

LTCC 공정을 이용한 High Q 인덕터 구현을 위한 Simulation

박재영*, 차두열**, 여동훈**, 김종희**, 장성필*

인하대학교 전기전자공학부 전자공학과*, 요업기술원 시스템 모듈 사업단**

The Simulation using LTCC Technology for High Q inductor realization

Je-Yung Park*, Doo-Yeol Cha*, Dong-Hun Yeo**, Jong-Hei Kim**, Sung-Pil Chang*

Inha Univ. electronic engineering*, Korean institute of ceramic ENG.& TECH.**

Abstract : 일반적인 CMOS공정으로는 높은 주파수 대역에서 높은 Q factor를 갖는 인덕터를 구현하는데 어렵고 이에 반해 RF ICs는 갈수록 high Q 를 가지는 인덕터가 요구되고 있다. 이를 LTCC기판 위에 인덕터를 구현했을 때 높은 주파수 대역에서 성능을 알아보기 위해 모의 실험하였다. 인덕터를 설계하는데 있어서 인덕터 코일의 폭, 코일의 두께와 간격이 인덕터의 성능을 결정짓는다는 것을 고려하였고, MEMS 공정을 이용하여 high Q를 갖는 인덕터를 설계하였다. 인덕터의 전체 크기는 $330\mu\text{m} \times 330\mu\text{m}$ 에서 선폭은 $30\mu\text{m}$, 선간의 간격은 $20\mu\text{m}$ 로 기판위에 $80\mu\text{m}$ 높이로 인덕터를 띄워서 설계하였고, 그리고 이를 LTCC 기판위에 high Q 의 인덕터 구현을 위해 simulation 한 결과가 Q값이 50 정도의 크기를 나타냈다.

Key Words : LTCC, High Q, MEMS inductor

1. 서 론

최근 실리콘 RF ICs 환경은 GHz 대역에서의 동작을 요구되어지고 있다. 그러나 CMOS 공정을 이용한 인덕터의 경우 GHz 대역에서 성능이 매우 떨어질 뿐만 아니라 실리콘이 비저항이 비교적 적으므로 기판의 손실이 증가하고 제한된 금속두께로 인하여 High Q factor를 갖는 Inductor의 구현이 매우 어려운 현실이다.[1] 이러한 대안으로 bulk micromachining, surface micromachining, electrochemical processes와 같은 MEMS 공정을 사용하는 것이 각광을 받고 있다. 이런 방법을 이용하여 VCO, LNA 등과 같은 RF 회로의 성능을 좌우하는 수동소자인 인덕터를 설계할 수 있으며 Q factor가 50가까이 되는 인덕터를 구현 할 수 있다. [2]

그러나 통상적인 MEMS 공정에서는 고온을 요구하는 공정은 온도에 민감한 소자들의 성능이 감소 될 수 있어 수동소자를 집적시키기 힘든 단점이 있다. 이를 보완하고자 LTCC (저온 동시성 세라믹) 공정을 이용하여 여러 응용분야에서 향상된 성능의 구현과 소형화를 위해 몇 개의 집적회로(IC)들을 함께 패키징(packaging)하여 MCM 기판위에 수동소자를 집적시킬 수 있다.[3] 그리고 이를 구현하기 위해 앞서 HFSS simulation tool을 이용하여 높은 주파수 대역에서 동작특성이 어떤지를 살펴보고자 한다.

인덕터는 전류의 변화를 안정시키고, 상호유도작용을 하며, 전자석의 성질과 공진의 성질을 가진다. 인덕터는 순간적인 전류변화를 안정화시키므로 대부분의 전기 회로에 잡음을 제거하기 위한 소자로 사용되며, 공진하는 성질을 이용하여 커패시터와 조합하여 공진회로나 필터회로를 위하여 사용한다. 주파수가 높아질수록 인덕터의 임피던스는 높아져야 하나 소자의 투자율 및 유전율이 변하면서 구조적인 이유에 의해 형성되는 기생 커패시턴스 성분 등의 영향으로 전자기적 특성이 바뀌게 되어 자기공진(self resonance)이 발생하게 되고 자기공진 주파수(SRF : Self Resonance Frequency) 이상에서는 인덕터의 특성보다는 커패시터로 작용하게 된다. 따라서 실리콘 기판위에 spiral 인덕터를 설계하고자 할 때 여러 가지 변수들을 고려해야 한다. 이는 인덕터의 성능을 결정하는 중요한 변수로써 다음과 같은 항목이 있다.

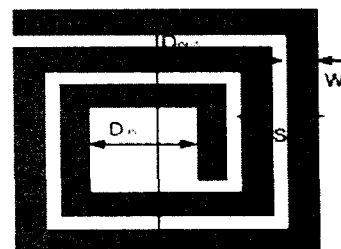


그림 1. Spiral 인덕터

2. 본 론

2.1 인덕터

- metal line width : W
- spacing between lines : S

- inner diameter : D_{in}
- outer diameter : D_{out}
- number of turn : N

그리고 MEMS 공정을 사용하였을 나선형 인덕터의 금속선을 기판에서 공기중에 띄워야 하기 때문에 다음과 같은 추가적인 설계 변수들도 고려해야 한다.

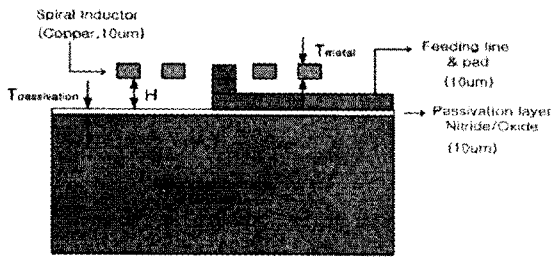


그림 2. MEMS 공정을 사용한 spiral 인덕터의 단면

- elevation height : H
- passivation layer : T_{pass}
- metal thickness : T_{metal}

2.2 LTCC(저온 동사소성 세라믹) 공정

저온 동사소성 세라믹 공정은 테이프 캐스팅의 방법으로 제조된 후막 형태의 세라믹 유전체와 여러 가지 회로요소를 구현하기 위한 전도성 금속 페이스트를 이용하여 여러 층의 적층형 소자를 제조하는 기법이다. 특히나 다른 여타 기술의 비해 수동부품의 집적화는 LTCC 가 큰 장점을 보이는 응용분야로서 RF ICs에 유용하게 쓰여질 것으로 예상되며 이를 이용하여 높은 성능을 가진 인덕터를 비롯한 여러 수동소자를 구현하는데 많은 장점이 있을 것이다. 그리고 이를 확인하기 위해 HFSS 라는 EM 해석 simulation tool을 이용하여 높은 성능을 가진 인덕터를 설계하고 그 결과를 어떻게 나오는지 알아보았다.

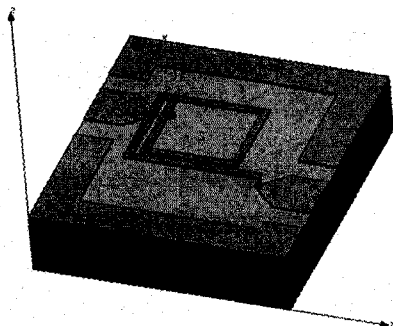


그림 3. HFSS tool을 이용해 설계한 Inductor

3. 결과 및 고찰

앞에서 논의한 인덕터 설계 변수뿐만 아니라 기판에 의한 손실과 맴들이 전류(eddy current)는 인덕터의 Q

factor에 영향을 준다. 이를 줄이고자 MEMS 공정을 사용하여 기판 위 공기 중에 띄운 spiral 인덕터를 다음 그림 3과 같이 설계하였고 모의실험 하였다. 그림 3의 인덕터는 금속선의 폭은 $30\mu\text{m}$, 금속선간의 간격은 $20\mu\text{m}$, 기판과의 높이는 $80\mu\text{m}$, 권선 수는 1.5로 설계하였다. 구리를 사용한 전체 인덕터의 직경은 $330\mu\text{m} \times 330\mu\text{m}$ 이며 보통 실리콘 기판의 유전율은 11 인데 반해 우리가 사용할 LTCC 기판의 유전율은 7.8 이므로 이를 모의실험 시에 고려하여 그림 3과 같이 설계하였고 모의실험 결과 5GHz 대역에서 높은 Q(≈ 50) 값을 얻을 수가 있는 것을 그림 4에서 확인 할 수 있다. 이 같은 결과로 우리는 LTCC 기판을 이용해서 high Q를 가지는 인덕터를 구현할 수 있을 것이다.

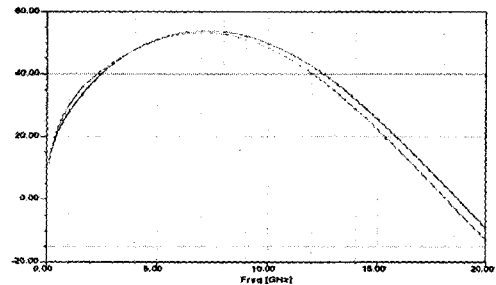


그림 4. 모의실험 결과 inductor의 Q factor

4. 결론

본 논문에서 GHz 대역을 사용하는 RF ICs을 위해 LTCC 공정을 사용한 MCM 기판위에 인덕터를 구현하기 위해 이를 모의실험 해 본 결과 높은 Q factor를 갖는 인덕터를 설계할 수 있었다. 이로 인해 수동소자의 집적화를 구현 할 수 있는 가능성을 확인 할 수 있었다. 그리고 이를 구현하여 모의실험 한 결과와 얼마나 차이가 나는지를 앞으로 논의해야 하겠다.

참고 문헌

- [1] Clark T.C, Nguyen, Linda P.B.Katehi and Gabriel M.Rebeix, " Micromachined Devices for Wireless Communications", Proceeding of the IEEE, Volume 86, No.8, pp.1756~1768, Aug. 1998.
- [2] Jun-Bo Yoon, Yun-Seok Choi, Byeong-Il Kim, Yunseong Eo, and Euisik Yoon, "CMOS-Compatible Surface-Micromachined Suspended-Spiral Inductors for Multi-GHz Silicon RF ICs", IEEE Electron Device Lett., vol. 23, pp. 591-593, Oct. 2002
- [3] R. L. Brown, A. A. Shapiro, P. W. Polinski, "The integration of Passive Components into MCMs Using Advanced Low-Temperature Cofired Ceramics", The Int. Journ. of Microcircuits and Electron. Packaging, vol. 16, No. 4, pp. 328-338, Fourth Quarter 1993.