

<연구논문>

## RHEED 반점의 강도변화를 이용한 Si(111)-Sn 표면조사

곽호원 · 이의완

경북대학교 자연과학대학 물리학과  
(1994년 5월 12일 접수)

### The Study of Si(111)-Sn Surface by Variation of RHEED Spot Intensity

Ho Weon Kwak and Eui-Wan Lee

Department of Physics, Kyung Pook National University, Taegu 702-701, Korea  
(Received May 12, 1994)

**요 약** - Si(111)-7×7 표면에 Sn을 증착시킬 때 기판온도와 증착량에 따른 표면구조의 변화를 RHEED(Reflection High Energy Electron Diffraction)상(pattern)과 RHEED상의 회절반점(spot) 강도변화를 관찰하여 조사하였다. Si(111) 기판온도를 400°C로 유지하면서 Sn을 증착시킬 때  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조가 관찰되었으며 기판온도 200°C 이하에서는 증착량에 따라  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ ,  $2\sqrt{3}\times 2\sqrt{3}$  구조들이 관찰되었다. RHEED 반점의 강도변화를 이용하여 Si(111)-Sn  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조에서의 Sn원자의 이탈 과정을 조사한 결과 이탈에너지는  $3.3\pm 0.1$  eV로 조사되었다.

**Abstract** - On the Si(111)-7×7 surface, we investigated the surface structures according to the temperatures of the substrate and the thickness of Sn which is deposited on the Si(111) surface by using RHEED. When Sn was deposited on the Si(111)-7×7 surface at 400°C,  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  structure was formed. On the Si(111)-7×7 surface at 200°C, according to the thickness of Sn which is deposited,  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ ,  $2\sqrt{3}\times 2\sqrt{3}$  structures were formed respectively. By using the RHEED intensity oscillation of Si(111)-Sn  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  spots, we investigated the desorption process of Sn on the  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  structure and obtained the desorption energy. The desorption energy is  $3.3\pm 0.1$  eV.

## 1. 서 론

결정표면에서는 bulk의 원자배열의 결합이 끊어져 주기성을 잃게 되므로 표면구조는 에너지적으로 불안정하게 된다. 따라서 표면에서는 원자의 재배열이 일어나서 에너지적으로 충분히 작은 안정된 표면구조를 형성하는 경우가 많다. 표면에 다른 종류의 원자를 증착시킬 경우에는 기판의 표면온도, 증착원자의 종류, 증착량 등에 의존하는 다양한 초구조가 형성되어진다[1]. 이와 같은 초구조의 변화에 따라 여러가지 표면물성이 나타나므로 그 표면의 구조의 해석이 매우 중요한 것으로 관심을 모으고 있다. 이에 RHEED[2](Reflection High Energy Electron Diffraction)

를 이용한 표면구조연구는 RHEED상 뿐만 아니라 RHEED 회절점의 배열과 그들의 강도변화를 분석함으로써 성장양식 및 증착원자의 이탈현상들에 대한 정보를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 Si(111) 표면에 Sn를 증착시켜 증착된 두께와 기판표면의 온도 변화에 따른 RHEED상과 회절점의 강도변화의 상관관계와 상전이 현상을 밝히고 Si(111)-Sn  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조의 반점의 강도변화를 이용하여  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조에서의 Sn의 이탈과정을 면밀히 조사하여 이탈에너지를 구하였다.

## 2. 실험방법

그림 1은 본 연구에 사용된 RHEED 장치의 개략

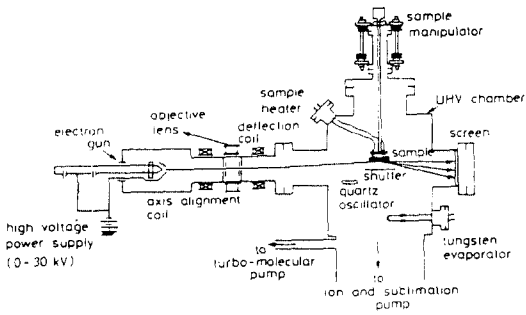


Fig. 1. A schematic diagram of the RHEED-AES system.

도이다.

RHEED 전자빔의 가속전압은 20 kV, 필라멘트의 인가전류는 2.0 A이며 전자빔의 직경은 0.2 mm이다. 이 전자빔을 편향 코일을 사용하여 빔의 경로를 조정하고 또한 미세조정장치를 사용하여 시료의 위치를 조정하였다. 본 실험에서는 Si(111)기판에 대한 전자빔의 입사방향은  $[11\bar{2}]$ 로 고정하였으며 편향코일과 시료의 위치를 상하로 조정함으로써 입사각을 조정하였다. RHEED상의 반점강도를 측정하기 위한 장치는 광센서를 이용하여 본 연구실에서 제작하였다. RHEED 장치는 준비실과 분석실로 구성되어 있으며 분석실 내부의 진공은 Mechanical 펌프, Turbo 펌프를 사용하여  $10^{-6}$  torr 정도를 1차 배기 후 150~250 °C로 약 10시간 baking 후 Ion 펌프, Ti-승화 펌프, Cryo 펌프를 이용하여  $2 \times 10^{-10}$  torr 이하의 초고진공을 얻은 후 본 실험은  $5 \times 10^{-10}$  torr에서 수행하였다. 시료의 기판은 P가 도핑된 n-type Si wafer로써 비

저항은  $100 \sim 120 \Omega\text{cm}$ 이고 배향은  $[111]$ 이었다. Si wafer를  $4 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 0.6 \text{ mm}$ 로 절단한 다음 표준 세척법으로 세척 후 건조한 질소가스를 불어 건조시킨 후 초고진공 분석실내에 시료 장착장치에 고정시킨 후 직접통전가열에 의해 1250°C로 수 회 가열함으로써 주 오염인 O, C를 제거하여 깨끗한 표면상태를 얻었다.

시료의 온도조절은 고유저항을 이용한 직접통전가열방식으로 하였으며 온도측정은 고온계(pyrometer)와 chromel-alumel의 열전대를 사용하여 측정하였다.

Sn 증착원(evaporator)은  $2 \times 10^{-7}$  torr의 고진공의 준비실에서 텅스텐 필라멘트에 용착시킴과 동시에 불순물을 제거한 후 분석실에 장착하였다. 증착량의 조절은 필라멘트에 흘려주는 전류를 미세조정함으로써 0.1 ML/min로 증착하였다. 증착된 Sn의 두께측정에 수정진동자[3]를 사용하였다.

### 2.1. Si(111)-Sn의 흡착 과정의 연구

#### (1) RHEED에 의한 관찰

Si(111)- $7 \times 7$  표면에 Sn을 증착하면 기판온도 200 °C 이하에서는 증착량에 따라  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ ,  $2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3}$  구조(사진 1)가 나타나며 200°C 이상에서는  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  구조(사진 2)가 형성되었다. 이는 또한 RHEED를 이용한 T. Ichikawa[4] 등에 의하여 이미 알려져 있다.

$\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  구조는 실온에서 Sn를 증착하여 약 200°C 이상으로 가열한 경우와 기판을 200°C 이상으로 가열하면서 증착하는 경우 모두  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  구조로 형성되었으며  $2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3}$  구조는 약 200°C에서  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$



Photo 1. Si(111)  $2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3}$ -Sn structure, azimuth  $[11\bar{2}]$  ( $T_s = 200^\circ\text{C}$ ).



Photo 2. Si(111)  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Sn structure, azimuth  $[11\bar{2}]$  ( $T_s = 400^\circ\text{C}$ ).

구조로 가역적으로 상전이 하였다.  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조에 대해서는 In 등 III족 원자가 Si(111)면에 흡착될 때와 같이  $T_4$  site에 흡착 되어있는 모델이 유력하다[5, 6].

Si(111)기판을 700°C 로 유지하면서 Sn을 증착할 때 RHEED상과 RHEED 반점의 강도변화와의 상관관계를 그림 2에 나타내었다.

RHEED 반점강도는 증착량이 증가함에 따라 7×7 반점의 강도는 감소하는데 반하여  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  반점강도는 증가하여 0.3 ML에서는 7×7 반점강도는 사라지고  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  반점강도는 최대가 되었다. 그리고 약간의 강도진동을 보이며 1.3 ML까지도  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  반점강도가 관찰되었다.

Si(111)기판을 400°C 로 유지하면서 Sn을 증착할 때 RHEED 반점의 강도변화를 그림 3에 나타내었다. 7×7 반점의 강도가 감소됨과 함께  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 의 반점이 나타나는 점은 700°C 와 같지만 7×7 반점이 사라진 후부터  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 의 반점강도 변화가 A, B, C 3개의 굴절점으로 나타났다. A점에서  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  반점의 강도가 최대였으며 증착량이 증가함에 따라 강도가 감소하는 것으로 보아  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조의 영역이 점차 감소 되어진다고 생각된다. B점은 7×7 반점이 사라짐과 거의 동시였다. 그 후에도  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  반점의 강도는 감소하다가 C점에서부터는 거의 일정한 강도를 나타낸다. A점보다 적은 증착량에서는 기판온도를 실온으로 낮추었을 때  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조만 관찰되지만 A점보다 많은 증착량이 흡착되었을 때는 기판온도를 낮추면 약 200°C 에서 부터는  $2\sqrt{3}\times 2\sqrt{3}$  구조의 RHEED상이 관찰되었다.

$\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조의 RHEED상의 반점은 모두  $2\sqrt{3}\times 2\sqrt{3}$  구조의 반점에 포함되지만 A점 이후에서는 실온으로 되돌이면  $2\sqrt{3}\times 2\sqrt{3}$ 의 반점 중에서  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  반점에 대응하는 것은 다른 초격자 반점보다도 강한 강도를 나타내므로 이 상태는  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 구조와  $2\sqrt{3}\times 2\sqrt{3}$  구조가 같이 있음을 알 수 있다. 그것에 반하여 C점 이후에서는 실온으로 되면서부터 초격자 반점이 일정한 강도분포를 가지는  $2\sqrt{3}\times 2\sqrt{3}$ 구조를 나타낸다. A, B, C점의 흡착량은 0.3, 0.8, 1.0 ML이었다.

## 2.2. Si(111)-Sn의 등은 이탈과정[7, 8]

Si(111) 표면에 Sn을 0.3 ML 증착시켜  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조로 만든 후 증착을 중지하고 기판온도를 상승시켜

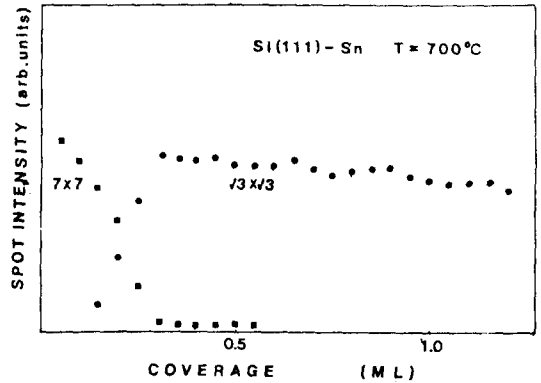


Fig. 2. Spot intensity analysis of Sn/Si(111). The substrate temperature was 700°C.

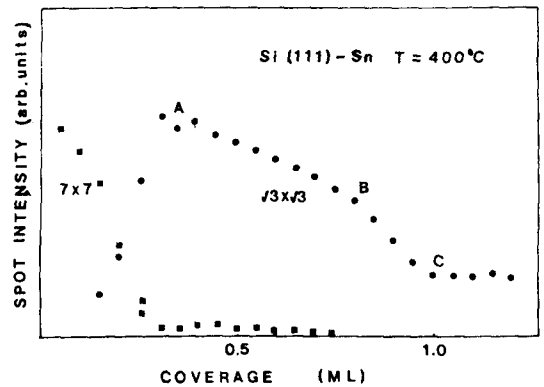


Fig. 3. Spot intensity analysis of Sn/Si(111). The substrate temperature was 400°C.

$\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조에서의 Sn원자의 이탈에너지를  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 의 반점강도의 감쇠속도를 측정하여 구하였다. RHEED상의  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  반점강도는  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조의 면적에 비례하기 때문에  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조를 만드는 Sn원자의 갯수에 비례한다. 따라서  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  반점강도의 감쇠속도를 측정하면  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조를 형성하고 있는 Sn원자의 이탈속도를 측정할 수 있다. 기판온도를 560, 600, 640°C 로 유지하였을 때 Sn의 이탈과정을 그림 4에 나타내었다.

이러한 이탈과정을 측정해 얻은 이탈속도를 Arrhenius plot한 결과를 그림 5에 나타내어 이 기술기로부터 이탈활성화 에너지를 구하였다.  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조에 대해서  $3.3\pm 0.1$  eV로 구하여졌다. M. ZINKE-ALLMANG[9] 등의 AES(Auger Electron Spectroscopy)

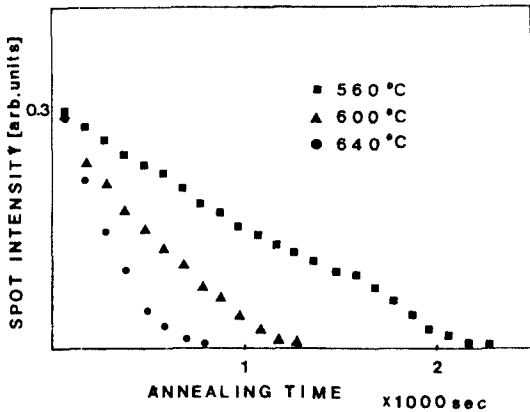


Fig. 4. Intensity of the Si(111)-Sn  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  spot versus annealing time. The substrate temperatures were 560, 600, 640°C.

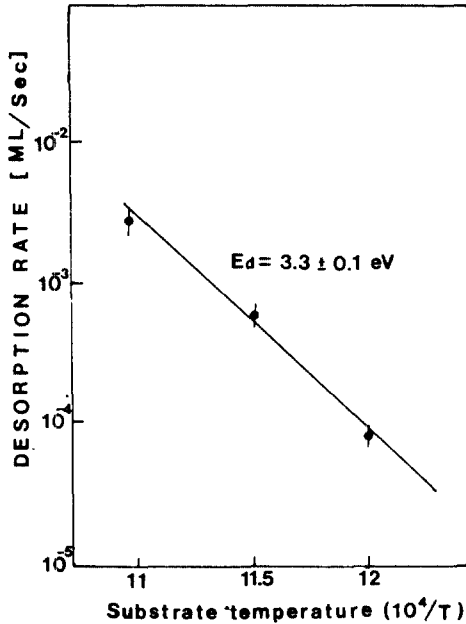


Fig. 5. The Arrhenius plot for Si(111)-Sn  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  surface.

실험값과 비슷하였다.

### 3. 결 론

Si(111)-7×7 표면에 Sn을 증착하면 기판온도 200

°C 이하에서는 증착량에 따라  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ ,  $2\sqrt{3}\times2\sqrt{3}$  구조가 나타나며 200°C 이상에서는  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조가 형성되었다. Si(111)기판을 400°C로 유지하면서 Sn을 증착할 때 7×7 반점의 강도가 감소됨과 함께  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 의 반점이 나타나는 점은 700°C와 같지만 7×7 반점이 사라진 후부터  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 의 반점강도 변화가 A, B, C 3개의 굴절점으로 나타났다. A점보다 적은 증착량에서는 기판온도를 실온으로 낮추었을 때도  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조만 관찰되지만 A점보다 많은 증착량이 흡착되었을 때는 기판온도로 낮추면 약 200°C에서부터는  $2\sqrt{3}\times2\sqrt{3}$  구조의 RHEED상이 관찰되었다. A, B, C점의 흡착량은 0.3, 0.8, 1.0 ML이었다. Si(111) 표면에  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조를 만드는 Sn원자의 이탈에너지를  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 의 반점강도의 감소속도로 측정된 결과 Sn의 이탈에너지는  $3.3\pm 0.1$  eV로 조사되었다.

### 감사의 글

이 연구는 1993년도 교육부 기초과학 육성연구비의 지원에 의한 것임.

### 참고문헌

1. S. Hasegawa, S. Ino, Y. Yamamoto and H. Daimon, *Jpn. J. Appl. Phys.* **24**, L387 (1985).
2. S. Ino, *Jpn. J. Appl. Phys.* **16**(6), 891 (1977).
3. NEC ANELVA 주식회사, 박막측정 모니터 EVM-32B
4. T. Ichikawa, *Surf. Sci.* **140**, 37 (1984).
5. T. Kinoshita, S. Kono and T. Sagawa, *Phys. Rev.* **B34**, 3011 (1986).
6. K. M. Conway, J. E. Macdonald, C. Norris, E. Vlieg and J. F. van der Veen, *Surf. Sci.* **215**, 555 (1989).
7. I. Andriamanantenasa, J. P. Lacharme and C. A. Sebenne, *Surf. Sci.* **189/190**, 563 (1987).
8. A. Taleb-Ibrahimi, C. A. Sebenne, F. Proix and P. Maigne, *Surf. Sci.* **163**, 478 (1985).
9. M. Zinke-Allmang and L. C. Feldman, *Surf. Sci.* **191**, L749 (1987).