

## 집적화 인덕터 어레이의 고주파 특성에 관한 연구

김인성, 민복기, 송재성  
한국전기연구원 전자기소자연구그룹

### A Study on the RF Frequency of Integrated Inductors Array

In-Sung Kim, Bok-Ki Min and Jae-Sung Song  
Korea Electrotechnology Research Institute

#### Abstract

Inductors material utilized in the downsizing passive devices and Rf components requires the physical and electrical properties at given area such as inductors thickness reduction, inductance and q-factor increase, low leakage current and thermal stability.

In this study, Spiral inductors on the SiO<sub>2</sub>/Si(100) substrate were fabricated by the magnetron sputtering method. Cu thin film with the thickness of 2 μm 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 μm and from 20 to 70 μm, respectively. Inductance and Q factor dependent on the RF frequency were investigated to analyze performance of inductor arrays.

**Key Words** : Inductors, Inductor array, Thin film, Q-factor, RF Frequency, Integration Devices

#### 1. 서론

수동소자 부품의 기술적 추이는 다양한 전자기  
적 특성을 정확히 구현하여 부품화 하느냐에 주안  
점을 둔 삽입형 벌크 형태가 주류를 이루었다. 그  
러나 1990년대 이후부터는 전자 시스템의 소형화,  
특히 포켓용 포털 시스템과 데이터 프로세싱 시스  
템에서는 높은 통신 주파수와 전기 자기적 소자의  
소형화에 대한 요구가 증가하게 되었다. 이러한 요  
구 증가로 인해 전자회로의 소형화는 능동소자의  
크기 축소와 기능의 증가도 함께 이루어졌다. 수동  
소자의 크기 축소는 아날로그/디지털 회로로 이루  
어진 경우 70 % 정도가 수동소자로 만들어진 회  
로에서 중요한 역할을 하고 있다. 그러므로 박막  
저항, 박막 캐패시터와 함께 많은 연구가 수행되고

있으며 집적화 및 ASIC화를 위한 박막 인덕터는  
100 nH 보다 낮은 용량에서는 단일 소자뿐만 아니  
라 디바이스에서도 기술적 진전이 상당히 이루어  
져 있다. 단일 부품들은 높은 인덕턴스와 Q 값 그  
리고 낮은 직류 저항을 나타내는 솔레노이드 형태  
가 일반적이다. 그러나 통신용 부품과 같이 높은  
주파수의 요구에 따른 박막 인덕터의 제작은 전자  
회로의 소형화, 경량화 추세에 따른 시대적 흐름이  
다.<sup>[1, 2]</sup>

본 연구에서 박막 인덕터의 전체크기는 720×720  
μm<sup>2</sup>으로 하고 선폭을 10~60 μm로, 선 간격을 20  
~70 μm로 변화 시키면서, 형상이 직사각형과 정  
사각형에서의 인덕터 어레이를 구현하고 주파수에  
따른 인덕턴스와 Q 값을 측정함으로써 인덕터의  
형상과 주파수 특성과의 관계를 연구하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시료제작

박막 인덕터 제조시 사용되는 RF 마그네트론 스퍼터링 시스템의 금속 타겟은 99.999%의 구리(Cu)를 사용한다. 21×21 mm<sup>2</sup> 로 자른 SiO<sub>2</sub> 기판을 TCE(trichloroethylene), 아세톤, 메탄올로 깨끗하게 세척한 후 SiO<sub>2</sub> 기판을 진공 챔버에 장착시키고 진공도 10<sup>-7</sup> Torr 이하로 초기 진공 상태를 만들어 준다. 스퍼터링 시스템의 플라즈마 방전을 위해 아르곤(Ar) 가스를 50 sccm 으로 주입시킨다. 아르곤 분압은 4 mTorr로 맞추고 RF 전원을 서서히 올리면 플라즈마가 발생하여 증착이 시작된다. 전력을 200 W 까지 올리고 구리 타겟의 산화막을 제거하기 위해 10분 정도 예비 증착을 한다. 예비 증착이 끝나면 구리를 증착하는데 반사 전력이 1 W에서 구리의 증착율은 22.2 Å/sec이므로 두께 2 μm의 구리를 증착하기 위해서 약 15분이 소요된다. 인덕터 어레이를 구현하기 위한 공정과 순서는 아래와 같다.

- ① SiO<sub>2</sub> 기판 위에 구리를 두께 2 μm로 증착시키고 포토레지스트를 균일하게 코팅시켜 건조시킨다.
- ② 시료를 mask aligner에 장착하여 UV 선으로 포토레지스트를 감광시킨다.
- ③ 감광된 시료를 developer에 담가 감광된 부분의 포토레지스트를 제거해 준다.
- ④ 시료를 식각액에 담가 구리를 식각한다.
- ⑤ 시료에 남아 있는 포토레지스트를 아세톤으로 제거해준다.

구리가 증착된 시료위에 노광(photo-lithography) 공정을 거쳐 습식식각에 의해 시료가 완성된다. 구리의 식각액은 일반적으로 FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O와 증류수를 1:1로 희석시켜 사용한다. 구리 식각액의 식각율은 570 Å/sec이며, 2 μm의 두께를 가진 구리를 식각하려면 약 35초가 소요된다. 식각이 완전히 끝나면 시료를 증류수에 깨끗이 세척한 후 질소 가스로 건조시키면 시료의 구현하였다.

그림 1은 형상을 달리한 인덕터 어레이며, 그림 2는 선폭과 선 간격을 달리하여 구현한 인덕터 시료이다. 측정은 HP 4194A impedance analyzer를 이용해 3~15 MHz 대역까지, E 4991a를 이용해

서 ~3 GHz까지 인덕턴스와 Q 값을 측정하였다.

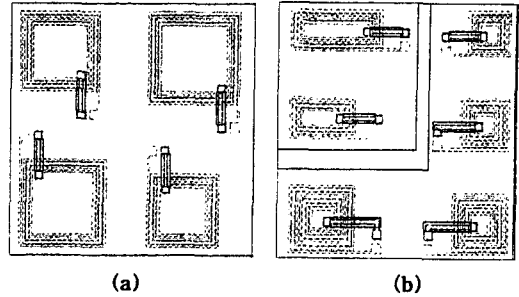


그림 1. 형상을 달리한 인덕터 어레이.  
Fig. 1. Inductor array as a inductor's shape

- (a) 정사각형 인덕터 어레이,
- (b) 직사각형 인덕터 어레이.

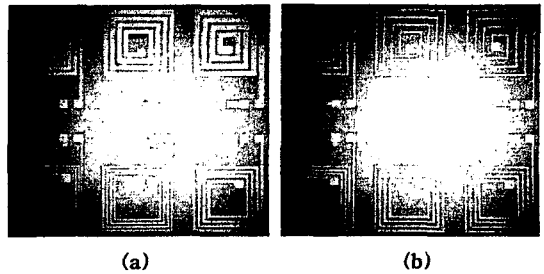
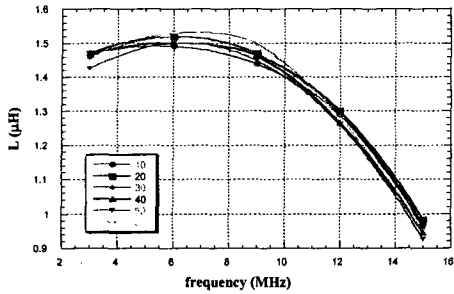


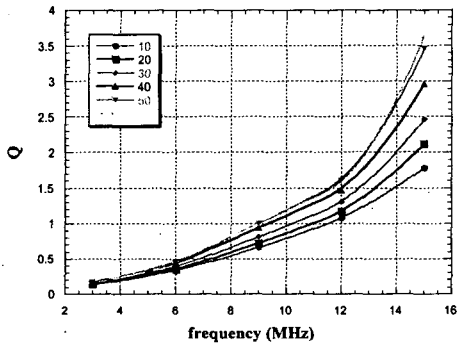
그림 2. 박막 인덕터 어레이.  
Fig. 2. Photograph of thin films inductors (a) 선 폭 10~60 μm 로 변화시켜 만든 나선형 박막 인덕터 (b) 선 간격 20~70 μm로 변화시켜 만든 나선형 박막 인덕터.

## 3. 결과 및 고찰

박막 인덕터의 인덕턴스는 1.7 μH부터 수십 nH 까지 측정 되었으며, Q 값은 최대 3.64까지 측정 되었다. 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.<sup>[3]</sup> 3~15 MHz 대역에서 주파수가 증가할수록 인덕턴스가 감소하는 것은 저항과 기



(a)



(b)

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

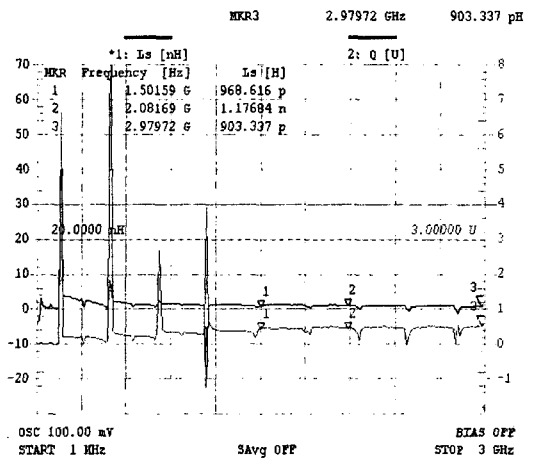
Fig. 3. Inductance and Q factor based on the coil width and spacing for the frequency.

생 캐패시턴스의 영향이 더 크게 작용하여 주파수의 의존성이 크게 나타나지 않음을 보여준다.

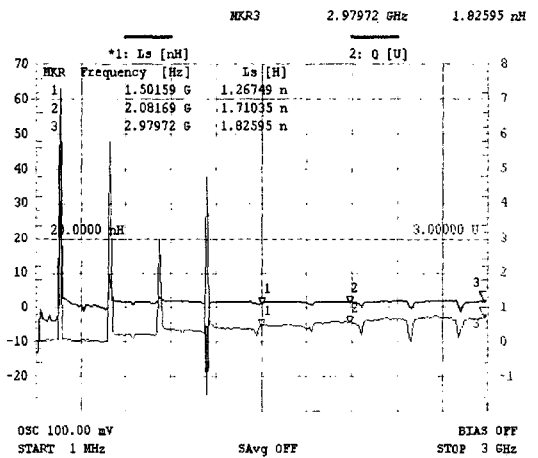
사각형 박막 인덕터는 코일 모서리 부분의 전류 흐름에 있어서 이 주파수 대역에서는 손실이 아주 커서 Q 값이 전체적으로 작게 나타났다. 따라서 Q 값을 크게 하기 위해 사각형 보다는 원형으로 제작하는 것이 더 용이하다.<sup>[3]</sup>

그림 4의 (a)는 인덕터의 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 인덕턴스

와 Q-factor를 나타냄을 알 수 있다. 이것은 형태에 의존적인 것을 뜻하는 것으로 그림 5의 (a)와 같은 직사각형 인덕터에서는 직각 방향에 위치한 코일과 전류가 흐르는 방향과 직각으로 형성되는 자장의 영향을 그림(b) 보다는 상대적으로 덜 받는 구조를 취하고 있다. 그러므로 Electro magnetic coupling에 의한 웨이브 상쇄가 저감하여 상대적으로 큰 인덕턴스가 나타난 것으로 사료되며, 아울러 상대적으로 Q-Factor의 차이를 나타낸 것으로 보인다.



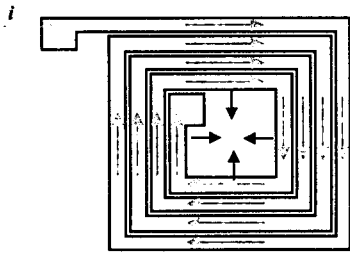
(a)



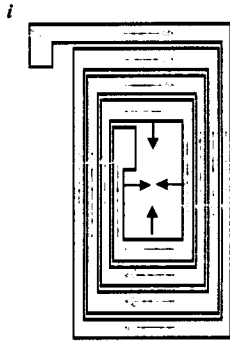
(b)

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)



(b)



(b)

그림 5 인덕터의 형상과 전류 방향.  
Fig. 5. Current direction as a inductor's shape.

#### 4. 결 론

나선형 박막 인덕터 어레이를 형성, 선폭과 선 간격에 따라 달리하여 디자인하고 노광 공정과 습 식 식각 방법으로 인덕터 어레이를 제작하여, 주파 수 특성에 대해 연구한 결과 다음과 같다.

- (1). 3~15 MHz 주파수 대역에서 인덕턴스는 약 수  $\mu\text{H}$ 까지 측정하였다. Q 값은 약 3 정도 까지 나타났으며, 코일의 선 폭과 선 간격이 넓을수록 높은 Q 값을 얻을 수 있었다.
- (2). 형상을 달리한 인덕터의 인덕턴스와 Q-factor의 특성에서는 정사각형 보다 직사각형일 때의 특성이 더 우수하였다.
- (3). 박막 인덕터가 수동 소자로써의 역할을 기대하려면 Q 값이 10이상으로 향상 되어야한다, 원형 박막 인덕터나 다층 공심 인덕터로 Q 값을 보상할 수 있으며,<sup>[5, 6]</sup> 또한 시료와 기판 사이의 기생 캐패시터를 최소화해야 하며 박막 인덕터를 구성하는 물질은 전도도가 우수한 물질을 찾아야 할 필요성이 제시되었다.

(4). 개별소자의 공정 측면에서 표준 공정기술 확보로 인덕터의 선폭과 선 간격을 변화하여 라이브러리를 확립함으로써 소자의 신뢰성과 재현성을 향상시킨 후, 향후 수십 GHz에서 응용 가능한 MMIC 개발에 핵심기술로 응용 가능할 것으로 기대된다.

#### 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, 535-541, 1980
- [5] Guo LiHui, Yu Mingbin, Chen Zhen, He Han, and Zhang Yi, " High Q Multilayer Spiral Inductor On Silicon Chip for 5~6 Ghz", IEEE Electron Device Letters, Vol. 23, No. 8, 470-472, 2002