

무선PAN 및 이동통신용 기저대역 AlN MIM Capacitor의 구현과 특성분석에 관한 연구

A Study on the Characteristic Analysis of Implemented Baseband AlN MIM Capacitor for Wireless PANs & Mobile Communication

이종주* 김응권** 차재상*** 김진영**** 김용성*****
(Jong-Joo Lee) (Eung-Kwon Kim) (Jac-Sang Cha) (Jin-Young Kim) (Young-Sung Kim)

요약

반도체 공정의 미세화 및 마이크로 시스템 기술의 발전 그리고 소형 무선PAN 및 이동통신 장치들의 급증으로 인하여 전자부품들의 소형화와 집적화에 대한 요구가 지속적으로 증가되고 있다. 본 연구에서는 휴대형 무선PAN 및 이동통신용 전자회로 설계에 다양한 목적으로 널리 사용되고 있는 기저대역의 수동소자들 중 미세 커패시터의 안정성과 전기적 특성을 확보하기 위하여, 유전체인 AlN을 사용하여 MIM 구조로 제작된 미세 박막 커패시터 소자의 전기적인 특성을 분석하고 기저대역에서의 성능을 평가한다. 또한 제작된 미세 박막형 커패시터의 용량제어 방법을 제시함으로써 기저대역에서 범용으로 사용할 수 있는 미세 박막 커패시터의 모델을 제시하고자 한다. 또한, 주파수 대역에 따른 MIM 구조의 AlN 커패시터 특성을 분석함으로써 향후 임베디드 소자와 집적화를 위한 고정밀의 미세수동 소자로서의 활용방안을 제시하고자 한다.

Abstract

The micro capacitors are passive elements necessary to electronic circuits and wireless portable PAN(personal area network) and Mobile Communications device modules in the baseband circuits in combination with another passive and active devices. As capacitance is proportionally increased with dielectric constant and electrode areas, in addition, inversely decreased the thickness of the dielectric material, thus thin film capacitors are generally seen as a preferable means to achieve high performance and thin film capacitors are used in a variety of functional circuit devices. In this paper, propose dielectric material as AlN(Aluminium nitride) to make micro thin film capacitor, and this capacitor has the MIM(metal-insulator-metal) structure. AlN thin films are widespread applied because they had more excellent properties such as chemical stability, high thermal conductivity, electrical isolation and so on. In addition, AlN films show low frequency response for baseband signal ranges, I-V and C-V electrical characterization of a thin film micro capacitor. The above experimental test and estimated results demonstrate that the thin film capacitor has sufficient and efficient functional performance to be the baseband range frequency of general electronics circuit and passive device applications.

Key words: WPAN, AlN, thin film, micro capacitor, passive device

† 본 연구내용의 일부는 2008년도 정부 (과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(No. R01-2006-000-1183-0)

* 주저자 : 성균관대학교 정보통신공학부 박사

** 공저자 : (주)에스알 연구소장

*** 공저자 : 서울산업대학교 매체공학과 조교수

**** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 부교수

***** 공저자 : 성균관대학교 TIC 센터 교수(교신저자)

† 논문접수일 : 2008년 8월 18일

† 논문심사일 : 2008년 9월 8일

† 게재확정일 : 2008년 9월 8일

I. 서 론

휴대형 무선PAN통신의 경우, 통신할 수 있는 커버리지가 극히 작은 반면에 통신의 용량을 극대화시킬 수 있다는 장점을 가지고 있기에 USB등에의 활용도가 증대되고 있는 추세이다. 한편 이러한 휴대형 무선PAN부품의 경우 여타 이동통신 부품과 마찬가지로, 단말장치와 전자장치들의 소형화 그리고 이에 따른 부품의 집적화와 패키징화 기술과 아울러 전자부품들의 고집적화 저전력, 경량화 등이 요구되고 있다. 이처럼 다양한 IC와 능동부품(소자)들을 구동시키기 위한 주변회로로 수동소자가 전자제품의 상당부분을 차지하고 있는데, 이 중에서 특히 커패시터는 교류의 소신호 회로에서, 직류회로 및 전원관련 부분까지 폭 넓고 다양하고 사용되고 있는 부품으로 전자제품의 제작 시 다양한 목적으로 가장 많이 사용되는 부품 중에 하나이다 [1-5]. 커패시터는 직류회로와 구동전원부에서 잡음제거와 안정적인 전원공급의 목적으로 사용됨으로 전자회로의 전체적인 안정화를 위한 부품으로 활용된다. 또한 교류회로에서는 결합(coupler), 필터(filter), 정합(correlator), 발진(oscillator) 등의 신호처리 관련 부품으로 활용된다[6-9]. 상기 나열한바와 같이 커패시터는 구현된 회로의 안정성 확보 및 처리 하고자 하는 입·출력신호의 효과적인 처리를 위하여 사용된다. 본 논문에서는 기저대역(base band) 주파수에서 사용할 수 있는 안정적인 커패시터의 구현과 제어를 위하여 고유전율 박막 재료인 AlN(Aluminum Nitride)을 유전체로 사용하는 MIM (metal-insulator-metal) 구조의 미세 박막 커패시터를 제작하고 이들의 전기적 특성들을 평가함으로써 기저대역회로와 응용을 위한 제어 방법을 제시 하고자 한다.

제작한 미세 박막 커패시터의 유전체로 사용한 AlN은 전기적으로 부도체이며, AlN은 세라믹 소재들에 비하여 열전도도가 크며 화학적으로 매우 안정한 물성을 갖는다. 또한, AlN의 열 팽창 계수는 실리콘의 열팽창계수와 비슷하며, 이러한 특징 때문에 AlN은 집적도가 빠른 속도로 높아지고 출력이 증가하고 있는 각종 실리콘 반도체 소자들 혹은

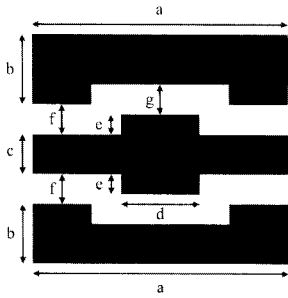
대규모 고출력 전자기기들에서 문제가 되고 있는 열 문제를 해결할 수 있는 가장 유망한 열 방출 소재로 주목받고 있다. 제작된 박막소자의 전기적 특성을 분석하기 위하여 가변 전압범위에 따른 안정적 커패시턴스 특성 값인 C-V(capacitance-voltage), 시료의 저항특성 값인 I-V(current-voltage) 그리고 주파수 변화에 따른 임피던스 가변특성을 분석하기 위한 임피던스특성과 주파수 변화에 따른 손실계수 및 양질계수를 각 측정하여, 단위면적 당 커패시턴스의 변화와 주파수 변이를 통한 기생성분을 측정함으로써 대표적인 기생성분인 직렬저항과 기판과의 기생 커패시턴스에 대한 전기적 특성을 분석할 수 있으며, 분석결과를 통하여 제작된 시료가 안정적으로 동작할 수 있는 전기적 환경을 도출할 수 있다 [8, 9].

반도체 공정을 이용하여 대단위 웨이퍼레벨로 제작된 미세 박막 커패시터 소자는 MIM 구조를 갖는다. 이는 제조공정이 용이하고 전극면적과 유전체 층의 증착 두께로 다양한 커패시턴스를 구현할 수 있다[10, 11]. MIM 구조의 커패시터는 사용되는 유전체(절연)막의 유전상수가 증가함에 따라 단위면적당 정전용량을 크게 할 수 있어 유전체의 재료와 커패시터의 면적제어로 크기의 가변이 용이하다. 따라서 전기적 특성 평가와 박막 제조 공정이 확보된다면, 기저대역의 전기·전자 응용회로 분야에 안정성이 확보된 다양한 용량과 목적의 박막 커패시터를 제작할 수 있다.

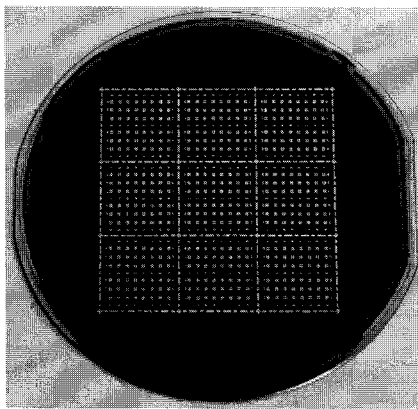
II. 본 론

1. MIM 커패시터 구조

본 논문에서 제작한 커패시터의 MIM구조는 크게 하부전극(bottom electrode), 유전층(dielectric layer) 그리고 상부전극(top electrode)로 구성된다. 또한 시료의 동일 제작과정을 통한 커패시턴스(capacitance)의 용량제어를 위하여 두 가지 종류의 유전층(전극부 포함)을 갖는 커패시터를 각 $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$, $250\mu\text{m} \times 250\mu\text{m}$ 으로 설계하였다.



<그림 1> 설계된 커패시터규격
<Fig. 1> Size of thin film capacitor



<그림 2> MIM 커패시터 웨이퍼
<Fig. 2> Wafer of MIM capacitor

<그림 1>, <표 1>은 제작된 MIM 미세 박막 커패시터의 규격을 그리고 <그림 2>는 제작시료의 웨이퍼를 나타낸 것이다.

제작된 시료는 유전체층 AlN(Aluminum Nitride)의 두께를 1 μ m로 유지하고 상·하부 전극의 면적을 가변시킴으로서 미세 박막 커패시터의 용량을 제어하였다. 다음의 <표 1>은 설계된 시료의 규격을 나

<표 1> 설계된 커패시터의 각부 규격
<Table 1> Specification of designed thin film capacitor

규격 및 사양	width(mm)	
	200 μ m \times 200 μ m	250 μ m \times 250 μ m
a	0.8	0.8
b	0.2	0.2
c	0.1	0.1
d	0.2	0.25
e	0.05	0.75
f	0.1	0.1
g	0.1	0.075

타낸 것이다.

MIM 구조로 제작된 미세 박막 커패시터의 용량은 유전체층의 두께(D : Thickness)에 반비례하고, 전극의 면적(A : Area), 유전체 물질의 유전율(ϵ_r : Relative Dielectric Constant of Insulator) 그리고 진공에서의 유전율($\epsilon_0 : 8.854 \times 10^{-12}$ [F/m])에 비례하는 계산식으로 그 용량이 결정된다 [10, 11]. 특히 공정조건이 확보된 상태에서는 시료 제작 시 전극의 면적과 유전체 층의 두께의 가변 통하여 커패시터의 용량을 제어할 수 있다.

다음의 수식 1은 상기 나열한 변수 값으로 계산된 커패시터의 용량을 나타낸 것이다.

$$C = \epsilon_0 \times \epsilon_r \frac{A(\text{area})}{D(\text{thickness})} \quad (1)$$

일반적으로 AlN(Aluminum Nitride)의 유전율은 8.5 ~ 11 범위의 특성을 갖는다. 따라서 제작된 시료의 유전율 범위를 고려하여 위의 수식 1로 계산된 각 시료의 이상적인 커패시턴스는 다음의 <표 2>와 같다.

<표 2> 유전율과 제작시료에 따른 계산(예측)된 커패시턴스
<Table 2> Ideal capacitance of designed capacitor

Capacitance (pF)	AlN Dielectric Constant	Vacuum Dielectric Constant	Thick-ness (D)	Area (μm^2)	width (μm)	height (μm)
3.01	8.5	8.854×10^{-12}	1.0×10^{-6}	40,000	200	200
4.70				62,500	250	250
3.90	11			40,000	200	200
6.09				62,500	250	250

<표 3> 제작시료에 따른 계산(예측)된 저항값
 <Table 3> Ideal resistance of designed capacitor

Resistance (Ω)	Specific Resistance ρ (Ω cm)	Thickness (L)	Area (μm ²)	width (μm)	height (μm)
2.50E+9	1×10 ⁻⁸	1×10 ⁻⁶	40,000	200	200
1.60E+9			62,500	250	250
2.50E+9	1×10 ⁻⁹		40,000	200	200
1.60E+9			62,500	250	250

또한, 제작시료의 반·도체 특성 및 저항특성 지표인 AlN의 비저항특성(ρ, specific resistance)은 1.0×10⁻⁸~10⁻⁹의 값을 갖는다 [10].

수식 2는 전기전도율(σ, electric conductivity)과 제작된 시료의 저항값을 계산하는 수식이다. 수식 2에서 ρ의 단위는 Ω cm, L은 길이, A는 면적을 나타낸다. 위의 수식 2로 계산된 각 시료의 이상적인 저항특성은 <표 3>에 나타난 바와 같다.

$$R = \rho \frac{L}{A}, \rho = \frac{1}{\sigma} \quad (2)$$

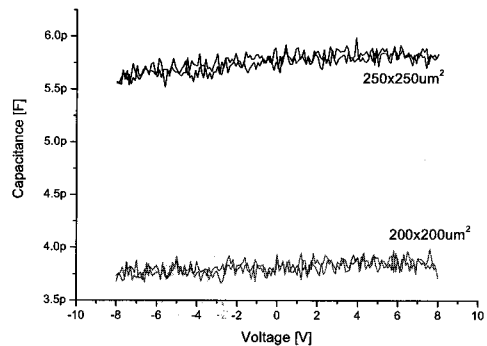
이처럼 MIM 구조는 공정조건의 재현성이 확보된 경우 유전층의 증착두께와 전극의 면적을 가변시킴으로서 다양한 용량의 박막형 커패시터를 제작할 수 있으며, AlN의 물질의 고유 저항값이 크므로 고주파 대역의 수동소자로서 그 구조가 단순하고 제어하기가 용이하며, 특히 신호의 유지특성인 폴업(pull-up) 저항값이 크므로 그 활용도가 높다.

2. 제작된 시료의 C-V, 유전을 특성

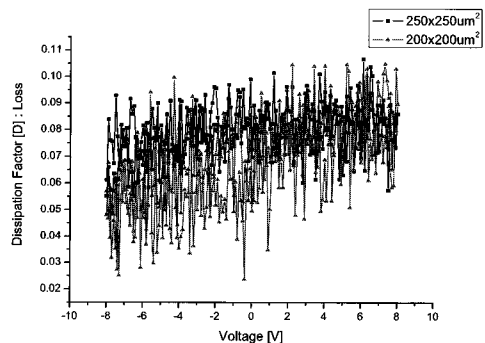
제작된 시료의 주파수 변화에 따른 커패시턴스와 임피던스 등의 전기적인 특성을 계측하기 위하여 HP 4194A(Impedance/Gain-Phase)분석 장치를 이용하여 C-V 특성을 계측하였다. 다음의 그림들은 각 시료별로 측정된 C-V와 D-V값을 나타낸 그래프이다. 시료에 인가되는 전압의 범위와 인가방법에 따라서 제작된 시료의 안정화된 커패시턴스의 특성 및 손실계수의 정도를 확인할 수 있다. 특히, 유전율은 두 고립전하 사이에 존재하는 물리적인 힘(coulomb)과, 전기장 속으로 유전체를 삽입시키는 데 따른 전기

장의 특성변화(전기변위)에 관한 수식에서 나타나는 보편적인 전기 상수로서 유전체, 즉 부도체(절연체)의 전기적인 특성을 나타내는 특성 값이다.

제작된 시료의 커패시턴스는 시료의 전극면적에 비례하여 증가함을 위의 <그림 3>의 그래프를 통하여 확인할 수 있다. <그림 3>의 측정결과를 통하여 제작된 시료가 -8V~+8V 범위에서 안정적인 커패시



<그림 3> 제작된 시료의 C-V 특성
 <Fig. 3> C-V characteristic of manufactured capacitor



<그림 4> 제작된 시료의 D-V 특성
 <Fig. 4> D-V characteristic of manufactured capacitor

<표 4> 계측된 커패시턴스에 따른 계산된 유전율
 <Table 4> Calculated Dielectric Constant of AlN

Capacitance (pF)	Measured Average Capacitance (pF)	Vacuum Dielectric Constant	Thick-ness (D)	Area (μm^2)	width (μm)	height (μm)
10.758	3.81	8.854 $\times 10^{-12}$	1.0 $\times 10^{-6}$	40,000	200	200
10.391	5.75			62,500	250	250

턴스를 유지함으로써 전원부 구성 부품뿐만 아니라 소신호 입·출력회로에서도 안정적인 신호특성을 갖는다는 것을 알 수 있다.

또한 각 시료의 손실특성을 나타내는 손실계수 (Dissipation Factor) 값은 평균 0.07로 우수한 성능을 유지함을 <그림 4>를 통하여 확인할 수 있다.

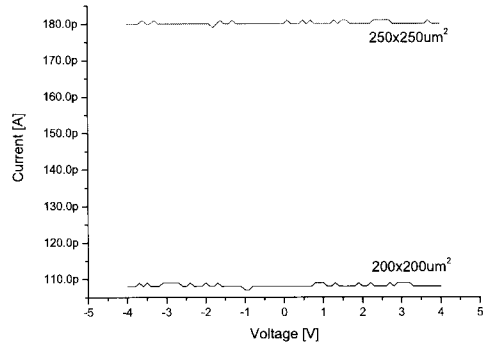
각 시료의 평균 커패시턴스는 각각 3.81, 5.75 pF 으로 이상적인 시료의 용량 범위에 속하며, 측정값의 평균으로 환산한 AlN의 유전율은 아래의 수식 3 과 그 값은 <표 4>와 같이 나타난다.

$$\epsilon_r = C \times \frac{D(\text{thickness})}{A(\text{area}) \times \epsilon_0} \quad (3)$$

<그림 4>에 나타난 바와 같이 가변전압 구동에 따른 -8V~+8V의 전압 범위에서 측정된 손실값(loss ; dissipation factor)의 평균은 각각 0.068, 0.079 이다. 상기 측정된 C-V, D-V의 값을 통하여 제작된 시료들의 전극 면적 200 $\times 200\mu\text{m}^2$, 250 $\times 250\mu\text{m}^2$ 에 따라서 상대적으로 안정적인 특성을 유지함을 알 수 있다.

3. 제작된 시료의 I-V, 저항특성

제작된 시료의 저항특성을 분석하기 위하여, 인가된 전압변위에 따른 전류값의 변화특성이 필요하다. 따라서 I-V 특성 측정을 위하여 Advantest R6144



<그림 5> 제작된 시료의 I-V 특성
 <Fig. 5> I-V characteristic of manufactured capacitor

(Voltage Generator), Keithley 485 (Picoammeter)를 사용하여 -4V~+4V의 전압범위에서 0.1 V 단위로 전압을 인가하여 측정하였다.

다음의 <그림 5>는 제작된 시료의 I-V 특성을 계측한 것이다. 시료에 측정된 전류값은 전압의 가변 범위에 따라 그 전류값의 차이가 크게 나타나지 않음을 확인 할 수 있다.

시료의 전극 크기에 따라서 측정된 각각의 평균 전류값은 111.309 pA, 180.185 pA로 계측되었다. 이는 제작된 시료의 유전물인 AlN의 유전율과 유전체 면적의 증가에 따른 저항의 변화로 저항 성분이 증가한 것이다. 즉 제작된 시료의 I-V 특성을 통하여 유전체증의 두께와 전극의 면적에 따른 저항

<표 5> 제작시료에 따른 계산된 저항값
 <Table 5> Calculated specific resistance of AlN

Specific Resistance ρ (Ωcm)	Calculated Mean Resistance (Ω)	Measured Mean Current (A)	Thickness (L)	width (μm)	height (μm)
2.50 $\times 10^{19}$	23.09 $\times 10^9$	108.23 $\times 10^{-12}$	1.0 $\times 10^{-6}$	200	200
1.60 $\times 10^{19}$	13.87 $\times 10^9$	180.18 $\times 10^{-12}$		250	250

특성의 관찰할 수 있다.

다음의 <표 5>는 I-V 측정을 통하여 계측된 평균 전류값을 환산된 시료의 저항값으로 나타낸 것이다. 환산된 시료의 저항값을 통하여 제작된 소자의 물성적 특성과 고유값을 확인할 수 있으며, 박막을 형성한 유전체의 안정성을 평가할 수 있다.

시료의 계산된 평균 저항값은 각각 5.1×10^{-8} , 9.2×10^{-8} 그리고 8.7×10^{-8} 이며, 이는 이상적인 AlN의 비저항 특성(ρ)값인 $1.0 \times 10^{-8} \sim 10^{-9}$ 범위에 존재함을 확인 할 수 있다.

4. 임피던스 특성

다음은 HP 4194A 계측기를 사용하여 분석한 시료의 임피던스 특성과 주파수에 따른 신호특성들을 계측한 그래프를 나타낸 것이다.

다음의 그림들은 주파수 변화에 따른 제작된 시료의 직렬 커패시턴스(C_s)와 양질계수(Quality Factor : Q)값 그리고 손실계수(Dissipation Factor : D)값을 나타낸 것이다. 일반적으로 양질계수와 손실계수의 관계는 다음의 수식 4로 나타낸다.

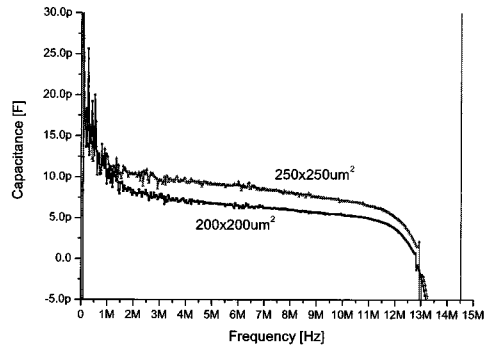
$$Quality\ Factor = \frac{1}{Dissipation\ Factor} \quad (4)$$

양질계수는 총 에너지 손실 합에 대한 커패시터나 인덕터와 같은 리액티브(reactive) 소자에 축적된 에너지의 비를 나타낸다. 이상적인 동조 회로는 인덕터와 커패시터로 구성되어서 한 소자로부터 다음 소자로 전류를 교환함으로써 에너지를 축적한다.

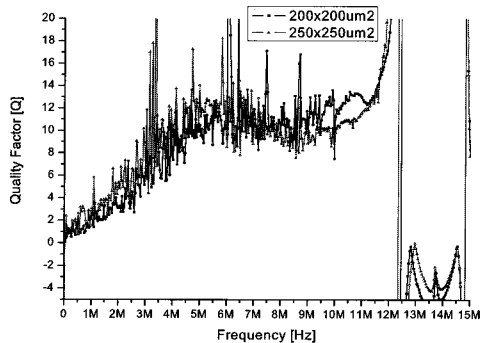
$$Quality\ Factor = \frac{X}{R} \quad (5)$$

하지만, 실제의 동조 회로에서는 실수 저항에서 에너지가 손실된다. 동조회로 또는 시료의 등가회로(기생성분이 포함된)에서 양질계수(Q)는 다음의 수식과 같이 리액턴스(X)를 저항(R)성분으로 나눈 값으로 상기 수식 5와 같이 표현할 수 있다.

다음의 <그림 6>은 0.0 Hz ~ 15 MHz 대역의 주파수 범위에서 제작한 시료의 커패시턴스를 측정한



<그림 6> 제작된 시료의 직렬 커패시턴스 특성
<Fig. 6> Series capacitance for different areas

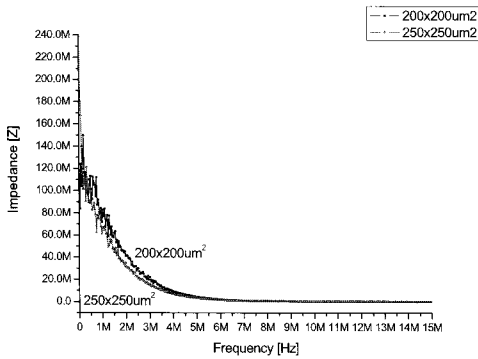


<그림 7> 제작된 시료의 양질계수 특성
<Fig. 7> Quality factor for different areas

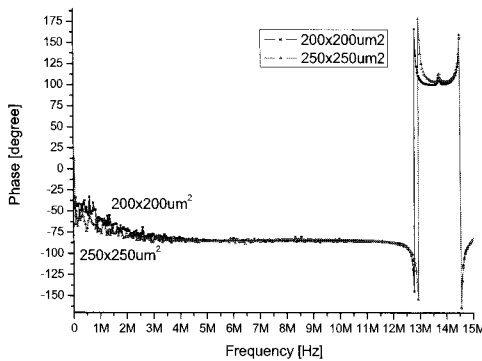
그래프이다.

<그림 6>에 나타난 측정결과를 통하여 시료의 전극면적이 넓을수록 커패시턴스의 용량이 증가함을 확인할 수 있으며, 주파수 대역에 따라서 일정한 커패시턴스의 특성을 유지함을 확인할 수 있다. 또한 <그림 7>에 나타난 측정 결과 값으로 양질계수 특성도 주파수 대역에 따라서 일정한 특성을 나타낸다.

아래의 <그림 8>은 주파수 변화에 따른 제작된 시료의 임피던스(Z)와 위상(θ)값을 나타낸 것이다. 임피던스와 위상특성으로부터 제작된 시료의 커패시터 특성을 적용할 수 있는 주파수대역을 선정할 수 있다. 일반적으로 커패시턴스는 전압지연소자이며, 주파수가 증가함에 따라서 임피던스가 감소되는 특성을 갖는다.



<그림 8> 제작된 시료의 임피던스(Z) 특성
 <Fig. 8> Impedance characteristics for different areas

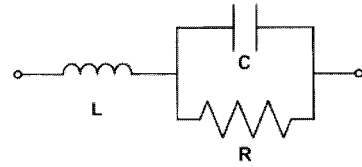


<그림 9> 제작된 시료의 위상(θ) 특성
 <Fig. 9> Phase response for different areas

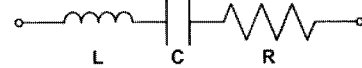
위의 <그림 8>에서 나타난 바와 같이 시료에 인가된 주파수 신호가 고주파수로 증가 할수록 임피던스가 감소하는 커패시터의 특성을 확인할 수 있으며, 시료의 전극면적에 따라서 커패시턴스의 용량이 증가하며, 이는 동일 주파수 대역에서 시료의 전극면적에 따른 커패시턴스의 증가와 이로 인한 시료의 임피던스의 감소비를 확인할 수 있다.

다음의 <그림 9>에 나타난 시료의 위상특성으로부터 12 MHz 대역까지 전압성분이 지연되는 전형적인 커패시터의 특징을 나타내며, 특히 4 MHz ~ 12 MHz 대역에서는 안정적인 전압 위상 지연특성을 확인할 수 있다. 이는 해당 대역에서는 제작된 시료의 기생성분의 임피던스가 생성된 커패시턴스의 성분에 영향을 주지 않는 것으로 반증된다.

또한 <그림 9>를 통하여 전극 면적이 작은 시료



(a) Equivalent circuit - A



(b) Equivalent circuit - B

<그림 10> 등가 회로 성분
 <Fig. 10> Components of equivalent circuit

<표 6> 등가 회로 성분값
 <Table 6> Component's values of equivalent circuit

소자	회로	R [Ω]	L [H]	C [F]
200×200 μm^2	A	5.0841M	346.730 μ	3.8838p
	B	1.09263K	349.712 μ	3.8859p
250×250 μm^2	A	71.2732K	37.279 μ	6.0357p
	B	2.29829K	87.769 μ	6.0329p

의 순서대로 위상의 반전이 주파수에 따라 순차적으로 나타남을 확인할 수 있으며, 이는 구성된 커패시턴스의 용량이 상대적으로 작음에 따라서 동일한 조건으로 생성된 기생성분이 소자의 임피던스에 상대적으로 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

위의 <그림 10>과 <표 6>은 제작된 소자의 등가 회로와 회로별 소자의 성분 값을 나타낸 것이다. 일반적으로 사용되는 벌크(bulk) 소재로 제작되는 소자의 경우는 ~10 pF 용량의 커패시턴스 범위에서의 제어와 선형성 유지가 어렵다. 하지만 본 논문에서 제작한 박막형 소자의 경우 설정된 주파수 범위에서 일정한 커패시턴스를 유지하며 전극면적 조정을 통하여 커패시턴스의 용량 제어가 우수함을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 PAN 및 이동통신용 기저대역 전자회로와 교류회로에서 커플러, 필터, 정합, 발진 등 다양한 목적으로 사용되는 수동소자인 커패시터

를 고유전율 박막 재료인 AlN을 이용하여 MIM 구조의 미세 박막 커패시터를 제작하였으며, 제작된 시료의 전기적 특성들을 평가하였다.

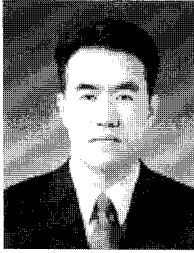
제작된 기저대역용 AlN 미세 박막 커패시터의 사용가능한 전자회로의 구동전압 범위인 $\pm 8V$ 의 가변 범위에서 안정적인 커패시턴스 용량과 손실계수 그리고 전극 면적에 따른 일정한 저항 특성을 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

또한, 소신호 전자회로에 사용하는 기저대역 주파수범위에서 커패시터의 고유한 임피던스 특성과 전압지연 특성을 12.5 MHz 이하의 주파수 범위에서 유지함을 확인할 수 있다. 제작된 미세 박막 커패시터의 전기적 특성과 시료의 규격에 따른 실험적 분석을 통하여 기저대역에서 사용가능한 안정적인 박막 커패시터의 구현과 제어 방안을 제안하였으며, 향후 관련분야의 연구에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

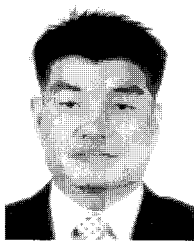
- [1] 윤순길, 안준구, "임베디드 커패시터", *한국전기전자재료학회 논문지*, pp.13-20, 제20권, 제5호, 2007. 5.
- [2] N. F. Jackson, "Dielectric materials in thin film capacitors," *Physics Education*, vol 3. no. 5, pp. 253-259, Sept. 1968.
- [3] 이영철, 홍영표, 고경현, "가변형 박막 유전체에 전극을 임베디드 시킨 고가 변형 커패시터" *한국전자파학회 논문지*, 제17권, 제9호, pp. 860-865, 2006. 9.
- [4] J. Zhang, H. Fan, S. Ke, Y. Shi, X. Zeng, M. Bi, and H. Huang, "Dielectric properties of AlN/polymer composites for electronic substrate application," *Key Engineering Materials*, vols. 334-335, pp. 1053-1056, June 2007.
- [5] F. Engelmark, J. Westlinder, G. F. Iriarte, I. V. Katardjiev, and J. Olsson, "Electrical characterization of AlN MIS and MIM structure," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 50, no. 5, pp. 1214-1219, May 2003.
- [6] 양충모, 김성권, 차재상, 박구만, "Mo/SiO₂/Si (100)기판 위에 MOCVD법으로 성장시킨 AlN 박막이용 GHz대역의 FBAR제작에 관한 연구," *조명·전기설비학회논문지*, 제20권, 제4호, pp. 7-11, 2006. 5.
- [7] K. Nam, Y. Park, S. Hong, J. Pak, G. Park, and I. Song, "MEMS based bulk acoustic wave resonators for mobile applications," *Integrated Ferroelectrics*, vol. 77, no. 1, pp. 101-108, Dec. 2005.
- [8] L. La Spina, S. Panwar, H. Schellevis, L. K. Nanver, "Electrical characterization of PVD aluminium nitride deposited on silicon," *Proc. 9th Annual Workshop on Semiconductor Advances for Future Electronics and Sensors*, pp. 470-474, July 2006.
- [9] H. Farzanehfard and A. Elshabini-Riad, "Wideband characterization of aluminum nitride (AlN) substrates and high frequency application on these substrates," *Proc. Conf. Precision Electromagnetic Measurements*, pp. 218-219, June 1990.
- [10] G. F. Iriarte, "AlN thin film electroacoustic devices," *Acta Universitatis Upsaliensis. Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology* 817, April 2003.
- [11] R. Ulrich and M. Leftwich, "집적 박막 캐패시터 크기를 결정하는 인자들," *Electronic Engineering Times-Korea*, Nov. 2001.

저자소개



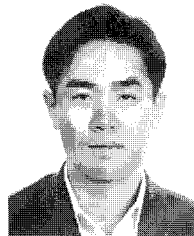
이 종 주 (Lee, Jong-Joo)

1999년 : 수원대학교 전기공학과 졸업
2001년 : 성균관대학교 대학원 정보통신공학부 졸업(공학석사)
2001년~현재 : 성균관대학교 대학원 정보통신공학부(공학박사)
2001년~2004년 : 새턴정보통신(주) 개발팀장(과장)
2005년~2007년 : 성균관대학교 정보통신용 신기능성소재 및 공정연구소 연구원



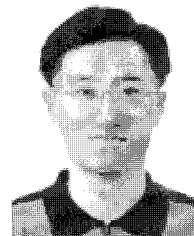
김 응 권 (Kim, Eung-Kwon)

2006년 : 성균관대학교 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학박사)
2007년 : 성균관대학교 정보통신공학부 BK 연구교수
2008년 : (주)에스알 연구소장



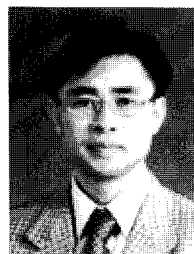
차 재 상 (Cha, Jae-Sang)

1991년 : 성균관대학교 전기공학과 졸업
1991년~1993년 : 육군 소대장 겸 교관(ROTC)
1997년 : 성균관대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
2000년 : 일본 Tohoku(東北)대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
2000년~2002년 : 한국전자통신연구원(ETRI) 이동통신연구소 선임연구원
2002년~2005년 : 서경대학교 정보통신공학과 전임강사
2005년~현재 : 서울산업대학교 매체공학과 조교수



김 진 영 (Kim, Jin-Young)

1998년 : 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1998년 : 서울대학교 반도체공동연구소 특별연구원
1998년~2000년 : 미국 Princeton University, Research Associate
2000년~2001년 : SK텔레콤 책임연구원, IEEE Senior Member
2001년~현재 : 광운대학교 전파공학과 부교수



김 용 성 (Kim, Young-Sung)

1996년 : 성균관대학교 대학원 금속공학과 졸업(공학박사)
1989년~1991년 : 세아제강 기술연구소 연구원
1997년~2000년 : 일본 Tohoku(東北)대학교 전기통신연구소 및 National Research Institute of Metals CEO연구원
2000년~현재 : 현재 과학기술부 지정 지역협력연구센터 교수