

# 工場電氣의 最新技術

## 레이저 應用技術의 基礎

이달부터 工場에 있어서의 電氣設備의 進歩와 最新의 技術에 對해서 解說하기로 한다. 變電設備와 電動機等, 그전부터 存在하는 設備의 技術發達은 勿論, 最新의 엘렉트로닉스技術, 또는 保全技術에 對해서도 解說할 豫定이다.

이번회는 第1次로서, 레이저技術에 對해서 說明하기로 한다.

### 1. 레이저라 함은

레이저(Laser)라 함은, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation의 머리글을 딴 것으로서, 誘導放出에 의하여 빛을 增幅하는 것인데, 一般의으로는 그現象을 利用하여 發生된 빛, 혹은 發生하는 裝置의 意味로도 使用되고 있다.

#### (1) 레이저라 함은

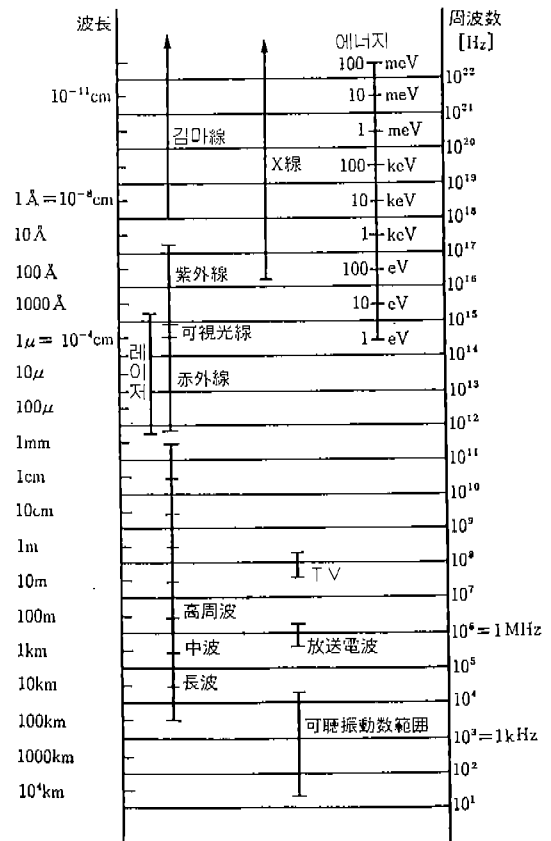
레이저라함은 도대체 무엇이나 하는 것인데 그것은 빛의 一種이다. 빛은 電磁波의 一種이니 레이저는 電磁波의 一種이다. 一般의으로 電磁波는 그 發生의 方法과 檢出의 方法에 依해서 몇가지로 分類된다.

이것이 電波, 赤外線, 可視光線, 紫外線, X線 및 감마線 등이다. 이들의 各種 電磁波를 本質的으로 特徵지우는 단한가지의 差異는 그波長(혹은 振動數)으로서 이들의 關係는 그림 1과 같다.

電磁波의 特徵은 空氣中에서는  $3 \times 10^8$  m/s로 傳達되는波라는 것, 에너지를 가지고 있는 것, 干涉·回折·反射等의 現象을 나타내는 것 등이다.

#### (2) 레이저 發生의 原理

빛 發生의 메카니즘에 對해서는, 보오어의 原子

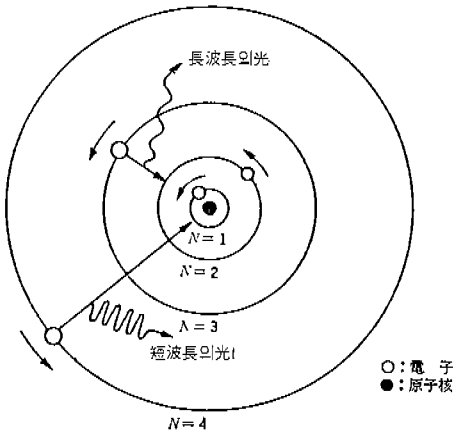


〈그림-1〉 電磁波의 種類

模型과 에너지準位에 依하여 說明하는 것이 理解하기 쉽다.

物質을 微觀的으로 보면 原子에 依하여 構成되고 있다. 그 原子는 負電荷를 가진 몇개의 電子와, 이것을 消滅시킬만큼의 正電荷를 갖는 한개의 原子核으로 구성되며, 全體的으로는 中性을 保持하고 있다.

이들의 物質을 加熱하던가, 電壓을 加하던가 하면 原子스펙트르를 包含하고 있는 빛이 나온다. 보오어는 水素의 스펙트르를 說明하기 위한 模型을 생각했다. 그림 2는 보오어의 原子模型이다. 여기에서는 하나의 電子에 對해서 생각하고 있다. 이 模型에는 두가지의 假說이 있다.



〈그림-2〉 보오어의 原子模型

(1) 量子條件: 電子는 어느 安定한 軌道위만을 運動하며, 이 道軌위를 運動할 境遇에는 빛을 發하지 않는다. 이 安定한 軌道를 M軌道(半徑a)라고 하면 그 角運動量의  $2\pi$ 배가 Planck의 定數h의 整數배에 같다고 하는 條件을 滿足한다. 즉 다음과 같이 된다.

$$2\pi \times \text{角運動量} = Nh \quad (N=1, 2, 3, \dots)$$

(2) 振動數條件: 前記의 條件에서 주어지는 하나의 安定한 軌道로부터 다른軌道로 電子가 移動할때만, 빛의 吸收 또는 放出이 생기며, 變化 前後의 原子의 에너지를  $E_1, E_2$ 라고 하면, 放出 또는 吸收되는쪽의 振動數  $\nu$ 는,

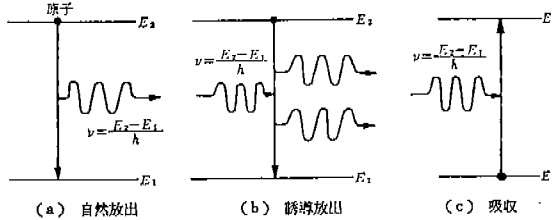
$$\nu h = E_2 - E_1$$

의 關係로 주어진다. 여기에서  $E_2 > E_1$ 일때, 빛의 放射이 생기고,  $E_2 < E_1$ 일때에 빛의 吸收가 생긴다.

이것을 模型으로 表示하면 그림 2처럼 된다. 電子는  $N=1$ 의 軌道에 있을때가 安定狀態이며, 이것을 基底狀態라고 한다. 電子가 外部로부터 熱·光·電壓 등의 能量을 받아, 또는 電子의 衝突 등에 依하여 上位의 高에너지의 狀態로 變하는 것을 勵起라 하며,  $N=2$  이상의 狀態에 있는 電子를 勵起狀態에 있다고 한다.

原子의 狀態는 그림 2와 같이  $N=1, 2, 3, \dots$ 의 건너뛰는 軌道로 表示되어, 上位軌道에 接近할수록 커다란 能量을 지니게 된다, 건너뛰는 原子의 能量의 值를 能量準位라는 말로 表現하는수가 많다.

다음에 빛 發生의 메카니즘인데, 自然放出, 誘導放出, 吸收의 세가지 基本的 過程이 있다. 이것을 그림 3에 表示한다.



〈그림-3〉 빛 發生의 메카니즘

(1) 自然放出

어느 物質의 原子(혹은 電子)의 能量準位를 생각한다. 그것을  $E_1, E_2$ 로 하며,  $E_2 > E_1$ 으로 한다. 能量準位 2에 있는 原子는 어느程度의 時間이 경과하면, 周波數  $\nu$ 의 光(또는 電磁波)을 放射하고 下部의 能量準位로 떨어진다. 이 過程을 自然放出이라고 한다. 빛의 周波數는,

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

로 表現된다.

(2) 誘導放出

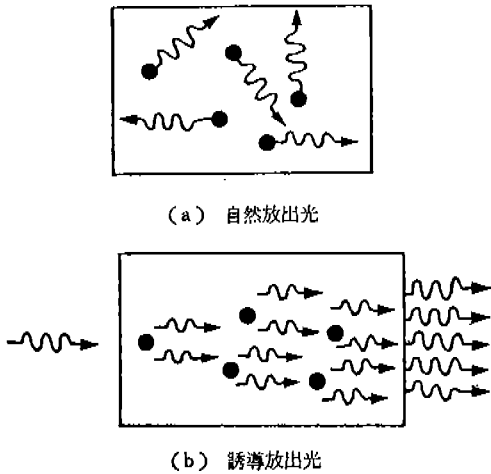
어느 原子가 準位 2에 있었을 境遇에, 周波數가  $\nu = (E_2 - E_1)/h$ 와 같은 빛이 入射하게되면 原子는 그 빛에 依하여 強制的으로 下部의 準位로 떨어진다. 그럴때 放出되는 빛은 入射光에 加해진다. 이 過程을 誘導放出이라고 한다.

(3) 吸收

誘導放出의 경우와는 反對로 原子가 下部의 準位 1에 있을 境遇에, 周波數가  $\nu = (E_2 - E_1)/h$ 와 같

은 빛이 入射하면 入射光은 그 原子에 吸收되지만, 原子쪽은 準位 2로 올라간다. 이것을 吸收라고 한다. 原子쪽에서 말하면 勵起이다.

普通의 빛은 自然放出光이며, 레이저의 빛은 誘導放出光이다. 그 差異에 對해서는 前者는 位相도 方向도 제멋대로 이지지만, 後者는 入射光과 同位相이며 同一方向으로 放出된다. 이것을 그림 4에 表示한다.



(그림-4) 自然放出光과 誘導放出光

#### (4) 增幅

實際의 物質에서는 多數의 原子가 어느 密度로 分布하여, 放出과 吸收를 되풀이 하고 있다. 二準位系의 原子數密度를  $N_1, N_2$ 로 한다. 이 系에 周波數  $\nu$ 의 빛이 入射하여  $z$  方向으로 進行하는 境遇(그림 5), 強度變化  $dI$ 는 誘導放出과 吸收의 差로서 表示되어

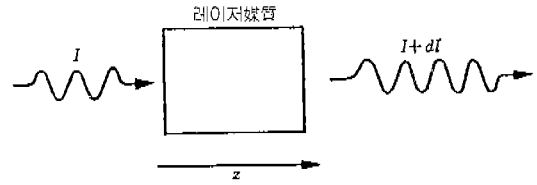
$$dI = W(N_2 - N_1) h\nu dz$$

로 된다. 단,  $W$ 는 誘導放出 또는 吸收의 確率이다.

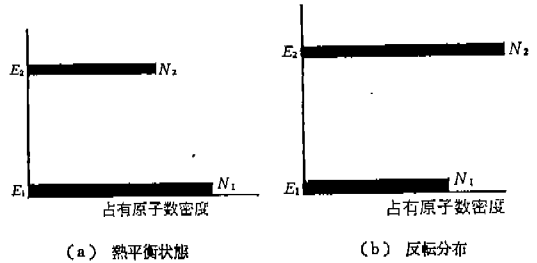
$dI/dz > 0$  이면 放出光은  $I + dI > I$  로 되어, 入射光보다 強度는 더 커져서, 系는 增幅器로서 작동한다. 즉,  $N_2 > N_1$  이면 系는 增幅器로 된다.  $dI/dz < 0$ , 즉,  $N_2 < N_1$  이면 反對로 系는 吸收體로서 작동한다.

熱平衡狀態일때의 二準位의 占有原子數密度는 볼트만 分布에 따라

$$\frac{N_1}{N_2} = \exp\left[-\frac{E_2 - E_1}{KT}\right]$$



(그림-5) 光의 增幅



(그림-6) 反轉分布

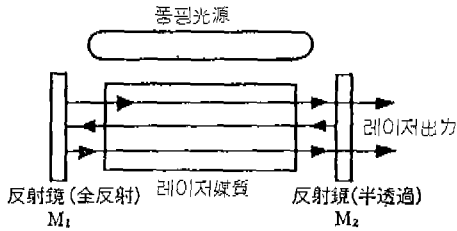
단,  $K$ : 볼트만 定數,  $T$ : 絕對溫度 로 되니 增幅作用은 있을 수 없다. 增幅作用을 하기 위해서는  $N_2 > N_1$ 으로 할 必要가 있다. 이와같은 分布를 反轉分布라 한다(그림 6).

前式에서 明確하게 된 것처럼 이 狀態에서는  $T$ 는 負이며, 負溫度狀態 혹은 非熱平衡狀態라 한다. 이와같은 狀態는 人工의 方法으로 만들 수 있다. 레이저는 이와같이 해서 만들어지는 것이다. 즉, 誘導放出에 의해서 빛을 增幅하여, 그 周波數가 光領域인 경우를 레이저라고 한다.

#### (3) 레이저 發振器의 構成

發振器란 正弦波와 脈스波 등의 連續 또는 不連續이 되풀이 되는 波를 發振시키는 機器를 말한다. 發振이란 自己振動을 하는 것을 말한다. 레이저 發振器는 그림 7에 表示한 것처럼 레이저 媒體, 2枚의 反射鏡  $M_1, M_2$ 로 形成되는 共振器, pumping(勵起) 光源으로 된다. 레이저 媒質은 誘導放出에 의하여 빛을 發하며, 그 빛을 增幅하는 機能을 가지고 있다. 따라서, 反轉分布가 實現하기 쉬운 物質이 아니면 안된다. 反射鏡은 피드백의 機能을 가지고 있다. 즉, 레이저 媒質에서 放出된 빛을 再차 레이저 媒質로 되돌리는 役割을 한다.

pumping이란 外部로부터 에너지를 加해서 原子를 낮은 準位로 부터 높은 準位로 올리는 것을 말한다. 레이저 發振을 實現하기 爲해서는 反轉分布가 必要

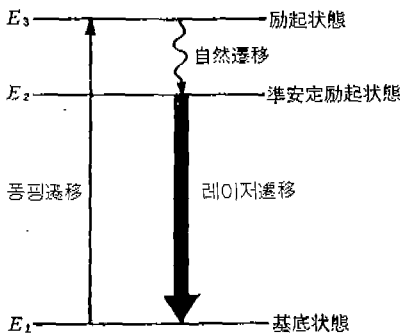


〈그림-7〉 레이저發振器의 構成

하다. 이 일을 하는 것이 공핑이다. 공핑의 方法으로서는 가스레이저는 氣體放電에 의한 電子衝擊, 固体레이저는 光照射, 半導體레이저는 電流가 사용된다.

#### (4) 發振의 메카니즘

에너지準位에 있어서는 基底狀態가 가장 安定되어 있으며, 上位의 勵起狀態는 不安定한 狀態로서, 공핑으로 原子를 위로 밀려 올려도, 短時間內에 基底狀態로 되돌아감으로써, 反轉分布를 實現하기는 어렵다. 따라서 레이저發振은 일어나지 않는다고 할 수 있다. 그러나, 物質에는 上位의 에너지準位에 있어서 壽命이 긴 準安定勵起狀態를 나타내는 것이 있어, 레이저 媒質에는 이러한 物質을 사용한다. 實際의 레이저媒質에는 에너지準位가 3準位나 4準位の 原子系를 사용한다. 그림 8은 3準位레이저의 에너지圖이다.



〈그림-8〉 準位레이저

레이저發振의 過程을 說明한다.

- (1) 基底狀態  $E_1$ 에 있는 電子는 공핑에 의하여, 準位  $E_3$ 로 勵起된다.
- (2) 準位  $E_3$ 의 勵起狀態는 不安定하고 壽命이 짧으며, 電子는 準位  $E_2$ 에 自然遷移한다.
- (3) 準位  $E_2$ 는 壽命이 긴 準安定狀態이다. 準位  $E_2$

로부터 準位  $E_1$ 으로 自然遷移하는 電子는 있을 수 있는데, 공핑이 크고 빠를 경우에는 準位  $E_2$ 의 電子密度  $N_2$ 가 準位  $E_1$ 의 密度  $N_1$ 보다 크다고하는 反轉分布가 形成된다.

$E_1$ 으로부터  $E_2$ 로의 공핑遷移確率을  $W_{12}$ ,  $E_2$ 로부터  $E_1$ 로의 自然遷移確率을  $W_{21}$ ,  $E_2$ 에서  $E_1$ 으로의 自然遷移確率을  $W_{21}$ 로 하면 反轉分布形成의 條件은,  $W_{21} > W_{12} < W_{21}$ 이다.

(4) 準位  $E_2$ 에서 準位  $E_1$ 으로 電子가 遷移할 때, 周波數  $\nu_{21}$ 의 自然放出光을 發한다. 이 빛을 反射鏡으로 反射시켜, 레이저媒質로 되돌리면 誘導放出이 생긴다. 放出된 빛을 다시 反射鏡으로서 레이저媒質로 되돌리는식으로, 反射와 誘導放出을 되풀이하는 것으로 빛이 增幅된다. 이 強度가 諸損失보다 커지면 레이저發振(自企振動)이 생겨서, 스펙트럼 幅이 좁고, 指向性이 높은 高輝度의 레이저光이 發生한다.

(5) 레이저發振이 일어나기 爲해서는 準位  $E_2$ 의 電子密度  $N_2$ 와 準位  $E_1$ 의 密度  $N_1$ 의 差  $\Delta N = N_2 - N_1$ 이, 發振의 最下值  $\Delta N_{th}$ 以上이라야만 하며, 誘導放出이 強할 경우는  $N_2$ 가 激減하므로,  $\Delta N < \Delta N_{th}$ 로된 時點에서 發振은 停止한다. 공핑에 의하여, 再次  $\Delta N > \Delta N_{th}$ 로 된 時點에서 發振이 일어난다.

따라서 發振을 持續하기 爲해서는 항상  $\Delta N < \Delta N_{th}$ 로 해둘 필요가 있다.

## 2. 레이저光의 特徵

레이저光은 普通 빛에는 없는 特徵을 가지고 있다. 그것을 다음에 表示하겠다.

### (1) 波長

波長이 約  $0.38 \sim 0.76 \mu m$ 의 電磁波를 빛(可視光)이라하여, 人間에 밝음을 느끼게 하는 것이다. 一方, 實現되어 있는데 레이저光의 波長範圍는 約  $0.2 \mu m \sim 700 \mu m$ 이며, 紫外線으로부터 赤外線에까지 미친다.

또한 波長의 單位에는  $\text{\AA}$ (옹스트롬) ·  $\mu m$ (미크론) ·  $m$ (미터) ·  $nm$ (나노미터) 등이 있으나, 모두  $m$ 單位로 表示하면  $1 [nm] = 10^{-9} [m]$ ,  $1 [\text{\AA}] = 10^{-10} [m]$ ,  $1 [\mu m] = 10^{-6} [m]$ ,  $1 [mm] = 10^{-3} [m]$ 이다. 따라서,  $1 [nm] = 10^{-3} [\mu m] = 1 [m\mu]$ (밀리미크론)이다. 미리미크

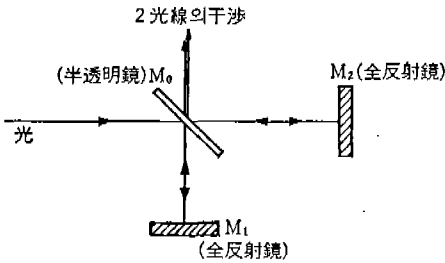
**(2) 連續性**

普通의 빛은 自然히 放出되는 빛이다. 즉 勵起狀態에서 基底狀態로 電子가 遷移할때에 發하는 빛이지만 遷移時間은 至極히 짧으니까 ( $10^{-8}$  S 정도), 波의 길이도 겨우 10cm 정도이다. 이러한 波가 잇달아 發生하여, 제멋대로의 方向으로 秒速  $3 \times 10^8$  m로 進行하고 있는 것이 빛이다. 이것을 圖示하면 그림 4 (a)가 된다. 一方, 레이저光은 끊어지지 않고 連續되는 빛이다. 이것이 秒速  $3 \times 10^8$  m로 一定方向으로 進行한다. 이것을 圖示하면 그림 4 (b)가 된다.

**(3) 코피렌트의 빛이다**

干涉이 생기는 빛을 코피렌트(可干涉)한 빛, 干涉이 일어나지 않는 빛을 인코피렌트한 빛이라고 한다.

코피렌트의 두가지 光波가 서로 겹쳐진 結果, 두가지 光波의 位相의 關係로 빛의 強度가 強化되다가 弱화되는 現象을 빛의 干涉이라고 한다. 이것을 그림 9의 干涉計라고 불리는 裝置에 依해서 具體적으로 說明하기로 한다.

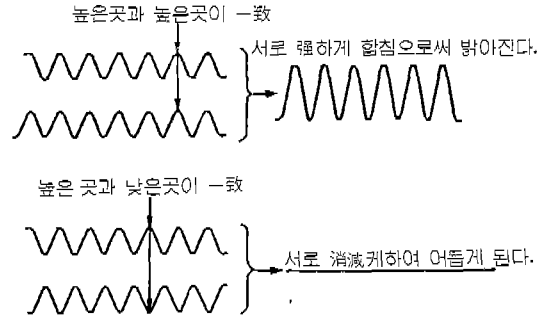


〈그림-9〉 干涉計

入射光은 半透明鏡M<sub>0</sub>에 依해서 半은 反射하여 M<sub>1</sub> M<sub>2</sub>는 全反射鏡이며, 여기에서 反射한 빛은 M<sub>0</sub>의 上部에서 再次 겹치게 된다. 이때  $\overline{M_0M_1}$  과  $\overline{M_0M_2}$  의 距離가 다르면 양쪽의 빛은 그 差만큼 떨어져 있는 것이 만나기 때문에 그림10과 같이 波狀의 山과 山이 一致하면 서로 強하게 겹쳐져 밝아지고, 또 山이 一致하면 서로 強하게 겹쳐져 밝아지고, 또 山과 계곡이 一致하면 消滅한다. 이것이 干涉이다.

레이저光은 코피렌트이며, 그렇지 않은 빛은 인코피렌트이다. 다시말하면 레이저光은 時間的이나, 空間的으로도 코피렌트이다. 즉 時間的과 空間的으로도 干涉하기 쉽다.

時間的으로 코피렌트의 說明은 그림 9에 依하여



〈그림-10〉 干涉

說明할 수 있다. 그림 9에 있어  $\overline{M_0M_1}$  과  $\overline{M_0M_2}$  에 距離的 差가 있을 경우는 빛이 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>로 反射하여 再次 M<sub>0</sub>로 合流할 경우에는, 두개의 빛의 到達時刻에는 時間的 差가 있을 것이나, 레이저光의 경우, 相當한 距離差가 있어 干涉할 수 있다.

一方, 普通의 빛은 距離差가 波速의 길이 以上이 되면 干涉할 수 없다.

다음에 空間的으로 코피렌트라함은, 레이저빔의 空間的으로 다른 두點으로부터 빛을 끌어내어 混合하면 干涉한다. 이 結果 렌즈로 集光하면 光源보다 작은 面積의 平行光에 集光할 수 있다. 그러나 인코피렌트의 빛은 光源의 面積보다 작고 集光할 수 없다.

**(4) 優秀한 單色性이다.**

周波數의 擴散이 적다. 즉 單色性의 강한 빛이다 이것은 레이저物質에 依하여 定해지는 波長의 빛만이 增幅되기 때문에 當然한 것이지만, 普通은 自然幅 또는 共振器의 幅과 機械的振動으로 決定되는 周波數幅을 가지고 있으며, 개스레이저등의 單色性이 좋은 레이저에 있어서는 그 幅은  $10^5 \sim 10^7$  Hz (레이저의 周波數는  $10^{12} \sim 10^{15}$  Hz)이며,  $10^{13}$  Hz로 發振하는 레이저라면  $\Delta \nu / \nu = 10^5 / 10^{13} = 10^{-8}$ 이 되어, 至極히 共振度가 높은 發振이다.

이와같이 單一周波數(單色)이므로 더욱 時間的으로 코피렌트이다.

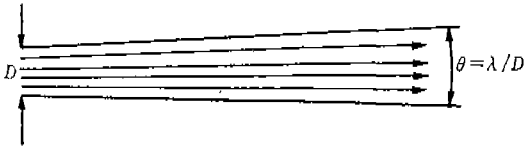
또한 普通의 빛은 赤色에서 紫色까지의 幅넓은 周波數를 가지고 있다.

**(5) 指向性이 좋다**

光軸方向의 빛만이 增幅되므로, 이 方向으로 進行擴散角이 작은 光빔을 얻을 수 있어, 적은 에너지

지損失로 遠距離까지 傳送할 수 있다. 空間적으로 코퍼렌트이기 때문에 光源의 面積보다 작게 集光할 수 있다는 것은 前述했다.

指向性에 對해서는 그림11에 表示한 바와 같이, 波長 $\lambda$ 의 레이저빔의 直徑이 D라고 한다면, 그때마다 벌어지는 角度 $\theta$ 는 대체적으로,  $\theta \approx \lambda / D$ 가 된다.



〈그림-11〉 레이저빔의 指向性

예를 들면, He-Ne레이저 ( $\lambda = 0.6828[\mu\text{m}]$ )의 發振器의 出口에 있어서의 出力빔의 直徑이 1mm라고 한다면,  $\theta = 6 \times 10^{-4} [\text{rad}]$ 가 된다.

따라서, 지금 레이저빔이 100m 나 날았다고 해도 直徑 6 cm밖에는 벌어지지 않는다.

### (6) 에너지密度가 높다

레이저에 있어서는 높은 出力을 가지는 것이 있는 것은 勿論이고, 時間平均으로해서는 그다지 크지 않은 出力의 것이라 할지라도, 指向性이라고 하는 特性때문에 작은빔面積에 높은 에너지를 集中할 수 있다.

표 1은 各種 熱源의 最大에너지密度를 表示한 것이다. 레이저빔은 電子빔과 같이, 가장 에너지密度의 높은 熱源이라고 할 수 있다.

〈表-1〉 各種熱源의 最大에너지密度

熱 源	에너지 密度 [W/cm <sup>2</sup> ]	熱 源	에너지 密度 [W/cm <sup>2</sup> ]
레이저	10 <sup>9</sup> 以上	黑体輻射	
電子빔	10 <sup>9</sup> 以上	6 500 K	10 <sup>4</sup>
아르곤마크	1.5 × 10 <sup>8</sup>	11 500 K	10 <sup>5</sup>
酸素-水素제트	3 × 10 <sup>7</sup>	20 500 K	10 <sup>6</sup>
머너	10 <sup>7</sup>	36 500 K	10 <sup>7</sup>
酸素아세틸렌炎	10 <sup>6</sup>	65 000 K	10 <sup>8</sup>
		115 000 K	10 <sup>9</sup>

## 3. 레이저의 種類

레이저는 基本的으로 레이저媒質에 依해서 分類할 수가 있으며, 가스레이저, 固体레이저, 半導體

레이저로 分類할 수 있다.

大體적으로 分類를 하면 표 2와 같다.

〈表-2〉 레이저의 種類

大 分 類	종 형	小 分 類	發振波長(μm)
가스레이저	氣體放電에의한발子衝擊	He-Ne레이저	0.6328, 1.15, 3.39
		Ar이온레이저	0.488, 0.5145 約 6 本
		CO <sub>2</sub> 레이저	10.6
		金屬蒸氣레이저	紫外線에서可視까지 多數
固体레이저	光 照 射	루비·레이저	0.694
		그라스·레이저	1.06
		YAG 레이저	1.06
半導體레이저	電 流	注入形레이저	0.88~1.5

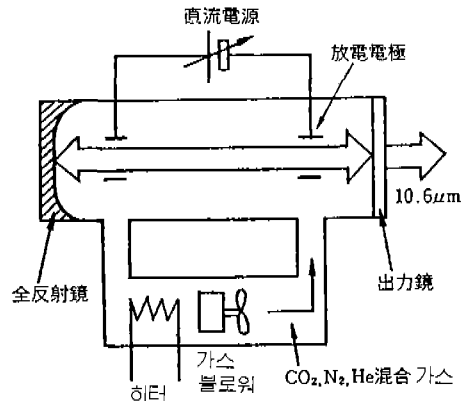
### (1) 氣體레이저

氣體레이저는 基本的으로 레이저媒質인 氣體, ポン핑作用을 하는 直流電源·反射鏡·가스循環用브로워·피터 등으로 이루어진다. 그림12는 CO<sub>2</sub> 레이저의 構成例이다. CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, He混合氣體에 直流電壓을 加해서 放電을 일으키면 플라즈마가 發生하여, 이것이 레이저媒質이 된다.

氣體레이저의 一般의 特徵은 아래와 같다.

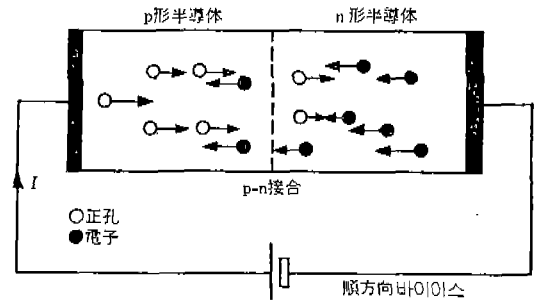
(1) 發振線의 數가 많다. 放電等의 手段으로 數많은 粒子가 勵起狀態로 勵起할 수 있기 때문이며, 最短波長, 最長波長 다같이 氣體레이저에서 얻어지고 있다.

(2) 媒質의 多樣性이 좋다.



〈그림-12〉 CO<sub>2</sub> 레이저의 構成例

- (3) 코피렌트도가 높다.
  - (4) 一般的으로 低效率이다. 그러나 高效率도 可能하다.
  - (5) 一般的으로 低出力이지만, 極히 高出力으로도 된다.
- CO<sub>2</sub>가스레이저로 60kW라는 記錄이 있다.
- (6) 小形化하기 어렵다.
  - (7) 勵起方式이 多様하다. 氣體放電이 가장 一般的이지만 外 다른 方法도 많다.



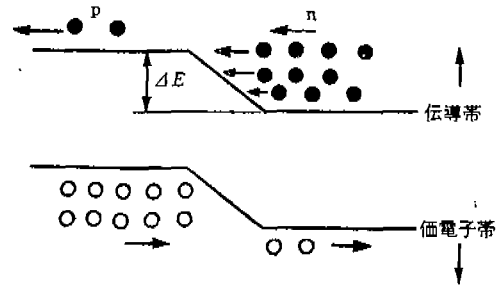
〈그림-14〉 整流作用의 概念圖

**(2) 固体레이저**

固体레이저의 構成은 레이저發振器의 原理바로그 것이다. 그림13은 그의 構成例이다. 크세논램프는 pumping 電源이다. 이 電源에 依한 빛의 照射에 의하여 誘導放출이 일어난다.

固体는 氣스에 比하면 分子密度가 크고, 大出力 (單位容積當)을 얻을 수 있다. 단지, 連續 運動을 시키면 發熱하므로 本質적으로 脉冲動作의 레이저이다.

固体레이저의 材料로서는 스펙트르幅이 좁은 螢光을 내고, pumping이 容易하며, 光學的損失이 적은 것이 要求된다. 主要한 固体레이저로서는 루비레이저, 글라스레이저, YAG (Y<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>O<sub>7</sub>, 이트륨알루미늄 가네트)레이저가 있다.



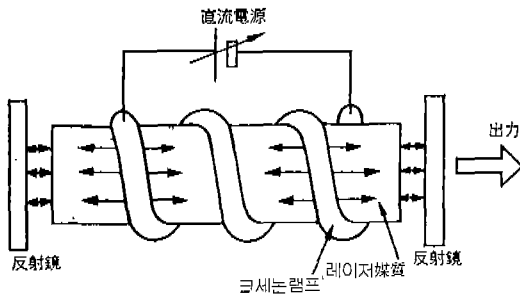
〈그림-15〉 에너지準位圖

어, n형 반도체로 移動하며, n형 반도체의 多數캐리어인 電子는 p형 반도체로 移動하여, 外部回路에 電流가 흐른다.

電壓의 方向을 거꾸로 하면 正孔, 電子는 各各電極에 끌려가 p-n接合部를 뛰어 넘을 수가 없게되어 즉 電流는 흐르지 않는다. 이것이 整流作用이다.

이것을 에너지準位圖(그림15)로 보면 多數캐리어가 p-n接合部를 넘을 수 있다고 하는 것은, 外部에서 에너지障壁 ΔE以上の 에너지를 加한 것에 지나지 않는다.

\*



〈그림-13〉 固体레이저의 構成例

**(3) 半導체 레이저**

半導체레이저는 pn接合을 利用한 것이다. pn接合은 整流作用을 갖는다.

이것을 模型的으로 생각한다. 그림14는 整流作用의 概念圖이다. P 形半導체가 正, n側半導체가 負가 되도록 電壓을 加하면, P 形半導체의 多數캐리어인 正孔은 電界에 反流되어 p-n 接合部를 뛰어넘