

# 초기 산소 농도가 고에너지 이온 주입시 발생하는 산소 축적 및 불순물 확산에 미치는 영향

## (Effects of Initial Oxygen Concentration on Oxygen Pileup and the Diffusion of Impurities after High-energy Ion Implantation)

高奉均\*, 郭桂達\*

(Bong-Gyun Ko and Kae-Dal Kwack)

### 요 약

본 논문에서는 초기 산소 농도가 고에너지 이온 주입시 결정 격자 손상에 의해 발생하는 산소 축적 (pileup) 현상 및 주입된 불순물의 확산에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였다. 초기 산소 농도가 11.5, 15.5 ppma인 p-type (100) 실리콘 웨이퍼에  $^{11}\text{B}^+$  과  $^{31}\text{P}^+$  이온을 각각 1.2 MeV, 2.2 MeV의 에너지로  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  주입하고, 700°C(20시간)+1000°C(10시간)의 2단계 열처리를 거친 후 주입된 불순물 및 산소 농도의 분포를 이차이온질량분석기(Secondary Ion Mass Spectrometry, SIMS)로 관찰하였으며 잔류 2차 결함의 분포는 투과전자현미경(Transmission Electron Microscopy, TEM)으로 관찰하였다. SIMS 측정 결과 산소의 축적이  $R_p$ (projected range) 부근에서 관찰되었으며 열처리 후에도 상당한 양의 2차 결함 때가  $R_p$  부근에서 관찰되는 것으로 보아 2차 결함에 의해 산소가 포획되었음을 알 수 있다. 또한 붕소와 인의 확산은 웨이퍼의 초기 산소 농도가 클수록 벌크 방향으로의 확산이 증대되는 현상을 볼 수 있었다.

### Abstract

In this paper, we have investigated experimentally the effects of initial oxygen concentration on oxygen pileup phenomenon and the diffusion of implanted impurities. 1.2 MeV  $^{11}\text{B}^+$  and 2.2 MeV  $^{31}\text{P}^+$  ions were implanted into p-type (100) Si wafers with a dose of  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ . Secondary ion mass spectrometry(SIMS) measurements were carried out to obtain depth distribution profiles for implanted impurities and oxygen atoms after two-step annealing of 700°C(20 hours)+1000°C(10 hours). Residual secondary defect distribution and annealing behaviour were also studied by cross-sectional transmission electron microscopy(TEM) observations. Oxygen pileup nearby  $R_p$  (projected range) were observed by SIMS measurements and considerable amount of residual secondary defect layer were observed by TEM observations. It can be seen that oxygen atoms are trapped at the secondary defects by the experimental results. Enhanced diffusions of boron and phosphorus to the bulk direction were observed with the increasing of initial oxygen concentration.

\* 正會員, 漢陽大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering, Hanyang Univ.)

接受日字:1999年1月27日, 수정완료일:1999年3月25日

### I. 서 론

MeV 범위의 고에너지 이온 주입은 실리콘 공정에 있어서 여러 가지로 응용되고 있다. 바이폴라 공정의

경우 도전성 매립층(buried layer)을 형성하기도 하며, SOI(Silicon On Insulator)와 같이 실리콘 기판 중간에 산화막을 형성하는데 이용되기도 한다. 또한, CMOS 공정에서 역경사 우물(retrograde well)의 형성에 응용되고 있다. CMOS 기술에 있어서 well 공정은 필수 불가결한 공정이지만, 기존의 well 공정은 장시간 고온 열처리를 필요로 하기 때문에 원치 않는 수평 방향으로의 확산등으로 인해 집적도의 감소등 여러 가지 문제점을 내포하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 고에너지 이온 주입에 의한 역경사 우물의 형성이 그 대안으로 활발히 연구되고 있다. 역경사 우물을 형성함으로써 낮은 온도에서의 열처리가 가능해질 뿐 아니라 래치업 방지와 더불어 알파 입자에 의한 soft error rate(SER) 개선, 펀치쓰루(punchthrough) 방지, 문턱 전압(threshold voltage) 조절의 용이 등 여러 가지 잇점을 갖고 있다.<sup>[1]</sup> 그러나 고에너지 주입으로 인하여 결정 결함이 많이 생성되고 이로 인해 projected range( $R_p$ ) 부근에 2차 결함 및 산소 석출 발생의 문제점을 갖고 있다.<sup>[2-5]</sup> 또 다른 응용 분야로, 이렇게 생성된 결함들을 이용한 “매립 게터링 층(buried gettering layer)”을 형성하고자 하는 것이다.<sup>[6-8]</sup> 이러한 게터링 층에 의해서 불필요한 불순물들은 이온 주입시에 생성된 결정 결함과 화학적 상호 작용에 의해 포획되어진다. 이러한 게터링의 효과의 한 예로, MeV 범위의 에너지로 실리콘 원자를  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 로 이온 주입한 후 900°C로 어닐링한 웨이퍼위에 제작된 다이오드의 누설 전류가 감소하였다.<sup>[9]</sup>

더불어 CZ(Czochralski) 방법으로 성장된 실리콘 결정에는 결정 성장시 석영로(silica crucible)로부터 함유된 산소 원자가 상당히 많이( $10^{17} \sim 10^{18}/\text{cm}^3$ ) 존재하고 있으며 공정에 있어서 중요한 여러 가지 역할을 하게 된다. 이때의 산소 농도는 일반적인 VLSI/ULSI 공정시 인가되는 온도에서의 용해도보다 훨씬 높게 되어 과포화 상태로 존재하게 된다. 이 산소 원자들은 일반적으로 격자간 원자(interstitial)로 존재하게 되며 용질 핀 효과(solute pinning effect)에 의해 고온에서의 실리콘 결정의 기계적 강도를 높혀준다. 또한 산소의 과포화 상태는 여러 가지 형태의 실리콘 산화물( $\text{SiO}_x$ )을 유발하게 되는데 이를 산소 석출물이라고 한다. 이러한 산소 석출물들은 게터링 위치로 작용하여 금속 불순물들을 없애주지만 소자가 형

성되는 영역, 즉 표면 부근에서 산소 석출물들은 결합으로 작용하여 소자의 성능을 저하시키거나 마비시킨다.

본 논문에서는 이온 주입에 의한 결함과 산소의 상호 작용 및 불순물과의 관계에 초점을 두고 있다. 이온 주입된 실리콘 웨이퍼를 고온 열처리하면 산소가 벌크에서 표면으로 즉 외부로 확산되면서 이온 주입층과 만나 상호 작용을 한다. 그 결과로  $R_p$  부근에 2차 결함을 형성하면서 산소가 축적되는 현상을 볼 수가 있다.<sup>[7] [8]</sup>

현재까지 2차 결함과 산소의 상호 작용 현상은 많이 발표되었지만 이에 대한 정확한 메카니즘은 아직까지 규명되지 못하였다. 따라서 산소 축적 현상에 대한 메카니즘을 심층적으로 연구할 필요가 있다. 또한 초기 산소 농도가 불순물의 확산에 미치는 영향은 거의 보고된 바가 없다.

본 연구에서는 초기 격자간 산소 농도가 2차 결함의 형성 및 거동에 미치는 영향과 이온 주입된 불순물의 확산에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하고 분석하는데 중점을 두었다.

## II. 실험 및 측정 방법

본 실험에서는 CZ 방법으로 제조된 p-type (100) 실리콘 웨이퍼로 비저항이  $4 \sim 12 \Omega\text{cm}$ 이고 FTIR(Fourier Transform Infrared)로 측정된 격자간(interstitial) 초기 산소 농도가 11.5 ppma, 15.5 ppma인 두가지 웨이퍼를 사용하였다. 여기에  $^{11}\text{B}^+$ 과  $^{31}\text{P}^+$ 이온을 각각 1.2MeV, 2.2MeV의 에너지로  $1.0 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 을 상온에서  $8^\circ$  경사로 이온 주입하였으며 이때 전류는 113~134  $\mu\text{A}$  범위였다. 1차 열처리는 700°C에서 20시간 동안 질소 가스 분위기에서 실시하였고, 2차 열처리는 1000°C에서 10시간 동안 질소 가스 분위기에서 실시하였다. 이온 주입에 따른 열처리 후의 주입된 불순물 및 산소의 농도 분포를 알아보기 위하여 SIMS(Secondary Ion Mass Spectrometry)로 분석을 하였다.

불소의 경우  $\text{O}_2^+$ 이온을 주이온(primary ion)으로 하여 15 kV로 스퍼터링하고 질량 분석하여 카운트하였다. 이때 전류는 0.5  $\mu\text{A}$ 이었다. 인의 경우  $\text{Cs}^+$ 이온을 주이온으로 하여 10 kV, 0.6  $\mu\text{A}$ 으로 스퍼터링

하였다. 산소의 경우 Cs<sup>+</sup>이온을 10 kV, 0.6 μA로 스퍼터링하였다. 2단계 열처리 후의 잔류 2차 결합을 관찰하기 위하여 투과 전자 현미경(TEM)을 이용하여 분석하였다. 또한 벌크에서 일어나는 산소 석출을 관찰하기 위하여 웨이퍼를 2° 30'의 경사도로 베벨링(beveling)을 하고 secco 에칭액으로 2분간 식각을 한 후 광학 현미경(400배)으로 관찰하였다. 그림 1에 본 연구의 실험 진행 과정을 도시하였다.

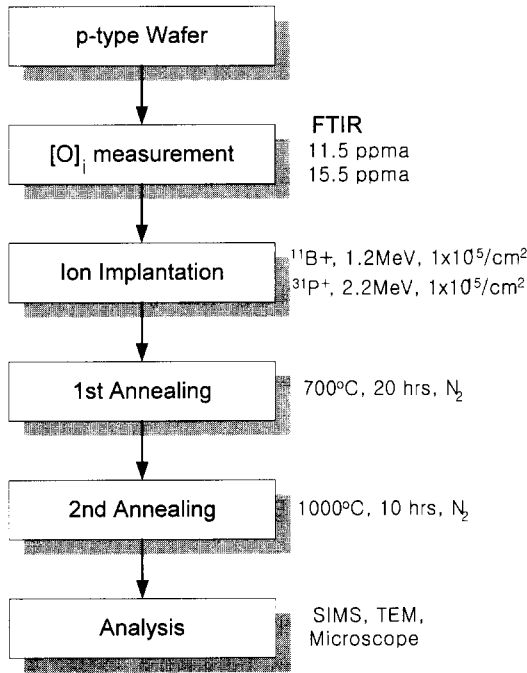


그림 1. 실험 순서도  
Fig. 1. Flow chart of experiment.

### III. 측정 결과 및 검토

#### 1. 산소의 축적 현상

그림 2는 붕소를 주입하고 2단계 열처리를 거쳤을 때 산소 원자의 깊이에 따른 분포를 SIMS로 측정하여 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 이온 주입된 불순물의 R<sub>p</sub> 부근에 산소의 축적이 이루어 졌음을 알 수 있다. 몬테카를로 이온 주입 시뮬레이터인 TRIM(으로 계산된 R<sub>p</sub>는 약 1.8 μm이었다. 초기 격자간 산소 농도가 11.5 ppma인 경우 산소 원자의 피크치는 깊이가 약 1.5 μm에서 3.0×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>이였

고, 초기 격자간 산소농도가 15.5 ppma인 경우는 깊이가 약 2.0 μm인 위치에서 3.1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>를 나타내었다. 두 개의 서로 다른 초기 격자간 산소 농도에서 피크치는 거의 변하지 않았으나 피크의 위치가 이동하였음을 볼 수 있다.

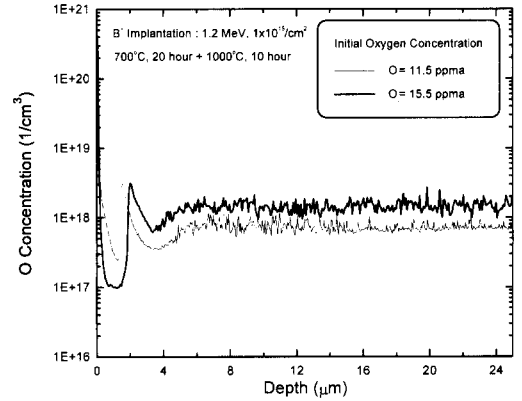


그림 2. 붕소 주입의 경우 SIMS로 측정된 깊이에 따른 산소 원자의 분포

Fig. 2. Depth distribution profiles of oxygen atoms by SIMS in the case of boron implantation.

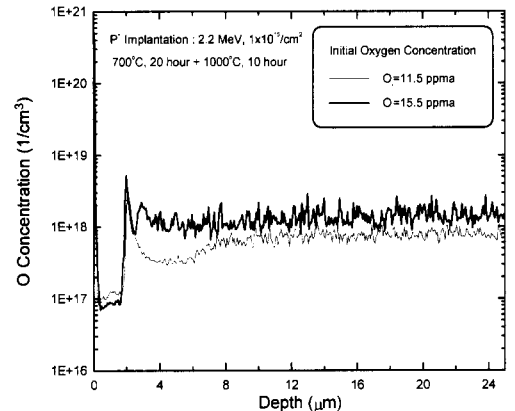


그림 3. 인 주입의 경우 SIMS로 측정된 깊이에 따른 산소 원자의 분포

Fig. 3. Depth distribution profiles of oxygen atoms by SIMS in the case of phosphorous implantation.

그림 3은 인을 주입한 경우 SIMS로 관찰된 산소 원자의 깊이에 따른 분포이다. 인을 이온 주입한 경우에도 이온 주입된 불순물의 R<sub>p</sub> 부근에서 산소의 축적이 이루어 졌음을 볼 수 있다. 이 경우에 TRIM으로 계산된 R<sub>p</sub>는 약 1.9μm이었다. 초기 격자간 산소 농도가 11.5 ppma의 경우 산소 원자의 피크치는 약 2.1

$\mu\text{m}$ 에서  $2.8 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  이었고, 15.5 ppma의 경우는  $2.1 \mu\text{m}$ 에서  $3.4 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 이었다. 붕소의 경우와는 다르게 피크의 위치는 변함이 없었으나 초기 격자간 산소 농도가 높은 경우 피크치가 커졌음을 볼 수 있다.

이와 같은 산소의 축적 현상은 이온 주입후 열처리 공정시 발생하는 2차 결함에 의한 포획 및 상호 작용에 의해 설명될 수 있다. 고에너지 이온 주입시 주입된 이온과 실리콘 격자의 충돌로 수많은 1차 결함(대부분 interstitial과 vacancy)이 발생하며 이 결함들은 열처리 과정에서 상당히 많은 부분이 재결합(I+V)하고 나머지는 2차 결함을 유발하게 된다. 따라서 1차 결함이 많이 발생하는 지역, 즉  $R_f$  부근에는 2차 결함층을 형성하게 된다. 또다른 2차 결함의 소스로써 비정질화된 층과 결정질의 경계면을 들 수가 있는데 이는 고에너지 이온 주입의 경우 임계치 이상의 도즈량으로 주입하게 되면 이온 주입되는 표면층 또는 일부층이 비정질화 되고 열처리에 의한 재결정 과정에서 비정질/결정 계면에서 스트레스가 발생하여 전위(dislocation) 및 환전위(dislocation loop)등이 발생하게 된다. 이러한 결함층은 열처리에 따라 특정한 거동을 하게 되는데, 지금까지의 발표된 실험결과들로 볼 때 대체로  $R_f$  보다 약간 깊은 곳에서 형성되며  $700 \sim 800^\circ\text{C}$  열처리에서 막대 모양(rodlike)의 결함과 환전위가 동시에 발생되고,  $1000^\circ\text{C}$  정도의 높은 온도에서 열처리 할 경우 막대 모양 결함은 사라지고 환전위만이 형성된다. 또한 열처리 시간이 길어질 수록 결함층의 폭(bandwidth)은 적어지나 장시간(100시간 이상) 열처리 하여도 완전히 없어지지는 않는다.<sup>[10]</sup> 또한 주입된 불순물 이온 종류에 따라 산소 축적 위치와 결함층의 위치가 서로 다른 연관성을 가진다. 다만 붕소와 인의 경우는 거의 일치한다고 보고 되었다.<sup>[12]</sup>

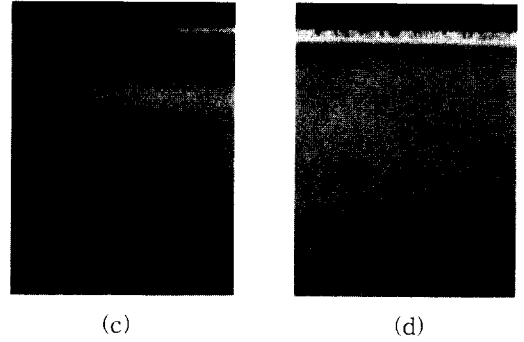
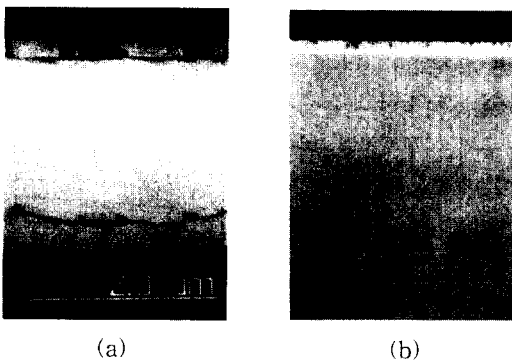


그림 4. 2단계 열처리 후의 TEM 단면 사진 (a)  $B^+$  주입,  $O_i=11.5$  ppma, (b)  $B^+$  주입,  $O_i=15.5$  ppma, (c)  $P^+$  주입,  $O_i=11.5$  ppma, (d)  $P^+$  주입,  $O_i=15.5$  ppma

Fig. 4. Cross-sectional TEM photographs after two-step annealing (a)  $B^+$  implantation,  $O_i=11.5$  ppma, (b)  $B^+$  implantation,  $O_i=15.5$  ppma (c)  $P^+$  implantation,  $O_i=11.5$  ppma, (d)  $P^+$  implantation,  $O_i=15.5$  ppma.

그림 4에서는 TEM으로 관찰된 깊이에 따른 2차 결함의 분포를 나타내었다. 그림 4(a)는 초기 격자간 산소 농도가 11.5 ppma인 웨이퍼에 붕소를 주입한 경우의 단면 사진으로, 2차 결함의 위치가 표면쪽으로 약간 이동하였음을 보여 주고 있다. 이것은 SIMS로 측정된 산소 원자의 축적 분포와 거의 일치하고 있다. 이것은 웨이퍼의 낮은 산소 농도 때문에 2차 결함 주에 산소 석출이 잘 일어나지 않음으로 인해서 환전위(dislocation loop)의 이동을 완전히 막지(locking) 못하는 것으로 보인다. 산소 농도가 전위의 이동에 미치는 영향은 이미 Sumino<sup>[12]</sup> 등에 의해서 연구되었는데, 산소는 전위에 의해 효과적으로 포획되고 전위의 주위에서 산소 석출물을 형성하여 전위의 이동을 막는 것으로 알려져 있다. 또한 그림 2에서 낮은 산소 농도에도 불구하고 높은 산소 농도일때와 피크치가 거의 같은 것은 다음과 같이 설명될 수 있다. 전위는 이동을 하면서 스스로 증배(multiplication) 과정을 거치게 되는데<sup>[13]</sup> 다음과 같은 간단한 수식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{dN}{dt} = K \tau_{eff} N v \tag{1}$$

여기서  $N$ 은 전위의 밀도를 나타내며,  $K$ 는 상수,  $\tau_{eff}$ 는 결정 격자의 저항을 극복하기 위한 유효 스트레스

(effective stress)이고  $v$ 는 전위의 이동 속도를 나타낸다. 따라서 이동을 하는 동안 전위의 밀도가 높아져 적은 산소 농도일지라도 많은 산소를 포획하게 된다고 할 수 있다.

그림 4(b)는 초기 격자간 산소 농도가 15.5 ppma의 경우의 2차 결함을 나타내고 있다. 11.5 ppma의 경우와 달리 약 2.1  $\mu\text{m}$ 에 2차 결함층이 형성되었음을 볼 수 있다. 그림 4(c)-(d)는 인을 주입하였을 때 깊이에 따른 2차 결함의 분포를 보여준다. 붕소 주입의 경우와 달리 같은 위치에 2차 결함층이 형성되었음을 알 수 있다. 이는 실제적으로 2차 결함에 산소 뿐만 아니라 주입된 불순물도 포획되게 되는데 붕소보다 질량이 큰 인이 포획됨으로써 전위의 이동이 제한 받는 것으로 보인다. 또한 이동이 거의 없으므로 그림 3에서 SIMS로 측정된 바와 같이 초기 격자간 산소 농도에 따라 포획된 산소의 양이 달라지게 된다. 또한 인-주입의 경우가 같은 조건의 붕소-주입의 경우보다 산소 축적의 피크치가 큰 것으로 볼 때, 2차 결함층에 산소가 축적되는 메커니즘은 단순히 석출이론에 의해서만 설명되지 않고 있다. 전위 주위에 산소석출이 일어나고 또한 전위 및 여타 결함에 산소 원자가 단순 포획되는 것으로 볼 수 있다. 인-주입의 경우 질량이 크기 때문에 이에 의한 손상이 더욱 크다고 할 수 있으므로 손상에 의한 결함에 더욱 많아지고 이에 포획되는 산소 원자의 양도 많아진다고 할 수 있다.

2. 불순물의 확산

그림 5는 SIMS로 측정된 깊이에 따른 붕소의 농도를 나타내었다. 초기 격자간 산소 농도를 달리 했을 경우,  $R_p$  이하 표면 근처에서의 붕소의 분포는 거의 일치하고 있으나  $R_p$  이후의 분포는 서로 다른 모양을 보여주고 있다. 초기 산소 농도가 15.5 ppma 일때가 11.5 ppma인 경우보다 확산이 증가되었음을 알 수 있다. 또한 그림 6에서도 비슷한 현상이 일어남을 볼 수 있다.

이와 같은 확산의 증가 현상은 산소 석출에 의한 격자간 실리콘 원자(silicon interstitial) [I]의 증가로 설명될 수 있다. 초기 산소 농도가 열처리 온도에서의 용해도보다 많은 과포화(supersaturation) 상태가 되면 산소 석출 현상이 일어나게 된다. 석출물 원자들의 구성비를 1:2( $\text{SiO}_2$ )로 가정한다면 한 개의  $\text{SiO}_2$ 를 형성하기 위하여 실리콘 매트릭스내의 단 한

개의 Si 원자가 필요하므로 약 125%의 체적이 부족하다.

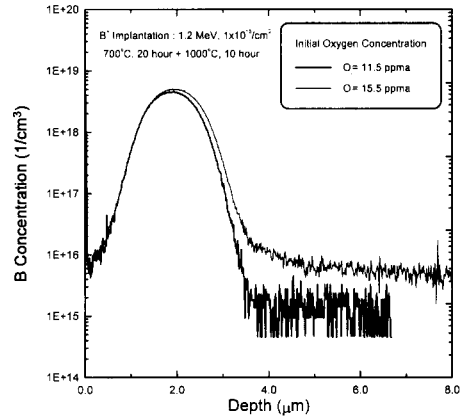


그림 5. 깊이에 따른 붕소의 농도 분포  
Fig. 5. Depth distribution profile of boron.

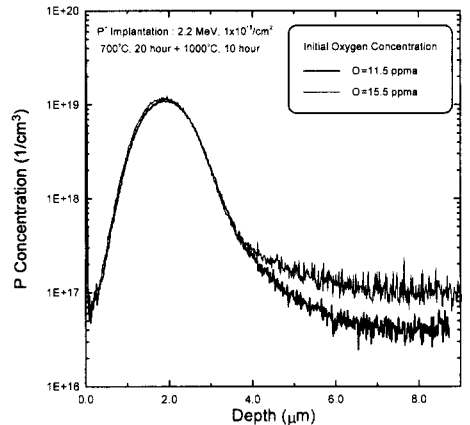
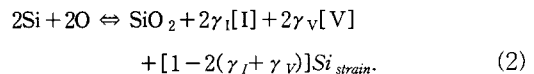


그림 6. 깊이에 따른 인의 농도 분포  
Fig. 6. Depth distribution profile of phosphorus.

이러한 체적 부족 때문에 석출물 주위의 매트릭스에 국부적인 변형(strain)이 발생하게 된다. 이러한 변형이 커지면 더 이상 석출물의 성장은 하지 못한다. 하지만 실제적으로는 이러한 변형이 일정한 메커니즘을 통해 감소되며 성장을 계속하게 된다. 이러한 변형의 감소는 [I]의 방출, 공위(vacancy) [V]의 흡수를 통해 이루어진다. 따라서 산소 석출 현상은 다음과 같이 나타낼 수 있다.<sup>[14-16]</sup>



여기서  $\gamma_i$ ,  $\gamma_v$ 는 산소 원자 한 개당 방출되는 [I]

의 수, 흡수되는 [V]의 수를 나타내고 (8)식의 마지막 항은 남은 변형을 나타낸다. 따라서 산소 석출의 증가는 [I]의 증가를 가져오게 된다.

도펀트 불순물의 확산은 점결함들, 즉 [I] 및 [V]와의 상호 작용을 통해서 이루어지며 이때 확산 계수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{D_A}{D_A^*} = f_{AI} \frac{C_I}{C_I^*} + f_{AV} \frac{C_V}{C_V^*} \quad (3)$$

여기서  $D_A$ 는 불순물 A의 확산 계수,  $D_A^*$ 는 A의 평형 상태 확산 계수,  $f_{AI}$ 는 불순물 A가 [I]를 통해서 이루어지는 확산의 비율,  $f_{AV}(=1-f_{AI})$ 는 [V]를 통해서 이루어지는 확산의 비율을 나타낸다. 또한  $C_I$ 는 [I]의 농도,  $C_I^*$ 는 [I]의 평형상태의 농도,  $C_V$ 는 [V]의 농도,  $C_V^*$ 는 [V]의 평형상태의 농도를 나타낸다. 붕소의 경우 1000°C에서의  $f_{AI}$ 값은 약 0.8이고 인의 경우 0.97이므로 대부분 [I]에 의해서 확산이 이루어짐을 알 수 있다. 따라서 [I]의 증가는 확산의 증가를 가져온다고 할 수 있다. 그러므로 산소 석출 현상의 증가는 불순물 확산을 증가시킨다.

그러나 그림 6의 경우에서 붕소의 경우(그림 5)와 다른 점이 발견되는데,  $R_f$  우측 경사면의 확산이 붕소의 경우와 달리 낮은 산소 농도와 차이가 나지 않는다는 것이다. 이것은 불순물의 종류가 산소 석출에 미치는 영향으로 설명될 수가 있다. 앞에서 설명한 산소 석출 현상은 도펀트 불순물에 영향을 받는다. 많은 불순물이 활성화(activation)되어 실리콘을 대신하여 격자 자리를 차지하게 되었을 경우 불순물의 반경에 따라 부정합(misfit)에 의한 스트레스의 정도가 달라지게 된다. 이때 실리콘보다 반경이 작은 붕소는 부정합을 감소시키게 되어 산소 석출을 증가하게 하고 실리콘보다 반경이 큰 인은 부정합을 증가시켜 산소 석출을 방해하게 된다. 따라서 인의 농도가 높은 영역에서는 산소 석출이 벌크에 비하여 감소하게 되고  $C_I/C_I^*$  또한 감소하여 확산이 감소하게 된다.

그림 7은 벌크에서의 산소 석출물 밀도를 광학 현미경으로 관찰한 사진을 나타내었다. 예상한 바와 같이 초기 산소 농도가 클수록 많은 산소 석출이 일어난다고 있음을 보여 주고 있다.

이러한 산소 석출이 웨이퍼에서 불규칙하게 일어남으로 인해서 그림 2와 그림3에서 나타난 것과 같이

SIMS로 관찰된 위치에 따른 산소 농도의 분포가 큰 변위를 가지며 맥동하면서 변하고 있음을 알 수 있다. 또한 산소 석출이 많을수록 변위량이 커짐을 볼 수 있다.

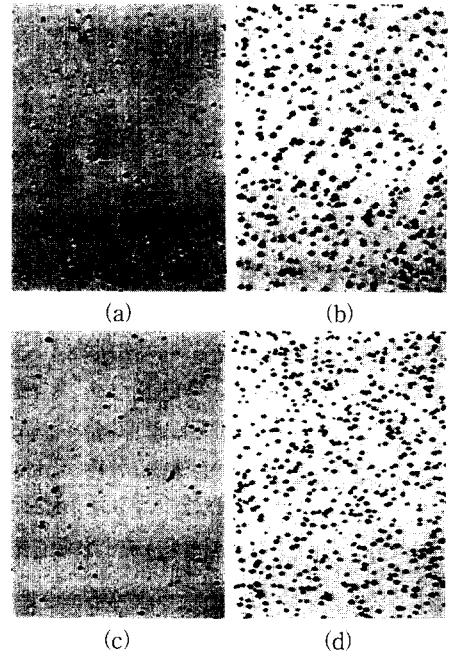


그림 7. 벌크에서의 산소 석출물의 분포 (a) B<sup>+</sup> 주입, O<sub>i</sub>=11.5 ppma, (b) B<sup>+</sup> 주입, O<sub>i</sub>=15.5 ppma, (c) P<sup>+</sup> 주입, O<sub>i</sub>=11.5 ppma, (d) P<sup>+</sup> 주입, O<sub>i</sub>=15.5 ppma

Fig. 7. Distribution of oxygen precipitates in the bulk (a) B<sup>+</sup> implantation, O<sub>i</sub>=11.5 ppma, (b) B<sup>+</sup> implantation, O<sub>i</sub>=15.5 ppma (c) P<sup>+</sup> implantation, O<sub>i</sub>=11.5 ppma, (d) P<sup>+</sup> implantation, O<sub>i</sub>=15.5 ppma.

## VI. 결 론

본 논문에서는 초기 격자간 산소 농도를 달리한 웨이퍼에 MeV 이상의 고에너지로 불순물을 주입하고 2단계 열처리를 거쳤을 때 산소 축적 현상 및 불순물의 확산에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였다. 초기 산소 농도가 11.5, 15.5 ppma인 p-type (100) 실리콘 웨이퍼에 <sup>11</sup>B<sup>+</sup>과 <sup>31</sup>P<sup>+</sup>이온을 각각 1.2 MeV, 2.2 MeV의 에너지로 1×10<sup>15</sup>/cm<sup>2</sup> 주입하고, 700°C(20시간)+1000°C(10시간)의 2단계 열처리를 거친 후 SIMS로 관찰된 산소 농도 분포로부터 R<sub>f</sub>부근에서 산소의

축적(pileup)이 일어남을 볼 수 있었다. 붕소의 경우 낮은 산소 농도일때 산소의 축적 위치가 표면쪽으로 이동하였다. 이것은 산소가 2차 결함을 형성하고 있는 전위(dislocation)들을 locking하고 있음을 반증하고 있는 것이다. 인의 경우는 산소의 축적 위치가 변하지 않는데 이것은 도펀트 불순물이 2차 결함에 포획되고 불순물 질량이 2차 결함의 이동에 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 또한 SIMS로 관찰된 도펀트 불순물의 농도 분포로부터 벡크 방향으로의 확산이 증가됨을 알 수 있다. 이것은 산소 석출이 증가함에 따라 격자간 실리콘 원자가 증가하여 불순물의 확산을 증가시킨 것으로 판단된다. 그리고 불순물도 산소 석출에 영향을 주어 자신의 확산에 영향을 끼침도 알 수 있다. 이러한 결과 볼 때 산소는 실리콘 웨이퍼내에서 결함들뿐만 아니라 다른 불순물과도 복잡한 상호 작용을 일으킬 수 있다. 따라서 차후 2차 결함에 대한 연구가 더욱 심도있게 이루어져야 함은 물론 산소 농도가 불순물의 확산에 영향을 끼치기 때문에 반도체 공정 및 소자 설계시 이에 대한 영향을 고려하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

[ 1 ] S. Wolf, Silicon Processin for the VLSI Era, Volume 2-Process Integration, Lattice Press, 1990.  
 [ 2 ] P. F. Byrne, N. W. Cheung, and D. K. Sadana, "Damage induced through megavolt arsenic implantation into silicon", Appl. Phys. Lett. 41, 537 (1982).  
 [ 3 ] M. Tamura and T. Suzuki, "Damage formation and annealing of high energy ion implantation in Si", Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B39, pp.318-329, 1989.  
 [ 4 ] 윤상현, 광계달, "Retrograde Well 형성을 위한 고에너지 이온주입에 대한 연구", 한국전기전자재료학회 논문지, vol. 11, No. 5, p. 358 (1998)  
 [ 5 ] W. X. Lu, Y. H. Qian, R. H. Tian, et al., "Reduction of secondary defect formation in MeV B<sup>+</sup> ion-implanted Si(100)", Appl. Phys. Lett. 55(18), pp.1838-1840, 30 Oct. 1989.

[ 6 ] R. A. Brown, O. Kononchuk, et al., "The effect of oxygen on secondary defect formation in MeV self-implanted silicon", Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B 127/128, pp 55-58, 1997.  
 [ 7 ] Aditya Agarwai, K. Christensen, et al., "Oxygen gettering and precipitation at MeV Si<sup>+</sup> ion implantation induced damage in silicon", Appl. Phys. Lett. 69(25), pp. 3899-3901, 16 Dec. 1996.  
 [ 8 ] H. Wong, N. W. Cheung, et al., "Proximity gettering with mega-electron-volt carbon and oxygen implantations", Appl. Phys. Lett. 52(12), pp.1023-1025, 21 March 1988.  
 [ 9 ] T. Kuroi, Y. Kawasaki, S. Komori, et al., Extended SSDM Abstracts(1992) p.398  
 [ 10 ] M. Tamura, N. Natsuaki, Y. Wada, and E. Mitani, "Depth distribution of secondary defects in 2-MeV boron-implanted silicon", J. Appl. Phys., vol.59, no. 10, pp. 3417-3420, 15 May 1986.  
 [ 11 ] M. Tamura, T. Audo, and K. Ohyu, "MeV-ion-induced damage in Si and its annealing", Nucl. Instr. and Meth. in Phys. B59/60, pp. 572-583, 1990.  
 [ 12 ] K. Sumino and I. Yonegawa, *Oxygen in Silicon, Semiconductors and Semimetals*, edited by F. Shimura, vol. 42, Academic Press, New York, 1994.  
 [ 13 ] P. Peissker, P. Haasen, and H. Alexander, Philos. Mag. 7, p. 1279 (1961)  
 [ 14 ] 고봉균, 광계달, "CZ 방법에 의해 성장된 실리콘에서 산소 석출물의 성장/감소에 관한 모델 및 해석", 전자공학회 논문지, 제35권 D편 제 10호, pp 29-38, 1998년 10월  
 [ 15 ] Bong Gyun Ko and Kae Dal Kwack, "Growth/dissolution model for oxygen precipitation based on the kinetics of phase transformations", J. Appl. Phys. vol. 85, No. 4, 15 Feb. 1999.  
 [ 16 ] M. Schrems, *Oxygen in Silicon, Semiconductors and Semimetals*, edited by F. Shimura, vol. 42, Academic Press, New York, 1994.

— 저 자 소 개 —



高 奉 均(正會員)

1966년 7월 11일생. 1992년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사).

1994년 2월 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1994년 34월 ~ 현재 한양대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학. 주관심 분야

는 반도체 소자 및 공정, diffusion 모델링, 결함 생성 모델링, 공정 simulations 등임

郭 桂 達(正會員) 第 35卷 第 2號 D編 參照

현재 한양대학교 전자공학과 교수