

극소형 솔레노이드 RF 칩 인덕터의 설계 및 제작에 대한 연구

論文

52C-11-3

A Study for Optimum Design and Fabrication of Microscale Solenoid RF Chip Inductors

尹宜重* · 鄭英暢**

(Eui-Jung Yun · Young-Chang Jung)

Abstract - In this study, microscale, high-performance, solenoid-type RF chip inductors were investigated. The size of the RF chip inductors fabricated in this work was $1.0 \times 0.5 \times 0.5 \text{mm}^3$. 96% Al_2O_3 and I-type were used as the material and shape of the core, respectively. The copper (Cu) wire with 6 turns was employed as the coils. The diameter ($40 \mu\text{m}$) and position (middle) of the coil and the length (0.35mm) of solenoid were determined by a high-frequency structure simulator (HFSS) to maximize the performance of the inductors. High frequency characteristics of the inductance (L) and quality-factor (Q) of developed inductors were measured using an RF Impedance/Material Analyzer (HP4291B with HP16193A test fixture). The inductors developed have inductances of 10.8nH and quality factors of 25.2 to 50 over the frequency ranges of 250MHz to 1GHz, and show results comparable to those measured for the inductors prepared by CoilCraftTM. The simulated data predicted the high-frequency data of the L and Q of the inductors developed well.

Key Words : microscale, RF chip inductor, solenoid, HFSS

1. 서론

칩 인덕터는 개인통신서비스, 무선 LAN, 위성통신과 GPS에 등에 대한 고집적 RF 회로에서 필수적인 수동 소자 중의 하나로서, 커패시터와 결합한 LC 필터, 트랜지스터를 위한 AC 초크, 회로정합과 EMI 필터 등의 응용분야에 사용된다[1-9]. 최근에는 고성능의 소형 무선통신제품을 실현하기 위하여 GHz 대역에서 동작하는 소형 RF 칩 인덕터의 필요성이 증가하는 추세에 있다. 기존에 많이 사용되어진 자성 페라이트 코어 재료는 투자율이 300MHz 이상에서 급속히 감소하는 문제점을 지니고 있다[9, 10]. 또한, 기존의 칩 인덕터들은 성능 면에서는 우수하나 크기와 무게면에서 문제점을 가지고 있다.

최근 실리콘 공정을 기초로 한 소형 경량의 RF 칩 인덕터의 일반적인 형태는 솔레노이드 형태가 아닌 박막 spiral 형태이다. 그러나 이와 같은 박막 spiral 형태의 인덕터는 반도체 substrate에서의 에너지 손실로 높은 주파수에서 품질계수가 감소(substrate effect)하는 문제점을 갖고 있어[9, 11] substrate로부터 인덕터를 분리하면 전체적인 성능을 향상시킬 수 있다.

솔레노이드 형태의 칩 인덕터는 위에서 언급한 원하지 않는 substrate effect를 제거할 수 있다[11, 12]. 또한 점유 면

적을 적게 증가시키면서 단순히 권선수를 증가시켜 큰 인덕턴스를 얻을 수 있다.

따라서 본 논문에서는 기존의 소형 RF 칩 인덕터의 성능을 유지하면서 소형 경량의 박막 인덕터의 장점도 살릴 수 있는 극소형의 솔레노이드 RF 칩 인덕터를 설계하고 제작하였다. 동일 조건에서 시뮬레이션을 수행하여 높은 인덕턴스, 고품질계수와 높은 자기공진주파수를 갖는 코일의 위치 및 직경과 솔레노이드의 길이를 선정하여 고성능 인덕터의 최적 설계 조건을 도출하였다. 도출된 최적 설계 조건에 따라 극소형 RF 칩 인덕터를 제작하였으며, 그들의 RF 성능을 시뮬레이션 결과 및 미국의 CoilCraft의 제품과 비교 분석하였다.

2. RF 칩 인덕터 설계

높은 인덕턴스와 고품질계수를 갖는 극소형 RF 칩 인덕터를 선정하기 위하여 Ansoft사의 RF 및 무선 통신용 3차원 구조물 전자계 해석 시뮬레이션 도구인 HFSS (High Frequency Structure Simulator)를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였고 극소형 RF 칩 인덕터의 최적 구조를 도출하였다.

코어 재질을 선정하기 위해 $1.0 \times 0.5 \times 0.5 \text{mm}^3$ 크기의 C-type 코어 구조에 $40 \mu\text{m}$ 직경의 Cu 코일을 4회 권선한 동일 조건 하에 코어의 재질을 98%, 96% 및 92% 순도의 Al_2O_3 , AlN, Diamond, Sapphire, 그리고 BeO로 가변하면서 시뮬레이션을 수행하였다. 표 1은 코어 재질에 따른 주파수 특성의 시뮬레이션 결과를 요약하여 나타낸다. 인덕턴스, 품질계수 및 SRF (Self-Resonance Frequency ; 자기공진주파수)가 모두 우수한 재질로는 98%와 96%의 Al_2O_3 와 Sapphire를 들 수

* 正會員 : 湖西大 情報制御工學科 副教授 · 工博

** 正會員 : 湖西大 電子工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2003年 7月 1日

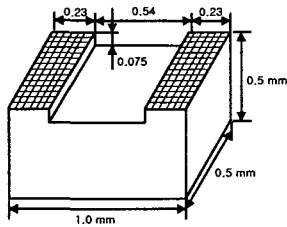
最終完了 : 2003年 10月 1日

있으나, 가격이 가장 저렴한 96%의 Al_2O_3 를 코어 재질로 선정하였다.

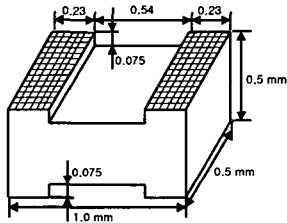
표 1 RF 칩 인덕터에 대한 코어 재질에 따른 주파수 특성변화의 시뮬레이션 결과

Table 1 Simulation results of variations of the frequency characteristics on the core material for RF chip inductors

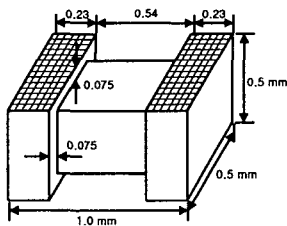
Core Materials	L(nH) @250MHz	Q @250MHz	SRF (GHz)
Al_2O_3 98%	8.62	38.9	6.11
Al_2O_3 96%	8.57	37.6	6.05
Al_2O_3 92%	8.43	14.5	6.01
AlN	8.61	14.0	6.17
Diamond	8.55	23.7	6.38
Sapphire	8.60	39.5	6.01
BeO	8.57	23.7	6.31



(a)



(b)



(c)

그림 1 시뮬레이션을 위한 코어의 다양한 구조: (a) C 형, (b) H 형, (c) I 형

Fig. 1 Various structures of the core for simulation: (a) C-type, (b) H-type, and (c) I-type

코어의 형태를 선정하기 위하여 그림 1과 같은 C-type, H-type 및 I-type의 세 가지 구조에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위한 조건으로는 위에서 선정된

96%의 Al_2O_3 를 코어 재질로 사용하고 metalization 부분은 W-Ni-Au를 이용하였고 40 μ m 직경의 Cu 코일을 0.4mm의 슬레노이드 길이에 4회 권선하였다.

그림 2는 C-type, H-type 및 I-type의 세 가지 코어 형태에 따른 품질계수-주파수 특성의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 품질계수의 값은 전 주파수영역에서 비슷하였으나 I-type의 경우가 품질계수의 값이 0이 되는 주파수(SRF)가 7.8GHz로 가장 큼을 추정 할 수 있다. 참고로 코어 형태에 따른 인덕턴스-주파수 특성의 시뮬레이션 결과는 서로 유사하였다. 따라서 본 논문에서는 품질계수와 SRF의 고주파 성질이 우수한 I-type을 코어의 형태로 선정하였다.

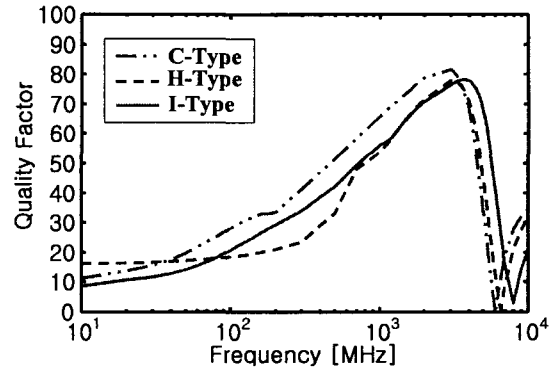


그림 2 코어 형태에 따른 품질계수-주파수 특성의 시뮬레이션 결과

Fig. 2 Simulation results of the Q-f characteristic with various core structures

극소형 RF 칩 인덕터가 높은 인덕턴스, 고품질계수 및 높은 SRF (Self-Resonance Frequency ; 자기공진주파수)를 갖기 위한 조건을 선정하기 위하여, 앞에서 얻은 결과를 바탕으로 그림 1(c)와 같은 I-형상을 코어 구조로, 96% Al_2O_3 를 코어 재료로 사용하고 코일의 재질은 Cu (Copper)로 여러 회 권선하면서 코일의 위치 및 직경, 슬레노이드의 길이를 각각 가변 하여 10MHz~10GHz의 주파수 범위에서 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 3은 코일의 위치 변화에 따른 인덕턴스(L)-주파수(f) 특성의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 3에서 보듯이 제안된 코일의 위치가 좌측인 경우 250MHz의 주파수에서 11.3nH, 중앙인 경우 11.2nH, 우측인 경우 11.2nH로 거의 비슷한 인덕턴스 값을 가짐을 알 수 있다. 하지만 SRF는 인덕턴스가 양의 값에서 음의 값으로 전위되는 지점에서의 주파수로서 좌측이 4.85GHz, 중앙이 5.6GHz, 우측이 5.12GHz로 중앙이 가장 우수한 값을 가짐을 알 수 있다.

그림 4는 코일의 위치 변화에 따른 품질계수(Q)-주파수(f) 특성의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 코일의 위치가 중앙인 경우 전반적인 주파수 영역에서 더 우수한 품질계수 특성을 가짐을 알 수 있다. 또한 SRF는 품질계수가 peak magnetic 에너지와 peak electric 에너지가 같아져 0이 되는 지점에서의 주파수로 그림 3과 잘 일치함을 보이며, 코일의 위치가 중앙인 경우가 5.6GHz로 가장 우수한 값을 가짐을 확인할 수 있다.

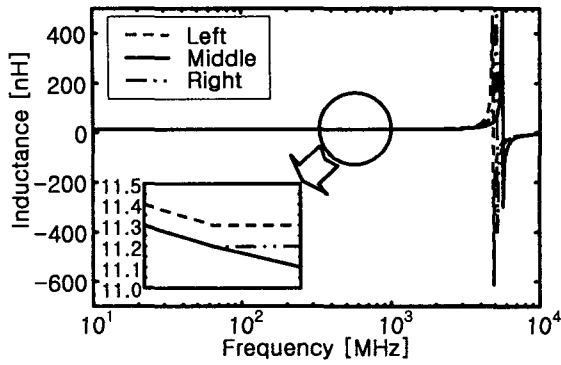


그림 3 코일 위치 변화에 따른 인덕턴스-주파수 특성의 시뮬레이션 결과
 Fig. 3 Simulation results of the L-f characteristic with various coil positions

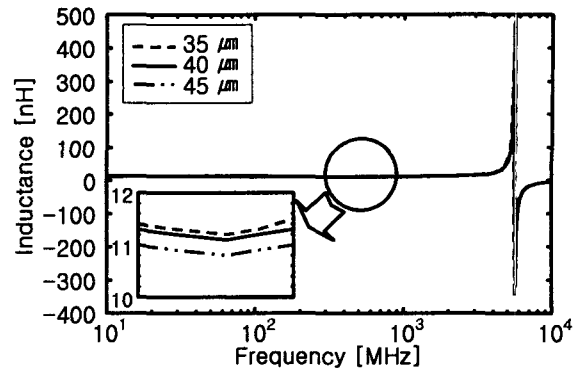


그림 5 코일 직경 변화에 따른 인덕턴스-주파수 특성의 시뮬레이션 결과
 Fig. 5 Simulation results of the L-f characteristic with various coil diameters

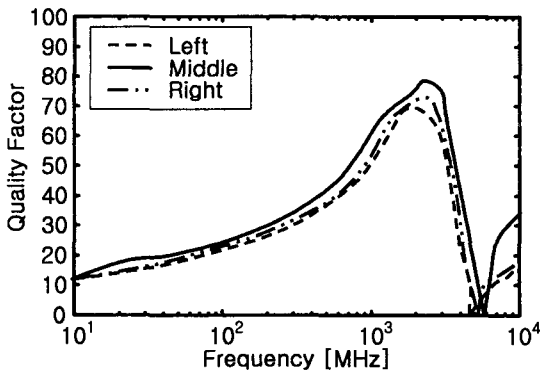


그림 4 코일 위치 변화에 따른 품질계수-주파수 특성의 시뮬레이션 결과
 Fig. 4 Simulation results of the Q-f characteristic with various coil positions

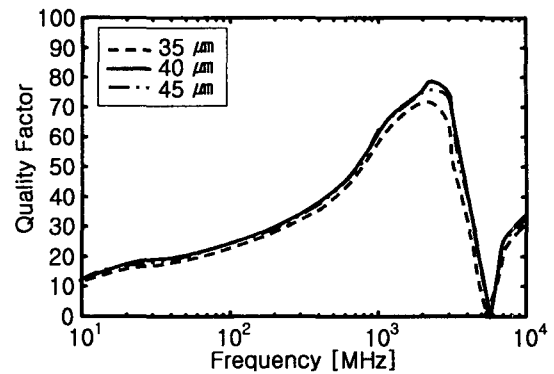


그림 6 코일 직경 변화에 따른 품질계수-주파수 특성의 시뮬레이션 결과
 Fig. 6 Simulation results of the Q-f characteristic with various coil diameters

그림 3과 4의 결과로부터 코일의 위치가 중앙인 경우에 대하여 품질계수와 SRF가 가장 우수한 특성을 가지므로 코일의 위치는 중앙으로 선택하였다.

그림 5는 코일의 위치를 중앙으로 고정하고 코일의 직경 변화에 따른 인덕턴스(L)-주파수(f) 특성의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 5에서 보듯이 코일의 직경이 35 μm 과 40 μm 인 경우 250MHz의 주파수에서 11.2nH 정도로, 45 μm 인 경우의 10.9nH보다 약간 더 높은 인덕턴스 값을 가짐을 알 수 있다. 또한 SRF는 코일 직경이 40 μm 과 45 μm 인 경우 5.6GHz 정도로 코일 직경이 35 μm 인 경우의 5.5GHz 보다 약간 더 큰 SRF를 가짐을 유추할 수 있다.

그림 6은 코일의 위치를 중앙으로 고정하고 코일의 직경 변화에 따른 품질계수(Q)-주파수(f) 특성의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 코일의 직경이 40 μm 인 경우 가장 우수한 품질계수 값을 가짐을 알 수 있다.

그림 5와 6의 결과로부터 코일의 직경이 40 μm 인 경우가 인덕턴스, 품질계수, SRF 등 모든 면에서 우수하여 코일의 직경을 40 μm 으로 선택하였다.

그림 7은 코일의 위치를 중앙에, 코일의 직경을 40 μm 으로 고정한 후 솔레노이드의 길이 변화에 따른 인덕턴스(L)-주파수(f) 특성의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 여기서 솔레노이드의 길이는 코일이 코아에 감기기 시작하는 점에서 끝나는 점 사이의 길이를 의미하며 코일의 직경이 일정할 때 코일 사이의 간격이 변할 때 솔레노이드의 길이가 변한다고 할 수 있다. 그림에서 보듯이 솔레노이드의 길이가 0.35mm인 경우 250MHz의 주파수에서 11.2nH로 가장 높은 인덕턴스 값을 가짐을 알 수 있다. 그러나 SRF는 솔레노이드의 길이가 0.35mm인 경우의 SRF(5.6GHz)보다 솔레노이드의 길이가 0.4mm인 경우의 SRF(5.85GHz)가 약간 더 우수한 값을 가짐을 예측할 수 있다.

그림 8은 코일의 위치를 중앙에, 코일의 직경을 40 μm 으로 고정시킨 후 솔레노이드의 길이 변화에 따른 품질계수(Q)-주파수(f) 특성의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 솔레노이드의 길이가 0.35mm와 0.4mm인 경우의 Q-f 특성이 유사하였고 0.45mm인 경우의 Q-f 특성보다 약간 더 우수하였다.

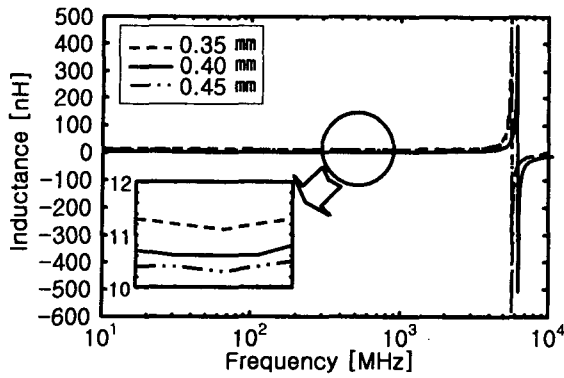


그림 7 솔레노이드 길이 변화에 따른 인덕턴스-주파수 특성의 시뮬레이션 결과

Fig. 7 Simulation results of the L-f characteristic with various solenoid lengths

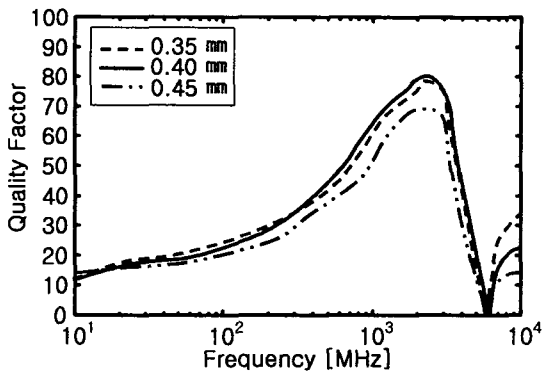


그림 8 솔레노이드 길이 변화에 따른 품질계수-주파수 특성의 시뮬레이션 결과

Fig. 8 Simulation results of the Q-f characteristic with various solenoid lengths

그림 7과 8의 결과로부터 솔레노이드의 길이가 0.35mm인 경우가 11.2nH의 인덕턴스, 29.8의 품질계수와 5.6GHz의 SRF를 가져 전반적으로 가장 우수한 주파수 특성을 가짐을 확인할 수 있다.

표 2는 코일의 위치 및 직경과 솔레노이드의 길이 변화에 따른 주파수 특성의 시뮬레이션 결과를 요약하여 나타낸다. 앞의 그림 2-8의 시뮬레이션 결과와 표 1-2로부터 코어 구조는 I-형상이고, 코어 재료는 96% Al₂O₃이고, 코일의 위치는 중앙이고, 코일의 직경은 40μm이며, 솔레노이드의 길이는 0.35mm를 가진 극소형 RF 칩 인덕터의 최적 구조를 도출하였다.

3. 실험

그림 9는 2절의 결과 얻어진 칩 인덕터의 최적 구조를 이용하여 본 논문에서 제작한 RF 칩 인덕터의 밑면도와 측면도를 나타낸다. 코어의 크기는 1.0mm×0.5mm×0.5mm이고 코어의 재료로는 96% Al₂O₃ alumina를 사용하였다. 96% Al₂O₃은

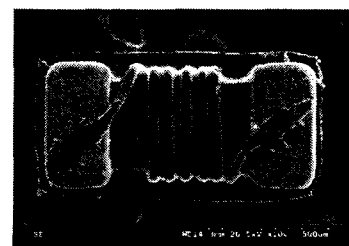
8.8의 낮은 유전율 상수와 0.0006의 낮은 loss tangent를 갖는다.

표 2 극소형 RF 칩 인덕터에 대한 주파수 특성의 시뮬레이션 결과 요약

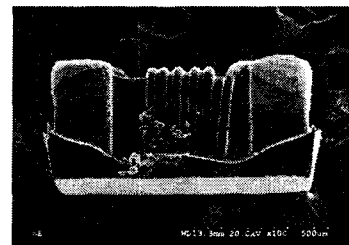
Table 2 Summary of simulation results of the frequency characteristics for microscale RF chip inductors

Parameters		L(nH) (at 250MHz)	Q (at 250MHz)	SRF(GHz)
Coil Positions	Left	11.3	29.6	4.85
	Middle	11.2	29.8	5.60
	Right	11.2	29.7	5.12
Coil Diameters	35μm	11.3	29.6	5.51
	40μm	11.2	29.8	5.60
	45μm	10.9	29.8	5.61
Solenoid Lengths	0.35mm	11.2	29.8	5.60
	0.40mm	10.7	29.7	5.85
	0.45mm	10.4	26.3	5.66

분말 형태의 유전체 물질을 비수용성 용매, 접합제 (PVB, poly-vinyl butyral), plasticizer (DOP, dioctyl phthalate), 미량의 다른 화합물 등과 혼합하여 900℃ 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 40μm의 직경인 Cu를 사용하였으며, 권선수를 6회로 하였다. 외부전류원은 코일의 양단을 코어 가장자리에 W-paste를 도포하고 Ni과 Au를 도금처리 방식으로 적층하여 Metalizing 한 후 인가하였다.



(a)



(b)

그림 9 제작된 RF 칩 인덕터 (N=6) : (a) 밑면도, (b) 측면도

Fig. 9 The fabricated RF chip inductors (N=6) : (a) bottom view and (b) side view

RF 칩 인덕터의 인덕턴스, 품질계수 및 커패시턴스에 대한 주파수 특성은 RF Impedance/Material Analyzer (HP16193A test fixture가 장착된 HP4291B)로 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

그림 10은 극소형 RF 칩 인덕터에 대한 인덕턴스-주파수 특성을 나타낸다. 그림에서 Simulation은 Ansoft의 HFSS를 이용하여 시뮬레이션을 한 결과이며, CoilCraft는 미국의 CoilCraft회사의 0402CS11NJBW를 측정 한 결과이고, Sample은 본 논문에서 제작한 샘플의 측정 결과이다. 시뮬레이션은 10MHz~10GHz, 측정은 1MHz~1.8GHz의 주파수 범위 내에서 수행되었다. 그림에서 보듯이 250MHz의 주파수에서 Simulation은 L=11.2nH, CoilCraft는 L=10.7nH, Sample은 L=10.8nH의 유사한 결과를 나타내며, Simulation 곡선이 5.6GHz에서 반전되는 것으로 미루어 보아 SRF가 5.6GHz임을 추정 할 수 있다.

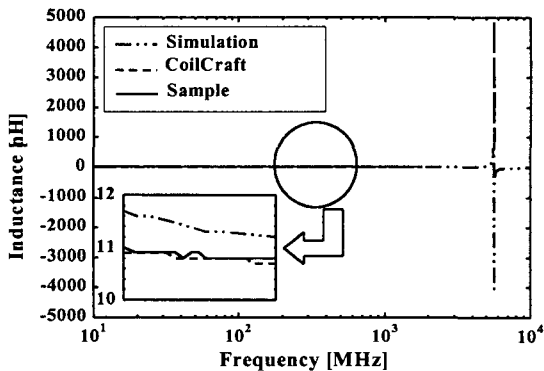


그림 10 개발된 RF 칩 인덕터의 인덕턴스-주파수 특성
Fig. 10 The L-f characteristic of RF chip inductors developed

그림 11은 극소형 RF 칩 인덕터에 대한 품질계수-주파수 특성을 나타낸다. 그림에서 보듯이 250MHz의 주파수에서 품질계수 값이 Simulation은 29.8, CoilCraft는 28.8, Sample은 25.2로 유사한 결과를 나타내며, Simulation 곡선이 5.6GHz에서 0의 품질계수 값을 갖는 것으로 미루어 보아 SRF가 역시 5.6GHz임을 추정할 수 있다.

그림 12는 극소형 RF 칩 인덕터에 대한 커패시턴스(C)-주파수(f) 특성을 나타낸다. Simulation 곡선으로부터 커패시턴스가 SRF인 5.6GHz 부근에서 음의 값으로부터 양의 값으로 전위됨을 나타낸다. 이러한 음의 값으로부터 양의 값으로의 전위는 inductive 상태에서 capacitive 상태로 변한다는 것을 나타내며, 전위되는 주파수가 SRF임을 알려준다.

표 3은 제작된 극소형 RF 칩 인덕터의 주파수 특성을 비교한 결과로서, 그림 10~12를 요약하였다. 표의 결과로부터 Simulation은 10MHz~10GHz 범위에서 수행되어 SRF 특성을 알 수 있으나 HP4291B의 주파수 범위는 1MHz~1.8GHz로 SRF 특성을 확인할 수 없으므로 CoilCraft사의 경우는 제품 사양에서 제공하는 3.6GHz를 SRF로 제시하였다[13]. Sample의 경우는 그림 10~12의 주파수 특성 곡선에서 CoilCraft사와 비슷한 형태를 이루는 것으로 미루어 비슷한 SRF 값을 가질

것으로 추정된다.

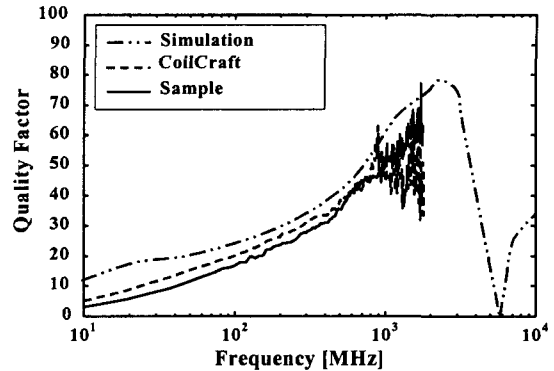


그림 11 개발된 RF 칩 인덕터의 품질계수-주파수 특성
Fig. 11 The Q-f characteristic of RF chip inductors developed

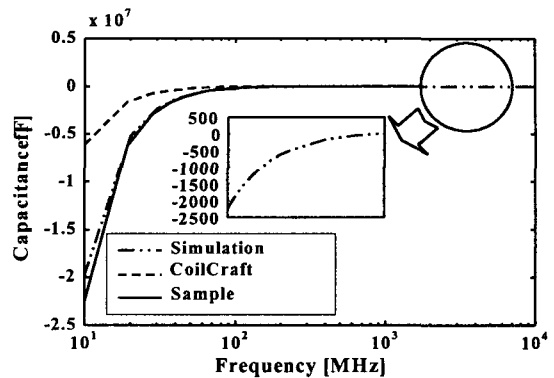


그림 12 개발된 RF 칩 인덕터의 커패시턴스-주파수 특성
Fig. 12 The C-f characteristic of RF chip inductors developed

표 3 제작된 RF 칩 인덕터의 주파수 특성의 측정 결과 요약

Table 3 Summary of measurement results of the frequency characteristics for fabricated RF chip inductors

Variables	Turns (N)	L(nH)	Q	SRF
		@250MHz	@250MHz	(GHz)
Simulation	6	11.2	29.8	5.60
CoilCraft		10.7	28.8	3.60
Sample		10.8	25.2	1.8<

제작된 극소형 RF 칩 인덕터에 대한 등가회로는 그림 13과 같이 나타낼 수 있다[9], [11]. 여기서 R 과 C는 각각 코일의 구리손실 과 도선의 감김 사이에 생긴 분산 커패시턴스를 의미하며, 이러한 제작된 인덕터 등가회로의 파라미터들은 HP4291B로 측정되었고 그 결과는 표 4에 요약되어 있다. 표 4의 L 값들은 그림 10의 L 값들과 거의 일치하였

며, C는 fF 정도의 아주 작은 값을 가지므로 사용 주파수 영역에서 무시될 정도의 작은 효과를 가져 본 논문에서 개발된 칩 인덕터들은 고성능, 고주파 전자기기 내의 유도성 소자로써 사용이 가능함을 알 수 있다.

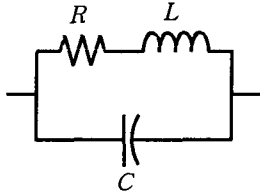


그림 13 제작된 RF 칩 인덕터의 등가회로

Fig. 13 The equivalent circuit of RF chip inductors developed

표 4 제작된 RF 칩 인덕터에 대한 등가회로 파라미터 측정 값

Table 4 The measured values of equivalent circuit parameters for the fabricated RF chip inductors

Sample	L [nH]	R [mΩ]	C [fF]
Developed Inductor	10.796	243.72	36.357
CoilCraft Inductor	10.813	201.26	42.086

5. 결 론

높은 인덕턴스, 고품질계수와 높은 SRF를 갖는 극소형 RF 칩 인덕터를 설계하기 위하여 시뮬레이션을 통하여 코일의 직경과 위치 및 솔레노이드의 길이를 변화시킨 결과, 코일 직경이 40μm이고 코일의 위치가 중앙(center)이며 솔레노이드의 길이가 0.35mm인 RF 칩 인덕터의 최적 구조를 도출하였고 이에 따라 1.0×0.5×0.5mm 크기의 극소형 솔레노이드 RF 칩 인덕터를 6회 권선하여 제작하였다.

제작된 인덕터는 250MHz의 주파수에서 10.8nH의 인덕턴스와 25.2의 품질계수를 가지며, 이 결과는 시뮬레이션 결과 및 검증된 CoilCraft사 제품의 측정 결과와 유사하였다. 또한 제작된 인덕터는 5GHz 이상의 SRF 추정 값을 가지므로 900MHz 대역의 무선전화기나 1.7GHz 대역의 휴대용 단말기뿐만 아니라 2GHz 이상의 차세대 무선 통신 기기와 같은 장비에 대한 중요한 수동 소자로써 활용될 가능성이 있다.

본 논문에서는 기존의 소형 RF 칩 인덕터의 성능을 유지 하면서 소형 경량의 박막 인덕터의 장점도 살릴 수 있는 극소형의 RF 칩 인덕터가 성공적으로 설계 제작되었고 그 성능도 검증되었다.

감사의 글

이 논문은 한국과학재단 지정 지역협력연구센터인 호서대학교 반도체 제조장비 국산화연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] M. Denesh, J. R. Long, "Differentially Driven Symmetric Microstrip Inductors," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. 50, no. 1, pp. 332-341, Jan, 2002.
- [2] R. Groves, D. L. Harame, D. Jadas, "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] C. H. Ahn and M. 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.
- [8] M. Yamaguchi, K. Suezawa, K. I. Arai, Y. Takahashi, S. Kikuchi, Y. Shimada, W. D. Li, S. Tanabe, and K. Ito, "Microfabrication and characteristics of magnetic thin-film inductors in the ultrahigh frequency region," J. Appl. Phys., vol. 85, no. 11, pp. 7919-7922, 1999.
- [9] Myung-Hee Jung, Jae-Wook Kim, Eui-Jung Yun, "Development of High-Performance Solenoid-Type RF Chip Inductors," Jpn. J. Appl. Phys., vol. 39 (2000), pp. 4772-4776, Part 1, No. 8, August 2000.
- [10] T. Tsutaoka, T. Kasagi, and K. 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.

- [11] C. P. Yue and S. S. 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] 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.
- [13] CoilCraft, "Inductors Transformers Filters Catalog," May 2001.

저 자 소 개



윤 의 중(尹 宜 重)

1962년 2월 21일생. 1985년 2월 고려대 전자공학과 졸업(학사). 1988년 12월 미국 University of Texas at Austin 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 5월 미국 University of Texas at Austin 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1994년 6월~1996년 8월 미국 University of Texas at Austin 부설

Center for Magnetics Post-Doctor 연구원. 1996년 9월~현재 호서대 전기정보통신공학부 부교수

Tel : 041-540-5675, Fax : 041-540-5693

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

정 영 창(鄭 英 暢)

1947년 2월 10일생. 1969년 2월 전북대 전기공학과 졸업(학사). 1976년 2월 전북대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 2월 숭실대 대학원 전자공학과 졸업(공학박). 1979년 2월~현재 호서대 전기정보통신공학부 정교수

Tel : 041-540-5661, Fax : 041-540-5693

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