

ボーズ・アインシュタイン凝縮を目指した ポジトロニウム冷却 II

村吉 諄之, 周 健治, 樊 星, 石田 明, 山崎 高幸^A,
難波 俊雄^A, 浅井 祥仁, 吉岡 孝高, 五神 真

東大理, 東大素粒子センター^A



日本物理学会 第71回年次大会
2016.03.20 @東北学院大学

Psの冷却に必要なレーザー特性

Ps冷却用の243nm(1.23PHz)紫外光レーザーを開発中
→BECの実現のためには以下の特性が必要

①高強度

十分な冷却のために、パルスあたり40 μ Jの強度を目指す

②長い持続時間

Psの寿命：O(100ns)にわたって冷却し続ける
→パルスの持続時間：300ns

③広い線幅

様々な速度のPsを一気に冷却
→ $\Delta\lambda=0.08$ nmの広がり为目标
(140GHz)

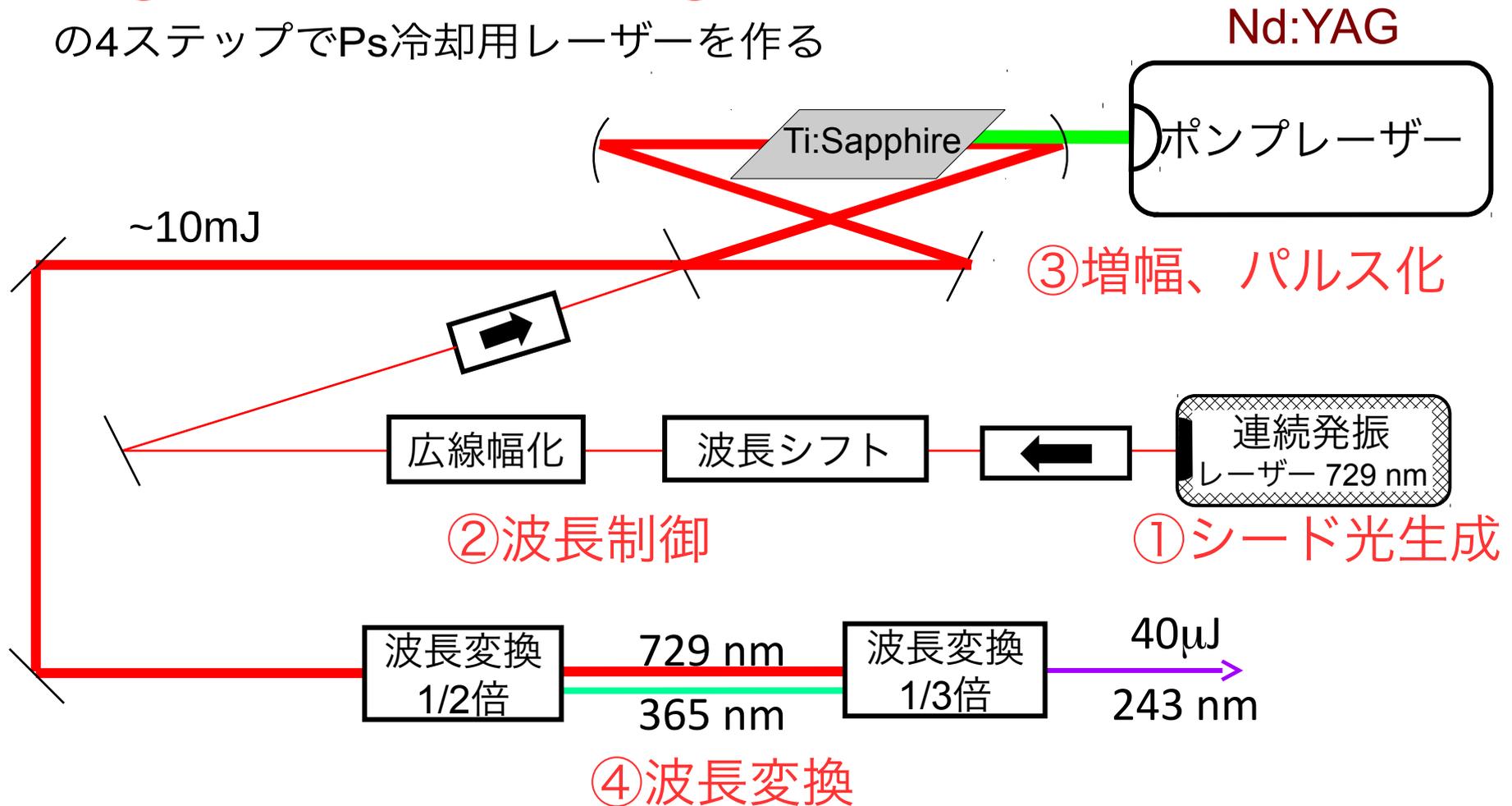
④波長のシフト

冷却が進むとPsが減速
→波長を時間に伴い0.035nm短くしていく(60GHz)

Psレーザー冷却系の概要

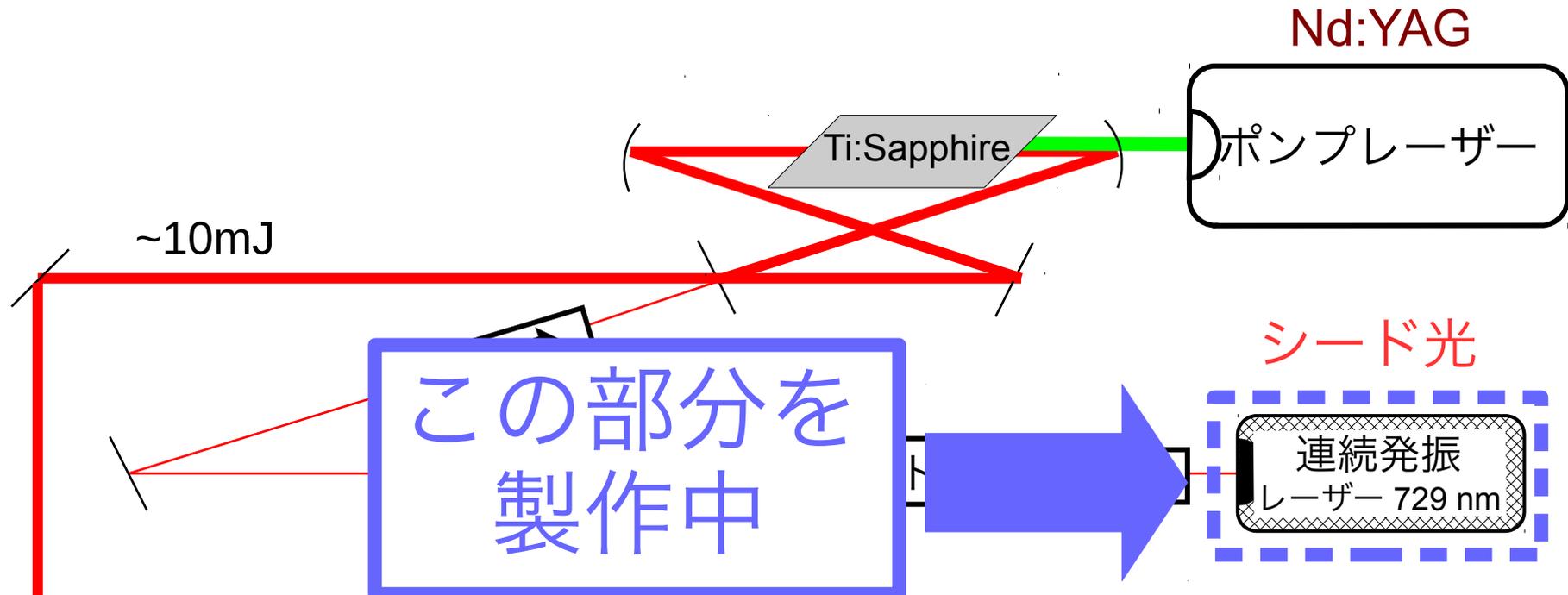
- ①シード光生成→②波長制御
→③増幅、パルス化→④波長変換

の4ステップでPs冷却用レーザーを作る



レーザー開発の現状 - 連続発振729nmレーザーの製作

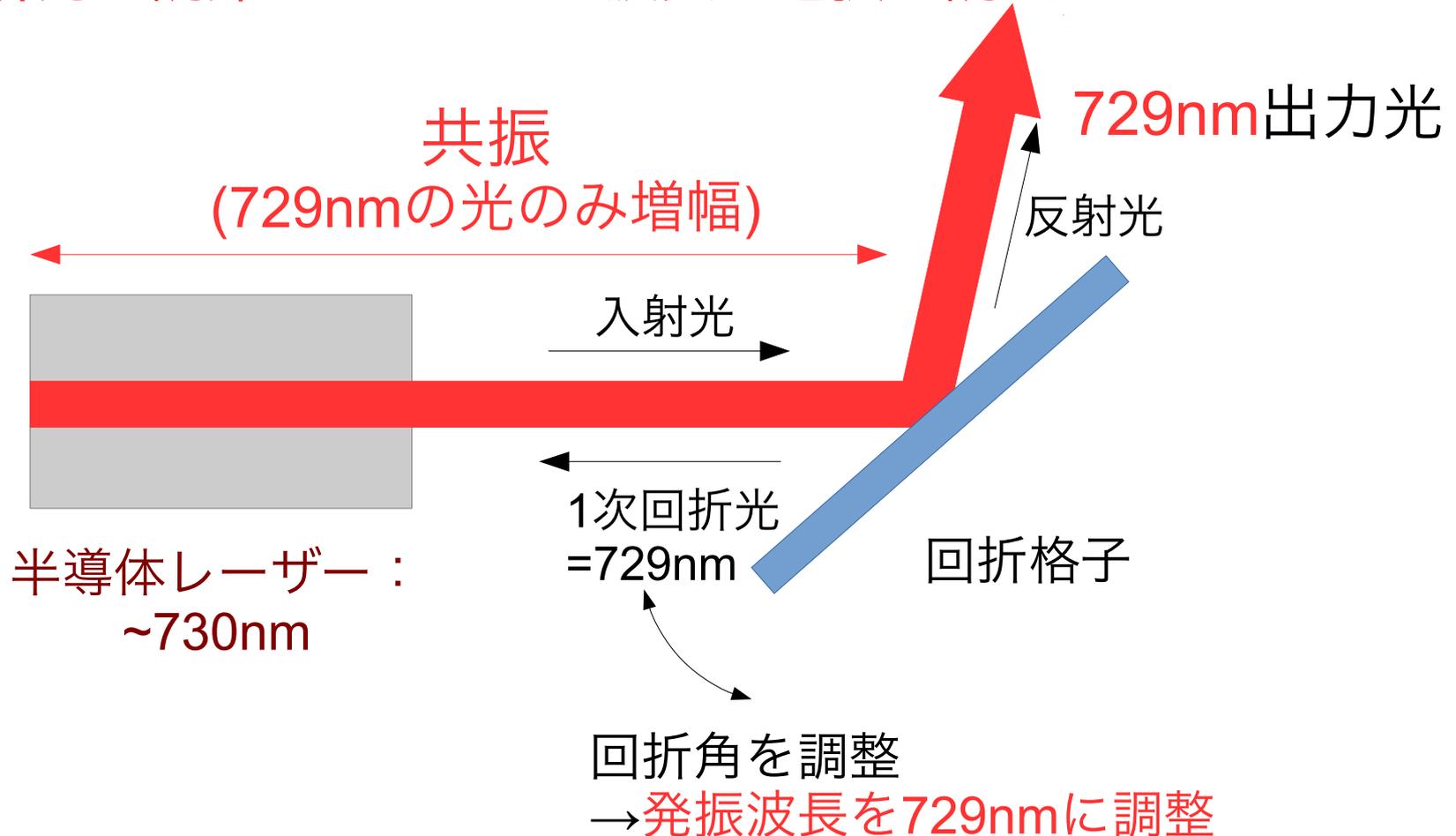
- 現在、シード光：連続発振729nmレーザーを開発中



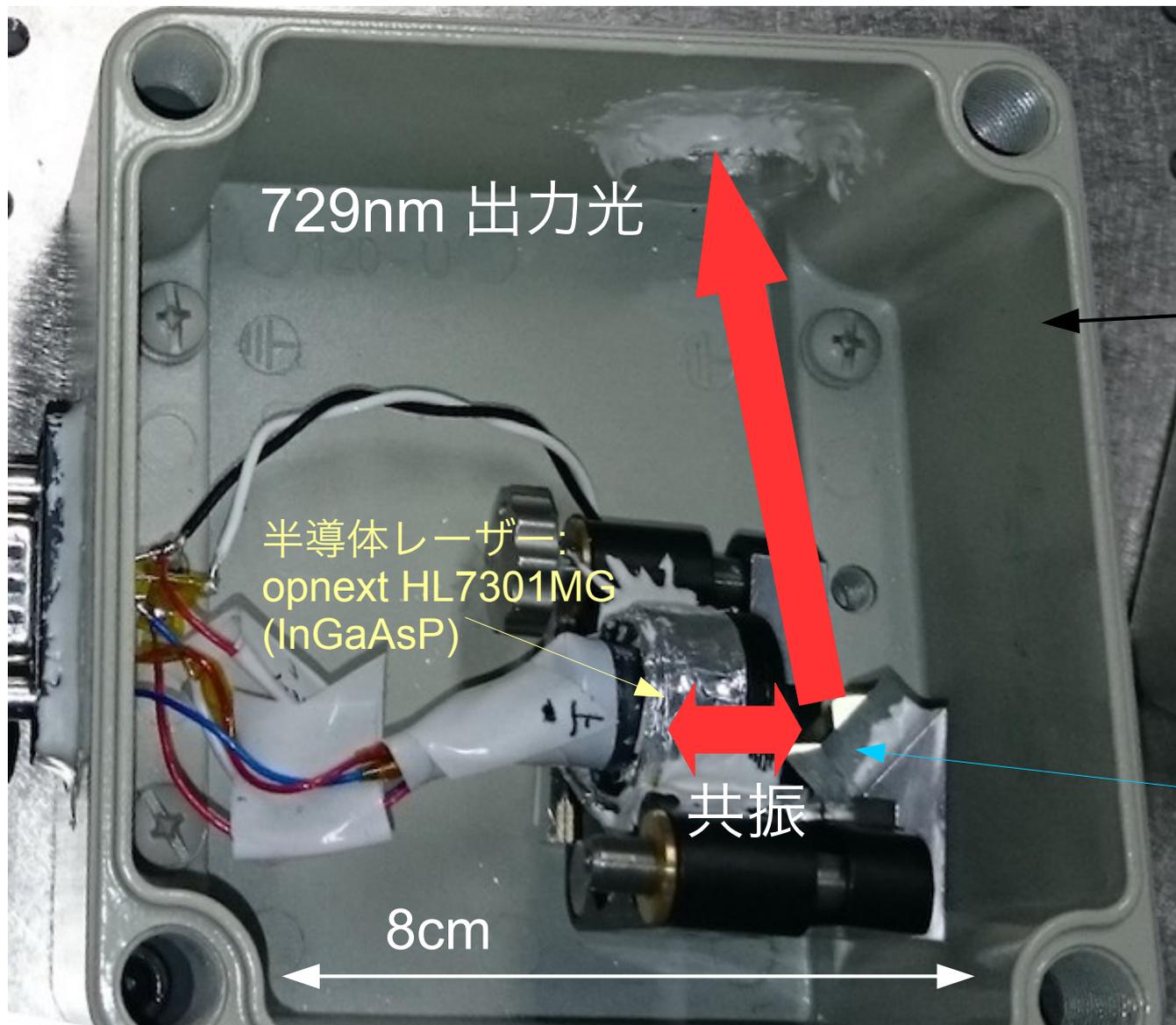
- 連続発振(CW)
- 243nmの3倍の729nmの波長(制御が容易なため)
- 数mWの強度
- 線幅(波長の広がり)も1.8pm(1GHz)以内に抑える
- 波長のゆらぎを1.8pm以内に抑えて安定化

外部共振器型半導体レーザー (ECDL)

- 1次回折光(=729nm)を半導体レーザーの方に戻す
- 半導体レーザーと回折格子との間で共振器を形成
- 回折角を調節して729nmに波長を選択・調整



製作したECDL



729nm 出力光

半導体レーザー:
opnext HL7301MG
(InGaAsP)

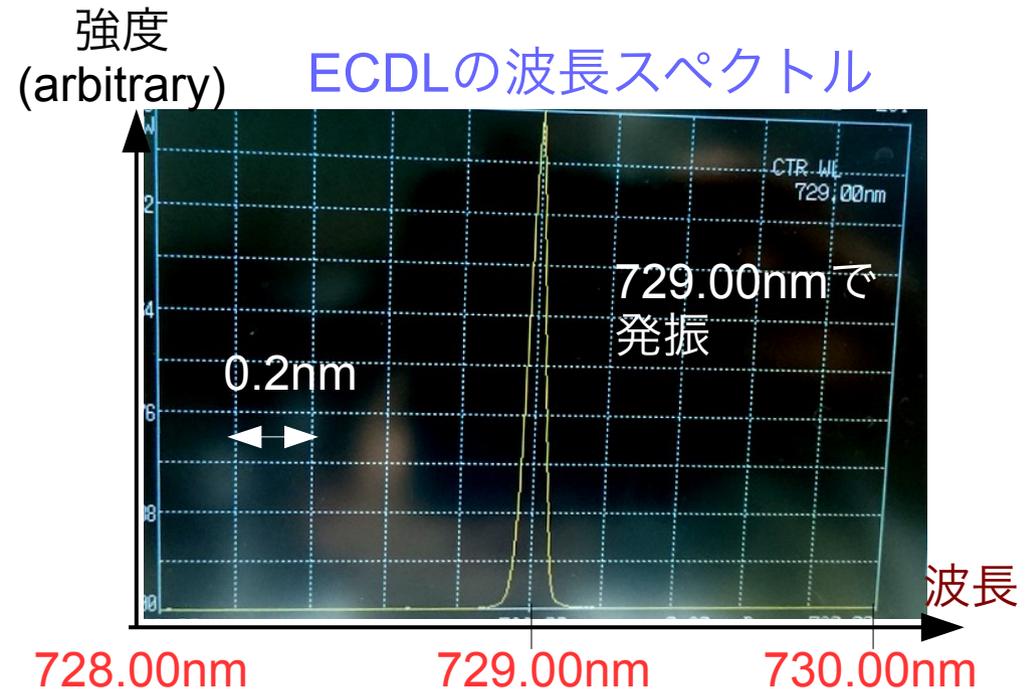
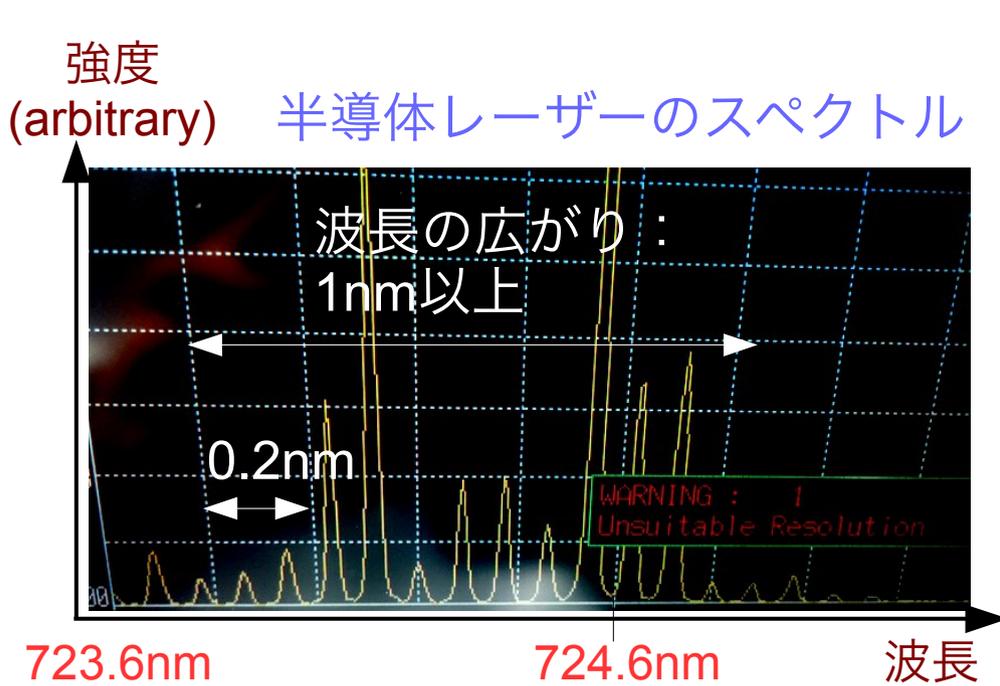
共振

8cm

完全密閉、
ソルボセイン
シートによる
防振
→外乱を防ぐ

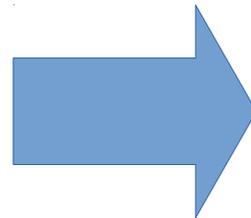
回折格子:Thorlabs社
GH13-18V
溝の数:1800/mm
回折角=41.0°に調整

ECDLの発振と波長選択



(光スペクトラムアナライザーで測定)

単体の半導体レーザー：
不安定で広がったスペクトル



ECDLによって**729.00nm**で
発振できることを確認

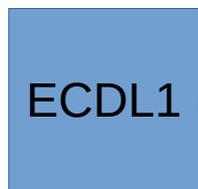
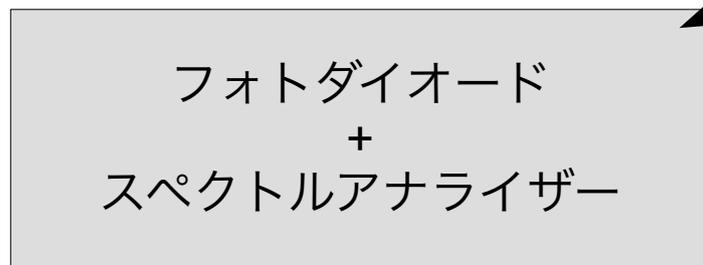
強度：**8.7mW**まで確認

ECDLの線幅測定

光スペクトラムアナライザーでは分解能が不十分(0.01nm)であり、線幅を正しく測れない(1.8pmまで見れない)

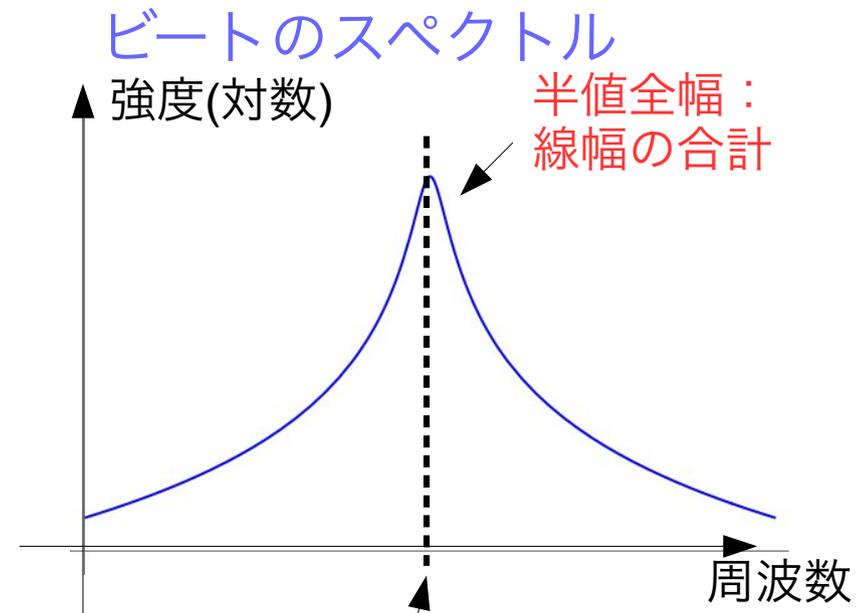
→ビート観測により線幅測定

光を電気信号に変換し、
スペクトルを見る



2つのビームを
重ねると電場の
うなりが生じる
(=ビート)

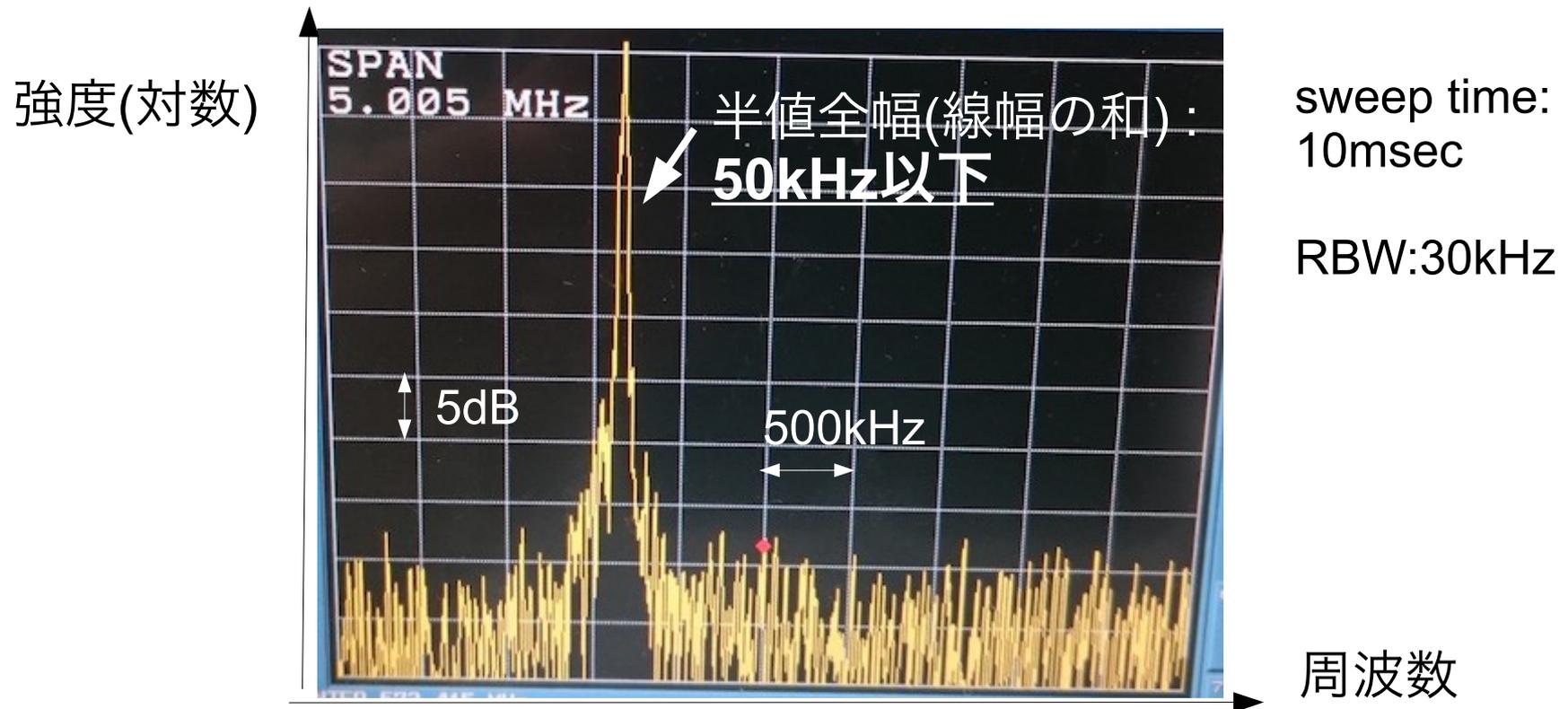
ほぼ同性能で周波数が
少し異なるECDLを
もう1台用意



中心周波数:
2つのECDLの周波数の差

ECDLの線幅測定

2台のECDLを用いて以下のようなビート信号を観測した



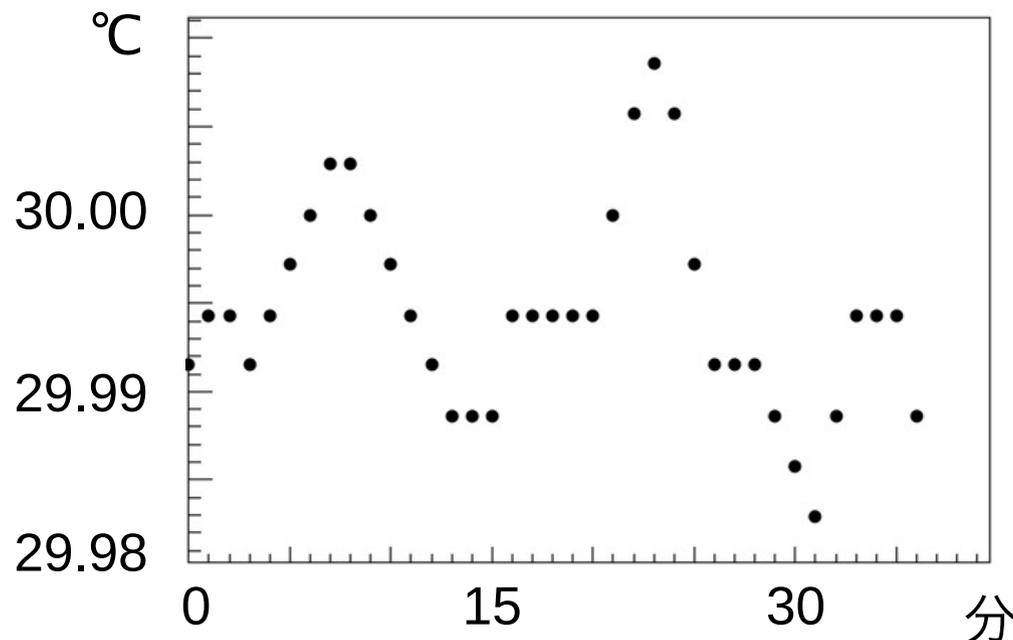
ビート信号(スペクトラムアナライザーで観測)

線幅：50kHz以下を達成(目標値1GHz=1.8pm未満)

ECDLの今後の課題 - 温度制御

- 波長のゆらぎを1.8pmに抑えることが残された課題→温度制御
- 温度が変化すると半導体レーザーの発振波長が変化し、それに伴いECDLの発振波長も変化する(~150pm/°C)
- ペルチエ素子を使い温度のフィードバック制御(PID制御)
- 目標：数時間の間温度のゆらぎを0.01°C未満に抑える

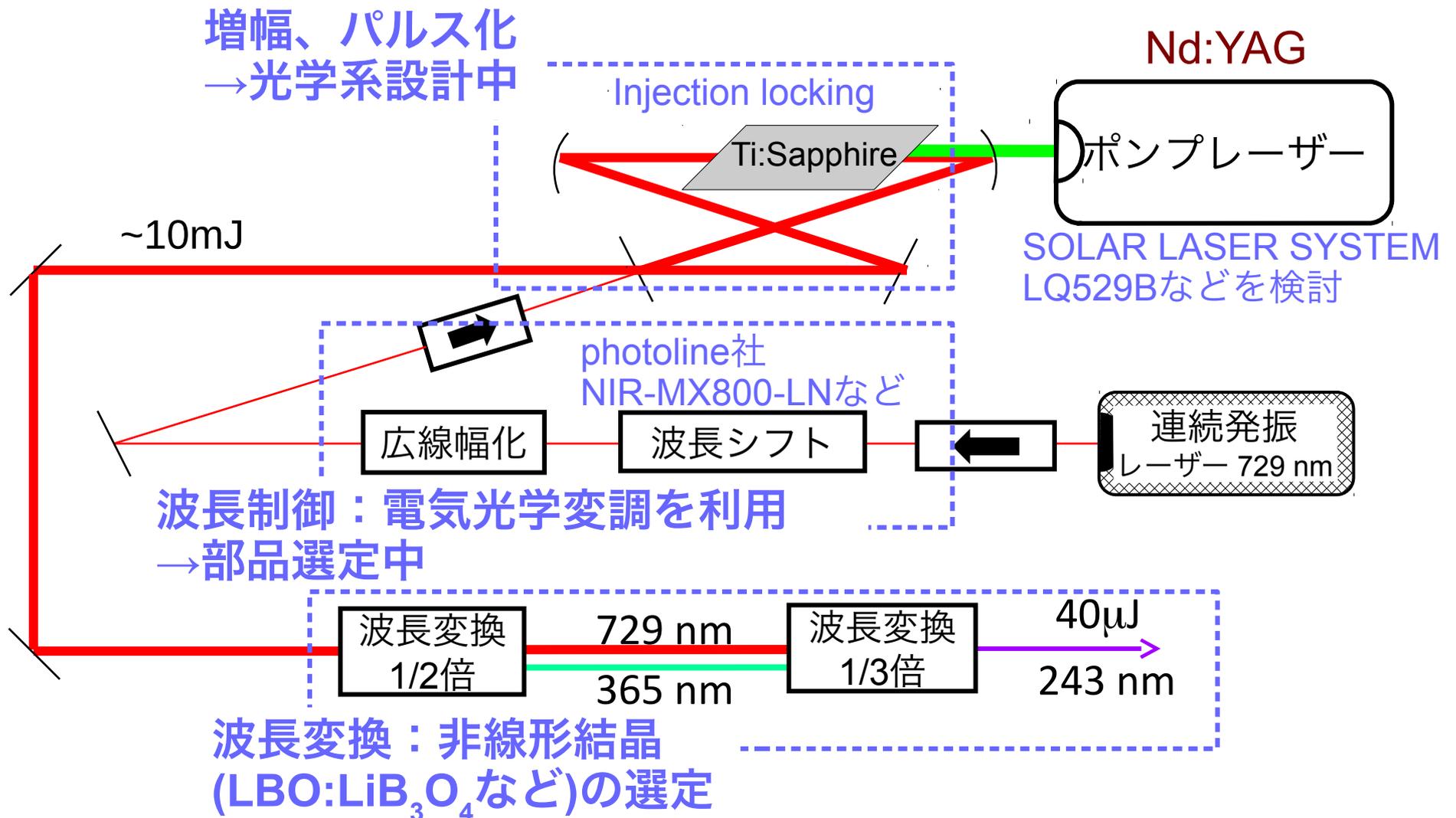
ECDLの温度の時間変化



現状30分強で0.03°C程度のゆらぎ
→フィードバック機構の改善などを図る

今後の展望

シード光(ECDL)の製作に加え、全体についても設計を進めている



まとめ

- Ps冷却用243nmパルスレーザーの開発を目指している
- そのためのシード光：729nm連続発振レーザーとしてECDLの開発を進めている
- 現在波長729nm、強度8.7mWで発振させ、線幅を50kHz以下(目標:1GHz未満)にすることに成功している
- 波長の安定化のために、ペルチエ素子を用いたフィードバックにより0.01°C未満の精度でECDLの温度を制御することに取り組んでいる
- シード光のパルス化のための設計や、波長制御のための電気光学変調の部品、周波数変換用の非線形結晶の選定を進めている