

# 실리콘 陽極酸化 方法에 의한 실리콘內的 보론과 아세닉 擴散分布의 測定

## (Measurement of Diffusion Profiles of Boron and Arsenic in Silicon by Silicon Anodization Method)

朴 亨 茂\* , 金 忠 基\*

(Park, Hyung Moo and Kim, Choong Ki)

### 要 約

실리콘 陽極酸化方法으로 실리콘에서의 不純物 分布를 測定하였다. 電解液으로 Ethylene Glycol + KNO<sub>3</sub> (0.04N)을 사용하였고, 200V의 電壓을 가했을 때 한 번의 陽極酸化에 의하여 사감되는 窒素의 厚기는 웨이퍼 타입에 관계없이 460 ± 40 Å이다. Predeposition 후의 보론과 아세닉의 分布를 求하였고 이 分布에 의하여 不純物 濃도에 따른 擴散係數를 계산하였다. 또한 npn 트랜지스터 構造에 있어서 아세닉 에미터와 보론 베이스간의 相互作用에 의한 베이스 pull-in 現象을 觀察하였다.

### Abstract

Anodization method is utilized in order to measure diffusion profiles of boron and arsenic in silicon. The solution used for silicon anodization is Ethylene Glycol + KNO<sub>3</sub> (0.04 N). The thickness of silicon which is consumed by a single 200 V anodization is 460 ± 40 Å regardless of wafer type. The profiles of boron and arsenic in silicon after predeposition process are investigated. The diffusion coefficients of both dopants depending on impurity concentration are extracted from these profiles. The base pull-in effect has been observed in npn prototype transistors with arsenic doped emitter.

1. 序 論  
集積回路 製造工程에 있어 擴散工程은 큰 比重을 차지한다. 擴散을 시킨 후 간단히 그 結果를 알 수 있는 方法으로는 4-point probe를 이용한 웨이퍼 表面에 사의 針이 抵抗, ρ<sub>s</sub>의 測定과 lapping and staining에 의한 接合線의 X<sub>1</sub>의 測定이다. 一般의 工程이나 實驗室에서 행해지고 있는 擴散工程은 predeposition과 drive in을 段階로 이루어진다. 擴散係數, D가 不純物 濃도에 無關하다고 하면

predeposition 段階 후의 不純物 分布는 complementary error function (erfc)의 形로 表示되며 drive-in 段階 후는 gaussian function의 形로 表示된다. 따라서 擴散工程 후의 不純物 分布를 erfc의 形態로 看做하고 ρ<sub>s</sub>와 X<sub>1</sub>의 測定값을 利用하면 이 階의 擴散係數 D를 算出할 수 있다. 이런 方法으로 얻은 보론, 아세닉, 포스포러스의 실리콘에서의 擴散係數, D가 의미 發表되어 있다.<sup>[1]</sup> 그러나, 실제 predeposition을 행한 뒤의 不純物 分布는 erfc의 形態와 많은 차이를 보이는 데 그 이유로는 擴散係數 D가 不純物 濃도에 따라 달라진다는 것을 들 수 있다.<sup>[2]</sup>

특히 不純物 分布에 敏感한 I<sup>2</sup>L (integrated injection logic)이나, 기타 다른 素子들의 올바른 設

\* 正會員, 韓國科學技術院 電氣 及 電子工學科 (Dept. of Electrical Science, KAIST)  
(接受日字: 1980年 7月 29日)

計나 特性을 豫測하기 위해서는 可能한 한 正確한 不純物 分布를 알아야 할 必要性이 있다.

現在까지 알려진 不純物 分布를 測定하는 方法은 다음과 같다.

① 4-point probe 로 시이트 抵抗,  $\rho_s$  를 測定하는 方法

② Spreading 抵抗을 測定하는 方法

③ c-v 特性에 의한 方法

④ 放射性 同位元素인 不純物을 利用하는 方法

이中 ④의 方法은 特殊한 裝置를 必要로 하고<sup>[3]</sup>

③의 方法은 測定 範圍가 表面에서 가까운 部分으로 制限되며 이온 임프란테이션에 의한 不純物 分布의 測定과 같은 경우에 有用하다.<sup>[4]</sup> ②와 ①의 方法은 실리콘을 얇게 벗겨가면서 매번 시이트 抵抗,  $\rho_s$  와 spreading 抵抗,  $R_{sp}$  를 測定하는 것이다.<sup>[5]</sup> 실리콘을 얇게 벗기는 方法으로는 실리콘을 실리콘 溶解溶液에 넣어 직접 蝕刻하는 方法과 실리콘을 일단 실리콘 陽極酸化 方式에 의하여 氧化物로 만들어 이 氧化物을 蝕刻하므로써 氧化物이 形成될 때 消耗된 실리콘을 간접적으로 除去하는 方法이 있다. 前者의 경우 실리콘 溶解溶液으로는 여러 가지가 알려져 있으나<sup>[6]</sup> 溶解速度가 溫度, 藥品造成比, 특히 不純物 濃度에 따라 변하기 때문에 매번 같은 두께의 실리콘을 蝕刻하기 위해서는 무척 細心한 調節과 많은 量의 데이터를 必要로 하여 正確한 不純物 分布의 測定에는 適合하지 못하다. 그 반면 실리콘 陽極酸化에 의한 方法은<sup>[7]</sup>

첫째, 生成된 氧化物의 두께가 電極사이에 가해지는 電壓에 의해 決定되므로 一定한 두께의 실리콘을 均一하게 벗겨낼 수 있고

둘째, 實驗裝置가 매우 簡單하다는 利點이 있다.

본 實驗에서는 Ethylene Glycol + KNO<sub>3</sub> (0.04N) 電解液을 使用한 실리콘 陽極酸化 方法과 ①의 4-point probe를 利用한 시이트 抵抗의 測定에 의해 predeposition 段階 후의 보론과 아세닉의 分布와 npn 트랜지스터 構造의 에미터, 액티브 베이스, 베시브 베이스 領域에서의 不純物 分布를 測定하였다. 보론의 경우는 擴散 소스를 두 種類 使用하였고 아세닉의 경우는 한 가지 소스에 대해 擴散時의 零圍氣 개스를 바꿔가면서 擴散시킨 後 그 結果를 比較하였다. 그리고 predeposition 段階 後의 不純物 分布 資料로부터 不純物 濃度에 따른 擴散係數를 구하였다.

II. 理論的 背景

2-1. 不純物 分布의 測定

不純物 分布를 시이트 抵抗,  $\rho_s$  의 값들로 부터 구하기 위해서는 다음의 단계를 거쳐야 한다.

첫째,  $\rho_s$ 로부터  $\sigma_s$ 를 구하고

둘째,  $\sigma_s$ 로부터  $\sigma$ 를 구하고

셋째,  $\sigma$ 로부터  $c$ 를 구한다.

여기서 첫째 段階는 시이트 抵抗,  $\rho_s$  의 逆數를 取하면 시이트 콘다턴스  $\sigma_s$  가 되고 셋째 段階는 이미 發表된 濃度,  $c$  와 콘다턴티비티,  $\sigma$  와의 關係를 利用하였다.<sup>[8]</sup> (이것은 실리콘 bulk에서의  $c$  와  $\sigma$  사이 關係임.) 이제부터 둘째 段階의 變換에 對하여 살펴보자. 실리콘 웨이퍼에 擴散을 하고 난 後에 斷面을 보면 表面에서 가까운 쪽의 不純物 濃度가 가장 높고 깊이 들어 갈수록 점점 낮아지는 것을 알 수 있다. 이 때 그림 1의 (a)에서와 같이 擴散된 層을

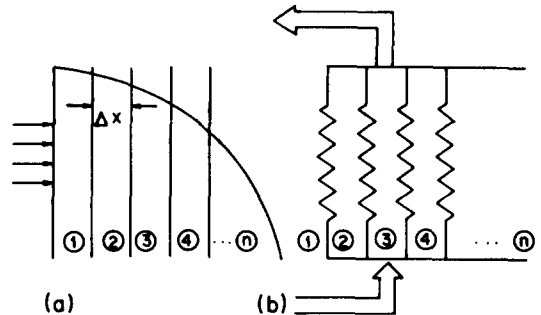


그림 1. 웨이퍼 표면에서 4-point probe 로  $\rho_s$  를 측정할 때의 모델

(a) 웨이퍼 표면에서 접합면까지 불순물 분포와 n 개의 양극산화에 의한 n 개의 박막들 (b) (a) 의 등가 모델

Fig. 1. A model which represents the situation when  $\rho_s$  is measured by a 4-point probe.

(a) The impurity distribution in the wafer and n sections according to the n time anodizations.

(b) An equivalent circuit model of (a).

n 개의 部分들로 나누고 n 을 크게 함으로써 各 部分에서의 不純物 濃度는 均一하다고 생각할 수 있다. 이러한 모델에 대한 等價回路는 그림 1의 (b) 처럼 서로 크기가 다른 n 개 抵抗의 並列連結로 그려진다. ①번 조각만을 떼어 놓고 測定한 시이트 콘다턴스를  $\sigma_{s,1}$ , ②번 따로 測定한 시이트 콘다턴스를  $\sigma_{s,2}$  라 하면 n 개의 部分들로 이루어진 擴散層의 全體 시이트 콘다턴스  $\sigma_{s,t}$  는

$$\sigma_{s,t} = \sum_{i=1}^n \sigma_{s,i} \dots\dots\dots (1)$$

로 表示된다. 마찬가지로 하여 첫번째 部分①을 除去한 뒤에 測定한 (n-1) 개의 部分들로 이루어진 擴散層의 全體 시이트 콘다턴스  $\sigma_{s2,t}$  는

$$\sigma_{s2,t} = \sum_{i=2}^n \sigma_{s,i} \dots\dots\dots (2)$$

로 表示된다. 式(1), (2)에 의해 ①번 조각 하나만의 시이트 콘다턴스  $\sigma_{s,1}$  은 다음과 같다.

$$\sigma_{s,1} = \sigma_{s1,t} - \sigma_{s2,t} \dots\dots\dots (3)$$

여기서 각 조각들은 均一한 不純物 濃도를 가지므로 ①번 조각의 콘다턴비티  $\sigma_1$  은 단지 두께  $\Delta x$  로 나누면 된다.

$$\sigma_1 = \sigma_{s,1} / \Delta x = (\sigma_{s1,t} - \sigma_{s2,t}) / \Delta x \dots\dots (4)$$

$\Delta x$ 의 極限값을 취하면 (4)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\sigma_i = -d\sigma_{si,t} / dx \dots\dots\dots (5)$$

따라서 어떤 점  $x = x_i$ 에서의 콘다턴비티는 그 점에서의 시이트 콘다턴스의 기울기로 구할 수 있다. 실제 계산을 할 때는 取扱의 便宜를 위해서 다음과 같이 한다.

$$\sigma_i = -\sigma_{si,t} (d\ell_n \sigma_{si,t} / dx) \dots\dots\dots (6)$$

2-2. 不純物 濃도에 따른 擴散係數의 계산

不純物 分布를  $x$  方向으로 1次元만을 생각하면 擴散을 나타내는 數學的 表現은 다음과 같다.

$$\frac{\partial c(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (D \frac{\partial}{\partial x} C(x,t)) \dots\dots (1)$$

Boltzmann 變換에 의해

$$\eta = \frac{x}{2\sqrt{t}} \dots\dots\dots (2)$$

라 하면 chain rule 에 의해

$$\frac{\partial c(x,t)}{\partial t} = \frac{dc(\eta)}{d\eta} \frac{\partial \eta(x,t)}{\partial t} \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{\partial c(x,t)}{\partial x} = \frac{dc(\eta)}{d\eta} \cdot \frac{\partial \eta(x,t)}{\partial x} \dots\dots\dots (4)$$

로 쓸 수 있고 (3), (4)를 (1)에 代入하면

$$-2\eta \frac{dc(\eta)}{d\eta} = \frac{d}{d\eta} (D \frac{dc(\eta)}{d\eta}) \dots\dots\dots (5)$$

의 常微分 方程式으로 된다. 양변을 積分하고  $\eta$  를

다시  $x$ 와  $t$ 로 바꿔놓고  $D(x)$ 에 대해서 整理를 하면

$$D(x) = -(\frac{dc(x)}{dx})^{-1} \frac{1}{2t} \int_0^{c(x)} x dc' \dots\dots (6)$$

로 된다. 따라서 일단 不純物 分布만을 구해 놓으면 式(6)으로부터 不純物 濃도에 따른 擴散係數를 計算할 수 있다. 여기서 이러한 方法에 의해 擴散係數를 구하기 위해서는  $c(x,t)$ 가  $x$ 와  $t$ 에 대한 獨立인 函數가 아니라  $x/\sqrt{t}$ 에 대한 函數이어야 한다.

III. 實驗方法 및 溶液準備

3-1. 擴散소스 및 샘플의 準備

擴散소스로는 Emulsiton 社의 spin-on 소스를 使用하였다. 實驗에 使用한 소스는 다음과 같다.

보론

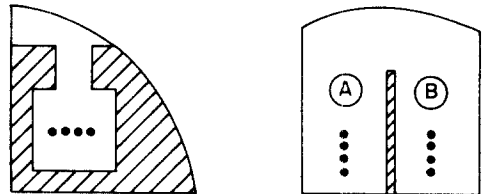
Borosilicafilm I (B-I)  $C_0 = 5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$

P-250  $C_0 = 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$

아세닉

Standard (STD)  $C_0 = 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$

여기서  $C_0$ 는 확산시 실리콘 표면에서의 不純物 濃도를 意味한다. 각 소스의 特性 및 자세한 工程에 관해서는 省略하기로 한다.<sup>[9]</sup> 不純物 分布를 測定하기 위한 샘플은 두 種類이다.



(a) PREDEP. PATTERN (b) NPN TR PATTERN

그림 2. 불순물 분포를 측정하기 위한 샘플의 구조  
(a) Predeposition 후에 측정을 위한 샘플  
(b) Npn 트랜지스터에서 active 베이스와 passive 베이스의 불순물 분포를 동시에 측정하기 위한 샘플

Fig. 2 Sample structures for the measurement of impurity profiles.  
(a) Sample pattern for the predeposition step.  
(b) Sample pattern for the active and passive base in npn transistors.

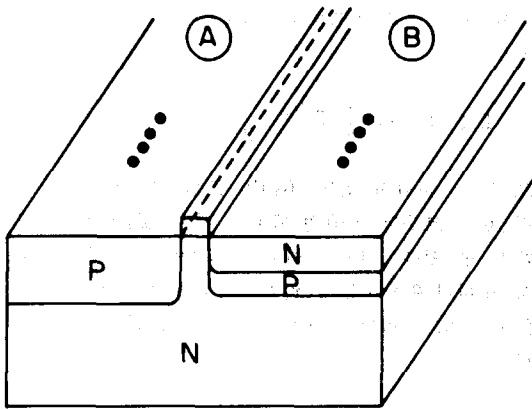


그림 3. 그림 2 (b)의 입체적도시

(A) ; Passive 베이스 (B) ; Active 베이스

Fig. 3. The 3-dimensional demonstration of Fig. 2 (b).

(A) ; Passive base (B) ; Active base

그림 2에서 (a) 형태는 predeposition 한 뒤, 불순물 분포를測定할 때 사용하고 (b) 형태는 npn 트랜지스터의 에미터, 베이스에서의 불순물 분포를測定할 때 사용한다. 빗금친 부분은 실리콘 양극산화시에 電流의 흐름을 막기 위한 thermal oxide를 나타내며 이것은 또한 擴散 마스크로도 사용된다. 4개의 점들은 4-point probe의 接觸 位置를 나타낸다. 4-point probe로  $\rho_s$  測定시의 補正係數를 고려해서<sup>[10]</sup> (a)는 가로와 세로 각각 1cm로 하였고 (b)는 (A), (B) 두 領域의 幅을 각각 1cm로 하였다. 보론과 아세닉과의 相互作用이 보론의 擴散에 미치는 影響을 觀察하기 위해서 (b) 형태를 (A), (B) 두 領域으로 나누고 (A)에는 보론만을 擴散시키고 (B)에는 보론을 擴散시킨 뒤 다시 아세닉을 擴散시켰다. 여기서 (A)는 npn 트랜지스터의 페시브 베이스, (B)의 P形 領域은 액티브 베이스에 해당된다. 액티브 베이스는 에미터의 밑 部分으로 에미터에서 들어온 少數搬送자가 지나가는 部分이고 페시브 베이스는 베이스 電極에서 액티브 베이스까지를 意味한다. 그림 2의 (b) 형태를 立體的으로 그려보면 그림 3과 같다. (a), (b) 두 형태에 대해 행한 擴散過程을 적어보면 다음과 같다.

(a) 형태에 행한 工程

- ① Cleaning
- ② Thermal Oxidation (Oxide 두께 =  $1\mu\text{m}$ )
- ③ Photolithography (Diffusion and Anodization mask)

- ④ Cleaning
  - ⑤ Diffusion (predeposition)
  - ⑥ Photolithography
- (b) 형태에 행한 工程

- ① Cleaning
- ② Thermal oxidation (oxide 두께 =  $1\mu\text{m}$ )
- ③ Photolithography (diffusion and anodization window)
- ④ Cleaning
- ⑤ Diffusion (boron)
- ⑥ Photolithography (arsenic diffusion window)
- ⑦ Diffusion (arsenic)
- ⑧ Photolithography

③번 過程에서는 웨이퍼의 뒷면의 oxide도 남겨 두어야 한다. 마지막 photolithography 過程은 실리콘 양극산화를 한 뒤 酸化물을 녹여낼 때 양극산화 마스크인 웨이퍼 앞 뒷면의 thermal oxide를 保護하기 위해서 한다.

### 3-2. 實驗裝置 및 實驗方法

실리콘 양극산화를 위한 實驗裝置는 그림 4와 같다.

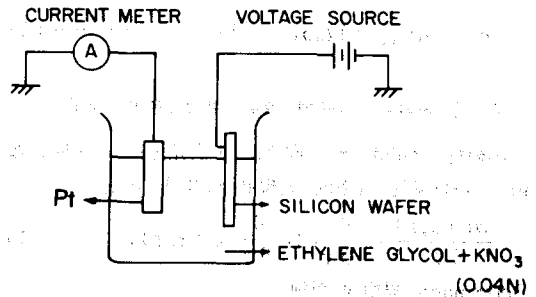


그림 4. 실리콘 양극산화에 사용한 실험장치

Fig. 4. An experimental apparatus for the silicon anodization.

양극에 酸化를 시키고자하는 物質 즉 실리콘 웨이퍼를 물리고 陰極으로는 溶液과 反應하지 않는 電極(백금電極)을 사용한다. 電解液으로는 여러 가지가 알려져 있으나<sup>[11]</sup> 이 들 溶液을 사용해서 實驗해 본 結果 Ethylene Glycol에 0.04 N의  $\text{KNO}_3$ 를 섞은 溶液을 選擇하였다. 이 溶液을 사용하였을 때 일어나는 反應은 溶液 內의 水分 含有量에 敏感하므로 매 번 均一하고 一定한 두께의 酸化물을 얻기 위해서는 溶液 內의 水分 含有量이 0.5~3%를 有持하여야 한다.<sup>[12]</sup> 電原으로는 一定한 電壓을 가하는 方法

실리콘 양극산화 방법에 의한 실리콘 내의 보론과 아세닉 확산 분포의 측정

과, 一定한 電流를 흘려주는 方法이 있는데, 實驗에서 큰, 小 두가지 方法을 結合하여 電壓 소스에 電流를 制限하여 使用하면, 차음에는 限定된 一定한 電流가 흐르다가, 얼마 후에는 電流가 급속히 減少하면서 一定한 電壓이 걸리게 된다. 實驗에서는 200V 電壓에 100mA/cm<sup>2</sup> 로 電流를 制限하였다. 이렇게 하여 생긴 酸化膜 및 이 때에 消耗된 실리콘의 두께를 測定하기 위해서 인터페로메터를 使用하였다. 酸化膜은 單單 蝕刻하여 두께를 測定하였고 실리콘은 n 번의 양극酸化가 끝난 뒤 測定한 두께를 n 으로 나누어서 한 번의 양극酸化에 의해 消耗되는 실리콘의 두께를 구하였다.

표 1. Anodization voltage 에 따른 SiO<sub>2</sub> 와 Si 두께

Table 1. Thickness of SiO<sub>2</sub> and Si for various anodization voltages.

전압 (V)	Diffusion type	Anodization 횟수 (번)	SiO <sub>2</sub> (Å)	Si (Å)
100	n	4	500 ± 40	270 ± 20
	p	10		190 ± 10
200	n	2	1010 ± 20	570 ± 10
	n	17		460 ± 10
	n	18		460 ± 10
	n	4		470 ± 10
	p	10		430 ± 10
	p	8		500 ± 10
300	p	7		460 ± 10
	p	21		460 ± 10
	p	2		740 ± 20

표 1에서 양극산화 電壓에 따른 酸化膜 및 실리콘의 두께를 보였다. 이 표에서 살펴보면 酸化膜의 경우 가해진 電壓에 比例하여 5Å/V의 두께로 形成되고 실리콘의 경우 200V에서 n形, p形 모두 460 ± 40 Å의 範圍內에 들어가는 것을 알 수 있다. 여기서 40 Å은 양극산화 횟수가 적어 오차 發生 가능성이 큰 570 ± 20 Å 샘플을 제외한 나머지 값들을 다 包容할 수 있는 오차 許容치이다. 실제 實驗의 過程을 살펴보면 다음과 같다. 100mA/cm<sup>2</sup>로 電流를 制限한 電壓소스로 200V의 電壓을 가하면 백금電極과 실리콘 表面에서 무수히 많은 氣泡가 發生하면서 실리콘 表面이 酸化된다.

約 7분 뒤 電流가 2.5mA/cm<sup>2</sup> 이하로 떨어지면 양극酸化가 完結된 것으로 보고 電原을 끄고 웨이퍼를

꺼낸다. 이 때 生成된 酸化膜의 두께는 約 1000 Å으로서 均一한 진보라색을 띠고 있고 BOE (buffered oxide etchant)에 담으면 常溫에서 約 30秒 後에 完全히 녹는다. DI water로 깨끗이 씻고 充分히 乾燥시킨 뒤 4-point probe로 ρ<sub>s</sub>를 測定하고 다시 위의 過程을 되풀이한다. 200V의 電壓을 가할 경우 1μm 깊이의 接合面까지의 不純物 分布를 測定하기 위해서는 위의 過程을 20번 가량 되풀이 하여야 한다. 왜 過程에서 溶液의 性質上 웨이퍼에 묻은 水分을 充分히 除去해 주는 것이 무척 重要하므로 한번 양극酸化가 끝난 뒤 웨이퍼를 120°C 程度의 오븐위에서 1~2分 가량 말리는 것이 좋다. 實驗할 때에는 샘플마다 새로운 溶液으로 하였고 한번 양극酸化가 끝난 뒤에는 溶液을 흔들어서 골고루 섞어 주었다.

N. 結果 및 考察

그림 5는 B-I 소스로 1000°C에서 15分 동안 N<sub>2</sub> 개스 雰囲気에서 擴酸시킨 뒤의 보론의 分布이다. 참고로 이 溫度에서 보론의 intrinsic 擴酸係數 D<sub>1</sub>를 使用해서 erfc에 의한 分布를 함께 그렸다. 실제의 分布와 erfc에 의한 分布사이엔 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 그림 6은 아세닉의 分布이다. STD

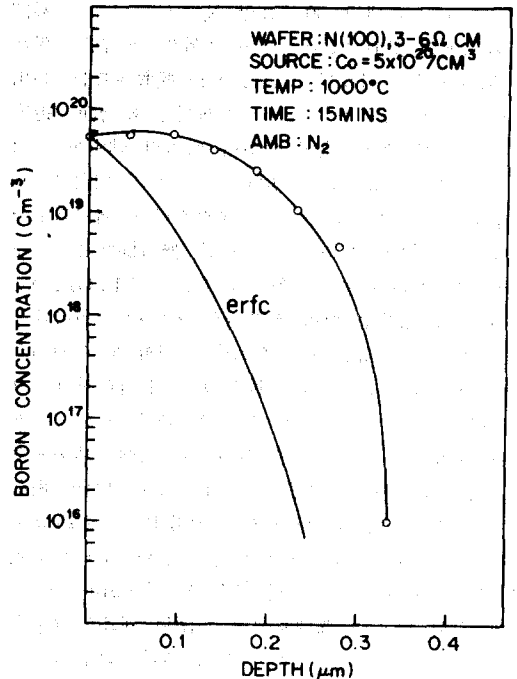


그림 5. Predeposition 후의 보론 분포의 분포 Fig. 5. Boron profile after predeposition.

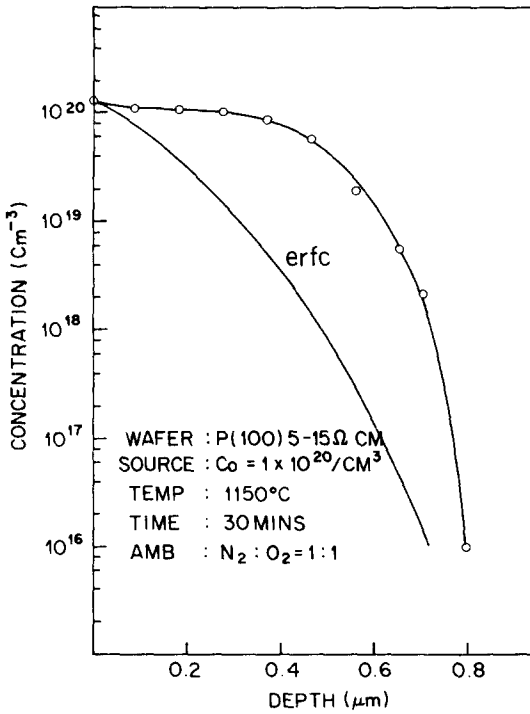


그림 6. Predeposition 후의 아세닉 불순물의 분포  
Fig. 6. Arsenic profile after predeposition.

소스로 1150°C에서 30분동안 N<sub>2</sub> : O<sub>2</sub> = 1 : 1 雰圍氣 개스에서 擴散시켰다. 역시 比較의 便宜를 爲해 이 溫度에서의 아세닉의 intrinsic 擴散係數를 利用해서 erfc의 分布를 보였다. 아세닉은 接合面 近方에서의 급한 濃度變化에 의하여 에미터 効率が 좋고 또한 얇은 베이스 幅의 調節이 可能하기 때문에 利得과 帶域幅의 곱 f<sub>T</sub>가 큰 트랜지스터의 에미터로서 適合하다.<sup>[13], [14]</sup> 그림 7은 다른 擴散條件은 모두 같게하고 雰圍氣 개스만을 N<sub>2</sub> : O<sub>2</sub> = 1 : 1, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>로 바꿔서 擴散한 여러 샘플들의 不純物 分布이다. 擴散 소스로서 Spin-on 소스를 使用할 때 아세닉의 경우 雰圍氣 개스에 따라 擴散 結果가 달라진다. 그림 7에 의하면 N<sub>2</sub> : O<sub>2</sub> = 1 : 1 일 때에 가장 깊게 많이 들어가는 것을 알 수 있다. 이 점에 대해서는 O<sub>2</sub> 雰圍氣에서는 소스膜과 웨이퍼 表面사이의 酸化物에 의해서, N<sub>2</sub> 雰圍氣에서는 擴散中에 소스膜과 웨이퍼 表面과의 分離에 의해서 擴散이 제대로 되지 않는다는 說明을 하고있다.<sup>[15]</sup> 따라서 spin-on 소스에 의한 아세닉 擴散時에는 雰圍氣 개스의 N<sub>2</sub> 對 O<sub>2</sub>의 比率를 適切히 調整하여야 한다. 그림 8과 그림 9는 npn 트랜지스터 構造에서 페시브 베이스 領域과 액티브 베이스 領域에서의 不純物 分布를 한

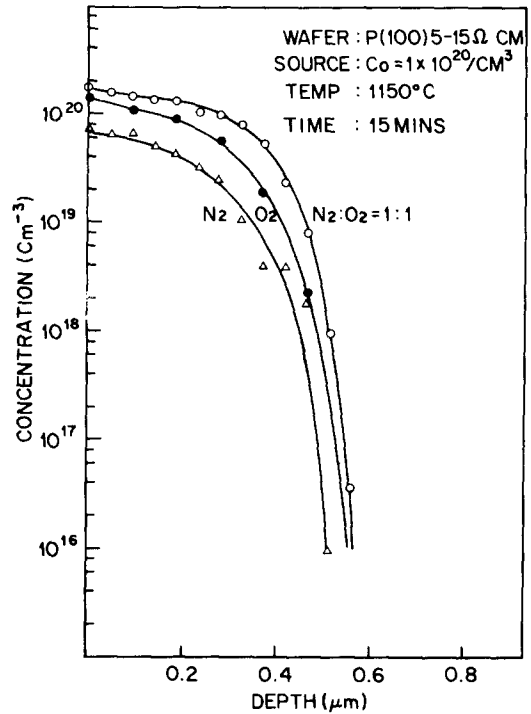


그림 7. 확산 분위기를 달리할때의 아세닉분포의 변화  
Fig. 7. The variation of arsenic profiles due to the different ambient gas during diffusion.

웨이퍼에서 同時に 測定하여 그린 그림이다. 그림 8은 P-250으로 900°C에서 15분간 N<sub>2</sub> 雰圍氣에서 베이스 擴散한 후 1150°C에서 STD로 15분간 N<sub>2</sub> : O<sub>2</sub> = 1 : 1 雰圍氣에서 에미터 擴散하여 얻은 것이고 그림 9는 그림 8을 얻을 때와 같은 條件이나 다만 베이스 擴散 溫度를 1000°C로 높였다. 그림 8의 경우 베이스 幅이 0.2 μm 정도이고 액티브 베이스 領域에서 보다 페시브 베이스 領域에서 보론이 더욱 깊게 들어갔음을 알 수 있다. 이것은 베이스 pull-in 効果로 불리는 아세닉 에미터, 보론 베이스에서 觀察되는 現象인데 보론과 아세닉과의 相互作用에 의하여 일어난다.<sup>[16]</sup> 그림 9의 경우는 베이스 幅이 약 1 μm이다. 그림 10은 擴散 條件은 같지만 時間만 달라진 두 아세닉 分布를 x/√t로 正規化한 그림이다. D 202와 L 101은 1150°C, N<sub>2</sub> : O<sub>2</sub> = 1 : 1 雰圍氣에서 각각 30분과 15분간 확산시킨 것으로 이 두 샘플에서 얻은 分布가 서로 一致함을 알 수 있고, § 2-2에서 제시한 方法에 의해서 濃도에 따른 擴散係數를 구할 수 있다. 그림 11과 그림 12는 그림 5와 그림 6을 利用해서 구한 보론과 아세닉의

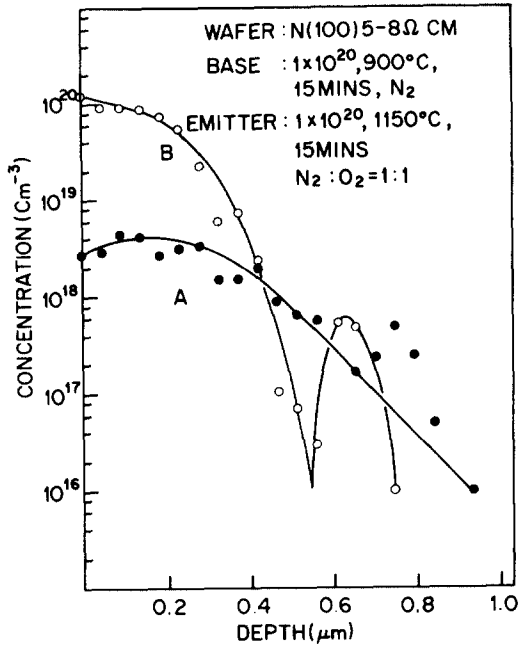


그림 8. Passive 베이스와 active 베이스에서의 불순물 분포 (베이스폭이 좁은 경우)  
A; passive 베이스영역 B; active 베이스영역  
Fig. 8. Impurity profiles in passive and active base (for narrow base width).  
A; passive base region B; active base region

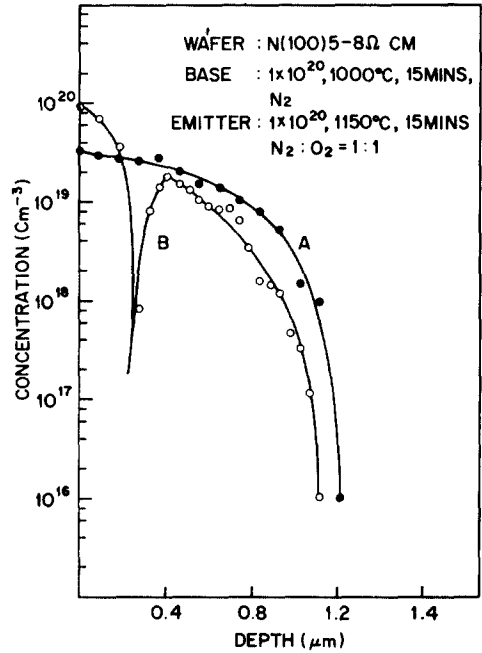


그림 9. Passive 베이스와 active 베이스에서의 불순물 분포 (베이스폭이 넓은 경우)  
A; passive 베이스영역 B; active 베이스영역  
Fig. 9. Impurity profiles in passive and active base (for wide base width).  
A; passive base region B; active base region

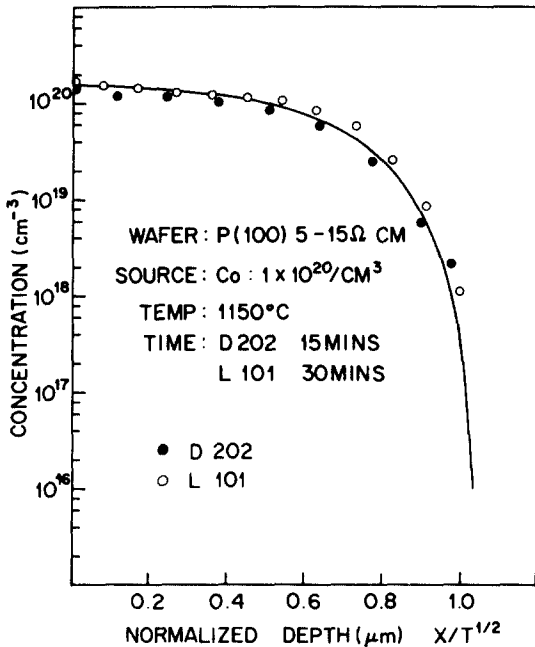


그림 10.  $x/\sqrt{t}$ 에 대한 아세닉의 분포 (D 202와 L 101은 샘플번호)  
Fig. 10. Arsenic profile according to normalized depth  $x/\sqrt{t}$ . (D 202, L 101 are the sample numbers.)

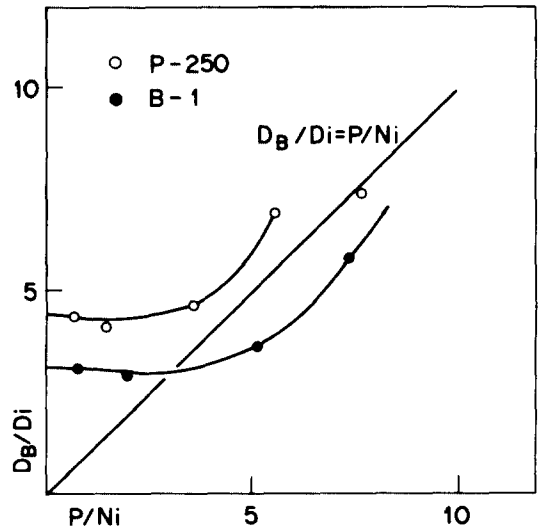


그림 11. 보론의 불순물 농도에 따른 확산계수의 변화 (p-250, B-1은 확산공정에 사용된 확산 source의 종류이다)  
Fig. 11. Dependence of diffusion coefficient of boron on the concentration. (p-250, B-1 are the names of the diffusion sources used.)

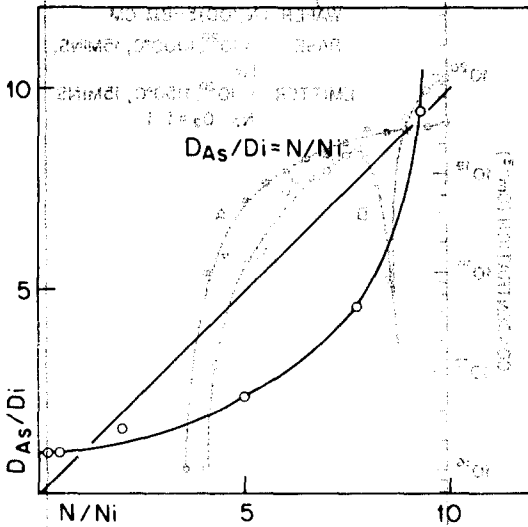


그림 12. 아세닉의 불순물 농도에 따른 확산계수의 변  
 Fig. 12. Dependence of diffusion coefficient of arsenic on the concentration

농도에 따른 확산계수  $D_A$ 와  $D_{AS}$ 이다. 그림 11, 12에서  $n_i$ 와  $D_i$ 는 각각 확산 온도에서의 intrinsic 전자 농도, 확산계수를 나타낸다. 불순물 농도가 높을 때에 보론과 아세닉의 확산계수가 증가한다는 사실은 여러 사관에 의해서發表되었으며, 이러한 現象을 說明하기 위한 확산모델이 多樣하게 提示되어 왔다. 그 中 mono vacancy model에 依하면 보론은  $[V^-]$ 에 의하여, 아세닉은  $[V^-]$ 에 의하여 확산계수가 달라진다. 여기서  $[V^+]$ 와  $[V^-]$ 은 各各 陽電荷, 陰電荷를 띤 vacancy 농도를 표시한다. 이 model을 바탕으로 해서 計算한 불순물 농도에 따른 확산계수의 변화는  $D_B/D_i = p/n_i$ ,  $D_{AS}/D_i = n/n_i$ 이다.<sup>[17]</sup> 여기서  $D_i$ 와  $n_i$ 는 各各 확산 온도에서 intrinsic 확산계수와 intrinsic 전자 농도를 나타낸다. 實驗할 때에는 hole 농도  $p$ 를 확산 온도에서 測定하기가 어려우므로 常溫에서 사이트 抵抗을 測定해서 얻은 불순물 농도가 확산 온도에서의 hole 농도와 같다고 생각한다. 즉

$$p(\text{擴散溫度}) = C_B(\text{常溫}) \quad (1)$$

여기서  $C_B$ 는 보론 농도다. 이 關係가 成立하기 위해서

$$p = (C_B/2) + \sqrt{(C_B/2)^2 + n_i^2} \quad (2)$$

에서  $C_B/2 \gg n_i$  이어야 한다. 실제  $C_B = 4n_i$  일 때

$p = 1.06 C_B$ 로서  $C_B \geq 4n_i$ 이면 10% 以內의 誤差 範圍안에서 ①式의 關係를 使用할 수 있다. 그림 11과 그림 12의  $p$  즉  $p/n_i$ 와  $n/n_i$ 에서  $p$ 와  $n$ 도 이러한 意味에서  $C_B$ 와  $C_{AS}$ 의 값을 ใกล้เคียง로 使用하였다. 두 그림에서 直線은 本 연구에서 얻은 측정치가 mono vacancy model에서 얼마나 상위한가를 보여 주기 위하여 그린 것이다.

그림 11에서 2개의 커브는 서로 다른 擴散, 소스를 使用해서 구한 擴散계수이다. Fairfield에 의한 資料를 보면 여러 溫度範圍에 걸쳐  $D_B/D_i = C_B/n_i$ 의 關係式이 거의 滿足되는 것을 알 수 있다.<sup>[21]</sup>

Fairfield의 경우는  $C_B/n_i$ 가 1에서 100까지 變化하나 그림 11에서는 샘플의 부족으로  $C_B/n_i$ 가 8까지 밖에 나타나 있지 않다.  $C_B/n_i$ 가 4보다 커지면  $D_B/D_i$ 가  $D_B/n_i$ 를 따라서 增加하기 始作하는 것을 볼 수 있다.

그림 12는 아세닉의 경우  $D_{AS}/D_i$ 와  $n/n_i$ 에 따른 變化이다. 아세닉의 擴散에 대해서는 Master씨와 Fairfield씨가 isoconcentration 擴散實驗에서  $D_{AS}/D_i = n/n_i$ 의 關係를 實驗을 통해서 確認하고 mono vacancy model을 主張하였다.<sup>[18]</sup> 그 후, Murota씨 등이  $D_{AS}/D_i$ 와  $C_{AS,T}/n_i$ 와의 關係를 調査하였다. 여기서  $C_{AS,T}$ 는 아세닉 原子全體 갯수를 나타낸다. Murota씨는  $C_{AS,T}/n_i$ 가 34가 될 때까지  $D_{AS}/D_i = C_{AS,T}/n_i$ 의 關係가 있고  $C_{AS,T}/n_i$ 가 34보다 커지면 도리어  $D_{AS}/D_i$ 가 減少하는 것을 觀察하였다.<sup>[19]</sup>

그림 12에서는  $n/n_i$ 가 5보다 클 때  $D_{AS}/D_i$ 의 急激한 增加를 나타낸다.

## V. 結 論

以上の 實驗 結果를 綜合하면 다음과 같다.

(1) Ethylene Glycol +  $KNO_3$  (0.04N)을 電解液으로 使用한 실리콘 陽極酸化 方法은 실리콘에서 불순물 分佈를 얻을 수 있는 간단하고 손쉬운 方法이다. 200V의 一定 電壓을 가했을 때 生成되는 酸化膜의 두께는 約 1000 Å이고 이 때 실리콘은  $460 \pm 40$  Å이 삭감된다.

(2) 실리콘에서 predeposition 段階 後의 보론과 아세닉 擴散 分佈는 erfc의 꼴에서 많이 벗어난다. 이는 擴散계수가 불순물 농도에 따라 변하기 때문이며 本 實驗에서는 불순물 농도가 일정하면 대체로 擴散계수가 증가하는 現象을 얻었다.

(3) 실리콘 陽極酸化를 利用한 連續的인  $\rho_s$ 의 測定에 의하여 npn 트랜지스터의 아세닉 에미터와 보론



베이스 간의 相互 作用에 의한 pull-in 效果를 觀察하였다.

參 考 文 獻

1. 김충기, 정태원, "Spin-on Sources에 의한 실리콘내의 불순물 확산," 전기학회지, 제 2 권 6 호 1980 년 11 월
2. R. B. Fair, "Boron Diffusion in Silicon—Concentration and Orientation Dependence, Background Effects, and Profile Estimation," J. Electrochem. Soc., pp. 800, 1975.
3. T. Abe, K. Sata, and N. Oi, "Determination of Epitaxial-Layer Impurity Distribution by Neutron Activation Method," Japan J. Appl. Phys. 4, pp. 70. 1965
4. J. K. Chung, "Measurements of Implantation Profile by MOS C-V Characteristics," KAIS Thesis, E. S. Dept., 1977.
5. W. R. RUNYAN, "Semiconductor Measurements and Instrumentation," pp. 82, McGraw-Hill, 1975.
6. D. L. Klein and D. J. D' Stefan, "Controlled Etching of Silicon in the HF-HNO<sub>3</sub> System," J. Electrochem. Soc., Vol. 109, pp. 37, 1962.
7. E. Tannenbaum, "Detailed Analysis of Thin Phosphorus Diffused Layers in P-Type Silicon," Solid-State Elec., Vol. 2, pp. 123, 1961.
8. J. C. Irvin, "Resistivity of Bulk Silicon and of Diffused Layers in Silicon," The Bell System Tech. Jour., pp. 387, 1962.
9. EMULSITON Spin-on Source Manual.
10. F. M. Smits, "Measurement of Sheet Resistivity with the 4-point Probe," The Bell System Tech. Jour., pp. 710, 1958.
11. R. M. Burger and R. P. Donovan, "Fundamentals of Silicon Integrated Device Technology," Vol. 1, pp. 60, Prentice-Hall, Inc., 1967.
12. E. F. Duffek, E. A. Benjamini and C. Mylroie, "The Anodic Oxidation of Silicon in Ethylen Glycol Solution," Electrochemical Technology, Vol. 3, pp. 75, 1965.
13. P. C. Parekh and K. Kolmann, "Arsenosilica Film Source for Microwave Transistor," Solid-State Elec., Vol. 17, pp. 395, 1974.
14. H. N. Ghosh, A. S. Oberal, J. J. Chang, and M. B. Vora, "An Arsenic Emitter Structure for High Performance Silicon Transistor," IBM J. of Res. Development, pp. 457, 1971.
15. K. Reindl, "Spun-on Arsenosilica Films as Sources for Shallow Arsenic Diffusion with High Surface Concentration," Solid-State Elec., Vol. 16, pp. 181, 1973.
16. R. B. Fair, "Cooperative Effects between Arsenic and Boron in Silicon during Simultaneous Diffusion from Ion Implantation and Chemical Source Predeposition," Solid-State Elec., Vol. 17, pp. 17, 1974.
17. D. Shaw, "Atomic Diffusion in Semiconductor," Chap. 2, Plenum Press, 1973.
18. B. J. Masters and J. M. Fairfield, "Arsenic Isoconcentration Diffusion Studies in Silicon," J. Appl. Phys. Vol. 40, pp. 2390, 1969.
19. J. Murota, E. Arai, K. Kobayashi and K. Kudo, "Relationship Between Total Arsenic and Electrically Active Arsenic Concentrations in Silicon Produced by the Diffusion Process," J. Appl. Phys. Vol. 50, pp. 804, 1979.

