

Present Status of FEL Experiment at ETL

T. Yamazaki, T. Nakamura, S. Sugiyama, T. Tomimasu, T. Mikado, M. Chiwaki,
R. Suzuki, T. Noguchi, S. Sato,^A and H. Usami^B

Electrotechnical Laboratory

Mitsubishi Electric Co.

Sumitomo Electric Industries, Ltd.

ABSTRACT

Outline is presented of recent progress in the free electron laser experiment at ETL. A modification of ETL-TOK (transverse optical klystron) has decreased the degradation of spontaneous-emission spectrum due to anomalous energy spread of the electron beam, but with a small displacement of the stored-beam orbit. Measurement of optical-cavity loss is described briefly. Some tests on RF-KO are being carried out in order to reduce the bunch number of the stored beam from 18 to 3. Preparation for a gain measurement is under way.

電総研自由電子レーザー実験の現状

1. はじめに

自由電子レーザー (FEL) は次世代のレーザーとして世界中で注目・期待されている。当所では、FEL機器 (光クライストロン、TOK)、加速器 (電子蓄積リング)、及び光共振器といったFELの3大要素技術についての研究を中心に、蓄積リングFELの発振機構の解明と発振技術の開発を目的として研究が行われている。

2. 光クライストロン (TOK) の改造と自発放出光

当所の蓄積リングの場合は直線部が短いのでTOKを使用している。初期段階では大きなゲインを得ることを目標として、中央のdispersive sectionの磁場を大きくしていたが、蓄積ビームのエネルギー幅が予想以上に大きいため大電流領域ではかえってゲインを損する結果になったので中央部を改造した。改造後のTOK内での磁場分布の測定例と、217MeVの電子を入射した場合の電子の横方向の速度と軌道の計算結果を図1～3に示す。最終的な β_x は -8.6×10^{-4} 、 x は -9.9×10^{-1} mmと、改造前よりかなり大きくなっている。結果を見ると、誤差の原因の大半はTOK入口と出口付近にあり、その他の軌道の歪みは小さく0.2mm程度であることがわかり、FELの実験自体はこの軌道に合わせて行えばそれ程の支障は無い。リングへの入射には今のところ障害は起きていない。他のビームラインへの影響が問題であるが、現在は各偏向電磁石の補償コイルの電流を変化させて調整している。いざという時は、TOK入口と出口の半極磁石のギャップを少々変えることを考えている。改造後のTOKで得られた自発光スペクトル測定例を図4に

示す。改造前は平均電流14mAでさえ蓄積ビームのエネルギー幅増大のためTOKに特有な微細なパターンが極端に崩れていたが、改造後は28mAにおいてもスペクトルの形は良好である。しかし、この改造にはゲインを引き下げる他の要素もあるので妥協であると言える。図5に、実測スペクトルから求めたFELゲインとETL-TOKが全て通常のアンジュレータである場合のゲインの比を蓄積電流の関数として示す。大電流領域でのゲイン改善の様子が見える。

3. 光共振器

本研究のようにゲインが低いFEL実験の場合には光共振器損失を小さくすることが非常に重要である。日本真空光学社製の570~600nmに最適化された凹面誘電体多層膜ミラーについて減衰時間法によって損失を測定した結果例を図6に示す。以前よりは随分改良されているが、それでも目標の2倍以上の数値である。なお、現在はミラーを直接リングの直線部に組み込んで損失を測定するシステムを作っている。

4. 電子蓄積リング

FELゲインを上げるためには蓄積リングの運転条件を最適化することが必要なので、蓄積ビーム・パラメータの測定を行い、改

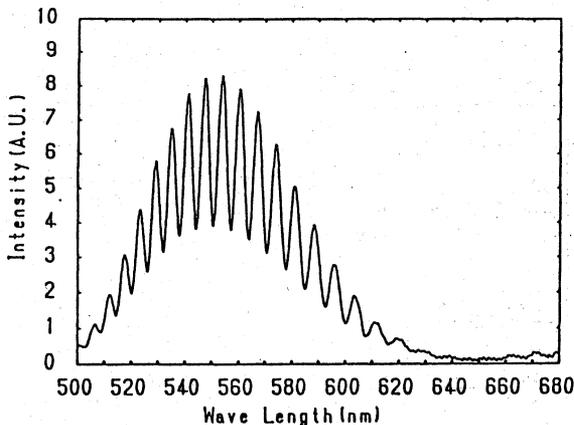


図4. 自発放出光スペクトル例

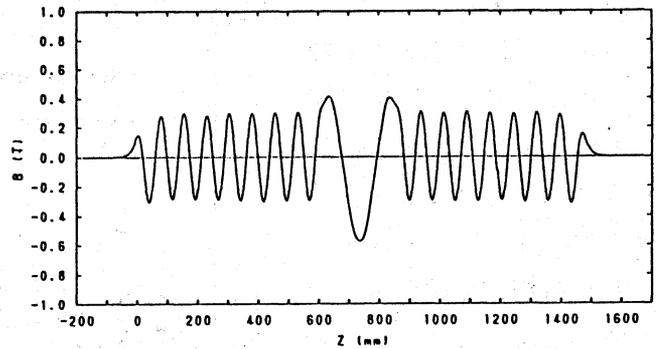


図1. TOK中での磁場分布

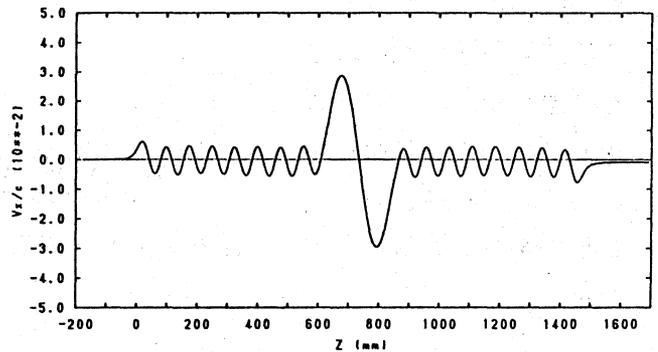


図2. TOK中での電子の横方向速度

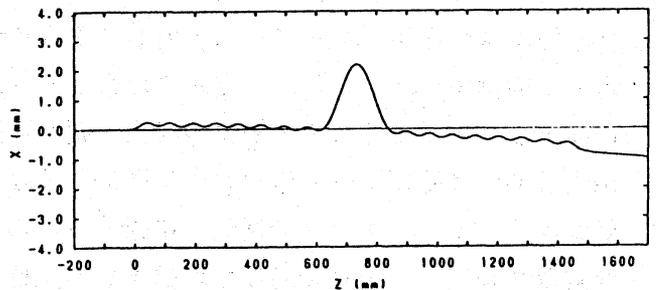


図3. TOK中での電子軌道

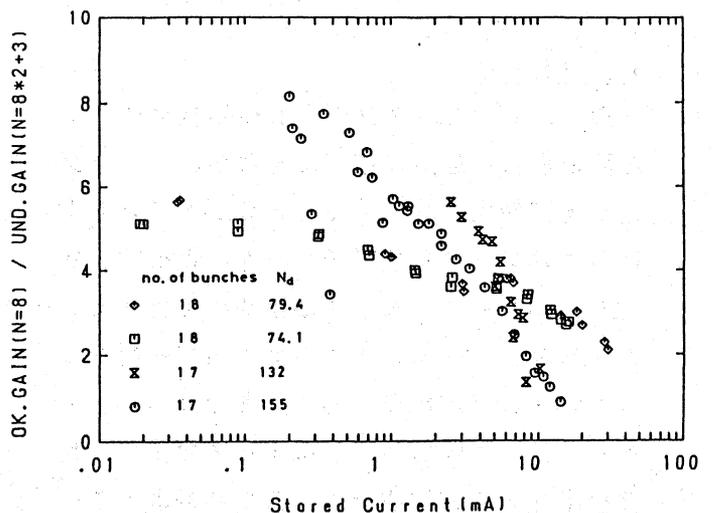


図5. TOKゲイン/アンジュレータゲイン

良の努力をしている。一方4. で述べるゲイン測定においては3バンチ運転が必要であるので、現在RF-KOの実験を行っている。図7にRF-KO前後の蓄積ビームの波形を示す。バンチ間隔は上図で5.8ns、下図で35.0nsである。測定系の応答速度が遅いために波形は悪いが、3バンチに落ちていることは明らかである。但、多少ビーム損失があり、改善の余地がある。

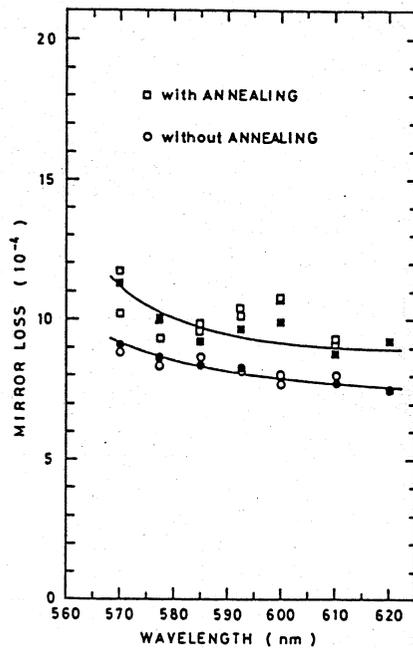


図6. ミラー損失測定例

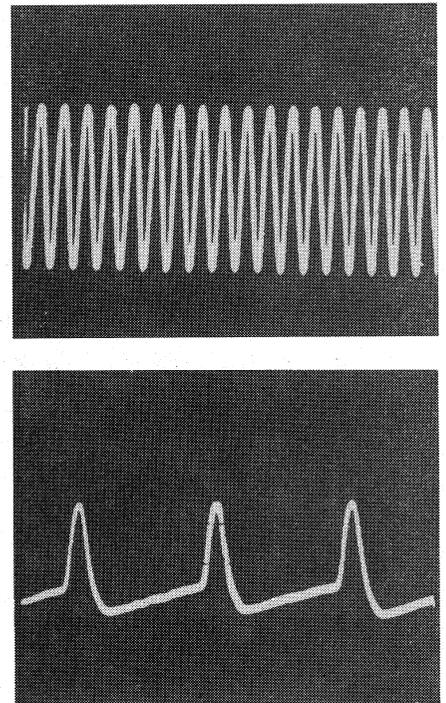


図7. RF-KO前後のバンチ波形

5. FELゲインの測定

当所では図8に示す実験配置で近々ゲインの測定を行う予定で、現在その準備を進めている。基本的には外部からレーザーを入射してTOKの中で電子ビームと相互作用をした場合の出力の増加を観測すればよいが、本実験の場合ゲインが非常に低いと予想され、また自発放射光も同時に検出器に入ってくるので多少の工夫を要する。入力レーザーは連続光であるが、増幅と自発放射光の発生は蓄積ビームのバンチに同期して起るのでバンチに相当する信号を参照信号として高周波ロックイン・アンプで選別・増幅する。増幅された成分と自発放射光とは、入力光をE/O変調器で変調し、それに同期した信号を参照信号として低周波ロックイン・アンプで選別する。ピンホールや出力側の分光器は自発放射光の成分を少なくするために用いる。

6. おわりに

以上、ETL-SRFELの現状について紙面の都合上簡単に述べてきたが、ゲイン測定が現在最大課題である。FELゲインを上げるには第一に蓄積電子ビームの質を向上させる必要があり、ピーク蓄積電流を上げることが勿論、ビーム・サイズエネルギー幅を小さくすることが重要である。また3バンチ・モードは、不要なバンチによって発生する自発放射光の高調波成分による光共振器ミラーの余計な劣化を防ぐためにも有用である。

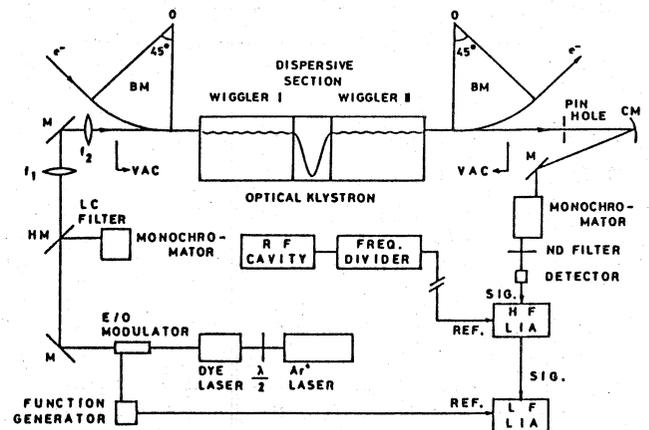


図9. ゲイン測定実験配置