

## 실리콘 웨이퍼 공정스텝에서 FTIR에 의한 산소의 측정

°김 동 수(金 東 秀), 정 원 채(鄭 遠 采)

경기대학교 전자공학과

전화 : (0331) 249-9795 / 팩스 : (0331) 249-9796

### Measurement of Oxygen by FTIR in Silicon wafer process steps

Dong Soo Kim, Won chae Jung

Department of Electronic Engineering, Kyonggi University

E-mail : °semicon@kuic.kyonggi.ac.kr

wcjung@kuic.kyonggi.ac.kr

#### Abstract

In this paper, we have measured the oxygen contents by FTIR in silicon wafer various process technology(slicing, lapping, polishing). The measured data are also compared with the data of etching process(KOH, Bright etching). Also we have measured the surface morphology in backside silicon wafer after etching treatment and etch pit density due to OISF after 4 step high temperature annealing process with optical microscope.

사이에 끼워진 위치(interstitial site)에 존재하게 된다. 단결정성장시 도가니 높이와 회전수를 조절함으로써 특히 산소의 양을 조절할 수가 있다.[1,2,3] 본 연구에서는 단결정 성장된 인곳(ingot)을 자르고(slicing), 연마(lapping), 에칭(etching), 광택(polishing)등 여러공정 조건하[4]에서 산소의 양을 FTIR(Fourier Transform Infrared spectrophotometer)를 이용하여 측정하여 서로 비교하였다. 측정 후 카본의 양은 산소와 비교할 때에 상대적으로 너무 적기 때문에 본 연구에서는 나타내지 않았다. 특히 산소는 후속열처리공정에 의해서 OISF(Oxidation Induced Stacking Fault)로 나타나서 소자제작시 매우 나쁜 영향을 주게된다.

#### I. 서론

단결정실리콘 쇼크랄스키 결정성장방법에서 석영도가니와 그래파이트 히터로 구성된 단결정성장 장치내에서 폴리실리콘 자체는 카본(carbon)의 양이 매우 낮다. 그러나 여러차례의 폴리실리콘 적재시 공기나 습기는 CO를 형성하여 용해된 실리콘속으로 용해되어 도가니속으로 스며들어가게 된다. 석영도가니와 그래파이트 홀드(holder) 사이에서 CO가 유리되어진다. 이러한 카본은 실리콘에 대체위치(substitutional site)에 존재하여 전기적으로 활성화하지 못한(inactive) 상태가 되어 머물고 있고 산소(oxygen)는 석영도가니에서 도가니의 내부벽을 따라서 표면방향으로 이동하여 단결정성장시 원하지 않은 불순물로서 실리콘에서 실리콘원자들

#### II. 실험 및 측정

8" wafer의 결정성장 파라미터는 다음과 같다. Hot zone size는 18", seed 회전수는 18 rpm이고 석영도가니의 크기는 10" 이며 shoulder speed는 0.15 mm/min, gap은 20~40 mm, body pull speed는 0.6 이고 폴리실리콘 적재량(charge)은 55kg이다. 인곳(ingot)이 형성되면 인곳 body 냉각을 위해서 Ar개스를 25~30 lpm(Liter pro minute)로 장비내로 흘러보낸다. 단결정 인곳 성장시 ORG(oxygen radial gradient)에 의한 현상이 나타나는데, 이것은 wafer의 품질(quality)에 문제가 되고 있다. 단결정성장동

안에 나타나는  $O_i$ (interstitial Oxygen)는 interstitial Oxygen count를 나타낸다. 인곳을 자른(slicing) wafer, 연마시킨 wafer, polished wafer, oxide를 성장시킨 wafer에서 oxide를 stripping한 wafer를, 방향성을 가지는 KOH, 광택을 나타내는 Bright etching ( $HNO_3 : HF : CH_3COOH = 5 : 1 : 2$ )을 사용하여 에칭 후에 FTIR을 사용하여  $O_i$ 의 량을 측정하였다. FTIR은 적외선 파장의 광원을 조사하여 고유분자수가 IR의 파장과 일치할 때에 공진현상을 통하여 흡수가 나타나게 된다. FZ(Floating Zone) wafer로 설정(setting)한 다음 CZ(Czochralski) wafer를 측정하는 방법으로써, 산소 분포의 균일도를 나타내는 ORG를 측정할 수가 있다.

$$ORG[\%] = [\text{Average value(외부 4 points)} - \text{Center point value}] / \text{Center point value} \times 100\% \quad (1)$$

열적도너현상(Thermal Donor)은 450℃에서 열처리시에 p-type의 기판농도가 n-type으로 바뀌는 현상을 말하는데, 열적도너현상에 영향을 주는 요소는 기판불순물의 농도, 열처리온도, 시간등이 변수로 작용한다. 이 현상을 확인하는 실험순서는 우선적으로 실리콘기판의  $O_i$ 를 측정한다. 다음 450℃에서 1시간 또는 4시간의 열처리후에 ADE측정장치와 4단자 탐침법(Four point probe mapping)으로 비저항과 면저항( $R_s$ )를 측정한다. 이 경우 5" 크기의 두가지 p 타입의 웨이퍼를 사용하여 측정된 결과는 다음과 같다. FTIR측정은 옥사이드층이 있거나, 고농도 또는 비저항값이 너무 낮으면 파장에 따른 산소흡수계수를 얻기가 어렵기 때문에 측정이 불가능하게 된다.

### Sample 1

5" p-type wafer 두께: 620 $\mu$ m,  
 $\rho$  (ADE)=8.91 [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ],  
 $\rho$  (Four point probe)=9.075 [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]  
 $R_s$ (Mean)=146.4 [ $\Omega/\square$ ], Standard Deviation: 0.631%,  
 FTIR로 측정된 산소의 량[ $O_i$ ]=14.389 [ppma]  
 ( $7.195 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ),

$N_2$  분위기에서 1시간동안 450℃ 열처리후  
 $\rho$  (Four point probe)=9.245 [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ],  
 $R_s$ (Mean)=149.1 [ $\Omega/\square$ ], Standard Deviation: 0.7445%  
 FTIR로 측정된 산소의 량은[ $O_i$ ]=14.773 [ppma]를 나타내어 열처리후에 더 많은 산소가 석출됨을 확인할 수가 있었다.

### Sample 2

5" p-type wafer 두께: 621.8 $\mu$ m,  
 $\rho$  (ADE)=17.10 [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ],  
 $\rho$  (Four point probe)=17.63 [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]  
 $R_s$ (Mean)=283.6 [ $\Omega/\square$ ], Standard Deviation: 0.898%,  
 FTIR로 측정된 산소의 량[ $O_i$ ]=14.870 [ppma]  
 ( $7.435 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ )

$N_2$  분위기에서 4시간동안 450℃ 열처리후  
 $R_s$ (Mean)=580.7 [ $\Omega/\square$ ], Standard Deviation: 0.342%,  
 FTIR로 측정된 산소의 량은[ $O_i$ ]=15.214 [ppma]를 나타내어 열처리후에 더 많은 산소가 석출됨을 확인할 수가 있었다.

위의 두 가지 p-type의 샘플측정을 통하여 (O-I) 센터에 변위가 전혀 없는 실리콘에서 더 많은 산소가 석출되어 대체위치(substitutional site)에 존재하는 붕소의 점차적인 손실로 인한 결과로 판정된다. 더 장시간의 열처리를 수행하면 산소의 석출량이 더 증가하여 p-type에서 n-type으로 바뀌게 된다.

일반적으로 초기에 원자들사이에 끼워진(interstitial) 산소량을 [ $O_i$ ]<sub>o</sub> 라고 하고 열처리후의 산소량은 [ $O_i$ ]<sub>f</sub>로 나타내면 석출된 산소량  $\Delta[O_i]$ 은 다음의 수식으로 나타내어진다.

$$\Delta[O_i] = [O_i]_o - [O_i]_f \quad (2)$$

원자들사이에 끼워진(interstitial) 산소량(ppma=part per million atomic)은 농도로 변환 될 수가 있다.

$$[O_i] = f_c \cdot \alpha_{03} (\times 10^{17} \text{cm}^{-3}) = 2f_c \cdot \alpha_{03} \text{ (ppma)} \quad (3)$$

여기서  $f_c$  는 변환인수이고  $\alpha_{03}$  는 다음의 수식으로 나타낼 수 있다.

$$\alpha_{03} = \ln(I_o/I)/x \quad (4)$$

여기에서 I는 흡수 peak에서 투과된 광선의 세기를,  $I_o$ 는 초기기준 광선의 세기를, x는 샘플(sample)의 두께(cm)를 나타낸다.

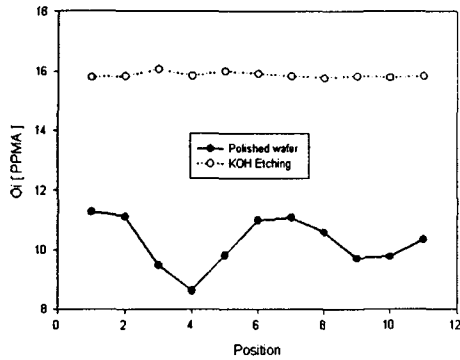


그림 1. Polished 와 KOH 에칭후의 wafer를 측정 한 값의 비교

그림1은 polished 와 KOH 에칭후의 wafer를 FTIR로 O<sub>1</sub>를 측정 한 값을 서로 비교한 그림으로 KOH 에칭후에 웨이퍼의 표면에 방향성을 가지는 결함 때문에 더 많은 산소가 석출됨을 확인할 수 있었다.

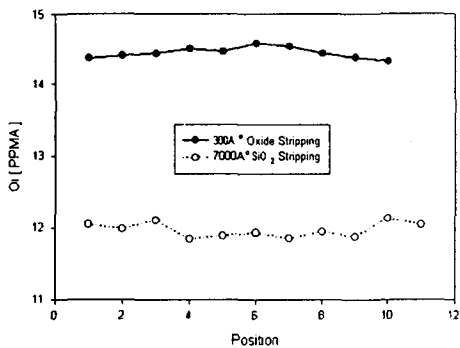


그림 2. 실리콘웨이퍼위에 각각 300Å, 7000Å의 옥사이드층을 각각 벗겨낸후의 산소량을 FTIR로 측정 한 결과

그림2에서는 7000Å의 옥사이드층을 벗겨낸 후의 웨이퍼가 300Å의 옥사이드층을 벗겨낸 경우보다 훨씬 더 적은 산소량을 나타냄을 관찰할 수 가 있었다. 이 이유는 옥사이드층의 성장을 위해서 열적인산화동안에 실리콘의 벌크(bulk) 내부로 더 깊이 옥사이드층이 잠식하여, 표면에 더 많이 나타나는 산소의 량을 줄였다고 사료된다.

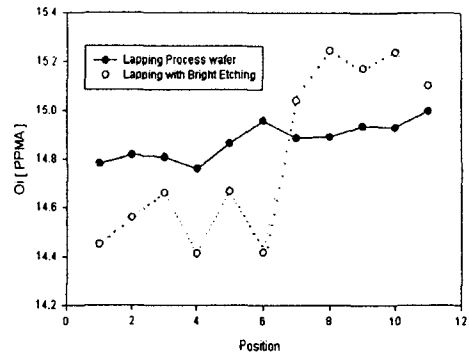


그림 3. Wafer를 연마한 경우와 연마와 함께 Bright etching을 한 경우의 산소량 비교

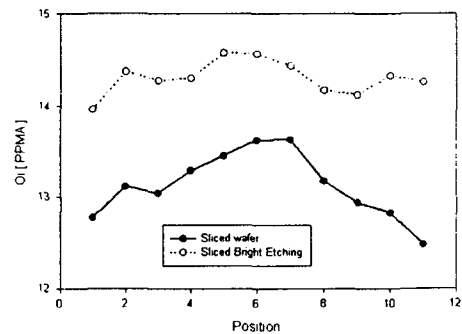


그림 4. Sliced wafer와 자른 후(Sliced) Bright etching 한 경우 산소량을 측정 한 경우

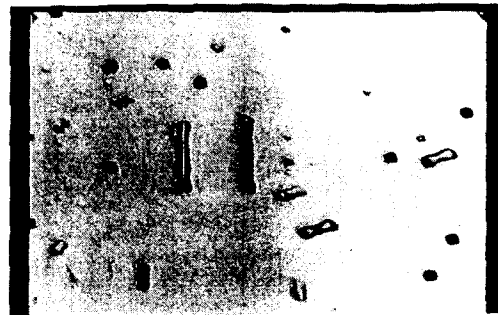


그림 5. 4 단계 열처리(4 step thermal cycle)후에 5분 간 wright 에칭후의 8" EPD와 OISF의 측정결과

그림 3과 4는 연마(lapping) 및 자른(slicing) 웨이퍼를 Bright etching 한 경우와 비교하기 위해서 FTIR로 산소의 량을 각각 측정하여 서로 비교하여 그림으로 나타내었다. Wright etching( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  in 60ml  $\text{H}_2\text{O}$  (deionized) + 60ml 48% HF + 30ml 69%  $\text{HNO}_3$  + 30ml 5M  $\text{CrO}_3$  (1 gr  $\text{CrO}_3/2$  ml  $\text{H}_2\text{O}$ ) + 60ml Hac(Acetic acid-glacial)) 에서 웨이퍼의 표면은 흐리지 않으며, 식각비는 대체로 30초에서 0.5~1  $\mu\text{m}$ 정도가 된다.

그림 5는 wright 에칭후 4단계의 열처리( $900^\circ\text{C} + 1150^\circ\text{C} + 750^\circ\text{C} + 1050^\circ\text{C}$ )에서 산소와 질소가스 분위기에서 열처리한 후에 광학현미경으로 측정된 그림이다. 그림에서 작은 원은 etch pit이고 긴막대 모양은 OISF(oxidation induced stacking faults)를 나타낸다.

### III. 결론

본 연구에서는 초크랄스키(CZ) 단결정실리콘 성장에서 발생하는 산소의 량(oxygen counts)을 여러 반도체 가공공정기술(slicing, lapping, polishing, oxide layer stripping)에서 wafer의 산소량 및 에칭(etching)공정(KOH, Bright etching) 후에 표면의 결함에 따른 산소의 량을 FTIR 측정법으로 측정하여 데이터를 서로 비교하였으며, 에칭후의 웨이퍼의 후면과 4 단계 열처리를 통한후의 에칭에 따른 움푹하게 파인 밀도(etch pit density)를 광학현미경으로 관찰하였다. 이 결과는 실리콘단결정성장 및 가공기술에서 산소의 석출량을 제어하고 OISF, ORG 열에 기인한 도너(thermal donor effect)현상등을 파악하는데 중요한 데이터가 되리라고 사료된다.

### 참고문헌

- [1] Subash Mahajan, K.S. Sree Harsha, "Principles of Growth and Processing of Semiconductors", McGRAW-Hill, 1999
- [2] Kenneth A. Jackson, "Silicon Devices: Structures and Processing", Wiley-VCH, 1998
- [3] Badih El-Kareh, "Fundamentals of Semiconductor or Processing Technology", Kluwer Academic Publishers, 1995
- [4] Fumio Shimura, "Semiconductor Silicon Crystal Technology", Academic Press, Inc. 1989

Process value	Mean[PPMA]	Standard deviation [%]
300 Å oxide stripping	14.4429	0.0765
7000 Å oxide stripping	11.9671	0.1003
KOH Etching	15.8651	0.0931
Polished wafer	10.2343	0.8759
Lapping with Bright Etching	14.8149	0.3439
Lapping process wafer	14.0740	0.0759
Sliced Bright Etching	14.3116	0.1817
Sliced wafer	13.1225	0.3618

표 1. 여러공정조건후에 산소량을 FTIR로 측정한 데이터