

# Solenoid 형태의 소형 · 고성능 RF Chip 인덕터에 대한 연구

論 文

49C-5-5

## A Study of Micro, High-Performance Solenoid-Type RF Chip Inductor

金宰煜\* · 尹宜重\*\* · 鄭英暢\*\*\* · 洪哲鎬\*\*\* · 徐元昌§

(Jae-Wook Kim · Eui-Jung Yun · Young-Chang Jung · Chol-Ho Hong · Won-Chang Seo)

**Abstract** - In this work, small-size, high-performance simple solenoid-type RF chip inductors utilizing an  $Al_2O_3$  core material were investigated. Copper (Cu) wire with  $40 \mu m$  diameter was used as the coils and the size of the chip inductor fabricated in this work was  $2.1 mm \times 1.5 mm \times 1.0 mm$ . The external current source was applied after bonding Cu coil leads to gold pads electro-plated on each end of backsides of a core material. High frequency characteristics of the inductance (L), quality factor (Q), and impedance (Z) of developed inductors were measured using an RF Impedance/Material Analyzer (HP4291B with HP16193A test fixture). This HP4291B was also used to obtain the equivalent circuit and its circuit parameters of the chip inductors. The developed inductors have the self-resonant frequency (SRF) of 1.1 to 3.1 GHz and exhibit L of 22 to 150 nH. The L of the inductors decreases with increasing the SRF. The Z of the inductors has the maximum value at the SRF and the inductors have the quality factor of 70 to 97 in the frequency range of 500 MHz to 1.5 GHz.

**Key Words** : RF, chip inductor, solenoid,  $Al_2O_3$  core

### 1. 서 론

전자기과 흡수체, 변환기, 또는 인덕터와 같은 고주파 전자 기 소자에 대해 코아 물질의 초기 투자율은 radio frequency (RF) 영역에서 중요한 요소이다.

최근 많이 사용되는 자성 ferrite 코아 재료는 낮은 주파수 영역에서 큰 투자율을 갖지만 1 MHz 이상의 높은 주파수 영역에서 투자율이 급속히 감소하는 특성을 갖기 때문에 실험과 이론적으로 많은 연구가 수행되어져 왔다. 그러나 300 MHz 이상의 주파수영역에서 자화율이 급속하게 감소하여 고성능 RF chip 인덕터 개발에 큰 장애가 되고 있다.[1].

RF chip 인덕터의 인덕턴스는 코아의 크기, 권선수, 권선 간격 등에 의해 결정된다. 인덕터의 quality factor (Q-factor)는 소자의 에너지 저장 능력의 척도이다[2]. 그러므로 고성능의 인덕터는 Q-factor가 높아야만 한다. 또한 높은 Q-factor를 얻는 것과 동시에 인덕턴스를 증가시키기 위해서는 권선수를 증가시키는 방법이 가장 효과적이거나 제한된 면적 내에 코일을 감기 위해서는 권선의 간격이 좁아지므로 도체의 저항이 증가하여 Q-factor가 감소하게 된다. 결과적으로 인덕턴스와 Q-factor를 동시에 극대화시키는 힘들다[3,4].

Solenoid 형태의 chip 인덕터는 이와 다른 형태의 인덕터

들에 비해 다음과 같은 장점을 가지고 있다[5,6]; (1) planar 형태의 인덕터에서 L과 Q 값을 저하시키는 중요한 요인의 하나인 substrate effect를 제거할 수 있고, (2) 차지하는 면적을 적게 증가시키면서 단순히 권선수를 증가시킴으로써 큰 인덕턴스를 얻을 수 있으며, (3) 간단하고 일반적으로 잘 알려진 식을 사용하여 쉽게 인덕턴스를 계산하거나 설계할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 금도금( $200 \mu m$ )을 두겹게 하여 접촉 저항을 줄이고, loss가 적은 최적상태의 코아 재료를 이용하였고, 균일한 두께의 Cu 코일 및 정교한 winding 기술을 응용하여 기존의 chip 인덕터보다 인덕턴스와 Q-factor를 동시에 극대화시킨 (기존의 소자들보다 같은 L 값에 대하여 더 높은 Q 값을 나타내는) 단순 solenoid 형태의 소형 · 고성능 RF chip 인덕터를 제작 · 연구하였다.

### 2. 실험

그림 1은 본 논문에서 사용된 대표적인 solenoid 형태의 RF chip 인덕터의 하층부 구조를 나타내었다. 크기는  $2.1 mm \times 1.5 mm \times 1.0 mm$ 이고 코아의 재료로는 기존의 ferrite가 아닌  $Al_2O_3$  alumina를 사용하였다. 본 논문의 인덕터의 코아 재료로 사용된  $Al_2O_3$ 는 8.8의 낮은 유전율 상수와 0.0006의 낮은 loss tangent를 갖는다[7].

본말 형태의 유전체 물질을 유기용매, 결합제 (PVB, poly-vinyl butyral), plasticizer (DOP, dioctyl phthalate), 미량의 다른 화합물 등과 혼합하여  $Al_2O_3$  paste를 제조하였으며, 이를 triple roller를 이용한 스크린 인쇄 방법으로 코아를 제작하여  $1500^\circ C$  이상의 온도에서 소결하여 두께 1 mm로 제조하

\* 正 會 員 : 湖 西 大 電 子 工 學 科 博 士 課 程

\*\* 正 會 員 : 湖 西 大 電 氣 工 學 部 助 教 授 · 工 博

\*\*\* 正 會 員 : 湖 西 大 電 氣 工 學 部 教 授 · 工 博

§ 正 會 員 : 呼 寬 大 電 子 工 學 科 教 授 · 工 博

接 受 日 字 : 1999年 11月 23日

最 終 完 了 : 2000年 3月 30日

였다. 코일은 chip 인덕터의 skin-effect의 원인이 되는 metal loss를 줄이기 위해 전도성이 우수한 약 40 μm의 직경인 Cu를 사용하였다. 외부전류원은 코일의 양단을 코아 하층부의 양끝 단자에 분당한 후 인가하였다. 양끝 단자는 텅스텐으로 알루미늄시세라믹과 동시소성을 통하여 형성시켰으며, 이 위에 도전성을 향상시키기 위하여 Ni-P도금을 행하였다.

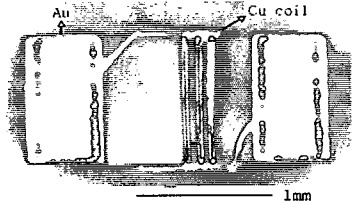


그림 1 RF chip 인덕터의 하층부 구조  
(L=22 nH, 권선수=4)

Fig. 1 Bottom view of the RF chip inductor  
(L=22 nH, Number of turns=4)

인덕터의 인덕턴스, Q-factor, 임피던스 크기와 위상에 대한 주파수 특성과 각 인덕터들의 등가회로 파라미터는 RF Impedance/Material Analyzer (HP16193A test fixture가 장착된 HP4291B)로 측정하였고, DC 저항 (DCR)은 RF LCR Meter (HP4286A)로 측정하였다. 자기공진주파수 (SRF)는 Network Analyzer (HP8719D)로 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

표 1은 본 논문에서 사용된 RF chip 인덕터들의 DC 저항과 자기공진주파수 특성을 요약하여 나타낸다. Chip 인덕터의 DC 저항은 코일의 길이에 의해 결정된다. 그러므로 코일의 더 많은 권선수는 더 긴 코일의 길이에 상응하고 인덕턴스 뿐만 아니라 DC 저항을 더 크게 하는 결과가 된다 [8-10].

표 1 RF chip 인덕터의 DC 저항과 자기공진주파수  
Table 1 The DC resistance and self-resonant frequency of the RF chip inductors

Sample No.	1	2	3	4
Inductance (nH)	22	33	100	150
Number of Turns	4	5	10	12
DCR (ohm)	0.09	0.14	0.3	0.3
SRF (GHz)	3.1	2.5	1.5	1.1

또한, 표 1에서 22 nH 샘플이 3.1 GHz로 가장 큰 자기공진주파수 값을 가지며, 150 nH 샘플은 1.1 GHz로 가장 낮은 값을 갖음을 알 수 있다. 이로부터 인덕턴스가 증가함에 따라 자기공진주파수가 감소하는 반비례 관계에 있음을 알 수 있다.

그림 2는 800 MHz의 주파수에서 인덕턴스 L과 권선수 N 사이의 관계를 나타낸다. 이때 점선은 다음과 같은 식에

의해 계산된 인덕턴스를 나타낸다[8-10].

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{l} \quad (1)$$

여기서 N은 권선수, A와 l은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코아의 단면적과 길이, μ<sub>0</sub>와 μ<sub>r</sub>은 진공투자율과 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코아의 상대투자율을 나타낸다. 그림 2에서 알 수 있듯이 계산된 값과 측정된 값은 잘 일치하고 있다.

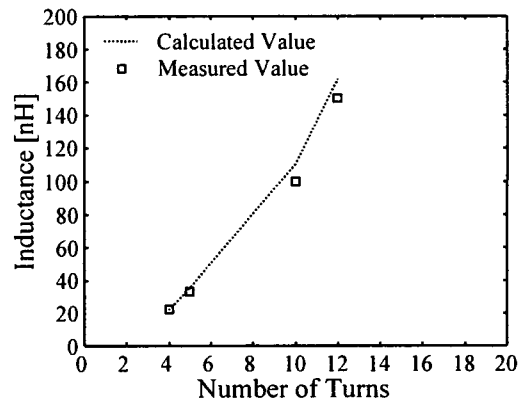


그림 2 RF chip 인덕터에서의 인덕턴스 (L)과 권선수 (N) 사이의 관계

Fig. 2 Relation between the inductance (L) and the number of turns (N) of the RF chip inductors

그림 3은 표 1에 나타난 4가지 인덕터들의 대표적인 인덕턴스-주파수 특성을 나타낸다. 그림에서 인덕턴스 값은 800 MHz 까지 거의 일정하였으며 22~150 nH 범위의 높은 값을 가진다. 또한 800 MHz 이상의 고주파수 영역에서는 인덕턴스가 큰 샘플일수록 더 낮은 주파수에서 인덕턴스 값이 증가함을 보이는데, 이는 인덕턴스가 클수록 공진주파수가 감소하게 됨을 나타낸다.

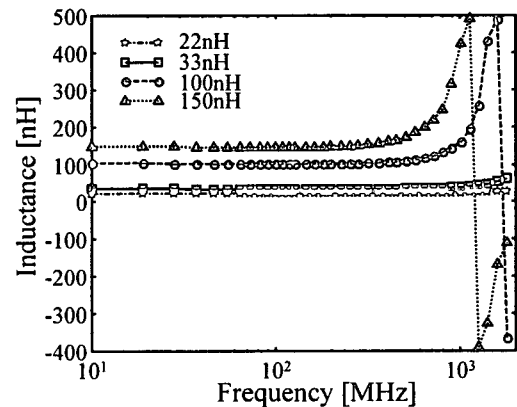


그림 3 RF chip 인덕터들의 대표적인 인덕턴스-주파수 특성  
Fig. 3 Typical inductance-frequency characteristic of the RF chip inductors

또한 그림 3에서는 100 nH 샘플이 약 1.5 GHz, 150nH 샘플이 약 1.1 GHz 정도에서 공진주파수 값을 갖게 됨을 나타낸다. 이러한 L과 SRF 사이의 관계는 Network Analyzer로 얻어진 표 1에서의 관계와 일치함을 알 수 있다.

그림 4는 측정된 인덕터들의 대표적인 quality factor-주파수 특성을 나타낸다. RF chip 인덕터의 Q-factor는 주파수가 증가함에 따라 증가하며 최대값에 도달하게 된다. 그 이상 주파수가 증가하게 되면 Q-factor의 값은 감소하게 된다. 일반적으로 Q-factor는 다음과 같이 표현할 수 있다[5,11,12].

$$Q = 2\pi \cdot \frac{\text{peak magnetic 에너지} - \text{peak electric 에너지}}{\text{한 주기 동안 회로에서 소비된 에너지}} \quad (2)$$

인덕터는 자기공진주파수에서 peak magnetic 에너지와 peak electric 에너지가 같기 때문에 인덕터의 Q-factor는 공진주파수에서 0의 값을 갖는다[5]. 따라서 그림 4에서 Q-factor가 0이 될 때의 주파수를 인덕터들의 자기공진주파수로 간주할 수 있고, 이 공진주파수 값은 100 nH 샘플일 때 약 1.5 GHz, 150nH 샘플일 때 약 1.1 GHz가 됨을 알 수 있다. 또한 Q는 500 MHz~1.5 GHz 주파수 범위에서 최대 70~97의 값을 갖음을 알 수 있다.

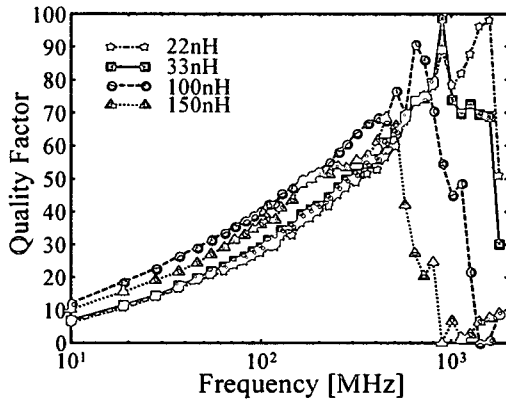


그림 4 RF chip 인덕터들의 대표적인 Quality factor-주파수 특성  
Fig. 4 Typical quality factor-frequency characteristic of the RF chip inductors

그림 5는 1~900 MHz 범위내의 몇몇 주파수에서 4가지 샘플 인덕터들의 인덕턴스와 Q-factor 사이의 관계를 도시하였다. 일정주파수가 낮을 경우 인덕턴스가 증가함에 따라 Q-factor가 증가하나 일정주파수가 높을 경우 (500 MHz 이상) 인덕턴스의 증가에 따라 Q-factor는 증가하다 크게 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 다음과 같은 식으로 설명된다[5].

$$Q = \frac{\omega L}{R} \cdot \text{substrate loss factor} \cdot \text{self-resonant factor} \quad (3)$$

이 식에서 첫 번째 항은 저장된 자기에너지와 저항 R에서의

ohmic 손실을 나타내며, 두 번째 항은 반도체 실리콘 substrate에서의 에너지 손실을 나타내는 substrate loss factor를 의미하는데, 본 논문에서 사용된 solenoid 형태는 substrate를 가지고 있지 않으므로 1로써 표현할 수 있다. 그리고 마지막 항은 주파수 증가에 따라 peak electric 에너지가 증가하고 따라서 자기공진주파수에서 Q가 0이 되는 효과 때문에 생기는 자기공명요소이다. 그림 5에서와 같이 일정주파수가 낮을 경우 Q는  $(\omega L/R) \times 1$ 에 의해서 기술될 수 있으며, 주파수가 증가할수록 자기공명요소가 1보다 매우 작게 되어 인덕턴스 L이 증가해도 Q가 크게 감소하게 된다. 또한 그림 5에서는 높은 주파수에서 L과 Q가 동시에 극대화될 수 있음을 나타낸다. 즉, 900 MHz 이상의 주파수에서 L=75 nH, Q=75인 인덕터의 개발이 가능함을 알 수 있다.

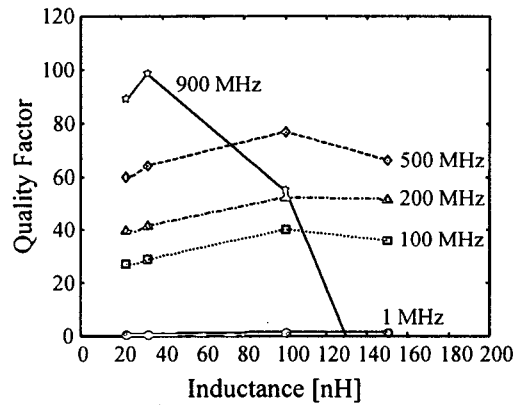


그림 5 주파수에 대한 인덕턴스와 Q-factor 사이의 관계  
Fig. 5 Variation of quality factor (Q) with the inductance (L) for different fixed frequencies.

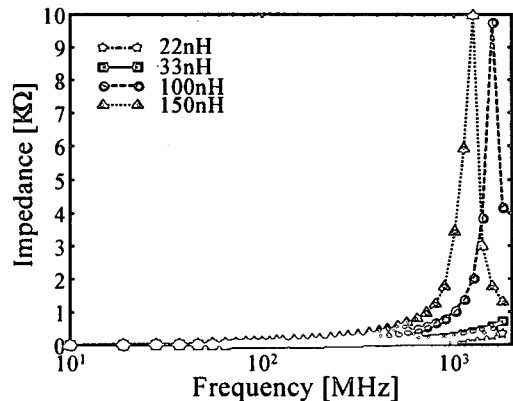


그림 6 RF chip 인덕터들의 대표적인 임피던스 크기-주파수 특성  
Fig. 6 Typical impedance amplitude-frequency characteristic of the RF chip inductors

그림 6은 측정된 인덕터들의 대표적인 임피던스 크기 (|Z|)-주파수 특성을 나타낸다. 그림 6에 따르면 주파수가

증가함에 따라  $|Z|$ 가 급격히 증가함을 알 수 있다. 인덕터의 임피던스 크기는 다음과 같은 일반적인 식으로 나타낼 수 있다.

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad (4)$$

이때 같은 주파수에서 인덕턴스가 증가할수록  $|Z|$ 가 증가함을 알 수 있으며, 그림 6에서도 확인할 수 있다. 또한 일반적으로  $|Z|$ 는 자기공진주파수에서 최대가 되므로 100 nH 샘플인 경우 공진주파수가 1.5 GHz, 150 nH 샘플인 경우 1.1 GHz가 됨을 그림 6으로부터 알 수 있으며, 이 결과는 그림 3과 4에서 유추한 결과와 일치한다.

그림 7은 측정된 인덕터들의 대표적인 임피던스 위상-주파수 특성을 나타낸다. 일반적으로 인덕터들의 임피던스 위상은 자기공진주파수 보다 작은 주파수 영역에서 +90 degree (유도성), 자기공진주파수에서 0 degree (순 저항 성분), 그리고 자기공진주파수 보다 큰 주파수 영역에서 -90 degree (용량성)가 되어 유도성-용량성 전환점에서 자기공진주파수를 알아내는데 중요한 역할을 한다[5]. 따라서 그림 7로부터 100 nH 인덕터는 1.5 GHz, 150 nH 인덕터는 1.1 GHz 정도의 공진주파수를 가짐을 확인할 수 있다.

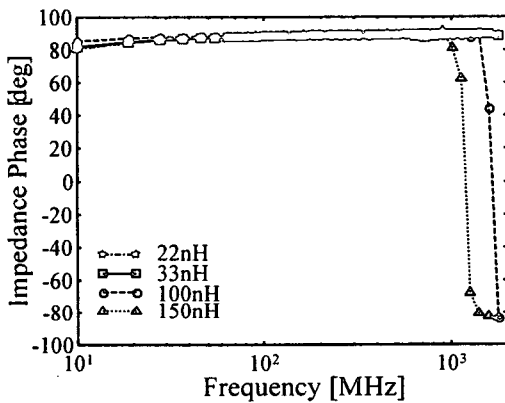


그림 7 RF chip 인덕터들의 대표적인 임피던스 위상-주파수 특성

Fig. 7 Typical impedance phase-frequency characteristic of the RF chip inductors

개발된 인덕터들의 등가회로 및 그 파라미터를 얻기 위해 HP16193A test fixture가 장착된 HP4291B를 사용하여 여러 가지 모델들 중에서  $L$  파라미터 값이 그림 4에서 측정된  $L$  값들과 가장 근사한 모델을 선택하였고 그림 8은 최적으로 선택된 등가회로를 나타낸다. 여기서  $R$ 과  $C$ 는 코일의 구리 손실과 도선의 감김 사이에 생긴 분산 캐패시턴스(stray capacitance)를 의미한다. 이 모델은 참고문헌 [9]에 제시된 모델과 일치하였고, 또한 참고문헌 [5]의 모델에서 substrate loss factor를 1로 놓았을 때의 등가모델과도 일치하였다. 이 인덕터의 저항과 분산 캐패시턴스는 등가회로 해석을 사용하여 주파수의 함수로써 측정된 임피던스 크기와 위상으로부터 유도되었다. 측정에 사용된 4가지 샘플의 등가회로 파라미터

값은 표 2와 같다.

표 2의  $L$  값들은 표 1의  $L$  값들과 거의 일치하였으며, 분산 캐패시턴스는 fF 정도의 작은 값을 가지므로 사용 주파수 영역에서 무시될 정도의 작은 효과를 갖는다. 따라서 본 논문에서 개발된 chip 인덕터들은 고성능, 고주파 전자기기 내의 유도성 소자로써 사용이 가능함을 알 수 있다.

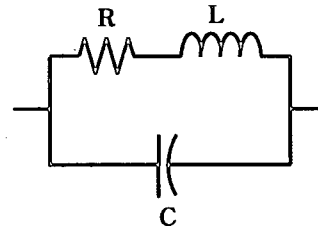


그림 8 회로 파라미터 분석에 사용된 RF chip 인덕터의 등가회로

Fig. 8 The equivalent circuit of RF chip inductor used to analyze circuit parameters

표 2 측정 인덕터들에 대한 등가회로의 파라미터 값

Table 2 The equivalent circuit parameters for RF chip inductors

	$L$	$R$	$C$
22 nH	21.956 nH	226.17 mΩ	108.64 fF
33 nH	32.852 nH	269.46 mΩ	119.47 fF
100 nH	99.101 nH	441.3 mΩ	109.29 fF
150 nH	149.28 nH	548.43 mΩ	123.61 fF

#### 4. 결 론

8.8의 낮은 유전율 상수와 0.0006의 낮은 loss tangent를 갖는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹 코어 재료를 이용한 단순 solenoid 형태의 소형·고성능 RF chip 인덕터가 개발되었다. 이 chip 인덕터의 크기는 2.1 mm×1.5 mm×1.0 mm이며, 코일로 사용된 Cu의 직경은 약 40 μm였다. 실험에 사용된 4가지 샘플은 22 nH, 33 nH, 100 nH, 150 nH의 인덕턴스를 가지며, 자기공진주파수는 각각 3.1 GHz, 2.5 GHz, 1.5 GHz, 1.1 GHz가 되어 Network Analyzer (HP8719D)로 측정된 값들과 일치하였다. 따라서 권선수가 증가함에 따라 인덕턴스 값은 증가하는 반면, 자기공진주파수가 감소하였다.  $Q$ -factor의 값은 주파수가 증가함에 따라 증가하다 최대값에 도달하게 되고, 그 이상이 되면 자기공명요소에 의해 감소하는 경향을 나타내며, 500 MHz~1.5 GHz 범위에서 최대 70~97까지 얻어졌다. 실험을 통해 확인한 결과, 75 nH의 인덕턴스를 갖으며 75의  $Q$  값을 갖는 고성능 RF chip 인덕터의 개발이 가능함을 확인할 수 있었다. 주파수에 대한 임피던스 특성은 공진주파수 근처에서 크기가 최대값을 가지며, 위상은 유도성(+90°)에서 용량성(-90°)으로 전환됨을 확인하였다. HP4291B를 이용하여 얻어진 인덕터들의 등가회로는 이미 발표된 유사한 인덕터들의 등가회로와 일치하였고 이 등가회로 모델로부터 얻어진  $C$  파라미터 값은 fF 정도의 작은 값을 가지므로  $C$  내의 전기장 내부에 저장되는 에너지를 극소화할 수 있다. 따라서  $Q$  값을

극대화하는 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

결과적으로 본 논문에서 개발된 소형 RF chip 인덕터는 solenoid 형태로 제작이 간단하다는 잇점을 가지며, substrate를 제거한 형태로 substrate effect를 무시하고 권선수를 증가시킴으로써 RF 영역에서 큰 인덕턴스와 높은 Q-factor를 동시에 극대화시킬 수 있는 장점을 갖는 우수한 특성을 확인할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Takanori Tsutaoka, Teruhiro Kasagi, Kenichi Hatakeyama, "Magnetic Field Effect on the Complex Permeability for a Mn-Zn Ferrite and its Composite Materials," Journal of the European Ceramic Society, pp. 1531-1535, 1999.
- [2] Rob Groves, David L. Hame, Dale Judus, "Temperature Dependence of Q and Inductance in Spiral Inductors Fabricated in a Silicon-Germanium/BiCMOS Technology," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 32, no. 9, pp. 1455-1459, Sep, 1997.
- [3] I. Wolff and H. Kapusta, "Modeling of Circular Spiral Inductors for MMICs," IEEE MTT-s Digest, pp. 123-126, 1987.
- [4] Y. Kobayashi, S. Ishibashi, K. Shirakawa, J. Toriu, H. Matsuki, K. Murakami, "New Type Micro Cloth-Inductor and Transformer with Thin Amorphous Wires and Multi-Thin Coils," IEEE Trans. on Magnetics, vol. 28, no. 5, pp. 3012-3014, Sep, 1992.
- [5] C. Patrick Yue, S. Simon Wong, "On-Chip Spiral Inductors with Patterned Ground Shields for Si-Based RF IC's," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 33, no. 5, pp. 743-752, May 1998.
- [6] Jun-Bo Yoon, Chul-Hi Han, Eui-Sik Yoon and Choong-Ki Kim, "Monolithic Fabrication of Electroplated Solenoid Inductors Using Three-Dimension Photolithography of a Thick Photoresist," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 37, pp. 7081-7085, Part1, No. 12B, Dec 1998.
- [7] W. H. Hayt Jr., "Engineering electromagnetics," 5th ed. New York : McGRAW-Hill, 1989.
- [8] R. F. Soohoo, "Magnetic Thin Film Inductors for Integrated Circuit Applications," IEEE Trans. on Magnetics, vol. MAG -15, 1803, 1979.
- [9] Chong H. Ahn, Mark G. Allen, "A New Toroidal-Meander Type Integrated Inductor With A Multilevel Meander Magnetic Core," IEEE Trans. on Magnetics, vol. 30, no. 1, pp. 73-79, Jan, 1994.
- [10] Chong H. Ahn, Mark G. Allen, "Micromachined Planar Inductors on Silicon Wafers for MEMS Applications," IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 45, no. 6, pp. 866-876, Dec, 1998.
- [11] K. Shirakawa, K. Yamaguchi, M. Hirata, T. Yamaoka, F. Takeda, K. Murakami, and H. Matsuki, "Thin Film Cloth-Structured Inductor for Magnetic Integrated Circuit," IEEE Trans. on Magnetics, pp. 2262-2264, 1990.
- [12] H. Matsuki, N. Fujii, K. Shirakawa, J. Toriu, K. Murakami, "Magnetic-Multi-Turn Planar Coil Inductor," IEEE Trans. on Magnetics, vol. 27, no. 6, pp. 5438-5440, Nov, 1991.

## 저 자 소 개



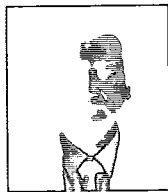
### 김재욱 (金宰煜)

1970년 7월 6일생. 1989년 3월~1993년 2월 호서대 공대 전자공학과 졸업(학사). 1993년 3월~1998년 8월 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1998년 8월~현재 동 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심분야 : 자동제어,

퍼지제어, chip inductor 개발

Tel : 0418-549-6778, Fax : 0418-548-2932.

E-mail : jaewook@opentown.net



### 윤의중 (尹宜重)

1962년 2월 21일생. 1985년 2월 고려대 공대 전자공학과 졸업(학사). 1988년 12월 미국 The University of Texas at Austin 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 5월 미국 The University of Texas at Austin 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1994년 6월~1996년 8월 미국 The University of Texas at Austin 부설 Center for Magnetics Post-Doctor 연구원. 1996년 9월~현재 호서대 전기공학부 조교수. 주관심분야는 Metal/Oxide/Metal (MOM) 박막소자에서의 양자화현상, Fiber-Optic Magnetic Sensor 개발, 자성박막 재료 및 소자의 개발, chip inductor 개발

Tel : 0418-540-5486

E-mail : ejyun@office.hoseo.ac.kr



### 정영창 (鄭英暢)

1947년 2월 10일생. 1969년 2월 전북대 전기공학과 졸업(학사). 1976년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 2월 숭실대 대학원 전자공학과 졸업(공박). 1979년 2월~현재 호서대 전기공학부 교수. 주

관심분야 : 지능제어, chip inductor 개발, optical scanner 제어

Tel : 0418-540-5486

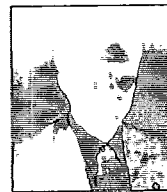
E-mail : ycjung@office.hoseo.ac.kr

### 홍철호 (洪哲鎬)

1954년 4월 26일생. 1977년 2월 성균관대 전자공학과 졸업(학사). 1981년 2월 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1989년 2월 동 대학원 전자공학과 졸업(공박). 1983년 3월~1989년 2월 인덕대학 전자과 조교수. 1989년 3월~현재 호서대 전기공학부 교수. 주관심분야 : 로보틱스, 자동제어, 비선형 시스템제어, 지능제어, chip inductor 개발

Tel : 0418-540-5481

E-mail : chhong@office.hoseo.ac.kr



### 서원창 (徐元昌)

1947년 6월 29일 생. 1971년 2월 전북대 전기공학과 졸업. 1978년 8월 동국대 대학원 전자공학과 졸업 (석사). 2000년 2월 호서대 대학원 졸업(공박). 1978년 1월~현재 호원대 전자공학과 교수

Tel : 0654-450-7511.

E-mail : swc@sunny.howon.ac.kr