

## AES-LEED 장치의 설계 및 제작과 Ni/Pt(111)계에 관한 연구

이순보 · 부진호 · 이성용 · 박종윤\* · 곽현태\*\*

성균관대학교 이과대학 화학과, \*성균관대학교 이과대학 물리학과

\*\*국민대학교 사범대학 화학교육과

(1993년 2월 26일 접수)

## The Design and Construction of AES-LEED System and the Study of Ni/Pt(111) System

S. B. Lee, J. H. Boo, S. Y. Lee, C. Y. Park\*, H. T. Kwak\*\*

*Department of Chemistry, Sung Kyun Kwan University, Suwon 440-746*

*\*Department of Physics, Sung Kyun Kwan University, Suwon 440-746*

*\*\*Department of Chemical Education, Kuk Min University, Seoul 136-702*

(Received February 26, 1993)

**요 약** - 본 연구에서는 표면 분석 장비에 필요한 초고진공 용기를 설계 제작하였으며, LEED optics를 이용한 AES와 LEED 제어 장비를 설계하여 제작하였다. 제작된 일련의 장비들을 이용하여 LEED optics의 전자에너지 분해능을 측정하고, Pt(111) 표면에 증착된 Ni의 성장양식을 단분자층과 단분자층의 형성모델을 가정하여 증착된 Ni의 두께를 Auger signal의 비로부터 구하였다.

**Abstract** - Ultra High Vacuum chamber for surface analysis and a series of AES-LEED controllers for LEED optics was designed and constructed. Electron energy resolution of LEED optics was tested. On the basis of the layer by layer mode, thickness of evaporated Ni on Pt(111) was calculated from the Auger signal ratio.

### 1. 서 론

초고진공용 표면 분석 장치들 중에 가장 기본적인 기기는 AES와 LEED라고 할 수 있다. LEED는 표면의 구조변화를 관찰할 수 있고, AES는 수소와 헬륨을 제외한 지구상에 존재하는 대부분의 원소를 정량 및 정성분석을 할 수 있다. LEED 장비에 필요한 LEED optics는 전자의 에너지를 분석할 수 있는 RFA (retarding field grid analyzer)로 이용될 수 있기 때문에 이것을 사용하면 LEED 무늬를 관찰할 수 있을 뿐만 아니라 AES를 측정할 수 있다[1].

기기를 처음 사용하는데 있어서 기기의 분해능을

측정하는 것은 가장 선행되는 일이라 할 수 있다. 일정한 에너지를 가진 전자들이 분석기로 들어갈 때, 스펙트럼 봉우리의 반높이 나비(FWHH),  $\Delta E$ 는 에너지 분석기에 의존한다. 이때  $E/\Delta E$ 는 분해능이라고 하고,  $\Delta E/E \times 100$ 는 instrument line width(ILW)라고 한다. 그러나 보편적으로 통용되고 있는 분해능은 ILW로 표현한다. AES 측정장치에서 RFA 분석기를 사용할 때 분해능에 영향을 미치는 가장 큰 요인은 연구에 의하면 단일 지연그리드에서 100메쉬 0.02 연구에 의하면 단일 지연그리드에서 100 mesh 0.02 mm을 사용하고 접지그리드로부터 6.35 mm 떨어져 있는 경우 그리드 구멍의 중심과 그리드선 사이의

퍼텐셜 차를 보면 ILW는 약 2%라고 보고하였다[2]. 따라서 이런 효과를 향상시키기 위해서 더 세밀한 메쉬와 2중 그리드를 사용한다. 전자총으로부터 나오는 전자살은 단지 조사하려는 원자를 들뜨게만 할 뿐 Auger 전자의 에너지 퍼짐에는 영향을 주지 못한다. 그러나 전자살 에너지 단색화 정도는 탄성 봉오리의 에너지 퍼짐에 영향을 줌으로 분해능에 영향을 미친다. 이밖에 분해능에 영향을 주는 요인으로는 Auger 전자의 에너지 준위 넓이와 Auger 전자가 sample을 빠져나오는데 있어서의 어떤 scattering losses를 들 수 있다. 또한 자연그리드의 ac 변조 때문에 그리드를 통하여 집속기로 들어가는 전자살의 에너지퍼짐은 최소한 변조 진폭만큼 생기게 된다.

어떤 금속위에 다른 금속을 증착시켰을 때 증착된 양은 물질의 특성을 변화시키기 때문에 증착된 양을 결정하는 것은 중요한 일이다. AES를 이용하면 증착된 물질의 단분자층과 아단분자층량을 결정할 수 있다. 그리고 박막의 성장양식은 AS-t(Auger signal-time) 그래프에 따라 보통 다섯 가지로 분류할 수 있다[3]. VW(Volmer-Weber) 양식은 흡착종이 기질 표면에서 확산이 일어나지 않고 3차원적인 성장만을 한다. SK(Stranski-Krastanov) 양식은 흡착종이 단분자층 이내에서는 확산이 잘되어 단분자층을 형성하고, 그 후는 VW 양식을 따른다. FM(Frank-van der Merwe) 양식은 기질과 흡착종, 흡착종과 흡착종 사이에서 확산이 잘되어 단분자층과 단분자층(layer by layer)으로 성장한다. SM(Simultaneous Multilayer) 양식은 일시적인 다층층을 형성한다. 마지막으로 MSM(Monolayer plus Simultaneous Multilayer) 양식은 처음에 단분자층이 형성된 후 MS 양식을 따른다. 이런 현상은 기질과 흡착종 그리고 흡착종과 흡착종 간의 상호작용이 물질의 종에 따라 다르기 때문에 나타난다. 이 성장양식들 중 가장 이상적인 성장양식은 FM 양식인데 FM 양식의 AS-t 그래프는 증착량을 증가시키에 따라 지수함수적으로 증가하는데, 이 지수함수는 직선들의 모임으로 나타나며, 단분자층이 형성될 때마다 break point가 나타난다. 그리고 기질의 Auger signal은 같은 방식으로 지수함수적으로 감소한다.

따라서 본 연구에서는 초고진공을 얻기 위하여 초고진공용 용기의 재질로서 표면분석 등에 이용하기 위한 재질의 특성이 이미 잘 알려진 스테인레스-304를

사용하여 초고진공용 용기를 제작하였으며, 여기에 LEED 뿐만 아니라 AES를 동일한 조건하에서 동시에 측정할 수 있는 4-그리드 LEED Optics을 부착하여 AES-LEED 장치를 완성하였다. 또한 이 Optics의 제작 특성을 이해하고자 분해능을 측정하였으며, AES 장치를 이용하여 Pt(111) 표면에 증착된 Ni의 증착량을 결정하였다.

## 2. 실험

본 연구에서는 초고진공을 얻기 위하여 초고진공용 용기의 재질로서 표면분석 등에 이용하기 위한 재질의 특성이 이미 잘 알려진 스테인레스-304를 사용하여 초고진공용 용기를 제작하였으며, 초고진공 봉입은 무산소구리로 만들어진 구리 가스켓을 사용하였다. 또한 용기 내부벽으로부터 기체 방출을 최소화하기 위하여 전체 초고진공 용기를 가열할 수 있도록 설계 제작하였으며, 용기는 상단부의 주용기부에 해당하는 분석실, 중단부에 진공 분리 밸브(popett valve)부, 하단부의 진공펌프 연결부로 구성되어 있으며, 상단부에는 LEED, AES, TDS, XPS, UPS 등의 여러 표면분석 장치들을 부착할 수 있도록 설계 제작하였다 (Fig. 1).

이와 같이 제작된 초고진공 용기의 하단부에는 이온 펌프(400 l/sec) 및 터보 분자 펌프(170 l/sec) 그리고 Ti-승화 펌프 등을 부착하여  $3 \times 10^{-10}$  torr 이하의 기본 진공도를 얻었다. 또한 상단부에는 4-그리드 LEED optics를 독일의 Omicron사에서 구입하고 분석기 제어장치를 자체 제작하여 AES-LEED 장치를 완성하였다. 설치된 LEED optics는 Reverse-view 형태이며, 가격이 비교적 저렴할 뿐만 아니라 LEED 무늬와 Auger 전자 스펙트럼을 동일 조건에서 동시에 얻을 수 있는 장점을 갖고 있으며, 아울러 사용가능한 스크린의 보는 각도가  $102^\circ$ 로써 다른 LEED optics 보다 크므로 LEED 무늬의 최대 가지 영역을 얻을 수 있다는 장점도 가지고 있다. 다만 Auger 측정시 에너지 분해능이 CMA 분석기 사용시 보다 좋지 못하고, 주사시간이 너무 길다는 단점이 있다. 또한 4-그리드 장치는 3-그리드 장치와는 달리 Auger 스펙트럼의 분해능이 0.5%보다도 더 좋은 에너지 분해능을 얻을 수 있고, 전자총의 필라멘트를 LaB<sub>6</sub> 단결정을 사용함으로써 LEED와 AES 이용시 매우 낮은 온도

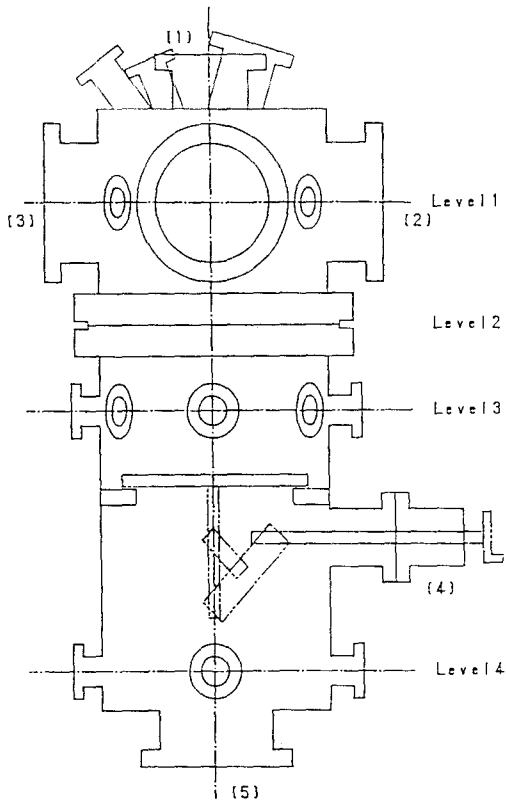


Fig. 1. The front-figure of UHV chamber.

- (1) sample manipulator, (2) LEED optics, (3) view port, (4) poppet valve, (5) turbo-molecular pump.

에서 충분한 전자제기를 얻을 수 있고, 필라멘트의 수명이 매우 길다는 장점이 있다.

LEED optics을 제어할 수 있는 power supply는 Fig. 2와 같이 제작되었다. Auger 전자의 스펙트럼을 얻기 위해서는 적어도 2 KeV 이상의 전자살이 필요하다. 본 연구에서는 AES와 LEED에 필요한 전자총을 제어하기 위해서 최대 2.5 KeV까지 전자살 에너지를 얻을 수 있도록 AES-LEED에 모두 쓸 수 있는 power supply를 제작하였으며, 아울러 렌즈 1과 3은 4 kV까지, 렌즈 2는 2.6 kV까지 조절할 수 있도록 각각 제작하였다. 또한 음극의 전압은 일차 전자살 에너지(primary electron beam energy)보다 400 V 정도 항상 높게 유지하도록 하였고, LEED 이용시 screen에는 10 kV까지 올릴 수 있도록 power supply를 제작하였다.

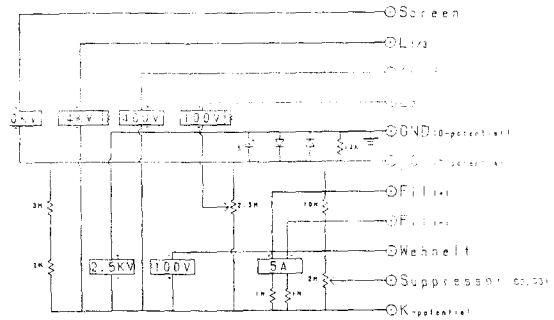


Fig. 2. LEED power supply block diagram.

그리고 용기내의 잔류기체의 부분압력을 측정할 수 있는 사중극 질량분석계를 부착하여 열탈착 분석 스펙트럼(TDS)를 얻을 수 있도록 하였다. 이밖에 깨끗한 표면을 얻기 위한 알곤 이온총, Ni-증착원, 기체 주입 장치, 시료 이송 장치 그리고 이온 압력계 등을 부착하였다.

또한 위에서 언급한 바와 같이 초고진공 장치를 꾸미고 에너지 분석기의 분해능을 측정하여 AES 측정조건을 정확히 맞춘 뒤 Auger 스펙트럼으로부터 금속의 증착량을 측정하는 실험을 하였다. 시료인 Pt(111)은 단면적인 약  $1\text{ cm}^2$ 이고 두께가 1~2 mm인 것을 이용했다. 이 시료는 공기중에 장시간 노출되어 있었기 때문에 대기중의 성분들에 의해 흡착 또는 산화되어 있다. 그러므로 이 시료의 표면을 초고진공 장치에서 알곤 이온총을 이용해서 일정한 시간동안 스퍼터링시켜 표면의 불순물을 제거시켰다. 이때 표면이 대단히 거칠어지고 표면에 결함이 생기게 되므로 이것을 없애기 위해서 약 1500 K의 온도에서 열처리(annealing)를 했다. AES와 LEED에 의해서 표면의 불순물의 성분과 열처리의 정도는 확인할 수 있었다. Pt(111)면에 Ni를 증착시키기 위해서는 순도가 99.99%의 Ni선을 가열하였다. 증착하는 동안에 진공통의 기본 압력은  $1 \times 10^{-9}$  torr로 상승했다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 분해능 측정

본 연구에서는 전자총과 RFA 분석기가 함께 부착된 4-그리드 LEED optics를 사용했으며 컴퓨터에서 나오는 전압 10 V를 분해능이 12비트인 DAC(digital-

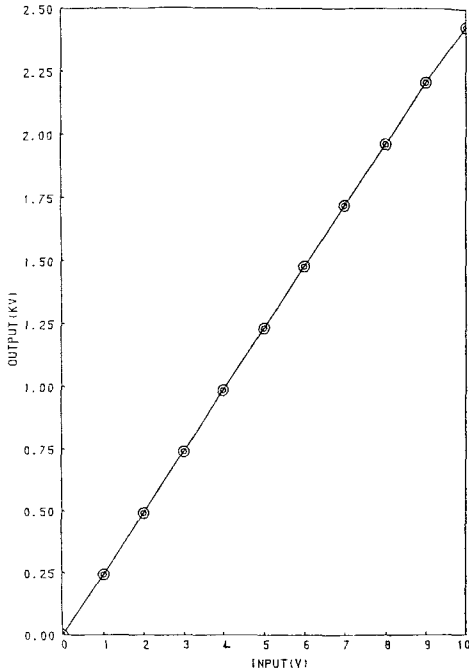


Fig. 3. Output scan voltage with the input voltage from PC.

analog converter)를 이용해서 영부터 10 V까지 변환시켰고, 이 전압을 switching power supply를 이용해서 영부터 -2.5 kV까지 선형성 변화이 좋은 직선이 되도록 제작하였다(Fig. 3). 이 전압을 지연그리드의 주사전압( $U_r$ )으로 사용했다.

그리고 잡음을 줄이고 특정한 신호만을 증폭시키기 위해서 변조 전압 기술을 사용하였다. 변조 전압( $U_m \sin \omega t$ )의 peak-to-peak 크기는 영부터 20 V까지 단계적으로 변화시킬 수 있도록 회로를 제작하였으며, 부과하는 진동수는 영부터 1 MHz까지 변환시킬 수 있는 RF(radio frequency) 발생기를 이용해서 적합한 진동수에 맞추어 ac 변조를 시켰다. 이 때 지연그리드의 전압은 주사전압과 변조전압을 합한 전압( $U_r + U_m \sin \omega t$ )이 된다.

집속기로부터 나오는 전류는 지연 그리드의 전압,  $U_r + U_m \sin \omega t$ 의 함수가 되며, Taylor급수로 나타낼 수 있다. 즉,

$$i(U_r + U_m \sin \omega t) = i(U_r) + i'(U_r)U_m \sin \omega t + i''(U_r)U_m^2 \sin^2 \omega t / 2! + \dots$$

진동수  $\omega$ 를 갖는 성분의 진폭  $A(\omega)$ 는 실질적으로  $i'$

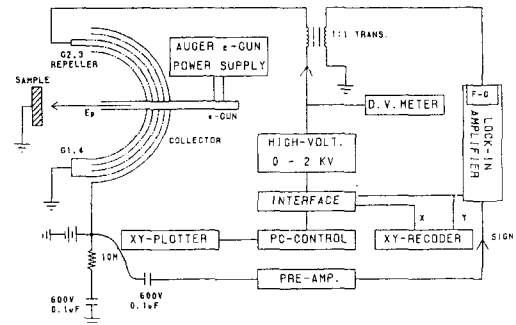


Fig. 4. Scheme of Auger display system.

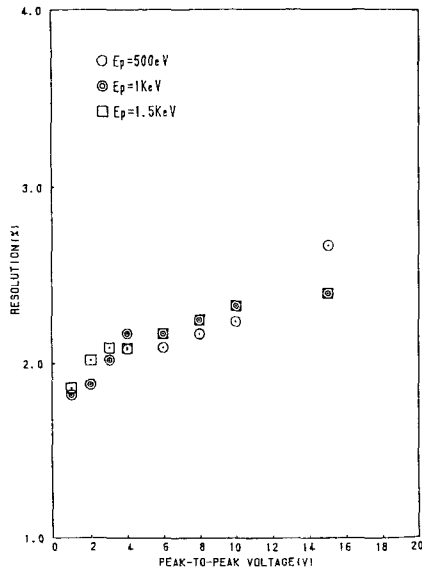


Fig. 5. Resolution with the modulation voltage at various  $E_p$ .

( $U_r$ )에 비례하며 이것은 전자의 분포,  $N(E)$ 에 비례한다(이 미분조작은 Leder와 Simpson의 방법을 이용하여 나타낼 수 있다[4]). 이 진동수  $\omega$ 이 성분은 로크-인 증폭기에 의하여 측정된다.

Auger 전자 스펙트럼을 얻으려면  $N(E)$ 의 값이 너무 작기 때문에 일반적으로  $dN(E)/d(E)$ 의 값, 즉  $i'(U_r)$ 을 측정하여 나타내고 있다. 이 값은 진동수가  $2\omega$ 인 성분의 진폭  $A(2\omega)$ 에 비례한다. 이것은 역시 로크-인 증폭기를 써서  $2\omega$  성분만을 검출할 수 있다. 그리고 로크-인 증폭기에서 나오는 신호를 A/D 변환기를 이용해서 컴퓨터로 데이터를 받아들이고 또한 동시에 기록계로 받아들였다. 여기서 쓰인 A/D 변환기는 분해능이 13비트이고 점퍼를 이용해서  $\pm 0.5, \pm 1.0,$

$\pm 2.5, \pm 4 V$ 로 최대 전압을 변환시킬 수 있으며, 초당 33개의 데이터를 받아들일 수 있다. Fig. 4는 Auger signal을 얻는 개략도를 나타낸 그림이다.

Fig. 5는 여러 일정한 일차 전자 에너지를 이용할 때 변조전압에 따른 에너지 분해능을 측정된 결과를 나타내고 있다. 분해능의 값은 일차 전자 에너지에는 무관하고 변조전압의 증가에 따라 증가하고 있다. 문헌에 보고된 바에 의하면[5] 변조전압이 1V일 때 그 값은 1%이다. 그러나 본 실험 결과는 변조전압이 1V일 때 약 1.7%이다.

일반적으로 분해능의 값은 일차 전자 에너지의 퍼짐 정도와 LEED optics의 기하학적 구조에 의한 전압의 균일성에 의존한다. 우선 그리드의 기하학적 원인을 조사하기 위해서 단일 지연장 그리드만을 사용했을 때의 분해능을 측정하였다. Fig. 6은 일차 전자 에너지를 1 KeV로 고정하고 지연 그리드 G2와 G3를 각각 하나만을 사용했을 때와 G2, G3를 모두 다 사용했을 때의 변조전압에 따른 분해능 측정값을 비교한 것이다. 그리드 G3를 이용했을 때 측정된 분해능은 8V의 변조 전압에서 약 2.5%이다. 또한 그리드 G2를 이용했을 때는 3.2%이다. 이러한 결과들은 이미 이전에 보고된 것과 일치한다[2]. 따라서 그리드 G2와 G3를 이용했을 때 분해능이 많이 개선되지 못한 이유는 일차 전자 에너지의 에너지퍼짐에 의한 것이라기 보다는 G2와 G3 사이의 기하학적 구조에 기인한 것이라 생각된다.

Fig. 7은 여러 일차 전자 에너지에서 변조 전압 변화에 따른 탄성 충돌 전자의 스펙트럼 세기를 나타낸 그래프이다. 이 그래프를 보면 변조 전압을 증가시키면 따라 그 세기가 증가하고 있다. 이러한 결과는 Auger 스펙트럼을 측정할 때 분해능을 고려하지 않고 Auger 스펙트럼의 세기만을 증가시키려면 변조전압을 증가시켜야 한다는 것을 의미하고 있다.

### 3.2. Pt(111) 표면위에 Ni 증착 및 증착 두께 결정

Fig. 8은 Pt의 237 eV Auger signal과 Ni의 848 eV Auger signal의 상대적인 크기를 증착시간의 함수로 나타낸 것이다. 약 90초에서 break point가 나타나고 있다. 이것은 단분자층이 형성되었음을 암시하고 있다. Fig. 8의 AS-t(Auger signal-time) 곡선은 FM(Frank-van der Merwe) 양식의 모델과 흡사하다. 즉

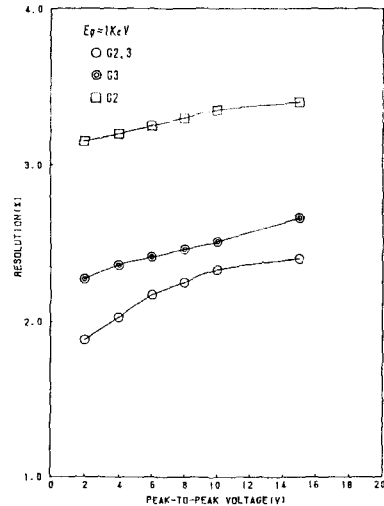


Fig. 6. Resolution with the modulation voltage using the different selected grids.

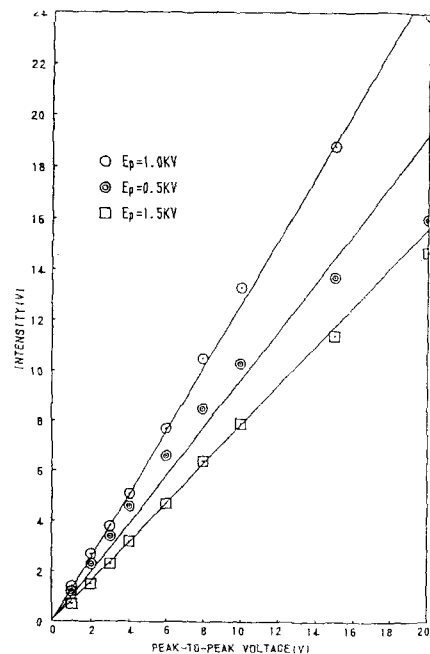


Fig. 7. Elastic peak intensities with the modulation voltage.

Pt 표면에 Ni의 증착은 흡착종과 흡착종 사이에 확산이 잘 일어나서 단분자층과 단분자층(monomolayer-by-monolayer)으로 일어난다는 것을 의미한다[6-8]. 이러한 박막형성 양식은 Pt(100) 표면에 Ni 그리고 Ni(111) 표면에 Pt의 증착인 경우에도 나타나고 있

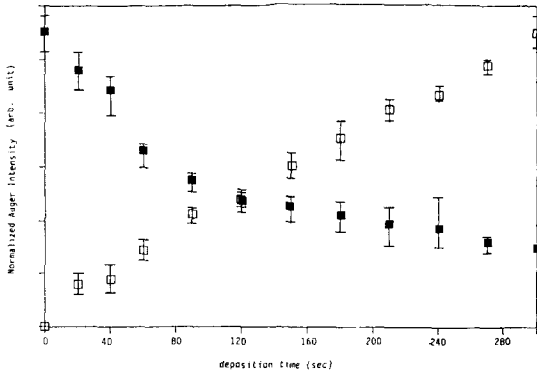


Fig. 8. AES normalized peak heights as a function of Ni-deposition time during the growth of Ni on Pt(111) at 298 K.

다[9, 10]. Ni를 증착시키면서 LEED 무늬를 관찰하였다. Ni의 증착시간이 증가하면서 LEED 무늬의 바탕은 더욱 흐려졌지만 여전히 육각 무늬를 유지하고 있다. 따라서 Pt 표면에 Ni의 증착은 단분자층과 단분자층(monolayer-by-monolayer)으로 형성되지만 적층 성장(epitaxial growing)은 일어나고 있지 않음을 알 수 있다. FM 성장양식 즉 단분자층과 단분자층 형성양식인 경우 흡착층의 두께를 측정하는 방법은 기질(substrate)의 Auger 세기만을 가지고 다음과 같이 주어진다[11].

$$I_s = I_s^{max} \exp[-w/\lambda_o \cos\theta] \quad (1)$$

$I_s$ : 기질의 Auger 세기,  $I_s^{max}$ : 순수한 기질의 Auger 세기,  $w$ : 증착층 두께,  $\lambda_o$ : 기질의 IMFP(inelastic mean free path).

위 식은 흡착종과 기질간의 각 에너지에 따른 IMFP 차이를 무시하고 기질의 IMFP 값만을 사용했으며 그리고 Auger 전이 확률을 고려하지 않은 간단한 수식이다. 그리고 흡착종과 기질의 각 에너지에 따른 IMFP를 고려하고 Auger 전이 확률 차이를 고려한 정교한 증착 두께 측정방법은 흡착종과 기질의 Auger 스펙트럼의 세기 비로 다음과 같은 수식을 이용하여 두께를 측정할 수 있다[12].

$$\frac{I_o}{I_s} = \frac{P_o \lambda_o(E_i)\lambda_o(E_o)[\lambda_o(E_s)\cos\theta + \lambda_o(E_i)]}{P_s [\lambda_o(E_o)\cos\theta + \lambda_o(E_i)]\lambda_o(E_i)\lambda_o(E_s)} \times \frac{1 - \exp\{-w[\lambda_o(E_o)\cos\theta + \lambda_o(E_i)]/\lambda_o(E_i)\lambda_o(E_o)\cos\theta\}}{\exp\{-w[\lambda_o(E_s)\cos\theta + \lambda_o(E_i)]/\lambda_o(E_i)\lambda_o(E_s)\cos\theta\}} \quad (3)$$

$I_o$ : 증착층 Auger 세기,  $P_o$ : 증착층의 Auger 전이 확률,  $P_s$ : 기질의 Auger 전이 확률,  $\lambda$ : 물질의 IMFP,  $\lambda_o(E_i)$ : 증착층에서 입사 전자 에너지( $E_i$ )의 IMFP,  $E_s$ : 기질의 Auger 전자 에너지,  $E_o$ : 증착층의 Auger 전자 에너지.

위 식에 이용한 IMFP값은 Seah 그리고 Dench에 의해 제안된 다음과 같은 근사적인 IMFP 계산식을 이용했다[13, 14].

$$\lambda_m(\text{nm}) = 0.41 \times a_M^{1.5}(\text{nm}) \times E_M^{0.5}(\text{eV}) \quad (3)$$

(3)식으로부터 계산한 각각의 IMFP값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \lambda_{Ni}(2000 \text{ eV}) &= 38.4 \text{ \AA} \\ \lambda_{Ni}(237 \text{ eV}) &= 1.57 \text{ \AA} \\ \lambda_{Ni}(848 \text{ eV}) &= 10.6 \text{ \AA} \\ \lambda_{Pt}(237 \text{ eV}) &= 1.84 \text{ \AA} \\ \lambda_{Pt}(2000 \text{ eV}) &= 45.1 \text{ \AA} \end{aligned}$$

또한 Auger 전이 확률( $P$ )은 Pt과 Ni의 상대적 감도 요소와 후방 산란 요소들을 각각 고려하여 구하였으며, 그 결과  $P_{Ni}$ 은 0.1214이 얻어졌으며  $P_{Pt}$ 은 0.0147이 얻어졌다. 그리고 CMA를 이용할 경우  $\theta$ 값은  $42.3^\circ$ 이지만 본 실험에서는 LEED optics의 RFA를 사용했기 때문에  $\theta$ 값을 영으로 두었다. 이들 변수들을 이용하여 Auger 전자의 상대적인 peak 크기 비로부터 증착된 Ni 두께(증착량)를 측정하였다.

Fig. 9는 본 연구에서 얻은 Auger signal(Fig. 8)을 식 (1)과 식 (2)에 각각 대입하고 계산한 결과이다. 사각형 표시는 (1)식으로 계산된 간단한 결과이고 동그라미 표시는 (2)식으로 계산된 수치이다. 두 결과가 거의 일치함을 보이고 있다. 이러한 결과는 흡착층의 에너지에 따른 IMFP와 각 원소의 Auger 전이 확률을 무시해서 얻어진 간단한 (1)식을 이용할 수 있음을 입증한 것이다. 그리고 증착속도는 단분자층이 형성되기까지는 비교적 빠르며 그 이후에는 점차 느려지고 있음을 보여주고 있다. 또한 단분자층이 증착되었을 때 단분자층의 두께는 약  $1.1 \text{ \AA}$  정도를 보여주고 있다.

증착물질의 단분자층의 두께를 계산하는 방법은 증착물질의 내부밀도를 종종 이용한다. Ni(111)면의 단위 면적당 Ni 원자의 수는  $1.86 \times 10^{15} \text{ atom/cm}^2$ 이다. 그리고 단위 부피당 Ni 원자의 수는  $9.14 \times 10^{22}$

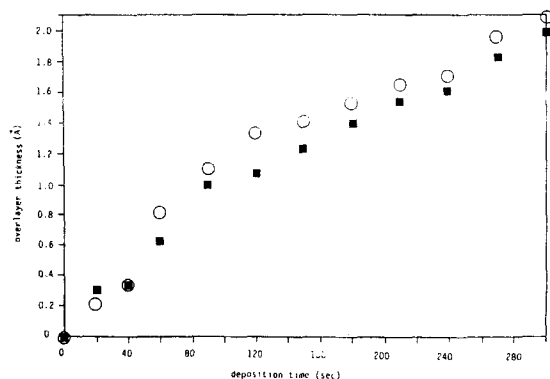


Fig. 9. The variation of Ni-overlayer thickness with increasing Ni-deposition time.

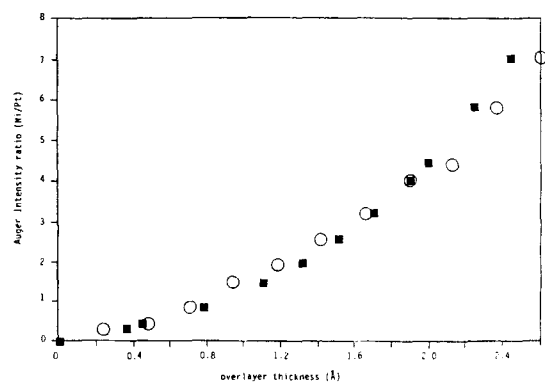


Fig. 10. Determination of Ni-overlayer thickness from relative Auger intensity ratio.

atom/cm<sup>3</sup>이다. 이들 수치로부터 계산된 단분자층의 두께는 2.04 Å이 된다. 이 값은 실험적으로 얻은 것의 거의 두 배 정도가 된다. 이러한 이유는 Ni의 증착시에 발생하는 CO가 Pt 표면에 흡착 또는 해리에 의한 탄소의 오염에 기인한 것이라 생각된다. 그러나 이에 대한 규명은 차후에 시도해야 하겠다.

Fig. 10은 Pt와 Ni의 Auger signal 세기 비와 Ni의 증착 두께를 (1)과 (2)식에 의해서 그래프로 나타낸 것이다. 이 두 식으로 구한 값은 모든 Auger signal 세기의 비에서 거의 일치하고 있다. 그러므로 이 결과는 기질의 Auger 세기만을 고려한 (1)식을 사용하여 증착 두께를 구할 수 있음을 보여주고 있다.

## 감사의 글

본 연구는 과학재단 연구비(891-0303-013-2와 89-03-06-12-05)의 지원을 받아 수행되었으므로 이에 감사드립니다. 또한 컴퓨터 인터페이스 제작 및 설치에 많은 조언을 주신 KIST 고체화학연구실 변중홍 박사님과 LEED에 필요한 DC 전압조절장치를 제작해 주신 대도전자 송명을 사장님께도 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. D. P. Woodruff and T. A. Delchar, Eds., "Modern Techniques of Surface Science", Cambridge University Press 1989.
2. G. Liebmann, *Phil. Mag.*, **39**, 281 (1947).
3. C. Argile and G. E. Rhead, *Sur. Sci. Reports* **10**, 277-356 (1989).
4. L. B. Leder and J. A. Simpson, *Rev. Sci. Instrum.*, **29**, 571 (1985).
5. N. J. Taylor, *Rev. Sci. Instrum.*, **40**, 792 (1968).
6. E. Bauer, *Z. Krist.*, **110**, 372 (1958).
7. G. E. Rhead, M. G. Barthes and C. Argile, *Thin Solid Films* **13**, 603 (1976).
8. G. E. Rhead, *J. Vacuum Sci. Technol.*, **13**, 603 (1976).
9. S. Dekers, S. Offerhaus, F. H. P. M. Habraken and W. F. van der Weg, *Surf. Sci.*, **237**, 203 (1990).
10. S. Dekers, F. Bisschop, D. de Jager, S. Offerhaus, F. H. P. M. Habraken and W. F. van der Weg, *Surf. Sci.*, **258**, 82 (1991).
11. G. Ertl and J. Kupperts, Eds., "Low Energy Electrons and Surface Chemistry", VCH Verlagsgesellschaft Weinheim, 1985.
12. H. G. Min and D. H. Byun, *J. Kor. Vacuum Soc.* **1**, 73 (1992).
13. D. Briggs and M. P. Seah, Eds., "PRACTICAL SURFACE ANALYSIS", WILEY, New York, 1984.
14. M. P. Seah and W. A. Dench, *Surf. Interface Anal.* **1**, 2 (1979).