

강자성체 박막(Fe-Ni, Co-Ni)의 자기-저항 효과에 관한 연구(I)

張忠根*, 柳仲烈*, 宋宰鏞*, 尹晚榮*, 朴宰螢**, 孫大洛***

Magnetoresistive Effect in Ferromagnetic Thin Films(I)

C.G. Chang, J.Y. Yoo, J.Y. Song, M.Y. Yun, J.H. Park, and D.R. Son

요 약

자기-저항 센서를 제작하기 위하여 Fe-Ni 합금과 Co-Ni 합금을 슬라이드 그라스와 Si wafer에 진공 증착하여 sensor element를 제작한 후 포화자속밀도(B_s), 보자력(H_c), 자기-저항 변화율 등을 조사하였다. 진공 증착된 Fe-Ni 합금 박막의 포화자속밀도는 0.65 T이었으며 자화주파수 1 kHz에서 보자력은 0.379 A/cm이었고 자냉처리 후 종방향 보자력은 0.370 A/cm(//), 횡방향 보자력은 0.390 A/cm(\perp)로 변화되었다. 자기-저항 변화율은 박막의 산화로 인하여 매우 불안정하였다. 진공 증착된 Co-Ni 박막의 포화자속밀도는 0.66 T이었으며 자냉처리 후의 종방향 보자력은 5.895 A/cm(//)이었고 횡방향 보자력은 5.898 A/cm(\perp)이었다. 한편 자기-저항 변화율($\Delta R/R$)은 3.6~3.7%로써 실온에서 매우 안정하였다. Fe-Ni 박막은 화학친화력이 강하여 자기-저항 센서 제조 공정에서 많은 문제점을 야기시키고 있으나, Co-Ni 박막은 화학친화력이 작고 자기-저항 효과가 뚜렷하여 고온용 자기-저항 소자 개발용 재료로 매우 적합할 것으로 사료된다.

Abstract

In order to fabricate magnetoresistive sensor, Fe-Ni and Co-Ni alloys were evaporated on the slide glass and the silicon wafers. Saturation magnetic induction(B_s), coercive field strength(H_c) and magnetoresistance were measured for fabricated samples. The evaporated Fe-Ni thin films show that the saturation magnetic induction was 0.65 T, and coercive field strength was 0.379 A/cm, and this value was changed to 0.370 A/cm(//), 0.390 A/cm(\perp), respectively after magnetic annealing. For the measurement of coercive field strength, magnetizing frequency of 1 kHz was used. For the fabricated sensor element, the change of magnetoresistance ($\Delta R/R$) was excessively unstable due to oxidation in the process of fabrication. The evaporated Co-Ni alloy thin films show that saturation magnetic induction was 0.66 T, and coercive field strengthes were 5.895 A/cm(//), 5.898 A/cm(\perp), respectively, after magnetic annealing. The change of magnetoresistance($\Delta R/R$) was 3.6~3.7% of which value was excessively stable to room temperature. Fe-Ni thin film could have many problems due to large affinity in the process of fabrication of magnetoresistance sensor, but Co-Ni thin film could be a suitable material for fabrication of magnetoresistance sensor, because of its small affinity and definite magnetoresistance effects.

I. 서 론

- * 正會員 : 忠南大學校 自然科學大學 物理學科
(Dept. of Physics, Chungnam Nat'l Univ.)
** 忠南大學校 自然科學大學 物理學科
(Dept. of Physics, Chungnam Nat'l Univ.)
*** 正會員 : 韓南大學校 物理學科
(Dept. of Physics, Hannam Univ.)
<접수일자 : 1992년 6월 9일>

자기-저항 효과는 자장을 변화시키면 전기저항이 변화하는 현상으로 이 현상을 자장 측정에 활용하기 위한 연구가 1966년에 Hebbert와 Schewe^[1]의 연구를 필두로 시작되어 그동안 많은 연구가 수행되어 왔다. ^[2~11] Irons와 Schewe^[9]의 연구에 의하면 1 kHz~

100 MHz 구간의 주파수 영역에서의 자장측정에 대한 정밀도는 5% 이내이고 측정범위는 1 mT 이하이며 분해능은 1 nT로 알려진 바 있다.

한편 이 자기-저항 효과를 이용한 자기-저항 센서를 전기 측정용 변환소자로 활용하려는 연구가 시도되어 왔는데, 선형 자기-저항 센서는 전류변환기와 전류증배기^[12] 및 각종 전원장치의 전류감지와 자동 제어에도 활용가능함이 밝혀진 바 있다.^[13~14]

그 밖에 물체의 선형운동과 각 변위 등의 근접측정 또는 절대위치의 측정에 관한 연구^[15~17]가 시도된 바 있고, 변위측정으로 진동, 압력, 가속도 등의 측정으로 확장되고 있으며 현재는 무접점 스위치와 컴퓨터의 키보드로 활용되고 있다.

현 시점에서 자기-저항 센서의 유용한 활용 중의 하나는 자동차산업에 응용해 보려는 시도도 있다. 즉 전자점화, 속도, 압력, 가속도 등의 계측에 이 자기-저항 센서가 최적의 센서라는 것이다.^[18~20]

그러나 현재 시판중인 자기-저항 센서는 인듐안티모나이드(InSb)를 감자성재료(感磁性材料)로 사용한 센서가 주종을 이루고 있는데 이는 저항온도계수가 커서 온도변화에 대한 안정성이 미흡하고 사용온도 범위가 150°C 미만이어서 열악한 환경에서의 사용이 어렵다. 그러나 Fe-Ni 합금 박막과 Co-Ni 합금 박막은 저항온도계수가 작고 내열온도가 높아서 그 안정성과 내열성이 매우 기대되는 재료이다.^[21]

본 연구에서는 강자성 박막의 자기-저항 효과를 조사하기 위하여 Fe-Ni와 Co-Ni 합금을 슬라이드 그라스와 Si wafer 기판위에 진공 증착한 후 포화자속밀도, 보자력, 자기-저항 변화를 등을 조사하여 본 결과 Fe-Ni 보다는 Co-Ni 합금이 화학적으로 안정하고 자기-저항 효과가 뚜렷하여 고온용 자기-저항 소자 개발용 재료로 이용 가능한 감자성재료(感磁性材料)임을 알 수 있었다.

II. 실험방법

1. 박막시료의 제작

Fe-Ni(Ni : 79.43%, Fe : 14.47%, Mo : 5.7%, Mn : 0.38%, C : 0.013%, Si : 0.01%) 합금을 10^{-6} torr의 진공중에서 진공증착법에 의하여 박막시료를 제작하였다. 또한 Co-Ni(Co : 20%, Ni : 80%, 4N) 합금을 10^{-6} torr의 진공중에서 진공증착하여 비교용 박막시

료를 제작하였다. 이 때 사용한 증발 히터는 바스켓형 텅스텐에 지리코니아(ZrO_2)를 피복한 필라멘트를 사용하였다. 시료의 형상은 스테인레스 마스크를 사용하여 직경 13mmφ의 원형시료와 13mm×13mm의 방형(方形) 시료를 제작하였다.

기판은 크기가 15mm×15mm이고 두께가 0.3mm인 현미경용 슬라이드 그라스(Corning계, 0211)와 Si wafer 위에 Si_3N_4 를 1200 Å 두께로 증착시킨 것을 사용하였으며 그 내부의 응력을 제거하기 위하여 진공중에서 400°C로 24시간 동안 소둔(annealing)하였다. 기판의 세척은 불순물을 제거하기 위하여 증성세제(trio) 및 증류수 속에서 초음파세척한 다음 중크롬산혼액($K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$)에서 10시간 정도 침적시키고 증류수로 세척한 후 알콜에 넣었다. 또한 증착 직전에 기판을 T. C. E. (trichloro ethylene) 알콜로 초음파 세척한 후 순간적인 건조를 위하여 증기세정을 행하였다. 증착중의 기판온도를 측정하기 위하여 0.5mmφ의 알루미늄크로멜 열전대를 기판의 뒷면에 접촉시켰다.

증착시의 진공도는 로타리펌프(배기속도 350 l/min), 확산펌프(배기속도 400 l/min)로 구성된 진공장치를 사용하여 4×10^{-6} torr로 유지시켰다. 이 실험에 사용한 진공증착 장치는 Edward(#E-306)였다. 그리고 증착기판을 기판가열기로 300°C로 가열 유지하면서 증착하였다. 증발용 필라멘트에 인가시킨 전류는 30 A이었고 증착두께의 재현성을 위하여 증발원료는 200 mg씩 일정량을 넣었다. 증착속도는 0.7~4.3 Å/sec로 하였으며 증착막의 두께는 50~5000 Å 범위에서 필요에 따라 가변 증착하였다. 증착된 박막에 자기 이방성을 부여시키기 위하여 시료를 300°C로 유지한 후 2kG의 자장을 x 방향으로 인가시켜 5분간 유지한 후 5°C/min로 냉각시켰다. 이 때 박막의 산화를 방지하기 위하여 아르곤가스를 순간적으로 흘려 보낸 후 다시 진공시키는 작업을 3~4회 반복후 10^{-3} torr로 유지하였다.

기판 표면에 증착된 박막의 표면조성, 깊이방향분석, 정성분석 등을 AES(Auger Electron Spectroscopy #PHI 04-303) 시스템으로 수행하였다.

2. 측 정

포화자화는 시료진동형자력계(Vibrating Sample Magnetometer L. D. J #9000)를 사용하여 M-H curve를 얻은 후 포화자화값을 산출하였다. 포화자화

값을 보정하기 위한 표준시료는 순도가 99.99%인 13 mmφ의 얇은 Ni 원판을 사용하였으며 표준시료의 포화자화값은 481 emu/cm³이다.

박막의 보자력 측정은 1kHz의 주파수에서 자기이력곡선을 측정할 수 있는 별도의 loop tracer를 제작하여 측정하였다.

자장에 의한 시편의 저항변화를 조사하기 위하여 증착된 박막에 4개의 전극을 도선부착기(FB-105R)로 설치하고 4-단자법에 의한 자기-저항의 변화를 조사하였다. 이 실험에 직류전원장치(MP-1026A)와 멀티미터(5 digit., H/P, #3490A) 및 Helmholtz 코일을 사용하였다.

3. 사진 식각

반도체 공정에서 사용되는 사진식각법으로 Fig. 1과 같이 작도된 무늬를 제판용 사진 촬영기를 사용하

여 필름을 제작하였다. 이 때 필름을 쌍안현미경으로 조사하여 제도한 무늬가 선명하게 나타나도록 명암을 조절하였다. 선명도 향상을 위하여 무늬의 원본을 20 배로 확대하여 작도하였다.

기판위에 무늬를 형성하기 위하여 먼저 스피너(Headway Research INC. Model1-EC101D-R485, S/N 60555)를 사용하여 광경화성 수지 1518J를 3100rpm으로 30초간 도포하였다.

광경화성 수지가 도포된 기판은 90°C의 오븐에서 30 분간 건조하였으며 이 기판을 마스크 정열기(Karls Suss Model 10000009, S/N 1485)에 장착하고 이미 제작되어 있는 필름을 기판위에 올려 놓고 50~60초간 자외선을 조사하였다. 현상액은 Hoechst A2351 10ml와 탈이온수 50ml를 섞어 현상에 사용하였다.

현상 완료된 기판은 90°C의 오븐에서 다시 30분 이상 backing하여 잔류 광경화성 수지의 기계적 특성이 유지되도록 하였다. 사진식각법이 끝난 박막을 마이크로부식액(m14와 m4)을 사용하여 부식 처리하였다.

III. 실험결과

1. 박막의 보자력

Fig. 2의 (a)는 자장중에서 냉각시킨 Fe-Ni 박막의 종방향(냉각과정 중에 인가시킨 자장의 방향과 평행한 방향(//)) 자기 이력곡선으로 그 포화자속밀도는 0.634 T이었으며 횡방향(냉각과정중에 인가시킨 자장의 방향과 수직인 방향(⊥)) 포화자속밀도는 Fig. 2의 (b)와 같았고 그 포화자속밀도(⊥)는 0.644 T이었다.

한편 Fe-Ni의 잔류자속밀도(B_r)는 0.30 T인데 비하여 진공증착 후의 B_r은 0.0863 T로 감소되었고 종방향 잔류자화밀도 B_r(//)은 0.88 T로 증가되었다. 횡방향 잔류자속밀도 B_r(⊥)은 0.0364 T로 다시 감소됨을 알 수 있었다.

그리고 보자력 H_c는 증착직후 0.379 A/cm이었는데 자냉 후 종방향 보자력 H_c(//)는 0.37 A/cm로 변화되었고 횡방향 보자력 H_c(⊥)는 0.39 A/cm로 변화되었다. 이와 같은 현상은 자냉과정에서 결정입도의 변화, 결정계면의 변화, 이방성 자장의 형성 등에 기인하는 것으로 사료된다.

한편 Co-Ni 박막의 보자력은 그 값이 너무 커서 본 실험에서 자작한 loop tracer로는 측정이 불가능하여 시료진동형 자력계(L. D. J. #9000)로 측정하였으며

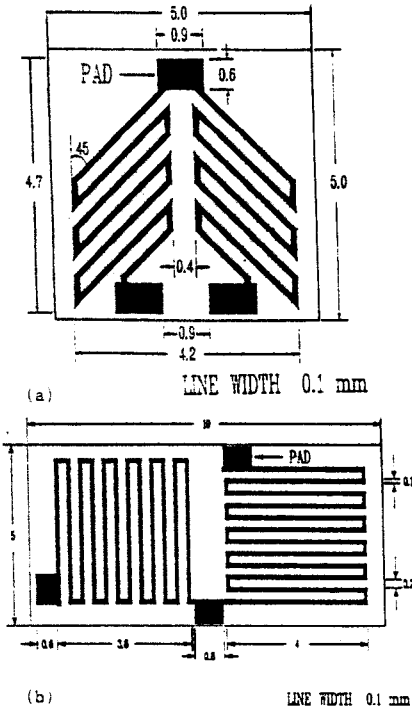


그림 1. 박막 자기저항 무늬의 설계
 (a) 2소자 차동 줄무늬 모양 자기저항
 (b) 2소자 차동 격자 모양 자기저항
Fig. 1. Design of thin film magnetoresistor pattern.
 (a) Two element barber-pole type differential magnetoresistor.
 (b) Two element grid type differential magnetoresistor.

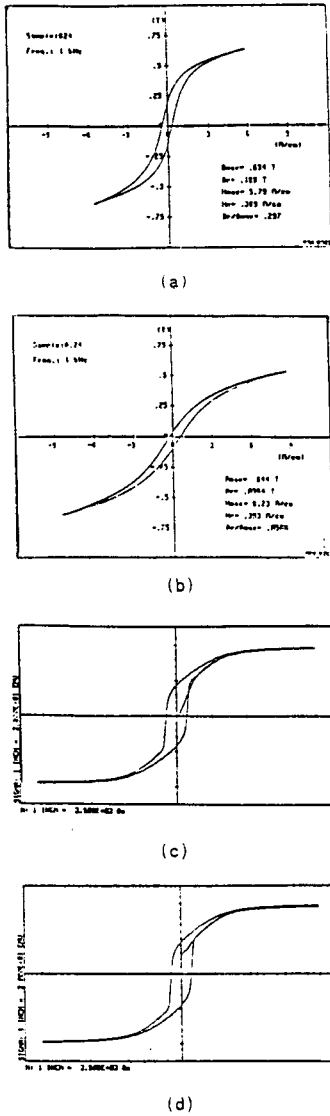


그림 2. Fe-Ni 박막과 Co-Ni 박막의 보자력
 (a) Fe-Ni 박막의 종방향(//) 보자력
 (b) Fe-Ni 박막의 횡방향(⊥) 보자력
 (c) 20Co-80Ni 박막의 종방향(//) 보자력
 (d) 20Co-80Ni 박막의 횡방향(⊥) 보자력

Fig. 2. Coercive force of Fe-Ni and Co-Ni thin film.
 (a) longitudinal coercive force(H_c , //) of Fe-Ni thin film.
 (b) transverse coercive force(H_c , ⊥) of Fe-Ni thin film.
 (c) longitudinal coercive force(H_c , //) of 20Co-80Ni thin film.
 (d) transverse coercive force(H_c , ⊥) of 20Co-80Ni thin film.

결과는 Fig. 2의 (c), (d)와 같았다. 이 실험에서 얻은 Co-Ni 박막의 종방향(//) 보자력은 5.89 A/cm이었고, 횡방향(⊥) 보자력은 5.90 A/cm이었다.

즉 Co-Ni 박막의 보자력은 Fe-Ni의 보자력 보다 종방향으로 16배, 횡방향으로 15배가 더 크다는 것을 알 수 있었다. 따라서 Co-Ni 박막은 민감한 자기센서용 재료로는 부적합할 것으로 추측되나 그 저항온도계수가 Fe-Ni($1.4 \times 10^{-3}/\text{deg}$)보다 작고($1 \times 10^{-4}/\text{deg}$) 내식성이 강하므로 열악한 환경하에서의 내구성은 Fe-Ni 보다 우수할 것으로 추측된다.

2. 박막의 포화자속밀도

진공증착된 박막시료의 포화자속밀도(B_s)를 측정된 결과는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 (a)는 Fe-Ni 박막의 포화자속밀도를 보기 위한 자기 이력곡선이고, (b)는 Co-Ni 박막의 포화자속밀도를 보기 위한 B-H 이력곡선이다. Fe-Ni 박막의 포화자속밀도는 그 두께에 따라서 0.65~0.68 T의 자속밀도를 보이고 있는데 이는 원재료(압연강판, 두께 0.3mm)의 포화자속밀도 0.75 T 보다 11% 정도 작은 값에 해당된다. 이와 같은 현상은 정확한 두께 측정이 어렵고 진공 증착과정에서 시료 중에 함유된 각 원소의 것으로 사료된다. 한편 Co-Ni 박막의 포화자속밀도는 0.66 T로써 Fe-Ni 박막의 포화자속밀도와 거의 같은 값을 보이고 있다.

3. Fe-Ni의 자기-저항 변화율

Fig. 4의 (a), (b), (c), (d)는 각각 진공증착된 Fe-Ni 박막을 573 K로 가열한 후 1kG의 자장중에서 자냉시켜서 자기 이방성을 부여시킨 다음 다시 50, 100, 150, 200 Oe의 자장속에서 수평 방향으로 360° 회전시키면서 회전각 변화에 대한 저항율의 변화를 측정된 결과이다. 이들 결과들은 각도에 따라 약간의 주기성을 보이고 있으나 그 주기현상이 매우 불안한 상태를 보이고 있다. 이와 같은 현상을 규명하기 위하여 AES를 행하여 본 결과는 Fig. 5, 6, 7과 같다.

Fig. 5는 진공증착 직후의 Fe-Ni 박막을 AES 분석한 결과인데 그림에서와 같이 Ni, Fe, Mo, Mn peak들을 확인할 수 있었다. 그러나 자냉처리 후의 AES는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 다량의 탄소(33.09 At%)와 산소(39.55 At%)가 박막에 침투되어 있음을 확인할 수 있었다. 박막에 침투된 이 O와 C는 자냉처리 공정중에

침투된 불순물로서 전혀 예상하지 못한 결과였다.

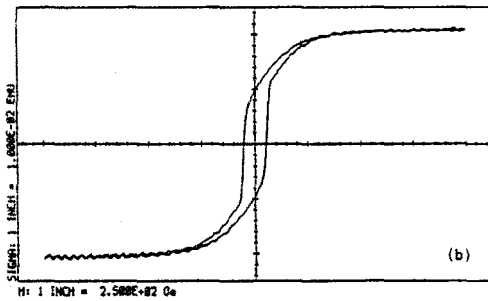
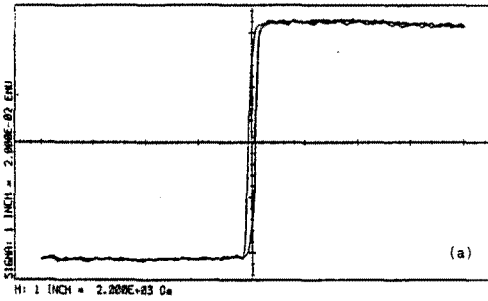
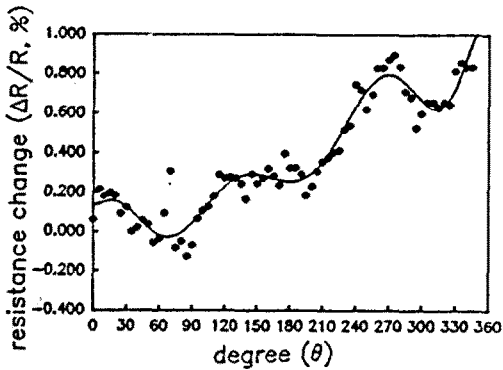


그림 3. Fe-Ni 박막과 Co-Ni 박막의 포화자화

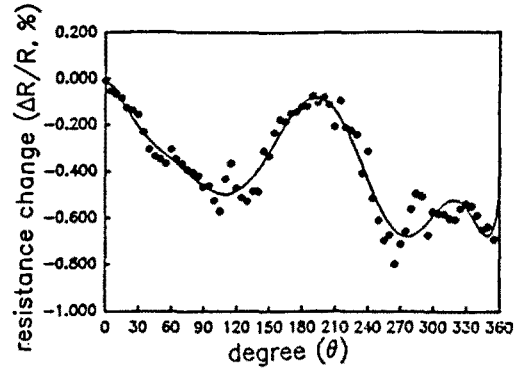
- (a) Fe-Ni 박막(5390Å)
- (b) 20Co-80Ni 박막(3000Å)

Fig. 3. Saturation magnetic induction of the Fe-Ni and Co-Ni thin film.

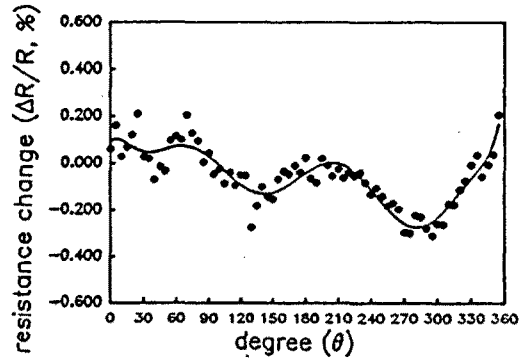
- (a) Fe-Ni thin film (5390Å).
- (b) 20Co-80Ni thin film(3000Å).



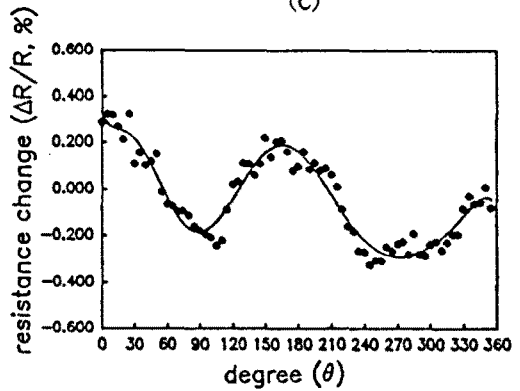
(A)



(B)



(C)



(D)

그림 4. 자장중에서 모리브텐 퍼머로이 박막의 저항 변화율(ΔR/R)에 미치는 자장의 영향

- (a) 50 Oe. (b) 100 Oe. (c) 150 Oe.
- (d) 200 Oe. (MC : 250 Oe.)

Fig. 4. Effect of magnetic fields on the resistance change(ΔR/R) of Mo-permalloy thin film in magnetic field of (a) 50 Oe., (b) 100 Oe., (c) 150 Oe., and (d) 200 Oe. (MC : 250 Oe.).

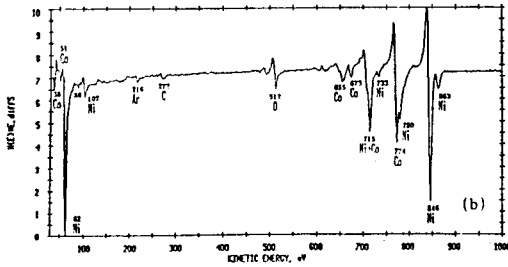


그림 5. 진공증착된 Fe-Ni 박막의 AES
Fig. 5. Auger electron spectroscopy of vacuum coated Fe-Ni thin film.

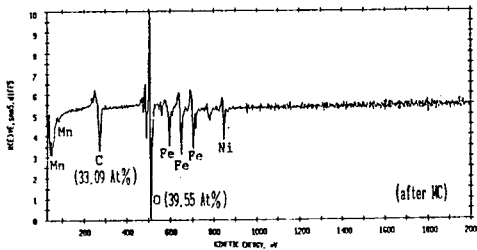


그림 6. 자냉처리된 Fe-Ni 박막의 AES
Fig. 6. Auger electron spectroscopy of magnetic annealed Fe-Ni thin film.

이렇게 O와 C가 침투된 박막의 표피를 스퍼터링법으로 그 표면층으로부터 깊이 방향으로 300Å을 제거한 후에 실시한 AES분석 결과는 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서와 같이 박막의 내부에는 O와 C가 전혀 존재하지 않는 것으로 미루어 보아 이 O와 C는 증착 후 자냉처리장치까지의 운반도중과 자냉처리공정중에 침투된 것으로 간주된다.

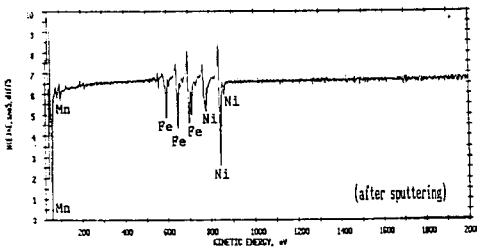


그림 7. 스퍼터링된 Fe-Ni 박막의 AES
Fig. 7. Auger electron spectroscopy of sputtered Fe-Ni thin film.

이와 같이 박막에 침투된 O와 C가 박막과 반응하여 생성될 수 있는 반응생성물을 조사하여 본 결과는 표 1과 같다. 그 반응생성물이 너무 많아서 binary만을 정리하였다. 이 표 1에서 화학적 친화력이 강한 Fe 화합물의 구조를 살펴보면 Fig. 8과 같았다.

Fig. 8의 (a)는 4개의 산소원자로 형성된 tetrahedral site에 Fe원자가 들어가서 형성된 ϵ phase의 FeO의 구조인데 그 symmetry는 cubic이다. 한편 6개의 산소원자 또는 탄소원자가 형성시킨 octahedral site에 Fe 원자가 들어가서 형성된 perovskite 구조의 Fe_4O 와 Fe_4C 의 구조는 Fig. 8의 (c)와 같으며 그 symmetry는 역시 cubic이다. 이 ϵ phase의 FeO(a)와 perovskite 구조의 Fe_4O 또는 Fe_4C (c)가 결합하여 Fig. 8의 (b)와 같이 spinel 구조를 갖는 η -phase의 Ferrite가 형성되는데 이와 같이 형성된 산화물들의 입계와 입계 사이의 접촉저항이 박막의 전기저항을 증가시킴과 동시에 그 상태가 매우 불안정하여 박막의 자기-저항이 본연의 특성을 상실하고 Fig. 4에서와 같은 교란이 야기되는 것으로 추측된다.

한편 박막에 침투된 탄소원자의 농도가 5~6%에 도달하면 orthorhombic 구조의 Cementite(Fe_3C)가 형성될 것으로 추측되는데^[22] 이 Cementite는 경도가 매우 높으면서도(약 BH 820으로 추정됨^[22]) 그 구조가 아주 불안정하다. 이것이 박막의 내부에서 전도전자를 교란시키는 scattering center로 작용하여 전도전자를 산란시켜 자기-저항의 교란을 가중시키고 잡음을 야기시키는 것으로 추측된다.

Fig. 8의 (e)와 (f)는 Octahedral site에 탄소원자가 들어가는 경우를 보인 것인데 이와 같이 Octahedral site에 탄소원자가 들어가면 c축이 2.78Å에서 3.88Å로 약 35% 정도 팽창되고 b축은 2.87Å에서 2.75Å로 약 6% 가량 수축되면서^[22] 엄청나게 큰 전단응력이 박막의 내부에 야기되는 것으로 추측된다.

또한 이 구조의 마르텐사이트가 상온에서 매우 불안정하여^[22] 탄소원자의 거동에 따라 불규칙적으로 생성 소멸되면서 자냉처리과정에서 자장방향으로 길게 성장된 자구를 절단 교란시켜 Fig. 4에서와 같은 자기-저항의 불안정성을 유발시킨 것으로 추측된다.

이러한 결합들의 종합적인 영향은 Fig. 9의 자기 이력곡선에서 찾아 볼 수 있다. Fig. 9는 Fe-Ni 박막의 두께를 300Å로 아주 얇게 증착한 후 자냉처리과정에서 산소와 탄소가 침투되도록 하여 그 자기 이력곡선을 관측한 것이다. 곡선에서 보는 바와 같이 두 개의 절곡점이 나타나고 있는데 이 절곡점은 박막내부에 hard phase가 생성되어 박막이 two phase로 이루어져 있음을 보여 주는 것으로 앞에서의 설명을 입증하여 주는 것으로 판단된다.

표 1. 금속화합물의 화학식
Table 1. Chemical formulae of some metal compounds

	O	C
Ni	NiO (rohm) β NiO (ord fcc)	C-Ni (Carbon-Nickel) solubility of C in liquid Ni
Fe	ε FeO (Cu) η Fe ₂ O ₃ (rohm) ξ Fe ₃ O ₄ (Cu) Fe ₄ O	Fe ₃ C (ortho), ε Fe _{2.3} C(hex) x Fe _{2.2} C or Fe ₅ C(ecm) Fe ₇ C ₃ , Fe ₂₀ C ₉ Fe ₄ C (Cu), Fe ₂ C (hex or ortho)
Mo	MoO ₃ (900~1000°C) MoO ₂ , MoO ₆ , Mo ₂ O ₇	γ MoC(hex), δ-α Mo ₃ C ₂ (ord fcc) θ Mo ₂ C (hcp), θ Mo ₂ C
Mn	MnO, MnO ₂ Mn ₂ O ₃ , Mn ₂ O ₇	ξ Mn ₂₃ C ₆ (fcc) η Mn ₁₅ C ₄ (hex) θ Mn ₃ C(ortho), i Mn ₅ C ₂ (mono) μ Mn ₇ C ₃ (hex)

[1] Taylor Lymam, ASM, *Metal Handbook* 8th ed., vol. 8, pp. 350-370, 1973.

[2] F.A. Cotton and G. Wilkinson, *Advanced Inorganic chem.* 5th ed., pp. 705-810, 1988.

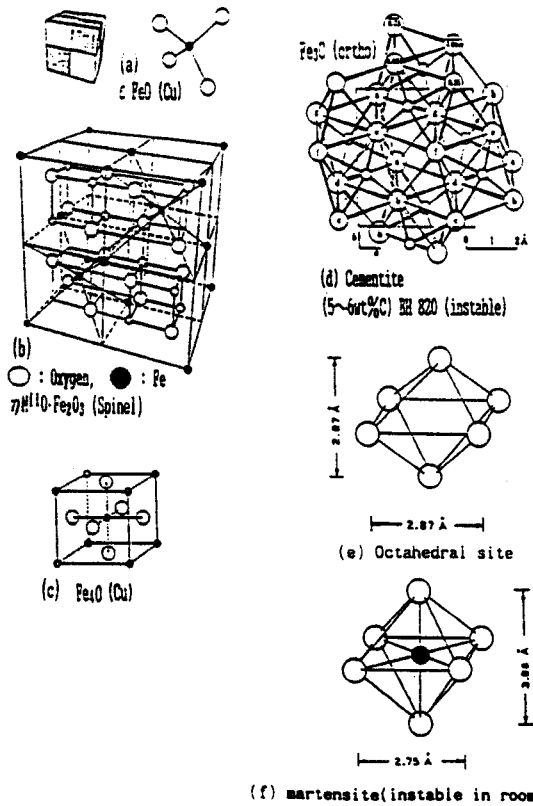


그림 8. 금속 화합물의 결정구조

(a) ϵ FeO(Cu), (b) $\eta M^{11}O \cdot Fe_2O_3$ (스피넬) (c) Fe_4O (Cu), (d) 세멘다이트, (e) 8면체형공간, (f) 마르텐사이트(상온에서 불안정)

Fig. 8. Crystal structure of metal compounds.

(a) ϵ FeO(Cu), (b) $\eta M^{11}O \cdot Fe_2O_3$ (Spinel), (c) Fe_4O (Cu), (d) Cementite, (e) Octahedral site, and (f) martensite(instable in room temp.)

이상의 결과에서 고찰하여 보면 화학친화력이 강한 철이 함유된 박막은 그 처리과정 중에 산소와 탄소의 침입을 적극적으로 방지해야만 될 것으로 사료된다. 한편 센서의 제조과정중에 산소와 탄소의 침입을 방지하였다 하더라도 사용중에 산화 또는 탄화의 취약점이 있으므로 고온이나 열악한 환경하에서 사용되는 센서의 제조에는 Fe-Ni 합금 박막이 매우 부적합할 것으로 사료된다.

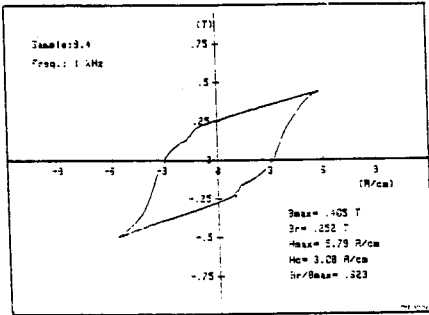


그림 9. 자냉처리된 Fe-Ni 박막의 자기 이력 곡선
Fig. 9. Magnetic hysteresis curve of magnetic annealed Fe-Ni thin film.

4. Co-Ni의 자기-저항 변화율

Fig. 10는 Co-Ni 박막을 673 K로 가열한 후 2kG의 자장중에서 자냉 처리하여 자기 이방성을 부여시킨 다음 Fig. 1의 (b)와 같이 격자형 자기 저항 소자(grid type magnetoresistor)를 형성시킨 후 5~25G의 자장속에서 수평방향으로 360° 회전시키면서 자기-저항 효과를 조사한 결과이다.

그림에서 횡축은 회전각을 나타내고 종축은 저항 변화율로 단위는 %이다. 자장의 세기가 5G인 경우에는 회전각 250°에서 약 1%의 편의를 보이고 있으나 주기성이 확실치 못하다. 자장의 세기가 15G인 경우에서 2.1%의 저항변화율을 보이고 있으나 85°의 주기를 가지고 있어서 그 주기성이 다소 불안전 상태에 있는 것으로 추측된다.

자장의 세기가 25G인 경우에는 3.2%의 저항변화율을 보이면서 90°의 주기성을 가지고 있으나 회전각 330°에서부터 360° 사이에서 저항값의 교란현상이 나타났다. 이상의 결과로 보아서 Co-Ni 자기-저항 소자는 25G미만의 미약한 자장의 감지에는 부적합할 것으로 사료된다.

Fig. 11의 (a), (b), (c)는 각각 Co-Ni 박막을 573 K, 623 K, 673 K로 가열한 후 2kG의 자장중에서 자냉시켜서 자기 이방성을 부여시킨 다음 Fig. 1의 (b)와 같은 격자형 자기 저항 소자를 형성시킨 후 50~150G의 자장속에서 수평방향으로 360° 회전시키면서 자기-저항 효과를 조사한 결과이다. 이들 결과들은 3.6~3.7%의 저항변화율을 보이면서 회전각 90°의 주기성을 뚜렷하게 보이고 있는 것으로 보아서 자냉처리 온도(573~673 K)의 변화가 자기-저항 변화율에 미치는 영향은 지극히 미미한 것으로 사료된다.

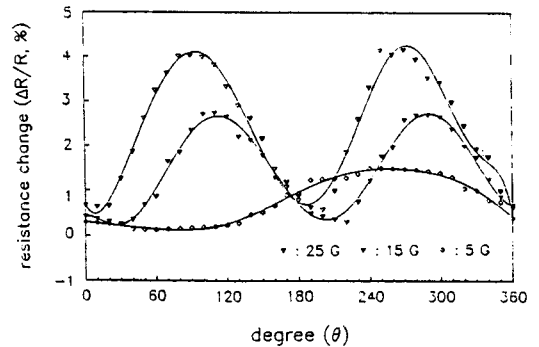


그림 10. 5~25 Gauss의 자장중에서 20% Co-80% Ni 박막의 자기저항 변화율($\Delta R/R$)에 미치는 자장의 영향(자냉처리온도 673 K)

Fig. 10. Effect of magnetic field on the resistance change($\Delta R/R$) of 20% Co-80% Ni thin film in the magnetic field of 5~25 Gauss. The magnetic annealing temperature were 673 K.

이상의 결과로 미루어 보아 Co-Ni 자기-저항 소자는 50~150G의 자장감지에 매우 적합한 소자로 판단된다. 그리고 Fig. 11 (a)~(c)의 결과로부터 Co-Ni 박막으로 자기-저항 소자를 제작할 경우에는 약 70G 정도의 바이어스 자장이 필요할 것으로 예상된다.

Fig. 12(a)는 진공 증착된 20Co-80Ni 박막의 표면 조성을 조사하기 위하여 AES 분석을 실시한 결과이다. 그림에서와 같이 272 eV에서 C peak가 나타났고 510 eV에서 매우 강한 O peak가 나타나 있다. 이들의 경위를 알아보기 위하여 이 박막의 표면을 4 kV의 beam voltage로 40초 동안 스퍼터링하여 두께 200~400 Å 정도의 표면층을 제거한 후에 다시 AES 분석을 실시한 결과는 Fig. 12(b)와 같다. 즉 300Å 깊이의 박막 내부에는 C와 O의 양이 극미량으로 존재하여 Co와 Ni peak가 강하게 나타나는 것으로 미루어 보아 (a)에서 나타난 C와 O는 증착 후로부터 분석시까지의

기간중에 대기와의 접촉에 의해 생긴 것으로 짐작할 수 있으며 이로부터 이는 시료의 취급을 개선함으로써 방지가능할 것으로 사료된다.

한편 진공 증착된 Co-Ni 박막을 10^{-3} torr의 진공 중에서 300°C 로 가열한 다음 2kG의 자장중에서 자냉

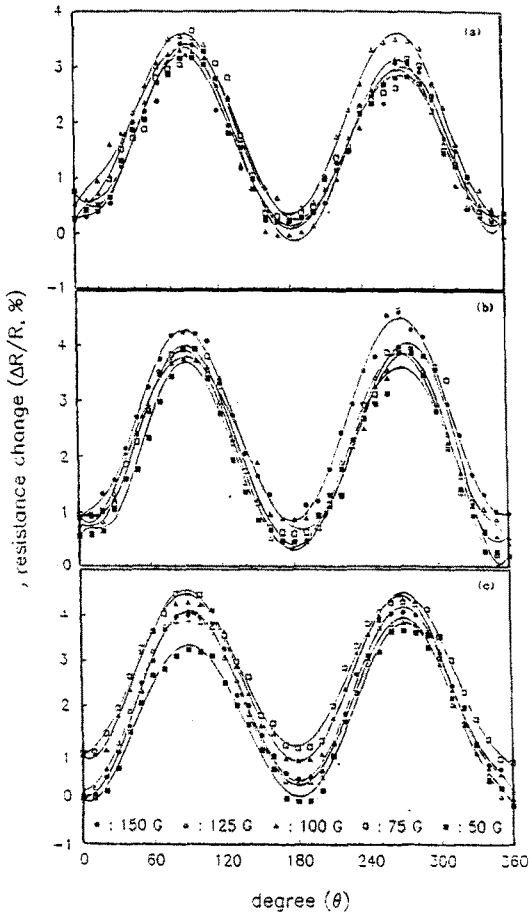


그림 11. 50~150 Gauss의 자장중에서 20% Co-80% Ni 박막의 자기저항 변화율($\Delta R/R$)에 미치는 자장의 영향

- (a) 자냉처리온도 573 K
- (b) 자냉처리온도 623 K
- (c) 자냉처리온도 673 K

Fig. 11. Effect of magnetic field on the resistance change($\Delta R/R$) of 20% Co-80% Ni thin film in the magnetic field of 50~150 Gauss.

- (a) The magnetic annealing temperature were 573 K.
- (b) The magnetic annealing temperature were 623 K.
- (c) The magnetic annealing temperature were 673 K.

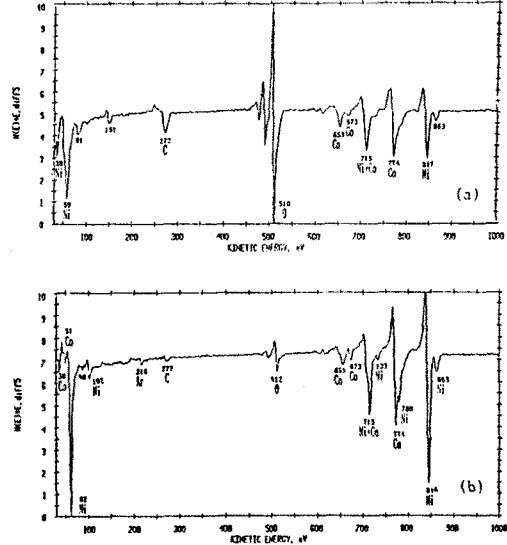


그림 12. 진공증착된 20Co-80Ni 박막의 AES
(a) 표면분석
(b) 내부분석(표면으로부터 300Å)

Fig. 12. Auger electron spectroscopy of vacuum coated 20Co-80Ni thin film.

- (a) surface analysis.
- (b) internal analysis(300Å deep from surface).

처리한 Co-Ni 박막의 표면조성을 조사하기 위하여 AES분석을 실시한 결과는 Fig. 13(a)와 같다. 이 분석 결과는 Fig. 12(a)에서와 같이 박막의 표면에 C와 O가 존재하는 것을 보이고 있는데 이 표면을 4 kV의 beam voltage로 40초 동안 스퍼터링하여 300~400Å 정도의 표면층을 제거한 후 다시 AES 분석을 실시한 결과는 Fig. 13(b)와 같이 C peak는 완전 소멸되었고, O peak는 미약하게 잔존하고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 소자의 제조 공정을 개선하면 이들 O와 C의 오염을 방지할 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 14(a)는 차동 MR 센서(Co-Ni, 격자형)의 저항과 자계와의 관계를 조사한 것으로 종축은 센서의 출력저항으로 단위는 ohm이며 횡축은 인가된 자계의 세기로 단위는 Oe.이다. 자장이 증가함에 따라 센서의 저항은 0.25 ohm/Oe.의 속로 감소되어 400 Oe.에서 포화치에 도달하였다. 이 결과를 보면 zero 자장 부근에서 감도가 저조하고 70 Oe. 부근에서 부터는 뚜렷한 저항변화를 보이므로 이 센서는 70 Oe. 정도의 자기 바이어스를 인가시키면 실용화가 가능할 것으로 보인다. 또한 출력신호를 적당히 증폭시키면 미소한

자장의 측정도 가능할 것으로 추측된다.

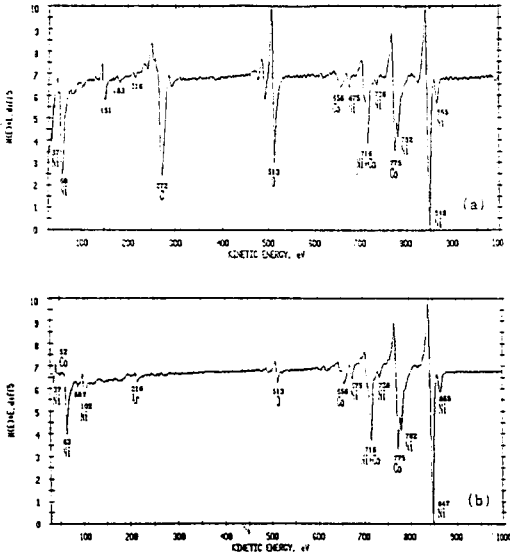


그림 13. 자냉처리된 20Co-80Ni 박막의 AES
(a) 표면분석 (b) 내부분석(표면으로부터 300Å)

Fig. 13. Auger electron spectroscopy of magnetic annealed 20Co-80Ni thin film.
(a) surface analysis.
(b) internal analysis(300Å deep from surface).

Fig. 14(b)는 (-)420 Oe.로부터 (+)420 Oe.의 범위에서 차동 MR 센서(Co-Ni, 격자형)의 동특성(dynamic characteristic)을 조사한 것으로 인가 자장의 극성에 따라서 대칭적으로 변화하는 출력전압을 보이고 있다. 400 Oe. 부근에서 대칭적인 포화값을 보이고 있으나 100 Oe.의 저자장 부근에서 넓은 자기이력현상을 보이고 있는 것은 박막의 결정입(grain)이 조대화(粗大化)된데 기인하는 것으로 박막의 증착시에 기판의 온도를 저하시키거나 자냉처리시간의 단축 또는 박막의 두께를 보다 얇게 하므로써 개선될 수 있을 것으로 사료되는데 이 부분의 연구는 다음 기회로 미룬다.

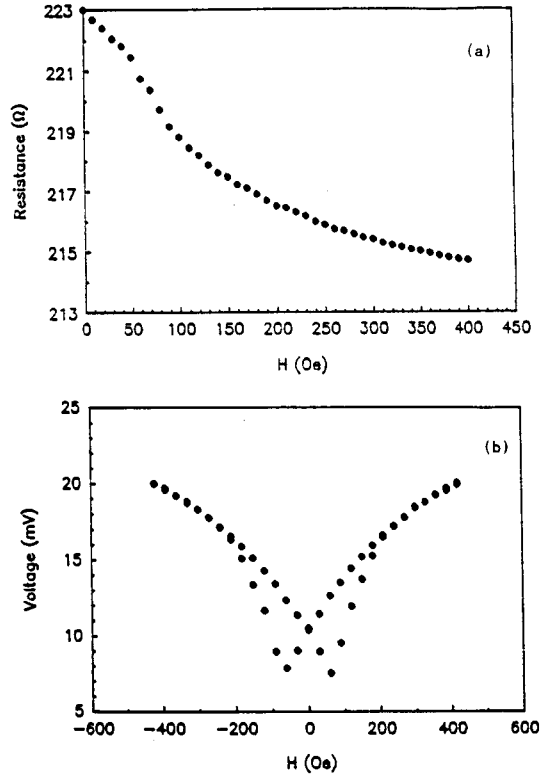


그림 14. 차동 강자성 자기저항 센서(20Co-80Ni, 격자형)의 저항에 미치는 자장영향

Fig. 14. Effect of magnetic field on the resistance of the differential ferromagnetic magnetoresistance sensor(20Co-80Ni, grid type).
(a) Relation between the resistance change and magnetic field.
(b) Dynamic characteristic of the MR sensor(20Co-80Ni).

IV. 결 론

자기-저항 센서를 제작하기 위하여 Fe-Ni 합금과 Co-Ni 합금을 슬라이드 그라스와 Si-wafer에 진공 증착하여 sensor element를 제작한 후, 포화 자속밀도(B_s), 보자력(B_c), 자기-저항 변화를 등을 조사한 결과 다음과 같았다.

1. Fe-Ni 합금 박막의 포화자속 밀도는 0.65 T이고 20Co-80Ni 박막의 포화자속밀도는 0.66 T이다.
2. Fe-Ni 박막의 보자력은 0.370A/cm(//), 0.390A/cm(⊥)이고 Co-Ni 박막의 보자력은 5.895A/cm(//),

- 5.898A/cm(⊥)이다.
3. Fe-Ni 자기-저항 소자의 자기-저항 변화율($\Delta R/R$)은 그 제조 공정중의 극심한 산화로 인하여 매우 불안정하다. 그러나 20Co-80Ni 자기-저항소자의 자기-저항 변화율($\Delta R/R$)은 3.6~3.7%에 달하며 제조공정중의 산화현상이 극미하고 실온에서 매우 안정하다.
4. Fe-Ni 박막은 화학 친화력이 강하여 자기-저항소자의 제조공정중에 많은 문제점을 야기시키지만 Co-Ni 합금은 친화력이 작고 자기-저항 효과가 뚜렷하여 자기-저항 소자용 재료로 매우 적합할 것으로 사료된다.

참고문헌

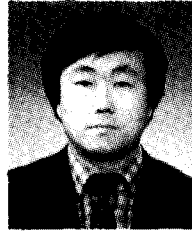
- [1] Hebbert R.S. and Schwee L.J., *Rev. Sci. Instrum.*, 37, 1321, 1966.
- [2] Irons H.R. and Schwee L.J., *IEEE Trans. Magn.* MAG-8, 61, 1972.
- [3] Vincent J.L., *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 11, L 29, 1987.
- [4] Batles H.P. et al, proc. Conf. 'Sensor 82' Essen 176, 1982.
- [5] Gebhardt O. and Richter W., *Exp. Tech. Phys.*, 30, 963, 1982.
- [6] Hoffman G.R. and Birtwistle J.K., *J. Appl. Phys.*, 53, 8266, 1982.
- [7] Hoffman G.R., Birtwistle J.K., and Hill E.W., *IEEE Trans. Magn.*, MAG-19, 2139, 1983), *J. Appl. Phys.*, 53, 8266.
- [8] Kwiatkowski W., Stabrowski M., and Tumanski S., *IEEE Trans. Magn.*, MAG-19, 2502, 1983.
- [9] Tumanski S., *IEEE Trans. Magn.*, MAG-20, 1720, 1984.
- [10] de Ridder R.M. and Fluitman J.H., *IEEE Trans. Magn.*, MAG-20, 960 1984.
- [11] Hoffman G.R., Hill E.W. and Birtwistle J.K., *IEEE Trans. Magn.*, MAG-20, 957, 1984.
- [12] Kwiatkowski W., Baranwski B., and Tumanski S., *IEEE Trans. Magn.*, MAG-20, 966, 1984.
- [13] Patel K. and H.I., *Int. J. Electron.*, 43, 387, 1977.
- [14] Bajorek C.H., Krongelb S., Romankiw L.T., and Thompson D.A., *IEEE Trans. Magn.*, MAG-20, 813, 1976.
- [15] Ali H. and Patel K., *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, 11, 515, 1978.
- [16] Groenland J.P., *IEEE Trans. Magn.*, MAG-20, 969, 1984.
- [17] Dibbern U. and Petersen A., *EL. Comp. Appl.*, 5, 148, 1983.
- [18] Petersen A.J., Proc. Conf. 'Automotive Electron.', London 8, 1983.
- [19] Ching Tsang, *J. Appl. Phys.*, 55(6), 15(1984).
- [20] Sensor Review, 9(3), 156, 1989.
- [21] 白壽鉉 역편 "센서핸드북" 도서출판 世和, pp. 347-348, 1990.
- [22] G.A. chadwick: *Metallography of phase transformation*; pp.38-40, Butter worths, 1972.

著 者 紹 介



張 忠 根

1965년 충남대학교 물리학과 졸업. 1968년 충남대학교 대학원 이학석사. 1980년 한양대학교 대학원 공학박사(금속물리 전공). 1966년 충남대학교 물리학과 조교. 1971년 충남대학교 물리학과 전임강사. 1985년 충남대학교 자연과학대학 교수. 1992년 현재에 지함. 관심분야 자기센서.



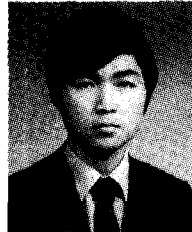
宋 宰 鏞

1986년 충남대학교 물리학과 졸업. 1991년 충남대학교 대학원 이학석사. 1991년 충남대학교 물리학과 조교. 전공 응용물리.



柳 仲 烈

1982년 한남대학교 물리학과 졸업. 1984년 충남대학교 대학원 이학석사. 1989년 충남대학교 자연과학대학 조교. 1992년 동 대학원 박사과정 재학중. 전공 응용물리.



尹 晚 榮

1987년 충남대학교 물리학과 졸업. 1990년 충남대학교 대학원 이학석사. 1991년 충남대학교 대학원 조교. 1992년 동 대학원 박사과정 재학중. 전공 응용물리.



朴 宰 瑩

1989년 충남대학교 물리학과 졸업. 1992년 충남대학교 대학원 이학석사. 1991년~현재 (주)원다레이저 연구원. 전공 응용물리.



孫 大 洛

1979년 충남대학교 물리학과 졸업. 1981년 한국과학원 물리학과 이학석사. 한국표준과학연구원 선임연구원. 1990년 Univertaet der Bundeswehr Hamburg 공학박사. 1992년 한남대학교 물리학과 교수. 관심분야 자기측정. 자기센서.