

AuGe 액체금속 이온이 주입된 n-GaAs의 물성연구

(Physical Properties of AuGe Liquid Metal Ion Implanted n-GaAs)

姜泰遠*, 李丁柱**, 金松康*, 洪致裕*, 林栽榮*, 丁寬秀***

(Tae Won Kang, Jeung Ju Lee, Song Gang Kim, Chi Yhou Hong,
Jae Young Leem and Kwan Soo Chung)

要 約

액체금속이온원으로 부터 발생한 AuGe 이온빔을 GaAs기판에 주입시킨 후 이 시료의 표면성분과 구조를 AES(Auger electron spectroscopy), RHEED(reflection high energy electron diffraction), SEM(scanning electron microscopy) and EPMA(electron probe microanalysis) 등으로 조사하였으며 AES depth profile 실험결과를 이체충돌에 의한 Monte Carlo simulation과 비교하였다. AuGe 이온이 주입된 시료를 AES, EPMA로 측정한 결과 As의 preferential 스퍼터링이 나타났으며 300°C로 열처리하면 Ga과 Ge이 outdiffusion되었다. 또한 AES로 측정한 Au와 Ge의 depth profile은 이체충돌에 의한 Monte Carlo simulation의 결과와 잘 일치하였다.

Abstract

The ion beam extracted from the AuGe liquid metal ion source was implanted into GaAs substrate. The surface composition and the structure of ion implanted samples were investigated by AES, RHEED, SEM and EPMA. The depth profiles measured by AES were compared with the results of Monte Carlo simulation based on the two-body collision. As the results of AuGe ion implantation the preferential sputtering of As were revealed by AES and EPMA, and the outdiffusion of Ga and Ge was investigated by 300°C annealing. The Au and Ge depth profiles measured by AES agreed with the results of Monte Carlo simulation based on the two-body collision.

*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, 慶熙大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyunghee Univ.)

接受日字: 1989年 4月 4日

I. 서 론

최근 field ionization 법^[1]을 이용하여 액체금속으로부터 금속이온을 발생시키는 액체금속이온원에 대한 연구가 maskless device 제작등의 응용성등으로 인하여 많은 관심의 대상이 되고 있다.^[2] 이 때 사용되는 금속은 증기압 및 용점이 낮아야만 액체금속이온원

으로 사용할 수 있다는 제약 때문에 액체금속이온원의 종류는 극히 몇몇 단원소 금속으로 제한되어 왔다. 그러나 단원소 금속대신 합금을 사용할 경우 증기압 및 용점이 낮아질 수 있다는 가능성으로 인해 합금을 이용한 field ionization의 연구가 활발히 진행 중에 있다. 한편 단원소 금속을 이용한 field ionization에 대해서는 연구가 많이 진행되어 그 메커니즘이 이해되고 있는데 반해 합금을 이용한 field ionization에 대해서는 그 메커니즘 뿐만 아니라 이온주입에 이용할 수 있는 합금의 종류조차 확실히 규명되어 있지 않은 실정이다. 이들 액체금속이온원을 반도체에 이온주입 시킬 경우 이온의 주입깊이, 조성분포 및 표면의 morphology는 이들 반도체의 특성을 결정짓는 중요한 요소의 하나가 된다.^[3~5]

이에 본 연구에서는 AuGe 액체금속이온원으로 부터 field ionization 법으로 AuGe 이온을 추출하여 n형 GaAs에 이온주입한 후 이온주입 특성을 SEM (scanning electron microscope), EPMA (electron probe microanalysis) RHEED (reflection high energy electron diffraction) 및 AES (auger electron spectroscope) 등으로 측정하고 Monte Carlo simulation에 의해 주입깊이에 따른 농도분포 이론치와 비교하여 보았다.

II. 실험장치 및 방법

이온을 가속시키기 위한 가속장치는 본 실험실에서 자체제작한 Cockraft-Walton형으로 저에너지(20 keV)로 가속시키게 되어 있다.^[6] 이 소형가속장치는 이온원과 가속단 및 시료장치함 그리고 진공장치로 이루어져 있다. 이 때 이온원은 텅스텐 needle emitter와 ribbon heater로 이루어져 있고, needle emitter의 끝을 chemical etching하여 곡률반경이 수 μm 이내가 되도록 하여 이를 ribbon heater에 끼워 넣었다. 여기에 소량의 AuGe 합금을 얹은 다음 ribbon heater로 녹여서 액체금속이 되도록 하였고, 이 액체금속이온원을 가속단 위에 부착시켜 가속단에 extract 전압을 걸면 액체금속이온이 발생되도록 하였다. (100)의 n형 GaAs($\text{Si}: 1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$)에 7° tilt된 방향으로 AuGe(88:12wt%) 액체금속이온을 이온주입시켰다. 이 때 추출전압은 14.5kV, 가속전압은 15 kV이며 주입시간은 30분이고 이온전류밀도는 2.5A/ cm^2 이었다.

위와 같이 제작된 시료의 표면을 조사하기 위해 SEM과 EPMA 측정을 하였으며 이 중에서 EPMA 측정은 12keV의 전자선을 표면에 수직으로 입사시키

고 X-ray 입사각의 각은 9.4°로 하였다. RHEED는 40keV의 전자선을 시료의 표면에 1~2° 정도의 작은 각도로 입사시켜 시료에서 회절, 반사되어 반대쪽에 있는 형광스크린에 투영되도록 하여 측정하였다.

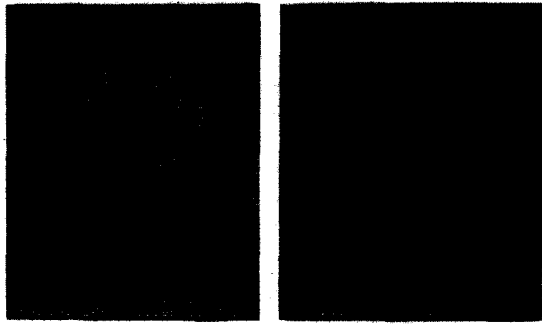
또한 AES 측정은 3keV의 primary electron을 시료표면에 입사시켜 시료표면에서 발생하는 Auger 전자를 검출하여 측정하였다.

III. 실험결과 및 논의

1. SEM 및 EPMA 측정

Au-Ge 액체금속이온을 추출전압 14.5kV, 가속전압 15kV 및 이온전류밀도 2.5 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 의 조건으로 30분간 이온주입 시킨 후 시료의 표면을 SEM으로 관찰한 결과가 photo. 1이다. 여기서 photo. 1(a)는 이온주입 후의 결과이고 photo.1(b), (c), (d), (e)는 각각 이온주입 후 100°C, 200°C, 300°C 및 400°C로 열처리 한 후의 결과이다. Photo.1(b)에서 보는 바와 같이 100°C로 열처리시키면 시료의 표면에 입계가 나타나기 시작하였으며, 열처리 온도가 200°C, 300°C, 400°C로 높아질수록 photo. 1(c), (d), (e)에서 보는 바와 같이 입계의 크기도 커졌다. 한편 이온주입의 방법이 아니고 AuGe을 진공증착시킨 후 fast annealing시켜 표면을 SEM으로 조사한 결과를 photo.2에 나타내었다. Photo.1과 photo.2를 비교해 보면 알 수 있듯이 이온주입의 경우가 진공증착의 방법에 비해 표면상태가 나쁘지 않다는 것을 알 수 있다. 더우기 photo. 2(c)에서 보는 바와 같이 AuGe을 진공증착한 후 400°C로 열처리하는 경우 장방형의 입계가 나타나는 바, 이 입계의 성분을 알아보기 위하여 EPMA 측정의 Au에 대한 X-ray에서 $M\alpha$ 선만을 선택하여 image를 그려본 결과가 photo.3으로 이 장방형 입계가 주로 Au로 이루어져 있는 것을 알 수 있었고 Au가 전 표면에 고르게 분포되어 있지 않고 특이한 입계를 이루고 분포되어 있다는 것을 알 수 있다.

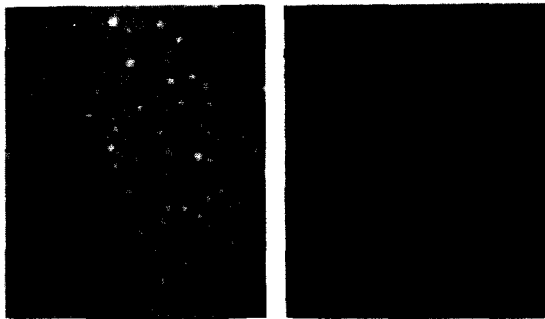
한편 AuGe 액체금속이온이 주입된 시료의 표면에 대한 EPMA 측정에서 Au의 X-ray에서 $M\alpha$ 선을 검출하여 image를 그려본 결과가 photo.4이다. 작은 원점으로 나타난 것이 Au로 여기서 볼 수 있는 바와 같이 Au가 균일한 분포를 이루고 있음을 알 수 있다. 한편 이온주입 후의 시료에 대한 EPMA 측정결과가 Fig.1로 여기서 볼 수 있는 바와 같이 Au의 peak가 가장 크게 나타났으며 또한 Ga rich의 특성을 보였다. 한편 Ga의 $K\alpha$ 선과 As의 $L\alpha$ 선을 비교하여 본 결과 Ga과 As의 atomic%는 55:43으로 Ga 안정화면임을 알 수 있었다. 이는 이온주입시 preferential 스



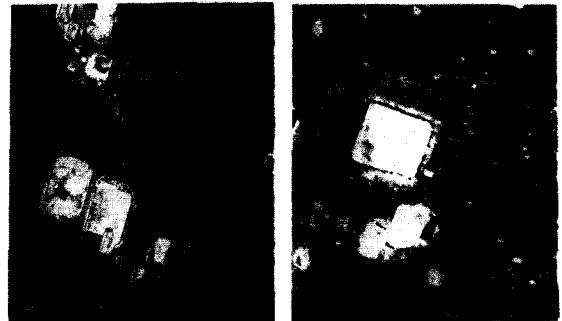
(a) (b)



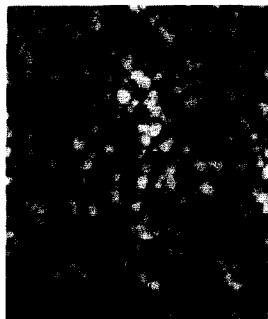
(a)



(c) (d)



(b) (c)



(e)

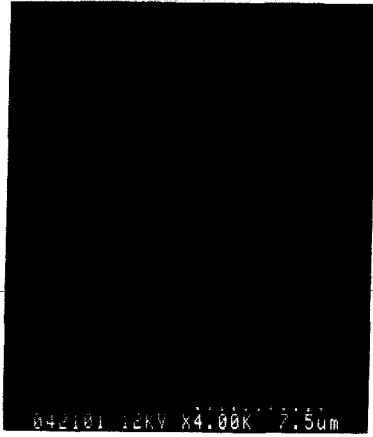
사 진 1. Au-Ge 이온이 주입된 GaAs 표면의 SEM 사진(a) 이온주입 후
 (b) 100°C로 열처리한 후
 (c) 200°C로 열처리한 후
 (d) 300°C로 열처리한 후
 (e) 400°C로 열처리한 후

Photo.1. SEM photographs for Au-Ge ion implanted GaAs surface.
 (a) as implanted.
 (b) annealed at 100°C.
 (c) annealed at 200°C.
 (d) annealed at 300°C.
 (e) annealed at 400°C.

사 진 2. Au-Ge이 증착된 GaAs 표면의 SEM 사진
 (a) 100°C로 열처리한 후
 (b) 200°C로 열처리한 후
 (c) 400°C로 열처리한 후

Photo.2. SEM photographs of Au-Ge evaporated GaAs surface.
 (a) annealed at 100°C.
 (b) annealed at 200°C.
 (c) annealed at 400°C.

퍼터링에 의해 As이 desorption된 것으로 사료된다.^[7] 한편 AuGe이 이온주입된 시료를 여러온도로 열처리한 후 각 시료에 대해 EPMA를 측정하여 보았으며 열처리 온도에 따른 Au와 Ga 피크의 상대적 강도변화를 나타낸 것이 Fig.2이다. Au는 열처리 온도가 높아질 수록 GaAs의 기판으로 indiffusion되어 Au 피크의 상대적 강도는 감소하다가 300°C 이후부터 약간 증가한다. 그러나 Ga은 열처리 온도가 증가할 수록 GaAs 기판으로 부터 out diffusion되어^[8,9] 200°C 이상 이 되면 포화된다. 여기서 Au는 M α 선 Ga은 K α 선을 기준으로 하였으며 matrix 효과는 무시하였다.



사 진 3. Au-Ge이 증착된 GaAs 기판의 X선 AuM α 이미지
 Photo.3. X-ray Au M α image of the Au-Ge evaporated GaAs substrate.

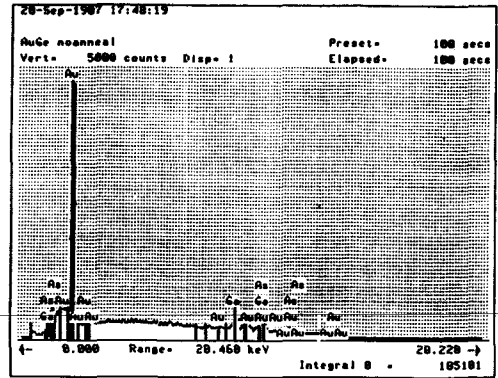
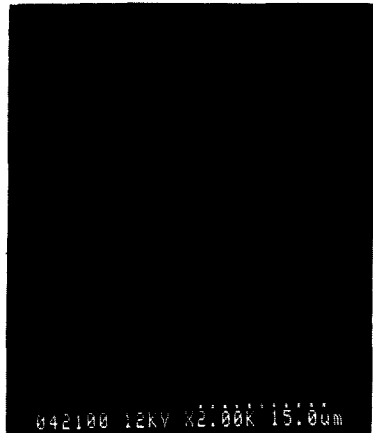


그림 1. Au-Ge 이온이 주입된 GaAs 표면에 대한 EPMA X선 스펙트럼
 Fig. 1. X-ray Spectra of EPMA for Au-Ge ion implanted GaAs surface.



사 진 4. Au-Ge 이온이 주입된 GaAs 표면의 X선 Au M α 이미지
 Photo.4. X-ray Au M α image of the Au-Ge ionimplanted GaAs surface.

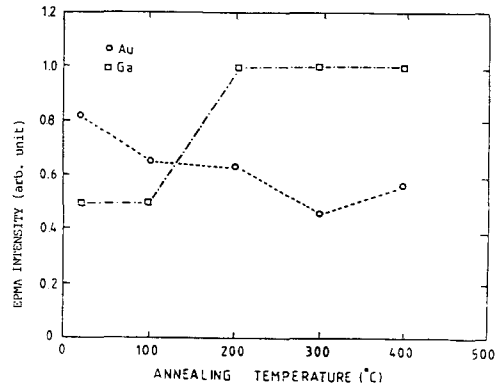


그림 2. Au-Ge 이온이 주입된 GaAs 기판의 열처리 온도에 따른 Au와 Ge의 상대적 강도 변화
 Fig. 2. The variation of Au and Ga relative intensity as a function of annealing temperature for the Au-Ge ion implanted GaAs substrate.

2. RHEED 측정

한편 AuGe 액체금속이온이 주입된 시료의 표면이 열처리 후에 어떻게 변하는가를 알아보기 위해 RHEED 측정을 한 결과가 photo. 5이다. 여기서 photo. 5(a)는 AuGe 이온을 주입하기 전에 GaAs 표면에 대한 RHEED 결과이고, Photo. 5(b)는 AuGe 이온을 주

입한 후 시료표면의 RHEED 결과이며 여기서 볼 수 있는 바와 같이 시료표면은 이온주입에 의하여 damage를 입었음을 알 수 있다. 더욱이 Kikuchi선이 나타나지 않는 것으로 보아 표면으로부터 깊은 영역까지 손상을 받았음을 알 수 있다. 이 시료를 300°C 및 400°C로 2분간 열처리한 시료의 RHEED 결과가 photo. 5(c)와 (d)이다. Kikuchi 선이 다시 나타나기 시

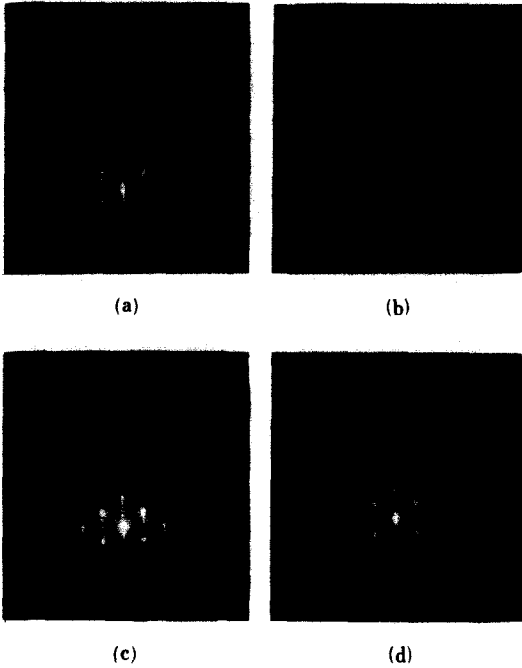


사진 5. GaAs 표면의 RHEED 무늬
 (a) 원 기판
 (b) 이온 주입후
 (c) 300°C로 열처리한 후
 (d) 400°C로 열처리한 후

Photo. 5. RHEED patterns of GaAs surface.
 (a) bulk,
 (b) as implanted,
 (c) annealed at 300°C,
 (d) annealed at 400°C

작하는 것으로 보아 이온주입에 의하여 표면으로 부터 깊은 영역에서 받은 damage는 열처리에 의하여 다시 회복되고 있음을 알 수 있다. 그러나 spot과 ring 패턴이 동시에 나타나는 것으로 보아 표면은 어느정도 roughness를 가지고 국소적으로 다결정 상태가 되어 있음을 알 수 있다.

한편 streak 패턴사이에서 규칙성 있게 spot이 나타나 있는 것을 볼 수 있다. 이것으로부터 격자정수를 계산해 본 결과 3.9Å으로 이는 시료표면에 분포되어 있는 Au로부터 투과된 패턴임을 알 수 있다.

3. AES depth profile 및 Monte Carlo simulation

GaAs 기판에 AuGe 액체금속이온을 주입후 Au 및 Ge의 분포를 알아보기 위하여 AES depth profile 측

정을 한 결과가 Fig. 3이다. 이때 스퍼터링 rate는 1/2 monolayer/min이었으며, Au는 47 monolayer의 깊이에서 최대농도를 나타내었고 Ge은 69 monolayer에서 최대농도를 나타냄을 알 수 있다.

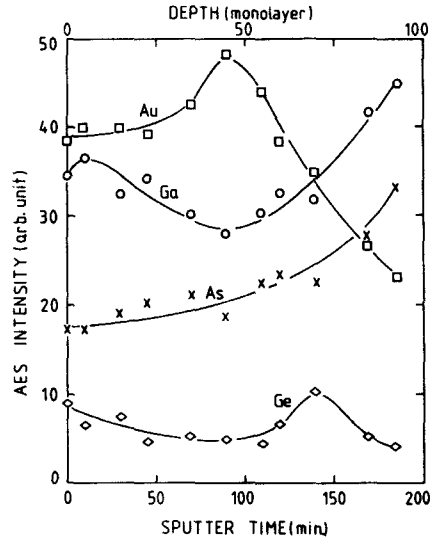


그림 3. Au-Ge 이온이 주입된 GaAs 기판의 Auger depth profile

Fig. 3. Auger depth profile of Au-Ge ion implanted GaAs substrate.

한편 GaAs 표면에서의 Ga과 As의 조성비는 Ga:As=34:19로 Ga이 많은 상태를 보이고 있다. 이는 AuGe 이온에 의하여 As이 preferential 스퍼터링 되었음을 나타낸다.¹¹⁾ 이것은 EPMA의 결과와도 잘 일치하고 있다. 이 시료를 300°C로 열처리한 후의 AES depth profile의 결과가 Fig. 4이다. Gaussian 분포를 이루던 Au와 Ge이 GaAs 시료 내부까지 광범위하게 diffusion 되었음을 알 수 있다.

GaAs 시료에 15kV의 가속전압으로 AuGe 이온을 이온주입한 시료에 대한 주입분포를 이체충돌에 의한 Monte Carlo simulation으로 계산하여 구한 결과가 Fig. 5이다. 이 때 이온주입한 갯수는 3,000개로 하였으며, potential은 Ziegler-Biersack-Littmark potential¹¹⁾ 사용하였다. Au의 평균주입깊이 Rp는 47 monolayer 이었으며, Ge의 Rp는 64 monolayer 이었다.Ge

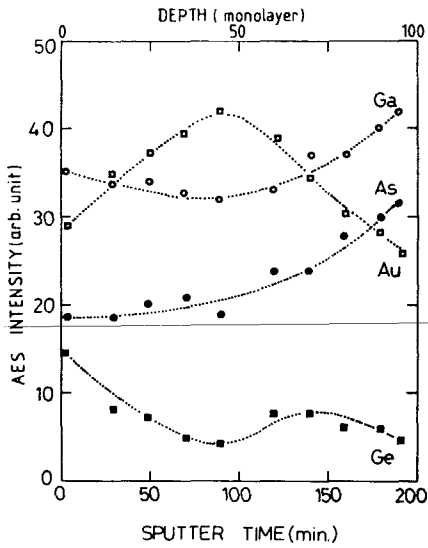


그림 4. Au-Ge 이온을 주입하고 300°C로 2분간 열처리한 후의 GaAs 기판의 Auger depth profile.

Fig. 4. Auger depth profile of Au-Ge ion implanted GaAs substrate after annealing at 300°C for 2 min.

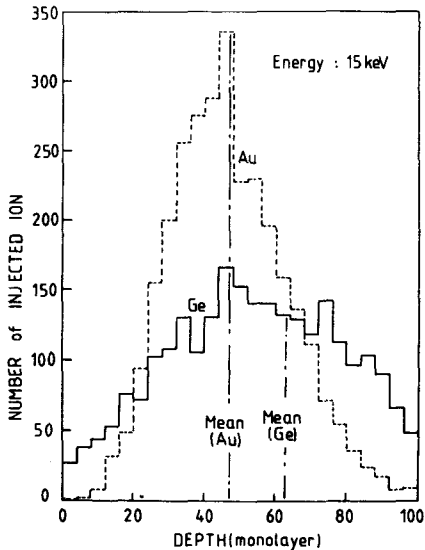


그림 5. GaAs 기판에 대한 Au, Ge 원자의 깊이분포 계산

Fig. 5. Computer simulation of Au, Ge atoms depth profile in GaAs substrate.

의 주입깊이가 실험치와 5 monolayer 정도 다른 값을 나타내고 있으며 이것은 Monte Carlo simulation 시 preferential 스퍼터링의 영향을 고려하지 않았기 때문이며, 특히 Auger electron은 약 10 monolayer 정도의 깊이에 대한 정보를 가지고 나온다고 볼 때 실험값과 simulation 값은 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

AuGe 이온이 주입된 n형 GaAs의 표면을 SEM, EPMA, AES 및 RHEED 등으로 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. AuGe 이온이 주입된 GaAs 표면은 열처리 온도가 증가할 수록 입계가 커졌으며, 입계의 분포는 균일하였다.
2. EPMA와 AES로 AuGe 이온이 주입된 GaAs의 표면을 관찰한 결과 표면에서는 As이 preferential 스퍼터링되어 Ga이 많은 상태가 되었다.
3. AuGe 이온이 주입된 시료의 표면을 RHEED로 조사한 결과 이온주입에 의하여 표면 및 깊은 부위까지 damage을 입었으며 열처리에 의하여 bulk 영역은 결정성이 살아났으나 표면은 거칠었다.
4. 온도를 300°C로 열처리 했을때 Ga은 outdiffusion 되었으며 Au는 indiffusion 되었다. 그러나 Ge은 열처리에 의해 out과 in-diffusion이 동시에 일어났다.
5. AuGe 이온을 주입한 시료의 AES depth profile 결과와 Au와 Ge의 이체충돌에 의한 Monte Carlo simulation 결과는 잘 일치하였다.

參 考 文 獻

- [1] R. Gomer, "Field emission and field ionization," vol. 1 (Harvard Press, Cambridge 1961) p. 1.
- [2] R.L. Kubena, C.L. Anderson, R.L. Seliger, R.A. Jullens, E.H. Stevens and I. Lagnado, "FET fabrication using maskless ion implantation," *J. Vac. Sci. Technol.*, vol. 19, pp. 916-920, 1981.
- [3] C.D. Cruz, K. Pourrezaei and A. Wagner, "Ion cluster emission and deposition from liquid metal ion sources," *J. Vac. Sci. Technol.*, vol. B3, p. 457, 1985.
- [4] T. Kato, H. Morimoto, K. Saitoh and H. Nakata, "Submicron pattern fabrication by focused ion beams," *J. Vac. Sci. Technol.*, vol. B3, pp. 50-53, 1985.

[5] H. Arimoto, A. Takamori, E. Miyauchi and H. Hashimoto, "Formation of submicron isolation in GaAs by implanting a focused boron ion beam emitted from a Pd-Ni-Si-Be-B LM ion source," *J. Vac. Sci. Technol.*, vol. B3, pp. 54-57, 1985.

[6] J.J. Lee, "A study on the ohmic contact of the liquid metal ion implanted n-type GaAs," Ph. D. Theses, Dongguk University, 1988.

[7] H.J. Kang, Y.M. Moon, T.W. Kang, J.Y. Leem, J.J. Lee, D.S. Ma, "Surface composition and structure changes in GaAs compounds due to low energy Ar⁺ Ion bombardment," *J. Vac. Sci. Technol. to be published*, 1989.

[8] 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.

[9] O. Anina, W. Katz and K. Rose, "Contact resistivity and dopant activation in pulsed laser annealed AuGe/GaAs contacts," *Thin Solid Films*, vol. 104, pp. 401- , 1983.

[10] 志水隆一, 姜熙載, *이온勵起의 스펙트로 스코피와 그의應用* (學會出版, 센터, 1987), p. 1.

[11] J.F. Ziegler, J.P. Biersack and U. Littmark *Proc. Int. Ion Engineering Congress ISIAT' 83 & IPAT' 83* (Kyoto 1983) p. 1861. *

감사의 글

본 연구를 수행하는데 있어서 많은 조언과 도움을 주신 충북대학교 강희재 교수님과 전자통신연구소의 이재진 박사님께 진심으로 감사를 드립니다.

著 者 紹 介



姜 泰 遠 (正會員)

1949年 1月 16日生. 1982年 동국대학교 대학원 물리학과 졸업 이학박사학위 취득. 1981年 3月~1983年 2月 동국대학교 물리학과 전임강사 현재 동국대학교 물리학과 부교수. 주관심분야는 MBE에 관한 화합물 반도체 성장과 물성평가 및 표면분석등임.

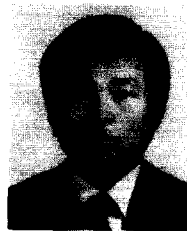


金 松 康 (正會員)

1962年 9月 5日生. 1980年~1987年 동국대학교 물리학과 이학사. 1987年~1989年 동국대학교 대학원 물리학과 이학석사. 주관심분야는 반도체에의 Ion implantation과 물성평가 및 표면분석 등임.

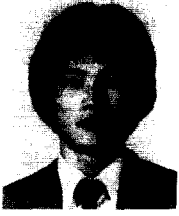
李 丁 柱 (正會員)

1952年 3月 13日生. 1974年 2月 동국대학교 물리학과 이학사. 1979年 2月 동국대학교 대학원 물리학과 고체물리전공 이학석사. 1987年 2月 동국대학교 대학원 물리학과 고체물리전공 이학박사. 1983年~1984年 경상대학교 물리학과 전임강사. 1985年~현재 경상대학교 물리학과 조교수. 주관심분야는 반도체의 물성조사와 표면분석 및 Ion implantation 등임.



洪 致 裕 (正會員)

1938年 3月 13日生. 1963年 2月 동국대학교 물리학과 졸업. 1965年 8月 동국대학교 대학원 물리학과 졸업. 1978年 8月 동국대학교 대학원 물리학과 이학박사학위 취득. 1984年 Univ. of Texas 연구교수. 현재 동국대학교 물리학과 교수. 주관심분야는 Mös-sbauer 분광법 및 반도체 물성평가 등임.

**林 裁 榮 (正會員)**

1958年 9月 16日生. 1983年 2月 동국대학교 물리학과 졸업. 1985年 2月 동국대학교 대학원 물리학과 졸업 이학석사학위 취득. 현재 동국대학교 대학원 물리학과 박사과정 재학중. 주관심분야는 MBE에 의한 화합물 반도체 성장과 표면분석 및 물성조사 등임.

丁 寬 秀 (正會員) 第25卷 第11號 參照

현재 경희대학교 전자공학과 부교수