

# [Ni/Fe/Cu]<sub>20</sub> 다층 박막의 자기저항 특성에 관한 연구

이후산 · 민경익 · 주승기

서울대학교 금속공학과

서울특별시 관악구 신림동 산 56-1, 151-742

(1993년 11월 18일 받음)

3-Gun 고주파 마그네트론 스퍼터링법에 의해 [Ni/Fe/Cu] 다층박막과 [Fe/Ni/Fe/Cu] 다층박막을 제조하고 Ni/Fe 두께비에 따른 자기저항특성을 조사하였다. 열처리에 의한 효과를 관찰하기 위하여 진공열처리를 행하였다. 두 종류의 다층박막에서 사잇층 Cu 두께에 따른 자기저항의 진동 현상을 관찰할 수 있었다. Ni과 Cu의 계면에 삽입된 Fe 두께가 약 3 Å 일때 자기저항이 극대값을 보였으며, Fe 두께가 1~2 Å 일때 자기저항은 이에 비해 크게 감소하지 않았으나, 포화자장은 현저히 감소하는 것으로 나타났다. [Fe(1 Å)/Ni(18 Å)/Fe(1 Å)/Cu(23 Å)]<sub>20</sub>/Fe(80 Å)/Si 시편의 경우, 100 Oe의 포화자장에서 6%의 자기저항을 얻을 수 있었다. 열처리에 의해서는 자기저항이나 포화자장의 큰 변화를 관찰할 수 없었으며, 합금상 형성 여부는 확인할 수 없었다.

## I. 서 론

Fe/Cr 다층박막에서 처음으로 발견된 거대 자기저항 현상은[1] 응용적 측면과 학문적 측면에서 많은 주목을 받아 왔다. 최근까지 연구되어온 Co/Cu 다층박막에서는 수십 %의 자기저항이 보고되고 있으나[2, 3], 큰 포화자장(≥ 1 kOe)과 자기이력이 자기저항센서로의 응용에 제한을 주어 왔다. 이에 비해 Ni-Fe/Cu 다층박막은 자기저항은 Co/Cu 에 비해 다소 작으나, Ni-Fe 가 자기적으로 연하여 포화자장이 작고 자기이력이 거의 없다[4]. Ni-Fe 역시 응용하기에는 여전히 큰 포화자장을 보이나, 자기이력이 거의 나타나지 않는 장점이 있다.

본 연구에서는 Ni과 Fe를 각각 독립적으로 다층막으로 증착하여 두께비를 변화시켜가며 자기저항특성을 관찰하였으며, 이를 열처리를 통하여 포화자장감소의 가능성을 조사하였다.

## II. 실험방법

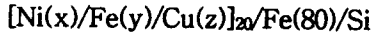
Ni/Fe/Cu 3원계 다층 박막은 3개의 독립적인 타겟을 사용하는 고주파 마그네트론 스퍼터링을 사용하여 형성하였으며, 초기 진공은 5×10<sup>-7</sup> torr를 유지하였다. 스퍼터링시의 아르곤 가스의 압력은 3m torr로 고정하였고, 각 타겟의 증착속도는 0.5 ~ 1.5 Å/sec를 유지하였다. 기판은 Si(100)을 사용하였고, 바닥층으로는

Fe(80 Å)을 증착하였다. 다층막은 Ni/Fe/Cu와 Fe/Ni/Fe/Cu를 단위로 각각 20 층 적층하였다. 그림 1에 시편의 구조를 나타내었다. 그림 1 a)는 Cu가 Ni과 Fe에 접하고 있으며 그림 1 b)는 Cu가 양쪽면에서 Fe와 접하고 있다. 즉 그림 1 b)는 Ni이 Fe에 의해 Cu와 분리되어 있다. 두 구조의 시편을 제작한 것은 열처리시 자기저항 변화 거동을 비교하기 위함이다. 여기에서 x, y, z는 각 층의 두께를 나타내며, 단위는 Å이다. 두께의 조절은 증착속도를 구한후에 증착시키는 시간을 조절함으로써 행하였다. 시편 구조의 표기는 그림 1)에 표기된 방식과 같이 [Ni(x)/Fe(y)/Cu(z)]<sub>20</sub>/Fe(80)/Si 과 [Fe(y)/Ni(x)/Fe(y)/Cu(z)]<sub>20</sub>/Fe(80)/Si로 나타내었다. 사잇층 두께에 따른 자기저항의 변화를 관찰한 후 자기저항이 극대값을 보이는 Cu 두께에서 자성층 (Ni + Fe)의 두께비를 변화시켰다. 이때 단위층 중 자성층의 총 두께를 20 Å으로 고정하였다.

열처리는 진공관상로를 사용하였으며, 100 ~ 300 °C 구간에서 1시간동안 행하였다. 진공도는 5×10<sup>-5</sup> torr를 유지하였다. 상온에서 4탐침법을 이용하여 자기저항을 측정하였다.

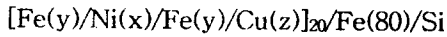
## III. 실험결과 및 고찰

그림 2는 Ni과 Fe를 각각 10 Å으로 고정한 후, 사잇층 Cu의 두께를 변화시켰을 때의 Ni/Fe/Cu 다층막



Cu (z)
Fe (y)
Ni (x)
Fe (80Å)
Si (100)

(a)



Cu (z)
Fe (y)
Ni (x)
Fe (y)
Fe (80Å)
Si (100)

(b)

Fig. 1. Schematic diagram of specimen structure.  
a) [Ni /Fe /Cu]    b) [Fe /Ni /Fe /Cu]

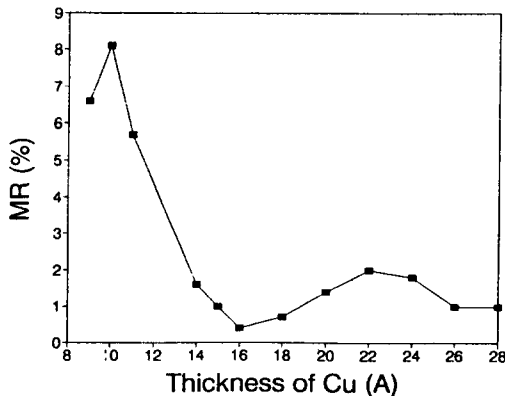


Fig. 2. Dependence of magnetoresistance on Cu spacer thickness:  $[Ni(10)/Fe(10)/Cu(t)]_{20}/Fe(80)/Si$ .

의 자기저항의 변화거동이다. 사잇층 Cu의 두께에 따라 자기저항의 진동이 관찰되었으며, Cu의 두께가 10 Å, 23 Å일때 극대값을 보였다. Cu의 두께비가 10 Å, 23 Å일때 자기저항은 각각 8 %, 2 %였고, 포화자장은 각각 2500 Oe, 300 Oe였다. 이러한 현상은 Co/Cu, NiFe/Cu 다층박막에서 보고되어 있는 것과 같이 사잇층 Cu의 두께가 증가함에 따라 반강자성 결합력이 감소하기 때문이다[4, 5]. Ni과 Fe의 두께비는 Cu의 두께를 자기저항이 극대값을 보이는 두께( 10 Å, 23 Å)로 각각 고정후 변화시켰다.

그림 3에 Cu 사잇층의 두께를 10 Å으로 고정하였을 때 [Ni /Fe /Cu] 다층박막에서의 Ni /Fe 두께비에 따른 자기저항과 포화자장의 변화거동을 나타내었다. Ni의 두께가 20 Å일때, 즉  $[Cu(10)/Ni(20)]_{20}/Fe(80)/Si$ 의 구조에서는 5.9 %의 자기저항을 나타내었으며, Fe가 삽입됨에 따라, 3 Å정도 두께까지는 자기저항이 크게 증가하였으며, 이후 두께의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 포화자장은 자기저항과 상응하는 경향을 보이나, Fe의 두께가 약 2 Å일때까지는 거의 변화하지 않았다. 이는 계면에 삽입된 Fe가 계면에 분산되어 계면성질을 변화시켰기 때문으로 생각된다. [Ni /Fe /Cu] 다층박막에서는 600 Oe의 포화자장에서 11 % 자기저항을 얻을 수 있었다.

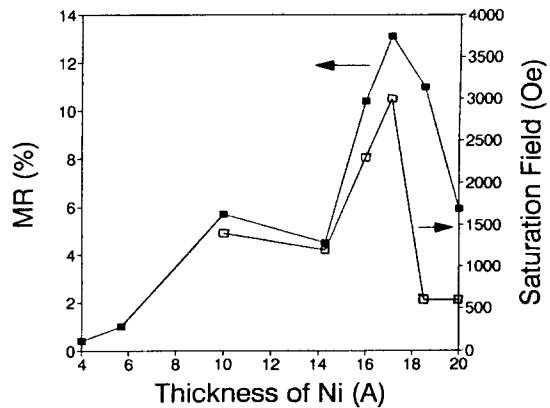


Fig. 3. Dependence of magnetoresistance and saturation field on Ni thickness :  $[Ni(t)/Fe(20-t)/Cu(10)]_{20}/Fe(80)/Si$ .

그림 4는 Cu 사잇층의 두께를 10 Å으로 고정한 [Fe /Ni /Fe /Cu] 다층박막에서의 Ni /Fe 두께비에 따른 자기저항과 포화자장의 변화거동이다. [Ni /Fe /Cu] 다층박막과 유사한 거동을 나타내었다. 자기저항은 역시

Fe의 두께가 3 Å일때까지 증가하다가, 이후 두께증가에 따라 감소하였다. 포화자장은 Fe의 두께가 얇을때, 즉 Fe가 1~2 Å일때 급격히 감소하여 200 Oe를 나타내었다. 이는 Fe가 독립된 한 층을 형성하지 못하고, Ni/Cu의 계면에서 Ni과 섞여서 Fe-Ni의 합금과 같은 형태로 존재하여 계면성질을 크게 변화시켰기 때문으로 생각된다.

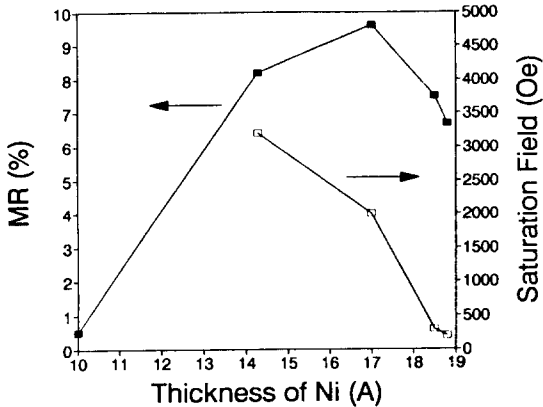


Fig. 4. Dependence of magnetoresistance and saturation field on Ni thickness : [Fe(10-t)/Ni(t)/Fe(10-t)/Cu(10)]<sub>20</sub>/Fe(80)/Si.

Cu 사이트층의 두께를 23 Å으로 고정시킨 [Ni/Fe/Cu] 다층박막에서도 자기저항은 그림 3, 그림 4의 경우와 유사한 경향을 보였으며, 포화자장은 200 Oe정도였다.

Cu 사이트층의 두께를 23 Å으로 고정시킨 [Fe/Ni/Fe/Cu] 다층박막에서는 Fe의 두께가 1~2 Å에서 자기저항을 보인후, Fe의 두께가 두꺼워짐에 따라 자기저항은 급격히 감소하여 거의 나타나지 않았다.

그림 5는 [Fe(1)/Ni(18)/Fe(1)/Cu(23)]<sub>20</sub>/Fe(80)/Si 구조의 시편의 자기저항 이력 곡선이다. 100 Oe 포화자장에서 약 6%의 자기저항을 나타내었으며, 작은 자기이력을 보였다.

그림 6은 [Ni/Fe/Cu] 다층박막의 열처리온도에 따른 자기저항의 변화양상이다. [Ni/Fe/Cu] 구조의 각 시편은 150 °C 까지의 온도에서는 자기저항이나 포화자장의 변화가 거의 나타나지 않았으며, 이후 온도의 증가에 따라 급격히 감소하였다. [Cu/Ni] 다층박막의 자기저항의 변화와 비교해 볼때, Fe가 Ni/Cu계면에 존재하므로써, Ni 과 Cu의 섞임을 막아주는 것으로 생각된다.

그림 7은 [Fe/Ni/Fe/Cu] 다층박막의 열처리 온도에 따른 자기저항의 변화 양상이다. [Fe/Ni/Fe/Cu] 다층박막의 각 시편은 200 °C 까지 자기저항이 약간 증가

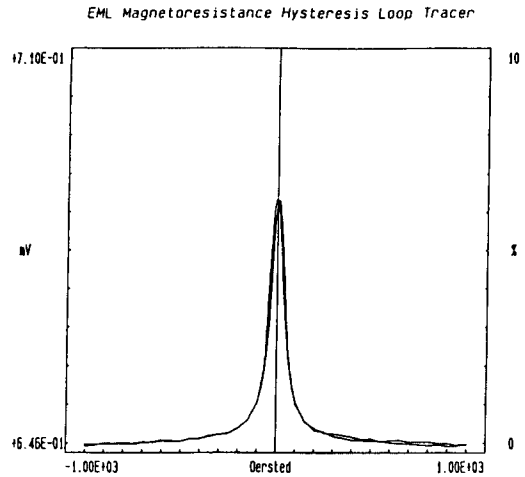


Fig. 5. Magnetoresistance hysteresis loop: [Fe(1)/Ni(18)/Fe(1)/Cu(23)]<sub>20</sub>/Fe(80)/Si.

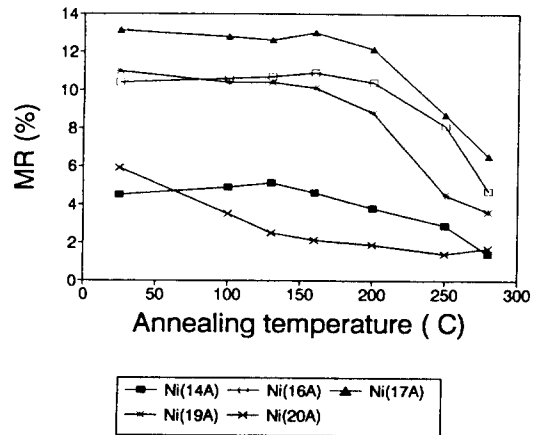


Fig. 6. Dependence of magnetoresistance on the annealing temperature: [Ni(t)/Fe(20-t)/Cu(10)]<sub>20</sub>/Fe(80)/Si.

하거나 일정하였으며, 이후 온도 증가에 따라 급격히 감소하였다. 역시 포화자장에는 거의 변화가 없었다. 열처리에 의해서는 포화자장을 감소시킬 수 없었다. S. S. Parkin의 결과에 의하면 NiFe/Cu 다층막의 열처리 (150 °C, 48 h) 결과는 Cu의 두께가 9 Å인 경우에는 자기저항은 급격히 감소하였고 포화자장은 큰 변화가 없었고, Cu의 두께가 20 Å인 경우에는 자기저항에는 큰 변화가 없었고 포화자장은 약간 감소하였다[4]. NiFe/Cu와 Ni/Fe/Cu의 열처리 결과는 거의 유사하였으며, Ni/Fe/Cu 다층막이 열적으로 더욱 안정하였다.

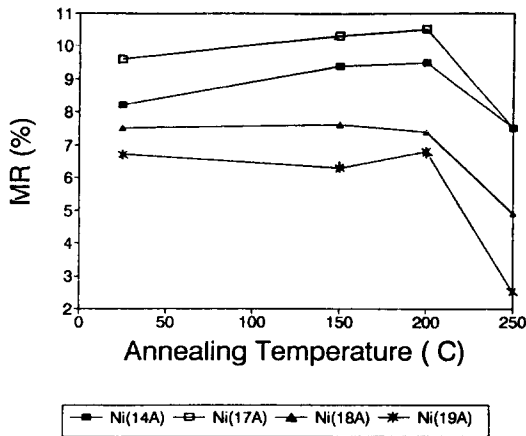


Fig. 7. Dependence of magnetoresistance on the annealing temperature:  $[\text{Ni}(t)/\text{Fe}(20-t)/\text{Cu}(10)]_{20}/\text{Fe}(80)/\text{Si}$ .

#### IV. 결 론

Ni과 Fe를 합금이 아닌 독립적인 다층막으로  $[\text{Ni}/\text{Fe}/\text{Cu}]$  다층박막과  $[\text{Fe}/\text{Ni}/\text{Fe}/\text{Cu}]$  다층박막을 증착하여 열처리를 행하였다.  $[\text{Ni}/\text{Fe}/\text{Cu}]$  다층박막과  $[\text{Fe}/\text{Ni}/\text{Fe}/\text{Cu}]$  다층박막에서, Fe 두께가 매우 얇은때, 즉 Fe 두께합이  $3 \text{ \AA}$  이하에서  $[\text{Cu}/\text{Ni}]$  다층박막에 비하여, 자기저항의 급격한 증가가 나타났으며,  $[\text{Fe}/\text{Ni}/\text{Fe}/\text{Cu}]$  다층박막에서 Fe 두께가  $1\sim 2 \text{ \AA}$  일때, 포화자장이 급격히 감소하였다.  $[\text{Fe}(1)/\text{Ni}(18)$

$]/\text{Fe}(1)/\text{Cu}(23)]_{20}/\text{Fe}/\text{Si}$  구조에서 6 %의 자기저항을 나타내었고, 포화자장은 100 Oe였다.

$[\text{Ni}/\text{Fe}/\text{Cu}]$  다층박막과  $[\text{Fe}/\text{Ni}/\text{Fe}/\text{Cu}]$  다층박막에 있어서, 열처리에 의한 포화자장의 감소는 관찰하지 못하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국통신공사(KTRC)와 신소재 박막가공 및 결정성장 연구센터(RETCAM)의 연구비 지원에 의하여 수행되었기에, 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [ 1 ] M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, and F. Peyroff, Phys. Rev. Lett., **61**(21), 2472(1988)
- [ 2 ] S. S. Parkin, Z. G. Li, David J. Smith, Appl. Phys. Lett., **58**(23), 2710(1991)
- [ 3 ] D. Greig, M. J. Hall, C. Hammond, H. P. Ho, M. A. Howson, M. J. Walker, N. Wiser, and D. G. Wright, J. Magn. Mater., **110**, L239(1992)
- [ 4 ] S. S. P. Parkin, Appl. Phys. Lett., **60**(4), 512(1992)
- [ 5 ] M. A. Howson, B. J. Hickey, J. Xu, and D. Greig, Phys. Lev. B., **48** (2), 1322(1993)

### A study on the magnetoresistive characteristics of $[\text{Ni}/\text{Fe}/\text{Cu}]_{20}$ multilayers

H.-S. Lee, K.-I. Min, S.-K. Joo

Department of Metallurgical Engineering, Seoul National University  
San 56-1, Shillim-Dong, Kwanak-Gu, Seoul 151-742, Korea

(Received 18 November 1993)

$[\text{Ni}/\text{Fe}/\text{Cu}]$  and  $[\text{Fe}/\text{Ni}/\text{Fe}/\text{Cu}]$  multilayers were prepared with three gun rf-magnetron sputtering, and dependence of magnetoresistance on the Ni/Fe thickness ratio was investigated. Vacuum annealing was tried to investigate the effect of annealing. Oscillation of magnetoresistance on the Cu spacer thickness was observed in these two kinds of multilayers. When the thickness of Fe inserted into the Ni/Cu interface was about  $3 \text{ \AA}$ , the maximum value of magnetoresistance(13 %) could be observed. In a sample of  $1\sim 2 \text{ \AA}$  Fe thickness, saturation field decreased significantly, while magnetoresistance decreased slightly in comparison with the sample of  $3 \text{ \AA}$  Fe. In  $[\text{Cu}(23 \text{ \AA})/\text{Fe}(1 \text{ \AA})/\text{Ni}(18 \text{ \AA})/\text{Fe}(1 \text{ \AA})]_{20}/\text{Fe}(80 \text{ \AA})/\text{Si}$ , 6 % magnetoresistance with 100 Oe saturation field could be obtained. No appreciable change in magnetoresistance and saturation field could be observed by low temperature annealing. Formation of Ni-Fe alloy was not confirmed.