

□ 技術 解説 □

“레이저의 原理와 그의 應用”

孔 弘 珍*

□ 차 례 □

- | | |
|--------------|--------------|
| 1. 序 論 | 4. 레이저의 應用分野 |
| 2. 레이저의 作動原理 | 參 考 文 獻 |
| 3. 레이저의 種類 | |

1 序 論

레이저(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation: LASER)는 一種의 光波 혹은 電磁波로서, 보통 우리가 一般的으로 接할 수 있는 光과는 다른 特性을 지니고 있다. 一般的으로 電磁波는 傳播速度가 真空中에서는 $C_0 = 3.0 \times 10^8 \text{m/sec}$ 이며 振動數에 따라서, r-線, X-線, 紫外線, 可視光線, 赤外線, 마이크로波, 다디오波 등으로 區分된다. 한편, 波長 λ 와 振動數 ν 와의 關係는

$$\lambda = \frac{C}{\nu} \quad (1)$$

로 주어진다. (단, 여기에서 C는 媒質內에서 電磁波의 傳播速度이다.)

따라서, 電磁波들을 波長의 크기에 의하여 區分되기도 한다.

레이저光線이 보통의 光線과 다른 特性들은, (1)單色性, (2)集束性 (혹은 指向性) (3)可干涉性, (4)高輝度性이다. 여기에서 單色性이란, 波長線幅이 대단히 작다는 뜻으로서, 대체적으로 $\Delta\lambda/\lambda$ 의 값이 10^{-4} 이하의 값을 갖는다. 指向性이란, 레이저 光線이 進行하는 동안 퍼짐성이 작다는 것으로, 대체적으로 廻折角度에 가까운 값들을 갖는다. 可干涉性이란, 레이저의 光線이 時間的으로나, 空間的으로 다른 位置의 光

線끼리 干涉性이 높다는 뜻이다. 보통의 光線들은 可干涉길이가 수mm 이하이나, 레이저의 경우 수km 까지의 干涉길이를 갖는 것도 있다. 高輝度란, 指向性이 높기때문에 생긴 結果로서 單位面積當 出力이 크다는 뜻이다.

1950年 Townes 와 그의 同僚들에 의하여 메이저 (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation)가 開發된 것이 時發點으로 하여서, 1958年 Townes 와 Schowlow가 LASER의 原理를 提示함으로서, 1960年 Maiman 이 루비結晶을 利用하여 694.3mm의 펄스형레이저를 實現시켰다. 그 후 1961년에는 He 와 Ne의 氣體를 放電시킴으로써 1.15 μm 의 레이저 出力을 얻었고, 그 이듬해에는 632.8 nm의 出力光을 얻었다. 1962년에는 GaAs의 半導體를 利用하여 840nm의 出力光을 얻는데도 成功하였다. 1965년에는 Sorokin 과 Lankand 에 의하여 色素를 利用하여 넓은 領域 (數拾 nm) 內에서 波長을 任意로 選擇할 수 있는 色素레이저가 開發된 이후 여러가지 형태의 레이저가 수 없이 開發되어 왔다.

그러나, 1970年代 初에서야 科學分野 및 産業體에서 레이저가 利用되기 시작하였으며, 이제는 alignment用, 度量學用, 材料處理 및 加工뿐 만이 아니라, 分光學, 動力學的 分光學, 選擇的 化學反應, 核融合反應, 同位素分融 및 醫學的 應用 등 그 應用範圍가 急速히 擴大되고 있다.

*正會員: 仁荷大 物理學科 助教授

② 레이저의 작동原理

原子나 分子들은 무수히 많은 不連續的인 에너지 準位들을 가지고 있다. 이들 에너지 準位들 가운데에서, 어떤 에너지 準位 E_1 과 다른 에너지 準位 E_2 사이에서 遷移할 때 光을 吸收하거나($E_2 > E_1$), 放出하게 되는 데 ($E_2 < E_1$), 이 때 光波의 振動數 ν 와 에너지 準位 사이의 관계식은 다음과 같다.

$$h\nu = |E_2 - E_1| \quad (2)$$

여기에서, h 는 Planck 상수로서 6.63×10^{-34} Joule-sec 이다. 여기에서 重要的 것중의 하나는 (2)식을 만족하는 振動數를 가진 光波만이 E_2 와 E_1 사이의 遷移에 있어서 吸收되거나, 放出된다는 것이다.

Einstein (1917年)의 理論에 의하면, 外部에서 入射시킨 光과 勵起된 에너지 準位와의 相互作用은 誘導放出 (Stimulated emission)이 可能하다. 이 때, 誘導放出된 光波는 進行方向, 振動數 및 位相이 入射光과 똑같게 된다. 이 세가지 量들이 같게 되기 때문에 誘導放出에 의하여 생긴 光들은 (1)單色性, (2)指向性, (3)可干涉性, (4)高輝度の 特性을 가질 수 있게 된다. 레이저는 많은 光들이 誘導放出에 의한 光이 되도록 하는 裝置이다. 레이저 裝置는 크게 3가지로 이루어져 있다. (1)레이저 媒質, (2)勵起裝置, 및 (3)레이저 共振器로 大別된다.

(1) 레이저 媒質 (Laser media)

레이저 媒質로서는 氣體, 液體, 固體狀態가 모두 可能하다.

氣體레이저에는 CO_2 , He-Ne, Ar^+ ion, Kr^+ ion, CO, I_2 , N_2O , H_2 , F_2 , HF, N_2 등 매우 많은 種類의 氣體들이 使用되고 있다.

液體레이저에는 色素를 알콜 등의 溶媒에 녹인 것이 使用되고 있으며, 色素의 種類로서는 Rhodamine 系, Coumarine 系, Cyanine 系 등 수백가지의 레이저用 色素가 開發되어 있다.

固體레이저에는 Ruby (Al_2O_3 單結晶에 Cr^{+++} 이 doping됨), 나 Na^{+++} glass, Na^{+++} YAG 등이 있으며, 특히 GaAs 를 利用한 p-n junction 다이오드 레이저 등 여러가지 半導體 레이저가 있다. 또한 Colour-center 레이저 등 많은 固體形 레이저가 開發되고 있다.

(2) 勵起方法 (Pumping methods)

레이저 發振에서 가장 重要한 過程은 誘導 輻射 放出이다. 이 誘導放出의 效率이 커지기 위해서는 어

면 2개의 에너지 準位사이에서 密度反轉이 생겨야 한다.

보통의 平衡狀態에서는 높은 에너지 準位에 있는 原子의 密度가 낮은 에너지 準位에 있는 密度보다 훨씬 작다. 따라서, 이들 2개의 準位사이에서 密度反轉을 形成하기 위해서는 外部에서 強力한 에너지를 投與함으로써, 可能하게 된다.

密度反轉을 위한 勵起方法으로서는 (1)電氣放電, (2)化學反應, (3)光-펌핑, (4)放射能-펌핑 등 여러가지 方法이 開發되어 있다(여기에서 펌핑이라는 뜻은 密度反轉을 위한 勵起를 意味한다.)

實際로 使用하는 펌핑과 에너지 準位들 사이의 관계가 그림 1에 提示되어 있다. 그림 1에서, (a)는

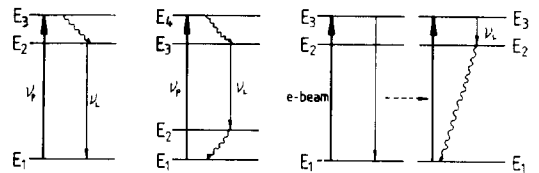


그림 1. 레이저 作業時 密度反轉과 레이저 出力 光 ν_L 의 관계

(a) 3-準位 레이저 (b) 4-準位 레이저
(c) 에너지-共鳴傳達 레이저

3準位레이저를 나타낸다. 外部에서 ν_p 인 진동수를 가진 光으로써 光-펌핑하는 例인데, 이 때 E_1 에 있던 原子들이 ν_p 에 의하여 E_3 로 勵起되며, 다시 E_3 로부터 E_2 로 가는 非輻射遷移가 매우 빠르게 ($10^{-9} \sim 10^{-12}$ sec) 進行되어, E_2 와 E_1 사이에는 密度反轉이 可能하다. 이와 같이 密度反轉이 形成되어 있을 때에는 $(E_2 - E_1)/h$ 의 진동수 ν_L 를 가진 光波가 誘導輻射가 됨으로써 振動數가 ν_L 인 레이저 出力光의 發生이 可能해진다.

(b)의 그림은 4準位 레이저로서 外部에서 振動數 ν_p 인 光으로써 光-펌핑을 하는 例이다. 여기에서 E_1 狀態에서 E_4 狀態로 勵起된 原子들은 非輻射遷移過程을 통하여 E_3 로 매우 빠르게 ($10^{-9} \sim 10^{-12}$ sec) 옮겨 간다. 처음에는 E_2 準位에는 原子가 거의 채워있지 않았기 때문에 E_3 準位와 E_2 準位사이에는 密度反轉이 매우 쉽게 생길 수 있다. 더불어, E_2 準位에서 E_1 準位로의 遷移가 매우 빠르게 일어날 수 있다면, 레이저의 發振은 連續的으로 될 수 있다. 이와 같이 E_3 와 E_2 사이에서 密度反轉이 생긴 때에는 $(E_3 - E_2)/h$ 의 振動數 ν_L 을 가지고 있는 光波가 誘導放出됨으로, 레이저 出力光을 얻어 낼 수 있다.

(a)의 方法은 E_1 상태에 있는 原子의 數가 Maxwell-Boltzman 分布에 의하여 워낙 많기 때문에 光-펌핑을 매우 強力하게 하여야만 E_2 와 E_1 사이에 密度反轉을 形成시킬 수 있다. 反面, (b)의 方法은 원래 E_2 상태의 原子의 數가 적기 때문에 펌핑光의 세기가 과히 크지 않다라도, 쉽게 E_2 와 E_3 사이에 密度反轉을 일으킬 수 있는 長點이 있다.

마지막으로 (c)의 方法은 서로 다른 原素를 利用하여 原素 1을 E_3 로 勵起시키면, E_3-E_2 와 거의 비슷한 에너지 差를 가진 原素 2와 共鳴이 됨으로써 原素 1의 에너지가 原素 2로 傳達됨으로써 原素 2가 勵起된다. 이러한 共鳴傳達에 의한 密度反轉法은, 原素 2가 電氣放電에 의하여서는 密度反轉이 어렵기 때문에 原素 1을 利用하여 間接적으로 原素 2를 勵起시킴으로서, 原素 2의 密度反轉을 꾀하는 方法이다. 實際로 He-Ne 레이저인 경우 He 이 原素 1에 해당하며, Ne 이 原素 2에 해당한다. 또, CO₂ 레이저인 경우 He, N₂ 등의 氣體는 原素 1에 해당하며, CO₂를 原素 2로 利用한다. 이러한 복합적인 共鳴傳達密度反轉法은 氣體레이저에서 흔히 使用하는 方法이다.

(3) 레이저 共振器(Laser cavities)

레이저 共振器는 레이저 媒質 양쪽에 各各 거울이 놓여져 있다. 한 쪽의 거울은 全反射鏡이며, 다른 쪽 거울은 出力鏡으로서 되어 있어서 反射率은 100%보다 작은 部分反射鏡으로 되어 있어서, 레이저의 出力光이 이 거울로부터 나오도록 되어 있다. 이러한 형태의 共振器를 Fabry-Perot 形 共振器라고 부른다.(그림 2(a)) 이러한 형태의 共振器内에서는 레

이저光波가 定常波로서 存在한다. 따라서 레이저發振이 可能한 波長 λ 는 2개 거울사이의 거리 (혹은 共振器 길이)를 D 라고 할때,

$$N \cdot \lambda = 2 D \tag{3}$$

의 관계식을 만족시켜야 한다. 여기에서 N 은 整數이다. 예를들면, $\lambda = 1\mu\text{m}$, $D = 0.5\text{m}$ 라고 할때 $N = 10^6$ 의 매우 큰 수가 된다.

레이저 共振器를 이루는 거울의 形能에 따라서 그 特性이 조금씩 다르다. 양쪽에 平行板거울을 使用한 共振器는 外部의 振動에 의하여 매우 민감하게 作用함으로 不安定하다. 그러나, 共振器의 길이보다 큰 曲率半徑의 오목거울을 使用한 共振器는 이러한 振動에 대하여 安定化되어 있다. 주로, 高出力 레이저인 경우에는 不安定 共振器를 使用하여 레이저 媒質에 高에너지가 모이는 것을 막으며, 低出力 레이저에서는 安定化된 共振器를 사용하여 出力光의 모드(mode)를 깨끗하게 한다. 또한 이를 위하여 高出力에서는 出力鏡의 反射率을 낮추어서 많은 에너지가 共振器의 밖으로 나가도록 하지만, 低出力레이저에서는 出力鏡의 反射率을 높히어서 共振器内에서 誘導輻射가 더 많이 일어 나도록 함으로써, 레이저의 特性인 單色性, 指向性, 同一位相에 의한 可干涉性들을 훨씬 좋게 하도록 한다.

한편, Fabry-Perot 型的 共振器와 相反되는 共振器로서 環形共振器(ring cavity)가 있다. 이 環形共振器의 原理圖가 그림 2(b)에 提示되어 있다. 이 共振器의 特色은 共振器内部에 定常波가 存在하지 않고, 共振器内를 循環하는 進行波 2개가 각각 반대방향으로 돌고 있다. Fabry-Perot 形 共振器보다 더 높은 레이저 出力 效率을 가진다.

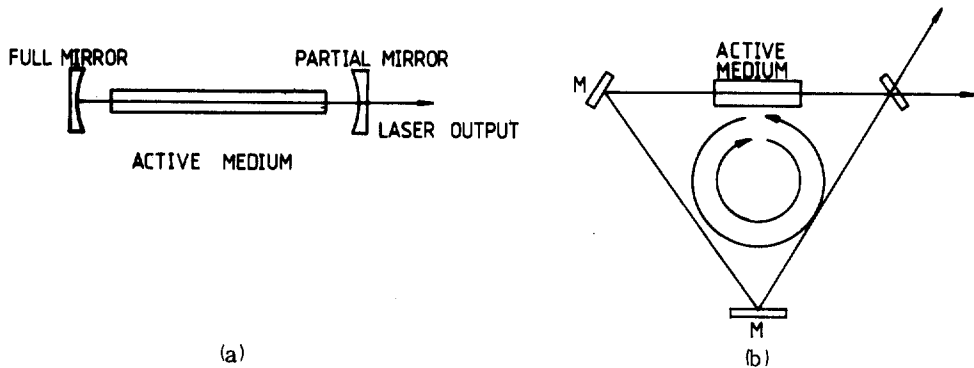


그림 2. (a) Fabry-Perot 레이저 共振器 .
(b) 環形(Ring) 레이저 共振器.

③ 레이저의 種類

(1) 氣體레이저 (Gas Laser)

많은 중요한 레이저들은 레이저媒質이 氣體狀態인 것을 利用하고 있다. 固体나 液体狀態의 媒質을 가진 레이저에 비하여 有利한 點은 첫째, 媒質이 均一하여서 光學的으로 깨끗한 光束을 얻을 수가 있으며 둘째, 氣體를 빠르게 循環시킬 수 있기 때문에 레이저 作動時 發生되는 熱을 冷却시킬 수가 있다. 셋째, 固体레이저인 경우에는 單結晶의 크기가 매우 制限되어 있는 反面, 氣體는 그 부피를 얼마든지 크게 할 수 있으므로 우리가 원하는 出力의 에너지를 마음대로 조절할 수 있다는 큰 장점이 있다.

氣體레이저의 몇가지 예를 들어보자.

(가) CO₂ 레이저 : 10, 6 μm의 發振波長을 가지고 있으며, 連續形 發振인 경우 최고 약 10 KW 이상의 出力을 얻을 수 있다. 펄스형 發振인 경우 한개의 펄스당 1 Joule의 에너지를 가진 레이저 光을 얻을 수 있으며 이것은 펄스 時間이 0.1 μ sec 인 경우 10 MW의 出力에 해당하는 것이다. 그러므로 이러한 高出力을 이용하여 용접, 절단, 드릴링, 열처리 등에 사용이 되고 있다.

(나) He - Ne 레이저 : 0.6328 μm의 出力波長을 가지고 있고, 連續發振을 하며 出力은 대개 수mW 정도의 低出力이다. 그러므로 대개 alignment, 도량측정, 光通信 등에 이용되며, 높은 可干涉性을 가지고 있으므로 holography 에도 利用이 된다.

(다) Ar⁺ ion 레이저 : 이는 0.4880 μm와 0.5145 μm 부근의 波長領域에서 10개 内外의 出力線波長을 가지고 있으며, 出力에너지는 대개 20 W 정도인 連續發振形레이저이다. 이는 出力이 크고 높은 可干涉性 때문에 도플러효과를 이용한 속도측정기에 사용하기도 하며, 分光學 및 holography 등 이용도가 매우 높다.

(라) He - Cd 레이저 : 이는 특수한 Cd 금속의 氣體를 이용하는 것으로서, 出力波長은 0.4416 ~ 0.325 0 μm이며 수mW 정도의 連續發振形레이저이다.

그외에도 많은 종류의 氣體레이저가 있다.

(2) 固体레이저 (Solid-State Laser)

固体形레이저는 筒形의 單結晶이나 非晶質물질에 不純物을 微量 添加하여 레이저 媒質로써 사용한다. 이 不純物의 원자가 이온狀態로 그 固体內에 存在함으로써 誘導放출을 할 수 있는 原素가 된다. 이 種類의 例로서 몇가지를 들어보자.

(가) Ruby 레이저 : Al₂O₃ 單結晶에 Cr 原子를 0.05% 정도 添加한 것이 Ruby 로서 붉은색을 띠고 있다. 이것을 후렛쉬램프로써 光펌핑을 하여 Cr⁺⁺⁺ 이온이 密度反轉이 되어 레이저 發振을 할 수 있다.

이 Ruby 레이저는 1960年 Maiman 이 처음으로 成功한 것이기 때문에 참고적으로그림 3에 그 概略圖를 提示한다. 그림 3에서 出力鏡으로서 部分反射形 거울을 사용하였고 그 반대쪽에는 全反射鏡을 사용하여 이 두 거울들이 레이저 共振器를 形成하고 있다. 그 가운데에 레이저 媒質이 있고, 그옆에는 후렛쉬램프가 있어서 光펌핑을 하게 된다. 그 光펌핑 效率를 높이기 위하여 그 전체를 反射板으로 후렛쉬램프에서 放出된 光들의 集中을 企圖하고 있다. 이 Ruby 레이저는 出力波長이 0.6943 μm이며, 出力은 한 펄스당 數Joule 高出力펄스형레이저이다. 따라서 spot - welding 등에 많이 使用되고 있다.

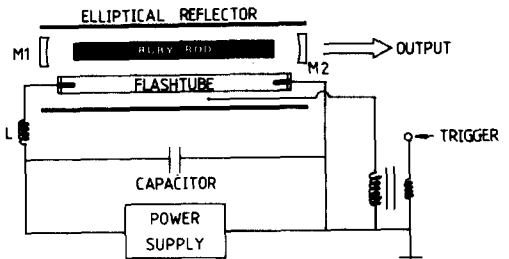


그림 3. Ruby 레이저 장치 (M1; 100% 反射鏡, M2; 部分反射鏡)

(나) 非晶質 Nd⁺⁺⁺ 레이저 : 이는 Neodymium의 不純物을 유리에 添加하여서 레이저 媒質로 사용한다. 유리뿐 아니라 YAG (Yttrium-Aluminum-Garnet) 單結晶에 이 Nd 이온을 添加하여도 똑같이 1.06 μm의 出力波長을 낸다. 이들은 수백 Watt의 連續出力을 내기도 하며, 한개 펄스당 100J 정도의 出力을 내는 펄스형레이저로서도 사용이 된다.

이와 같이 單結晶이나 非晶質에 遷移原素(Chromium)나 稀土類原素(Neodymium) 등을 添加하여 固体 레이저 媒質로써 使用한다.

(3) 色素레이저 (Dye Laser)

이는 有機染料를 에탄올이나 메탄올등에 微量 녹여서 레이저 媒質로써 사용한다. 이를 위한 레이저용 色素는 수백가지가 開發되어 있다. 그중에 가장 대표적인 것이 Rhodamine - 6G 이다. 이는 出力波長영역이 570nm ~ 650nm 로서 이 파장영역에서는 마음대로 선택하여 發振시킬 수가 있다. 그외에도 종류가 다른 Coumarine 系 色素등 수많은 色素를 이용하면 350

nm ~ 1200 nm의 波長內에서 連續的으로 波長을 選擇할 수가 있다. 따라서, 그 應用範圍는 매우 넓고 매우 有望한 것이다. 出力은 連續發振인 경우 수 Watt 정도이며, 펄스형인 경우 수백 kW 정도까지 가능하다.

(4) 半導體레이저 (Semi-Conductor Laser)

P-N junction 을 이용한 레이저발진기로서 개발된 레이저용 半導體가 몇가지 있다. 그중에서 대표적인 것이 GaAs 半導體레이저인데 이는 出力波長이 840nm 근처의 波長을 選擇할 수가 있다. 出力은 펄스형인 경우 수백 Watt 정도이며 連續發振인 경우 수 Watt 정도의 出力을 낸다.

(5) 기타 레이저

그외에도 chemical 레이저, excimer 레이저, gas dynamic 레이저, free electron 레이저 등 여러가지 새로운 레이저가 한창 개발되고 있다.

레이저의 出力波長領域도 100nm~100μm 정도의 영역에 걸쳐서 개발되고 있으며 그외에 x-ray 레이저, millimeter wave 레이저도 개발되고 있다.

표 1. 에 몇가지 중요한 LASER 에 대하여 특성들을 제시하였다.

4 레이저의 應用分野

이상과 같은 여러가지 出力波長및 出力에너지를 가지고 있는 레이저들을 利用하여, 그 목적에 맞게 선택하여 응용하고 있다. 이들중 대표적인 應用分野를 살펴보자.

(1) 材料處理 (Material processing)

高出力레이저를 利用하여 熔接, 切断, 드릴링등 재료가공에 사용한다.

(2) 測定裝置 (Measurement)

正確한 길이의 測定, 流體및 固體의 束度測定에 이용되기도 하며, 공장에서 제작한 물체의 크기 및 표면의 精度의 檢査에 사용되기도 한다.

(3) 立體寫眞 (Holography)

레이저의 높은 干涉性을 利用하여 3차원의 映像을 再現하는데에 사용된다.

(4) 類型認識 (Pattern recognition)

레이저의 높은 干涉性을 利用하여 어떤물체의 위치를 精確히 찾아내는 데에 이용이 된다. 이것은 Holography 의 원리에 의한 것으로서 Computer 의 memory 에서 searching 하는데에 앞으로 매우 有效하게 쓰일 것이다.

(5) 醫療處置 (Medical application)

특히 網膜炎을 수술하지 않고, He-Ne 레이저로써 수정체의 렌즈를 利用하여 망막에 레이저光을 集束시킴으로서 간단히 망막염을 치료한다. 또한 CO₂ 레이저로써 皮膚切斷에 메스대신 사용하며 Ar⁺이온 레이저로써 혈액속의 Hemoglobin 을 凝固시킴으로써 止血作業도 할 수가 있다. 또한 皮膚의 점이나 사마귀등을 태워버리거나 癌을 태워버리는 데도 레이저가 이용된다.

(6) 光通信 (Optical communication)

Glass -fiber 를 利用하여 通信을 할때, 光源으로써 많이 이용을 하며, 레이저光의 直進性을 利用하여, 空間에서 직접 通信을 하여 保安通信을 할 수도 있다. 그외에도 通信분야에서 많은 응용을 하고 있다.

(7) 分光學的 應用 (Spectroscopic application)

특히 吸收스펙트럼을 調查하는 경우 可變波長色素 레이저등을 利用하여 아주 精確한 스펙트럼을 얻을 수가 있다.

赤外線영역에서는 tunable semiconductor 레이저를 利用한다.

(8) 레이저 光化學 (Laser photochemistry)

分子들의 에너지 준위중에서, 單一波長의 레이저를 利用하여, 選擇的으로 勵起시킬 수가 있으므로 分子들의 選擇的 化學反應을 促할 수가 있다.

(9) 기타

그외에도 에너지준위를 선택하여 勵起시킴으로써 Purification of material, Isotope separation 등에 利用할수 있다.

또한 高출력을 利用하여 核融合反應에도 利用하려 始圖하고 있다.

표 1. 主要레이저들의 特性表

TYPE	WAVELENGTH	POWER	NATURE OF OUTPUT	EFFICIENCY	TYPICAL APPLICATIONS
Excimer: Argon fluoride	193 nm	up to 10 W average	10 ns pulses, 30-500 mJ @ 0.1-200 Hz	up to 0.5 %	R&D, spectroscopy, photochemistry
Krypton fluoride	249 nm	up to 25 W average	20 ns pulses, 40-750 mJ @ 0.1-125 Hz	up to 1 %	R&D, spectroscopy, photochemistry
Xenon-Chloride	308 nm	up to 8 W average	20 ns pulses, up to 225 mJ @ 0.1-200 Hz	up to 0.5 %	R&D, spectroscopy, photochemistry, dye-laser pumping
Xenon fluoride	351 nm	up to 7 W average	20 ns pulses 6-150 mJ @ 0.1-100 Hz	up to 0.5 %	R&D, spectroscopy, photochemistry, dye-laser pumping
Dye laser pumped by: nitrogen, excimer, Nd: YAG flashlamp	tunable between 300 and 1,000 nm 340-940 nm	0.05-2 W 0.5-50 W average	3-to 20-ns pulses @ 0.1-200 Hz 0.01-to 2.5-J pulses, 0.2-1 @ 0.03-50 Hz	5-25 % conversion of pump energy 0.2-1 % overall	spectroscopy, R&D spectroscopy, R&D
ion laser	400-900 nm (tunable)	20-800 mW	cw or picosecond pulses from modelocked systems	10 % - 20 % conversion of pump light	spectroscopy, R&D
Nitrogen	337 nm	1-330 mW average	0.3-to 10-ns pulses @ 0-1,000 Hz ; pulse energy 0.06-10 mJ	up to 0.1 %	pumping dye lasers
ion: Argon	several lines, 351-515 nm (main lines 488 and 514.5 nm)	5 mW - 20 W	cw (can be modelocked)	0.01-0.1 %	recording, spectroscopy, dye pumping, reprographics, medical photocoagulation
Krypton	several lines, 351-800 nm (strongest at 647 nm)	5 mW-6 W (10 % - 20 % that of argon in same type of tube)	cw (can be modelocked)	0.001-0.05 %	multi-color light shows and displays, dye pumping
Argon-krypton	several lines 450-670 nm	0.5-6 W	cw	0.005-0.02 %	multi-color light shows and displays
Helium-cadmium	442 nm or 325 nm	2-40 mW visible, 1.5-10 mW UV	cw	approx 0.1 %	recording, reprographics, spectroscopy
Helium-neon	633, 1152, or 3391 nm	0.1-50 mW	cw	0.01-0.1 %	construction, recording, holography, general-purpose laboratory, reprographics, measurement

TYPE	WAVELENGTH	POWER	NATURE OF OUTPUT	EFFICIENCY	TYPICAL APPLICATIONS
Ruby	694 nm	pulses of 0.03-100 J	pulsed @ 0.01-4 Hz	0.1 - 0.5 %	holography, materials working, R&D
Semiconductor diode: GaAs/GaAlAs	780 to 905nm (single wavelength dependent on composition)	1-40 mW average or cw	cw or pulsed	1-20 %	printing, recording, reading, optical communications
InGaAsP	1100-1600nm (one wavelength, dependent on composition)	1-7 mW	cw or pulsed	1-20%	fiber-optic, communications
Neodymium-YAG (pulsed)	1.064 μm (1.32 μm is lower-power alternate wavelength)	average power to 400 W	pulses, 0.01-100J @ 0.05-300Hz	0.1-2 % overall	materials working, R&D, rangefinding, target designation
Neodymium-YAG (cw)	1.064 μm (about 15-20 % as much power available at 1.32 μm)	0.04-600W	cw	0.1-2 % overall	materials working, R&D
Neodymium-doped glass	1.06 μm	pulses of 0.15-100 J	pulsed @ 0.1-1 Hz	1 % - 5 %	materials working, R&D
Hydrogen fluoride (chemical)	2.6-3 μm (many discrete lines)	0.01-150 W cw or 2- to 600-mJ pulses	cw or 50- to 200-ns pulses @ 0.5-20 Hz	0.1-1 %	atmospheric research, other R&D
Deuterium fluoride (chemical)	3.6-4 μm	0.01-100 W cw or 2- to 600-mJ pulses	cw or 50- to 200-ns pulses @ 0.5-20 Hz	0.1-1 %	R&D
Carbon dioxide: flowing-gas sealed-tube	9-11 μm or 10.6 μm	50 W - 15 kW	cw, or long pulses	5-15 %	materials working, surgery
pulsed, TEA	9-11 μm or 10.6 μm	3-100 W	generally cw	5-15 %	surgery, low-power materials working, R&D
waveguide	9-11 μm or 10.6 μm	0.03-to 75 J pulses	50-ns to 75-μs pulses @ 0.1-300 Hz	1-10 %	materials working, R&D, photochemistry
		0.1-40 W	cw or pulses	around 5 %	materials working, surgery, laser radar, infrared beacons and scanners, plasmas, R&D

參 考 文 獻

- 1) Butler, J.K.; "Semiconductor Injection Laser", New York, Wiley-Interscience Pub. Inc., 1980.
- 2) Ishii, T.K.; "Maser and Laser Engineering", New York, Robert E. Krieger Pub. Co., 1980.
- 3) Moore, C.B., editor; "Chemical and Biochemical Application of Lasers", Vol. 5, New York, Academic Press, 1980.
- 4) W.Koechner; "Solid State Engineering", New York, Springer-Verlag New York Inc. 1976.
- 5) Schaefer, F.P.; "Dye Lasers" New York, Springer-Verlag New York Inc. 1977.
- 6) YARIV, A.; "Quantum Electronics", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1975
- 7) 李相洙; "레이저 이야기", 서울, 전파과학사, 1981.

<P.58에서 계속>

- ③ 고압회전기의 절연 시스템에 대한 비교 연구……김 권 태 (현대중전기)
- ④ 패턴 퍼드백에 의한 패턴 인식 시스템의 개발……양 해 권 (풍 산 급 속)
- ⑤ SF₆ INSULATED GAS SUB-STATION의 발전 현황
..... 김 창 기 (현대중전기)
- (2) 초청강연
 - ① 산업체에서의 MICRO COMPUTER 도입 및 효율적인 활용 (엘렉스) 용 방안 김 영 식

- | | |
|-------|--------------|
| 안 창 회 | 한국 프라스틱 차장 |
| 오 범 근 | 현대중전기(주) 이사 |
| 이 태 호 | 울산공과대학 교수 |
| 김 병 기 | 조선비료(주) 부장 |
| 조 영 주 | 선경합섬(주) 부장 |
| 이 복 훈 | 동양나이론 부장 |
| 박 종 규 | 쌍용정유 부장 |
| 김 영 달 | 신울산 변전소장 |
| 이 응 규 | 대한유화공업(주) 차장 |
- 지부감사

울 산 지 부 임 원 명 단(1983)

지 부 장	김 건 영	현대중전기(주) 전무
총무이사	박 원 심	울산공과대학교수
회계이사	양 성 식	현대중전기(주) 부장
	김 상 면	대한유화공업(주) 상무
	정 병 태	고려아연(주) 부장
	심 정 상	한국비료(주) 부장
	김 동 인	한주(주) 부장
	김 경 현	현대중공업(주) 부장
	조 종 래	현대자동차(주) 과장
	최 병 남	(주) 유공차장
	이 우 진	풍산급속 부장
	김 기 문	삼한계장 대표

(祝) 特別會員加入

三星電子工業株式會社

代表理事 鄭 在 恩

서울特別市 中区 太平路 2가 三星本館

電 話 : 753 - 3375

京畿道 水原市 梅灘洞 418

電 話 : (1331) 2 - 8171 ~ 9

加入日字 : 1983年 6月30日

年 會 費 : 1,200,000 원