

논문 94-3-1-10

강자성체 박막(Co-Ni)의 자기-저항효과에 관한 연구(II)**

張忠根*, 柳仲烈*, 南善祐**, 孫大洛***

Magnetoresistive Effect in Ferromagnetic Thin Films(II)

C. J. Chang, J. Y. Yoo, S. W. Nam, and D. R. Son

요 약

강자성체 자기저항 센서를 개발하기 위하여 70Ni-30Co 합금을 10^{-6} Torr의 진공중에서 250°C 의 슬라이드 그라스 위에 두께 600Å으로 진공증착한 후 박막을 격자형으로 식각하고 인출선을 연결하였다. 이와 같은 과정으로 제작된 센서의 자기저항 변화율에 미치는 온도, 저항, 선폭 등의 영향을 조사하고 보자력, 포화자화, 최대유효감도, 지연시간, 회전율, 백색잡음, 분해능 등을 조사 분석한 결과, (70Ni-30Co) 합금을 기판온도 250°C 에서 두께 600Å으로 진공증착하면 결정자기 이방성이 형성되어 자기저항 소자로서의 기능이 자발적으로 구비되면서 230 nT의 최대유효감도가 구비됨을 확인하였다. ± 10 Oe의 자장구간에서는 직선적인 자기저항변화를 보였으며, 센서소자를 형성하는 격자선의 폭에 대한 길이의 비가 클수록 자기저항 값이 증가함을 알 수 있었다. 한편 센서 소자와 인출선을 인듐으로 연결시키면 저항온도계수가 $8 \times 10^{-3}/\text{deg}$ 로 증가되어 센서 본연의 저항온도계수($1 \times 10^4/\text{deg}$)가 매우 심하게 열화된다는 것을 알 수 있었다. 이 실험에서 제작된 강자성박막(70Ni-30Co)의 특성은 보자력이 5.1 A/cm이고 포화자화가 0.64T 이었는데, 이 박막으로 제작한 자기저항 센서의 지연시간은 5 μs 이었고 회전율(slew rate)은 0.39 Oe/ μs 이었으며 백색잡음은 -120 dB 정도이었다.

Abstract

Grid type 70Ni-30Co thin films on slide glass at 250°C has been fabricated to develop. From fabricated sensors using above process, we investigated the relation of temperature, resistivity, line width to magnetoresistance and we obtained the following results after observation of coercive force, saturated magnetization, maximum usable sensitivity, delay time, slew rate, white noise, resolution of the sensors. We confirmed that the 600Å thin film at 250°C formed crystalized magnetic anisotropy spontaneously and the sensor using the thin film had capability of detecting magnetic field with sensitivity of 230 nT. In these devices, the magnetoresistance change was increased linearly in ± 10 Oe range, and the magnetoresistance effect was increased when the ratio between line width and length was increased. When the devices was soldered using indium, the temperature-resistivity coefficient showed $8 \times 10^{-3}/\text{deg}$ and increased during the specific properties as magnetic field sensor were weakened. In this studies, the coercive forces of the films were about 5.1 A/cm and saturated magnetizations were 0.64 T, and the delay time in these devices was 5 μs and slew rate showed 0.39 Oe/ μs and white noise was -120 dB.

* 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 : 1993년 9월 8일>

※ 본 연구는 한국과학재단-경북대학교 센서기술연구소의 연구비 지원으로 수행되었음.

I. 서 론

강자성 박막의 자기-저항 효과는 자장을 변화시키면 전기저항이 변화되는 현상으로 이 현상을 자장 측정에 활용하기 위한 연구가 1966년에 Hebbert와 Schwee에 의하여 시작되어 그동안 많은 연구가 수행되어 왔다.^[1-11]

Iron과 Schwee^[2]의 연구에 의하면 1~100kHz 구간

에서 자장측정 정밀도는 5% 이내이고 측정범위는 1 mT 이하이며 분해능은 1nT 로 알려진 바 있다. 강자성박막의 자기저항 효과를 이용한 자장센서는 사용 온도 범위가 「홀」효과를 이용한 반도체 센서에 비하여 넓기 때문에 그 용도가 다양하다. 예를 들면 강자성박막 자기저항 센서는 자장, 진동, 압력, 가속도 등의 측정에 이용될 수 있으며^[13] 또한 무접점 전기스위치나 컴퓨터의 키보드 또는 자동차의 전자점화 등에 활용될 수 있어서^[14,15] 이에 대한 연구가 매우 활발히 진행 중에 있다.

본 연구에서는 강자성체 자기저항 센서를 제작하기 위하여 슬라이드 그라스에 70Ni-30Co 합금을 두께 600Å으로 진공증착한 후 박막을 격자형으로 식각하여 센서를 제작하고 자기저항 변화율에 미치는 온도, 저항, 선평 등의 영향과 보자력, 포화자화, 최대유효감도, 지연시간, 회전율, 백색잡음, 분해능 등을 조사 분석하여 본 결과 ± 10 Oe 의 자장 구간에서 직선적인 반응을 보이면서 230 nT 의 최대유효감도를 갖고 있음이 확인되었다.

관련 증착된 박막의 보자력은 5.1A/cm 이었고 포화자화값은 0.64T이었다. 그리고 제작 완료된 센서의 지연시간은 5 μ s 이었고 회전율(slew rate)은 0.39 Oe/ μ s 이었으며 백색잡음은 -128.76 \pm 3.79 dB 이었다. 그리고 1 Hz 대역폭에서의 분해능은 -132.4 \pm 2.03 dB 이었다.

II. 실험방법

1. 박막시료의 제작

Ni-Co(70Ni-30Co, 4N) 합금을 10⁻⁶torr의 진공에서 진공증착하여 박막을 제작하였다. 이때 사용한 증발히터는 바스켓형 텅스텐에 질코니아(ZrO₂)를 피복한 필라멘트를 사용하였다. 박막의 형상은 스테인레스 마스크를 사용하여 직경 13mm ϕ 의 원형과 13mm \times 13mm의 방형(方形)으로 제작하였다.

기판은 크기가 15mm \times 15mm 이고 두께가 0.3mm인 현미경용 슬라이드 그라스(Coening 0221, Germany)를 사용하였으며 그 내부의 응력을 제거하기 위하여 진공중에서 400 $^{\circ}$ C로 24시간 동안 소둔(annealing)하였다. 기판의 세척은 불순물을 제거하기 위하여 증성세제(trio) 및 증류수 속에서 초음파세척한 다음 증크롬산 혼액(K₂Cr₂O₇+H₂SO₄)에서 10시간 정도 침적시키고

증류수와 알콜로 세척하였다. 또한 증착직전에 기판을 T.C.E(Trichloro Ethylene)알콜로 초음파 세척하고 순간적인 건조를 위하여 증기세정을 행하였다. 증착중에 기판온도를 측정하기 위하여 0.5mm ϕ 의 알루미늄 크로멜 열전대를 기판의 뒷면에 접촉시켰다.

증착시의 진공도는 기계식펌프(mechanical pump, 배기속도 350 l/min), diffusion pump(배기속도 400 l/min)로 구성된 진공장치를 구동시켜 4 \times 10⁻⁶ torr 로 유지시켰다. 이 실험에 사용한 진공증착장치는 Edward (#E-306)을 사용하였다. 증착방법으로는 glass 기판을 기판가열기로 200~350 $^{\circ}$ C로 가열 유지하면서 증착하였다. 증발용 필라멘트에 인가시킨 전류는 30A이었고 증착두께의 재현성을 위하여 증발원료는 200mmg씩 일정량을 넣었다. 증착속도는 0.7~4.3Å/sec 로 하였으며 증착막의 두께는 센서의 민감도를 감안하여 600Å 두께로 증착하였다.

2. 측 정

포화자화는 시료진동형 자력계(vibrating sample magnetometer LDJ #9000)를 사용하여 M-H curve를 얻은후 포화자화 값을 산출하였다. 박막의 보자력 측정은 1 kHz 의 주파수에서 자기이력 곡선을 측정할수 있는 loop tracer 를 제작하여 측정하였다.^[12]

시편의 자기 저항변화는 그림 1과 같이 식각된 시료를 50~250 Oe의 자장범위에서 4-단자법으로 자기-저항 변화를 조사하였다. 이 실험에 직류전원장치와 멀티미터(5digit, H/P#3490, USA) 및 Helmholtz코일(ANAC #3471, USA)을 사용하였다. 한편 자기저항(MR) 소자의 온도특성을 조사하기 위하여 헬륨저온장치(closed cyclecryogenics APD HC- 2, USA)를 사용하였고, 자장중 냉각효과(magnetic cooling effect)를 조사하기 위하여 로터리 펌프(배기속도 350 l/min), 유확산 펌프(배기속도 400 l/min), 자작 전기로, 전자석(Cenco #79637-055, USA) 등을 사용하였다.

MR 센서의 동 특성을 조사하기 위하여 그림 2와 같이 설치된 자장인가코일(field coil)에 함수발생기(function generator HP#3310B)로 부터 0~20kHz의 구형파(square wave)를 증폭기(OP-amp, 자작)로 증폭시켜 자장인가코일에 인가하고 자장인가코일의 중심부에 차동형 MR 센서를 삽입하였다. 이때 차동형 MR 센서의 출력신호를 미분증폭기(differential amplifier HP #8875A)로 증폭하여 오실로스코프(Oscilloscope

Goldstar #V-1100-A)에 접속시킨후 스크린에 형성된 파형의 소인시간과 진폭을 관측하여 지연시간(delay time)과 회전율(slew rate)을 구하였다. 그리고 그림 2의 자장인가코일에 사인파(sine wave)를 입력시키고 차동형 MR 센서로부터 출력된 신호와 입력 신호의 진폭비를 구하여 Bode diagram 을 작도한후 -3dB point에서의 대역폭(band width)을 구하였다.

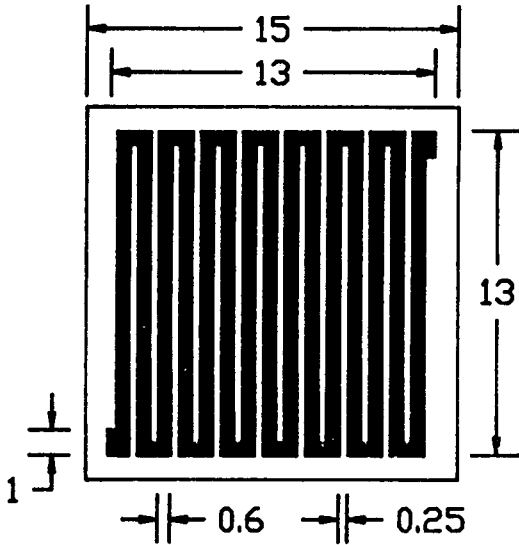


그림 1. 격자형 자기저항 소자의 설계
Fig. 1. Design of grid type magnetoresistor pattern.

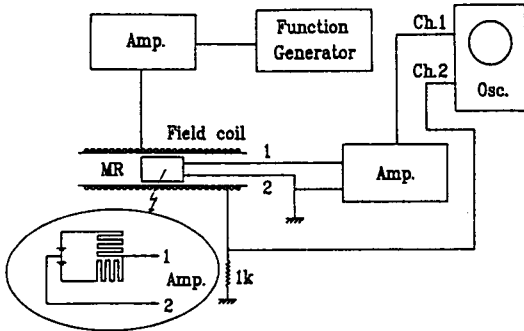


그림 2. 자기저항 소자의 동특성 측정장치
Fig. 2. Schematic diagram of dynamic characteristic measuring system of the magnetoresistance sensor.

다음으로 파형분석기(dual channel signal analyzer Brüel & Kjaer #2304)를 사용하여 백색잡음과 분해능을 관측하였다. 이 관측에서 파형간격(Frequency span)은 1Hz 로 설정한 후 1Hz 대역폭에서의 분해능을 구하였다. 센서의 최대유효 감도(maximum usable

sensitivity)는 그림 2의 자장인가코일을 자기차폐시키고, 이 coil에 제 2의 loop coil 을 근접 설치한 후 coil 에 흐르는 미소 전류에 의해서 유기된 자장에 대한 센서의 반응을 관측하여 구하였다.

III. 실험결과 및 검토

1. 박막의 보자력

그림 3 은 Ni-Co 박막의 종방향 보자력(H_c)에 미치는 Ni 함량의 영향을 시료진동형 자력계(LDJ #9000)로 조사한 결과로서 50 wt% Ni-Co박막(두께 3000Å)의 H_c 는 5.9 A/cm 이었고 Ni의 함량이 증가됨에 따라 H_c 가 감소되었으며 70%Ni 에서는 H_c 가 5.1 A/cm 로 감소되었다. 그 후 Ni 함량이 증가됨에 따라 H_c 가 증가되어 90% Ni에서의 H_c 는 6.7 A/cm 에 도달하였다. 즉 70Ni-30Co 조성에서 가장 작은 H_c 값(5.1 A/cm)이 나타나고 있다. 강자성 자기저항 소자는 H_c 가 작을수록 민감도가 향상될 수 있으므로 저자장 검출에서의 민감도 향상에 기여될 것으로 사료되어 Ni-Co의 조성을 70 : 30으로 하였다.

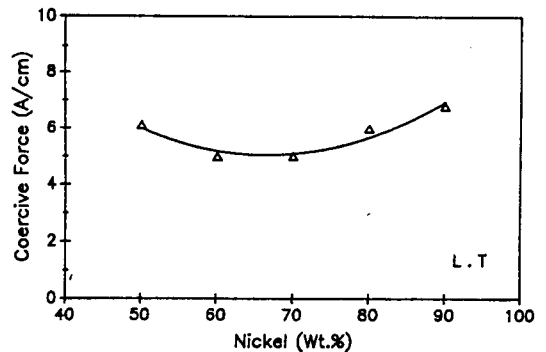


그림 3. Ni-Co박막의 보자력에 미치는 Ni의 영향
Fig. 3. Effect of nickel on the coercive force in Ni-Co thin films.

2. 박막의 포화자속밀도

그림 4는 Ni-Co 박막시료의 포화자화(M_s)에 미치는 Ni의 영향을 시료 진동형 자력계(LDP #9000)로 측정 한 결과로서 50 wt% Ni-Co박막(두께 3000Å)의 M_s 는 0.84T(Tesla)이었고 Ni의 함량이 증가됨에 따라 M_s 가 감소되어 70%Ni에서는 0.64 T로 감소되었다. 그 이후의 Ni 함량증가에는 M_s 값이 안정화되어 90% Ni에서의 M_s 값은 역시 0.64 T가 관측되었다. 이는 Ni의

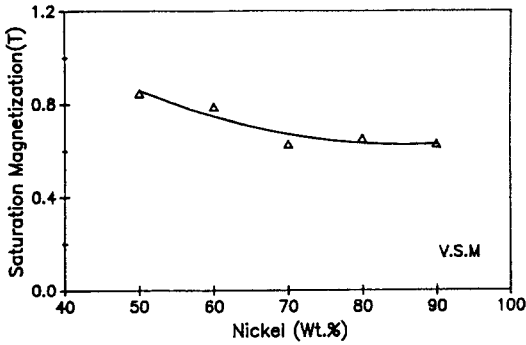
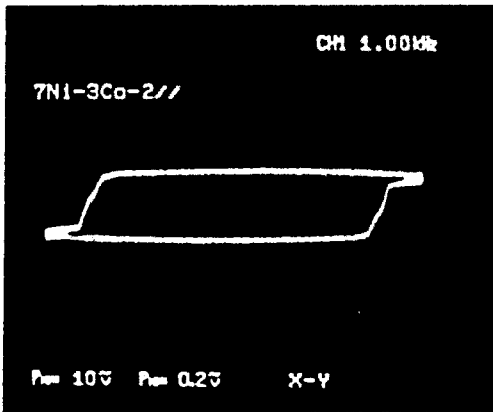
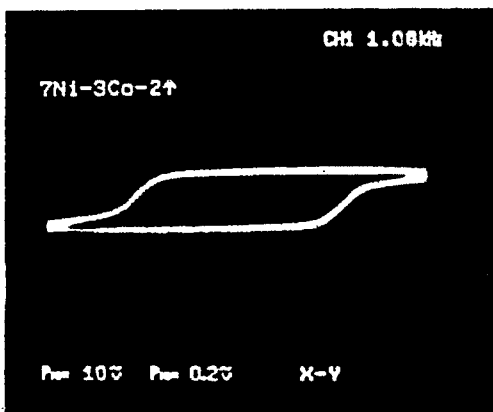


그림 4. Ni-Co박막의 포화자화에 미치는 Ni의 영향
 Fig. 4. Effect of nickel on the saturation magnetic induction in Ni-Co thin films.



(a)



(b)

사진 1. 70Ni-30Co박막의 자기이력곡선 [a : 종방향 (//), b : 횡방향(⊥)]

Photo. 1. Magnetic hysteresis curve of 70Ni-30Co thin films (a : longitudinal direction, b : transversal direction).

포화자화와 유사한 값이다. 따라서, Ni 함량 70% 이

상의 Ni-Co 조성이 MR 센서용 재료의 조성으로 적합한 것으로 사료된다.

사진 1은 두께 600Å 으로 진공 증착된 70Ni-30Co 박막의 자화 특성을 자화 주파수 1 kHz 에서 측정한 자기이력곡선으로 종방향(//)의 자기 이력곡선이 직사각형 모양에 가깝고 횡방향(⊥)의 자기 이력곡선이 기울어져 있는 것으로 보아 증착과정 중에 결정방향이 한쪽 방향으로 나열되어 결정자기이방성 (magneto crystalline anisotropy)이 형성된 것으로 판단된다.

3. 자기저항에 미치는 기판 온도의 영향

그림 5는 진공증착시의 기판온도가 격자형 단소자의 자기저항에 미치는 영향을 200°C, 250°C, 300°C, 350°C 의 각 온도에서 자장의 세기를 50~250 Oe 의 범위로 변화 시키면서 조사한 결과이다.

기판의 온도가 200°C 일때 자기저항 변화율(MR)을 측정된 결과는 그림 5의 (a)와 같다. (a)는 1.4%의 MR 을 보이고 있다. 회전각 90°~180° 구간과 270°~360° 구간에서 50 Oe에서 측정된 MR 값과 250 Oe에서 측정된 MR 값이 편(偏倚)되어 있는데 이때의 편 의율은 0.47% 이었다. 이와 같은 현상은 증착기판의 온도가 낮아서 결정성장이 미흡한 데 기인하는 것으로 사료된다. 기판온도가 250°C일 때의 MR을 측정된 결과인 그림 5의 (b)는 3.2%의 MR을 보이고 있어 (a)의 경우 보다 MR이 1.8% 증가되었으며, MR값의 편 의율은 0.3%로써 (a)의 값에 비하여 36% 이상이 감소되었다. 이와 같이 기판온도 250°C 에서 매우 작은 편 의율이 나타나는 것은 이 온도에서 결정 성장이 안정화되고 결정방향이 한쪽 방향으로 정렬되는 데 기인하는 것으로 추측된다. 기판온도가 300°C 일 때의 MR을 측정된 결과는 그림 5의 (c)와 같다. (c)는 3.0%의 MR 값을 보이고 있는데 이 값은 (b)의 값보다 0.2% 적은 값이며 이 때의 편 의현상은 회전각 180° 부근과 360° 부근에서 나타나고 있으며 그 편 의율은 0.41% 이었다.

한편 이와같은 편 의현상은 회전각이 서로 다른 박막을 식각하는 과정에서 결정자기 이방성의 방향과 격자(grid)의 방향이 일치되지 못하고 식각할 때마다 마스크의 방향이 조금씩 편 의된 데 기인하는 것으로 사료된다. 따라서 이러한 현상은 식각 방법을 개선함으로써 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 기판온도가 300°C일 때의 MR을 측정된 결과는 그림 5의 (d)와 같다. (d)를 살펴보면 자장의 세기가 50 Oe 일 때의 MR

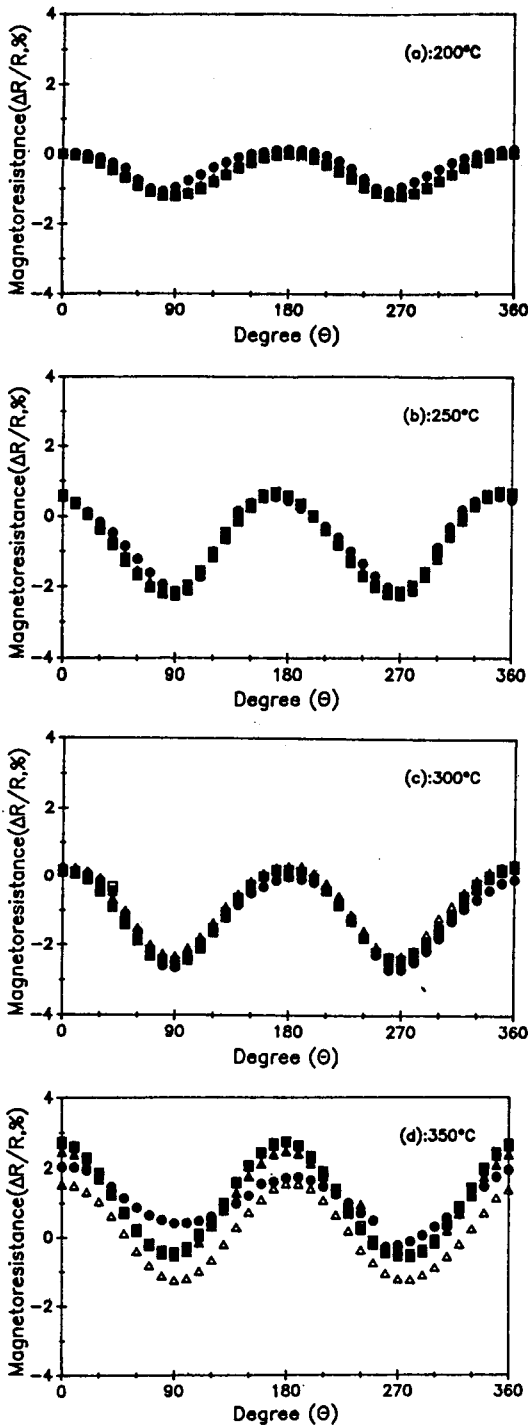


그림 5. 격자형 탄소자의 자기저항 변화율에 미치는 기판온도의 영향
 Fig. 5. Effect of substrate temperature on the single grid type magnetoresistance change.

은 1.6% 이고 150 Oe 일 때의 MR은 2.7% 로 증가

되었다가 250 Oe 에서는 3.1%로 다시 증가되었다. 즉 기판의 온도가 350°C 일 때 증착된 박막은 자장의 세기가 변화함에 따라 MR 값이 편의됨과 동시에 출력 신호의 혼란이 야기되는 경향이 있었다. 이때 MR의 편의율은 1.6%로써 250°C일 때보다 5.3배 증가된 편의율이 나타났다.

이와 같은 현상은 기판의 온도가 상승함에 따라 결정입도(crystal grain size)가 성장하여 조대화(粗大化)되고 불균일화되면서 결정자기 이방성이 교란되는데 기인하는 것으로 사료된다.

4. 격자선의 길이와 폭이 자기저항 변화율에 미치는 영향

그림 6은 70Ni-30Co 박막으로 제작된 자기저항 소자선의 길이에 대한 폭의 비가 MR에 미치는 영향을 150 Oe의 자장중에서 조사한 결과이다. 이때 격자선의 두께는 600 Å이었다. 선폭이 0.4~1.0mm 범위에서 선의 폭에 대한 길이의 비(L/W)와 MR과의 관계를 그림 6에서 살펴보면 20(L/W)에서 문지방(plateau)이 형성되었다. 여기서 각 선폭별 MR 값은 1.0 mm 일때 1.7%로 가장 작고 선폭 0.4mm 일때 2.8%로써 가장 높은 문지방이 형성되었다. 한편 선의 폭에 대한 길이의 비(L/W)가 커질수록 MR값이 증가되어 L/W의 비가 50일 때의 MR은 선폭 0.4 mm 일때 가장 커서 3%에 달하였고 선폭 1.0 mm 일 때 그 값이 가장 작아서 2.2%를 나타내었다.

그림 7은 기판온도 250°C, 격자선의 두께 600 Å, 격자선의 길이 50mm, 자장의 세기 50 Oe일때 격자선의 선폭이 MR에 미치는 영향을 조사한 것이다. 선폭 0.4

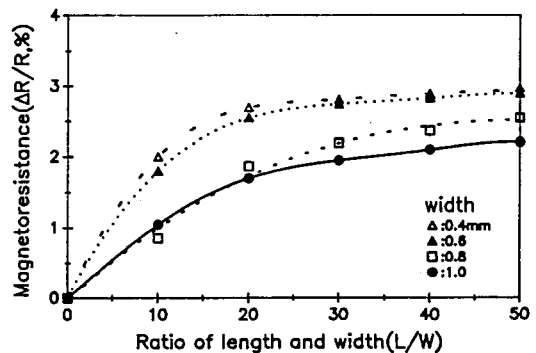


그림 6. 격자선의 길이와 폭의 비가 자기저항 변화율에 미치는 영향
 Fig. 6. Effect of ratio of length and width of grid line on magnetoresistance change.

mm에서의 MR은 3.2%이고 선폭 1.0mm에서의 MR은 2.6%로 가장 작은 값이 얻어졌다. 따라서 두께 600Å인 70Ni-30Co 자기저항 소자의 선폭은 0.4mm일 때가 가장 양호하고 선폭이 이보다 더 작아지면 작아질수록 자기저항 변화율이 더 증가될 것으로 추측된다.

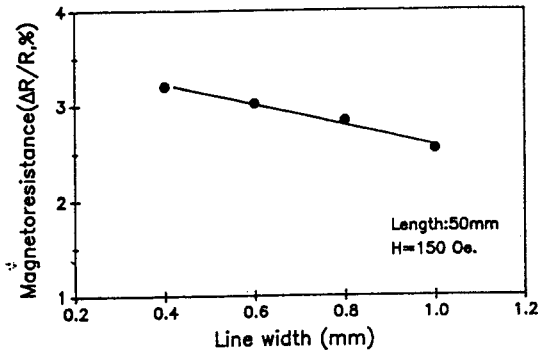


그림 7. 격자선의 선폭이 자기저항 변화율에 미치는 영향

Fig. 7. Effect of line width of grid line on magnetoresistance change.

5. 자기저항 변화율에 미치는 자장중 냉각 효과

자기저항 센서의 자기저항 변화율에 미치는 자장중 냉각효과(자냉효과)를 조사하기 위하여 70Ni-30Co MR 센서를 300°C, 2 kOe의 자장중에서 5분 동안 유지한 후 3°C/min로 자냉시킨후 (a) 100 Oe, (b) 150 Oe, (c) 200 Oe, (d) 250 Oe의 자장중에서 0~360°까지 회전 시키면서 자기저항 변화율을 조사한 결과는 그림 8과 같다. 그림 8에서 실선은 자냉처리하지 않은 센서의 MR을 보인 것이고 사각점(□)은 자냉처리된 센서의 MR 변화를 보인 것이다.

자냉처리된 센서와 처리되지 않은 센서의 MR을 100 Oe.의 자장중에서 측정하여 비교한 결과는 그림 8의 (a)와 같다. 이때 자냉처리된 센서의 MR은 3.45%이고 자냉처리하지 않은 센서의 MR은 3.38%로써 그 차는 0.07%이었다. 즉 자냉처리에 의해서 증가된 MR 값은 0.07%에 불과하다. 그림 8의 a, b, c, d에 기입된 MR 값을 정리하면 표 1과 같다. 자냉처리 효과는 표 1에서 보는 바와 같이 평균 0.04%의 MR 증가를 가져왔다. 이는 자냉처리되지 않은 센서의 MR 값 3.47%에 비해서 1.15% 증가된 것으로 이는 실용적인 면에 크게 도움이 되는 증거라고 볼 수 없다. 따라서 두께가 600Å인 70Ni-30Co 조성의 MR 센서 제조공정에

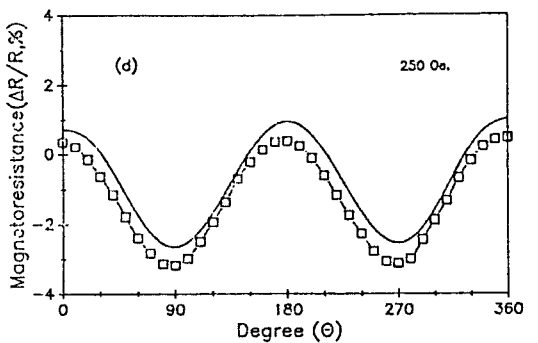
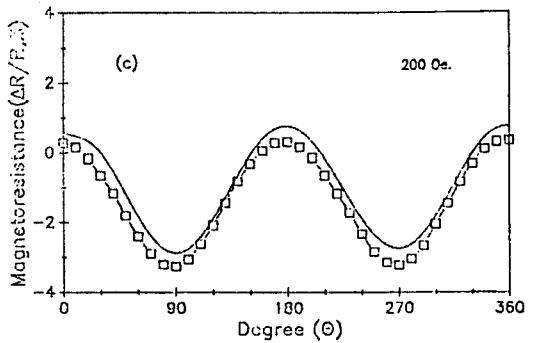
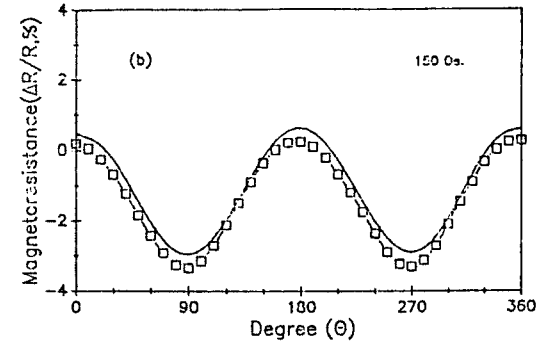
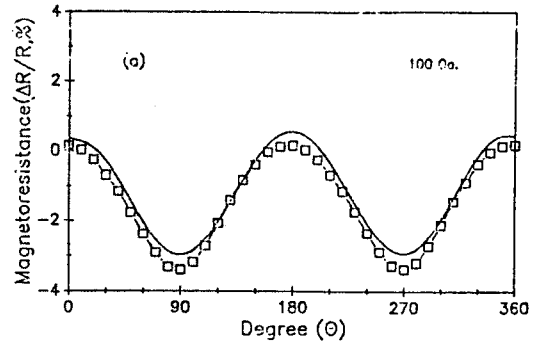


그림 8. 자기저항 변화율에 미치는 자장중 냉각 효과 (300°C→3°C/min, 2kG, a : 100 Oe, b : 150 Oe, d : 250 Oe.)

Fig. 8. Effect of magnetic annealing on the magnetoresistance change(300°C→3°C/min, 2kG, a : 100 Oe, b : 150 Oe, d : 250 Oe. — : non treated, □ : magnetic cooled).

표 1. 자장중 냉각 효과

Table 1. Effect of magnetic annealing

시료	자장의 세기(Oe)	자냉처리된 센서의 MR(%)	처리되지않은 센서의 MR(%)	차(%)
a	100	3.45	3.38	0.07
b	150	3.51	3.49	0.02
c	200	3.54	3.49	0.05
d	250	3.54	3.50	0.04
평균		3.51	3.47	0.04

는 자장중 냉각공정을 생략시켜도 큰 무리가 없을 것으로 사료된다. 실제의 생산공정에서 이 자냉공정의 생략이 생산능률의 향상은 물론 경제적인 면에 미치는 이득이 지대할 것으로 예상된다.

6. 자기저항 변화율에 미치는 자장의 영향

그림 9는 MR 센서의 격자(grid)에 횡방향(자장과 grid의 각도 90°)으로 자장을 인가하면서 자기저항 변화율을 조사한 결과이다. 이 때 변화시킨 자장의 세기는 (-)200 Oe 에서 (+)200 Oe 까지 변화시켰다. 이 결과를 살펴보면 ±40 Oe 의 자장에서 자기 저항 변화율이 포화되었고 ±10 Oe 구간에서의 MR은 그 직선

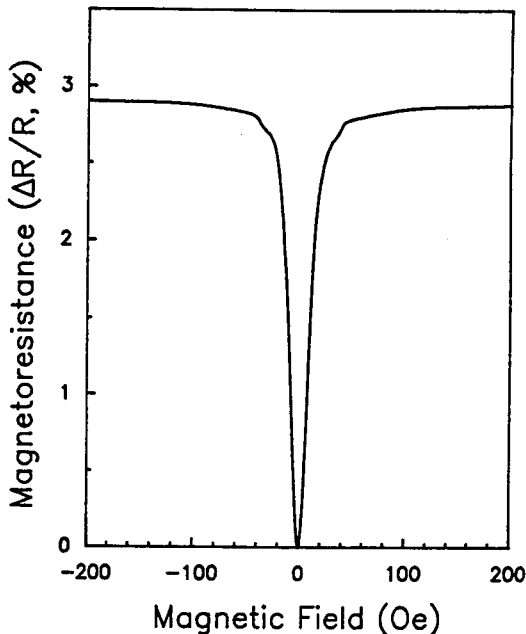


그림 9. 자기저항 변화율에 미치는 자장의 영향
Fig. 9. Effect of magnetic field on the magnetoresistance change.

성이 지극히 양호하였다. MR 센서를 자장측정용 센서로 활용할 경우 자장 0~20 Oe까지의 기울기가 자장 센서의 민감도를 좌우하는 요인이므로 이 MR 센서에 10 Oe의 bias field를 인가하면 ±10 Oe 범위의 외부 자장을 매우 정밀하게 측정할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 확인하기 위하여 그림 2의 자장인가코일을 자기 차폐시키고 이 coil에 제 2의 loop coil을 근접 설치하여 자장의 세기를 가변시키면서 이 센서의 최대유효감도(maximum usable sensitivity)를 정밀하게 조사하여 본 결과 230 nT임이 확인되었다. 따라서 본 실험에서 제작한 MR 센서를 이용하면 저자장 측정용 자속계(Low flux meter)의 개발이 가능할 것으로 추측된다. 특히 지자장(地磁場=49500 nT) 측정은 물론 자철광 탐사 등에도 이용가능할 것으로 추측된다.

7. 자기저항 변화율에 미치는 온도의 영향

자기저항 변화율에 미치는 온도의 영향을 (-)100℃로 부터 (+)200℃까지의 온도 구간에서 조사한 결과는 그림 10 과 같다. 그림 10 에서 R₀ 는 온도 변화에 따르는 센서의 전기저항 변화를 보인 것이다. 그리고 온도변화에 따르는 센서의 자기저항 변화율[Δ:(R_m- R₀)/100/R_{0}]을 오른쪽 종축 눈금(scale)으로 보였다. 센서의 전기저항(R₀)값은 -100℃에서 430 ohm 이었으며 온도가 상승함에 따라서 직선적으로 증가하여 (+)200℃에서는 1050 ohm으로 증가되었다. 즉 이 센서의 저항 온도 계수는 8.14×10⁻³/deg [(a/θT)(R+200)/(R-100)=8.14×10⁻³/deg]임을 알수 있었다. 이 값은 인듐 안티모나이드 센서의 저항온도 계수(10×10⁻³/deg)에 근접한 값이고 70Ni-30Co 자기저항 센서의 저항온도 계수(1×10⁻⁴/deg)와는 큰 차이를 보이고 있다. 이와 같은 현상은 센서소자와 인출선과의 접합을 인듐땀으로 처리한데 기인하는 것으로 앞으로 센서소자와 인출선과의 접합에 초음파 접합법을 도입함으로써 개선될 수 있을 것으로 사료된다. 초음파접합을 시도 하여 이상적인 접합이 이루어졌을 때에 예상되는 저항온도 폭선은 그림 11의 점선과 같이 -100℃에서 410 ohm 로써, R₀ 값 430 ohm에 근접되어 있어 R₀와 R_m의 차는 20 ohm 정도에 불과하다. 온도가 상승함에 따라서 R_m은 R₀의 증가를 따라서 거의 직선적으로 같은 증가율로 증가되어 200℃ 에서 1040 ohm 에 도달하였다.}

센서의 자기저항 변화율(MR)은 그림 10 에서와 같이 -100℃ 에서 3.67% 이고 온도가 상승함에 따라 거

의 직선적으로 감소하여 +200°C에서도 1.1%로 감소되었다. 이 값들이 온도가 상승함에 따라 마이너스 값을 갖는 이유는 MR 값의 계산식 $[(R_m - R_0) / R_0] \times 100$ 에서 온도가 상승함에 따라 R_0 값이 큰 값을 갖는데 기인한다. R_0 값과 MR 값을 나타내는 두 직선이 +40°C에서 교차되고 있는데 -30°C에서 MR 값의 기울기의 변화가 없었다면 +50°C에서 교차될 것으로 추측된다. -30°C에서의 MR 값 기울기의 변화는 증착기판으로 사용한 슬라이드 그라스와 박막층의 열팽창 차이에 의한 영향으로 추측된다.

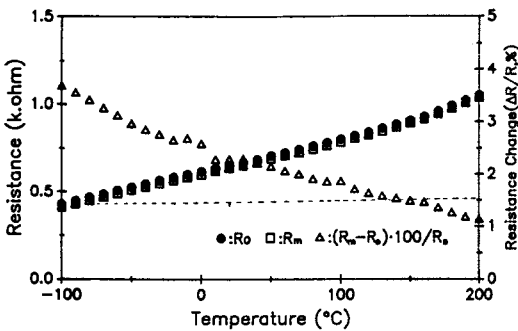


그림 10. 자기저항 변화율에 미치는 온도의 영향 (R_0 : 전기저항, R_m : 자기저항)

Fig. 10. Effect of temperature on the magnetoresistance change (R_0 : electrical resistance, R_m : magnetoresistance)

8. 자기저항 센서의 동특성

그림 11은 본 연구에서 제작한 70Ni-30Co MR 센서의 주파수 대역폭(측정가능 대역폭)을 조사하기 위하여 그림 2에 보인 solenoid의 중심부에 MR 센서를 삽입한 후 solenoid에 인가하는 정현파(sine wave) 전류의 주파수를 증가시키면서 입력신호(solenoid에 입력된 신호)에 대한 출력신호(센서로부터 출력된 신호)의 진폭비를 오실로스코프로 관측하여 작도한 Bode 선도이다.

이 Bode 선도에서 판독된 MR 센서의 주파수 대역폭(Band width)은 -3dB point에서의 10 kHz이었다. 사진 2는 센서의 dynamic response를 조사하기 위하여 그림 2에 보인 solenoid의 중심부에 MR 센서를 삽입한 후 solenoid에 10 kHz의 구형파(square wave) 전류를 인가시키면서 MR 센서의 반응을 오실로스코프로 관측한 것이다. 본 연구에서 제작한 MR 센서의 경우 지연시간(delay time)은 5μs 이하이고 측정가능 주파수 범위는 20kHz 이상임을 알 수 있었다. 그리고 회전율(slew rate)은 0.39 Oe/μs 이었다.

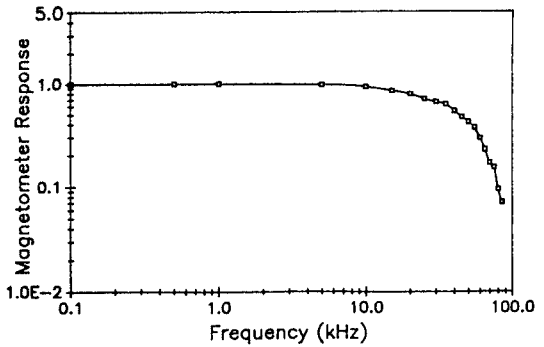
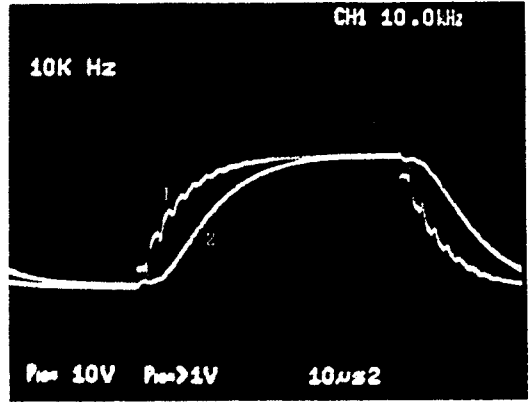
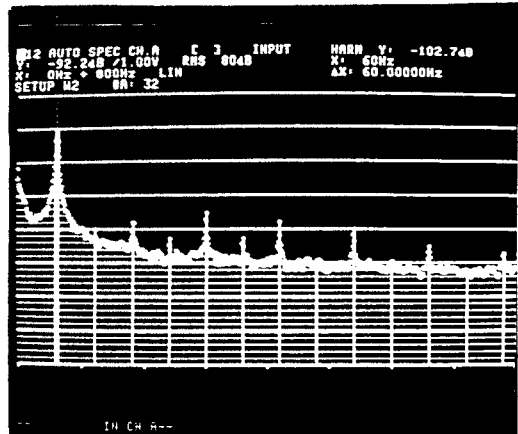


그림 11. 70Ni-30Co 자기저항 센서의 Bode 선도
Fig. 11. Bode diagram of 70Ni-30Co magnetoresistance sensor.



사 진 2. 70Ni-30Co 자기저항 센서의 동특성(1 : 입력력, 2 : 출력력 pulse)
Photo 2. Dynamic characteristic of the 70Ni-30Co magnetoresistance sensor(1 : input pulse, 2 : output pulse).

9. 자기저항 센서의 잡음



사 진 3. 70Ni-30Co 자기저항 센서의 백색잡음 스펙트럼
Photo 3. Spectrum of white noise in 70Ni-30Co magnetoresistance sensor.

사진 3은 본 연구에서 제작한 차동형 MR 센서의 noise spectrum을 파형분석기(B&K #2304)로 관측한 결과이다. 사진 3에서 0~180Hz구간은 1/f의 noise특성을 나타내며 180Hz 이상 부터의 white noise 특성은 120dB 정도 이었다.

IV. 결 론

강자성체 자기저항센서를 제작하기 위하여 250℃의 슬라이드 그라스에 70Ni-30Co 합금을 두께 600Å으로 진공증착한 후 격자형으로 식각하였다. 이와 같은 과정으로 제작한 센서의 자기저항 변화율에 미치는 온도, 저항, 선폭 등의 영향을 조사하고 보자력, 포화자화, 지연시간, 회전율, 감도, 분해능을 조사 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 강자성체(70Ni-30Co)를 자장중에서 기판온도 250℃, 두께 600Å으로 진공증착하면 결정자기 이방성이 형성되어 자기저항 센서의 기능이 구비된다.
2. 70Ni-30Co 자기저항 센서는 ± 10 Oe의 자장 구간에서 직선적인 자기저항 변화를 보이며 이 센서의 최대 유효 감도는 230nT이다.
3. 센서소자를 형성하는 격자선의 길이에 대한 폭의 비가 클수록 자기저항 변화율이 증가되며 센서의 온도 특성이 열화된다.
4. 센서소자와 인출선을 인듐으로 연결시키면 저항온도 계수가 $1 \times 10^{-4}/\text{deg}$ 에서 $8 \times 10^{-3}/\text{deg}$ 로 증가된다.
5. 강자성 박막(70Ni-30Co)의 보자력은 5.1A/cm이고 포화자화는 0.64T이다.
6. 이 70Ni-30Co 자기저항 센서의 지연시간(delay time)은 5 μ s 이고 회전율(slew rate)은 0.39 Oe/ μ s이다.
7. 70Ni-30Co 자기저항 센서의 백색 잡음은 -120 dB 정도 이었다.
8. 앞으로의 연구에서 이 자기저항 센서의 민감성이 nT 급으로 향상되면 지자장 측정은 물론 지하자원

탐사등 그 활용범위가 기대할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [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**, L29, 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, *J. Appl. Phys.*, **53**, 8266, 1983.
- [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] C. G. Chang, J. Y. Yoo, J. Y. Song, M. Y. Yun, J. H. Park, and D. R. Son, *J. Kor. Sensor. Soc.* **1**(1), 23, 1992.
- [13] Petersen A. J., Proc. Conf. 'Automotive Electron.', London 8, 1983.
- [14] Ching Tsang, *J. Appl. Phys.*, **55**(6), 15, 1984.
- [15] *Sensor Review*, **9**(3), 156, 1989.

 著 者 紹 介

張 忠 根

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-03, p. 34 참조.
 1985년~현재 충남대학교 자연과학대학 교수. 주관심 분야 : 자기센서.

孫 大 洛

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-03, p. 34 참조.
 1992년~현재 한남대학교 물리학과 교수. 주관심 분야 : 자기측정, 자기센서

柳 仲 烈

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-03, p. 34 참조.
 현재 충남대학교 자연대 강사. 전공분야 : 응용물리.



南 善 祐

1992년 충남대학교 물리학과 졸업. 현재 충남대학교 대학원 석사과정 재학중. 전공분야 : 응용물리.