実験ジュールに FEL 開発研究や試験的な利用実験を組み込むことが出来る。そうでない場合でも現状に比べ非常に短時間で電子銃の交換が出来るようにする。

長波長側で問題になる回折損失を少なくするために反射鏡の直径を 60mm から 80mm に変えると共に光共振器部の真空チェンバーの内法を大きくする。現在、回折損失を決めているのは上流と下流の偏向磁石部の真空チェンバーである。これらの問題を解決するために、偏向磁石の改造、ウイグラー部を除く光鏡振器の真空チェンバーの更新、反射鏡ステージの更新を計画している。

また、利用実験に向けて、自由電子レーザーの再現性の向上と運転の容易さを目指して計算機制御システムの導入を検討している。

参考文献

- [1] S. Okuda, Y. Honda, N. Kimura, J. Ohkuma, T. Yamamoto, S. Suemine, T. Okada, S. Ishida, T. Yamamoto, S. Takeda, K. Tsumori and T. Hori, Nucl. Instr. Meth. **A358** (1995) 244.
- [2] S. Okuda, S. Ishida, G. Isoyama, Y. Honda and R. Kato, Nucl. Instr. Meth. **A375** (1996) 329.