

스핀온 소스에 의한 실리콘內의 硼素의 二段階 확산 (Two-Step Diffusion of Boron into Silicon by Spin-on Source)

鄭 泰 源 *
(Chung, Tae-Won)

요 약

새로운 불순물(dopant) 원료인 스페인 소스를 사용하여 硼素를 실리콘內에 이단계 확산시키는 공정을 검토하였다. predeposition 後의 확산층의 두께의 drive-in 확산後의 두께에 비하여 무시할 수 없이 큰 경우에 대하여 이단계 확산공정이 끝난 후의 확산층의 두께를 예측할 수 있는 간단한 방법을 제안하였다. 제안된 방법에 의하여 불순물 확산층의 두께를 예측하였으며 그 결과를 실험적으로 측정된 값과 비교하였다.

Abstract

The two-step diffusion process of boron into silicon has been investigated using a new diffusion source called "Spin-on Source". A simple method is proposed which can estimate the junction depth after the two-step diffusion for the cases where the junction depth after the predeposition is not negligible compared with the junction depth after the two-step diffusion. The estimated junction depths are, then, compared with the experimental measurements.

1. 서 론

집적회로를 제작하는 공정에 있어서 기체상태나 액체상태의 불순물을 이용하는 대신 고체상태의 불순물을 이용하는 연구가 많이 진행되고 있다.^{[1]-[5]} 고체상태의 불순물을 이용하면 질소와 산소만을 이용하기 때문에 가스공급장치가 간단해지고, 표면의 불순물 농도를 고용도 (solid solubility: $10^{20} \sim 10^{21}$ atoms/cm³) 이하로 조절할 수 있으며 사용하기에 간편하고 경제적이다. 이러한 이유로 스페인 소스는 소규모 집적회로 실험실에 매우 적합한 불순물 원료라고 판단된다. 국내에서는 1975년에 인(phosphorus) 불순물에 대한 스페인 소스를 제작하여 보았으며 이때의 재료로는 디메틸폴리실로케인(dimethylpolysilocane; 단위체 $(CH_3)_2SiO$)을 사염화 탄소(CCl_4)에 녹인 용액과 오산화 인(P_2O_5)을 에탄올(C_2H_5OH)에 녹인 용액을 사용하였다.^[6] 본 논문에서 쓰인 스페인 소스의 자세한 성분과 제조법을 알 수 없지만 대체로 실리콘을 함유하는 유기물인 alkoxysilane 화합물중 점성도가 높고 증기압이 낮은 것을 유기용매에 녹인 용액과 불순물을 녹인 용액의 합으로 이루어져 있다고 볼 수 있다.^[5]

스핀온 소스를 실리콘 웨이퍼위에 얇게 바르고 ($2500 \text{ \AA} \sim 4000 \text{ \AA}$), 공기중에서 200°C 로 열처리 하면 쉽게 유기물 분해가 일어나며 수증기와 탄산가스가 배출되고 공기중의 산소와 결합하여 불순물을 포함하는 산화 실리콘으로 변화한다. 이와같이 불순물이 첨가된 산화 실리콘이 얇게 붙어있는 실리콘 웨이퍼를 산소와 질소의 혼합기체속에서 $1100^\circ\text{C} \sim 1200^\circ\text{C}$ 로 열처리하면 불순물이 산화 실리콘으로부터 실리콘 내부로 확산해 들어간다.

본 논문에서는 스페인 소스를 사용하여 predeposition 특성조사를 다룬 前 논문^[7]에 이어 predeposition과 drive-in 확산을 연이어 실시하는 二段

* 正會員, 慶北大學校 工科學 電子工學科
(College of Engineering, Kyungpook National Univ.)
接受日字: 1980年 5月 29日

階 확산에 관하여 조사하였다. 스펀 소스를 사용하여 장시간 predeposition을 시행할 경우에는 불순물이 산화 실리콘으로 부터 분위기 가스로 확산하기 때문에 산화 실리콘 내의 불순물이 고갈되어 무한대의 불순물 소스로서 역할을 못하게 되고 그 결과 불순물 확산층의 두께를 예측하기가 어렵다. 이같은 점을 고려하여 본 실험에서는 불순물이 고갈되는 시간보다 짧은 시간동안 predeposition을 실시한 후, 산화 실리콘을 HF 용액에 넣어 제거한 실리콘 웨이퍼를 다시 산소 분위기에서 drive-in 확산을 실시하여 불순물 확산층의 두께를 예측할 수 있도록 하였다. 일반적으로 확산층의 두께를 예측하는 방법에는 predeposition 後의 확산층의 두께가 연이어 실시하는 drive-in 확산 後의 두께에 비해 무시할만 한 경우 일때는 predeposition 後의 불순물의 분포를 벨타함수로 근사시킴으로써 쉽게 구하는 방법이 널리 알려져 있다. 본 논문에서는 predeposition 後의 확산층의 두께가 무시할 수 없는 경우에 대해서만 다루었다. 이런 경우에서 이단계 확산을 실시할 때 형성되는 확산층의 두께를 예측하는, 한 방법으로는 predeposition 後의 불순물의 농도분포함수인 $erfc$ 함수를 가우스 함수로 근사화하는 방법을 이용하였다.

본 실험에서는 n형 실리콘 내부로 붕소를 확산시키는 공정을 실시하였고 불순물 확산층의 두께를 측정하여 미리 예측한 값과 비교하였다.

2. 불순물의 이단계 확산공정

스푼 소스를 사용하여 불순물을 실리콘 웨이퍼 속으로 二段階 확산시키는 공정은 그림 1과 같다.

가) 초기세척 (initial cleaning)

스푼 소스를 실리콘 웨이퍼 표면에 바르기 前에, 웨이퍼 표면을 깨끗이 하고, 또 확산원료가 웨이퍼 표면에 균일하게 덮혀 지도록 하기 위하여 시편 웨이퍼는 다음과 같은 세척과정을 거친다. 황산(H_2SO_4)와 과산화 수소(H_2O_2)를 1:1로 혼합한 용액속에 시편을 넣고 150°C 정도에서 10분간 끓인 후 증류수로 2분간 세척한다. 이 과정에서는 실리콘 웨이퍼 위에 얇은 산화 실리콘막이 입혀진다. 나중에 이것을 제거하면 표면에 묻어있는 불순물도 떨어져지고 실리콘의 새표면이 형성되어 비교적 결함이 적은 실리콘 표면을 얻을 수 있다. 위와 같이 실리콘 산화막이 얇게 입혀진 웨이퍼를 증류수와 과산화수소와 암모니아수(NH_4OH)를 5:1:1로 섞은 용액에 넣고 150°C에서 10분간 끓인다. 이 과정에서는 산화 실리콘막 위에 묻어 있는 소량의 유기물질과 오염물이 제거되

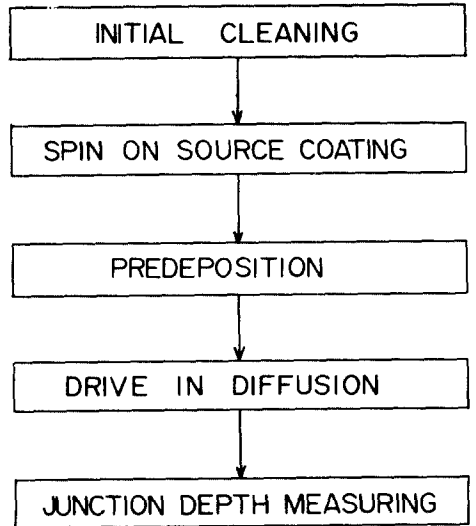


그림 1. 스펀 소스를 사용한 불순물의 이단계 확산공정

Fig. 1. Process sequence of two step diffusion of impurities using spin-on source.

는 것으로 알려져 있다. 다시 증류수로 2분간 세척한 다음, 50:1의 HF 용액에 넣어 얇은 산화 실리콘막을 제거하여 순수한 실리콘 표면이 드러나게 한다. 이때의 실리콘 표면은 매우 깨끗하나 순수한 실리콘 표면의 소수성(hydrophobic) 때문에 확산원료가 균일하게 발라지지 않는다. 실리콘 웨이퍼 표면을 친수성으로 바꾸어 확산원료가 잘 붙게하기 위하여 황산과 과산화수소가 4:1로 섞인 용액에 실리콘 웨이퍼를 넣고 끓여 얇은 산화막을 다시 입히도록 한다. 이때의 온도는 150°C 정도로 하고 5분정도 끓이며, 결과로 형성되는 산화 실리콘의 두께는 약 20 Å 이내로 추정되어 진다.^[8] 웨이퍼를 다시 증류수로 세척할 때 물의 불는것으로 친수성을 확인할 수 있다. 세척된 웨이퍼는 실내의 먼지를 피하기 위해 메칠 알코올속에 보관한다

나) 확산원료의 정착과 불순물의 이단계 확산공정

불순물 확산원료를 실리콘 웨이퍼위에 얇게 바르기 위해서는 spinner *를 이용한다. 메칠 알코올속에 옮겨진 웨이퍼를 스피너 근처에 옮긴후 웨이퍼를 꺼내 스피너위에 올려놓고 5,000~10,000 rpm 으로 1분간 회전시켜 웨이퍼에 묻어있는 알코올을 증발시킨

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

다. 다음에 확산원료 두께 방울을 웨이퍼위에 떨어 뜨린 후 즉시 3,000~5,000 rpm 으로 회전시키면 확산원료는 실리콘 웨이퍼위에 약 3000 Å의 두께를 갖는 얇은 피막을 형성한다. 확산원료가 얇게 입혀진 웨이퍼를 대기중에서 200°C로 20분간 가열하면 확산원료는 불순물을 포함하는 산화 실리콘으로 변화한다. 이와같이 준비된 실리콘 웨이퍼를 1100°C 내지 1200°C로 가열된 확산로에 넣고 2 l/min의 질소를 흘려주면 산화 실리콘내에 포함되어 있는 불순물이 실리콘 내부로 확산되어 들어간다. 이 과정에서는 불순물이 일정한 표면농도를 갖는 erfc 함수형태의 농도분포를 이루며 실리콘 내부로 확산된다.^[3] 주어진 온도와 시간동안의 predeposition 이 끝나면 웨이퍼를 확산로에서 꺼내다 웨이퍼를 10:1 HF 용액에 넣어 산화 실리콘을 제거한 다음 증류수로 씻고 다시 산소 분위기의 확산로에 넣는다. 이때의 산소의 유출량은 2 liters/min이며, 이 산소는 실리콘 웨이퍼표면을 산화시켜 실리콘 내부에 있는 불순물이 분위기 가스로 확산되는 것을 막는다.

ㄷ) 불순물 확산층의 두께 측정

P형 불순물을 n형 불순물이 고루 분포되어 있는 실리콘 내부로 확산시킬때 P형 불순물의 농도와 n형 불순물의 농도가 같아지는 지점에서 접합을 이룬다. 二段階 확산공정이 끝난 실리콘 웨이퍼를 10:1 HF 용액에 넣어 표면의 산화 실리콘을 제거한 뒤 웨이퍼를 조각내어 5°의 경사를 가진 스테인레스 막대에 왁스를 사용하여 붙이고 유리판위에서 클리셰핀과 0.05μ의 알루미늄 가루를 섞어 연마한다. 연마된 부분이 거울처럼 빛이 나면 물로 닦고 HF와 HNO₃가 1000:1로 섞인 용액을 한방울 떨어뜨린 후 4초 정도 전기불을 가까이 하면 P영역은 어둡고 n영역은 밝게 나타난다. 염색이 끝난 웨이퍼 조각은 물로 완전히 씻어 HF 성분을 제거한 후 현미경으로 접합이 형성된 깊이를 측정한다.

3. 이단계 확산의 이론

불순물을 포함하는 산화 실리콘이 표면에 붙어 있는 실리콘 웨이퍼의 단면은 그림-2와 같다. 그림-2에서 영역-1은 불순물을 포함하는 산화 실리콘막을 표시하고 영역-2는 실리콘을 나타낸다. 영역-3은 실리콘 표면을 친수성으로 만들기 위해 입혀진 20 Å 이내의 순수한 산화 실리콘막이다.

그림 2와 같은 웨이퍼를 1100°C~1200°C의 온도로 가열된 확산로에 넣고 질소 분위기로 불순물을 확산시키면 표면농도가 일정한 erfc 함수의 농도분포를

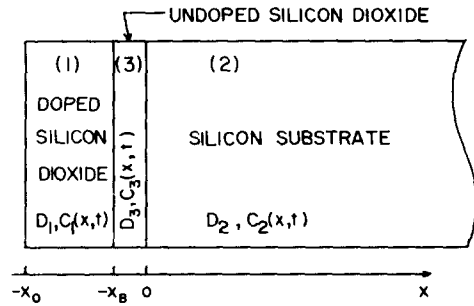


그림 2. 확산공정을 시작하기 전의 웨이퍼의 단면도

Fig. 2. Crosssectional view of a wafer which is ready for diffusion.

갖는다. 이때의 시간을 t_p , 또한 산화 실리콘내에서 불순물의 확산계수를 D_{p1} 이라 할때, predeposition 시간, t_p 가 $4\sqrt{D_{p1}t_p} > x_0 - x_B$ 를 만족할 정도로 큰 경우, 영역-1에 있는 불순물이 많이 고갈되고 무한대 확산 쏘스로서 구실을 못하게 되어, 실리콘내에 있는 불순물의 농도분포가 erfc 함수형태가 되지 않고 예측하기 어려운 상태가 된다.^[3] 따라서 불순물 고갈현상이 일어나기 前의 범위에서 t_p 를 정하면 불순물의 농도분포를 erfc 함수형태로 예측할 수 있으며, $x_B \ll x_0$ 가 성립하므로 아래와 같이 쓸 수 있다.^[3]

$$C_2(x, t_p) \approx \frac{C_0 \sqrt{D_{p1}/D_{p2}}}{1+k} \operatorname{erfc}(x/2\sqrt{D_{p2}t_p}) \dots (1)$$

여기에서 $C_2(x, t_p)$ 는 시간, t_p 가 경과했을 때, 영역-2의 x 지점에서 불순물의 농도를 나타내고, m 은 산화 실리콘과 실리콘의 경계면에서 불순물의 분리계수이다. D_{p1} 과 D_{p2} 는 영역-1과 영역-2에서 불순물의 확산계수이며, C_0 는 확산로에 들어가기 전 영역-1속에 고루 분포되어 있던 불순물의 농도를 나타내고, $k = 1/m\sqrt{D_{p1}/D_{p2}}$ 이다. 식1에서 실리콘 표면에서 불순물의 농도는 시간에 변하지 않으며, $C_s = C_0 \sqrt{D_{p1}/D_{p2}} / (1+k)$ 이다.

따라서 식1은 아래와 같이 고쳐 쓸 수 있다.

$$C_2(x, t_p) \approx C_s \operatorname{erfc}(x/2\sqrt{D_{p2}t_p}) \dots (2)$$

또한 실리콘 내부에 처음부터 분포되어 있던 불순물의 농도를 C_B 라 하고, predeposition 후에 형성된 확산층의 두께를 x_p 라 하면 아래의 식이 성립한다.

$$C_2(x_p, t_p) = C_B \approx C_s \operatorname{erfc}(x_p/2\sqrt{D_{p2}t_p}) \dots (3)$$

t_p 시간 동안 predeposition 을 시행한 후에 산화 실리콘층을 제거하고, 다시 산소 분위기에서 drive-in 확산을 실시하면 실리콘내에 확산되어 있던 불순물들이 다시 분포를 이룬다. predeposition 후에 형성된 불순물 확산층의 두께가 drive-in 확산후에 형성된 불순물 확산층의 두께에 비해 무시할 만 할때는 가우스함수형태의 농도분포를 갖는다. 그러나 스펀 소스를 사용하여 확산을 시킬 경우, 표면농도를 조절하거나 두꺼운 확산층을 형성하기 위해 predeposition 후의 확산층의 두께를 drive-in 확산이 끝난후의 두께에 비해 무시할 수 없을 정도로 크게 해야할 경우가 있는데 이때는 predeposition 후의 확산층의 두께를 무시하는 방법으로 불순물의 농도분포를 예측할 수 없다. 또한 식 2로 표시되는 불순물의 농도분포에서 drive-in 확산이 끝난 실리콘 웨이퍼의 불순물 농도분포를 직접 풀어 구하기는 상당히 어려우므로 본 논문에서는 predeposition 이 끝난뒤에 불순물 농도분포함수인 erfc 함수를 가우스함수로 근사시키는 간단한 방법을 채택하여 풀어 보았다.

식 2로 표시되는 불순물의 농도분포형태와 동일한 표면농도와 동일한 확산층의 두께를 가지는 불순물의 농도분포를 가우스 함수로 나타내면 아래와 같다.

$$C_2(x, t_p) \approx \frac{Q}{\sqrt{\pi D_{p2}' t_p}} e^{-x^2/4D_{p2}' t_p} \dots\dots\dots (4)$$

여기에서 $C_s = Q/\sqrt{\pi D_{p2}' t_p}$ 이며, Q는 불순물이 가우스함수형태로 분포되어 있다고 가정했을 때 실리콘 내부에 있는 불순물의 총량을 나타낸다. D_{p2}' 는 predeposition 후에 형성된 확산층의 두께를 가우스함수 형태로 확산하여 형성하였다고 가정했을 때 생기는 불순물의 확산계수이며 실제 확산계수인 D_{p2} 보다 작은값을 가진다.

처음부터 불순물이 가우스 함수형태의 농도분포를 이루며 확산해 왔다고 가정한다면 drive-in 확산이 끝난뒤의 불순물의 농도분포는 총 확산시간 $t_p + t_d$ 와 확산계수의 평균치인 $\bar{D} = (D_{p2}' t_p + D_{d2} t_d) / (t_p + t_d)$ 와의 곱으로 나타낼 수 있으며 아래와 같다.^[9]

$$C_2(x, t_p + t_d) \approx \frac{Q}{\sqrt{\pi \bar{D}(t_p + t_d)}} e^{-x^2/4\bar{D}(t_p + t_d)} \dots\dots\dots (5)$$

식 5를 이용하여 二段階 확산이 끝난 후의 불순물 확산층의 두께를 예측할 수 있으며 D_{d2} 는 drive-in 확산때의 확산계수다.

이와같이 근사화하여 풀어나가는 과정에서 prede-

position 후의 표면농도와 확산층의 두께는 일치를 시켰으나 그결과로 실리콘내의 불순물의 총량 Q값이 실제값에 비해 오차를 갖게된다. 그러나 확산층의 두께는 계산에 의하면, 주로 식 5의 지수부분에 의하여 결정되므로 Q의 오차에 의한 확산층의 두께의 오차는 무시할 만하다고 볼 수 있고 식 2를 식 4로 근사화 시킨 것이 근거 있다고 보았다.

4. 실험결과 및 검토

불순물 원료인 스펀 소스는 Emulsitone Company 로부터 100cc 병으로 구입하였다. 본 실험에서는 실리콘의 표면농도를 5×10^{20} atoms/cm²으로 만들어 주는 Borosilicafilm Type 5257을 사용하였고 실리콘 웨이퍼는 저항이 18.4Ω·cm - 20.5Ω·cm와 65Ω·cm - 95Ω·cm인 두 종류의 n형 epi 웨이퍼를 사용하였다.

산화 실리콘내에서 硼素의 확산계수는 1200°C에서 $\sqrt{D_{p1}} \approx 0.03 \mu\sqrt{h_r}$ 이며,^[10] 확산시간이 4시간 정도이면 $\sqrt{D_{p1} t_p}$ 가 0.06 μ이 된다. 실리콘 표면에 덮혀있는 스펀 소스의 두께는 ~ 0.3 μ으로 0.06 μ에 비해 상당히 크므로 硼素를 1200°C에서 4시간 확산시킬 때 스펀 소스는 무한대 불순물 소스구실을 하며, 실험적으로도 입증이 되었다.^[7] 본 논문에서도 온도를 1100°C - 1200°C로 정하고, t_p 도 4시간 이내로 정하여서 predeposition 후의 불순물의 농도분포를 예측할 수 있게 하였다.

그림 3은 1110°C에서 30分 동안 predeposition 을 실시하고 연이어 같은 온도에서 drive-in 확산을 실시했을 때 형성된 확산층의 두께를 총 확산시간의 제곱근의 값으로 표시한 것이며, 연결된 선은 predeposition 이 진행되는 과정에서 확산층의 두께를 나타내고 점선은 drive-in 확산을 실시할 때 형성되는 확산층의 두께를 나타낸다. 실험치와 이론치는 잘 일치하고 있으며, D_{d2} 의 값이 $0.44 \pm 0.04 \mu/\sqrt{h_r}$ 로 기존 발표된 값^[11] ~ $0.47 \mu/\sqrt{h_r}$ 와 거의 일치하였다. D_{d2} 값은 ~ $0.34 \mu/\sqrt{h_r}$ 로 나타났는데 硼素의 진성확산계수값인 ~ $0.33 \mu/\sqrt{h_r}$ 와 잘 일치하고 있다. 여기에서 drive-in 확산을 실시한 경우 전계효과확산현상(field aided diffusion)이 없었음을 알 수 있다.

일반적으로 硼素의 drive-in 확산을 실시하는 경우 boron gettering^[9]이 일어나서 심하면 80% 정도의 硼素가 실리콘 표면의 산화 실리콘속으로 용해되어 실리콘 표면에서 불순물의 농도가 급격히 낮아지게 된다.^[12] 이러한 이유로 硼素가 진성확산계수 값을

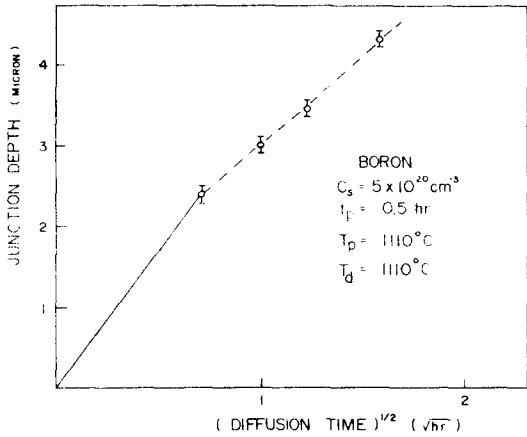


그림 3. 실리콘의 표면농도를 $5 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 으로 하는 硼素 스펀온 소스를 사용하여 1110°C 에서 predeposition과 drive-in 확산을 실시했을 때의 확산층의 두께

Fig. 3. Thickness of the diffused layer resulting from predeposition and drive-in diffusion of Boron at 1110°C using spin-on source which makes silicon surface concentration $5 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$

가산 것으로 추측하였다.

그림 4는 1110°C 에서 predeposition을 실시하고 연이어 1210°C 에서 drive-in 확산을 실시하였을 때의 확산층의 두께를 총 확산시간의 제곱근의 값으로 나타낸 것이다. 이 실험에서도 실험치는 이론치와 잘 일치하였다. 1210°C 에서 硼素를 drive-in 확산시킬 때, 확산계수는 $D_{d2} \approx 0.67 \mu / \sqrt{h_r}$ 의 값을 갖는 것으로 나타났는데 이값은 前의 논문⁽⁷⁾ 실험치와 일치는 하였으나, Fair⁽¹¹⁾의 결과보다 약 25% 적은 것으로 나타났는데 그 원인은 아직 밝혀지 못하였다. 위의 확산계수 역시, 전성확산계수로서 전계효과확산현상이 일어나지 않았음을 보여주고 있다. 두 실험에서 실험치와 이론치가 상당히 일치하는 것으로 나타났는데 이것은 불순물 확산층의 두께가 불순물의 총량, Q의 오차에 대하여 예민하지 않은 이유인 것으로 보인다.

5. 결 론

이상의 결과로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 二段階 확산공정에서 predeposition 후의 불순물 확산층의 두께가 큰 경우 불순물의 erfc 함수의 분포형태로 근사시킴으로 전 공정이 끝난 후 확산층의 두께를 예측할 수 있다. 이때 확산층의 두께는 Q의 오차에 예민하지 않다.

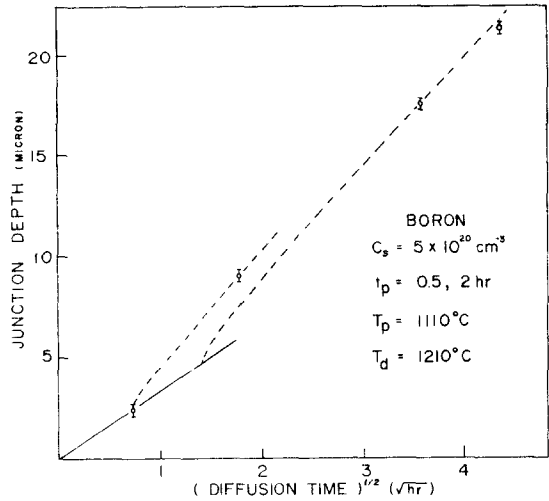


그림 3. 실리콘의 표면농도를 $5 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 으로 하는 硼素 스펀온 소스를 사용하여 1110°C 에서의 predeposition과 1210°C 에서의 drive-in 확산을 실시할 때의 확산층의 두께

Fig. 3. Thickness of the diffused layer resulting from predeposition of Boron at 1110°C and drive-in diffusion at 1210°C using spin-on source which makes silicon surface concentration $5 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$.

2. 본 논문에서 채택한 간단한 방법은 높은 역전압 파일 다이오드를 제작할 때와 isolation 확산을 실시할 때에도 이용할 수 있다.
3. 좀더 낮은 표면농도의 스펀온 소스를 사용하여 근사식이 유효한가를 실험적으로 증명한다면 트랜지스터의 전공정을 스펀온 소스를 사용하여 제작할 때 각 확산층의 두께를 쉽게 예측할 수 있다.

참 고 문 헌

1. K.Reindl, "Spun-on Arsenosilicafilm as Sources for Shallow Arsenic Diffusions for Microwave Transistor," Solid-state Electronics, Vol. 17, pp. 395-402, April, 1974
2. P.D.Parekh and K. Kolmann, "Arsenosilica-film Source for Microwave Transistor," Solid-state Electronics, Vol. 17, pp. 395~402, April, 1974.
3. M.L. Barry and P. Olofsen, "Doped Oxides as Diffusion Sources—I. Boron into Silicon," Journal of Electrochemical Soc., Vol. 116, pp. 854-860, June, 1969.

4. M.L. Barry, "Doped Oxides as Diffusion Sources--I. Phosphorus into Silicon," *Journal of Electrochemical Soc.*, Vol. 117, pp. 1405 ~ 1410, Nov., 1970.
5. J. Scott and J. Olmstead, "A Solid-to-Solid diffusion technique," *RCA Review*, September, P 357, (1965)
6. 金德重, "Impurity Contact Diffusion in Semiconductor," *한국과학기술, 재료공학과, 석사논문*, 1976.
7. 金忠基, 鄭泰源, "Spin-on Source에 의한 실리콘 내의 불순물 확산," *전기학회지*, Vol. 27, pp. 69 - 75, Nov., 1978.
8. A.M. Goodmann and J.H. Breece, "Thin Tunnelable Layers of Silicon Dioxide Formed by Oxidation of Silicon," *Journal of Electrochemical Soc.*, Vol. 117, pp. 982 ~ 984, July, 1970.
9. Hamilton, and Howards, "Basic Integrated Circuit Engineering," McGraw-Hill, Inc., New York, 1975.
10. 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.
11. R.B. Fair, "Boron Diffusion in Silicon - Concentration and Orientation Dependence, Background Effects and Profile Estimation" *Journal of Electrochemical Soc.*, Vol. 122, pp. 800 - 805, June, 1975.
12. Huar O, J.S., and W.C. Welliver, "On the Redistribution of Boron in the Diffused Layer during Thermal Oxidation," *Journal of Electrochemical Soc.*, Vol. 117, pp. 1577 ~ 1580, 1970.

