

## 1W DC-DC 컨버터를 위한 7×7 mm 평면 인덕터의 제조

배 석\* · 류성룡 · 김충식 · 남승의 · 김형준  
홍익대학교 금속재료공학과, 서울 마포구 상수동 72-1

민복기 · 송재성  
한국전기연구소 RLC 소자연구실, 경남 창원시 성주동 28-1

(2001년 8월 17일 받음, 2001년 9월 20일 최종 수정본 받음)

1W급의 DC-DC converter에 탑재하기 위해 FeTaN 연자성 자성박막을 이용한 박막형 인덕터를 제조하여 특성을 평가하였다. 자심부분은 2 μm 두께의 Fe<sub>78.81</sub>Ta<sub>8.47</sub>N<sub>12.71</sub> 연자성 박막을 사용하였으며 코일부분은 100 μm 두께의 Cu를 사진공정과 전기도금공정을 이용하여 제조하였다. 제조된 박막 인덕터의 디자인은 상호인덕턴스를 효율적으로 증가시킬 수 있는 double rectangular spiral 형태였으며, 측정된 특성은 DC-DC converter의 작동주파수인 1 MHz에서 인덕턴스 980 nH, 저항 1.7 Ω Q 값은 3.55였다.

주제어 : 평면 인덕터, FeTaN, DC-DC 컨버터

### I. 서 론

이미 1 W미만 저출력, 소형의 DC-DC converter가 개발되어 상용화되고 있다. 이러한 컨버터들은 인버터 등에 많이 사용되는 IGBT등의 회로구동에 필요한 전원 공급용으로 사용되어지며 여기에 사용되는 bulk형 인덕터 또한 사이즈가 매우 축소되고 있지만, 수동소자를 회로에 부착시키는 hybrid기판 형은 한 개의 chip상에 모든 회로와 능동, 수동소자를 모두 구현하는 방향으로 기술이 발전하는 방향과는 맞지 않다. 따라서 MCM 형태의 소자를 구현하기 위해서는 수동소자의 박막공정화가 반드시 필요하다고 할 수 있다. 또한 소자의 효율을 개선하기 위해 작동주파수가 점차 고주파화 되어가고 있는 상황에서는 기존의 bulk형 페라이트 자심은 사용 주파수의 한계가 수 MHz이내이며 고주파에 따른 와전류 현상도 무시할 수 없기 때문에 고주파 특성이 좋은 자성박막을 사용해야 한다. 이러한 bulk형 수동소자들이 갖는 한계로 인해 1970년대부터 평면형 자기소자의 모델이 꾸준히 제시되어져 왔고 현재까지 개선되어져 왔다[1-5]. 본 연구진[6]은 100 MHz대역까지 2000이상의 유효투자율을 유지하는 FeTaN 연자성 박막을 사용하여 이전에 개발하였던 10×10 mm 인덕터 사이즈를 보다 축소하여(7×7 mm) 인덕턴스는 종전보다(1.2 μH) 약간 줄었지만 코일의 두께를 두껍게 하

여 코일 loss를 발생시키는 저항을 낮춘 성능을 갖는 박막 인덕터를 개발하였다.

### II. 실험방법

기판재료로는 Si 웨이퍼 표면을 5000 Å 두께로 thermal oxidation 처리하여 사용하였으며, Fe<sub>78.81</sub>Ta<sub>8.47</sub>N<sub>12.71</sub>/Ti 연자성박막을 마그네트론 스퍼터로 2 μm 두께로 증착시킨 후 400 °C 열처리하였고 역시 스퍼터로 SiO<sub>2</sub> 절연막을 1 μm 두께로 증착하였다. 전기도금을 위한 씨앗층으로 Cu(1000 Å)/Cr(200 Å)를 증착시킨 후 SU-8-50 PR을 이용한 포토리소그래피 공정을 실시하여 원하는 코일 형상의 PR패턴을 120 μm 두께로 만들었고 60 mA/cm<sup>2</sup>의 전류밀도로 황산동 전기도금하여 100 μm 두께의 코일부분을 제조하였다. 남아있는 PR을 stripping용액으로 제거한 후 그 위에 미리 제조한 상부자성막을 에폭시 접착제로 붙였다. B-H loop tracer를 이용하여 보자력과 포화자화값을 측정하였고 8자코일법을 이용하여 자성박막의 유효투자율을 측정하였다. 인덕턴스와 임피던스의 측정은 impedance analyzer를 사용하였다.

### III. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 연자성 박막

고주파 특성이 우수한 박막형 인덕터 특성을 얻기 위해

\*Tel: (02) 334-0750, E-mail: unio78@chollian.net

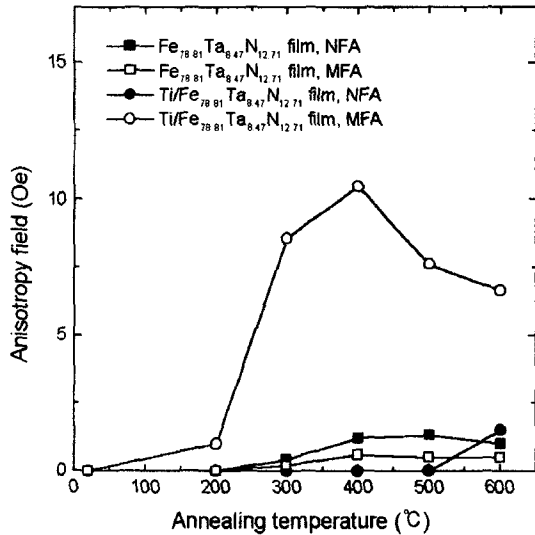


Fig. 1. Change of magnetic anisotropy field as a function of annealing Temperature.

서는 높은 포화자속밀도와 투자율, 낮은 보자력, 높은 자기 이방성, 높은 비저항을 갖는 자성박막이 필요하다.

본 인덕터 제조에는 FeTaN박막을 사용하였고 하지층으로 Ti를 삽입하여 미세결정화에 의해 연자성 특성이 구현되는 열처리 온도를 400 °C로 낮추었다. 또한 FeTaN/Ti의 경우 하지층이 가진 HCP구조 위에 후열처리 시에 상부자성막이 에피택셜 결정립 성장하는 경향을 보이게 되며 이방성이 증가하는 것으로 밝혀졌다[7].

그림 1에는 Ti 하지층이 있는 경우와 없을 때, 그리고

무자장열처리(NFA)와 자장열처리(MFA)에 따른 이방자계 ( $H_k$ ) 값이 비교되었으며 그림 2에는 측정된 유효투자율 값을 나타내었다. Ti하지층이 있는 경우  $H_k$  값이 400 °C 자장열처리시 10 Oe 정도까지 증가하는 것을 관찰할 수 있으며 자기이방성과 자기공진주파수와의 관계는 아래 식과 같이 비례하므로 투자율이 고주파 대역까지 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다.

$$f_r = \frac{\gamma}{2\pi N} \sqrt{\frac{M_s H_k}{\mu_0}}$$

$\gamma$ 는 자이로상수,  $M_s$ 는 포화자속밀도,  $H_k$ 는 이방자계,  $\mu_0$ 는 초투자율 값이다.

### 3.2. Cu 코일의 제조 및 전기적 특성

Cu코일을 제조하는 방법으로는 크게 스퍼터를 이용한 진공증착과 전기도금을 이용한 방법이 있다. 전자의 경우는 진공증착시 막에 가해진 손상(plasma damage) 등으로 인하여 비저항이 벌크 Cu (1.67  $\mu\Omega\text{cm}$ )에 비해서 높은 값을 갖으며 낮은 증착속도와 잔류응력으로 인하여 수  $\mu\text{m}$  이상의 두께를 증착하기는 어렵다. 하지만 전기도금의 방법은 후열처리공정을 통해 전기적 특성이 우수하고 치밀한 Cu후막을 얻을 수 있다. Cu의 전기도금은 일반적으로 PCB회로 배선 등에 많이 쓰이는 황산동도금액을 사용하였다.

그림 3에서 알 수 있듯이 스퍼터링과 전기도금 두 가지로 제조된 Cu막의 후열처리 온도에 따른 비저항 특성이

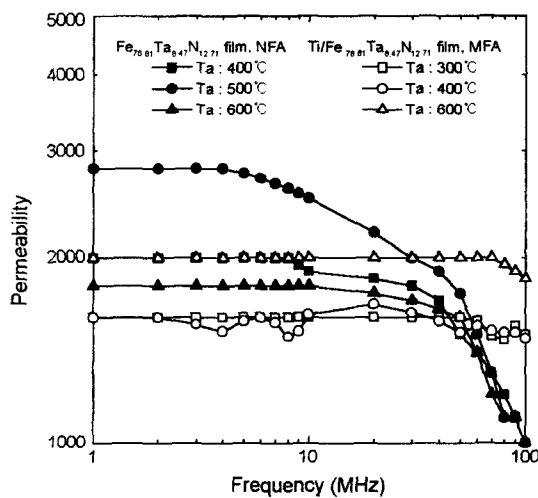


Fig. 2. Dependency of permeability on frequency for  $\text{Fe}_{78.81}\text{Ta}_{8.47}\text{N}_{12.71}$  films and  $\text{Fe}_{78.81}\text{Ta}_{8.47}\text{N}_{12.71}/\text{Ti}$  films.

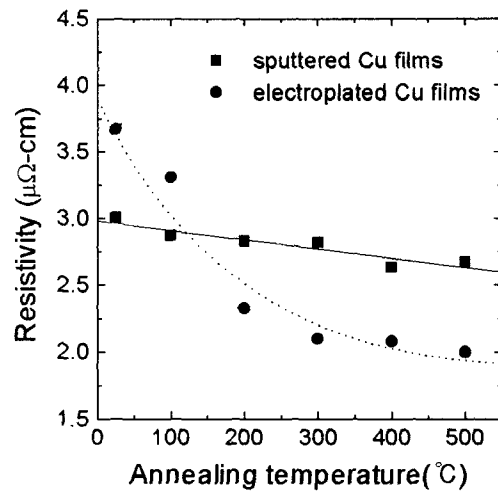


Fig. 3. The Measured resistivities of sputtered and electroplated Cu films plotted against annealing Temperature.

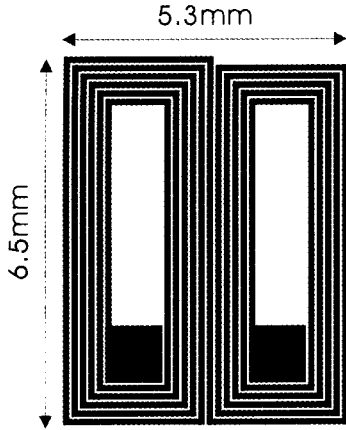


Fig. 4. Fabricated and designed double rectangular spiral coil pattern.

나타나 있다. 열처리 전의 Cu막은 스퍼터링 쪽이 비저항이 더 낮은 것으로 나타나 있지만 전기도금의 경우 후열처리에 의해 비저항이 거의 벌크 값에 근접한  $2\mu\Omega\text{cm}$ 를 보이는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 원인으로서는 전기도금된 Cu의 미세조직은 첨가제(광택제;  $\text{SC}(\text{NH}_2)_2$ ; 막의 균일도를 좋게 해주며 결정립의 구조를 제어해줌)에 의해 매우 조밀한 결정립 구조를 갖게 되기 때문에 비저항이 상대적으로 크게 되며, Cu막의 결정립계에 존재하는 결함들이 열처리에 따라 열적활성화되어 결정립계로 확산되었기 때문인 것으로 판단된다.

3.3. 박막 인덕터의 제조 및 특성 분석

박막인덕터의 코일 부분은  $5.3 \times 6.5\text{ mm}$ 에 10 turn의 double rectangular spiral type으로 설계되었으며 아래의 그림 4에서 알 수 있듯이 설계된 인덕터 코일부분의 형상을 이해할 수 있다. 코일의 폭은  $100\mu\text{m}$ 에 코일 간격은  $50\mu\text{m}$ 로 되어 있다. 코일 간의 간격이 좁아질수록 상호인덕턴스 값이 상승하게 되지만 그에 따라 AC저항이 증가하게 되므로 설계된 DC-DC 컨버터 용 인덕터의 저항에 대한 요구조건을 맞추기 위해 코일 간격을  $50\mu\text{m}$ 로 고정시켰다.

H.M. Greenhouse가[8] 평면형 인덕터에 적용하기 위해 제안한 공식에 의해 인덕턴스를 계산해보면 자체 inductance는 217 nH, 상호 inductance는 194 nH로 계산되었으며 따라서 공심형 인덕터의 합계 inductance는 411 nH로 계산되었다.

Cu코일의 두께는  $100\mu\text{m}$ 로 하여 종래의 박막 인덕터에 (2Ω전후) 비해 저항을 (DC 0.73 Ω) 1/3정도로 떨어뜨렸

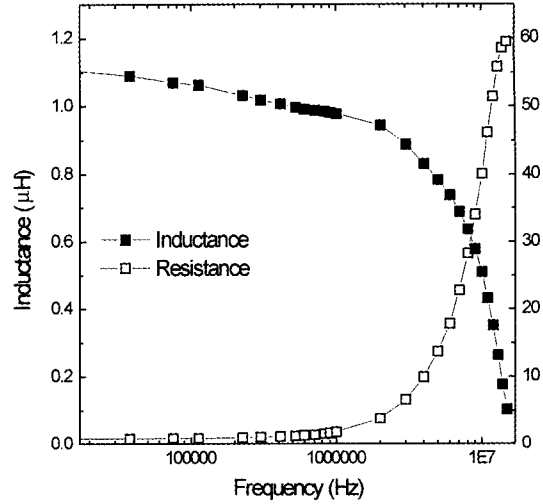


Fig. 5. The measured inductances and resistances of fabricated inductor plotted versus frequency.

으며 이러한 코일 두께를 실현하기 위하여 SU-8 PR을 이용한 포토리소그래피 공정이 필요하였다. 이러한 thick PR을 사용할 경우 PR의 잔류응력에 의한 박리현상이 발생할 수 있다. 이것은 PR 선폭과 두께의 비율로써 조절될 수 있는데 실험적으로 0.5 이상의 비율(선폭/두께)이 적절한 것으로 밝혀졌다.

사용된 FeTaN 자성막의 자기적 특징은  $4\pi M_s$ , 15 kG,  $H_c$  0.5 Oe,  $H_k$  9 Oe,  $\mu'$  2800으로 측정되었다. 자성박막의 자회용이축과 인덕터 코일의 장축을 평행하게 놓아야 코일에 직각 방향으로 형성되는 자계값이 자성막의 자화

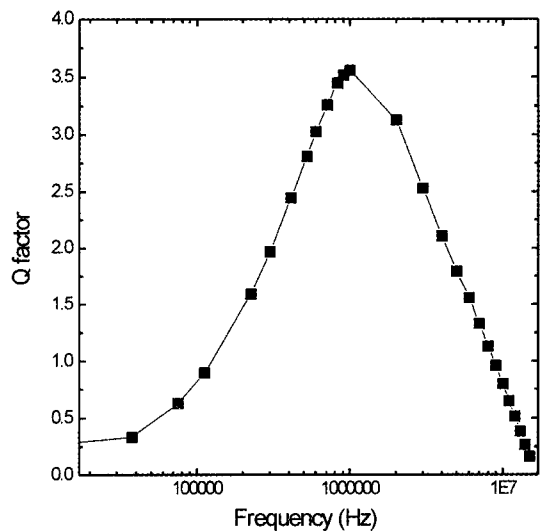


Fig. 6. Quality factor plotted versus frequency.

곤란측과 일치하게 되어 고주파 특성이 좋은 인덕턴스 값을 얻을 수 있었다.

제조된 인덕터의 특성 값이 그림 5와 그림 6에 나타나있다. 그림 5를 보면 1 MHz에서 980 nH, 1.73 Ω으로 3.5 이상의 Q값을 갖게 되는 것을 알 수 있다.  $f_r$ (resonance frequency)은 약 15 MHz정도였으며 저항의 증가는 Cu 와 전류손실에 의한 손실로 판단된다. 현재 DC-DC 컨버터용 회로의 제어IC의 작동주파수는 1 MHz 이하의 것이 주종을 이루고 있으나 전체효율을(ZVS-CV buck 컨버터의 경우 스위칭 손실이 전체 손실의 약 37%차지, 동손은 약 28%이상) 높이기 위해서 차츰 주파수가 올라가고 있는 실정이다.

#### IV. 결 론

7×7 mm사이(두께 1 mm)로 제조된 박막인덕터의 특성은 DC-DC 컨버터의 스위칭IC 제어주파수인 1 MHz에서 980 nH, 1.73 Ω Q 값 3.55으로 얻어졌고 DC저항은 0.73 Ω이었다. 동일한 사이즈에서 높은 인덕턴스와 낮은 전기 비저항을 얻기 위해서 코일부의 두께를 증가시켜 제조하였으며 향후 와전류 손실과 같은 손실부분을 고려하

여 표피두께 미만의 코일 선폭을 갖는 인덕터 제조에 관한 연구가 되어져야 할 것이다.

#### 감사의 글

이 논문은 2001년 전기연구소의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [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] O. Oshiro, H. Tsujimoto and K. Shirae, IEEE, Trans Magn. **MAG-23**, 3759 (1987).
- [4] M. Yamaguchi, M. Matsumoto and H. Ohzeki, IEEE Trans. Magn. **27**, 5274 (1991).
- [5] M. Yamaguchi, S. Arakawa and K. Arai, IEEE Trans. Magn. **28**, 3015 (1992).
- [6] C. H. Lee, D. H. Shin, D. H. Ahn, S. E. Nam and H. J. Kim, J. Appl. Phys. **85**, 4898 (1999).
- [7] Shin D. H., Kim C. S., Ahn D. H., Nam S. E., Kim H. J., JAP, V.85 N.8 P.2A, 4568-4570 (1999).
- [8] H. M. Greenhouse, IEEE Trans. Hybrids & Packaging, **10**, 101 (1974).

### Fabrication of the 7×7 mm Planar Inductor for 1W DC-DC Converter

Seok Bae, Sung-Ryong Ryu, Choong-Sik Kim, Seoung-Eui Nam and Hyoung-June Kim

*Dept. of metallurgical and material science, Hongik Univ., 72-1 Sangsu-dong Mapo-gu Seoul Korea*

Bok-Ki Min and Jae-Sung Song

*RLC devices Lab., Korea Electro-technology Research Institute, 28-1 Sungju-dong Changwon Kyungnam Korea*

(Received 17 August 2001, in final form 20 September 2001)

The planar type inductors have a good potential for the application of miniaturized low power DC-DC converters. For those high quality application, the reduction of coil loss and also magnetic films which have good high frequency properties are required. Fabricated inductor was consisted of FeTaN/Ti magnetic film and electroplated Cu coil thickness of 100 μm and SiO<sub>2</sub> as a insulating layer. The inductor was designed double rectangular spiral shape for magnetic field highly confining within the device. The measured value of inductance and resistance were 980 nH and 1.7 Ω at 1 MHz as operating frequency of device. The Q factor is 3.55 at 1 MHz.

**Key words** : planar inductor, FeTaN, DC-DC converter