

Sn, In/Si(III)표면에서의 구조변화 및 이탈에너지에 대한 연구 The change of Sn, In/Si(111) surface structure and Investigation of desorption energy

곽호원*, 곽지훈**
Ho-Weon Kwak*, Ji-Hoon Kwak**

<Abstract>

The change of surface structures for the deposition of Sn, In on clean Si(111) surface is investigated as a function of surface coverage by RHEED system. For tin submonolayer films 7×7 , $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ structures are observed depending on the coverage and substrate temperature. For indium submonolayer films 7×7 , $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$, $\sqrt{31} \times \sqrt{31}$, 1×1 structures are observed. We find that at substrate temperature of 500 °C, $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ structure is formed at tin coverages of 0.2 ~ 0.4 ML and at indium coverages of 0.1 ~ 0.3 ML, respectively. From the desorption process, the desorption energies of Sn, In in $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ structure is observed to be 3.25 eV, 2.66 eV, respectively.

Key words : deposition, submonolayer, desorption energy

1. 서론

RHEED(Reflection High Energy Electron Diffraction)를 이용하여 깨끗한 Si(111) 7×7 표면 위에 Sn, In 등을 증착했을 때의 표면구조 변화를 조사하였다^{1,2,3)}. 기판의 온도와 증착량에 따른 RHEED 상을 조사, 분석함으로써 초격자 구조와 상전이 현상뿐만 아니라 RHEED 회절점의 배열과 그들의 강도 변화를 알 수 있다.

또한 Si(111) 표면에서의 성장양식 및 증착원자의 이탈 현상에 대한 정보도 얻을 수 있다. 결정표면에 다른 종류의 원자를 증착시킬 경우

에는 기판의 표면온도, 증착원자의 종류, 증착량 등에 의존하는 다양한 초격자구조가 형성되어진다^{4,5)}. 이와 같이 초격자구조의 변화에 따라 여러가지 표면물성이 나타나므로 그 표면구조의 해석은 매우 중요한 것으로 관심을 모으고 있다.

본 연구에서는 기판온도를 500 °C로 유지하면서 Sn과 In를 증착시켜 증착된 피복도와 RHEED 회절점의 강도 변화와의 상관관계 및 상전이 현상을 밝히고 Si(111)- $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조^{6,7)}의 반점의 강도 변화를 이용하여 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조에서 Sn, In의 이탈 과정을 조사하여 각각의 이탈 에너지를 구하였다.

* 경운대학교 안경광학과
(054) 479-1334

** 경북대학교 물리학과
(053) 950-6318

* Dept. of Visual Optics, Kyungwoon University
(054) 479-1334

** Dept. of Physics, Kyungpook National University
(053) 950-6318

2. 실험 방법

RHEED 전자빔의 가속전압은 20 kV로 전자선의 파장은 0.087 Å이다. 본 실험에서는 Si(111)기판에 대한 전자빔의 입사방향은 [112]로 고정하였으며 편향코일과 시료의 위치를 미세조정장치를 이용하여 상하로 조정함으로써 입사각을 조정하였다. RHEED 장치는 준비실과 분석실로 구성되어 있으며 분석실 내부의 진공은 내벽의 잔류 가스를 outgassing 시키기 위하여 Ion pump를 동작시키면서 150 ~ 250 °C로 약 10시간 baking 후 계속 Ion pump와 Ti-sublimation pump를 이용하여 8×10^{-10} Torr의 진공을 얻었으나, 실제 실험은 전자총부의 필라멘트 가열과 시료의 evaporation 등에 의하여 2×10^{-9} Torr에서 수행하였다.

시료의 기판은 P가 도핑된 n-type Si wafer로서 비저항은 100 ~ 120 Ωcm이고 배향은 [111]이었다. Si wafer를 4 mm × 20 mm × 0.6 mm로 절단한 다음 표준세척법으로 세척 후 질소가스를 불어 건조시킨 후 초고진공분석실의 시료장착장치에 고정시킨 후 직접통전가열에 의해 1250 °C로 수 회 가열함으로써 주 오염인 O, C를 제거하여 깨끗한 표면상태를 얻었다.

시료장착장치는 고융점 물질이면서 Si와 반응해 초격자구조를 만들지 않는 Ta으로 제작하였고 장착장치와 전극사이에는 절연물질로 고순도 세라믹을 사용하였다. 시료의 온도조절은 고유저항을 이용한 직접통전가열방식으로 하였으며 온도측정은 고온계(pyrometer)와 chromel-alumel의 열전대를 사용하여 측정하였다. Sn과 In 증착량의 조절은 evaporator의 필라멘트에 흘러주는 전류를 미세조정함으로써 0.1 ML/min로 증착하였다. 증착된 Sn, In의 두께측정에 수정진동자를 사용하였다.

Fig. 1은 RHEED 상의 거울반사점(specular spot)의 상대적 강도를 측정하기 위한 장치이다. 순수한 거울반사점에 의한 상만을 얻기 위해서 볼록렌즈를 이용하여 스크린상의 거울반사점을 광센서가 있는 지점으로 이동시켰다. 광센서에 검출된 광신호는 광섬유를 통해 광트랜지스터에 전달되어 전기적 신호로 변환되고 이

를 증폭기에서 증폭하여 거울반사점 강도의 상대적 크기를 X-Y 플로터로 나타내었다.

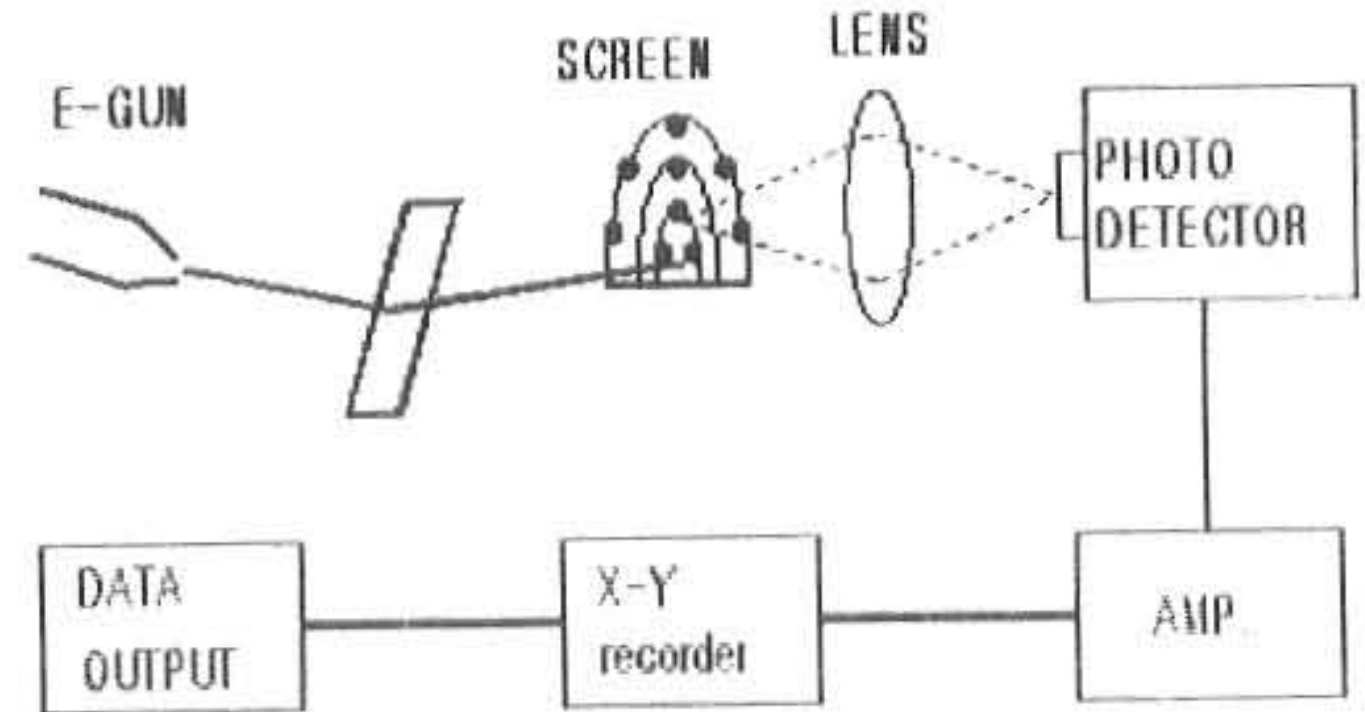


Fig. 1 A schematic diagram for analysis process of RHEED spot intensity

3. 결과 및 고찰

a) Si(111)-Sn의 증착시 RHEED 반점의 강도 변화

Fig. 2는 Si(111)기판을 500 °C로 유지하면서 Sn을 증착시킬 때 RHEED의 반점의 강도변화이다.

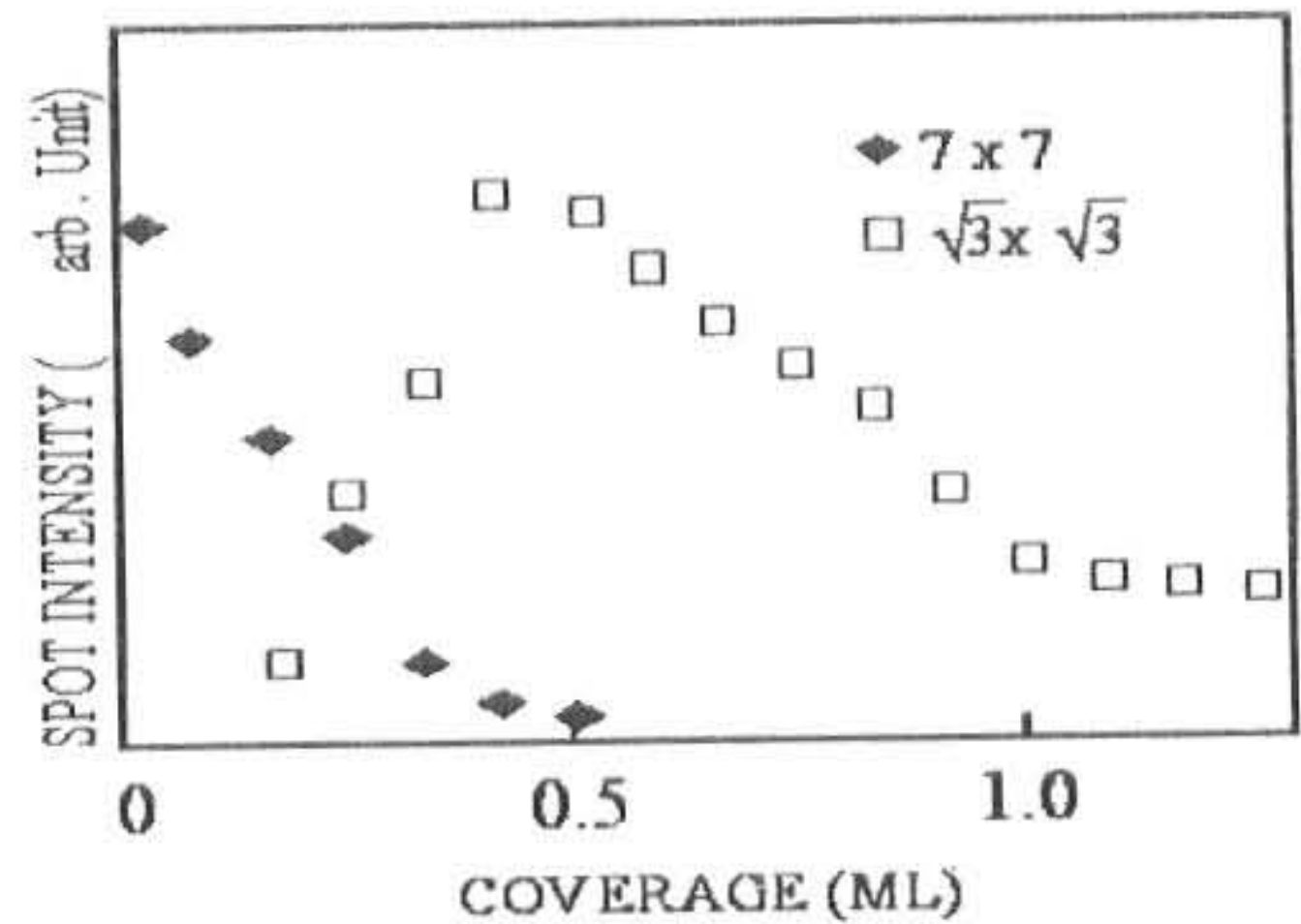


Fig. 2 Spot intensity analysis of Sn/Si(111).
The substrate temperature was 500°C

증착량이 0.2 ML에서 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조의 반점들이 희미하게 관찰되기 시작하여 0.4 ML에서 7 × 7구조의 반점이 거의 사라졌을 때까지 두 구조가 동시에 관찰되었다. 또한 0.4 ML 증착시 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조의 반점강도가 최대를 보였으며 그 후부터 증착량이 증가함에 따라 강도가 감소하는 것으로 보아 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조의 영역이

점차 감소되어진다고 생각되어진다. $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 의 반점강도 변화는 증착량 1.0 ML에서 굴곡점이 나타났다. 증착량 0.4 ML에서 1.0 ML 사이에서 기판온도를 변화시키면 190 °C 이하에서는 $2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3} + \sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 의 혼합구조가 190 °C 이상에서는 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조가 가역적으로 관찰되었다. 굴곡점 이후부터는 190 °C 이하에서 초격자반점이 일정한 강도분포를 가지는 $2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3}$ 구조를 나타내었다^{8,9)}.

b) Si(111)-In의 증착시 RHEED 반점의 강도 변화

Si기판을 500 °C로 유지하면서 In을 증착시킨 경우의 RHEED 반점의 강도 변화를 Fig. 3에 나타내었다.

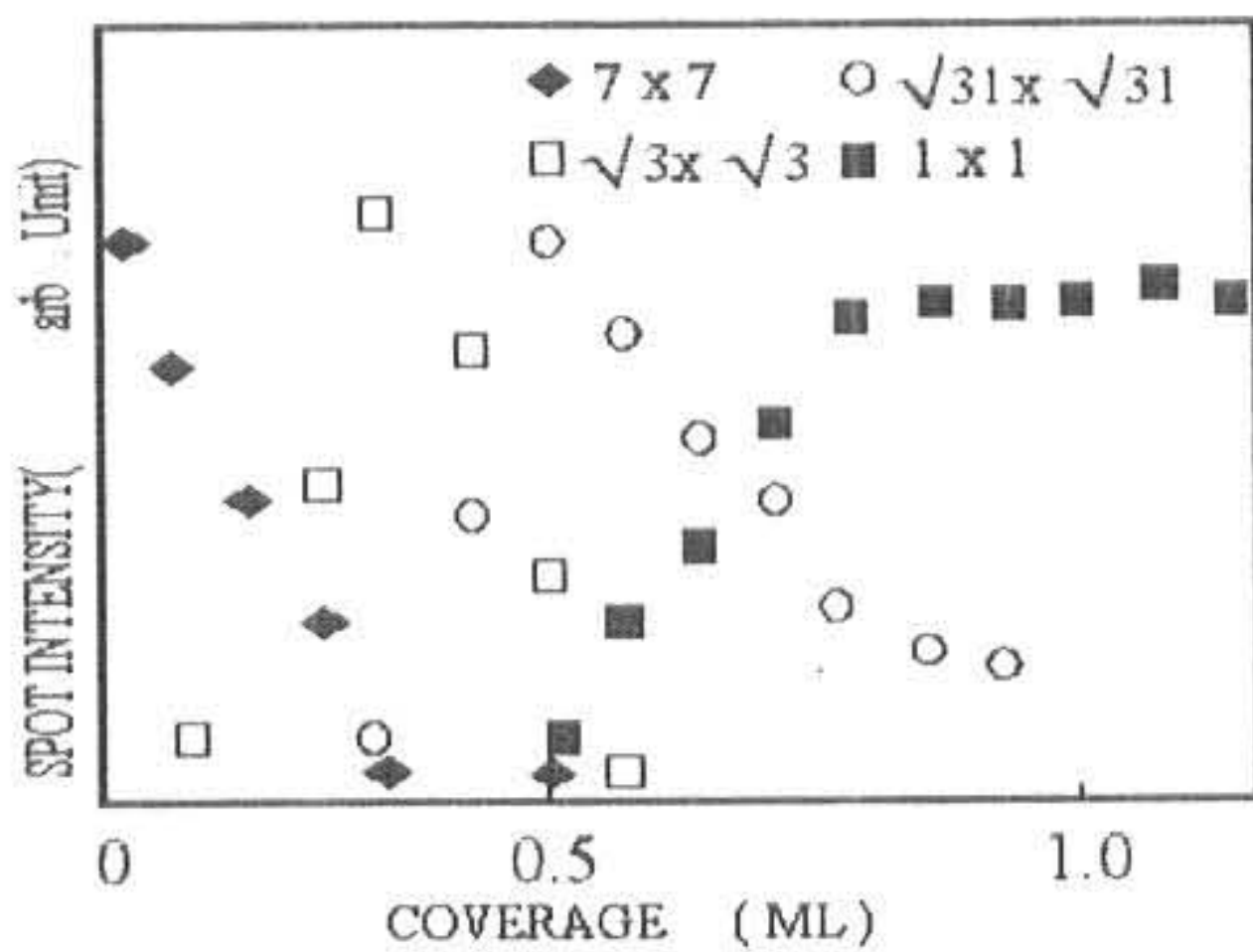


Fig. 3 Spot intensity analysis of In/Si(111). The substrate temperature was 500 °C.

7×7 구조의 반점 강도가 약해짐에 따라 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 반점의 강도는 점점 강해져 증착량이 약 0.3 ML에서 7×7 반점은 거의 사라지고 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 의 강도는 최대가 되었다. 이와 동시에 $\sqrt{31} \times \sqrt{31}$ 반점이 나타나기 시작했다. 증착량이 0.5 ML에서 $\sqrt{31} \times \sqrt{31}$ 반점의 강도는 최대로 되고 동시에 1×1 반점이 나타났다. 그 후 $\sqrt{31} \times \sqrt{31}$ 반점이 서서히 사라짐과 동시에 1×1 반점의 강도는 증가하다가 약 0.8 ML에서부터 그다지 변하지 않았다. $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조는 0.3 ~ 0.5 ML의 증착량일때 기판온도 420 ~ 700 °C까지 변화시켜도 관찰되었으며 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -In 초

격자구조에서 In원자는 Si의 두 번째 원자층에 있는 fourfold symmetric site (T_4)¹⁰⁾에 놓이거나 4번째 layer의 Si원자 위에 있는 threefold symmetric site (H_3)에 놓일 2가지 가능성을 지닌다.

c) Si(111) 표면에서의 등온 이탈 과정

RHEED 상의 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 반점 강도는 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조의 면적에 비례하기 때문에 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조를 만드는 흡착원자의 개수에 비례한다. 따라서 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 반점 강도의 감쇠속도를 측정하면 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조를 형성하고 있는 흡착원자의 이탈율을 측정 할 수 있다. Si(111)표면을 500 °C로 유지하면서 In을 0.3 ML 증착시켜 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조를 형성시킨 후 기판온도를 520 °C, 550 °C, 580 °C로 상승시켜 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조에서의 반점 강도의 감쇠속도를 측정하고 또한 Sn을 0.4 ML 증착시켜 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조를 형성시킨 후 같은 과정으로 강도의 감쇠속도를 측정하였다. Fig. 4는 In원자의 이탈과정을 나타내었다.

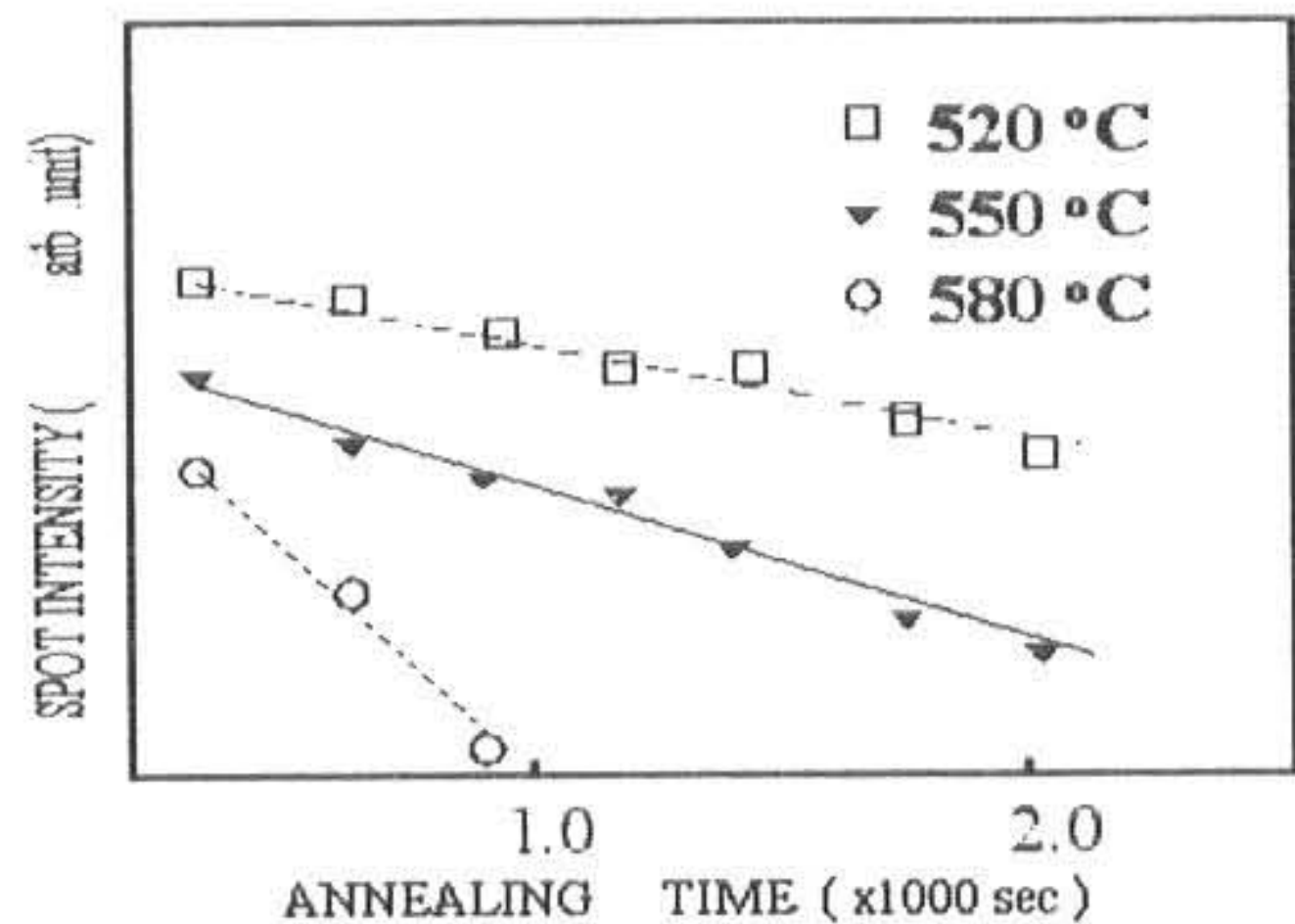


Fig. 4 Intensity of the Si(111)-In spot versus annealing time.

이러한 이탈 과정을 측정해 얻은 이탈율을 Arrhenius plot로 Fig. 5에 나타내어 이 기울기로부터 이탈활성화에너지를 구하였다¹¹⁾.

$\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조에서 이탈활성화에너지는 In은 2.66 eV와 Sn은 3.25 eV로 구하여졌다. 이탈에너지는 Si 표면 potential 우물에 포획되어 있던 흡착원자가 등온열이탈되어 나오는데 필요한 에너지로 그 값이 클수록 강하게 결합되어 있음을 알 수 있다. 등온열이탈 과정에서 충분한

시간동안의 열이탈에도 실리콘 표면 위에 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조가 계속 나타나는 것은 Sn이 0.1 ML 이하로 이탈하지 않고 잔존함을 보여준다. 이 또한 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조가 상당히 안정되어 있을 보여주는 근거이다.

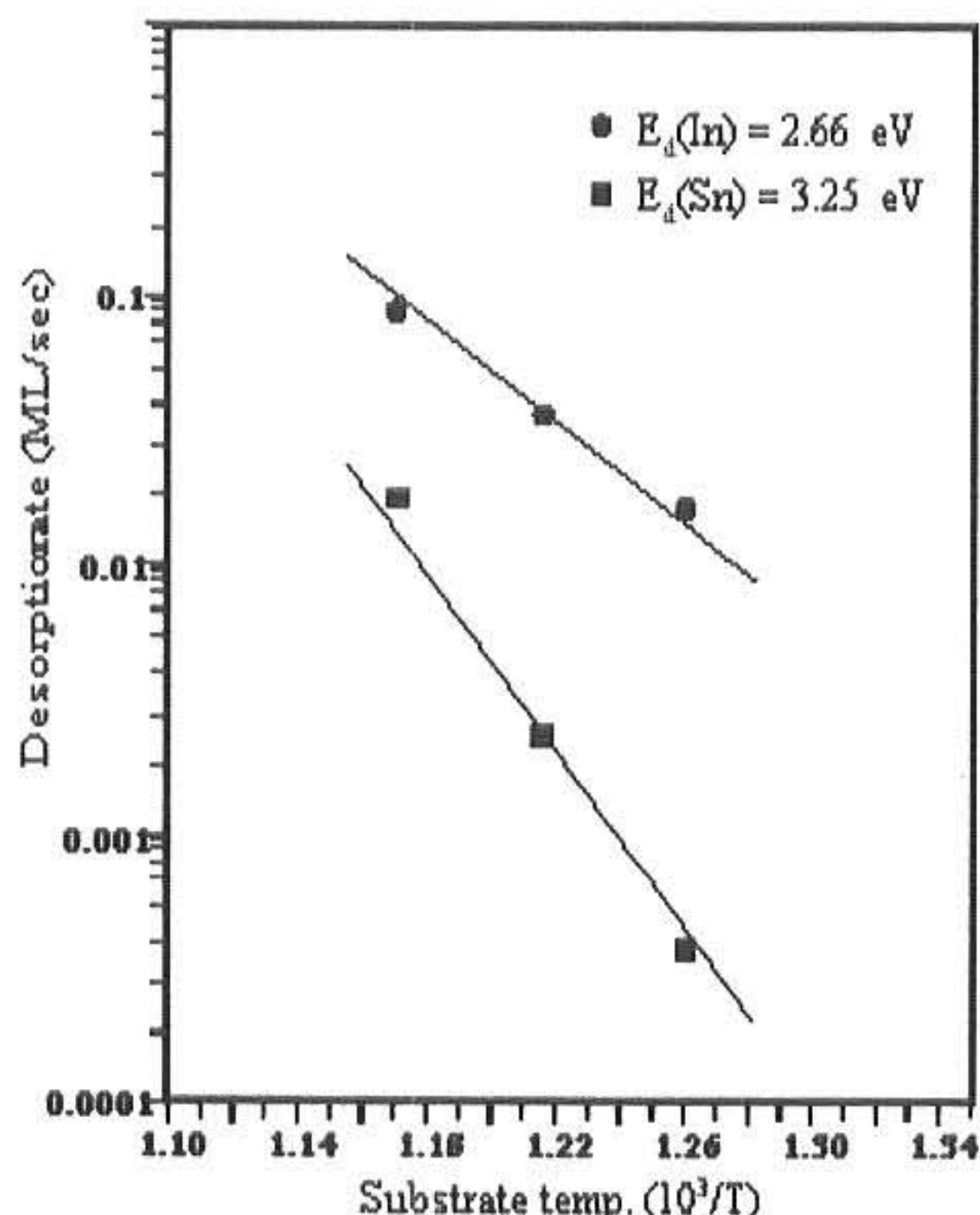


Fig. 5 The Arrhenius plot for Si(111)-Sn,In $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ surface

4. 결론

Si(111)기판을 500 °C로 유지하면서 Sn을 증착시키면 7×7 구조의 반점이 아주 약해진 후부터 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 의 반점 강도가 나타나며 약 0.4 ML에서 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 반점의 강도가 최대였으며 증착량이 증가함에 따라 강도가 감소하는 것으로 보아 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조의 영역이 점차 감소되어진다고 생각되어진다. 그 후에도 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 반점의 강도는 감소하다가 1.0 ML에서부터는 거의 일정한 강도를 나타낸다.

Si(111)기판을 500 °C로 유지하면서 In을 증착시키면 증착량이 약 0.1 ML에서 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조, 약 0.3 ML에서 $\sqrt{31} \times \sqrt{31}$ 구조, 약 0.5 ML에서 1×1 구조가 형성되어지기 시작하였다.

$\sqrt{3} \times \sqrt{3}$, $\sqrt{31} \times \sqrt{31}$ 반점 강도가 최대로 될 때 및 1×1 반점 강도가 일정하게 될 때의 흡착량은 각각 약 0.3, 0.5, 0.8 ML이었다. Si(111) 표면에 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 구조를 만드는 Sn 원자와 In 원자의 이탈 에너지를 반점 강도의 감소 속도로 측정 한 결과 이탈 에너지는 Sn은 3.25 eV, In은 2.66 eV로 조사되었다.

참고문헌

- 1) N. Kuwata, T. Asai, K. Kimura and A. Mannami, *Surf. Sci.* **143** pp.L393, (1984)
- 2) J. Knall, J.E. Sundgren, G.V. Hansson and J.E. Greene, *Surf. Sci.* **166** pp.512, (1986)
- 3) J.J. Lander and J. Morrison, *Surf. Sci.* **2** pp.553, (1964)
- 4) J.J. Lander and J. Morrison, *J. Appl. Phys.* **36** pp.1706, (1965)
- 5) D. Bolmont, P. Chen, C.A. Sebeenne and F. Proix, *Surf. Sci.* **137** pp.280, (1984)
- 6) S. Baba, J.M. Zhou and A. Kinbara, *Japan. J. Appl. Phys.* **19** pp.L571, (1980)
- 7) H. Yasunaga, Y. Kubo and N. Okuyyama, *Japan. J. Appl. Phys.* **25** pp.L400, (1986)
- 8) S. Baba, H. Hirayama, J.M. Zhou and A. Kinbara, *Thin Solid Film.* **90** pp.57, (1982)
- 9) T. Kinoshita, S. Kono and T. Sagawa, *Phys. Rev.* **B34** pp.3011, (1986)
- 10) J. M. Nicholls, P. Mrtensson, G. V. Hansson, *Phys. Rev.* **B32** pp.1331, (1985)
- 11) J. Knall, S.A. Barnett, J.E. Sundgren and J.E. Greene, *Surf. Sci.* **209** pp.314, (1989)

(2002년 5월 27일 접수, 2002년 8월 20일 채택)