

## MOCVD로 성장한 AlGaAs/AlAs 다중 layer mirror에 관한 연구

안정착, 손낙진, 박성수, 이재춘, 최영수\*, 강용철\*, 김재기\*, 권오대  
포항공과대학교 전자전기공학과 ; \*국방과학연구소

## Studies on MOCVD-grown AlGaAs/AlAs multi-layer mirror

Jung Chak Ahn, Nak Jin Son, Sung Soo Park, Jae Chun Lee,  
Young Soo Choi\*, Eung Cheol Kang\*, Jai Ki Kim\* and O'Dae Kwon  
Department of Electronic and Electrical Engineering, POSTECH ; \*ADD

최근 광통신을 위한 반도체 레이저 및 광검지소자의 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 소자들의 OEIC로의 구현과 효율적인 광전송을 위해서는 빛이 소자의 표면에 수직하게 방사되는 것이 요구되며, 이러한 역할과 더불어 소자의 luminescence의 효율을 배가시키기 위해서 mirror stack의 역할은 중요하다[1]. III-V족 화합물 반도체의 경우, 이러한 mirror stack은 GaAs 기판위에 MBE 또는 MOCVD를 이용하여 성장된다. 이미 Streifer 등이 거의 100%에 가까운 반사율을 갖는 mirror stack을 MOCVD를 사용하여 성장할 수 있음을 보인 이후[2], epitaxial mirror는 표면방출형 레이저다이오드(surface emitting laser diode), 원형 그레이팅 레이저다이오드(concentric circle grating laser diode), SEED(Self Electro-optic Device)등 다방면에 응용되어 왔다[3, 4, 5]. 하지만, 이러한 mirror stack에 관한 연구는 주어진 파장 대역에서 높은 반사율을 가지는 방향으로만 연구가 집중되어져왔다. 본 연구에서는 실제 실험을 통하여 얻어진 mirror stack의 반사도 스펙트럼의 다양한 모양을 transfer matrix method을 이용한 계산을 통하여 측정 결과를 설명하였다. 이러한 분석결과는 mirror stack의 새로운 응용분야로의 개척을 내다볼 수 있는 잠재적인 가능성을 말해준다.

본 실험에서는 GaAs의 기판위에  $Al_{0.12}Ga_{0.88}As$ 와 AlAs가 교대로 이루어진 한쌍을 ~20층정도 쌓아올린다. 샘플은 유기세척을 거친후, 산화막을 제거하기 위하여  $H_2SO_4 : H_2O_2 : H_2O$  (4:1:1)의 용액에서 에칭(etching)을 한 후 MOCVD의 챔버안에 넣어진다. 성장시 V/III 비는 ~60이고, 성장온도는  $735^{\circ}C$ 로 유지되었다. 이때 성장두께는  $\sim 0.06\mu m/min$ 의

성장속도로 성장시간에 비례한다. 본 실험에서  $\lambda/4$  mirror stack을 위하여 요구되는 각층의 두께는  $\sim 700\text{\AA}$  정도이다.

이렇게 해서 성장된 후에 분광기(spectrometer)를 이용하여 단색광을 만들고 샘플에의 해 반사된 빛은 Ge-Photodiode로 감지되어 상대적 반사율 그래프를 얻는다. 이때 반사율이 0.99인 금(gold)를 기준으로 하여 위에서 얻은 반사도 스펙트럼을 규격화(normalize)하여 mirror stack의 절대적 반사도 스펙트럼을 얻는다.

광학 이론에 의하면, mirror stack이 거의 1에 가까운 높은 반사율을 얻기 위해서는 굴절율이 서로 다른 두개의 층을 교대로 쌓아야한다. 이때, 각 층의 두께는  $\lambda_0/4n$ 이 된다( $\lambda_0$ 는 진공에서의 파장,  $n$ 은 각층의 굴절율). 본 연구에서는 GaAs substrate위에  $Al_{0.2}Ga_{0.88}As$ 와 AlAs를 교대로 쌓아 mirror stack을 만들었다.

그림 1에서는 MOCVD로 성장시 각 층의 성장 시간을 변화시키면서 mirror의 반사도가 어떻게 바뀌는가를 본 것이다. 각 경우의 성장 시간은 그림의 설명에 표시되어 있다. (a),(b),(c)로 가면서 반사도의 중심파장의 위치가 성장 길이[시간]의 선형적인 함수로 표시될 수 있음을 알 수 있다. 그림 1에서 (a),(b)의 경우 반사도의 윗부분이 거의 평평한 반면, (c)의 경우, 반사도의 윗부분이 경사짐이 관찰된다.

이것은 그림 2의 계산된 스펙트럼에서 보듯이 두 layer중의 하나가  $\lambda/4n$ 길이보다 짧거나 길기 때문이다. 그림 2(a)에서 AlGaAs층의 길이가  $\lambda/4n(60.0nm)$ 보다 5nm가 짧을 경우는 반사도의 단파장쪽이 위로 올라감을 알 수 있다. 또, 그림 2(b)에서 AlAs층의 길이가  $\lambda/4n(71.1nm)$ 보다 7nm가 짧을 경우는 반사도의 장파장쪽이 위로 올라감을 확인 할 수 있다. 이런 현상이 심한 경우 즉, 각 층의 두께가  $\lambda/4n$ 에서 많이 벗어날 경우 그림 3에서와 같이 반사도에 있어서 많은 왜곡이 생긴다. 이 현상을 좀더 자세히 알아보기 위해 다음의 계산 결과를 보자.

그림 4에보면, 중심파장이 900nm에 맞추어진 15쌍의 mirror에서 AlGaAs층의  $\lambda/4n$ 는 75.3nm이고, GaAs층의  $\lambda/4n$ 는 63.6nm이다. 여기서, AlAs층의 두께를 5nm씩 감소시키에 따라 반사도의 중심이 왼쪽으로 이동하는 것과 동시에 반사도 윗부분의 경사짐이 점점 심해짐을 확인할 수 있고, 맨 왼쪽의 AlAs층의 두께가 20nm 감소된 경우는 그림 3의 실험 결과와 거의 일치한다.

결론적으로,  $Al_{0.12}Ga_{0.88}As/AlAs$  다중 layer mirror stack의 반사도 스펙트럼을 transfer matrix method을 통하여 계산하여, MOCVD로 성장한 mirror Stack의 측정된 반사도 스펙트럼과 비교·검토했다. 이를 통하여, mirror Stack의 반사도의 경사짐은 AlAs층과 AlGaAs층중의 하나가  $\lambda/4$  두께에 맞지 않음에 기인하고 이 두께의 비 차이가 크면 이 경사짐은 심한 경우 반사도 스펙트럼상의 심한 왜곡을 가져온다는 사실을 입증하였다.

## 참고 문헌

- [1] See, for example, the special issue on semiconductor optoelectronics: IEEE J. Quantum Electron., **27**, 1248-1852 (1991).
- [2] R.L.Thornton, R.D.Burnham, and W.Streifer, Appl. Phys. Lett., **45**, 1028 (1984).
- [3] S.W.Corzine, R.S.Geels, J.W.Scott, R.H.Yan, and L.A.Coldren, IEEE J. Quantum Electron., **25**, 1513-1524 (1988).
- [4] S.W.Lee, T.M.Kim, K.U.Chu, S.park, M.S.Jeong and O'Dae Kwon, Appl. Phys. Lett., **62**, 1176 (1993).
- [5] Kor.Pat.,No.4-1404, *Circular Concentric Grating Surface Emitting Laser Diode and its Array*, O.Kwon (filed in 1/1994).

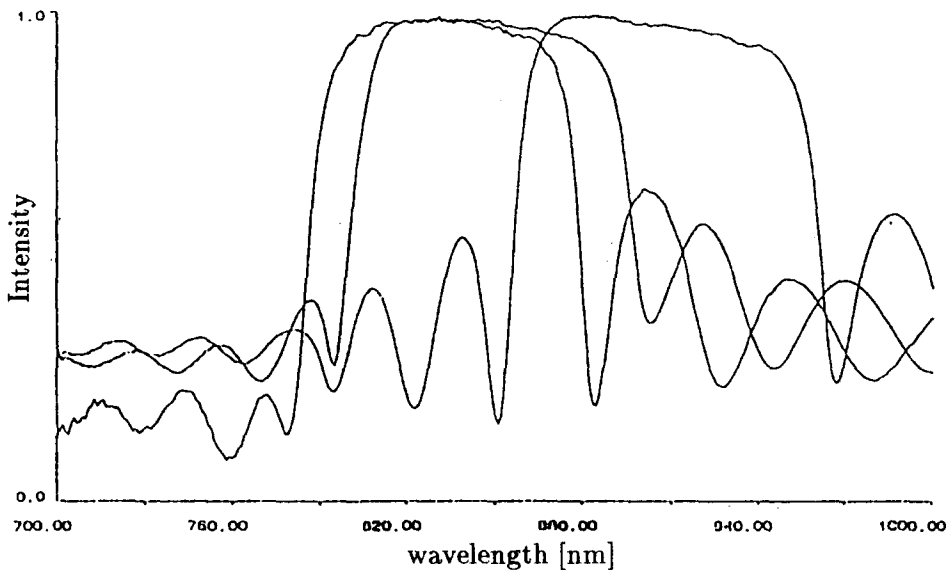
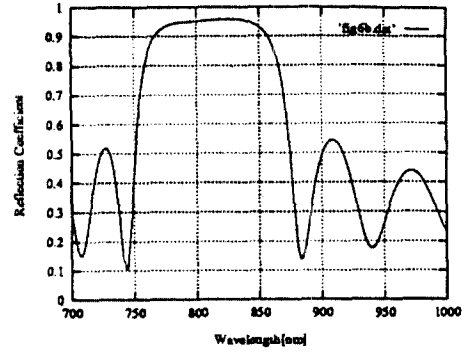
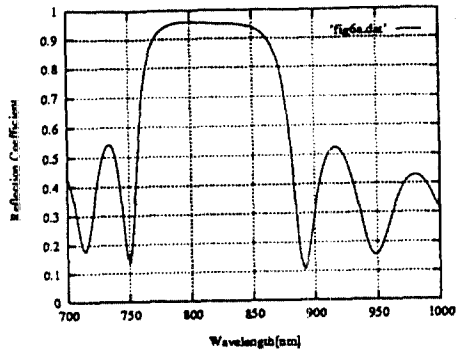


그림 1: 성장시간의 변화에 따른 반사도의 중심파장이동  
:왼쪽부터 (a),(b),(c)  
AlAs/AlGaAs의 성장시간  
: (a)80초/60초 (b)83초/63초 (c)88초/68초



(a)  $Al_{0.12}Ga_{0.88}As$  두께가  $\lambda/4$ 에 비해 5nm 얇을 경우. (b)  $AlAs$ 의 두께가  $\lambda/4$ 에 비해 7nm 얇은 경우.

그림 2: 계산된 반사도의 짜그러짐

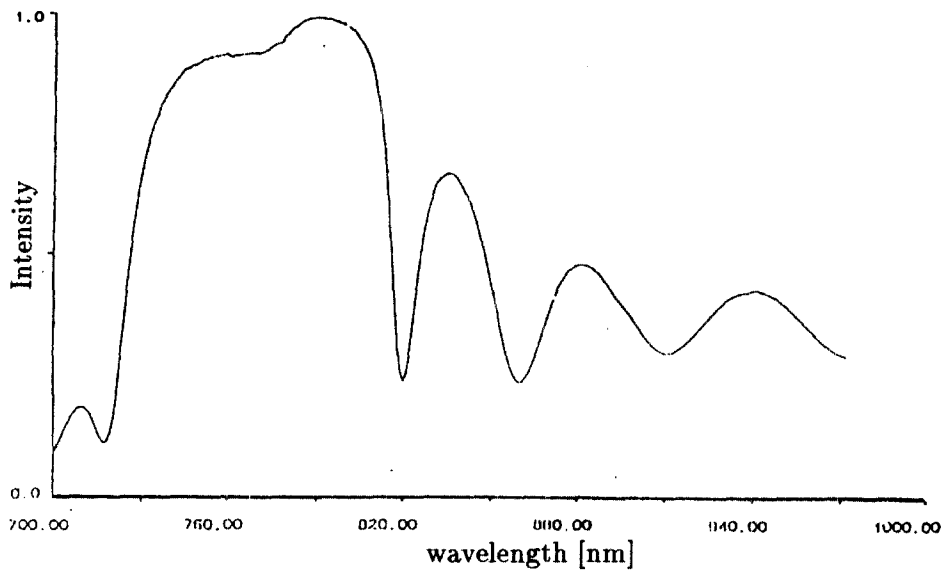


그림 3: 실험적 반사도의 짜그러짐

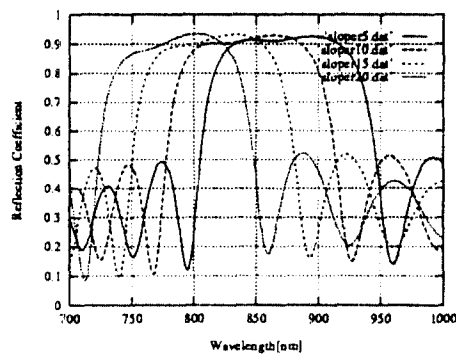


그림 4:  $AlAs$  층의 두께변화에 따른 반사도의 짜그러짐.