

레이저의 발생 원리

경북대학교 치과대학 구강내과학교실

부교수 기 우 천

1. 정의

레이저(laser)는 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation의 첫 자를 딴 용어로서 “복사의 자극방출에 의한 빛의 증폭”이라는 뜻이다. 즉, 여기상태의 원자나 분자를 외부에서 자극하여 결이 잘 맞는(파장의 골과 골, 마루와 마루가 일치하는, 그림 1 참조) 빛을 방출하게 함으로서 큰 증폭으로 증폭된 빛이다. 이러한 빛은 직진성이 강하고 한 가지의 색을 가지고 있으며, 매우 강력한 에너지를 낼 수 있는 특징이 있다.

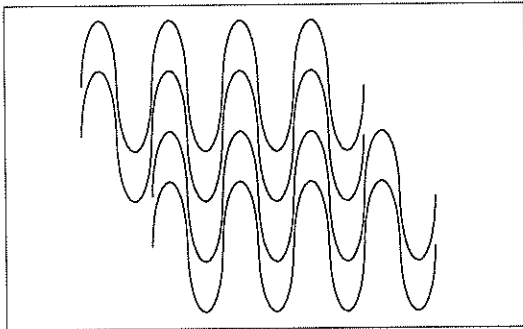


그림 1. 파장의 결이 잘 맞는 빛. 파장의 골과 골, 마루와 마루가 잘 일치하고 있다.

2 역사

레이저에 관한 이론은 1917년 Albert Einstein이 빛과 매질의 상호작용 연구에서 특정 조건하의 매질에 빛을 비추면 똑같은 파장을 지닌 빛이 더 많이 방출된다는 이론을 제시한 것으로부터 시작되었다고 할 수 있다. 그 이후 1954년 미국 콜롬비아대학의 물리학 교수인 Charles Townes는 MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of

Radiation)를 개발하였고, 1958년에는 Arthur Schawlow와 함께 레이저의 기본 이론과 칼륨 증기를 증폭매질로 이용할 수 있는 체계를 설명하였다. 그들의 이론에 의하면 거울이 얇게 은도금된 상태로 되어 있다면 빛은 거울 사이에서 왕복해서 반사됨으로써 궁극적으로는 충분한 밝기로 증폭되어 은을 관통한 단색성, 일차성 광선을 발하게 된다고 하였다. 그러나 실제적인 레이저의 개발은 1960년 휴즈연구소의 Theodore Maiman에 의해 이루어졌다. Maiman은 인공 핑크 루비 결정체를 이용하여 강한 펄스의 순수한 적색 빛을 만들어 내었다. 그 이후부터 여러 물질을 매질로 이용하여 다양한 종류의 레이저가 개발되었고, 이를 공업용, 군사용, 의학용으로 사용할 수 있게 되었다.

3 발생 원리

빛은 어떤 물질에 부딪히면 편향되거나 흡수될 수 있다. 빛의 기본 단위인 광자(photon)가 물질에 흡수되면 광자는 사라지지만 그 에너지는 소실되지 않고 그 광자를 흡수한 원자나 분자의 에너지준위(energy level)를 높히게 된다. 이렇게 광자의 에너지를 흡수한 원자는 기저상태(ground state)에서 여기상태(excited state)로 끌어올려진다. 여기상태의 원자는 불안정하여 즉시 자발적으로 기저상태로 돌아오는데 이 때 저장하고 있던 에너지를 방출광자(emitted photon)의 형태로 내어놓게 된다. 이러한 과정을 자발방출(spontaneous emission)이라고 한다. 이 빛을 방출하는 가능성은 확률상 무작위로 일어나며, 자발적으로 방출된 광자는 흡수된 광자의 에너지 보다 더 낮는데 이 에너지의 차이는 대개 열로 전환된다.(그림 2 참조)

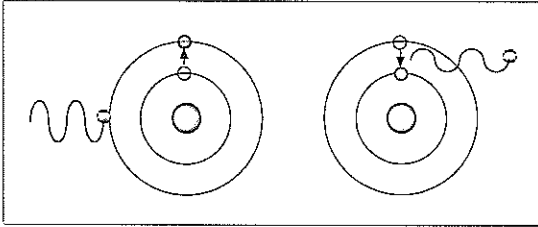


그림 2 광자의 자기방출. 외부로부터 광자가 원자에 흡수되면 원자는 여기상태로 된 후 즉시 안정된 기저상태로 돌아온다. 이 때 여기상태에서 기저상태로 되면서 광자가 방출되는데 이 광자의 에너지는 흡수된 광자의 에너지보다 낮은 상태이다.

어떤 원자에서는 특정한 전자궤도에서만 이러한 현상이 일어난다. 즉, 광자가 흡수되면 원자는 허용된 에너지준위 중 하나의 에너지준위로 상승하게 되는데 이것은 각 원자나 분자가 적합한 특정 에너지의 광자만 흡수한다는 것을 의미한다. 결과적으로 각각의 서로 다른 원자나 분자는 자신만의 독특한 흡수 스펙트럼을 가진다.

레이저는 여기상태로 된 원자가 자발적으로 광자를 방출하기 전에 광자를 방출하도록 흥분된 원자를 유도할 때 발생한다. 즉, 여기상태에 있는 원자에 방출되는 광자(빛)와 동일한 파장(동일한 에너지)을 가진 광자가 자극을 주면 자극을 준 광자와 결이 맞는 같은 파장의 빛이 방출되는데 이를 자극적 방출(stimulated emission)이라고 한다.(그림 3 참조)

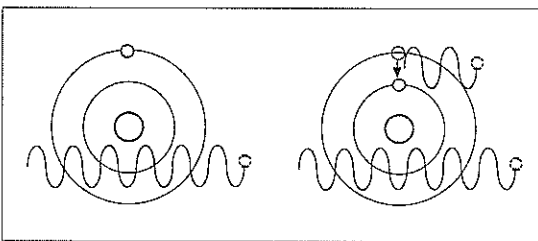


그림 3 광자의 자극적 방출. 여기상태에 있는 원자에 기저상태로 되면서 방출되는 광자와 동일한 파장을 가진 광자로 자극을 주면 이 두 광자는 결이 맞는 파장을 가지게 된다.

일반적으로 형광등이나 네온사인, 백열등과 같은 보통의 모든 광원은 대부분이 자발적 방출을 한다. 자발적 방출을 하는 보통의 광원이 내는 빛은 광원의 무수히 많은 원자가 제멋대로 빛을 방출하여 서로 결이 맞지 않는다. 따라서 N개의 이러한 빛이 더해지면 밝기가 N배로 되어 단순히 N배의 밝은 빛이 된다.(그림 4 참조)

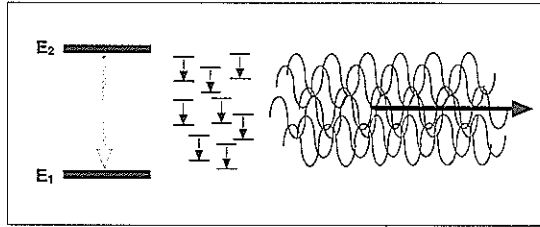


그림 4 보통 광원에서의 빛의 밝기. 보통 광원에서는 파장끼리 결이 맞지 않아 단순한 배수의 밝은 빛이 된다.

그러나 무수히 많은 원자가 동시에 서로 결이 맞는 상태의 빛은 방출한다면 진폭이 N배가 되어 밝기는 N^2 에 비례하여 증가한다.(그림 5 참조)

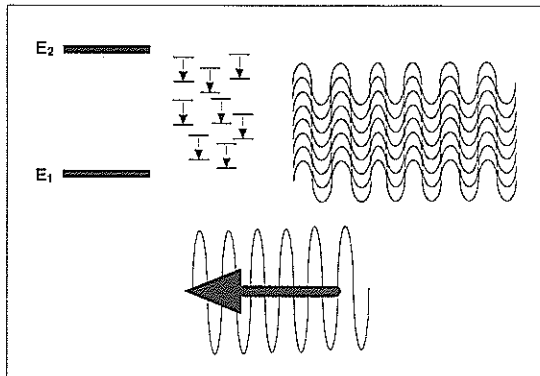


그림 5 레이저에서의 빛의 밝기. 레이저에서는 결이 서로 잘 맞아 증폭되기 때문에 매우 밝은 빛이 된다.

서로 결이 맞는 빛을 만들기 위해서는 대부분의 광자가 자극에 의해 방출되어야 하며 이를 위해서는 높은 에너지 준위에 있는 원자의 수를 많게 하여야 한다. 즉, 여기상태로 에너지 준위가 상승된 원자가 안정상태의 원자보다 많을 경우 밀도반전(population inversion)이라고 한다.(그림 6 참조)

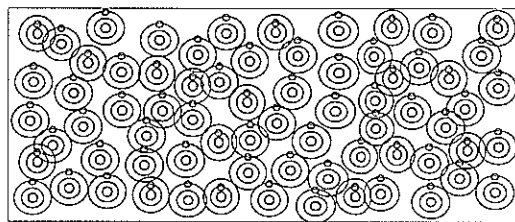


그림 6 밀도 반전. 기저상태의 원자보다 여기상태의 원자 수가 더 많다.

밀도반전 상태가 되면 수많은 높은 에너지 상태의 원자 중 한 개가 외부로부터의 펌핑에 의해 광자를 흡수하여 빛을 내게되고 이것이 주변의 다른 여기상태의 원자를 자극하여 빛을 내게 하여 두 개의 광자가 또 주변의 두 원자를 자극하여 네 개의 광자가 방출된다. 이러한 과정이 연쇄적으로 일어나 기하급수적으로 결이 맞는 빛의 광자 수가 증가하게 되는데 이를 레이저발진이라고 한다. 이렇게 하여 레이저가 생성되면 레이저는 레이저매질의 양쪽 끝에 있는 거울에 의해 왕복반사되면서 증폭된다. 증폭된 레이저는 한쪽 끝에 있는 빛의 일부를 투과하는 거울을 통해 외부로 나오게 되며, 우리는 이 레이저를 여러 목적으로 사용하게 된다. 이때 생성된 각 레이저의 고유한 파장은 사용된 레이저매질에 의해 결정된다.(그림 7 참조)

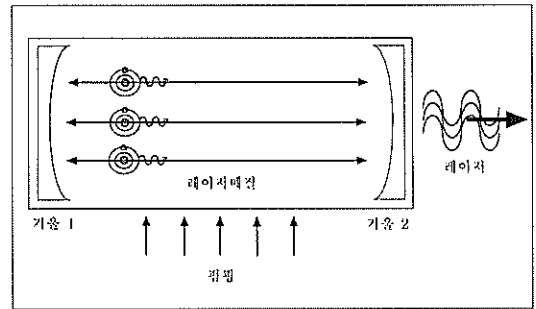


그림 7 레이저 발진. 외부의 펌핑으로부터 광자가 흡수되어 레이저매질에 의해 레이저가 생성되며 이 레이저는 양측에 있는 거울에 의해 반사되면서 증폭된다. 이때 거울 1은 100% 반사되는 거울이며 거울 2는 일부분의 빛이 투과되는 거울로 되어 있다. 거울 2를 통해 투과된 레이저를 사용하게 된다.