



การศึกษาและออกแบบสร้างหลอดอุลตราไวโอเล็ต
THE ULTRA VIOLET SOURCE



ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

00777.3

ปริญญาโทปีการศึกษา 2534

ภาควิชาไฟฟ้ากำลัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาและออกแบบสร้างหลอดอุลตราไวโวลต์

ผู้จัดทำ

- 1> นายคมเดช ทรงสกุล เลขประจำตัว 31.1021
- 2> นายประกฤษณ์ หวังพิชญสุข เลขประจำตัว 31.1149
- 3> นายวรวุฒิ วิถีธนาหูกิจ เลขประจำตัว 31.1234

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร.นิพนธ์ สุขุม

(.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(บทคัดย่อ)

แหล่งกำเนิดรังสีอุลตราไวโอเล็ต

เป็นการสร้างหลอดแหล่งกำเนิดรังสีอุลตราไวโอเล็ต เพื่อไปเป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ในการทดลองเกี่ยวกับ steady state ของ Townsend.

ในการใช้งานหลอด Uv. source จะติดตั้งส่วนขอบบนของ anode แสงของมันจะถูกโฟกัสไปที่ cathode ผ่านทองเหลืองโดยที่ตัวหลอดภายในจะบรรจุไอปรอท ซึ่งเป็นหลอดชนิด mercury discharge แบบ low pressure ซึ่งจะให้ค่า output ที่ 2537 Å โดยหลอดจะได้รับแรงดัน step up จากหม้อแปลงขนาด 220/1000 volt โดยใช้ photocell เป็นตัวชี้ให้เห็นถึงความเข้ม output; photo cell ที่ใช้เป็นชนิด QVA/39 ในการสังเกต photocell จะต้องทำอย่างละเอียดเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงบ้าง จะสังเกตเห็นว่าหลอดจะใช้เวลา 60-90 นาที ถึงจะเสถียร คือหลังจากช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงความเข้มจะ neglect ได้ ในกรณีหลอดติดตั้งในที่ที่มีการควบคุมสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ABSTRACT)

The Ultra violet Source

The ultra violet source was situated on top of the anode bushing and its light was focussed on to the cathode through the brass tube and a quartz window. This was a low pressure mercury discharge lamp giving the high intensity output at 2537 A. The lamp was fed from a special 250/1000 V discharge lamp transformer. A quartz envelope photocell of type QVA/39 incorporated in the lamp assembly served to monitor the intensity of the lamp continuously. The intensity of the ultra violet from the lamp, as indicated by the output of the photocell, was carefully watched for any possible variations. It was observed that the discharge lamp took approximately 60 to 90 minutes to stabilise, after which period the variations in the intensity were negligible over a period of several hours, if the lamp was sufficiently screened from draughts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีจลน์ของก๊าซและก๊าซ discharge	2
- ลักษณะสมบัติทางโวลเตจและกระแสของ gas discharge	2
- ปรากฏการณ์ของการชนโดยอิเล็กตรอน	4
- random velocity, drift velocity และ diffusion ของอิเล็กตรอนในสนามไฟฟ้า	11
- glow discharge	15
- field emission	20
บทที่ 3 ทฤษฎีของหลอด fluorescent	24
บทที่ 4 การออกแบบและการสร้างหลอดต้นแบบ	41
- ขนาดของหลอด	42
- ซีวอิเล็กโตรด	
- ความดัน	
- ระยะ gap	
- เหตุผลและรูปแบบการสร้างและรูปหลอดที่สร้างเสร็จ	43
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	44
- อุปกรณ์	
- วิธีทดลอง(วงจร, การบรรจุก๊าซ, การ vacuum)	45
- ผลที่ได้จากการทดลอง	46
บทที่ 6 สรุปผลการทำงานและวิจารณ์	47
- ปัญหาของการทำงาน	
- แนวความคิดที่จะพัฒนาหลอดต่อไป	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1: บทนำ

โครงการนี้เป็นโครงการที่เกี่ยวกับการศึกษาทฤษฎีและออกแบบสร้างแหล่งกำเนิดแสง Ultraviolet ซึ่งเป็นลักษณะของ GAS discharge light Source โดยหลักการแล้วจะเป็นหลักการคล้ายๆกับการทำงานของหลอด FLUORESCENT ซึ่งสามารถใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับ Gasdischarge และทฤษฎีจลน์ของ GAS มาอ้างอิง และอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ โดยหลักการ การทำงานของหลอด Fluorescent นั้นจะเริ่มต้นจากการ Emission ของ electron ของ cathode เมื่อเกิดการชนกับ atom ของปรอท ซึ่งจะทำให้เกิดการ excite atom ของปรอท ทำให้เกิด electron เปลี่ยนระดับพลังงาน เมื่อ electron กลับเข้าสู่ ground state และแผ่ UV photon ความยาวคลื่น 253.7 nm ออกมาซึ่งเป็นหลักการทางฟิสิกส์ของหลอด FLUORESCENT ส่วนขั้นตอนการทำงาน และการนำทฤษฎีมาใช้โดยละเอียดได้อธิบายไว้ทั้งหมดต่าง ๆ ของเอกสารนี้แล้ว อนึ่งเพื่อเป็นการศึกษาการทำงานของหลอดนี้ทางกลุ่มผู้จัดทำนี้ ได้จัดสร้างหลอดต้นแบบขึ้น เพื่อใช้ประกอบการทำงานโครงการนี้โดยหลอดต้นแบบนี้ นอกจากจะใช้ประกอบการทำงานของโครงการนี้แล้ว ยังสามารถพัฒนาไปใช้ในการทดลอง เกี่ยวกับการทดลองด้าน H.V. ได้หลายการทดลอง เช่น Townsend discharge, Photo emission เป็นต้น ทางกลุ่มผู้จัดทำหวังว่าการทำงานของกลุ่มจะเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจและต้องการศึกษาเกี่ยวกับ UV.SOURCE ไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 : ทฤษฎีจลน์ของก๊าซและ GAS DISCHARGE

ลักษณะสมบัติทางโวลเตจและกระแสของ Gas Discharge,

ปรากฏการณ์ของการชนโดยอีเล็กตรอน และ

การแจกแจงทางพลังงานของอีเล็กตรอน

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการ breakdown ในสนามไฟฟ้าในแก๊สเป็นอย่างมาก ในระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมา เนื่องจากความสำคัญของแก๊สในการทำเป็นหลอดไฟฟ้า และทำให้มีความรู้ทางกายภาพของ gas discharge ทางด้านวิศวกรรม electronegative gas ถูกใช้ทำเป็นหลอดไฟฟ้าสำหรับ van de Graaf generator ที่มีศักดาสูงถึง 5 mV

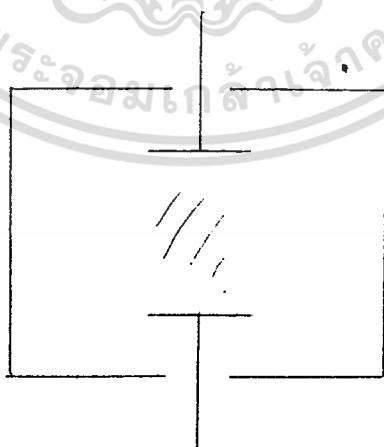
ลักษณะสมบัติทางโวลต์เตจและกระแสของ gas discharge

ถ้าเราพิจารณาถึง gas discharge ระหว่าง electrode 2 อัน ในหลอดแก้วที่บรรจุแก๊สดังแสดงในรูปที่ 2.1

เมื่อ $2 < pd < 20$ mmHg และความดันของอากาศ = 1 atmosphere

ซึ่ง p = ความดัน

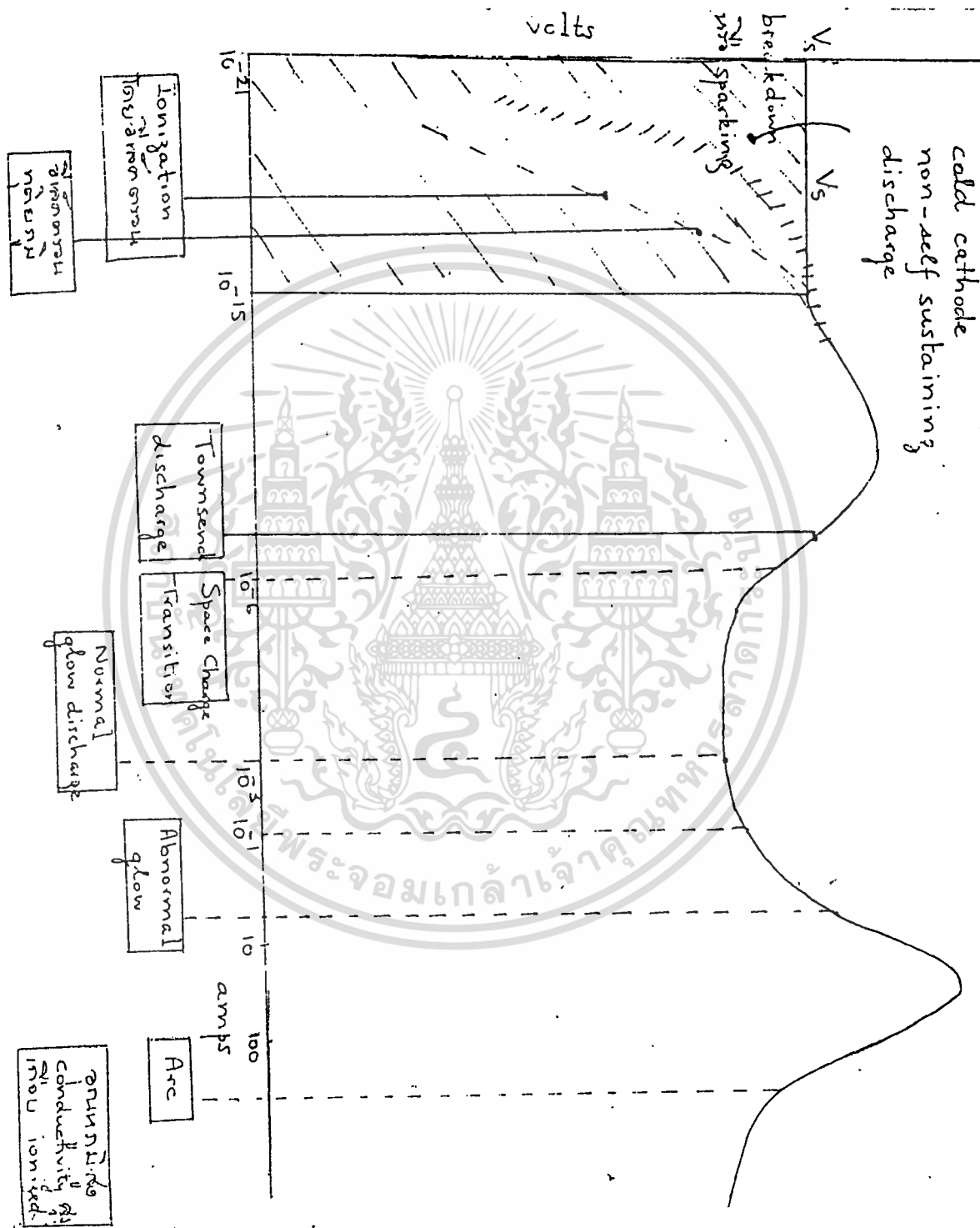
และ d = ระยะห่างระหว่าง electrode



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผู้จัดทำขึ้นไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.1 แก๊สถูกบรรจุใน envelope พร้อมอีเล็คโตรด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเรา plot voltage เป็นแกนนั่ง และ current เป็นแกนนอน

เราจะได้ characteristic ดังรูป 2.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ผู้เขียน ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 2.2 ลักษณะสมบัติ (characteristic) ของ gas discharge

เมื่ออุณหภูมิของอีเล็คตรอน T_e เพิ่มขึ้น อุณหภูมิของแก๊ส T_g เพิ่มขึ้น สำหรับ Argon ที่ความดัน 760 mm Hg และระยะห่างระหว่าง electrode (gap) 1 ซม.

Breakdown voltage $V_S =$ จาก Kv ขึ้นไป

อากาศ $V_S = 30.1 \text{ kv}$

งานแก๊สเรามี

1. โมเลกุลของแก๊สที่สละเทิน (neutral gas molecules)
2. อีเล็คตรอน
3. Positive ions
4. อะตอมหรือ molecule ที่ถูก excite ซึ่งให้ quantum ของแสงออกมา Interaction ระหว่างตัวมันเอง.-

ก) อีเล็คตรอน + แก๊สที่สละเทิน

= อีเล็คตรอนตัวใหม่ + ions

ข) Ions หรือ Quantum + คะโถด - อีเล็คตรอนหุติยภูมิ

Emission มี 3 อย่าง คือ

Emission แบบความร้อน (Thermionic emission)

Emission แบบสนามไฟฟ้า (field emission)

การกลายเป็นไอ (evaporation) ของกะโถด

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการเรียนการสอนโดยอิเล็คตรอน (Electron Impact Phenomena) ไม่ควรนำออกจำหน่าย ไม่ควรนำออกใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_{12} = Q_1 + Q_2$$

ซึ่ง Q_1, Q_2 เป็นรัศมีของอนุภาค

$$C_1, C_2 = \text{ความเร็วแบบ rms}$$

(อนุภาคมีการแจกแจงทางด้านความเร็วและพลังงาน)

ตัวอย่าง

ชนิดที่ 1 = อิเล็กตรอน

ชนิดที่ 2 = โมเลกุลของแก๊ส

$$Q_1 \ll Q_2 \quad C_1 \gg C_2$$

(10^{-13} ซม.) (10^{-8} ซม.)

$$Q_{12} = Q_2 = 1/2 Q$$

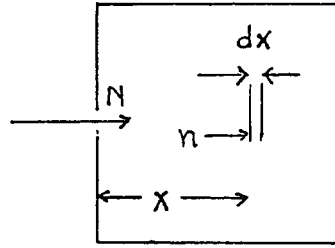
$$\begin{aligned} \lambda_e &= \frac{Q}{\sqrt{4\pi n \sigma^2}} = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของโมเลกุล} \\ &= \frac{Q}{\sqrt{4\pi n \sigma^2}}, n \text{ เป็นความหนาแน่นของแก๊ส} \\ \lambda_g &= \frac{1}{\sqrt{2} \pi n \sigma^2} \text{ สำหรับโมเลกุลของแก๊ส} \end{aligned}$$

สูตรเหล่านี้ละทิ้งการชนกันของอิเล็กตรอน - อิเล็กตรอน และ ion-ion

$$\text{โดยเชิงมวด, } mfp = \int_0^N \frac{x dN}{N}$$

ซึ่ง $N =$ จำนวนทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น โปรดอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ระหว่าง x และ $x+\Delta x$



รูปที่ 2.5 การชนกันของโมเลกุลของแก๊สใน chamber

$$\begin{aligned} \text{จำนวนเฉลี่ยของการชนกัน/วินาที} &= n_1 \\ \text{ความเร็วเฉลี่ยของอนุภาค} &= v \\ \text{จำนวนเฉลี่ยของการชนกัน/ซ.ม.} &= \frac{n_1}{v} \end{aligned}$$

อนุภาคที่หายไปหลังจากการชนกัน

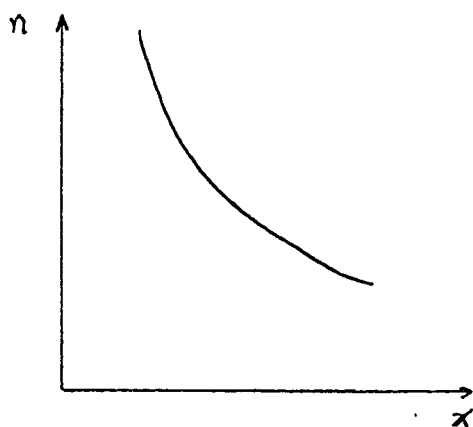
$$\begin{aligned} dn &= -nadx \\ \int dn &= - \int nadx \\ \text{ที่ } x = 0, n = n_0 \therefore n &= Ne^{-ax} \end{aligned}$$

$$\text{จำนวนของอนุภาคที่มี fp ระหว่าง } x \text{ และ } x+dx = -nadx = aNe^{-ax}dx$$

$$= \frac{\int_0^{\infty} aNxe^{-ax}dx}{N} = \frac{1}{a}$$

$$n = Ne^{-x/\lambda}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 plot ของจำนวนโมเลกุลที่มี free path เป็น function ของ free path x

Q (ซม ²)	2.83	4.14	6.46	6.9	7.8	3.7
แก๊ส	He	Ne	Ar	O ₂	N ₂	H ₂
e (ซม)	0.0993	0.00678	0.0435	0.0406	0.0360	0.0759
nQ (ซม ⁻¹)	10.1	14.7	23.0	24.6	27.8	13.2

$$\text{จำนวนเฉลี่ยของการชนกัน/ซ.ม.} = \frac{1}{\lambda_e} = \frac{\pi n \sigma^2}{4} = nQ$$

$$\begin{aligned} \text{ซึ่ง } Q &= \frac{\pi \sigma^2}{4} \\ &= \text{พื้นที่หน้าตัดของโมเลกุล} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda \propto \frac{1}{T} \text{ คงที่}$$

p



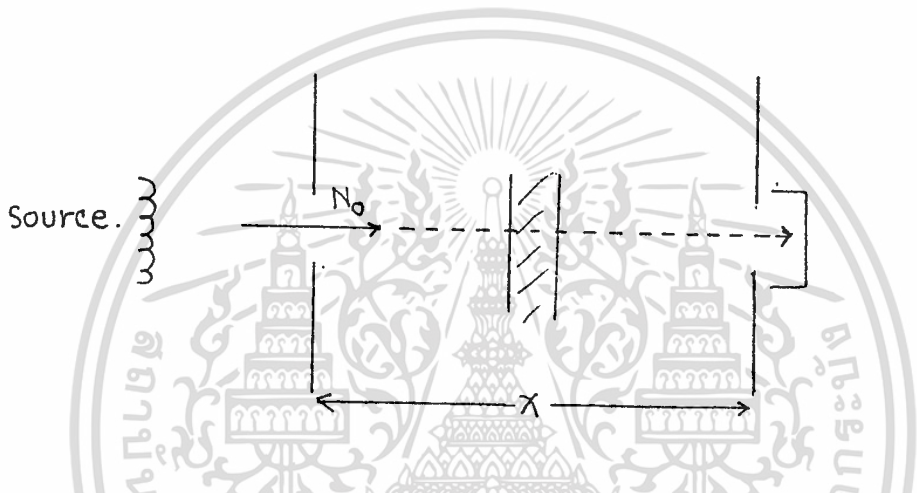
normalised ให้เป็น 1 ละ 00C

$$n = 3.56 \times 10^{16}$$

$$nQ = \text{พื้นที่หน้าตัดที่มีผลทั้งหมด (ซม.}^{-1}\text{)}$$

$$Q = \text{พื้นที่หน้าตัดที่มีผล}$$

การศึกษาเกี่ยวกับ mfp



รูปที่ 2.7 อุปกรณ์อย่างง่ายสำหรับการวัด mfp ของอีเล็คตรอน

$$dN = - \frac{Ndx}{\lambda}$$

$$N = N_0 e^{-x/\lambda}$$

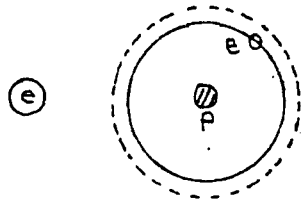
$$I = I_0 e^{-x/\lambda}$$

การทดลองข้างบนมี error เนื่องจาก inertia ของอีเล็คตรอน

การชนกัน มีค่าจำกัดความดังนี้

ถ้าระยะทางระหว่างอนุภาค 2 อัน ตอนแรกถูกลดลงและต่อไปถูก

เพิ่มขึ้น การชนกันจะเกิดขึ้นถ้ามีการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ของอนุภาคอันใดอันหนึ่ง



รูปที่ 2.8 การชนกันระหว่างอิเล็กตรอนและอะตอมของแก๊ส

การชนกัน มี 2 ชนิด คือ

1. ยืดหยุ่น (elastic) เช่นระหว่างวัตถุทรงกลมที่แข็ง
2. ไม่ยืดหยุ่น (inelastic) ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานศักย์ (potential energy) ของอะตอม

งานศักย์ (potential energy) ของอะตอม

$$Q_T = Q_{\text{elastic}} + Q_{\text{inelastic}}$$

การชนกันแบบ elastic - ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในพลังงานศักย์

การชนกันแบบ inelastic - มีการเปลี่ยนแปลงในพลังงานศักย์

ในการชนกันแบบ elastic อิเล็กตรอนจะสูญเสียพลังงานไป $2m/M$

๒ Attachment

$e+AB \rightarrow AB^-$ attachment โดยตรง

$A+B^-$ attachment แบบ dis-sociative

กระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นที่พลังงานน้อย ๆ เช่นใน O_2

$e+O_2 \rightarrow O_2^-+O$

ศักดาวิกฤตอยู่ที่ 3.75 eV ขณะที่ ionization อยู่ที่ 12.75 eV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 Q_{attach} Q_i ยกตัวอย่างเช่น
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

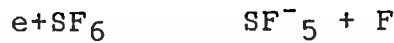
$$\text{peak } Q_{att} = 2 \times 10^{-8} \text{ ซม}^2$$

ที่พลังงานสูงกว่า $e+AB \rightarrow A^++B^-+e$ อันนี้เราเรียกว่า

กระบวนการ ion pair เช่นใน O_2 ที่พลังงาน $> 17 \text{ eV}$ $Q_{ion \text{ pair}} \ll$

Q_{diss}

Attachment ทำให้เกิด deionization และ ดังนั้นทำให้ได้กตา sparking เพิ่มมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น

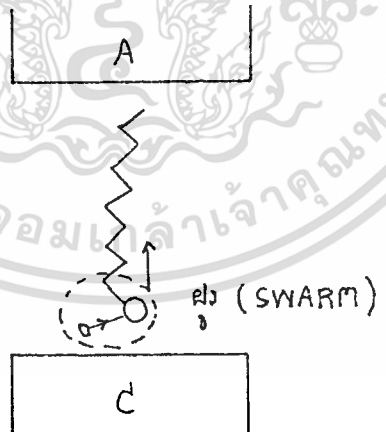


dielectric constant สัมพัทธ์ของ $SF_6 = 2.8$ เมื่อเทียบกับ

กับ N_2

ความเร็วตามยถากรรม (random velocities); การล่อง (drift) และการแผ่กระจาย (diffusion) ของอิเล็กตรอนในสนามไฟฟ้า

เมื่อมีสนามไฟฟ้า



รูปที่ 2.9 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในแก๊สที่มี applied electric field

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มีลิขสิทธิ์ให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก) ความเร็วตามยถากรรม (หรือพลังงานตามยถากรรม) ซึ่งถูก

กำหนดโดยการแจกแจงใด ๆ ในสภาพถาวร

ข) การส่องในทิศทางของสนาม

ดังนั้น จึงมีความเร็ว 2 ชนิด นั่นคือ ความเร็วของอิเล็กตรอน
และความเร็วของฟอง

นอกจากนี้ gradient ของความหนาแน่นทำให้เกิดการแพร่
กระจาย

$$\text{จำนวนของอนุภาค/ซม}^2/\text{วินาที} = -D \frac{dN}{dx}$$

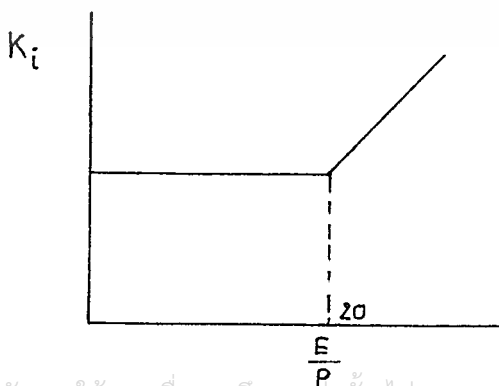
ซึ่ง N = ความหนาแน่น

$$D = (1/3) \lambda \bar{v} \quad (\text{ค่าจากทฤษฎีจลน์})$$

mean f p, \bar{v} ความเร็วเฉลี่ย

ความเร็วของการส่อง $w = KE$, K = ค่าคงที่เรียกว่า
mobility มี 2 ชนิด คือ k_i สำหรับ ion และ k_e สำหรับอิเล็กตรอน
ที่สนามน้อย ๆ

- สมมติให้
1. วัสดุทรงกลมที่แข็ง
 2. mfp ที่คงที่
 3. ไม่มีการ persistence ของความเร็ว นั่นคือ
อิเล็กตรอนเริ่มต้นด้วยความเร็ว = 0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 2.10 Mobility ของ ion เป็น function ของ E/p

เนื่องจาก space charge (เนื่องจาก $k_e \gg k_+$)

อิเล็กตรอนถูกทำให้เคลื่อนที่ช้าลง เพราะฉะนั้นอิเล็กตรอน และไอออนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เท่ากัน

$$N_+ v_+ = -D_+ \frac{dN_+}{dx} + N_+ k_+ E$$

$$v = \frac{-D_+ k_+ + D_- k_-}{k_+ + k_-} \frac{1}{N} \frac{dN}{dx}$$

$$Nv = -D_A \left(\frac{dN}{dx} \right)$$

$$D_A = \frac{-D_+ k_- + D_- k_+}{k_+ + k_-}$$

= ambipolar diffusion coefficient

เนื่องจาก $k_e \gg k_+$

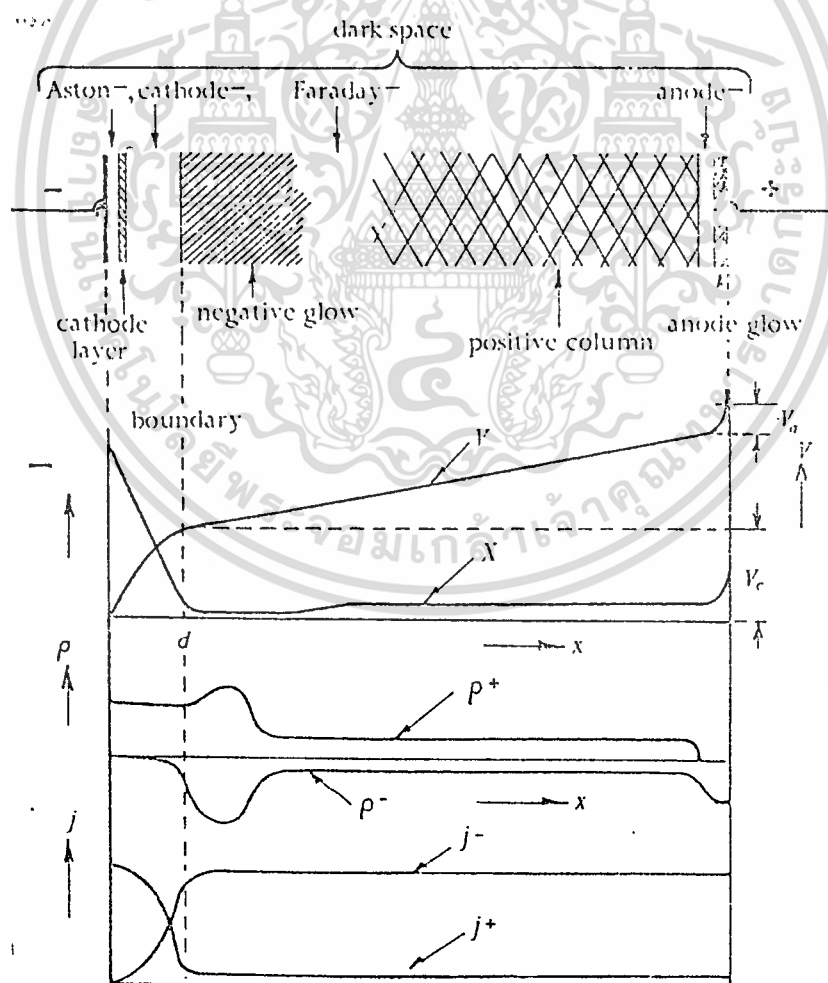
ถ้า $T_e \gg T_+$

ดังนั้น $D_A = D - k_+/k_-$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GLOW DISCHARGE

glow discharge คือการที่ Emission ของ Cathode โดย
 ขบวนการ Bombardment ของอนุภาค และพลังงานแสงจากก๊าซ ซึ่ง glow
 discharge ได้มาจากบริเวณสว่างที่เกิดขึ้นใกล้ ๆ ขั้วแคโทด และถูกแบ่งโดย
 บริเวณมืด เมื่อถึงค่ากระแสแอมป์ที่ต่ำมาก ภายใ้นหลอดจะเกิดบริเวณที่สว่างกับ
 มืด ดังรูป ๕1 เริ่มจากบริเวณที่ติดกับแคโทดจะมีแถบมืดแคบ ๆ (Aston's)
 ถัดมาจะเป็นแถบสีขาวเล็ก ๆ คือ ชั้น Cathode glow ถัดมาก็เป็น Cathode
 dark space บริเวณของ Aston's dark space และ Cathode glow
 อาจแยกกันไม่ออก จะมีบริเวณที่แบ่ง Cathode dark space กับบริเวณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Negative glow อย่างชัดเจน บริเวณ Negative glow จะค่อย ๆ หรือลง
เข้าสู่บริเวณ Faraday dark space กัดมาที่บริเวณขอบของ positive
Column จะเป็นบริเวณที่มีความสว่างสม่ำเสมอหรือเป็นลักษณะสว่างเป็นริ้ว ๆ
อย่างมีระเบียบไปจนถึงขอบอีกด้านซึ่งติดกับ anode dark space และ anode
glow ซึ่งใกล้กับขั้วคาโทด

ในการศึกษาเรื่องนี้เราพบว่า glow discharge มีได้หลายแบบขึ้น
อยู่กับ ชนิดของก๊าซอิเล็กโตรด ที่ใช้ ก๊าซ ความดัน ขนาดของหลอด

เมื่อเราเปลี่ยนระยะห่าง อานอดกับคะโทด จะพบว่า บริเวณ
negative zone และบริเวณอื่น ๆ ที่ใกล้กับคะโทดมีระยะเท่าเดิมแต่บริเวณ
Positive Column จะเปลี่ยนไปบริเวณ Positive C. สามารถขยายความ
ยาวออกได้โดยให้ Voltage และ starting discharge มีค่าสูงพอสมควร.
จากการทดลองใช้ Cathode ลักษณะทรงกระบอก คลอบ Anode และหมุนไป
รอบ ๆ Anode บริเวณ negative zone จะสวิงไปรอบ ๆ cathode เหมือน
กับถูก Fix โดยผิว cathode แต่บริเวณ position column คงอยู่บริเวณ
ระหว่าง Faraday dark space กับขั้ว anode จึงสรุปได้ว่า positive
column ขึ้นอยู่กับ diameter ของหลอดแต่บริเวณที่ให้แสงจะไม่ขึ้นกับขนาด
เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอด เมื่อความดันของหลอดอยู่สูงกว่า 0.1 mmHg จะพบว่า
Negative จะขาดลงและเข้าใกล้คะโทด เราอาจใช้วิธีประมาณค่าความดัน
ภายในหลอดโดยดูจากความยาวของ Cathode dark space หรือดูจาก
Pressure gauges ที่ความดันเกิน 100 mmHg บริเวณ faraday dark
space จะมองเห็นอย่างชัดเจน บริเวณ Positive C จะมีช่องว่างแถบเสมอแต่
ระยะแถบจะลงเมื่อความดันสูงขึ้น

กระแสที่ไหลผ่าน Cathode Zone สามารถอธิบายด้วยการกระจาย
ของสนามไฟฟ้า (V_c) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและ

ไอออน ดังในรูปที่ 6.1 ที่บริเวณ Cathode จะมีสนามไฟฟ้าสูง และลด
ไม่เท่ากันใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดเปลี่ยนเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ลงในบริเวณ negative glow และจะคงที่หลังจากผ่าน faraday dark

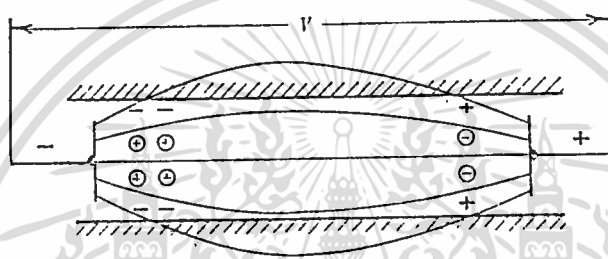
space ไปจึงถึงขอบ positive C และสูงขึ้นที่บริเวณแอโนด

พิจารณา อิเล็กตรอนที่ออกจากคาโทด ซึ่งถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าสูงในช่วงแรกแต่การชนไม่ทำให้เกิดการไอออนไนซ์ได้เพราะพลังงานยังสูงไม่พอ แต่เมื่อห่างจากคาโทดสนามยิ่งอ่อนลงจึงสามารถเกิดไอออนไนซ์ขั้นต้นขึ้น เกิดอิเล็กตรอนจำนวนมาก ที่บริเวณระหว่าง cathode space และ negative glow สนามจะอ่อนมาก อิเล็กตรอนที่ไม่เสียพลังงานไปในการชนแบบยืดหยุ่นเท่านั้น ที่จะสามารถไอออนไนซ์ได้ในบริเวณดังกล่าวแต่ก็มีอิเล็กตรอนจำนวนมากผ่านบริเวณดังกล่าว และเข้าสู่บริเวณ negative glow

ในรูปที่ 112 ยังแสดงให้เห็นบริเวณสว่างของหลอด อิเล็กตรอนที่ออกจากคาโทด ด้วยความเร็วต่ำ ที่พลังงาน CV ไม่สามารถกระตุ้นโมเลกุลของก๊าซ ซึ่งมีค่าประมาณ 5-10 ev จาก cathode จนถึง Aston's dark space ที่บริเวณ Cathode layer อิเล็กตรอน จะได้รับพลังงานกระตุ้นสูงสุด ซึ่งมีอยู่หลายระดับ ถ้าได้รับพลังงานต่ำสุด ก็จะอยู่ใกล้คาโทด ยิ่งจะดันพลังงานยิ่งสูงขึ้น ทั้ง Aston's dark และ Cathode layer ก็จะถูกแทรกด้วย Cathode glow ยิ่งระยะห่างจาก คาโทด อิเล็กตรอนส่วนมากก็จะมีความเร็วลดลงจากค่าพลังงานกระตุ้นสูงสุดและให้แสงที่มองเห็นออกมาเล็กน้อยมากจากบริเวณ Cathode dark space ที่บริเวณ negative glow boundary อิเล็กตรอนจำนวนมากขึ้นและมีความเร็วลดลง และจะห่างจากคาโทดเพิ่มขึ้น ดังนั้นในทางปกติ spectral line ที่เกิดขึ้นใน Reverse order ก็จะมีส่วนทางกับทฤษฎีของ glow ที่ขอบของ Positive C ทางด้านแอโนด อิเล็กตรอน จะถูกดูดโดยแอโนด และถูกผลักโดยไอออนบวกจึงทำให้มีการกลุ่มอิเล็กตรอนอิสระ บริเวณแอโนด ดังรูป G1 ทำให้มีผลของสนามไฟฟ้าสูงขึ้น อิเล็กตรอนที่เริ่มเข้าสู่ anode fall region จะมีพลังงานต่ำแต่จะถูกเร่งเข้าสู่แอโนดหลังจากผ่าน anode dark space จะมีความเร็วสูงขึ้นจนสามารถกระตุ้นและไอออนไนซ์ก๊าซ บริเวณด้านหน้าแอโนดได้ แอโนดจึงถูกคลุมไม่วาร์ณิดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ด้วยแถบสว่างและบางที่ก็สว่างเป็นจุด ๆ

Evolution of glow discharge

ภายในหลอดที่ใส่ก๊าซ อิเล็กโตรด 2 ขั้ว ซึ่งบรรจุก๊าซความดัน 1 mm Hg และค่อย ๆ เพิ่มแรงดัน (V) จะเกิดกระแส 10^{-12} A ผ่านภายในหลอด กระแสที่เกิดขึ้นเกิดจากการ ionization ในก๊าซภายในหลอด เมื่อเพิ่มแรงดัน กระแสจะไหลเพิ่มขึ้น ในรูป G2 เป็นภาพการเกิด glow discharge ภายในหลอด



รูป G2

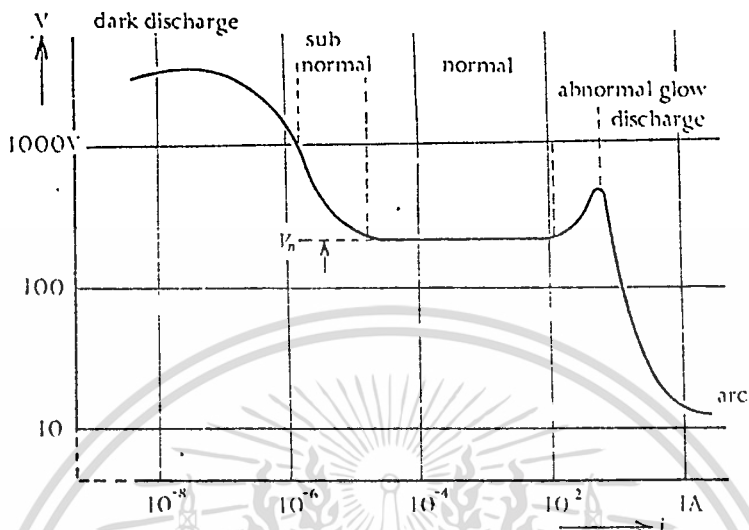
ซึ่งมีทั้งไอออนบวกและอิเล็กตรอน จะมีประจุบางส่วนอยู่ที่ผิวของหลอด เนื่องจากผลของสนามไฟฟ้าซึ่งจะลด wall charge ได้โดยเพิ่มแรงดัน ทำให้ประจรรวมตัวกันที่ด้านหน้าขั้วอิเล็กโตรดมีผลให้กระแสมากขึ้นจนเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก dark space ไปเป็น glow discharge ดังรูป G2 จะพบว่าแรงดันตกกลางและกระแสสูงขึ้น แรงดันตก อธิบายว่าเพื่อให้เกิดการไอออนไนซ์ และลดสูตรเสียด้วย ส่วนค่ากระแสจะถูกจำกัดด้วยคุณสมบัติของการติสซาร์ดหรือโดยแรงดันที่ใช้และค่าคงที่ในวงจร

Various kinds of glow discharge

(a) The normal , Subnormal and Abnormal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นใด
discharge ในขณะที่เกิด glow discharge ที่ความดัน 1 mm Hg เกิดแรงดัน ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ของที่ตกคร่อมและมีค่ากระแสระหว่าง 10^{-5} - 10^{-2} A ซึ่งก็คือช่วง Normal เมื่อ

กระแสลดลงจน พ.ท. ของคาโอดเกิดการ discharge มีขนาด diameter ของ
การ discharge เล็กลง ความหนาแน่นของกระแส ที่คาโอดลดลง



รูป G3

อิเล็กตรอนที่ออกจากคาโอดน้อยลง การที่จะให้เกิดสภาพเสถียรได้ต้องมีค่า Cathode Fall (Ve) สูงมาก และนี่ก็คือบริเวณของ sub-normal ซึ่งการ discharge มักไม่ต่อเนื่อง เมื่อบริเวณผิวคาโอดถูกปกคลุมโดย glow ที่เกิดขึ้น จะมีกระแสสูงขึ้น และเกิดแรงดัน Cathode Fall สูงขึ้น และบริเวณ dark space จะมีขนาดเล็กลง ซึ่งก็คือช่วงของการเกิด abnormal

- (b) The Obstructed glow discharge
- (c) The Constricted glow discharge
- (d) The spray discharge
- (e) The high pressure glow discharge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
The Positive Column of a glow discharge
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
คือบริเวณที่อยู่ระหว่าง Faraday dark space กับ Anode

glow ถึงแม้มันจะเป็นบริเวณที่มีขนาดใหญ่ในหลอดแต่ไม่มีส่วนในการรักษาสภาพ glow discharge เลย

ทฤษฎีของ positive column คือ ที่ steady ค่าสนามไฟฟ้า จะต้องมีความถี่ทำให้เกิดมีอิเล็กตรอนและไอออนในระยะเวลา 1 วินาที เพื่อชดเชยกับ loss at charge

PHOTO ELETRON EMISSION

เมื่อโลหะได้รับรังสีที่มีความถี่สูงกว่าตามที่วิกฤต หรือ ได้รับพลังงานควอนตัม หรือที่เรียกว่า Work function (ϕ) ของโลหะชนิดนั้นก็ จะสามารถปลดปล่อยอิเล็กตรอนอิสระออกมาได้ ถึงแม้ว่าจะใช้แสงที่มีความเข้มสูงแต่ถ้าความถี่ต่ำก็จะไม่เกิดอะไรขึ้น ค่าความยาวคลื่นวิกฤต (Critical Wavelength = C) หน่วยอังสตรอม สัมพันธ์กับค่า Work function (ϕ) ดังนี้

$$C\phi = 12,400$$

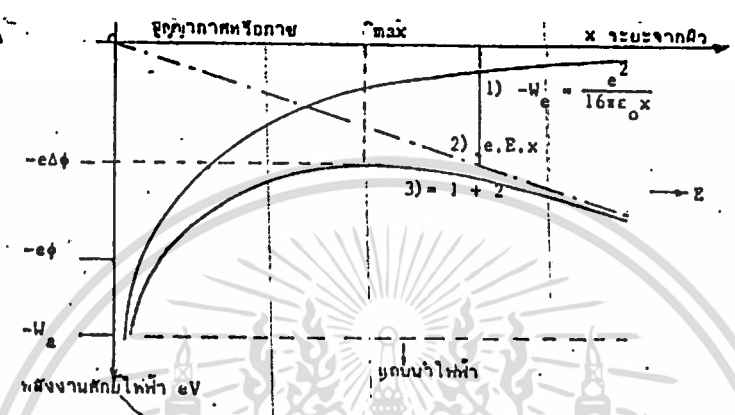
จากสมการถ้าโลหะชนิดหนึ่งมีค่า $\phi = 4 \text{ ev}$ จะต้องใช้แสงที่มีความยาวคลื่น $3,100 \text{ \AA}$ ที่จะปลดปล่อยอิเล็กตรอนจะมีค่า Work function ของโลหะชนิดต่าง ๆ ค่าความยาวคลื่นของแสงที่ใช้จะต้องน้อยกว่าความยาวคลื่นวิกฤตในการเกิด PHOTO ELETRON EMISSION

การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากคะโทดโดยสนามไฟฟ้า (Field emission)

ผลจากสนามไฟฟ้าที่ป้อนจากภายนอกเข้าไปจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดหรือ ปล่อยออกมาจากผิวโลหะได้ นั้นจะต้องมีพลังงานมากพอ นั่นคือสนามไฟฟ้าจะต้องมากกว่าค่าที่ต้องใช้สำหรับรวบรวมหรือดึงอิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาด้วยพลังงาน

ร้อน (thermionic emission)

เมื่อพิจารณาจากแผงดักยที่แนวต่อระหว่างโลหะกับสุญญากาศที่ปราศจากสนามไฟฟ้าภายนอก E ดักยไฟฟ้าจะเป็นศูนย์ที่ระยะห่างจากผิวโลหะมาก ๆ ดังในรูปที่ F1 ลักษณะของเส้นกราฟดักยไฟฟ้าสามารถคำนวณได้โลหะ



รูป F1

- 1) พลังงานเมื่อไม่มีสนามไฟฟ้าภายนอก
- 2) พลังงานเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่บ่อน
- 3) พลังงานทั้งหมด

ถ้าคำนวณสนามไฟฟ้าของอิเล็กตรอนที่มีประจุ $-e$ ที่หลุดออกมาจากผิวโลหะกับประจุ $+e$ ที่อยู่ลึกลงในเนื้อโลหะที่อยู่ห่างจากผิวโลหะ $-x$ นั่นคือผิวโลหะเป็นผิวดักยไฟฟ้าเท่า โดยอาศัยกฎของคูลอมบ์จะได้แรงระหว่างอิเล็กตรอนเป็น

$$F(x) = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 (2x)^2} = \frac{-e^2}{16\pi\epsilon_0 \cdot x^2}$$

เมื่อ $x \rightarrow \infty$ จะได้ $F=0$ เรียกว่าอิเล็กตรอนอยู่ที่ตำแหน่งมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูาตเหเนาเปไซปรัยเขจนดานการค่า
ไม่ว่าพลังงานดักยเป็นศูนย์ $W_e = 0$ ที่ระยะ x จะมีพลังงานดักยไฟฟ้าครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W_e = \int_x^\infty F(x) dx = \frac{-e^2}{16\pi\epsilon_0 \cdot x^2}$$

ซึ่งจะได้เส้นกราฟเป็นรูปไฮเพอร์โบลิก

ผลของสนามไฟฟ้าคงตัว E ที่มีแนวตั้งฉากกับผิวโลหะ จะได้พลังงานศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากสนามไฟฟ้านี้ คือ

$$W_E = -eEx$$

จะมีลักษณะกราฟเป็นเส้นตรง (เส้นที่ 2 ในรูป 4.12)

จะได้พลังงานศักย์ไฟฟ้าทั้งหมดจากสองแรงนี้เป็น

$$W_t = W_e + W_E$$

นั่นคือ

$$W_t = \frac{-e^2}{16\pi\epsilon_0 x} - eEx$$

ค่า W_t แสดงในกราฟเส้นที่ 3 ในรูป 4.12 ซึ่งเป็นผลบวกของ $W_e + W_E$ จะเห็นได้ว่าถ้ากาแพงศักย์ $-e$ ลดลงเท่ากับ $-(e)/W_t$ จะได้ค่า W_t จะมีค่าสูงสุดเป็น $e - (e)$ ที่ระยะ $x = x_{\max}$ หาได้โดยตีเพอเรนซิเอท W_t/dx แล้วให้เท่ากับศูนย์ จะได้ค่า x_{\max} และ (e) คือ

$$\frac{dW_t}{dx} = \frac{e^2}{(16\pi\epsilon_0 x^2)} - eE = 0$$

จะได้ $x_{\max} = \frac{\sqrt{e}}{\sqrt{16\pi\epsilon_0 E}}$ (4.33)

และพลังงานศักย์สูงสุดได้จากการแทนค่า x_{\max} ลงในสมการ

(4.32) เป็น

$$W_t(\max) = -e \frac{\sqrt{eE}}{\sqrt{4\pi\epsilon_0}}$$

$$W_t(\max) = -e \frac{\sqrt{eE}}{2\sqrt{\pi\epsilon_0}} \quad (4.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\Delta(e\phi)$ ตามนิยาม ดังนั้นค่าของแวลอร์คฟังก์ชันยังผล

เมื่อมีสนามไฟฟ้า E จะได้

$$e\phi - A(e\phi) = e\left\{ \phi - \frac{\sqrt{eE}}{\sqrt{4\pi\epsilon_0}} \right\}$$

และหาความหนาแน่นกระแสที่ปล่อยออกมาตามสมการ (4.28) จะได้

$$J = AT^2 e \exp \left[-\frac{e}{kT} \left\{ \phi - \frac{\sqrt{eE}}{\sqrt{4\pi\epsilon_0}} \right\} \right] \quad (4.35)$$

ซึ่งเรียกว่าสมการของชอตทกี (Schottky equation)

ถ้าให้กระแสที่เป็น J_0 ที่ $E = 0$ กระแสในสมการ (4.35) จะเป็น

$$J = J_0 e \exp \left[\frac{e}{kT} \frac{\sqrt{eE}}{\sqrt{4\pi\epsilon_0}} \right] \quad (4.35 a)$$

เพื่อให้ได้กระแส J มีค่ามากกว่า J_0 ที่อุณหภูมิห้องได้ สนามไฟฟ้า E จะต้องมีความสูงถึง 10... ถึง ...100 MV/cm ซึ่งในทางปฏิบัติลักษณะของอิเล็กโตรดใช้งานที่จะมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงถึงขนาดนี้หน้าหายาก อย่างไรก็ตาม เรื่องของความเป็นจริง การปล่อยอิเล็กตรอนด้วยสนามไฟฟ้านั้นอาจสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่สนามไฟฟ้าต่ำกว่าที่แสดงไว้ข้างต้นได้ Fowler และ Nordheim* ได้อธิบายปรากฏการณ์นี้ว่าเป็นผลของลักษณะสมบัติทางเวฟเมคานิกส์ของอิเล็กตรอนที่สามารถวิ่งทะลุกำแพงศักย์ที่ X_{max} ที่เหลือเพียงบาง ๆ เนื่องจากสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป ซึ่งเรียกว่าผลอุโมงค์ (Tunnel effect) จึงเป็นไปได้ว่าอิเล็กตรอนในของแข็งสามารถอาศัยผลอุโมงค์วิ่งทะลุกำแพงศักย์ออกมาได้ เมื่ออิเล็กตรอนมีพลังงานมากกว่า w_0 หรือมากกว่าระดับเฟอร์มี (Fermi level) ในสุญญากาศความเครียดสนามไฟฟ้าเพียง MV/cm ก็สามารถทำให้อิเล็กตรอนหลุดกระจายออกมาได้ เปรตดาวนั้นอาจเกิดขึ้นเนื่องจากสนาม

เอกสารไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นเฉพาจะแห้งเหี่ยวมาจากไอออนก่อตัวเป็นสตริมเมอร์ขึ้นที่คะโรด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3: ทฤษฎีหลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์จัดได้ว่าเป็นต้นกำเนิดแสงสว่างที่ได้รับการนิยมนำมาใช้แพร่หลายมากที่สุด และตั้งแต่หลอดฟลูออเรสเซนต์ได้รับการคิดค้นขึ้นมา มันก็ได้ถูกนำไปใช้ทดแทนแหล่งกำเนิดแสงสว่างเดิมคือ หลอดไส้ (incandescent) สำหรับให้ความสว่างทั่วไป ยกเว้นก็แต่เฉพาะในกรณีของไฟประดับประดา และการใช้ตามบ้านเรือนเท่านั้น เหตุที่เป็นเช่นนั้นก็เพราะหลอดฟลูออเรสเซนต์มีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างที่สูงพอสมควร และคุณภาพของแสงที่ออกมาก็เป็นแสงสีขาว ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้สำหรับการให้แสงสว่างทั่ว ๆ ไป สำหรับคนโดยทั่วไปอาจจะเคยชินกับการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ในชีวิตประจำวันอยู่แล้ว และคิดว่าเรื่องของหลอดฟลูออเรสเซนต์คงไม่มีอะไรซับซ้อน แต่แท้ที่จริงแล้วเรื่องของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีสิ่งที่น่าสนใจ ที่ควรแก่การศึกษา และจะได้กล่าวต่อไปดังนี้

หลักการทางานเบื้องต้น

หลักเบื้องต้นที่ก่อให้เกิดแสงสว่างเปล่งออกมาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้น เป็นที่รู้กันนักวิทยาศาสตร์มาเป็นเวลานานหลายปี แต่กว่าที่มันจะได้รับการนำมาประยุกต์ใช้ และกว่าที่หลอดฟลูออเรสเซนต์หลอดแรกจะได้รับการประดิษฐ์คิดค้นขึ้นมา ก็ล่วงไปถึงปี พ.ศ. 2481

การทางานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ อาศัยพลังงานจากแสงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งเกิดขึ้นจากไอปรอทที่บรรจุเอาไว้ในก๊าซเฉื่อย เช่น พวกก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์ หรือนีออน ที่ความดันต่ำ ๆ ไอปรอทจะได้รับพลังงานจากแหล่งปลดปล่อยพลังงาน (discharge source) เพื่อกระตุ้นให้ไอปรอทปลดปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งแสงอัลตราไวโอเล็ตที่เปล่งออกมาจากไอปรอทนี้จะกระทบ

เข้ากับผิวภายในของหลอดแก้ว ซึ่งฉาบไว้ด้วยสารเรืองแสงที่เรียกว่า ฟอสฟอรัส (phosphor) หรือ fluorescent material ตัวสารเรืองแสงนี้ก็จะทำหน้าที่

เปลี่ยนแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ให้กลายมาเป็นแสงสว่างที่ปรากฏแก่สายตาของมนุษย์

ตัวหลอดไฟนั้น จริง ๆ แล้วก็คือ หลอดแก้วที่ภายในฉาบไว้ด้วยสารเรืองแสงซึ่งจะถูกนำไปดูดเอาอากาศออก และปล่อยปรอทจำนวนเล็กน้อยและก๊าซเฉื่อยซึ่งภายใน ที่ปลายทั้งสองข้างของหลอดแก้วจะมีขั้วไฟฟ้าที่เรียกว่า อิเล็กโทรด (electrode) เมื่อเปิดสวิทซ์ให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดฟลูออเรสเซนต์ ทางเดินของกระแสผ่านขั้วอิเล็กโทรดจะทำให้ขั้วแบบ hot cathode และปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ซึ่งอิเล็กตรอนนี้จะออกมาจากสารปล่อยอิเล็กตรอน (emissive material) ซึ่งเคลือบไว้บนไส้หลอด นอกเหนือจากอิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาด้วยความร้อน cold cathode (ใช้แรงดันสูง ๆ) ก็ยังมีอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาเนื่องจากความแตกต่างของค่าแรงดันระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงจากขั้วอิเล็กโทรดขั้วหนึ่งไปยังอิเล็กโทรดอีกขั้วหนึ่ง ก่อให้เกิดลาอิเล็กตรอนหรืออาร์คซึ่งเคลื่อนที่ผ่านไอของปรอทรูปที่ 1 ทำให้ไอของปรอทได้รับพลังงานจากอิเล็กตรอนและทำให้หลอดได้รับความร้อน และเพิ่มค่าแรงดันไอปรอทจนถึงจุดที่หลอดจะมีประสิทธิภาพสูงสุด

สภาวะที่เกิดขึ้นภายในหลอดแก้วนี้จะมีคุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับ

1. ค่าความดันของก๊าซที่อยู่ภายใน
2. ค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง

คุณสมบัติที่สำคัญก็คือ

การก่อให้เกิดแสงที่สามารถมองเห็นได้

ด้วยตาเปล่า และแสงอัลตราไวโอเล็ต เมื่ออิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ชนเข้ากับอะตอมของไอปรอท และทำให้อิเล็กตรอนของไอปรอทกระเด็นออกจากวงโคจรของมัน อิเล็กตรอนที่หลุดกระเด็นออกมาเหล่านี้พยายามที่จะกลับคืนเข้าสู่วงโคจร

เดิม ดังนั้นมันจะปล่อยพลังงานที่มันได้รับออกมาก่อนที่จะกลับเข้าสู่สถานะเดิม ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ พลังงานที่มันปลดปล่อยออกมาในส่วนใหญ่แล้วจะเป็นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความ

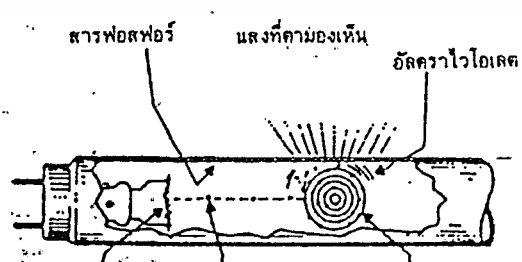
ยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร

แสงอัลตราไวโอเล็ตนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้ โดยสารเรืองแสง ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตเอาไว้และปล่อยแสงซึ่งมีความยาวคลื่นมากกว่า ซึ่งตามนุษย์เห็นได้ออกมา พูดอีกอย่างหนึ่งก็คือ ตัวสารเรืองแสงนี้จะถูกกระตุ้นให้เปล่งแสงออกมาโดยแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสมสีของแสงที่ได้จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสารที่ใช้ทาภายในของหลอดแล้ว หลักการทำงานเบื้องต้นของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะปรากฏดังรูปที่ 2

โครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์

โครงสร้างขั้นพื้นฐานของหลอดฟลูออเรสเซนต์แสดงให้เห็นดังในรูปที่ 3 แม้ว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีหลายขนาด และหลายรูปร่าง แต่รูปร่างที่พบบ่อยมากที่สุดก็คือ หลอดกลมที่มีขั้วหลอดและฐานขั้วหลอดอยู่ที่ปลายทั้งสองข้างของหลอด ภายในหลอดจะบรรจุไว้ด้วยปรอทจำนวนเล็กน้อย และก๊าซเฉื่อย ซึ่งส่วนมากจะเป็นก๊าซอาร์กอน หรือส่วนประกอบของก๊าซอื่น ๆ และสารเคลือบเรืองแสง ส่วนประกอบอื่น ๆ ของหลอดมีดังนี้คือ

ตัวหลอด ขนาดและรูปร่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะได้รับการกำหนดโดยรหัสที่ประกอบด้วยตัว T (ซึ่งหมายความว่า เป็นหลอดกลม คือ T มา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหามาใช้ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1

จากคำว่า tubular) จากนั้นจะตามด้วยตัวเลขซึ่งแสดงเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเป็นเศษส่วน 8 ของ 1 นิ้ว หลอดจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแตกต่างกันไป ตั้งแต่หลอด T5 (เศษ 5 ส่วน 8 นิ้ว) จนถึงกระทั่ง T17 (2 เศษ 1 ส่วน 8 นิ้ว) สำหรับขนาดความยาวโดยทั่วไปจะมีแตกต่างกันตั้งแต่ 6 นิ้วไปจนถึง 96 นิ้ว ซึ่งจะวัดตั้งแต่ขาหรือหลอดข้างหนึ่งไปยังขาอีกข้างหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น ความยาวที่แท้จริงของหลอด 40 วัตต์ชนิด rapid start T 12 ที่กำหนดไว้ว่ายาว 48 นิ้วนั้นความจริงแล้วจะยาว 47 เศษ 3 ส่วน 4 นิ้ว ส่วนหลอดชนิดที่เป็นวงกลมจะมีสามขนาดคือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว 12 นิ้ว และ 16 นิ้ว ซึ่ง

หมายถึงเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก นอกจากนั้นยังมีหลอดที่ขดเป็นรูปตัวยูขนาด 40 วัตต์ ชนิด T 12 และหลอดที่มีรูปร่างอื่น ๆ อีกซึ่งจัดได้ว่าเป็นหลอดพิเศษที่จะได้กล่าวรายละเอียดต่อ

สารเคลือบเรืองแสง (phosphor) สีของแสงที่เปล่งออกมาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์จะขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมีของสารเรืองแสงที่ใช้ฉาบภายในของหลอด โดยการเลือกใช้ส่วนผสมที่แตกต่างกันไปจะทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์มีสีแตกต่างกัน ๗ กันได้ ซึ่งหลอดจะมีอยู่หลายสี ได้แก่สีขาวไปจนกระทั่งสีน้ำเงิน สีเขียว สีทอง สีชมพู และ สีแดง และยังมีหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ได้รับการฉาบสารเรืองแสงนี้ เพื่อให้แสงที่เหมาะสมต่อการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช หรือให้แสงสีชนิดพิเศษอื่น ๆ อีกซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์แห่งสีสีต่าง ๆ กันนี้ เมื่อยังไม่ได้เปิดสวิตช์ จะยังคงมีสีขาวอยู่ ยกเว้น หลอดชนิดสีน้ำเงินเข้ม สีทอง สีแดง และหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ให้แสงเหมือนกับหลอดมีไส้ (andescent fluorescent lamp) ซึ่งหลอดเหล่านี้จะฉาบเมล็ดสีเอาไว้ภายในหลอดแก้ว จนที่จะเคลือบสารเรืองแสงที่ปลงไป ส่วนชนิดที่ให้สีน้ำเงินออกไปทางดำ (black blue) จะเป็นหลอดชนิดพิเศษที่จะกรองเอาแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาออกไป โดยการใส่สารเคลือบเรืองแสงชนิดไม่ว่องไวใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ต่าง ๆ กัน เราได้สีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ดังปรากฏในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 หลอดฟลูออเรสเซนต์สีและสารฟอสฟอรัสที่ใช้เคลือบผิว

สารฟอสฟอรัสที่ใช้	สีที่ใช้
แคลเซียมบอเรท (cadmium borate)	ชมพู
แคลเซียมฮาโลฟอสเฟต (calcium halophosphate)	ขาว
แคลเซียมซิลิเกต (calcium silicate)	ส้ม
แคลเซียมทังสเตท (calcium tungstate)	ฟ้าเงิน
แมกนีเซียมเทอมาเท (magnesium tungstate)	แดง
แมกนีเซียมทังสเตท (magnesium tungstate)	ขาวฟ้าเงิน
สตรอนเตียมฮาโลฟอสเฟต (strontium halophosphate)	เขียวอ่อน
ซิงค์ซิลิเกต (zinc silicate)	เขียว

ทั่วไปแล้วหลอดฟลูออเรสเซนต์สีจะประกอบด้วยสารฟอสฟอรัสที่เคลือบผิวภายในหลอด ซึ่งเมื่อหลอดฟลูออเรสเซนต์สีถูกเปิดใช้งาน อิเล็กตรอนจากขั้วแคโทดจะชนกับสารฟอสฟอรัสที่เคลือบผิวภายในหลอด ทำให้สารฟอสฟอรัสที่เคลือบผิวภายในหลอดเปล่งแสงออกมา

ขั้วอิเล็กโทรด ขั้วอิเล็กโทรดที่ตอนสายของหลอดฟลูออเรสเซนต์สีจะเป็นขั้วที่สั่นสะเทือนที่นำมาขูดชั้นออกไซด์ที่เคลือบผิวไว้ด้วยสารชนิดที่ จะปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ซึ่งอาจจะได้แก่ แบเรียม, ดรอนเทียม, แคลเซียมออกไซด์ สารที่กล่าวมานี้จะปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ได้รับความร้อนถึงจุดทำงานของ มันที่ตกประมาณ 950 C ที่อุณหภูมินี้ อิเล็กตรอนจะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างอิสระ โดยมีจำนวนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ที่สูญเสียไปที่แคโทด การปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา นี้ เรียกว่า thermionic emission เนื่องจากความร้อนเป็นตัวที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนมากกว่าแรงดันไฟฟ้า แคโทดชนิดนี้จะเรียกว่า แคโทดร้อน (hot cathode) ซึ่งจะต้องการแรงดันไฟฟ้าที่ก่อให้เกิด ลายอิเล็กตรอนภายในหลอดไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในทางเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ขั้วหลอด ขั้วของหลอดฟลูออเรสเซนต์สีจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 6

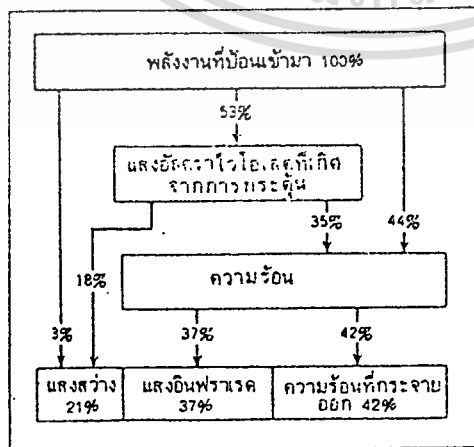
ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคุณนำไปใช้

สำหรับหลอดชนิด preheat และ rapid start จะต้องการขั้ว 2 ขั้วที่แต่ละ

ข้างของหลอด ดังนั้นตัวรับซีวหลอดจึงต้องเป็นชนิดสองซีวด้วย ซึ่งมีอยู่ 3 ขนาด คือ ขนาดจิวสำหรับหลอด T-5 ขนาดกลางสำหรับหลอด T-8 และ T-12 และชนิดใหญ่สำหรับหลอด T-17 ส่วนหลอดชนิดวงกลมนั้น ตัวหลอดจะมาบรรจบกันเป็นวงกลมนั้น ตัวหลอดจะมาบรรจบกันเป็นวงกลม ดังนั้นจะมีส่วนหนึ่งซึ่งเป็นซีวหลอด ซึ่งมีขาอยู่ 4 ขา ส่วนหลอดชนิด high output และ very high output (จะกล่าวรายละเอียดต่อไป) จะมีซีวชนิดยุบลงไป (recessed double contact) ส่วนหลอดชนิด slim line หรือ instant start นั้น จะต้องการซีวไฟฟ้าเพียงสองขาเท่านั้นคือที่ปลายแต่ละข้างเพียงซีวเดียว และตัวรับซีวหลอดก็เป็นชนิดซีวเดียว ส่วนหลอดชนิด sign line จะมีซีวที่เป็นปาซิดซีวเดียว (shrouded single PIN:SSP) (รายละเอียดของหลอดเหล่านี้จะกล่าวต่อไป)

ประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์

ข้อดีที่สำคัญของหลอดฟลูออเรสเซนต์ก็คือ หลอดประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างสูงเมื่อเทียบกับหลอดมีไส้แต่เพื่อการเปรียบเทียบเทียบถูกต้องยิ่งขึ้น จะต้องหาเอาความสูญเสียที่เกิดขึ้นจาก บัลลาสต์ของหลอดมา



รูปที่ 1
แผนผังแสดงการกระจายพลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 40 วัตต์ ชนิด cool white

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์ 3.2 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบด้วย หลอดประเภทสองขั้วปกติมีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างเมื่อ
 ไม่ได้คิดความสูญเสียจากบัลลาสต์ตกประมาณ 24-81 ลูกเมน/วัตต์ ขึ้นอยู่กับขนาด
 และสีของหลอด ส่วนหลอดชนิดขั้วเดียวจะมีประสิทธิภาพตั้งแต่ 48-84
 ลูกเมน/วัตต์ หลอดชนิด very high output อยู่ระหว่าง 45-75
 ลูกเมน/วัตต์ สำหรับหลอดชนิดเดียวกันและมีสีเดียวกันแล้ว ค่าลูเมนต่อวัตต์จะสูง
 ยิ่งขึ้นสำหรับหลอดที่ยาวมากกว่าหลอดที่สั้น ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าไม่ว่าหลอด
 จะยาวมากน้อยเพียงใดก็ตามพลังงานที่ใช้สำหรับตัวไส้หลอดจะมีค่าเท่ากัน

การกระจายพลังงานของหลอด

เราจะเข้าใจประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างของหลอดมากยิ่งขึ้น
 เมื่อพิจารณาว่าหลอดนำพลังงานที่ได้รับมากระจายเป็นพลังงานแสงสว่างและ
 เป็นพลังงานอื่น ๆ เท่าใดบ้าง เมื่อพิจารณาหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40
 วัตต์ ชนิด cool white เป็นตัวอย่างดังรูปที่ 3.2 จะพบว่า ค่าพลังงานที่ป้อนให้
 หลอดประมาณ 53% จะเปลี่ยนไปเป็นแสงอัลตราไวโอเล็ต พลังงานอีก 44%
 กลายเป็นความร้อน และอีก 3% จะกลายเป็นแสงที่ตามองเห็น ตัวสารเรือง
 แสงที่เคลือบภายในหลอดจะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงแสงอัลตราไวโอเล็ต 18% ไป
 เป็นแสงที่ตามองเห็น ส่วนแสงอัลตราไวโอเล็ตอีก 35% จะกลายเป็นความร้อน
 ซึ่งความร้อนนี้ก็เปลี่ยนไปเป็นแสงอินฟราเรดและความร้อน ซึ่งถูกนำและพาออก
 ไป ทั้งสองอย่างนี้ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านแสงสว่าง ดังนั้น แสงสว่างที่จะ
 ปรากฏให้ตาเห็นจริง ๆ จะเหลือเพียง 21% ของพลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้แก่
 หลอด ซึ่งแผนผังแสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่หลอดได้รับไปเป็นแสงสว่างและ
 พลังงานอื่น ๆ

เมื่อกล่าวอย่างง่าย ๆ หลอดฟลูออเรสเซนต์ดังกล่าวสามารถเปลี่ยน
 พลังงานที่ได้รับทั้งหมดเพียงไม่ถึงหนึ่งในสี่เท่านั้น เป็นแสงสว่างที่ตามองเห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และปล่อยมือเพื่อทำให้หลอดติด

หลอด preheat เป็นหลอดชนิดสองขั้วและมีขนาดตั้งแต่ 4 วัตต์ จนถึง 90 วัตต์ และความยาวตั้งแต่ 6 นิ้วไปจนถึง 60 นิ้ว การสั่งหลอด สามารถทำได้ดดยบอกว่าเป็นหลอดชนิด preheat กำหนดค่าวัตต์, ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอด (เป็นเศษส่วน 8 ของนิ้ว) และสียกตัวอย่างเช่น หลอดที่กำหนดว่าเป็นชนิด F20 T 12/CW คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 20 วัตต์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เศษ 1 ส่วน 2 นิ้ว ชนิด cool white

ส่วนหลอดขนาดจิวชนิด T-5 จะมีขนาดตั้งแต่ 4, 6, 8 และ 13 วัตต์ ซึ่งสามารถนำมาใช้งานประเภทต่าง ๆ ได้ เช่น สำหรับเป็นไฟตั้งโต๊ะ ไฟที่กระจกแต่งหน้า หรือใช้เป็นไฟส่องที่โต๊ะหรือเครื่องจักร หรือใช้งานประเภทอื่น ๆ ที่ต้องการหลอดที่มีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพสูง ส่วนหลอดชนิด T8 จะใช้สำหรับการรั้วของหน้าร้าน ไฟโต๊ะทำงานชนิดเคลื่อนย้ายได้ และอุปกรณ์เครื่องใช้อื่น ๆ

หลอดชนิด slimline (instant star lamps) จะเห็นได้ว่า หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด preheat มีข้อเสียก็คือ จำเป็นจะต้อง ใช้งานช่วงขณะหนึ่งในการอุ่นไส้หลอดกว่าที่จะทำให้หลอดติด ดังนั้นจึงได้มีการคิด หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดใหม่ที่เรียกว่าหลอด slimline หรือ instant start ขึ้นมาในปี พ.ศ. 2487 ซึ่งไม่ต้องการการอุ่นไส้หลอดและไม่ต้องการ ตัวสตาร์ทเตอร์ โดยตัวบัลลาสต์จะทำหน้าที่เหนี่ยวนำให้เกิดค่าความต่างศักย์สูงพอที่จะเกิดลาอิเล็คตรอนขึ้นในทันที เมื่อไม่มีตัวสตาร์ทเตอร์ การติดตั้งและการ บำรุงรักษาจึงทำได้ง่ายยิ่งขึ้น และเนื่องจากตัวคาโทดของหลอด slimline นี้ ไม่ต้องการการอุ่นไส้ก่อน ดังนั้นจึงมีขั้วเพียงขั้วเดียวที่แต่ละปลายของหลอดคาโทดของหลอดประเภทนี้จึงเรียกได้ว่าเป็นคาโทดเย็น (cold cathode) ซึ่ง ตรงกันข้ามเป็นคาโทดร้อน ที่ต้องการการอุ่นไส้ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด

preheat เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอด slimline มีขนาดตั้งแต่ 21-75 วัตต์และความยาวตั้งแต่ 24

และปล่อยมือเพื่อให้หลอดติด

หลอด preheat เป็นหลอดชนิดสองขั้วและมีขนาดตั้งแต่ 4 ไปจนถึง 90 วัตต์ และความยาวตั้งแต่ 6 นิ้วไปจนถึง 60 นิ้ว การสั่งหลอดสามารถทำได้ดดยบอกว่าเป็นหลอดชนิด preheat กำหนดค่าวัตต์, ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอด (เป็นเศษส่วน 8 ของนิ้ว) และสียกตัวอย่างเช่น หลอดที่กำหนดว่าเป็นชนิด F20 T 12/CW คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 20 วัตต์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เศษ 1 ส่วน 2 นิ้ว ชนิด cool white

ส่วนหลอดขนาดจิวชนิด T-5 จะมีขนาดตั้งแต่ 4, 6, 8 และ 13 วัตต์ ซึ่งสามารถนำมาใช้งานประเภทต่าง ๆ ได้ เช่น สำหรับเป็นไฟตั้งโต๊ะ ไฟที่กระจกแต่งหน้า หรือใช้เป็นไฟส่องที่โต๊ะหรือเครื่องจักร หรือใช้งานประเภทอื่น ๆ ที่ต้องการหลอดที่มีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพสูง ส่วนหลอดชนิด T8 จะใช้สำหรับการโธว์ของหน้าร้าน ไฟโต๊ะทำงานชนิดเคลื่อนย้ายได้ และอุปกรณ์เครื่องใช้อื่น ๆ

หลอดชนิด slimline (instant star lamps) จะเห็นได้ว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด preheat มีข้อเสียก็คือ จำเป็นจะต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการอุ่นไส้หลอดกว่าที่จะทำให้หลอดติด ดังนั้นจึงได้มีการคิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดใหม่ที่เรียกว่าหลอด slimline หรือ instant start ขึ้นมาในปี พ.ศ. 2487 ซึ่งไม่ต้องมีการอุ่นไส้หลอดและไม่ต้องใช้ตัวสตาร์ทเตอร์ โดยตัวบัลลาสต์จะทำหน้าที่เหนี่ยวนำให้เกิดค่าความต่างศักย์สูงพอที่จะเกิดลาอิเล็กตรอนขึ้นทันที เมื่อไม่มีตัวสตาร์ทเตอร์ การติดตั้งและการบำรุงรักษาจึงทำได้ง่ายยิ่งขึ้น และเนื่องจากตัวคาโอดของหลอด slimline นี้ไม่ต้องมีการอุ่นไส้ก่อน ดังนั้นจึงมีขั้วเพียงขั้วเดียวที่แต่ละปลายของหลอดคาโอดของหลอดประเภทนี้จึงเรียกได้ว่าเป็นคาโอดเย็น (cold cathode) ซึ่งตรงกันข้ามเป็นคาโอดร้อน ที่ต้องมีการอุ่นไส้ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด

preheat เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอด slimline มีขนาดตั้งแต่ 21-75 วัตต์และความยาวตั้งแต่ 24

นิ้ว ถึง 96 นิ้ว เนื่องจากหลอด slimline สามารถใช้งานได้ที่ค่ากระแสและค่าวัตต์มากกว่าค่าเดิม ดังนั้นการกำหนดหลอดจึงต้องกำหนดด้วยความยาวของหลอดแทนค่าวัตต์ ยกตัวอย่างเช่น F 96 T 12/CW คือ หลอดที่ยาว 96 นิ้ว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เศษ 1 ส่วน 2 นิ้ว ชนิด cool white ส่วนการที่หลอดชนิดนี้มีขนาด 75 วัตต์ จะไม่ปรากฏในตัวอย่างที่กำหนดชนิดของหลอด

หลอด slimline ขนาด 40 วัตต์อาจจะมีชีวิตหลอด 2 ชั่วโมง เพื่อให้สามารถใช้งานได้กับตัวรับชีวิตหลอดชนิด 2 ชั่วโมง แต่ความจริงแล้วจะมีการต่อเชื่อมนี้ภายใน เพื่อให้ชั่วโมง 2 ชั่วโมงทำงานเหมือนกับเป็นเพียงชั่วโมงเดียวตัวหลอดชนิด slimline ชนิดมีชั่วโมง 2 ชั่วโมงนี้ ไม่สามารถใช้งานได้กับวงจรของหลอดชนิด preheat หรือ rapid start ก้าวไปใส่กับวงจรและชั่วโมงของหลอดชนิดนั้น

หลอดชนิด slimline ชนิดที่มีชั่วโมง 2 ชั่วโมง จะกำหนดได้ด้วยตัวอักษร is ที่ปลายรหัสของหลอด ยกตัวอย่างเช่นหลอด F4 DT 12/D/ คือหลอดขนาด 40 วัตต์ เส้นผ่าศูนย์กลาง ขนาด 1 เศษ 1 ส่วน 2 นิ้ว และเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด dayligh instant start

หลอด rapid start หลอด rapid start ซึ่งได้รับการนำออกสู่ตลาดในปี พ.ศ. 2495 เป็นหลอดที่สามารถจุดติดและไม่มีอาการกระพริบได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่มีสตาร์ทเตอร์เวลาที่หลอดให้แสงสว่างออกมาจะใช้เวลานั้นเช่นเดียวกับหลอดชนิด slimline และจะใช้เวลาน้อยกว่าหลอดชนิด preheat หลอดชนิด rapid start จะใช้บัลลาสต์ที่มีประสิทธิภาพสูง และมีขนาดเล็กกว่าของหลอดชนิด slimline หลักการทำงานของหลอดก็คือ ใช้ขอลวดที่มีอยู่ในบัลลาสต์อุ่นให้หลอดเอาไว้อัดหลอดเวลาเพื่อช่วยลดค่าแรงดันในการจุดหลอดติดให้เร็วยกกว่าที่หลอดชนิด slimline ขนาดเดียวกันต้องการใช้

การระบุค่าของหลอดก็ใช้การกำหนดในลักษณะคล้ายกับการกำหนดหลอดชนิด rapid start ยกตัวอย่างเช่น หลอดที่มีสัญลักษณ์กำหนดว่าเป็นหลอด

ชนิด F 30 T 12/CW/RS หมายถึง หลอด rapid start ขนาด 40 วัตต์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ เส้นผ่าศูนย์กลาง T 12 ซึ่งได้รับความนิยมนแพร่หลายมาก การระบุสัญลักษณ์

ต่าง ๆ ไม่จำเป็นต้องระบุขนาดของหลอด ยกตัวอย่างเช่น หลอด F-40 หมายถึง หลอด rapid start ขนาด 40 วัตต์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เศษ 1 ส่วน 2 นิ้ว

หลอด rapid start จะมีขนาด 30 และ 40 วัตต์ และมีความยาวตั้งแต่ 36 นิ้วถึง 48 นิ้ว ส่วนหลอดพิเศษอาจจะมีขนาดเล็กกว่านี้ หลอด rapid start มักจะเคลือบผิวด้วยซิลิโคน เพื่อทำให้หลอดสามารถจุดติดได้แม้ในกรณีที่มีความชื้นสูง

หลอด rapid start ชนิด high output หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ได้กล่าวมาแล้ว ไม่ว่าจะเป็น preheat หลอด slimline หรือหลอด rapid start ก็ตาม ถ้าเป็นหลอดขนาด T-12 แล้วจะใช้พลังงานตกประมาณ 10 วัตต์ต่อฟุต และใช้กระแสประมาณ 430 มิลลิแอมป์ แต่หลอดชนิด high output (ดังรูปที่ 13) สำหรับการใช้งานในที่ร่มจะใช้กระแสประมาณ 800 มิลลิแอมป์ ซึ่งตกประมาณ 14 วัตต์ต่อฟุต และทำให้แสงสว่างคิดเป็นจำนวนลูเมนแล้วสูงกว่าหลอดชนิด slimline ถึง 45% แต่สำหรับการใช้งานภายนอกอาคาร เช่น การใช้ไฟถนนและไฟส่องอาคาร (street & flood lighting) หลอด high output จะใช้กระแสประมาณ 1,000 มิลลิแอมป์เพื่อให้แสงสว่างออกมาสูงได้มากพอที่อุณหภูมิภายนอกที่เย็นว่า

หลอด high output จะมีขนาดตั้งแต่ 32 ไปถึง 105 วัตต์และความยาวตั้งแต่ 24 นิ้วไปถึง 96 นิ้ว การระบุหลอดเหมือนกับการกำหนดคุณสมบัติของหลอด slim line นั่นก็คือ จะกล่าวถึงความยาวของหลอด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอด และสีแต่จะมีตัวย่อ HO ซึ่งย่อมาจาก high output ต่อท้าย เช่นหลอด F 60 T 12/CW/HO หมายถึงหลอดยาว 60 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เศษ 1 ส่วน 2 นิ้ว cool white และเป็นหลอด high output หรืออาจจะมีหลอดชนิดพิเศษที่มีขนาดเล็กกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ออกให้สำหรับกรณีที่มีการซื้อขายกัน ไม่สามารถไปฟ้องร้องดำเนินคดี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ชนิด very high output จะใช้กระแสประมาณ 1,500 มิลลิแอมป์ (ดังรูปที่

14) ซึ่งเฉลี่ยแล้วตกประมาณ 25 วัตต์ต่อฟุต ของความยาวหลอดหลอดชนิด ver high output เป็นหลอดชนิดที่ให้แสงสว่างออกมาสูงกว่าหลอดธรรมดา แต่ที่แตกต่างจากหลอด high output ก็คือเมื่อกระแสของหลอดฟลูออเรสเซนต์สูงเกินกว่า 1 แอมแปร์ หรือ 1,000 มิลลิแอมป์แล้วค่าวัตต์ต่อค่าความยาวฟุตของหลอดจะสูงมากขึ้นจนก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความร้อนจึงทำให้ต้องมีการแก้ไขการออกแบบใหม่เพื่อให้สามารถใช้งานหลอดได้ตามปกติ ค่าความร้อนที่เกิดจากกระแส 1,000 มิลลิแอมป์ ที่ใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T-12 ได้รับความควบคุมจะทำให้อุณหภูมิของโถปรอทสูงเกินไปและทำให้ค่าความดันไอของปรอทสูงมากขึ้น ซึ่งจะเป็นการลดประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างของหลอด เพราะไอของปรอทจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุด เมื่อค่าความดันไอยู่ระหว่าง 6-10 ไมตรอน ซึ่งคิดเป็นอุณหภูมิของโถปรอทก็จะตกประมาณ 40-45°C การควบคุมความดันไอปรอทในหลอดนี้ทำได้โดยการใช้แผ่นโลหะกลม ที่ทำหน้าที่เป็นโลป้องกันความร้อน (circular metallic reflecting shields) ระหว่างไส้หลอดกับปลายหลอด โลนี้จะทำหน้าที่สะท้อนความร้อนที่ถูกนำมาโดยก๊าซร้อนใกล้กับตัวคาโรด ดังนั้นอุณหภูมิของโถปรอทที่ส่วนหลังของคาโรด จึงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมหรือเป็นการสร้างศูนย์กลางของค่าความดัน (pressure control center) ที่เหมาะสมขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 14 โถปรอทที่มีค่าสูงจนเกินไป จะลดค่าความดันลงที่บริเวณศูนย์กลางนี้และทำให้ไอของปรอทมีค่าความดันที่เหมาะสมทั่วทั้งหลอดจึงมีการผสมส่วนประกอบของก๊าซเล็กน้อยเข้าไปเพื่อให้คาโรดมีอายุยืนยาวยิ่งขึ้น และสามารถรักษาระดับปริมาณแสงสว่างไว้ได้อย่างสม่ำเสมอ

ขั้วของหลอด VHO นี้จะเป็นป้ายบุกลงไป (recessed double contact bases) โดยมีขั้ว 2 ขั้ว และมีขนาดตั้งแต่ 110 วัตต์ ไปจนถึง 215 วัตต์ มีความยาวตั้งแต่ 48 นิ้ว ไปจนถึง 96 นิ้ว การระบุหลอดก็เหมือนกับหลอดชนิด high output ยกเว้นการใช้ตัวย่อ VHO แทนตัว HO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ โดยรอบของหลอดซึ่งมีผลทั้งอุณหภูมิที่สูงและต่ำจึงมีหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดพิเศษ

ซึ่งออกแบบมาสำหรับใช้ในที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยจะให้ปริมาณแสงสว่างในที่ที่มี
 อากาศหนาวมากกว่าหลอด VHO มาตรฐานทั่วไป โครงสร้างของหลอดจะแตก
 ต่างไปจาก VHO มาตรฐาน ก็คือว่า ไม่มีตัวใส่โลหะสำหรับกันความร้อน และไส้
 ของหลอดจะสั้นกว่าตัวหลอดจะมีขนาดเช่นเดียวกับหลอด VHO ทั่ว ๆ ไป และ
 สามารถระบุได้โดยยี่ห้อว่า LT นอกจากนี้ยังมีหลอด VHO ชนิดใช้งานนอกอาคาร
 ซึ่งสามารถให้แสงสว่างได้สูงสุดในโคมชนิดเดียวกันที่ใช้สำหรับโคมไฟที่องถนน และ
 สถานีบริการต่าง ๆ การออกแบบคาโอด และโครงสร้างของหลอดจะหาให้ได้ค่า
 ไบปรอทที่มีความดันที่เหมาะสม ซึ่งหาปริมาณแสงสูงสุดเมื่อหลอดเอียงจากเส้น
 แนวตรงไปประมาณ 15 องศา การระบุหลอดชนิดนี้ ซึ่งใช้งานนอกอาคาร สามารถกำหนดได้โดยตัวย่อ VHO/O ซึ่งหลอดชนิดนี้จะมีปริมาณแสงสว่างตั้งแต่เริ่ม
 ดัน และระดับแสงสว่างที่หลอดจะเปล่งออกมา

หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดใช้งานได้กับทุกสภาวะอากาศ (all weather หรือ weather shielded lamp)

สำหรับการใช้งานในสภาวะอากาศที่เลวร้ายเช่น อุณหภูมิต่ำมาก ๆ และมีกระแสลมแรงได้มีการคิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดพิเศษซึ่งสามารถทนต่อ
 สภาวะดังกล่าวได้หลอดชนิดนี้จะมีเปลือก (jacket) เป็นแก้วใส่หลอดชนิดที่ทน
 ทานต่อสภาวะอากาศต่าง ๆ เหล่านี้มีหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นหลอด slim
 line หลอด high output หรือหลอด very high output หลอดชนิดนี้ควร
 จะใช้กับโคมชนิดเปิดเมื่อจะใช้งานภายนอกอาคารและยังเหมาะกับการใช้งาน
 ภายในอาคารบางประเภท เช่น ในโรงตั้งเก็บสินค้าชนิดแช่แข็งสำหรับทางใต้ดิน
 หรืออุโมงค์ใต้ดิน ที่มีอากาศเย็นและมีลมพัดกระหน่ำ สำหรับการใช้งานในสภาวะ
 ปกติแล้วหลอดชนิดนี้อาจจะให้ปริมาณแสงสว่างมากกว่าหรืออย่างน้อยที่สุดจะเท่า
 กับหลอดชนิดปกติ ค่าวัตต์และค่าปริมาณแสงสว่างที่ทางผู้ผลิตสำหรับหลอดชนิดนี้

เอกสารนี้เป็นค่าสูงที่สุดแล้วค่าวัตต์และค่าปริมาณแสงสว่างที่จะได้จริงนั้นขึ้นอยู่กับสภาพของ
 ไม่สามารถใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 สภาวะอากาศคุณสมบัติของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว

หลอดวงกลม (circular lamp) หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่เป็นวงกลมมีลักษณะเหมือนกับการนำเอาหลอดยาวมาขดให้เป็นวงกลม โดยมีปลายทั้งสองชนกันนั่นเอง หลอดชนิดนี้ทางผู้ผลิตจะผลิตออกมาเป็นหลอดชนิด rapid start เพื่อใช้งานกับบัลลาสต์ rapid start แต่ก็สามารถนำไปใช้กับบัลลาสต์คนละวงจรของหลอดชนิด preheat ได้ หลอดชนิดนี้จะมีตั้งแต่ 22-40 วัตต์ และเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 8-16 นิ้ว หลอดรูปตัวยู (u-shaped lamp) หลอดรูปตัวยูนี้ก็เป็นหลอดชนิด 40 วัตต์ธรรมดา ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับการนำเอาหลอดยาวมาขดให้เป็นตัวยู ปกติหลอดชนิดนี้จะมีควมยาวประมาณ 24 นิ้ว การที่หลอดชนิดนี้โด่งงอทำให้สามารถประหยัดเนื้อที่ และทำให้สามารถใส่หลอดชนิดนี้สองหลอดในโคมขนาด 24 นิ้ว (ซึ่งเท่ากับการใช้หลอดยาว 48 นิ้ว 2 หลอด และหลอดยาว 24 นิ้ว 4 หลอด) หลอดรูปตัวยูนี้ปกติจะใช้บัลลาสต์ rapid start ขนาด 40 วัตต์ข้อดีอีกอย่างหนึ่งก็คือสามารถต่อสายที่ปลายเดียวของโคมไฟเท่านั้น หลอดชนิดนี้ได้นำไปใช้ในงานที่ต้องการผ้าเป็นรูปตาราง (modular ceiling) ซึ่งให้ความสวยงามและอาจจะเป็นที่ต้องการของสถาปนิก

หลอดชนิดสะท้อนแสง (reflector lamp) หลอดชนิดนี้จะมีส่วนของหลอดที่ทาหน้าทีสะท้อนแสง (reflective surface) ที่มีลักษณะคล้ายกับหลอดมีไส้ชนิด par คือจะมีการฉาบสารสะท้อนแสงที่ผิวด้านในของหลอด และหลังจากนั้นจึงฉาบด้วยสารเรืองแสง (phosphor) อีกทีหนึ่ง ส่วนแก้วที่ถูกฉาบสารสะท้อนแสงนี้จะทาหน้าทีสะท้อนแสงของหลอดให้กระจายลงสู่ส่วนล่างจึงทำให้แสงที่อยู่ใต้หลอดมีปริมาณสูงกว่าหลอดชนิดปกติที่ไม่มีส่วนสะท้อนแสงถึง 60% ส่วนแก้วที่สะท้อนแสงนี้จะมีให้เลือกตั้งแต่ 135 องศา จนถึง 235 องศา ส่วนคุณสมบัติทางด้านอื่น ๆ ทั้งทางด้านกายภาพและทางด้านไฟฟ้าจะเหมือนกับหลอดชนิดมาตรฐานและสามารถสับเปลี่ยนกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส หลอดชนิดนี้เหมาะสำหรับการทำงานบางอย่าง เช่น ไม่ว่าจะมิได้ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ สำหรับติดกับผ้าเพดานที่สะท้อนแสงได้น้อยสำหรับในอุตสาหกรรมที่มีฝุ่นมากและทำ

ความสะอาดหลอดได้ยาก เช่น อาจจะติดตั้งหลอดไว้สูง นอกจากนั้นยังเหมาะ
สำหรับการติดตั้งในตู้โชว์และที่อื่น ๆ ซึ่งไม่สามารถใช้โคมช่วยสะท้อนแสงได้
เนื่องจากมีเนื้อที่จำกัด และยังเหมาะสำหรับการใช้งานในลักษณะการให้แสง
สว่างทางอ้อม (indirect lighting) โดยการเลี้ยงลำแสงให้พุ่งไปยังฝ้า
เพดาน ลักษณะของหลอดและการทำงานจะปรากฏให้เห็น:

หลอดสะท้อนแสงชนิดมีช่องหน้าต่าง (aperture lamp) หลอดชนิดนี้
จะมีลักษณะคล้ายกับหลอดสะท้อนแสงนั่นเอง แต่ที่แตกต่างกันก็คือจะมีช่องหน้าต่าง
เป็นกระจกใส ซึ่งไม่มีการฉาบทั้งสารสะท้อนแสงและสารเรืองแสง ช่องหน้าต่าง
นี้จะยาวไปตลอดความยาวของหลอด จึงทำให้ส่วนผิวของหลอดที่เป็นส่วนนี้มีความ
สว่างกว่าผิวของหลอดธรรมดาถึง 8 เท่าตัว และช่องหน้าต่างใสจะมีตั้งแต่
แต่ช่วงกว้าง 15 ไปจนถึง 60 องศา เมื่อใช้กับโคมสะท้อนแสงหรือใช้
เลนส์รวมแสงแล้ว หลอดชนิดนี้จะทำให้ได้ลำแสงที่เข้มและพุ่งไปในทิศทางเดียว
การใช้งานหลักประเภทนี้ก็มี อาทิเช่น ใช้ให้แสงสว่างที่ราวรถไฟ บริเวณทาง
ร่อนลงของเครื่องบิน บริเวณทางหลวงบริเวณทางยกขึ้น-ลง (ramp) บริเวณแผ่น
ป้ายหรือไฟสัญญาณ หรือ ใช้สำหรับเป็นไฟสำหรับส่องกำแพง และไฟสำหรับ
เครื่องถ่ายเอกสาร เป็นต้น

หลอดให้แสงสว่างสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (grolux
lamp) .. แสงสว่างเป็นพลังงานที่พืชนำไปใช้ในการสร้างอาหารโดยขบวนการ
สังเคราะห์แสง ซึ่งพืชจะเอาคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศ น้ำ และแร่ธาตุ
ต่าง ๆ มาสังเคราะห์รวมกัน โดยมีแสงเป็นตัวช่วย

หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดพิเศษที่เรียกว่า grolux จึงเป็นหลอดที่ได้รับ
การออกแบบมาเพื่อให้สร้างแสงสว่างที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสม
แสงที่ได้จะเป็นแสงที่เป็นส่วนผสมของแสงสีแดงและสีน้ำเงินซึ่งนับว่าเหมาะสมแก่
การเจริญเติบโตของพืช

นอกจากนี้ยังมีหลอด grolux อีกชนิดหนึ่งซึ่งไม่แต่เพียงช่วยทำให้พืช
ไม่แก่เร็วเกินไป ทั้งสิ้น ยังทำให้มีใบที่ดกและต้องอ้วนจึงมีเจ้าของเอกสารบางคนที่มีกรนำใบไป
เติบโตเท่านั้นแต่ยังให้แสงที่ช่วยทำให้ดอกไม้มีสีสันสวยงามยิ่งขึ้น และยัง

ช่วยทำให้สีของปลาในตู้เลี้ยงปลาดูสดใสยิ่งขึ้น

หลอดชนิด black light หรือ black light blue

หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดนี้จะแตกต่างจากหลอดมาตรฐานทั่วไป)
ตรงที่ส่วนประกอบของสารเรืองแสงที่ใช้จะทำให้มีการเปล่งพลังงานของแสงออกมาในช่วยของแสงอัลตราไวโอเลตซึ่งมีความยาวคลื่นสูงสุด ประมาณ 356.0 นาโนมิเตอร์แทนที่จะเป็นแสงซึ่งตามมนุษย์สามารถมองเห็นได้ แต่หลอดชนิดนี้ยังจะปล่อยแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้ซึ่งมีสีฟ้าเงิน ดังนั้นถ้าใช้กระจกกรองแสงสีฟ้าเงินอีกชั้นหนึ่งก็จะทำให้ไม่มีแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้เลย ส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด black light blue จะเหมือนกับหลอดชนิด black light ยกเว้นแต่ว่าตัวหลอดจะเป็นสีดำที่จะสามารถดูดกลืนแสงที่ตามองเห็นได้หมดทุกชนิด โดยจะปล่อยออกมาแต่เฉพาะแสงอัลตราไวโอเลตเท่านั้น จึงไม่จำเป็นต้องใช้ฟิลเตอร์กรองแสงอีกทีหนึ่ง หลอดชนิดนี้สามารถใช้งานได้กับวงจรไฟฟ้า และตัวอุปกรณ์ประกอบเช่นเดียวกับหลอดมาตรฐานที่มีขนาดวัตต์เท่ากัน จึงสามารถเปลี่ยนหลอดแทนหลอดมาตรฐานธรรมดาได้

หลอดชนิดนี้จะสามารถนำไปใช้ในการสร้างแสงที่มีลักษณะสวยงาม
จึงใช้ในบาร์หรือดิสโก้เฮด หรือนอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมและสำหรับงานตรวจสอบพิสัยอื่นต่าง ๆ ที่ใช้หมึกที่ตามองไม่เห็น เช่นลายเซ็นที่เซ็นไว้ในสมุดฝากเงินของธนาคารและงานเทคนิคอื่น ๆ ได้อีกด้วย

หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดฆ่าเชื้อโรค (germicidal lamp)
หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดนี้โครงสร้างตัวแก้วของหลอดจะเป็นกระจกใสโดยไม่มี
การฉาบสารเรืองแสงเอาไว้ หลอดชนิดนี้จะทำหน้าที่เปล่งพลังงาน
แสงกว่า 85% ออกมา ในช่วงความยาวคลื่น 253.7 นาโนมิเตอร์ซึ่งเป็น
ช่วงแถบแสงอัลตราไวโอเลต ซึ่งเกิดขึ้นจากก๊าซภายในหลอดและจะเปล่งแสงอีก
เล็กน้อยออกมาในช่วงความยาวคลื่น 184.9 นาโนมิเตอร์ ซึ่งจะทำให้เกิดโอ
โรซอนขึ้นมาอีกส่วนหนึ่งทั้งแสงอัลตราไวโอเลตและโอโรซอนนี้จะเป็นตัวที่สามารถฆ่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดูเปล่งเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
พวกแบคทีเรียและพวกเชื้อราได้ ดังนั้นหลอดชนิดนี้จึงถูกนำไปใช้งานในลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับใช้ในการใช้งานเพื่อตรวจสอบเท่านั้น ไม่สามารถพิมพ์ไปใช้ในที่อื่นได้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดูเปล่งเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
พวกแบคทีเรียและพวกเชื้อราได้ ดังนั้นหลอดชนิดนี้จึงถูกนำไปใช้งานในลักษณะ

ของการฆ่าเชื้อ ไม่ว่าจะจะมีอยู่ในอากาศในก๊าซ ในของเหลว หรือที่ผิวของของ
แข็ง เช่น การใช้งานสำหรับระบบปรับอากาศในโรงพยาบาล ในอุตสาหกรรม
ผลิตอาหารในอุตสาหกรรมผลิตสุรา เป็นต้น

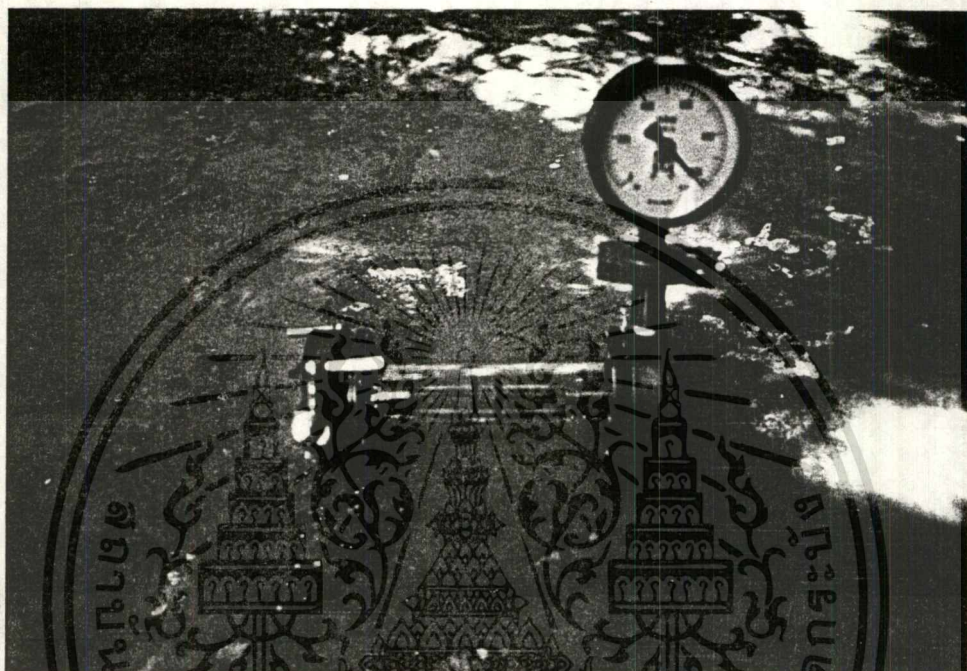
เนื่องจากการเปล่งรังสีของหลอดชนิดนี้จะเป็นอันตรายต่อผิวหนัง
และสายตาของมนุษย์ อดยจะทำให้ผิวหนังเป็นผื่นแดงและเกิดอาการเคืองตา ดัง
นั้นจึงไม่ควรมองหรือรับแสงสว่างจากหลอดประเภทนี้ด้วยตาเปล่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การออกแบบและสร้างหลอดต้นแบบ

หลอดต้นแบบที่จัดทำขึ้นมีลักษณะดังรูป 4.1



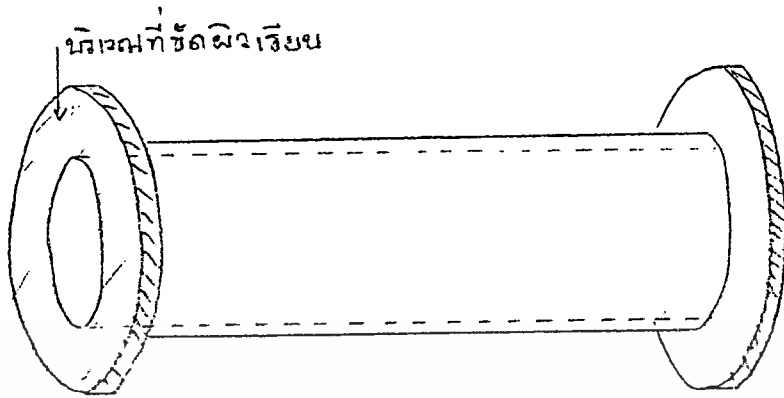
รูปที่ 4.1

รายละเอียดชิ้นส่วนที่เลือกใช้

- หลอดแก้วใช้แก้ว Pyrex มีคุณสมบัติทนความร้อน เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 34 mm ความยาว 150 mm โดยออกแบบให้เป็นปากแตร เพื่อประโยชน์ ในการยึดหลอดกับ
ฐานหลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแสดงหลอดแก้ว PYREX

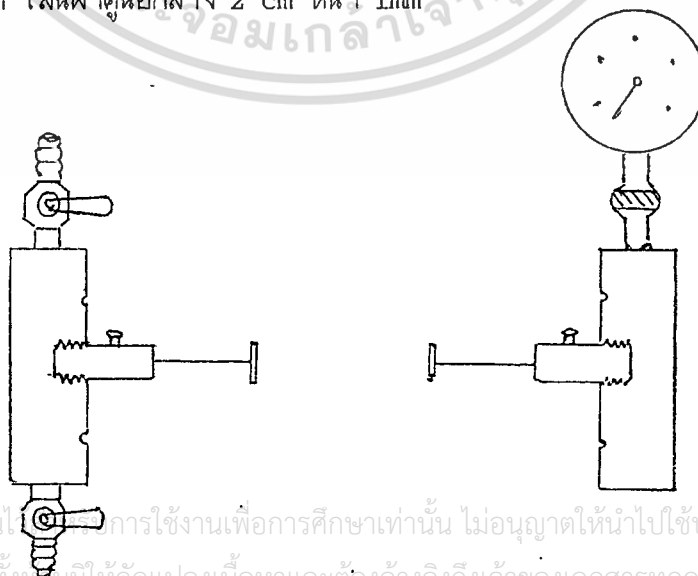


รูปที่ 4.2

- ขั้วหลอดและelectrode

ขั้วหลอดทำด้วยเหล็กโดยเจาะรูสำหรับติด VALVE 2 ตัวเพื่อใช้ในการVACCUM และ
 1 สปรอท นอกจากนี้ยังได้ติด VACCUM GUAGE เพื่อประโยชน์ในการ VACCUM และ
 ฉัด Ar

ส่วน electrode จะทำด้วยเหล็กเช่นเดียวกันโดยมีที่ยึดทำด้วยทองเหลืองelectrode
 เป็นแผ่นเหล็ก เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 cm ทน 1mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3

- ความดันและระยะ gap ที่ใช้

เนื่องจากค่า pd มีผลต่อ BREAKDOWN VOLTAGE ตาม Paschen's Law ซึ่งจากการทดลอง จะได้ความดันและระยะ gap ที่สามารถทำให้หลอด arc ที่แรงดันไฟฟ้า 1000V ได้คือ ความดันในหลอด 10 mbar และระยะ gap 1.5cm



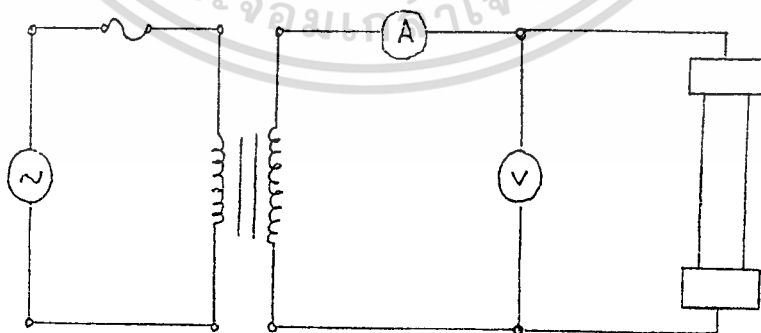
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง

อุปกรณ์การทดลอง

- 1) Vacuum Pump
- 2) Vacuum Gauge (0-1000 mmbar)
- 3) Ac Amp-meter 3 A
- 4) volt-meter 1000 v
- 5) variac 220 v
- 6) circuit breaker 10 A
- 7) Junction box 2 ก่อง
- 8) สายไฟ 10 เส้น
- 9) O-ring เส้นผ่าศูนย์กลาง 45 mm.
- 10) หลอด ULTRA VIOLET SOURCE
- 11) TRANSFORMER 220/1000V 1A
- 12) สารปรอท

วงจรการทดลอง



รูปที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

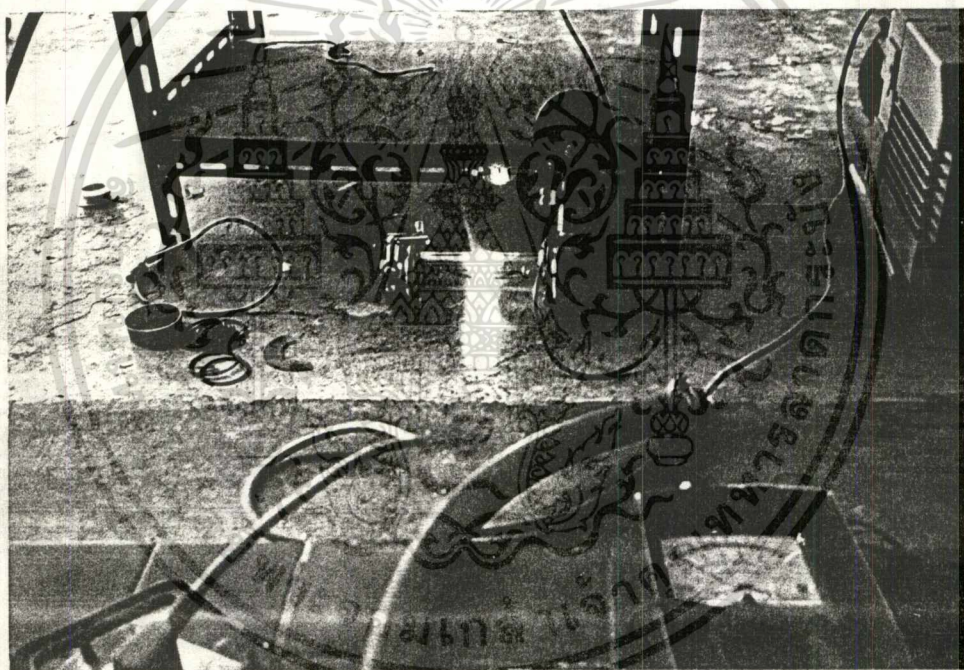
1. ทาความสะอาดขั้วโวลท์ทุกขั้วโดยเฉพาที่ขั้วอิเล็กโตรด
2. ทำการประกอบหลอดเข้าด้วยกันดังรูป โดยก่อนประกอบให้ใส่สารปรอทจำนวน 2-3 หยด และกำหนดระยะแถบที่ต้องการด้วย
3. นำ vacuum guage และ วาล์วก๊าซทั้งหมดมาต่อเข้ากับหลอด โดยใช้เทปพันข้อต่อพันไว้เพื่อมิให้เกิดการรั่วผ่านเกลียว
4. ทำการ vacuum หลอดให้ความดันใกล้สูญญากาศมากที่สุด เมื่อหยุด vacuum ให้สังเกตถ้าความดันเปลี่ยนแปลงเร็วแสดงว่าเกิดการรั่ว
5. ให้นำก๊าซอากาศมาเติมเข้าหลอดแล้วให้ vacuum ใหม่
6. นำหลอดที่เตรียมไว้มาต่อวงจรตามรูปที่ให้ไว้
7. ค่อยๆเพิ่มแรงดันจนเกิดการ discharge แล้วบันทึกค่ากระแส, แรงดัน และความดันในขณะนั้น ที่ระยะแถบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบที่ได้

จากการต่อวงจรตามรูป เมื่อจ่ายไฟที่ชั่วหลอด 1000 v ความดันของก๊าซ 10 mbar จะเกิดการ arc ขึ้นในหลอด สังเกตได้จากกระแสที่ผ่าน Amp meter จะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนมีค่าประมาณ 1 Amp เนื่องจากหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบวงจรงานนี้จ่ายกระแสได้เพียง 1 Amp จึงต้องมีอุปกรณ์ป้องกัน OVER LOAD ของหม้อแปลงซึ่งใช้ circuit-breaker ดังนั้นเมื่อเกิดกระแสเกิน circuit breaker จะตัดวงจรออกซึ่งถ้าต้องการให้เกิดการ arc ที่นานขึ้นสามารถใช้หม้อแปลงที่จ่ายกระแสที่มากกว่านี้ได้

จากการทดสอบดังที่กล่าวมาแล้ว ได้มีการบันทึกภาพการทดสอบไว้ดังรูป



รูปที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

จากการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่างๆและจากการศึกษาทฤษฎีเพื่อมาทำการออกแบบและจัดทำหลอด ซึ่งในช่วงเวลาสร้างหลอดต้องพบปัญหาอย่างมาก ตัวอย่างเช่น ในส่วนที่เกี่ยวกับหลอดทางกลุ่มผู้จัดทำไม่สามารถแก้จุดเสียให้หายขาดได้ ซึ่งจุดบกพร่องดังกล่าวจะมีผลต่อการทดสอบการทำงานของหลอดในภายหลัง ปัญหาที่เกิดขึ้นกับหลอดต้นแบบได้แก่

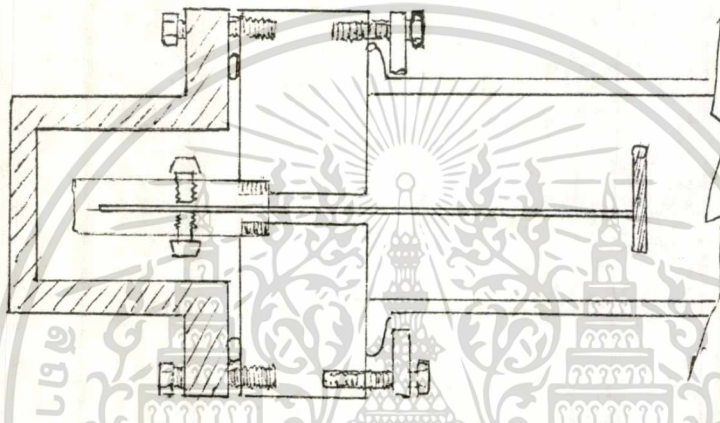
- การ seal ข้อต่อตามจุดต่างๆของหลอดเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วของก๊าซที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้ทดลอง ซึ่งพบว่ามียัตตราการรั่ว 2 mmbar/min ซึ่งถือว่าเร็วเร็วมาก ทำให้ไม่สามารถกำหนดตัวแปรของค่าความดันได้ตามทฤษฎีที่ต้องการ
- เนื่องจากในการทดลองต้องมีการกำหนดค่าความดันให้คงที่หรือให้มีการเปลี่ยนแปลงความดันช้าที่สุด เพื่อทดสอบหลอดที่ระยะแกปต่างๆว่ามีผลของกระแสและแรงดันในขณะนั้นอย่างไร
- หลอดต้นแบบที่ประดิษฐ์ขึ้นมาไม่สามารถปรับระยะแกปจากภายนอกได้เพราะถ้าจะให้สามารถปรับจากภายนอกได้จะมีผลของการรั่วเกิดขึ้นได้ถ้าหากหาวิธีการ seal ที่มีประสิทธิภาพ
- เนื่องจากที่ผิวอิเล็กโทรดใช้โลหะเหล็ก (Fe) มักจะเกิดสนิมซึ่งมีผลต่อการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้ว ทำให้ต้องถอดหลอดบ่อยครั้งเพื่อขัดสนิมออกจากขั้วและเสียเวลาในการประกอบและการ seal ใหม่ทุกครั้ง

นอกจากปัญหาในการประดิษฐ์หลอดแล้วยังมีความยุ่งยากในการดำเนินงานเกี่ยวกับการหาแหล่งสนับสนุนในการสร้างหลอดซึ่งมีน้อยมาก จึงทำให้กลุ่มผู้จัดทำต้องตัดสินใจในการทดลองสร้าง แก๊ส ัดแปลง จนมาถึงขั้นตอนการทดสอบขั้นสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวความคิดในการพัฒนาหลอด

- เนื่องจากหลอดต้นแบบไม่สามารถปรับระยะแกปจากภายนอกได้ทำให้ต้องถอดหลอดแล้วปรับระยะแกปจากภายใน ซึ่งยุ่งยากและเสียเวลาดังนั้นจึงควรรหาวิธีในการปรับโดยมีต้องถอดหลอดเพียงแต่ถอดฝาครอบที่ได้เสนอไว้ดังรูป



จะเห็นว่าเมื่อถอดฝาครอบจะเห็นแหล่งทองเหลืองที่ฝังหลอดขึ้นเพื่อยึดขั้วอิเล็ก

โทรด ซึ่งสามารถปรับได้หลายระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

- ขอขอบคุณ อาจารย์ รศ. ตรนิพนธ์ สุขุม เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษา แนะนำและช่วยแก้ปัญหาตลอดทั้งประสิทธิ์ประสาทวิชาให้แก่ผู้จัดทำจนปริญญา นิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ รวมทั้งช่วยหาแหล่งข้อมูลในการค้นคว้าวิทยานิพนธ์เป็น อย่างดี
- ขอขอบคุณ อาจารย์ ศิริวัฒน์ โพธิ์เวชกุล ที่ให้คำแนะนำเป็นอย่างมาก ทางทฤษฎีและปฏิบัติ
- ขอขอบคุณ อาจารย์ สมศักดิ์ เข็ญศิริกุล ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำความรู้ในด้านอื่นที่เกี่ยวข้องกับ โครงการนี้
- ขอขอบคุณเพื่อน ๆ รุ่นน้องและผู้ที่ทำให้กำลังใจทุกคนที่มีส่วนทำให้โครงการนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

ก. หนังสือต่างประเทศ

: ILLUMINATION ENGINEERING From EDISON'S lamp to the laser

By Joseph B. Murdoch

Copyright : 1985 by Macmillan Publishing Company

: IONIZED GASES

By A. Von Engel

Copyright : Oxford University Press 1965

: GASEOUS CONDUCTORS

By James Dillon Cobine

1985 Inc. New York

ข. หนังสือภาษาไทย

: 70 เรื่องน่ารู้เทคนิคไฟฟ้า พิมพ์ครั้งที่สาม ก.ค. 2532

พิมพ์ที่ บ. เอเชียเพรส จำกัด สุขุมวิทซอย 8 10110

จัดจำหน่ายโดย บ. ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด

: Kinetic Theory Of Gases และ Gas Discharge

ดร. นิพนธ์ สุขุม 2 ม.ค. 2529

: High Voltage Engineering

ดร. สारวย สังข์สะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2534

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาควิชา ไฟฟ้ากำลัง

เรื่อง การศึกษาและออกแบบสร้างหลอดอุลตราไวโอเล็ต

ผู้จัดทำ

1> นายคมเดช ทรงสกุล เลขประจำตัว 31.1021

2> นายประกายจัน หวังพิชญสุข เลขประจำตัว 31.1149

3> นายวรวุฒิ ฐิติพานุกิจ เลขประจำตัว 31.1234

อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร. นิพนธ์ สุขุม

(.....*นิพนธ์ สุขุม*.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

ก. หนังสือต่างประเทศ

: ILLUMINATION ENGINEERING From EDISON'S lamp to the laser
ปริญญาโทศึกษาศาสตร์ 2534

By Joseph B. Murdoch
ภาควิชาไฟฟ้ากำลัง

Copyright : 1985 by Macmillan Publishing Company

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

: IONIZED GASES

เรื่อง การศึกษาและออกแบบสร้างหลอดอุลตราไวโอเล็ต

By A. Von Engel

Copyright : Oxford University Press 1965

: GASEOUS CONDUCTORS

By James Dillon Cobine

1985, Inc. New York

ผู้จัดทำ

ข. หนังสือภาษาไทย

1> นายคมเดช ทรงสกุล เลขประจำตัว 31.1021

: 70 เรื่องนำรู้เทคนิคไฟฟ้า พิมพ์ครั้งที่สาม ก.ค. 2532

2> นายประกายจัน หวังพิชญสุข เลขประจำตัว 31.1149

พิมพ์ที่ บ. เอเชียเพรส จำกัด สุขุมวิทซอย 8 10110

3> นายวรวุฒิ วิถีธนาภูกิจ เลขประจำตัว 31.1234

จัดทำโดย บ. ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด

: Kenetic Theory Of Gases และ Gas Discharge

ดร.นิพนธ์ สุขุม 2ม.ค. 2529

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร.นิพนธ์ สุขุม

: High Voltage Engineering

ดร.สารวย สังข์สะอาด

(.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้