

# 레이저 어닐링을 이용한 낮은 면저항의 극히 얇은 접합 형성

\*정 은식, \*\*배 지철, \*이 용재

\*동의대학교 전자공학과

\*\*일본 동북대학교 기계지능공학과

## Ultra shallow Junction Formation of Low Sheet Resistance Using by Laser Annealing

\*Dept. of Electronics Eng. Dongeui University

\*\*Dept. of Machine Intelligence and System Eng. Tohoku University

E-mail : yjlee@hyomin.dongeui.ac.kr

### 요 약

본 논문은 기가 SRAM급 이상의 초고집적을 위한  $0.1\mu\text{m}$ 의 설계치수를 갖는 MOSFET의 게이트 영역에서 활성 부분의 면저항을 감소시키기위해 n영역으로 비소를 이온 주입하였다. 어닐링은 급속 열처리 공정 방법과 엑시머 레이저 어닐링 방법을 이용하였으며, 극히 얇은 접합의 형성이 가능하였다. 얇은 접합 형성 깊이는  $10\sim 20\text{nm}$ 이며, 비소의 주입량은  $2\times 10^{14}/\text{cm}^2$  이고, 레이저는 엑시머이며 소스는 KrF로 파장은  $248\text{nm}$ 로 어닐링 하였다. 극히 얇은 P/N<sup>+</sup> 접합 깊이가  $15\text{nm}$ 이며, 이때  $1\text{k}\Omega/\square$ 의 낮은 면저항 특성을 갖는 결과가 나타났다.

### ABSTRACT

In this paper, novel device structure in order to realize ultra fast and ultra small silicon devices are investigated using ultra-high vacuum chemical vapor deposition(UHV-CVD) and Excimer Laser Annealing (ELA) for ultra pn junction formation. Based on these fundamental technologies for the deep sub-micron device, high speed and low power devices can be fabricated. These junction formation technologies based on damage-free process for replacing of low energy ion implantation involve solid phase diffusion and vapor phase diffusion.

As a result, ultra shallow junction depths by ELA are analyzed to  $10\sim 20\text{nm}$  for arsenic dosage ( $2\times 10^{14}/\text{cm}^2$ ), excimer laser source( $\lambda=248\text{nm}$ ) is KrF, and sheet resistances are measured to  $1\text{k}\Omega/\square$  at junction depth of  $15\text{nm}$ .

### 1. 서 론

차세대 반도체 기술의 관점인 고속도, 고집적화를 위해서는  $0.1\mu\text{m}$ 이하 MOSFET의 소자가 필요하게 되고, 이러한 소자를 제작하기 위한 여러 가지 축소 기술이 제안되고 있다. 기존의 축소 기술에 의해 제작된 소자는 SCE(Short Channel Effect) 문제가 심각하게 일어나고 있으며, 이는 비축소 인자인 이동도, 임계전압, 기생저항 성분등이 많은 영향을 주고 있음을 나타낸다.<sup>[1,2]</sup> 현재 널리

사용되는 1Ghz이상의 CPU와 256M byte 이상의 메모리에 사용되는 소자는 고속, 고집적화가 축약된 차세대 반도체 기술의 핵심이라 할 수 있다. 이런 고속, 고집적 소자를 제작하기 위해서는 기존의 MOSFET를 전계 일정 법칙과 전압 일정 법칙의 축소 법칙을 사용하여 소자를 축소시키는 방법을 사용하는데 이때 소자의 특성을 나쁘게 하는 임계전압, 핫 캐리어 영향, 충격 이온화, 펀치 쓰루, DIBL(드레인 유기 장벽 낮아 : Drain Induced Barrier lowering)등의 SCE) 현상<sup>[1]</sup>이 생기게 되므로 이를 방지하기 위한 LDD(Lightly

Doped Drain)의 접합 깊이가 수십nm인 얇은 접합 기술을 이용하여 소자를 축소 하게 된다. 그러나 얇은 접합을 형성시키면 예기치 못한 비축소 인자에 의해 활성영역의 면저항이 커지게 된다.

본 연구는 MOSFET에서 게이트 활성영역의 면저항을 줄이기 위한 방법으로 비소(As)를 저 에너지 이온 주입 후 RTA (급속 열처리 어닐링: Rapid Thermal Annealing) 방법과 비소를 저 에너지 이온주입 후 ELA (Excimer Laser Annealing) 처리하는 방법으로 극히 얇은 접합(10~20nm) 기술을 연구하였으며 실험 결과  $2 \times 10^{14}/\text{cm}^2$  농도의 비소를 엑시머 레이저 어닐링 하여 15nm에서  $1\text{k}\Omega/\square$ 의 낮은 면저항 특성을 가지는 기법을 소개하였으며, 레이저 에너지에 따른 비소의 거동과 높은 농도를 가질 수 있는 메카니즘, 그리고 반사보호막의 두께가  $\lambda/2n$ 에 따른 저항의 변동을 SIMS와 4탐침법을 이용하여 깊이 에 따른 RTA와 ELA의 농도 분포와 이온주입 에너지를 조절하였을 때 접합 깊이에 따른 농도 분포와 면저항을 비교 분석하고자 한다.

### II. 실험 방법

극히 얇은 접합 기술에서 비축소 인자에 의해 생기는 높은 면저항을 감소시키기 위한 방법으로 ELA 기술을 사용한 소자의 제작을 위해 기판은 <100>, 비저항이 10~15[Ω-cm] P형 실리콘 웨이퍼를 사용하였다<sup>[2]</sup>.

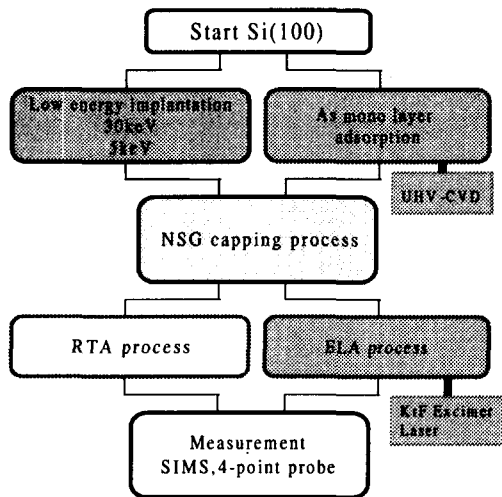


그림1. ELA를 이용한 공정 순서도  
Figure 1. Experimental Procedure

그림 1은 공정 순서도를 보면 비소를  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 의 농도에 30keV 에너지와  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 의 농도

에 5keV 에너지,  $2 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ 의 농도에 5keV 에너지로 각각 이온주입 한 후 엑시머 레이저 어닐링 시 실리콘에서의 전반사를 방지하기 위해 반사보호막으로서 NSG(Non-doped Silicon Glass)를 APCVD (상압 CVD)로 450°C에서 0Å, 450Å, 800Å, 1000Å의 두께로 각각 증착 시킨 다음, 질소 분위기에서 1000°C 5초간 급속 열처리 어닐링(RTA) 방법과 엑시머 레이저 어닐링 방법으로 각각 어닐링 공정을 하였다. 그 후 HF를 1:20의 비율로 4분간 습식 에칭 후 2800rpm으로 5분간 회전 건조하여 시료를 제작하여 SIMS(Secondary Ion Mass Spectroscopy)로 비소 농도 분포를 ELA의 에너지 변화에 대해서 접합 깊이와 농도 분포를 각각 측정 하였고, 4탐침법으로 각 시료의 면저항의 변화와 차이를 측정하였다.<sup>[3,4,5]</sup>

### III. 실험 결과

기존의 방법으로 얇은 접합을 형성할 때 저 에너지와 RTA 공정이 보고 되었지만, 많은 문제점으로 몇가지 대표적인 것이 TED(Transient Enhanced Diffusion) 현상과 과농도 주입의 문제이다. 그러나 본 실험에서 0.1μm이하의 극미세 소자에서 극히 얇은 접합을 형성하며 면저항도 큰 값을 갖는 접합 형성으로 초고속, 고집적화된 MOSFET 소자의 LDD 영역에 사용하기 위한 이온주입 에너지도 수keV 이하로 낮추는 저 에너지 이온주입 기술을 사용하였다.

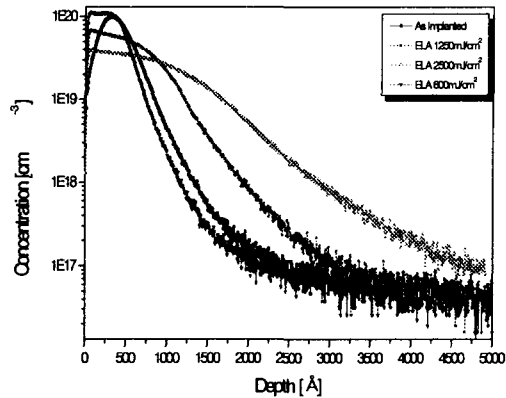


그림2. 비소의 농도 분포.  
As, 30keV,  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$   
Figure 2. Doping Profile of Arsenic  
As, 30keV,  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$

그림 2는 비소를  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 의 농도로 30keV의 에너지로 이온주입 했을 때와 이온주입 후 600mJ/cm<sup>2</sup>, 1250mJ/cm<sup>2</sup>, 2500mJ/cm<sup>2</sup>의 에너지로

ELA 공정을 한 후 농도분포의 SIMS 결과인데 엑시머 레이저 어닐링 공정 시 인가하는 에너지의 함수의 비율로써 비소의 거동 메카니즘이 인가하는 에너지가 증가함에 따라 접합깊이가 알아지며 TED 현상과 과농도 문제가 줄어든다는 것을 유추할 수 있다. 특히 ELA를 600mJ/cm<sup>2</sup>의 에너지 때와 비소 이온주입 후 어닐링하지 않은 SIMS 결과와 비교하면 ELA 처리한 부분이 왼쪽으로 이동 되어서 액상에서의 불순물 농도가 높아졌음을 알 수 있다. 이는  $C_s/K=C_i$  의 식으로부터 액상에서의 불순물 함유 농도가 33% 이상 증가되므로 ELA 처리시 600mJ/cm<sup>2</sup> 이하의 저 에너지일 경우에는 낮은 농도 주입을 해도 RTA보다 높은 고농도를 가질 수 있는 것을 확인 할 수 있었으며, 이는 극미세 소자에서 LDD 영역의 과농도 주입 문제를 해결할 수 있다.

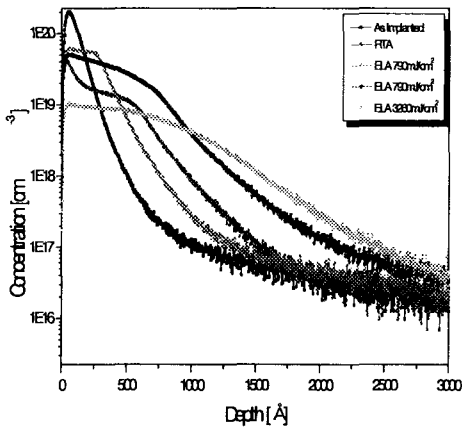


그림 3. 비소 주입 농도 분포  
As, 5keV,  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$   
Figure 3. Doping Profile of Arsenic  
As, 5keV,  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$

그림 3.은 비소를  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  의 농도로 5keV의 에너지로 이온주입 했을 때와 이온주입 후 790mJ/cm<sup>2</sup>, 1470mJ/cm<sup>2</sup>, 3260mJ/cm<sup>2</sup>의 에너지로 ELA 했을때와 RTA 처리 했을 때의 결과를 비교한 그림인데 농도에 따른 분포를 보면 RTA 처리를 했을 때 보다 ELA 처리 했을 때 접합 깊이가 더욱 얕아졌고 RTA에서 보여졌던 TED 현상이 제거되었음을 알 수 있다. 이는 ELA 기술이 거의 나노초 이내로 극히 빠르게 열이 가해졌다 급격히 식으므로 도펀트의 확산을 억제되는 것을 보여주며 RTA 보다 훨씬 높은 농도 분포를 보여주었다.

그림4,5.는 비소의 농도를  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ , 이온주입 에너지를 30keV와 5keV로 하여 반사보호막 없이 ELA 처리후 Pulse 에너지에 따른 면저항 값을

4-point-probe로 측정한 값을 보여준다. 낮은 에너지로 이온주입한 경우와 비교해서 높은 에너지로 주입한 경우 ELA의 에너지가 낮으면 불순물의 활성화 부족으로 인해 높은 면저항값을 가지는 것을 보여주며, 얇은 접합을 실현하기 어렵게 된다. 뿐만아니라, 인가되는 레이저 에너지도 높아져야만 하는데 이는 정상적인 반도체 공정을 어렵게 하는 원인이 된다.

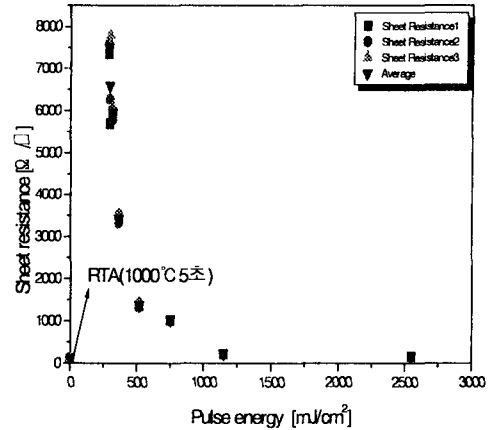


그림4. 펄스 에너지의 함수로써 면저항 측정 결과  
As, 30keV,  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ .  
Figure 4. Sheet resistance of samples as a function of pulse energy.  
As, 30keV,  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ .

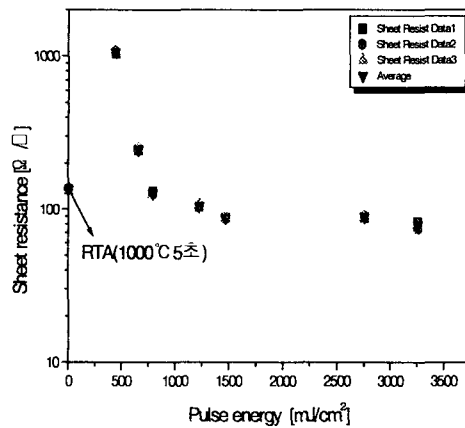


그림5. 펄스 에너지의 함수로써 면저항 측정 결과  
As, 5keV,  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ .  
Figure 5. Sheet resistance of samples as a function of pulse energy.  
As, 5keV,  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ .

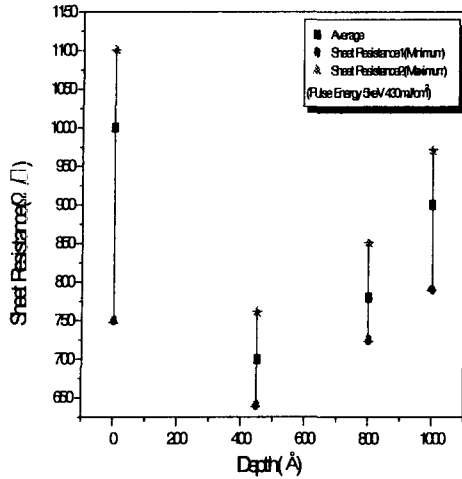


그림 6. 반사보호막 NSG 두께 변화에 따른 면저항의 변화  
Figure 6. Sheet resistance of samples as a function in variable thickness of NSG

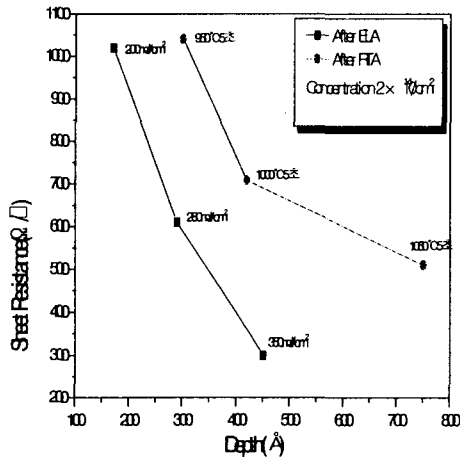


그림7. 비소 농도  $2 \times 10^{14}/\text{cm}^2$  일 때 RTA와 ELA를 이용한 Junction depth와 면저항의 크기  
Figure 7. Arsenic dosages  $2 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ , Junction depth and sheet resistance using by RTA and ELA

그림 6.은 이러한 실리콘의 에너지 흡수력을 증가시키기 위해 반사보호막을 형성시켜서 실험한 결과이다. NSG의 막 두께가 45nm에서 가장 낮은

저항치를 가지는 것을 보여 주고있다. 이는 레이저의 파장과 반사 보호막의 굴절율에 의해 최대 흡수율을 가지는 막의 두께를 알 수 있었다. 이러한 기본적인 실험을 통해 낮은 엑시머 레이저 에너지에 의한 어닐링 기술을 가지고 실제 얇은 접합을 형성하였고 두께와 면저항을 각각 ELA와 RTA로 실험하여 비교한 그래프를 그림 7.에 나타내었다. 실험결과 LDD 영역에 사용가능한  $\approx 1\text{k}\Omega/\square$ 의 면저항과  $16\text{nm}(1 \times 10^{18}/\text{cm}^3)$ 에서)의 얇은 접합 두께를 실현할수 있었다.

#### IV. 결론

극미세 MOSFET의 LDD 영역에 큰 면저항을 갖는 접합 형성을 위해 엑시머 레이저 어닐링 기술을 이용하였으며, ELA 공정으로 고농도의 큰 면저항( $1\text{k}\Omega/\square$ )과 극히 얇은 접합(16nm) 형성이 가능하였다. 또한 엑시머 레이저 어닐링(ELA)에 의한 비소의 거동은 고상에서의 액상으로의 불순물 농도의 이동에 의해 농도가 높아지는 것을 확인할 수 있었으며, NSG (None doped Silicon Glass)를 사용한 반사 보호막의 영향은 레이저의 파장과 반사보호막의 굴절률에서 최대 흡수율을 가지는 것을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] S. Wolf "Silicon Processing for the VLSI Era" Vol 2. Process Intergration p.154, 1990.
- [2] peter Singer "Active and Anneal Ultrashallow junction with Lasers" Editor-in-chief 2000.
- [3] T. Ohno, Y. Kado, M. Harada, T. Tsuchiya, A high-performance Ultra-thin quarter-micron CMOS/SIMOX technology, Symp. VLSI Tech., pp.25-26, 1993.
- [4] Ji Chel Bea, Characteristics of Ultra Fast and Ultra Small Semiconductor Device. Thesis of Dr., Tohoku Uni. pp.100-117, 2000. 9
- [5] Yong Jae Lee, Excimer Laser Annealing Technology for Ultra Shallow Junction Formation. IEEK 2000. 12