

## 전자상자성공명을 이용한 Poly-Si/SiO<sub>2</sub> 박막의 결함연구 : 플라즈마 수소화처리에 따른 결함밀도의 변화

노승정

단국대학교 이과대학 응용물리학과  
서울 용산구 한남동 산8번지, 140-714

장혁규

고려대학교 이과대학 물리학과  
서울 성북구 안암동 5가, 136-701

(1998년 8월 17일 받음, 1998년 10월 28일 최종수정본 받음)

Poly-Si 활성층이 도핑되지 않은 또는 BF<sub>2</sub> 이온주입으로 도핑된 poly-Si/SiO<sub>2</sub> 박막에 존재하는 결함을 효과적으로 감소시키기 위하여 저온 rf 수소플라즈마 처리를 수행하였고, 결함의 변화를 전자상자성공명을 이용하여 조사하였다. 활성층이 도핑되지 않은 시편과 도핑된 시편에서 모두 관측되었던 P<sub>b</sub> center와 E' center가 30분의 수소화처리 결과, P<sub>b</sub> center의 경우에 각각 80 % (도핑되지 않은 시편)와 76 % (도핑된 시편)의 큰 결함 감소효과를 얻었으며 E' center는 제거되어 관측되지 않았다. 90분의 처리공정에서는 두 시편에서 모두 감소되었던 P<sub>b</sub> center의 밀도가 다시 증가하였으며, 제거되었던 E' center가 재생성되었다. 특히 도핑된 시편에서의 P<sub>b</sub> center의 밀도증가가 더욱 민감하게 나타났다.

### I. 서 론

현재 다결정실리콘 박막트랜지스터(polycrystalline-silicon thin-film transistor; poly-Si TFT)는 고집적 기억 소자와 LCD(liquid crystal display) 등의 핵심기술로 응용되고 있다. SRAM(static random access memory)의 경우에 poly-Si은 TFT의 채널과 게이트 전극으로 이용되며, 고온에서 형성된 SiO<sub>2</sub> 박막은 전극과 채널 사이에 위치하는 게이트 유전물질로 사용되고 있다. 그러나, poly-Si 박막의 결정경계(grain boundary)와 poly-Si/SiO<sub>2</sub> 계면에는 전기적 특성을 저해하는 결함들이[1-3] 존재하여 TFT 소자의 이동도, 누설전류 및 제품의 신뢰도에 영향을 주는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 플라즈마 처리방법이 제안되어 왔으며[4-6], 고집적 기억소자의 경우에는 제조공정의 특성상 저온 수소플라즈마 처리기술이 널리 응용되고 있다. 본 연구에서는 rf 저온 수소플라즈마 처리방법을 수행하여, 처리시간에 따른 poly-Si/SiO<sub>2</sub> 박막내의 결함밀도 변화를 전자상자성공명(electron paramagnetic resonance; EPR) 분석을 통해 조사하였다. 또한 많은 경우에 TFT 소자의 poly-Si 활성층이 도핑되어 있으므로, 활성층을

BF<sub>2</sub>로 이온주입한 시편에 대해서도 수소플라즈마를 처리하여 전자상자성공명 분석을 수행하였다.

### II. 실험 방법

(100) 단결정 실리콘 기판 위에 LPCVD(low-pressure chemical-vapor deposition) 반응기를 이용하여 50 nm 두께의 고온 SiO<sub>2</sub> 박막을 성장시켰고, 성장된 SiO<sub>2</sub> 박막 위에는 150 nm 두께의 poly-Si 박막을 LPCVD 반응기로 증착하였다. 제작된 poly-Si/SiO<sub>2</sub> 시편의 일부는 80 keV의 BF<sub>2</sub>를  $6 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ 으로 이온주입하였으며, 나머지 시편에 대해서는 도핑을 진행하지 않았다. 시편들을 50 W-13.56 MHz의 rf 플라즈마 반응기에서 350 °C-0.5 Torr의 조건으로 0, 30, 60, 그리고 90분 동안 각각 수소플라즈마 처리한 후, 측정을 위해 4 mm × 30 mm의 크기로 절단하였다. 박막내부 또는 경계에서의 결함밀도 변화는 Bruker ESP 300 series 장치를 이용하여 상온에서 EPR 분석을 하였다. 이 때 마이크로파 주파수는 약 9.7 GHz를 중심으로 인가해 주었으며, g 값은  $g = h\nu/BH$ 의 관계에서 계산하였다. 이 때  $h$ 는 Planck 상수,  $\nu$ 는 마이크로파 주파수

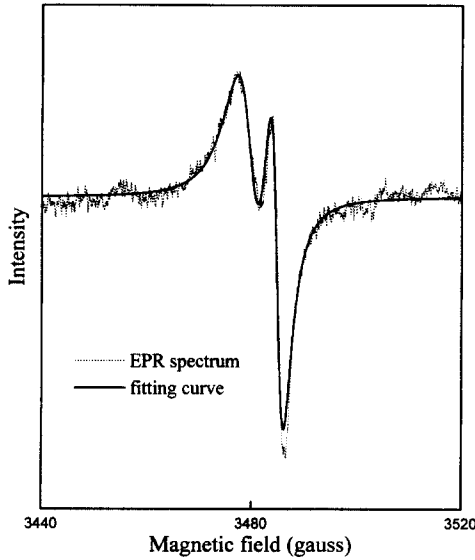


Fig. 1. EPR spectrum of an undoped poly-Si/SiO<sub>2</sub> thin film before H<sub>2</sub>-plasma treatment and its differential Lorentzian fitting curve with two peaks. Two resonances occur about 3479 G and 3482 G.

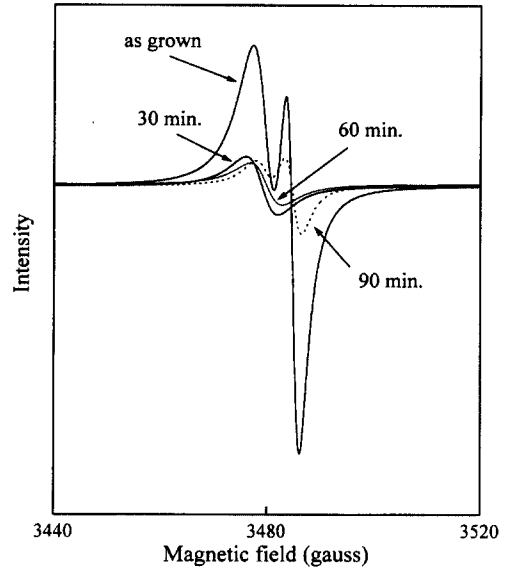


Fig. 2. EPR curves of undoped poly-Si/SiO<sub>2</sub> thin films at various plasma hydrogenation times. The hydrogenation times are 30, 60 and 90 min at 350 °C and 0.5 Torr.

(Hz),  $\beta$ 는 Bohr magneton을 나타내며, H는 공명자기장을 의미한다.

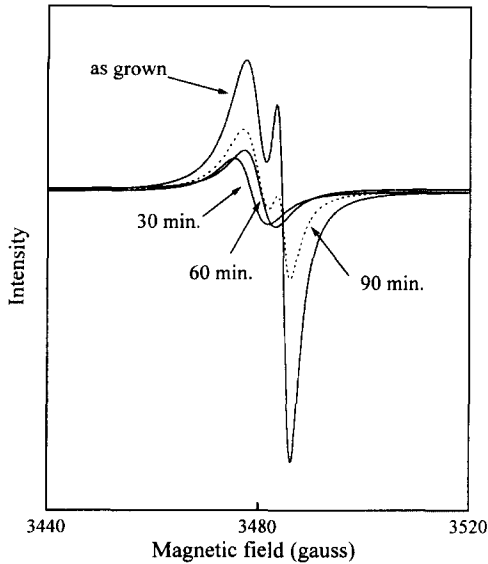
### III. 결과 및 논의

Fig. 1은 도핑되지 않은 poly-Si/SiO<sub>2</sub> 박막시편을 EPR 방법을 이용하여 상온에서 측정된 스펙트럼과 이를 회귀분석한 결과이다. 회귀분석에는 2개의 공명자기장을 갖는 Lorentz 함수의 미분형인

$$y = - \left( \frac{16 \cdot a_1 \cdot w_1}{\pi} \right) \cdot \left( \frac{(x-x_1)}{[4(x-x_1)^2+w_1^2]^2} \right) - \left( \frac{16 \cdot a_2 \cdot w_2}{\pi} \right) \cdot \left( \frac{(x-x_2)}{[4(x-x_2)^2+w_2^2]^2} \right) \quad (1)$$

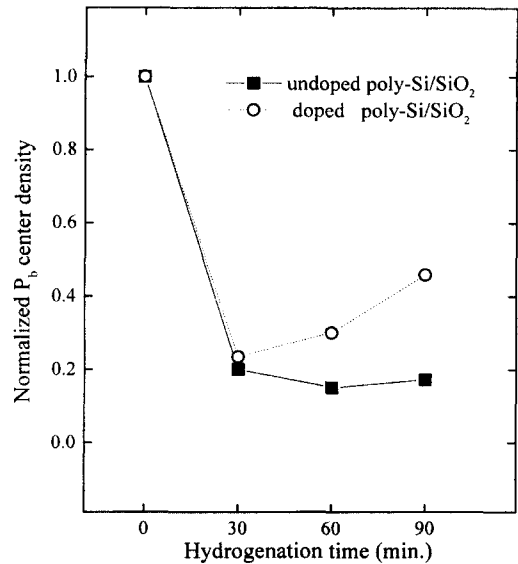
으로 구하였다. (1)에서 y는 EPR 신호의 크기를 나타내며,  $a_1$ 과  $a_2$ 는 진폭, x는 외부자기장,  $x_1$ 과  $x_2$ 는 공명자기장, 그리고  $w_1$ 과  $w_2$ 는 선폭을 나타낸다. Fig. 1에서 공명자기장은 3479 G와 3482 G 근처에서 얻었으며, 약 3479 G에서 관측된 공명자기장은  $g=2.0055 \pm 0.0002$ 로 계산되었다. 이는  $[\cdot \text{Si} \equiv \text{Si}]$ 의 구조를 갖는  $P_b$  center(silicon dangling bond)이며, 주로 poly-Si/SiO<sub>2</sub>

계면에서 발생하고 채널에서 운반자를 포획하여 전기 전도를 방해하고 이동도를 떨어뜨리거나 큰 누설전류를 유발하는 등 poly-Si TFT 소자의 전기적 특성을 저해하는 주요한 원인으로 알려져 있다[1]. 한편 3482 G 근처에서 측정된 공명자기장은 g 값이 2.004로 계산되었고, 이 결합은  $[\cdot \text{Si} \equiv \text{O}]$  구조를 갖는  $E'$  center[2]이며, 주로 SiO<sub>2</sub> 박막 내부에서 발생하여 poly-Si TFT 소자에서 잡음(noise)을 유발한다고 알려져 있다[3]. Fig. 2는 도핑되지 않은 시편에 대한 플라즈마 수소화 처리 전과 후의 EPR 스펙트럼을 나타낸 것으로 수소화 처리시간은 30, 60, 그리고 90분으로 하였다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 30분 처리된 시편에서  $P_b$  center가 크게 감소하였고, 수소화처리 전의 시편에서 관측되었던  $E'$  center는 측정되지 않았다. 또한 60분 처리된 시편에서는  $P_b$  center가 더욱 감소하였고  $E'$  center는 역시 보이지 않았다. 그러나, 90분의 처리시간에서는  $P_b$  center가 60분 처리에 비해 증가하였으며, 30분과 60분 처리했을 때 제거되었던  $E'$  center 결합이 다시 관측되었다. 초기의 수소 플라즈마 처리에 의하여 감소하였던 결합( $P_b$  center)이 다시 증가하고 제거되었던 결합( $E'$  center)이 재생성되는 원인은 플라즈마에 의한 표면손상(surface damage) 또는 poly-Si/SiO<sub>2</sub> 박막에서의 수소



**Fig. 3.** EPR curves of poly-Si/SiO<sub>2</sub> thin films at various plasma hydrogenation times, where the poly-Si was doped by BF<sub>2</sub> ion implantation at a dose of  $6 \times 10^{12}/\text{cm}^2$  before hydrogen treatment. The hydrogenation times are 30, 60 and 90 min at 350 °C and 0.5 Torr.

원자 결합역할[7] 때문으로 보인다. BF<sub>2</sub> 이온주입으로 p형 도핑된 시편에 대한 플라즈마 수소화 처리 전, 후의 EPR 스펙트럼을 Fig. 3에 나타내었다. 30분 수소화 처리시간에서는 도핑되지 않은 시편과 비슷한 경향을 보여 P<sub>b</sub> center 밀도가 크게 감소하였고, E' center는 제거되어 관측되지 않았다. 60분의 처리 후에는 P<sub>b</sub> center가 30분에 비해 증가하여 도핑되지 않은 시편의 경우와는 다른 경향을 보였지만 E' center는 역시 관측되지 않았다. 따라서 poly-Si/SiO<sub>2</sub> 박막은 적절하고 안정된 수소화처리 조건에서 E'-center의 제거가 비교적 용이하다고 판단된다. 그러나, 90분의 처리시간에서는 60분 처리에 비해 P<sub>b</sub> center가 더 증가하였으며, E' center도 다시 활성화되어 도핑되지 않은 시편과 유사한 경향을 보였다. 도핑되지 않은 시편인 Fig. 2와 비교하면, 도핑된 시편에서는 90분 처리시 30분과 60분 처리에 비해 P<sub>b</sub> center 결합증가와 E' center의 재생성이 더 많이 나타나 p형 도핑된 시편에서의 결합밀도의 변화는 수소화처리 조건에 더 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. Fig. 2와 Fig. 3의 결과에서 보면 P<sub>b</sub> center가 수소화 처리시간에 따라 이동하는데 이는 측정장비의 분해능이 1 gauss 이하임을 고려할 때, 본 실험에서 측



**Fig. 4.** Normalized P<sub>b</sub> center density of poly-Si(undoped)/SiO<sub>2</sub> as well as poly-Si(doped)/SiO<sub>2</sub> as a function of plasma hydrogenation time.

정된 P<sub>b</sub> center의 오차는 도핑되지 않은 시편은 최대 ±0.3 gauss 이하, 도핑된 시편의 경우에는 최대 ±0.4 gauss 이하로 측정되어 분해능내의 오차가 주요 원인으로 생각된다. Fig. 2와 Fig. 3에서의 도핑되지 않은 시편과 도핑된 시편의 수소화처리 시간에 따른 P<sub>b</sub> center 밀도변화를 자세히 분석하기 위하여, 수소화처리 전의 밀도를 기준으로 틀맞춤(normalization)한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 30분의 수소화처리 결과, 두 종류의 시편 모두 각각 80%와 76%의 큰 결합밀도 감소효과를 얻었다. 그리고, 60분의 처리 결과, 도핑되지 않은 시편에서는 플라즈마처리 전에 비해 결합밀도의 감소가 95%로 30분 처리한 시편에 비하여 더욱 감소하였다. 반면에 도핑된 시편에 60분의 수소화 처리한 시편에서의 결합밀도 감소는 70%로 30분 처리한 시편에 비하여 오히려 결합밀도가 증가하였다. 또한 90분의 플라즈마 처리시간에서, 도핑되지 않은 시편의 결합밀도감소는 83%로 60분 처리한 시편보다 결합밀도가 약간 증가하였다. 한편 도핑된 시편은 54%로 나타나, 30분과 60분 처리한 시편에 비하여 결합밀도가 계속하여 증가하는 현상을 보였다. 실제의 경우에 많은 TFT 소자의 활성층이 도핑되어 있으므로, 도핑농도에 따른 수소화처리 효과에 대한 연구가 매우 중요

할 것으로 생각된다.

가 필요하다고 판단된다.

#### IV. 결 론

EPR 분석을 통하여 poly-Si/SiO<sub>2</sub> 박막에서 결합을 조사하였다. Poly-Si 활성층을 도핑하지 않은 시편과 BF<sub>2</sub> 이온주입으로 도핑한 시편에서 모두 P<sub>b</sub> center와 E' center 결합을 관측하였다. 저온 rf 수소플라즈마를 이용하여 30 분간 처리하여, 도핑되지 않은 시편과 도핑된 시편에서 P<sub>b</sub> center를 각각 80 %와 76 % 감소시키고, E' center 결합을 제거하였다. 그러나, 긴 시간동안의 수소화 처리공정을 수행시 플라즈마에 의한 표면 손상 또는 박막에서의 수소결합 역할로 설명되는 P<sub>b</sub> center의 재증가와 E' center의 재생성을 90분의 수소화 처리에서 확인하였다. 특히 도핑된 시편의 경우에는 이미 60분의 수소화 처리 시편에서 P<sub>b</sub> center의 재증가가 측정되어 수소화 처리에 더욱 민감하였다. 실제의 많은 경우에 TFT의 활성층이 도핑되어 있으므로, 도핑 농도에 따른 수소화 처리의 최적화를 위한 많은 연구

#### 감사의 글

이 연구는 단국대학교 대학연구비의 지원으로 수행되었음.

#### 참 고 문 헌

- [1] F. Finger, C. Malten, P. Hapke, R. Carius, R. Fluckiger and H. Wagner, *Phil. Mag. Lett.* **70**(4), 247(1994).
- [2] S. S. Bhattacharya, S. K. Banerjee, B. Y. Nguyen and P. J. Tobin, *IEEE Trans. Electron Devices* **41**(2), 221 (1994).
- [3] Y. Kamigaki, K. Yokogawa, T. Hashimoto and T. Uemura, *J. Appl. Phys.* **80**(6), 3430(1996).
- [4] D. Ballutaud, M. Aucouturier and F. Babonneau, *Appl. Phys. Lett.* **49**(23), 1620(1986).
- [5] C. K. Yang, T. F. Lei and C. L. Lee, P. Campone, *IEEE Electron Device Lett.* **15**(10), 389(1994).
- [6] H. N. Chern, C. L. Lee and T. F. Lei, *IEEE Trans. Electron Devices* **40**(12), 2301(1993).
- [7] J. I. Pankove and N. M. Johnson, *Hydrogen in Semiconductors*, Academic Press New York (1994) pp 139.

## A Study of Defects in Poly-Si/SiO<sub>2</sub> Thin Films Using Electron Paramagnetic Resonance : Defect Density Changes due to Plasma Hydrogenation Treatment

S. J. Noh

*Department of Applied Physics, Dankook University, Seoul 140-714, Korea*

H. K. Jang

*Department of Physics, Korea University, Seoul 136-701, Korea*

(Received 17 August 1998, in final form 28 October 1998)

In order to reduce the defect density in poly-Si/SiO<sub>2</sub> thin films, where poly-Si is either undoped or doped by BF<sub>2</sub> implantation, the poly-Si/SiO<sub>2</sub> samples have been hydrogenated by rf plasmas of low temperature. Before hydrogenation, both P<sub>b</sub> centers and E' centers were observed in the poly-Si(undoped)/SiO<sub>2</sub> and in the poly-Si(doped)/SiO<sub>2</sub>. After 30 min hydrogenation, the P<sub>b</sub> center was reduced by 80 % in the doped sample and by 76 % in the undoped sample and the E' center was not observed. After 90 min hydrogenation, however, increases of the P<sub>b</sub> centers and regenerations of the E' center were observed in the undoped sample as well as in the doped one. Compared with the undoped sample, the increase of the P<sub>b</sub> center in the doped one was more dominant.