

Patterned FeTaN 연자성 박막을 이용한 RF inductor의 제조

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

송재성

한국전기연구소 신소재응용연구그룹, 경남 창원시 성주동 28-1

마사히로 야마구치

동북대학교 전기통신연구소, 일본 센다이 아오바구 카타히라 2-1-1

(2001년 8월 7일 받음, 2001년 10월 25일 최종수정본 받음)

최근 연구가 활발히 진행되고 있는 RF 대역에서 사용가능한 인덕터를 제조하여 특성을 평가하였다. 인덕턴스와 Q값을 높이기 위하여 5000 Å 두께의 $Fe_{78.81}Ta_{8.47}N_{12.71}$ 연자성박막을 삽입하였으며, 자성박막의 FMR 공진주파수를 인위적으로 확장시키기 위하여 pattern을 형성시켜 shape anisotropy를 증가시켰다. 또한 코일부분은 lift-off process를 이용하여 제조하였다. 제조된 인덕터의 디자인은 4턴의 rectangular spiral형태였으며, 측정된 특성은 Ti/Ag air-core의 경우 5 GHz까지 공진이 없었으며 2 GHz에서 Q값이 9, 인덕턴스 8.4 nH였다. 자성박막을 이용한 경우 9 nH에 공진주파수는 약 700 MHz부근이었다.

주제어 : RF 인덕터, 패턴, FeTaN

I. 서 론

최근 무선통신 기술이 급격히 발달하면서 개인용 무선 단말기에 사용하기 위해 모든 discrete 소자들이 one chip 화 된 transceiver module을 제조하려는 연구가 가속화되어가고 있다. 여기에 사용될 인덕터는 1~2 GHz대역에서 작동을 목표로 하고 있으며, 현재까지는 air core의 spiral 형태가 주를 이루고 있다. 그러나 air core로서 원하는 Q값을 얻기 위해서는 더 많은 turn수가 요구되며, 이것으로 인하여 인덕터의 면적이 증가되어 기판과의 capacitance coupling효과에 의한 손실이 증가되어 버리고, 인덕터를 3D의 solenoid형태로 제조한다면 multiple via contact에 의한 저항 증가와 함께 상대적으로 복잡한 구조로 인하여 제조공정상의 어려움이 따르게 된다. 최근 기판으로 사용되는 Si나 GaAs기판이 갖는 유전율로 인해 생기는 capacitance coupling현상을 제거하기 위해 기판을 micro-machining기술로 제거하여 Q값을 높이는 시도도 많이 연구되어지고 있으나 역시 제조공정상의 어려움이 있다는 단점이 있다[1, 2]. 따라서 손쉽게 Q값을 높이기 위한 방법으로 자성박막을 사용하려는 시도가 그동안 꾸준히 있

어왔으나 아직까지는 뚜렷한 성과가 없는 실정이다[3]. 그 이유로는 GHz대역까지 공진이 일어나지 않는 고비저항과 높은 자기이방성의 자성박막에 대해서 최근 연구가 많이 진행되고 있는 단계이기 때문인 것으로 짐작된다.

본 연구에서는 공진주파수 350 MHz정도인 FeTaN자성박막을 이용하여 Pattern을 형성시켜 인위적으로 shape anisotropy를 부여해 자기이방성을 증가시켰다. 코일의 재료로는 비저항 특성이 우수한 Ti/Ag와 Si process에 일반적으로 사용되는electro-migration저항이 큰 Al-1%Si를 사용하였으며 Si에 확산계수가 큰 Cu는 배제하였다. 이러한 자성박막과 코일을 조합하여 인덕터를 제조하였고, 그 특성을 분석 평가하였다.

II. 실험방법

기판재료로는 Si wafer 표면을 5000 Å 두께로 thermal Oxidation 처리하여 사용하였으며, $Fe_{78.81}Ta_{8.47}N_{12.71}/Ti$ 연자성박막을 마그네트론 스퍼터로 5000 Å 두께로 증착시킨 후 400 °C 열처리하였고 역시 스퍼터로 SiO_2 절연막을 500 Å 두께로 증착하여 lift off공정을 거쳐 aspect ratio 1/14의 pattern을 만들었다. 그후 adhesion layer로 Ti를 200 Å 증착한 후 Ag를 8000 Å 두께로 증착한 후 lift off

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

공정을 거쳐 코일패턴을 제조하였다. 또한 동일한 방식으로 Al-1%Si을 이용한 코일도 제조하였다. B-H loop tracer와 VSM을 이용하여 보자력과 포화자화 값, 이방자계 값을 측정하였고 8자코일법을 이용하여 패턴된 자성박막의 유효투자율을 측정하였다. 인덕턴스와 저항의 측정은 분포정수회로법을 이용하였으며, GGB사의 GS type의 probe를 이용하여 network analyzer를 사용하여 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

3.1. 패턴된 연자성 박막

고주파 특성이 우수한 박막형 인덕터 특성을 얻기 위해서는 높은 포화자속밀도와 투자율, 낮은 보자력, 높은 자기이방성, 높은 비저항을 갖는 자성박막이 필요하다. GHz대역까지 투자율이 유지되는 자성박막을 쉽게 얻기 위해서는 박막의 shape anisotropy를 형성하여 이방자계를 높이는 방법이 M.Yamaguchi[4]에 의해 시도되었다. 본 실험에서도 이와 같은 방법이 응용되었으며 자기공진주파수(f_r)와 이방자계(H_k)와의 관계는 잘 알려진 아래의 식과 같이 이방자계의 루트에 비례하므로 이방자계가 크면 투자율이 고주파수 대역까지 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다.

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

γ 는 자이로상수, M_s 는 포화자속밀도, H_k 는 이방자계, μ_0 는 초투자율 값이다.

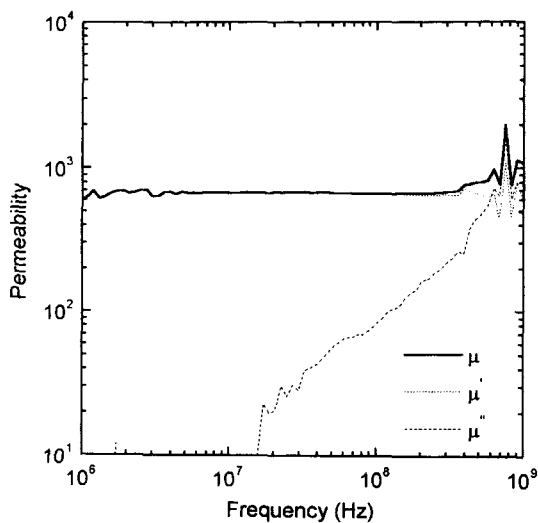


Fig. 1. Permeability changes of patterned (aspect ratio of 1/14) FeTaN films

제조된 FeTaN 박막의 aspect ratio는 1/14였으며, 측정된 이방자계는 30 Oe에 위의 식에 의해 계산된 공진주파수는 1 GHz이상이었으며 Fig. 1의 측정결과와도 일치하였다. 자성박막의 두께는 eddy current loss를 고려하여 5000 Å으로 제조하였다.

3.2. 코일의 제조 및 lift off process

코일을 제조하는 방법으로는 lift off 공정을 사용하였으며, 코일 형성이 가능하기 위해서는 PR의 단면에 인쪽으로 경사가 진 턱이 있어야 그 후 스퍼터에 의해 증착된 금속박막이 연결되지 않고 끊어진 부분으로 PR stripping 용액이 흘러들어가 PR위에 증착된 금속부분을 쉽게 제거해 낼 수 있게 된다. 본 실험에서는 PR의 double coating을 시도하여 내부 경사를 만들어 내는 것이 가능하였다.

먼저 single spin coating후 soft baking한 PR의 단면을 관찰하였다. Fig. 2을 보면 곡선으로 경사진 단면을 확인할 수 있는데 그 이유는 oven의 열기에 노출되는 면적(부피당)이 커지는 PR의 edge 부분에서 더 많은 수축이 일어나기 때문이다.

PR double coating은 첫 번째 PR을 코팅한 후 soft baking 하고, 그 위에 다시 두 번째 PR을 코팅후 soft baking하면 된다. 결국 첫 번째 PR은 두 번째 PR보다 더 많은 soft baking 시간을 거치게 되며 솔벤트의 기화로 인해 더 많은 부피수축이 일어나게 된다. 부피수축으로 인해



Fig. 2. Cross-sectional view of single coated PR.

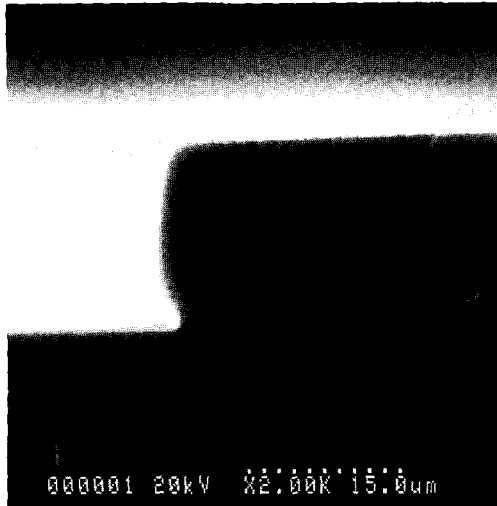


Fig. 3. Cross-sectional view of double coated PR.

compressive stress가 걸리게 되며, 상대적으로 적게 수축이 된 두 번째 PR과의 stress 차이가 발생하여, 그 계면에서 굴곡이 발생하게 된다. Fig. 3에 있는 PR단면은 이러한 이중코팅을 실시한 것이며 PR의 하단에 굴곡을 확인할 수 있었다.

PR의 형상을 만든 후 그 위에 Sputter를 이용해 Ag를 증착한 후 PR stripping을 실시하였다. 그 결과 두 가지의 문제점이 발생하였다. 첫 번째 문제는 Ag의 접착력이 약해 coil의 일부가 박리되어 떨어져버리는 것이고 두 번째 문제는 PR stripper에 PR이 완전히 제거되지 않았다는 점이다. 그 이유는 스퍼터링 시에 플라즈마에 PR이 노출되어 플라즈마 damage에 의해 경화되어 버렸기 때문이다. 따라서 스퍼터링 시에 기판부분을 회전(2 rpm)시키면서 증착시키는 회전스퍼터링을 실시하였다. 또한 Ag와 adhesion이 좋으면서 비저항 특성이 좋은 Ti를 adhesion layer로 삽입하여 보았다. 그 결과 Fig. 4와 같이 좋은 결과를 얻을 수 있었다. Al-1% Si을 이용한 코일제조 사진은 Fig. 5에서 확인할 수 있듯이 아주 깨끗한 공심형 인덕터를 제조할 수 있었다. 코일의 두께 역시 eddy current loss를 고려하여 8000 Å으로 제조하였다.

3.3. 제조된 RF 인덕터의 특성 분석

RF인덕터의 코일 부분은 $0.4 \times 0.5 \text{ mm}$ 에 4 turn의 rectangular spiral type으로 설계되었으며 앞의 Fig. 4와 5를 보면 인덕터 코일부분의 형상을 이해할 수 있었다. 코일의 폭은 $15 \mu\text{m}$ 에 코일 간격은 $15 \mu\text{m}$ 로 되어 있다.

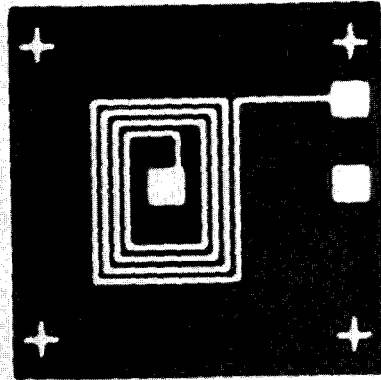


Fig. 4. Plain view of Ti/Ag coil by lift off process.

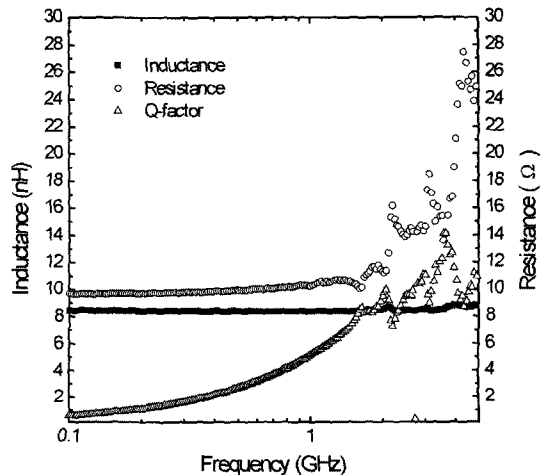
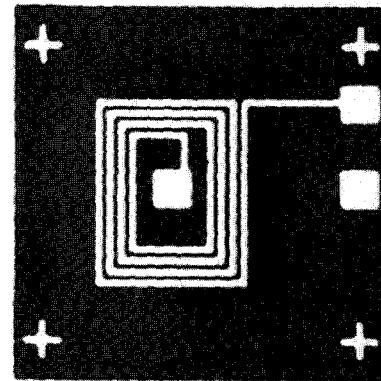


Fig. 6. The measured properties of air core Ti/Ag inductor.

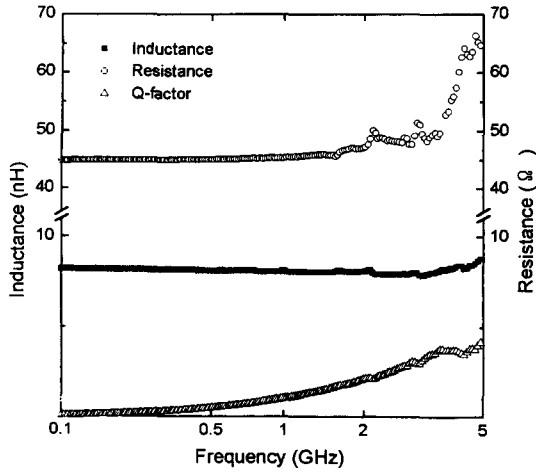


Fig. 7. The measured properties of air core Al-1%Si inductor.

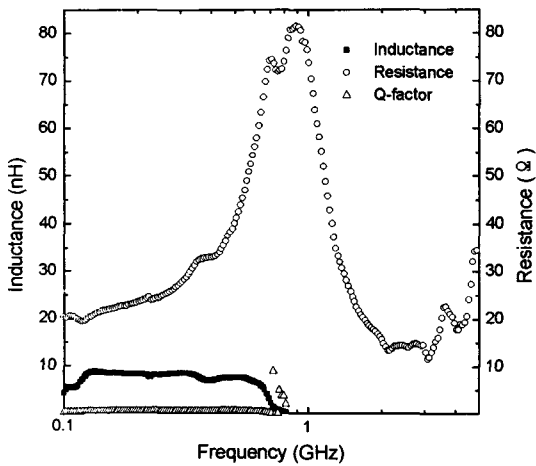
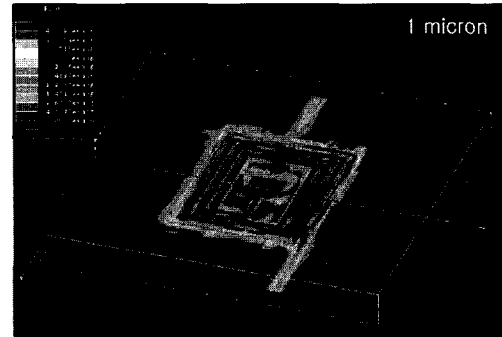


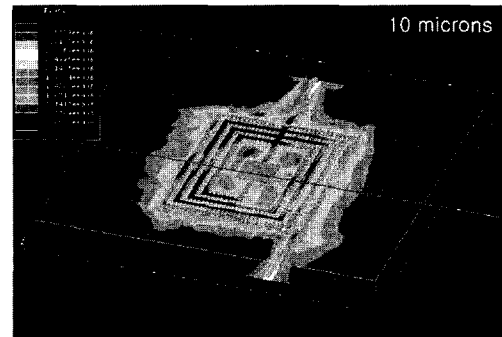
Fig. 8. The measured properties of Al-1%Si inductor using FeTaN patterned magnetic thin films.

사용된 FeTaN 자성막의 자기적 특징은 $4\pi M_s$, 15 kG, H_c 0.5 Oe, H_k 30 Oe, μ' 650으로 측정되었다. 자성박막의 easy축과 inductor coil의 장축을 평행하게 놓아야 coil에 직각 방향으로 형성되는 자계값이 자성막의 hard axis와 일치하게 되어 고주파 특성이 좋은 인덕턴스 값을 얻을 수 있었다.

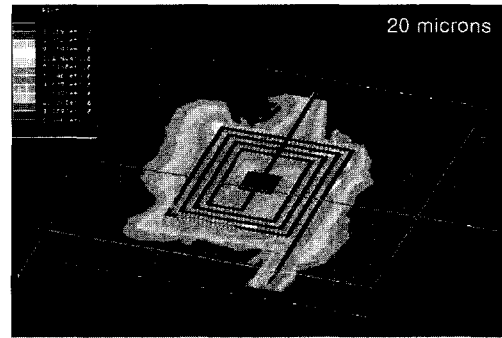
제조된 공심형 인덕터의 특성 값이 Fig. 6와 Fig. 7에 나타나있다. Fig. 6를 보면 2 GHz에서 8.4 nH, 11 Ω으로 9이상의 Q값을 갖게 되는 것을 알 수 있다. 저항의 증가는 eddy current loss에 의한 손실로 예상되는데 비저항 특성이 좋은 Ag의 경우 Al-1 % Si에 비해 우수한 것으로 나타났다. 이러한 원인으로는 Al-1 % Si의 경우 증착이



(a)



(b)



(c)

Fig. 9. The simulated flux distribution with distance from FeTaN patterned magnetic thin films to coils.

끝난 후 대기중에 노출되면서 얇은 Al_2O_3 막을 형성하여 저항을 증가시킬 수 있는 것으로 확인되었다.

Fig. 8에는 패턴된 자성막을 적용한 Al-1 % Si 인덕터의 결과가 나타나 있다. Ti/Ag의 경우 접착력이 떨어지므로 자성막의 edge부분의 굴곡 때문에 코일부분이 박리되는 현상이 발생하여 제조에 실패하였다. 제조에 성공한 Al-1 % Si의 경우 자성막을 적용한 경우 9 nH정도에 공진 주파수는 700 MHz 부근이었다.

초기에 예상했던 제조된 인덕터의 공진 주파수가 자성 박막의 공진주파수에 미치지 못한 원인은 코일과 패턴된 각각의 자성박막의 적절한 배치가 고려되지 않았기 때문으로 판단되었다. 즉, pattern된 자성막 각각의 edge부분에서는 반자장 이론에 의해 자력선이 분산되므로 내부자화가 작아지게 되며 예상된만큼 인덕턴스의 증폭이 이루어지지 못했다. 또한 패턴된 자성막 각각의 space에서의 자력선 방향은 자성막 내부와 반대방향이므로 이러한 것을 고려한 자성막의 배치에 대한 연구가 추가로 요구된다. 그 외에 공심형에 비해 낮은 인덕턴스 증폭은 패턴된 자성막에 의해서 발생된 자계는 자기인덕턴스와 상호인덕턴스를 고려한 최대의 자계가 형성되는 지점을 형성하게 되는데 이러한 위치에 코일이 배치되어야 한다. Fig. 9에 이러한 시뮬레이션 결과가 나타나 있으며, 약 10 μm 거리가 적절한 것으로 예상되었다. 거리가 더 가깝거나 멀어질 경우 코일에 자계가 거의 형성되지 않거나 너무 멀어 도달하지 못하는 것으로 나타났다. 이러한 문제점들을 고려하여 인덕터의 공진주파수를 2 GHz대역까지 끌어올리기 위해서 본 연구팀에서 현재 이를 수행하고 있다.

IV. 결 론

0.4×0.5 mm size의 rectangular spiral 형태의 RF 인덕터를 제조하였으며, 측정된 특성은 Ti/Ag air-core의 경우

5 GHz까지 공진이 없었으며 2 GHz에서 Q값이 9, 인덕턴스 8.4 nH였다. 자성박막을 이용한 Al-1 % Si경우 9 nH에 공진주파수는 약 700 MHz부근이었다.

패턴 자성막의 edge부분에서의 반자장에 의한 자력선 분산을 고려한 자성막 각각과 코일간의 배치에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2001년 전기연구소의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Jose M. Lopez-Villegas, Josep Samitier, Chaeles Cane, Pero Losantos, Joan Bausells, IEEE Trans. Microwave Theory & Technique, **48**(1), 76-83(2000).
- [2] Ferenc Mernyei, Frantz Darrer, Matthijs Pardoen, Andreas Sibrai, IEEE Trans. Microwave & Guided wave letter, **8**(9), 300(1998).
- [3] V. Korenivski, J. of Magn and Magn Mats., **215-216**, 800 (2000).
- [4] M. Yamaguchi, M. Baba, K. Suezawa, T. Moizumi, K. I. Arai, Y. Shimada, A. Haga, S. Tanabe, K. Ito, Proceedings of the 2000 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest-Vol. 1, 205-208(2000).

Fabrication of RF Inductor Using FeTaN Patterned Soft Magnetic Films

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

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

Jae-Sung Song

Advanced electrical materials group, KERI, 641-600 Sungju-dong Changwon Korea

Masahiro Yamaguchi

RIEC, Tohoku Univ., 2-1-1 Katahira Aoba-ku Sendai 980-8577 Japan

(Received 7 August 2001, in final form 25 October 2001)

Recently, RF inductor having researched by many workers, we fabricated and investigated properties of RF inductors. In order to improve the Q-factor (Quality), we try to apply the patterned $\text{Fe}_{78.81}\text{Ta}_{8.47}\text{N}_{12.71}$ soft magnetic thin film of 5000 Å which shows magnetic anisotropy of 30 Oe. Thus, patterned magnetic film was artificially increased magnetic anisotropy lead to increasing of ferro-magnetic resonance frequency up to GHz band. Coil as part of inductor was fabricated by lift off process. The dimension of RF inductor was designed 4 turn, rectangular shape, and measured properties. In the case of Ti/Ag air core type inductor shows Q of 9, inductance of 8.4 nH at 2 GHz. Magnetic film employed inductor shows inductance of 9 nH and FMR resonance frequency was 700 MHz.

Key words : RF inductor, pattern, FeTaN