

電気電子基礎学

光エレクトロニクス分野

水本哲弥

電気電子工学専攻

光エレクトロニクスとは？

■ Optoelectronics（光エレクトロニクス）

- Optics（光学）

- Electronics（電子工学）

が融合した分野＝光電子工学

- システム：光通信，光記録，情報表示

- 光デバイス：レーザ，LED，光ファイバ，光センサ

- 材料：半導体(GaInAsP, Si), 誘電体, 磁性体,
有機材料

光エレクトロニクス

■ 応用分野

- － 情報通信の大容量化・高速化
- － 情報通信機器の高性能化・高機能化

■ 関連する授業科目

とてもたくさんある(^_^ゞ

- － 電磁気学, 線形回路, アナログ回路, デジタル回路, 回路理論
- － 半導体物性, 電子デバイス, 電気電子材料, 量子力学, 波動工学, 通信伝送工学, **光エレクトロニクス**...

身近な光エレクトロニクス (1)

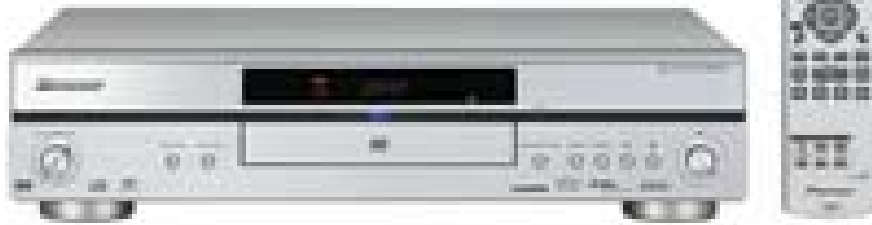


Source: Panasonic



Source: 三菱電機

身近な光エレクトロニクス (2)



Source: Pioneer



Source: SONY

身近な光エレクトロニクス (3)



Source: apple iPhone



Source: Panasonic

身近な光エレクトロニクス (4)



Source: Canon

光エレクトロニクスの重要な要素

- 電気-光 変換器 (光源)
- 光-電気 変換器
- 光を伝える媒体

光源

- 光源とは...
 - 光を放つもの
 - 電気を光に変換する
 - 単純に光エネルギーを提供する
 - 電気信号を光の信号に変換する

光源

- 単純に光エネルギーを提供する
“あかり”, “発光”



Source: アクティブスター



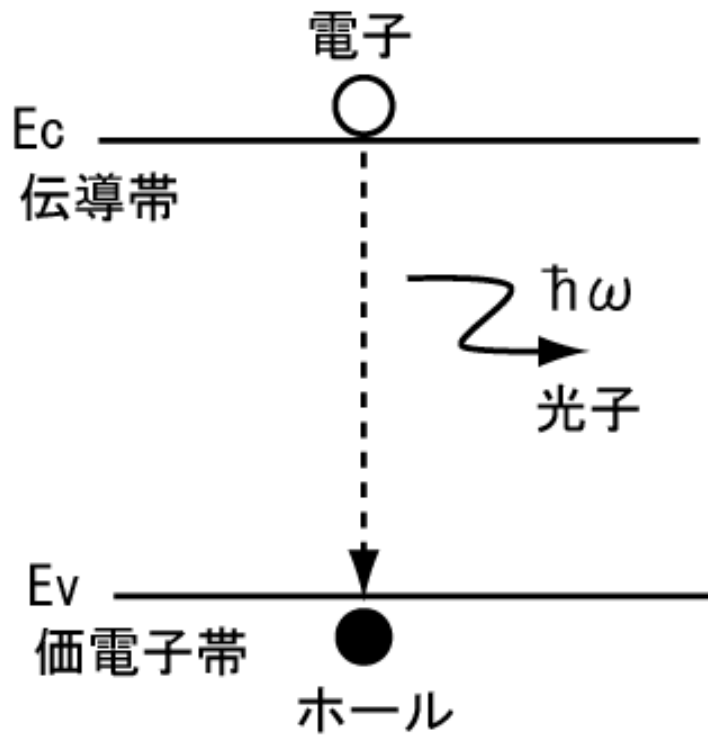
Source: Apple

光源

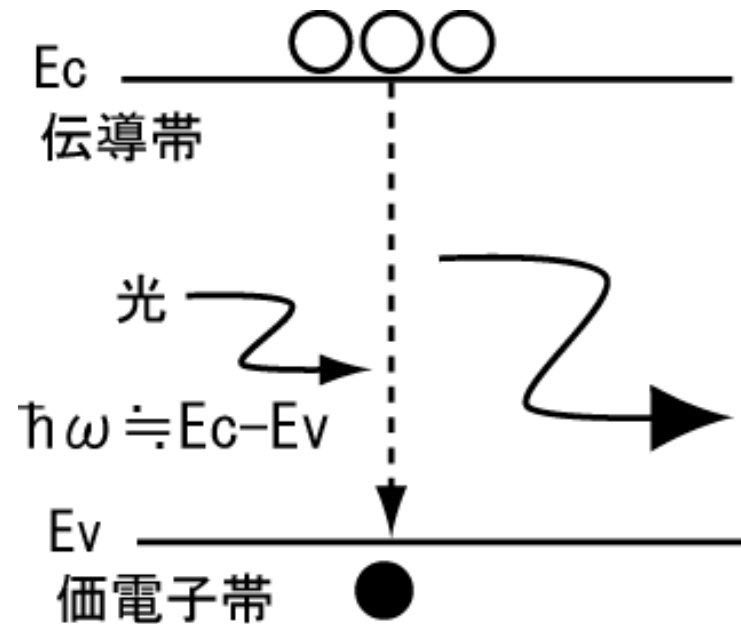
- 電気信号を光の信号に変換する
“信号源”

この基礎となる物理現象は...

半導体における発光 ～自然放出と誘導放出～

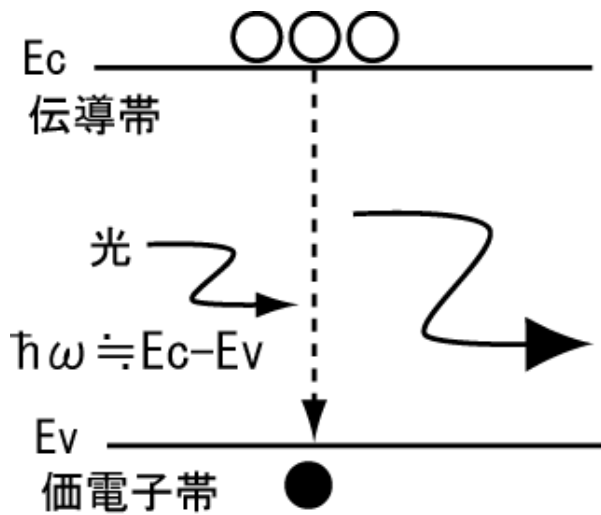


自然放出
⇒発光

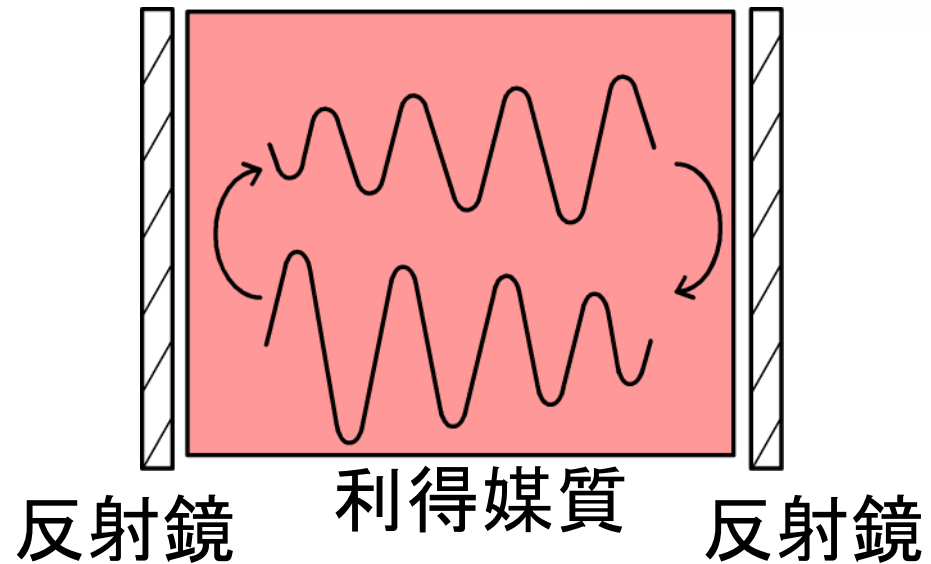


誘導放出
⇒レーザ

半導体レーザー ～誘導放出と共振～



誘導放出

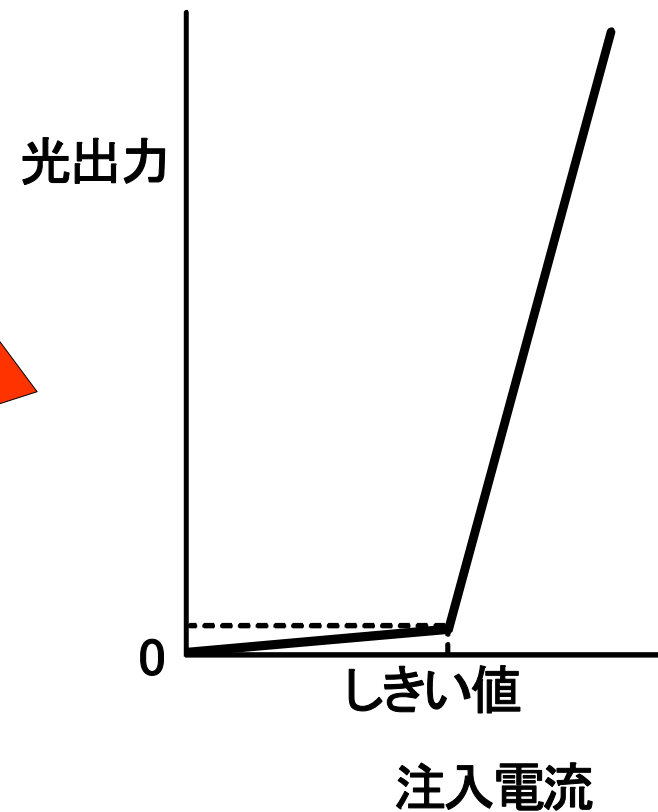
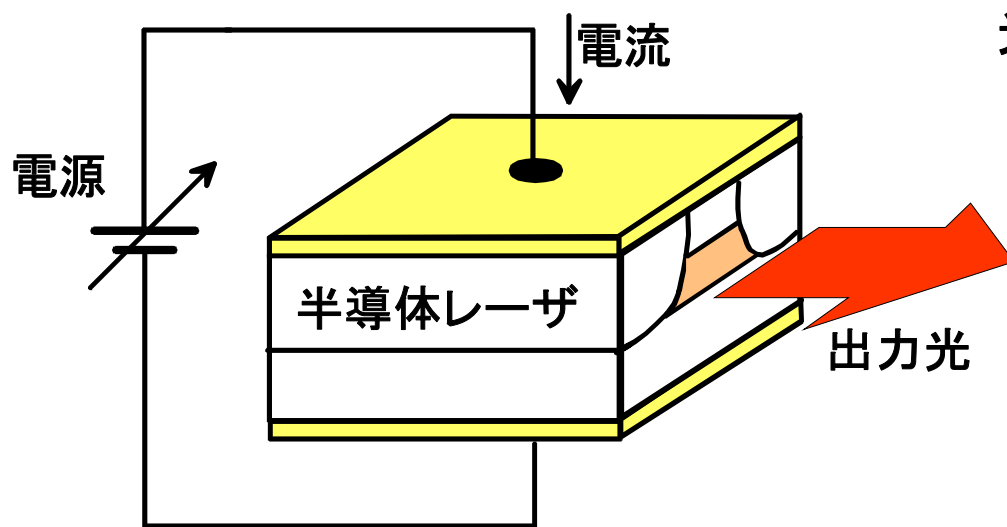


共振

利得媒質を共振器の中に入れる  誘導放出が次々に起こる(レーザ発振)

半導体レーザとLED

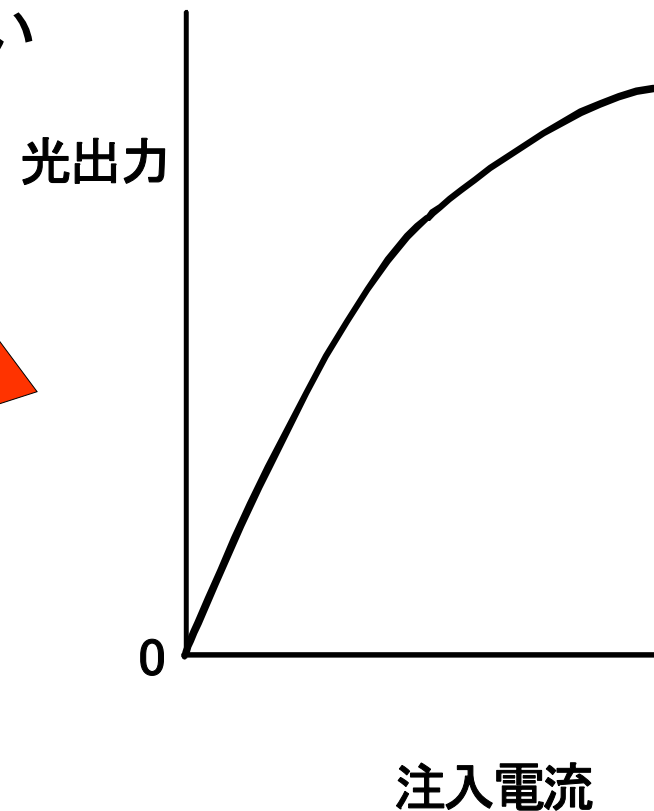
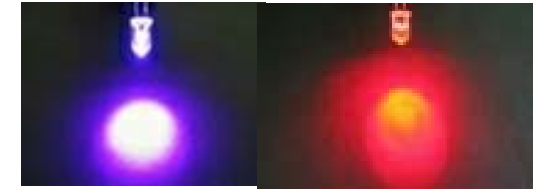
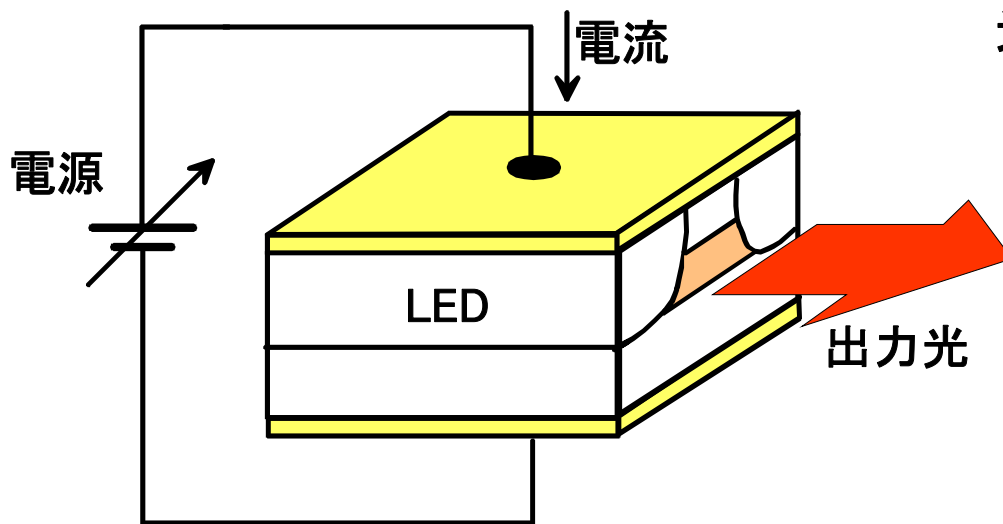
■ 半導体レーザ



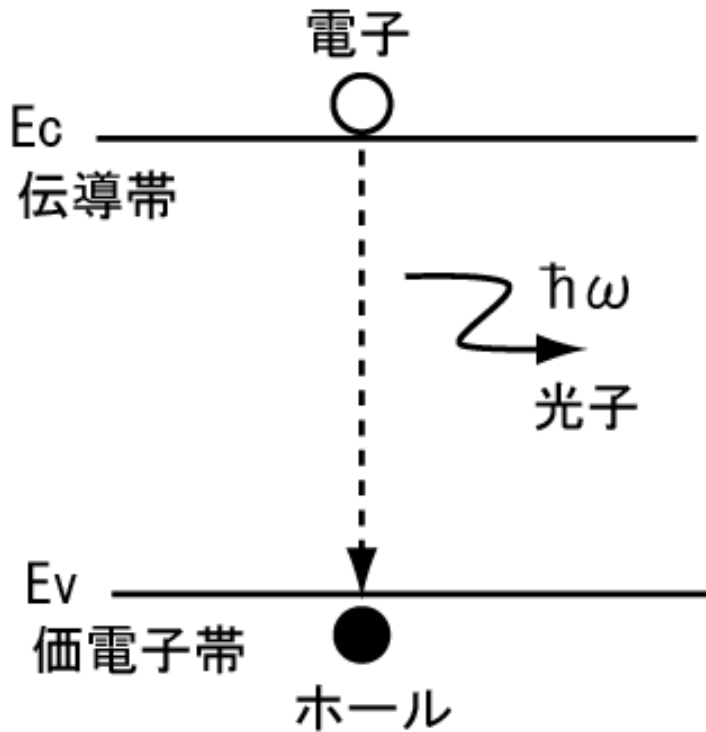
半導体レーザとLED

- LED(発光ダイオード)

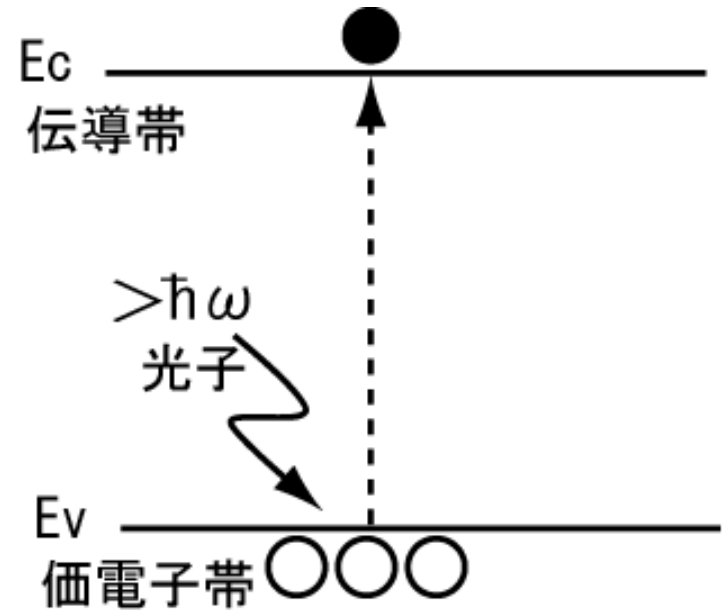
電流-光出力特性にしきい値がない



半導体における発光と吸収

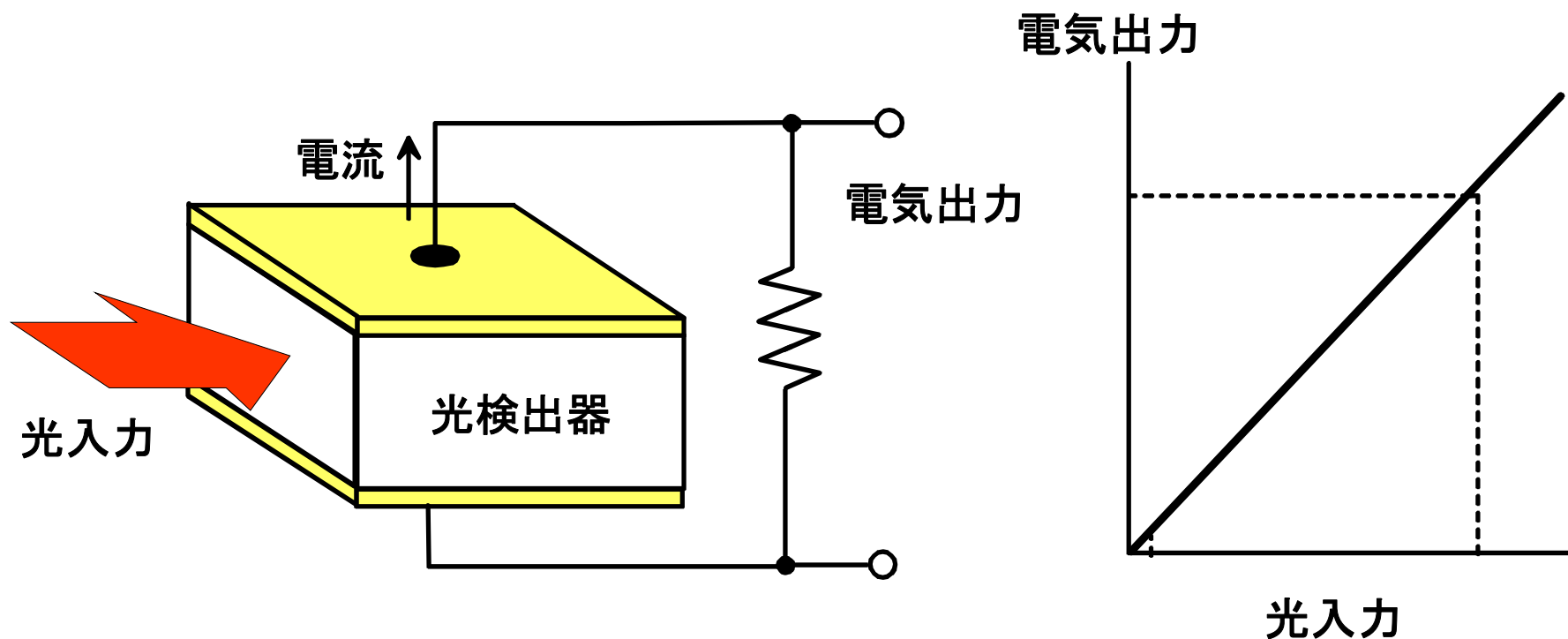


自然放出
⇒発光



吸収
⇒光検出器

光検出器



入力した光パワーに比例した電流が流れる。
⇒光-電気変換

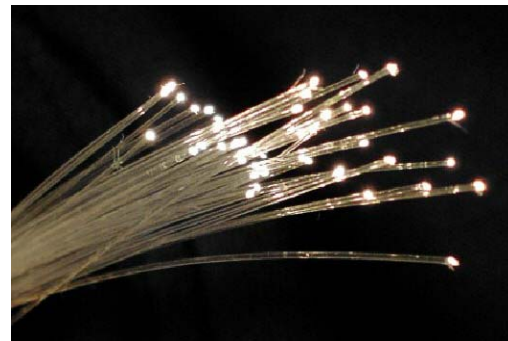
光を伝える媒体

- 空間を伝搬
 - －直進するしかない
 - －鏡やレンズで伝搬を制御
- 線路(光ファイバ)を伝搬
 - －自由自在に曲げることができる

光エレクトロニクスの応用

光エレクトロニクス応用の具体例

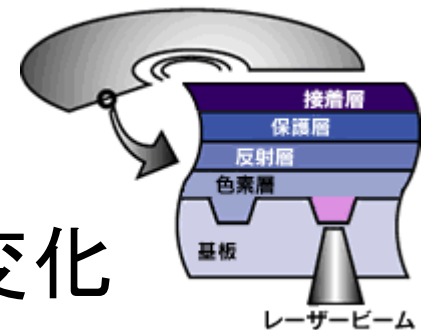
- 光ディスク
- 光ファイバ通信



光エレクトロニクスの応用

Source: sony web site

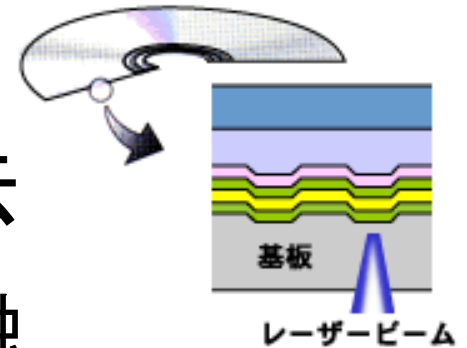
- DVD-Rの記録・再生
 - 有機色素と基板がレーザー光で変化
 - ピット(凹凸)の形成
 - ピットの有無による反射率の差で再生



光エレクトロニクスの応用

Source: sony web site

- DVD-RWの記録・再生・消去
 - －高出力レーザーで記録材料溶融
 - －アモルファスと結晶の反射率差で再生
 - －中出力レーザーで徐熱・徐冷して消去



CD, DVD, ブルーレイディスク

いずれも同じ大きさ(直径12cm)の円盤
記録密度の違いはどこから生まれる？

- CD : 720 MB
- DVD : 4.7GB
- ブルーレイ : 25 GB



CD, DVD, ブルーレイディスク ～記録・再生光源の波長～

■ 光源の波長

– CD : 780nm (近赤外)



– DVD : 650nm (赤色)



– ブルーレイ : 405nm (青紫色)



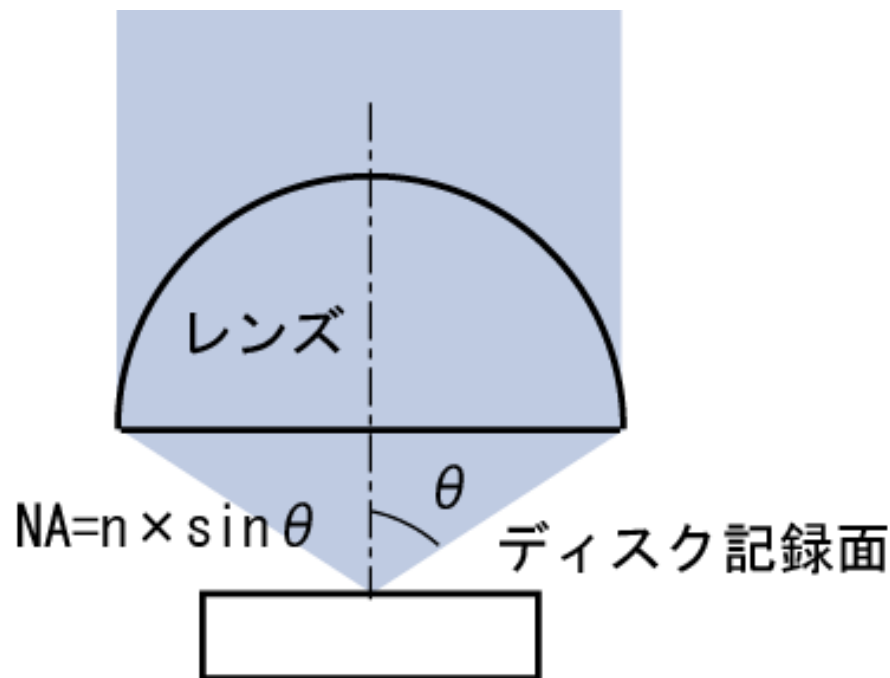
■ 波長の短い方が、解像度が高い

CD, DVD, ブルーレイディスク ～ピックアップ・レンズ～

■ レンズの集光性能(開口数NA)

- CD : 0.45
- DVD : 0.6
- ブルーレイ : 0.85

大きなNA
＝広い集光角



CD, DVD, ブルーレイディスク

- 解像度＝波長 / NA

- CD : $780\text{nm} / 2 \times 0.45 = 867\text{nm}$

- DVD : $650\text{nm} / 2 \times 0.6 = 541\text{nm}$

- ブルーレイ : $405\text{nm} / 2 \times 0.85 = 238\text{nm}$

- スポット面積は

- ブルーレイ : DVD : CD = 1 : 5.2 : 13.3

- 記録容量

- ブルーレイ : DVD : CD

- = 25GB : 4.7GB : 0.72GB

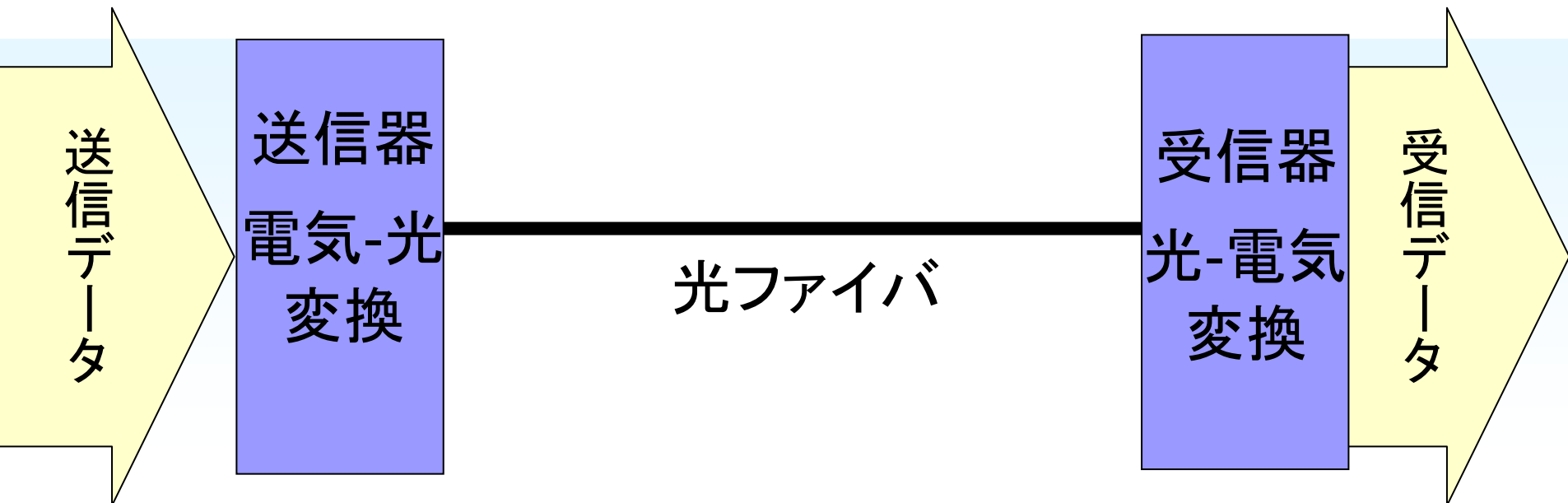
光エレクトロニクスの応用

- 光ファイバ通信
- FHHT (Fiber To The Home, アクセス系光通信サービス)の普及率は日本がNo.1

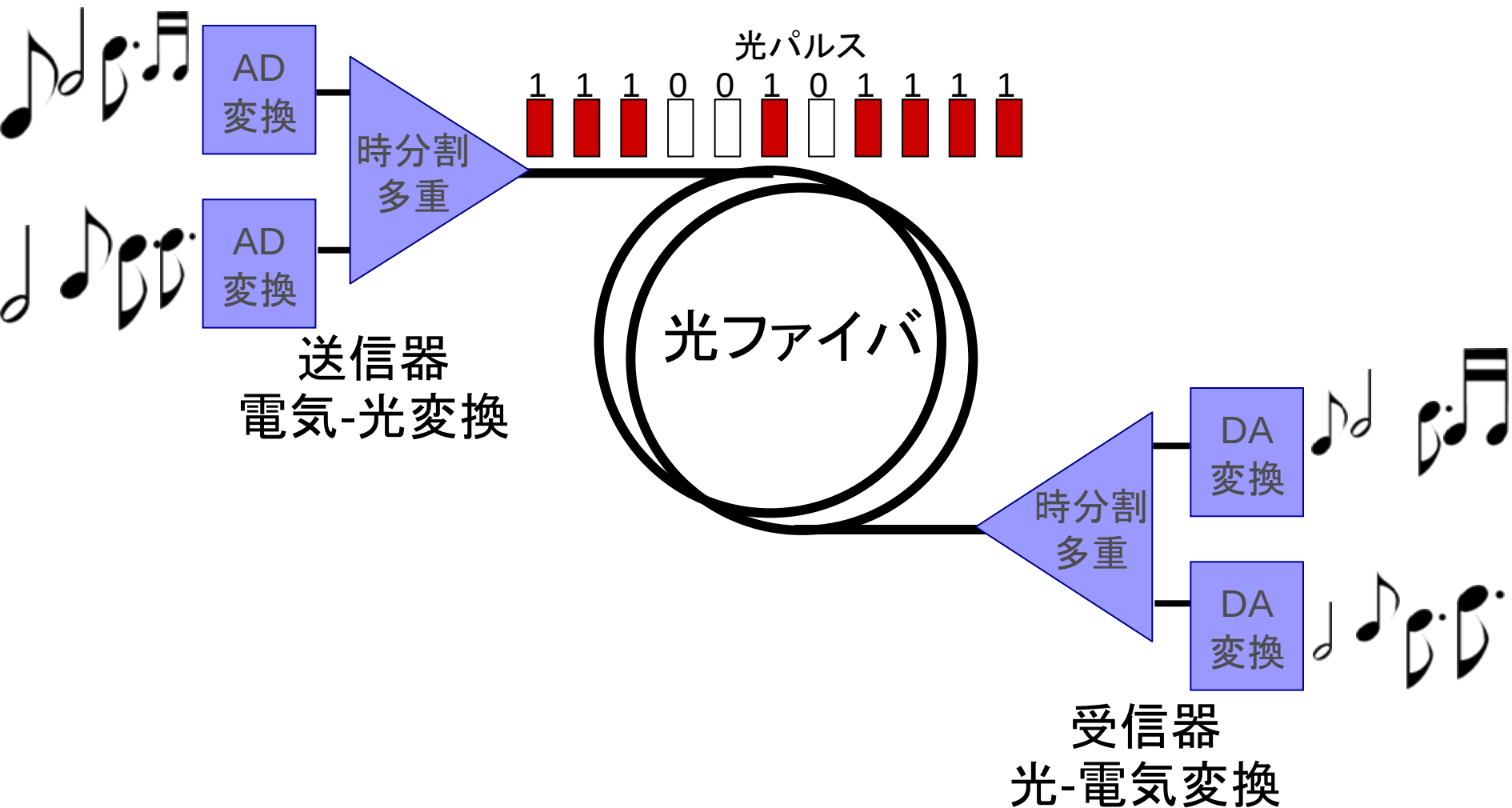
光ファイバ通信では

情報伝送

通常、ビット1,0を光パルスの有無で表現して情報を伝送する(光強度変調)。



光ファイバ通信のしくみ



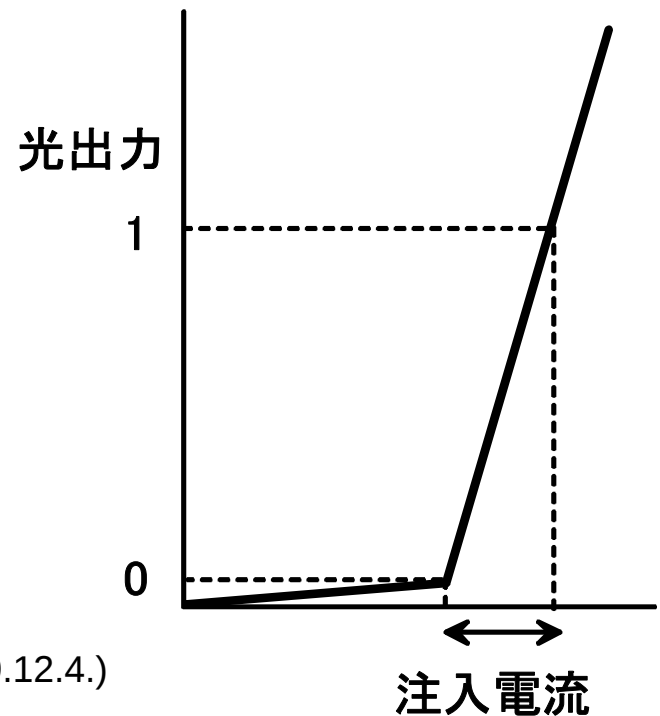
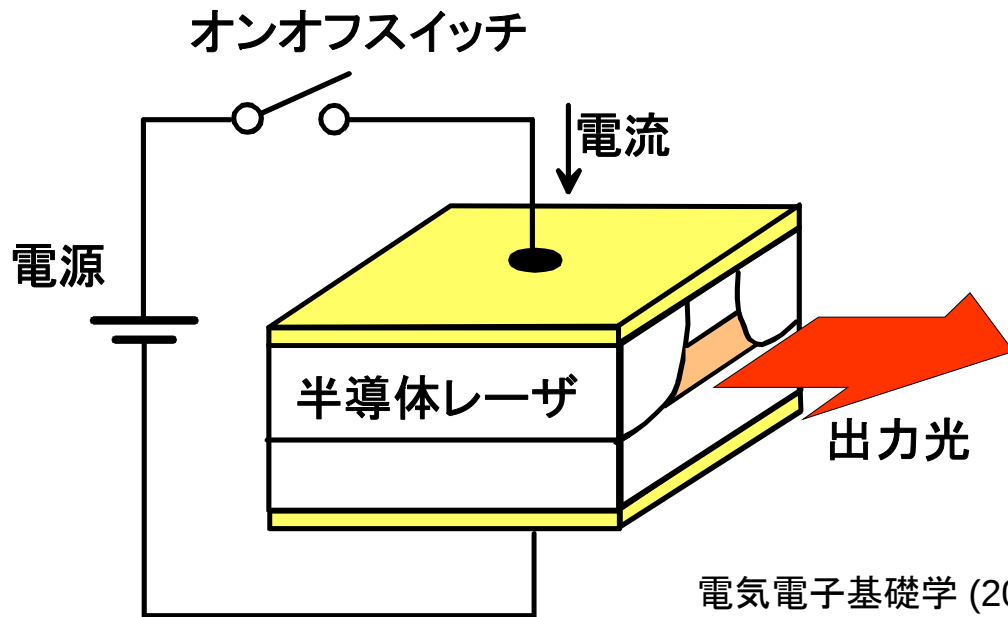
光ファイバ通信で使われる主要技術

- 光エレクトロニクス の 3+1 大要素
 - 高性能な半導体レーザ (1970年代)
 - 高感度な光検出器 (1970年代?)
 - 超低損失な光ファイバ (1970年代)
 - (そして) 光増幅器 (1990年代)
- これを巧みに駆使する技術
 - 時分割多重化
 - 波長分割多重化
 - エラー訂正

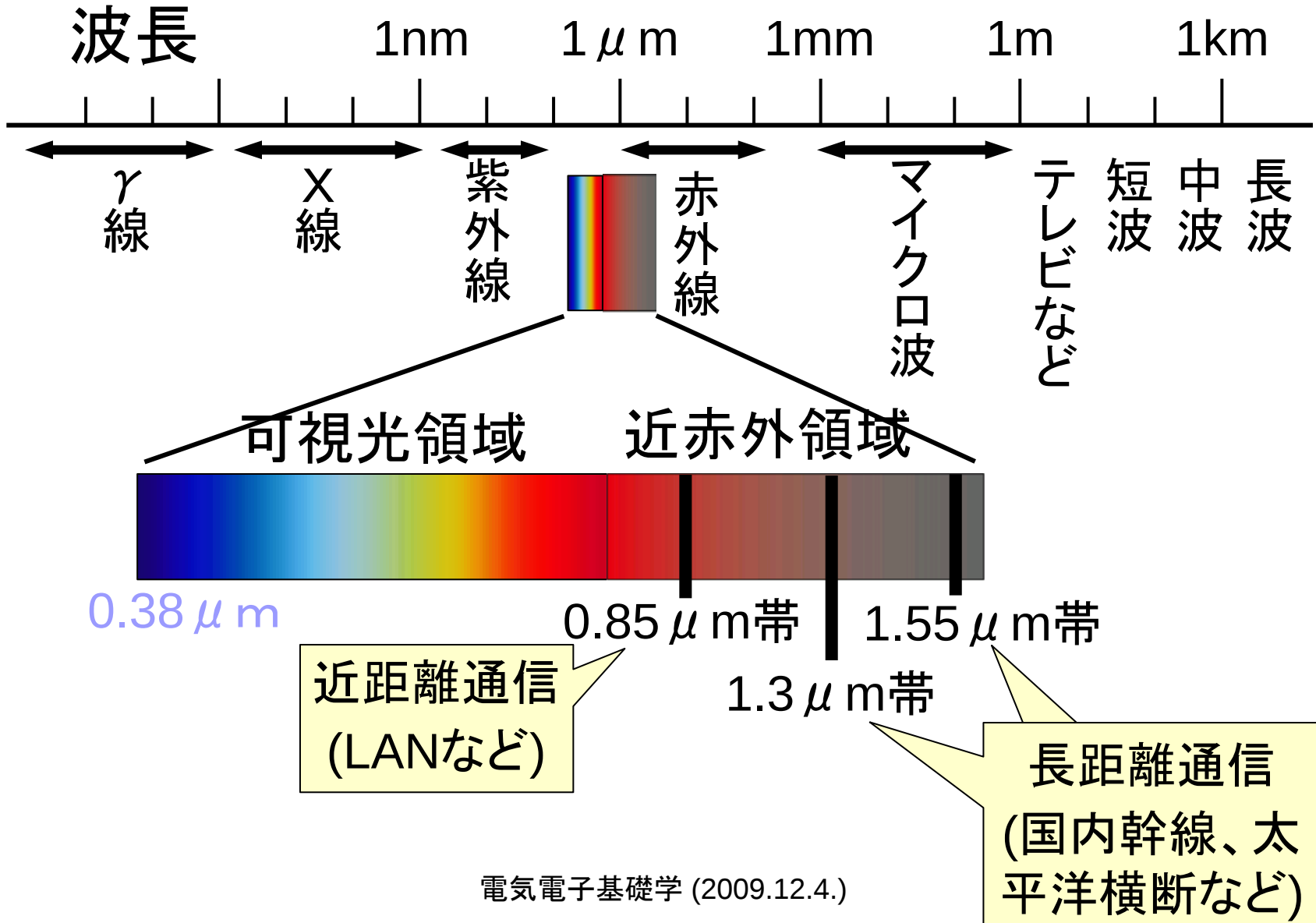
光ファイバ通信の3大要素：発光素子

Q1. どうやって送信データから光パルスを作るのか？

A1. 半導体レーザや発光ダイオード(発光素子)に流す電流を増減することで光の強度を変化させて光パルスを作る。



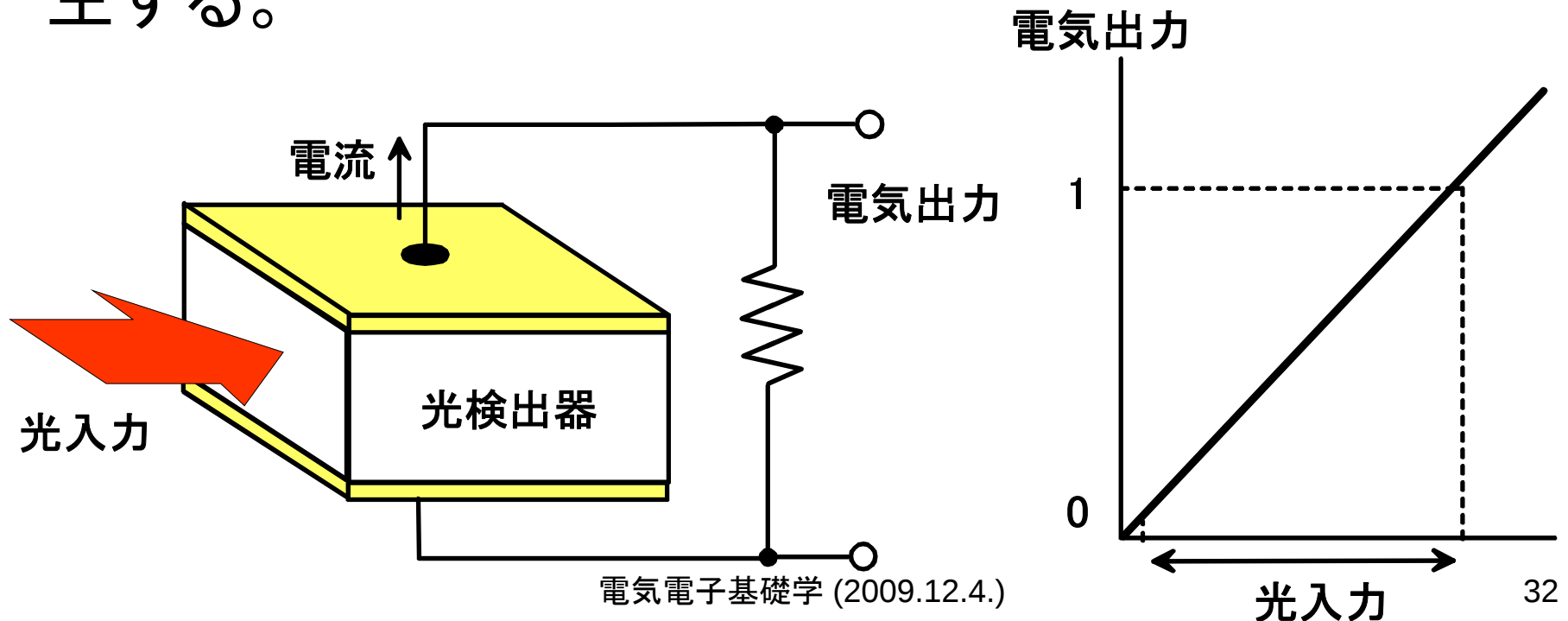
光ファイバ通信用波長帯



光ファイバ通信の3大要素：光検出器

Q2. どうやって光パルスを受信データに変換するのか？

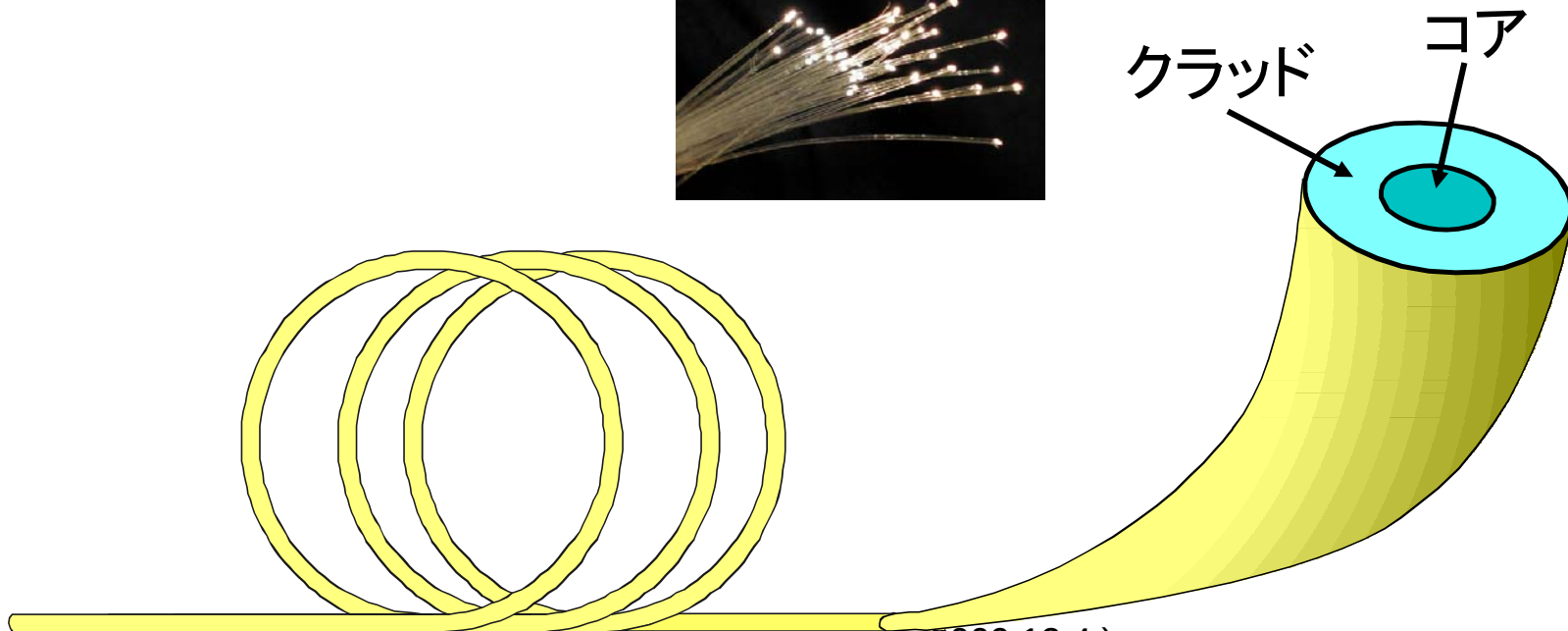
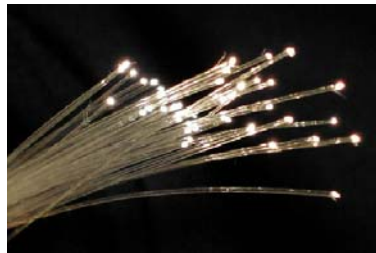
A2. 光照射によって電流が発生する光検出器で光パルスを受光し，電気信号に変換して受信データを再生する。



光ファイバ通信の3大要素：光ファイバ

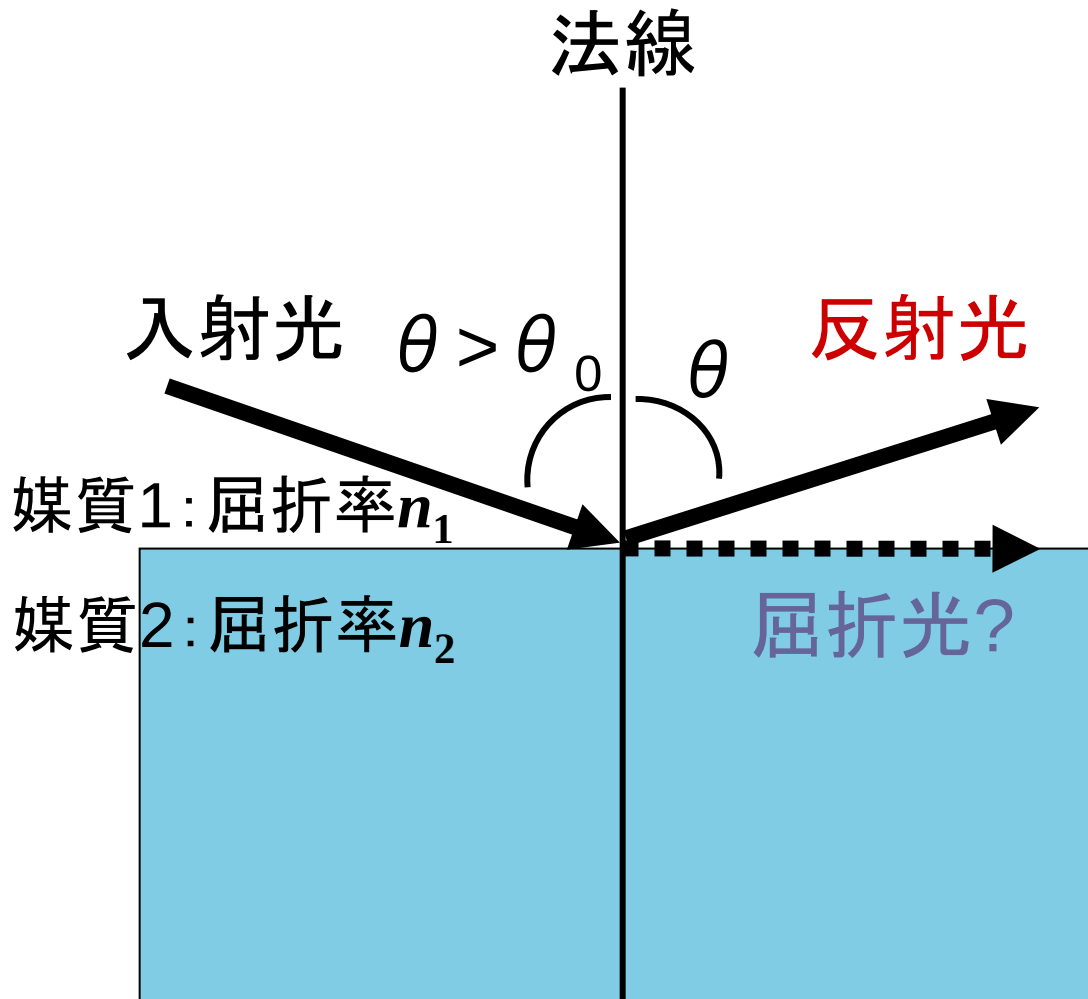
Q3. どうやって光を遠くに伝えるのか？

A3. 透明な石英系ガラスやプラスチックでできている光ファイバの中に光を閉じ込めて、長距離を伝送する。



全反射

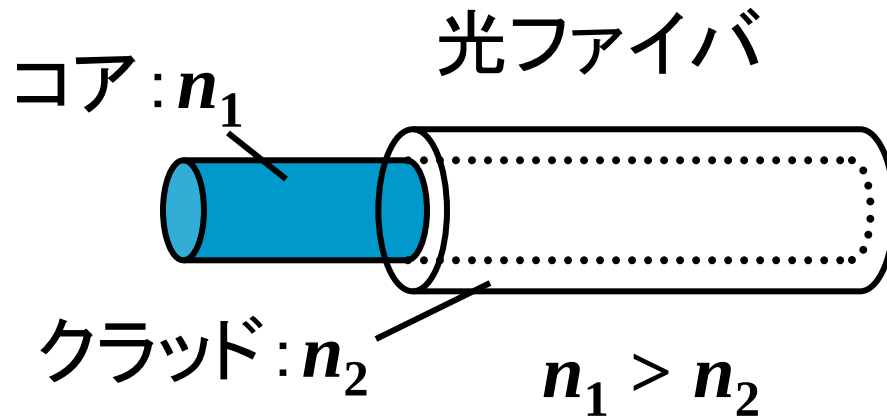
入射角が臨界角を越えるとどうなる？ ➡ 全反射



$$\text{臨界角 } \theta_0 = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1}$$

全反射が起こると、入射光は媒質1と2の境界面で**全て反射される**。

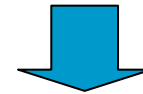
光ファイバ中を光が伝わる原理



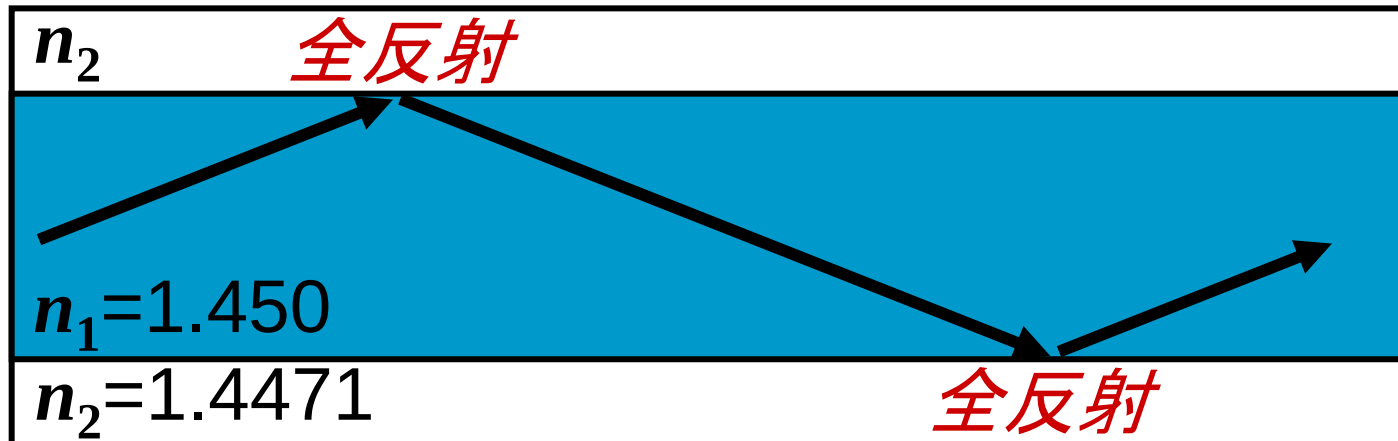
$$n_1 = 1.450$$

$$n_2 = 1.4471$$

(その差0.2%)



$$\text{臨界角} = 86.38^\circ$$

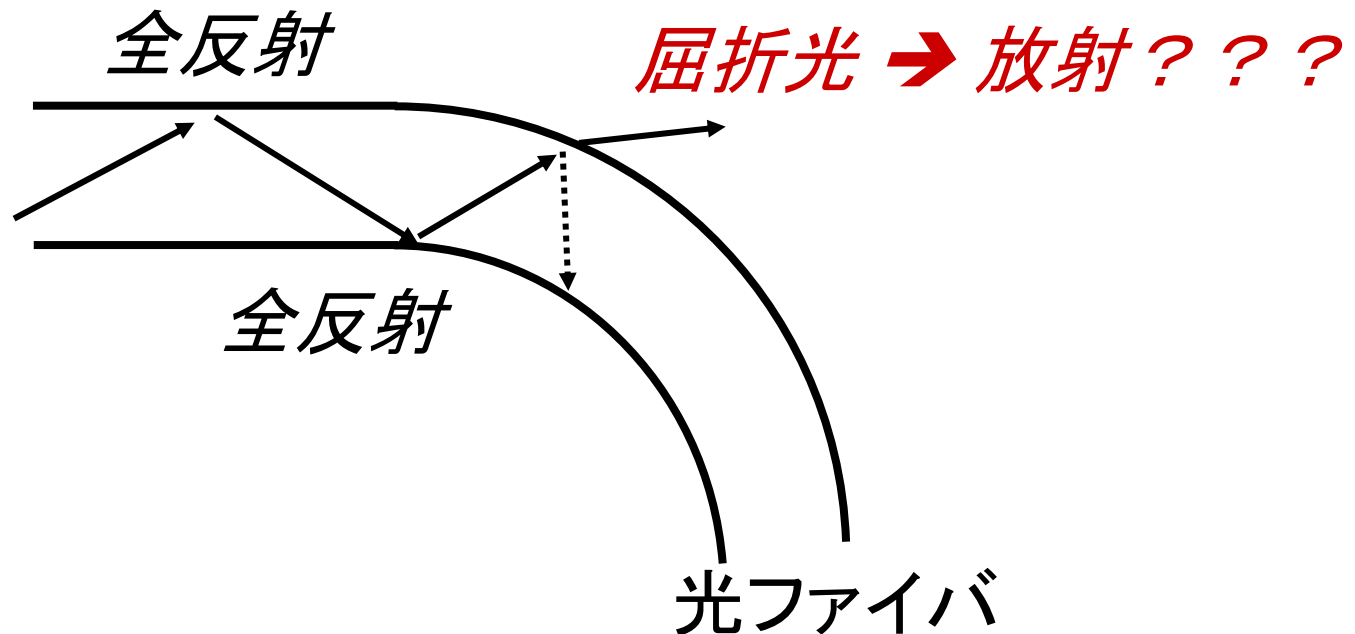


縦断面拡大図

電気電子基礎学 (2009.12.4.)

光ファイバ、ほんとうに大丈夫？

Q.光ファイバが曲がったら全反射でなくなる？



光ファイバ、ほんとうに大丈夫？

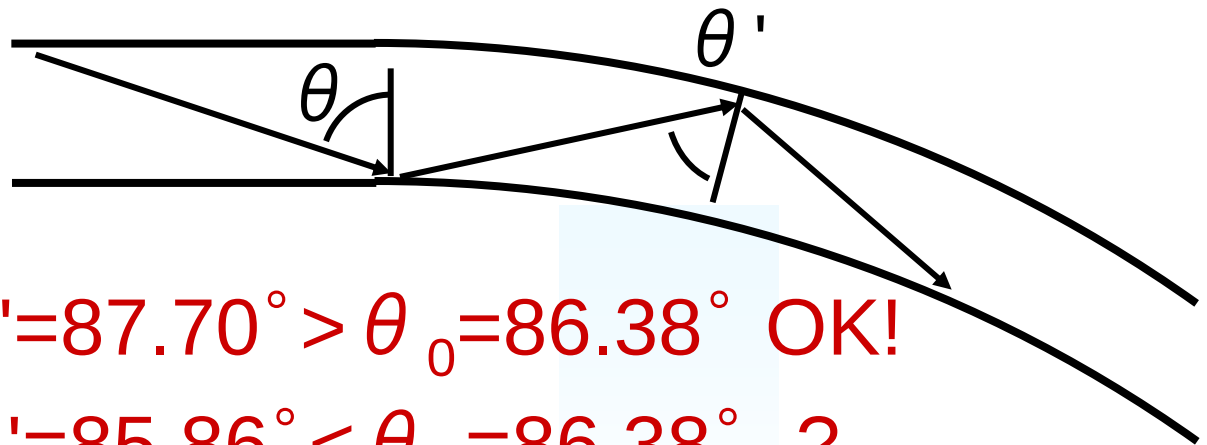
Q.光ファイバが曲がったら全反射でなくなる？

A.いいえ。曲げ半径Rがある程度大きい場合は大丈夫。

(例)

コア直径 $10\ \mu\text{m}$

$\theta = 88^\circ$ の光線



$R=50\text{mm} \rightarrow \theta' = 87.70^\circ > \theta_0 = 86.38^\circ$ OK!

$R=5\text{mm} \rightarrow \theta' = 85.86^\circ < \theta_0 = 86.38^\circ$?

曲がりによって放射→損失

光ファイバ、ほんとうに大丈夫？

Q.損失は無いの？

A.あります。

しかし、純度を高めることによって非常に低減されています。

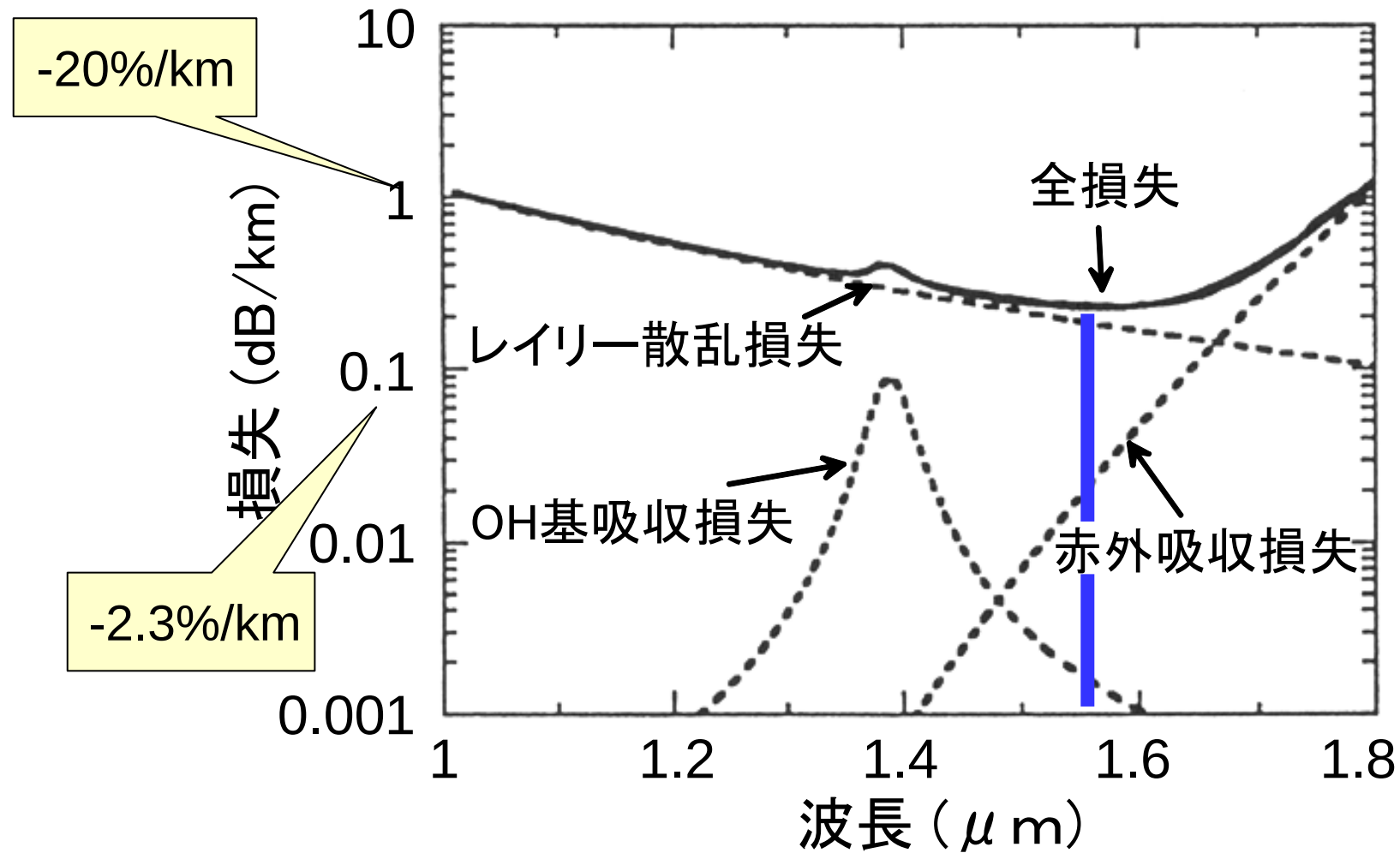
(例)石英系ガラスファイバ:

1kmあたりの損失はわずか3.4%(0.15dB/km)

(波長 $1.55\mu\text{m}$ において)

→ 散乱損失 + 吸収損失

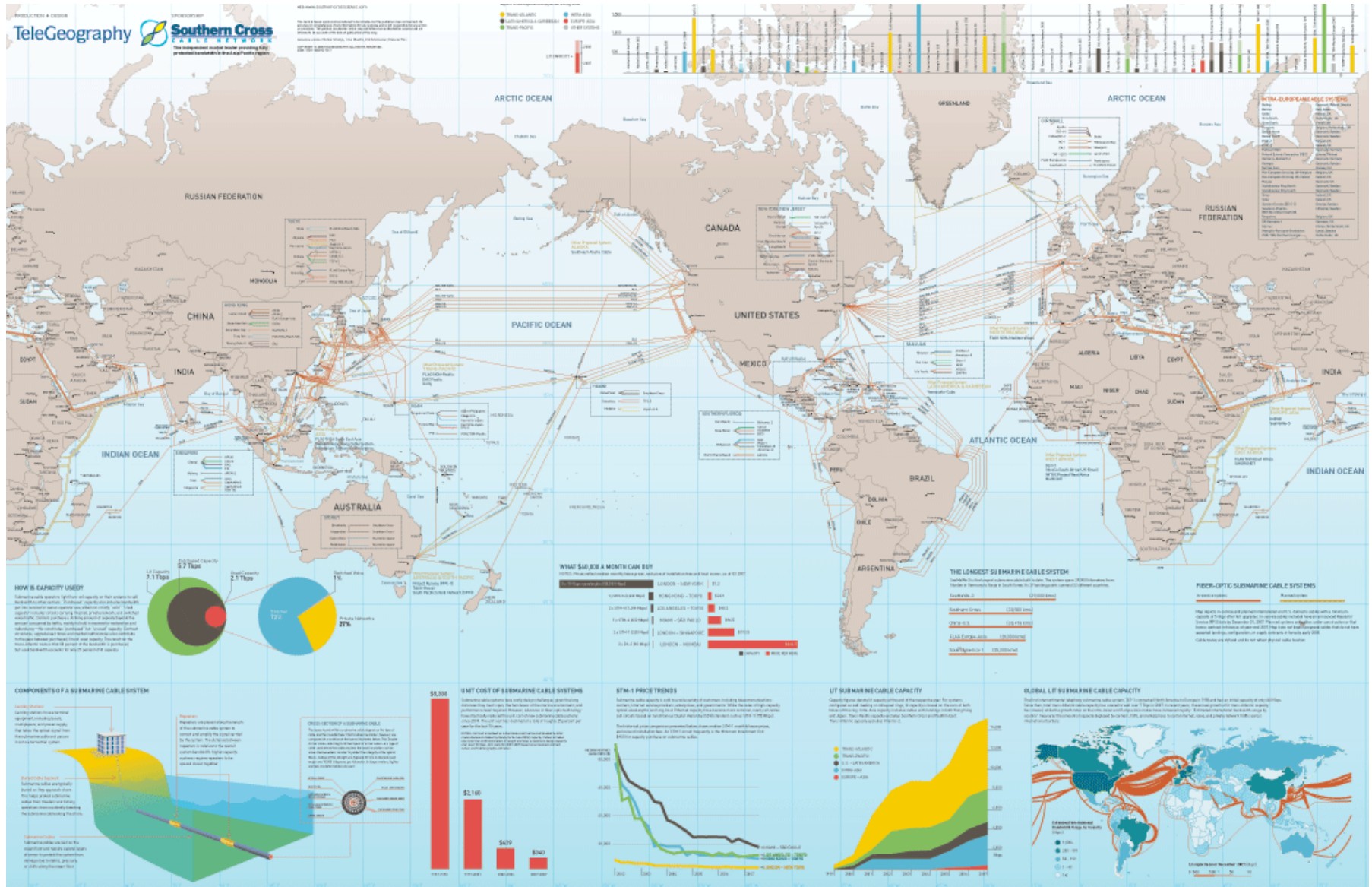
石英系ガラス光ファイバの損失



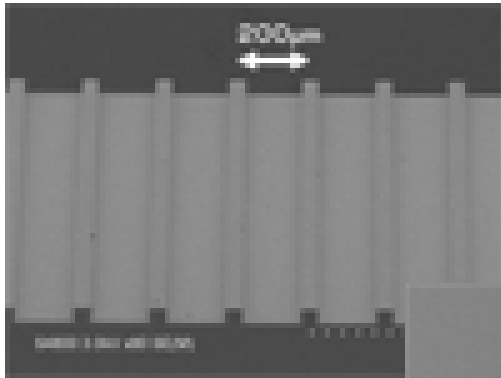
(川上、白石、大橋共著:「光ファイバとファイバ形デバイス」(培風館)から転載)

電気電子基礎学 (2009.12.4.)

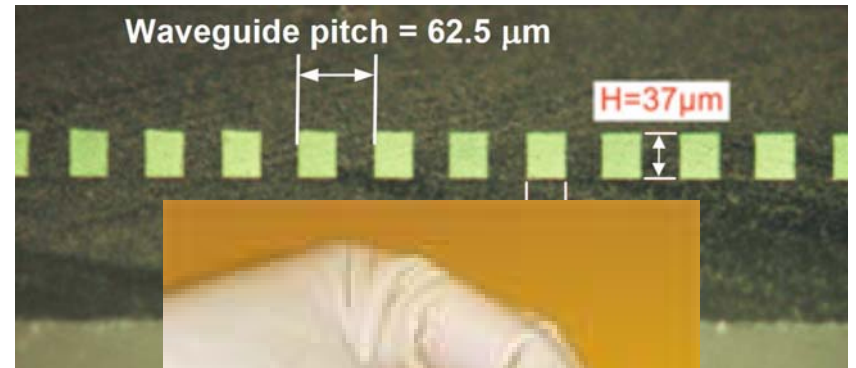
光海底ケーブルシステムルートマップ



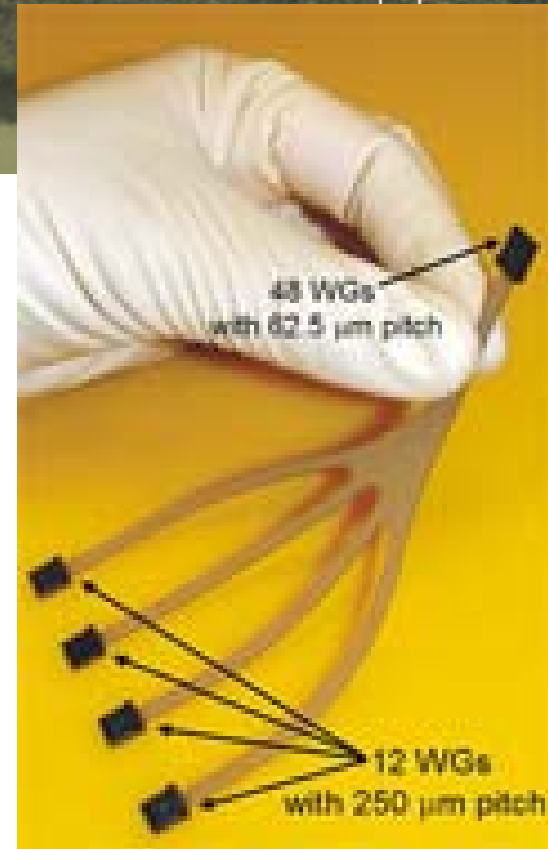
そして...光配線



Source: TORAY

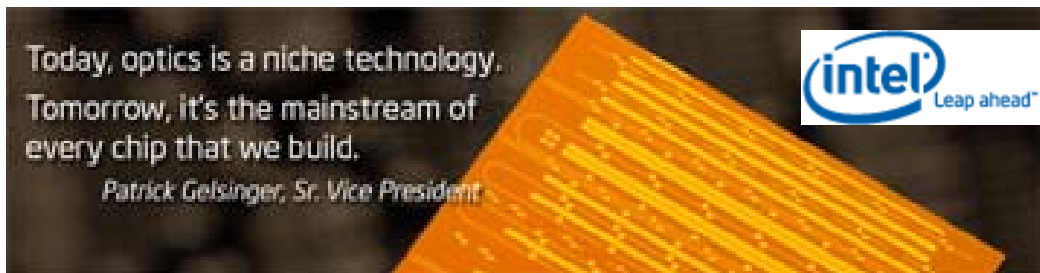


Source: オムロン・松下
CEATEC2005

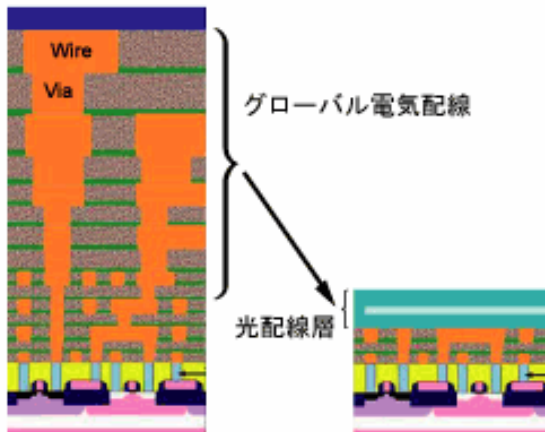
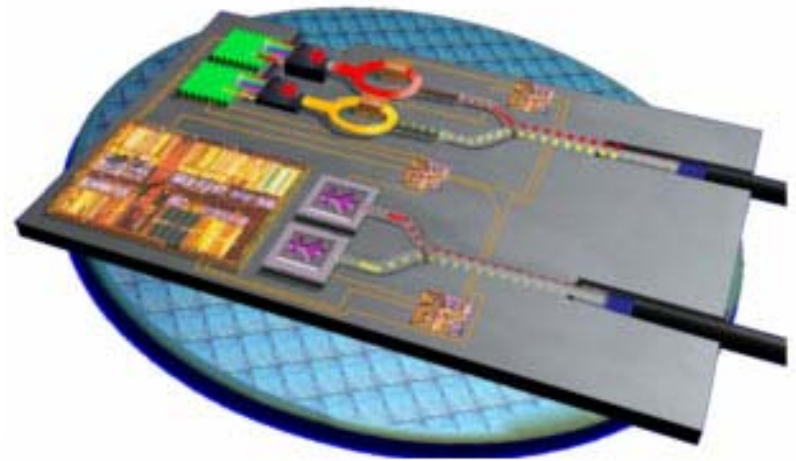


Source: IBM, MOC'08 Technical Digest

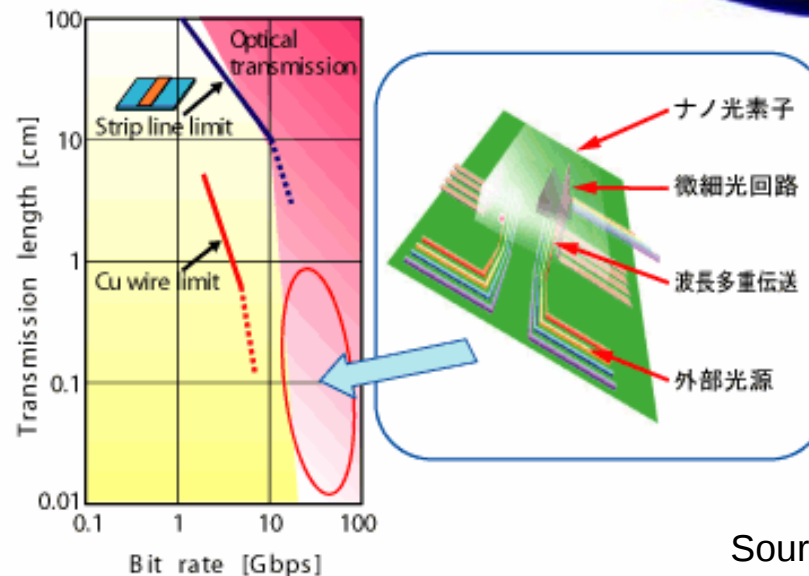
さらに...光配線はLSIへ



Source: Intel web site



光配線によるグローバル配線の簡素化



Source: www.miraipj.jp

オンチップ光配線技術の位置付けと開発要素技術

まとめ

- 光エレクトロニクスは多くの技術が関連する学問分野
- 既に広く利用されている技術もある
- しかし、まだまだ解決しなければいけない課題が多くあり、若い皆さんの活躍が期待される