

<연구논문>

화상 처리를 이용한 저에너지 전자회절시스템(LEED) 개발

김재훈 · 김동준* · 이승민** · 김재성** · 변대현* · 민항기*

인하대학교 자동화공학과, *홍익대학교 물리학과

**숙명여자대학교 물리학과

(1993년 10월 30일 접수)

Dynamic LEED System Developed by using Image Processing

J. H. Kim, D. J. Kim*, S. M. Lee**, J. S. Kim**,
D. H. Byun* and H. G. Min*

Department of Automation, Inha University, Incheon 402-751, Korea

**Department of Physics, Hongik University, Seoul 121-791, Korea*

***Department of Physics, Sookmyung Women's University,
Seoul 140-742, Korea*

(Received October 30, 1993)

요 약 - CCD Camera와 frame grabber로 얻은 digital LEED pattern 화상으로부터 spot intensity 및 intensity profile을 구하는 software를 개발하였다. 특히 기존의 방법보다 좀 더 합리적으로 background intensity를 제거하는 algorithm을 적용하였다. 본 software를 이용하여 Cu(001) surface LEED spot의 I/V characteristic을 얻었고, Davis and Noonan의 data와 비교하여 일치하는 결과를 확인하였다. 또한 본 system을 이용하여 매우 쉽고, 편리하게 RHEED spot intensity oscillation을 측정할 수 있었다.

Abstract - Image processing software is developed to get spot intensity from the frame of a LEED pattern obtained by using a CCD Camera and a frame grabber. Improved algorithm for more reasonable background subtraction is implemented in this software. I/V Characteristics of some spots from Cu(001) surface are collected. These results are compared with those of Davis and Noonan and found to be consistent with the latter results. This software is also applied to measure RHEED spot intensity oscillation, and gives clear oscillations very easily.

1. 서 론

저에너지 전자회절시스템(LEED)은 표면의 구조에 관한 정보를 제공하는 기본적인 장비로써 널리 활용되어 왔다. LEED의 spot pattern은 표면의 unit cell에 관한 정보를 제공하며, 각 spot의 intensity와 입사된 전자의 energy 사이의 상관관계(I-V characteristics)

본 연구는 한국과학재단 핵심전문연구 지원(931-0200-027-1)에 의해 수행되었다.

†본 실험에 쓰인 program이 필요한 연구팀(Dynamic LEED, RHEED application)은 저자의 주소로 연락하면 된다.

는 표면 및 표면으로부터 electron의 elastic mean free path내에 있는 각 층의 구조에 관한 정량적 정보를 담고 있다[1].

특히 70년대에 들어와서 주어진 물질의 표면구조에 관해 입사 전자의 multiple scattering을 모두 고려하여 I-V characteristic을 계산할 수 있는 dynamic LEED 이론이 정립되었다[2]. 그 결과 실험적으로 관측한 I-V characteristic과 표면구조에 대한 다양한 model system에 관한 이론적 I-V characteristic을 비교하여 최적의 표면구조를 예측할 수 있게 되었다. 실험적으로 I-V characteristic을 구하기 위해서는 전

통적으로 두 가지 방법이 사용되었다. 입구에 retarding bias를 걸어 elastic electron만이 collector에 들어갈 수 있게 만든 Faraday cup collector[3]와 원하는 spot에 초점을 맞춰 spot intensity에 비례한 photodiode current를 얻어내는 spot photometer가 가장 보편적으로 사용되어 왔다[4].

그러나 위의 방법들은 전자의 energy 변화에 따른 LEED spot의 위치 변화를 매번 mechanical하게 추적하여 나가야 하기 때문에, 한 spot의 I-V characteristic을(보통 300~400 data point) 얻는데 상당한 시간을 필요로 한다. 한편 정확한 표면구조의 예측과 gun과 sample의 alignment를 검증하기 위해서는 가능한 많은 spot의 I-V characteristic을 얻는 것이 필요하다. 그러나 표면분석은 표면의 청결도가 유지되는 조건에서만 의미가 있으며, 바로 이 조건이 많은 I-V characteristic data를 얻는데 시간적 제약으로 작용한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 LEED pattern 자체를 광학적인 기구(video camera)를 이용해 하나의 data 단위로 잡아, 그 중 원하는 spot의 intensity를 computer를 이용한 image processing을 통해 얻어내는 방법(Video LEED system)이 70년대 중반에 등장하였다[5]. Video LEED System의 개략도는 그림 1에 나와 있는 바와 같다. Video camera는 형광 screen에 나타난 광학적 LEED pattern의 정보를 video camera내의 CCD(charge coupled device) cell array를 이용하여 전기적 신호로 바꾸어 준 다음 A/D converter를 사용하여 각 CCD cell의 analog 신호를 digital 신호로 바꾸어 준다. 이 digital 신호를 image processing software로 처리함으로써 원하는 spot의 intensity에 관한 정보를 얻을 수 있다.

그러나 A/D converter를 이용한 interface 기술은 전자공학에 관한 많은 지식을 필요로 하기에 소수의 연구자들에게만 이용이 가능하였으며, 그 결과 상품화된 interface board의 가격을 매우 비싸게 만들었다. 그러나 최근의 전자공학의 발달, 특히 ASIC(application specific integrated circuit) 기술의 보편화와 computer의 고속화 그리고 image processing technique의 발달은 전보다 높은 resolution, 세밀한 휘도(gray scale), 빠른 speed 등의 기능을 갖는 image interface board(frame grabber)를 값싸게 상품화하는 것을 가능하게 하였다.

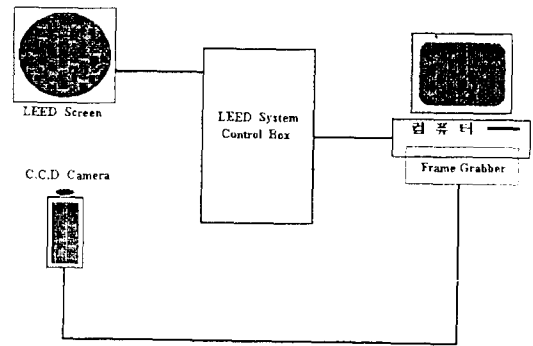


그림 1. Video LEED system 구성도.

본 논문은 상용 frame grabber를 이용한 spot intensity 분석 system 제작에 관한 보고서이다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 frame grabber를 이용하여 optical image로부터 digitized된 signal을 얻는 system의 hardware 및 software에 관해 소개하고, 3장에서는 그 응용으로써 Cu(001) surface의 LEED pattern과 I-V characteristic에 관한 data를 얻는 과정 및 결과를 기술할 것이다.

2. Video LEED System

2.1. CCD Camera

CCD camera는 촬영되는 영상을 NTSC(national television system committee) 방식의 전기적 analog 신호로 바꾸어 출력한다. NTSC 방식에서 한 화면(frame)은 대상의 색채와 명암을 담은 480개의 연속적인 1차원 신호 형태, 즉 수평 주사선의 병치로 만들어진다. 따라서 digitized signal의 resolution은 NTSC 방식 signal의 resolution(수직 분해능=480)이라는 한계를 갖게 된다[6]. 또한 NTSC 방식에서는 1초당 30번 화면을 refresh한다. 즉 1초당 30개의 영상을 sampling하여 새로운 signal을 내보낸다. 따라서 1초에 30개의 화면이라는 time resolution의 한계가 NTSC 방식에 의해 부과된다. 본 연구팀이 사용한 CCD camera는 640×480의 분해능과 최소 조도 0.3 lux의 흑백 camera를 사용하였으며, 최소 초점거리 30 cm인 lens를 이용하여 형광 screen의 LEED pattern을 포착하였다.

2.2. Frame Grabber

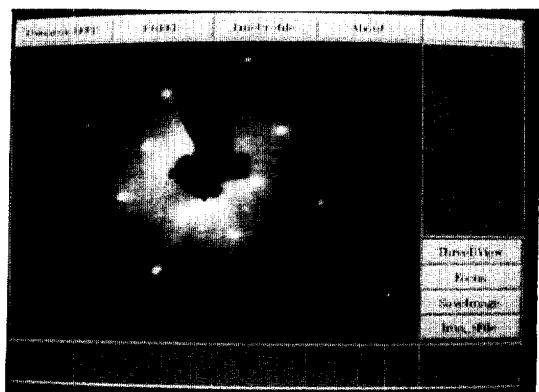


그림 2. Frame grabber에 의해 grab된 Cu(001) surface의 LEED pattern. Mouse cursor box를 원하는 spot으로 이동시켜 noise를 제거한 box내의 intensity 합을 얻는다.

Frame grabber는 다음의 세 부분으로 크게 대별된다. Analog input signal을 digital signal로 바꾸주는 analog-digital converter(ADC), digital 영상 data를 저장하는 frame buffer, 그리고 ADC와 frame buffer 그리고 computer 사이의 data 입/출력을 control하는 interface부로 나뉘어진다.

본 실험에서 사용한 frame grabber(CI-512 그림 전자)는 CCD camera로부터 들어오는 NTSC 방식 analog 영상신호를 IBM computer video data format의 512×512 resolution과 128 gray scale의 digital 영상신호로 변환하여 준다. Gray scaling이 좀 더 세밀한 grabber를 쓰면 보다 정밀한 회도를 얻을 수 있다.

Frame grabber의 resolution은 TV monitor의 resolution과 비슷하나 process되지 않은 영상이 data로써 중요하므로 TV monitor의 contrast와 같은 기능을 가질 수가 없다. 따라서 TV monitor를 보조기구로 사용하면 spot을 구별하거나 추적하는데 도움이 된다. 또한 초기 CCD camera의 위치와 lens의 조절에도 유용하게 사용될 수 있다.

2.3. Software

CCD camera로부터 frame grabber에 들어온 영상신호는 ADC에 의해 digital 신호로 변환된다. 이 영상신호 중 한 장면을 잡아(Grab) computer monitor에 띄운 후 grab된 frame에서 원하는 spot의 intensity를 얻기 위한 program이 필요하다. 그림 2에 보이는 바와

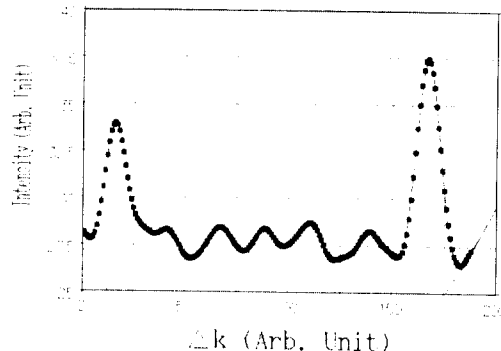


그림 3. (6×1) reconstructed Ag/Si(111) system의 Line intensity profile. Line profile analysis software를 이용하여 매우 근접한 fractional order LEED spot들을 구별할 수 있다. 황찬용 박사의 동의하에 게재함.

같이 grab된 frame에 mouse cursor를 원하는 spot에 대략 위치시키고 cursor내의 gray level의 합을 구한다. 최종적 mouse cursor의 위치는 초기 위치로부터 주어진 영역내에서 위치를 변화해가며 gray scale sum이 최대가 되는 곳에서 결정되며, 이 위치에서의 gray level sum이 spot의 intensity가 된다. 위의 intensity는 background noise의 기여도를 그 안에 포함하므로 background 효과를 제거하기 위하여 mouse position으로부터 반경을 늘려가며 동심의 정사각형 선상의 gray level의 평균이 극소가 되는 점을 찾아 그 값을 위의 gray scale sum에서 빼어 주었다. I-V curve를 빠른 속도로 측정하기 위해 LEED gun controller와 computer를 interface시켜 초기 voltage, 최종 scan voltage와 voltage 변화/sampling step이 주어지면 자동적으로 I-V curve를 얻도록 하였다. 또한 한 frame내에서 주어진 direction에 대한 intensity profile을 알기 위하여 두 점이 주어지면 두 점을 잇는 선상의 intensity profile을 얻을 수 있도록 하였다. 이 program은 spot이 모여 있거나 spot 사이의 intensity 차이가 작을 경우 spot을 구별하는데 유용하다(그림 3).

3. 실험

실험에 사용된 Cu(001) surface는 거울면이 나타날 때까지 mechanical polishing을 한 후, 깨끗한 LEED

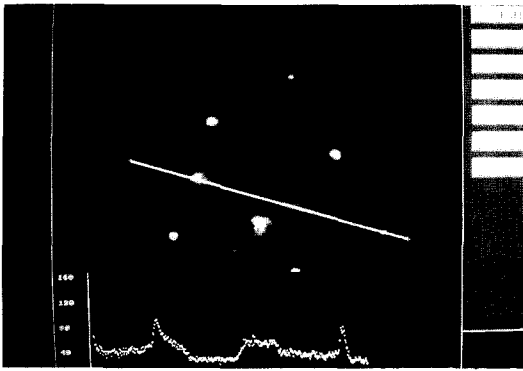


그림 4. Incident=140 eV LEED pattern. LEED pattern line상의 intensity profile이 아래 화면에 보여진다.

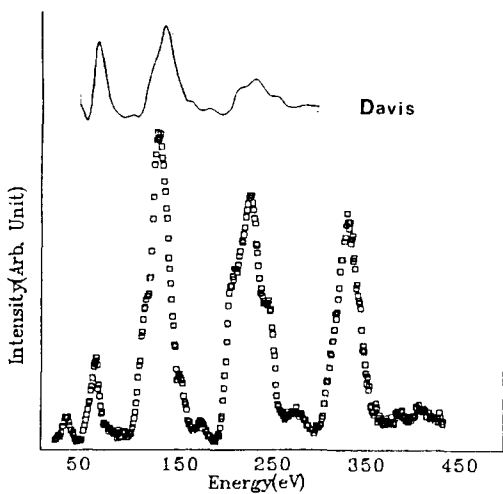


그림 5. I/V characteristic curve. Davis *et al.*의 data와 일치하는 structure를 보여준다.

pattern을 얻을 때까지 annealing(800°C)과 sputtering을 반복하였다. Sample holder는 tilt 기능이 있어 spot이 symmetry를 갖도록 위치하는데 사용하도록 설계되었으며 가능한한 작은 size(1.5×1.5 cm)를 갖도록 하였다. 지자기의 영향을 상쇄하기 위하여 세 방향으로 Helmholtz coil을 설치하였으며, 자기장은 모든 방향으로 0.01 Gauss 이내로 상쇄하였다.

그림 4는 $E_p=140$ eV의 LEED pattern이며 아래쪽의 graph는 사진의 line상의 intensity profile이다. Peak와 peak 사이의 region은 거의 uniform한 background level을 보여주고 있음을 알 수 있다. 그림 5는

I/V Characteristic Curve

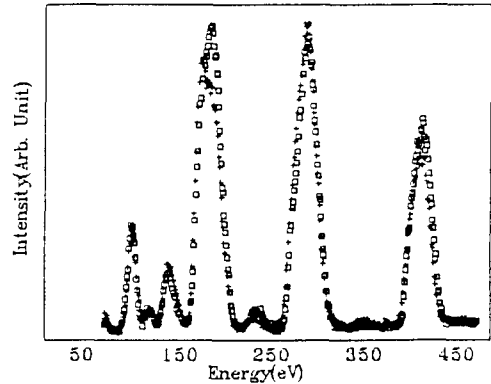


그림 6. Symmetrically equivalent한 각 spot(11)의 I/V characteristic curve.

RHEED Oscillation

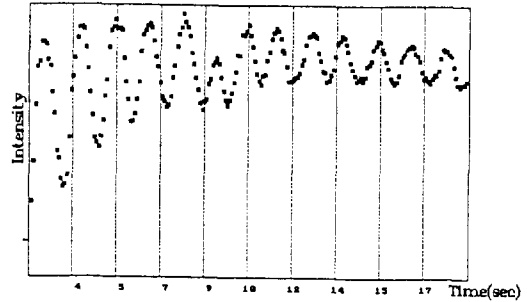


그림 7. AlGaAs/GaAs multilayer system의 RHEED spot intensity oscillation data. 위 data는 CCD camera를 이용하여 실시간에 쉽게 측정하였다. 1초에 20개의 data point를 얻을 수 있으므로 1 M/sec의 growth까지도 monitor할 수 있다.

first order (10)beam에 대한 I-V characteristic이다. Davis *et al.*[7]의 peak position과 structure가 유사함을 확인할 수 있다. Graph 면적의 차이는 background noise를 제거하는 방법의 차이에 기인하는 것으로 보인다.

그림 6은 symmetrically equivalent한 second order spot들의 I-V characteristic curve들이다. Sample과 gun의 상대적인 위치, 그리고 residual magnetic field가 diffraction된 spot intensity symmetry를 깨지 않도록 돼있음을 확인할 수 있다.

위의 모든 I-V characteristic curve들을 구하는데 걸리는 시간은 30분이며, 따라서 이 시간은 contami-

nation에 sensitive한 system에 대한 dynamic LEED study도 할 수 있을 만큼 충분히 짧은 시간임을 알 수 있다. 위의 data taking time은 gun voltage를 1 volt 단위로 수동으로 조절하며 data를 얻는데 걸린 시간이다.

4. 결 론

Frame grabber와 image processing을 이용한 dynamic LEED system을 개발하였다. 현대의 빠른 computer processing 속도와 image processing 기술의 접합으로 I-V characteristic curve를 기존의 system [8]보다 매우 쉽게 얻을 수 있었으며, Background noise reduction도 보다 의미있는 방법으로 할 수 있게 되었다. RHEED와 같은 system의 경우 spot의 position을 tracing할 필요가 없으므로 본 system이 쉽게 응용될 수 있었다(그림 7). I-V characteristic curve의 분석은 현재 진행 중이다.

감사의 글

본 연구진의 sample holder 제작에 뛰어난 기술적

도움을 주신 영등포 공고의 오승환 선생님께 감사드립니다.

참고문헌

1. M. A. Van Hove, W. H. Weinberg and C. M. Chan, "Low Energy Electron Diffraction", Springer-verlag, 1986.
2. M. A. Van Hove and S.Y. Tong, "Surface Crystallography by LEED", Springer-Verlag, 1979.
3. C. J. Davisson and L. H. Germer, *Phys. Rev.* **30**, 705 (1927).
4. F. Jona, *Discuss and Faraday, Soc.* **60**, 210 (1975).
5. (a) E. Lang, P. Heilmann, G. Hanke, K. Heinz and K. Müller, *Appl. Phys.* **19**, 287(1979); (b) F. Jona and P. M. Marcus, eds, "Proc. Conf. on Determination of Surface Structure by LEED", Plenum Press, 1985.
6. NTSC 방식에서 한 화면을 구성하는 영상 신호는 525 line으로 이루어져 있지만 동기 신호(synchronization signal)는 눈에 보이지 않으므로 실제 화면을 구성하는 유효 주사선은 480 line으로 이루어진다.
7. H. L. Davis and J. R. Noonan, *Surf. Sci.* **126**, 245 (1983).
8. "Auto LEED Data system for electron diffraction", VG Microtech.