

# O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리에 의한 Bio-FET 소자의 특성 열화 및 후속 열처리에 의한 특성 개선

오세만<sup>1</sup> · 정명호<sup>1</sup> · 조원주<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>광운대학교 전자재료공학과, 서울 139-731

(2008년 3월 12일 받음)

O<sub>2</sub> 플라즈마를 이용한 표면처리 공정이 Bio-FET (biologically sensitive field-effect transistor)에 미치는 영향을 조사하기 위하여, SOI (Silicon-on-Insulator) wafer와 sSOI (strained-Si-on-Insulator) wafer를 이용하여 pseudo-MOSFET을 제작하고 O<sub>2</sub> 플라즈마를 이용하여 표면처리를 진행하였다. 제작된 시료들은 back gated metal contact junction 방식으로 측정되었다. I<sub>b</sub>-V<sub>G</sub> 특성과 field effect mobility 특성의 관찰을 통하여 O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리에 따른 각 시료들의 전기적 특성 변화에 대하여 관찰하였다. 그리고 O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리 과정에서 플라즈마에 의한 손상을 받은 시료들은 2% 수소희석가스 (H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>)를 이용한 후속 열처리 공정을 진행한 후 전기적 특성이 향상되는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 수소희석가스를 이용한 후속 열처리 공정을 통하여 산화막과 Si 사이의 계면 준위와 산화막 내부의 전하 포획 준위를 감소시켰기 때문이다.

주제어: Bio, Pseudo-MOSFET, O<sub>2</sub> plasma, forming gas

## I. 서 론

바이오 센서란 생체감지 물질과 신호 변환기로 구성되어 분석하고자 하는 물질을 선택적으로 감지할 수 있도록 고안된 장치이다. 바이오 센서를 구성하기 위해 전극 내에 효소를 집적시키는 현대적인 바이오 센서 구조에 대해서는 Clark와 Lyons에 의해 처음으로 보고되었다. 이 후 간단한 감지 방법과 유사한 기술에 대해 상당한 진전이 있었고 최근에도 많은 연구가 진행되고 있다[1].

바이오 센서의 생체 감지 물질로는 특정 물질과 선택적으로 반응하거나 결합할 수 있는 효소(enzyme), 항체(antibody), 항원(antigen), 렉틴(lectin), Hormone-receptor등이 사용된다. 또한 바이오 센서에 사용되는 신호의 변환 방법으로는 전기화학(Electrochemical), 형광(fluorescence), 발색(color development), SPR (Surface Plasma Reconance), FET(Field-Effect Transistor), QCM (Quartz Crystal Microbalance)등 다양한 물리, 화학적인 방법들이 사용되고 있다[2]. 특히 기존 MOSFET에서 gate를 분자 probe로 대체한 구조를 가지는 Bio-FET은 구조가 간단하고, 고집적이 가능하며, 안정성이 높고, 낮은 출력 임피던스를 가지며, 빠르게 sensing이 가능하다는

장점으로 인해서 많은 연구가 진행되고 있다[3]. Bio-FET 제작에 있어서 매우 중요한 과정의 하나로서 바이오 물질(항체)이 용이하게 부착될 수 있도록 O<sub>2</sub> plasma 표면처리에 의하여 O-H기를 형성하는 공정이 있다[4]. 플라즈마 처리 공정은 MOSFET 소자에 손상을 주는 것으로 알려져 있으며[5-10], 특히 SOI 기판을 이용해서 제작하는 Bio-FET의 경우에는 상부 실리콘 및 매몰 산화막과 상부 실리콘 사이의 계면특성을 열화시켜 바이오 센서의 감도 저하를 초래할 수 있다. 지금까지 O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리 과정에서 발생하는 플라즈마 손상에 대해서는 많은 연구가 진행되어 왔다. 플라즈마에 의한 손상의 원인으로는 charging damage, photon damage, lattice damage 등 여러 가지가 있으며, thin gate oxide, silicon thin-film transistor, plasma metal etching, ultra thin gate oxide 등 여러 분야에서 보고가 있었다. 그러나, Bio-FET의 제작과정에서 진행되는 O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리에 의한 소자의 특성 열화에 대해서는 지금까지 거의 보고되지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 Bio-FET 소자의 O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리 과정에서 발생하는 전기적 특성의 변화를 평가하였다. 또한 후속 열처리 공정(FGA : Forming Gas Anneal)을 통해 매몰 산화층과 기판 사이의 계면 특성을 개선하였

\* [전자우편] chowonju@kw.ac.kr

고, 그로 인한 전기적 특성의 향상을 확인하였다[11].

## II. 실험

Fig. 1은 Bio-FET 제작 과정을 보여주고 있다. 각 시료들은 O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리로 인한 Bio-FET 소자의 특성 변화를 쉽게 측정 할 수 있는 pseudo-MOSFET 구조를 이용하여 제작되었다.

실험에 사용된 기판은 Table 1과 같이 상부 실리콘의 두께가 100 nm 또는 40 nm를 가지는 SOI와 상부 실리콘 두께가 40 nm를 가지는 sSOI를 이용하였다. sSOI wafer는 SOI wafer의 특성을 보다 향상시킨 strained Si 기술로 최근 주목받고 있다. 이는 Si 과 Ge 의 격자상수 차이로 인한 strain 을 이용하여, 캐리어의 이동도를 증가시켜 소자의

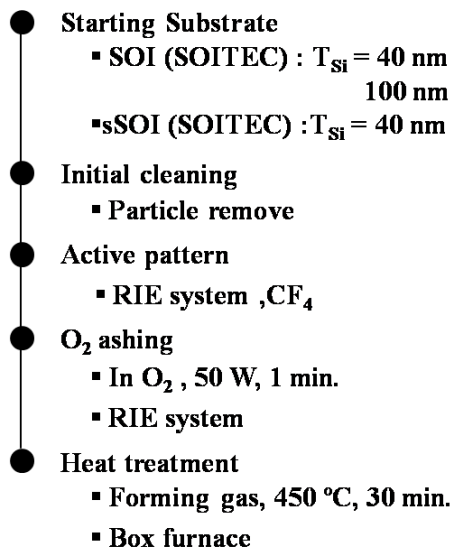


Fig.1. Bio-FET fabrication process

Table 1. Information of samples

| Sample No.   | T10 | T30 | T50 |
|--------------|-----|-----|-----|
| Substrate    | SOI | SOI | SOI |
| Tsi (nm)     | 100 | 100 | 100 |
| RF power (W) | 10  | 30  | 50  |

| Sample No.   | A   | B   | C    |
|--------------|-----|-----|------|
| Substrate    | SOI | SOI | sSOI |
| Tsi (nm)     | 100 | 40  | 40   |
| RF power (W) | 50  | 50  | 50   |

특성을 개선하는 기술이며, Bio-FET에 적용할 경우 구동 전류의 증가에 의하여 감지 능력의 향상을 기대할 수 있다 [11]. 각 시료들은 MESA 방법을 이용하여 소자 간 전기적 분리를 수행한 후, 실제 Bio-FET를 제작하는 공정 과정 중 O-H기를 형성하는 과정인 O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리를 진행하였다. O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리 공정은 RIE (Reactive Ion Etching) system을 이용하여 진행되었다. (T10), (T30), (T50) 시료는 RF power에 따른 소자의 전기적 특성의 열화를 분석하기 위하여 각각 10 W, 30 W, 50 W의 RF power로 1 분간 진행하였고, (A), (B), (C) 시료들은 기판에 따른 특성 열화를 분석하기 위하여 동일한 플라즈마 처리 조건 (50 W, 1 분)에서 진행되었다. 제작된 시료들은 HP4156B 장비를 통하여 전기적 특성과 전계효과 이동도(field effect mobility)를 분석하였다. 마지막으로 O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리에 의해 발생하는 소자의 전기적 특성의 열화를 개선하기 위해 2 % 수소희석가스(H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>)를 사용하여 450°C, 30 분간 후속 열처리 공정을 수행하였다.

## III. 결과 및 고찰

제작된 각각의 Bio-FET 소자들은 Bio 물질을 붙여 분자 probe로 사용하는 대신 back gated metal contact junction 방식을 이용하여 측정되었다.

Fig 2 는 RF plasma power 에 따른 Bio MOSFET의 전기적 특성 변화를 나타낸다. RF power가 높아짐에 따라 커브의 기울기가 초기상태에 비해 점차 작아지는 현상을 볼 수 있는데, 이는 계면준위의 증가에 따른 전계효과 이동도 열화로 설명된다[12]. 이를 통해 플라즈마 손상을 받은

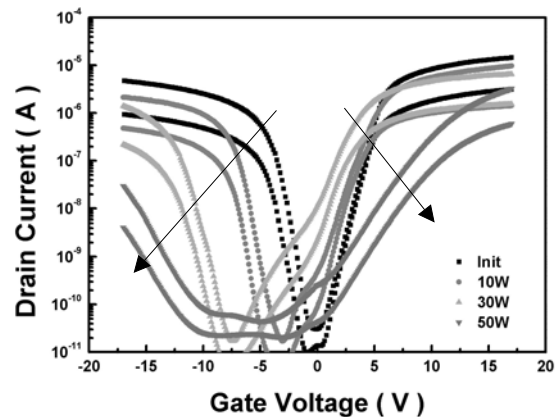


Fig 2. Effectivity of O<sub>2</sub> plasma surface treatment

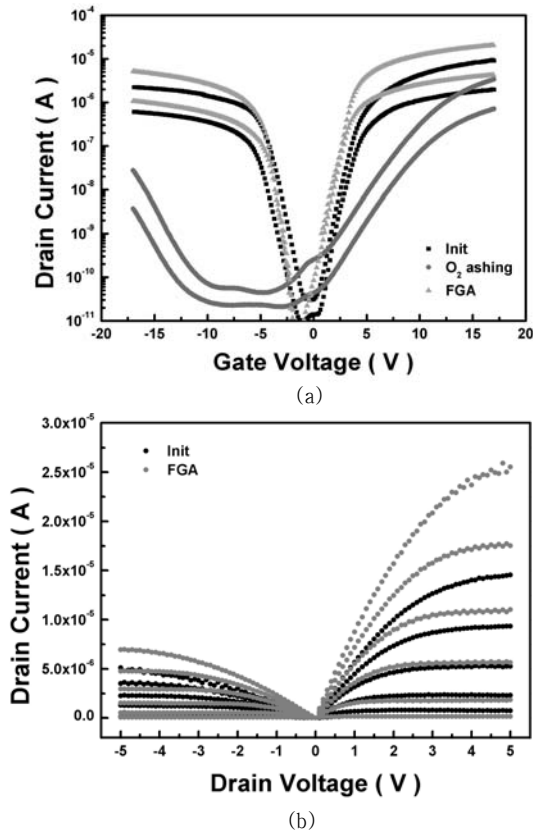


Fig 3. I-V characteristics of SOI (Tsi = 100 nm)  
(a) I<sub>D</sub>-V<sub>G</sub> characteristics (b) I<sub>D</sub>-V<sub>D</sub> characteristics

소자의 특성을 개선시키기 위한 추가 공정이 필요하다는 것을 확인할 수 있었다. 이 실험의 결과를 토대로 하여 각 실험을 RF power 50 W에서 1 분간 진행하였다.

Fig. 3은 (A) 시료의 전기적 특성 변화를 나타낸다. O<sub>2</sub> 플라즈마로 표면처리를 실시한 경우 플라즈마 손상에 의해 시료의 특성이 크게 열화되는 것을 볼 수 있다. 이는 플라즈마를 발생시키기 위해 높은 전압이 걸리면서 강한 전계가 형성되고 이에 따라 Fowler Nordheim (F-N) 터널 전류가 매물 산화막으로 흐르면서 산화막과 상부 실리콘 사이의 계면 및 매물 산화막 내부에 전하포획준위 밀도가 증가하였기 때문이다. 한편, 저온의 후속 forming gas anneal을 통하여 계면의 포획준위를 효과적으로 소멸시킬 수 있었으며, 초기상태보다 전기적 특성을 더욱 개선시킬 수 있었다. 이것은 열처리 가스에 포함되어 있는 H<sub>2</sub>가 O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리 과정에서 생성된 전하포획준위를 효과적으로 제거해 줌으로서 나타나는 결과이다.

Fig. 4는 (B) 시료의 전기적 특성 변화를 나타낸다. (B) 시료는 (A) 시료에 비해 O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리에 의해 더욱

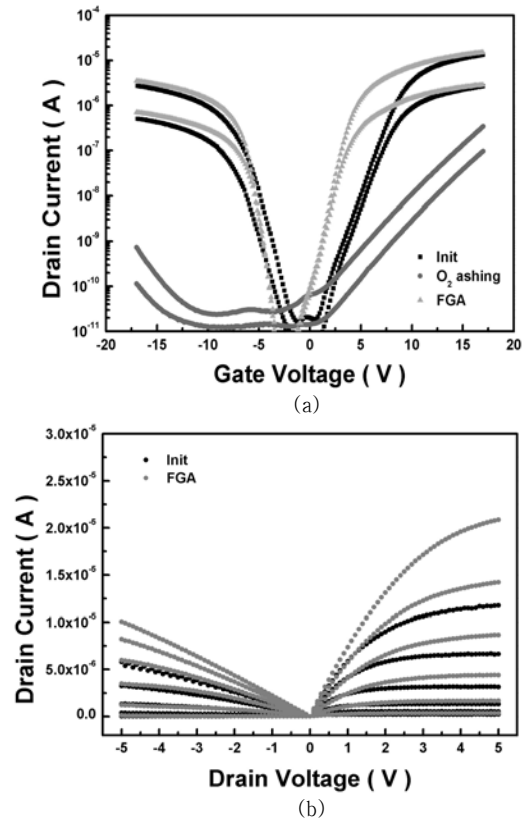


Fig 4. I-V characteristics of SOI (Tsi = 40 nm)  
(a) I<sub>D</sub>-V<sub>G</sub> characteristics (b) I<sub>D</sub>-V<sub>D</sub> characteristics

열화되었다. 즉, 동일한 양의 플라즈마 손상을 받았을 때 상부 실리콘 두께 Tsi가 감소할수록 O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리에 의한 손상이 증가하는 경향을 나타낸다. 한편, (B) 시료에서도 (A)시료와 마찬가지로 forming gas anneal 후에 크게 개선된 소자 특성을 확인하였다.

Fig. 5는 (C) 시료의 전기적 특성 변화를 나타낸다. 앞선 SOI Bio-FET과 마찬가지로 sSOI Bio-FET에서도 O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리에 의해 열화된 전기적 특성이 forming gas anneal을 통해 개선 됨을 관찰 할 수 있었다. 또한, 초기상태보다 전기적 특성을 더욱 개선되었으며, 이를 통해 sSOI에서도 forming gas anneal이 효과가 있다는 사실을 알 수 있었다.

Table 2는 각 소자의 전계효과 이동도를 나타낸다. Forming gas anneal 후 (A) 시료는 22%, (B) 시료는 12% 정도 전기적 특성이 개선된 것을 알 수 있다. 특히 (C) 시료의 경우는 54%의 전계효과 이동도의 향상이 관찰 되었으며 sSOI를 이용한 Bio-FET 소자에서도 후속 열처리 공정이 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

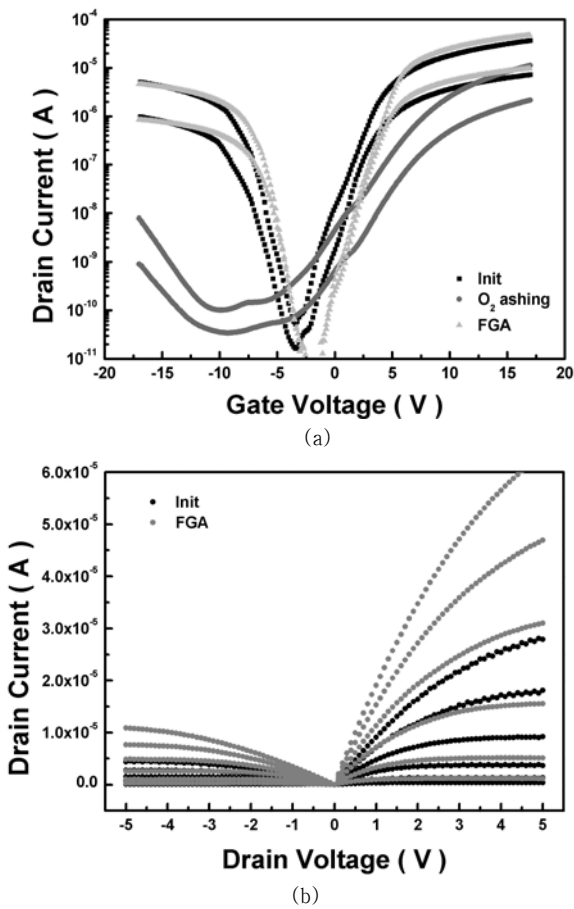


Fig 5. I-V characteristics of sSOI (Tsi = 40 nm)  
 (a)  $I_D$ - $V_G$  characteristics (b)  $I_D$ - $V_D$  characteristics

Table 2. Field effect mobility characteristics

|             |        | $\mu_{FE}$ ( $cm^2/Vs$ ) |     |           |     |
|-------------|--------|--------------------------|-----|-----------|-----|
|             |        | Initial                  |     | After FGA |     |
| Wafer       | Type   | P                        | N   | P         | N   |
| S<br>O<br>I | 100 nm | 100                      | 443 | 127       | 538 |
|             | 40 nm  | 74                       | 358 | 85        | 401 |
| sSOI        | 40 nm  | 88                       | 440 | 123       | 678 |

#### IV. 결 론

본 연구에서는 Bio-FET의 기관으로 사용되는 SOI와 sSOI pseudo-MOSFET을 제작하여 O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리에 따른 전기적 특성 변화를 조사하였다. O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리를 실시한 시료의 경우에 초기 상태의 전기적 특성과 비교하여 매우 열화된 전기적 특성을 볼 수 있었다. 이

러한 전기적 특성의 열화는 O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리를 진행하는 과정에서 받은 플라즈마 대전 손상에 의한 것으로 RF power의 크기에 비례하였고, 시료의 채널 두께가 감소할수록 증가하였다. 한편, O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리 과정에서 손상을 받은 시료들은 forming gas 분위기에서의 후속 열처리 공정을 통하여 전기적 특성이 크게 개선됨을 알 수 있었다. 후속 열처리에 의하여 특성이 개선된 시료들은 초기상태보다 출력 전류가 약 2배 정도 향상되었고, 전계효과 이동도는 12~54 % 정도 개선되었다. 따라서, Bio-FET 제조 공정 과정에서 O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리 이후에 발생하는 소자의 열화를 개선하여 감도를 향상시키기 위해서 반드시 후속 열처리 공정이 필요하다는 것을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] M. Mehrvar and M. Abdi, *Analyst* **20**, 1113 (2004).
- [2] C. S. Wu, L. J. Wang, J. Zhou, L. H. Zhao and P. Wang, *Chi. Sci. Bull.* **52**, 1886 (2007).
- [3] M. J. Schoning and A. Poghossian. *Analyst* **127**, 1137 (2002).
- [4] A. Kim, C. S. Ah, H. Y. Yu, J. H. Yang, I. B. Baek, C. G. Ahn, C. W Park, and M. S. Jun, S. Lee, *Appl. Phys. Lett.* **91**, 103901, (2007).
- [5] K Lai, K Kumar, A Chou and J. C. Lee, *IEEE Elec. Dev. Lett.* **17**, 82 (1996).
- [6] C. Y. Chen, J. W. Lee, W. C. Chen, H. Y. Lin, K. L. Yeh, P. H. Lee, S. D. Wang, and T. F. Lei, *IEEE Elec. Dev. Lett.* **27**, 893 (2006).
- [7] H. Shin, CC King, T. Horiuchi and C. Hu, *IEEE Elec. Dev. Lett.* **12**, 404 (1991).
- [8] D. Park and C. Hu, *IEEE P2ID Proc.* **17**, 15 (1997).
- [9] S. Fang, and J. P. McVittie, *IEEE Elec. Dev. Lett.* **13**, 288 (1992).
- [10] S. Fang and J. P. McVittie, *IEEE Elec. Dev.* **41**, 1034 (1994).
- [11] W. J. Cho, and C. G. Ahn, *Appl. Phys. Lett.* **90**, 143509, (2007).
- [12] T. Mizuno, S. Takagi, N. Sugiyama, J. Koga, T. Tezuka, K. Usuda, T. Hatakeyama, A. Kurobe, A. Toriumi, *IEEE Elec. Dev. Meet.* 943 (1999).

## **Degradation of electrical characteristics in Bio-FET devices by O<sub>2</sub> plasma surface treatment and improving by heat treatment**

Se-Man Oh<sup>1</sup>, Myung-Ho Jung<sup>1</sup>, Won-Ju Cho<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*Dept. of Electronic materials engineering, Kwangwoon Univ., Seoul 139-714*

(Received March 12, 2008)

The effects of surface treatment by O<sub>2</sub> plasma on the Bio-FETs were investigated by using the pseudo-MOSFETs on the SOI substrates. After a surface treatment by O<sub>2</sub> plasma with different RF powers, the current-voltage and field effect mobility of pseudo-MOSFETs were measured by applying back gate bias. The subthreshold characteristics of pseudo-MOSFETs were significantly degraded with increase of RF power. Additionally, a forming gas anneal process in 2 % diluted H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ambient was developed to recover the plasma process induced surface damages. A considerable improvement of the subthreshold characteristics was achieved by the forming gas anneal. Therefore, it is concluded that the pseudo-MOSFETs are a powerful tool for monitoring the surface treatment of Bio-FETs and the forming gas anneal process is effective for improving the electrical characteristics of Bio-FETs.

Keywords : Bio, Pseudo-MOSFET, O<sub>2</sub> plasma surface treatment, forming gas

\* [E-mail] chowonju@kw.ac.kr