

# 실리콘 웨이퍼의 이온주입각 변화에 의한 이온반사율에 관한 연구

## A Study on the Ion Reflective Index of Silicon Wafer by Implantation Angle Variation.

姜 龍 哲\* · 李 愚 宣\*\* · 朴 榮 俊\*\*\*  
(Yong-Chul Kang · Woo-Sun Lee · Young-June Park)

**Abstract** - Ion reflective index and sheet resistance in the silicon oblique range smaller than 8 degree and optimization of annealing temperature have been studied. A four point probe was used to obtain the sheet resistance after annealing, while high resolution SIMS was used to determine the Boron and Fluorine atomic profiles before and after annealing. Experimental results and theory of ion reflective index are compared. Ion reflective index was found to decrease according to increasing an ion oblique angle. We introduce a simple analytical model ion reflection, considering the Rutherford scattering model. This result can not be explained by the conventional Gaussian model.

### 1. 서 론

이온주입법이란 원하는 불순물을 이온 상태로 만들어서 실리콘 웨이퍼 등에 적당한 전기적인 에너지를 가하여 이온을 강제 주입시키는 방법으로, 최근에 이온주입법은 VLSI 디바이스 제조기술에서 빼수 없는 중요한 위치를 차지 하고 있다. [1, 2]

VLSI에서 디바이스를 최소화 하기 위해서는 정확한 위치에 적당한 이온량을 주입해야할 필요성

이 있으므로 이온 주입법에 의한 도핑 프로파일의 조절 가능성 여부가 고농도의 shallow junction 실현 여부를 결정 한다고 해도 과언이 아니다. [3, 4]

As<sup>+</sup> 이온 이나 BF<sub>2</sub><sup>+</sup> 이온을 주입 시킬 때 300~500KeV의 고에너지를 인가하면 실리콘 웨이퍼 밑으로 약 0.1~0.4 $\mu$ m의 이온을 강제 주입 시킬 수 있다. 이 정도의 깊이는 실리콘 웨이퍼 표면에 저절로 자라난 0.03 $\mu$ m 정도의 산화층을 넘어서는 깊이 이므로 표면 산화층의 불순물 투입시 장벽역할을 하는 것을 피할 수 있다. [5, 6] 이온이 주입되는 깊이는 이온의 가속에너지에 따라 조절 되므로 사용목적에 따라 적당히 선택 될 수 있다.

이온주입에 의한 깊이 방향으로의 분포범위, channeling effect에 의한 이온량의 측정 및 계산,

\*正 會 員 : 朝鮮大 大學院 電氣工學科 博士課程  
 \*\*正 會 員 : 朝鮮大 工大 電氣工學科 教授 · 工博  
 \*\*\*正 會 員 : 서울大 工大 電子工學科 助教授 · 工博  
 接受日字 : 1990年 10月 16日  
 1次修正 : 1991年 1月 24日  
 2次修正 : 1991年 5月 20日

불순물 농도가 급변하는 구조로 되어있는 바렐터 다이오드의 이온 주입법에 의한 자기정열 알루미늄 늑게이트 MOS 트랜지스터의 제작 등이 이온 주입에 대한 주요 연구과제로 되어 있다.

이온주입시 고농도의 불순물을 이온주입하여 0.5 $\mu\text{m}$ 의 얇은 접합(shallow junction)을 만들 수 있으며, 레이저 어닐링을 이용하면 0.2 $\mu\text{m}$ 이하에서 고농도의 얇은접합을 실현 할 수 있다. [7, 8] N형의 얇은접합을 형성하기 위해서는  $\text{As}^+$ 가 이온 주입에 적용되고 있으나 p형의 더욱 얇은 접합을 형성하기 위해서는 지금까지 적용되던  $\text{B}^+$ 이온의 사용은 곤란하게 된다. 왜냐하면  $\text{As}^+$ 는 원자량이 75인데 비하여  $\text{B}^+$ 는 11로 그양이 훨씬 낮아 이온 주입기의 낮은 주입에너지 에서도 실리콘 웨이퍼의 깊은 영역까지 침투되기 때문이다.

1970년도 후반에 들어서면서 높은 빔전류를 만들어주는 장비가 개발됨에 따라 빔에 의한 가열, 식각, 이온주입중에 나타나는 산화막내의 전하발생, 및 고전계에 의한 그레이넬발생과 실리콘 웨이퍼의 손상 등에 대한 관심이 대두되기 시작 했다.

[9~11] 또 트랜치 사이드월(trech sidewall)의 이온주입 효과 및 이로인한 charging effect 등에 대해서도 새로운 실험과 해석이 시도 되었다. [12, 13] 그러나 이온주입기에 의한 고농도의 이온주입법은 최근 VLSI 제조에 말이 사용되기 시작한 고속, 고농도 및 고전계를 이용하므로써 이온 반사율 문제가 역시 큰문제로 부각되고 있다.

그러므로 본 논문에서는 실리콘 웨이퍼의 경사각 변화로 인한 이온반사율을 알아보기 위하여 고농도 이온주입을 하고 이온의 에너지를 50~150 KeV로 가속했을 경우 주어진 어닐링 조건에서 실리콘 웨이퍼의 경사각이 2°~8° 범위로 변화됨에 따른 sheet resistance, 최적 어닐링온도 결정, 가속에너지에 의해서 실리콘 웨이퍼의 깊이 방향으로 분포되는 주입이온의 농도분포 및 이들이 변수로 작용하여 결정되어지는  $\text{As}$  및  $\text{BF}_2^+$ 이온의 반사율에 대한 이론식을 세우고, 이 식에 근거해서 계산된 반사율 값과 실험에 의한 반사율 값을 서로 비교하여 연구된 반사율값에 대한 타당성을 입증해 보고자 한다.

본 실험 및 특성분석을 위해서는, 서울대학교 반도체 공동 연구소 소장 기기와 장비를 사용 하였으며, 이온 주입기는 Varian회사 제작, 모델 D-F 3000을 사용 하였다.

## 2. 이온 반사율 모델

### 2.1 가우시안 분포 모델

좌표를 이용한 이온주입의 2차원 경사 분포도는 그림1과 같고, 이온주입량  $n(x', y')$ 는 다음식과 같다.

$$n(x', y') = \frac{1}{2\pi\Delta R_p^2} \exp\left(-\frac{x'^2}{2\Delta R_p^2}\right) \exp\left(-\frac{y'^2}{2\Delta R_1^2}\right) \quad (1)$$

여기서  $R_p$ 와  $\Delta R_1$ 는 각각 주입이온의 표준편차와 수직표준편차 이다.  $\Delta R_p$ 는  $\Delta R_1$ 와 거의 같고  $x, y$ 좌표 축에서  $n(x, y)$ 는 다음식과 같게 된다.

$$n(x, y) = \frac{1}{2\pi\Delta R_p^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\Delta R_p^2}\right) \quad (2)$$

따라서 이온의 존재확률  $N(\theta)$ 는  $n(x, y)$ 를 적분 하면 다음식과 같이 된다.

$$N(\theta) = \int_{R_p \sin\theta}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} n(x, y) dx dy = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{R_p \sin\theta}{\sqrt{2}\Delta R_p}\right) \quad (3)$$

### 2.2 Rutherford Scattering 모델

주입이온과 실리콘과의 충돌에 의한 상호작용은

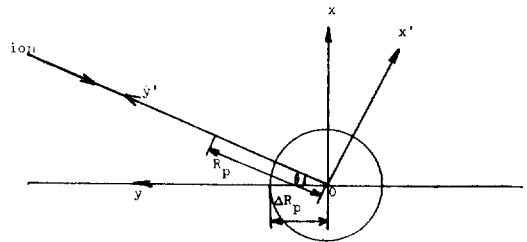


그림 1 이온주입의 2차원 경사각 분포도.

Fig. 1 Schematic cross sectional view of oblique ion implantation

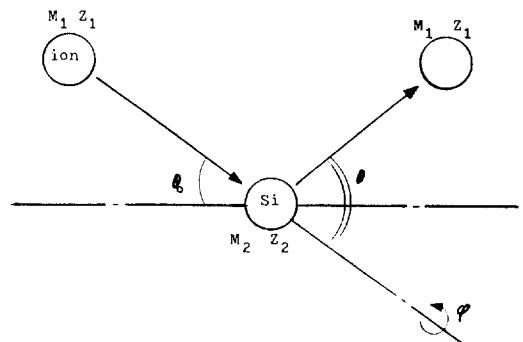


그림 2 주입이온과 실리콘과의 충돌에 의한 상호 작용.

Fig. 2 A collision between ion and silicon

그림2와 같이 간단히 나타낼 수 있다. 여기서 질량과효율을  $d\delta_c$ 라하면 Rutherford 모델은 다음식과 같다. [14, 15]

$$d\delta_c = \left( \frac{z_1 z_2 e^2}{E_0} \right)^2 \left( 1 + \frac{M_1}{M_2} \right)^{-2} \frac{d\theta dc}{\theta} \quad (4)$$

여기서  $z_1 z_2$ 와  $M_1 M_2$ 는 각각 주입이온과 실리콘 이온의 원자번호 이다.  $E_0$ 는 이온의 가속에너지이고  $d\theta$ 는 이온주입 각을 나타낸다. 입사각  $\theta_0$ 로 이온이 주입 될 때 실리콘 이온반사율  $p(\theta_0)$ 는 식 (4)를 적분하면 다음식과 같이 된다.

$$p(\theta_0) = \int_{\theta_0}^{\pi/2} \int_0^{2(\pi/2 - \theta_0/\theta)} d\delta_c + \int_{\pi/2}^{\pi} \int_0^{2(\pi/2 + \theta_0/\theta)} d\delta_c \\ = 2 \left( \frac{z_1 z_2 e^2}{E_0} \right)^2 \left( 1 + \frac{M_1}{M_2} \right)^{-2} \times \left[ \frac{1}{2\pi} + \left( \frac{\pi}{4} - \frac{1}{3} \right) \frac{1}{\theta_0^2} + \frac{5}{\pi^3} \theta_0 \right] \quad (5)$$

$n_0$ 가 단위면적당 주입이온의 개수 이고  $L_p$ 가 면적이라면 이온 반사율  $S(\theta_0)$ 는 다음과 같은 모델의 식으로 나타내어질 수 있다.

$$S(\theta_0) = n_0 \cdot L_p \cdot p(\theta_0) \quad (6)$$

그러므로  $As^+$ 이온 및  $BF_2^+$ 이온의 반사율을 계산하기 위해서 각각 다음과 같은 모델의 식을 사용할 수 있다.

$$S_{As}(\theta_0) = \frac{1}{E_0^2} \cdot L_p \cdot \frac{1}{2.0(0.1 + 0.6\theta_0)} \quad (7)$$

$$S_{BF}(\theta_0) = \frac{1}{E_0^2} \cdot L_p \cdot \frac{1}{1.2(0.2 + 0.6\theta_0)} \quad (8)$$

이상과 같은 주입이온의 해석적인 식에 의하여 이온 반사율의 계산이 가능하며 계산값은 실험값과 비교 되어질 수 있다.

### 3. 실험

#### 3.1 실험 방법

본 실험에서 사용된 실리콘 웨이퍼는 4인치 이다.

$As^+$ 이온주입의 경우에는  $n$ -type(111)웨이퍼를 사용 하였으며  $BF_2^+$ 이온주입의 경우에는  $n$ -type(100)웨이퍼를 사용 하였다.

실험 순서는 먼저 웨이퍼를  $H_2SO_4$  용액에서 5분간, 10 : 1 HF 용액에서 10초간 세척 한 후 spin dry로 건조시키고 이어 실리콘 웨이퍼의 경사각을 2°, 4°, 6°, 8°로 변화 시켜가며  $As^+$  및  $BF_2^+$  이온을 주입 하였다. 이온주입 량은  $As^+$ ,  $BF_2^+$  공히  $1 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>의 high doping하였으 주입에너

지는 50~150KeV로 하였다. 그후 실리콘 웨이퍼를 다시  $H_2SO_4$ 용액에서 5분, 10 : 1 HF용액에서 10초간 세척하고 spin dry에서 건조 시킨다음  $H_2$  분위기로 900°C에서 60분간 어닐링 하였다. 어닐링의 과정을 거친다음에는 4-point probe를 사용하여 sheet resistance  $R_s$ 를 측정하였다. 그리고 이온주입량에 따른  $As^+$  및  $BF_2^+$ 의 깊이 방향에 대한 이온의 농도 분포를 구하기 위하여는 SIMS를 사용 하였으며, 웨이퍼 경사각이 2°, 4°, 6°, 8° 일때의 이온 농도 분포를 구하는 순서로 진행 하였다.

#### 3.2 실험 결과 및 검토

어닐링 온도를 500°C~950°C로 변화 시킬 경우에 변화되는 sheet resistance는 그림 3과 같다. 이온의 주입 에너지가 100KeV 일때, 그리고 주입이온의 농도가  $1 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>이며,  $As^+$  및  $BF_2^+$  이온을 각각 주입 했을 때의 경우 인데 어닐링 온도가 증가 할수록 sheet resistance는 감소 되었고,  $As^+$  및  $BF_2^+$ 이온 주입의 경우를 상호 비교한 결과  $BF_2^+$ 이온을 주입한 경우가  $As^+$ 이온을 주입

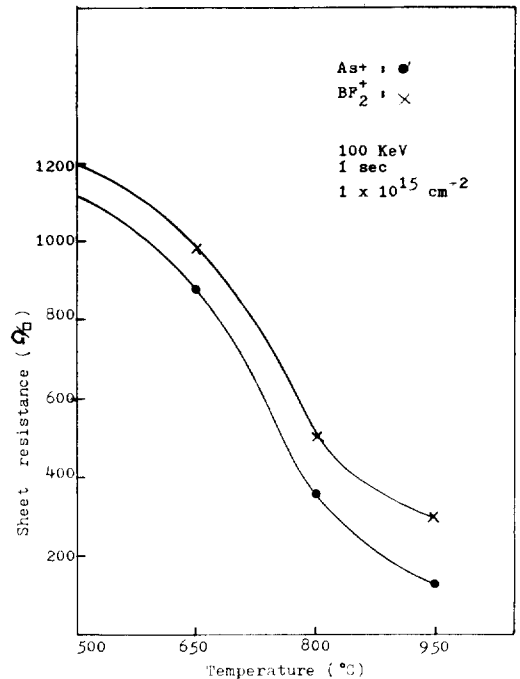


그림 3 어닐링 온도의 변화에 따른 sheet resistance.

Fig. 3 Sheet resistance in annealing temperature at 500~950°C

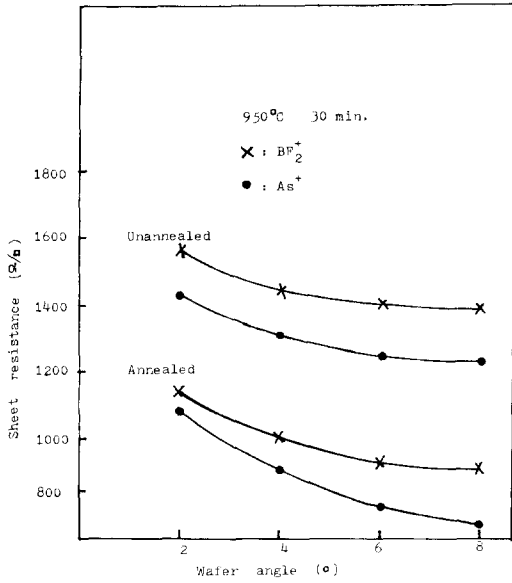


그림 4 웨이퍼의 경사각에 따른 sheet resistance  
 Fig. 4 Sheet resistance due to the silicon wafer angle.

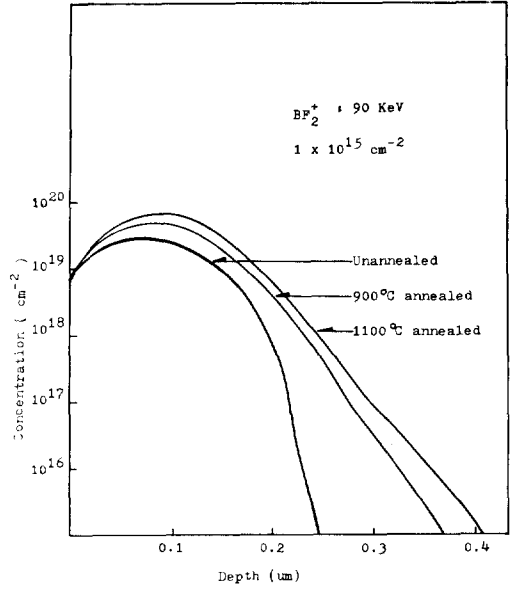


그림 6 어닐링 전후의 이온 농도 분포  
 Fig. 6 Ion concentration when after and before annealing.

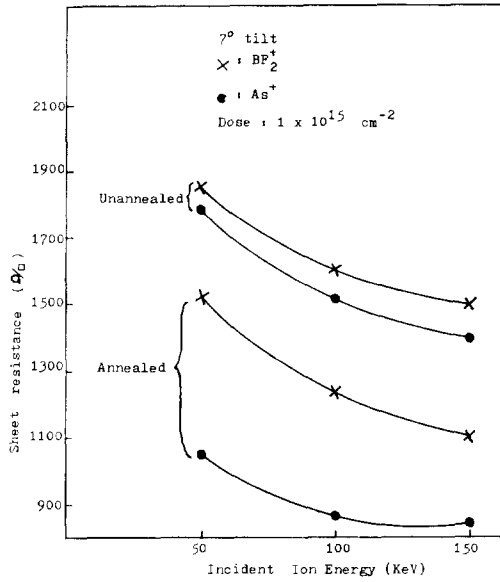


그림 5 이온에너지에 따른 sheet resistance  
 Fig. 5 Sheet resistance according to the ion energy.

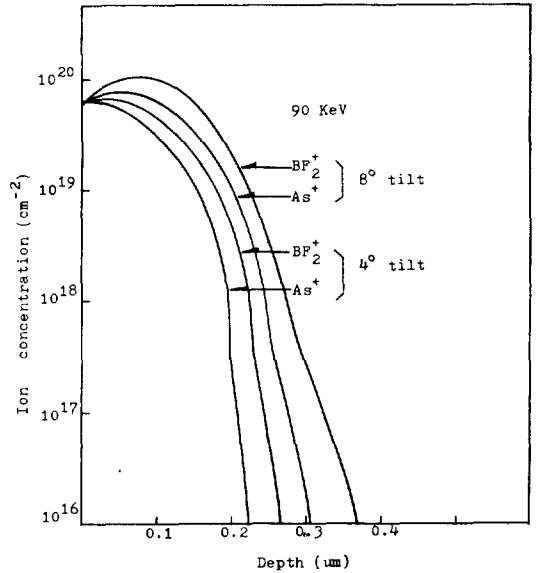


그림 7 경사각에 따른 이온 농도 분포.  
 Fig. 7 Ion concentration when oblique degree changed.

한 경우보다 더 높은 측정치를 나타 내었다.  
 실리콘 웨이퍼에 입사하는 이온빔을 그대로두고 웨이퍼의 경사각을 2°에서 8°까지 변화시켜 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>와 As<sup>+</sup>이온을 실리콘 웨이퍼에 주입 했을 때 sheet

resistance를 4-point probe에 의하여 측정한 결과를 그림 4에 나타낸다. 이 경우 이온주입 경사각이 낮을 때 웨이퍼의 sheet resistance는 높게 나타났고 950°C로 30분간 어닐링 한 후에도 같은 경

향을 보였다.

실리콘 웨이퍼의 경사각이 7°에서  $1 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>의 이온을 주입했을 경우 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>와 As<sup>+</sup>의 이온 에너지 50~150KeV에 따른 sheet resistance의 변화를 그림 5에 나타낸다. 어닐링 했을 경우나 하지 않았을 경우 다같이 이온주입 에너지가 증가함에 따라서 웨이퍼의 sheet resistance는 감소함을 보였다.

위와같은 그림 3, 4, 5에서 볼 수 있는 바와 같이 실리콘 웨이퍼의 이온 어닐링 온도와 이온의 활성화 에너지가 증가할 수록, 또 웨이퍼의 경사각이 감소할 수록, 이온들의 열운동에 의한 이온 열진동이 더욱더 활성화 되고 곧 이온의 이동도가 증가하여 이온의 평균속도가 증가하게 되기 때문에 상대적으로 실리콘 웨이퍼의 sheet resistance는 감소현상을 나타내게 된다고 본다.

BF<sub>2</sub><sup>+</sup>이온을 90KeV로 주입 했을 경우 어닐링 않았을 경우와 각각 900°C 및 1100°C로 30분간 어닐링 했을 때 실리콘 웨이퍼의 깊이 방향을 따른 주입이온 농도 분포를 그림 6에 나타낸다. 약 0.05μm 부근에서 역 어닐링효과가 발생하였으며 어닐링 한 경우가 얇은 경우보다, 또 어닐링 온도가 900°C에서보다는 1100°C에서 이온이 주입되는 깊이와 이온 주입량이 더욱더 증가 됨을 나타냈다.

As<sup>+</sup> 및 BF<sub>2</sub><sup>+</sup> 이온의 경사각이 각각 4°일때와 8°일때 실리콘 웨이퍼의 깊이 방향으로 분포되는 이온주입 농도를 그림 7에 나타낸다. 실리콘 웨이퍼 깊이방향으로 분포되는 이온농도는 경사각 4°에서 보다 8°에서 더 많은 량이 분포 되었고 동일에너지에서 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>경우가 As<sup>+</sup> 경우보다 더 많게 분포 됨을 나타냈다.

실리콘 웨이퍼의 경사각이 8°에서 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>이온이  $1 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>로 주입 될 경우 주입에너지에 따른 주입이온 농도분포를 그림 8에 나타낸다. 이온의 에너지가 증가 할 수록 이온주입 농도와 깊이는 공히 증가 되었다.

이온주입 에너지가 50, 100, 150KeV 일때 주입 이온량에 따른 실제적인 증착 이온농도 분포를 그림 9에 나타낸다. 이온에너지가 증가 됨에 따라 주입된 이온량도 증가되는 현상을 보였으나, 주입이온량  $1 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>에서 포화되어  $1 \times 10^{18}$  ion/cm<sup>2</sup> 이상에서는 약간 단의 증가를 보여서 활성화 이온의 한계점은  $1 \times 10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>임을 알 수 있다.

이온의 에너지 90KeV,  $1 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>에서 As<sup>+</sup>와 BF<sub>2</sub><sup>+</sup> 이온을 주입 했을 경우 실리콘 웨이퍼의 경사각 sinθ에 따른 실리콘 웨이퍼의 표면이온 농도분포를 그림 10에 나타낸다. BF<sub>2</sub><sup>+</sup>이온주입의 경

우 경사각 2°에서  $0.5 \times 10^{19}$  ion/cm<sup>2</sup>, 경사각 8°에서  $2.4 \times 10^{19}$  ion/cm<sup>2</sup>로 되어 경사각이 2°에서 8°로 증가 됨에 따라 이온농도분포는 계속 Qsinθ값에 비례하여 증가하게 되었다. 즉 주입이온량 Q가 경사각 2°에서의 경우  $Q = 9 \times 10^{19}$  ion/cm<sup>2</sup> (90KeV, 및  $1 \times 10^{15}$  ion/cm<sup>2</sup>이기 때문)이고 sinθ=sin2°가 되므로 Qsinθ= $9 \times 10^{19}$  sin2°=0.5가 되어 그래프 상 x축의 값인  $0.5 \times 10^{19}$  ion/cm<sup>2</sup>의 주입된 이온 값이 된다.

따라서 실리콘 웨이퍼의 경사각 변화에 따른 표

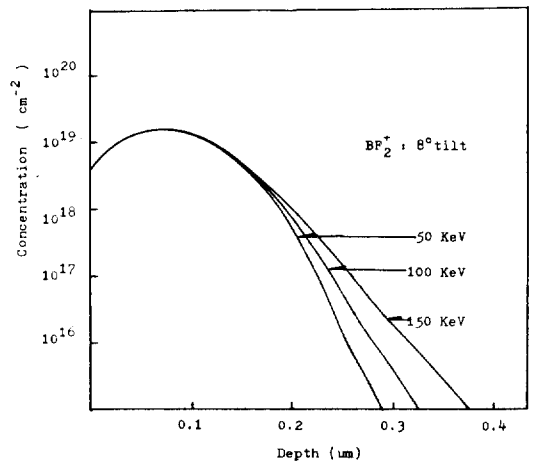


그림 8 이온에너지에 따른 이온농도분포  
Fig. 8 Ion concentration by ion energy

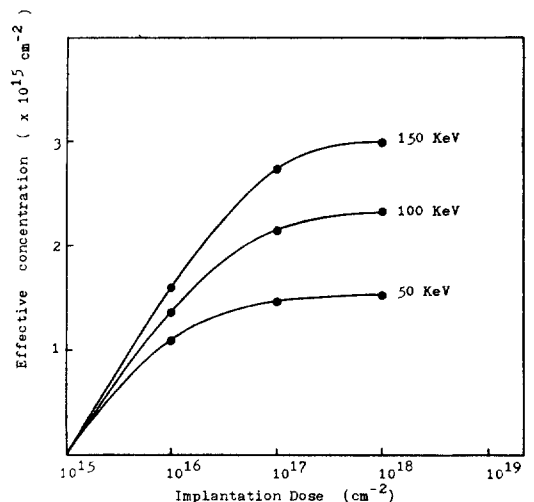


그림 9 이온주입량에 따른 이온주입효율  
Fig. 9 Effective ion concentration by implantation dose

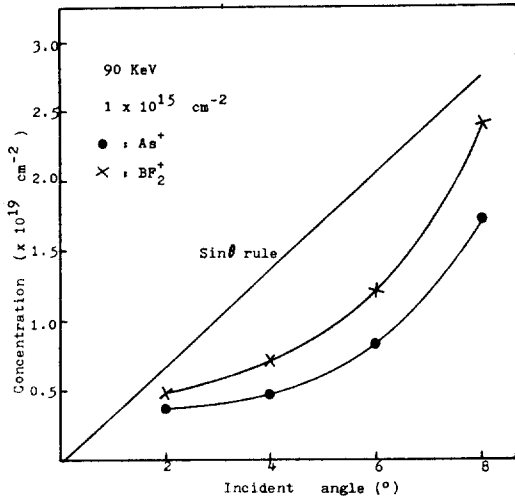


그림 10 실리콘 경사각  $\sin\theta$ 에 따른 표면이온 농도 분포.  
 Fig. 10 Surface ion concentration by silicon oblique angle  $\sin\theta$

었다.

실리콘 웨이퍼에 주입되는 이온의 입사각이  $2^\circ$ 에서  $8^\circ$ 까지 증가 할 경우 식(7)과 식(8)에서 각각 구한  $\text{As}^+$ 이온 및  $\text{BF}_2^+$ 이온의 이온반사율을 실험값과 비교하여 그림11에 나타낸다. 이온의 에너지가 90KeV이고 주입이온의 입사각이  $2^\circ$  일때 약  $\text{As}^+$  77%,  $\text{BF}_2^+$  42%로 되어서  $\text{As}^+$ 의 경우가  $\text{BF}_2^+$ 보다 이온반사율이 높게 되었는데, 그 이유는  $\text{As}^+$ 의 원자량이  $\text{BF}_2^+$ 보다 크므로 이온의 반사가 더 많이 일어나는 것으로 생각된다.

또 이온의 입사각이  $2^\circ$ 에서  $8^\circ$ 로 증가 함에 따라서  $\text{As}^+$ 경우의 반사율은 약 77%에서 약 21%로 감소하였으며,  $\text{BF}_2^+$ 의 경우 42%에서 12%로 감소되었고, 이온의 침투깊이는 입사각이  $2^\circ$ 에서  $8^\circ$ 로 증가됨에 따라서 점차로 증가 되었다.

이온의 반사율에 대해서 이론값과 실험 값을 비교한 결과  $\text{As}^+$  및  $\text{BF}_2^+$ 의 경우 이론식에 의하여 계산한 결과는  $2^\circ \sim 8^\circ$ 범위에서 모델의 식(7), (8)

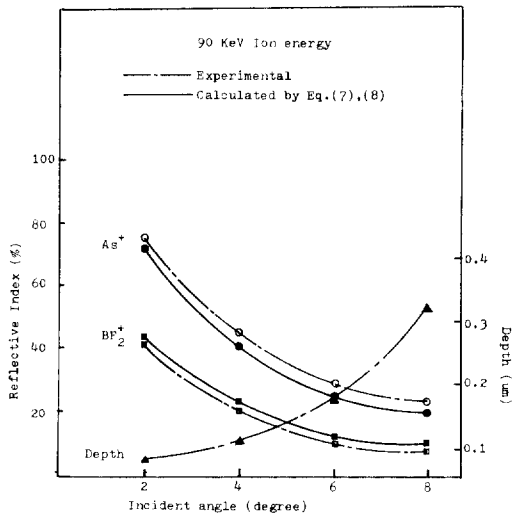


그림 11 경사각 변화에 따른 반사율과 이온주입 깊이  
 Fig. 11 Implantation depth and reflective index by ion oblique angle.

면 이온 농도 분포는 경사각이 감소 됨에 비례해서 감소됨을 알 수 있으며  $Q \text{ ion/cm}^2$ 과  $\theta$ 의 경사각을 갖는 이온이 실리콘 웨이퍼의 표면에 주입 되었을때 표면이온 농도 분포는  $Q \cdot \sin\theta$ 에 비례함을 알 수 있었고, 경사각이 점차로 감소 할 수록 실험값이  $\sin\theta$ 의 rule에 의한 계산 값보다 낮게 되었으며, 이온 반사는 더욱 더 증가 하게 되

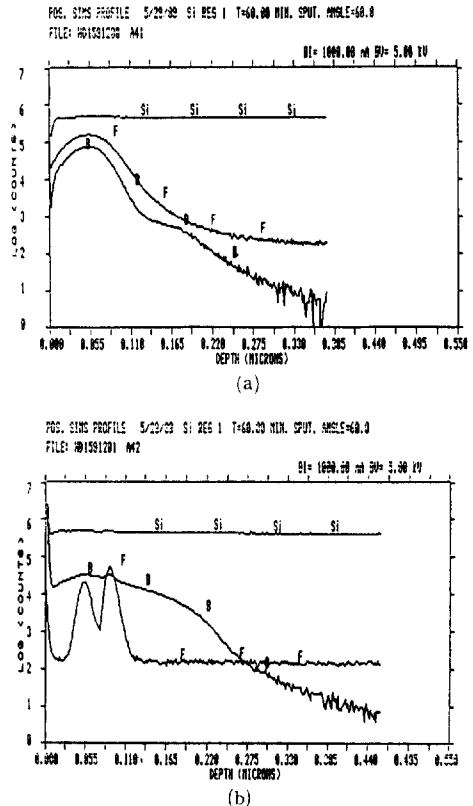


그림 12 SIMS분석에 의한  $\text{BF}_2^+$ 의 이온농도 (a)어닐링전, (b) 어닐링 후  
 Fig. 12  $\text{BF}_2^+$ ion concentration by SIMS (a) before annealing (b) after annealing

### 3.3 SIMS분석

SIMS(Secondary Ion Mass Spectrometer)는 실리콘 웨이퍼에 이온주입된 농도를 깊이방향으로 측정 할 수 있는 기기로 극미량의 불순물의 농도 측정이 가능하다. 본 실험에 사용된 SIMS 장비는 perker사 제품모델 Elmer-6300을 사용 하였다. 1차 이온으로 O<sub>2</sub>를 5KeV, 100nA의 빔전류를 980μm×1700μm의 시편에 주사 시켰다. B와 F의 깊이 방향으로의 이온농도를 구하기 위해서 B<sup>+</sup> 및 F<sup>+</sup>의 2차이온을 선택 하였으며 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>가 이온주입된 실리콘의 표준시편을 사용 하였다. 표준시편은 90~150KeV의 에너지와 1×10<sup>15</sup>ion/cm<sup>2</sup>의 고농도 이온을 실리콘 웨이퍼 위에 BF<sub>2</sub><sup>+</sup> 및 As<sup>+</sup>를 주입시킨 것으로 실리콘 웨이퍼 경사각 2°와 8°에서 각각 어닐링 전, 후의 것을 비교 하였다.

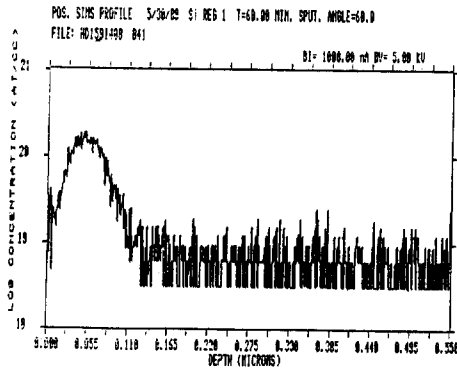
경사각 8°에서 실리콘 웨이퍼 위에 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>를 이온주입 했을경우 침투깊이에 따른 B와 F의 불순물 농도를 어닐링 했을 경우와 안했을 경우를 비교하여 그림 12의 (a), (b)에 각각 나타내었다. 여기서 y축의 log count는 SIMS 1차 주입이온의 개수에 비례한 2차이온의 개수를 나타내고 있다. 이 log count의 log값은 정량으로 환산된다. (c)는 (a)를 정량화하여 이온농도의 환산값을 나타 낸 것으로 B의경우 최대 5×10<sup>20</sup>ion/cm<sup>2</sup>, F의 경우 최대 1×10<sup>20</sup>ion/cm<sup>2</sup>의 주입이온 농도를 나타 냈으며 B원자가 활성화 되는 동안 F원자는 대부분 실리콘 표면 밖으로 이동되어 나가고 전기적으로 영향을 주지 않는다.

As<sup>+</sup>이온을 경사각 8°로 실리콘 웨이퍼에 이온주입 했을 경우 웨이퍼 깊이 방향으로의 이온농도 분포는 어닐링 전후를 비교하여 그림 13에 나타낸다. (a)는 어닐링 전의 경우이고 (b)는 어닐링 후의 경우이다. 여기서 어닐링 전의 이온농도가 어닐링 후의 경우보다 더 높아 짐을 알 수 있는데 이와같은 현상은 약 960°C의 고온이 어닐링 할 때 인가 되므로 해서 생기는 이온의 재배치에 의한 원자결함 때문인 것으로 생각 된다.

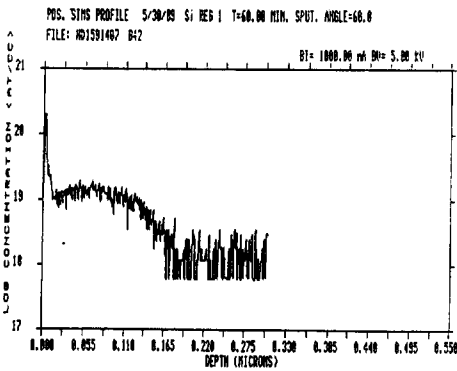
### 4. 결 론

이온주입한 실리콘 웨이퍼의 경사각 변화에 따른 이온의 반사율에 대하여 이론해석하고 실험하여 SIMS 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

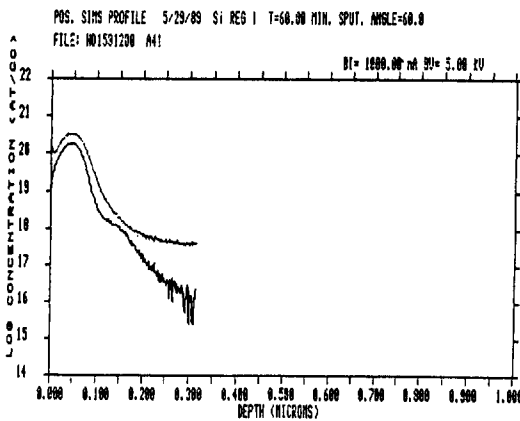
1. 실리콘 웨이퍼의 sheet resistance는 어닐링 온도가 증가 하고, 경사각이 커짐에 따라서 감소 되었으며, 이온의 활성화 에너지가 증가할 수록



(a)



(b)



(c)

그림 13 SIMS 분석에 의한 As<sup>+</sup>의 이온농도 (a) 어닐링 전 (b) 어닐링 후 (c) 정량화.  
Fig. 13 As<sup>+</sup> ion concentration by SIMS (a) before annealing (b) after annealing (c) normalization

과 비교적 잘 일치 하였고, 실리콘 웨이퍼의 경사각이 증가 함에 따라서 이온의 반사율이 감소하는 경향을 보였다.

감소 하였다.

2. 이온주입의 경사각이 증가됨에 따라서 실리콘 웨이퍼의 이온농도 분포와 이온 침투깊이가 증가 되었으며 이 이온농도 분포는  $\sin\theta$ 의 rule에 따라서 분포 되었고, 이에대한 이론식의 결과값과 실험값은 거의 일치 하는 경향을 나타 내었다.

3. 이온주입 경사각이  $2^\circ$ 에서  $8^\circ$ 로 증가 됨에 따라서 실리콘 웨이퍼 표면이온 반사율은 점차로 감소되는 경향을 보였으며 이에대한 반사율을 계산 할 수 있는 이론식을 제시 하였다. 이온의 반사율은 이 모델식에 의하여 계산한 값과 실험에 의한 결과 값은 비교적 잘일치 함을 보였으며, 동일에너지에서  $As^+$ 이온의 반사율은  $BF_2^+$  이온보다 높게 되었는데 그 이유는  $As^+$ 가  $BF_2^+$ 보다 원자량이 더 크기 때문이라고 생각 된다.

4. SIMS분석 결과 실리콘 웨이퍼의 깊이 방향으로는 이온농도 분포는  $BF_2^+$ 이온 및  $As^+$ 이온 모두 전형적인 가우시안 분포를 나타냈다.  $BF_2^+$ 이온의 경우 F는  $0.055\mu m$ 부근에서 이상적인 2개의 피크를 나타내었고 B는 가우시안 분포를 나타 내었는데 가우시안 분포를 나타내는 깊이 방향으로의 거리는  $As^+$ 의 경우  $0.110\mu m$ ,  $BF_2^+$ 의 경우 약  $0.350\mu m$ 로 되어  $BF_2^+$ 이온의 경우가 더 깊게 분포 되었다. 이 이유는  $BF_2^+$ 가  $As^+$ 보다 원자량이 더 적기 때문이라 생각된다.

앞으로도 계속하여 trench sidewall의 이온 주입 효과에 대해서 연구하고자 한다.

### 참 고 문 헌

[1] V.K. Singh, "Optically controlled characteristics in an Ion-Implanted silicon MESFET," Solid State Electronics, Vol. 29, No. 7, pp. 707~711, 1986.  
 [2] L.K. Wang, "On the effects of implantation of ions in the Mev energy range into silicon," Solid states Electronics, Vol. 29, No. 7, pp. 739~743, 1986.  
 [3] G.B. Mcmillan, "Annealing of shallow Boron-Implanted Layers in Silicon using

electron beams," IEEE, Electron Device Letters, Vol EDL 5, No. 7, July 1984.

[4] E. Landi, "Electrical characterization of  $p^+/n$  shallow junctions obtained by Boron implantation into preamorphized silicon," Solid State Electronics, Vol. 29, No. 11, 1986.  
 [5] T.E. Seidel, "Rapid thermal annealing of  $BF_2^+$  implanted preamorphized silicon", IEEE, Vol. EDL-4, No. 10, 1983.  
 [6] D.E. Davis, "1-2 KeV Boron implants into silicon," IEEE, Vol. EDL-6, No. 8, August 1985.  
 [7] R.T. Young, "Characterization of Excimer laser annealing of ion implanted Si," IEEE, Vol. EDL-3, No. 10, Oct. 1982.  
 [8] D.E. Davis, "Pulse annealing of implanted InP with minimal phosphorus loss," IEEE, Vol. EDL-3, No. 1 Jan. 1982.  
 [9] J-S Wang, "Passivation of dry etching damage using low energy hydrogen implants," IEEE, Vol. EDL-14, No. 12, Dec. 1983.  
 [10] T. Tsuji, "Degradation of the doping profile of eptaxial GaAs layer," IEEE, Vol, EDL-1, No. 6, June, 1980.  
 [11] 권상직, " $BF_2^+$ 이온 주입된 실리콘 시료의 격자손상과 불순물 농도분포에 대한 연구," 전자공학회 논문지, 제25권 3호, 1988.  
 [12] S.B. Felch, "Device dependence of charging effects from high current ion implantation," IEEE, Vol. ED-35, No. 12, Dec. 1988.  
 [13] K. Kato, "As ion implantation simulation for trench structures using a Monte Carlo method," IEEE, Vol, ED-35, No. 11, Nov. 1988.  
 [14] S.M. Sze, "VLSI Technology," New York, Mcgraw Hill 1983.  
 [15] D. Townsend, "Ion implantation sputtering and their application", New York, Academic, 1976.