

## 박막저항의 교류특성에 관한 연구

### The study of AC characteristics of the thin film resistor

\*류제천, 김동진, 김한준, 나필선, 유광민  
(Je Cheon Ryu, Dong Jin Kim, Han Jun Kim, Pil Sun Na, Kwang Min Yu)

#### Abstract

We were fabricated of NiCr thin film resistors on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub>/Si substrates by dc magnetron sputtering system. The AC characteristics of resistors were studied. The cut-off frequency were found >10 MHz for the resistors with 39 ohm value of Alumina substrates, but the cut-off frequency were found 400 kHz for the resistors with 168 ohm value of SiO<sub>2</sub>/Si substrates. In high frequency applications, the substrate selection is the most important factor.

**Key Words** : NiCr, Thin Film Resistor, Frequency, AC

#### 1. 서론

수동소자로서 저항은 광범위한 전기.전자 분야에서 널리 사용된다. 특히 현재는 정보통신산업의 급격한 발달로 인해 사용주파수가 계속적으로 ~수GHz 이상으로 높아짐에 따라 이에 사용되는 부품의 특성이 저주파에서부터 고주파까지 일정하게 유지하는 저항, 즉 주파수특성이 좋은 교류저항의 응용분야는 계속적으로 확대되고 있다. 이에 따라 본 연구는 안정적이며 고성능인 박막저항의 제작에 대한 연구로써, 본 실험실에서 제작한 NiCr 박막저항의 주파수 특성을 조사하여 교류저항으로서의 활용 가능성에 대하여 조사하였다.

#### 2. 본론

##### 2.1 이론

교류저항은 아래와 같은 여러 가지 요인에 의해 주파수에 따라 저항값이 변한다. 그 요인들로는 Seebeck EMF's, Loading effect, Eddy current loss, Inductance, Distributed capacitance 등이다[1]. 이와

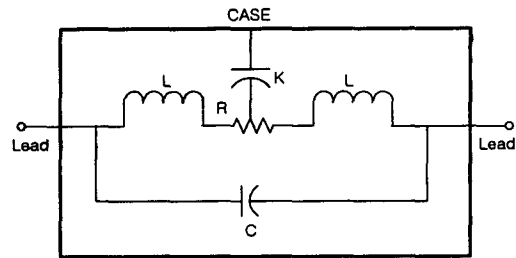


그림 1 교류에서의 저항 등가회로

같은 여러 요인들에 영향을 받는 교류저항의 주파수 특성은 간략하게 그림 1과 같은 등가회로로 변환하여 이해할 수 있다. 그림에서 R은 순수한 저항값이며, L은 lead inductance, C는 저항의 구조에 의존하는 기생용량, K는 케이스와 선(wire)사이의 총 분포용량이다. 이때 일반적인 임피던스 식은

$$Z = R_0 + j\omega X \quad (\text{where } X = X_L + X_C) \quad (1)$$

$$X_L = \omega L \quad X_C = -\frac{1}{\omega C}$$

로 나타낼수 있다. 이때  $X_L$ 은 주파수에 따른 교류저항값,  $X_L$ 은 인덕턴스 성분,  $X_C$ 는 용량성분으로 각각 주파수에 따라 순수저항값 R을 변화시키는 역할

\* 한국표준과학연구원 전기자기그룹 전기실,  
(대전시 유성구 도룡동 1번지,  
Fax: 042-868-5018  
E-mail : jcryu@kriss.re.kr)

을 하므로 이러한 인덕턴스와 용량성분이 작거나, 또는 서로 상쇄시켜 imaginary 항을 0로 만드는 저항일수록 좋은 주파수특성을 가지게 되는 것이다.

1) 권선저항의 주파수 특성

가는 저항선들을 감아서 만든 권선저항의 임피던스를 그림 1과 같은 등가회로를 이용하여 계산한 일반식은

$$Z = R \left[ 1 - \omega^2 (C^2 R^2 - 2LC) + \frac{LK}{3} + \frac{K^2 L^2}{120} \right] + j\omega \left( \frac{L}{R} + \frac{KR}{6} - CR \right) \quad (2)$$

와 같이 표현된다. 식 (2)에서 K의 값을 적절히 조절하여  $K=6C$ 로 만들고,  $L/R$ 이 무시할 수 있을 정도로 작다면 임피던스는

$$Z = R_0 = R \left( 1 - \frac{13}{10} \cdot \omega^2 C^2 R^2 \right) \quad (3)$$

로 정리할 수 있다[2]. 식 (2)와 같은 권선저항의 일반적인 임피던스 특성곡선은 그림 2와 같다. 그림에

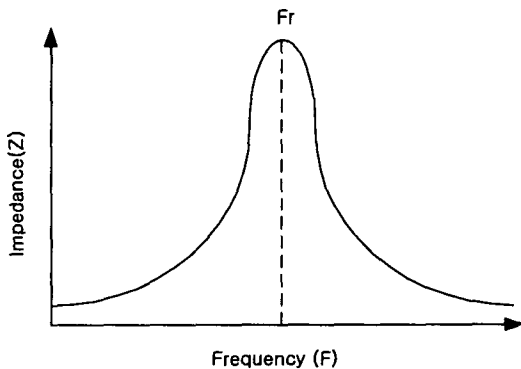


그림 2 권선저항의 주파수에 대한 일반적인 임피던스 특성곡선

서는 주파수가 증가함에 따라 임피던스도 계속 증가하다가 특정주파수( $F_r$ )에서 인덕턴스성분(L)과 기생용량성분(C)이 서로 결합한 공명주파수 즉

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

에서 최대 값을 가지며, 그 이상의 주파수에서는 임피던스가 주파수에 따라 감소하는 특성을 나타낸다. 그래서 주파수 특성이 뛰어난 표준저항을 제작할 때는 저항의 L, C 성분을 적절히 조절하여 측정하고자 하는 주파수에서 최대값을 가지게 만들어야 한다.

2) 금속필름저항의 주파수 특성

권선저항은 뛰어난 안정성을 가진 반면에 제작하기 어렵고, 넓은 주파수범위에서 일정한 주파수 특성을 나타내지 못하며, 부피가 커서 표준저항으로 널리 사용된다. 이러한 권선저항의 문제점을 개선한 금속필름저항은 산업계에 보다 널리 사용된다[3]. 금속필름저항의 임피던스는 식(2)와 동일하나 권선저항보다 L, C, K 성분이 훨씬 적어 주파수 효과는 다르게 나타난다. 이때의 임피던스 특성곡선은 그림 3과 같이 나타난다.

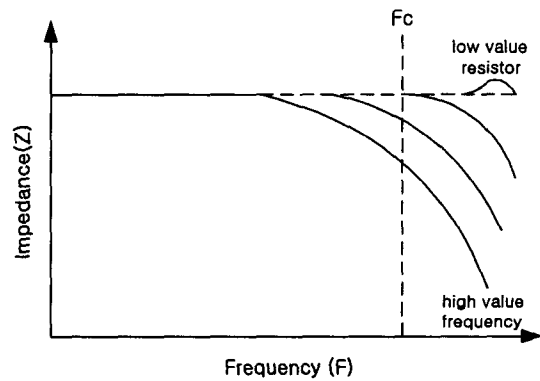


그림 3 금속필름저항의 주파수에 대한 일반적인 임피던스 특성

3) 박막저항의 주파수 특성

박막저항의 근본적인 주파수 특성은 금속필름저항과 동일하게 나타난다. 그러나 박막의 두께가 얇아 지므로써 기생성분이 훨씬 감소하여 더욱 우수한 주파수 특성을 갖게된다. 즉 그림 3에서 직선영역이 더욱 높은 주파수까지 확대될 것이다. 그러므로 고주파를 사용하는 정보통신기에 사용되는 저항소자는 필히 박막으로 만들어야 되는 것이다. 그러나 이때 박막소자의 기판과 저항체, 패턴의 형태 및 제작방법 등 여러 가지 요인에 의하여 특성이 달라지게 이에 대한 연구가 중요한 실정이다.

2.2 제작

박막저항은 NiCr 합금으로 만들어진 2" 타겟을 부착한 dc magnetron sputtering을 사용하여 제작하였다. 제작한 박막저항의 구조는 그림 4와 같다. 그림의 맨 아래층 기판은 Alumina(99.5%)와 SiO<sub>2</sub>/Si를 사용하였다. 이때 SiO<sub>2</sub>/Si 기판의 경우는 맨 아래층의 Si기판과 100 nm 두께의 저항체 사이에 500 nm

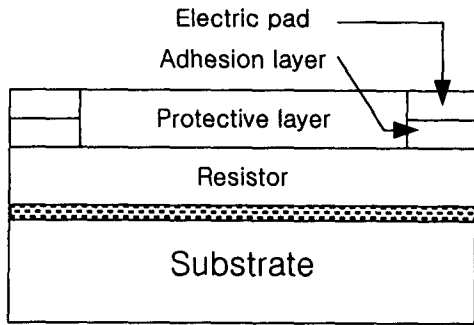


그림 4 연구실에서 제작한 저항의 구조

정도의 산화실리콘( $\text{SiO}_2$ )막을 버퍼층으로 입혔고, Alumina의 경우는 버퍼층을 만들지 않았다. 저항체 위의 전극에는 10 nm 정도의 Ti 접착층과 200 nm Gold 전극층을 차례로 입히고 구리선을 welding 하였다. 임피던스 측정기기는 HP 사의 4275A Multi-Frequency LCR Meter를 사용하여 10 kHz ~ 10 MHz의 주파수 범위에서 측정하였다.

## 2.3 측정 및 결과

### 2.3.1 Alumina 기판

그림은 이해를 쉽게 하기 위해 log 스케일로 나타내었다. 그림 5(a)의 교류저항값 즉 임피던스는 10 kHz~4 MHz 범위에서 39.44~39.46 ohm(~0.05% 이내)의 값을 일정하게 유지할 뿐만 아니라, (b)의 직류저항값 R과 일치함을 알 수 있다. 이는 4MHz 범위까지는 직.교류저항으로 좋은 특성을 나타내고 있음을 보여준다. 그리고 손실각( $\theta$ )과 리액턴스(X/B)성분이 0가 되는 20 kHz를 기점으로 하여 이전에서는 인덕턴스성분( $X_L$ )으로 이후는 기생용량성분( $X_C$ )이 약간 기여하나 4 MHz까지는 거의 일정하

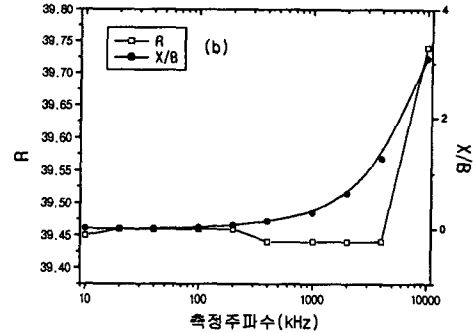
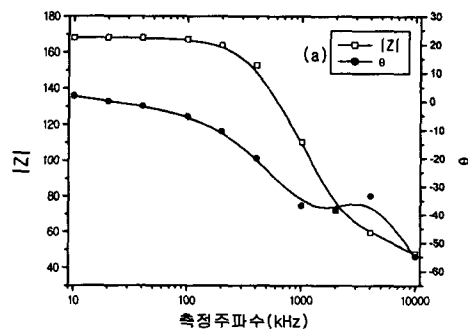
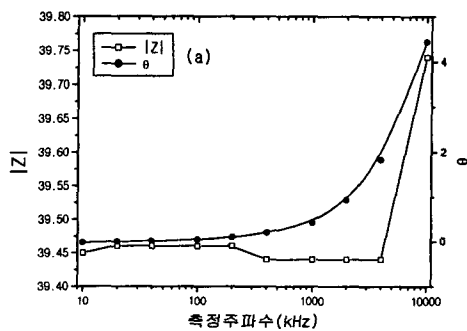


그림 5 Alumina 기판에서의 주파수 특성

게 임피던스가 유지된다. 그러나 그 이후의 주파수에서는 임피던스가 10 MHz까지 급격하게 증가하고 있다. 이로 볼 때 임피던스는 10 MHz 이상의 어느 주파수에서 최대 값을 나타내고 감소할 것으로 예상된다.

### 2.3.2 $\text{SiO}_2/\text{Si}$ 기판

$\text{SiO}_2/\text{Si}$  기판에서는 이전의 Alumina 기판과는 매우 다르게 IF 영역에서 급격한 변화를 보여주고 있다. 그림 6(a)의 교류저항값 즉 임피던스는 10~100 kHz 범위에서 168~167 ohm(~0.6% 이내)의 값을 유지하다 이후 급격하게 감소한다. 또한 임피던스 |Z|는 168 ohm에서 47 ohm까지 변하나 직류성분 R은 168 ohm에서 27 ohm까지 감소한다. 앞선 알루미늄 기판의 경우와 같이 직.교류 저항차가 0.05% 이내의 주파수 범위는 40 kHz 정도에 불과하며, cut-off 주파수는 400 kHz 정도이다. 이는 그림 6(a)의 위상각이 급격하게 감소하는 것으로 이해할 수 있다. 또한 손실각( $\theta$ )과 리액턴스(X/B)성분이 0가 되는 주파수는 20 kHz로 이전과 동일하나 패턴은 반대로 나타난다. 즉 20 kHz 이전의 주파수에서



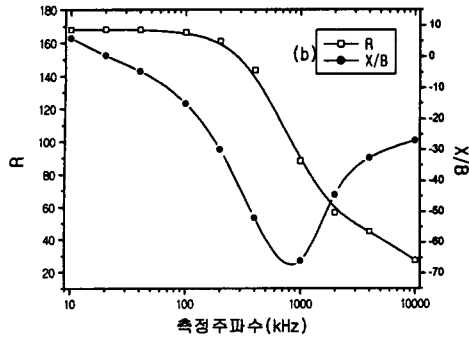


그림 6 SiO<sub>2</sub>/Si 기판에서의 주파수 특성

는 인덕턴스 성분( $X_L$ )이 있으나, 이후에는 기생용량 성분( $X_C$ )이 급격하게 증가하며 임피던스가 감소한다. 또한 손실각은 주파수가 증가함에 따라 계속 감소하나, 리액턴스( $X/B$ )는 1 MHz에서 최소값을 가지고 다시 증가하는 곡선을 나타낸다. 이러한 현상은 간단하게나마 다음과 같이 이해할 수 있다. 첫째 박막 저항의 주파수 특성에 영향을 끼치는 가장 중요한 요인은 기판의 종류일 것이다. 표 1에서 알 수 있듯이 SiO<sub>2</sub>/Si 기판은 Alumina에 비해 손실계수인  $\tan \delta$ 가 거의 10배 이상 크다. 이는 특히 고주파의 전송식(1)의 imaginary part인 리액턴스를 증가시켜 임피던스를 크게 변화시킬 것이다. 둘째는 그림 3에서 보듯이 저항값의 차이도 약간의 기여를 할 것이다. 39 ohm의 알루미늄 기판 저항보다 168 ohm의 SiO<sub>2</sub>/Si 기판에서 더 빠른 임피던스 감소를 예상할 수 있다. 셋째는 박막소자의 제작환경과 열처리조건 또는 패턴의 형태에 따른 차이이다.

표 1 알루미늄과 실리콘의 유전상수 및 LOSS TANGENTS[4]

Material	Frequency	$\epsilon_r$	$\tan \delta$ (25°C)
Alumina(99.5%)	10 GHz	9.5-10.	0.0003
Silicon	10 GHz	11.9	0.004
Silicon dioxide(SiO <sub>2</sub> )	---	4.5	---
Fused quartz	10 GHz	3.78	0.0001

#### 4. 결론

본 연구실에서 dc magnetron sputtering 방법으로 NiCr 타겟을 이용하여 Alumina(99.5%)와 SiO<sub>2</sub>/Si 기판에 박막저항을 제작하였다. 그리고 LCR Meter를 사용하여 10 kHz ~ 10 MHz 영역에서 주파수 특성을 측정하였다. 그 결과 Alumina(99.5%)기판의 cut-off 주파수는 >10 MHz 이나, SiO<sub>2</sub>/Si 기판은 ~ 400 kHz 정도였다. 또한 박막저항의 주파수 특성에 영향을 미치는 여러 가지 요소가 있으나 고주파에서는 기판의 종류가 가장 큰 요인이 되며, Alumina(99.5%) 기판으로 만든 박막저항이 좋은 주파수 특성을 가짐을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1]. 한국표준과학연구원, "전기용량-저항 변환용 Quad Bridge 개발(제3차년도)", KSRI-91-4-IR.
- [2]. Gunther Ramm and Reinhold Vollmert "Development and setting-up of an a.c.resistance measuring system", Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB-E-41, 1991.
- [3]. Charles L.Wellard, "Resistance and Resistors", McGraw-Hill, 1960.
- [4]. David M.Pozar, "MICROWAVE ENGINEERING", p705, 1998.