

극초단파용 초소형 자기 박막 인덕터의 설계 및 제조

정희원 문용규*, 김지원**, 백승선*, 박문수*

Design and Fabrication of Micro Magnetic Thin Film Inductors for UHF

Yong-Gyoo Moon*, Ji-Won Kim**, Seung-Sun Baek*, Moon-Soo Park* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 휴대용 전화기, 개인 정보 단말기, DC/DC 컨버터, 칩 필터 등의 부품으로 활용 가능한 자기 박막 인덕터를 진공 증착 방법과 광 식각 공정을 이용하여 제작하고, 특성을 분석하였다. 소자의 구조에 따른 동작 특성의 변화를 컴퓨터로 시뮬레이션하여 우수한 특성을 갖는 박막 인덕터를 설계하였고, 소자의 자장 및 자속밀도를 계산하기 위해 2차원 및 3차원 유한요소법을 이용한 전자기 시뮬레이션 프로그램을 사용하였다. 제조된 소자는 network analyzer를 이용하여 특성(인덕턴스와 저항)을 측정하고, 이로부터 Q(quality factor)를 구하였다. 이와 같이 자기 박막 인덕터의 설계 및 제조 공정을 반복하여 300MHz 이상의 동작 주파수와 수십 nH의 인덕턴스 및 약 2의 Q값을 갖는 극초단파 대역에서 동작 가능한 초소형 자기 박막 인덕터를 제조하였다.

ABSTRACT

In This paper, we fabricated some micro magnetic thin film inductors by RF sputtering method and photolithography techniques, which can be parts of mobile telephones, personal digital assistant systems, DC/DC converters and chip filters. And we analyzed their characteristics. Thin film inductors was designed by computer simulation for the good performances. And to calculate magnetic field and magnetic flux density of the devices, 2 and 3 dimensional finite element method(FEM) was used. Fabricated devices were measured their characteristics(inductance and resistance) by network analyzer and obtained Q. By iterating above magnetic thin film inductors design, fabrication processes, micro magnetic thin film inductors were obtained which have operating frequencies over 300MHz, several tens nH of inductance and Q of about 2.

I. 서 론

최근의 정보통신기기는 개인의 이동성과 기기 이용의 편리성을 도모하기 위하여 소형, 경량화되어 가는 추세가 두드러지게 나타나고 있다. 이에 따라 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)와 같이 기기를 구성하는 회로의 one-chip화를 통하여 집적도를 높이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 정보통신기기 부품 가운데 인덕터는 소자 특성

상의 이유로 소형화가 가장 늦은 부품 가운데 하나로, 일본을 중심으로 자기 박막 인덕터(magnetic thin film inductor)에 관한 연구가 진행되고 있으며^[1, 2], 주로 동작주파수, 인덕턴스, Q값 및 집적도를 높이는데 중점을 두고 있다. 이를 위하여 인덕터 집적회로의 구조를 변화시키거나 사용되는 자기 코어(core) 재료를 변화시켜, 와전류(eddy current) 손실, 기생 캐패시턴스(parasitic capacitance), 자기저항(magnetic reluctance) 및 코일저항을 최소화시키기 위해 노력하고 있다.

* 전주공업대학 정보통신과(ygmoon@jtc.ac.kr, mspark@jtc.ac.kr)

** 숭실대학교 정보통신·전자공학부(kimjiwon@logos.soongsil.ac.kr)

논문번호: 99008-0324, 접수일자: 1999년 3월 24일

* 이 논문은 98년도 전주공업대학 학술연구비 지원에 의한 연구 결과입니다.

이러한 자기 박막 인덕터는 자기 집적회로(magnetic integrated circuit)의 구성을 가능하게 하여, LC 칩 필터(chip filter)를 비롯한, 고주파수에서 동작하는 초소형 전원 및 DC-to-DC 컨버터(converter)의 제작을 가능하게 하고 있다^[3-9].

본 연구에서는, 300MHz 이상의 극초단파대 동작 주파수와 수십 nH의 인덕턴스 특성을 갖는 초소형 자기 박막 인덕터(micro magnetic thin film inductor)를 설계 및 제조하였으며, 연구결과는 극소형 LC 필터 등의 통신기기용 부품제조 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

II. 연구 내용 및 방법

본 연구에서는 극초단파용 자기 박막 인덕터를 반도체 제조공정에 사용되는 진공 증착 방법 및 광식각 공정(photolithographic process)을 사용하여 제조하였으며, 자기 박막 인덕터의 제조에 앞서 인덕터의 구조에 따른 특성의 변화를 컴퓨터로 시뮬레이션하여 우수한 특성을 갖는 박막 인덕터를 설계하였다.

제조된 인덕터는 network analyzer를 이용하여 인덕턴스와 저항을 측정하고, 이를 통하여 Q(quality factor)를 계산하였다. 자기 박막 인덕터의 구조 및 제조 공정을 변화시키며 이와 같은 과정을 반복하여, 높은 동작 주파수와 인덕턴스 및 Q값을 갖는 초소형 자기 박막 인덕터를 실현하고자 하였다.

1. 박막 인덕터 구조

박막 인덕터의 구조는 straight line, hoop, meander, s-line, spiral type 등으로 크게 구분되며, 이 가운데 인덕터 제조에 주로 사용되는 형태는 meander type, spiral type 및 이를 변형한 형태들이다. 그림 1은 이러한 형태의 박막 인덕터의 개략적인 모양을 도체 부분의 형태에 따라 분류한 것인데, 이와 같은 형태는 기존의 MMIC에서 볼 수 있는 구조들이다.

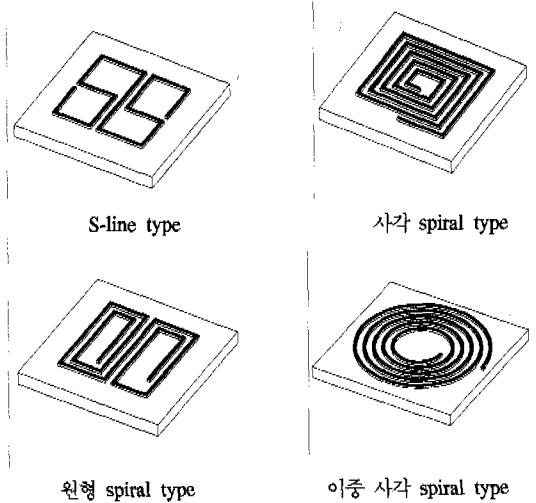
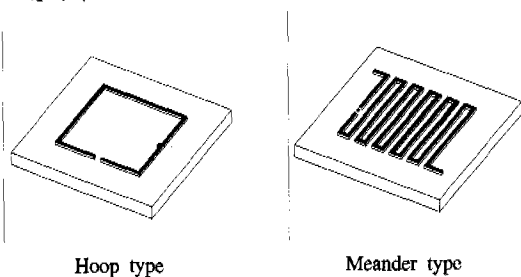
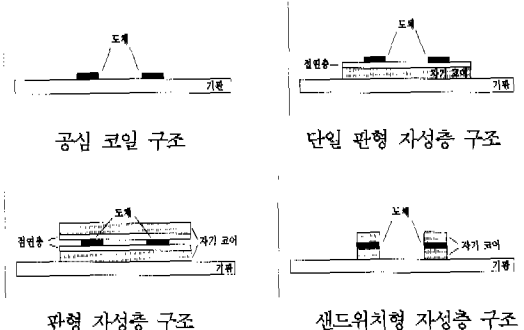


그림 1. 박막 인덕터의 기본 구조

인덕터를 박막화하는 데는 와전류 손실 및 기생 캐패시턴스와 자기 저항 및 코일 저항이 큰 문제로 등장한다. 최근에는 이러한 손실과 누설 저속을 감소시키고 높은 동작 주파수와 인덕턴스를 얻기 위해 도체 주변에 자기 코어를 쌓은 형태의 인덕터를 연구하고 있으며, 적층한 형태에 따라 크게 세가지 종류로 구분된다. 첫째는 기판 위에 코어층을 두고 그 위에 절연층을 쌓은 뒤 도체를 형성한 구조와, 다시 그 위에 절연층을 두고 그 상층에 자성층을 두는 구조로 자기 코어의 구조가 판형으로 되어 있다. 둘째로는 자기 코어층을 도체층의 구조와 동일하게 두고 그 위에 도체층을 쌓고 다시 자기 코어층을 두는 구조로 각 층 사이에 절연층을 두지 않는 샌드위치형 구조이다. 셋째는 자기 코어가 도체를 도선에 피복을 감싸듯 형성하는 구조로 폐자기 회로(closed magnetic circuit) 구조라 한다.

그림 2는 이러한 자기 코어를 갖는 박막 인덕터의 단면과 기존의 MMIC 인덕터인 공심 인덕터의 단면으로, 공심 인덕터는 자기 코어를 갖지 않고 기판 위에 도체만 있는 형태를 말한다.



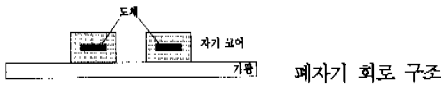


그림 2. 자기 코어의 적층 형태에 따른 박막 인덕터 형태의 분류

2. 박막 인덕터 구조 설계 및 mask set 설계
 인덕터의 자장 및 자속밀도를 계산하기 위해 2차원 및 3차원 전자기 시뮬레이션 프로그램인 Ansoft사의 Maxwell을 이용하여, 기존에 발표된 연구 결과들을 토대로, 박막 인덕터의 구조에 따른 특성 변화를 컴퓨터로 시뮬레이션하였고, 설계된 박막 인덕터를 제조하기 위해 mask set을 설계하였다.

Maxwell 프로그램을 사용한 인덕터 모델의 시뮬레이션 진행 순서는 그림 3과 같다.

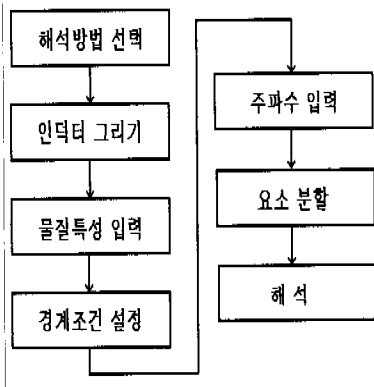


그림 3. Maxwell 프로그램 진행 순서

3. 박막 인덕터 제조

스퍼터링 방법(sputtering method)을 이용하여 자기 박막 코일용 구리 박막을 제조하였으며, 인덕터 구조 형성을 위하여 전자빔(electron beam)을 이용하여 Cr mask를 제조하였고, 이 mask들을 사용하여 광 식각 공정(photolithographic process)을 수행하였다. 박막 에칭(etching)은 습식 화학적 에칭(wet chemical etching)과 건식 스퍼터 에칭(dry sputter etching) 방법을 사용하였으며, 또한 구조에 따라 lift-off 공정을 실시하였다.

광 식각 공정은 다음과 같은 절차에 따라 진행하였다.

(1) 준비된 기판을 박막을 증착한다.

준비된 기판을 세척하고 스퍼터를 이용하여 박막을 증착한다.

(2) photoresist를 coating하고 소자의 형태를 광 식각한다.

증착된 박막에 photoresist를 coating하고 소자 mask를 이용하여 형태를 형성한다.

(3) 구조에 따라 다층 구조인 경우, (2)번 과정을 반복한다.

또한, Lift-off 공정은 다음과 같은 순서에 따라 진행하였다.

(1) 준비된 기판을 세척하고 spinner를 이용하여 photoresist를 coating하고 소자 mask를 이용하여 형태를 형성한다. 이때 소자의 형태만 photoresist가 제거된다.

(2) 스퍼터를 이용하여 박막을 필요한 두께로 증착한다. Photoresist를 제거하면 소자 형태만 남고, 나머지 필요없는 부분은 떨어진다.

(3) 구조에 따라 (2)번 과정을 반복한다.

소자의 구조와 제작 조건에 따라 일반적인 광 식각공정과 lift-off 공정을 병행하여 사용하였다.

4. 특성 측정

제조된 박막 인덕터는 network analyzer를 이용, 임피던스(인덕턴스와 저항)를 측정하고, 이로부터 Q를 구하였다. 300MHz 이상의 고주파수에서 정확한 임피던스 측정을 위해서는 인덕터와 측정 장치(network analyzer)와의 임피던스 매칭이 중요하므로 이를 위하여 microstrip을 이용한 특수한 fixture를 제작하였다. 그림 4는 제작된 zig set의 구조이다.

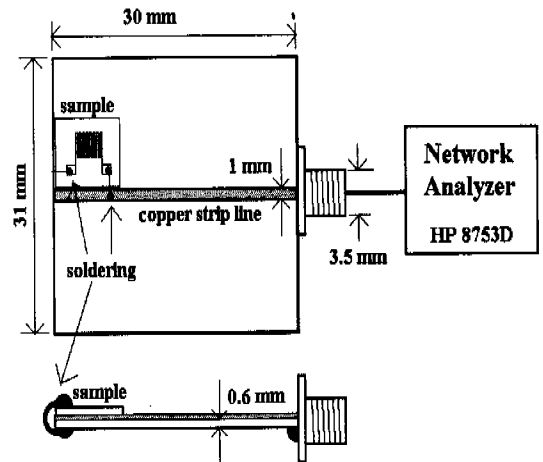
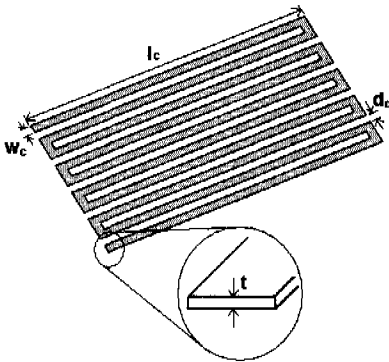


그림 4. 제작된 측정용 zig set의 구조

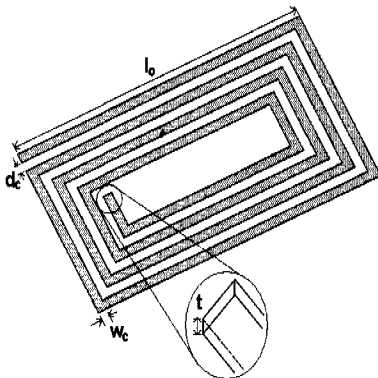
III. 연구 결과 및 고찰

1. 인덕터 구조변화에 따른 특성분석

그림 5는 meander type과 spiral type의 공심형 박막 인덕터의 구조이다. 박막 인덕터의 선폭(w_c)을 $30\mu\text{m}$ 으로 고정하고, 선간격(d_c)을 $10\mu\text{m}$, $20\mu\text{m}$, $30\mu\text{m}$, $40\mu\text{m}$, $50\mu\text{m}$ 으로 증가시키며 시물레이션하였다. 동일한 면적의 측정을 위하여 meander형 박막 인덕터 다리길이(l_c)는 $1,000\mu\text{m}$ 으로 고정하였고, 코일의 다리수를 16, 12, 10, 8개로 조절하였다. spiral형 박막 인덕터의 최외곽 길이(l_o)는 $1000\mu\text{m}$ 으로 고정하였고 턴수를 7, 5, 4, 3으로 조절하였으며, 공통적으로 코일의 두께(t)는 $2\mu\text{m}$ 으로 하였다.



(a) meander type 공심 박막 인덕터 구조

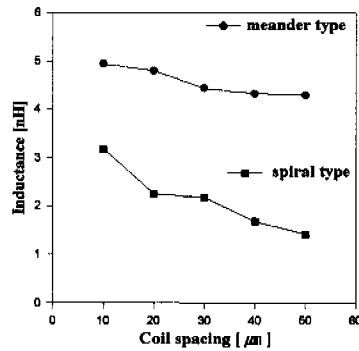


(b) spiral type 공심 박막 인덕터의 구조

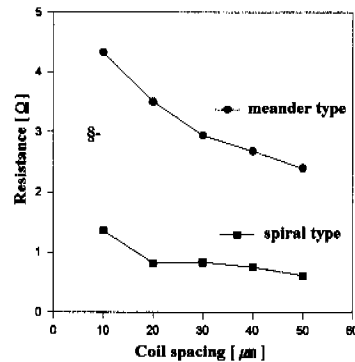
그림 5. (a) meander type 공심 박막 인덕터 구조와 (b) spiral type 공심 박막 인덕터의 구조

그림 6은 위와 같은 박막 인덕터의 선간격에 따른 인덕턴스, 저항, Q값의 변화를 500MHz의 주파수에서 시물레이션하여 나타낸 것이다.

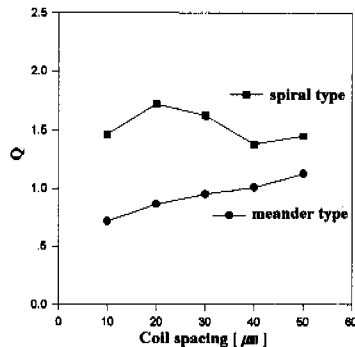
박막 인덕터의 선간격이 증가할수록 인덕턴스는 meander type의 경우, 5nH에서 4.2nH로 감소하였고 spiral type은 3.2nH에서 1.5nH로 감소하였다. 저항은 meander type의 경우, 4.3Ω에서 2.4Ω으로 감소하였고, spiral type은 1.3Ω에서 0.6Ω으로 감소하였다. 인덕턴스와 저항의 감소는 고정된 면적에서 선간격이 늘어나면서 도체의 길이가 감소하기 때문이다. Q값은 선간격이 증가할수록 meander type의 경우, 0.75에서 1.2로 지속적으로 증가하였으나, spiral type은 최대 1.7로 거의 변화가 없었다. 결과를 분석해 볼 때 spiral type에 비해 meander type이 비교적 우수한 특성을 보임을 알 수 있었다.



(a) 인덕턴스



(b) 저항



(c) Q 값

그림 6. 공심 박막 인덕터 선간격에 따른 자기 특성 변화

2. 자기 박막 인덕터의 제조

Mask 제작시 이용된 인덕터 구조는 시뮬레이션을 통하여 계산한 형태와 문헌자료를 통하여 형태를 선정하였으며, 에멀전(emulsion) mask를 제작하여 박막 인덕터를 제조하였다. 그림 7과 그림 8은 CAD로 설계한 mask 도면과 제작된 코일층의 에멀전 mask이다.

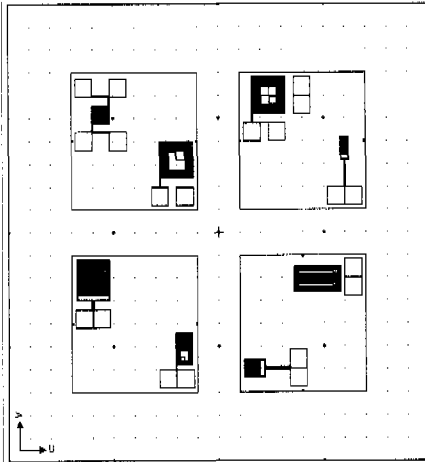


그림 7. 코일층 mask 설계 도면

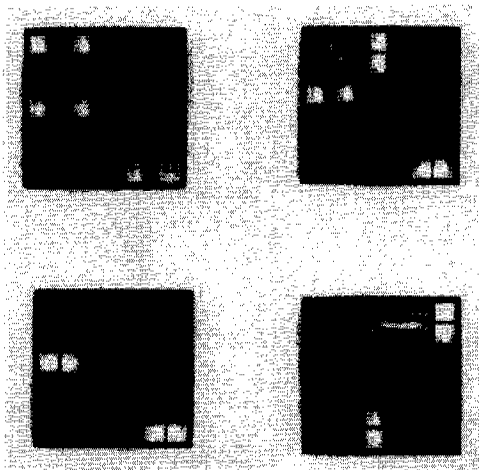
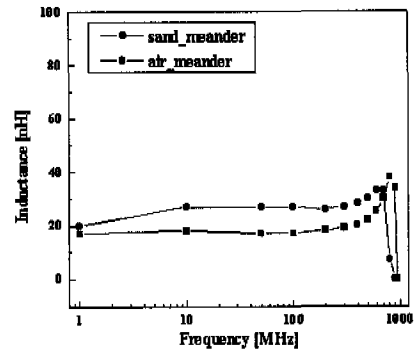


그림 8. 코일층의 에멀전 mask

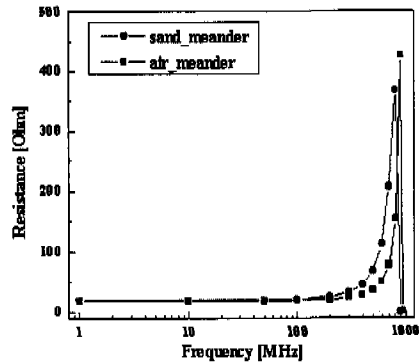
다른 연구결과 발표와 시뮬레이션에 의하면, 박막 인덕터 구조 가운데 자기 코어 적층 형태는 페자기 회로 구조가 비교적 우수한 소자 특성을 보이는 것으로 되어 있으나^[5], 페자기 구조의 적층을 위한 자기 코어의 물성치가 아직 목표치에 도달하지 않은 관계로, 비교적 제조가 용이한 meander type 공심형 박막 인덕터와 코어로 퍼멀로이($Ni_{19}Fe_{81}$)를 사용

한 meander type sandwich형 박막 인덕터를 제조하고, 특성을 비교하였다. 스퍼터로 제작한 코일층 Cu 박막의 증착 조건은 magnetron sputtering시 Ar 압력 10mT, DC power 300W, 증착율은 초당 16.7 Å 이며, meander type 박막 인덕터 다리길이는 1000 μm , 코일두께 2 μm , 선간격과 선폭은 각각 100 μm 으로 하였다.

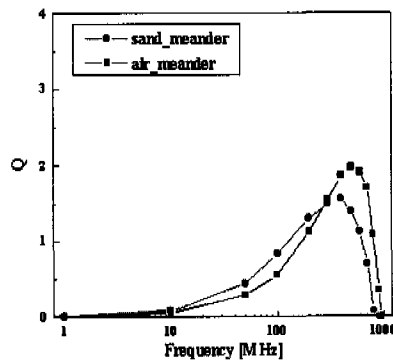
그림 9는 Meander type 공심형 박막 인덕터와 sandwich형 박막 인덕터의 주파수 증가에 따른 인덕턴스, 저항과 Q값의 변화를 비교한 것이다.



(a) 인덕턴스의 변화



(b) 저항의 변화



(c) Q값의 변화

그림 9. Meander type 박막 인덕터의 인덕턴스, 저항과 Q 값의 변화

그림 9. (a)에 나타난 바와 같이 sandwich형 박막 인덕터의 인덕턴스는 1MHz에서 20nH이고, 10MHz에서 400MHz까지 27nH를 나타내었으며, 공심형 박막 인덕터의 경우는 1MHz에서 6.5nH이고, 10MHz에서 300MHz까지 17nH를 나타내었다. 이를 비교하면 동작 주파수 범위내에서 sandwich형 인덕터의 인덕턴스가 공심형의 것보다 약 1.5 배 정도 증가한 것을 알 수 있는데, 이것은 퍼멀로이를 코어로 사용한 sandwich형 박막 인덕터의 자속 밀도가 공심형보다 크기 때문이다. 그림 9. (b)와 같이 sandwich형 박막 인덕터의 저항은 1MHz에서 20 Ω이고, 400MHz에서 증가하여 45 Ω을 나타내었고, 810MHz에서 공진하였으며, 공심형 박막 인덕터의 경우는 1MHz에서 18 Ω이고 600MHz에서 49 Ω을 나타내었고, 940MHz에서 공진하였다. 그림 9. (c)와 같이 1MHz에서 300MHz까지는 sandwich형 박막 인덕터의 인덕턴스가 공심형보다 크기 때문에 sandwich형 박막 인덕터의 Q값이 공심형 인덕터의 Q값보다 컸으며, 400MHz부터 600MHz까지는 저항값이 작은 공심형 인덕터의 Q값이 1.97로 sandwich형의 1.4보다 크게 나타났다.

IV. 결론

본 논문에서는 spiral type과 meander type의 박막 인덕터를 설계하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 특성을 분석하였고, meander type의 공심형 박막 인덕터와 sandwich형 자기 박막 인덕터를 제조하여 network analyzer로 측정한 결과, 300MHz이상의 동작 주파수와 최대 40nH의 인덕턴스 및 약 2의 Q값을 가졌다. meander type의 sandwich형 박막 인덕터의 경우, meander type의 공심형 박막 인덕터보다 인덕턴스 특성이 동작 주파수의 범위내에서 약 1.5배 이상 우수하였는데, 향후 자기 박막의 물성치를 개선하면 보다 향상된 특성을 얻을 수 있을 것으로 사료되며, 연구결과는 극소형 고주파용 LC 필터 등의 통신기기용 부품제조 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] K. Kawabe, H. Koyama and K. Shirae, "Planar inductor.", IEEE Trans. Mag., Vol. 20, pp. 1804-1806, 1984.
 [2] M. Yamaguchi, M. Matsumoto, H. Ohzeki and K. I. Arai, "Fabrication and basic characteristics

of dry etched micro inductors", IEEE Trans. Mag., Vol. 26, pp. 2014-2016, 1990.

[3] I. Sasada, T. Yamaguchi, K. Harada and Y. Notohara, "Planar inductors using NiZn ferrite thin plates and the application to high-frequency DC-to-DC Converters", IEEE Trans. Mag., Vol. 29, pp. 3231-3233, 1991.
 [4] K. I. Arai and M. Yamaguchi. H. Ohzeki and M. Matsumoto, "Application of YIG flim to thin flim inductors.", IEEE Trans. Mag., Vol. 27, pp. 5337-5339, 1991.
 [5] K. Shirakawa, M. Komatsu and J. Triu, "A new planar inductor with magnetic closed circuit.", IEEE Trans. Mag. Vol. 27, pp. 5432-5434, 1991.
 [6] H.Matsuki and N.Fujii, "Magnetic-multiturn plannar coil inductor", IEEE Trans. Mag., Vol. 27, pp. 5438-5440, 1991.
 [7] M. Yamaguchi, K. Ishihara and K. I. Arai, "Application of thin flim inductors to LC filters", IEEE Trans. Mag., Vol. 29, pp. 3222-3224, 1991.
 [8] K. I. Arai, M. Yamaguchi and H. Ohzeki, "An improved technique of impedance measurement for thin film inductor over 10 MHz", IEEE Trans. Mag., Vol. 28, pp. 2175-2177, 1992.
 [9] T. Sato, H. Tomita, A. Sawabe, T. Inoue, T.Mizoguchi, and M.Sahashi, "A magnetic thin film inductor and its Application to a Mhz switching dc-dc converter", IEEE Trans. Mag., Vol. 30, pp. 217-223. 1994.

문 용 규(Yong-Gyoo Moon)

정회원



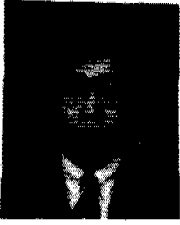
1987년 : 원광대학교 전자공학과 (공학사)
 1993년 : 숭실대학교 전자공학과 (공학석사)
 1991년 7월~1997년 8월 : 아시아항공 시스템부문 근무

1997년 8월~현재 : 숭실대학교 전자공학과 박사과정
 1997년 9월~현재 : 전주공업대학 정보통신과 전임강사

<주관심 분야> 마이크로파 및 안테나, 광통신

김 지 원(Ji-Won Kim)

정회원



1993년 : 순천향대학교 물리학과
(이학사)

1996년 : 송실대학교 전자공학과
(공학석사)

1997년3월~현재 : 송실대학교
전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 자성소자, 전자기 수치해석

백 승 선(Seung-Sun Back)

정회원

<주관심 분야> 마이크로프로세서, 디지털신호 처리

박 문 수(Moon-Soo Park)

정회원

<주관심 분야> 유선통신, 이동통신