

# PECVD 산화막의 온도 의존성과 RTP 어닐링 효과

( The dependence of temperature and the effects of RTP annealing of PECVD SiO<sub>2</sub> films )

배 성 식 \*      중앙대학교 전기공학과  
 서 용 진      중앙대학교 전기공학과  
 김 태 형      중앙대학교 전기공학과  
 김 창 일      중앙대학교 전기공학과  
 최 현 식      중앙대학교 전기공학과  
 장 의 구      중앙대학교 전기공학과

Sung-sik Bae\*    Dept. of Electrical Eng., Chung-Ang Univ.  
 Yong-Jin Seo    Dept. of Electrical Eng., Chung-Ang Univ.  
 Tae-Hyung Kim   Dept. of Electrical Eng., Chung-Ang Univ.  
 Chang-Il Kim    Dept. of Electrical Eng., Chung-Ang Univ.  
 Hyun-Sik Choi   Dept. of Electrical Eng., Chung-Ang Univ.  
 Eui-Goo Chang   Dept. of Electrical Eng., Chung-Ang Univ.

## ABSTRACT

Low temperature device processing has become of great interest within the last few years. In such low temperature processes, SiO<sub>2</sub> films formed by Plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD) have been studied.

PECVD SiO<sub>2</sub> films were formed with substrate temperature, and annealing time and temperature of RTP changed, and its' characteristics were observed by C-V measurement. We found that the quality of SiO<sub>2</sub> films formed by PECVD depended on annealing time rather than substrate temperature.

## I. 서 론

최근 반도체 소자의 집적도 증가에 따른 다층배선, 3차원 소자에 대한 공정개발과 액정디스플레이에 적합한 소자 제작에 대한 관심이 집중됨에 따라, 일반적으로 저온에서의 소자 제작이 가능한 화학기상증착 ( LPCVD, PECVD, ECRCVD, APCVD )에 대한 관심이 모아지고 있다. 그 중에서도 PECVD 막은 방사에너지에 의한 기판의 손상과 낮은 기판온도로 인한 표면에서의 불순물이 막증착시 막의 내부에 함유되어 양질의 막형성에 어려움이 있고, 막의 구조와 두께의 불균일성 등의 문제점을 안고 있다. 그러나, 낮은 기판온도(200°C- 400°C)에서의 비교적 높은 성장율, 박막 스트레스, 굴절율(refractive index) 등의 조절이 용이하고,

낮은 기판온도로 인한 하부 막구조에 손상을 주지 않는다는 장점을 지니고 있어, PECVD 막에 대한 연구가 계속적으로 진행되고 있다.

현재 낮은 기판온도와 습기, 알칼리 이온에 대한 우수한 장벽효과 등으로 인해 IC 보호막으로 PECVD 질화막이 사용되고 있으며, 또한 PECVD산화막은 낮은 기판온도와 불완전 결합으로 인한 hydroxyl의 막 내부에서의 함유, 높은 식각율, 산소 걸림 등의 문제점을 함유하고 있으나, PECVD 장치로 산화막을 증착시킨 후 산화막 질을 개선하기 위해 PMA ( post metallization annealing )처리를 함으로써, 양질의 산화막 증착이 가능한 것으로 보고되고 있으며, PECVD 산화막 특성을 개선하기 위하여 연구가 진행되고 있는 추세이다.

본논문에서 PECVD로 증착된 산화막의 특성 개선을 위해, PECVD 산화막의 형성 조건중 기판온도를 변화시켜 주면서 산화막을 형성하였으며, 낮은 기판온도로 인한 표면에서의 불순물 이온과 과잉 실리콘 등을 감소시키기 위해, RTP에 의해 시간과 온도를 변화시켜 어닐링해 줌으로써, 기판온도와 어닐링 조건이 산화막에 미치는 영향을 C-V특성 곡선을 통해 고찰해 보았다.

## II. 실 험

비저항이 5-7 (Ω-cm)이고 불순물이 phosphorus이며, 결정 방향이 (111)인 n형 실리콘 웨이퍼를 사용하였으며, 자연산화막 제거를 위해 BHF용액에 30분 정도 에칭하였다. 압력이

0.15(torr), RF power가 5 watt/110cm<sup>2</sup> 인 PECVD을 이용하여 flow rate를 1sccm:8sccm(SiH<sub>4</sub>:N<sub>2</sub>O)로 유지하면서 온도 변화(200°C-400°C)에 따른 산화막을 증착하였다. 각각의 sample은 질소분위기에서 RTP에 의해 온도(400°C-500°C)와 시간(30-120sec)을 변화시켜 주었으며, 이것은 표 1에 나와 있다.

표1. 산화막 증착 조건.

SAMPLE	형 성 조 건
#1-1	250°C depo.
#1-2	250°C depo. POA (400°C, 30sec)
#1-3	250°C depo. PMA (400°C, 30sec)
#2-1	300°C depo.
#2-2, 3, 4, 5	300°C depo. POA(400°C, 30, 60, 90, 120sec)
#2-6, 7, 8, 9	300°C depo. PMA(400°C, 30, 60, 90, 120sec)
#2-10	300°C depo. POA(500°C, 30sec)
#2-11	300°C depo. PMA(500°C, 30sec)
#3-1	350°C depo.
#3-2	350°C depo. POA(400°C, 30sec)
#3-3	350°C depo. PMA(400°C, 30sec)
#4-1	400°C depo.
#4-2	400°C depo. POA(400°C, 30sec)
#4-3	400°C depo. PMA(400°C, 30sec)

산화막 증착 후 뒷면 증착은 Chamber 압력이 10E-06(torr)에서 10000(Å)의 Al을 증착하여 Ohmic contact하였으며, Shadow mask를 사용하여 Al을 증착시켜 전극을 형성하였다. 또한 측정은 KEITHLEY 5957 soft ware를 이용한 시스템을 사용하여 C-V곡선과 Q<sub>off</sub>, Q<sub>f</sub>, D<sub>it</sub> 등을 분석하였다.

그림 1은 PECVD 장치도이다.

PECVD 장치는 Chamber가 직경 38cm, electrode 직경 25cm, 적극간의 거리 5cm로 되어 있으며, tunsten- halogen lamp (power 7.5 W)를 이용하여 온도를 올리고, 그 때의 온도는 Chemel-Almel(K-type) Thermocouple을 이용하여 읽을 수 있도록 되어 있다. Quartz glass를 통해서 빛이 들어가기 때문에 오염의 위험도 적으면서 빠른 시간에 온도를 올릴 수 있어 RTP(Rapic Thermal Process) 로도 가능하도록 제작되었다.

### III. 실험결과 및 고찰

PECVD 산화막의 기판온도에 따른 생성율은 그림 2에 나타내었다. 기판온도에 따른 생성율은 그림 2에 나타낸 것처럼 급격한 변화를 나타내고 있지는 않지만, 300°C온도 이상에서 다소 증가하는 것으로 나타나고 있다.

그림 3 (a)는 기판온도에 따른 C-V곡선의 변화로써, 기판온도가 증가함에 따라 막의 플랫밴드 전압이 낮아지고 있음을

알 수 있었다. 이는 기판온도가 낮아짐에 따라 자연산화막과 같은 표면의 불순물이온이 산화막내에 존재함으로써 생긴 영향이라 생각된다. 그림 3 (b)는 300°C 기판온도로 증착시킨 산화막과 300°C 기판온도로 증착시킨 산화막을 400°C에서 RTP로 120초 질소분위기에서 POA와 PMA를 행한 산화막의 C-V곡선을 나타낸 것으로, C-V곡선 변화는 어닐링에 의해 산화막내의 고정전하와 계면 트랩전하, 산화막내의 트랩전하의 감소에 따른 영향이라 생각되며, 또한 PMA가 POA보다 더욱 효과적인 어닐링임을 알 수 있었다. 이는 어닐링에 의해 알루미늄과 산화막 계면에서의 hydroxyl가 생성되어 산화막내의 트랩밀도를 낮추었기 때문이라 생각된다. 또한 300°C의 기판온도로 증착된 산화막의 어닐링에 의한 산화막내의 전하가 350°C 400°C의 기판온도에서 증착된 산화막의 어닐링에 의한 산화막내의 전하보다 낮게 나타났으며, 플랫밴드 전압도 더 낮아진 것으로 나타나고 있다. 그림 4는 300°C 기판온도로 증착시킨 산화막을 400°C에서 RTP로 120초간 질소분위기에서 어닐링 한 후 측정한 고, 저주파 C - V 곡선이다. 어닐링시간이 길어짐에 따라 플랫밴드 전압(-1.526[V])과 산화막내의 전하량이 감소하고 있음을 알 수 있었다. 기판온도 300°C에서 증착된 산화막내의 계면트랩전하와 300°C 기판온도로 증착시킨 산화막을 400°C에서 RTP로 120초간 질소분위기에서 어닐링 한 산화막내의 계면트랩전하에 대한 Plot를 그림 5 (a)와 (b)에 보였다. 초기 300°C에서 증착된 산화막은, 막내에 계면트랩전하가  $2-4 \times 10^{12}(\text{cm}^{-2}\text{ev}^{-1})$  정도로 나타났으나, PMA 후의 계면트랩전하는  $3 \times 10^{11}(\text{cm}^{-2}\text{ev}^{-1})$ 로 감소함을 보이고 있다. 이는 초기 증착시 실리콘과 산화막 계면에 SiH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O의 화학 반응에 의한 Si-H, Si-OH, H<sub>2</sub>O와 같은 hydroxyl를 포함하고 있는 이온 결합이 포함되어 있었기 때문이라 생각되며, RTP 어닐링 후 Si-H, N-H와 Si-OH의 반응에 의해 hydroxyl가 생성되어 계면트랩을 Passivation 하였다고 생각된다.

그림 6 (a)는 기판온도변화에 따라 증착시켜 400°C에서 RTP로 30초간 POA와 PMA를 행한 산화막의 계면트랩전하이며, 그림 6(b)는 300°C 기판온도로 증착시킨 산화막을 400°C에서 어닐링시간을 변화시켜 주면서 RTP로 POA, PMA를 행한 산화막의 계면트랩전하이이다. 그림 6(a)(b)에서 알 수 있듯이 기판온도의 변화보다 어닐링 시간에 더욱 영향을 받을 수 있었다. 계면트랩전하는 기판온도가 증가함에 따라 어닐링에 따른 변화가 커진 것으로 나타났으며, 어닐링 시간에 따라, 30초 PMA후에  $5 \times 10^{12}(\text{cm}^{-2}\text{ev}^{-1})$ 인 계면 트랩전하가, 120초 PMA후  $3-4 \times 10^{11}(\text{cm}^{-2}\text{ev}^{-1})$ 로 감소를 보이고 있다. 그러므로 계면트랩전하는 300°C 증착시 보다 전하가 적은 산화막을 형성할 수 있으며, 120초 RTP annealing에

해 계면트랩전하의 감소를 이끌 수 있다.

그림 7(a)는 기판온도변화에 따라 증착시킨 산화막과 400°C에서 RTP로 30초간 POA 와 PMA를 행한 산화막의 고정전하이며, 그림 7(b)는 300°C 기판온도로 증착시킨 산화막을 400°C에서 어닐링시간을 변화시켜 주면서 RTP로 POA, PMA를 행한 산화막의 고정전하이다. 그림 7(a)에서 기판온도가 낮을 수록 고정 전하는 다소 감소하고 있으며, 30초 어닐링 후의 변화는 400°C 온도 증착에서 큰 변화를 나타내고 있다. 고정전하는 화학적 결합이 불안정한 과잉실리콘이온이 주된 요인이라 생각된다. 또한 그림 7(b)는 어닐링 시간에 따른 고정전하의 변화를 고찰한 것으로서, RTP어닐링 시간이 30초인 경우 산화막내의 고정전하는  $6 \times 10^{11} \text{qcm}^{-2}$ 로 나타났으나, 120초 어닐링에서는  $9.71 \times 10^{10} \text{qcm}^{-2}$ 로 감소하는 것으로 나타나 있다. 산화막내의 고정전하변화가 기판온도변화에 따른 것보다 어닐링 시간에 더 영향을 받는다고 할수 있다.

## N. 결 론

본 논문에서는 PECVD 산화막 형성 조건중 기판온도나 어닐링 조건에 따른 산화막 특성을 고찰해 보았다.

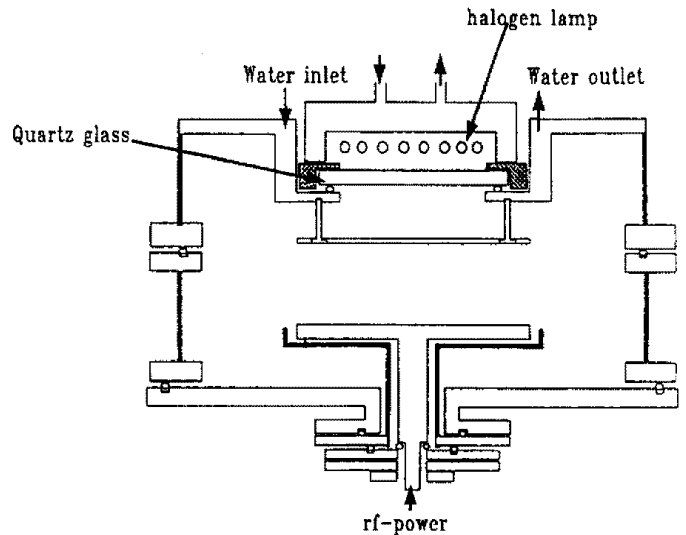
1. PECVD산화막의 성장율은 기판온도 증가에 따라 다소 증가함을 보이고 있다.
2. 산화막내 고정 전하의 감소는 기판온도에 대한 변화보다 열처리 시간에 따른 변화에서 높게 나타났다.
3. 어닐링에 의한 산화막내 계면트랩전하 감소는 기판온도에 따른 변화보다, 어닐링 시간 증가에서 더 효과적인 것으로 보여지고 있다.
4. C-V 측정으로 나타난 PECVD 산화막의 막특성은 기판온도 보다는 어닐링에 더 영향을 받으며, 특히 어닐링 시간증가에 따라 더욱 향상됨을 보이고 있다.

이상의 결과로 볼때, PECVD에 의해 증착된 산화막은 산화막 형성 후, 어닐링을 통해 막내의 전하를 줄일 수 있고, 이로 인해, 보다 신뢰성 있는 소자제작이 가능하리라 생각 된다.

## V. 참고 문헌

1. B. K. Ip, K. C. Kao and D. J. Thomson, Solid - State Electronics, Vol. 34, No. 2, pp. 123-129, 1991.

2. B. A. Buchana, Appl. phys. Lett., 56 (11), 12 MARCH 1990.
3. A. C. Adams et al., J. Electrochem. Soc., Vol. 128, No. 7, pp.1545-1551, 1981.
4. S. M. Rosnagel, J. J. Cuomo and W. D. Westwood, "Handbook of plasma processing technology", pp. 271-273, 1989.
5. G. Lucovsky et al., J. Vac. Sci. Technol., B(7)4, pp.861-869, Jul/Aug, 1989.
6. E. Broszeit et al., "Plasma surface Engineering", pp.435-441, 1989
7. M. L. Reed et al., J. Appl. Phys., 63(12), 15 pp.5776-5792 June, 1988.



Schematic diagram of RTA and PECVD Chamber

그림 1. PECVD 장치도.

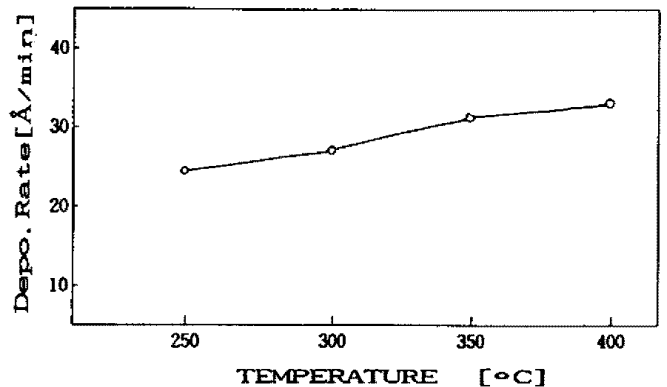


그림 2. PECVD 산화막의 기판온도에 따른 성장율.

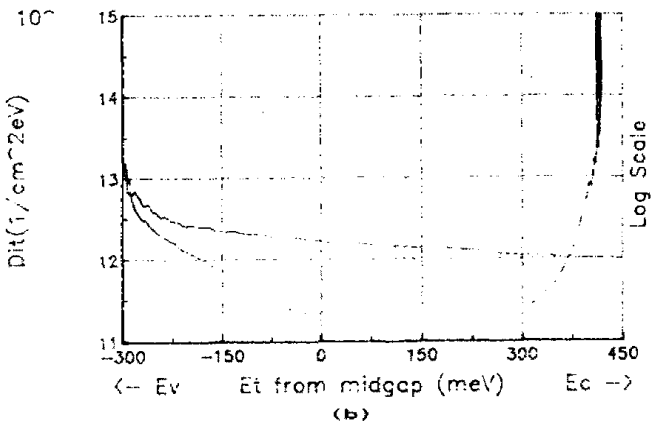
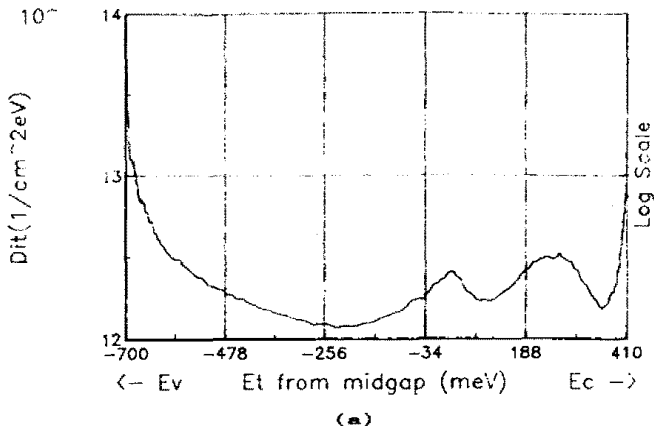


그림 5. (a) : 300°C 기판온도로 증착시킨 산화막 내의 계면트랩전하.

(b) : 300°C 기판온도로 증착시킨 산화막을 400°C 에서 RTP 로 120 초간 어닐링 한 후의 계면 트랩전하.

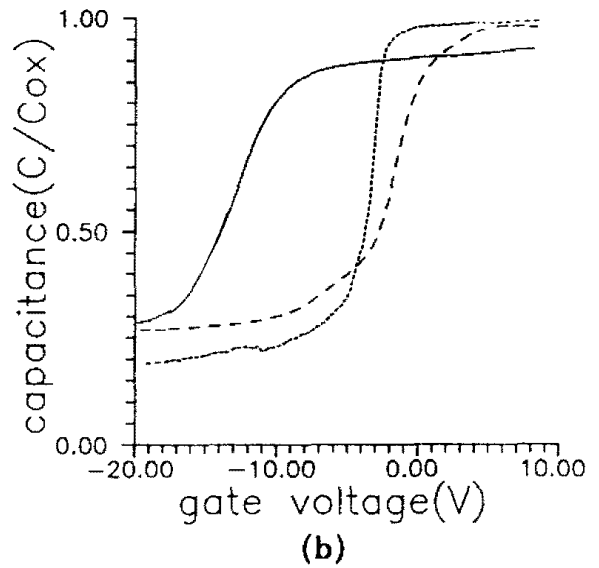
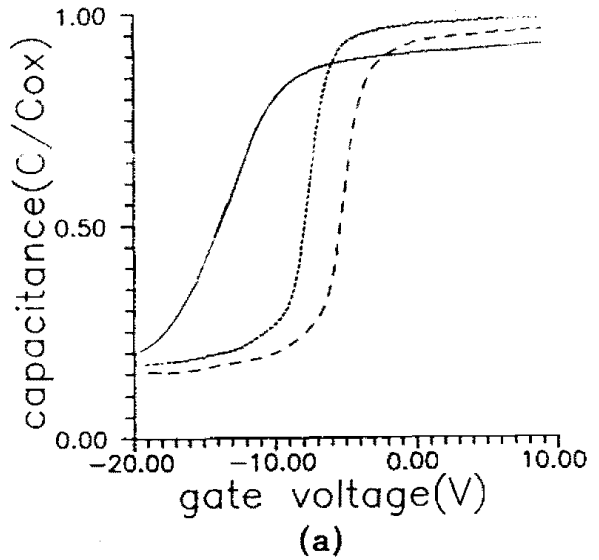


그림 3. (a) : 기판온도에 대한 C-V 곡선.  
[ - : 300°C, ... : 350°C, --- : 400°C ]

(b) : 어닐링에 대한 C-V 곡선  
[ 300°C 기판온도에서 형성된 산화막 (-), 300°C 기판온도에서 산화막을 형성한 후 POA (RTP, 400°C, 120 sec, (...)), PMA (RTP, 400°C, 120 sec, (---)) ]

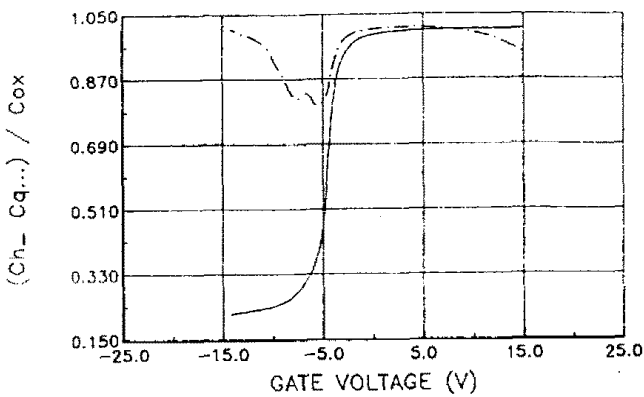
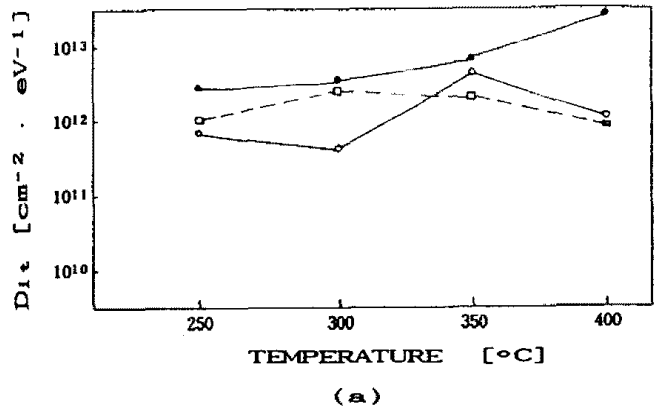
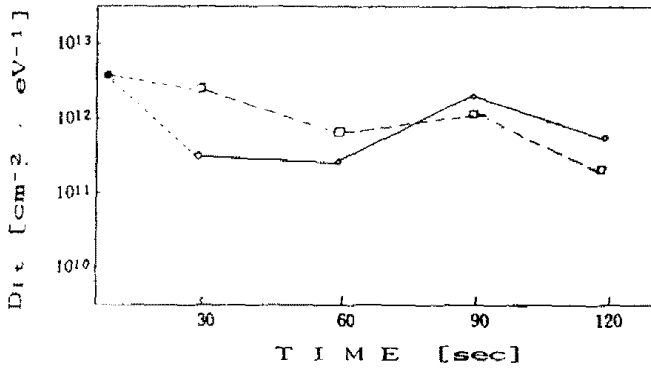


그림 4. 300°C 기판온도에서 증착시킨 산화막을 400°C 에서 RTP 로 120 초간 어닐링 한 후 측정된 고·저주파 C-V 곡선.





(b)

그림 6. (a) : 기판온도 변화에 따른 계면트랩전하.

[ ● : 300°C depo.

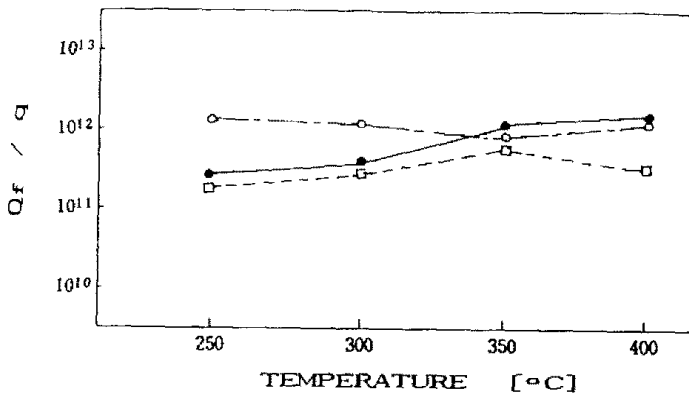
○ : 300°C depo. 후 POA-400°C 30초

□ : 300°C depo. 후 PMA-400°C 30초 ]

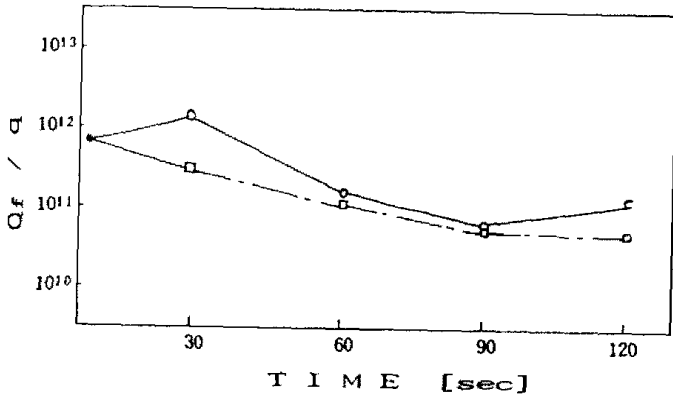
(b) : 300°C 기판온도에서 형성된 산화막의 400°C

RTP 어닐링 시간에 따른 계면트랩전하.

[ ○ : POA, □ : PMA ]



(a)



(b)

그림 7. (a) : 기판온도 변화에 따라 증착시킨 산화막의 고정 전하

[ ● : 300°C depo.

○ : 300°C depo. 후 POA-400°C, 30초,

□ : 300°C depo. 후 PMA-400°C, 30초 ]

(b) : 300°C 기판온도에서 형성된 산화막의 400°C

RTP 어닐링 시간에 따른 고정전하.

[ ○ : POA, □ : PMA ]