

卒業研究報告

題目

ファイバグレーティングを用いた超高速光パルスによる
光スイッチの性能評価

指導教員

神戸 宏 教授

報告者

学籍番号：1030183

氏名：川内 悠輔

平成 15年 1月 27日

高知工科大学 電子・光システム工学科

目次

第1章	はじめに.....	3
1 - 1	背景.....	3
1 - 2	目的.....	4
1 - 3	論文の構成.....	4
第2章	光ファイバ形デバイス.....	5
2 - 1	光ファイバグレーティング (FBG)	5
〔1〕	FBG の原理.....	5
〔2〕	FBG の特性.....	6
〔3〕	FBG の作製方法.....	6
2 - 2	光ファイバカプラ.....	8
〔1〕	光ファイバカプラの原理.....	8
2 - 3	光ファイバグレーティングカプラ (FGC)	9
2 - 4	まとめ.....	9
第3章	超高速光パルス発生装置.....	10
3 - 1	基本配置構成図.....	10
〔1〕	Millennia V	10
〔2〕	Ti:サファイアレーザ.....	11
〔3〕	オートコリレータ.....	11
3 - 2	まとめ.....	12
第4章	ファイバ形デバイスの特性	13
4 - 1	光ファイバカプラ特性.....	13
〔1〕	可変波長半導体レーザを入射.....	13
〔2〕	Ti:サファイアレーザを入射.....	15
4 - 2	FBG 特性.....	18
4 - 3	FGC 特性.....	19
〔1〕	フィルタ特性.....	19
〔2〕	温度変化.....	22

第5章 スイッチング特性	23
5 - 1 FBG 型全光スイッチの測定	23
〔1〕 実験系	23
〔2〕 測定結果	24
5 - 2 FGC 型全光スイッチの測定	26
〔1〕 実験系	26
〔2〕 測定結果	26
5 - 3 まとめ	28
第6章 結論	29
謝辞	30

第1章 はじめに

1-1 背景

近年におけるインターネットの爆発的な普及により、高速・大容量の情報通信ネットワークに対する要求が高まるとともに、光通信技術に対する研究開発も盛んに行なわれている。現在、オフィスのみならず各家庭へ光ファイバを引き込むFTTH (Fiber To The Home) が進められており、数年後には通信トラフィックが飛躍的に増大すると予想されている。すなわち、各家庭へは数 100 Mbit/s から Gbit/s の伝送容量となれば、これらを束ねた幹線系で Tbit/s から、さらには Pbit/s の伝送容量が必要になるだろう。

現在、大容量化を可能とする技術としては、大きく分けて波長分割多重 (WDM)、時分割多重 (TDM)、光時分割多重 (OTDM) の 3 つの方法がある。WDM は 1 本の光ファイバに波長の異なる多くの情報を多重化する伝送方式であり、TDM は電気信号で時間的に多重化して伝送する方式である。現在 40Gbit/s が研究されている。しかし、今日の通信システムでは光信号を電気信号に一度変換して処理を行い、再び電気信号を光信号に変換しネットワークに送っているため、高速化を阻む大きな原因となっている。

これに対し OTDM は光の短パルスで時間的に多重化して伝送する方式である。光信号を光のまま高速処理する光アドドロップ (OADD) や、光伝送路で光路を切り替える光スイッチが必要不可欠である。

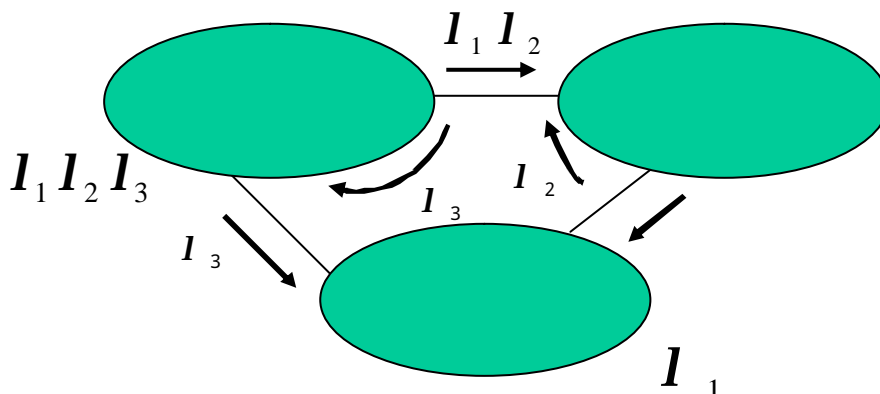


図 1.1 アドドロップの構成図

1 - 2 目的

現在、光スイッチは機械的に光路を切り替える機械型光スイッチ、電子的に光路を切り替える電子型光スイッチ、そして光で光路を切り替える全光型光スイッチがある。ここで最も高速化が期待できるのは、光路を全て光で制御する全光型光スイッチである。光ファイバのコア部に回折格子を形成したファイバ形デバイスにより、全光型光スイッチが可能であることは既に報告されているが、スイッチ特性を実時間で観測した例は少ない。本研究は、波長選択デバイスであるファイバグレーティングをとりあげ、全光型光スイッチの可能性を明らかにすることを目的とする。

波長 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯用に設計されたファイバグレーティング (FBG) およびファイバグレーティングカップラ (FGC) について、まず $1.55\ \mu\text{m}$ 帯可変波長半導体レーザ光を FBG または FGC に入射し、波長特性を明らかにする。次に、Ti:サファイアレーザのモードロックによるピコ秒光パルス発生について、波長および出力特性を調べる。これらの結果に基づき波長 800nm の光パルスと $1.55\ \mu\text{m}$ の光を同時に FBG または FGC に入射し、ピコ秒パルスによる $1.55\ \mu\text{m}$ 光のスイッチ特性を調べる。

1 - 3 論文の構成

本論文では第 2 章に本研究で使用したファイバ形デバイスの原理、第 3 章に超高速光パルス発生装置、第 4 章にファイバ形デバイスの特性、第 5 章にスイッチング特性の実験結果について述べる。

本章での参考文献

- ・山下真司 “光ファイバ通信のしくみがわかる本” 技術評論社
- ・高橋健一郎 井上亨 牧久雄 重松昌行 “光ファイバ型波長切り替えスイッチ” 信学技報 PS2002 - 16

第2章 光ファイバ形デバイス

ファイバ形デバイスとは光ファイバや特殊な光ファイバを加工したデバイスであり、伝送路に用いる光ファイバとの接続も低損失で行なえるという特徴がある。本章では、本研究で使用したファイバ形デバイスである、光ファイバグレーティング (FBG)、光ファイバカプラ、および、光ファイバグレーティングカプラ (FGC) の原理と構造について述べる。

2 - 1 光ファイバグレーティング (FBG)

光ファイバグレーティング (FBG : Optical Fiber Bragg Grating) とは、ある特定の波長 (Bragg 波長) の光のみを反射するデバイスである。ファイバのコア部分の屈折率を周期的に変化させた構造であり、グレーティング周期と屈折率変化量により、所定の Bragg 波長が決められる。FBG は反射フィルタのほか、分散補償素子やセンサ素子、半導体光源の外部共振器などに応用されている。

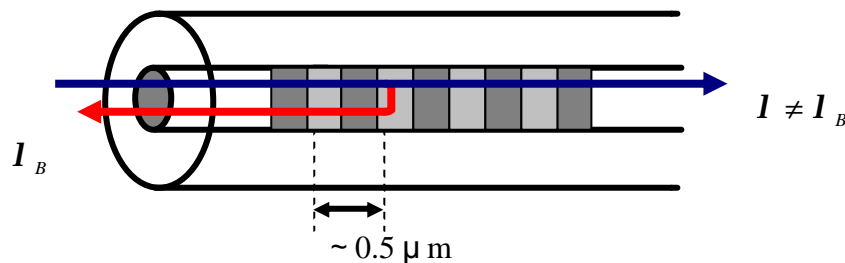


図 2.1 光ファイバグレーティングの構造

〔 1 〕 FBG の原理

FBG ではコア部の屈折率が周期的に変化している。この屈折率変化は、ゲルマニウム (Ge) をドーピングした石英ガラスに波長 240 nm 付近の紫外線を照射することで起こる光誘起屈折率変化 (屈折率の増大) の現象を利用して作られる。光誘起屈折率変化の大きさは Ge ドーピングの量に比例する。Ge ドーピング石英ガラスに紫外線を照射すると、ガラス中の酸素欠乏欠陥である Ge-Si 結合が紫外線エネルギーを吸収して GeE' と呼ばれる欠陥が生成される。このとき吸収スペクトルが変化するとともに屈折率が増加する。FBG は Ge ドーピングコアファイバに紫外線の干渉縞を形成し照射することによって、周期的な屈折率変化を書き込む

ことができる。

〔 2 〕 FBG の特性

FBG はグレーティング周期により任意の波長 (Bragg 波長) の光のみを反射する。Bragg 波長 λ_B は、伝搬モードの実効屈折率 n_{eff} とグレーティング周期により、次式で表される。

$$\lambda_B = 2n_{eff} \quad (2.1)$$

実効屈折率 n_{eff} はコアの屈折率 n_{core} と屈折率増加量 Δn より

$$n_{eff} = n_{core} + \frac{1}{2} \Delta n \quad (2.2)$$

である。また、Bragg 波長 λ_B における反射率 R_B は、グレーティング長 L と屈折率増加量 Δn より

$$R_B = \tanh^2 \left(\kappa L \cdot \Delta n \cdot h / \lambda_B \right) \quad (2.3)$$

で表される。ここで、 h は伝搬光エネルギーのうちコアの中に含まれている伝搬光の割合である。式(2.3)より、グレーティング長 L または屈折率増加量 Δn が大きいほど反射率の高いグレーティングを得ることがわかる。

式 (2.1) より、グレーティング周期、もしくは実効屈折率 n_{eff} の変化により Bragg 波長 λ_B が変化することがわかる。グレーティング周期 や実効屈折率 n_{eff} はグレーティング部に力を加えたり、熱を加えることで変化を与えることができる。本研究では、光パワー (光の電界) による屈折率変化を利用する。また、実効屈折率 n_{eff} は光カー効果でも変化する。光カー効果は光の電界により屈折率が変化する非線形現象である。これにより Bragg 波長 λ_B を変化させることができる。一般的に光カー効果を用いる場合の応答速度は数百 fs、Bragg 波長の変化量は 0.1nm 以下と言われている。

〔 3 〕 FBG の作製方法

FBG の代表的な作製方法には、二光束干渉法と位相格子法がある。

二光束干渉法とは、ファイバに波長 λ_{UV} の紫外線を 2 方向から照射することで、光の干渉によりコアに周期的な屈折率変化を生じさせる。光の入射角 q を制

御することにより、任意のグレーティング周期 を得ることができる。コヒーレンスのよいレーザー光源が用いられる。

位相格子法は石英ガラス基板の上に FBG の 2 倍の周期で形成した位相変調型の透過回折格子である位相格子を用いる。紫外線を位相格子に照射することにより、+1 次と -1 次の回折光が得られ、その回折光同士が交差し干渉パターンを形成する。グレーティング周期は確実に位相格子の周期の半分となるため、安定性や量産性に優れている。

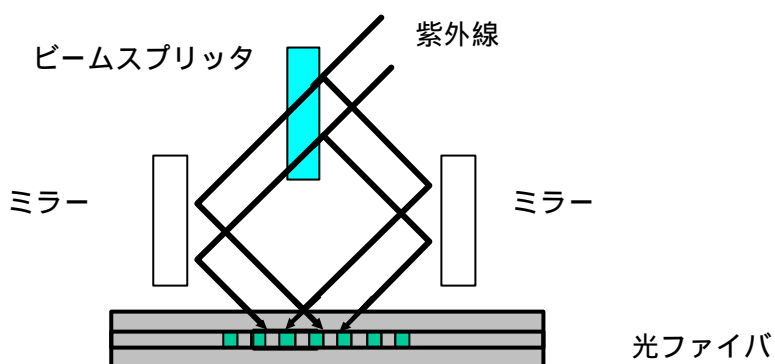


図 2.2 二光束干渉法

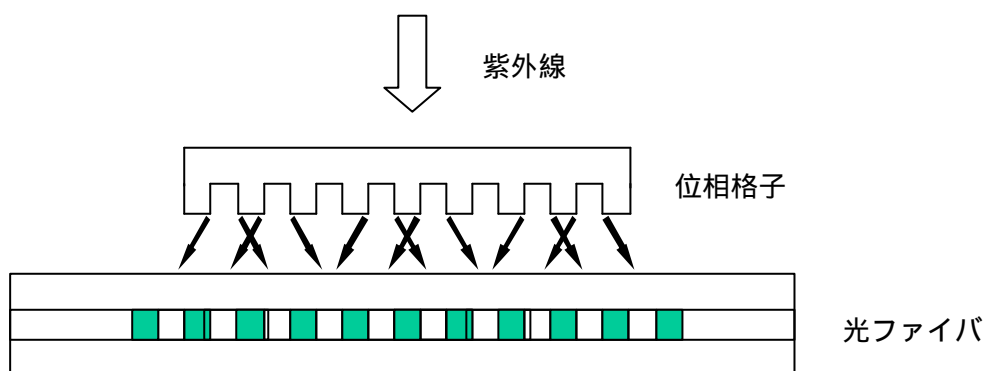


図 2.3 位相格子法

なお、反射型の FBG の屈折率周期は $1 \mu\text{m}$ 以下なのに対し、屈折率周期が $200 \sim 500 \mu\text{m}$ と長い長周期グレーティング (LPG : Long Period fiber Grating) も実用化されている。これは特定の波長の光をクラッドモードとして、損失を与えるフィルタとして機能し、広帯域・無反射という特徴がある。光ファイバ増幅器の利得等化器などに利用されている。

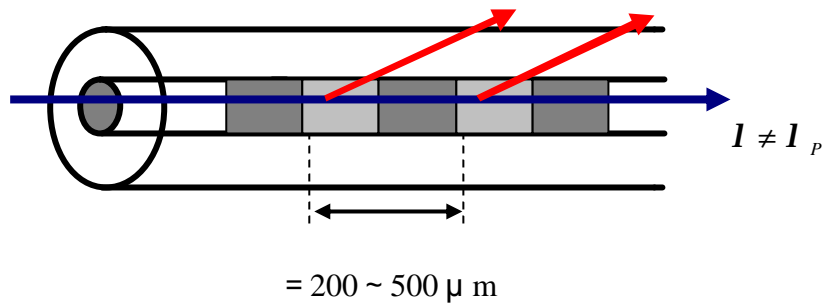


図 2.4 長周期ファイバグレーティング (LPG)

2 - 2 光ファイバカプラ

光カプラとは、特定の波長における光電力の分配や合流、波長ごとの光を分波あるいは合波、さらには偏波の異なる光を分岐や合流させる機能をもったデバイスである。光の合分岐は、フォトリソグラフィ技術を用いたプレーナ形と、ファイバ形、融着延伸形、研磨形などが実用化されている。ここで、伝送路である光ファイバをそのまま用いて作製されたものを光ファイバカプラといい、これは現在の光ファイバ通信において最もよく用いられるデバイスのひとつである。

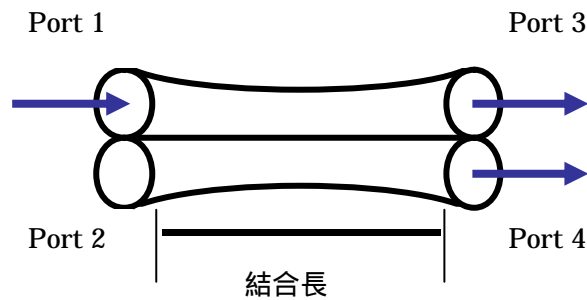


図 2.5 光ファイバカプラ

〔1〕光ファイバカプラの原理

複数の光ファイバ（光導波路）のコア部を近接させることで、それぞれの光ファイバでモード結合を起こし、他方の光ファイバに光パワーを分岐させている。ここで光はコア部に閉じ込められたまま伝搬している。ここで分岐比はコア間の距離と近接している距離（結合長）により調整することが可能である。また、光をコア部に閉じ込められないようにコア部を細くして、クラッド部に漏れ出せさせることによりクラッド部全体で光を伝搬するカプラもある。

2 - 3 光ファイバグレーティングカプラ (FGC)

光ファイバグレーティングカプラ (FGC : Optical Fiber Grating Coupler) とは、光ファイバカプラと FBG を組み合わせた光デバイスである。光ファイバカプラの結合部分に屈折率を周期的に変化させた、グレーティングを書き込むことによって、単体で特定波長の合波、分波ができる波長選択デバイスとして機能する。フィルタ特性は FBG と同様に扱えるが、FGC は Port1 から光を入射した場合、Bragg 波長のみがグレーティング部で反射され Port 2 から出力される。

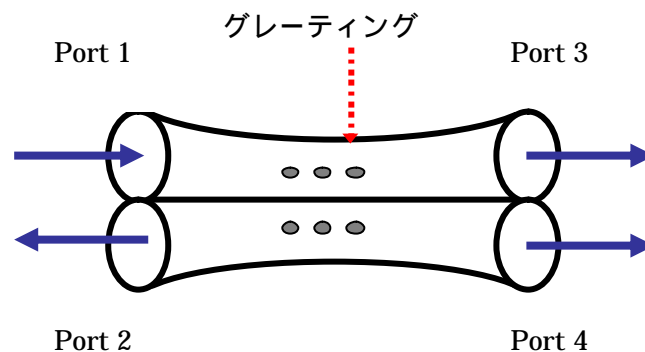


図 2.6 光ファイバグレーティングカプラ (FGC)

2 - 4 まとめ

以上、本章では本研究で用いた FBG、光カプラおよび、FGC の基本構造について述べた。本研究で用いた FBG、FGC はいずれも茨城大学佐々木研究室で二光束干渉法により作られたものである。また、光カプラは市販品である。これらの特性の測定結果については第 4 章で述べている。

本章での参考文献

- ・川上彰二郎 白石和男 大橋正治 “光ファイバとファイバ形デバイス” 培風館
- ・森下克己 “光ファイバ ファイバ形光デバイス” 朝倉書店
- ・山下真司 “光ファイバ通信のしくみがわかる本” 技術評論社
- ・峯尾浩之 “光ファイバグレーティングカプラ中の非線形光学効果の解明とその応用” 茨城大学大学院工学研究科システム工学専攻 修士学位論文
- ・金森弘雄 “ファイバグレーティング” 電子情報通信学会誌 Vol.82 No.7
フォトニックネットワーク用光デバイス小特集 2 - 4

第3章 超高速光パルス発生装置

本章では、本研究で用いたピコ秒光パルス発生装置である、モードロック Ti:サファイアレーザについて簡単に述べる。なお同じシステムにおけるフェムト秒光パルス発生については、既に中野雄大氏の本学卒業論文によって報告されているので、ここでは省略する。

3 - 1 基本配置構成図

本研究で用いたピコ秒光パルス発生装置の構成は下図のようになっている。

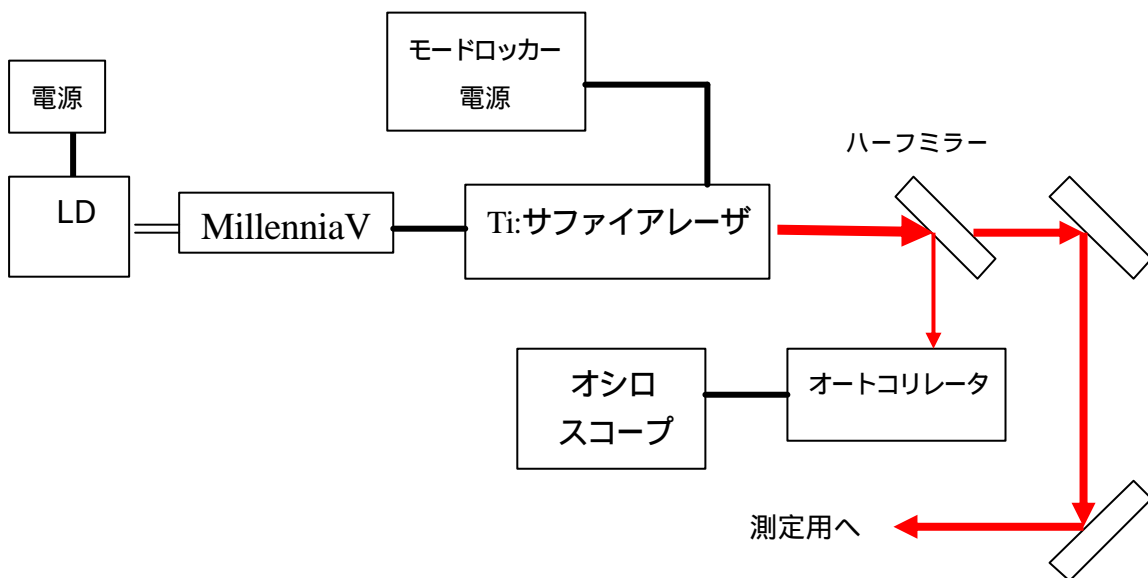


図 3.1 超高速光パルス発生装置構成図

Ti:サファイアレーザから出た光はハーフミラーにより、8.5 : 1.5 で測定用と観測用に分けられる(800nm のとき)。観測用の光は、オートコリレータによってパルス時間幅測定に使用される。

〔 1 〕 Millennia V

波長 809 nm の LD によって、 $N_d - YVO_4$ (ネオジウムイオン添加イットリウム

ムバナダイト) 結晶を励起し、波長 1064nm の赤外レーザを発振している。そしてこの光を SHG 結晶に透過することで第 2 次高調波である、波長 532nm のレーザを発振している。ここでは、Ti:サファイアレーザの励起用レーザとして使用し、最大出力は 5.5W で CW レーザ光を発振する。

〔 2 〕 Ti:サファイアレーザ

波長 532nm の Millennia V を励起光源として、チタンサファイア結晶を励起して発振している。波長可変ができる、パルス光 (ピコ秒、フェムト秒) CW 光のどちらでも発振できるという特徴がある。実際に測定した波長可変範囲はピコ秒光パルスで 740 ~ 840nm、CW 光で 710 ~ 850nm である。またピコ秒パルス発振のとき、モードロッカー電源の on/off によりパルス光、CW 光を制御することができる。

〔 3 〕 オートコリレータ

ピコ秒以下のパルス時間幅を測定する際、通常のフォトダイオードでは時間分解能以下となるため、測定できない。そこで、SHG 相関法によるパルス時間測定器である、オートコリレータを用いる。オートコリレータで観測するパルス波形は実際のパルス波形と異なり、オートコリレータのデコンボリューション値で修正、計算することにより、実際のパルス時間幅を得ることができる。

$$\text{パルス時間幅 } \Delta t = \frac{\text{エタロンによる遅延時間} \times \text{デコンボリューション} \times T_w}{\text{エタロン挿入時と挿入していないときのパルス時間差}}$$

ここで、エタロンによる遅延時間はピコ秒のとき 20.5 ps、オートコリレータのデコンボリューション値は 0.65、 T_w とはオシロスコープで観測したパルス半値全幅である。

また、このパルスのピーク電力は、Ti:サファイアレーザの平均出力とパルスの繰り返し周期、パルス時間幅により以下の式で求めることができる。パルスは 80MHz で繰り返している。

$$\text{パルスピーク電力 } P_p = \frac{\text{平均出力} \times \text{パルスの繰り返し周期}}{\text{パルス時間幅 } \Delta t}$$

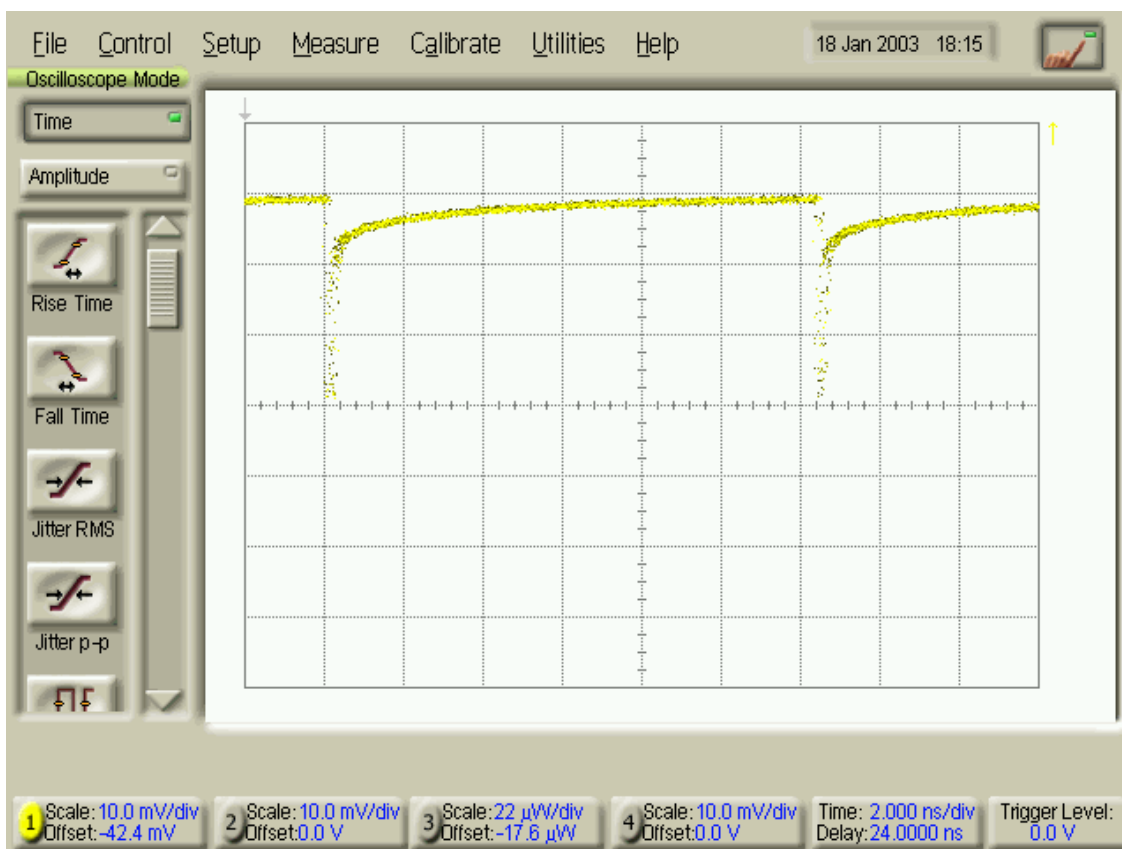


図 3.2 サンプリングオシロスコープで見た Ti:サファイアレーザ(波長 792nm) のパルス波形

3 - 2 まとめ

本研究で用いた Ti:サファイアレーザにおいて光パルスは 80MHz で繰り返しており、パルスピーク電力はパルス時間幅が短く、平均出力が高いほど高強度である。通常ピコ秒光パルス発生装置ではパルス時間幅が 2 ~ 3ps であり、平均出力は励起出力に依存するため、より高いピーク電力を得るためには励起出力を上げればよい。

本章での参考文献

- ・中野雄大 “ Ti:サファイアレーザによる超高速光パルスの発生とその応用 ”
高知工科大学電子・光システム工学科 卒業論文

第4章 ファイバ形デバイスの特性

本章では、第2章で説明し本研究で用いたファイバ形デバイスについて、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯の可変波長半導体レーザ、および、Ti:サファイアレーザからパルス光を入射したときの測定結果を述べ、それぞれの特性を明らかにする。

4-1 光ファイバカプラ特性

(1) 可変波長半導体レーザを入射

本研究では用いたカプラは 2:2 カプラと、1:2 カプラ (1:2 カプラ) である。まずカプラの基礎的な特性を知るために、 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯の可変波長半導体レーザ光を入射した。図 4.1 に実験系を、図 4.2 に結果を示している。

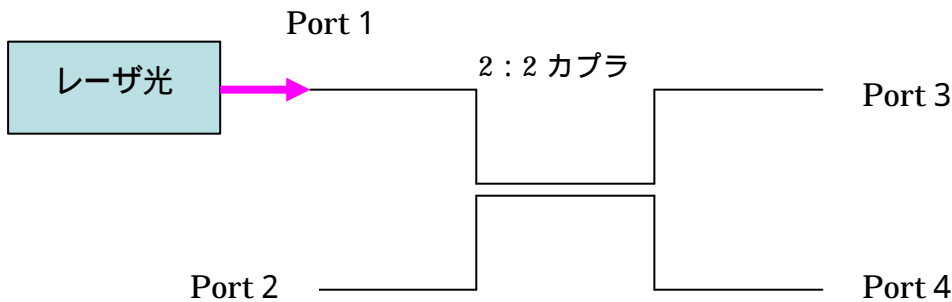


図 4.1 2:2 カプラ実験系

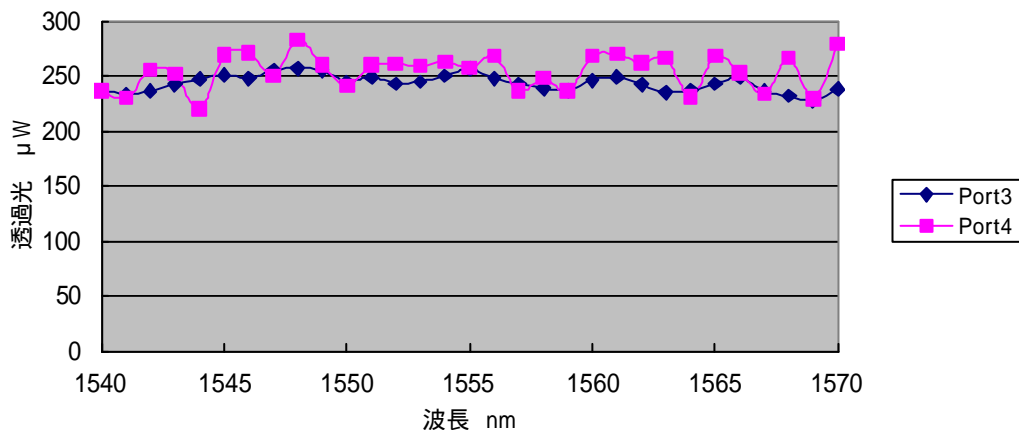


図 4.2 2:2 カプラ特性

グラフより、測定した波長帯（ $1.55\ \mu\text{m}$ 帯）で Port1 から入射した光が波長によらず Port3 と Port4 に同程度、分岐していることがわかる。すなわち設計通り 3dB カプラとなっている。ここで Port 2 への反射光は数 $10\ \text{nW}$ オーダーと Port 3、Port 4 の出力に比べて 40dB 以上小さい。

同様にして 1 : 2 カプラ、2 : 1 カプラの測定も行なった。1 : 2 カプラは 2 : 2 カプラに比べて Port 2 と Port3 の出力差はやや大きい、これもほぼ同じぐらいの光パワーが透過している。出力に差が出た原因として、端面が綺麗に加工されていないことが考えられる。2 : 1 カプラは、ほとんどの光パワーが透過し、反射光はごくわずかだった。

これらのことから本研究で使用した 2 種類のカプラは設計通り 3dB カプラとなっていることを確認した。

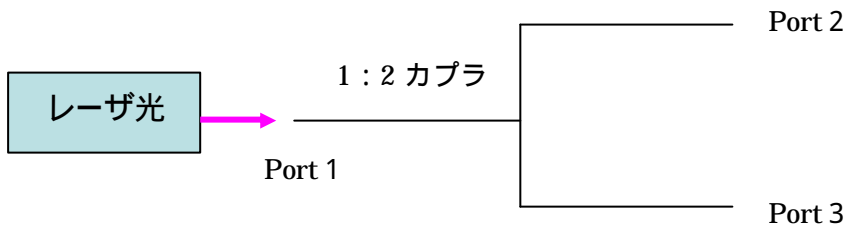


図 4.3 1 : 2 カプラ実験系

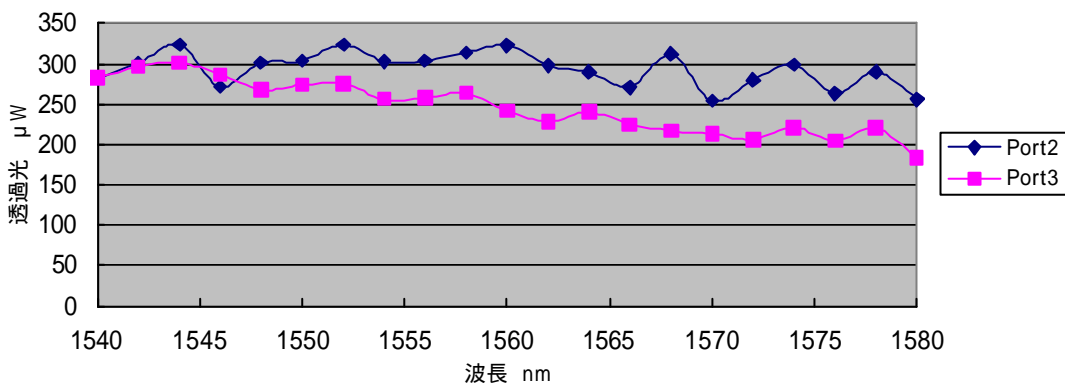


図 4.4 1 : 2 カプラ特性

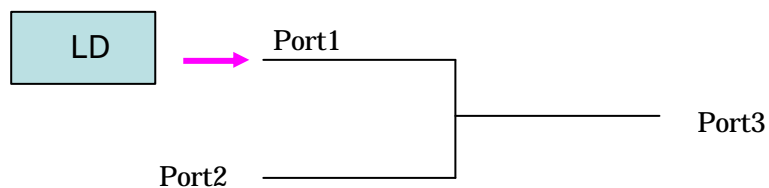
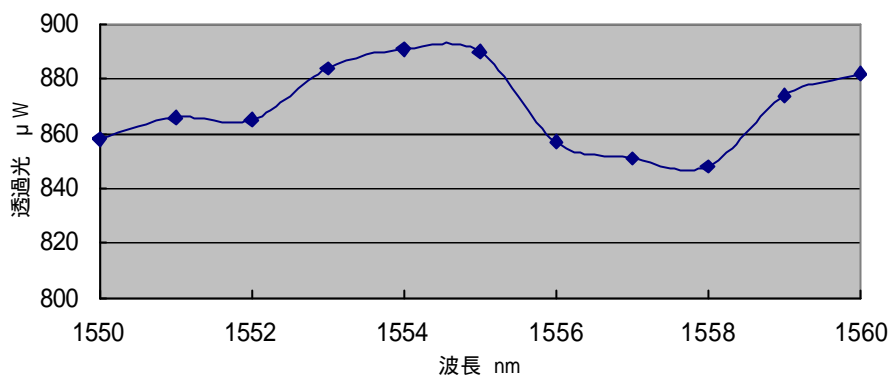
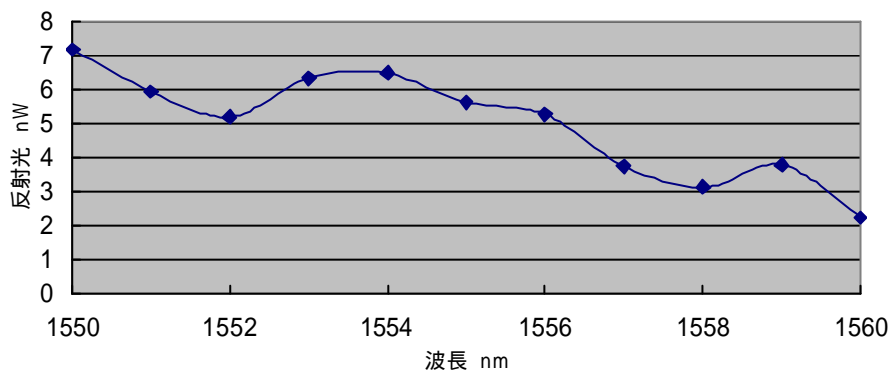


図 4.5 2 : 1 カプラ実験系



(a) 透過光特性

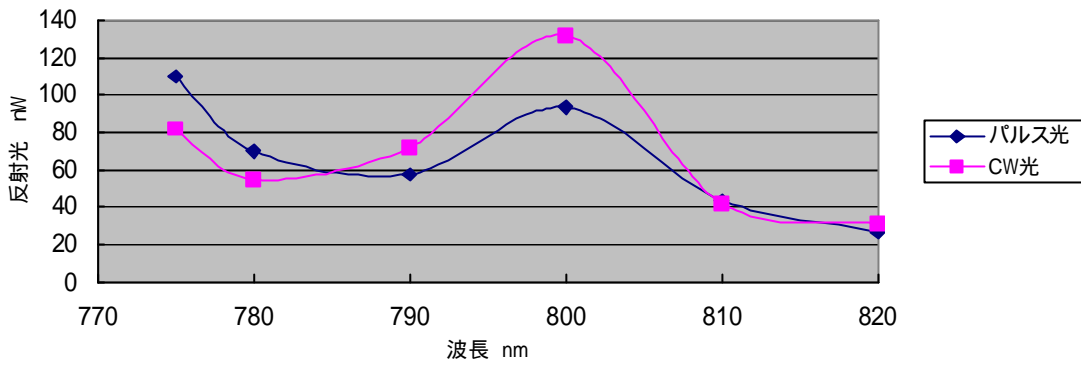


(b) 反射光特性

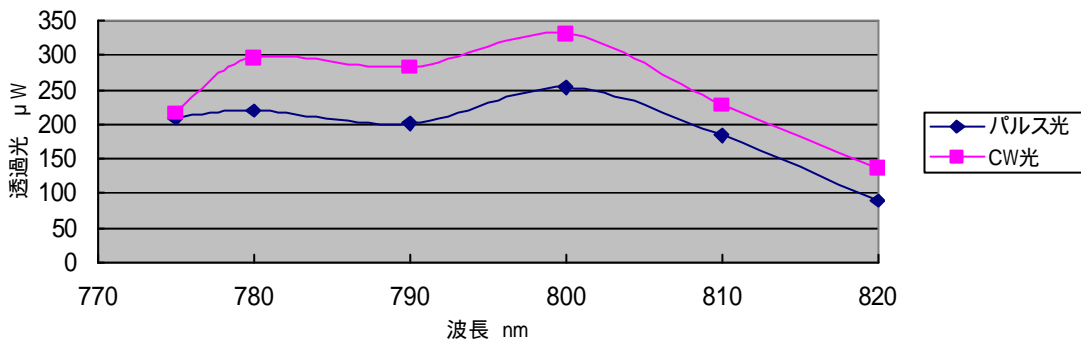
図 4.6 2 : 1 カプラ特性

〔 2 〕 Ti : サファイアレーザを入射

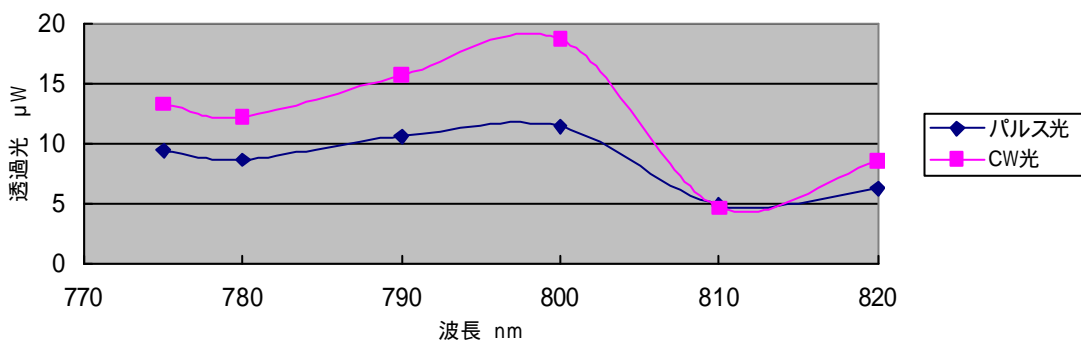
次に波長 1.55 μm 帯用に設計された上記の 2 : 2 カプラと 1 : 2 カプラに Ti : サファイアレーザを入射した。ここでの Ti : サファイアレーザの出力波長を 775 ~ 820nm に設定し、カプラの波長依存性について調べた。また、パルス光だけでなく、CW 光も入射することによりパルス依存性についても調べた。



(a) Port 2 反射光特性



(b) Port3 透過光特性

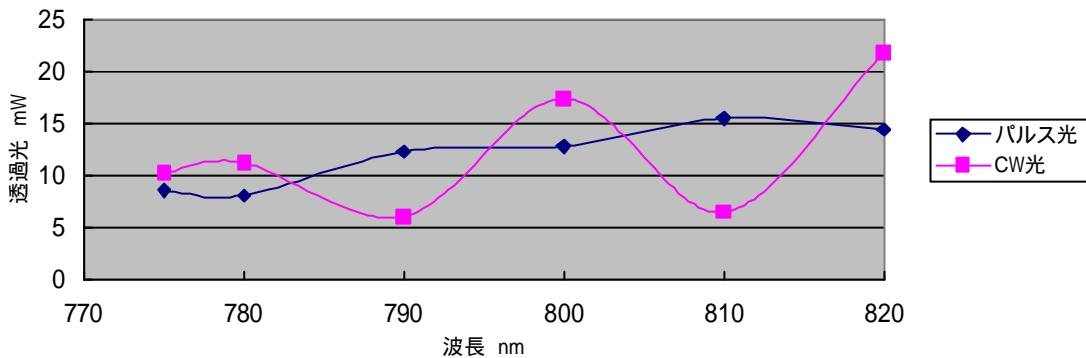


(c) Port4 透過光特性

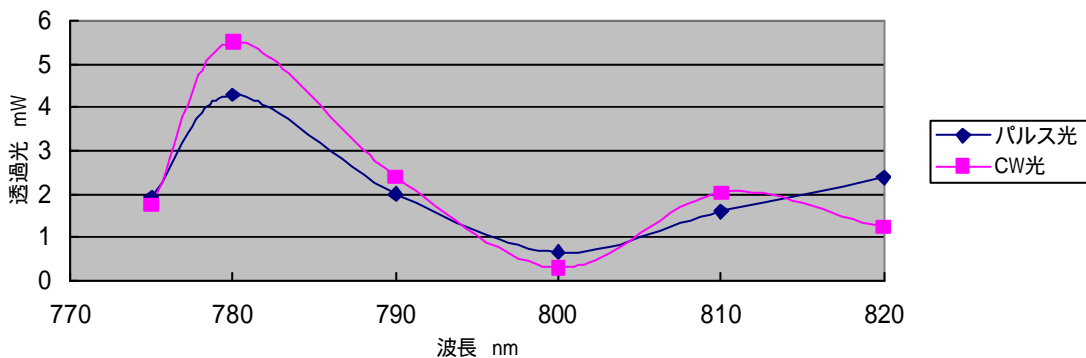
図 4.7 2 : 2 カプラ パルス光と CW 光との比較

2 : 2 カプラに Ti:サファイアレーザを入射すると、大部分が Port 3 にカップルし、Port 4 には約 - 13dB 程度の光が透過する。また Port 2 には、わずかな出力しか現れず約 - 33dB 以下である。

図 4.8 は 1 : 2 カプラにパルス光と CW 光を入射したときの Port2、Port3 における透過光の出力特性を示している。2:2 カプラと同様に 1.55 μ m 帯の光を入射したときと比べて、800nm 帯の光を入射したときの透過光は波長によって大きく変化している（約 8dB の出力差）。また、CW 光を入射した場合も同様のことが言える。以上の結果から次章で述べるスイッチ特性の実験において、カプラを信号光（1.55 μ m 帯）と励起光（800nm 帯）との分離に使用できることがわかった。



(a) Port2 透過光特性



(b) Port3 透過光特性

図 4.8 1 : 2 カプラ パルス光と CW 光の比較

4 - 2 FBG 特性

FBG はある特定の波長 (Bragg 波長) を反射させる、フィルタとして機能する。このフィルタ特性を調べるため、FBG に可変波長半導体レーザを入射した。FBG において Bragg 波長の光は、反射して半導体レーザ (LD) 内部へ戻ってしまい、レーザの出力が不安定になることが考えられる。このため、前節で述べた 2 : 1 カプラを通して入射し、できるだけ戻り光を減少させる工夫をした。

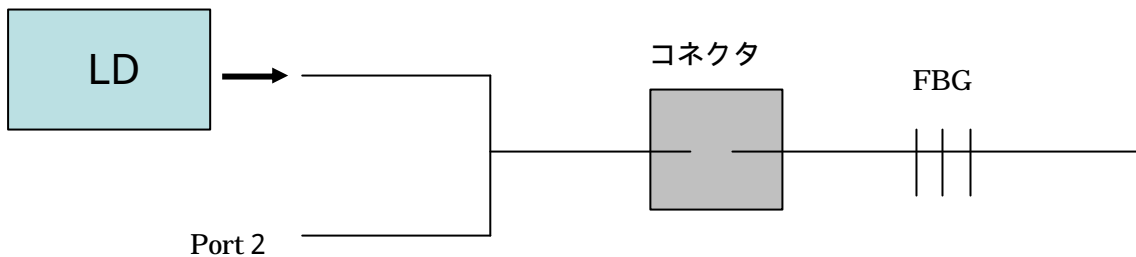
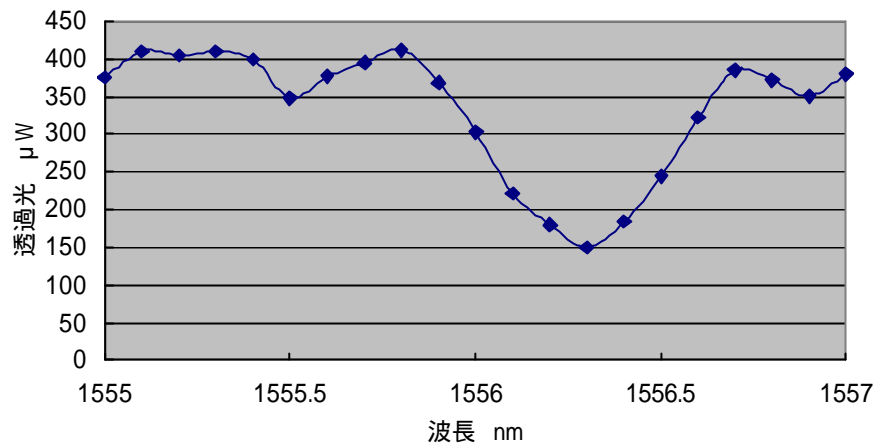
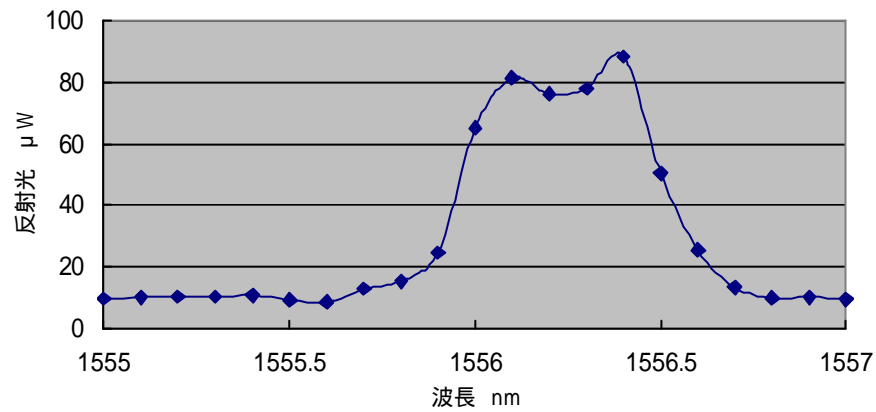


図 4.9 FBG のフィルタ特性 実験系

図 4.10 は FBG に可変波長半導体レーザを入射したときのフィルタ特性 (透過特性) である。2 : 1 カプラを接続したことにより、反射光も測定できた。このグラフより、Bragg 波長は 1556.3nm (透過光が少ない中心波長とした) であることがわかる。



(a) 透過光



(b) 反射光

図 4.10 FBG のフィルタ特性

4 - 3 FGC 特性

〔 1 〕フィルタ特性

FBG と同様に FGC のフィルタ特性を調べる。図 4.9 に実験系を示す。Port1 から 1.55 μm 帯の変波長半導体レーザを入射し、Port2 への反射光と Port3、Port4 への透過光を測定し、Bragg 波長を求めた。FGC は Bragg 波長が Port2 に反射される点が FBG との違いである。

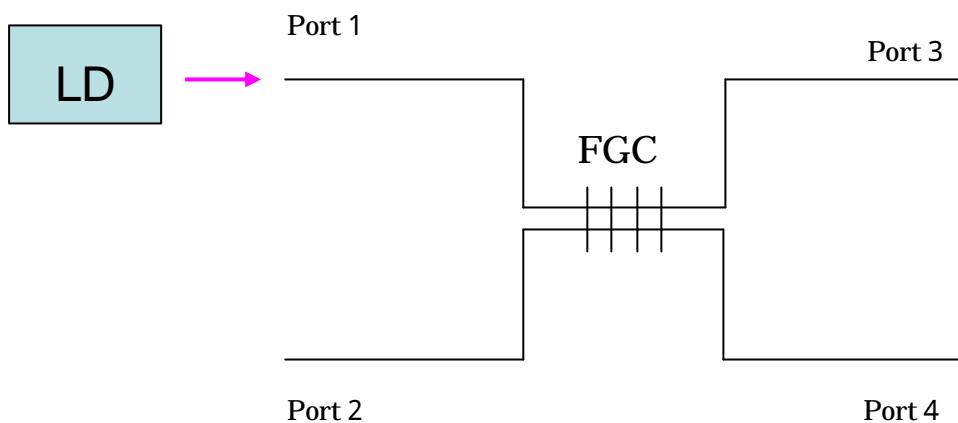
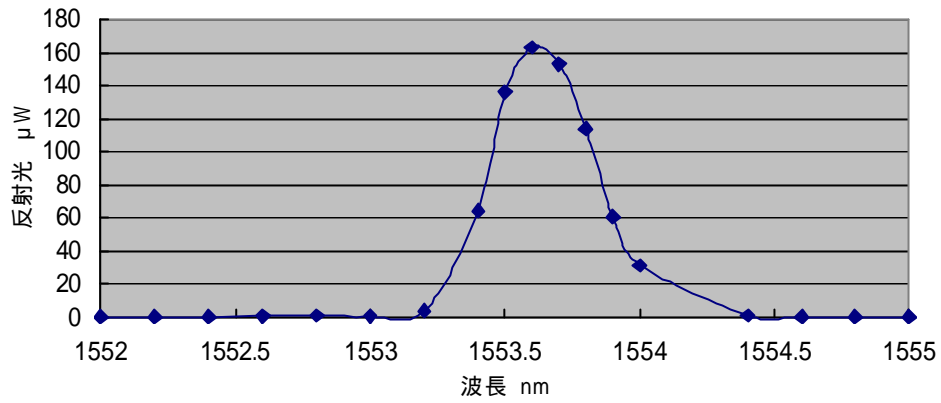
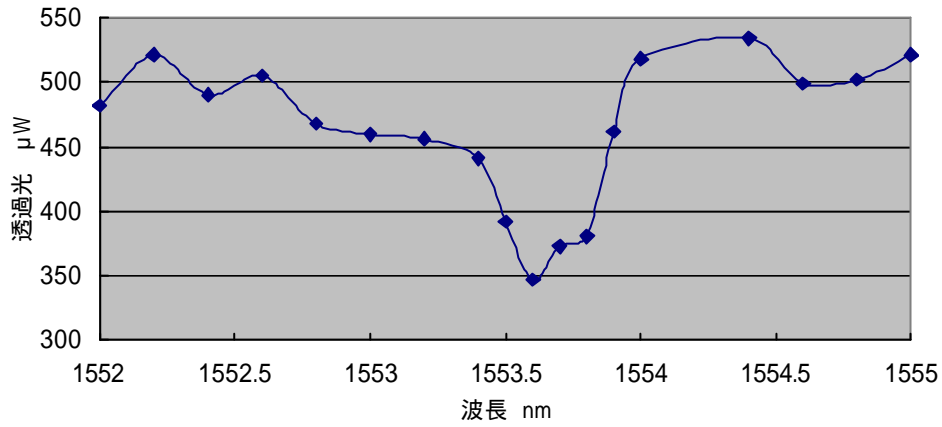


図 4.11 FGC のフィルタ特性 実験系

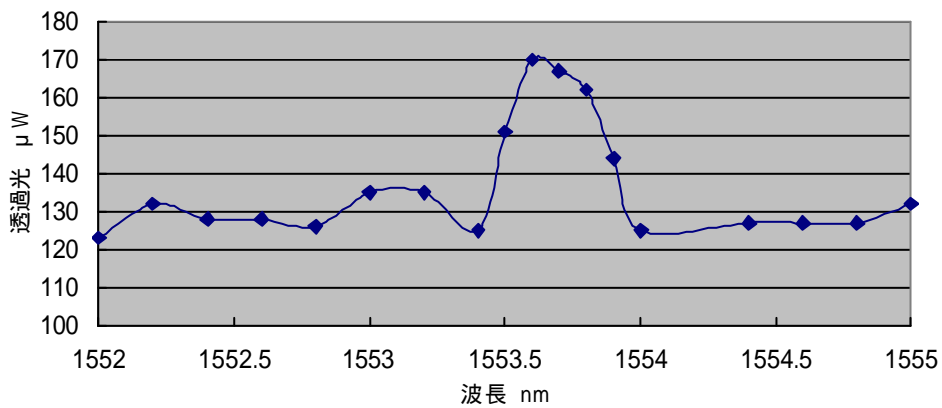
図 4.10 に各ポートの出力特性を示す。この FGC において、波長 1553.2nm から急激に光パワーが反射している。Port 3、Port 4 への透過光特性については揺らぎが大きい、特に Port 2 において、この特性が顕著に出ている。グラフより Bragg 波長は 1553.6nm であることがわかる。



(a) Port 2 反射光



(b) Port 3 透過光



(c) Port 4 透過光

図 4.12 FGC のフィルタ特性

〔 2 〕 温度変化

FGC はグレーティング部に熱を加えることで、熱による実効屈折率と熱膨張によるグレーティング周期の変化により、Bragg 波長が変化する。ここでは別の FGC (Bragg 波長 : 1553.8nm) を用いて、グレーティングを市販の使い捨てカイロで温めることにより、Bragg 波長の変化を測定した。

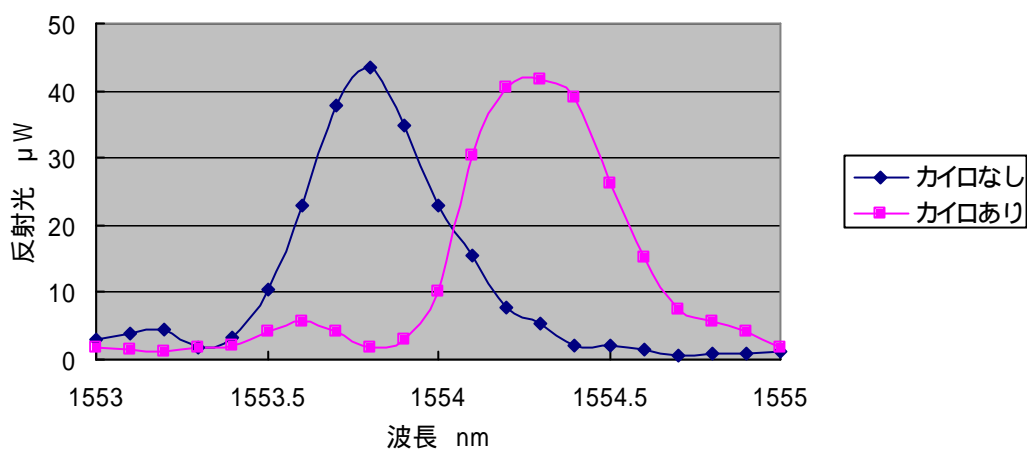


図 4.13 FGC の温度特性

図 4.13 に実験結果を示す。ここで室温 19℃、使い捨てカイロの平均温度は 47℃である。カイロで温めることにより Bragg 波長が 1553.8nm から 1554.3nm に変化し、0.5nm 長波長側へシフトしたことがわかる。

第5章 スイッチング特性

第4章で記したファイバ型デバイス特性を基に、光回路を構成しスイッチング特性の測定を行なった。本章では、FBG、FGCを用いた全光型光スイッチについて得られた測定結果について述べる。

5 - 1 FBG 型全光スイッチの測定

(1) 実験系

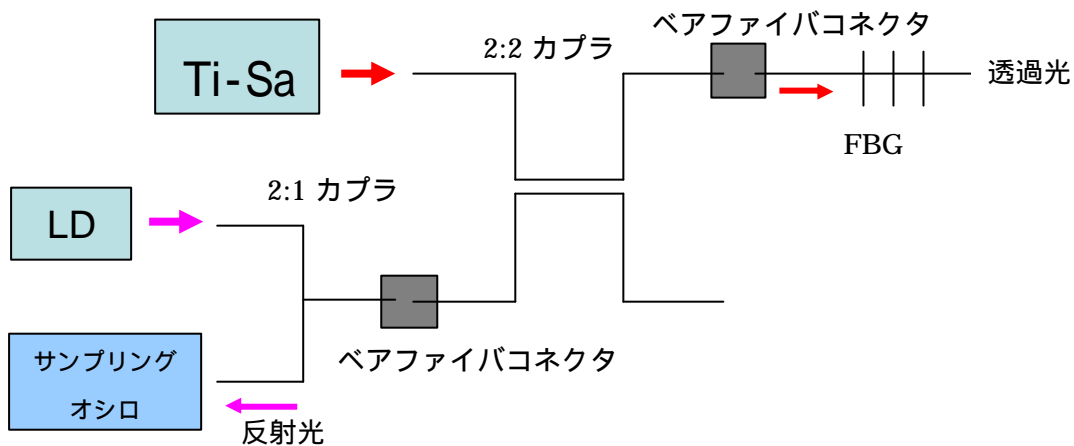


図 5.1 FBG を用いた全光スイッチの測定

Ti:サファイアレーザ(ピコ秒光パルス)を制御光としてFBGに入射し、光カー効果により、グレーティングの等価屈折率を変化させて Bragg 波長のシフトにより信号光(1.55 μm 帯)の出力を変化(スイッチ)させる。

図 5.1 は FBG を用いた全光スイッチの測定を行なった実験系である。FBG は Ti:サファイアレーザの出力が大きい Port に接続し(図 4.7 参照)より強い光パワーがグレーティング部を通過するようにした。ファイバの接続にはベアファイバコネクタを使用した。一方、LD(1.55 μm 帯)の CW 光は 2:1 カプラに入射し、ベアファイバコネクタにより 2:2 カプラに接続した。FBG での反射光は 2:2 カプラに戻り、さらに 2:1 カプラに戻る。これの出力を観測するが、2 個のカプラを通しているため、光パワーは 1/4 以下になる。

ここで Ti:サファイアレーザのピコ秒光パルスが入ったとき、FBG の反射光ス

ペクトルが変化すれば、LDの波長を適当な波長に固定し出力が得られ、スイッチング動作することになる。図に示すように、このときの設定波長により正、負のパルスが得られる。

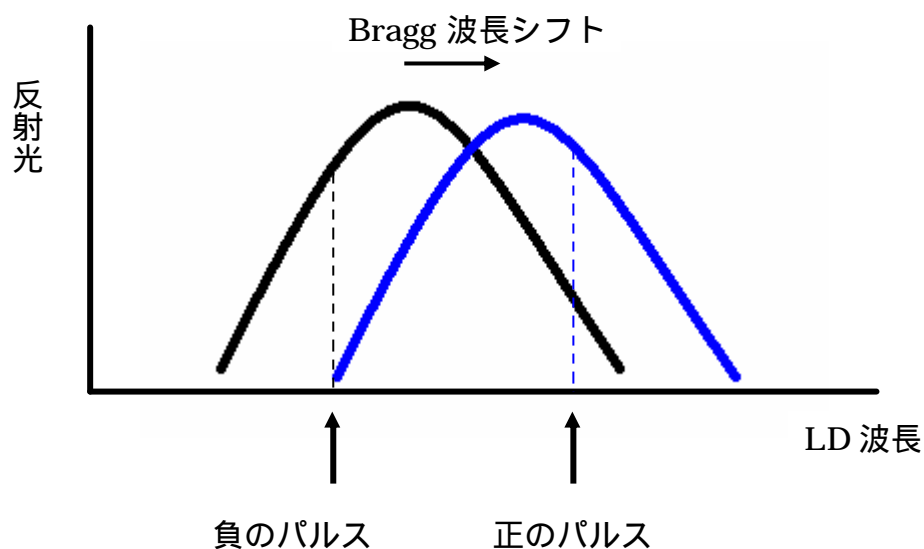


図 5.2 Bragg 波長のシフト

〔 2 〕 測定結果

図 5.3 にパワーメータで測定した反射光電力のスペクトルの測定結果を示す。パワーメータでの測定電力は時間平均値である。ここで制御光である Ti:サファイアレーザは、波長 793 nm、パルス時間幅 1.44 ps であり、FBG の透過光出力部で 40 mW である。このときのパルスピーク電力は 0.35 KW である。透過光は強い Ti:サファイアレーザが含まれているので測定していない。図 5.3 に示すように Ti:サファイアレーザの有無による変化は見られなかった。また反射光の実時間変化は、サンプリングオシロスコープで観測した。図 5.4 にサンプリングオシロスコープで観測したパルス波形を示す。ここで、パルスが下向きになっているのはフォトダイオードの特性による。LD の波長を少しずつ変えていくと、ゆらぎ等の変化はあったが、サンプリングオシロスコープの画面上では予想されるような 1.55 μm のパルスは観測できなかった。

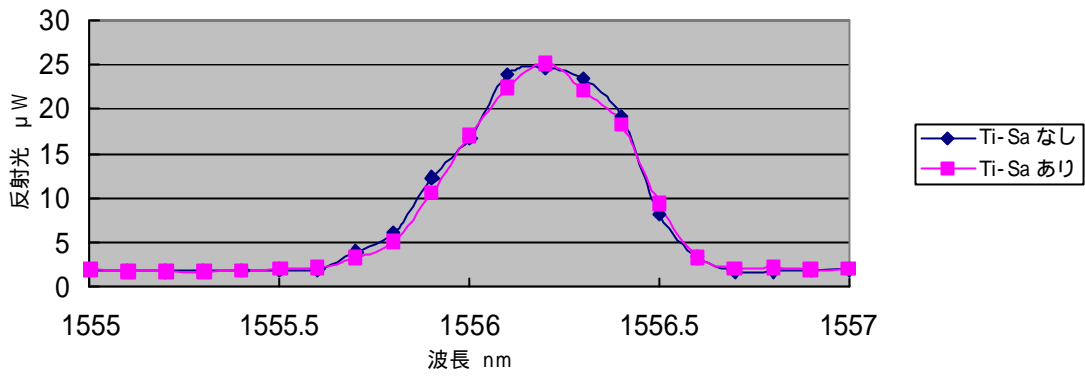


図 5.3 FBG の反射光変化

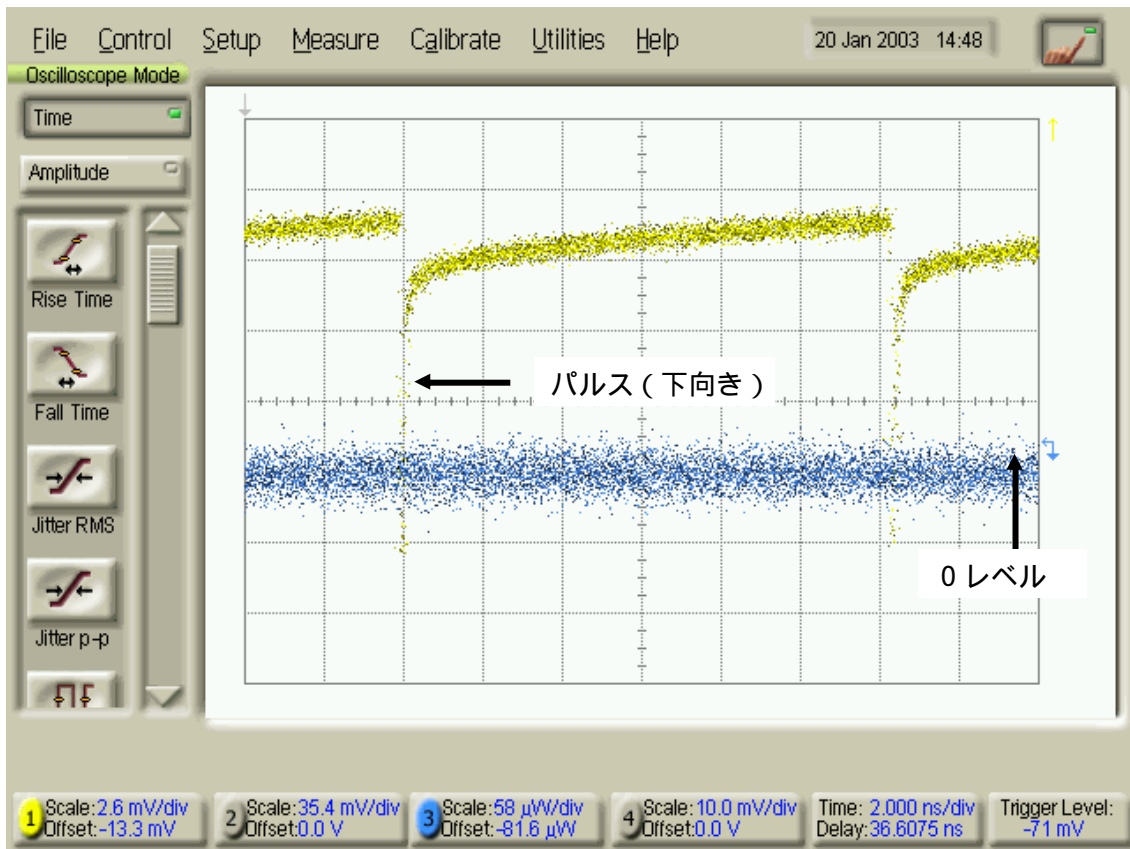


図 5.4 サンプルングオシロスコープで観測した波形
 黄色(上): FBG の透過光 波長 793nm
 青色:(下): 反射光 1.55 μm

5 - 2 FGC 型全光スイッチの測定

〔 1 〕 実験系

実験系は FBG 型全光スイッチ測定の FBG が FGC に変わっただけで基本的には同じである。ただ FGC の場合は、Bragg 波長の光を直接、Port 2 で観測できるため、光パワーが若干高くなり、サンプリングオシロスコープでのパルス波形観測が期待できるものと考えられる。

ここでも FBG と同様に Ti:サファイアレーザ光の有無により、FGC の反射スペクトルが変化すれば、グレーティング部の状態が変化し、スイッチング動作していることが言える。

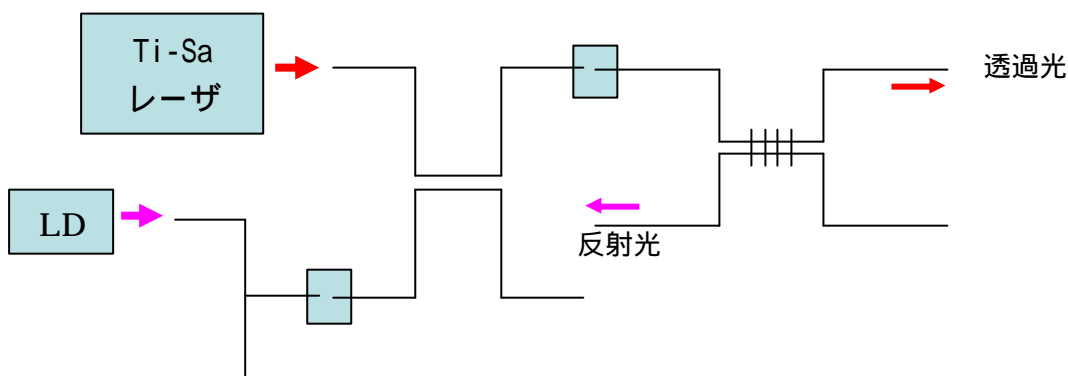


図 5.5 FGC を用いた全光スイッチの測定

〔 2 〕 測定結果

Ti:サファイアレーザの出力波長を 792 nm にして測定を行なった。ここでパルス時間幅は 1.37 ps、FGC の Port 3 の透過光出力部で 25 mW である。このときのパルスのピーク電力は 0.23 KW であった。図 5.6 に FGC の反射光変化を示している。しかしここでも、Ti:サファイアレーザ光の有無にかかわらず変化が見られなかった。図 5.7 はサンプリングオシロスコープで観測した波形を示している。サンプリングオシロスコープの画面上でもゆらぎ等の変化は見られるが、1.55 μm のパルスは観測できなかった。またパルス時間幅が広がっているのは、ファイバ端面での反射光がレーザ内部に戻り、モードロックが正常に動作しなかったことが原因だと思われる。

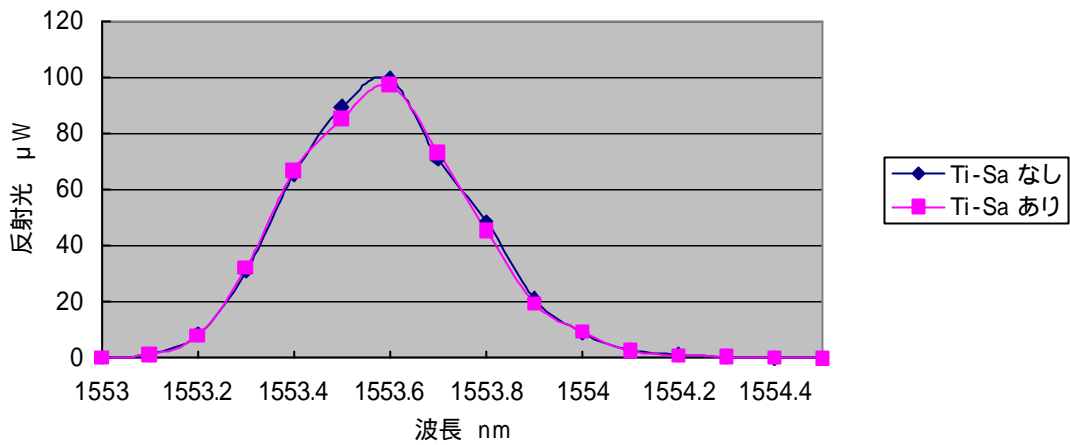


図 5.6 FGC の反射光変化

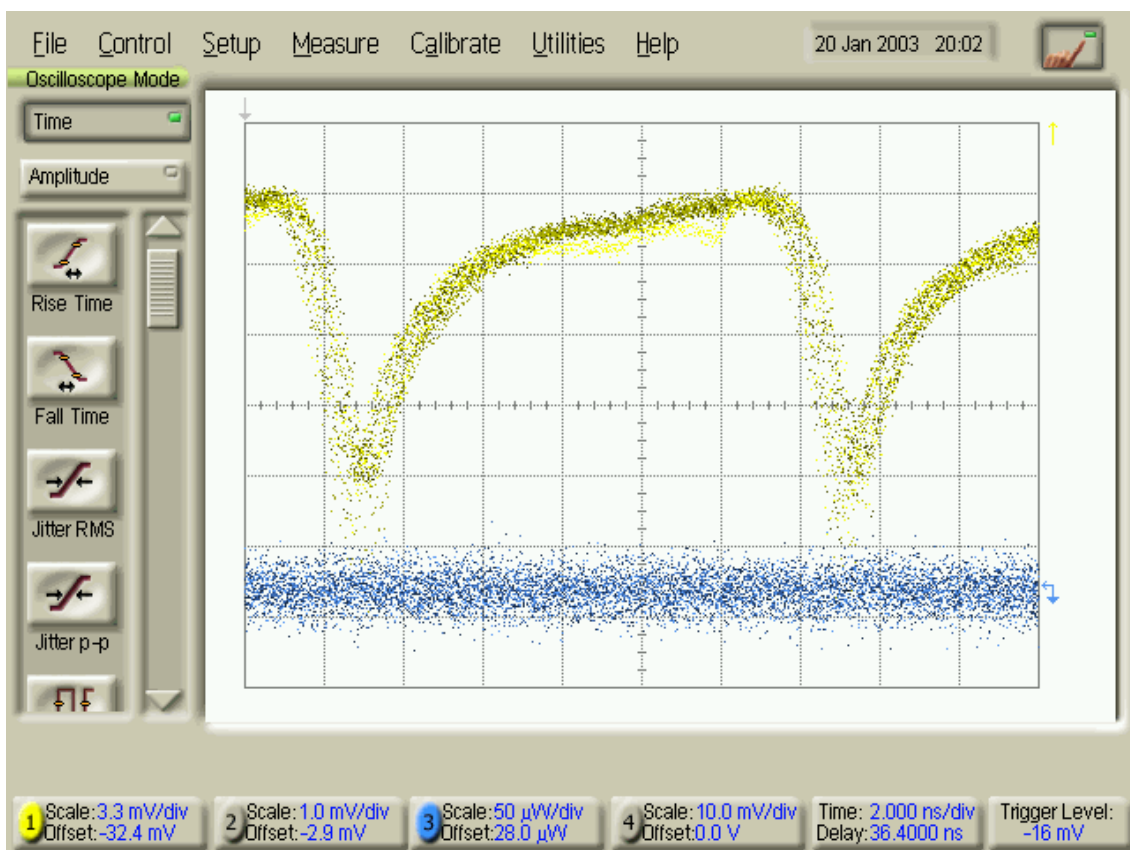


図 5.7 サンプリングオシロスコープで観測した波形
 黄色 (上): FGC の透過光 (Port 3) 波長 793nm
 青色 (下): FGC の反射光 (Port 2) 波長 1.55 μm

5 - 3 まとめ

今回 FBG 型全光スイッチ、FGC 型全光スイッチのサンプリングオシロスコープでの実時間変化は観測できなかった。最も大きな理由は励起パルス光のピーク電力が低すぎたことであると考えられるが、反射光が弱いため信号とノイズが混ざってしまったことも考えられる。

フィルタ特性が変化しなかった原因は、制御光である Ti:サファイアレーザの入射効率が低かったことが挙げられる。透過光出力部には平均 20 ~ 30 mW のパルス光が出力されていたが、Ti:サファイアレーザを入射するファイバ端面でレーザ光が反射し、レーザに戻るためモードロックに影響して安定したパルスが発生しなかった。これはファイバ入射電力を増加すると顕著にでる傾向があった。戻り光をカットするフィルタを置く、または微動台を斜めにするなどして工夫したが思ったほど効果がなかった。これは、ファイバ端面を垂直にカットしているため、微動台を斜めにセットしても、そのまま平行にレーザ出射部に戻ってしまう。この問題を解決するため、Ti:サファイアレーザ光の入射効率は悪くなるが、ファイバ端面を斜めにカットし、光を違う方向へ反射させる方法を試みている。

本章での参考文献

- ・塩尻裕一 “ Ti:サファイアレーザを利用した多重量子井戸半導体のフォトルミネッセンス ” 高知工科大学卒業論文
- ・峯尾浩之 “ 光強度による光ファイバグレーティングカブラのフィルタ特性変化の測定 ” 実験報告書

第6章 結論

ファイバグレーティング (FBG)、ファイバグレーティングカプラ (FGC) を用いて、全光型光スイッチングの実時間観測を目的とした。研究を行なった結果、次のような結論を得た。

- (1) 光ファイバカプラ、FBG、FGC にモードロック Ti:サファイアレーザ及び、可変波長半導体レーザを入射し、波長特性を詳細に測定した。光ファイバカプラは Ti:サファイアレーザに対して、Port ごとの出力差が大きいことを配慮し、スイッチング回路を構成し、全光型スイッチの測定を行なった。
- (2) FBG および、FGC のグレーティング部の屈折率を変化させるために、高強度の光を入射して Bragg 波長をシフトさせ、スイッチ動作の観測を試みた。これまでの所、観測できていない。これはファイバに入力するパルスピーク電力が低かったためであると考えられ、Ti:サファイアレーザの励起光電力 (測定時 3.8W) を上げることで解決できると考えている。
- (3) Ti:サファイアレーザのファイバへの入射効率を高めると、ファイバ端面から反射した光が、モードロックに影響してパルス発生が不安定になる。これによってファイバへの入射電力が制限されていることがわかった。ファイバ端面を斜めにカットするなどにより、レーザへの反射光をなくすことを試みている。
- (4) 戻り光を防ぎ、より高い光パワーを入射することができれば、全光スイッチの実時間の観測は可能であると考えている。

謝辞

本研究を行なうにあたり、日頃から懇切なる御指導、御鞭撻を賜りました、本学科 神戸宏教授に深く感謝いたします。日頃からお世話になりました電子・光システム工学科の原学科長はじめ教職員の皆様に心から感謝いたします。

本研究を進めるにあたり、共に研究に励み、時には様々なお助言をいただきました同研究室の、前田康彦氏、大西健一氏、木本薫宏氏、坂元誠氏、山田和弘氏に深く感謝いたします。

本研究で使用したFBG、およびFGCは茨城大学工学部 佐々木研究室で作製されたものです。提供していただいた、佐々木豊教授、横田浩久助教授に心より感謝いたします。

最後に、私の心の支えとなり常に笑顔をくれた友人に感謝いたします。