

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 รายละเอียดของฟิล์ม

ฟิล์มที่เตรียมขึ้นเพื่อศึกษาคูสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงมีทั้งหมด 5 ชุด ความหนาของฟิล์มหาได้จากการวัดความถี่ของผลึกควอตซ์ที่เปลี่ยนไปแล้วคำนวณตามความสัมพันธ์

$$t = \frac{\Delta f}{8.87} \text{ \AA}$$

ซึ่งรายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

ผลการวัดความถี่ที่เปลี่ยนไปและค่าความหนาของฟิล์มที่คำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 - 4.5

ฟิล์มชุด A

เตรียมที่ความดัน 2×10^{-5} mbar ใช้ลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

หมายเลข	Δf (Hz)	ความหนา (Å)
A ₁	200	20
A ₂	400	45
A ₃	620	70
A ₄	750	85
A ₅	900	100
A ₆	1120	125
A ₇	1430	160
A ₈	1606	180

ตารางที่ 4.1 แสดงช่วงความถี่ที่เปลี่ยนไปและความหนาของฟิล์มชุด A

ฟิล์มชุด B

เตรียมที่ความดัน 2×10^{-5} mbar ใช้อลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

หมายเลข	Δf (Hz)	ความหนา (Å)
B ₁	880	100
B ₂	1760	200
B ₃	2640	300
B ₄	3520	400
B ₅	4400	500
B ₆	5280	600
B ₇	6120	700
B ₈	7040	800

ตารางที่ 4.2 แสดงความถี่ที่เปลี่ยนไปและความหนาของฟิล์มชุด B

ฟิล์มชุด C

เตรียมที่ความดัน 2×10^{-5} mbar ใช้อลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

หมายเลข	Δf (Hz)	ความหนา (Å)
C ₁	2200	250
C ₂	4400	500
C ₃	6150	700
C ₄	8800	1000
C ₅	12700	1450
C ₆	15400	1750
C ₇	16700	1900
C ₈	19400	2200

ตารางที่ 4.3 แสดงความถี่ที่เปลี่ยนไปและความหนาของฟิล์มชุด C

ฟิล์มชุด D

เตรียมที่ความดัน 1.4×10^{-5} mbar ใช้ทองคำเป็นขั้วไฟฟ้า

หมายเลข	Δf (Hz)	ความหนา (Å)
D ₁	90	10
D ₂	175	20
D ₃	265	30
D ₄	350	40
D ₅	440	50
D ₆	530	60
D ₇	620	70
D ₈	700	80

ตารางที่ 4.4 แสดงความถี่ที่เปลี่ยนไปและความหนาของฟิล์มชุด D

ฟิล์มชุด E

เตรียมที่ความดัน 2×10^{-5} mbar ใช้ทองคำเป็นขั้วไฟฟ้า

หมายเลข	Δf (Hz)	ความหนา (Å)
E ₁	-	-
E ₂	2640	300
E ₃	4400	500
E ₄	6160	700
E ₅	7930	900
E ₆	9690	1100
E ₇	11450	1300
E ₈	13210	1500

ตารางที่ 4.5 แสดงความถี่ที่เปลี่ยนไปและความหนาของฟิล์มชุด E

4.2 ผลการวัดกระแสและความต้านทานฟิล์ม

จากการวัดกระแสและความต้านทานฟิล์มตามวิธีการในหัวข้อ 3.7.1

ได้ค่าดังในตาราง 4.6 - 4.7

ฟิล์มชุด A

V (Volt)	I ($\times 10^{-8}$ A)							
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
.01	1.0	-.05	-.36	.002	-.06	.002	.03	.095
.02	1.1	-.05	-.34	.006	.07	.003	.04	.11
.03	1.15	-.04	-	.012	.08	.004	.05	.12
.04	1.2	-.02	-	.016	.09	.006	.055	.13
.05	-	0.0	-	.021	.1	.007	.06	.145
.06	-	.01	-	.026	.11	.0075	.07	.16
.07	1.2	.02	-	.031	.12	.008	.08	.175
.08	-	.03	-	.035	.13	.009	.09	.185
.09	-	.04	-	.04	.138	-	.1	.2
.1	1.4	.05	-.3	.042	.14	.01	.11	.22
.2	1.5	.14	-.1	.1	.22	.015	.2	.38
.3	1.6	1.5	.11	.2	.3	.022	.33	.60
.4	1.7	2.3	.4	.47	.41	.025	.51	.85
.5	2.2	3.0	.8	.78	.52	.030	.75	1.5
.6	2.9	4.5	1.3	1.25	.635	.038	1.5	2.0
.7	3.6	6.0	2.0	1.85	.77	.045	2.2	2.6
.8	-	7.7	4.0	2.7	.92	.054	3.2	3.2
.9	-	9.5	6.5	3.7	1.4	.069	4.75	4.0
1.0	-	12.0	10.1	5.3	1.7	.15	7.25	4.8
1.1	-	15.5	-	7.0	2.4	.25	10.5	5.5
1.2	-	19.0	-	9.0	3.0	.45	15.0	6.3
1.3	-	23.5	-	11.0	-	1.5	17.0	7.1
1.4	-	31.5	-	13.0	-	3.0	21.0	7.9
1.5	-	45.0	-	20.0	-	-	25.0	8.9

ตารางที่ 4.6 แสดงกระแสผ่านฟิล์มและความต้านทานฟิล์มชุด A

ฟิล์มชุด B

V (Volt)	I ($\times 10^{-8}$ A)							
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈
.01	-13.0	-	-	-	-	-	-	-
.02	-11.5	-	-	-	-	-	-	-
.03	-10.1	-	-	-	-	-	-	-
.04	- 9.9	-	-	-	-	-	-	-
.05	- 9.0	-	-	-	-	-	-	-
.06	- 8.5	-	-	-	-	-	-	-
.07	- 8.0	-	-	-	-	-	-	-
.08	- 7.5	-	-	-	-	-	-	-
.09	- 6.5	-	-	-	-	-	-	-
.1	- 6.0	-	.01	-	-	-	-	-
.2	- 3.5	-	.02	-	-	-	-	-
.3	- 2.0	-	.03	-	-	-	-	-
.4	- .5	-	.05	-	-	-	-	-
.5	.6	-	.07	-	-	-	-	-
.6	2.1	-	.1	-	-	-	-	-
.7	3.5	-	.12	-	-	-	-	-
.8	5.0	-	.175	-	-	-	-	-
.9	7.0	-	.22	-	-	-	-	-
1.0	9.5	-	.29	-	-	-	-	-
1.1	11.5	-	.38	-	-	-	-	-
1.2	13.5	-	.47	-	-	-	-	-
1.3	16.0	-	.58	-	-	-	-	-
1.4	18.0	-	.72	-	-	-	-	-
1.5	20.0	-	.86	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.7 แสดงกระแสและความต้านทานที่ฟิล์มชุด B

ฟิล์มชุด C

ฟิล์มชุด C เมื่อนำมาวัดกระแสและความต้านทานจะพบว่า เมื่อปรับความต้านทานขึ้นไปจะมีกระแสไหลจำนวนมากขึ้นตามจังหวะการปรับ แล้วค่อย ๆ ลดลงจนเป็น 0 คล้าย ๆ กันทุกตัว จึงไม่สามารถอ่านกระแสผ่านฟิล์มได้

ฟิล์มชุด D

ฟิล์มชุด D หลังจากการเตรียมแล้วสังเกตด้วยตาเปล่าคล้ายกับไม่มีอะไรมาเกาะ จึงได้นำฟิล์มไปวัดความต้านทานปรากฏว่าฟิล์มชุด D มีความต้านทานต่ำมาก ดังในตารางที่ 4.8 จึงไม่นำไปวัดกระแสและความต้านทาน

หมายเลข	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈
ความต้านทาน (Ω)	36	47	43	37	40	55	36	53

ตารางที่ 4.8 แสดงความต้านทานของฟิล์มชุด D

ฟิล์มชุด E

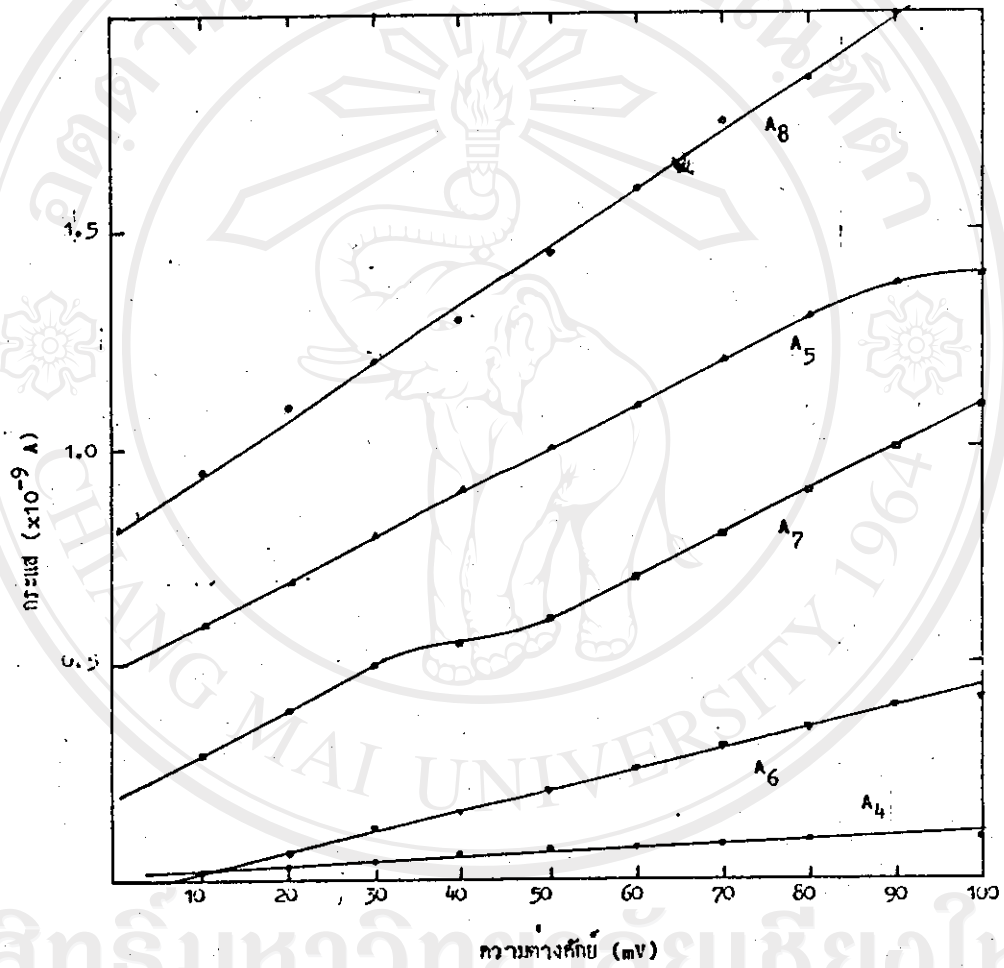
ฟิล์มชุด E เป็นฟิล์มที่เตรียมได้หนาพอสมควร แต่เมื่อวัดความต้านทานปรากฏว่าฟิล์มชุด E มีความต้านทานต่ำมากจึงไม่นำไปวัด I-V

หมายเลข	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈
ความต้านทาน (Ω)	24	27	25	33	36	52	48	28

ตารางที่ 4.9 แสดงความต้านทานของฟิล์มชุด E

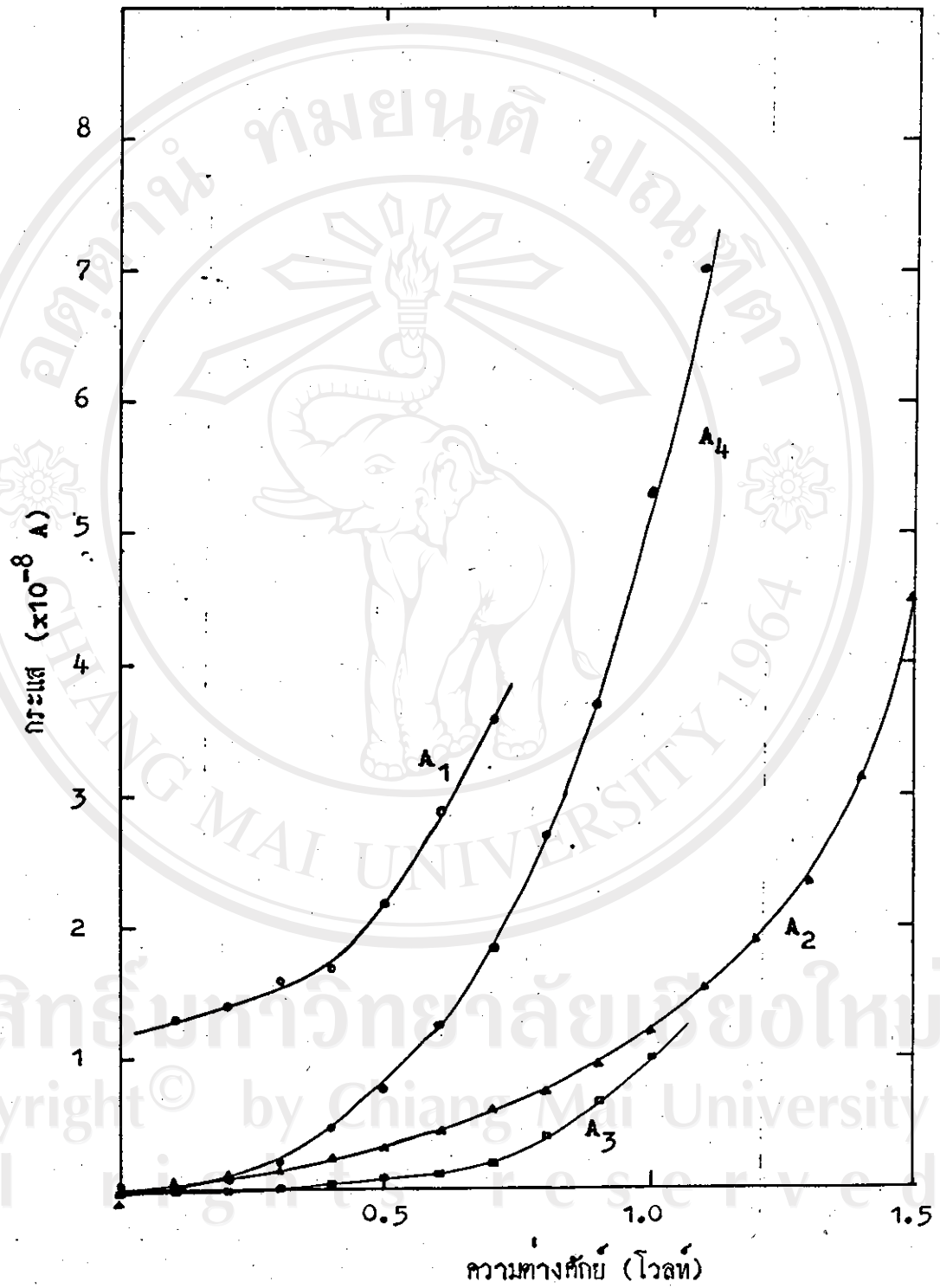
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต้านทาน

เมื่อนำค่ากระแสผ่านฟิล์มและความต้านทานคร่อมฟิล์มในตารางที่ 4.6 และ 4.7 ไปเขียนกราฟระหว่าง I กับ V และ I กับ V^2 จะได้ดังในรูปที่ 4.1-4.5

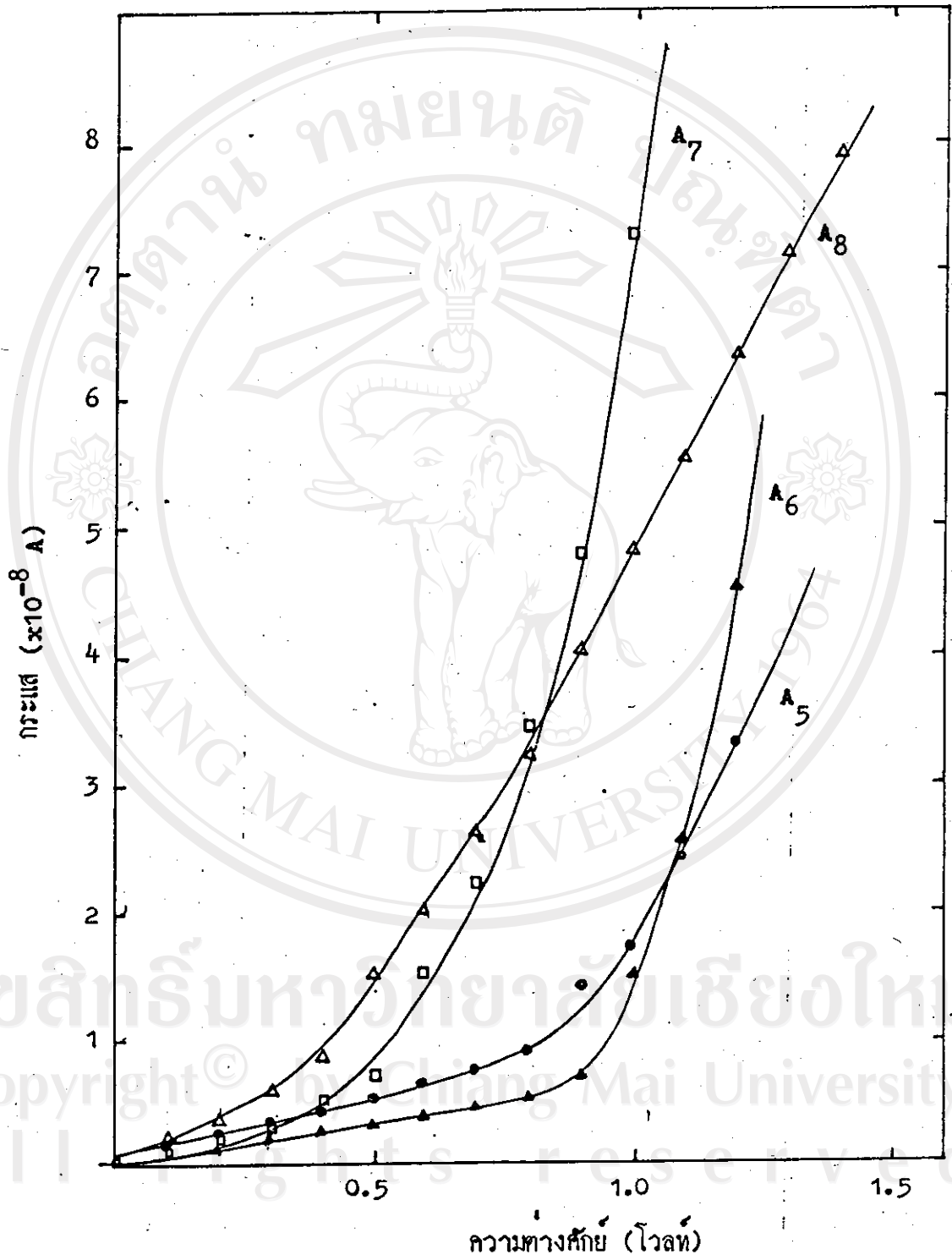


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของฟิล์ม

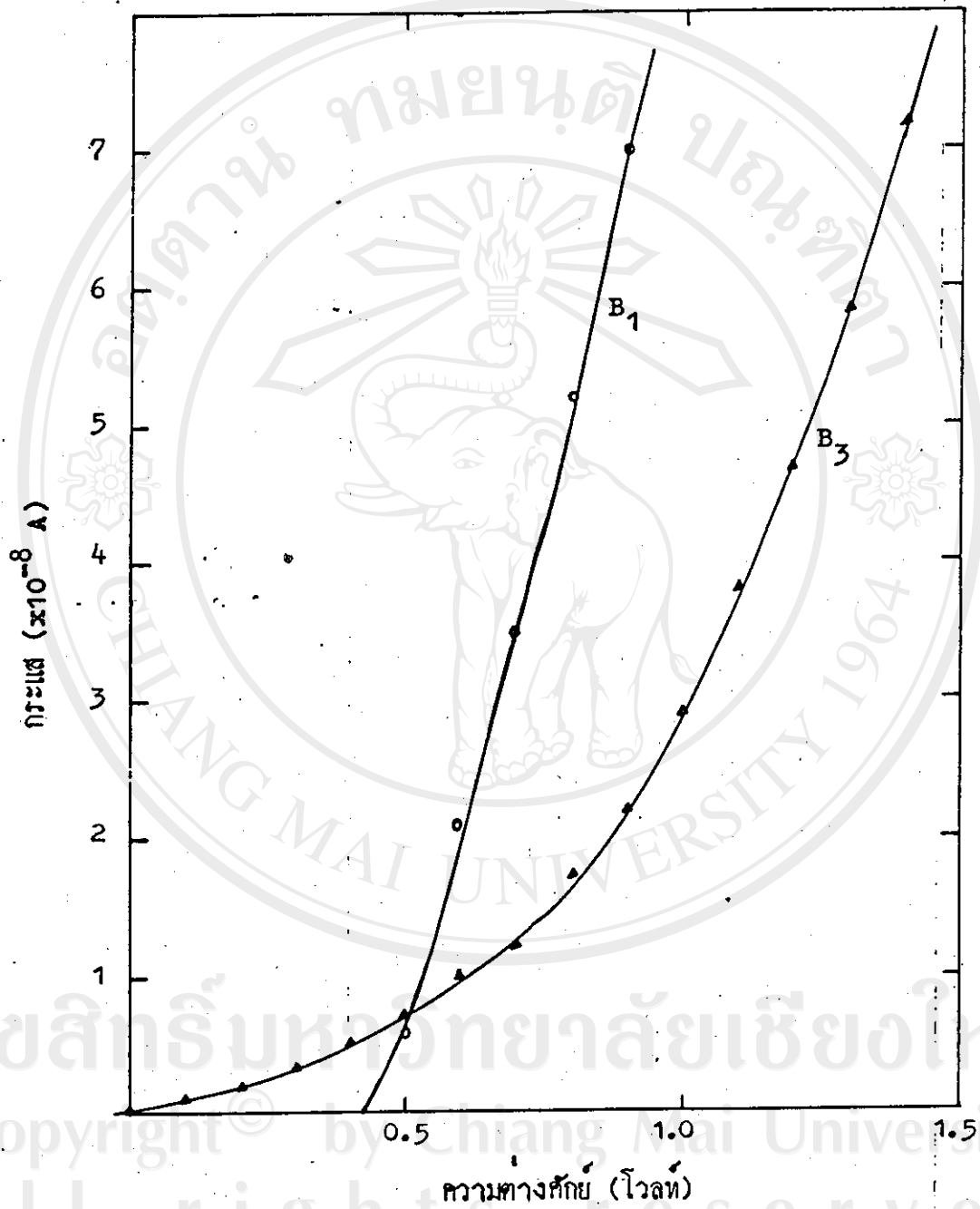
A₄, A₅, A₆, A₇ และ A₈



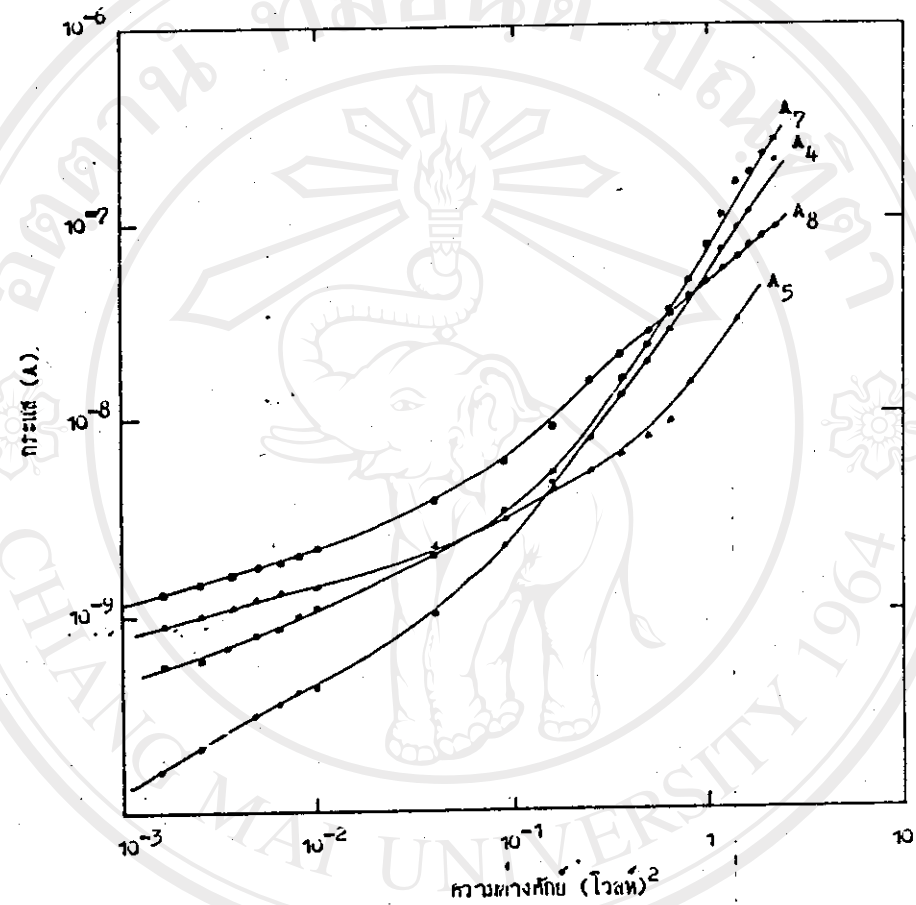
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของฟิล์ม A₁, A₂, A₃ และ A₄



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความตํานกัย
ของฟิล์ม A5, A6, A7 และ A8



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของฟิล์ม B_1 และ B_3



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I กับ V^2 ของฟิล์ม

A_4, A_5, A_7 และ A_8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

4.4 ผลการวัดค่า RC time constant ของฟิล์ม

จากการวัดค่า RC time constant ของฟิล์มโดยใช้ข้อสวิตช์สไลด์ไปตามวิธีการในข้อ 3.7.2 เมื่อได้ความต้านทานค่าพอเหมาะที่จะทำให้อ่านค่าจากข้อสวิตช์สไลด์ได้ง่าย จะได้ค่า time constant ดังในตารางที่ 4.10-4.12

ฟิล์มชุด A

หมายเลข	ความหนา (μ)	R (Ω)	τ ($\times 10^{-6}$ วินาที)
A ₁	20	1040	55
A ₂	45	1040	50
A ₃	70	1040	40
A ₄	85	1040	30
A ₅	100	1040	25
A ₆	125	1040	15
A ₇	160	1040	5
A ₈	180	1040	-

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า time constant ของฟิล์มชุด A

ฟิล์มชุด B

หมายเลข	ความหนา (μ)	R (Ω)	τ ($\times 10^{-6}$ วินาที)
B ₁	100	1040	-
B ₂	200	1040	-
B ₃	300	1040	30
B ₄	400	1040	-
B ₅	500	1040	20
B ₆	600	1040	10
B ₇	700	1040	-
B ₈	800	1040	35

ตารางที่ 4.11 แสดงค่า time constant ของฟิล์มชุด B

ฟิล์มชุด C

หมายเลข	ความหนา (Å)	R ($\times 10^3 \Omega$)	τ ($\times 10^{-6}$ วินาที)
C_1	250	10.02	-
C_2	500	10.02	180
C_3	700	10.02	120
C_4	1000	10.02	85
C_5	1450	10.02	65
C_6	1750	10.02	56
C_7	1900	10.02	54
C_8	2200	10.02	50

ตารางที่ 4.12 แสดงค่า time constant ของฟิล์มชุด C

ฟิล์มชุด D และ E

ฟิล์มชุด D และ E จะลุ่มทุกตัวหลังจากนำออกจากกรอบแก้วจึงไม่สามารถวัด time constant ได้

4.5 ผลการวัดค่ากระแสผ่านฟิล์มและกระแสผ่านตัวเก็บประจุอ่างอิง ณ ความถี่ต่าง ๆ

เมื่อวัดกระแสผ่านฟิล์ม I_f และกระแสผ่านตัวเก็บประจุอ่างอิง I_g ตามวิธีการในหัวข้อ 3.7.3 ได้ค่ากระแส ณ ความถี่ต่าง ๆ ดังในตารางที่ 4.13 และ

4.14 สำหรับฟิล์ม C_7 และ C_8 ตามลำดับ

ฟิล์ม C₇

ความถี่ Hz	I _B (x10 ⁻⁶ A)	I _f (x10 ⁻⁶ A)	note
100	4	7	
200	10	14	
300	15	22	
400	21	30	
500	27	38	
600	33	46	
700	39	54	
800	45	62	
900	45	62	
1x10 ³	57	79	
2x10 ³	116	157	
3x10 ³	172	232	
4x10 ³	230	308	
5x10 ³	285	380	
6x10 ³	342	455	
7x10 ³	399	529	
8x10 ³	454	600	
9x10 ³	122	158	ปรับ V _{in} ลง
1x10 ⁴	135	174	
2x10 ⁴	252	408	
3x10 ⁴	351	409	

ตารางที่ 4.13 แสดงกระแสผ่านตัวเก็บประจุอ้างอิง และกระแสผ่าน
ฟิล์ม C₈ ที่ความถี่ 100 Hz - 1 MHz

ตารางที่ 4.13 ทอ

ความถี่ (Hz)	I_s ($\times 10^{-6}$ A)	I_f ($\times 10^{-6}$ A)	note
4×10^4	442	489	ปรับ V_{in} ลง
5×10^4	518	545	
6×10^4	644	623	
8×10^4	196	176	
9×10^4	204	179	
1×10^5	209	182	
2×10^5	227	187	
3×10^5	228	186	
4×10^5	226	184	
5×10^5	224	182	
6×10^5	222	180	
7×10^5	219	178	
8×10^5	216	176	
9×10^5	212	173	
1×10^6	209	170	

ตารางที่ 4.13 แสดงกระแสผ่านตัวเก็บประจุอ่างอิง และกระแสผ่าน

ฟิล์ม C_7 ที่ความถี่ 100 Hz - 1 MHz

All rights reserved

ฟิล์ม C₈

ความถี่ (Hz)	I_s ($\times 10^{-6}$ A)	I_f ($\times 10^{-6}$ A)	note
100	4	5	
200	7	9	
300	11	14	
400	15	20	
500	19	35	
600	23	30	
700	27	36	
800	31	41	
900	35	46	
1×10^3	40	52	
2×10^3	80	105	
3×10^3	121	155	
4×10^3	161	206	
5×10^3	200	256	
6×10^3	239	305	
7×10^3	280	355	
8×10^3	319	404	
9×10^3	359	453	
1×10^4	134	166	ปรับ V_{in} ลง
2×10^4	251	277	
3×10^4	351	397	

ตารางที่ 4.14 แสดงกระแสผ่านตัวเก็บประจุอ้างอิง และกระแส
ผ่านฟิล์ม C₇ ที่ความถี่ 100 Hz - 1 MHz

ตารางที่ 4.14 ต่อ

ความถี่ (Hz)	I_s ($\times 10^{-6}$ A)	I_f ($\times 10^{-6}$ A)	note
4×10^4	437	472	ปรับ V_{in} ลง
5×10^4	528	512	
6×10^4	578	571	
7×10^4	636	606	
8×10^4	365	328	
9×10^4	382	336	
1×10^5	399	343	
2×10^5	454	361	
3×10^5	463	363	
4×10^5	455	356	
5×10^5	352	362	
6×10^5	449	363	
7×10^5	444	362	
8×10^5	439	360	
9×10^5	433	356	
1×10^6	425	351	

ตารางที่ 4.14 แสดงกระแสผ่านตัวเก็บประจุอ้างอิง และกระแสผ่าน

ฟิล์ม C_8 ที่ความถี่ 100 Hz - 1 MHz

4.6 ผลการวัดการทะลุผ่านของแสง

เมื่อปล่อยให้แสงทะลุผ่านฟิล์มตกกระทบบโฟโตโคโอค แล้ววัดกระแสโฟโตโคโอค (I_{pd}) สำหรับฟิล์มชุด A, B และ C ได้ค่ากระแสแสงดังแสดงในตารางที่ 4.15

A		B		C	
หมายเลข	$I_{pd} (\mu A)$	หมายเลข	$I_{pd} (\mu A)$	หมายเลข	$I_{pd} (\mu A)$
ไม่มีกระจก	530	ไม่มีกระจก	593	ไม่มีกระจก	614
กระจกเปล่า	464	กระจกเปล่า	523	กระจกเปล่า	543
A ₁	468	B ₁	526	C ₁	523
A ₂	468	B ₂	530	C ₂	443
A ₃	465	B ₃	522	C ₃	419
A ₄	470	B ₄	499	C ₄	484
A ₅	469	B ₅	462	C ₅	405
A ₆	471	B ₆	427	C ₆	480
A ₇	473	B ₇	432	C ₇	456
A ₈	473	B ₈	474	C ₈	447

ตารางที่ 4.15 แสดงกระแสโฟโตโคโอค เมื่อให้แสงผ่านฟิล์มไป
ตกกระทบบ

4.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์

จากกราฟในรูปที่ 4.1 จะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์จะเป็นเส้นตรงในช่วงโวลต์ต่ำ ๆ ($V < 100 \text{ mV}$) แสดงว่ากระบวนการนำกระแสในฟิล์มเกิดจาก bulk generate carrier⁽¹⁰⁾ ซึ่งการนำกระแสจะเป็นแบบ ohmic แต่เมื่อโวลต์สูงขึ้นเส้นกราฟจะเริ่มเปลี่ยนเป็นเส้นโค้ง ดังในรูปที่ 4.2-4.4 แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์จะเปลี่ยนจาก $I \propto V$ ไปเป็น $I \propto V^2$ ดังในรูปที่ 4.5 ซึ่งถือว่าเป็นการไหลของกระแสจาก space charge เรียกว่า space charge limit current (SCL) ตามสมการ (2.9)

ความต่างศักย์ที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากการนำกระแสแบบ ohmic ไปเป็นแบบ SCL (V_x) อาจหาได้จากจุดที่กราฟ $I - V$ เปลี่ยนเป็นเส้นโค้งดังในรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ซึ่งจะเห็นได้ชัดสำหรับฟิล์ม A_1, A_3, A_5 และ A_6 ซึ่งมีค่า V_x ดังในตารางที่ 4.16 ส่วนฟิล์มอื่น ๆ จุดเปลี่ยนโค้งไม่ชัดเจน

ฟิล์มหมายเลข	ความหนา ($\text{\AA}$)	V_x (Volt)
A_1	20	0.4
A_3	70	0.6
A_5	100	0.8
A_6	125	0.9

ตารางที่ 4.16 แสดงความต่างศักย์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากการนำกระแสแบบ ohmic เป็นแบบ SCL

จากตารางที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่า เมื่อความหนาของฟิล์มมากขึ้นความต่างศักย์ V_x จะมีค่าสูงขึ้นด้วย

4.7.2 การหาค่า dielectric constant ของสังกะสีซัลไฟด์

จากการวัดค่า RC time constant (τ) ของฟิล์มทั้งในตารางที่ 4.10-4.12 สามารถคำนวณหาค่าความจุของฟิล์มและค่า dielectric constant ของสังกะสีซัลไฟด์ได้ดังต่อไปนี้

$$\text{จาก } \tau = RC$$

$$\text{หรือ } C = \frac{R}{\tau}$$

ในตารางที่ 4.10 ของฟิล์ม A_1 ใช้ $R = 1040 \, \Omega$ ซึ่งได้ $\tau = 55 \times 10^{-6}$ วินาที สามารถคำนวณหาความจุของฟิล์ม A_1 ได้เป็น

$$\begin{aligned} C_{A_1} &= \frac{1040 \, \Omega}{55 \times 10^{-6} \, \text{s}} \\ &= 5.3 \times 10^{-8} \, \text{Farad} \end{aligned}$$

จากค่าความจุของฟิล์ม A_1 สามารถนำไปคำนวณหาค่า dielectric constant ของสังกะสีซัลไฟด์ได้จากความสัมพันธ์

$$\epsilon_r = \frac{Cd}{\epsilon_0 A}$$

เมื่อ ϵ_r = relative permittivity หรือ dielectric constant ของสารที่อยู่ใน capacitor

d = ระยะห่างระหว่าง plate ของ capacitor หรือ ความหนาของฟิล์ม

ϵ_0 = permittivity ของสุญญากาศ

$$= 8.85 \times 10^{-12} \, \text{Fm}^{-1}$$

A = พื้นที่หน้าตัดของแผ่น plate

โดยที่ $A = 1.6 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ สำหรับฟิล์มเล็ก
 $= 6.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ สำหรับฟิล์มใหญ่

เมื่อแทนค่า ความจุ (C) ความหนาของฟิล์ม (d) พื้นที่ของ plate (A) และค่า ϵ_0 ลงไปในสมการข้างบน สำหรับฟิล์ม A_1 จะได้

$$\epsilon_r = \frac{5.3 \times 10^{-8} \text{ Farad} \times 20 \times 10^{-10} \text{ m}}{8.85 \times 10^{-12} \text{ Farad/m} \times 1.6 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$= 0.75$$

สำหรับฟิล์มอื่น ๆ เมื่อคำนวณตามวิธีการเดียวกันโดยอาศัยข้อมูลในตาราง 4.10-4.12 จะได้ความจุของฟิล์มและค่า dielectric constant ของสังกะสีซัลไฟด์ ดังแสดงไว้ในตาราง 4.17-4.18

หมายเลข	ความหนา (Å)	ความจุ ($\times 10^{-8}$ Farad)	ϵ_r
A_1	20	5.3	0.75
A_2	45	4.8	1.53
A_3	70	3.8	1.88
A_4	85	2.9	2.0
A_5	100	2.4	1.2
A_6	125	1.4	1.0
A_7	160	0.48	0.54
A_8	180	-	-
$\epsilon_{r_{av}}$			1.27 ± 0.51

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าความจุของฟิล์มซึก A และค่า dielectric constant ของฟิล์มสังกะสีซัลไฟด์

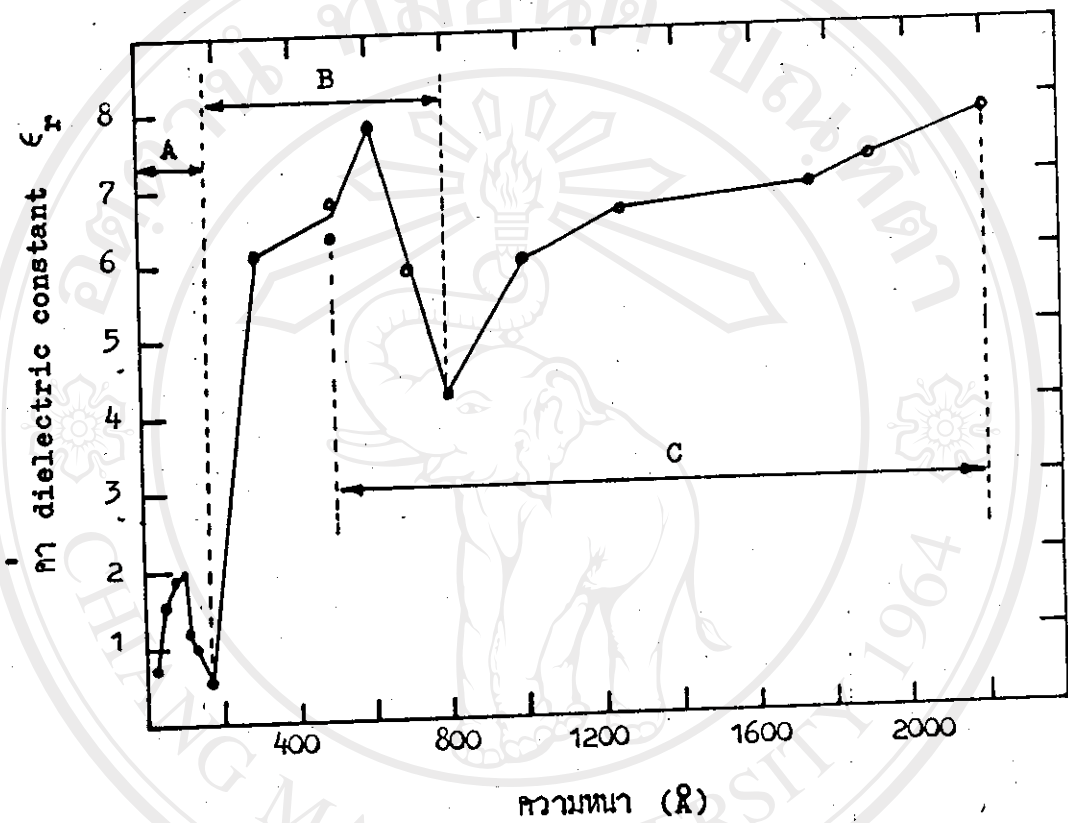
หมายเลข	ความหนา (Å)	ความจุ ($\times 10^{-8}$ Farad)	ϵ_r
B ₁	100	-	-
B ₂	200	-	-
B ₃	300	2.9	6.14
B ₄	400	-	-
B ₅	500	1.9	6.78
B ₆	600	1.85	7.8
B ₇	700	-	-
B ₈	800	3.4	4.2
$\epsilon_{r\text{ av}}$			6.23 ± 1.31

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าความจุของฟิล์มทุก B และค่า dielectric constant ของฟิล์มสังกะสีดัดไฟท์

หมายเลข	ความหนา (Å)	ความจุ ($\times 10^{-8}$ Farad)	ϵ_r
C_1	250	-	-
C_2	500	1.8	6.3
C_3	700	1.2	5.93
C_4	1000	0.85	6.00
C_5	1450	0.65	6.6
C_6	1750	0.56	6.9
C_7	1900	0.54	7.2
C_8	2200	0.5	7.8
$\epsilon_{r_{av}}$			6.68 ± 0.63

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าความจุของฟิล์มชุด C และค่า
dielectric constant ของสังกะสีซัลไฟด์

เมื่อนำค่า dielectric constant จากตาราง 4.17-4.19 มาเขียน
กราฟตามความหนาของฟิล์มจะได้อัตราที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงค่า dielectric constant
ตามความหนาของฟิล์ม

จากข้อมูลในตารางที่ 4.16-4.18 และจากรูปที่ 4.6 จะพบว่าค่า dielectric constant ของสังกะสีซัลไฟด์ที่หาได้จากฟิล์มชุด A มีค่าค่อนข้างต่ำคือ 2.27 ± 0.51 และมีค่าไม่คงที่เปลี่ยนแปลงตามความหนา ส่วนค่า dielectric constant ที่ได้จากฟิล์มชุด B และ C มีค่าเฉลี่ย 6.23 ± 1.37 และ 6.68 ± 0.63 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ผู้หาไว้ซึ่งใกล้เคียงกับ $8^{(9)}$ ดังที่แสดงไว้ในภาคผนวก และเป็นที่น่าสังเกตว่าค่าที่หาได้จากฟิล์มที่มีความหนามากขึ้นคือฟิล์ม B และ C จะมากกว่าค่าที่หาได้จากฟิล์มที่ค่อนข้างบางคือฟิล์ม A ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า

1. ในฟิล์มบางมาก ๆ จะมีกระแสรั่วไหลมาก การคายประจุของฟิล์มจึงเร็วกว่าปกติ ทำให้ค่า time constant ที่วัดได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น ส่วนฟิล์มที่หนามากขึ้น การรั่วจะมีน้อย จึงเป็นข้อได้เปรียบประจุนิยามของค่าคงที่

2. ในฟิล์มที่บางมาก ๆ การวัดความหนาแน่นของมวลเคลื่อนไ้มากกว่าในฟิล์มที่มีความหนามาก ซึ่งจะทำให้การคำนวณค่า dielectric constant ผิดพลาดได้มาก

อย่างไรก็ตามเพื่อความกระจ่างในเรื่องนี้ น่าจะทำการทดลองซ้ำอีกเพื่อหาข้อยืนยันที่แน่นอน ที่ความหนาแน่น ๆ ค่า ϵ_r จะเปลี่ยนแปลงตามความหนา

4.7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า dielectric constant ของสังกะสีซัลไฟด์กับความถี่

จากการวัดกระแสผ่านตัวเก็บประจุอ้างอิง I_s และกระแสผ่านฟิล์ม I_f ดังในตารางที่ 4.12 และ 4.13 สามารถนำมาคำนวณหาค่าความจุของฟิล์ม (C_f) และความถี่ต่าง ๆ ตามความสัมพันธ์

$$C_f = \frac{I_f C_s}{I_s}$$

จากนั้นก็นำมาหาค่า dielectric constant ของฟิล์มสังกะสีซัลไฟด์
โดยอาศัยความสัมพันธ์

$$\epsilon_r = \frac{C_f d}{\epsilon_0 A}$$

จากตาราง 4.12 ฟิล์ม C_7 มีความถี่ 1×10^3 Hz ใต้อำนาจ $I_B = 57 \times 10^{-6}$ A และ
 $I_f = 79 \times 10^{-6}$ A $C_8 = 3600$ pf เมื่อแทนค่าทาง ๆ ลงในสมการข้างบนจะได้

$$\begin{aligned} C_f &= \frac{79 \times 10^{-6} \text{ A} \times 3600 \times 10^{-12} \text{ Farad}}{57 \times 10^{-6} \text{ A}} \\ &= 4960 \times 10^{-12} \text{ Farad} \end{aligned}$$

และเมื่อแทนค่า C_f , ϵ_0 , A และความหนา d ลงในสมการข้างบนจะได้

$$\begin{aligned} \epsilon_r &= \frac{4960 \times 10^{-12} \text{ Farad} \times 1900 \times 10^{-10} \text{ m}}{8.85 \times 10^{-12} \text{ Farad/m} \times 1.6 \times 10^{-5} \text{ m}^2} \\ &= 6.69 \end{aligned}$$

โดยการคำนวณตามวิธีดังกล่าวจะได้ค่าความจุของฟิล์ม C_7 , C_8 และค่า
dielectric constant ของสังกะสีซัลไฟด์ มีความถี่ต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 4.20
และ 4.21

ฟิล์ม C_7

ความถี่ (Hz)	ความจุ ($\times 10^{-12}$ Farad)	ϵ_r	ความถี่ (Hz)	ความจุ ($\times 10^{-12}$ Farad)	ϵ_r
100	6300	8.45	1×10^4	4640	6.23
200	5040	7.76	2×10^4	4400	5.9
300	5280	7.08	3×10^4	4195	5.63
400	5143	6.90	4×10^4	3983	5.3
500	5067	6.80	5×10^4	3788	5.1
600	5018	6.73	6×10^4	3631	4.87
700	4985	6.70	7×10^4	3483	4.67
800	4960	6.65	8×10^4	3233	4.34
900	4960	6.69	9×10^4	3159	4.24
1×10^3	4989	6.54	1×10^5	3135	4.21
2×10^3	4872	6.52	2×10^5	2966	3.98
3×10^3	4856	6.47	3×10^5	2937	3.94
4×10^3	4821	6.44	4×10^5	2931	3.93
5×10^3	4800	6.43	5×10^5	2925	3.92
6×10^3	4789	6.40	6×10^5	2919	3.92
7×10^3	4773	6.40	7×10^5	2926	3.93
8×10^3	4758	6.38	8×10^5	2933	3.94
9×10^3	4738	6.38	9×10^5	2938	3.94
			1×10^6	2938	3.93

ตารางที่ 4.20 แสดงความจุของฟิล์ม C_7 และค่า dielectric constant ณ ความถี่ต่าง ๆ

ฟิล์ม C_8

ความถี่ (Hz)	ความจุ ($\times 10^{-12}$ Farad)	ϵ_r	ความถี่ (Hz)	ความจุ ($\times 10^{-12}$ Farad)	ϵ_r
100	4500	6.99	1×10^4	4460	6.93
200	4628	7.19	2×10^4	4260	6.62
300	4581	7.12	3×10^4	4072	6.33
400	4800	7.46	4×10^4	3888	6.04
500	4736	7.36	5×10^4	3558	5.53
600	4696	7.30	6×10^4	3556	5.52
700	4800	7.46	7×10^4	3403	5.29
800	4761	7.40	8×10^4	3235	5.03
900	4731	7.35	9×10^4	3166	4.92
1×10^3	4680	7.27	1×10^5	3095	4.81
2×10^3	4725	7.34	2×10^5	2886	4.48
3×10^3	4611	7.16	3×10^5	2822	4.38
4×10^3	4606	7.15	4×10^5	2817	4.38
5×10^3	4608	7.16	5×10^5	3702	5.75
6×10^3	4594	7.14	6×10^5	2935	4.52
7×10^3	4564	7.05	7×10^5	2952	4.56
8×10^3	4559	7.08	8×10^5	2960	4.59
9×10^3	4543	7.06	9×10^5	2973	4.60
			1×10^6	3030	4.62

ตารางที่ 4.21 แสดงความจุของฟิล์ม C_8 และค่า dielectric constant ณ ความถี่ต่าง ๆ

เมื่อนำค่า dielectric constant ของสังกะสีซัลไฟด์ที่หาได้จากฟิล์ม ϵ_7 และ ϵ_8 มาความถี่ต่าง ๆ ทั้งในตารางที่ 4.20 และ 4.21 มาเขียนกราฟ จะได้ กราฟที่ 4.7

จากกราฟในรูปที่ 4.7 จะพบว่าในช่วงความถี่ไม่เกิน 10^4 Hz ค่า dielectric constant ของฟิล์มสังกะสีซัลไฟด์มีค่าค่อนข้างคงที่คือประมาณ 6.5-7.5 แต่เมื่อความถี่สูงขึ้นเกิน 10^4 Hz ค่า dielectric constant จะเริ่มลดลงและมีค่าค่อนข้างคงที่ประมาณ 4-4.5 ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 10^5 Hz ถึง 10^6 Hz นั่นคือค่า static dielectric constant ϵ_s มีค่าประมาณ 6.5-7.5 ส่วน optical dielectric constant ϵ_∞ มีค่าประมาณ 4-4.5

การที่ค่า dielectric constant ของฟิล์มสังกะสีซัลไฟด์ลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น แสดงว่าการปรับตัวของ dipole moment ในโมเลกุลของสารตามการเปลี่ยนแปลงของสนามไม่ทัน จะเกิด relaxation ขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่า dynamic dielectric constant ของสารลดลง ดังในสมการที่ (2.22) และในรูปที่ 2.9

4.7.4 การทะลุผ่านฟิล์มของแสง

จากการปล่อยให้แสงผ่านฟิล์มและกระจกไปตกกระทบโฟโตไดโอด แล้ววัดกระแสโฟโตไดโอด ซึ่งกระแสโฟโตไดโอดจะสัมพันธ์กับความเข้มของแสงอย่างเป็นเชิงเส้นดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข. ดังนั้นเราสามารถหาความเข้มของแสงที่ตกกระทบฟิล์ม และทะลุผ่านฟิล์มโดยอ่านจากกระแสโฟโตไดโอดได้ ในการคิดเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่านฟิล์มของแสง จึงสามารถคิดจากกระแสโฟโตไดโอดได้โดยตรงดังต่อไปนี้

$$T = \frac{\text{กระแสโฟโตไดโอดเมื่อแสงผ่านฟิล์ม} \times 100 \%}{\text{กระแสโฟโตไดโอดเมื่อแสงตกกระทบโดยตรง}}$$

จากข้อมูลในตารางที่ 4.14 สำหรับฟิล์ม A_1 การทะลุผ่านเป็น

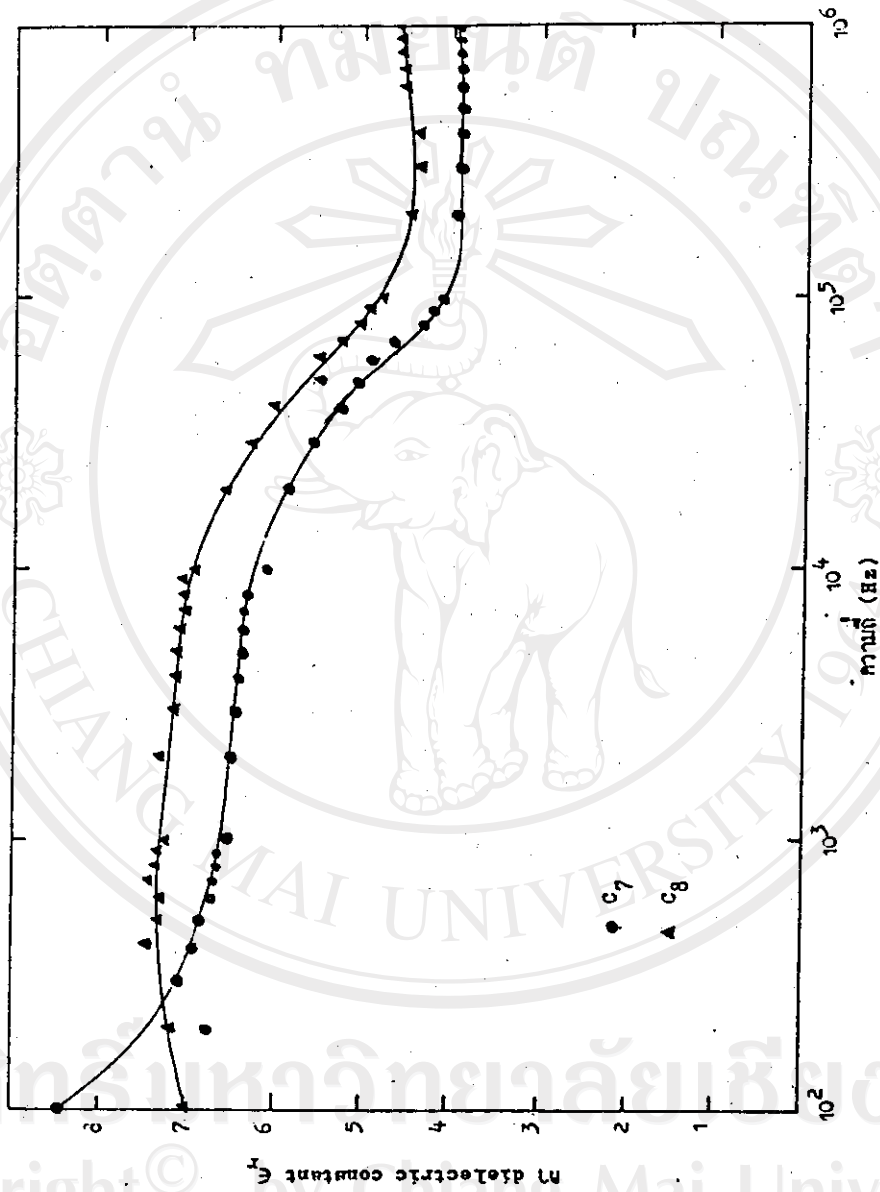
$$\begin{aligned} \mathcal{T}_{A_1} &= \frac{468 \times 10^{-6} \text{ A} \times 100}{530 \times 10^{-6} \text{ A}} \% \\ &= 88.3 \% \end{aligned}$$

จากการคำนวณโดยวิธีการเดียวกันนี้สำหรับฟิล์มอื่น ๆ จะได้เปอร์เซ็นต์การทะลุผ่านของแสงทั้งแสงขาวในตารางที่ 4.22

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



รูปที่ 4.7 แสดงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงค่า dielectric constant ของสิ่งมีชีวิตในแก้วความถี่

A			B			C		
หมายเลข	ความหนา (g)	การทดสอบ (%)	หมายเลข	ความหนา (g)	การทดสอบ (%)	หมายเลข	ความหนา (g)	การทดสอบ (%)
กระจุกละ	-	87.5	กระจุกละ	-	88.2	กระจุกละ	-	88.4
A ₁	20	88.3	B ₁	100	88.7	C ₁	250	85.2
A ₂	45	88.3	B ₂	200	89.4	C ₂	500	72.1
A ₃	70	87.7	B ₃	300	88.0	C ₃	700	68.2
A ₄	85	88.7	B ₄	400	84.1	C ₄	1000	78.8
A ₅	100	88.5	B ₅	500	77.9	C ₅	1450	65.9
A ₆	125	88.9	B ₆	600	72.0	C ₆	1750	78.2
A ₇	160	89.2	B ₇	700	72.8	C ₇	1900	74.3
A ₈	180	89.2	B ₈	800	79.9	C ₈	2200	72.8

ตารางที่ 4.22 แสดงเปอร์เซ็นต์การทดสอบแสงของฟิล์มทุก A, B และ C

จากข้อมูลในตารางที่ 4.22 เมื่อเขียนกราฟระหว่างความหนาของฟิล์มกับเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่านของแสงจะได้ดังรูปที่ 4.8

จากกราฟในรูปที่ 4.8 จะพบว่า การทะลุผ่านฟิล์มของแสงจะเป็นแบบ oscillatory โดยจุดที่มีการทะลุผ่านน้อยที่สุดจะตรงกับจุดที่มีการสะท้อนมากที่สุดเนื่องจากฟิล์มของเราเป็นระบบฟิล์ม อากาศ/ฟิล์ม/แก้ว ซึ่งจะสอดคล้องกับกรณี $n_1 > n_0 > n_2$ โดยที่ n_0 คือดัชนีหักเหของแก้ว crown มีค่าประมาณ 1.5 ในช่วงความยาวคลื่น $.361-1.2 \mu^{(21)}$ n_1 คือดัชนีหักเหของสังกะสีซัลไฟด์ซึ่งมีค่า 2.35 ที่ความยาวคลื่น $.55 \mu^{(18)}$ n_2 คือดัชนีหักเหของอากาศมีค่าประมาณ 1 ดังนั้นการสะท้อนสูงสุด จะหาได้จากสมการ (2.42 a) คือ

$$R_{\max} = \left(\frac{n_1^2 - n_0 n_2}{n_1^2 + n_0 n_2} \right)^2 \%$$

เมื่อแทนค่า n_0, n_1 และ n_2 จะได้

$$R_{\max} = \left[\frac{(2.35)^2 - 1.5 \times 1}{(2.35)^2 + 1.5 \times 1} \right]^2 \%$$

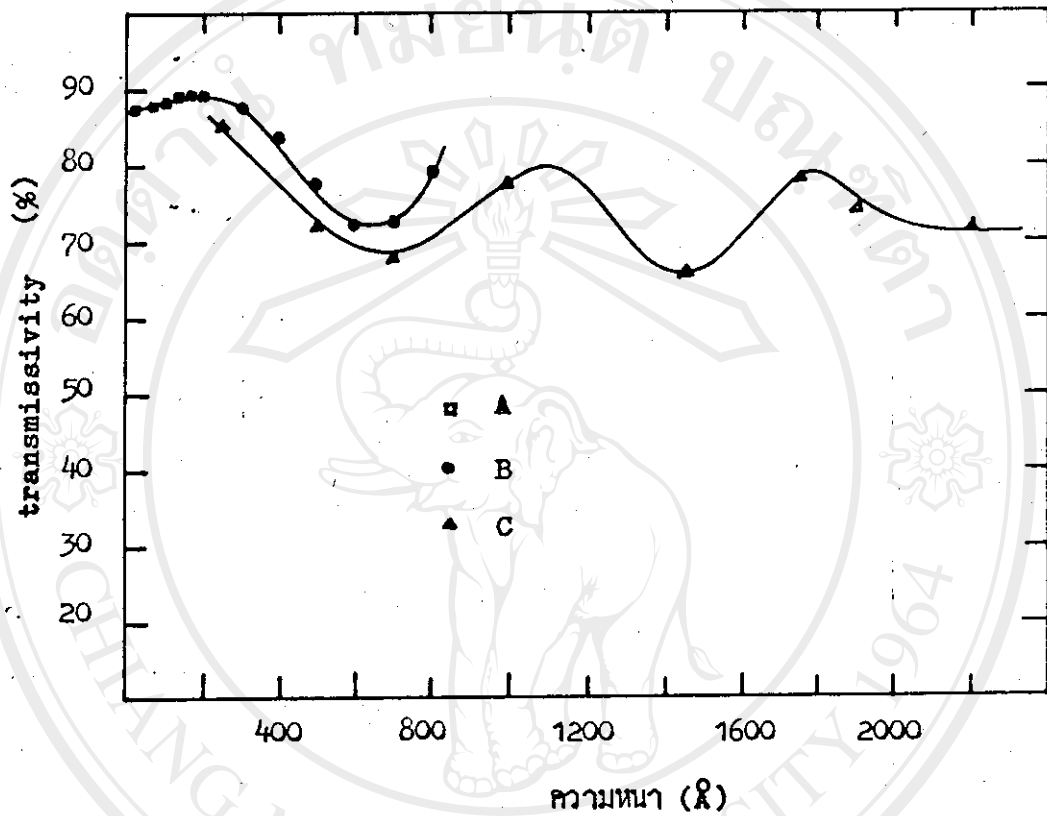
$$= 28.2 \%$$

ถ้าฟิล์มไม่มีการดูดกลืนจะให้ความการทะลุผ่านต่ำสุดจะเป็น $100 - 28.2 = 71.8 \%$ แต่จากกราฟ รูป 4.8 การทะลุผ่านต่ำสุดจะเกิดขึ้น ณ ความหนาของฟิล์มประมาณ 700 Å และประมาณ 1450 Å ซึ่งการทะลุผ่านทั้งสองตำแหน่งมีค่าน้อยกว่า 70 % ซึ่งอาจจะเกิดจากการดูดกลืนในฟิล์มหรือการกระเจิงของแสงก็ได้

ความยาวคลื่นของแสงที่สะท้อนออกมามากที่สุดหาได้จากสมการ

$$\lambda_{\max} = \frac{4n_1 t}{m}$$

สำหรับ $n_1 = 2.35$ และ $t = 700 \text{ Å}$ จะได้ $\lambda_{\max}$ เป็น 6580, 3290 และ 2193 Å เมื่อ $m = 1, 2$ และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 แสดงเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่านฟิล์มของแสงตามความหนา

ในการทดลองนี้ใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟไส้ทั้งสี่เตนซึ่งมีหลาย ๆ ความยาวคลื่น ดังนั้นเมื่อความหนาของฟิล์มเปลี่ยนไป ความยาวคลื่นที่สอดคล้องกับเงื่อนไข ก็จะแตกต่างกันออกไป แต่อย่างไรก็ดี เราพบว่า ความหนาของฟิล์มที่มีการสะท้อนแสงมากที่สุด (ทะลุผ่านน้อยที่สุด) จะเป็น 700 Å และ 1450 Å ซึ่งมีแนวโน้มที่เป็นระบบจำนวนเท่าของ 700 คือ 700, 2x700, 3x700, ...

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved