

今回学ぶこと

- 光通信デバイスと磁気光学材料  
光アイソレータ、光サーキュレータ
- 電流計測と磁気光学効果  
磁気光学電流センサー
- 磁気光学顕微鏡
- 空間光変調器 (SLM)

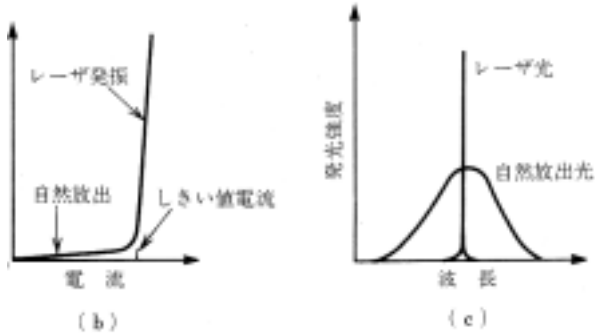
### 光通信デバイスと磁気光学材料

#### 要素技術1

##### 半導体レーザー

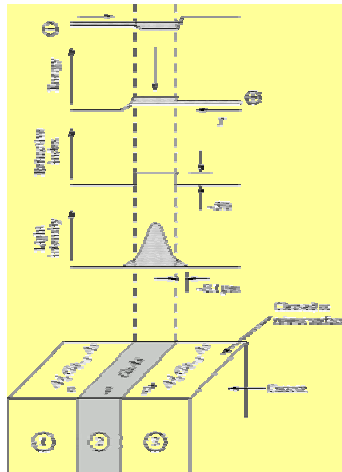
- LED構造において、劈開面を用いたキャビティ構造を用いるとともに、ダブルヘテロ構造により、光とキャリアを活性層に閉じ込め、反転分布を作る。
- DFB構造をとることで特定の波長のみを選択している。

##### 半導体レーザーの動作特性



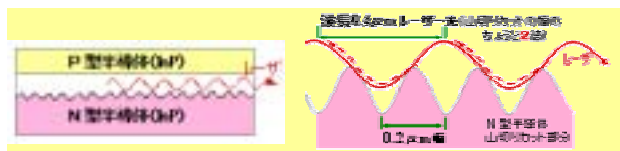
##### DHレーザー

- 光とキャリアの閉じこめ
  - バンドギャップの小さな半導体をバンドギャップの大きな半導体でサンドイッチ: 高い濃度の電子・ホール活性層に閉じこめ
  - 屈折率の高い半導体(バンドギャップ小)を屈折率の低い半導体(バンドギャップ大)でサンドイッチ: 全反射による光の閉じこめ



##### DFBレーザー

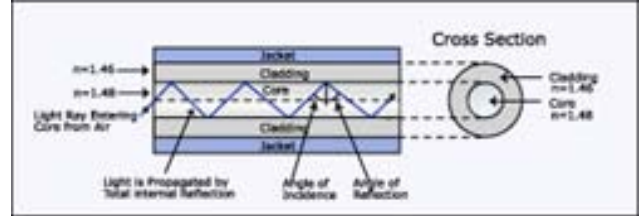
- 1波長の光しかでないレーザー。つまり、通信時に信号の波がずれることがないので、高速・遠距離通信が可能。
- (通信速度: Gb/s = 1秒間に10億回の光を点滅する。電話を1度に約2万本通話させることができる)



#### 要素技術2

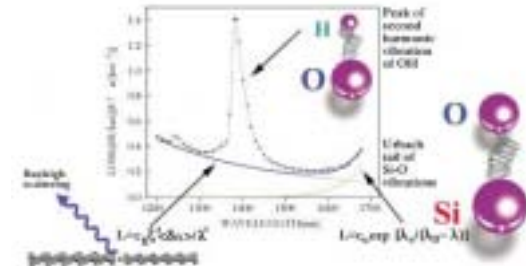
##### 光ファイバー

- 材料: 溶融石英 (fused silica  $\text{SiO}_2$ )
- 構造: 同心円状にコア層、クラッド層、保護層を配置
- 光はコア層を全反射によって長距離にわたり低損失で伝搬



##### 光ファイバーの伝搬損失

- 短波長側の伝送損失はレーリー散乱
- 長波長側の伝送損失は分子振動による赤外吸収
- $1.4 \mu\text{m}$  付近の損失はOHの分子振動による



#### 要素技術3

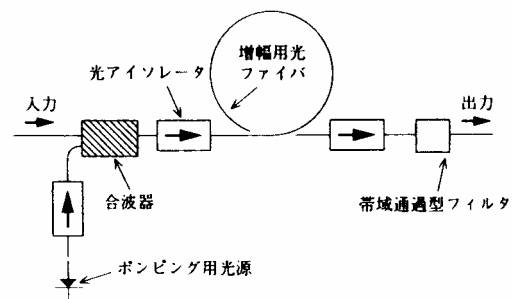
##### 光検出

- フォトダイオードを用いる
- 高速応答の光検出が必要
- pinフォトダイオードまたはショットキー接合フォトダイオードが使われる。
- 通信用PDの材料としてはバンドギャップの小さなInGaAsなどが用いられる。

#### 要素技術4

##### 光中継: ファイバーアンプ

- 光ファイバー中の光信号は100km程度の距離を伝送されると、20dB(百分の一)減衰する。これをもとの強さに戻すために光ファイバーアンプと呼ばれる光増幅器が使われている。
- 光増幅器は、エルビウム(Er)イオンをドープした光ファイバー(EDF: Erbium Doped Fiber)と励起レーザーから構成されており、励起光といわれる強いレーザーと減衰した信号光を同時にEDF中に入れることによって、Erイオンの誘導増幅作用により励起光のエネルギーを利用して信号光を増幅することができる。



## エルビウム増幅作用

- エルビウム (Er) イオンをドープしたガラスは、980nmや1480nmの波長の光を吸収することによって1530nm付近で発光する。この発光による誘導放出現象を利用することによって光増幅が可能になる。具体的には、EDFに増幅用のレーザー光を注入すると、Erイオンがレーザー光のエネルギーを吸収し、エネルギーの高い状態に一旦励起され、励起された状態から元のエネルギーの低い状態に戻るときに、信号光とほぼ同じの1530nm前後の光を放出する(誘導放出現象)。信号光は、この光のエネルギーをもって増幅される。
- Erをドープするホストガラスの組成によって、この発光の強度やスペクトル幅(帯域)が変化する。発光が広帯域であれば、光増幅できる波長域も広帯域になる。

## 要素技術5

### 光アイソレータ

- 光アイソレータ: 光を一方向にだけ通す光デバイス。
- 光通信に用いられている半導体レーザー(LD)や光アンプは、光学部品からの戻り光により不安定な動作を起こす。
- 光アイソレータ: 出力変動・周波数変動・変調帯域抑制・LD破壊などの戻り光による悪影響を取り除き、LDや光アンプを安定化するために必要不可欠な光デバイス。

## 要素技術6

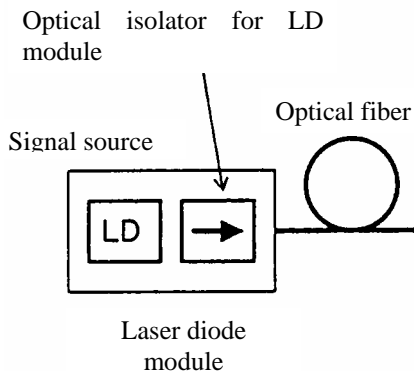
### 波長多重(WDM=wavelength division multiplexing)

- この方式は、波長の異なる光信号を同時にファイバー中を伝送させる方式であり、多重化されたチャンネルの数だけ伝送容量を増加させることができる。
- 通信用光ファイバーは、1450~1650nmの波長域の伝送損失が小さい(0.3dB/km以下)ため、原理的にはこの波長域全体を有効に使うことができる。

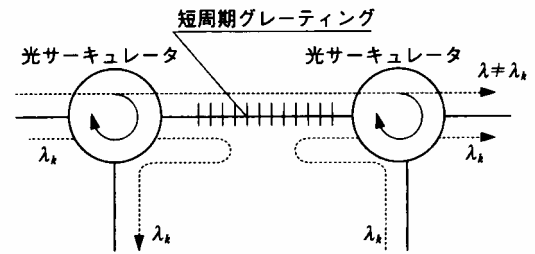
### 光通信における磁気光学デバイスの位置づけ

- 戻り光は、LDの発振を不安定にしノイズ発生の原因になる。アイソレータで戻り光を阻止。
- WDMの光アドロップ多重(OADM)においてファイバグレーティングと光サーキュレータを用いて特定波長を選択。
- EDFAの前後にアイソレータを配置して動作を安定化。ポンプ用レーザーについても戻り光を阻止。
- 光アッテネータ、光スイッチ

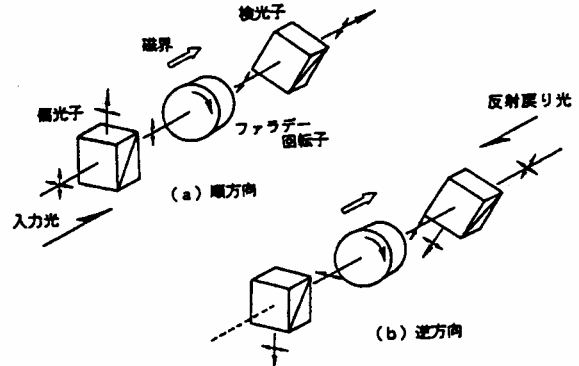
### 半導体レーザーモジュール用アイソレータ



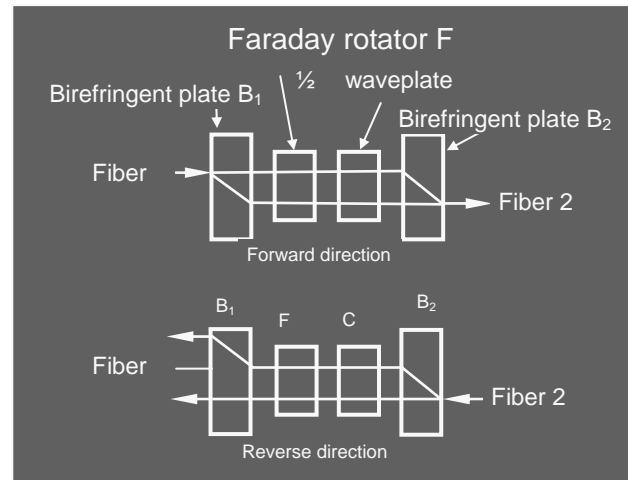
## 光アドロップとサーキュレータ



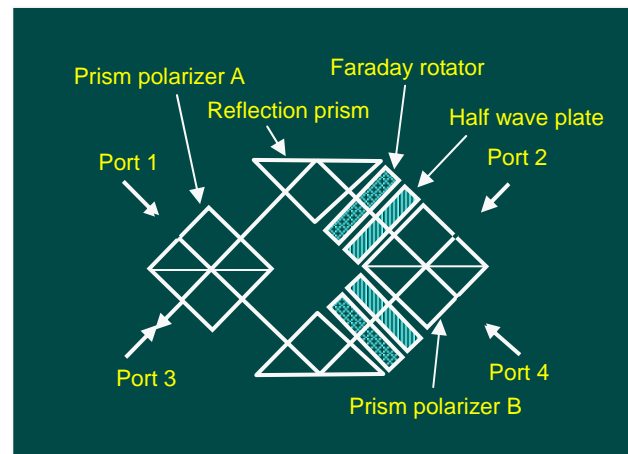
## 偏光依存アイソレータ



## 偏光無依存アイソレータ



## 磁気光学サーキュレータ

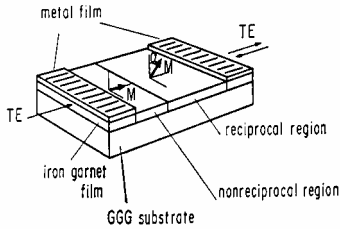


## アイソレータの今後の展開

### 導波路形アイソレータ

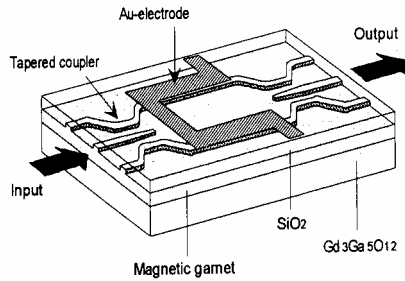
- 小型・軽量・低コスト化
- 半導体レーザとの一体化
- サイズ：波長と同程度 薄膜/空気界面、あるいは、薄膜/基板界面の境界条件重要
- タイプ：
  - 磁気光学材料導波路形：材料の高品質化重要
  - リブ形
  - 分岐導波路形

### 導波路形アイソレータ

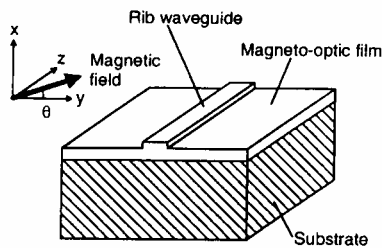


- 腰塚による

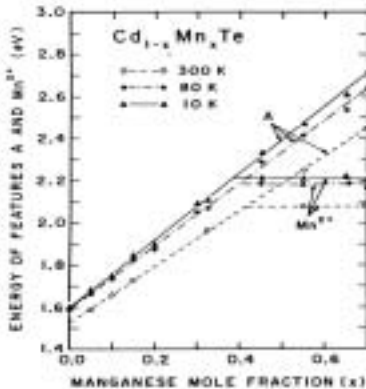
### マツハツェンダー形アイソレーター



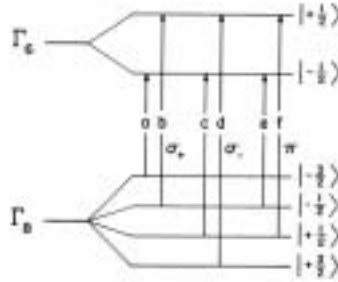
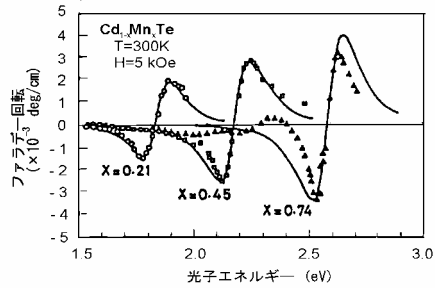
### リブ形アイソレータ



### Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>TeにおけるバンドギャップのMn濃度依存性



### CdMnTeの磁気光学スペクトル

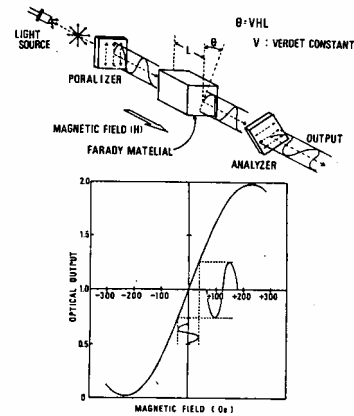


- II-VI族希薄磁性半導体: Eg(バンドギャップ)がMn濃度とともに高エネルギー側にシフト
- 磁気ポラロン効果(伝導電子スピンと局在磁気モーメントがsd相互作用 巨大g値:バンドギャップにおける磁気光学効果)

### 半導体とアイソレータの一体化

- 貼り合わせ法
  - 半導体上に直接磁性ガーネット膜作製 格子不整合のため困難
  - ガーネット膜を作っておき、半導体基板に貼り合わせる方法が提案されている
- 希薄磁性半導体の利用
  - DMSの結晶構造: GaAsと同じ閃亜鉛鉱型
    - 半導体レーザとの一体化の可能性。
  - 導波路用途の面内光透過の良質の薄膜作製困難。
    - 安藤ら: GaAs基板上にMBE法でCdMnTeの薄膜を作製。パuffers層: ZnTe, CdTe層

### 電流磁界センサ

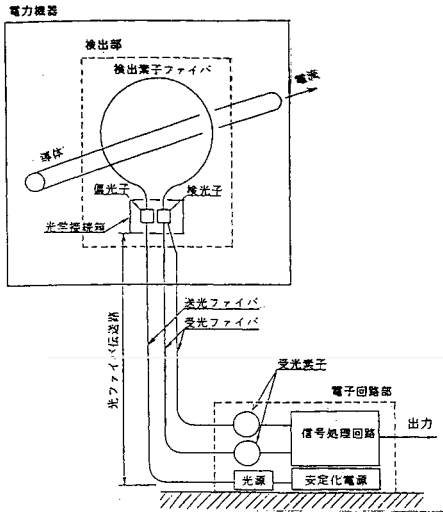


## 電流センサ

Magn

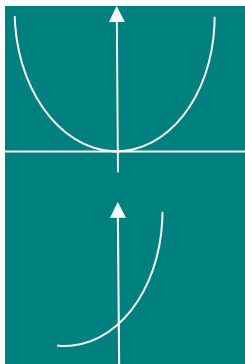
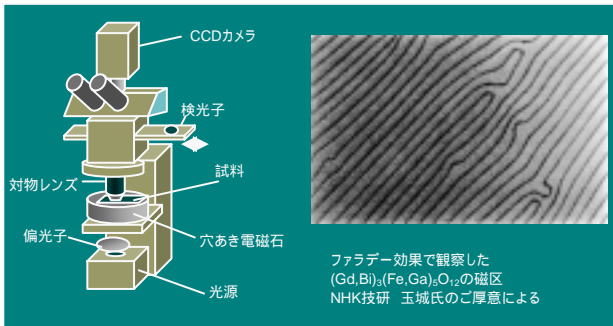
Magn  
I sens

## 光ファイバ磁界センサ



## 磁気光学顕微鏡による磁区観察

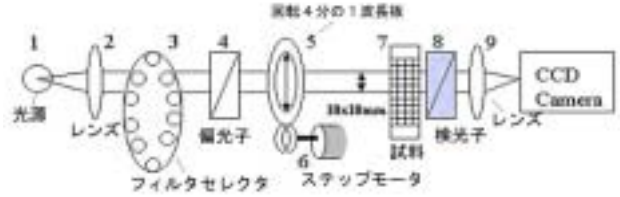
- クロスニコル条件では、磁化の正負に対して対称になり、磁気コントラストがでないので、偏光子と検光子の角度を90度から4度程度ずらしておくと、コントラストが得られる。



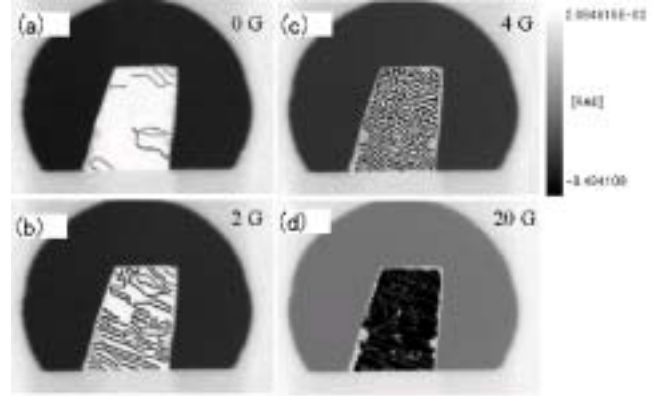
## ファラデー効果を用いた磁区のイメージング

クロスニコル条件では、磁化の正負に対して対称になり、磁気コントラストがでないので、偏光子と検光子の角度を90度から4度程度ずらしておくと、コントラストが得られる。

## CCDカメラによる磁気光学イメージング



## 磁性ガーネットの磁区の変化



## 磁気光学画像の求め方

### ファラデー回転角

$$\theta_F = \frac{1}{2} \sin^{-1} \left\{ \frac{2I(0) - \{I(\pi/4) + I(-\pi/4)\}}{(1 - \eta_F^2) |E_x|^2} \right\}$$

$$\theta_F \approx \frac{1}{2} \left\{ \frac{2I(0) - [I(\pi/4) + I(-\pi/4)]}{(1 - \eta_F^2) [I(\pi/4) + I(-\pi/4)]} \right\}$$

### ファラデー楕円率

$$\eta_F = -\frac{1}{2} \{I(\pi/4) - I(-\pi/4)\} / |E_x|^2$$

$$\eta_F \approx -\frac{1}{2} \left\{ \frac{I(\pi/4) - I(-\pi/4)}{I(\pi/4) + I(-\pi/4)} \right\}$$

## 空間磁気光学変調器(MOSLM)

- 光画像処理に用いられるSLM (spatial light modulator) として通常液晶が用いられるが、応答速度が速いISLMが求められていた。
- 磁気光学効果を用いると高速応答が期待できる。
- 豊橋技科大の井上らは、MOSLMを開発した。磁界の印加のためにWord線とBit線に電流を流し、合成磁界で磁化を反転する。

MOSLMの例

