

## p-InP의 저항성 합금 접촉 특성 연구

## (The Properties of Alloyed Ohmic Contact to p-InP)

李 重 基\*, 朴 景 鉉\*, 韓 正 熙\*, 李 用 卓\*

(Jung Kee Lee, Kyung Hyun Park, Jeung Hee Han, and Yong Tak Lee)

## 要 約

p-type InP에 대한 Au-Zn/Au, Au-Be/Au, Au-Zn/Cr/Au 및 Au-Be/Cr/Au의 저항성 합금 접촉 특성을 비교하였다. 각각의 구조에 대해 최적 열처리 조건을 구하였으며 RTA로 425°C에서 열처리한 경우에 비저항이 모두 최저값을 나타냈다. Cr을 중간층으로 사용하지 않은 경우에는 표면 AES 및 Auger depth profile을 분석한 결과, In 및 P의 outdiffusion에 의한 intermixing이 발생하였고 Au-Zn/Cr/Au의 경우에도 표면에서 In, P 및 Cr이 검출되었다. 반면에, Au-Be/Cr/Au 시스템에서는 In 및 P의 outdiffusion이 발생하지 않았고 표면상태가 가장 좋았으며 최저 비저항 값  $4.5 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 을 얻었다.

## Abstract

Alloyed ohmic contact properties of Au-Zn/Au, Au-Be/Au, Au-Zn/Cr/Au, and Au-Be/Cr/Au metal system to p-InP were investigated. Optimum alloying conditions were obtained at the annealing temperature of 425°C for all the metal systems using a rapid thermal annealing system. Surface AES analysis and Auger depth profiling were done for each metal system annealed at the optimum conditions. Outdiffusions of In and P from the InP substrate were found in the metal systems without Cr intermediate layer. Also, small amount of In, P and Cr were detected at the surface in the case of Au-Zn/Cr/Au system, while there were occurred no outdiffusion of In, P, and Cr for Au-Be/Cr/Au system. The best surface morphology and specific contact resistivity of  $4.5 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$  have been obtained in this Au-Be/Cr/Au material system alloyed at 425°C for 60second.

## I. 서 론

광통신의 광원으로 주로 사용되는 장파장대의 In GaAsP/InP 반도체 레이저에 있어서 전극금속-반도체 간의 저항성 접촉 저항은 활성층의 온도상승과 소자의 효율 및 고속변조 특성에 커다란 영향을 미친다. 즉 반도체 레이저의 동작시 금속-반도체 접촉 영역에서 발생한 Joule열은 인접한 활성층의 온도를

상승시켜 소자의 발진 임계전류를 상승시키고 양자 효율을 나쁘게 할 뿐만 아니라 장기적으로 신뢰도에 나쁜 영향을 미친다.<sup>[1,2]</sup> 또한 저항성 접촉저항은 소자의 정전용량과 함께 소자의 변조 대역폭을 제한한다.<sup>[3]</sup> 또, InP를 기판으로 하는 트랜지스터(HEMT, JFET, MISFET 등)에 있어서도 저항성 접촉은 소자의 특성을 결정짓는 중요한 기본요소의 하나이다.<sup>[4,5]</sup> InP계 기판에 대한 저항성 접촉에 있어서, 특히 p-InP의 경우 n-InP에 비해 정공의 유효질량과 금속반도체간의 전위장벽이 커 접촉저항이 크게 나타난다. 따라서 p-InP에서의 금속의 접촉저항을 낮추기 위해 많은 연구가 되어왔는데, Zn, Be, Mg등 p형 불순물이

\*正會員, 韓國電子通信研究所  
(Electronics and Telecommunications Research Institute)

接受日字: 1990년 2월 21일

포함된 Au를 증착하고 적절한 열처리(annealing)를 거치는 합금 접촉(alloyed contact)이 많이 사용되어 왔다.<sup>15-18)</sup>

합금 접촉은 금속-반도체 경계면에 반도체와 금속의 합금을 형성시킴으로써 금속-반도체 간에 내재하는 전류 장벽의 폭을 줄여 전하의 tunneling을 쉽게 하는 것이다. 합금 접촉은 좋은 옴 특성을 얻을 수 있는 장점이 있으나 합금(alloying) 과정이 필연적이므로 접촉 특성의 안정성 측면에서 볼 때 단점을 가지고 있다. 즉 열처리 과정을 거치는 동안 접촉금속, 주입불순물과 기판 사이에 상호 확산이 일어날 뿐만 아니라 열처리된 금속-반도체 경계면의 불균일성으로 인해 부분적으로 spike가 형성되어 전류 주입시 이를 통한 접촉 금속의 migration이 발생하기도 한다.<sup>19)</sup> 그 결과 기판의 In이 outdiffusion 하여 접촉 금속 표면에 In 층을 형성하게 되는데 이 In이 쉽게 산화됨으로써 옴 접촉 특성이 나빠지게 되는 가장 큰 요인이 된다. 또한 접촉 금속인 Au가 In 및 P의 outdiffusion에 상승효과를 받아 indiffusion과 migration 형태로 기판 속으로 침투하여 결과적으로 소자의 특성 및 신뢰도를 나쁘게 한다고 알려져 있다.<sup>10,11)</sup> 그러나 지금까지 합금 금속의 종류에 따른 최적 열처리 조건과 접촉 비저항(specific contact resistance)의 상호 비교 및 이들 합금 접촉의 열처리 과정에서 발생하는 단점을 해결하기 위한 연구는 미흡하였다.

본 논문에서는 InGaAsP 계에서 저항성 접촉 저항이 가장 크게 나타나는 p-InP를 기판으로 하여 현재 가장 많이 사용되고 있는 접촉금속인 Au-Zn와 Au-Be의 열처리 조건에 따른 저항성 합금 접촉 특성을 비교하고, 이들 합금 접촉의 열처리 과정에서 발생하는 기판의 In 및 P의 outdiffusion과 접촉금속인 Au의 indiffusion을 방지하기 위한 중간 금속층의 도입에 대해 기술하고자 한다.

먼저 최소 접촉 비저항을 서로 비교하기 위해 Au-Zn 및 Au-Be 합금의 최적 열처리 조건을 구하였고, 이 조건에서 열처리에 대한 안정성 향상을 위하여 합금 금속과 접촉 금속 사이에 확산방지용 중간 금속층으로 Cr 층을 도입하였다. 이 확산방지층 사용으로 기판의 In 및 P의 outdiffusion과 최종 접촉금속인 Au의 indiffusion이 어느 정도 억제되었는가를 확인하기 위해 AES 분석과 Auger depth profiling을 시행하였다.

## II. 실험

### 1. 시료준비

기판은  $\sim 6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 로 Zn가 도핑된 Sumitomo사

의 AAA급(EPD:  $< 500 \text{ cm}^{-2}$ ) InP 웨이퍼를 사용하였다. 웨이퍼 세척은 hot plate 위에서 TCE, acetone, methanol 순으로 각각의 용액 속에서 5분씩 끓인 후에 질소로 건조시켰다. 세척 공정 후에는 표면에 존재하는 자연산화막 제거를 위해 KOH(45% solution)를 탈 이온수에 5:1로 희석시킨 용액에서 1분간 예칭한 후에 이를 공기중으로 노출시키지 않고 흐르는 탈 이온수에서 10분 이상 세척한 후 질소로 건조시켰다.

$R_c$ (specific contact resistance) 측정은 CTLM(circular transmission line model) 패턴을 이용하였는데,<sup>21)</sup> 패턴은 Shiply의 1400-31 photoresist 및 MF-314 현상액을 이용하여 lift-off 공정을 통해 형성하였다. 이때 soft bake는 공기중에 노출된 90°C hot plate 위에서 1분간 행하였고 overhang을 주기 위하여 monochlorobenzene에 10분간 담근 후에 질소로 건조시켰다. 현상 후에 금속층이 접촉될 표면에 존재하는 잔류 photoresist를 제거하기 위해 plasma asher에서  $\text{O}_2$ ; 50sccm, 내부압력; 200mTorr, rf power; 50W 조건에서 1분동안 처리하였다.

금속층 형성 직전에 사진식각작업 공정에서 발생한 InP 시료 표면의 자연산화막을 제거시키기 위해 BOE(6:1)에서 20초 동안 예칭하였고 이를 공기중으로 노출시키지 않고 탈 이온수를 흘려주면서 10분간 세척한 후 질소로 건조시켰다. 여기에서 KOH 용액을 사용하지 않은 것은 photoresist가 KOH용액에 의해 쉽게 용해되기 때문이다.

세척된 시료는 지체없이 열 증착기(thermal evaporator)에 넣어  $< 5 \times 10^{-6}$  Torr의 진공도에서(그림1)에 나타낸 바와 같이 Au-Zn(10wt. % Zn) 또는 Au-Be(5wt. % Be)을  $\sim 350 \text{ \AA}$  두께로 증착하였고 이어 Au를  $\sim 1500 \text{ \AA}$  두께로 증착하였다. 그리고, Cr 중간 금속층을 사용한 경우에는 Au-Zn 또는 Au-Be을  $\sim 350 \text{ \AA}$  두께로 증착하고 이어 Au를  $\sim 250 \text{ \AA}$  두께로 증착한 후 전자선 증착기(E-beam evaporator)에 넣어  $< 2 \times 10^{-6}$  mbar 진공도에서 Cr을  $200 \text{ \AA}$  두께로 증착한 후 Au를  $\sim 1000 \text{ \AA}$  두께로 증착하였다. 중간금속층을 사용한 경우에도 Au-Zn 또는 Au-Be층 다음에 얇은 Au층을 증착한 것은 열증착기에서 전자선 증착기로 옮길때에 Zn 또는 Be의 산화를 막기 위해서이다. 이와같이 증착된 시료는 acetone에 넣어 lift-off 시킨 후 acetone 및 isopropanol로 여러번 세척한 후 질소로 건조시켰다. Lift-off 후에 시료에 존재하는 잔류 photoresist를 제거시키기 위해 plasma ashing system에서 앞에서와 같은 조건으로 3분간 ashing 하였다.

금속 증착이 끝난 시료의 열처리를 위해 자체 제작

Au(1500Å)	Au(1000Å)
	Cr( 200Å)
	Au( 250Å)
Au/Zn or Au/Be (350Å)	Au/Zn or Au/Be (350Å)
p-InP sub.	p-InP sub.

(a) (b)

그림 1. 실험에 사용된 금속-반도체 구조  
 (a) 중간금속층을 사용하지 않은 경우  
 (b) 중간금속층을 사용한 경우

Fig. 1. Used metal configuration on p-InP.  
 (a) without the barrier layer and,  
 (b) with the barrier layer.

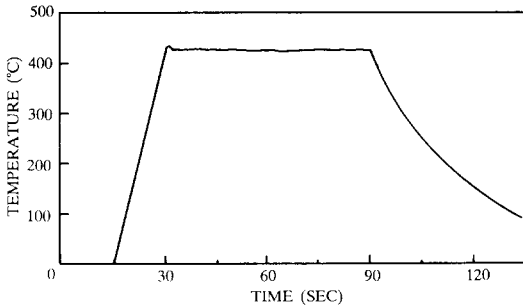


그림 2. RTA의 시간-온도 profile  
 Fig. 2. Typical time-temperature profile of RTA.

한 RTA (rapid thermal annealing) system에 넣고 30% H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 혼합가스 분위기에서 (그림2)와 같이 열처리하였다.

2. 비저항 (R<sub>c</sub>) 측정

비저항 R<sub>c</sub> 값을 측정하기 위해 (그림3)의 구조를 갖는 CTLM패턴을 이용하였는데, (그림 3)에서 안쪽원의 반지름은 70μm이고 바깥원과의 거리 d는 각각 50μm, 40μm, 35μm, 30μm, 15μm이다. CTLM에서,

$$R_T = R_s \{ \ln [R_1 / (R_1 - d)] + L_T [1 / (R_1 - d) + 1 / R_1] / 2 \pi \quad (1)$$

$$R_c = R_s L_T^2 \quad (2)$$

로 주어진다.<sup>12)</sup> 여기에서 R<sub>T</sub>는 안쪽원과 바깥원 사이의 측정된 저항, R<sub>s</sub>는 sheet resistance, R<sub>1</sub>은 원형 패턴에서 바깥원의 반지름, d는 안쪽원과 바깥원 사이의 간격이며 L<sub>T</sub>는 transfer length 이다.

열처리가 끝난 시료를 parameter analyzer-4145 B

(Hewlett-Packard)와 probe station을 이용하여 각 패턴간 저항 값을 측정된 후에 식(1)에 대입하여 최소 평균 자승 (least mean squares) 방법으로 curve fitting 하여 L<sub>T</sub>와 R<sub>s</sub>를 구한 다음, 식(2)에 대입하여 R<sub>c</sub>를 구하였다.

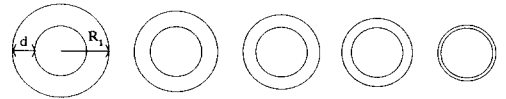


그림 3. CTLM 패턴  
 Fig. 3. CTLM pattern.

3. AES 분석 및 depth profiling

Au-Zn/Au, Au-Be/Au, Au-Zn/Cr/Au 및 Au-Be/Cr/Au 각각의 구조에서 최적의 조건으로 열처리된 시료에 대해 표면 AES 분석 및 Auger depth profiling을 행하였다. 이들의 측정은 PERKIN ELMER PHI600 및 PHI610 Scanning Auger Multiprobe를 이용하였고 Auger depth profiling 시에 sputtering 면적은 4mm<sup>2</sup>, beam current는 0.2μA, beam voltage는 3kV 이었다. 또 sputtering rate는 85Å/min 이었다.

Ⅲ. 실험 결과 및 고찰

1. 접촉 비저항 특성

CTLM 패턴이 형성된 시료를 RTA system에 넣어 400°C, 425°C 및 450°C의 온도에서 30초~120초 동안 열처리하였다. (그림 4)는 p-InP/Au-Zn/Au 구조를 열처리한 후의 R<sub>c</sub>값을 나타낸다.

이 구조에서는 425°C에서 열처리한 경우가 400°C, 450°C의 경우보다 우수한 특성을 나타냈다. 그리고, 400°C의 경우 열처리 시간이 길어짐에 따라 R<sub>c</sub> 값은 점차로 낮아지고 있으나 표면 형상이 거칠어졌다. Au-Zn/Au 구조에서는, 425°C에서 90초동안 열처리하였을 때 최소 R<sub>c</sub>값이 6.1×10<sup>-5</sup>Ω cm<sup>2</sup>으로 나타났다.

(그림 5)에 p-InP/Au-Be/Au 구조의 열처리 시간과 온도에 따른 R<sub>c</sub>값을 나타내었다. 이 구조의 경우에도 425°C에서 열처리한 경우가 우수한 특성을 보였는데 최적 열처리 시간이 Au-Zn/Au의 경우보다 30초 정도 짧았다. 또, R<sub>c</sub> 값도 7.5×10<sup>-5</sup>Ω cm<sup>2</sup>으로 Au-Zn/Au의 경우와 큰 차이가 없었다.

(그림 6)은 Au-Zn/Au 및 Au-Be/Au 구조의 최적 열처리 온도인 425°C에서 Cr 중간 금속층을 삽입시킨 시료에 대해 열처리 시간을 30초~120초로 변화

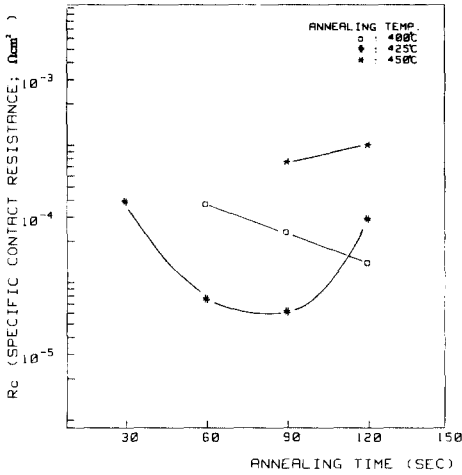


그림 4. p-InP/Au-Zn/Au 구조에서 열처리 시간과 온도에 따른 Rc 값  
 Fig. 4. Annealing time and temperature dependence of specific contact resistance for p-InP/Au-Zn/Au system.

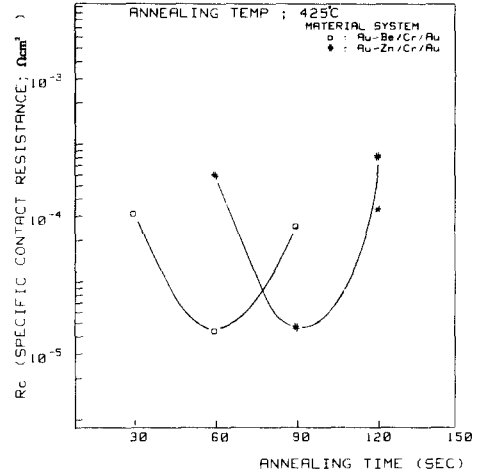


그림 6. Cr을 중간층으로 사용하여 425°C에서 열처리 하였을 경우 시간에 따른 Rc 값  
 Fig. 6. Annealing time dependence of specific contact resistance at 425°C with intermediate Cr layer.

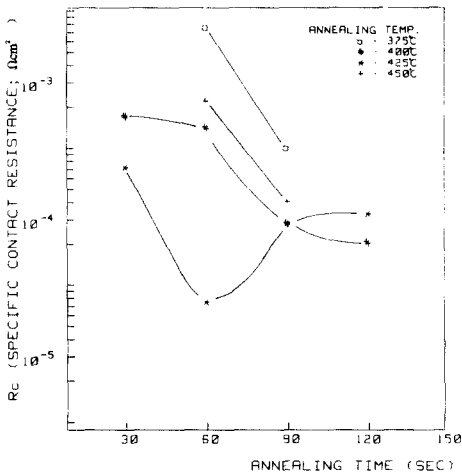


그림 5. p-InP/Au-Be/Lu 구조에서 열처리 시간과 온도에 따른 Rc 값  
 Fig. 5. Annealing time and temperature dependence of specific contact resistance for p-InP/Au-Be/Au system.

시킴으로써 Rc 값을 측정할 결과이다. 이 경우에는 Au Zn/Cr/Au 및 Au-Be/Cr/Au 구조 모두 Cr 층을 사용하지 않은 경우와 동일한 열처리 시간인 90초 및 60초에서 가장 낮은 Rc 값을 나타내었다. 또한 중간 금속층 Cr을 사용한 경우가 사용하지 않은 경우보다

낮은 Rc 값을 나타내었는데 이는 Cr 층이 In 및 P의 outdiffusion을 효과적으로 막아주는 것으로 판단되며 이에 관하여는 3절 AES 분석에서 자세히 논의한다. Cr 층을 중간층으로 사용한 경우 최소 Rc 값은 p-InP/Au-Be/Cr/Au 구조가  $4.5 \times 10^{-5} \Omega \text{ cm}^2$ , p-InP/Au Zn/Cr/Au 구조는  $4.7 \times 10^{-5} \Omega \text{ cm}^2$  이었다. 여기에서 열처리 온도는 역시 425°C였으며 다만 열처리 시간이 60초 및 90초이었으므로 Au-Be/Cr/Au 구조가 최적 열처리 시간이 30초 짧게 나타났다.

2. 표면 분석

(사진 1)은 각 구조에서 가장 낮은 Rc 값을 나타내는 시료들의 표면형상이다. (사진 1)의 (a) 및 (b)는 각각 Au-Zn/Au, Au-Be/Au의 경우인데 표면이 매우 거친 것을 알 수 있다. (사진 1)의 (c)는 Au-Zn/Cr/Au의 경우인데 Au-Zn/Au 구조보다는 개선된 표면형상을 나타냈으나 표면에 몇몇 반점이 나타났다. 그러나, (사진 1)-(d)의 Au-Be/Cr/Au 구조의 경우에는 열처리 전후에 아무런 표면형상 변화가 없었다. (그림 7)은 최적 열처리된 각 시료들의 AES 측정 결과이다.

AES는 모두 C 및 O가 존재하였는데 이는 표면을 sputter cleaning을 하지 않고 분석하였기 때문으로 생각된다. Au-Zn/Au 구조의 경우에는 Au, P, C, In, O 및 Zn가 검출되었는데 이는 기관의 In 및 P의 outdiffusion에 기인한 것으로 판단된다. Au-Be/Au의

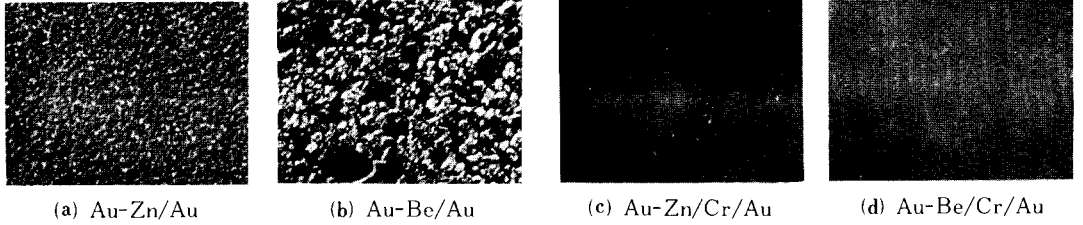


사진 1. 최적 열처리 조건에서 열처리 후의 표면 형상(×800)  
 Photo 1. Surface morphology of each sample annealed at optimum condition.

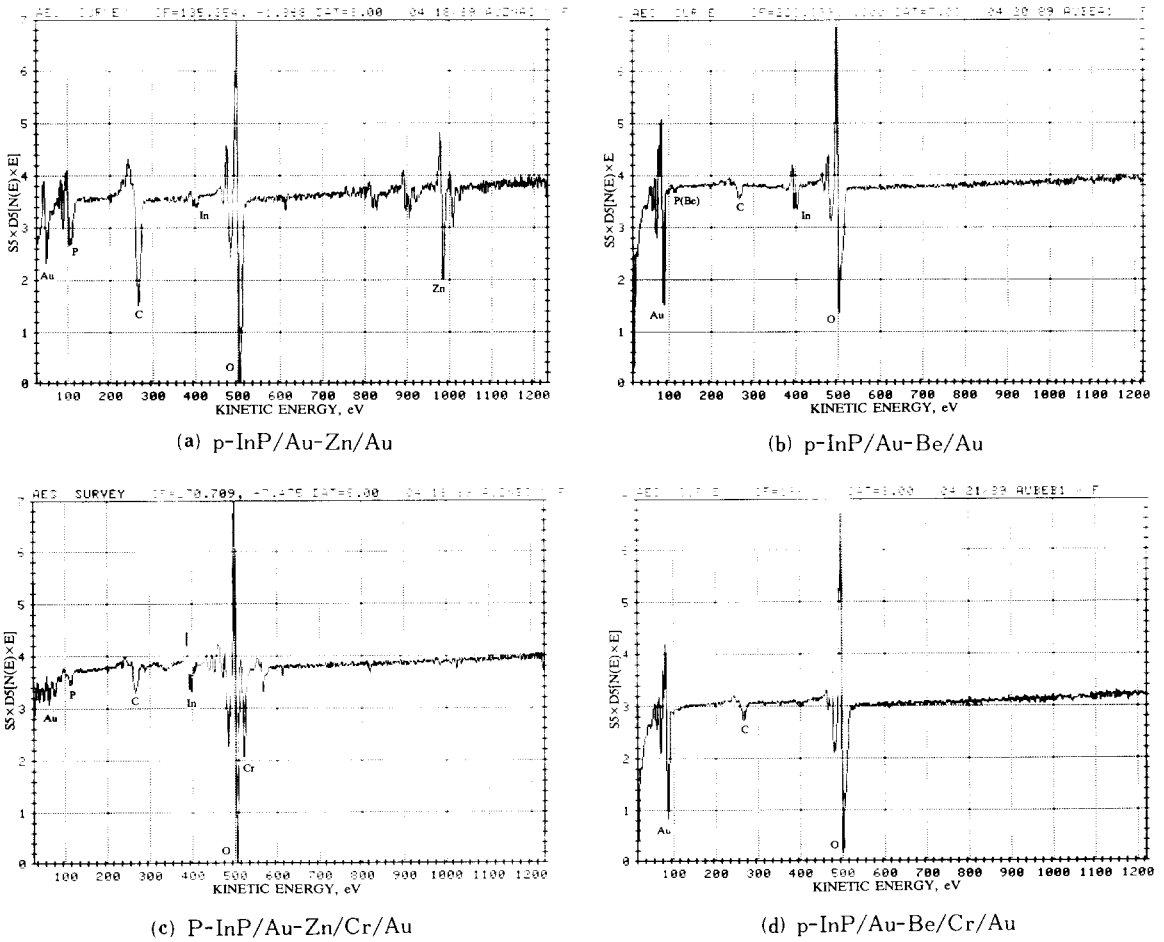


그림 7. 최적 열처리 조건에서 열처리 후의 표면 AES  
 Fig. 7. Surface AES of each sample annealed at optimum condition.

경우에도 Au, P(Be), C, In, O 원소가 검출되어 역시 기관으로 부터 In 및 P가 outdiffusion 하였음을 알 수 있었다. 중간 금속층으로 Cr을 사용한 Au-Zn/Cr/Au의 경우도 Au, P, C, In, O 및 Cr 이 나타났다.

이는(사진 1)-(c)의 표면에서의 몇몇 반점이 In, P 및 Cr의 outdiffusion에 의한 것임을 예측할 수 있다. 즉, Au-Zn/Cr/Au 구조의 경우에도 Cr이 In 및 P의 outdiffusion을 완전히 막아주지 못하고 있음을 확인 하

였다. 그러나 Au-Be/Cr/Au 구조의 경우에는 Au, C 및 O 원소만 검출되어 In 및 P의 outdiffusion 이 일어나지 않았음을 확인하였다.

3. Auger depth profile

표면 AES 분석에서 얻은 결과를 좀더 구체적으로 확인하기 위한 Auger depth profiling을 하였다. (그림 8)은 p-InP/Au-Be/Au 구조의 경우인데 In 및 P가 확산되어 나오는 것을 알 수 있고 Au 역시 확산되어 들어가 서로 intermixing 되는 것을 알 수 있다. 한편 (그림 8)에서 산소(O)의 profile을 살펴보면 산소가 금속-반도체 계면인 sputter 시간 13분 부근에서 약간 존재하나 매우 적은양 임을 볼 수 있는데 이는 시료 증착전 HF계로 산화물 제거 처리한 것이 효과적이었음을 보여준다.

(그림 9)는 p-InP/Au-Be/Cr/Au 구조의 Auger depth profile 결과이다. 여기에서 보면 Cr층이 양쪽의 Au 층과 약간씩 섞이기는 하였어도 확산장벽 역할을 충분히 하고 있음을 알 수 있고 특히 In 및 P의 outdiffusion이 (그림 8)의 경우보다 훨씬 감소되었고 Au의 indiffusion도 거의 일어나지 않았다. (그림9)에서 P와 Be의 Auger spectrum의 위치가 근접해 있어 이들을 모두 P 원소로 간주하여 분석하였다. 분석후에 기억된 자료를 이용하여 P 원소의 peak를 추적하여 본 결과 표면에서는 Be 원소만 나타났고 실제로 P 원소는 sputtering 시간이 19분 경과한 후부터 나타났다.

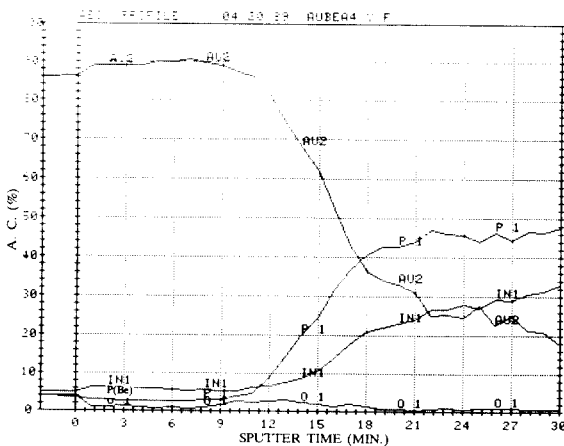


그림 8. p-InP/Au-Be/Au 구조를 425°C에서 60초 열처리 후의 Auger depth profile  
 Fig. 8. Auger depth profile of p-InP/Au-Be/Au system annealed at 425°C for 60sec.

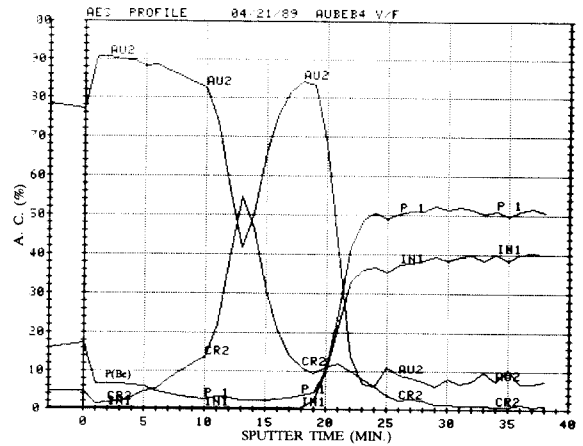


그림 9. p-InP/Au-Be/Cr/Au 구조를 425°C에서 60초 열처리 후의 Auger depth profile  
 Fig. 9. Auger depth profile of p-InP/Au-Be/Cr/Au system annealed at 425°C for 60sec.

IV. 결 론

p-InP에 대한 저항성 합금 접촉 특성 비교 및 열처리 특성 안정화에 대한 실험결과 확산방지층으로 Cr층을 도입한 Au-Be/Cr/Au 구조의 경우에 425°C에서 60초 열처리 하였을때  $R_c$  값  $4.5 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$  을 얻었으며 AES 및 Auger depth profiling에 의해 확인한 결과 Cr이 In, P 및 Au의 확산장벽 역할을 하고 있음을 확인하였다.

Au-Zn/Au 및 Au-Be/Au 구조의 경우에도 모두 425°C에서 각각 90초, 60초 동안 열처리한 경우  $6.1 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$  및  $7.5 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 의  $R_c$  값을 얻었으나 열처리 후에 In 및 P의 outdiffusion과 Au의 indiffusion이 심하게 일어났다.

Au-Zn/Cr/Au 구조의 경우에는 425°C에서 90초 열처리 하였을 때  $R_c$  값으로  $4.7 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$  을 얻었으나 역시 In 및 P의 outdiffusion이 발생했고 Cr이 표면에서 검출되었다.

결론적으로 p-InP의 저항성 합금 접촉의 경우 Au-Be/Cr/Au의 금속 구조가 가장 특성이 좋고 열처리에 대한 안정성이 뛰어났다. 또한, p-InP에 저항성 합금 접촉을 형성할 경우 시료증착전 HF계로 표면 처리한 것이 자연산화층을 적절히 제거하여 주는 것을 확인하였다.

감사의 글

AES 측정 및 해석에 많은 도움을 준 전자통신연구소 물질분석실의 이중환씨와 포항제철 산업과학기술연구소의 정창영씨, 신광수씨께 감사드립니다.

## 參 考 文 獻

- [1] M. Fukuda, "Laser and LED reliability Update," *J. Lightwave Technol.*, vol. 6, no. 10, pp. 1488-1495, Oct. 1988.
- [2] A.R. Goodwin, I.G.A. Davies, R.M. Gibb, and R.H. Murphy, "The design and realization of a high reliability semiconductor laser for single-mode fiber-optical communication Links," *J. Lightwave Technol.*, vol. 6, no. 10, pp. 1424-1434, Sept. 1988.
- [3] R.S. Tucker, and I.P. Kaminow, "High-frequency characteristics of directly modulated InGaAsP ridge waveguide and buried heterostructure lasers," *J. Lightwave Technol.*, vol. LT-2, no. 4, pp. 385-393, Aug. 1984.
- [4] K.S. Seo, and P.K. Bhattacharya, "Studies on an  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$  Single-Quantum-well quasi-MISFET," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-34, no. 11, pp. 2221-2231, Nov. 1987.
- [5] E. Kaminska, A. Piotrowska, A. Barcz, J. Adamczewska, and A. Turows, "Interaction of Au/Zn/Au sandwich contact layers with  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$  Compound semiconductors," *Solid-St. Electron.*, vol. 29, no. 3, pp. 279-286, 1986.
- [6] J.B. Boos, and W. Kruppa, "Low-Resistance AuZn Gate ohmic contacts for InP JFETs" *Solid-St. Electron.*, vol. 31, no. 2, pp. 127-133, 1988.
- [7] A.J. Valois, and G.Y. Robinson, "Au/Be ohmic contacts to p-type indium phosphide," *Solid-St. Electron.*, vol. 25, no. 10, pp. 973-977, 1982.
- [8] H. Temkin, R.J. McCoy, V.G. Keramidas, and W.A. Bonner, "Ohmic contacts to p-type InP using Be-Au Metallization," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 36, no. 6, pp. 444-446, Mar. 1980.
- [9] C.W. Wilmsen, *Physics and chemistry of III-V Compound Semiconductor Interfaces*, Plenum New York, pp. 73-163, 1985.
- [10] F.R. Nash, W.J. Sundburg, R.L. Hartman, J.R. Pawlik, D.A. Ackerman, N.K. Dutta, and R.W. Dixon, "Implementation of the proposed reliability assurance strategy of a InGaAsP/InP, Planer mesa, buried heterostructure laser operation at  $1.3\mu\text{m}$  for use in a submarine cable," *AT&T Tech. J.*, vol. 64, no. 3, pp. 809-860, Mar. 1985.
- [11] I. Camlibel, A.K. Chin, F. Ermanis, M.A. DiGiuseppe, J. A. Lourenco, and W. A. Bonner, "Metallurgical behavior of Gold-based ohmic contacts to the InP/InGaAsP material system," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 129, no. 11, pp. 2585-2590, Nov. 1982.
- [12] S.S. Cohen, and G. Sh. Gildenblat, *VLSI Electronics Microstructure Science*, vol. 13 Academic New York, pp. 111-117, 1986.

## 著 者 紹 介



李 重 基 (正會員)

1962年 2月 5日生. 1985年~1987年 광운대 전자재료 공학과 학사 및 석사. 1987년 2월~ 한국전자통신연구소 광전자연구실 근무, 연구원. 주관심분야는 LPE 방법을 이용한 결정성장, 고속변조 반

도체 레이저 등의 광전소자 제작 등임.



朴 景 鉉 (正會員)

1960年 6月 11日生. 1983年 경북대학교 물리교육과 학사, 한국과학기술원 물리학과 석사('85). 1985년 2월~현재 한국전자통신연구소 광전자연구실 근무, 선임연구원. 주관심분야는 통신용 광소

자 패키징, 신뢰도 연구 등임.



李用卓(正會員)

1951年 4月 4日生. 1975年 서울대학교 응용물리학과 학사 졸업. 한국과학기술원 물리학과 석사('79) 및 박사('90). 1979年 3月~한국전자통신연구소 근무, 현재 광전자연구실장. 1986年 6月~1987年 6月 동경대학 객원연구원. 주관심분야는 광자공학, 광소자, 광전집적회로, 화합물반도체, 광통신 등임.



韓正熙(正會員)

1964年 3月 30日生. 1986~1988年 부산대학교 전자공학과 학사 및 석사. 1988年 2月~한국전자통신연구소 광전자연구실 근무, 연구원. 주관심분야는 화합물반도체, 광통신, 광스위칭, 광전소자

패키징 등임.