

# NLPR 法を用いたモード同期 Yb ファイバーレーザーの開発

## DEVELOPMENT OF A MODE-LOCKED Yb FIBER LASER BASED ON NLPR

鈴木里佳<sup>#,A)</sup>, 坂本瑞樹<sup>A)</sup>, 坂上和之<sup>A)</sup>, 鷲尾方一<sup>A)</sup>  
Rika Suzuki<sup>#,A)</sup>, Mizuki Sakamoto<sup>A)</sup>, Kazuyuki Sakaue<sup>A)</sup>, Masakazu Washio<sup>A)</sup>  
<sup>A)</sup> Reseach Institute for Science and Engineering, Waseda University (RISE)

### Abstract

We have been studying a high quality electron beam by a laser photocathode RF gun at Waseda University. Initiate electron beam profiles generated by our gun depends on an incident laser pulse which irradiating a photocathode. For this reason, we started to develop a new laser system in order to obtain higher quality beams. A UV laser system of our gun consists of four parts which are a seed part, a pulse train picker part, an amplification part, and a frequency conversion part. In this system, we eventually generate 262nm UV pulses, a photocathode irradiated by UV pulse, and produces electrons. For upgrading this system, we decided to improve the seed part. As the seed part, we have been developing a mode-locked Yb-doped fiber laser based on NLPR (Non-Linear Polarization Rotation). We have already succeeded in generating 81.8mW average power and 574fs pulses of 0.69nJ energy at repetition rate of 119MHz resulting in a peak power of 1.2kW. The spectrum band-width was 19.1nm. Moreover, we performed synchronization with our RF system. In this paper, we will report our laser system, experimental results of mode-locked laser, and future prospects.

### 1. はじめに

高品質ビームを得ることは様々な分野で要求されている課題の一つである。その分野は高エネルギー物理学や素粒子物理学、放射線化学、微細加工技術、医学などがあり、非常に幅広い。そこで早稲田大学鷲尾研究室ではレーザーフォトカソード RF(Radio Frequency)電子銃を用い、コンパクトな電子ビーム発生装置による高品質電子ビームの生成、及びその応用研究を行っている。レーザーフォトカソード RF 電子銃の初期パラメータはカソードに照射するレーザーパルスの形状によって決定されるため、我々はより高品質な電子ビームを得るためにフォト

カソード照射用レーザー光の開発に着手した。現在の早稲田大学の Fig.1 に示すように UV レーザーシステムはシード部、パルス切り出し部、パルス増幅部、波長変換部から構成されている。最終的に 262nm のピコ秒 UV 光を生成し、フォトカソードから電子を取り出す。[1]このシステムの高度化のためにまずはレーザーパルス形状、スペクトル幅を決定するシード部の改良を行った。小型かつ自在に変更が可能であり、フェムト秒の時間幅と十分なスペクトル線幅を期待できるファイバーレーザーを使用し、NLPR(Non-Linear Polarization Rotation)法を用いたモード同期 Yb ファイバーレーザーを用いている。本稿では発振器の製作状況、現在加速器高周波との同期及び今後の展望について述べる。

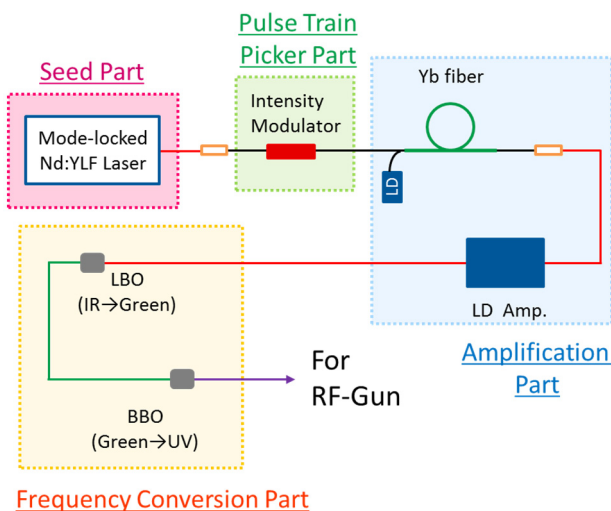


Figure 1: Present UV laser system.

### 2. NLPR 法モード同期 Yb ファイバーレーザーシステム

発振器では短パルス生成方法としてモード同期法を採用しており、NLPR 法を用いることでモード同期を引き起こしている。NLPR 法とは非線形光学効果により偏光状態が強度に依存して変化することを利用してモード同期を引き起こす短パルス生成方法である。NLPR 法の概念図を Fig.2 に示す。

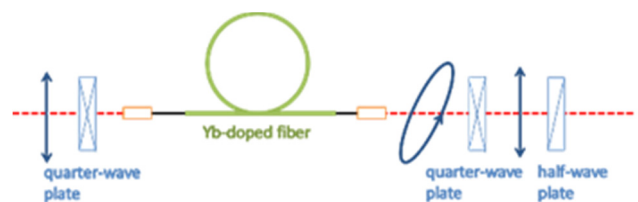


Figure 2: Schematic of NLPR mode-locking.

<sup>#</sup> r-suzuki@akane.waseda.jp

Fig.2 の偏光制御器を用い、光強度の強いパルスの中心部分のみ通過し、弱い部分が通過しないように調整することで短パルスを生成する。[2]

NLPR 法を使用し、構築した光学系を Fig.3 に示す。

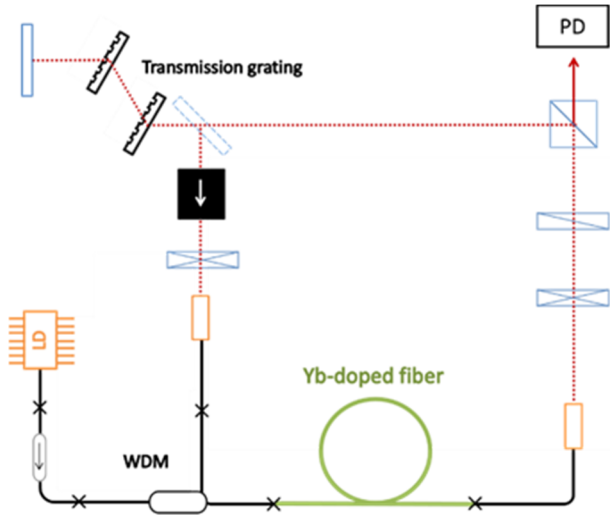


Figure 3: Optical layout of Yb fiber laser.

975nm のレーザーダイオードを用いてファイバ中の Yb を励起している。パルス圧縮には透過型回折格子を用いている。また、回折格子後にある反射ミラーにピエゾを取り付け、マイクロメータステージに乗せることで共振器長を調整し、繰り返し周波数を制御することができる。Fig.4 にモード同期発振を確認したオシロスコープ画面を示す。青線はフォトダイオードで見た光強度で、赤線はその FFT になっている。この結果、119MHz で発振していることがわかる。このときの平均出力は 81.8mW であり、1パルスあたりのエネルギーは 0.69nJ であった。Fig.5 はスペクトル測定の結果であり、中心波長 1032nm、スペクトル幅は 19.1nm という値が得られた。ここで、グラフ内の赤いラインはスペクトルの測定値であり、緑色のラインは測定値をガウシアン近似した結果である。このガウシアン近似したスペクトルからファイバ内で生じた分散がすべて補償されたと仮定されたパルス幅であるフーリエ限界パルス幅を式(1)から求めると 82fs が得られる。ただし、 $\nu$  は周波数帯域である。

実際のパルス幅はオートコリレータで測定した結果 574fs であったため、パルス圧縮器による分散補償が十分ではないことが伺える。回折格子間の距離を最適化することや外部圧縮器の導入による高次分散を補償することが課題として挙げられる。また、これらの結果からパルスのピークパワーを求めると 1.2kW であった。

$$\Delta t \Delta \nu \leq 0.411 \quad (1)$$

さらにレーザープロファイルとして Fig.6 が得られた。

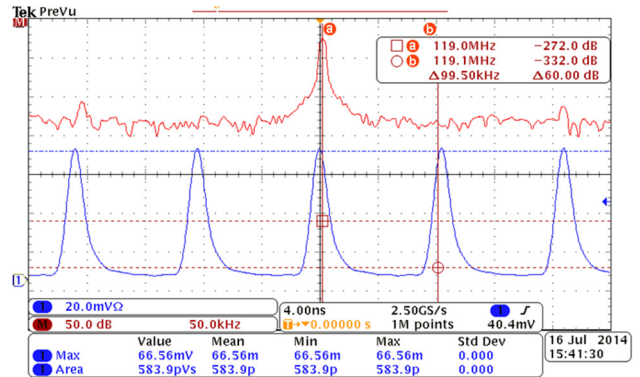


Figure 4: Waveform of mode-locked pulse laser detected by photodiode. Blue line shows temporal change of laser pulses. Red line shows FFT waveform.

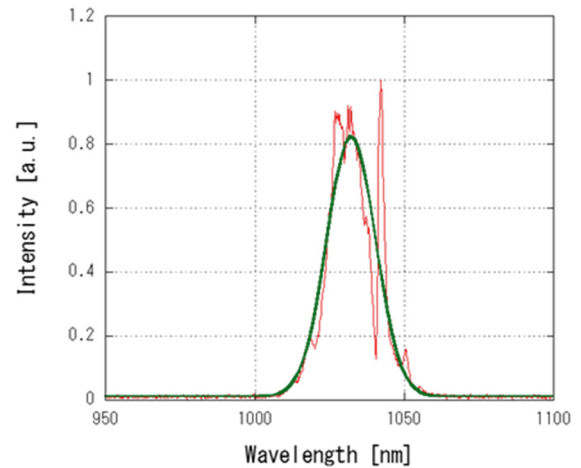


Figure 5: Spectrum of mode-locked laser experiment is red line. Green line shows spectrum fitted by Gaussian.

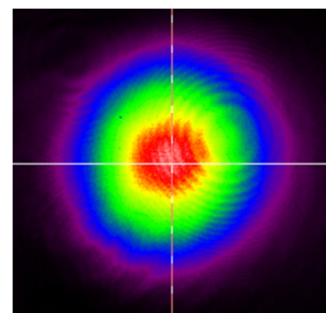


Figure 6: Laser profiles.

M スクエアを求めたところ、x 方向、y 方向ともに 1.14 という値が得られた。

### 3. タイミングシステム

Fig.3 に示した発振器と加速器周波数との同期精度確認のため PLL(Phase Locked Loop)回路を構築した。Fig.7 に PLL によるタイミングシステムを示す。

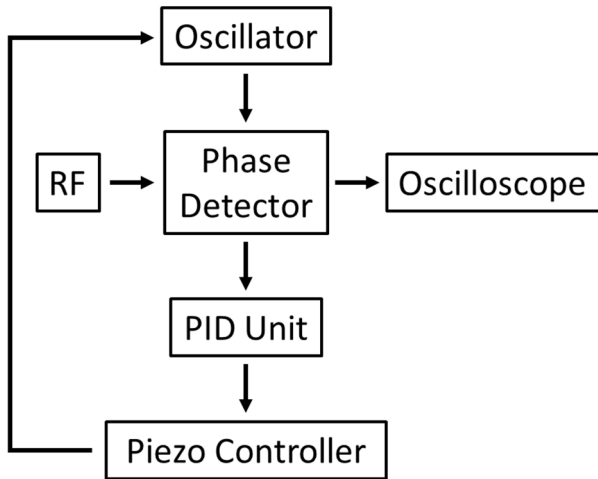


Figure 7: Timing system for synchronization.

開発したシード光であるオシレータから得られた信号光と加速器周波数の RF の位相差を位相比較器により検出し、その位相差を埋めるように PID 制御回路と Piezo コントローラからなる電圧制御回路を使用し、Piezo に適切な電圧値をかけることで Piezo を動作させ、フィードバックをかける。

その結果 5.9ps(rms) という同期精度が得られた。まずはタイミング同期可能であることは確認したが、同期精度は十分ではなかった。今回 Piezo に取り付けられた反射ミラーは大きなミラーで Piezo に対して重いものであるため、Piezo に過度の負荷がかかってしまっていたことが原因であると考えられる。

### 4. まとめと今後

新たな UV レーザーシステムのシード部として、ファイバーレーザーを使用し、NLPR 法を用いたモード同期 Yb ファイバーレーザーの開発を行った。この結果、繰り返し周波数 119MHz にてモード同期発振していることを確認している。スペクトル幅は 19.1nm であり、中心波長は 1032nm であった。このときの平均出力は 81.8mW であるため、1 パルスあたりのエネルギー 0.69nJ である。またパルス幅は 574fs であった。これらからピークパワーは 1.2kW と推定される。さらに M スクエアは 1.14 である。フーリエ限界パルスと実際のパルス幅の差から分散補償が十分でないと考えられるため、今後は回折格子間距離の最適化や高次分散補償について検討していく必要がある。

また、PLL 回路により、発振器と加速器周波数との同期精度確認も行った。その結果、5.9ps という同期精度が得られた。現在の使用されているシード部は 0.3~0.7ps の同期精度であるため、発振器を改良し、この同期精度に近づけ、さらには現在のシード部以上の同期精度を目指す必要がある。Piezo に

取り付けられた反射ミラーは Piezo に対して重いものであるため、Piezo に過度の負荷がかかってしまったことが同期精度の向上につながらなかった原因として考えられる。今後は Piezo にて動かす反射ミラーを薄くし、Piezo への負荷を少なくすることで同期精度の向上を行っていく予定である。

### 参考文献

- [1] Y.Yokoyama et al., Proc. of IPAC'10, THPEC031 (2010).
- [2] K.Sumimura et al., IEICE Ele. Exp., Vol.3, No.11, 233-237.