

산화마그네슘 기판과 산화알루미늄 기판을 이용한 Meander 형태의 인덕터의 고주파 시뮬레이션

함용수*, 김성훈*, 강이구**, 고중혁*
광운대학교 전자재료공학과*

High Frequency Simulations for Meander type inductors on the MgO and Al₂O₃ substrates

Yong-Su Ham*, Sung-Hun Kim*, Ey Goo Kang** and Jung-Hyuk Koh*
Kwangwoon Univ.* Far East Univ.**

Abstract : Meander 형태의 인덕터를 각각 산화마그네슘 (MgO) 기판과 산화 알루미늄 (Al₂O₃) 기판 위에 구현하여 고주파 특성을 구조 시뮬레이션을 통해 연구하였다. 고주파 시뮬레이션을 통해서 적절한 구조의 meander 형태의 인덕터를 선정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션시 사용된 알루미늄 상부전극은 길이 282 nm, 폭 45 nm, 두께 100 nm, 간격은 15 nm의 구조였으며, 5, 7, 9, 11, 13턴의 meander 형태 인덕터 소자들을 이용하여 고주파 수동소자 응용을 위한 고주파 구조 시뮬레이션을 50 MHz에서부터 30 GHz까지 수행하였다. 주파수에 따른 인덕턴스와 품질계수를 등가회로를 이용하여 계산하였다. 시뮬레이션으로부터 자기공진주파수 (SRF, self resonance frequency)가 인덕터의 턴 수가 증가함에 따라 저주파 영역으로 이동하는 것을 확인하였고, 고주파 시뮬레이션 결과에서 산란 매개변수 (S-parameter, S₂₁)로부터 인덕턴스와 품질계수를 추출해내었다.

Keywords: meander 인덕터, 시뮬레이션, 산화마그네슘, 산화알루미늄, 품질계수

1. 서론

RF 집적회로의 급격한 발전과 이동 통신 시장의 성장으로 인하여 수동 소자에 대한 관심이 증가하고 있다. 기술이 발전함에 따라 기판 표면에 실장 되어지는 수동소자의 수는 기하급수적으로 증가하게 되며 이로 인해 원하지 않던 기생 성분과 전기적 노이즈로 인해 전체 전자제품의 특성이 저하되게 된다. 이를 해결하기 위한 방안 중 하나로, System on Package (SoP) 기술이 활발히 연구되어지고 있다. SoP 기술이 적용되어지면서 커패시터나 인덕터와 같은 수동소자들을 기판에 내장하게 되면서 상대적으로 작은 크기의 제품의 제작이 실현가능하게 되었다. 뿐만 아니라 많은 수의 수동소자들을 기판에 내장함으로써 기존에 발생되었던 기생성분과 전기적 노이즈 성분들을 감소시킬 수 있다. 대부분의 집적회로에서 인덕터는 spiral 형태나 solenoid 형태로 제작되어 사용되어진다. 대부분의 경우 높은 집적도로 제작되는데, 이 경우 품질 인덕턴스와 품질계수를 지니는 Spiral 형태의 인덕터가 가장 많이 사용된다. 하지만 이러한 이점 외에도 spiral 형태의 인덕터에는 몇 가지 단점이 있다. 첫 번째로 코일의 내부 끝과 외부의 끝을 연결하는 배선으로 인하여 도체와 배선 사이에서 불필요한 기생 커패시턴스가 발생하게 된다. 두 번째로 spiral 형태의 인덕터는 같은 턴 수를 갖는 다른 형태의 인덕터에 비해 크기가 크다는 단점을 가지고 있

다. 세 번째로 자속의 방향이 기판에 수직이며, 이것은 multichip module내의 기초회로에 간섭을 하게 된다. 특히, spiral 형태의 인덕터는 복잡한 3차원 구조 때문에 제작하기가 어렵다. 반면에 meander 형태의 인덕터는 spiral 형태의 인덕터에 비해 2차원 형태의 단순한 구조를 가지고 있고 기생성분이 줄어드는 특징이 있다. 또한 meander 형태의 인덕터는 spiral 형태의 인덕터에 비해 상대적으로 낮은 인덕턴스를 가지고 있으며 단위 면적당의 품질 계수가 높은 특성을 가지고 있어 고주파 영역에서 보다 적합한 특징이 있다. 특히 meander 형태의 인덕터에서는 자기장의 방향이 서로 반대로 가해지기 때문에, 반대 방향의 자기장으로 인한 상호 인덕턴스작용으로 인해 전체 인덕턴스가 감소하게 된다. 이 논문에서는 고주파 3-D 시뮬레이션을 통하여 고주파 영역에서 meander 형태 인덕터의 인덕턴스 및 품질계수에 대한 결과를 분석하였다. 본 시뮬레이션에서는 기판을 산화 마그네슘 (MgO)과 산화알루미늄 (Al₂O₃)를 각각 사용하였으며 인덕터의 턴 수를 변화시킴에 따른 인덕턴스와 품질계수를 비교 분석하였다.

2. 실험

일반적으로 고주파 영역에서 수동소자를 동작 주파수에서 동작시키기 위해서는 최적화된 리액턴스의 값이 필요하다. 이 실험에서는 인덕턴스와 자기 공진 주파수 (Self

resonance frequency, SRF)를 비교하기 위해서 5, 7, 9, 11, 13 턴의 meander 형태의 인덕터를 선택했다. 홀수의 턴을 갖는 meander 형태의 인덕터를 선택한 이유는 짝수 턴을 갖는 인덕터에 비해서 홀수의 턴을 갖는 인덕터에서의 상호 인덕턴스에 의한 상쇄관성이 더 작기 때문에 높은 인덕턴스와 높은 품질 계수를 가질 수 있기 때문이다.

설계된 인덕터의 인덕턴스와 품질계수를 알아보기 위해서 고주파 3-D 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 meander 형태의 인덕터를 시뮬레이션하였다. 두 가지 다른 종류의 기판을 사용하여 meander 형태의 인덕터를 설계하고 그 특성을 분석하였다. 하나는 Al₂O₃기판을 사용하여 알루미늄으로 meander 형태의 전극을 증착하였고, 나머지 하나는 MgO기판을 사용하여 마찬가지로 알루미늄(Al)으로 meander 형태의 전극을 증착하였다. Meander 형태의 Al 전극은 길이 282 μm, 폭 45 μm와 15 μm의 구조를 갖도록 설계 되었으며, 50 MHz부터 30 GHz 까지의 주파수 대역에서 그 인덕턴스 및 품질계수 특성을 비교 분석하였다.

3. 결과 및 토의

그림 1은 산화 기판위에 설계된 meander 형태의 인덕터의 모식도이다. 마이크로파 분석을 위해서 GSG (ground - signal - ground) 구조를 사용하였다. 모든 시뮬레이션에 있어서 ground의 넓이는 고정시켰다. 그리고 인덕턴스와 품질 계수를 비교하기 위해서 meander 형태 인덕터의 턴 수만을 변화시켰다.

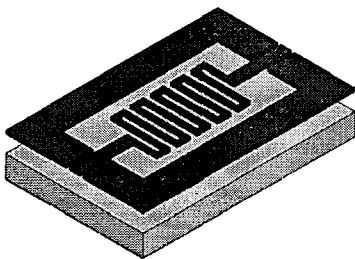


그림 1. 마이크로파 분석을 위한 5턴의 meander 형태의 인덕터의 모식도

그림 2의 (a)와 (b)는 Al₂O₃ 기판과 MgO 기판을 사용하여 제작한 meander 형태의 인덕터의 턴 수를 5, 7, 9, 11, 13턴으로 변화를 시켜 얻은 인덕턴스 결과이다. Al₂O₃ 기판위에 설계된 5턴 meander 형태 인덕터의 인덕턴스 시뮬레이션 결과값은 0.62 nH이며, MgO 기판을 사용한 경우

는 0.63 nH의 값이 계산되었다. 그림에 보인것과 같이 SRF는 턴 수가 증가함에 따라 저 주파수 대역으로 이동하였다. 고주파 시뮬레이션에서 meander 형태의 인덕터의 인덕턴스는 다음 식 (1) 을 이용하여 계산해내었다.

$$L = \frac{\mu_0 a^2}{\frac{2(2N-1)g}{N} + \frac{a^2}{(2N-1)N\mu * t}} \quad (1)$$

여기서 a 는 코일의 크기, g 는 절연체층의 두께, t 는 자성체 층의 두께이며, μ 는 자성체 층의 투과율이며, N 은 meander 형태의 인덕터의 턴 수이다.

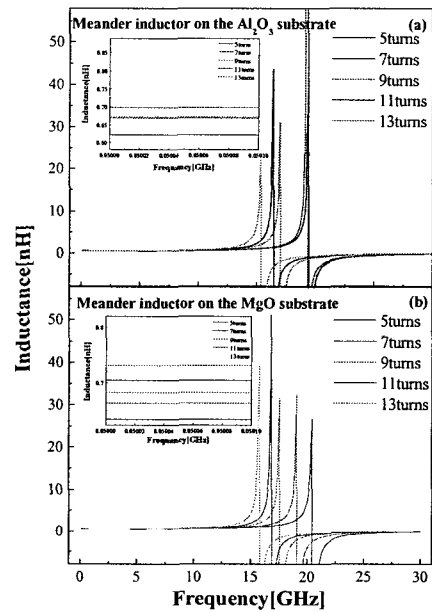


그림 2. (a) Al₂O₃ 기판위에 제작된 meander 형태의 인덕터의 시뮬레이션 인덕턴스 결과 (b) MgO 기판위에 제작된 meander 형태의 인덕터의 시뮬레이션 인덕턴스 결과

그림 3의 (a)와 (b)는 Al₂O₃ 기판과 MgO 기판위에 제작된 3, 5, 7, 9, 11, 13턴의 meander 형태의 인덕터의 품질계수를 각각 나타낸다. Al₂O₃ 기판위에 제작된 meander 형태의 인덕터에서 13턴의 경우 13의 품질계수를 가지며, 5턴의 경우에는 39의 품질계수를 보인다. 여기서 우리는 meander 형태의 인덕터의 턴 수가 증가함에 따라 품질계수가 감소함을 알 수 있었다. 이러한 현상은 13턴의 인덕터의 경우 전극의 길이가 증가함에 따라 저항역시 증가하였기 때문으로 사료된다. 또한 SRF는 턴 수가 증가함에 따라 저 주파수 대역으로 이동함을 확인할 수 있었다. 이는 턴수의 증가로 인한 인덕턴스의 증가 때문으로 보여진

다. 반면에 MgO 기판위에 제작된 5턴의 meander 형태의 인덕터의 경우에는 Al₂O₃ 기판위에 제작된 인덕터에 비해 약간 증가한 45의 품질계수를 갖는것을 볼 수 있었다. MgO 기판을 사용함으로써 품질계수가 Al₂O₃ 기판을 사용하는 경우에 비해 약 13 % 증가하였다. Al₂O₃ 기판에 비해 MgO 기판의 손실계수가 더 낮기 때문에 전체 품질 계수는 증가하였다. 품질계수는 다음 식 (2)로부터 계산되었다.

$$Q = -\frac{\text{imag}(Y_{11})}{\text{real}(Y_{11})} \quad (2)$$

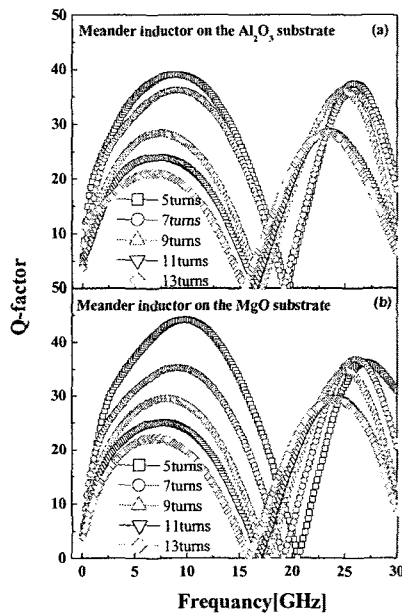


그림 3. (a) Al₂O₃기판위에 제작된 meander 형태의 인덕터의 시뮬레이션 품질계수 (b) MgO 기판위에 제작된 meander 형태의 인덕터의 시뮬레이션 품질계수

그림 4에는 meander 형태의 인덕터의 턴수의 변화에 따른 SRF의 변화를 보였다. 그림에서 보는 것 과 같이 턴 수가 증가함에 따라서 SRF는 저 주파수 대역으로 이동하는 것을 알 수 있다. 5턴의 인덕터에 비해 증가된 인덕턴스를 갖는 13턴의 인덕터의 경우, SRF가 저 주파수 대역으로 이동한 것을 알 수 있다.

$$f = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3)$$

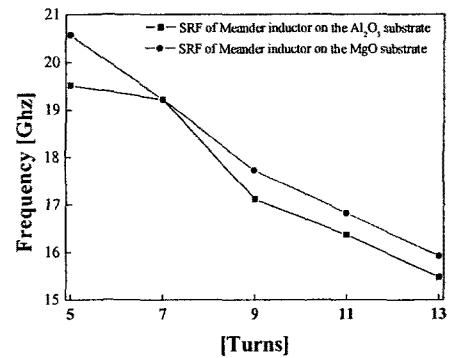


그림 4. Al₂O₃ 기판과 MgO 기판위에 제작된 meander 형태의 인덕터의 시뮬레이션 SRF 특성변화

4. 결 과

이 논문에서는 Al₂O₃ 기판과 MgO 기판위에 5, 7, 9, 11, 13턴을 갖는 meander 형태의 인덕터를 각각 설계하여 고 주파 대역에서 분석 비교하였다. Al₂O₃ 기판과 MgO 기판을 사용한 meander 형태의 인덕터는 전 주파수 대역에서 비슷한 인덕턴스 값을 갖는다. 하지만, 품질계수는 MgO 기판을 사용하였을 경우 Al₂O₃ 기판을 사용하였을 경우에 비해 약 13 %정도 증가한 45의 값을 갖는 것을 확인할 수 있었다. SRF는 인덕터의 턴 수가 증가함에 따라서 인덕턴스의 증가로 저 주파수 대역으로 이동되는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2008-28) 주관 및 서울시 산학연 협력사업 지원에 의하여 이루어 졌습니다. (Grant No.10583).

참고문헌

[1] H.-W. You, J.-Y. Park and J.-H. Koh, "Simulation and fabrication of embedded capacitors for organic based RF system on package applications" *Integrated Ferroelectrics*, 97, 20, 2008.

[2] M. Yamaguchi, M. Matsumoto, H. Ohzeki and K. I. Aral, "Analysis of the inductance and the stray capacitance of the dry-etched micro inductors," *IEEE trans. Magn.*, vol.27, No.6, 1991

[3] X.-L. Tang, H.W. Zhang, H. Su, Y. Shi, and X.D. Jiang, "Study of the impact of winding form and film thickness on thin - film inductors," *Microelectronic Engineering*, 81, 212, 2005

[4] K. Kawabe, H. Koyoma and K. Shirae, "Planar inductor," *IEEE trans. Magn.*, vol.MAG-20, No.5, 1984