

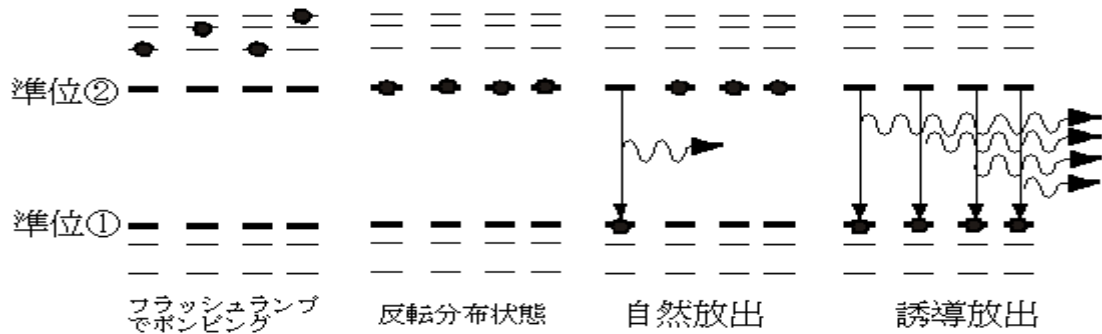
超高速光デバイス

安藤 大地 (戸部研) 金田 拓也 (北岡研) 折井 大祐 (清水研) 國司 知宏 (宮坂研) 神菌 建太 (芦田研)

超高速光デバイスとは入力光を超高速 (fs オーダー) に出力光に変換するデバイスのことを指す。今回はこの超高速光デバイスに直接関わりのある出力光の発生方法と光の伝送方法を説明し、最後に超高速光デバイスの足掛けである光デバイスと全光デバイスの例を挙げる。

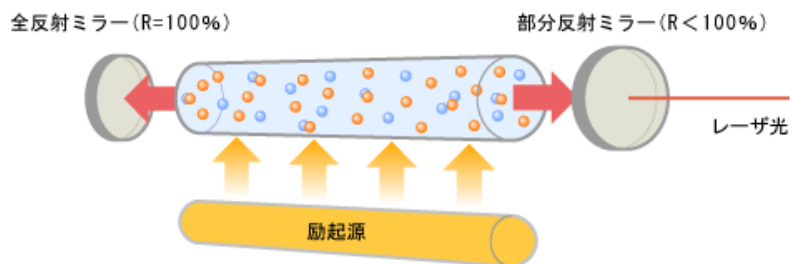
1 レーザー (laser ; Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

レーザー光は共振器を用いて増幅されたコヒーレント光である。その発振原理を下に述べる。



- A) 励起光源からの光によって基底状態 (準位①) に存在する電子を励起状態に遷移させる。
- B) 励起された電子は他の励起状態よりも安定する状態である準位②に緩和していき、準位②の電子密度が準位①の電子密度よりも高い状態になる。(反転分布形成)
- C) 励起状態である準位②に存在する電子が基底状態である準位①に緩和する。この際に失うエネルギーを光として放出する。(自然放出)
- D) 自然放出光が準位②に存在する電子と相互作用し、準位②に存在する電子の発光遷移確率を増加させる。(誘導放出)

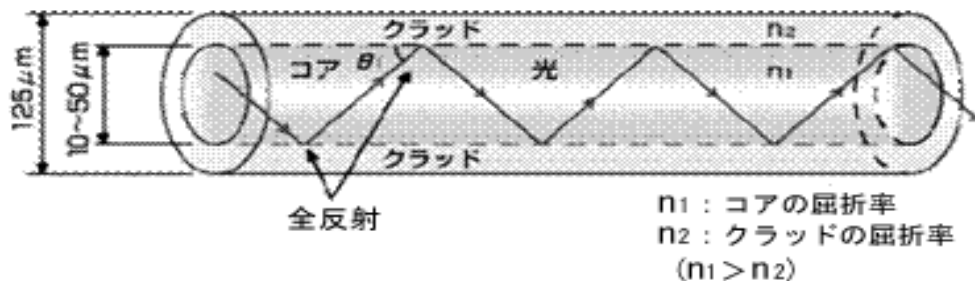
この遷移による光はエネルギー、位相、指向性の揃った光となるため、これらの重ね合わせによってレーザー発振する光は高いコヒーレンスや指向性を持つ。



以下では光通信技術とそれに関する光デバイスを紹介する。

2 光ファイバー

光ファイバーとは光を長距離に渡って伝搬させることが可能なデバイス。



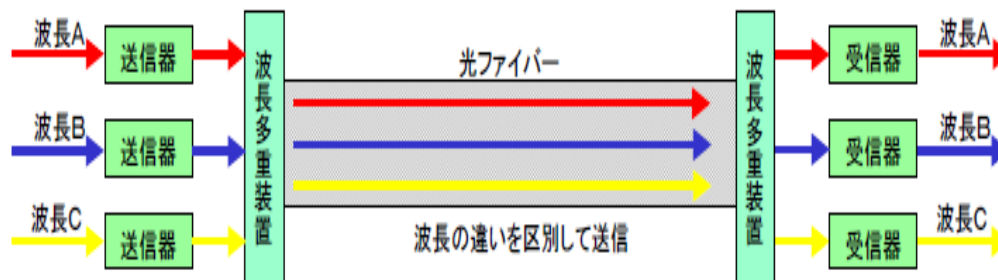
上図の様に光ファイバー内部で光を全反射させることによって光の損失を抑えて長距離での伝搬が可能となる。問題点は以下の

- ① 光ファイバーの材料の電子遷移による吸収やフォノンによる光の損失
- ② 群速度分散によるパルス光のチャープ

であり、これらを未然に防ぐには透過損失や群速度分散が顕著でない波長帯を用いることが重要となる。

3 波長分割多重通信方式

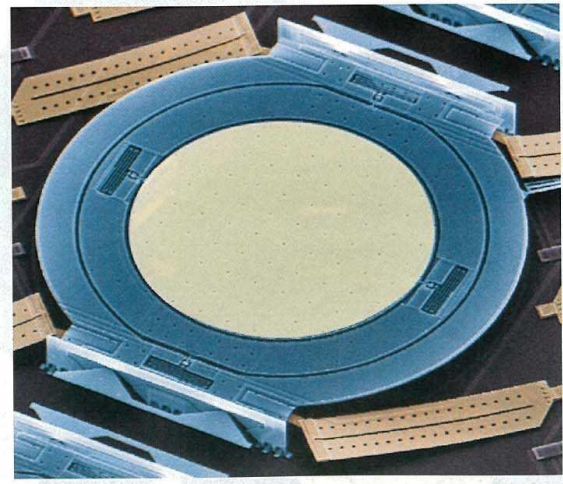
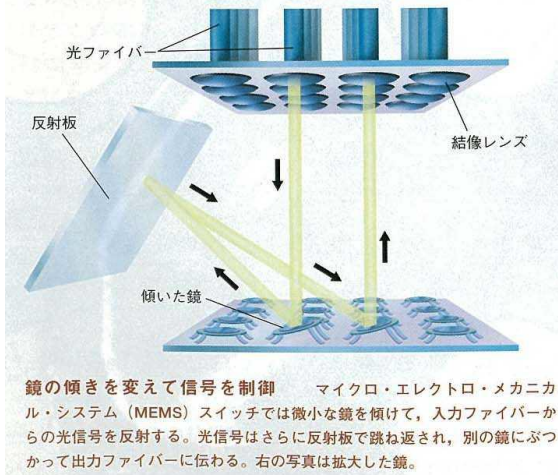
波長分割多重通信方式とは複数の波長の異なる光を同時に乗せることによって一度に大容量の通信が行える方法である。光は異なる波長のものを合成しても分光すれば分離することが可能なので、この方法を用いることが出来る。



4 光スイッチ

光スイッチとは光を電気信号に変換することなく光信号のオン、オフや振り分けを行うことが出来るデバイス。例として MEMS : Micro Electro Mechanical System を紹介する。

MEMS スイッチ

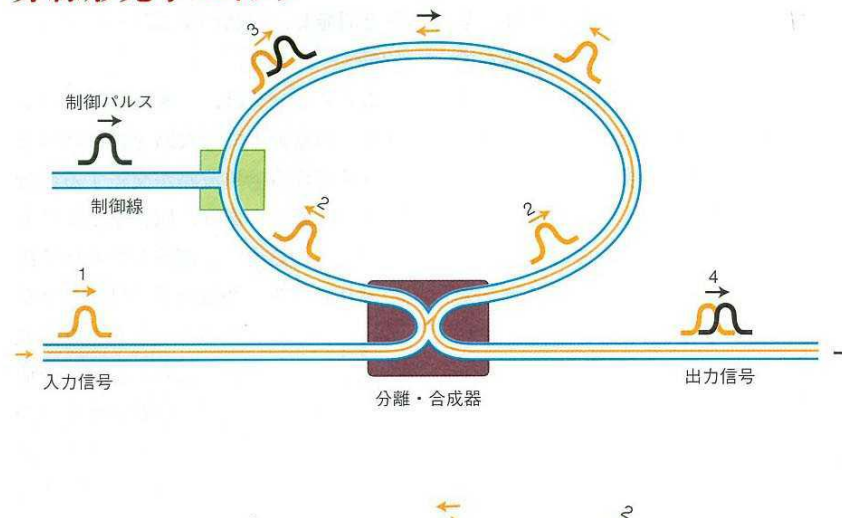


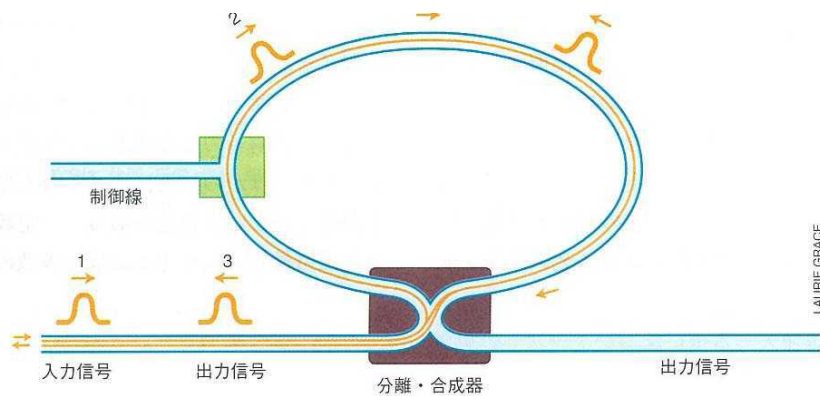
これは機械による制御で光の出力を制御できるスイッチであるが、切り替え速度が \sim ms と光の情報変換のための光スイッチに用いるには応答速度が十分でない。

5 全光スイッチ

全光スイッチとは光によって光を制御出来る光スイッチのことである。この全光スイッチは超高速応答が期待できるが、応答効率と応答速度のどちらか一方を大きくするとどちらか一方は小さくなるというトレードオフの関係が存在するため十分に性能を持ったデバイスの実現が難しい。現在、実現された全光デバイスの例として非線形光学スイッチを紹介する。

非線形光学スイッチ





制御信号で向きを変える 非線形光学スイッチに入った光パルス (1) は2つのパルス信号に分かれ、ループ部分をそれぞれ反対方向に伝わる (2)。ループに制御信号を入力すると、ループを時計回りに伝わる光パルスと相互作用してパルスの位相が変わる (3)。この光は分離・合成器でループを反時計回りに回ったパルスと合成され、光信号が右方向に出力される (上の図)。一方、制御信号を入力しない場合、分離・合成器で再合成された光は、元の光ファイバーを戻っていく (下の図)。

非線形光学スイッチに入力されたパルス信号は分離器で二つの信号に分離され、制御信号を入力しなければ合成器で合成された後に出力信号が出ない様に位相を設定している。この条件下で屈折率の変化によって入力信号の位相が π ずれる様な制御信号を入力すれば出力信号が出力される。制御信号の強度を I とした時の屈折率は $n = n_0 + n_2 I$ と書けるので、非線形位相シフトは $\Delta\Phi = 2\pi n_2 I L / \lambda$ と書ける。このことから、 n_2 が小さい材料であれば十分長いファイバーが必要になり応答速度の利得が小さくなる。この例からも非線形屈折率が十分大きな材料を創造することが重要になることがわかる。

以下に全光スイッチ用光学材料に求められる条件を箇条書きしておく。

- 室温動作
- 動作波長: $\lambda \sim 1.55 \mu\text{m}$
- 超高速応答: $\tau < 1 \text{ ps}$ for $T^{-1} > \text{THz}$
- 超高速処理: $nL/c < 1 \text{ ps}$ for successive operation
- $n_0 L < 30 \mu\text{m}$
- 耐久性