

การทดลองและสรุปผล

การวิจัยครั้งนี้จุดประสงค์ส่วนใหญ่จะอยู่ที่การพยายามนำเอาไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นเดี่ยวมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมทดลองเกี่ยวกับปรากฏการณ์ขนส่ง นอกจากนี้ยังได้นำเครื่องมือที่สร้างขึ้นมาศึกษาผลึกตัวอย่างที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยการทดลองทั้งหมดได้แบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- ก) ทดสอบการทำงานของเครื่องมือที่สร้าง
- ข) จักเครื่องมือเพื่อวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) และสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ (R_H) ของผลึกตัวอย่าง

สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับการทดลองและเทคนิคต่าง ๆ ในการทดลองทั้งหมดจะได้อธิบายถึงในหัวข้อข้างล่างนี้

4.1 การทดสอบเครื่องมือที่สร้างขึ้น

เครื่องมือศึกษาปรากฏการณ์ขนส่งที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นเดี่ยวที่สร้างขึ้นประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนคือ

1. ส่วนตรวจจับอนุกรม
2. วงจรอิเล็กทรอนิกส์สวิตซ์
3. วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข

ซึ่งการทดสอบการทำงานของแต่ละส่วนของเครื่องมือจะได้อธิบายถึงเป็นลำดับไป

4.1.1 การทดสอบวงจรตรวจจับอนุกรม

ส่วนตรวจจับอนุกรมมีลักษณะของวงจรดังรูปที่ 3.4 ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมกับความต้านทานและความต่างศักย์ขาออก (V_0) ของวงจรเป็นไปตาม

สมการที่ 3.1 การทดสอบกระทำโดยแทนเทอร์มิสเตอร์ในวงจรควย กลองความต้านทานปรับค่าได้ (R_{box}) จากนั้นปรับความต้านทานของ R_{box} ไปตามค่าต่าง ๆ จาก 200 โอห์ม ถึง 3.3 กิโลโอห์ม ผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณและการทดลอง แสดงได้ในตารางที่ 4.1

4.1.2 การทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์

วงจรอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ ที่ได้ออกแบบไว้ตามรูปที่ 3.18 ถึง 3.19: นั้นมีขั้นตอนการทำงานตามตารางที่ 4.2 ซึ่งการทำงานตามขั้นตอนในตารางดังกล่าวนี้จะเกี่ยวข้องกับสถานะของบิตเอาต์พุตของ PIO โดยได้กำหนดไว้ตามตารางที่ 4.3

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.3 เมื่อเราสั่งให้เอาต์พุตที่มีสถานะ "1" เฉพาะบิต 1 เท่านั้น จะทำให้สวิตช์ SX ทำงานซึ่งเราทราบได้โดยใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันที่บิต 1 และขาที่ 5 หรือ 6 ของไอซี 4066 ตัวที่ 4 ในรูปที่ 3.19 (ชาดังกล่าวเป็นขาควมคุมการทำงานของสวิตช์ SX) จะมีค่าแรงดันประมาณ 3.5-5 โวลต์ สำหรับขาควมคุมอื่น ๆ จะเป็นศูนย์โวลต์ และโปรแกรมทดสอบการทำงานจะเป็นดังต่อไปนี้

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมทดสอบการทำงานของวงจรรีเลกทรอนิกส์สวิทช์

ลาเบล	แอดเดรส	ภาษาเครื่อง	รหัสบีโมนิค	ความหมาย
โปรแกรมพอร์ท B ให้ทำงานใน mode 3				
1800	0E83	LDC, 83H ;		ใส่ค่า 83 H (ซึ่งเป็นแอดเดรสที่ใช้ควบคุมพอร์ท B) ให้กับรีจิสเตอร์ C
1802	3E07	LDA, 07H ;		ใส่ค่า 07H ให้กับ A
1804	ED79	OUT(C), A ;		นำค่าจากแอดคิวมูลเตอร์ (A) ไปยังแอดเดรสที่กำหนดโดยวิธีรีจิสเตอร์ C เพื่อเป็นการ disable interrupt พอร์ท B
1806	3ECF	LDA, CFH ;		ใส่ค่า CFH ให้กับ A (ซึ่งเป็นค่าที่จะทำให้ PIO ทำงานใน mode 3)
1808	ED79	OUT(C), A ;		นำค่าจาก A ไปยังแอดเดรสที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์ C (แอดเดรสที่ 83 H.)
180A	3E00	LDA, 00H ;		ใส่ค่า 00 H ให้กับแอดคิวมูลเตอร์ A
180C	ED79	OUT(C), A		นำค่าจาก A ไปยังแอดเดรสที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์ C (แอดเดรสที่ 83 H) ซึ่งเป็นค่าที่จะทำให้ทุก ๆ บิตของพอร์ท B ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตเท่านั้น

ลาเบล	แอดเดรส	ภาษาเครื่อง	รหัสสีโมนิค	ความหมาย
180E	0E81		LDC, 81H ;	ใส่ค่า 81 H ให้กับรีจิสเตอร์ C ค่านี้เป็นแอดเดรสที่พอร์ท B จะนำข้อมูลออกไป
1810	3E02		LDA, 02H ;	ใส่ค่า 02H ให้กับ A
1812	ED79		OUT(C), A ;	นำค่า 02 H จาก A ไปยังแอดเดรสที่กำหนดโดยรีจิส- เตอร์ C (แอดเดรสที่ 81 H)
1814	76		HALT ;	หยุดการทำงาน

สำหรับการทดสอบสวิตช์ตัวอื่น ๆ ตามขั้นตอนในตารางที่ 4.2 นั้น กระทำได้โดยใส่ค่ารหัสของแต่ละขั้นตอนลงใน A (บรรทัดที่ 1810) แล้วตรวจสอบการทำงานของสวิตช์ว่าเป็นไปตามตารางที่ 4.3 หรือไม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและความตาศักย์ขาออก (V_o) ของ วงจรตรวจจับอุณหภูมิ

RESISTANCE (K)	V_o (CAL)	V_o (EX)
0.2	1.2056	1.205
0.3	1.050	1.064
0.4	0.923	0.945
0.5	0.817	0.844
0.6	0.727	0.757
0.7	0.650	0.652
0.8	0.583	0.588
0.9	0.525	0.532
1.0	0.474	0.483
1.1	0.428	0.438
1.2	0.387	0.397
1.3	0.350	0.360
1.4	0.317	0.327
1.5	0.286	0.297
1.6	0.259	0.269
1.7	0.233	0.243
1.8	0.210	0.219
1.9	0.188	0.197
2.0	0.169	0.176
2.1	0.150	0.157

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

RESISTANCE(K)	V _o (CAL)	V _o (EX)
2.2	0.133	0.139
2.3	0.117	0.122
2.4	0.102	0.106
2.5	0.088	0.092
2.6	0.074	0.078
2.7	0.062	0.065
2.8	0.050	0.053
2.9	0.039	0.041
3.0	0.028	0.030
3.1	0.018	0.019
3.2	0.0089	0.009
3.3	0	0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ขั้นตอนการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์

ขั้นตอน \ สวิตช์	SX	S0	S1	S2	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
1	X	X	1	1	∅	∅	∅	∅	∅	∅	1	1	∅	∅	∅	1
2	X	X	∅	∅	∅	1	∅	1	∅	∅	1	1	∅	∅	∅	1
3	X	X	∅	∅	∅	∅	∅	∅	1	1	∅	∅	1	1	1	∅
4	X	X	∅	∅	1	∅	1	∅	∅	∅	∅	∅	1	1	1	∅
5	X	X	1	1	∅	∅	∅	∅	∅	∅	1	∅	∅	1	∅	∅
6	X	X	∅	∅	∅	1	∅	∅	1	∅	1	∅	∅	1	∅	∅

∅ = ไม่ทำงาน

1 = ทำงาน

X = อาจเป็น ∅ หรือ 1 ก็ได้ แล้วแต่จะกำหนด

ขั้นตอนที่ 1 ถึง 4 เป็นการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (R) และขั้นตอนที่ 5 ถึง 6 เป็นการวัดสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ (R_H)

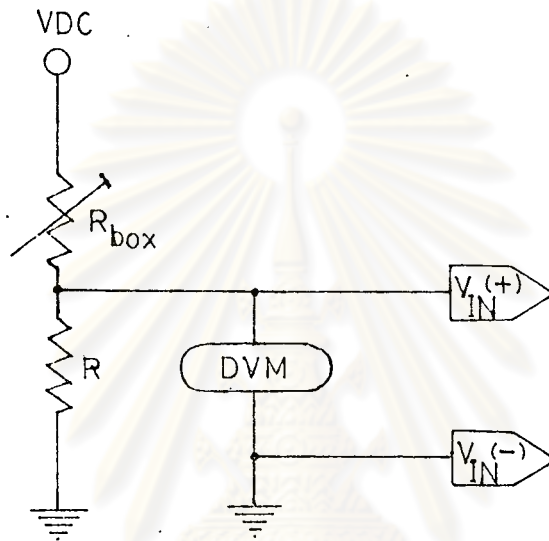


ตารางที่ 4.3 แสดงคำสั่งควบคุมการทำงานของแต่ละขั้นตอนของอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์

ขั้นตอนการทำงาน	สถานะของบิตเอาต์พุต								รหัสคำสั่ง
	7	6	5	4	3	2	1	0	
ให้ S_X (อ่านอุณหภูมิ) และ heater ทำงาน	0	0	0	0	0	0	1	1	03H
อ่านค่า V ครอม R และ heater ทำงาน	1	1	1	0	1	0	0	1	E9H
อ่านค่า V ระหว่างขั้ว DC และ heater ทำงาน	1	1	0	1	1	0	0	1	D9H
อ่านค่า V ครอม R_2 และ heater ทำงาน	0	0	1	0	0	1	0	1	25H
อ่านค่า V ระหว่างขั้ว AD และ heater ทำงาน	0	1	1	1	0	1	0	1	75H
อ่านค่า V ครอม R_1 (วัดค่า R_H) และ heater ทำงาน	1	1	1	0	0	0	0	1	E1H
อ่านค่า V ระหว่างขั้ว DB และ heater ทำงาน	1	0	1	1	0	0	0	1	A1H

4.1.3 ทดสอบการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณ (ADC)

ภายหลังจากที่ทำการทดสอบการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ แล้วเราจะทำการทดสอบ การทำงานของวงจร ADC โดยการนำวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ตามรูปที่ 4.1.1 ใส่แทนวงจรตรวจจับสัญญาณ



รูปที่ 4.1 วงจรแบ่งแรงดัน

จากนั้นโปรแกรมให้เครื่องอ่านค่า Voltage ต่าง ๆ เปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จาก Digital Voltmeter (DVM) สำหรับ voltage ที่อ่านได้จากไมโครคอมพิวเตอร์ (แสดงให้เห็นบนหน่วยแสดงผล) จะเป็นตัวเลขในระบบฐาน 16 จากค่าดังกล่าวสามารถแปลงให้เป็นค่า voltage ในระบบเลขฐาน 10 เหมือนกับที่อ่านโดย D VM ได้ ซึ่งเฉพาะเครื่องที่ออกแบบนี้หาได้จากความสัมพันธ์

$$V = \frac{4.92}{256} \left[\text{Hex} (\text{ตัวแรก}) \times 16 + \text{Hex} (\text{ตัวหลัง}) \right]$$

ตัวอย่างเช่น ถ้าเครื่องแสดงตัวเลข AB ค่า Voltage ที่อ่านได้คือ

$$\begin{aligned} V &= \frac{4.92}{256} (10 \times 16 + 11) \\ &= 3.2864 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$

สำหรับผลการทดสอบได้แสดงไว้เป็นตัวอย่างในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้า ที่อ่านจาก DMV กับ ADC

ความต่างศักย์	
DMV	ADC
0.951	0.946
1.078	1.081
1.227	1.235
1.527	1.526
1.555	1.544
2.60	2.624
3.08	3.068

สำหรับโปรแกรมที่ใช้ทดสอบการทำงานของวงจร ADC เป็นดังต่อไปนี้.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมทดสอบการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิง

ตัวเลข

ลาเบล	แอดเดรส	ภาษาเครื่อง	รหัสสีโมนิค	ความหมาย
-------	---------	-------------	-------------	----------

โปรแกรมพอร์ท A ให้ทำงานใน Mode 1

ORG	1800	0E82	LDC, 82H ;	ใส่ค่า 82 H (ซึ่งเป็นค่าแอดเดรสที่ใช้ควบคุมพอร์ท A) ให้กับรีจิสเตอร์ C
	1802	3E07	LDA, 074 ;	ใส่ค่า 07H ให้กับแอดเดรสเลเตอร์ (A)
	1804	ED79	OUT(C), A ;	นำค่าจาก A ไปยังแอดเดรสที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์ C (แอดเดรสที่ 82 H) ค่า 07 H ที่ให้แก่แอดเดรส 82 H เพื่อเป็นการบอกให้ซีพียูรู้ว่าเป็นการdisable interrupt พอร์ท A
	1806	3E4F	LDA, 4FH ;	ใส่ค่า 4 FH ให้กับ A (ซึ่งเป็นค่าที่จะทำให้ PIO ทำงานใน mode 1)
	1807	ED79	OUT(C), A ;	นำค่า 4 FH จาก A ไปยังแอดเดรสที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์ C (แอดเดรสที่ 82 H)

ลาเบล	แอดเดรส	ภาษาเครื่อง	รหัสบีโมนิค	ความหมาย
18๑ A	๑E8๑		LDC, 8๑H ;	ใส่ค่า 8๑ H ให้กับ A ค่านี้เป็นแอดเดรสที่พอร์ท A จะนำข้อมูลมาเก็บไว้
18๑๕	ED78		IN A, (C) ;	นำค่า (ข้อมูล) จากแอดเดรสที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์ C (แอดเดรส 8๑ H) มายัง A (การอ่านข้อมูลจาก PIO ในบรรทัดนี้ก็เพื่อที่จะทำให้ขา BRDY มีระดับลอจิกเป็น "1" โดยข้อมูลที่อ่านเข้ามานี้เราไม่คำนึงว่าเป็นอะไร)
				โปรแกรมพอร์ท B ให้ทำงานใน mode 3
18๑ E	๑E83		LDC, 83H ;	ใส่ค่า 83 H (ซึ่งเป็นแอดเดรสที่ใช้ควบคุมพอร์ท B) ให้กับรีจิสเตอร์ C
181๑	3E๑7		LDA, ๑7H ;	ใส่ค่า ๑7H ให้กับ A
1812	ED79		OUT (C), A ;	นำค่าจากแอดเดรสเอาท์เตอร์ (A) ไปยังแอดเดรสที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์ C เพื่อเป็นการ disable interrupt พอร์ท B
1814	3ECF		LDA, CFH ;	ใส่ค่า CFH ให้กับ A (ซึ่งเป็นค่าที่จะทำให้ PIO ทำงานใน mode 3)

ลาเบล	แอดเดรส	ภาษาเครื่อง	รหัสนิโมบิค	ความหมาย
	1816	ED79	OUT(C),A ;	นำค่าจาก A ไปยังแอดเดรสที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์ C (แอดเดรสที่ 83 H.)
	1819	3E00	LDA,00H ;	ใส่ค่า 00 H. ให้กับแอดเดรสเรจิสเตอร์ C
	181 A	ED79	OUT(C),A ;	นำค่าจาก A ไปยังแอดเดรสที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์ C (แอดเดรสที่ 83 H.) ซึ่งเป็นค่าที่จะทำให้ทุก ๆ บิตของพอร์ท B ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตเท่านั้น

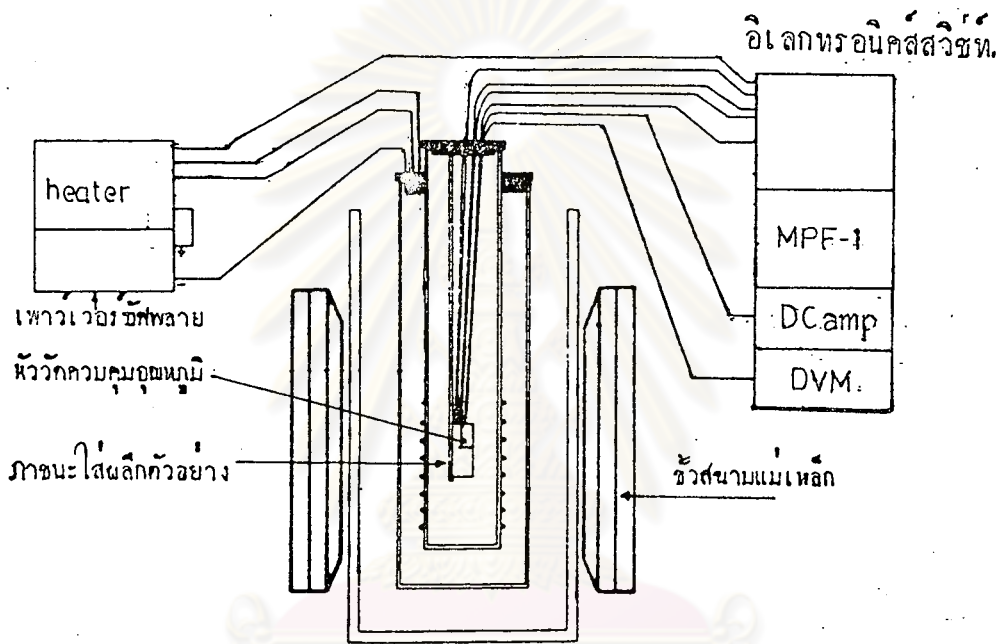
	181C	DD210019	LDIX, DISP ;	กำหนดให้อินเดกซ์เรจิสเตอร์ IX อยู่ที่แอดเดรส 1900.
	1820	CDFE05	CALL SCAN ;	เรียกโปรแกรมน้อย SCAN (มีอยู่ในโปรแกรมนอนเเตอร์)
START	1823	DB80	IN A, (80) ;	อ่านข้อมูลจากพอร์ท A ของ PIO มาเก็บไว้ที่ A
	1825	210019	LDHL, DISP ;	กำหนดให้รีจิสเตอร์ HL เป็นพื้นที่สำหรับค่าของข้อมูลที่อ่านเข้ามา

ลาเบล	แอดเดรส	ภาษาเครื่อง	รหัสสีโมนิค	ความหมาย
	1828	CD7806	CALL HEX7SG ;	เรียกโปรแกรมน้อย HEX 7 SG (อยู่ในโปรแกรมนอนเตอร์)
	182B	CD2406	CALLSCAN 1 ;	เรียกโปรแกรมน้อย SCAN 1 (อยู่ในโปรแกรมนอนเตอร์)
	182E	C32318	CP START ;	กลับไปที่ทำงานที่แอดเดรส1823
DISP	1900	00	DEFB 0	
	1901	00	DEFB 0	
	1902	00	DEFB 0	
	1903	00	DEFB 0	
	1904	00	DEFB 0	
	1905	00	DEFB 0	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การทดสอบการวัด ρ และ R_H

ในการวิจัยนี้ได้ทำการทดลองวัด ρ และ R_H ของผลึกซิลิกอน ตัวอย่าง โดยใช้เครื่องมือที่ประกอบขึ้น ลักษณะการจึกเครื่องมือเป็นดังนี้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.3 การจัดวางเครื่องมือทดลอง

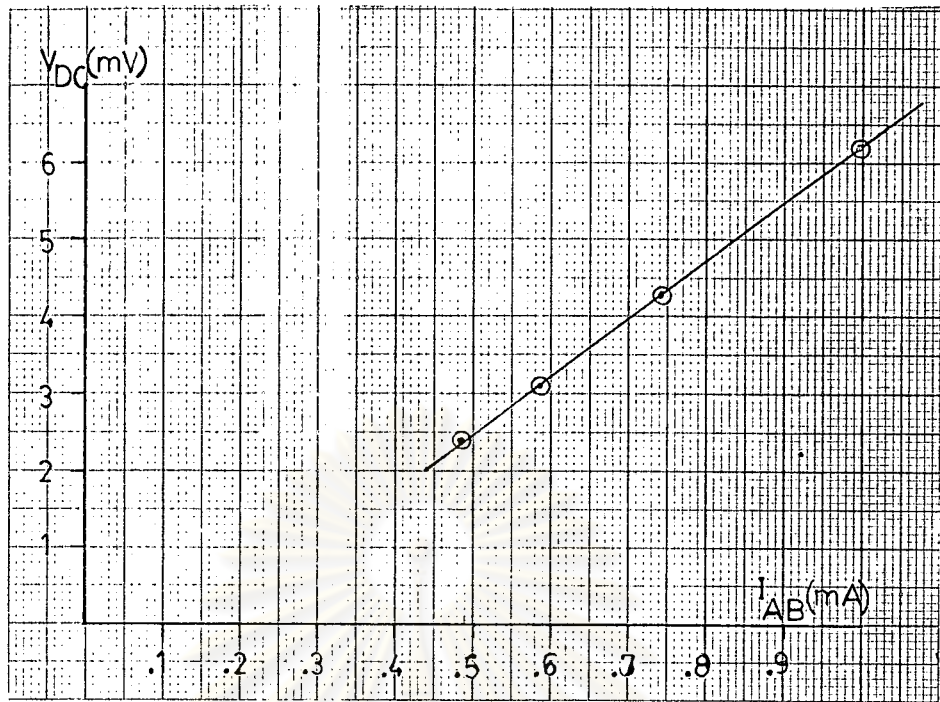
4.2.1. การวัด ρ และ R_H ของผลึกตัวอย่างโดยวิธีของแวนเดอร์พาวที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ในการทดลองได้จัดวางอุปกรณ์ตามรูป 4.3 การทดลองแบ่งออกเป็นสองตอน ในตอนแรกทำการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) โดยการวัด $R_{AB,DC}$, $R_{BC,AD}$ ตอนที่สองทำการวัดหาค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ (R_H) โดยทำการวัด $R_{AB,DC}$ การทดลองทั้งสองกระทำในช่วงอุณหภูมิ 33°C ถึง 80°C สำหรับผลการทดลองวัด ρ ที่อุณหภูมิ 33°C ได้แสดงไว้เป็นตัวอย่างในตาราง 4.5

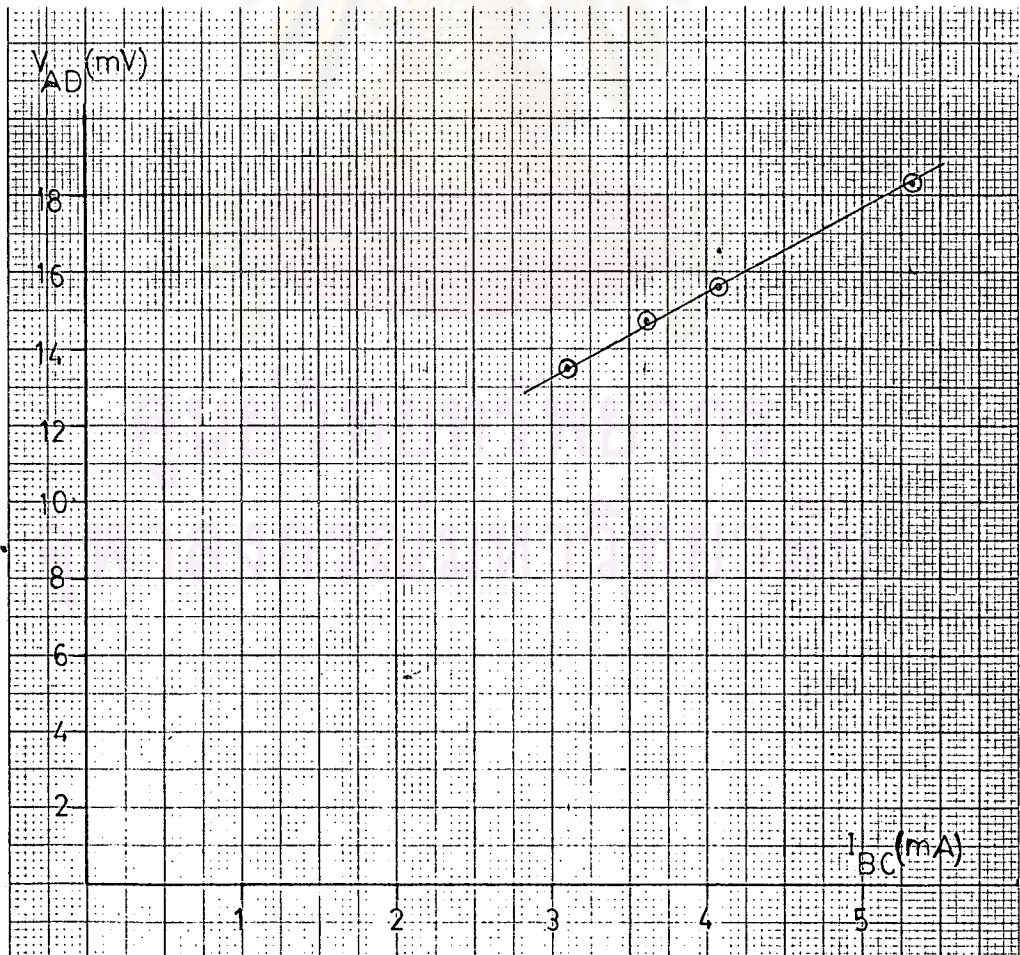
ตาราง 4.5 แสดงผลการวัดค่า ρ โดยวัด $R_{AB,DC}$ และ $R_{BC,AD}$ ที่อุณหภูมิ 33°C

$R_{AB,DC}$		$R_{BC,AD}$	
$I_{AB}(\text{mA})$	$V_{DC}(\text{mV})$	$I_{BC}(\text{mA})$	$V_{AD}(\text{mV})$
0.489	2.4	0.311	13.5
0.588	3.1	0.363	14.7
0.743	4.3	0.407	15.6
0.999	6.2	0.533	18.3

จากผลการทดลองนำมาเขียนกราฟระหว่าง V_{DC} กับ I_{AB} และ V_{AD} กับ I_{BC} ดังในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ความชันของกราฟทั้งสองจะเป็นค่าความต้านทาน $R_{AB,DC}$ และ $R_{BC,AD}$ ตามลำดับ และสำหรับค่า $R_{AB,DC}$ และ $R_{BC,AD}$ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ได้จาก least - square fit แสดงในตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.5 แสดงการวัด R_{ABDC}



รูปที่ 4.6 แสดงการวัด R_{BCAD}

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า $R_{AB,DC}$ และ $R_{BC,AD}$ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

T(°C)	$R_{AB,DC}(\Omega)$	$R_{BC,AD}(\Omega)$
33	7.4826	21.3611
40	8.1540	22.5542
50	9.3090	24.9793
60	9.5734	25.8924
70	10.4032	26.4630
80	10.9493	27.1234



จากค่า $R_{AB,DC}$ และ $R_{BC,AD}$ นำมาหาค่า ρ ได้จากสมการ (1.1.)

แทนค่า $R_{AB,DC}$, $R_{BC,AD}$ และ d คือความหนาของขดลวดตัวอย่าง สำหรับขดลวดที่ใช้ทดลองนี้มีความหนา 0.0404 cm. ค่า ρ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงดังตาราง 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า ρ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

T(°C)	ρ (Ω -cm)
33	2.414
40	2.583
50	2.898
60	2.994
70	3.141
80	3.257

ในการวัดค่า R_H โดยวัด $R_{AC,DB}$ กระทำโดยการย่นสนามแม่เหล็กในทิศตั้งฉากกับระนาบของผลึก จากนั้นปล่อยกระแสไฟฟ้าคงที่ผ่านจากขั้ว A ไป C แล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้ว D และ B ขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก ครึ่งหนึ่งและขณะเมื่อมีสนามแม่เหล็กอีกครั้งหนึ่ง (สนามแม่เหล็กที่ใช้มีค่า 0.27 tesla) ผลการทดลองวัด $R_{AC,DB}$ ที่อุณหภูมิ 50°C แสดงไว้เป็นตัวอย่างในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การวัด $R_{AC,DB}$ ที่อุณหภูมิ 50°C

I _{AC} (mA)	V _{DB} (mv)			R _{AC,DB} (ohm)
	$\vec{B}=0$ (tesla)	$\vec{B}=0.27$ (tesla)	ΔV	
2.14	26.5	27.6	1.1	0.514
2.41	29.8	30.9	1.1	0.456
2.74	33.9	35.2	1.3	0.474

จากตาราง 4.7 หากค่า $R_{AC,DB}$ เฉลี่ยได้เป็น 0.481 ohm ดังนั้นเราสามารถหาสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ (R_H) ได้จากความสัมพันธ์

$$R_H = \frac{d(R_{AC,DB})_{av}}{B} \quad (4.1)$$

แทนค่า $d = 0.0404 \times 10^{-2}$ m และ $\vec{B} = 0.27$ tesla จะได้

$$R_H = 7.1972 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{coul}$$

ผลการทดลองและการคำนวณค่า R_H ที่อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการวัดค่า R_H ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

T (°C)	$R_H \times 10^{-4}$ ($m^3 / coul$)
33	7.2496
40	7.2820
50	7.1972
60	7.0675
70	7.1972
80	7.1673

จากค่า R_H เราสามารถหาความหนาแน่นของพาหะโดยความสัมพันธ์

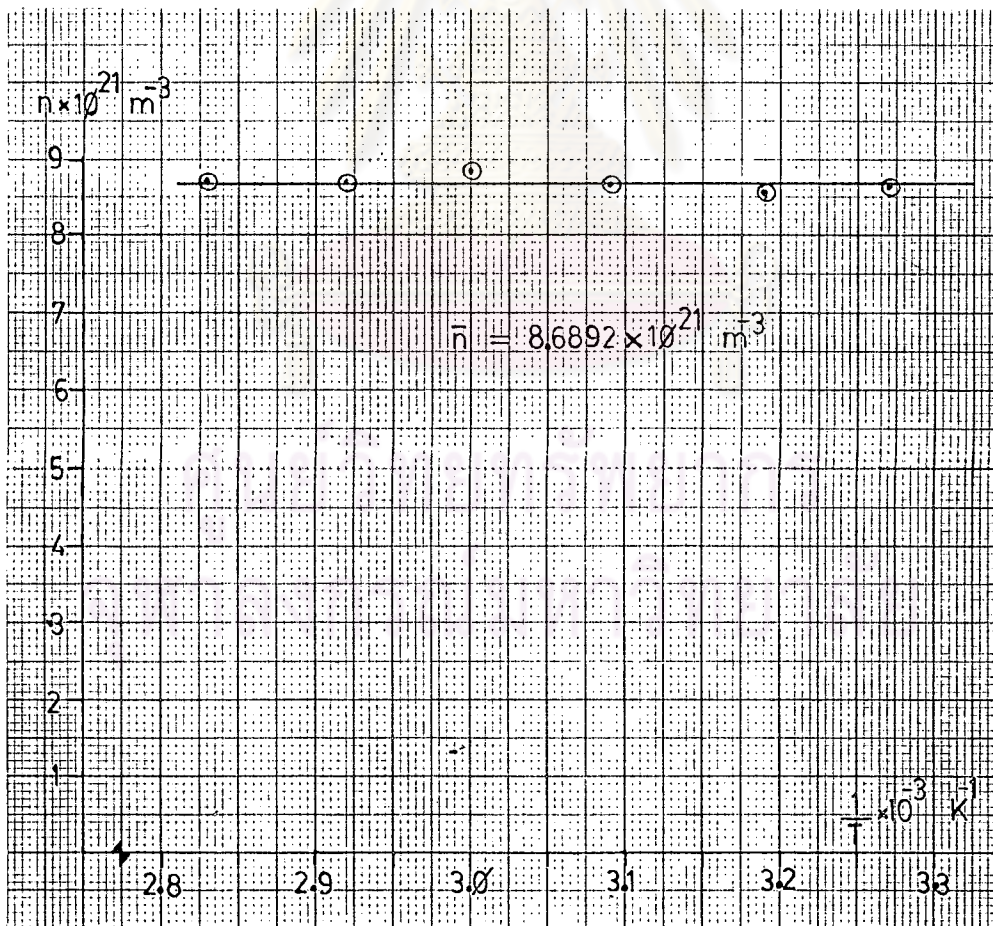
$$R_H = \frac{1}{nq} \quad (4.2)$$

เนื่องจากว่า R_H มีค่าเป็นบวกซึ่งแสดงว่าพาหะนำกระแสส่วนใหญ่เป็นโฮล
ดังนั้น แทนค่า q ด้วย 1.6×10^{-19} coul

จากตารางที่ 4.9 และสมการ (4.2) หากความสัมพันธ์ระหว่าง n และ T (k)
ได้ดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.7 จะเห็นว่า n มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยที่ค่า
เฉลี่ยประมาณ $8.6892 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$

ตารางที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{1}{T}$ กับ n

$T (^\circ C)$	$T (K)$	$\frac{1}{T} \times 10^{-3}$	$n \times 10^{21} (m^{-3})$
33	306	3.27	8.6212
40	313	3.19	8.5828
50	323	3.09	8.6839
60	333	3.0	8.8433
70	343	2.92	8.6839
80	353	2.83	8.7202



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ n กับ $\frac{1}{T}$

4.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองและผลการทดลองที่ได้กล่าวมาแล้ว เราอาจสรุปผลการทดลองเป็นข้อ ๆ ดังนี้

4.3.1 เครื่องมือที่สร้างขึ้น

สำหรับเครื่องมือที่สร้างขึ้น พอที่จะสรุปผลการทดลองที่เกี่ยวข้องกับแต่ละส่วนของเครื่องมือได้ดังนี้

(ก) วงจรตรวจจับอนุกรม เป็นวงจรที่ใช้เทอร์มิสเตอร์ประกอบกับตัวความต้านทานสร้างเป็นวงจรแบบบริดจ์ ดังรูปที่ 3.4 และการทดสอบการทำงานดังหัวข้อ 4.1.1 ได้ผลเป็นที่น่าพอใจเพราะวงจรสามารถวัดอุณหภูมิได้ใกล้เคียงกับผลการคำนวณ

(ข) วงจรอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ ในส่วนนี้แบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนควบคุมการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ และส่วนที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์โดยในครั้งแรกใช้ไอซีจำพวกเกทต่าง ๆ (รูปที่ 3.18) ส่วนอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ใช้ไอซีเบอร์ 4066B (รูปที่ 3.19)

จากการทดสอบและใช้งานพบว่ามีความเหมาะสมมาก เนื่องจากในการวัดสภาพความต้านทานต้องมีการสับเปลี่ยนทางเดินไฟฟ้า

(ค) วงจรแปลงสัญญาณคนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข จากการทดสอบการทำงานพบว่าสามารถแปลงสัญญาณได้คือพอสมควร กล่าวคือ เมื่อสัญญาณอนาลอกมีค่าสูง ๆ (มากกว่า 50 mv ขึ้นไป) สัญญาณที่แปลงออกมาเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขจะมีค่าใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าเครื่องมือนี้จะสามารถทำการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าได้โดยอัตโนมัติก็ทั้งยังคัดแปลงการทำงานได้ง่ายก็ตาม แต่ก็มีข้อบกพร่องตรงที่ไม่สามารถทำการวัดสัมประสิทธิ์ของฮอลล์โดยอัตโนมัติ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมสนามแม่เหล็กได้ ดังนั้นในการวิจัยคราวต่อไปควรมีการปรับปรุงให้สามารถควบคุมสนามแม่เหล็กได้ควยอย่างไรก็ตามจากเครื่องมือที่สร้างขึ้นคงมีประโยชน์ในการนำไปใช้ และเป็นแนวทางในการออกแบบสร้างเครื่องมือควบคุมการทดลอง ที่อาศัยการควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ต่อไป

4.3.2 การวัดปรากฏการณ์ขนส่งทางไฟฟ้าของผลึกตัวอย่าง

การทดลองพบว่าผลึกตัวอย่างมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และจากการวัดสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ (R_H) มีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าพาหะนำกระแสส่วนใหญ่เป็นโฮล นั่นคือผลึกตัวอย่างเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี อะตอมอสุทธิจะเป็น แลกเซปเตอร์อะตอม (Acceptor Atom)

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง n กับ $\frac{1}{T}$ จะเห็นได้ว่าในช่วงอุณหภูมิ 33°C ถึง 80°C n ไม่เปลี่ยนแปลงกับ T โดยมีค่าเฉลี่ย $k = 8.6892 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$ นั่นคือ n มีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวให้ผลสอดคล้องที่เคยวัดมาแล้วจาก เครื่องมือชุดเก่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย