

## $\gamma$ -FIB 장치를 사용한 Ni 박막의 일함수 결정

오현주<sup>†</sup> · 현정우 · 이지훈 · 임재용 · 추동철 · 최은하 · 김태환 · 강승언

광운대학교 전자물리학과, 서울 139-701  
(논문접수일 : 2002년 6월 28일)

### Determination of the work function of the Ni thin films by using $\gamma$ -FIB system

H. J. Oh<sup>†</sup>, J. W. Hyun, J. H. Lee, J. Y. Lim, D. C. Choo, E. H. Choi, T. W. Kim, and S. O. Kang

Department of Electrophysics, Kwangwoon University, Seoul 139-701  
(Received June 28, 2001)

#### 요 약

실온에서 p-InP (100) 위에 이온빔 증착법으로 Ni 박막을 성장하였다. Ni 박막의 이차전자방출계수( $\gamma$ )와 일함수를 결정하기 위하여 Ne, Ar, N<sub>2</sub>, Xe 이온원을 사용하여 가속전압에 따른  $\gamma$ 를 측정하였다. 여러 가지 기체와 집속이온빔장치의 가속전압에 따른  $\gamma$  결과로부터 Ni 박막의 일함수를 결정하였다. p-InP (100) 위에 성장한 Ni 박막의 일함수는 5.8 eV~5.85 eV 이었다. 실험을 통하여 얻어진 결과들은 실온에서 p-InP (100) 위에 성장한 Ni 박막의 전자적 성질에 관한 중요한 정보를 제공하고 있다.

**주제어** : 금속-반도체 이종구조체, p-InP(100), Ni 박막, 이차전자방출계수, 일함수

#### Abstract

Ni thin films on the p-InP (100) substrates were grown at room temperature by using the ion beam-assisted deposition. In order to determine the work function of the Ni thin films, the  $\gamma$  values were measured as functions of the acceleration voltages by using Ne, Ar, N<sub>2</sub> and Xe ion sources. The dependences of the values on various gases and on the acceleration voltages of the focused ion beam were obtained to determine the work function of the Ni thin films. The value of the work function of the Ni thin films grown on the p-InP (100) substrate was 5.8 eV~5.85 eV. These results provide important information on the electronic properties of Ni thin films grown on p-InP (100) substrates at room temperature.

**Key Words** : metal-semiconductor heterostructures, p-InP(100), Ni thin films, secondary electron emission coefficient, work function

### 1. 서 론

금속-반도체 이종 구조체의 물리적 성질은 고효율 전자소자의 응용과 관련되어 많은 관심을 끌고 있다. 안정된 접합, 낮은 접촉저항, 낮은 전위장벽의 특징을 갖기 위해서 InP 위에 금속 박막을 성장하고 이의 물리적 및 전기적 성질을 관찰하는 것은

매우 중요한 일이다 [1-4]. 금속-반도체 이종 구조체의 전자적 특성을 이해하기 위하여 p-InP (100) 위에 성장한 Ni 박막의 이차전자방출계수 ( $\gamma$ )를 측정하여 Ni 박막의 일함수를 구하는 것이 중요하다. 최근에 spintronics 응용 때문에 자성체인 Ni 박막에 많은 관심을 갖게 되었다. 특히 박막의 일함수는 띠 부정합을 결정하는 중요한 물리적 변수이다.

<sup>†</sup> E-mail : wlruqms@hanmail.net

$\gamma$ 는 물질의 고유한 특성이며 물질의 물리적·전기적 성질과 깊은 관계가 있다.  $\gamma$ 는 시료로부터 방출된 전자전류와 입사된 이온전류의 비율이며 입사되는 이온의 가속전압이 커질수록 증가하며 사용되는 불활성 기체의 이온화 에너지가 커질수록 증가한다. 본 연구에서는 실험실에서 보유하고 있는  $\gamma$ -FIB 장치를 이용하여 실험결과를 얻었다. Ne, Ar, N<sub>2</sub>, Xe의 불활성 기체를 이온원으로 사용하였으며 측정된  $\gamma$  값과 기체의 이온화 에너지 값을 이용하여 Auger neutralization mechanism 분석을 통하여 Ni 박막의 일함수를 결정하였다 [5]. 이와 같은 실험방법과 분석방법을 이용하여 앞으로도 많은 종류의 금속-반도체 이종 구조체의 전자적 특성을 관찰할 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 실험방법

### 2.1 $\gamma$ 값을 얻기 위한 $\gamma$ -FIB(focused ion beam) 장치

$\gamma$ 는  $\gamma$ -FIB (focused ion beam) 장치를 사용하여 측정하였으며 Ne, Ar, N<sub>2</sub>, Xe 기체를 사용하였다. 측정된  $\gamma$ 로 Auger neutralization mechanism 분석을 통하여 Ni 박막의 일함수를 얻었다. 그림 1과 같이  $\gamma$ -FIB 장치는 크게 이온원부, 경통부, 시료부 3부분으로 나뉘어진다. 이온원부는 전자방출을 위한 텅스텐 필라멘트, 기체 주입을 위한 MFC (mass flow controller), 양(+ )극의 가속전압을 가해주는 anode, 빔 집속을 위한 500  $\mu$ m 몰리브덴 구경으로 이루어져

있다. 경통부는 빔의 2차 집속을 위한 3극의 정전렌즈, 빔 편향을 위한 4극의 편향기, 전류측정을 위해 -100 V ~ +100 V 까지 전압을 변화시켜주는 컬렉터로 이루어져 있다. 시료부는 2개의 motion feedthrough에 연결되어 X, Y 방향으로 움직일 수 있는 시료대,  $\gamma$  측정 시 시료 표면에서 방출되는 전류를 측정할 수 있도록 10 mm×10 mm 홀이 뚫린 구리 덮개를 시료 위에 씌운 후 전류측정기와 연결되는 부분으로 되어있다. 전자원으로 텅스텐 필라멘트를 사용하였다. 텅스텐 필라멘트를 세라믹 홀더에 고정시키고 anode와 1 mm 간격으로 장착한다. 열전자 방출을 위하여 텅스텐 필라멘트에 2 A~3 A의 전류를 흘려주며 방출된 전자들은 anode의 2 mm 홀 주위에서 mass flow controller를 통해 주입된 증성의 불활성 기체 (Ne, Ar, N<sub>2</sub>, Xe)와 충돌하여 이온빔을 형성하게 된다. 형성된 이온빔은 anode에 가해지는 전압에 의해 가속이 되고, 500  $\mu$ m 몰리브덴 구경을 통과하며 첫 번째 집속이 된다. 두 번째 집속은 정전렌즈를 통과하며 이루어지는데 최적의 집속효과를 얻기 위하여 렌즈 전압을 조절하여 준다. 렌즈를 통과한 이온빔은 편향기에 의해 편향되어 시료에 주사된다. 편향기는 +X, -X, +Y, -Y 4극으로 구성되어 있고, 0 V~30 V의 편향전압을 가해질 수 있으며, 수직·수평방향으로 주사할 수 있다. 이온빔이 주사될 때 시료에 구리 덮개를 씌우고 시료로부터 방출되는 전류를 측정한다.

### 2.2 일함수 측정 방법

Ni 박막을 증착하기 위한 기판으로는 liquid-encapsulated Czochralski 방법으로 성장한 p-InP(100)을 사용하였고 Ni 박막은 이온빔 증착법을 이용하여 온도 300 K, 진공도  $1 \times 10^{-6}$  Torr 상태에서 성장하였다. 만들어진 p-InP (100)를 화학적 방법의 세척 후 Ni 박막을 성장하기 위한 챔버에 장착하였다. Ni 박막은 p-InP (100) 기판 위에 Ar<sup>+</sup> 이온빔 스퍼터링 방법을 이용하여 성장되었다. 이온빔 증착법으로 성장 시 조건은 온도 300 K, 진공도  $2 \times 10^{-4}$  Torr, 증착율 1.3 Å/S였으며, 두께는 1800 Å으로 증착하였다.  $\gamma$ 는 주사된 이온전류와 시료로부터 방출된 이차전자전류의 비율로 나타낼 수 있다.  $\gamma$ 를 측정하

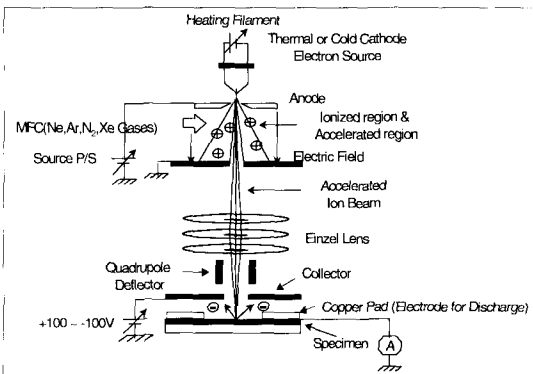


그림 1.  $\gamma$ -FIB 장치 개략도.

기 위하여 불활성 기체를 주입하기 전의 초기진공은  $5 \times 10^6$  Torr를 유지하도록 한다. 충분히 진공이 떨어진 후 mass flow controller를 통하여 적당량의 기체를 주입하면서 진공도  $5 \times 10^5$  Torr를 유지하면서  $\gamma$ 를 측정한다. 전자들과 충돌하여 얻어진 이온빔을 anode를 통해 가속전압을 가해주며 시료에 주사시키면서 컬렉터 전압을  $-60$  V에서부터  $+60$  V까지 변화시켜가면서 시료 표면의 전류 변화를 측정한다. 컬렉터에 음(-)의 전압이 가해질 때는 그 영향으로 시료표면으로부터 이차전자들이 튀어나오지 못해 전류측정기에 나타나는 전류 값은 주사된 이온전류 값이다. 컬렉터에 양(+)의 전압이 가해질 때는 시료표면으로부터 이차전자들이 방출되고 그 때 전류측정기에 나타나는 전류 값은 주사된 이온전류와 방출된 이차전자전류의 합인 전체전류 값이다 [6]. 따라서 컬렉터에 음(-)의 전압이 가해질 때의 전류 값을 이온전류로 취하고, 컬렉터에 양(+)의 전압이 가해질 때의 측정된 전체전류 값에서 이온전류 값을 뺀 것을 이차전류 값으로 취한 후 이 값을 이온전류 값으로 나누어주면  $\gamma$ 가 된다.  $Ne^+$ ,  $Ar^+$ ,  $N_2^+$ ,  $Xe^+$  이온빔을 사용하였고 이온빔 가속 전압을  $50$  eV에서부터  $200$  eV까지 변화시켜가면서  $\gamma$ 를 측정하였다. Ni 박막의  $\gamma$ 를 측정할 결과로부터 일함수를 구할 수 있다. Auger neutralization mechanism에 따르면 Ni 박막으로부터 방출되는 이차전자의 최대운동에너지  $E_k^{max}$  값은,  $E_i$ 가 이온화 에너지이고  $\phi_w$ 가 Ni 박막의 일함수 일 때  $E_k^{max} = E_i - 2\phi_w$ 로 나타낼 수 있다. 따라서  $\phi_w = (E_i - E_k^{max}) / 2$ 로 구할

수 있다 [7]. Ni 박막으로부터 이차전자방출 전류 값이 0일 때 즉, 이차전자방출계수( $\gamma$ )가 0일 때 이차전자의 최대 운동에너지  $E_k^{max}$ 는 0이 된다. 따라서  $\gamma=0$ 이고  $E_k^{max}=0$  일 때  $\phi_w = E_{i0} / 2$ 임을 알 수 있으며 일정한 가속전압을 가해준 상태에서 여러 가지 기체의 이온화 에너지 값과 각각 Ni 박막으로부터 얻어진  $\gamma$ 를 나타낸 그래프로부터 외삽법에 의하여  $\gamma=0$  일 때의 이온화 에너지 값인  $E_{i0}$  값을 알 수 있고 결과적으로 Ni 박막의 일함수를 알 수 있다.

### 3. 실험결과

일함수 측정은 본 연구실에서 보유하고 있는  $\gamma$ -FIB 장치를 이용하였으며 Ni 박막의  $\gamma$ 를 불활성 기체의 종류에 따른 값과 가속 전압에 따른 값에 대하여 구한 후 Auger neutralization mechanism 분석을 통하여 일함수를 구하였다. p-InP (100) 위에 성장한 Ni 박막의  $\gamma$ 를 측정하였다. 그림 2는 Ne, Ar,  $N_2$ , Xe 기체를 사용하여 각각 가속전압에 따른 Ni 박막의  $\gamma$ 를 측정할 결과이다. 이온빔 가속전압은  $70$  eV부터  $200$  eV 까지  $10$  eV 씩 증가시키면서 측정하였다. Ni 박막의  $\gamma$ 는 가속전압이 올라감에 따라 증가하고 이온화 에너지가 큰 기체일수록 그 값이 크게 나타난다. 그림 3, 4, 5는 각각 가속전압  $120$  eV,  $160$  eV,  $170$  eV에서 실험에 사용된 기체들의 이온화 에너지 값과 각각 기체에 따른 Ni 박막의  $\gamma$ 를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 X 축과의 접점이  $\gamma=0$  일 때의 이온화 에너지 값인  $E_{i0}$  값이다.  $E_{i0}$

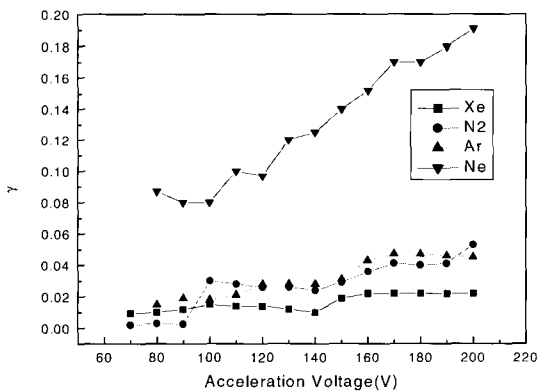


그림 2. Ne, Ar,  $N_2$ , Xe 기체의 가속전압에 따른 이차전자방출계수( $\gamma$ ) 측정결과.

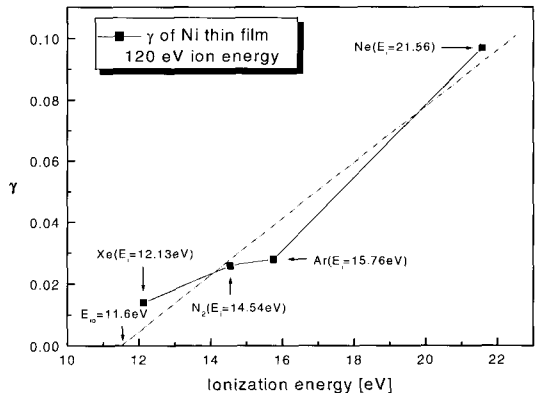


그림 3. 가속전압  $120$  eV 일 때 Ne, Ar,  $N_2$ , Xe의 이온화 에너지와 측정된 이차전자방출계수( $\gamma$ ).

## $\gamma$ -FIB 장치를 사용한 Ni 박막의 일함수 결정

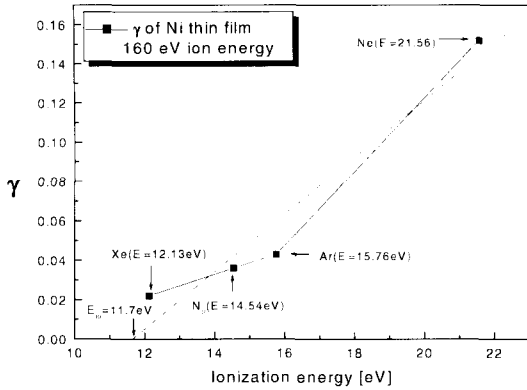


그림 4. 가속전압 160 eV 일 때 Ne, Ar, N<sub>2</sub>, Xe의 이온화 에너지와 측정된 이차전자방출계수( $\gamma$ )

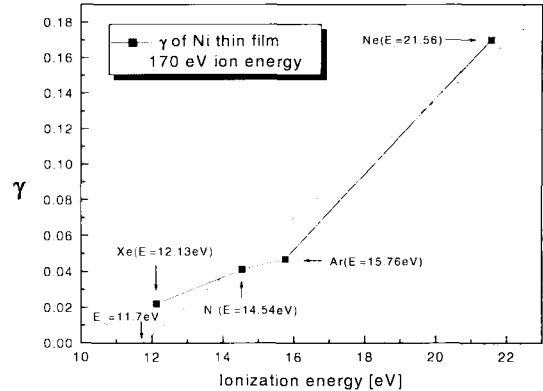


그림 5. 가속전압 170 eV 일 때 Ne, Ar, N<sub>2</sub>, Xe의 이온화 에너지와 측정된 이차전자방출계수( $\gamma$ )

값이 가속전압 120 eV 일 때 11.6 eV 이고 가속전압 160 eV, 170 eV 일 때 11.7 eV 이므로 이로부터 p-InP (100) 위에 성장한 Ni 박막의 일함수는 5.8 eV~5.85 eV 임을 알 수 있다. 일함수의 오차 범위  $\Delta\phi_{\text{eff}}/\phi_{\text{eff}}$ 는  $\gamma$  측정시의 오차범위를 감안하여 약 10 % 이내이다.

### 4. 결 론

금속-반도체 이종 구조체의 전자적 특성을 파악하기 위하여 p-InP (100) 위에 성장한 Ni 박막의 일함수를  $\gamma$ -FIB 방법을 이용하여 측정하였다. 실험 결과 p-InP (100) 위에 성장한 Ni 박막의 일함수는 5.8 eV~5.85 eV 임을 알 수 있었다. 본 연구에서 결과를 도출한 방법으로 여러 가지 금속-반도체 이종 구조체의 전자적 성질에 중요한 물성변수인 일함수를 구할 수 있다.

### 감사의 글

이 논문은 2002년도 광운대학교 교내학술연구비에 의하여 연구되었습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. R. Waldrop and R. W. Grant, Appl. Phys. Lett. **34**, 630 (1979).
- [2] Y. D. Zheng, R. Zhang, Y. Yan, D. Feng, T. W. Kim, and B. D. McCombe, Appl. Phys. A : Solids Surf. **50**, 237 (1990).
- [3] D. Wang, R. Wu, and A. J. Freeman, Phys. Rev. Lett. **70**, 869 (1993).
- [4] J. Zou, Q. Xue, H. Chanya, T. Hashizume, and T. Sakurai, Appl. Phys. Lett. **64**, 583 (1993).
- [5] E. H. Choi, J. Y. Lim, S. O. Kang, and H. S. Uhm, Jpn. J Appl. Phys. **41**, L 1006 (2002).
- [6] E. H. Choi, H. J. Oh, Y. G. Kim, J. J. Ko, J. Y. Lim, J. G. Kim, D. I. Kim, G. S. Cho, and S. O. Kang, Jpn. J. Appl. Phys. **37**, 7015 (1998).
- [7] E. H. Choi, J. Y. Lim, Y. G. Kim, J. J. Ko, D. I. Kim, C. W. Lee, and G. S. Cho, J. Appl. Phys. **86**, 6525 (1999).