

Measurement of spontaneous emission at the JAERI FEL

N. Nishimori, E.J. Minehara, M. Sugimoto, M. Sawamura, R. Nagai and K. Kikuzawa
 Japan Atomic Energy Research Institute
 2-4 Shirane, Shirakata, Tokai, Naka, Ibaraki 319-11, Japan

ABSTRACT

Adjustment of FEL cavity condition is one of the most important things to achieve lasing. To obtain optimum condition, two measurements were made at the JAERI FEL. Tilts of upstream and downstream mirrors were adjusted to obtain large ratio between stored and single infrared light emission produced in the undulator using electron beam. The cavity length was determined within the accuracy of $1 \mu\text{m}$ by a measurement using an external Ti:sapphire laser.

原研 FEL 放射光測定実験

1 はじめに

JAERI FEL では、レーザー発振を目指して実験を続けている。発振に至らせるには、電子ビームの質も大切な要因の一つと考えられるが、今回は主に共振器系の緒条件を押える実験を行ってきた。実験としては、1) 放射光の共振器ミラー間での往復を観測し、計算通りの往復が見られるか確認すること(共振器ミラーの傾きを調整することに対応)、2) 共振器ミラー間の距離測定を精度よく行なうことである。以下に、実験方法、測定結果をまとめる。

2 FEL 放射光測定

14 MeV の電子ビームを undulator に通し、生成される $30\sim 40 \mu\text{m}$ の放射光を 15ϕ の横はねミラーで取り出し、Ge:Cu 検出器で測定して得られたスペクトルを Fig. 1 に示す。上が蓄積光出力で、下がシングル光出力である。およそ、10 倍程度の増加が観測されている。また、光出力の大きさを、横はねミラー位置を変えて調べた結果が、Fig. 2 である。共振器ミラーと、電子ビームの通し方を調整しないとこのようなシングルピークの山は得られない。

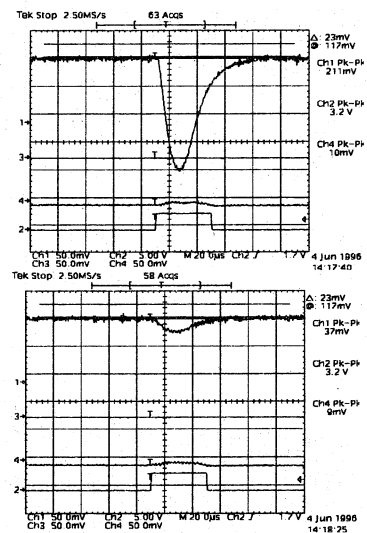


Fig. 1: エネルギー 14 MeV : マクロパルス幅 $30 \mu\text{sec}$ の電子ビームを undulator 中を通し、 $30\sim 40 \mu\text{m}$ の放射光を生成し、 15ϕ の横はねミラーで取り出して Ge:Cu 検出器で測定して得られたスペクトル。蓄積放射光出力(上)とシングル放射光出力(下)。

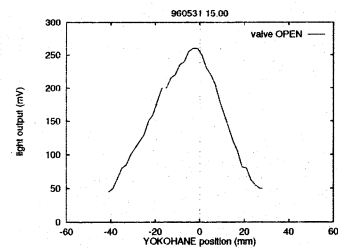


Fig. 2: 光出力の横はねミラー位置依存性。縦軸が光出力で、横軸が横はねミラーの位置を表す。

3 共振器ミラー間距離測定

実験のセットアップは Fig. 3の通りである。波長 790 nm、幅 80 fs、周波数 83.300 MHz のモード同期 Ti:sapphire レーザービームを、下流共振器ミラーの 2 mmφの穴から入射し、共振器ミラー間で貯め込まれた光を同じ 2 mmφの穴から取り出す。この光をハーフミラーを使って、入射レーザービームの影響のないところに導き、Streak Camera、あるいは Photo Diode を使って測定する。

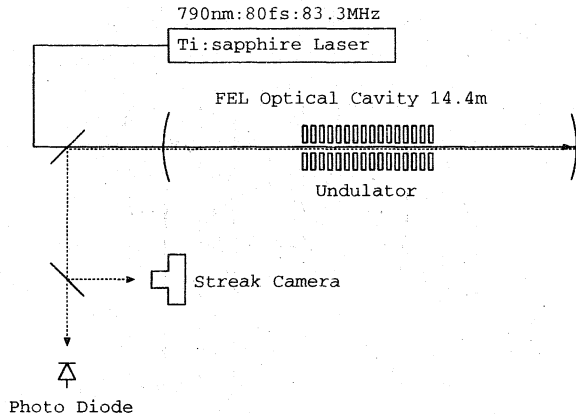


Fig. 3: 共振器ミラー間距離測定のセットアップ。Ti:sapphire レーザーを下流ミラー hole から入射し、出てくる光を Streak Camera と Photo Diode で測定する。

3.1 Streak Camera のスペクトル

2 φの穴から入射したレーザービームは、上流ミラーによる反射で戻り、一部はそのまま 2 φの穴を通じて外へ抜け、他は下流のミラーで反射される。下流で反射された光は、再び上流で反射され戻って来て、一部が外へ抜けるというプロセスを、光がなくなるまで繰り返す。仮に、共振器ミラー間の光の往復時間を $t+\Delta t$ とすると、 n 回往復した光が共振器から出て来るまでの時間は、 $n(t+\Delta t)$ となる。ここで、 t を 14.4 m の距離を光が往復するのに要する時間であると、距離のずれに伴う往復時間のずれを Δt とした。Streak Camera は 83.3 MHz で trigger がかけられている。 $t = 8/(83.300 \text{ MHz})$ となるので、Streak Camera で観測される時間は、 n 回往復した光に対して $n\Delta t$ となる。Fig. 4は、共振器ミラー間距離がおよそ 3 mm ずれた時に観測された、Streak Camera のスペクトルである。往復回数と共に、時間がずれていくのがわかる。このスペクトルは他にも様々な情報を提供し、共振器ミラー間を光が 20 回以上往復することや、光は一度多量に出ると、しばらく出て来ないことなどがわかった。

共振器間距離を徐々に縮めながら、Streak Camera のスペクトルを観測した結果を表しているのが、Fig. 5である。距離が長い時にはプラスの方向に広がって

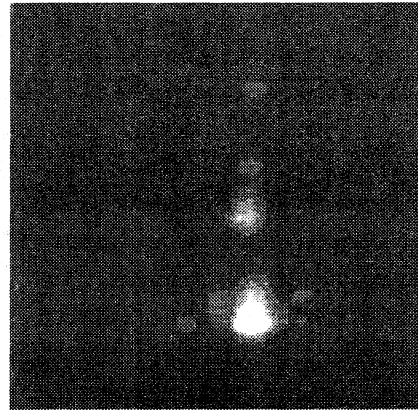


Fig. 4: Streak Camera で観測された、共振器からの光のスペクトル。縦軸が trigger がかかってからの時間で、横軸が slit の幅に対応する。時間軸の方向は下から上である。共振器ミラー間隔はおよそ 3 mm 長い状態で、往復回数の大きいもの程ずれがプラス方向に長くなることがわかる。

たスペクトルが、一致した時にはほぼ一つになり、短くなると逆にマイナスの方向に広がることがわかる。

Streak Camera の測定により、 $\pm 0.3 \text{ mm}$ 以下の精度で確実に距離を決定できたので、次に、Photo Diode を使った測定により、 $1 \mu\text{m}$ 以下の精度で距離決定を行った。

3.2 Photo Diode のスペクトル

$+0.3 \text{ mm}$ 程度と思われるところから $0.2 \mu\text{m}$ step で距離を短くしてゆき、オシロスコープの出力を観測した。始めは Fig. 6(上) のような出力が距離に関わりなく観測されるだけであったが、Resonance 距離の $10 \mu\text{m}$ 程手前から徐々に出力が大きくなり始め、距離の一致した時には Fig. 6(下) のようなスペクトルが観測された。このスペクトルの高さ、ミラー間距離の関係を plot したのが Fig. 7である。これまでに、Stanford で同様の測定がなされており (K.W. Berryman, P. Haar and B.A. Richman NIM A358, 260, (1995))、Resonance がおきた時の光の enhancement は、彼らの測定とほぼ同じであった。

始めは苦労したが、慣れて来ると $100 \mu\text{m}$ step で動かしても光の enhance がオシロスコープ上で瞬間的に観測されることから、簡単に resonance 点を見つけることができるようになった。尚、この測定は空気中だけでなく真空中でも行ない、光の波長の変化に伴う光速のずれにより、約 3.9 mm 両者の測定結果が異なることも確認した。

4 まとめ

電子ビームを undulator 中を通して、 $30\sim 40\ \mu\text{m}$ の遠赤外光の放射光を発生させ、横はねミラーを使って取り出し、光出力の観測を行なった。上下流ミラーの傾きの調整後、シングル光出力と、蓄積光出力の比は計算値とほぼ一致した。また、共振器ミラー間の距離測定を、モード同期 Ti:sapphire レーザーを利用して $1\ \mu\text{m}$ 以下の精度で行なった。現在、共振器ミラーの $2\ \phi$ の穴から光を取り出し、発振実験を続けている。

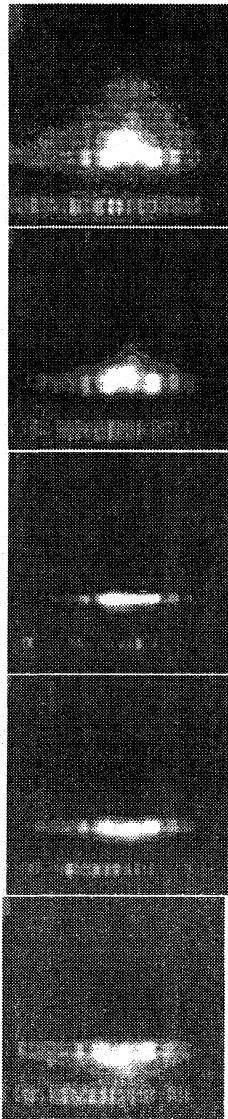


Fig. 5: 共振器ミラー間距離を変化させた時に Streak Camera で観測されたスペクトル。距離が長い方にずれている時をプラスとすると、ずれは上から $+1.13\ \text{mm}$, $+0.55\ \text{mm}$, $0.00\ \text{mm}$, $-0.19\ \text{mm}$, $-0.45\ \text{mm}$ である。

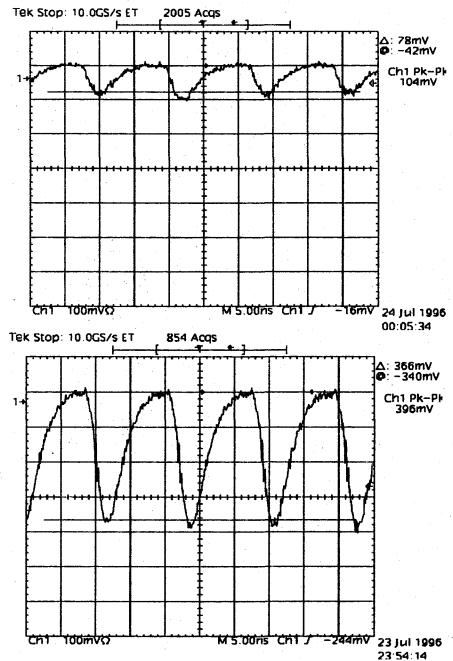


Fig. 6: Photo diode のスペクトル。上：中心から $110\ \mu\text{m}$ 共振器ミラー間隔が長い時。下：中心。

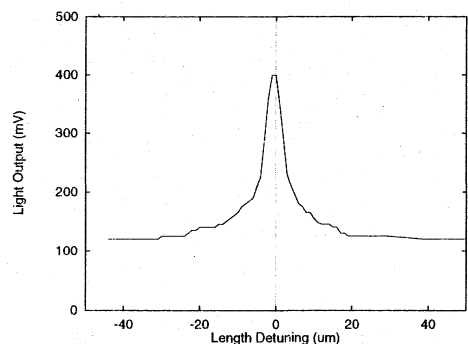


Fig. 7: 共振器ミラー間隔の違いによる光出力の変化を Photo diode で測定した結果。バックグラウンドに対して 3 倍以上の enhancement が Resonance で見られた。共振器間を真空に引いた後の測定結果。