

**Ni-Cr 박막으로 제작한 attenuator에 대한 주파수 특성연구**

김동진, \*류재천, \*\*구본급, \*\*\*강병돈, \*김규태, \*송양섭, \*유광민, 김장환  
 부산대학교 물리학과, \*한국표준과학연구원, \*\*대전산업대 재료학과, \*\*\*KMC

**The study on frequency characteristics of attenuator fabricated by Ni-Cr thin films**

D. J. Kim, \* J. C. Ryu, \*\* B. K. Koo, \*\*\* B. D. Kang, \* K. T. Kim, \* Y. S. Song, \* K. M. Yu, J. H. Kim  
 Pusan Nation Univ., \*KRIS, \*\*Taejon Nation Univ. of Technology, \*\*\*KMC

**Abstract** - Resistor networks are used widely in many high frequency applications for attenuators. In this paper, we studied the frequency characteristics of attenuator using network analyzer and compared Ni-Cr thin film resistor with thick film resistor attenuator. Also from return loss, insertion loss and VSWR we obtained the maximum available frequency of these attenuators.

**1. 서 론**

무선통신산업의 확대와 더불어 마이크로파 전자부품의 개발기술에 대한 필요성은 급격히 증가한 실정이며, 또한 반도체 기술의 발달과 함께 부품소자의 집적화는 소자개발에 있어 필수적인 요소가 되었다. 이러한 특성을 만족하기 위해 부품소자의 박막화가 매우 중요한 기술이 되었으며, 이는 저항소자에 있어서도 동일하게 안정적이고 고주파 특성을 만족하는 박막저항의 개발, 연구가 전기재료의 중요한 한 부분으로 되었다.

Ni-Cr 합금을 저항체에 사용하는 주된 이유는 저항의 안정성이 좋고, 저항온도계수(TCR)도 ±10 ppm/℃로 작으며, 면저항(Sheet resistance)도 10 ~ 300 Ω/sq로서 비교적 높은 저항 값을 얻을 수 있으며, 전기적 특성이 좋아 박막저항으로 많이 사용되고 있다.

본 연구는 Ni-Cr 합금으로 박막을 증착하여 고주파 저항소자로 사용하기 위한 attenuator를 제작하였고, 그 주파수 특성을 조사하였다. 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 순도 96%) 기판 위에 dc magnetron sputtering system을 사용하여 Gain 10 dB의 박막저항 attenuator를 만들었고 각각의 저항체들의 정확한 저항 값을 맞추기 위해 trimming을 거친 후 network analyzer로 주파수 특성을 조사하였다.

**2. 이 론**

**2.1 고주파수 특성 이론**

이상적으로 특성임피던스와 정합된 저항 attenuator network는 접지와 연결되어 반사파를 형성하지 않을 것이고 통과한 파는 입사파보다 감쇠상수 α에 의해 작을 것이다. 그러나 실제에 있어서는 저항은 무손실 전송선과 달리 물리적 길이를 가지고 있다. 이러한 의미에서 저항은 손실 있는 전송선(R≠0, G=0)으로 표현할 수 있다. 즉, 같은 크기를 갖는 무손실 특성저항보다 더 큰 실수부와 영보다 작은 허수부(즉, 커패시턴스의 성분때문에)를 갖는 복소수 임피던스로 표현된다. 이 모델은 다음과 같이 나타낼 수 있다. [1]

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \approx \sqrt{\frac{R + j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \sqrt{1 + \frac{R}{j\omega L}}$$

$$= Z_0(u - jv)$$

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \approx j\omega\sqrt{LC} \cdot \sqrt{1 - j\frac{R}{\omega L}}$$

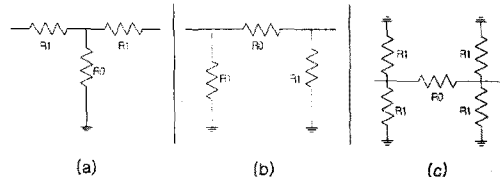
$$= \frac{2\pi}{\lambda_0}(v + ju)$$

여기서 Z<sub>0</sub>는 특성 임피던스 √L/C이다.

**3. 실 험**

**3.1 Attenuator 제작과정**

Ni-Cr 저항박막의 attenuator 패턴을 형성하기 위해 먼저 photolithography 방법으로 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 순도 96%)기판 위에 PR(photoresist)작업을 하였다. Emulsion 마스크를 사용하였으며 그림 1에 나타낸 것과 같이 attenuator의 패턴을 기존의 T형이나 π형 회로와 같이 3 개의 저항체를 연결하지 않고 5개의 저항체로 연결하였다. 이러한 패턴은 저항 값이 조금씩 서로 틀려도 저항체가 많고 대칭성에 의해 안전성이 있으며, 넓은 주파수에 대한 반사손실(return loss)의 값을 크게 만들 수 있다고 생각되어진다. Gain 10 dB을 얻기 위한 각각의 저항 값과 임피던스 정합 값을 계산하여 마스크의 패턴을 형성시켰다. PR작업 후 dc magnetron sputtering system을 사용하여 Ni-Cr합금을 증착한 후 PR을 제거하는 Lift-off 방식으로 attenuator를 제작하였다.

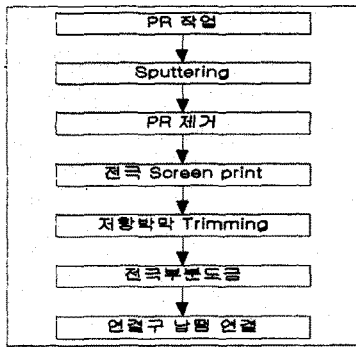


[그림 1] (a) T형, (b) π형, (c) 5개 저항체 연결형 attenuator

저항 network를 형성한 후 각각의 저항들을 연결하기 위한 전극은 screen printer를 사용하여 silver paste를 후막(thick film)으로 형성하였으며, 각각의 저항의 값을 정확히 맞추기 위해 레이저 trimming을 한 후 납땜의 용이성을 위해 전극부분에 Ni, Sn을 도금하였다. Attenuator 제작과정을 그림 2에 나타내었다.

**3.2 Ni-Cr 박막저항의 주파수 특성**

Ni-Cr 박막저항으로 제작한 attenuator의 주파수 특성을 알아보기 위해 연결구(network analyzer와 샘플을 연결함)에 장착하여 network analyzer(H P 8720D, USA)로 50 MHz에서 3 GHz까지 주파수 특성을 조사하였다.



[그림 2] Attenuator 제작과정

#### 4. 결과 및 고찰

임피던스 정합이 맞지 않으면 입사파의 일부가 부하에서 반사하게 된다. 이때 부하에 입사전압에 대한 반사전압의 비를 반사계수  $\Gamma$ 라 한다. 이때 전원의 전체 가용 전력(all available power)은 부하의 공급되지 않으므로, 이 손실을 반사손실(RL: return loss)이라 하며 다음과 같이 정의한다.

$$RL = -20 \log |\Gamma| \text{ dB}$$

또한 회로에서 두 점 사이의 전송계수  $T$ 를 흔히 다음과 같이 dB로 표시하고 이를 삽입손실(IL: insertion loss)이라 한다.

$$IL = -20 \log |T| \text{ dB}$$

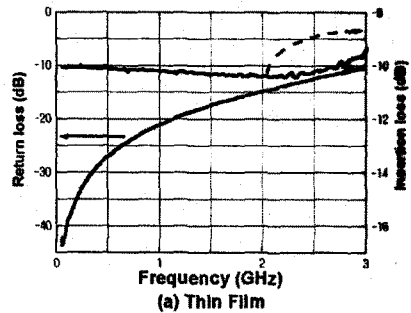
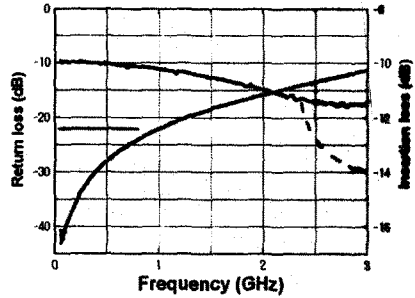
입사파와 반사파가 공존하게 되면 두 파는 서로 합성되어 정재파(standing wave)가 존재하게 되고 그때의 정재파 전압의 최대치와 최소치의 비를 전압 정재파비(VSWR: voltage standing wave ratio)라 하며 다음과 같이 정의한다.

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$$

Network analyzer로 측정하여 얻어지는 값들은 S parameters의  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{22}$ 의 값들이다. 만일 각각의 저항 값들이 Gain을 얻기 위해 계산되어진 값과 정확하게 일치한다면 attenuator의 network 대칭성(symmetry)에 의해  $S_{11}$ 과  $S_{22}$ ,  $S_{12}$ 와  $S_{21}$ 은 동일한 값을 갖게된다. 실제로 얻어진 데이터들은 그러함을 보였다. 또한  $S_{11}$ 과  $S_{21}$ 은 dB로 표현되므로  $S_{11}$ 은 반사손실(RL),  $S_{21}$ 은 삽입손실(IL)임을 알 수 있다. 다만, 측정으로 얻어진 S parameters가 위에서 정의한 반사손실, 삽입손실과의 차이점이 있다면 dB의 값을 음의 부호로 쓰고 있다는 점이다. 여기서도 -dB로 사용하고자 한다.

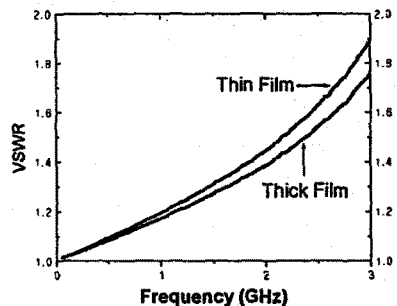
그림 3은 50 MHz에서 3 GHz까지의 주파수에 대한 Gain 10 dB의 삽입손실과 반사손실을 나타내었다. (a)는 Ni-Cr 박막으로 제작한 attenuator 특성이며, (b)는 후막으로 제작된 기존의 attenuator 특성이다. 삽입손실(Insertion loss)은 attenuator가 연결자 하는 Gain을 의미한다. (a)와 (b)에서 비교할 수 있듯이 박막으로 제작한 attenuator가 더 나은 주파수 특성을 보임을 알 수 있다. 만일  $10 \pm 0.5$  dB의 허용범위를 생각한다면 박막의 경우 2.9 GHz까지, 후막의 경우 1.5 GHz까지 attenuator로 사용 가능하다.

반사손실(Return loss)은 음의 무한대로 갈수록 반사가 적음을 의미하므로 전력이 최대한 전달됨을 의미한다. 박막과 후막 모두 낮은 주파수에서는 반사



[그림 3] 주파수에 대한 박막(a)과 후막(b)의 반사손실과 삽입손실

계수가 적음을 알 수 있다. 그러나 박막의 반사손실은 주파수가 커짐에 따라 후막보다 조금 더 빨리 0 dB로 접근하는데, 이것으로부터 주파수가 증가함에 따라 후막보다 임피던스 정합이 더 떨어짐을 알 수 있다. 이것을 더 확실하게 볼 수 있는 방법은 전압 정재파비(VSWR)이다(그림 4). VSWR은 1부터 무한대의 값을 갖는데 임피던스 정합이 이루어진 경우 그 값이 1이 된다.  $1 \leq VSWR \leq 1.5$ 인 경우는 전원에서 공급된 대부분의 전력(96% 이상)이 부하에 전달되므로 거의 정합된 상태에 있다고 볼 수 있다. 박막의 경우 2.14 GHz에서 VSWR의 값이 1.5가 되며, 후막의 경우는 2.38 GHz였다. VSWR이 5보다 크면 동조된 상태로 본다. 후막보다 박막의 임피던스 정합이 좋지 않은 이유는 박막공정 과정에서 전극의 박막과



[그림 4] 주파수에 대한 박막과 후막의 VSWR

의 접착성 문제로 trimming에 의한 정확한 저항 값

을 얻지 못했음으로 생각되어지며 개선해야할 점이다.

## 5. 결 론

알루미늄 기판 위에 Ni-Cr 박막저항으로 제작한 attenuator의 주파수 특성을 조사하였다. 본 실험에서는 삽입손실의 데이터로부터 박막과 후막으로 제작한 attenuator와 비교하였을 때,  $10 \pm 0.5$  dB 편차범위를 만족하는 주파수는 박막의 경우 2.9 GHz까지, 후막의 경우 1.5 GHz까지임을 알 수 있었다. 또한 전압 정재파비(VSWR)로부터 VSWR이 1.5가 되는 주파수는 박막이 2.14 GHz, 후막이 2.38 GHz임을 보았다. 이 두 가지 결과로부터 실험에 사용한 샘플의 경우, attenuator의 사용 최대 주파수는 박막은 2.14 GHz 이며, 후막은 1.5 GHz가 되어 본 연구에서 제작된 박막 attenuator이 기존의 후막보다 더 좋은 특성을 나타내었다.

### [참 고 문 헌]

[1] C. Wilson and J Gipprich, "Intergrated resistor networks for high frequency multiayer PCBs", Microwave journal, pp.68-82, February 1998