

침상호 광집속용 GaAs 광전집적회로의 기본 공정 I
(OEIC 개관 ; Zn-확산 ; SL 제작을 위한 초박막 성장)

GaAs OEIC Unit Processes for chip-to-chip Interconnection I
(OEIC overview ; Zn-diffusion ; SL layer growing)

지정근, 공명국, 진병태, 함성호, 홍창희, 권영세*
한국과학기술원 전기 및 전자공학과

ABSTRACT

Overviews of vertical and horizontal GaAs/AlGaAs OEIC are shown. Researching double Zn diffusion process, we obtain $X_j = At^{1/2} - Bd_1$, where $A = 2.5 \mu\text{m}/[\text{hr}]^{1/2}$, $B = 0.625$, of which process is recommended for exact diffusion interface area control of GaAs/AlGaAs. It is proved to be 100A/100A AlAs/GaAs superlattice designed as 100A/100A AlAs/GaAs using MOCVD by measurement of photoluminescence which shows a luminescence peak corresponding to the 798.4nm wavelength calculated values of 38meV ground state above GaAs conduction band.

I. 서론

고속 단거리 다기능 통신의 요구로 AlGaAs/GaAs 재료를 이용한 시스템 개발이 필요하게 되었으며, 그 중에서도 광전집적회로(OEIC)는 핵심기술로 레이저 빔 프린터, 기기간이나 보오드간 또는 IC 칩간의 신호전송계의 집속등 그 응용범위가 매우 넓으며 이로 인한 상승 효과는 매우 크다고 하겠다. 그리하여 세계적으로 개별 광전소자의 개발이 이루어졌으며 이제 광전소자의 집적화 방법 및 공정연구에 박차를 가하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 OEIC의 구조와 이 OEIC의 제작을 위한 기본공정(unit process)으로 Zn-확산, SL(superlattice) 제작을 위한 초박막 성장에 관하여 언급하였다.

II. OEIC 개관

빛은 전자와 달리 질량이나 전하가 없고 even parity 를 갖고 있어 작은 손실과 누화 그리고 parallelism

이나 고속소자의 가능성을 제시하고 있다. 그러나, 빛만에 의한 증폭이나 변조, 스위칭이 어려워 전자적 소자와 결합하는 방향으로 연구되어 OEIC(Optoelectronic IC, 광전집적회로)가 개발되기 시작하였다.

1980년 Fukuzawa [1], 1982년 Ury [2] (4GHz 변조, 2 active 소자), 1986년 Nobuhara [3], (2 Gbit/s, 5 active 소자), 1985년 Matsueda [4] (2 Gbit/s, 14 active 소자) 등의 monolithic 집적연구가 있었으며 그림 1은 OEIC의 발전을 보여주고 있다. 본 실험실에서는 transmitter 형 OEIC로 수직형(그림 2)[5]과 수평형(그림 3)[6]이 연구되고 있다. 표 1에 수평형과 수직형 OEIC의 특징이 나타나있다.

III. Zn 확산 공정

GaAs 웨이퍼 특정 부분에만 p층을 형성시키는 방법으로 굴절률의 변화나[7] 이중접합 레이저 다이오드[8,9] 또는 트랜지스터[10] 제작시 사용되기도 하는 공정으로 최근에는 SL(superlattice)의 구조 붕괴를 위해 연구되고 있다 [11]. 확산시 주요 제어량은 확산 길이와 폭의 조절인데 GaAs/AlGaAs의 접촉면에서 확산면의 정확한 조절을 위하여 이중 확산 공정을 제시하였다.

일반적으로 $ZnAs_2$ 를 사용하여 Zn를 GaAs 웨이퍼에 확산시킬 때 확산상수 D는

$$D = D_s + D_i k_0 K \frac{r+2}{n_i^{2r}} \frac{[Zn_i^-]^{r+1}}{P_{As_4}^{1/4}}$$

단, interstitial Zn 확산이 중요하다고 가정했으며[12]

D_s : substitutional 확산상수

D_i : interstitial 확산상수

k_0 : $Zn_i^- + h^+ \rightarrow V_{Ga}^o + Zn_i^{r+} + re^-$ 의 평형상수

K : $[V_{Ga}^o] = K \cdot P_{As_4}^{1/4}$ 에서의 비례상수

이 발표 논문은 과학 기술처 특정 연구 과제와 관련입니다

n_i : intrinsic carrier density

그리고, As 의 GaAs 웨이퍼로 부터의 탈착을 방지하기 위해 $ZnAs_4$ 로 부터의 As_4 의 압력을 조절하기 위해 집어넣어야 할 $ZnAs_2$ 의 양은

$$m_{ZnAs_2} = \frac{10.35}{T(^{\circ}K)} P_{As_4}(\text{Torr}) \text{ mg/cm}^3$$

로 표시된다. 단, As_4 는 그림 4에 보인 것처럼 이상적 가스로 작용함을 가정한다.

그림 5는 [13] Ga-As-Zn 상태도의 700°C 동은 부분이다. GaAs 웨이퍼로 Zn 의 확산은 상태도에서 고체상태의 부분으로 제한되며 다른 상태와 평형을 이루고 있어야 한다. 고체상태만 포함하는 III,IV 에서 Zn 확산이 고려되어야 GaAs 웨이퍼 표면상태가 나빠지지 않는다.

실험에 의하여 GaAs/ $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ 의 시간 t 에 대한 확산길이 X_j 의 의존성을 그림 6에 보았다. 확산길이는 $t^{1/2}$ 에 비례함을 알 수 있다. 이종접합 구조의 Zn 확산에 대한 실험결과를 그림 7에 보였으며 $X_j = At^{1/2} - Bd_1$ 의 관계식을 얻을 수 있었다. t는 확산 시간이고 X_j 는 확산 전면이며, $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ 의 두께는 d_1 으로 표기했으며, 실험결과에서 $A=2.5\mu\text{m}/[\text{hr}]^{1/2}$, $B=0.625$ 를 얻었다.

IV. SL(superlattice) 제작을 위한 초박막 성장

MOCVD 로 AlAs/GaAs 초격자 및 GaAs 양자 우물을 성장시키고, x-선 회절법과 PL(photo-luminescence) 를 이용하여 그 특성을 측정하였다. 초격자 성장시 중요한 것은 wafer 표면에서의 반응물의 신속한 교체이다. 이를 위해서는 반응관 내에 와류가 없어야 하며, 또 Gas line 의 Vent 와 반응관 사이의 전환이 신속해야 한다.

초격자에서는 각 층의 구조 인자와 격자 상수가 주기적으로 변하기 때문에 x-선 회절무늬에도 주기적 변화가 일어난다. x-선 회절법을 이용하여 초격자의 주기 및 Al 의 구성비율 알 수 있다. 그림 8은 $500\text{\AA}/500\text{\AA}$ AlAs/GaAs 초격자의 x-선 회절무늬이며, 그림 9는 $300\text{\AA}/300\text{\AA}$ AlAs/GaAs 초격자의 회절무늬이다. 그림에는 GaAs peak 및 해석의 0차 peak, +1차 peak, +2차 위성 peak 들이 보인다. 그림 8에서 구한 초격자의 주기는 990\AA 이며, 그림 9의 초격자의 주기는 540\AA 으로 예상치와 비슷하다.

PL 을 이용하여 양자 우물 내에 형성된 부에너지 띠의 높이와 양자 우물의 두께등을 알아 낼 수 있다. 그림 10에는 20°K 에서 $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ 장벽에 싸인 200\AA GaAs 양자 우물의 spectrum 이 나와있다. 맨 위의 $0.2\mu\text{m}$ GaAs 층에서의 흡수 때문에 새기는 작다. 계산결과 200A 양자 우물의 기저 상태는 전도띠보다 11meV 높으며, 이 때 나올 수 있는 빛의 파장은 812.4nm 이다. 그림 11은 $100\text{\AA}/100\text{\AA}$ AlAs/GaAs 초격자의 PL 특성이다. 100\AA 양자 우물에서의 기저 상태는 38meV 정도 전도띠 위에 있으며, 여기에서 나오는 빛의 파장은 798.4nm 이다.

V. 결론

수직형 및 수평형 GaAs/AlGaAs OEIC 가 연구되었으며, 이중 Zn 확산 공정의 연구로 $X_j = At^{1/2} - Bd_1$, $A = .25\mu\text{m}/[\text{hr}]^{1/2}$, $B = 0.625$ 가 얻어졌으며 이는 GaAs/AlGaAs 의 접촉면에서 확산면의 정확한 조절을 할 수 있는 공정으로 제시되었다. SL 을 위한 100A/100A AlAs/GaAs 로 설계한 MOCVD 초박막 성장을 하여 PL 측정으로 양자 우물의 GaAs 전도띠로 부터의 기저상태 38cmV 계산에 의한 798.4nm 의 방출빛과 일치함을 보여 $100\text{\AA}/100\text{\AA}$ AlAs/GaAs SL 성장을 확인하였다.

참고문헌

1. Fukuzawa, M. Nakamura, M. Hirao, T. Kuroda, and J. Umeda, "Monolithic integration of a GaAlAs injection laser with a Schottky gate field effect transistor," Appl. Phys. Lett., vol.36, pp.181-183, 1980.
2. I. Ury, K.Y. Lau, N. Bar-Chaim, and A. Yarive, "Very high frequency GaAlAs laser field effect transistor monolithic integrated circuits," Appl. Phys. Lett., vol.41, pp.126-128, 1982.
3. H. Nobuhara et.al., 18th Conf. Solide State Devices and materials Ext. Abst. (Tokyo, Japan), Aug., 1986, p.185-188.
4. H. Matsueda et.al., Proc. 12th Int. Symp, Gallium Arsenide and related compounds (Karuizawa, Japan), Sep., 1985, p.665-660.
5. 유희준, "GaAs 광전집적회로를 위한 레이저 다이오드와 JFET 의 수직집적 기술 및 제작," 박사학위논문, KAIST (1988).

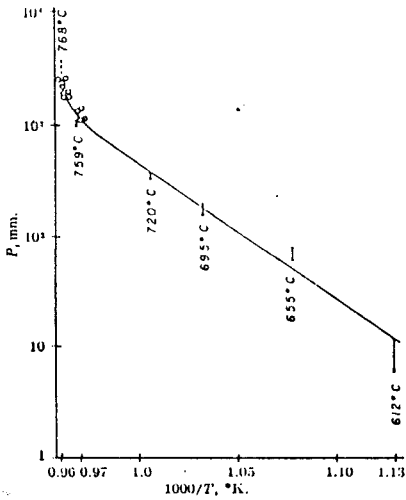


그림 4 The dissociation pressure of $ZnAs_2$ [10]

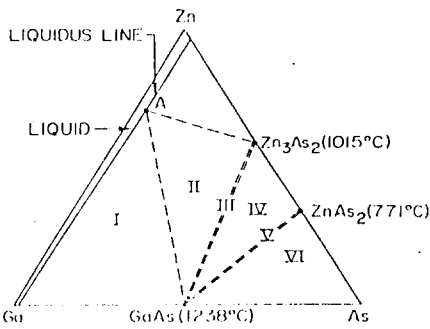


그림 5 The 700°C Ga-As-Zn ternary isotherm. The regions I-IV have solid GaAs in equilibrium with other phases [11]

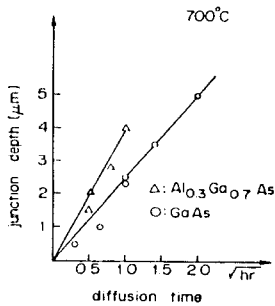


그림 6 Junction depth vs $(\text{diffusion time})^{1/2}$ for Zn diffusion into $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ and GaAs at 700°C.

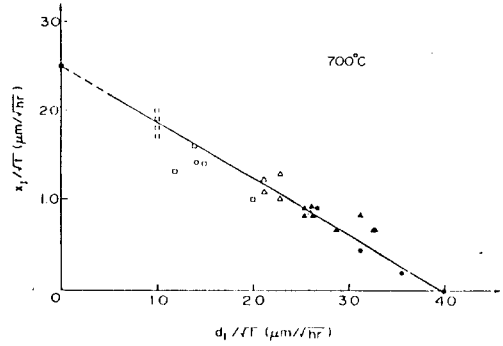


그림 7 Penetration of zinc into GaAs covered with $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ layers at 700°C.

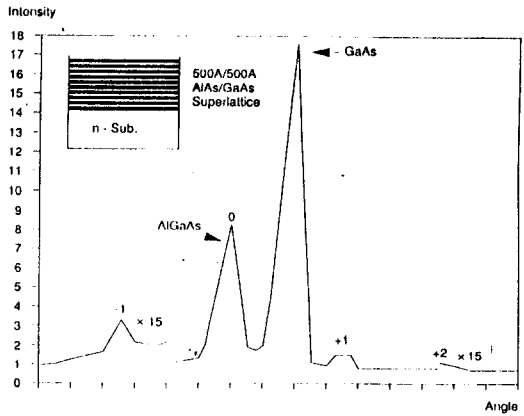


그림 8

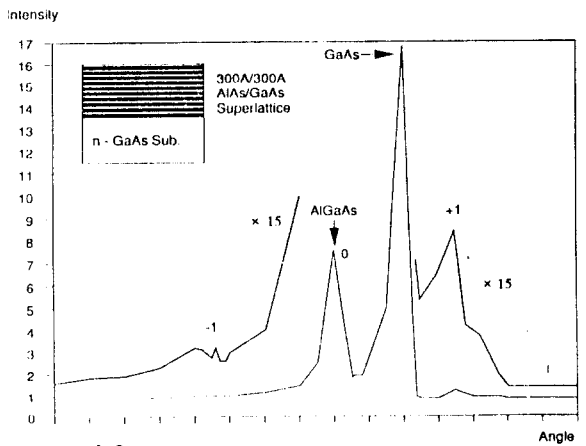
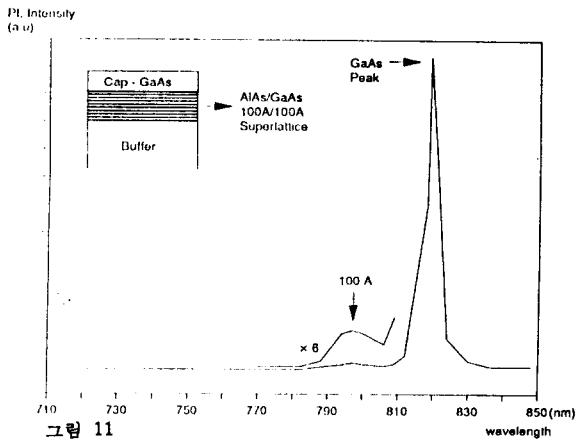
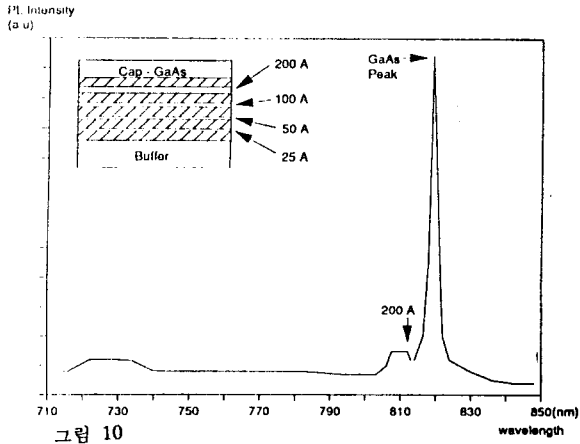


그림 9



	Vertical OEIC	Horizontal OEIC
Fab	easy (only 1 step epi-growth)	difficult (selective epi, step height)
Speed	low (large capacitance)	high
Coupling	high (optical, electrical)	low
Interconnection	short	long
Matching	easy	difficult

표 1 Comparison of the characteristics of the Horizontal and Vertical OEIC.