

## บทที่ 4

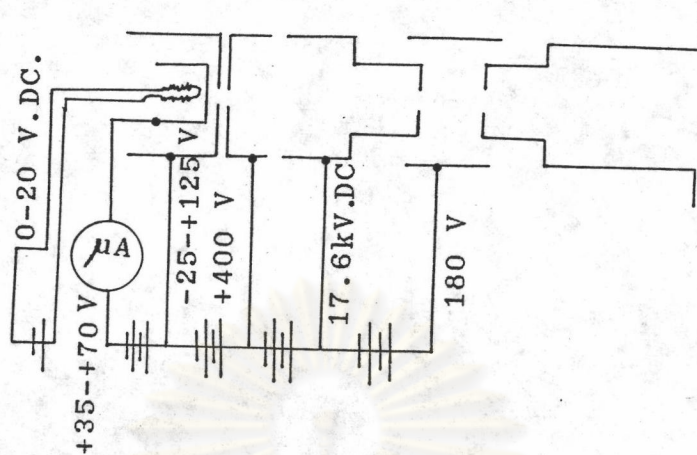


## ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองการวัดกระแสไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์ที่ปล่อยจากแคโทด4.1.1 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์ที่ปล่อยจากแคโทด กับศักย์ไฟฟ้าของไส้หลอด

โดยการสูบอากาศออกจากระบบทั้งหมด จนความดันของอากาศในระบบลดลง ในระดับที่ทำการทดลองได้คือประมาณ  $10^{-6}$  มิลลิบาร์ จ่ายศักย์ไฟฟ้าให้กับขั้วไฟฟ้าทุกขั้วในเป็นอิเล็กทรอนิกส์ ดังตาราง 4.1 โดยให้ศักย์ไฟฟ้าที่กริด(G) -25 โวลต์ และศักย์ไฟฟ้าที่แคโทด(C) +70 โวลต์ ค่อย ๆ เพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้กับไส้หลอด แล้วจึงอ่านกระแสไฟฟ้าจากไมโครแอมมิเตอร์ ที่ต่ออนุกรมกับแคโทดดังรูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ที่ได้เป็นไปดังตาราง 4.1

ศูนย์วิทยพัทยาการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 แสดงการต่อไมโครแอมมิเตอร์เข้ากับป็นอิเล็กทรอนิกส์

ศักย์ไฟฟ้าของไส้หลอดแคโทด (โวลท์)	กระแสไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์ที่ปล่อยจากแคโทด (ไมโครแอมแปร์)
0	0.2
2	0.3
4	0.3
6	0.6
8	4.0
10	19.0
12	60.0
14	180.0
16	235.0

ตาราง 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์ที่ปล่อยจากแคโทดกับศักย์ไฟฟ้าของไส้หลอด

4.1.2 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์ที่ปล่อยจากแคโทด กับศักย์ไฟฟ้าของแคโทด

โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.1.1 แต่ปรับศักย์ไฟฟ้าของไส้หลอดไว้ที่ 10 โวลท์ และปรับศักย์ไฟฟ้าของกริด(G) ไว้ที่ -25 โวลท์ เมื่อค่อย ๆ เปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าของแคโทดระหว่าง +35 ถึง +70 โวลท์ อ่านค่ากระแสไฟฟ้าจากไมโครแอมมิเตอร์. ความสัมพันธ์ที่ได้แสดงดังตาราง 4.2

ศักย์ไฟฟ้าของแคโทด (โวลท์)	กระแสไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์ที่ปล่อยจากแคโทด (ไมโครแอมแปร์)
35	10.1
40	11.7
45	12.0
50	12.8
55	13.6
60	14.6
65	15.5
70	16.6

ตาราง 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์ที่ปล่อยจากแคโทดกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับแคโทด

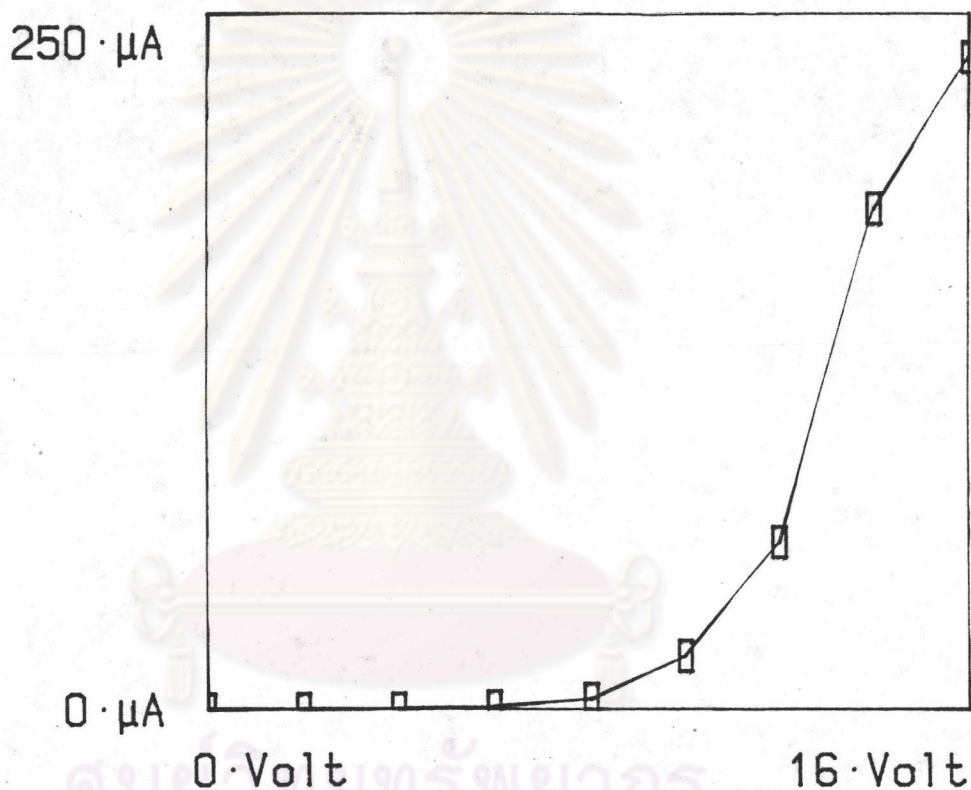
4.1.3 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์ที่ปล่อยจากแคโทดกับศักย์ไฟฟ้าของกริด(G)

ทำการทดลองเช่นเดียวกับ 4.1.2 แต่ปรับศักย์ไฟฟ้าของไส้หลอดไว้ที่ 10 โวลต์ และปรับศักย์ไฟฟ้าของแคโทดไว้ที่ +35 โวลต์ เมื่อค่อย ๆ เปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าของกริดระหว่าง -25 ถึง +125 โวลต์ แล้วอ่านค่ากระแสไฟฟ้าจากไมโครแอมป์มิเตอร์ ความสัมพันธ์ที่ได้แสดงดังตาราง 4.3

ศักย์ไฟฟ้าของกริด (โวลต์)	กระแสไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์ที่ปล่อยจากแคโทด (ไมโครแอมป์)
-25	15.4
-15	15.4
- 5	15.4
5	15.6
25	15.7
45	16.0
65	16.8
75	17.1
85	17.2
95	17.1
105	17.2
115	17.3
125	17.2

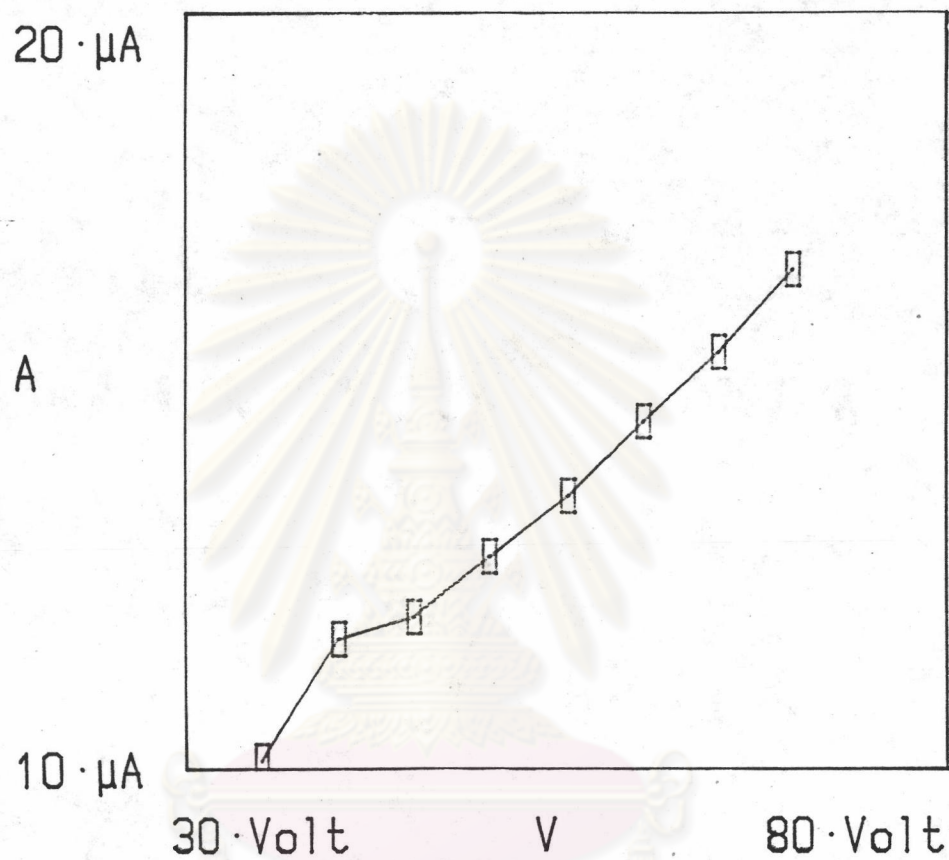
ตาราง 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์ที่ปล่อยออกจากแคโทดกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับกริด

จากตาราง 4.1, 4.2 และ 4.3 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์  
ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า จะได้



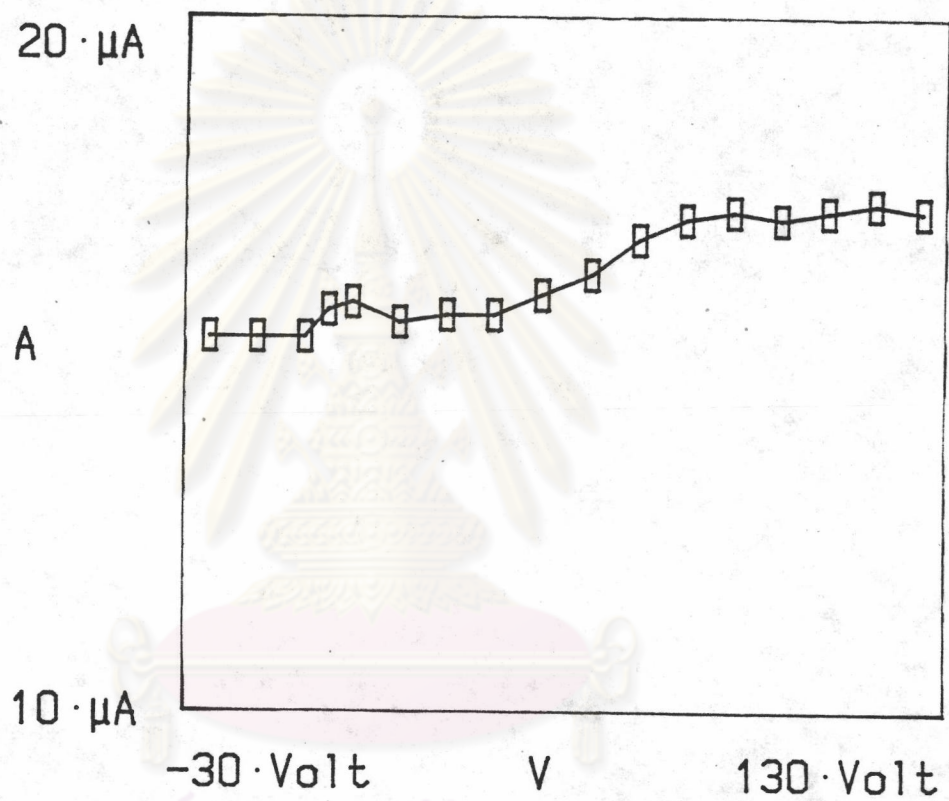
Cathode Potential 70 Volt.  
Grid Potential -25 Volt.

รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าของอิเล็กตรอนที่ปล่อยจาก  
แคโทดกับศักย์ไฟฟ้าของไส้หลอดที่ได้จากตาราง 4.1



Filament Potential 10 Volt.  
Grid Potential -25 Volt.

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าของอีเล็กตรอนที่ปล่อยจากแคโทด  
กับศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับแคโทดที่ได้จากตาราง 4.2



Filament Potential 10 Volt.  
Cathode Potential 70 Volt.

รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าของอิเล็กตรอนที่ปล่อยจากแคโทดกับ

ศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับกริดที่ได้จากตาราง 4.3

จากรูปที่ 4.2 แสดงผลของกระแสไฟฟ้าของอิเล็คตรอนที่ปล่อยจากแคโทด เมื่อจุดไส้หลอดเพื่อให้ความร้อนแก่แคโทดด้วยศักย์ไฟฟ้าระหว่าง 0 - 16 โวลต์ ในช่วงศักย์ไฟฟ้า 0 - 8 โวลต์ พบว่ามีกระแสไฟฟ้าของอิเล็คตรอนที่ปล่อยออกจากแคโทดในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งเป็นช่วงที่พลังงานความร้อนที่ให้กับแคโทดมีค่าต่ำกว่าเวอรัคฟังก์ชันของโลหะที่ใช้ทำแคโทดของปืนอิเล็คตรอน ตั้งแต่ช่วงศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับไส้หลอดของแคโทดตั้งแต่ 10 โวลต์ขึ้นไป ปริมาณกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นช่วงที่พลังงานความร้อนที่ให้กับแคโทดมีค่ามากกว่าเวอรัคฟังก์ชันของโลหะที่ใช้ทำแคโทด และในช่วงนี้เป็นช่วงที่พบภาพการเลี้ยวเบน

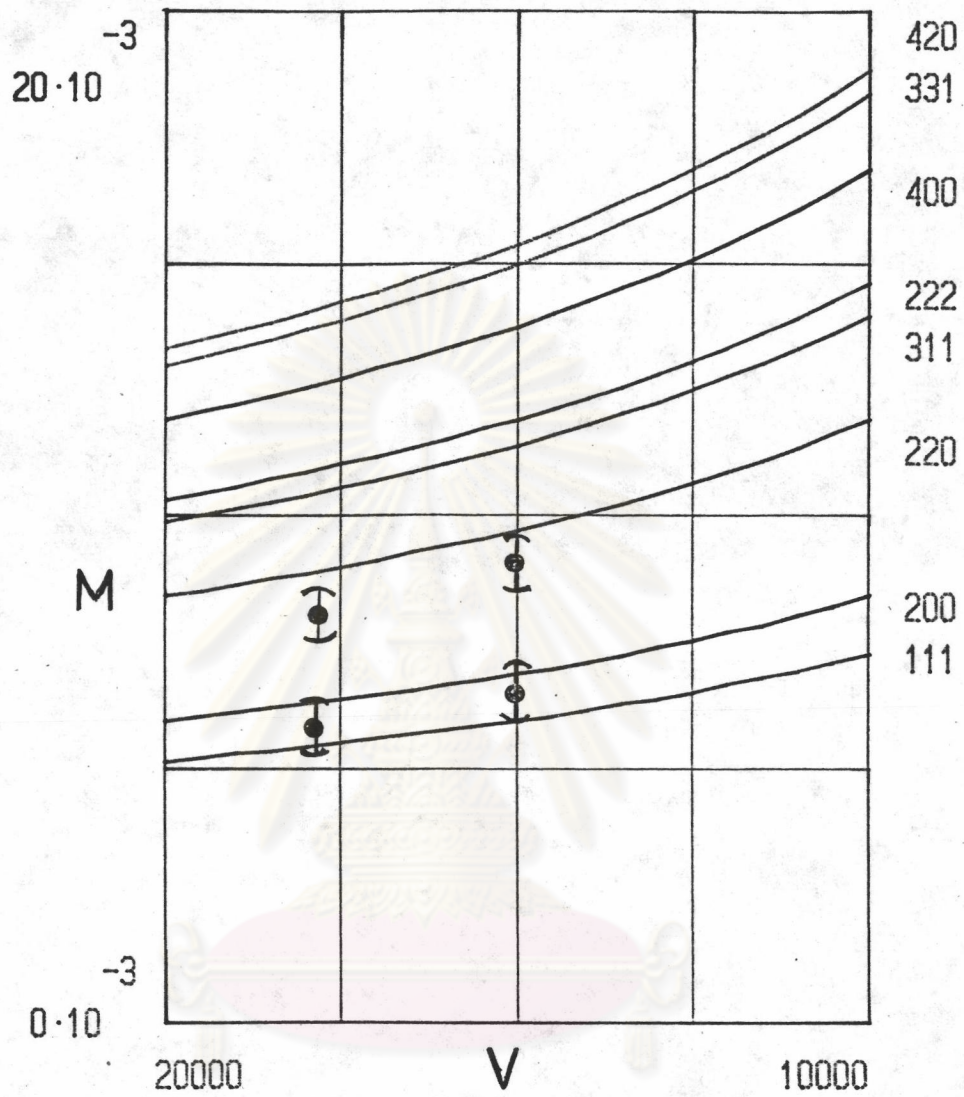
สำหรับรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าของอิเล็คตรอนที่ปล่อยจากแคโทดเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อปรับศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับแคโทดหรือกริด แต่จะมีผลทำให้ภาพการเลี้ยวเบน ชัดและเข้มขึ้นกว่าเดิม

#### 4.2 ผลการทดลองจากภาพการเลี้ยวเบน

##### 4.2.1 การวิเคราะห์หาระนาบผลึกของทองที่ทำให้เกิดการเลี้ยวเบน

จากผลการทดลองวัดรัศมีของวงสว่างจากภาพการเลี้ยวเบน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับกราฟที่คำนวณจากทฤษฎี แสดงความสัมพันธ์ของรัศมีของวงสว่างแต่ละวงกับความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอิเล็คตรอน ได้ผลดังรูปที่ 4.5 จากกราฟพบว่าวงสว่างวงในควรจะเกิดจากระนาบ (0 0 2) หรือ (1 1 1) ส่วนวงนอกควรจะเกิดจากระนาบ (2 2 0) ซึ่งตรงกับผลการทดลองของโฟว์เลอร์และคณะที่หาไว้



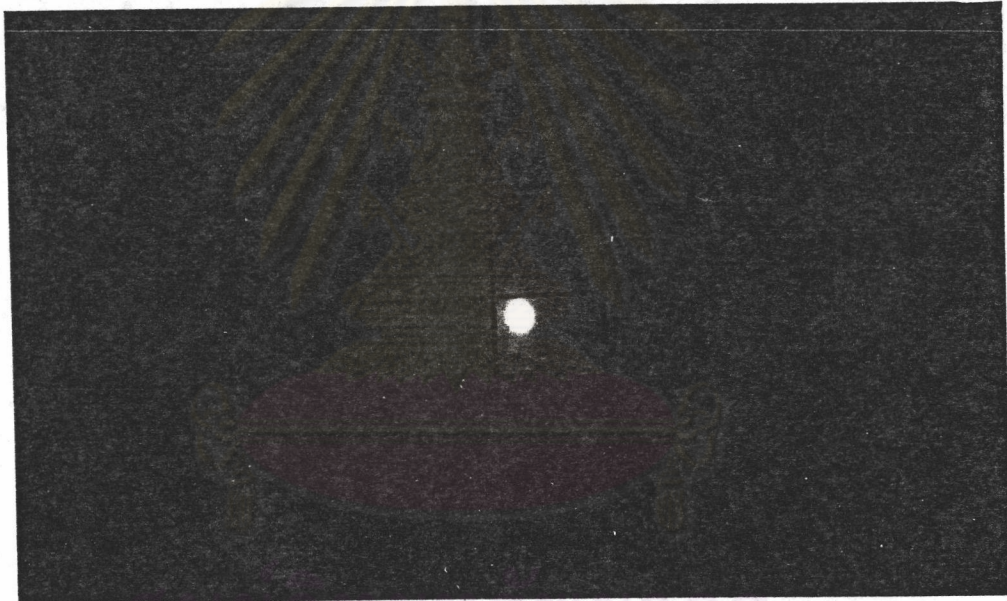


$a = 4.08 \times 10^{-10}$  m.  
 $D = 14$  cm.  
 ● experimental points  
 — theoretical curves from equation (2.33)

รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบรัศมีวงสว่างของภาพการเลี้ยวเบนโดยเปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎี

#### 4.2.2 การหาความยาวคลื่นจากภาพการเลี้ยวเบน

จากภาพถ่ายของการเลี้ยวเบน เมื่อเร่งอิเล็กตรอนที่พลังงาน 17.6 กิโลโวลต์ พบภาพการเลี้ยวเบน ประกอบด้วยวงสว่าง 2 วง โดยวงในมีรัศมีโดยประมาณ 0.58 เซนติเมตร วงนอกมีรัศมีโดยประมาณ 0.80 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.6 และจากการทดลองเร่งอิเล็กตรอนที่พลังงาน 15 กิโลโวลต์ พบภาพการเลี้ยวเบนประกอบด้วยวงสว่าง 2 วง วงในมีรัศมีโดยประมาณ 0.70 เซนติเมตร วงนอกมีรัศมีโดยประมาณ 0.90 เซนติเมตร



รูปที่ 4.6 แสดงภาพถ่ายการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนจากจอภาพ

จากภาพที่ได้เมื่อนำมาหาความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนโดยสมการ (2.33)

คือ

$$\lambda = \frac{ar}{D \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

โดย D คือระยะห่างจากฟิล์มบางถึงจอภาพซึ่งมีค่า 14 เซนติเมตร  
 a คือค่าคงที่แลตทิซของทองมีค่า 4.08 อังสตรอม ( $\text{\AA}$ ) จากภาพการเลี้ยวเบนของ  
 อิเล็กตรอนที่พลังงาน 17.6 กิโลวัตต์ คำนวณหาความยาวคลื่นจากรัศมีวงนอกได้เท่ากับ  
 0.0835 อังสตรอม และคำนวณโดยใช้รัศมีวงในได้เท่ากับ 0.824 อังสตรอม  
 ในขณะที่ความยาวคลื่นที่คำนวณได้จากทฤษฎี โดยใช้สมการ (2.24) ความยาวคลื่นของ  
 อิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 0.0925 อังสตรอม

จากภาพการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนที่พลังงาน 15 กิโลวัตต์  
 คำนวณหาความยาวคลื่นจากรัศมีวงนอกได้เท่ากับ 0.093 อังสตรอม และคำนวณโดยใช้  
 รัศมีวงในได้เท่ากับ 0.102 อังสตรอม ในขณะที่ความยาวคลื่นที่คำนวณได้จากทฤษฎี  
 โดยใช้สมการ (2.24) ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 0.100 อังสตรอม

#### 4.3 สรุปผล เสนอแนะและปัญหา

จากผลการทดลอง โดยใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้น เมื่อทดลองโดยใช้อิเล็กตรอน  
 พลังงาน 17.6 กิโลวัตต์ ความยาวคลื่นที่หาได้โดยเฉลี่ยประมาณ 0.829 อังสตรอม  
 ต่างจากค่าที่คำนวณโดยใช้ทฤษฎีประมาณ 8.6 % และเมื่อทดลองโดยใช้อิเล็กตรอน  
 พลังงาน 15 กิโลวัตต์ ความยาวคลื่นที่หาได้โดยเฉลี่ยประมาณ 0.097 อังสตรอม  
 ต่างจากค่าที่คำนวณโดยใช้ทฤษฎีประมาณ 3.0 % ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจเกิดได้  
 จากสาเหตุหลายประการ เช่น การวัดรัศมีวงสว่างที่เกิดขึ้นจากภาพถ่าย เนื่องจากไม่  
 สามารถวัดรัศมีของวงสว่างได้โดยตรง อย่างไรก็ตามนับได้ว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นให้ผล  
 เป็นที่น่าพอใจในด้านผลการคำนวณ แต่ยังคงมีความบกพร่องในด้านของความคมชัดของภาพ  
 การเลี้ยวเบน

สำหรับปัญหาและข้อ เสนอแนะที่เกิดขึ้นสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ปืนอิเล็กตรอนจากหลอดภาพโทรทัศน์ขาว-ดำที่ใช้ เคยผ่านการใช้งานมา  
 แล้วเมื่อตัดออกจากจอภาพและนำมาใช้ใหม่ คุณภาพในด้านความคมชัดของลำอิเล็กตรอน

ลดลงไปกว่าเดิมมาก เมื่อใช้งานไปนานๆจะมีฝุ่นละอองเข้าไปจับที่ขั้วไฟฟ้าของเลนส์ไฟฟ้าสถิตย์ในปืนอิเล็กทรอนิกส์จะทำให้ล้าอิเล็กทรอนิกส์ไม่หยุดนิ่ง เนื่องจากมีการปล่อยประจุไฟฟ้าตรงส่วนที่มีฝุ่นละอองเข้าไปจับตามขั้วไฟฟ้าในปืนอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ต้องเปลี่ยนปืนอิเล็กทรอนิกส์ใหม่อยู่เรื่อยๆ วิธีแก้คือต้องออกแบบให้สามารถปิดกั้นอากาศไม่ให้เข้าไปในส่วนของปืนอิเล็กทรอนิกส์ได้ในขณะที่เปลี่ยนฟิล์มบาง ซึ่งจะสามารถช่วยได้ในแง่อายุการใช้งานของปืนอิเล็กทรอนิกส์และความคมชัดของภาพ

2. จอภาพที่สร้างขึ้นเองมีความหนาของสารเรืองแสงมากเกินไป ทำให้ภาพการเลี้ยวเบน ที่มองจากด้านหน้าของจอภาพไม่ชัดเจนเท่ากับมองจากด้านหลังของจอภาพ แต่เครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้ ไม่สามารถถ่ายภาพจากด้านหลังจอภาพได้ ภาพที่ได้จึงไม่คมชัดเท่าที่ควร วิธีแก้ไขควรออกแบบให้สามารถถ่ายภาพได้จากทางด้านหลัง ซึ่งเป็นด้านที่อิเล็กทรอนิกส์เข้าชนจอภาพ หรือใช้จอภาพที่ผลิตจากโรงงาน ซึ่งมีกรรมวิธีการผลิตที่สามารถทำให้ชั้นของสารเรืองแสงมีความบางมาก

3. ฟิล์มบางที่ใช้เป็นแผ่นทองบาง ๆ ซึ่งฉีกขาดได้ง่าย ในขณะที่ทำการทดลองต้องเปลี่ยนฟิล์มบางอยู่บ่อย ๆ เนื่องจากพลังงานสูงสุดของอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในเครื่องมือที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับต่ำ คือประมาณ 17.6 กิโลโวลต์ เมื่อเทียบกับเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการจริง ๆ ทั่วไปซึ่งจะมีพลังงานประมาณ 60-200 กิโลโวลต์ ฟิล์มบางที่ใช้ไม่สามารถยึดได้ด้วยกริดได้ เนื่องจากกริดที่มีขายในประเทศไทยมีขนาดของตาข่ายตั้งแต่ 75 mesh ขึ้นไป ซึ่งเหมาะกับเครื่องมือที่มีพลังงานสูง เมื่อทดลองใช้กริดขนาด 75 mesh ดูปรากฏว่าไม่เกิดภาพการเลี้ยวเบน จึงไม่สามารถเตรียมฟิล์มบางชนิดอื่นได้ ถ้าจะแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการเพิ่มพลังงานที่ใส่เร่งอิเล็กทรอนิกส์ให้มีค่ามากขึ้น จะเกิดปัญหาการปล่อยประจุไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้าของเลนส์ไฟฟ้าสถิตย์ในปืนอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากถูกออกแบบไว้ให้เหมาะสมกับศักย์ไฟฟ้าในระดับนี้

4. ระบบสุญญากาศ เป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก ถ้ามีโมเลกุลของอากาศ เหลืออยู่ในระบบมาก อิเล็กตรอนบางตัวที่ออกจากแคโทดจะชนกับโมเลกุลของอากาศ ทำให้อิเล็กตรอนแต่ละตัวมีพลังงานจลน์ไม่เท่ากัน เมื่อตกกระทบบนผลึกของทองจะเกิดการ เลี้ยวเบน ภาพการเลี้ยวเบนที่ได้จะไม่คมชัดเนื่องจากพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอน แต่ละตัวไม่เท่ากัน เมื่อแสดงสมบัติเป็นคลื่นสสาร ความยาวคลื่นจะมีหลายค่า ทำให้มุม ที่เกิดการเลี้ยวเบนมีหลายค่าตามไปด้วย มีผลทำให้ภาพการเลี้ยวเบนไม่คมชัด

เครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้ เมื่อทดลองเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มไอพู่ กระจายโดยการใช้น้ำมันไดออกไซด์แข็ง (น้ำแข็งแห้ง) หรือไนโตรเจนเหลวเข้าช่วย ในการระบายความร้อนของปั๊มไอพู่กระจาย โดยนำไปบรรจุในภาชนะที่ออกแบบให้วางอยู่ ส่วนบนของปั๊มไอพู่กระจาย ปรากฏว่าภาพการเลี้ยวเบนที่เห็นจากจอภาพมีความคมชัด มากขึ้นกว่าเดิม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย