

## Pd/Ge/Pd/Ti/Au-InGaAs 오믹접촉의 급속 열처리 의존성

## RTA Dependence of Pd/Ge/Pd/Ti/Au-InGaAs Ohmic Contact

박성호\*, 김좌연\*\*, 김일호\*\*\*

(Sung Ho Park, Jwayeon Kim, Il-Ho Kim)

## Abstract

We have investigated a correlation of the electrical properties of the Pd/Ge/Pd/Ti/Au ohmic contact on n-InGaAs with its microstructures for the high temperature application of compound semiconductor devices. The samples were heat-treated by the rapid thermal annealing at various temperatures. In the contact system, moderately good specific contact resistance was obtained even before annealing because of the low metals-InGaAs barrier height, and better ohmic performances were observed by annealing up to 400°C. But the ohmic performance was degraded after annealing at 450°C due to the increment of Pd<sub>2</sub>Ga<sub>5</sub> phases.

## 1. 서 론

Si 반도체에 비해 화합물반도체는 고유의 고속 특성, 기판 재료의 반절연성, 발광성 및 내방사선 등의 장점으로 인해 각종 통신소자로서 활발하게 응용되고 있다. 이러한 화합물반도체의 고속 및 고주파 특성을 최대한 활용하기 위해 소자 크기가 점차 줄어들면서 오믹 접촉 저항과 같은 기생 효과를 가능한 줄이는 것이 매우 중요한 기술적 과제로서 부각되고 있다<sup>1)</sup>. 따라서 응용 회로의 목표 성능을 만족시키기 위해서는 소자구조의 최적화뿐만 아니라 반도체 기판에 대한 양호한 오믹 특성을 갖는 금속재료의 선택이 필요하다. 우수한 오믹 전극은 낮은 오믹 접촉 저항뿐만 아니라 고온에서도 기판 깊이 방향이나 횡방향으로의 금속원소의 확산이 억제되며, 표면양태가 균일한 안정된 특성을 가져야 한다. 이제까지 n형 GaAs에 대한 오믹 접촉으로서 AuGe 공정합금계가 가장 일반적으로 사용되어 왔으나 오믹 형성을 위한 열처리시 기판과의 활발한 반응을 통해 "balling-up" 이라고 하는 표면 양태의 불량이 초래되고 아울러 Au 성분의 확산이 수 천 Å 이상 발생하여 현재는 사용이 제한적으로만 이루어지고 있다.

한편, Pd/Ge계 오믹 접촉은 상온에서나 열처리 후 비교적 낮은 저항값의 달성이 가능하고, 급속 열

안정성도 우수하여 n형 GaAs에 대한 오믹 재료로서 많은 연구가 진행되어 왔다<sup>2-6)</sup>. 이제까지 밝혀진 연구결과에 의하면, 상온에서 GaAs에 Pd를 증착시키면 먼저 Pd<sub>x</sub>GaAs의 3원계 화합물이 생성되며 열처리를 통해 분해가 이루어지는 동시에 Ge과 반응을 하여 Pd-Ge계 금속간 화합물을 형성한다. 여기서 기판 내부로 확산되는 Ge 원자가 Ga 공공을 치환하여 GaAs 표면상의 n형 불순물 농도를 높임으로써 궁극적으로 오믹 접촉을 낮추는 원인으로 작용하게 된다. GaAs에 비해 전하이동도가 높고 급속에 대한 에너지 장벽이 낮아 HBT (heterojunction bipolar transistor)나 HEMT (high electron mobility transistor) 등의 초고속 화합물반도체 소자에 최근 활발하게 응용되고 있는 n형 InGaAs에 대해서도 상기 오믹 접촉형성의 반응기구가 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 InGaAs 중의 In은 반응성이 매우 커서 낮은 온도에서도 Au와 반응하여 Au-In계 화합물이 생성되며, 이러한 경우 접촉 저항이 급격히 증가되므로 오믹 전극의 선택에 유의해야 한다.

근래 본 저자들에 의해 발표된 n-InGaAs에 대한 Pd/Ge/Au/Ni/Au 오믹접촉에서 비교적 우수한 특성이 얻어진 바 있지만<sup>7-9)</sup>, 425°C 이상의 열처리시 접촉 저항이 열화되는 현상이 나타났기 때문에 본 연구에서는 이를 개선하고자 이제까지 발표된 바 없는 Pd/Ge/Pd/Ti/Au 오믹계를 n-InGaAs에 적용하여 급속 열처리 (RTA: rapid thermal annealing)에 따른 전기적 특성과 미시적 분석결과를 연관지어 해석하였다.

## 2. 실험 방법

\* : 한국전자통신연구원 회로소자연구소

\*\* : 호서대학교 재료공학과

\*\*\* : 중주대학교 재료공학과

본 연구에 사용한 시편 구조를 그림 1에 나타내었다. 3인치 직경의 반절연성 (100) GaAs 기판위에 MOCVD (metal organic chemical vapor deposition) 방법에 의해 Si이  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  의 농도로 도핑된 800 Å 두께의 n형  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  에피층을 성장한 후, 전자선 (e-beam) 증착기를 이용해  $5 \times 10^{-7}$  Torr의 진공하에서 그림과 같은 순서와 두께로 Pd/Ge/Pd/Ti/Au 금속층을 형성하였다. 이때 사진 전사공정을 통해 100 μm 폭의 패드가 각각 5, 10, 15, 20, 30 μm 간격으로 배열되어 있는 오믹 전극패턴을 제작하였고, 외곽 부분은 에칭에 의해 제거하였다. 시편을  $1.5 \times 1.5 \text{ cm}^2$  정도의 크기로 절단한 후,  $\text{H}_2/\text{N}_2$  분위기속에서 온도를 450°C 까지 변화시키며 10초간 RTA를 하고, 각 시편에 대해 TLM (transmission line method) 방법에 의해 접촉 비저항 (specific contact resistance)을 측정하였으며, 또한 XRD (X-ray diffraction)와 AES (Auger electron spectroscopy) 방법에 의해 미시구조를 분석하여 전기적 특성과의 상관관계를 고찰하였다.

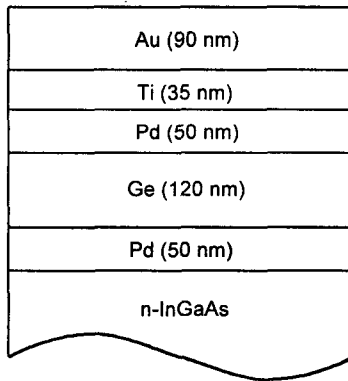
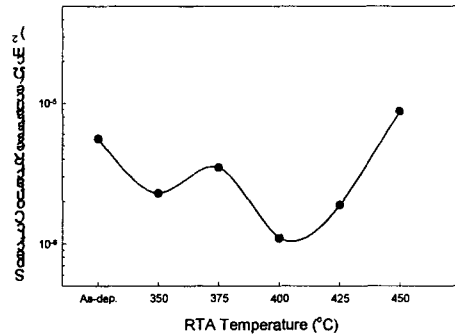


그림 1. n-InGaAs에 대한 Pd/Ge/Pd/Ti/Au 오믹 접촉 시편의 단면 개략도  
Fig. 1. Schematic cross-sectional view of the Pd/Ge/Pd/Ti/Au ohmic contact to n-InGaAs.

### 3. 실험 결과 및 고찰

RTA 온도에 따른 각 시편의 오믹 접촉 비저항 ( $\rho_c$ )의 변화를 그림 2에 나타내었다. In의 몰분율이 0.5일 때 InGaAs와 금속간의 상온에서의 에너지 장벽이 0.2 eV 정도로 낮기 때문에 열처리하기 전에도

비교적 낮은 저항값( $\text{mid-}10^{-6} \Omega\text{cm}^2$ )을 보였다. 400°C에서 어닐링 하였을 때  $1 \times 10^{-6} \Omega\text{cm}^2$ 의 최소 저항을 나타내었으며, 425°C 부터 저항이 약간 증가하다가 450°C에서는 급격히 악화되는 경향이 나타났으며, 이는 InGaAs와 오믹 금속간에 저항성분을 크게 하는



상이 생성된 것으로 판단된다.

그림 2. RTA 온도에 따른 n-InGaAs에 대한 Pd/Ge/Pd/Ti/Au 오믹 접촉의 접촉비저항 변화

Fig. 2. Specific contact resistances of the Pd/Ge/Pd/Ti/Au ohmic contact to n-InGaAs as a function of RTA temperature.

Pd/Ge/Pd/Ti/Au-InGaAs 접촉의 열처리 조건에 따른 상변태의 XRD 측정결과를 그림 3에 나타내었

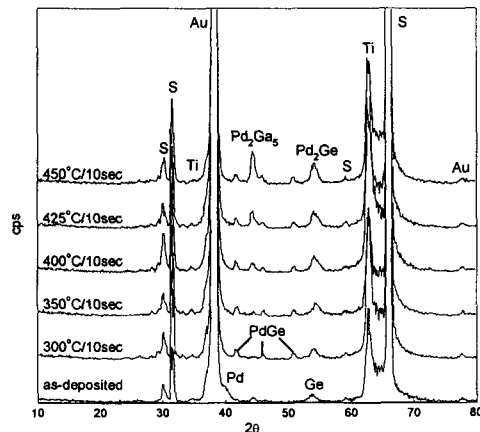


그림 3. RTA 온도에 따른 n-InGaAs에 대한 Pd/Ge/Pd/Ti/Au 오믹 접촉의 XRD 패턴 (S: substrate)

Fig. 3. XRD patterns of the Pd/Ge/Pd/Ti/Au ohmic contact to n-InGaAs with RTA temperature.

다. 300°C부터 관측되기 시작한 Pd<sub>2</sub>Ge 상이 점차 많아지면서 저항값이 감소하여, 400°C에서 최소 저항을 보인 바 있는데 이는 Ge의 InGaAs 계면으로의 확산이 집중되어 표면 도핑농도를 증가시켰기 때문으로 해석될 수 있다. 그러나 425°C에서 본격적으로 형성되는 Pd<sub>2</sub>Ga<sub>5</sub> 상에 의해 저항이 점차 증가하다가 450°C에서는 Pd<sub>2</sub>Ga<sub>5</sub> 상과 함께 저항이 급격히 증가하는 현상을 나타내었다. 그러나 InGaAs에 대한 Pd/Ge/Au/Ti/Au 접촉에서 425°C부터 관측되었던 AuIn<sub>2</sub> 상이나 AuGa 상이 Pd/Ge/Pd/Ti/Au 오믹 접촉의 경우 450°C에서도 발견되지 않아 InGaAs의 화학양론적 조성은 유지되는 것으로 판단되며 따라서 상대적으로 고온 안정성이 우수한 것으로 보인다.

그림 4는 Pd/Ge/Pd/Ti/Au 오믹 접촉의 RTA에 의한 구성 원소의 재분포를 AES 깊이 분석으로 측정 한 결과이다. 상온(as-deposition)에서 이미 PdGe 상이 형성되어 상하의 Pd층이 Ge층에 의해 완전히 분리되어 있지 않은 것을 알 수 있다. 그리고 400°C에서는 Pd과 Ge과의 반응이 활발하게 일어나 Pd층간의 구분이 거의 사라졌다. 또한 Ge이 InGaAs 쪽으로 확산된 것이 관찰되었으며, 여타 원소들의 주목할 만한 이동은 나타나지 않았다. 450°C에서 열처리 된 시편의 경우에도 400°C에서와 유사한 원소 분포를 나타내었으며, 특히 Au의 확산 저지층으로서 Ti이 적절히 작용함으로써 Au와 In의 반응이 원천적으로 차단되어 InGaAs의 분해현상이 관찰되지 않았다. 열처리 조건에 따른 오믹 접촉 구성 원소들의 이러한 분포양상은 오믹 특성과 밀접한 연관이 있으며, 상기 AES 분석결과는 그림 2의 접촉 비저항 측정결과 및 그림 3의 XRD에 의한 상변태 분석결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 그림상으로 나타내지는 않았지만 광학현미경으로 RTA 온도에 따른 오믹금속의 표면양태 변화를 측정한 결과 비교적 균일한 현상을 유지하는 것으로 나타났다. 전반적인 측정결과에 따르면 n형 InGaAs에 대한 Pd/Ge/Pd/Ti/Au 오믹 접촉이 비교적 낮은 접촉저항을 고온까지 유지하는 것이 가능하여 향후 초고속 화합물반도체 소자에의 응용전망이 밝은 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 n형 InGaAs에 대한 Pd/Ge/Pd/Ti/Au 오믹접촉계의 RTA 온도변화에 따른 오믹 특성 의존성을 연구하였다. 상온 및 400°C까지의 열처리 동안에 전반적으로 우수한 특성을 나타내어  $1 \times 10^{-6} \Omega\text{cm}^2$ 의 최소 접촉 비저항을 나타내었다.

425°C 이상의 온도부터 서서히 저항 값이 커지기 시작하여 450°C에서는 금속과 기판 구성원소의 반응에 의해 현저한 오믹 특성의 열화가 이루어졌으나 InGaAs의 화학양론 상태가 유지됨으로써 일정 이하의 저항값( $\text{high-}10^{-6} \Omega\text{cm}^2$ )이 달성되고, 균일한 표면양태가 얻어져 화합물반도체 소자에의 응용 가능성이 충분한 것으로 판단된다.

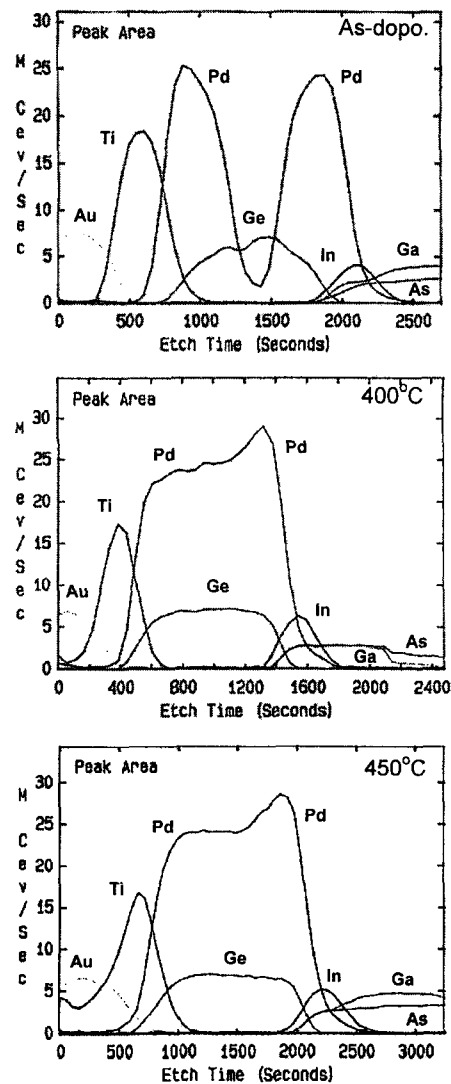


그림 4. RTA 온도에 따른 n-InGaAs에 대한 Pd/Ge/Pd/Ti/Au 오믹 접촉의 AES 깊이 분석

Fig. 4. AES depth profiles of the Pd/Ge/Pd/Ti/Au ohmic contact to n-InGaAs with RTA temperature.

### 참고 문헌

1. T. C. Shen, G. B. Gao and H. J. Morkoç, *Vac. Sci. Technol. B10*, 2113, 1992.
2. W. L. Chen, J. C. Cowles, G. I. Haddad, G. O. Munns, K. W. Eisenbeiser and J. R. East, *J. Vac. Sci. Technol. B10*, 2354, 1992.
3. M. W. Cole, W. Y. Han, L. M. Casas, D. W. Eckart and K. A. Jones, *J. Vac. Sci. Technol. A12*, 1904, 1994.
4. P. H. Hao, L. C. Wang, Fei Deng, S. S. Lau and J. Y. Cheng, *J. Appl. Phys.* 79, 4211, 1996.
5. J. Tsuchimoto, S. Shikata and H. Hayashi, *J. Appl. Phys.* 69, 6556, 1991.
6. H. Fathollahnejad, R. Rajesh, J. Liu, R. Droopad, G. N. Maracas and R. W. Carpenter, *J. Electron. Mater.* 24, 35, 1995.
7. I.-H. Kim, S. H. Park, T.-W. Lee and M.-P. Park, *Applied Phys. Lett.*, 1854, 1997.
8. 김일호, 박성호, 김좌연, 이종민, 이태우, 박문평, *한국진공학회지*, 제 7권, 제 1호, 24, 1998.
9. I.-H. Kim, S. H. Park, J.-W. Kim, J.-M. Lee, T.-W. Lee and M.-P. Park, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1854, 1997.