

論文2000-37SD-6-5

비정질 Al_2O_3 코아 재료를 이용한 Solenoid 형태의 고품질 RF chip 인덕터에 관한 연구

(A Study of High-Quality Factor Solenoid-Type RF Chip Inductor Utilizing Amorphous Al_2O_3 Core Material)

金宰煜*, 鄭英暢*, 尹宜重**, 洪哲鎬**

(Jae-Wook Kim, Young-Chang Jung, Eui-Jung Yun, and Chol-Ho Hong)

요약

우수한 성능을 가지며 소형·경량인 무선통신기기를 구현하기 위해서는 GHz 대의 고주파수에서 동작하는 소형 RF chip 인덕터의 개발은 중요한 연구분야가 되어왔다. 또한 최근 많이 사용되는 자성 ferrite core 재료는 300 MHz 이상의 주파수영역에서 자화율이 급속하게 감소하여 고성능 RF chip 인덕터 개발에 큰 장애가 되고 있다.

따라서 본 논문에서는 비정질 Al_2O_3 코아 재료를 응용한 단순 solenoid 형태의 소형·고성능 RF chip 인덕터를 연구하였다. Cu를 코일 (직경=40 μm)로 사용하였고 인덕터 크기는 2.1mm×1.5mm×1.0mm였다. 외부 전류원은 코일의 양단을 코아 가장자리에 적층된 Au 막에 본딩시킨 후 인가되었다. 코아의 성분은 EDX를 사용하여 분석하였다. 개발된 인덕터의 인덕턴스 (L), quality factor (Q), 임피던스 (Z) 등의 주파수 특성은 RF impedance/Material Analyzer (HP16193A test fixture가 장착된 HP4291B)로 측정되었다. 인덕터들의 인덕턴스 값은 22 nH~150 nH 범위를 가지며, 이들의 자기공진주파수 (SRF)는 1~3.5 GHz 영역을 나타낸다. 또한 자기공진주파수가 증가함에 따라 인덕턴스 값이 감소하는 경향을 보이고 있다. 임피던스는 공진주파수에서 최대 값을 가지며 Q-factor의 값은 500 MHz~1.5 GHz 주파수 범위에서 최대 70~97 까지 얻어졌다

Abstract

Recently, there is a growing need to develop small-size RF chip inductors operating to GHz to realize high-performance, micro-fabricated wireless communication products. For the development of high-performance RF chip inductors, however, the ferrite-based chip inductors can not be used above 300MHz due to the limitation of the permeability of this material.

In this work, small-size, high performance RF chip inductors utilizing amorphous Al_2O_3 core material were investigated. Copper (Cu) with 40 μm diameter was used as the coils and the chip inductor size fabricated in this work is 2.1mm×1.5mm×1.0mm. The external current source was applied after bonding Cu coil leads to gold pads electro-plated on the bottom edges of a core material. The composition of core materials was measured using a EDX. 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). The developed inductors have the self-resonant frequency (SRF) of 1 to 3.5 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.

* 正會員, 湖西大學校 電子工學科
(Dept. of Electronic Eng., Hoseo Univ.)

** 正會員, 湖西大學校 制御計測工學科

(Dept. of Control & Instrumentation Eng., Hoseo Univ.)

接受日字:1999年8月9日, 수정완료일:2000年5月2日

I. 서론

우수한 성능을 가지며 소형·경량인 무선통신기기(호출기, PCS, 휴대폰, ITM2000 등)와 최신 전자제품(노트북 컴퓨터, 캠코더 등)을 구현하기 위해서 GHz 대의 고주파수에서 동작하는 소형 RF chip 인덕터의 개발은 중요한 연구분야가 되어왔다. chip 인덕터의 응용분야로는 캐패시터와 결합하여 LC 필터로서의 사용, 능동소자를 위한 AC 초크로서의 사용, 회로정합과 EMI 필터로서의 사용되고 있다^[1-11].

최근 많이 사용되는 Mn-Zn ferrite와 Ni-Zn ferrite가 대표적인 spinel ferrite 코어 재료는 300MHz 이상의 주파수영역에서 자화율이 급속하게 감소하여 그 이상인 500MHz에서 수 GHz의 RF 범위에 응용하는데 한계가 있다^[1]. 또한 최근 고주파 영역인 GHz 영역에서의 자성재료로 주목을 받고 있는 Y-hexagonal ferrite^[12]가 있으나 소결과정중 이상이 생기기 쉽고 Curie 온도가 110°C로 낮은 단점이 있으므로 본 논문에서는 제조공정이 간단하고 용이한 Al₂O₃ alumina ceramics를 코어 재료로 사용하여 Y-hexagonal ferrite에 버금가는 특성을 가진 인덕터 제작에 주력하였다.

RF chip 인덕터의 인덕턴스는 코어의 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 극대화시키기는 힘들다^[3,4].

따라서 본 논문에서는 비정질 Al₂O₃ 세라믹 코어 재료를 응용하여 인덕턴스와 Q-factor를 동시에 극대화시킨 단순 solenoid 형태의 소형·고성능 RF chip 인덕터를 연구하였다.

II. 실험

그림 1은 본 논문에서 사용된 대표적인 solenoid 형태의 RF chip 인덕터의 상측부 구조를 나타내었다. 크

기는 2.1mm×1.5mm×1.0mm이고 코어의 재료로는 기존의 ferrite가 아닌 Al₂O₃ alumina를 사용하였다. EDX를 이용하여 분석한 결과, 코어의 성분은 그림 2에 보여지는 바와 같으며 Al 28%, O 72%로 구성되었다. 또한 Al₂O₃는 8.8의 낮은 유전율 상수와 0.0006의 낮은 loss tangent를 갖는다^[5].

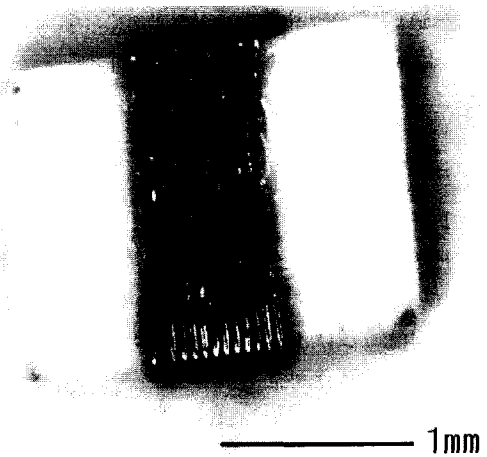


그림 1. RF chip 인덕터의 상측부 구조
Fig. 1. Top view of the RF chip inductor.

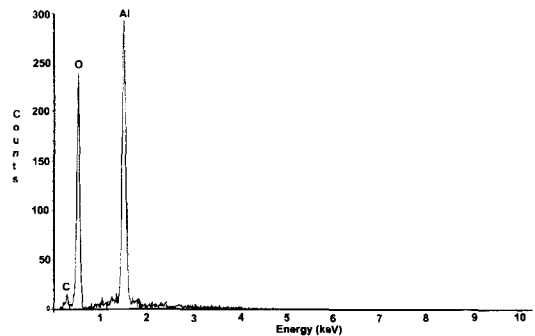


그림 2. Al₂O₃ 코어 물질의 EDX 스펙트라
(인덕턴스=150nH, 권선수=12)
Fig. 2. EDX spectra of the Al₂O₃ core material
(Inductance=150nH, No. of turns=12)

분말 형태의 유전체 물질을 비수용성 용매, 접합제 (PVB, poly-vinyl butyral), plasticizer (DOP, dioctyl phthalate), 미량의 다른 화합물 등과 혼합하여 900°C 미만의 sintering 온도를 사용하여 Al₂O₃ paste를 만들었다. 두께는 약 1mm로 고정시켰다. 코일은 chip 인덕터의 skin-effect의 원인이 되는 metal loss를 줄이기 위해 전도성이 우수한 약 40 μm의 직경인 Cu를 사용하였

다. 외부전류원은 코일의 양단을 코아 가장자리에 도금 처리 방식으로 적층된 Au 막(두께=200 μm)에 본딩시킨 후 인가하였다.

인덕터의 인덕턴스, Q-factor, 임피던스 크기와 위상에 대한 주파수 특성은 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.

III. 측정결과

표 1은 본 논문에서 사용된 RF chip 인덕터들의 DC 저항과 자기공진주파수 등과 같은 특성들을 요약하여 나타낸다. Chip 인덕터의 DC 저항은 코일의 길이에 의해 결정된다. 그러므로 더 많은 코일의 권선수는 더 긴 코일의 길이에 상응하고 인덕턴스 뿐만 아니라 DC 저항을 더 크게 하는 결과가 된다^[6,7,8].

그림 3은 800 MHz의 주파수에서 인덕턴스 L과 권선수 N 사이의 관계를 나타낸다. 이때 점선은 다음과 같은 식^[6,7,8]에 의해 계산된 인덕턴스를 가리킨다.

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

여기서 A_c와 l_c는 코아 재료의 단면적과 길이를 나타내고, μ₀와 μ_r은 각각 진공투자율과 코아 재료의 상대투자율을 표시한다. 그림 3에서 알 수 있듯이 계산된 값과 측정된 값은 잘 일치하고 있다.

표 1. 본 논문에서 개발된 RF chip 인덕터에 대한 중요한 특성들의 요약

Table 1. Summary of the important characteristics for the RF chip inductors developed in this paper.

Sample No.	1	2	3	4	5
Inductance (nH)	22	27	33	100	150
Number of Turns	4	5	5	10	12
DCR (ohm)	0.09	0.11	0.14	0.3	0.3
SRF (GHz)	3.1	3.5	2.5	1.5	1.1

또한 표 1에서 알 수 있듯이 인덕턴스가 27 nH인 두 번째 샘플에서 자기공진주파수가 3.5 GHz로 가장 크고, 150 nH인 다섯 번째 샘플에서 1.1 GHz로 가장 낮은

값을 갖는다. 이로부터 자기공진주파수는 인덕턴스가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있다.

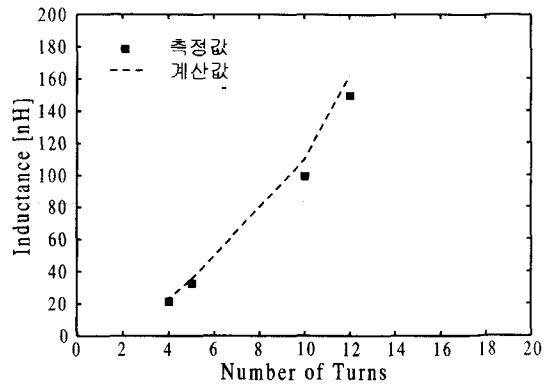
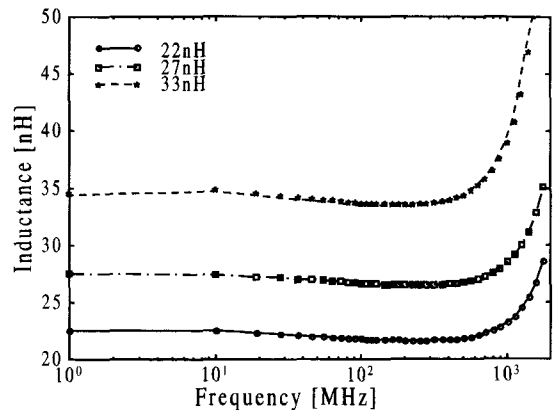


그림 3. RF chip 인덕터에서의 인덕턴스 (L)과 권선수 (N) 사이의 관계

Fig. 3. Relation between the inductance (L) and the number of turns (N) of the RF chip inductors.

그림 4는 표 1에 나타난 5가지 인덕터들의 대표적인 인덕턴스-주파수 특성을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 인덕턴스 값은 800 MHz 까지 거의 일정하였으며 22~150 nH 범위의 높은 값을 가진다. 또한 인덕턴스 값(800 MHz 까지)이 클수록 800 MHz 이상의 고주파수 영역에서 인덕턴스 값이 더 급속히 증가함을 보이는데, 이는 인덕턴스가 클수록 공진주파수가 감소하게 됨을 나타낸다. 그림 4(b)에서는 100 nH 샘플이 약 1.5 GHz, 150 nH 샘플이 약 1.1 GHz 정도에서 공진주파수 값을 갖게 됨을 나타내는데, 이는 Network Analyzer로 측정된 결과인 표 1과 일치함을 알 수 있다.



(a)

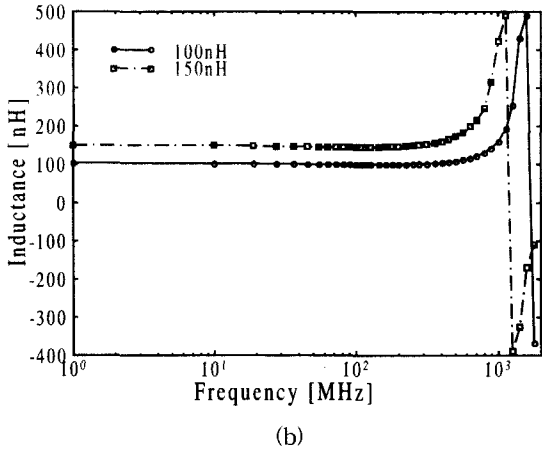


그림 4. RF chip 인덕터들의 대표적인 인덕턴스-주파수 특성

- (a) L = 22, 27, 33 nH 일 때
- (b) L = 100, 150 nH 일 때

Fig. 4. Typical inductance-frequency characteristic of the RF chip inductors.
(a) when L = 22, 27, 33 nH
(b) when L = 100, 150 nH

Chip 인덕터들의 등가회로 및 그 파라미터들을 구하기 위하여 HP16193A test fixture가 장착된 HP4291B를 사용하였고 그림 4에 측정된 것과 매우 근사한 L 파라미터 값을 갖도록 최적화된 등가회로 모델이 가능한 모든 등가회로 중에 선택되었다. 그림 5는 선택된 최적의 등가회로를 나타낸다.

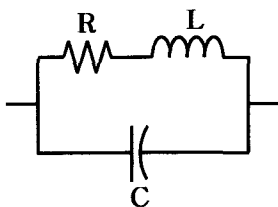


그림 5. 회로 파라미터 분석에 사용된 RF chip 인덕터의 등가회로

Fig. 5. The equivalent circuit of RF chip inductor used to analyze circuit parameters.

여기서 R은 구리 코일에서의 skin effect에 의한 에너지 손실인 금속저항이고 C는 도선의 감김 사이에 생긴 분산 캐패시턴스를 의미한다. 이 모델은 Ahn^[9]에 의해 제시된 모델과 일치하였고, Yue^[5]의 모델에서 substrate loss factor를 1로 놓았을 때의 등가모델과도 일치하였다. Chip 인덕터의 저항과 분산 캐패시턴스는 등가회로 해석을 사용하여 주파수의 함수로써 측정된

임피던스 크기와 위상으로부터 유도되었다. 표 2는 HP4291B로 얻어진 chip 인덕터의 등가회로 파라미터들을 요약한다. 표 2의 L 값은 표 1의 L 값과 잘 일치하였으며, 분산 캐패시턴스 C는 fF 정도의 작은 값을 가지므로 사용 주파수 영역에서 무시될 정도의 작은 효과를 갖는다. 그러므로 solenoid형 chip 인덕터는 필터, 마이크로센서, dc/dc 컨버터와 같은 자기집적회로나 모듈의 유도성 소자로써 사용할 수 있다.

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
27 nH	25.682 nH	290.87 mΩ	86.356 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

그림 6은 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^[9,10,11].

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

인덕터는 자기공진주파수에서 peak magnetic 에너지와 peak electric 에너지가 같기 때문에 인덕터의 Q-factor는 공진주파수에서 0의 값을 갖는다^[11]. 따라서 그림 5에서 Q-factor가 0이 될 때의 주파수를 인덕터들의 자기공진주파수로 간주할 수 있으며, 이 자기공진주파수 값은 L=100 nH일 때 약 1.5 GHz, L=150 nH일 때 약 1.1 GHz가 됨을 알 수 있다. 또한 Q는 500 MHz ~ 1.5 GHz 주파수 범위에서 최대 70~97의 값을 가짐을 알 수 있다.

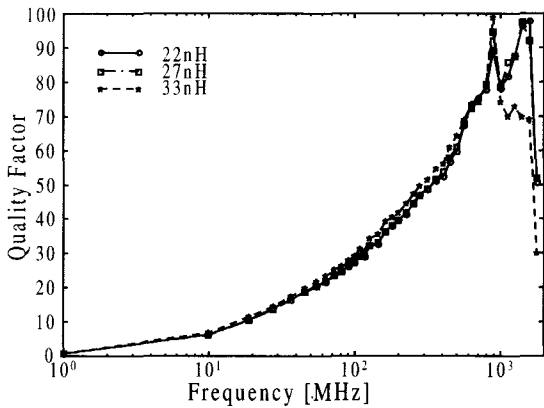
그림 5의 등가회로 요소들에 의하여 magnetic 에너지와 electric 에너지는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\text{Peak magnetic 에너지} = \frac{L}{2} I^2 = \frac{LV^2}{2[R^2 + (\omega L)^2]} \quad (3)$$

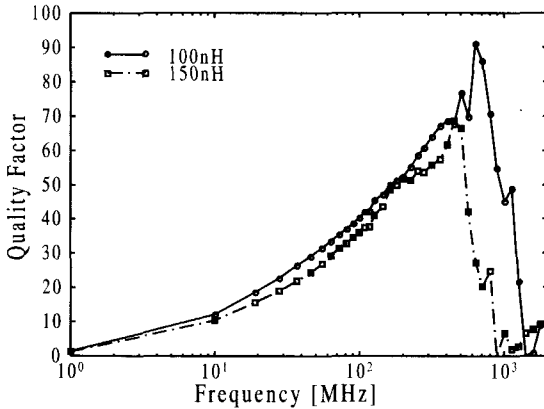
$$\text{Peak electric 에너지} = \frac{C}{2} V^2 \quad (4)$$

한 주기에서의 에너지 손실은 주기 ($T=2\pi/\omega$)와 회로에 의한 소비전력의 곱이므로

$$\begin{aligned} \text{한 주기 동안 회로에서 소비된 에너지} \\ = \frac{2\pi}{\omega} \cdot \frac{V^2}{2} \cdot \left[\frac{R}{R^2 + (\omega L)^2} \right] \quad (5) \end{aligned}$$



(a)



(b)

그림 6. RF chip 인덕터들의 대표적인 Quality factor-주파수 특성

(a) L = 22, 27, 33 nH 일 때

(b) L = 100, 150 nH 일 때

Fig. 6. Typical quality factor-frequency characteristic of the RF chip inductors.

(a) when L = 22, 27, 33 nH

(b) when L = 100, 150 nH

여기서 V는 인덕터 양단의 peak 전압을 나타낸다.

식 (3)-(5)를 식 (2)에 대입하면

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\omega L}{R} \left[1 - \frac{R^2 C}{L} - \omega^2 LC \right] \\ &= \frac{\omega L}{R} \times \text{self-resonance factor} \end{aligned} \quad (6)$$

이 식에서 첫 번째 항 ($\omega L/R$)은 저장된 자기에너지와 저항 R에서의 ohmic 손실을 나타내며, 두 번째 항은 주파수 증가에 따라 peak electric 에너지가 증가하고 따라서 자기공진주파수에서 Q가 0이 되는 효과 때문에 생기는 자기공명요소이다.

그림 7은 1~900 MHz 주파수 범위 내에서 주파수를 일정하게 했을 때 샘플 인덕터들의 인덕턴스와 Q-factor 사이의 관계를 도시하였다. 이때 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 식 (6)으로 다음과 같이 설명된다: 그림 7에서와 같이 일정주파수가 낮을 경우 Q는 $(\omega L/R) \times 1$ 에 의해서 기술될 수 있으며, 주파수가 증가할수록 자기공명요소가 1보다 매우 작게되어 인덕턴스 L이 증가해도 Q가 크게 감소하게 된다. 또한 그림 7에서는 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.

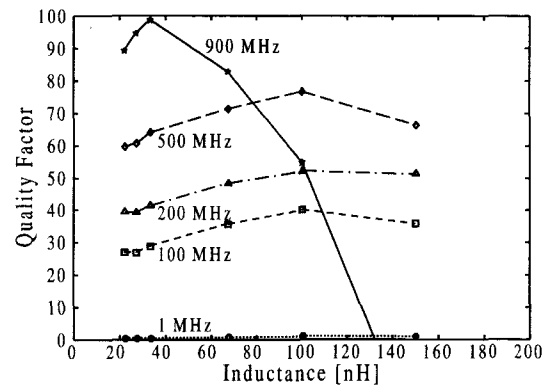


그림 7. 다른 일정주파수들에 대한 quality factor (Q)의 인덕턴스 (L)에 따른 변화

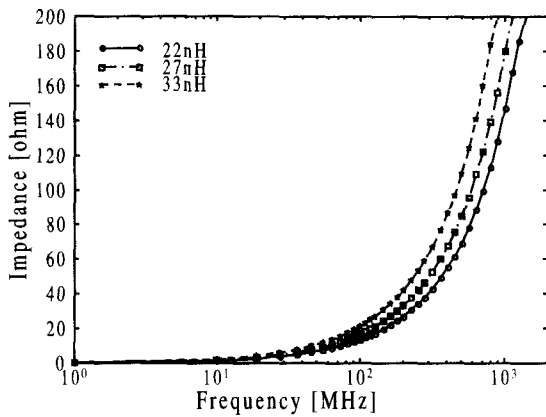
Fig. 7. Variation of quality factor (Q) with the inductance (L) for different fixed frequencies.

그림 8은 개발된 인덕터들의 대표적인 임피던스 크기 ($|Z|$)-주파수 특성을 나타낸다. 그림 7에 따르면 주

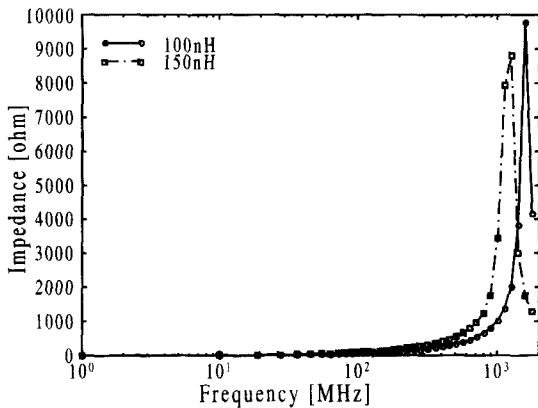
파수가 증가함에 따라 |Z|가 급격히 증가함을 알 수 있다. 인덕터의 임피던스 크기는 다음과 같은 일반적인 식으로 나타낼 수 있다.

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad (7)$$

이때 같은 주파수에서 인덕턴스가 증가할수록 |Z|가 증가함을 알 수 있으며, 그림 8에서도 확인할 수 있다. 또한 일반적으로 |Z|는 자기공진주파수에서 최대가 되므로 L=100 nH일 경우 공진주파수가 1.5 GHz, L=150 nH일 경우 1.1 GHz가 됨을 그림 8(b)로부터 알 수 있으며, 이 결과는 그림 4와 6에서 유추한 결과와 일치한다.



(a)



(b)

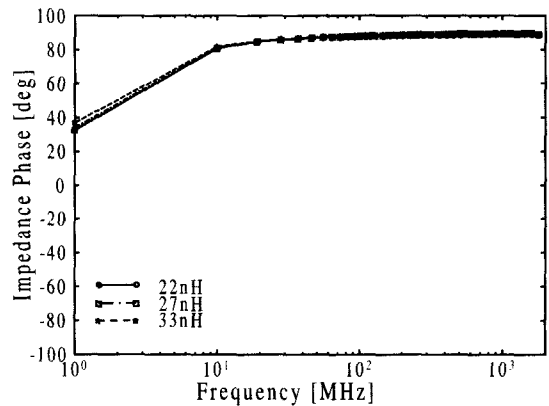
그림 8. RF chip 인덕터들의 대표적인 임피던스 크기-주파수 특성

- (a) L = 22, 27, 33 nH 일 때
- (b) L = 100, 150 nH 일 때

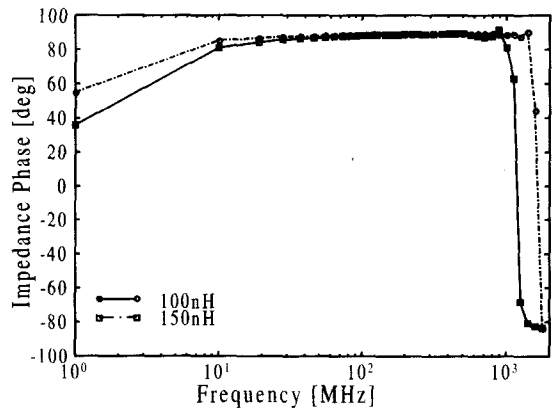
Fig. 8. Typical impedance amplitude-frequency characteristic of the RF chip inductors.

- (a) when L = 22, 27, 33 nH
- (b) when L = 100, 150 nH

그림 9는 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^[11]. 따라서 그림 9(b)로부터 100 nH 인덕터는 1.5 GHz, 150 nH 인덕터는 1.1 GHz 정도의 공진주파수를 가짐을 확인할 수 있다.



(a)



(b)

그림 9. RF chip 인덕터들의 대표적인 임피던스 위상-주파수 특성

- (a) L = 22, 27, 33 nH 일 때
- (b) L = 100, 150 nH 일 때

Fig. 9. Typical impedance phase-frequency characteristic of the RF chip inductors.

- (a) when L = 22, 27, 33 nH
- (b) when L = 100, 150 nH

표 3. 여러 인덕터의 유효 인덕턴스, Q-factor, 공진주파수

Table 3. Inductance, Q-factor, and self-resonant frequency of different inductor.

type characteristic	Solenoid-type RF chip inductor		Hsu [13]	Matsu ki [10]	Petten paul [14]	Shih [15]
Inductance (nH)	22	27	22	27	4	4
Maximum Q-factor	97	95	27	4.8	29	13
SRF (GHz)	3.1	3.5	2.4	0.5	7.7	8.5

표 3은 기존의 인덕터들과 인덕턴스, Q-factor, 그리고 자기공진주파수를 종합적으로 비교하여 정리하였다. Hsu^[13]는 금속 손실을 줄이기 위하여 전도성이 우수한 Ag와 Cu를 내부 코일로 사용한 2.0×1.2×0.8 mm 크기의 다층 chip 인덕터이고 Matsuki^[10]는 전도체와 자성 코아 사이에 절연 필름을 삽입한 MMT(Magnetic-Multi-Turn) 박막 코일 인덕터이고 Pettenpaul^[14]과 Shih^[15]는 대표적인 나선형 인덕터이다. 본 논문의 solenoid형 chip 인덕터는 권선이 대부분 공기 중에 위치하므로 정전용량 및 유전체 손실을 줄이고 공진주파수를 높일 수 있는 고효율의 인덕턴스를 얻기에 적합한 구조이다. 표 3에서 알 수 있듯이 실제 사용 주파수 대역을 감안할 때, 본 논문의 solenoid형 chip 인덕터들의 인덕턴스와 Q-factor 등이 다른 형태의 인덕터들에 비해 우수함을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

8.8의 낮은 유전율 상수와 0.0006의 낮은 loss tangent를 갖는 Al₂O₃ 세라믹 코아 재료를 이용하고 크기가 2.1mm×1.5mm×1.0mm이며, 직경이 약 40 μm인 Cu 코일을 사용한 단순 solenoid 형태의 소형·고성능(높은 L과 Q) RF chip 인덕터가 개발되었다.

본 논문에서 사용된 인덕터들은 22 nH~150 nH 범위의 인덕턴스 값을 가지고 1.1~3.5 GHz 범위의 자기공진주파수를 가지며 자기공진주파수가 증가함에 따라 인덕턴스 값이 감소하였다. Q-factor의 값은 500 MHz~1.5 GHz 범위에서 최대 70~97까지 얻어졌다. 인덕터들의 모든 주파수 특성에서 얻어진 자기공진주파수

값들은 Network Analyzer(HP8719D)로 측정된 값들과 일치하였다.

결과적으로 본 논문에서 개발된 소형 RF chip 인덕터는 제작이 간단한 단순 solenoid 형태의 잇점과 RF 영역에서 인덕턴스와 Q를 동시에 극대화 시킬 수 있는 장점을 가짐을 확인하였다.

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. Harnam, Dale Jadus, "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] W. H. Hayt Jr., "Engineering electromagnetics," 5th ed New York : McGRAW-Hill, 1989.
- [6] R. F. Soohoo, "Magnetic Thin Film Inductors for Integrated Circuit Applications," *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. MAG -15, 1803, 1979.
- [7] 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.

- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Tae-Ok Kim, Uoung-Woo Oh, "The Formation Process of the Hexagonal Ferrite During Calculating the Mixture of Ba(OH)₂, Zn(OH)₂ and 6Fe(OH)₃," *Journal of the Korean Ceramic Society*, vol. 17, no. 3, pp. 121-128, 1980.
- [13] Jen-Yen Hsu, Hon-Chin Lin, Hon-Dar Shen and Chi-Jen Chen, "High-Frequency Multilayer Chip Inductors," *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. 33, no. 5, pp. 3325-3327, Sep, 1997.
- [14] E. Pettenpaul, H. Kapusta, I. Wolff and et. al., "CAD Models of Lumped Elements on GaAs up to 18 GHz," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 36, no. 2, pp. 294-304, Feb. 1988.
- [15] Y. C. Shih, C. K. Pao, T. Itoh, "A Broadband Parameter Extraction Technique for the Equivalent Circuit of Planar Inductors," *IEEE MTT-s Digest*, pp. 1345-1348, 1992.

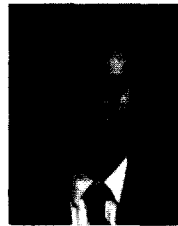
저 자 소 개



金宰煜(學生會員)

1970년 7월 6일생. 1989년 3월~1993년 2월 호서대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사). 1993년 3월~1998년 8월 호서대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1998년 8월~현재 호서대학교 전자공학과

박사과정. 주관심분야 : 자동제어, 퍼지제어, chip inductor 개발



尹宜重(正會員)

1962년 2월 21일생. 1985년 2월 고려대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사). 1988년 12월 미국 The University of Texas at Austin 대학원 전기공학과 졸업(공학석사).

1994년 5월 미국 The University of Texas at Austin 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1994년 6월~1996년 8월 미국 The University of Texas at Austin 부설 Lab. for Smart Materials & Devices(LSMD)/Center for Magnetics Post-Doctor 연구원. 1996년 9월~1998년 9월 호서대학교 전기전자제어 공학부 전임강사. 1998년 10월~현재 호서대학교 전기공학부 조교수. 주관심분야는 Metal/Oxide/Metal (MOM) 박막소자에서의 양자화현상, Fiber-Optic Magnetic Sensor 개발, 자성박막 재료 및 소자의 개발, chip inductor 개발 등임

鄭 英 暢(正會員)

1947년 2월 10일생. 1969년 2월 전북대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1976년 2월 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1986년 2월 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1979년 2월~현재 호서대학교 전기공학부 교수. 주관심분야 : 지능제어, chip inductor 개발, optical scanner 제어

洪 哲 鎬(正會員)

1954년 4월 26일생. 1977년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1981년 2월 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1989년 2월 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1983년 3월~1989년 2월 인덕대학 전자과 조교수. 1989년 3월~현재 호서대학교 전기공학부 교수. 주관심분야 : 로봇틱스, 자동제어, 비선형 시스템제어, 지능제어, chip inductor 개발