

論文93-30A-10-5

16x8 반사형 S-SEED 어레이 제작 및 특성

(Fabrication and Characteristics of 16x8 Reflection Type Symmetric Self Electro-optic Effect Device Array)

金澤武*, 李承遠**, 秋光旭*, 金碩泰*, 鄭文植*, 金成宇*, 權五大**, 姜鳳求**

(Taek Moo Kim, Seung Won Lee, Kwang Uk Chu, Seok Tae Kim, Moon Shick Chung, Seong Woo Kim, O'Dae Kwon and Bong Koo Kang)

要約

저압 MOCVD를 사용하여 성장시킨 GaAs/Al_{0.04}GaAs의 아주 얇은 다층 양자 우물 구조 (Extremely Shallow Quantum Well Structure)의 16x8 반사형 S-SEED(Symmetric-Self Electrooptic Effect Device)를 제작했다. 그것의 intrinsic층은 100Å GaAs와 100Å Al_{0.04}Ga_{0.96}As로 구성되어 있다. 반사형 소자이므로 p-i-n 구조 아래에 Al_{0.12}GaAs(599Å)/AlAs(723Å)의 거울층을 수직 집적하였다. MOCVD로의 시료 성장후 소자 제작 과정은 메사 식각, 격리 식각, 절연막 증착, p형 & n형 금속 증착, 그리고 무반사막 코팅으로 이루어져 있다. p-i-n ESQW 다이오드 형태의 S SEED의 스위칭 특성을 위한 최대 부성 저항은 856nm에서 관찰되었고, 반사도 측정에서 0.9V에서 -6V까지 바이어스를 변화시켜줌에 따라 반사도가 15.6%에서 43.3%로 변화됨을 보여 주었다. S SEED 어레이의 최대 명암비는 2.9였으며, 128개의 모든 소자가 2.4이상의 명암비를 보여 주었다.

Abstract

A reflection type 16x8 S-SEED array from LP(Low Pressure)-MOCVD-grown GaAs/AlGaAs extremely shallow quantum well(ESQW) structures, with 4% Al fraction, has been fabricated. Its intrinsic region consists of 50 pairs of alternating 100Å GaAs and 100Å Al_{0.04}Ga_{0.96}As layers. A multilayer reflector stack of Al_{0.12}Ga_{0.88}As(599Å)/AlAs(723Å) was incorporated for the reflection plane below the p-i-n structures. The device processing after the MOCVD growth includes the mesa etching, isolation etching, insulator deposition, p & n metallization, and AR(Anti-Reflection) coating. For switching characteristics of the S-SEED in the form of p-i-n ESQW diode, the maximum optical negative resistance was observed at 856nm. Reflectance measurements showed a change from 15.6% to 43.3% for +0.9V to -6V bias. The maximum contrast ratio of the S-SEED array was 2.9 and all the 128 devices showed optical bistability with contrast ratios over 2.4 at 5V reverse bias.

1. 서론

*準會員, **正會員, 浦項工科大学

電子電氣工學科 / 産業科學技術研究所
(Dept. of Electronics & Electrical Eng.,
POSTECH / RIST)

* 본 연구는 산업과학기술연구소 (RIST) 기술
과제의 지원을 받았음

接受日字: 1993年 3月 9日

광교환이나 광컴퓨팅은 대용량의 정보를 병렬처리할 수 있다는 큰 매력으로 인해 현재 그 연구가 활발히 진행되고 있다. 이는 광자가 전자에 비해 약 1,000배나 빠른 신호 전달 속도, 초고주파보다도 큰 주파수 용량, 무선 전달 가능(자유공간 광교환), 과열 현상 부재 등의 월등한 특성에 기인한다. 이런 대규

모 광교환이나 광컴퓨팅으로의 접근 방법중 하나가 어레이에 수직한 빛을 사용하여 렌즈나 그 밖의 광학 부품으로서 서로 신호전달이 가능하게 하는 2차원 어레이 방법이다. 2차원 어레이가 가능한 소자로서는 SEED가 있다. [1] [3]

SEED는 MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)나 MBE(Molecular Beam Epitaxy) 등의 결정 성장의 기술 발달로 인해 양자 우물의 성장이 가능해져 상온에서도 엑사톤의 관측이 가능해진 것과 그 양자 우물에 수직한 전계를 가하면 광흡수가 전계에 따라 변하는 것에 그 기초를 두고 있다.

이와 같은 전계에 따른 광흡수 변화를 QCSE(Quantum Confined Stark Effect)라고 한다. [4] SEED는 QCSE와 광 검출 기능을 같은 구조내에 결합하여 광전 회환과 광쌍안정성(Optical Bistability)을 일으키게 하는데, 광쌍안정성은 SEED가 광스위칭 소자나 광메모리로 활용될 수 있음을 단적으로 보여주는 중요한 특성이다.

대규모의 광 논리 시스템을 구현하기 위해서는 소자마다 이득이 필요한데, 이를 위해 스위칭에 필요한 광의 세기보다 약간 적은 세기의 빔(광 바이어스)을 공급하여 필요한 이득을 확보하고 작은 신호 빔으로 스위칭 특성을 얻는 방식이 보편화되어 있다. 문제는 빔을 매우 정교하게 공급(critical biasing)해야 하는데 제작된 어레이의 개별 소자들의 특성이 서로 일치하지 않기 때문에 R(Resistor biased)SEED나 D(Diode biased)SEED로는 위 문제를 쉽게 해결할 수가 없다. 더구나 정교하게 광 바이어스를 하게 되면 출력 빔의 일부가 소자로 재반사되어 소자의 상태를 바꾸게 되는 심각한 문제가 발생할 수도 있다. 그런데, S-SEED는 광 바이어스가 필요치 않고 개별 소자의 특성 차이에 민감하지도 않으며, 시간 연속 이득(Time Sequential Gain)특성으로 인하여 입력/출력 시기가 달라지기 때문에 위의 문제들이 쉽게 해결된다. 따라서 S-SEED야말로 대규모의 광 시스템에 적합한 소자라 할 수 있다.

본 논문에서는 16x8 반사형 S-SEED 어레이의 제작과 그 특성에 대해 기술하였다. 먼저 II장에서는 S-SEED의 동작 원리를 간략히 살펴 보았고, III장에서는 성장한 시편으로 광쌍안정성 특성을 얻는데 필요한 부성 저항과 바이어스에 따른 반사도 변화 곡선을 보였다. IV장에서는 소자 제작 공정 전반에 대하여 서술했으며, V장에서는 S-SEED 어레이의 광쌍안정성 특성 곡선을 제시했으며, 모든 소자(128개)가 제 기능을 다하는지 살펴 보았다.

II. S-SEED의 동작 원리

S-SEED는 그림 1에서 처럼 역바이어스 상태의 직렬 연결된 두 다이오드로 구성되어 있으며, 각 다이오드는 서로의 부하 역할을 하게 된다. S-SEED의 동작은 그림 2의 부하선으로 이해될 수 있다. S, R 두 다이오드에 입력되는 광의 세기에 의해 결정되는 각 다이오드에 걸리는 전압을 알면 입력/출력 특성을 알 수 있다. 그림 2(a)의 실선은 다이오드 R의 광전류를 전압(V)에 대해 그렸으며, 입력되는 광세기를 세가지로 표시했다

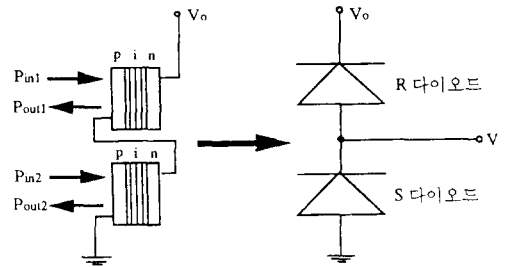


그림 1. S-SEED의 개략도
Fig. 1. Schematic diagram of S-SEED.

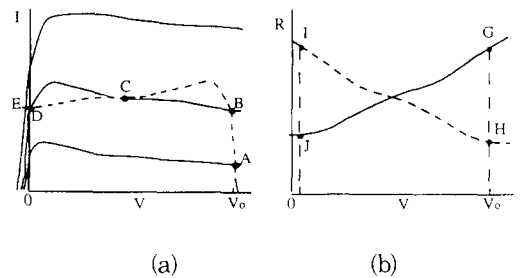


그림 2. S-SEED의 부하선과 반사도 변화 곡선
Fig. 2. Load line and Reflectance change of S-SEED.

그림 2(a)의 점선은 다이오드 R에 직렬로 연결된 다이오드 S의 전압(V)에 대한 광 전류를 나타낸다. 그림 2(b)는 전압(V)에 대한 반사도의 변화를 나타낸 것인데, 전계가 증가하면 광흡수는 줄어들기 때문에 전압(V)에 대한 다이오드(R)의 반사도는 커진다 [그림 2(b) 실선] 그림 2(b)의 점선은 다이오드(S)의 전압(V)에 대한 반사도를 나타낸다. S 다이오드에 걸리는 전압은 바이어스 전압(V0)에서 R 다이

오드에 걸리는 전압(V)을 뺀 것이기 때문에, 전압에 대한 반사도나 전류 특성은 서로 같지만, 바이어스 전압만큼 이동해서 그 특성 곡선이 수직축을 기준으로 뒤집혀져서 나타난다.

서로 다른 크기의 광 입력(S 다이오드 입력 > R 다이오드 입력)을 입사시키면 소자의 상태는 그림 2(a)의 A점에 이르게 된다. 이때 S, R 다이오드에 입력되는 광 전력의 차이(input contrast ratio)는 2:1이면 충분하다.¹² 반대로 R에 입력되는 빛의 세기를 S의 입력보다 더 크게 하면 동작점은 C 점에서 결정된다. C 점에서 R 다이오드는 낮은 전압과 낮은 반사도를 지니는 반면에 [그림 2(b)에서 J점], S 다이오드는 상대적으로 높은 전압과 높은 반사도를 띠게 된다 [그림 2(b)에서 I점] 반면에, A 점에서는 C 점일때와 정반대의 성향을 보여준다. 즉, R 다이오드는 높은 전압과 높은 반사도를 보여주며(G 점) S 다이오드는 낮은 전압과 낮은 반사도를 나타낸다(H 점). 이처럼, 소자의 동작점이 각 다이오드에 입력되는 빛의 세기의 비에 의해서 결정되므로 S와 R의 입력을 같은 광원을 사용한다면 광원의 흔들림에도 영향을 받지 않는다.

위에서와 같이 서로 다른 크기의 광 입력으로 동작점을 A나 C점에 결정시켜준 다음에는 입력빔을 차단시키고 입력 빔보다 큰 세기를 갖는 클럭 빔을 이용하여 소자의 상태를 잃어낸다. 클럭 빔의 사용으로 S-SEED는 증폭기의 부착없이도 이득(time sequential gain)을 가지게 된다.

III. 시편의 부성저항 관찰 및 반사도 측정

본 실험을 수행하기 위해 결정 성장한 시편의 구조는 그림 3과 같다. 소자 격리를 위해서 반절연 기관(S. I. substrate)을 사용하였으며, 반사형 S-SEED 이기 때문에 들어온 빛을 반사시켜주는 거울층을 $Al_{0.12}GaAs/AlAs$ (599Å/723Å)의 15 주기로 성장시켰고, 성장과정에서 MQW 지역으로의 불순물 확산을 막기위해서 i - AlGaAs (buffer)층을 두었다. n-AlGaAs(anode)층을 메사 습식 식각시 발생하는 불균일성에 대비해서 약 0.8 μm 정도로 두껍게 증착시켜주었다. 가장 중요한 다층 양자 우물(MQW)은 50.5주기의 AlGaAs/GaAs로 구성했으며, Al의 조성비는 4%로 하였고 진성 농도(background doping)를 낮추기 위해 성장 온도를 조절하여 그 최저 부근인 735 $^{\circ}C$ 에서 성장하였다.¹⁶⁾ 또한 오옴 접촉을 용이하게 하기위해서 p' - GaAs (cap)층을 두었다.

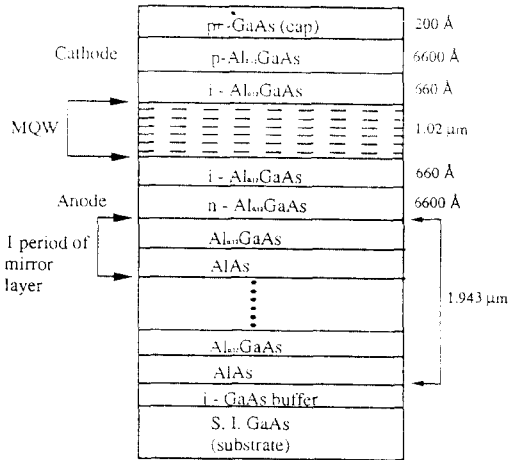


그림 3. Pin 다이오드의 구조를 갖는 시편
Fig. 3. Epi-wafer with pin diode structure.

S-SEED 어레이와 함께 제작된 소자에 0.9, 0, -3, 그리고 -6Volt 등의 바이어스를 가해줬을 때의 반사도를 측정된 것을 그림 4에 나타내었다. 856nm에서 엑사톤 봉우리를 관찰할 수 있었으며 역바이어스의 증가에 따라 그 봉우리가 이온화됨을 알 수 있었다. 역바이어스에 따른 반사도의 변화율은 15.6% (+0.9 V)에서 43.3%(-6.0V)를 나타내고 있다. 반사도 측정 그림에서 S-SEED 어레이의 광쌍안정성 명암비가 6Volt 역바이어스에서 2.8(43.3/15.6) 정도임을 알 수 있다.

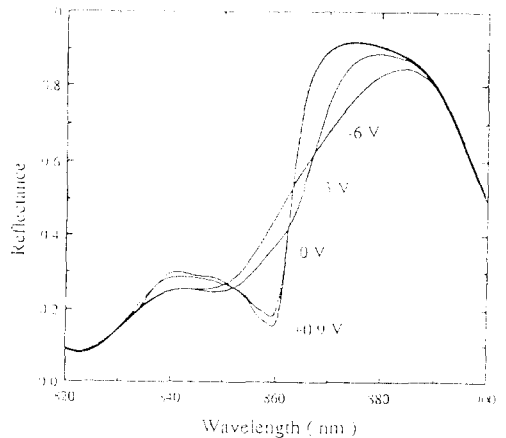


그림 4. 파장 변화에 따른 반사도 변화
Fig. 4. Reflectance Spectrum.

그리고 이 측정에서 기존의 QCSE 현상(Al 비: ~30%정도)을 이용한 소자와는 달리 5V라는 낮은 바

이어스에서도 급격한 광 흡수의 감소와 엑사톤 봉우리가 사라짐을 볼 수 있다. 이것은 보다 낮은 바이어스에서 소자의 동작이 가능해져 소자의 스위칭 에너지를 줄여줄 수 있게되었다.

IV S-SEED 어레이 제작 공정

전체 7 단계의 공정-메사 식각, 격리 식각, 절연막 증착, p 와 n 형 금속 증착, 그리고 무반사막 코팅을 통해서 소자를 제작했다. 특히 반사형 S-SEED는 QW (Quantum Well) reflector stack(거울층)이 있기때문에 투과형 SEED 제작에서 필요한 시료 뒷면을 갈아내는 lapping, 투과창 식각, 양면 무반사막 코팅 등의 번거로운 공정들을 생략할 수 있었다. 그림 5는 공정의 진행에 따른 S-SEED 소자 1개의 단면도를 나타낸 것이다.

메사 식각은 S-SEED 공정의 첫번째 단계로서 인접한 소자와의 MQW층을 격리(Isolation)시키는 것을 목적으로 한다. 특히, 금속 lift-off를 위해서는 메사 패턴이 [0T1] 방향이 되도록 리소그래피를 해야 한다. 이는 GaAs의 식각 특성을 이용해 "V" 형태로 식각된 면에다 금속을 증착시켜 주기 위함이다

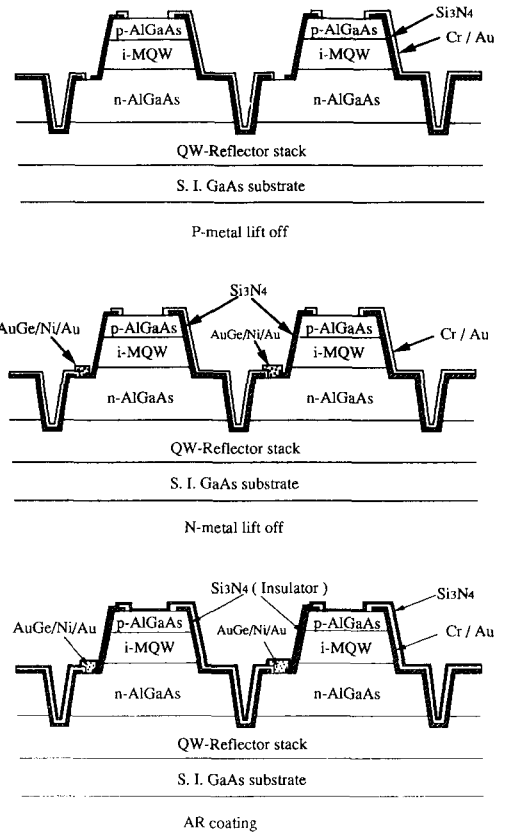
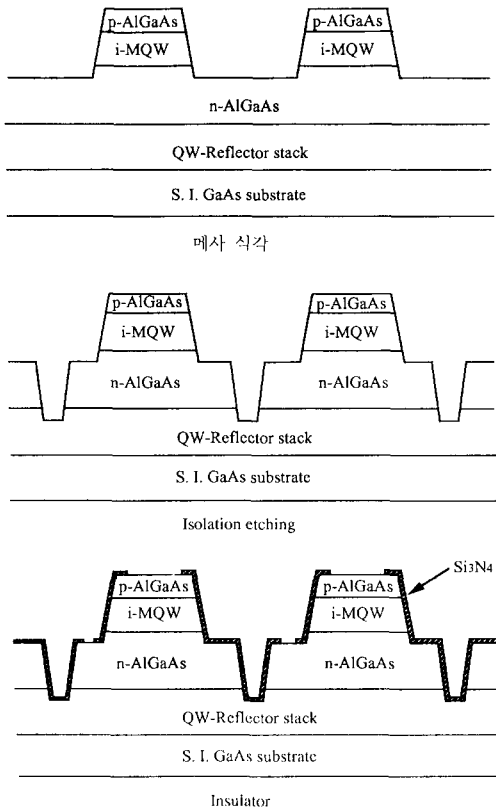


그림 5. 단위 공정에 따른 소자의 단면도
Fig. 5. Cross-section of device for processing.

다. 리소그래피를 끝낸 후 PR 이 식각 용액에 견딜 수 있게 하기위해 120℃ 의 오븐에서 10 분간 하드 베이킹 (Hard baking) 을 한다. 하드 베이킹 후 온도에 의한 식각 비 상승을 막기 위해 오븐에서 꺼낸 시료를 약 30 분간 상온에서 식힌 후 40℃ 로 유지된 항 온도에서 H₂SO₄ : H₂O₂ : H₂O = 1 : 1 : 10 (5ml : 5ml : 50ml) 의 비율로 혼합된 용액에서 77초간 2.0μm 식각을 한다.

격리 식각은 인접한 소자와의 n-AlGaAs층을 완전히 분리시켜 주는 것이 그 목적이다. 사용한 식각 용액은 메사 식각때와 같으며, 40초간 1.0mm 식각을 하였다. 그림 6은 거울층으로 흐르는 누설 전류를 간접적으로 측정한 것이다. 소자의 동작 영역인 -5V에서 수 pA정도(수백 GΩ이상)의 좋은 격리 특성을 보여준다.

절연막 증착은 GaAs 웨이퍼 표면에 Si₃N₄ 보호막을 형성함으로써 표면 손상이나 오염을 막음과 동시에 전기적인 절연막을 형성하는 것이 그 주요한 목적이다. Si₃N₄ 를 증착하기전에 세척 및 자연 산화막을

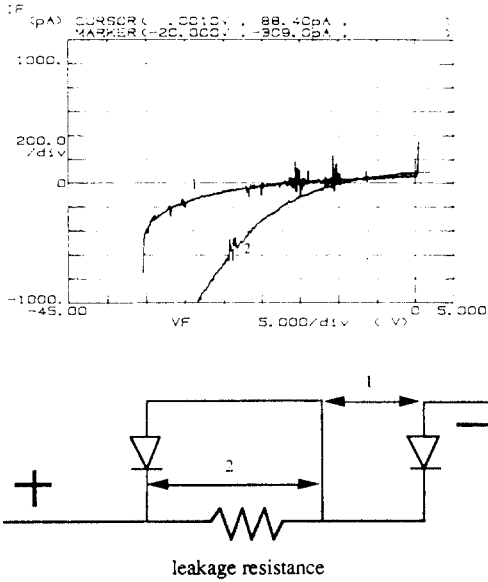


그림 6. 거울층으로의 누설 전류 특성
 Fig. 6. Leakage current characteristics through reflector stack.

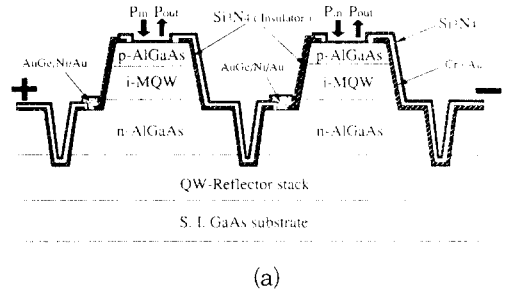
제거하기 위해서 HCl : D.I. water = 30ml : 30ml의 용액에 시료를 30 초간 담귀둔다. Si₃N₄의 증착 두께는 절연과 동시에 식각으로 인한 시료의 굴곡을 평탄화시켜주기위해 두껍게 입혀준다. Microwave Excited Remote PECVD 를 이용한 Si₃N₄의 증착 조건과 p형 n형 금속이 증착될 부분의 막을 RIE (Reactive Ion Etching)로 제거해내는 건식 식각 조건은 표 1과 같다.

표 1. Si₃N₄ 증착 조건과 건식 식각 조건
 Table 1. Si₃N₄ deposition and dry etching condition.

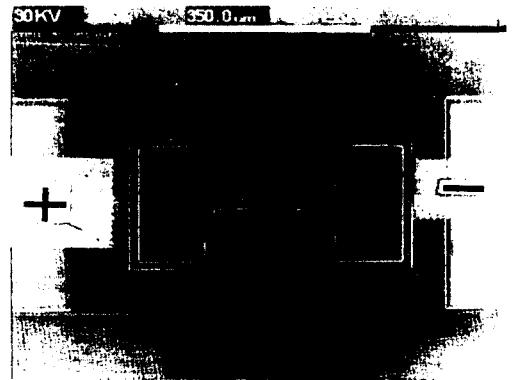
	Si ₃ N ₄ 증착 조건	건식 식각 조건
방법	Remote PECVD	RIE
압력	137m Torr	200m Torr
유량	SiH ₄ 5 sccm(100%) NH ₃ 20 sccm(10%)	CF ₄ 36.5sccm
온도	250℃	35℃
전력	70W	140W
시간	30분 9분 30초	2분 30초 1분
두께	3,500~4,000 Å 1,150 Å Si ₃ N ₄ 의 굴절률	1.85~2

절연막 증착 공정이 끝나면 p 전극을 형성시켜주는 데, 리소그래피에서 소프트 베이킹(soft baking)을 한 직후에 모노클로로 벤젠 (C₆H₅Cl) 용액에 7 분간 담가 주어 (soaking) PR이 끊어지는 경계 부분을 급격하게 해중으로써 lift off를 용이하게 했다.^[7] 금속을 증착하기전에 NH₄OH : D.I. water = 1 : 40 (1ml : 40ml) 용액에 시료를 20 초간 담귀 자연 산화막을 제거한다. p 형 금속으로는 Cr/Au를 300~500 Å/3,000 Å을 증착한다. n 형 금속 증착은 증착하는 금속의 종류만 다를뿐 앞 단계인 P 형 금속 lift off 와 같은 공정이다. AuGe, Ni, 그리고 Au 순으로 증착하며, 증착한 두께는 각각 1,200 Å, 350 Å, 1,200 Å 정도이다. 앞 단계에서 증착한 금속들의 오염 접촉을 위해서 Heat-Pulse 급열 처리기를 이용해서 금속 열처리를 410℃ 에서 30 초간 행한다.

막의 두께가 원하는 파장의 0.25 배가 되고 막과 기판 물질의 굴절률이 $n_r = (n_s)^{1/2}$ 의 관계를 만족시키면 빛의 반사도를 최소화시킬 수 있다.^[8] GaAs의 굴절률 $n_s = 3.5$ 이므로 위 조건에 부합되는 막의



(a)



(b)

그림 7. (a) 소자의 단면 (b) 소자의 평면 사진
 Fig. 7. (a) Cross-section of the device, (b) Photograph.

로서 Si_3N_4 ($n_r = 1.85 \sim 2.0$)를 선택했다. Si_3N_4 의 두께는 $\lambda / (4x n_r)$ 로 결정되며, λ 는 MOCVD로 성장시킨 시료의 파장에 따른 흡수 계수에서 흡수 계수가 가장 클 때의 파장을 가리키며 n_r 는 Si_3N_4 의 굴절률이다. 실험에 사용된 시료의 λ 는 856 nm였고 n_r 는 1.9 정도였으므로 증착해야 할 막의 두께는 1,130 Å이다. PECVD 조건은 표 1과 같다. Si_3N_4 를 증착한 후 측정을 하기 위해 본딩할 부분(pad)의 Si_3N_4 막을 RIE로 제거해냈다. 그림 7은 완성된 소자의 단면도와 실제사진이다.

V. 결과 및 고찰

그림 8은 16x8 S-SEED 어레이의 전류-전압 특성 곡선이다. 역방향 항복 전압은 -40Volt 이상이었으며, 역방향 누설 전류는 -10Volt에서 수십 pA의 양호한 값을 나타내었다.

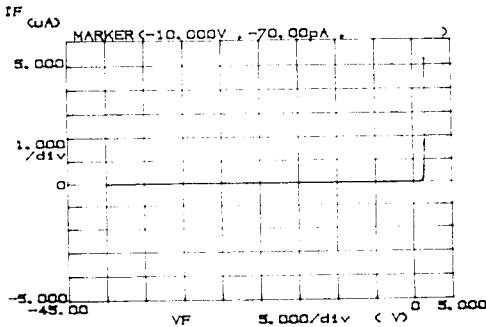


그림 8. 제작된 소자의 전류-전압 특성
Fig. 8. I-V characteristics of the device.

반사도 측정 실험과 마찬가지로 소자를 외부 회로와 연결할 수 있도록 본딩해서 마운트(mount)에 고정시켜, 그림 9와 같이 측정 장치를 꾸며서 측정하였다. 광쌍안정성을 위한 광원으로는 온도에 의해 출력 파장의 조절이 가능한 레이저 다이오드를 사용하였다. 그림에서처럼 레이저 다이오드에서 나오는 빛을 빔 분리기 (beam splitter)를 이용해 두 개로 나눈 다음 두 다이오드에 입사한다. 그런데, 광쌍안정성 실험을 하기 위해서는 한 다이오드에는 같은 세기의 빛을 다른 다이오드에는 그 세기가 삼각파의 모양을 갖는 빛을 넣어 줘야하기 때문에 AO(Acousto-Optic) 변조기를 사용해 입사되는 빛을 변조시켰다. 그리고 입사되는 빛이 다이오드에 정확히 들어오고 있는지의 여부는 CCD 카메라와 모니터를 이용해 알아 낸다. 그림 10에는 측정한 광쌍안정성 곡선과 이

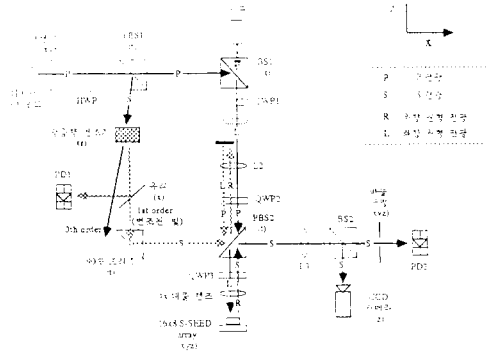
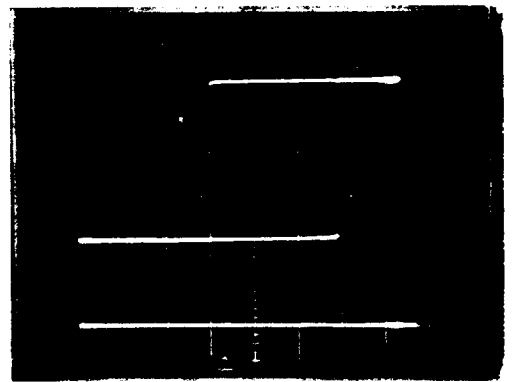
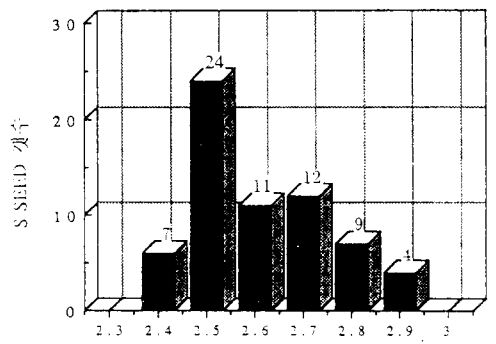


그림 9. 광쌍안정성 측정 장치 구성도
Fig. 9. Optical Bistability measurement set up.



(a)



명암비
(b)

그림 10. (a) 광쌍안정성 곡선
(b) 64개 소자의 명암비 통계
Fig. 10. (a) Optical Bistability curve,
(b) Contrast ratio statistics of the device.

레이의 홀수행 단위로 추출해낸 개별 소자의 명암비를 측정할 통계를 나타냈으며, 대개의 소자가 2.4를 넘는 명암비를 보여주었고 최대 명암비는 2.9를 나타내었다. 또한 모든 소자가 동작함을 알 수 있었다. 명암비가 그림 10(b)처럼 변화하는 까닭은 레이저 다이오드의 온도가 시간에 따라 변함으로인해 그 파장을 변화시킨 때문이라 생각된다. 그러나 위와 같은 결과는 GS(Gas Source)-MBE로 제작한 소자와 비교했을 때 결코 뒤지지 않아 MOCVD(Meta-Organic Chemical Vapor Deposition)로의 S-SEED 어레이의 가능성을 보여주었다.

VI. 결론

16x8 반사형 S-SEED 어레이를 제작했다. P-i-n 다이오드 구조는 저압 MOCVD를 사용하여 성장시켰는데 i-지역을 GaAs와 $Al_{0.04}GaAs$ 를 각각 100Å씩 교대로 해서 50 주기를 쌓았으며, 성장 온도를 조절하여 진성 농도가 최저 부근인($\sim 7 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$) 735°C에서 성장시켰다. 반사형 소자이므로 입사되는 빛을 반사시켜주는 거울층을 $Al_{0.12}GaAs$ 와 AlAs를 각각 599Å/723Å씩 쌓아 93%의 반사율을 얻었다.

소자는 일반 투과형 SEED와는 달리 lapping, 투과창 식각 등 뒷면 공정이 생략된 7 단계의 공정으로 제작되었다. 소자의 활성층(i-MQW 지역)을 격리시켜주는 메사 식각, 개별 소자들간의 전기적 연결을 완전히 분리시켜주는 격리 식각(Isolation etching), 전기적인 절연과 표면 평탄화를 위한 Si_3N_4 막 증착 및 금속 증착 부분의 막 제거, P-형 금속 증착, N-형 금속 증착, 오음 접촉을 위한 금속 급열처리 그리고 입사하는 빛의 반사도를 최소화함과 동시에 passivation을 시켜주는 무반사막 코팅 등이 그것이다.

광 측정을 통하여 856 nm에서 엑사톤 봉우리가 나타났으며, 모든 소자의 명암비가 2:1 이상을 보여 시스템 적용할 수 있는 조건을 만족하였다. 또한 Al비가 4%의 낮은 장벽 구조를 사용함으로써 낮은 바이어스($\sim 5V$)에서 소자의 동작이 가능해졌다.

參考文獻

[1] D. A. B. Miller, D. S. Chemla, T. C. Damen, A. C. Gossard, W. Wiegmann, T. H. Wood, and C. A. Burrus, "Novel hybrid optically bistable switch: The quantum well self-electro-optic effect

device," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 45, pp. 13-15, 1984.

- [2] D. A. B. Miller, D. S. Chemla, T. C. Damen, T. H. Wood, C. A. Burrus, A. C. Gossard, and W. Wiegmann, "The quantum well self-electro-optic effect device: Optoelectronic bistability and oscillation, and self linearized modulation," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-21, pp. 1462-1476, 1985.
- [3] D. A. B. Miller, J. E. Henry, A. C. Gossard, and J. E. English, "Integrated quantum well self electro-optic effect device: 2x2 array of optically bistable switches," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 49, pp. 821-823, 1986.
- [4] D. A. B. Miller, D. S. Chemla, T. C. Damen, A. C. Gossard, W. Wiegmann, T. H. Wood, and C. A. Burrus, "Band-edge electroabsorption in quantum well structures: The quantum confined stark effect," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 53, pp. 2173-2175, 1984.
- [5] D. A. B. Miller, D. S. Chemla, T. C. Damen, A. C. Gossard, W. Wiegmann, T. H. Wood, and C. A. Burrus, "Electric field dependence of optical absorption near the band gap of quantum well structures," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 32, pp. 1043-1060, 1985.
- [6] S. W. Lee, T. M. Kim, K. U. Chu, S. S. Park, M. S. Jeong, and O'Dae Kwon, "Symmetric self electro-optic effect device array grown by metal-organic vapor phase epitaxy using GaAs/ $Al_{0.04}Ga_{0.96}As$ shallow quantum wells," *Applied Physics Letters* (to appear, 3/15/1993).
- [7] R. E. Williams, "GaAs Processing Techniques," pp. 143-144, Artech House, 1984.
- [8] G. R. Fowles, "Introduction to Modern Optics," 2nd edition, p.99, Holt, Rinehart and Winston, 1975.

 著 者 紹 介

金澤武(準會員)

1968年 10月 2日生. 1991年 포항공대 전자전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전자전기공학과 석사학위 취득. 현재 현대전자 반도체 연구실 재직.

秋光旭(準會員)

1968年 12月 16日生. 1991年 포항공대 물리학과 졸업. 1993년 동 대학원 전자전기공학과 석사학위 취득. 현재 한국전자통신연구소 재직.

鄭文植(準會員)

1969年 4月 7日生. 1991年 포항공대 전자전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전자전기공학과 석사학위 취득. 현재 현대전자 반도체 연구실 재직.

權五大(正會員)

1946年 4月 15日生. 1969年 서울대 전기공학과 졸업. 1975年 Rice Univ. 전자공학과 석사. 1978年 Rice Univ. 전자공학박사. 1978년~1979年 Cornell Univ. 통계물리/응용물리 연구부 선임연구원. 1982년~1986年 Dow Corp. 중앙연구소 자성체/광전자 연구부 책임연구원. 1986년~현재 포항공대 전자전기공학과 교수. 주관심분야는 양자 및 광전자 공학, 광 교환 및 광 컴퓨팅 등임.

李承遠(正會員)

1961年 10月 15日生. 서울대 물리교육과 졸업. 1986年 한국과학기술원 물리학과 이학석사. 1986년~1988年 한국전자통신연구소 광전자 연구실 연구원. 1993년 포항 공대 대학원 전자전기공학과 박사학위 취득. 주관심 분야는 MOCVD epitaxy 및 광전자 응용 등임.

金碩泰(準會員)

1970年 2月 13日生. 1992년 포항공대 전자전기공학과 졸업. 현재 동대학원 전자전기공학과 석사과정.

金成宇(準會員)

1970年 1月 30日生. 1992년 고려대학교 전자전산공학과 졸업. 현재 포항공대 전자전기공학과 석사과정.

姜鳳求(正會員)

1955年 7月 20日生. 1976年 경북대 전자공학과 졸업. 1984年 Univ. of California Berkeley 석사. 1986年 Univ. of California Berkeley 박사. 1976년~1981年 국방과학연구소 연구원. 1981년~1986年 Electronics Research Lab. U.C. Berkeley 연구원. 1986년~1988年 한국전자통신연구소 선임연구원. 1989년~현재 포항공대 전자전기공학과 교수. 주관심분야는 플라즈마응용 및 반도체 공정 등임.