

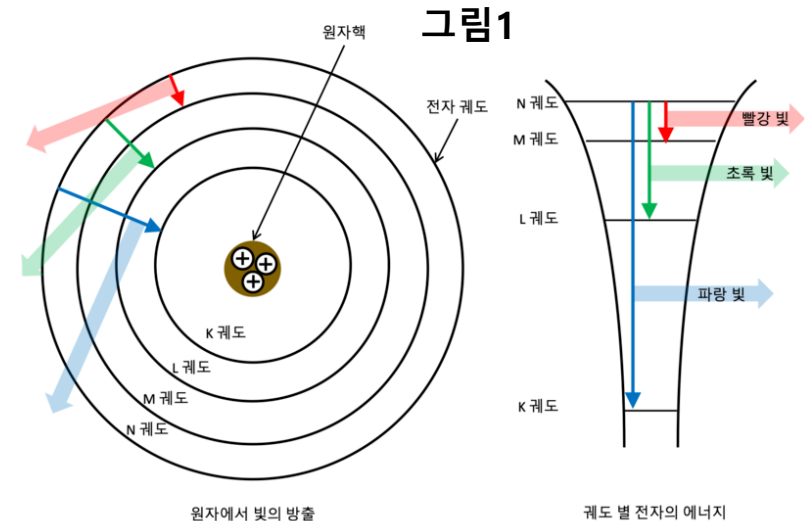
레이저 laser

• 전자의 에너지 레벨

- 원자(原子, atom) 혹은 분자(分子, molecule)을 구성하는 **전자는 특정한 값의 에너지 상태**에서 존재하는데 이를 **에너지 레벨**이라 부름
- 이 에너지 레벨은 **불연속**하게 떨어져 있음
- 외부에서 주입하는 에너지가 없으면 높은 에너지 레벨에서 낮은 에너지 레벨로 전자가 떨어짐
- 에너지 레벨 사이의 에너지 차에 해당하는 전자기파가 방출

• 그림1

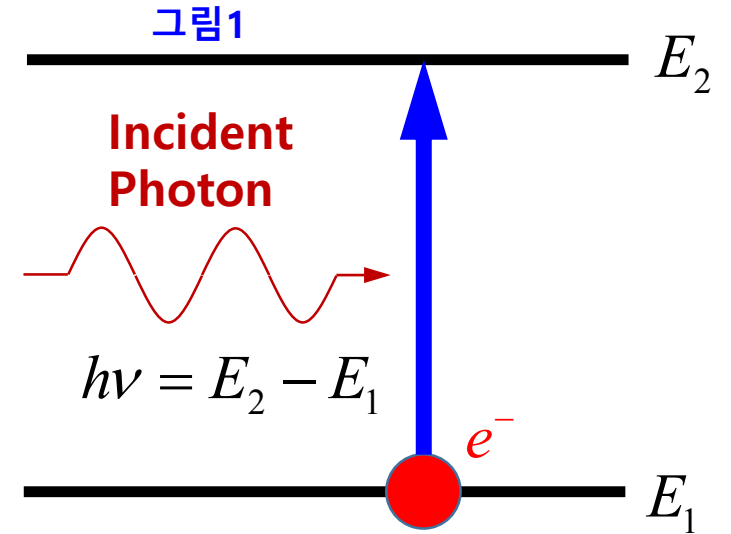
- 어떤 원자의 궤도 전자의 에너지 레벨 (왼쪽 그림)
- 파란색, 초록색, 빨간색 굵은 화살표는 방출되는 전자기파
- 에너지 레벨을 수평선으로 그려 전자기파 방출을 표현 (오른쪽 그림)



- 참고 : 가장 낮은 에너지 레벨을 **바닥 상태의 에너지 레벨**이라 부름

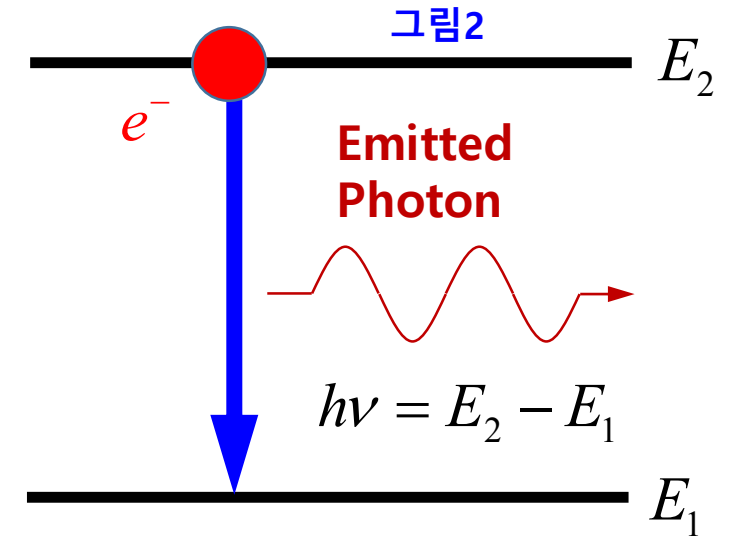
- 흡수 (吸收, absorption)

- 입사 전자기파의 에너지가 두 에너지 레벨의 차 ($h\nu = E_2 - E_1$)라면
 - 전자기파는 흡수(吸收, absorption)되어 없어지고,
 - 전자는 E_1 에서 E_2 로 움직임

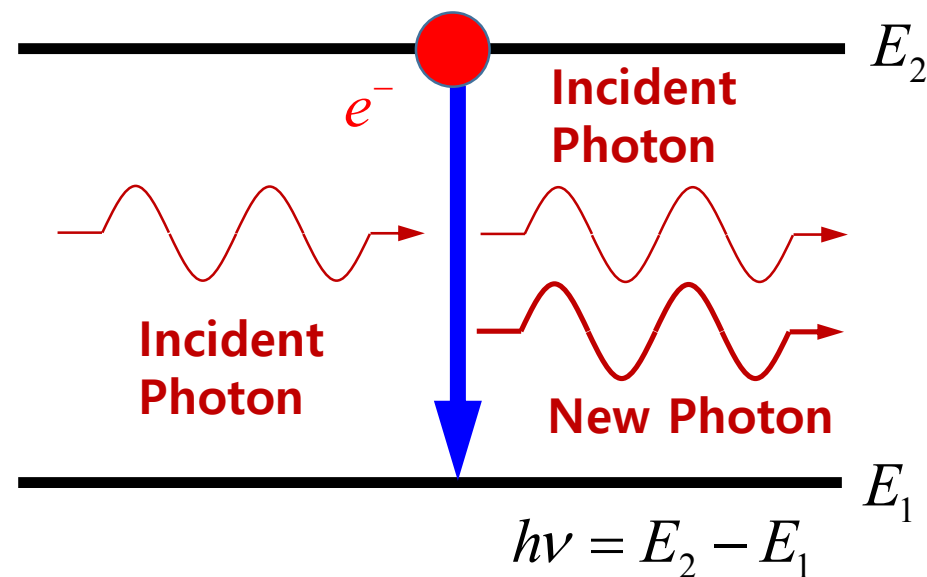


- 자발 방출 (自發 放出, spontaneous emission)

- 전자가 높은 에너지 레벨에서 낮은 에너지 레벨 즉, E_2 에서 E_1 으로 움직인다면
 - 전자기파가 방출(放出, emission)하는데
 - 전자기파의 에너지는 $h\nu = E_2 - E_1$



- 유도 방출(誘導 放出, stimulated emission)
 - 입사 전자기파의 에너지가 두 에너지 레벨의 차 ($h\nu = E_2 - E_1$)이고 전자가 E_2 에 있다면
 - 입사하는 전자기파의 영향에 의해 전자는 E_1 에서 E_2 로 움직이고,
 - 전자기파가 방출(放出, emission)하는데
 - 입사 전자기파와 모든 것이 같음
 - 이때 전자기파의 에너지는 $h\nu = E_2 - E_1$



- * 지금까지 살펴본 바에 의하면 빛(light)을 대신하여 광자(光子, photon)라는 용어를 사용
- * 광자는 개수를 셀 수 있어서 여러분에게는 혼동될 수 있으나 실제로 빛은 광자의 특성을 보임
- * 따라서 파동의 성질을 갖는 **빛**은 개수로 셀 수 있는 **광자**임

- 레이저 (laser)

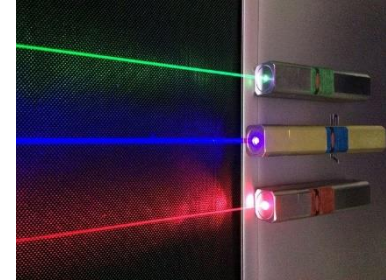
- '유도 방출 복사에 의한 빛 증폭 (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation)'의 머릿글짜

- Radiation

- 원자 혹은 분자에서 방출하는 모든 것
- 핵을 다룰 때 이것을 방사능이라 해석했으나
레이저는 전자기파 방출이므로 복사(輻射)라는 용어로 사용

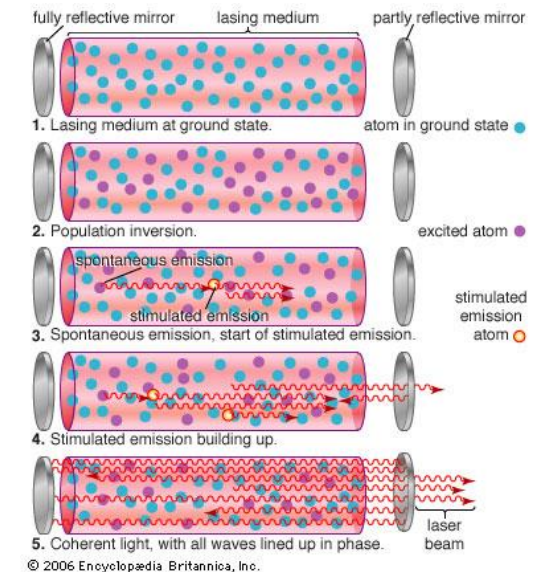
- The stimulated Emission of Radiation

- 유도 방출 복사 (유도 방출이라는 복사)



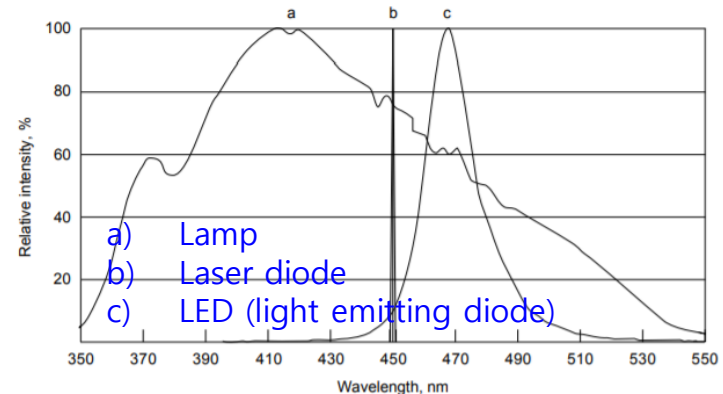
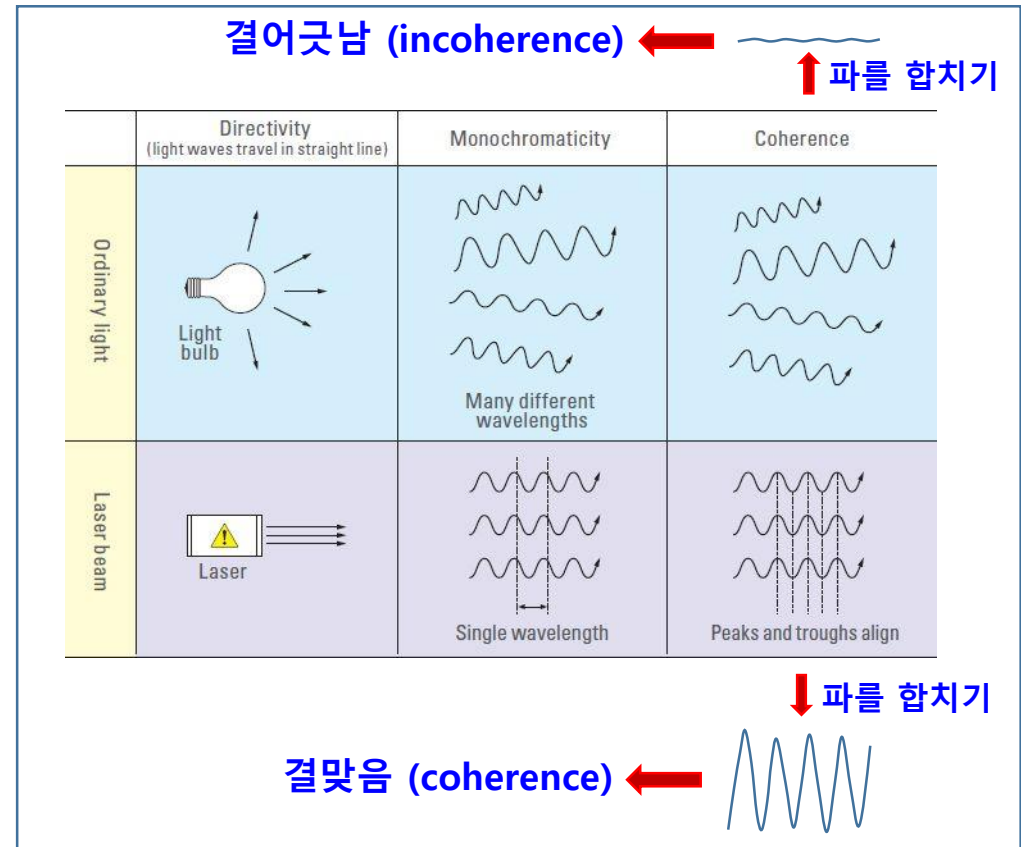
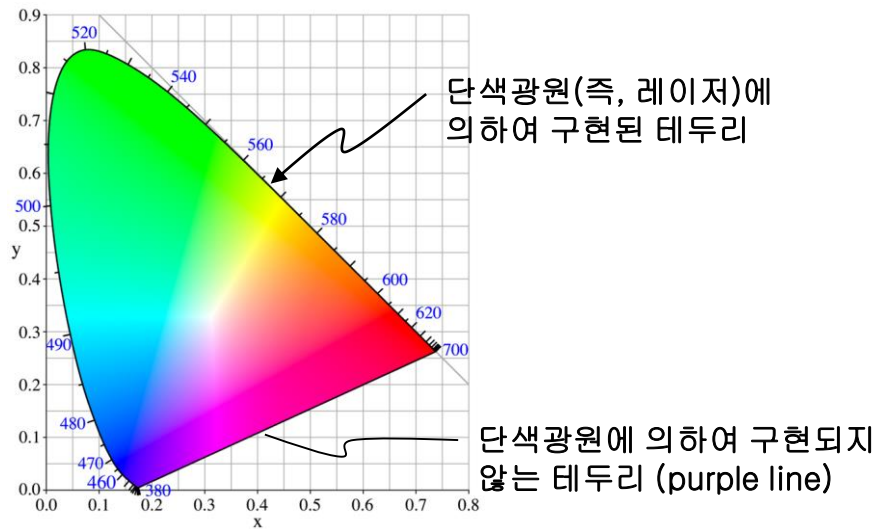
- 유도 방출 복사에 의해 서로 완벽하게 닮은 광자가 생성 → 빛 증폭

- 유튜브 동영상 : https://www.youtube.com/watch?v=R_QOWbkc7UI



• 레이저 특성

- (1) 단색성 (單色性, monochromaticity)
 - <https://www.youtube.com/watch?v=y-JCF3K9ntc>
- (2) 결맞음 (coherence)
 - <https://www.youtube.com/watch?v=bWTxf5dSUBE>
- (3) 방향성 (方向性, directionality)
 - <https://www.youtube.com/watch?v=-o0Qhek38UE>
- (4) 밝기 (brightness)



- 수명 (壽命, lifetime) τ

- τ 는 그리스 문자인데 tau로 읽음
 - 어떤 에너지 레벨에 전자가 머물러 있을 평균시간
 - 핵을 다룰 때 사용한 반감기 $T_{1/2}$ 와의 관계

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \approx 1.44T_{1/2}$$

- 레벨의 에너지 폭 ΔE



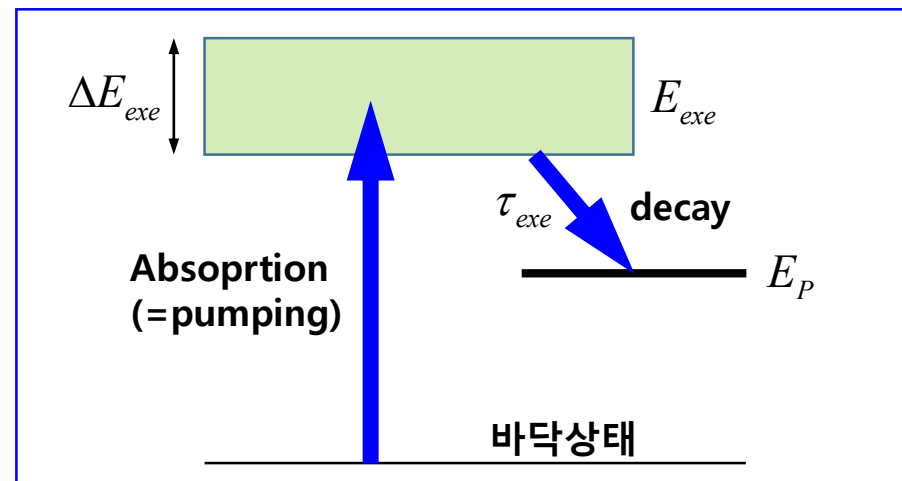
- 어떤 에너지 레벨이 가지는 폭
 - 에너지 폭과 수명과의 관계

$$\Delta E \cdot \tau = \hbar = \text{일정}$$

- 에너지 폭이 넓으면(좁으면) 수명은 짧다(길다)

- 흡수

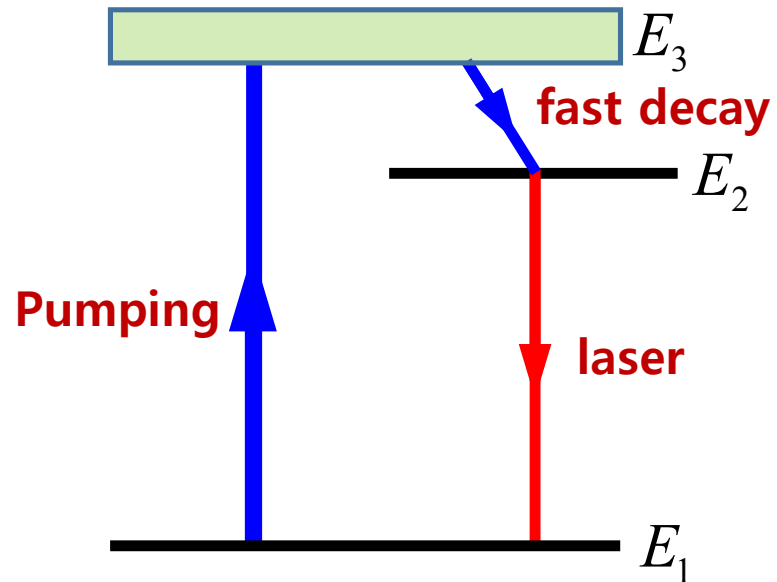
- 바닥 상태 E_{gnd}
 - 매우 안정 : $\tau_{gnd} = \infty \rightarrow \Delta E_{gnd} = 0$
- 흥분 상태 E_{exe} , ΔE_{exe}
 - $\tau_{exe} = \frac{\hbar}{\Delta E_{exe}}$



- ΔE_{exe} 증가
 - 쉽게 흡수 (absorption)
 - τ_{exe} 감소 (빠른 붕괴, fast decay)

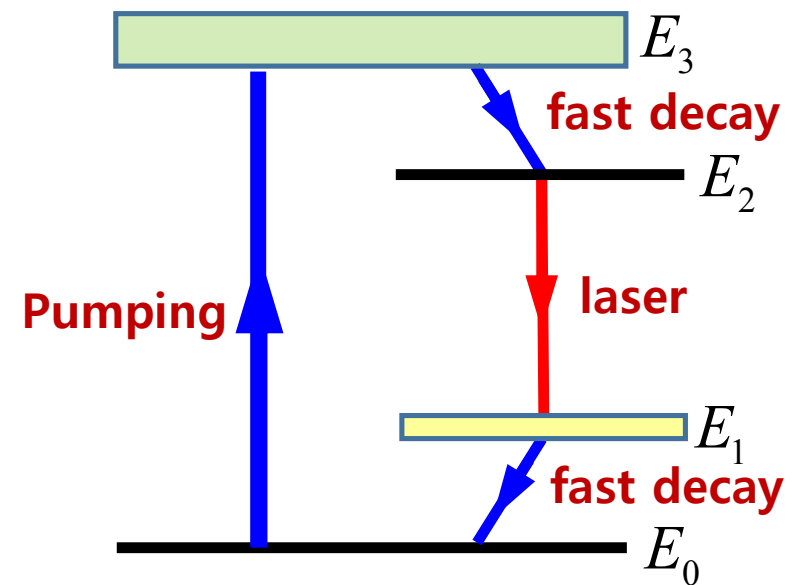
- 레벨에 따른 레이저 구분

- 3 level lasers



- E_3 레벨의 decay
 - 빠른 붕괴 (fast decay)
 - 비복사 붕괴
 - 광자를 방출하지 않는 복사

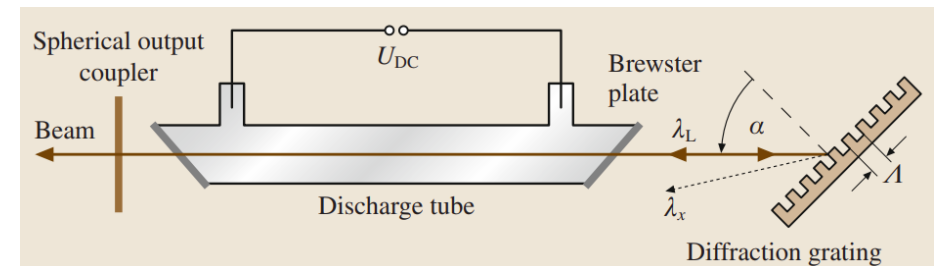
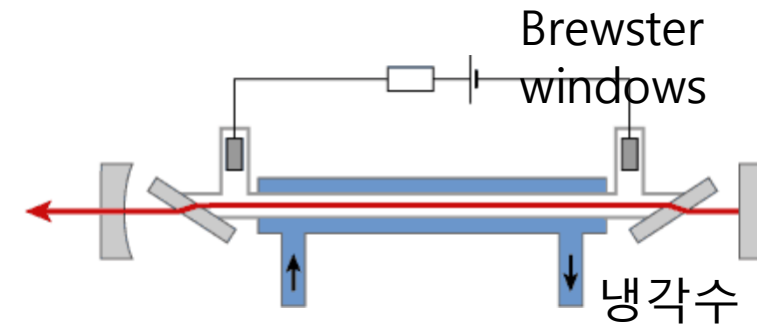
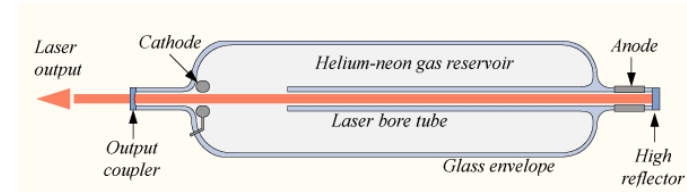
- 4 level lasers



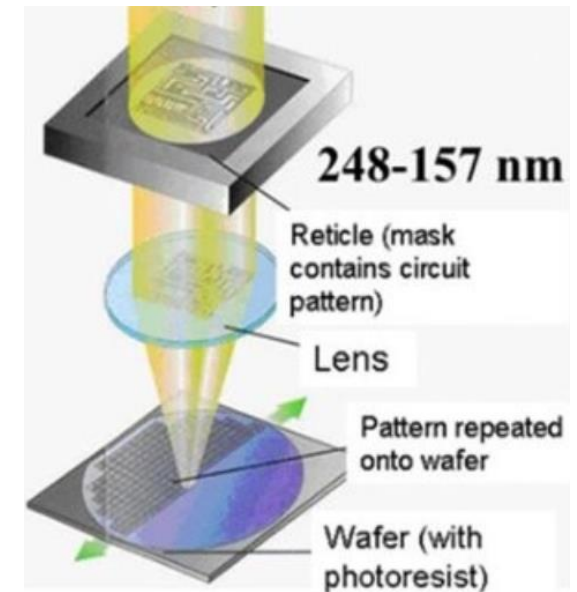
- E_1 과 E_3 레벨의 decay
 - 빠른 붕괴 (fast decay)
 - 비복사 붕괴
 - 광자를 방출하지 않는 복사
- 효과적인 유도 방출
 - 강력한 레이저

- 레이저 발진 매질에 따른 분류
 - gas lasers
 - He-Ne lasers, CO₂ lasers, Excimer lasers
 - solid state lasers
 - Nd:YAG lasers
 - semiconductor lasers
 - Diode lasers
 - Fiber lasers
 - dye lasers
 - rhodamine 6G
 - free electron lasers
- 레이저 빔 타입에 따른 분류
 - 연속파 레이저 (CW lasers)
 - 펄스 레이저 (Pulse lasers)

- 헬륨-네온 레이저 (He-Ne laser)
 - 발진 파장은 주로 632.991 nm (빨간색)
 - 길이 $15\sim 50\text{ cm}$
 - 광학적 출력 파워 $0.5\sim 50\text{ mW}$ (CW)
 - 스펙트럼 측정용
- 이산화탄소 레이저 (CO_2 laser)
 - 발진 파장 $10.6\text{ }\mu\text{m}$ (마이크로미터)
 - 고출력
 - 수 mW ~ 수백 kW (연속파)
 - ~ 수 GW (펄스)
 - 용도
 - 레이저 절단 (laser cutting)
 - 레이저 용접 (laser welding)
 - 레이저 마킹 (laser marking)



- 엑사이머 레이저 (Excimer lasers)
 - 발진 파장 (자외선(紫外線, ultra-violet))
 - A_2^* (126 nm), ArF (193 nm), KrF (248 nm), xeF (351 nm)
 - 펄스 레이저
 - 응용
 - 광노광 (광노광, photo-lithography)
 - ArF, KrF lasers : 7 nm 선폭 트랜지스터 제작
 - 의학
 - 표면에서 원하는 물질 제거
 - LASIK 눈 수술
 - 혈관 성형술 (angioplasty), 백혈병
 - 크기가 큰 편이라 응용에 한계



- 엔디야그 레이저 (Nd:YAG laser)

- Nd:YAG laser rod

- YAG(yttrium aluminum garnet, $Y_3Al_5O_{12}$)에 1% Nd (neodymium) 도핑된 고체 결정

- 4-level laser

- 응용

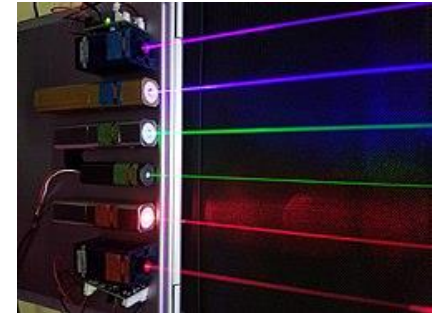
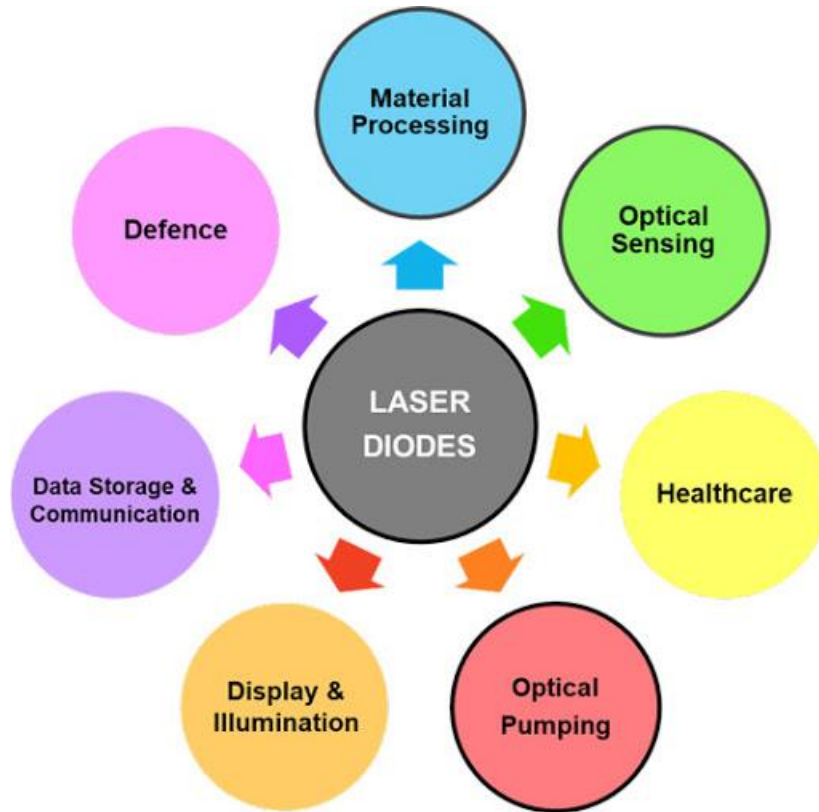
- 의학 (안과, ophthalmology)
 - 의학 (종양학, oncology → skin cancers 제거)
 - 의학 (갑상선 결절, thyroid nodules)
 - 의학 (악성 간 병변, malignant liver lesions)
 - 의학 (전립선 수술, prostate surgery)
 - 의학 (혈관 결함, vascular defects) 거미 핏줄

- Dentistry
 - Manufacturing
 - Fluid dynamics
 - Biophysics
 - Automotive
 - military



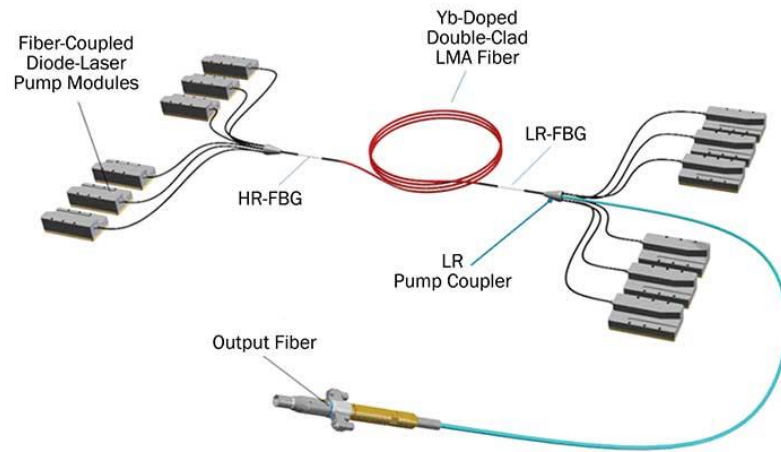
Nd:YAG laser rod

- 반도체 레이저 (semiconductor lasers)
 - Diode lasers
 - 반도체 소자로 제작



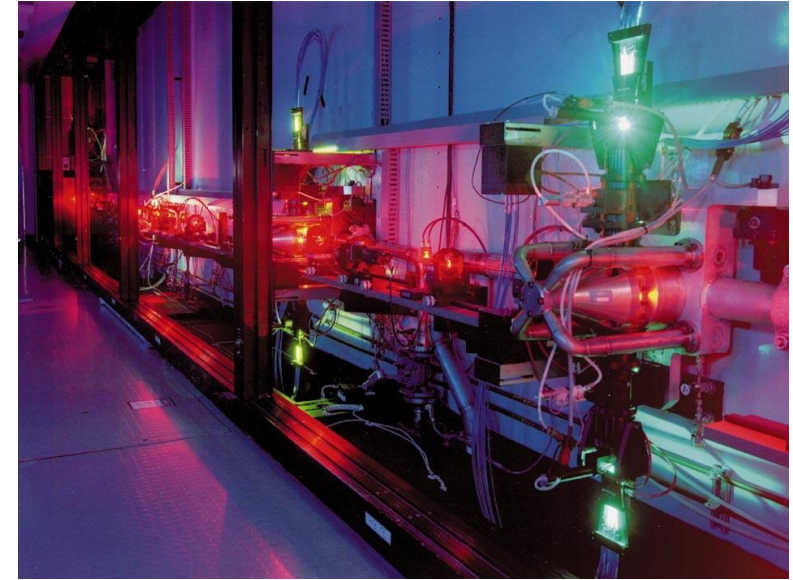
405 nm
445 nm
520 nm
532 nm
635 nm
660 nm

- 광섬유 레이저 (fiber lasers)
 - 반도체 레이저 여러 개를 광섬유와 결합하여 만든 레이저
 - 별도의 광학계없이 작동하므로 유지보수의 어려움이 없음

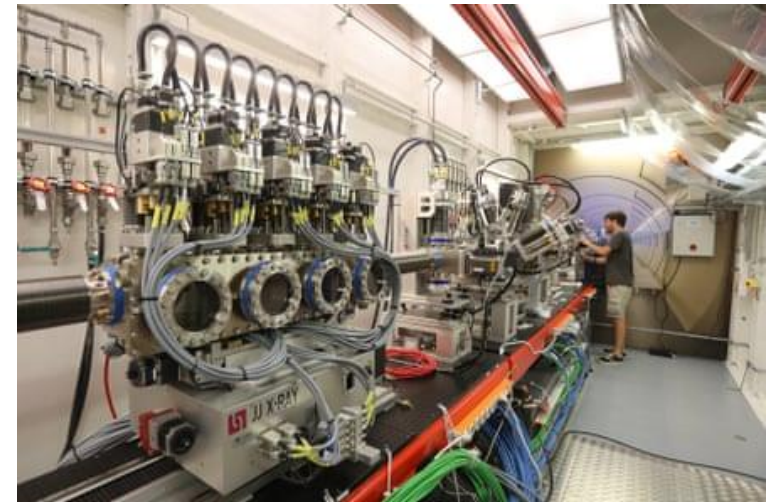
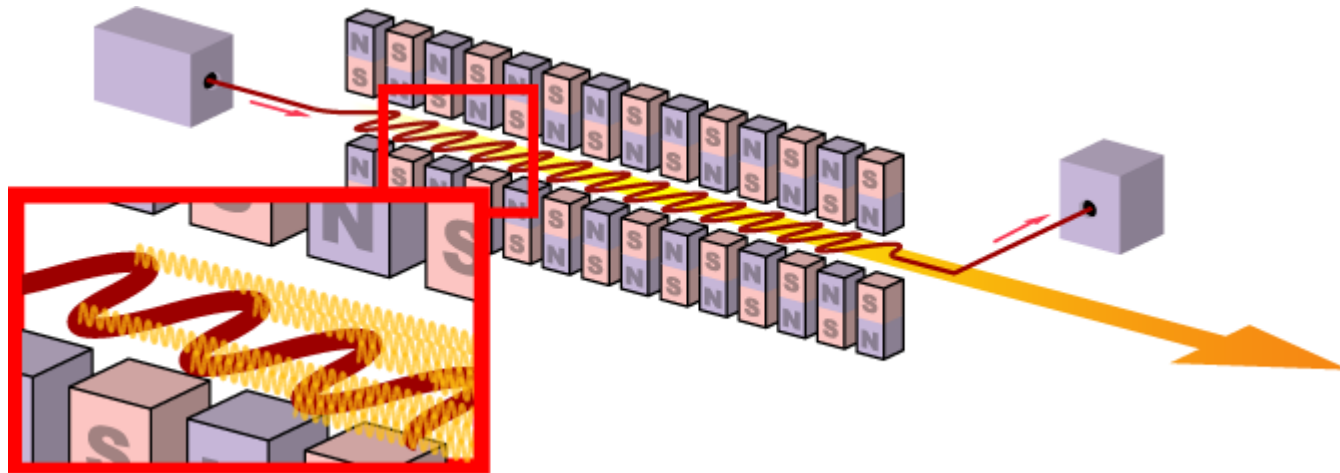


- 광섬유 레이저 유튜브 동영상 : <https://www.youtube.com/watch?v=Vo8M5952YOI>

- 염료 레이저 (dye laser)
 - 유기 염료 (organic dye)
 - rhodamine 6G : 발진 파장 560 nm ~ 635 nm
 - 다른 레이저로 펌핑
 - 응용
 - 천문학
 - 우라늄 같은 동위원소 분리
 - 의학 (피부과)
 - 분광학



- 자유 전자 레이저 (free-electron laser)
 - 위글러 (wiggler)
 - 자석이 주기적으로 N극과 S극이 엇갈려 배열한 형태
 - 자유 전자가 이 자기장 속을 운동
 - 전자가 움직이는 방향으로 레이저가 발생
 - 파장은 자기장의 세기와 전자의 운동에너지에 의해 결정
 - 발진 파장은 x-ray 영역 까지 도달



레이저 빔의 세기를 향상시키는 방법

렌즈를 이용한 초점맺힘

레이저

- 빔의 크기 직경 D

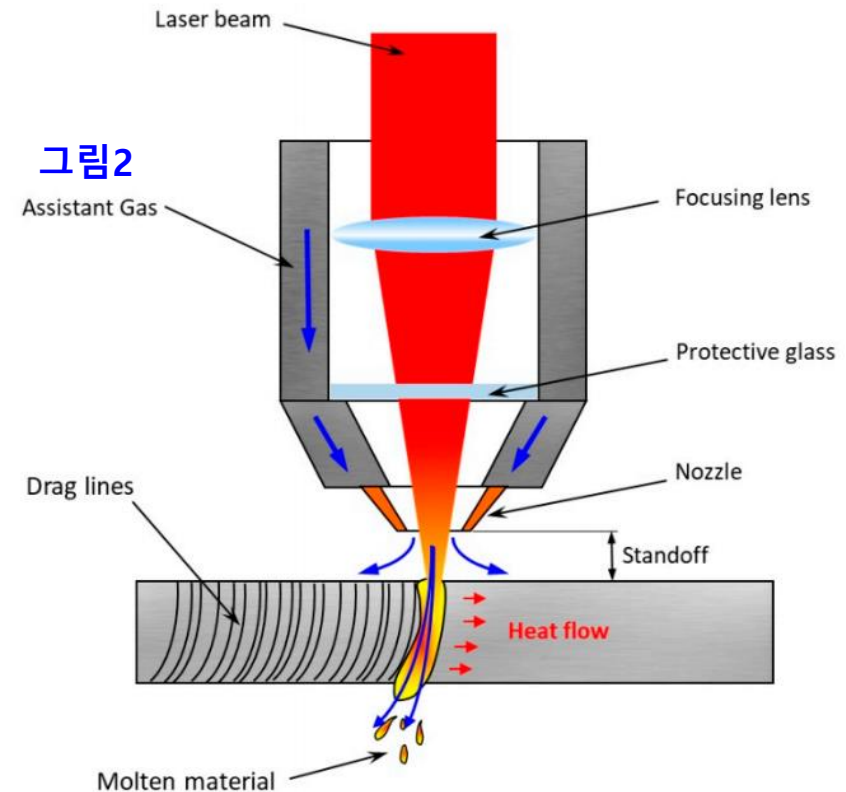
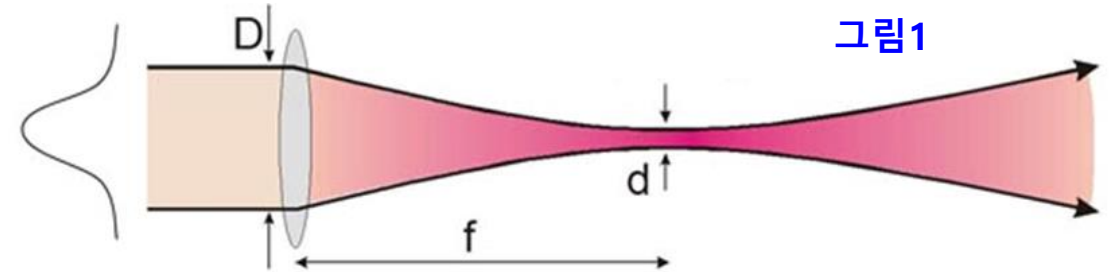
- 레이저 파장 λ

볼록렌즈

- 초점 길이 f

- 초점 크기 직경 d

$$d = \frac{4f\lambda}{\pi D}$$



• 레이저 파장과 출력

