

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองและผลการทดลองในบทที่ 3 เราอาจสรุปผลการทดลอง
ซึ่งแบ่งออกเป็นช่วง ๆ ดังนี้

4.1 เครื่องมือใช้ในการทดลอง

เวอร์เนียร์โทเทนท์โอมิเตอร์ใช้วัดความต่างศักย์ มีข้อดีสามารถวัดความต่างศักย์
โดยไม่จำเป็นต้องตั้งกระแสไฟฟ้าจากสิ่งที่วัด เป็นการลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นเนื่องจาก
นิวสัมผัสทางไฟฟ้าระหว่างลวดอิเล็กโทรดกับผลึกตัวอย่างไม่ดี และสามารถวัดได้ละเอียด
ถึง $1 \mu\text{V}$ ข้อเสียคือใช้เวลาในการวัดนานซึ่งในขณะวัดคุณสมบัติบางอย่างของผลึกตัวอย่าง
เปลี่ยนแปลงได้ เช่น อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านผลึกตัวอย่างตลอดเวลา

คิจิทอลมัลติมิเตอร์ที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้านั้นมีคุณสมบัติคือ วัดได้รวดเร็ว ผลการวัด
ถูกต้องและละเอียดเพียงพอในการวิจัยนี้

สำหรับอุปกรณ์ชุกควบคุมอุณหภูมิจากผลการทดลองในหัวข้อ (3.1) พบว่าให้
ผลดีพอประมาณ ส่วนความไม่สะดวกในการใช้เครื่องมือนี้คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่
ขดลวดความร้อนต้องจัดให้มีค่าพอเหมาะ ซึ่งกำลังไฟฟ้านั้นขึ้นกับความแตกต่างของอุณหภูมิ
ระหว่างจุดที่ควบคุมอุณหภูมิกับอุณหภูมิภายนอก ถ้าใช้กำลังไฟฟ้ามากเกินไปอาจทำให้ช่วง
อุณหภูมิที่ควบคุมสูงเกินความต้องการได้ ซึ่งข้อเสียอีกประการหนึ่งก็คือ การเปลี่ยนช่วง
การควบคุมอุณหภูมิจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งบางครั้งต้องใช้เวลาานาน (อาจถึง 20 นาที)
ทำให้การทดลองล่าช้าไปกว่าที่ควร อุณหภูมิที่ควบคุมมีค่าสูงสุดได้เพียงประมาณ 200°C
ในการวิจัยในคราวต่อไปควรจะมีการปรับปรุงอุปกรณ์ชุกควบคุมอุณหภูมิให้ใช้งานได้ดีขึ้น

4.2 เปรียบเทียบการวัด ρ และ R_H แบบธรรมดา กับแบบแวน เคอร์ เพาว์

การทดลองและผลการทดลอง ซึ่งวัดผลึก A ทัวเดียวกัน แสดงในหัวข้อ (3.2) ที่อุณหภูมิตั้ง (27°ซ) ผลการเปรียบเทียบการวัด ทั้งสอง แบบแสดงในตารางที่ (4.1)

ตารางที่ 4.1 แสดงการวัด แบบแวนเคอร์เพาว์ เปรียบเทียบกับการวัดแบบธรรมดา

ρ (ohm-cm)		ความคลาดเคลื่อน
ธรรมดา	แวนเคอร์เพาว์	
1.72	1.75	1.7 %

จะเห็นว่า การวัด แบบแวนเคอร์เพาว์ เมื่อเทียบกับการวัดแบบธรรมดา ได้ค่าใกล้เคียงกันมากคือ คลาดเคลื่อนเพียง 1.7 % เราถือได้ว่าการวัด ทั้งสอง วิธีให้ผลเหมือนกัน

ผลการเปรียบเทียบการวัด R_H แบบ แวน เคอร์ เพาว์ เทียบกับการวัดแบบธรรมดาแสดงในตารางที่ (4.2)

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวัด R_H แบบ แวน เคอร์ เพาว์ เทียบกับการวัดแบบธรรมดา

แบบแวนเคอร์เพาว์		แบบธรรมดา	ความคลาดเคลื่อน
วิธีการวัด	$R_H \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{coul}}$	$R_H \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{coul}}$	
$R_{14, 25}$	5.43	5.31	2.26 %
$R_{24, 35}$	5.035		5.18 %



จากตารางจะเห็นได้ว่า การวัดโดยวิธี แวน เคอร์ เพาว์ แบบ $R_{14,25}$ ให้ผลใกล้เคียงกับวิธีแบบธรรมดา แต่การวัดแบบ $R_{14,25}$ ให้ผลต่างจากวิธีแบบธรรมดาพอสมควร ทั้งนี้เพราะว่าความต่างศักย์ระหว่างขั้ว 3, 5 (V_{35}) ที่ความเข้มข้นแม่เหล็กต่าง ๆ นั้น มีความต่างศักย์ของกระแส (IR) เข้ามาปนมากพอสมควร จึงเห็นการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์เนื่องจากสนามแม่เหล็กได้น้อย ความผิดพลาดจึงเกิดขึ้นได้มาก (ดูตาราง 3.13 ประกอบ) สรุปว่าการวัด R_H โดยวิธีแวน เคอร์ เพาว์ แบบ $R_{AB,CD}$ (หมายถึง ปล่อยกระแสผ่าน AB และวัดความต่างศักย์ระหว่าง CD เราจะต้องพยายามเลือกจุด CD ซึ่งค่า V_{CD} ใกล้เคียงศูนย์มากที่สุดที่ B เป็นศูนย์จึงจะได้ผลรับที่แม่นยำดังกรณี $R_{14,25}$ ข้างบน

4.3 การวัด ρ และ R_H ของผลึก B ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากผลการทดลองในตารางที่ (3.20) R_H มีค่าเป็นลบ นั่นคือพาหะเป็นอิเล็กตรอน แสดงว่าผลึก B เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น อะตอมอิสระจะเป็นโคเนอรอะตอม

จากรูปที่ (3.17) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log n$ กับ $\frac{1}{T}$ จะเห็นได้ว่า ในช่วงอุณหภูมิ 287-416 K $\log n$ ไม่เปลี่ยนแปลงกับ $\frac{1}{T}$ โดยมีค่าเฉลี่ย $n = 6.04 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ นั่นคือ n มีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ ในช่วงนี้ควรจะเป็นช่วงเอ็กซิตชัน ซึ่งตามทฤษฎีกล่าวว่าเป็นช่วงที่พาหะอิเล็กตรอนจากโคเนอรอะตอมไอออนไนส์ขึ้นไปอยู่ในแถบนำทั้งหมด ช่วงนี้พาหะอิเล็กตรอนจะคงที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ จากการทดลองจึงสรุปได้ว่า ความหนาแน่นของโคเนอรอะตอมมีค่าประมาณ $6.04 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$

เนื่องจากจำนวนพาหะจากอะตอมของซิลิกอนเองที่อุณหภูมิ 300K มีค่าประมาณ $1.1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับจำนวนพาหะทั้งหมด จึงสามารถละทิ้งได้

จากรูปที่ (3.17) ตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ 416 K ขึ้นไป จากกราฟจะได้ว่า $\log n \propto -\frac{A}{T}$ หรือ $\ln n \propto -\frac{A}{T}$ เมื่อ A เป็นค่าคงที่ตัวหนึ่งซึ่งเขียนได้ว่า $n \propto e^{-A/T}$ ซึ่งตรงกับช่วงอินทรีนิก ซึ่งทางทฤษฎีกล่าวไว้ว่า

$$n = 2 \left(2 \pi m_e K_B T / h^2 \right)^{3/2} \exp \left[-(E_g - \mu) / K_B T \right]$$

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า $n \propto \exp - (E_g - \mu) / K_B T$ เราจะได้ว่าผลการทดลองสอดคล้องกับทฤษฎี แต่ในการทดลองเราไม่สามารถหาค่า E_g ได้เนื่องจากว่าอุณหภูมิยังต่ำมาก จึงไม่สามารถที่จะหาความสัมพันธ์จากกราฟในช่วงอินทรีนิกันนี้ได้

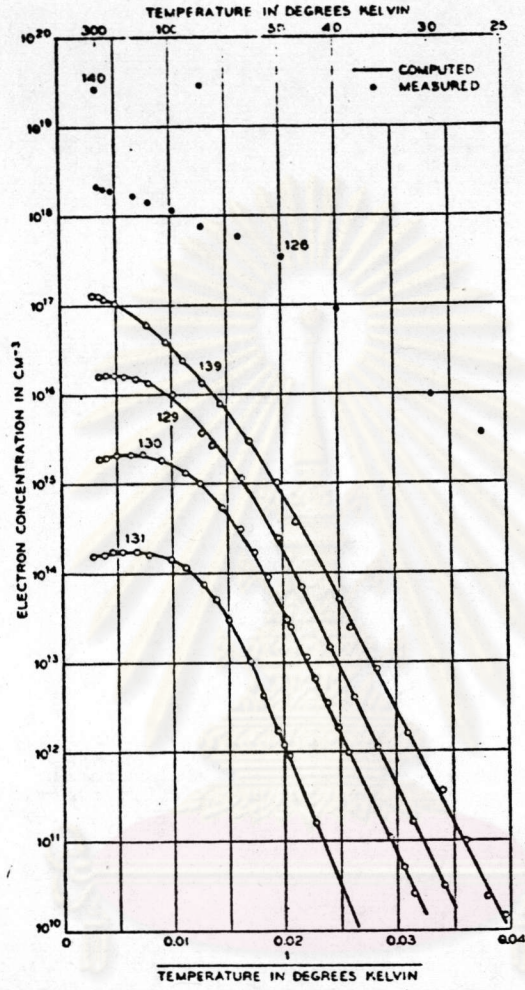
ในช่วงเอ็กซคลูชันเราถือว่ามีความหนาแน่นเพียงชนิดเดียวคือ อิเล็กตรอน นั่นคือ $\mu_H = \mu_e$ จากการทดลองแสดงผลในการางที่ (3.20) ที่อุณหภูมิประมาณ 300 k โคคา μ_H ประมาณ 1,900 $\text{cm}^2/\text{Volt. sec}$ และจากรูปที่ (3.16) แสดงให้เห็นว่า $\ln \mu = A - 2.6 \ln T$ จากตารางที่ (3.21) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln \mu$ กับ $\ln T$ โดยทำการคำนวณได้ว่า

$$\ln \mu = 22.4 - 2.6 \ln T$$

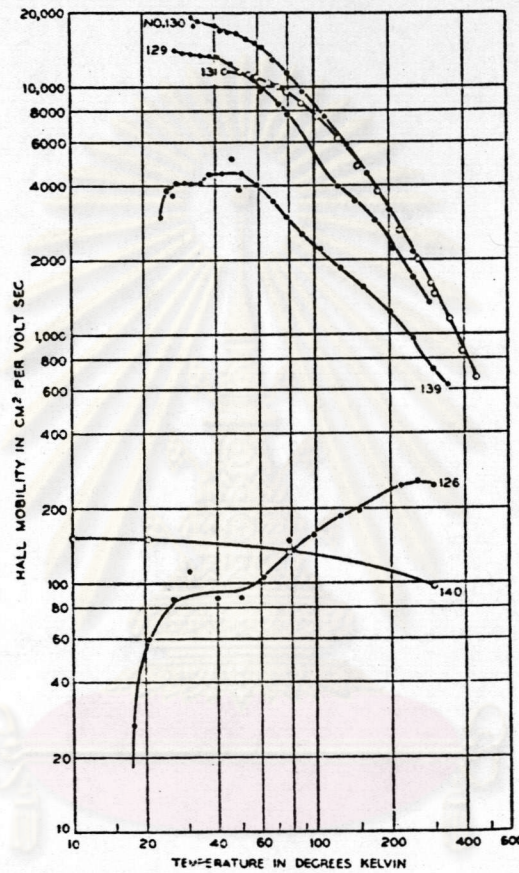
$$\text{หรือ} \quad \mu_H = 5.35 \times 10^9 T^{-2.6}$$

เปรียบเทียบค่า μ_H จากการทดลองของ E.J. Morin และ J.P. MAITA ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูป 4.1 และรูปที่ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ความหนาแน่นของพาหะกับส่วนกลับของอุณหภูมิสมบูรณ์ของซิลิกอนซึ่งเติมธาตุอาร์เซนิก เจือปน



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง μ_H กับอุณหภูมิ T ของซิลิกอนซึ่งเติมธาตุอาร์เซนิก เจือปน

