4. วัสดุเทอร์โมอิเล็กตริก (thermoelectric material)

4.1 การวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริก

บทความ การวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริกของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5 ด้วยโปรแกรมเทอร์โบปาสคาล

ธงชัย พันธ์เมธาฤทธิ์

Thongchai Panmatarith

ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112 ประเทศไทย

บทคัดย่อ

ได้ทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริกของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5 ด้วยโปรแกรมเทอร์โบปาสคาลเป็นผลสำเร็จ

Abstract

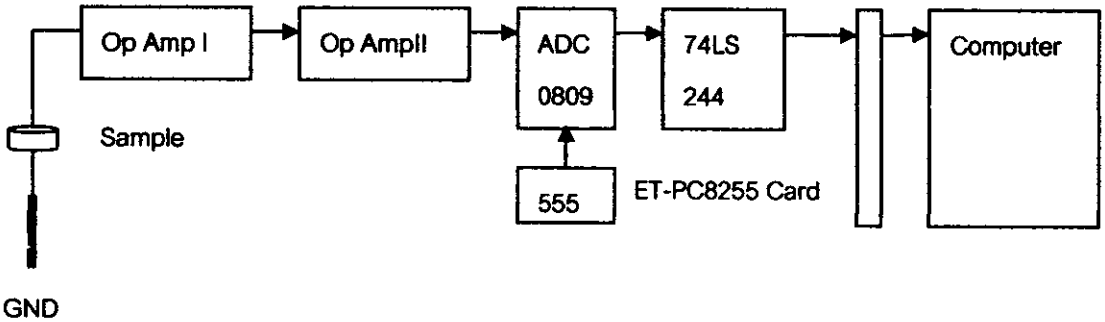
Voltage-Time characteristics of Fe_2O_3+Nb_2O_5's thermoelectric material was measured with Turbo Pascal Program suscessfully

คำนำ

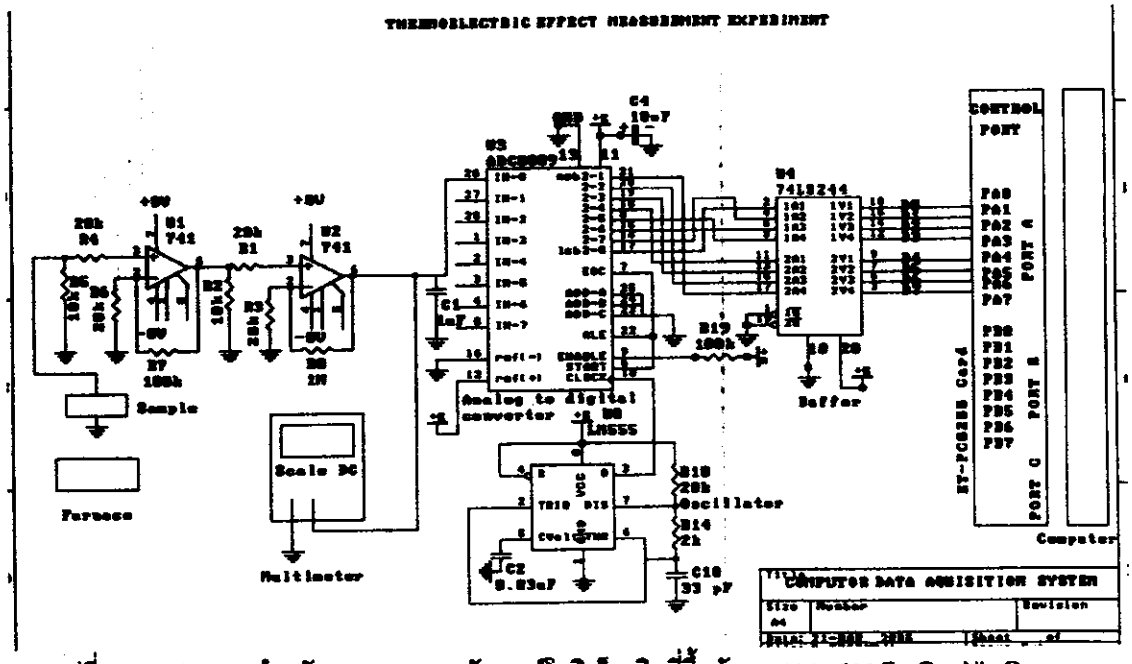
Tanaka (1997) ได้เตรียมวัสดุที่ทำมาจากสังกะสีออกไซด์ (ZnO-based materials) สำหรับศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กตริก (thermoelectric properties) Ravinder (1994) ได้เตรียม Mn-Zn ferrite ซึ่งมีสูตร $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ (x=0.2, 0.6 และ0.8) เผาที่อุณหภูมิ 1200°C ได้วัดแรงดันเคลื่อนไฟฟ้าความร้อน (thermo-emf) ที่อุณหภูมิต่างๆแล้วคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคหรือกำลังไฟฟ้าความร้อน สัมประสิทธิ์ซีเบค (α) มีค่าลดลงในขณะที่อุณหภูมิ (T) เพิ่มขึ้น และยังให้วัดสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารที่มีส่วนผสมต่างกันด้วย Tanaka (1997) ได้เตรียมวัสดุที่ทำมาจากสังกะสีออกไซด์ (ZnO-based materials) สำหรับศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กตริก (thermoelectric properties) Ravinder (1994) ได้เตรียม Mn-Zn ferrite ซึ่งมีสูตร $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ (x=0.2, 0.6 และ0.8) เผาที่อุณหภูมิ 1200°C ได้วัดแรงดันเคลื่อนไฟฟ้าความร้อน (thermo-emf) ที่อุณหภูมิต่างๆแล้วคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคหรือกำลังไฟฟ้าความร้อน สัมประสิทธิ์ซีเบคมีค่าลดลงในขณะที่อุณหภูมิ (T) เพิ่มขึ้น และยังให้วัดสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารที่มีส่วนผสมต่างกันด้วย

วิธีการทดลอง

ประกอบวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ตามบลอคไดอะแกรมตามรูปที่ 4.1.1 ลงบนPhotoboard แล้วทดสอบจนใช้งานได้



รูปที่ 4.1.1(ก) บลอคไดอะแกรมสำหรับการแสดงเส้นโค้งของแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกของสาร Fe_2O_3 + Nb_2O_5 ที่ขึ้นกับเวลาด้วยคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.1.1(ข) วงจรสำหรับการแสดงแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับเวลาของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5 ที่ขึ้นกับเวลาด้วยคอมพิวเตอร์

1) เขียนโปรแกรม

2) สั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงาน ความร้อนจากเตาไฟฟ้าทำให้มีปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กตริกเกิดขึ้นในสาร นำแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกนี้ไปขยายด้วยออพแอมป์สองครั้ง ส่งต่อไปยัง I_0 ของ ADC 0809 เพื่อแปลงแรงดันอนาลอกเป็นแรงดันดิจิตอล ส่งผ่านบัฟเฟอร์ (74LS244) และ ET-PC 8255 Card เข้าไปในคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะแสดงเส้นโค้งแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับเวลาแล้วสั่งให้พิมพ์เส้นโค้งที่แสดงปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กตริกนี้ออกทางเครื่องพิมพ์

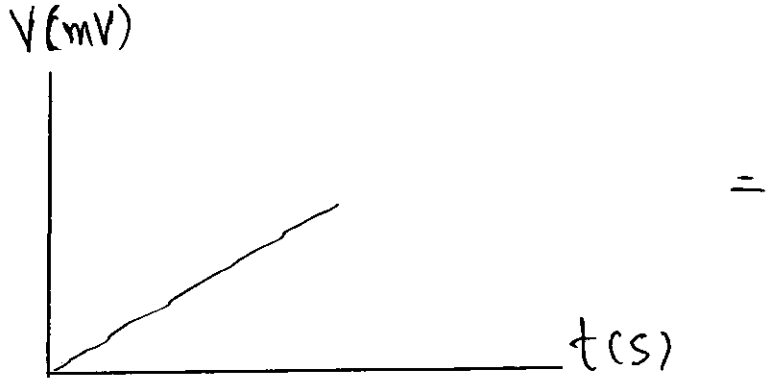
```
Program  Voltage_vs_Time_Graph_for_Thermoelectric material;
uses crt, graph;
var
        grdrv , grmode , grerror : integer;
        ch                       : char;
const  PA       = $0304;
       Pcontrol = $0307;
  Procedure  axis;
  var p , q : integer;
      tex   : string;
  begin
        grdrv:= 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); outtexbxy (p+18,320,tex);
          end;
        end;
        settextstyle(defaultfont, horizdir, 0);
        for q:=50 to 305 do
        begin
          line(45,q,55,q) ; str(((305-q) mod 5)+1),tex); outtexbxy(20,q,tex);
        end;
      end;
end;
procedure  plot;
var  I , x , y , DV  : integer;
     AV, V, C, q     : real;
begin
   outtexbxy (235,10,'THERMOELECTRIC VOLTAGE VS  TIME CURVE');
   outtexbxy (235,18,'-----------------------------------------------');
   outtexbxy (50,30, 'Voltage (V)');
   outtexbxy (540,340, 'Time  (s)');
   outtexbxy (48,303,'');
   begin
     port[Pcontrol] := $90;
     for I := 0  to  5500  do
     begin
          DV := port[PA];
          AV := (5/255)*DV;
          V:=AV;
          x :=j+50;  y:= 305-round((255/5)*V);
          lineto (x,y);          เขียนกราฟ V vs T บนจอ
          delay (30);
     end;
  end;
```

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

ผลการทดลอง

แรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับเวลาของสาร Fe_2O_3 + Nb_2O_5แสดงดังรูปที่ 4.1.2 จากรูปพบว่าเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลง แรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกมีค่าเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.1.2 ภาพบนจอคอมพิวเตอร์ที่แสดงแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาของสาร

วิเคราะห์ผลการทดลอง

แรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริกเกิดจากความร้อนทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากผิวร้อนไปสู่ผิวเย็น

สรุปผลการทดลอง

สาร Fe_2O_3 + Nb_2O_5 แสดงสมบัติเทอร์โมอิเล็กตริก แผงวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่ได้จัดเตรียมและโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถวัด แรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริก

เอกสารอ้างอิง

ธงชัย พันธ์เมธาฤทธิ์ ฟิสิกส์วัสดุอิเล็กโตรเซรามิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2548

Http://www.Ett.co.th, Manual of ET-PC8255 card, 2005-2007.

บทความ การวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริกของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5 ด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิก

ธงชัย พันธ์เมธาฤทธิ์[1] และ น.ส. สุจิตรา หนนท์[2]

Thongchai Panmatarith and Sujitra Hanon[2]

ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112 ประเทศไทย

บทคัดย่อ

ได้ทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริกของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5ด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิก เป็นผลสำเร็จ

Abstract

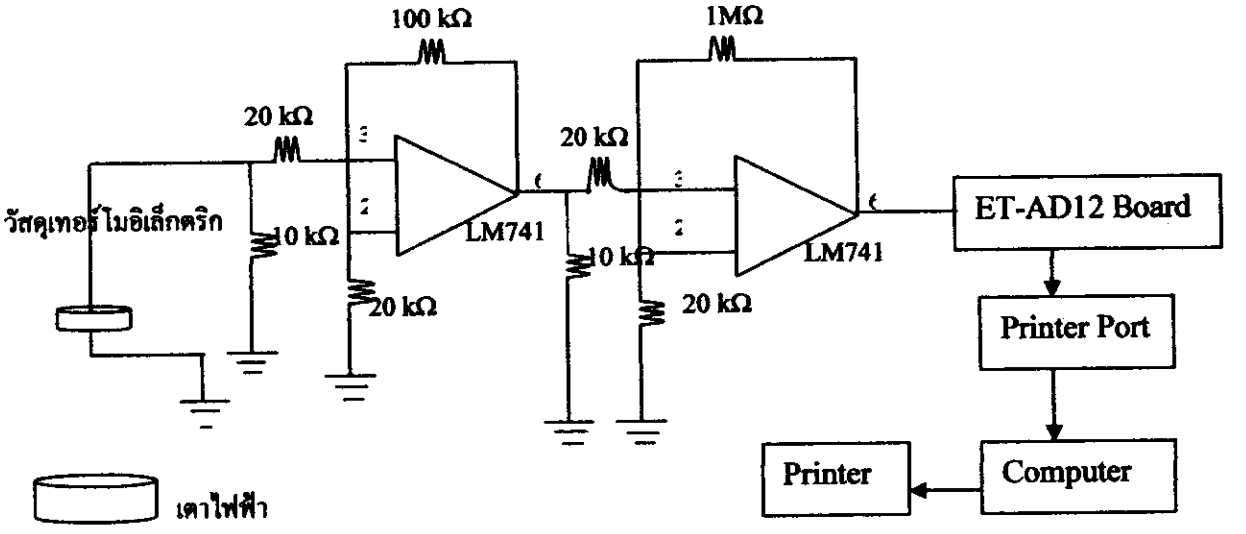
Voltage-Time characteristics of Fe_2O_3+Nb_2O_5's thermoelectric material was measured with Visual Basic Program suscessfully

คำนำ

Tanaka (1997) ได้เตรียมวัสดุที่ทำมาจากสังกะสีออกไซด์ (ZnO-based materials) สำหรับศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กตริก (thermoelectric properties) Ravinder (1994) ได้เตรียม Mn-Zn ferrite ซึ่งมีสูตร $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ (x=0.2, 0.6 และ0.8) เผาที่อุณหภูมิ 1200^{0}C ได้วัดแรงดันเคลื่อนไฟฟ้าความร้อน (thermo-emf) ที่อุณหภูมิต่างๆแล้วคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคหรือกำลังไฟฟ้าความร้อน สัมประสิทธิ์ซีเบค (α) มีค่าลดลงในขณะที่อุณหภูมิ (T) เพิ่มขึ้น และยังให้วัดสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารที่มีส่วนผสมต่างกันด้วย Tanaka (1997) ได้เตรียมวัสดุที่ทำมาจากสังกะสีออกไซด์ (ZnO-based materials) สำหรับศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กตริก (thermoelectric properties) Ravinder (1994) ได้เตรียม Mn-Zn ferrite ซึ่งมีสูตร $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ (x=0.2, 0.6 และ0.8) เผาที่อุณหภูมิ 1200^{0}C ได้วัดแรงดันเคลื่อนไฟฟ้าความร้อน (thermo-emf) ที่อุณหภูมิต่างๆแล้วคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคหรือกำลังไฟฟ้าความร้อน สัมประสิทธิ์ซีเบคมีค่าลดลงในขณะที่อุณหภูมิ (T) เพิ่มขึ้น และยังให้วัดสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารที่มีส่วนผสมต่างกันด้วย

วิธีการทดลอง

1) จัดเตรียมบอร์ดการทดลองดังรูปที่ 4.1.3



รูปที่ 4.1.3 แสดงการวัดการตอบสนองต่อรังสีอินฟราเรดของวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริก

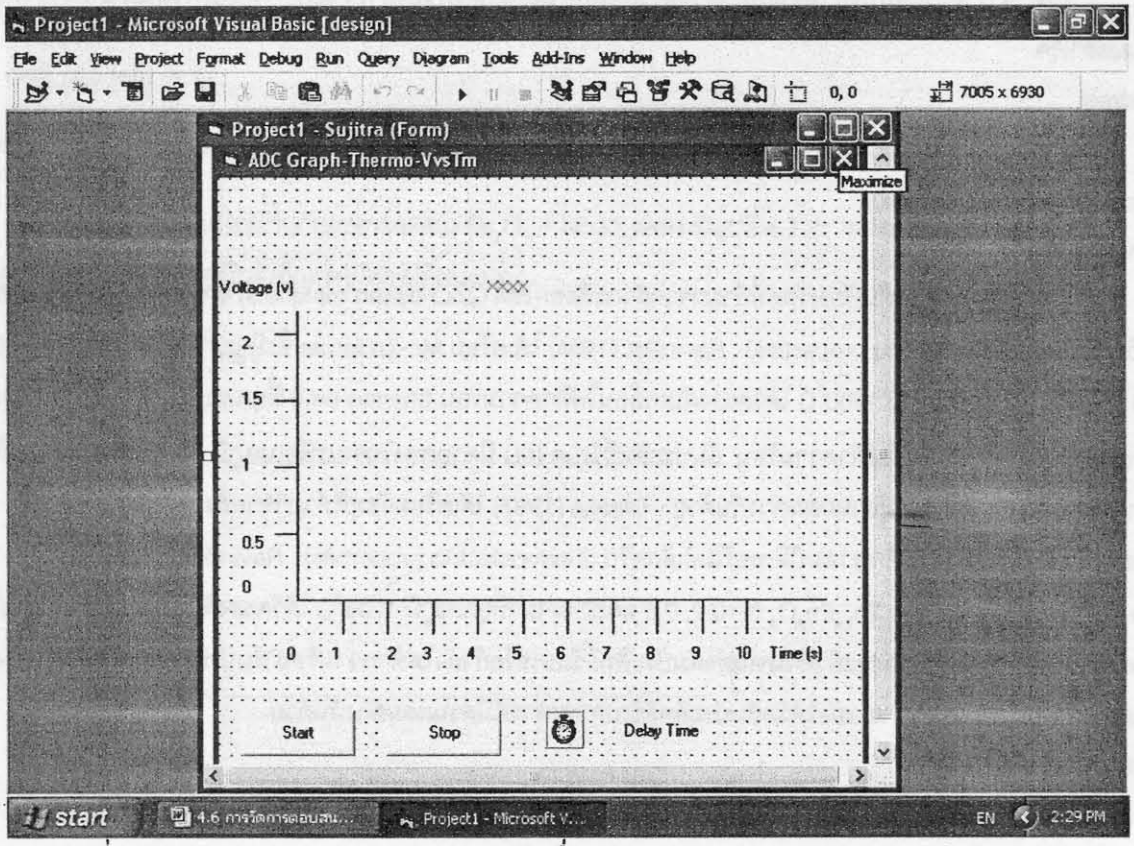
ความร้อนทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากผิวล่างไปยังผิวบน มีความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริก (V) เกิดขึ้น เนื่องจากแรงดันมีค่าต่ำในย่าน mV จึงต้องนำไปขยายด้วย Op Amp 741 เพื่อให้แรงดันในช่วง 0V ถึง 2V สั่งให้แสดงเส้นโค้งแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริก (V) ที่ขึ้นกับเวลา (f)

2) เขียนโปรแกรมสำหรับการวัดการตอบสนองต่อรังสีอินฟราเรดของวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริก

โดยใช้โปรแกรม Visual Basic

เปิด Visual Basic 6.0 แล้วเลือกสร้างแอพพลิเคชันแบบ Standard Exe

เมื่อปรากฏฟอร์มขึ้นให้ใส่คอนโทรลลงบนฟอร์มดังรูปที่ 4.1.4



รูปที่ 4.1.4 แสดงการวางคอนโทรลลงบนฟอร์มเพื่อแสดงการวัดการตอบสนองต่อความร้อนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริก

Properties Window

VERSION 5.00

Begin VB.Form Sujitra

Caption	=	"ADC Graph-Thermo-VvsTm By Sujitra"
ClientHeight	=	6375
ClientLeft	=	60
ClientTop	=	450
ClientWidth	=	6900
LinkTopic	=	"Form1"
ScaleHeight	=	8490

```
ScaleWidth      =  11880
StartUpPosition =  3  'Windows Default
Begin VB. Timer  Timer 1
      Interval      =  10
      Left          =  3480
      Top           =  5760
 End
 Begin  VB.CommandButton Command 2
      Caption       =  "Stop"
      Height        =  495
      Left          =  1800
      TabIndex      =  1
      Top           =  5760
      Width         =  1215
 End
 Begin  VB.CommandButton Command 1
      Caption       =  "Start"
      Height        =  495
      Left          =  240
      TabIndex      =  0
      Top           =  5760
      Width         =  1215
 End
 Begin  VB.Label  Label 20
      Caption       =  "0"
      Height        =  255
      Left          =  240
      TabIndex      =  21
      Top           =  4320
      Width         =  375
 End
 Begin  VB.Label  Label 19
      Caption       =  "0"
      Height        =  255
      Left          =  720
      TabIndex      =  20
```

```
    Top             =   5040
    Width           =   255
End
Begin VB.Label Label18
    Caption         =   "10"
    Height          =   255
    Left            =   5520
    TabIndex        =   19
    Top             =   5040
    Width           =   255
End
Begin VB.Label Label17
    Caption         =   "9"
    Height          =   375
    Left            =   5040
    TabIndex        =   18
    Top             =   5040
    Width           =   375
End
Begin VB.Label Label16
    Caption         =   "8"
    Height          =   255
    Left            =   4560
    TabIndex        =   17
    Top             =   5040
    Width           =   375
End
Begin VB.Label Label15
    Caption         =   "7"
    Height          =   255
    Left            =   4080
    TabIndex        =   16
    Top             =   5040
    Width           =   255
End
Begin VB.Label Label14
```

```
    Caption         =  "6"
    Height          =  375
    Left            =  3600
    TabIndex        =  15
    Top             =  5040
    Width           =  255
End
Begin VB.Label Label13
    Caption         =  "5"
    Height          =  255
    Left            =  3120
    TabIndex        =  14
    Top             =  5040
    Width           =  255
End
Begin VB.Label Label12
    Caption         =  "4"
    Height          =  255
    Left            =  2640
    TabIndex        =  13
    Top             =  5040
    Width           =  255
End
Begin VB.Label Label11
    Caption         =  "3"
    Height          =  255
    Left            =  2160
    TabIndex        =  12
    Top             =  5040
    Width           =  135
End
Begin VB.Label Label10
    Caption         =  "2"
    Height          =  255
    Left            =  1800
    TabIndex        =  11
```

```
    Top             =  5040
    Width           =  135
End
Begin VB.Label Label 9
    Caption         =  "1"
    Height          =  255
    Left            =  1200
    TabIndex        =  10
    Top             =  5040
    Width           =  255
End
Begin VB.Line Line 17
    X1              =  5640
    X2              =  5640
    Y1              =  4560
    Y2              =  4920
End
Begin VB.Line Line 16
    X1              =  5160
    X2              =  5160
    Y1              =  4560
    Y2              =  4920
End
Begin VB.Line Line 15
    X1              =  4680
    X2              =  4680
    Y1              =  4560
    Y2              =  4920
End
Begin VB.Line Line 14
    X1              =  4200
    X2              =  4200
    Y1              =  4560
    Y2              =  4920
End
Begin VB.Line Line 13
```

```
    X1              =   3720
    X2              =   3720
    Y1              =   4560
    Y2              =   4920
End
Begin VB.Line Line 12
    X1              =   3240
    X2              =   3240
    Y1              =   4560
    Y2              =   4920
End
Begin VB.Line Line 11
    X1              =   2760
    X2              =   2760
    Y1              =   4560
    Y2              =   4920
End
Begin VB.Line Line 10
    X1              =   2280
    X2              =   2280
    Y1              =   4560
    Y2              =   4920
End
Begin VB.Line Line 9
    X1              =   1800
    X2              =   1800
    Y1              =   4560
    Y2              =   4920
End
Begin VB.Line Line 8
    X1              =   1320
    X2              =   1320
    Y1              =   4560
    Y2              =   4920
End
Begin VB.Line Line 7
```

```
    X1              =   860
    X2              =   860
    Y1              =   4560
    Y2              =   4580
End

Begin VB.Line Line 6
    X1              =   880
    X2              =   880
    Y1              =   4560
    Y2              =   4580
End
Begin VB.Label Label 2
    Caption         =   "Delay Time"
    Height          =   255
    Left            =   4320
    TabIndex        =   9
    Top             =   5880
    Width           =   855
End
Begin VB.Line Line 5
    X1              =   600
    X2              =   840
    Y1              =   2400
    Y2              =   2400
End
Begin VB.Line Line 4
    X1              =   600
    X2              =   840
    Y1              =   3840
    Y2              =   3840
End
Begin VB.Line Line 3
    X1              =   600
    X2              =   840
    Y1              =   3120
```

```
    Y2              =   3120
End
Begin .VB.Line Line 27
    X1              =   600
    X2              =   840
    Y1              =   1680
    Y2              =   1680
End
Begin VB.Line Line 2
    X1              =   6480
    X2              =   840
    Y1              =   4560
    Y2              =   4560
End
Begin VB.Line Line 1
    X1              =   840
    X2              =   840
    Y1              =   1440
    Y2              =   4560
End
Begin VB.Label Label 8
    Caption         =   "XXXX"
    ForeColor       =   &H80000015&
    Height          =   255
    Left            =   2880
    TabIndex        =   8
    Top             =   1080
    Width           =   855
End
Begin VB.Label Label 7
    Caption         =   "Time (s)"
    Height          =   255
    Left            =   5880
    TabIndex        =   7
    Top             =   5040
    Width           =   615
```

```
End
Begin VB.Label Label6
    Caption         =   "Voltage (v)"
    Height          =   255
    Left            =   0
    TabIndex        =   6
    Top             =   1080
    Width           =   975
End
Begin VB.Label Label5
    Caption         =   "2."
    Height          =   255
    Left            =   240
    TabIndex        =   5
    Top             =   1680
    Width           =   255
End
Begin VB.Label Label4
    Caption         =   "1.5"
    Height          =   255
    Left            =   240
    TabIndex        =   4
    Top             =   2280
    Width           =   255
End
Begin VB.Label Label3
    Caption         =   "1"
    Height          =   255
    Left            =   240
    TabIndex        =   3
    Top             =   3000
    Width           =   135
End

Begin VB.Label Label1
    Caption         =   "0.5"
```

```
        Height          =  255
        Left            =  240
        TabIndex        =  2
        Top             =  3840
        Width           =  255
    End
End
```

เขียนโค้ดคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของการวัดการตอบสนองต่อความร้อนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริก

```
'ADCGraph-Thermo-Vvstm
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 pwrite As Integer
Public pread As Integer
Public ch0buff As Integer
Public ad0buff As Integer
Public I      As Integer


Private Sub Form_Load()
ScaleMode = 3
DrawWidth = 2
pwrite = &H378
pread = &H379
Timer1.Enabled = False
End Sub

Private Sub Command1_Click()
Timer1.Enabled = True
Form1.Refresh
End Sub

Private Sub Command2_Click()
Timer1.Enabled = False
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
```

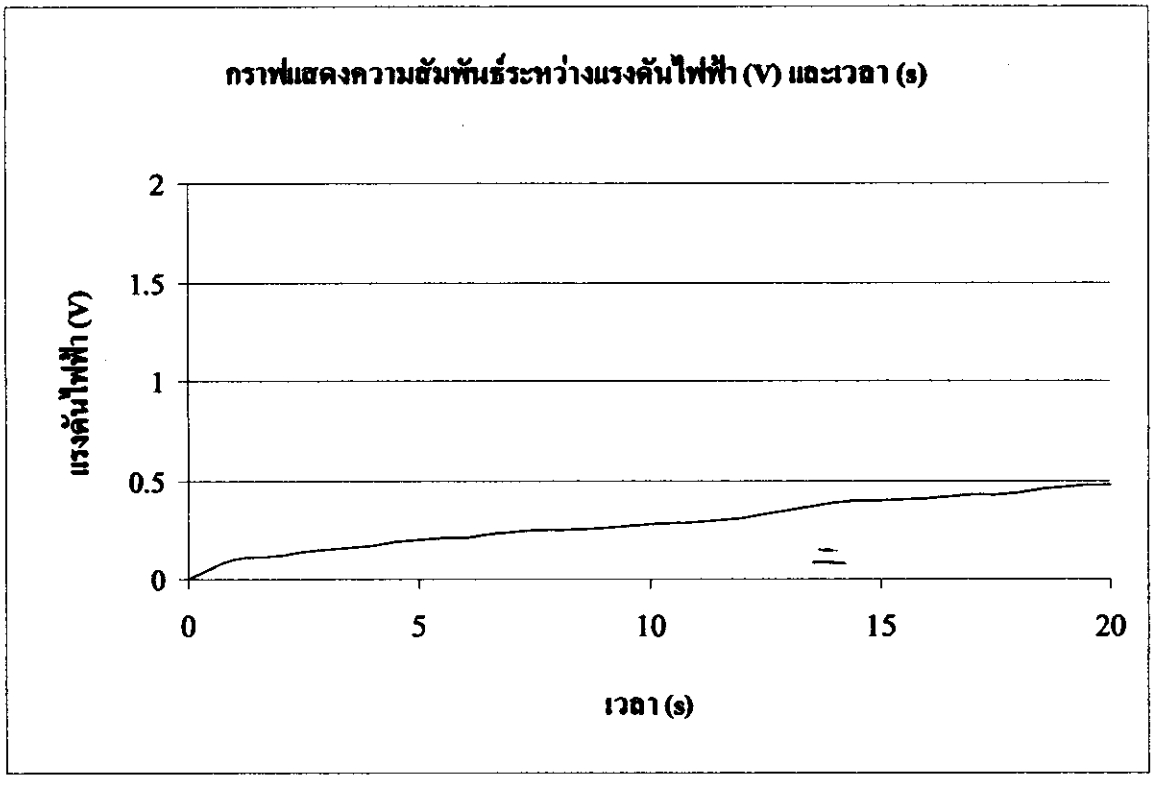
```
For i = 56 To 400
Out pwrite, &HB
Out pwrite, &H3
Out pwrite, &H1
Out pwrite, &H3
Out pwrite, &H1
Out pwrite, &H3
Out pwrite, &H0
Out pwrite, &H2
Out pwrite, &H0
Out pwrite, &H2
ch0buff = 0
Out pwrite, &H1
For readcount = 1 To 12
Out pwrite, &H3
Out pwrite, &H1
Next readcount
For readcount = 1 To 12
ad0buff = (Inp(pread) And &H80) / (2 ^ 7)
ch0buff = ch0buff Or (ad0buff * (2 ^ (readcount - 1)))
Out pwrite, &H3
Out pwrite, &H1
Next readcount
Out pwrite, &HB
Label8.Caption = ch0buff
V = 100 + CInt(ch0buff / 20)
PSet (i, V), QBColor(10)
Call delay
Next I
End Sub

Sub delay()
Times = Timer
Do
DoEvents
Loop Until Timer >= Times + 0.002
```

```
Label2.Caption = Timer
End Sub
```

3) สั่ง Run บันทึกผล

ผลการทดลอง

จากการเขียนโปรแกรมสำหรับการวัดการตอบสนองต่อความร้อนของ $FeNbO_4$ โดยใช้ภาษาวิชวลเบสิก จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) และเวลา (s) ดังรูปที่ 4.1.5



รูปที่ 4.1.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) และเวลา (s)

วิเคราะห์ผลการทดลอง

วัสดุเทอร์โมอิเล็กตริก ($FeNbO_4$) เป็นวัสดุที่สามารถแปลงความร้อนเป็นไฟฟ้า การปล่อยความร้อนไปยังวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริก แล้วทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริก ที่แสดงบนจอคอมพิวเตอร์มีการเปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริก สามารถตอบสนองต่อความร้อนได้ และสมบัติของวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริกนี้สามารถนำไปประยุกต์ทำเป็นหัววัดอุณหภูมิ

สรุปผลการทดลอง

แผงวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่ได้จัดเตรียมและโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถวัดการตอบสนองต่อความร้อนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริก ($FeNbO_4$)

เอกสารอ้างอิง

ธงชัย พันธ์เมธาฤทธิ์ ฟิสิกส์วัสดุอิเล็กโตรเซรามิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Http://www.Ett.co.th, Manual of ET-PC8255 card, 2005-2007.

4.2 การแสดงเส้นโค้งของแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิ

บทความ การแสดงเส้นโค้งของแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5 ด้วยโปรแกรมเทอร์โบปาสคาล

(The thermoelectric-temperature curve displaying of Fe_2O_3+Nb_2O_5 material with Turbo Pascal Program)

ธงชัย พันธ์เมธาฤทธิ์ จิราภรณ์ ศรีพรม

Thongchai Panmatarith Chiraporn Sriprom

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

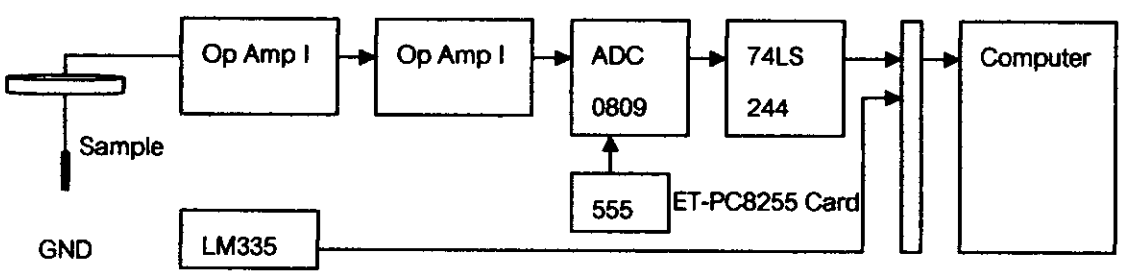
คำนำ

ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กตริก (thermoelectric effect) หรือ ปราการณ์ซีเบค (Seebeck effect) เป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าและความร้อน การเกิดเทอร์โมอิเล็กตริก (thermoelectric generation) เป็นการแปลงพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่า Z ดังสมการ $Z = \sigma^2\alpha/k$ α เป็นสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient) σ เป็นสภาพนำไฟฟ้า (electric conductivity) และ k เป็นสภาพนำความร้อน (thermal conductivity) สำหรับวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริกที่ดีพบว่า Z,α และσ มีค่ามาก แต่ k มีค่าน้อย วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์กำเนิดเทอร์โมอิเล็กตริก (thermoelectric generator) จะต้องมีค่า Z มาก ตัวอย่างสารที่ใช้ทำวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริกที่อุณหภูมิสูง (high temperature thermoelectric material) ได้แก่ $FeSi_2$,$CrSi_2$,SiC และ ZnO เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กตริกสามารถนำไปหาขนิดของพาหะไฟฟ้าในสารและอุปกรณ์การตอบสนองต่อความร้อน เป็นต้น

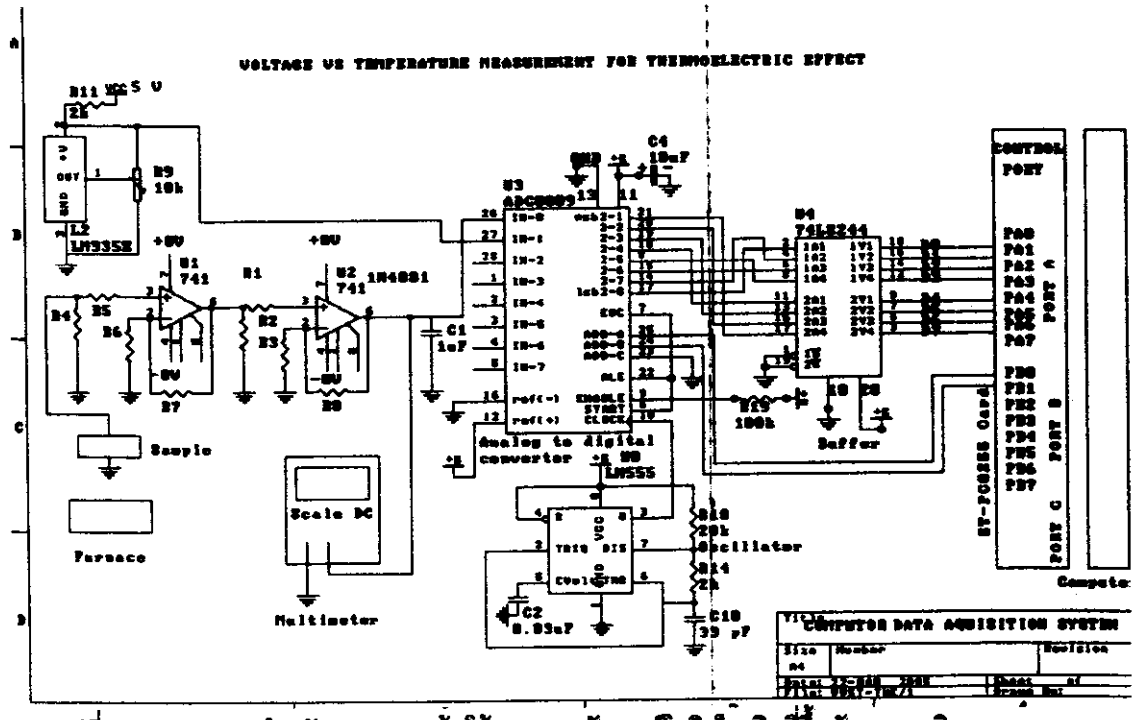
วัตถุประสงค์เพื่อแสดงเส้นโค้งของแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5 ด้วยคอมพิวเตอร์

Experimental Procedure

1) ประกอบวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ตามบลอคไดอะแกรมตามรูปที่ 4.2.1 ลงบน Photoboard แล้วทดสอบจนใช้งานได้



รูปที่ 4.2.1(ก) บลอคไดอะแกรมสำหรับการแสดงเส้นโค้งของแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5 ด้วยคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.2.1(ข) วงจรสำหรับการแสดงเส้นโค้งของแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร $Fe_2O_3+Nb_2O_5$ ด้วยคอมพิวเตอร์

2) เขียนโปรแกรม

```
Program Thermoelectric_Voltage_vs_Temperature_Graph_for_Thermoelectric_Material;
uses crt, 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);
              line(50,50,50,305) ; line(50,305,600,305);
              line(50,50,600,50) ; line(600,50,600,305);
              settextstyle(defaultfont , vertdir,0);
              for p :=1 to 25 do
              begin
              line((595-21*p), 295, (595-21*p), 305); str(round(8*p,tex);
```

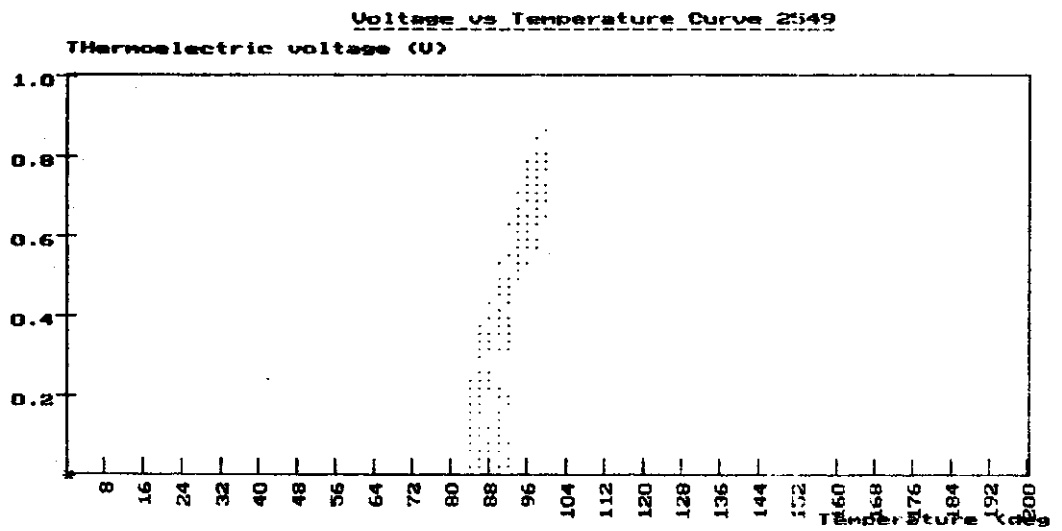
```
            outtextxy(21*p+55, 310, tex);
end;
            settextstyle(defaultfont , horizdir,0);
            for q:= 50 to 305  do
            begin
              if q mod 51 = 0 then
              begin
                 line(45,q,55,q)  ; str(( ((305-q) mod 5)+1)*2, tex); outtextxy(20,q,tex)
              end;
            end;
end;
 procedure  plot ;
 var i, j, x, y, DV0, DV1     : integer;
     AV0, AV1, VTh, VT, T : real;
 begin
        outtextxy(235,10, THERMOELECTRIC VOLTAGE VS TEMPERATURE CURVE);
        outtextxy(235,18, ----------);
        outtextxy(50,30, Thermoelectric voltage (v));
        outtextxy(540,340,Temperature (C));
        outtextxy(48,303,'*');
        port[Pcontrol ]:=$90;
        for i=1 to 100 do
        begin
          for j:=0 to 550 do
          begin
               port[PB]:=0;  {lo}
               delay(15);
               DV0:=port[PA];
               AV0:=255)*DV0;
               VTh:=AV0;
               port[PB]:=1  {l1}
               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)*VTh);
                line(x,y,x,y);
                delay(0)
            end;
        end;
    end;
    readln;
    closegraph;
  end;
begin  (main)
    repeat
      axis;
      plot;
      ch:=readkey;
    until ord(ch) = 27;
end.
```

3) สั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงาน ความร้อนจากเตาไฟฟ้าทำให้มีปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กตริกเกิดขึ้นในสาร นำแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกนี้ไปขยายด้วยออพแอมป์สองครั้ง ส่งต่อไปยัง Io ของ ADC 0809 เพื่อแปลงแรงดันอนาลอกเป็นแรงดันดิจิตอล ส่งผ่านบัฟเฟอร์ (74LS244) และ ET-PC 8255 Card เข้าไปในคอมพิวเตอร์ ใช้ LM335 วัดอุณหภูมิของสาร ส่งแรงดันไฟฟ้านี้เข้า I1 แล้วส่งผ่าน ADC 0809, 74LS244, ET-PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์เช่นกัน คอมพิวเตอร์จะแสดงเส้นโค้งแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิแล้วสั่งให้พิมพ์เส้นโค้งที่แสดงปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กตริกนี้ออกทางเครื่องพิมพ์

Results and Discussion

แรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5 แสดงดังรูปที่ 4.2.2



รูปที่ 4.2.2 ภาพบนจอคอมพิวเตอร์ที่แสดงแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5

Conclusions

ได้ภาพของแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับกับอุณหภูมิที่แสดงปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กตริกของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5 โดยอาศัย วงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่สร้างขึ้นเอง

Acknowledgements

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงงานนักศึกษาของภาควิชาฟิสิกส์ (2546) ทุนวิทยานิพนธ์ของบัณฑิตวิทยาลัย (2547) ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์จากห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุและ หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณ คุณศิริรักษ์ รักเวช ที่ได้ช่วยเตรียมสาร SnO_2+Fe_2O_3

References

Buchanan R.C.,(1991). Ceramic Materials for Electronics, Second Edition, Mercel Dekker Inc.,New York.

Moulson,A.J. and Herbert,J.M.,(1990). Electroceramics, Champman&Hall,London.

George C. Barney, 1988, Intelligent Instrumentation, 2nd edition, Prentice Hall,

New York/London/Sydney/Toronto/Tokyo.

Ravinder, D. (1994). Electrical conductivity of Mn-Zn ferrites. J. Appl. Phys. 75 (10):6118-6120.

บทความ การวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์โมคอพเปิลด้วยโปรแกรมเทอร์โบปาสคาล

ธงชัย พันธ์เมธาฤทธิ์

Thongchai Panmatarith

ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112 ประเทศไทย

บทคัดย่อ

ได้ทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์โมคอพเปิลด้วยด้วยโปรแกรมเทอร์โบปาสคาลเป็นผลสำเร็จ

Abstract

Voltage-Temperature characteristics of thermocouple was measured with Turbo Pascal Program suscessfully

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

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

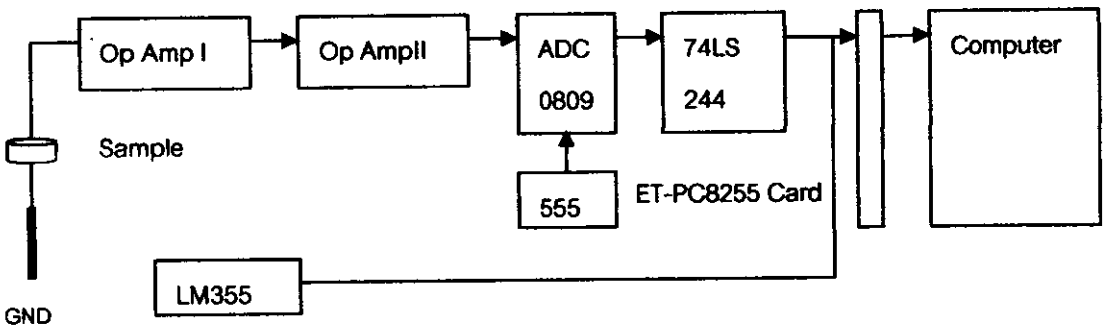
Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

คำนำ

เทอร์โมคอพเปิลทำมาจากโลหะ 2 ชนิด ต่อกัน แสดงปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กตริก สัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นปริมาณที่สำคัญ ใช้ทำเป็นหัววัดอุณหภูมิ บทความนี้เป็นการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์โมคอพเปิลด้วยโปรแกรมเทอร์โบปาสคาล

วิธีการ

ประกอบวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ตามบลอคไดอะแกรมตามรูปที่ 4.2.3 ลงบนPhotoboard แล้วทดสอบจนใช้งานได้



รูปที่ 4.2.3 บลอคไดอะแกรมสำหรับการแสดงเส้นโค้งของแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกของเทอร์โมคอพเปิล ที่ขึ้นกับเวลาด้วยคอมพิวเตอร์

3) เขียนโปรแกรม

4) สั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงาน ความร้อนจากเตาไฟฟ้าทำให้มีปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กตริกเกิดขึ้นในสาร นำแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกนี้ไปขยายด้วยออพแอมป์สองครั้ง ส่งต่อไปยัง I_0 ของ ADC 0809 เพื่อแปลงแรงดันอนาลอกเป็นแรงดันดิจิตอล ส่งผ่านบัฟเฟอร์ (74LS244) และ ET-PC 8255 Card เข้าไปในคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะแสดงเส้นโค้งแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับเวลาแล้วสั่งให้พิมพ์เส้นโค้งที่แสดงปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กตริกนี้ออกทางเครื่องพิมพ์

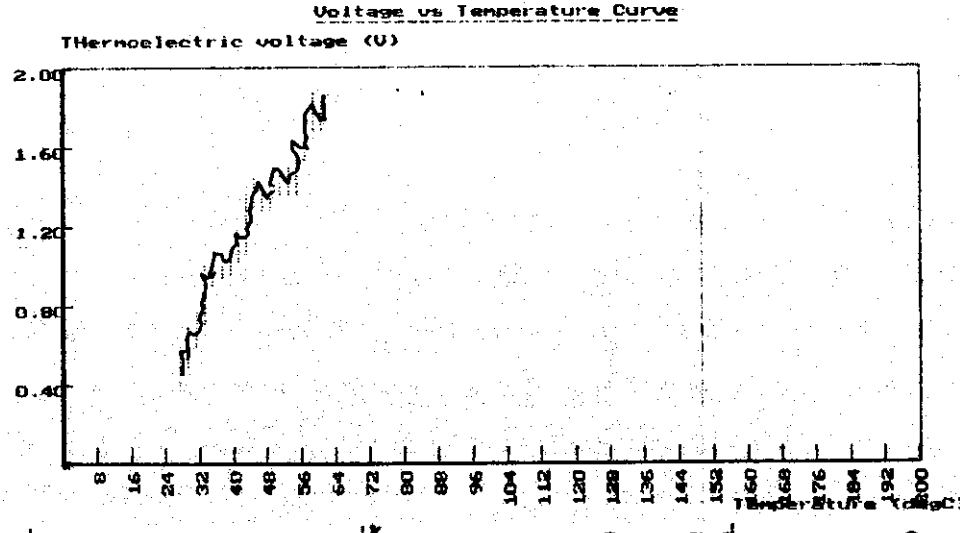
```
Program Thermoelectric_Voltage_Versus_Temperature_Graph_for_thermocouple ;
uses crt, graph ;
var
  grarv, grmode, grerror : integer;
  ch                     : char ;
const
       PA          = $0304 ;
       PB          = $0305 ;
       Pcontrol    = $0307 ;
  procedure axis ;
  var p, q : integer ;
      tex  : string ;
  begin
    grdrv : = detect ; initgraph ( grdrv, grmode, ' c : \ tp \ bgi ' ) ;
    setgraphmode (grmode) ;
    setcolor ( 15 ) ; line ( 50, 50, 50, 305 ) ; line ( 50, 305, 575, 305 ) ;
                      line ( 50, 50, 575, 50 ) ; line ( 575, 50, 575, 305 ) ;
    settextstyle ( defaultfont, horizdir, 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, horixdir, 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, VTh, VT, T : real ;
begin
      setcolor ( 3 )  ;  outtextxy ( 205, 11, ' Voltage vs Temperature Vurve ' ) ;
      setcolor ( 3 )  ;  outtextxy ( 205, 18, ' ---------- ' ) ;
      setcolor ( 5 )  ;  outtextxy ( 50, 30, ' Thermoelectric voltage  ( V ) ' ) ;
      setcolor ( 5 )  ;  outtextxy ( 460, 330, ' Temperature  ( degC ) ' ) ;
      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 ;
      delay ( 15 ) ;
      DV0     :  =    port [ PA ] ;
      AV0     :  =    ( 5 / 255 ) * DV0 ;
      VTh     :  =    AV0 ;
```

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

ผลการทดลอง

แรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์โมคอพเปิลแสดงดังรูปที่ 4.2.4 จากรูปพบว่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง แรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกมีค่าเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.2.4 กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์โมคอพเปิลที่แสดงบนจอคอมพิวเตอร์

วิเคราะห์ผลการทดลอง

เทอร์โมคอพเปิลสามารถแปลงความร้อนเป็นไฟฟ้าได้ โดยอาศัยหลักการของปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กตริกซึ่งก็คือปรากฏการณ์ที่มีแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกเกิดขึ้น (V) ในขณะที่สารได้รับความร้อนจนอุณหภูมิมีค่า T ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากกราฟจะเห็นว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

สรุปผลการทดลอง

แผงวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่ได้จัดเตรียมและโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลาของเทอร์โมคอพเปิล

สรุปผลการทดลอง

แผงวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่ได้จัดเตรียมและโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถวัดปริมาณทางฟิสิกส์ได้หลายอย่าง เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต้านทานไฟฟ้า นอกจากนี้ก็ยังสามารถใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงฟิสิกส์ได้อีกด้วย ได้แก่ แรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์โมคอพเปิลซึ่งจัดเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริก

เอกสารอ้างอิง

ธงชัย พันธ์เมธาฤทธิ์ ฟิสิกส์วัสดุอิเล็กโตรเซรามิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2548

Higgins, R. J., 1974, Medium scale minicomputer system for laboratory measurements, The review of scientific instruments, 45(3) : 371-377.

บทความ การแสดงแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5 ด้วยโปรแกรมแลปวิว

(The thermoelectric-temperature displaying of Fe_2O_3+Nb_2O_5 material with LabVIEW Program)

ธงชัย พันธ์เมธาฤทธิ์

Thongchai Panmatarith

ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112 ประเทศไทย

บทคัดย่อ

ได้ทำการวัดแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5 ด้วยด้วยโปรแกรมแลปวิว

คำนำ

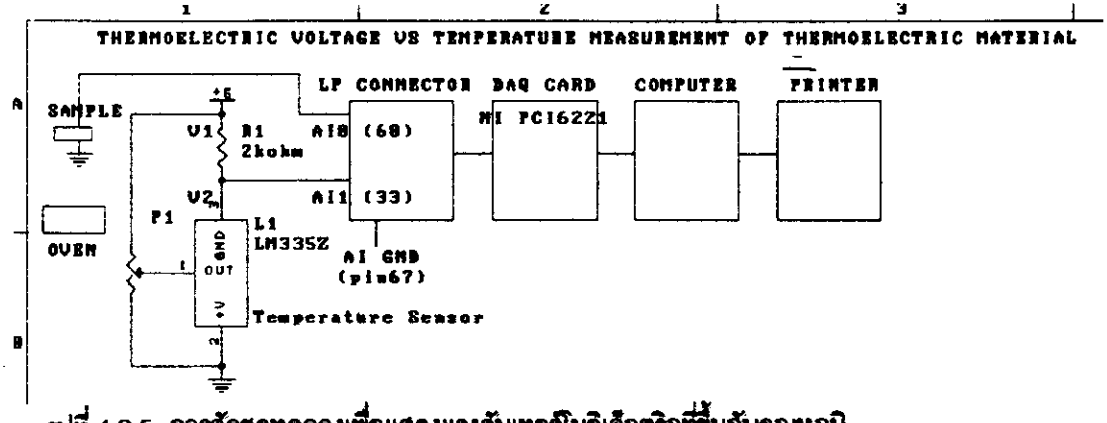
ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กตริก (thermoelectric effect) หรือ ปราการณ์ซีเบค (Seebeck effect) เป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าและความร้อน การเกิดเทอร์โมอิเล็กตริก (thermoelectric generation) เป็นการแปลงพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่า Z ดังสมการ $Z = \sigma^2\alpha/k$ α เป็นสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient) σ เป็นสภาพนำไฟฟ้า (electric conductivity) และ k เป็นสภาพนำความร้อน (thermal conductivity) สำหรับวัสดุเทอร์โมอิเล็กตริกที่ดีพบว่า Z,α และσ มีค่ามาก แต่ k มีค่าน้อย วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์กำเนิดเทอร์โมอิเล็กตริก (thermoelectric generator) จะต้องมีค่า Z มาก ตัวอย่างสารที่ใช้ทำวัสดุเทอร์โม-อิเล็กตริกที่อุณหภูมิสูง (high temperature thermoelectric material) ได้แก่ $FeSi_2$,$CrSi_2$,SiC และ ZnO เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กตริกสามารถนำไปหาชนิดของพาหะไฟฟ้าในสารและอุปกรณ์การตอบสนองต่อความร้อน เป็นต้น

วัตถุประสงค์เพื่อแสดงเส้นโค้งของแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5 ด้วยโปรแกรมแลปวิว

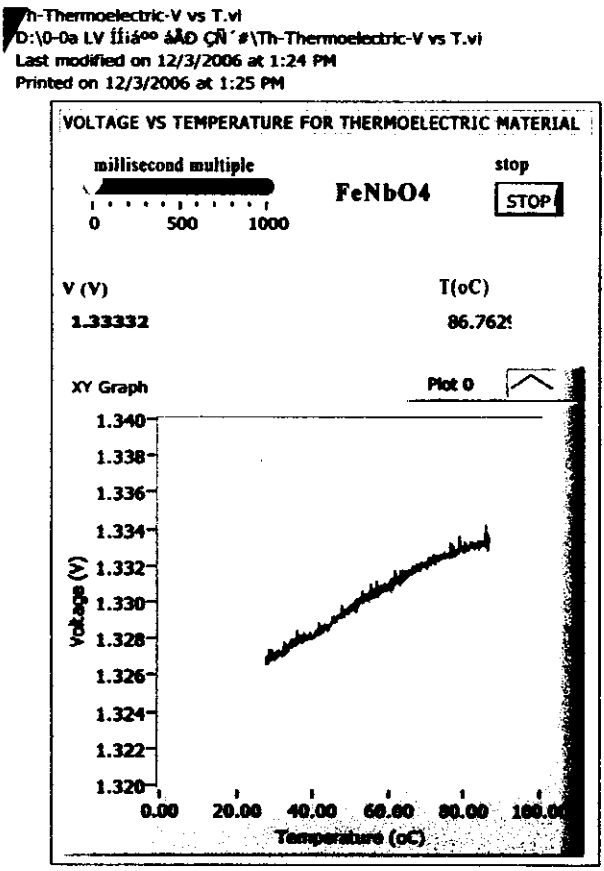
วิธีการทดลอง

จัดวงจรดังรูปที่ 4.2.5 ความร้อนจากเตาไฟฟ้าให้ให้มีแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกเกิดขึ้นให้แรงดันไฟฟ้า V นี้เข้า AI0 ของ LP connector ผ่าน DAQ Card (PCI 6221) เข้าไปในคอมพิวเตอร์ กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 5 V ไหลผ่านตัวต้านทาน 2 kΩ และ LM335 (หัววัดอุณหภูมิ) ทำให้มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม LM335 เท่ากับ VT ให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม VT เข้า AI1 ของ LP connector ผ่าน DAQ Card (PCI 6221) เข้าไปในคอมพิวเตอร์ ใช้สูตร T=(VT-2.73)/(0.01) แปลงแรงดันไฟฟ้าจากหัววัดให้เป็นอุณหภูมิ T

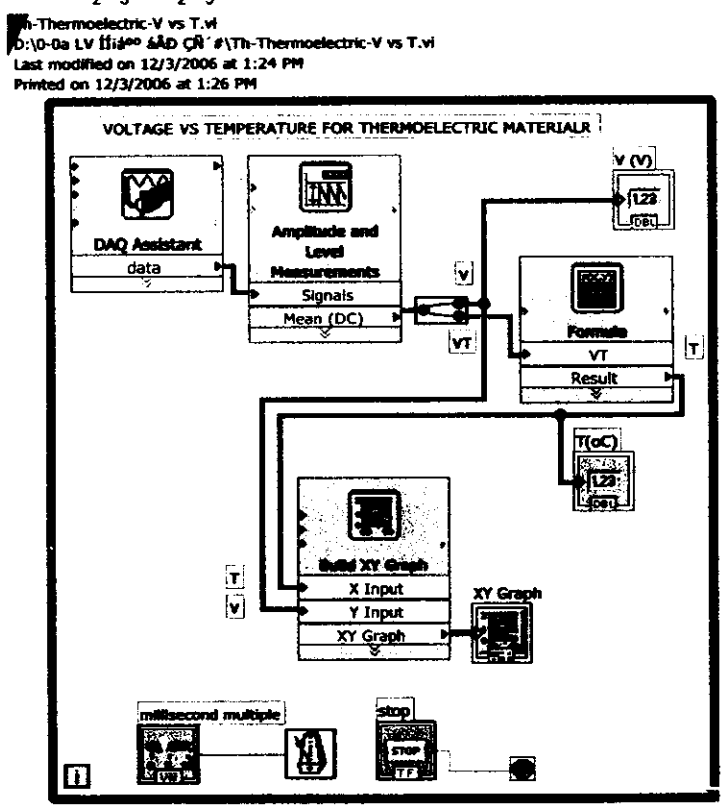
Front Panel และ Block Diagram แสดงดังรูปที่ 4.2.6 และ 4.2.7 DAQ Assistant ทำหน้าที่อ่านแรงดันไฟฟ้า V และ VT Amplitude and Level Measurements ทำหน้าที่จัดปริมาณการวัดเป็นแบบ Mean (DC) Spli signal ทำหน้าที่แยก V และ VT ออกจากกัน ส่งแรงดัน V ไปแสดงผลเป็นตัวเลขด้วย Numeric Indicator แล้วส่งมาเข้า X Input ของ Build XY Graph ส่วนแรงดัน VT ถูกส่งมาที่ Formula เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้า VT ให้เป็นอุณหภูมิด้วยสูตร T=(VT-2.73)/(0.01) แสดงอุณหภูมิ T ด้วย Numeric Indicator ส่งอุณหภูมิ T มาเข้าที่ Y input ของ Graph Indicator ก็จะเป็นการให้แสดงกราฟ V vs T Millisecond Multiple เป็นเวลาหน่วง Boolean เป็น numeric control ทำหน้าที่เปิดปิดสวิทช์ While Loop ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานที่ซ้ำๆกัน สั่ง RUN เพื่อแสดงผลทั้งหมด สั่งพิมพ์ Front Panel และ Block Diagram ออกทาง Printer



รูปที่ 4.2.5 การจัดชุดทดลองเพื่อแสดงแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิ



รูปที่ 4.2.6 Front Panel สำหรับการทดลองเพื่อแสดงแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5



รูปที่ 4.2.7 Front Panel สำหรับการทดลองเพื่อแสดงแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5

ผลการทดลอง

ผลการทดลองเพื่อแสดงแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5 แสดงดังรูปที่ 4.2.6

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองเพื่อแสดงแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5 ชี้บอกชนิดของพาหะไฟฟ้า

สรุปผลการทดลอง

ระบบเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมด้วย LabVIEW สามารถแสดงแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริกที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร Fe_2O_3+Nb_2O_5

เอกสารอ้างอิง

ธงชัย พันธ์เมธาฤทธิ์ ฟิสิกส์วัสดุอิเล็กโตรเซรามิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2548

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