

บทที่ 2

ทฤษฎี

ในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึง จุดเริ่มต้นของการทำวิจัย ที่มา ปัญหาและความสำคัญในการทำวิจัยเรื่องนี้ ตลอดจนการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการค้นคว้าวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ รวมทั้งได้กล่าวถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเรื่องนี้ด้วย สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีเกี่ยวกับวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ (electroceramics) ที่เรียกว่าเทอร์มิสเตอร์ (thermistor) ทั้ง 2 ชนิดคือเทอร์มิสเตอร์ชนิดสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นบวก (positive temperature coefficient thermistor, PTC) และเทอร์มิสเตอร์ ชนิดสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นลบ (negative temperature coefficient thermistor, NTC) ซึ่งจะไปในรายละเอียดเกี่ยวกับทฤษฎีของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เพราะงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกวัสดุที่มีสมบัติเด่นทางด้านเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC หลังจากนั้นจะกล่าวถึงเทคนิคการเชื่อมต่อกอมพิวเตอรื และหลักการเชิงฟิสิกส์ของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่มีการผลิตทางการค้าคือเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) เนื่องจากได้ใช้เทอร์โมคัปเปิลในการวัดอุณหภูมิเพื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่ได้สร้างขึ้นโดยใช้คอมพิวเตอรื จึงมีความจำเป็นต้องรู้ทฤษฎีทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมคัปเปิล สุดท้ายได้อธิบายเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่สอดคล้องตามกฎของแบรกก์ (Bragg's law) เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่าง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 เทอร์มิสเตอร์

ในปัจจุบันมีความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีมากขึ้นทำให้มีการค้นพบวัสดุประเภทอิเล็กทรอนิกส์และนำมาใช้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น โดยส่วนใหญ่แล้วขอบข่ายของการใช้งานวัสดุเซรามิกประเภทนี้ครอบคลุมตั้งแต่ทำเป็นฉนวนหุ้มสายไฟฟ้าแรงสูงระดับ 1000 กิโลโวลต์จนถึงเป็นฉนวนแผ่นบาง ๆ ในชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดจิ๋วที่มีกำลังไฟฟ้าเพียง 10^{-6} วัตต์ ซึ่งสภาพต้านทานของวัสดุที่อุณหภูมิห้องจะอยู่ในช่วงค่อนข้างกว้าง เช่น Al_2O_3 , SiO_2 , MgO มีสภาพต้านทานมากกว่า 10^{14} โอห์ม-เซนติเมตร (Richerson, 1982) สำหรับวัสดุอิเล็กทรอนิกส์เซรามิกนั้นมีอยู่หลายชนิด เช่น เทอร์มิสเตอร์, ฉนวนไฟฟ้า, ตัวเก็บประจุไฟฟ้าและไพโซอิเล็กทริกส์เซรามิก

สำหรับวัสดุที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือวัสดุอิเล็กทรอนิกส์โพรเซรามิกสำหรับทำเป็นเทอร์มิสเตอร์ ซึ่งจัดเป็นทรานสดิวเซอร์ทางความร้อนชนิดหนึ่งที่ใช้วัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของวัสดุที่ทำเป็นเทอร์มิสเตอร์ ในที่นี้คือ อิเล็กโทรเซรามิกที่เป็นวัสดุกึ่งตัวนำ

ลักษณะแถบพลังงานของเซรามิกที่เป็นวัสดุกึ่งตัวนำนั้นจะมีช่องว่างแถบพลังงานที่ไม่กว้างมากนักคั่นอยู่ระหว่างแถบการนำ (conduction band) และแถบวาเลนซ์ (valence band) ซึ่งในสถานะที่ไม่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องหรืออุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์วัสดุมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าเพราะไม่มีอิเล็กตรอนที่จะนำไฟฟ้า นั่นคือที่อุณหภูมิ 0 เคลวิน โมเลกุลมีการสั่น และจะสั่นเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้มีพลังงานถ่ายเทให้แก่อิเล็กตรอนจนกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ ถ้าหากอิเล็กตรอนได้รับพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าช่องว่างแถบพลังงาน อิเล็กตรอนก็จะเคลื่อนที่จากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำและเป็นพาหะประจุไฟฟ้าได้ ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นจำนวนอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานมากพอที่จะไปอยู่ในแถบการนำก็ยิ่งมากขึ้น ดังนั้นวัสดุกึ่งตัวนำจะนำไฟฟ้าได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าให้ R เป็นความต้านทานของวัสดุกึ่งตัวนำ สมการพื้นฐานของความต้านทานกับความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นไปตามกฎของโอห์ม (Ohm's law) ดังสมการที่ (2.1) และ (2.2)

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

และ

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (2.2)$$

โดยที่ R คือความต้านทานของวัสดุ (Ω)

ρ คือสภาพต้านทานของวัสดุ ($\Omega\text{-m}$)

A คือพื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่ได้รับการทำขั้วไฟฟ้า (m^2)

L คือความหนาของวัสดุ (m)

สำหรับการมีสารเจือปนในวัสดุกึ่งตัวนำ จะมีผลไปทำให้การนำไฟฟ้าของวัสดุลดลงเล็กน้อย แต่ถ้าหากมีการควบคุมการเติมสารเจือปน ก็จะเป็นผลดีต่อการนำไฟฟ้าของวัสดุเหล่านั้นคือการนำไฟฟ้าของวัสดุจะดีขึ้นกว่าการที่ไม่ได้เติมสารเจือปนในวัสดุกึ่งตัวนำ

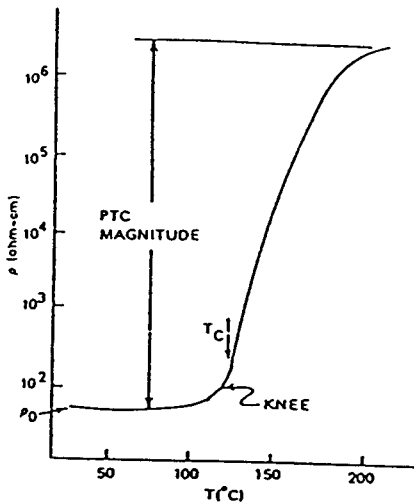
สำหรับเซรามิกที่เป็นวัสดุกึ่งตัวนำได้แก่ CoO , NiO , Cr_2O และชนิดที่นำมาทำเป็นเทอร์มิสเตอร์ได้แก่ TiO_2 , Fe_3O_4 , NiO , MgAl_2O_4 , MgCr_2O_4 , Zn_2Ti_4 สารเหล่านี้ค่อนข้างไวต่อ

อุณหภูมิ เช่น เทอร์มิสเตอร์ที่มีค่าความต้านทาน 100 กิโลโอห์มที่อุณหภูมิห้อง อาจจะมีการเปลี่ยนค่าความต้านทานถึง 10 กิโลโอห์มเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเพียง 1° เซลเซียส

จากลักษณะการขึ้นกับอุณหภูมิของค่าความต้านทานนี้ สามารถกล่าวได้ว่าเทอร์มิสเตอร์เป็นตัวต้านทานที่ไวต่อความร้อน (thermally sensitive resistor) มีอยู่ 2 ชนิดคือเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC และเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 เทอร์มิสเตอร์แบบ PTC

เทอร์มิสเตอร์แบบ PTC เป็นเทอร์มิสเตอร์ที่มีค่าความต้านทานหรือสภาพต้านทานเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิคูรี⁴ (Curie temperature, T_C) มีลักษณะดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของ BaTiO_3 ซึ่งมีสมบัติเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC (ที่มา : Buchanan, 1991: 305)

จากรูปที่ 2.1 พบว่าอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิคูรี ค่าสภาพต้านทานจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่อุณหภูมิของสารตัวอย่างเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากผลของการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผลึกและการเปลี่ยนแปลงสมบัติอิเล็กทรอนิกส์ (electronic properties) ที่ขอบเขตของเกรนส่งผลให้สภาพต้านทานเพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งในขณะที่ป้อนความต่างศักย์ให้แก่สารตัวอย่าง อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านขอบเขตของเกรน ภายในบริเวณขอบเขตของเกรนจะมีประจุบวกซึ่งจะทำหน้าที่จับอิเล็กตรอน แล้วทำให้ปริมาณอิเล็กตรอนที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า (I) ลดลง ทำให้ค่าความต้านทาน (R) หรือสภาพต้านทาน (ρ) ของสารเพิ่มขึ้น

⁴ อุณหภูมิคูรีจะเปลี่ยนเฟสจากเฟอร์โรอิเล็กทริกมาเป็นพาราอิเล็กทริก

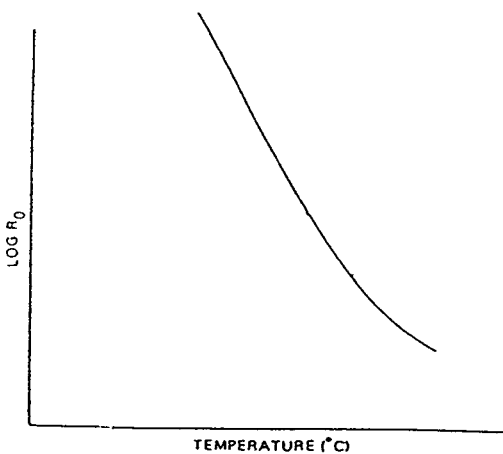
และจากรูปที่ 2.1 พบว่า $BaTiO_3$ มีการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพต้านทานที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิคูรีซึ่งอยู่ในช่วง $120 - 130^\circ C$ แสดงว่า $BaTiO_3$ มีสมบัติเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC

นอกจากวัสดุเชิงตัวนำ $BaTiO_3$ ที่มีสมบัติเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC แล้วยังมี $BaTiO_3 + 0.01La_2O_3$ (BLT), $BaTiO_3 + 0.01Y_2O_3$, $BaTiO_3 + 0.01Nb_2O_3$, $BaTiO_3 + 0.01Sb_2O_3$ ที่สามารถนำมาทำเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC ได้

สำหรับการประยุกต์ใช้งานสารตัวอย่างที่มีสมบัติเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC นั้นส่วนใหญ่จะนำไปทำอุปกรณ์ต่างๆดัง เช่น ตัวทำความร้อนอุณหภูมิคงที่ (constant temperature) ตัวทำอากาศร้อนสำหรับเป่าผม (honeycome air heater or hair dryer) ตัวทำเป็นไอของน้ำมันในรถยนต์ (auto fuel evaporator) อุปกรณ์จำกัดกระแส (current limiter) อุปกรณ์ตั้งเวลาในวงจร (circuit timer) หัววัดสำหรับป้องกันมอเตอร์ (sensor for motor protection) และอุปกรณ์ช่วยสตาร์ทมอเตอร์ (motor start assist) (Buchanan, 1991)

2.1.2 เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC

เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เป็นเทอร์มิสเตอร์ที่ค่าความต้านทานของสารตัวอย่างลดลงค่อนข้างเร็วในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.2



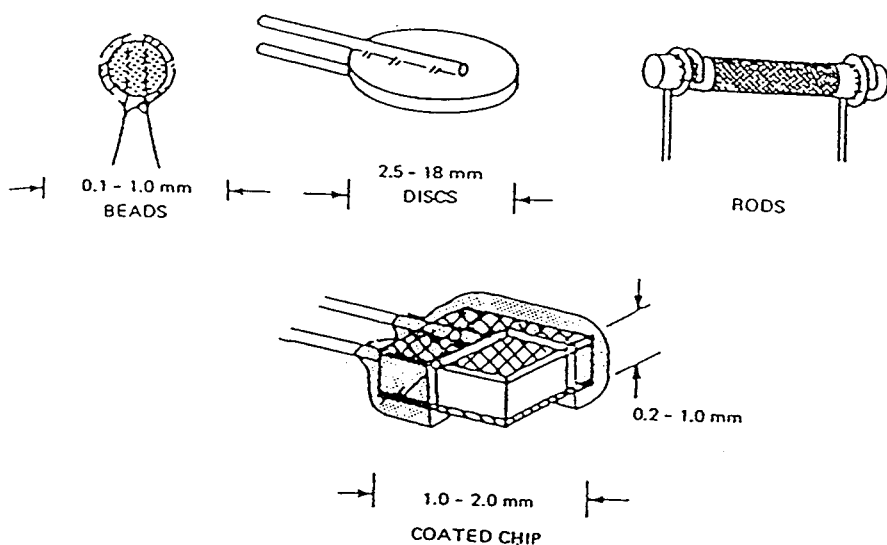
รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างการลดลงของความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิ (ที่มา : Buchanan, 1991: 276)

สาเหตุที่ค่าความต้านทานของสารตัวอย่างมีค่าลดลงในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของแถบพลังงานอิเล็กทรอนิกส์รอยจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำทำให้แถบวาเลนซ์เกิดช่องว่างที่เรียกว่าโฮล (hole) ขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลมากขึ้น ส่งผลให้ค่ากระแสไฟฟ้า (I) ที่เกิดจากอิเล็กตรอนกับโฮลเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลงในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น (Moulson และ Herbert, 1990)

สำหรับสารที่ใช้ทำเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ส่วนใหญ่เป็นสารกึ่งตัวนำและจากสมการที่ (2.2) สามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับสภาพต้านทานของสารตัวอย่างได้

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (2.3)$$

จากสมการที่ (2.3) จะเห็นว่าค่าความต้านทานของวัสดุที่มีสมบัติเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC จะมีค่าขึ้นอยู่กับความหนาและพื้นที่หน้าตัดของสารที่ได้รับการทำขั้วไฟฟ้าดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ในรูปแบบต่างๆ (ที่มา : Buchanan, 1991: 273)

จากรูปที่ 2.3 พบว่าเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC แต่ละรูปแบบจะมีขนาดแตกต่างกัน นั่นก็หมายความว่าความหนาและพื้นที่หน้าตัดของสารตัวอย่างจะมีค่าไม่เท่ากัน ส่งผลให้ค่าความต้านทานของสารตัวอย่างไม่เท่ากันด้วย (Buchanan, 1991)

นอกจากค่าความต้านทานที่มีสมบัติเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC มีค่าขึ้นอยู่กับความหนาและพื้นที่หน้าตัดของสารที่ได้รับการทำขั้วไฟฟ้าแล้ว ยังมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่สอดคล้องกับสมการทั่วไป (Moulson และ Herbert, 1990)

$$R(T) = R_{\alpha} e^{\frac{B}{T}} \quad (2.4)$$

- เมื่อ $R(T)$ คือความต้านทานที่อุณหภูมิใดๆ (Ω)
 R_α คือค่าความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิง (Ω)
 B คือดัชนีความไวในการตอบสนองต่ออุณหภูมิ(K)
 T คืออุณหภูมิ (K)

จากสมการที่ (2.4) พบว่าค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ จะมีค่าลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น นั่นคือความสามารถในการนำไฟฟ้าของเทอร์มิสเตอร์ชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$R_2 = R_1 e^{B\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)} \quad (2.5)$$

- เมื่อ R_1 คือความต้านทานที่อุณหภูมิ T_1
 R_2 คือความต้านทานที่อุณหภูมิ T_2

เป็นที่ทราบจากสมการที่ (2.4) แล้วว่า B คือค่าดัชนีความไวในการตอบสนองต่ออุณหภูมิ ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดความสามารถในการตอบสนองต่ออุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ชนิดนี้ นั่นคือวัสดุใดๆก็ตามที่มีค่า B มากแสดงว่าวัสดุนั้นมีความสามารถในการตอบสนองอุณหภูมิได้ดี แต่ถ้าวัสดุใดๆก็ตามที่มีค่า B ต่ำ แสดงว่าวัสดุนั้นมีความสามารถในการตอบสนองต่ออุณหภูมิได้ไม่ดี และจากสมการที่ (2.5) สามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปแบบของค่าดัชนีความไวได้ดังนี้

$$B(K) = \frac{1}{\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)} \cdot \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \quad (2.6)$$

เมื่อ $B(K)$ คือค่าดัชนีความไวในการตอบสนองต่ออุณหภูมิในหน่วยเคลวิน(K)

นอกจากค่า B เป็นค่าที่กำหนดความสามารถในการตอบสนองต่ออุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC แล้วยังมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบ (α) เป็นค่าที่กำหนดความสามารถในการตอบสนองต่ออุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ เช่นกัน กล่าวคือวัสดุ

ชนิดใดก็ตามที่มีค่า α สูง แสดงว่าวัสดุนั้นสามารถตอบสนองต่ออุณหภูมิได้ดีกว่าวัสดุมีค่า α ต่ำ ซึ่งสามารถหาค่า α ได้จากสมการที่ (2.7) (Moulson และ Herbert, 1990)

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} \quad (2.7)$$

นำค่า $R(T)$ จากสมการที่ (2.4) แทนลงในสมการที่ (2.7) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า α กับค่า B ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT} = \frac{1}{R_\alpha e^{\frac{B}{T}}} \cdot R_\alpha e^{\frac{B}{T}} \cdot \left(-\frac{B}{T^2}\right) \quad (2.8)$$

จากสมการที่ (2.8) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า α กับค่า B ดังสมการที่ (2.9)

$$\alpha = -\frac{B}{T^2} \quad (2.9)$$

จากสมการที่ (2.9) เขียนสมการให้อยู่ในรูปของ B จะได้ว่า

$$B = -\alpha T^2 \quad (2.10)$$

นำค่า B จากสมการที่ (2.10) แทนลงในสมการที่ (2.4) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานที่เกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบดังสมการ

$$R(T) = R_\alpha e^{-\alpha T} \quad (2.11)$$

เมื่อ α คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบ ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

พิจารณาตารางที่ 2.1 เพื่อเปรียบเทียบวัสดุชนิดต่างๆที่มีคุณสมบัติเป็นหัววัดเชิงความร้อน (thermal sensors) ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบวัสดุชนิดต่างๆที่มีคุณสมบัติเป็นหัววัดเชิงความร้อน

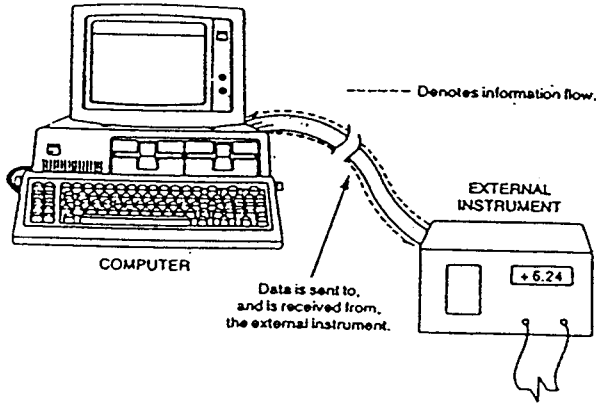
Sensor material	$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} (\%/^{\circ}\text{C})$	stability	Temperature range ($^{\circ}\text{C}$)
Metals	+0.1 to 0.5	Fair to good	100-200
Silicon	+0.1	Fair to good	150
BaTiO ₃ (PTC)	+10 to 100	Good at T _c	200+
NTC	-6.0 to -1.0	Good to excellent	300

(ที่มา : Buchanan,1991: 277)

2.2 เทคนิคการเชื่อมต่อกอมพิวเตอร

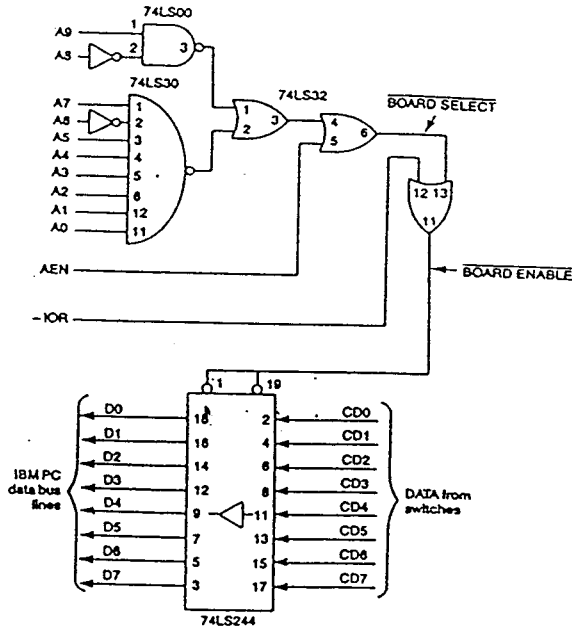
ปัจจุบันนี้คอมพิวเตอร์มีบทบาทเป็นอย่างมากในวงการต่างๆไม่ว่าทางด้านการศึกษา ธุรกิจ อุตสาหกรรมและวงการอื่นๆ การใช้งานเป็นไปอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะงานด้านซอฟต์แวร์ทำให้การทำงานในวงการเหล่านี้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังมีงานส่วนหนึ่งที่ไม่ควรละเลยหรือมองข้ามคือ งานการประยุกต์เชื่อมต่อกอมพิวเตอรเข้ากับเครื่องมือต่างๆ และงานทดลอง ไม่ว่าเครื่องมือหรือชุดทดลองนั้นจะสร้างขึ้นใช้งานเองหรือสั่งซื้อเข้ามา งานในด้านนี้ปัจจุบันยังไม่เคยเป็นที่แพร่หลายโดยทั่วไป การเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์สามารถทำให้เราสามารถวิเคราะห์งานได้อย่างมีประสิทธิภาพส่งผลโดยตรงในการควบคุมงานให้ดียิ่งขึ้น และเสียค่าใช้จ่ายน้อย สำหรับงานวิจัยนี้ได้สร้างระบบการทดลองโดยอาศัยหลักการเชื่อมต่อกอมพิวเตอร ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดดังต่อไปนี้

ไมโครคอมพิวเตอร์ (microcomputer) ส่วนบุคคล IBM PC นอกจากใช้งานในด้านซอฟต์แวร์แล้วยังสามารถใช้งานในการเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องมือภายนอกต่างๆเพื่อทำการวัดปริมาณทางกายภาพ และส่งผลกลับในแง่การควบคุมปริมาณทางกายภาพที่ล้อมรอบตัวเรา ซึ่งปริมาณทางกายภาพเหล่านี้ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสง เป็นต้น ซึ่งคอมพิวเตอร์มีเส้นทางที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับเครื่องมือภายนอกโดยมีการเรียกข้อมูลเข้ามา และเมื่อต้องการควบคุมก็ทำการส่งข้อมูลออก แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การนำข้อมูลเข้าและส่งออก (ที่มา : Coffron, 1981: 3)

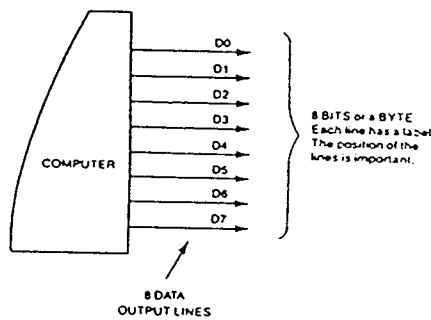
สำหรับการนำข้อมูลเข้าใช้ IC เบอร์ 74LS244 เป็นบัฟเฟอร์ของข้อมูล และต้องมีการอินาเบิลเพื่อนำข้อมูลเข้าทางสายข้อมูล(data bus) ฉะนั้นจำเป็นต้องเชื่อมต่อสายสัญญาณนี้เข้ากับวงจรอินาเบิล รายละเอียดของวงจรอินพุตบัฟเฟอร์แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 รายละเอียดวงจรอินพุตบัฟเฟอร์ (ที่มา : Coffron, 1981: 86)

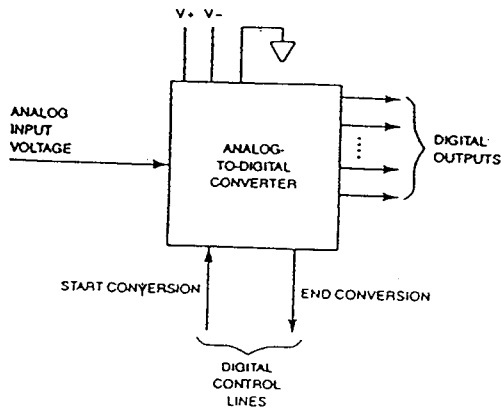
จากรูปที่ 2.5 ที่ตำแหน่ง CD₀-CD₇ ทำการเชื่อมต่อกับดิปสวิทช์ 8 ทาง (16 ขา) เพื่อทำการสับสวิทช์ ON-OFF เป็นข้อมูลเข้าของแต่ละบิต (D₀-D₇) เพื่อให้ข้อมูลที่เข้าสู่ IC 74LS244 มีลอจิก 0 และ 1 ซึ่งสามารถแสดงผลได้โดยใช้ LED 8 ตัว

สำหรับแอดเดรส (address) ของข้อมูลเปรียบเสมือนเลขที่บ้าน ซึ่งใช้ในการติดต่อสื่อสาร แบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนหนึ่งใช้ติดต่อกันอยู่ระหว่างภายในเครื่องคือในส่วนที่เรียกว่า หน่วยความจำ (memory) อีกส่วนหนึ่งใช้ติดต่อกับภายนอกคือส่วนที่เรียกว่าพอร์ต (port) ซึ่งแน่นอนว่าพอร์ตหรือเลขที่บ้านที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ต้องมีหมายเลขในการติดต่อ โดยมีการจัดสรรให้แน่นอน ไม่ซ้ำซ้อนกันเกิดขึ้น การสื่อสารภายในคอมพิวเตอร์มีสายข้อมูล (data bus) เพื่อส่งและรับข้อมูลถึงกัน การส่งและรับข้อมูล ถ้าไม่มีตำแหน่งในการส่งและรับข้อมูล ก็ไม่รู้ว่าส่งไปที่ไหนและให้ที่ใครรับ จึงจำเป็นต้องมีสายแอดเดรส (address bus) ในการกำหนดตำแหน่งภายในคอมพิวเตอร์ ซึ่งในส่วนของข้อมูลระบบไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC มีสายส่งข้อมูล 8 สาย คือ D_0 - D_7 เราเรียกว่าข้อมูล 8 บิตหรือ 1 ไบต์แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การส่งข้อมูลออก (ที่มา : Coffron, 1981: 28)

สำหรับการที่จะให้คอมพิวเตอร์เชื่อมต่อเข้ากับสัญญาณอนาลอก เช่น แรงดันไฟฟ้า โดยตรงนั้นไม่สามารถทำได้ จึงจำเป็นต้องมีการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้ตัวแปลงสัญญาณที่เรียกว่าทรานส์ดิวเซอร์ (transducer) ซึ่งสามารถกระทำได้โดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่าวงจรการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (Analog-to-digital converter: ADC หรือ A/D) เป็นการแปลงสัญญาณแรงดันในช่วงใดๆ ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อที่จะนำเข้าสู่ IBM PC ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ไดอะแกรม ADC หรือ A/D (ที่มา : Coffron,1981: 161)

จากรูปที่ 2.7 สมมติว่าแรงดันไฟฟ้าที่เข้าเครื่องคอมพิวเตอร์มีค่า 0 ถึง 5 โวลต์ เมื่อผ่านวงจร ADC แล้ว วงจร ADC จะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าให้เป็นแรงดันดิจิทัลมีค่าเป็นโลจิก 0 หรือ 1 ตามลำดับ

2.3 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมินั้นมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน โดยอุปกรณ์แต่ละชนิดจะอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงสมบัติเฉพาะของสาร ซึ่งหลักการที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิโดยทั่วไปนั้นสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

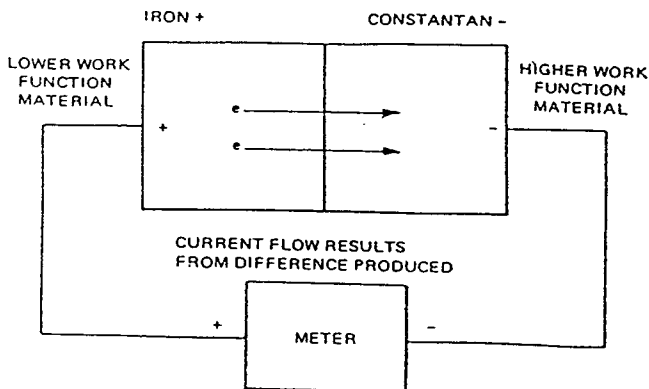
- อาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล เช่น เทอร์โมมิเตอร์ แถบโลหะคู่
- อาศัยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานหรือโอ เช่น เทอร์โมมิเตอร์แบบความต้าน
- อาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้า เช่น เทอร์โมคัปเปิล อาร์ทีดี เทอร์มิสเตอร์
- อาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแสงและการแผ่รังสี เช่น ไพโรมิเตอร์
- อาศัยหลักการโดยวิธีการทางเคมี เช่น ใช้วิธีการเปลี่ยนสีอุปกรณ์ตรวจจับ

จากหลักการในการตรวจวัดอุณหภูมิในหลายๆ วิธีดังกล่าว การตรวจวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้า จะนิยมนำมาใช้มากที่สุด เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์เหล่านี้สามารถนำไปต่อร่วมกับวงจรไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อการแสดงผลในเชิงตัวเลขหรือเพื่อความคุมระบบตามที่ต้องการ

สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้สารตัวอย่างที่มีสมบัติเป็นเทอร์มิเตอร์แบบ NTC โดยการสร้างระบบการเชื่อมต่อด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่อ่านอุณหภูมิ และได้ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิชนิดเทอร์โมคัปเปิลที่เป็นอุปกรณ์สำเร็จรูป สำหรับวัดอุณหภูมิเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่อ่านได้จากคอมพิวเตอร์กับอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งจะกล่าวถึงในหลักการเชิงฟิสิกส์ของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิชนิดเทอร์โมคัปเปิล กล่าวคือ

เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) จัดได้ว่าเป็นทรานสดิวเซอร์ที่สามารถสร้างหรือผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ด้วยตัวของมันเอง เทอร์โมคัปเปิลจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งประกอบด้วยเส้นลวดโลหะต่างชนิดกันสองเส้นต่อเข้าด้วยกันที่ปลายข้างหนึ่ง ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งถูกนำไปต่อใช้งาน ปลายของเส้นลวดที่ต่อเข้าด้วยกันนี้เรียกว่ารอยต่อร้อน (hot junction) ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งเรียกว่ารอยต่อเย็น (cold junction) ซึ่งเป็นปลายด้านที่ต่อไปใช้งาน เมื่อจุดรอยต่อร้อนได้รับความร้อนและมีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่สามารถวัดค่าได้ที่จุด รอยต่อเย็น สำหรับพฤติกรรมที่ปรากฏของเทอร์โมคัปเปิลนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยผลการทดลองของซีเบค (seebeck effect)

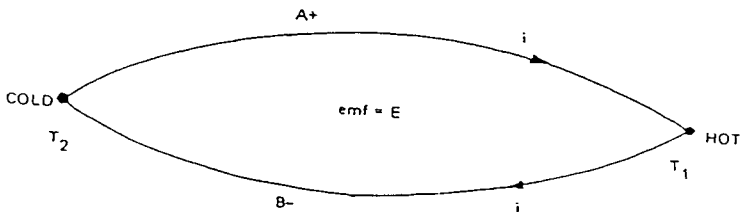
Thomas Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน เป็นผู้ค้นพบอุปกรณ์ที่สามารถให้แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากความร้อน (thermoelectric voltage) ขึ้นครั้งแรกโดยไม่คาดคิดมาก่อนในเวลานั้น เขาได้นำลวดโลหะต่างชนิดกันมาต่อปลายเข้าด้วยกันแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการจัดชุดทดลองสำหรับปรากฏการณ์ซีเบค (ที่มา:พรจิต,2541:67)

จากรูปที่ 2.8 Seebeck ได้อธิบายผลที่เกิดขึ้นจากการทดลองว่า ถ้าให้ความร้อนที่ปลายข้างหนึ่งของเส้นลวดโลหะต่างชนิดกันที่ติดกันอยู่ กระแสที่ไหลจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างรอยต่อร้อนกับรอยต่อเย็น ซึ่งการไหลของกระแสเหล่านี้เกิดจากความปั่นป่วนของอิเล็กตรอนตรงจุดสัมผัส

ซึ่งวัสดุที่ใช้ นั้นจะต้องเป็นวัสดุที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในอะตอมไม่เท่ากัน ในที่นี้ขอเรียกใหม่ว่าฟังก์ชันงาน (work function) วัสดุที่มีฟังก์ชันงานที่ต่ำกว่า (lower work function material) จะให้อิเล็กตรอนได้เร็วกว่าวัสดุที่มีฟังก์ชันงานที่สูงกว่า (higher work function material) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อิเล็กตรอนก็จะปลดปล่อยออกจากวัสดุที่มีฟังก์ชันงานต่ำกว่า ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดเป็นขั้วบวกขึ้น ที่ระดับอุณหภูมิคงที่ จำนวนอิเล็กตรอนที่ปลดปล่อยออกมาก ก็จะมีจำนวนคงที่และกระแสจะไหลสม่ำเสมอ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยออกมากก็จะมากขึ้นกระแสก็จะไหลมากขึ้น จากปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ซีเบค (ที่มา:พรจิต,2541:67)

จากรูปที่ 2.9 กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะไหลอยู่ตลอดเวลาตราบเท่าที่จุดต่อทั้งสองยังมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน แรงดันไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการไหลของกระแสเหล่านี้คือแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากความร้อน ถ้าให้ E เป็นแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิล หรือแรงดันไฟฟ้าของ Seebeck จะได้ว่า

$$E = c(T_1 - T_2) + k(T_1^2 - T_2^2) \quad (2.12)$$

เมื่อ c, k = ค่าคงที่ของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด

T_1 = อุณหภูมิของจุดที่ใช้ในการวัดค่า (hot junction) (K)

T_2 = อุณหภูมิของจุดอ้างอิง (cold junction) (K)

2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารตัวอย่าง

รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ที่มีพลังงานสูงและมีความยาวคลื่น (wavelength) สั้น (0.05-0.25 nm) สามารถคำนวณพลังงานของรังสีเอกซ์ได้จากสมการ

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.13)$$

โดยที่ E คือพลังงานของรังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์ที่มีพลังงานในช่วง 10-50 keV โวลต์เป็นค่าที่นำมาศึกษาโครงสร้างผลึก

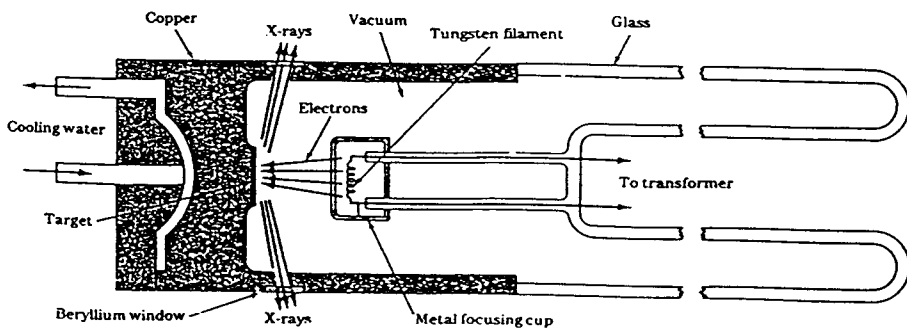
h คือค่าคงที่ของพลังค์ (Plank's constant) มีค่าเท่ากับ 6.62×10^{-34} J/s

ν คือความถี่ (Hz)

c คือความเร็วแสงในสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ 3×10^8 m/s

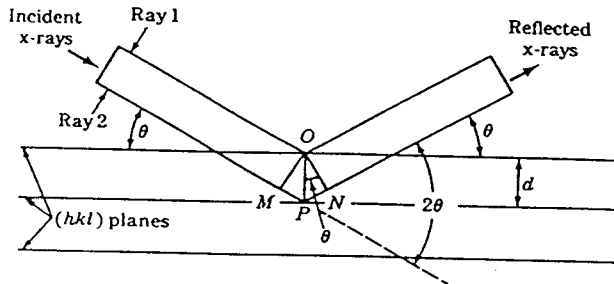
λ คือความยาวคลื่น (m)

รังสีเอกซ์เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งในสนามไฟฟ้าให้มีพลังงานสูงมาก จึงเข้าชนเป้าซึ่งทำด้วยโลหะหนักดังรูปที่ 2.10 ผลของการชนก่อให้เกิดรังสีเอกซ์ 2 ชนิดคือรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง (continuous x-ray) กับรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic x-ray) รังสีเอกซ์จะแสดงสมบัติเชิงคลื่นคือเกิดการเลี้ยวเบน (diffraction) เมื่อผ่านช่องว่างระหว่างอะตอมในผลึกและหลังจากคลื่นผ่านโครงสร้างผลึกออกมาจะเกิดการแทรกสอด (interference) ทั้งแบบเสริมและแบบหักล้างกัน



รูปที่ 2.10 ภาคตัดขวาง(cross section) ของหลอดรังสีเอกซ์ (ที่มา : Smith,W.F.,1990:103)

แบรกก์ (Bragg) เป็นนักฟิสิกส์ชาวอังกฤษได้ตั้งกฎการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ไว้ว่า รังสีเอกซ์จะแทรกสอดกันแบบเสริมมากที่สุดเมื่อมีการกระเจิงออกจากแต่ละระนาบด้วยความยาวคลื่นที่แตกต่างกันเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ เรียกว่ากฎของแบรกก์ (Bragg's law) ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงทางเดินรังสีเอกซ์ (ที่มา : Smith,W.F.,1990, : 103)

จากรูปที่ 2.11 รังสีเอกซ์ที่ 1 มีเฟสร่วม (in phase) กับรังสีเอกซ์ที่ 2 แต่รังสีเอกซ์ที่ 2 มีทางเดินรังสียาวกว่าทางเดินของรังสีที่ 1 เป็นระยะทาง MP+PN จากกฎของแบรกก์ ผลต่างทางเดินนี้ต้องมีค่าเท่ากับ $n\lambda$ โดยที่ n หมายถึงจำนวนเท่า และ λ คือความยาวคลื่น นอกจากนั้นจะเห็นว่าระยะ MP และ PN ต่างมีค่าเท่ากับ $d_{hkl} \sin \theta$ ดังนั้น

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (2.14)$$

เมื่อ d_{hkl} คือระยะระหว่างระนาบ

θ คือมุมสะท้อนจากระนาบแบรกก์ของรังสีเอกซ์ซึ่งเท่ากับมุมตกกระทบ

n คืออันดับการเลี้ยวเบนมีค่าตั้งแต่ 1,2,3,....

วิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ใช้ศึกษาโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่าง ซึ่งใช้รังสีเอกซ์ความยาวคลื่นเดียวตกกระทบสารตัวอย่างที่บิดเป็นวงละเอียด ทำให้ผลึกต่างๆของสารตัวอย่างมีการวางตัวแบบสุ่ม ระนาบต่างๆ ในผลึกไม่ได้ก่อให้เกิดการเลี้ยวเบนเสมอไป ระนาบใดที่รังสีเอกซ์ตกกระทบแล้วกระเจิงออกมาอย่างสอดคล้องกับกฎของแบรกก์เรียกว่าระนาบแบรกก์ (Bragg plane)

มุมที่รังสีสะท้อนทำกับระนาบที่ขนานกับรังสีตกกระทบเรียกว่ามุมเลี้ยวเบน (diffraction angle) ซึ่งมีค่าเป็น 2 เท่าของมุมสะท้อน จากนั้นความเข้ม (intensity) ของรังสีเอกซ์ที่เลี้ยวเบน และมุมเลี้ยวเบนต่างๆ จะถูกตรวจหาด้วยดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (diffractometer) และนำค่าทั้งสองที่บันทึกไว้ไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของตัวอย่างต่อไป กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและมุมเลี้ยวเบนที่ได้เรียกว่าลวดลายการเลี้ยวเบน (diffraction pattern) ซึ่งจะไม่มีการซ้ำกันเลย สำหรับธาตุหรือสารประกอบต่างชนิดกัน

จากการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ระนาบต่างๆ ในผลึก เมื่อใดที่รังสีเอกซ์เลี้ยวเบนแล้วแทรกสอดแบบเสริมกัน ความเข้มรังสีเอกซ์จะมีค่ามากซึ่งสังเกตได้จากยอด (peak) ในลวดลายการเลี้ยวเบนและยอดเหล่านั้น จะปรากฏที่มุมเลี้ยวเบนเดิมเสมอสำหรับธาตุหรือสารประกอบชนิดเดียวกัน

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก สามารถนำข้อมูลที่ได้จากลวดลายการเลี้ยวเบนมาวิเคราะห์ได้ โดยการหาระยะระหว่างระนาบในผลึกซึ่งมีความสัมพันธ์กับมุมเลี้ยวเบนที่อ่านจากลวดลายการเลี้ยวเบน