

박막 인덕터 어레이의 Q-Factor 특성에 관한 연구

김인성, 민복기, 송재성

한국전기연구원 전자기소자연구그룹

A Study on the Q-Factor Characteristics of Integrated Inductors Array

In-Sung Kim, Bok-Ki Min and Jae-Sung Song

Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

In this study, Spiral inductors on the $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ substrate were fabricated by the magnetron sputtering method. Cu thin film with the thickness of $2 \mu\text{m}$ was deposited on the substrate. Also we fabricated square inductors through the wet chemical etching technique. The inductors are completely specified by the turn width and the spacing between spirals. Both the width and spacing between spirals were varied from 10 to $60 \mu\text{m}$ and from 20 to $70 \mu\text{m}$, respectively. Inductance and Q factor dependent on the RF frequency were investigated to analyze performance of inductor arrays. Also, We recommend that the reasonable Q-factors, spec's turns and thickness of the coil for inductors can be set to be ideal condition.

Key Words : Integrated spiral inductors, Inductor array, Q-factor, RF IC Design, Thin films

1. 서 론

수동소자 집적화를 위한 단일 부품들은 높은 인덕턴스와 Q 값 그리고 낮은 직류 저항을 나타내는 솔레노이드 형태가 일반적이다. 그러나 통신용 부품과 같이 높은 주파수의 요구에 따른 박막 인덕터의 제작은 전자회로의 소형화, 경량화 추세에 따른 시대적 흐름이다.^[1, 2]

본 연구에서 박막 인덕터의 전체크기는 $720 \times 720 \mu\text{m}^2$ 로 하고 선폭을 $10 \sim 60 \mu\text{m}$ 로, 선 간격을 $20 \sim 70 \mu\text{m}$ 로 변화 시키면서, 형상이 직사각형과 정사각형에서의 인덕터 어레이를 구현하고 주파수에 따른 인덕턴스와 Q 값을 측정함으로써 인덕터의 형상과 주파수 특성과의 관계를 연구하였다.

2. 실험

2.1 시료제작

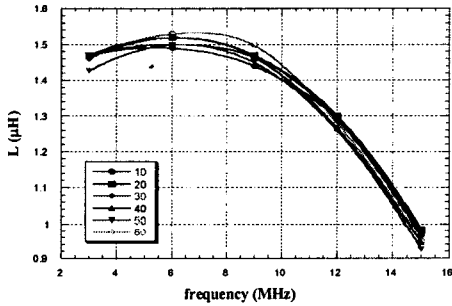
인덕터 어레이를 제조시 사용되는 RF 마그네트론 스퍼터링 시스템의 금속 타겟은 99.999%의 구리

(Cu)를 사용했다. $21 \times 21 \text{ mm}^2$ 로 자른 SiO_2 기판을 TCE(trichloroethylene), 아세톤, 메탄올로 깨끗하게 세척한 후 SiO_2 기판을 진공 챔버에 장착시키고 진공도 10^{-7} Torr 이하로 초기 진공 상태를 만들었다. 스퍼터링 시스템의 플라즈마 방전을 위해 아르곤(Ar) 가스를 50 sccm 으로 주입시키고 아르곤을 4 mTorr로 맞추고 RF 전원을 서서히 올리면서 증착하였다. 전력을 200 W 까지 올리고 구리 타겟의 산화막을 제거하기 위해 10분 정도 예비 방전한 다음 반사 전력을 1 W에서 구리의 증착율은 $22.2 \text{ \AA}/\text{sec}$ 이므로 두께 $2 \mu\text{m}$ 의 구리를 10분간 증착하였다. 구리가 증착된 시료위에 노광(photo-lithography) 공정을 거쳐 습식식각에 의해 시료를 완성하였다. 구리의 식각액은 일반적으로 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 와 증류수를 1:1로 희석시켜 사용한다. 구리 식각액의 식각율은 $570 \text{ \AA}/\text{sec}$ 이며, $2 \mu\text{m}$ 의 두께를 가진 구리를 식각하려면 약 35초가 소요된다. 식각이 완전히 끝나면 시료를 증류수에 깨끗이 세척한 후 질소 가스로 건조시킨다.

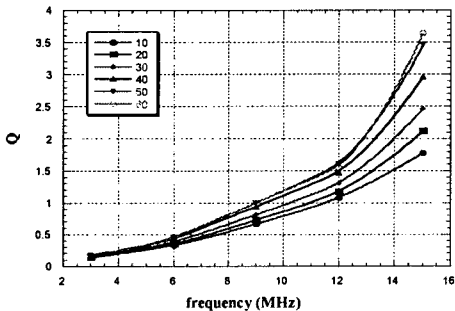
측정은 Impedance analyzer와 E 4991a를 이용해서 1 kHz~3 GHz까지 인덕턴스와 Q 값을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

박막 인덕터의 인덕턴스는 1.7 μH 부터 수십 nH까지 측정되었으며, Q 값은 최대 3.64까지 측정되었다. 그림 3는 선폭과 선 간격의 변화에 따른 주파수에 대한 인덕턴스와 Q 값을 측정한 그래프이다. 선폭과 선 간격이 증가할수록 Q 값이 증가함을 보여주고 있다. 선폭이 증가하면 저항은 선폭의 제곱으로 줄어들므로 저항의 영향이 크게 작용했음을 알 수 있다. 선 간격이 증가하면 상호 인덕턴스의 값이 작아지므로 전체적으로 인덕턴스와 Q 값이 작아진다.^[3]



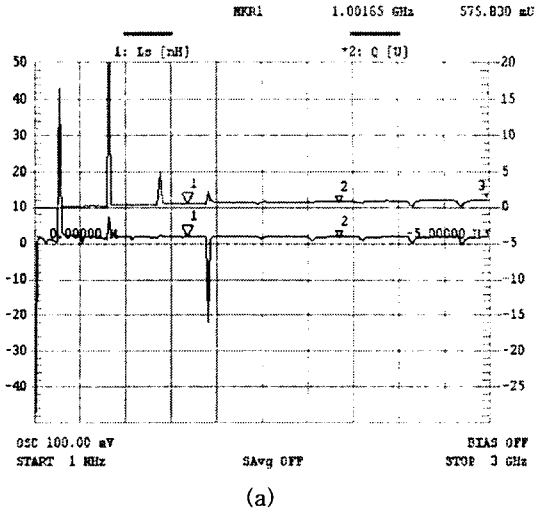
(a)



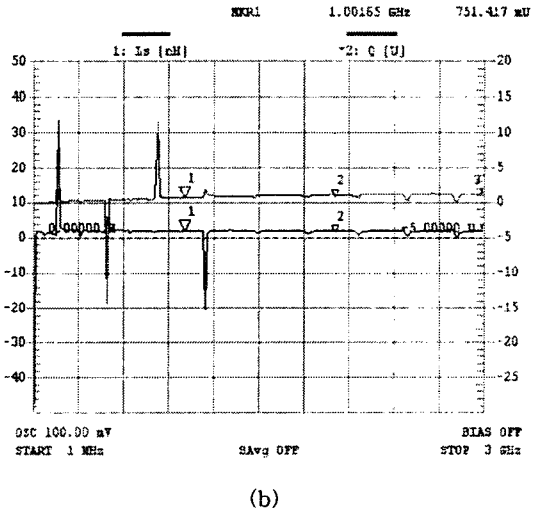
(b)

그림 3. 선폭을 달리했을 때 주파수에 따른 인덕터 (a) 인덕턴스, (b) Q-Factor

Fig. 3. Inductance and Q factor based on the coil width and spacing for the frequency.



(a)



(b)

그림 4. 형상을 달리한 인덕터의 인덕턴스 (a) 정사각형 인덕터, (b) 직사각형 인덕터

Fig. 4. Inductance and Q factor based on the perfect square and rectangular (100MHz ~ 3GHz)

3~15 MHz 대역에서 주파수가 증가할수록 인덕턴스가 감소하는 것은 저항과 기생 캐패시턴스의 영향이 더 크게 작용하여 주파수의 의존성이 크게 나타나지 않음을 보여준다.

사각형 박막 인덕터는 코일 모서리 부분의 전류 흐름에 있어서 이 주파수 대역에서는 손실이 아주 커서 Q 값이 전체적으로 작게 나타났다. 따라서 Q 값을 크게 하기 위해 사각형 보다는 원형으로 제작하는 것이 더 용이하다.^[3] 그림 4의 (a)는 인덕

터의 형상을 정사각형으로 했을때의 인덕턴스와 Q-factor를 나타낸 것이며, (b)는 인덕터의 형상을 직사각형으로 했을 때의 인덕턴스와 Q-factor를 나타낸 것이다. 정사각형의 인덕터 보다 직사각형의 인덕터가 더 높은 인덕턴스와 Q-factor를 나타낼 수 있다.

5의 (a), (b)에 각각 정사각과 직사각형 일때의 Q-factor를 나타냈다. 직사각형 인덕터에서는 직각 방향에 위치한 코일과 전류가 흐르는 방향과 직각으로 형성되는 자장의 영향을 상대적으로 덜 받는 구조를 취하고 있어 이에 따른 인덕턴스가 달리 나타나고 아울러 상대적으로 Q-Factor의 차이를 나타낸 것으로 보아진다.

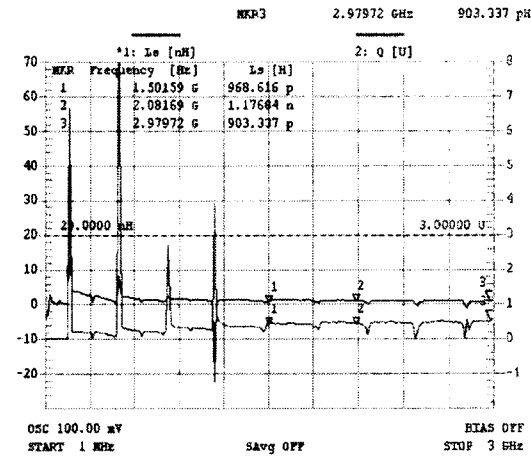
4. 결론

나선형 박막 인덕터 어레이를 형성, 선폭과 선간격에 따라 달리하여 디자인하여 인덕터 어레이를 제작하여, 주파수에 따른 Q-factor를 연구한 결과 다음과 같다.

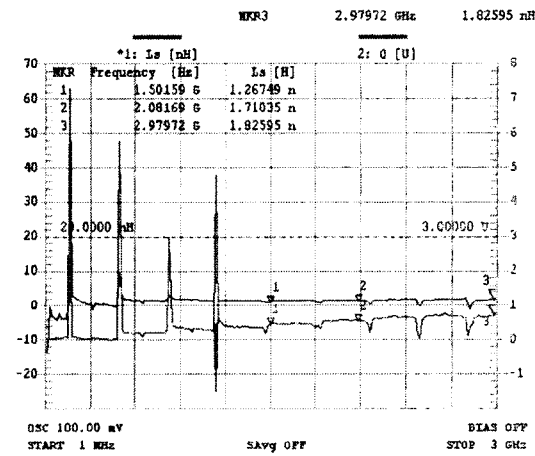
- (1). 형상을 달리한 인덕터의 인덕턴스와 Q-factor의 특성에서는 정사각형 보다 직사각형일 때의 특성이 더 우수하였다.
- (2). 원형 박막 인덕터나 다층 공심 인덕터로 Q 값을 보강할 수 있으며,^{15, 16} 또한 시료와 기관 사이의 기생 캐패시터를 최소화해야 하며 박막 인덕터를 구성하는 물질은 전도도가 우수한 물질을 찾아야 할 필요성이 제시되었다.
- (3). 박막 인덕터가 수동 소자로서의 역할을 기대하려면 Q 값이 10이상으로 향상 되어야한다,

참고 문헌

- [1] Piljae park, *et al.* "Variable Inductance Multilayer Inductor With MOSFET Switch Control", IEEE electron device letters. Vol. 25, No. 3, 2004
- [2] M. Yamaguchi, S. Arakawa, H. Ohzeki, Y. Hayashi and K. I. Arai, "Characteristics and Analysis of a Thin Film Inductor with Closed Magnetic Circuit Structure", IEEE Transactions on magnetics, Vol. 28, No. 5, 3015-3017, 1992
- [3] Wan C. Tang and Y. Leonard Chow, "Inductance Formula of a Square Spiral Inductor on Grounded Substrate by Duality and Synthetic Asymptote", IEEE MTT-S Digest, 2069-2072, 2002
- [4] Robert Rodriguez, John M. Dishman, Fred T. Dickens and Edward W. Whelan, "Modeling of Two-Dimensional Spiral Inductors", IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, Vol. Chmt-3, No.4,



(a)



(b)

그림 5. 형상을 달리한 인덕터의 인덕턴스

(a) 정사각형 인덕터, (b) 직사각형 인덕터

Fig. 5. Inductance and Q factor based on the perfect square and rectangular (100MHz ~ 3GHz)

이것은 형태에 의존적인 것을 뜻하는 것으로 그림