

FeCoB계 아몰퍼스 자성박막의 인덕턴스의 주파수의존성

논문
11-5-12

Frequency Dependence of Inductance of FeCoB Amorphous Magnetic Films

신용진*, 소대화*, 김현욱*, 서강수**, 임재근***

(Yong-Jin Shin, Dae-Hwa Soh, Hyen-Ug Kim, Kang-Soo Seo, Jae-Keun Lim)

Abstract

In this paper, we investigate frequency dependence of inductance of FeCoB amorphous magnetic films. $(Fe_{1-x}Co_x)_{79}Si_2B_{19}$ was used as the basic composition of amorphous magnetic film having near zero magnetostriction. The amorphous magnetic films were fabricated with $x=0.94$ and $x=0.95$ by using sputtering method at high frequency. The films were annealed under non-magnetic field and near crystallization temperatures(30min at 280°C, 30min and 1hr at 400°C, respectively).

As the results of the experiments with the fabricated films, the lowest coercive force was 0.084[Oe] at 400[W] of the input power and the crystallization temperature was 360°C. In the case 30min at 400°C the inductance value in the low frequency with $x=0.95$ was higher by 488% than that with $x=0.94$. The quality factor Q was below 0.7 for all samples. We obtained the highest quality value at 400[kHz] with 30min at 280°C and $x=0.94$. The value was about 0.62. Also, the quality factor value was about 0.35 at 1[MHz] with 30min at 280°C and $x=0.95$.

Key Words(중요용어) : Zero magnetostriction(영자왜), Coercive force(보자력), Quality factor(Q 인자), Crystallization temperature(결정화 온도)

1. 서론

자성박막은 1955년 Blois가 Fe-Ni 증착막이 컴퓨터 메모리분야에 유용하다고 제안한 이래, 많은 연구자로부터 연구가 진행되어 왔는데, 그 대다수가 Fe-Ni를 주로한 퍼멀로이에 관한 것이었다¹⁾.

연자성용 아몰퍼스 금속은 고강인, 고경도 및 고탄성인면서, 전기저항율이 높고, 결정자기 이방성이 존재하지 않는 고투자율의 연자성재료이며, 저철손이고, 자왜가 현저하게 작다는 등의 여러 가지 특성을 가지고 있어서, 메모리

재료, 트랜스 재료 및 고성능 자기헤드 등의 응용연구가 활발히 진행되어 그 일부가 이미 실용화되어 있다.

Co-금속계 아몰퍼스합금은 높은 포화자속밀도와 비교적 낮은 포화자왜를 갖는다. 통상 이 합금에서 영자왜(零磁歪)조성을 얻기 위해서는 자성원소를 첨가하는 방법 및 금속으로서 제 IIIa, IVa족 원소와 제 Va, VIa족 원소를 조합시키는 방법이 있다. 전자는 Neel-Taniguchi의 원자모델에 의하여 설명되는 유도자기이방성이 발생하기 때문에, 높은 투자율을 얻기 위해서는 부적합하고, 공업적으로는 후자와 같이 비자성금속을 조합시켜서 영자왜조성을 얻는 것이다. 또한, 최근 들어 이들 아몰퍼스합금에 고주파 캐리어 전류를 직접 인가하고, 외부자계를 인가한 경우에 투자율이나 표피효과 등이 변화하고, 자기저항, 인덕턴스 및 임피던스가 변화하는 현상을 이용한 고감도인 마이크로 자계센서의 개발이 시도되고 있다²⁾.

* : 명지대학교 전기전자공학부

** : 생산기술연구원 산업기술교육센터 전자기기과
(서울시 금천구 가산동 219-5, Fax: 02-8603-456
E-mail : ksseo@ined.ittc.re.kr)

*** : 극동전문대학 전자통신과

1997년 10월 15일 접수, 1997년 12월 29일 심사완료

그리고, 부자왜(負磁歪)를 갖는 Co-Si-B 아몰퍼스 와이어는 뱀브(bamb) 상의 자구모양을 나타내고, 큰 원주방향 자화성분을 갖기 때문에 시료에 전류를 직접적인 인가에 의하여 미약한 원주 방향 자계의 인가로도 큰 값을 갖는 미소 인덕턴스 소자로서 이용된다. 최근 Kawazima와 Mohri 등은 영자왜에 가까운 조성의 아몰퍼스 와이어의 MI (magneto-inductance) 효과를 이용한 소자로서 자기센서를 보고한 바 있다^{3,4)}.

따라서, 본 연구에서는 위치제어를 위한 정밀계측 자기센서 개발을 위하여 영자왜재료에 가까운 $(Fe_{0.06}Co_{0.94})_{79}Si_{2.0}B_{19.0}$ 와 $(Fe_{0.05}Co_{0.95})_{79}Si_{2.0}B_{19.0}$ 의 아몰퍼스 박막을 제작하고, 열처리를 행한 후, 자기인덕턴스효과를 조사하고, 센서소자로서의 가능성을 확인하였다.

2. 실험 방법

아몰퍼스 박막은 RF 마그네트론 스파터장치 (ANELVA, SPF-332H)를 사용하여 제작하였다. 스파터링 할 때의 주파수는 13.56[MHz]이었고, 진공조 내의 가스는 고순도의 Ar가스 (순도 99.995%)를 사용하였다. 그리고, 타겟의 조성은 직경이 10cm인 순도 99.9% Co판과 Fe, Si 및 B을 소편으로 하여 영자왜재에 가까운 $(Fe_{1-x}Co_x)_{79}Si_{2.0}B_{19.0}$ 를 사용하였으며, 이때 $x = 0.94$ 와 0.95 로 하였다.

그리고, 18×18[mm] 크기의 유리기판상에 두

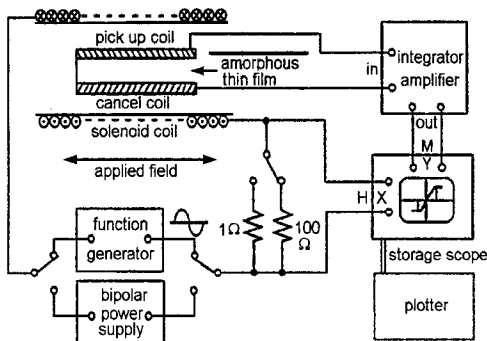


그림 1. 자화곡선의 측정회로
Fig. 1. Measuring circuit of magnetization curve.

께 1~4[μ m], 직경 14[mm· ϕ]의 원형으로 시료를 제작하였다. 스파터링 시간은 20[min]과 30[min]으로 일정하게 하였다. 그리고, Ar가스 주입전의 진공조(chamber)의 진공도는 2×10^{-6} [Torr]이하로 하고, 예비 스파터는 15[min]이상, 입력전력은 400[W]로 하여 스파터링을 하였다.

그리고, 박막제작시 내부에 가해지는 응력을 완화하기 위하여, 결정화온도(360℃)의 부근인 280℃와 400℃에서 열처리를 행하였으며, 인덕턴스는 박막시료에 전류 $i=1$ [mA]를 인가하고, RF LCR(HP-4276, 100Hz~1MHz와 HP-4286A, 1 GHz)를 이용하여 주파수에 따른 인덕턴스의 변화를 측정하였다. 그림 1은 박막의 자화곡선 측정을 위한 개략도를 나타낸 것이다.

3. 실험 및 결과

그림 2는 입력전력을 400[W]로 일정하게 하고, Ar가스의 압력을 변화시켜가면서 제작한 박막의 보자력 H_c 의 변화를 나타낸 것이다. 보자력 H_c 는 Ar압력의 증가로 약간의 감소 경향을 나타내고 있으나, 10[mTorr]를 넘으면 급격히 증가한다. 이것은 Ar압력 10[mTorr] 이상에

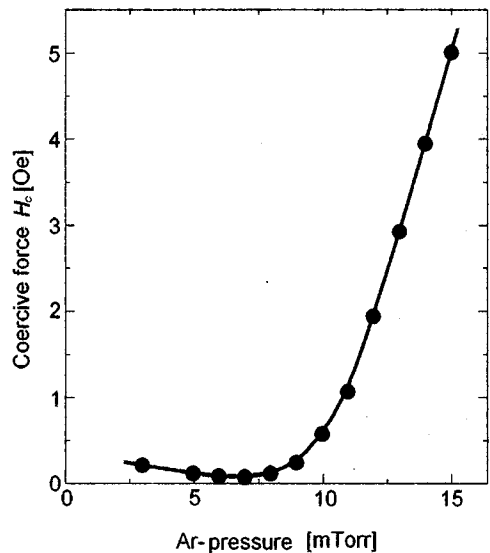


그림 2. Ar가압력과 보자력과의 관계 (입력전력: 400[W])
Fig. 2. Relation of Ar-gas pressure vs. coercive force (power : 400[W]).

서는 유리기판상에 증착되는 스파터입자의 증착속도가 크게 되어, 냉각속도와 정합이 되지 않아, 만들어지는 박막이 결정상으로 되기 때문인 것으로 생각된다.

그림 3은 Ar가스의 압력을 6.4[mTorr]로 일정하게 유지했을 때의 입력전압과 보자력과의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 입력전력 200[W] 전후에서 보자력 H_c 가 급격히 감소하였으며, 그 이상에서는 그 감소가 미약하고 거의 안정 상태를 유지하였다. 이것은 낮은 전력에서는 Ar분자의 가속이 충분하지 못하여, 타겟의 구성원소가 균일하게 스파터되지 않았기 때문인 것으로 생각된다.

그리고, 고주파 연자성 소자에 사용하기 위한 아몰퍼스 자성체의 보자력 H_c 는 0.1[Oe]이하로 작아야 하기 때문에, 그림 3으로부터 알 수 있는 바와 같이, Ar가스압력 6.4[mTorr]에서의 박막의 제작조건은 입력전력 400~470[W]라는 사실을 알 수 있으며, 가장 낮은 보자력은 입력전력 400[W]에서 약 0.084[Oe]이었다.

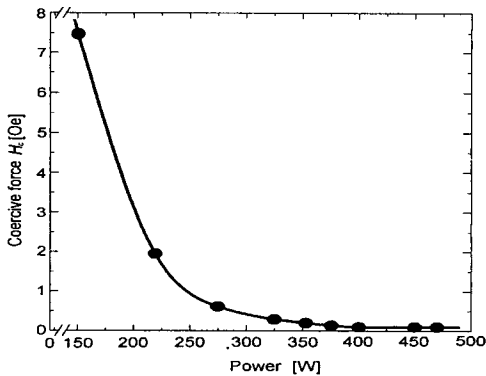


그림 3. 입력전력과 보자력과의 관계
(Ar가스압력 : 6.4[mTorr])

Fig. 3. Relation of input power-coercive force (Ar gas pressure : 6.4 [mTorr]).

그림 4는 입력전력 400[W], Ar가스압 6.4 [mTorr]에서 제작한 시료 박막을 약 150[Oe]의 자계중에서 30분간 열처리를 했을 때의 보자력과 열처리온도와의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이, 온도의 증가에 따라 H_c 는 서서히 떨어지다가 360[°C]부근을 경계로 하여 급격히 증가하고 있다. 이것은 자계중 열처

리에 의해서 박막 내에 일축자기이방성의 유도가 생기고, 또 박막제작시, 내부에 가해진 응력

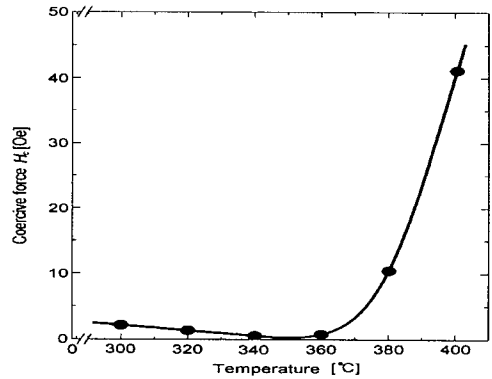


그림 4. 보자력과 열처리온도와의 관계
Fig. 4. Relation of coercive force vs. annealing temperature.

이 완화되었기 때문에, H_c 가 저하한 것으로 생각되며,^{5,6)} 그림에서 보는바와 같이, 360[°C] 이후에서의 H_c 의 증가는, 열처리에 의하여 박막 내에 결정이 생겼기 때문인 것으로 생각된다.

그림 5는 열처리하지 않은 $(Fe_{0.06}Co_{0.94})_{79}Si_2B_{19}$ 와 $(Fe_{0.05}Co_{0.95})_{79}Si_2B_{19}$ 의 자화곡선이다. 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 Co양의 증가에

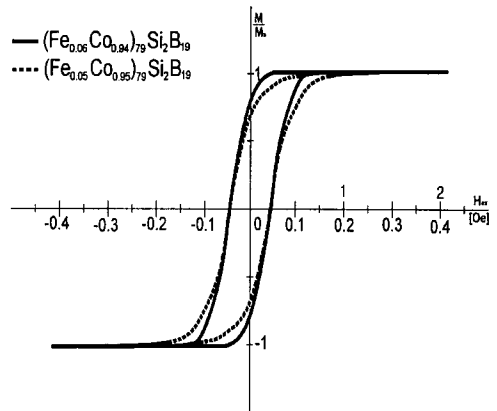
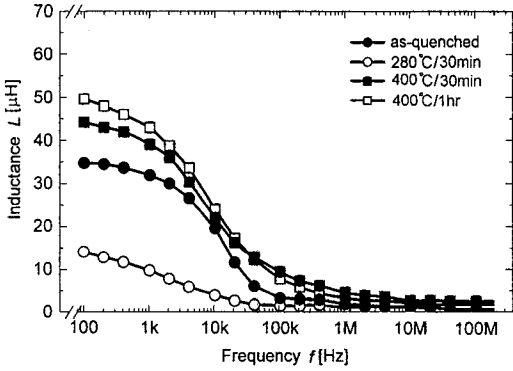


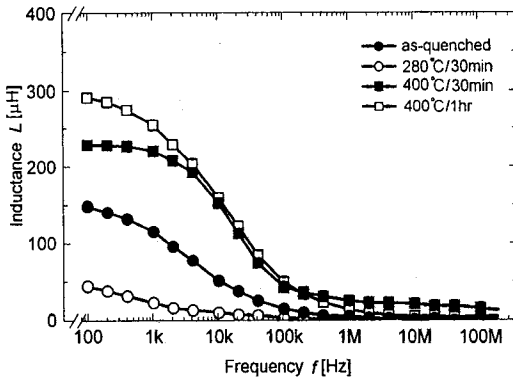
그림 5. 자화곡선
Fig. 5. Magnetization curve.

따라 부의 자왜가 크게 되고, 이방성이 증가하기 때문에 포화에 요하는 자계가 $(Fe_{0.06}Co_{0.94})_{79}$

Si_2B_{19} 의 시료보다 크게 됨을 알 수 있었다. 그림 6은 시료박막의 인덕턴스의 주파수특성을 나타낸 것이고, 표 1은 주파수 100[Hz]에서



(a) $x=0.94$



(b) $x=0.95$

그림 6. 인덕턴스의 주파수의존성
Fig. 6. Frequency dependence of inductance.

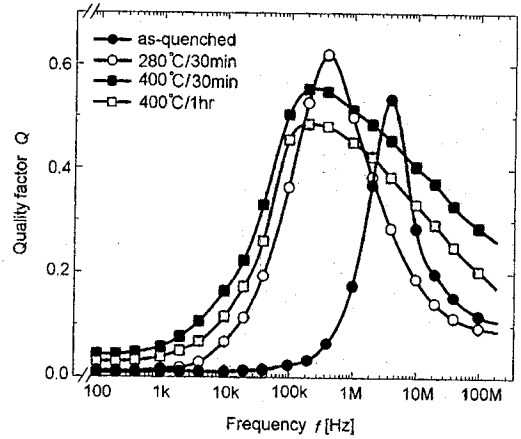
측정한 박막의 인덕턴스 L 의 값이다. Takajo 등의 보고에 의하면⁶⁾, 280°C에서 열처리한 시료는 메이즈 자구패턴을 보이고 있기 때문에 정자왜를 갖는 것으로 판단되며, 결정화 온도(360°C)이상에서 열처리하면, 박막 내에 잔류하는 응력이 완화되기 때문에 이방성이 감소하고, 메이즈상의 자구패턴이 무너져 가기 때문에 부자왜를 나타낸 것으로 추정된다. 또, 인덕턴스 L 은 열처리에 의한 이방성 뿐만 아니라, 자구구조에도 영향을 받게 되므로, 그림 5에 나타난 바와 같이 $x=0.95$ 의 시료가 이방성이 큰데도, 열처리에 의하여 이방성의 저감과

표 1. 인덕턴스의 측정데이터

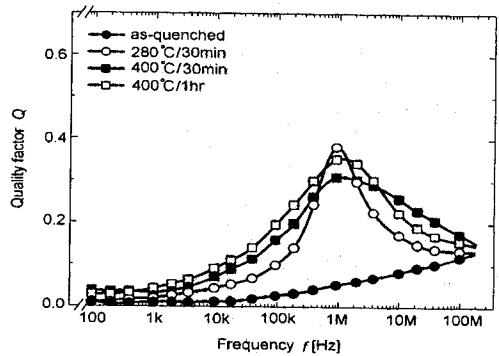
Table 1. Measuring data of inductance.

Freq.	100[Hz]	
Sample	$x=0.94$	$x=0.95$
as-quenched	34.8[μH]	148.5[μH]
30min at 280°C	14.1[μH] (40.5%)	44.6[μH] (30%)
30min at 400°C	49.7[μH] (143%)	292.1[μH] (197%)
1hr at 400°C	44.3[μH] (127%)	229.1[μH] (154%)

※ () : Ratio to the as-quenched films.



(a) $x=0.94$



(b) $x=0.95$

그림 7. Q인자의 주파수의존성
Fig. 7. Frequency dependence of quality factor Q .

자구패턴의 변화때문에 큰 인덕턴스 L 을 나타내었다. 이것은 Takajo 등의 보고와도 일치하고 있다⁶⁾.

그림 7은 Q 인자의 주파수의존성을 나타낸 것으로서, 모든 시료의 Q 값은 0.7이하로서, 280°C에서 30분간 열처리한 경우 $x=0.94$ 인 경우는 400[kHz]에서 약 0.62로 가장 큰 값을 갖지만, $x=0.95$ 인 경우는 1[MHz]에서 약 0.35를 나타내고 있다. 이는 $x=0.94$ 보다 $x=0.95$ 가 열처리에 의하여 자기이방성의 저감과 자기저항의 증가에 따른 것이라 생각된다.

4. 결 론

이상과 같이, 아몰퍼스 자성박막을 제작하여 그 자기특성과 주파수에 따른 인덕턴스의 변화에 대하여 조사한 결과를 정리하면, 다음과 같다.

1) 제작된 아몰퍼스 자성 박막의 가장 낮은 보자력은 입력전력 400[W]에서 약 0.084 [Oe]이었다.

2) $(Fe_{1-x}Co_x)_{79}Si_2B_{19}$ 인 경우, 영자왜 아몰퍼스 자성박막의 최적 조성은 $x=0.94$ 이었다.

3) 열처리를 하지 않은 $x=0.94$ 와 0.95 시료의 인덕턴스 L 은 100[Hz]에서 각각 34.8[μH] 및 148.5[μH]이었으며, 280°C에서 열처리한 박막에서는 각각 14.1[μH] 및 44.6[μH]로 약 30%, 40.5%로 저하하였고, 400°C에서 열처리한 박막에서는 각각 49.7[μH] 및 292.1[μH]로서 약 143%와 197%의 증가율을 얻었다.

4) $(Fe_{1-x}Co_x)_{79}Si_2B_{19}$ 에서 $x=0.95$ 인 경우 400°C에서 30분간 열처리한 $x=0.94$ 인 시료의 경우보다 488%로 개선됨을 알 수 있었다.

5) 시료의 Q 값은 모두 0.7이하로서, 280°C에서 30분간 열처리한 경우 $x=0.94$ 인 경우는

400[kHz]에서 약 0.62로 가장 큰 값을 갖지만, $x=0.95$ 인 경우는 1[MHz]에서 약 0.35를 나타내었다.

따라서, 영자왜 아몰퍼스 자성박막의 MI소자로서의 가능성을 갖추고 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 “’96대학부설 연구소과제 지원”에 의하여 이루어진 것이며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. M.S.Blois : J.Appl.Phys., 26, 975 (1955)
2. 鶴岡 誠外 2人 ; “高飽和磁束密度Co-Zr-Pd及び Co-Hf-Pd系アモルファス膜の磁氣特性”, 日本應用磁氣學會誌, 11, (2) 307 (1987)
3. 竹澤昌晃 外 6人 ; “LC共振を利用した高感度薄膜磁氣センサの可能性”, 日本應用磁氣學會誌, 21, 661 (1997)
4. 川島, 光澤, 吉田, 毛利, L.V.Panina ; “アモルファス磁性ワイヤの磁氣インダクタンス効果とMI素子”, 日本應用磁氣學會誌, 17, 423 (1993)
5. 内山 剛 外 4人 ; “CoFeBアモルファス系パッタ膜の磁氣-インピーダンス効果”, 日本應用磁氣學會誌, 19, (2) 481 (1995)
6. 高城 實, 山崎二郎, 小笠原 勇, 八木正昭 ; “アモルファスワイヤの通電によるインダクタンスの高周波特性”, 日本應用磁氣學會誌, 18, (2) 469 (1994)