

마스크 Dimensions 와 열처리 조건에 따른 이온의 분포에 관한 연구

°안병목 · 정원채
 경기대학교 전자공학과
 경기도 수원시 팔달구 이의동 산 94-6 번지
 E-mail : wcjung@kuic.kyonggi.ac.kr

A Study of Ion Distribution according to Mask dimensions and Annealing conditions

°Byong Mok Ahn · Won Chae Jung
 Department of Electronic Engineering, Kyonggi University
 E-mail : wcjung@kuic.kyonggi.ac.kr

요 약

본 연구에서는 마스크의 폭을 각각 $0.3 \mu\text{m}$, $0.1 \mu\text{m}$ 으로 설정하여 boron이 도핑된 실리콘 기판 위에 arsenic을 주입 시켰을 때, 열처리 전과 각각 inert, dry, wet 산화분위기에서 열처리 한 후의 도핑 농도 프로파일과 수직 깊이와 측면으로의 퍼짐을 시뮬레이션하여 2 차원적으로 관찰하였다. 마스크 폭을 축소시킴으로 인해 이온의 입사 방향으로 더 깊이 침투됨이 관찰되었으며, 더욱이 측면으로도 퍼짐이 관찰되었다. 열처리 전과 열처리 후의 비교에서도 농도프로파일이 보다 더 기판 내에서 넓게 분포됨이 관찰되었다.

는 경우, 주입된 이온의 분포는 2 개의 파라미터 프로파일을 구성한 수가 있으며, 깊이에 따른 농도는 식 (1)로 나타내어진다.

$$C(x) = N_{\square} \cdot f(x) \quad (1)$$

여기서 N_{\square} 는 주입된 이온의 dose량을 나타내고 $C(x)$ 는 깊이에 따른 농도를 의미하며, $f(x)$ 는 정규화된 분포 함수이다.

$$N_{\square} = \int_0^{\infty} C(x) \cdot dx \quad (2)$$

1. 서론

ULSI (Ultra-Large Scale Integrated) Circuit 반도체 기술을 위해 본 논문에서는 공정중, 선택적인 이온 주입, 식각, 등 여러 공정에서 필수적으로 사용되는 마스크의 폭을 축소했을 때 주입된 이온의 농도 프로파일을 관찰하였다. 공정중, 열처리에 의한 확산현상에 따른 불순물농도의 재분포를 2차원적으로 정확히 나타내 고자 한다. 이것은 소자제작에서 매우 중요한 factor가 된다. 먼저, 주입된 이온의 분포가 대칭적으로 나타나

비정질 material의 경우, 주입된 이온의 분포는 위에서 언급했듯이 대칭적인 분포로 gauss 분포로 표현할 수 있고 이때 사용되는 2 개의 파라미터는 각각 수직으로 입사된 이온의 평균 range (R_p) 와 standard deviation (ΔR_p) 이다. 우선 R_p 는 다음의 식으로 주어진다.

$$R_p = \langle x \rangle = \frac{1}{N} \sum_i x_i \quad (3)$$

여기서 x_i 는 x 축에서 "i" 이온의 수직 입사된 범위이다. 그리고, R_p 는

$$\Delta R_p = \left[\frac{1}{N} \left(\sum_i x_i^2 \right) - R_p^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

으로 주어진다. R_p 와 ΔR_p 를 사용하여 식 (1)을 다시 쓰면 다음과 같이 표현된다.

$$C(x) = \frac{N_0}{\sqrt{2\pi} \Delta R_p} \exp \left[-\frac{(x - R_p)^2}{2\Delta R_p^2} \right] \quad (5)$$

주입된 이온 분포에 대해 적절히 열처리를 하여 주입된 이온을 전기적으로 활성화 시키고, 이온주입에 의해 야기된 손상된 영역을 적절히 열처리하여 복구시킬 필요가 있다. 그러나, 열처리 과정은 일반적으로 불순물의 재분포를 동반하게 된다. 그래서, 열처리 후의 프로파일을 예측할 수 있는 방법들이 개발되어야 한다. 실리콘 기판에 이온을 주입하여 농도 프로파일이 가우시안 프로파일을 형성한 경우, 이때에는 열처리를 한 경우에도 여전히 가우시안 분포를 유지한다.

열처리를 하면 peak 농도가 낮아지고 분포가 넓어지는 효과가 나타난다. 확산효과에 따른 열처리된 프로파일을 얻기 위해, 식 (5)로부터 ΔR_p 대신에 $\sqrt{\Delta R_p^2 + 2Dt}$ 로 대체시킨다 [6].

이온 주입 영역이 반도체 표면 가까이 위치할 때, 이 프로파일은 더 이상 단순한 가우시안 표면으로는 기술할 수가 없다. 그 이유는 반도체 표면에서의 불순물의 reflection 영향이 있고 반도체-절연체 계면에서의 분리 효과가 나타나기 때문이다 [5].

2. 시뮬레이션 방법

시뮬레이션 과정은 다음의 서로 다른 두 조건을 설정하고 수행하였다.

- 1-1. <100> 방향성을 가지는 실리콘 기판에 먼저 boron (dose = $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$)를 도핑시킨다.
- 1-2. 이온이 주입되는 영역을 설정하기 위해 폭이 0.3 μm 의 마스크를 덮는다. 이 때 주입되는 이온은

에너지가 50 keV, dose 가 $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 인 arsenic 이다.

- 1-3. 열처리 과정은 1000 °C, 20 분간 inert, dry, wet 산화분위기에서 각각 수행한다.
 - 2-1. <100> 방향성을 가지는 실리콘 기판에 먼저 boron (dose = $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$)를 도핑시킨다.
 - 2-2. 이온이 주입되는 영역을 설정하기 위해 폭이 0.1 μm 의 마스크를 덮는다. 이 때 주입되는 이온은 에너지가 50 keV, dose가 $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 인 arsenic 이다.
 - 2-3. 열처리 과정은 1000 °C, 20 분간 inert(N_2), dry, wet 산화분위기에서 각각 수행한다.

3. 결과 및 검토

본 연구에서는 마스크의 폭을 각각 0.3 μm 과 0.1 μm 으로 설정하여 boron이 도핑된 실리콘 기판에 arsenic을 주입시켰을 때, 열처리하기 전과 각각의 열처리 분위기 (inert, dry, wet)에서 열처리를 수행한 후, 전체 농도 프로파일을 각각의 열처리조건에 수행된 결과에 대해 차이점을 비교 관찰하고 마스크 폭을 축소했을 때 농도 분포의 차이점을 비교 관찰하였다. 먼저, 마스크의 폭이 각각 0.3 μm , 0.1 μm 일 때, 열처리 전의 전체 농도 프로파일을 그림 1과 2에 각각 나타내었다. 그림 1의 경우, 표면을 따라 0.04 μm 정도 퍼짐이 관찰되었고, 깊이 방향으로 0.1 μm 정도 침투하였다. 그림 2의 경우는 0.099 μm 정도 표면을 따라 퍼지고, 깊이 방향으로 0.1 μm 정도 침투하였다. 마스크 폭을 0.3에서 0.1 μm 으로 축소시켰을 때, 깊이 방향으로의 차이는 없지만, 측면으로의 퍼짐이 발생하였다.

그림 3 과 4 는 그림 1 과 2 의 경우에 대해서 단지 inert(N_2) 분위기에서 1000 °C에서 20 분간 열처리한 결과이다. 열처리 전과 비교해 볼 때, 그림 상으로도 농도 분포가 많이 변했음을 알 수 있다. 열처리 과정을 통해 주입된 이온이 활성화되어 벌크 내부로 확산해 갔음을 나타낸다. 그림 3에서, 열처리 전과 비교해 볼 때, 약 0.1 μm 정도 측면으로 퍼져 나갔으며, 깊이 방향으로도 약 0.1 μm 정도 침투하였다. 주입된 이온의 활성화에 의한 확산은 열처리 시간과 온도에 따라 변하게 되어 예상되며, 고온, 장시간에 따라 이온의 분포는 더욱 넓은 범위에서 나타나리라 예상된다.

그림 5 와 6은 앞의 그림에서와 동일한 조건에서 단지 열처리 분위기만을 dry 산화분위기로 전환하여 열처리 한 결과를 보여주고 있다. Dry 산화분위기로 열처리하면 inert 분위기에 보다 빠른 확산을 기대할 수 있다. 그러나 그림 3과 5의 비교에서 마스크 폭을 0.1 μm 으로 한 경우 이온의 측면으로의 퍼짐과 깊이 방향으로의 침투의 변화는 거의 없으며, 마스크 폭을 0.3 μm 으로 했을 경우에도 변화는 거의 나타나지 않았다. Dry 산화분위기의 효과로 표면부근에 산화 실리콘층이 형성되었다. 본 MicroTec 시뮬레이터에서는 산화 실리콘층의 형성에 대한 정확한 물리적인 의미를 나타내지 못하므로 본 논문에서의 mask windows의 산화 층에 대한 관찰은 고려하지 않고 있다.

그림 7과 8은 앞에서의 경우와 마찬가지로 동일한 조건하에서 단지 열처리 분위기를 wet 분위기에서 열처리하여 이온의 분포를 관찰하였다. 그림에서 보는 것과 같이 산화 층의 두께가 dry 산화분위기에 비해 훨씬 두껍게 형성되었음을 알 수 있다. 이 효과는 산화 과정에서 습식 산화가 건식 산화보다 빠르기 때문이다. 이는 SiO_2 에서의 H_2O 의 용해도(solubility)

가 SiO_2 에서의 O_2 의 용해도 보다 10^3 배정도 크기 때문이다 [2]. 그림 5 과 7의 비교에서 표면을 따라 측면으로 약 0.02 μm 정도 퍼졌고, 깊이 방향으로는 약 0.08 μm 정도 침투하였다. 그림 6 과 8의 비교에서는 측면으로 0.02 μm 정도 퍼졌고, 깊이 방향으로는 0.03 μm 정도 침투하였다.

4. 결론

본 논문에서는 마스크의 폭을 0.3 μm 에서 0.1 μm 으로 축소시키고 열처리 전과 inert, dry, wet 분위기에서 열처리를 한 후, boron-doped 실리콘 기판에 arsenic을 이온 주입시켰을 때 주입된 이온의 분포와 표면을 따라 이온이 측면으로 퍼지는 것과 깊이 방향으로 침투하는 2차원적인 효과를 관찰하였다. 아울러 열처리 효과에 의해 이온이 어느 정도 확산하는가를 관찰하였다. 마스크 폭을 축소한 경우 마스크 shadow 효과에 의해 측면으로 좀 더 많이 퍼질 것이라 예상하였지만, 본 연구에 사용한 MicroTec 시뮬레이터에서의 이 효과는 정확하게 관찰할 수가 없었다. 깊이 방향의 이온

의 침투는 마스크 폭에 따른 차이는 없고 단지 열처리 조건에 따라 깊이침이 관찰되었다.

주) 표에 나타난 데이터의 오차는 $\pm 0.002 \mu\text{m}$ 이다.

<표 1> 측면 퍼짐과 깊이 침투 (단위 : μm)

		0.1 μm	0.3 μm
열처리전	측면	0.040	0.045
	깊이	0.100	0.099
Inert(N_2) 분위기	측면	0.143	0.148
	깊이	0.209	0.220
Dry 산화 분위기	측면	0.146	0.153
	깊이	0.209	0.220
Wet 산화 분위기	측면	0.169	0.173
	깊이	0.227	0.250

열처리 공정은 반도체 공정 중, 여러 차례 수행되는 것으로서 열처리 후의 측면 퍼짐과 깊이 침투는 정확히 고려되어야 한다. ULSI 반도체 공정을 실현하기 위해 이온 주입과 확산, 열처리 공정등 보다 더 자세한 실험과 연구가 수행되어야 한다고 생각된다.

참고문헌

- [1] Badih El-Karch, IBM Corporation, "Fundamentals of Semiconductor Processing Technology", Kluwer Academic Publishers, 1995, pp 45, 383 ~ 387, 478, 491.
- [2] S. I. Raider, R. Flisch, and M. J. Palmer, "Oxide Growth on Etched Silicon in Air at Room Temperature", J. Electrochem. Soc., 122(3), 413-418 (1975).
- [3] M. M. Atalla, E. Tannebaum and E. J. Scheibner, "The Silicon-Silicon Dioxide System", Bell. System Tech. J., 38, 749 (1959).
- [4] J. W. Mayer, L. Erikson and J. A. Davies, "Ion Implantation", J. Vac. Sci. Tech.15(1), 111-115 (1978).
- [5] J. Sindhard, M. Scharff, and H. Schiott, "Range Concepts and Heavy Ion Ranges", Mat.-Fys.Med. Dan Vid Selsk, 33 (14), 1 (1963).
- [6] T. E. Seidel and A. U. MacRae, "Some Properties of Ion Implanted Boron in Silicon", Trans. Met. Soc. AIME, 245, 491, (1969)



그림1. 마스크 폭을 $0.1 \mu\text{m}$, boron-doped 실리콘기판에 As 이온 주입 (50 keV , $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$)



그림5. 그림1과 같은 조건에서 dry oxidation 열처리 ($1000 \text{ }^\circ\text{C}$, 20 분)

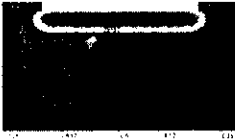


그림2. 마스크 폭을 $0.3 \mu\text{m}$, boron-doped 실리콘기판에 As 이온 주입 (50 keV , $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$)

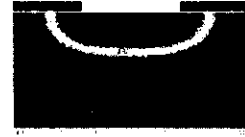


그림6. 그림2과 같은 조건에서 dry oxidation 열처리 ($1000 \text{ }^\circ\text{C}$, 20 분)



그림3. 그림1과 같은 조건에서 inert gas 분위기에서 열처리 ($1000 \text{ }^\circ\text{C}$, 20 분)



그림7. 그림1과 같은 조건에서 wet oxidation 열처리 ($1000 \text{ }^\circ\text{C}$, 20 분)



그림4. 그림2과 같은 조건에서 inert gas 분위기에서 열처리 ($1000 \text{ }^\circ\text{C}$, 20 분)



그림8. 그림2과 같은 조건에서 wet oxidation 열처리 ($1000 \text{ }^\circ\text{C}$, 20 분)