

# 표면 격자형 DBR 레이저를 위한 DBR 반사기의 설계 및 제작

## Design and Fabrication of a Distributed Bragg Reflection Mirror for a Surface Grating DBR Laser

김용관, 유재수, 송진동, 김종민, 이용탁  
광주과학기술원 정보통신공학과  
ykkim@kjist.ac.kr

일반적으로, DBR(distributed Bragg reflector) 레이저를 제작할 때에 격자 위에 재성장 공정이 필요한데, 격자 모양을 유지하기 위해서 세심한 주의가 요구된다.<sup>(1)</sup> 표면 격자형 구조는 단일 에피 성장만으로 소자 제작이 가능하여 보다 간단한 공정에 의한 DBR 레이저 제작에 응용되고 있다.<sup>(2)</sup> 그러나, 이 레이저 구조에서는 표면 격자가 DBR 반사기로 사용될 때 이득 영역과 반사기의 도파로 영역이 같은 물질이기 때문에 흡수 손실이 발생한다. 또한, 반도체 물질과 공기간의 큰 굴절률 차이로 인해서 산란 손실이 발생한다. 이러한 손실을 최소화 하기 위해 격자의 홈을 깊게 새김으로써 짧은 격자 길이에서도 높은 결합효율을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 3차 브래그 조건의 격자 주기를 갖는 표면 격자 DBR 반사기의 설계 및 제작에 대해 보고한다. DBR 반사기를 설계하기 위한 수치해석 방법으로 유효굴절률 방법과 전송행렬 방법을 사용하였으며, 전자빔 묘화(e-beam lithography)와 반응성 이온식각 장비(reactive ion etching : RIE)를 사용하여 시편을 제작하였다.

그림 1에  $1.55\mu\text{m}$  InGaAs/InGaAlAs/InP SCH 레이저 다이오드 구조를 기본으로 한 표면 격자 DBR 반사기가 나타나 있다. 도파로의 폭과 높이는 횡면 전계 분포를 고려하여 단일 모드로 동작하도록 설계되었다. 에피 구조는 하위 클래딩(InAlAs) 층 두께 200nm, 양자우물(InGaAs) 두께 8.1nm, 장벽(InGaAlAs) 두께 140nm, 상위 클래딩(InAlAs) 층 두께 200nm, 그리고 InP 층 두께 400nm로 구성되어 있다. 설계된 에피 구조는 InP 위에 격자정합시켜서 VG Semicon사의 V80H-10K MBE로 성장하였다.

시편을 성장시킨 후, InP에 표면 격자를 형성하기 위한 공정이 수행되었다. InP 식각을 위한 마스크로 85nm의  $\text{SiO}_2$ 가 PECVD에 의해 증착되었다. 도파로는 노광장치와 RIE를 이용해서 형성하였다. 전자빔 묘화를 위한 PR(950PMMA)이 스핀 코터(spin coater)에 의해 430nm 두께로 도포된 후, 170°C에서 1시간 동안 구웠다. 도파로 상에 PR 격자 형성을 위해, 빔 전류 0.05nA,  $167\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 의 조사량에서 전자빔 묘화로 Mix and match exposure 공정을 하였다. PR에 격자 패턴을 새긴 후, IPA:H<sub>2</sub>O (9:1) 용액에서 1분 20초간 현상하였다. 그림 2는 도파로 상에 PR 격자가 현상된 SEM사진을 나타낸다.

RIE에 의한 건식 식각 공정은 이미 보고된 결과를 사용하였다.<sup>(4)</sup> PR 패턴을 마스크로해서  $\text{SiO}_2$ 는 100mTorr, 100W에서  $\text{CF}_4/\text{O}_2(20\text{sccm})$ 가스에 의해 2분 45초간 건식 식각하였다. 잔류되어 있는 PR은  $\text{O}_2$  ashing에 의해서 제거되었다. InP는 30mTorr, 100W에서  $\text{CH}_4(15\text{sccm})/\text{H}_2(40\text{sccm})$  혼합가스에 의해 13분간 건식 식각되었으며, 식각 과정에 생성된 고분자는  $\text{O}_2$  ashing을 수행하여 제거하였다.

그림 3은 도파로 폭  $3\mu\text{m}$ , 높이  $0.4\mu\text{m}$ , 격자 홈 깊이  $0.37\mu\text{m}$ , 격자 주기  $0.72\mu\text{m}$ (duty 비 1:1), 그리고 DBR 길이  $400\mu\text{m}$ 로 제작된 표면 격자 DBR 반사기를 나타낸다. 높은 소광비를 갖도록 하기 위해서, duty 비를 1:1로 하였고, 격자 홈 깊이는 InP 층 두께에 근접하도록 깊게 식각하였다.

제작된 시편은  $2.5\text{mm}\times 10\text{mm}$ 로 쪼개어, butt-coupling 방법에 의해 측정하였다. 파장가변 레이저로

부터 나온 빛은 tapered 광섬유를 통해서 시편의 쪼개진 단면에 입사되었다. 시편을 통과해서 나온 빛은 collimator로 모음점 조정되어 OSA(optical spectrum analyzer)로 투과 스펙트럼이 측정되었다. 파장가변 레이저와 OSA는 컴퓨터에 의해서 제어되며 OSA에서 측정된 투과 스펙트럼은 컴퓨터에 기록되었다.

그림 4는 측정된 결과와 전산시뮬 결과를 비교한 그래프다. 전산시뮬에 사용된 변수는 격자 '홈' 깊이가  $0.4\mu\text{m}$ 을 제외하고 상기한 시편의 구조 변수와 같다. 측정 결과  $1549.5\text{nm}$  파장에서 소광비 15dB, 3dB 필터 밴드폭은  $2.3\text{nm}$ 로 측정되었다. 전산시뮬 결과에 비교해서 소광비는 4dB정도 적은 값을 나타내며, 파장은  $0.5\text{nm}$ 만큼 천이하였다. 이러한 파장과 소광비의 차이는 전체 격자 구조에서 부분적으로 duty 비가 변화되어서 나타난 것으로 추정된다. 측정 결과에서 최저의 투과값 주변에 요동이 발생하였는데, 이 현상은 시편과 collimator 사이에서 발생한 Farby-Perot 공명에 기인한다. 전산시뮬 결과는 이 효과를 고려하지 않았다.

본 논문에서는 3차 브래그 조건의 격자 주기를 갖는 표면 격자형 DBR 반사기를 설계하고 제작하여 필터 특성을 측정하였다. 차후의 과제로는 표면 격자 형성 공정을 더 개선하여, 최적의 필터 특성을 얻는 것과 표면 격자형 DBR 레이저를 제작하는 것이다.

\*참고 문헌

1. D.Franke and H. Roehle, J. Cryst. Growth **170**, 113-116(1997).
2. R.M. Lammert, J.S. Hughes, IEEE Photon. Technol. Lett., **9**, 149-151(1997).
3. Jin Dong, Song, Jae Su Yu and Yong Tak Lee, Photonics Conference 2000, 63-64(2000).
4. Jae Su Yu, and Yong Tak Lee, J. Kor. Phys. Soc., **36**, 84(2000).

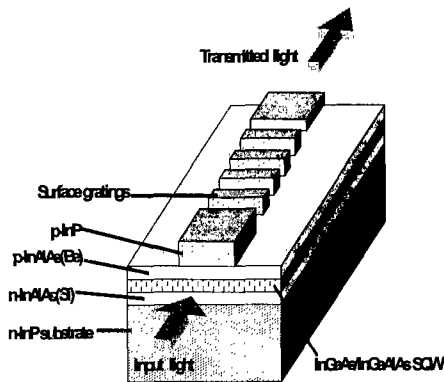


그림 1. 표면 격자형 DBR 반사기의 시편 구조.

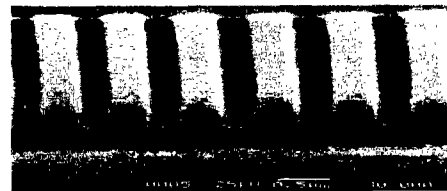


그림 2. 현상된 PR SEM 사진.

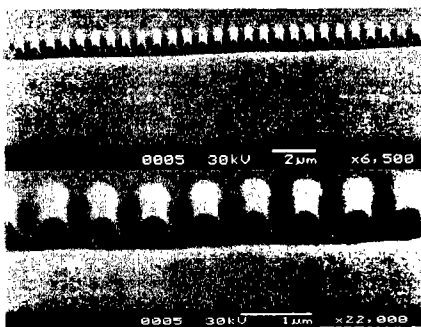


그림 3. 제작된 표면 격자 DBR 반사기. 도파로폭  $3\mu\text{m}$ , 높이  $0.4\mu\text{m}$ , 격자 홈 깊이가  $0.37\mu\text{m}$ , DBR 길이  $400\mu\text{m}$ , 3차 브래그 조건의 격자 주기  $0.72\mu\text{m}$ , duty 비 1:1

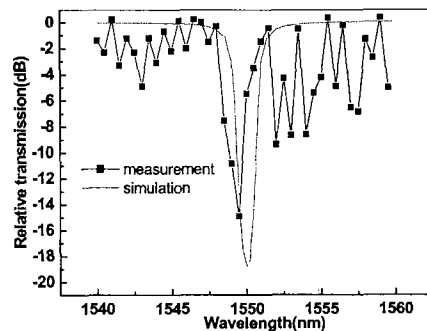


그림 4. 측정된 결과와 전산 시뮬의 결과 비교. 전산 시뮬 결과는 시편과 collimator사이에서 발생한 Farby-Perot 공명을 고려하지 않음

FE