

Micro DC-DC Converter에 사용되는 박막 인덕터의 제조에 관한 연구

김충식, 정종한, 배 석, 류성룡, 김형준
홍익대학교 금속재료공학과

A study on the fabrication of planar type inductor for Micro DC-DC Converter

Choong-Sik Kim, Jong-Han Jeong, Seok Bae, Sung-Ryong Ruy, and Hyung-June Kim
Hong-Ik Univ., material and metallurgical engineering

Abstract - 휴대 전화 및 캠코더 등의 휴대기기의 보급이 급격히 확산됨에 따라 기기의 소형화와 경량화가 제품 개발의 가장 큰 과제로 떠오르게 되었다. 특히 전자기기들은 기능이 다양해질수록 필요로 하는 부품이 늘어나게 되고, 그 결과로 불가피하게 일차로 공급되는 단일 전압의 전원으로는 구동시킬수 없는 부분이 생기게 된다. 따라서 그들 개별 소자 또는 부품들이 구동되기 위해서는 그에 필요한 전력이 공급되어야 한다. 이러한 역할을 담당하는 것이 SMPS이며 본 연구에서는 SMPS의 전원 안정화를 담당하는 인덕터의 평면화를 구현하고자 고주파 대역에서 우수한 자기적 특성 및 높은 포화 자화 값으로 소자의 load current를 증가시킬수 있는 FeTaN 자성 박막과 전기 저항을 낮추기 위한 MEMS 기술을 응용한 높은 aspect을 지닌 Cu 코일부, 전기적 절연을 담당하는 절연막을 사용한 평면형 인덕터를 제조하였으며, 인덕터의 특성인 인덕턴스는 약 5MHz까지 1.5μH를 나타내며 낮은 전기 저항(2Ω)을 보여주었다. 특히 최근 사용되어지는 전자 부품들의 저전력, 저전압, 높은 구동전류의 실현을 위해서는 높은 load current를 지녀야 한다. 측정된 인덕터의 load current에 따른 효율은 약 200mA까지 78%의 효율을 보여주었다.

로는 막을 형성 후 mask를 사용한 식각기술이 일반적인 방법이다. 하지만 Cu막의 경우 이러한 방법은 막에 후속되는 손상을 가하고 특히, 막의 접착력에 큰 영향을 미친다. 또한 진공증착에 의해 형성된 Cu막은 가해진 손상으로 인하여 비저항을 낮추는데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 Cu막의 형성과 동시에 patterning된 코일의 형상을 제조할 수 있는 선택적 전기도금법을 사용하여 약 20μm의 높이를 가지는 Cu막을 형성하였다.

본 연구에서는 자성막으로서 우수한 연자기 성질을 지니는 FeTaN 초미세 결정박막을 제작·사용하고, sputtering법에 의한 Cu하지층의 증착후 사진공정과 선택적 전기도금법을 이용하여 meander형태인 자성막/절연막/코일/절연막/자성막의 폐자로 평면 인덕터를 제조하고, 제조된 인덕터의 특성은 network analyzer를 이용하여 주파수에 따른 저항과 인덕턴스를 구하여 계산된 성능지수로 평가하였다.

2.2 실험결과 및 고찰

2.2.1 FeTaN 자성 박막의 자기적 특성

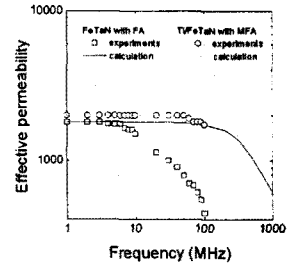
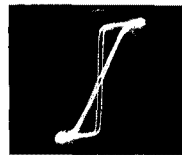


Fig.2-1 Hysteresis loop and dependency of permeability on frequency as a function of frequency for FeTaN nanocrystalline films

사용한 FeTaN 자성 박막은 약 17 kG의 포화 자화값과 약 0.1 Oe이하의 보자력 및 약 14 Oe의 이방 자계를 가지는 우수한 연자기적 특성을 지닌 자성 박막이다. 특히 자성 박막의 실질적 특성이라고 하는 투자율은 약 300 MHz까지 2000이상의 값을 유지하였으며 이러한 원인은 높은 이방 자계로 인한 ferromagnetic resonance로 인한 것으로 판단된다.

Fig. 2-1에서 알 수 있듯이 FeTaN 자성 박막은 높은 이방 자계를 나타내고 있다. 고주파 투자율의 특성을 결정짓는 이방 자계의 변화는 일축 자장 열처리시 N의 ordering이 규칙적으로 생성되어 나타나는 결과라고 알려져 있다. 즉 일축 자장 열처리시 결정화에 따른, α-Fe의 interstitial site에 고용되어진 N의 배열이 규칙화되어졌기 때문이다.

또한 높은 포화 자속 밀도로 인해 FeTaN 자성 박막이 적용된 인덕터의 경우 load current를 증가시킬 뿐만 아니라 인덕터의 성능을 향상시킬 수 있다. 마찬가지로

1. 서 론

휴대 전화 및 캠코더 등의 휴대기기의 보급이 급격히 확산됨에 따라 기기의 소형화와 경량화가 제품 개발의 가장 큰 과제로 떠오르게 되었다. 이와 함께 기능의 다양화와 기기의 고성능화가 추구됨은 물론이다. 특히 전자기기들은 기능이 다양해질수록 필요로 하는 부품이 늘어나게 되고, 그 결과로 불가피하게 일차로 공급되는 단일 전압의 전원으로는 구동시킬수 없는 부분이 생기게 된다.

따라서 그들 개별 소자 또는 부품들이 구동되기 위해서는 그에 필요한 전력이 공급되어야 한다. 이러한 역할을 담당하는 것이 SMPS이며 이중 전원 안정화를 담당하는 전자부품인 인덕터의 경우 아직까지 페라이트를 코어로 한 칩형태로 사용하고 있어 SMPS의 크기의 대부분을 차지하고 있다. 또한 사용한 페라이트는 고주파 대역에서 낮은 전기 비저항으로 인해 우수한 자기적 특성을 나타내지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 SMPS의 전원 안정화를 담당하는 인덕터의 평면화를 구현하고자 고주파 대역에서 우수한 자기적 특성 및 높은 포화 자화 값으로 인덕터의 load current를 증가시킬수 있는 FeTaN 자성 박막을 사용한 평면형 인덕터를 제조하여 그 특성을 비교, 분석하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

기존의 박막공정에 사용되는 막의 미세가공기술

지로 높은 이방 자계로 인해 인덕터의 구동 주파수 및 load current를 증가시킬 수 있다. 이러한 원인으로서는 고주파수 대역에서의 실질적인 자화 기구가 domain moving이 아닌 spin rotation에 기인하기 때문일 것이라 사료된다.

2.2.2 Planar type inductor

2.2.2.1 Cu coil의 제조

초음파 세척된 corning glass(#1737)를 기판 위에 2 μm 두께의 FeTaN 연자성막을 증착한 뒤, 절연막으로서 1 μm 두께의 스피터 SiO_2 를 RF reactive magnetron sputtering법으로 연속 증착하였다. 그 후 Cu의 접착력을 개선하기 위한 접착층(adhesion layer)과 선택적 전기 도금에 필요한 하지층(seed layer)으로서 Cr과 Cu를 연속 적층하였다. 이때 증착된 두께는 Cr이 200Å, Cu가 3000Å이었다.

Fig. 2-2는 코일에서 생성된 자속과 자성 박막에 부여된 자기 이방성과의 상관관계를 나타낸 그림과 전기 도금으로 형성된 Cu 코일을 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 약 20 μm 의 높이를 가진 선폭과 선각이 각각 100 μm 인 Cu 코일을 보여주고 있다. 이러한 Cu코일의 패터닝(patterning)은 사진·식각 공정과 선택적 전기 도금법(selective electroplating method)으로 가능하였다. Spinner를 이용하여 HMDS(hexa methylsilazane)와 positive PR(PME-R-2000)를 각각 4500 rpm 속도에서 30 초씩 코팅하고, 이를 convection oven에 장입하여 95 $^{\circ}\text{C}$ 에서 30 분간 soft baking 하였다. 그 뒤 mask contact Aligner로 45초간 접촉 노광을 한 뒤, 실온에서 2분간 현상하였다. 마지막으로 Hard baking은 115 $^{\circ}\text{C}$ 에서 30분간 실시하였다.

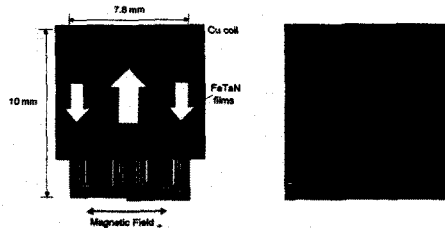


Fig. 2-2 Formation of magnetic flux and selective electroplating of Cu coil

Cu막의 선택적 전기 도금은 상온에서 60 mA/cm^2 의 전류 밀도로 진행되었으며, 이때 사용된 전해액(electrolyte)은 CuSO_4 , H_2SO_4 및 막의 결정립 구조 제어와 도금의 균일성을 위한 광택제로서 $\text{SC}(\text{NH}_2)_2$ 를 첨가한 용액이다.

2.2.2.2 평면형 인덕터의 특성

인덕터가 실제 소자, 예로서 직류 전원 변환기에 적용될 경우 용량을 결정하는 것이 인덕터에서 처리 가능한 전류의 양이다. 이러한 포화 전류 양은 자성 박막의 특성, 특히 자성 박막의 포화 자속 밀도와 이방성 자계에 의해 결정되어 진다. 즉, 인가 전류의 양이 증가할수록 코일에서 발생하는 누설 자속은 증가한다. 이때 자성 박막이 포화 된 경우 역 방향의 전류가 인가되면, 자성 박막에 잔류하는 자화량에 의해 소자의 특성이 감소한다. 따라서 포화 자속 밀도가 큰 자성 박막의 경우에는 보다 큰 인가전류를 사용할 수 있다. 또한 자성 박막의 이방성 자계가 큰 경우 이방성 자계가 작은 경우 보다 자성 박막의 포화가 보다 큰 자장에서 발생한다(Fig. 2-2).

이러한 포화 전류 양을 측정하기 위해서는 전류 양이 다른 교류 전원이 필요하며, impedance

analyzer를 이용하여 측정이 가능하다. 즉, impedance analyzer에 인가되는 전류에 의한 손실을 최소화하기 위하여 2000 μF 이상의 캐패시터와 DC power supply에서 인가되는 전류를 floating하기 위해 5 H 정도의 인덕터를 배치하였다. 따라서 인덕터에 인가되는 교류 신호는 DC power supply에서 출력되는 전류만큼 floating된 신호가 전달된다.

Fig. 2-3은 코일에 생성된 자속과 자성 박막에 부여된 자기 이방성과의 각도에 따른 자기 인덕턴스를 측정된 것을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 코일에서 생성된 자속과 자성 박막에 부여된 자기 이방성과의 각도가 증가할수록 자기 인덕턴스는 감소함을 알 수 있다. 이는 주파수가 증가할수록 고주파 대역에서의 주된 자화 기구인 spin rotation과 밀접한 관계가 있음을 시사해준다. 다시 말해 고주파 대역에서의 주된 자화 기구인 spin rotation은 자화 끈관속과 연관이 있으므로 코일에서 생성된 자속 방향과 자화 끈관속과의 방향의 각도가 가까울수록 고주파에서의 인덕턴스는 낮은 값을 보여준다.

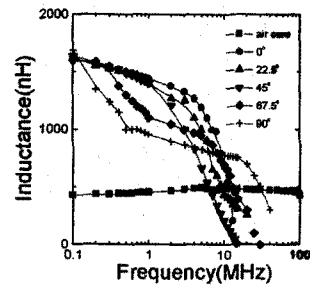


Fig. 2-3 Dependency of inductance as a function of frequency for FeTaN inductor

자기 이방성을 인가하지 않은 평탄화 인덕터의 인가 전류에 따른 인덕턴스 변화와 이방성을 인가한 인덕터의 인가 전류에 따른 인덕턴스의 변화를 나타내었다. Fig. 2-4에서 알 수 있듯이 이방성을 인가하지 않은 인덕터에 인가되는 전류의 양이 90 ~ 100 mA 정도에서 인덕턴스의 감소가 관찰된다. 그러나 자기 이방성이 인가된 인덕터의 경우 포화 전류의 양은 200 ~ 300 mA 정도로 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 자화 끈관속과 자장의 형성 방향이 어긋남에 따라 포화 전류는 감소하는 것을 알 수 있다.

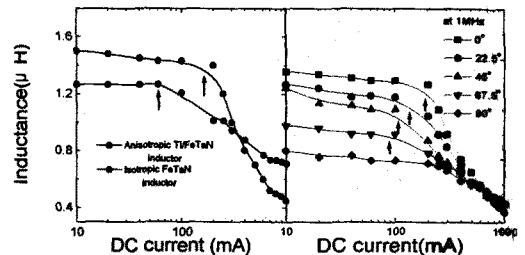


Fig. 2-4 Effect of anisotropy field on current capability for FeTaN inductor

제조된 평면형 인덕터는 dc-dc converter에 탑재되어질 수 있도록 제조되었으며 인덕터의 특성인 인덕턴스는 약 5MHz까지 1.5 μH 를 나타내었으며 낮은 전기 저항(2Ω)을 보여주었다. 특히 최근 사용되어지는 전자 부품들의 저전력, 저전압, 높은 구동전류의 실현

을 위해서는 높은 load current를 지녀야 한다. 측정된 인덕터의 load current에 따른 효율은 약 200mA까지 78%의 효율을 보여주어 앞으로 dc-dc converter에 응용되어질 수 있을 것으로 판단된다.

3. 결 론

제조된 평면형 인덕터는 자성막, 절연막, 코일, 절연막, 자성막의 5층 구조를 가진 형태로 제조되었으며, 최근 활발한 연구가 진행되어지고 있는 저전력 DC-DC Converter에 탑재하기 위해 제조되었다. 인덕터의 특성인 인덕턴스는 약 5MHz까지 1.5 μ H를 유지하였으며 인덕터를 탑재한 DC-DC Converter의 효율은 200mA까지 약 80%를 나타내었다.

4. 감사의 글

본 연구는 1999년도 과학재단(과제번호:973010201) 술연구지원비에 의해 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] M.Senda and Y.Nagai, Appl. Phys. Lett., vol. 52 (1988) 672
- [2] S.Sugenoya, H.Okayama and Y.Narumiya, J. Magn. Soc. Jpn., vol. 13 (1989) 351
- [3] H.Okayama, S.Sugenoya, O.Kohmoto and Y.Narumiya, J.Appl. Phys., vol.67 (1990) 5719
- [4] S.Fujii, S.Ohnuma, F.Matsumoto, H.Fujimori and T.Masumoto, J. Magn. Soc.Jpn., vol. 16 (1992) 269
- [5] M.Senda and Y.Nagai, MR 88-16, 17
- [6] Y.Hoshi and M.Naoe, IEEE Trans. mag. vol. 26 (1990) 2344
- [7] S.Ohnuma, F.Matsumoto, H.Fujimori and T.Matsumoto, J.Magn. Soc. Jpn., vol. 16 (1992) 265
- [8] F.W.A.Dirne et. al., IEEE Trans. mag., vol. 27 (1991) 4882