

# 플라즈마 이온주입 후 RTP 열처리 온도와 시간에 따른 접촉저항 특성

최장훈, 도승우, 이용현

경북대학교 전자전기컴퓨터공학부

## Characteristics of Contact resistivity on RTP annealing temperature and time after Plasma ion implant

Jang-Hun Choi, Seung-Woo Do, Yong-Hyun Lee

**Abstract :** In this paper, plasma ion implant is performed with PH<sub>3</sub> gas diluted by helium gas on P-type Si wafer (100). Spike Rapid Thermal Processing(RTP) annealing performed for 30~60 sec from 800 °C to 1000 °C in N<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> ambient. Crystalline defect is analyzed by Transmission Electron Microscope(TEM) and Double crystal X-ray Diffraction(DXRD). Contact resistivity( $\rho_c$ ), contact resistance( $R_c$ ) and sheet resistance( $R_s$ ) are analyzed by measuring Transfer Length Method(TLM) using 4155C analysis. As annealing temperature increase,  $R_s$  decrease and  $\rho_c$  and  $R_c$  increase at temperature higher than 850 °C. We achieve low  $R_s$ ,  $\rho_c$  and  $R_c$  with Plasma ion implant and spike RTP.

**Key Words :** Plasma doping, Contact resistivity, Sheet resistance, Transmission Electron Microscope(TLM)

### 1. 서론

CMOS 소자를 소형화 하고 성능과 신뢰도를 향상시키기 위해서는 짧은 채널 효과와 펀치스루 현상을 줄이기 위해 Shallow junction을 형성하고, off-current와 게이트 유전체에서의 터널링 전류를 감소해야 한다[1]. 또한 on-current를 증가시키기 위해 source/drain 영역의 저항과 접촉저항의 기생저항과 기생커패시턴스를 줄이기 위해서는 source/drain 영역에 낮은 에너지에서 고농도의 도핑이 필요하다. 하지만 전통적인 이온 빔 임플란터는 에너지의 감소로 인한 기판의 손상으로 누설전류가 증가하고 낮은 처리량을 가진다[2-3]. 반면 플라즈마 이온주입 기술은 낮은 에너지에서 고농도 도핑이 가능하고, 시스템의 간소화, 낮은 비용, 그리고 높은 처리량 때문에 넓게 사용되어지고 있다[4].

본 논문에서는 플라즈마 이온주입 후 N<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>의 혼합분위기에서 spike RTP 열처리 동안 온도와 시간에 따른  $R_s$ ,  $R_c$ 와  $\rho_c$ 를 분석하였다.

### 2. 실험

p-type(100) 실리콘 웨이퍼를 RCA 세정 후 native oxide를 제거하고 SiO<sub>2</sub>는 1000 °C에서 150분 동안 습식산화로 5000 Å 성장하였다. 플라즈마는 90%의 He 가스로 희석된 PH<sub>3</sub> 소스를 이용하여 10 mTorr의 압력에서 200 W의 RF 파워에 의해 생성되었고, 이온주입은 -1 KV의 DC 바이어스에 의해 60초 동안 실행하였다. 이온주입 후 열처리는 N<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub> 혼합분위기에서 spike RTP에 의해 800~1000 °C에서 30~60 초 동안 수행하였다. 열처리 공정 후 metal sputter를 이용하여 알루미늄을 2000 Å 증착하였다. 이온주입 후 실리콘 표면의 결정 결함을 분석하기 위

해 투과전자현미경(TEM)을 통해 분석하였고, 보다 정확한 분석을 위하여 쌍결정회절분석(DXRD)을 이용하였다.  $R_s$ ,  $R_c$ 와  $\rho_c$ 를 분석하기 위하여 HP-4155를 사용하여 Transfer Length Method(TLM) 패턴의 저항을 측정하였다.

### 3. 결과 및 검토

플라즈마 이온주입 후에 as-doped 상태와 spike RTP에 의해 열처리 된 후의 실리콘 표면의 투과전자현미경(TEM)으로 분석하였다. 두 경우 모두 표면에 결함이 보이지 않지만 보다 정확한 표면의 결정 결함을 보기 위하여 쌍결정회절분석(DXRD) 사용하여 분석하였다.

쌍결정회절분석(DXRD)의 분석 결과 플라즈마 이온주입 후 as-doped된 기판은 bare Si보다 peak가 낮아지고 폭이 넓어졌다. 이것은 이온주입 후 Si에 결정결함이 일어났음을 의미한다. RTP 열처리 된 기판은 peak가 높아지고 폭이 좁아짐으로써 결정 결함이 좋아짐을 알 수 있다.

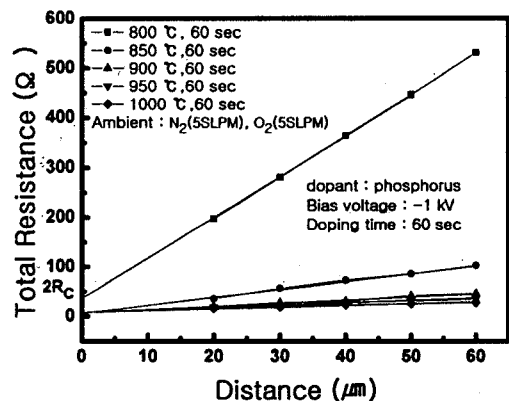


그림 1. 800 °C ~ 1000 °C  $R_s$ ,  $R_c$ 와  $\rho_c$ 를 구하기 위한 TLM 패턴 측정

Rs, Rc와 pc는 접촉면적은 100  $\mu\text{m}$ 의 길이와 폭 360  $\mu\text{m}$ 를 가지는 TLM 패턴을 사용하여 측정하였다.

그림 1은 N<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub> 혼합분위기에서 60 초 동안 spike RTP 열처리 동안 온도 변화에 따른 TLM 패턴의 저항 값을 측정한 것이다. Rs는 직선의 기울기로부터  $\text{slope} = (pc / Rs)^{1/2}$  를 이용하여 구하고 식  $R_T = (Rs / d) / Z + 2R_c$  로부터 Rc 값을 추출했다. Transfer Length로 정의된  $L_T = (pc / Rc)^{1/2}$  로부터 pc 값을 추출하였다.

표 1. 800  $^{\circ}\text{C}$  ~ 1000  $^{\circ}\text{C}$  온도 변화에 따른 저항 특성

Temp.	Rs( $\Omega/\square$ )	Rc( $\Omega$ )	pc( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )
800	3041.68	14.59	9.088E-5
850	603.64	1.58	5.38E-6
900	236.24	3.34	6.14E-5
950	141.94	5.47	2.74E-4
1000	105.98	5.20	3.31E-4

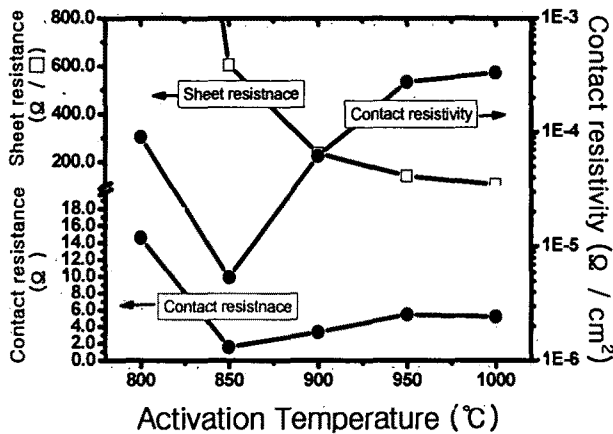


그림 2. N<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub> 혼합분위기에서 60 초 동안 800  $^{\circ}\text{C}$  ~ 1000  $^{\circ}\text{C}$  spike RTP 열처리 된 저항 특성

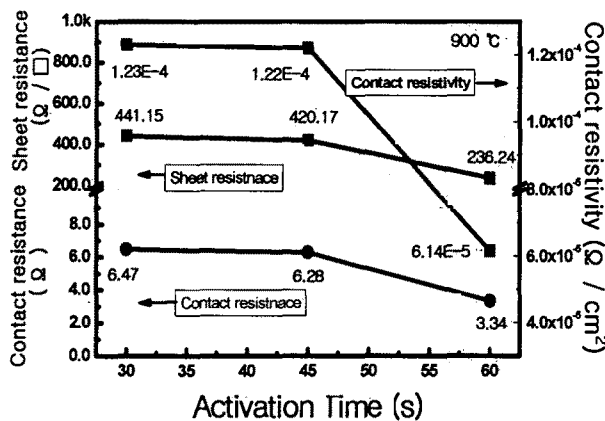


그림 3. N<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub> 혼합분위기에서 900  $^{\circ}\text{C}$  spike RTP 열처리 시간의 변화에 따른 저항 특성

표 1과 그림 2는 N<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub> 혼합분위기에서 60 초 동안 800  $^{\circ}\text{C}$  ~ 1000  $^{\circ}\text{C}$  spike RTP에 의해 열처리 된 저항 특성

을 나타낸다. Spike RTP의 열처리 온도가 800  $^{\circ}\text{C}$ 에서는 플라즈마 이온주입에 의하여 생성된 실리콘 표면의 결정 결함을 복원하지만 dopant가 충분히 활성화 일어나지 못하여 매우 큰 Rs 값을 갖는다. Spike RTP의 온도가 850  $^{\circ}\text{C}$  이상 증가하면 실리콘 표면의 결정결함 복원과 dopant가 활성화가 일어나서 낮은 Rc, pc 와 Rs의 값을 갖는다. 850  $^{\circ}\text{C}$ 에서 Rc와 pc의 값은 각각 1.58  $\Omega$ 과 5.38E-6  $\Omega \cdot \text{cm}^2$ 로 가장 낮은 저항 값을 갖지만 Rs는 603.64  $\Omega/\square$ 로 높은 값을 가진다. 열처리 온도가 올라 갈수록 dopant가 활성화 되어 Rs는 점점 작아지지만 Rc와 pc의 값은 점점 증가를 한다.

그림 3은 N<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub> 혼합분위기에서 spike RTP 열처리 온도 900  $^{\circ}\text{C}$ 에서 시간의 변화에 따른 저항 특성을 나타낸다. 900  $^{\circ}\text{C}$ 에서 열처리 시간이 45 초 이하로 감소하면서 Rc, pc와 Rs의 값이 60 초의 열처리 시간보다 높아졌다. 이는 열처리 시간이 감소하면서 dopant의 활성화가 충분히 일어나지 않았다. 900  $^{\circ}\text{C}$ 에서 60 초 동안의 spike RTP 열처리에서 Rs, Rc와 pc는 각각 236.24  $\Omega/\square$ , 3.34  $\Omega$ , 6.14E-5  $\Omega \cdot \text{cm}^2$ 을 가진다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 source/drain 영역의 pc, Rc와 Rs를 줄이기 위하여 낮은 에너지에서 도핑이 가능한 플라즈마 이온주입 기술을 사용하였다. 플라즈마 이온주입 후 산소와 질소 분위기에서 spike RTP 열처리 시 온도와 시간의 변화에 따른 Rs, Rc와 pc를 TLM 패턴을 이용하여 분석하였다. 온도가 850  $^{\circ}\text{C}$ 보다 증가하면 Rs는 낮아지지만 Rc와 pc는 증가한다. 850  $^{\circ}\text{C}$ 에서 Rc와 pc 가장 낮은 저항을 가진다. 900  $^{\circ}\text{C}$ 로 온도를 고정하고 시간 변화 시 60 초보다 30와 45 초에서 Rc, pc와 Rs가 크다. 이는 dopant의 활성화가 충분히 일어나지 않았기 때문이다. 플라즈마 이온주입과 spike RTP를 사용하여 낮은 Rc, pc와 Rs를 얻는 것이 가능하다.

#### 참고 문헌

- [1] Lu, C.-Y. Sung, J.J Liu, R. Tsai, N.-S. Sing, R. Hillenius, S.J. Kirsch, H.C. IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES Vol. 38, NO. 2, FEBRUARY 1991.
- [2] Koyanagi, M: 1th IWJT, Makuhari, Japan, 2000, pp. 1-6.
- [3] S. Qin, MCTeer, Y. J. Hu, L. J. Liu, D. panda, and J. Trivedi, in Proc. 8th IWJT, Shanghai, china, May 15 - 16, 2008, pp. 8-13.
- [4] S.B. Flench, Z. Fang, B.-W. Koo, R.B. Liebert, S.R. Wather, D. Hacker, Surface and Coatings Technology, Vol 156, 1 July 2002, pp. 229. 236