

In_{1-x}Ga_xP 내에서 Zn 의 확산성질

김 선태⁰, 문 동찬
(광운대학교)

서 영석
(서울산업대학교)

The Properties of Zn-diffusion in In_{1-x}Ga_xP.

S. T. Kim, D. C. Moon &
(Kwangwoon University)

Y. S. SUH
(Seoul Polytechnic University)

Abstract

The properties of Zn-diffusion in III-V ternary alloy semiconductor In_{1-x}Ga_xP, which was grown by the temperature gradient solution (TGS) method, have been investigated.

The composition, x, dependence of the Zn-diffusion coefficient at 850°C and the activation energy for Zn-diffusion into In_{1-x}Ga_xP were found to be $D_{850^{\circ}\text{C}}(x) = 3.935 \times 10^{-8} \exp(-6.84 \cdot x)$, and $E_A(x) = 1.28 + 2.38 \cdot x$, respectively.

From this study, we confirm that the Zn-diffusion in In_{1-x}Ga_xP was explainable with the diffusion mechanisms of the interstitial-substitutional, which was widely accepted mechanisms in the III-V binary semiconductors.

1. 서론

최근에 가시영역에서 동작하는 LED와 LD는 광정보의 기록속도와 처리속도, 기록밀도의 증대 및 plastic fiber를 사용한 소규모 LAN 구성에 필요한 광원으로서는 많은 관심을 갖게 되었다.

가시영역에서 직접천이형 에너지갭을 갖는 III-V족 3원혼정 반도체인 In_{1-x}Ga_xP는 조성비x, 즉 In_{1-x}Ga_xP 내에서 Ga의 몰분율이 0.74일때 실온에서의 직접천이형 에너지갭이 2.23eV로서 황·녹색의 파장에 해당하는 빛을 방출할 수 있으며, 최대 방출광 에너지에서의 이론적인 외부양자효율과 휘도가 Al_{1-x}Ga_xAs와 GaAs_{1-x}P_x보다 크므로 가시영역에서 동작하는 LED와 LD를 제작하는데 가장 적합한 소재이다.¹⁾ 1968년 Lorentz 등²⁾이 Zn를 확산시킨 p-n In_{1-x}Ga_xP 다이오드의 전계루미네선스 특성을 보고한 후 Zn 확산접합 LED와 LD의 동작특성에 관하여 많은 연구가 이루어졌다. 그러나 n-In_{1-x}Ga_xP의 조성비x에 따른 Zn의 확산성질에 관해서는 아직까지 체계적으로

연구·조사된바 없으며, 단지 유사한 3원혼정 반도체 (Al,Ga)As,³⁾ (Al,Ga)P,⁴⁾ (In,Ga)As⁵⁾ 및 Ga(As,P)⁶⁾ 등에 대해서 일부 연구 되어졌다.

그러므로 본 연구에서는 온도구 배용용(TGS)법으로 직접성장시키어 준비한 n-In_{1-x}Ga_xP 기판에 Zn를 폐관법으로 확산시키고, 확산조건에 따른 Zn 확산깊이의 변화로부터 n-In_{1-x}Ga_xP의 조성비x에 따른 Zn의 확산성질을 조사하였다.

2. 실험 방법

n-In_{1-x}Ga_xP 내에서 Zn의 확산성질을 조사하기 위하여 온도구 배용용 (TGS; temperature gradient solution) 법으로 성장된 In_{1-x}Ga_xP 결정의 조성비x는 x선 분말회절법으로 측정된 격자상수 a₀와 Onton 등⁷⁾의 실험식으로부터 결정하였다.

Zn를 확산시키기 위하여 크기가 5x5x0.3mm³인 n-In_{1-x}Ga_xP를 TCE, 아세톤, 메탄올 순으로 80°C 온도에서 각각 10분동안 끓이어서 세척하고, 5H₂SO₄:1 H₂O₂:1 H₂O 용액에서 30-40°C를 유지하며 1분동안 예칭한 후 1.5mg의 Zn와 1.6mg의 P와 함께 내경이 6mm인 석영관에 넣고 10⁻⁵Torr의 진공에서 내부용적이 약 1cm³ 정도로 붓입하였다. 특정시간에서의 Zn 확산온도는 750°C-900°C로 하였고, 특정온도에서 Zn 확산시간은 15분-60분으로 하였다. Zn의 확산깊이는 Zn가 확산된 시료를 30° 각도 연마하여 8g K₃Fe(CN)₆+12g KOH+100ml H₂O 용액에⁸⁾ 넣고 할로겐램프로 강한 빛을 1분동안 조사시키어 착색한 후 금속현미경으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 논의

조성비x가 서로 다른 n-In_{1-x}Ga_xP에 Zn를 850°C

에서 30분동안 확산시키었을때 Zn의 확산깊이는 사진 1과 같이 관측되었으며, 사진에서 보는바와 같이 확산접합면은 매우 균일하게 형성되었고, 확산깊이는 조성비 x가 증가함에 따라 감소 하였다.

그리고 조성비 x가 0.48, 0.59, 0.74 및 1.00인 n-In_{1-x}Ga_xP에 850°C 온도에서 확산시간을 변화시키었을때 Zn의 확산깊이는 확산시간의 제곱근에 비례하여 증가하였으며, 그 결과는 그림1과 같았다. 이러한 사실로부터 In_{1-x}Ga_xP 내에서 확산깊이에 따른 Zn의 농도분포는 오차보정함수에 따르게됨을 알 수 있었으며, 그림1에 보인 기울기로부터 850°C에서 Zn의 확산계수 D_{850°C}는 오차보정함수의 변수항(x_j/2√Dt_D)을 1로 놓고^{8,9)} 계산하여 구하였다.

이와같이 구하여진 확산계수 D_{850°C}는 조성비 x가 0.48일때 5.6x10²[μm²/hr] 이었고 조성비 x가 0.74일때 0.86x10²[μm²/hr] 로서 조성비가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

서로 다른 조성비를 갖는 n-In_{1-x}Ga_xP에 대하여 850°C에서 30분동안 확산된 Zn이 확산깊이로부터 계산하여 구한 확산계수 D_{850°C}를 조성비 x에 대하여 나타내면 그림2와 같으며, 확산계수 D_{850°C}는 조성비 x의 증가와 더불어 지수함수적으로 감소하는 사실을 알 수 있었다.

이로부터 확산온도 850°C에서 Zn의 확산계수 D_{850°C}의 조성비 의존성은 실험적으로 D_{850°C}(x)=3.935x10⁻⁸·exp(-6.84·x)[cm²/Sec]로 구하여졌다.

또한 확산시간이 30분으로 일정할때 각각의 확산온도에서 서로 다른 조성비의 In_{1-x}Ga_xP에 대하여 측정되어진 확산깊이로부터 확산계수 D(T)를 계산한 후 Arrhenius plot 하여 그림3에 나타내었다. 조성비가 서로 다른 In_{1-x}Ga_xP의 확산계수 D(T)는 확산온도에 대하여 지수함수적으로 증가함을 알 수 있었다.

그림3에 나타내어진 기울기로부터 계산된 활성화 에너지 E_A는 조성비 x가 0.48, 0.59 및 0.74일때 각각 2.639eV, 2.975eV 및 3.322eV 이었고, 이를 조성비 x에 대하여 나타내면 그림4와 같았다. 이로부터 활성화 에너지는 조성비에 대하여 선형적으로 증가함을 알 수 있으며, 그림4의 기울기로부터 활성화에너지 E_A(x)와 조성비 x의 관계는 실험적으로 E(x)=1.28+2.83x[eV]로 구하여졌다.

III-V족 2원화합물 반도체인 GaP 또는 InP에서 Zn의 확산에 대한 실험적인 결과를 이론적으로 해석하는 데 있어 침입형 확산과 치환형 확산이 동시에 이루어질때 이들 각각의 확산계수 D_i와 D_s는 D_i ≫ D_s의 관계가 있으며, 침입형의 Zn원자들은 중성의 Ga 또는 In-vacancy와 반응하여 치환형 엑셉터가 되면서 정공을 방출하는 침입-치환형 확산기구⁹⁾가 정성적으로 사용되어 지고있다. In_{1-x}Ga_xP를 구성하는 InP(x=0)와 GaP(x=1)의 융점은 각각 1065°C와 1467°C 이고, 격자상수는 각각 5.869Å과 5.455Å으로서¹⁾ 조성비 x가

증가함에 따라 결정격자 내에서 random 하게 위치하는 Ga 또는 In과 P사이의 결합 에너지가 증가하게 되고, 격자간격이 감소하며 확산과정중에 P의 압력이 높으면 Ga과 In의 vacancy 농도가 감소하게된다.

그러므로 In_{1-x}Ga_xP의 조성비 x가 증가함에 따라 Zn의 확산속도에 크게 영향을 미치는 침입형 확산이 느리게 진행 되므로 특정온도에서 확산계수는 감소하게 되고 보다 큰 활성화 에너지를 필요하게 된다.

이와같이 사실로부터 In_{1-x}Ga_xP 내에서 Zn의 확산은 III-V족 2원화합물 반도체에서와 같이 침입-치환형 확산과정으로 이루어짐을 알 수 있다.

4. 결 론

TGS 법으로 성장시킨 n-In_{1-x}Ga_xP의 조성비 x에 따른 Zn의 확산 성질을 조사하여 얻어진 결론은 다음과 같다. 즉, n-In_{1-x}Ga_xP의 조성비 x가 증가함에 따라 특정 온도에서의 확산계수는 감소하고, Zn의 확산에 필요한 활성화 에너지는 증가하였는데, 이는 In_{1-x}Ga_xP 내에서 Zn의 확산이 침입-치환형 확산과정으로 이루어지기 때문으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. C.J. Nuese; J.Electronic Materials, Vol 6,P.253,1977.
2. M.R.Lorentz, et.al; Appl.Phys.Lett, Vol. 13,P.421, 1968.
3. C.P.Lee, et.al; Solid-State Electron, Vol.21,P.905,1978.
4. H.P.Kleinknecht & A.E.Widmer; Solid-State Electron, Vol.19,P.1005,1976.
5. T.Urisu, et.al; Jpn.J.Appl.Phys, Vol.15,P 1607.1976.
6. J.C.Verplanke; J.Electrochem.Soc, Vol. 124,P.469,1977.
7. A.Onton, et.al; J.Appl.Phys, Vol.42,P. 3420,1971.
8. S.T.Kim, et.al; New Phys(in Korean), Vol. 27,P.48,1987.
9. M.D.Zahari & B.Tuck; J.Phys.D: Appl. Phys, Vol.18,P.1585,1985.

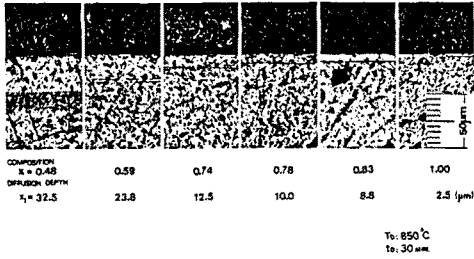


Photo 1. The Zn diffusion depth with composition (x150).

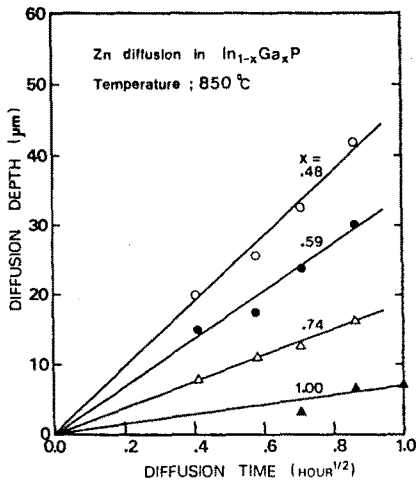


Fig 1. Diffusion time dependence of the Zn diffusion depth with the composition of $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$.

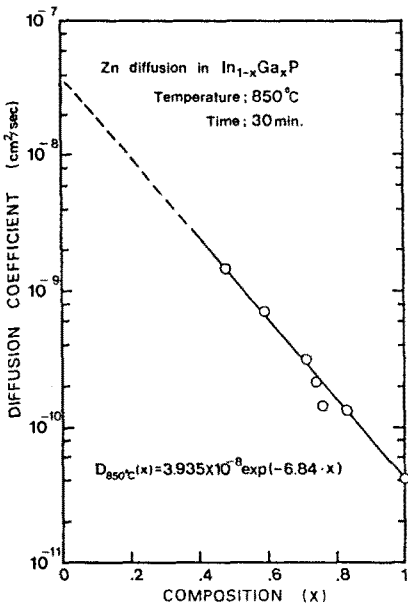


Fig 2. Composition dependence of the Zn diffusion coefficient at 850°C .

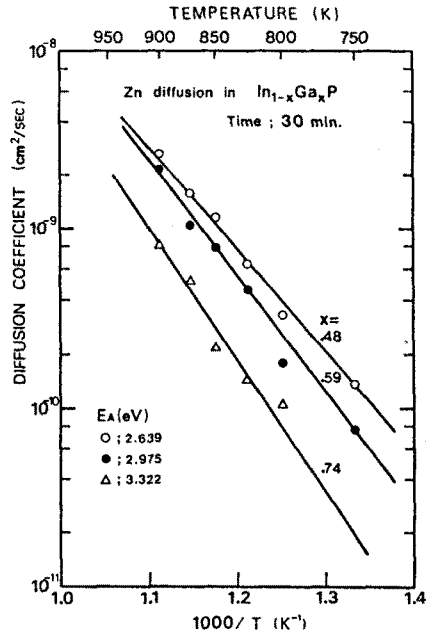


Fig 3. Temperature dependence of the diffusion coefficient with the composition of $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$.

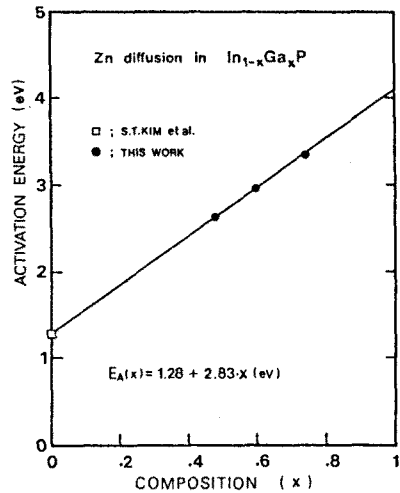


Fig 4. Composition dependence of the activation energy for Zn diffusion in $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$.