Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 13, No. 3 pp. 1284-1287, 2012

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.3.1284

팔각 나선형 박막 인덕터의 주파수 특성

김재욱[1*]
[1]남서울대학교 전자공학과

Frequency Characteristics of Octagonal Spiral Planar Inductor

Jae-Wook Kim[1*]
[1]**Department of Electronic Engineering, Namseoul University**

요 약 본 논문에서 underpass와 via를 갖지 않는 팔각 나선형 박막 인덕터 구조를 제안하고 주파수 특성을 확인하였다. 인덕터의 구조는 Si를 300㎛, SiO_2를 7㎛으로 하였으며, Cu 코일의 폭과 선간의 간격은 각각 20㎛으로 설정하여 3회 권선하였다. 나선형 박막 인덕터의 성능을 나타내는 인덕턴스, quality-factor, SRF에 대한 주파수 특성을 HFSS로 시뮬레이션 하였다. 팔각 나선형 박막 인덕터는 0.8～1.8GHz 범위에서 2.5nH의 인덕턴스, 5GHz에서 최대 18.9 정도의 품질계수를 가지며, SRF는 11.1GHz로 시뮬레이션 결과를 얻었다. 반면에 사각 나선형 박막 인덕터는 0.8～1.8GHz 범위에서 2.8nH의 인덕턴스, 4.9GHz에서 최대 18.9 정도의 품질계수를 가지며, SRF는 10.3GHz로 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract In this study, we propose the structures of octagonal spiral planar inductors without underpass and via, and confirm the frequency characteristics. The structures of inductors have Si thickness of 300㎛, SiO_2 thickness of 7㎛. The width of Cu coils and the space between segments have 20㎛, respectively. The number of turns of coils have 3. The performance of spiral planar inductors was simulated to frequency characteristics for inductance, quality-factor, SRF(Self- Resonance Frequency) using HFSS. The octagonal spiral planar inductors have inductance of 2.5nH over the frequency range of 0.8 to 1.8 GHz, quality-factor of maximum 18.9 at 5 GHz, SRF of 11.1 GHz. Otherwise, square spiral planar inductors have inductance of 2.8nH over the frequency range of 0.8 to 1.8 GHz, quality-factor of maximum 18.9 at 4.9 GHz, SRF of 10.3 GHz.

Key Words : Octagonal, Spiral, Inductor, SRF, Quality-factor

1. 서론

수동 소자는 저잡음 증폭기, 전압 제어 발진기, 혼합기와 수동 필터 등과 같은 무선 통신 분야에 있어 필수적인 집적 회로 부품이다[1]. 인덕터는 고집적 RF 회로에서 필수적인 수동 소자 중의 하나로써, 커패시터와 결합한 LC 필터, 트랜지스터를 위한 AC 초크, 회로정합과 EMI 필터 등에 적용하여 개인통신서비스, 무선 LAN, 위성통신과 GPS에 등에 사용된다[2-4].

최근, 수동 집적 인덕터가 다양한 구조(사각형, 육각형, 십각형 등)의 금속 나선(Al, Au, Cu)을 이용한 Si과 GaAs 기술로 제작되고 있다. 인덕터의 가장 중요한 특성 중의 하나인 품질계수(Q-factor)는 저항 손실, 기판 커플링과 같은 기생성분으로 인하여 감소하게 된다. 품질계수의 값을 높이기 위해서는 이러한 기생성분을 최소화 하여야 한다[1].

그리고 자성소자들의 제조공정의 복잡성 때문에 손쉽게 제조할 수 있는 공정의 개발 또한 요구되고 있다. 한편 최근에 direct-write 기술은 저항, 커패시터, 인덕터, 안테나 등의 미소 전자 부품의 제조공정을 단순화 하는데 공헌하고 있다. Direct-write 기술은 리소그래피(lithography), 식각 등의 기존 반도체공정에 의해 요구되는 공정단계들

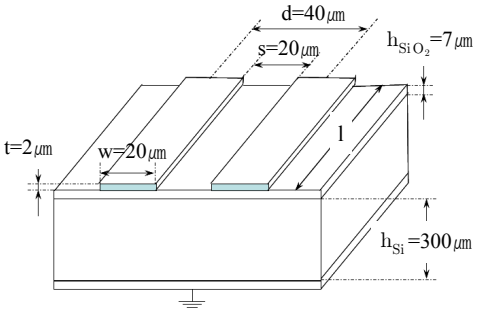
이 논문은 11년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.
*교신저자 : Jae-Wook Kim
Tel: +82-11-250-9826 e-mail: jwkim@nsu.ac.kr
접수일 12년 02월 08일 수정일 12년 03월 07일 게재확정일 12년 03월 08일

을 배제함으로서 친환경적 이점을 제공한다.

본 논문에서는 direct-write 기술이 적용 가능한 underpass와 via를 갖지 않는 팔각 나선형 박막 인덕터의 구조를 제시하고, 그에 따른 인덕터의 성능을 나타내는 인덕턴스, Q-factor, SRF(자기공진주파수), 저항에 대한 주파수 특성을 HFSS로 시뮬레이션하여 기존의 일반적인 사각 나선형 박막 인덕터와 비교 분석하였다.

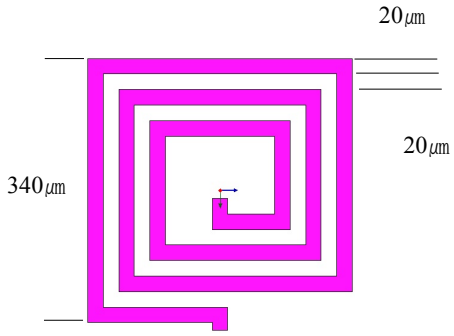
2. 인덕터의 설계

그림 1은 일반적인 나선형 박막 인덕터의 단면을 나타낸다. 인덕터는 2층 금속 공정을 기반으로 하고 있다. 인덕터의 구조는 300㎛ 두께의 Si에 7㎛ 두께의 SiO2를 적층하였다. 인덕터의 금속선 사이 간격은 20㎛으로, 금속선의 폭과 높이는 20㎛과 2㎛으로 하였다.



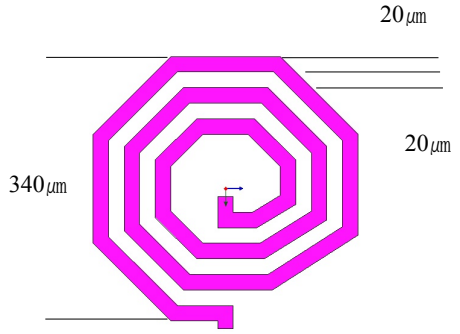
[그림 1] 나선형 박막 인덕터의 단면
[Fig. 1] A cross section of spiral planar inductor

그림 2는 일반적인 형태의 사각 나선형 박막 인덕터의 레이아웃을 나타낸다.



[그림 2] 일반적인 사각 나선형 박막 인덕터의 레이아웃 구조
[Fig. 2] Layout structure of general square spiral planar inductor

그림 3은 팔각 나선형 박막 인덕터의 레이아웃을 나타낸다.

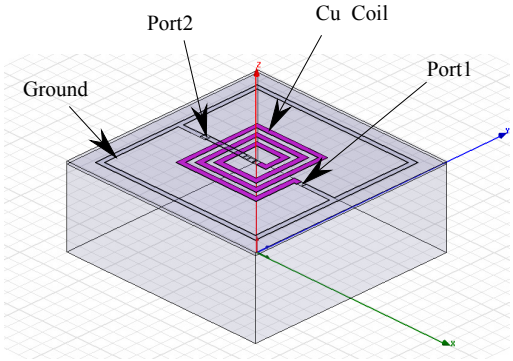


[그림 3] 팔각 나선형 박막 인덕터의 레이아웃 구조
[Fig. 3] Layout structure of octagonal spiral panar inductor

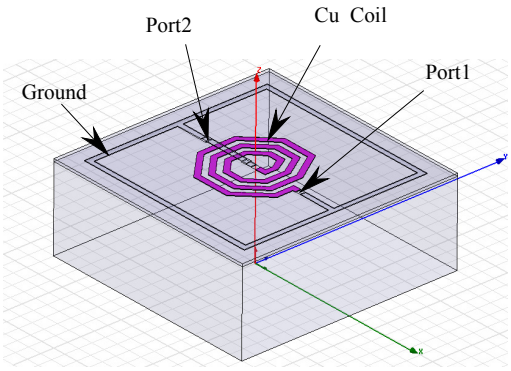
그림 2와 3에서 알 수 있는 바와 같이, 인덕터의 레이아웃은 간단하며, 단층 금속 공정을 기반으로 하고 있다. 두 종류의 인덕터 최외각 크기는 340㎛으로 고정하였다. RF 주파수에서는 금속층의 두께가 품질계수를 결정짓는 주요 요소 중의 하나이며, 인덕터 중심의 공간은 품질계수를 향상시키는데 있어 도움을 준다.

3. 시뮬레이션 및 분석

시뮬레이션을 위하여 안소프트 사의 HFSS (High Frequency Structure Simulator)를 사용하였다. 그림 4는 일반적인 형태의 사각 나선형 박막 인덕터의 시뮬레이션 구조를 나타낸다. 그림 5는 팔각 나선형 박막 인덕터의 시뮬레이션 구조를 나타낸다.



[그림 4] 일반적인 사각 나선형 박막 인덕터의 시뮬레이션 구조
[Fig. 4] Simulation structure of general square spiral planar inductor



[그림 5] 팔각 나선형 박막 인덕터의 시뮬레이션 구조
[Fig. 5] Simulation structure of octagonal planar inductor

그림 4와 5에 대하여 음영부분은 Cu로 이루어진 나선형 코일을 나타내며, 외각의 회색 패턴은 시뮬레이션을 위하여 바이어스를 인가하기 위한 접지(ground)로 설정하였다. 포트는 2-포트의 lumped port를 사용하였다. 우선 인덕터의 설계 변수로써는 권선수, 도체폭, 도체간의 간격, 도체 두께, 유효 면적 등이 있다. 여기에서는 우선 외부 크기와 도체폭, 그리고 도체간의 간격, 권선수를 고정하고, 사각 나선형 박막 인덕터와 팔각 나선형 박막 인덕터의 인덕턴스, Q-factor 값, SRF와 저항을 비교 분석하였다.

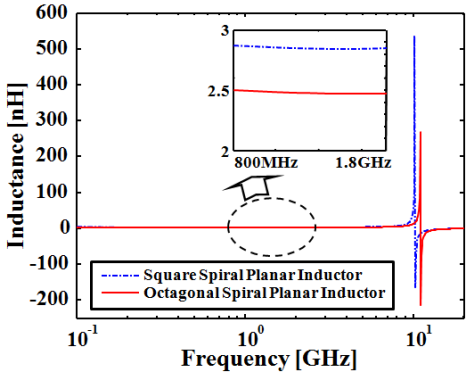
3.1 인덕턴스

인덕터의 외부 크기를 340㎛, 도체폭과 도체간의 간격을 각각 20㎛과 20㎛으로 고정하고, 10Ω-㎝ 실리콘 기판을 사용하였으며 기판 두께를 300㎛으로 하였다. 기판과 spiral 사이의 유전물질의 두께를 7㎛으로 하였다. 도체 두께를 2㎛으로 하여 3회 권선하였다.

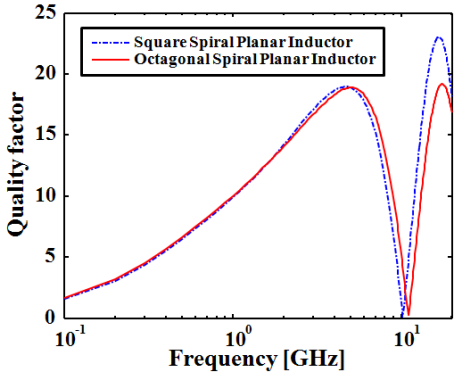
그림 6은 사각 나선형 박막 인덕터와 팔각 나선형 박막 인덕터의 인덕턴스-주파수 특성을 나타낸다. 그림으로부터 800MHz~1.8GHz 주파수에서 사각 나선형 박막 인덕터의 경우는 2.8nH, 팔각 나선형 박막 인덕터의 경우는 2.5nH 정도의 인덕턴스를 가지며, 사각 나선형 박막 인덕터가 우수한 특성을 나타낸다. 이는 동일한 최외각 크기를 갖도록 설계함에 따라 팔각 나선형 박막 인덕터의 나선 길이가 사각 나선형 박막 인덕터보다 짧아지게 되어 인덕터의 값이 감소함을 나타낸다. 반면에 그림에서 인덕턴스가 양의 값으로부터 음의 값으로 전위되며 0인 지점을 지나는 주파수가 SRF를 나타낸다. 사각 나선형 박막 인덕터의 경우는 10.3GHz, 팔각 나선형 박막 인덕터의 경우는 11.1GHz 정도에서 SRF가 발생한다. 이는 인덕턴스와 SRF 상호 간에 반비례 관계를 갖기 때문에 인덕턴스 감소와 더불어 세그먼트들의 길이 줄어들어 분산 커패시턴스가 감소하는 것에 기인한다.

3.2 품질계수(Quality-factor)

그림 7은 사각 나선형 박막 인덕터와 팔각 나선형 박막 인덕터의 Q-주파수 특성을 나타낸다. 인덕터의 성능을 평가하는 중요한 요소로 Q-factor를 들 수 있다. 그림으로부터 사각 나선형 박막 인덕터의 경우는 4.9GHz에서 약 18.9, 팔각 나선형 박막 인덕터의 경우는 5GHz에서 약 18.9 정도의 최대 Q 값을 가진다. 사각 나선형 박막 인덕터와 팔각 나선형 박막 인덕터가 비슷한 특성을 나타낸다. 이는 Q가 인덕턴스에 비례하고 저항에 반비례하므로, 팔각 나선형 박막 인덕터가 인덕턴스가 작음에도 불구하고 저항이 작으므로 나타나는 결과라 할 수 있다. 따라서 팔각 나선형 박막 인덕터의 경우가 저항 손실면에서 우수하다 할 수 있다.



[그림 6] 인덕턴스-주파수 특성
[Fig. 6] Inductance-frequency characteristic

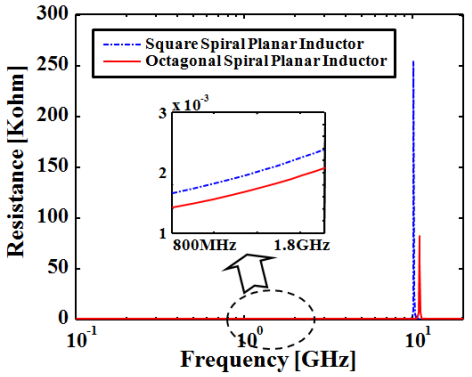


[그림 7] Q-주파수 특성
[Fig. 7] Q-frequency characteristic

그림에서 보면 Q 값이 0이 되는 지점이 SRF를 나타낸다. 사각 나선형 박막 인덕터의 경우는 10.3GHz 정도에서 0의 값을 가지며, 팔각 나선형 박막 인덕터의 경우는 11.1GHz 정도에서 0의 값을 가지므로, 이때의 주파수가 SRF를 의미한다. 이는 앞선 그림 6에서의 결과와도 잘 일치함을 알 수 있다.

3.3 저항(Resistance)

그림 8은 사각 나선형 박막 인덕터와 팔각 나선형 박막 인덕터의 저항-주파수 특성을 나타낸다. 그림으로부터 사각 나선형 박막 인덕터의 경우는 1.8GHz에서 약 2.39 [Ω], 팔각 나선형 박막 인덕터의 경우는 1.8GHz에서 약 2.08[Ω] 정도의 저항 값을 가지므로, 팔각 나선형 박막 인덕터가 사각 나선형 박막 인덕터보다 작은 저항 값을 나타낸다. 이는 그림 7에서 팔각 나선형 박막 인덕터의 Q 값이 인덕턴스가 작음에도 저항 손실이 작아 우수한 특성을 나타낸다고 하였던 것과 일치함을 알 수 있다. 또한 그림에서 저항 값이 급속히 증가하여 피크 값을 나타내는 주파수가 SRF를 나타낸다. 이는 앞선 그림 6과 7의 결과와 잘 일치함을 알 수 있다.



[그림 8] 저항-주파수 특성
[Fig. 8] Resistance-frequency characteristic

4. 결론

본 논문에서 실리콘 상에 이루어진 팔각 나선형 박막 인덕터 제안하여, 기존의 일반적인 사각 나선형 박막 인덕터와 비교함으로써, 저항손실을 감소함을 확인하고자 하였다. 이를 위하여 안소프트 사의 HFSS를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션 결과인 인덕턴스, Q-factor, SRF 및 저항에 대한 주파수 특성을 분석하였다.

우선 외부 크기(340㎛)와 도체폭(20㎛), 도체간의 간격(20㎛), 도체의 두께(2㎛), 권선수는 3회로 고정하고 사각 나선형 박막 인덕터와 팔각 나선형 박막 인덕터에 대하여 비교하였다. 사각 나선형 박막 인덕터는 L(인덕턴스)=2.8nH, Q=18.9, SRF=10.3GHz이고, 팔각 나선형 박막 인덕터의 경우는 L=2.5nH, Q=18.9, SRF=11.1GHz 정도를 가진다. 이는 동일한 최외각 크기를 고정하고 사각의 형태와 팔각의 형태를 설계하는 경우, 팔각 나선형 박막 인덕터의 세그먼트 전체 길이가 감소하여 인덕턴스가 작아지게 된다. 또한 인덕턴스가 작아지면, 이에 비례하는 Q 값이 작아지게 되나 반비례 관계의 저항손실이 감소하여 Q 값을 향상시킴을 알 수 있었다.

References

[1] R. Murphy-Arteaga, J. Huerta-chua, A. Diaz-Sanchez, A. Torres-Jacome, W. Calleja-Arriaga, M. Landa-Vazquez, “Fabrication, characterisation and modelling of integrated on-silicon Inductors”, Microelectronics Reliability, vol. 43, pp. 195-201, 2003.

[2] Minda Denesh, John R. Long, “Differentially Driven Symmetric Microstrip Inductors”, IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. 50, no. 1, pp. 332-341, Jan. 2002.

[3] I. Wolff and H. Kapusta, “Modeling of Circular Spiral Inductors for MMICs”, IEEE MTT-s Digest, pp. 123-126, 1987.

[4] 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.

김 재 욱(Jae-Wook Kim) [정회원]

- 1998년 8월 : 호서대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2003년 8월 : 호서대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 교수

<관심분야>
자동제어, 퍼지제어, chip inductor 개발, 자성박막 재료 및 소자의 개발