

## Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 와 H<sub>2</sub> Gas를 이용한 LPCVD 내에서의 선택적 Epitaxy 성장에 관한 연구

### A Study on Selective Epitaxial Growth using Disilane and Hydrogen gas in Low Pressure chemical vapor deposition)

손용훈, 김상훈, 박성계, 남승의, 김형준.

(Yong-hoon son, Sang-hoon kim, Seung , Seoung-eui nam, Hyoung-june kim)

#### Abstract

P-type (100) Si wafer patterned with 1000Å SiO<sub>2</sub> island was used as substrate and the Si films were deposited under low pressure using Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>-H<sub>2</sub> gas mixture where the total gas flow rate and deposition pressure were 16.6sccm and 3.5mtorr, respectively. In this condition, we selectively obtained high-quality epitaxial Si layer of the 350~1050Å thickness.

In order to extend the incubation period, we kept high pressure H<sub>2</sub> environment without Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub> gas for few minutes after first incubation period and then we conformed the existence of second incubation period.

**Key Wards(중요용어)** : Epitaxy, Selectivity, Incubation period, LPCVD

#### 1. 서 론

차세대 DRAM 소자의 접합 영역의 크기는 0.5 μm미만으로 이 영역에 선택적으로 에피택시층을 형성하기 위해서는 일반적인 식각(lithography)공정이 필요 없는 선택적 공정이 중요할 것으로 생각된다. 이를 위해서는 선택적 에피택시 성장이 가능하도록 실리콘 표면 세척 및 외부의 오염을 최소화하는 기술이 요구된다. 기존의 선택적 실리콘 에피택시 공정은 화학증착법을 이용한 기상 에피택시에 의해 이루어지며, 1000°C 이상의 고온 공정을 필요로 한다. 이러한 고온 공정은 기관의 불순물 확산, 자동 도핑 등과 같은 많은 문제점을 야기시키므로 최근의 연구는 실리콘 에피택시

공정 온도를 낮추는데 집중되고 있다<sup>(1-3)</sup>. 본 연구에서는 700°C 정도의 온도에서 실리콘 단결정과 산화막 사이의 핵 생성 속도 차이에 의한 incubation period가 존재함<sup>(4)</sup>을 이용하여 저온에서 선택적으로 에피택시를 성장시켰다. 또한 SiO<sub>2</sub> 산화막이 형성되어 에피택시의 성장을 방해하는 것을 제어하기 위한 in-situ cleaning의 방법으로 승온간 고압의 수소가스를 첨가함으로써 HF passivation 후에 실리콘 표면 위에 존재하는 수소 원자가 탈착되는 것을 막아 주었다<sup>(5)</sup>. 선택적으로 실리콘 단결정 위에서만 에피택시 성장이 발생하는지의 여부를 확인하기 위해 광학 현미경을 사용하였으며 보다 정확한 incubation period를 결정하기 위해 SEM 관찰을 하였다. incubation period의 결정 변수로는 600°C~710°C의 온도와 Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 가스와의 주입량에 따른 증착압력이 있다. 연구 결과에서 보여지듯이 저온에서 incubation period 동안 증착할 수 있는 에피택시막의 두께는 한정되어 있기 때문에 막의 두

\* 홍익대학교 금속재료공학과  
(서울특별시 상수동 홍익대학교,  
Fax: 02-334-0750  
E-mail : sonyonghoon@hanmail.net)

깨를 높이고자 첫 번째 incubation period 후에  $\text{Si}_2\text{H}_6$  가스를 차단한 후 다시 고압의 수소 분위기를 유지시켜주어 second incubation period의 존재를 앞에서와 같은 방법으로 확인하였다.

## 2. 실험 방법

패턴 된 p-type (100) 실리콘 wafer를 증착 전에 RCA standard cleaning/HF passivation의 2단계로 표면 세정을 한 후 고진공 화학 증착기(UHV/CVD)로 실리콘막을 증착 하였다. 본 실험에서 사용된 화학 증착기(그림 1)는 고 진공을 유지하고 외부로부터의 차단 및 불순물의 오염을 최소화하기 위하여 반응실(reaction chamber)과 예비실(load-lock)로 구분되어 있다. 반응실은 터보 분자 펌프(Turbo Molecular Pump : TMP)를 이용하여  $10^{-7}$  torr 이상의 고 진공을 유지할 수 있으며, 반응기의 가스 압력은 가스 주입 유량과 트로틀 밸브에 의해 조절된다. 반응기의 초기 진공도는 이온 게이지와 컨벡트론 게이지에 의해 측정되고 공정 중의 가스압은 캐패시턴스 마노미터에 의해 측정되었다. 증착가스는  $\text{H}_2$ 로 희석된  $\text{Si}_2\text{H}_6$ (99.99%) 가스와  $\text{H}_2$ (99.9999%) 가스를 사용하였다. 기초 진공도는 터보/로터리 펌프의 작동 시  $10^{-7}$  torr, 로터리 펌프만의 작동시  $10^{-3}$  torr였다. 증착 압력은 3.5~10mtorr에서, 증착온도는  $600^\circ\text{C}$ ~ $710^\circ\text{C}$ 의 영역에서 실험이 진행되었다. 승온 간 고압의 수소 분위기를 유지함으로써 Si 기판과 oxygen과의 반응을 막아 에피택시 성장이 가능하게 하였으며, 단결정 실리콘과 산화막간의 핵 생성 속도 차이에 의해 존재하는 incubation period를 결정하기 위해 각각의 압력과 온도의 조건에서 증착을 실시한 후 실리콘 산화막 위에 증착이 일어나지 않는 시간 범위를 SEM image로 확인하였고 산화막 위에 실리콘의 증착없이 단결정 실리콘 위에만 증착 되어지는 에피택시의 최대 두께를  $\alpha$ -step으로 편차를 이용해 측정하였다. 또한 incubation period 후에 수소 가스를 고압으로 유지 시켜주었을 경우 실리콘 산화막위의 dangling bond가 다시 수소 원자로 passivation되어 second incubation period가 생성되는지를 확인하기 위해 첫 번째 incubation period 후에  $\text{Si}_2\text{H}_6$ 가스를 차단시킨 후 수소가스만으로 200mtorr의 고압으로 수소 분위기를 만든 후에 다시 incubation period를 측정하였다.

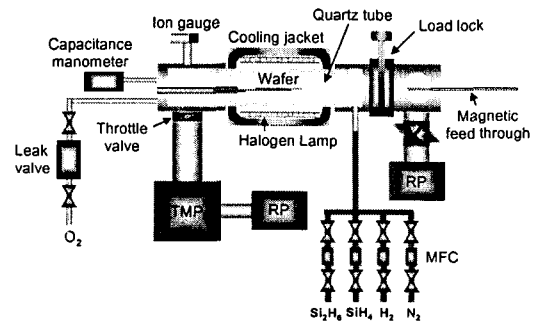


그림 1. Schematic diagram of high vacuum chemical vapor deposition system.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 온도와 압력에 따른 Selectivity의 변화

실리콘 단결정과 산화막간의 증착이 시작되어지는 시간의 차이에 의해 관측되어진 incubation period부근에서 10초 간격으로 증착을 실시 한 후 SEM image를 통해 정확한 incubation period를 얻을 수 있었다. 그림 2는 증착온도  $600^\circ\text{C}$ 에서 각각 3분, 3분 10초, 3분 20초씩 위에서 실험한 조건으로 증착한 후 SEM 관찰한 것으로, 사각형의 모양으로 패턴된 산화막위에서 3분 증착시에는 Si의 증착이 전혀 이루어지지 않은 것을 알 수 있으나 3분 10초부터는 Si의 증착이 시작되어지고 3분 20초를 증착한 경우에는 넓은 영역에 걸쳐 핵 생성과 함께 실리콘 증착이 되어 있음을 확인 할 수 있다.

그림 3은 위와 같은 방법으로 증착온도  $650^\circ\text{C}$ 에서의 정확한 incubation period를 얻기 위한 SEM image로 1분 50초, 2분, 2분 10초씩을 각각 증착하여 이 온도 영역에서는 1분 50초가 incubation period이며 이 증착 조건에서 선택적으로 얻을 수 있는 에피택시막의 두께는 410 Å인 것을 확인 할 수 있었다.

그림 4은  $\text{Si}_2\text{H}_6$  가스를 3sccm,  $\text{H}_2$  가스를 13.6sccm 주입하고 트로틀 밸브를 완전히 열어주어 증착압력을 3.5mtorr로 유지한 앞에서와 같은 증착조건으로  $600^\circ\text{C}$ ,  $650^\circ\text{C}$ ,  $680^\circ\text{C}$  그리고  $710^\circ\text{C}$ 에서의 incubation period와 그에 따른 에피택시막의 두께를 나타낸 것이다. Incubation period는  $600^\circ\text{C}$ 의 3분일 경우에 비해  $650^\circ\text{C}$ 에서 1분 50초로 현저히 줄어들었으나  $650^\circ\text{C}$ 이상의 온도인  $680^\circ\text{C}$ 와  $710^\circ\text{C}$ 에서는 1분 40초와 1분 45초로 거의 변화가 없었다. 또한 이때 에피택시막의 두께는  $600^\circ\text{C}$ 의 경우 350 Å에서  $710^\circ\text{C}$

에서는 1000 Å으로 증착온도가 증가함에 따라 증착 속도도 증가하므로 점차로 두꺼워진다는 것을 알 수 있다.

증착압력에 따른 변화를 관찰하기 위해  $Si_2H_6$  가스를 10sccm 주입하여 증착압력을 5mtorr로 실험한 경우의 incubation period를 그림 5에 나타내었다. 반응기내의  $Si_2H_6$  가스의 분압이 증가함에 따라 산화막 위에 핵 생성의 확률이 증가하여 모든 온도 영역에서 incubation period가 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 여기에서도 마찬가지로 650°C 이상의 온도 영역에서는 incubation period가 거의 변화가 없고 에피택시막의 두께는 온도의 증가에 따라 점차로 증가한다는 것을 확인하였다.

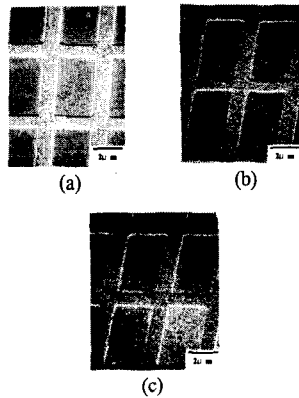


그림 2. SEM micrographs of as-depo. specimens as a function of deposition time at 600°C

(a) 3min, (b) 3min 10sec, (c) 3min 20sec

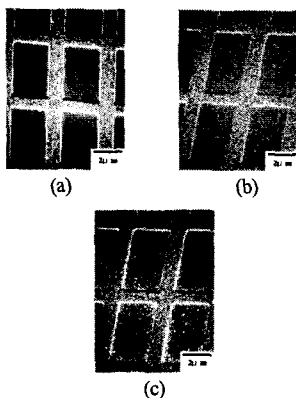


그림 3. SEM micrographs of as-depo. specimens as a function of deposition time at 650°C

specimens as a function of deposition time at 650°C

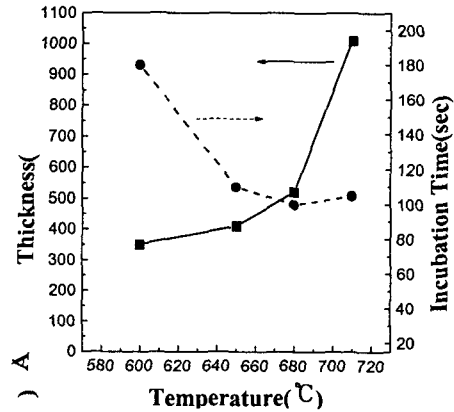


그림 4. Changes of Incubation period as a function of temperature in 3.5mtorr of working pressure

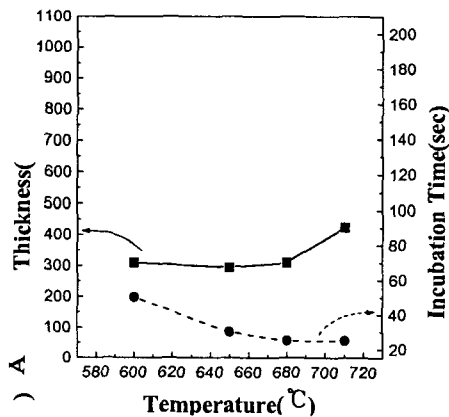


그림 5. Changes of Incubation period as a function of temperature in 5mtorr of working pressure

### 3.2 Second incubation time 의 존재

일반적으로 MOS소자 제조를 위한 elevated

source/drain에 적용되어지는 에피택시막의 두께는 대략 500 Å 정도인 것으로 알려져 있다. 앞에서의 실험을 통해 증착온도 600°C부터 710°C까지 3.5mtorr의 증착압력에서 incubation period동안 350 Å에서 1000 Å까지의 에피택시막을 선택적으로 얻을 수 있었으나 선택성을 더욱 확보하고자 다음과 같은 공정으로 실험을 진행하였다. 첫 번째 incubation period가 지난 후에 Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 가스를 차단하고 승온 시와 마찬가지로의 조건으로 일정한 시간동안 고압의 수소 분위기를 유지시켜주고 다시 Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 가스를 주입하여 증착을 실시한 후 second incubation period를 조사하였다. 이는 첫 번째 incubation period후에 고압의 수소 분위기를 유지시키면 실리콘 표면에 핵 생성이 일어나기 전에 수소 원자가 다시 dangling bond에 부착되어 수소로 passivation 될 수도 있다는 것으로부터 착안하였다. 그림 6은 650°C의 증착 온도에서 1분 50초간의 incubation period 후에 Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 가스를 차단하고 5분 동안 수소 분위기를 유지 한 후 다시 1분과 45초간 실리콘 증착을 실시한 시편을 SEM image로 각각 관찰한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 1분간 증착을 한 경우에는 산화막 위에 실리콘의 핵 생성을 관찰 할 수 있으나 45초간의 증착 동안에는 산화막 위에 전혀 실리콘의 증착이 이루어지지 않았음을 확인할 수 있다. 이는 45초 정도의 시간동안 second incubation period가 존재한다는 것을 보여주는 것이다. 또한 수소 가스의 유지 시간이 second incubation period에 어떠한 영향을 미치는가를 확인하기 위해 다음과 같은 실험을 계속해서 진행하였다. 그림 7은 수소 가스의 유지 시간을 1분, 3분, 5분으로 각각 변화시키면서 위의 650°C의 증착온도 조건에서 얻은 second incubation period인 45초 동안만 증착을 실시한 후에 관찰한 각각의 SEM 상이다. 그림을 통해 알 수 있듯이 5분간 고압의 수소 분위기를 유지 시켜주었을 때는 앞에서의 결과와 마찬가지로 산화막 위의 핵 생성을 볼 수 없었으나 3분간 유지할 경우에는 실리콘의 증착이 시작되고 단지 1분간만 수소가스를 유지 하였을 때는 산화막 위에 실리콘의 증착이 전 범위에 걸쳐 이루어져 있다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 통해 산화막 위의 실리콘 dangling bond는 고압의 수소 분위기에서 다시 수소로 passivation이 되며 이는 second incubation period의 존재를 가능하게 하는 원인이라는 것을 알 수 있었다.

그림 8은 증착온도 600°C와 650°C에서 수소 가스의 유지 시간을 2분, 5분, 8분 그리고 11분으로 변화

를 주었을 경우에 얻을 수 있는 second incubation period와 그에 따라 실리콘 단결정위에서만 선택적으로 증착 되어지는 에피택시막의 두께를 나타낸 것이다. Second incubation period는 첫 번째 incubation period에 비해 모든 유지 시간 범위에서 그 시간이 반 이상 감소하나 예상 할 수 있던 바와 같이 수소 가스의 유지 시간이 길어질수록 second incubation period가 600°C에서는 15초, 650°C에서는 20초 정도 증가하며 그에 따라 에피택시막의 선택성도 향상되어진다.

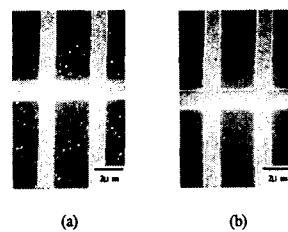


그림 6. SEM micrographs of as-depo. specimens as a function of second deposition time at 650°C (a) 1min, (b) 45sec

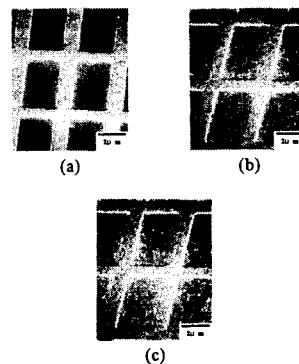


그림 7. SEM micrographs of as-depo. specimens deposited for 45sec as a function of H<sub>2</sub> holding time at 650°C (a) 5min, (b) 3min, (c) 1min

#### 4. 결론

본 연구에서는 초 미세 소자 제조에 있어서 필수적으로 선택되어지는 공정인 “Elevated source/drain processing”을 구현하기 위해 selective epitaxial growth에 일반적으로 사용되어지는 Si-Cl-H계에서 Cl기가 가지고 있는 단점을 보완하고 장비의 단순화를 위해 Cl기를 배제하고 Si-H계만으로 실험을 진행하였다. 실리콘 단결정과 산화막간의 핵 생성 자리의 밀도차이에 의해 존재하는 incubation period에 의해

증착시 산화막위에의 증착없이 실리콘 단결정위에서만 선택적으로 에피택시 성장이 가능한 증착조건 영역을 확보하였다.

soc., 143(7), 2361(1996)

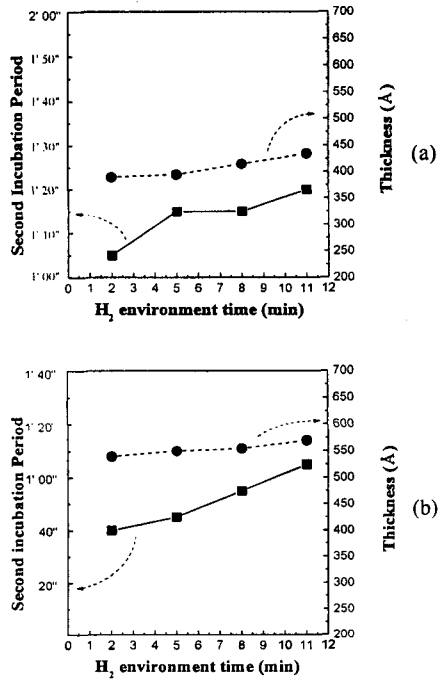


그림 8. Changes of second incubation period as a function of H<sub>2</sub> holding time (a) 600°C, (b) 650°C

#### 감사의 글

본 연구는 1999년 한국 디스플레이 연구 조합 (과제번호99-059)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다

#### 참고 문헌

- [1] F. Mieno, S. Nakamura, T. Deguchi, M. Maeda, and K. Inayochi, J. Electrochem. Soc. Solid-state Science and Technol., 139(4), 2320 (1987).
- [2] T.O. Sedgwick, M. Berkenblit, and T.S. Kuan, Appl. Phys. Lett., 54(26), 2589 (1989).
- [3] T.O. Sedgwick, P.D. Agnello, D.N. Ngoc, T.S. Kuan, and G. Scilla, Appl. Phys. Lett., 58(17), 1896 (1991).
- [4] J. Murota and N. Nakamura et al., Appl. Phys. Lett., 54(11), 1007(1989)
- [5] Katsuga Oda and Yukihiro Kiyota, J. Electrochem.