

AN EXPERIMENTAL STUDY ON FREE ELECTRON LASER AT JAERI LINAC

K. Mashiko, Y. Kawarasaki, M. Ohkubo, M. Mizumoto, Y. Nobusaka, N. Ishizaki
H. Ohashi*, H. Kobayashi*, T. Ueda*, T. Kobayashi*, C. Tsukishima* and S. Kondo*

Department of Physics, JAERI

*Faculty of Engineering, University of Tokyo

ABSTRACT

The spontaneous emission of radiation with a visible wavelength was tested at the 120 MeV electron linac. The experiment was carried out using a simple constant parameter wiggler with the period of 4 cm and 40 cm in length. The electron beam was adjusted within the energy resolution of 1.7 % and the peak current of 12 mA.

原研リニアックによる自由電子レーザー (FEL) 実験

はじめに

原研120MeV電子線型加速器 (リニアック) によるFEL実験は、東大・工・原施と原研物理部との共同で行い、相対論的電子ビームから光の波長 590nmの自発放射光をモノクロメーターで観測し、リング状の光の写真撮影を行った。又、シンクロトロン放射光強度との比較も行った。この実験は、東大・工・原施の光学測定装置と波長 4cmで10周期のウィグラーマグネットをリニアック本体の直線加速部より 5° 偏向したTRビーム伝送系 (TR系) に接続して行った。加速電子ビームは、エネルギー 126.7 ± 0.85 MeV、尖頭電流12mAでウィグラーマグネット入力のビーム形状は6X5mmの楕円形であった。この実験について報告する。

1. 自発放射光実験装置

自発放射光測定実験体系図をFig. 1に示す。

電子ビーム系の実験装置は、リニアック第5加速管出口直線部から BM1 (偏向電磁石) により

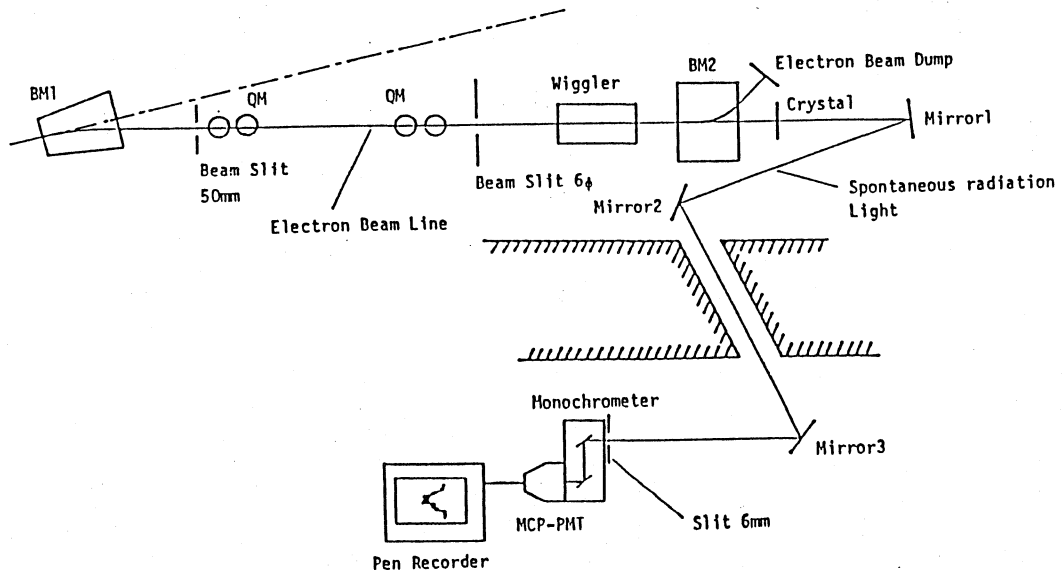


Fig. 1 自発放射光測定体系

5° 右側に偏向したTR系出力窓フランジに接続した。TR系には、加速ビームのエミッタンスを良くするため入口に幅50mmの Beam Slitと出口に穴径 6mmφの Beam Slitを入れてあり、直線部全長は10.98mである。又、この系のQM (4極電磁石) 5台は、加速ビームのエネルギースペクトラムを狭い幅に維持する必要から、FEL実験中は使用を停止した。これらの条件によって、この系のエネルギー幅測定の分解能は 0.628%となっている。

TR系に接続されたビーム系実験装置は、入力側に可動反射ミラー内臓の位置精度モニターチェンバーと、その後にウイグラーチェンバー (断面幅外径50mm, 厚さ14mm, 長さ1.2m), 波長 4cmで10周期の Wiggler及び、最大0.7Tの BM2 (偏向電磁石), 水冷式ビームキャッチャーなどが配置されている。

光学測定系は、ウイグラーチェンバーの Crystal窓を通して放射される光を、Mirror 1,2を通してTRターゲット室の厚さ3mのシールドコンクリートから外部に導き、Mirror 3で光が 6mmの Slitを通して Monochrometerに入射するよう配置した。

自発放射光の写真撮影のときは、Monochrometerの位置から望遠レンズ付カメラで撮影した。このときは、Mirror 1をf=1000mmの凹面鏡に換えて行った。

2. リニアックの加速ビーム

加速ビームのエネルギースペクトラムの幅を 1%程度とするために、加速管への入射ビーム電流をパルス幅1μs (全幅), パルス繰返し 12.5pps, 尖頭電流 160mAで一定電流とした。

加速ビームのエネルギー調整は、ウイグラーチェンバー直線部にビームキャッチャーを置き、穴径 6mmφの Beam Slitを最も多く加速ビームが通過するように、電子銃, プリバンチャー, バンチャー, 5本の加速管の集束電流, マイクロ波位相, マイクロ波パルスタイミングなどを調整した。この結果、自発放射光発生時の加速ビームは Fig. 2に示すエネルギースペクトラムが得られた。電子エネルギー126.7MeV, 尖頭電流12mA, パルス幅0.4μs (半値幅), パルス繰返し 12.5pps でエネルギースペクトラムは 1.7% (半値幅)であった。ウイグラー通過の加速ビーム波形を Fig. 3に示す。加速ビームの形状は、ウイグラー磁場のないときウイグラーチェンバー入口で X=6mm, Y=5mm で、出力窓では X=7mm, Y=5.5mm の楕円形で約1.3m走行してX方向 1mm,

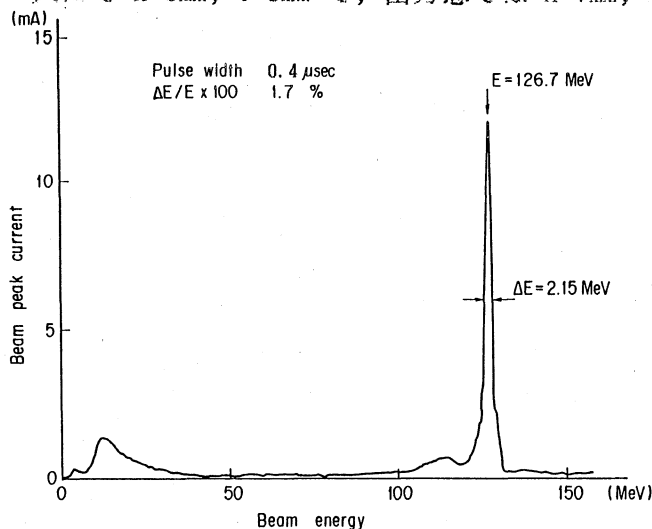
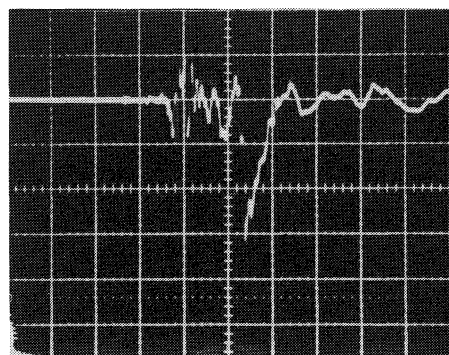


Fig. 2 Energy Resolution of JAERI LINAC



X-Axis 1μs/div, Y-Axis 0.2V/div
Fig. 3 Waveform of Beam Current

Y方向 0.5mmの拡がりであった。ビームスポットは、RADCOLOR FILM で記録して寸法を測定した。

3. 実験結果

FEL実験は昭和61年12月，昭和62年 1月の2回行い，ビームタイムは28時間であった。実験パラメータを Table 1に，光のスペクトル測定結果を Fig.4に示す。

理論から予想されるスペクトルの中心波長590nm，半値幅 29.5nmに対して，測定値は，中心波長590nm，半値幅135nmであった。半値幅Homogeneous Broadening 29.5nmの 4.58倍となっているのは，ビームのエネルギー分散，エミッタンス，磁場精度などの効果によるものと考えられる。

これらの効果を検討して Table 2に示す結果を得た。従って，Inhomogeneous Broadening は $\Delta\lambda = 2.35\sigma\lambda = 143\text{nm}$ と計算され，実測値と良い一致を示した。

自発放射光の写真撮影では，リング状の放射スペクトルが観測された。リングの中心は，黄色で外側へ行くにつれて波長が長くなり赤へと変化している。更に外側では，2倍高調波である青，緑のリングが見られた。

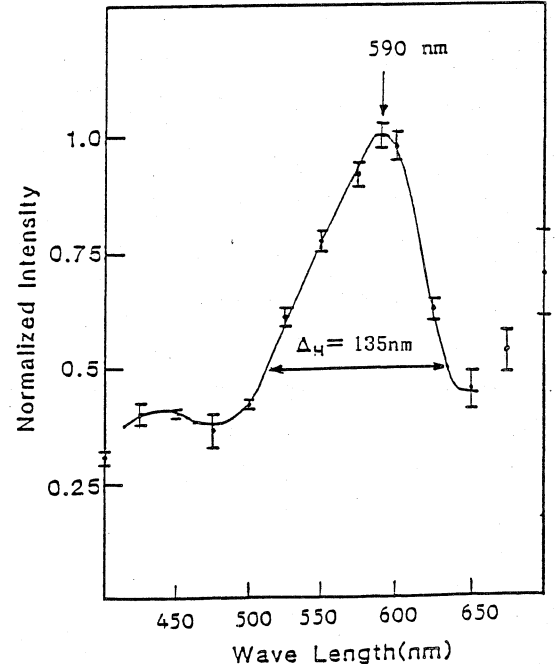
ウィグラー出口の BM2 (偏向電磁石) によるシンクロトロン放射光強度は，Monochrometer の測定強度から自発放射光より2桁以上小さいことが観測された。

Fig. 4 自発放射光測定スペクトラム

| Wiggler | Wave Length : λ_w | 4 | cm |
|-----------------------|--|-------|---------------|
| | Max Magnetic Field on Axis : B_w | 0.351 | T |
| | Wiggler Parameter : K | 0.926 | |
| | Number of Period : N_w | 10 | |
| Electron Beam | Energy : E | 126.7 | MeV |
| | Lorentz Factor : γ | 248.9 | |
| | Current : I | 12 | mA |
| | Spectrum Band Width : $\Delta E/E$ | 1.7 | % |
| | Pulse Width | 0.4 | μs |
| | Beam Size | 6X5 | mm (in) |
| | | 7X5.5 | mm (out) |
| Spontaneous Radiation | Peak Wave Length : λ_{sp} | 590 | nm |
| | Homogeneous Band Width : $\Delta\lambda/\lambda$ | 29.5 | nm |

Table 2

| | | |
|---|------------|---------|
| Energy Dispersion | σ_E | = 0.014 |
| Emittance / Beam Diameter | σ_r | = 0.101 |
| Magnetic Field Accuracy | σ_B | = 0.013 |
| $\sigma(\text{Inhomogeneous}) = (\sigma_E^2 + \sigma_r^2 + \sigma_B^2)^{1/2} = 0.103$ | | |



4. まとめ

(1) 自発放射光スペクトルを観測した。スペクトル幅に対してInhomogeneous Broadeningが支配的であり，FEL特性の評価において検討が必要である。

(2) 自発放射光の写真撮影を行いリング状の放射スペクトルを得た。

(3) 偏向電磁石によるシンクロトロン放射光強度は，ウィグラー中の自発放射光より2桁以上小さいことを確認した。

(4) 小型ウィグラーによる自発放射光からリニアック特性の精密評価が容易に可能である。