

<연구논문>

## RHEED 장치의 제작과 K, Cs/Si(111)계에 관한 연구

이경원 · 안기석 · 강건아 · 박종윤 · 이순보\*

성균관대학교 이과대학 물리학과, \*성균관대학교 이과대학 화학과  
(1991년 11월 19일 접수)

### Construction of RHEED Apparatus and Study on K, Cs/Si(111) System

Kyung-Won Lee, Ki-Seok An, Kun-A Kang, Chong-Yun Park and Soon-Bo Lee\*

Department of Physics, Sung Kyun Kwan University, Suwon 440-746,  
\*Department of Chemistry, Sung Kyun Kwan University, Suwon 440-746  
(Received November 19, 1991)

**요 약**— 표면구조 분석장치의 하나인 RHEED(Reflection High Energy Electron Diffraction)장치를 설계·제작하였다. 전자선의 에너지는 0에서 20 keV까지 연속가변이 가능하도록 하였으며 전자선의 집속은 자기렌즈를 이용하였다. 이 장치를 본 연구실에서 제작한 초고진공용기에 장착하여 K, Cs/Si(111)계의 표면구조를 분석하였다.

깨끗한 Si(111)7×7 표면을 가지는 기판의 온도를 상온 및 200°C~700°C에서 K와 Cs를 증착시켰을 때 변화하는 표면구조를 RHEED로 관찰하였다. K의 경우, 상온에서 Si(111)7×7-K, 300°C~550°C에서 3×1 및 550°C 이상에서 1×1 구조가 관측되었고, Cs의 경우는 상온에서 250°C까지는 1×1, 300°C에서  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ , 350°C~400°C에서  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}+3\times 1$  구조가 관측되었다.

**Abstract**—RHEED apparatus which is one of the systems of surface structure analysis has been constructed. Electron beam is focused by means of magnetic lens, and the beam divergence is about  $1\times 10^{-3}$  rad. The Acceleration voltage of this RHEED apparatus is continuously variable from 0 to 20 kV. K and Cs-adsorbed structures on Si(111)7×7 surface at room and high temperatures(200~700°C) have been investigated by RHEED. It is observed that the K and Cs-adsorbed Si(111)surface structures at saturation coverage are Si(111)7×7-K and Si(111)1×1-Cs at room temperature, respectively. When the specimen temperature was elevated during evaporation, the 3×1 structure appears in the range of temperature between 300°C and 550°C, and the 1×1 structure appears above 550°C in K/Si(111)system. Also, in Cs/Si(111) system the  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  structure appears at 300°C, and the  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}+3\times 1$  structure appears between 350°C and 400°C.

### 1. 서 론

전자회절은 1927년 Davisson과 Germer[1]에 의해

\*본 연구는 학술진흥재단의 연구비 지원(1990년도 자유공모과제)으로 이루어졌다.

발견된 이래 많은 연구와 발전을 거듭해 왔다. 에너지영역은 수십 eV에서 100 keV 정도까지 사용하며, 에너지 크기에 따라 LEED(Low Energy Electron Diffraction), MEED(Middle Energy Electron Diffraction), HEED(High Energy Electron Diffraction)로

구분된다.

1970년도 후반기에 들어와서 초고진공 기술의 발달과 MBE(Molecular Beam Epitaxy) 장치의 보급으로 표면에 대한 연구가 활발해 지면서 RHEED에 대한 관심도 높아지게 되었다. 특히 Ino 등[2]은 LEED에 못지 않은 RHEED의 우수성을 확인, 발전시켜 왔으며, 이를 이용하여 반도체 표면위에 전이 금속 및 알칼리금속이 흡착된 표면구조에 대한 많은 연구를 행해오고 있다.

RHEED는 LEED와 비교해서 선의 크기를 작게 할 수 있기 때문에 마이크로 영역의 분석[3]이 가능하다. 또한 전자선의 강도가 아주 강해서 밝고 예리한 패턴을 얻을 수 있으며, 기하학적인 배열의 용이성 때문에 진공용기 내에서 여러 가지 방법[4,5]으로의 관측이 쉽다. 증착된 금속필름이나 에피택시로 성장시킨 표면[6-9] 등의 연구에서는 RHEED가 매우 강력한 방법이며, 회절패턴의 강도계산도 RHEED에서는 입사전자의 에너지가 충분히 커서 다중산란의 영향이 적으므로 LEED에 비해 그 해석이 용이하다.

본 연구실에서는 이와 같은 RHEED의 장점을 이용하여 표면구조분석에 이용하고자 RHEED장치를 제작하였다. 제작한 이 장치의 특성을 조사하였으며, 이것으로 K, Cs/Si(111)계의 표면구조 연구를 한 결과를 보고한다.

알칼리금속/Si(111)계의 계면(interface)에 대한 연구는 최근 다방면에 걸쳐 활발히 진행되어 왔다[10-18]. 특히 깨끗한 Si(111)7×7 표면구조가 Takayanagi 등[19]이 제안한 DAS(Dimer-Adatom-Stacking Fault) 모델로 굳혀짐에 따라 최근 이 구조를 기초로 한 알칼리금속/Si(111)7×7 계의 표면구조에 대한 연구결과가 몇몇 보고되어 왔다[14, 15, 18, 20-22].

H. Daimon과 S. Ino는 상온에서 Si(111)7×7 표면에 알칼리금속(Li, Na, K, Rb 및 Cs)이 약 1 ML가 흡착되면 원래의 7×7 구조와는 다른 새로운 7×7 구조를 관측하였으며, 이 구조를  $\delta$  7×7 구조라 명명했다[20]. 이들은 또한, Si(111)7×7 기판을 고온으로 가열하면서 알칼리금속을 흡착시켰을 때 모든 알칼리금속에 대해 3×1 초격자구조를 관측할 수 있음을 최초로 보고했으며, 이 구조는 덮임률(coverage)을 고려하여 3×1 단위격자에 두 개의 알칼리 금속 원자를 가지는 단위격자 모델이라고 제시하였다. 또한, 최근에 그들은 ARUPS(Angle-Resolved Ultra-

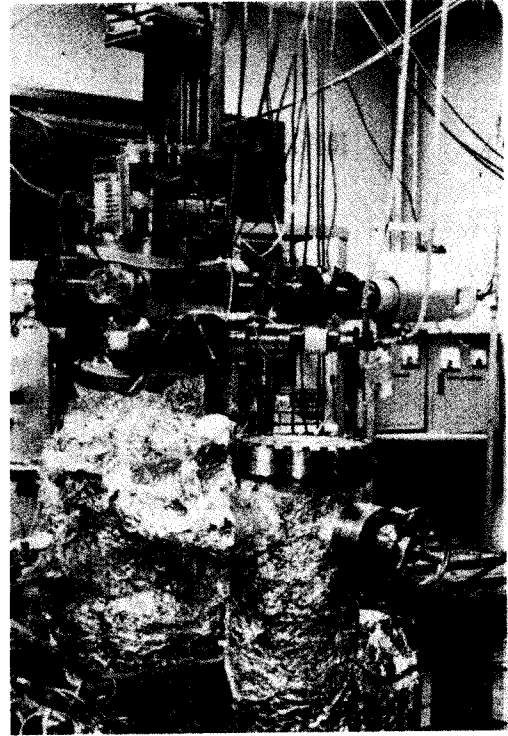
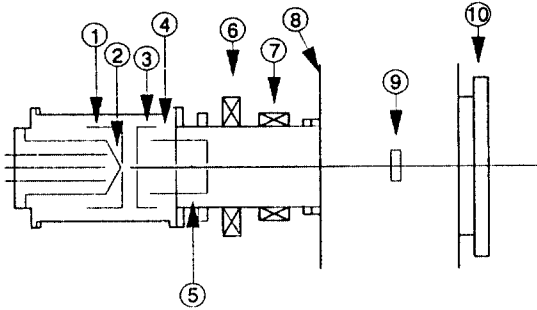


Fig. 1. Ultra high vacuum system equipped RHEED XPS, quadrupole mass spectrometer and ion gun for surface analysis.

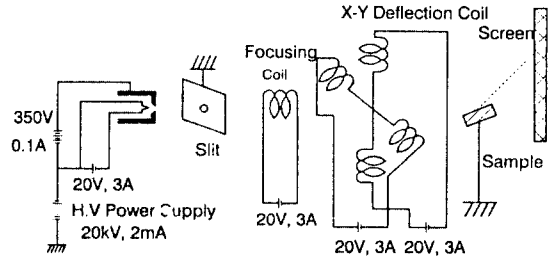
violet Photoelectron Spectroscopy)를 이용하여 알칼리금속 덮임률에 따른 Li/Si(111)7×7 계의  $\delta$  7×7 구조와 K-saturated 7×7 초격자구조의 표면 전자상태 변화를 보고하였다[22].

한편, Mizuno와 Ichimiya[21]는 RHEED에 의하여 Li/Si(111)7×7 계의  $\delta$  7×7 구조를 확인할 수 있었으나, K/Si(111)7×7 계에 대해서는  $\delta$  7×7 구조를 확인할 수 없었고, 다만, Si(111)7×7과 아주 유사한 Si(111)7×7-K(K-saturated 7×7이라고도 함) 패턴을 관측할 수 있었다. 그들은 이 초격자구조는 DAS 구조의 19개 dangling-bond site에 19개의 K원자가 흡착된 초격자임을 주장하였다.

이상에서 언급한 바와 같이 알칼리금속/Si(111) 7×7 계의 표면구조에 대한 연구결과들은 서로 상이한 점이 있을 뿐만 아니라, 보고된 연구결과도 부족한 상태이다. 본 논문에서는 직접 제작한 RHEED장치를 이용하여 Si(111)7×7 표면에 K 및 Cs를 증착할 때의 기판의 온도 및 증착 후 annealing온도에 따른 표면 격자구조의 변화에 대한 연구결과를 보고한다.



**Fig. 2.** Schematic diagram of RHEED gun.  
 1) Wehnelt, 2) Filament, 3) Movable slit, 4) Fixed slit, 5) Movable slit, 6) Focusing coil, 7) Deflection coil, 8) Main chamber, 9) Sample, 10) Screen



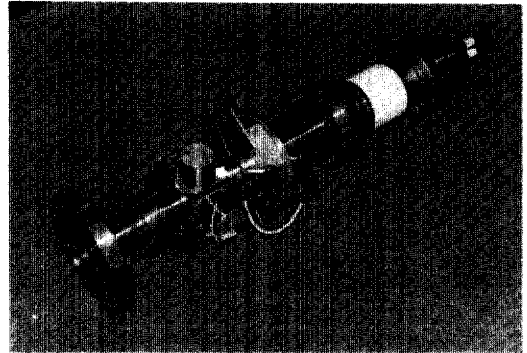
**Fig. 3.** RHEED gun controller.

**2. RHEED 장치의 제작 및 최적동작조건**

Fig. 1은 본 연구실에서 제작한 초고진공 시스템이다. 이 초고진공 용기는 3차원 시료조정기(3-Dimensional Sample Manipulator), XPS, QMS(Quadrupole Mass Spectrometer), ion gun 및 RHEED장치 등을 갖추고 있으며, Fig. 2는 본 연구실에서 제작한 RHEED총의 개략도이다. 그리고 제작전에 다음과 같은 목표를 설정하였다.

- (1) 전자선의 에너지는 0에서 20 KeV까지 연속 가변하고, 주로 사용하는 영역은 10 KeV~20 KeV로 하며,
- (2) 전자선의 전류는 대략 1 $\mu$ A로 하고, 선의 크기는 0.5 mm $\Phi$ ~1.0 mm $\Phi$ 로 한다.

전자총 부분은 통상적으로 전자현미경과 유사하며, 특히 전자선의 크기를 충분히 줄이기 위해 각각 직경이 1.0 mm $\Phi$ , 0.5 mm $\Phi$ , 0.3 mm $\Phi$ 인 3개의 슬릿을 필라멘트와 시료사이에 일렬로 두었다. 전자선의 집속은 자기렌즈(magnetic lens)에 의한 방법을 사용했으며, 편향코일(deflection coil)을 사용하여 상하좌우로 움직이도록 했다. 스크린을 대전효과(charge up effect)를 없애기 위해 유리에 투명도전막인 주석이 첨가된 산화인 (tin-doped indium oxide : In<sub>2-x</sub>Sn<sub>x</sub>O<sub>3-x</sub>)을 입힌 형광막을 사용하였다. 시료에서 스크린까지의 거리(camera length)는 150 mm 정도이다. Fig. 3에는 RHEED총의 조절기(controller)의 개략도가 주어져 있다. 필라멘트, 집속코일 및 편향코일에는 20 V, 3 A의 직류전원을 사용하였고, 웨



**Fig. 4.** Photograph of RHEED gun.

넬트(wehnelt)와 필라멘트 사이에는 350 V, 0.1 A의 직류전원을 사용하였다. Fig. 4는 본 연구실에서 제작한 RHEED총의 실물사진이다. RHEED총을 초고진공용기에 장착한 후, 초고진공용기 전체의 온도를 150 $^{\circ}$ C~200 $^{\circ}$ C로 충분한 시간 동안 bake-out 과정을 거쳐 최종적으로 약 2 $\times$ 10<sup>-10</sup> Torr의 진공도에 도달하였다. 진공도에 변화를 주지않을 정도로 필라멘트를 충분히 가열한 다음, 전자선의 에너지를 고에너지로 올리기 위해 전원을 서서히 고압으로 올렸다. 5 kV, 10 kV, 15 kV에서 각각 여러 가지 조건을 변화시켜가며 최적조건을 얻도록 하였으며, 이렇게 해서 얻은 최적동작조건은 Table 1과 같다[23].

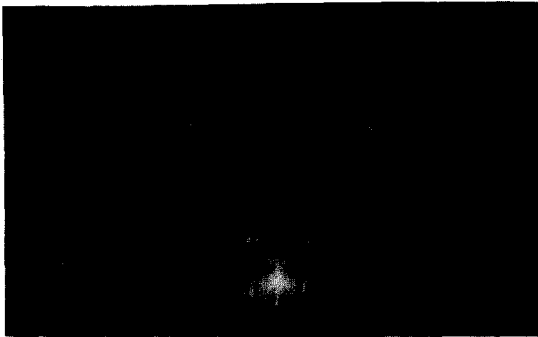
**3. K, Cs/Si(111)계의 표면에 대한 RHEED 연구**

**3.1. 실험**

실험은 본 연구실에서 제작한 Fig. 1의 초고진공용기(Ultra High Vacuum Chamber)내에서 수행되었다. 실험에 사용된 시료는 경면 처리된 P형 Si(111) wafer(8~15  $\Omega$ -cm, 4 $\times$ 16 $\times$ 0.35 mm<sup>3</sup>)이다. 시료 표

**Table 1.** Optimum operation condition of RHEED gun.

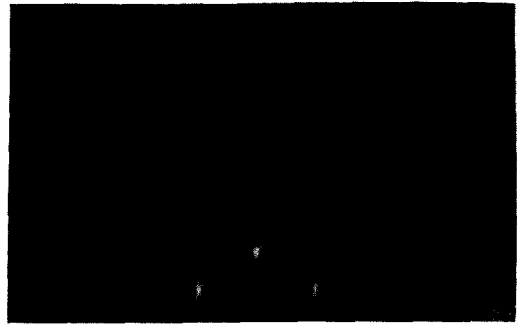
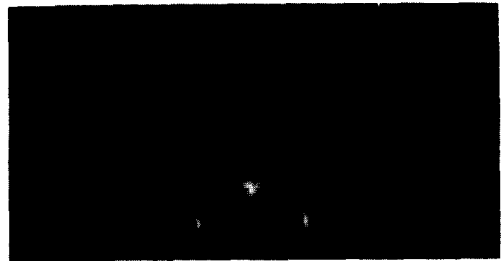
Beam energy(keV)	5	10	15
Focusing coil(V, A)	5.6, 0.38	6, 0.45	7, 0.55
Filament(V, A)	2.1, 1.8	2.1, 1.8	1.75, 2.0
Wehnelt(V)	200	210	213
Beam spot(mm $\Phi$ )	0.8	0.6	0.5
Beam current( $\mu$ A)	1.0	1.1	1.1

**Fig. 5.** Si(111)7 $\times$ 7 RHEED pattern. The primary electron beam is parallel to [11 $\bar{2}$ ] and acceleration voltage is 15 keV.

면은 진공용기속에 넣기 전에 A. Ishizaka 등[24]에 의한 화학적 연마방법으로 세척한 후, 이것을 여과된 기체질소로 불어 말린 다음, 시료 조정기에 고정시켜 용기속에 넣었다. 초고진공에서 시료표면을 깨끗한 Si(111)7 $\times$ 7 표면으로 만들기 위해서 시료에 직접 전류를 흘리는 방법을 써서 1200 $^{\circ}$ C 정도로 10여초간 가열했다. 온도측정은 Optical Pyrometer(Chino Works사의 IR-P2L)를 써서 측정하였다. K, Cs-증발원은 K, Cs-dispenser(SAES Getters사의 제품)를 이용했고, 이것은 시료로부터 약 2~3 cm 떨어진 곳에 설치해 두었다. 진공용기속의 기본진공도는  $2.0 \times 10^{-10}$  Torr 정도로 유지시켰으며, K, Cs 증착시에는  $7 \times 10^{-10}$  Torr, RHEED 패턴을 측정할 때의 진공도는  $4 \times 10^{-10}$  Torr 정도였다. RHEED총의 가속전압은 15~20 kV에서 사용했다. RHEED 패턴의 관측은 알칼리금속 증착시 기관의 온도를 상온 및 200 $^{\circ}$ C 이상에서 시작하여 50 $^{\circ}$ C씩 단계적으로 증가시켜 가며 행했다.

### 3.2. 결과 및 논의

#### 3.2.1. K/Si(111)계

**Fig. 6.** A RHEED pattern from the Si(111)7 $\times$ 7-K surface after room-temperature K deposition on the Si(111)7 $\times$ 7 surface.**Fig. 7.** A RHEED pattern after annealing the Si(111)7 $\times$ 7-K surface at 200 $^{\circ}$ C~350 $^{\circ}$ C.

상온에서 깨끗한 Si(111)7 $\times$ 7 표면(Fig. 5)에 점차적으로 K를 흡착시키면, 포화덮임률에 도달한 것으로 생각되는 일정한 증착시간이 지난 후에는 Fig. 6과 같은 패턴이 관측되며, 더 이상 증착시간을 증가시켜도 RHEED 패턴에는 변화가 없었다. 이것은 0차 Laue zone과 1차 Laue zone 사이에 있는 초격자 점(superlattice spots)들의 일부가 흐려지거나 사라진 것을 제외하고는 원래의 깨끗한 Si(111)7 $\times$ 7 표면구조와 아주 유사한 변형된(modified)7 $\times$ 7 패턴이 관측되었다. 이 결과는 Mizuno 등[21]이 포화덮임률에서 얻은 Si(111)7 $\times$ 7 패턴과 일치하고 있으며, 포화덮임률로 추정되는 칼륨의 양은 정량적으로 알 수 없으나, 상온에서 Si(111)7 $\times$ 7 표면에 K를 증착할 경우에 어느 일정량 이상은 흡착되지 않는 포화덮임률이 있는 것으로 추정된다. 그러나 본 실험에서는 Ino 등[20]이 보고한  $\delta$  7 $\times$ 7 패턴은 관측할 수 없었다.

위의 상온에서 얻은 Si(111)7 $\times$ 7-K 구조를 기관의 온도를 200 $^{\circ}$ C이상으로 가열하면서 관측한 결과, 350

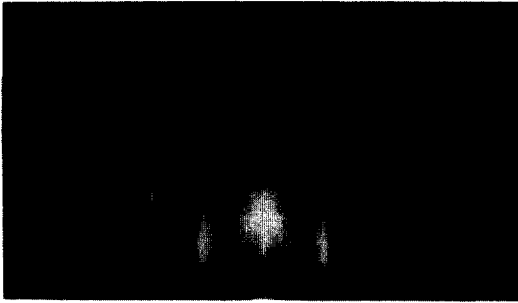


Fig. 8. A RHEED pattern from the Si(111)3×1-K surface.

℃이하에서는 패턴의 기본 바탕의 세기(background intensity)가 증가했으며, 동시에 남아 있는 초격자점들이 전체적으로 퍼지면서(diffuse) 아주 희미하게 거의 1×1에 가까운 패턴(Fig. 7)이 관측되었으나, 완전히 사라지는 않았다. 350℃ 이상으로 가열한 경우에는 다시 원래의 7×7 초격자구조에 의한 초격자점들이 서서히 나타나기 시작하며, 700℃ 이상의 온도가 되면 거의 완전한 원래의 7×7 패턴으로 되돌아 감을 관측할 수 있었다. 이와 같은 결과로부터 상온에서 Si(111)7×7 표면에 흡착된 K 원자들은 350℃ 이상부터 서서히 탈착되기 시작하여 700℃ 이상온도에서는 완전히 탈착되는 것으로 추정된다.

Si(111)7×7 기관의 온도를 200℃~600℃로 유지하면서 K를 흡착시킨 경우, 일정한 증착시간(450℃에서 3×1구조가 형성되는데 걸리는 증착시간)이 지난 후에 200℃~250℃에서 상온의 경우와 유사한 변형된 7×7, 300℃~550℃에서는 3×1(Fig. 8), 550℃ 이상에서는 1×1 구조가 관측되었다. 또, Si(111)3×1-K RHEED 패턴은 450℃ 근방에서 가장 선명하게 패턴이 관측되었다. 이 때 300℃~550℃에서 형성된 Si(111)3×1-K 초격자구조는 450℃에서 1분 이상 다시 annealing하면 항상 Si(111)1×1-K구조로 상전이 가 일어남이 관측되었다. 한편, 일정한 증착시간(450℃에서 3×1구조가 형성되는 증착시간)에 도달하기 전에는 3×1 초격자구조가 나타나는 온도영역(300℃~550℃)에서 변형된 7×7+3×1 패턴이 관측되었다.

### 3.2.2. Cs/Si(111)계

상온에서 깨끗한 Si(111)7×7 표면에 Cs를 흡착시키면 일정한 증착시간에 도달하기 전에는 K의 경

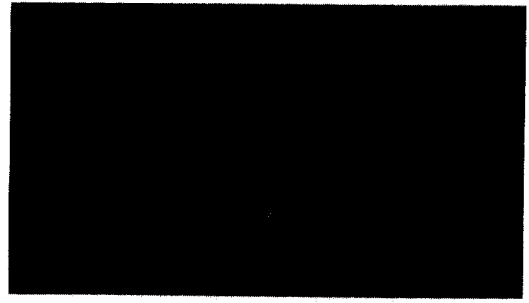


Fig. 9. A RHEED pattern from the Si(111)1×1-Cs surface.

우에 포화덮임률에서 관측할 수 있었던 Fig. 6과 유사한 변형된 7×7 구조를 볼 수 있었다. 그리고 일정한 증착시간이 지난후에는 Fig. 9와 같은 1×1패턴이 관측되고, 그 후 증착시간(증착량)을 증가시켜도 이 RHEED 패턴에는 변화가 관측되지 않았다. Cs의 경우에도 역시 Ino 등이 보고한 δ 7×7 구조[20]는 관측할 수 없었다. 위의 결과로부터 상온에서 Si(111)7×7 표면에 Cs이 흡착될 때 덮임률이 정량적인 값은 알 수 없으나 더 이상 흡착되지 않는 포화덮임률이 있는 것으로 추정되고, 그 때의 표면구조는 칼륨(K)의 경우와는 달리 1×1구조를 가지는 것으로 관측되었다.

상온에서 Cs 증착시 나타나는 위의 두 가지 RHEED 패턴에 대하여 기관의 온도를 다시 200~700℃까지 가열한 후 관측한 결과, modified 7×7 구조는 300℃까지는 패턴에 변화를 보이지 않다가 350℃ 이상부터 원래의 Si(111)7×7 구조로 서서히 변화됨을 관측하였다. 그러나 포화덮임률 이상에서 형성되는 것으로 추정되는 1×1구조는 기관의 온도를 약 500℃까지 올려도 변화를 보이지 않다가 약 550℃부터 7×7 구조의 초격자점들이 관측되기 시작하여 약 700℃부터 원래의 Si(111)7×7 패턴이 관측되었다. 따라서 상온에서 Si(111)7×7에 Cs이 흡착될 때에는 1×1구조가 가장 안정된 구조인 것으로 추정된다.

다음으로 Si(111)7×7 기관의 온도를 200~700℃로 유지하면서 Cs를 흡착한 경우, 상온에서의 포화덮임률에 상당하는 증착량(1×1이 형성되는 증착시간)보다 작은 경우에는 200~350℃까지 상온과 유사한 modified 7×7 패턴이 관측되었다. 그러나 400℃~700℃의 기관온도에서는 1×1 패턴이 관측되었다.

상온에서 1×1구조를 형성하는데 걸리는 증착시간

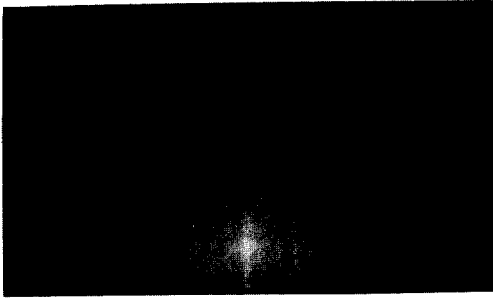


Fig. 10. A RHEED pattern from the  $\text{Si}(111)\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Cs surface.

(증착량) 이상으로 Cs를 증착시킨 경우(기판 온도를  $200^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ 로 유지하면서) 상온에서와 같이  $1\times 1$  구조가 관측되었다. 상온에서 관측된 RHEED 패턴과 비교해 볼 때 Cs 증착시  $200^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ 의 기판온도는 상변화에 영향을 주지 않음을 알 수 있다. Cs이 흡착될 때 기판온도를 약  $300^{\circ}\text{C}$ 로 유지한 경우에는, Fig. 10과 같은  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 구조가 관측되었다. Fig. 10의 RHEED 패턴은 Mizuno와 Ichimiya[21]가 보고한  $\text{Si}(111)7\times 7$  표면에 Li이 흡착된 경우의  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  RHEED 패턴과 동일한 형태를 나타내고 있다.

그리고  $350^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$ 의 기판온도에서는  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  구조와  $3\times 1$ 구조가 동시에 관측되었다(Fig. 11). 이들 증착시 고온의 기판에서 형성된 패턴들은 다시 annealing한 경우  $400^{\circ}\text{C}\sim 500^{\circ}\text{C}$ 에서  $1\times 1$ 이며,  $600^{\circ}\text{C}$  정도부터 서서히 원래의  $\text{Si}(111)7\times 7$ 으로 돌아가기 시작하여  $700^{\circ}\text{C}$  근처에서 완전히 되돌아감을 관찰할 수 있었다. 이로부터 미루어 볼 때 고온에서 포화덮임률 이상으로 흡착된 Cs원자들은  $700^{\circ}\text{C}$  정도면 완전히 탈착되는 것으로 추정된다.

## 4. 결 론

### 4.1. RHEED장치

표면구조 분석장치로서 RHEED는 갈수록 그 응용 범위가 넓어지고 있다. 특히 MBE 장치에서는 RHEED가 필수불가결한 도구로서 이용되고 있고[8-12], 그 외의 분야에서도 중요한 분석도구로서 활용되고 있다. 본 연구에서 제작한 RHEED 장치는 이런 요구에 부응하여 그 요구조건을 충족시킬 수 있는 장치임이 최적동작조건과 함께 본 연구에서 얻은 K,

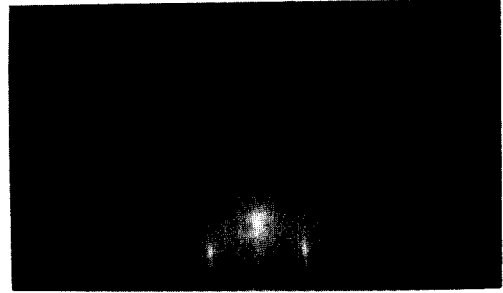


Fig. 11. A RHEED pattern from the  $\text{Si}(111)\sqrt{3}\times\sqrt{3}+3\times 1$ -Cs surface.

Cs/Si(111)계의 표면분석 결과에서도 확인되었다. 따라서 앞으로 이 장치와 함께 microcomputer system을 갖춘 TV-camera를 이용하여 RHEED 패턴에 나타나는 격자점들의 상대적 세기까지 측정할 수 있도록 보완하다면 금속 및 반도체 표면위에 형성되는 금속 막이나 계면의 구조, 형성 및 결합 등의 메커니즘에 대한 더욱 자세한 정보를 얻을 수 있는 훌륭한 표면 분석장치로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

### 4.2. K/Si(111)계

1) 상온에서  $\text{Si}(111)7\times 7$  표면에 K을 증착시키면 일정한 증착시간이 지난 후에는  $\text{Si}(111)7\times 7$ -K(K-saturated  $7\times 7$ ) 구조가 형성되며, 증착량을 증가시켜도 RHEED 패턴에 더 이상의 변화가 보이지 않는다. 2) K증착시  $\text{Si}(111)$ 기판의 온도를  $300^{\circ}\text{C}\sim 550^{\circ}\text{C}$ 로 유지하면  $3\times 1$ 초격자 구조를 가지며,  $450^{\circ}\text{C}$  근방에서 가장 선명한  $3\times 1$  패턴이 관측된다. 3)  $\text{Si}(111)3\times 1$ -K구조는  $450^{\circ}\text{C}$ 에서 1분 이상 다시 annealing 하면 항상  $1\times 1$ 으로 상전이를 일으킨다.

### 4.3. Cs/Si(111)계

1) 상온에서  $\text{Si}(111)7\times 7$  표면에 Cs이 증착된 경우는  $1\times 1$ 구조가 가장 안정된 구조인 것으로 추정되며, 2) Cs의 증착시 기판의 온도를 상온 이상으로 유지했을 때  $300^{\circ}\text{C}$ 를 전후해서  $1\times 1$ 에서  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 으로 상전이가 일어나고,  $350\sim 400^{\circ}\text{C}$ 에서는  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}+3\times 1$  구조를 가진다.

한편 이들 K, Cs/Si(111)계의 어느 경우에서나 증착량이나 증착시 기판의 온도와는 관계없이  $\text{Si}(111)7\times 7$  표면에 흡착된 K 및 Cs 원자들은  $700^{\circ}\text{C}$  근방에서

완전히 탈착되고 있음을 관측할 수 있었다.

### 참고문헌

1. C. J. Davission and L. H. Germer, *Phys. Rev.* **30**, 705 (1927).
2. S. Ino, *Japan J. Appl. Phys.* **16**, 891 (1977); *ibid.* **19**, L61 (1980); *ibid.* **19**, 1277 (1980).
3. M. Ichikawa and K. Hayakawa, *Japan. J. Appl. Phys.* **121**, 145 (1982); *ibid.* 154 (1982).
4. L. Trepte *et al.*, *Surface Sci.* **8**, 223 (1967).
5. N. Otsuca *et al.*, *Japan. J. Appl. Phys.* **19**, 993 (1980).
6. K. Oe, S. Ando and K. Sugiyama, *Japan. J. Appl. Phys.* **19**, L417 (1980).
7. C. Koziol, G. Lilienkamp and E. Bauer, *Appl. Phys. Lett.* **51**, 901 (1987).
8. T. Sakamoto, *Appl. Phys.* **47**, 617 (1985).
9. S. Nishi *et al.*, *Japan. J. Appl. Phys.* **24**, L391 (1985).
10. E. F. Green, J. T. Keeley and M. A. Pickering, *Surface Sci.* **120**, 103 (1982).
11. H. Tochihara, M. Kubota, M. Miyao and Y. Murata, *Surface Sci.* **158**, 497 (1985).
12. E. M. Oellig and R. Miranda, *Surface Sci.* **177**, L947 (1986).
13. A. Franciosi, P. Soukiassian, P. Philip, S. Chang, A. Wall, A. Raisanen and N. Troullier, *Phys. Rev.* **B35**, 910 (1987).
14. S. Nishigaki, M. Ohara, A. Murakami, S. Fukui and S. Matsuda, *Applied Surface Sci.* **35**, 121 (1988-1989).
15. A. Ichimiya and S. Mizuno, *Surface Sci.* **191**, L765 (1987).
16. S. Nishigaki, N. Oishi, S. Matsuda, N. Kawanishi and T. Sasaki, *Phys. Rev.* **B39**, 8048 (1989).
17. C. T. Karlsson, E. Landemark, L. S. O. Johansson, U. O. Karlsson and R. I. G. Uhrberg, *Rhy. Rev.* **B41**, 1521 (1990).
18. W. C. Fan and A. Ignatiev, *Phys. Rev.* **B41**, 3592 (1990-1991).
19. K. Takayanagi, Y. Tanishiro, M. Takahashi and S. Takahashi, *J. Vac. Sci. Technol.* **A3**, 1502 (1985).
20. H. Daimon and S. Ino, *Surface Sci.* **164**, 320 (1985).
21. S. Mizuno and A. Ichimiya, *Applied Surface Sci.* **33/34**, 38 (1988).
22. Y. Tezuka, H. Daimon and S. Ino, *Japan. J. Appl. Phys.* **29**, 1773 (1990).
23. C. Y. Park, J. I. Lee, K. W. Lee, and D. W. Lee, *J. Nat. Sci. Sung Kung Kwan Univ.* **38(2)**, 237 (1987).
24. A. Ishizaka and Y. Shiraki, *Electrochemical Science and Tech.* **133**, 661 (1986).