

# 금속에 따른 p-GaAsSb 오믹접촉의 전기적 특성에 관한 비교 연구

조승우, 장재형\*

광주과학기술원

## Comparative studies of ohmic metallization on p-GaAsSb

Seung-Woo Cho, Jae-Hyung Jang\*

Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

### Abstract

탄소 도핑( $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ )된 p-type GaAsSb 에피층 위에, Ti/Pt/Au, Pd/Au, Pd/Ir/Au를 이용한 다층 오믹 접촉을 제작하였다. MOCVD(metal-organic chemical vapor deposition)를 이용하여 성장시킨 이 p-GaAsSb의 정공 이동도는 탄소의 도핑 농도가 매우 높음에도 불구하고,  $50 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 로 측정되었다. 오믹 접촉의 전기적 특성을 측정하기 위하여 TLM(Transfer length method)를 이용하였다. Pd/Ir/Au를 이용한 오믹접촉의 specific contact resistivity는  $10^{-8} \text{ ohm-cm}^2$  보다 작은 수치를, transfer length는 100 nm보다 작은 수치를 보였으며, Ti/Pt/Au를 이용한 ohmic contact의 specific contact resistivity는  $10^{-7} \text{ ohm-cm}^2$  보다 작은 수치를, transfer length는 400 nm보다 작은 수치를 나타내었다.

**Key Words** : Gallium arsenide antimonide(GaAsSb), ohmic contact, metallization

### 1. 서론

이중 이종접합 양극성 트랜지스터(DHBTs)와 수광소자 같은 광전자소자에 Gallium arsenide antimonide (GaAsSb)는 최근 많은 주목을 받고 있다[1-4]. GaAs<sub>0.5</sub>Sb<sub>0.5</sub>는 In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As와 유사한 밴드갭 에너지를 가지고 있지만, GaAs<sub>0.5</sub>Sb<sub>0.5</sub>는 InP와 접합시 type-II의 밴드갭을 형성하여, GaAsSb/InP DHBTs의 베이스-컬렉터 접합면에서 전자이동을 방해하는 전위 장벽이 생기지 않는다[3]. 이 성질에 의하여, GaAsSb/InP 이중접합구조가 InGaAs/InP 이중접합구조보다 우수한 고주파 특성을 나타내게 되고, 그에 따라 고속 DHBTs와

수광소자 영역에서, GaAsSb가 주목을 받게 되었다[1-4]. 고속 혼합모드 회로(mixed-mode circuits) 분야에서, DHBTs는 매우 높은 단위전력이득 주파수(unity power gain cut-off frequency:  $f_{MAX}$ )와 단위전류이득 주파수(unity current gain cut-off frequency:  $f_T$ ) 특성을 가지고 있다. 이 특성은 고속으로 큰 신호를 구동시킬 수 있는 능력을 향상시킨다. 소자의  $f_T$ 는 이중접합구조에 의해 결정되는 진성 소자 특성과 밀접한 관계가 있는 반면에,  $f_{MAX}$ 는 전자소자의 parasitic 요소와 밀접한 관계를 가지고 있다[5]. 베이스단의 저항은 소자 특성을 결정짓는 중요한 parasitic 요소 중 하나인데, 특히 베이스 폭이 마이크로미터보다 훨씬 짧은 범위의

super-scaled DHBTs에서는 더욱 중요시 되는 요소이다[6]. 그러므로 초고속, 고효율을 위한 DHBTs 구현을 위해서는, 우수한 성능의 베이스 오믹접촉은 매우 중요한 요소 중 하나이다. 그리하여 InP/InGaAs 분야에서, DHBTs 베이스층 위에 우수한 특성의 p-오믹접촉 구현을 위한 많은 연구들이 이루어져 왔지만, 이와 대조적으로 p-GaAsSb에는 극소수의 연구만이 수행되었다[3]. 따라서 GaAsSb 화합물반도체에서의 p-오믹접촉의 연구가 절실히 필요한 시점이다.

Iridium은 다양한 III-V반도체에 고온 접합을 위하여, 매우 적합한 금속으로 증명되었다. 예로, Iridium의 고온환경에서의 매우 우수한 성능 때문에, n형 갈륨비소와 질화갈륨에 Schottky 접촉을 위한 금속으로 사용되었다[7-8]. Palladium은 p-InGaAs에 열적으로 안정한 오믹접촉을 형성하는데 개발되었다[9]. p-InGaAs 에의 Pd/Ir/Au 접촉에 대한 연구가 이루어졌고, 그것은 열적으로 안정한 오믹 metallization으로써의, 하나의 가능성으로 발견되었다[10]. 이 논문에서는 p-type GaAsSb 위에 Ti/Pt/Au, Pd/Au와 Pd/Ir/Au 접촉을 구현하여, 그것들의 전기적 특성을 평가, 비교 하였다.

## 2. 실험

500 nm 두께의 탄소 도핑 되어진 GaAsSb ( $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ )를 MOCVD을 이용하여, InP기판 위에 성장시켰다. 상온에서 홀측정을 실행하였고, 높은 탄소 도핑농도에도 불구하고  $50 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  정도의 정공 이동도를 얻을 수 있었다. 오믹접촉의 전기적 특성을 측정하기 위하여 TLM 패턴을 제작하였다. 이를 위한 간단한 공정은 다음과 같다. 우선, 전기적 isolation과 전류의 흐름을 방지하기 위하여 GaAsSb 층을 InP 기판이 노출될 때까지 완전히 식각시켰다. TLM 오믹 패턴을 형성하기 위하여 Optical lithography을 수행하였다. 그리고 다층 금속증착(Pd/Au, Pd/Ir/Au 과 Ti/Pt/Au) 공정을 위하여 e-beam evaporation과 lift-off과정을 수행하였다. Pd는 반도체와 쉽게 반응을 하는 성질 때문에, 최하층 금속으로 사용하였으며, Pd층 바로 위에 귀금속류의 Ir을 증착시켰다. 높은 일함수를 가지고 있는 Ir의 특성은 고온의 스트레스에서도 양호한 오믹접촉 특성을 얻기 위하여 선택되었다. 마지막으로 금속의 면저항을 최소화해 줄 뿐 아니

라 접촉금속의 산화를 방지하기 위하여 Au를 증착 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

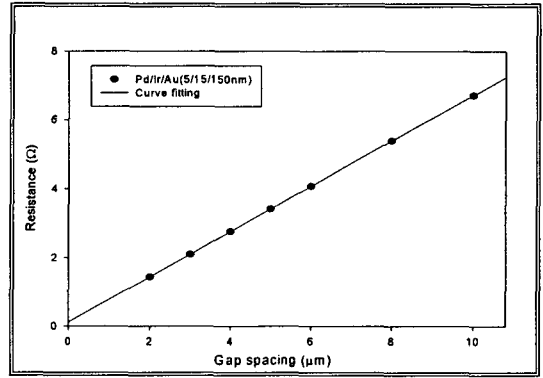


그림 1. 250°C에서 30초동안 열처리한 후의 Pd/Ir/Au (5/15/150nm) 오믹접촉의 특성

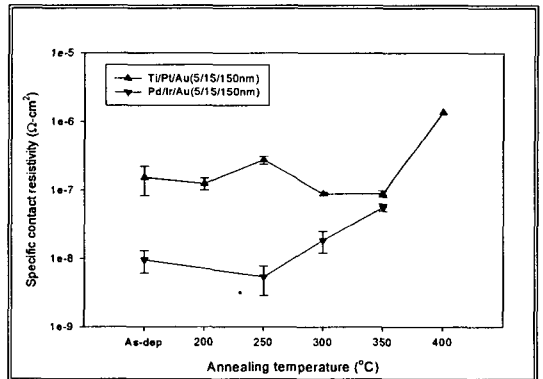


그림 2. 두꺼운 Au층을 가지고 있는 Ti/Pt/Au, Pd/Ir/Au 오믹접촉의 열처리 온도에 따른 specific ohmic contact resistivity의 변화.

p-GaAsSb 위에 증착시킨 Pd/Ir/Au(5/15/150nm) 과 Ti/Pt/Au(5/15/150nm) 오믹접촉의 전기적 특성이 그림 1과 그림 2에 나타나있다. TLM 패턴의 직사각형 모양의 금속간의 간격은  $2 \mu\text{m}$ 부터  $10 \mu\text{m}$ 의 범위를 가지고 있다. 이 구조를 이용하여 측정 한 오믹접촉의 전기적 특성은 다음과 같다. Pd/Ir/Au(5/15/150nm) 오믹접촉의 경우, 계산되어진 면저항은  $66 \text{ ohm/square}$ , specific contact resistivity는  $5.0 \times 10^{-9} \text{ ohm}\cdot\text{cm}^2$ , contact resistance는  $0.006 \text{ ohm}\cdot\text{mm}$ 이었다. 그리고 Ti/Pt/Au (5/15/150nm) 오믹접촉의 경우는, 계산되어진

specific contact resistivity는  $9 \times 10^{-8} \text{ ohm-cm}^2$ 이었다. 이 오믹접촉 특성은  $10^{-6} \text{ ohm-cm}^2$  정도의 specific contact resistivity를 갖는 p-InGaAs보다 월등히 우수한 수준이다[10]. 이렇게 우수한 오믹 접촉저항특성은 정공에 대한 Schottky 장벽이 InGaAs에 비하여 무척 낮기 때문으로 분석된다.  $\text{GaAs}_x\text{Sb}_{1-x}$ 에서  $x=0$  일 경우는 Schottky 장벽이  $\sim 0.2 \text{ eV}$ ,  $x=1$  일 경우는 Schottky 장벽이  $\sim 0.5 \text{ eV}$  정도인 반면 p-InGaAs는  $\sim 0.45 \text{ eV}$ 를 나타내었다. 정공 이동도의 경우, alloy scattering effects 때문에 p-GaAsSb가 p-InGaAs보다 낮은 정공 이동도를 가지고 있다[11]. 이렇게 정공이동도가 낮음에도 불구하고, 월등히 우수한 오믹접촉 특성을 보이는 것은 계면 저항의 감소, 또한 Schottky 장벽의 감소에 따른 것이라 할 수 있다. 낮은 오믹저항뿐만, transfer length 측면에서도 월등히 우수한 특성을 보였다. Pd/Ir/Au 오믹접촉의 transfer length는  $0.1 \mu\text{m}$ 보다, Ti/Pt/Au(5/15/150nm) 오믹접촉의 transfer length는  $0.4 \mu\text{m}$ 보다 작은 수치를 나타내었다. super-scaled HBTs에서 베이스층의 폭은 베이스 오믹접촉의 transfer length 보다 커야한다. 그래서 transfer length는 베이스폭의 스케일링 제한폭을 결정한다.

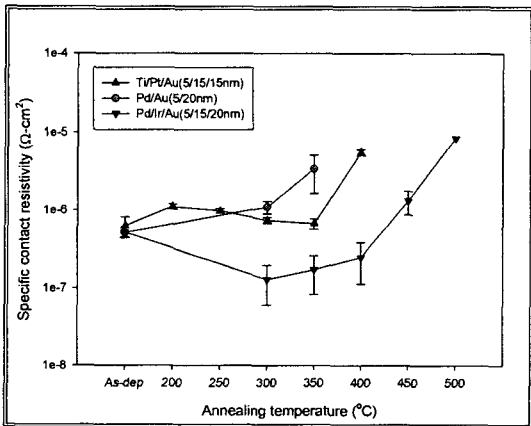


그림 3. 얇은 Au층을 가지고 있는 Ti/Pt/Au, Pd/Au 와 Pd/Ir/Au 오믹접촉의 열처리에 따른 저항특성들의 비교.

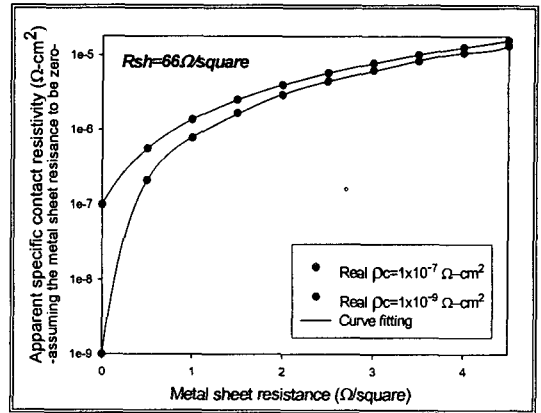


그림 4. 금속 면저항을 0으로 가정하고 계산되는 specific contact resistivity와 금속 면저항의 변화에 따른 관계

오믹 접촉의 물질 특성과 전기적 특성을 동시에 연구하기 위하여, 얇은 Au층을 가지는 Ti/Pt/Au(5/15/15nm), Pd/Au(5/35nm)와 Pd/Ir/Au(5/15/20nm)를 제작하였고 그림 3에 전기적 특성을 비교하였다. 이 데이터 값은, 그림 2에서 볼 수 있는 150 nm의 Au때보다 훨씬 높은 specific contact resistivity를 나타낸다. 이는 얇은 금속 두께에 의해 증가한 금속 면저항 때문이다. 금속 면저항은 metallization의 두께, 특히 금속의 면저항을 최소화하기 위하여 사용되어지는 Au의 두께에 많은 영향을 받는다. 본 논문에서는 금속 면저항을 0으로 가정하고 specific contact resistivity를 계산하였지만, 금속 면저항의 변화에 따라 계산되는 real specific contact resistivity의 특성은 그림 4를 통해 관찰 할 수 있다. 그리고 그림 2와 그림 3에서 관찰 할 수 있듯이, 얇은 Au층을 포함한 metallization이, 열처리에 의한 접합 상태의 변화에 따른 specific contact resistivity의 변화가, 두꺼운 Au층의 경우보다 작은 것을 확인 할 수 있다. 이는 금속 면저항이 클 경우에는 실제 접합 상태의 변화가 크더라도, 금속 면저항을 0으로 가정한 상태에서 계산되는 specific contact resistivity가 작게 변하는 특성을 그림 4를 통하여 확인할 수 있다.

다시 그림 3으로 돌아가, 오믹접촉 제작을 위해 가장 많은 빈도로 사용되어지는 Ti/Pt/Au와 p-InGaAs에서 우수한 열적 안정성을 보인 Pd/Ir/Au의 접촉특성을 비교함에 있어, 열처리를

하지 않은 상태에서는 두 metallization이 거의 비슷한 오믹접촉 특성을 보이지만, 열처리 후에는 월등히 우수한 specific contact resistivity를 Pd/Ir/Au가 나타냄을 확인할 수 있었다. 이는 두꺼운 Au층을 사용한 그림 2에서도 관찰할 수 있는 결과이다. 그리고 Ir층의 삽입에 의한 특성변화를 관측할 수 있는 그림 3의 Pd/Ir/Au와 Pd/Au의 오믹접촉 특성을 보면, Pd/Ir/Au 접촉은 30초 동안의 300°C 조건의 열처리 후, 최소 specific ohmic contact resistivity를 가지는 반면에 같은 조건에서 Pd/Au 접촉 특성은 감소함을 관찰할 수 있다. 이를 통해, Pd와 Au 사이의 Ir층의 삽입이 열적 특성을 향상시킨다는 것을 분명히 알 수 있다.

#### 4. 결론

p-GaAsSb 위에 증착되어진 Ti/Pt/Au, Pd/Ir/Au 오믹접촉은 p-InGaAs에서의 것보다 우수한 오믹접촉특성을 가졌다. 그리고 오믹접촉 제작시 보편적으로 사용되는 Ti/Pt/Au보다 뛰어난 Pd/Ir/Au의 가능성을 다시 한번 확인하였으며, 마지막으로 열적 안정성을 향상시키는 Ir의 역할을, Pd/Ir/Au ohmic metallization과 Pd/Au metallization을 통하여 관찰할 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] McDermott, B.T., Gertner, E.R., Pittman, S., Seabury, C.W., Chang, M.F., "Growth and doping of GaAsSb via metalorganic chemical vapor deposition for InP heterojunction bipolar transistors", Appl. Phys. Lett., 1996, 68 (10), pp. 1386-1388.
- [2] Xu, X.G., Hu, J., Watkins, S.P., Matine, N., Dvorak, M.W., Bolognesi, C.R., "Metalorganic vapor phase epitaxy of high-quality GaAs<sub>0.5</sub>Sb<sub>0.5</sub> and its application to heterostructure bipolar transistor", Appl. Phys. Lett., 1999, 74 (7), pp.976-978.
- [3] Dvorak, M.W., Bolognesi, C.R., Pitts, O.J., Watkins, S.P., "300 GHz InP/GaAsSb/InP double HBTs with high current capability and BVCEO≥6V", IEEE Electron Device Lett., 2001, 22 (8), pp. 361-363.
- [4] Sun, X., Hsu, J., Zheng, X.G., Campbell, J.C., Holmes, A.L., "GaAsSb resonant-cavity-enhanced photodetector operating at 1.3 um", IEEE Photon. Technol. Lett., 2002, 14 (5), pp. 681-683.
- [5] Rodwell, M.J.W., Urteaga, M., Mathew, T., Scott, D., Mensa, D., Lee, Q., Guthrie, J., Betsler, Y., Martin, S.C., Smith, R.P., Jaganathan, S., Krishnan, S., Long, S.I., Pallela, R., Agarwal, B., Bhattacharya, U., Samoska, L., andDahlstrom, M., "Submicron scaling of HBTs", IEEE Trans. Electron Dev., 2001, 48, (11), pp. 2606-2624
- [6] Zolper, J. C.: "Challenges and opportunities for InP HBT mixed signal circuit technology", IPRM, Tech Dig., 2003, pp. 8-11
- [7] Lanlinsky, T., Osvald, J., Machajdik, D., Mozoloca, Z., Sisolak, J., Constantinidis, G., and Kobzev, A. P., "High-temperature stable Ir-Al/n-GaAs Schottky diodes: effect of the barrier height controlling", J. Vacuum Science & Technol. B, 1996, 14, (2), pp. 657-661
- [8] Kumar, V., Selvanathan, D., Kuliev, A., Kim, S., Flynn, J., and Adesida, I., "Characterization of iridium Schottky contacts on n-AlxGal-xN", Electron. Lett., 2003, 39, (9), pp. 747-748
- [9] Ressel, K., Vogel, K., Fritzsche, D., and Mause, K., "Non-alloyed ohmic contacts for p+-type InGaAs base layer in HBTs", Electron. Lett., 1992, 28, (24), pp. 2237-2238
- [10] Jang, J.H., Kim, S., Adesida, I., "Electrical characteristics of Ir/Au and Pd/Ir/Au ohmic contacts on p-InGaAs", Electron. Lett., 2004, 40 (1), pp. 2237-2238.
- [11] Bolognesi, C.R., Matine, N., Dvorak, M.W., Yeo, P., Xu, X.G., Watkins, S.P., "InP/GaAsSb/InP double HBTs: A new alternative for InP-based DHBTs", IEEE Trans. Electron Devices, 2001, 48(11), pp.2631-2639