

RTA 방법에 의해 Zn 도핑된 InP의 오믹저항 특성연구

김효진*, 김인성, 김태언, 김상택, 김선훈, 기현철, 이경민, 양명학, 고향주, 김희중
한국광기술원 광소자팀

Study on Ohmic resistance of Zn-doping InP using RTA method

H. J. Kim*, I. S. Kim, T. U. Kim, S. T. Kim., H. C. Ki, K. M. Lee, M. H. Yang, H. J. Ko, H. J. Kim
Photonic Device Team, Korea Photonics Technology Institute

Abstract : Electrical properties of Pd/Zn/Pd/Au contacts to p-InP were investigated as function of the V/III ratio of p-InP. P-type InP was made by the Zn diffusion into InP and activation process with rapid thermal annealing (RTA) measurement. After activation, the hole concentration was two orders of magnitude higher than that of the sample having only diffusion process. According to transmission line method (TLM) results, the specific contact resistance of p-InP was lower as used InP having the lower V/III ratio. The experimental results represent that the diffusion of Zn in undoped InP deeply related to the equilibrium between interstitials and substitutional Zn is established via indium interstitials.

Key Words : Zn diffusion, contact resistance, rapid thermal annealing

1. 서 론

P형 InP 또는 InGaAs 반도체의 도펀트로 쓰이는 Zn는 확산계수가 매우 높아 광전소자의 제작 시 정확한 구조적 조절은 관심대상이 되어 왔다. 특히 Avalanche photodiode (APD)의 경우, Zn 확산 분포는 캐리어의 전계, breakdown 전압 등과 관련되어 소자의 특성에 밀접한 영향을 준다. 그러므로, Zn 확산을 조절하고자 많은 연구가 진행되어왔다. 연구 보고들 [1-3]에 의하면 III-V 족 화합물 반도체 안으로 Zn가 확산 하는 작용은 3족의 빈자리로 치환하는 Zn에 의하여 이루어졌다. 따라서, InP로의 Zn 확산은 P에 대한 In의 상대적인 비율과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다. 또한, 최근 연구 결과 [4]에 의하면 InP에 Zn를 확산한 후 활성화 열처리를 함으로써 높은 정공농도 ($\sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)을 얻었으며, 활성화 작용전과 다른 Zn의 치환형태를 얻었다. 본 연구에서는 V/III 비율이 다른 InP 에피에 대하여 확산 및 활성화 과정을 거쳤을 때, 깊이에 따른 도핑농도의 변화 및 이때의 금속과 반도체 간의 오믹저항 상태에 대해 연구해 보고자 한다.

2. 실험

In의 빈자리에 확산된 Zn를 치환하는 방법으로는 시편 크기의 제한 없이 빠른 시간 안에 높은 활성화 작용을 할 수 있는 rapid thermal annealing (RTA) 방법이 주로 쓰인다. 실험 절차는 n-InP 기판과 Semi-insulating InP 기판위에 각각 2와 0.3 μm 두께의 undoped InP (V/III ratio = 50 ~ 300)를 metalorganic chemical vapor deposition 으로 성장하고 그

위에 Zn_3P_2 70 nm, SiO_2 100 nm 를 차례로 Thermal evaporator와 Plasma enhanced chemical vapor deposition 으로 올린 후 첫번째 RTA에서 550 $^\circ\text{C}$, 5분간 열처리 하여 확산하였다. 그 후 BOE와 $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} (= 1 : 2)$ 용액으로 SiO_2 와 Zn_3P_2 를 각각 에칭 후, n-InP 기판위에 올린 샘플은 electrochemical capacitance-voltage (ECV) 로 깊이에 따른 정공도핑농도를 측정하였고, Semi-insulating 기판위에 성장한 샘플은 transmission length method (TLM)을 이용하여 오믹저항을 측정하였다. 이 확산된 시료에 다시 SiO_2 를 100 nm 올린 후, 두 번째 RTA 로 550 $^\circ\text{C}$, 5분간 열처리 활성화시킨 후 각 샘플에 대하여 ECV와 오믹저항을 측정하였다. 그림 1은 TLM 패턴의 광학현미경 사진을 보여준다.

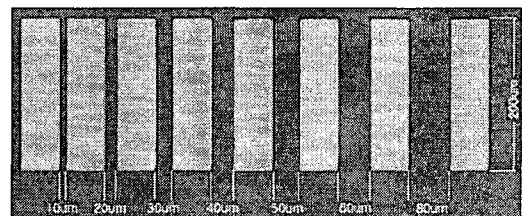


그림 1. Pd/Zn/Pd/Au 이 증착된 TLM 패턴

3. 결과 및 검토

그림 2는 V/III ratio 가 50 과 300인 undoped InP 에피에 첫번째 RTA 열처리로 Zn 을 확산한 시료와 두번째 RTA 열처리로 활성화한 시료에 대하여 깊이에 따른 ECV 결과로 정공농도의 분포를 나타내고 있다. 첫번째 RTA 후 Zn의 치환된 구간은 표면으로부터 깊이가 약 1.4 μm 까지이며, 표면으로부터 멀어짐에 따라 침입된 원자 중 치환된

* e-mail : hjk@kopti.re.kr

원자들이 많아져 최대 약 $1.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 의 정공농도를 가졌다. 이 시료에 대하여 2번째 RTA로 활성화 작용을 거친 후 정공농도는 약 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 까지 높아졌으며, 깊이에 따른 정공의 농도는 표면에서 멀어질수록 약간씩 줄어들었다.

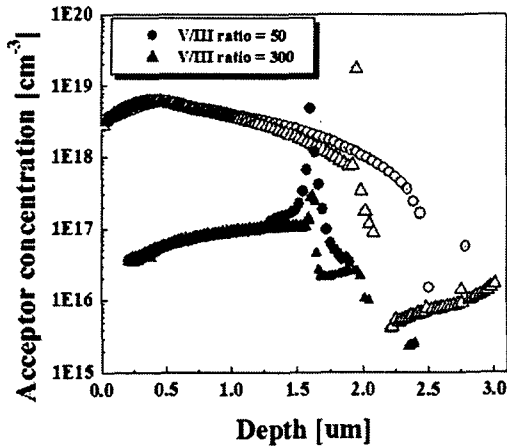


그림 2. V/III 비율이 50, 300인 샘플에 대한 열처리 후 ECV결과

그림 3은 V/III 비율이 50인 샘플에 대하여 확산열처리만 한 경우와 활성화 열처리 까지 한 샘플에 대하여 secondary ion mass spectroscopy (SIMS) 결과를 나타낸다.

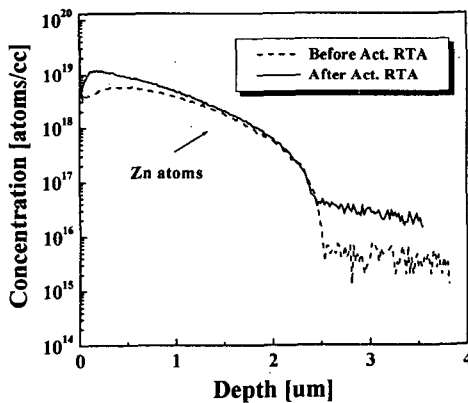


그림 3. V/III 비율이 50인 샘플의 열처리변화에 따른 SIMS 결과

SIMS 의 결과에 의하면 undoped InP 로 확산된 Zn 원자의 경우는 거의 차이가 없지만, 앞 표면에서, 확산한 샘플의 변화가 심함을 볼 수 있다. 그림 2와 3에서 볼 수 있듯이 RTA 열처리 후 Zn의 원자 확산과 그 확산된 원자 중 활성화된 정공의 농도형태는 다를 수 있다. 그림 3은 V/III 비율이 50 과 300인 샘플에 대하여 확산열처리만 한 경우 및 활성화 열처리까지 한

경우의 오믹저항을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 V/III 비율이 적을 경우와, 활성화 열처리 하기전 오믹저항이 적음을 볼 수 있다. 자세한 원인은 좀 더 연구를 해보아야 하지만 그림 3에서 표면쪽에 활성화 열처리 후 Zn 원자농도의 결핍과 관련된 결과로 생각된다.

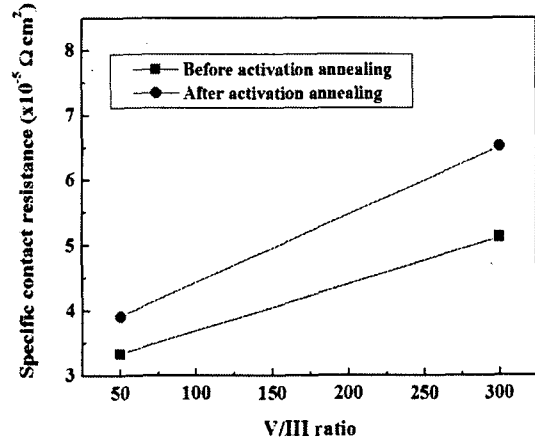


그림 4. V/III 비율이 50과 300인 샘플들에 대하여 활성화 열처리 전 후의 오믹저항

4. 요약

본 연구에서는 APD 소자 제작시 주로 쓰이는 RTA에 의한 Zn 확산방법을 사용할 경우 undoped InP의 V/III 비율에 따른 Zn원자의 확산, 도핑, 오믹저항의 성장을 조사하였다. RTA에 의한 확산 및 활성화 열처리 시도핑 농도의 프로파일은 확산열처리만 한 경우보다 활성화 처리한 경우 더 커짐을 볼 수 있었다. SIMS 결과 활성화 처리 후 표면쪽에 Zn원자의 약간의 결핍현상을 보이는 데 이는 표면쪽에 Zn원자의 탈착이 약간 이루어지는 것으로 보인다. 이 원인은 결과적으로 오믹저항의 증가를 가져왔다.

참고 문헌

- [1] U. Gosele and F. Morehead, "Diffusion of zinc in gallium arsenide : A new model", J. Appl. Phys. vol. 52, no. 7, pp.4617~4619, 1981
- [2] H. B. Serreze and H. S. Marek, "Zn diffusion in InP : Effect of substrate dopant concentration ", Appl. Phys. Lett. vol. 49, no. 4 pp.210~211, 1986.
- [3] N. Otsuka, M. Ishino, and Y. Matsui, "Stability of Zn doping profile in modulation-doped multiple quantum well structure", J. Appl. Phys. vol. 80, no. 3, 1996.
- [4] Y. D. Woo and J. S. Hong, "Improvement in the Ohmic contact characteristics on Zn diffused p-InP", Sae Mulli, vol. 49, no. 2, 2004.