내부코일형 박막 인덕터의 특성과 열처리 효과

민복기, 김현식, 송재성
한국전기연구소 전기재료연구부

Characteristics of Thin Film Inductors and Its Annealing After Effects

B. K. Min, H. S. Kim, J. S. Song
KERI, Division of Electrical Materials

Abstract - Thin film inductors of 10 ㎜×10 ㎜ with spiral pattern of 14 turns were fabricated by sputtering, photo-masking, and etching processes. Their impedence characteristics and annealing after effects were investigated. After magnetic annealing, the impedence characteristics of the inductors were improved at comparatively low frequencies, but the tendencies of it for thr frequency changes were almost same. These improvement was caused by the annihilation of the internal stresses of films, Uniaxial field annealed thin film inductor had an inductance of 1000 nH, resistance of 6 Ω, and quality factor of 1 at 2 ㎒.

1. 서 론

최근 고도 정보사회의 발전에 따라 비디오 기기, 퍼스컴, 핸디폰, 평판형 디스플레이 등 휴대형 전자기기들은 소형화, 박형화 및 경량화가 급격히 추진되고 있으며, 이 기기들에 내장되는 인덕터, 변압기 등 자기소자를 포함한 전자회로들은 소형 고집적화, 고주파에의 기술 추세에 대응하는 능력을 강력히 요구받고 있다[1]. 이러한 요구에 의해 마이크로 자기소자에 대해 일본을 비롯한 기술 선진국에서는 활발한 연구가 진행되고 있지만, 국내에서는 미미한 실정이다. 더욱이 제조된 박막 인덕터를 열처리한 후 임피던스 특성 변화에 대해 체계적으로 고찰한 연구는 거의 없다[2].

따라서 본 연구에서는 박막 제조공정과 미세 가공공정을 통하여 내부코일형 박막 인덕터를 제조한 후 회전자장중 열처리와 일축자장중 열처리를 행하였으며, 이러한 열처리 방법이 박막 인덕터의 임피던스 특성에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 구리막과 자성막은 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 제조하였으며, 증착 조건은 Table 1에 나타내었다.

박막 인덕터의 크기는 10×10 mm^2으로 하였으며, 그림 1에 본 연구에서 제조한 박막 인덕터의 사진을 나타내었다. 코일의 구성은 Si wafer 기판 위에 자성막/도체막/자성막의 배열로 되어 있으며, 이를 내부코일형이라고 한다.

제조된 평면 자심 인덕터를 1500 Oe의 자장중에서 400 ℃, 1시간 동안 일축 자장중 열처리와 500 ℃, 1시간 동안 회전수 20 rmp의 조건으로 회전 자장중 열처리를 행하였다. As-fabricated 상태의 시료와 열처리 시료에 대하여 각각 임피던스의 특성 변화를 고찰하였다.

제조된 평면 인덕터의 주파수 특성을 측정하기 위해 마이크로 스트립 선로로 구성된 별도의 접속 치구를 제작하여 1 ㎒~1 ㎓의 주파수 영역에서 network analyzer를 이용하여 인덕턴스 L과 저항 R을 측정한 후 성능지수(Q)는 다음 식으로부터 계산하였다.

$$Q = \omega \frac{L}{R} \quad (\omega = 2\pi f)$$

Table 1 Deposition conditions of Cu and amorphous $Co_{89}Nb_{8.5}Zr_{2.5}$ films.

Condition \ Films	Cu film	$Co_{89}Nb_{8.5}Zr_{2.5}$ film
Base Vacuum (torr)	< 3×10^{-7}	< 3×10^{-7}
Substrate Temperature	water cooling	water cooling
Target - Substrate Distance (mm)	50	50
RF Power (W)	100	100
Ar Pressure (mtorr)	4	4
Thickness (㎛)	12±1.2	2±0.2

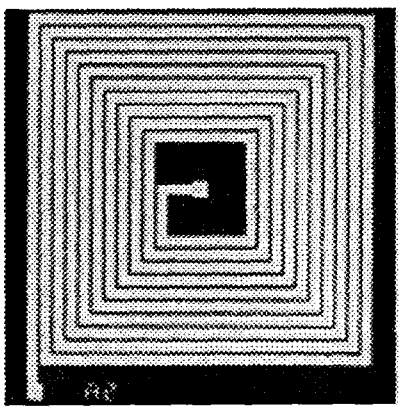
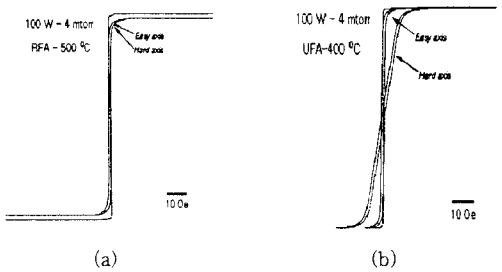


Fig. 2 Shape of planar magnetic core inductor of spiral coil type.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 자심재료로 비정질 $Co_{89}Nb_{8.5}Zr_{2.5}$ 연자성 박막을 사용하였으며, RF 마그네트론 스퍼터링법으로 자성박막을 제조할 경우 증착 조건에 따라 이방성이 불규칙한 방향으로 발생한다[3]. 따라서 증착된 CoNbZr 연자성 박막의 이방성을 제어하기 위해서 회전자장중 및 일축자장중에서 열처리를 행한 결과를 그림 2에 나타내

었다. 그림에서 알 수 있듯이 500 ℃에서 회전자장중 열처리를 행하였을 때 이방성을 완전히 제거할 수 있었으며, 400 ℃에서 일축자장중 열처리를 했을 때 원하는 방향으로 이방성을 자기 이방성을 인가할 수 있었다. 또한 일축자장중 열처리를 한 경우 이방성 자계(H_k)가 17 Oe 이었다.



(a) (b)

Fig. 2 Typical M-H hysteresis curves of (a) rotational field annealed CoNbZr thin films and (b) uniaxial field annealed CoNbZr thin films.

그림 3은 열처리를 하지 않은(as-fabricated) 평면 자심 인덕터와 자장을 1500 Oe의 자장을 인가한 상태로 400 ℃에서 1시간 동안 일축자장중 열처리(UFA)한 평면 자심 인덕터 및 1500 Oe의 자장 중에서 500 ℃, 1시간 동안 회전 속도를 분당 20회로 하여 회전자장중 열처리(RFA)한 평면 자심 인덕터의 저항, 인덕턴스 및 성능지수의 주파수 특성을 나타낸 것이다. 그림 (a)에서 전체적으로 저항과 인덕턴스의 주파수 특성은 유사한 경향을 나타내었다. 또한 10 ㎒ 주파수 영역 내에서 회전자장중 열처리나 일축자장중 열처리를 행한 평면 자심 인덕터는 열처리하지 않은 평면 자심 인덕터보다 저항은 반으로 감소하였고, 일축자장 중에서 열처리한 경우 저항이 가장 낮

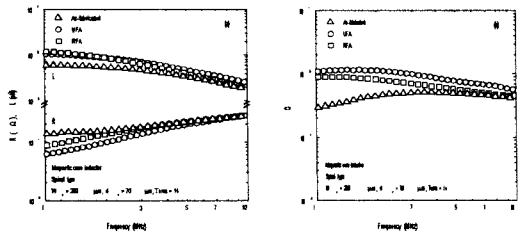


Fig. 3 The impedance properties of thin film inductors.(a) L, R, (b) Q

았다. 인덕턴스는 열처리한 평면 자심 인덕터의 경우 약 2배정도 증가하였음을 알 수 있으며, 이는 열처리에 의해 평면 인덕터 제조공정 중에 발생하는 내부 응력의 제거 효과와 자성막의 특성 향상에 기인한 것으로 생각되며, 또한 3 ㎒ 주파수 영역까지 인덕턴스는 1000 nH 이상의 높은 값을 가진다. 또한 회전자장중에서 열처리한 평면 자심 인덕터의 경우 인덕턴스는 일축자장중에서 열처리한 평면 자심 인덕터보다 주파수 2 ㎒까지는 다소 높은 값을 나타내었다. 그러나 주파수가 증가함에 따라 인덕턴스의 감소율은 일축자장중에서 열처리한 평면 자심 인덕터보다 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 $Co_{89}Nb_{8.5}Zr_{2.5}$ 비정질 연자성 박막을 400 ℃에서 일축자장중 열처리를 행한 결과 이방성 자계는 증가하고 투자율의 특성이 향상되었지만, 제조된 평면 자심 인덕터를 일축자장중에서 열처리한 경우에는 인덕턴스는 주파수 변화에 따라 일정한 영역이 투자율의 주파수 특성과 일치하지 않았다. 이는 앞서 고찰한 것과 같이 내부코일형 구조의 스파이럴형 평면 자심 인덕터는 자성막의 특성 변화에 큰 영향을 받지 않음을 의미한다. 또한 그림 (b)에서 회전자장중 열처리 및 일축자장중 열처리를 행한 평면 자심 인덕터의 경우 열처리를 하지 않은 평면 자심 인덕터보다 인덕턴스의 증가와 저항의 감소와 인덕턴스의 증가로 인해 성능지수는 증가하였고, 일축자장중 열처리를 행한 경우 성능지수가 가장 높았음을 알 수 있다. 이는 고주파 영역에서는 자기이방성이 있는 평면 자심 인덕터가 다소 유리하다고 생각된다.

이상의 결과로부터 평면 인덕터는 자심이 있는 경우 인덕턴스는 증가하고, 일축자장중에서 열처리하였을 때 자심 재료의 이방성 자계의 증가와 투자율의 증가로 인해 임피던스 특성이 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.

3. 결 론

수 ㎒대역의 평면 인덕터를 제조하기 위해 평면 인덕터의 설계 결과를 기초로 하여 박막 제조, 미세 가공공정을 통해 스파이럴형 평면 공심 인덕터와 자성막/도체막/자성막으로 구성된 내부 코일구조의 평면 자심 인덕터를 제조하고, 제조된 평면 자심 인덕터를 열처리한 후 임피던스 특성 변화에 대해 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 열처리된 내부 코일형 평면 자심 인덕터는 내부응력 제거와 자성막의 특성 향상에 의해 열처리하지 않은 자심 인덕터에 비해 인덕턴스의 증가와 저항의 감소로 인해 성능지수는 증가하였지만, 주파수 특성은 변하지 않았다.

2. 습식 식각법으로 크기가 10×10 mm^2, 도체 폭이 200 ㎛, 도체 간격이 70 ㎛, 턴수가 14인 평면 자심 인덕터를 제조하여 일축자장중에서 400 ℃에서 1시간 동안 등온 열처리한 결과 수 ㎒영역에서 인덕턴스는 1000 nH 이상이고, 저항은 6 Ω이며, 성능지수가 1 이상이었다.

[참 고 문 헌]

[1] H. Fujimori, 日本應用磁氣學會誌, **21**, 99 (1997)
[2] S. Muraoka, K. Takahash and H. Sakakima, IEEE trans. Magn., **MAG-8**, 864 (1987)
[3] M. Mitera, K. Shirakawa and T. Masumoto, 日本應用磁氣學會誌, **20**, 409 (1996)
[4] 川信一郎, "薄膜インダクタの基礎特性に關する研究", 修士學位論文, 東北大學校 (1993)