

이원삼 · 문동진
(광운대학교)

김성태
(대전공업대학교)

서영석
(서울산업대학교)

A study on the Properties of $In_{1-x}Ga_xAs$

Grown by the TGS Methods

W.S. Lee, D.C. Moon
(Kwangwoon University)

S.T. Kim Y.S. Suh
(Daejeon National Univ. of Tech.) (Seoul Polytec. Univ.)

Abstract

The III-V ternary alloy semiconductor $In_{1-x}Ga_xAs$ were grown by the Temperature Gradient Solution(TGS) method within the composition range of $0.60 \leq x \leq 0.98$.

The electrical properties were investigated by the Hall effect measurement with the Van der Pauw method in the temperature range of $90 \sim 300K$. $In_{1-x}Ga_xAs$ were revealed n-type and the carrier concentration at 300K were in the range of $9.69 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 7.49 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. The resistivity was increased and the carrier mobility was decreased with increasing the composition ratio.

The optical energy gap determined by optical transmission were $20 \sim 30 \text{ meV}$ lower than theoretical values on the basis of absorption in the conduction band tail and it was decreased with increasing the temperature by the Varshni rule.

In the photoluminescence of undoped $In_{1-x}Ga_xAs$ at 20K, the main emission was revealed by the radiative recombination of shallow donor(Si) to acceptor(Zn) and the peak energy was increased with increasing the composition, X.

The diffusion depth of Zn increases proportionally with the square root of diffusion time, and the activation energy for the Zn diffusion into $In_{0.10}Ga_{0.90}As$ was 2.174eV and temperature dependence of diffusion coefficient was $D = 87.29 \exp(-2.174/K_B T)$. The Zn diffusion p-n $In_xGa_{1-x}As$ diode revealed the good rectifying characteristics and the diode factor $\beta \approx 2$.

The electroluminescence spectrum for the Zn-diffusion p-n $In_{0.10}Ga_{0.90}As$ diode was due to radiative recombination between the electron trap level($\sim 140 \text{ meV}$) and Zn acceptor level($\sim 30 \text{ meV}$). The peak energy and FWHM of electroluminescence spectrum at 77K were 1.262eV and 81.0meV, respectively.

1. 서론

III-V족 2원화합물 반도체인 InAs와 GaAs여의에서 만들어진 3원 혼성 반도체 $In_{1-x}Ga_xAs$ 는 조성비 x, 즉 $In_{1-x}Ga_xAs$ 내에서 GaAs의 몰분율에 따라 실온에서 $0.84 \mu\text{m}$ 부터 $8.5 \mu\text{m}$ 까지의 넓은 적외선 파장영역에서 간접성의 빛을 받을 수 있으므로 효율 높은 LED와 LD들의 발광 소자에 적합하다. 또한 실온에서 $In_{1-x}Ga_xAs$ 의 전자이동도는 GaAs의 $8500 \text{ cm}^2/\text{V sec}$ 보다 크고 에너지 갭이 InAs의 0.36 eV 보다 크기 때문에 10^{14} Hz 이상의 고주파 영역에서 실온 동작이 가능한 고속 스위칭 소자, MISFET, HEMT 등의 고속 논리 소자 제작에 응용이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 InAs와 GaAs 사이에서 조성비 x를

0.60 부터 0.98 까지 변형시켜 111-V족 8원 혼성 반도체 $In_{1-x}Ga_xAs$ 결정은 TGS법으로 성장하고 그 특성을 조사함으로써 광통신 시스템의 구성에 필요한 발광 소자, 수광 소자 및 고속 논리 소자에 적합한 $In_{1-x}Ga_xAs$ 의 물성을 제구명하고 장파장 영역에서 동작하는 발광 소자에 응용 가능성을 탐안하고자 하였다. 즉 TGS법으로 성장시킨 넓고 n- $In_{1-x}Ga_xAs$ 결정의 X-RD의 해 a_0 와 Vegard 법칙으로 부터 조성비 x를 구하고 90K에서 300K의 온도 범위에서 Van der Pauw법으로 Hall 효과를 측정하여 전기적 특성과 광투과도를 측정하여 광학적 특성을 조사하고 $In_{1-x}Ga_xAs$ 내의 Zn 확산 성질을 조사 하였다.

2. 실험 방법

HB법으로 성장된 GaAs를 Ga의 공급원으로 사용하여 TGS법으로 $In_{1-x}Ga_xAs$ 를 성장시켰다. 그에 따른 조성비 x는 X-RD를 사용하여 격자상수 a_0 를 구하고 Vegard 법칙에 적용하여 조성비 x를 구하였다. 성장된 결정을 다이아몬드 집단기로 두께 0.65 mm 인 웨이퍼로 절단하여 lapping과 polishing을 하였다. 홀 효과를 측정하기 위해 크기 $8 \times 8 \times 0.4 \text{ mm}$ 인 웨이퍼를 제작하여 4단계 세척과 stop-etch-stop 순으로 여장하였다. stop과정과 etch과정에서 사용한 용액은 $NH_4OH(10 \text{ ml}) + H_2O(15 \text{ ml})$ 와 $NH_4OH(2 \text{ drop}) + H_2O(2 \text{ drop}) + H_2O(200 \text{ ml})$ 였으며 각과정에서 여장 시간은 5초로 하였다. 그 후 전극을 인하기 위해 Au-(5%)Ge를 진공 증착한 후 450°C 1분간 아르곤 분위기에서 열처리 한 후 금속을 In으로 납땀하여 가변용저온 장치에 부착하였다. 광투과도 측정을 위해 두께를 $150 \sim 170 \mu\text{m}$ 로 연마한 후 세척과 여장을 한 후 온도 가변용 저온 장치에 부착한 후 펄스 전압 발생기의 복색광을 사용하여 sample을 통과한 투과광을 $f=3/4 \text{ m}$ 인 분광기를 사용하여 분광하고 광검출관으로 검출하였다. 광투과도 측정을 위해 파장 6328 \AA 인 HeNe 레이저(15 mW)를 사용하여 분광기로 분광하고 광검출관으로 검출한 후 육안 검출기로 증폭시켜 기록기에 기록하였다. Zn를 $In_{1-x}Ga_xAs$ 에 확산시키기 위해 1.5 mg 의 Zn와 1.6 mg 의 As를 직경 6 mm 의 석영관에 시료와 함께 넣고 10^{-5} Torr 진공 통 안의 후 전기로에 넣어 확산 온도 $550 \sim 750^\circ \text{C}$, 확산 시간 $15 \sim 60$ 분까지 변형시켰다. p-n $In_{1-x}Ga_xAs$ 동종 접합 다이오드를 제작하기 위해 시료 뒷면과 사방 측면을 갈아 난 후 p형 면에서 Au-(5%)Ge과 In-(5%)Zn 합금을 진공 증착한 후 아르곤 분위기에서 450°C 1분간 열처리하였다. 전극이 형성된 시료를 $0.5 \times 0.5 \times 0.15 \text{ mm}$ 크기로 절단하여 $10 \sim 50 \text{ \AA}$ 의 In으로 부착하고 1 mil의 금층을 In으로 덮어 다이오드를 제작하였다. 제작된 다이오드의 전류-전압 특성을 조사하였고, 본 도제 곡선 후적기로 오실로스코프 화면에 나타난 특성곡선을 사진기로 촬영하였다. 순방향 전류-전압 특성은 정전압원과 전원에서 입력 프로미터를 전류계로 사용하여 실온에서 측정하였다. 제작된 p-n $In_{1-x}Ga_xAs$ 다이오드의 전계투과도 측정을 측정하기 위해 온도조절을

가변장치에 부착하여 전압을 인가하여 나오는 광을 분광기로 분광하고 광음배관으로 검출하여 X-Y기록기에 기록하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. T69번으로 성장한 In_{1-x}Ga_xAs의 성장

T69번에 의한 In_{1-x}Ga_xAs의 성장 조건은 In과 Ga를 1000 C인 고온부에 넣고 In 내부의 온도 구배를 20°C/cm로 맞춘 후 605°C의 저온부에 As를 놓아 성장을 성장하였다. 성장된 결정은 In_{1-x}Ga_xAs 결정은 X선 회절기를 이용하여 격자 상수 a₀와 Vegard 변칙에 의해 조성비 x를 구하였다. 성장된 In_{1-x}Ga_xAs는 Zincblende구조였고, In_{1-x}Ga_xAs의 Ga함량이 증가함에 따라 각회절 피크들은 회절각 2θ가 증가하는 쪽으로 이동하였다. 조성비는 GaAs의 양에 따라 0.60 부터 0.98 까지 변화됨을 알았다. 또한 EDX3 패턴도 조성비 x가 증가함에 따라 In의 피크가 감소함과 동시에 Ga의 피크가 증가하였으며, 조성비 x가 1인 GaAs에서는 In피크가 검출되지 않았다. In_{1-x}Ga_xAs의 조성비 x가 0인 다결정체 InAs의 EPD 1.01×10¹⁶cm⁻² 이었고, 조성비 x가 1인 다결정체 GaAs의 EPD는 1.14×10¹⁶cm⁻² 이었다. 즉, In_{1-x}Ga_xAs의 조성비 x에 따른 EPD는 x가 0.60이상에서 점차 감소하였는데 이는 x의 증가와 더불어 In_{1-x}Ga_xAs내에서 In의 치환량이 감소 되므로 원자배열상의 disorder가 감소하여 결정성이 개선되는 것으로 여겨진다.

3-2. In_{1-x}Ga_xAs의 전기적 성질의 온도 의존성

T69번으로 성장한 불순물이 첨가되지 않은 In_{1-x}Ga_xAs는 Van der Pauw법에 의한 홀 효과 측정에서 n형을 나타냈으며 300K에서 측정된 비저항은 조성비 x가 증가함에 따라 3.31×10⁻³Ω-cm에서 7.42×10⁻²Ω-cm로 증가하였고 캐리어의 이동도는 8569cm²/V·sec에서 690cm²/V·sec로 감소하였으며 캐리어 농도는 조성비 x에 무관하게 3.504×10¹⁶cm⁻³ ~ 7.488×10¹⁷cm⁻³의 값을 나타냈다.

온도를 90K에서 300K로 변화시킬때 온도가 증가함에 따라 캐리어 농도는 증가하였다. 그리고 캐리어 이동도는 170K온도 보다 낮은 영역에서는 T^{1/2}에 비례하여 감소하며, 170K 온도 보다 높은 영역에서는 T⁻¹에 비례하여 감소 하였다. 이러한 사실로부터 170K보다 낮은 온도에서는 어떤 한 불순물 산란이 캐리어 이동도에 큰 영향을 미치며 170K보다 높은 온도에서는 격자 산란이 이동도에 영향을 미치게 됨을 알 수 있었다.

3-3. In_{1-x}Ga_xAs의 광학적 특성

3.3-1. 광투과에 의한 광학적 에너지 갭

조성비 x가 0인 InAs를 실온에서 측정하였을 때 2600cm⁻¹의 파수보다 큰 광 에너지에 대하여 완전한 흡수가 일어났으며 2400cm⁻¹의 파수 이하의 작은 광 에너지에 대해서는 80%의 투과율을 나타냈다.

이것을 광 에너지로 환산하면 0.358eV로서 실온에서 InAs의 에너지 갭에 해당된다. 또한 조성비 x가 0.95, 0.98, 1.0인 In_{1-x}Ga_xAs에 대하여 90K 부터 300K의 온도 범위에서 광 투과도를 측정하였다. 각온도에서 In_{1-x}Ga_xAs의 기초 흡수단 부근에서는 광의 흡수와 투과가 분명하게 구별되었으며 InAs의 경우와 같은 방법으로 완전한 흡수가 일어난 곳을 광학적 에너지 갭으로 하였을 때 온도가 증가함에 따라 기초 흡수단은 장파장 쪽으로 이동하였다.

온도에 따른 반도체 에너지 갭의 변화는 Varshni에 의하여 E_g(T) = E_g(0) - αT² / (β+T)로서 나타내어진다. 0K로 외삽하여 구해진 광학적 에너지 갭은 조성비 x가 각각 0.95, 0.98, 1.0에 대하여 1.385eV, 1.446eV, 1.522eV였고, 상수 α, β값은 5.86×10⁻⁴과 208.17, 6.50×10⁻⁴과 218.54및 8.02×10⁻⁴과 966.33이었다.

3.3-2. 광 루미네선스 측정

In_{1-x}Ga_xAs의 조성비 x가 0.6에서 0.98로 증가함에 따라 광 루미네선스 스펙트럼에 피크들은 점차 단파장 쪽으로 이동하였으므로 이때 피크 에너지는 1.076eV 에서 1.374eV로 증가하고, 조성비 x가 1인 GaAs에서는 불순물이 첨가되지 않은 GaAs에 대하여 많이 알려져있는 1.513eV, 1.490eV 및 1.452eV에서 피크가 나타났다.

3-4. In_{1-x}Ga_xAs내에서 Zn의 확산 성질

조성비 x가 0.9인 In_{0.10}Ga_{0.90}As에 650°C에서 60분 동안 Zn를 확산 시켰을 때 화학적 작용에 의한 Zn 확산 길이를 측정하였을 때 Zn의 확산 길이는 4.3μm이고, 확산면은 균일하였으며 Zn 확산 길이는 확산 시간의 제곱근에 선형적으로 비례하였다. Zn의 확산에 필요한 활성화 에너지는 In_{0.10}Ga_{0.90}As에 대하여 2.174eV이었고, 확산계수의 온도 의존성은 D = 87.29exp(-2.714/k_BT)cm²/sec이었다.

3-5. p-n In_{1-x}Ga_xAs 다이오드의 전기, 광학적 특성

불순물이 첨가되지 않은 캐리어 농도 7.488×10¹⁷cm⁻³인 n형 In_{0.10}Ga_{0.90}As에 Zn를 650°C에서 30분 동안 확산시켜 제작한 p-n In_{0.10}Ga_{0.90}As 다이오드의 정류 특성도 상수도 다이오드 방정식 I = I₀[exp(qV/βk_BT)]에 만족하였으므로 다이오드 상수 β는 2 이었다. p-n 다이오드의 전도전류는 주로 불순물 원자와 결정내에 존재한 결함들이 공간 전하 영역내에 형성하는 트랩준위를 통한 재결합의 공간 전하 영역을 타당성한 캐리어들의 재결합에 의한 것임을 알 수 있었다. 77K 온도에서 p-n 다이오드에서 5×10⁻⁶Ampere의 전류를 주입시켜 측정된 전계 루미네선스 스펙트럼에서 피크는 1.262eV(λ=9820Å)이었고, 스펙트럼 강도의 이치는 곳에서 스펙트럼 폭은 640Å이었고 반전지 폭은 81.0meV이었다. 측정된 전계 루미네선스 스펙트럼이 도나 역선택 상 사이의 복사 재결합에 의한 것이라면 재결합에 참여하는 역선택 상 In_{1-x}Ga_xAs 내에서 약 30meV의 이온화 에너지를 갖고있는 Zn 역선택임을 알 수 있다.

4. 결론

위와같은 실험에 의해 T69번으로 성장시킨 In_{1-x}Ga_xAs 결정은 균일한 조성을 가지며, 전위밀도가 낮아서 전기적, 광학적 성질로부터 광소자를 이용한 광통신용 장파장 발광소자, 수광소자 및 고속 논리소자 등에 응용 가능함을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. C.J. Nuese: J. Electronic Materials, vol.6, p.253, 1977.
2. A.E. Taylor and E. Fortini: Can. J. Phys., vol.48, p.1874, 1970.
3. R.E. Nahory, M.A. Pollack and J.C. Dewinter: Appl. Phys. Lett., vol. 25, p.146, 1974.
4. A.D. Hueleman and C.G. Fonstad: J. Electrochem Soc., vol.132, p.2989, 1985.
5. E.G. Manning, M.A. Littlejohn, J.A. Hutchoby and E.M. Oakley: Rev. Sci. Instr., vol.43, P.324, 1972.
6. N.Chand, T. Henderson, J. Klem, W.T. Masselink, R. Fischers, Y.C. Chang and H. Morkoc: Phys. Rev. B, vol.30, p.4481, 1984.
7. F. Lukas: Phys. Status Solid(b), vol.84, p.113, 1977.
8. Y. P. Varnish: Physica, vol.34, p.149, 1976.
9. M. C. Wu, Y.K. Su, C. Y. Chang and Y. Y. Cheng: J. Appl. Phys. vol.58, p.4317, 1985.
10. M.D. Zahari and B. Tuck: J. Phys. D: Appl. Phys., vol.18, p.1585, 1985.

TGS법으로 성장한 $In_{1-x}Ga_xAs$ 의 특성에 관한 연구

11. S. M. Sze: "Semiconductor Devices-Physics and Technology", (John Wiley & Sons, New York, 1985), P. 70.
12. M. H. Philkahn: "Handbook on Semiconductor, vol.4. (Series ed. by T.S. Moss)", (North-Holland, New York, 1981), p.539.
13. Pons, A. Mircea, A. Mitonneau and G.M. Martin: Defects and Radiation Effects in Semiconductor, 1978, Ins. Phys. Conf., Ser. Vol.46, p.352, 1979.

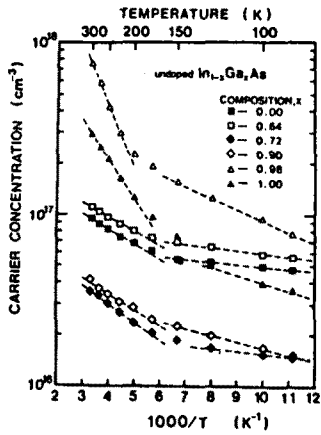


그림 1. 불순물이 첨가되지 않은 $In_{1-x}Ga_xAs$ 의 조성비에 따른 캐리어 농도의 온도 의존성.

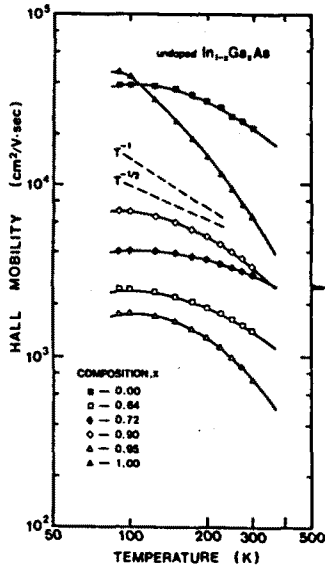


그림 2. 불순물이 첨가되지 않은 $In_{1-x}Ga_xAs$ 의 조성비에 따른 이온도의 온도 의존성.

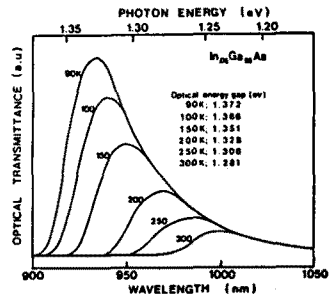


그림 3. $In_{0.95}Ga_{0.05}As$ 의 온도 변화에 따른 광투과도

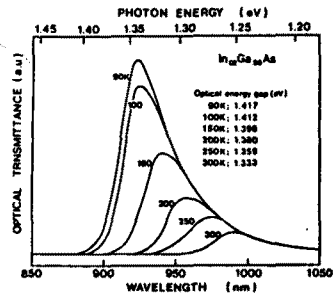


그림 4. $In_{0.92}Ga_{0.08}As$ 의 온도 변화에 따른 광투과도

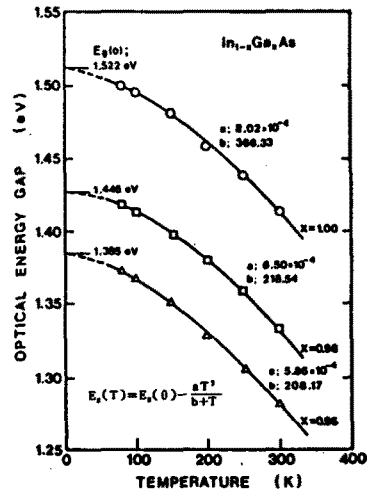


그림 5. $In_{1-x}Ga_xAs$ 의 조성비에 따른 광학적 에너지 갭의 온도 의존성.

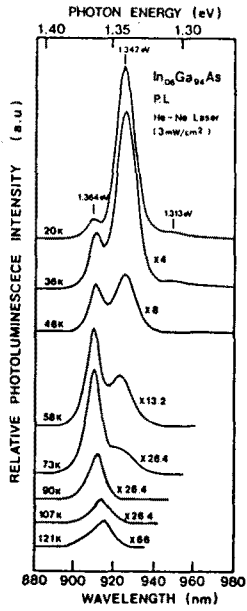


그림 6. 불순물이 첨가되지 않은 $In_{0.96}Ga_{0.04}As$ 에 대한 발광미네선스 스펙트럼의 온도 의존성.

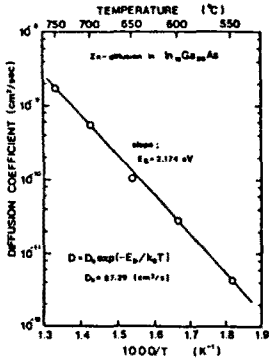


그림 7. $In_{0.96}Ga_{0.04}As$ 내에서 Zn 확산 계수의 온도의 의존성.

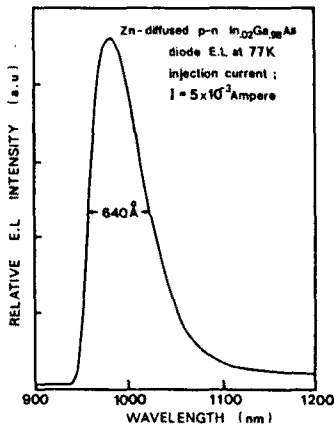


그림 8. Zn가 확산된 p-n $In_{0.92}Ga_{0.08}As$ 다이오드에 대하여 77K 온도에서 측정된 전계 루미네선스 스펙트럼.