

전기로 움직이는 100만분의 1m 최소형 레이저

글_ 박홍규 박사 한국과학기술원 ppakkong@kaist.ac.kr

자연계에는 색소가 없이도 색깔이 나타나는 경우가 있다. 이를 '구조색'이라 하는데, 몰포 나비의 파란 날개, 무지갯빛 보석인 오팔 등이 이에 해당한다. 특정한 파장의 빛만을 표면에서 반사시키고 나머지는 투과시키는 이러한 구조를 현미경으로 자세히 관찰하여 보면, 굴절률이 다른 두 가지 물질이 빛의 파장 정도의 주기성을 가지고 주기적으로 배열되어 있음을 볼 수 있다(그림1 참조). 이와 같은 구조를 광결정 구조라 부른다. 광결정은 인위적으로도 쉽게 제작할 수 있다. 반사시키기를 원하는 색깔을 정하고 이에 맞는 물질들을 적당한 주기로 배열시키기만 하면 되는 것이다. 최근에는 한 자동차 회사에서 광결정을 자동차 표면에 코팅하여 원하는 색을 얻어 내는 것을 상품으로 내놓기도 하였다.

광결정은 특정 빛을 100% 반사시키는 거울로서의 역할뿐 아니라, 광결정 내부의 특정 부분에만 주기성이 깨진 결합을 만들면 그 응용성이 보다 넓어질 수 있다. 광결정 내부에서 발생되거나 혹은 외부에서 들어온 빛은 결합 주변이 모두 매우 좋은 거울로 되어 있기 때문에 결합 부분에만 모이게 된다. 결합을 어떠한 모양으로 만드느냐에 따라 빛을 원하는 대로 조절하고 가둘 수 있게 되는 것이다. 즉 빛을 공간적으로 가두어 놓는 공진기나 빛이 지나갈 수 있는 특정한 길

인 광도파로(waveguide) 등을 제작할 수 있다. 특히 광결정은 그 크기가 빛의 파장 정도이므로, 이러한 장치들의 크기가 매우 작아질 수 있다는 장점이 있다. 따라서 위 장치들이 결합된 초미세 광집적회로를 만드는 것도 가능하며, 이는 현재의 반도체 칩에서 제기되고 있는 열 및 속도 문제를 해결할 수 있으리라 기대한다.

구현 가능한 가장 작은 레이저에 도전

레이저는 일반적으로 빛을 가둘 수 있는 공진기에 발광 물질을 넣고 에너지를 가하여 빛의 유도방출을 일으킴으로써 생성된다. 마찬가지로 주기적으로 배열된 광결정 구조에 하나의 결합을 두어 공진기를 만들면 광결정 레이저를 만들 수 있게 된다. 광결정 레이저는 다른 레이저와는 달리 공진기가 매우 좋은 거울들로 둘러 싸여 있고, 또한 그 크기가 빛의 파장 정도로 매우 작으므로, 적은 에너지만으로도 레이저 구동이 가능해질 뿐 아니라 빠른 변조가 가능하여 이러한 레이저는 고효율, 초고속 광통신에 유용하게 사용될 수 있다. 광결정 레이저는 일반적인 반도체 공정을 사용하여 쉽게 제작이 가능하다. 광통신에 유리한 장파장 광결정 레이저의 경우, 보통 발광 물질을 InGaAsP(인듐 갈륨 비소 인)을 사용하여 제작하게 되는데, 이 때 공진기의 크기는 약 1 μ m 정도로 머리카락의 약 100분의 1정도로 작다. 전자빔 리소그래피나 반도체 식각 장비 등을 사용하여 매우 작고 섬세한 나노 패터닝이 만들어 진다. <그림 2>는 반도체 기판 위에 주기적으로 공기 구멍을 뚫어 제작된 광결정의 전자 현미경 사진이다. 구멍의 지름은 약 300nm 정도로 매우 작음을 알 수 있다.

발광 물질에 에너지를 가하여 빛을 내는 과정을 펌핑 과정이라 한다. 광결정 레이저의 경우 현재까지는



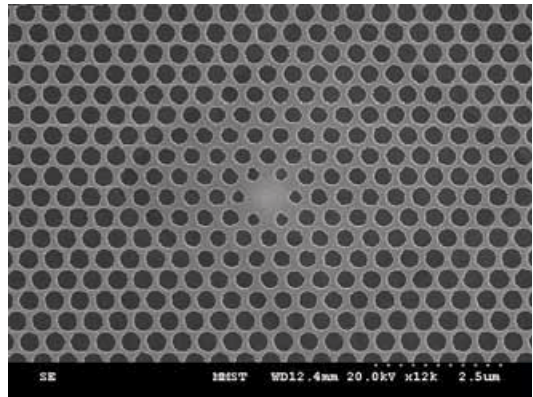
(그림 1) 몰포 나비(왼쪽)와 오팔의 전자 현미경

발광의 에너지원으로서 다른 레이저를 사용하는 광펌핑에 의해서만 동작되어 왔다. 즉 원하는 레이저를 구동하기 위해서 또다른 레이저가 필요하게 되는 번거로운 과정이 필요하다. 또한 펌핑을 위해 가해진 에너지 중 약 20%의 적은 양만이 실제로 발광물질에 흡수되므로 효율도 상당히 감소하게 된다. 따라서 실제로 산업에 응용하기 위해서는 전기로 구동되는 레이저의 구현은 필수적인 일 중의 하나이다.

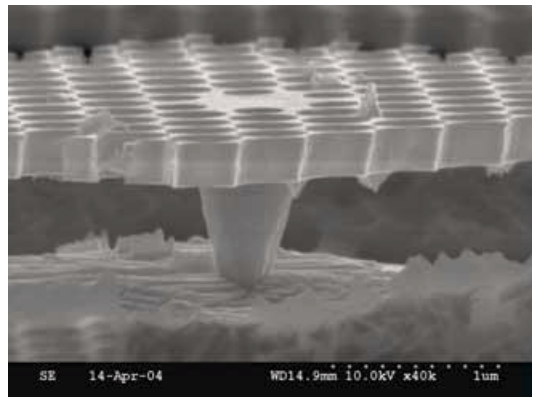
광결정 레이저를 전기로 구동시키기 위해서는 우선 공진기 주위에 전기가 흐를 수 있는 길(path)을 만들어야 한다. 공진기가 매우 작기 때문에 실험적으로 이 길을 만드는 것은 상당히 어려운 일이다. 공진기 아래에 지름 300nm 정도의 미세 기둥을 염산을 이용한 습식 식각 방법으로 저온에서 식각 시간을 조절하면서 제작한다(그림3 참조). 이 기둥은 그 크기가 매우 작으므로 광결정의 다른 특징들은 훼손시키지 않으면서 전기를 흘릴 수 있다. 그 결과 공진기내에 있는 발광물질은 기둥을 통해 흐르는 전기에 의해 빛을 발생시키고, 이 빛은 주위의 광결정에 의해 유도 방출됨으로써 레이저 구현에까지 이를 수 있다. 구현 가능한 가장 작은 레이저에 근접하게 되는 것이다. 이 실험 결과는 최근 KAIST 그룹에 의해 미국 '사이언스'지에 발표되었다.

단일 광자원 통신 활용 시 도청 가능성 제로

최근 하나의 광자만을 만들 수 있는 '단일 광자원'에 대한 연구가 세계 유수의 연구 그룹에서 활발히 진행되고 있다. 단일 광자원은 빛 입자, 즉 빛 알갱이를 하나씩 만드는 장치로서, 통신에 활용될 경우 절대 도청이 불가능하게 된다. 광자를 하나씩 보내면 도청을 시도할 때 광자의 상태가 바뀌기 때문에 도청이 불가능해 지는 것이다. 비유적으로 말하면, 처음에 구슬 상태의 광자를 하나씩 보냈을 때 누군가가 도청을 시도하면 구슬의 상태가 깨어지면서 전혀 다르게 바뀐다. 도청하는 사람은 잘못된 정보를 얻을 뿐 아니라 도청 여부도 금방 들뜬다. 현재의 통신은 다발 형태로 빛 또는 전파 신호를 전달한다. 예를 들어 신호의 진폭




(그림 2) 실험적으로 제작된 광결정의 전자현미경. 가운데에 구멍이 뚫리지 않은 부분이 공진기가 된다.(KAIST 제공)



(그림 3) 실험적으로 제작된 미세 기둥의 전자현미경.(KAIST 제공)

으로 정보를 보낸다고 할 때 신호의 일부만 빼내면 도청이 가능해 진다. 또 도청된 신호는 진폭이 다소 줄어들지만 도청의 여부를 판단하기란 쉽지 않다.

단일 광자원을 실제로 만들기 위해서는 손실이 매우 적고 크기가 매우 작은 공진기가 필요하다. 또한 전기로 구동되는 레이저의 경우 전기를 아주 약하게 흘리면 광자를 하나씩 조절하는 것도 가능하다. 전기로 구동되는 광결정 레이저는 이러한 어려운 필요 조건을 모두 충족시키고 있다. 앞으로 많은 보완과 개선이 필요하겠지만, 광결정을 이용한 도청이 불가능한 초고속 광통신의 구현이 멀지 않은 미래에 가능해질 것이다. 



글쓴이는 한국과학기술원 물리학과를 졸업 후 동대학원에서 석사·박사학위를 받았다. 현재 KAIST 물리학과에서 박사 후 연구원으로 재직중이다.