

論文96-33A-6-12

# DFB 레이저 다이오드를 위한 홀로그래픽 시스템을 이용한 회절격자 제작

## (Grating Fabrication for DFB Laser Diode Using Holographic Interferometer System)

姜明求\*, 吳煥述\*\*

(Myung-Koo Kang and Hwan-Sool Oh)

### 요 약

1.55 $\mu$ m 파장대 광 통신용 분포귀환형(DFB) 레이저 다이오드를 위한 회절격자 를 에탈론을 갖는 아르곤 레이저를 이용한 홀로그래픽 간섭 노광장치를 사용하여 제작하였다. 본 실험에서는 현상액 농도가 65%정도에서 양호한 현상조건을 얻었고 식각액 HBr : HNO<sub>3</sub> : 10H<sub>2</sub>O로 20°C에서 1000Å/min의 식각률을 얻었다. InP 기판 위에 제작된 회절격자의 주기와 회절효율 측정 그리고 SEM 관찰로부터 식각시간이 45초일 때 회절격자 주기가 2400Å±2Å인 양호한 일차 회절격자를 얻었다.

### Abstract

Periodic gratings for 1.55 $\mu$ m Distributed FeedBack Laser Diode(DFB LD) have been fabricated by a holographic interference exposure system using an etalon stabilized Ar ion laser. We obtain a good development condition at developer concentration of 65 %, and obtain etching rate of 1000 Å / min at 20°C by the mixed solution HBr : HNO<sub>3</sub> : H<sub>2</sub>O (1:1:10 in volume ratio). We obtain good first order grating with period of 2400Å±2Å at etching time of 45 sec from grating period and diffraction efficiency measurement, and SEM observation of grating fabricated on InP substrate.

### I. 서 론

현재 광통신이나 고속 정보처리 시스템 등에 응용하는 반도체레이저는 전-광 변환효율의 증대, 신뢰도 및 모드안정화 그리고 고출력을 갖는 레이저 다이오드 구현을 위해 많은 연구를 계속하고 있다. 대용량 광통신 시스템의 광원으로 사용되는 반도체레이저(LD)로는 분포귀환형(DFB) LD, 분포 브래그반사형(DBR) LD 등이 연구 발표되었다<sup>[1-3]</sup>. 특히, 파장 선택성 및 단일

모우드 특성이 양호하게 회절격자를 활성영역 내에 위치시켜 동작하게 하는 DFB 레이저 다이오드에 대한 연구가 1971년에 최초로 H. Kogelink등에 의해 행해졌고, 1986년에는 H. Temkin등에 의해 전송속도가 빠른 DFB 레이저 다이오드 제작을 보고 하면서, 2.5 Gbps 광통신 시스템에 있어서 광섬유의 저손실과 저분산을 위해서 단일 모우드 반도체레이저인 DFB 레이저 다이오드가 사용되고 있다<sup>[4, 5]</sup>.

본 연구에서는 파장의 선택도, 발진 스펙트럼 선폭, 모드의 안정성 등이 우수한 광통신용 DFB 레이저 다이오드의 핵심공정인 회절격자(grating) 형성에 대하여 논의 하고자 한다. 회절격자는 기존의 분광계 뿐만 아니라 최근들어 광소자 분야에 광범위하게 응용되고 있다<sup>[6, 7]</sup>.

DFB 레이저 다이오드, 즉 파장(종모드) 제어 반도체

\* 正會員, 忠北專門大學 電子通信科

(Dept. of Electronic Comm., Chung Buk College)

\*\* 正會員, 建國大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., KonKuk University)

接受日字:1995年11月17日, 수정완료일:1996年4月24日

레이저 다이오드는 초고속전송 광통신 시스템의 광원으로 활성층 근처에 설치한 회절격자 구조를 공진기로서 사용하고 있다. 회절격자는 활성층 영역에서 광을 분산시키고, 레이저 공진기내에서 광피환(optical feedback)을 형성시켜 좁은 선폭을 가진 단일모드 선택특성을 가진다. 광 섬유의 저손실 ( $1.55\mu\text{m}$ ), 저분산 ( $1.3\mu\text{m}$ )영역에서 발진파장을 가지는 InGaAsP/InP DFB 레이저 다이오드에 필요한 회절격자는 수천 Å 정도의 짧은 주기의 것이 요구되고, 회절격자의 주기 및 깊이는 모우드 안정성 등 레이저의 특성을 결정하는 중요한 요소로서, 재현성이 좋게 제작하는 것이 중요한 기술적 문제이다. 미세패턴의 형성에는 Mach-Zehender 간섭계를 이용한 간섭노광법이나 전자빔노광법을 이용하여 얻을 수 있다<sup>8, 9)</sup>.

본 연구에서는 먼저 Mach - Zehender 간섭계를 이용한 홀로그래픽 시스템을 설치하였고, 회절격자 실험에서는 PR실험, 식각실험을 행한 후 최종적으로 회절격자를 제작하였다. PR실험에서는 PR 균일성과 두께 측정, 그리고 현상액 농도 변화에 따른 현상시간의 변화를 실험하였고, 습식실험에서는 식각액 HBr : HNO<sub>3</sub> : H<sub>2</sub>O을 1 : 1 : 10으로 혼합후 식각변화에 따른 식각률 측정 및 식각 온도변화에 따른 식각률 측정을 하여 최적공정을 얻었다. 이러한 실험을 통하여 공정조건을 최적화하여 광섬유 저손실용 DFB 레이저 다이오드를 위한 2400 Å 주기의 회절격자를 제작하였다. 측정 및 결과에서는 홀로그래픽 시스템에서 설정한 주기값과 제작된 회절격자의 주기가 일치하는 것을 주기 측정 방법으로 정확히 평가하고, 회절격자의 식각모양과 식각시간과의 관계를 알기 위한 회절효율의 측정을 통해서 광통신용 DFB 레이저 다이오드를 위한 양호한 일차 회절격자를 얻었다.

## II. 실험

### 1. 구성 및 설치

회절격자를 제작하기 위한 홀로그래픽 간섭 노광계는 Mach-Zehender 간섭계를 사용하였고, 편평도가 양호한 air 흡수식 광학테이블 위에 구성하였다. 1 $\mu\text{m}$  이하의 주기를 갖는 회절격자 제작을 위해 광원으로는 파장, 출력, 코히런스 길이 등 여러특성을 만족하는 아르곤 이온 가스레이저(spectra-physics 2060-04S, 발진파장 3511 Å)를 사용하였으며, 에탈론을 부착하여

레이저 발진 파장을 단일 주파수로 조정하였다. 레이저에서 발진된 빔은 셔터를 통과한 후, beam expander & spatial filter를 거치면서 optical component 등을 지나는 도중 표면의 불순물과 먼지입자 등에 의한 산란의 결과로 생기는 얼룩무늬, 스페클등을 제거하여 beam quality를 향상시켰고, 빔 반경을 확대시켜, 콜리메이터(collimator) 렌즈를 거치면서 일정한 빔의 반경으로 노광계에 도달하도록 구성하였다. 노광계는 beam splitter 와 전반사 거울로 구성하였고 콜리메이터 렌즈를 거친 빔이 beam splitter를 통과하여 같은 빔의 강도로 두 경로로 나누어지게 되고 두 전반사 거울에 반사되어 일정한 각도로 시료대에 입사되도록 구성하였다. 시료대는 translation stage를 사용하여 전후 75cm를 이동 가능하게 함으로서, 입사광의 각도를 조정하여 격자주기를 1800 Å ~ 6000 Å까지 변화시킬 수 있도록 설치하였다. 그림 1은 본 홀로그래픽 간섭 노광계의 구성도이다. 전체 시스템은 실내의 공기흐름으로 인한 레이저 빔의 진동을 막아 양질의 회절격자를 얻기 위해 아크릴 상자로 덮어 주었으며, 전 시스템의 구동 및 격자주기 조정은 모두 컴퓨터와 stage controller를 이용하여 정확한 주기를 결정할 수 있도록 하였다.

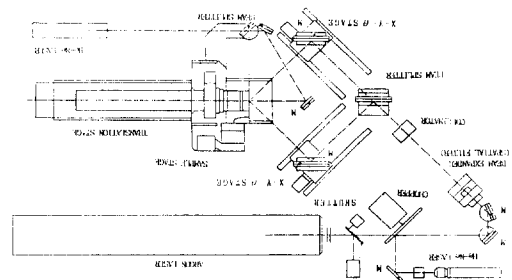


그림 1. 홀로그래픽 간섭 노광계의 구성도  
Fig. 1. Schematic diagram of holographic system.

### 2. 회절격자 제작

본 실험에서는 얇은 PR(photoresist)로 수천 Å 이내의 짧은 주기를 갖는 회절격자를 제작하였으며, 이때 PR 두께 및 균일한 코팅과 식각액 선택 및 식각률 등에 있어서 양질의 회절격자를 제작하기 위하여 최적화를 하였다. 먼저 PR실험을 하였는데, PR이 코팅된 웨이퍼 기판에서 두 반사빔에 의하여 형성되는 정재파(orthogonal standing wave)의 영향을 줄이기 위하여 정재파의 주기( $P_n$ )보다 작은 PR두께를 설정하였다. 이런 점을 고려해서 아르곤 이온 가스레이저 빔( $\lambda$

=3511 Å) 에 노광시켜 양호한 현상조건을 얻을 수 있는 PR AZ1350을 선택하였고, 두께조절 및 균일한 코팅실험을 하였다. 또한 얇은 PR을 손상시키지 않고 현상하기 위하여 현상조건을 맞추었다. 다음 (1)식은 정재파의 주기를 결정하는 식으로 회절격자 제작에 필요한 PR의 두께는 대략  $P_n/2$ 을 하였다<sup>110)</sup>

$$P_n = A \left[ 4n^2 \left( \frac{A}{\lambda} \right)^2 - 1 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

- A : 회절격자 주기
- n : PR의 굴절률
- λ : 레이저 빔의 파장

광통신용 DFB 레이저 다이오드를 위한 회절격자의 주기(A)는 다음 (2)식과 같은 브래그 조건(bragg condition)을 이용하였다<sup>111)</sup>.

$$\text{Bragg condition : } A = \frac{m\lambda}{2n_{\text{eff}}} \quad (2)$$

- A : 회절격자 주기
- m : 회절 차수
- λ : 매질 내에서의 파장
- $n_{\text{eff}}$  : 유효 모드 굴절률

(2)식으로부터 회절격자 주기는 소자 활성층의 성분 변화 및 두께 등에 따라 유효 모드 굴절률이 변화함으로써 달라지는 데 대략 2000 Å~2500 Å이므로 PR 두께는 800 Å이하로 사용하였다. 코팅의 균일성 실험을 위해 회전속도를 조절할 수 있는 코팅 장비를 사용하여 처음에는 1000 r.p.m.에 5초 동안 회전시키고 나중에는 6000 r.p.m.에 30초 동안 회전 하도록 조절하여 엘립소미터(ellipsometer)로 측정한 결과 2인치 웨이퍼에서 양호한 702 Å±2 Å 두께를 얻었다.

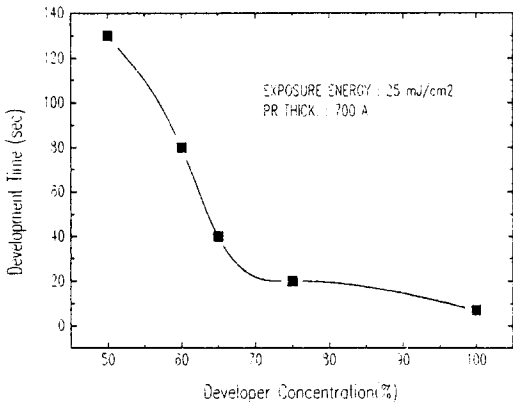


그림 2. 현상액 농도 변화에 따른 현상시간의 변화  
Fig. 2. Dependence of development time as function of developer concentration.

또한 약700 Å PR이 손상되지 않고 PR 회절격자 패턴을 얻을 수 있는 적당한 현상시간을 찾기 위해서 노광 에너지를 25 mJ/cm<sup>2</sup>로 고정하여 현상액과 물과의 희석률에 따른 현상시간의 변화를 실험한 결과 현상액과 물의 비율이 2대1일 때 현상시간이 약 40초를 얻을 수 있었다. 그림 2는 현상액과 물과의 희석률에 따른 현상시간의 변화를 나타낸 것이다.

두 번째로 습식식각 실험을 하였다. 식각액은 PR 두께가 얇으므로 PR를 손상시키지 않는 식각액을 선택하였고, 또한 식각 형태, 식각률, 시간 및 온도에 대한 안정성, 그리고 외부환경 등을 고려하였다.

식각액, HBr : HNO<sub>3</sub> : H<sub>2</sub>O, SBW : HBr : H<sub>2</sub>O, HBr : HNO<sub>3</sub> : CH<sub>3</sub>OH 중에서 혼합시간 및 식각온도 변화에 따른 식각률의 변화, 배합률에 따른 식각률 등을 고려하여 최종적으로 HBr : HNO<sub>3</sub> : H<sub>2</sub>O (1:1:10)로 선택하였다. 그림 3은 식각온도가 20°C에서 HBr : HNO<sub>3</sub> : H<sub>2</sub>O (1:1:10)계의 혼합후 시간경과에 따른 식각률의 변화를 나타낸 것이고, 그림 4는 식각액 혼합 후 15분에서 20분사이에 식각온도 변화에 따른 식각률의 변화를 나타내고 있다. 실린더와 비이커는 각각 전용으로 사용하였고 세척(cleaning)을 여러번 한 후 오븐(oven)에서 말려 사용하였다. 식각액 HBr : HNO<sub>3</sub> : H<sub>2</sub>O는 혼합 순서에 따라서 색깔과 식각률이 각각 달라지므로 혼합 순서에도 유의하였다. 각각의 실린더에 각각의 식각액을 정량하여 HBr - HNO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O의 순서로 섞었고, 색깔이 짙어지면 PR이 손상되고, 식각률이 커지므로 색깔이 짙어지기 전에 식각을 하였다.

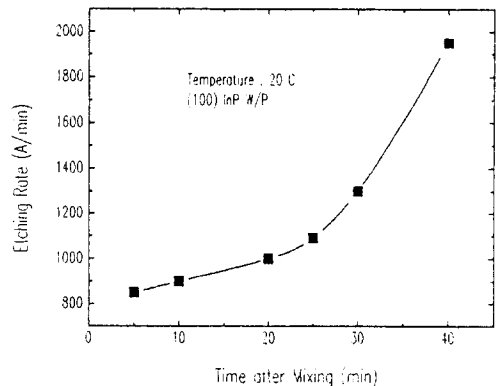


그림 3. 식각액 HBr+HNO<sub>3</sub>+10H<sub>2</sub>O의 혼합후 시간경과에 따른 식각률의 변화  
Fig. 3. Dependence of etching rate as function of time after the mixed solution HBr + HNO<sub>3</sub> + 10H<sub>2</sub>O.

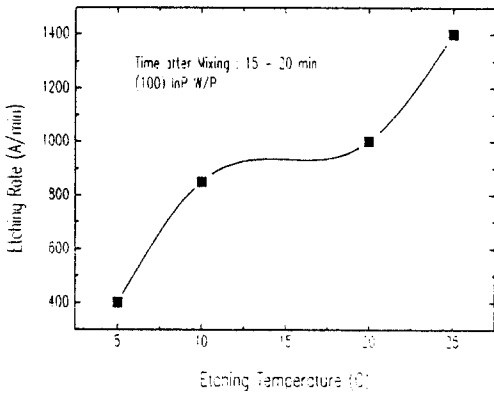


그림 4. 식각액 HBr+HNO<sub>3</sub>+10H<sub>2</sub>O의 식각온도 변화에 따른 식각률의 변화  
 Fig. 4. Dependence of etching rate as function of etching temperature of solution HBr + HNO<sub>3</sub> + 10H<sub>2</sub>O.

PR실험과 식각실험 등을 통해서 얻은 조건으로 회절격자 제작 공정실험을 하였다. 홀로그래픽 간섭 노광계를 이용하여 회절격자를 제작하는 공정은 많은 변수들의 제어가 요구되는데, 본 실험에서는 다음과 같은 제작공정으로 주기가 2400 Å인 회절격자를 제작하였다.

먼저 웨이퍼를 TCE - 아세톤 - 메탄올 순으로 유기 세척을 한 후 황산계로 웨이퍼를 살짝 에칭하여 웨이퍼와 물간의 친수성을 확인하고, 120°C 온도의 오븐에서 30분 동안 베이킹(bake)한 후, 회석된 PR AZ1350 : AZ thinner = 1 : 3으로 균일하게 도포하였다. 다음은 소프트 베이킹(soft bake)과정으로 70~80°C온도의 오븐에서 10~20분 정도 베이킹 하였고, 베이킹 직후 노광에너지가 15~35mJ/cm<sup>2</sup> 정도에서 가능한 짧은 시간동안 노광을 실시하였다. 노광이 끝난 후 회석된 현상액, AZ500 : H<sub>2</sub>O = 2 : 1에서 30~45초 동안 조금씩 흔들면서 현상하였다. 마지막으로 현상이 끝난후 20°C에서 30~60초 동안 조금씩 흔들면서 식각하였고, 이때 식각액 조성비는 HBr + HNO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O = 1:1:10으로 하였다.

### III. 측정 및 결과 고찰

DFB 레이저 다이오드 제작을 위한 회절격자의 주기 및 식각모양은 소자의 특성을 결정하는 중요한 요소이므로 설정한 주기의 회절격자가 제작되었는가를 정확히 평가하고 소자 제작에 적합한 식각형태의 회절격자를 얻기 위하여 회절격자 주기 측정과 SEM 촬영을

하였다.

회절격자의 주기 측정은 고정된 입사각에 대해 각 차수에 해당하는 회절광의 회절각을 정밀 측정하면 되는 데, 회절격자에 파장 λ의 레이저 빔이 입사각 θ<sub>1</sub>로 입사될때 회절광의 회절각 θ<sub>2</sub>는 다음의 회절격자공식  $\Lambda (\sin\theta_1 + \sin\theta_2) = m\lambda$ 로 결정된다. 여기서 Λ는 회절격자 주기, m은 회절차수를 나타내는 정수이다. 또한 회절효율은 입사광의 강도와 회절광의 강도의 비로 정의된다. 그림 5는 격자주기 및 회절효율 측정방법을 도시하고 있다.

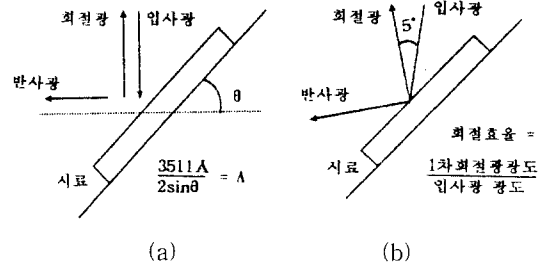


그림 5. 격자주기 및 회절효율 측정방법  
 (a) 격자주기, (b) 회절효율  
 Fig. 5. The measurement method of grating period and diffraction efficiency  
 (a) Grating period, (b) Diffraction efficiency

광 통신용 광원으로 사용되는 DFB 레이저 다이오드의 회절격자 주기는 앞 (2)식으로부터 유효 모드 굴절률에 따라 변화함에 따라 본 실험에서 회절격자 주기는 대략적인 2400 Å으로 정하였고, 시스템의 mirror각도를 조정하여 제작된 회절격자를 주기측정 방법으로 측정하였다. 측정결과는 2400 Å±2Å였으며, 측정오차를 감안하면 매우 양호한 결과를 얻었다. 또한 다음공정인 에피성장 공정에 적합하면서 DFB 레이저 다이오드 특성이 양호하게 나오는 적합한 회절격자 모양을 얻어야 하므로 SEM 촬영과 회절효율 측정을 통하여 회절효율과 회절격자 모양의 관계를 실험하였다. 그림 6은 현상시간을 고정시키고 식각 시간을 30, 40, 50, 60초로 변화함에 따른 회절격자 모양의 변화를 나타낸 SEM 사진이고, 그림 7은 식각 시간변화에 따른 회절효율의 변화를 나타내고 있다. 이 실험을 통해서 최고 회절효율 값을 기점으로 대칭적 값을 가지며 변화함에 따라, 식각 시간에 따른 회절효율을 측정하여 회절격자 모양을 예측할 수 있음을 알 수 있었다. 그림 8은 본 실험에서의 최적 공정조건으로 InP 기판 위에 제작된 주기가 2400 Å인 회절격자 단면(그림 8-a) 과 표면사진(그

림 8-b)이다. 본 실험에서는 식각시간이 약 45초일 때 회절격자 모양과 효율이 양호하였다.

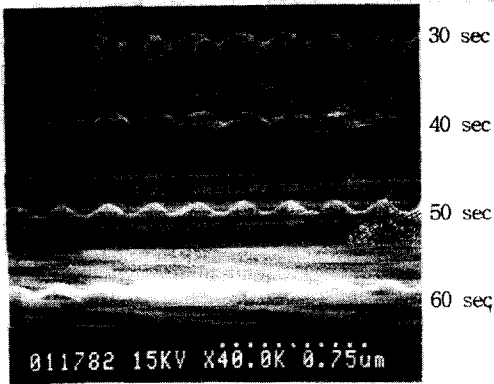


그림 6. 식각시간 변화에 따른 회절격자 모양의 변화  
Fig. 6. Dependence of grating profile as function of etching time.

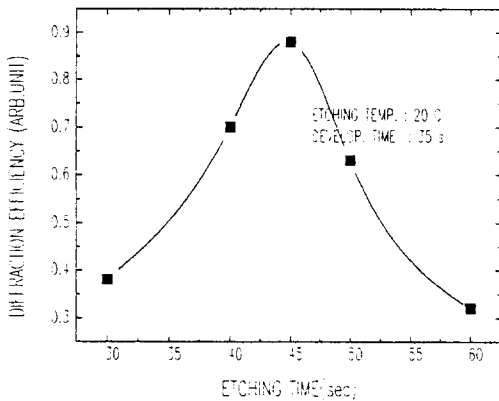
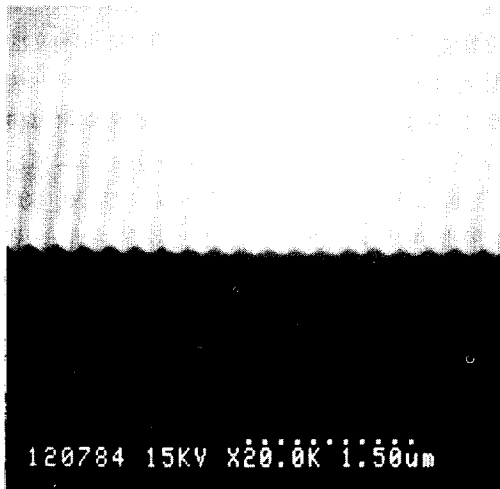
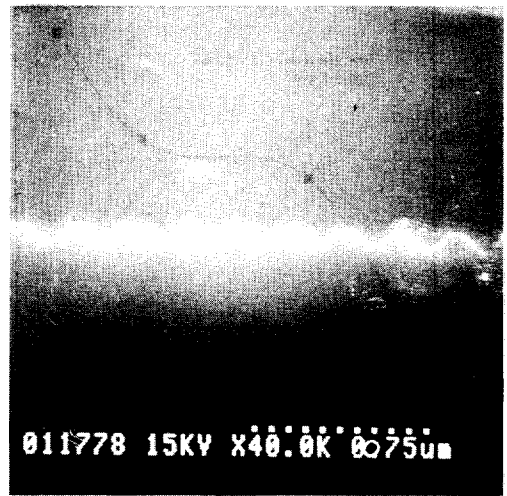


그림 7. 식각시간 변화에 따른 회절효율의 변화  
Fig. 7. Dependence of diffraction efficiency as function of etching time.



a)



b)

그림 8. InP 기판 위의 회절격자 단면과 표면  
(a) 회절격자의 표면 (b) 회절격자의 단면  
Fig. 8. The surface and cross-section of grating on InP substrate. (a) Surface of grating. (b) Cross-section of grating.

#### IV. 결 론

1.55 $\mu$ m대 광통신 DFB 레이저 다이오드 제작을 위한 회절격자를 제작하였다. 회절격자를 제작하기 위해 Mach - Zehender 간섭계를 이용하여 홀로그래픽 시스템을 설치하였다. 본 장치는 3511 Å 파장을 가지는 아르곤 레이저를 사용하였으며 코헤렌스한 단일 주파수를 얻기 위하여 에탈론을 부착하였다. 또한 정밀 제어가 필요한 mirror 및 translation stage는 컴퓨터로 모터를 제어하였으며, 공기 흐름 및 외부 요인에 의한 간섭무늬의 왜곡(distortion)을 줄이기 위하여 아크릴 상자로 장치를 보호하였다. 본 실험에서는 PR의 두께 변화 및 코팅의 균일성 실험을 통해서 희석된 PR AZ1350을 사용하여 양질의 회절격자에 필요한 균일한 PR 두께 약 700 Å을 얻었다. 또한 PR을 손상시키지 않고 식각할 수 있는 식각액 선택 및 식각률 등을 실험하여, 식각액으로 HBr + HNO<sub>3</sub> + 10H<sub>2</sub>O를 선택하여 혼합후 15분에서 20분사이의 20°C 온도에서 식각률 약 1000 Å/min을 얻었다. InP 기판 위에 제작된 회절격자 주기는 DFB 발전과장을 결정하는 중요한 요소로서 유효 모드 굴절률을 고려하여 정확하게 제작되고 측정되어야 하는 데, 홀로그래픽 시스템의 회절격자 주기 설정값과 제작된 회절격자 측정 주기값이 2400 Å $\pm$ 2

A인 양질의 회절격자를 얻었다. 또한 식각시간에 따른 회절격자의 모양변화와 회절효율을 측정할 결과는 식각시간이 45초일 때 양호한 값을 얻었다. 그리고 다음 공정인 에피성장 공정에 적합하면서 DFB 레이저 다이오드 특성이 양호하게 나오는 적합한 회절격자 모양을 얻어야 하므로 SEM 촬영과 회절효율 측정을 통하여 회절효율과 회절격자 모양의 관계를 실험하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] W. T. Tsang, "The cleaved coupled cavity laser," in semiconductor and semimetal, vol. 22. part B, W. T. Tsang, Ed. Orlando, FL : Academic, 1985.
- [2] K. Utaka, K. Kobayashi, K. Kishino and Y. Suematsu, "GaInAsP/InP integrated twin guide laser with first order distributed bragg reflector of wavelength of 1.5 - 1.6  $\mu\text{m}$ ," 7th IEEE Int. Semiconductor Laser Conference Brighton. UK. 1980.
- [3] T. Matsuoka, H. Nagai, Y. Itaya, Y. Noguchi, U. Suzuki and T. Ikegami, "CW operation of DFB-BH GaInAsP/InP lasers in 1.5 $\mu\text{m}$  wavelength region," Electron. Lett., vol. 18, no. 1, pp. 27-28, 1982.
- [4] H. Kogelnik and C. V. Shank, "Coupled - wave theory of distributed feedback lasers," J. Appl. Phys., vol. 43, May 1972.
- [5] H. Temkin, L. F. Johnson, "InGaAsP ridge waveguide distributed feedback lasers operating near 1.55  $\mu\text{m}$ ," IEEE J. Lightwave Technology, vol. LT- 4, no. 5, May 1986.
- [6] G. P. Li, T. Makino, R. Moore and N. Puetz, "1.5 $\mu\text{m}$  index/gain coupled DFB laser with strained layer multi quantum well active grating," Electron. Lett., vol. 28, no. 18, pp. 1726-1727, 1992.
- [7] Tohmori, Y., Komor, K., Arai, S., and Suematsu, Y. "1.5-1.6 $\mu\text{m}$  GaInAsP/InP bundle integrated guide(BIG) distributed bragg reflector laser," Tran. IEICE Jpn., E70, pp. 494-503, 1987.
- [8] H. Okuda, Y. Hirayama, J. Kimoshita, H. Furuyama and Y. Uematsu, " High quality 1.3 $\mu\text{m}$  GaInAsP/InP BH-DFB lasers with first order gratings," Electron. Lett., vol. 19, pp. 941-943, Oct. 1983.
- [9] C. V. Shank and R. V. Schmidt, "Optical technique for producing 0.1 $\mu\text{m}$  periodic surface structure," Appl. Phys. Lett., vol. 23, pp. 154, 1973.
- [10] N. N. Efremow et al., "A simple technique for modifying the profile of resist exposed by holographic lithography," J. Vac. Sci. Technol., vol. 19, no. 4, pp. 1234-1237, Nov./Dec. 1981.
- [11] D. Marcuse, "Light transmission optics." Van Nostrand Reinhold, New York, 1972.

### 저 자 소 개



姜 明 求(正會員)

1963年 6月 1日生. 1988年 건국대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1988年 삼성전자 근무. 1991年 2月 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1989年 8月 ~ 1990年 12月 KIST 반도체 물성 센터 위촉 연구원 근무. 1991年 1月 ~ 1995年 2月 현대전자 반도체 연구소 광소자개발실 근무. 1992年 9月 ~ 현재 건국대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 1995年 3月 ~ 현재 충북전문대학 전자통신과 전임강사 재직중. 주관김분야는 반도체 제조공정, 화합물 반도체 소자 등임.

吳 煥 述(正會員)

第 31卷 A編 第 8號 參照

현재 건국대학교 전자공학과 교수