

## Double rectangular spiral thin film inductor의 제조에 관한 연구

김충식 · 신동훈 · 정종한 · 남승의 · 김형준

홍익대학교 금속재료공학과  
(1999년 6월 26일 접수)

### A study on the fabrication of double rectangular spiral thin film inductor

Choong-Sik Kim, Dong-Hoon Shin, Jong-Han Jeong,  
Seung-Eui Nam, and Hyung-June Kim

Dept. of Metallurgy and Material Science, Hong-Ik University, 72-1,  
Sangsu-dong, Mapo-gu, Seoul 121-791, Korea  
(Received June 26, 1999)

**요 약** - DC-DC converter와 같은 전원공급 장치에 사용되는 인덕터의 평면구현을 위해서는 자기적 신호의 증폭을 담당하는 자성막과, 전기적 신호를 자기적 신호로 변조시키는 코일부, 자성막과 코일부의 전기적 절연을 담당하는 절연막의 평면화가 이루어져야 한다. 본 실험에서는 이러한 조건을 만족시키는 자성박막으로서 Ti/FeTaN 박막을 사용하였으며(포화 자속 밀도( $4\pi M_s$ ): 15~16 kG,  $H_c$ : 0.12~0.17 Oe,  $\mu'$ : 2800(Ea)~4000(Ha)) 코일부는 전기도금을 이용한 선택적 전기도금법, 절연막으로는 SiO<sub>2</sub>막을 사용하였다. 제조된 인덕터는 상호 인덕턴스의 부호가 양을 나타내는 double rectangular spiral 형태였으며 5 Mz에서 약 7정도의 성능지수( $Q=wL/R$ )를 나타내었다.

**Abstract** - Planar type thin film inductors have a potential for the application of miniaturized DC-DC converters. For those high current applications, the magnetic film with high current capability is required. The current capability of magnetic films is mainly determined from high saturation magnetization ( $4\pi M_s$ ) as well as large anisotropy field ( $H_c$ ). We fabricated a double rectangular spiral thin film inductor which consist of magnetic layer, coil and insulator. Highest inductance values as well as best frequency characteristics can be obtained from 5 MHz and quality factor exhibit about 7.

## 1. 서 론

최근 반도체 기술의 발전으로 전기, 전자 기기 전반에 경박 단소화, 고주파화 등이 진행되는데 반해, 반도체 소자 등에 전원을 공급하거나 회로 전체를 운용하기 위해 전기 신호를 변조·증폭시키는 인덕터, 트랜스 포머와 같은 수동 전자 부품은 아직도 벌크 형태로 사용되고 있다. 이러한 벌크형 자기 소자의 평면화는 1970년에 이론적 모델이 제시됨으로서 그 가능성이 보였다 [1, 2]. 현재는 기기의 전원부 또한 보다 박형 소형화, 고효율화된 부품이 요구되고 있는 실정이며, 따라서 반도체 소자

와 자기 소자의 사용 주파수 대역과 크기가 통합된 반도체-자성체 IC (semiconductor-magnetic integrated circuit)의 필요성이 절실히 요구되고 있다 [3, 4].

자기 박막 인덕터의 개발에 있어서는 고주파 대역에서 연자기 특성이 우수한 자성 박막의 제조가 우선되어야 하며, 자성 박막, 코일의 형성에 있어서 마이크로 단위의 미세 가공 기술이 뒷받침되어야 한다. 또한 고효율의 전·자기적 변환을 가져오는 자기 소자의 디자인 기술도 확립되어야 한다 [5-7].

제조된 인덕터는 DC-DC converter와 같은 전원공급 장치에 사용되어지며 SMPS (switching mode power

supply)에 적용되어진다.

## 2. 실험

Corning glass #1737을 기판으로서 DC/RF reactive magnetron sputter를 이용하여 Ti(500 Å)/Fe<sub>78.8</sub>Ta<sub>8.5</sub>Ni<sub>12.7</sub>막(2 μm)과 SiO<sub>2</sub> (1 μm)을 증착하였다. Cu막은 열처리시 결정화에 의한 응력의 영향과 전해질 용액, plasma상태에 노출되어 막의 박리가 쉽게 일어나므로 계면 접착력을 개선하기 위한 접착층(adhesion layer)과 선택적 전기 도금에 필요한 하지층(seed layer)으로서 각각 Cr(200 Å)과 Cu(5000 Å)를 in-situ. 적층하였다. spiral형 Cu코일(20 μm)의 패터닝(patterning)은 사진·식각 공정과 선택적 전기 도금법(selective electroplating method)으로 가능하였다. Cu도금은 상온에서 60 mA/cm<sup>2</sup>의 전류 밀도로 진행되었으며, 이때 사용된 전해질(electrolyte)은 CuSO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 및 막의 결정립 구조 제어와 도금의 균일성을 위한 광택제로서 SC(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>를 첨가한 용액이다. Cu코일 선로 사이의 하지층(seed layer)인 sputtered Cu와 접착층(adhesion layer)인 Cr을 ion milling법으로 식각하였다. glass bonding기술을 이용하여 상부 자성박막을 접합하는 방법으로 내부 코일형 10턴의 spiral형 박막 인덕터를 제조하였다.

## 3. 결과 및 토의

### 3.1. Cu코일의 미세구조 및 전기적 특성

기존의 코일 형성에 있어서는 진공 증착에 의해 Cu막

을 형성 후 사진·식각 공정으로 코일의 형성이 가능했으나, 이러한 방법은 진공 증착시 막에 가해진 손상(damage)으로 인하여 비저항을 낮추는 데는 한계가 있다. 그러나 선택적 전기도금(selective electroplating)에 의한 방법은 전기적 특성과 막질이 우수한 10 μm 이상의 후막 제조가 가능하며, 사진 공정을 통하여 전기 도금과 동시에 패턴을 형성할 수 있는 장점이 있다.

그림 1은 전해질로 제조된 막의 열처리 후 변화된 Cu막의 표면 저항과 SEM(scanning electron microscopy)에 의한 표면 구조를 나타내었다. 그림 1(a)에서 처럼 열처리 과정을 거치지 않은 전기 도금 Cu막의 표면 저항은 sputtered Cu막의 표면 저항보다 크지만 이를 열처리 시에는 상대적으로 더 낮은 값을 나타내었다. 이러한 원인은 열처리에 따라 도금된 Cu막의 결정립계 내에 존재하는 결함들이 열적 활성화에 의해 결정립계로 확산한 것으로 판단된다. 그림 1(b)에 나타난 Cu막의 SEM 표면 구조를 관찰해 보면, 결정립이 성장한 것을 확인할 수 있으며, 결정립 내에 공공이 형성된 것을 관찰할 수 있었다. 이와 같이 열처리에 의해 결함이 제거된 막은 면저항이 감소하여 500°C의 열처리 후 2 μΩ-cm의 비저항을 나타내었으며, 이는 벌크 Cu의 비저항에 근접한 값으로 전기 도금 후 비저항이 낮은 양질의 Cu막을 형성할 수 있음과 동시에 하부 자성막의 열처리 효과까지 얻을 수 있다는 장점이 있다.

### 3.2. 자기 박막 인덕터의 제조와 특성 분석

제조된 double rectangular spiral 인덕터의 구조를 그림 2에 나타내었다.

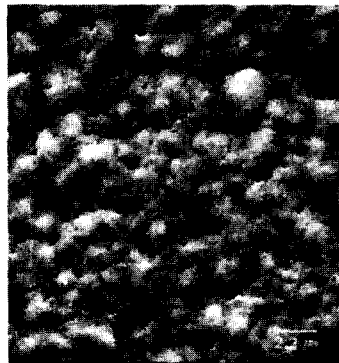
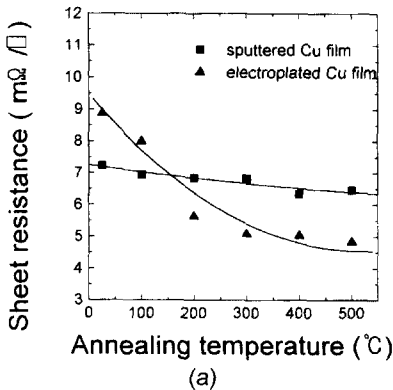


그림 1. (a) Sheet resistance variation of sputtered Cu films and electroplated Cu films as a function of annealing temperature. (annealing time : 30 min.). (b) Surface morphology of electroplated Cu after 500°C annealing (SEM micrographs).

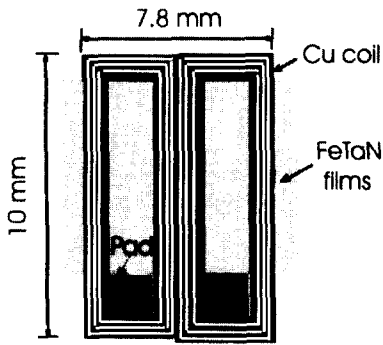


그림 2. Structure of the fabricated double rectangular inductor.

인덕터는 10턴의 코일을 가지며 7 mm×10 mm로 제조되었다. 상부자성막의 자기적 특성 열화를 방지하기 위한 glass bonding을 이용한 인덕터와 하부 자성막만 존재하는 인덕터, 상부자성막의 요철을 방지하지 않은 인덕터, 또한 자성막이 존재하지 않는 인덕터의 성능을 각각 비교하기 위해 다른 4가지 조건을 가진 인덕터를 제조하여 비교해 보았다.

먼저 주파수에 따른 인덕터의 성능을 그림 3에 나타내었다. 자성막이 존재하지 않는 인덕터의 경우 인덕턴스는 1 MHz에서 약 460 nH를 나타내었다. 그러나 하부 자성막을 이용하였을 경우에는 자성막을 사용하지 않은 인덕터에 비해 인덕턴스 값이 약 1.7배 정도 높은 780 nH 정도를 나타내었다. 이러한 결과는 코일로 들어간 전기

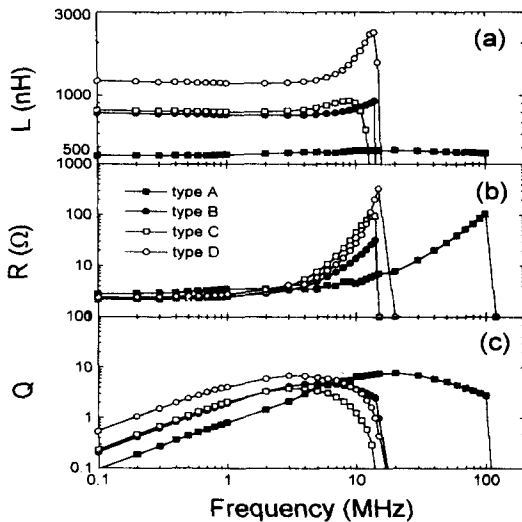


그림 3. Characteristics of inductors plotted versus frequency.

신호가 자기 신호로 바뀔 때 자성막이 자기 신호를 증폭시켜 주기 때문이다. 그러나 자성막을 사용한 인덕터의 경우 LC 공진과 사용한 자성막의 낮은 비저항 때문에 낮은 주파수대역에서 그 특성이 떨어지기 시작한다.

상부 자성막의 요철을 방지하지 않은 인덕터의 경우 하부 자성막만을 사용한 인덕터와 성능 면에서 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 상부 자성막의 요철로 인한 자기적 특성 열화와 코일로 사용되어진 Cu막의 확산에 의해 상부 자성막의 자기적 특성이 열화된 것으로 판단된다. 그러나 상부 자성막의 요철을 방지한 glass bonding으로 제조된 인덕터의 경우 상부 자성막의 특성이 열화되지 않았으므로 1.1 μH라는 높은 인덕턴스 값을 나타내었다. 또한 glass bonding을 이용하였으므로 Cu 막의 확산에 의한 영향을 배제할 수 있었다.

상부 자성막의 요철로 인한 자기적 특성 열화를 규명하기 위해 본 실험에서는 자성막의 수직으로의 요철을 폭과 넓이에 따라 자기적 특성을 측정해 보았다.

그림 4에서 알 수 있듯이 폭이 증가함에 따라, 요철의 넓이가 감소함에 따라 자기적 특성이 감소한다는 것을 알 수 있다. 특히 상부 자성막의 요철을 방지하지 않은

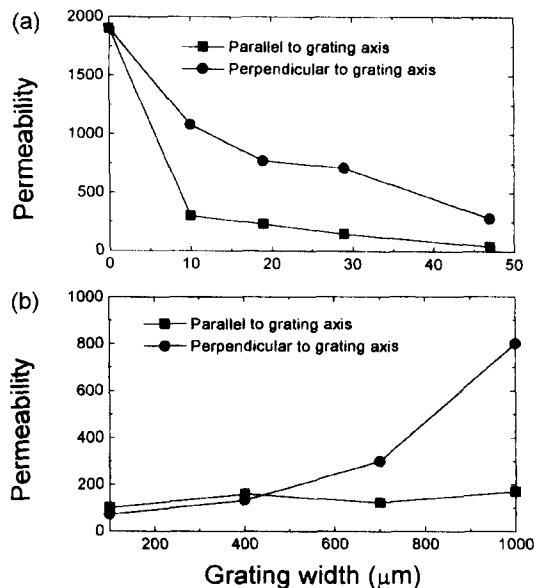


그림 4. (a) Permeability at 10 MHz for patterned substrates as a function of grating depths (Td). Grating space/width is fixed at 100 μm/1 mm. (b) Permeability at 10 MHz for patterned substrates as a function of grating width (Gw). Grating space and depth are fixed at 100 μm and 20 μm, respectively.

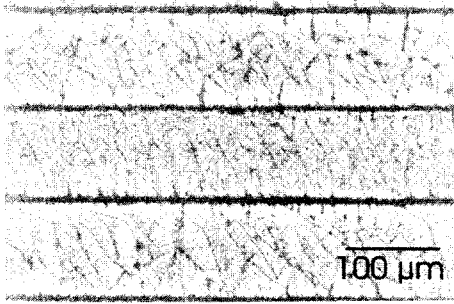


그림 5. Bitter pattern for grating sample with  $T_w$  and  $T_s$  : 100  $\mu\text{m}$  and  $T_d$  : 20  $\mu\text{m}$ .

인덕터와 같은 폭과 넓이의 요철을 가지는 자성막의 경우 투자율은 100이하의 값을 나타낸다. 또한 그림 5에서는 상부 자성막과 같은 요철을 가진 Si-wafer로 자성막을 제조후 bitter pattern으로 자력을 관찰하면 자구들이 끊어져 있는 것을 알 수 있다. 그러므로 고주파에서 스핀 회전이 어려워 고주파에서 자기적 특성이 감소하는 것으로 판단된다. 그러므로 상부 자성막의 요철을 방지해 상부 자성막의 자기적 특성 열화를 방지해야 우수한 인덕터의 성능을 얻을 수 있다.

그림 3(b)에서 알 수 있듯이 자성막을 사용한 인덕터의 경우 초기 코일의 저항은 2  $\Omega$ 정도를 나타내나 코일의 근접 효과 때문에 1 MHz를 시점으로 저항은 증가하기 시작하였다. 제조된 인덕터 중 가장 높은 성능 지수 ( $Q = \omega L/R$ )는 상부 자성막의 요철을 방지한 인덕터에서 얻을 수 있었으며 그 값은 5 MHz에서 7정도를 나타내었다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 박막 공정을 이용하여 기존의 벌크 형태로 사용되는 자기 소자인 인덕터를 평면형으로 구현하고자 하였다. Cu 코일의 형성은 선택적 전기 도금법과 사진·식각공정을 이용하여 구현될 수 있었으며, 낮은 비저항 값과 우수한 막질의 Cu 코일을 형성할 수 있었다. 상부 자성막의 요철을 방지한 인덕터의 인덕턴스 값은 5 MHz에서 약 1.1  $\mu\text{H}$ 를 얻을 수 있었으며 성능지수는 약 7정도였다.

## 감사의 글

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단 학술 연구 조성비의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] R. F. Soohoo, IEEE. Trans. Magn. **MAG-15**, 1803 (1979)
- [2] K. Kawabe, H. Koyama K. Shirae, IEEE Trans. Magn. **MAG-20**, 1805 (1984).
- [3] J. Y. Park and M. G. Allen, ISHM '96 Proceedings, 120 (1996) .
- [4] J. Bryzek, Sensor and Actuators, **A56**, I-9 (1996).
- [5] O. Oshiro, H. Tsujimoto, and K. Shirae, IEEE. Trans. Magn. **MAG-23**, 3759 (1987).
- [6] M. Yamaguchi, M. Matsumoto, and H. Ohzeki, IEEE. Trans. Magn. **27**, 5274 (1991).
- [7] M. Yamaguchi, S. Arakawa, and K. I. Arai, IEEE. Trans. Magn. **28**, 3015 (1992).