

깊게 식각된 다중모드 결합기로 구성된 광대역 파장가변 결합 링 반사기 레이저 다이오드

Widely Tunable Coupled Ring Reflector Laser Diode Consisted of Deeply Etched MMI Coupler

김수현^{1,2}, 김두근³, 정영철², 김선호¹, 변영태¹

¹한국과학기술연구원 지능시스템연구본부, ²광운대학교 전자통신공학과, ³중앙대학교 전자전기공학부
byt427@kist.re.kr

외부의 제어회로를 통해 여러 파장으로 발진파장을 변화시킬 수 있는 파장가변 레이저 다이오드는 고정된 파장의 레이저 다이오드에 비해 여러 경제적 이점을 가지며 보다 유연한 광 네트워크의 구성을 가능하게 한다. 이러한 이유로 현재까지 다양한 구조의 파장가변 레이저 다이오드가 제안되고 개발되어 왔다⁽¹⁾. 집적형 반도체 파장가변 레이저 다이오드는 격자(grating)로 구성된 구조에 대해서 주로 연구되어져 왔으나, 최근에는 링 공진기 기반의 파장가변 레이저 다이오드에 대한 연구가 새롭게 진행되고 있다. 링 공진기는 광 도파로를 제작하기 위한 기본적인 포토 리소그래피와 식각공정으로 만들 수 있기 때문에 격자 구조에 비해서 제작하기 쉬운 장점을 가지고 있지만, 소자의 크기가 크다는 단점을 안고 있다.

본 논문에서는 결합 링 반사기를 이용한 광대역 파장가변 레이저 다이오드를 제작하였다. 제작된 레이저 다이오드는 그림 1에서와 같이 두 개의 링 공진기가 결합된 형태로 직선 도파로와 링 공진기 내부에 이득영역을 집적하여 레이저 다이오드로 동작할 수 있도록 하였다. 특히 링 공진기의 크기를 줄이기 위해서 그림에서와 같이 링 공진기는 전반사 반사기로 구성하여 사각형 모양이 되도록 하였고 직선 도파로와 링 공진기 사이의 결합은 다중모드 간섭 결합기로 구성하였다. 다중모드 결합기의 길이는 도파 모드에 비례하기 때문에 깊게 도파로를 식각하여 도파 모드의 크기를 줄였다. 또한 임출력 도파로의 간격이 가까운 제한적 간섭(restrict interference)으로 구성하여 다중모드 간섭기의 길이를 짧게 하였다⁽²⁾. 이렇게 해서 제작된 결합 링 반사기를 구성하는 2 x 2 다중모드 간섭기의 길이와 폭은 110 μm 와 9 μm 이었다.

레이저 다이오드의 동작원리는 다음과 같다. 이득영역에서 생성된 광파는 다중모드 간섭 결합기에 의해 첫 번째 링 공진기에 결합되어 링 공진기에서 공진하게 되고, 이 공진되는 광파는 다시 방향성 결합기에 의해서 두 번째 링 공진기에 결합되어 공진하게 된다. 두 번째 링 공진기의 다중모드 간섭 결합기에 의해서 다시 직선도파로 결합되는 광파는 이득영역으로 되돌아가는 반사파가 되며, 두 링 공진기의 공진조건을 만족하는 파장에서 반사파가 형성된다. 두 링 공진기의 주회길이(perimeter)가 같은 경우 결합 링 반사기의 반사 스펙트럼은 일정한 간격의 반사 피크를 가지게 되며, 그 간격은 링 공진기의 free spectral range 와 같다. 주회길이가 서로 약간 다른 경우 두 링 공진기의 공진조건이 같은 파장에서 가장 큰 반사 피크 값을 가지고, 그 파장에서 멀어질수록 반사 피크의 크기가 점점 줄어들게 된다. 이러한 결합 링 반사기의 반사 특성에 의해서 두 공진기의 공진조건을 동시에 만족하는 파장에서 레이

저 다이오드는 발전하게 되며 링 공진기의 공진조건을 변화시킴으로써 버니어 효과에 의한 파장가변이 가능하게 된다. 결합 링 공진기의 반사 스펙트럼 특성은 링과 직선 도파로, 링 도파로 사이의 결합계수에 의해서 결정되어지며, 두 공진기의 공진조건을 만족하는 파장에서 단일 반사 피크를 가지는 결합계수의 관계는 식 (1)과 같다⁽³⁾.

$$\kappa_1 = \frac{\sqrt{2\kappa_0^2 + 2\sqrt{2}\kappa_0 + 2\kappa_0\sqrt{1-\kappa_0^2}}}{1 + \sqrt{2}\kappa_0} \tag{1}$$

여기서 κ_0 은 직선 도파로와 링 공진기 사이의 다중모드 간섭 결합기의 결합계수이고 κ_1 는 링 공진기 사이의 방향성 결합기의 결합계수이다. 다중모드 간섭 결합기는 3 dB로 광파를 결합시키기 때문에 방향성 결합기의 결합계수는 식(1)을 만족하는 0.14가 되도록 설계하여 제작하였다. 이득영역의 집적은 offset quantum well 기술로 수행하였고, 전반사 거울과 깊게 식각된 다중모드 결합기는 self-align 공정으로 제작되었다. 제작결과 그림 2와 같이 레이저 다이오드의 위상제어영역에 인가되는 전류에 따라 발전파장이 약 10 nm 정도 가변됨을 볼 수 있었고, 발전 파장의 부모드 억제율은 모두 25 dB 이상이었다.

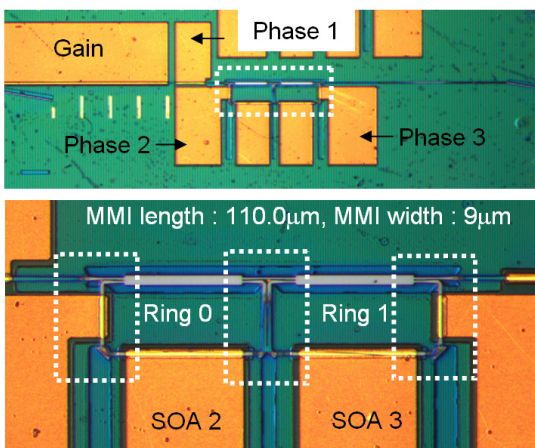


그림 1. 제작된 파장가변 결합 링 반사기 레이저 다이오드

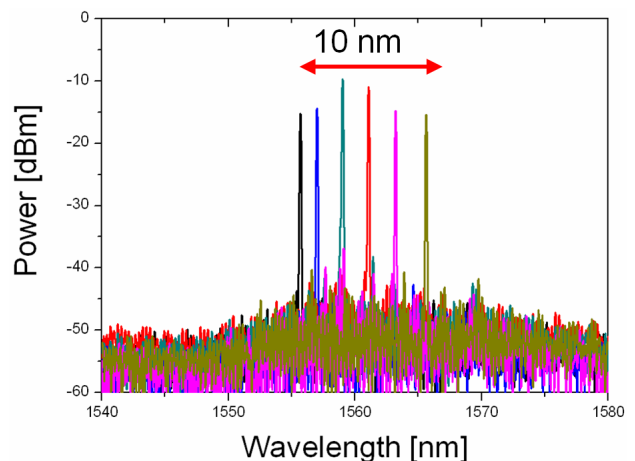


그림 2. 출력 스펙트럼

본 논문은 한국과학재단 특정기초 연구비[R01-2006-000-10751-0] 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

1. L. A. Coldren, "Monolithic tunable diode lasers", IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics 6, 988-999, Nov/Dec (2000).
2. Lucas B. Soldano and Erik D. M. Pennings, "Optical multi-mode interference devices based on self-imaging: principles and applications." Journal of Lightwave Technology, 13, 615-627 April (1995).
3. Y. Chung, D. Kim, N. Dagli, "Reflection properties of coupled ring reflector," Journal of Lightwave Technology, 24, 1865-1874, April (2006).