

## Al/TiN/Ti 전극의 Submicron contact에서의 전기적특성(2)

이철진\*, 엄문중\*, 라용준\*, 김성진\*\*, 성만영\*\*\*, 성영권\*\*\*  
\*군산대 전기공학과, \*\*경남대 전자공학과, \*\*\*고려대 전기공학과

### The Electrical Properties of Al/TiN/Ti Contact at Submicron contact (2)

°C J Lee\*, M J Eum\*, Y C Ra\*, S J Kim\*\*, M Y Sung\*\*\*, Y K Sung\*\*\*  
\* Kunsan National Univ. \*\* Kyungnam Univ. \*\*\* Korea Univ.

#### Abstract

The electrical properties of Al/TiN/Ti contact are investigated at submicron contacts. The contact resistance and contact leakage current are dependent on metallization, surface dopant concentration, semiconductor surface treatment and contact plug ion implantation. In this paper, the contact resistance and contact leakage current are studied according to surface dopant concentration, semiconductor surface treatment and contact plug ion implantation at 0.8 micron contact. The contact resistance and contact leakage current increases with increasing substrate ion concentration. HF cleaning represents high contact resistance but low contact leakage current while CDE cleaning represents low contact resistance but high contact leakage current. Contact plug ion implantation decreases contact resistance but increases contact leakage current. Specially, RTA represents good electrical properties.

#### 1. 서론

반도체소자에서 트랜지스터 크기가 감소함에 따라 contact size도 감소하게 되어 현재는 submicron contact이 일반적으로 적용되고있다. 종래에는 Si기판에서 Junction spike 발생을 억제시키기 위하여 1.0 - 1.5[μm]의 실리콘이 함유된 알루미늄 타겟을 금속막으로 사용하였는데, contact size가 감소하게 되면 Al 금속막에 포함되어 있는 Si 원자가 후속 열처리 공정에서 contact hole의 bottom으로 이동하여 solid phase epitaxy 현상을 일으켜 silicon nodule을 형성하게 된다. 이로인해 1.0[μm]이하의 contact에서는 contact 저항이 급격하게 증가하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 barrier metal process가 요구되었다. 반도체소자에 적용하기 위한 barrier metal로는 TiN, TiW, MoSi<sub>2</sub>, WSi<sub>2</sub>, TiSi<sub>2</sub>등이 제시되었으나 그중에서도 TiN이 가장 우수한 barrier layer로 평가되었으며, 현재 대부분의 고집적 기억소자에서는 TiN-Ti 구조의 barrier metal을 사용하고 있다.[3][4] 한편 반도체-금속 전극의 전기적 특성은 금속막의 종류와 형성방법이외에도 반도체의 표면상태와 표면 불순물농도에 의해서 큰 영향을 받는 것으로 알려져 왔다.[5]

따라서 본 연구에서는 Al/TiN/Ti 구조의 금속배선막을 초미세 contact에 사용할 때 우수한 전기적 특성을 확보하기 위한 방안으로서, 0.8[μm]의 미세 contact에서 1) junction의 dopant concentration 2) contact의 precleaning 공정 3) contact plug 이온주입 조건이 N<sup>+</sup> contact 및 P<sup>+</sup> contact에서

contact 저항과 contact 누설전류 특성에 미치는 영향을 평가하였다.

#### 2. 실험방법

비저항이 18-20[Ω·cm]인 P형(100) 실리콘기판에 N-well을 형성시킨 후, 얇은 산화막과 질화막을 이중구조로 형성시키고 나서 사진식각공정을 이용하여 active 영역을 정의시켰다. 이어서 field oxidation을 시켜 active 영역을 서로 분리시킨 다음 active 영역위에 존재하는 질화막을 제거시키고 active 영역에 N<sup>+</sup> junction과 P<sup>+</sup> junction을 형성시키기 위한 사진공정을 진행하였다. N<sup>+</sup> junction은 As 이온 dose가 5.0E15[ions/cm<sup>2</sup>]인 조건에서 에너지를 40[keV]로 하여 실리콘기판에 이온주입시켜 형성시켰고, P<sup>+</sup> junction은 BF<sub>2</sub> 이온 dose 5.0E15[ions/cm<sup>2</sup>]를 50[keV] 에너지로 주입시켜 실리콘기판에 형성시켰다. 한편 주입시킨 불순물 원자들은 확산로를 사용하여 950[°C]에서 60분동안 N<sub>2</sub> 분위기로 열처리하여 활성화시켰다. CVD 산화막을 500[nm] 퇴적시킨 후, 사진식각공정을 이용하여 active 영역에 0.8 x 0.8[μm<sup>2</sup>] 크기의 contact hole을 형성시켰다. 이어서 100:1 HF 용액에서 45초 동안 습식식각을 실시하여 contact hole의 실리콘 표면위에 형성된 자연산화막을 제거시킨 후, sputter를 사용하여 연속적으로 Ti막 30[nm]과 TiN막 60[nm]을 퇴적시켰다. 이어서 sputter를 사용하여 Al-1[μm] Si막을 800[nm] 퇴적시켜 Al/TiN/Ti 구조를 만든 후, 사진식각공정을 이용하여 금속배선막의 패턴을 형성시켜 contact에서의 전기적 특성을 평가하였다.

기판 표면불순물 농도에 따른 contact 특성을 평가하기 위한 시료는 junction에 불순물 이온을 주입시킬 때, N<sup>+</sup>는 As 40[KeV], P<sup>+</sup>는 BF<sub>2</sub> 50[KeV]의 조건에서 1.0E15, 5.0E15, 1.0E16[ions/cm<sup>2</sup>]로 각각 이온주입하여 제작하였다.

precleaning 조건에 따른 contact의 전기적 특성을 평가하기 위한 시료는 contact hole을 형성시킨 후 금속막을 deposition 하기 전 contact 부위의 자연산화막과 실리콘 손상층을 제거하기 위하여 HF dip, CDE(Chemical Dry Etch), 잔사처리 + HF dip, 잔사처리 + CDE precleaning을 실시하여 각각의 조건에 따른 contact 저항과 contact 누설전류를 평가하였다.

plug 이온주입 효과를 평가하기 위한 시료제작은 contact을 open시킨 후, N<sup>+</sup> contact에는 As 5E15[ions/cm<sup>2</sup>] 40[keV]를 이온주입시키고 P<sup>+</sup> contact에는 BF<sub>2</sub> 5E15[ions/cm<sup>2</sup>] 50[keV]를 이온주입시킨 후, 열처리를 실시하여 dopant를 활성화시켰다. 이때 열처리 조건은 확산로에서 800[°C] 30분, 850[°C] 30분, 그리고 RTA에서 1000[°C] 10초 동안 N<sub>2</sub> 분위기에서 실시하였다.

한편 contact에서의 전기적 특성을 평가하기 위한 방법으로 contact 저항특성은 Kelvin pattern에서 측정된 100개 contact에 대한 평균값으로 평가하였고, contact 누설전류 특성은 크기가  $250 \times 400 [\mu\text{m}^2]$ 인 active의 면적위에 300개의 contact을 형성시킨 후,  $-5[\text{V}]$ 의 전압을 인가하여 300개 contact에서의 누설전류값에 대한 평균치를 측정하여 평가하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 크기가  $0.8 \times 0.8 [\mu\text{m}^2]$ 인 contact에서 TiN막과 Ti막 두께가 각각  $60[\text{nm}]$ 와  $30[\text{nm}]$ 인 Al/TiN/Ti 구조의 금속배선막에서 기판 불순물 주입농도에 따른 contact 저항 특성을 보여주고 있다. N' contact에서는 기판 불순물 주입농도가 증가할수록 contact 저항이 감소하고 있다. 한편 P' contact는 불순물 주입농도가  $1\text{E}15[\text{ions}/\text{cm}^2]$ 에서  $5\text{E}15[\text{ions}/\text{cm}^2]$ 으로 증가할 때는 contact 저항이 크게 감소하지만  $5\text{E}15[\text{ions}/\text{cm}^2]$  이상에서는 거의 변화가 없다. 이것은 기판 불순물 주입농도가  $5\text{E}15[\text{ions}/\text{cm}^2]$  이상이 되면 기판의 표면 불순물농도가 포화되기 때문에 불순물 주입농도를 증가시켜도 contact 저항은 변화하지 않는 것으로 생각할 수 있다. 한편 N' contact 저항은 P' contact 저항에 비하여 전반적으로 낮은 저항값을 나타냈는데 이것은 N' junction이 P' junction에 비하여 상대적으로 표면 불순물 농도가 더 높기 때문이다.

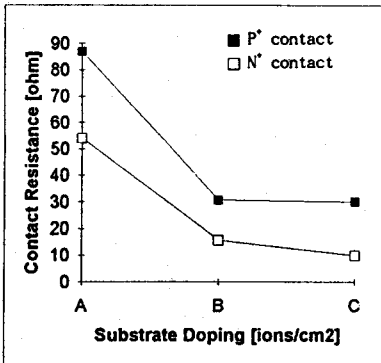


그림 1. 기판 불순물 주입농도에 따른 Al/TiN/Ti 전극의 contact 저항 특성.  
A:  $1\text{E}15[\text{ions}/\text{cm}^2]$  B:  $5\text{E}15[\text{ions}/\text{cm}^2]$   
C:  $1\text{E}16[\text{ions}/\text{cm}^2]$

그림 2는 Al/TiN/Ti 구조에서 기판 불순물 주입농도에 따른 contact 누설전류 특성을 보여주고 있다. 기판 불순물 주입농도가 증가함에 따라서 N' contact과 P' contact에서 유사한 경향으로 누설전류는 증가하는 것을 나타내고 있다. 그러나 N' contact에 비하여 P' contact의 누설전류값이 더 크고 불순물 주입농도에 따른 누설전류값의 증가율도 더 높은 것으로 나타났다.

그림 3는 Al/TiN/Ti 구조에서 precleaning 조건에 따른 contact 저항 특성을 보여주고 있다. N' contact과 P' contact에서 HF cleaning 조건이 CDE cleaning 조건보다 contact 저항이 크고, 잔사처리를 실시한 조건이 잔사처리를 하지 않은 조건에 비하여 상대적으로 contact 저항이 낮은 것을 알 수 있다. 특히 HF cleaning만 실시한 P' contact은 큰 저항값을 가진다.

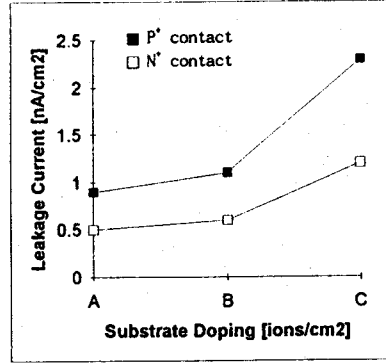


그림 2. 기판 불순물 주입농도에 따른 Al/TiN/Ti 전극의 contact 누설전류 특성.  
A:  $1\text{E}15[\text{ions}/\text{cm}^2]$  B:  $5\text{E}15[\text{ions}/\text{cm}^2]$   
C:  $1\text{E}16[\text{ions}/\text{cm}^2]$

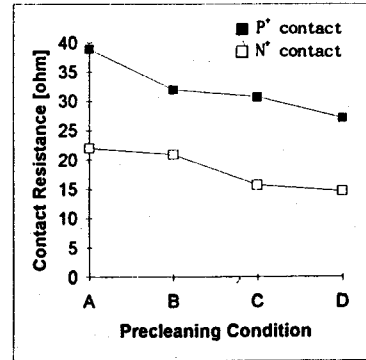


그림 3. contact precleaning 조건에 따른 Al/TiN/Ti 전극의 contact 저항 특성.  
A: HF B: CDE  
C: 잔사처리 + HF D: 잔사처리 + CDE

그림 4는 Al/TiN/Ti 금속배선막의 precleaning 조건에 따른 contact 누설전류 특성을 나타내고 있다. HF cleaning 조건이 CDE cleaning 조건보다 contact 누설전류가 작고, 잔사처리를 실시한 조건이 잔사처리를 하지 않은 조건에 비하여 상대적으로 contact 누설전류가 높은 것을 나타내고 있다. 특히 잔사처리와 CDE를 복합적으로 실시한 조건은 contact 누설전류가 크게 증가하는 것을 보여준다.

그림 5는 Al/TiN/Ti 금속배선막에서 contact plug 형성조건에 따른 N' contact과 P' contact에서의 contact 저항 특성을 나타내고 있다. plug 이온주입조건은  $\text{BF}_3$ 를  $5\text{E}15[\text{ions}/\text{cm}^2]$ ,  $40[\text{KeV}]$ 이며 열처리 조건은 확산로에서  $800[^\circ\text{C}]$ 에서 30분,  $850[^\circ\text{C}]$ 에서 30분, RTA에서  $1000[^\circ\text{C}]$ 에서 10초로 구분하였다. plug 이온주입을 실시한 조건이 실시하지 않은 조건에 비하여 낮은 contact 저항을 나타냈고, 또한 확산로의 열처리 온도가 증가할수록 contact 저항이 감소하였으며, RTA 열처리에서 가장 낮은 contact 저항을 나타냈다. 이러한 경향은 N' contact과 P' contact에서 거의 유사하게 나타났다.

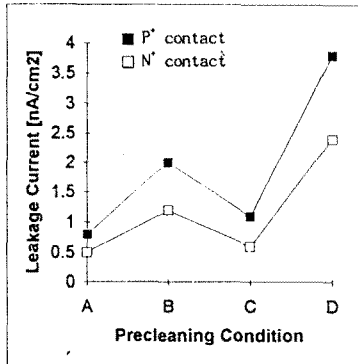


그림 4. contact precleaning 조건에 따른 Al/TiN/Ti 전극의 contact 누설전류 특성.  
 A: HF B: CDE  
 C: 잔사처리 + HF D: 잔사처리 + CDE

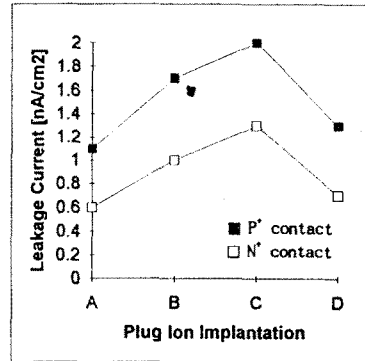


그림 6. contact plug 형성조건에 따른 Al/TiN/Ti 전극의 contact 누설전류 특성.  
 A: No plug B: 800[°C] 30분 anneal  
 C: 850[°C] 30분 anneal  
 D: RTA 1000[°C] 10초 anneal

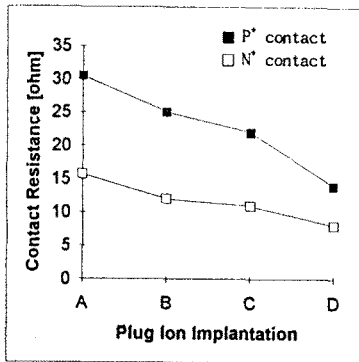


그림 5. contact plug 형성조건에 따른 Al/TiN/Ti 전극의 contact 저항 특성.  
 A: No plug B: 800[°C] 30분 anneal  
 C: 850[°C] 30분 anneal  
 D: RTA 1000[°C] 10초 anneal

그림 6은 Al/TiN/Ti 금속배선막의 contact plug 형성조건에 따른 contact 누설전류 특성을 나타내고 있다. plug 이온주입을 실시한 조건이 실시하지 않은 조건에 비하여 더 높은 contact 누설전류값을 나타냈고, 확산로의 열처리 온도가 800[°C]에서 850[°C]로 증가하면 contact 누설전류가 더 증가하였다. 그러나 RTA 열처리 조건에서는 높은 온도에도 불구하고 contact 누설전류가 크게 감소하는 특성을 나타냈다. 누설전류값은 P<sup>+</sup> contact이 N<sup>+</sup> contact에 비하여 크지만 contact plug 형성조건에 따른 contact 누설전류 특성은 N<sup>+</sup> contact과 P<sup>+</sup> contact에서 거의 유사하게 나타났다.

#### 4. 결 론

1. N<sup>+</sup> contact에서는 기판 불순물 주입농도가 증가할수록 contact 저항이 감소한다. P<sup>+</sup> contact은 기판 불순물 주입농도가 1E15[ions/cm<sup>2</sup>]에서 5E15[ions/cm<sup>2</sup>]으로 증가할때 contact 저항이 크게 감소하지만 5E15[ions/cm<sup>2</sup>] 이상에서는 거의 변화가 없다. 한편 기판 불순물 주입농도가 증가함에 따라서 N<sup>+</sup> contact과 P<sup>+</sup> contact에서 누설전류는 증가한다.

2. HF cleaning 조건이 CDE cleaning 조건보다 contact 저항이 크고, 잔사처리를 실시한 조건이 잔사처리를 하지 않은 조건에 비하여 상대적으로 contact 저항이 낮은 것을 나타냈다. 또한 HF cleaning 조건이 CDE cleaning 조건보다 contact 누설전류가 작고, 잔사처리를 실시한 조건이 잔사처리를 하지 않은 조건에 비하여 상대적으로 contact 누설전류가 높았다.

3. plug 이온주입을 실시한 조건이 실시하지 않은 조건에 비하여 낮은 contact 저항을 나타냈고, 또한 확산로의 열처리 온도가 증가할수록 contact 저항은 감소하였으며, RTA 열처리에서 가장 낮은 contact 저항을 나타냈다. plug 이온주입을 실시한 조건이 실시하지 않은 조건에 비하여 더 높은 contact 누설전류값을 나타냈고, 확산로의 열처리 온도가 증가하면 contact 누설전류는 더 증가하였다. 그러나 RTA 열처리 조건에서는 contact 누설전류가 크게 감소하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] J. O. McCaldin and H. Sankur, " Diffusivity and Solubility of Si in the Alloy/Si Contacts by Rapid Thermal Sintering.", Appl.Phys.Lett., Vol.19, pp.524-527, Dec. 1971.
- [2] H. Mori, " Resistance increase in small area Si-doped Al-n-Si contacts.", IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-30, pp.81, 1983.
- [3] Takeo Maeda, Takeo Nakayama, and Junichi Matsunaga, " A Highly Reliable Interconnection for a BF<sub>2</sub><sup>+</sup> implanted Junction Utilizing a TiN/Ti Barrier Metal System.", IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. ED-34, No.3, pp.599-606, March 1987.
- [4] A. Kohlhase, M. Mandl, and W. Pautler, " Performance and failure mechanisms of TiN diffusion barrier layers in submicron devices.", J.Appl.Phys. Vol.65, No.6, pp.2464-2469, March 1989.
- [5] 이철진, 허윤중, 성영권, " Ti Self-Aligned Silicide 를 이용한 Contact에서의 전기적 특성.", 대한전기학회 논문지, 41권 2호, pp.170-177, 1992. 2