

การเตรียมและวัดสมบัติเชิงฟิสิกส์รวมทั้งการประยุกต์ใช้ของ เทอร์มิสเตอร์ที่ผลิตจาก $\text{MnO}+0.4\text{CuO}$

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ¹ ไพรินทร์ บุญน้อย² นพมาศ จักรเจริญ² พิกุล ราชพลแสน³
ศิริรัตน์ รักเวช² วราภรณ์ อนันตพรพาณิชย์³ พัชรา ปัญจามทุม²
อภิสมัย เอื้อศรีวัฒนากุล² และ พงฐนัตร์ เนียมทรง²

Abstract

Panmatarith, T., Bunnoy, P., Juggaroen, N., Ratphonsan, P., Rugwech, S.,
Anuntapornpanich, V., Punjamathum, P., Eirseewattanakul, A., and Niumtrong, P.
Sample preparation, physical properties measurement and application of
 $\text{MnO}+0.4\text{CuO}$'s thermistor
Songklanakarin J. Sci. Technol., 2003, 25(1) : 123-132

Disc-shape $\text{MnO}+0.4\text{CuO}$ samples were prepared by standard ceramic techniques with firing temperature of 500°C and 900°C , respectively. The physical property relation of resistance (R) vs temperature (T) corresponds to $R = 7.0544e^{-0.0218T}$. The prepared samples are very sensitive to temperature

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

¹M.Sc. (Solid State Physics) รองศาสตราจารย์ ²นักศึกษาระดับปริญญาตรี (ฟิสิกส์) ภาควิชาฟิสิกส์ ³นักศึกษาระดับปริญญาตรี (วิทยาศาสตร์ทั่วไป) ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Corresponding e-mail : pthongch@ratree.psu.ac.th

รับต้นฉบับ 18 กุมภาพันธ์ 2545 รับลงพิมพ์ 24 กันยายน 2546

response and can be used as temperature sensor application. A self constructed temperature reading system interfacing with a computer and a prepared sample temperature sensor can measure temperature ranging from 26 °C to 100 °C.

Key words : NTC thermistor, MnO+0.4CuO, temperature sensor

บทคัดย่อ

ธงชัย พันธุ์เมธาสุทธิ ไพรินทร์ บุญน้อย นพมาศ จักรเจริญ พิภูล พลแสน ศิริวัฒน์ รักเวช วราภรณ์ อนันตพรพาณิชย์ พัชรา ปัญจทุม อภิสมัย เอื้อศรีวัฒนากุล และ พงษ์จักร เนียมทรง การเตรียมและวัดสมบัติเชิงฟิสิกส์รวมทั้งการประยุกต์ใช้ของเทอร์มิสเตอร์ที่ผลิตจาก MnO+0.4CuO

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2546 25(1) : 123-132

ได้เตรียมก่อนสารรูปจานด้วยวัสดุ MnO+0.4CuO โดยวิธีเทคนิคเซรามิกมาตรฐาน โดยการเผาสองครั้งที่ 500 °C และ 900 °C ตามลำดับ สมบัติเชิงฟิสิกส์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้าของสาร (R) ที่อุณหภูมิ (T) ต่าง ๆ เป็นไปตามสมการ $R = 7.0544e^{-0.0218T}$ และพบว่าสารมีความไวต่อการตอบสนองอุณหภูมิ ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับทำเป็นหัววัดอุณหภูมิ ระบบการอ่านอุณหภูมิที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นเองโดยใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัด สามารถวัดอุณหภูมิได้ ในช่วง 26 °C ถึง 100 °C

ในปี 1833 ฟาราเดย์ (Faraday) ได้ค้นพบและรายงานเกี่ยวกับพฤติกรรมกึ่งการนำไฟฟ้า (semiconducting behaviour) ของ Ag_2S หัววัดอุณหภูมิที่ทำมาจากเซรามิกส์ที่ใช้ในทางการค้าเริ่มในปี 1940 และมีการผลิตเป็นอุตสาหกรรมกันอย่างกว้างขวางในระหว่างปี 1950-1960 (Buchanan, 1991)

เทอร์มิสเตอร์ (thermistor) คือ ตัวต้านทานที่มีความต้านทานเปลี่ยนแปลงในขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนไป เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวต้านทานที่ไวต่อความร้อน (thermally sensitive resistor) ซึ่งมีชื่อย่อเป็น TSR เทอร์มิสเตอร์ที่จะศึกษาเป็นแบบ NTC (negative temperature coefficient of resistance) เทอร์มิสเตอร์แบบนี้จะมี NTCR (negative temperature coefficient of resistance, α) สูง (Moulson and Herbert, 1990) ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ที่มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิดจากผลของลักษณะสมบัติอินทรินซิก (intrinsic characteristics)

สารที่ใช้ทำเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เป็นสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) ซึ่งลักษณะสมบัติเชิงไฟฟ้าของหัววัดเกี่ยวข้องกับ $\rho = RA/L$ เมื่อ ρ เป็นสภาพต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ (material resistivity) R เป็นความต้านทานไฟฟ้า (resistance) A เป็นพื้นที่ยังผล (effective area) และ L เป็นความหนาของสาร สภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) มีค่าขึ้นกับอุณหภูมิต่างสมการ

$$\begin{aligned} \rho(T) &= \rho_\alpha \exp(B/T) \text{ หรือ} \\ R(T) &= R_\alpha \exp(B/T) \end{aligned} \quad (1)$$

เมื่อ $\rho(T)$ เป็นสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ T ใดๆ ρ_α เป็นค่าที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิโดยประมาณ และ B เป็นค่าคงที่ที่มีความเกี่ยวข้องกับพลังงานที่ใช้ไปเพื่อให้อิเล็กตรอนนำกระแส เมื่อทำการหาอนุพันธ์ของสมการบนจะได้ α ดังสมการ

$$\begin{aligned} \alpha &= (1/\rho)(d\rho/dT) \text{ หรือ } \alpha = (1/R)(dR/dT) \text{ หรือ} \\ \alpha &= (1/R_{\text{Room}})(\ln R_2 - \ln R_1) / (\ln T_2 - \ln T_1) \end{aligned} \quad (2)$$

สภาพการนำไฟฟ้าของสารเกี่ยวข้องกับอิเล็กตรอนและไอออนบวก-ลบของอะตอมและเกี่ยวข้องกับช่องว่างแถบพลังงานของสาร (Moulson and Herbert, 1990)

ตัวอย่างสารที่ใช้เป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ได้แก่ $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnCr}_2\text{O}_4$, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MgCr}_2\text{O}_4$, $(\text{NiMn})_3\text{O}_4$, $(\text{NiMnCo})_3\text{O}_4$, $(\text{NiMnFeCo})_3\text{O}_4$, $(\text{Fe,Ti})_2\text{O}_3$, $\text{Mn}_x\text{Co}_{3-x}\text{O}_4$ และ $0.56\text{MnO} + 0.08\text{CoO} + 0.16\text{NiO} + 0.20\text{CuO}$ (Buchanan, 1991)

เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC สามารถนำไปประยุกต์ทำเป็นหัววัดอุณหภูมิ (temperature sensor), หัววัดการไหลของความร้อน (heat flow sensor), หัววัดการแผ่รังสี (radiation sensing sensor), หัววัดสุญญากาศ (vacuum gauge), หัววัดความดัน (pressure gauge) และหัววัดการชดเชยอุณหภูมิ (temperature compensation sensor) (Buchanan, 1991)

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ได้มีการศึกษาโดยนักวิจัยกลุ่มต่างๆ ดังนี้

Soliman (1993) ได้ศึกษาเทอร์มิสเตอร์ในทางการค้าซึ่งเตรียมมาจากส่วนผสมของ NiO , Mn_2O_3 และ Co_2O_3 แล้ววัดความต้านทานของสารที่อุณหภูมิต่างๆ

Sarrion (1995) ได้เตรียม $\text{Fe}_{2.18}\text{Mn}_{0.21}\text{Ni}_{0.61}\text{O}_4$ ซึ่งเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC สารสูตรนี้อยู่ในกลุ่มเฟอร์ไรต์ ได้วัดสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ส่วนผสมต่างๆ และศึกษาเสถียรภาพทางไฟฟ้าโดยการวัดการแปรค่าความต้านทานไฟฟ้ากับเวลา

จากการตรวจเอกสารพบว่าไม่มีผู้ทดลองเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC กันน้อย ผู้วิจัยได้ทดลองในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พบว่าสาร $\text{MnO}+0.4\text{CuO}$ มีความไวต่ออุณหภูมิมาก ดังนั้น จึงสนใจที่จะศึกษาสมบัติเชิงฟิสิกส์และการประยุกต์ใช้งานของสารนี้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการเตรียมก่อนสาร $\text{MnO}+0.4\text{CuO}$ โดยวิธีเทคนิคเซรามิกส์มาตรฐาน ทดสอบการตอบสนองต่ออุณหภูมิโดยการวัดเพื่อหาสมการที่แสดงความต้านทานไฟฟ้าของสารที่อุณหภูมิในช่วง 24 ถึง 140°C และคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานไฟฟ้าที่เป็นลบของสาร นอกจากนี้ต้องการนำสารที่เตรียมได้ไปใช้งานเป็นหัววัดอุณหภูมิโดยการสร้าง

เครื่องมือวัดอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัด การสร้างครอบคลุมไปถึงการประกอบวงจรเชื่อมต่อ การปรับเทียบและเขียนโปรแกรมควบคุมการวัดอุณหภูมิ ในช่วง 26°C ถึง 100°C

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมก่อนสารจากวัสดุเริ่มต้นที่เป็นผง

เตรียมสารโดยวิธีเทคนิคเซรามิกส์มาตรฐาน (standard ceramic techniques) ซึ่งเป็นวิธีการที่รายงานโดย Buchanan (1991) วัสดุเริ่มต้นที่ใช้เป็นผง MnO และ CuO ซึ่งมีความบริสุทธิ์ 99.5% คำนวณน้ำหนักโดยใช้ส่วนผสม $\text{MnO}+0.4\text{CuO}$ ซึ่งผงของสาร ผสมสารโดยการคนในครก นำผงใส่กระป๋องพลาสติกแล้ววางในเครื่องหมุนผสมสาร หมุนผสมเป็นเวลา 5 นาที หยดสารยึดเหนี่ยว PVA (polyvinyl alcohol) ผสมน้ำกลั่นเพื่อสะดวกในการอัดเป็นก้อน นำผงของสารใส่ในบ้าอัดอัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก (RIIK 25 tons) ด้วยความดัน 533.65 MPa นำสารใส่เตาหลอมไฟฟ้า (HEYTECH 25P) เนื่องจาก MnO มีจุดหลอมเหลว 535°C และ CuO มีจุดหลอมเหลวมากกว่า 1100°C ดังนั้นจึงต้องเผา 2 ครั้ง เผาครั้งที่ 1 ที่อุณหภูมิ 500°C ในอากาศโดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $5^\circ\text{C}/\text{นาที่}$ และ อุณหภูมิเย็นไฟ $1^\circ\text{C}/\text{ชั่วโมง}$ แล้วปล่อยให้เย็นโดยการปิดเตา หลังจากนั้นนำไปเผาครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 900°C โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิและอุณหภูมิเย็นไฟเหมือนกับตอนเผาครั้งแรก แล้วปล่อยให้เย็นโดยการปิดเตาและนำก้อนสารออกจากเตา

2. การศึกษาลักษณะของสารด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์โดยใช้เครื่อง XRD

นำก้อนสารที่ผ่านการเผาไปถ่ายด้วยเครื่อง XRD (X-ray diffractometer) (Philips PW3710) เพื่อดูเฟส (phase) ของสารแอนติของหลอดทำมาจาก Cu ความต่างศักย์ไฟฟ้า 40 kV กระแสในหลอดรังสีเอกซ์ 35 mA มุมแบรกก์ที่ทำการถ่าย 2 θ อยู่ในช่วง 15.004° ถึง 84.995° และความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่ใช้ ($\lambda_{\text{CuK}\alpha_1}$) เป็น 1.54060 \AA

3. การทำขั้วไฟฟ้าและวัดความต้านทานไฟฟ้าของสารที่อุณหภูมิในช่วง 24 ถึง 140 °C

นำสารที่เตรียมได้มาทำขั้วด้วยกาวเงิน (CW2400, ITW Chemtronics) กาวเงินที่ใช้ประกอบด้วย 2 หลอด หลอดที่ 1 (part A) ประกอบด้วยส่วนผสมของเงิน (silver) อีพอกซีเรซิน (epoxy resin) และโมดิฟายด์อีพอกซีเอสเตอ์ (modified epoxy ester) หลอดที่ 2 (part B) ประกอบด้วยส่วนผสมของเงิน (silver) และโมดิฟายด์ - อัลฟาติกอะมีน (modified aliphatic amine) นำเงินกับกาวจากหลอดทั้งสองผสมกันด้วยปริมาณที่เท่ากันแล้วทา ลงบนผิวหน้าของสารและอบด้วยเตาไฟฟ้าอุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 10 นาที แล้วใช้ลวดของสายโทรศัพท์ต่อขาของ อุปกรณ์โดยการบัดกรี จัดชุดทดลองตาม Figure 1

เพิ่มอุณหภูมิของเตาไฟฟ้า ใช้มัลติมิเตอร์ (Fluke 45 Dual Display Multimeter) วัดความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์มิสเตอร์ที่เตรียมได้ใช้วัดเครื่องวัดอุณหภูมิ (Union 305) วัดอุณหภูมิในช่วง 24 ถึง 140 °C นำผลใส่ในตารางพลอต กราฟและแสดงสมการด้วย EXCEL ในการทดลองนี้ ได้วัดความต้านทานไฟฟ้าในช่วงอุณหภูมิ 24 ถึง 120 °C ของเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในทางการค้าด้วยเพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบ ค่าพจน์และเปรียบเทียบค่า α ของเทอร์มิสเตอร์ที่เตรียมได้กับเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในทางการค้าโดยใช้สมการ (2)

4. การทดสอบคุณสมบัติของสารเพื่อประยุกต์ใช้เป็นหัววัดอุณหภูมิในช่วง 26 °C ถึง 100 °C

นำสารที่ผ่านการวัดความสัมพันธ์ R vs T มาทดสอบ

ให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิโดยการจัดชุดทดลอง ดังแสดงใน Figure 2a ใช้มัลติมิเตอร์ (Triplett 2202) วัด ในขณะที่จัดชุดการทดลอง เขียนโปรแกรมภาษาเทอร์โบปาสคาลเพื่อควบคุมการอ่านอุณหภูมิ การทดลองมี 4 ขั้นตอนด้วยกัน

1) ประกอบวงจรเชื่อมต่อ ADC0809 ลงบนโปรโตบอร์ดแล้วต่อกับ ET-PC8255 Card และคอมพิวเตอร์ และทดสอบจนใช้ได้ (Figure 2a, 2b, 2c)

2) เขียนโปรแกรมควบคุมการวัดด้วยภาษาเทอร์โบปาสคาล

3) ทำการปรับเทียบเครื่องมือ (instrument calibration) โดยจ่ายแรงดันคคร่อมสารที่เตรียมได้ (MnO+0.4CuO) ซึ่งจะถูทดสอบให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิ สัญญาณตอบสนองจะถูกป้อนเข้าไอซี ADC 0809 ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันอนาลอกให้เป็นแรงดันดิจิทัล ไอซี 74LS244 จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ (buffer) แรงดันไฟฟ้าคคร่อมสารซึ่งเป็นแรงดันอนาลอกจะเคลื่อนที่ผ่าน ET-PC8255 Card ผ่านสล็อต (slot) เข้าไปในแรม (RAM) ใช้คำสั่งให้คอมพิวเตอร์ (80386SX) แสดงแรงดันไฟฟ้าคคร่อมสาร (แรงดันอนาลอก) บนจอ เพิ่มอุณหภูมิของสารโดยใช้เตาไฟฟ้า อ่านอุณหภูมิจากเครื่องวัดจริง (true) ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ (Union 305) ซึ่งใช้เทอร์โมคอปเปิลชนิด K เป็นหัววัดและแรงดันไฟฟ้าคคร่อมสาร (AV) บนจอคอมพิวเตอร์ ในช่วง 26 °C ถึง 100 °C แล้วบันทึกผลลงในตารางและแสดงความสัมพันธ์ของ Ttrue vs AV ด้วยโปรแกรม EXCEL เขียนสมการ

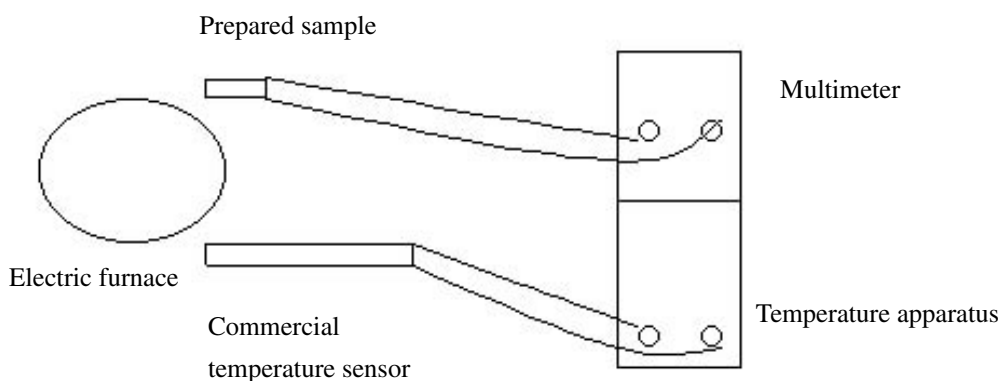


Figure 1. Resistance measurement at 24 -140 °C

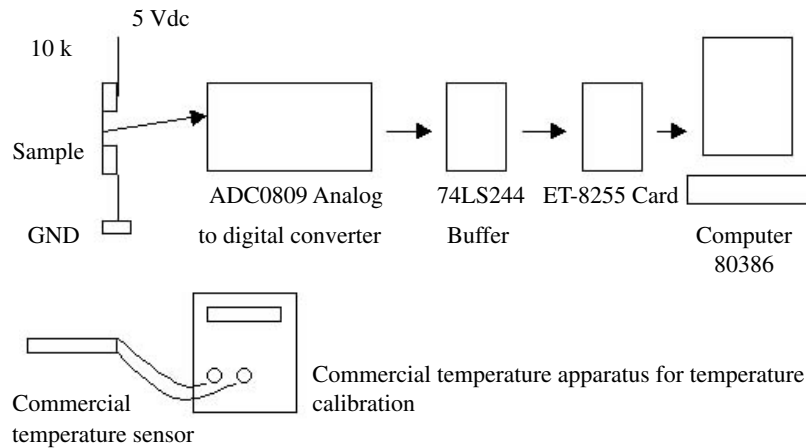


Figure 2a. Interfacing circuit with computer's preparation for temperature measurement by using $MnO+0.04CuO$'s prepared sample sensor

Interface circuit for measurement physical signals

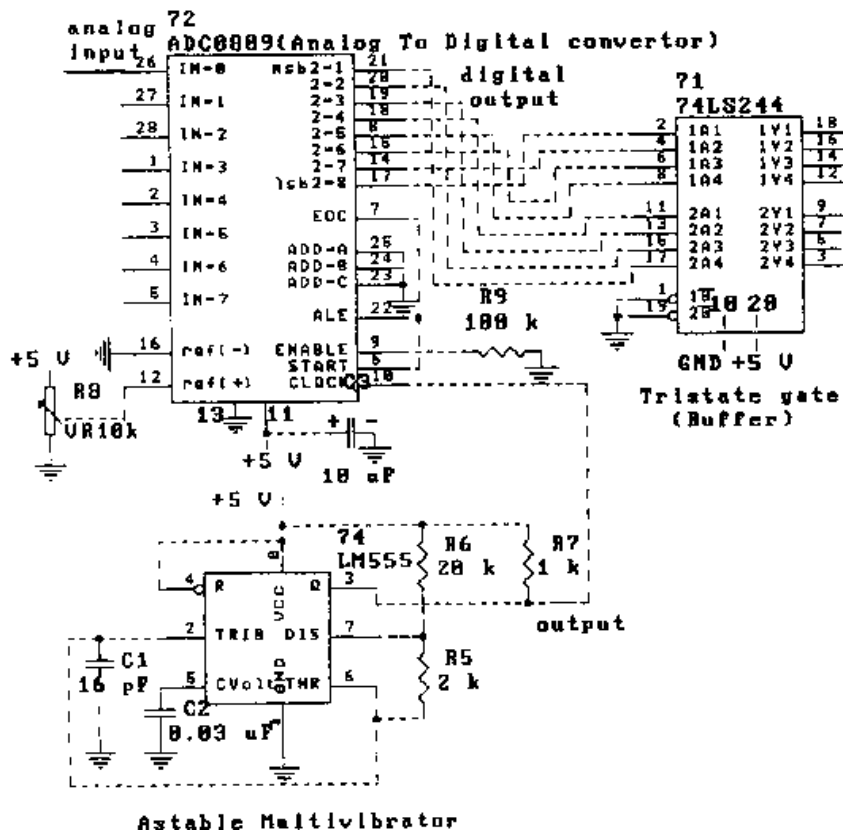


Figure 2b. Interfacing circuit with ADC0809 + 74LS244

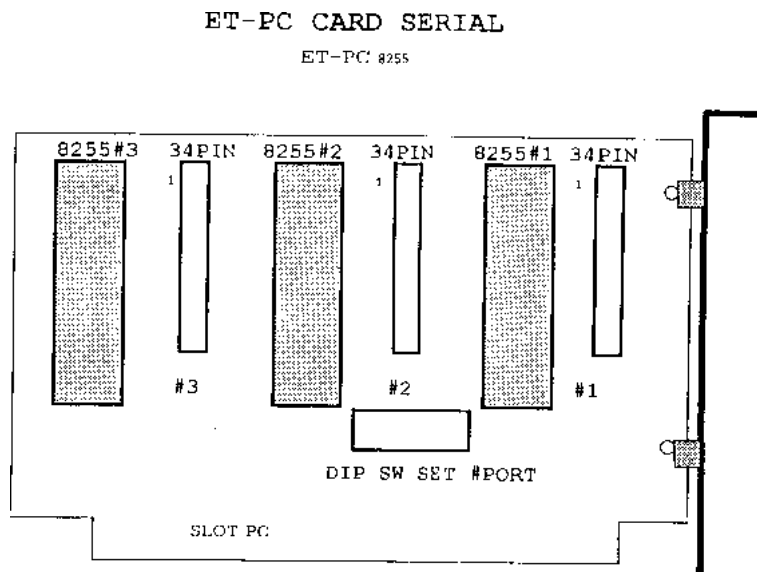


Figure 2c. Block diagram of ET-PC 8255 Card

Program Temperature_Sensor_Testing;

```

uses crt;
var i, j, x, y, DV : integer;
    AV,Ttrue : real;
const PB = $0305;
    Pcontrol = $0307;

begin
  clrscr;
  port[Pcontrol] := $82;
  gotoxy(23,2); writeln('TEMPERATURE MEASUREMENT');
  gotoxy(23,3); writeln('-----');

  DV:=0; AV:=0; Ttrue:=0;
  for i := 1 to 100 do
  begin
    for j := 1 to 255 do
    begin
      DV := port[PB];
      AV := (5/255)*DV;
      gotoxy(26,14); writeln('Analog Voltage = ',AV:3:3, ' V');
      delay(1)
      Ttrue := (33.887*AV*AV) - (230.08*AV)+ 417.3;
      gotoxy(20,20); writeln('*****');
      gotoxy(17,22); writeln('Measure Temp = ',Ttrue:3:2, ' C');
      delay(1);
      gotoxy(15,24); writeln('>>>*****<<<<');
      delay(500);
    end;
  end;
end.

```

แสดงความสัมพันธ์นี้ลงในโปรแกรมควบคุมการวัด เพื่อที่จะเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องวัดจริง (Ttrue) กับอุณหภูมิจากเครื่องที่สร้างขึ้น (Tmeasure) ได้เขียนสมการแสดงความสัมพันธ์นี้ลงในโปรแกรมควบคุมการวัดแล้ว คอมพิวเตอร์ก็สามารถอ่านอุณหภูมิโดยใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัด คอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่เป็นเครื่องที่สร้างขึ้น เพิ่มอุณหภูมิของสารโดยใช้เตาไฟฟ้า ให้เครื่องวัดจริงอ่านอุณหภูมิ Ttrue และเครื่องที่สร้างขึ้น (คอมพิวเตอร์) อ่านอุณหภูมิ Tmeasure บันทึกผลลงในตารางแล้วพลอตกราฟแท่ง

4) เมื่อได้ทำตามขั้นตอน 1 ถึง 3 แล้วคอมพิวเตอร์ที่ใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัดจะทำหน้าที่เป็นเครื่องวัดอุณหภูมิเครื่องหนึ่ง ทดลองโดยนำไปวัดอุณหภูมิในช่วง 26 °C ถึง 100 °C เพื่อที่จะดูว่าอ่านอุณหภูมิได้หรือไม่

ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. ผลการเตรียมก้อนสารจากวัสดุเริ่มต้นที่เป็นผง

ความร้อนจากการเผาทำให้น้ำและสารอินทรีย์ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำหายไป มีรูพรุนเกิดขึ้นบ้าง อะตอมเกิดการเคลื่อนที่เนื่องจากผลของความร้อนจนกระทั่งเกิดการหลอมรวมตัวของสาร 2 ชนิดกลายเป็นก้อนสารสูตรใหม่ที่มี

มีเนื้อแน่น ลักษณะของสารจะแข็ง แต่เปราะ การผสมผงของสารให้กระจายสม่ำเสมอและอุณหภูมิการเผามีผลต่อสมบัติเชิงไฟฟ้าของสาร ก้อนสารมีการหดตัวหลังจากผ่านการเผาซึ่งสังเกตได้จากเส้นผ่าศูนย์กลางของสารที่ลดลง สารที่เตรียมได้เป็นก้อนรูปจานสีดำ สารมีความหนา 0.4 มม และเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.1 มม

2. ผลการศึกษาลักษณะของสารด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์โดยใช้เครื่อง XRD

เมื่อพิจารณาแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์พบว่าเฟสของสารเป็น $Cu_{1.4}Mn_{1.6}O_4$ ซึ่งเป็นเฟสเดี่ยวจัดแสดงใน Figure 3 โครงสร้างผลึกของสารอยู่ในระบบคิวบิก (cubic system) ระนาบของผลึกที่พบได้แก่ (111), (220), (311), (222), (400), (422), (511), (440) และ (533)

3. ผลการทำขั้วไฟฟ้าและการวัดความต้านทานไฟฟ้าของสารที่อุณหภูมิในช่วง 24 ถึง 140 °C

กาเงินที่ใช้ทำเป็นขั้วไฟฟ้าได้ ความต้านทานไฟฟ้าของเงินในขณะที่อยู่ในสภาพของขั้วมีค่าประมาณ 0.2Ω ความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ ของสารที่เตรียมแสดงใน Figure 4 ส่วนความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ

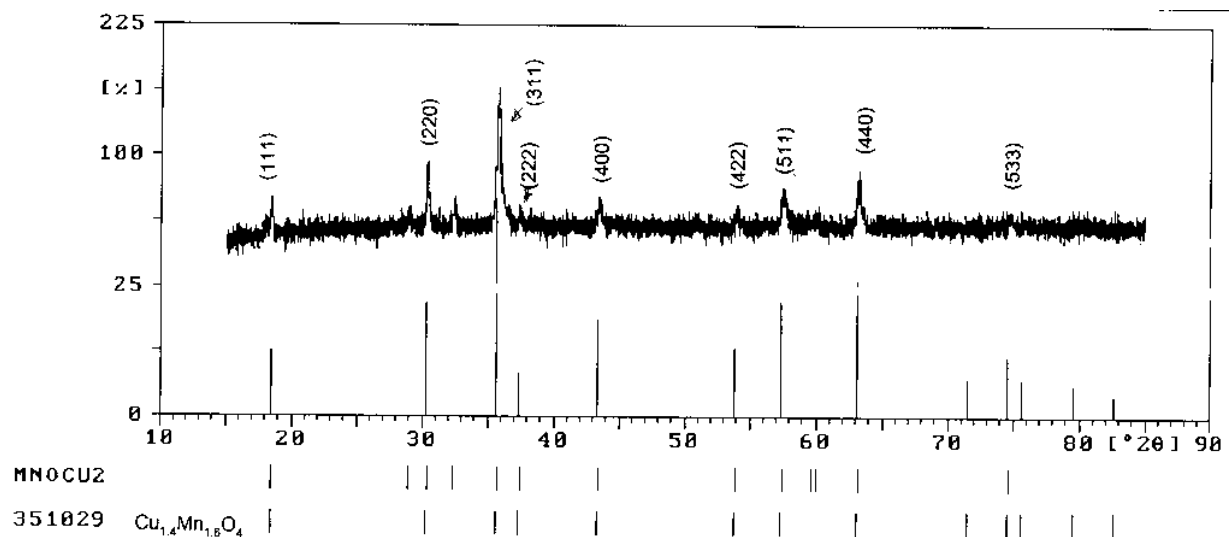


Figure 3. X-ray diffraction pattern for MnO+0.04CuO

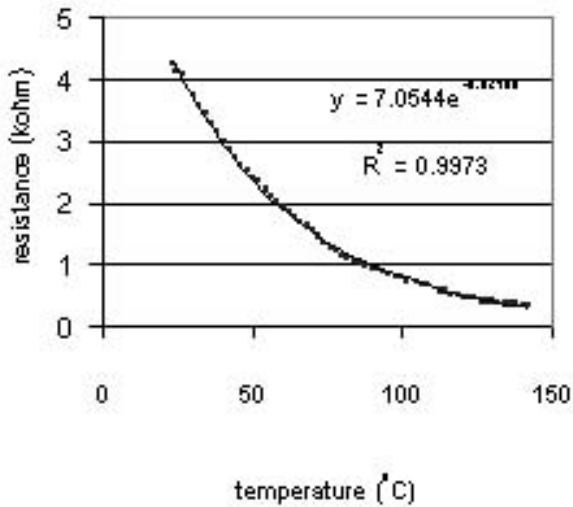


Figure 4. Resistance vs temperature for MnO+0.4CuO

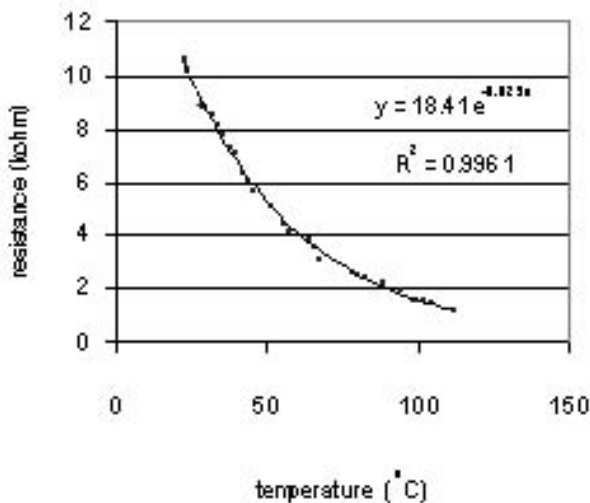


Figure 5. Resistance vs temperature for commercial thermistor

ของเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในทางการค้าแสดงใน Figure 5

ความต้านทานไฟฟ้าของสารที่เตรียมได้ลดลงค่อนข้างเร็วในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น สารที่เตรียมได้แสดงสมบัติของเซรามิกส์กึ่งตัวนำ (semiconducting ceramics) และมีความเกี่ยวข้องกับช่องว่างพลังงานของสารและการนำไฟฟ้า เกิดจากพาหะไฟฟ้าที่เป็นอิเล็กตรอน สาเหตุที่ความต้านทานไฟฟ้าลดลงในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิดจากอิเล็กตรอนย้ายจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำ

(Moulson และ Herbert, 1990) ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่ทำมาจากสารที่เตรียมและเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในทางการค้าที่อุณหภูมิในช่วง 24 ถึง 140 °C มีค่าแสดงดังสมการ $R = 7.0544e^{-0.0218T}$ (sample's thermistor) และ $R = 18.01e^{-0.025T}$ (commercial thermistor) ความสัมพันธ์ระหว่าง R กับ T สอดคล้องกับสมการ (1) นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของสารเทอร์มิสเตอร์ที่ทำมาจากสาร MnO+ 0.4CuO และ เทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในทางการค้า ผลปรากฏว่ามีความคล้ายกัน เมื่อนำผลการคำนวณค่า α อุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ที่ทำมาจากสาร MnO+0.4CuO เทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในทางการค้าและเทอร์มิสเตอร์ที่มีผู้รายงานในหนังสือ (Buchanan, 1991) มาเปรียบเทียบกับได้ผลใกล้เคียงกันดังนี้

$\alpha = -0.021 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (MnO+0.4CuO's prepared thermistor)

$\alpha = -0.026 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (commercial thermistor)

$\alpha = -0.01 \text{ ถึง } -0.06 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (Buchanan, 1991)

ความต้านทานไฟฟ้าสาร MnO+0.4CuO ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงตามเวลาในขณะที่อุณหภูมิคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงและแสดงสมบัติเอ็นทีซี (NTC effect) จึงเหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ทำเป็นหัววัดอุณหภูมิได้

4. ผลการทดสอบสารเป็นหัววัดอุณหภูมิในช่วง 26 °C ถึง 100 °C

ผลการทดสอบแสดงใน Figure 6, 7 และ 8 โดยใน Figure 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องจริง (Ttrue) กับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสาร (AV) ดังสมการ

$$T_{true} = 33.887 \cdot AV \cdot AV - 230.08 \cdot AV + 417.3$$

สมการนี้ใช้สำหรับการปรับเทียบสารที่เตรียมได้เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิ Figure 7 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องจริง (Ttrue) กับอุณหภูมิจากเครื่องสร้าง (Tmeasure) Figure 8 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องจริงกับอุณหภูมิจากเครื่องสร้าง

เมื่อพิจารณาจากรูปพบว่าอุณหภูมิจากเครื่องจริงกับอุณหภูมิจากเครื่องสร้างมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง $-7.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $+5.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figure 8) สาร MnO+0.4CuO มีสมบัติเชิงฟิสิกส์เป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC และสามารถนำไปทำเป็นหัววัดอุณหภูมิในช่วง $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ได้

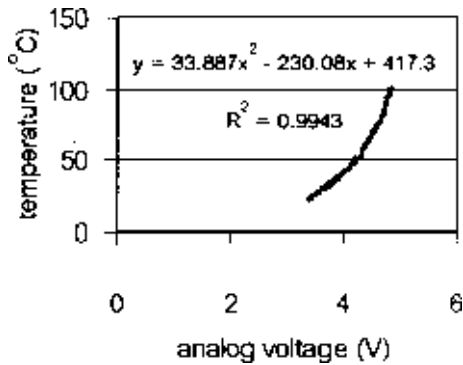


Figure 6. Temperature vs analog voltage at $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $100\text{ }^{\circ}\text{C}$

สรุปผลการทดลอง

สารที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นก้อนรูปจานที่มีความหนาและเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 มม และ 10.1 มม ความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์มิสเตอร์ที่ทำมาจากสารที่เตรียมและเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในทางการค้าที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังสมการ

$$R = 7.0544e^{-0.0218T} \text{ (sample's thermistor) และ}$$

$$R = 18.01e^{-0.025T} \text{ (commercial thermistor) เมื่อ}$$

เปรียบเทียบสมการ R vs T ของเทอร์มิสเตอร์ที่เตรียมได้กับเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในทางการค้าพบว่ารูปแบบสมการเป็นแบบเอกซโปเนนเชียลซึ่งคล้ายกันมาก ความต้านทานไฟฟ้าของสารมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในลักษณะที่คล้ายกัน ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานไฟฟ้าที่เป็นลบ (α) ของเทอร์มิสเตอร์ที่ทำมาจากสาร MnO+0.4CuO มีค่า $-0.021\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานไฟฟ้าเป็นลบดังนั้นสารที่เตรียมได้เป็นเทอร์มิสเตอร์ชนิด NTC สารมีความไวต่อการตอบสนองต่ออุณหภูมิมาก ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับทำเป็นหัววัดอุณหภูมิ นำไปใช้ในการเรียนการสอนได้ สารที่เตรียมและระบบการอ่านอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์

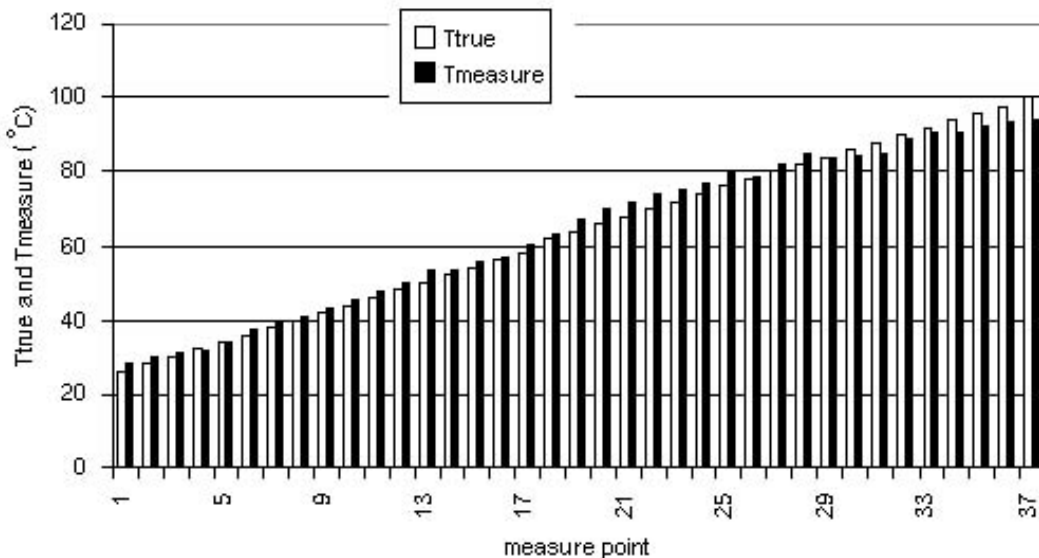


Figure 7. Comparison between true temperature(T_{true}) and measured temperature ($T_{measure}$) at $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $100\text{ }^{\circ}\text{C}$

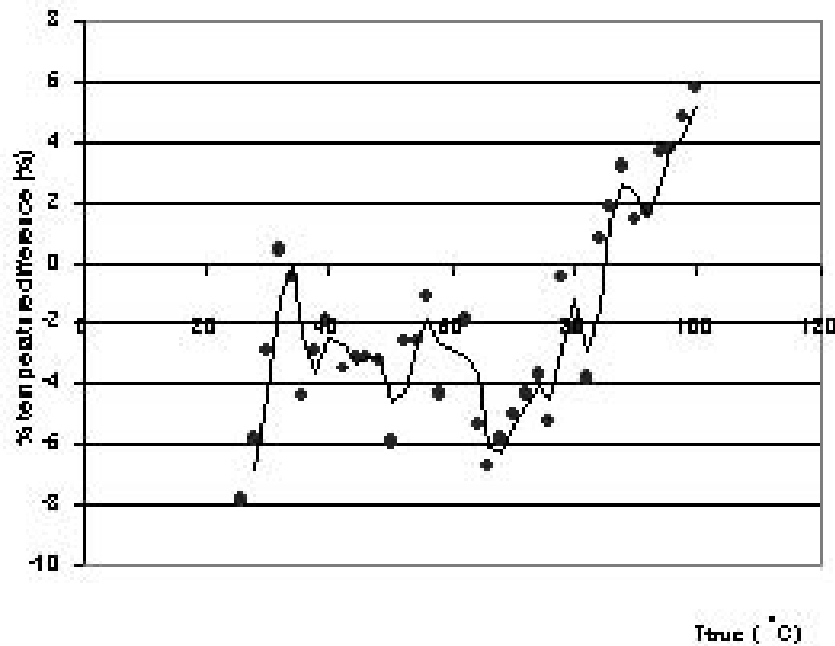


Figure 8. Relation between % temperature difference and true temperature(T_{true}) of commercial thermistor at 26 °C - 100 °C

สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง 26 °C ถึง 100 °C โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนการวัดอยู่ในช่วง -7.85 °C ถึง +5.74 °C

ลักษณะเฉพาะของเทอร์มิสเตอร์ที่ทำมาจากสาร MnO+0.4CuO มีดังนี้

- 1) อุณหภูมิการเผาก้อนสารไม่สูงมากซึ่งจะประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างหรือซื้อเตาหลอม
- 2) มีเสถียรภาพทางไฟฟ้า (electrical stability, $\Delta R/\Delta t$) ดี
- 3) ไม่แสดงสมบัติของไดอิเล็กตริก
- 4) ไม่ตอบสนองต่อแสง
- 5) มีความไวต่อการตอบสนองความร้อน
- 6) เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้า กับอุณหภูมิมีลักษณะเรียบหรือไม่มีฟีด
- 7) มีค่า $\alpha = -0.021 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ซึ่งใกล้เคียงกับของทางการค้า ($\alpha = -0.026 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)
- 8) มีความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องไม่สูง (4.26 k Ω) ซึ่งสะดวกต่อการออกแบบวงจรเครื่องวัดอุณหภูมิ
- 9) สามารถทำเป็นหัววัดอุณหภูมิที่ใช้คอมพิวเตอร์อ่านอุณหภูมิได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการงานนักศึกษาของภาควิชาฟิสิกส์ ทุนทำงานแลกเปลี่ยนและทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินรายได้ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ประจำปี 2542-44 งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์จากห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ หน่วยเครื่องมือกลาง ศูนย์เครื่องมือกลางและทุน STDB

เอกสารอ้างอิง

- Buchanan R.C., 1991. Ceramic Materials for Electronics, second edition, Merce! Dekker Inc., New York.
- Martinez Sarrion, M. L., 1995. Preparation and characterization of NTC thermistors based on $\text{Fe}_{2+}\delta\text{Mn}_{1-x}\delta\text{Ni}_x\text{O}_4$. J. Mater. Sci. 30 : 2610-2615.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.
- Soliman, F. A. S., 1993. Radiation effects on non-linear resistances. J. Mater. Sci. : Mater. In Elect. 4 : 293-300.