

액체금속이온이 주입된 p형 GaAs의 오음성 접촉

(Ohmic Contact of p-type GaAs Implanted the Liquid Metal Ion)

金松康*, 姜泰遠*, 洪致裕*, 林栽榮*, 嚴基錫*, 李延煥*, 魏永琥*, 李丁柱**

(Song Gang Kim, Tae Won Kang, Chi Yhou Hong, Jae Young Leem, Gi Suk Eum, Youn Hwan Lee, Yeong Ho Wui, and Jeung Ju Lee)

要 約

In 액체금속 이온을 p형 GaAs에 이온 주입하여 오음성접촉 제작을 시도하였으며, Infrared Rapid Thermal Annealing(IRTA)과 Furnace Annealing(FA)을 하여 이 시료의 I-V 및 접촉비저항 측정을 하였다.

그 결과 750°C로 10초간 IRTA한 시료의 접촉비저항이 $1.7 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 로 나타났다. 또 그 표면 특성을 Scanning Electron Microscopy (SEM), Reflection High Energy Electron Diffraction (RHEED) 및 Auger Electron Spectroscopy(AES)로 조사하였으며, 이들 결과로부터 이온 주입된 In은 표면에서 ion mixing되어 InAs을 형성하고 있음을 알수 있었다.

Abstract

For the fabrication of ohmic contact to p-type GaAs, In Liquid Metal Ions were implanted into p-type GaAs ($\text{Zn}: 1.5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$). After the samples were processed by Infrared rapid thermal annealing (IRTA) or Furnace Annealing (FA), I-V and specific contact resistivity were measured. Specific contact resistivity was found to be $1.7 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$ in IRTA 750°C, 10 sec annealed sample. The surface characteristics of the samples were investigated with SEM, RHEED, AES. From these results we can know that Implanted In ions were formed mixing layer of InAs at the surface.

I. 서 론

액체금속으로부터 금속이온을 발생시키는 액체금속 이온원은 high brightness, fine focused 이온빔 특성과 다양한 금속물질을 이온원으로 이용할 수 있다는

등의 장점을 가지고 있어 물질의 표면분석¹, ion implantation², lithography³, ion etching⁴, mask repair⁵, submicron device fabrication⁶ 등 반도체 소자 개발에 다방면으로 응용이 이루어지고 있다.

최근에는 이들 액체금속이온원을 화합물 반도체에 오음성 접촉을 만드는데 이용하고자 하는 연구가 진행되었으며, 주로 n형 GaAs의 오음성 접촉을 위해 AuGe이 액체금속 이온원으로 사용되었다⁷ 그러나 p형 GaAs의 오음성 접촉을 위한 액체금속 이온주입 연구는 아직 시도된 바가 없었다. 더욱이 p형 GaAs

*正會員, 東國大學校 物理學科
(Dept. of Physics, Dongguk Univ.)

**正會員, 慶尙大學校 物理學科
(Dept. of Physics, Gyeongsang Nat'l Univ.)

接受日字: 1989年 6月 14日

는 지금까지 알려진 방법으로는 오음성 접촉을 만들기가 쉽지 않음은 주지의 사실이다.

이에 본 연구에서는 자체 제작한 needle emitter type의 In 액체금속이온원⁸⁾을 Cockcroft-Walton 형 가속기에 부착하여 그 특성을 조사하였으며, In이온을 p형 GaAs에 주입하여 재현성있고 신뢰성있는 오음성 접촉을 시도하였다. 이와 같이 액체금속 In이온 주입된 시료에 Ag를 증착한 후 IRTA(Infrared Rapid Thermal Annealing) 및 Furnace Annealing (FA)을 하여 이 시료의 오음성접촉 특성을 I-V 및 TLM(Transmission Line Model)⁹⁾ 법에 의해 접촉비저항을 측정하여 비교해 보았으며, 열처리해 따른 시료의 표면특성 변화를 SEM, RHEED등으로 조사하였고, 또한 In이온을 p형 GaAs에 주입한 시료의 깊이 에 따른 In의 분포상태를 Auger depth profile하여 조사하였다.

II. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용한 액체금속 이온원은 텅스텐 needle emitter와 ribbon heater로 구성되어 있으며, 그 제작방법은 여러차례 발표된 바 있다.⁸⁾ In이온은 문턱 전압 5.5kV에서 이온빔이 발생하기 시작하였으며, 추출전압 8kV에서는 35시간 이상 계속해서 안정한 빔을 얻을 수 있었다.

본 연구에서 사용한 기판은 Sumitomo Co.의 Zn-doped($1.5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$) p형 GaAs(100) 기판을 사용하였으며, 오음성 접촉측정을 위하여 $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 6 : 1 : 1$ 용액에서 90초간 etching 한후 photolithography를 하여 TLM 패턴을 만든 후 가속기에 넣고 액체 금속이온원을 이용하여 In이온을 주입하였다. 이때 이온 주입조건은 추출전압 8kV, 가속전압 5keV, 이온 전류 밀도 $2.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, 주입시간 30분이며, 진공도는 10^{-6} torr이었다. 이와 같이 이온주입된 시료에 Ag를 1,000Å 증착한 후 Lift off방법으로 TLM 패턴을 만든 후 온도를 변화시키며, IRTA와 FA을 한 다음 접촉 비저항을 측정하였다.

한편 SEM, AES 및 RHEED 등 시료의 표면측정을 위한 시료는 위의 과정중 lift off 과정만 생략한 채 동일한 조건으로 하였으며, 이때 이온 주입에 의한 damage을 없애기 위한 IRTA는 700, 750, 800, 850, 900°C로 10초간 질소 분위기하에서 열처리하였고 FA는 200, 250, 300, 350, 400°C로 2분간 질소 분위기하에서 열처리하였다.

III. 실험결과 및 논의

1. I-V 및 접촉비저항

Fig. 1은 In액체금속 이온을 주입한 시료를 IRTA 및 FA하여 I-V측정을 한 결과이다. 열처리하지 않은 시료 (a)는 불완전한 오음성 접촉 특성을 보이고 있으나, 700°C 이상으로 10sec간 IRTA한 시료는 모두 오음성접촉 특성을 나타내고 있으며, 750°C로 10sec간 IRTA한 시료의 (Fig. 1(c)) I-V 특성이 가장 좋게 나타났다. 또한 FA하여 I-V를 측정한 결과 300°C 이상으로 FA한 시료는 모두 오음성접촉 특성을 나타내었으며, FA한 시료들중에서는 350°C로 2min 동안 FA한 시료(Fig. 1(f))의 I-V특성이 가장 좋게 나타났다.

한편 최적 조건보다 더 높은 온도로 열처리한 시료의 I-V 특성이 나빠지고 있는데 이는 As의 desorption¹⁰⁾ 및 표면의 불균일성에 의한 것으로 생각된다. 한편 IRTA결과 Fig. 1(c)와 FA 결과 Fig. 1(f)를 비교해보면 IRTA의 I-V 특성이 FA의 I-V 특성보다 좀더 좋은 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 이온주입한 시료의 IRTA 온도변화에 따른 접촉비저항을 TLM방법으로 측정한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 가장 낮은 접촉비저항은 I-V 특성이 가장 좋은 750°C로 10sec간 IRTA한 시료에서 $1.7 \times 10^{-5} \Omega\text{-cm}$ 의 가장 낮은 접촉비저항을 얻을 수 있었고, 이 온도보다 낮거나 높은 온도의 열처리에서는 접촉비저항이 증가하고 있는 것으로 보아 10sec간 IRTA하였을 때의 최적 IRTA 온도는 750°C임을 알 수 있다.

이 결과는 In을 증착하여 RTP를 시도한 Matino¹¹⁾ Barcz¹²⁾ 등의 결과와 접촉비저항만을 비교하여 볼때 거의 유사한 결과임을 알 수 있었다.

한편 앞서와 같은 조건으로 이온주입한 시료를 FA 온도변화에 따라 TLM법으로 측정한 접촉비저항의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 이때 FA시간은 2min으로 일정하게 하였으며, 250°C에서 450°C까지 50°C의 간격으로 열처리하였다. FA온도가 350°C일때 가장 낮은 접촉비저항 $2.1 \times 10^{-5} \Omega\text{-cm}^2$ 나타내었고 350°C보다 낮은 온도의 열처리에서는 접촉비저항이 급격히 증가하는 것을 알 수 있으며, 350°C보다 높은 온도의 열처리에 대하여서도 접촉비저항이 약간 증가하고 있는 것으로 보아 In액체금속이온을 주입한 후 오음성접촉을 위한 최적 FA조건은 350°C임을 알 수 있다. 한편 IRTA와 FA의 결과에서 각각의 가장 낮은 접촉비저항을 비교해 보면, 750°C로 IRTA한 결과가 350°C로 FA한 결과보다 낮은 접촉비저항을 보이는 것으로 보아 FA보다는 IRTA가 In액체금속이온이 주입된 p형 GaAs의 오음성접촉에 더 적합한 것으로 사료된다.

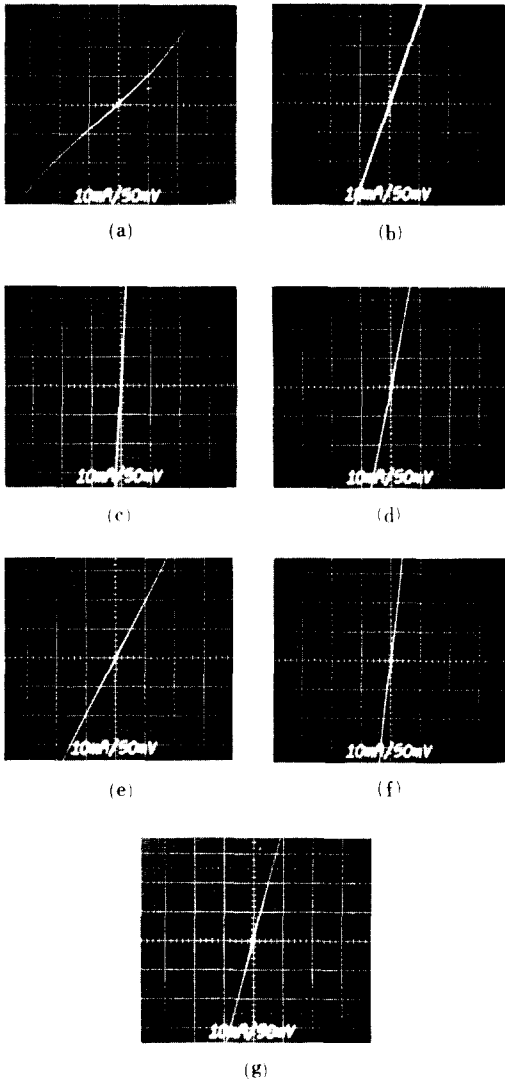


그림 1. In이온이 주입된 p형 GaAs의 I-V특성

- (a) 이온 주입 후
- (b) IRTA로 700°C에서 열처리한 후
- (c) IRTA로 750°C에서 열처리한 후
- (d) IRTA로 800°C에서 열처리한 후
- (e) FA로 300°C에서 열처리한 후
- (f) FA로 350°C에서 열처리한 후
- (g) FA로 400°C에서 열처리한 후

Fig. 1. I-V characteristics of the p-GaAs substrates into which In ion implanted.

- (a) as implanted.
- (b) annealed at 700°C in IRTA.
- (c) annealed at 750°C in IRTA.
- (d) annealed at 800°C in IRTA.
- (e) annealed at 300°C in FA.
- (f) annealed at 350°C in FA.
- (g) annealed at 400°C in FA.

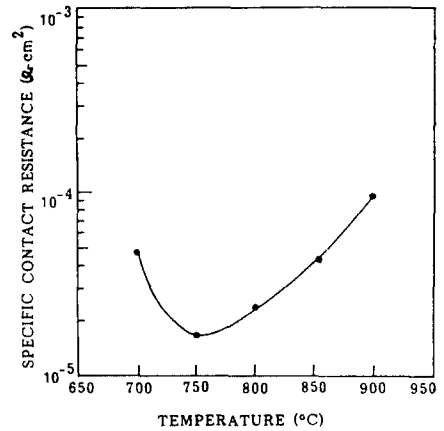


그림 2. IRTA온도변화에 따른 접촉비저항 (열처리 시간: 10초)

Fig. 2. Specific contact resistance as a function of IRTA temperature. (annealing time: 10sec)

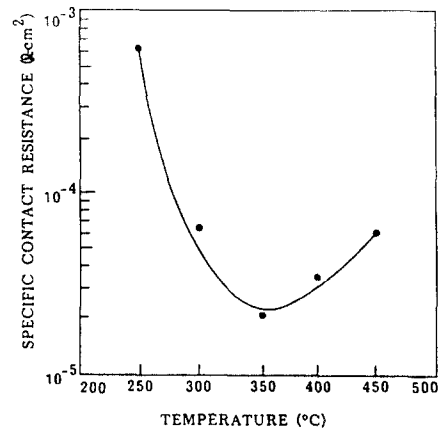


그림 3. FA온도변화에 따른 접촉비저항 (열처리 시간: 2분)

Fig. 3. Specific contact resistance as a function of FA temperature. (annealing time: 2 min).

2. 시료의 표면분석

Fig. 4는 5 keV의 에너지로 액체금속 In 이온을 주입하고 Ag을 증착한 후 10sec간 IRTA 한 시료에 대한 SEM사진으로 온도가 700, 750, 800, 850°C로 올라감에 따라 (a), (b), (c), (d)에서 보는 바와같

이 입계의 크기가 점점 커졌으며, 또한 입자들이 점점 뭉쳐지기 시작하여 750°C 이상이 되면 이와같은 현상이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다.

한편, 250, 300, 350, 400°C로 2min간 FA한 시료의 표면을 SEM으로 관찰한 결과가 Fig. 5 (a), (b) (c), (d)이다.

여기서 볼 수 있는 바와 같이 350°C 이상에서는 규칙적인 원형모양을 갖고 있으며, 열처리 온도가 올라감에 따라 입계의 크기도 점점 커졌다.

한편 IRTA 한 시료인 Fig. 4와 FA한 시료인 Fig. 5을 비교해보면 FA한 시료보다 IRTA한 시료의 표면이 입자의 크기가 작고 균일한 표면을 가지고 있음을 알 수 있다.

한편 5 keV의 가속에너지로 30min간 In이온을 주입한 시료의 열처리에 따른 RHEED pattern의 변화를 조사한 것이 Fig. 6이다.

Fig. 6 (a)는 In이온을 주입한 후 시료의 표면에 대한 RHEED결과이다. 여기서 알 수 있는 바와 같이 표면은 In이온주입에 의한 damage로 인하여 비정질화되었음을 알 수 있다. 이와 같은 시료를 As 분위기 하의 MBE chamber속에서 각각 300°C, 560°C, 610°C 및 700°C로 열처리한 결과가 fig. 6 (b), (c), (d), (e), (f)이다. (c)에서 볼 수 있듯이 560°C로 열처리한 경우 In이온주입에 의하여 비정질화되었던 GaAs 표면이 Kikuchi pattern을 나타내는 것으로 보아 결정성은 거의 회복되었음을 알 수 있다. 그러나 diffu-

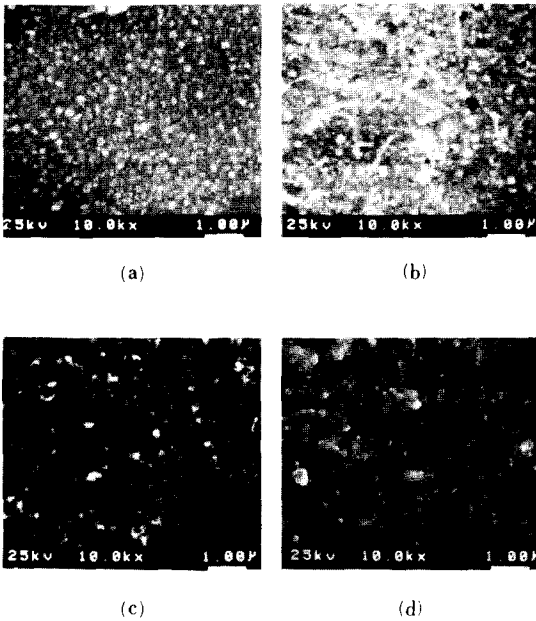


그림 4. p형 GaAs기판에 이온주입 후 Ag을 증착한 시료표면의 SEM사진
 (a) IRTA로 700°C에서 열처리한 후
 (b) IRTA로 750°C에서 열처리한 후
 (c) IRTA로 800°C에서 열처리한 후
 (d) IRTA로 850°C에서 열처리한 후

Fig. 4. SEM photographs for In ion implanted and Ag evaporated p-GaAs surface.
 (a) annealed at 700°C in IRTA.
 (b) annealed at 750°C in IRTA.
 (c) annealed at 800°C in IRTA.
 (d) annealed at 850°C in IRTA.

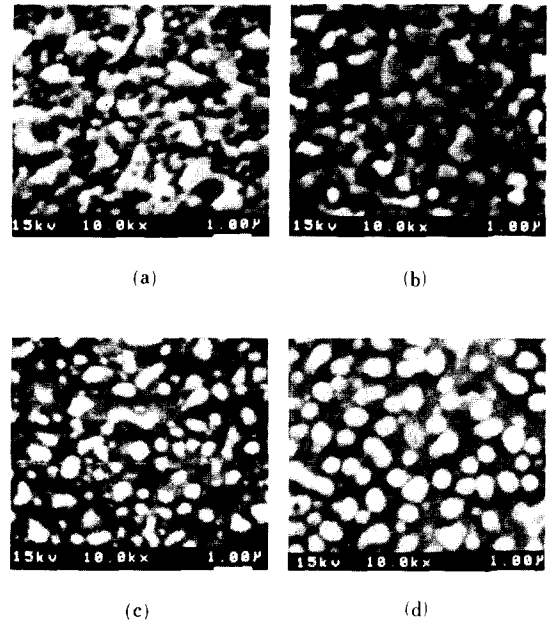


그림 5. p형 GaAs에 기판에 In이온주입 후 Ag을 증착한 시료표면의 SEM사진
 (a) FA로 250°C에서 열처리한 후
 (b) FA로 300°C에서 열처리한 후
 (c) FA로 350°C에서 열처리한 후
 (d) FA로 400°C에서 열처리한 후

Fig. 5. SEM photographs for In ion implanted and Ag evaporated p-GaAs surface.
 (a) annealed at 250°C in FA.
 (b) annealed at 300°C in FA.
 (c) annealed at 350°C in FA.
 (d) annealed at 400°C in FA.

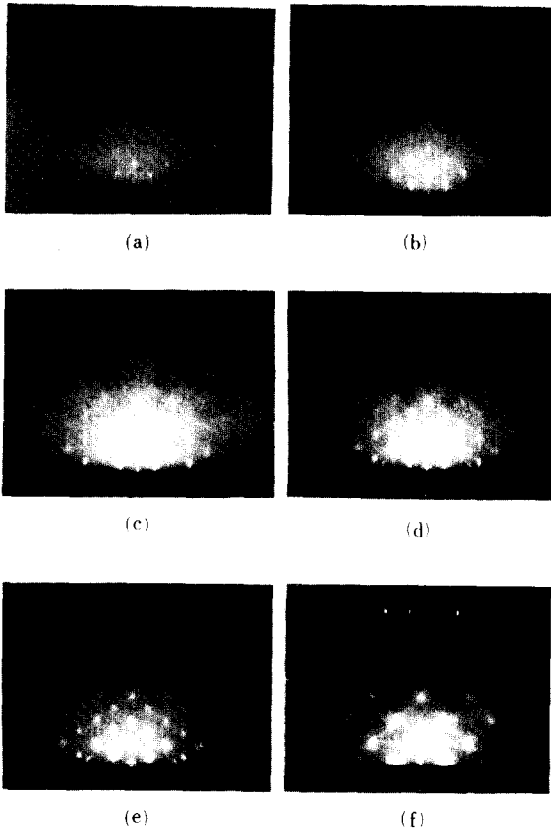


그림 6. In이온이 주입된 p형 GaAs표면의 RHEED패턴

- (a) 이온주입 후
- (b) 300°C로 열처리한 후
- (c) 560°C로 열처리한 후
- (d) 610°C로 열처리한 후
- (e) 700°C로 열처리한 후
- (f) 700°C로 열처리한 후 (단 (a)~(e)는 [011] 방향, (f)는 [001]방향임)

Fig. 6. RHEED pattern of the p-GaAs surface into which In ion implanted.

- (a) as implanted
- (b) annealed at 300°C
- (c) annealed at 560°C.
- (d) annealed at 610°C.
- (e) annealed at 700°C.
- (f) annealed at 700°C. where (a)~(e) is [011] orientation and (f) is [001] orientation.

sed spot pattern이 나타나는 것으로 보아 표면은 어느 정도의 roughness를 가지고 있음을 알 수 있다.

한편 (d)에서 보는 바와 같이 610°C로 열처리한 시

료에 대한 RHEED pattern은 GaAs의 기본 pattern 이외에 lattice constant $a = 4.82 \text{ \AA}$ 을 가지는 새로운 격자점이 나타나고 있다. 이는 tetragonal 구조를 가지는 In의 C축 ($C = 4.95 \text{ \AA}$)에 대한 회절점이라 생각된다.¹³⁾

이는 온도가 상승함에 의하여 GaAs내부에 존재하던 In이 표면으로 확산되어 나왔기 때문이라 생각된다.¹⁴⁾ 온도를 더욱 높여 기판온도를 700°C로 한 후의 사진이 (e), (f)이다. (e)는 azimuth가 (011)이고, (f)는 azimuth가 (001)에서의 결과이다. 이때 In의 회절점은 더욱 선명하여 졌으며, 원상으로 확산되었음을 알 수 있다.

이는 표면에 In의 양이 많아짐으로 인하여 부분적으로 In이 island를 형성하기 때문이라 생각된다. 이때 In에 의한 회절점외에 또 다른 회절점이 나타나고 있는데 이 회절점의 격자상수를 구해본 결과 $a = 6.08 \text{ \AA}$ 이 나왔다. 이는 InAs ($a = 6.06 \text{ \AA}$)에 의한 회절점이라 생각되는데 그 이유는 열처리에 의하여 표면으로 확산되어 나온 In과 As이 반응하여 InAs을 형성한 것으로 여겨진다.

한편 주입된 In이온이 GaAs표면에 어떻게 분포하고 있는가를 알아보기 위하여 $2.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 의 In이온을 p형 GaAs기판에 30분간 이온주입한 시료에 대하여 Auger depth profile 측정을 한 결과가 Fig. 7이다. 이 결과는 Ar^+ sputtering에 의한 mixing효과와 preferential sputtering에 의한 효과는 무시한 것으로 표면은 As rich상태를 보이고 있으며, 전체적으로 In, Ga, As 이 mixing system을 형성하고 있음을 알 수 있고 이것은 GaAs기판에 In이온을 주입함에 의하여 In, Ga, As의 mixing layer가 형성되고 이를 열처리함에 따라 In이 outdiffusion되어 표면에서 InAs을 형성하게 되고 이 InAs 바로 밑은 GaAs기판내에 이온주입된 In이 열처리에 의하여 InGaAs층을 형성하게 되는 것으로 생각되어진다.

IV. 결 론

In액체금속이온원을 이용하여 p형 GaAs의 오음성 접촉을 시도한 결과 열처리하지 않은 시료는 불완전한 오음성 접촉 특성을 나타내고 있으나, 200°C 이상 FA한 시료 및 700°C 이상 IRTA한 시료는 모두 오음성 접촉 특성을 나타내었다. FA한 시료는 350°C로 열처리한 시료의 접촉비저항이 $2.1 \times 10^{-5} \Omega - \text{cm}^2$ 로 가장 낮았으며, IRTA한 시료는 750°C로 10sec간 열처리한 시료의 접촉비저항이 $1.7 \times 10^{-5} \Omega - \text{cm}^2$ 로 가장 낮게 나타났다. 한편 IRTA한 시료표면의 입

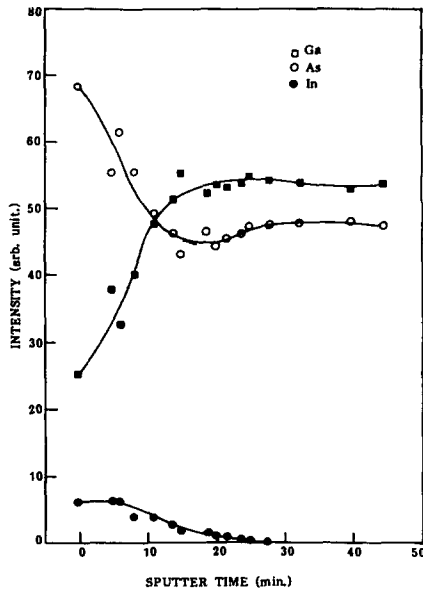


Fig. 7. Auger depth profile of In ion implanted GaAs substrate.

그림 7. In이온이 주입된 GaAs기판의 Auger depth profile

계가 FA한 시료표면의 입계보다 더 균일하게 나타났으며, In이온을 주입한 시료의 표면은 비정질 상태로 되었고, 열처리함에 의하여 결정성을 회복하였으며, 또한 700°C 이상의 온도로 열처리하면 In이 outdiffusion되어 표면에 InAs이 재결정화 되었다. In이온이 주입된 시료의 Auger depth profile 결과 In, Ga, As이 mixing layer를 형성하였다.

參 考 文 獻

- [1] G. Ben A ssayag, P. Sudraud, and L.W. Swanson "Close-spaced Ion emission from gold and gallium liquid metal ion source," Surface Science, vol. 181, pp. 362-369, 1987.
- [2] K.G. Stephens "Ion implantation for GaAs integrated circuits," Proc. Int'l Ion Engineering Congress-ISIAT' 83 & IPAT' 83, Kyoto, pp. 1715-1726, 1983.
- [3] Y. Hirayama, S. Taracha, Y. Suzuki, and H. Okamoto, "Fabrication of a GaAs Quantum-wire Structure by Ga Focused-ion-beam Implantation and its Optical properties," Phys. Rev. B, vol. 37, pp. 2774-2777, 1988.
- [4] Masanori Komuro, Hiroshi Hiroshima, Hisao Tamoue, and Toshihiko Kanayama, "Maskless etching of a nanometer structure by focused ion beams," J. Vac. Sci. Technol. B1, 985-989, 1983.
- [5] W.L. Brown and A. Wagner "Finely focussed ion beam-new tools for technology," Proc. Int'l Ion Engineering Congress-ISIAT'83 & IPAT' 83, Kyoto, pp. 1738A-1738L, 1983.
- [6] R.L. Kubena, C.L. Anderson, R.L. Seliger, R.A. Jullens, E.H. Stevens, and I Lagnado J. Vac. Sci. Technol. vol. 19, pp. 916-920, 1981.
- [7] J.J. Lee, "A study on the ohmic contact of the liquid metal ion implanted n-type GaAs," Ph. D. Theses, Dongguk University, 1987.
- [8] S.G. Kim, "A study on the ohmic contact of p-type GaAs implanted the liquid metal ion", M.S. Theses, Dongguk University 1989.
- [9] H.H. Berger, "Models for contacts to planar devices," Solid-State Electron. vol. 15, pp. 145-158, 1972.
- [10] S.J. Pearton, K.D. Cumming, and G.P. Vellacoleiro, "Electrical activation of implanted Be, Mg, Zn, and Cd in GaAs by Rapid thermal annealing," J. Appl. Phys., vol. 58, pp. 3252-3254, 1985.
- [11] H. Matino and M. Tokunaga, "Contact resistances of several metals and alloys to GaAs," J. Electrochem. Soc., vol. 116, pp. 709-711, 1969.
- [12] A.J. Barcz, E. Kaminska and A. Piotrowska "Fundamental and practical aspects of alloying encapsulated gold-based contacts to GaAs," Thin Solid Films, vol. 149, p. 251-260, 1983.
- [13] C. Kittel "Introduction to solid state physics," (5th edition, MC Grow Hill) pp. 31.
- [14] E.H.C. Parker "The technology and physics of molecular beam epitaxy (Plenum press, 1985) pp. 387-412.

著 者 紹 介

金 松 康 (正會員) 第26卷 第6號 參照
현재 동국대학교 물리학과
석사졸업



姜 泰 遠 (正會員) 第26卷 第6號 參照
현재 동국대학교 물리학과
부교수



洪 致 裕 (正會員) 第26卷 第6號 參照
현재 동국대학교 물리학과
교수



林 載 榮 (正會員) 第26卷 第6號 參照
현재 동국대학교 물리학과
박사과정



嚴 基 錫(正會員)
1959年 4月 23日生. 1983年 2月 동국대학교 물
리학과 졸업. 1985年 2月 동대학원 물리학과 석사
학위 취득. 1989年 8月 동대학원 물리학과 박사
과정 수료. 주관심분야는 화합물 반도체 이중접합구
조를 이용한 고속소자 및 초격자의 물성연구.

李 延 煥(正會員)

1957年 1月 2日生. 1980年 2月 동국대학교 물
리학과 졸업. 1982年 2月 동대학원 물리학과 석사
학위 취득. 1987年 2月 동대학원 물리학과 박사
과정 수료. 주관심분야: 표면 물리 및 이온이 주입
된 화합물 반도체의 물성연구.



魏 永 琥(正會員)

1956年 6月 20日生. 1986年 동국대학교 대학원
물리학석사. 1985年 11月~1987年 9月 한국과학
기술원 광전자공학 연구실 위촉연구원. 1988年 3月
~현재 동국대학교 대학원 물리학과 박사과정 고체
물리전공. 주관심분야는 광 및 광전소자임.



李 丁 柱 (正會員) 第26卷 第6號 參照

현재 경상대학교 물리학과
조교수