

## 폴리피롤을 고체전해질로 이용한 알루미늄 고체전해 캐퍼시터

조준상·유남산·이상빈·박영서\*

삼영전자공업(주) 삼송연구소, \*산업기술정보원  
(1997년 5월 28일 접수, 1997년 7월 31일 채택)

## Aluminum Solid Electrolytic Capacitor Employing Polypyrrole as Solid Electrolyte

Jun-Sang Cho, Nam-San Yoo, Sang-Bin Lee, and Young-Seo Park\*

Sam Young Electronics Co. Ltd., Sam Song Research Institute, Sungnam 462-120, Korea

\*Korea Institute of Industry and Technology Information, Seoul 130-010, Korea

(Received May 28, 1997, Accepted July 31, 1997)

**요약 :** 전도성 고분자인 폴리피롤(PPy)을 전해질로 하는 알루미늄(Al)고체전해 캐퍼시터를 제작하기 위하여 알루미늄 산화피막( $Al_2O_3$ ) 위에 화학산화중합(CP)법으로 얇은 PPy층을 형성시키고, 이 층을 양극으로 이용하여 피롤(Py)을 전해산화중합(EP)시켰다. 캐퍼시터 특성에 영향을 미치는 중합조건을 조사한 결과, 지지전해질로서 sodium p-toluenesulfonate (TsONa)를 사용하고, 소자당 2.0~4.0 mA의 정전류를 인가, 전해증합 후 제작한 캐퍼시터의 전기적 특성 및 임피던스 특성이 가장 우수하였다.

**Abstract :** Aluminium solid electrolytic capacitor in which electroconducting polypyrrole(PPy) is used as an electrolyte is studied. Pyrrole (Py) is electrochemically synthesized using the etched and anodized aluminium foil electrode( $Al_2O_3$ ) as an anode on which the thin layer of chemicalpolymerized PPy as a pre-coating layer is formed previously by chemical oxidative polymerization(CP). Investigating the effects of the polymerization conditions on the electrical characteristics of resulting capacitors, the capacitors which were obtained from the galvanostatic electrolysis of pyrrole containing sodium p-toluenesulfonate(TsONa) under the currents of 2.0~4.0 mA / unit( $6.5 \times 10mm$ ), showed the most superior properties

### 1. 서 론

전자기기의 대표적인 수동부품으로 사용되는 알루미늄(Al) 전해 캐퍼시터는 코스트 대비 용량이 높아 민생용 및 산업용으로 널리 사용되고 있으나, 최근 전자기기의 고 기능화, 소형화, 고신뢰성화 및 디지털화 추세에 따라 제품의 주파수특성, 신뢰성, 온도특성의 향상 및 장수명화가 강하게 요구되고 있다.

기존의 Al전해 캐퍼시터는 이온전도성 전해액을 구동액으로 사용하기 때문에 고온에서 장시간 사용할 경우 전해액의 고갈(dry up)에 의한 고장의 염려가 많을 뿐 아니라 전해액 자체의 고저항 때문에 전력손실이 커 고주파회로에의 사용이 제한되고 있다[1, 2]. 이러한 단점을 보완한 고체전해 캐퍼시터(탄탈륨 소결체에 질산망간 등의 열분해로 얻어지는 무기고체전해질을 이용하는 탄탈륨(Ta) 고체전해 캐퍼시터, TCNQ착염의 열용융법으로 알루미늄박의 세공(細孔)에 함침시킨 Al고체전해 캐퍼시터[3] 등)이 시판되고는 있으나 주파수 특성 및 내열성 등이 충분치 못한 실정이다.

이러한 과제를 해결하기 위해서 전기전도도가 높고 열적 안정성이 우수한 Polypyrrole(PPy)를 캐퍼시터용 고체 전해질로 이용하고자 하는 연구가 활발히 진행되어 선진 각국에서는 이미 제품이 시판되고 있다[4~12].

PPy의 중합법은 산화제를 이용하는 화학산화중합(Chemical Polymerization, CP)법[13]과 양극산화에 의한 전해산화중합(Electrochemical Polymerization, EP)법[14]이 있는데, 전자의 경우 대부분 분말상태의 PPy가 얻어지며 그 전도도 또한 낮아 이용에 한계가 있는데 반하여, 후자의 경우는 전기전도도가 높은 ( $10^2 S/cm$  정도) PPy필름이 손쉽게 얻어질 뿐만 아니라 두께도 중합조건에 따라 용이하게 제어할 수 있기 때문에 각종 전자부품의 전도성 기능재료로서 활발히 연구되고 있다[15~16].

본 연구에서는 에칭된 알루미늄박(Etched Al Foil)에 전해산화(Anodizing)에 의하여 형성된 알루미늄산화피막( $Al_2O_3$ ) 위에 CP법에 의해 화학산화중합된 PPy(CP-PPy)를 전구층(Pre-coating Layer)으로서 형성시키고 이 층을 양극으로 이용, 전해산화중합하여 생성된 PPy(EP-PPy)를 고체 전해질로 하는

Al고체전해 캐패시터를 제작, 그 특성에 대해 조사하였으며, 캐패시터 특성에 미치는 피롤의 전해 중합조건에 대해서도 검토하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. 시약 및 기기

#### 2.1.1. 시약 및 재료

Pyrrole(Py)단량체는 Fluka사 특급시약을  $\text{CaH}_2$ 로 건조한 후 1회 감압증류하여 사용하였다. Py의 산화제인 Ammonium persulfate( $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ )(APS)는 Hayashi사 특급시약을, 지지전해질로 사용된 sodium p-toluene sulfonate(TsONa), sodium dodecylsulfate(DSNa), sodium dodecylbenzenesulfonate(DBSNa) 및 tetrabutylammonium perchlorate(TBAPC)는 Aldrich사의 특급시약을 그대로 사용하였다. 중합에 사용된 용매  $\text{H}_2\text{O}$ 는 순수( $10^{18} \Omega\text{cm}$ )를, acetonitrile(AN)은 1회 정제후 사용하였다.

작용전극(working electrode, WE)으로 사용된 Al Foil은 KDK사의 U808 Al박(etched Al, 박표면적을 넓히기 위해 전해에 침한 박)을  $6.5 \times 10 \text{ mm}$  크기로 절단하여 +극 Lead Wire를 용접하여 사용하였으며, 대극(counter electrode, CE)은 SUS 304( $50 \times 100 \text{ mm}$ )를, 보조전극(auxiliary electrode, AE)은 SUS wire( $\phi 0.5 \times 50 \text{ mm}$ )를 사용하였다.

#### 2.1.2. 사용기기

Py는 Yokogawa 2553 power supply와 Fluke 8842A multimeter를 사용하여 전해중합을 제어하였으며, Yokogawa 3086 X-Y recorder로 기록하였다. 중합된 PPy의 구조는 SEM (Jeol 820)으로 관찰하였다. 캐패시터의 정전용량(capacitance, C), 손실계수(dissipation factor, DF) 및 등가직렬저항(equivalent series resistance, ESR)은 Boonton 5110 LCR meter로, impedance의 주파수 의존성은 Hewlett Packard사의 4194A impedance analyzer로 측정하였으며 누설전류(leakage current, LC)는 자체 제작한 LC측정기를 이용하였다.

## 2.2. 실험 방법

### 2.2.1. 화학 산화중합(Chemical Polymerization)

Ammonium adipic acid(Ada)수용액 내에서 10 V로 화성(forming, 침침)된 Al박의 표면을 전해 양극산화법에 의하여 유전체피막인 산화알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )층을 형성시키는 과정)시킨 Al박을 6.0 M Py용액(용매 : AN)에 함침시킨 후 0.1 M APS용액(용매 :  $\text{H}_2\text{O}$ )에 다시 함침시켜 Py를 산화중합시켰다. 중합 후 CP-PPy층이 형성된 Al박은  $\text{H}_2\text{O}$ 로 세척, 건조시켜 전해중합시작용전극으로 사용하였다.

### 2.2.2. 전해 산화중합(Electropolymerization)

화성된 Al박위에 CP법에 의해 생성시킨 CP-PPy층에 보조전극을 접촉하여 전류 및 지지전해질(supporting electrolyte)을 변화시켜 Py를 전해산화 중합시켰다. 중합용액의 조성은 Py 0.4 M, 지지전해질 0.1 M(용매 :  $\text{H}_2\text{O}$  또는 AN)이었으며 전류는 소자당 1.0~5.0 mA로 변화시켜 인가하여 중합하였다. Fig. 1에는 본 연구에서 사용한 중합장치의 개요도를 나타내었다.

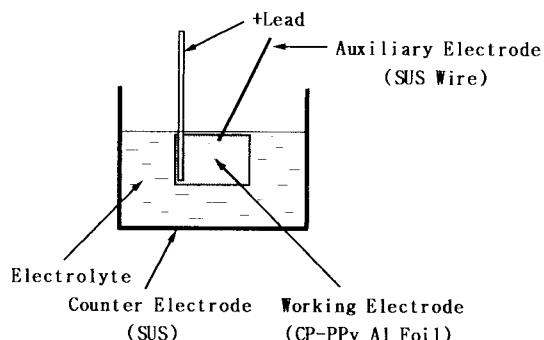


Fig. 1. Experimental apparatus of electropolymerization.

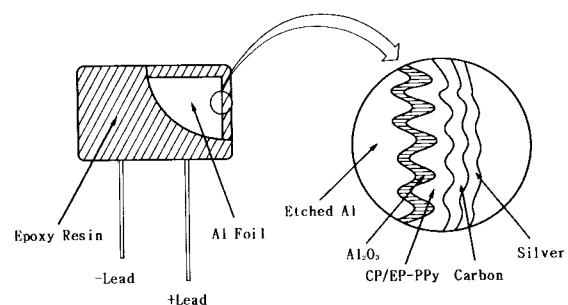


Fig. 2. Structure of Al solid electrolytic capacitor.

### 2.2.3. 음극형성 및 몰딩(Fabrication of Cathod and Molding)

전해중합에 의해 형성된 PPy층위에 충간의 접촉저항을 줄이기 위하여 전도성 카본과 은(Ag) 페이스트를 순차적으로 도포하고 음극단자를 부착한 후 에폭시수지로 몰딩하여 6.3 V 정격의 Al고체전해 캐패시터 소자를 제조하였다.

다음 Fig. 2에는 본 실험에서 제작한 Al 고체전해 캐패시터의 구조를 나타내었다.

### 2.2.4. 측정(Test of Characteristics)

제조된 소자의 전기적특성(Cap., DF)은 LCR meter를 이용하여 주파수 120 Hz에서 측정하였으며 AI화성박의 초기용량(Co)은 Ada용액(150g / 1000ml,  $\text{H}_2\text{O}$ )내에서 측정하였다. Impedance의 주파수의존성은 주파수를 100 Hz~40 MHz범위로 주사시켜 impedance값을 plot하였으며, 누설전류는 정격 전압을 3분간 인가한 후 캐패시터에 흐르는 전류값을 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. CP법에 의한 전구층 형성(CP-PPy Layer)

AI전해 캐패시터의 유전층으로 사용되는 산화알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )은 부도체이기 때문에  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 위에 Py를 직접 전해중합하는 것은 불가능하다. 따라서 Py를 전해중합하기 위해 전도성을 부여할 목적으로 Py를 화학산화중합시켜 CP-PPy층을 형성시켰다.

다음 Fig. 3에는 화성된 Al박의 표면과 Py의 화학중합이 1회 실시된 Al박의 표면 SEM사진을 나타내었다.

Fig. 3(b)에서 보는 바와 같이 CP를 1회 실시한 박의 표면에는 CP-PPy가 고르게 분포되어 있음을 알 수 있으며 이 층

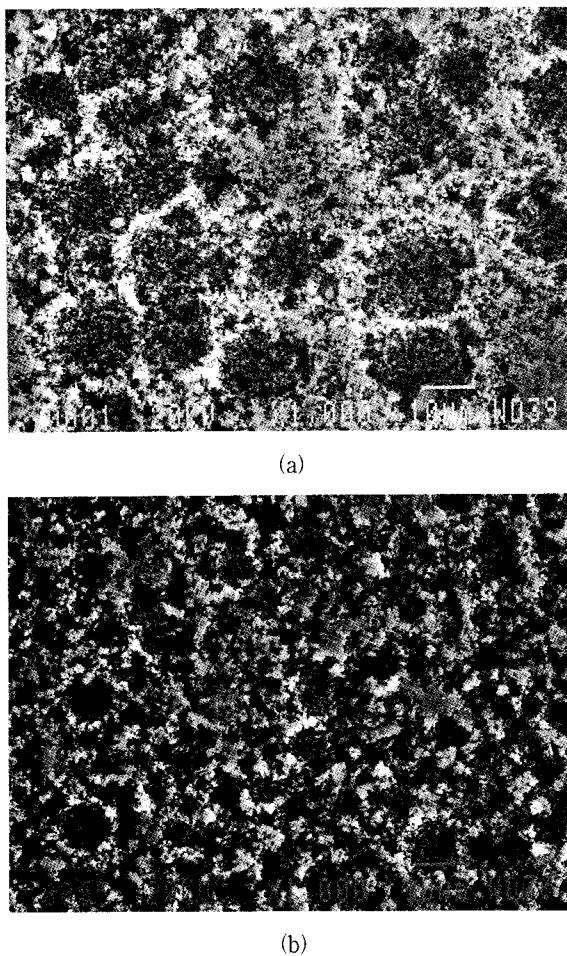


Fig. 3. SEM photographs(surface of Al foil) of formed Al foil (a) and CP-PPy coated Al foil(b) prepared in 0.5 M pyrrole / AN and aq. solution containing 0.1 M APS as oxidizing agent.

을 양전극으로 이용하여 Py를 전해중합시킬 경우 균일한 EP-PPy 층이 형성되었다. CP-PPy는 분말상이기 때문에 박과의 접착력이 약할 뿐 아니라 전도도 또한 EP-PPy에 비해 현저히 떨어지기 때문에 본 연구에서는 최종 캐퍼시터 특성을 고려하여 CP는 1회만 실시하였다.

### 3.2. 전해산화중합에 의한 고체전해질층 형성(EP-PPy Layer)

#### 3.2.1. 인가전류에 의한 영향

TsONa를 지지전해질로 사용하여 소자당 1.0~5.0 mA의 전류를 인가하여 Py를 중합시켰으며, 이때 얻어진 출력전압-시간 곡선(V-t curve)을 Fig. 4에 나타내었다.

전류를 소자당 1.0 mA 인가하여 중합한 경우 Py의 산화전위 (0.8~1.1 V)[17]에 근접한 1.1 V 정도의 전압이 출력되어 균일한 PPy층이 얻어졌다. 그러나, EP-PPy가 박의 유효 부분에 완전히 Coating되는 시간이 70분 정도로 매우 길게 소요되었다. 반면, 5.0 mA/unit( $6.5 \times 10 \text{ mm}$ ) 인가시는 중합이 10분 정도로 매우 빠르게 진행되었지만 출력전압이 1.5 V 이상으로 높아 형성되는 PPy층이 불균일하게 형성되는 것을 알 수 있었다.

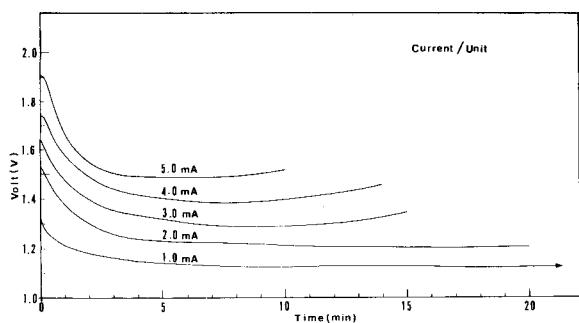


Fig. 4. V-t characteristics of the galvanostatic electrolysis in 0.4 M pyrrole and aq. solution containing 0.1 M TsONa at various currents.

2.0~4.0 mA/unit의 전류 인가시 출력전압은 1.2~1.4 V 정도이고 균일한 PPy층을 형성시킬 수 있었으며 중합속도도 20분 내외로 적절하였다.

Fig. 5에는 전해중합에 의해 생성되는 PPy가 에칭된 Al박의 에칭면의 내부로 침투하는 것을 확인하고자 중합하기 전의 Al 화성박과 전해중합된 Al화성박을 NaOH 수용액내에서 부식시킨 Al박의 단면으로서 (a)는 순수한 Al Core부분만 완전히 부식되어 유전체피막인  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 층의 형상이 그대로 남은 Al화성박의 단면이고 (b)는 PPy가 중합된 Al박을  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 층까지 완전히 부식시킨 것으로 전해중합된 PPy가 에칭된 면의 내부로 성장하여 채워지는 것을 확인 할 수 있다.

#### 3.2.2. 지지전해질에 의한 영향

Py의 전해산화중합에 미치는 지지전해질의 영향을 조사하였다. 지지전해질로서는 TsONa, DSNa, DBSNa(수용액계) 및 TBAPC(유기용액계)를 사용하였으며 Al박표면에 정전류전해중합 후의 표면사진을 Fig. 6에 나타내었다.

수용액계 전해질인 TsONa, DSNa 및 DBSNa를 이용하여 전해중합한 경우 Fig. 6에서 보는 바와 같이 층상으로 고르게 성장하는 것을 알 수 있으나 유기용액계인 TBAPC의 경우 중합된 PPy의 표면이 갈라져 있음을 알 수 있다. 또한 수용액계 지지전해질을 이용할 경우 중합시간의 차이없이 균일한 PPy가 형성되었지만 유기용액계인 TBAPC의 경우 중합시간이 길고 중합액의 오염도 매우 심하였다. 이는 본 연구에서 사용된 수용액계 지지전해질은 계면활성제 성분 및 긴 지방족 사슬을 함유하고 있어 전해 중합시 형성되는 PPy가 유연하고 층상구조로 성장되지만, 유기용액계 지지전해질인 TBAPC는 무기계 음이온인 Perchlorate( $\text{ClO}_4^-$ )의 영향으로 고밀도의 PPy층이 형성되어 표면이 갈라지는 것으로 생각된다.

### 3.3. Al 고체전해캐퍼시터의 전기적 특성

#### 3.3.1. 인가전류에 의한 영향

인가전류를 변화시켜 중합 후 제조한 캐퍼시터의 전기적 특성을 Table 1에 나타내었다.

캐퍼시터 용량효율( $C/\text{Co}$ )을 측정한 결과 대부분 50% 내외로 낮았으나, 1.0 mA/unit에서 중합한 소자의 경우 82%로 높게 나타났다. 이것은 전해중합시 인가전류가 증가할 수록 박의

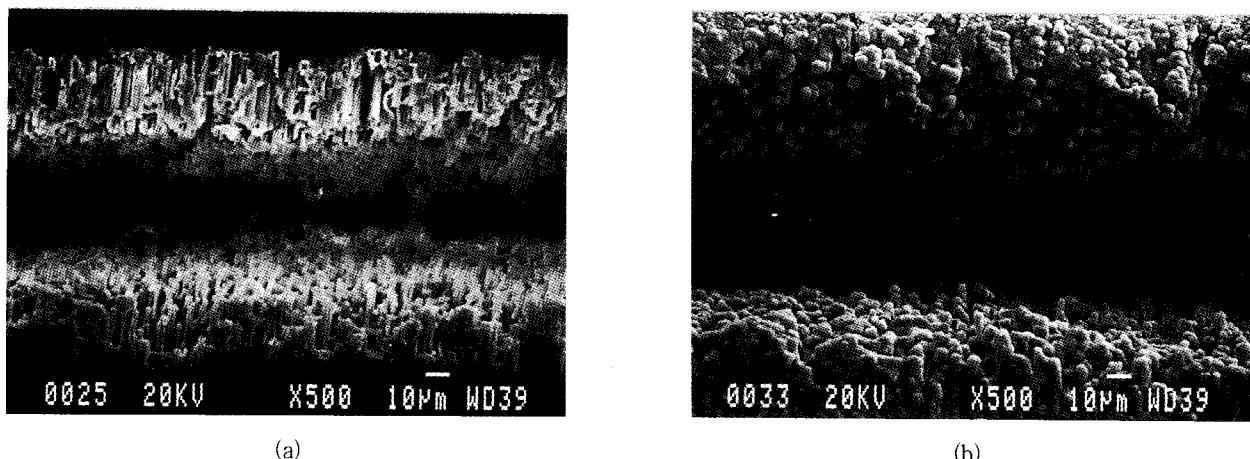


Fig. 5. SEM photographs(cross section of Al foil) of dielectric layer( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (a) and EP-PPy layer(b).

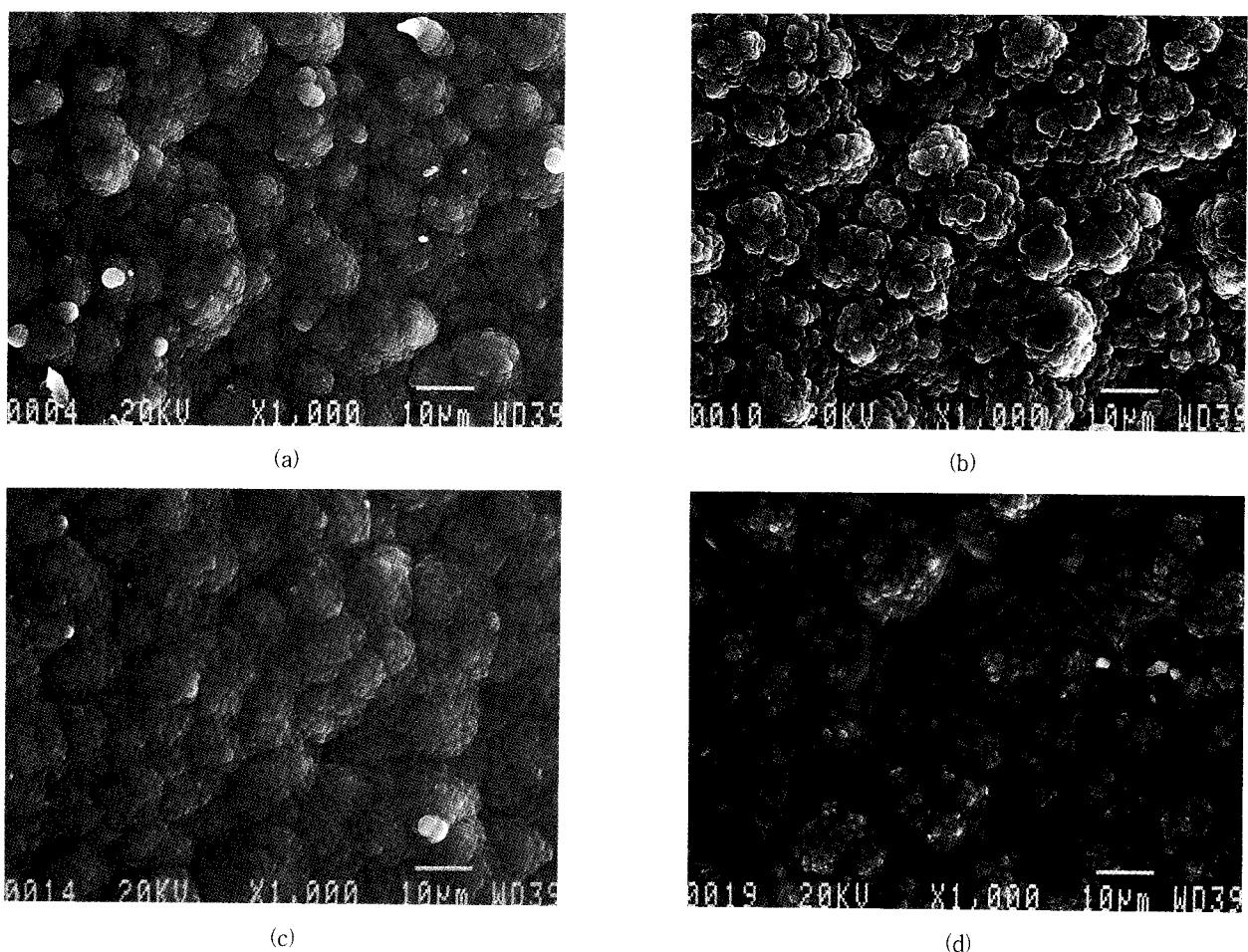


Fig. 6. SEM photographs(surface of Al foil) of EP-PPy layer prepared in 0.4 M pyrrole and aq.(or AN) solutions containing various supporting electrolytes of 0.1 M. (a) TsONa, (b) DSNa, (c) DBSNa, (d) TBAPC.

표면에 PPy가 급속도로 생성되어 Al박의 예칭면 내부로 충분히 성장하지 못했기 때문에 해석된다. DF값은 인가전류에 따라 큰 차이를 보이고 있으며, LC특성 역시  $34\sim200\mu\text{A}$ 로 매우 높게 나타나고 있다. 이러한 DF, LC특성은 전해중합시 손

상된 유전체 피막에 의해 발생하는 것으로서 향후 전해중합 후 유전체 피막을 회복시켜주기 위한 재화성 처리를 통하여 감소 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

**Table 1.** Effect of Applied Currents During the Electropolymerization on the Electrical Characteristics of Capacitors (Electropolymerization Solutions ; 0.4 M Pyrrole aq. Solution Containing 0.1 M TsONa.)

EP-condition	Co <sup>a)</sup>	C <sup>b)</sup>	C/Co	PPy	LC
Currt./Time (mA/min)	C/DF (μF/%)	C/DF (μF/%)	(%)	(Shape)	(Volt/μA)
1.0 / 70	3.57 / 3.6	2.92 / 4.2	82	○	6.3 / 200
2.0 / 20	3.36 / 3.3	1.66 / 1.6	49	○	6.3 / 34
3.0 / 15	3.33 / 4.2	1.71 / 3.4	50	○	6.3 / 92
4.0 / 14	3.29 / 3.5	1.88 / 6.0	57	○	6.3 / 141
5.0 / 10	2.94 / 3.6	1.58 / 2.1	54	△	6.3 / 62

a) measured in Ada solution at 120Hz

b) measured under the solid state at 120Hz

**Table 2.** Effect of Supporting Electrolytes During the Electropolymerization on the Electrical Characteristics of Capacitors (Applied Current ; 2.0 mA/unit, Electropolymerization Solutions ; 0.4 M Pyrrole aq. (or AN) Solutions 0.1 M Supporting Electrolytes)

Electrolyte	EP-condition	Co <sup>a)</sup>	C <sup>b)</sup>	C/Co	PPy	LC
	Currt./Time (mA/min)	C/DF (μF/%)	C/DF (μF/%)	(%)	Shape	(Volt/μA)
TsONa	2.0 / 20	3.36 / 3.3	1.66 / 1.6	49	○	6.3 / 34
DSNa	2.0 / 20	3.49 / 3.2	2.08 / 2.5	60	○	6.3 / 36
DBSNa	2.0 / 20	2.53 / 3.3	1.99 / 1.9	79	○	6.3 / 48
TBAPC	2.0 / 50	3.50 / 3.2	1.68 / 3.9	48	△	6.3 / 40

a) measured in Ada solution at 120Hz

b) measured under the solid state at 120Hz

### 3.3.2. 지지전해질에 의한 영향

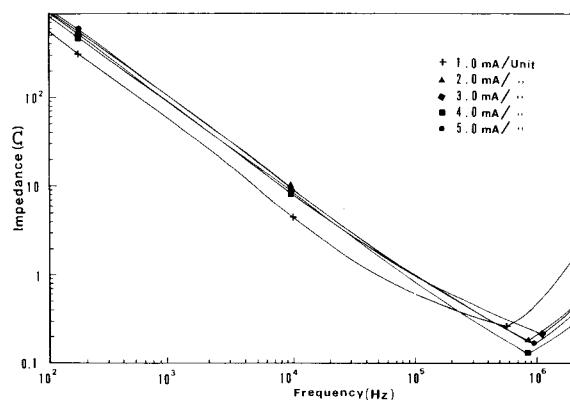
중합시 지지전해질의 변화에 따른 소자의 전기적 특성을 Table 2에 나타내었다.

캐패시터 용량효율(C/Co)은 수용액계인 DBSNa 사용시 79%로 가장 높았으며 유기용액계인 TBAPC 이용 소자가 48%로 가장 낮았다. DF값은 TsONa의 경우가 1.6%로 가장 적게 나타나는 것으로 보아 TsONa이용시가 전해중합시 유전체 피막에 손상을 주지 않고 중합이 잘 진행된다는 것을 알 수 있다. LC 특성은 34~48 μA로 다소 크게 나타나 위에서 언급한 바와 같이 전해중합시 손상된 유전체 피막을 회복시켜 주기 위한 재화성등의 후 처리가 필요하다고 판단된다.

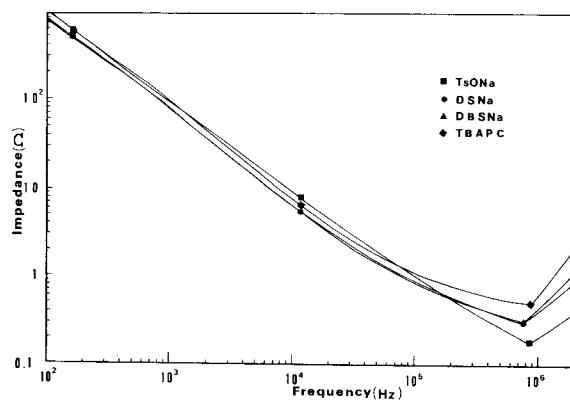
### 3.3.3. 캐패시터의 Impedance특성

일반적으로 캐패시터의 impedance특성은 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$IZI = \sqrt{(ESR)^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (X_L = 2\pi fL, X_C = 1/2\pi fC)$$



**Fig. 7.** Effect of applied currents during the electropolymerization on the impedance of capacitors.



**Fig. 8.** Effect of supporting electrolytes during the electropolymerization on the impedance of capacitors.

Z : impedance,  $X_L$  : 유도성 reactance,  $X_C$  : 용량성 reactance, f : Frequency

위 식에서 알 수 있듯이 주파수(f)가 증가하면  $X_L$ 은 증가하고  $X_C$ 는 감소하게 되며  $X_L = X_C$ 가 되는 임의주파수에서는 캐패시터의 impedance(Z)는 저항(ESR)에 의한 성분만 남게 되어 최소값을 갖게 된다. 이 점의 주파수를 캐패시터의 공진주파수(resonance frequency, fr)라 하며 이 주파수에서의 최소 impedance값이 고주파 특성을 나타내는 척도로 사용된다.

전해중합시 인가전류의 변환 및 지지전해질별로 제조된 캐패시터소자의 impedance특성을 Fig. 7과 Fig. 8에 각각 나타냈다.

Fig. 7에서 보는 바와같이 1.0 mA/unit로 합성된 소자의 경우 공진주파수가 570 KHz이고 이때 impedance값이 270 mΩ으로 가장 높게 나타났다. 이는 중합시 인가전류가 낮아 PPy가 생성되는데 너무 긴 시간이 소요됨으로서 중합초기에 생성된 PPy가 열화되어 전도도가 감소되었기 때문으로 해석된다. 또한 5.0 mA/unit에서 합성된 소자의 경우 과잉의 전류가 흐르게 되어 불균일한 PPy층 형성에 의해 impedance특성이 높게 나타났다. 따라서 Table 1과 Fig. 7의 결과를 종합하면 정전류 전해중합시 전해중합 시간, impedance특성 및 소자 용량효율 등을 고려할 때 적정전류범위는 2.0~4.0 mA/unit임을 알 수 있다.

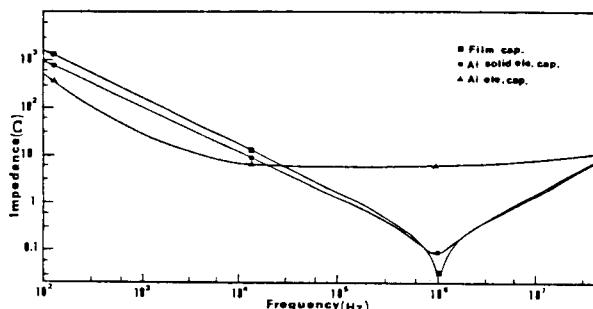


Fig. 9. Frequency characteristics of impedance for various capacitors.

지지전해질의 영향을 조사한 결과(Fig. 8) 역시 생성되는 PPy피막이 너무 고밀도의 필름으로 얹어져 PPy층의 균열현상을 보였던 TBAPC를 사용한 소자의 impedance특성이 가장 좋지 않았으며, 수용액계인 TsONa를 사용한 소자의 impedance 특성이 가장 우수하였다. 이것은 TsONa를 사용하여 제조되는 PPy층의 전도도가 가장 높기 때문으로 해석된다. Table 2 와 Fig. 8의 결과로부터 수용액계 지지전해질인 TsONa를 이용한 소자의 경우가 가장 우수한 캐퍼시터의 임피던스 특성을 나타냄을 알 수 있다.

본 연구에서 제작한 Al고체전해 캐퍼시터와 기존 Al 전해캐퍼시터 및 필름 캐퍼시터의 주파수에 대한 impedance특성을 Fig. 9에 나타내었다.

기존 Al전해 캐퍼시터는 용량이  $10\ \mu\text{F}$ 인 제품의 경우 전해액, 전해지 등 필수 구성요소등에 의한 저항(R)과 Al박과 단자 등에 의한 inductance(L)가 더해져 공진주파수 영역에서의 Impedance값이 완만하게 분산되어 1 MHz 부근에서  $10\ \Omega$ 정도로 매우 높아 impedance특성이 좋지 않다는 것을 알 수 있다. 반면 저항성분을 높여주는 요인인 전해지를 제거하고, 전해액을 전도성 고분자(PPy)로 대체한 Al고체전해 캐퍼시터의 경우 impedance 특성이 우수하여 고주파 회로용으로 많이 사용되고 있는 필름 캐퍼시터에 근접하는 특성을 나타내는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

전도성 고분자인 PPy를 이용한 Al 고체전해 캐퍼시터를 제작하여 그 특성을 미치는 중합 조건 등을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 화학산화중합(CP)법에 의해 알루미늄 화성박위에 CP-PPy 층을 형성하고, 이를 양극으로 이용하여 전해산화중합법(EP)으로 고 전도성 PPy층을 형성시킬 수 있었다.
- 2) 전해중합에 의해 형성되는 PPy가 알루미늄 화성박의 예 칭된 면의 내부까지 성장하여 82%의 용량효율이 얻어져 고용

량의 고체전해 캐퍼시터의 실용화 가능성을 확인하였다.

3) 전해중합 시간, 용량효율 및 impedance특성을 고려할 때 정전류 전해중합시의 적정 전류범위는 소자당 2.0~4.0 mA에서 중합하여 제조한 소자가 우수한 특성을 나타내었다.

4) 전해중합시 Dopants로 사용되는 지지전해질로서 수용액계 전해질인 TsONa를 이용하여 제조된 캐퍼시터 소자의 제 특성이 가장 우수하였다.

5) 본 연구를 바탕으로 향후 중합 방법의 개선 및 소자의 신뢰성이 확보된다면 전도성 고분자인 PPy을 고체전해질로하는 알루미늄 고체전해 캐퍼시터의 실용화 가능성이 충분하다고 판단 된다.

#### 참 고 문 헌

1. 永田伊佐也, “アルミニウム 乾式電解コンデンサ”, 日本蓄電器工業株式會社(1983).
2. “コンデンサ最新技術と材料”, 86年版, 総合廣販(1986).
3. Niwa S., Synth. Met., 18, 665(1987).
4. 朴英緒, “高分子複合 Ta電極の 物性と高度機能”, 早稻田大學(1993).
5. Y. Kudoh, S. Tsuchiya, T. Kozima, M. Hukuyama, and S. Yoshimura, Synth. Met., 41~43, 1133(1991).
6. Y. S. Park, Y. Ohta, S. Tokeoka, K. Yamamoto, and E. Tsuchida, Polymer Bull. Chem. Soc. Jpn., 66, 2449(1993).
7. K. Yamamoto, Y. S. Park, S. Takeoka, and E. Tsuchida, J. Electroanal. Chem., 318, 171(1991).
8. Y. S. Park, S. Tokeoka, K. Yamamoto, and E. Tsuchida, Mol. Cryst. Liq. Cryst., 227, 219(1993).
9. Y. S. Park, K. Yamamoto, S. Takeoka, and E. Tsuchida, Poly. Adv. Technol., 4, 329(1993).
10. H. Yamamoto, M. Fukuda and I. Isa, Electronics and Communications in Japan, part 2, 76, 6(1993).
11. H. Yamamoto, M. Fukuda, I. Isa and K. Yoshino, Mol. Cryst. Liq. Cryst., 227, 255~262(1993).
12. M. Fukuda, H. Yamamoto, I. Isa, Jpn. Pat. Open, 63-173313(1988).
13. Yoshino K., Hayashi S., and Sugimoto R., Jpn. J. Appl. Phys., 23, L899(1984).
14. A. F. Diaz, K. K. Kanazawa and G. P. Gardin, J. Chem. Soc. Chem. Commun., 635~636(1979).
15. J. M. Ko, H. W. Rhee, S. M. Park and C. Y. Kim, J. Electrochem. Soc., 137, 905(1990).
16. 박영서, 화학세계, 33, 646(1993).
17. S. Asavapiriyant, G. K. Chandler, G. A. Gunawardena and D. Pletcher, J. Electroanal. Chem., 177, 229(1984).