GaAs계 OMVPE 및 Laser CVD System 연구

Studies of OMPVE and LACVD for GaAs semiconductors

정동호, 정윤하, 최웅림, 구자강, 권오대*
포 항 공 과 대 학

ABSTRACT

An early phase of the OMVPE and LACVD studies of growing AlGaAs/GaAs films is reported. The AlGaAs/GaAs epitaxy to the level of obtaining MQW structures is a crucial step for the fabrication of the devices such as SEED and/or DOES which are basic parts of the OEIC. The analysis of the OMVPE system is shown for this purpose and the basic results of the LACVD are also presented.

I. 서 론

GaAs계 광전집적회로 (OEIC : Opto-electronic Integrated Circuit) 는 각 분야에서 연구가 활발히 진행되어 현재 일부 실용화 단계에 도달한 것도 있다. OEIC를 실현하기 위해서는 초박막 결정성장 기술의 개발 [1-4], OEIC 에 적합한 소자 및 그 제작기술 그리고 구조와 크기가 다른 광소자와 전자소자의 집적화기술 등 폭넓은 기술개발이 필요하다. 최근 GaAs계 OEIC 에서는 고성능화와 고기능화 및 새로운 공정의 검토와 소자의 제작이 행하여지고 있으며 [5-6], 한편 광에 의한 입출력회로를 목적으로한 초박막구조의 새로운 광기능 소자로서 DOES (Double Hetero-structure Optoelectronic Switch), SEED (Self Electro-optic Effect Device) 등이 발표되어 장래의 광전집적회로를 향해 그 특성향상이 연구되고 있다.

DOES 는 Bell연구소의 G.W. Taylor [7-9] 등에 의해 최근 발표된 이종접합소자이다. 광입력에 의해 스위칭이 가능하고, 더우기 발광도 가능한 새로운 소자이다. p 채널형과 n 채널형이 발표되어 있다. D.A.B. Miller [10-12] 등에 의해 제안된 SEED 는 광쌍안정소자로서 다중 양자우물 (MQW : Multi-Quantum Well) 에 있어서 전계 인가에 의한 exciton 피-크의 이동현상인 QCES효과 (Quantum Confined Stark Effect)를 이용한 것이다.

최근 D.A.b. Miller [12] 등은 2x2 array SEED 소자를 제작하여 안정한 스위칭특성를 보고하고 있다. 그러나 이 소자는 양자우물의 전계효과로 동작하기 때문에 원리적으로는 n sec 이하의 고속동작이 기대되고 있으나, 실제는 회로의 시정수가 제한을 받아서 고속성을 잃게 된다. 이 문제에 대하여 MQW 트랜지스터 구조 [13], 혹은 양자우물의 장벽의 높이를 낮게하여 고속동작이 가능한 소자구조 등을 제안하고 있다 [14].

본 연구에서는 이들 소자제작에 필요한 AlGaAs/GaAs계 초박막 OMVPE (Organometallic Vapor Phase Epitaxy) 결정성장법의 장비 준비 및 시스템 평가와 부가적 연구로서 LACVD (Laser-assisted Chemical Vapor Deposition) 성장법에 의한 박막증착연구를 위한 장비 제작 및 성능 분석에 관하여 주로 논하고저 한다.

II. OMVPE 시스템의 구성

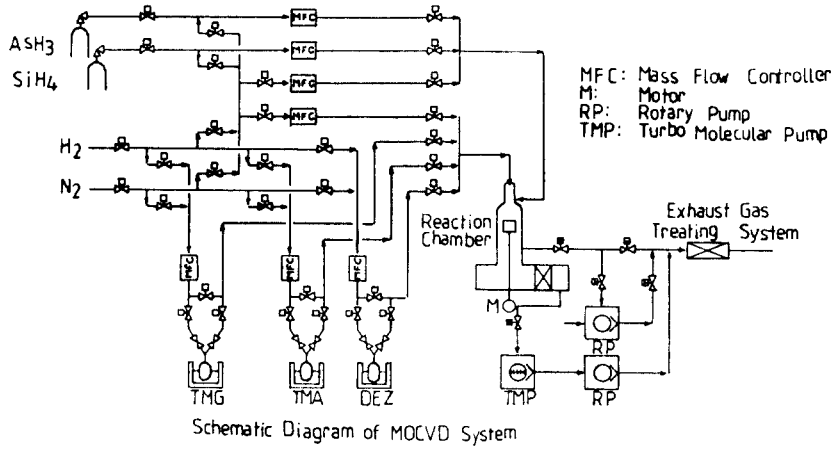
그림 1 에 본 연구에 사용되는 AlGaAs/GaAs 초박막 결정성장을 위한 수직형 OMVPE 장치의 개략도를 나타내었다.

본 실험에 사용된 OMPVE 반응시스템은 크게 원료물질공급부, gas 혼합부, 반응부, 배기부의 4 부분으로 크게 나눌 수 있다.

반응원료 및 가스는 AsH3/SiH4 의 수소화합물의 gas 공급 line 과 TMG (trimethyl gallium : (CH3)3Ga), TMA (trimethylaluminium : (CH3)3Al), DEZ (diethylzinc : (C2H5)2Zn) 등의 유기금속 bubbler 및 항온조로 구성되어 있다. 유기금속화합물은 상온에서 대부분 액체상태이며 수소 gas 를 이용하여 bubbling 시켜 반응원료를 공급한다. 특히 gas 혼합부는 성장될 AlGaAs/GaAs 초박막의 조성을 정확히 조절하고 성능을 높이기 위해 원료 gas를 정확히 혼합하여 공급해주는 필수적 부분이다. 특히 초박막 성장시의 계면의 급준성 (interface abruptness) 을 높이고 memory 효과를 최소화하기 위하여 고품질의 manifold 사용이 요구되며 원료 gas 의 유량변화가 필요한 정밀 프로세스에서는 bypass manifold 에 의한 원료 gas 의 유량 안정화가 주요한 공정기술이다.

본 연구에 사용된 OMPVE 시스템은 valve switch 가 조절된 후 bypass manifold 에 의해 유량이 안정되어 반응관으로 흐르기까지 소요되는 시간은 10초 이내이며, computer 를 사용하여 원료 gas 의 유량과 흐르는 시간을 정확히 조절하여 시스템을 가동하면 재현성이 향상된다. 특히 단순한 이종접합 성장이나 성장막의 두께가 두꺼운 단순한 구조에서는 수동조작이 가능하지만 초격자 구조이거나 MQW 구조와 같이 초박막의 조성이 균일하고 양호한 계면 급준성이 요구되는 결정성장의 경우는 gas 의 유량과 흐르는 시간을 정확히 조절해 주어야 한다. 따라서 전기적으로 조절이 극히 양호한 ±1% 이내의 오차를 가진 MFC (mass flow controller) 와 check valve, 변환 valve 를 구동시키는 computer 의 조절기능이 요구된다. 본 연구를 위한 OMPVE 시스템은 설계 제작 과정에서 상기한 부분에 중점을 두고 제작하였다.

반응부는 반응관과 가열장치로 이루어진다. 열분해된 원료 gas 는 기판표면에서 반응하여 가장 안정된 격자위치에 자리잡아 성장한다. 가열방식은 SiC 로 coating된 graphite susceptor 를 이용한 고주파유로가열방식 이며 반응관은 석영유리로 제작되었다. 본 실험에 사용된 vertical OMPVE reactor 는 기판에 수직으로 원료 gas 가 균일하게 도달하도록 설계되었고 기판 holder 는 회전시켜 성장중의 균일성을 향상시키도록 제작하였다.



Schematic Diagram of MOCVD System

그림 1. OMVPE 시스템의 개략도

배기부는 반응되지 않은 잔여 gas 성분과 반응부산물의 제거 및 반응부를 지나지 않고 bypass 되는 gas 를 배기하는 것으로 설계되었다. 배기부는 반응부의 압력을 일정하게 유지하게 하며 원하지 않는 반응이 일어나지 않도록 유의하여 설계하였고 유독 gas scrubber 시스템, As 등을 제거하기 위한 특수 particle filter 등을 채용하여 독극물에 의한 대책을 충분히 고려하였다.

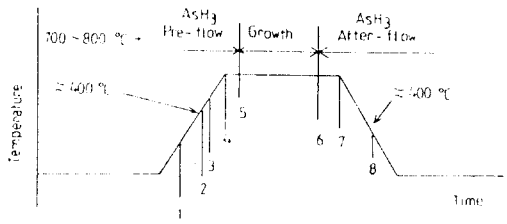


그림 2. OMVPE 결정성장속도

III. OMVPE 시스템의 특성평가

그림 2 는 OMVPE 법에 의한 GaAs 에피결정성장 순서를 나타내었다. 10% AsH3를 400 cc/min 로 vent 에 흘리고 TMG 는 bubbling 을 통하여로 vent 에 흘려보낸다. bubbling 량은 10~20 cc/min 정도로 성장 10 분정도 앞에 행한다. 성장온도에 도달한 후에 AsH3 를 성장조건에 맞춘 값에 흘려보내고, TMG 가 reactor 에 도달하면 GaAs 의 결정성장이 시작된다. .

AsH3 유량을 기판분해를 막을 정도의 량(400 cc/min)까지 한 후 susceptor 온도를 낮춘다. susceptor 온도가 400 °C 정도가 되면 AsH3 를 vent 에 바꾸어 정지시킨다. 특히 AsH3 나 유기금속을 reactor 와 vent 의 압력차가 0 가 되도록 해서 행하여야 한다.

일반적으로 OMVPE 에 의한 III-V 족 화합물반도체의 성장조건으로서는 성장온도, 성장속도, V/III 비 및 캐리어 gas 유량 등의 파라메타 이외에 doping 조건, 각성분 원료사이의 유량비가 주요조건이다. 본 연구에서 TMG 와 AsH3 를 이용한 GaAs 성장의 경우 약 700 °C (susceptor 지시온도) 까지 성장속도는 성장온도에 의존하지 않고 거의 일정하다.

그림 3 에는 본 연구에 사용된 OMVPE 시스템의 susceptor 온도 특성의 차이를 석영관 및 기판온도와 비교 조사한 것이다. 특히 석영 유리의 두께는 0.5 mm 정도의 것을 사용했다.

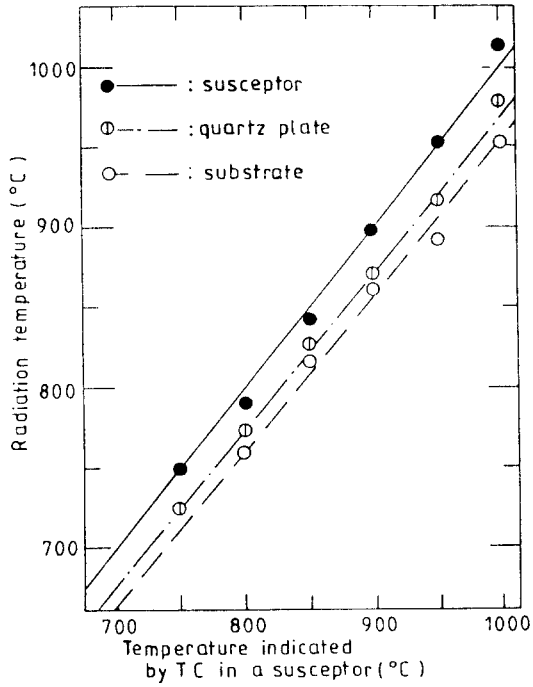


그림 3. OMVPE 시스템의 susceptor 온도특성

본 실험에서 GaAs 에피성장을 위한 실험조건은 다음과 같다. TMG 가 20 cc/min (-11 °C), 10%AsH3 는 300~1000 cc/min, 성장온도 Tg = 700~900 °C 전체유량은 8.5 l/min 로 하였다. 이 조건에서 성장속도는 800 A/min (4.8 μm/hr) 이다.

Alx Ga 1-x As 의 경우는 TMG, TMA 의 양에 따라서 성장속도가 표 - 1 과 같이 변화한다.

표-1 TMG,TMA 의 양에 따른 AlxGa 1-xAs 의 성장속도

TMG(cc/min	MA(cc/min)	Al조성 (x)	성장속도(A/min)
42	3	0.05	1700
20	5	0.16	920
20	6.5	0.2	920
20	11	0.3	1100
17	11.5	0.35	1000
10	11	0.45	700

주) 유기금속유량은 각각 bubbling H2 유량이고, 0 점의 off-set 을 위해 1 cc 정도의 오차가 있다.

IV. LACVD 장치제작

LACVD는 비록 연구가 세계적으로 초창기이나 다음과 같은 독특한 가능성을 가지고 있다. 즉 저온에서의 epi 성장 가능성, 분자를 선택적으로 분해시킬 수 있는 점, 반응 영역을 일정 부위에 국한시킬 수 있는 점 등이라 하겠다.

본 연구에서는 LACVD를 장기적 과제로 선정하였고, 기초연구를 수행하기 위하여 다음과 같은 장치제작에 착수하였다.

LACVD 장치는 일차적으로 GaAs 및 GaAlAs 의 박막 증착 기술을 연구하기 위하여 그림 4 에와 같이 susceptor의 온도를 500 °C 이상까지 조절하여 기판을 가열할 수 있게 하였으며, 레이저 광을 기판에 평행하게 혹은 수직으로 보낼 수 있도록 quartz window port가 있어서, photolysis 와 pyrolysis를 겸할 수 있게 하였고, 필요한 경우에 박막 성장을 ellipsometry로 분석이 가능하도록 별도의 port를 설치하였으며 susceptor의 높낮이는 조절할 수 있도록 설계하였다.

Gas inlet은 chamber 내부의 적절한 위치로 조절할 수 있도록 하였으며 window에 증착이 되는 것을 극소화하기 위해 레이저 광의 입사 window에는 puriging gas inlet을 부착하였다.

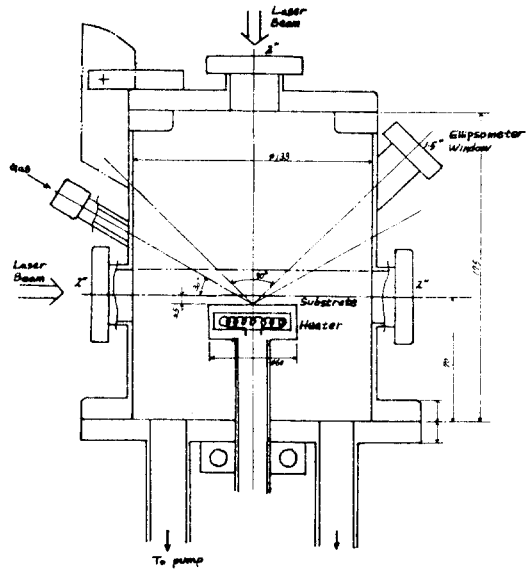


그림 4. LACVD chamber 개략도

V. TMG 및 TMA 의 광분해 반응

LACVD를 위한 기초자료를 획득하기 위하여 TMG 및 TMA 분자가 엑사이머 레이저광에 의해 분해될 때 방출되는 emission spectrum을 조사 중이다. TMG 및 TMA 이 가시광에 의해 어떻게 분해되는 가는 연구되었으나 ArF 레이저 광에 의해 분해되는 과정에 관한 연구는 발표되지 않았다 [15-17].

그림 5 에는 TMG 분자들이 193 nm 의 ArF 레이저 광에 의해 분해될 때 얻어진 emission spectrum 의 일부를 나타내었는 데 200 - 500 nm 영역에서 많은 여기상태의 Ga 원자를 생성함을 보여주고 있다. TMG 분자로 부터 바닥 상태의 Ga원자를 생성하기 위해서는 7.68 eV 의 에너지가 필요하며 [3], ArF 레이저 광의 에너지는 6.42 eV 임을 고려하면 이러한 여기상태의 Ga 원자를 생성하기 위해서는 최소한 Two-photon 이 흡수되면서 TMG 가 분해됨을 시사하고 있다.

그림 6 에는 TMA 분자가 ArF 레이저 광에 의해 분해될 때 얻어진 emission spectrum 의 일부를 나타내었는 데 TMA 분자로 부터 바닥 상태의 Al 원자를 생성하기 위해서는 8.5 eV 의 에너지가 필요함을 고려하면 TMA 의 경우에도 Two-photon process 에 의해 쉽게 분해되면서 많은 여기상태의 Al 원자를 생성함을 시사하고 있다 하겠다.

앞으로 그림 5 와 그림 6 에서 관찰된 Atomic emission line 들의 intensity 가 레이저 power 에 따라 어떻게 변화하는 지를 조사함으로써 Two-photon process 가 주 반응경로인지를 확인할 수 있을 것이며, 각각의 emission line 에 대한 Time profile 을 조사하여 이러한 여기상태에 있는 원자들의 수명과 수소나 Ar 등이 여기상태의 수명에 미치는 영향에 관한 정보를 얻고자하며 AsH3 혹은 AsCl3 등이 ArF 레이저 광에 의해 분해되는 생성물에 관한 실험을 수행하면서 LACVD 로 GaAs 및 GaAlAs 박막 성장을 연구할 것이다.

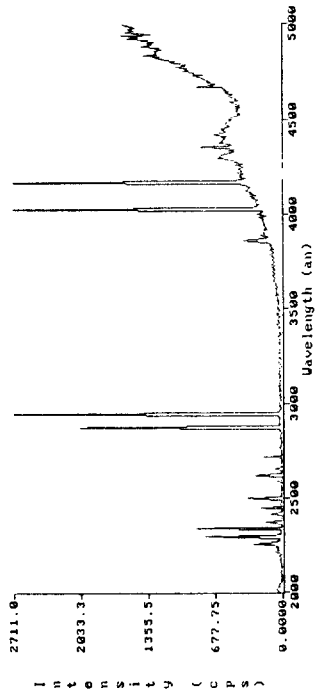


그림 5. 0.3% TMG in Ar 의 실험에서의
Ga* 방출 스펙트럼(10.0 Torr : 50cm 초점거리)

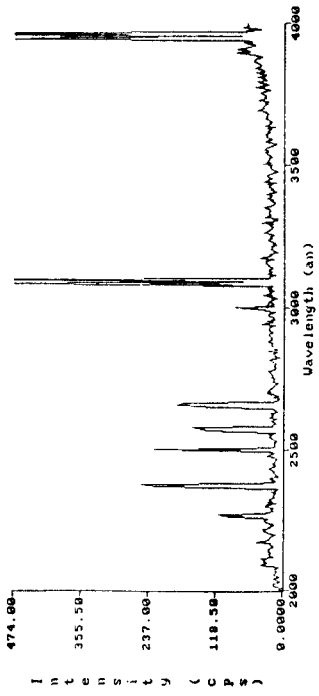


그림6. 1.2% TMA in H2 의 실험에서의
Al* 방출 스펙트럼(10.0 Torr : 50cm 초점거리)

VI. 결 론

GaAs계 OEIC 광스위치용의 AlGaAs/GaAs MQW 박막을 성장시키기 위한 OMVPE 시스템을 평가하고, TMG 와 TMA 에서 Ga 와 Al 을 광분해하는 LACVD특성을 조사하였다. 이를 기초로 하여 GaAs계 박막연구를 체계적으로 추진할 것이다.

본 연구는 과기처 주도 OEIC 특정 연구의 일환으로 이루어 졌다.

참 고 문 헌

[1] J. L. Weyher et al. J. Crystal Growth 88 (1988) 221.

[2] C. Plass et al. J. Crystal Growth 88 (1988) 455.

[3] K. Matsumoto et al. J. Crystal Growth 93 (1988) 170.

[4] A. Ohuchi et al. Jpn. J. Appl. Phys. 12 (1988) L2420.

[5] F. Brillouet et al. : Electron. Lett., 22 (1986) 1260.

[6] Y. Hasumi et al. : IEEE Electron Device Lett., EDL-8 (1987) 10.

[7] G. W. Taylor et al. : J. Appl. Phys. 59 (1986) 596.

[8] G. W. Taylor et al. : Appl. Phys. Lett., 48 (1096) 1368.

[10] D.A.B. Miller et al., Appl. Phys. Lett., 45 (1984) 8.

[11] D.A.B. Miller et al., IEEE QE-21(1985) 9, 1462.

[12] D.A.B. Miller et al., Appl. Phys. Lett., 49 (1986) 821.

[13] 삼본타, 소 61 추계응물학회 3OP-E-2

[14] 산서타, 소 61 춘계응물학회 2P-K-8

[15] S.A. Mitchell and P.A. Hackett, J. Chem. Phys. 79 (1983) 4815.

[16] S.A. Mitchell, P.A. Hackett, D.M. Rayner, and M.R. Humphries, J. Chem. Phys. 83 (1985) 5028.

[17] H. Suzuki, K.Mori, M. Kawasaki, and H. Sato, J.Appl. Phys. 64 (1988) 371.