

## 홀소자 전류센서를 위한 니켈강 코어 소재 특성

김영곤<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> (주) 이노셈코리아

### Characteristics of Ni-Fe Core Materials for Hall Current Sensor

Young-Gon Kim<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> INNOCEM Korea Co., Ltd., Gwangju 500-470, Korea

(Received June 10, 2014; Revised July 1, 2014; Accepted July 17, 2014)

**Abstract:** In this research, the structural, physical and electrical characteristics of Ni-Fe core chosen to minimize the errors of the Hall current sensors were investigated and Hall current sensor using Ni-Fe core was fabricated. In the result, the fabricated Ni-Fe sample exhibited the maximum hardness about 29.5 GPa and the low friction coefficient about 0.35, and electrical resistivity over 90 mOhm·cm. And also Hall current sensor using the fabricated Ni-Fe core showed linear current-voltage properties for DC current at 25°C temperature.

**Keywords:** Hall current sensor, Ni-Fe core, Hardness, Friction coefficient, Resistivity

#### 1. 서 론

자기장의 세기에 따라 전압이 변하는 소자를 홀소자라고 하며, 홀소자는 전류가 흐르는 도체를 철심의 중간에 끼워 넣고 전류는 직각 방향으로 자기장이 발생하며, 직각방향으로 발생하는 기전압-홀효과를 이용한다. 여기서 홀효과 (Hall effect)는 도체에 전류가 흐르는 상태에서 전류의 방향과 수직인 방향으로 자기장이 형성될 때, 전류가 흐르는 도체 내에서 전류와 수직인 방향으로 위차가 발생하게 되는 현상을 말하며, 이때 발생하는 전압을 홀전압이라고 하며, 이러한 원리를 이용해 자기장을 감지하는 센서를 홀효과 센서라고 한다 [1]. 홀 센서는 주로 주위를 움직이는

자성물체의 속도를 측정하는데 이용되어지며, 자동차 속도, 유속감지 측정 등의 다양한 분야에 응용되어진다 [2]. 홀소자의 코어로 사용되기 위해서는 고투자율이 요구되어지는데, 포화자속밀도가 크고, 보자력이 작고, 투자율이 크며, 철손이 작아야 고투자율이 형성된다. 또한, 체적 저항률이 크고, 기계적, 전기적 충격에 대하여 안정해야 하는데 최근 사용되어지고 있는 고투자율 소재로는 탄소강, 철-코발트 합금, 규소강, 철-니켈 합금, 페라이트 등이 사용되어지고 있다.

Ni-rich Premalloy부터 iron-rich Invar까지 니켈 (Ni)-철(Fe) 합금은 낮은 열팽창계수 (CTE), soft 자기특성 때문에 니켈-철 합금의 CTE의 경우 온도 조절 바이메탈, 유리를 포함하는 밀봉, 집적 회로 패키징, 음극선관의 새도우 마스크 및 복합 금형/금형 및 멤브레인 액체 천연 가스 유조선, 소프트웨어 기반 응용 프로그램 자기 특성은 자기에 대한 읽기-쓰기 헤드를 포함 저장 장치, 자기 액츄에이터, 자기 실드 및 고성능 변압기 코어 다양한 응용 분야에 사용되어졌다

a. Corresponding author; kim713@hanmail.net

Copyright ©2014 KIEEME. All rights reserved.  
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

[3]. 니켈-철 합금을 제작하기 위한 시스템으로는 vacuum evaporation, cold rolling, single-roll rapid quenching, and sputtering electrodeposition 등이 있으며, 일반적으로 electrodeposition법이 가장 유리하다 [4-6].

본 연구에서는 흡소자 전류센서의 코어를 위한 소재로서 니켈강을 제작하였으며, 제작되어진 니켈강 소재의 물리적, 구조적, 전기적 특성을 고찰하였으며, 이를 바탕으로 흡소자 전류센서를 설계 및 제작하여 소자 특성을 고찰하였다.

## 2. 실험 방법

제작되어진 니켈강 코어의 구조 특성은 금속 소재의 결정상을 확인하기 위하여 X-선 회절분석기(XRD, Bruker, AXS D8 Discover)를 사용하였으며, XRD의 측정 조건은 가속전압 40 kV, CuK $\alpha$  타겟, 주사 속도 0.08°/sec, 2 $\theta$  범위는 30~80°로 하였다. 코어의 단면과 표면 특성은 FESEM (JEOL JSM-6700F)을 이용하여 측정하였으며, 물리적 특성으로서 경도와 마찰계수는 nano-indentation과 nano-scratch tester를 이용하여 측정하였다. 측정된 결과를 바탕으로 제작된 니켈강 코어를 이용하여 흡소자 전류센서를 구성하였고, 제작된 전류센서의 전류-전압 특성을 고찰하였다. 니켈강코어의 비저항 특성은 four-point probe 방법으로 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

니켈강 코어 표면과 단면 특성은 FESEM에 의해 측정하였고, 그림 1은 제작되어진 니켈강 코어의 단면과 표면을 나타낸다. 니켈강 코어의 단면 결과에서 보듯이, 니켈강 코어의 두께는 단일층으로 그 두께는 300  $\mu\text{m}$ 로 확인이 되며, 금속을 나타내는 밝은 부분을 확인할 수 있으며, 이 밝은 부분은 증착 초기보다 마지막 단계에서 그 수가 증가했다는 것을 확인할 수 있다. 이는 니켈강이 방향성을 가지고 결정성이 향상되었다고 판단되어진다. 니켈강의 표면에서 보듯이 벌크 (bulk)의 표면으로서 표면에는 밝은 부분인 pit가 존재하는 것을 확인할 수 있으며, 평균 1  $\mu\text{m}$  정도 크기를 가진 것을 확인할 수 있다. 이러한 표면이미지는 Ni:Fe의 비율이 50:50일 경우 나타내는 특성임을

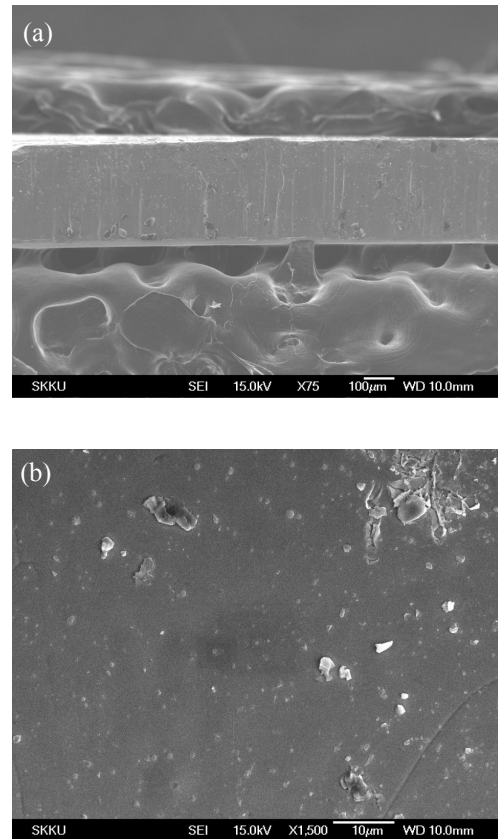


Fig. 1. (a) Cross-sectional and (b) surface images of fabricated Ni-Fe (Nickel steel) sample.

알 수 있다 [7]. 또한, 표면 거칠기는 니켈강의 비저항 값을 변화시키는 요인이기 때문에 전기적 특성을 재연성을 확보하기 위해서는 표면 거칠기를 균일하게 제작할 필요가 있다.

그림 2는 니켈강 코어의 XRD 패턴 결과를 나타낸다. XRD 패턴 결과에서 니켈강 코어의 결정을 나타내는 메인 피크의 위치는 43.8°, 51.3°, 75.7°에서 Ni-ferrite의 Ni-Fe 피크가 나타난 것을 확인할 수 있으며, 이 위치에서 메인 피크의 강도는 각각 Ni-Fe의 (111), (200), (220) 결정 방향을 나타낸다 [7,8].

그림 3은 제작된 니켈강 코어 샘플들의 nano-indentation 측정으로 얻은 경도 값을 나타낸다. 그림에서 보듯이, 경도값은 27.5 GPa부터 29.5 GPa까지 범위의 값으로 일반적인 니켈의 경도값이 10 GPa 정도이기 때문에 매우 높은 경도값이다 [9,10]. 본 연구에서 얻어지는 니켈강 코어의 경도 특성은 매우 우수한 것으로 판단된다.

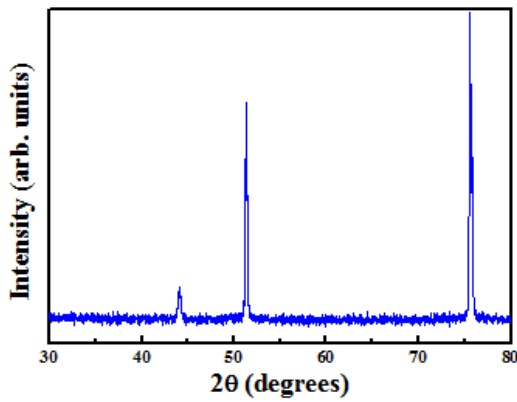


Fig. 2. XRD patterns of fabricated Ni-Fe sample.

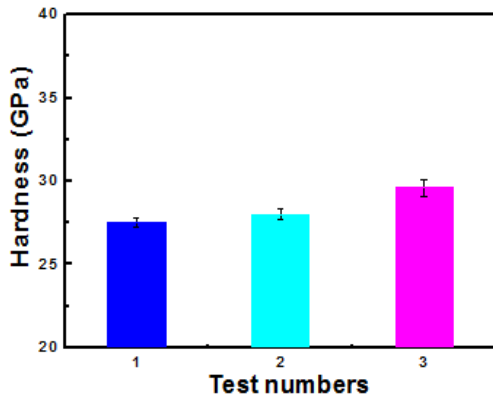


Fig. 3. Hardness values of fabricated Ni-Fe samples.

그림 4는 제작된 니켈강 코어의 마찰 계수 특성 분석을 통한 표면 특성을 고찰하였다. 결과에서 보듯이 제작된 니켈강 코어의 마찰계수는 0.35에서 0.4 사이의 값을 나타내었다. 이 값은 일반적으로 0.3~0.8 사이의 값을 가지는 니켈강의 마찰계수 [10,11] 중 낮은 값에 해당하며, 우수한 마찰 특성을 나타낸다고 판단할 수 있다. 모든 샘플의 마찰계수 값이 유사한 것을 보아 경도 및 표면 특성은 유사하며, 니켈강 표면을 구성하는 원소들의 비율이 균일하게 분포된 결과라고 할 수 있다. 표면이 균일하게 제작된 니켈강 코어는 홀소자 코어로서 전류센서의 정확도를 향상시킬 수 있는 방안이라고 판단되어진다.

그림 5는 제작된 니켈강 코어의 전기적 특성 중 비저항 값을 나타낸다. 결과에서 보듯이 제작된 니켈강 코어의 비저항 값은 90 mOhm·cm에서 127 mOhm·cm

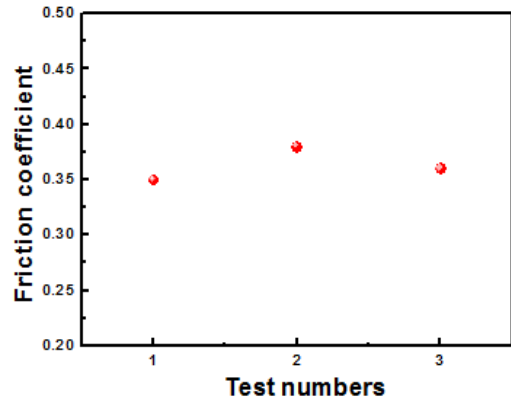


Fig. 4. Friction coefficient values of fabricated Ni-Fe core samples.

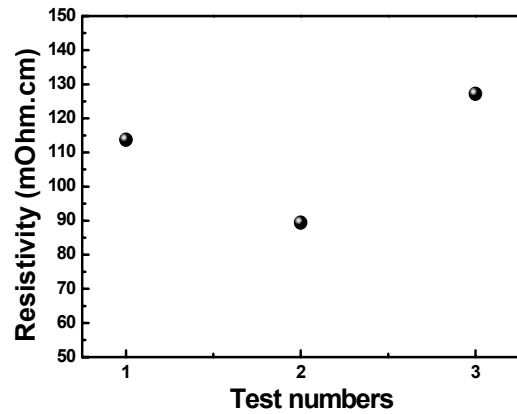


Fig. 5. Resistivity of fabricated Ni-Fe core samples.

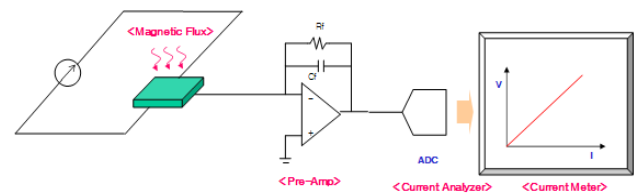


Fig. 6. Hall element current sensor measuring system using Ni-Fe core.

사이의 값을 나타내었다. 이 값은 일반적으로 니켈이 다량 포함된 니켈강의 전기적 비저항 값보다는 큰 값을 나타내었다. 니켈강에서 니켈의 함유량에 따라 전기적 비저항 값의 변화의 폭이 매우 크다 [12,13]. 본 연구에서 제작된 니켈강의 경우 높은 비저항 값은 나타내는 것으로 보아 니켈의 함유량이 다른 니켈강보

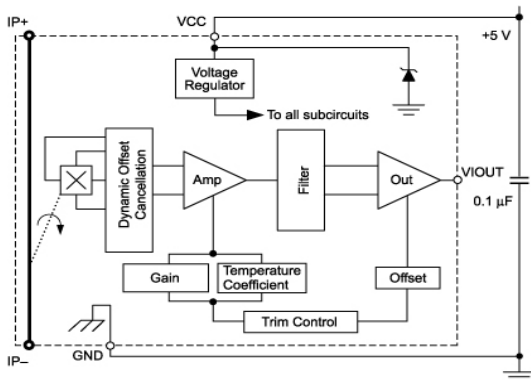


Fig. 7. Block diagram of Hall element current sensor measuring system using Ni-Fe core.

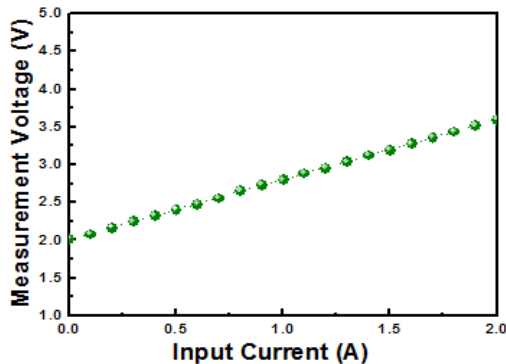


Fig. 8. Current-voltage system of Hall element current sensor measuring system using Ni-Fe core.

다 적은 양을 포함한다고 판단할 수 있다 [7]. 또한, 니켈강의 전기적 비저항 값은 표면의 거칠기를 비롯한 표면의 균일도 및 성장구조 특성 변화에 의해 변할 수 있다 [12,13].

그림 6, 7은 니켈강 코어를 홀 센서로 이용한 전류 센서 시스템과 전류센서의 블록도를 나타낸다. 전류 센서 시스템과 블록도를 이용하여 제작한 홀소자 전류센서를 이용하여 전류-전압 특성을 고찰하였다.

그림 8은 본 연구에서 제작한 니켈강 코어를 이용한 홀소자 전류센서 시스템의 전류-전압 특성을 나타낸다. 본 연구에서 제작한 전류센서의 특성의 재연성과 정확성, 그리고 홀소자에 대한 온도 영향을 최소화하기 위해 25°C의 온도로 고정하고 전류-전압을 측정하였다. 측정결과 입력 전류에 대해 측정된 전압값은 선형적으로 나타났다.

본 연구에서 제작한 니켈강 코어를 이용한 시스템에서 DC 전류에 비례하여 전압이 출력된 결과를 확인할 수 있었다. 본 연구에서 제작된 니켈강 코어의 물리적, 전기적 특성과 홀소자 전류센서의 구조와 설계시스템을 바탕으로 홀소자 전류센서의 재연성을 확보할 수 있을 것이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 전류센서의 측정오차의 최소화를 위해 무방향성 고투자율 특성을 가진 니켈강을 코어 소재로 선택하였으며, 니켈강 코어를 제작하여 구조적, 물리적, 전기적 특성을 평가하였다. 또한, 니켈강 홀소자를 적용한 홀소자 전류센서를 설계하고 제작하여 코어로서 니켈강의 적용 가능성을 테스트하였다. 결과로서, 본 연구에서 제작되어진 니켈강은 29.5 GPa의 높은 경도값과, 0.35의 낮은 마찰계수 값을 나타내었으며, 90 mOhm·cm 이상의 높은 비저항 값을 나타내었다. 또한, 본 연구에서 제작된 니켈강을 코어로 사용한 홀소자 전류시스템에서는 DC 입력 전류에 대하여 선형적 전류-전압 특성을 나타내는 것을 확인하였다.

#### REFERENCES

- [1] Honeywell, *Micro Switch Sensing and Control, Hall Effect Sensing and Application*
- [2] D. T. Bui, M. D. Tran, H. D. Nguyen, and H. B. Nguyen, *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.*, **4**, 015017 (2013).
- [3] J. L. McCrea, G. Palumbo, G. D. Hibbard, and U. Erb, *Reviews on Adv. Mater. Sci.*, **5**, 252 (2003).
- [4] L. Tiancheng, L. Zhichao, and L. Peng, *Rare Metals*, **25**, 484 (2006).
- [5] N. Myung, *Bulletin of the Kor. Chem. Soc.*, **22**, 994 (2001).
- [6] M. H. Seo, D. J. Kim, and J. S. Kim, *Thin Solid Films*, **489**, 122 (2005).
- [7] N. V. Myung and K. Nobe, *J. The Electrochem. Soc.*, **148**, C136 (2001).
- [8] R. Balachandran, H. K. Yow, B. H. Ong, K. B. Tan, and H. Y. Wong, *Int. J. Electrochem. Sci.*, **6**, 3564 (2011).
- [9] J. L. McCrea, G. Palumbo, G. D. Hibbard, and U. Erb, *Rev. Adv. Mater. Sci.*, **5**, 252 (2003).

- [10] R. Abdel-Karim, Y. Reda, M. Muhammed, S. El-Raghy, M. Shoeib, and H. Ahmed, *J. Nanomater.*, **2011**, 1 (2011).
- [11] H. A. Padila II, B. L. Boyce, C. C. Battaile, and S. V. Prasad, *Wear*, **297**, 860 (2013).
- [12] Pramana, *J. Phys.*, **66**, 1093 (2006).
- [13] N. V. Myung, D. Y. Park, B. Y. Yoo, and P.T.A. Sumodjo, *J. Magn. Magn. Mater.*, **265**, 189 (2003).