

# 레이저의 종류

이 병 호  
서울대 전기공학부  
[byoungho@snu.ac.kr](mailto:byoungho@snu.ac.kr)

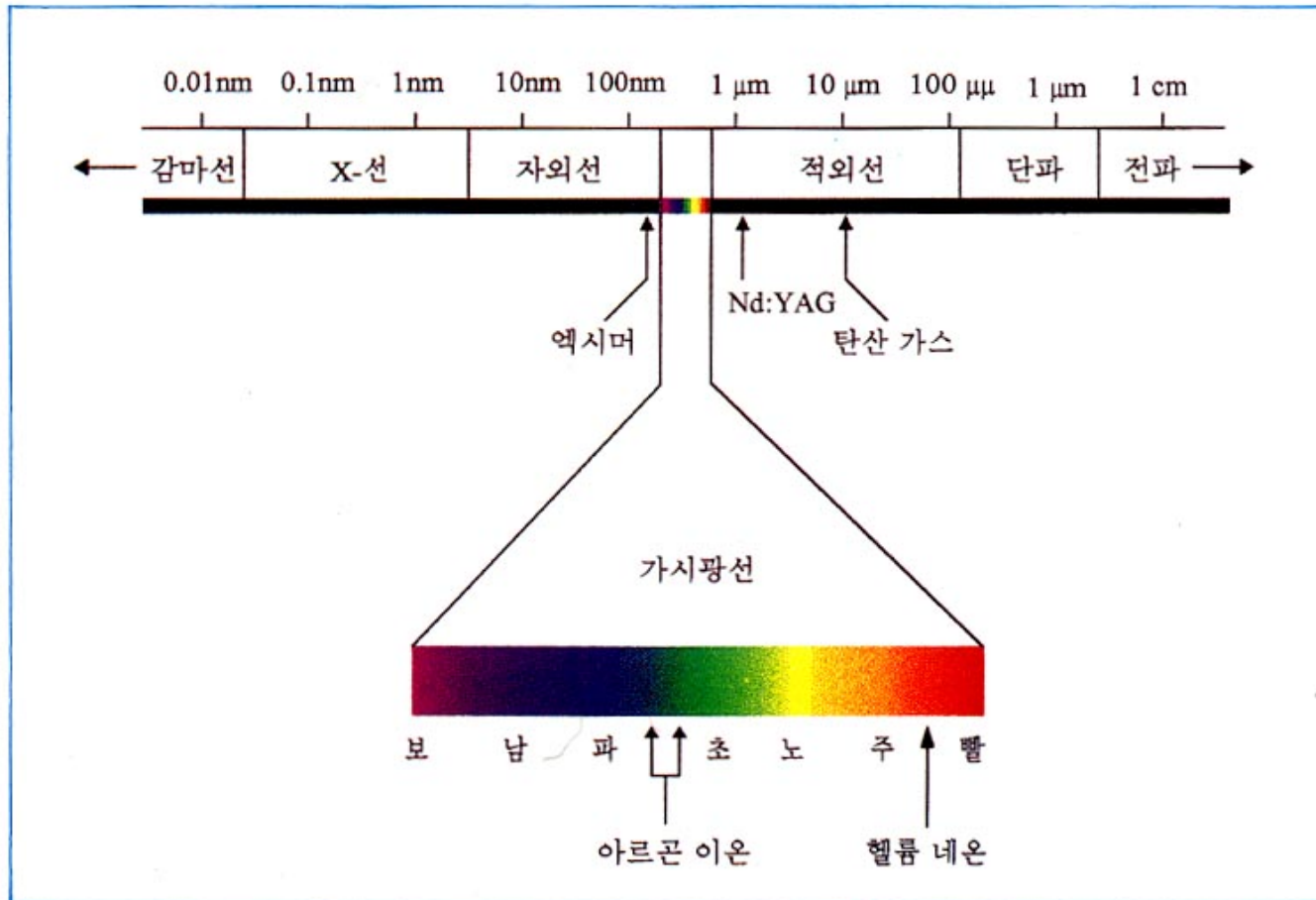


# 레이저의 종류

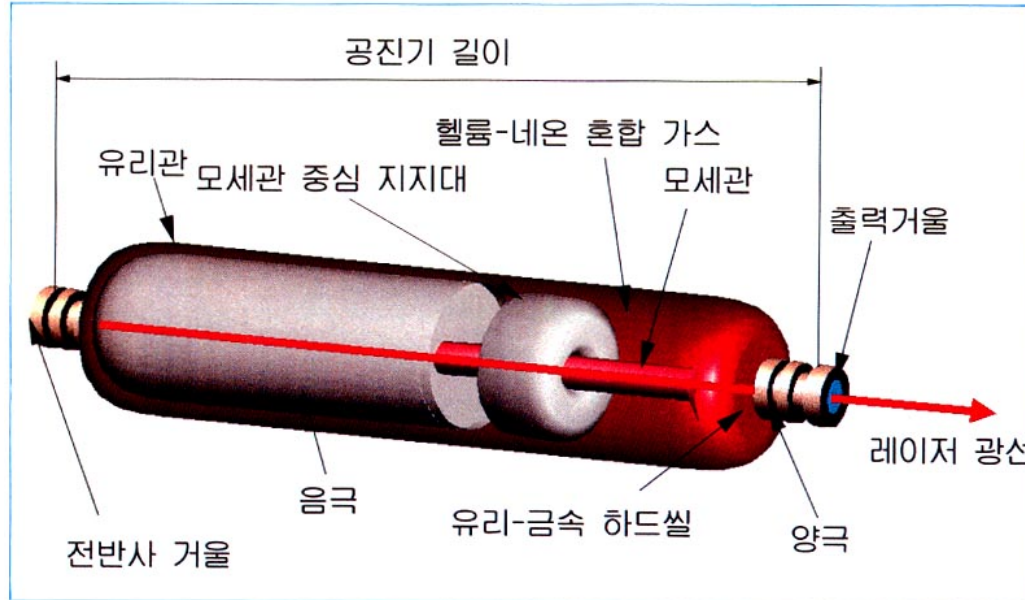
- 매질의 종류에 따라
  - 고체 : 루비 레이저, Nd:YAG 레이저, Ti:Sapphire 레이저, 광섬유 레이저, ...
  - 기체 : 탄산가스 레이저, 헬륨-네온 레이저, 아르곤 이온 레이저, 엑시머 레이저, ...
  - 기타 : 색소 레이저, 자유전자 레이저
- 발진 종류에 따라
  - 연속파(cw: continuous wave) 레이저
  - 펄스 레이저: ~ 펨토초 상용화 -- 아토초 연구
- 파장에 따라
  - 가시광선, 적외선, 자외선, ~X-ray



# 각 레이저들의 발진 파장



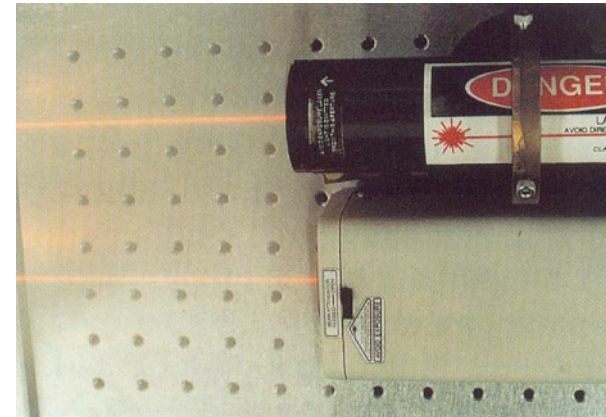
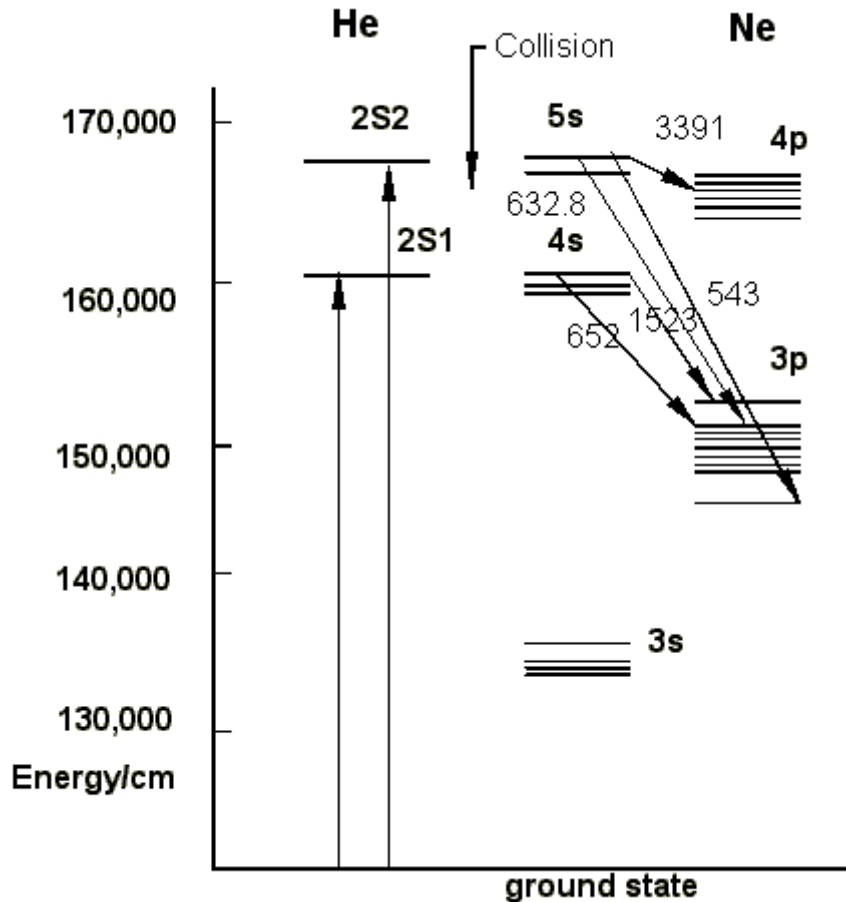
# He-Ne Laser



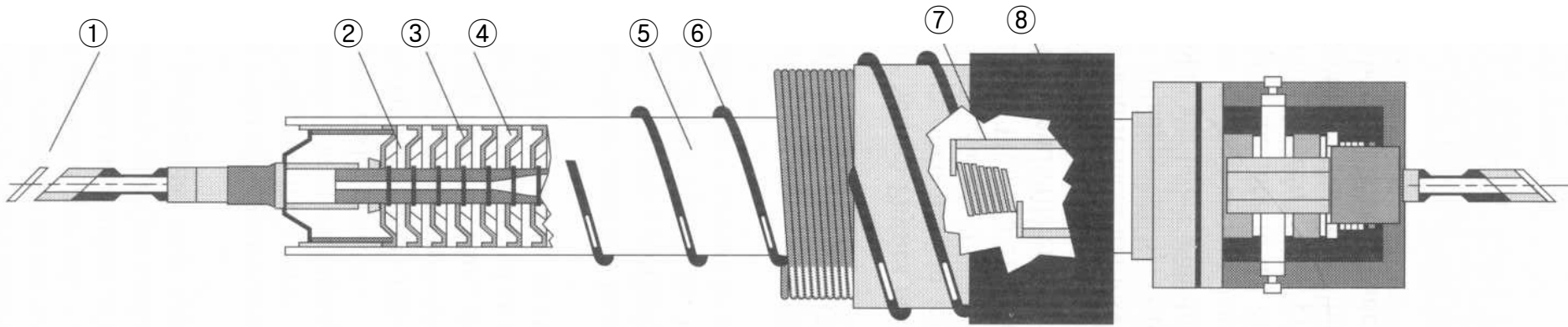
- 1961년 Javan, Bennett, Herriott 세 사람은 헬륨(He)과 네온(Ne)의 혼합기체를 이용하여 최초로 1152.3nm의 적외선의 연속발진에 성공
- 오늘날에는 이 레이저는 수 밀리와트의 가시광선(632.8nm)을 발진하게 하여 실험실에서 간섭을 이용한 측정, 홀로그래피의 제작등에 널리 쓰이고 있다.
- 0.8 torr의 He과 0.1 torr의 Ne의 혼합기체를 가늘고 긴 관속에 넣어두고 방전시킨다. 헬륨은 네온을 들뜨게 하는 매개물질로서 작용하여 실제의 발진은 네온에서 이루어진다.



# Energy Levels for He-Ne Laser



# Argon Ion Laser



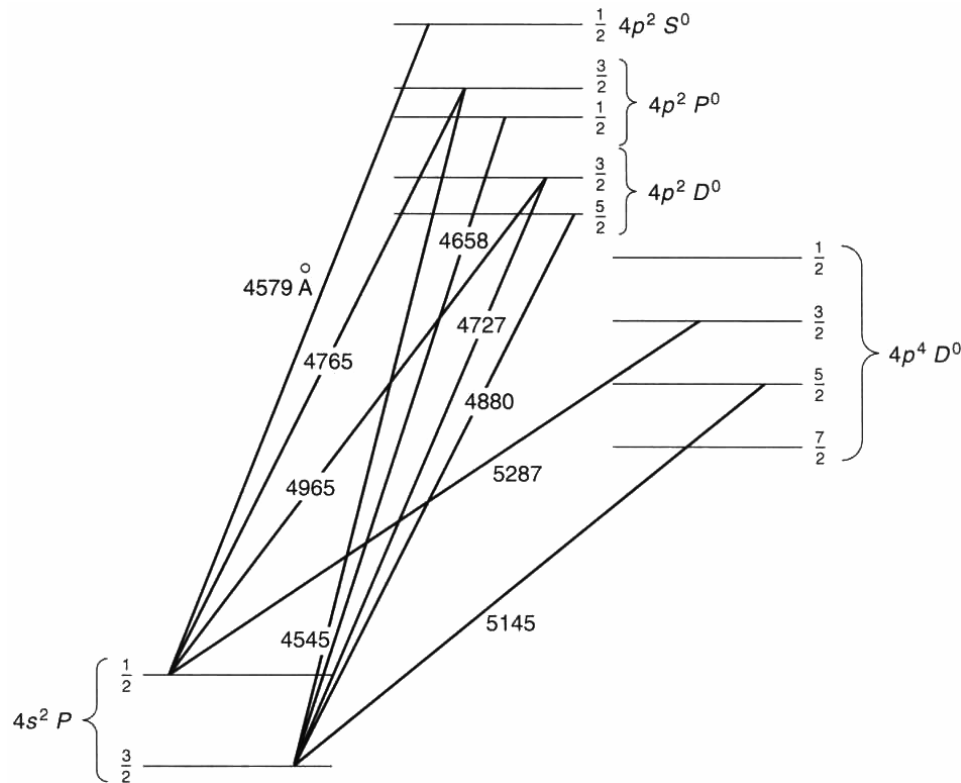
- ① Quartz Brewster windows
- ③ Copper support disks
- ⑤ Ceramic sleeve
- ⑦ Tungsten cathode

- ② Tungsten disk segments
- ④ Molybdenum/manganese metalization
- ⑥ Flow diverters
- ⑧ External magnet

Spectra-Physics argon-ion laser plasma tube



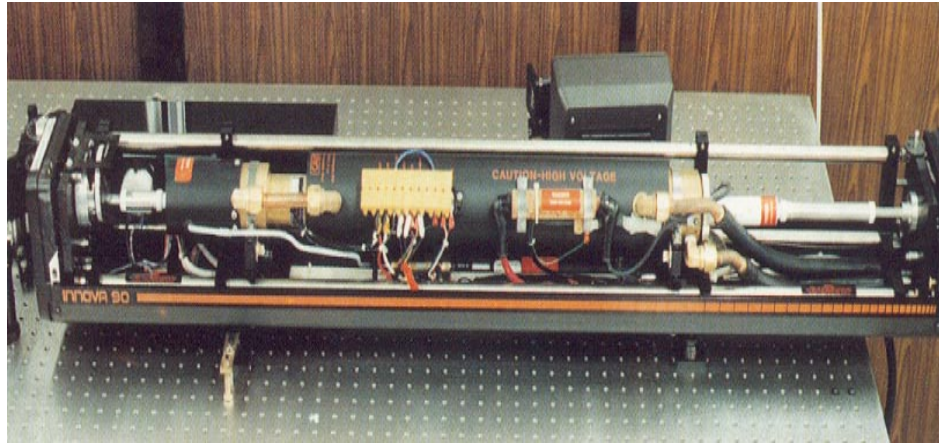
# Energy Levels for Argon Ion Laser



Commercial Ar-II argon-ion laser lines.



# Argon Ion Laser의 특징

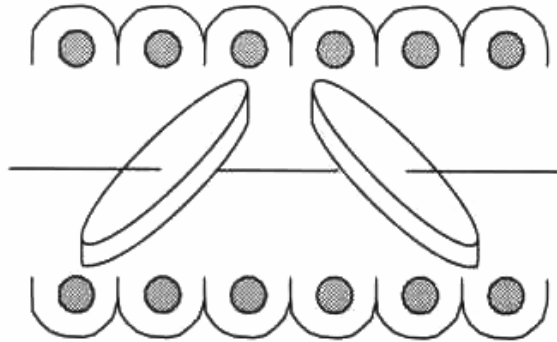


- Ar-Ion레이저는 가스레이저로서 He-Ne 레이저와 유사
- Ar-Ion 레이저는 전리(ionization)와 여기(excitation)을 위하여 대단히 높은 전류가 인가되어야 한다.
- Blue-green범위에서 100W이상을 공급할 수 있다.
- 이온레이저는 고전류 방전으로 여기되는데 높은 전류밀도는 기체를 이온화시키고 이온들을 고준위로 여기시킨다.
- 상위 레이저 준위가 36 eV로 매우 높다. ⇒ 강력한 여기가 필요하다.

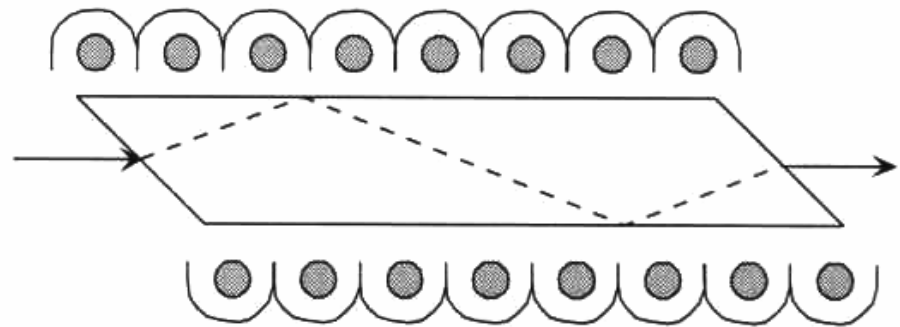




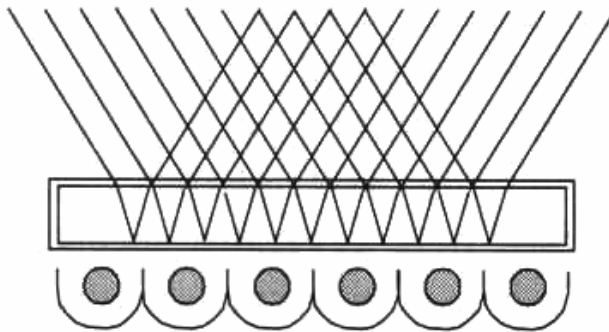
# Laser Shapes



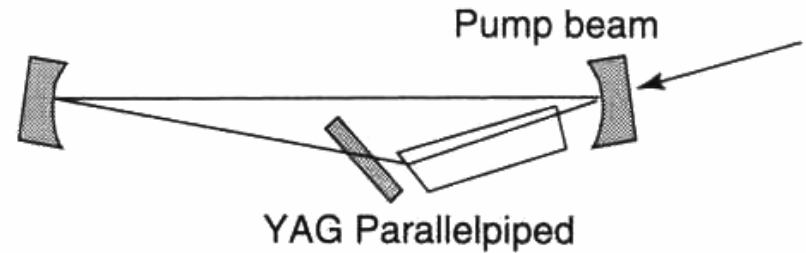
Disk amplifier



Zig-zag slab



Active mirror

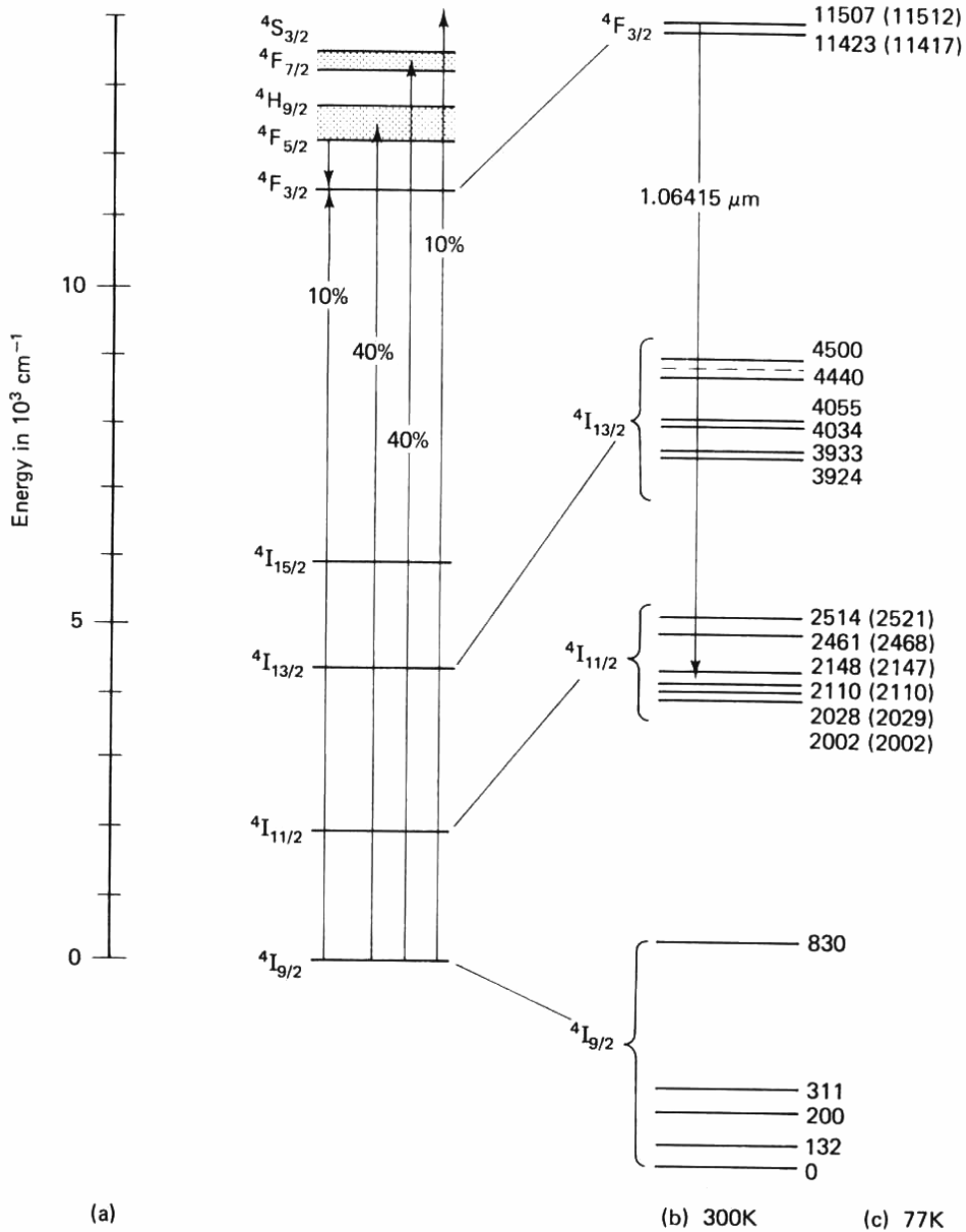


Diode laser pumped YAG

A variety of laser shapes have been developed to meet specific design constraints or to solve specific problems



# Nd:YAG Laser



The energy band diagram for the Nd<sup>3+</sup> ion in YAG



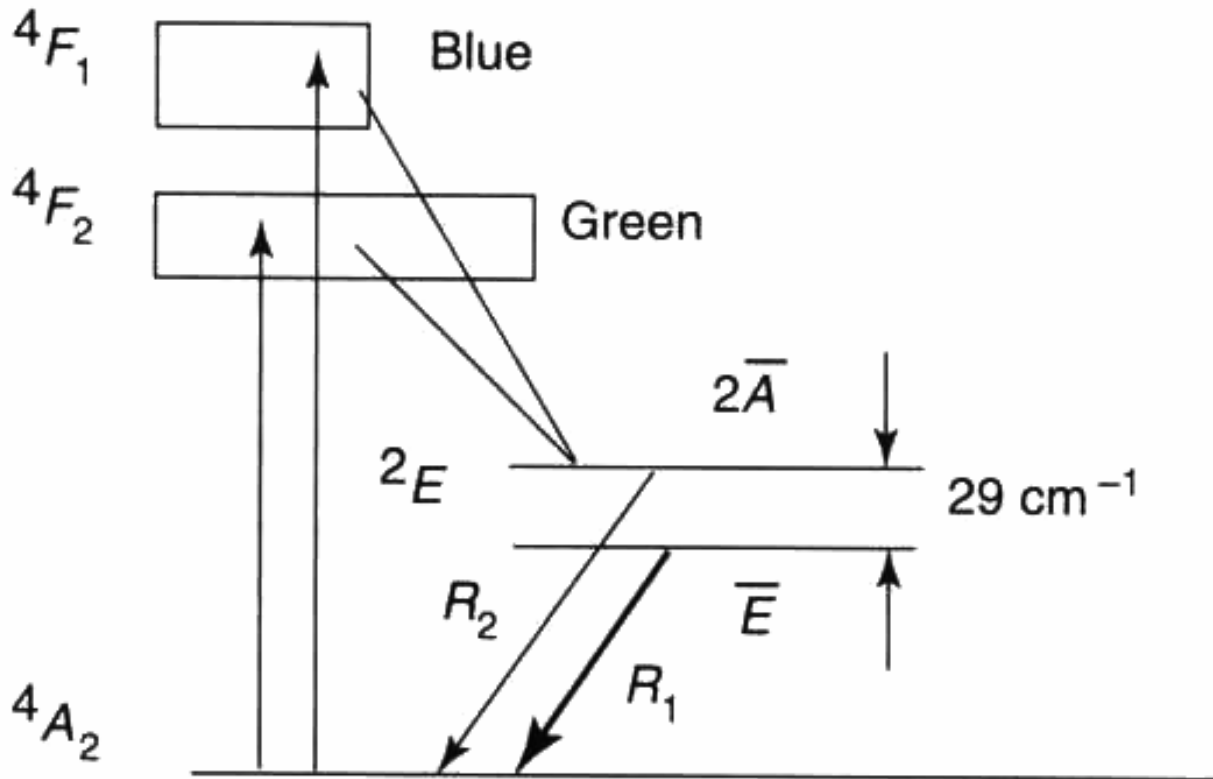
# Nd:YAG Laser의 특징



- YAG(yttrium aluminum garnet) 결정 안의 Nd가 레이저 물질
- Nd:YAG 레이저는 100W이하의 연속파 혹은 수 MW의 짧은 펄스를 만들어내므로 응용범위가 상당히 넓다.
- 외부광원에 의해 여기
- 레이저 용접, 의료용, 핵융합

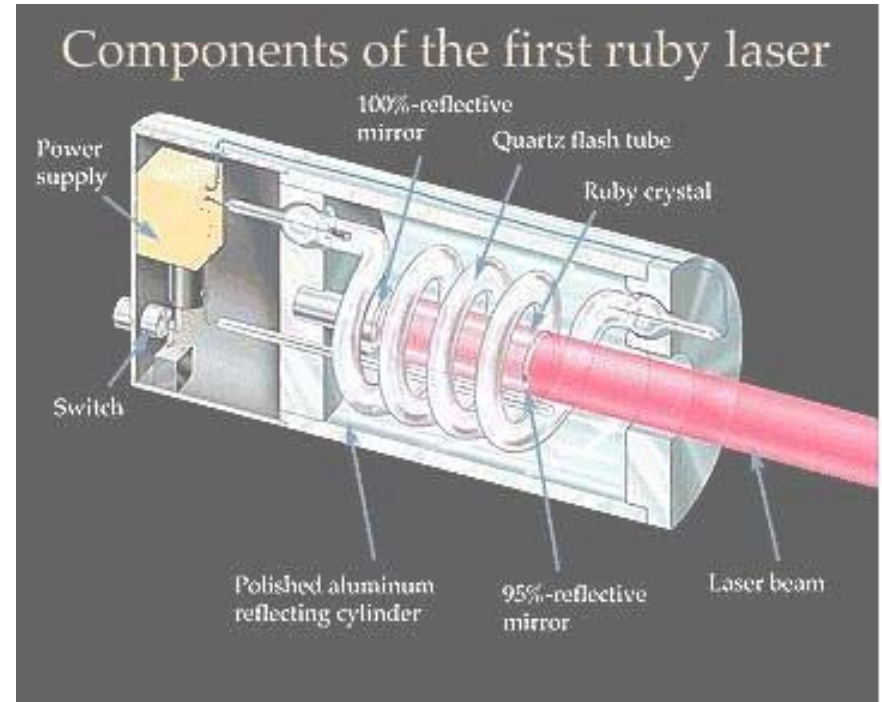
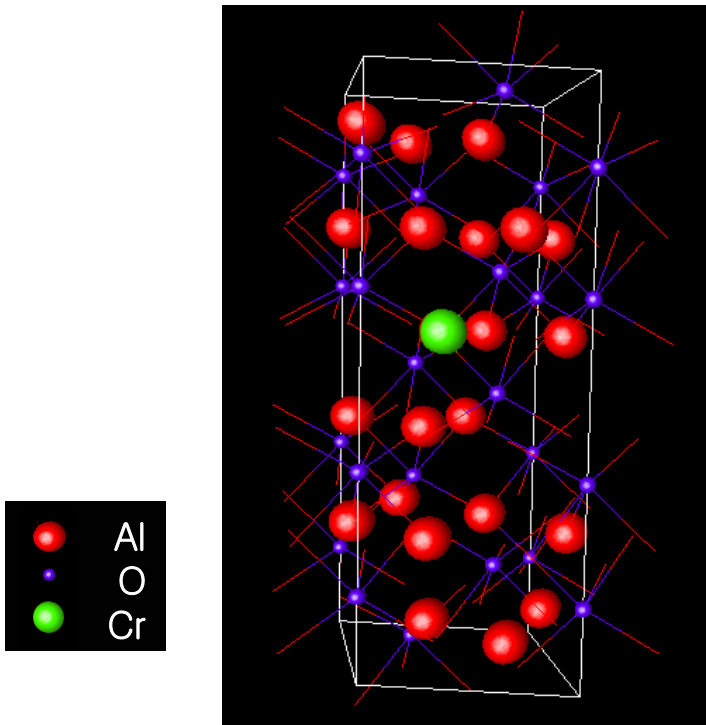


# Ruby Laser



The energy band diagram for ruby

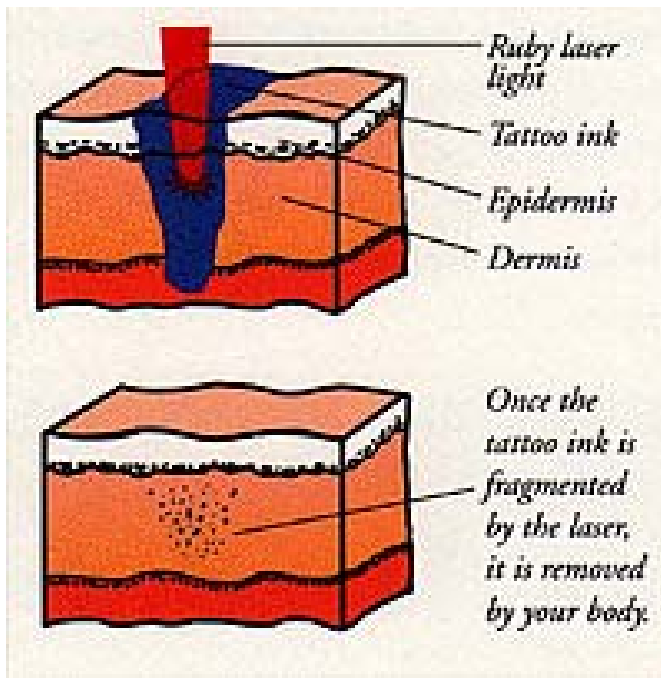
# 루비의 결정구조



- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에서 불순물로서 Al과 치환된 미량의 크롬 원자가 이득 매질의 역할
- 섬광에 의해 펌핑되어 순간적으로 레이저 발진이 일어나는 펄스형의 레이저를 낸다. 플라즈마의 진단이나 홀로그래프의 제조에 쓰인다.

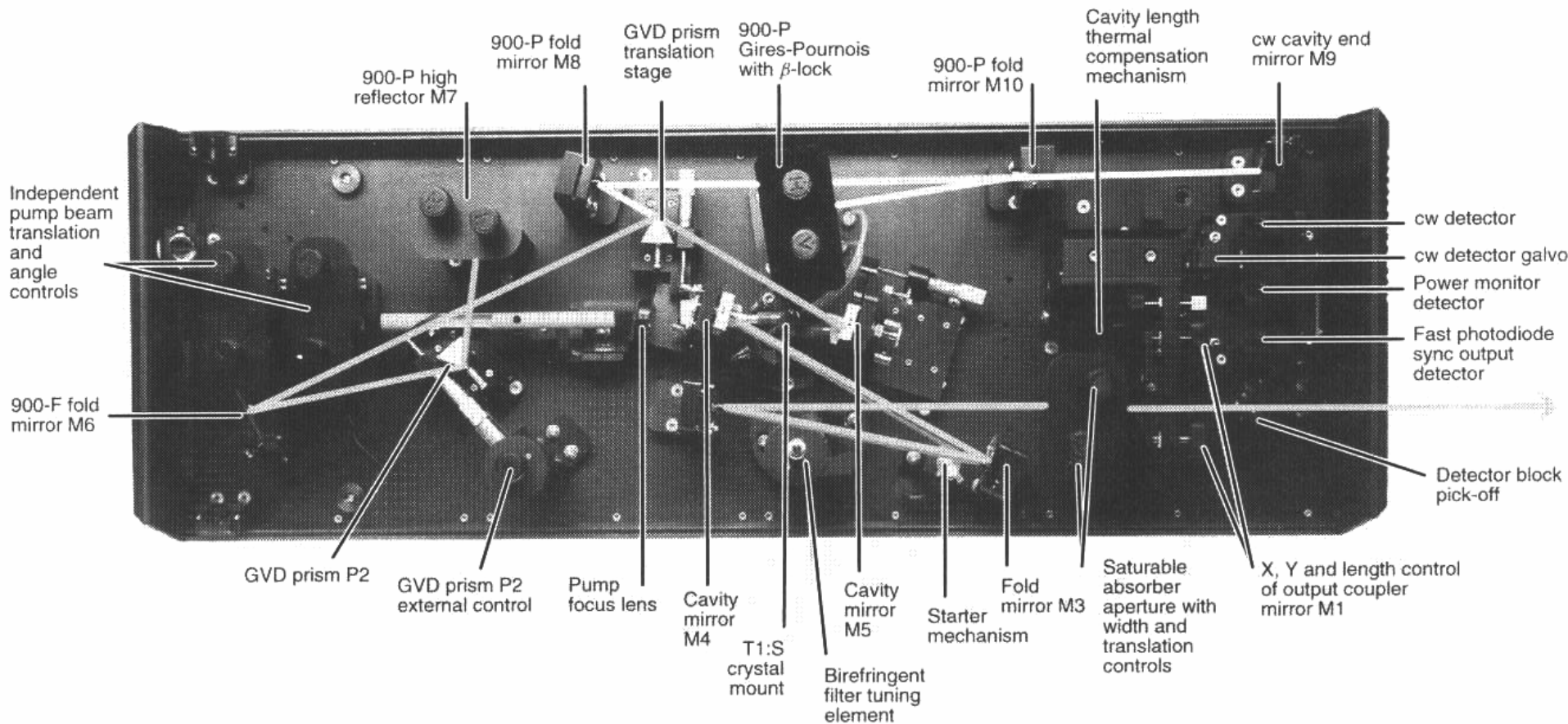


# 루비 레이저의 의료 응용



- 제모나 문신제거 등의 의료용 레이저로도 이용

# Ti:Sapphire Laser

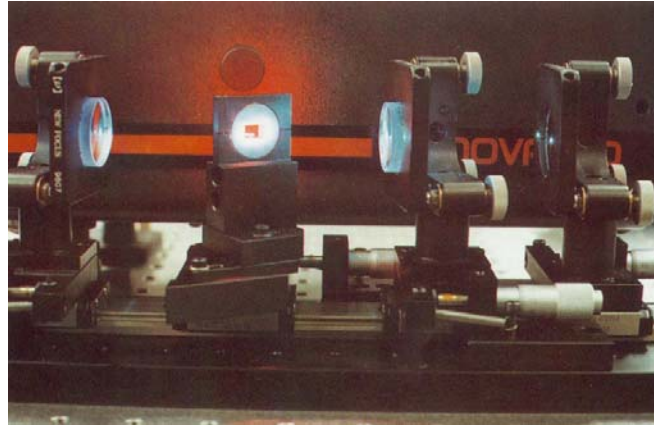


The Coherent Inc. Mira 900-p is a picosecond pulse Ti:sapphire laser





# Ti:Sapphire Laser 의 특징



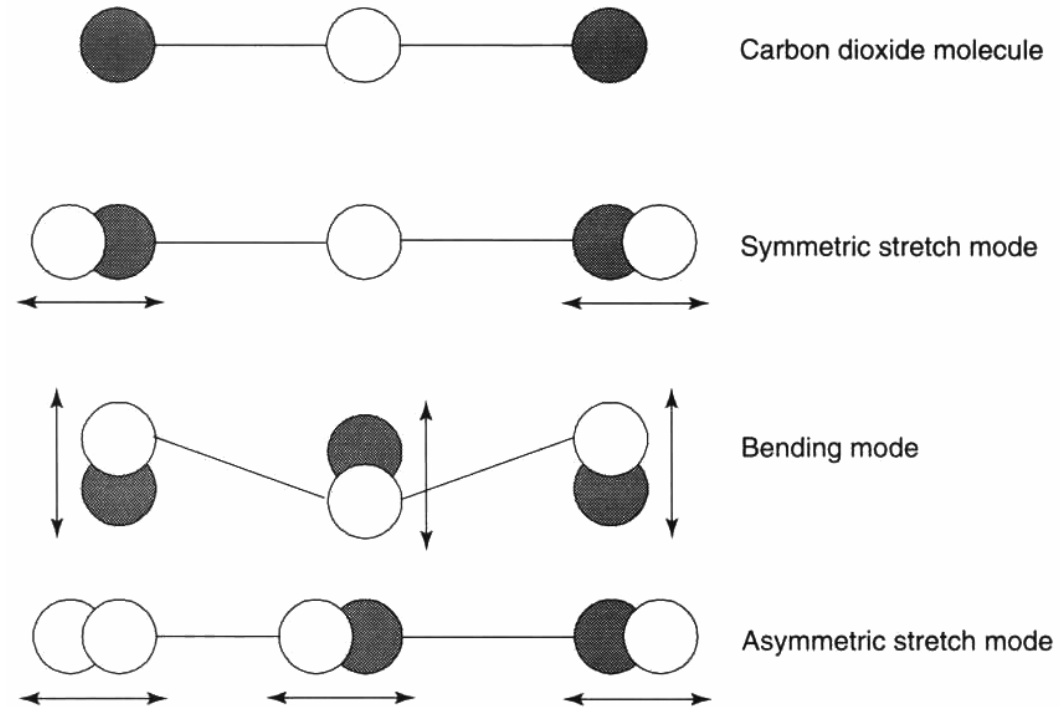
- 파장가변 고체 레이저로는 현재 티타늄 사파이어 레이저가 가장 널리 쓰이고 있으며 색소 레이저의 영역을 급속하게 대체
- 티타늄 사파이어 레이저는 알루미늄의 자리에 치환된 3가의 티타늄 이온이 약 0.1% 가량 첨가된 사파이어 결정을 이용한다.  $Ti^{3+}$  이온은 3d 천이금속이온으로 알렉산드라이트의 크롬 이온과 원리적으로 거의 같은 레이저 발진을 한다.
- 펌핑광원으로는 아르곤 이온 레이저가 이용되고 있다.
- 티타늄 사파이어 레이저의 발진파장 범위는 660nm~1180nm로 매우 넓은 범위를 가지고 있어 초단펄스의 개발에 많이 이용되고 있다.



# CO<sub>2</sub> Laser



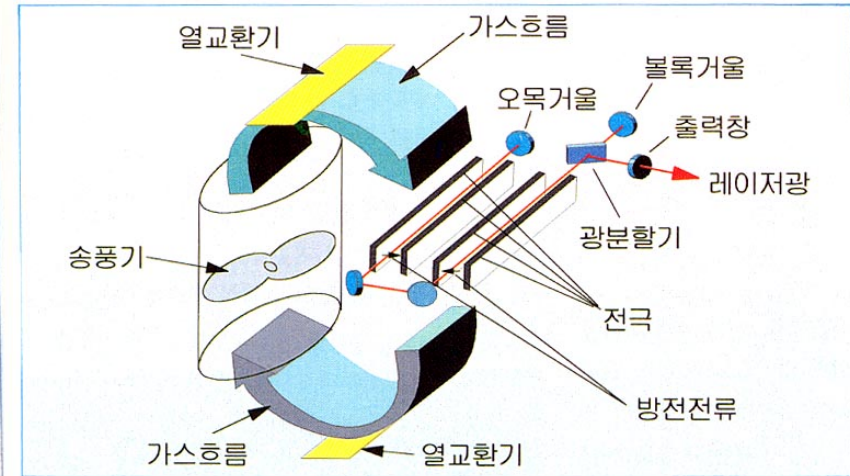
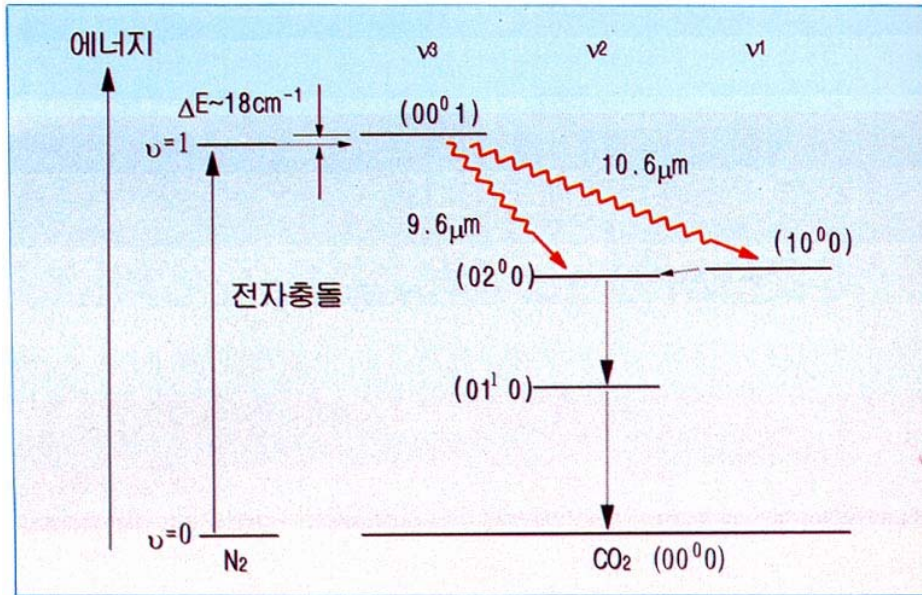
Carbon dioxide laser cutting system



Normal modes of the carbon dioxide molecule

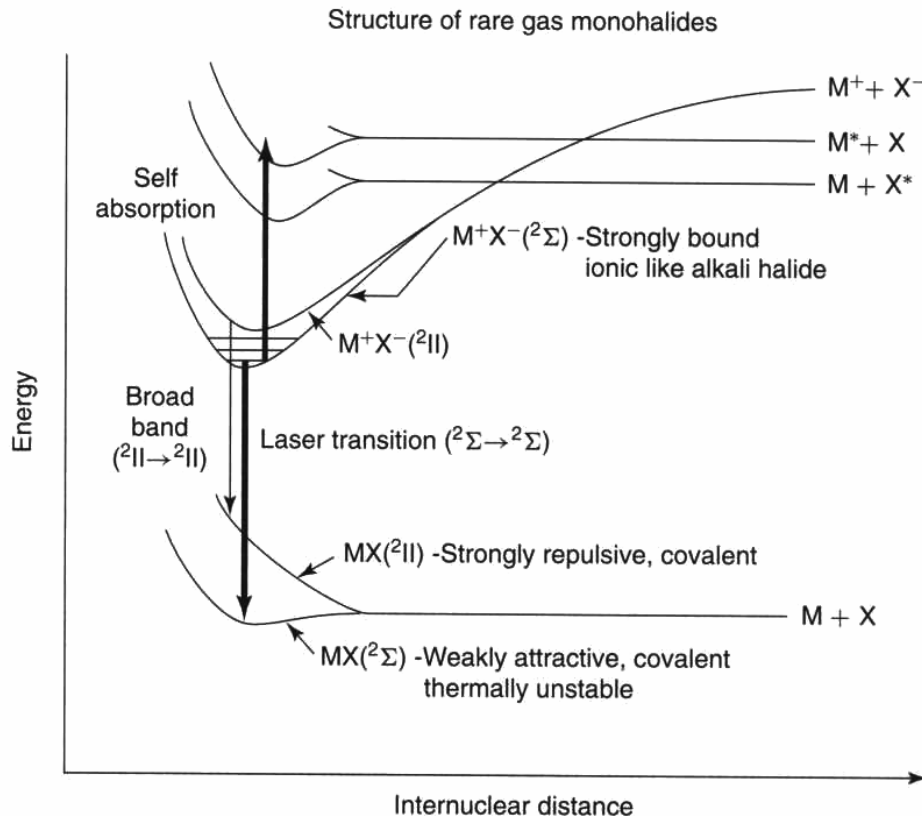


# CO<sub>2</sub> Laser의 에너지 준위와 쓰임새



- 분자 레이저의 한 종류인 탄산가스 레이저는 CO<sub>2</sub> 분자의 진동 준위의 에너지차( $10.6\mu\text{m}$ ,  $9.6\mu\text{m}$ )로 레이저 발진이 일어난다. 탄산가스 레이저는 연속발전 출력이 10kW가 넘는 대출력의 것도 있으며 효율도 15~20%로 높다. Nd:YAG 레이저와 함께 레이저 가공분야에 널리 이용되고 있다.

# Excimer Laser



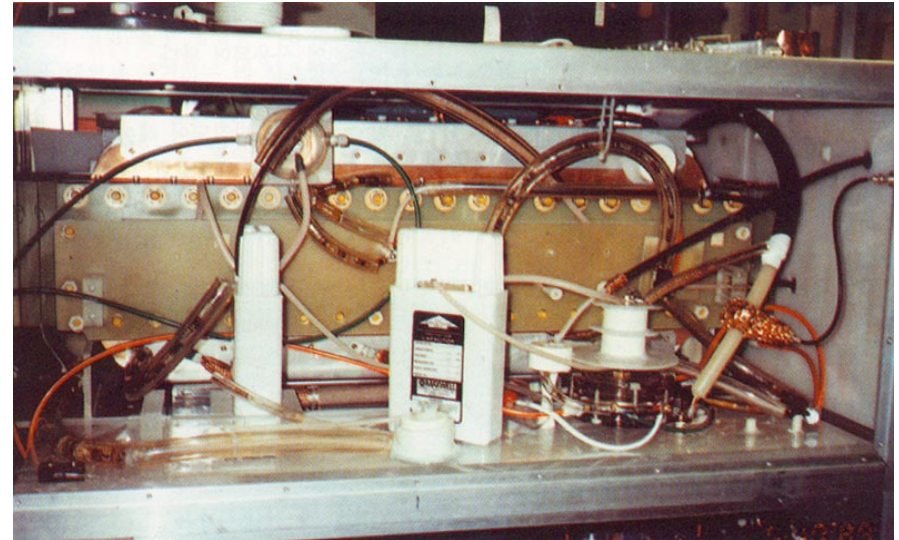
A simplified potential energy diagram of a rare-gas halogen laser.

- 엑시머(excimer)는 **excited dimer**를 줄인 말로 여기상태로만 존재하는 분자이다.
- 엑시머 분자는 여기상태에서 기저상태로 돌아가면 안정한 분자 상태를 형성할 수 없고 해리상태가 된다.
- 엑시머 레이저는 동위원소 분리와 같은 고도의 기술을 요구하는 광화학 (photochemical) 과정에서 응용될 수 있고 강하고 효율이 높은 자외선 (uv) 광원을 필요로 하는 경우에 매우 유용하다.





# Excimer Laser의 내외부



# Laser Annealing & Lithography

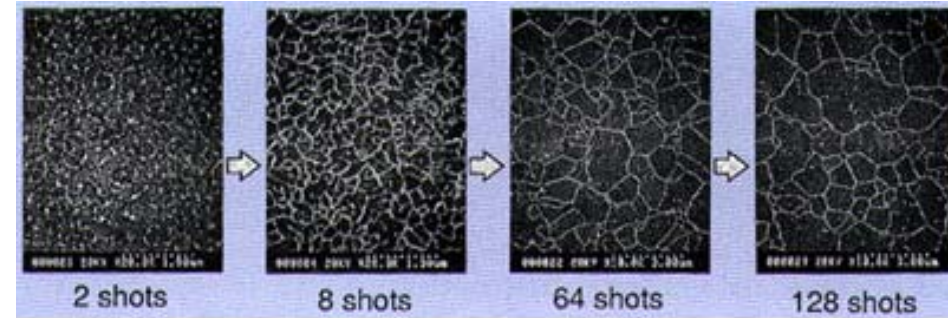
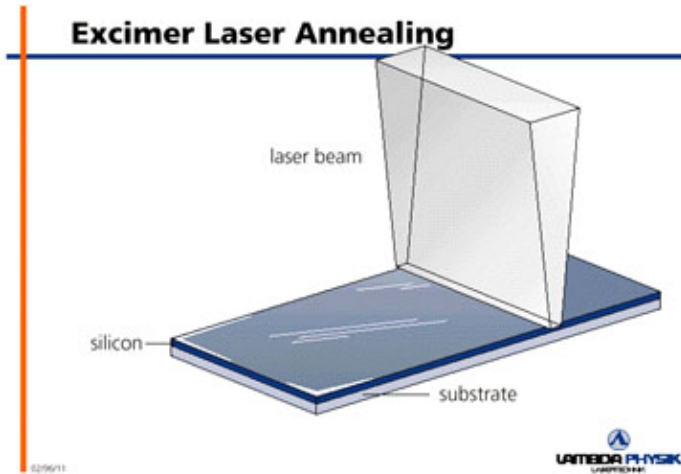
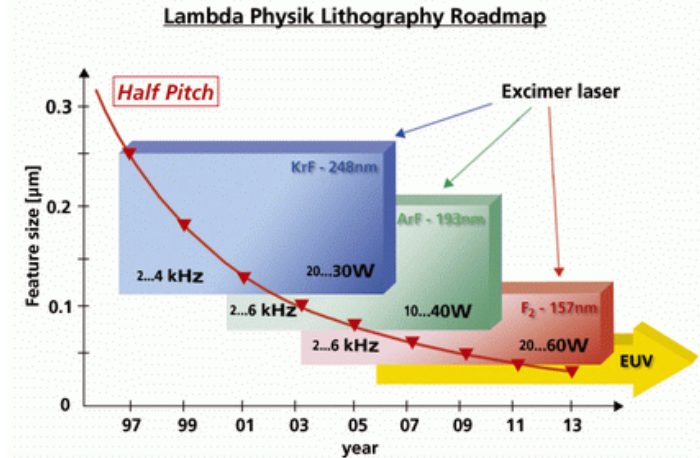
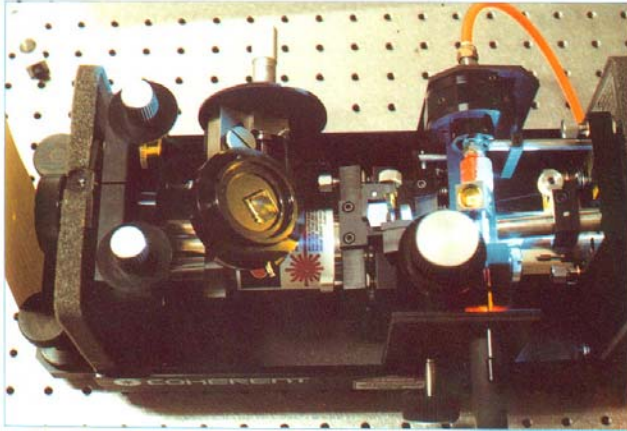


Figure 2:  
Schematic of excimer laser annealing with Line Beam Optics

- 반도체 공정의 lithography나 LCD공정의 silicon annealing에 응용된다.



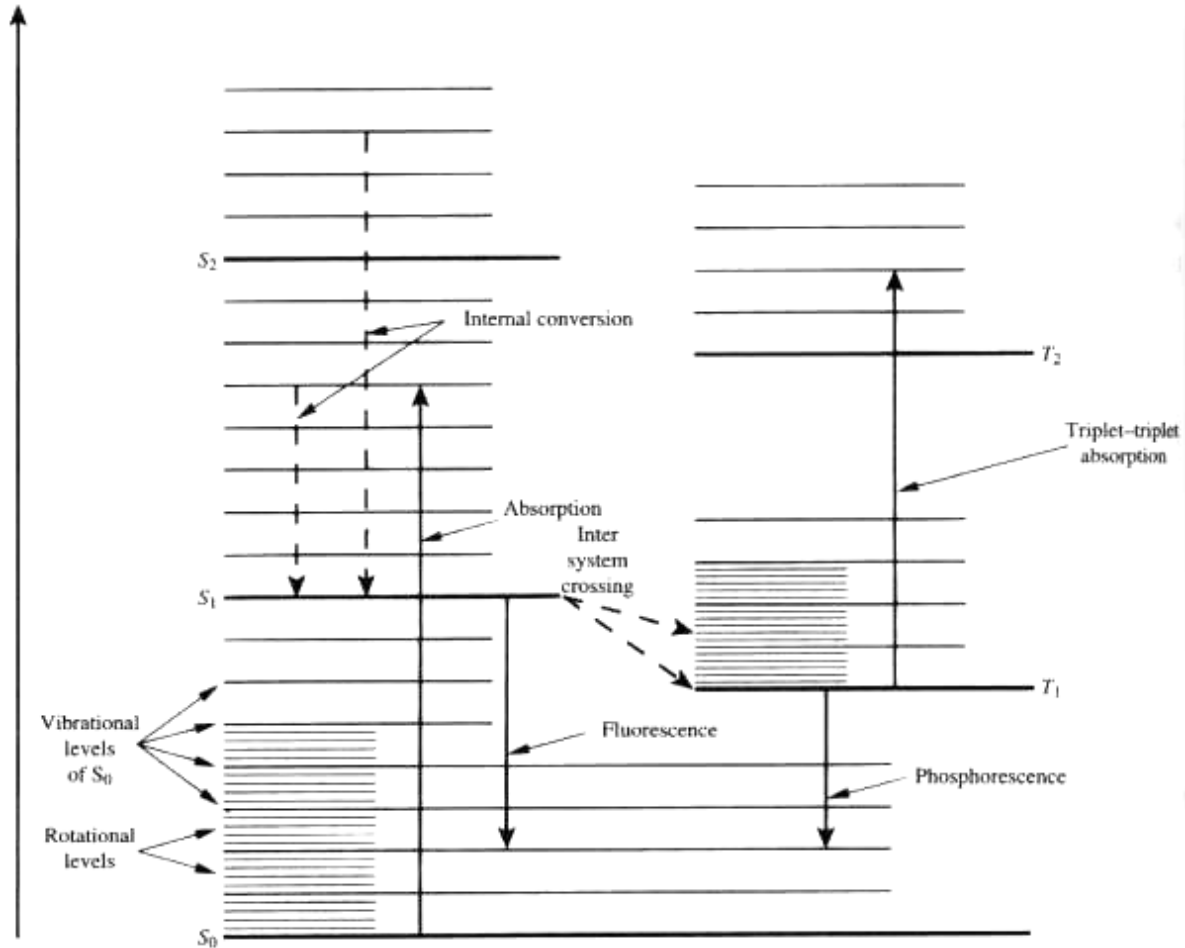
# Dye Laser



- 색소 레이저는 유기 색소 분자를 알코올 등에 용해 시켜 레이저 매질로 사용
- 액체 레이저
- 색소의 종류나 농도를 변화시켜,  $0.3\mu\text{m} \sim 1.2\mu\text{m}$  범위의 근자외선, 가시광, 근적외선의 넓은 범위에 걸쳐 연속 파장가변이 되는 레이저가 가능하다.
- 광여기 방법
- 극초단 펄스, 의료용

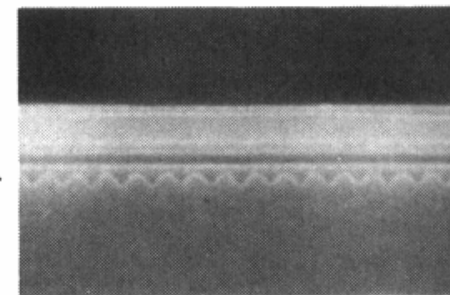
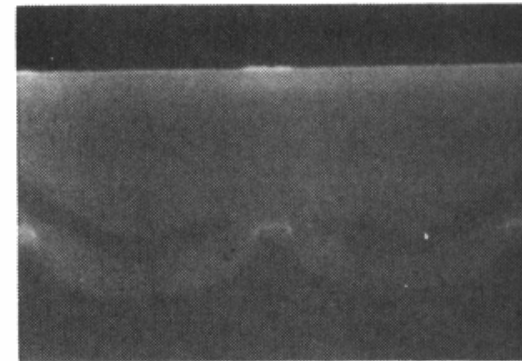
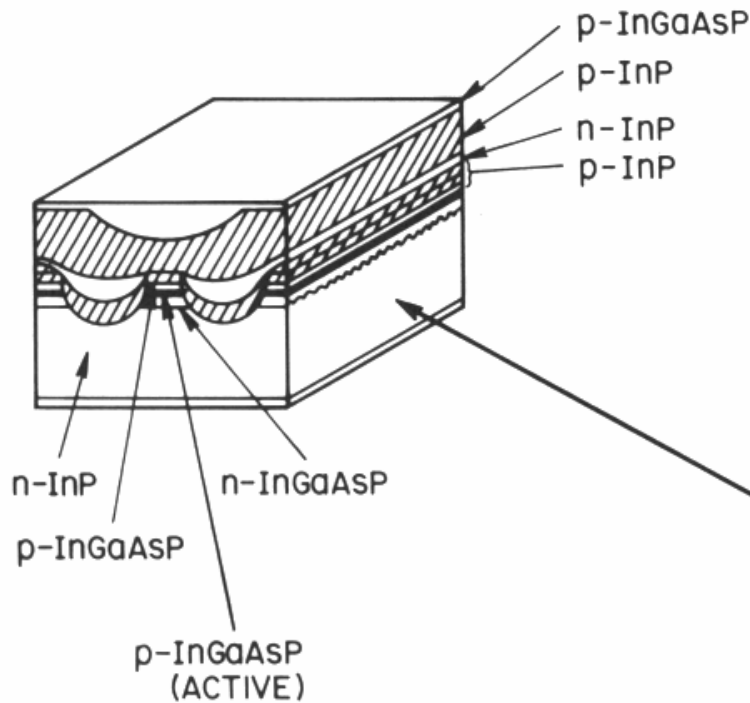


# 염료의 전형적 에너지 준위



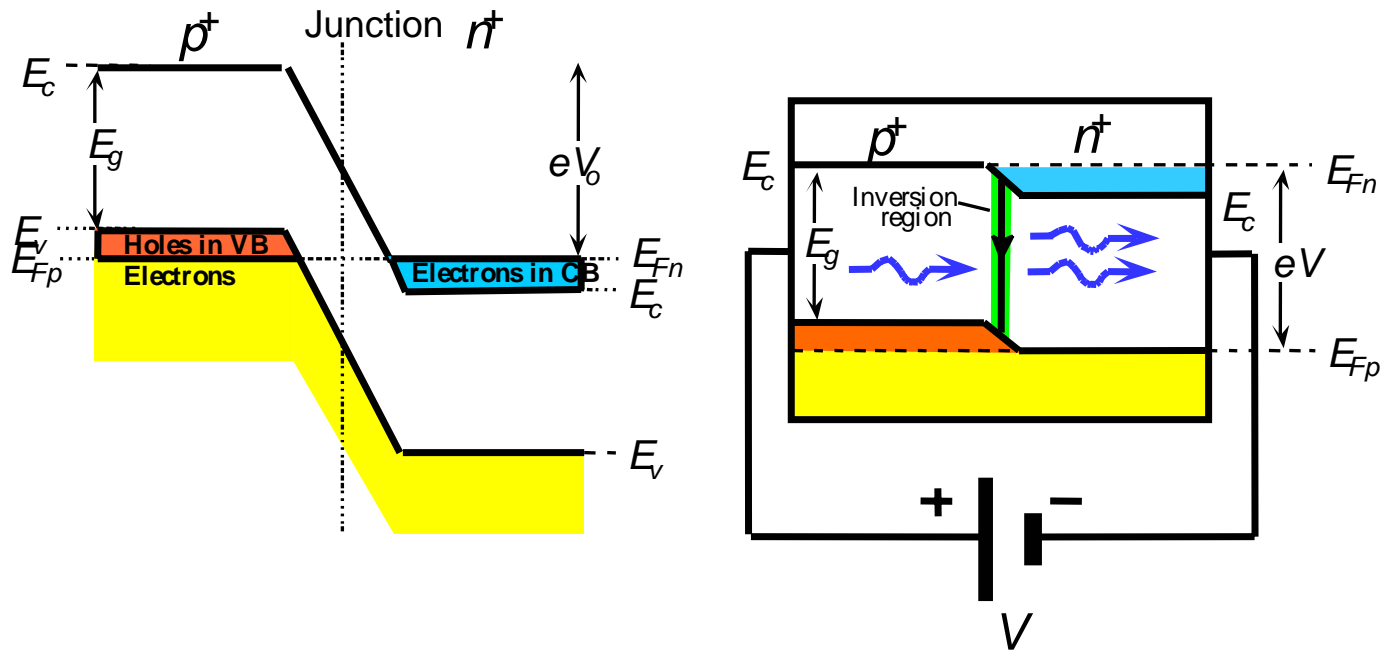


# 반도체 레이저 (DFB LD) 구조도





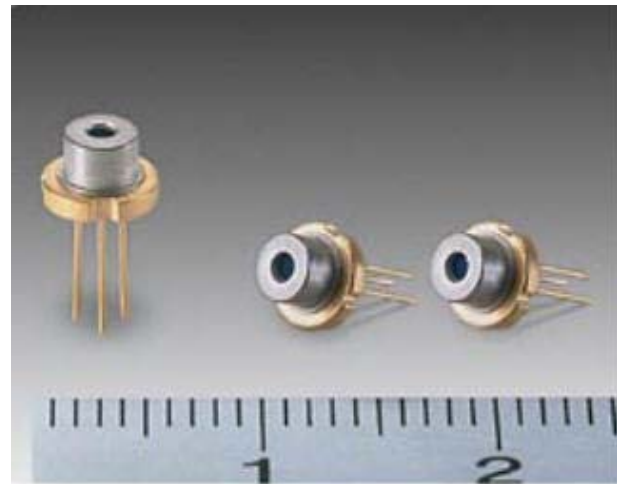
# 반도체 레이저의 원리



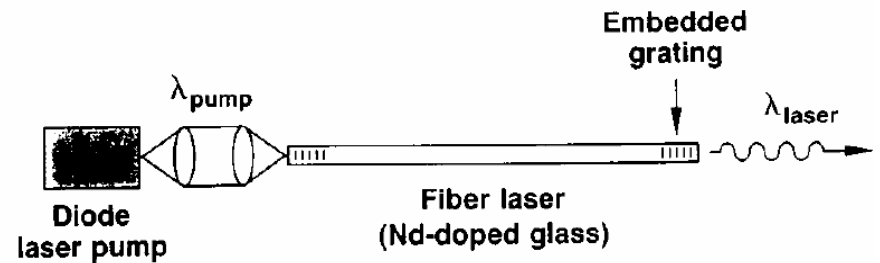
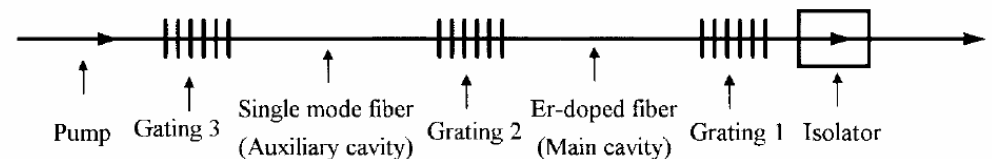
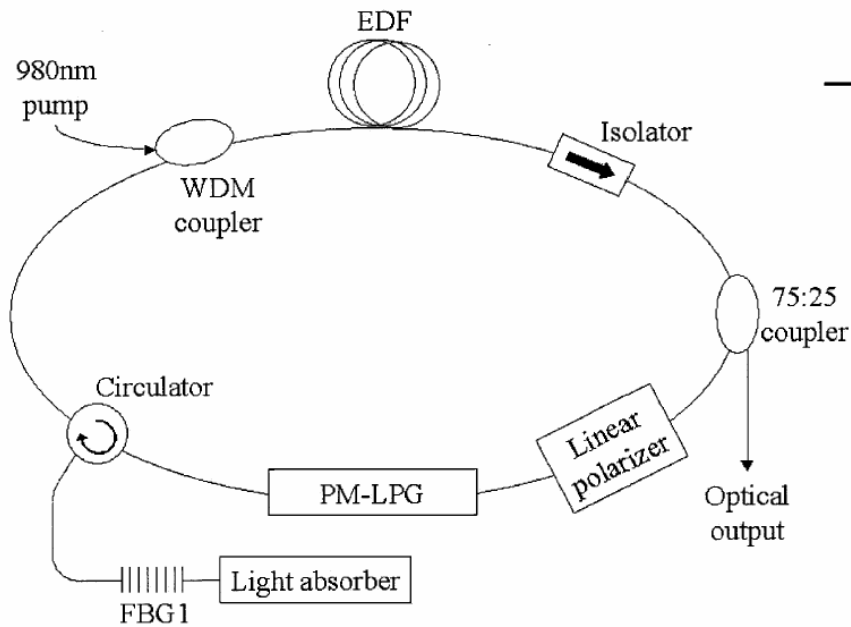
- 순방향 바이어스 pn 접합은 내부 포텐셜 (potential) 장벽을 낮추어서 접합의 한쪽에서 다른쪽으로 전자를 흐르도록 만든다. 전자-홀 재결합을 하면서 전자가 전도띠 (conduction band) 에서 원자가띠 (valence band) 로 떨어질 때 밴드갭 (band gap) 에 해당하는 에너지가 광자로 방출된다.
- LED에서는 자발방출이 일어나지만 레이저 다이오드 (LD)에서는 유도방출이 일어도록 제작된다.

# 반도체 레이저의 응용

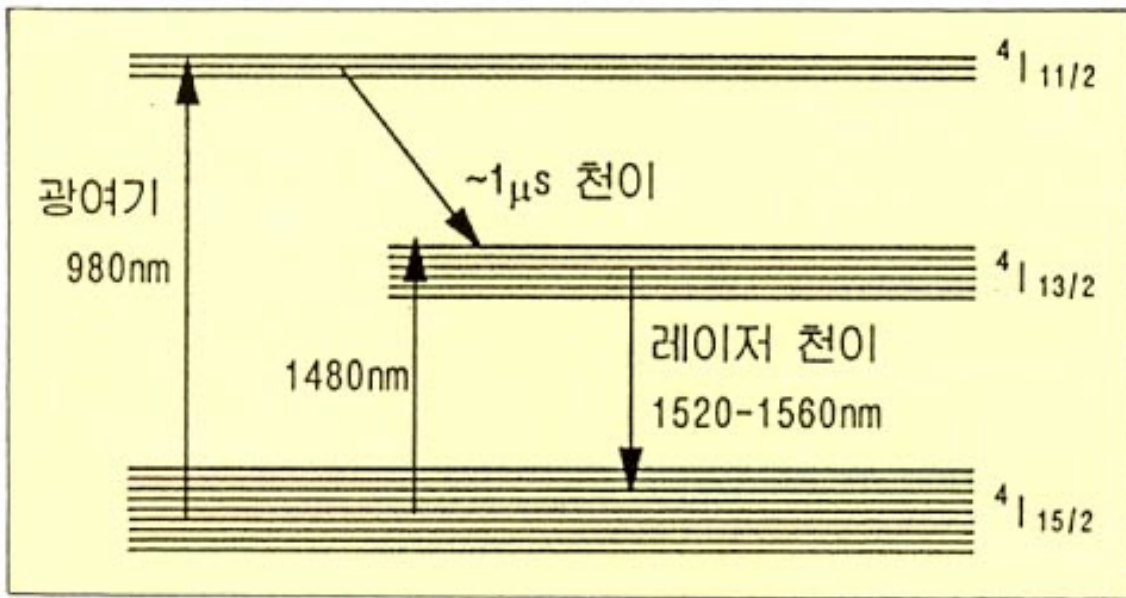
- CD, DVD, 광통신, 의료용
- 현재 가장 수요가 많은 반도체 레이저는 780nm 파장대의 것으로 CD 구동장치의 광원으로 가장 많이 이용되고 있고, 800nm 대의 것은 Nd:YAG 레이저의 여기광원과 의료용으로, 1.3 $\mu\text{m}$ 와 1.5 $\mu\text{m}$ 의 레이저는 주로 광통신용으로 이용되고 있으며 최근 상품화가 된 670nm 대의 것은 헬륨-네온 레이저를 대신하는 용도로 사용



# 광섬유 레이저의 예



# 어븀(Erbium: 에르븀) 이온의 에너지 준위



- 고체인 레이저 매질(주로 유리)을 광섬유의 형태로 제조하고, 광섬유의 코어 부분에 이온을 첨가하여 레이저 매질이 이루어진다. 다른 고체 레이저와 마찬가지로 광공진기 내에 광섬유를 위치시킨다. 이 광섬유에 이온의 상준위에 해당하는 보다 짧은 파장의 광원으로 강하게 여기시킨다.