

## 금속후 어닐링 방법이 Si-SiO<sub>2</sub> 계면 전하 농도에 미치는 영향

정종완\*

세종대학교 나노공학과\*

### Effect of Post-Metallization Anneal (PMA) on Interface Trap Density of Si-SiO<sub>2</sub>

Jongwan Jung\*

Dept. of Nano Technology, Sejong Univ.\*

**Abstract** : Effects of post-metallization anneal (PMA) on interface trap characteristics of Si-SiO<sub>2</sub> are studied. The conventional PMA method utilizes forming gas anneal, where 10% hydrogen in nitrogen atmosphere is used. A new PMA method utilizes hydrogen rich PECVD- silicon nitride (SiN<sub>x</sub>) film as a hydrogen diffusion source and a out-diffusion blocking layer. It can be shown through charge pumping current measurement that the new PMA is indeed effective to decrease Si-SiO<sub>2</sub> interface trap density.

**Key Words** : Post-metallization anneal, PMA, interface trap, anneal, forming gas.

#### 1. 서 론

금속후 어닐링 (Post Metallization annealing, PMA)는 Si-SiO<sub>2</sub>의 계면에 지대한 영향을 미친다. Logic소자나 Memory소자에서 PMA 온도 profile과, 시간에 따라 Si-SiO<sub>2</sub>의 계면상태가 크게 바뀔 수 있기 때문이다. 예를 들어 DRAM에서도 PMA의 조건에 의해 refresh 특성이 좌우된다는 것은 잘 알려진 사실이고 각 회사마다 고유의 PMA 노하우가 존재한다. Si-SiO<sub>2</sub>의 계면상태에 의해 소자의 특성이 크게 좌우되는 소자는 메모리 소자와 이미지센서 소자를 들 수 있다. 메모리소자인 경우에는 retention, 혹은 refresh 특성(DRAM)이 좌우되며, 이미지센서에서는 암전류 혹은 암전류에 의한 노이즈 성분에 큰 영향을 줄 수 있다. Si-SiO<sub>2</sub>의 계면에는 벌크 보다 훨씬 큰 표면 결함이 일어나게 되는데 이러한 표면 결함을 줄이기 위해서는 interface trap 밀도를 최대한 줄이는 공정이 필요하게 된다. 따라서 PMA에 의해 이미지 센서의 노이즈 특성이 크게 바뀔 수 있다. 본 논문에서는 이러한 PMA 방식에 의한 계면 특성 변화를 보기 위해서 기존의 PMA방식과 수소의 소스로서 Hydrogen rich silicon nitride 막을 사용한 새로운 PMA방식을 비교해서 새로운 PMA 방식을 쓸 경우에 Si-SiO<sub>2</sub> 계면전하가 줄어들게 됨을 보이고자 한다..

#### 2. 실험

본 실험의 아이디어는 최대한 많은 양의 수소를 효율적으로 Si-SiO<sub>2</sub> 계면에 확산시켜 Si-SiO<sub>2</sub>의 dangling bond를 결합시켜 interface trap 밀도를 줄이는데 있다. 기존의 PMA 방식은 최종금속 공정 후에 forming gas에서 수소를 확산시키는 방법을 쓰는데 온도는 대략 400°C 근처에서

질소에 희석된 수소 분위기에서 진행하게 된다. 본 실험의 기준 wafer는 최종 금속공정 후에 forming gas (10% hydrogen in N<sub>2</sub> atmosphere)에서 400°C에서 진행되었다. 이 경우 수소의 희석정도는 안전 문제로 인해 10% 이상 올리기가 어려우며 온도를 올릴 경우에는 Contact의 Silicide 접촉저항이 증가하게 된다. 본 연구에서는 대안으로서 수소가 많이 함유된 Silicon nitride 막을 써서 접촉저항 증가를 유발하지 않고 같은 온도에서 효율적으로 수소를 확산시키는 것이다. 이러한 hydrogen rich SiN<sub>x</sub>인 경우에는 수소함량을 atomic 퍼센트 기준으로 20~30%까지 증가할 수 있다. 또한 이러한 hydrogen rich SiN<sub>x</sub>의 경우 증착을 Plasma Enhanced CVD (PECVD)에서 진행하게 되는데 이러한 plasma 증착과정에서 많은 수소가 또한 확산소스로 이용된다. 제안된 새로운 PMA방식은 PECVD로 SiN<sub>x</sub>를 증착하고 후속 열처리에서 질소 분위기에서 400°C에서 장시간 어닐링을 진행하였다. 예상으로는 PECVD로 SiN<sub>x</sub>의 증착 공정 중 많은 수소가 발생되어 Si-SiO<sub>2</sub> 계면으로 확산되고, 또한 증착후에 열처리 과정에서 PECVD-SiN<sub>x</sub> 내에 함유되어있는 많은 양의 수소가 확산되어 Si-SiO<sub>2</sub> 계면의 dangling bond를 더욱 효과적으로 채워주는 것이다. 추가적으로 p-SiN<sub>x</sub>는 확산과정에서 수소의 out-diffusion barrier로도 작용할 수 있기 때문에 효과적인 수소 확산막으로 사용될 수 있는 것이라는 것이 본 실험의 아이디어이다. p-SiN<sub>x</sub>는 제일 먼저 Solar cell에 적용된 개념인데, poly-Si 태양전지에서 PECVD-SiN<sub>x</sub>를 덮고 어닐링할 경우 SiN<sub>x</sub>의 수소가 벌크 defect와 계면을 curing하여 효율이 증가되는 것으로 알려져 있다. 아래 표1.에 본 실험에 사용된 실험 조건을 정리하였다.

표 1. 실험에 사용된 PMA 방법

구조	SPLIT	P-SiN <sub>x</sub>	PMA
기존 PMA	#1	SKIP	forming gas (400°C)
새로운 PMA	#2	Deposition	anneal (N2 atmosphere) 400°C
	#3	Deposition	anneal (N2 atmosphere) 400°C, Split 2보다 긴 시간 진행

이러한 샘플에 대해 테스트 transistor의 charge pumping을 측정하여 fast interface trap의 밀도를 비교하였다. 그림.1은 본 실험의 공정순서도를 개략적으로 보여준다.

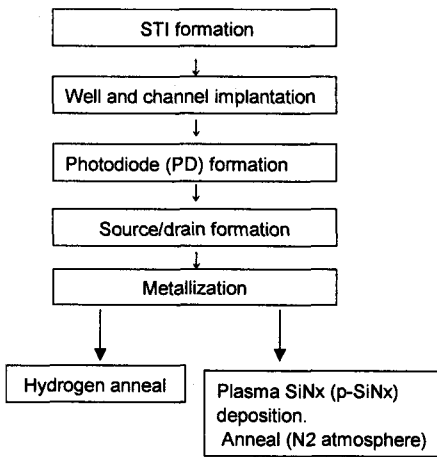


그림 1. 본 실험의 공정진행도 (왼쪽의 공정은 기존의 PMA조건이고, 오른쪽은 새로운 PMA 공정순서임.)

### 3. 결과 및 검토

그림.2는 본 실험의 PMA 조건에 의한 테스트 트랜지스터의 charge pumping 전류 특성을 비교한 것이다. 일반적으로 charge pumping 전류는 Si-SiO<sub>2</sub> 계면의 fast interface trap의 밀도를 잘 대변할 수 있는 측정 방법으로 알려져 있다.

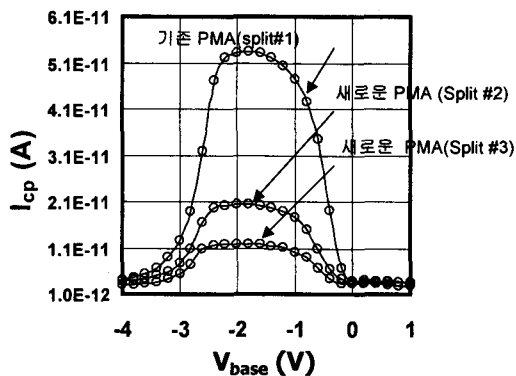


그림 2. PMA조건에 따른 charge pumping 전류 비교

그림.2에서 볼 수 있듯이 기존의 PMA방식 (split #1)보다 p-SiN<sub>x</sub>를 수소 소스로 사용하는 새로운 PMA방식이 Si-SiO<sub>2</sub>의 계면전하 밀도가 낮음을 알 수 있다.

또한 Split #3의 charge pumping의 전류가 split #2보다 낮은 것으로 봐서 장시간에 걸쳐하는 annealing이 효과가 있음을 보인다. 정확한 수소의 농도는 측정이 어려워서 수소 함량 측정 결과는 없으나 split #2와 #3의 결과로 유추할때 수소의 확산이 Si-SiO<sub>2</sub> 계면에 지대한 영향을 미칠 수 있다. 이러한 실험 결과를 정확히 해석하기 위해서는 본 실험에서 실험한 내용 외에 추가적인 실험과 수소 함량에 대한 정확한 분석이 이루어져야 한다. 다만 본 실험의 결과로부터 plasma 증착시의 수소, 혹은 박막 자체의 많은 수소, 그리고 어닐링시의 SiN<sub>x</sub>의 out-diffusion blocking 역할 등이 모두 이러한 계면 특성에 영향을 미치는 것으로 보인다. 특히 SiN<sub>x</sub>의 out-diffusion을 막는 blocking layer로서의 역할이 중요할 것으로 보이는데 추가적인 실험을 통해 알아 낼 수 있을 것으로 판단된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 금속후 어닐링방법(PMA) 방식에 따른 Si-SiO<sub>2</sub> 계면 특성 변화를 보기 위해서 기존의 PMA 방식과 수소 소스로서 Hydrogen rich PECVD silicon nitride 막을 사용한 새로운 PMA방식을 비교하여 실험하였다. Test transistor의 charge pumping을 측정하여 interface trap 밀도를 비교한 결과 새로운 PMA 방식이 기존 방식대비 Si-SiO<sub>2</sub> 계면전하가 적음을 알 수 있었다. 본 결과로부터 plasma 증착시의 수소, 혹은 박막 자체의 수소, 그리고 어닐링시의 SiN<sub>x</sub>의 out-diffusion blocking 역할 등이 모두 이러한 계면 특성에 영향을 미치는 것으로 보인다.

### 참고 문헌

- [1] R. M. Guidash, T. H. Lee, P. P. K. Lee, D. H. Sackett, C. I. Drowley, M. S. Swenson, L. Arbaugh, R. Hollestein, F. Shapiro, and S. Domer: IEDM Tech. Dig., 1997, p. 927.
- [2] K. Yonemoto, and H. Sumi: IEEE J. Solid-State Circuits 35 (2000) 2038
- [3] C.R. Moon, J. Jung, D. Kwon, J. Yoo, D. Lee, and K. Kim: IEEE Electron Device Lett. 28 (2007) 114
- [4] J. Jung, D. Kwon, and D. Lee: Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) 3466