

7. เทอร์มิสเตอร์แบบ PTC (PTC thermistor)

7.1 การวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC

บทความ การวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $\text{SnO}_2+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ ด้วยโปรแกรมเทอร์โมปาสคาล

Resistance-temperature measuring of $\text{SnO}_2+0.5\text{Cr}_2\text{O}_3$ with Turbo Pascal Program

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์¹

Thongchai Panmatarith

ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา

90112 ประเทศไทย

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

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

บทนำ

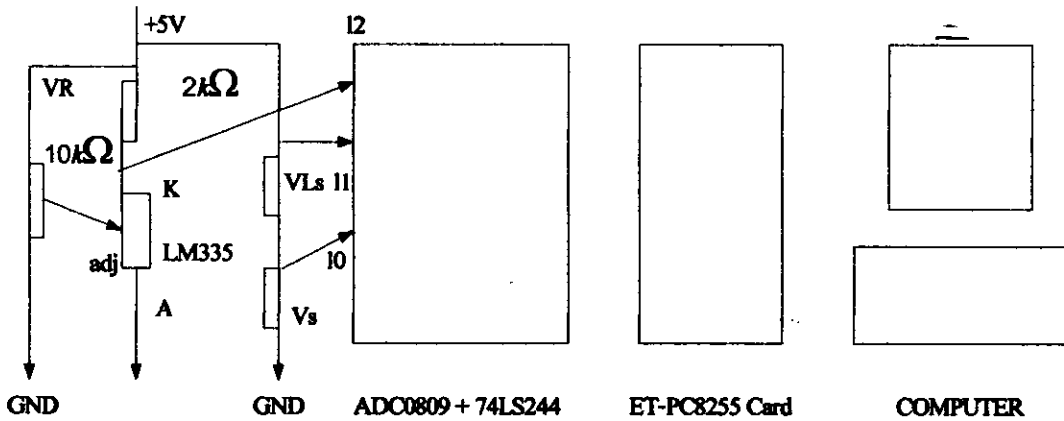
เทอร์มิสเตอร์แบบ PTC เป็นตัวต้านทานที่มีความต้านทานเพิ่มขึ้นขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำมาจาก BaTiO_3 +ตัวเติม สาเหตุที่ความต้านทานเพิ่มขึ้นในขณะอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิดจากบริเวณขอบเขตของเกรนจับอิเล็กตรอนไว้ ส่งผลทำให้กระแสไฟฟ้าลดลง ความต้านทานจึงเพิ่มขึ้น หัววัดอุณหภูมิเป็น LM335 ซึ่งทำมาจากสารกึ่งตัวนำ 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) มันสามารถควบคุมโปรแกรม (program) สำหรับวงรอบ (cycle) ที่ใช้เวลา 259 นาที มันควบคุมอุณหภูมิทั้งที่ผนัง (wall) และภายใน (inside)

บทความนี้เป็นการศึกษาความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซีด้วยคอมพิวเตอร์

วัตถุประสงค์ อุปกรณ์และวิธีการ

- 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 7.1.1)
- 3) เขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาเทอร์โบปาสคาลสำหรับการวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของ PTC ในรูปของกราฟ (graph)
- 4) ป้อนแรงดัน V_s เข้า I_0 และ V_L s เข้า I_1 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 V_T ส่งเข้า I_2 ของ ADC0809 ใช้ ADC0809 แปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิทัล (DV) ส่งผ่านบัฟเฟอร์ 74LS244 และ ET-PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์ สั่งให้คอมพิวเตอร์แปลงแรงดัน V_T ให้เป็นอุณหภูมิ T สั่ง RUN อ่านค่าความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิมินจอคอมพิวเตอร์และให้คอมพิวเตอร์พิมพ์ข้อมูล (R และ T) และกราฟ R vs T พิมพ์กราฟ หาสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านที่เป็นบวก (α) จากเส้นกราฟนี้



รูปที่ 7.1.1 การใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ

```

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\bgi');
    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;
end;

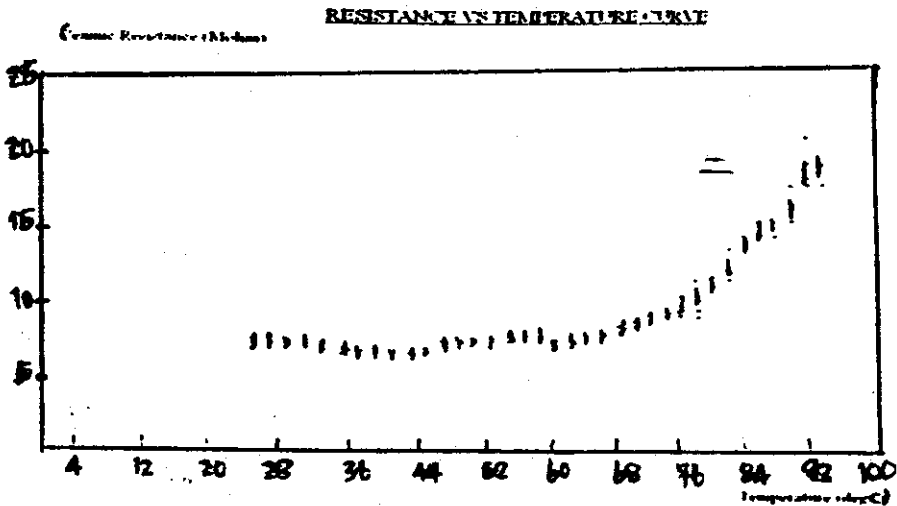
```

```

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

ผลการทดลอง

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



รูปที่ 7.1.2 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

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

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

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

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

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

สรุปการทดลอง

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

เอกสารอ้างอิง

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.

บทความ การวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซีเชิงการค้า ด้วยโปรแกรมวิซวลเบสิก

Resistance-temperature measuring of commercial PTC thermistor with Visual Basic Program

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์

Thongchai Panmatarith

ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112 ประเทศไทย

บทคัดย่อ

เทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซีเชิงการค้าแสดงปรากฏการณ์ PTC ในช่วง 25-90°C ได้ใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์นี้

Abstract

The commercial PTC thermistor showed PTC effect in the 25-90°C range. Computer was used for measuring the resistance dependence on temperature of this thermistor.

Key words : PTC thermistor

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

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

E-mail : tongchai.p@psu.ac.th

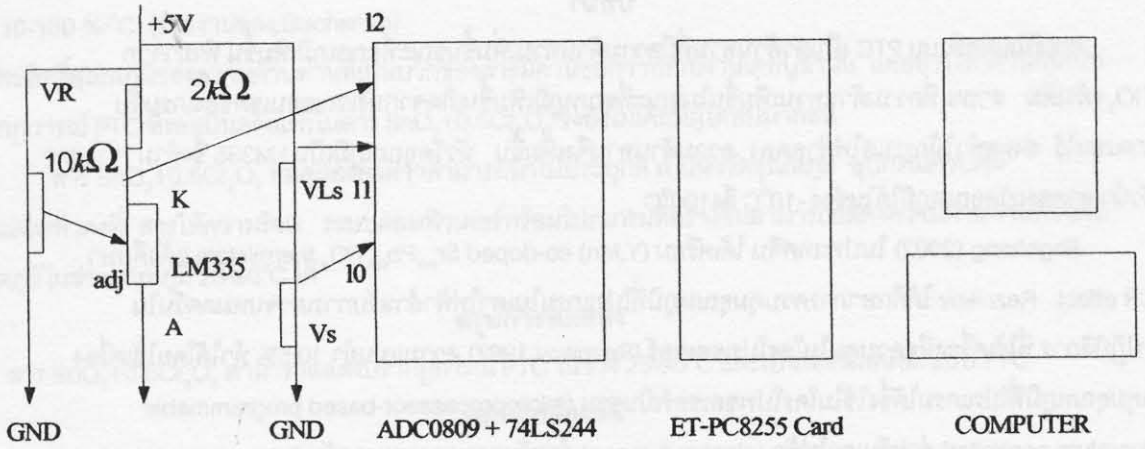
บทนำ

เทอร์มิสเตอร์แบบ PTC เป็นตัวต้านทานที่มีความต้านทานเพิ่มขึ้นขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำมาจาก $BaTiO_3$ +ตัวเติม สาเหตุที่ความต้านทานเพิ่มขึ้นในขณะอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิดจากบริเวณขอบเขตของเกรนจับอิเล็กตรอนไว้ ส่งผลทำให้กระแสไฟฟ้าลดลง ความต้านทานจึงเพิ่มขึ้น หัววัดอุณหภูมิเป็น LM335 ซึ่งทำมาจากสารกึ่งตัวนำ สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง $-10^{\circ}C$ ถึง $100^{\circ}C$

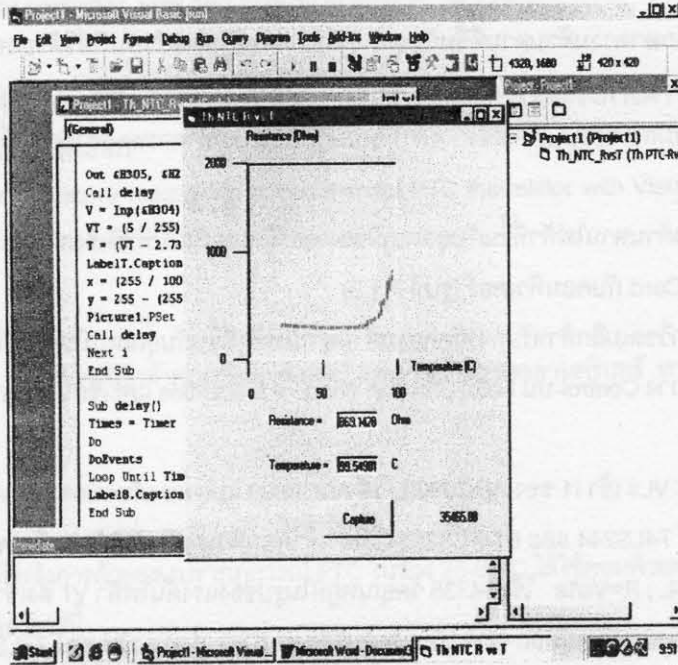
Jingchang (2002) ในประเทศจีน ได้เตรียม (Y,Mn) co-doped $Sr_{0.5}Pb_{0.5}TiO_3$ thermistors แล้วศึกษา PTCR effect Reznikov ได้ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิที่โปรแกรมในเตาไฟฟ้าสำหรับการเผาจนหมดควันในห้องปฏิบัติการ ที่ใช้เครื่องมือควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์ (Reznikov, 1997) ความแม่นยำ 10.5% ทำได้โดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิที่โปรแกรมได้ซึ่งใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นฐาน (microprocesseor-based programmable temperature controller) สำหรับเตาไฟฟ้า (electric furnace) สำหรับการเผาจนหมดควัน (laboratory coking) มันสามารถควบคุมโปรแกรม (program) สำหรับวงรอบ (cycle) ที่ใช้เวลา 259 นาที มันควบคุมอุณหภูมิทั้งที่ผนัง (wall) และภายใน (inside)

บทความนี้เป็นการศึกษาความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซีด้วยคอมพิวเตอร์
วัตถุประสงค์และวิธีการ

- 1) วัดความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซีเชิงการค้าที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการทดลองด้วยเครื่อง Dual display multimeter (Fluke 45)
- 2) ให้ประกอบวงจรที่วัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซีเชิงการค้าเชื่อมต่อกับ ADC0809 และ ET-PC8255 Card กับคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 7.1.3)
- 3) เขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาวิซลเบสิกสำหรับการวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของ PTC ในรูปของกราฟ (graph) วาง Control บน Form , กำหนด Window properties และเขียนโปรแกรมด้วยภาษาวิซลเบสิก (รูปที่ 7.1.4)
- 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 $V_L = V_Ls - V_s$; $I_L = V_L / R_L$; $I_s = I_L$; $R = V_s / I_s$ ใช้ LM335 วัดอุณหภูมิในรูปของแรงดันไฟฟ้า VT ส่งเข้า I2 ของ ADC0809 ใช้ ADC0809 แปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิทัล (DV) ส่งผ่านบัฟเฟอร์ 74LS244 และ ET-PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์ ส่งให้คอมพิวเตอร์แปลงแรงดัน VT ให้เป็นอุณหภูมิ T สั่ง RUN อ่านค่าความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิจนจบคอมพิวเตอร์และให้คอมพิวเตอร์พิมพ์ข้อมูล (R และ T) และกราฟ R vs T พิมพ์กราฟ หาสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านที่เป็นบวก (α) จากเส้นกราฟนี้



รูปที่ 7.1.3 การจัดชุดการทดลองสำหรับการใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 7.1.3 Control บน Form สำหรับการใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ


```
'R vs T of PTC Thermistor
Private Declare Function Inp Lib "inpout32.dll"
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Integer
Private Declare Sub Out Lib "inpout32.dll"
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)
Public toggle As Boolean
```

```
Private Sub Command1_Click()
If toggle = True Then
Timer1.Enabled = False
toggle = False
Command1.Caption = "continue"
Else
Timer1.Enabled = True
toggle = True
Command1.Caption = "capture"
End If
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
Left = (Screen.Width - Width) / 2
Top = (Screen.Height - Height) / 2
Picture1.DrawWidth = 2
toggle = True
Out &H307, &H90
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Timer()
Picture1.Cls
For i = 1 To 25500
Out &H305, &H0 'Io
Call delay
Vs = Inp(&H304)
```

```
Out &H305, &H1 'I1
Call delay
VLs = Inp(&H304)
VL = VLs - Vs
RL = 78 'ohm
IL = VL / RL
R = Vs / IL
LabelR.Caption = R
Call delay
```

```
Out &H305, &H2 'I2
Call delay
V = Inp(&H304)
VT = (5 / 255) * V
T = (VT - 2.73) / (0.01)
LabelT.Caption = T
x = (255 / 100) * T
y = 255 - (255 / 2000) * R
Picture1.PSet (10 * x, 10 * y), vbGreen
Call delay
Next i
End Sub
```

```
Sub delay()
Times = Timer
Do
DoEvents
Loop Until Timer >= Times + 0.01
Label8.Caption = Timer
End Sub
```

ผลการทดลอง

ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซีเชิงการค้ำที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการทดลองซึ่งอ่านจากเครื่อง Dual display multimeter มีค่า $R = ??? \text{ M}\Omega$ ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้า (R) กับอุณหภูมิ (T) ของเทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซีเชิงการค้ำ (รูปที่ 7.1.3) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความต้านทานของสารมีค่าเพิ่มขึ้น

วิเคราะห์ผลการทดลอง

การที่ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซีเชิงการค้ำมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วง $25-90^{\circ}\text{C}$ แสดงว่าสารมีลักษณะเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC สารแสดงสมบัติ PTC สาเหตุที่ความต้านทานเพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิดจากบริเวณขอบเขตของเกรนจับอิเล็กตรอนไว้ จำนวนอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าลดลง สามารถอธิบายได้ว่า สถานะผู้รับอิเล็กตรอนในขอบเขตของเกรนและสถานะผู้ให้อิเล็กตรอน อิเล็กตรอนในแถบการนำภายในเกรนจะเคลื่อนที่ไปที่ขอบเขตของเกรน

เมื่อคำนวณสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นบวก (α) ด้วยสูตร

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

$$\alpha = ??? \% / ^{\circ}\text{C} \text{ (เทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซีเชิงการค้ำ)}$$

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

สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นบวกของสารมีค่าน้อยกว่าที่รายงานโดยบุชานัน แต่อย่างไรก็ตามมันเป็นปรากฏการณ์ PTC ที่พบเป็นครั้งแรกในเทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซีเชิงการค้ำซึ่งยังไม่เคยมีผู้ใดพบมาก่อน

เทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซีเชิงการค้ำที่ทดลองคาดว่าสามารถนำไปประยุกต์ เป็นหัววัดอุณหภูมิ อุปกรณ์ควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่ สารให้ความร้อน ระบบคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมที่สร้างขึ้นสามารถแสดงความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิ $25-90^{\circ}\text{C}$ ได้

สรุปผลการทดลอง

เทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซีเชิงการค้ำสามารถแสดงปรากฏการณ์ PTC ในช่วง $25-90^{\circ}\text{C}$ และเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC

เอกสารอ้างอิง

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

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

7.2 การให้เทอร์มิสเตอร์แบบ PTC ทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิ

บทความ การให้เทอร์มิสเตอร์แบบ PTC ทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิ

The new positive temperature coefficient effect based on $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ or $\text{ZrO}_2 + \text{MnO}_2$ material and used as temperature sensor

Thongchai Panmatarith [a], Chiraporn Sriprom [a] and Nanthida Sutthirawuth [b]

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

Materials Science Field [b], Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai 90112, Thailand.

ABSTRACT

The $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ (sample 1) and $\text{ZrO}_2+\text{MnO}_2$ (sample 2) materials were prepared by standard ceramic techniques and identified the phase by XRD techniques. The PTC effect was tested. The both samples were applied to be temperature sensor. The sample 1 exhibits PTC effect from 25 to 110 °C that the positive temperature coefficient of the resistance (α) was +183.24 %/°C. The maximum resistance was 22.24 $\text{M}\Omega$ at 110 °C. The sample 2 exhibits PTC effect from 25 to 130 °C that the positive temperature coefficient of the resistance (α) was +7.08 %/°C. The maximum resistance was 9.08 $\text{M}\Omega$ at 130 °C. The PTC effect was similar to barium titanate. The PTC effect in the $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ and $\text{ZrO}_2+\text{MnO}_2$ samples were discovered in the first time. The prepare samples and the temperature monitoring with computer system can measure the temperature in the range 25 °C to 65 °C (sample 1) and 25 °C to 85 °C (sample 2). The working temperature of these sensors are in the PTC region which are very sensitive to heat.

1. INTRODUCTION

The positive temperature coefficient (PTC) thermistor is the material which can transform temperature change into resistance change. This thermistor shows the semiconducting property. This ceramics is important for industrial work. The well-known PTC thermistors are BaTiO_3 -based materials which show PTC effect. T_c of BaTiO_3 is about 120-130 °C and is changed with dopant content. Dopant is added to BaTiO_3 for the changing of potential barrier at grain boundaries. Then the PTC behaviour is changed. This thermistor can be used as temperature sensor, constant temperature heater (PTC heater), honeycomb air heater (hair dryer), auto fuel evaporator, current limiter, circuit timer, sensor for motor protection, motor start assist and high temperature material.

Research groups that had studied the PTC thermistors as follows:

Klaus Dostert (1983) had report that PTC thermistor can be operated as thermostat for heat flowing [3].

Issa (1992) had prepared $\text{BaTiO}_3+0.4 \text{ mol}\% \text{Ho}_2\text{O}_3$ and the resistivity, dielectric constant, dissipation factor versus frequency and Curie temperature were measured for PTCR effect studying [4].

Masalu Miyayama (1992) in Japan, had prepared the $(\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x)(\text{Nb}_{0.003}\text{Ti}_{0.997})\text{O}_3 + 1 \text{ mol}\% \text{TiO}_2 + 0.07 \text{ mol}\% \text{MnO}$ ($x=0, 0.2$). The electrode was fabricated from silver paste. The resistance versus temperature was measured and applied to be infrared detector [5].

Padmini (1994) in India had prepared $\text{BaTiO}_3 + 0.3 \text{ at}\% \text{Nb}_2\text{O}_5$; $\text{BaTiO}_3 + 0.3 \text{ at}\% \text{Nb}_2\text{O}_5 + 0.2 \text{ at}\% \text{Bi}_2\text{O}_3$.

The resistivity versus dopant content, the resistivity versus temperature and the dielectric constant versus temperature were measured [6].

Hong-Yi Chang (1997) in Taiwan, had prepared $(\text{Sr}_{0.2}\text{Ba}_{0.8})\text{TiO}_3$ material was tested for PTC effect and Curie temperature (T_c) was measured [7].

Wang (1997) in China, had prepared $(\text{Sr,Pb})\text{TiO}_3$. The resistivity at different temperature and Curie temperature were measured. The PTCR value was calculated [8].

Shibagaki (1997) in Japan, had prepared Ca-doped SrTiO_3 capacitor and α was measured [9].

Xue (1997) in China, had prepared MnO-doped BaTiO_3 with Al_2O_3 , SiO_2 as the sintering-aid material and the PTC efficiency was studied [10].

Igor (1999) in Slovenia had found that the PTCR effect in TiO_2 -doped BaNb_2O_6 in the range 70 to 300 °C [11].

Al-Shahran (2000) in Saudi Arabia had prepared Ho-doped BaTiO_3 ceramics and Curie temperature is at 110 °C [12].

He (2000) in Singapore had reported about PTC effect in the $\text{Cr}/(\text{Ba,Pb})\text{TiO}_3$ material for overcurrent protection application. The structural model was used to explain the PTC effect [13].

Meier (2001) in England, had found that the PTC thermistor can be used as overtemperature protectors [14].

Jingchang (2002) in China, had prepared the (Y, Mn) co-doped $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$ thermistors and studied the PTCR effect [15].

The PTC effect in $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ and $\text{ZrO}_2+\text{MnO}_2$ samples has not reported by anyone. So, the PTC and ferroelectric results were not studied.

In this study, the $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ and $\text{ZrO}_2+\text{MnO}_2$ samples were prepared by the standard ceramic techniques and the sample phases were identified with XRD apparatus. The resistance versus temperature relation of the PTC effect was measured. The PTCR value was calculated. The sample was tested for the temperature sensor.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Preparation, phase identification and electroding of the samples

Samples were measured with standard ceramic techniques as shown in Figure 1 [2]. Sample formulas were selected. Sample 1 and sample 2 were named $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ and $\text{ZrO}_2+\text{MnO}_2$, respectively. Sample powders of Bi_2O_3 , Fe_2O_3 , ZrO_2 and MnO_2 with 99.5% purity were prepared. Sample powders were calculated and weighed. Powders were mixed with mortar and then mixed again by contain the powders in plastic can) and rotate with mixer. PVA (polyvinyl alcohol) and distilled water were added to the powders as a binder for forming granulation. This powders were taken in press mold and were pressed

with hydraulic pressor (Rlik 25 tons) into small discs. The one formular is composed of three 3 pellets. The pressed samples were dried for decreasing the sample humidity. The samples were fired with furnace that used temperature controller (FCR-13A-R/M) and type R thermocouple as a temperature sensor. The sample 1 was fired 2 times, the first firing was at 800 °C. The sample 2 was fired 2 times, the first firing was at 550 °C. The second firing of both samples were at 1200 °C. The reason for double firing because the melting point of Bi_2O_3 and MnO_2 are 822 °C and 535 °C, respectively. The second firing was done for atomic movement to form crystal structure. After the first firing, the sample was ground and pressed into the pellets before the second firing. The both samples used a heating rate of 5 °C/min and a soaking time of 1 h. Finally, we obtained the as-fired samples. The prepared samples were identified with XRD apparatus (X-ray diffractometer, Philip PW1730). The sample thickness and diameter were measured with micrometer. The samples were electroded with silver paste by smearing on to the surface, together the pin placing and fired at 120 °C for 20 min.

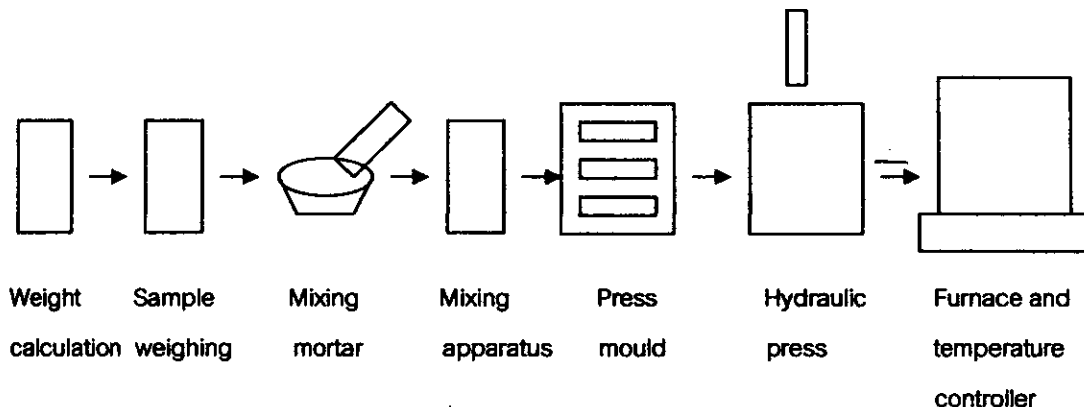


Figure 1 The sample preparation [2]

2.2 PTC property measurement

The sample was hold with the stand above the furnace about 0.5 cm for obtaining the proper temperature increasing rate as shown in Figure 2. The resistance (R) was measured with multimeter (Fluke 45) and temperature (T) with temperature apparatus (AVD M890C⁺). After that the sample temperature was increased slowly from 25 to 200 °C. The resistance and temperature were recorded and drawn the R vs T graph. The positive temperature coefficient of the resistance was calculated from the formula, $\alpha = (1/R)(dR/dT)$.

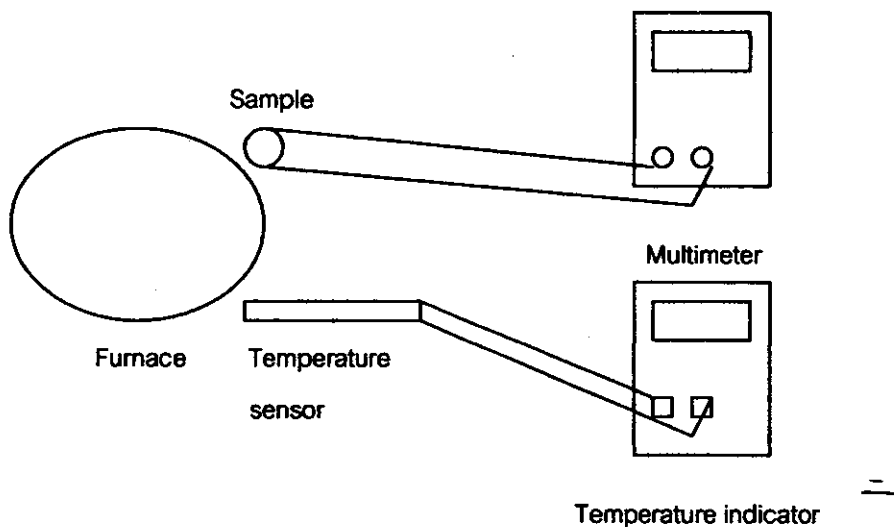


Figure 2 The experimental set up for the resistance versus temperature measurement

2.3 Temperature sensor testing

After the sample was measured for the temperature versus temperature relation, the samples were tested as the temperature sensor with the following steps :

- 1) Computer interfacing system for temperature measurement with the prepared sample as a temperature sensor was designed and constructed as shown in Figure 3. This system is composed of ADC0809, 74LS244, ET-PT8255 Card and computer. After that this circuit was tested for correct operation.

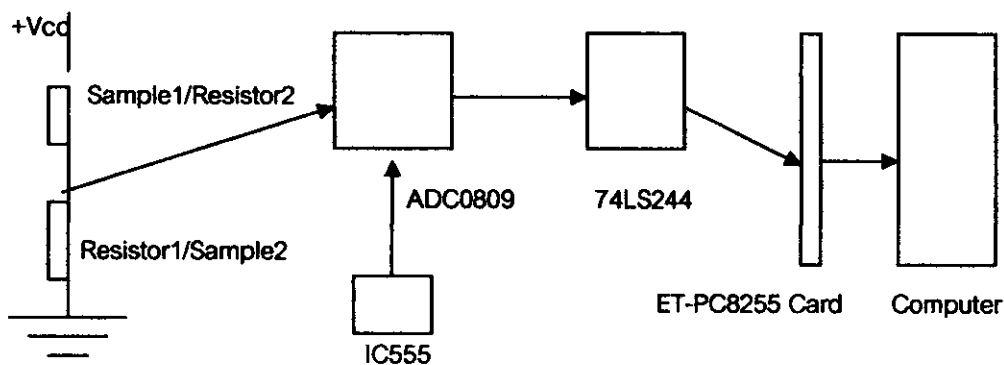


Figure 3 Block diagram for temperature measurement system with computer with the prepared sample as a temperature sensor

2) Measurement and control program was written and was calibrated for computer reading the temperature with the prepared sample using as a temperature sensor.

```

Program Temperature_Sensor_Testing;
uses crt ;
var i, j, x, y, DV : integer;
    AV, Ttrue : real;
const PA = $0304;
    Pcontrol = $0307;
begin
    clrscr;
    port[Pcontrol]:=$90;
    gotoxy(25,2); writeln('TEMPERATURE MEASUREMENT');
    gotoxy(25,3); writeln('.....');
    DV := 0 ; AV := 0 ; Ttrue := 0 ;
    for i := 1 to 255 do
    begin
        DV := port[PA];
        gotoxy(27,15); writeln('Digital Voltage =', DV := 3);
        AV := (5/225)*DV;
        gotoxy(27,20); writeln('Analog Voltage =', AV:3:2,'V');
        delay(100);
        Ttrue := (39.919*AV+5.5948);
        gotoxy(27,22); writeln('Measure Temperature =', Ttrue:3,'deg.C');
        delay(200);
    end;
end.

```

3) To do the instrument calibration, the electric current was supplied from a d.c. 5 V power supply through sample 1 and resistor1 (or resistor2 and sample 2). Then the sample was voltage dropped. This voltage (V) was supplied to ADC 0809 for conversion from analog voltage (AV) to digital voltage (DV). 74LS244 was used as a buffer. The voltage from this buffer was sent through port A of ET-PC8255 Card, slot and then to RAM. The voltage (DV) was read and displayed on the screen. The DV was converted to AV. The sample temperature was increased with the electric furnace. To do the calibration, the true temperature (Ttrue) was read with commercial temperature apparatus (Union 305) with type K thermocouple as a temperature sensor and the voltage drop on the resistor (AV) which relate to the sample was read from the value on the screen from 25 to 65 °C for the sample 1 and 25 to 85 °C for the sample 2. This data (Ttrue, AV) were recorded into the table and plotted with EXCEL. The Ttrue versus AV was obtained and then was written into this program.

After RUN, computer will read the temperature (T_{measure}). Final calibration step, the T_{true} and T_{measure} were read, recorded and plotted to be bar graph for comparison. Finally, we obtained the temperature apparatus with computer displaying and the prepared sample as a temperature sensor.

3. RESULTS

1. Sample phase

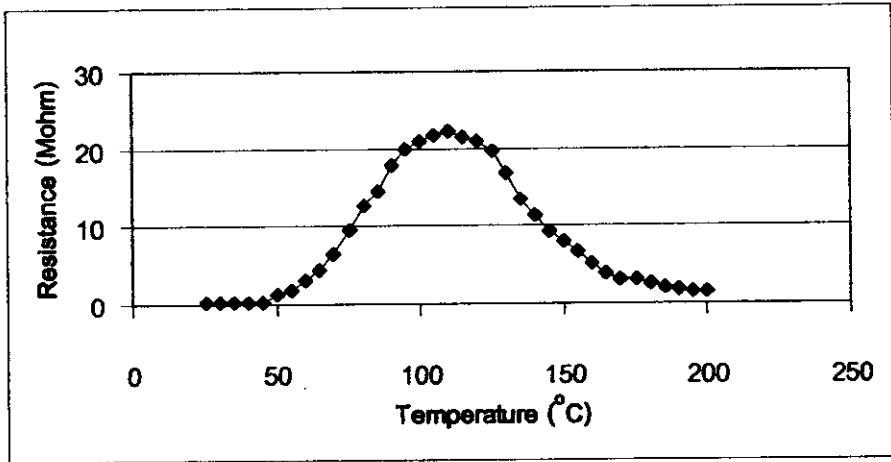
Composition formula and sample phase from XRD patterns were shown in Table 1.

Sample No.	Composition formula	Sample phase from XRD
1	$\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	BiFeO_3 , $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$
2	$\text{ZrO}_2 + \text{MnO}_2$	ZrO_2 , Mn_3O_4

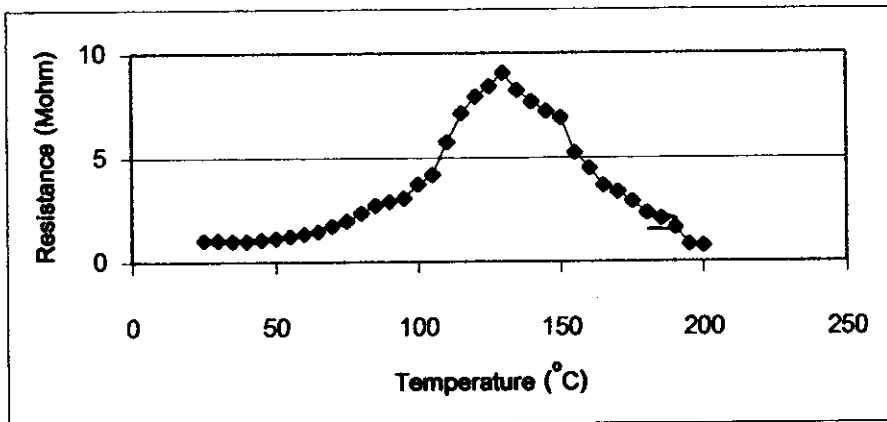
Table 1 Sample phase for the $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ and $\text{ZrO}_2 + \text{MnO}_2$ samples

2. The resistance versus temperature characteristics of the samples

The resistance versus temperature relation of the samples from 25 to 200 °C were shown in Figure 4. The resistance of the sample 1 was increased as the temperature increasing or showed the PTC effect from 25 to 110 °C and the resistance was decreased as the temperature increasing or showed NTC effect from 110 to 200 °C. But, the sample 2 showed PTC effect from 25 to 130 °C and NTC effect from 130 to 200 °C.



a) sample 1



b) sample 2

Figure 4 The resistance versus temperature of the sample 1 : $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$
and sample 2 : $\text{ZrO}_2+\text{MnO}_2$

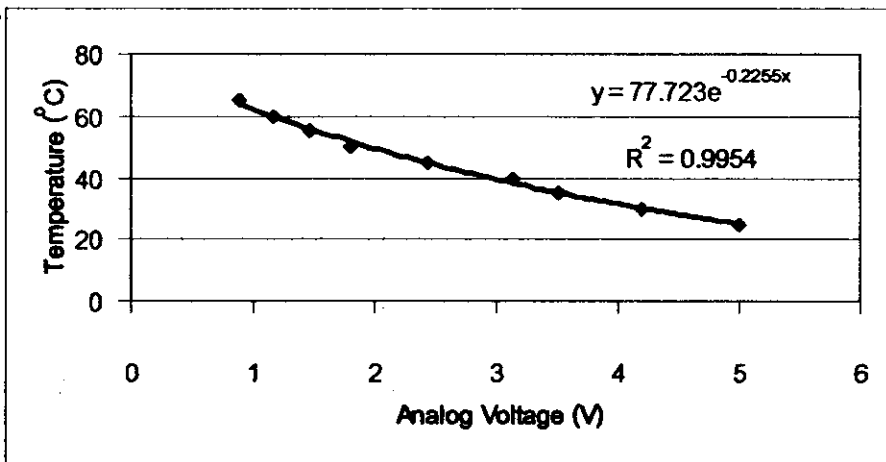
3. The constructed temperature apparatus with computer displaying and the prepared sample as a temperature sensor

The true temperature (T_{true}) and the voltage (AV) was shown in Figure 5 and correspond to the equation :

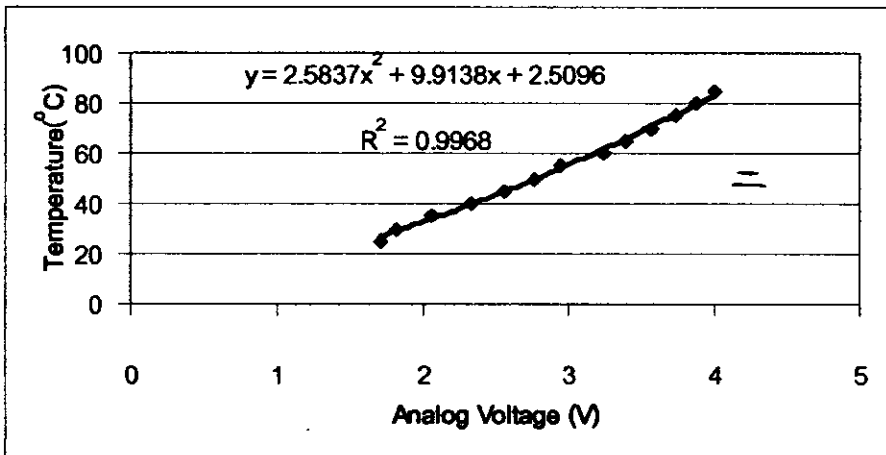
$$\text{Sample 1 : } T_{\text{true}} = 77.723e^{-0.2255(AV)}$$

$$\text{Sample 2 : } T_{\text{true}} = 2.5837(AV)^2 + 9.9138(AV) + 2.5096$$

The graph a and b have different slope because of the different connection of load resistor and sample in a series form as setting for input sensor in this system.



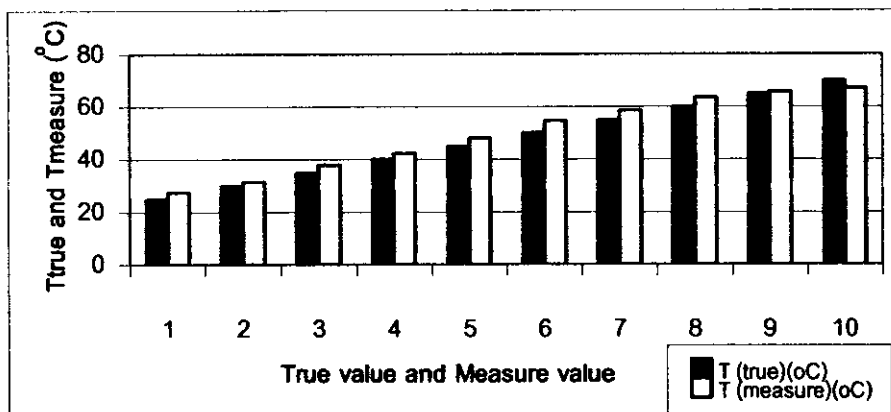
a) sample 1 (25-65 °C)



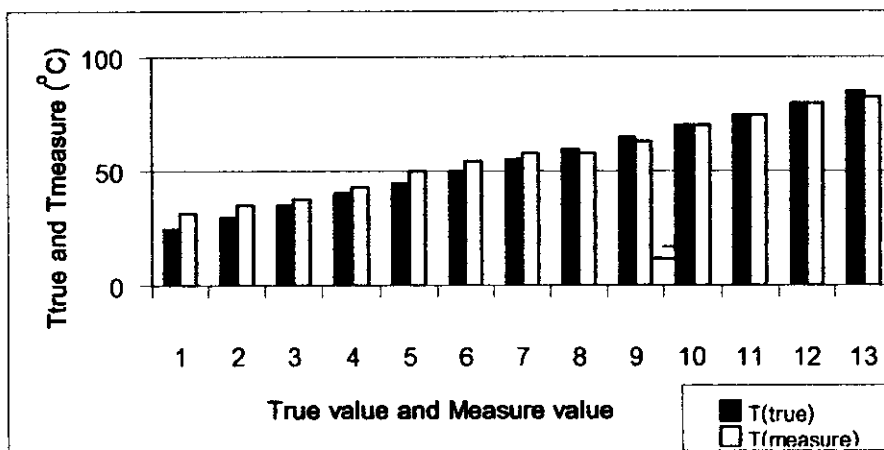
b) sample 2 (25-85 °C)

Figure 5 Temperature vs analog voltage of the $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ and $\text{ZrO}_2+\text{MnO}_2$ samples

This equation was used for calibration to use the prepared sample as a temperature sensor. Figure 6 showed the comparison between True temperature (T_{true}) and measure temperature (T_{measure}). From the picture, the sample 1 and 2 showed the physical properties of PTC thermistor and can be used as temperature from 25 to 65 °C and 25 to 85 °C.



a) sample 1 (25-65 °C)



b) sample 2 (25-85 °C)

Figure 6 Comparison between true temperature (T_{true}) and measured temperature ($T_{measure}$) of the $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ and $\text{ZrO}_2+\text{MnO}_2$ samples

4. DISCUSSION and CONCLUSION

The both samples were disc-shaped. The composition of the prepared sample were $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ and $\text{ZrO}_2+\text{MnO}_2$. The sample 1 was the two phase materials which composed of BiFeO_3 and $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$. The sample 2 was the two phase materials which composed of ZrO_2 and Mn_3O_4 . The MnO_2 was altered to be Mn_3O_4 due to the effect of firing.

The resistance of the sample 1 was to increase with increasing temperature. The sample exhibited PTC effect from 25 to 110 °C. The positive temperature coefficient of the resistance (α) was +183.24 %/°C in the 25 to 110 °C range. The relation between the resistance (R) and the temperature (T) corresponds to the equation : $R = 0.0031T^2 - 0.1007T - 0.4206$. But, the resistance of the sample was to decrease with increasing temperature from 110 to 200 °C. The sample exhibited NTC effect. The negative temperature coefficient of the resistance (α) was -1.16 %/°C in the 110 to 200 °C range. The relation between the resistance (R) and

the temperature (T) corresponds to the equation : $R = 0.0029T^2 - 1.1696T + 117.67$. The maximum resistance was $22.24 \text{ M}\Omega$ at 110°C .

The resistance of the sample 2 was to increase with increasing temperature. The sample exhibited PTC effect from 25 to 130°C . The positive temperature coefficient of the resistance (α) was $+7.08 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ in the 25 to 130°C range. The relation between the resistance (R) and the temperature (T) corresponds to the equation : $R = 0.0012T^2 - 0.1118T + 3.4894$. But, the resistance of the sample was to decrease with increasing temperature from 130 to 200°C . The sample exhibits NTC effect. The negative temperature coefficient of the resistance (α) was $-1.36 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ in the 130 to 200°C range. The relation between the resistance (R) and the temperature (T) corresponds to the equation : $R = 0.0007T^2 - 0.3647T + 44.385$. The maximum resistance was $9.08 \text{ M}\Omega$ at 130°C .

The positive temperature coefficient of the resistance of the PTC material which made from BaTiO_3 was the value range from $+10$ to $+100 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ [1-2]. When compared the PTC case, the α value of the sample 1 was higher than the BaTiO_3 and the sample 2 was lower than the BaTiO_3 . The sample 1 was thermal-sensitive than the sample 2.

The both prepared samples showed PTC effect. This PTC effect was similar to that occurred in PTC effect in BaTiO_3 [1-2]. The ferroelectric effect had not been studied. The PTC effect in the $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ and $\text{ZrO}_2 + \text{MnO}_2$ samples were discovered in the first time at material physics laboratory, department of physics, faculty of science, Prince of Songkla University, Thailand. The samples was a very sensitive to the temperature in the PTC region. So, the samples can be used as temperature sensor which are suitable to do the learning and teaching work. The prepare samples and the temperature monitoring with computer system can measure the temperature in the range 25°C to 65°C (sample 1) and 25°C to 85°C (sample 2). The working temperature of this sensors are in the PTC region which are very sensitive to heat.

The characteristics of the thermistors which made from this two materials were :

- 1) The firing temperature is not high which use only the low temperature furnace.
- 2) The samples have a good electrical stability ($\Delta R/\Delta t$).
- 3) The samples were not responsive to the light.
- 4) The samples were very sensitive to heat.
- 5) The shape of the resistance versus temperature curves were smooth.
- 6) The samples can be used as a temperature sensor that display with the computer.
- 7) The samples are semiconducting ceramics because they exhibit thermal sensing property.

So, this PTC materials are important for electronic industrial application and further research.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

This investigation was supported by Prince of Songkla University (PSU) and The National Research Council of Thailand (NRCT), Thailand. The authors wish to thank Miss Putsadee Muhamud for XRD measurements and analysis.

REFERENCES

- [1] Moulson, A.J. and Herbert, J.M., *Electroceramics*, Chapman & Hall, London, 1990.
- [2] Buchanan Reiva, C., *Ceramic materials for electronics*, second edition, Marcel Dekker Inc., New York, 1991.
- [3] Klaus Dostert, *Applications of self-heated PTC thermistors to flow and quality of heat measurements*, *Sensors and Actuators*, 1983 ; 3 : 159-167.
- [4] Issa, M. A. A., *Electrical properties of polycrystalline PTCR barium titanate*, *J. of Mater. Sci.*, 1992; 27 : 3685-3692.
- [5] Masalu Miyayama., *Infrared sensing properties of positive temperature coefficient thermistors with large temperature coefficient of resistivity*, *J. Mater. Sci.*, 1992; 27 : 127-132.
- [6] Padmini, P., *Influence of Bi³⁺ ions in enhancing the magnitude of positive temperature coefficients of resistance in n-BaTiO₃ ceramics*, *J. Mater. Sci. : Mater. In Elect.*, 1994; 5 : 203-209.
- [7] Horng-Yi Chang, *Electrical characteristics of (Sr_{0.2}Ba_{0.8})TiO₃ positive temperature coefficient of resistivity materials prepared by microwave sintering*, *J. Appl. Phys.*, 1995; 78(1) : 423-427.
- [8] Wang, D. J., *Preparation and electrical properties of semiconducting strontium-lead titanate PTCR ceramics*, *J. Mater. Sci. : Mater. In Elect.*, 1997; 8 : 271-276.
- [9] Shibagaki, S., *Calcium-doping effect on temperature coefficients of dielectric constants in SrTiO₃ capacitors*, *J. Mater. Sci.*, 1997; 32 : 1449-1453.
- [10] Xue, J., *Uniform incorporation of sintering aids and MnO in PTC BaTiO₃ by liquid phase coating*, *Ferroelectrics.*, 1997; 195 : 137-140.
- [11] Igor Z., *Preparation of PTCR ceramics in the BaO-Nb₂O₅-TiO₂ system*, *Journal of European Ceramic Society.*, 1999; 19 : 893-896.
- [12] Al-Shahran, A., *Positive temperature coefficient in Ho-doped BaTiO₃ ceramics*, *Journal of Physics and Chemistry of Solids.*, 2000; 61 : 955-959.
- [13] He, Z., *Structural model of Cr/(Ba,Pb)TiO₃ positive temperature coefficient composite*, *J. Mater. Sci. : Mater. In Elect.*, 2000; 11 : 235-238.
- [14] Meier, K., *PTC thermistor heating elements*, *Appliance.*, 2001; 58 : 64-66.
- [15] Jingchang, Z., *Study on the properties of (Y, Mn) co-doped Sr_{0.5}Pb_{0.5}TiO₃ thermistors*, *Materials Science and Engineering B.*, 2002; 94 : 202-206.