

내부 코일형 박막 인덕터의 특성에 미치는 열처리 효과

Annealing Effect on the Characteristics of Thin Film Inductors with Inner Coil Type

閔復基*, 金賢植**, 宋在成***
(Bok-Ki Min, Hyun-Sik Kim, Jae-Sung Song)

Abstract - Thin film inductors of 10 mm×10 mm with inner coil type of 14 turns were fabricated by sputtering, photo-masking, and etching processes. Their characteristics of impedances and annealing after effects were investigated. The properties of impedances of the thin film magnetic core inductors with inner coil type were improved by magnetic field annealing due to the removal of residual stress and the improvement magnetic properties of magnetic films. But the characteristics of frequency of the thin film magnetic core inductors were not improved by magnetic field annealing due to properties of the spiral pattern and inner coil type. The thin film magnetic core inductor annealed by uniaxial field annealing method showed an inductance of 1000 nH and resistance of 6 Ω of 1 at 2 MHz.

Key Words : Thin Film Inductor, Inner Coil Type, Field Annealing, Magnetic Anisotropy, Impedance

1. 서 론

최근 정보 사회가 고도로 발전함에 따라 이동통신기기와 캠코더 등의 고기능 전자기기의 보급이 확산되면서 전자기기의 소형화, 박형화 및 경량화가 급격히 추진되고 있다. 오늘날 반도체 기술의 발전에 힘입어 각종 전자기기 부품의 집적화가 진행되고 있으며, 이러한 집적화를 위해서는 회로 요소에 사용되는 모든 부품들의 소형화·박막화가 우선되어야 함은 더 말할 나위가 없다[1].

현재 전자기기와 관련해서 더 빠른 주파수 응답특성, 더 다양한 기능을 더 작은 체적 내에서의 실현을 위한 노력이 진행되고 있으며, 우선 빠른 응답 특성을 얻기 위해서는 동작 주파수를 고주파화 함으로써 가능하며, 이에 따라 소자의 크기도 한층 줄일 수 있음은 이론이 뒷받침하고 있는 사실이다 [2]. 그러나 한편으로는 대부분의 소자들이 사용 주파수가 높아질수록 그 특성이 저하되기 때문에 고주파화에도 한계가 있다. 따라서 이들의 조화를 위해서는 회로설계 분야에서는 고주파화에 입각한 새로운 회로설계에 관한 연구[3]가, 또 고주파에서의 손실 감소와 아울러 소형화·박막화에 대한 연구 [4]가 이루어져야 할 것이다.

한편 대부분의 전자기기 회로는 인덕터, 트랜스포머, 필터 등의 수동 자기소자와 트랜지스터와 같은 능동 소자가 함께 조합되어 그 기능을 발휘하고 있지만, 자기소자의 소형화는

반도체 소자의 발전 속도에 비하여 그 진전이 매우 늦으며, 이는 자기소자의 소형화 기술이 매우 어렵다는 것을 입증하는 것이기도 하다[5].

이러한 자기소자의 소형화에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있다. 한편 박막 자기소자는 설계 기술, 박막제조 기술, 미세가공 기술, 특성평가 기술들로 이루어져 있으며, 지금까지는 소자설계, 자심 재료의 선정과 증착 방법, 도체막의 종류, 제조공정 등의 연구가 주로 진행되었지만[6,7], 소자의 특성 향상에 대한 후처리 공정과 자심 재료와 박막 자기소자의 특성과의 상관 관계 등에 대해서 체계적으로 고찰한 연구는 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 박막 자기소자 중 도체막만으로 구성된 박막 중심 인덕터와 자성막/도체막/자성막의 다층막으로 된 내부코일 구조의 박막 자심 인덕터를 박막 제조공정과 습식 식각법으로 스파이럴형으로 제조하여 특성에 대해 고찰하고, 열처리에 의한 자성막의 자기 이방성 특성 변화가 자심 인덕터의 임피던스 특성에 미치는 영향에 대해 고찰하였다.

2. 패턴 선정과 박막 인덕터 제조

2.1 패턴 선정

평면 코일로는 루프(loop)형, 스파이럴(spiral)형, 미로(meander)형 등이 있으며, 이들 중에서 스파이럴 코일 구조는 인접 도체간의 상호 인덕턴스는 정(正)으로 되어 역방향으로 흐르는 전류는 다른 방향의 대변을 흐르기 때문에 인접 도체에 큰 영향을 받지 않는다. 따라서 이로 인해 스파이럴형 코일 구조인 경우의 단위 면적당 인덕턴스는 미로형에 비해 더 높은 인덕턴스를 기대할 수 있다. 또한 박막 자심 인덕터의 경우, 자성막/도체막/자성막과 같이 도체막이 상부 자성막과 하부 자성막 사이에 있는 내부코일형 구조는 내부 코일에 흐르는 전류로 발생한 자속이

* 正 會 員 : 韓國電氣研究所 電氣材料研究部 先任研究員
** 正 會 員 : 韓國電氣研究所 電氣材料研究部 委囑研究員
*** 正 會 員 : 韓國電氣研究所 電氣材料研究部 責任研究員
接受日字 : 1998년 10월 15일
最終完了 : 1999년 4월 14일

상·하 자성막에 의해 더 많이 집속되어 높은 인덕턴스를 기대할 수 있으며, 도체막의 옆면이 개방된 구조를 하고 있는 샌드위치형(sandwich type) 구조는 밀폐형 구조보다 인덕턴스는 작지만, 방열 효과가 우수하며, 제조 공정이 용이하다는 장점이 있다[8].

따라서 본 연구에서는 스파이럴형 평면 코일을 기본형으로 한 공심 평면 인덕터와 샌드위치형 구조의 내부 코일형 평면 자심 인덕터를 기본 구조로 설정하였다. 그림 1에 본 연구에서 설정한 박막 자심 인덕터의 모식도와 단면 구조를 나타내었다.

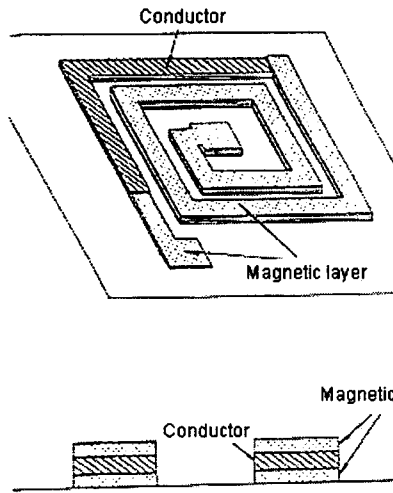


그림 1 내부 코일형 박막 인덕터의 외형
Fig. 1 Shape of thin film inductor with inner coil type.

2.2. 박막 인덕터 제조와 특성평가

본 연구에서는 도체막인 구리막만으로 구성된 박막 공심 인덕터와 도체막과 $Co_{89}Nb_{8.5}Zr_{2.5}$ 비정질 자성막(이하 $CoNbZr$ 으로 표기)을 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 $CoNbZr/Cu/CoNbZr$ 의 구조인 다층막을 제조하였으며, 증착 조건은 표 1에 나타내었다.

표 1 구리막과 $Co_{89}Nb_{8.5}Zr_{2.5}$ 비정질 자성막의 증착조건
Table 1 Deposition conditions of Cu films and amorphous $Co_{89}Nb_{8.5}Zr_{2.5}$ magnetic films.

Condition	Films	Cu film	$Co_{89}Nb_{8.5}Zr_{2.5}$ magnetic film
Base Vacuum		$< 5 \times 10^{-7}$ torr	$< 5 \times 10^{-7}$ torr
Substrate Temperature		water cooling	water cooling
RF Power		100 W	100 W
Ar Pressure		4 mtorr	4 mtorr
Thickness		$12 \pm 1.2 \mu m$	$2 \pm 0.2 \mu m$

또한 증착된 단층 구리막과 $CoNbZr/Cu/CoNbZr$ 의 다층막은 염화철(III) 수용액과 불산을 혼합한 용액으로 스파이럴형 구조로 미세 가공하여 크기 $10 \times 10 \text{ mm}^2$, 선폭 $200 \mu m$, 선간격 $70 \mu m$, 턴수 10회인 박막 공심 및 자심 인덕터를 제조하였다. 본 연구에서 제조한 박막 인덕터를 그림 2에 나타내었다.

자심재료인 $CoNbZr$ 비정질 박막의 자기적 특성 변화가 박막 자심 인덕터의 특성에 미치는 영향을 알기 위해 열처리 조건을 변화시켰다. 열처리는 진공 중에서 회전장중 열처리와 일축장중 열처리를 1500 Oe의 자장 중에서 열처리 온도를 $400 \text{ }^\circ\text{C}$, $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 하여 1시간 동안 행하였다. 또한 자성막에서 설정한 열처리 조건으로 박막 자심 인덕터를 열처리하였다. 자성막은 진동시료형 자력계(VSM)를 이용하여 M-H 이력곡선과 이방성 자계를 박막 투자율 장치를 이용하여 투자율을 측정하였다 또한 박막 인덕터의 임피던스 특성을 측정하기 위해 그림 3과 같이 마이크로 스트립 선로로 구성된 별도의 접속 장치를 제작하여 1 MHz~1 GHz의 주파수 영역에서 network analyzer(HP 3752C)를 이용하여 인덕턴스 L과 저항 R을 측정하였다.

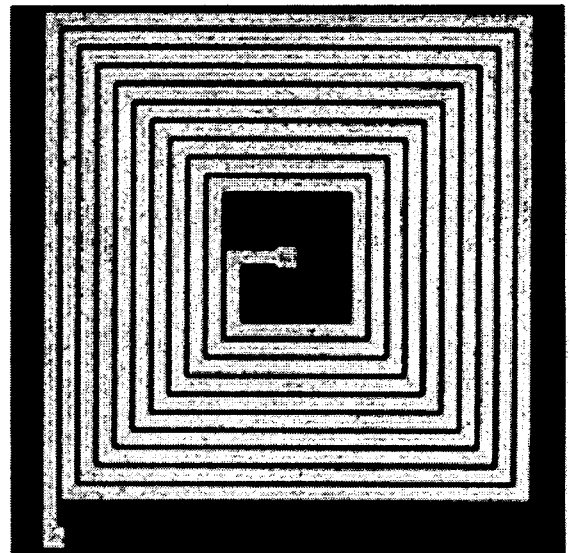


그림 2 습식 식각법으로 제조된 내부 코일형 박막 인덕터
Fig. 2 Thin film inductor with inner coil type by wet etching.

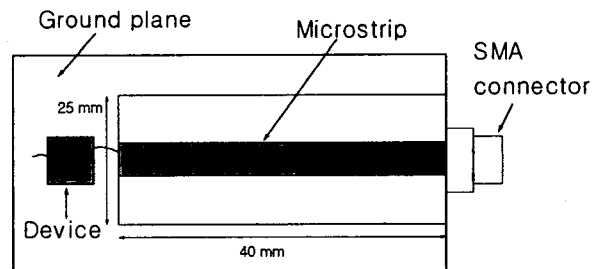


그림 3 임피던스 측정용 장치
Fig. 3 Equipment for measuring impedance.

3. 결과 및 고찰

그림 4에 본 연구에서 제조한 스파이럴 구조의 박막 공심 인덕터와 박막 자심 인덕터의 임피던스 특성을 비교하였다. 박막 공심 인덕터의 경우 인덕턴스는 5 MHz 주파수 영역까지 일정한 값을 유지하며 양호한 주파수 특성을 나타내었고, 인덕턴스는 260 nH정도의 값을 가짐을 알 수 있다. 또한 CoNbZr 비정질 연자성 박막을 2 μm 두께로 증착한 박막 자심 인덕터의 경우, 주파수 1 MHz에서 인덕턴스가 700 nH로 공심 인덕터의 값보다 약 2.5배정도 증가하였다. 이는 내부 도체로 흐르는 전류에 의해 발생하는 자속이 상·하부의 자성막에 의해 집중되어 인덕턴스가 증가하였다고 생각된다[8]. 그러나 박막 자심 인덕터의 경우 주파수가 증가함에 따라 인덕턴스는 거의 직선적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 저항의 경우 공심 인덕터는 4 MHz까지 거의 일정하며 그 이상의 주파수 영역에서 증가하기 시작한다. 그러나 자심 인덕터의 경우는 주파수 증가에 따라 증가함을 알 수 있다.

이와 같이 박막 자심 인덕터의 경우 5 MHz 이하의 주파수 영역에서는 공심 인덕터보다 인덕턴스는 증가하였지만, 주파수가 증가함에 따라 인덕턴스가 거의 직선적으로 감소하였다. 이는 자성막의 이방성 특성에 의한 것과 박막 인덕터의 구조에 기인한 것으로 크게 2가지로 나누어 생각할 수 있다[9].

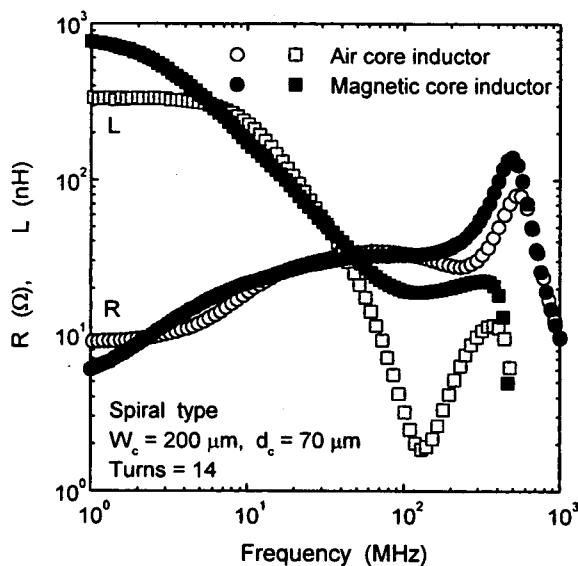


그림 4 주파수 변화에 따른 박막 공심 인덕터와 내부 코일형 박막 자심 인덕터의 인덕턴스와 저항의 변화

Fig. 4 Change in the inductance(L) and resistance (R) as a function of frequency for thin film air core inductor and magnetic core inductor with inner coil type.

따라서 본 연구에서는 우선 자심 재료인 CoNbZr 비정질 연자성 박막의 이방성과 박막 인덕터의 주파수 특성과의 관계에 대해 연구하였다.

일반적으로 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 연자성 박막을 제조할 경우에 증착조건과 장치에 따라 일축 자기이방성이 발생하며, 이러한 증착상태에서의 자기이방성은 자성 원자의

방향성 규칙 배열(directional ordering)에 의해 발생되지만, 증착조건과 장치 등의 여러 가지 인자에 따라 이방성의 크기와 방향이 달라질 수 있으며[10], 이러한 CoNbZr 비정질 박막을 고주파용 박막 자기소자의 자심재료로써 응용하기 위해서는 불규칙한 이방성을 제어할 필요가 있다[11].

따라서 증착된 CoNbZr 연자성 박막의 이방성을 제어하기 위해서 회전자장 및 일축자장 중에서 열처리를 행한 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 (a)는 증착된 박막의 자기이력 곡선으로, 방향은 불규칙하며, 이방성 자계(H_k)는 11 Oe이었다.

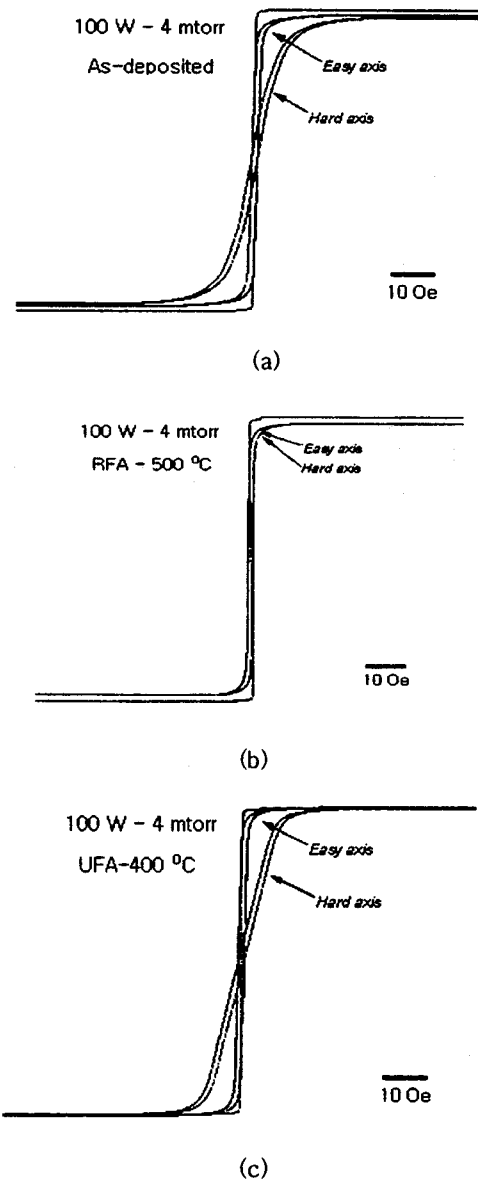


그림 5 $Co_{99}Nb_{8.5}Zr_{2.5}$ 비정질 박막의 M-H 이력 곡선. (a) 증착된 상태 (b) 회전자장중 열처리 (c) 일축자장중 열처리

Fig. 5 Typical M-H hysteresis curves of (a) as-deposited, (b) rotational field annealed, and (c) uniaxial field annealed amorphous $Co_{99}Nb_{8.5}Zr_{2.5}$ thin films.

또한 그림 (b)와 같이 500 °C에서 1시간 동안 회전자장 중에서 열처리를 행하였을 때 이방성을 완전히 제거할 수 있었으며, 그림 (c)와 같이 400 °C에서 1시간 동안 일축자장 중에서 열처리를 하였을 때 원하는 방향으로 자기이방성을 인가할 수 있었고, 이 때 이방성 자계는 17 Oe으로, 열처리를 하지 않은 박막보다 이방성 자계는 50 % 이상 향상되었다. 또한 자장 중 열처리에 의해 직류 특성인 보자력과 포화자화는 크게 변하지 않았다.

그림 6은 열처리를 하지 않은 것과 열처리를 행한 CoNbZr 비정질 박막의 투자율 (μ')의 변화를 나타낸 것이다. 열처리를 하지 않은 CoNbZr 비정질 박막의 경우는 자화 곤란축의 투자율은 40 mH의 주파수 영역까지 일정한 값을 유지하며 그 이상의 주파수에서 감소하기 시작하였다. 그러나 일축 자기 이방성을 제거하는 열처리 조건인 500 °C에서 1시간 동안 회전자장중 열처리한 CoNbZr 박막은 투자율의 주파수 특성이 열화되었다. 한편 이방성 자계가 가장 크게 나타난 조건인 400 °C에서 1시간 동안 일축자장중 열처리한 경우 자화 곤란 축 방향으로 투자율은 열처리를 하지 않은 CoNbZr 박막보다 향상되었으며, 주파수 특성도 개선됨을 알 수 있다.

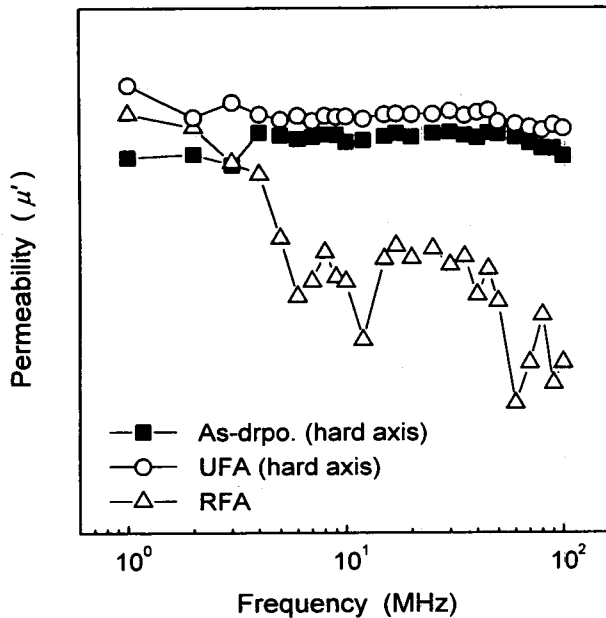


그림 6 주파수 변화에 따른 $\text{Co}_{89}\text{Nb}_{8.5}\text{Zr}_{2.5}$ 비정질 박막의 투자율 변화

Fig. 6 Change in the permeability(μ') as a function of the frequency for $\text{Co}_{89}\text{Nb}_{8.5}\text{Zr}_{2.5}$ thin films.

이상의 결과로 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 증착된 CoNbZr 비정질 연자성 박막은 불규칙한 방향으로 일축자기 이방성을 가지며, 이방성 자계는 11 Oe이었다. 그러나 이러한 불규칙한 자기이방성은 자장중 열처리에 의해 제어가 가능하며, 회전자장중 열처리에 의해 이방성은 제거할 수 있었으며, 일축자장중 열처리에 의해 원하는 방향으로 이방성을 인가할 수 있었다.

그림 7은 자성막의 자기이방성이 박막 자심 인덕터의 주파수 특성에 미치는 영향을 알기 위해 열처리를 하지 않은 (as-deposited) 박막 자심 인덕터와 앞선 자성막의 열처리 결과로부터 자장을 1500 Oe의 자장을 인가한 상태로 400 °C에서 1시간 동안 일축자장중 열처리(UFA)한 박막 자심 인덕터 및 1500 Oe의 자장 중에서 500 °C, 1시간 동안 회전 속도를 분당 20회로 하여 회전자장중 열처리(RFA)한 박막 자심 인덕터의 인덕턴스와 저항의 주파수 특성을 나타낸 것이다. 전체적으로 열처리하지 않은 것과 열처리 방법을 달리한 박막

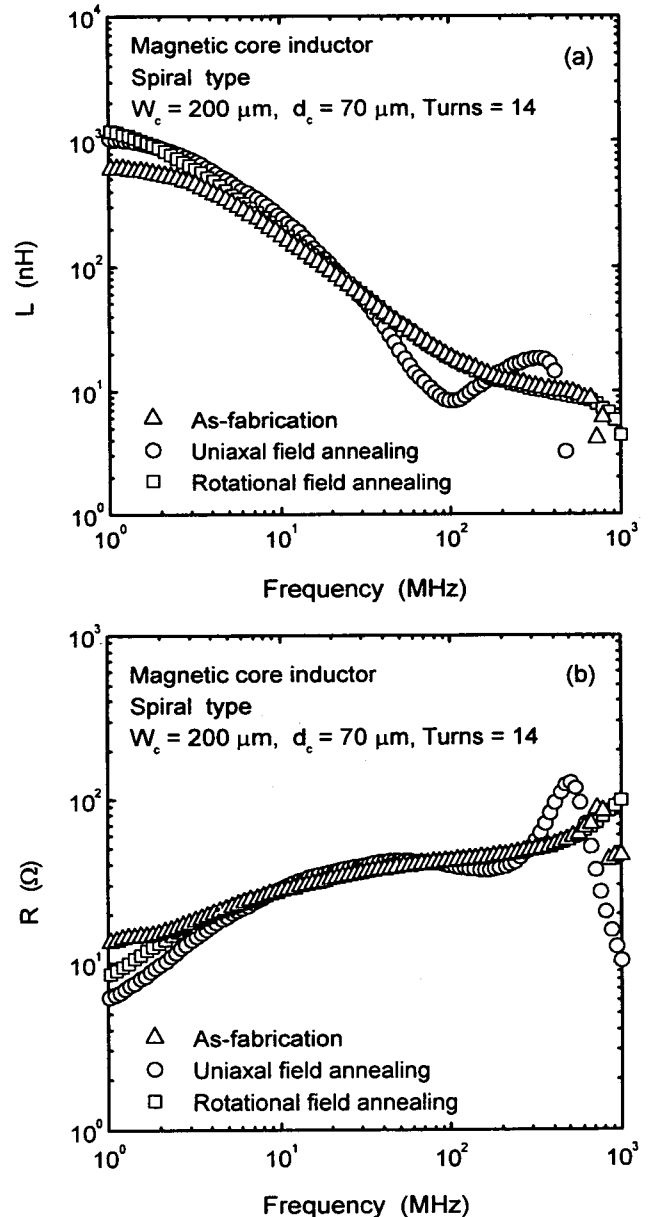


그림 7 주파수 변화에 따른 내부 코일형 박막 자심 인덕터의 인덕턴스와 저항의 변화

Fig. 7 Change in the inductance(L) and resistance (R) as a function of frequency for magnetic core inductor with inner coil type.

인덕터의 저항과 인덕턴스의 주파수 특성은 유사한 경향을 나타내었다. 또한 10 MHz 주파수 영역 내에서 회전자장중 열처리나 일축자장중 열처리를 행한 박막 자심 인덕터는 열처리하지 않은 박막 자심 인덕터보다 저항은 반으로 감소하였고, 일축자장 중에서 열처리한 경우 저항이 가장 낮았다. 인덕턴스의 경우는 열처리한 박막 자심 인덕터의 경우 열처리하지 않은 박막 인덕터보다 약 1.5배정도 증가하였음을 알 수 있으며, 이는 열처리에 의해 박막 인덕터 제조과정 중에 발생하는 내부 응력의 제거 효과와 자성막의 특성 향상에 기인한 것으로 생각된다. 또한 자장 중에서 열처리한 박막 자심 인덕터의 경우 3 MHz 주파수 영역까지 인덕턴스는 1000 nH 이상의 높은 값을 나타내었다. 또한 회전자장 중에서 열처리한 박막 자심 인덕터의 경우 인덕턴스는 일축자장 중에서 열처리한 박막 자심 인덕터보다 주파수 2 MHz까지는 다소 높은 값을 나타내었다. 그러나 주파수가 증가함에 따라 인덕턴스의 감소율은 일축자장 중에서 열처리한 박막 자심 인덕터보다 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 CoNbZr 비정질 연자성 박막을 400 °C에서 일축자장중 열처리를 행한 결과 이방성 자계는 증가하고 투자율의 특성이 향상되었지만, 일축자장 중에서 열처리한 박막 자심 인덕터의 인덕턴스는 주파수 변화에 따라 인덕턴스가 일정한 영역이 투자율의 주파수 특성과 일치하지 않았다. 이는 내부코일 구조의 스파이럴형 박막 자심 인덕터는 자성막의 특성 변화에 큰 영향을 받지 않음을 의미한다[12].

이상의 결과로부터 공심 인덕터보다 자심이 있는 자심 인덕터의 경우 인덕턴스는 증가하고, 일축자장 중에서 열처리하였을 때 자심재료의 이방성 자계의 증가와 투자율의 증가로 인해 인덕턴스 특성은 향상되었지만, 주파수 증가에 따른 인덕턴스의 변화는 자심의 자기적 특성 변화에 큰 영향을 받지 않았다. 이는 자성막/도체막/자성막의 내부 코일형 구조와 스파이럴형 패턴의 특성에 기인한 것이라고 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 자기소자중 기본적인 구조를 가진 박막 인덕터를 자심재료인 Co-계 비정질 박막과 도체재료인 구리막을 고주파 마그네트론 스퍼터링법으로 다층막을 증착하여 습식 식각법으로 내부코일 구조의 스파이럴형으로 제조하고, 자장중 열처리 방법에 따른 자심재료의 특성 변화가 박막 인덕터의 특성에 미치는 영향에 대해 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Co₈₉Nb_{8.5}Zr_{2.5} 비정질 연자성 박막을 회전자장중 열처리를 행한 결과 500 °C 이상의 온도에서 일축자기 이방성이 완전히 분산되어 등방성의 특성을 나타내었다. 또한, 일축자장중 열처리를 행한 결과 400 °C에서 원하는 방향으로 이방성을 인가할 수 있으며, 이방성 자계가 17 Oe 정도로 증착된 상태보다 1.5배 이상 향상된 값을 가지며, 투자율 특성이 향상되었다.

2. 공심 인덕터보다 자심이 있는 자심 인덕터의 경우 인덕턴스는 260 nH에서 700 nH로 증가하고, 일축자장 중에서 열처리하였을 때 자심재료의 이방성 자계의 증가와 투자율의

증가로 인해 인덕턴스는 1,000 nH까지 특성이 향상되었지만, 주파수 증가에 따른 인덕턴스의 변화는 자심의 자기적 특성 변화에 큰 영향을 받지 않았다.

3. 크기가 10×10 mm², 도체 폭이 200 μm, 도체 간격이 70 μm, 턴수가 14인 박막 자심 인덕터를 제조하여 일축자장 중에서 400 °C에서 1시간 동안 등은 열처리한 결과 3 MHz영역에서 인덕턴스는 1000 nH 이상이고, 저항은 6 Ω이었다.

참 고 문 헌

[1] K. Shirae, "Special Issue on A New Development in Magnetism -Micromagnetic Devices-", T. IEE Japan, Vol. 111-A, No. 4, 259 (1991)

[2] M. Yamaguchi, S. Arakawa, H. Ohzeki, H. Hayashi, K. I. Arai, "Characteristics and analysis of a thin film inductor with closed magnetic circuit structure", IEEE Trans. Magn., 28, 3015 (1992)

[3] 武田, 白川, 平田, 村上, "高周波領域における薄膜インダクタの特性解析", 電氣學會マグネティックス研究會資料 MAG-89-164 (1989)

[4] K. I. Arai, M. Yamaguchi, H. Ohzeki, "An improved technique of impedance measurement for thin film inductors over 10 MHz", IEEE Trans. Magn., 28, 2175 (1992)

[5] Shimada, "Recent developments of micro-magnetic devices and related technologies," 日本電氣學會マグネティックス研究會 MAG-97-1, 1 (1997)

[6] 荒川, 山口, 荒井, "内部コイル形薄膜インダクタの特性", 第16回日本應用磁氣學術演概要集 9PA-18 (1992)

[7] 三上 寛祐, 述本 浩章, 白江 公輔, "内部コイル形薄膜インダクタの基礎的特性", 電氣學會マグネティックス研究會資料 MAG-91-59 (1991)

[8] 川信一郎, "薄膜インダクタの基礎特性に関する研究", 修士學位論文, 東北大學校 (1993)

[9] 김현식, "Co-계 비정질 자성 박막을 이용한 평면 인덕터의 제조와 특성", 박사학위논문, 경남대학교 (1998)

[10] M. Miura, H. Katahashi, M. Muramori and M. Kajiyama, "Annealing Behavior of Magnetic Anisotropy of CoNbZr Films" IEEE Trans. Magn., Vol. 24, No. 5, 2215 (1988)

[11] 김현식, 민복기, 송재성, 오영우, "Co₈₉Nb_{8.5}Zr_{2.5} 비정질 박막의 이방성에 미치는 열처리 효과", 한국전기전자재료학회지, 11권 6호 486 (1998)

[12] 平田, 白天, 鳥性, 村上, "薄膜インダクタの慈心形状と電氣特性", 第14回日本應用磁氣學術演概要集 11aG-6 (1990)

저 자 소 개



민복기 (閔馥基)

1959년 9월 26일생. 1982년 고려대 공대 재료공학과 졸업. 1984년 동 대학원 재료 공학과 졸업(석사) 1996년 동 대학원 재료 공학과 박사과정 수료. 1991년 현재 한국 전기연구소 전기재료연구부 선임연구원

Tel : (0551) 280-1642

E-mail : bkmin@keri.re.kr



김현식 (金賢植)

1967년 3월 20일생. 1992년 경남대 공대 무기재료공학과 졸업. 1998년 동 대학원 재료공학과 졸업(박사) 1998년 현재 한국 전기연구소 전기재료연구부 위촉연구원

Tel : (0551) 280-1646

E-mail : kimhs@keri.re.kr



송재성 (宋在成)

1956년 8월 31일생. 1980년 서울대 공대 금속공학과 졸업. 1991년 한국과학기술원 재료공학과 졸업(박사) 1982년 현재 한국 전기연구소 전기재료연구부 책임연구원

Tel : (0551) 280-1640

E-mail : jssong@keri.re.kr