

마이크로 공진기 레이저는 광결정 레이저, VCSEL 등과 함께 개발되고 있는 극소형 레이저의 하나이다. 최근의 동향은 VCSEL의 개발은 주춤해진 반면 광결정 레이저와 마이크로 공진기 레이저가 많이 개발되고 있다. 마이크로 공진기 레이저가 다른 두 극소형 레이저와 다른 점은 VCSEL이나 광결정 레이저에서의 레이저 발진은 표면으로 나오는데 비해 마이크로 공진기 레이저는 일반 다이오드 레이저와 마찬가지로 빛이 면에 평행하게 나온다. 이런 특성 때문에 마이크로 공진기 레이저는 미래, 광전자회로, 광통신 및 각종 검지기로서의 광원으로 개발되고 있으며, 궁극적으로는 광집적 회로에서 필요한 극소형의 레이저로서의 사용 가능성이 크기 때문이다.

마이크로 공진기 레이저의 발전은 그림1과 같이 원형의 레이저에서 출발하였다. 레이저의 발진 원리는 그림처럼 레이저 빛이 내부전반사에 의해 공진기 내부에 속박되므로

의 레이저를 광섬유와 결합시켜 높은 Q값의 레이저 빛을 얻을 수는 있으나 문제는 방향성이 없는 것이 레이저의 응용을 제한하게 한다. 이런 문제를 해결하기 위하여 원형에서 찌그러진 공진기들에 대한 연구를 진행하여 왔다.

마이크로 공진기는 뚜껑개 수 마이크로미터 이내로 납작하기 때문에 일반적으로 2차원 공진기로 간주된다. 2차원 공진기에서 레이저의 공진 조건을 구하려면 편미분 방정식인 Helmholtz 식을 풀어야 한다. 원형이나 사각형의 경우 변수분리에 의해 풀이가 쉽지만 찌그러진 공진기는 변수 분리하여 풀 수 없는 경우가 대부분이다. 이런 공진기를 혼돈공진기라 부르는데 이 경우 광선 추적을 통하여 빛의 진행 방향을 보면 그 경로가 불규칙한 혼돈 양상을 보인다. 스타디움 형태의 공진기에서 광선 추적에 의해 광경로의 불규칙성을 보인 것이 그림2이다. 이 경우 내부의 공진 모드를 양자 혼돈으로 분석하는데, Helmholtz 식을 이용 수

특집 ■ 레이저 50주년특집 – 레이저의 발전과 응용

마이크로 공진기 레이저

김철민*

거울 없이 레이저가 발진하게 된다. 이때 외부로 발진하는 레이저 빛은 Evanescent wave 혹은 표면 거칠기에 기인하여 극히 일부의 빛이 외부로 레이저로 빠져나가게 된다. 그림에서와 같이 공진기의 경계면을 따라 회전하면서 나오는 공진 모드를 Whispering Gallery 모드라고 부른다. 이 경우 내부 전반사에 의해 빛이 거의 바깥으로 빠져나가지 않기 때문에 손실이 극히 적어 높은 Q값을 가지고 있으며 그 문턱 에너지가 매우 낮아 광집적회로의 광원으로 가능성이 크다. 그러나 원형의 경우 레이저의 발진이 전방향으로 대칭적으로 일어나고 이로 인해 레이저의 출력이 낮다. 이런 문제점들은 레이저의 응용을 제한시키게 된다. 물론 원형

치해석적으로 풀면 내부의 양자화된 공진 모드는 일정한 문양을 따른다. 이 문양이 혼돈공진기 내부의 불안정 궤도에 국소화되어 나타난다. 이것을 Scar라 부르는데 실제 레이저는 경계면에서 손실이 있으므로 경계면의 조건을 이용하여 수치해석적으로 구하면 공진기 내부의 공진 모드들을 Q값에 따라 구할 수 있다. 그림 3은 나선 공진기에서 나타나는 준 scar 공명 문양이다. 레이저는 이런 문양을 따라 외부로 레이저가 발진하게 되는데 Scar는 그 문양이 경계면에서 반사되므로 레이저는 문양이 경계면에 부딪치는 지점에서 발진하게 된다. 경계면과 부딪치는 지점의 수는 모드에 따라 다른데 부딪치는 지점의 수가 많지 않으므로

* 서강대학교 물리학과

마이크로 공진기 레이저

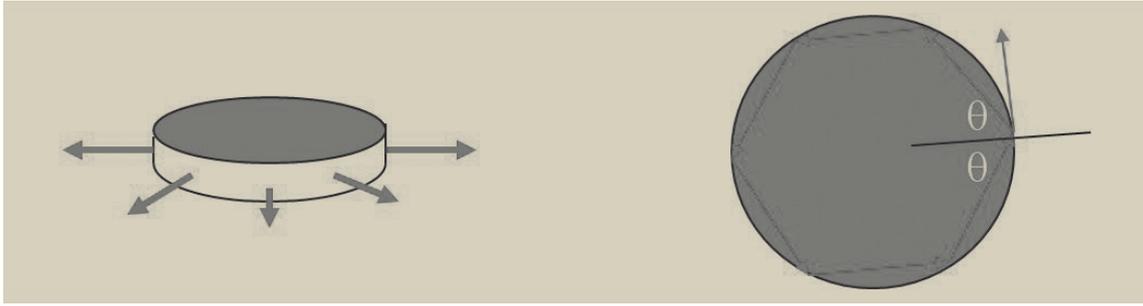


그림 1. 마이크로 공진기 레이저의 발진 방향성과 내부 전반사에 의한 구속

레이저는 방향성을 가지게 된다. 이런 부딪치는 점에서도 입사각이 임계각보다 크면 그 지점에서의 발진이 약하고 임계각보다 작으면 그 지점에서의 발진이 강해진다. 이런 이유로 특히 방향성이 좋은 공진기 조건을 설계할 수 있다. 그림은 5곳에서 발진이 생기는 *준scar* 공명이다. 이런 방향성의 조사는 광선 추적법에서 경계면에서의 손실을 고려하여 남은 빛이 경계면에 따라 어떻게 분포되어 있는지를 살펴보면 레이저의 발진 방향성과 발진 모드를 대체로 알 수 있게 된다.

이런 양자 혼돈에 기반한 이론과 실험의 발달로 최근에는 단일 방향으로 발진하는 레이저들에 대한 연구가 진행되고 있다. 단일 방향이 발진하면 *Fabry-Perot* 공진기에서와 마찬가지로 한쪽 방향으로 레이저가 발진하는 *Q*값이 아주 높은 극소형 레이저를 만들 수 있다. 현재까지 구한 단일 방향 발진 레이저는 나선형, 둥글린 삼각형, 반지형, *Limaçon*, *gibbous*형, 등에서 구하였다. 본 실험실에서 구한 공진기에서도 높은 *Q*값의 단일 방향 발진을 이론적으로 구하였다. 이들 중 *Q*-값이 높으면서도 단일 방향으로 발진하는 레이저는 *Limaçon*과 *gibbous*형, 타원 결합 공진기이다. 이 두 공진기는 모두 원형에서 조금만 일그러져 있는 혼돈 공진기이다. *Limaçon*과 *gibbous*형 공진기 레이저에서 단일 방향 발진은 실험적으로도 높은 *Q*값을 갖는 것이 증명되었다. 또한 그림4에서 보는 바와 같이 타원

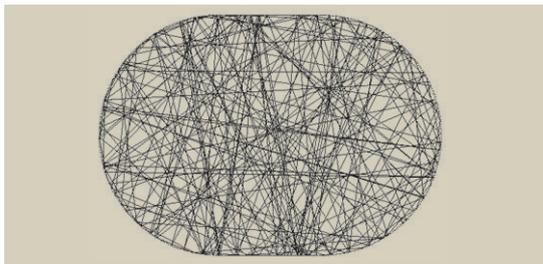


그림 2. 스타디움 공진기에서의 혼돈궤적

결합 공진기에서도 높은 *Q*값의 레이저가 발진하는 것을 볼 수 있다.

현재는 *Limaçon*이나 *gibbous*형과 같은 레이저에서의 레이저 발진 특성을 양자 혼돈의 입장에서 좀 더 정밀하게 분석하는 일들과 다른 새로운 형태의 공진기에서 단일 방향이나 두 방향의 레이저 발진이 가능한지에 대해서도 연구하고 있다. 또한 이런 레이저를 미래 광집적회로의 광원으로로서의 가능성 뿐 아니라 광학적 감지기로서의 가능성과 광통신용 광원으로로서의 가능성을 검토하고 있다. 또한 이런 구조에서의 광 필터, 광 스위치 등의 통신용으로서의 가능성도 검토되고 있다. 결론적으로 미래에는 이런 마이크로 공진기 레이저의 크기를 극소화시켜 광집적회로에 넣어 결맞음성이 좋은 광원을 얻을 수 있으면 광집적회로의 발달에 크게 기여할 것이다.

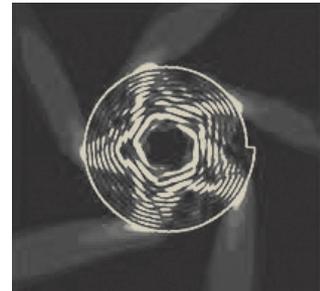


그림 3. 나선 공진기에서의 레이저 준주기 SCAR 문양과 발진 방향성

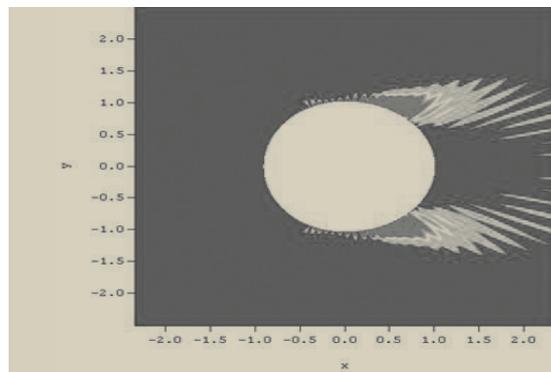


그림 4. 단일 방향발진 마이크로 공진기 레이저