論文 89-26-12-13

액체금속이온원을 이용한 n형 GaAs의 오옴성접촉

(The Ohmic Contact of n-GaAs Using by Liquid Metal Ion Source)

姜泰遠* 李丁柱**, 金松康*, 洪致裕*, 林栽榮*, 康勝彦***

(Tae Won Kang, Jeoung Ju Lee, Song Gang Kim, Chi Yhou Hong, Jae Young Leem, and Seung Oun Kang)

要 約

자체 제작한 AuGe액체금속 이온원을 Cockroft-Walton형 가속기에 부착하여, 이 이온빔을 n형 GaAs기판에 주입하여 오음성 접촉을 시도한 후 접촉비저항을 측정하였다. 가장 안정한 이온빔이 발생하는 추출전압 14.5kV에서 $1.9\times10^{20}/cm^3$의 AuGe 이온빔을 GaAs 기판에 주입하고 300℃에서 2분간 열처리하여 TLM(Transmission Line Model)법으로 접촉비저항을 측정한 결과 $2.4\times10^{-5}\Omega-cm^2$을 얻었다.

Abstract

The ion beam system of 20 keV C-W (Cockroft Walton) type composed of the AuGe alloy LMIS (Liquid Metal Ion Source) has been designed and constructed. For the fabrication of the ohmic contact to the n-GaAs, the ion beam extracted from the AuGe alloy source was implanted into the n-GaAs, and it was measured by contact resistivity. The stable AuGe ion beam ($2.5\mu A/cm^2$) was obtained at the extraction voltage of 14.5 kV. The measurements of the contact resistivity were done by the TLM (Transmission Line Model) method and the specific contact resistivity was found to be 2.4×10^{-5} Ω-cm^2 for the implanted sample by the $1.9\times10^{20}/cm^3$ and the annealed sample at 300°C for 2 min.

I. 서 론

반도체 소자는 일반적으로 금속-반도체 접촉이 필요하며, 특히 화합물 반도체의 경우 단원소 반도체보다 오옴성접촉을 만들기가 용이하지 않다는 것은 잘 알려진 사실이다.[1] GaAs과 같은 화합물 반도체의 오옴성접촉을 만드는 방법에는 공융합금을 진공증착한 후 열처리하여 확산을 이용하는 방법[2]과 MBE(Molecular Beam Expitaxy)나 MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 장치를 이용하여 heavily doping하여 금속을 접촉시키는 방법[3] 그리고 최근에 연구가 진행중인 이온주입 후 금속을 접촉시키는 방법[4] 등이 알려져 있다. 이중 실제 소자제작시에는 확산에 의한 방법이 가장 일반적으로 사용된다. 그러나 GaAs중 몇몇 소자(예로서 HEMT 등) 는 오옴성 물질이 표면에서 수백~1000Å 정도

*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, Gyungsang Nat'l Univ.)
***正會員, 光云大學校 物理學科
(Dept. of physics, Kwangwoon Univ.)

接受日字 : 1989年 4月 4日

확산되어야 하나 확산을 이용할시는 n형 GaAs의 오옴성접촉을 위해 사용하는 AuGe/Ni[5] 및 AuGe/Au[6] 계의 공융합금의 경우 확산깊이가 이에 미치지 못하여 etching등 복잡한 과정이 수반되어야 하는 문제점이 있다. 그러나 공융합금을 액체금속이온원으로 사용할 수만 있다면 이를 GaAs에 이온주입시켜 주입깊이를 조절할 수 있으며 동시에 오옴성 접촉을 이룰수가 있게된다.

더우기 공융합금의 경우 질량이 다른 두 물질이 합성되어 이루어져 있기 때문에 이를 이온원으로 사용하여 반도체에 이온주입시킬 경우 반도체에 주입되어 분포하는 깊이가 달라질 것이므로 화합물 반도체의 오옴성접촉에는 최적의 방법으로 간주된다.

이에 본 연구에서는 액체금속이온을 제작하고, 자체 제작한 소형 입자가속장치에[7] 부착하여 이로부터 발생되는 AuGe 이온을 n형 GaAs에 이온 주입한 후 I-V 및 접촉비저항을 측정하였다.

Ⅱ. 액체금속이온원의 방출원리

액체금속이온원은 narrow capillary 또는 needle emitter에 액체금속막을 형성시켜 금속이온을 발생시키는 것으로서 이와같은 방법으로 금속이온을 발생시킬 때 중요한 요소는 needle의 형태로서 emitter의 곡율반경이 수 μm이내이어야 한다.

또한 needle emitter의 장점에 외부 전기장이 가해질 경우, Fig. 1에서 보는 바와같이 Taylorcone을 형성하기 위한 needle emitter 표면에 형성된 액체금속박막의 변형력에 대한 평형조건[8]은

$$T(1/r_1+1/r_2)=1/2\varepsilon_0 E^2 \qquad (1)$$
$$=(E/300)^2/8\pi$$

이다. 이때

T : 액체금속의 표면장력
r_1 r_2 : Emitter의 곡율의 장반경, 단반경
ε_0 : 자유공간의 유전율
E : 전기장

이며, 또한 $r_1=r_2$인 구에 대하여 cone표면 정점에 외부 전기장이 가해질 경우 주위에 형성되는 포텐셜[9]은

$$V=Ar^{1/2}P_{1/2}(\cos\theta)$$

이며,

r : 구면 극좌표에서의 반경벡터
$P_{1/2}$: 1/2차의 Legendre 다항식
A : 상수

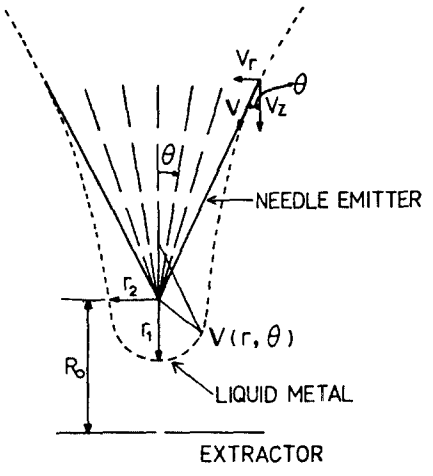

그림 1. 액체금속 이온원의 Taylor 콘에 관한 도식도
Fig. 1. Schematic diagram of the taylor cone of liquid ion source.

이다. Cone 표면이 등전위면(V=0)을 이루기 위해서는 $P_{1/2}(\cos\theta)$이 0이 되어야 하며, $0\leq\theta<$n인 경우에 $\theta=130.7°$이고 cone의 반각은 49.3°이다. Cone 표면에서 외부로 향하는 정상적인 전기장은

$$E=\frac{1}{r}\frac{dV}{d\theta}=Ar^{-1/2}\left(\frac{dp_{1/2}}{d\theta}\right),\ \theta=130.7° \qquad (3)$$
$$=0.974Ar^{-1/2}$$

이므로, (1)식으로부터 cone 형성 임계전압은

$$V_c=1.432\times10^3T^{1/2}R_0^{1/2} \qquad (4)$$

이며, R_0는 $\theta=0$일때의 r의 값이다. 추출전극을 고려한 r의 이상적인 값은

$$r=R_0\{P_{1/2}(\cos\theta)\}^{-2} \qquad (5)$$

이나, 실제로 기하학적 모양에서는 (5)식과 다르기때문에 R_0는 전극간격의 인자로 생각할 수 있다.

Ⅲ. 실험장치 및 방법

1. 액체금속이온원 제작

액체금속이온을 발생시키는 가속기는 Fig. 2와 같이 금속이온을 생성하는 액체금속이온원과 이온을 가속시키는 가단속으로 이루어져 있다. 액체금속이온원은 텅스텐 needle emitter와 ribbon heater로 구성되어 있다. Emitter는 원추형 모양을 갖도록 하기 위하여 직경 0.3㎜인 텅스텐 wire를 에칭용액(KOH

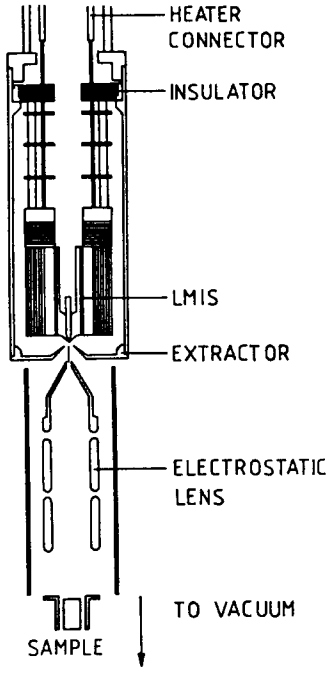

그림 2. 액체금속이온 가속기의 개략도.
Fig. 2. Schematic diagram of the liquid metal ion accelerator.

:$CuSO_4$: H_2O=640g : 0.25g : 1000g)으로 electrochemical etching 하였으며, ribbon heater는 두께 0.01 mm인 텅스텐 foil을 폭 2.5mm, 길이 10cm로 절단하여 중앙에 직경 0.3mm인 구멍을 뚫고 이에 emitter를 끼워 액체금속이온원을 제작하였다. 이와같이 제작된 액체금속이온원의 heater 위에 AuGe(Au : Ge=88 : 12wt%)공융합금을 소량 올려놓고 heater를 가열하여 wetting 시킨 후 추출전압을 6-20kV 가해주어 액체금속 이온빔을 얻었다.

2. 시료제작 및 실험방법

본 연구에 사용한 시료기판은 Si-doped($1\times10^{17}cm^{-3}$) n형 GaAs(100)으로서 H_2SO_4 : H_2O_2 : H_2O=6 : 1 : 1의 etching 용액에서 chemical etching을 한 후 액체금속이온 가속장치에 넣고 가속전압 15kV로 하여 AuGe 액체금속을 이 시료기판에 이온주입 시켰다. 이때 이온주입에 의해 시료표면에 생기는 damage를 줄이고 오옴성 특성을 개선하기 위해 Ar 분위기 하에서 열처리하였다. 이렇게 처리된 시료는 TLM 법을 이용하여 I-V 및 접촉비저항을 측정하였다.

Ⅳ. 실험결과 및 논의

1. 액체금속이온원

Fig. 3은 제작된 emitter tip을 SEM으로 2,000 배 확대하여 얻은 사진이다. 여기서 볼 수 있듯이 tip 끝의 곡율반경이 1-2μm이고, cone각은 98° 정도이며 tip은 골이 종축방향으로 잘 형성되어 있다. 이 골의 크기를 조사하기 위하여 SEM으로 8,000배 확대하여 얻은 사진이 Fig. 4로 tip 표면의 골의 크기는 0.5μm 정도로 액체금속이온이 tip 끝으로 잘 흘러내릴수 있는 tip의 이상적인 조건을 잘 만족하고 있음을 알 수 있었다.

이와같이 제작된 tip을 ribbon heater에 부착시켜 10^{-6} Torr의 진공하에서 800℃로 열처리하여 불순물을 제거한 후 이온원으로 사용할 AuGe 공융합금을 heater에 올려놓고 emitter를 wetting시켜 액체금속이온원을 제작하였으며, 이 액체금속이온원을 자체 제작한 이온가속기에 부착하고 emitter의 정점과 추출전극간의 거리가 0.5mm 일때 추출전압 V_E에 따른 AuGe 이온빔의 세기 J와의 관계를 나타낸 것이 Fig. 5이다. 문턱전압은 액체금속의 표면장력과 tip에 가해진 추출전압에 의해 형성되는 정전기력이 같게 되는 점으로서 본 연구에서는 반경이 5mm인 추출극을 사용하여 얻은 문턱전압은 6k V이며, 같은 AuGe이온빔을 Gamo[10]는 직경이 1mm인 추출전극을 사용하여 3.6kV의 값을 얻었다.

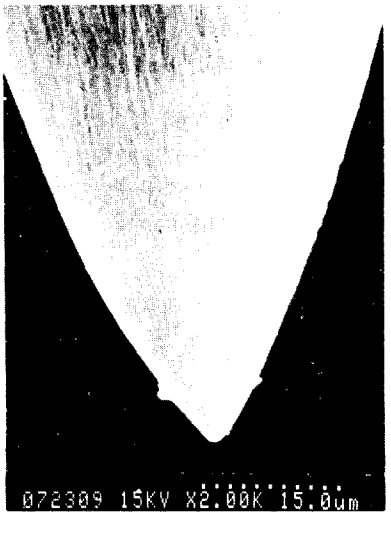

그림 3. 텅스텐 tip 끝의 사진(×2000)
Fig. 3. Photograph of the tungsten needle(×2000).

그림 4. 텅스텐 tip 표면의 골모양(×8000)
Fig. 4. The grooves on the tungsten needle surface(×8000).

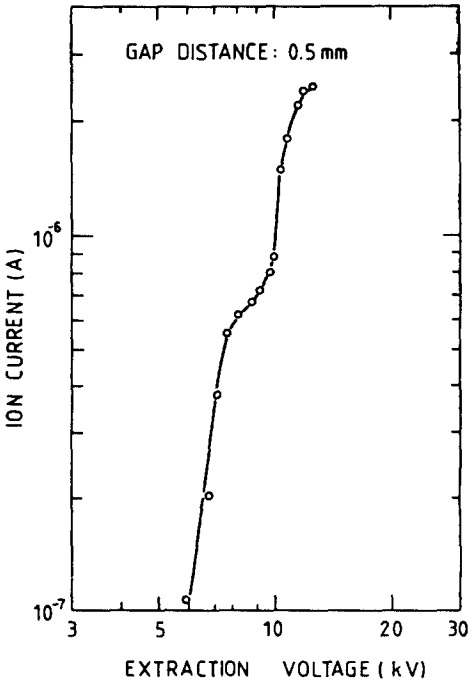

그림 5. 추출전압에 따른 Au-Ge 이온빔의 전류분포
Fig. 5. Au-Ge ion current as a function of extraction voltage.

이와같은 차이는 추출전극의 모양과 크기가 다르기 때문에 발생한 것으로 생각된다. 또한 14.5kV 이상에서의 포화전류 특성은 액체금속이 emitter의 끝으로 공급되는 공급율과 emitter 끝에서 발생하는 이온빔의 발생율이 균형을 이룰때 얻어지는 것으로 이때 비교적 안정된 이온빔이 나옴을 알 수 있다.

2. I-V 및 접촉비저항

추출전압 14.5kV로 이온주입시킨 시료의 열처리 온도 변화에 따른 I-V 특성의 결과가 Fig. 6이다.

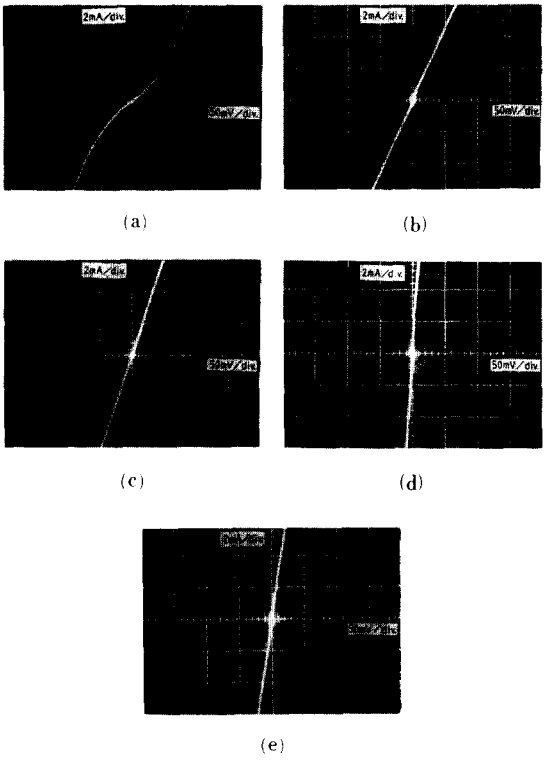

그림 6. Au-Ge 이온이 주입된 GaAs기판의 I-V 특성
(a) 이온주입 후
(b) 100℃로 열처리한 후
(c) 200℃로 열처리한 후
(d) 300℃로 열처리한 후
(e) 400℃로 열처리한 후

Fig. 6. I-V characteristics of AuGe ion implanted GaAs substrates.
(a) as implanted.
(b) annealed at 100℃.
(c) annealed at 200℃.
(d) annealed at 300℃.
(e) annealed at 400℃.

이온주입 후 열처리하지 않은 시료(Fig. 6 (a)는 정류성접촉 특성을 나타내고 있으나 100℃ 이상으로 열처리한 시료(Fig. (b), (c), (d), (e))는 모두 오옴성 접촉 특성을 나타내고 있다. 또 이 시료에 대한 접촉비저항을 TLM법으로 측정한 결과가 Fig. 7이다. 그림에서 보는 바와같이 300℃에서 2min간 열처리한 시료의 접촉비저항은 $2.4\times10^{-5}\Omega-cm^2$이었으며, AuGe 융점보다 높은 온도인 400℃로 열처리한 시료는 오히려 300℃에서 열처리한 시료의 접촉비저항 값보다 높은 접촉비저합을 나타내고 있다. 지금까지 보고된 바에 의하면[11] n형 GaAs의 경우 AuGe를 증착시킨 후 AuGe의 용융온도인 363℃ 보다 높은 온도에서 열처리하여야만 낮은 접촉비저항을 얻을 수 있다고 알려져 왔으나[12]본실험의 결과는 이보다 낮은 온도에서 좋은 접촉비저항을 나타냄을 알 수 있었다.

한편 Fig. 8은 열처리 시간에 따른 접촉비저항 측정결과로서 300℃에서 2분간 열처리한 시료가 가장 낮은 접촉비저항 $2.4\times10^{-5}\Omega-cm^2$을 나타내었으며 2분 이하의 열처리에 대해서는 접촉비저항이 급격한 증가를 보이나, 2분 이상으로 열처리 했을 때는 약간의 변화만 보이고 있어 열처리 시간은 2분이 최적조건 임을 알 수 있었다.

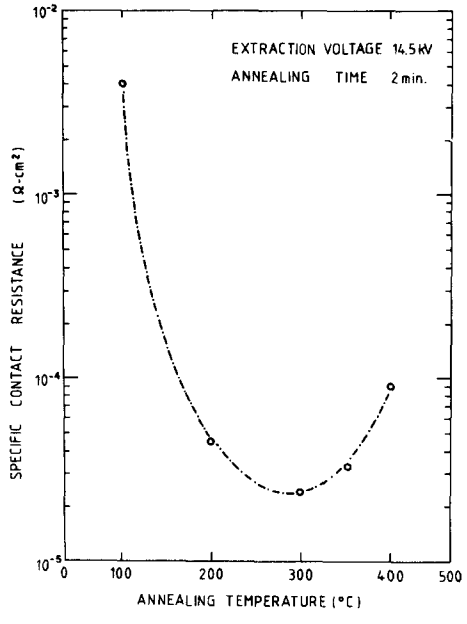

그림 7. 열처리온도에 따른 접촉비저항 특성
Fig. 7. Specific contact resistance as function of annealing temperature.

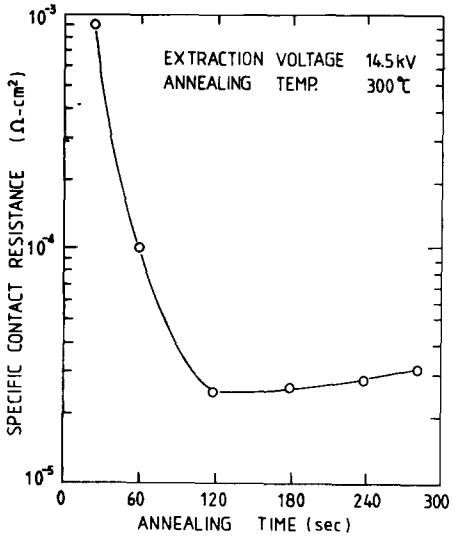

그림 8. 열처리 시간에 따른 접촉비저항 특성
Fig. 8. Specific contact resistance as a function of annealing time.

V. 결 론

액체금속이온원을 자체제작한 가속장치에 부착하여 이로부터 발생되는 AuGe 이온을 n형 GaAs에 주입한 후 I-V 및 접촉비저항을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 액체금속이원의 텅스텐 needle emitter는 emitter 끝의 곡율반경이 1~2μm, cone각이 98° 이었으며, 이와같은 이온원의 emitter에서 이온빔이 가장 잘 추출되었다.

2. 자체제작한 AuGe 이온 발생장치는 추출전압 6kV(문턱전압)에서부터 이온빔이 발생하기 시작하여 추출전압 14.5kV 일때 가장 안정된 빔이 방출되었다.

3. 위와같은 조건에서 n형 GaAs에 이온 주입한 후 다시 300℃로 2분간 열처리 하였을 때 가장 좋은 접촉비저항을 얻었으며 그 값은 $2.4\times10^{-5}\Omega-cm^2$이었다.

參 考 文 獻

[1] S.J. Pearton, K.D. Cummings 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.

[2] O. Anina, W. Katz, B.J. Baliga and K. Rose, "Low-Temperature sintered AuGe/GaAs Ohmic Contact," J. Appl. Phys. vol. 53, pp. 777-780, 1981.
[3] E.H.C. Parker, "The technology and physics of molecular beam epitaxy," vol. 1. (Plenum Press, New York, 1985) pp. 387.
[4] C. Lindsrom and P. Tihanyi, "Ohmic contact to GaAs lasers using ion-beam technology," *IEEE Trans.* vol. E.D.-30, pp. 39-44, 1983.
[5] R.A. Bruce and G.R. Piercy, "An improved Au-Ge -Ni Ohmic contact to n-type GaAs." Solid State Electronics, vol. 30 pp. 729-739, 1987.
[6] A.K. Kulkarni and J.T. Lukowski, "Effect of annealing process parameters on the properties of AuGe Ohmic contacts to GaAs," J. Appl. Phys., vol. 59. pp. 2901-2906, 1986.
[7] T.W. Kang, "A study on the thermally stimulated current from low energy Li+ion implanted silicon," Ph. D. Theses, Dongguk University, 1981.
[8] R. Gomer, "On the mechanism of liquid metal electron and ion source," J. Appl. Phys. vol. 19, pp. 365-375, 1979.
[9] G.I. Taylor, "Disintegration of water drops in an electric field," Proc. Roy. Soc. vol. A 280. pp. 383-397, 1964.
[10] K. Gamo, T. Ukegawa and S. Namba. "Field ion source using eutectic alloys," Jpn. J. Appl. Phys. vol. 19, pp. L379-L382, 1980.
[11] M. Ogawa "Alloying behavior of Ni/AuGe films on GaAs," J. Appl. Phys. vol. 51, pp. 406-412, 1980.
[12] A.I. Liadis and K.E. Singer, "The role of germanium in evaporated Au-Ge ohmic contacts to GaAs," Solid Slate Electronics, vol. 26 pp. 7-14, 1983.

著 者 紹 介

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

李 丁 柱 (正會員) 第26卷 第6號 參照
현재 경상대학교 물리학과 조교수

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

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

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

廉 勝 彦 (正會員)
1941年 3月 30日生. 1965年 8月 동국대학교 물리학과 졸업. 1970年 2月 동대학원 물리학과 석사학위 취득. 1982年 2月 동 대학원 물리학과 박사학위 취득. 현재 광운대학교 물리학과 교수. 주관심분야는 표면물리 및 이온주입된 화합물 반도체의 물성연구 등임.