

박막 자심 인덕터의 제조와 특성

김현식*, 민복기**, 변우봉**, 김기욱**, 송재성**, 오영우*

* 경남대학교 무기재료공학과 ** 한국전기연구소 비정질재료연구팀

Fabrication and Properties of Thin-Film Inductors with Magnetic Core

Hyun-Sik Kim*, Bok-Ki Min**, Woo-Bong Byun**, Ki-Uk Kim**, Jae-Sung Song**, Young-Woo Oh*

* Dept. of inorganic Material Eng. Kyungnam Univ. ** KERI, Amorphous Team

Abstract - In this study, We fabricated thin film magnetic core inductors by using thin film manufacturing techniques such as photolithography and wet etching process. The inductors were prepared using multi-layered CoNbZr/Cu/CoNbZr. These devices are measured at high frequency range of 1 MHz~1 GHz.

1. 서 론

최근 고도 정보사회의 발전에 따라 전자기기의 소형화, 박형화 및 경량화가 급격히 추진되고 있다. 오늘날 반도체 기술의 발전에 힘입어 각종 전자기기 부품의 집적화가 진행되고 있으며, 더 나아가서 전체 회로 소자들의 집적화가 이루어질 것이며, 이러한 집적화를 위해서는 회로 요소에 사용되는 모든 소자들의 소형화가 우선되어야 함은 더 말할 나위가 없다[1].

대부분의 회로는 인덕터, 트랜스포머, 필터 등의 수동 자기소자가 트랜지스터 등의 반도체 등동소자와 함께 조합되어 그 기능을 발휘하고 있다. 그러나 자기소자의 소형화는 반도체 소자의 발전 속도에 비하여 그 진전이 매우 더딘 실정이다. 이는 그 만큼 자기소자의 소형화를 위한 기술이 매우 어렵다는 것을 입증하는 것이기도 하다[2].

최근 자기소자의 소형·박형화에 대한 연구는 기존의 벌크형 자기소자는 다른 구조를 가진 박막 형태로 집적화된 마이크로 자기소자의 개발에 관한 것이 대부분이며, 마이크로 자기소자의 고성능화를 위해서는 새로운 소자구조의 고안, 고주파 자성재료의 개발과 더불어 박막제조기술 및 미세가공기술이 확립되어야 한다. 그러나, 지금까지 행해진 연구에 있어서 미세가공기술은 다른 기술에 충분치 않아 소자제작에 많은 어려움을 냥고 있다[3].

따라서 본 연구에서는 박막 자심 인덕터의 시작 품을 개발하는 것을 목표로 하여 박막 제조공정, 미세 가공공정과 특성평가 등의 기술을 확립하여

자성막/도체막/자성막으로 구성된 내부코일형 자심 인덕터를 제조하여 1 MHz~1 GHz의 주파수 영역에서 임피던스 특성을 고찰하였다.

2. 소자의 제조공정

본 실험에서 스파이럴형 평면 코일을 기본 구조로 하여 박막 제조공정, 사진 공정, 식각 공정을 통하여 자성막/코일막/자성막으로 구성된 내부코일형 자심 인덕터를 제조하였다.

2.1. 박막 제조 공정

본 실험에서는 RF 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하여 구리막과 자성막을 각각 제조하였다. 타겟은 직경 4"인 구리(99.99%)와 Co₈₉Zr_{2.5}Nb_{8.5}(이하 CNZ로 나타냄.)를 사용하였으며, 기판은 Si-wafer를 중류수, TCE(trichloroethylene), 아세톤, 에틸 알코올 순으로 세척한 후, Ar 가스로 건조시킨 후 사용하였다. 또한, 초기 진공도를 로터리 펌프와 TMP(turbo molecular pump)를 이용하여 초기 진공도를 3×10^{-7} torr 이하로 하여, MFC (mass flow controller)로 Ar 유량을 8cc/min으로 일정하게 유지시킨 후, 메인 밸브를 이용하여 챔버 내 증착 압력을 조절하여 20분 정도 예비 스퍼터링을 행한 후, 자성막(0.7μm)/구리막(10μm)/자성막(0.7μm)으로 구성된 다층막을 제조하였다. 표 1에 본 실험에서 사용한 증착 조건을 나타내었다.

표 1 구리막과 자성막 증착 조건

Table 1 Deposition conditions of Cu and magnetic films.

Condition Films	Vacuum ($\times 10^{-7}$ torr)	RF Power (W)	Ar Pressure (mtorr)	Thickness (μm)
Cu Film	< 3	200	20	10
Magnetic Film	< 3	100	10	0.7

2.2. 패턴 형성 및 미세가공 공정

증착된 CNZ/Cu/CNZ 다층막 위에 Photoresist (PR)를 도포하기 전에 HMDS(Hexametylidisilane)를 도포한 후 PR을 스펜 코팅기를 이용하여 $1.2\mu\text{m}$ 로 균일하게 도포시키고 전조기에서 95°C 에서 30분간 soft baking을 행하였다. 노광은 이미 제조된 Cr 마스크와 Aligner(Canon PLA-600F)를 이용하여 UV광으로 9초 동안 행하였고, 노광된 시료를 현상액과 물을 혼합한 용액에서 현상한 후, 110°C 에서 30분간 hard baking을 행하였다.

식각 공정은 염기성 수용액과 불산을 적당한 비로 혼합하여 CNZ/Cu/CNZ 다층막을 동시에 습식식각한 후 PR stripper 용액에서 PR을 제거하여 최종 박막 자심 인덕터를 제조하였다.

2.2. 박막 인덕터의 특성 평가

제조된 박막 인덕터의 주파수 특성을 측정하기 위해 별도의 접속 zig를 그림 1과 같이 제작하였다. 제작된 zig는 1 GHz 영역까지 측정 가능하도록 설계되었다. 또한, 소자와 zig를 wire(Cu, $\varphi=0.1\text{mm}$)을 사용하여 납땜으로 접속시킨 후, 1MHz~1GHz의 주파수 영역에서 Network analyser를 이용하여 인덕턴스 L과 저항 R를 측정한 후 성능지수 Q는 다음의 식으로 계산하여 구하였다[4].

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

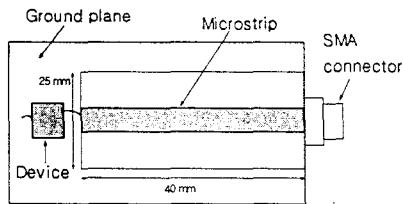


그림 1 임피던스 특성 측정용 Zig.

Fig. 1 Fabrication of zig used for measuring system

3. 결 과

그림 2에 습식 식각된 CNZ/Cu/CNZ 다층막의 단면 구조를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 식각된 단면은 이방성 구조에 가까운 형태로 식각되었음을 알 수 있다. 본 연구에서는 현재 자기 소자 제조공정 중 가장 문제가 되는 식각 공정을 간단하고 경제적인 습식 식각법으로 CNZ/Cu/CNZ 다층막을 동시에 식각할 수 있는 기술을 개발하였다[5].

그림 3은 습식 식각법으로 제조된 스파이럴 코일형 자심 인덕터의 외형을 나타내었다. 제조된 패턴은 크기가 $10 \times 10\text{ mm}$ 이고, 선폭은 $200\mu\text{m}$, 선간격은 $70\mu\text{m}$ 이며, turn 수는 10회이다. 그림에서 보는



그림 2 습식 식각된 CNZ/Cu/CNZ 다층막의 단면 구조

Fig. 2 Cross-section structure of CNZ/Cu/CNZ multilayer etched by wet methods.

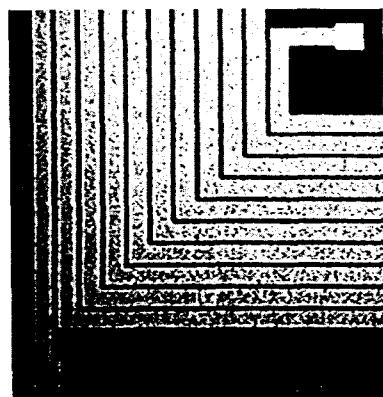
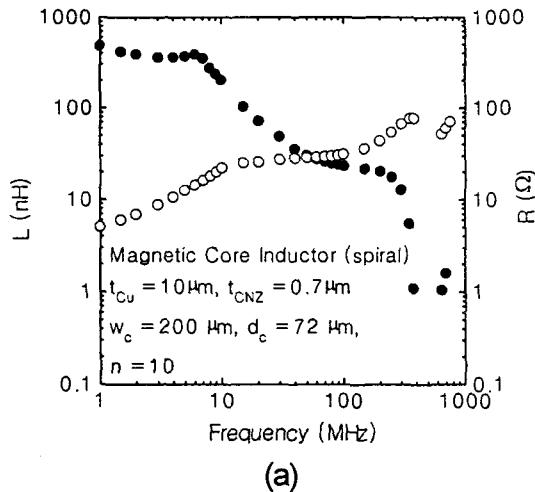


그림 3 스파이럴 코일형의 박막 인덕터의 외형

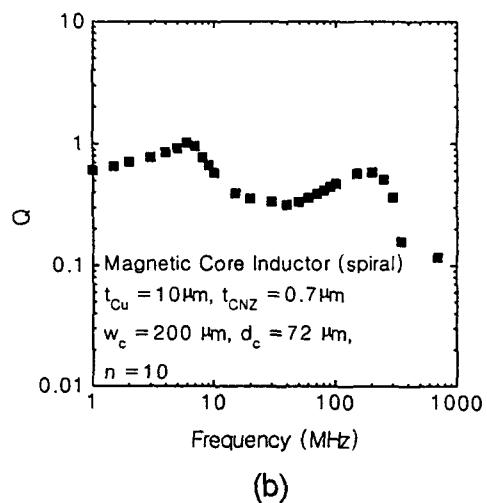
Fig. 3 Shape of thin film magnetic core inductor of spiral coil type.

바와 같이 식각된 패턴은 매우 우수하였다.

그림 4은 자성막/도체막/자성막으로 구성된 자심 인덕터의 인덕턴스, 저항 및 성능지수의 주파수 특성을 나타낸 것이다. 그림 (a)와 같이 10MHz 이하의 주파수 영역에서는 L 값이 350 nH 이상으로 높은 값을 가졌으나, 수십 MHz 이상의 주파수 영역에서는 L이 급격히 감소한다. 이는 코일과 자성막 사이의 표유용량의 공진에 의해 것과 자성막의 와전류 손실에 의한 것이라 생각된다. 또한, R은 상당히 높았는데, 이는 증착된 구리막이 주상정형 구조를 하고 있기 때문이라 생각된다. 그림 (b)에서 Q 값은 10 MHz 영역에서 1 이하 특성을 나타내었다. 이는 본 연구에서 제작된 박막 자심 인덕터는 자성막 두께에 대한 코일의 폭과 간격이 매우 커기 때문에 자속의 대부분은 자성막 외부로 누설된다고 생각된다. 따라서 자성막의 두께를 증가시키고, 코일폭과 간격을 줄여 자성막으로부터 누설 자속을 감소시키면 L을 증가시킬 수 있다.



(a)



(b)

그림 4 박막 자심 인덕터의 주파수 변화에 따른
임피던스 변화

(a) 저항 R , 인덕턴스 L , (b) 성능지수 Q

Fig. 4 Dependence of impedance on the variation of frequency for thin film magnetic core inductor.
(a) R , L (b) Q

4. 결 론

본 연구에서는 박막 제조공정과 식각 공정을 통하여 선폭 $200 \mu m$, 선간격 $70 \mu m$, 턴수 10인 스파이럴 코일을 기본 형태로 하여 자성막($0.7 \mu m$)/도체막($10 \mu m$)/자성막($0.7 \mu m$)으로 구성된 내부 코일형 자심 인덕터를 제조하여 주파수에 따른 임피던스 특성 변화를 고찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 염기성 수용액에 HF를 혼합한 식각 용액으로 용액으로 CNZ/Cu/CNZ 다층막을 동시에 식각할 수 있었으며, 양호한 미세 패턴을 얻었다.

2) 박막 자심 인덕터는 10 MHz영역에서 L 이 350 nH, Q 는 1정도의 값을 나타내었다. 또한, 공진 주파수는 300 MHz 정도이었다.

4) 앞으로 박막 인덕터의 설계 및 자성 박막의 특성 향상에 대한 연구가 필요하다.

(참 고 문 헌)

- [1] 김희중 “마이크로 자기 소자의 기술동향” 한국 자기학회지, Vol. 4, No. 1, 69 (1994)
- [2] K. Shirakawa, H. Kurata, “Thin Film Inductor with Multilayer Magnetic Core” IEEE, trans., Japan, Vol. 8, No. 3, 169 (1993)
- [3] D. B. Lee, “Anisotropic etching of silicon”, J. Applied physics, Vol. 40, No. 11, (1969)
- [4] K. Yamamoto, K. Shirakawa, “マイクロ磁氣素子とディバイスの開発” T. IEE Japan, Vol. 111-A, No. 4, 268 (1991)
- [5] 김현식, 민복기, 송재성, 이영생, 오영우, “CoNb Zr/Cu/CoNbZr 다층막의 습식식각에 관한 연구” 한국전기전자재료학회, 춘계학술발표대회집 (1997)