河野研･上野研 合同セミナー

卒業研究中間報告会スライド集

2006年11月24日

上野研 卒業研究生、2006年度

稲田功一郎

奥平将俊

西田武洋

本間正徳

光ヘテロダイン法による160GHz領域の周波数スペクトル計測方法の研究

電子工学科　上野研究室
0212014　稲田功一郎

発表内容

- 研究の背景
  - 高品質な光パルス光源の必要性
  - DISC-Loopによるパルス発生
- 目的
  - DISC-Loopクロックパルススペクトルの測定
- 実験
  - 2台DFB-LDヘテロダイン実験
  - DFB-LDの線幅測定実験
- まとめ

研究の背景①：高品質な光パルス光源の必要性

通信分野

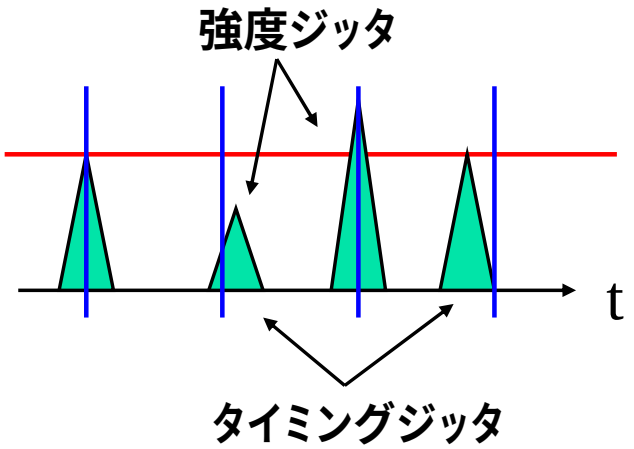
波長分割多重 (WDM)
100 Ch**以上、高コスト、大型化**

↓

光時間分割多重 (OTDM)
技術による超高速化の研究

高品質な光パルス光源の必要性

- **安定した周波数**
- **タイミングジッタが小さい**
- **強度ジッタが小さい**

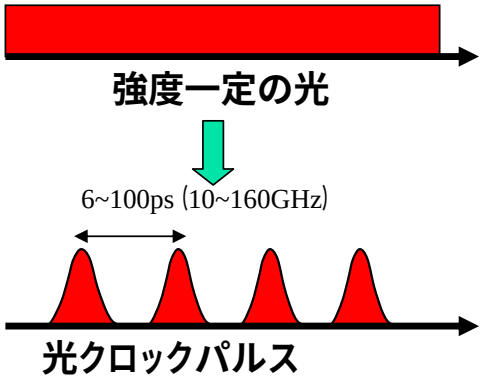


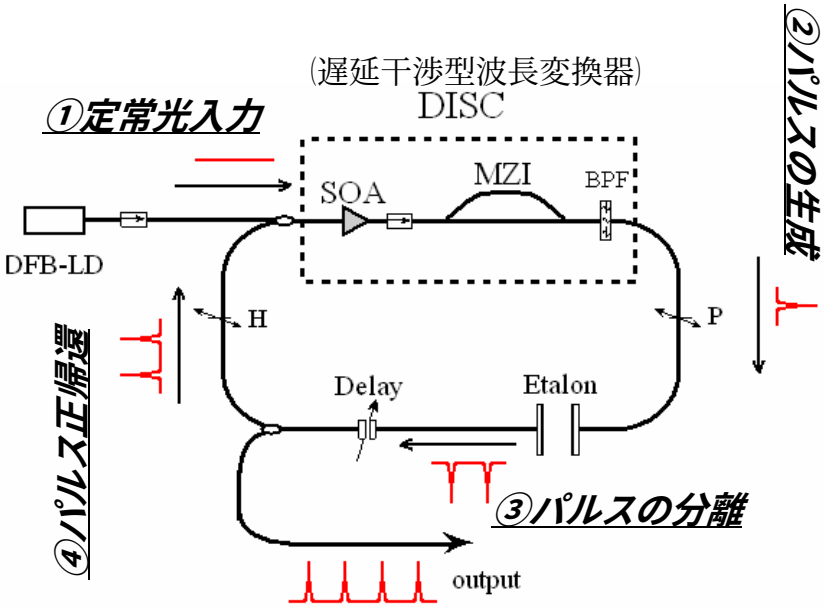
研究の背景②：DISC-Loopによるパルス発生

高信頼･高精度な10～160GHz光信号源

①集積化・省エネルギー化可能
②パルス幅、繰り返し周波数が可変
③長期信頼性が高い
④大量生産に適している

等の理由から、将来の超高速光パルス源として有望である





DISC-Loop**パルス発生回路**

目的:DISC-Loopクロックパルススペクトルの測定

共振器周波数5MHzで駆動するDISC-Loop光クロックパルスの測定において、

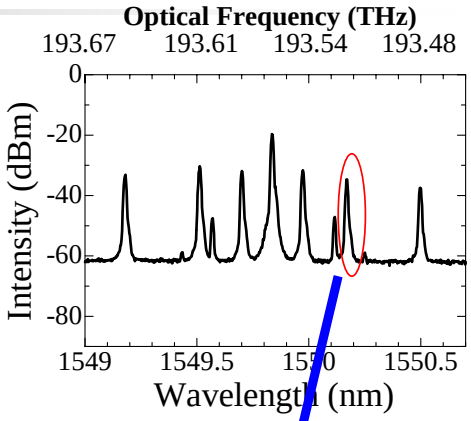
光スペクトルアナライザでは分解能＞1.25GHz
なので、測定不可（右上図、スペクトルが分離できていない）

周波数の異なる光と混ぜ合わせ、ビート光による光電流を測定することにより電気スペクトルアナライザでより高分解能な測定が可能になる（右下図、櫛状のスペクトルが観測できる）

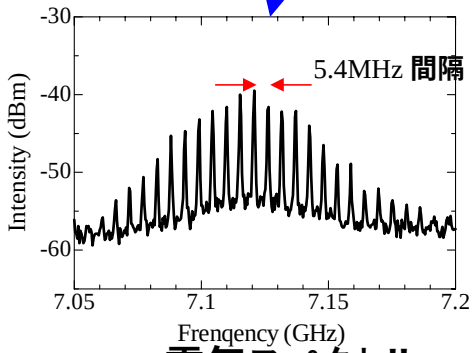
光ヘテロダイン

異なる周波数の2光がフォトダイオードに入力されると、出力光電流に<u>差周波数の成分</u>が発生する。

$$I(t) = \left| E_1 e^{j\omega t} + E_2 e^{j(\omega+\omega_b)t} \right|^2 = E_2^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\omega_b t$$



光スペクトル



電気スペクトル

（鈴木励　2005年）

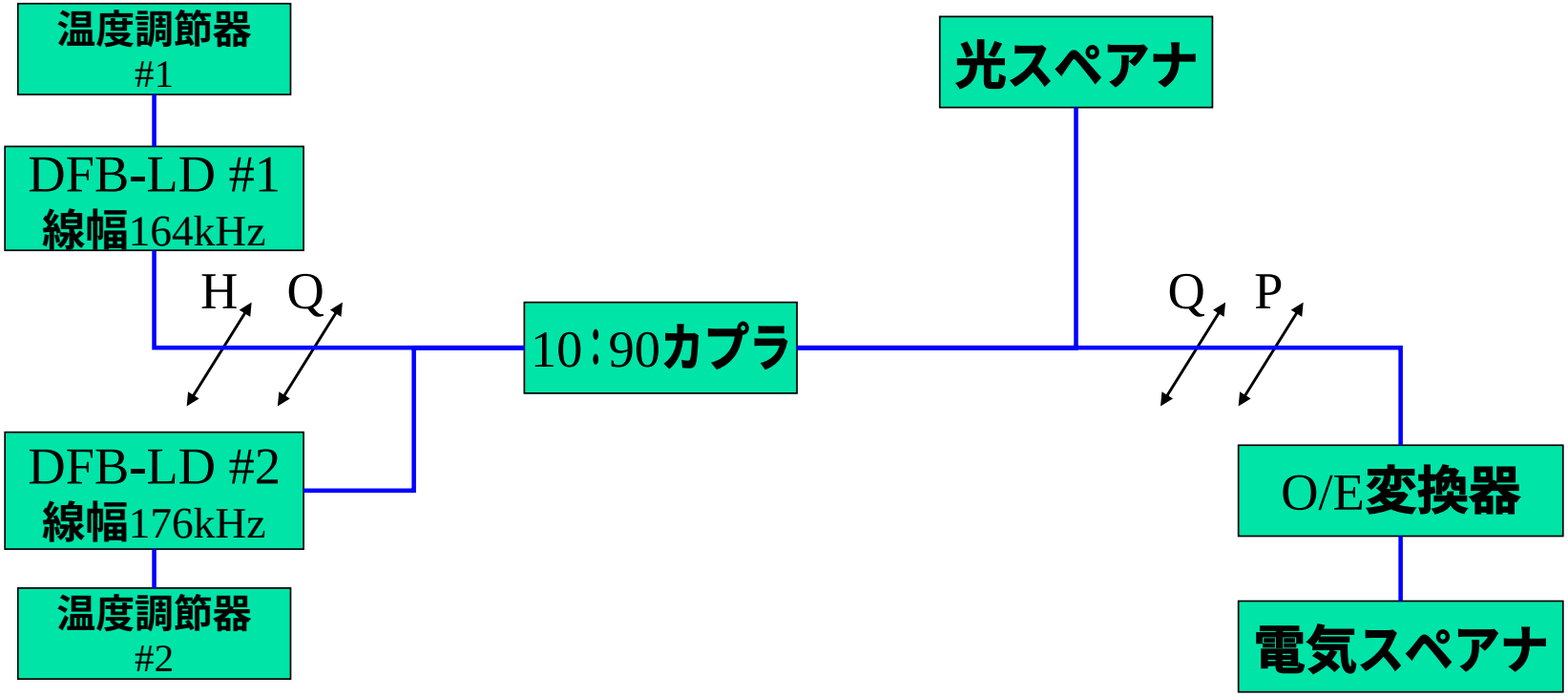
従来の光ヘテロダイン法の限界

- 光ヘテロダイン測定では、測定光の線幅の分スペクトルが広がってしまう。温度などの揺らぎにより、線幅は数MHzと考えられる

→5.4MHz間隔の共振器モードが1つ1つ分離できなかった

測定光に被測定光の変調光を用いて線幅の揺らぎをキャンセルする方法があるが、より高周波数のクロックパルスに対してはSN比の劣化より困難である。

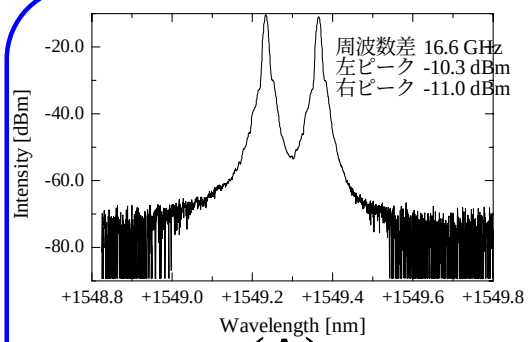
実験①：2台のDFB-LDによるヘテロダイン実験



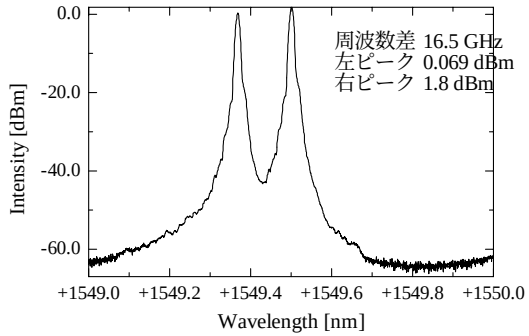
2台のDFB-LDによるヘテロダイン実験構成図

実験結果

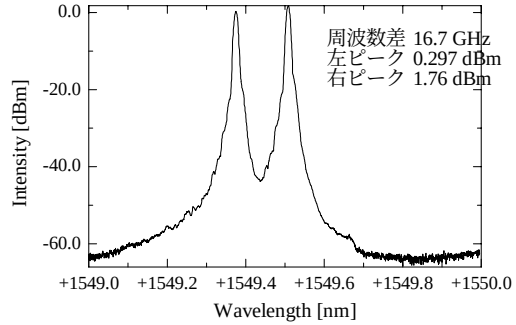
光スペクトル



(A)

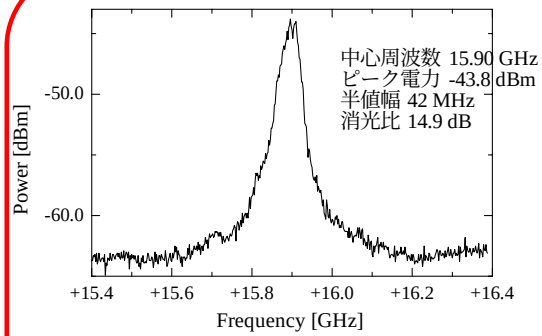


(B)

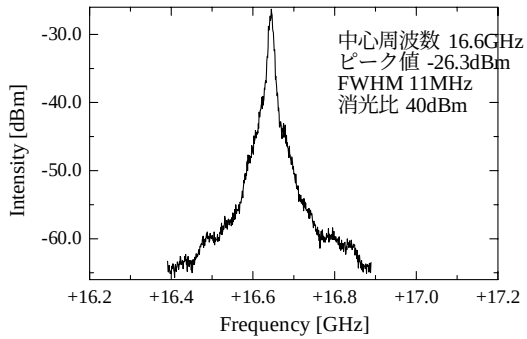


(C)

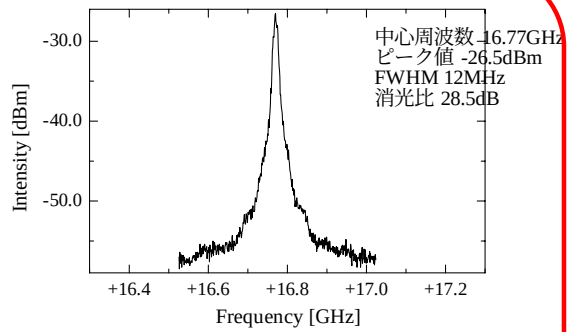
OE変換スペクトル



(a)



(b)



(c)

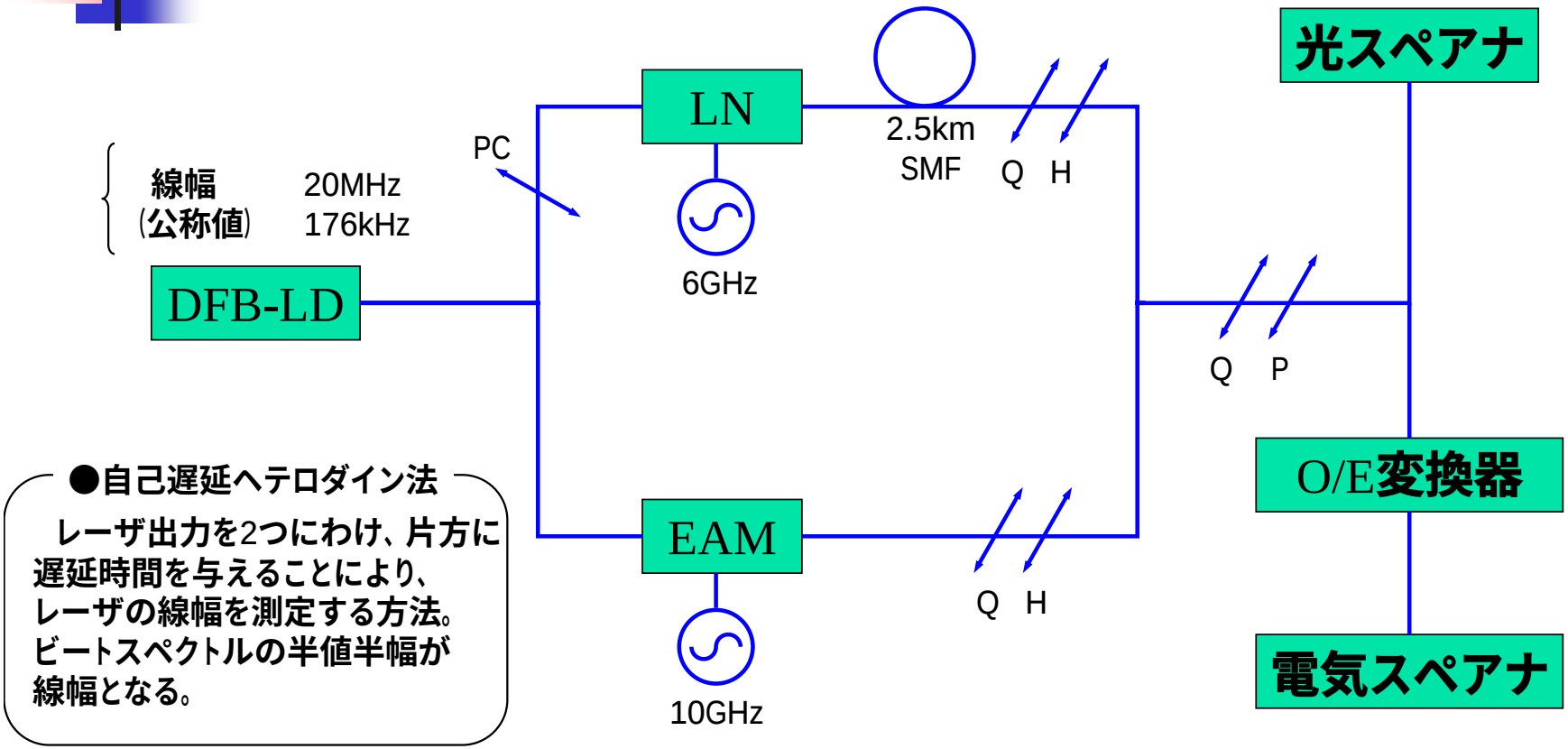
1、(A),(a)　(**温調精度**<0.01**℃** & <0.01**℃**)
2、(B),(b)　(<0.004**℃** & <0.01**℃**)
3、(C),(c)　(<0.004**℃** & ＜0.002**℃**)

OE**スペクトル幅**12 MHz >> 2**台**DFB**の線幅の和**340 kHz

⇩

DFB-LD**の実際の線幅を知りたい**

実験②：DFB-LDの線幅の測定

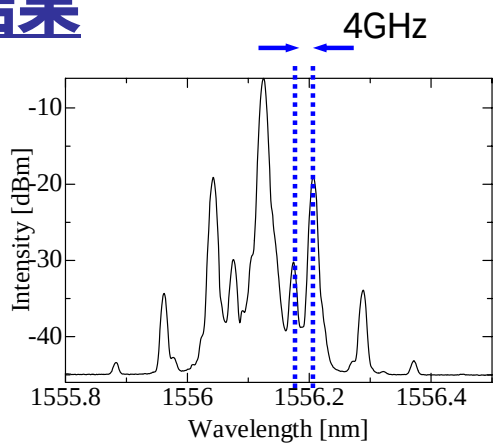


●自己遅延ヘテロダイン法

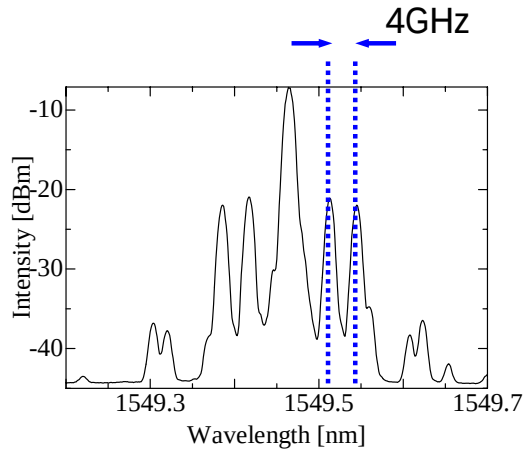
レーザ出力を2つにわけ、片方に遅延時間を与えることにより、レーザの線幅を測定する方法。ビートスペクトルの半値半幅が線幅となる。

自己遅延ヘテロダイン法による線幅測定実験構成図

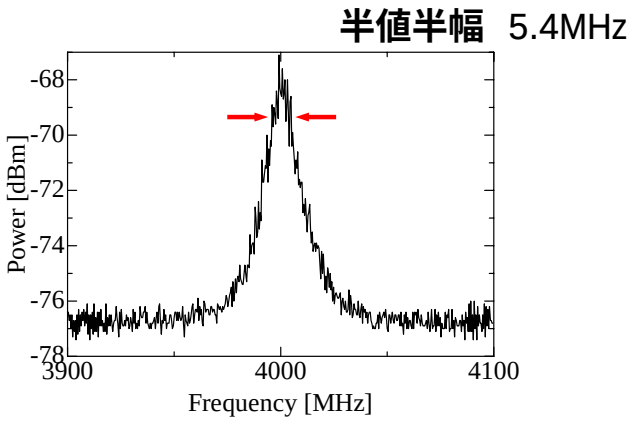
実験結果



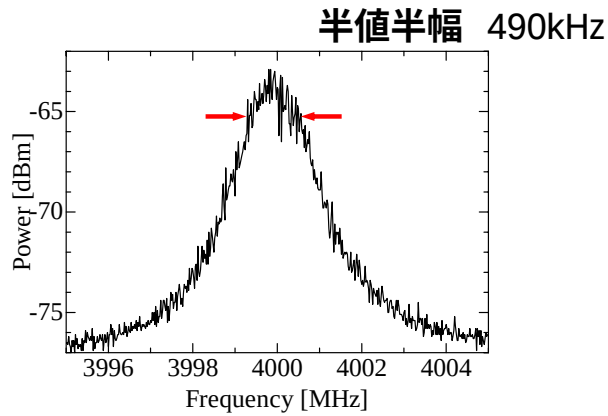
(A)



(B)



(a)



(b)

20 MHz DFB-LDの測定結果
(A)光スペクトル (a)OE変換スペクトル

176 kHz DFB-LDの測定結果
(B)光スペクトル (b)OE変換スペクトル

まとめ

- 光ヘテロダイン法に用いているレーザの線幅＝分解能が、共振器モード間隔よりも小さいことがわかった

⇩

- 共振器スペクトルが分離できない原因を追究する

超高速光信号発生用光多重回路と光増幅器の分散補償方法の研究

2006/11/24

発表者　上野研究室　奥平将俊

項目

- 背景･目標
- EDFA(Er-doped fiber amplifier)とは
- 実際の研究
- まとめ
- これから～最終目標

背景

増大し続ける通信容量を支えるために、近い将来の超高速光通信システムでは超短光クロックパルスが必要とされる。
当研究室でも超短光クロックパルスを作り出し、そのパルスを使ったゲート動作の挙動を調べたい！

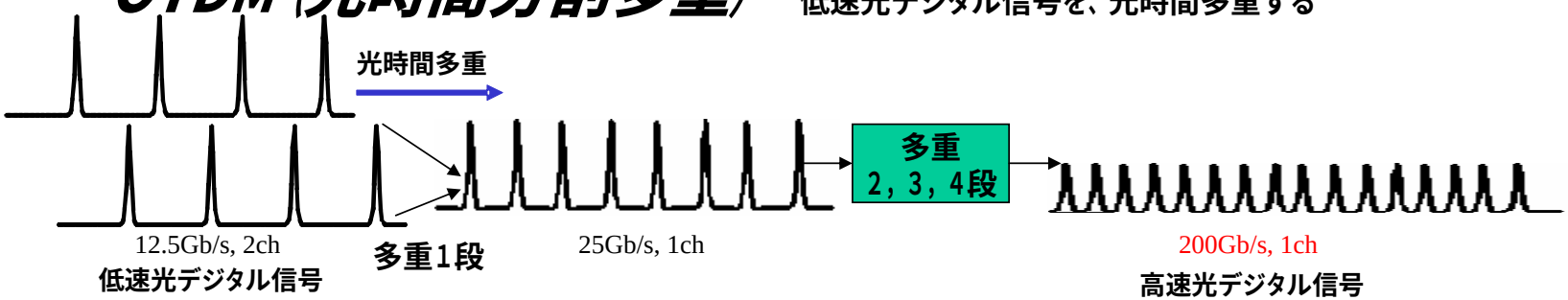
現在当研究室では、OTDM(Optical Time Division Multiplexing)による多重化でパルスの繰り返し周波数が200GHzのパルス列の発生に成功している。
しかし、パルス幅は広がり、またパルス個々のパワーは減少する。

一度研究室でEDFAの製作手順を確立することにより、これからEDFAが必要になったときに素早く製作に対応できるようになる。

当研究室で分散（パルスの広がり）を抑えたEDFAを製作したい！

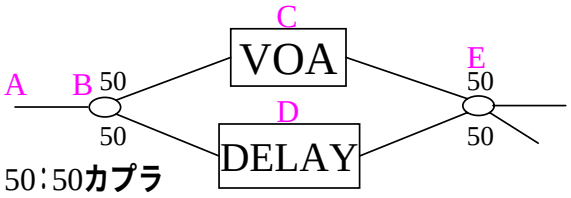
OTDM（光時間分割多重）

低速光デジタル信号を、光時間多重する

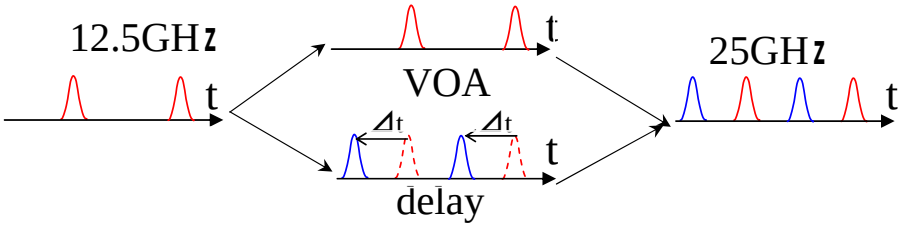


OTDM(Optical Time Division Multiplexing)

日本語でいうところの光時分割多重は時間軸上で光パルス列を多重する高速化方式のこと



(a)MUX構成図



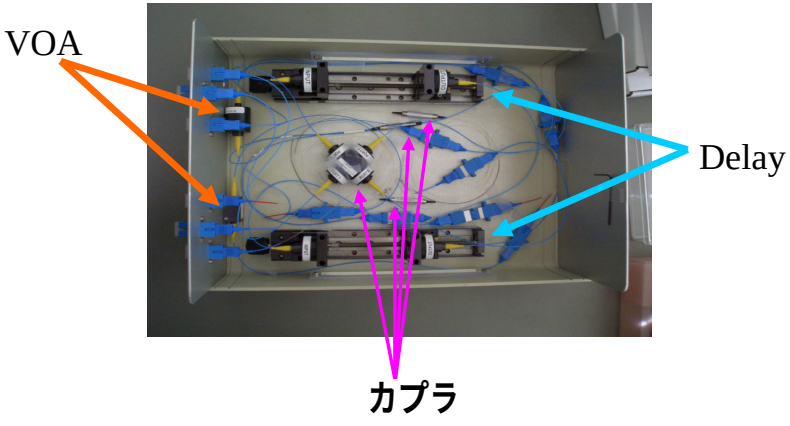
(b)OTDM-MUX概念図

1、Aから入ったパルス列はBの50:50カプラでVOAルート、DELAYルートそれぞれに分波される

2、Cにきたパルス列はVOAによりパワーが減衰し、Dにきたパルス列はDELAYにより時間遅延が与えられる

3、C、Dそれぞれから出てくるパルス列はEにおいて合波され、時間軸上でパルス列は多重される

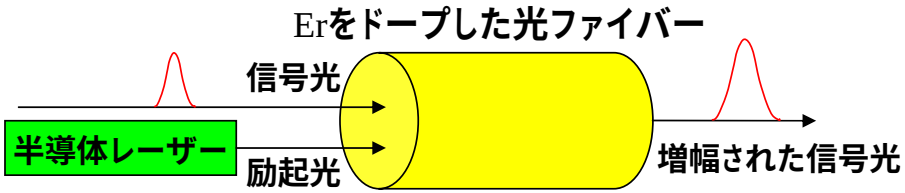
カプラ:光を合波または分波する部品。50:50カプラならば、入れた光をパワー比で半々に分波する。
VOA(可変光アッテネーター):光に対する減衰器
DELAY:光に対する遅延器



当研究室員自作のMUX(多重器)内部写真

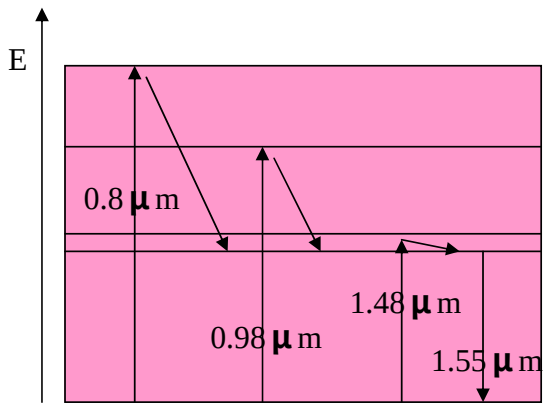
EDFA(Er-Doped optical Fiber Amplifier)

EDFAに使うファイバーは、コア部分に希土類の一種であるEr3+(エルビウムイオン)を添加して作る。
このようなファイバーをEDF(Er-doped fiber)といい、下図に示すような構成で、励起には半導体レーザーを用いる。
0.98μmや0.8μmの波長の光で励起された場合、その準位には電子は長くとどまらず、短い時間（数ピコ秒）で下の準位に落ちる。ここから更に下に落ちる時に、1.55μm帯の信号光を増幅（誘導放出）する。



EDFによる光増幅

超高速ゲート動作における各素子の挙動を調べたい！高周波パルス列が必要
→200GHzパルス列の発生に成功
が、問題点
→個々のパルスのパワーが小さい、パルス幅の広がり



EDFのエネルギー準位図

手作りEDFAの目的・目標

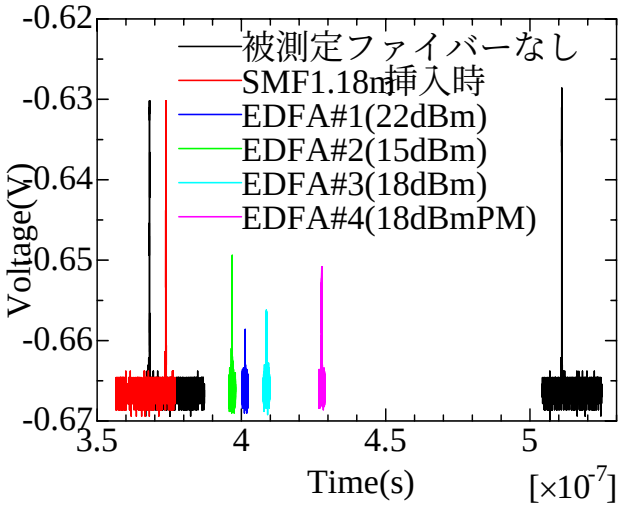
超高速ゲート実験に使うパルスの広がりを抑えた高周波パルス列を作るため
目標飽和出力+24dBm(現在研究室にある一番の高出力EDFAで+22dBm)

EDFAに内蔵するファイバー長の見積

1、EDFスペック(EMP-980)からの計算

XmW×0.86(量子変換効率)×980/1550=250mW(　24dBm)
X=460mW(　26.6dBm)
CorActiveEDF EMP-980 Absorption@980nm >6(dB/m)
計算上最短で5mは必要である

2、研究室所有Pritel社製EDFA、内蔵ファイバー長測定結果

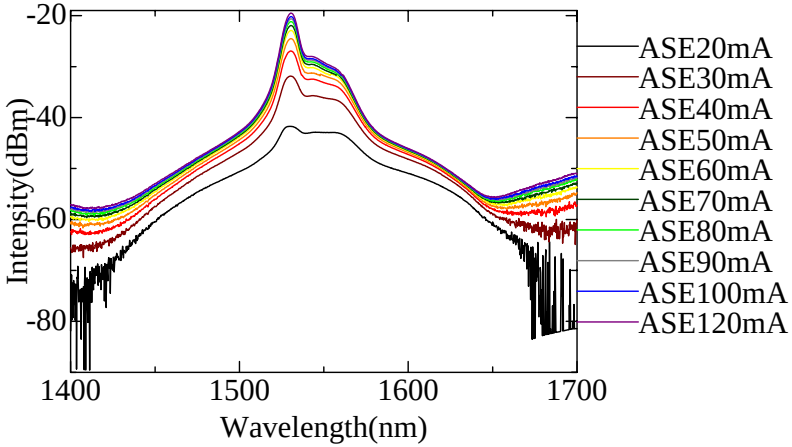


SMF1.18m挿入時と被測定ファイバーなしの時間差は0.0582×10^{-7}[s]
以上より

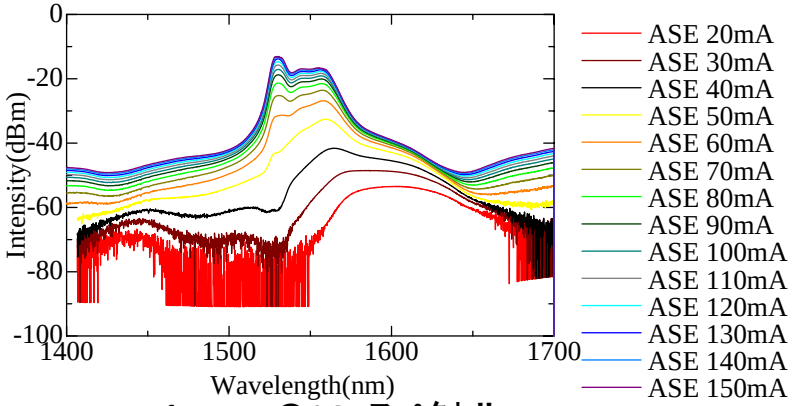
EDFA#1(22dBm)	6.7962m
EDFA#2(15dBm)	5.9101m
EDFA#3(18dBm)	8.2742m
EDFA#4(18dBmPM)	12.1143m

EDFAのASE(amplified spontaneous emission)スペクトル

Avanex製LD AJM-999(976nm)を入射しEDFのASEスペクトルを測定した



CorActiveEDFのASEスペクトル

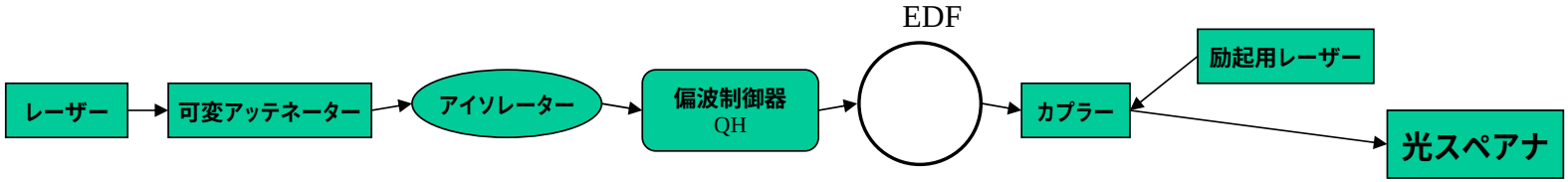


NufernEDFのASEスペクトル

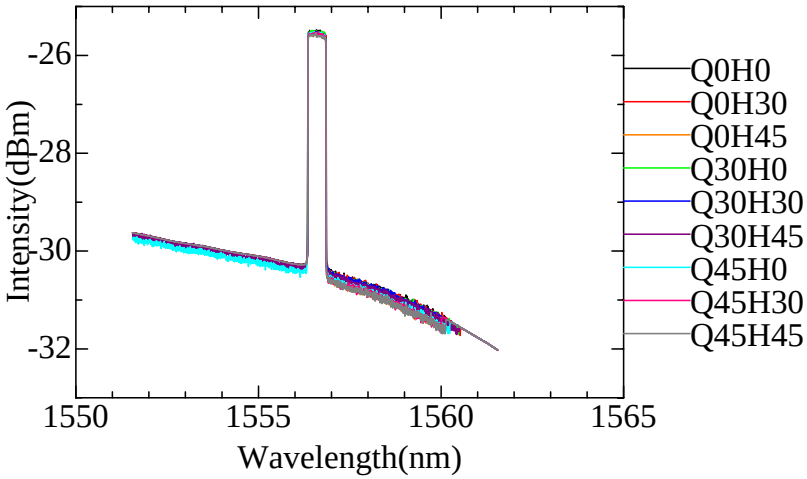
上図CorActive社製EDF EMP-980 15mのASEスペクトル
下図Nufern社製EDF EDFC-980 15mのASEスペクトル

・共にスペクトルは似た形になっている
・注入電流を増やすにつれて、EMP-980では1550nm付近での傾きが現われてきた
・EDFC-980では電流の増加とともに山が短波長側に移動したが、EMP-980では電流を増やしても形を留めたまま全体の強度が増加している。

偏波依存性



構成図(偏波依存性)

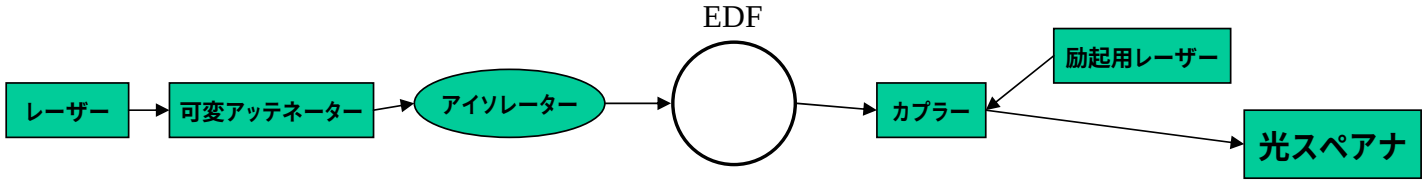


偏波依存性

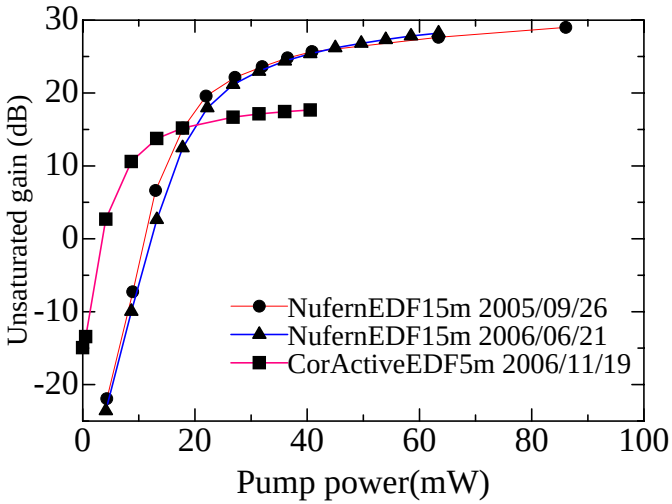
偏波状態を9通り設定し、その時の強度を測定することによりEDFの偏波依存性を調べた。

全ての測定結果が重なっており、偏波依存性はないと言える。

非飽和利得



構成図(非飽和利得)

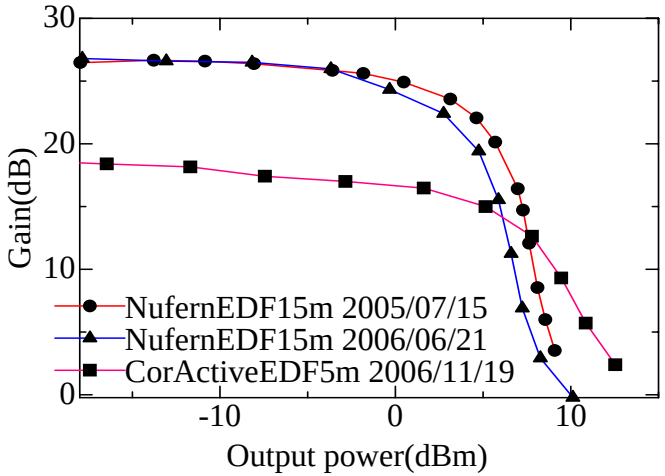


非飽和利得

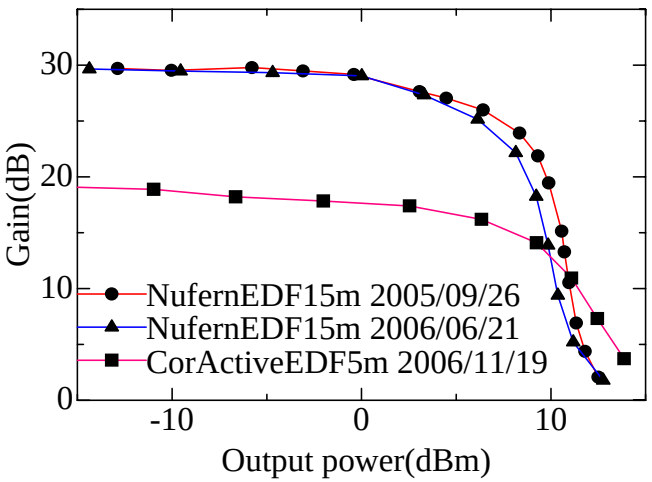
CW光注入電流100mA固定
アッテネーター40dB固定
EDFA注入電流0〜100mA

100mA(40.56mW)注入時
CorActive EMP-980 利得 17.7dB　利得係数 0.44(dB/mW)
Nufern EDFC-980 利得 25.4dB　利得係数 0.63(dB/mW)

利得飽和



利得飽和(100mA)



利得飽和(150mA)

CW光注入電流100mA固定
可変アッテネーターを0~55dB
EDFA励起光源注入電流100mA、150mA

100mA(40.56mW)注入時飽和出力パワー
CorActive EMP-980 1.62dBm
Nufern EDFC-980 2dBm

150mA(63.41mW)注入時飽和出力パワー
CorActive 2.54dBm
Nufern 4dBm

・飽和出力パワー
利得が3dB減少する時の出力パワー
取り出せるパワーの目安

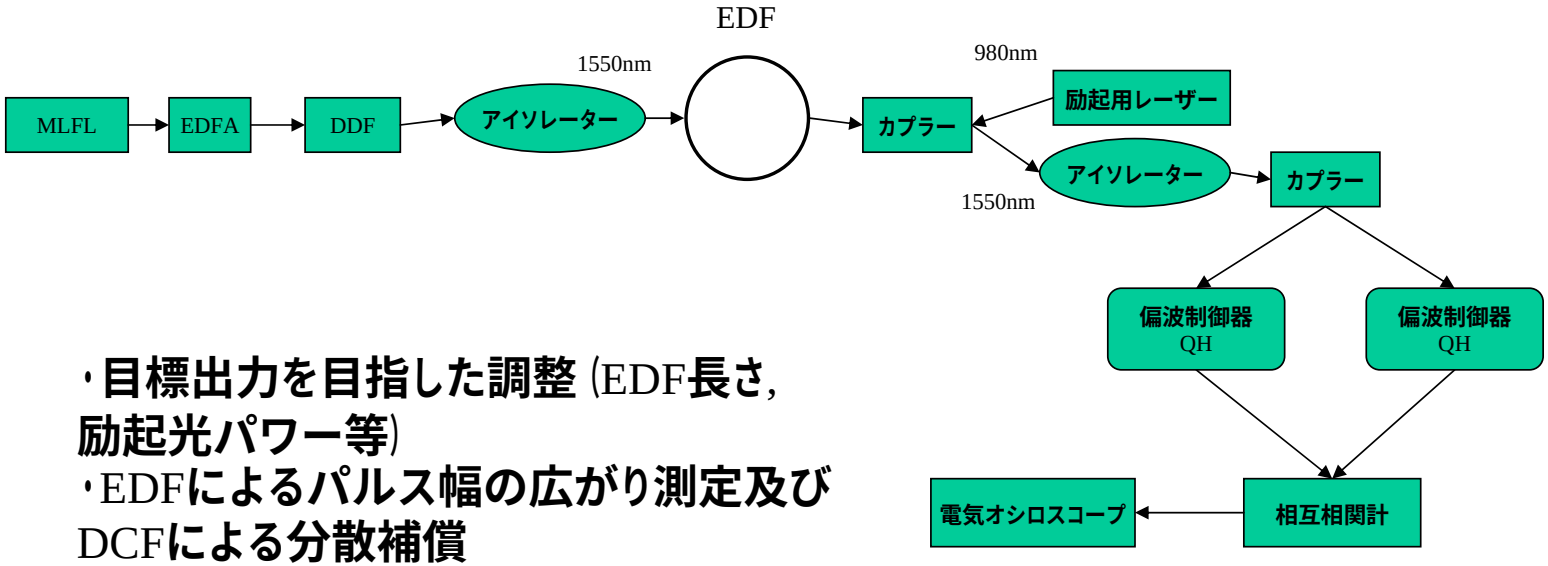
まとめ

・非飽和利得
励起パワー当たりの利得が小さい（EDFが短く励起光を十分吸収しきれていない）→長さを増やしてみる（10m）

・飽和出力パワー
まだ目標飽和出力(+24dBm)に届いていない→高出力LD(500mW)2台による双方向励起により、励起パワーを増やす

これから

EDFによるパルス幅の広がり測定



・目標出力を目指した調整（EDF長さ，励起光パワー等）
・EDFによるパルス幅の広がり測定及びDCFによる分散補償
・MUXを使った高速パルス発生実験
・MUXに対するDCFによる分散補償

最終目標

・自作EDFAとMUXの分散補償をし、使い易い形で残す

DISC光ゲートの周波数と注入電流スケーリング則の理論解析研究

電子工学科　上野研究室

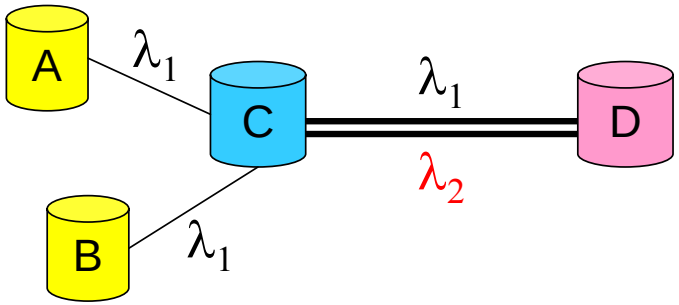
0312113　西田武洋

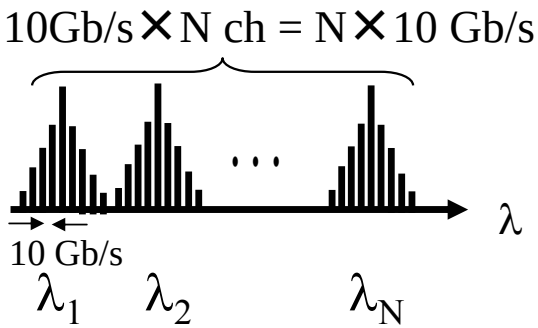
発表内容

- 研究の背景
- 研究の目的
- 動作原理
- 計算結果
- まとめ
- 今後の計画

研究の背景

◆ WDM (波長分割多重) ネットワーク





・現在の波長変換システム

光信号：λ_1 → OE変換 → 電気信号 → 波長変換 → 光信号：λ_2 → EO変換 →

電子のドリフト速度に限界があるため
周波数制限 (40Gb/s) がある。

・*将来の波長変換システム*

光信号：λ_1 → **全光波長変換** → 光信号：λ_2

光信号のみで処理するので
40Gb/s以上の通信が可能

168 Gbit/s の全光波長変換（中村 他, NEC, 2001）

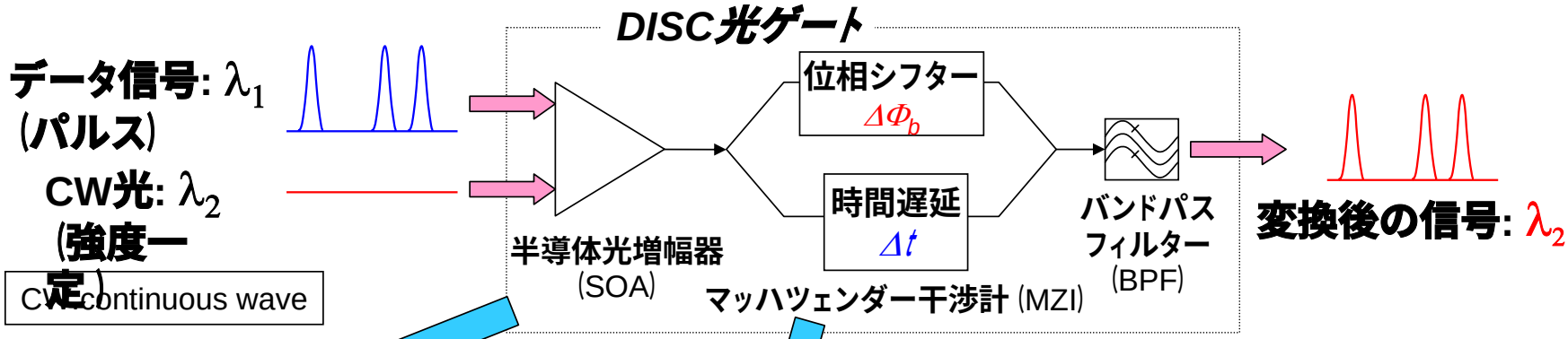
研究の目的

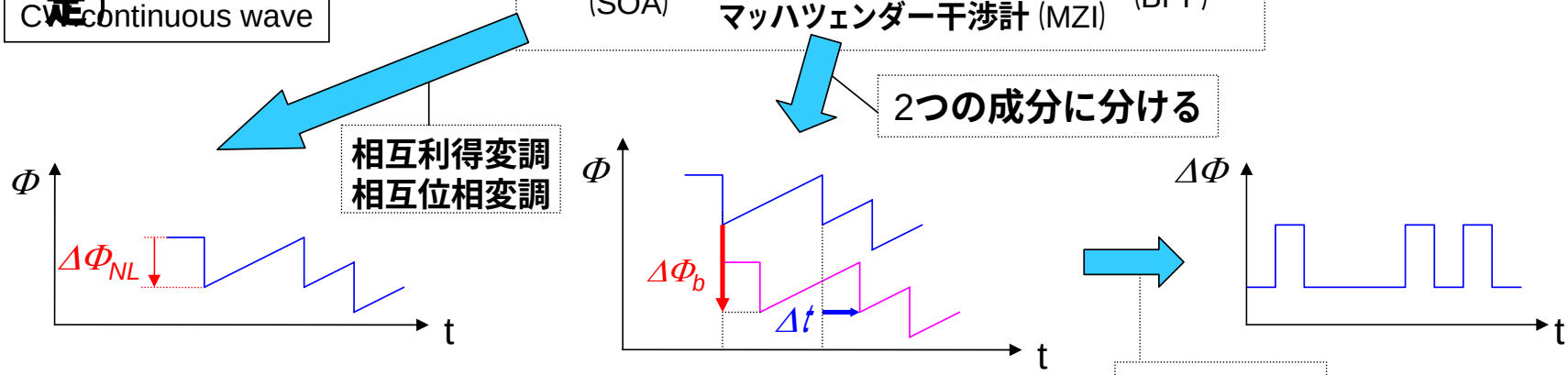
- ゲートシミュレータをゼロから作成し、DISCゲートの周波数、注入電流スケーリング則を数値解析

↓

- 高周波での効率の良い波長変換

DISC (Delayed-Interference Signal-wavelength Converter)





パルスの入射時にCW光に非線形位相シフトが起こる

片方の成分を$\Delta\Phi_b$位相シフト

もう片方の成分: Δt 遅延させる

2つの成分が干渉する

理論解析のモデル

- **レート方程式**

$$\frac{d}{dt}n(t)=\frac{I_{op}}{qV}-\frac{n(t)}{\tau_c}-\frac{1}{V}\{G[n(t)]-1\}\cdot\frac{|E_{cw}(t)|^2+|E_{signal}(t)|^2}{\hbar\omega}$$

n：キャリア密度

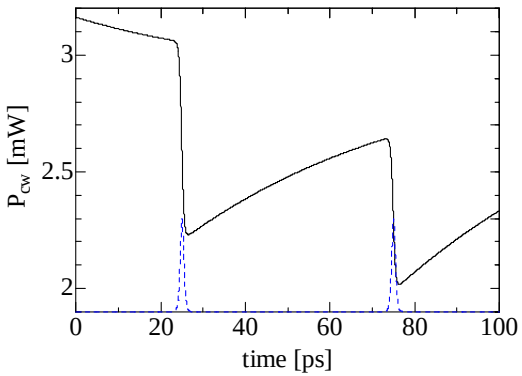
I_{op}：SOAへの注入電流

V：SOAの活性層の体積

τ_c：キャリアの寿命

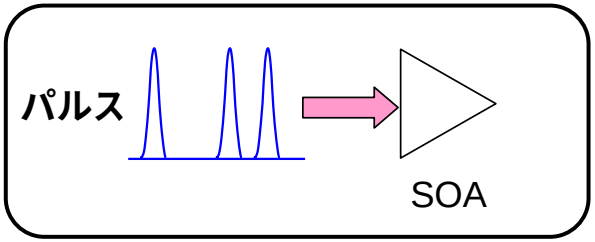
E_{signa}：パルスの光強度

E_{cw}：CW光の光強度

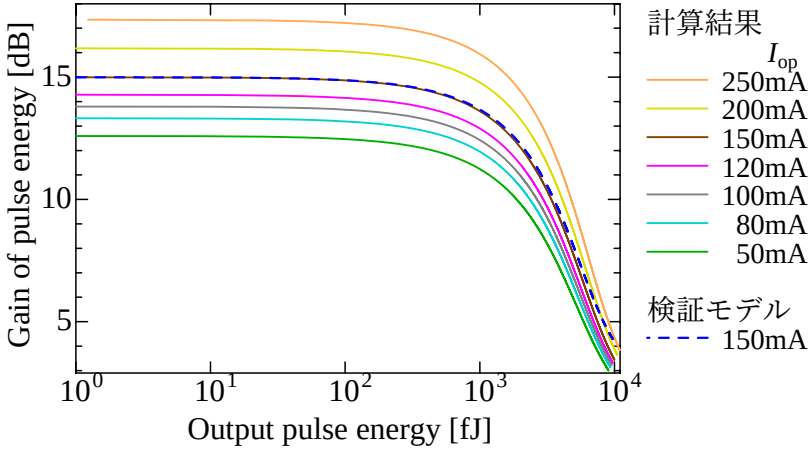


相互利得変調によるCW光の変調

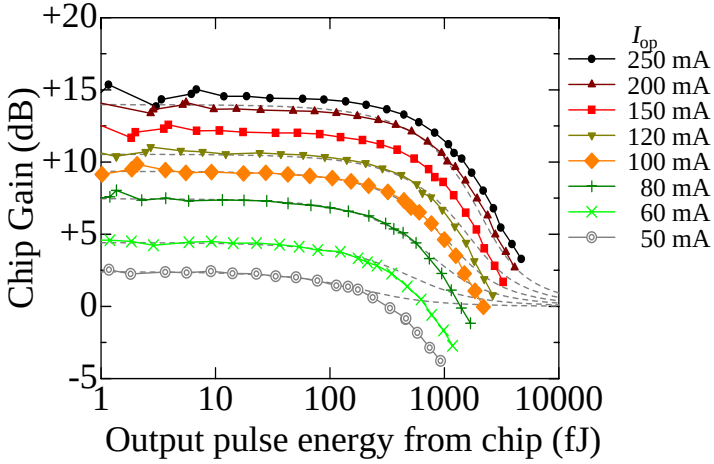
計算結果1:パルスの利得飽和



利得飽和:光強度が強くなるとSOAの利得が下がる



パルスの利得飽和:計算結果

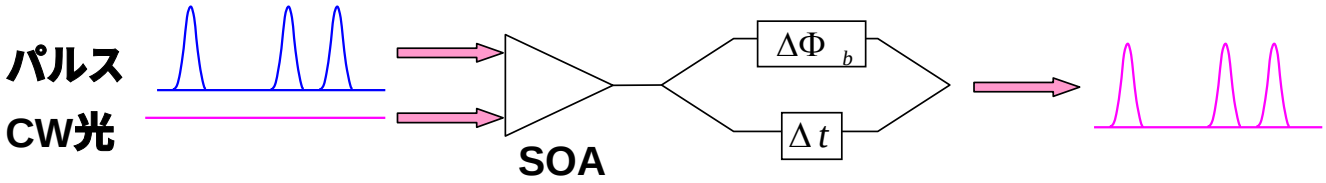


実験データ

2006,坂口氏@Ueno Lab

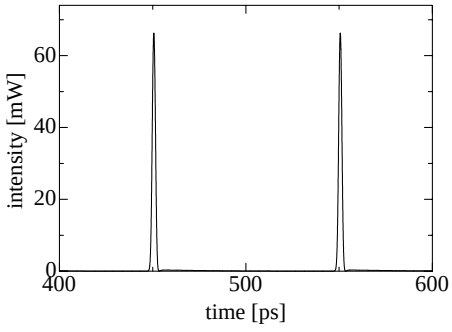
計算結果と検証モデルは概ね一致し、
シミュレータが原理通りの動作をしている。

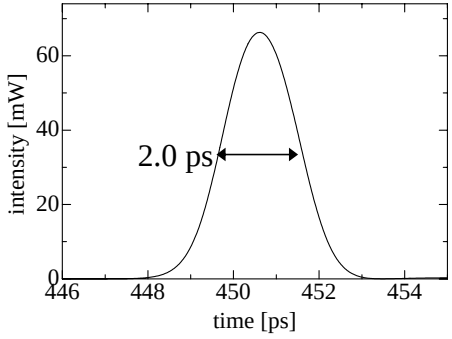
計算結果2:ゲート出力



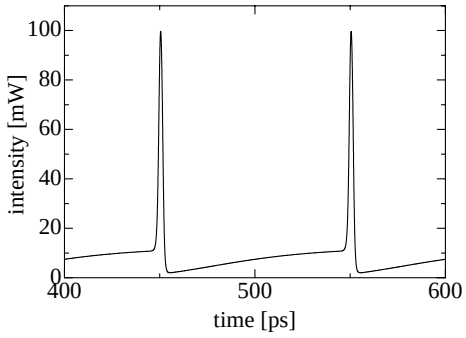
◆クロックパルス：10GHz

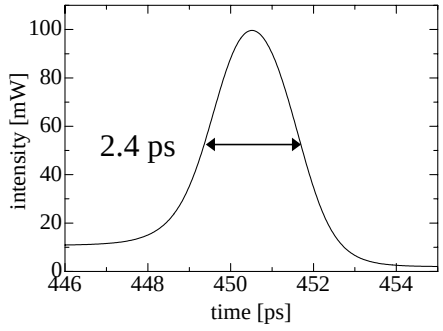
①⊿Φ_b＝1.0π、⊿t＝2 ps



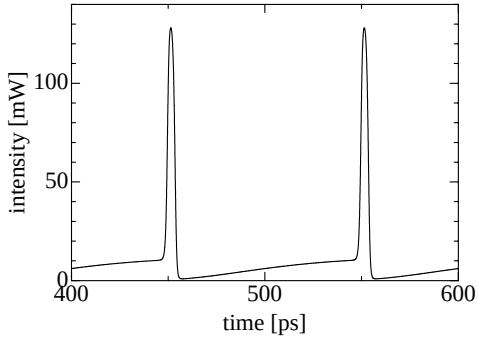


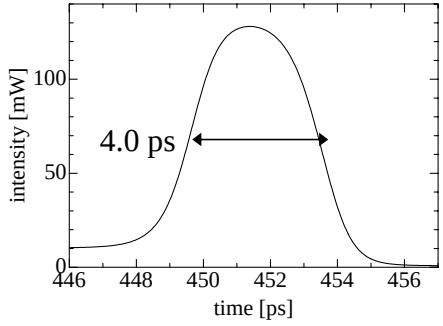
②⊿Φ_b＝1.1π、⊿t＝2 ps





③⊿Φ_b＝1.1π、⊿t＝4 ps





まとめ

- DISCゲートのシミュレータをゼロから作成し、ゲート出力まで完成した。

- 計算結果と検証モデルがほぼ一致したことにより、作成したシミュレータが原理通りの結果を再現できる。

今後の計画

- 数値解析
  - ゲート出力とパラメータとの因果関係
  - DISCゲートの周波数と注入電流のスケーリング則
- 拡張性
  - サブルーチン構造やパラメータの入出力法の改良
- シミュレータの追加要素
  - スペクトルの計算

PC/QDゲート評価用
超高速ポンプ･プローブ計測法の
入力ダイナミックレンジの研究

電子工学科 上野研究室

0312126 **本間 正徳**

発表内容

- 研究の背景
- 研究の目的
- 実験構成･結果
- まとめ

研究の背景

現在、光ネットワークシステムの世界では
全光ゲートなどの研究がなされている

↓

目指す所は高速動作･低エネルギー動作･小型化

↓

PC(フォトニック結晶)、QD(量子ドット)が注目されている
→超高速動作･低エネルギー動作･微小化の可能性

↓

未来の光ネットワークへの期待

研究の目的

PC/QD ゲートのサンプルを評価する

↓

注入できるパワーが小さい(4〜5mWで壊れる)

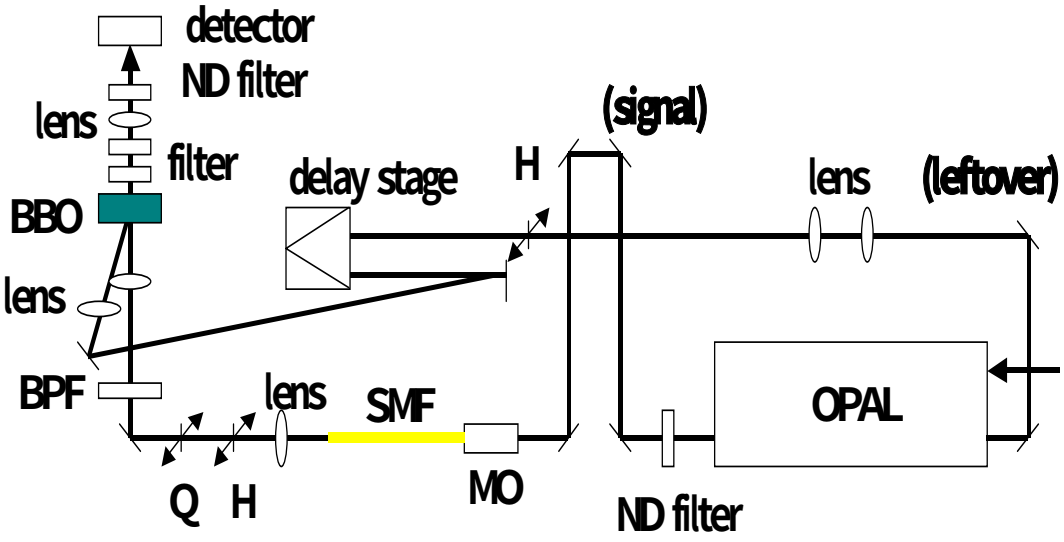
↓

雑音の影響を受け易い

↓

ダイナミックレンジの改善が必要

時間パルス幅の測定-構成図・結果



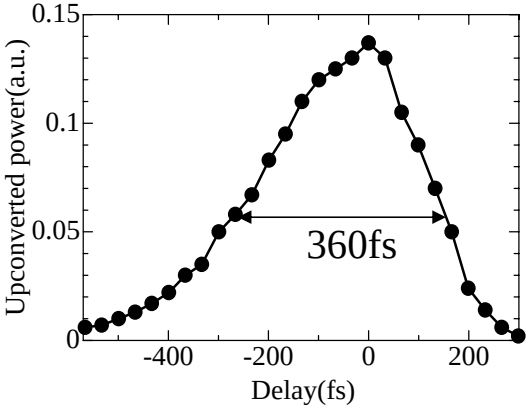


Fig.1 Experimental setup
Cross-correlation setup using upconvertion
in BBO crystal between the sliced 1.3um pulses
and OPAL leftover pulses(150fs, 775nm, 200mW).

MO: microscope objective

Fig.2 Temporal pulsewidth
SMF: 20cm, OPAL center-wavelength: 1290nm,
slicing with BPF: 1310nm, FWHM: 360fs,
average power after slicing: 5mW

(2006/10/11)

XGM(相互利得変調)の測定-構成図

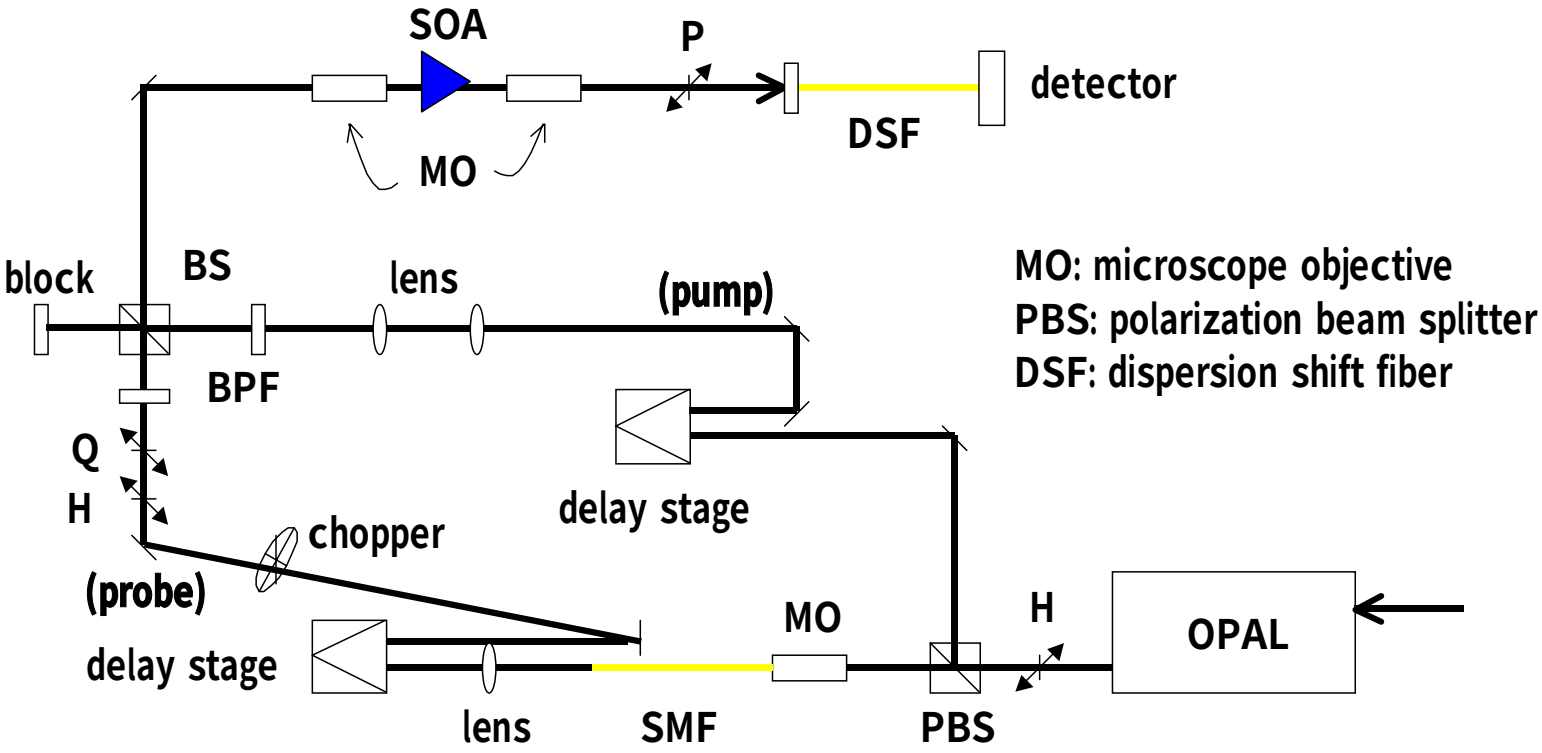
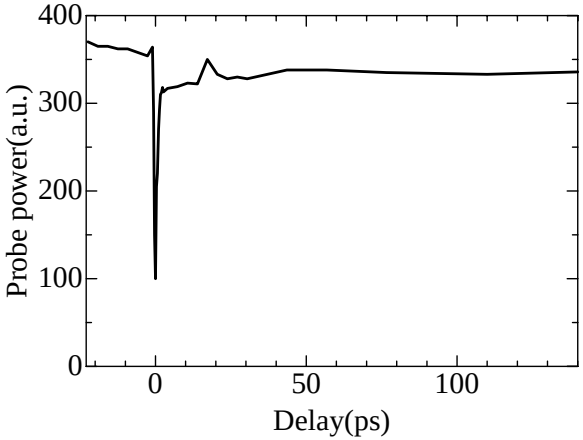


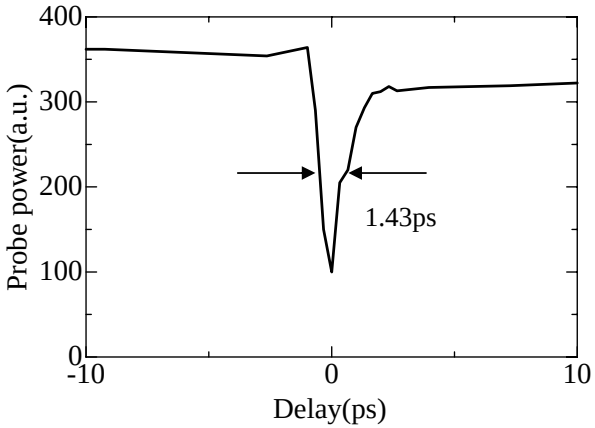
Fig.3 Pump & Probe experimental setup for SOA

OPAL signal beam(80MHz, 300mW,150fs)

XGM(相互利得変調)の測定-結果



(a)



(b)

Fig.4 (a) XGM of 1.3um in Inphenix SOA @ 150mA.
Pump's pulse width, wavelength, input power is 150fs, 1319nm(with BPF) and 1mW,respectively.
Probe's pulse width, wavelength, input power is 360fs, 1330nm(with BPF) and 6uW, respectively.
(b) Closeup of the ultrafast dynamics(SHB, CH).
FWHM of gain dip is 1.43ps.
Background level is ~10mV(2.8%).

SMF: 20cm
MO: ×20

SHB(Spectral Hole Burning)
CH(Carrier Heating)

(2006/11/01)

PC/QD(フォトニック結晶/量子ドット)の測定-構成図

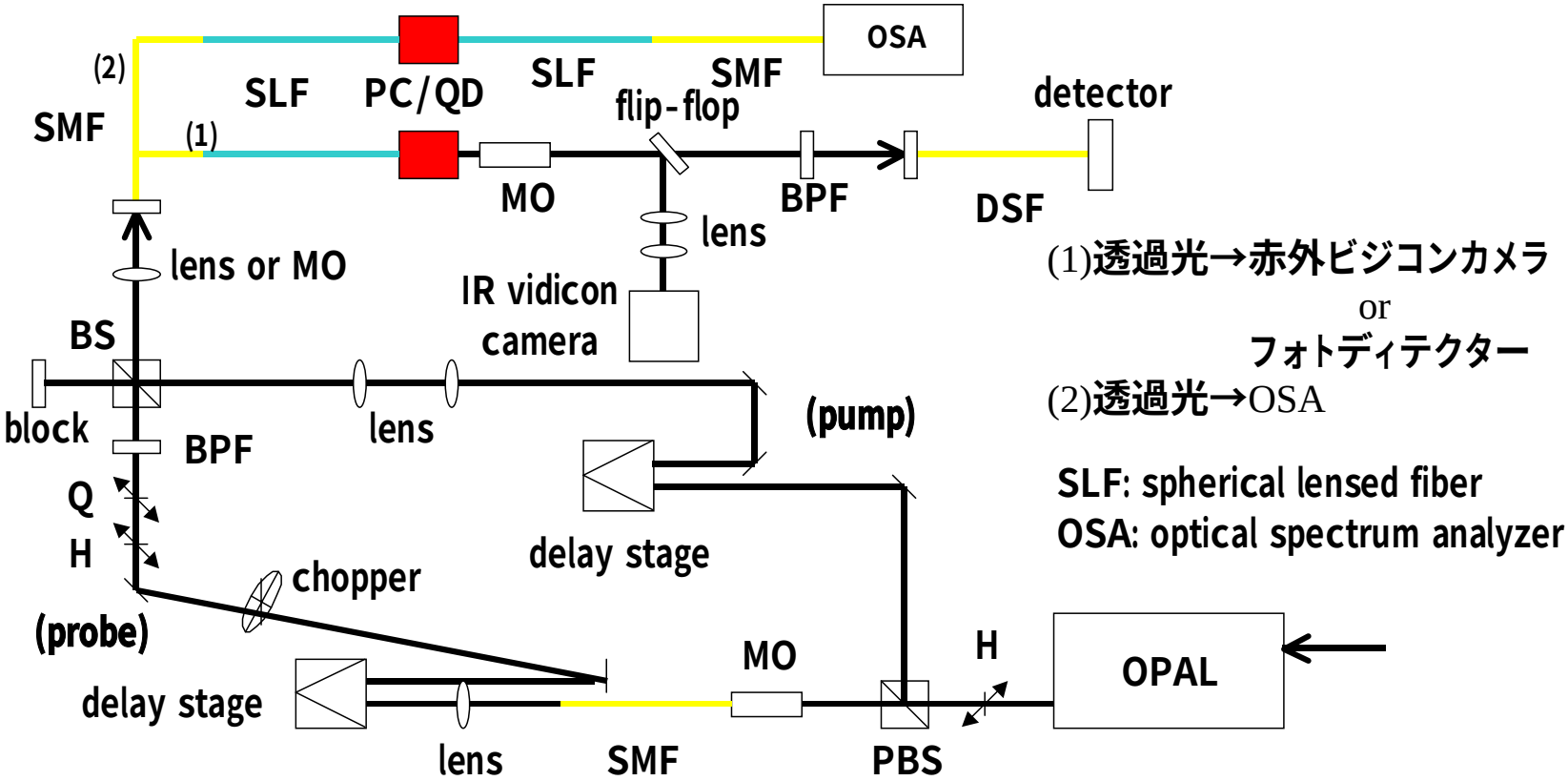


Fig.5 Pump & Probe experimental setup for PC/QD sample

OPAL signal beam(80MHz, 300mW,150fs)

まとめ

主な結果

- ポンプ･プローブ法によるSOAのXGMを測定出来た

→実験構成がPC/QD測定に使える

→信号パワー360mV、雑音パワー10mV(2.8%)

今後の課題

- PC/QD サンプルについて

(1)SMZ型の導波路へのビーム注入

→ストレート型、パーシャルSMZ型は成功

(2)OPALビームにて測定(透過スペクトル等)

- フォトニック結晶、量子ドットに関する知識を増やす