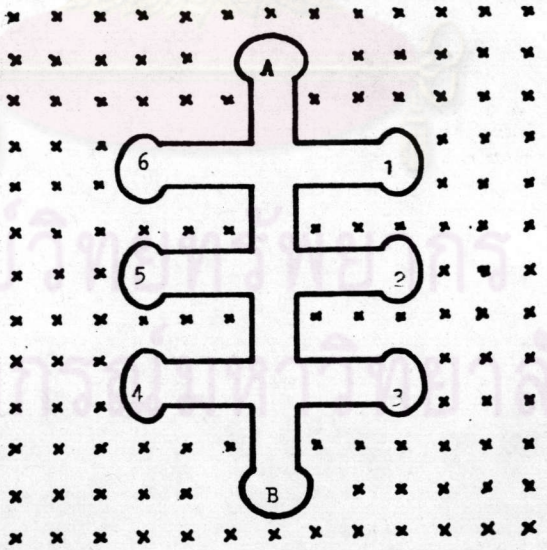
บทที่ 2

เทคนิคการวัด และอุปกรณ์

การวัดค่าสภาพนำไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ของฮอลล์นั้น วิธีการวัดจะขึ้นอยู่กับลักษณะของผลึกตัวอย่าง ในบทนี้ได้เขียนไว้สองวิธีคือ การวัดแบบธรรมดา กับการวัดแบบวิธีของ แวน เดอร์ เพาว์ ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้และเครื่องมือวัดนั้นขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิที่ต้องการวัดและความละเอียดของข้อมูลที่ต้องการ สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองบางชิ้นมีอยู่ก่อนแล้ว บางชิ้นสร้างขึ้นใหม่โดยใช้วัสดุที่หาง่ายในห้องตลาด

2.1 การวัดค่าสภาพนำไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ของฮอลล์แบบธรรมดา

การวัดแบบนี้ใช้ในกรณีที่ผลึกตัวอย่างมีขนาดใหญ่พอควรและสามารถแต่งให้มีรูปร่างตามต้องการได้ง่าย เรามักนิยมแต่งให้ผลึกตัวอย่างมีรูปลักษณะดังรูป (2.1)



รูปที่ 2.1 แสดงรูปร่างผลึกตัวอย่างที่นิยมใช้วัดค่าสภาพนำไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ในสนามแม่เหล็ก

ตามรูปแขน 1 กับ 6, 2 กับ 5 และ 3 กับ 4 ควรจะตรงกันและตั้งฉากกับความยาวของผลึกตัวอย่าง ส่วนแขน 2 และ 5 ควรอยู่กึ่งกลางระหว่าง แขน 1 กับ 3 และ 4 กับ 6 แขน 1 กับ 3 ควรห่างกันมากกว่า 4 เท่าของความกว้างเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวของผลึกตัวอย่าง แขน 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ทำให้ยื่นออกไปก็เพื่อลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากจุดสัมผัสใหญ่เกินไป และเพื่อไม่ต้องทำจุดสัมผัสที่ผิวข้างของผลึกตัวอย่าง

ในการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้านั้นให้กระแสไฟฟ้าไหลระหว่างขั้ว A ไป B แล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้ว 1 กับ 3 หรือ 4 กับ 6 เราสามารถหาค่าสภาพนำไฟฟ้าได้โดยสมการ (2.1)

$$\sigma = \frac{I_{AB}\,d}{ab.V} \qquad (2.1)$$

เมื่อ I_{AB} คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลระหว่าง A กับ B

d คือ ระยะห่างระหว่างขั้ว 1 กับ 3 หรือ 4 กับ 6

a คือ ความกว้างของผลึกตัวอย่าง

b คือ ความหนาของผลึกตัวอย่าง

V คือ ความต่างศักย์ระหว่างขั้ว 1, 3 หรือ 4, 6

การวัดสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ให้กระแสไฟฟ้าไหลระหว่างขั้ว A กับ B สนามแม่เหล็กตั้งฉากกับระนาบของผลึกตัวอย่างตามรูป (2.1) สนามแม่เหล็กพุ่งเข้ากระดาษ โดยวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้ว 2 กับ 5 จากสมการ (1.4.8) จะได้ว่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์

$$R_H = \frac{bV_{25}}{I_{AB}\,B} \qquad (2.2)$$

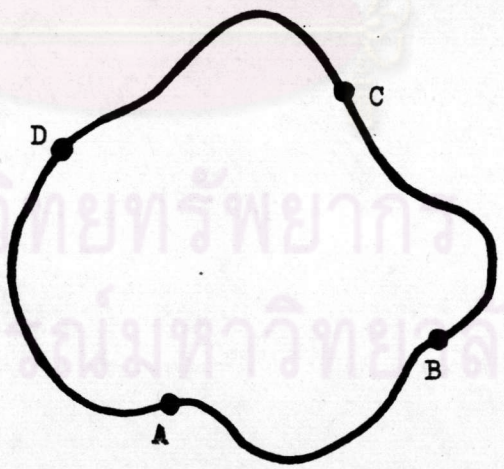
การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ของฮอลล์โดยวิธีธรรมดานี้มีข้อจำกัดหลายประการคือ

1. ขนาดของผลึกตัวอย่างต้องมีขนาดใหญ่พอควร
2. จุดสัมผัสต้องมีขนาดเล็ก
3. แขนที่ยื่นต้องตั้งฉากกับความยาวของผลึกและแขน 2 กับ 5 ต้องตรงกัน
4. ผลึกตัวอย่างต้องตบแต่งดังรูปได้ง่าย

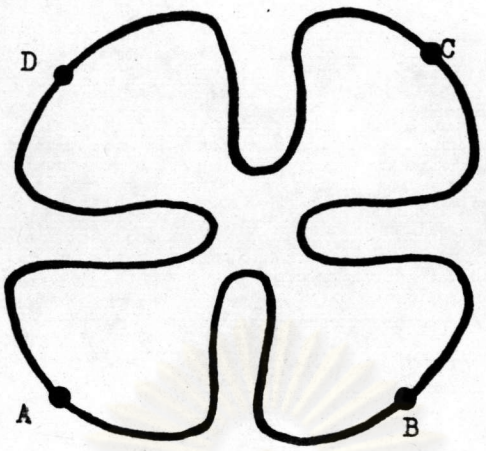
จะเห็นว่าการวัดแบบธรรมดานี้ไม่สามารถใช้กับผลึกตัวอย่างทั่วไปที่มีขนาดเล็กและมีรูปร่างไม่แน่นอน แต่ถ้าผลึกเหล่านี้มีความหนาคงที่ เราสามารถวัดค่าสภาพนำต้านทานไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ได้โดยวิธีแบบ แวน เดอร์ เพาว์

2.2 การวัดค่าสภาพนำไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ของฮอลล์โดยวิธีแบบ แวน เดอร์ เพาว์

การวัดแบบวิธีของ แวน เดอร์ เพาว์ สามารถใช้กับผลึกตัวอย่างที่มีขนาดเล็กบาง มีความหนาเท่ากันตลอด มีรูปร่างใด ๆ ก็ได้ ให้ผลึกตัวอย่างมีรูปร่างใด ๆ ดังรูป (2.2) และ (2.3)



รูปที่ 2.2 ผลึกตัวอย่างเป็นรูปใด ๆ จุด A, B, C และ D เป็นจุดสัมผัส



รูปที่ 2.3 ผลึกตัวอย่างตบแต่งให้ผิวรอบนอกมีเส้นรอบรูปมากขึ้น

การวัดแบบนี้จะให้ผลแม่นยำต่อเมื่อจุดสัมผัสต้องมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับเส้นรอบรูป การลดความคลาดเคลื่อนทำได้โดยการเพิ่มความยาวรอบรูปของผลึกตัวอย่างดังรูป (2.3) ในการวัดให้กระแสไฟฟ้าไหลระหว่างจุด 2 จุด และวัดความต่างศักย์ระหว่าง 2 จุดที่เหลือ ในการคำนวณกำหนดให้

$$R_{AB,CD} = \frac{V_{CD}}{I_{AB}} \qquad (2.3)$$

V_{CD} คือ ความต่างศักย์ระหว่างจุด C กับ D

I_{AB} คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลระหว่างจุด A ไป B

เราสามารถหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ได้จากสมการ (2.4)

$$\exp\left(-\pi \left|R_{AB,CD}\right| b/\rho\right) + \exp\left(-\pi \left|R_{BC,DA}\right| b/\rho\right) = 1 \qquad (2.4)$$

เมื่อ $R_{BC,DA} = \frac{V_{DA}}{I_{BC}}$

และ b = ความหนาของผลึก

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ทำโดยใช้สนามแม่เหล็ก (B) ผ่านตั้งฉากกับระนาบผลึกตัวอย่าง ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจุด 2 จุดที่อยู่ตรงข้าม และวัดความต่างศักย์ระหว่าง 2 จุดที่เหลือ จากรูป (2.2) และ (2.3) ให้สนามแม่เหล็กพุ่งเข้ากระดาษเราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ได้จากสมการ (2.5)

$$R_H = \frac{b \Delta R_{BD,AC}}{B} \qquad (2.5)$$

เมื่อ $\Delta R_H = R_{BD,AC}(B) - R_{BD,AC}(B=0)$

$R_{BD,AC}(B)$ คือ $R_{BD,AC}$ ในขณะที่มีสนามแม่เหล็ก B อยู่

จากนี้สามารถหาค่าสภาพเคลื่อนของฮอลล์ (Hall-mobility) จากสมการ

$$R_H/\rho = \mu_H \qquad (2.6)$$

สำหรับการศึกษาการวัดค่าสภาพนำไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ในการวิจัยนี้จะใช้วิธีการวัดแบบ แวน เดอร์ เพาว์

2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

ในการวิจัยหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือการวัดที่ละเอียด และอุปกรณ์ที่จำเป็นเช่น ภาชนะใส่ผลึกตัวอย่างและอุปกรณ์ชุดควบคุมอุณหภูมิ ในหัวข้อนี้ในตอนต้นจะกล่าวถึงเครื่องมือในการวัดในช่วงหลังกล่าวถึงอุปกรณ์และการสร้างอุปกรณ์ที่จำเป็น

2.3.1 เครื่องมือในการวัด

การวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าผลึกตัวอย่างใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ซึ่งสามารถวัดได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิแอมแปร์

การวัดความต่างศักย์ฮอลล์เนื่องจากความต่างศักย์ฮอลล์นั้นน้อยมาก อยู่ในช่วงมิลลิโวลท์ และเพื่อป้องกันมิให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่เครื่องมือวัดซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในกรณีผิวสัมผัสไม่ดี จึงใช้เวอร์เนียรโพเทนทิโอมิเตอร์ (Vernier Potentiometer) ซึ่งต้องใช้ร่วมกับกัลวานอมิเตอร์แบบบอลลิสติก และเสกลพร้อมไฟส่อง สำหรับเวอร์เนียรโพเทนทิโอมิเตอร์สามารถวัดได้ละเอียดถึง 1 ไมโครโวลท์

เนื่องจากความต้านทานของผลึกตัวอย่างมีค่าถึงประมาณ 5–8 กิโลโอห์ม เมื่อต้องการให้กระแสไหลผ่านประมาณ 2 มิลลิแอมแปร์จะต้องใช้ความต่างศักย์สูงถึง 10–15 โวลท์ และเนื่องจากต้องการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าด้วยจึงใช้เพาว์เวอร์ซัพพลายชนิดสามารถปรับค่าได้ในช่วง 0–30 โวลท์ ซึ่งได้ทำให้สม่ำเสมอ (regulate) ความต่างศักย์กระเพื่อมไม่เกิน 1% ใช้ร่วมกับกล่องต้านทาน เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลเข้าผลึกตัวอย่าง

ในการวัดค่าคงที่ฮอลล์จำเป็นต้องใช้สนามแม่เหล็กในการวิจัยนี้ใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีขั้วแม่เหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว และสามารถควบคุมความเข้มสนามแม่เหล็กได้ละเอียดถึง 10 เกาส์ ของบริษัท BRUKER โมเดล B-MNS 154140 SI 6n

ในการวัดอุณหภูมิของผลึกตัวอย่างใช้เทอร์โมคับเปิลชนิดโครเมล–อลูเมล (Chromel-Alumel) ซึ่งใช้ร่วมกับเวอร์เนียรโพเทนทิโอมิเตอร์ สามารถวัดอุณหภูมิได้ละเอียดถึง 0.1°ซ และสามารถวัดได้ในช่วง -260°ซ ถึง 600°ซ

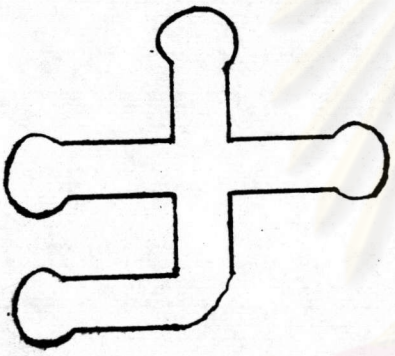
เครื่องมือที่ใช้ในการวัดนั้นจะเห็นได้ว่าละเอียดพอสมควรในการทดลองจริงนั้นเรามีความจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่สำคัญในการทดลองนอกเหนือจากเครื่องมือวัดเช่น ภาชนะใส่ผลึกตัวอย่าง และอุปกรณ์ชุดควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.3.2 ภาชนะใส่ผลึกตัวอย่างและผลึกตัวอย่าง

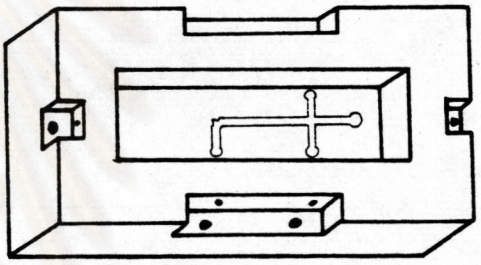
ภาชนะใส่ผลึกตัวอย่างนั้นรูปร่างลักษณะและขนาดขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของผลึก สำหรับในการทดลองนั้นเราใช้ผลึกตัวอย่าง 2 อัน คือ

1. ผลึกกึ่งตัวนำซิลิกอนชนิด P (ผลึก A) มีรูปร่างสี่เหลี่ยม กว้าง 0.41 ซม. ยาว 1.81 ซม. หนา 3.82×10^{-2} ซม. ซึ่งใช้ทดลองเปรียบเทียบการวัดแบบแวนเดอร์เพาว์กับวิธีการวัดแบบธรรมดาซึ่งทำในตอนแรก

2. ผลึกกึ่งตัวนำซิลิกอนชนิด N (ผลึก B) ซึ่งมีรูปร่างดังรูป (2.4) มีความหนา 1.0 ม.ม. กว้าง 2.0 ม.ม. ซึ่งมีรูปร่างดังรูป (2.4) เมื่อวางในภาชนะที่ใส่มีรูปร่างดังรูป (2.5) ใช้สำหรับการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 2.4 แสดงรูปร่างผลึก B

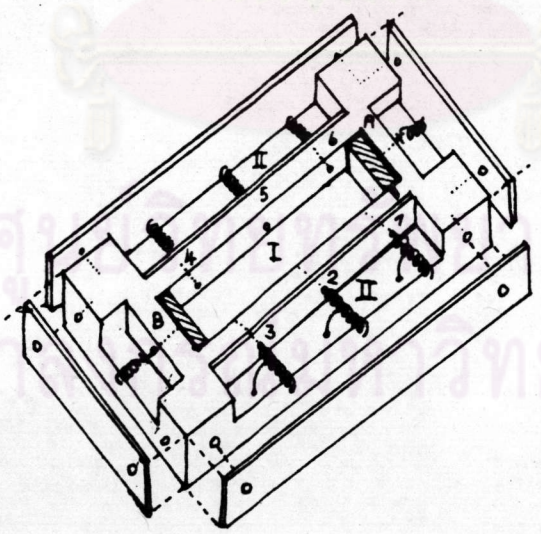


รูปที่ 2.5 แสดงรูปร่างผลึก B ในภาชนะใส่

2.3.3 <u>การสร้างภาชนะใส่ผลึกตัวอย่าง</u> ภาชนะใส่ตัวอย่างที่ใช้มีอยู่ 2 อัน คือภาชนะใส่ผลึก A และภาชนะใส่ผลึก B

ก. ภาชนะใส่ผลึก A ภาชนะทำด้วยแบคเคลไลท์หนา 0.6 ซม. กว้าง 2.5 ซม. ยาว 5.3 ซม. ตรงกลางเซาะเป็นร่อง I กว้าง 0.6 ซม. ยาว 2.5 ซม. ลึก 0.3 ซม. ด้านข้างเซาะเป็นร่อง II ลึก 0.4 ซม. กว้าง 0.8 ซม. ยาว 2.5 ซม. หัวท้ายทั้ง 2 ด้าน เซาะเป็นร่อง III กว้าง 0.6 ซม. ยาว

0.8 ซม. ลึก 0.4 ซม. ดังรูป (2.6 ก.) ด้านข้างเจาะรูเล็ก ๆ ข้างละ 3 รู ตรงกันคือรู 1, 2, 3, 4, 5, และ 6 รู 2 และ 5 อยู่กึ่งกลางความยาวร่อง I รู 1 กับ 3 และรู 6 กับ 4 ห่างกัน 1.31 ซม. ผลึก A ใส่ไว้พอดีในช่อง I ปลายด้านบนและล่างของผลึก A สัมผัสกับแผ่นทองเหลืองซึ่งใช้เป็นอิเลกโทรดนำกระแสแผ่นทองแดงเชื่อมติดกับลวดทองแดงที่ลอดผ่านรู A และ B ตรงปลายลวดทองแดงอีกด้านเชื่อมติดกับแผ่นทองแดงเล็ก ๆ สำหรับให้สปริงดัน เพื่อให้แผ่นทองแดงอิเลคโทรดสัมผัสกับผลึก A ส่วนด้านข้างทั้งสองสอดลวดทองแดงผ่านรู ที่เจาะใช้เป็นอิเลกโทรด 6 เส้น เส้นที่ผ่านรู 1, 3 และ 4, 6 ตรึงติดกันด้วยแผ่นแบคเคลไลท์บาง ๆ ส่วนลวดทองแดงที่ผ่านรู 2 และ 5 สามารถเลื่อนได้อิสระ ปลายลวดเชื่อมติดกับแผ่นทองแดงเล็ก ๆ สำหรับให้สปริงดัน ลวดทองแดงและแผ่นทองแดงอิเลกโทรดจะถูกดันให้สัมผัสกับผลึก A ด้วยสปริงซึ่งทำด้วยโลหะที่ไม่เป็นสารแม่เหล็ก (ลวดความร้อน) ซึ่งใช้แผ่นแบคเคลไลท์บาง ๆ ที่ปิดด้านทั้งสี่เป็นตัวดันสปริง ดังรูป (2.6 ก.) จากลวดทองแดงอิเลกโทรดเชื่อมด้วยลวดทองแดงเส้นเล็ก ๆ ไปยังตัวน็อตที่ผังติดกับแผ่นแบคเคลไลท์ด้านหลัง เพื่อเป็นที่ต่อสายออกมาภายนอก

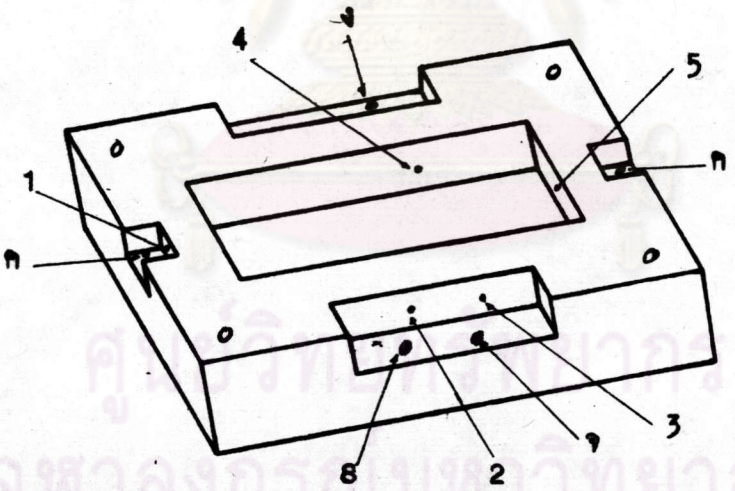


รูปที่ (2.6 ก.) ภาชนะใส่ผลึก A ทำด้วยแบคเคลไลท์

ข.) ภาชนะใส่ผลึก B ภาชนะทำด้วยเทฟลอนเพื่อแก้ปัญหาจุดสัมผัสหลุด

เนื่องจากการหดตัวของผลึก B กับภาชนะใส่ผลึกไม่เท่ากันในกรณีที่ใช้ในอุณหภูมิต่ำ โดยใช้เทฟลอนมีขนาดกว้าง 2.6 ซม. ยาว 4.6 ซม. หนา 0.6 ซม. ตรงกลางเจาะร่องสำหรับใส่ผลึก B กว้าง 0.6 ซม. ยาว 0.4 ซม. และลึก 0.25 ซม. ซึ่งกว้างกว่าผลึก B เล็กน้อยเพื่อป้องกันเทฟลอนหดตัวบีบผลึก B แตก ตรงบริเวณกึ่งกลางด้านบนทั้งสี่เซาะเทฟลอนลึก 0.3 ซม. กว้างยาวพอสมควร ดังรูป (2.6.ข) ด้านบนและด้านข้างเจาะรู 1, 2, 3 และ 4 สอดลวดทองแดงซึ่งใช้เป็นอิเลคโทรดต่อด้วยลวดทองแดงเล็ก กับน็อต ก, ข, ค และ ง เพื่อเป็นที่ต่อสายออกมาด้านนอก ปลายลวดทองแดงอิเลคโทรดถูกดันให้ติดกับผลึก B ด้วยแผ่นทองแดงซึ่งงอทำเป็นสปริง ดังรูป(2.6 ข.)

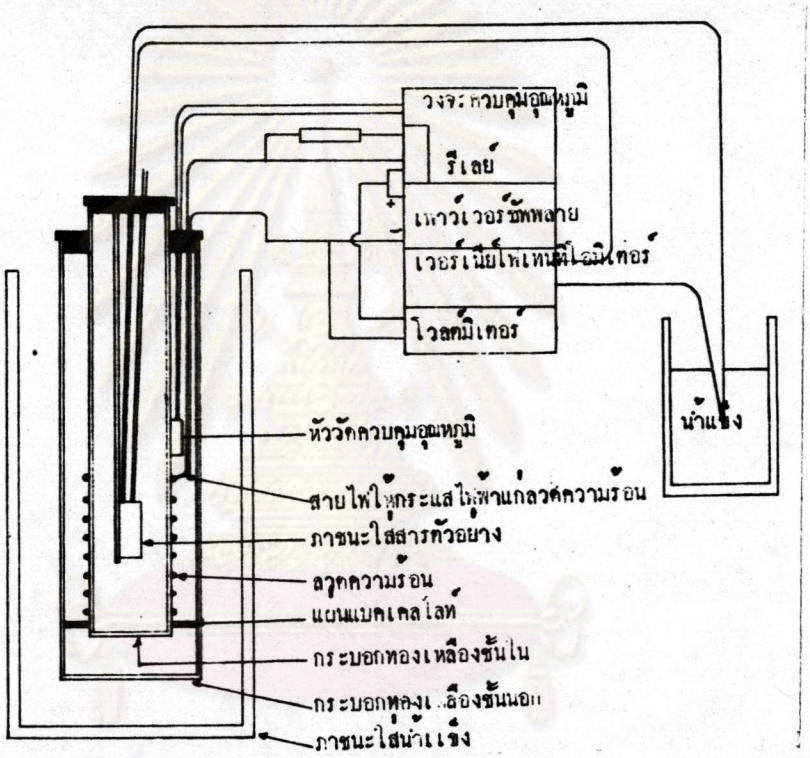
ในการวิจัยได้ใช้ตัวนำเหลว ซึ่งทำด้วยโลหะอินเดียม 10 % และ แกลเซี่ยม 90 % โดยน้ำหนัก เพื่อช่วยให้จุดสัมผัสระหว่างลวดทองแดงอิเลคโทรดกับผลึกตัวอย่างดีขึ้น



รูปที่ (2.6 ข.) ภาชนะใส่ผลึก B ซึ่งทำด้วยเทฟลอน

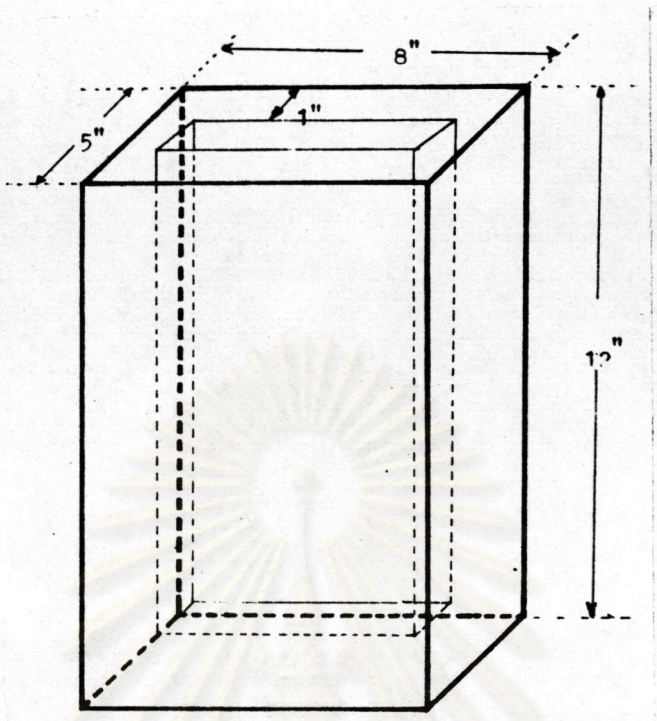
2.3.4 อุปกรณ์ชุดควบคุมอุณหภูมิ

หลักการสำคัญของการทำงานอุปกรณ์ชุดควบคุมอุณหภูมิโดยอาศัยหลักอัตราการไหลของปริมาณความร้อนขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วยภาชนะใส่น้ำแข็ง อุปกรณ์ให้ความร้อน วงจรควบคุมอุณหภูมิ และกระบอกทองเหลืองควบคุมอุณหภูมิ อุปกรณ์ชุดควบคุมอุณหภูมิแสดงไว้ในรูป (2.7)



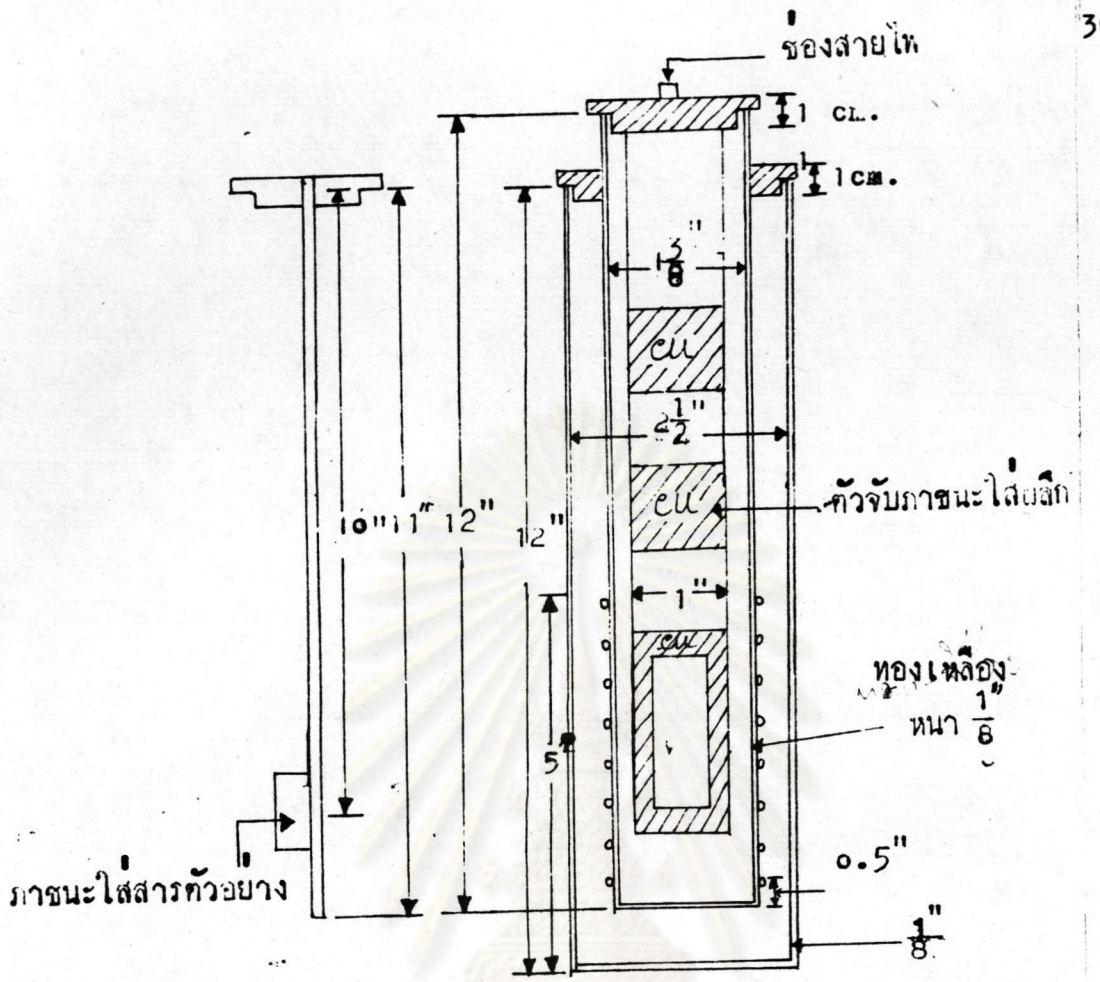
รูปที่ 2.7 แสดงชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ มีเทอร์โมคับเปิลเป็นตัววัดอุณหภูมิที่ภาชนะใส่ผลึกตัวอย่าง

ภาชนะใส่น้ำแข็งมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม 2 ชั้น ชั้นในทำด้วยแผ่นทองแดงซึ่งบัดกรีไม่มีรูรั่วชั้นนอกทำด้วยแผ่นพลาสติกใส ระหว่างชั้นในกับชั้นนอกกั้นด้วยใยแก้วซึ่งหนา 1 นิ้ว ใยแก้วนี้จะป้องกันไม่ให้ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเข้าไปเพื่อลดความสิ้นเปลืองของน้ำแข็ง ภาชนะใส่น้ำแข็งมีขนาดความยาว 8 นิ้ว กว้าง 5 นิ้ว และความสูง 12 นิ้ว ภาชนะใส่น้ำแข็งแสดงในรูป (2.8)



รูปที่ (2.8) ภาชนะใส่น้ำแข็งชั้นในทำด้วย แผ่นทองแดง ชั้นนอกเป็นแผนพลาสติกใส

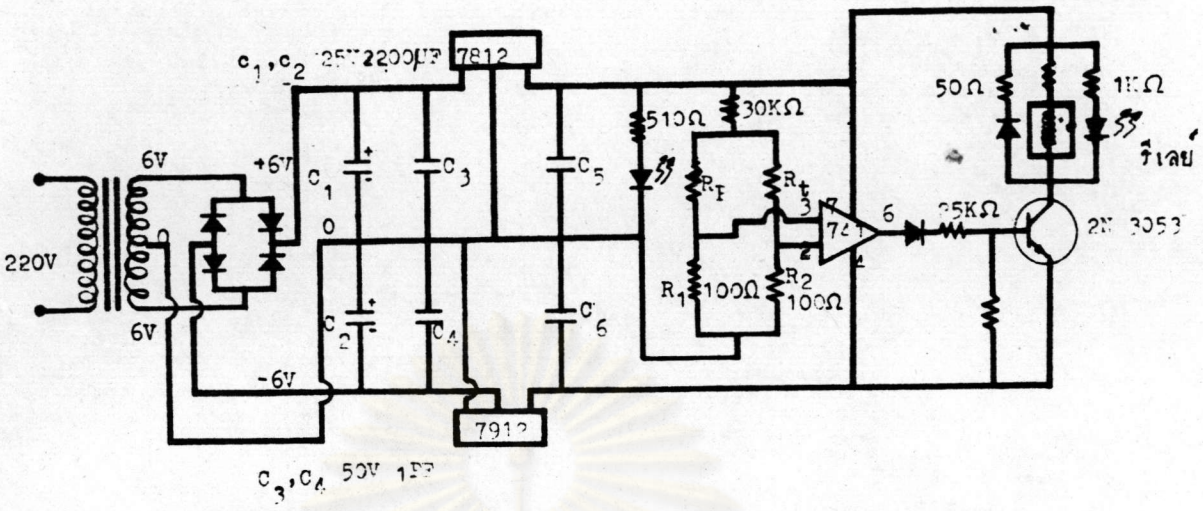
กระบอกทองเหลืองควบคุมอุณหภูมิ เป็นกระบอกทองเหลือง 2 ชั้น กั้นไม่ให้แตะกันด้วยเบคเคลไลท์ หนา 1 นิ้ว ซึ่งกลึงเป็นบ่าอยู่ด้านบนและแหวนเบคเคลไลท์หนา $\frac{1}{8}$ นิ้ว อยู่ด้านล่าง ขนาดและความหนาแสดงไว้ในรูป (2.9) ภายในของกระบอกทองเหลืองชั้นในมีที่จับภาชนะใส่ผลึกตัวอย่างทำด้วยแผ่นเบคเคลไลท์หนา $\frac{1}{8}$ นิ้ว ขนาดกว้างและยาวแสดงในรูป (2.9) ภายนอกกระบอกทองเหลืองชั้นในพันด้วยลวดความร้อนหรือลวดนิโครมในช่วงล่างสูงประมาณ 4 นิ้ว เป็นแหล่งให้ความร้อนแก่อุปกรณ์ชุดควบคุมอุณหภูมิ มีหัววัดสำหรับควบคุมอุณหภูมิซึ่งเป็นหัววัดทองคำขาว (Platinum resistance Temperature Sensing element) โมเดล 3712 C ของบริษัท Rosemount Engineering Company L.T.D. ติดอยู่ตอนบนของลวดความร้อน กระบอกทองเหลืองชุดนี้ใส่อยู่ในภาชนะใส่น้ำแข็ง



รูปที่ 2.9 แสดงถึงขนาดกระบอกทองเหลืองทั้ง 2 ชั้น และแสดงตัวจับภาชนะใส่ผลึกตัวอย่าง

วงจรควบคุมอุณหภูมิ ได้แสดงไว้ในรูป (2.10) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนเพาว์เวอร์ซัพพลาย และส่วนของวงจรเปรียบเทียบ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



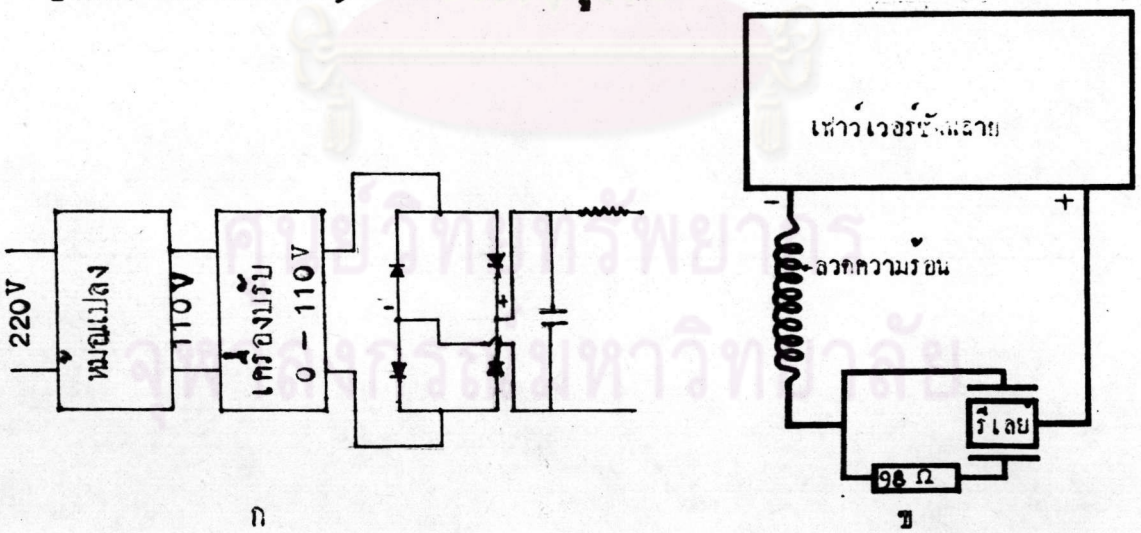
รูปที่ (2.10) เป็นวงจรควบคุมอุณหภูมิทางด้านซ้ายมือจนถึงคาปาซิเตอร์ C 50 V 3.3 pF เป็นส่วนของเพาว์เวอร์ซัพพลาย และทางด้านขวามือเป็นส่วนของวงจรเปรียบเทียบ

1. ส่วนของเพาว์เวอร์ซัพพลายประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1.5 A ทางเข้า 220 โวลต์ ออก ± 6 โวลต์ กระแสสลับ ใช้ไดโอด 4 ตัวเบอร์ 1N 554 ต่อกันแบบบริดจ์ (Bridge) ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสสลับเป็นกระแสตรง ± 6 โวลต์ ใช้คาปาซิเตอร์ 2200 μF 25 โวลต์ 2 ตัว ทำหน้าที่กรองกระแสให้เรียบ และใช้ IC 7812 และ IC 7912 ทำหน้าที่ทำให้กระแสสม่ำเสมอ (Regulated) ทำให้กระแสไฟฟ้าเรียบและคงที่ซึ่งแบ่งออกเป็น + 6 โวลต์ กับ – 6 โวลต์เท่ากัน พอดี มีตัวต้านทาน 510 โอห์ม ต่อกับโฟโตไดโอดเป็นตัวแสดงการทำงานของเพาว์เวอร์ซัพพลาย และมีคาปาซิเตอร์ 3.3 PF เป็นตัวกรองความถี่สูงอีก 2 ตัว ดังนั้นชุดเพาว์เวอร์ซัพพลายจะให้กระแสไฟฟ้าที่เรียบ และคงที่สำหรับวงจรเปรียบเทียบต่อไป

2. ส่วนของวงจรเปรียบเทียบและควบคุมการทำงานของรีเลย์ การทำงานใช้ IC 741 ต่ออยู่ในลักษณะของวงจรเปรียบเทียบความต่างศักย์ระหว่างขา 2 (V_2)

กับขา 3 (V3) ของ I.C. 741 ซึ่งเป็นความต่างศักย์ในวงจรบริดจ์ที่ประกอบด้วย R_1, R_2, ความต้านทานปรับค่าได้สำหรับตั้งอุณหภูมิ (R_t) และความต้านทานของหัววัดทองคำขาว (R_p) โดยมีความต้านทาน 30 kΩ เป็นตัวกำหนดกระแสที่ไหลในวงจรบริดจ์ R_1 และ R_2 มีค่า 100 Ω เมื่อ R_t มากกว่า R_p ทำให้ $V_3 > V_2$ กระตุ้นให้ I.C. 741 อยู่ในภาวะเปิดคือ V_6 มีค่าเป็น 6 โวลต์ ศักย์ไฟฟ้าที่ขาหกจะกระตุ้นให้ทรานซิสเตอร์ 2N 3053 อยู่ในภาวะนำกระแสได้ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านรีเลย์ทำให้รีเลย์อยู่ในภาวะเปิดคือ กระแสไฟฟ้าสามารถไหลเข้าลวดความร้อนได้ กระบอกทองเหลืองอันในร้อนขึ้น ทำให้ R_p มากขึ้น เมื่อ $R_p = R_t$ หรือ $R_p > R_t$ ทำให้ IC 741 อยู่ในภาวะปิด $V_6 = 0$ ทรานซิสเตอร์ 2N 3053 ไม่นำกระแสรีเลย์อยู่ในภาวะปิดไม่มีกระแสไฟฟ้าเข้าลวดความร้อนทำให้กระบอกทองเหลืองเย็นลง $R_p < R_t$ รีเลย์จะอยู่ในภาวะเปิดอีกครั้งหนึ่ง เราสามารถควบคุมอุณหภูมิโดยปรับ R_t ให้พอเหมาะตามอุณหภูมิที่ต้องการ

อุปกรณ์ให้ความร้อนประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่ลวดความร้อนปรับความต่างศักย์ได้ 0– 110 โวลต์, รีเลย์ชนิด 2 ขั้วสัมผัส และลวดความร้อนซึ่งมีความต้านทาน 205 โอห์ม แสดงในรูป (2.11)



รูปที่ (2.11) ก. วงจรของเพาเวอร์ซัพพลายซึ่งสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0–110 โวลต์

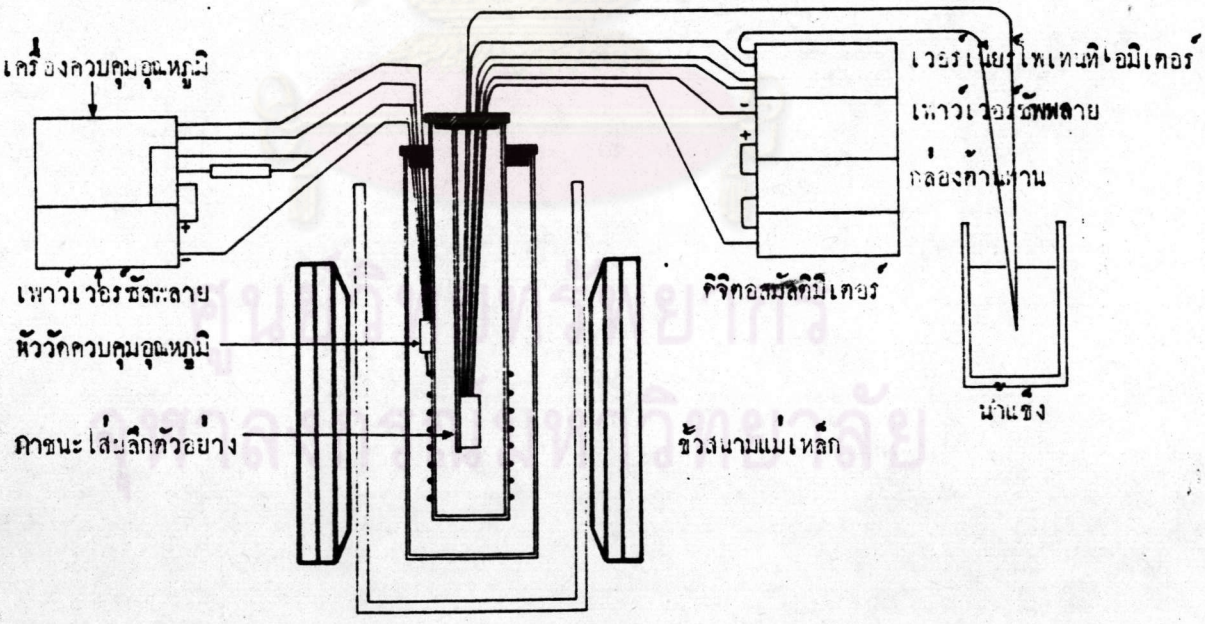
ข. การต่อวงจรจากแหล่งจ่ายกระแสโดยผ่านรีเลย์ซึ่งมีความต้านทาน 98 โอห์มต่ออยู่ด้วย

รีเลย์ที่ใช้เป็นรีเลย์ผิวสัมผัส 2 ชั้ว เพื่อให้การควบคุมอุณหภูมิได้ดีขึ้นจึงต่อความต้านทาน 98 โอห์มเข้าไปด้วยเพื่อในขณะรีเลย์อยู่ในภาวะปิดจะมีกระแสไฟฟ้าเข้าไปเลี้ยงฉวดความร้อนประมาณครึ่งหนึ่งของกระแสไฟฟ้า ที่ไหลเข้าฉวดความร้อนในขณะรีเลย์อยู่ในภาวะเปิด

อุปกรณ์ชุดควบคุมอุณหภูมินี้ได้สร้างขึ้นโดยใช้วัสดุที่หาง่าย และการสร้างไม่ยุ่งยาก สามารถควบคุมอุณหภูมิมีการกระเพื่อมของอุณหภูมิน้อยกว่า 0.2°ซ และสะดวกในการถอดเปลี่ยนผลึกตัวอย่าง

2.4 การวางอุปกรณ์ในการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์ของฮอล์

การจัดวางอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ เครื่องมือวัด และการจัดวางผลึกตัวอย่างในสนามแม่เหล็กแสดงในรูป (2.12)



รูปที่ 2.12 การวางอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและเครื่องมือวัด

ในการวางผลึกตัวอย่างมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องให้ระนาบของผลึกตัวอย่างตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก และต้องวางอยู่กึ่งกลางของขั้วสนามแม่เหล็ก

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยนั้น บางชิ้นมีอยู่แล้วบางชิ้นต้องสร้างขึ้นใหม่ อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเช่น อุปกรณ์ชุดควบคุมอุณหภูมิ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาคุณสมบัติและการใช้งาน ซึ่งแสดงผลการทดลองและสรุปลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์ชุดควบคุมอุณหภูมิในบทที่ 3 ต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย