

ภาคผนวก ง. บทความวิจัยที่เขียนขึ้นในระหว่างเดือน มิถุนายน 2548
ถึง มกราคม 2548 ยังไม่ได้ตีพิมพ์

บทความที่ 1

การเตรียม การตรวจสอบเฟสและสมบัติไดอิเล็กตริก
ของเซรามิกส์และการประยุกต์

Sample preparation and dielectric properties measurements of
ceramics and application in oscillator circuit

บทความที่ 1

การเตรียมสารและวัดสมบัติไดอิเล็กตริกของเซรามิกส์ และการประยุกต์ในวงจรออสซิลเลเตอร์

Sample preparation and dielectric properties measurements of ceramics and application in oscillator circuit

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ¹ ถนอมจิต ผาสุกใจ² นาซีเราะห์ สีอริ² รุฮานา เวดาราโอะ²
เอกกนิษฐ์ ชัยวิชิต² ดารุณี ชวดศรี² และ เอกอนงค์ คงช้อย²

Thongchai Panmatarith, Thanomjit Phasukjai, Naziroh Sueree, Ruhana Weadaraoh,
Ekkakit Chaiwichit, Darunee Chuadsri and Ekanong Kongchouy

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,
Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.
Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

สาร $ZnO+Nb_2O_5$, $(Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3$, $BaSnO_3$, $(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$, $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ และ $Zr_{0.2}Sn_{0.2}Ti_{0.8}O_2$ แสดงสมบัติที่ตอบสนองต่อความถี่ ความต้านทานของสาร $ZnO+Nb_2O_5$ และ $(Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3$ มีค่าสูงและเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ความต้านทานของสาร $BaSnO_3$, $(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$, $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (I) และ $Zr_{0.2}Sn_{0.2}Ti_{0.8}O_2$ มีค่าสูงและไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป สาร $ZnO+Nb_2O_5$, $(Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3$, $BaSnO_3$, $(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$, $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (I) และ $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (II) แสดงความถี่ที่ขึ้นกับแรงดันไฟฟ้า สาร $BaSnO_3$ แสดงอิมพีแดนซ์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ สาร $ZnO+Nb_2O_5$, $(Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3$, $BaSnO_3$, $(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$, $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (I) และ $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (II) สามารถทำหน้าที่เป็นตัวกับประจุไฟฟ้าในวงจรออสซิลเลเตอร์

Abstract

The $\text{ZnO}+\text{Nb}_2\text{O}_5$, $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$, BaSnO_3 , $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$, $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ and $\text{Zr}_{0.2}\text{Sn}_{0.2}\text{Ti}_{0.6}\text{O}_2$ materials showed frequency response properties. The resistance of $\text{ZnO}+\text{Nb}_2\text{O}_5$ and $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ materials were a high value and increased with time. The resistance of BaSnO_3 , $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$, $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ (I) and $\text{Zr}_{0.2}\text{Sn}_{0.2}\text{Ti}_{0.6}\text{O}_2$ materials were a high value and were not changing with time. The $\text{ZnO}+\text{Nb}_2\text{O}_5$, $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$, BaSnO_3 , $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$, $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ (I) and $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ (II) showed the capacitance dependence on voltage. The BaSnO_3 showed the impedance dependence on temperature. The $\text{ZnO}+\text{Nb}_2\text{O}_5$, $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$, BaSnO_3 , $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$, $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ (I) and $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ (II) can be used as a capacitor in oscillator circuit.

Key words : dielectric property, dielectric material

บทนำ

การค้นพบไฟฟ้าเฟอร์โรใน $BaTiO_3$ ในปี 1940 นำไปสู่การทำตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูง ไฟฟ้าเฟอร์โรเกิดจากโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้ามีทิศทางขนานกัน บริเวณที่มีโพลาริเซชันทิศทางเดียวเรียกว่า โดเมน (domain) $BaTiO_3$ มีโครงสร้างผลึกแบบเพอโรฟสไกต์ (perovskite structure) ไฟฟ้าเฟอร์โรนี้มีความเกี่ยวข้องกับการทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของวงจรรอสซิลเลเตอร์ ตัวอย่างสาร $BaTiO_3$ กับตัวเติมในรูปแบบต่าง ๆ เช่น $BaTiO_3 + 0.1La_2O_3$, $BaTiO_3 + 0.1Y_2O_3$, $BaTiO_3 + 0.1Ta_2O_5$ และ $BaTiO_3 + 0.1Sb_2O_3$

สารเฟอร์โรอิเล็กตริกแสดงสมบัติได้หลายอย่าง ได้แก่ ผลของความถี่ที่มีต่อสมบัติไดอิเล็กตริก ความต้านทานสูง ความจุที่ขึ้นกับแรงดัน อิมพีแดนซ์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ การทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรรอสซิลเลเตอร์ สารนี้มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

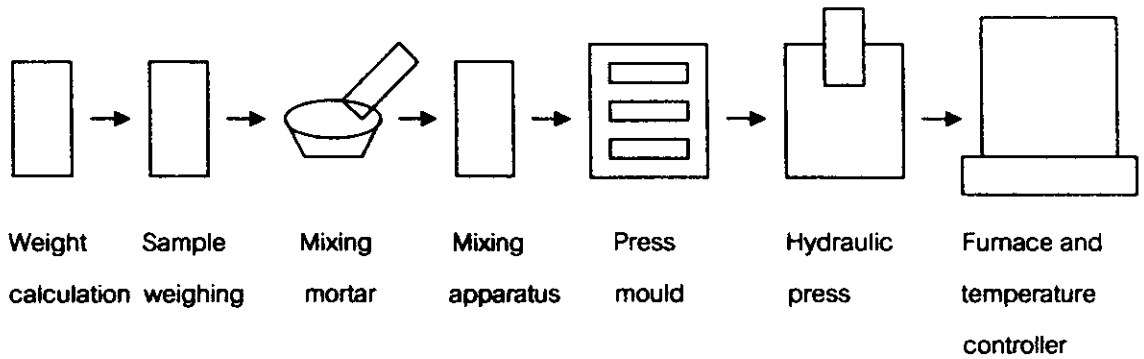
Ligin Zhou (1992) ในประเทศจีน ได้เตรียมตัวเก็บประจุแบบหลายชั้น $Sr_{0.7}Ba_{0.3}TiO_3$ วัดสภาพด้านทานไฟฟ้า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและตัวประกอบการสูญเสียที่สัมพันธ์กับความถี่ Wankdyn (1992) ในประเทศอินเดีย ได้เตรียม $Eu_2Ti_2O_7$ ศึกษาสมบัติการขนย้ายทางไฟฟ้า วัดสภาพการนำไฟฟ้า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและกำลังไฟฟ้าความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ Kazuhide Abe (1994) ในประเทศญี่ปุ่น ได้เตรียมฟิล์มบาง $(Ba_{0.24}Sr_{0.76})TiO_3$ วัดความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกับสนามไฟฟ้า ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดทางไฟฟ้ากับสนามไฟฟ้าและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ความถี่ต่างๆ Sowlati (1998) ในประเทศแคนาดา ได้ทำตัวเก็บประจุไฟฟ้าสำหรับใช้งานในวงจรรอสซิลเลเตอร์

บทความนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาผลของความถี่ที่มีต่อสมบัติไดอิเล็กตริก ความต้านทานสูง ความจุที่ขึ้นกับแรงดัน อิมพีแดนซ์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ และ การประยุกต์ใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรรอสซิลเลเตอร์

วัตถุประสงค์และวิธีการ

1. การเตรียมสารตัวอย่าง

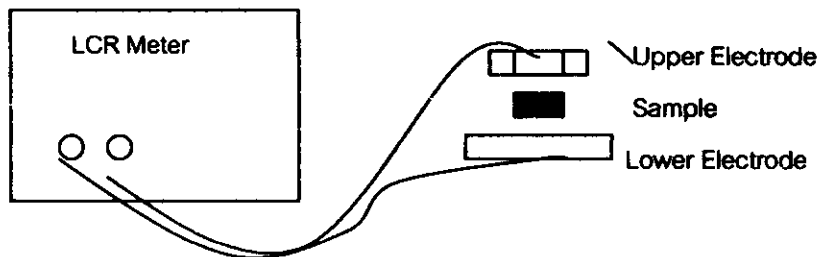
สารที่เตรียมมีส่วนผสมเป็น $ZnO+Nb_2O_5 \cdot (Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3$, $BaSnO_3$, $BaTiO_3+0.1SrCO_3$, $(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$, $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (I), $Zr_{0.2}Sn_{0.2}Ti_{0.8}O_2$ และ $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (II) เตรียมสารตัวอย่างโดยวิธีเทคนิคเซรามิกมาตรฐาน (standard ceramic techniques) ดังแสดงในรูปที่ 1 (Buchanan, 1991) คำนวณน้ำหนักตามส่วนผสมของสารที่จะเตรียม ชั่งน้ำหนัก ผสมผงของสารด้วยครกและเครื่องหมุนผสมสาร หยอด PVA (polyvinyl alcohol) และน้ำกลั่นลงไปเพื่อให้ผงเกาะตัว นำผงใส่บักอัด อัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก (hydraulic pressor) นำก้อนสารไปวางในเตาหลอม ตั้งอุณหภูมิการเผาและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ ทำการเผา นำก้อนสารออกจากเตาเมื่อเย็น นำก้อนสารไปตรวจสอบเฟสด้วยเครื่อง XRD (X-ray diffractometer, Philip PW1730) ทำจั่วไฟฟ้าด้วยกาวเงิน วัดขนาดของสารด้วยไมโครมิเตอร์



รูปที่ 1 การจัดเครื่องมือเพื่อเตรียมสารตัวอย่าง

2. การวัดความถี่ที่มีต่อสมบัติไดอิเล็กตริก

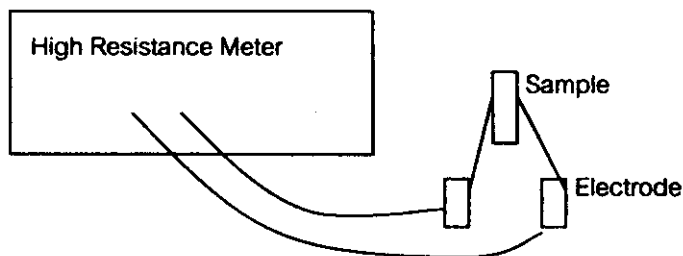
จัดเครื่องมือตามรูปที่ 2 สารที่เตรียมมีส่วนผสมเป็น n) $ZnO+Nb_2O_5$, ข) $(Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3$,
 ค) $BaSnO_3$, ง) $(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$, จ) $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (I) และ ฉ) $Zr_{0.2}Sn_{0.2}Ti_{0.6}O_2$ ใช้เครื่องมือแอลซีอาร์ (HP 4263B LCR Meter) ให้พร้อมที่จะทำงาน วัดค่า Z, G, Cp, D และ Q ที่ความถี่ f ต่าง ๆ เช่น 100 Hz, 120 Hz, 1 kHz, 10 kHz และ 100 kHz บันทึกผลลงในตาราง เขียนกราฟและแสดงสมการด้วย EXCEL



รูปที่ 2 การจัดเครื่องมือเพื่อวัดความถี่ที่มีต่อสมบัติไดอิเล็กตริก

3. การวัดความต้านทานสูง

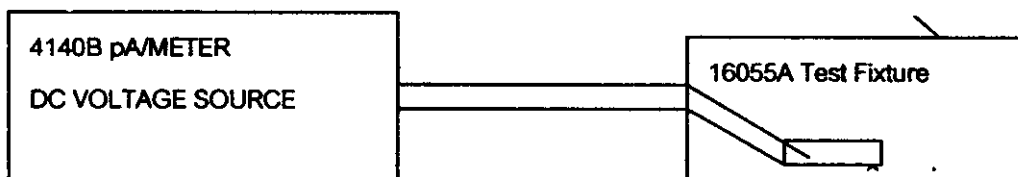
จัดเครื่องมือตามรูปที่ 3 สารที่เตรียมมีส่วนผสมเป็น n) $ZnO+Nb_2O_5$, ข) $(Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3$,
 ค) $BaSnO_3$, ง) $(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$, จ) $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (I) และ ฉ) $Zr_{0.2}Sn_{0.2}Ti_{0.6}O_2$ ใช้เครื่องมือความต้านทานสูง (HP 4339B High Resistance Meter) ให้พร้อมที่จะทำงาน วัดความต้านทานไฟฟ้าของสารตัวอย่าง (R) ค่าพหุคูณสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) และสภาพการนำไฟฟ้า (σ)



รูปที่ 3 การจัดเครื่องมือเพื่อวัดความต้านทานสูง

4. การวัดความจุที่ขึ้นกับแรงดันด้วยมิเตอร์พีเอ/แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

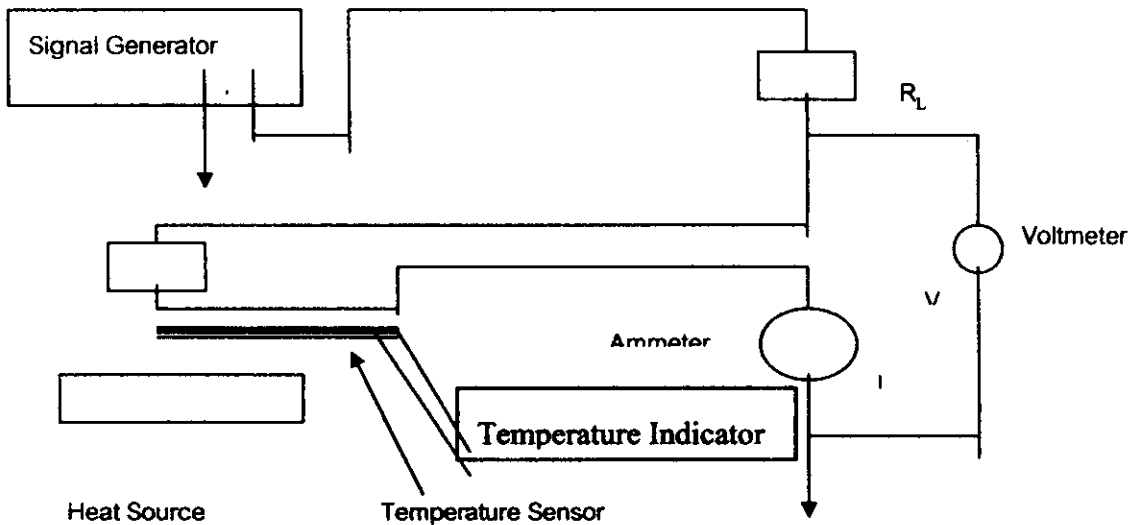
จัดเครื่องมือตามรูปที่ 4 สารที่เตรียมมีส่วนผสมเป็น ก) $ZnO+Nb_2O_5$, ข) $(Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3$,
 ค) $BaTiO_3+0.1SrCO_3$, ง) $(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$, จ) $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (I) และ ฉ) $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (II) เชื่อมมิเตอร์พีเอ/
 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (4140B pA Meter/DC Voltage Source) ให้พร้อมที่จะทำงาน วัดความจุไฟฟ้า (C)
 ที่ขึ้นกับแรงดันไฟฟ้า (V) เขียนกราฟและแสดงสมการ C vs V ด้วย EXCEL



รูปที่ 4 การจัดเครื่องมือเพื่อวัดความจุที่ขึ้นกับแรงดัน

5. การวัดอิมพีแดนซ์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ

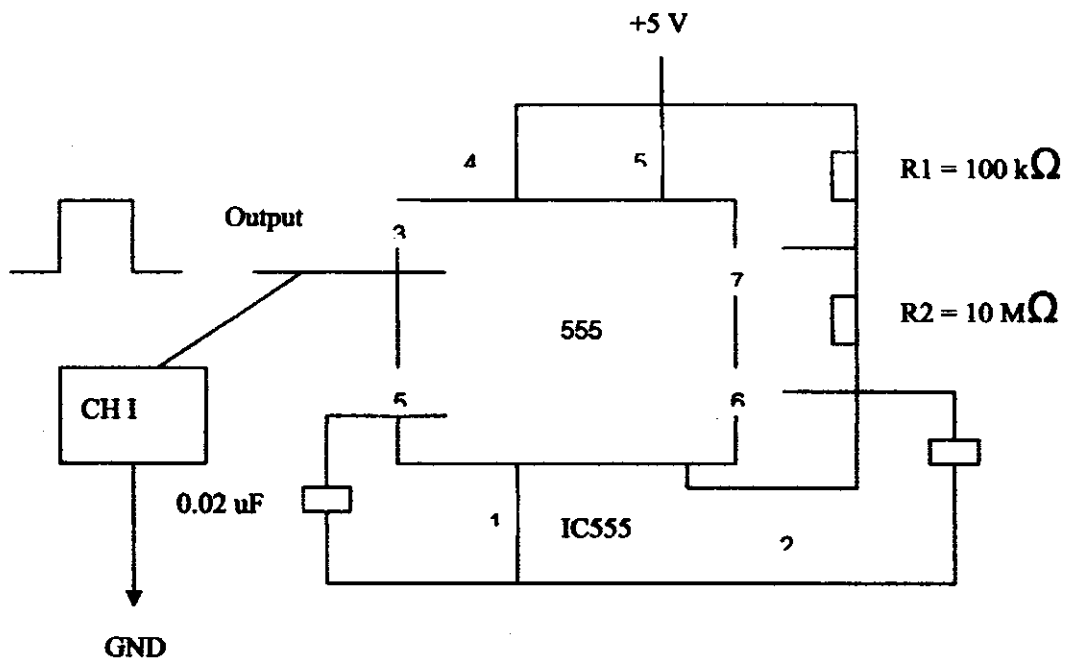
จัดเครื่องมือตามรูปที่ 5 ปลดอกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าไปยังสาร $BaSnO_3$ วัดแรงดันไฟฟ้าตก
 คร่อมสาร (V) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน (I) และอุณหภูมิของสาร (T) บันทึก V, I และ T ลงในตาราง คำนวณอิมพีแดนซ์
 (Z) เขียนกราฟและแสดงสมการของ Z vs T ด้วย EXCEL



รูปที่ 5 การจัดเครื่องมือเพื่อวัดอิมพีแดนซ์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ

6. การประยุกต์ใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรออสซิลเลเตอร์

จัดเตรียมวงจรทดสอบดังรูปที่ 6 สารที่เตรียมมีส่วนผสมเป็น ก) $ZnO+Nb_2O_5$, ข) $(Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3$, ค) $BaSnO_3$, ง) $(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$, จ) $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ และ ฉ) $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (II) ใช้ออสซิลโลสโคปแสดงภาพกรณิที่ใช้สารที่เตรียม และตัวเก็บประจุเรียงการค่า นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟด้วย EXCEL



รูปที่ 6 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้สารเตรียมได้ และ IC555 เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า

ผลการทดลอง

1. ผลการเตรียมสารตัวอย่าง

ภาพถ่าย XRD คูณภาคผนวก

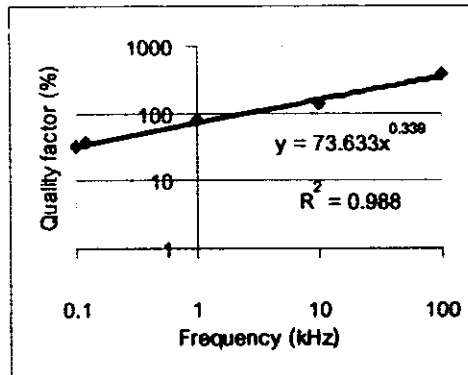
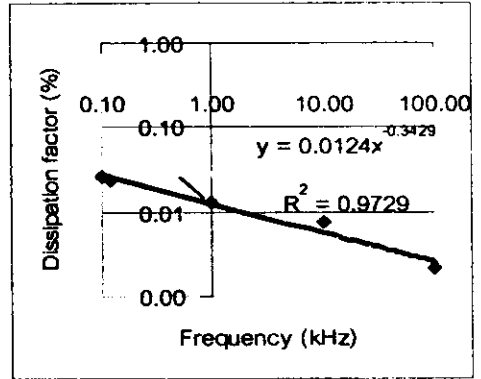
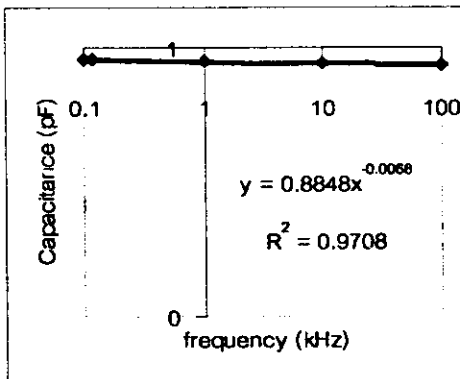
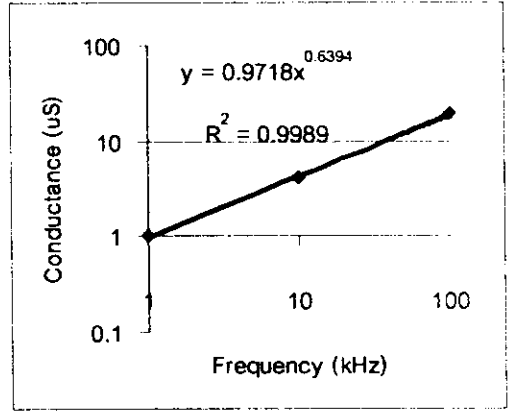
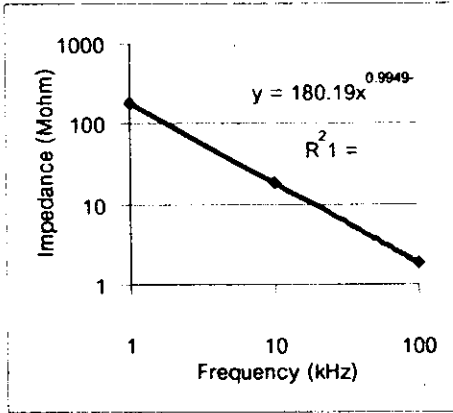
ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้เตรียมสารตัวอย่างและผลการตรวจสอบเฟส

Sample no.	Firing temperature	Composition formula before firing	Sample phase after firing
1	1200 °C	Ba(Ti _{0.5} Cr _{0.5})O ₃	BaTiO ₃ +BaCO ₃ +TiO ₂
2	1200 °C	ZnO+Nb ₂ O ₅	ZnNb ₂ O ₆
3	800/1200 °C	(Ba _{0.3} Pb _{0.7})(Ti _{0.9} Zr _{0.1})O ₃	PbTiO ₃ +BaTiO ₃
4	1200 °C	BaSnO ₃	BaSnO ₃ +BaCO ₃ +SnO ₂
5	1200 °C	BaTiO ₃ +0.1SrCO ₃	BaTiO ₃ +0.1SrCO ₃
6	1200 °C	BaTiO ₃	BaTiO ₃
7	1200 °C	(Ba _{0.4} Sr _{0.6})TiO ₃	(Ba _{0.5} Sr _{0.5})TiO ₃
8	800/1200 °C	Pb(Zr _{0.52} Ti _{0.48})O ₃	Pb(Zr _{0.52} Ti _{0.48})O ₃
9	1200 °C	(Zr _{0.2} Sn _{0.2} Ti _{0.9})O ₂	SnO ₂ +Zr _{0.75} Ti _{0.75} Sn _{0.5} O ₄
10	800/1200 °C	Pb(Zr _{0.52} Ti _{0.48})O ₃	Pb ₂ (Zr,Ti)O ₃

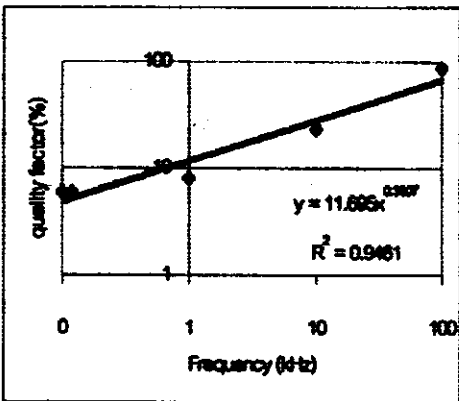
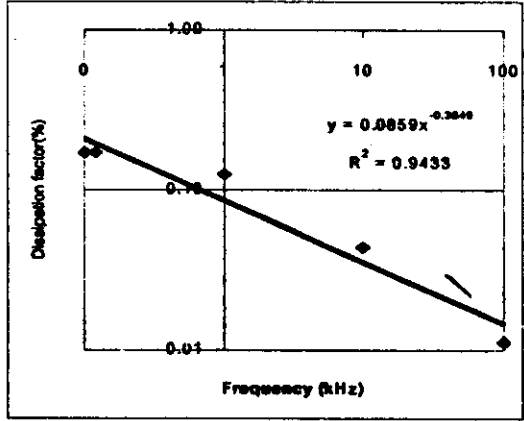
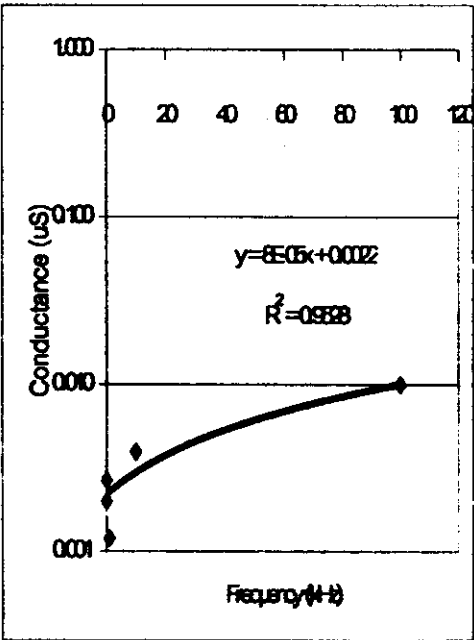
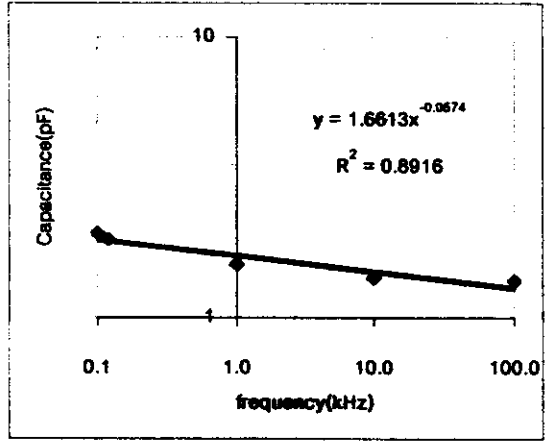
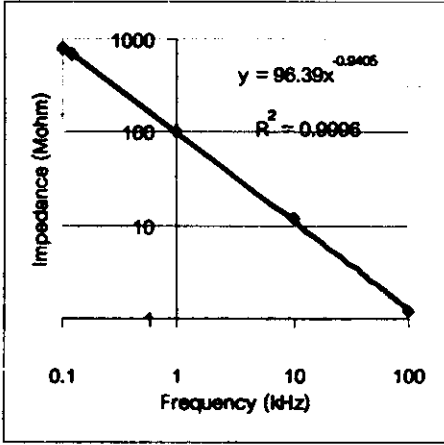
* Temperature increasing rate = 5 °C/min ; Soaking time = 0.5 h

2. ผลการวัดความถี่ที่มีต่อสมบัติไดอิเล็กตริกด้วยมิเตอร์แอลซีอาร์ (LCR Meter)

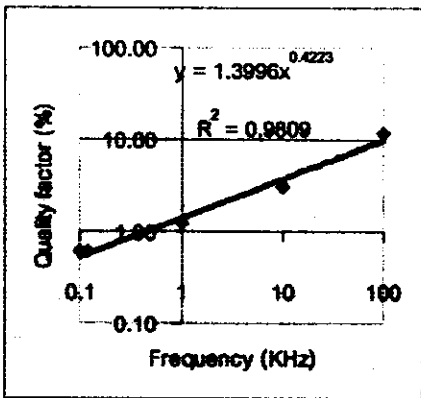
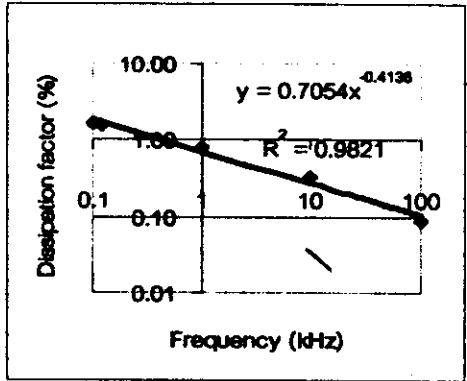
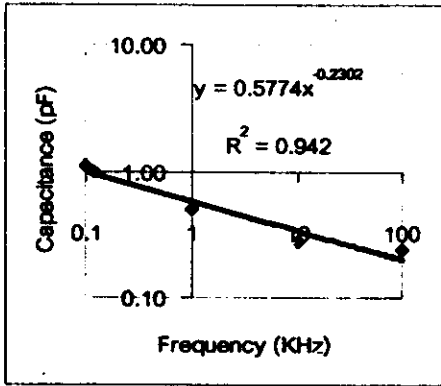
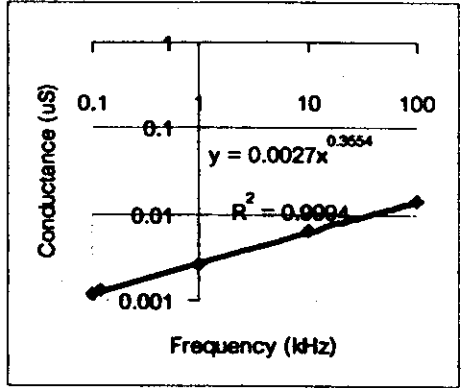
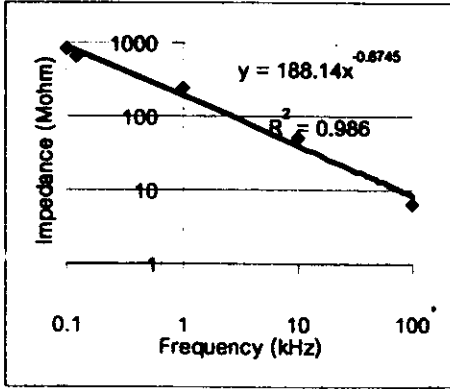
ผลการวัดผลของความถี่ที่มีต่อไดอิเล็กตริกด้วย LCR Meter ของสาร ZnO+Nb₂O₅ , (Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O₃, BaSnO₃ , (Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO₃ , Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O₃ และ Zr_{0.2}Sn_{0.2}Ti_{0.8}O₂ ซึ่งได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (f) กับ อิมพีแดนซ์ (Z) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (f) กับ ความนำไฟฟ้า (G) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (f) กับ ความจุไฟฟ้า (C) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (f) กับ ตัวประกอบการสูญเสีย และความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (f) กับ ตัวประกอบคุณภาพ (Q) แสดงดังรูปที่ 7 จากรูปพบว่าสำหรับทุกสารเมื่อความถี่ของแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น อิมพีแดนซ์ ความจุไฟฟ้า ตัวประกอบการสูญเสียของสารมีค่าลดลง แต่ความนำไฟฟ้าและตัวประกอบคุณภาพมีค่าเพิ่มขึ้น



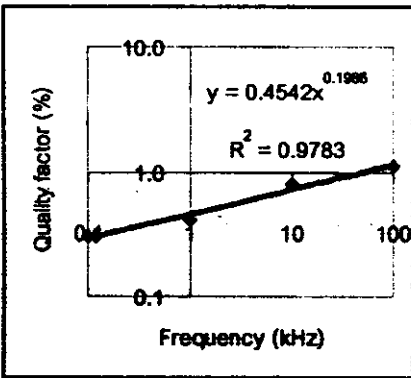
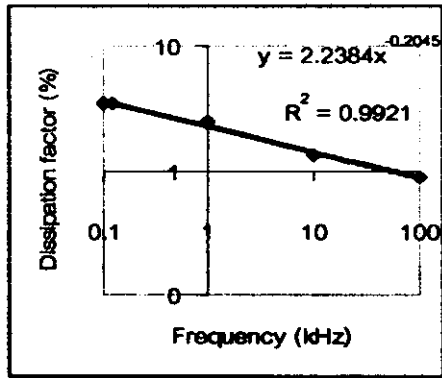
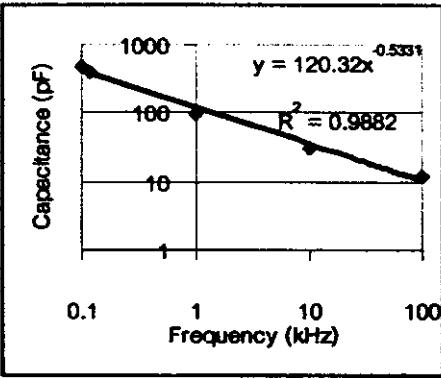
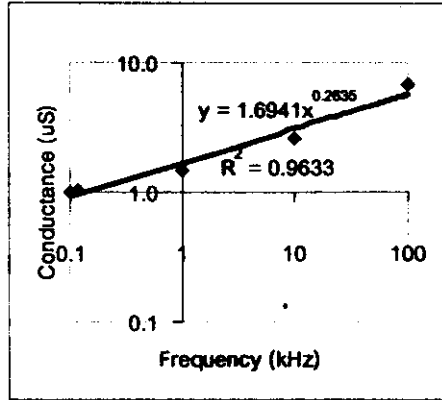
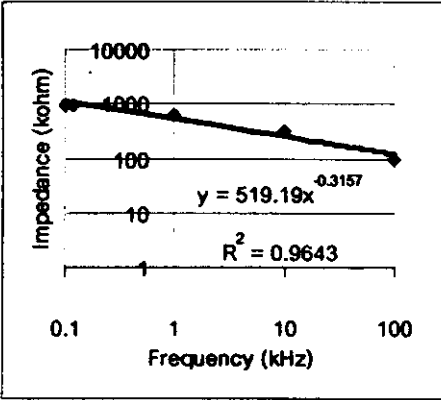
n) สาร ZnO+Nb₂O₅



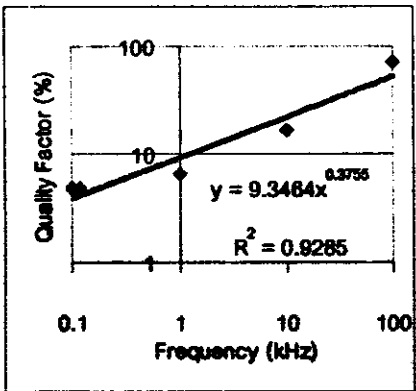
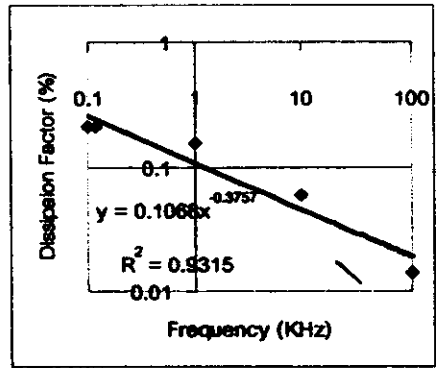
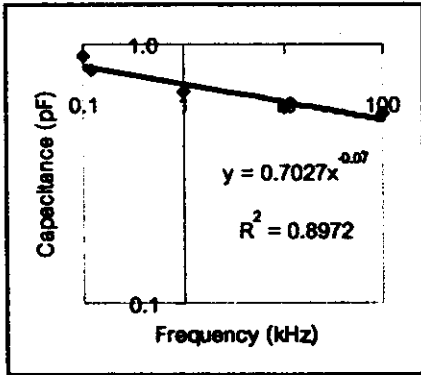
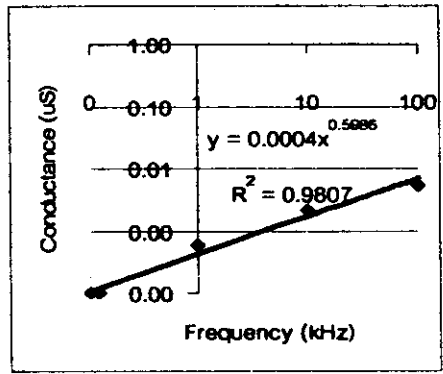
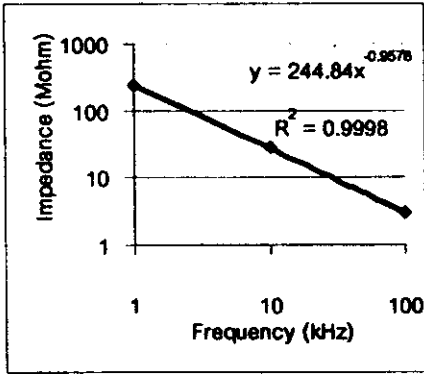
9) $\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7}(\text{Tl}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$



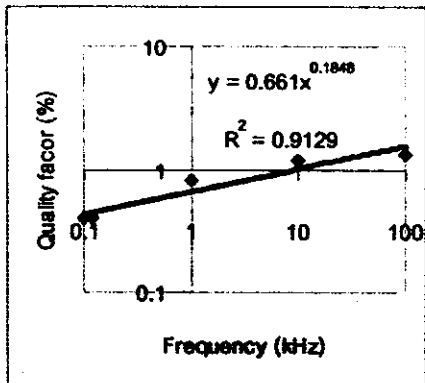
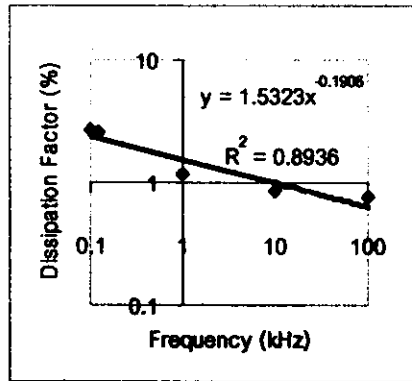
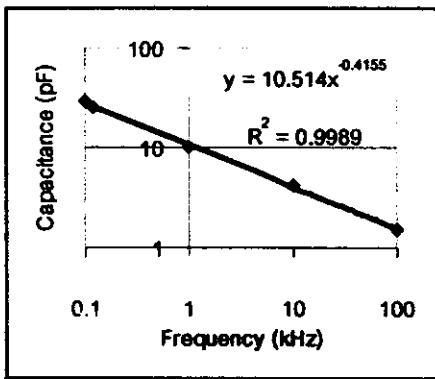
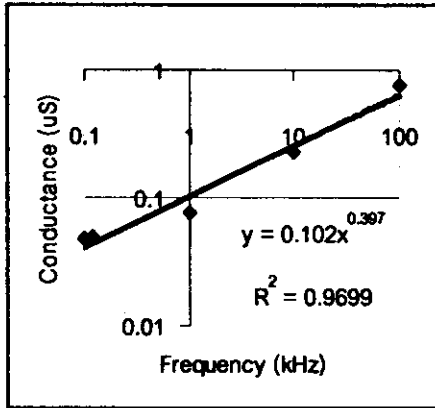
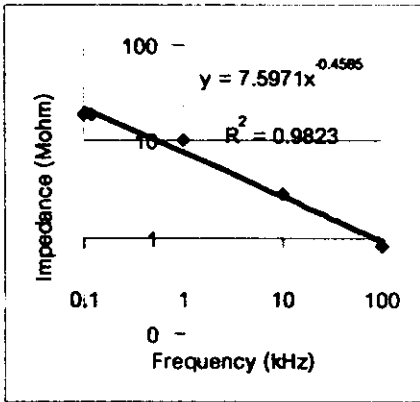
a) #17 BaSnO₃



4) $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$



9) $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ (I)



๑) สาร $Zr_{0.2}Sn_{0.2}Ti_{0.8}O_2$

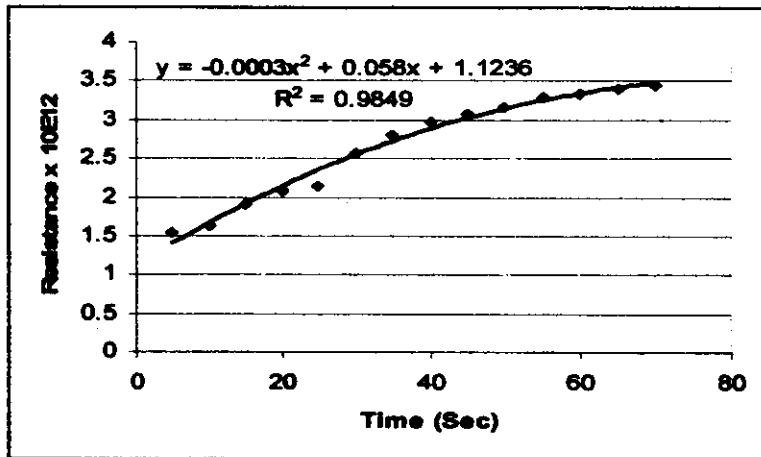
รูปที่ 7 ผลการวัดผลของพารามิเตอร์ไดอิเล็กตริก (Z vs f, G vs f, C vs f, D vs f และ Q vs f)

ของสาร ก) $ZnO+Nb_2O_5$, ข) $(Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3$, ค) $BaSnO_3$, ง) $(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$.

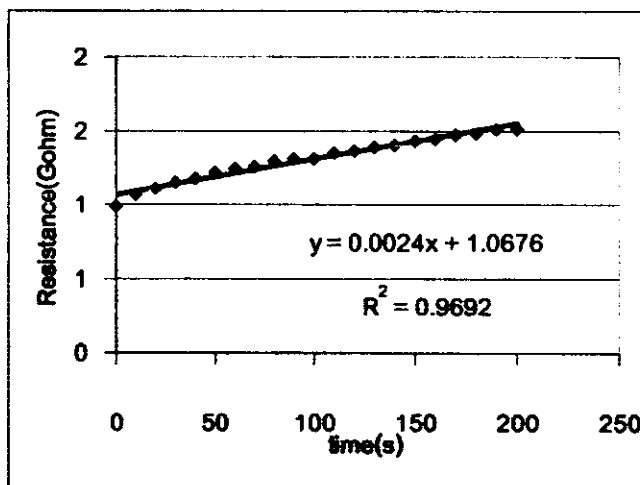
จ) $Pb(Zr_{0.87}Ti_{0.13})O_3$ (I) และ ฉ) $Zr_{0.2}Sn_{0.2}Ti_{0.8}O_2$ ด้วยมิเตอร์แอดวีเซอร์

3. ผลการวัดความต้านทานสูงด้วย High Resistance Meter

เมื่อวัดความต้านทานของสาร $\text{ZnO}+\text{Nb}_2\text{O}_5$ และ $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ พบว่าความต้านทานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป แสดงดังรูปที่ 8



(ก) $\text{ZnO}+\text{Nb}_2\text{O}_5$



(ข) $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$

รูปที่ 8 ความต้านทานที่ขึ้นกับเวลาของสาร (ก) $\text{ZnO}+\text{Nb}_2\text{O}_5$ และ (ข) $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$

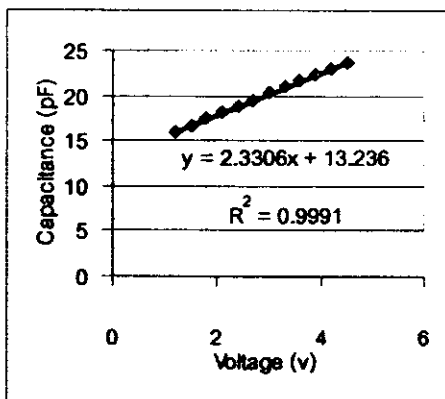
ส่วนความต้านทานไฟฟ้า (R) สภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) และสภาพการนำไฟฟ้า (σ) ของสาร BaSnO₃ มีค่าดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความต้านทานไฟฟ้า (R) สภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) และสภาพการนำไฟฟ้า (σ) ของสาร BaSnO₃ (Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO₃, Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O₃ (I) และ Zr_{0.2}Sn_{0.2}Ti_{0.6}O₂

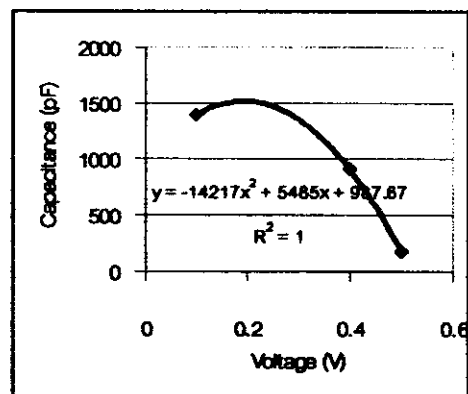
Sample	Resistance (M Ω)	Resistivity (M Ω .cm)	Conductivity ((M Ω) ⁻¹ .(cm) ⁻¹)
BaSnO ₃	13.154	330.47	0.0302
(Ba _{0.4} Sr _{0.6})TiO ₃	10.50	0.34	2.92
Pb(Zr _{0.52} Ti _{0.48})O ₃ (I)	2.188 x 10 ⁵	7.12 x 10 ⁵	1.4 x 10 ⁻⁶
Zr _{0.2} Sn _{0.2} Ti _{0.6} O ₂	4.950	0.338	2.950

4. ผลการวัดความจุที่ขึ้นกับแรงดันด้วย PA Meter/DC Voltage Source

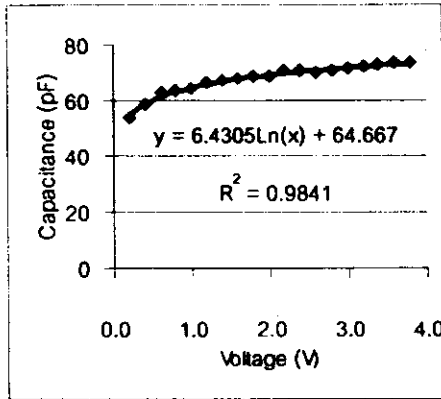
เมื่อวัดความจุที่ขึ้นกับแรงดันของสาร สาร ZnO+Nb₂O₅, BaSnO₃, (Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO₃, Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O₃ (I) และ Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O₃ (II) พบว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ความจุไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้น ยกเว้นสาร (Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O₃ ความจุไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วลดลงในขณะที่แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ดังแสดงรูปที่ 9



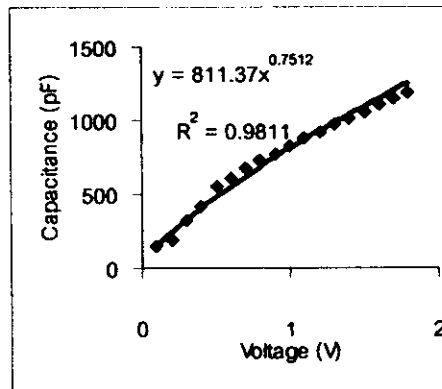
(ก) สาร ZnO+Nb₂O₅



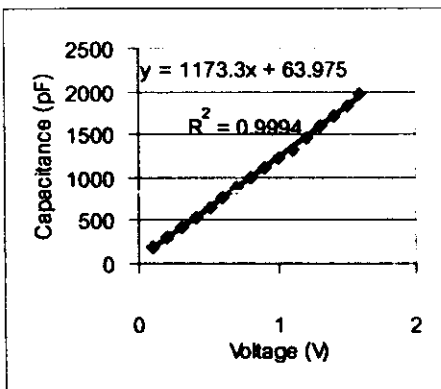
(ข) สาร (Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O₃



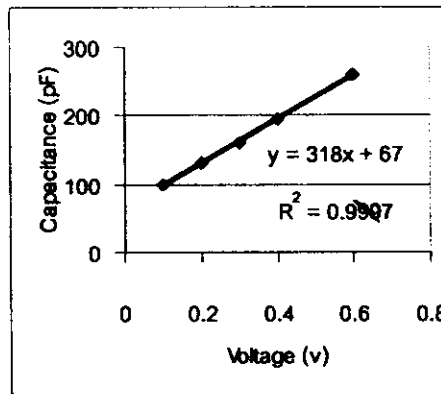
(ค) สาร $BaTiO_3+0.1SrCO_3$



(ง) สาร $(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$



(จ) สาร $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (I)



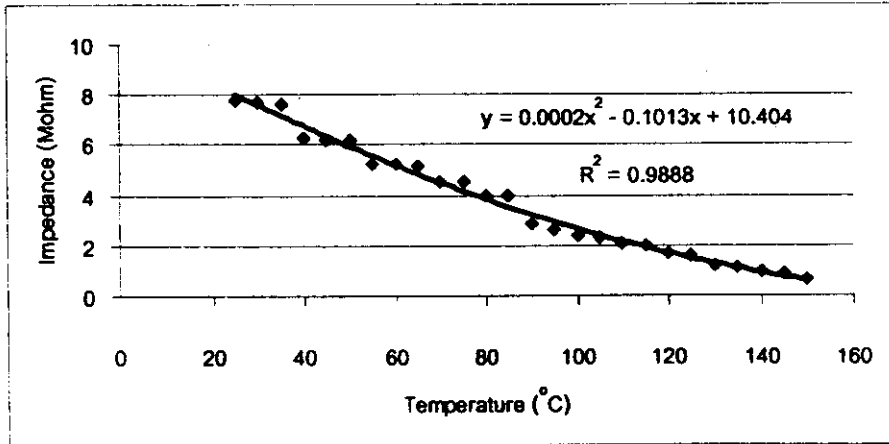
(ฉ) สาร $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (II)

รูป 9 ความจุไฟฟ้าที่ขึ้นกับแรงดันไฟฟ้าของสาร (ก) $ZnO+Nb_2O_5$, (ข) $(Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3$,

(ค) $BaSnO_3$, (ง) $(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$, (จ) $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (I) และ (ฉ) $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (II)

5. ผลการวัดอิมพีแดนซ์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ

ผลการวัดอิมพีแดนซ์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสารแสดงดังรูปที่ 10 สารที่ทดลองมีสูตรเป็น $BaSnO_3$ จากรูปพบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อิมพีแดนซ์ของสารลดลง

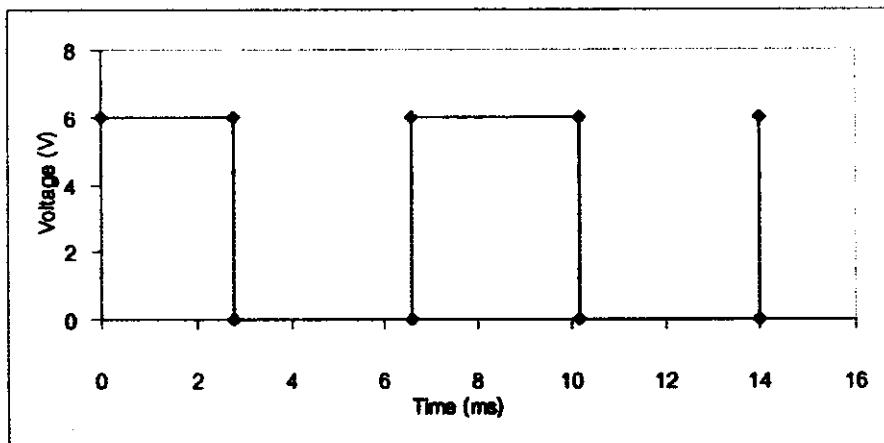


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์ (Z) กับอุณหภูมิ (T) ของสาร BaSnO₃

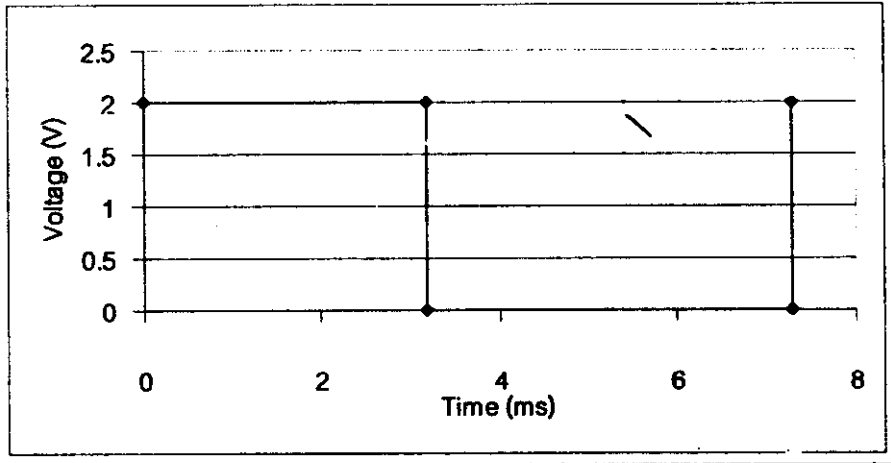
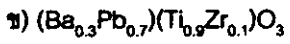
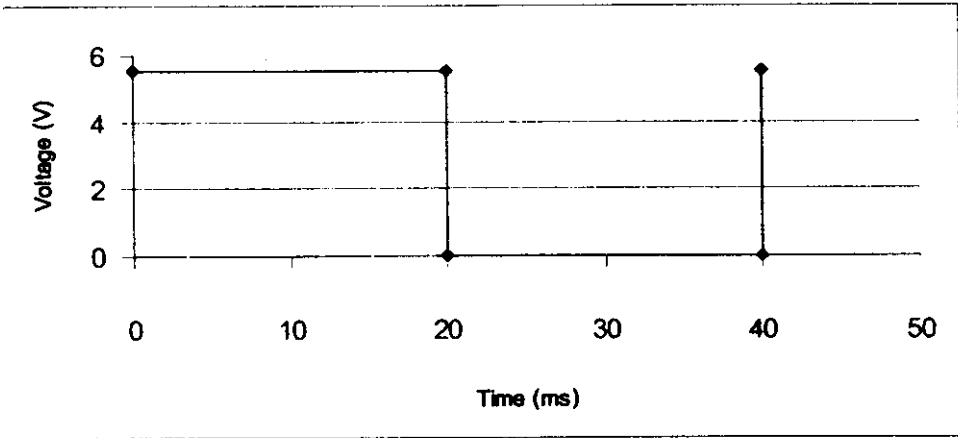
6. ผลการประยุกต์ใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรอสซิลเลเตอร์

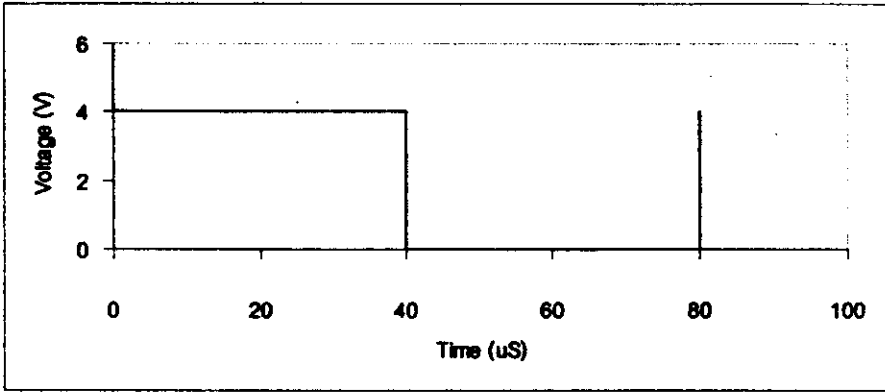
เมื่อทดสอบโดยให้สารสาร n) ZnO+Nb₂O₅, ข) (Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O₃, ค) BaSnO₃, ง) (Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO₃,

จ) Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O₃ (I) และ ฉ) Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O₃ (II) ให้ทำหน้าที่เป็นคัมกับประจุไฟฟ้าในวงจรอสซิลเลเตอร์ พบว่า วงจรสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ความถี่ค่าหนึ่ง ดังรูปที่ 11

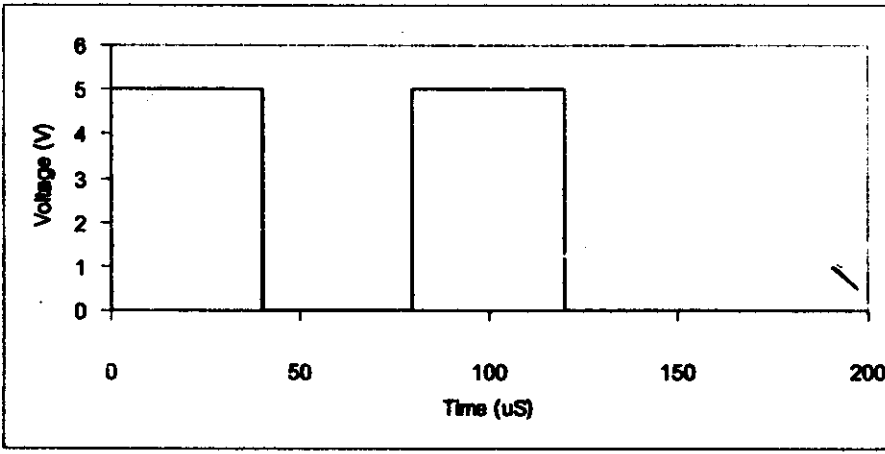


n) ZnO+Nb₂O₅

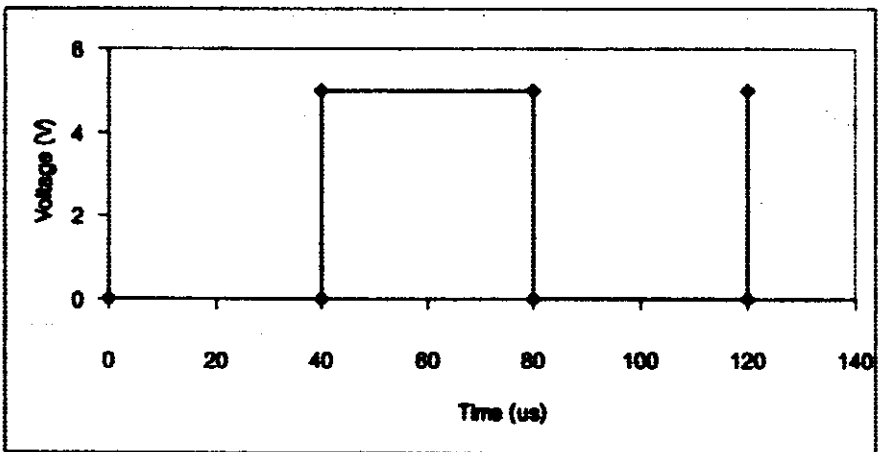




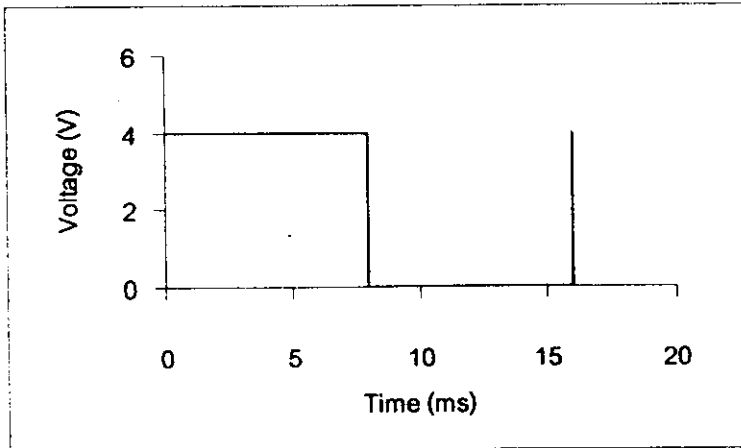
1) $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$



2) $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.32}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ (I)



3) $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.32}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ (II)



(ข) ตัวเก็บประจุเชิงการค้ำ

รูป 5.11 แรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาที่วงจรถอดสวิตเตอร์สร้างได้โดยใช้สาร ก) $ZnO+Nb_2O_5$.

ข) $(Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3$, ค) $BaSnO_3$, ง) $(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$, จ) $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (I)

ฉ) $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (II) และ ข) ตัวเก็บประจุเชิงการค้ำ

วิเคราะห์ผลการทดลอง

1. วิเคราะห์ผลการเตรียมสารตัวอย่าง

สารที่เตรียมได้มีทั้งเฟสเดียว สองเฟสและสามเฟส

2. วิเคราะห์ผลการวัดความถี่ที่มีต่อสมบัติไดอิเล็กตริกด้วย LCR Meter

เมื่อพิจารณาผลการวัดความถี่ที่มีต่อสมบัติไดอิเล็กตริกของสาร $ZnO+Nb_2O_5$, $(Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3$, $BaSnO_3$, $(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$, $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (I) และ $Zr_{0.2}Sn_{0.2}Ti_{0.6}O_2$ พบว่าความสัมพันธ์ของ Z,G,C,D,Q กับ f มีความสอดคล้องตามสมการ

ก) $ZnO+Nb_2O_5$

$$Z = 180.19f^{0.9946} ; G = 0.9718f^{0.6304} ; C = 0.8848f^{-0.0098} ; D = 0.012f^{0.3429} ; Q = 73.633f^{0.339}$$

ข) $(Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3$

$$Z = 96.39f^{0.9405} ; G = 1.6613f^{0.0574} ; C = 3 \times 10^{-5} f^{-0.0022} ; D = 0.0859f^{0.3848} ; Q = 11.695f^{0.3017}$$

ค) $BaSnO_3$

$$Z = 188.14f^{0.6745} ; G = 0.0027f^{0.2554} ; C = 0.577f^{-0.2302} ; D = 0.7054f^{0.4138} ; Q = 1.3996f^{0.4223}$$

ง) $(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$

$$Z = 519.19f^{0.3157} ; G = 1.6941f^{0.2535} ; C = 120.32f^{-0.5331} ; D = 2.2384f^{0.2045} ; Q = 0.4542f^{0.1986}$$

จ) $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (I)

$$Z = 244.84f^{0.9676} ; G = 0.0004f^{0.5086} ; C = 0.7027f^{-0.07} ; D = 0.1068f^{0.3757} ; Q = 9.3464f^{0.3765}$$



$$Z = 7.5971r^{0.4585}; G = 0.102r^{0.397}; C = 10.514r^{0.4155}; D = 1.5323r^{0.1906}; Q = 0.661r^{0.1848}$$

สมการของความสัมพันธ์ทั้งหมดเป็นแบบยกกำลังและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ เช่น การที่อิมพีแดนซ์มีค่าลดลงในขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นอุปกรณ์การกรองแรงดันไฟฟ้าสูงผ่าน การที่ความนำไฟฟ้าของสารมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้ทราบการนำไฟฟ้าของสารที่ความถี่ต่างๆ การที่ความนำไฟฟ้ามีค่าลดลงในขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้นจะนำไปประยุกต์เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรเลื่อนเฟสของแรงดันไฟฟ้า การที่ตัวประกอบการสูญเสียของสารมีค่าลดลงและตัวประกอบคุณภาพมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้นเป็นการแสดงให้เห็นว่าพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้สารจะมีการสูญเสียน้อยเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นและสารมีคุณภาพดีที่ความถี่สูง

3. วิเคราะห์ผลการวัดความต้านทานสูงด้วย High Resistance Meter

สาร $ZnO+Nb_2O_5$ และ $(Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3$ มีความต้านทานค่ามากในย่าน $M\Omega$ และมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาดังสมการ $R = -0.0003t^2 + 0.058t + 1.1236$ และ $R = 0.0024t + 1.0676$ ตามลำดับ ส่วนสาร $BaSnO_3$, $(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$, $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (I) และ $Zr_{0.2}Sn_{0.2}Ti_{0.6}O_2$ มีความต้านทานค่ามากแต่ไม่เพิ่มขึ้นตามเวลา ลักษณะของสารเหล่านี้เป็นสมบัติไดอิเล็กตริก ดังนั้นสารมีลักษณะเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า

4. วิเคราะห์ผลการวัดความจุที่ขึ้นกับแรงดันด้วย PA Meter/DC Voltage Source

ความจุไฟฟ้ามีค่าขึ้นกับแรงดันไฟฟ้าสาร $ZnO+Nb_2O_5$, $(Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3$, $BaTiO_3 + 0.1SrCO_3$,

$(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3$, $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (I) และ $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ (II) ดังสมการ

$$ZnO+Nb_2O_5 : C = 2.3306V + 13.236$$

$$(Ba_{0.3}Pb_{0.7})(Ti_{0.9}Zr_{0.1})O_3 : C = -14217V^2 + 5485V + 987.67$$

$$BaTiO_3 + 0.1SrCO_3 : C = 6.4305 \ln(V) + 64.667$$

$$(Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO_3 : C = 811.37V^{0.7512}$$

$$Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$$
 (I) : $C = 1173V + 63.975$

$$Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$$
 (II) : $C = 318V + 63.975$

แสดงว่าสารแสดงสมบัติไดอิเล็กตริกซึ่งสามารถนำไปประยุกต์เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า

5. วิเคราะห์ผลการวัดอิมพีแดนซ์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ

ความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิสาร $BaSnO_3$ มีความสอดคล้องตามสมการ

$Z = 0.0002T^2 - 0.1013T + 10.404$ ความสัมพันธ์เป็นแบบพหุนามอันดับสอง การที่อิมพีแดนซ์ของสารมีค่าลดลงในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิดจากความร้อนทำให้อิเล็กตรอนย้ายจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำ เกิดโฮลในแถบวาเลนซ์ พหุนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทำให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น อิมพีแดนซ์ของสารจึงมีค่าลดลง

6. วิเคราะห์ผลการประยุกต์ใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรออสซิลเลเตอร์

เมื่อนำสารไปแทนที่ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเชิงการค้ำในวงจรออสซิลเลเตอร์แล้ววงจรก็สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้ในลักษณะเดียวกันกับที่ใช้ตัวเก็บประจุเชิงการค้ำ แสดงว่าสารสามารถนำไปประยุกต์ให้ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรออสซิลเลเตอร์

สรุปผลการทดลอง

สารตอบสนองต่อความถี่ของแรงดันไฟฟ้าในช่วง 100 Hz ถึง 100 kHz เนื่องจากความต้านทานสูงและหรือเพิ่มขึ้นตามเวลา แสดงความจุไฟฟ้าที่ขึ้นกับแรงดันไฟฟ้า สารมีลักษณะเป็นตัวเก็บประจุ สารมีอิมพีแดนซ์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ สารสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรออสซิลเลเตอร์

เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Relva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, Second edition, MerceI Dekker Inc., New York.
- Jingchang, Z. 2002. Study on the properties of (Y,Mn) co-doped $Sr_{0.5}Pb_{0.5}TiO_3$ thermistors. Materials Science and Engineering B., 94, 202-206.
- Kazuhide Abe. 1994. Epitaxial growth and dielectric properties of $(Ba_{0.24}Sr_{0.76})TiO_3$ thin film, J. Appl. Phys., 33, 5297-5300.
- Ligin Zhou. 1992. $Sr_{0.7}Ba_{0.3}TiO_3$ based multilayer boundary-layer capacitors. J. Mater. Sci. Lett., 11, 1134-1136.
- Manling Bao. 1993. Study on the dielectric properties of $Ba(Ti,Sn)O_3$ ceramics prepared from ultrafine powder. J. Mater. Sci., 28, 6617-6621.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.
- Shail Upadhyay. 1997. Preparation and characterization of barium stannate $BaSnO_3$. J. Mater. Sci. Lett., 16, 1330-1332.
- Wanklyn, B.M. 1992. Electrical transport properties of $Eu_2Ti_2O_7$ single crystal. J. Mater. Sci., 27, 4080-4084

บทความที่ 2

ปรากฏการณ์พิทซีที่เกิดขึ้นในเซรามิกส์ $\text{MgCO}_3+0.01\text{Sb}_2\text{O}_3$ ชนิดใหม่

PTC effect occurring in new $\text{MgCO}_3+0.01\text{Sb}_2\text{O}_3$ ceramics

บทความที่ 2

ปรากฏการณ์พีทีซีที่เกิดขึ้นในเซรามิกส์ $MgCO_3+0.01Sb_2O_3$ ชนิดใหม่
PTC effect occurring in new $MgCO_3+0.01Sb_2O_3$ ceramics

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์¹ และ ธนอมจิต ผาสุกใจ²

Thongchai Panmatarith and Thanomjit Phasukjai

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้พบปรากฏการณ์ PTC เป็นครั้งแรกในสาร $MgCO_3+0.01Sb_2O_3$ โดยมีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นบวก (α) มีค่า $\alpha = 4.2 \text{ \%}^{\circ}\text{C}$ ในช่วงอุณหภูมิ 25-65 °C

Abstract

PTC effect in $MgCO_3+0.01Sb_2O_3$ material with a positive temperature coefficient of resistance (α) of 4.2 $\text{\%}^{\circ}\text{C}$ in the range of 25-65 °C was found in a first time.

Key words : PTC thermistor, PTC effect .

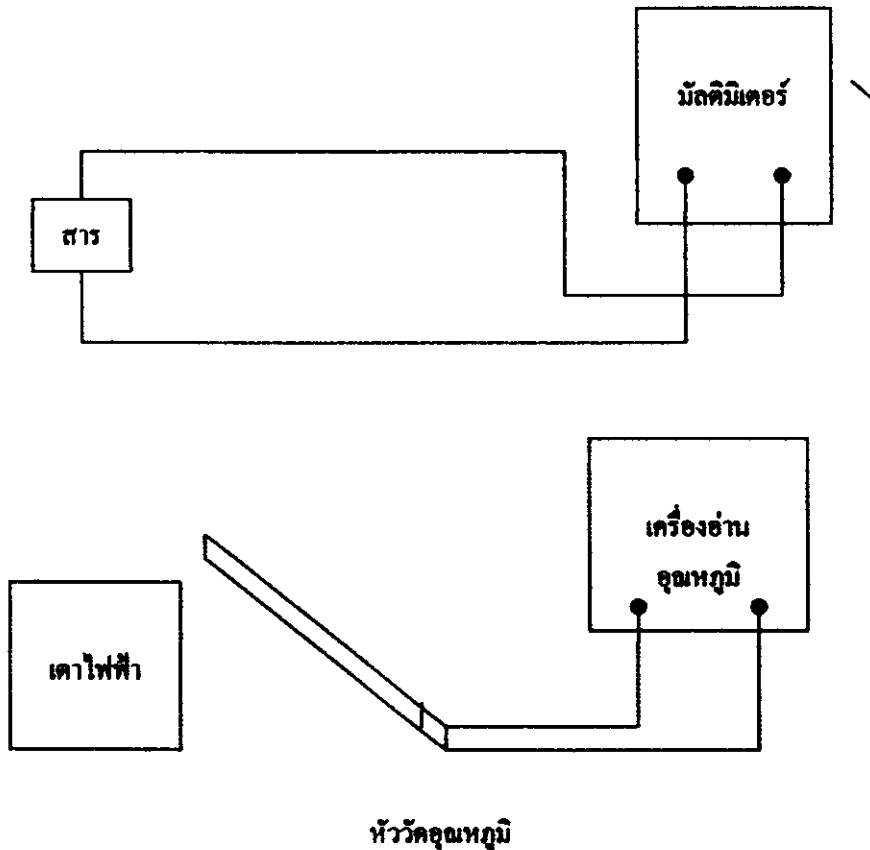
บทนำ

เทอร์มิสเตอร์แบบ PTC เป็นตัวต้านทานที่มีความต้านทานเพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำมาจาก BaTiO_3 + ตัวเติม สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทาน (α) มีค่าเป็นบวก สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นหัววัดอุณหภูมิ Jingchang (2002) ในประเทศจีน ได้เตรียม (Y,Mn) co-doped $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$ thermistor แล้วศึกษาปรากฏการณ์ PTCR (PTCR effect)

วัตถุประสงค์เพื่อวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของของสาร $\text{MgCO}_3 + 0.01\text{Sb}_2\text{O}_3$

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

1. จัดชุดทดลองดังรูปที่ 1 แล้ววัดความต้านทาน (R) และอุณหภูมิ (T) ของสาร $\text{MgCO}_3 + 0.01\text{Sb}_2\text{O}_3$ วัดความต้านทานด้วยมัลติมิเตอร์ วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคอปเปิล ชนิด K และเครื่องอ่านอุณหภูมิ
2. บันทึก R และ T ลงในตาราง เขียนกราฟและแสดงสมการด้วย EXCEL

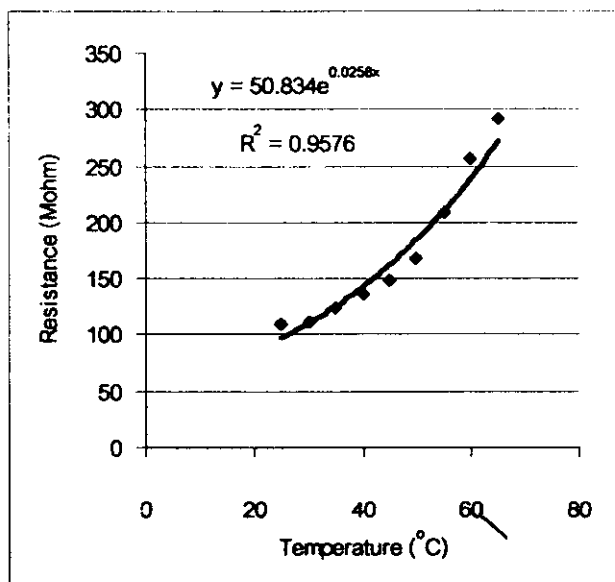


หัววัดอุณหภูมิ

รูปที่ 1 การจัดเครื่องมือเพื่อวัดความต้านทานและอุณหภูมิ

ผลการทดลอง

ความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $\text{MgCO}_3+0.01\text{Sb}_2\text{O}_3$ มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 2 จากรูปพบว่า เมื่ออุณหภูมิของสารเพิ่มขึ้น ความต้านทานของสารเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความต้านทานของ $\text{MgCO}_3+0.01\text{Sb}_2\text{O}_3$

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ความต้านทานของสารที่มีค่าเพิ่มขึ้นในกรณีที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิดจากบริเวณกำแพงศักย์จับอิเล็กตรอนไว้ส่งผลการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานซึ่งเหมือนกันกับที่พบในสาร BaTiO_3 (Buchanan, 1991) สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทาน (α) ในช่วงอุณหภูมิ 25-65 °C มีค่า $\alpha = 4.2 \text{ \%}/\text{C}$ ($\text{MgCO}_3+0.01\text{Sb}_2\text{O}_3$) แต่ของ BaTiO_3 มีค่า $\alpha = 10-100 \text{ \%}/\text{C}$ (Buchanan, 1991) เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่าค่า α ของสารที่ทดลองมีค่าต่ำกว่าของ BaTiO_3 แต่อย่างไรก็ตามผลสิ่งที่ทดลองได้เป็นการค้นพบปรากฏการณ์ PTC เป็นครั้งแรกในสารนี้

สรุปผลการทดลอง

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิของสาร $\text{MgCO}_3+0.01\text{Sb}_2\text{O}_3$ เป็นปรากฏการณ์ PTC

เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Reiva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, second edition, Mercel Dekker Inc., New York.
- Jingchang, Z. 2002. Study on the properties of (Y,Mn) co-doped $Sr_{0.5}Pb_{0.5}TiO_3$ thermistors. Materials Science and Engineering B., 94, 202-206.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, Lodon.

บทความที่ 3

การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ใน
อุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกเชิงการค้า

Magnetoimpedance effect test in commercial piezoelectric device

บทความที่ 3

การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ ในอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกเชิงการค้า

Magnetoimpedance effect test in commercial piezoelectric device

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์¹ และ ดารุณี ชวดศิริ²

Thongchai Panmatarith and Darunee Chuadsri

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,
Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้ทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ในอุปกรณ์สารเพียโซอิเล็กทริกเชิงการค้า

Abstract

Magnetoimpedance effect was tested in commercial piezoelectric device

Key words : Magnetoimpedance effect

บทนำ

ความต้านทานไฟฟ้าตรง (DC electric resistance) ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าในทางอุดมคติมีค่านับต์ แต่ในทางปฏิบัติความต้านทานไฟฟ้าตรงมีค่าจำกัด R_L ความต้านทานไฟฟ้าตรงของตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบแผ่นขนานที่มีพื้นที่หน้าตัด A และระยะระหว่างแผ่นขนาด L มีค่าดังสมการ

$$R_L = \frac{\rho L}{A}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความจุไฟฟ้า (C) กับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r) แสดงดังสมการ

$$C = \epsilon A/L = \epsilon_0 \epsilon_r A/L ; \epsilon_r = 1 + \chi_e$$

เมื่อ A เป็นพื้นที่หน้าตัด d เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของสาร L เป็นความหนาของสาร และ χ_e เป็นสภาพอ่อนไหวทางไฟฟ้า

ปริมาณในวงจรไฟสลับ ได้แก่ Z , G , C , D , Q , ϵ_r และ χ_e เมื่อ Z เป็นอิมพีแดนซ์ (impedance), G เป็นความนำไฟฟ้า (conductance), C เป็นความจุไฟฟ้า (capacitance), D เป็นตัวประกอบการสูญเสีย (dissipation factor), Q เป็นตัวประกอบคุณภาพ (quality factor), ϵ_r เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) และ χ_e เป็นสภาพอ่อนไหวทางไฟฟ้า (electric susceptibility)

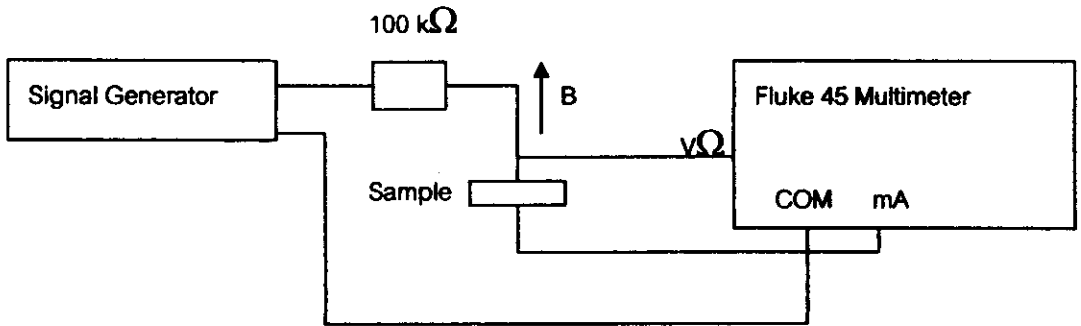
การค้นพบไฟฟ้าเฟอร์โร (ferroelectricity) ใน BaTiO_3 ในปี ค.ศ. 1940 นำไปสู่การทำตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (high dielectric constant capacitor) ไฟฟ้าเฟอร์โรเกิดจากการจัดเรียงตัวของโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้าซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับความสมมาตรของผลึก (crystal symmetry) ไฟฟ้าเฟอร์โรเกิดจากทิศทางขนานกันของโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้า (electric dipole moment) บริเวณที่มีโพลาไรเซชันที่เกิดขึ้นเอง (spontaneously polarized region) ที่มีโพลาไรเซชันทิศทางเดียวกันเรียกว่า โดเมน (domain) ความสัมพันธ์ของการจัดเรียงตัวของโดเมนหนึ่งถูกควบคุมโดยความสมมาตรของผลึก วัสดุในกลุ่ม BaTiO_3 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเพอรอฟสไกต์ ใช้ทำตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบเซรามิกส์ (ceramic capacitor) โพลาไรเซชันที่เกิดขึ้นเองสามารถเรียงตัวขนานกันกับขอบของหน่วยเซลล์ โดเมนจะโคขึ้นเมื่อสารได้รับสนามไฟฟ้าแรงสูง (high electric field) หลังจากที่ใช้การโพลิง (poling) พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจะเปลี่ยนแปลง การมีโพลาไรเซชันค้างในสารเนื่องจากผลโพลิงสามารถพิจารณาได้จากวงการล้าเฟอร์โรอิเล็กตริก (ferroelectric hysteresis loop)

ปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ที่พบใน $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ คือ ปรากฏการณ์ที่อิมพีแดนซ์ของสารมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่อยู่ในสนามแม่เหล็กภายนอก

บทความนี้เป็นการศึกษาปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ในอุปกรณ์เพียโซอิเล็กตริกเชิงการค้า

วัตถุประสงค์อุปกรณ์และวิธีการ

สร้างเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กแรงสูง จัดเครื่องมือทดลองตามรูปที่ 1 จ่ายกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่ (f) ที่ค่าหนึ่งจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าผ่านตัวต้านทาน 100 kΩ บ่อนสนามแม่เหล็ก B จากเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กแรงสูงไปยังสาร ใช้มัลติมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า (I) และแรงดันไฟฟ้า (V) ของสาร คำนวณค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ด้วยสูตร $Z = V/I$ บันทึก Z และ B



รูปที่ 1 การจัดเครื่องมือสำหรับศึกษาปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ใน PZT เจิงการค้า

ผลการทดลอง

การคำนวณสนามแม่เหล็ก (B) ที่ใช้ทดลองจะใช้สูตร

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r NI}{2L} \quad \text{Wb/m}^2 \quad \text{_____ (1)}$$

เมื่อ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am}$ $\mu_r = 1400 \text{ Wb/Am}$ N = จำนวนของขดลวด I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน = 4.2 A และ L = ความยาวของขดลวด

หาค่า L

$$R = \frac{\rho L}{A} \rightarrow L = \frac{RA}{\rho}$$

$$\rho = 1$$

$$\sigma$$

$$L = \frac{\sigma RA}{\rho} \rightarrow A = \frac{\rho L}{\sigma R}$$

ซึ่ง $d = 1.25 \text{ mm}$, $R = 12.9 \ \Omega$, $r = 20.10 \text{ mm}$, $\sigma = 2.37 \times 10^{-6} \ \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$

$$A = \frac{\pi(1.25 \text{ mm})^2}{4} = 1.23 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

4

$$L = (2.37 \times 10^{-6} \ \Omega^{-1} \text{ m}^{-1})(12.9 \ \Omega)(1.23 \times 10^{-6} \text{ m}^2)$$

$$L = 37.6 \text{ m}$$

$$N = \frac{\text{ความยาวของลวด } L}{\text{ความยาวของลวด/รอบ}} = \frac{L}{2\pi r} = \frac{37.6 \text{ m}}{2\pi(20.10 \text{ mm})} = 297.72 \text{ รอบ}$$

แทนค่า ในสมการ (1) จะได้สนามแม่เหล็กที่ใช้ทดลองดังสมการ

$$B = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am})(1400 \text{ Wb/Am})(297.72 \text{ turns})(4.2 \text{ A})}{2(37.6 \text{ m})} = 2.9 \times 10^{-2} \text{ Wb/m}^2$$

ผลการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์โดยการไม่ป้อนและป้อนสนามแม่เหล็กแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสารและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารที่บันทึกได้แสดงดังสมการ

$$\text{เมื่อ } B = 0 \text{ Wb/m}^2 \rightarrow V = 92.38 \text{ mV}, I = 0.8 \ \mu\text{A} \rightarrow Z = 115.48 \text{ M}\Omega$$

$$\text{เมื่อ } B \neq 0 \text{ Wb/m}^2 \rightarrow V = 69.77 \text{ mV}, I = 0.9 \ \mu\text{A} \rightarrow Z = 77.52 \text{ M}\Omega$$

เมื่อป้อนสนามแม่เหล็กให้แก่สาร อิมพีแดนซ์ของสารจะมีค่าลดลง

วิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อใช้สนามแม่เหล็กขนาด $2.9 \times 10^{-2} \text{ Wb/m}^2$ ป้อนให้แก่ PZT เจิงการคำ พบว่าอิมพีแดนซ์มีค่าลดลง แสดงว่ามีปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์เกิดขึ้น การที่อิมพีแดนซ์มีค่าลดลงเกิดจากสนามแม่เหล็กทำให้อิเล็กตรอนมีการเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้น

สรุปผลการทดลอง

สาร PZT เจิงการคำ แสดงปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์

เอกสารอ้างอิง

Buchanan Reiva, C., 1991, Ceramic materials for electronics, Second edition, Marcel Dekker Inc., New York.

Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.

บทความที่ 4

**การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริกใน
อุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกเชิงการค้า**

Magnetolectric effect test in commercial piezoelectric device

บทความที่ 4

การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริก
ในอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกเชิงการค้า

Magnetolectric effect test in commercial piezoelectric device

ธงชัย พันธุ์เมฆาฤทธิ์¹ และ ดารุณี ชวดศิริ²

Thongchai Panmatarith and Darunee Chuadsri

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้ทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริกในอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกเชิงการค้า

Abstract

Magnetolectric effect was tested in commercial piezoelectric device

Key words : magnetolectric effect

บทนำ

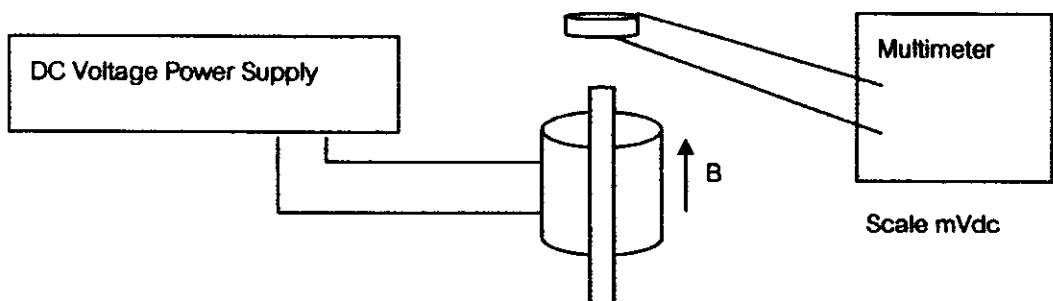
สารเฟอร์โรอิเล็กตริกเซรามิกส์ (Ferroelectric ceramics) แสดงสมบัติของการเก็บไฟฟ้า (capacitive property) การประยุกต์ใช้ของสารกลุ่มนี้ ได้แก่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (capacitor) อุปกรณ์การกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (high pass filter) และอุปกรณ์เลื่อนเฟส (phase shifter) BaTiO_3 เป็นสารเฟอร์โรอิเล็กตริกเซรามิกส์แสดงสมบัติเฟอร์โรอิเล็กตริก และนำไปการทำตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูง ไฟฟ้าเฟอร์โรเกิดจากทิศทางขนานกันของโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้า (electric dipole moment) บริเวณที่มีโพลาริเซชัน (polarization) ทิศทางเดียวเรียกว่า โดเมน (domain) BaTiO_3 มีโครงสร้างผลึกแบบเพอโรฟสไกต์ (perovskite structure) โดเมนจะโตขึ้นเมื่อสารได้รับสนามไฟฟ้าแรงสูง หลังจากที่ผ่านมาการโพลิง (poling) พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) จะเพิ่มขึ้น การมีโพลาริเซชันค้างในสารเนื่องจากผลของการโพลิงสามารถพิจารณาได้จากวงการล้าเฟอร์โรอิเล็กตริก (ferroelectric hysteresis loop)

ปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กตริก คือ ปรากฏการณ์ที่โพลาริเซชันเปลี่ยนแปลงในขณะที่สารอยู่ในสนามแม่เหล็ก Ligin Zhou ในประเทศจีน ได้เตรียมตัวเก็บประจุแบบหลายชั้น $\text{Sr}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{TiO}_3$ วัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) และตัวประกอบการสูญเสีย (dissipation factor) ที่ความสัมพันธ์กับความถี่ (frequency)

บทความนี้เป็นการศึกษาปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กตริกในแมกนีโตอิเล็กตริกเซรามิกส์

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

สร้างเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กความแรงสูง จัดเครื่องมือตามรูปที่ 1 ป้อนสนามแม่เหล็กจากเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กความแรงสูงไปยังสาร ใช้มัลติมิเตอร์วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างผิวหน้าทั้งสองในขณะที่ได้รับสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 1 การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กตริกใน PZT เรืองการค้า

ผลการทดลอง

ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างผิวหน้าทั้งสองในขณะที่ได้รับสนามแม่เหล็ก = 19.11 mV
 เมื่อให้สนามแม่เหล็กที่มีขนาด 2.9×10^{-2} Wb/m² พบว่ามีความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้น

วิเคราะห์ผลการทดลอง

การที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าทั้งสองของ PZT เจิงการคำ ในขณะที่ได้รับสนามแม่เหล็ก เกิดจากสนามแม่เหล็กทำให้โพลาไรเซชันเปลี่ยนแปลง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ คือ ปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริก

สรุปผลการทดลอง

สาร PZT เจิงการคำ สามารถแสดงปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริกได้

เอกสารอ้างอิง

Buchanan Relva, C., 1991, Ceramic materials for electronics, Second edition, Mercel Dekker Inc.,
 New York.

Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990, Electroceramics, Chapman & Hall, London.

บทความที่ 5

การจัดเตรียมระบบทดสอบวัสดุด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับวัดปริมาณทางฟิสิกส์

Material test system with computer preparation for measuring the physical quantities

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์¹ ถนอมจิต ผาสุกใจ² นาซีเราะห์ สีอริ² รุฮานา แวดาราโอะ²
เอกกนิษฐ์ ชัยวิชิต² ดารุณี ชวดศรี² และ เอกอนงค์ คงชวช²

Thongchai Panmatarith, Thonomjit Phasukjai, Naziroh Suree, Ruhana Weadaraoh, Ekkanit Chaiwichit, Darunee Chuadsri and Ekanong kongchouy

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้จัดเตรียมระบบทดสอบวัสดุด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับวัดปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความต้านทานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความต้านทานไฟฟ้า และสภาพทวนำไฟฟ้า

Abstract

Material test system with computer was prepared for measuring the physical quantities such as voltage, current, resistance, power, resistivity and conductivity.

Key words : computer interfacing

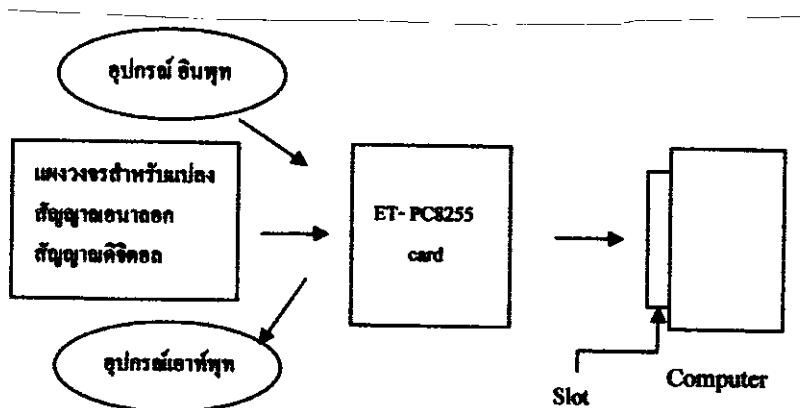
บทนำ

อุปกรณ์หลายชนิดที่ใช้ในแผงวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ และ ET-PC8255 Card มีดังต่อไปนี้

- 1) ตัวต้านทานค่าคงที่ ทำหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหรือกำหนดศักย์ไฟฟ้าในวงจร
- 2) ตัวต้านปรับค่าได้ใช้ปรับแรงดัน
- 3) ตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่เก็บและคายประจุไฟฟ้า ตัวเก็บประจุมีหลายชนิด ได้แก่ ตัวเก็บประจุแบบแบบไมลาร์ ตัวเก็บประจุแบบแบบไมกาและตัวเก็บประจุแบบอิเล็กทรอนิกส์
- 4) ไดโอดเรียงกระแส ทำมาจากสารกึ่งตัวนำชนิด n และชนิด p ทำหน้าที่ยอมให้กระแสผ่านได้ทางเดียว
- 5) ไดโอดเปล่งแสง ทำมาจากสารกึ่งตัวนำชนิด p และ n ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้าเป็นแสง
- 6) LM555 ทำหน้าที่สร้างวงจรรีเลย์ไฟฟ้ารูปสี่เหลี่ยม
- 7) ADC0809 ทำหน้าที่แปลงแรงดันอนาล็อก (AV) ให้เป็นแรงดันดิจิทัล (DV)
- 8) 74LS244 ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ (Buffer) บัฟเฟอร์ทำหน้าที่คั่นวงจรขยายกับวงจรวาง
- 9) ไฟโตบอร์ด

แผงวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยวงจรรายสัญญาณไฟฟ้า ADC0809 ,LM555 และ 747S244

ADC0809 ทำหน้าที่แปลงแรงดันดิจิทัลเป็นแรงดันอนาล็อก LM555 ทำหน้าที่ผลิตแรงดันไฟฟ้ารูปสี่เหลี่ยมสำหรับส่งไปควบคุมการทำงานของ ADC0809, 74LS244 ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ส่วน ET-PC8255 Card ทำหน้าที่จัดพอร์ตต่างๆสำหรับสำหรับแรงดันไฟฟ้าเข้าไปในคอมพิวเตอร์ โครงสร้างของแผงวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์และ ET-PC8255 Card แสดงดังรูปที่ 1



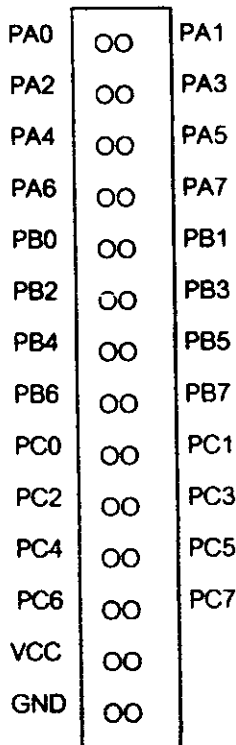
รูปที่ 1 โครงสร้างของแผงวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์และ ET-PC8255 Card

ET-PC8255 Card ประกอบด้วย IC8255 ตามตัว IC8255 แต่ละตัวจะมี 40 ขา ประกอบด้วย Port A, B, C, Control Port Data bus ของพอร์ท A, B, C คือ PA7 PA6 PA5 PA4 PA3 PA2 PA1 PA0, PB7 PB6 PB5 PB4 PB3 PB2 PB1 PB0, PC7 PC6 PC5 PC4 PC3 PC2 PC1 PC0 ข้อมูล (Data) เป็นแบบ 8 บิต คือ D₇D₆D₅D₄D₃D₂D₁D₀ ตัวอย่างที่อยู่ (address) ของพอร์ท A, B, C ของ ET-PC8255 CARD มีดังนี้

0300H PORT A (#1) 0301H PORT B (#1) 0302H PORT C (#1) 0303H CONTROL PORT (#1)
 0304H PORT A (#2) 0305H PORT B (#2) 0306H PORT C (#2) 0307H CONTROL PORT (#2)
 0308H PORT A (#3) 0309H PORT B (#3) 030AH PORT C (#3) 030BH CONTROL PORT (#3)

Control Word ใช้ \$90 : PORT A เป็น Input port และ PORT B เป็น Output port

34 PIN I/O Bus มีลักษณะแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้ว 34 ขา (34 pin) ที่อยู่ใน ET-PC8255 card

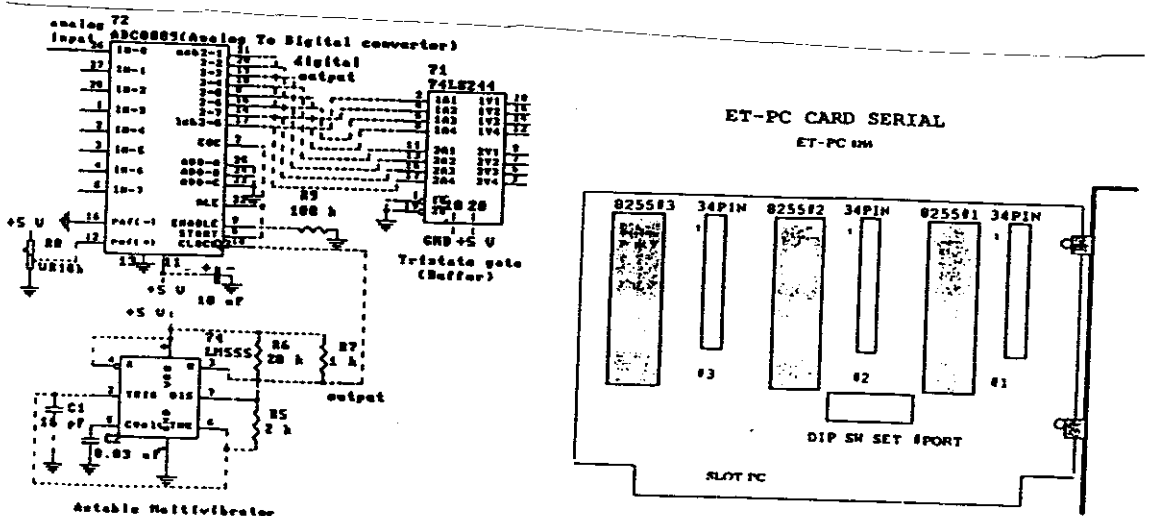
ลักษณะสมบัติของแรงดัน-กระแสของหัวใจความต้านทานจำนวนมาก (Stankovic, 1994) ได้บรรยายระบบการวัดที่ควบคุมได้ด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการสร้างลักษณะสมบัติของแรงดันลัดที่ขึ้นกับกระแส (V-I) ของหัวใจ แรงดันไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (I) ความต้านทาน (R) และกำลังไฟฟ้า (P) เป็นปริมาณพื้นฐานขั้นต้นของวัสดุซึ่งจะนำไปสู่การวัดปริมาณอื่นๆที่ซับซ้อนกว่านั้น

สภาพด้านทานไฟฟ้าและสภาพการนำไฟฟ้าของสารเป็นปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการนำไฟฟ้าของสาร การวัดสามารถทำได้โดยการให้คอมพิวเตอร้อ่านแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ค่าของความต้านทาน นำข้อมูลเกี่ยวกับความหนาและเส้นผ่าศูนย์กลาง คอมพิวเตอร์ค่าสภาพด้านทานไฟฟ้าและสภาพการนำไฟฟ้าของสารบนจอบทความนี้เป็นกรสร้างเครื่องมือ วัดปริมาณทางฟิสิกส์และทดสอบสมบัติเชิงฟิสิกส์หรือปรากฏการณ์ต่างๆ

วัตถุประสงค์อุปกรณ์และวิธีการ

ก. การจัดเตรียมแผงวงจรเชื่อมต่อขั้นต้นและศึกษาการทำงานของ ET-PC8255 Card
วิธีการทดลอง

- 1) ประกอบวงจรเชื่อมต่อของรูปที่ 3 ลงบนไฟโตบอร์ด
- 2) ทดสอบวงจรเชื่อมต่อจนใช้ได้ ป้อนไฟฟ้า 5 V เข้าวงจร ปรับตัวต้านทาน 10 kΩ แล้วสังเกตการณ์ติดดับที่ LED
- 3) ศึกษาลักษณะการทำงานของ ET-PC8255
- 4) ศึกษาการทำงานของวงจร แรงดันจากหัววัดเข้าขา 26 ของ ADC 0809 เพื่อแปลงแรงดันอนาลอกเป็นแรงดันดิจิทัลแล้ว ส่งผ่านบัฟเฟอร์ 74LS244 ใช้ LED 8 ตัว แสดงแรงดัน 5V= LEDดับ, 0 V = LED ติด ส่งผ่าน ET-PC8255 card แล้วเข้าคอมพิวเตอร์

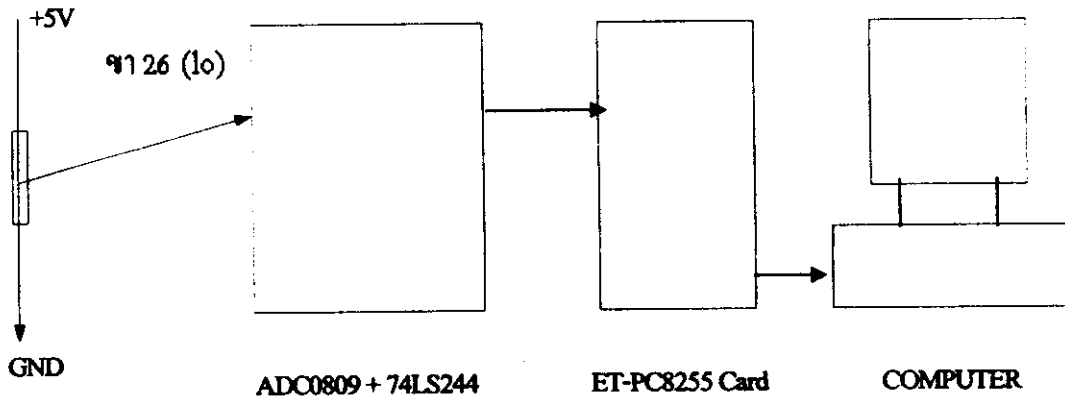


รูปที่ 3 วงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ และ ET-PC8255 Card

ข. การวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร

วิธีการทดลอง

- 1) ให้ประกอบวงจร ADC0809 และ ET-PC8255 Card กับคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การใช้คอมพิวเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร

- 2) เขียนโปรแกรมสำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ภาษาเทอร์โมปาสคาล

เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เข้าไปโปรแกรม MS-DOS Prompt

ไปที่ C:\WINDOWS> CD\ กด ENTER

เข้าไป C:\> dir /W กด ENTER

เข้า C:\> Cd tp48-imp กด ENTER

ไปที่ C:\ tp48-imp> turbo กด ENTER

เข้าสู่โปรแกรม Turbo Pascal

กด F10 เพื่อเปิด File

กด F2 เพื่อ Save

กด Ctrl+F9 สั่ง RUN Program

ออกจากจอแสดงผลไปยังโปรแกรมให้กด Ctrl+Break

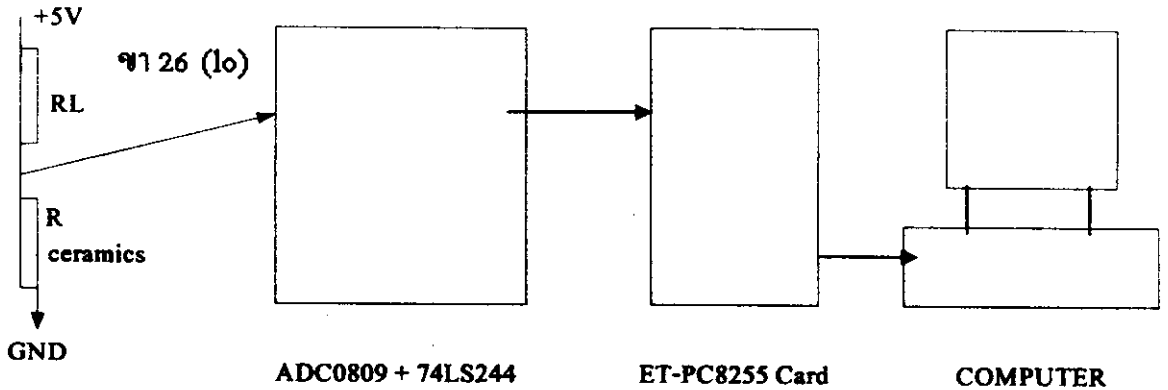
ออกจากโปรแกรม เข้าไปที่ File เลือก Exit แล้วกด ENTER

- 3) สั่ง RUN อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานค่าคงที่บนจอคอมพิวเตอร์โดยเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากมัลติมิเตอร์ บันทึกผล

ค. การวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสาร (I)

วิธีการทดลอง

- 1) ให้ประกอบวงจร ADC0809 และ ET-PC8255 Card กับคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 5



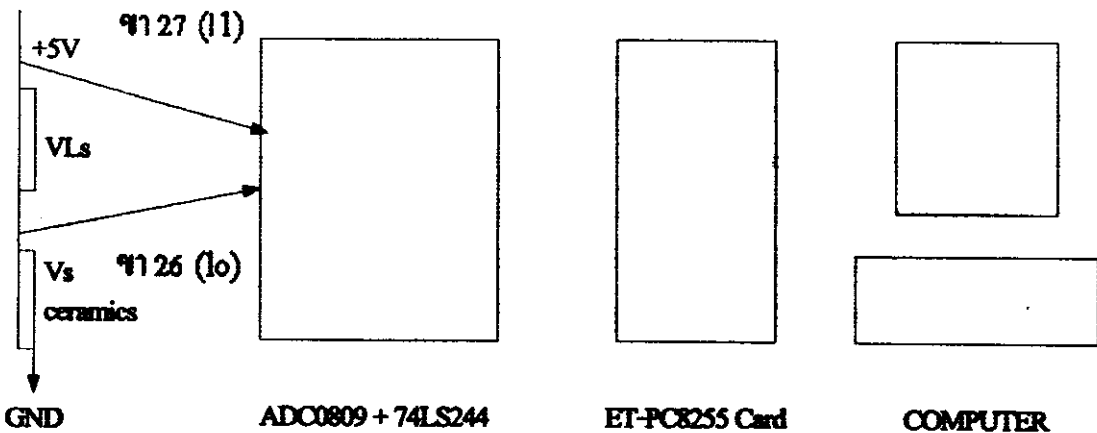
รูปที่ 5 การใช้คอมพิวเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสาร

- 2) เขียนโปรแกรมสำหรับการวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานค่าคงที่โดยใช้ภาษาเทอร์โบปาสคาล
- 3) สั่ง RUN อ่านค่ากระแสไฟฟ้าบนจอคอมพิวเตอร์โดยเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากมัลติมิเตอร์ บันทึกผล

ง. การวัดความต้านทานไฟฟ้าของสาร (R)

วิธีการทดลอง

- 1) ให้ประกอบวงจร ADC0809 และ ET-PC8255 Card กับคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าของสาร

- 2) เขียนโปรแกรมสำหรับการวัดความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทานค่าคงที่โดยใช้ภาษาเทอร์โบปาสคาล และใช้สูตร $R=V/I$
- 3) สั่ง RUN อ่านค่าความต้านทานไฟฟ้าบนจอคอมพิวเตอร์ โดยเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากมัลติมิเตอร์ บันทึกผล

จ. การวัดกำลังไฟฟ้า (P)

วิธีการทดลอง

- 1) ให้ประกอบวงจร ADC0809 และ ET-PC8255 Card กับคอมพิวเตอร์เหมือนรูปที่ 6
- 2) เขียนโปรแกรมสำหรับการวัดกำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานค่าคงที่ที่ได้รับโดยใช้ภาษาเทอร์โบปาสคาล และใช้สูตร $P=VI$
- 3) สั่ง RUN อ่านค่ากำลังไฟฟ้าบนจอคอมพิวเตอร์ บันทึกผล

ฉ. การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพการนำไฟฟ้าของสาร

วิธีการทดลอง

- 1) ให้ประกอบวงจร ADC0809 และ ET-PC8255 Card กับคอมพิวเตอร์เหมือนรูปที่ 6 สารตัวอย่างที่ใช้ทดลองมีสูตร Gd_2CuO_4
- 2) เขียนโปรแกรมสำหรับการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) และสภาพการนำไฟฟ้า (σ) ของก้อนสารโดยใช้ภาษาเทอร์โบปาสคาล
- 3) สั่ง RUN อ่านค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพการนำไฟฟ้าบนจอคอมพิวเตอร์ บันทึกผล

ผลการทดลอง

ได้แมงแมงวงจรเชื่อมต่อที่ต่อกับ ET-PC8255 Card และคอมพิวเตอร์ที่ทำงานได้จึงสังเกตได้จากการติดดับของ LED (5 V LED ดับ, 0 V LED ติด) ในขณะที่ปรับตัวต้านทานไฟฟ้า $10\text{ k}\Omega$

1. ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานค่าคงที่ (V)

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์ (V) = 3.265 V

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากคอมพิวเตอร์ (V) = 3.270 V

2. ผลการวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานค่าคงที่ (I)

ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์ (I) = 0.170 mA

ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากคอมพิวเตอร์ (I) = 0.171 mA

3. ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทานค่าคงที่ (R)

ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จากแถบสี (R) = $10.0\text{ k}\Omega$

ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จากคอมพิวเตอร์ (R) = $7.8\text{ k}\Omega$

4. ผลการวัดกำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานค่าคงที่ (P)

ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากคอมพิวเตอร์ (P) = 1.852 mW

5. ผลการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพการนำไฟฟ้าของสาร

สภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพการนำไฟฟ้าของสาร Gd_2CuO_4 ที่วัดได้จากคอมพิวเตอร์มีค่า

$\rho = 1985.25 \Omega m$ และ $\sigma = 5.037 \times 10^{-4} \Omega^{-1} m^{-1}$

วิเคราะห์ผลการทดลอง

แผงวงจรเชื่อมต่องานคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นและโปรแกรมที่เขียนได้สามารถนำไปใช้วัดปริมาณต่างๆทางฟิสิกส์ เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความต้านทานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และปริมาณอื่นๆได้ วงจรเชื่อมต่อนี้สามารถนำไปใช้ทดลองในเรื่องอื่นๆได้

1. วิเคราะห์ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานค่าคงที่ (V)

เมื่อพิจารณาค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์ (V) = 3.265 V และค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากคอมพิวเตอร์ (V) = 3.270 V พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าคอมพิวเตอร์กับวงจรเชื่อมต่องานและโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถทำหน้าที่เป็นโวลต์มิเตอร์ได้

2. วิเคราะห์ผลการวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานค่าคงที่ (I)

เมื่อพิจารณาค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์ (I) = 0.170 mA และค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากคอมพิวเตอร์ (I) = 0.171 mA พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าคอมพิวเตอร์กับวงจรเชื่อมต่องานและโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถทำหน้าที่เป็นแอมมิเตอร์ได้

3. วิเคราะห์ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทานค่าคงที่ (R)

เมื่อพิจารณาค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จากแถบสี (R) = 10.0 k Ω และค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จากคอมพิวเตอร์ (R) = 7.8 k Ω พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าคอมพิวเตอร์กับวงจรเชื่อมต่องานและโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถทำหน้าที่เป็นโอห์มมิเตอร์ได้

4. วิเคราะห์ผลการวัดกำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานค่าคงที่ (P)

คอมพิวเตอร์ วงจรเชื่อมต่องานและโปรแกรมที่จัดเตรียมขึ้น สามารถอ่านค่ากำลังไฟฟ้าได้ แต่เนื่องจากขาดเครื่องมือปรับเทียบ ดังนั้นการให้คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เป็นวัตต์มิเตอร์สามารถนำไปใช้ในระดับน้องปฏิบัติการได้

5. วิเคราะห์ผลการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพการนำไฟฟ้าของสาร Gd_2CuO_4

ระบบเชื่อมต่องานที่ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ วงจรเชื่อมต่องานและโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถแสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพการนำไฟฟ้าของสาร Gd_2CuO_4 ได้ $\rho = 1985.25 \Omega m$ และ $\sigma = 5.037 \times 10^{-4} \Omega^{-1} m^{-1}$ ได้ แต่เนื่องจากขาดเครื่องมือปรับเทียบ ดังนั้นการให้คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เป็นเครื่องวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพการนำไฟฟ้าวัตต์มิเตอร์สามารถนำไปใช้ในระดับน้องปฏิบัติการได้

สรุปผลการทดลอง

สิ่งที่ได้จากการทดลองมีดังต่อไปนี้

1. แผงวงจรเชื่อมต่อกอมพิวเตอรืที่ประกอบได้และโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถทำงานได้ซึ่งสังเกตเห็นได้จากการติดดับของ LED ในขณะที่ปรับตัวต้านทาน 10 k Ω
2. แผงวงจรเชื่อมต่อกอมพิวเตอรืที่ประกอบได้และโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความต้านทานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของตัวต้านทานค่าคงที่ได้
3. แผงวงจรเชื่อมต่อกอมพิวเตอรืที่ประกอบได้และโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพการนำไฟฟ้าของสาร Gd₂CuO₄ ได้

เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Reiva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, Second edition, Merce! Dekker Inc., New York.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.
- Stankovic, D., 1994. A Versatile computer controlled measuring system for recording voltage-current characteristics of various resistance sensors. Sensors and Actuators A: Physical. 42, 612-616.

ภาคผนวก

โปรแกรม สำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสารที่เข้าไปในเครื่องคอมพิวเตอร์

Program Voltage_measurement;

Uses crt;

Var i, DV : integer;

AV : real;

Const PA = \$0304;

Pcontrol = \$0307;

Begin

Clrscr;

gotoxy(34,2); writeln ('VOLTAGE MESUREMENT');

gotoxy(34,6); writeln ('-----');

gotoxy(34,2); writeln (' "Darunee Chuadsri" ');

```

port[Pcontrol]:=$90;
for i:=1 to 255 do
Begin
    DV := port[PA];
    AV := (5/255*DV);
    gotoxy(34,20); writeln ("Voltage = ',AV:3:2, ' V');
    delay(10000);
end;
end.

```

โปรแกรม สำหรับการวัดกระแสไฟฟ้าในย่านสภาวะที่เข้าไปในเครื่องคอมพิวเตอร์

```

Program Current_measurement;
Uses crt;
Var  j, DV      : integer;
     AV, R, V, I : real;
Const PA        = $0304;
     Pcontrol    = $0307;
Begin
    clrscr;
    Port[Pcontrol]:=$90;
    R:=10000; {ohm}
    gotoxy(32,2); writeln ("CURRENT MESUREMENT");
    gotoxy(32,3); writeln ("-----");
    gotoxy(31,6); writeln ("Darunee Chuadsri");
    for j := 1 to 550 do
    Begin
        DV := port[PA];
        gotoxy(31,10); writeln ("Digital Voltage = ',DV:3);
        AV := (5/255)*DV;
        V := AV;
        gotoxy(30,12); writeln (Analog Voltage ='',AV:3:2, ' V');
        I := V/R;
    End;
End.

```

```

gotoxy(32,16); writeln ('Current = ',I:7:5, ' A ');
gotoxy(32,20); writeln ('Current = ',I*1000:3:3, ' mA');
delay(10000);

end;

end.

```

โปรแกรม สำหรับ การ วัด ความต้านทานไฟฟ้าของสารที่เข้าไปในเครื่องคอมพิวเตอร์

Program Resistance_measurement;

Uses crt;

```

Var   i, j, DV           : integer;
      AV, R, RL, Vs, VLs, VL, IL, Is : real;
      ch                 : char;

```

const

```

PA      = $0304;
PB      = $0305;
Pcontrol = $0307;

```

Begin

```

clrscr;

Port[Pcontrol] := $90;

RL      :=10000; {ohm}

gotoxy (28,2); writeln ('RESITANCE MESUREMENT');
gotoxy (28,3); writeln ('-----');
gotoxy (28,6); writeln (' "Darunee Chuadsri" ');

```

Begin

```

Port[PB] :=0;   {I0}

Delay(10);

DV := port[PA];

AV :=(5/255)*DV;

Vs :=AV;  {V}

gotoxy (28,2); writeln ('Voltage (Vs) = ',Vs:3:2, ' V');

port[PB] :=1;   {I1}

delay(10);

```



```

DV := port[PA];
AV := (5/255)*DV;
VLs := AV;
VL := (VLs-Vs);
IL := (VL/RL);
Is := IL; {A}
gotoxy (30,16); writeln ('Current (Is) = ',Is:3,' A');
R := (Vs/Is);
gotoxy (28,20); writeln ('Resistance (R) = ',R:3:2,' ohm');
delay(100);
end;
end;
end.

```

โปรแกรมคำนวณการวัดกำลังไฟฟ้าของสารที่เข้าไปในเครื่องคอมพิวเตอร์

```

Program Power_measurement;
uses crt;
var i, j, DV : integer;
    AV, R, RL, VS, VLs, VL, IL, Is, P : real;
Const
    PA = $0304;
    PB = $0305;
    Pcontrol = $0307;
Begin
    clrscr;
    Port[Pcontrol] := $90;
    RL := 3000; {ohm}
    gotoxy (30,2); writeln ('ELECTRIC POWER MEASUREMENT');
    gotoxy (30,3); writeln ('-----');
    gotoxy (30,6); writeln (' "Darunee Chuadsri" ');
    Begin
        for I := 1 to 255 do

```

Begin

```

Port[PB] :=0;    {I0}
delay(1000);
DV := port[PA];
AV :=(5/255)*DV;
Vs :=AV;  {V}
gotoxy (30,8); writeln ('Voltage (Vs) = ',Vs:3:2,' V');
port[PB] :=1;    {I1}
delay(1000);
DV := port[PA];
AV := (5/255)*DV;
VLs := AV;
VL := (VLs-Vs);
IL := (VL/RL);
Is := IL;  {A}
gotoxy (30,10); writeln ('Current (Is) = ',Is:3,' A');
P := (Vs*Is); {W}
gotoxy (30,16); writeln ('Electric Power (P) = ',P:3:6,' W');
gotoxy (30,16); writeln ('Electric Power (P) = ',P*1000:3:3,' mW');
delay(10000);

```

end;

end;

end.

~~Program Electrical_Resistivity_and_Electrical_Conductivity_measurement;~~

Program Electrical_Resistivity_and_Electrical_Conductivity_measurement;

uses crt;

var I, J, DV : integer;

AV, R, RL, VS, VLs, VL, IL, Is, A, L, Rho, Cond : real;

Const

PA = \$0300;

PB = \$0301;

Pcontrol = \$0303;

Begin

clrscr;

Port[Pcontrol] := \$90;

RL := 1000; {ohm}

A := (22/7)*(11.39)*(11.39)/(4*1000000); {m²}

L := (4.19)/1000; {m}

gotoxy(16,2); writeln (' ELECTRICAL RESISTIVITY AND CONDUCTIVITY MEASUREMENT ');

gotoxy(16,3); writeln ('-----');

gotoxy(30,6); writeln (' "Darunee Chuadsri" ');

Begin

for i :=1 to 2550 do

Begin

Port[PB] := 0; {I0}

delay(1000);

DV := port[PA];

AV := (5/255)*DV;

Vs := AV; {V}

gotoxy (28,8); writeln ('Voltage (Vs) = ',Vs:3:2,' V');

port[PB] :=1; {I1}

delay(1000);

DV := port[PA];

AV := (5/255)*DV;

VLs := AV;

VL := (VLs-Vs);

IL := (VL/RL);

Is := IL; {A}

gotoxy (28,10); writeln ('Current (Is) = ',Is:3,' A');

R := (Vs/Is); {ohm} {of the sample}

gotoxy (25,14); writeln ('Resistance (R) = ',R:3:2,' ohm');

Rho := R*A/L; {R := Rho*L/A}

gotoxy (25,16); writeln ('Resistivity (Rho) = ',Rho:3:2,' ohm.m');

```
Cond := 1/Rho;
```

```
gotoxy (23,20); writeln ('Conductivity (Cond) = ',Cond:3:6, ' 1/ohm.m');
```

```
delay(10000);
```

```
end;
```

```
end;
```

```
end.
```

บทความที่ 6

การวัดแรงดันเทอร์โมอิเล็กทริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร FeNbO_4
ด้วยคอมพิวเตอร์

The thermoelectric-voltage versus temperature measuring of FeNbO_4
material with Computer

บทความที่ 6

การวัดแรงดันเทอร์โมอิเล็กทริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร FeNbO_4 ด้วยคอมพิวเตอร์

The thermoelectric-voltage versus temperature measuring of FeNbO_4 material with computer

ธงชัย พันธุ์มราชฤทธิ์¹ และ รุฮานา แวดคาราโฮะ²

Thongchai Panmatarith and Ruhana Weadaraoh

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory, Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้วัดแรงดันเทอร์โมอิเล็กทริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร FeNbO_4 ด้วยระบบเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการ

Abstract

The thermoelectric-voltage versus temperature measuring of FeNbO_4 material was measured with computer interfacing system that was constructed in laboratory.

Key words : thermoelectric material, computer interfacing

บทนำ

ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric effect) หรือปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) เป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าและความร้อน การเกิดเทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric generation) เป็นการแปลงพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่า Z ดังสมการ $Z = \alpha^2 \sigma / k$ เมื่อ α เป็นสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient) σ เป็นสภาพการนำไฟฟ้า (electric conductivity) และ k เป็นสภาพการนำความร้อน (thermal conductivity) สำหรับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีพบว่า Z , α และ σ มีค่ามาก แต่ k มีค่าน้อย วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์กำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric generator) จะต้องมีค่า Z มาก ตัวอย่างสารที่ใช้ทำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิสูง (high temperature thermoelectric material) ได้แก่ FeSi_2 , CrSi_2 , SiC และ ZnO เป็นต้น

Y. TANAKA ได้เตรียมวัสดุที่ทำมาจากสังกะสีออกไซด์ (ZnO-based material) สำหรับศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric properties) การเกิดเทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric generation) เป็นการแปลงพลังงานความร้อน (thermal energy) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า (electric energy)

ZnO เป็นสารที่มีสภาพการนำไฟฟ้าในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง ZnO ที่ได้เติมตัวได้ลงไปสามารถทำเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก สารนี้เตรียมขึ้นโดยวิธีเทคนิคเซรามิกส์มาตรฐานจากส่วนผสมของสาร $\text{ZnO} + 0.01\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{ZnO} + 0.01\text{TiO}_2$, $\text{ZnO} + 0.01\text{Nb}_2\text{O}_5$, $\text{ZnO} + 0.01\text{MoO}_3$ โดยเผาที่อุณหภูมิเป็น 1100°C ขั้วไฟฟ้าทำมาจากกาวทองคำขาว (platinum paste) วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ความร้อน (thermoelectro-motive force) ที่อุณหภูมิต่างๆ คำนวณสัมประสิทธิ์ซีเบค (seebeck coefficient) ที่อุณหภูมิต่างๆ

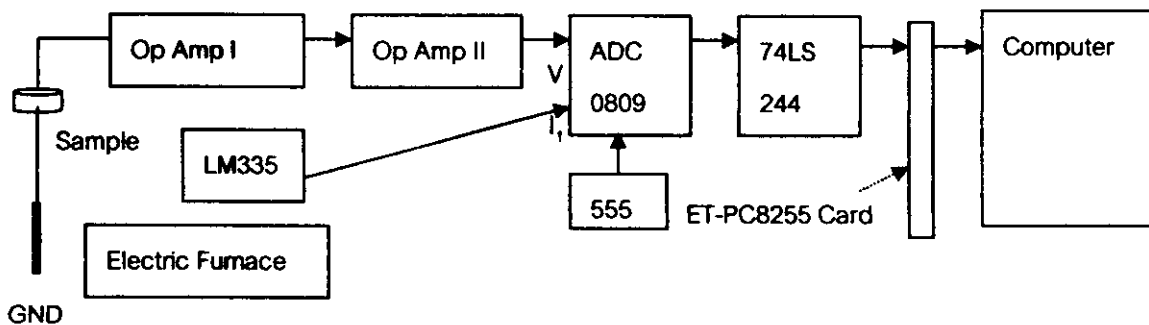
Ravinder (1994) ได้เตรียม Mn-Zn ferrite ซึ่งมีสูตร $\text{Mn}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x=0.2, 0.6$ และ 0.8) เผาที่อุณหภูมิ 1200°C ได้วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าความร้อน (thermo-emf) ที่อุณหภูมิต่างๆ แล้วคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคและสัมประสิทธิ์ซีเบค (Q) ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ (T) และวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารที่มีส่วนผสมต่างกัน

บทความนี้เป็น การวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร FeNbO_4 ด้วยคอมพิวเตอร์

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

- 1) ประกอบวงจรเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ตามบล็อกไดอะแกรมตามรูปที่ 1 ลงบนบอร์ด แล้วทดสอบการใช้งานได้
- 2) เขียนโปรแกรม
- 3) ตั้งให้คอมพิวเตอร์ทำงาน ความร้อนจากเตาไฟฟ้าทำให้มีปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเกิดขึ้นในสาร FeNbO_4 นำแรงดันเทอร์โมอิเล็กทริกนี้ไปขยายด้วยออปแอมป์สองครั้ง ส่งต่อไปยัง I_0 ของ ADC 0809 เพื่อแปลงแรงดันอนาล็อกเป็นแรงดันดิจิทัล ส่งผ่านบัสเฟอ์ (74LS244) และ ET-PC 8255 Card เข้าไปในคอมพิวเตอร์ วัดอุณหภูมิของสารด้วย LM335 ส่งต่อไปยัง I_1 ของ ADC 0809 เพื่อแปลงแรงดันอนาล็อกเป็นแรงดันดิจิทัล

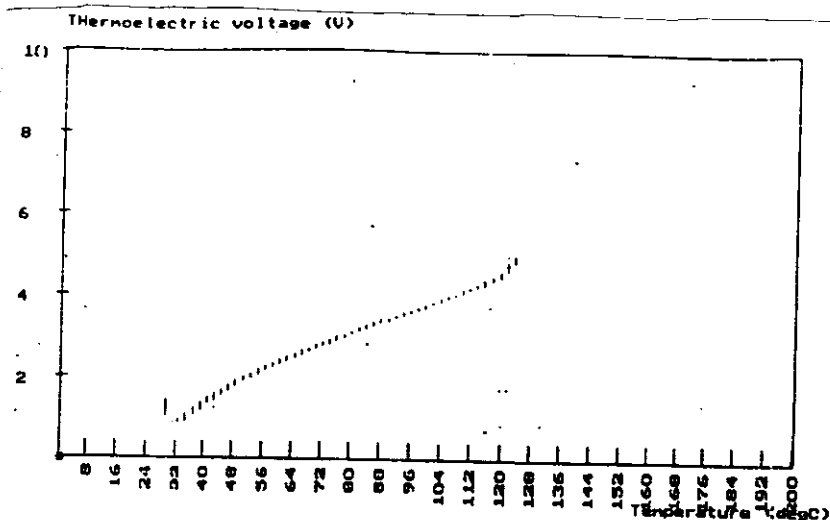
ส่งผ่านบัฟเฟอร์ (74LS244) และ ET-PC 8255 Card เข้าไปในคอมพิวเตอร์เช่นกัน คอมพิวเตอร์จะแสดงเส้นโค้งแรงดันเทอร์โมอิเล็กทริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิ (V vs T) แล้วส่งให้พิมพ์เส้นโค้งนี้ออกทางเครื่องพิมพ์



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการแสดงเส้นโค้งของแรงดันเทอร์โมอิเล็กทริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์

ผลการทดลอง

กราฟแรงดันไฟฟ้าที่ความร้อนกับอุณหภูมิของสาร FeNbO_4 ที่วัดได้จากคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 2 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่ความร้อนเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 แรงดันไฟฟ้าที่ความร้อนกับอุณหภูมิของสาร FeNbO_4 ที่วัดได้จากคอมพิวเตอร์

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร FeNbO_4 คาดว่ามีแนวโน้มนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความร้อน(thermal detector)

สรุปผลการทดลอง

สาร FeNbO₃, แสดงปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Relva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, Second edition, Mercel Dekker Inc., New York.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.
- Stankovic, D., 1994. A versatile computer controlled measuring system for recording voltage-current characteristics of various resistance sensors. Sensor and Actuators A: Physical. 42: 612-616.
- Tanaka, Y. (1997). Thermoelectric properties of ZnO-based materials. J. Mater. Sci. Lett . 16: 155-157.

ภาคผนวก

```

Program Thermoelectric_Voltage_Versus_Temperature_Graph_for_thermoelectric_material;
uses crt, graph;
var
    grdrv, grmode, gerror : integer;
    ch : char;
const
    PA = $0304;
    PB = $0305;
    Pcontrol = $0307;
procedure axis;
var p,q : integer;
    tex : string;
begin
    grdrv := detect ; initgraph(grdrv, grmode, ' C:\tp\bgi');
    setgraphmode(grmode);
    setcolor(15); line(50,50,50,305); line(50,305,575,305);
                    line(50,50,575,50); line(575,50,575,305);

```

```

settextstyle(defaultfont, vardir, 0);
for p := 1 to 25 do
begin
    line((595-21*p) , 295 , (595-21*p) , 305 ); str (8*p , tex);
    outtextxy(21*p+55 , 310 , tex);
end;
setcolor(15); settextstyle(defaultfont , horizdir , 0);
for q = 50 to 305 do
begin
    if q mod 51 = 0 then
        begin
            line(45, q ,55 ,q); str((((305-q) mod 5)+1)*2 ,tex);
            outtextxy(20, q, tex);
        end;
    end;
end;
procedure plot;
var    I , j , x , y , DV0 ,DV1      : integer;
        AV0 , AV1 , V , VT , T      : real;
begin
    setcolor(3) ; outtextxy(205,11,'Voltage vs Temperature Curve');
    setcolor(3) ; outtextxy(205,18,'-----');
    setcolor(5) ; outtextxy(50,30,'Thermoelectric voltage (V)');
    setcolor(5) ; outtextxy(460,330,'Temperature (deg C)');
    setcolor(5) ; outtextxy(48,303,' * ');
    port[Pcontrol] := $90;
    for i := 1 to 100 do
        begin
            for j := 0 to 550 do
                begin
                    port[PB] := 0;      {t0}
                    delay(15);
                end;
            end;
        end;
end;

```

```

DV0 := port[PA];
AV0 := (5/255)*DV0;
V := AV0;
port[PB] := 1;      {I1}
delay(15);
DV1 := port[PA];
AV1 := (5 / 255) * DV1;
VT := AV1;
T := (VT-2.73) / (0.01);
x := round ((525 / 200) * T + (200 / 525) * 50); y := round(305-(255 / 10)* V);
setcolor(15); line(x, y, x, y);
delay(15);
end;
end;
begin      {main}
repeat
axis;
plot;
ch := readkey;
until ord(ch) = 27;
end.

```

บทความที่ 7

**การแสดงผลไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้าเชิงการค้า
ด้วยคอมพิวเตอร์**

The charge dependent on time of commercial capacitor displaying
with computer

บทความที่ 7

**การแสดงประจุไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้าเชิงการค้า
ด้วยคอมพิวเตอร์****The charge dependent on time of commercial capacitor displaying
with computer****ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์¹ ถนอมจิต ผาสุกใจ² นาซีเราะห์ สีอรี² และ รุฮานา แวดาราโอะ²
Thongchai Panmatarith, Thanomjit Phasukjai, Naziroh Sueree and Ruhana Weedaraoh,**

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,
Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.
Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ**ได้แสดงประจุไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้าเชิงการค้าด้วยคอมพิวเตอร์****Abstract****The charge dependent on time of commercial capacitor was displayed with computer****Key words : capacitor**

บทนำ

โครงสร้างของตัวเก็บประจุไฟฟ้าประกอบด้วยแผ่นตัวนำขนานสองแผ่น (two parallel conducting plate) ที่มีสารไดอิเล็กตริกคั่นกลาง การเก็บประจุไฟฟ้าคือ การที่ประจุไฟฟ้า (electric charge) เข้าไปในตัวเก็บประจุ ประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุจะเพิ่มขึ้นตามเวลา กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุลดลงตามเวลาและความต้านทานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นตามเวลา ส่วนการคายประจุไฟฟ้า คือ การที่ประจุไฟฟ้าออกจากตัวเก็บประจุ ประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุจะลดลงตามเวลา กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุลดลงตามเวลาและความต้านทานไฟฟ้าลดลงตามเวลา

การค้นพบไฟฟ้าเฟอร์โร (ferroelectricity) ใน BaTiO_3 ในปี ค.ศ. 1940 นำไปสู่การทำตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูง (high dielectric constant capacitor) ไฟฟ้าเฟอร์โรเกิดจากการจัดเรียงตัวของโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้าซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของผลึก (crystal symmetry) ไฟฟ้าเฟอร์โรเกิดจากทิศทางขนานกันของโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้า (electric dipole moment) บริเวณที่มีโพลาริเซชันที่เกิดขึ้นเอง (spontaneously polarized region) ที่มีโพลาริเซชันทิศทางเดียวเรียกว่า โดเมน (domain) ความสัมพันธ์ของการจัดเรียงตัวของโดเมนหนึ่งกับอีกโดเมนหนึ่งถูกควบคุมโดยความสัมพันธ์ของผลึก วัสดุในกลุ่ม BaTiO_3 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเพอโรฟสไกต์ ใช้ทำตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบเซรามิกส์ (ceramic capacitor)

การเก็บประจุไฟฟ้า

เมื่อต่อตัวเก็บประจุ (C) เป็นวงจรกับตัวต้านทาน (R) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า E ดังรูปที่ 1 ถ้าสวิตช์ S ไม้ที่ 1 จะได้ว่า ณ เวลา t ใด ๆ ประจุไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุสามารถเขียนเป็นสมการได้ คือ

$$q = q_0(1 - e^{-t/RC}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$q_0 = EC \quad \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ q_0 เป็นประจุไฟฟ้าสูงสุดบนตัวเก็บประจุไฟฟ้า ค่า RC มีหน่วยเป็นเวลา เรียกว่า ค่าคงที่เวลาของวงจร RC

ถ้า $t = RC$ จะได้ว่า

$$q = 0.63q_0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

นั่นคือ ค่าคงที่ของเวลา RC เวลาที่ตัวเก็บประจุไฟฟ้าใช้ในการเก็บประจุจนเก็บประจุไฟฟ้าได้ถึง 63 % ของค่าสูงสุด

สำหรับกระแสไฟฟ้า (i) ในวงจรที่ไหลผ่าน C และความต่างศักย์ตกคร่อม C (V_c) ณ เวลา t ใด ๆ เมื่อสวิตช์ S มีความสัมพันธ์ดังสมการ (4) และ (5) ตามลำดับ

$$i = (E/R)e^{-t/RC} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$V_c = E(1 - e^{-t/RC}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

การคายประจุไฟฟ้า

เมื่อสวิตช์ S ไม้ที่ 1 จนกระทั่งประจุไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุมีค่าสูงสุด (q_0) (หรือ V_0) มีค่าสูงสุด = E ถ้าสวิตช์ S ไม้ที่ 2 (รูปที่ 2) ตัวเก็บประจุจะคายประจุผ่านตัวต้านทาน R ทำให้ประจุไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุลดลงประจุไฟฟ้าที่เหลือบนตัวเก็บประจุ (q) ณ เวลา t ใด ๆ เขียนเป็นสมการได้ คือ

$$q = q_0(e^{-t/RC}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

และความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_c) ที่เวลา t ใด ๆ เขียนเป็นสมการได้ คือ

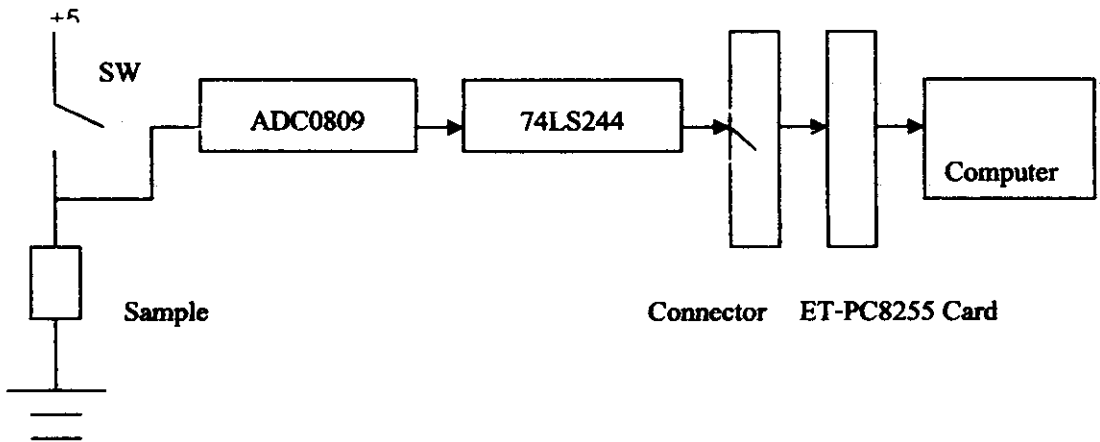
$$V_c = E(e^{-t/RC}) \dots\dots\dots(7)$$

ถ้า $t = RC$ จะได้ว่า V_c เท่ากับ 37 % ของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดตกคร่อมตัวเก็บประจุ
บทความนี้เป็นการศึกษาประจุไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

วัตถุประสงค์และวิธีการ

เมื่อพิจารณาการทดสอบการเก็บประจุและคายประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้าก็ได้อาศัยเทคนิคการเชื่อมต่อด้วยคอมพิวเตอร์จากประสบการณ์และอาศัยเอกสารทั่วไป (George C. Barney, 1988) มาดัดแปลง แล้วเขียนบล็อกไดอะแกรมสำหรับแสดงเส้นโค้งประจุไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) เขียนบล็อกไดอะแกรม (รูปที่ 1) ประกอบวงจรและทดสอบจนใช้ได้

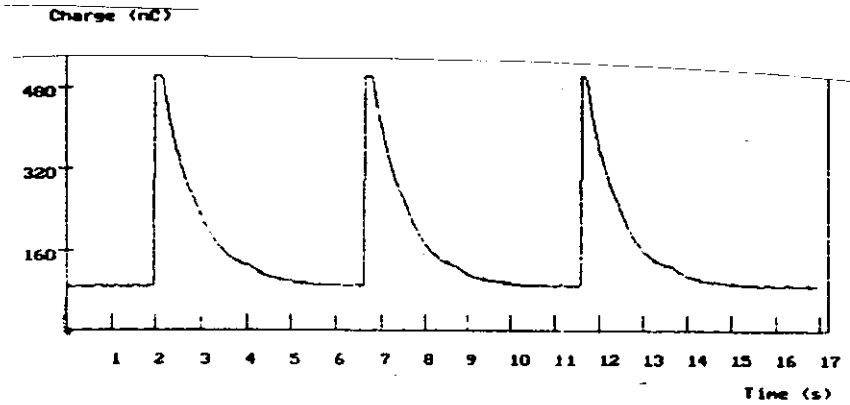


รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมสำหรับให้คอมพิวเตอร์แสดงเส้นโค้งประจุไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์

- 2) เขียนโปรแกรมภาษาเทอร์โมปาสคาลเพื่อควบคุมการอ่านแรงดันไฟฟ้า พร้อมทั้งทดสอบจนใช้งานได้
- 3) สั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงานตามโปรแกรม (RUN) ทดสอบการเก็บและคายประจุไฟฟ้าโดยการเปิด-ปิดสวิตช์ (สารตัวอย่างเป็นตัวเก็บประจุแบบไมกาเชิงการค่า (0.05 μF) แรงดันตกคร่อมสารที่เตรียมได้จะถูกป้อนเข้าที่ไอซี ADC0809 ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันขนาดออกให้เป็นแรงดันดิจิทัล ไอซี 74LS244 จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์แรงดันไฟฟ้านี้ซึ่งเป็นแรงดันขนาดออกจะเคลื่อนที่ผ่าน ET-PC8255 Card ผ่านตลอดไปยังแรม แปลงแรงดันไฟฟ้า (V) ให้เป็นประจุไฟฟ้า (q) โดยใช้คำสั่ง $q = CV$ เมื่อ C เป็นความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่ใช้ทดลอง ใช้คำสั่งให้คอมพิวเตอร์แสดงประจุไฟฟ้าตกคร่อมสารที่ขึ้นกับเวลาบนจอ

ผลการทดลอง

ประจุไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่มีขนาด $0.1 \mu\text{F}$ ซึ่งระบบเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์วัดได้ แสดงดังรูปที่ 2 จากรูปพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่กำลังเก็บประจุและประจุไฟฟ้ามีค่าลดลงในขณะที่กำลังคายประจุ



รูปที่ 3 ประจุไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้า $0.1 \mu\text{F}$ ที่วัดได้บนจอคอมพิวเตอร์

วิเคราะห์ผลการทดลอง

เส้นกราฟประจุไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้าเชิงการคำนวณสามารถแสดงด้วยระบบเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นและโปรแกรมที่เขียนขึ้นได้ เมื่อพิจารณารูปร่างของเส้นกราฟในขณะคายประจุพบว่า มีลักษณะเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ประจุไฟฟ้าขณะที่กำลังเก็บประจุจะเพิ่มขึ้นเร็ว แต่ประจุไฟฟ้าขณะที่กำลังคายประจุจะลดลงช้า

สรุปผลการทดลอง

ระบบเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นและโปรแกรมที่เขียนสามารถแสดงเส้นกราฟประจุไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

Buchanan Relva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, second edition, Marcel Dekker Inc., New York.

Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.

ภาคผนวก

```

Program Charge_vs_Time_Graph_of_Sample;
uses crt, graph;
var
  grdrv, grmode, gerror : integer;
  ch                      : char;
const  PA                = $0304;
       Pcontrol          = $0307;
procedure  axis;
var  p,q      : integer;
     tex      : string;
begin
  grdrv := detect ; initgraph(grdrv, grmode, 'c:\tp\bgi');
  setgraphmode(grmode);
  line(50,50,50,305);      line(50,305,600,305);
  line(50,50,600,50);     line(600,50,600,305);
  settxtstyle(defaultfont, horizdir, 0);
  for p := 50 to 600 do
    begin
      if p mod 32 = 0 then
        begin
          line(p+18,295,p+18,305); str(round(p/32-1),tex);
          outtextxy(p+18,320,tex);
        end;
      end;
    settxtstyle(defaultfont, horizdir, 0);
    for q := 50 to 305 do
      begin
        if q mod 51 = 0 then
          begin
            line(45,q,55,q); str((((305-q) mod 5)+1)160,tex); outtextxy(20,q,tex);
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;

```

```

        end;
    end;
end;
procedure plot;
var  i, j, x, y, DV          : integer;
      AV, V, C, q            : real;
begin
    outtextxy(150,10, 'CHARGE VS TIME GRAPH FOR CHARGE & DISCHARGE TEST') ;
    outtextxy(150,18, '-----');
    outtextxy(50,30,'Charge (nC)') ;
    outtextxy(540,340,'Time (s)') ;
    outtextxy(48,303, "")
    begin
        port[Pcontrol] := $90;
        C := 100;      {nF}
        for j := 0 to 550 do
            begin
                DV := port[PA];
                AV := (5/255)*DV;
                V := AV;      {V}
                q := (C*V);   {nC}
                x := j+50;    y := 305-round((255/800)*q);
                lineto(x,y);
                delay(30);
            end;
        end;
    readln;
    closegraph;
    end;
begin      {main}
    repeat
        axis;

```

```
plot;  
  ch := readkey;  
until ord(ch) = 27;  
end.
```

บทความที่ 8

การวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้าเชิง
การคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์

The resistance dependent on time measuring of commercial capacitor
with computer

บทความที่ 8

การวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้า เชิงการค้าด้วยคอมพิวเตอร์

The resistance dependent on time measuring of commercial
capacitor with computer

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์¹ และ ธนอมจิต ผาสุกใจ²

Thongchai Panmatarith and Thanomjit Phasukjai

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้วัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้าเชิงการค้าด้วยคอมพิวเตอร์

Abstract

The resistance dependence on time of commercial capacitor was measured with computer

Key words :

บทนำ

ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (capacitor or condenser) ทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้า (charge) และคายประจุไฟฟ้า (discharge) ตัวเก็บประจุมีหลายชนิด เช่น ตัวเก็บประจุแบบกระดาษ ตัวเก็บประจุแบบพลาสติก (polyester, polycarbonate, polystyrene) ตัวเก็บประจุแบบไมก้า ตัวเก็บประจุแบบโมลาร์ ตัวเก็บประจุแบบเซรามิกส์ (BaTiO_3) และตัวเก็บประจุแบบอิเล็กทรอนิกส์ โครงสร้างของตัวเก็บประจุไฟฟ้าประกอบด้วยแผ่นตัวนำขนานสองแผ่นที่มีไดอิเล็กตริก (dielectrics) คั่นกลาง

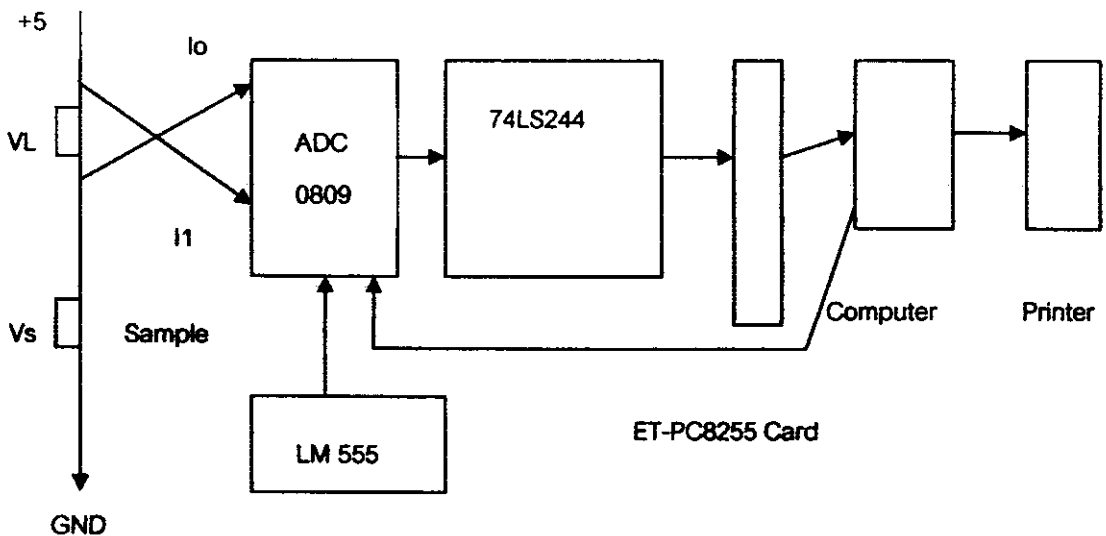
การเก็บประจุไฟฟ้า คือ การที่ประจุไฟฟ้าเข้าไปในตัวเก็บประจุ ประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุจะเพิ่มขึ้นตามเวลา กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุลดลงตามเวลาและความต้านทานไฟฟ้าขึ้นตามเวลา ส่วนการคายประจุไฟฟ้า คือ การที่ประจุไฟฟ้าออกจากตัวเก็บประจุ ประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุจะลดลงตามเวลา กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุลดลงตามเวลาและความต้านทานไฟฟ้าลดลงตามเวลา

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเก็บประจุไฟฟ้า (C) กับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant, ϵ_r) แสดงดังสมการ $C = \epsilon A/L = \epsilon_0 \epsilon_r A/L$; $\epsilon_r = 1 + \chi_e$ เมื่อ A เป็นพื้นที่หน้าตัด (cross section area) d เป็นเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter) ของสาร L เป็นความหนา (thickness) ของสาร และ χ_e เป็นสภาพอ่อนไหวทางไฟฟ้า (electric susceptibility)

บทความนี้เป็นการศึกษาความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

วัตถุประสงค์และวิธีการ

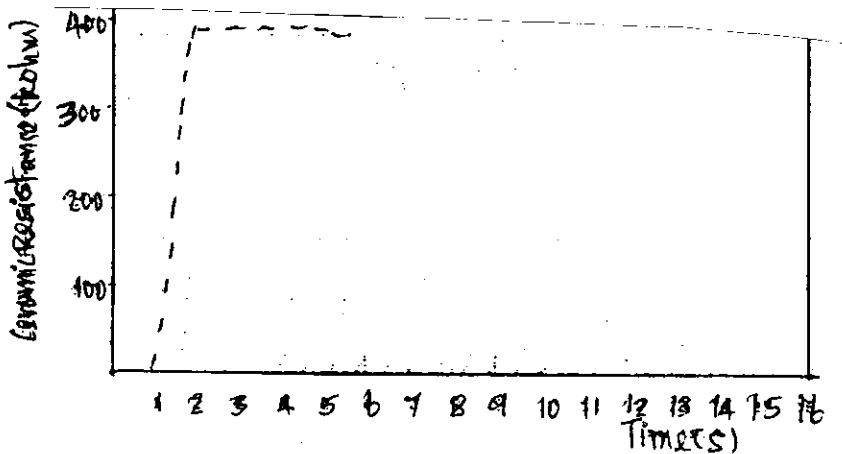
จุดประสงค์ (รูปที่ 1) ใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ บันทึกผลโดยใช้คอมพิวเตอร์พิมพ์กราฟออกมา



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมสำหรับให้คอมพิวเตอร์แสดงเส้นโค้งความต้านทานที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้าเชิงการค้ำด้วยคอมพิวเตอร์

ผลการทดลอง

ความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้าเชิงการคำนวณค่าความจุ $100 \mu\text{F}$ ที่ระบบเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์วัดได้แสดงดังรูปที่ 2 จากรูปพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ความต้านทานของตัวเก็บประจุมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 ความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้า $100 \mu\text{F}$ ที่วัดได้บนจอคอมพิวเตอร์

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ความต้านทานไฟฟ้าของตัวเก็บประจุเชิงการคำนวณมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาแสดงว่าเกิดการเก็บประจุไฟฟ้า สาเหตุที่ความต้านทานเพิ่มขึ้นเพราะประจุไฟฟ้าในสารเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารลดลง ระบบเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นและโปรแกรมที่เขียนสามารถแสดงเส้นกราฟความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้าเชิงการคำนวณได้

สรุปผลการทดลอง

ระบบเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นและโปรแกรมที่เขียนสามารถแสดงเส้นกราฟความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของตัวเก็บประจุไฟฟ้าเชิงการคำนวณได้

เอกสารอ้างอิง

Buchanan Reiva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, Second edition, Marcel Dekker Inc.,

New York.

Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.

ภาคผนวก

```

Program Resistance_Time_Graph_for_Capacitor;
uses crt, graph;
var
  grdrv, grmode, grrerror : integer;
  ch : char;
const
  PA = $0304;
  PB = $0305;
  Pcontrol = $0307;
procedure axis;
var p,q : integer;
    tex : string;
begin
  grdrv := detect; initgraph(grdrv, grmode, 'C:\tp\bgi');
  setgraphmode(grmode);
  setcolor(15); line(50,50,50,305); line(50,305,575,305);
                line(50,50,575,50); line(575,50,575,305);
  settexstyle(defaultfont, vardir,0);
  for p := 50 to 600 do
  begin
    line(p+18,295,p+18,305); str(round(p/32-1), tex);
    outtextxy(p+18,320,tex);
  end;
  setcolor(15); settexstyle(defaultfont, horizdir,0);
  for q = 50 to 305 do
  begin
    if q mod 51 = 0 then
    begin
      line(45, q, 5, q); str((((305-q) mod 5)+1)*100,tex);
      outtextxy(20, q, tex);
    end;
  end;
end;

```



```

end;
end;
end;
end;
procedure plot ;
var    i, j, x, y, DV0, DV1          : integer;
        AV0, AV1, R, RL, Vs, VLs, VL, IL, Is : real;
begin
    setcolor(3); outtextxy(205,11, 'Resistance vs Time Curve');
    setcolor(3); outtextxy(205,18, '-----');
    setcolor(5); outtextxy(50,30, 'Ceramic Resistance (kohm)');
    setcolor(5); outtextxy(435,335, 'Time (s)');
    setcolor(5); outtextxy(48,303, "");
    port[Pcontrol] := $90;
    RL := 3000; {ohm}
    for i := 1 to 100 do
    begin
        for j := 1 to 550 do
        begin
            port[PB] := 0;          {i0}
            delay(30);
            DV0 := port[PA];
            AV0 := (5/255)*DV0;
            Vs := AV0;              {V}
            port[PB] := 1;          {i1}
            delay(30);
            DV1 := port[PA];
            AV1 := (5/255)*DV1;
            VLs := AV1;
            VL := (VLs-Vs);
            IL := VL/RL;
            Is := IL; {A}
        end;
    end;
end;

```

```
R := (Vs/Is);      {ohm}
x := j+50 : y := round(305-(R/1000)*(255/500));
setcolor(15); line(x, y, x, y);
delay(30);
end;
end;
end;
begin      {main}
  repeat
    axis;
    plot;
    ch := readkey;
  until ord(ch) = 27;
end.
```

บทความที่ 9

การทดสอบปรากฏการณ์กำหนดอนุกรมด้วยคอมพิวเตอร์

Series resonance test with computer

บทความที่ 9

การทดสอบปรากฏการณ์กำทอนอนุกรมด้วยคอมพิวเตอร์**Series resonance test with computer****ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์¹ ถนอมจิต ผาสุกใจ² และ นาซีเราะห์ สีอีรี²**

Thongchai Panmatarith, Thanomjit Phasukjai and Naziroh Sueree

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ**ได้ทดสอบปรากฏการณ์กำทอนอนุกรมด้วยคอมพิวเตอร์****Abstract**

Series resonance was tested with computer .

Key words : RLC Series resonance

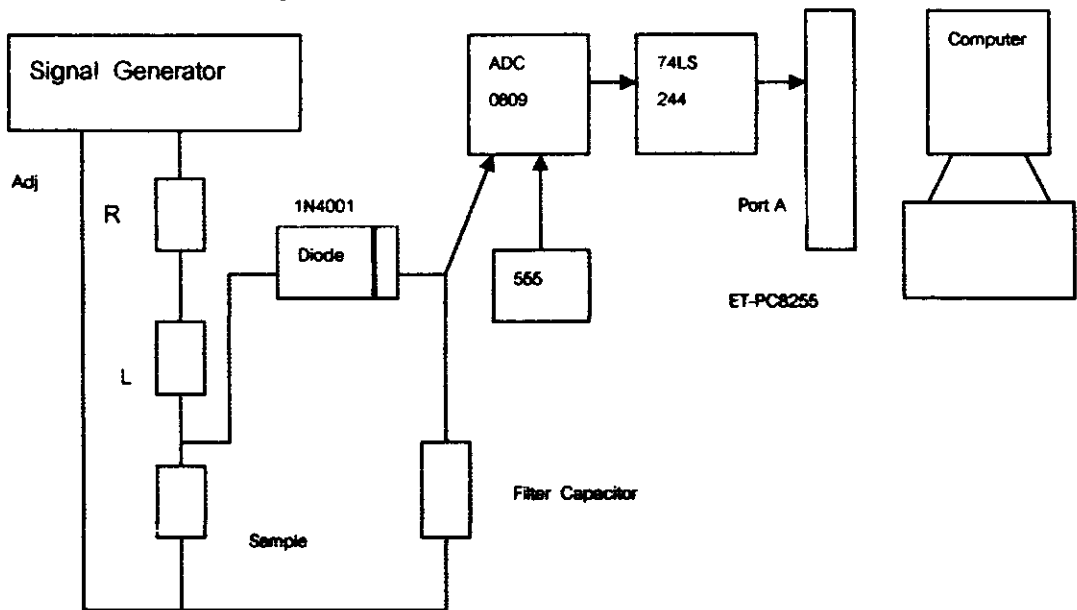
บทนำ

สารเฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิกส์ (ferroelectric ceramics) แสดงสมบัติของการเก็บประจุไฟฟ้า (capacitive property) การประยุกต์ใช้ของสารกลุ่มนี้ได้แก่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (capacitor) อุปกรณ์การกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (high pass filter) และอุปกรณ์เลื่อนเฟส (phase shifter) BaTiO₃ เป็นสารเฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิกส์แสดงสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกและนำไปสู่การทำตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง ไฟฟ้าเฟอร์โรเกิดจากทิศทางของขนานกันของโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้า (electric dipole moment) บริเวณที่มีโพลาริเซชัน (polarization) ทิศทางเดียว เรียกว่า โดเมน (domain) BaTiO₃ มีโครงสร้างผลึกแบบเพอโรฟสไกต์ (perovskite structure) โดเมนจะโตขึ้นเมื่อสารได้รับสนามไฟฟ้าแรงสูง หลังจากที่ผ่านมาการโพลิง สามารถพิจารณาได้จากวงการล้าเฟอร์โรอิเล็กทริก (ferroelectric hysteresis loop)

บทความนี้เป็นการศึกษาการทดสอบปรากฏการณ์ก้ำก๋อนอนุกรมด้วยคอมพิวเตอร์

วัตถุประสงค์และวิธีการ

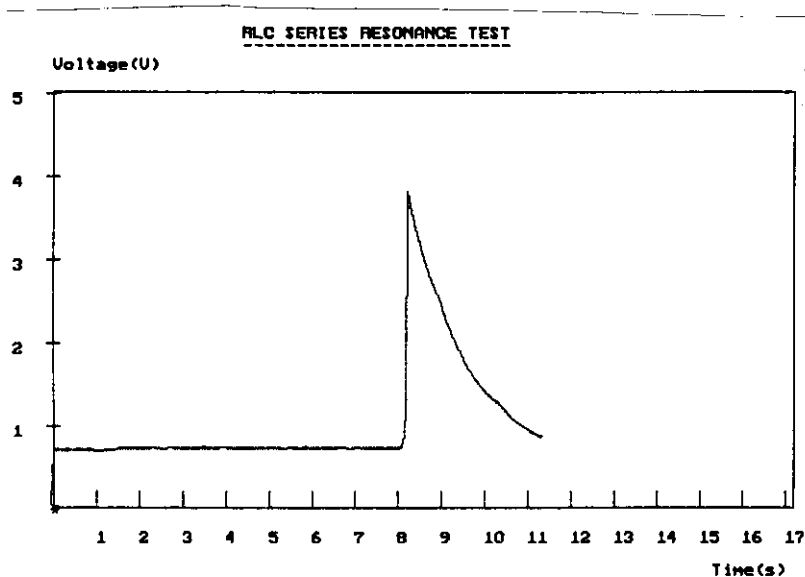
จัดชุดทดลองตามรูปที่ 1 เปิดเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า มีกระแส I ไหลผ่านตัวต้านทาน $1.2\text{ k}\Omega$ ตัวเหนี่ยวนำ (ballast) สารตัวอย่าง (ตัวเก็บประจุ) มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุ V ปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าจนเกิดก้ำก๋อน $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$; $X_L = X_C$; $Z = R$; $Z = Z_{\min}$; $I = I_{\max}$ และ $f_{\text{res}} = ?$ สังเกตกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมากที่สุด (I_{\max}) ด้วยมัลติมิเตอร์ เขียนโปรแกรมควบคุมการทดลอง



รูปที่ 1 การทดลองปรากฏการณ์ก้ำก๋อนแบบอนุกรม RLC ที่แสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์

ผลการทดลอง

ผลการให้ตัวเก็บประจุที่มีขนาด $0.022 \mu\text{F}$ ทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนหนึ่งในวงจรที่ใช้แสดงปรากฏการณ์ก้ำก๋อนอนุกรมที่แสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2 จากรูปพบว่าเมื่อเพิ่มความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าจนถึงความถี่ก้ำก๋อน ในขณะที่ความถี่กำลังเพิ่มขึ้นและผ่านความถี่ก้ำก๋อน แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแล้วก็ลดลงตามเวลาอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2 ภาพแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในขณะที่ปรับความถี่ผ่านจุดก้ำก๋อนสำหรับปรากฏการณ์ก้ำก๋อนอนุกรม

วิเคราะห์ผลการทดลอง

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นแล้วลดลงในขณะที่กำลังเพิ่มความถี่ผ่านความถี่ก้ำก๋อน สาเหตุที่แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วลดลงตามเวลาเกิดจากอิมพีแดนซ์ของวงจรลดลงอย่างมากที่ความถี่ก้ำก๋อน กระแสไฟฟ้าไหลที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมีค่าเพิ่มขึ้น แรงดันตกคร่อมจึงเพิ่มขึ้น

สรุปผลการทดลอง

ระบบเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นและโปรแกรมที่เขียนสามารถแสดงปรากฏการณ์ก้ำก๋อน

เอกสารอ้างอิง

Buchanan Reiva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, second edition, Mercel Dekker Inc., New York.

Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.

ภาคผนวก

Program Thanomjit_Series_Resonance_Test_With_Ceramic_Graph;

uses crt, graph;

var

grdrv, grmode, grror : integer;

ch : char;

const PA = \$0304;

Pcontrol = \$0307;

procedure axis;

var p,q : integer;

tex : string;

begin

grdrv := detect ; initgraph(grdrv, grmode, 'c:\tp\bgi');

setgraphmode(grmode);

line(50,50,50,305); line(50,305,600,305);

line(50,50,600,50); line(600,50,600,305);

settextstyle(defaultfont, horizdir, 0);

for p := 50 to 600 do

begin

if p mod 32 = 0 then

begin

line(p+18,295,p+18,305); str(round(p/32-1),tex);

outtextxy(p+18,320,tex);

end;

end;

```

settextstyle(defaultfont, horizdir, 0);
for q : = 50 to 305 do
    begin
        if q mod 51 = 0 then
            begin
                line(45,q,55,q);str((((305-q) mod 5)+1),tex); outtextby(20,q,tex);
            end;
        end;
end;
procedure plot;
var i, j, x, y, DV          : integer;
    AV                      : real;
begin
    outtextby(190,10, 'RLC SERIES RESONANCE TEST');
    outtextby(190,18, '-----');
    outtextby(50,30, 'Voltage (V)');
    outtextby(540,340, 'Time (s)');
    outtextby(48,303, "");
    begin
        port[Pcontrol] := $90;
        for j : = 0 to 550 do
            begin
                DV := port[PA];
                AV := (5/255)*DV;
                x := j+50; y := 305 - DV;
                lineto(x,y);
                delay(30);
            end;
        end;
    readln;
    closegraph;
end;

```



```
begin          {main}
  repeat
    axis;
    plot;
    ch := readkey;
  until ord(ch) = 27;
end .
```

บทความที่ 10

การวัดสมบัติให้ความร้อนของเซรามิกส์ด้วยคอมพิวเตอร์

Heating property measuring of $\text{MnO}_2 + \text{CoO}$ material with computer

บทความที่ 10

การวัดสมบัติให้ความร้อนของสาร MnO_2+CoO ด้วยคอมพิวเตอร์

Heating property measuring of MnO_2+CoO material with computer

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ¹ และ เอกชนิษฐ์ ژیธิวิจิตร²

Thongchai Panmatarith and Ekkanit Chaiwichit

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้วัดสมบัติให้ความร้อนของเซรามิกส์ด้วยคอมพิวเตอร์

Abstract

Heating property of MnO_2+CoO material was measured with computer.

Key words : Heating material

บทนำ

สารให้ความร้อน (heating element) เป็นสารที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนได้ดี ใช้ทำขดลวดของเตาหลอม (furnace element) เมื่อพิจารณาจากค่าความต้านทานไฟฟ้าพบว่า สามารถแบ่งอุปกรณ์ให้ความร้อนเป็น 2 กลุ่มด้วยกัน ดังนี้

- 1) อุปกรณ์ให้ความร้อนที่มีความต้านทานต่ำ (lowly resistive element) ซึ่งต้องการแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีแรงดันต่ำ (low voltage power supply)
- 2) อุปกรณ์ให้ความร้อนที่มีความต้านทานสูง (highly resistive element) ซึ่งต้องการแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีแรงดันสูง (high voltage power supply)

ตัวอย่างของสารให้ความร้อน อาทิเช่น แกรไฟต์ (graphite), โมลิบดีนัม (Mo), ทังสเตน (W), ทองคำขาว (Pt), SiC (1650°C) และ MoSi_2 (1500°C)

ก. ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC)

ซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นวัสดุแข็ง (hard material) และมีชั้นออกไซด์ (oxide layer) สามารถอยู่ในสภาพเสถียรในอากาศจนถึงอุณหภูมิ 1650°C ซึ่งสามารถนำไปใช้ทำสารให้ความร้อนของเตาเผา ซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นวัสดุที่มีพันธะแบบโควาเลนต์และมีโครงสร้างผลึกแบบเพชร (diamond structure) มีสภาพการนำไฟฟ้าและสภาพการนำความร้อนสูง สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามเส้นผ่าศูนย์กลาง สารให้ความร้อน SiC เตรียมได้โดยการนำท่อคาร์บอน (carbon tube) ไปทำให้ร้อนในปอทราย (SiO_2) และผ่านโดกหรือคาร์บอน $\text{SiO}_2 + \text{C}$ จะได้ SiC เคลือบผิวบนอกของท่อนี้ด้วยสารเคลือบแคลเซียมอะลูมิโนซิลิเกต (calcium aluminosilicate glaze) โดยเผาที่ 1450°C เพื่อป้องกันออกซิเดชันในระหว่างการใช้งาน

ข. โมลิบดีนัมไดซิลิไซด์ (MoSi_2)

ใช้ทำสารให้ความร้อนสำหรับใช้ในอากาศที่อุณหภูมิสูงกว่า 1500°C สภาพต้านทานไฟฟ้าของสารนี้อยู่ในช่วง $2.5 \times 10^{-7} \Omega\text{m}$ ที่อุณหภูมิห้อง ถึง $4 \times 10^{-6} \Omega\text{m}$ ที่ 1800°C สารให้ความร้อน MoSi_2 ที่ใช้ในทางการค้ามีลักษณะเป็นเซรามิก (cermet) ที่ประกอบด้วยส่วนผสมของอนุภาค MoSi_2 ที่สร้างพันธะกับเฟสแก้วอะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicate glass phase)

Das Gupta (1996) ในประเทศแคนาดา ได้รายงานว่าถึงสารที่ใช้ทำสารให้ความร้อนซึ่งได้แก่ MoSi_2 , SiC, แกรไฟต์ (graphite) และ BaTiO_3

Reznikov (1997) ได้สร้างตัวควบคุมอุณหภูมิที่โปรแกรมได้จากไมโครโปรเซสเซอร์ สำหรับใช้งานกับเตาหลอมไฟฟ้า

ในห้องปฏิบัติการ

Pelissier (1998) ในประเทศฝรั่งเศส ได้ศึกษาสภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพการนำความร้อนของสารให้ความร้อนที่ทำมาจากซิลิกอนคาร์ไบด์

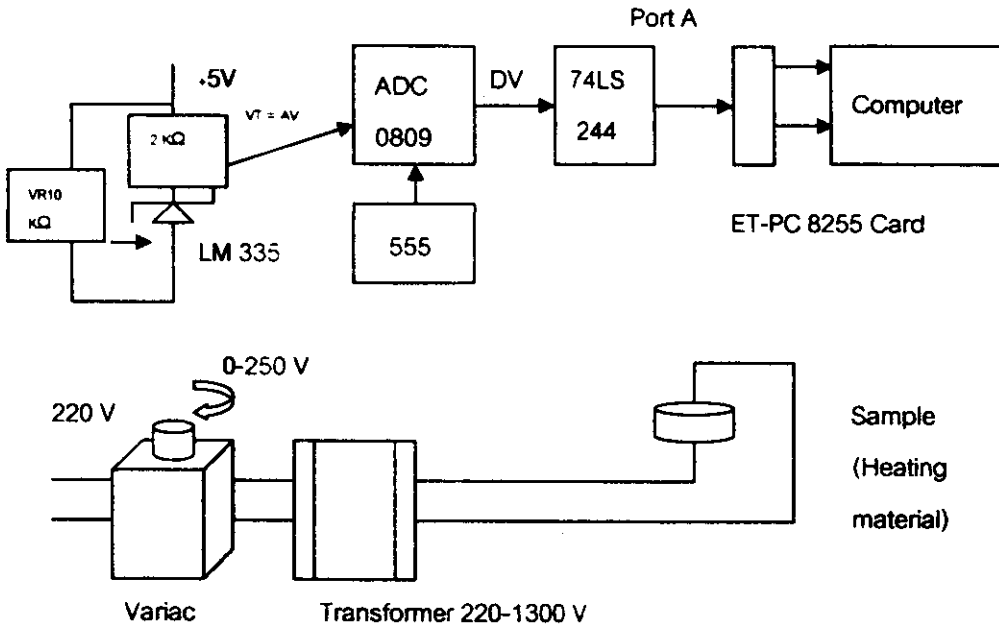
Ogawa (1998) ในประเทศญี่ปุ่น ได้สร้างฟิล์มบาง $BaTiO_3$ แล้วประยุกต์ใช้เป็นแผ่นความร้อนที่สามารถให้ความร้อนสม่ำเสมอ

Hayashi (2001) ในประเทศญี่ปุ่น ได้เตรียมฟิล์มบางของ $LaCrO_3-Ca$ โดยมีขั้วเป็น Pt และหาลักษณะสมบัติการให้ความร้อน (heating characteristics) ความต้านทานของฟิล์มบางให้ความร้อนมีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นลบ และอุณหภูมิให้ความร้อนสูงสุด $1100^{\circ}C$

Meier (2001) ในประเทศอังกฤษ ได้ศึกษาสารให้ความร้อนที่ทำมาจากเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC ซึ่งสามารถทำงานที่อุณหภูมิเกือบคงที่ บทความนี้เป็นการศึกษาการวัดสมบัติให้ความร้อนของเซรามิกส์ด้วยคอมพิวเตอร์

วัตถุประสงค์และวิธีการ

จัดเตรียมวงจรเชื่อมต่อสำหรับให้คอมพิวเตอร์แสดงเส้นโค้งอุณหภูมิที่ขึ้นกับเวลาสำหรับสารให้ความร้อนที่มีสูตรเป็น MnO_2+CoO ดังรูปที่ 1 เรียงโปรแกรม แวร์เนอจะรับแรงดันไฟฟ้าบ้านแล้วแปลงออกเอาท์พุทแล้วส่งให้หม้อแปลงไฟฟ้า แรงดันจากหม้อแปลงไฟฟ้า 158 V จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสารให้ความร้อน สารร้อนขึ้น LM8255 อ่านอุณหภูมิของสาร ส่งแรงดันไฟฟ้าจากหัววัดนี้ (VT) เข้าทางขา 26 (Io) ของ ADC0809, โอดี ADC0809 จะทำหน้าที่แปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิตอล(DV) แรงดันขนาด 8 บิต ถูกส่งผ่าน 74LS244 ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ส่งแรงดันดิจิตอล 8 บิต D7, D6, D5, D4, D3, D2, D1, D0 นี้ไปยัง ET-PC8255 Card ผ่านทางพอร์ท A ของ IC8255 แล้วเข้าไปในแรม สั่งให้แสดงค่า DV บนจอ แปลง DV เป็น AV แปลงแรงดัน AV ให้เป็นอุณหภูมิของสารให้ความร้อน (T) สั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงานตามโปรแกรม (RUN) คอมพิวเตอร์จะแสดงอุณหภูมิของสารให้ความร้อนที่ขึ้นกับเวลา (T vs t) สั่งพิมพ์ภาพบนจอในขณะที่ระบบกำลังทำงาน

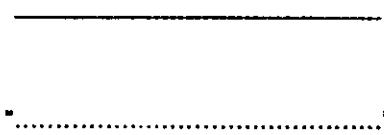


รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมที่ให้คอมพิวเตอร์แสดงเส้นโค้งอุณหภูมิที่ขึ้นกับเวลาสำหรับสารให้ความร้อน

ผลการทดลอง

ภาพบนจอคอมพิวเตอร์ในขณะที่กำลังทำการวัดแสดงดังรูปที่ 2 ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิของสารให้ความร้อนที่ขึ้นกับเวลาแสดงได้ดังรูปที่ 3 เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงค่าหนึ่งอุณหภูมิจะคงที่

TEMPERATURE MEASUREMENT

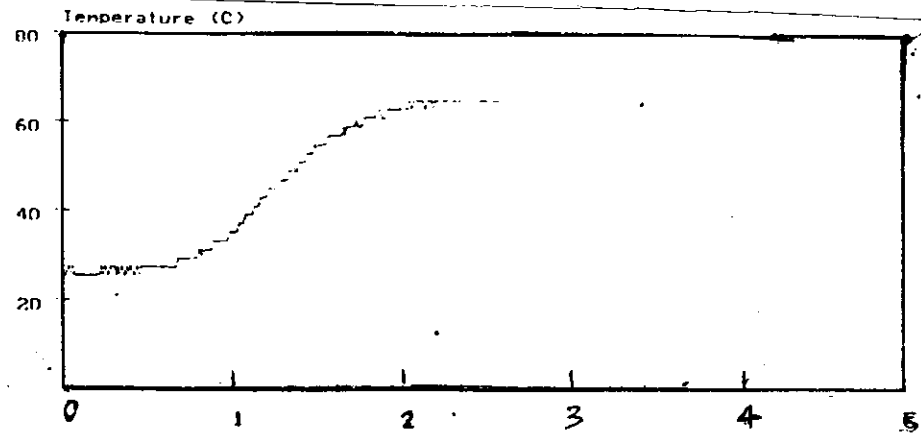


Digital Voltage Input = 158

Analog Voltage Input = 3.10 V

Temperature = 36.80 deg C

รูปที่ 2 ภาพบนจอคอมพิวเตอร์ในขณะที่กำลังทำการวัดอุณหภูมิของสาร $MnO_2 + CoO$ ที่ขึ้นกับเวลา



รูปที่ 3 ภาพของเส้นโค้งอุณหภูมิของสาร $MnO_2 + CoO$ ที่ขึ้นกับเวลาบนจอคอมพิวเตอร์

วิเคราะห์ผลการทดลอง

อุณหภูมิของสารให้ความร้อน $MnO_2 + CoO$ ที่ขึ้นกับเวลา สามารถวัดโดยใช้วงจรเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้

สรุปผลการทดลอง

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าไป อุณหภูมิของสารจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สาร $MnO_2 + CoO$ แสดงสมบัติให้ความร้อน

เอกสารอ้างอิง

Buchanan Relva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, second edition, Mercei Dekker Inc.,

New York.

Das Gupta, S. 1996. Heating elements and electrically conducting ceramics. Key Engineering Materials.,

122, 279-282.

Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.

Reznikov, Y. A., 1997. Programmable temperature control in an electric furnace for laboratory coking based on a microprocessor controller. Fuel and Energy Abstracts. 38: 219.

ภาคผนวก

Program Temperature_vs_Time_of_Heating_Graph;

uses crt, graph;

var

```

    grdrv, grmode, grrror,      : integer;
    ch                          : char;
    DV                          : integer;

Const PA      = $0304;
    Pcontrol   = $0307;

procedure axis;
var  p,q : integer;
    tex : string;

begin
grdrv := detect; initgraph(grdrv, grmode, 'C:\tp\bgi' );
setgraphmode(grmode);
line(50,50,50,305); line(50,305,300,305);
line(50,50,600,50); line(600,50,600,305);
settextstyle(defaultfont, horizdir, 0);
for p:=50 to 600 do
begin
if p mod 110 =0 then
begin
line(p+50,295,p+50,305); str(round(p/110), tex);
outtextxy(p+50, 320, tex);
end;
end;
settextstyle(defaultfont, horizdir, 0);
for q:=50 to 305 do
begin
if q mod 51 = 0 then
begin
line(45, q, 55, q); str((((305-q) mod 5)+1)*20,tex); outtextxy(20, q, tex);
end;
end;
end;
end;
procedure plot;

```



```

var i, j, x, y, DV           : integer;
    AV, VT, T                : real;

begin
  outtextxy(150,10, 'TEMPERATURE VS TIME OF HEATING ELEMENT GRAPH');
  outtextxy(150,18, '-----');
  outtextxy(50,30, 'Temperature (C)');
  outtextxy(540, 340, 'Time(min)');
  outtextxy(48, 303, '*');

  begin
    port[Pcontrol]:=$90;
    for j:=0 to 550 do
      begin
        DV :=port[PA];
        AV :=(5/255)*DV;
        VT:=AV;
        T:=(VT-2.73)/(0.01);
        x:=j+50; y:=305-round((255/100)*T);
        lineto(x,y);
        delay(600);
      end;
    end;
  readln;
  closegraph;
  end;

begin      (main)
  repeat
    readln;
    plot;
    ch:=readkey;
  until ord(ch) = 27;
end.

```

บทความที่ 11

**การวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร MnO_2+CoO
ด้วยคอมพิวเตอร์**

**The resistance dependence on temperature measuring
of MnO_2+CoO material with computer**

บทความที่ 11

การวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร MnO_2+CoO ด้วยคอมพิวเตอร์

The resistance dependence on temperature measuring of MnO_2+CoO material with computer

ธงชัย พันธุ์เมฆาฤทธิ์¹ ธนอมจิต ผาสุกใจ² นาซีเราะห์ สีอริ² เอกษนิษฐ์ ชัยวิชิต²
และ เอกอนงค์ คงช่วย²

Thongchai Panmatarith, Thanomjit Phasukjai, Naziroh Sueree, Ekkanit Chaiwichit
and Ekanong Kongchouy

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,
Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.
Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

สาร MnO_2+CoO แสดงปรากฏการณ์เอ็นทีซีโดยมีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบมีค่า $-1.35\ \%/^{\circ}\text{C}$ ในช่วงอุณหภูมิ 36 ถึง $95\ ^{\circ}\text{C}$ การวัดทั้งหมดจะใช้ระบบทดสอบที่คำนวณด้วยคอมพิวเตอร์

Abstract

The MnO_2+CoO material showed NTC effect with negative temperature of resistance of $-1.35\ \%/^{\circ}\text{C}$ in the range of $36-95\ ^{\circ}\text{C}$. All measurements were done with computerized test system.

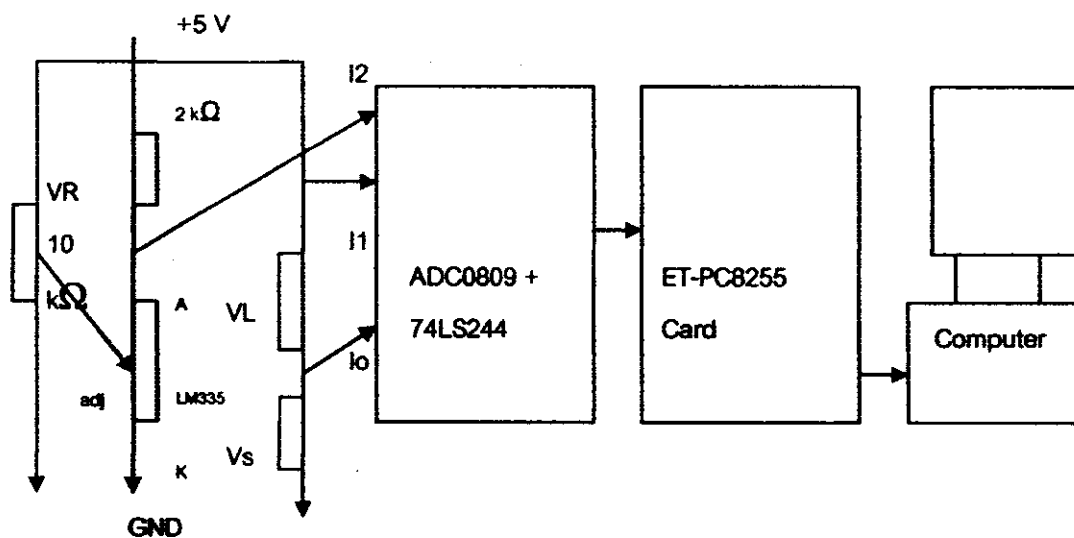
Key words : NTC thermistor, computerized test system

บทนำ

เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เป็นตัวต้านทานไฟฟ้าที่มีความต้านทานลดลงในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำมาจาก NiO, CoO และ MnO สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานมีค่าเป็นลบ Chanel (2000) ในประเทศฝรั่งเศสได้เตรียมสาร $Mn_{2.23-x}Ni_{0.06}Zn_xO_4$ เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC สามารถประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรม บทความนี้เป็นการศึกษาความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีด้วยคอมพิวเตอร์

วัตถุประสงค์และวิธีการ

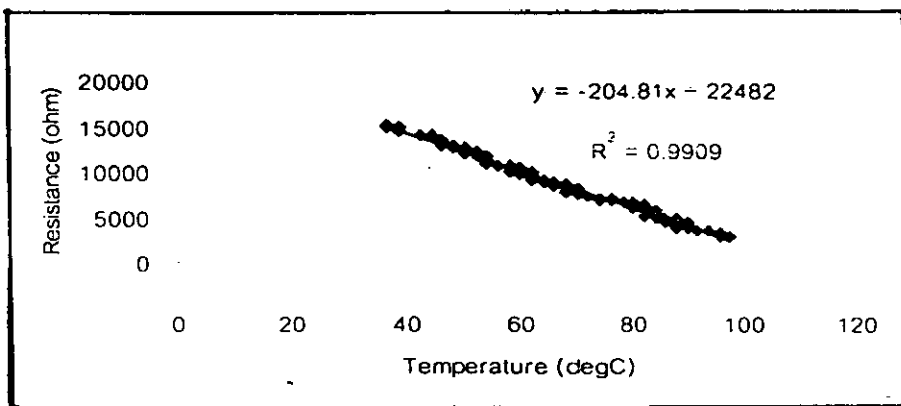
- 1) ให้ประกอบวงจรที่วัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $MnO_2 + CoO$ เชื่อมต่อกับ ADC0809 และ ET-PC8255 Card กับคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 1)
- 2) เขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาเทอร์โบปาลาสคาลสำหรับการวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของ NTC ทั้งในรูปของข้อมูล (data) และกราฟ (graph)
- 3) ป้อนแรงดัน V_s เข้า I_o และ V_L เข้า I_1 ของ ADC0809 ใช้ ADC0809 แปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิทัล (DV) ส่งผ่านชิปเฟอ์ 74LS244 และ ET-PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์ สั่งให้คอมพิวเตอร์คำนวณ $V_L = V_L - V_s$; $I_L = V_L / R_L$; $I_s = I_L$; $R = V_s / I_s$ ใช้ LM335 วัดอุณหภูมิในรูปของแรงดันไฟฟ้า V_T ส่งเข้า I_2 ของ ADC0809 ใช้ ADC0809 แปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิทัล (DV) ส่งผ่านชิปเฟอ์ 74LS244 และ ET-PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์ สั่งให้คอมพิวเตอร์แปลงแรงดัน V_T ให้เป็นอุณหภูมิ T สั่ง RUN อ่านค่าความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิจากคอมพิวเตอร์และให้คอมพิวเตอร์พิมพ์ข้อมูล (R และ T) และกราฟ R vs T พิมพ์กราฟ หาสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านที่เป็นลบ (α) จากเส้นกราฟนี้



รูปที่ 1 การใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ผลการทดลอง

ระบบเชื่อมต่อความพิวเตอร์จะแสดงความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $MnO_2 + CoO$ บน จอคอมพิวเตอร์ ภาพบนจอที่พิมพ์ได้แสดงดังรูปที่ 2 จากภาพพบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารเพิ่มขึ้น ความต้านทานของ สารลดลง



รูปที่ 2 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $MnO_2 + CoO$

วิเคราะห์ผลการทดลอง

การที่ความต้านทานลดลงในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิดจากอิเล็กตรอนย้ายจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำ มีโฮลเกิดขึ้นในแถบวาเลนซ์ พาทะไฟฟ้าเพิ่มจำนวน กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ความต้านทานจึงมีค่าลดลง (Moulson, และ Herbert, 1990) เมื่อทำการคำนวณหาสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบ (α) โดยอาศัยข้อมูลจาก เส้นกราฟของความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $MnO_2 + CoO$ ที่คอมพิวเตอร์ช่วยสูตร

$$\alpha = (1/R_1)(R_2 - R_1)/(T_2 - T_1) * 100$$

ค่า α ของสารมีค่า $-1.35 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ ในช่วงอุณหภูมิ 36 ถึง $95 \text{ }^{\circ}\text{C}$

ค่า α จากรายงานของบุรานัน มีค่า -1 ถึง $-6 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ (Buchanan, 1991)

เมื่อเปรียบเทียบพบว่าค่า α ของสารอยู่ในย่านเอ็นทีซี (NTC region) ซึ่งเป็นการแสดงว่าสารที่ทดลองแสดงสมบัติเอ็น ทีซี สารเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซี สารมีแนวโน้มที่จะนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นหัววัดอุณหภูมิและหัวควบคุม อุณหภูมิได้

สรุปผลการทดลอง

สาร $MnO_2 + CoO$ เป็นเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้ามีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Reiva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, Second edition, Mercel Dekker Inc., New York.
- Chanel, C. 2000. Microstructure and electrical properties of NiZn manganite ceramics. International Jour of Inorganic Materials., 2, 241-247.
- George C. Barney. 1998, Intelligent Instrumentation, 2nd edition, Prentice Hall, New York/London/Sydney/Toronto/Tokyo.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.

ภาคผนวก

```

Program Resistance_Temperature_Data;
uses crt, printer;
var
  i, j, DV0, DV1, DV2           : integer;
  AV0, AV1, AV2, R, RL, Vs, VLs, VL, IL, Is, VT, T : real;
  ch                             : char;
const
  PA      = $0304;
  PB      = $0305;
  Pcontrol = $0307;
begin
  port[Pcontrol] := $90;
  RL := 3000; {ohm}
begin
  clrscr;
  gotoxy(24,2); writeln('RESISTANCE VS TEMPERATURE DATA');

```

```

gotoxy(24,3); writeln('=====');
gotoxy(24,4); writeln(' Thanomjit Phasukjai ');
gotoxy(24,5); writeln(' ===== ');
repeat
  j := 0;
  repeat
    port[PB] := 0;          {I0}
    delay(30);
    DV0 := port[PA];
    AV0 := (5/255)*DV0;
    Vs := AV0;
    port[PB] := 1;        {I1}
    delay(30);
    DV1 := port[PA];
    AV1 := (5/255)*DV1;
    VLs := AV1;
    VL := (VLs-Vs);
    IL := VL/RL;
    Is := IL;
    R := (Vs/Is);
    gotoxy(7,20); writeln('Resistance = ',R:3:3, ' ohm');
    port[PB] := 2;        {I2}
    delay(30);
    DV2 := port[PA];
    AV2 := (5/255)*DV2;
    VT := AV2;
    T := (VT-2.73)/(0.01);
    gotoxy(50,20); writeln('Temperature = ',T:3:2, ' C');
    writeln(lst, ' RESISTANCE          TEMPERATURE ');
    writeln(lst, '-----');
    writeln(lst, 'Resistance = ',R:3:2, ' ohm', 'Temperature = ',T:3:2, ' C');
    gotoxy(32,24); writeln('Made in Year 2005');
  repeat

```

```

        delay(1000);
        j := j+1;
    until j = 25500;
    ch := readkey;
    until ord(ch) = 27;
end;
end.

```

Program Resistance_Temperature_Graph_for_NTC_thermistor;

Uses crt, printer, graph;

Var grdrv, grmode, gremor : integer;

Ch : char;

Const

PA = \$0304;

PB = \$0305;

Pcontrol = \$0307;

procedure axis;

var p,q : integer;

Tex : string;

Begin

grdrv := detect:: initgraph(grdrv, grmode, 'C:\tp\bgi');

setgraphmode(grmode);

setcolor(15); line(50,50,50,35); line (50,305,575,305);

line(50,50,575,50); line(575,50,575,305);

settextstyle(defaultfont, vertdir, o);

for p := 1 to 25 do

begin

line((595-21*p),295,(595-21*p),305); str(4*p,tex);

outtextxy(21*p+55, 310, tex);

end;

setcolor(15); settextstyle(defaultfont, horizdir, o);

for q := 50 to 305 do


```

begin
if q mod 51 = 0 then
  begin
    line(45,q,55,q); str (((305-q) mod 5)+1)*20, tex);
    outtextxy(20,q,tex);
  end;
end;

end;

procedure plot;
var i, j, x, y, DV0, DV1, DV2 : integer;
    AV0, AV1, AV2, R, RL, Vs, VLs, VL, IL, Is, VT, T : real;
begin
  setcolor(3); outtextxy(205,11,'Resistance vs Temperature Curve');
  setcolor(3); outtextxy(205,18,'-----');
  setcolor(5); outtextxy(50, 30,'Ceramic Resistance (kohm)');
  setcolor(5); outtextxy(435,335,'Temperature (degC)');
  setcolor(5); outtextxy(48,33, '*');

  port[Pcontrol] := $90;
  RL := 10000;
  for i :=1 to 100 do
  begin
    for j := 1 to 550 do
    begin
      port[PB] :=0; {I1}
      delay(30);
      DV0 := port[PA];
      AV0 := (5/255)*DV0;
      Vs := AV0; {V}
      port[PB] := 1;
      delay(30);
      DV1:= port[PA];
      AV1:= (5/255)*DV1;
    end;
  end;
end;

```

```

VLs := AV1;
VL := (VLs-Vs);
IL := VL/RL;
Is := IL; {A}
R := (Vs / Is); {ohm}
port[PB] := 2;
delay(30);
DV2 := port[PA];
AV2 := (5/255)*DV2;
VT := AV2;
T :=(VT-2.73)/(0.01);
x := round (525/100)*T+(100/525)*50 y = round (305-(R/1000)*(255/1000));
setcolor(15); line (x,y,x,y);
delay(100);
end;
end;
end;
begin {main}
repeat
axis;
plot;
ch := readkey;
until ord(ch) = 27;
end.

```

บทความที่ 12

การทดสอบการกรองแรงดันไฟฟ้าของสาร $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$ และ $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ ด้วยคอมพิวเตอร์

Electric voltage filtering test of $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$
and $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ materials with computer

บทความที่ 12

การทดสอบการกรองแรงดันไฟฟ้าของสาร $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$ และ $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ ด้วยคอมพิวเตอร์
 Electric voltage filtering test of $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$ and $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ materials with computer

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์¹ ถนอมจิต ผาสุกใจ² นาซีเราะห์ สีอริ² รุฮานา เวอดาราโอะ²
 เอกกนิษฐ์ ชัยวิชิต² ดารุณี ชวดศรี² และ เอกอนงค์ คงช่วย²

Thongchai Panmatarith, Thanomjit Phasukjai, Naziroh Sueree, Ruhana Weadaraoh,
 Ekkanit Chaiwichit, Darunee Chuadsri and Ekanong Kongchouy

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,
 Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.
 Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

สาร $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$ และ $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ สามารถกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่านและสูงผ่านตามลำดับ

Abstract

The $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$ and $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ samples can filter low and high frequency voltage, respectively.

Key words : low pass filter, high pass filter

บทนำ

ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้า (charge) และคายประจุไฟฟ้า (discharge) กรองกระแสไฟฟ้า (current filtering) เก็บสะสมพลังงาน (energy storage) แยกวงจรไฟฟ้าตรง (DC current circuit) กับวงจรไฟฟ้าสลับ (AC current circuit) ออกจากกัน เชื่อมต่อวงจรขยาย (amplifier) สองวงจรโดยจะกันไฟฟ้าตรงไม่ให้ผ่าน (dc blocking) แต่ยอมให้ไฟฟ้าสลับผ่านได้ ใช้ในวงจรตั้งเวลา (timing circuit) และใช้แก้ตัวประกอบกำลังให้ถูกต้อง (power factor correction)

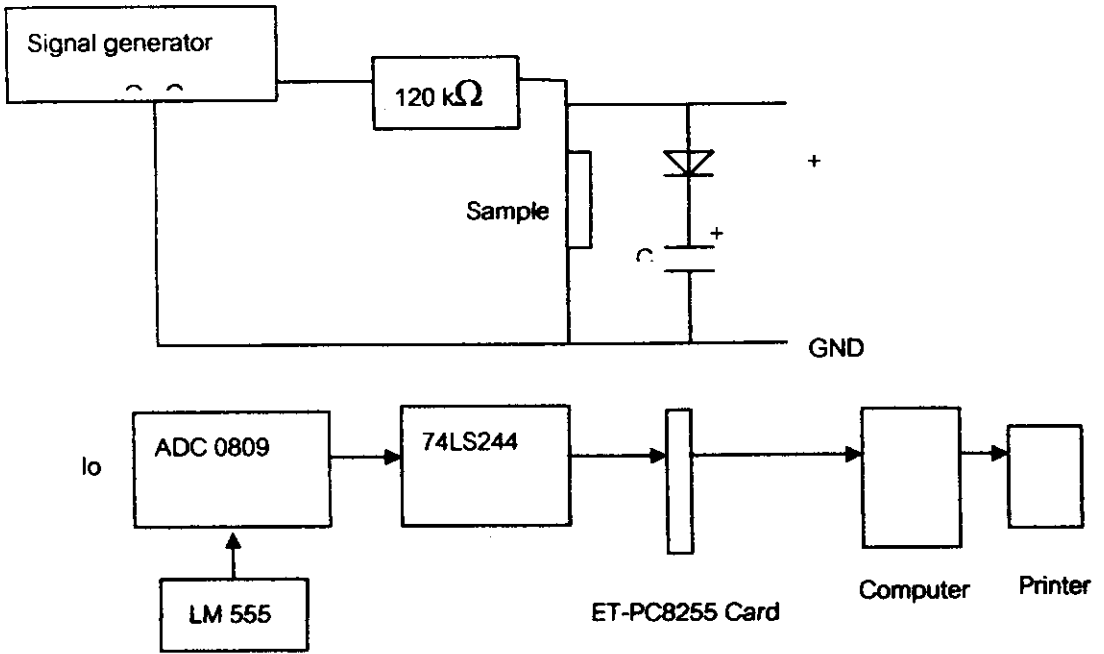
Shail Upadhyay (1997) ในประเทศอินเดีย ได้เตรียม BaSnO_3 วัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ความถี่และอุณหภูมิต่างๆ สารนี้สามารถนำไปใช้ทำอุปกรณ์ไดอิเล็กตริก (dielectric device)

Henneth (2002) ในประเทศฮ่องกงได้ศึกษาอุปกรณ์กรองแถบความถี่ผ่าน (bandpass filter) ที่มีความถี่ศูนย์กลาง (center frequency) 44 MHz และความกว้างแถบ (bandwidth) 6 MHz สำหรับการประยุกต์ใช้ในวิดีโอแบบดิจิทัล (digital video application)

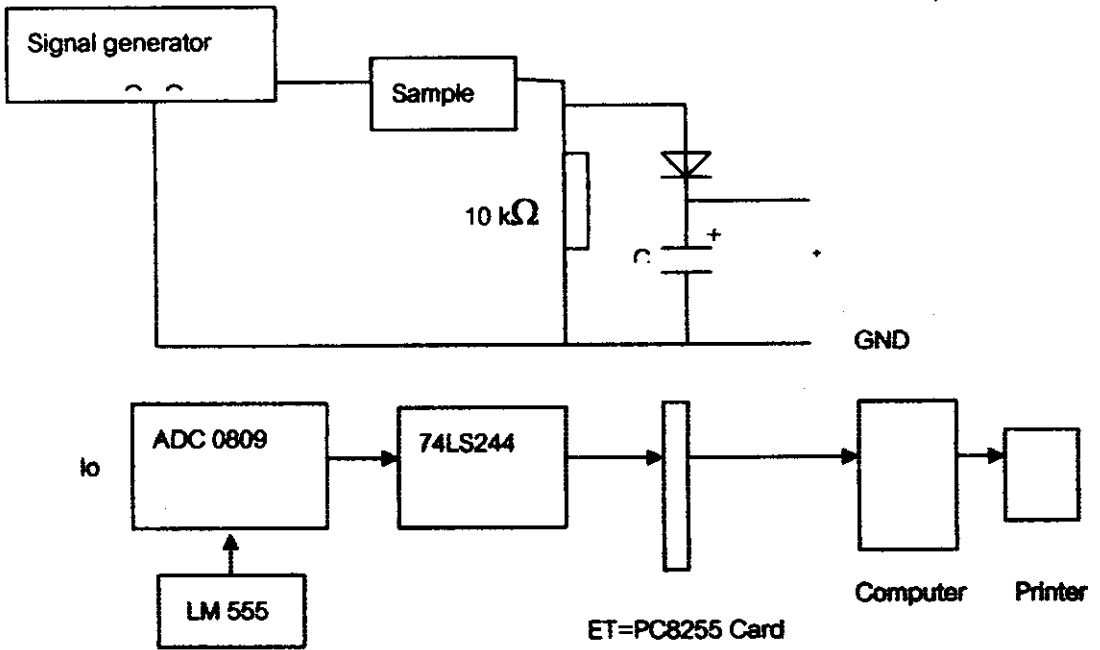
บทความนี้เป็นการศึกษาการกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่าน (LPF) ของสาร $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$ และการกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (HPF) ของสาร $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ ด้วยคอมพิวเตอร์

วัตถุประสงค์และวิธีการ

1. จัดชุดการทดลองดังแสดงในรูปที่ 1ก สำหรับการกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่าน (LPF) ของสาร $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$ และรูปที่ 1ข สำหรับการกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (HPF) ของสาร $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$
2. ปลดออกกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าไหลผ่านสารและตัวต้านทานไฟฟ้า $120\text{ k}\Omega$ สำหรับ LPF และ $10\text{ k}\Omega$ สำหรับ HPF ใช้ไดโอดแปลงแรงดันไฟฟ้าสลับเป็นเป็นแรงดันไฟฟ้าตรง บิอนแรงดันไฟฟ้านี้เข้า I_o ของ ADC0809 เพื่อแปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิทัล (DV) ส่งผ่านบัพเฟอร์ 74LS244 ผ่าน ET-PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์ แล้วสำรวจหาความถี่ (ก)ที่สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าสลับ (V)ตกคร่อมได้ ในช่วงความถี่ 500 Hz ถึง 500 kHz ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) โดยการมองดูเส้นกราฟแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาบนจอคอมพิวเตอร์
3. ให้คอมพิวเตอร์แสดงแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ขึ้นกับเวลา (t) บนจอในขณะที่กำลังปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าแล้วส่งพิมพ์เส้นโค้งทางเครื่องพิมพ์ (printer)



ก) การกรองแรงแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filtering testing)

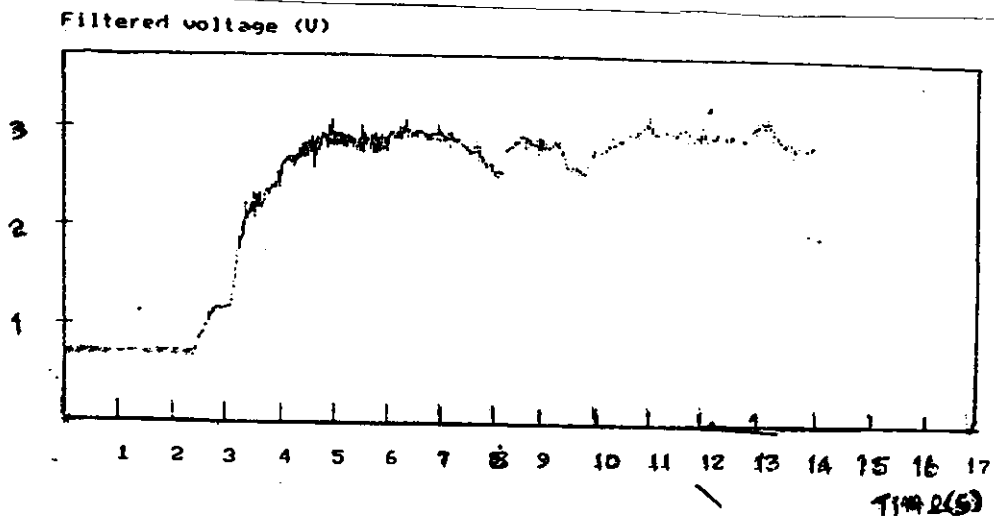


ข) การกรองแรงแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (high pass filtering testing)

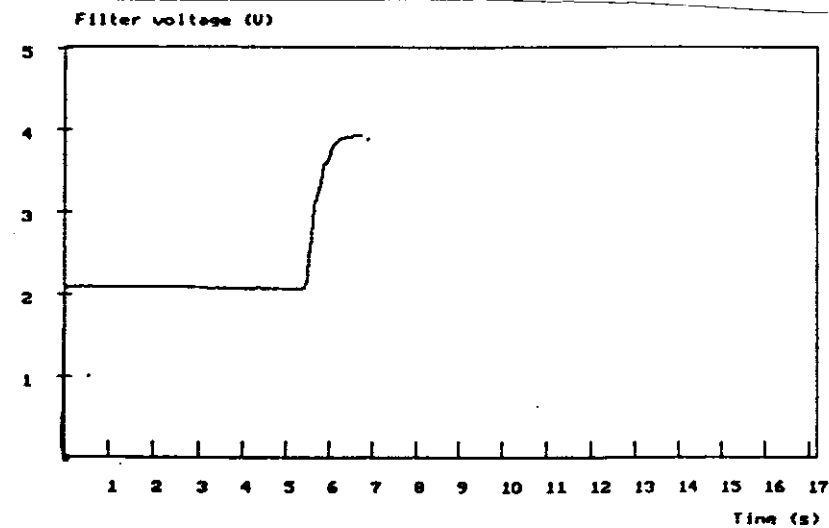
รูปที่ 1 การทดสอบการกรองแรงแรงดันไฟฟ้าผ่าน (voltage pass filtering testing)

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบการกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่าน (LPF) ของสาร $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$ และการกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (HPF) ของสาร $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ ได้เส้นโค้งของแรงดันไฟฟ้ากับเวลาในขณะที่เปลี่ยนแปลงความถี่ดังรูปที่ 2ก และ ข ตามลำดับ



ก) แรงดันไฟฟ้าที่รับกับกับเวลาสำหรับ LPF



ข) แรงดันไฟฟ้าที่รับกับกับเวลาสำหรับ HPF

รูปที่ 2 ภาพแสดงเส้นโค้งของแรงดันไฟฟ้ากับเวลาขณะที่รับความถี่สำหรับ ก) LPF และ ข) HPF

วิเคราะห์ผลการทดลอง

การที่แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$ เปลี่ยนแปลงตามเวลาในกรณีที่เปลี่ยนแปลงความถี่โดยการปรับเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าเกิดจากผลของอิมพีแดนซ์ของสารที่เพิ่มขึ้นในกรณีที่ลดความถี่ ดังนั้นสารนี้แสดงการกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่าน คาดว่าสารนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นอุปกรณ์การกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่านได้

การที่แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ เปลี่ยนแปลงตามเวลาในกรณีที่เปลี่ยนแปลงความถี่โดยการปรับเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าเกิดจากผลของอิมพีแดนซ์ของสารที่ลดลงในกรณีที่เพิ่มความถี่ ดังนั้นสารนี้แสดงการกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน คาดว่าสารนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นอุปกรณ์การกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่านได้

สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองโดยใช้แผงวงจรเชื่อมต่อกอมพิวเตอร์ที่ประกอบได้และโปรแกรมที่เขียนขึ้นสำหรับแสดงแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ได้ผลว่าสาร $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$ สามารถกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่านได้และสาร $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ สามารถกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่านได้

เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Relva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, Second edition, Mercel Dekker Inc., New York.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.
- Shail Upadhyay. 1997. Preparation and characterization of barium stannate BaSnO_3 . J. Mater. Sci. Lett., 16, 1330-1332.

ภาคผนวก

```
Program LPF_or_HPF Test;
uses crt, graph;
var
    grdrv, gmode, gerror, DV : integer;
    ch : char;
```



```

const PA      = $0304;
      Pcontrol = $0307;

procedure axis;
var p,q : integer;
      tex : string;

begin
      grdrv:=detect; initgraph(grdrv, grmode,'c:\tp\bgi');
      setgraphmode(grmode);

      line(50,50,50,305) ; line(50,305,600,305);
      line(50,50,600,50) ; line(600,50,600,305);
      settextstyle(defaultfont, horizdir, 0);

      for p:= 50 to 600 do
      begin
            if p mod 32 = 0 then
                  begin
                        line(p+18,295,p+18,305); str(round(p/32-1),tex);
                        outtextxy(p+18,320,tex);
                  end;
            end;

            settextstyle(defaultfont, horizdir, 0);
            for q:= 50 to 305 do
            begin
                  if q mod 51 = 0 then
                        begin
                                line(45,q,55,q); str(((305-q) mod 5)+1, tex); outtextxy(20,q, tex);
                        end;
                  end;
            end;

      end;

procedure plot;
var i, j, x, y, DV : integer;
      AV : real;

Begin

```

```

outtextxy (180,10,'FILTERED VOLTAGE VS TIME GRAPH FOR LPF TEST ');
outtextxy (180,18, '-----');
outtextxy (50,30, ' Filtered Voltage (V) ');
outtextxy (540,340,' Time (s) ');
outtextxy (48,303, '**');

begin
    port[Pcontrol] := $90;
    for j := 0 to 550 do
        begin
            DV := port[PA];
            AV := (5/255)*DV;
            x := j+50; y := 305-DV;
            lineto (x,y);
            delay(30);
        end;
    end;
    readln;
    closegraph;
end;

begin {main}
    repeat
        axis;
        plot;
        ch := readkey;
    until ord(ch) = 27;
end.

```

บทความที่ 13

การทดสอบการแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าและการแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ของสาร $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ ด้วยคอมพิวเตอร์

Frequency to voltage and voltage to frequency transformation test of $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ with computer

บทความที่ 14

การสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาหลอมไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์

Electric furnace temperature control system construction

with computer

บทความที่ 14

การสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาหลอมไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์

Electric furnace temperature control system construction with computer

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์¹ เอกชนิษฐ์ ชัยวิชิต² ดารุณี ชวคศรี² และ เอกอนงค์ คงชวช²
 Thongchai Panmatarith, Ekkanit Chaiwichit, Darunee Chuadsri and Ekanong Kongchouy

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ^{2,3}Physics student, Materials Physics Laboratory,
 Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.
 Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้สร้างระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาหลอมไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์เป็นผลสำเร็จ อุณหภูมิภายในเตาหลอมที่ทำ
 ได้ 1100 °C โดยมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาหลอมที่ทดลองได้เท่ากับ 8.9 °C/min

Abstract

Electric furnace temperature control system with computer was constructed successfully. The inside
 maximum furnace temperature was 1100 °C with temperature increasing rate was 8.9 °C/min.

Key words : Electric furnace temperature control system

บทนำ

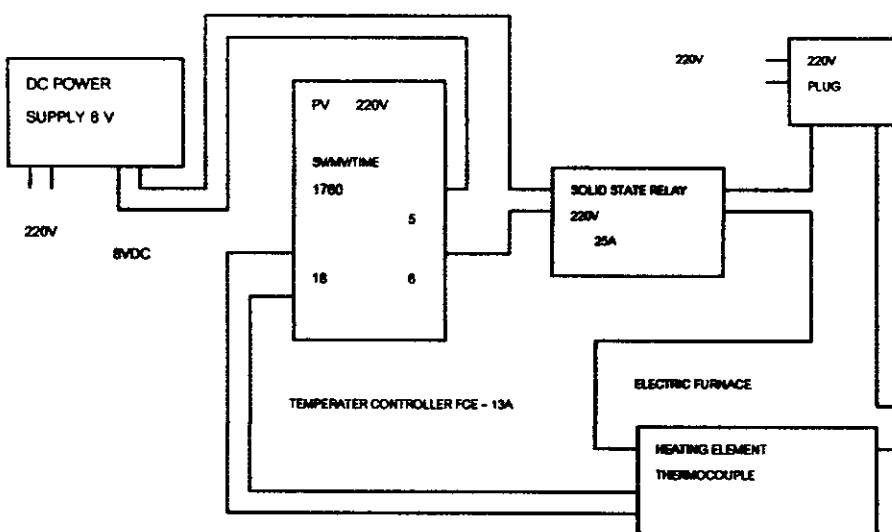
เตาหลอมไฟฟ้า (electric furnace) เป็นเครื่องมือที่สำคัญมากสำหรับการเตรียมเซรามิกส์ มีราคาหลักหมื่นจนถึงแสนซึ่งต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ มีผู้สนใจที่จะศึกษาและสร้างขึ้นในประเทศน้อยมาก ประเทศต้องสูญเสียงบประมาณทางด้านนี้มาก จึงพยายามทำการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางต่อไป

โครงสร้างของเตาไฟฟ้า

เตาไฟฟ้าประกอบด้วยโครงเตาไฟฟ้าที่ทำมาจากโลหะ ชนิดความต้านทาน Kanthal ที่ให้อุณหภูมิ 1200-1300 °C เซรามิกส์ทนความร้อนสำหรับเป็นช่องสอดใส่ชนิดความต้านทาน อุณหภูมิความร้อนทำมาจากเซรามิกส์ไฟเบอร์ทนอุณหภูมิ 1300-1400 °C ขั้วต่อทนไฟฟ้า ระบบการวัดและควบคุมอุณหภูมิของเตาไฟฟ้าและเทอร์โมคอปเปิลชนิด S (1700 °C)

การทำงานของเตาไฟฟ้า

เมื่อเปิดสวิตช์แรงดันไฟฟ้าจะเข้าเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (FCR -13A) และโวลติสเทรีเลย์ (รูปที่ 1) ตั้งโปรแกรมของเครื่องควบคุมจะทำงาน 2 จังหวะด้วยกัน จังหวะที่ 1 เครื่องควบคุมจะเปิดสวิตช์เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าตรง 8V เข้าทางอินพุทของโวลติสเทรีเลย์ โวลติสเทรีเลย์ทำงาน กระแสไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้า 220V จะไหลผ่านเอาต์พุทของโวลติสเทรีเลย์และหลอดเตาหลอม เตาจะร้อนขึ้น จังหวะที่ 2 เครื่องควบคุมจะปิดสวิตช์เพื่อไม่ให้แรงดันไฟฟ้าตรง 8V เข้าทางอินพุทของโวลติสเทรีเลย์ โวลติสเทรีเลย์จะหยุดทำงาน กระแสไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้า 220V จะไม่ไหลผ่านเอาต์พุทของโวลติสเทรีเลย์และหลอดของเตาหลอมจะหยุดร้อนขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่เข้าหลอดจะมีการจ่ายและหยุดจ่ายสลับกับอัตราที่สอดคล้องกับอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาหลอมที่ตั้งไว้ เมื่อเตาร้อนถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ก็ให้อุณหภูมิที่ในช่วงเวลาหนึ่งซึ่งสามารถตั้งได้เช่นกัน เวลายืนไฟที่ใช้บ่อยคือ 1 ชั่วโมง อุณหภูมิของเตาที่ทำได้ 1200-1300 °C



รูป 1 แสดงการทำงานของเตาหลอม

Reznikov ได้ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิที่โปรแกรมได้ในเตาไฟฟ้าสำหรับการเผาจนหมดควันในห้องปฏิบัติการที่ใช้เครื่องควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์ (Reznikov , 1997) ความแม่นยำ 10.5% ทำได้โดยใช้เครื่องควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์เป็นฐาน (microprocessor – based programmable temperature controller) สำหรับเตาไฟฟ้า (electric furnace) สำหรับการเผาจนหมดควัน (laboratory coking) มันสามารถถูกโปรแกรมสำหรับวงจร (cycle) ที่ใช้เวลา 259 นาที มันควบคุม อุณหภูมิทั้งที่ผนังและภายนอก

Stankovic ได้ศึกษาระบบการวัดควบคุมได้โดยคอมพิวเตอร์ประยุกต์สำหรับลักษณะสำหรับแรงดัน – กระแสของหัววัดความต้านทานจำนวนมาก (Stankovic, 1994) ได้บรรยายระบบควบคุมได้โดยคอมพิวเตอร์สำหรับการสร้างลักษณะสมบัติของแรงดันสถิตที่ขึ้นกับกระแส (V-T) ของหัววัดความต้านทานจำนวนมาก สามารถคำนวณความต้านทานค่าคงที่การสูญเสีย (dissipation constant) ของหัววัดโดยอาศัยข้อมูลที่วัดได้ ได้ทำการทดลองโดยใช้ซอฟต์แวร์ที่ใช้การทดลองโดยใช้เทอร์มิสเตอร์ที่มีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นลบ (negative temperature coefficient (NTC) thermistor) หัววัดความเร็วลมที่ทำมาจากลวดโลหะและฟิล์มโลหะ (metal wire and metal film anemometer sensor) และหัววัดอุณหภูมิซิลิกอนที่มีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นบวก (positive temperature sensor) ระบบที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์สร้างความเป็นไปได้เกี่ยวกับการสร้างที่แม่นยำ ของลักษณะสมบัติ V-I สถิต (static V-I characteristics) ในการทดลองช่วงสั้น โดยปราศจากความจำเป็นที่จะต้องทราบค่าคงที่เวลาของหัววัด (sensor time constant) ความเสียหายสุดท้ายที่มีต่อหัววัดในระหว่างการทดสอบซึ่งเกิดขึ้นบ่อยในการวัดที่ควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องมือ (manually controlled measurement) สามารถป้องกันได้โดยซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม (appropriate soft ware)

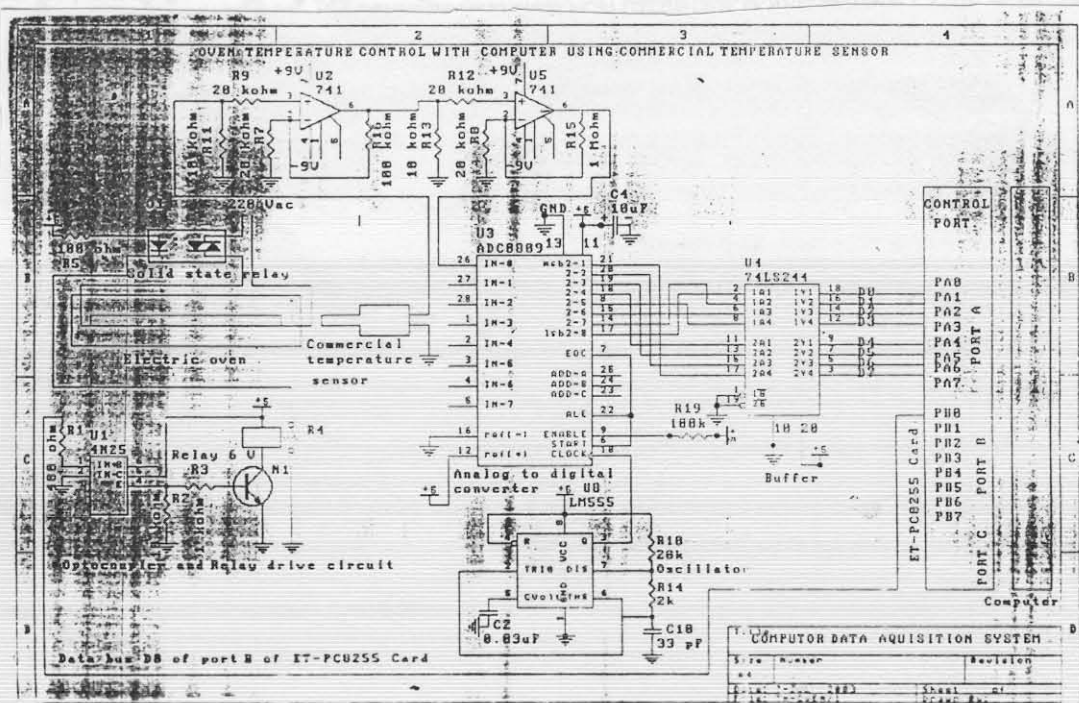
เมื่อพิจารณาในการศึกษาสมบัติ V-I ของหัววัดอุณหภูมิซิลิกอนแบบ PCT (PTC silicon temperature sensor) ที่อัตราเร็วของอากาศ (air speed) ต่างๆ ได้แสดงว่าหัววัดเหล่านี้มีความเหมาะสมมากสำหรับการวัดอัตราเร็วของอากาศ (air speed measurement) ซึ่งมีความไวสูงมีความแข็งแรงและการตอบสนองต่อเวลาช้า (slow time response)

Rakovszky ได้ศึกษาระบบเบเนอเรเตอร์ที่มีไมโครคอมพิวเตอร์เป็นฐาน (microcomputer–based generator control systems) (Rakovszky,1998) ได้พัฒนาระบบการกระตุ้นที่ควบคุมได้ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์แบบใหม่ (new micro computer controlled systems) สำหรับเบเนอเรเตอร์แบบซินโครนัสต้นกำลัง (power plant synchronous generator) บทความได้เกี่ยวกับลักษณะสมบัติที่เป็นหลักของระบบกระตุ้น (excitant ion systems) ซึ่งประกอบด้วยโครงร่างของระบบ (system configuration) ฟังก์ชันควบคุมและโครงสร้าง (control function and structure) ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ (microcomputer systems) เครื่องมือเชื่อมต่อกับเครื่องจักรระดับสูงและวินิจฉัย (High-level man machine interface and diagnostic tool) ได้แสดงประสิทธิภาพภาคสนาม ในบทความนี้มีความน่าสนใจต่อฟังก์ชันที่เสถียรของระบบกำลัง (power system stabilizer function)

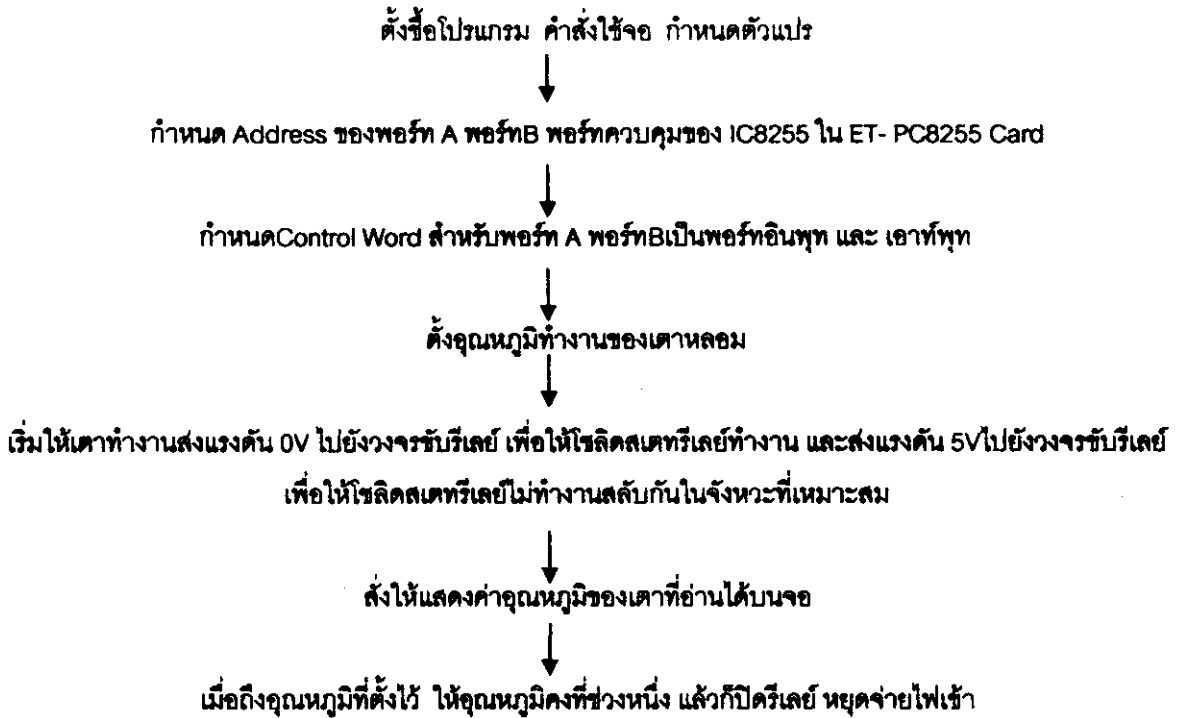
บทความนี้เป็นการศึกษาการสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาหลอมไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

- 1) จัดชุดการทดลองตามรูปที่ 2 เพื่อให้คอมพิวเตอร์ควบคุมวงจรรีเลย์เพื่อให้สวิทช์ 3-4 เปิดและปิดสลับกัน ให้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของซิลิสเตอริสเลย์เพื่อให้ไฟบ้าน 220V เข้าและหยุดเข้าเตาหอลม
- 2) ให้คอมพิวเตอร์อ่านอุณหภูมิภายในผ่านเตาหอลม (รูปที่ 2) เทอร์โมคอปเปิล (thermocouple) จะแปลงอุณหภูมิให้เป็นแรงดันเทอร์โมอิเล็กทริก (V) เครื่องอ่านอุณหภูมิจะแสดงอุณหภูมิ แต่เนื่องจากแรงดันไฟฟ้า (Vdc) ที่ออกมาจากเทอร์โมคอปเปิลเป็นมิลลิโวลต์ แรงดันมีค่าต่ำ จะไม่สามารถป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ได้ต้องใช้ออปแอมเป็นตัวขยายแรงดันนี้เข้าขา 3 ของออปแอมขยายส่งออกขา 6 ส่งเข้าขา 2 ของออปแอมตัวที่ 2 ขยายส่งออกขา 6 ป้อนเข้า ADPC 0809 แปลงแรงดัน AV เป็น DV ส่งผ่านบัฟเฟอร์ (buffer) 74LS244 ผ่าน ET-PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 4)
- 3) เขียนโปรแกรมสำหรับระบบการจ่ายไฟฟ้า วัดและควบคุมอุณหภูมิของเตาอบไฟฟ้า หลักการทำงานของระบบเป็นไปตามขั้นตอนตามรูปที่ 3 แล้วเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยภาษาเทอร์โบปาสคาลให้ทำงานในรูปแบบต่างๆ เช่น จ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าขดลวดของเตาไฟฟ้า ตั้งและอ่านอุณหภูมิภายในห้องเตาหอลม ตัดแรงดันไฟฟ้าเข้าขดลวดของเตาหอลมเมื่ออุณหภูมิของเตาถึงค่าที่ตั้งไว้หลังจากนั้นก็ให้เตามีอุณหภูมิคงที่
- 4) บันทึกค่าอุณหภูมิของเตาที่คอมพิวเตอร์อ่านได้ และเครื่องอ่านอุณหภูมิ



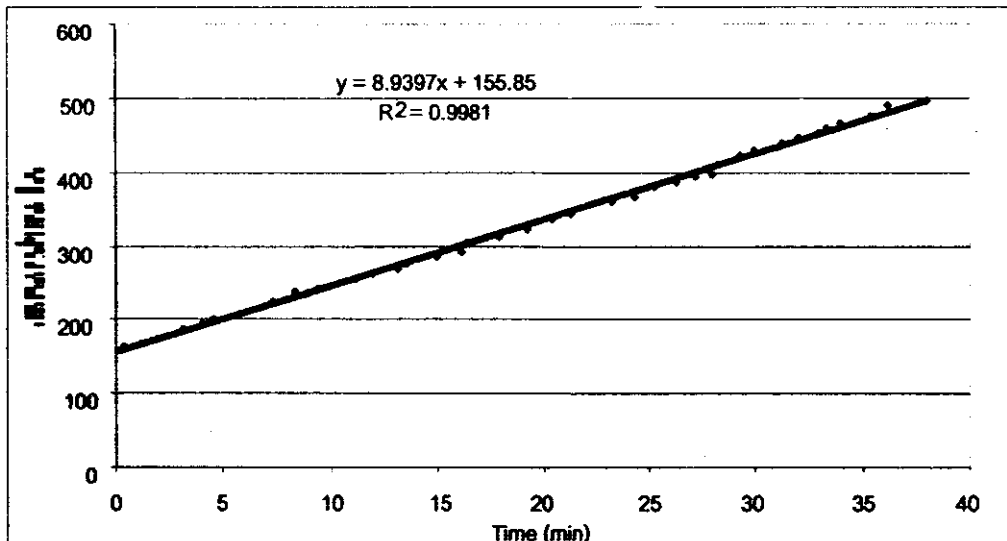
รูปที่ 2 ระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาหอลมไฟฟ้า



รูปที่ 3 แสดงโปรแกรมที่แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้า วัดและควบคุมอุณหภูมิของเตาหลอมไฟฟ้า

ผลการทดลอง

เมื่อใช้คอมพิวเตอร์ที่ต่อกับแผงวงจรเชื่อมต่อสำหรับควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าและวัดอุณหภูมิแล้วก็วัดอุณหภูมิภายในเตาหลอม (T) ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (t) พบว่าได้ผลดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง เวลา กับอุณหภูมิภายในเตาหลอม

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการจัดเตรียมเตาหลอมและระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาหลอม เมื่อแผงวงจรเชื่อมต่อและ ET-PC0809 Card กับ เตาหลอม ทำการควบคุมอุณหภูมิของเตาหลอมให้มีความร้อนขึ้นเรื่อย เมื่อเวลาผ่านไป อุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น จนถึงอุณหภูมิจะสูงขึ้นจนถึง 1100 °C แล้วอุณหภูมิจะคงที่คือจะขึ้นไปถึง 1100 °C แล้วลดลงมาเป็น 1095°C เป็นอย่างนี้เรื่อยๆ เมื่อนำสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลามาพิจารณา พบว่าความชันของเส้นกราฟ คือ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาหลอม ระบบเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์โปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถควบคุมและวัดอุณหภูมิได้ อุณหภูมิสูงสุดที่เตาทำได้ คือ 1100 °C เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาสอดคล้องตามสมการ $T = 8.9397t + 155.85$ พบว่าอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาหลอมที่ทดลองได้มีค่า 8.9 °C/min

สรุปผลการทดลอง

ได้สร้างระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาหลอมไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์เป็นผลสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Relva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, second edition, Merceel Dekker Inc., New York.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.
- Rakovszky, Gy., 1998. Ganz Ansaldo's microcomputer- based generator control systems. Mechatronics. 8: 13- 20.
- Reznikov, Y.A., 1997. programmable temperature control in an electric furnace for laboratory coking based on a microprocessor controller. Fuel and Energy Abstracts. 38:29
- Stankovic, D., 1994. A versatile computer controlled measuring system for recording voltage-current characteristics of various resistance sensors. Sensors and Actuators A: Physical. 42:612 -616.

การคำนวณ

```
Program Furnace_Temperature_Controller;
```

```
uses crt, graph;
```

```
var
```

```
  ch                : char;
```

```
  i, j, DV          : integer;
```

```
  AV, I, Is        : real;
```

```
Const  PA          = $0304;
```

```
       PB          = $0305;
```

```
       Pcontrol    = $0307;
```

```
begin
```

```
  port[Pcontrol]:= $90;
```

```
  clrscr;
```

```
  gotoxy(14,1); writeln('FURNACE TEMPERATURE CONTROLLER (25-1200 C) FOR MATERIALS');
```

```
  gotoxy(14,2); writeln('-----');
```

```
  gotoxy(25,4); writeln('Setting Temperature = ',Ts:3:0');
```

```
  gotoxy(50,4); writeln(' C ');
```

```
  gotoxy(47,4); readln('Ts');
```

```
  repeat
```

```
    gotoxy(33,12); writeln('FURNACE START');
```

```
    port[PB]:=255;
```

```
    delay(round(35*((6/100000)*T*T-0.0173*T+6.8207)));
```

```
    sound(900); delay(10); nosound;
```

```
    gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
```

```
    DV:= port[PA];
```

```
    gotoxy(34,17);n writeln('DV = ',DV:3');
```

```
    AV:= (5/255)*DV;
```

```
    gotoxy(34,18); writeln('AV = ',AV:1:3, ' V');
```

```
    I:=314.32*AV+88.864;
```

```
    gotoxy(34,22); writeln('T = ',T:3:3');
```

```
    gotoxy(43,22); writeln(' C ');
```

```

port[PB]:=0;
delay(600);
sound(9000); delay(10); nosound;
until T>Ts;
for l:= 1 to 1500 do
begin
repeat
gotoxy(33,12); writeln('FURNACE START');
port[PB]:=0;
sound(900); delay(10); nosound;
gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
DV:= port[PA];
gotoxy(34,17);n writeln('DV = ',DV:3);
AV:= (5/255)*DV;
gotoxy(34,18); writeln('AV = ',AV:1:3,' V ');
T:=314.32*AV+88.864;
gotoxy(34,22); writeln('T = ',T:3:3);
gotoxy(43,22); writeln(' C');
port[PB]:=0;
delay(200);
sound(9000); delay(10); nosound;
until T>Ts-1;
repeat
port[PB]:=255;
sound(5000); delay(90); nosound;
gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
DV:= port[PA];
gotoxy(34,17);n writeln('DV = ',DV:3);
AV:= (5/255)*DV;
gotoxy(34,18); writeln('AV = ',AV:1:3,' V ');
T:=314.32*AV+88.864;
gotoxy(34,22); writeln('T = ',T:3:3);

```

```
    gotoxy(43,22); writeln(' C ');  
    delay(200);  
until T>Ts;  
begin  
    gotoxy(37,23); writeln('Furnace OFF');  
    gotoxy(39,24); writeln('END');  
    delay(5000);  
end;  
end.
```

บทความที่ 15

**การวัดและควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อน MnO_2+CoO
ด้วยคอมพิวเตอร์**

Temperature measurement and control of MnO_2+CoO heating

Material with computer

บทความที่ 15

การวัดและควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อน MnO_2+CoO ด้วยคอมพิวเตอร์

Temperature measurement and control of MnO_2+CoO heating Material with computer

ธงชัย พันธเมธาฤทธิ์¹ และ เอกชนินทร์ ชัยวิจิตร²

Thongchai Panmatarith and Ekkanit Chaiwichit

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้สร้างระบบควบคุมอุณหภูมิคงที่ของสารให้ความร้อน MnO_2+CoO การควบคุมจะใช้ LM335 เป็นหัววัดอุณหภูมิและคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมหลัก อุณหภูมิของสารที่ได้ทดลองควบคุมให้คงที่ได้ค่าประมาณ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Abstract

Temperature measurement and control of MnO_2+CoO heating material with computer was constructed. LM335 was used as temperature sensor and computer used as main controller. The sample temperature that was controlled at constant temperature of about $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Key words : heating material, temperature control

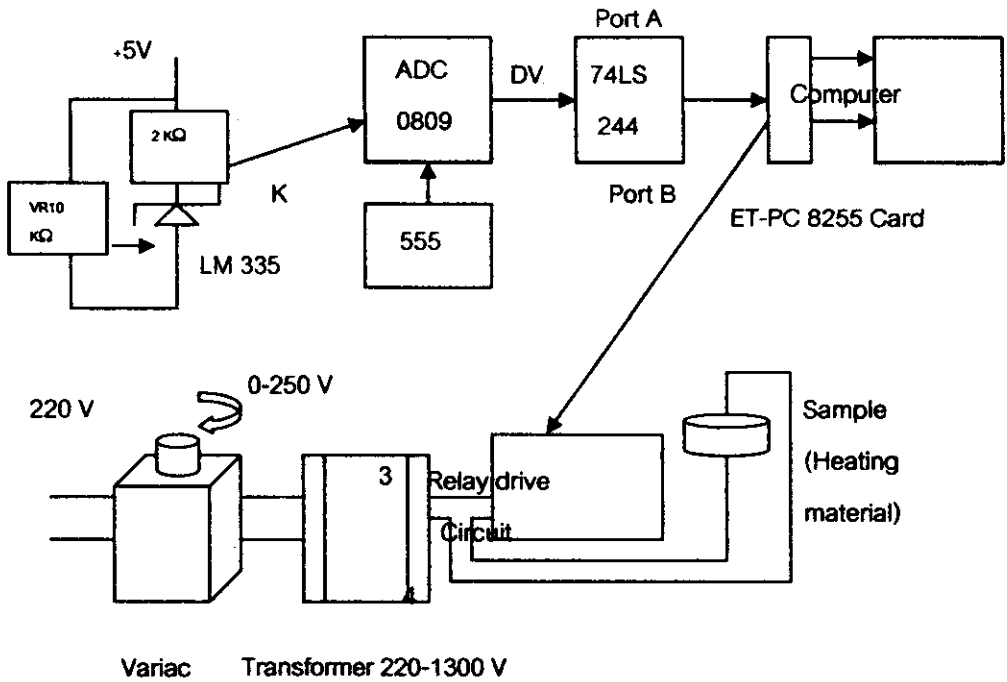
บทนำ

การวัดและควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อนจะใช้คอมพิวเตอรฺ์และโปรแกรมที่เขียนขึ้น หัววัดอุณหภูมิใช้ LM335 การใช้ไฟฟ้าไปยังสารให้ความร้อนจะใช้แวลริแอดค (variac) กับหม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) Reznikov (1997) ได้สร้างตัวควบคุมอุณหภูมิที่โปรแกรมได้จากไมโครโปรเซสเซอร์ สำหรับใช้งานกับเตาหลอมไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ Kaluyugavarden (1997) ในประเทศอินเดีย ได้พัฒนาตัวควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อนที่โปรแกรมได้ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และใช้หัววัด RTD (temperature dependent resistor) Ciefi (2000) ในประเทศอิตาลี ได้ออกแบบเตาอบที่มีการควบคุมอุณหภูมิเสถียรภาพสูง

บทความนี้เป็นการศึกษาการวัดและควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อนด้วยคอมพิวเตอรฺ์

วัตถุประสงค์และวิธีการ

- 1) จัดเตรียมวงจรเชื่อมต่อสำหรับให้คอมพิวเตอรฺ์ควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อน $MnO_2 + CoO$ ดังรูปที่ 1
- 2) เขียนโปรแกรม
- 3) สั่งให้คอมพิวเตอรฺ์ทำงานตามโปรแกรม (RUN) คอมพิวเตอรฺ์จะส่งแรงดัน 5 V มายังวงจรรับรีเลย์ สวิตช์ชั่วคราว 3 ต่อกับ 4 ต่อกัน กระแสไฟฟ้ามาจากแวลริแอดคซึ่งผ่านหม้อแปลงมาแล้วจะไหลผ่านสารให้ความร้อน สารร้อนขึ้น LM335 อ่านอุณหภูมิของสาร ส่งแรงดันไฟฟ้าจากหัววัดนี้เข้าทางขา 26 (Io) ของ ADC0809, ไอซี ADC0809 จะทำหน้าที่แปลงแรงดันอนาลอก (AV) เป็นแรงดันดิจิตอล (DV) แรงดันขนาด 8 บิต ถูกส่งผ่าน 74LS244 ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ส่งแรงดันดิจิตอล 8 บิต D7, D6, D5, D4, D3, D2, D1, D0 นี้ไปยัง ET-PC8255 Card ผ่านทางพอร์ท A ของ IC8255 แล้วเข้าไปในแรม สั่งให้แสดงค่า DV บนจอ แปลง DV เป็น AV แปลงแรงดัน AV ให้เป็นอุณหภูมิของสารให้ความร้อน (T) คอมพิวเตอรฺ์จะส่งแรงดัน 0 V มายังวงจรรับรีเลย์ สวิตช์ชั่วคราว 3 ไม่ต่อกับ 4 ต่อกัน กระแสไฟฟ้าหยุดไหลผ่านสารให้ความร้อน สารเย็นขึ้น LM335 อ่านอุณหภูมิของสาร คอมพิวเตอรฺ์อ่านอุณหภูมิของสาร แล้วแสดงผลทางจอ ให้มีการจ่ายและหยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านสารเพื่อให้เกิดการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ อุณหภูมิคงที่ได้ตั้งไว้ในโปรแกรม ประมาณ $\frac{1}{2}$ ชั่วโมง
- 4) สั่งพิมพ์ภาพบนจอในขณะที่ระบบกำลังทำงาน



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมที่แสดงการให้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อน

ผลการทดลอง

อุณหภูมิของสารให้ความร้อนที่ได้ควบคุมให้คงที่ในขณะทดสอบแสดงดังรูปที่ 2

HEATING MATERIAL CONTROL (25-100 C)

Setting Temperature = 50 C

FURNACE START

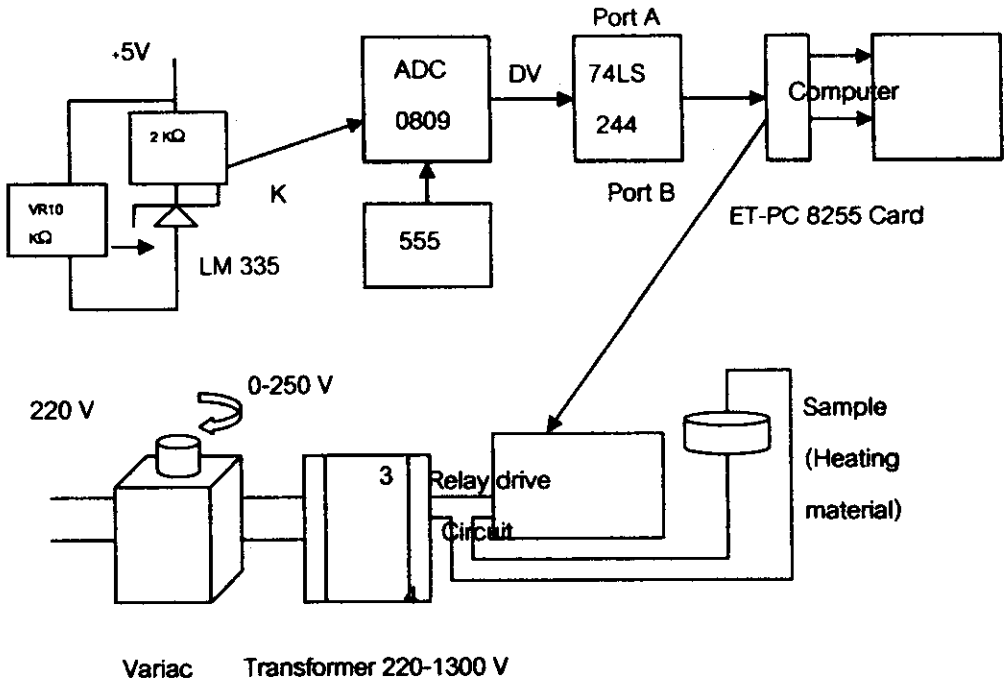
Reading Temperature

DV = 164

AV = 3.216 V

T = 48.56 C

รูปที่ 2 ภาพหน้าจอคอมพิวเตอร์ในขณะที่กำลังทดสอบ



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมที่แสดงการให้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อน

ผลการทดลอง

อุณหภูมิของสารให้ความร้อนที่ได้ควบคุมให้คงที่ในระแวกทดสอบแสดงดังรูปที่ 2

HEATING MATERIAL CONTROL (25-100 C)

Setting Temperature = 50 C

FURNACE START

Reading Temperature

DV = 164

AV = 3.216 V

T = 48.56 C

รูปที่ 2 ภาพหน้าจอคอมพิวเตอร์ในขณะที่กำลังทดสอบ

วิเคราะห์ผลการทดลอง

อุณหภูมิของสารให้ความร้อนสามารถควบคุมให้คงที่ได้โดยใช้วงจรเชื่อมต่อกอมพิวเตอรืได้ โดยอุณหภูมิตั้งให้ควบคุมเป็น 50 °C อุณหภูมิที่คอมพิวเตอรืควบคุมได้ที่แสดงบนจอเป็น 48.56 °C การทดลองเรื่องนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานควบคุมอุณหภูมิของเตาหลอมไฟฟ้า

สรุปผลการทดลอง

ได้ผลเกี่ยวกับการนำสารที่ได้เตรียมได้ให้ทำหน้าที่เป็นสารให้ความร้อนที่มีอุณหภูมิคงที่ การควบคุมอุณหภูมิได้ใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิแบบวงปิด (close loop control) ที่สร้างขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ สิ่งที่ได้มีลักษณะ (specification) ดังนี้

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้	: 80386 หรือรุ่นอื่น
สารให้ความร้อน	: $MnO_2 + CoO$
หัววัดอุณหภูมิ	: LM335
อุณหภูมิทำงาน	: 25-50°C
โปรแกรมที่ใช้	: ภาษาเทอร์โบปาสคาล

ระบบการควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อนสามารถสร้างขึ้นเองโดยใช้อุปกรณ์ที่หาซื้อได้ภายในประเทศ (ร้านจำหน่ายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่บ้านหม้อ) ส่วนเครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับทดสอบก็มีอยู่ทั่วไป ใช้ได้ตั้งแต่รุ่น 80286 จนถึง 80586 การเขียนโปรแกรมก็สามารถคิดแปลงได้ขึ้นอยู่กับเทคนิคการเขียนแต่ละคน ระบบควบคุมอุณหภูมิที่สร้างขึ้นนี้คาดว่าจะนำไปใช้สำหรับการทดลองที่ต้องการทดลองที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อนที่ 50 °C ในห้องปฏิบัติการได้ อุณหภูมิที่ควบคุมสามารถตั้งได้ที่โปรแกรม

เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Relva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, Second edition, Mercel Dekker Inc., New York.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.
- Rakovszky, Gy., 1998. Ganz Ansaldo's microcomputer-based generator control systems. Mechatronics. 8: 13-20.

- Reznikov, Y. A., 1997. Programmable temperature control in an electric furnace for laboratory coking based on a microprocessor controller. *Fuel and Energy Abstracts*. 38: 219.
- Stankovic, D., 1994. A versatile computer controlled measuring system for recording voltage-current characteristics of various resistance sensors. *Sensors and Actuators A:Physical*. 42: 612-616.

תוכנית

```

Program Heating_Material_Temperature_Controller;
uses crt, graph;
var
  ch                : char;
  i, j, DV          : integer;
  AV, VT, T, Is     : real;
Const  PA           = $0300;
       PB           = $0301;
       Pcontrol     = $0303;
begin
  port[Pcontrol]:=90;
  clrscr;
  gotoxy(14,1) ; writeln('HEATING MATERIAL TEMPERATURE CONTROLLER (25-1200 C)');
  gotoxy(14,2) ; writeln('-----');
  gotoxy(25,4) ; writeln('Setting Temperature = ',Ts:3:0);
  gotoxy(50,4); writeln(' C ');
  gotoxy(47,4); readln('Ts');
  repeat
    gotoxy(33,12); writeln('HEATER START');
    port[PB]:=255;
    delay(round(60000));
    sound(1000); delay(10); nosound;
    gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
    DV:= port[PA];
    gotoxy(34,17);n writeln('DV = ',DV:3);
  until ch = 'q';
end;

```

```

AV:= (5/255)*DV;
gotoxy(34,18): writeln('AV = ',AV:1:3,' V ');
VT:=AV;
T:=(VT-2.73)/(0.01);
gotoxy(34,22): writeln('T = ',T:3:3');
gotoxy(43,22): writeln(' C ');
port[PB]:=0;
delay(10000);
sound(10000): delay(10); nosound;
until T>Ts;
for l:= 1 to 1500 do
begin
repeat
gotoxy(33,12); writeln(,HEATER START');
port[PB]:=0;
sound(900); delay(10); nosound;
gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
DV:= port[PA];
gotoxy(34,17);n writeln('DV = ',DV:3');
AV:= (5/255)*DV;
gotoxy(34,18); writeln('AV = ',AV:1:3,' V ');
VT:=AV;
T:=(VT-2.73)/(0.01);
gotoxy(34,22); writeln('T = ',T:3:3');
gotoxy(43,22); writeln(' C ');
delay(5000);
sound(9000); delay(10); nosound;
until T<Ts-1;
repeat
port[PB]:=255;
sound(5000); delay(90); nosound;
gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');

```

```
DV:= port[PA];
gotoxy(34,17);n writeln('DV = ',DV:3);
AV:= (5/255)*DV;
gotoxy(34,18); writeln('AV = ',AV:1:3,' V ');
VT:=AV;
T:=(VT-2.73)/(0.01);
gotoxy(34,22); writeln('T = ',T:3:3);
gotoxy(43,22); writeln(' C ');
delay(5000);
until T>Ts;
begin
gotoxy(37,23); writeln('HEATER OFF');
gotoxy(39,24); writeln('END');
delay(25000);
end.
```

บทความที่ 16

**การวัดอุณหภูมิของเตาไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์โดยมีการกำหนด
ตำแหน่งการวัดด้วยสเตปป์มอเตอร์**

**Electric furnace temperature measurement with computer which
measurement position was located with stepping motor**

บทความที่ 16

การวัดอุณหภูมิของเตาไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์โดยมีการกำหนดตำแหน่งการวัดด้วยสเตปป์มอเตอร์

Electric furnace temperature measurement with computer which measurement position was located with stepping motor

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ¹ และ เอกอนงค์ คงชวย²

Thongchai Panmatarith and Ekanong Kongchouy

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,
Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้สร้างระบบวัดอุณหภูมิที่ใช้สเตปป์มอเตอร์กำหนดตำแหน่งด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆบนเตาไฟฟ้า

Abstract

Temperature measurement system with stepping motor locating the measuring position was constructed for measuring the temperature at different point above the electric furnace.

Key words : temperature measurement

บทนำ

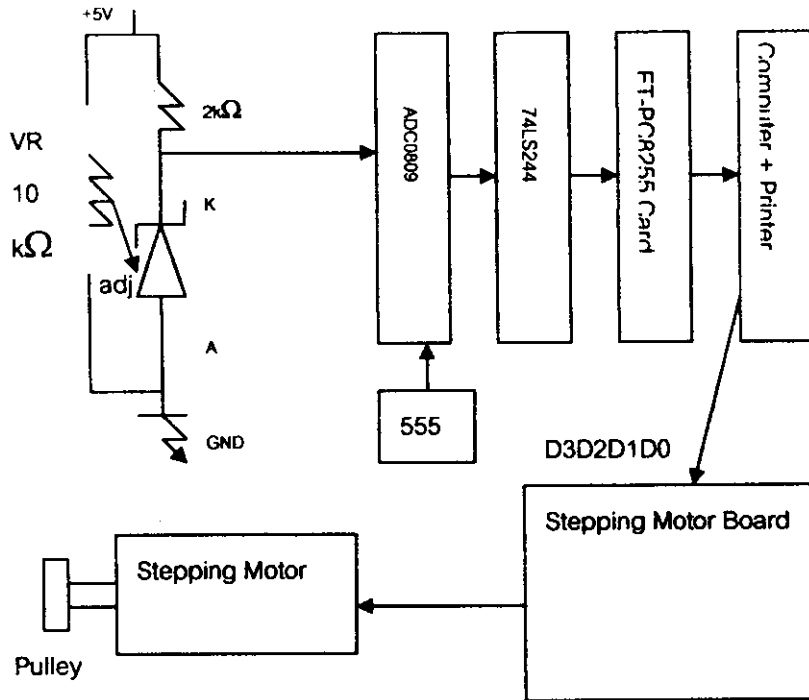
เตาไฟฟ้าทำมาจากขดลวดความร้อนนิโครมวางอยู่ในร่องอุณหภูมิความร้อน ขดลวดนิโครมจะร้อนในขณะที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปโดยจะทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าเป็นความร้อน สเตปป์มอเตอร์ (stepping moter) เป็นมอเตอร์หมุนเป็นมุมเล็กๆไปเรื่อย ทำหน้าที่กำหนดตำแหน่งในขณะที่วัดอุณหภูมิ

Reznikov ได้ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิที่โปรแกรมได้ในเตาไฟฟ้าสำหรับการเผาจนหมดควัน ในห้องปฏิบัติการนี้ใช้เครื่องควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์ (Reznikov, 1997) ความแม่นยำ 10.5% ทำได้โดยใช้เครื่องควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์เป็นฐาน (microprocessor-based programmable temperature controller) สำหรับเตาไฟฟ้า (electric furnace) สำหรับการเผาจนหมดควัน (laboratory coking) มันสามารถถูกโปรแกรม สำหรับวงจรรอบ (cycle) ที่ใช้เวลา 259 นาที มันควบคุม อุณหภูมิทั้งที่ผนังและภายนอก

บทความนี้เป็นการศึกษาการวัดอุณหภูมิของเตาไฟฟ้าด้วย LM335 ด้วยคอมพิวเตอร์โดยมีการกำหนดตำแหน่งการวัดด้วยสเตปป์มอเตอร์

วัตถุประสงค์และวิธีการ

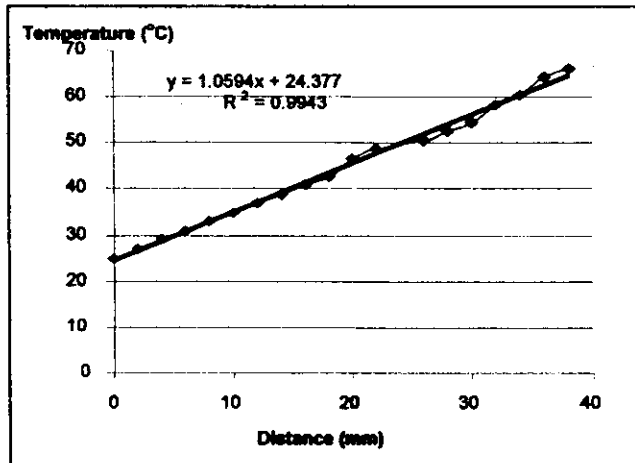
- 1) จัดเตรียมวงจรสำหรับให้คอมพิวเตอร์อ่านอุณหภูมิโดยใช้ LM335 เป็นหัววัดอุณหภูมิ และควบคุมการหมุนของสเตปป์มอเตอร์ (รูปที่ 1)
- 2) เขียนโปรแกรม สั่ง RUN บนทีคผล
- 3) เมื่อสั่ง RUN และป้อนไฟฟ้า 220 V เข้าเตาไฟฟ้า เตาจะร้อนขึ้น ใช้ LM335 วัดอุณหภูมิ ป้อนแรงดันจากหัววัดอุณหภูมิเข้า ADC0809 เพื่อแปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิตอล (DV) ส่งผ่านบัฟเฟอร์ 74LS244 และเข้าพอร์ท A ของ 8255 ของ ET-PC8255 Card แล้วเข้าคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะอ่านอุณหภูมิ
- 4) ให้คอมพิวเตอร์ส่งแรงดัน 4 บิต ออกทางพอร์ท B ของ 8255 ของ ET-PC8255 Card มายังแผงวงจรขับสเตปป์มอเตอร์เพื่อขับสเตปป์มอเตอร์นี้สำหรับการกำหนดตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ
- 5) คอมพิวเตอร์จะทำการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆเหนือเตาไฟฟ้านี้ สั่งให้พิมพ์ตำแหน่งและอุณหภูมินี้



รูป 1 การให้คอมพิวเตอร์อ่านอุณหภูมิและความคุมการหมุนของสเต็ปมิ่งมอเตอร์

ผลการทดลอง

เมื่อได้ใช้ LM 335 วัดอุณหภูมิของเตาไฟฟ้าโดยใช้สเต็ปมิ่งมอเตอร์กำหนดตำแหน่งการวัดและได้จัดให้ระยะห่างระหว่างตำแหน่งการวัดเพิ่มขึ้นเท่ากัน ผลที่ได้ คือ เสนกกราฟของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของเตาไฟฟ้ากับตำแหน่งหรือระยะทาง แสดงดังรูปที่ 2 จากรูปพบว่าอุณหภูมิที่วัดได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเลื่อนเข้าหาแก๊งกลางของเตาไฟฟ้า



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่จะวัดกับอุณหภูมิที่วัดได้

วิเคราะห์ผลการทดลอง

การที่มีการเลื่อนตำแหน่งของ LM335 ด้วยสเกลปิ้งมอเตอร์ที่ต่อกับหัววัดอุณหภูมิเข้าหาใจกลางของเตาไฟฟ้าแล้วพบว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น อุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริง ผลการทดลองเรื่องนี้ คาดว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดเตรียมเครื่องมือสำหรับการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนในวัสดุได้

สรุปผลการทดลอง

ทราบวิธีการการวัดอุณหภูมิของเตาไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์โดยมีการกำหนดตำแหน่งการวัดด้วยสเกลปิ้งมอเตอร์

เอกสารอ้างอิง

Buchanan Relva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, Second edition, Mercel Dekker Inc.,

New York.

Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.

Reznikov, Y.A., 1997. programmable temperature control in an electric furnace for laboratory coking based on a microprocessor controller. Fuel and Energy Abstracts. 38:29

තරභවන

Program Temperature_Measurement_With_Stepping_Motor_Control;

Uses crt.;

Var

i, j, x, DV, : integer;

AV, VT, T,d : real;

Ch : char;

type AR_data1 = array[1..4] of byte;

AR_data2 = array[1..20] of byte;

Const

PA1 = \$0300;

PA2 = \$0304;

Pcontrol1 = \$0303;

Pcontrol2 = \$0307;

Data1_out : AR_data1 = (\$11, \$22, \$44, \$88)

Data2_out : AR_data2 = (0,2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,34,36,38);

begin

clrscr;

gotoxy (25,1) ; writeln ('TEMPERATURE MEASURE AND CONTROL');

gotoxy (24,3) ; writeln ('-----');

port[Pcontrol] := \$80;

port[Pcontro2]:= \$90;

for j:= 1 to 20 do

begin

gotoxy (36,12) ; writeln('START');

port[PA1] := data2_out[j];

d := data2_out[j];

gotoxy(14,22); writeln ('Distance = ',d:3:2);

gotoxy(29,22); writeln ('mm');

for i:= 1 to 4 do

begin

```
sound(1000) ; delay (10); nosound;  
port[PA1] := data1_out[i];  
delay(400);
```

```
end;
```

```
gotoxy(29,15); writeln('Reading temperature ');
```

```
DV := port[PA2];
```

```
gotoxy(34,17); writeln('DV = , ' DV:3, ' V');
```

```
AV := (5/255)*DV;
```

```
gotoxy(34,18); writeln('AV = ,AV:1:2, ' V');
```

```
VT := AV;
```

```
T := (VT-2.73)/(0.01);
```

```
gotoxy(44,22); writeln ('T = ',T:3:2);
```

```
gotoxy(53,22); writeln (' C');
```

```
delay(100);
```

```
sound(5000); delay(1);nosound;
```

```
end;
```

```
goto(39,24); writeln ('END');
```

```
delay(9000);
```

```
end.
```

บทความที่ 17

การวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซี

$\text{SnO}_2+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ ด้วยคอมพิวเตอร์

Resistance-temperature measuring of $\text{SnO}_2+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ PTC thermistor
with computer

บทความที่ 17

**การวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $\text{SnO}_2+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ ด้วย
คอมพิวเตอร์****Resistance-temperature measuring of $\text{SnO}_2+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$
with computer**ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ¹ และ ดารุณี ชวตศรี²

Thongchai Panmatarith and Darunee Chuadsri

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,
Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.
Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

สาร $\text{SnO}_2+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ แสดงปรากฏการณ์ PTC ในช่วง $25-90^\circ\text{C}$ และเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC
ได้ใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์นี้

Abstract

The $\text{SnO}_2+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ material showed PTC effect in the $25-90^\circ\text{C}$ range and was a PTC thermistor.
Computer was used for measuring the resistance dependence on temperature of this thermistor.

Key words : PTC thermistor

บทนำ

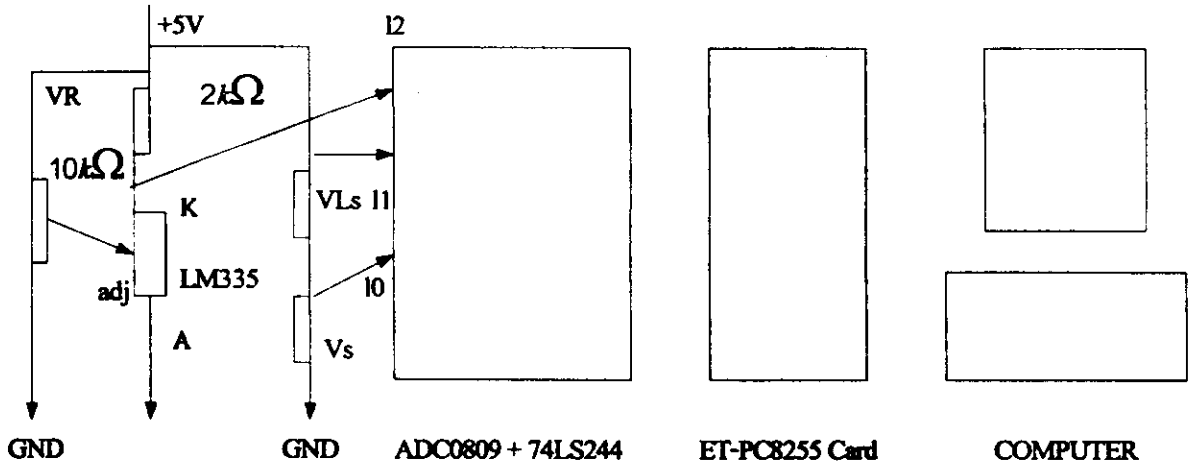
เทอร์มิสเตอร์แบบ PTC เป็นตัวต้านทานที่มีความต้านทานเพิ่มขึ้นขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำมาจาก BaTiO_3 + ตัวเติม สาเหตุที่ความต้านทานเพิ่มขึ้นในขณะที่ยุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิดจากบริเวณขอบเขตของเกรนจับยึดเล็กตรอนได้ ส่งผลทำให้กระแสไฟฟ้าลดลง ความต้านทานจึงเพิ่มขึ้น หัววัดอุณหภูมิเป็น LM335 ซึ่งทำมาจากสารกึ่งตัวนำ สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -10°C ถึง 100°C

Jingchang (2002) ในประเทศจีน ได้เตรียม (Y,Mn) co-doped $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$ thermistors แล้วศึกษา PTCR effect Reznikov ได้ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิที่โปรแกรมในเตาไฟฟ้าสำหรับการเผาจนหมดควันในห้องปฏิบัติการ ที่ใช้เครื่องมือควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์ (Reznikov, 1997) ความแม่นยำ 10.5% ทำได้โดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิที่โปรแกรมได้ซึ่งใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นฐาน (microprocesseor-based programmable temperature controller) สำหรับเตาไฟฟ้า (electric furnace) สำหรับการเผาจนหมดควัน (laboratory coking) มันสามารถคุมโปรแกรม (program) สำหรับวงจรรอบ (cycle) ที่ใช้เวลา 259 นาที มันควบคุมอุณหภูมิทั้งที่ผนัง (wall) และภายใน (inside)

บทความนี้เป็นการศึกษาความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซีด้วยคอมพิวเตอร์

วัตถุประสงค์และวิธีการ

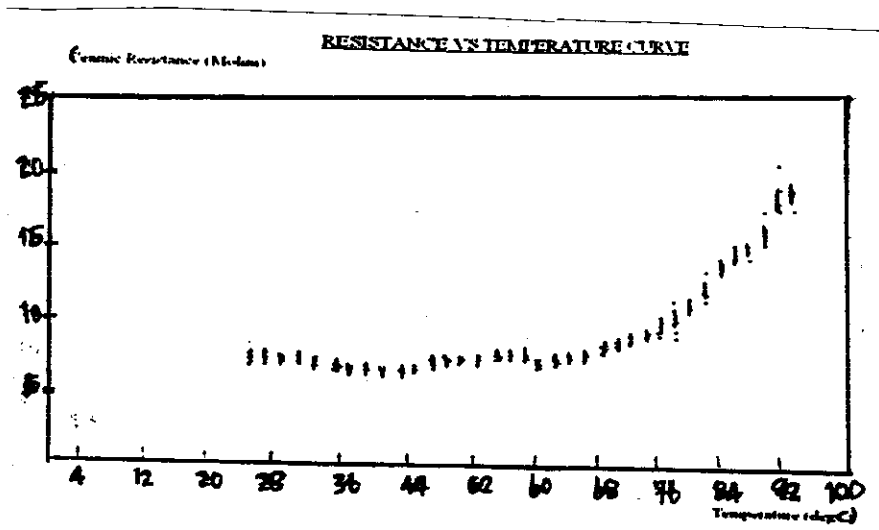
- 1) วัดความต้านทานของสาร $\text{SnO}_2 + 0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ ที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการทดลองด้วยเครื่อง Dual display multimeter (Fluke 45)
- 2) ให้ประกอบวงจรที่วัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $\text{SnO}_2 + 0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ เชื่อมต่อกับ ADC0809 และ ET-PC8255 Card กับคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 1)
- 3) เขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาเทอร์โบปาลกาลสำหรับการวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของ PTC ในรูปของกราฟ (graph)
- 4) ป้อนแรงดัน Vs เข้า I_o และ VLs เข้า I₁ ของ ADC0809 ใช้ ADC0809 แปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิทัล (DV) ส่งผ่านบัฟเฟอร์ 74LS244 และ ET-PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์ สั่งให้คอมพิวเตอร์คำนวณ $V_L = V_Ls - V_s$; $I_L = V_L / R_L$; $I_s = I_L$; $R = V_s / I_s$ ใช้ LM335 วัดอุณหภูมิในรูปของแรงดันไฟฟ้า VT ส่งเข้า I₂ ของ ADC0809 ใช้ ADC0809 แปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิทัล (DV) ส่งผ่านบัฟเฟอร์ 74LS244 และ ET-PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์ สั่งให้คอมพิวเตอร์แปลงแรงดัน VT ให้เป็นอุณหภูมิ T สั่ง RUN อ่านค่าความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิจนจบคอมพิวเตอร์และให้คอมพิวเตอร์พิมพ์ข้อมูล (R และ T) และกราฟ R vs T พิมพ์กราฟ หาสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านที่เป็นบวก (α) จากเส้นกราฟนี้



รูปที่ 1 การใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ

ผลการทดลอง

ความต้านทานของสารที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการทดลองซึ่งอ่านจากเครื่อง Dual display multimeter มีค่า $R = 6.7 \text{ M}\Omega$ ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้า (R) กับอุณหภูมิ (T) ของสาร $\text{SnO}_2 + 0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ แสดงดังรูปที่ 2 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความต้านทานของสารมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้า (R) กับอุณหภูมิ (T) ของสาร $\text{SnO}_2 + 0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$

วิเคราะห์ผลการทดลอง

การที่ความต้านทานของสาร $\text{SnO}_2+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ มีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วง $25-90^\circ\text{C}$ แสดงว่าสารมีลักษณะเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC สารแสดงสมบัติ PTC สาเหตุที่ความต้านทานเพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิดจากบริเวณขอบเขตของเกรนจับอิเล็กตรอนไว้ จำนวนอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าลดลง สามารถอธิบายได้ว่า สถานะผู้รับอิเล็กตรอนในขอบเขตของเกรนและสถานะผู้ให้อิเล็กตรอน อิเล็กตรอนในแถบการนำภายในเกรนจะเคลื่อนที่ไปที่ขอบเขตของเกรน

เมื่อคำนวณสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นบวก (α) ด้วยสูตร

$$\alpha = (1/R_1)(R_2 - R_1)/(T_2 - T_1) \cdot 100 \text{ พบว่าได้ค่าดังสมการ}$$

$$\alpha = 5.47 \text{ } \%/^\circ\text{C} \text{ (สาร } \text{SnO}_2+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ ที่ทดลอง)}$$

$$\alpha = 10-100 \text{ } \%/^\circ\text{C} \text{ (รายงานของ Buchanan)}$$

สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นบวกของสารมีค่าน้อยกว่าที่รายงานโดยบุชานัน แต่อย่างไรก็ตามมันเป็นปรากฏการณ์ PTC ที่พบเป็นครั้งแรกในสาร $\text{SnO}_2+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ ซึ่งยังไม่เคยมีผู้ใดพบมาก่อน

สาร $\text{SnO}_2+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ ที่ทดลองคาดว่าสามารถนำไปประยุกต์ เป็นหัววัดอุณหภูมิ อุปกรณ์ควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่ สารให้ความร้อน ระบบคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมที่สร้างขึ้นสามารถแสดงความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิ $25-90^\circ\text{C}$ ได้

สรุปผลการทดลอง

สาร $\text{SnO}_2+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ สามารถแสดงปรากฏการณ์ PTC ในช่วง $25-90^\circ\text{C}$ และเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC

เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Reiva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, second edition, Marcel Dekker Inc., New York.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.
- Reznikov, Y.A., 1997. Programmable temperature control in an electric furnace for laboratory coking based on microprocessor controller. Fuel and Energy Abstracts. 38,219.

ကာကွယ်

Program Resistance_Temperature_Graph_for_PTC_thermistor;

uses crt, graph;

var

grdrv, gmode, gerror : integer;

ch : real;

const

PA = \$0304;

PB = \$0305;

Pcontrol = \$0307;

procedure axis;

var p, q : integer;

tex : string;

begin

grdrv := detect; initgraph(grdrv, gmode, 'C:\tp\lgi');

setgraphmode(gmode);

setcolor(15); line(50,50,50,305); line(50,305,575,305);

line(50,50,575,50); line(575,50,575,305);

settextstyle(defaultfont, vertdir, 0);

for p:=1 to 25 do

begin

line((595-21*p), 295, (595-21*p), 305); str(4*p, tex);

outtextxy(21*p+55, 310, tex);

end;

setcolor(15); settextstyle(defaultfont, horizdir, 0);

for q:=50 to 305 do

begin

if q mod 51 = 0 then

begin

line(45, q, 55, q); str((((305-q) mod 5)+1)*10, tex);

outtextxy(20, q, tex);

```

end;
end;
end;
procedure plot;
var i, j, x, y, DV0, DV1, DV2           : integer;
    AV0, AV1, AV2, R, RL, Vs, VLs, VL, IL, Is, VT, T : real;
begin
    setcolor(3) ; outtextstyle(205, 11, 'Resistance vs Temperature Curve');
    setcolor(3) ; outtextstyle(205, 18, '_____');
    setcolor(5) ; outtextstyle(50, 30, 'Ceramic Resistance (Mohm) ');
    setcolor(5) ; outtextstyle(435, 335, 'Temperature (degC) ');
    setcolor(3) ; outtextstyle(48, 303, "");
    port[Pcontrol] :$90;
    RL :=1000000; {ohm}
    for i:=1 to 100 do
    begin
        for j:=1 to 550 do
        begin
            port[PB]:=0; {I0}
            delay(30);
            DV0 := port[PA];
            AV0 := (5/255)*DV0;
            Vs := AV0; {V}
            port[PB] :=1; {I1}
            delay(30);
            DV1 := port[PA];
            AV1 := (5/255)*DV1;
            VLs := AV1;
            VL := (VLs-Vs);
            IL := VL/RL;
            Is := IL; {A}
            R :=(Vs/Is); {ohm}

```

```
port[PB] :=2; {I2}
delay(30);
DV2 :=port[PA];
AV2 :=(5/255)*DV2;
VT := AV2;
T :=(VT-2.73)/(0.01);
x:=round((525/100)*T+(100/525)*50); y:=round(305-(R/1000000)*(255/50));
setcolor(15); line(x, y, x, y);
delay(100);
end;
end;
begin {main}
repeat
axis;
plot;
ch := readkey;
until ord(ch) = 27;
end.
```

บทความที่ 18

การเตรียมสาร การตรวจสอบเฟสและวัดสมบัติไดอิเล็กตริกของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$ และ $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ และการประยุกต์ใน วงจรออสซิลเลเตอร์

Sample preparation, phase identification and dielectric properties measurements of $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$ and $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ materials and application in oscillator circuit

การเตรียมสาร การตรวจสอบเฟสและวัดสมบัติไดอิเล็กตริก

ของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$, $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$, $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ และ $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ และการประยุกต์ในวงจรออสซิลเลเตอร์

Sample preparation, phase identification and dielectric properties measurements of $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$, $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$, $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ and $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ materials and application in oscillator circuit

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์¹ นุชณา เชียดเกิด² สุพรรณษา สุริยะโชติ² และ ฐิติรัตน์ ศรีสวัสดิ์²
Thongchai Panmatarith¹, Nutchana Iatkir², Sypansa Suriyachot² and Thitirat Srisawat²

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory, Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.
Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$, $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$ และ $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ แสดงสมบัติที่ตอบสนองต่อความถี่ สารมีความต้านทานไฟฟ้าสูงอยู่ในย่าน $\text{M}\Omega$ สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$, $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ and $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ แสดงสมบัติความจุที่ขึ้นกับแรงดันไฟฟ้า และสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรออสซิลเลเตอร์

Abstract

Sar $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$, $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$ and $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ showed frequency response properties. All samples had high resistance value in $\text{M}\Omega$ region. $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$, $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ and $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ shwed capacitance dependence on voltage and can be used as capacitor in oscillator circuit.

Key words : dielectric property, dielectric material

บทนำ

การค้นพบไฟฟ้าเฟอร์โรใน BaTiO_3 ในปี 1940 นำไปสู่การทำตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูง ไฟฟ้าเฟอร์โรเกิดจากโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้ามีทิศทางขนานกัน บริเวณที่มีโพลาริเซชันทิศทางเดียวเรียกว่า โดเมน (domain) BaTiO_3 มีโครงสร้างผลึกแบบเพอโรฟสไกต์ (perovskite structure) ไฟฟ้าเฟอร์โรนี้มีความเกี่ยวข้องกับการทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของวงจรรอสซิลเลเตอร์ ตัวอย่างสาร BaTiO_3 กับตัวเติมในรูปแบบต่าง ๆ เช่น $\text{BaTiO}_3 + 0.1\text{La}_2\text{O}_3$, $\text{BaTiO}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{BaTiO}_3 + 0.1\text{Ta}_2\text{O}_5$ และ $\text{BaTiO}_3 + 0.1\text{Sb}_2\text{O}_5$

สารเฟอร์โรอิเล็กตริกแสดงสมบัติได้หลายอย่าง ได้แก่ ผลของความถี่ที่มีต่อสมบัติไดอิเล็กตริก ความต้านทานสูง ความจุที่ขึ้นกับแรงดัน อิมพีแดนซ์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ การทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรรอสซิลเลเตอร์ สารนี้มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

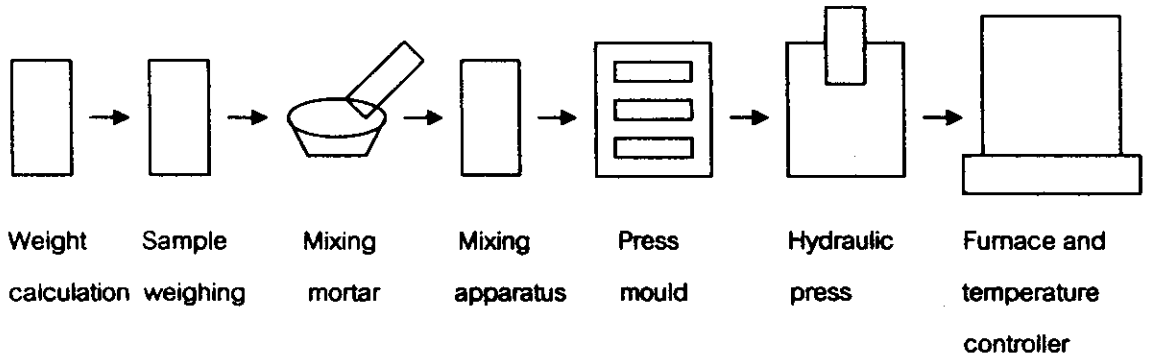
Ligin Zhou (1992) ในประเทศจีน ได้เตรียมตัวเก็บประจุแบบหลายชั้น $\text{Sr}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{TiO}_3$ วัสดุทางด้านทานไฟฟ้า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและตัวประกอบการสูญเสียที่สัมพันธ์กับความถี่ Wanklyn (1992) ในประเทศอินเดีย ได้เตรียม $\text{Eu}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ ศึกษาสมบัติการขนย้ายทางไฟฟ้า วัสดุภาภกรนำไฟฟ้า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและกำลังไฟฟ้าความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ Kazuhide Abe (1994) ในประเทศญี่ปุ่น ได้เตรียมฟิล์มบาง $(\text{Ba}_{0.24}\text{Sr}_{0.75})\text{TiO}_3$ วัสดุความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกับสนามไฟฟ้า ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดทางไฟฟ้ากับสนามไฟฟ้าและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ความถี่ต่างๆ Sowlati (1998) ในประเทศแคนาดา ได้ทำตัวเก็บประจุไฟฟ้าสำหรับใช้งานในวงจรรอสซิลเลเตอร์

บทความนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาผลของความถี่ที่มีต่อสมบัติไดอิเล็กตริก ความต้านทานสูง ความจุที่ขึ้นกับแรงดัน อิมพีแดนซ์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ และ การประยุกต์ใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรรอสซิลเลเตอร์

วัตถุประสงค์อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมสารตัวอย่าง

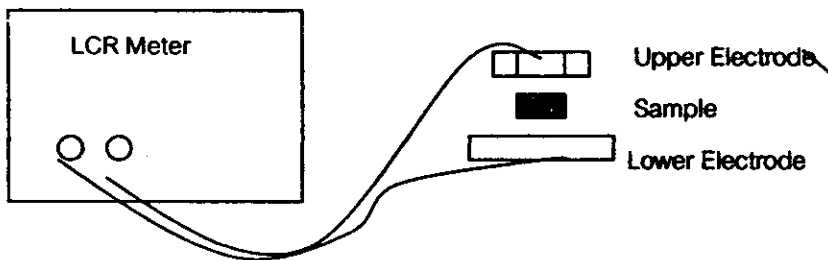
สารมีเตรียมมีส่วนผสมเป็น สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{MnO}_2 \cdot (\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ และ $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ เตรียมสารตัวอย่างโดยวิธีเทคนิคมาตรฐาน (standard ceramic techniques) ดังแสดงในรูปที่ 1 (Buchanan, 1991) จำนวนน้ำหนักตามส่วนผสมของสารที่จะเตรียม ชั่งน้ำหนัก ผสมผงของสารด้วยครกและเครื่องหมุนผสมสาร หยอด PVA (polyvinyl alcohol) และน้ำกลั่นลงไปเพื่อให้ผงเกาะตัว นำผงใส่เข้าอัด อัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก (hydraulic pressor) นำก้อนสาร ไปวางในเตาหลอม ตั้งอุณหภูมิการเผาและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ ทำการเผา นำก้อนสารออกจากเตาเมื่อเย็น นำก้อนสาร ไปตรวจสอบผลด้วยเครื่อง XRD (X-ray diffractometer, Philip PW1730) ทำจั่วไฟฟ้าด้วยกาวเงิน วัดขนาดของสารด้วยไมโครมิเตอร์



รูปที่ 1 การจัดเครื่องมือเพื่อเตรียมสารตัวอย่าง

2. การวัดความถี่ที่มีต่อสมบัติไดอิเล็กตริก

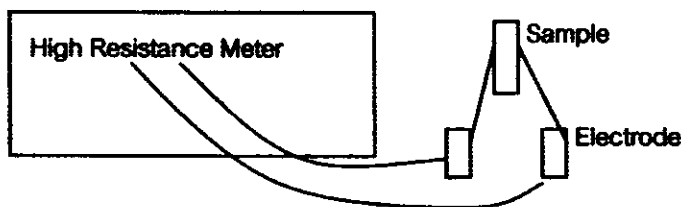
จัดเครื่องมือตามรูปที่ 2 สารที่เตรียมมีส่วนผสมเป็น ก) สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ข) สาร $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{MnO}_2$ และ ค) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ ใช้มิเตอร์แอลซีอาร์ (HP 4263B LCR Meter) ให้พร้อมที่จะทำงาน วัดค่า Z, G, Cp, D และ Q ที่ความถี่ f ต่าง ๆ เช่น 100 Hz, 120 Hz, 1 kHz, 10 kHz และ 100 kHz บันทึกผลลงในตาราง เขียนกราฟและแสดงผลการด้วย EXCEL



รูปที่ 2 การจัดเครื่องมือเพื่อวัดความถี่ที่มีต่อสมบัติไดอิเล็กตริก

3. การวัดความต้านทานสูง

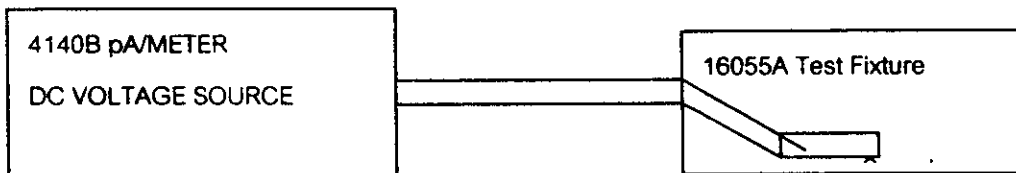
จัดเครื่องมือตามรูปที่ 3 สารที่เตรียมมีส่วนผสมเป็น ก) สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ข) $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ และ ค) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ ใช้มิเตอร์ความต้านทานสูง (HP 4339B High Resistance Meter) ให้พร้อมที่จะทำงาน วัดความต้านทานไฟฟ้าของสารตัวอย่าง (R) คำนวณสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) และสภาพการนำไฟฟ้า (σ)



รูปที่ 3 การจัดเครื่องมือเพื่อวัดความต้านทานสูง

4. การวัดความจุที่ขึ้นกับแรงดันด้วยมิเตอร์พีเอ/แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

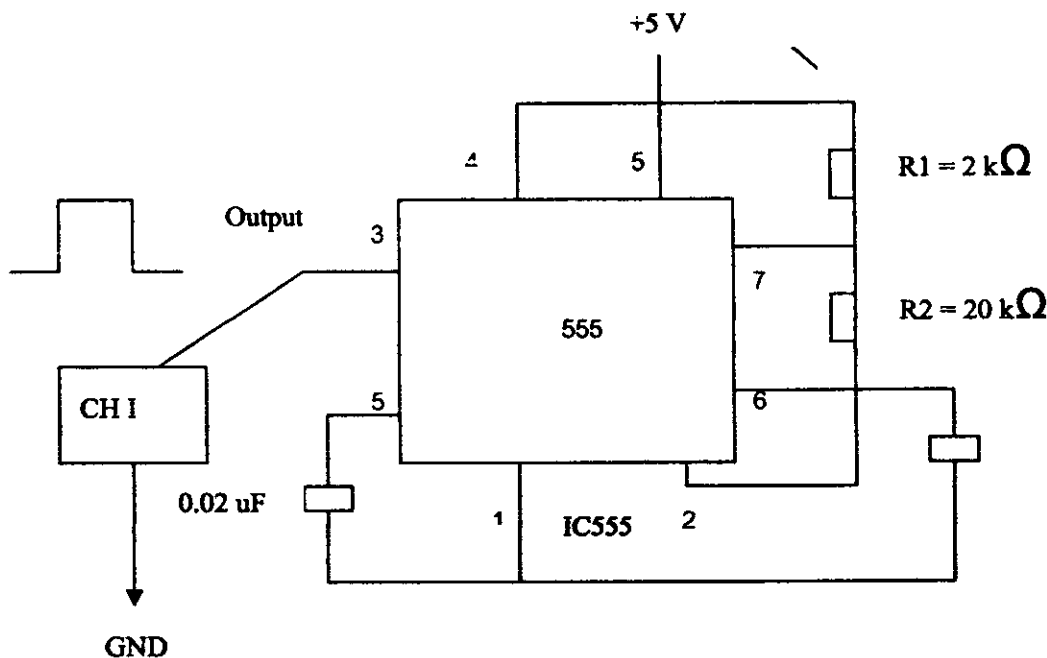
จัดเครื่องมือตามรูปที่ 4 สารที่เตรียมมีส่วนผสมเป็น n) สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ข) $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ และ ค) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ ใช้มิเตอร์พีเอ/แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (4140B pA Meter/DC Voltage Source) ให้พร้อมที่จะทำงาน วัดความจุไฟฟ้า (C) ที่ขึ้นกับแรงดันไฟฟ้า (V) เขียนกราฟและแสดงสมการ C vs V ด้วย EXCEL



รูปที่ 4 การจัดเครื่องมือเพื่อวัดความจุที่ขึ้นกับแรงดัน

5. การประยุกต์ใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรออสซิลเลเตอร์

จัดเตรียมวงจรทดสอบดังรูปที่ 5 สารที่เตรียมมีส่วนผสมเป็น n) สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ข) $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ และ ค) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ ใช้ออสซิลโลสโคปแสดงภาพพริบที่ใส่สารที่เตรียม และตัวเก็บประจุเชิงการค้า นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟด้วย EXCEL



รูปที่ 5 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้สารเตรียมได้ และ IC555 เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า

ผลการทดลอง

1. ผลการเตรียมสารตัวอย่าง

ภาพถ่าย XRD คูณในภาคผนวก จ.

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้เตรียมสารตัวอย่างและผลการตรวจสอบเฟส

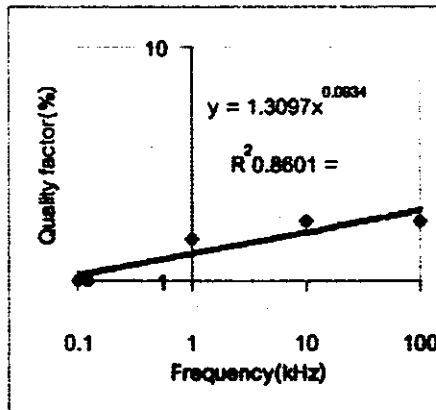
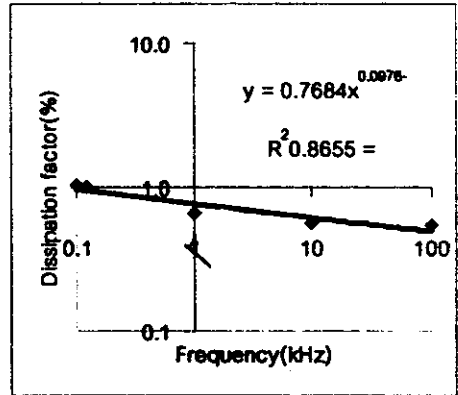
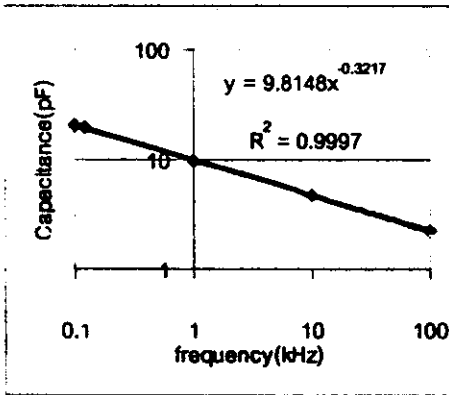
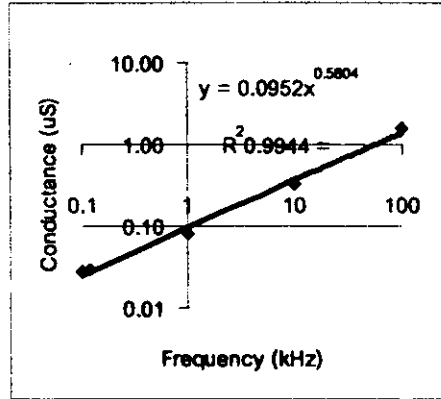
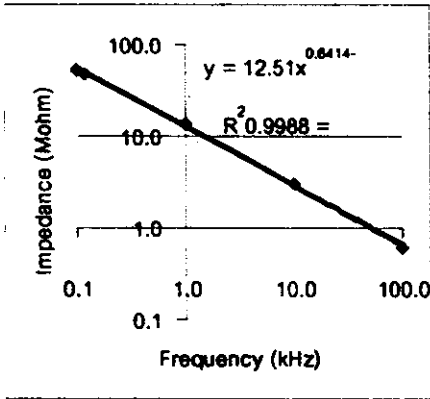
Sample no.	Firing temperature(°C)	Composition formula before firing	Sample phase after firing	Thickness (mm)	Diameter (mm)
1	800	$\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ $\text{Bi}_{46}\text{Fe}_2\text{O}_{72}$ BiFeO_3	1.91	13.21
2	500/800	$0.5\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{MnO}_2$	$\text{Bi}_2\text{Mn}_4\text{O}_{10}$ Bi_2O_3 Mn_2O_3	3.50	12.35
3	1200	$(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$	—	4.41	13.95
4	800	$\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$	Bi_2O_3 $\text{Bi}_{15}\text{YO}_{30}$	1.68	13.40

* Temperature increasing rate = 5 °C/min ; Soaking time = 0.5 h

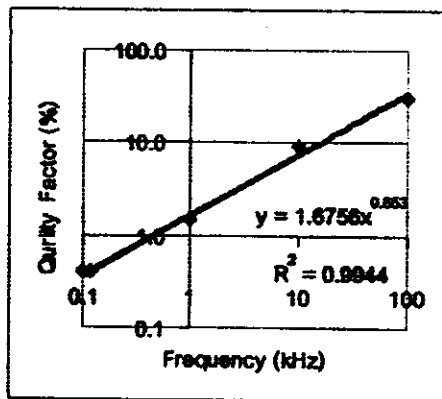
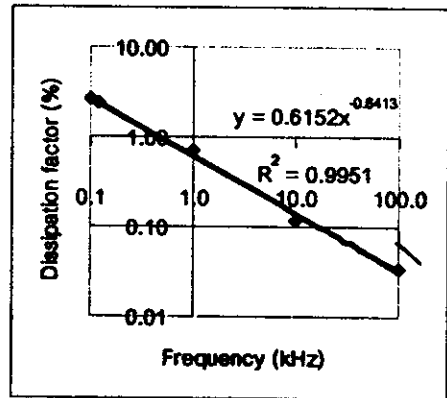
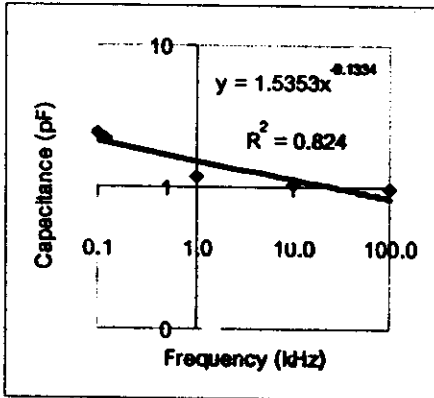
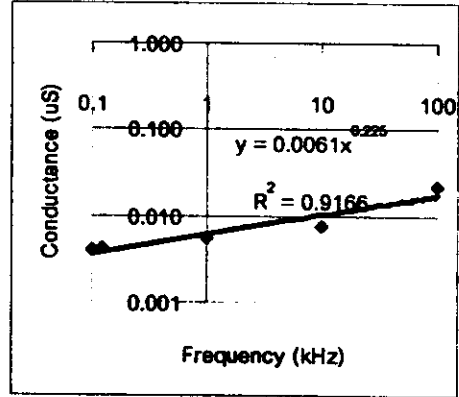
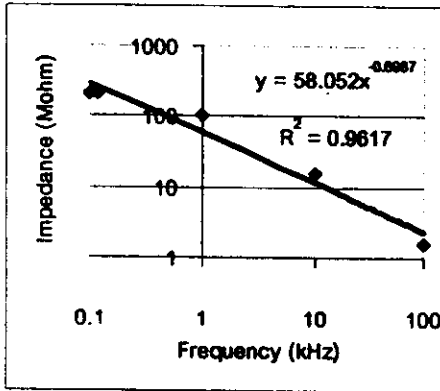
* สารชื่อแรกเป็นสารที่พบมากที่สุด

2. ผลการวัดความถี่ที่มีค่าสมบัตินิโคเล็กตริกด้วยมิเตอร์แอลซีอาร์ (LCR Meter)

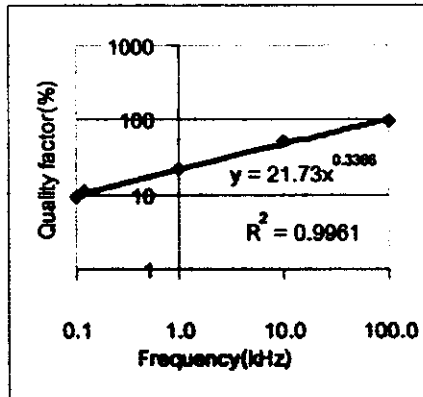
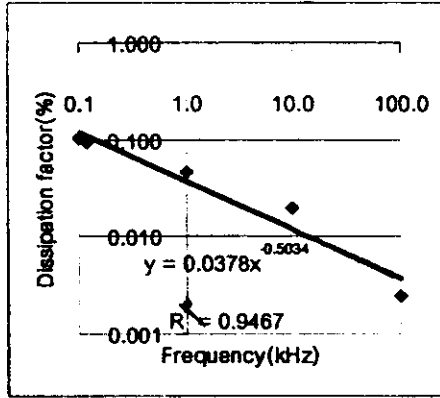
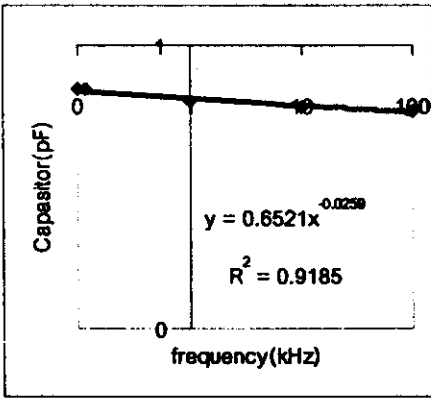
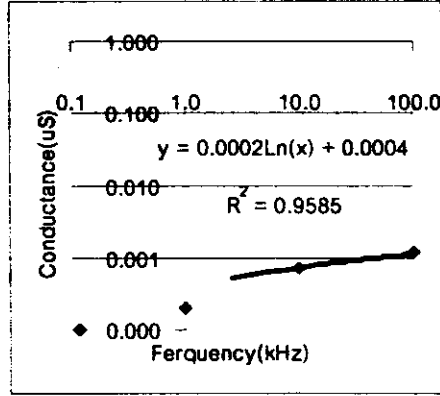
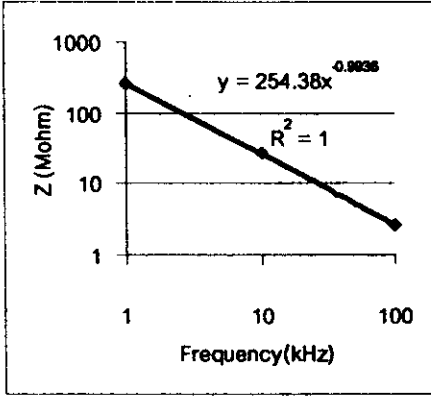
ผลการวัดผลของความถี่ที่มีค่าสมบัตินิโคเล็กตริกด้วย LCR Meter ของสาร ก) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ข) $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{MnO}_2$ และ ค) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ ซึ่งได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (f) กับ อิมพีแดนซ์ (Z) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (f) กับ ความนำไฟฟ้า (G) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (f) กับ ความจุไฟฟ้า (C) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (f) กับ ตัวประกอบการสูญเสีย และความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (f) กับตัวประกอบคุณภาพ (Q) แสดงดังรูปที่ 7 จากรูปพบว่า สำหรับทุกสารเมื่อความถี่ของแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น อิมพีแดนซ์ ความจุไฟฟ้า ตัวประกอบการสูญเสียของสารมีค่าลดลง แต่ความนำไฟฟ้าและตัวประกอบคุณภาพมีค่าเพิ่มขึ้น



n) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$



1) $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{MnO}_2$



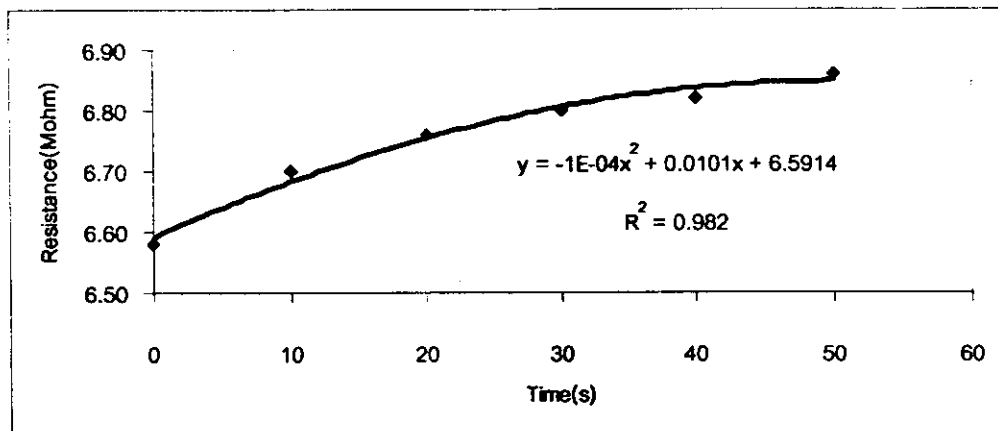
ก) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$

รูปที่ 7 ผลการวัดและของความเป็นอิสระโดเมนคิติก (Z vs f, G vs f, C vs f, D vs f และ Q vs f)

ของสาร ก) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, ข) $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{MnO}_2$ และ ค) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ ด้วยนิพจน์ฟูเรียร์

3. ผลการวัดความต้านทานสูงด้วย High Resistance Meter

เมื่อวัดความต้านทานของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ พบว่าความต้านทาน (R) เมื่อเวลาผ่านไป แสดงดังรูปที่ 8 ส่วนความต้านทานไฟฟ้า (R) สภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) และสภาพการนำไฟฟ้า (σ) ของสาร $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ และ $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ มีค่าดังแสดงในตารางที่ 2



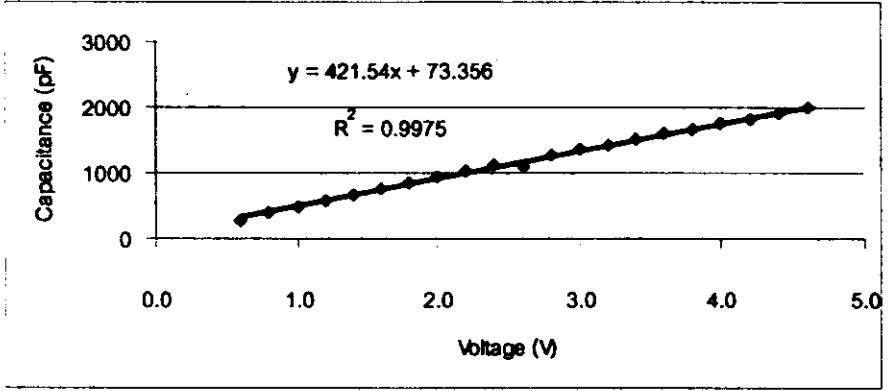
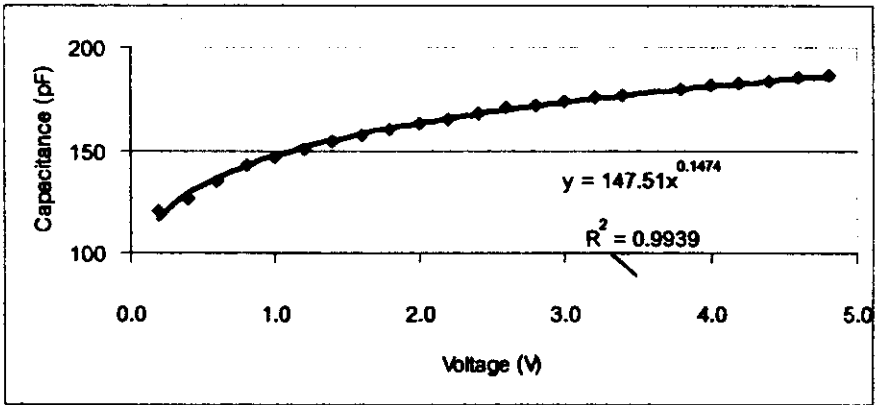
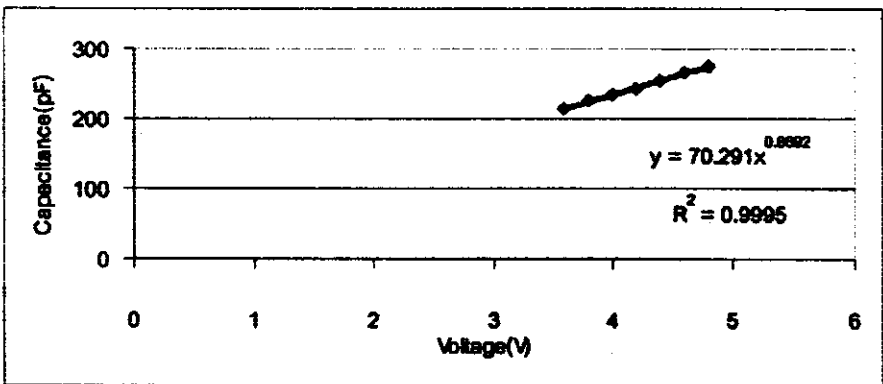
รูปที่ 8 ความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$

ตารางที่ 2 ความต้านทานไฟฟ้า (R) สภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) และสภาพการนำไฟฟ้า (σ) ของสาร $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ และ $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$

Sample	Resistance (Ω)	Resistivity ($\Omega.m$)	Conductivity ($\Omega^{-1}.m$) ⁻¹
$(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$	1.00×10^5	3.464×10^3	2.880×10^{-4}
$\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$	1.17×10^{11}	9.820×10^9	1.018×10^{-10}

4. ผลการวัดความจุที่ขึ้นกับแรงดันด้วย PA Meter/DC Voltage Source

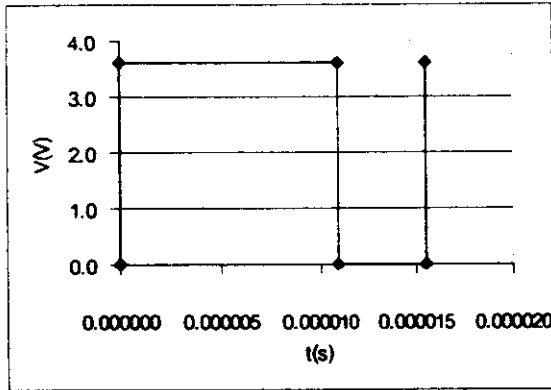
เมื่อวัดความจุที่ขึ้นกับแรงดันของสาร (ก) $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$, (ข) $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ และ (ค) $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ พบว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ความจุไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงรูปที่ 9

(น) สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (ข) สาร $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ (ค) สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$

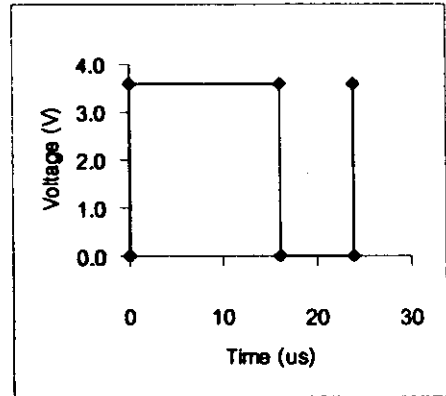
รูป 9 ความจุไฟฟ้าที่ขึ้นกับแรงดันไฟฟ้าของสาร (น) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (ข) $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ และ (ค) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$

5. ผลการประยุกต์ใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรออสซิลเลเตอร์

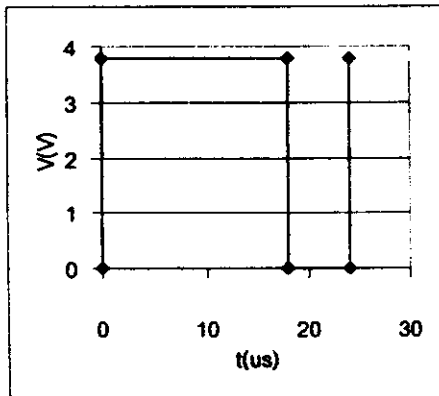
เมื่อทดสอบโคสให้สาร (ก) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, (ข) $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ และ (ค) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ ให้ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรออสซิลเลเตอร์ พบว่าวงจรสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ความถี่ค่าหนึ่ง ดังรูปที่ 10



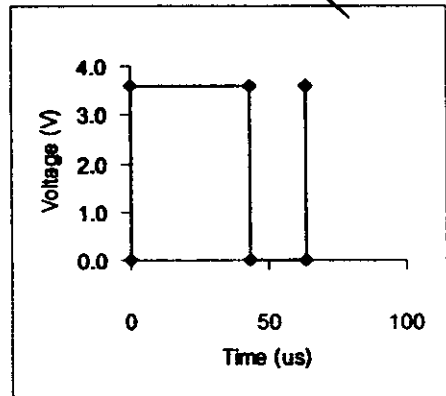
ก) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$



ข) $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$



ค) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$



ง) Commercial capacitor

รูป 10 แรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาที่วงจรออสซิลเลเตอร์สร้างได้โดยให้สาร (ก) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, (ข) $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ และ (ค) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ และ (ง) ตัวเก็บประจุเชิงการค้า

วิเคราะห์ผลการทดลอง

1. วิเคราะห์ผลการเตรียมสารตัวอย่าง

สารที่เตรียมได้มีทั้งเฟสเดียว สองเฟสและสามเฟส

2. วิเคราะห์ผลการวัดความถี่ที่มีต่อสมบัติไดอิเล็กตริกด้วย LCR Meter

เมื่อพิจารณาผลการวัดความถี่ที่มีต่อสมบัติไดอิเล็กตริกของสาร n) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ข) $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{MnO}_2$ และ

ค) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ พบว่าความสัมพันธ์ของ Z, G, C, D, Q กับ f (Z : $\text{M}\Omega$, G : μS , C : pF, D : % , Q : %)

มีความสอดคล้องตามสมการ

n) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$

$$Z = 12.51f^{0.6414}$$

$$G = 0.0952f^{0.5804}$$

$$C = 9.8148f^{-0.3217}$$

$$D = 0.7684f^{0.0976}$$

$$Q = 1.3097f^{0.0934}$$

ข) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{MnO}_2$

$$Z = 58.052f^{-0.6987}$$

$$G = 0.0061f^{0.225}$$

$$C = 1.5353f^{-0.1334}$$

$$D = 0.6152f^{-0.6413}$$

$$Q = 1.6756f^{0.553}$$

ค) $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$

$$Z = 254.38f^{-0.6987}$$

$$G = 0.0002\ln(f) + 0.0004$$

$$C = 0.6521f^{-0.0259}$$

$$D = 0.0378f^{-0.5034}$$

$$Q = 21.73f^{0.3386}$$

สมการของความสัมพันธ์ทั้งหมดเป็นแบบยกกำลังและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ เช่น การที่อิมพีแดนซ์มีค่าลดลงในขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นอุปกรณ์การกรองแรงดันไฟฟ้าสูงผ่าน การที่ความนำไฟฟ้าของสารมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้ทราบการนำไฟฟ้าของสารที่มีความถี่ต่างๆ การที่ความจุไฟฟ้ามีค่าลดลงในขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้นจะนำไปประยุกต์เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรเล็อนเฟสของแรงดันไฟฟ้า การที่ตัวประกอบการสูญเสียของสารมีค่าลดลงและตัวประกอบคุณภาพมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่

ความถี่เพิ่มขึ้นเป็นการแสดงให้เห็นว่าพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้สารจะมีการสูญเสียน้อยเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นและสารมีคุณภาพดีที่ความถี่สูง

3. วิเคราะห์ผลการวัดความต้านทานสูงด้วย High Resistance Meter

สาร (ก) $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ มีความสัมพันธ์ R vs t ดังสมการ $R=-1 \times 10^{-4}t^2+0.0101t+6.5914$ ส่วน

$(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ และ $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ มีความต้านทานคงที่ แต่อย่างไรก็ตามสารทั้งสามสูตรต่างก็ตอบสนองต่อความถี่ (ดูหัวข้อ 2) สารทั้งหมดแสดงสมบัติไดอิเล็กตริก ดังนั้นสารมีลักษณะเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า

4. วิเคราะห์ผลการวัดความจุที่ขึ้นกับแรงดันด้วย PA Meter/DC Voltage Source

ความจุไฟฟ้ามีค่าขึ้นกับแรงดันไฟฟ้าสาร (ก) $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$. (ข) $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ และ (ค)

$\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ ดังสมการ

(ก) $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$: $C = 421.54V+73.356$

(ข) $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$: $C = 147.51V^{0.1474}$

(ค) $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$: $C = 70.291V^{0.8602}$

แสดงว่าสารแสดงสมบัติไดอิเล็กตริกซึ่งสามารถนำไปประยุกต์เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า

5. วิเคราะห์ผลการประยุกต์ใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรออสซิลเลเตอร์

เมื่อนำสารไปแทนที่ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเชิงการค้ำในวงจรออสซิลเลเตอร์แล้ววงจรก็สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้ในลักษณะเดียวกันกับที่ใช้ตัวเก็บประจุเชิงการค้ำ แสดงว่าสารสามารถนำไปประยุกต์ให้ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรออสซิลเลเตอร์

สรุปผลการทดลอง

สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$, $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$ และ $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ เป็นสารไดอิเล็กตริก สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรออสซิลเลเตอร์

เอกสารอ้างอิง

Buchanan Reiva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, Second edition, Marcel Dekker Inc., New York.

Jingchang, Z. 2002. Study on the properties of (Y,Mn) co-doped $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$ thermistors. Materials Science and Engineering B., 94, 202-206.

Kazuhide Abe. 1994. Epitaxial growth and dielectric properties of $(\text{Ba}_{0.24}\text{Sr}_{0.76})\text{TiO}_3$ thin film, J. Appl. Phys., 33, 5297-5300.

Ligin Zhou. 1992. $Sr_{0.7}Ba_{0.3}TiO_3$ based multilayer boundary-layer capacitors.

J. Mater. Sci. Lett., 11, 1134-1136.

Manling Bao. 1993. Study on the dielectric properties of $Ba(Ti,Sn)O_3$ ceramics prepared from ultrafine powder. J. Mater. Sci., 28, 6617-6621.

Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.

Shail Upadhyay. 1997. Preparation and characterization of barium stannate $BaSnO_3$.

J. Mater. Sci. Lett., 16, 1330-1332.

Wanklyn, B.M. 1992. Electrical transport properties of $Eu_2Ti_2O_7$ single crystal. J. Mater. Sci., 27, 4080-4084

บทความที่ 19

ปรากฏการณ์พีทีซีที่เกิดขึ้นในเซรามิกส์ $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{16}$

PTC effect occurring in $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{16}$ ceramics

ปรากฏการณ์พีทีซีที่เกิดขึ้นในเซรามิกส์ $2\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{SrCO}_3+4\text{TiO}_2$

PTC effect occurring in $2\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{SrCO}_3+4\text{TiO}_2$ ceramics

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์¹ และ สุพรรณษา สุริยะโชติ²

Thongchai Panmatarith and Sypansa Suriyachot²

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้พบปรากฏการณ์ PTC เป็นครั้งแรกในสาร $2\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{SrCO}_3+4\text{TiO}_2$ สารนี้มีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นบวก (α) ในช่วงอุณหภูมิ 80-110 °C มีค่า $\alpha = 37.58 \text{ \%}^\circ\text{C}$ และอุณหภูมิคูรี 85 °C

Abstract

PTC effect was found in $2\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{SrCO}_3+4\text{TiO}_2$ material in the first time. This sample had a positive temperature coefficient of resistance (α) of 37.58 $\text{\%}^\circ\text{C}$ in the range of 80-110 °C and Curie temperature was 85 °C.

Key words : PTC thermistor, PTC effect

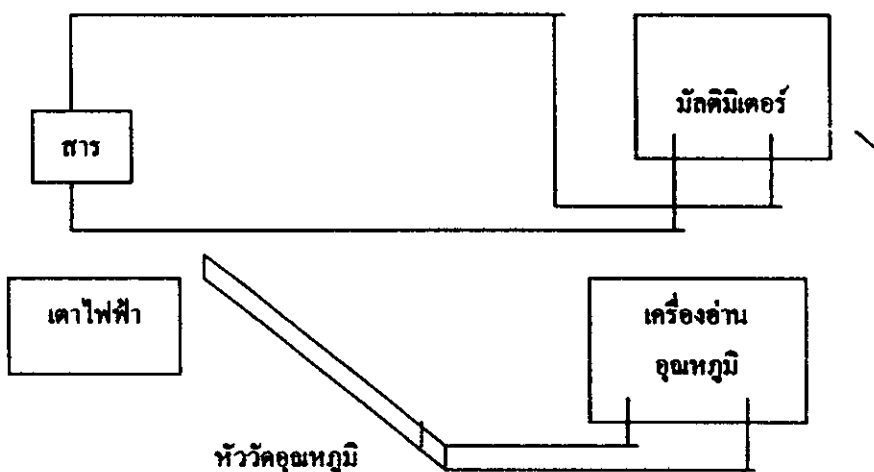
บทนำ

เทอร์มิสเตอร์แบบ PTC เป็นตัวต้านทานที่มีความต้านทานเพิ่มขึ้นในขณะอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำมาจาก BaTiO_3 + ตัวเติม สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทาน (α) มีค่าเป็นบวก สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นหัววัดอุณหภูมิ Jingchang (2002) ในประเทศจีน ได้เตรียม (Y,Mn) co-doped $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$ thermistor แล้วศึกษาปรากฏการณ์ PTCR (PTCR effect)

วัตถุประสงค์เพื่อวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{SrCO}_3+\text{TiO}_2$

วัตถุประสงค์อุปกรณ์และวิธีการ

- 1) เตรียมสารที่มีส่วนผสมเป็น SrCO_3 , Bi_2O_3 และ TiO_2 โดยวิธีเทคนิคเซรามิกมาตรฐาน (Buchanan,1991) คำนวมน้ำหนักตามส่วนผสมของสารที่จะเตรียม ชั่งน้ำหนัก ผสมผงของสารด้วยครกและเครื่องหมุนผสมสาร หยอด PVA (polyvinyl alcohol) และน้ำกลั่นลงไปเพื่อให้ผงเกาะตัว นำผงใส่เข้าอัด อัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก (hydraulic pressor) เม้าครั้งที่ 1 โดยการนำก้อนสารไปวางในเตาหลอม ตั้งอุณหภูมิการเผาที่ 800°C และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็น $5^\circ\text{C}/\text{min}$ ทำการเผา นำก้อนสารออกจากเตาเมื่อเย็น เม้าครั้งที่ 2 ตั้งอุณหภูมิการเผาที่ 900°C และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็น $5^\circ\text{C}/\text{min}$ นำก้อนสารไปตรวจสอบเฟสด้วยเครื่อง XRD (X-ray diffractometer, Philip PW1730) ทำขั้วไฟฟ้าด้วยกาวเงิน วัดขนาดของสารด้วยไมโครมิเตอร์
- 2) จัดชุดทดลองดังรูปที่ 1 แล้ววัดความต้านทาน (R) และอุณหภูมิ (T) ของสาร $2\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{SrCO}_3+4\text{TiO}_2$ วัดความต้านทานด้วยมัลติมิเตอร์ วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคอปเปิล ชนิด K และเครื่องอ่านอุณหภูมิ
- 3) บันทึก R และ T ลงในตาราง เขียนกราฟและแสดงสมการด้วย EXCEL



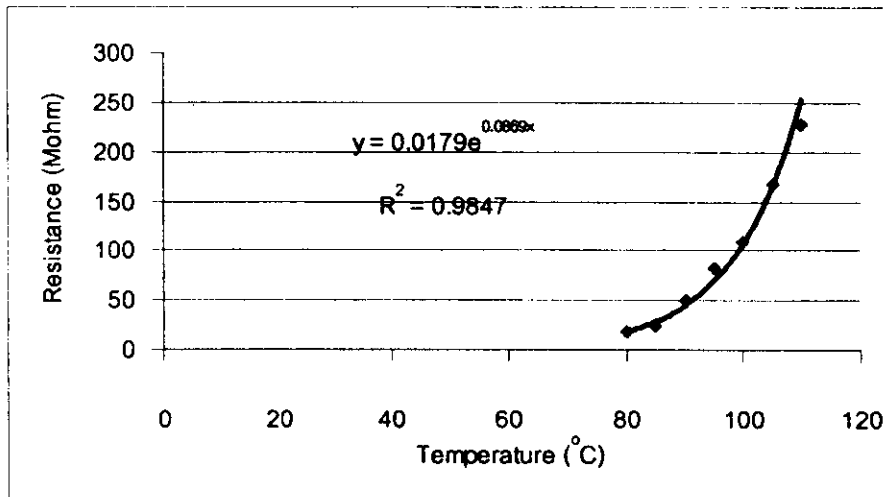
รูปที่ 1 การจัดเครื่องมือเพื่อวัดความต้านทานและอุณหภูมิ

ผลการทดลอง

สารที่มีสูตรของส่วนผสม $2\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{SrCO}_3+4\text{TiO}_2$ เกิดเฟสหลังการเผา คือ $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$, $\text{Sr}_3\text{BiO}_{5,4}$ และ $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ (เรียงลำดับปริมาณของสารจากมากไปน้อย) สารมีความหนาและเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.43 mm และ 13.22 mm ตามลำดับ ภาพถ่าย XRD ดูในภาคผนวก จ.

ความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $2\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{SrCO}_3+4\text{TiO}_2$ มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 2 จากกราฟพบว่าเมื่ออุณหภูมิ (T) ของสารเพิ่มขึ้น ความต้านทาน (R) ของสารเพิ่มขึ้น สมการความสัมพันธ์ คือ

$$R = 0.0179\exp(0.0869T)$$



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความต้านทานของ $2\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{SrCO}_3+4\text{TiO}_2$

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ความต้านทานของสารที่มีค่าเพิ่มขึ้นในขณะอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิดจากบริเวณกำแพงศักย์จับอิเล็กตรอนไว้ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานซึ่งเหมือนกับที่พบในสาร BaTiO_3 (Buchanan, 1991) สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทาน (α) ในช่วงอุณหภูมิ 80-110 °C มีค่า $\alpha = 37.58 \text{ \%}/\text{C}$ ($2\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{SrCO}_3+4\text{TiO}_2$) อุณหภูมิคูรี 85 °C แต่ของ BaTiO_3 มีค่า $\alpha = 10-100 \text{ \%}/\text{C}$ (Buchanan, 1991) เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่าค่า α ของสารที่ทดลองมีค่าต่ำกว่าของ BaTiO_3

สรุปผลการทดลอง

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิของสาร $2\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{SrCO}_3+4\text{TiO}_2$ ยืนยันว่าสารแสดงปรากฏการณ์ PTC สิ่งที่ทดลองได้เป็นการค้นพบปรากฏการณ์ PTC ในสารนี้เป็นครั้งแรก

เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Reiva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, second edition, Merce! Dekker inc., New York.
- Jingchang, Z. 2002. Study on the properties of (Y,Mn) co-doped $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$ thermistors. Materials Science and Engineering B., 94, 202-206.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.

บทความที่ 20

การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ใน $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$
และ $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$

Magnetoimpedance effect test in $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ and $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$
materials

บทความที่ 20

การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์

ใน $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ และ $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$

Magnetoimpedance effect test in $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ and $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$ materials

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์¹ และ นุชณา เลือดเกิด² และ สุพรรณษา สุริยะโชติ²
Thongchai Panmatarith, Nuchana Iatkiat² and Sypansa Suriyachot²

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,
Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.
Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้ทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ในสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ และ $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$

Abstract

Magnetoimpedance effect was tested in $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ and $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$ materials

Key words : Magnetoimpedance effect

บทนำ

ความต้านทานไฟฟ้าตรง (DC electric resistance) ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าในทางอุดมคติมีค่าอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติความต้านทานไฟฟ้าตรงมีค่าจำกัด R_L ความต้านทานไฟฟ้าตรงของตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบแผ่นขนานที่มีพื้นที่หน้าตัด A และระยะระหว่างแผ่นขนาด L มีค่าดังสมการ

$$R_L = \frac{\rho L}{A}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความจุไฟฟ้า (C) กับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r) แสดงดังสมการ

$$C = \epsilon A/L = \epsilon_0 \epsilon_r A/L ; \epsilon_r = 1 + \chi_e$$

เมื่อ A เป็นพื้นที่หน้าตัด d เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของสาร L เป็นความหนาของสาร และ χ_e เป็นสภาพอ่อนไหวทางไฟฟ้า

ปริมาณในวงจรไฟสลับ ได้แก่ Z, G, C, D, Q, ϵ_r และ χ_e เมื่อ Z เป็นอิมพีแดนซ์ (impedance), G เป็นความนำไฟฟ้า (conductance), C เป็นความจุไฟฟ้า (capacitance), D เป็นตัวประกอบการสูญเสีย (dissipation factor), Q เป็นตัวประกอบคุณภาพ (quality factor), ϵ_r เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) และ χ_e เป็นสภาพอ่อนไหวทางไฟฟ้า (electric susceptibility)

การค้นพบไฟฟ้าเฟอร์โร (ferroelectricity) ใน BaTiO_3 ในปี ค.ศ 1940 นำไปสู่การทำตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (high dielectric constant capacitor) ไฟฟ้าเฟอร์โรเกิดจากการจัดเรียงตัวของโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้าซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับความสมมาตรของผลึก (crystal symmetry) ไฟฟ้าเฟอร์โรเกิดจากทิศทางขนานกันของโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้า (electric dipole moment) บริเวณที่มีโพลาไรเซชันที่เกิดขึ้นเอง (spontaneously polarized region) ที่มีโพลาไรเซชันทิศทางเดียวกันเรียกว่า โดเมน (domain) ความสัมพันธ์ของการจัดเรียงตัวของโดเมนหนึ่งถูกควบคุมโดยความสมมาตรของผลึก วัสดุในกลุ่ม BaTiO_3 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเพอโรฟสไกต์ ใช้ทำตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบเซรามิกส์ (ceramic capacitor) โพลาไรเซชันที่เกิดขึ้นเองสามารถเรียงตัวขนานกันกับขอบของหน่วยเซลล์ โดเมนจะโตขึ้นเมื่อสารได้รับสนามไฟฟ้าแรงสูง (high electric field) หลังจากที่สารผ่านการโพลิง (poling) พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจะเปลี่ยนแปลง การมีโพลาไรเซชันค้างในสารเนื่องจากผลโพลิงสามารถพิจารณาได้จากวงการล้าเฟอร์โรอิเล็กตริก (ferroelectric hysteresis loop)

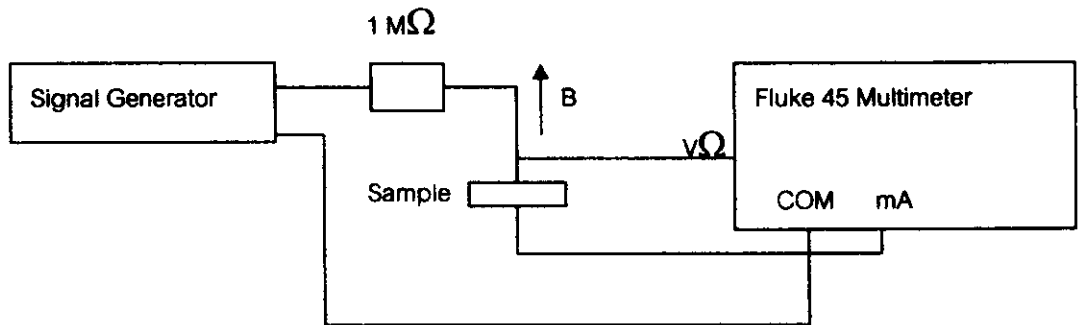
ปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ที่พบใน $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ คือ ปรากฏการณ์ที่อิมพีแดนซ์ของสารมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่อยู่ในสนามแม่เหล็กภายนอก

บทความนี้เป็นการศึกษาปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ในอุปกรณ์เพียโซอิเล็กตริกเชิงการค้า

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

สร้างเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กแรงสูง จัดเครื่องมือทดลองตามรูปที่ 1 จ่ายกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่ (f) ที่ค่าหนึ่งจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าผ่านตัวต้านทาน $100 \text{ k}\Omega$ ป้อนสนามแม่เหล็ก B จากเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กแรงสูงไปยังสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ และ $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{MnO}_2$

ใช้มัลติมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า (i) และแรงดันไฟฟ้า (V) ของสาร คำนวณค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ด้วยสูตร $Z = V/i$ บันทึก Z และ B



รูปที่ 1 การจัดเครื่องมือสำหรับศึกษาปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ใน $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ และ $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์โดยการไม่ป้อนและป้อนสนามแม่เหล็กแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสารและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารที่บันทึกได้แสดงดังผลการ

สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$

$$\text{เมื่อ } B = 0 \text{ Wb/m}^2 \rightarrow V = 0.75 \text{ mV}, I = 3.2 \text{ } \mu\text{A} \rightarrow Z = 234.38 \text{ k}\Omega$$

$$\text{เมื่อ } B \neq 0 \text{ Wb/m}^2 \rightarrow V = 0.72 \text{ mV}, I = 2.6 \text{ } \mu\text{A} \rightarrow Z = 276.92 \text{ k}\Omega$$

สาร $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$

$$\text{เมื่อ } B = 0 \text{ Wb/m}^2 \rightarrow V = 0.96 \text{ V}, I = 0.4 \text{ } \mu\text{A} \rightarrow Z = 2.40 \text{ M}\Omega$$

$$\text{เมื่อ } B \neq 0 \text{ Wb/m}^2 \rightarrow V = 0.88 \text{ V}, I = 0.3 \text{ } \mu\text{A} \rightarrow Z = 2.93 \text{ M}\Omega$$

เมื่อป้อนสนามแม่เหล็กให้แก่สาร อิมพีแดนซ์ของสารจะมีค่าเพิ่มขึ้น ภาพถ่าย XRD อยู่ในภาคผนวก จ.

วิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อใช้สนามแม่เหล็กขนาด $2.9 \times 10^{-2} \text{ Wb/m}^2$ ป้อนให้แก่สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ และ $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$ พบว่า อิมพีแดนซ์มีค่าลดลง แสดงว่ามีปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์เกิดขึ้น การที่อิมพีแดนซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเกิดจากสนามแม่เหล็กทำให้การเรียงตัวอิเล็กตรอนเปลี่ยนแปลงไป

สรุปผลการทดลอง

สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ และ $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$ แสดงปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์

เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Reiva, C., 1991, Ceramic materials for electronics, Second edition, Merce! Dekker Inc., New York.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.

บทความที่ 21

การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริกในสาร BiFeO_3
และ BiMnO_3

Magnetoelectric effect test in BiFeO_3 and BiMnO_3 materials

การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริก

ในสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ และ $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$

Magnetoelectric effect test in $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ and $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$ materials

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์¹ นุชณา เชื้อคเกิด² และ สุพรรณษา สุริยะโชติ²

Thongchai Panmatarith and Nutchana latkiri² and Sypansa Suriyachot²

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้ทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริกในสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ และ $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$

Abstract

Magnetoelectric effect was tested in $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ and $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$ materials

Key words : magnetoelectric effect

บทนำ

สารเฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิกส์ (Ferroelectric ceramics) แสดงสมบัติของการเก็บไฟฟ้า (capacitive property) การประยุกต์ใช้ของสารกลุ่มนี้ ได้แก่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (capacitor) อุปกรณ์การกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (high pass filter) และอุปกรณ์เลื่อนเฟส (phase shifter) BaTiO_3 เป็นสารเฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิกส์แสดงสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริก และนำไปการทำตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง ไฟฟ้าเฟอร์โรเกิดจากทิศทางขนานกันของโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้า (electric dipole moment) บริเวณที่มีโพลาริเซชัน (polarization) ทิศทางเดียวเรียกว่า โดเมน

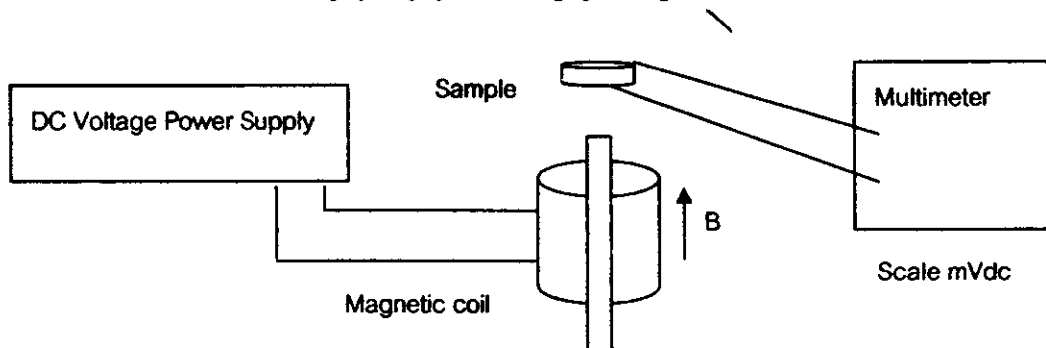
(domain) BaTiO_3 มีโครงสร้างผลึกแบบเพอโรฟสไกต์ (perovskite structure) โดเมนจะโตขึ้นเมื่อสารได้รับสนามไฟฟ้าแรงสูง หลังจากที่ผ่านมาการโพลิง (poling) พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) จะเพิ่มขึ้น การมีโพลาริเซชันค้างในสารเนื่องจากผลของการโพลิงสามารถพิจารณาได้จากวงการล้าเฟอร์โรอิเล็กตริก (ferroelectric hysteresis loop)

ปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กตริก คือ ปรากฏการณ์ที่โพลาริเซชันเปลี่ยนแปลงในขณะที่สารอยู่ในสนามแม่เหล็ก Ligin Zhou ในประเทศจีน ได้เตรียมตัวเก็บประจุแบบหลายชั้น $\text{Sr}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{TiO}_3$ วัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) และตัวประกอบการสูญเสีย (dissipation factor) ที่ความสัมพันธ์กับความถี่ (frequency)

บทความนี้เป็นการศึกษาปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กตริกในแมกนีโตอิเล็กตริกเซรามิกส์

วัตถุประสงค์และวิธีการ

สร้างเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กความแรงสูง จัดเครื่องมือตามรูปที่ 1 ป้อนสนามแม่เหล็กจากเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กความแรงสูงไปยังสาร ใช้มัลติมิเตอร์วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างผิวหน้าทั้งสองในขณะที่ได้รับสนามแม่เหล็ก สารที่ใช้ทดลอง คือ $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ และ $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$



รูปที่ 1 การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กตริกในสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ และ $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$

ผลการทดลอง

สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$

ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างผิวหน้าทั้งสองในขณะที่ได้รับสนามแม่เหล็กมีค่า +4.1 mV เมื่อให้สนามแม่เหล็กที่มีขนาด $2.9 \times 10^2 \text{ Wb/m}^2$ พบว่ามีความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่า -15.2 mV

สาร $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$

ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างผิวหน้าทั้งสองในขณะที่ได้รับสนามแม่เหล็กมีค่า +1.1 mV เมื่อให้สนามแม่เหล็กที่มีขนาด $2.9 \times 10^2 \text{ Wb/m}^2$ พบว่ามีความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่า +2.2 mV

ภาพถ่าย XRD ดูในภาคผนวก ๑.

วิเคราะห์ผลการทดลอง

การที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างฉนวนน้ำทั้งสองของ $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ และ $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{MnO}_2$ มีการเปลี่ยนแปลงในขณะที่สารได้รับสนามแม่เหล็กเกิดจากสนามแม่เหล็กทำให้โพลาริเซชันเปลี่ยนแปลง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ คือ ปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริก

สรุปผลการทดลอง

สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ และ $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{MnO}_2$ สามารถแสดงปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริกได้

เอกสารอ้างอิง

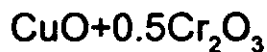
- Buchanan Relva, C., 1991, Ceramic materials for electronics, Second edition, Mercel Dekker Inc., New York.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990, Electroceramics, Chapman & Hall, London.

บทความที่ 22

การวัดสมบัติให้ความร้อนของ CuCrO_3 ด้วยคอมพิวเตอร์

Heating property measuring of CuCrO_3 material with computer

การวัดอุณหภูมิที่ขึ้นกับกำลังไฟฟ้าของสารให้ความร้อน



Temperature-electric power measurement of $\text{CuO}+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ heating material

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์¹ และ ฐิติรัตน์ ศรีสวัสดิ์²

Thongchai Panmatarith and Thitirat Srisawat²

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

อุณหภูมิที่ขึ้นกับกำลังไฟฟ้าของสาร $\text{CuO}+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ มีความสอดคล้องตามสมการ

$$T=6\times 10^{-7}P^2++0.0048P+25.138 \text{ สารแสดงพฤติกรรมให้ความร้อน}$$

Abstract

Temperature dependent of electric power of $\text{CuO}+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ material was corresponded to $T=6\times 10^{-7}P^2++0.0048P+25.138$. This sample showed heating behavior

Key words : Heating material

บทนำ

สารให้ความร้อน (heating element) เป็นสารที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนได้ดี ใช้ทำขดลวดของเตาหลอม (furnace element) เมื่อพิจารณาจากค่าความต้านทานไฟฟ้าพบว่า สามารถแบ่งอุปกรณ์ให้ความร้อนเป็น 2 กลุ่มด้วยกัน ดังนี้

- 1) อุปกรณ์ให้ความร้อนที่มีความต้านทานต่ำ (lowly resistive element) ซึ่งต้องการแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีแรงดันต่ำ (low voltage power supply)
- 2) อุปกรณ์ให้ความร้อนที่มีความต้านทานสูง (highly resistive element) ซึ่งต้องการแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีแรงดันสูง (high voltage power supply)

ตัวอย่างของสารให้ความร้อน อาทิเช่น แกรไฟต์ (graphite), โมลิบดีนัม (Mo), ทังสเตน (W), ทองคำขาว (Pt), SiC (1650 °C) และ MoSi₂ (1500 °C)

ก. ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC)

ซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นวัสดุแข็ง (hard material) และมีชั้นออกไซด์ (oxide layer) สามารถอยู่ในสภาพเสถียรในอากาศจนถึงอุณหภูมิ 1650 °C ซึ่งสามารถนำไปใช้ทำสารให้ความร้อนของเตาเผา ซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นวัสดุที่มีพันธะแบบโควาเลนต์และมีโครงสร้างผลึกแบบเพชร (diamond structure) มีสภาพการนำไฟฟ้าและสภาพการนำความร้อนสูง สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามเส้นตั้ง สารให้ความร้อน SiC เตรียมได้โดยการนำท่อคาร์บอน (carbon tube) ไปทำให้ร้อนในบ่อทราย (SiO₂) และถ่านโค้กหรือคาร์บอน SiO₂+C จะได้ SiC เคลือบผิวบนอกของท่อนี้ด้วยสารเคลือบแคลเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกต (calcium aluminosilicate glaze) โดยเผาที่ 1450 °C เพื่อป้องกันออกซิเดชันในระหว่างการใช้งาน

ข. โมลิบดีนัมไดซิลิไซด์ (MoSi₂)

ใช้ทำสารให้ความร้อนสำหรับใช้ในอากาศที่อุณหภูมิสูงกว่า 1500 °C สภาพต้านทานไฟฟ้าของสารนี้อยู่ในช่วง $2.5 \times 10^{-7} \Omega m$ ที่อุณหภูมิห้อง ถึง $4 \times 10^{-6} \Omega m$ ที่ 1800 °C สารให้ความร้อน MoSi₂ ที่ใช้ในทางการค้ามีลักษณะเป็นเซรามิต (cermet) ที่ประกอบด้วยส่วนผสมของอนุภาค MoSi₂ ที่สร้างพันธะกับเฟสแก้วอะลูมิเนียมซิลิเกต (aluminosilicate glass phase)

Das Gupta (1996) ในประเทศแคนาดา ได้รายงานถึงสารที่ใช้ทำสารให้ความร้อนซึ่งได้แก่ MoSi₂, SiC, แกรไฟต์ (graphite) และ BaTiO₃

Reznikov (1997) ได้สร้างตัวควบคุมอุณหภูมิที่โปรแกรมได้จากไมโครโปรเซสเซอร์ สำหรับใช้งานกับเตาหลอมไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ

Pelissier (1998) ในประเทศฝรั่งเศส ได้ศึกษาสภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพการนำความร้อนของสารให้ความร้อนที่ทำมาจากซิลิกอนคาร์ไบด์

Ogawa (1998) ในประเทศญี่ปุ่น ได้สร้างฟิล์มบาง $BaTiO_3$ แล้วประยุกต์ใช้เป็นแผ่นความร้อนที่สามารถให้ความร้อนสม่ำเสมอ

Hayashi (2001) ในประเทศญี่ปุ่น ได้เตรียมฟิล์มบางของ $LaCrO_3-Ca$ โดยมีขั้วเป็น Pt และหาลักษณะสมบัติการให้ความร้อน (heating characteristics) ความต้านทานของฟิล์มบางให้ความร้อนมีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นลบ และอุณหภูมิให้ความร้อนสูงสุด $1100^\circ C$

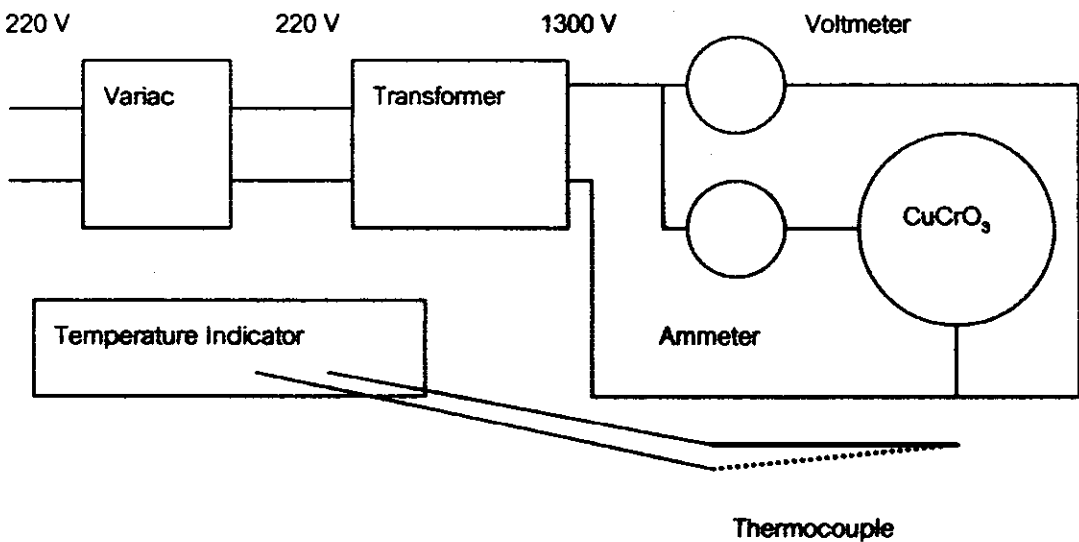
Meier (2001) ในประเทศอังกฤษ ได้ศึกษาสารให้ความร้อนที่ทำมาจากเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC ซึ่งสามารถทำงานที่อุณหภูมิเกือบคงที่ บทความนี้เป็นการศึกษาการวัดสมบัติให้ความร้อนของเรรามิกส์ด้วยคอมพิวเตอร์

วัตถุประสงค์และวิธีการ

1) เตรียมก้อนสาร $CuO+0.5Cr_2O_3$ โดยวิธีเทคนิคเรรามิกส์มาตรฐาน อุณหภูมิการเผาเป็น $900^\circ C$ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาเป็น $5^\circ C/min$

2. การวัดอุณหภูมิที่ขึ้นกับกำลังไฟฟ้าของสารให้ความร้อน $CuO+0.5Cr_2O_3$ วัดกำลังไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $CuO+0.5Cr_2O_3$ (T vs P) (รูปที่ 1)

เขียนกราฟ T vs P พร้อมทั้งแสดงสมการ



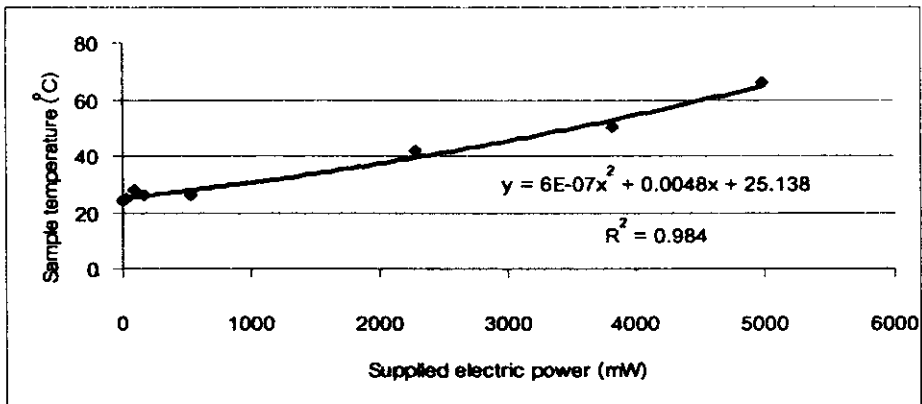
รูปที่ 1 การวัดกำลังไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $CuO+0.5Cr_2O_3$

ผลการทดลอง

1) ผลการตรวจสอบเฟส

เฟสของสารที่ถ่ายพบ คือ CuCrO_2 , CuO , CuCrO_3 , Cr_2O_3 (สารแรกมีปริมาณมากที่สุด) ภาพถ่าย XRD ดูในภาคผนวก ๑.

2) ผลการวัดอุณหภูมิที่ขึ้นกับกำลังไฟฟ้าของสารให้ความร้อน $\text{CuO}+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$



รูปที่ 2 การวัดกำลังไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $\text{CuO}+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$

วิเคราะห์ผลการทดลอง

อุณหภูมิที่ขึ้นกับกำลังไฟฟ้าและการควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อน $\text{CuO}+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ มีความสอดคล้องตามสมการ $T=6 \times 10^{-7} P^2 + 0.0048 P + 25.138$ เมื่อกำลังไฟฟ้าที่สารได้รับมีค่าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของสารก็จะเพิ่มขึ้น

สรุปผลการทดลอง

เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าไป อุณหภูมิของสารจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สาร $\text{CuO}+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ แสดงสมบัติให้ความร้อน

เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Relva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, second edition, Merce! Dekker Inc., New York.
- Das Gupta, S. 1996. Heating elements and electrically conducting ceramics. Key Engineering Materials., 122, 279-282.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.
- Reznikov, Y. A., 1997. Programmable temperature control in an electric furnace for laboratory coking based on a microprocessor controller. Fuel and Energy Abstracts. 38: 219.

บทความที่ 23

การวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $\text{Ni}_{0.65}\text{Zn}_{0.35}\text{Fe}_2\text{O}_4$ และ CuCrO_3 ด้วยคอมพิวเตอร์

The resistance dependence on temperature measuring of
NTC thermistor with computer

การวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร

$0.65\text{NiO}+0.35\text{ZnO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ ด้วยคอมพิวเตอร์

The resistance dependence on temperature measuring of

$0.65\text{NiO}+0.35\text{ZnO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ materials with computer

ธงชัย พันธเมธาฤทธิ์¹ นุชณา เชียดเกิด² และ ฐิติรัตน์ ศรีสวัสดิ์²

Thongchai Panmatarith, Nutchana latkin² and Thitirat Srisawat²

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

สาร $0.65\text{NiO}+0.35\text{ZnO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ แสดงปรากฏการณ์เอ็นทีซีโดยมีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบมีค่า $-0.91\%/\text{C}$ ในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง $100\text{ }^\circ\text{C}$ การวัดทั้งหมดจะใช้ระบบทดสอบที่คำนวณด้วยคอมพิวเตอร์

Abstract

The $0.65\text{NiO}+0.35\text{ZnO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ material showed NTC effect with negative temperature of resistance of $-0.91\%/\text{C}$ in the range of $25\text{-}100\text{ }^\circ\text{C}$. All measurements were done with computerized test system.

Key words : NTC thermistor, computerized test system

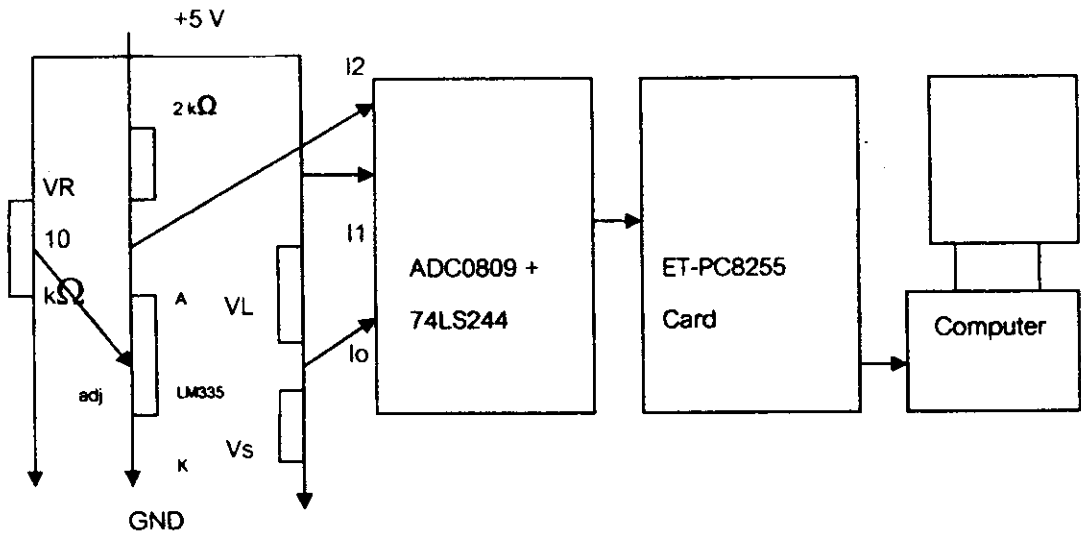
บทนำ

เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เป็นตัวต้านทานไฟฟ้าที่มีความต้านทานลดลงในขณะที่คุณณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำมาจาก NiO, CoO และ MnO สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานมีค่าเป็นลบ Chanel (2000) ในประเทศฝรั่งเศสได้เตรียมสาร $Mn_{2.23-x}Ni_{0.66}Zn_xO_4$ เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC สามารถประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรม

บทความนี้เป็นการศึกษาความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีด้วยคอมพิวเตอร์

วัตถุประสงค์และวิธีการ

- 1) เตรียมสารจากส่วนผสมของ $0.65NiO+0.35ZnO+Fe_2O_3$ อุณหภูมิการเผาที่ใช้เป็น $1200\text{ }^{\circ}C$ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาเป็น $5\text{ }^{\circ}C/min$
- 2) ให้ประกอบวงจรที่วัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $0.65NiO+0.35ZnO+Fe_2O_3$ เชื่อมต่อกับ ADC0809 และ ET-PC8255 Card กับคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 1)
- 3) เขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาเทอร์โบปาสคาลสำหรับการวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของ NTC ทั้งในรูปของข้อมูล (data) และกราฟ (graph)
- 4) ป้อนแรงดัน Vs เข้า Io และ VLs เข้า I1 ของ ADC0809 ใช้ ADC0809 แปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิทัล (DV) ส่งผ่านบัฟเฟอร์ 74LS244 และ ET-PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์ ส่งให้คอมพิวเตอร์คำนวณ $VL=VLs-Vs$; $IL=VL/RL$; $Is=IL$; $R=Vs/Is$ ใช้ LM335 วัดอุณหภูมิในรูปของแรงดันไฟฟ้า VT ส่งเข้า I2 ของ ADC0809 ใช้ ADC0809 แปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิทัล (DV) ส่งผ่านบัฟเฟอร์ 74LS244 และ ET-PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์ ส่งให้คอมพิวเตอร์แปลงแรงดัน VT ให้เป็นอุณหภูมิ T ส่ง RUN อ่านค่าความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิตามจอคอมพิวเตอร์และให้คอมพิวเตอร์พิมพ์ข้อมูล (R และ T) และกราฟ R vs T พิมพ์กราฟ หาสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านที่เป็นลบ (α) จากเส้นกราฟนี้



รูปที่ 1 การใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ผลการทดลอง

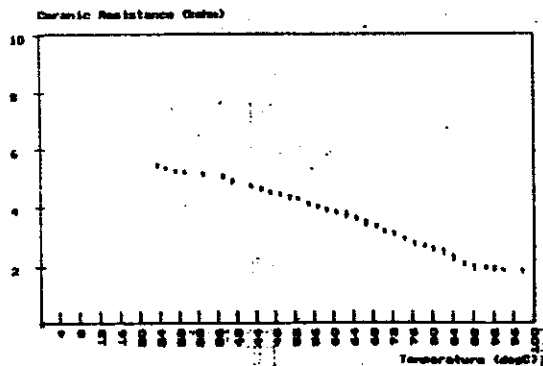
ภาพถ่าย XRD ดูในภาคผนวก จ.

ตารางที่ 1 อุณหภูมิการเผา สูตรของสารก่อนเผา สูตรของสารหลังเผา ความหนาและเส้นผ่าศูนย์กลาง แสดงใน

Sample no.	Firing temperature(°C)	Composition formula before firing	Sample phase after firing	Thickness (mm)	Diameter (mm)
1*	1200	0.65NiO+0.35ZnO+Fe ₂ O ₃	NiFe ₂ O ₄ , ZnFe ₂ O ₄ Fe ₂ O ₃	-	-

* สองสารแรกมีปริมาณมาก สารที่สามมีปริมาณน้อย

ระบบเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์จะแสดงความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร 0.65NiO+0.35ZnO+Fe₂O₃ บนจอคอมพิวเตอร์ ภาพบนจอที่พิมพ์ได้แสดงดังรูปที่ 2 จากรูปพบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารเพิ่มขึ้น ความต้านทานของสารลดลง



รูปที่ 2 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร 0.65NiO+0.35ZnO+Fe₂O₃

วิเคราะห์ผลการทดลอง

การที่ความต้านทานลดลงในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิดจากอิเล็กตรอนย้ายจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำ มีโวลต์เกิดขึ้นในแถบวาเลนซ์ พานะไฟฟ้าเพิ่มจำนวน กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ความต้านทานจึงมีค่าลดลง (Moulson, และ Herbert, 1990) เมื่อทำการคำนวณหาสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบ (α) โดยอาศัยข้อมูลจากเส้นกราฟของความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $0.65\text{NiO}+0.35\text{ZnO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ ที่คอมพิวเตอรืด้วยสูตร

$$\alpha = (1/R_1)(R_2 - R_1)/(T_2 - T_1) * 100$$

ค่า α ของสาร $0.65\text{NiO}+0.35\text{ZnO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ มีค่า $-0.91 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง $100 \text{ } ^\circ\text{C}$

ค่า α จากรายงานของบุชานัน มีค่า -1 ถึง $-6 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (Buchanan, 1991)

เมื่อเปรียบเทียบพบว่าค่า α ของสารอยู่ในย่านเอ็นทีซี (NTC region) ซึ่งเป็นการแสดงว่าสารที่ทดลองแสดงสมบัติเอ็นทีซี สารเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซี สารมีแนวโน้มที่จะนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นหัววัดอุณหภูมิและหัวควบคุมอุณหภูมิได้

สรุปผลการทดลอง

สาร $0.65\text{NiO}+0.35\text{ZnO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ เป็นเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้ามูลค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

Buchanan Reiva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, Second edition, Mercel Dekker Inc., New York.

Chanel, C. 2000. Microstructure and electrical properties of NiZn manganite ceramics. International Jour of Inorganic Materials., 2, 241-247.

George C. Barney. 1998, Intelligent Instrumentation, 2nd edition, Prentice Hall, New York/London/Sydney/Toronto/Tokyo.

Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.

Program Resistance_Temperature_Graph_for_NTC_thermistor;

Uses crt, printer, graph;

Var grdrv, grmode, grerror : integer;

Ch : char;

Const

PA = \$0304;

PB = \$0305;

Pcontrol = \$0307;

procedure axis;

var p,q : integer;

Tex : string;

Begin

grdrv := detect:: initgraph(grdrv, grmode, 'C:\tp\bgi');

setgraphmode(grmode);

setcolor(15); line(50,50,50,35); line(50,305,575,305);

line(50,50,575,50); line(575,50,575,305);

settextstyle(defaultfont, vertdir, o);

for p := 1 to 25 do

begin

line((595-21*p),295,(595-21*p),305); str(4*p, tex);

outtextxy(21*p+55, 310, tex);

end;

setcolor(15); settextstyle(defaultfont, horizdir, o);

for q := 50 to 305 do

begin

if q mod 51 = 0 then

begin

line(45,q,55,q); str((((305-q) mod 5)+1)*20, tex);

outtextxy(20,q, tex);

end;

end;

end;

procedure plot;

var l, j, x, y, DV0, DV1, DV2 : integer;

AVo, AV1, AV2, R, RL, Vs, VLs, VL, IL, is, VT, T : real;

begin

```

setcolor(3); outtextxy(205,11,'Resistance vs Temperature Curve');
setcolor(3); outtextxy(205,18,'-----');
setcolor(5); outtextxy(50, 30,'Ceramic Resistance (kohm)');
setcolor(5); outtextxy(435,335,'Temperature (degC)');
setcolor(5); outtextxy(48,33, "");
port[Pcontrol] := $90;
RL := 10000;
for i :=1 to 100 do
begin
  for j := 1 to 550 do
  begin
    port[PB] :=0; {I1}
    delay(30);
    DV0 := port[PA];
    AV0 := (5/255)*DV0;
    Vs := AV0; {V}
    port[PB] := 1;
    delay(30);
    DV1:= port[PA];
    AV1:= (5/255)*DV1;
    VLs := AV1;
    VL := (VLs-Vs);
    IL := VL/RL;
    Is := IL; {A}
    R := (Vs / Is); {ohm}
    port[PB] := 2;
    delay(30);
    DV2 := port[PA];
    AV2 := (5/255)*DV2;
    VT := AV2;
    T :=(VT-2.73)/(0.01);
    x := round (525/100)*T+(100/525)*50 y = round (305-(R/1000)*(255/1000));
  end
end

```

```
    setcolor(15); line (x,y,x,y);
    delay(100);
end;
end;
end;
begin {main}
  repeat
    axis;
    plot;
    ch := readkey;
  until ord(ch) = 27;
end.
```

บทความที่ 24

การทดสอบการกรองแรงดันไฟฟ้าของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ และ $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ ด้วยคอมพิวเตอร์

Electric voltage filtering test of $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ and $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ materials with computer

การทดสอบการกรองแรงดันไฟฟ้าของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$,
 $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ และ $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ ด้วยคอมพิวเตอร์

Electric voltage filtering test of $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ and
 $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ materials with computer

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์¹ ฐิติรัตน์ ศรีสวัสดิ์² นุชณา เอียดเกิด² และ สุธรรษา สุริยะโชติ²
Thongchai Panmatarith, Thitirat Srisawat², Nutchana Iatitir² and Sypansa Suriyachot²
¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,
Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.
Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ และ $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ สามารถกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน ต่ำ
ผ่านและสูงผ่าน ตามลำดับ

Abstract

The $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ and $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ samples can filter high, low and high
frequency voltage, respectively.

Key words : low pass filter, high pass filter

บทนำ

ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้า (charge) และคายประจุไฟฟ้า (discharge) กรองกระแสไฟฟ้า
(current filtering) เก็บสะสมพลังงาน (energy storage) แยกวงจรไฟฟ้าตรง (DC current circuit) กับวงจรไฟฟ้าสลับ
(AC current circuit) ออกจากกัน เชื่อมต่อวงจรขยาย (amplifier) ต่อกับวงจรโดยจะกันไฟฟ้าตรงไม่ให้ผ่าน (dc

blocking) แต่ยอมให้ไฟฟ้าสลับผ่านได้ ใช้ในวงจรตั้งเวลา (timing circuit) และใช้แก้ตัวประกอบกำลังให้ถูกต้อง (power factor correction)

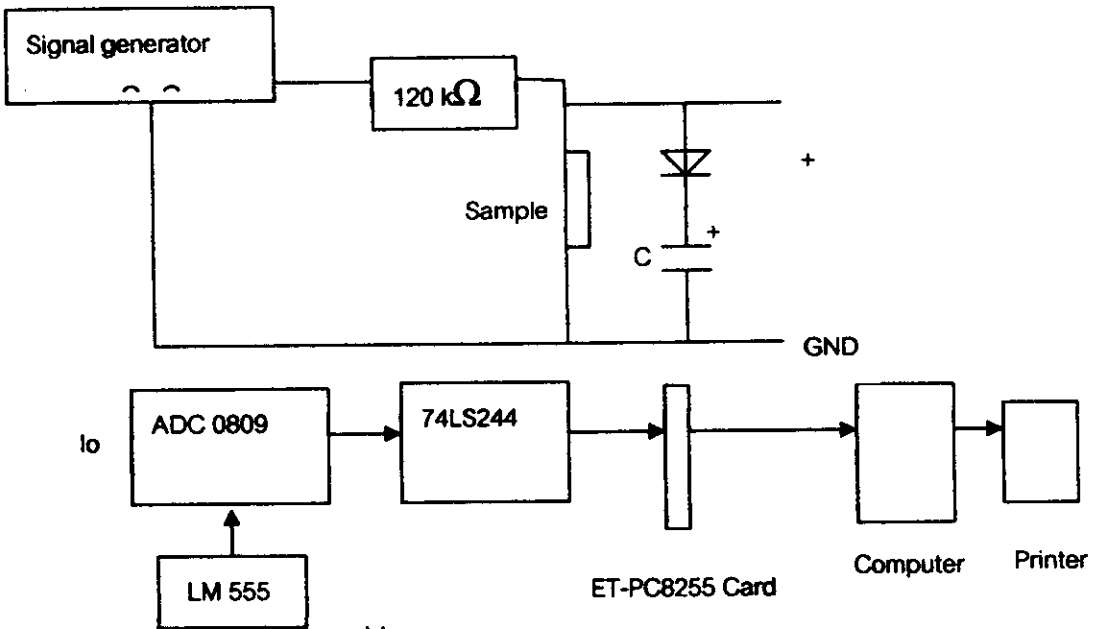
Shail Upadhyay (1997) ในประเทศอินเดีย ได้เตรียม BaSnO_3 วัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ความถี่และอุณหภูมิต่างๆ สารนี้สามารถนำไปใช้ทำอุปกรณ์ไดอิเล็กตริก (dielectric device)

Henneth (2002) ในประเทศฮ่องกง ได้ศึกษาอุปกรณ์กรองแถบความถี่ผ่าน (bandpass filter) ที่มีความถี่ศูนย์กลาง (center frequency) 44 MHz และความกว้างแถบ (bandwidth) 6 MHz สำหรับการประยุกต์ใช้ในวิดีโอแบบดิจิทัล (digital video application)

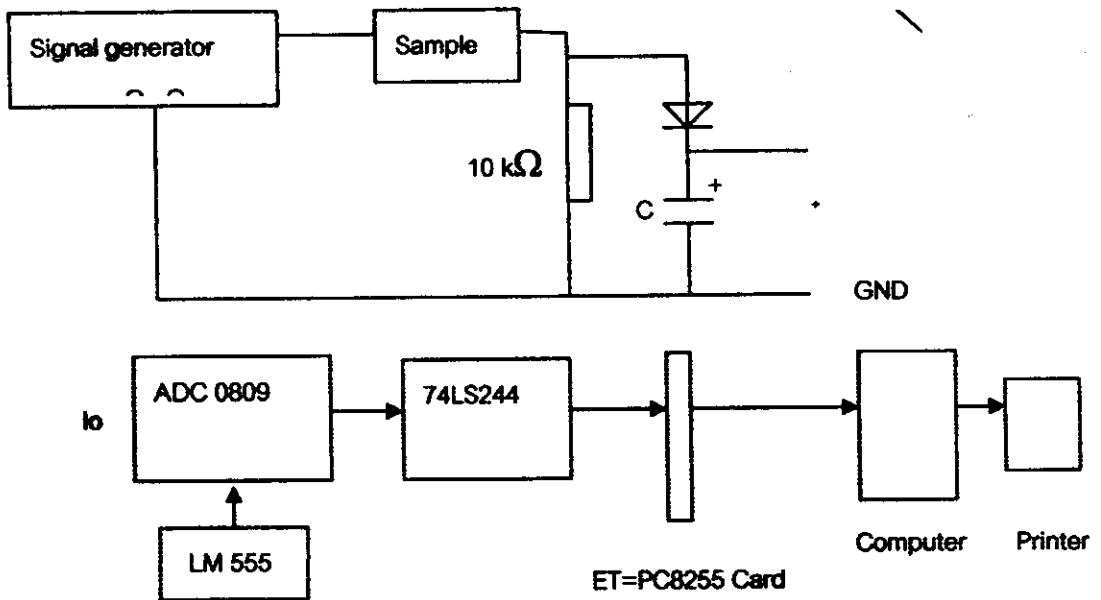
บทความนี้เป็นการศึกษาการกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่าน (LPF) ของสาร $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.6})\text{TiO}_3$ และการกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (HPF) ของสาร $(\text{Ba}_{0.3}\text{Pb}_{0.7})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ ด้วยคอมพิวเตอร์

วัตถุประสงค์และวิธีการ

- 1) เตรียมก้อนสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ และ $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ โดยใช้อุณหภูมิการเผา 800°C และ 1200°C ตามลำดับ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้เป็น $5^\circ\text{C}/\text{min}$
- 2) จัดชุดการทดลองดังแสดงในรูปที่ 1ก สำหรับการกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่าน (LPF) ของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ และรูปที่ 1ข สำหรับการกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (HPF) ของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ และ $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$
- 3) ปลดอยกระแสป้อนจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าไหลผ่านสารและตัวต้านทานไฟฟ้า $120\text{ k}\Omega$ สำหรับ LPF และ $10\text{ k}\Omega$ สำหรับ HPF ใช้ไดโอดแปลงแรงดันไฟฟ้าสลับเป็นเป็นแรงดันไฟฟ้าตรง บิอนแรงดันไฟฟ้านี้เข้า I_o ของ ADC0809 เพื่อแปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิทัล (DV) ส่งผ่านบัฟเฟอร์ 74LS244 ผ่าน ET-PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์ แล้วสำรวจหาความถี่ (f) ที่สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าสลับ (V) ตกคร่อมได้ ในช่วงความถี่ 500 Hz ถึง 500 kHz ที่อุณหภูมิห้อง (25°) โดยการมองดูเส้นกราฟแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาบนจอคอมพิวเตอร์
- 4) ให้คอมพิวเตอร์แสดงแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ขึ้นกับเวลา (t) บนจอในขณะที่กำลังปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าแล้วส่งพิมพ์เส้นโค้งทางเครื่องพิมพ์ (printer)



ก) การกรองแรงแค้นไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filtering testing) ของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$



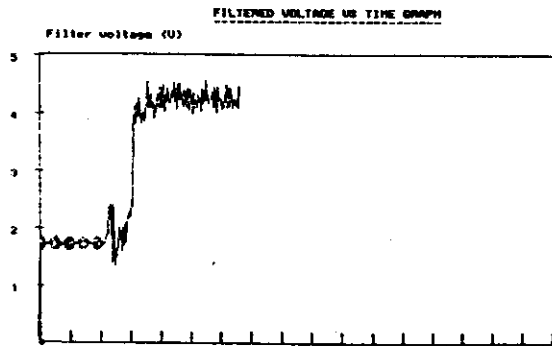
ข) การกรองแรงแค้นไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (high pass filtering testing) ของสาร $\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3}\text{TiO}_3$ และ $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$

รูปที่ 1 การทดสอบการกรองแรงแค้นไฟฟ้าผ่าน (voltage pass filtering testing)

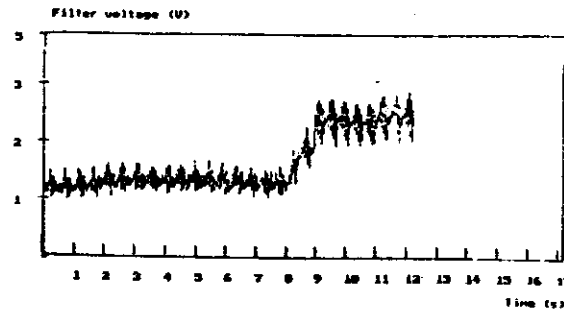
ผลการทดลอง

สารที่เตรียมจากส่วนผสมของ $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ มีเฟสเป็น Bi_2O_3 และ $\text{Bi}_{19}\text{YO}_{30}$ สารที่หนึ่งมีปริมาณมากกว่า สารที่สอง $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ มีเฟสเป็น $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$, $\text{Bi}_{46}\text{Fe}_2\text{O}_{72}$ และ BiFeO_3 (สารชื่อแรกเป็นสารที่พบมากที่สุด) ส่วนสาร $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ ยังไม่ได้ตรวจสอบเฟส ภาพถ่าย XRD ดูในภาคผนวก จ.

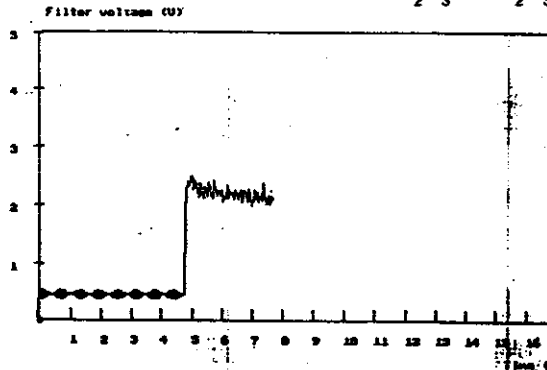
ผลการทดสอบการกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่าน (LPF) ของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ และการกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (HPF) ของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ และ $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ ได้แสดงโค้งของแรงดันไฟฟ้ากับเวลาในขณะเปลี่ยนแปลงความถี่ดังรูปที่ 2ก, 2ข และ 2ค ตามลำดับ



ก) แรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับกับเวลาสำหรับ LPF ของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$



ข) แรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับกับเวลาสำหรับ HPF ของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$



ค) แรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับกับเวลาสำหรับ HPF ของสาร $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$

รูปที่ 2 ภาพแสดงโค้งของแรงดันไฟฟ้ากับเวลาขณะปรับความถี่สำหรับ LPF และ HPF

วิเคราะห์ผลการทดลอง

การที่แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ เปลี่ยนแปลงตามเวลาในขณะที่เปลี่ยนแปลงความถี่โดยการปรับเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าเกิดจากผลของอิมพีแดนซ์ของสารที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ลดความถี่ ดังนั้นสารนี้แสดงการกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่าน คาดว่าสารนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นอุปกรณ์การกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่านได้

การที่แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ และ $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ เปลี่ยนแปลงตามเวลาในขณะที่เปลี่ยนแปลงความถี่โดยการปรับเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าเกิดจากผลของอิมพีแดนซ์ของสารที่ลดลงในขณะที่เพิ่มความถี่ ดังนั้นสารนี้แสดงการกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน คาดว่าสารนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นอุปกรณ์การกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่านได้

สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองโดยใช้แผงวงจรเชื่อมต่อกอมพิวเตอร์ที่ประกอบได้และโปรแกรมที่เขียนขึ้นสำหรับแสดงแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ได้ผลว่าของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ สามารถกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่านได้และสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.1\text{Y}_2\text{O}_3$ และ $(\text{Ba}_{0.4}\text{Sr}_{0.3}\text{Zn}_{0.3})\text{TiO}_3$ สามารถกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่านได้

เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Reiva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, Second edition, Mercel Dekker Inc., New York.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.
- Shail Upadhyay. 1997. Preparation and characterization of barium stannate BaSnO_3 . J. Mater. Sci. Lett., 16, 1330-1332.

Program LPF_or_HPF Test:

uses crt, graph;

var

grdrv, gmode, gerror, DV : integer;

ch : char;

const PA = \$0304;

Pcontrol = \$0307;

```

procedure axis;
var p,q : integer;
    tex : string;
begin
    grdrv:=detect; initgraph(grdrv, grmode,'c:\tp\bgi');
    setgraphmode(grmode);
    line(50,50,50,305) ; line(50,305,600,305);
    line(50,50,600,50) ; line(600,50,600,305);
    settextstyle(defaultfont, horizdir, 0);
    for p:= 50 to 600 do
    begin
        if p mod 32 = 0 then
            begin
                line(p+18,295,p+18,305); str(round(p/32-1),tex);
                outtextxy(p+18,320,tex);
            end;
        end;
        settextstyle(defaultfont, horizdir, 0);
        for q:= 50 to 305 do
        begin
            if q mod 51 = 0 then
                begin
                    line(45,q,55,q); str(((305-q) mod 5)+1, tex); outtextxy(20,q, tex);
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

procedure plot;
var l, j, x, y, DV : integer;
    AV : real;
Begin
    outtextxy (180,10,'FILTERED VOLTAGE VS TIME GRAPH FOR LPF TEST ');
    outtextxy (180,18, '_____');

```

```
outtextxy (50,30, ' Filtered Voltage (V) ');
outtextxy (540,340,' Time (s) ');
outtextxy (48,303, '**');
begin
    port[Pcontrol] := $90;
    for j := 0 to 550 do
        begin
            DV := port[PA];
            AV := (5/255)*DV;
            x := j+50; y := 305-DV;
            lineto (x,y);
            delay(30);
        end;
    end;
    readln;
    closegraph;
end;
begin {main}
    repeat
        axis;
        plot;
        ch := readkey;
    until ord(ch) = 27;
end.
```

บทความที่ 25

**การทดสอบการแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าและการแปลง
แรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ ด้วยคอมพิวเตอร์**

**Frequency to voltage and voltage to frequency transformation test of
 $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ with computer**

บทความที่ 25

**การทดสอบการแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าและการแปลง
แรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ ด้วยคอมพิวเตอร์**
**Frequency to voltage and voltage to frequency transformation test
of $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ with computer**

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิและ นุชฌา เลิศเกิด²
Thongchai Panmatarith and Nutchana Iatkir²

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,
Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.
Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ แสดงการแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าและการแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ ดังนั้นมัน
จึงสามารถนำสารไปประยุกต์ใช้เป็นหัววัดความถี่ 1 kHz ถึง 14 kHz ที่แสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์

Abstract

The $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ sample showed frequency to voltage and voltage to frequency transformation. So, it
can be used as frequency sensor in the 1 kHz -14 kHz interval with computer displaying.

Key words : ferroelectrics, frequency sensor

บทนำ

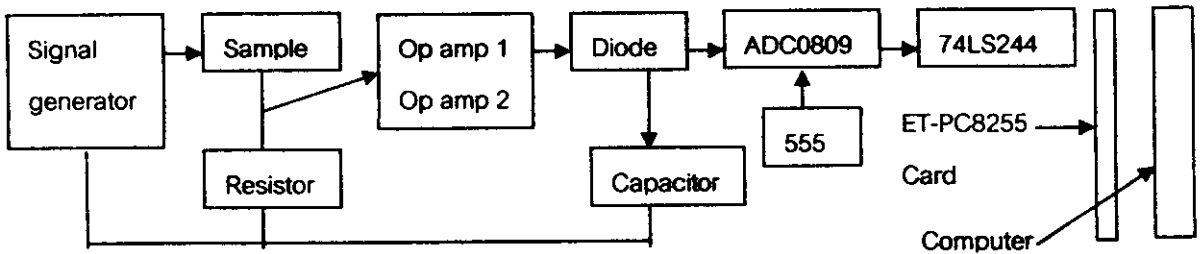
ผลของอิมพีแดนซ์ของสารที่ขึ้นกับความสามารถดัดแปลงสำหรับการทดลองการแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าและการแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ Shail Upadhyay (1997) ในประเทศอินเดียได้เตรียม BaSnO_3 วัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ความถี่และอุณหภูมิต่าง ๆ สารนี้สามารถนำไปใช้ทำอุปกรณ์ไดอิเล็กตริก (dielectric device) บทความนี้เป็นการศึกษาการทดสอบการแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าและการแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ด้วยคอมพิวเตอร์

วัตถุประสงค์และวิธีการ

เตรียมก้อนสารจากส่วนผสมของ $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ โดยวิธีเทคนิคเซรามิกส์มาตรฐาน อุณหภูมิการเผาที่ใช้เป็น 800°C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาเป็น $5^\circ\text{C}/\text{min}$

สารที่ใช้ทดลอง คือ $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ประกอบอุปกรณ์ลงบนโปรโตบอร์ดโดยอาศัยวงจรเชื่อมต่อที่ได้เตรียมไว้ดังรูปที่ 1 หลังจากนั้นก็ป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าไปในวงจร ตรวจสอบใช้งานได้ ถ้าวงจรใช้ได้ เมื่อเราปรับที่ VR 10 k Ω การติดดับของ LED จะเปลี่ยนไปมา เขียนโปรแกรมเฮกซ์ทุกด้วยภาษาเทอร์มินัลเพื่อให้ออกแรงดันไฟฟ้าออกทางพอร์ต B เป็นการตรวจสอบเพื่อให้ทราบว่าวงจรที่ต่อขึ้นใช้งานได้ สังเกตได้จากจากการติดดับของ LED ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากคอมพิวเตอร์เป็น 5 V LED จะติด แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากคอมพิวเตอร์เป็น 0 V LED จะดับ การนำแรงดันไฟฟ้าออกนอกคอมพิวเตอร์จะใช้คำสั่ง Port[PB]=0 สำหรับ 0 V และ Port[PB]=255 สำหรับ 5 V เขียนโปรแกรมอินพุตด้วยภาษาเทอร์มินัลเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถอ่านหรือรับแรงดันไฟฟ้าจากวงจรเชื่อมต่อแรงดันไฟฟ้าที่ปรับได้ด้วย VR 10 k Ω ถูกป้อนเข้าทางขา 26 (I₀) ของ ADC0809 แรงดันไฟฟ้าที่นี้เรียกว่า แรงดันอนาล็อก ADC0809 จะทำหน้าที่แปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิตอล (DV) วงจร IC555 จะทำหน้าที่ผลิตแรงดันรูปสี่เหลี่ยมแล้วส่งเข้าขา 10 ของ ADC0809 เพื่อให้ IC ตัวนี้ ทำงาน แรงดันดิจิตอลขนาด 8 บิต ถูกส่งผ่าน 74LS244 ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ (buffer) ใช้ LED 8 ตัว อ่านหรือแสดงแรงดันดิจิตอลที่เฮกซ์ทุก ของ 74LS244 แรงดันดิจิตอล 8 บิต ซึ่งก็คือ D7,D6,D5,D4,D2,D1,D0 นี้จะถูกส่งผ่าน ET-PC8255 Card โดยผ่านทางพอร์ต A ของ IC8255 แล้วถูกส่งต่อเข้าไปในแรม (RAM) การนำแรงดันไฟฟ้าจากวงจรเชื่อมต่อเข้าไปในคอมพิวเตอร์จะใช้คำสั่ง DV:=Port[PA] ใช้คำสั่ง writeIn(' ') ให้เครื่องแสดงค่าของ DV, AV หรือ f บนจอ ทำการปรับเทียบค่า (calibrate) เพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่อ่านความถี่โดยใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัดซึ่งทำได้โดยเริ่มจากป้อนแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าเข้าไปในวงจรที่ประกอบด้วยสารที่เตรียมได้ซึ่งต่ออนุกรมกับความต้านทาน x k Ω และขยายแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับความถี่ แปลงเป็นไฟฟ้าตรงด้วยไดโอดแล้วป้อนเข้าขา 26 (I₀) ของ ADC0809 เพื่อแปลง AV เป็น DV ส่งผ่าน 74LS244 และ ET-PC8255 Card เข้าไปใน RAM สั่งให้แสดงค่า DV บนจอ แปลง DV เป็น AV ด้วยคำสั่ง AV:=(5/255)*DV สั่งให้แสดงค่า AV บนจอ เพิ่มความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณโดยการอ่านความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า (f_{in}) และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร (AV) บนจอคอมพิวเตอร์

ในช่วงความถี่หนึ่ง นำค่า AV กับ f_{true} ไปเขียนกราฟและแสดงสมการ $f_{true} = f_n(AV)$ ด้วย EXCEL เขียนสมการความสัมพันธ์ของ f_{true} vs AV ลงในโปรแกรมควบคุมการวัด หลังจากนั้นก็สั่งให้โปรแกรมทำงานแล้วอ่านความถี่จากเครื่องจริง (f_{true}) กับความถี่จากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัด ($f_{measure}$) นำค่าทั้งสองไปเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่า เมื่อถึงขั้นตอนนี้ก็จะเสร็จสิ้นการปรับเทียบค่า เราจะได้เครื่องวัดความถี่ที่แสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์และใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัด

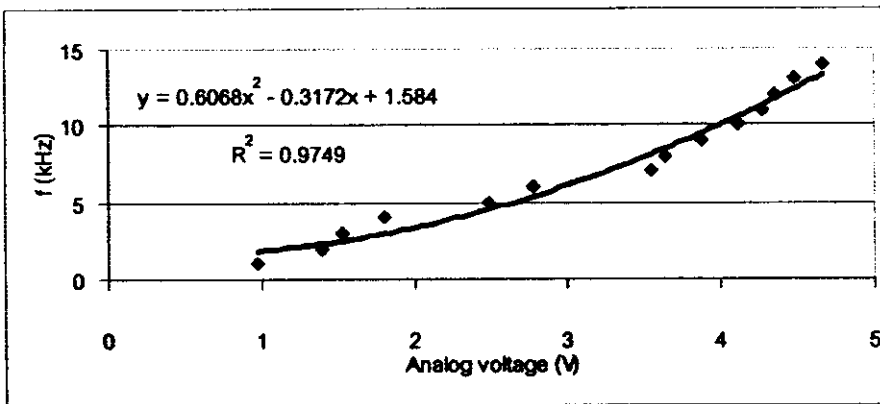


รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สำหรับให้คอมพิวเตอร์ให้ทำหน้าที่อ่านความถี่ของแรงดันไฟฟ้าโดยใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัด

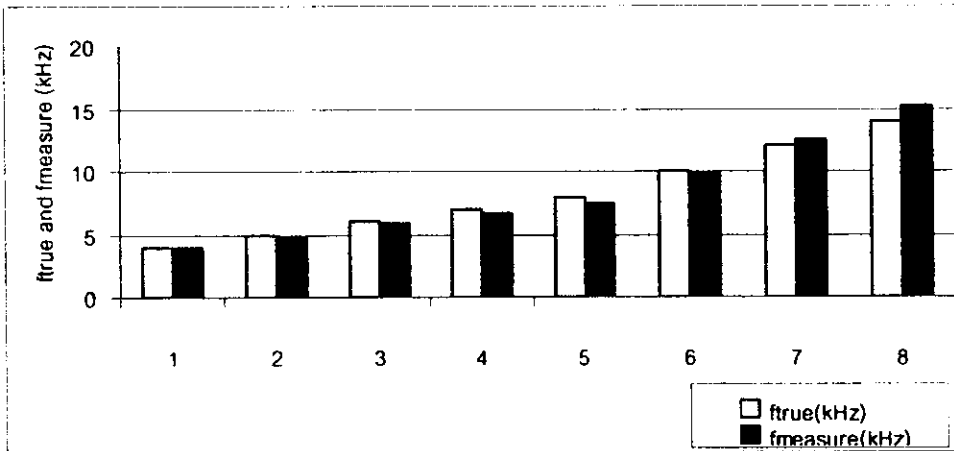
ผลการทดลอง

เฟสที่พบจากสารที่เตรียมมาจากส่วนผสมของ $Bi_2O_3 + Fe_2O_3$ หลังการเผา คือ $Bi_2Fe_4O_9$, $Bi_{46}Fe_{20}O_{72}$ และ $BiFeO_3$ (ปริมาณที่พบเรียงจากมากไปหาน้อย) ภาพถ่าย XRD ดูในภาคผนวก จ.

สารที่ใช้ทดลอง คือ $Bi_2O_3 + Fe_2O_3$ และ R ที่ใช้ $10\text{ k}\Omega$ ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับเทียบแสดงดังรูปที่ 2 ผลการเปรียบเทียบระหว่างความถี่ที่วัดได้ ($f_{measure}$) กับความถี่จริง (f_{true}) แสดงดังรูปที่ 3 สารจะตอบสนองได้ดีในช่วงความถี่ $f = 1-14\text{ kHz}$



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับเทียบของสาร $Bi_2O_3 + Fe_2O_3$



รูปที่ 3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างความถี่ที่วัดได้ (fmeasure) กับความถี่จริง (ftrue) ของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$

วิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาผลการวัดการแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่พบว่าอิมพีแดนซ์ของสาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ที่ขึ้นความถี่ทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสารเปลี่ยนแปลงในขณะความถี่เปลี่ยนแปลง เมื่อทราบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่จากเครื่องจริง (ftrue) กับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสาร (AV) ของสาร ในช่วงความถี่ที่ต้องการศึกษาก็ให้นำสมการความสัมพันธ์นี้ใส่ลงในโปรแกรมแล้ว เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความถี่จากเครื่องจริง (ftrue) กับ ความถี่จากเครื่องสร้าง (fmeasure) ผลปรากฏว่าสารแสดงการแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า (frequency-to-voltage conversion) และการแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ (voltage-to-frequency conversion) สารสามารถนำไปทำเป็นหัววัดความถี่ (frequency sensor) ช่วงความถี่ที่วัดของสาร คือ 1 kHz ถึง 14 kHz ยังไม่มีผู้รายงานเกี่ยวกับการประยุกต์สารทั้งสองให้ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์วัดความถี่ แต่อย่างไรก็ตามงานที่ทำได้อาจจะต้องมีการพัฒนาต่อไปอีก

สรุปผลการทดลอง

สาร $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ สามารถทำหน้าที่การแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าและการแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ด้วยคอมพิวเตอร์ สารสามารถทำหน้าที่เป็นหัววัดความถี่ (frequency sensor) ที่แสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์

เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Reiva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, Second edition, Mercei Dekker Inc., New York.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.
- Shail Upadhyay. 1997. Preparation and characterization of barium stannate $BaSnO_3$, J. Mater. Sci. Lett., 16, 1330-1332.

ภาคผนวก

```

Program Frequency_Sensor_Testing;
uses crt;
var i, j, x, y, DV : integer;
    AV, f : real;
const PA = $0304;
    Pcontrol = $0307;
Begin
    clrscr;
    port[Pcontrol]:= $90;
    gotoxy(23,2): writeIn('FREQUENCY MEASUERMENT');
    gotoxy(23,3): writeIn('-----');
    gotoxy(31,8): writeIn(' * NAZIROH SUEREE * ');
    for i := 1 to 2550 do
    begin
        DV := port[PA];
        AV := (5/255)*DV;
        gotoxy(30,16): writeIn(' Analog Voltage = 'AV:3:2, ' V');
        f=1.4876*exp(0.6261*AV);
        gotoxy(28,20): writeIn(' Mreasured frequency = 'f:3:2, ' Hz');
        delay100);
    end;
end.

```

บทความที่ 26

การวัดอุณหภูมิที่ขึ้นกับกำลังไฟฟ้าและการควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อน CuCrO_3 ด้วยคอมพิวเตอร์

Temperature-electric power measurement and control of CuCrO_3 heating material with computer

การควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อนCuO+0.5Cr₂O₃ ด้วยคอมพิวเตอร์

Control of CuO+0.5Cr₂O₃ heating material with computer

ธงชัย พันธเมธาฤทธิ¹ และ ฐิติรัตน์ ศรีสวัสดิ์²

Thongchai Panmatarith and Thitirat Srisawat²

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้สร้างระบบควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อน การควบคุมจะใช้ LM335 เป็นหัววัดอุณหภูมิและคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมหลัก อุณหภูมิของสารที่ได้ทดลองควบคุมให้คงที่ได้ค่าประมาณ 40 °C ระบบนี้สามารถควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อนในช่วง 25-100 °C

Abstract

Temperature measurement and control of heating material with computer was constructed. LM335 was used as temperature sensor and computer used as main controller. The sample temperature that was controlled at constant temperature of about 40 °C. This system can control heating material temperature in the 25-100 °C range.

Key words : heating material, temperature control

บทนำ

การวัดและควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อนจะใช้คอมพิวเตอรืและโปรแกรมที่เขียนขึ้น หัววัดอุณหภูมิใช้ LM335 การใช้ไฟฟ้าไปยังสารให้ความร้อนจะใช้แวลริแอดค (variac) กับหม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) Reznikov (1997) ได้สร้างตัวควบคุมอุณหภูมิที่โปรแกรมได้จากไมโครโปรเซสเซอร์ สำหรับใช้งานกับเตาหลอมไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ Kaluyugavaraden (1997) ในประเทศอินเดีย ได้พัฒนาตัวควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อนที่โปรแกรมได้ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และใช้หัววัด RTD (temperature dependent resistor) Ciefi (2000) ในประเทศอิตาลี ได้ออกแบบเตาอบที่มีการควบคุมอุณหภูมิเสถียรภาพสูง

บทความนี้เป็นการศึกษาการวัดและควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อนด้วยคอมพิวเตอรื

วัตถุประสงค์และวิธีการ

1. เตรียมสาร

เตรียมสารจากส่วนผสมของ $\text{CuO}+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ อุณหภูมิการเผาที่ใช้เป็น $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาเป็น $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$

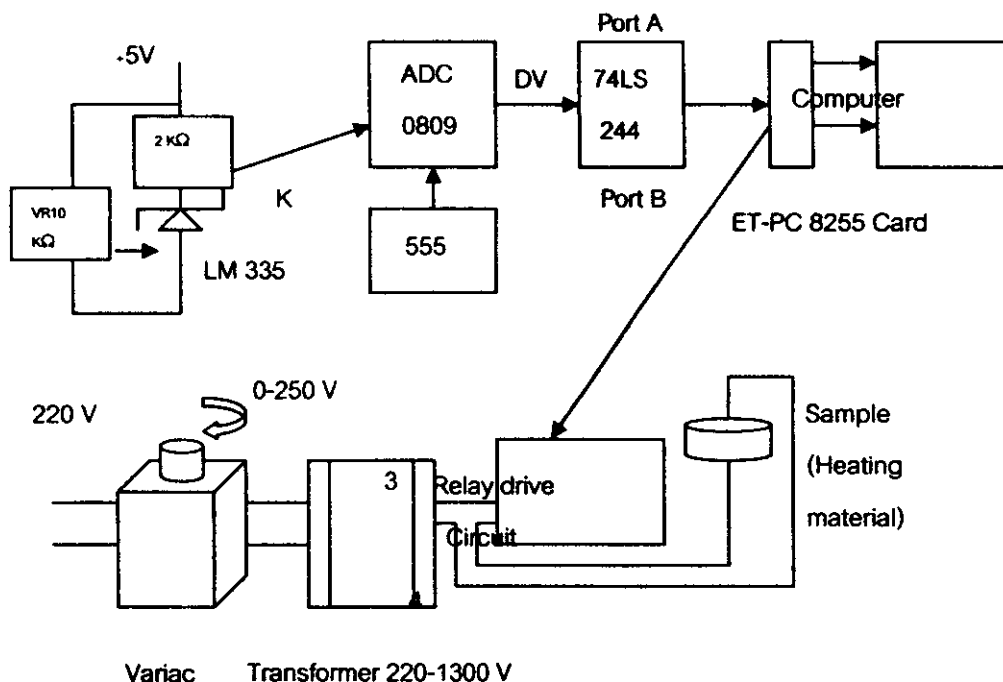
2. การวัดและการควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อน $\text{CuO}+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ ด้วยคอมพิวเตอรื

1) จัดเตรียมวงจรเชื่อมต่อสำหรับให้คอมพิวเตอรืควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อน $\text{CuO}+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ ดังรูปที่ 2

2) เขียนโปรแกรม

3) สั่งให้คอมพิวเตอรืทำงานตามโปรแกรม (RUN) คอมพิวเตอรืจะส่งแรงดัน 5 V มายังวงจรรับรีเลย์ สวิตช์ชั่วคราว 3 ต่อกับ 4 ต่อกัน กระแสไฟฟ้ามาจากแวลริแอดคซึ่งผ่านหม้อแปลงมาแล้วจะไหลผ่านสารให้ความร้อน สารร้อนขึ้น LM335 อ่านอุณหภูมิของสาร ส่งแรงดันไฟฟ้าจากหัววัดนี้เข้าทางขา 26 (Io) ของ ADC0809, ไอซี ADC0809 จะทำหน้าที่แปลงแรงดันอนาลอก (AV) เป็นแรงดันดิจิทัล (DV) แรงดันขนาด 8 บิต ถูกส่งผ่าน 74LS244 ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ส่งแรงดันดิจิทัล 8 บิต D7, D6, D5, D4, D3, D2, D1, D0 นี้ไปยัง ET-PC8255 Card ผ่านทางพอร์ต A ของ IC8255 แล้วเข้าไปในแรม สั่งให้แสดงค่า DV บนจอ แปลง DV เป็น AV แปลงแรงดัน AV ให้เป็นอุณหภูมิของสารให้ความร้อน (T) คอมพิวเตอรืจะส่งแรงดัน 0 V มายังวงจรรับรีเลย์ สวิตช์ชั่วคราว 3 ไม่ต่อกับ 4 ต่อกัน กระแสไฟฟ้าหยุดไหลผ่านสารให้ความร้อน สารเย็นขึ้น LM335 อ่านอุณหภูมิของสาร คอมพิวเตอรือ่านอุณหภูมิของสาร แล้วแสดงผลทางจอ ให้มีการจ่ายและหยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านสารเพื่อให้เกิดการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ อุณหภูมิคงที่ได้ตั้งไว้ในโปรแกรม ประมาณ $\frac{1}{2}$ ชั่วโมง

4) สั่งพิมพ์ภาพบนจอในขณะที่ระบบกำลังทำงาน



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมที่แสดงการให้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อน

ผลการทดลอง

1) ผลการตรวจสอบเฟส

เฟสของสารที่ถ่ายพบ คือ CuCrO_2 , CuO , CuCrO_3 , Cr_2O_3 (สารแรกมีปริมาณมากที่สุด) ภาพถ่าย XRD อยู่ในภาคผนวก ๑.

2) ผลการวัดและการควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อน $\text{CuO}+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ ด้วยคอมพิวเตอร์

อุณหภูมิของสารให้ความร้อนที่ได้ควบคุมให้คงที่ในระบอบทดสอบแสดงดังรูปที่ 3

HEATING MATERIAL CONTROL (25-100 C)

Setting Temperature = 40 °C

FURNACE START

Reading Temperature

DV = 159

AV = 3.118 V

T = 38.76 °C

รูปที่ 3 ภาพบนจอคอมพิวเตอร์ในขณะที่กำลังทดสอบ

วิเคราะห์ผลการทดลอง

อุณหภูมิของสารให้ความร้อนสามารถควบคุมให้คงที่ได้โดยใช้วงจรเชื่อมต่อกอมพิวเตอร์ได้ โดยอุณหภูมิตั้งให้ควบคุมเป็น $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิที่คอมพิวเตอร์ควบคุมได้ที่แสดงบนจอเป็น $38.76\text{ }^{\circ}\text{C}$ การทดลองเรื่องนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อน

สรุปผลการทดลอง

ได้ผลเกี่ยวกับการนำสารที่ได้เตรียมได้ให้ทำหน้าที่เป็นสารให้ความร้อนที่มีอุณหภูมิคงที่ การควบคุมอุณหภูมิได้ใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิแบบวงปิด (close loop control) ที่สร้างขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ ระบบการควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อนสามารถสร้างขึ้นมาเองโดยใช้อุปกรณ์ที่ทำซื้อได้ภายในประเทศ (ร้านจำหน่ายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่บ้านหม้อ) ส่วนเครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับทดสอบก็มีอยู่ทั่วไป ใช้ได้ตั้งแต่รุ่น 80286 จนถึง 80586 การเขียนโปรแกรมก็สามารถดัดแปลงได้ขึ้นอยู่กับเทคนิคการเขียนแต่ละคน ระบบควบคุมอุณหภูมิที่สร้างขึ้นนี้คาดว่าจะนำไปใช้สำหรับการทดลองที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อนในช่วง $25\text{-}100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในห้องปฏิบัติการได้ อุณหภูมิที่ควบคุมสามารถตั้งได้ที่โปรแกรม ระบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบไฟฟ้าได้

เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Relva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, Second edition, Mercel Dekker Inc., New York.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.
- Rakovszky, Gy., 1998. Ganz Ansaldo's microcomputer-based generator control systems. Mechatronics. 8: 13-20.
- Reznikov, Y. A., 1997. Programmable temperature control in an electric furnace for laboratory coking based on a microprocessor controller. Fuel and Energy Abstracts. 38: 219.
- Stankovic, D., 1994. A versatile computer controlled measuring system for recording voltage-current characteristics of various resistance sensors. Sensors and Actuators A:Physical. 42: 612-616.

```
Program Heating_Material_Temperature_Controller;
```

```
uses crt, graph;
```

```
var
```

```
  ch                : char;
```

```
  i, j, DV          : integer;
```

```
  AV, VT, T, Is     : real;
```

```
Const  PA          = $0300;
```

```
       PB          = $0301;
```

```
       Pcontrol    = $0303;
```

```
begin
```

```
  port[Pcontrol]:=90;
```

```
  clrscr;
```

```
  gotoxy(14,1); writeln('HEATING MATERIAL TEMPERATURE CONTROLLER (25-1200 C)');
```

```
  gotoxy(14,2); writeln('-----');
```

```
  gotoxy(25,4); writeln('Setting Temperature = ',Ts:3:0');
```

```
  gotoxy(50,4); writeln(' C ');
```

```
  gotoxy(47,4); readln('Ts');
```

```
  repeat
```

```
    gotoxy(33,12); writeln('HEATER START');
```

```
    port[PB]:=255;
```

```
    delay(round(60000));
```

```
    sound(1000); delay(10); nosound;
```

```
    gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
```

```
    DV:= port[PA];
```

```
    gotoxy(34,17);n writeln('DV = ',DV:3);
```

```
    AV:= (5/255)*DV;
```

```
    gotoxy(34,18); writeln('AV = ',AV:1:3, ' V');
```

```
    VT:=AV;
```

```
    T:=(VT-2.73)/(0.01);
```

```
    gotoxy(34,22); writeln('T = ',T:3:3);
```

```
    gotoxy(43,22); writeln(' C ');
```

```
    port[PB]:=0;
```

```

delay(10000);
sound(10000); delay(10); nosound;
until T>Ts;
for l:= 1 to 1500 do
begin
repeat
gotoxy(33,12); writeln(,HEATER START');
port[PB]:=0;
sound(900); delay(10); nosound;
gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
DV:= port[PA];
gotoxy(34,17);n writeln('DV = ',DV:3');
AV:= (5/255)*DV;
gotoxy(34,18); writeln('AV = ',AV:1:3,' V ');
VT:=AV;
T:=(VT-2.73)/(0.01);
gotoxy(34,22); writeln('T = ',T:3:3');
gotoxy(43,22); writeln(' C ');
delay(5000);
sound(9000); delay(10); nosound;
until T<Ts-1;
repeat
port[PB]:=255;
sound(5000); delay(90); nosound;
gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
DV:= port[PA];
gotoxy(34,17);n writeln('DV = ',DV:3');
AV:= (5/255)*DV;
gotoxy(34,18); writeln('AV = ',AV:1:3,' V ');
VT:=AV;
T:=(VT-2.73)/(0.01);
gotoxy(34,22); writeln('T = ',T:3:3');

```

```
gotoxy(43,22); writeln(' C ');
```

```
delay(5000);
```

```
until T>Ts;
```

```
begin
```

```
gotoxy(37,23); writeln('HEATER OFF');
```

```
gotoxy(39,24); writeln('END');
```

```
delay(25000);
```

```
end.
```