

공명 투과 구조의 MOCVD 성장 및 특성에 관한 연구

正會員 柳 政 濤* 正會員 徐 光 錫*

A Study on the MOCVD Growth and Characterization of Resonant Tunneling Structures

Jeong-Ho Lyu*, Kwang-Seok Seo* *Regular Members*

要 約

대기압 MOCVD 방법으로 이중 장벽 구조의 공명 투과 소자를 제작하여 상온과 77K에서의 부저항 특성을 특징하였다.

GaAs 양자 우물과 spacer, AlGaAs 장벽을 사용하여 성장온도를 변화시켜 공명 투과 소자를 제작한 결과 상온에서 2.35, 77K에서 15.3의 높은 peak-to-valley 전류비를 얻었다. 컴퓨터 모의 실험에서는 coherent 투과만을 고려하여 peak 전류를 계산해서 실험치와 잘 일치하는 것을 알 수 있었다. AlGaAs 장벽에 InGaAs 양자 우물과 spacer를 사용하여 전자의 공급량을 증가시킨 구조에서는 상온에서 8.6KA/cm²의 높은 peak 전류와 4.0의 큰 peak-to-valley 전류비를 얻었다.

Abstract

GaAs/AlGaAs resonant tunneling structures have been grown by atmospheric pressure MOCVD. Resonant tunneling diodes fabricated with the structure grown at 650°C showed a high peak-to-valley(P/V) current ratio of 2.35 at room temperature. P/V current ratio increased to 15.3 at 77K. Numerically calculated peak current agrees well with the experimental result. Resonant tunneling diodes with AlGaAs as a barrier and InGaAs as a quantum well and a spacer layer yielded a high P/V current ratio of 4.0 and a peak current density of 8.6KA/cm² at room temperature because of increased carrier supply.

I. 서 론

반도체 이중 장벽을 통한 공명 투과 현상은 입사되

는 전자의 에너지가 이중 장벽내에 있는 양자우물의 고유에너지와 일치할때 발생하는 전자투과계수의 공명 현상에 기인하는 것으로 MBE(Molecular Beam Epitaxy), MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)와 같은 결정 성장 방법의 향상에 따라 상온에서 부저항 특성을 관측할 수 있게 되었고^[1]

*서울대학교 電子工學科
Dept. of Electronics Eng., Seoul Nat'l Univ.
論文番號 : 93-106

지금은 DBH RTD(Double Barrier Heterostructure Resonant Tunneling Diode)의 성능의 최적화와 전자소자 및 광소자로 사용하기 위한 많은 노력이 기울어지고 있다. RTD의 특성을 나타내는 주요한 파라미터들은 P/V(peak-to-valley) 전류비와 peak 전류값이며, 이 두개의 파라미터 값이 모두 증가되어 부저항 값이 커져야 초고주파 발진소자, 높은 이득을 갖는 증폭기 및 초고속 다중논리 회로등의 실현이 가능하게 된다. 현재까지 RTD에 대한 연구는 저압 MOCVD에 의한 수편의 연구 결과들 외에는 대부분 MBE로 성장된 에피층을 사용하여 수행되어 왔다.

본 논문에서는 대기압 MOCVD방법으로 RTD구조를 성공적으로 성장하였으며 InGaAs를 사용하여 제작된 RTD소자는 상온과 저온에서 높은 P/V 전류비 및 peak 전류값을 나타내었다. 그리고 RTD의 전류전압 특성을 이론적으로 계산하였으며 이를 측정결과와 비교하였다.

II. RTD구조의 MOCVD 성장 및 제작

1. GaAs/AlGaAs RTD 구조의 성장 및 제작

본 논문에서는 그림 1과 표 1에 있는 RTD 구조를 대기압 MOCVD 방식으로 성장하였다. 본 논문에서 사용한 MOCVD 시스템 본체는 영국 cambridge Instrument/MR. Semicon사로부터 구입한 Quantax 235 MOCVD로 수소를 이송기체로 써서 TMGa, TMAI, TMIn의 유기금속 화합물과 100% AsH₃, 100ppm의 SiH₄을 사용하였다.

에피층 성장시에는 RTD 구조의 핵심부인 AlGaAs/GaAs/AlGaAs DBQW(Double Barrier Quantum Well) 전후에 300Å의 undoped GaAs spacer를 삽입하여 thrermionic전류를 감소시켜 상온에서의 부저항 특성이 가능하도록 하였다. 그림 1과 표 1에서 spacer1과 spacer2는 DBQW양단의 spacer를 나타낸것으로 spacer2가 기판에 가까운 쪽이다. n⁺(100) GaAs 기판 위에, V/III 비율 40, 성장 속도 1.5 μm/hr, 성장 온도 650℃의 성장 조건 하에서 contact 층으로 사용되는 이단계 doping 층 (4 × 10¹⁸/4 × 10¹⁷ cm⁻³)을 성장하였다. 기판내에 존재하는 결함들과 반응로 내부에 남아 있는 O₂가 RTD의 핵심부인 DBQW 영역의 성장에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 n⁺ GaAs/AlGaAs 초격자층을 contact 층과 기판 사이에 삽입하였으며, contact 층 성장 후 SiH₄의 기억효과를 감소시키기 위하여 10초 동안 성장을 중지시킨 후 300Å의 undoped GaAs spacer 및 50Å/50Å/50Å 두께의 Al_{0.43}Ga_{0.57} As/GaAs/Al_{0.43}Ga_{0.57} As DBQW 구조를 성장하였다. DBQW 구조를 형성하는 여러 계면들의 fluctuation을 감소시키고 AlGaAs 장벽층의 특성을 향상시키기 위하여 spacer

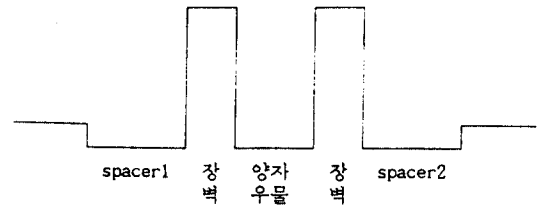


그림 1. 이중장벽과 양자우물의 개략도

Fig 1. The schematic diagram of double barrier and quantum well

tum Well) 전후에 300Å의 undoped GaAs spacer를 삽입하여 thrermionic전류를 감소시켜 상온에서의 부저항 특성이 가능하도록 하였다. 그림 1과 표 1에서 spacer1과 spacer2는 DBQW양단의 spacer를 나타낸것으로 spacer2가 기판에 가까운 쪽이다. n⁺(100) GaAs 기판 위에, V/III 비율 40, 성장 속도 1.5 μm/hr, 성장 온도 650℃의 성장 조건 하에서 contact 층으로 사용되는 이단계 doping 층 (4 × 10¹⁸/4 × 10¹⁷ cm⁻³)을 성장하였다. 기판내에 존재하는 결함들과 반응로 내부에 남아 있는 O₂가 RTD의 핵심부인 DBQW 영역의 성장에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 n⁺ GaAs/AlGaAs 초격자층을 contact 층과 기판 사이에 삽입하였으며, contact 층 성장 후 SiH₄의 기억효과를 감소시키기 위하여 10초 동안 성장을 중지시킨 후 300Å의 undoped GaAs spacer 및 50Å/50Å/50Å 두께의 Al_{0.43}Ga_{0.57} As/GaAs/Al_{0.43}Ga_{0.57} As DBQW 구조를 성장하였다. DBQW 구조를 형성하는 여러 계면들의 fluctuation을 감소시키고 AlGaAs 장벽층의 특성을 향상시키기 위하여 spacer

표 1. MOCVD로 성장한 RTD의 DBQW 구조

Table 1. The DBQW structure of RTD grown by MOCVD

	물질	GaAs/AlGaAs RTD		GaAs/AlGaAs/InGaAs RTD		
		MO28	MO29	MO107	MO108	MO111
장벽	Al _x Ga _{1-x} As	50Å x = 0.43	50Å x = 0.43	25Å x = 0.43	25Å x = 0.43	25Å x = 0.3
양자우물	In _y Ga _{1-y} As	50Å y = 0	50Å y = 0	50Å y = 0.1	40Å y = 0.1	40Å y = 0.1
spacer1	In _y Ga _{1-y} As	300Å y = 0	300Å y = 0	50Å y = 0.1	100Å y = 0.1	50Å y = 0.1
spacer2	In _y Ga _{1-y} As	300Å y = 0	300Å y = 0	100Å y = 0	100Å y = 0	50Å y = 0.1
MOCVD 성장온도(℃)		650	700	650	650	650

층과 DBQW를 성장시킬 때에는 TMGa의 양을 줄여 성장 속도를 0.75 $\mu\text{m/hr}$ 로 감소시켰으며, 그 다음의 contact층 성장시에는 원래의 성장 속도를 다시 사용하였다.

본 논문에서는 성장 온도가 RTD의 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 시료 MO28 성장시에는 650 $^{\circ}\text{C}$ 의 성장 온도를 계속 유지하면서 spacer와 DBQW를 성장하였으며, 시료 MO29 성장시에는 spacer를 성장시키는 동안 성장 온도를 650 $^{\circ}\text{C}$ 에서 700 $^{\circ}\text{C}$ 로 증가시킨 후 700 $^{\circ}\text{C}$ 에서 DBQW를 성장하고, spacer 성장중에 다시 650 $^{\circ}\text{C}$ 로 감소시켜 contact층을 성장하였다. RTD 구조를 성장시킨 후, RTD 구조 위에 DBQW 성장시와 동일한 성장 조건으로 같은 두께의 QW를 갖는 diagnosis 구조를 성장하였으며, PL 스펙트럼을 측정하여 QW의 두께를 평가 하였다.

RTD의 제작시에는 먼저 diagnosis 구조를 에칭한 후, 기판의 뒤면에 AuGeNi로 ohmic contact를 만들었다. 앞면에는 Au/Ge/Au/Ni/Au 층을 8×10^{-7} Torr의 진공상태에서 E-Beam 증착한 후, lift-off 방법으로 45 \times 45 μm^2 의 RTD 금속패턴을 형성하였다. 앞면의 ohmic contact은 증착된 금속층을 440 $^{\circ}\text{C}$ 에서 10초 열처리함으로써 얻어졌으며, 이 ohmic contact을 마스크로 사용한 메사(mesa) 에칭을 수행하여 RTD 소자를 제작하였다.

2. InGaAs를 이용한 RTD 구조의 성장 및 소자 제작

대기압 MOCVD 방식으로 MO107, MO108, MO111과 같은 InGaAs가 첨가된 RTD를 성장하였다. RTD의 DBQW구조에 대해서는 그림 1과 표 1에 있다. 장벽으로는 AlGaAs를 사용하였고 양자우물에는 InGaAs를 성장하여 낮은 전압에서 최대전류가 나오도록 하였다.

에피층 성장시에는 II-1의 실험과 마찬가지로 contact층으로 사용되는 0.5 μm n $^+$ GaAs($4 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$) 층을 성장하였고 contact층과 기판 사이에 초격자층을 삽입하였다. DBQW 양단의 전극 구조들은 II-1의 실험의 경우와 같다. SiH $_4$ 의 기억 효과를 감소시키기 위해 10초 동안 성장을 중지시킨후 성장속도를 0.75 $\mu\text{m/hr}$ 로 감소시켜서 0.1 μm n $^-$ GaAs($4 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$) 층과 In $_{0.1}$ Ga $_{0.9}$ As 양자우물, AlGaAs이중장벽층을 성장하였다.

본 논문에서는 spacer층의 영향을 알아보고 높은 peak 전류를 얻기 위해 시료 MO107에서는 50 \AA 의 undoped In $_{0.1}$ Ga $_{0.9}$ As 양자우물과 spacer층을 각각

성장하였고 시료 MO108에서는 40 \AA 의 undoped In $_{0.1}$ Ga $_{0.9}$ As 양자우물과 100 \AA 의 In $_{0.1}$ Ga $_{0.9}$ As spacer층(50 \AA /50 \AA 의 doped층과 undoped층)을 성장하였고, 시료 MO111에서는 DBQW양단의 50 \AA spacer와 양자우물을 undoped In $_{0.1}$ Ga $_{0.9}$ As로 성장하였고 Al $_{0.3}$ Ga $_{0.7}$ As 이중장벽을 성장하였다.

소자 제작시에는 뒷면에 Ni/Ge/Au/Ni/Ti/Au로 ohmic contact를 한후, 앞면에 MO107, MO108은 25 \times 25 μm^2 , MO111은 15 \times 15 μm^2 의 금속패턴을 lift-off 방법으로 형성하였다. Ohmic contact는 증착된 금속층을 360 $^{\circ}\text{C}$ 20sec, 430 $^{\circ}\text{C}$ 20sec의 step 열처리함으로써 얻었고, 이 패턴을 마스크로 사용한 메사(mesa) 에칭을 수행하여 RTD소자를 만들었다.

III. GaAs/AlGaAs RTD의 I-V 특성

1. GaAs/AlGaAs RTD의 I-V 측정 결과

제작된 RTD 구조들의 전류 전압 특성을 HP4145 Parameter Analyzer를 사용하여 300K에서 측정된 결과가 그림 2에, 그리고 peak 전류와 전압, 이 값들에서 구한 P/V전류비 값이 표 2에 나와 있다. 77K에서는 시료를 직접 액체 질소에 담가서 측정하였다. 측정된 결과가 그림 3과 표 2에 정리되어 있다.

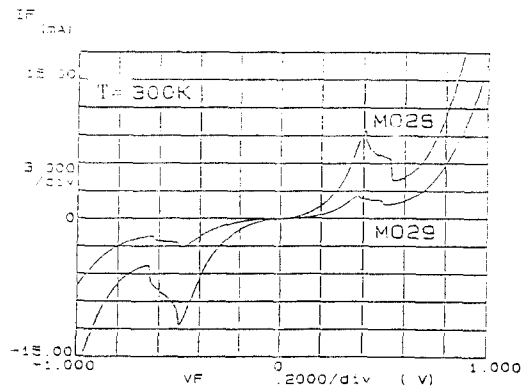


그림 2. 제작된 GaAs/AlGaAs RTD 소자의 300K에서의 전류-전압 특성

Fig 2. Current-Voltage characteristics of the fabricated GaAs/AlGaAs RTD at 300K

650 $^{\circ}\text{C}$ 에서 성장된 RTD 구조인 MO28에서는 300K에서 2.35, 77K에서 15.3의 높은 P/V 전류 비율이 관

표 2. 제작된 GaAs/AlGaAs RTD의 전류-전압 측정 결과

Table 2. The summary of current-voltage measurements for the fabricated GaAs/AlGaAs RTD

	측정 온도	순방향 바이어스			역방향 바이어스		
		peak 전압 (V)	peak 전류 (KA/cm ²)	P/V전류비	peak 전압 (V)	peak 전류 (KA/cm ²)	P/V전류비
MO28	300K	0.43	0.51	2.4	0.53	0.63	2.30
	77K	0.48	0.82	15.5	0.58	0.96	15.13
MO29	300K	0.38	0.13	1.67	0.49	0.16	1.66
	77K	0.41	0.20	10.68	0.58	0.25	13.75

표 3. 제작된 GaAs/AlGaAs/InGaAs RTD의 I-V 특성

Table 3. The summary of current-voltage measurements for GaAs/AlGaAs/InGaAs RTD

	측정 온도	순방향 바이어스			역방향 바이어스		
		peak 전압 (V)	peak 전류 (KA/cm ²)	P/V전류비	peak 전압 (V)	peak 전류 (KA/cm ²)	P/V전류비
MO107	300K	0.48	3.6	1.43	0.42	2.3	2.32
	77K	0.6	3.3	3.9	0.51	2.4	5.6
MO108	300k	0.84	17.3	1.69	0.66	8.6	4.0
	77K	0.92	18.0	4.0	0.51	8.9	5.6
MO111	300K	-	-	-	0.94	49	1.8
	77K	-	-	-	1.1	33	2.2

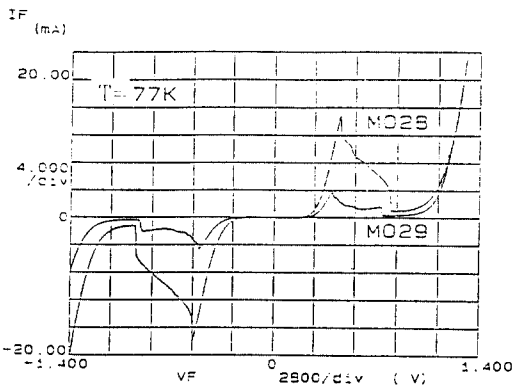


그림 3. 제작된 GaAs/AlGaAs RTD 소자의 77K에서의 전류-전압 특성

Fig 3. Current-Voltage characteristics of the fabricated GaAs/AlGaAs RTD at 77K

찰되었다. 측정된 우수한 부저항 특성은 MBE로 성장된 RTD 구조들에서 측정된 연구결과들^{[1],[2]}과 거의 같으며, 대기압 MOCVD에 의해 RTD등의 양자 구조가 제대로 성장될 수 있음을 입증한다.

표면의 contact에 부전압을 가하여 전자가 표면의 contact층으로부터 DBQW로 주입될때의 peak 전류는 순방향의 경우보다 조금 크게 측정되었다. Si 확산/segregation과 DBQW 계면들의 급준성 차이에 의한 영향^[3]은 이와 반대되는 현상을 가져올 것이다. GaAs 버퍼(buffer)층 및 초격자층의 두께가 충분하지 않을 때 발생할 수 있는 기판으로부터의 결함등의 확산이 가능한 원인의 하나로 여겨진다^[4].

700℃에서 DBQW 영역을 성장시킨 RTD 구조인 MO29의 P/V전류비는 MO28에 비해 감소하였으며, 300K에서 1.7, 77K에서 12.4의 값이 측정되었다. P/V전류비율이 감소한 이유는 현재 명확하지 않다.

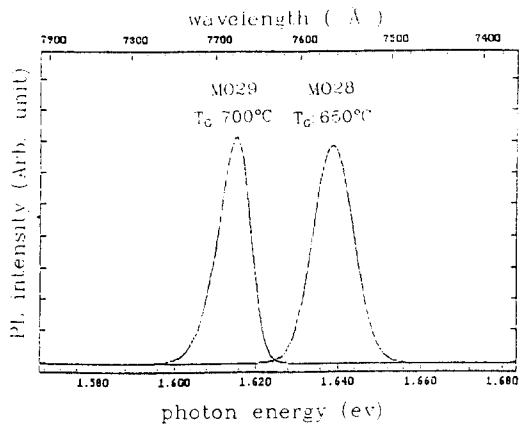


그림 4. Diagnosis 구조에서 측정된 PL Spectrum
Fig 4. PL spectrum measured at the diagnosis structure

그림 4의 diagnosis 구조에서 측정된 PL 스펙트럼들을 비교하면 MO29의 QW 두께가 MO28보다 5Å 정도 두껍다고 평가된다. DBQW 장벽층도 MO29에서 같은 비율로 두꺼워졌다고 간주되므로 MO29의 peak 및 valley 전류는 MO28보다 작게 될 것이다. RTD의 P/V전류비는 DBQW의 장벽층 및 QW의 두께에 따라 결정된다^[2]. 본 논문에서 고려된 50Å/50Å/50Å의 DBQW 구조에서는 장벽층 및 QW의 두께가 증가할 때 P/V 전류비가 감소될 것으로 예상된다^[2].

2. 컴퓨터 모의 실험을 통한 전류 전압 특성을 계산

본 논문에서 연구된 GaAs/AlGaAs RTD 구조에 전압을 걸었을 때의 이론적 전위 분포는 비선형 유한 차분법에 의하여 Poissin 방정식을 계산하여 전위 분포를 얻었다. 전자의 투과계수 $T(E_1)$ 의 계산은 위치에 따른 포텐셜 에너지의 변화를 여러 부분의 step으로 나누어 운동량고유함수의 연속성을 이용하여 계산하는 multi-step 포텐셜 근사 방법^[7]에 의하여 수행되었다. 투과전류는 아래에 보인 고전적인 식을 사용하여 계산하였다.

$$J = \frac{qm^*}{2\pi^2h^3} \int_{E_{no}}^{\infty} T(E_1)D(E_1)dE_1 \quad (1)$$

$D(E_1)$ 은 supply function으로 다음 식과 같다.

$$D(E_1) = \ln \left[\frac{1 + \exp[(E_f - E_1)]}{1 + \exp[(E_f - E_1 - eV)]} \right] \quad (2)$$

위에서 E_1 은 longitudinal 에너지이며 V 는 바이어스 m^* 는 전자의 실효질량, T 는 절대온도이다.

본 논문에서 사용된 RTD 구조는 DBQW 양단에 두꺼운 undoped spacer 층과 저농도의 n 영역을 삽입하였으므로 전압을 가하였을 때에 spacer 층에서 큰 전압 강하기 발생하며 DBQW와 인접한 전자 accumulation 영역이 형성된다. 전자 accumulation 영역에서 일어나는 이차원 양자 효과를 고려하기 위하

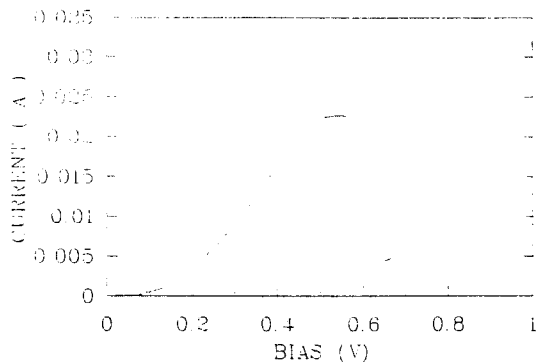


그림 5. 300K에서 accumulation 영역의 conduction band edge에서부터 적분하여 계산한 RTD 구조의 이론적 전류-전압 특성

Fig 5. The theoretical current-voltage characteristics of RTD structure calculated from conduction band edge of the accumulation region at 300K

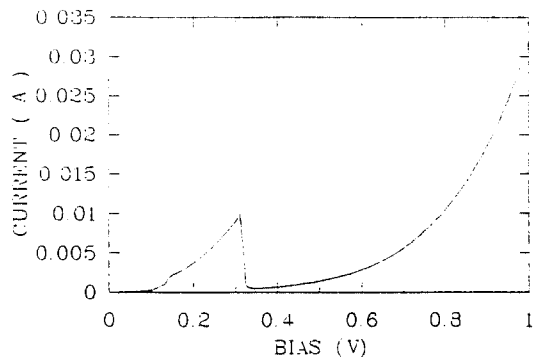


그림 6. 300K에서 accumulation 영역의 bound state를 고려하여 계산한 GaAs/AlGaAs RTD 구조의 이론적 전류 전압 특성

Fig 6. The theoretical current-voltage characteristics of RTD structure calculated from bound state of the accumulation region at 300K

여 본 연구에서는 식(1)에 보인 바와 같이 accumulation 영역의 바닥 상태 subband 에너지(Eno)로부터 투과 전류식을 적분하였다. 바닥 상태 subband 에너지는 유한 차분법을 사용하여 Schrödinger 방정식을 행렬의 고유치 문제로 만들어 구하였다^[8].

본 논문에서는 이론적인 전류전압 특성을 GaAs/AlGaAs RTD 구조에 대해서만 계산하였다. 그림 5는 accumulation 영역의 속박상태를 고려하지 않고 전도대의 edge에서부터 전자의 입사가 일어난다고 생각하여 계산한 결과이고, 그림 6은 accumulation 영역의 바닥상태 subband 에너지로부터 투과 전류식을 적분한 것이다. 그림 6은 속박상태가 고려되지 않았기 때문에 입사되는 전자의 양이 증가되었고 결과적으로 peak 전류와 valley 전류가 크게 나오는 것을 알 수 있다. RTD 소자의 면적을 $45 \times 45 \mu\text{m}^2$ 로 하여 300K의 동작 온도에서 계산하였고, GaAs-AlGaAs 이종 접합에서의 전도대 에너지 불연속은 에너지 갭 차이의 60%로 가정하였다. 그림 6의 계산되어진 peak 전류값은 10mA로 그림 2의 MO28 측정결과와 거의 일치하였다. valley 전류 성분을 이루는 비탄성 투과 등의 여러 전류 성분^[5]들이 이론적 계산에서 고려되지 않았으므로 계산된 valley 전류는 실험 결과에 비해 매우 작았다.

IV. GaAs/AlGaAs/InGaAs RTD의 I-V 특성

시료 MO107과 시료 MO108, 시료 MO111을 300K와 77K에서 HP4145 Parameter Analyzer를 사용하여 측정한 결과가 그림 7, 그림 8, 그림 9과 표 3에 있다.

300K 측정 결과인 그림 7에서 역방향 전압에서 측정된 전류는 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ spacer층에서 전자가 입사되어 나타난 것이고 순방향 전압에서 측정된 전류는 GaAs spacer층에서 전자가 입사되어 나타난 것이다.

GaAs spacer층에서 입사된 경우에는 장벽과 spacer의 두께감소로 III-(1)의 GaAs/AlGaAs RTD 구조에서 측정된 결과보다 peak 전류와 valley 전류 모두가 증가한 것을 알 수 있다^[5]. 그리고 MO107과 MO108을 비교하면 MO108의 경우가 P/V 전류비를 유지시키면서 peak 전류를 증가시킨 것을 알 수 있다. 이것은 양자우물의 너비를 50\AA 에서 40\AA 으로 줄였기 때문으로 생각된다.

$\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 층에서 입사되는 경우를 보면 MO108

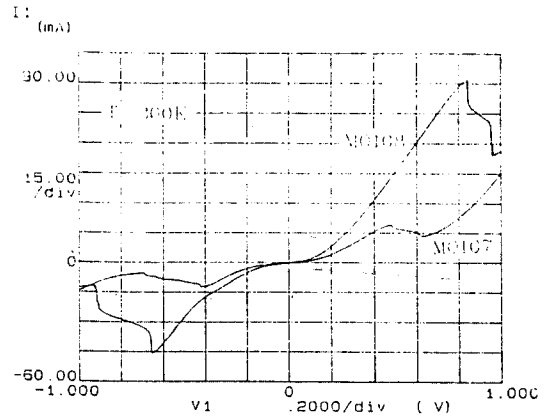


그림 7. 시료 MO107과 시료 MO108의 300K에서의 전류-전압 특성

Fig 7. Current-voltage characteristics of sample MO107 and MO108 at 300K

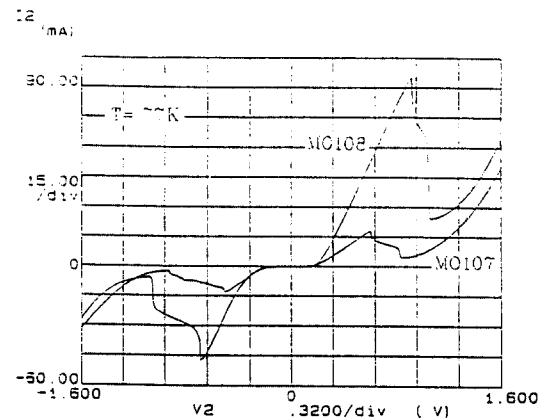


그림 8. 시료 MO107과 시료 MO108의 77K에서의 전류-전압 특성

Fig 8. Current-voltage characteristics of sample MO107 and MO108 at 77K

이 MO107보다 P/V 전류비도 크고 peak 전류도 크게 나온 것을 알 수 있다. MO108은 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ spacer층을 MO107보다 50\AA 더 증가시키고 well을 40\AA 으로 줄인 것으로 peak 전류가 $8.6\text{KA}/\text{cm}^2$ 로 증가하면서 P/V 전류비 또한 4.0으로 높은 값이 나왔다.

RTD의 전류값은 DBQW 구조에 입사하는 전자의 양에 비례하고, 전자의 양은 accumulation 영역에 생성된 부밴드(subband) 에너지와 Fermi 에너지의 차

이에 의해 결정된다. InGaAs spacer층을 사용하면 accumulation 영역에 형성된 양자우물의 부밴드에너지가 낮아지게 되며 따라서 DBQW구조에 입사하는 전자의 양이 증가한다^[6]. MO108이 MO107에 비해 역방향 peak 전류값이 증가한것은 양자우물의 너비를 줄인 영향과 InGaAs spacer의 폭을 증가시킴으로써 spacer의 부밴드에너지가 MO107보다 낮아지게 되고 Fermi에너지와 부밴드에너지의 차이가 커져서 입사되는 전자의 양이 증가한 영향이 함께 나타난것으로 생각된다.

MO108이 MO107보다 peak전압이 높게 나타난것은 양자우물의 너비가 감소해 우물내의 고유에너지가 위로 상승했기 때문으로 생각된다.

77K에서 측정한 결과가 그림 8에 있다. MO107과 MO108 모두 peak 전류는 상온에서 측정한 값과 비슷하거나 조금씩 크게 나왔고, valley 전류값은 크게 감소하면서 P/V전류비가 증가한것을 알 수 있다.

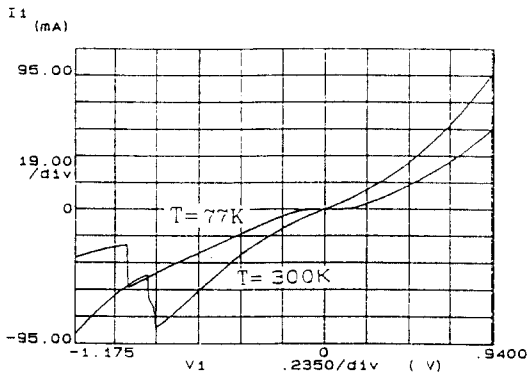


그림 9. 시료 MO111의 300K와 77K에서의 전류-전압 특성
Fig 9. Current-voltage characteristics of sample MO111 at 300K and 77K

그림 9는 MO111을 측정한 결과로서 peak전류는 상온에서 49KA/cm²로 크게 증가하였으나, P/V전류비값은 1.8로 MO108보다 작은 값을 얻었다. 이것은 이중장벽의 Al양을 줄임으로써 장벽의 높이가 낮아졌기 때문에 peak전류와 valley전류가 모두 증가한 것으로 생각한다^[2].

그림 10은 본 연구에서 대기압 MOCVD로 성장하여 얻은 RTD들의 peak 전류밀도와 P/V전류비의 관계를 나타낸 것이다. 본 연구에서 MOCVD로 성장한

RTD 소자들은 기존에 발표된 MBE로 성장한 RTD 구조들의 측정 결과^[1,2,3,4]와 거의 같은 우수한 특성을 나타내었다.

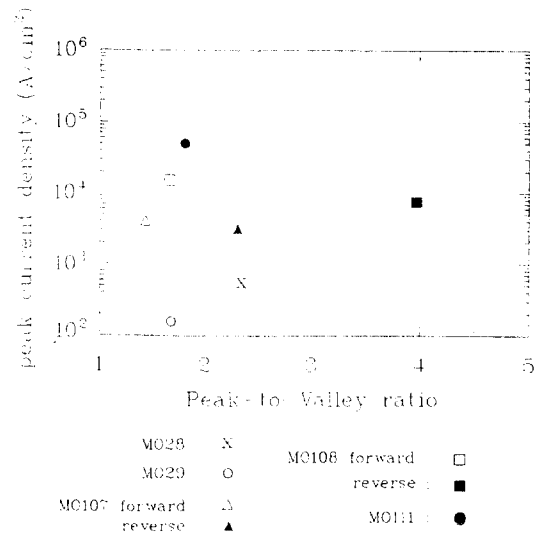


그림 10. Peak 전류밀도와 P/V전류비의 관계
Fig 10. The relation between the peak current density and the P/V current ratio

V. 결 론

대기압 MOCVD에 의하여 GaAs/AlGaAs DBH RTD 구조와 GaAs/AlGaAs/InGaAs DBH RTD구조를 성공적으로 성장하여 그 특성을 연구하였다. 650°C에서 성장한 GaAs/AlGaAs RTD구조는 상온에서 2.35, 77K에서 15.3의 높은 P/V 전류비를 나타내었다. 또한 양자우물과 spacer에 In_{0.1}Ga_{0.9}As를 사용하여 Al_{0.43}Ga_{0.57}As와 같이 낮은 장벽에서도 상온에서 전류밀도 8.6KA/cm², P/V 전류비 4.0의 높은 값을 얻었다. 그리고 GaAs/AlGaAs RTD의 전류-전압 특성을 coherent 투과만 고려하여 이론적으로 계산하였으며, 계산된 peak전류값은 실험 결과와 잘 일치하였다.

참 고 문 헌

1. M. Tsuchiya, H. Sakaki, and J. Yoshino, "Room temperature observation of differential

negative resistance in an AlAs/GaAs resonant tunneling diode," Jap. J. Appl. Phys. vol. 24, pp.L466, 1985.

2. J. Soderstrom and T. G. Anderson, "GaAs/AlGaAs resonant tunneling diodes : The dependence of the peak-to-valley current ratio on barrier thickness and height," Superlattices and Microstructures vol.5, pp.109, 1989.

3. P. Guret, C. Rossei, E. Marclay, and H. Meier, "Investigation on resonant tunneling in III-V heterostructures," J.Appl.Phys. vol.66, pp.278, 1989.

4. C. I. Huang et al., "AlGaAs/GaAs double barrier diodes with high peak-to-valley current ratio," Appl. Phys.Lett. vol.51, pp.121, 1987.

5. R. D. Schnell, H. Tews, R. Neumann, "Room temperature operation of AlGaAs/GaAs res-

onant tunneling structures grown by MOVPE," Electronics.Lett. vol.25, pp.830, 1989.

6. C. R. Wie and Y. W. Choi, "Designing resonant tunneling structures for increased peak current density," Appl. Phys. Lett. vol.58, pp.1077, 1991.

7. Y. Ando and T. Itoh, "Calculation of transmission tunneling current across arbitrary potential barriers," J. Appl. Phys. vol.61, pp. 1497, 1987.

8. A. K. Ghatak, K. Thyagarajan and M. R. Shenoy, "A Novel Numerical Technique for Solving the One-Dimensional Schroedinger Equation Using Matrix Approach-Application to Quantum Well Structures," IEEE J. Quantum Electronics, vol.24, pp.1524, 1988.



柳 政 滿 (Jeong-Ho Lyu) 정회원
 1990년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1992년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1993년 3월 ~ 현재 : 서울대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

※주관심분야 : 반도체 sub 1/4 μ m 소자 구조임



徐 光 錫 (Kwang Seok Seo) 정회원
 1976년 : 서울대학교 전자공학과(공학사)
 1978년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
 1978년 ~ 1982년 : 한국전자기술연구소 연구원
 1987년 : Univ. of Michigan 전기공학과(공학박사)

1987년 ~ 1989년 : IBM 연구소 연구원

1989년 ~ 현재 : 서울대학교 전자공학과 조교수

※주관심분야 : III-V 반도체 재료 및 소자, 고속 아날로그/디지털 IC의 제작 및 설계 등임