

작은 임계전류와 높은 출력의 광통신용 소자 제작을 위한 메사식각에 관한 연구

정회원 강명구*

Mesa Wet Etching for Fabrication of Optical Fiber Communications Devices with Low Threshold Current and High Power

Myung-Koo Kang* *Regular Member*

요 약

PBH-LD는 광통신용으로 작은 임계전류와 높은 출력을 가지는 가장 유용하게 사용되는 구조이다. 본 연구에서는 양호한 메사구조를 얻기 위하여 HBr-H₂O₂-H₂O-HCl계 식각용액에 의한 1단계 식각방법으로 p-InP 클래드층, p-InGaAsP 도퍼로층, InGaAsP 활성층, n-InP 버퍼층으로 구성된 DH(double heterojunction) 구조를 비선택적 식각하였다. 이 식각방법으로 양호한 메사모양을 얻었고 재성장이 용이하였으며 활성층의 폭을 쉽게 조절할 수 있었다.

ABSTRACT

PBH-LD(Planar Buried Heterostructure Laser Diode) are the most suitable types with low threshold current and high power for optical fiber communications.

To form the mesa, a one-step wet chemical etching process was employed. A mixture of HBr-H₂O₂-H₂O-HCl was used to etch DH structure nonselectively. DH structure composed of p-InP cladding layer, p-InGaAsP waveguide, InGaAsP active and n-InP cladding layers. This process was resulted in a good mesa shape and was easy to regrowth and the width of the active layer was easy to control.

I. 서론

현재 광통신이나 고속 정보처리 시스템 등에 응용되는 반도체 레이저^{1), 2)}는 물질계에 따라 서로 다른 파장 범위에서 동작하고 구조가 다양하기 때문에 넓은 응용 범위를 가지며, 제어하기 쉽고 낮은 입력으로 높은 출력을 얻을 수 있다는 장점으로 광전자 산업의 핵심기술로서 자리를 잡고 있다.

반도체 레이저 구조는 광이득이 일어나는 활성층 내에 캐리어 및 빛을 효율적으로 가둬 광특성을 향상시키기 위해서 서로 다른 반도체를 이용한 이중

이형접합이 사용되고 있다. 레이저는 캐리어와 빛을 구속하는 방법에 따라 크게 broad-area 레이저, gain-guided 레이저, index-guided 레이저로 구분된다. Broad area 레이저는 가장 일반적인 이중 헤테로 접합 구조를 의미하며, gain-guided 레이저³⁾는 이중 헤테로 접합 구조에 주입 전류 영역을 한정하여 광모드의 폭을 제한한 레이저이고, index-guided 레이저는 다시 weakly index-guided 레이저⁴⁾와 strongly index-guided 레이저⁵⁾로 구분된다. Weakly index-guided 레이저는 활성층에는 변화가 없이 클래드층에만 굴절률의 변화를 주어 광모드를 제한한 것으로 낮은 미분 양자효율, 높은 임계전류를 가지

* 극동정보대학 전자통신과(MKKang@telecom.kdc.ac.kr)

논문번호 : 99026-0910

접수일자 : 1999년 9월 10일

고 제조가 간단하며, strongly index-guided 레이저는 buried heterostructure(BH) 레이저라고 하며 활성층 영역이 에너지 밴드 갭이 큰 반도체층으로 둘러 쌓인 구조로서 2번 이상의 에피성장 기술이 필요하고 제조 공정이 복잡하지만 낮은 임계전류와 높은 출력, 높은 미분 양자효율, 안정된 모우드 등의 우수한 특성을 가진다.

PBH구조⁶⁾ 메사식각 공정은 식각시 층간 단차를 줄여 MOCVD법에 의한 재성장이 용이하고 균일하면서 재현성이 우수한 식각모양을 얻어야 한다. 식각할 웨이퍼는 p-InP 클래드층, p-InGaAsP 도퍼로층, InGaAsP 활성층, n-InP 버퍼층으로 구성된 DH(double heterojunction) 구조이므로 InP와 InGaAsP의 식각율이 달라서 선택적 식각으로는 활성층이 튀어나오거나 역메사 모양의 문제가 생겨 MOCVD법에 의한 전류 차단층(p-InP와 n-InP) 성장시 활성층 아래에 성장되어 전류 차단의 효과가 적어지거나 활성층의 폭 조절이 어려워 비선택적 식각방법으로 식각하여 양호한 식각모양, 재현성 그리고 활성층 폭의 조절이 용이하도록 식각 조건을 최적화하였다. 기존의 식각방법은 HBr : H₂O₂ : H₂O계 - H₃PO₄ : H₂O₂ : H₂O계 - HBr : H₂O₂ : H₂O계의 3단계 식각방법으로 여러 번 사용하는 어려움과 재현성이 부족하여 생산성이 떨어지는 단점이 있다.

본 연구에서는 비선택적 용액인 HBr : H₂O₂ : H₂O : HCl계를 사용한 1단계 식각방법을 제안하여 재성장이 용이하고 재현성이 우수하도록 식각조건을 최적화 하였다.

II. 시료 준비

습식식각은 다양한 식각형태를 얻을 수 있고 실험 조건을 쉽게 조절 가능하며, 사용방법이 간단하여 폭 넓게 사용되는데, 식각액의 선택은 식각 형태, 식각률, 시간 및 온도에 대한 안정성, 식각표면 상태, 재현성, 식각 마스크 침식, 식각용액 특성 그리고 외부환경 등을 고려하였다⁷⁻⁹⁾.

저 손실, 고속 동작의 광통신용 소자를 만들기 위하여 활성층 내에서 캐리어 및 광의 집속이 용이한 PBH 구조가 본 실험에서 사용되었다. PBH 레이저는 유기화학 증착(MOCVD)법으로 제조할 수 있어 생산성과 특성이 우수한 활성층이 매몰된 구조로서 PHB 레이저는 낮은 임계전류와 높은 출력, 높은 미분 양자효율, 강한 굴절을 도파에 의한 안정된 모우드 등의 우수한 특성을 가진다. MOCVD 법에

의한 재성장이 용이하도록 메사 식각 형태는 식각 표면의 층간 단차를 최소로 하여야 한다.

화합물 반도체를 성장시키는 기술로는 MOCVD(metal organic chemical vapor deposition), MBE(molecular beam epitaxy) LPE(liquid phase epitaxy), VPE(vapor phase epitaxy) 성장법 등이 있는데, 본 연구에 사용된 MOCVD법은 유기금속 화합물 액체에 이송기체를 통과시켜 증발된 유기금속 화합물 기체를 다른 반응기체들과 반응관 안에서 반응시키므로써 기판위에 고체상태의 결정층을 형성시키는 방법이다.

MOCVD 장치를 이용하여 Sn doped n-InP 기판을 유기세척 및 황산계 세척을 한 후 DH 구조를 성장하였다. 에피 성장조건은 700°C, 76 torr, V/III 비율은 200이었고 성장속도는 InP 가 1.7μm/h이고 InGaAsP는 2.4μm/h이었다. 기판과 에피층의 계면에서 비이상적인 현상을 방지하기 위하여 Si-doped n-InP buffer 층(1 x 10¹⁸ cm⁻³)을 1.2μm 성장한 후 도핑을 하지 않은 파장이 1.55μm이고 두께가 0.15μm인 InGaAsP 활성층을 성장하고, 파장이 1.3μm인 Zn-doped InGaAsP 광도파로층(7 x 10¹⁷ cm⁻³)을 0.2μm 두께로 성장하였다. 마지막으로 Zn-doped 0.4μm 두께의 p-InP 클래드층(7 x 10¹⁷ cm⁻³)을 성장 하였다. X-ray 회절장치 측정으로 격자 부정합은 0.1%이하 이었다. 식각할 웨이퍼는 p-InP 클래드층, p-InGaAsP 도퍼로층, InGaAsP 활성층, n-InP 버퍼층으로 구성된 DH(double heterojunction) 구조이므로 선택적 식각으로는 층간의 단차가 생겨 MOCVD법에 의한 전류 차단층(p-InP와 n-InP) 성장시 활성층 아래에 성장되어 전류 차단의 효과가 작아지는 것을 방지하기 위해 비선택적 식각방법으로 식각하여 양호한 식각모양, 재현성 그리고 활성층 폭의 조절이 용이하도록 식각 조건을 최적화 하였으며, 웨이퍼의 식각 마스크로 산화막을 사용하였다.

식각 마스크로 사용된 증착된 실리콘 산화막은 양질의 박막을 얻기 위해 박막의 표면, InP/SiO₂계면 상태, 산화막의 식각률, 굴절률 등의 특성을 고려하여 사용용도에 적합한 증착조건 실험을 하였다. 온도 및 출력이 증가함에 따라서 증착률은 증가하지만 InP표면의 열과 플라즈마에 의한 손상이 커 웨이퍼와 산화막사이의 계면상태가 나빠 식각 마스크로 사용시 식각형태 조절이 어려워, 보호박막으로 사용시에는 누설전류가 증가하여 소자 특성이 나빠지므로 적당한 온도 및 출력 등의 최적화가 요구된다. 반응기 내 압력, 출력, 주입가스 비율을 일

정하게 유지한 상태에서 그림 1은 증착 온도변화에 따른 증착률을 나타내고, 그림 2는 증착온도에 따라 증착된 시료의 B.O.E.(7HF+ 1H₂O)에 대한 식각률을 나타내고 있다.

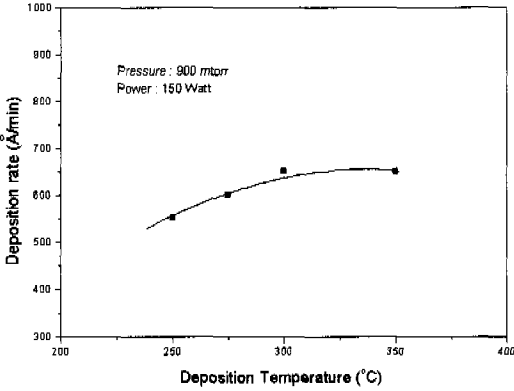


그림 1. 증착 온도변화에 따른 증착률의 변화

본 실험에서는 온도가 280°C이고 출력이 150W일 때 InP 웨이퍼와 산화막 계면 상태가 양호하였다. 그림 3은 식각할 DH구조의 웨이퍼이다.

본 실험에 사용된 비선택적 식각용액으로는 HBr : H₂O₂ : H₂O : HCl, HBr : HNO₃ : H₂O : H₂O₂, HCl : H₂O₂ : CH₃OOH, Br-MeOH 등이 있고, 메사 식각모양, 식각률, 재현성, 온도 의존성, 식각표면 상태, 식각 마스크 침식 등을 고려하여¹⁰⁻¹²⁾ HBr : H₂O₂ : H₂O : HCl계를 식각용액으로 정하고 배합물에 따른 식각률과 온도에 따른 식각률을 조사하였다. HBr계 용액은 섞이는 용액에 따라 식각률이 달라지므로 혼합 순서, 용액의 조성, 혼합 후의 시간 및 온도 등에 유의하여 실험하여야 한다.

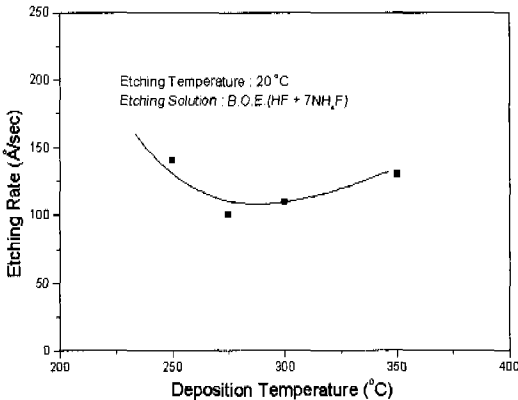


그림 2. 증착온도에 따른 B.O.E.에 대한 식각률 변화

식각 마스크(SiO ₂)
P-InP 클래드층
도파로층 (1.3um 파장의 InGaAsP)
활성층 (1.55um 파장의 InGaAsP)
n-InP 버퍼층
n-InP 웨이퍼

그림 3. DH구조의 식각 시료

III. 실험결과 및 고찰

HBr : H₂O₂ : H₂O : HCl계를 식각용액으로 정하고 배합물에 따른 식각률과 온도에 따른 식각률을 조사하였다. 그림 4에서는 HBr : H₂O₂ : H₂O : HCl계의 식각용액이 혼합된 후 시간이 지나면서 식각률이 급격하게 변하다가 4시간 경과부터는 식각률이 거의 일정함을 알 수 있는데, 혼합 후 5시간 전후로 식각률이 약 1.25 μ m/min이었다.

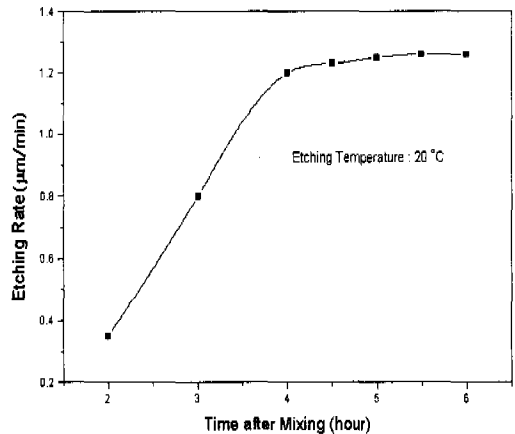


그림 4. 혼합시간에 따른 식각률의 변화

그림 5에서는 식각용액을 혼합한 후 5시간이 경과한 상태에서 온도 변화에 따른 식각률의 변화를 나타내고 있는데, 온도가 높을 때 식각률의 변화가 커짐을 알 수 있다.

그리고 1.55 μ m 파장의 PBH-DFB 구조에서는 InP 클래드층, 1.3 μ m InGaAsP 도파로층, 1.55 μ m InGa-

AsP 활성층의 식각률이 모두 차이가 나므로 식각용액 HBr : H₂O₂ : H₂O : HCl계로 1단계 식각을 할 경우, InGaAsP의 활성층 영역이 튀어나오는 현상을 그림 6에 나타내고 있다.

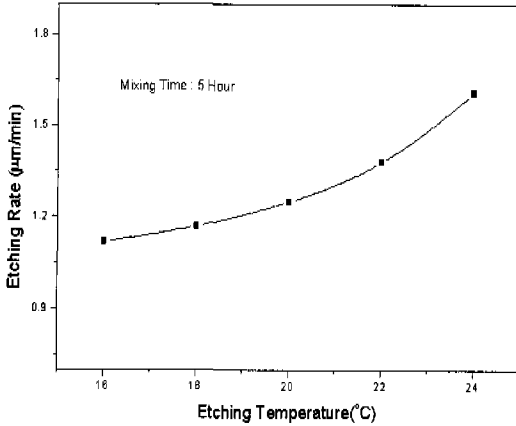


그림 5. 온도 변화에 따른 식각률의 변화

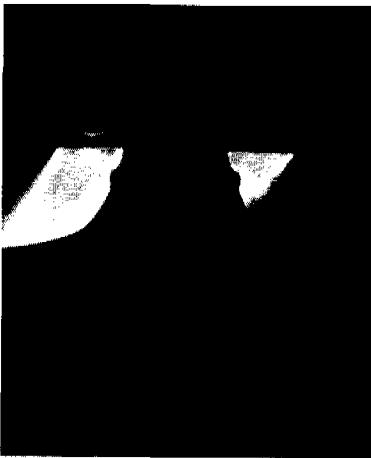


그림 6. 1단계 식각에 의한 활성층이 튀어나온 형태

이는 MOCVD법으로 전류 차단층 재성장시 전류 차단층이 활성층 아래부분에 성장되어 전류 차단효과가 거의 없으며, 또한 그림 7과 같이 p-InP 층이 역메사 형태의 식각모양을 나타낼 때는 정확한 활성층의 폭을 결정하기 어려워진다. 식각용액 HBr : H₂O₂ : H₂O : HCl계의 경우, HCl의 조성비가 증가할수록 역메사 모양에서 원형모양으로 식각모양이 변하면서 활성층이 튀어나오는 정도가 심해지고 온도가 낮아질수록 역메사 모양의 식각형태를 가지므로 적절한 식각조건을 찾아 그림 8과 같이 매끄러운 메사형태의 식각모양을 얻어야 한다.



그림 7. 1단계 식각에 의한 역메사 형태



그림 8. 1단계 식각에 의한 양호한 형태

그림 9는 메사식각된 깊이(d) 변화에 따른 실리콘 산화막 마스크의 침식(undercut)의 폭(w) 변화를 나타내고 있다. 식각깊이와 산화막 침식폭의 비

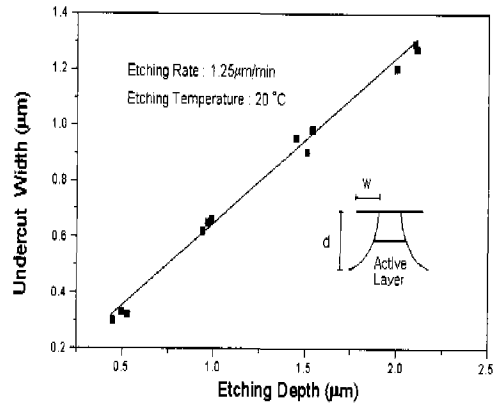


그림 9. 메사식각된 깊이 변화에 따른 산화막 침식폭의 변화

(w/d)가 약 0.65~0.68 정도로 거의 일정하므로 메사식각을 하면서 산화막 침식의 폭을 현미경 등으로 확인하면서 쉽게 식각깊이 및 활성층 폭을 조절할 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결론

비선택적 식각방법으로 식각하여 양호한 식각모양, 재현성 그리고 활성층 폭의 조절이 용이하도록 식각 조건을 최적화 하였다. 본 실험에서는 비선택적 식각용액인 HBr : H₂O₂ : H₂O : HCl계가 혼합된 후 시간이 지나면서 식각률이 급격하게 변하다가 4시간 경과부터는 식각률이 거의 일정함을 알 수 있는데, 혼합 후 5시간 전후로 식각률이 약 1.25 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이었다. 식각용액이 혼합한 후 5시간이 경과한 상태에서 온도가 높을 때 식각률의 변화가 커짐을 알 수 있었고, 식각용액 HBr : H₂O₂ : H₂O : HCl계의 경우, HCl의 조성비가 증가할수록 역메사 모양에서 원형모양으로 식각모양이 변하면서 활성층이 튀어나오는 정도가 심해지고 온도가 낮아질수록 역메사 모양의 식각형태를 나타냄을 알 수 있었다. 또한 식각깊이와 산화막 침식 폭의 비(w/d)가 약 0.65~0.68 정도로 일정하므로 산화막 침식폭을 현미경 등으로 확인하면서 쉽게 식각깊이 및 활성층 폭을 조절할 수 있었다.

기존의 식각방법은 3단계 식각방법으로 여러 번 사용하는 어려움과 재현성이 부족하여 생산성이 떨어지는 단점이 있으나, 제안한 HBr계 식각용액에 의한 1단계 식각방법은 MOCVD법에 의한 재성장 이 용이하고 균일하면서 재현성이 우수한 메사 식각모양을 얻을 수 있었다.

참고 문헌

[1] G. P. Agrawal and N. K. Dutta, "Long wavelength semiconductor lasers," Van Nostrand Reinhold, New York, 1986.
 [2] J. C. Cartledge and G. S. Burley, IEEE J. of Lightwave Technol., vol. 7, pp. 668, 1989.
 [3] K. Oe, S. Ando, and K. Sugiyama, "InGaAsP/InP planar stripe lasers prepared by using sputtered SiO₂ film as a Zn-diffusion mask," J. Appl. Phys., vol. 51, no. 1, pp. 43-49 Jan., 1980.
 [4] H. Temkin, R. A. Logan, N. A. Olsson, C. H.

Henry, G. J. Dolan, R. F. Kazarinov, and L.F. Johnson, "InGaAsP Ridge Waveguide distributed feedback lasers operating near 1.55 μm ," J. Lightwave Technol., LT-4, no. 5, pp.520-529, May, 1986.
 [5] B. I. Miller, U. Koron, R. J. Capik, and Y. K. Su InGaAsP/InP high-power semiinsulating blocked planar buried-heterostructure lasers entirely by atmospheric pressure organometallic vapor phase epitaxy," Appl. Phys. Lett., vol. 51, no. 21, pp. 2260-2262, Jun., 1987.
 [6] K. Chinen, K. Genei, H. Sahara, A. Tanaka, T. Matsuyama, K. konno, and Y. muto, "Low-threshold 1.55 μm InGaAsP/InP buried heterostructure distributed feedback lasers," Appl. Phys., Lett., vol. 51 no. 3, pp. 273-275, Feb., 1987.
 [7] S. Adachi, "Chemical etching characteristics of InGaAs/InP and InAlAs/InP Heterostructures," J. Electrochem. Soc., vol. 134, no. 2, pp. 449-452, Feb., 1987.
 [8] D. T. Heo, J. D. Wynn, S. G. Napholtz, and D. P. Wilt, "Controlled undercutting of V-groove channels InP by photoresist etch mask," J. Electrochem. Soc., vol. 135, no. 5, pp. 1231-1234, May, 1988.
 [9] D. T. Heo, M. F. Yan, and J. D Wynn, "Chemical cleaning on grating in distributed feedback InP lasers," J. Electrochem. Soc., vol. 137, no. 11, pp. 3639-3642, Nov., 1990.
 [10] S. Adachi, "Chemical etching characteristics of InGaAs /InP and InAlAs/InP heterostructures," J. Electrochem. Soc., vol. 134, no. 2, pp. 449-452, Feb., 1987.
 [11] D. T. C Heo, J. D. Wynn, S. G. Napholtz, and D. P. Wilt, "Controlled undercutting of V-groove channels InP by photoresist etch mask," J. Electrochem. Soc., vol. 135, no. 5, pp. 1231-1234, May, 1988.
 [12] D. T. C Heo, M. F. Yan, and J. D Wynn, "Chemical cleaning on grating in distributed feedback InP lasers," J. Electrochem. Soc., vol. 137, no. 11, pp. 3639-3642, Nov., 1990.

