

## Improvement of KEK-ATF Damping Ring Laser Wire System for Measurement of Beam Size and Emittance

Hiroataka Shimizu<sup>1,A)</sup>, Sakae Araki<sup>A)</sup>, Yosuke Honda<sup>A)</sup>  
Kazuyuki Sakaue<sup>B)</sup>, Nobuhiro Terunuma<sup>A)</sup>, Junji Urakawa<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

<sup>B)</sup> Research Institute for Science and Engineering, Waseda University

Kikui-cho, Shinjuku-ku, Tokyo, 162-0044

### Abstract

Upgrade of KEK-ATF damping ring laser wire system is considered. During last operation period, we observed the beam size in vertical direction, and constantly obtained less than 10pm emittance. But it is appeared that the tuning condition of the ring became much better, and current laser wire system reached to its resolution limit. One possibility to improve this situation is using higher order mode of stacked laser, and seems necessary to reinforce the injection laser intensity. Achieving that requirement and also shortening required beam time, we are demonstrating amplification of 532nm laser with Yb-doped fiber. This is the status report of developing quite stable, and high intensity green laser generation system.

## KEK-ATF ダンピングリングにおける Laser-Wire システムによる Beam Size 及び Emittance 測定とその改良

### 1. はじめに

昨年10月からの運転期間中、KEK-ATF ダンピングリング内に設置された laser wire system を用いた beam size 測定を継続的に行った。この結果、ダンピングリングの縦方向エミッタンスとして、概ね10pm以下の値が観測された。しかし共振器内の laser waist の典型的な太さ  $6.5\mu\text{m}$  に対して、観測される電子ビームと laser との畳み込み積の大きさが  $9\mu\text{m}$  程度と、現状のシステムが測定限界に到達している事が明らかになった。この状況を打開する方法として、基本モード(TEM00-mode)ではなく、高次のモード(TEM01-mode)を利用した beam size 測定が提案されている。しかしこの高次モードを利用する測定では、共振器内に蓄積されるレーザーの強度が基本モード測定時に比べて6割程度以下に減少する事が知られており、これに伴うS/N比の大幅な悪化を招く事になる。即ち、高分解能を目指した高次モード測定への移行には、レーザー強度の増強が不可欠であると考えられる。このレーザー強度の増強に関しては、357MHzで周回する電子ビームバンチに対して、信号 $\gamma$ 線が10kHz程度の割合でしか得られていない現在の状況から見ても、非常に有用な改善点である事がわかる。

では実際にどの様にしてレーザーの強度を上げるかを考える。大きく分けて二つの方法があり、使用するレーザーの強度そのものを強くする方法と、共振器内に蓄積される強度のみを増加する方法である。

後者の方法は、共振器に使用する凹面鏡の反射率を上げる事で達成されるが、その反動として共振条件の長時間保持が飛躍的に難しくなると言う欠点がある。正確な beam size 測定には共振状態にある cavity を安定に保つ事が必須である為、われわれはレーザー光(532nm)の強度そのものを上げる事を目的とした基礎実験を開始した。基本的なアイデアとしては、最近提唱された fiber Amp を用いた self-start cavity の特性を活かしたもので、次章以下でこの内容を含め、我々が行った実験に関して、順次詳しく説明を行う。

### 2. Self-Start Cavity 実験の概要

laser 蓄積技術の向上により、増大率が1000程度の光共振器が実際の実験に用いられているが、多くの場合共振条件保持の為に、piezo素子を利用した feed-back 制御が用いられており、ナノメートルを越える微細な精度での鏡の位置制御が要求される。これに対して、Ybが添加された fiber 増幅器の大きな増幅力に着目した self-start 型の共振器システムが提唱されている<sup>[1]</sup>。これは共振器と fiber amp 部分が、連結された一つの閉じた光路を形成しており、まず WDM で連結された LD により励起された光の自然放出が種光となって光路を循環し始める。途中光共振器や fiber 間接続といった loss を生じる部分乗り越え、再び fiber amp 部分に戻ってきた光のみが誘導放出により増幅され、光路へと送り出される。

<sup>1</sup> E-mail: hiroataka@post.kek.jp

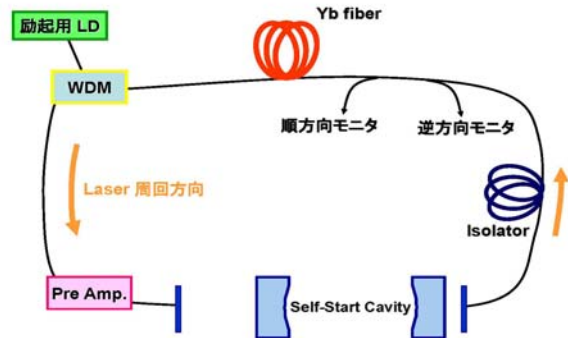


図1 : self-start cavity 回路

ここで注目すべきは、系によって選択された(一定のloss閾値を越えて再びamp部分に帰還した)光が勝手に増幅されていく点であり、外部からの制御機構を一切必要としていない点である。

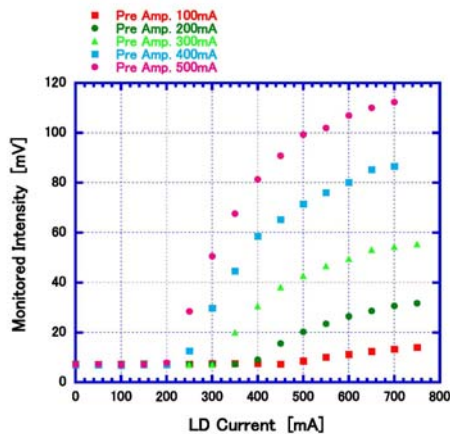


図2 : LD電流と発振状態の変化

図2に図1の回路を使って実際に光発振させた結果のグラフを示す。LDに通電する電流値の増加に伴って発振が始まっている様子がわかる。我々の目的としては532nmのレーザーを作りたいので、self-start cavity内にSHG結晶を置く事により、自己発振の過程で共振器内に蓄積される高強度の赤外線レーザーを532nmの波長に変換して取り出す事を考える。一旦発振が始まったself-start cavityは、振動や騒音に対して極めて強い耐性を持ち、LDへの通電を止めない限り発振は停止しない。この安定な特性から、green laser光源として用いる事は非常に有効であると考えられるが、以下に示す問題点がある事に気が付く。

これまで述べてきた様にself-start方式では、光路一周分のlossを上回って循環して来た光であれば自動的に発振を開始する事が出来、外部からのmode selectionの機構は一切入っていない。(共振器を組む高反射率の鏡は特定の波長の光に合わせた誘電多層膜を有してはいるが、波長の異なる光は共振器内に蓄積されないだけで、fiberの供給するgainを占有する光の波長を特定する働きは持たない)一般にYb

fiberの増幅出来る波長帯は連続的に且つ広範囲に広がっており、このままではどの波長の光が共振器内に蓄積されるのかは発振が始まってみなければわからない。実際にはYb fiberは波長帯によってgainが異なるため、そのfiberが持つ最もgainの高い波長の光が一番自己発振する確率が高いと考えられる。効率良く532nmの光を生成するためには選択的に1064nmの赤外線を共振器内に蓄積する必要がある。Fiberが増幅出来る広い波長帯の中から1064nmの集中的に取り出すための工夫を以下に述べる。

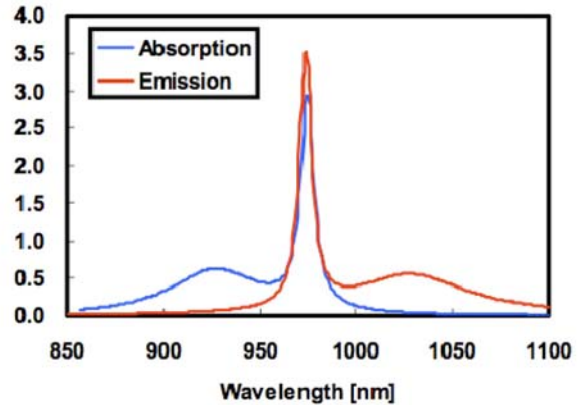


図3 : Yb fiberの吸収・放出特性の例

### 3. Weighted Self-Start Cavity 実験

前章で見た様に、self-start cavity内に1064nmの光を効率良く蓄積するには何らかのmode-selectionの工夫が必要である。図3に示されるように1064nm付近にもgainがあるため、自己発振に導く事は可能であると考えられる。我々は以下に述べる方法で自己発振光の狭帯域化に成功した。ここではfiber ampを二段用いた場合について説明する。

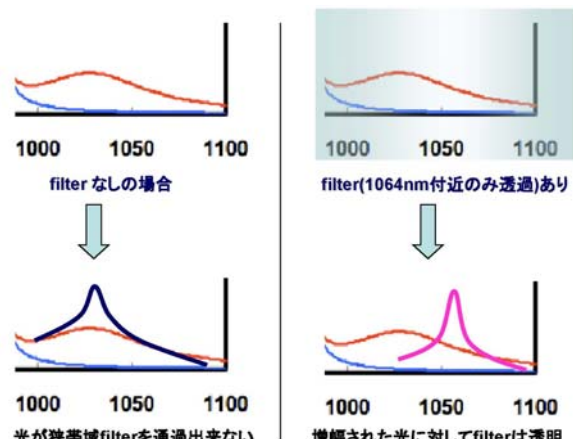


図4 : tunable filter を用いた選択的重み付け

図4左側に示した流れがこれまで述べてきた一般的なfiber ampの様子である。初段のYb fiberは何の制約も受けなため、自身の持つgain曲線に従って自然放出を開始する。それらの光が二段目のampに到着すると、初段でgainの一番高かった波長帯

(1040nm付近)の光が選択的に増幅される。このため2段目のampではgainがほぼ1040nm付近の光に占有され、1064nmの波長の光は放出されない。一方、図4右側に示したように、初段と二段目のampの間に1064nm付近の光を通すfilterを入れた場合、2段目のampに到達出来る光は選択的に重み付けられた1064nm付近の波長帯の光のみである。これらの光が2段目のampがもたらすgainを占有し、増強される仕組みである。

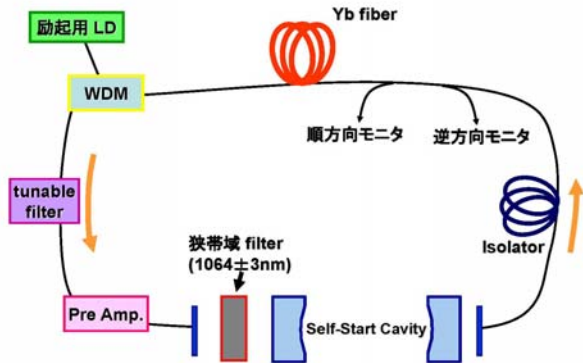


図5 : Weighted Self-Start Cavity実験の回路

上記の選択的重み付け方式を取り入れた光路を組んで、実際に実験を行った結果を紹介する。変更点としてはYb fiberとpre ampの間に可変filter(通過帯を1064nmに設定)を挿入した点と、共振器直前に1064nmを中心波長とする狭帯域filterを入れた点である。可変filterとpre ampで選択的に増幅された1064nm付近の光は狭帯域filterを透明に感じるのでlossを生じる事なく共振器へと進む。これらの光がloss閾値を越えて循環出来れば、回路内で自己発振している光は1064nmを中心波長として0.3%程度のばらつきを持った光に限られていると考える事が出来る。実際に発振実験を行った結果を図6に示す。

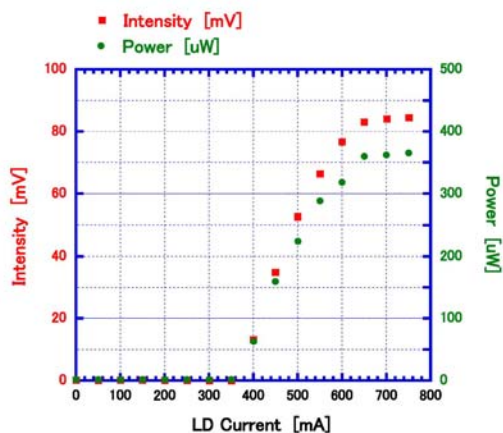


図6 : Weighted Self-Start Cavity実験の結果

Pre ampに流した電流値は400mAである。図2の結果の対応する曲線と比較すると、発振が開始し難くなっている事がわかる。これは元々gainの小さい波長帯域の光のみを選択して自己発振させているため、合理的な結果と思われる。

#### 4. Pulse Laser Stackingを用いた高調波生成

ここまでは主にself-start cavityを使った実験について述べてきたが、SHG結晶を共振器内において532nmのレーザーを生成する事も大きな目標の一つである。選択的重み付けによる1064nm光の抽出と並行して行った、pulse laser stackingを用いた高調波生成の実験結果についても簡単に述べる。1064nm, 700mW出力の178.5MHz mode-locked pulse laser を使い、laserを一回だけ結晶内を通過させてgreen光を生成した場合と、pulseを共振器内に蓄積し、SHG結晶をその共振器内に入れて高調波を生成させた場合とで、どの程度生成効率に差があるかを比べてみた。主に結晶を含んだ共振器システムの構築の練習が主題であったため、両者の結晶を通過する際のlaserのwaist size等が同等には調整出来ていないが、文献<sup>[2]</sup>に沿った最適化がなされていないにも拘らず、共振器内に結晶を置いた場合の生成効率は5倍程度優れている事がわかる。

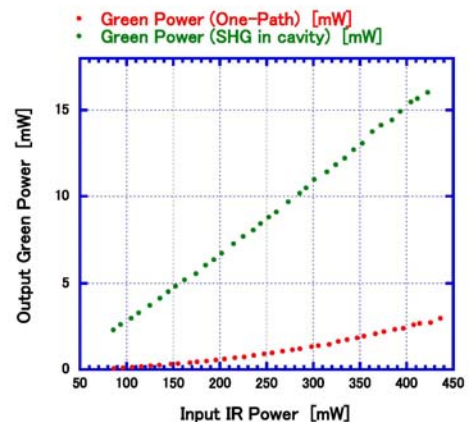


図7 : SHG生成効率の比較

#### 5. まとめ

ATF damping ring laser wire systemの532nmレーザー増強に向けた基礎実験を行っており、選択的重み付けの方法により、self-start型共振器内に1064nm±3nmのレーザー光を蓄積出来た事を示した。同時に共振器内に蓄積したmode-locked laserを用いた2倍高調波の生成にも成功した。今後より強力なampシステムを用いた実験に移行していく予定で、特に数ワット程度の赤外線レーザーが輸送出来るフォトニックファイバの導入を進めている。

#### 参考文献

- [1] Yosuke Honda. "Development of CW laser wire in storage ring and pulsed laser wire", Proceedings of the 2009 Particle Accelerator Conference.
- [2] G.D.Boyd, et al., "Parametric interaction of focused Gaussian light beams", J.Appl.Phys. vol.39,p3597,July 1968.