

TiSi<sub>2</sub> SALICIDE CONTACT 의 전기적 특성

\* 이철진\*      양지운\*      이내인\*      성영권\*  
\*고려대학교 전기공학과

Electrical Characteristics of  
TiSi<sub>2</sub> Salicide Contact

Lee Cheol-Jin\*      Yang Ji-Woon\*      Lee Nae-In\*      Sung Yung-Kwon\*  
\*Dept of Electrical Eng., KOREA Univ.

## Abstract

Contact resistance and contact leakage current of the Al/TiSi<sub>2</sub>/Si system are investigated for N<sup>+</sup> and P<sup>+</sup> junctions. Titanium disilicide is one of the most common silicides because of its thermal stability, ability to form selective formation and low resistivity.

In this paper, the effect of RTA temperature and junction implant dose are characterized. The TiSi<sub>2</sub> contact resistance to N<sup>+</sup> silicon is lower than that of Al to N<sup>+</sup> silicon, but TiSi<sub>2</sub> of contact resistance to P<sup>+</sup> silicon is higher than that of Al to P<sup>+</sup> silicon. The TiSi<sub>2</sub> of contact leakage current to N<sup>+</sup> and P<sup>+</sup> silicon is similar to that of Al contact.

## 1. 서론

반도체 소자 제조공정에 사용되고 있는 금속배선막은 순수한 알루미늄 막을 사용할 경우 실리콘기판의 Junction에서 spike가 발생되는데 이것을 억제시키기 위하여 알루미늄에 0.5-1.0% 가량의 실리콘을 함유시킨 Al-Si합금막을 사용하고 있다.<sup>(1)</sup> 그런데 반도체 제조공정에서 금속배선막을 형성시킨후 후속 열처리 공정이 진행되면 Al-Si합금막속에 함유된 실리콘 원자가 합금막으로부터 contact hole의 실리콘 접촉부위로 이동한 후 solid phase epitaxy를 일으켜 silicon nodule을 형성하게 된다.<sup>(2)</sup>

본 실험에서는 이러한 silicon nodule에 기인한 contact의 전기적 특성에 대한 문제점을 개선시키고 또한

기판 실리콘과 금속배선막 사이에서 안정된 계면을 만들기 위하여 TiSi<sub>2</sub> salicide 공정을 적용하여 Al/TiSi<sub>2</sub>/Si 구조를 형성시켰다.<sup>(3)</sup> Ti막을 sputtering 방법으로 contact hole에 deposition시킨후 Rapid Thermal Anneal을 실시하고 이어서 selective etch를 실시한후 다시 Rapid Thermal Anneal을 실시하여 contact hole의 실리콘 접촉부위에 안정된 구조를 갖는 TiSi<sub>2</sub>를 형성시킨뒤 이어서 Al-1%Si 금속막을 sputtering 방법으로 deposition 시켰다. TiSi<sub>2</sub>는 열적안정성과 선택적 형성가능성과 낮은 저항치로 인하여 반도체 소자의 배선 및 전극재로도 각광을 받고 있다.<sup>(4)</sup>

본 논문에서는 N<sup>+</sup>와 P<sup>+</sup> Junction의 contact저항과 contact 누설전류에 대하여 TiSi<sub>2</sub>형성 RTA 온도의존성과 기판불순물 농도 의존성을 평가하였다.

N<sup>+</sup> Junction에 있어서 TiSi<sub>2</sub> contact저항은 Al contact저항에 비해 더 낮은 값을 나타냈으나, P<sup>+</sup> Junction의 경우에는 TiSi<sub>2</sub> contact저항이 Al contact저항보다 약간 높은 값을 나타냈다.

한편 TiSi<sub>2</sub> contact 누설전류 값은 각각 N<sup>+</sup>와 P<sup>+</sup> Junction에서 수 nA/cm<sup>2</sup>이하로서 양호한 특성을 나타냈다.

## 2. 실험방법

직경이 150mm이고 비저항이 18-20 Ωcm인 P형(100) Si 기판에 Active 영역을 정의시킨 후 Field Oxidation을 시켜 Active 영역을 서로 Isolation을 시킨 다음 Active 영역위에 존재하는 질화막을 제거시키고 나서 Active 영역에 N<sup>+</sup> Junction과 P<sup>+</sup> Junction을 형성시키기 위한 PHOTO공정

을 진행하였다. 그리고나서  $N^+$  Junction을 형성시키기 위하여 As를  $1.0E15, 5.0E15, 1.0E16$  [ions/cm<sup>2</sup>] Dose 40keV로 이온주입시켰으며  $P^+$  Junction 형성을 위하여  $BF_2$ 를  $1.0E15, 5.0E15, 1.0E16$  [ions/cm<sup>2</sup>] Dose 50keV로 이온주입시켰다. 이온주입시킨 불순물을 활성화 시키기 위하여 확산로를 사용하여 900° C, 60분,  $N_2$  분위기에서 열처리를 시킨다음, CVD 방법에 의한 산화막을 500 nm deposition시킨 후 사진식각 공정을 이용하여 contact hole 을 형성시켰다.

100:1 HF 용액에서 45초 동안 습식식각을 실시하여 contact hole의 실리콘 표면위에 형성된 자연 산화막을 제거시킨 후 sputter 를 사용하여 Ti막을 70 nm deposition시켰다. 이어서 RTA 장비를 사용하여  $N_2$  분위기, 20초, 650° C, 700° C, 750° C 조건으로 1 차 열처리를 실시하여 contact hole 에서  $TiSi_x$ 를 형성시킨 후  $NH_4OH:H_2O_2:H_2O = 1:2:5$  인 용액에서 75° C, 2분 동안 선택적 식각을 실시하여 contact hole의 내부에 형성된  $TiSi_x$ 막은 남기고 그 외의 Ti막은 제거하였다. 그리고 RTA 장치에서 900° C, 10초, Ar분위기로 열처리를 실시하여 안정된  $TiSi_2$ 막을 형성시켰다. 이어서 sputter를 사용하여 Al-1% Si 막을 800 nm deposition 시켜 Al/ $TiSi_2$ /Si 구조를 만든 후, 사진식각공정을 이용하여 Al-1% Si 막의 패턴을 형성시킨 다음 확산로에서 400° C, 30분,  $N_2$  분위기 조건으로 열처리를 실시하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

sputtering 방식으로 deposition 시킨 Ti막을 RTA 방법을 이용하여  $TiSi_2$  salicide contact 을 형성시킨 후 Al-1% Si 막을 deposition 시켜 구성한 Al/ $TiSi_2$ /Si 구조에 대하여 contact 저항과 contact 누설전류에 관한 RTA 온도 의존성과 기판 불순물 농도 의존성을 평가 하였다.

<그림 1>은  $N^+$  contact 저항의 RTA 온도의존성을 나타내고 있는데 온도가 증가할 수록 contact 저항이 증가하는 것을 보여주고 있다. 이때  $N^+$  Junction 은 As 이온을  $5E15$  [ions/cm<sup>2</sup>], 40 keV로 실리콘 기판에 주입시킨 후 확산로 에서 열처리를 통하여 불순물을 활성화 시켰다. 일반적으로 온도가 높을 수록 형성되는  $TiSi_2$  막의 두께가 증가하고 아울러 불순물의 확산계수가 증가하는 것으로 알려져 있다. 따라서 온도가 증가할 수록 기판 실리콘에 존재

하는 불순물은  $TiSi_2$ 막 내부로 이동이 증가하게되어  $TiSi_2$ 와 실리콘 계면에서의 불순물 농도가 감소하게 되므로 contact 저항이 증가 하는 것으로 생각 할 수 있다.<sup>(6)</sup>  $TiSi_2/N^+$  contact 저항은 Al/ $N^+$  contact 저항에 비해 낮은 값을 나타내는데 이것은  $N^+$  silicon 에 대한  $TiSi_2$ 의 Barrier Height가 Al에 비해 더 낮은 값을 갖기 때문으로 생각된다.<sup>(6)(7)</sup>

<그림 2>는  $P^+$  contact 저항에 대한 RTA 온도 의존성을 나타내고 있는데 이 때  $P^+$  Junction 은  $BF_2$  이온을  $5E15$  [ions/cm<sup>2</sup>] 50 keV로 기판 실리콘에 주입시킨 후 확산로에서 열처리를 실시하여 불순물을 활성화 시켰다. 온도가 증가할 수록 contact 저항값이 증가하는 현상은  $N^+$  contact 과 동일한 특성을 나타내고 있으나 700° C에서 부터 contact 저항이 포화되는 차이점을 보여주고 있다.<sup>(6)(9)</sup> 각 온도 조건에 대한  $TiSi_2/P^+$  contact 저항은 Al/ $P^+$  contact 저항에 비해 더 높은 값을 나타내고 있는데 이것은  $P^+$  실리콘에 대하여  $TiSi_2$ 가 Al보다 더 높은 Barrier height 를 갖는 것을 의미하고 있다.<sup>(6)(7)</sup> 한편  $N^+$  Junction 과  $P^+$  Junction 의 contact 저항값을 비교하면  $P^+$  Junction 의 contact 저항값이 높은 것을 알 수 있는데 이것은 열처리 조건에 따른 불순물의 이동 특성보다는 기판 실리콘에 주입된 As와  $BF_2$  불순물의 표면 농도차이에 기인한 것으로 생각된다.<sup>(8)</sup>

$N^+$  contact의 누설전류에 대한 RTA 온도의존성이 <그림 3>에 나타나 있는데 650° C, 700° C, 750° C 각각의 조건에 대한 누설전류 값이 2.3[nA/cm<sup>2</sup>], 2.7[nA/cm<sup>2</sup>], 3.7[nA/cm<sup>2</sup>]로서 특성이 좋은 안정된 contact 을 형성하고 있음을 보여주고 있다. 750° C에서 누설전류 값이 약간 증가하는 현상은  $TiSi_2$ 이 형성될 때 실리콘 원자의 확산이 더 급격하게 일어나기 때문으로 생각된다.

<그림 5>는 각 온도조건에 대한  $TiSi_2$ 막의 면저항값을 나타내고 있는데 750° C에서 면저항이 급격하게 증가하는 것을 보여주고 있다. 주 Si 의 급격한 확산으로 인하여  $TiSi_2$  막의 두께가 증가함을 알 수 있다.<sup>(3)</sup>

<그림 4>는  $P^+$  contact의 누설전류에 대한 RTA 온도의존성을 나타내고 있다. 온도 증가에 대한 누설 전류 증가 현상이 선형적인것을 알 수 있는데 온도가 증가할 수록 기판 실리콘에서  $TiSi_2$ 막으로 실리콘 원자의 확산속도가 증가하여 급격하게  $TiSi_2$ 막이 형성되기 때문으로 생각된다.<sup>(3)</sup> 이러한 현상은 <그림 5>에서 나타난  $P^+$  Junction에서 형성된  $TiSi_2$ 막의 면저항 특성에서 나타난 온도증가

에 따른 면저항 값의 감소 경향과 잘 일치하고 있다. 한편 N<sup>+</sup> contact 과 P<sup>+</sup> contact의 누설 전류값을 비교해 보면 P<sup>+</sup> contact의 누설 전류값이 더 큰 것을 알 수 있는데 이것은 N<sup>+</sup> contact보다 P<sup>+</sup> contact 에서 TiSi<sub>2</sub>의 silicidation이 더 급격하게 일어나는 특성에 기인하며 <그림 5>는 이러한 특성을 간접적으로 보여주고 있다.

N<sup>+</sup> contact 저항에 대한 기판불순물 농도 의존성이 <그림 6>에 나타나고 있는데 불순물 농도가 높을수록 contact 저항이 감소함을 알 수 있다.<sup>(7)</sup> 특히 1E15 [ions/cm<sup>2</sup>] 조건에서는 contact 저항이 매우 높은 것을 알 수 있는데 이것은 <그림 8>에서 보여주는 것처럼 실리콘 기판의 표면 불순물 농도가 낮기 때문으로 생각된다.

P<sup>+</sup> contact저항에 대한 기판 불순물 농도 의존성은 <그림 7>에 나타나 있는데 불순물 농도가 높을수록 contact저항이 감소하는 것을 보여주고 있다.<sup>(7)</sup> 1E15[ions/cm<sup>2</sup>] 조건에서 contact 저항이 크게 증가하는 현상은 N<sup>+</sup> contact과 동일하게 설명 할 수 있으며 5E15[ions/cm<sup>2</sup>]과 1E16[ions/cm<sup>2</sup>]의 contact 저항값이 큰 차이를 보이지 않는것은 <그림 8>에 나타난 것처럼 BF<sub>2</sub> 불순물의 실리콘 기판에 대한 고용도가 5E15[ions/cm<sup>2</sup>] 이상에서는 포화되기 때문인 것으로 생각된다.

N<sup>+</sup> contact 의 누설전류에 대한 기판 불순물 농도의 의존성이 <그림 9>에 나타나 있다. 불순물 농도가 증가할 수록 누설 전류 값이 작아지는 경향을 보이고 있는데 이것은 실리콘 기판의 표면 불순물 농도가 증가할 수록 TiSi<sub>2</sub> 막을 형성시킬때 기판의 실리콘 원자의 확산이 억제되기 때문으로 설명된다.<sup>(10)(11)</sup>

P<sup>+</sup> contact 의 누설 전류에 대한 기판 불순물 농도의 의존성은 <그림 10>에 나타나 있는데 불순물 농도 증가에 따른 누설전류값 변화특성이 N<sup>+</sup> contact의 경우와는 약간 다른 것을 알 수 있다. P<sup>+</sup> contact에서는 불순물 농도 증가에 따른 누설 전류값의 감소 정도가 매우 작으며 5E15[ions/cm<sup>2</sup>] 조건과 1E16[ions/cm<sup>2</sup>] 조건은 거의 차이가 없는 것으로 나타난다. 이러한 현상은 기판에 주입된 고농도의 BF<sub>2</sub> 불순물의 영향으로 인하여 기판 표면에 생성된 자연 산화막에 기인한 것으로 생각 할 수 있다. 즉 TiSi<sub>2</sub>막을 저온에서 형성시킬때 기판 실리콘 원자의 확산 속도가 실리콘 기판의 자연산화막 두께에 의해 영향을 받게되는데 BF<sub>2</sub>불순물이 As불순물에 비해 자연 산화막의 두께를 더 증가시키는 것으로 알려져 있다.<sup>(13)</sup> 한편 P<sup>+</sup> contact 에서의 누설전류 값이 N<sup>+</sup> contact 에 비해 높게

나타나는 이유는 TiSi<sub>2</sub>막을 형성 시킬때 N<sup>+</sup> contact 에 비해 P<sup>+</sup> contact 에서 기판 실리콘 원자의 이동이 더 급격하기 때문에 일어나는 것으로 설명 할 수 있다. 이것은 N<sup>+</sup> contact 에 비해 P<sup>+</sup> contact 에서 형성된 TiSi<sub>2</sub>막의 두께가 더 증가한다는 것을 보여주고 있는 <그림 5>의 결과와 잘 일치한다.

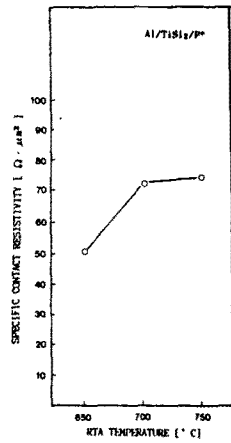
#### 4. 결론

Ti막을 sputter 물 사용하여 contact hole에 deposition 시킨후 salicide(Self-Aligned Silicide)방법으로 형성시킨 TiSi<sub>2</sub> contact 의 contact저항은 Al contact에 비해 N<sup>+</sup> contact 저항은 감소하나 P<sup>+</sup> contact 저항은 증가하였으며 contact 누설전류는 Al contact에 비해 큰 차이가 없었다. 지금까지의 결과를 토대로 아래와 같은 결론을 내릴 수 있다.

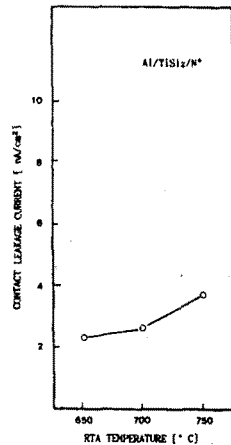
1. contact 저항의 RTA 온도의존성은 온도가 증가할 수록 contact 저항이 증가하는 경향을 나타냈으나 P<sup>+</sup> contact에서는 700° C 이상에서 저항값이 포화되는 현상을 보였다.
2. contact 누설전류의 RTA 온도의존성은 온도가 증가할 수록 누설전류가 증가하는 경향을 나타냈으며 N<sup>+</sup> contact 이 P<sup>+</sup> contact에 비해 더 적게 영향을 받는 것으로 나타났다.
3. contact 저항의 기판 불순물 농도의존성은 불순물 농도가 증가할 수록 contact 저항이 감소했는데 P<sup>+</sup> contact 의 경우에는 불순물 주입량이 5E15[ions/cm<sup>2</sup>] 이상에서는 표면 불순물 농도가 포화되는 이유로 인해 contact 저항값이 포화되는 현상이 일어났다.
4. contact 누설전류 의 기판 불순물 농도 의존성은 불순물 농도가 증가할 수록 contact 누설전류가 감소하였으나 P<sup>+</sup> contact에서는 5E15[ions/cm<sup>2</sup>] 이상에서 누설전류값 변화가 거의 없었다. 한편, P<sup>+</sup> contact에 비하여 N<sup>+</sup> contact 에서 농도에 따른 누설전류 값의 변화가 크게 나타났다.

참고문헌

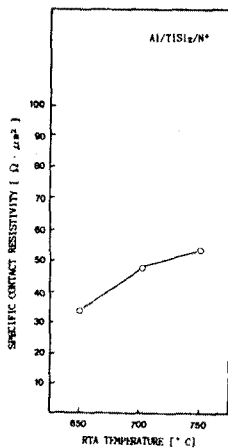
1. P.A. Totta and R.P. Sopher, IRM J.Res.Dev. 13, 226 (1969)
2. C.Y. Ting and M.Whittmer, Thin Solid Films 96, 327 (1982)
3. T.Brat and C.M.Osburn, J. Electrochem. soc., vol 133, 1452 (1986)
4. C.K.Lau and R.D.Davies, IEDM. Dec., 714 (1982)
5. C.M.Osburn, T.Brat and D.Sharma, J.Electrochem. Soc., vol 135, NO.6, 1490 (1988)
6. S.P.Muraka, Silicides for VLSI Application, pp 14 - 23 (1983)
7. J.Hul and S.Wong, Electron Device Letters, vol EDL-6, NO.9, 479 (1985)
8. Roy.L.Maddox, Electron Devices, vol ED-32, NO.3, 682 (1985)
9. T.P.Chow, W.Katz and G.Smith, Appl.Phys.Lett.,vol 46, 41 (1985)
10. R.Beyers and Paul Merchant, J.Appl.Phys.,vol 6(11), 5110 (1987)
11. H.K.Park and G.Lehman, J.Vac.Sci.Technol,A2(2), 264 (1984)
12. M.A.Taubenblatt and C.R.Helms, J.Appl.Phys., 53, 6308 (1982)
13. Takeo Madeda, Takeo Nakayama and Junichi Matsunaga, Electron Devices, ED-34, NO.3, 599 (1987)



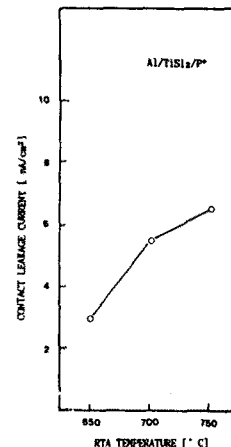
<그림 2> P<sup>+</sup> contact 저항의 RTA 온도 의존성



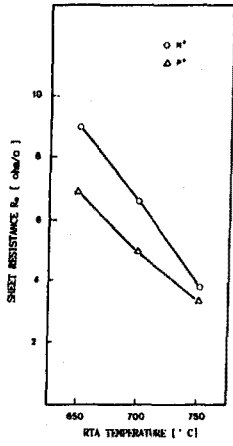
<그림 3> N<sup>+</sup> Contact Leakage Current 의 RTA 온도 의존성



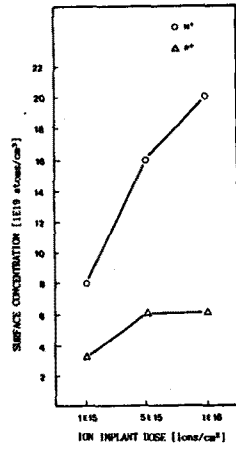
<그림 1> N<sup>+</sup> contact 저항의 RTA 온도 의존성



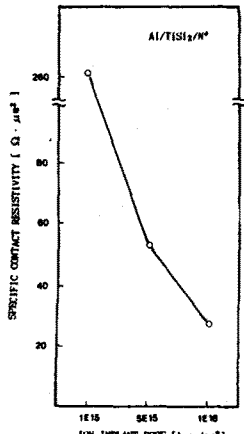
<그림 4> P<sup>+</sup> Contact Leakage Current 의 RTA 온도 의존성



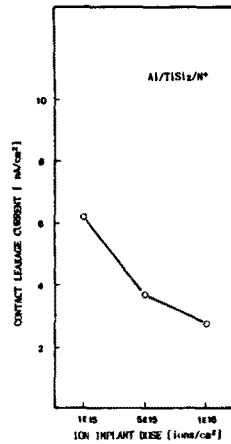
<그림 5> N<sup>+</sup> Junction 과 P<sup>+</sup> Junction 위에 형성시킨 TiSi<sub>2</sub>의 인저널 길에 대한 RTA 온도의존성



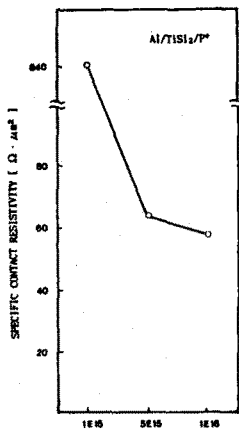
<그림 6> 이온주입 농도에 따른 실리콘 기반에서의 불순물 표면농도 의존성



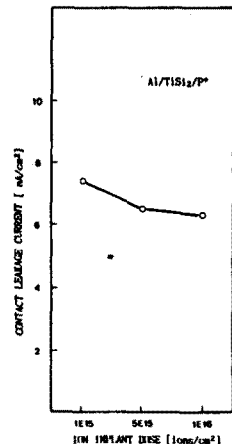
<그림 8> N<sup>+</sup> Contact 저항에 대한 기판 불순물 농도 의존성



<그림 9> N<sup>+</sup> Contact Leakage Current 의 기판 불순물 농도 의존성



<그림 7> P<sup>+</sup> Contact 저항에 대한 기판 불순물 농도 의존성



<그림 10> P<sup>+</sup> Contact Leakage Current 의 기판 불순물 농도 의존성