

SPIN-ON SOURCE에 의한 실리콘內的 불순물 확산

論 文
27~6~5

Diffusion of Impurities into Silicon by Spin-on Sources

金 忠 基* 鄭 泰 源**
(Choong Ki Kim, Tae Won Chung)

Abstract

Diffusion processes of boron, phosphorus, and arsenic into silicon have been investigated using a new diffusion source called "spin-on source". Diffusion coefficients of these impurities have been calculated from the experimental results and are compared with the published values. Reasonable agreements have been found between the calculated and the published values.

From this study, it is concluded that the spin-on source can be used as the diffusion source for integrated circuit fabricaticon.

1. 서 론

집적회로의 확산공정에서는 일반적으로 B₂H₆와 같은 기체상태의 불순물이나 POCl₃와 같은 액체상태의 불순물이 많이 이용되고 있다. 그러나 이러한 공정으로는 As과 같은 불순물의 확산이 어려우며 boron이나 phosphorus의 경우에는 실리콘 표면의 불순물 농도를 solid solubility(10²⁰~10²¹atoms/cm³) 이하로 조절하는 것이 매우 힘들다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 spin-on source⁽¹⁾라고 불리는 새로운 확산원료가 개발되었다.

Spin-on source는 불순물과 실리콘원자를 함유하는 액체상태의 유기물질이다. 이 액체를 실리콘 wafer 위에 바르고 대기중에서 약 200°C로 처리하면 유기물 분해가 일어나며 실리콘원자는 산소와 결합하여 산화실리콘으로 변화한다. 이때 형성되는 산화실리콘은 spin-on source에 함유되어 있던 불순물을 포함하며 이 불순물은 질소(약간의 산소를 포함할 수도 있음) 분위기 의 고온(≥ 1000°C)에서 실리콘 내부로 확산된다. 이와 같이 spin-on source는 사용하기에 간편하고 경제 적이며 분위기 gas로 산소와 질소만을 사용하기 때문에 gas jungle이 매우 간단하다. 이러한 이유로 spin-on source는 소규모 집적회로 실험실에 매우 적합한 불순물 source라고 판단된다.

Spin-on source에 대한 연구는 국내에서는 1975년 에 phosphorus 불순물에 대한 spin-on source를 유기 물로 부터 제작하여 보았으며⁽²⁾ 미국, 일본에서는 각 종 spin-on source의 제작 및 그의 성능을 검토하는 연구가 활발하게 진행되고 있다.⁽³⁾ 특히 고주파용 트랜지스터, 선형 집적회로의 buried layer, n-channel MOS에서 요구되는 불순물인 As은 거의 spin-on source 를 이용하고 있다.⁽⁴⁾

본 실험에서는 spin-on source를 사용하여 p-형 불순물인 boron과 n-형 불순물인 phosphorus, arsenic 을 실리콘内部로 확산시키는 공정을 시험하였으며 이 러한 공정을 사용하여 각 불순물의 실리콘內에서 확산 계수(diffusion coefficient)를 측정하였다. 이와같이 측정된 불순물의 확산계수는 주어진 확산공정에 의 단 접합(junction)의 깊이와 실리콘內的 불순물의 농도를 예측하는데 사용되며 이것은 또한 집적회로의 설계 자 료로써 이용될 것이다.

2. 불순물의 확산공정

Spin-on source를 사용하여 불순물을 실리콘 wafer 에 확산시키는 공정은 그림 1과 같다.

1) 초기세척

확산 원료를 wafer에 바르기 전에 먼저 wafer표면 을 깨끗히 하고 또 확산 원료가 wafer표면에 균일하 게 coating 되도록 하기 위하여 test wafer는 다음과 같은 세척과정을 거친다. H₂SO₄와 H₂O₂를 수정(quartz)

* 正會員; 韓國科學院 電氣 및 電子工學科 副教授 · 工博

** 正會員; 경북대학교 공과대학

接受日字; 1978年 9月 27日

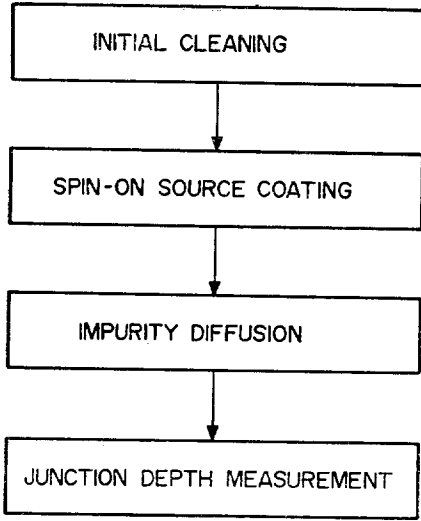


그림 1. Spin-on Source를 사용한 불순물의 확산 공정

Fig.1 Process sequence of impurity diffusion using spin-on sources

비이커에서 1:1로 혼합한 다음 wafer를 이 비이커에 넣고 150°C정도에서 10분간 끓인후 DI water(deionized water)로 2분간 세척한다. 이 과정은 실리콘 wafer를 산화시켜 표면에 얇은 산화 실리콘막을 입히기 위한 것이다. 이와같이 산화막이 얇게 입혀진 wafer를 DI water, H₂O₂, NH₄OH를 5:1:1로 섞은 용액에 넣고 150°C에서 10분간 끓인다. 이 과정에서는 wafer에 묻어 있는 소량의 유기 물질과 불순물이 제거되는 것으로 알려져 있다. 다시 DI water로 2분간 세척한 후 50:1의 HF 용액에 넣어 얇은 산화막을 제거시킨다. 이때의 실리콘 wafer 표면은 매우 깨끗하나 순수한 실리콘 표면의 소수성(hydrophobic) 때문에 확산 원료가 균일하게 coating되지 못한다. 실리콘 wafer의 표면을 친수성(hydrophilic)으로 바꾸기 위하여는 확산현상에 지장을 주지 않을 정도의 얇은 산화막을 표면에 형성하면 된다. 이를 위하여 DI water로 깨끗이 씻겨진 wafer를 H₂SO₄와 H₂O₂가 4:1로 혼합된 용액에 넣고 150°C에서 5분간 끓인다. 이때 형성되는 산화 실리콘막의 두께는 20Å 이내라고 추정되어 진다.⁽⁵⁾ Wafer를 다시 DI water로 세척할 때 표면에 물이 붙는 것으로 표면이 친수성을 갖게 된 것을 확인할 수 있다. 이와같이 세척된 wafer를 실내의 먼지로부터 보호하기 위하여 메칠 알코올이 담겨진 비이커에 넣는다.

ㄴ) 확산원료의 coating과 불순물의 확산

불순물 확산원료를 실리콘 wafer 위에 바르기 위하여는 spinner*를 사용한다. 메칠 알코올에 담겨진 wafer를 spinning stage로 옮긴 후 wafer를 spinner에 올려 놓고 5,000~10,000rpm으로 1분간 회전시켜 wafer에 묻어 있는 알코올을 증발시킨다. 다음에 확산 원료를 두세방울 wafer 위에 떨어 뜨린후 즉시 3,000~5,000rpm으로 회전시키면 확산원료는 실리콘 wafer 위에 약 1500Å~2000Å의 두께를 갖는 얇은 피막을 형성한다. 확산원료가 얇게 입혀진 wafer를 200°C에서 20분간 가열하면 확산원료는 불순물을 포함하는 산화실리콘으로 변화한다. 이와같이 준비된 wafer를 1100°C 내지 1200°C로 가열된 확산조에 넣어 산화실리콘에 포함되어 있는 불순물을 실리콘 wafer속으로 확산시킨다. 이때 확산조에는 2 liters/min으로 질소를 흘려준다.

ㄷ) 접합깊이(junction depth)의 측정

불순물을 실리콘 wafer 속으로 확산시킬 때 p-형 불순물은 n-형 wafer에, 그리고 n-형 불순물은 p-형 wafer에 확산시키면 불순물의 확산에 의하여 실리콘 내부에 p-n접합이 형성되며 이 접합의 깊이를 측정하면 확산되는 불순물의 확산계수(diffusion coefficient)를 계산할 수 있다. 접합의 깊이를 측정하기 위하여서 먼저 불순물 확산이 끝난 wafer를 10:1의 HF용액에 넣어 산화실리콘 층을 제거한다. 다음에 wafer의 작은 조각을 5°경사를 가진 stainless post에 왁스를 사용하여 붙이고 유리판 위에서 글리세린과 0.05μ 알루미늄 가루를 사용하여 연마한다. 연마된 부분이 눈으로 볼때 거울처럼 빛나면 DI water로 세척하고 물기를 완전히 말린 다음 HF와 HNO₃를 1000:1로 혼합한 용액을 연마된 부분에 한방울 떨어뜨리고 약 4초동안 빛을 쬐인다. 이때 염색이 잘 되면 p-영역은 어둡고 n-영역은 밝게 나타난다. 염색이 끝난 시편을 물로 깨끗이 닦은 후 현미경으로 접합의 깊이를 측정한다.

3. 확산에 대한 理論

불순물의 확산공정에서 실제로 불순물이 실리콘 내부로 확산되는 공정은 불순물을 포함한 산화실리콘 막으로 coating된 실리콘 wafer가 고온(1100°C~1200°C)으로 처리되는 공정이다. 이때의 시편의 단면도는 그림 2와 같다. 그림 2에서 영역-1은 불순물을 포함하는 산화실리콘막(~2000Å)을 표시하고 영역-3은 실리콘 표면을 친수성으로 만들기 위하여 형성된 극히

* Headway Research, Inc., 3713 Forest Lane, Garland, Texas, 75042, U.S.A.

얇은 ($\leq 20\text{\AA}$) 산화 실리콘 막이며 영역-2는 실리콘 substrate이다.

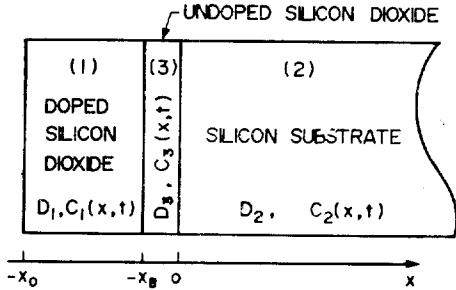


그림 2. 불순물이 실리콘으로 확산되기 전의 wafer의 단면도

Fig. 2. Cross-sectional view of a wafer which is ready for impurity diffusion

1100°C~1200°C의 고온에서 그림 2와 같은 상태의 wafer를 가열하면 영역-1의 불순물은 확산로에 흐르고 있는 질소 gas로 확산되거나 영역-3을 거쳐 실리콘 내부로 확산된다. 각 영역에서의 불순물의 농도를 $C_i(x, t)$, $i=1, 2, 3$ 으로 표시하면 불순물은 확산방정식

$$\frac{\partial C_i(x, t)}{\partial t} = D_i \frac{\partial^2 C_i(x, t)}{\partial x^2}; i=1, 2, 3 \quad (1)$$

에 따라 확산된다.

이때 D_i 는 각 영역에서의 불순물의 확산계수이다.

식 (1)의 解를 구하기 위하여는 초기조건과 경계조건을 알아야 한다. 초기조건은 고온에서의 불순물 확산이 일어나기 전의 상태를 표시하므로 아래와 같이 된다.

$$C_1(x, t) = C_0 \quad (2)$$

$$C_2(x, t) = C_3(x, t) = 0$$

여기서 C_0 는 영역 1의 산화 실리콘에 속해 포함되어 있는 불순물의 농도이다

경계조건은 각 경계면에서의 확산현상으로부터 구할 수 있다. 먼저 확산로에 흐르고 있는 질소 gas와 인접한 곳($x = -x_0$)에서 불순물이 질소 속으로 무한히 빠른 속도로 확산된다고 하면

$$C_1(-x_0, t) = 0, t > 0 \quad (3)$$

이 된다. 다음, 실리콘 wafer의 두께는 수백 μ 로 실리콘 내부에서의 불순물의 확산거리인 $\sqrt{D_2 t}$ (\approx 수 μ)보다 훨씬 크므로 실리콘 wafer가 무한히 두껍다고 생각할 수 있다. 이로부터 경계조건

$$C_2(x = \infty, t) = 0, t > 0 \quad (4)$$

을 얻는다.

영역-1과 영역-3은 같은 산화 실리콘이므로 그 경

계면 ($x = -x_B$)에서의 경계조건은 다음과 같다.

$$C_1(-x_B, t) = C_3(-x_B, t), t > 0 \quad (5)$$

$$D_1 \frac{\partial C_1}{\partial x} = D_3 \frac{\partial C_3}{\partial x} = D_1 \frac{\partial C_3}{\partial x}, x = -x_B, t > 0 \quad (6)$$

식 (6)에서는 영역-1과 영역-3에서의 불순물의 확산계수가 같다는 사실이 이용되었다. 영역-2와 영역-3의 경계면($x=0$)은 산화 실리콘과 실리콘의 경계면이므로 불순물의 농도는 분리계수(segregation coefficient)에 의하여 비연속적으로 분포된다. 따라서 $x=0$ 에서의 경계조건은 분리계수의 정의⁽⁶⁾와 불순물 확산의 연속성으로부터 다음과 같이 된다.

$$C_2(x=0, t) = m C_3(x=0, t), t > 0 \quad (7)$$

$$D_1 \frac{\partial C_3}{\partial x} = D_2 \frac{\partial C_2}{\partial x}, x=0, t > 0 \quad (8)$$

식 (7)에서 m 은 분리계수(segregation coefficient)를 표시한다.

확산방정식인 식 (1)을 식 (2)의 초기조건과 식 (3)~식 (8)의 경계조건을 사용하여 풀면 그 解⁽⁷⁾는 다음과 같다.

$$C_2(x, t) = \frac{C_0 \sqrt{D_1/D_2}}{1+k} \sum_{n=0}^{\infty} \alpha^n \left(\operatorname{erfc} \frac{2nx_0 + x_B + mkx}{2\sqrt{D_1 t}} - 2 \operatorname{erfc} \frac{(2n+1)x_0 + mkx}{2\sqrt{D_1 t}} + \operatorname{erfc} \frac{(2n+2)x_0 - x_B + mkx}{2\sqrt{D_1 t}} \right) \quad (9)$$

여기에서 $k = \frac{1}{m} \sqrt{D_1/D_2}$, $\alpha = \frac{1-k}{1+k}$ 이다.

Spin-on source에 의하여 형성된 산화막의 두께($x_0 - x_B$)가 $\sqrt{D_1 t}$ 보다 훨씬 크면 식 (9)에서 x_0 를 포함하는 모든 항은 무시할 수 있을 정도로 작아지며 따라서 식 (9)는 다음과 같이 간략하게 된다.

$$C_2(x, t) = \frac{C_0 \sqrt{D_1/D_2}}{1+k} \operatorname{erfc} \frac{x_B + mkx}{2\sqrt{D_1 t}} \quad (10)$$

또한 불순물을 포함하지 않는 산화실리콘 막의 두께(x_B)는 20Å보다 작으므로 $mkx \geq 1000\text{\AA}$ 에 비하여 무시할 수 있음을 고려하면 식 (10)은 다음과 같이 더욱 간단하게 된다.

$$C_2(x, t) = \frac{C_0 \sqrt{D_1/D_2}}{1+k} \operatorname{erfc} \frac{mkx}{2\sqrt{D_1 t}} = C_s \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{D_2 t}} \quad (11)$$

여기서 $C_s = C_0 \sqrt{D_1/D_2} / (1+k)$ 는 불순물의 실리콘 표면농도가 되며 이 값은 확산시간, t , 에 무관하다.

Test wafer로 사용한 실리콘내에 처음부터 존재하는 불순물의 농도를 C_B 라고 하면 확산에 의하여 형성되는 집합의 깊이, x_j ,는 식 (11)로부터

$$x_j = 2\sqrt{D_2 t} \operatorname{argerfc}(C_B/C_s) \quad (12)$$

가 되고 실리콘 内部에서의 불순물의 확산계수, D_2 는

$$\sqrt{D_2} = \frac{x_j / \sqrt{t}}{2 \operatorname{erfc}(C_B/C_S)} \quad (13)$$

이 된다.

4. 실험결과 및 검토

접착식 확산용 불순물 원료인 spin-on source는 Emulsitone Company로 부터 표면농도에 따라 100cc 들이 병으로 구입할 수 있다. 본 실험에서는 아래의 다섯가지 불순물 원료를 구입하여 사용하였다.

- ㄱ) Boron- I, 표면농도 = 5×10^{20} atoms/cm³
- ㄴ) Boron- II, 표면농도 = 10^{18} atoms/cm³
- ㄷ) Phosphorus- I, 표면농도 = 5×10^{20} atoms/cm³
- ㄹ) Phosphorus- II, 표면농도 = 10^{18} atoms/cm³
- ㅁ) Arsenic, 표면농도 = 10^{20} atoms/cm³

Test wafer로는 불순물농도가 2×10^{14} atoms/cm³인 n-형 wafer와 불순물농도가 2×10^{16} atoms/cm³인 p-형 wafer를 사용하였다.

1) Boron spin-on source

그림 3과 그림 4는 실리콘 표면에서의 불순물 농도, C_s ,가 5×10^{20} cm⁻³와 10^{18} cm⁻³인 boron spin-on source를 사용할 때의 접합의 깊이를 확산시간의 square root의 함수로 표시한 것이다. Spin-on source로 형성되는 산화실리콘 막 내의 boron의 확산계수는 1200°C에서 $\sqrt{D_1} \approx 0.03 \mu / \sqrt{hr}$ 이며⁽¹⁾ 확산시간이 4시간일때 $\sqrt{D_1 t} \approx 0.06 \mu$ 이 된다.

Spin-on source가 실리콘 wafer에 coating되었을

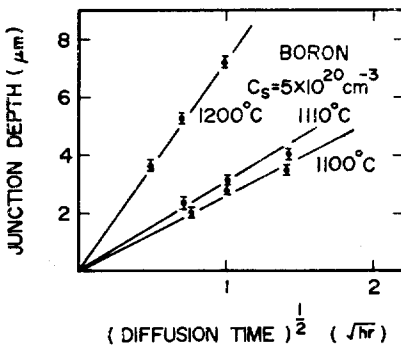


그림 3. 표면농도가 5×10^{20} cm⁻³인 boron spin-on source를 사용하여 1100°C, 1110°C, 1200°C에서 얻어진 접합의 깊이

Fig. 3. Junction depth resulting from diffusion of boron into silicon at 1100°C, 1110°C and 1200°C from the doped oxide with surface concentration of 5×10^{20} cm⁻³.

때의 두께는 약 0.17μ정도이며 이것은 $\sqrt{D_1 t}$ 의 3배나 되므로 접합의 깊이는 식 (12)와 같이 간단하게 표시된다.

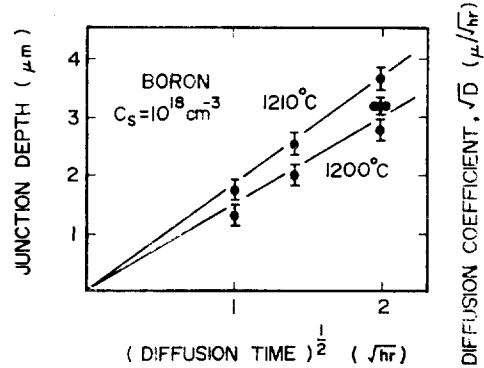


그림 4. 표면농도가 10^{18} cm⁻³인 boron spin-on source를 사용하여 1200°C, 1210°C에서 얻어진 접합의 깊이

Fig. 4. Junction depth resulting from diffusion of boron into silicon at 1200°C and 1210°C from the doped oxide with surface concentration of 10^{18} cm⁻³.

그림 3과 그림 4는 측정된 접합의 깊이가 확산시간의 square root에 비례함을 보여준다. 이것은 이론적인 결과, 식 (12),와 일치하며 따라서 식 (13)을 사용하여 확산계수를 구할 수 있다. 이와 같이 계산된 확산계수와 이미 발표된 boron의 확산계수⁽⁶⁾를 그림 5에 보였다.

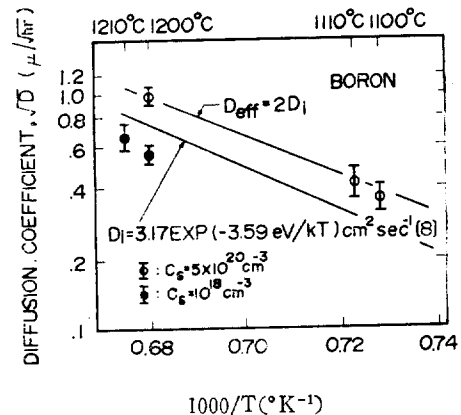


그림 5. 온도에 따른 실리콘내의 boron의 확산계수
Fig. 5. Diffusion coefficient of boron into silicon at various temperatures

그림 5는 boron의 확산계수가 표면농도에 따라 변화하는 것을 보여준다. 이러한 현상은 불순물이 확산되는 과정에서 불순물이 이온화되어 실리콘 내부에 電

계를 형성하고 이 電界에 의하여 이온화된 불순물이 빨리 확산되기 때문이라고 알려져 있다. 이러한 field-aided diffusion은 아래와 같은 effective diffusion coefficient, D_{eff} 를 사용하여 설명할 수 있다.⁽⁶⁾

$$D_{eff} = D_i \left[1 + \frac{1}{\sqrt{1 + 4(n_i/C)^2}} \right] \quad (14)$$

여기서 n_i 는 불순물이 확산되는 온도에서의 실리콘의 眞性搬送子濃度(intrinsic carrier concentration)이며 C 는 불순물의 농도이고 D_i 는 field-aided diffusion을 고려하지 않을 때의 불순물의 확산계수이다. 식 (14)에서 $C \gg n_i$ 이면 $D_{eff} \approx 2D_i$ 가 되고 $C \ll n_i$ 이면 $D_{eff} \approx D_i$ 가 된다. 실리콘의 眞性搬送子濃度は $1100^\circ\text{C} \sim 1200^\circ\text{C}$ 에서 약 10^{19}cm^{-3} 이므로 표면농도가 $5 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 인 경우에는 확산계수가 $2D_i$ 로, 표면농도가 10^{18}cm^{-3} 인 경우에는 확산계수가 D_i 로 될 것이 예측된다. 그림 5에 보인 boron의 확산계수는 이와 같은 예측과 거의 일치하나 표면농도가 10^{18}cm^{-3} 인 경우의 boron의 확산계수는 Fair⁽⁶⁾의 결과보다 약 25% 적은 것으로 나타났으며 그 원인은 아직 밝히지 못하였다.

2) Phosphorus spin-on source

Phosphorus spin-on source를 사용하여 얻은 접합의 깊이를 그림 6에 보였다. Phosphorus의 경우도

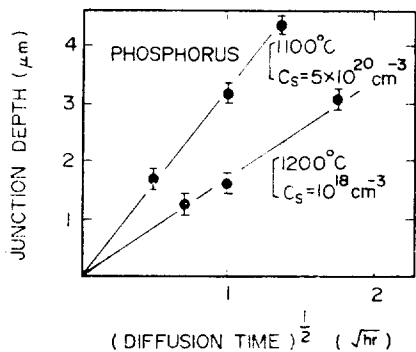


그림 6. 표면농도가 10^{18}cm^{-3} 인 phosphorus spin-on source를 1200°C 에서 사용할때와 표면농도가 $5 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 인 phosphorus spin-on source를 1100°C 에서 사용할때의 접합의 깊이
Fig. 6. Junction depth resulting from diffusion of phosphorus into silicon at 1200°C with surface concentration of 10^{18}cm^{-3} and at 1100°C with surface concentration of $5 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$

boron의 경우와 같이 접합의 깊이는 확산시간의 square root에 비례하였다. Spin-on source에 의하여 형성되는 산화막내에서의 phosphorus, 확산계수는 1200°C 에서 $\sqrt{D_i} \approx 0.025\mu/\sqrt{hr}$ ⁽¹¹⁾이며 확산시간이 3 시간이면 $\sqrt{D_i} \approx 0.042\mu$ 이다. 따라서 실리콘 wafer위에 coating된 spin-on source의 두께는 $\sqrt{D_i t}$ 의 약 4 배가 되며 식 (9)를 식 (11)로 근사시킬 수 있고 확산계수는 식 (12)로부터 구할 수 있다. 이와같이 계산된 실리콘내에서의 phosphorus의 확산계수를 그림 7에서 이미 발표된 결과와 비교하였다. Phosphorus의 경우, 확산계수는 표면농도에 따라 많이 변화하는 것으로 알려져 있다. Mackintosh⁽⁶⁾는 표면농도가 $1 \sim 4 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 인 경우에 대하여, Barry⁽¹⁰⁾는 표면농도가

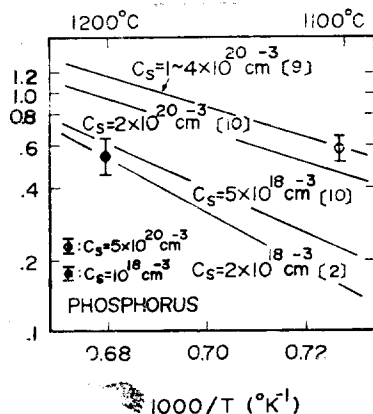


그림 7. 온도에 실리콘 내의 phosphorus 확산계수
Fig. 7. Diffusion coefficient of phosphorus into silicon at various temperatures

$2 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 인 경우와 $5 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 인 경우에 대하여, 그리고 金德重⁽²⁾氏는 표면농도가 $2 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 인 경우에 대하여 phosphorus의 확산계수를 측정하였으며 그 결과는 그림 7에 실선으로 표시된 것과 같다. 본 실험으로부터 계산된 결과는 그림 7에서 볼 수 있는 바와 같이 이러한 발표된 값과 거의 일치하였다.

3) Arsenic spin-on source

Arsenic spin-on source를 사용할 때의 접합의 깊이를 그림 8에 보였다. Arsenic의 경우도 boron, phosphorus와 같이 접합의 깊이는 확산시간의 square root에 비례하였다. Arsenic의 경우 spin-on source에 의하여 형성된 산화실리콘막내에서의 확산계수는 1200°C 에서 약 $0.02\mu/\sqrt{hr}$ ⁽¹²⁾이므로 식 (13)으로부터 확산계수를 산출할 수 있다. 그림 9는 이와 같이 산출된 arsenic의 확산계수를 Masters⁽¹¹⁾의 intrinsic diffusion coefficient와 비교한 것이다. 실리콘내에서의

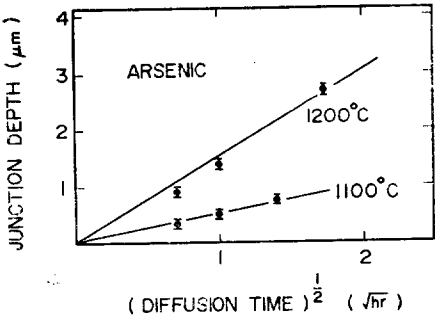


그림 8. 표면농도가 10^{20}cm^{-3} 인 arsenic spin-on source를 1100°C 와 1200°C 에서 사용할 때의 접합의 깊이
 Fig. 8. Junction depth resulting from diffusion of arsenic into silicon at 1100°C and 1200°C from the doped oxide with surface concentration of 10^{20}cm^{-3} .

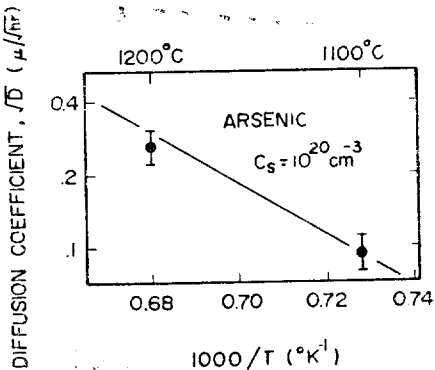


그림 9. 온도에 따른 실리콘 내의 arsenic의 확산계수. $C_s=10^{20}\text{cm}^{-3}$
 Fig. 9. Diffusion coefficient of arsenic into silicon at various temperatures, $C_s=10^{20}\text{cm}^{-3}$

arsenic의 effective diffusion coefficient는 $C > 8n_i$ 일 때 arsenic의 농도에 비례하여 증가하며 $C < 8n_i$ 일 때는 intrinsic diffusion coefficient와 같은 것으로 알려져 있다. (3) 그러나 본 실험으로부터 산출된 arsenic의 확산계수는 표면농도가 n_i 의 10배 임에도 불구하고 intrinsic diffusion coefficient와 같게 나타났다. 이러한 차이점은 확산로에 흘러주는 질소 gas의 영향으로 실리콘산화막內的 arsenic의 확산계수가 감소하여 식 (9)에 표시된 표면농도가 감소하기 때문일 수도 있겠으나 (3) 정확한 원인은 앞으로의 좀더 상세한 연구

에 의하여 밝혀져야 될 것이다.

5. 결 론

이상의 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) Spin-on source는 사용하기에 매우 간편하며 실리콘에 불순물을 확산시키는 확산원료로서 충분히 이용될 수 있다.
- 2) Spin-on source로부터 얻어지는 불순물분포는 $erfc$ 로 대략 근사시킬 수 있으며 확산계수는 이미 발표된 확산계수와 대부분 일치한다.
- 3) Spin-on source를 사용하여 얻어지는 접합의 깊이는 이미 발표된 확산계수와 $erfc$ 분포를 가정하여 대략 예측할 수도 있겠으나 본 실험결과를 이용하면 좀더 정확한 예측이 가능할 것이다.

불순물을 실리콘 내부로 확산시킬때 본 실험에서는 분위기 gas로 질소만을 사용하였으나 실제로는 산소와 질소를 혼합하여 사용하는 경우가 많이 있다. (1) 이러한 확산공정에 대하여서도 좀더 상세한 연구가 있어야 할 것이다.

本 研究는 韓國科學院과 仁松文化財團의 研究費에 의하여 이루어진 것으로 感謝를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Spin-on source manual, Emulsitone Company, 19 Leslie Court, Whippany, New Jersey 07981, U.S.A. or 東京應化工業株式會社, 川崎市 中原區 中丸 日本子150
2. 金德重 "Impurity Contact Diffusion in Semiconductor," 한국과학기술원, 재료공학과, 석사논문, 1976
3. K. Reindl, "Spun on Arsenosilica Film as Sources for Shallow Arsenic Diffusions with High Surface Concentration," Solid-state Electronics, Vol. 16, pp. 181~189, Feb., 1973
4. P.D. Parekh and K. Kolmann, "Arsenosilica Film Source for Microwave Transistor," Solid-state Electronics, Vol. 17, pp. 395~402, April, 1974
5. A.M. Goodman and J.H. Breece, "Thin Tunnelable Layers of Silicon Dioxide Formed by Oxidation of Silicon," Journal of Electrochemical Society, Vol. 117, pp. 982~984, July, 1970
6. A.S. Grove. Physics and Technology of Semi-

- conductor Devices, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1967
7. M.L. Barry and P. Olofsen, "Doped Oxides as Diffusion Sources-I. Boron into Silicon," Journal of Electrochemical Society, Vol.116, pp. 854~860, June, 1969
 8. R.B. Fair, "Boron Diffusion in Silicon-Concentration and Orientation Dependence, Background Effects and Profile Estimation," Journal of Electrochemical Society, Vol.122, pp.800~805, June, 1975
 9. I.M. Mackintosh, "The Diffusion of Phosphorus in Silicon," Journal of Electrochemical Society, Vol.109, pp.392~401, May, 1962
 - 10) M.L. Barry, "Doped Oxides as Diffusion Sources-II, Phosphorus into Silicon," Journal of Electrochemical Society, Vol.117, pp.1405~1410, Nov., 1970
 11. B.J. Masters and J.M. Fairfield, "Arsenic Isoconcentration Diffusion Studies in Silicon," Journal of Applied Physics, Vol.40, No.6, May, 1969