บทที่ 4

การประดิษฐ์ดิสเพลย์แบบแบนชนิด EL จาก ZnS

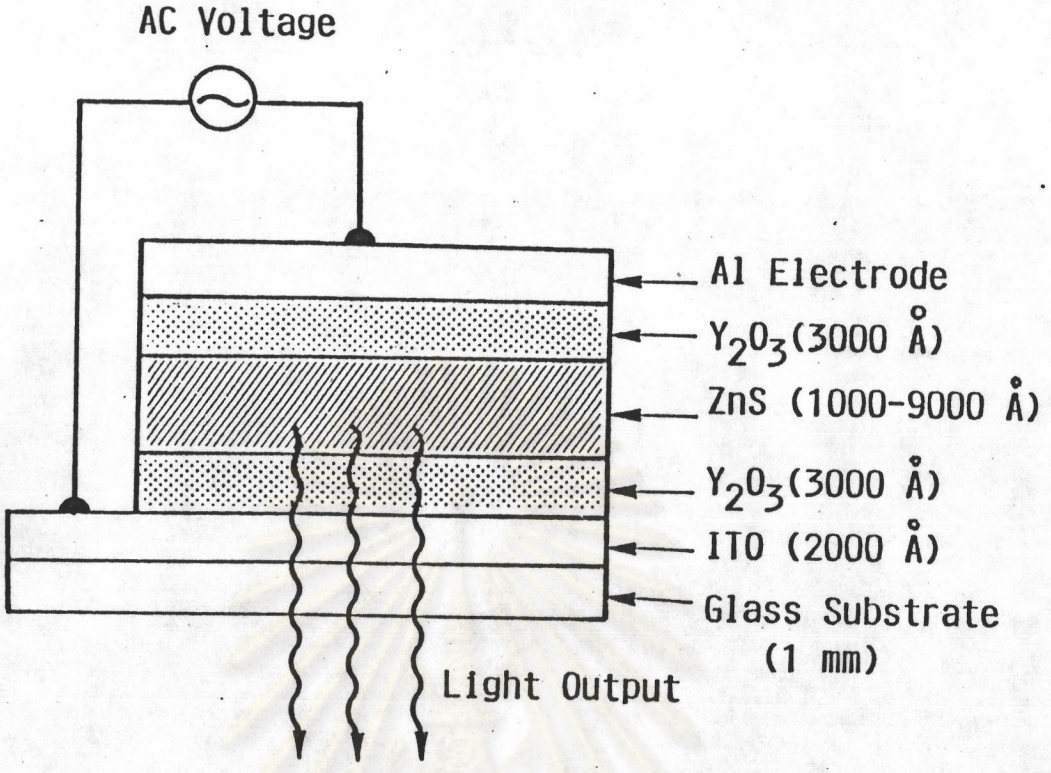
บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้าง หลักการทำงานของ EL การประดิษฐ์ EL และผลของการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของ EL ที่ผลิตได้ เช่น ลักษณะ Spectrum การเปล่งแสงของ EL ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุท และความสว่าง output ของ EL ตลอดจน การตรวจสอบผลตอบสนองเชิงเวลา (time response) ของ EL ที่มีต่อสัญญาณ input แบบ pulse

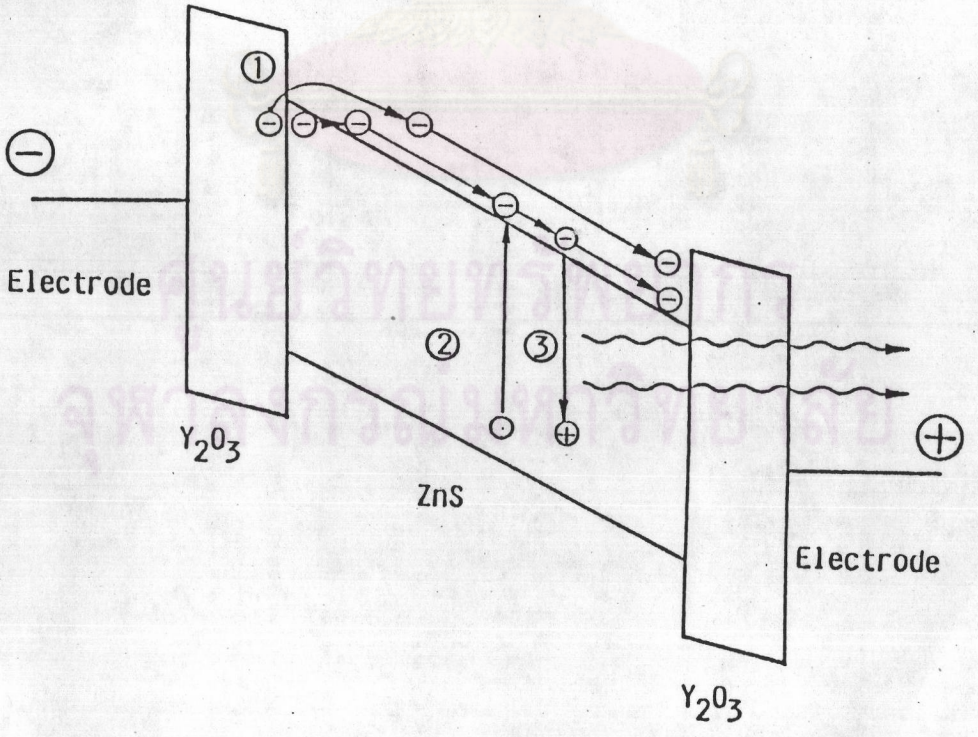
โครงสร้างและหลักการทำงานของ EL

EL แบบฟิล์มบางที่ออกแบบในงานวิจัยนี้ เป็นชนิด intrinsic EL ไม่ใช่ชนิดรอยต่อ p-n ดังนั้นโครงสร้างของ EL (2) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ประกอบด้วย แผ่นฐานกระจก / ขั้วโปร่งแสง / ชั้นฉนวน / ชั้นเปล่งแสง / ชั้นฉนวน / ขั้วอะลูมิเนียม รายละเอียดหลักการทำงานของ EL ดังแสดงในรูปที่ 4.2 EL นี้จะเปล่งแสง เมื่อถูกป้อนด้วยสนามไฟฟ้ากระแสสลับผ่านขั้ว ITO และ Al ขั้นตอนการทำงานของ EL อธิบายได้ดังต่อไปนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 ลักษณะโครงสร้างของ EL ที่ออกแบบในงานวิจัย



รูปที่ 4.2 แถบพลังงานและหลักการทำงานของ EL

ขั้นตอนที่ 1 ถ้าสนามไฟฟ้ามีค่าสูงถึงระดับหนึ่งจะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ที่ trap center ในบริเวณรอยต่อระหว่าง Y_2O_3 / ZnS ให้กระโดดแบบ tunneling เข้าไปสู่แถบคอนดักชัน ในชั้น ZnS

ขั้นตอนที่ 2 อิเล็กตรอนในแถบคอนดักชันวิ่งด้วยความเร็วสูงภายใต้ สนามไฟฟ้าสูง (ประมาณ 10^6 V/cm^2) ไปชนกับ color center ที่ผสมอยู่ใน ZnS อิเล็กตรอนจะถ่ายพลังงานให้กับ color center ทำให้ color center ถูกกระตุ้นให้แตกตัวเป็น ionized color center โดยอิเล็คตรอนของ color center ถูกกระตุ้นให้กระโดดขึ้นแถบคอนดักชัน

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อเวลาผ่านเข้าไปอิเล็กตรอนในแถบคอนดักชันปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงตกกลับลงมารวมตัวกับ ionized color center ส่วนอิเล็กตรอนที่ไม่ได้รวมตัวจะวิ่งผ่าน ZnS เพราะจากกฎของ poisson จะทำให้สนามไฟฟ้าส่วนใหญ่ไปตกคร่อมที่ชั้น ZnS จะทำให้การทำงานในขั้นตอนที่ 2 ที่กล่าวข้างต้นมีประสิทธิภาพสูง Y_2O_3 ที่ใช้เป็นฉนวนในงานวิจัยนี้มีค่า dielectric constant = 12 ส่วน ZnS มีค่า dielectric constant = 8

ขนาดช่องว่างพลังงานของ ZnS เท่ากับ 3.68 eV สีของ EL ที่เปล่งออกมาจะขึ้นกับพลังงานของ color center ที่อยู่ในช่องว่างพลังงานของ ZnS อยู่ใกล้ขอบแถบคอนดักชันก็จะได้แสงความยาวคลื่นยาวหรือถ้าอยู่ลึกลงไปอีกก็จะได้แสงที่มีความยาวคลื่นสั้น ตารางที่ 4.1 ตัวอย่าง color center ใน ZnS ที่ใช้ในการวิจัย

ตาราง 4.1 ตัวอย่างรายชื่อ color center ใน ZnS ที่ใช้ในการวิจัย

Color Center	Color of Luminescence
Mn	Yellow
SmF_3	Red
TbF_3	Green
TmF_3	Blue

การประดิษฐ์ EL

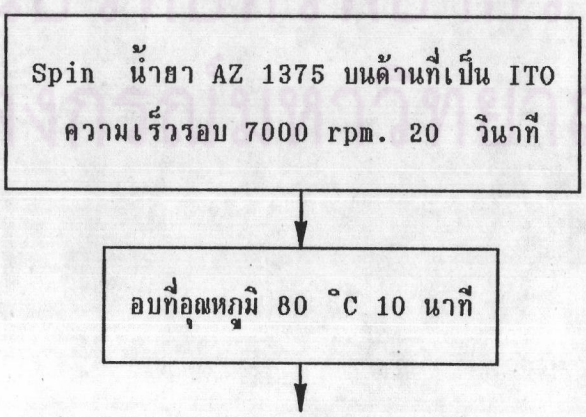
ดังได้กล่าวมาแล้วว่า โดยโครงสร้างของ EL ประกอบด้วย glass / ITO / Y_2O_3 / ZnS / Y_2O_3 / Al ในงานวิจัยได้จัดซื้อ glass ที่เคลือบ ITO (หนา 2000 °A) สำเร็จรูปมาใช้แล้วจึงตัดให้ได้ขนาดตามต้องการ เช่น 3 cm x 1.5 cm เมื่อล้างแผ่นฐานแล้วจึงนำมาเคลือบฟิล์มบางของ Y_2O_3 / ZnS / Y_2O_3 ตามลำดับด้วยวิธี e-beam evaporator

เมื่อตัดกระจกที่เคลือบ ITO แล้วให้ได้ขนาดตามที่เราต้องการนำมาล้าง ตามขั้นตอนต่อไปนี้

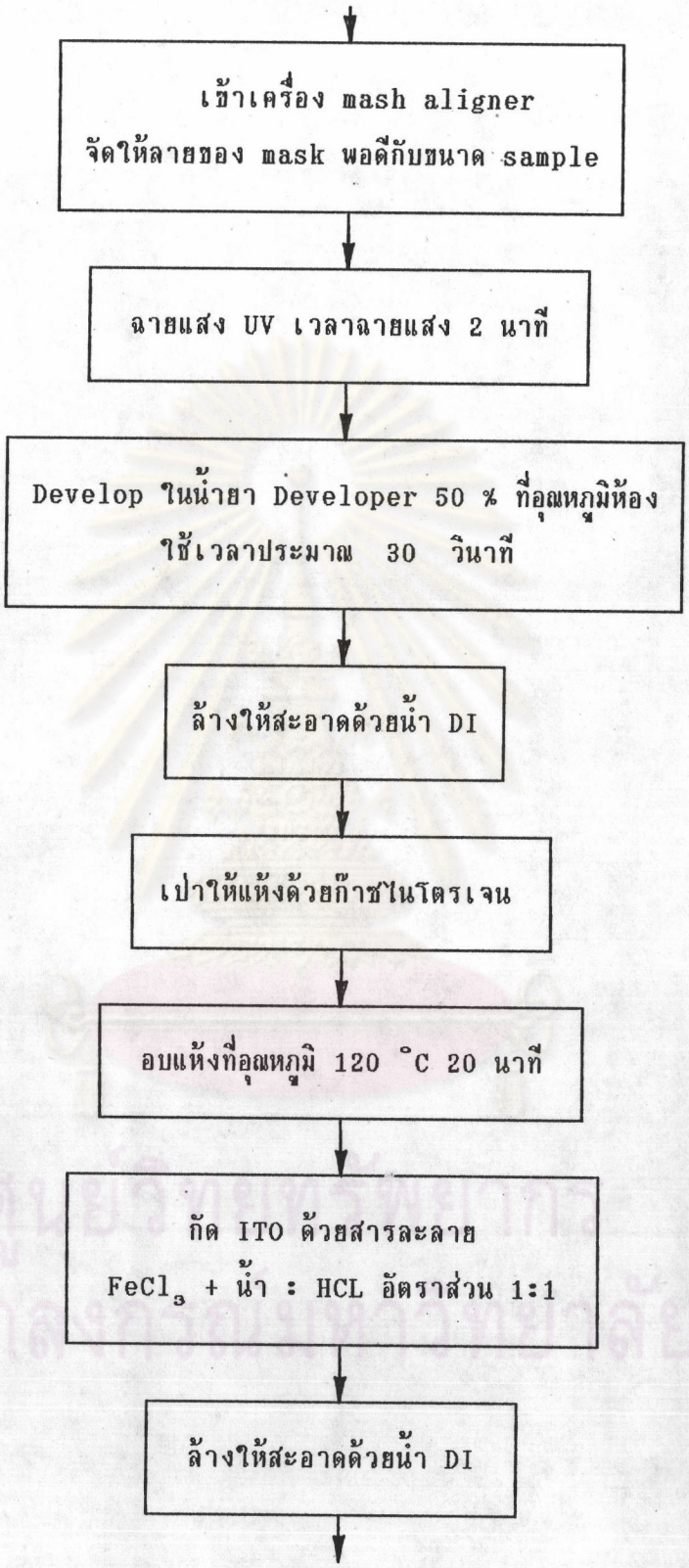
- Tricholoethylene	Ultrasound	20	นาที
- Acetone	Ultrasound	20	นาที
- Methyl alcohol	Ultrasound	20	นาที

หลังจากล้างแผ่นกระจกที่เคลือบ ITO แล้ว นำไปสร้างรูปแบบของ ITO ตามที่เราต้องการ ด้วยเทคนิค Photolithography เครื่องที่ใช้จะประกอบด้วย spinner เตาอบควบคุมอุณหภูมิ mask aligner ตัวกำเนิดแสง ultraviolet และ mask เป็นต้น

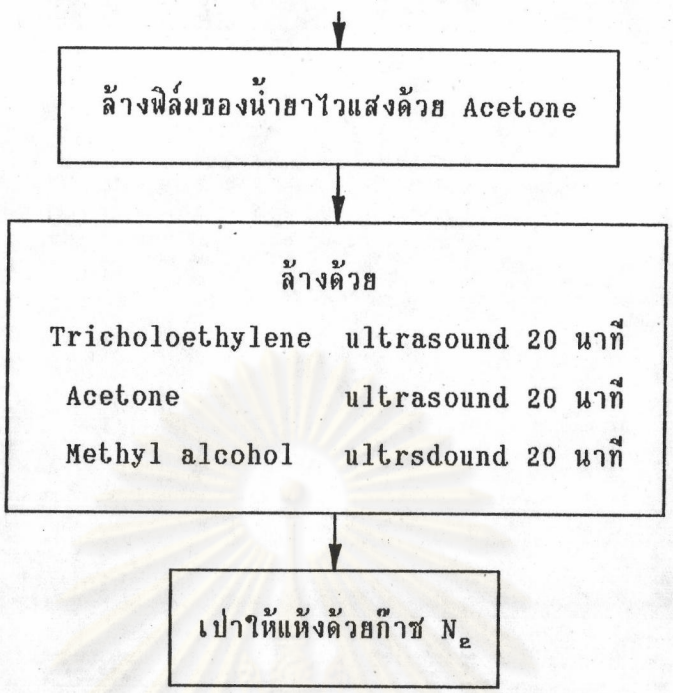
ขั้นตอนในการสร้างรูปแบบของ ITO ด้วยเทคนิค photolithography แสดงในรูปที่ 4.3



ต่อ

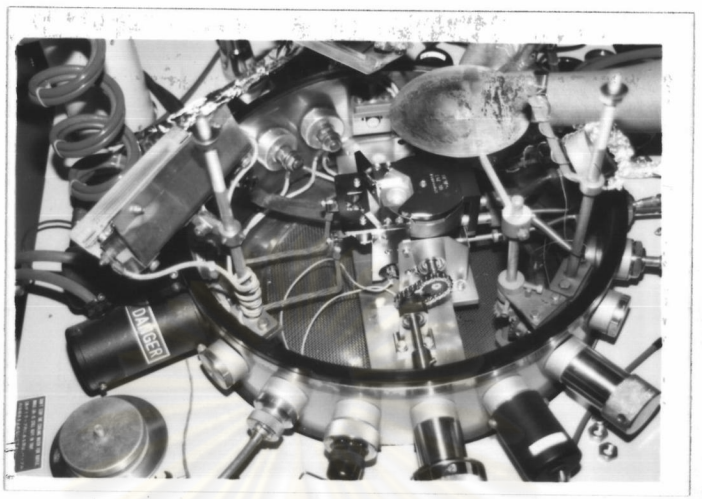

เข้าเครื่อง mash aligner
จัดให้ลายของ mask พอดีกับขนาด sample
ฉายแสง UV เวลาฉายแสง 2 นาที
Develop ในน้ำยา Developer 50 % ที่อุณหภูมิห้อง
ใช้เวลาประมาณ 30 วินาที
ล้างให้สะอาดด้วยน้ำ DI
เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
อบแห้งที่อุณหภูมิ 120 °C 20 นาที
กัด ITO ด้วยสารละลาย
FeCl3 + น้ำ : HCL อัตราส่วน 1:1
ล้างให้สะอาดด้วยน้ำ DI

ต่อ

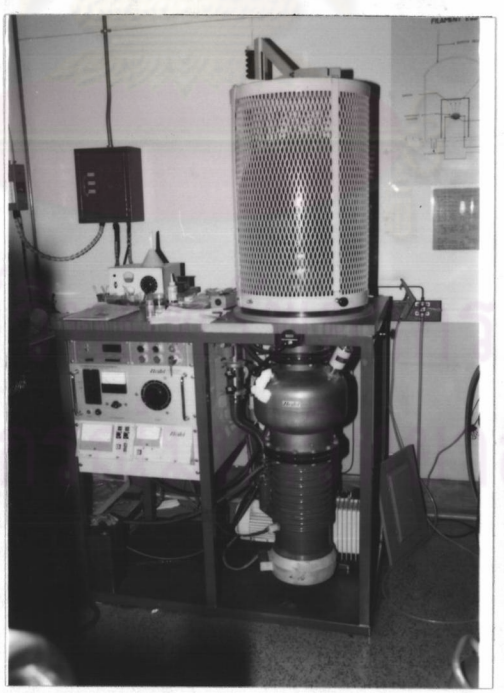


รูปที่ 4.3 ขั้นตอนในการสร้างรูปแบบของ ITO

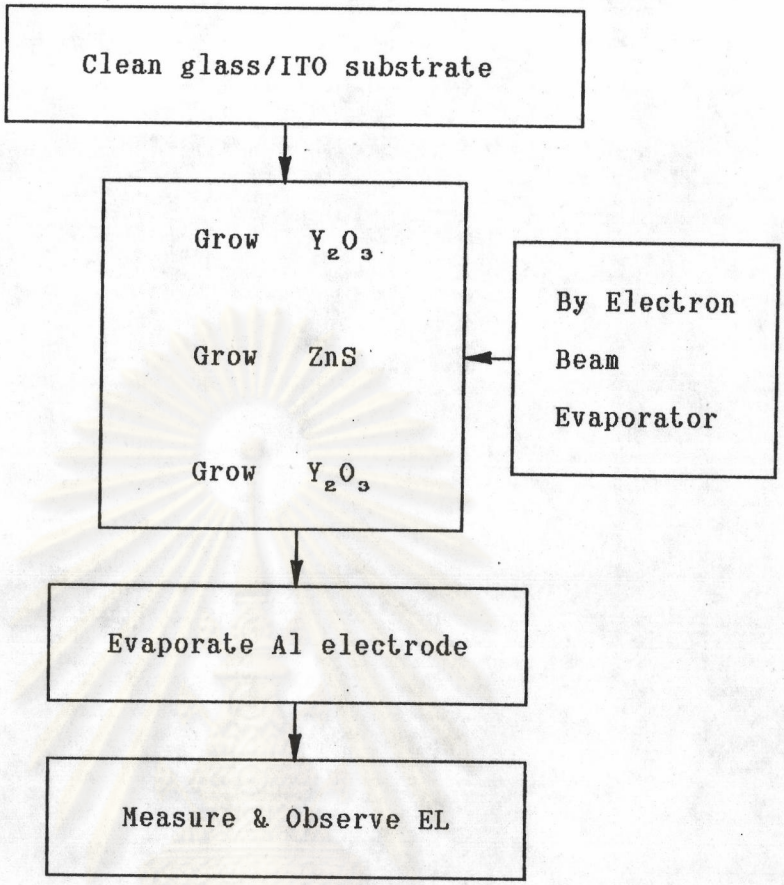
นำเม็ด Pellet ของ Y_2O_3 และ ZnS ที่ผ่านการอบ (annealing) แล้วมาวางในเบ้าแบบแยกเบ้า (multi-crucible) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ต่อจากนั้นติดตั้งแผ่นฐานกระจกที่เคลือบ ITO และจัดรูป pattern ตามที่เราต้องการแล้วนำแผ่นฐานไปติดกับที่ยึดแผ่นฐาน (substrate holder) ในระบบ EB โดยให้แผ่นฐานอยู่เหนือเบ้าประมาณ 25-30 cm. แล้วดูดอากาศภายใน chamber ให้เป็นสูญญากาศที่ค่าประมาณ 10^{-6} torr. ตั้งค่าอุณหภูมิแผ่นฐานตามต้องการ เมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งไว้แล้ว ใช้ลำ e-beam ยิงให้เม็ด pellet ระเหยกลายเป็นไอไปเคลือบแผ่นฐาน ชนิดของ pellet เลือกได้โดยการหมุน crucible ตามที่ต้องการให้ไปรับลำ e-beam หลังจากเคลือบชั้น Y_2O_3 และ ZnS ตามโครงสร้างของ EL แล้วจึงนำมาเคลือบขั้วอะลูมิเนียม เพื่อทำเป็นขั้วไฟฟ้าด้านหลัง ด้วยเครื่อง filament evaporator ยี่ห้อ alcatel ตามรูปที่ 4.5 ซึ่งตารางที่ 4.2 จะสรุปเงื่อนไขการประดิษฐ์ฟิล์ม Y_2O_3 และ ZnS ส่วนรูปที่ 4.6 จะแสดงถึงขั้นตอนการประดิษฐ์ EL เมื่อกระบวนการประดิษฐ์ EL ได้เสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงนำไปทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของ EL ต่อไป



รูปที่ 4.4 ระบบ multi crucible ที่วางเม็ด pellet ในระบบ EB



รูปที่ 4.5 ระบบ filament evaporator ที่ใช้เคลือบ Al



รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการประดิษฐ์ EL

ตารางที่ 4.2 เงื่อนไขการประดิษฐ์ฟิล์ม Y_2O_3 และ ZnS โดยวิธี EB

Parameter	Y_2O_3	ZnS
Vacuum	$<7*10^{-6}$ torr.	$<7*10^{-6}$ torr.
Substrate temperature	100 - 200 °C	200 °C
Growth rate	5 - 10 °A/sec	3 - 5 °A/sec
Thickness	3000 - 7000 °A	3000 - 9000 °A
Rotation speed	5 rpm.	5 rpm.

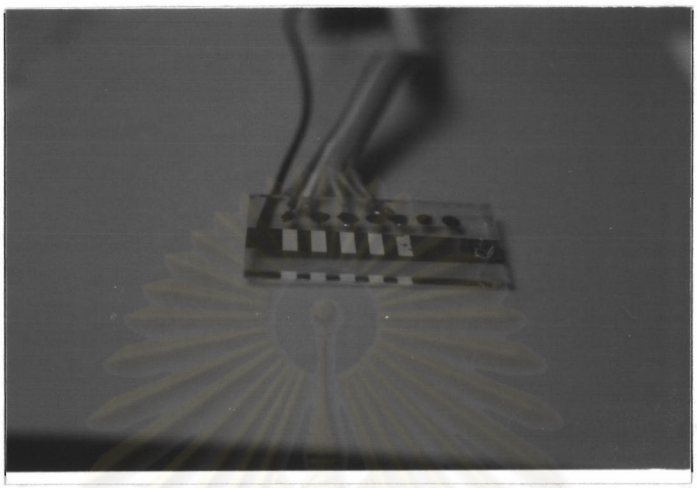
ผลการผลิต EL สีต่าง ๆ

ดิสเพลย์แบบแบนชนิด EL ที่ผลิตได้จะเปล่งแสง เมื่อมีสนามไฟฟ้ากระแสสลับป้อนเข้ามาผ่านขั้ว ITO และ Al มีค่าประมาณ 30 - 60 V และสามารถสังเกตุการเปล่งแสงได้โดยผ่านแผ่นกระจกด้านหน้า สีของการเปล่งแสงนั้นพบว่า สามารถเปลี่ยนได้ตามชนิดของ color center ที่ผสมอยู่ใน ZnS ในงานวิจัยนี้ได้ประสบความสำเร็จในการผลิต EL ที่ให้สีตั้งแต่สีแดง สีเหลือง สีเขียว จนถึงสีน้ำเงิน ด้วยการโด๊ปด้วย color center ต่าง ๆ ดังนี้

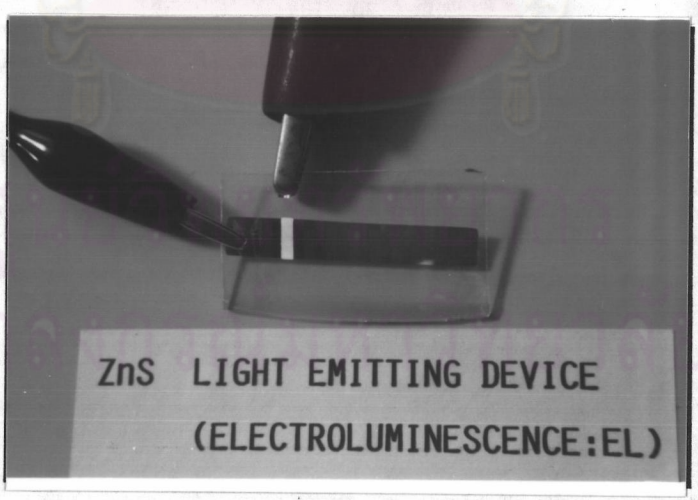
สีแดง	ZnS	โด๊ปด้วย	SmF_3
สีเหลือง	ZnS	โด๊ปด้วย	Mn
สีเขียว	ZnS	โด๊ปด้วย	TbF_3
สีน้ำเงิน	ZnS	โด๊ปด้วย	TmF_3

รูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างภาพการเปล่งแสงของ EL ที่ให้สีต่าง ๆ ที่ผลิตได้ในงานวิจัย a) สีแดง b) สีเหลือง c) สีเขียว และ d) สีน้ำเงิน

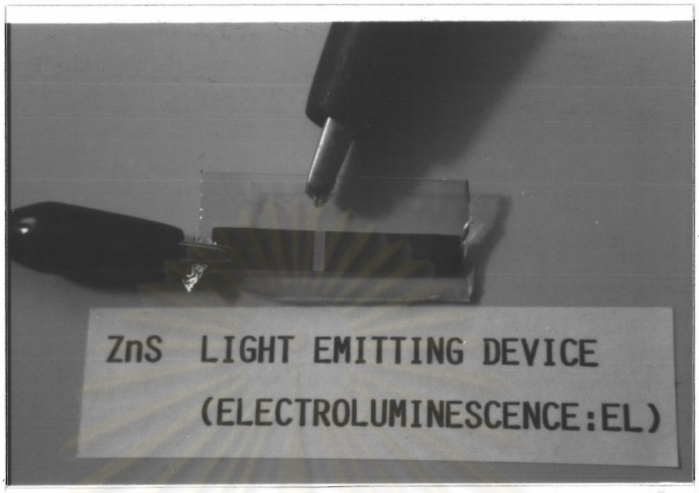
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



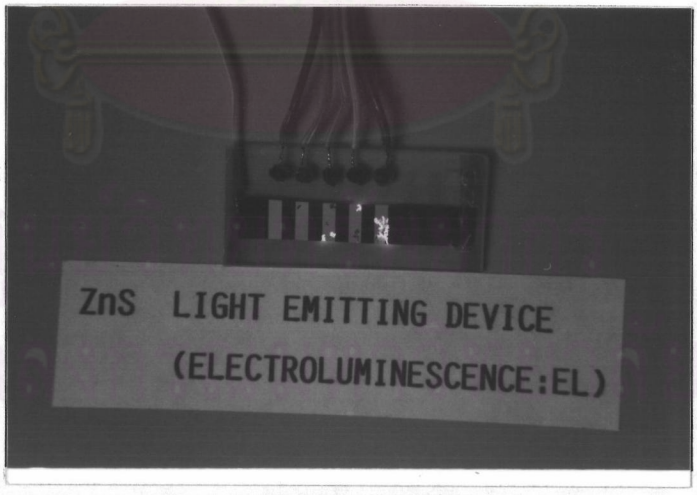
a) ภาพการเปล่งแสงสีแดง ZnS โด๊ปด้วย SmF_3



b) ภาพการเปล่งแสงสีเหลือง ZnS โด๊ปด้วย Mn



c) ภาพการเปล่งแสงสีเขียว ZnS โด๊ปด้วย TbF_3

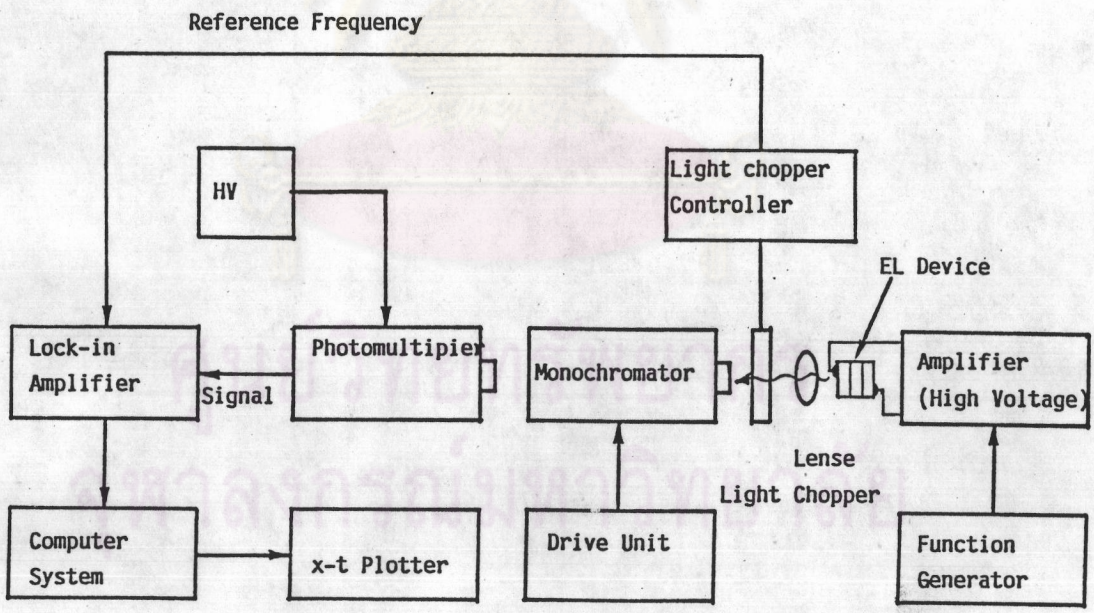


รูปที่ 4.7 ภาพการเปล่งแสงของ EL ที่ให้สีต่าง ๆ กัน a) สีแดง ZnS:SmF_3 b) สีเหลือง ZnS:Mn c) สีเขียว ZnS:TbF_3 และ d) สีน้ำเงิน

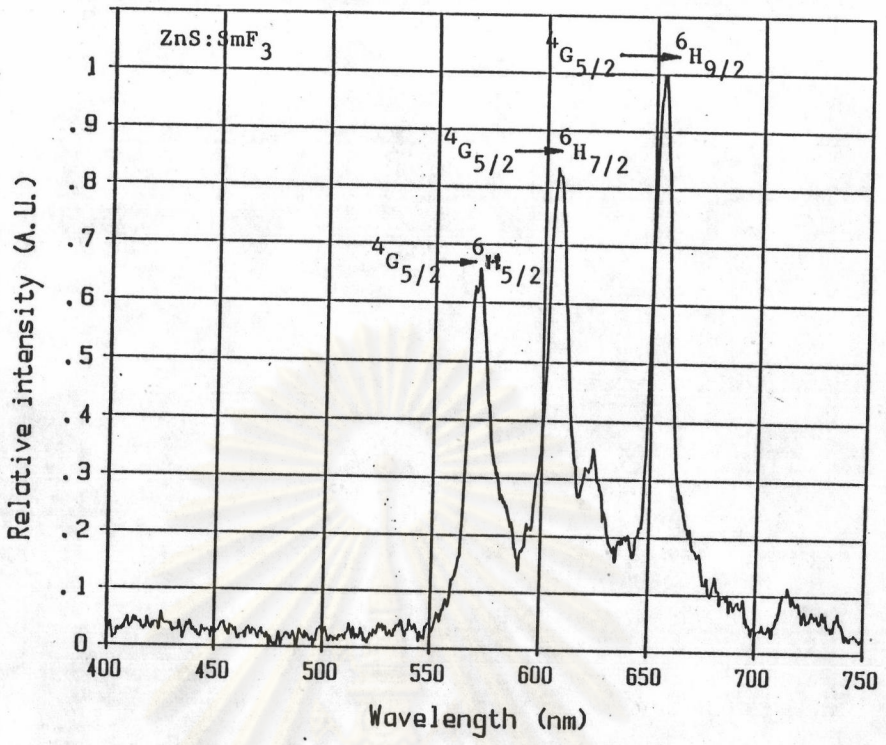
การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของ EL

1. การวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงของ EL

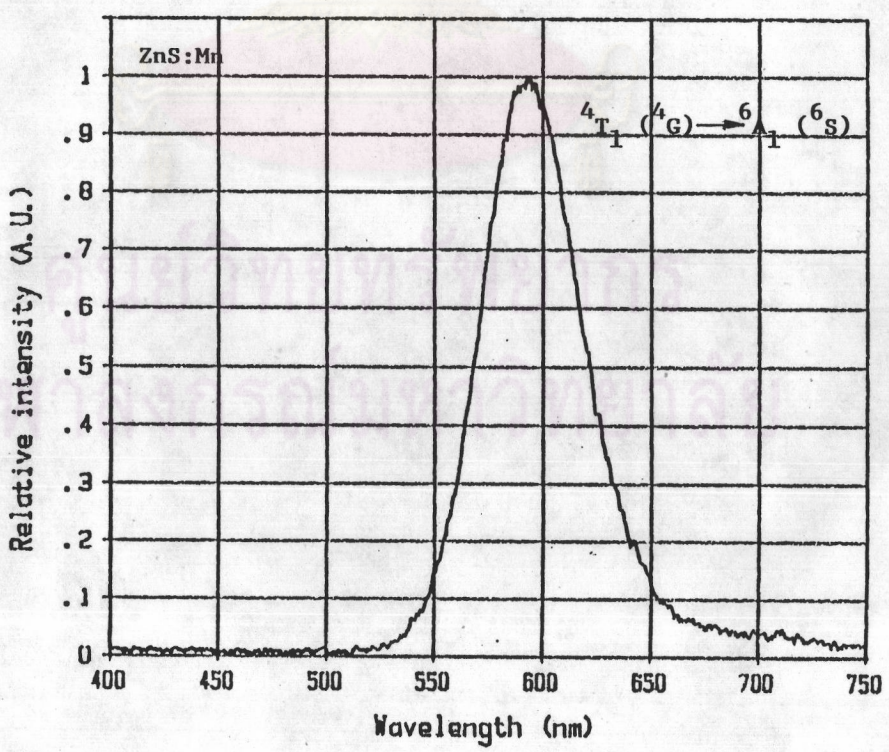
ได้มีการวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงของ EL ที่ผลิตได้ โดยใช้เทคนิคของ monochromator และ lock-in amplifier ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ในงานวิจัยนี้ได้ประสบความสำเร็จในการประดิษฐ์ EL ที่เปล่งแสง สีแดง สีเหลือง สีเขียว และ สีน้ำเงิน ด้วยการใช้ SmF_3 Mn TbF_3 และ TmF_3 เป็น color center ตามลำดับ ลักษณะสเปกตรัมการเปล่งแสงแสดงในรูปที่ 4.9 (a)-(d) ตามลำดับ จากค่าความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่ peak ค่าต่าง ๆ ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งระดับพลังงานของ color center ใน ZnS (12) ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (a)-(b)



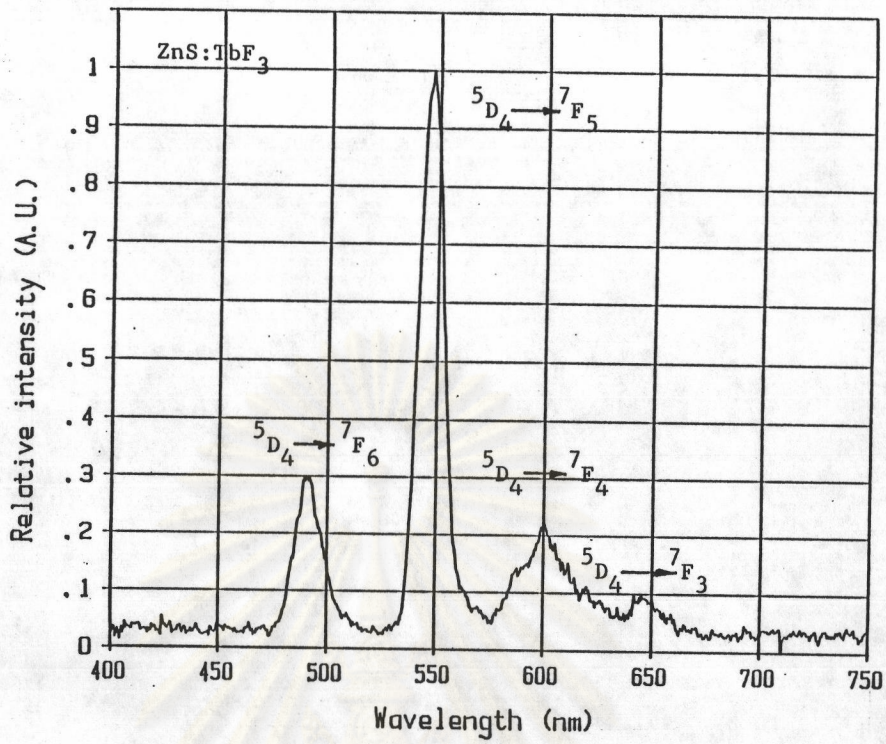
รูปที่ 4.8 ระบบการวัด spectrum การเปล่งแสงของ EL



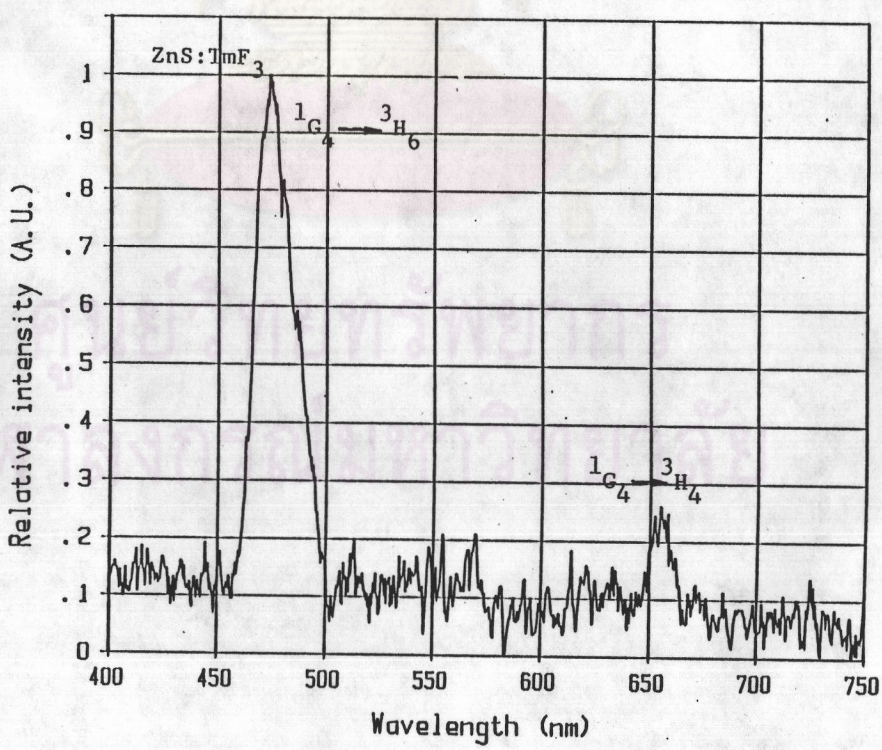
a) Spectrum การเปล่งแสงสีแดง $ZnS:SmF_3$



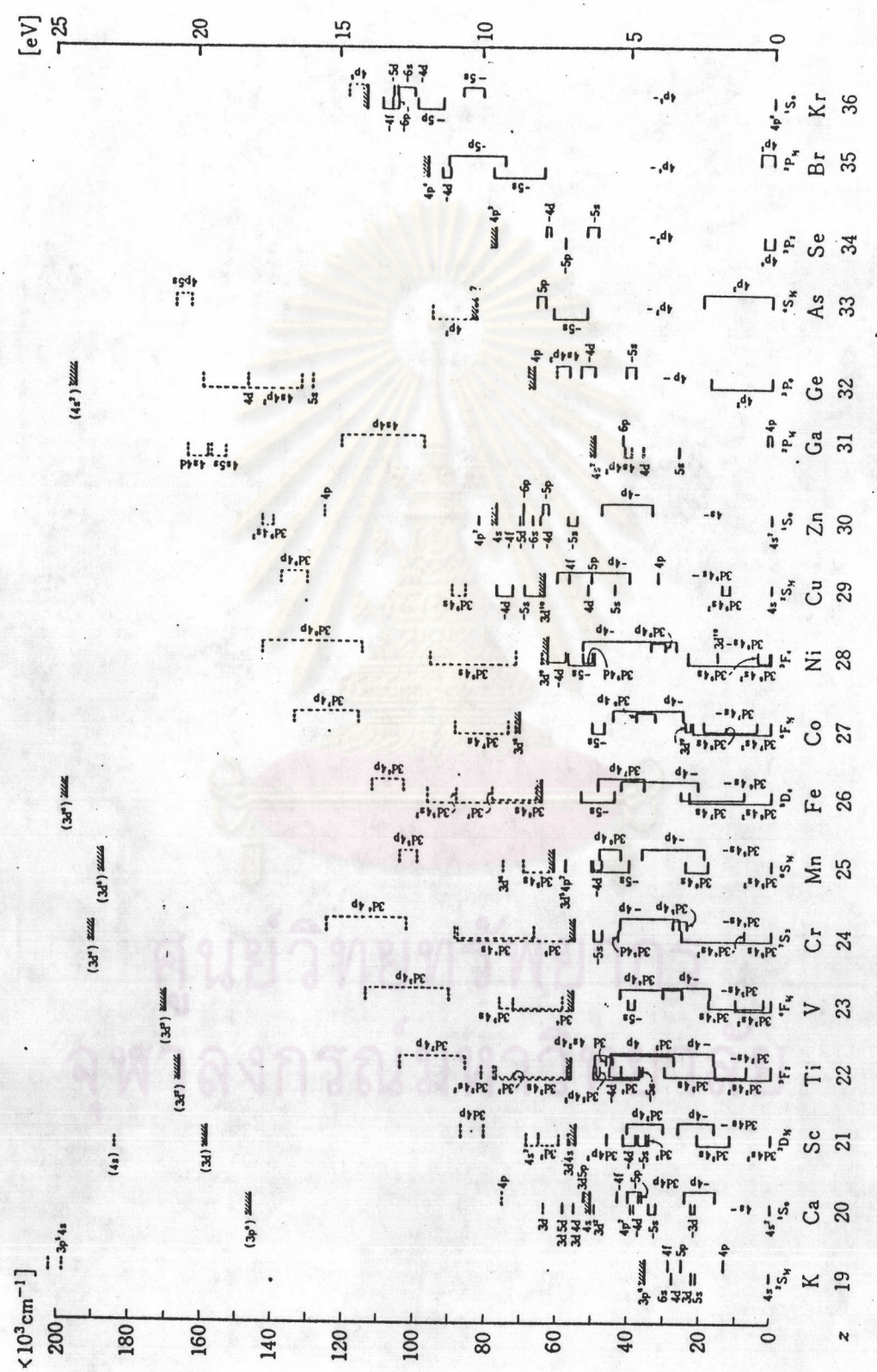
b) Spectrum การเปล่งแสงสีเหลือง ZnS:Mn



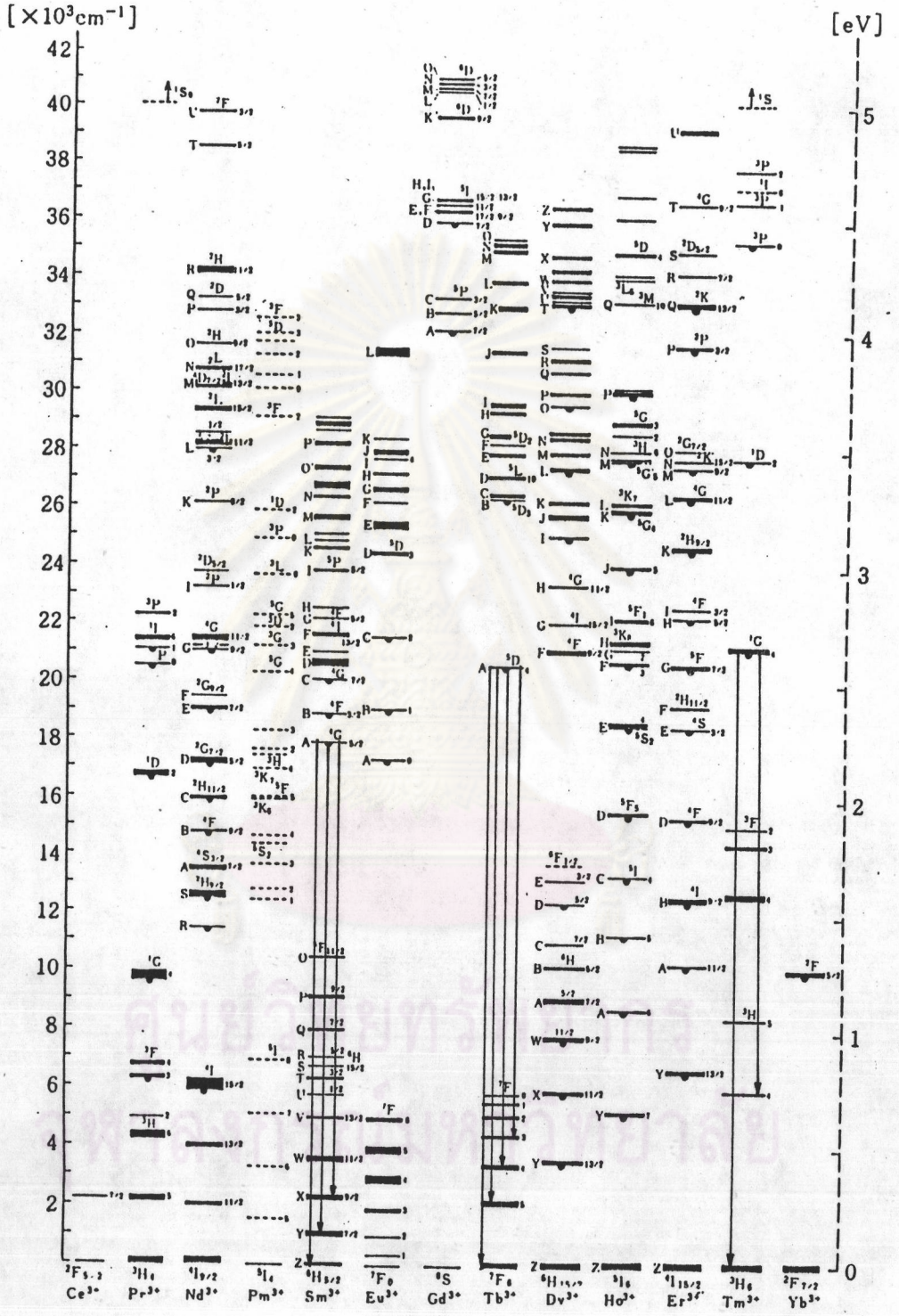
c) Spectrum การเปล่งแสงสีเขียว $ZnS:TbF_3$



รูปที่ 4.9 spectrum การเปล่งแสงของ EL สีต่าง ๆ
a) สีแดง b) สีเหลือง c) สีเขียว และ d) สีน้ำเงิน



a) Metal Transition Ion



รูปที่ 4.10 ระดับพลังงานของ color center ใน ZnS

a) Metal Transition Ion b) Rare Earth Fluoride Transition Ion

สเปกตรัมการเปล่งแสงของ EL ในรูปที่ 4.9 แสดงถึงลักษณะสมบัติของการ transition ของ color center ที่ถูกกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าให้มีพลังงานสูงขึ้นและตกกลับลงมายัง ground state ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

ZnS : SmF_3

ให้แสงสีแดงสเปกตรัมการเปล่งแสงของ EL สีนี้ ประกอบด้วยเส้นที่สำคัญอยู่ 3 เส้น (13) เกิดจากการ transition ระหว่าง state $^6G_{5/2}$ - $^6H_{3/2}$ (655 nm.), $^4G_{5/2}$ - $^6H_{7/2}$ (610 nm.) และ $^4G_{5/2}$ - $^6H_{5/2}$ (565 nm.)

ZnS : Mn

ให้แสงสีเหลืองมีความสว่างค่อนข้างสูงที่ผลิตได้ มีความยาวคลื่นประมาณ 580 nm. ลักษณะ spectrum ค่อนข้าง broad เมื่อเปรียบเทียบกับ EL สีอื่นทั้งนี้เนื่องจากระดับพลังงาน excitation state นั้นค่อนข้างเบลอ

ZnS : TbF_3

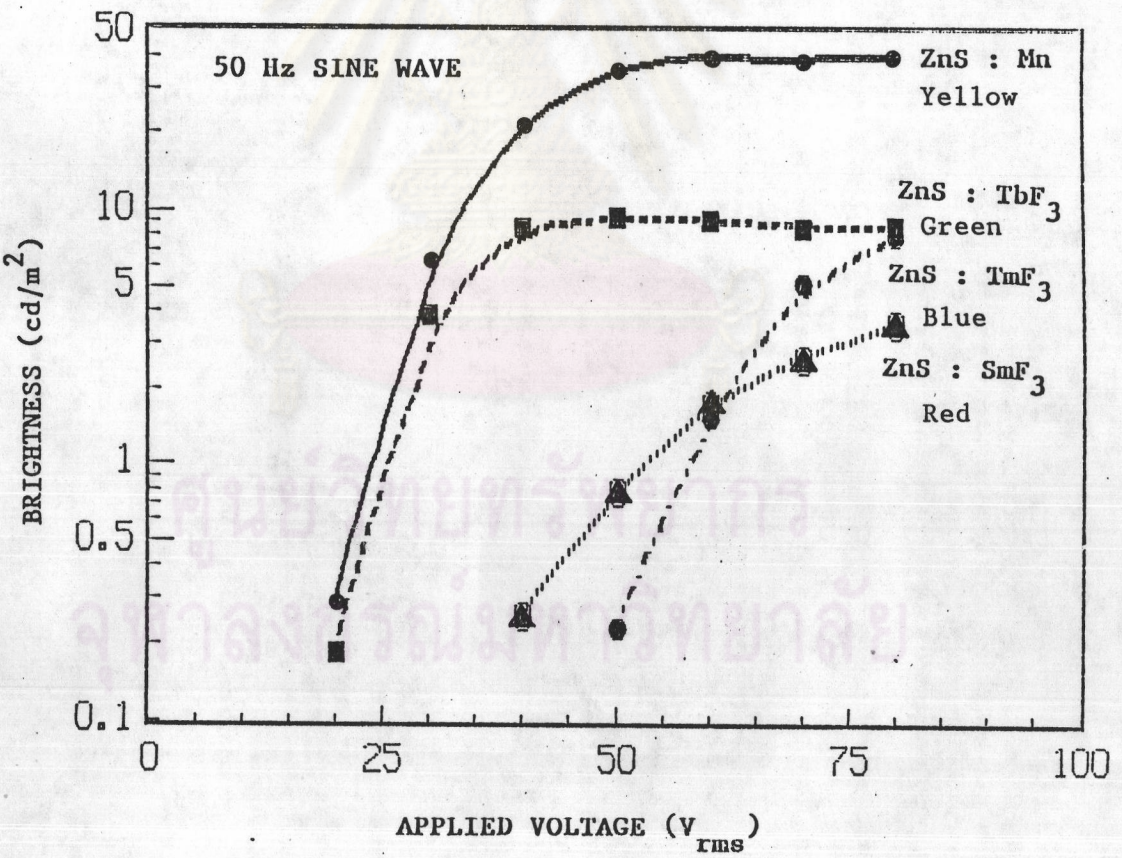
ให้แสงสีเขียวลักษณะ spectrum มีหลาย peak และ peak ที่มีความเข้มสูงสุดมีความยาวคลื่นประมาณ 550 nm. เกิดจากการ transition ระหว่าง state $^5D_4$ - $^7F_5$

ZnS : TmF_3

แสงสีน้ำเงินที่เปล่งออกมามีค่า peak อยู่ที่ 470 nm. เกิดจากการ transition ระหว่าง state $^1G_4$ - $^3H_6$ และมี peak อ่อนอยู่ที่ความยาวคลื่น 670 nm. แต่ไม่มีผลต่อการมองเห็นมากนัก

2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและความสว่างของ EL

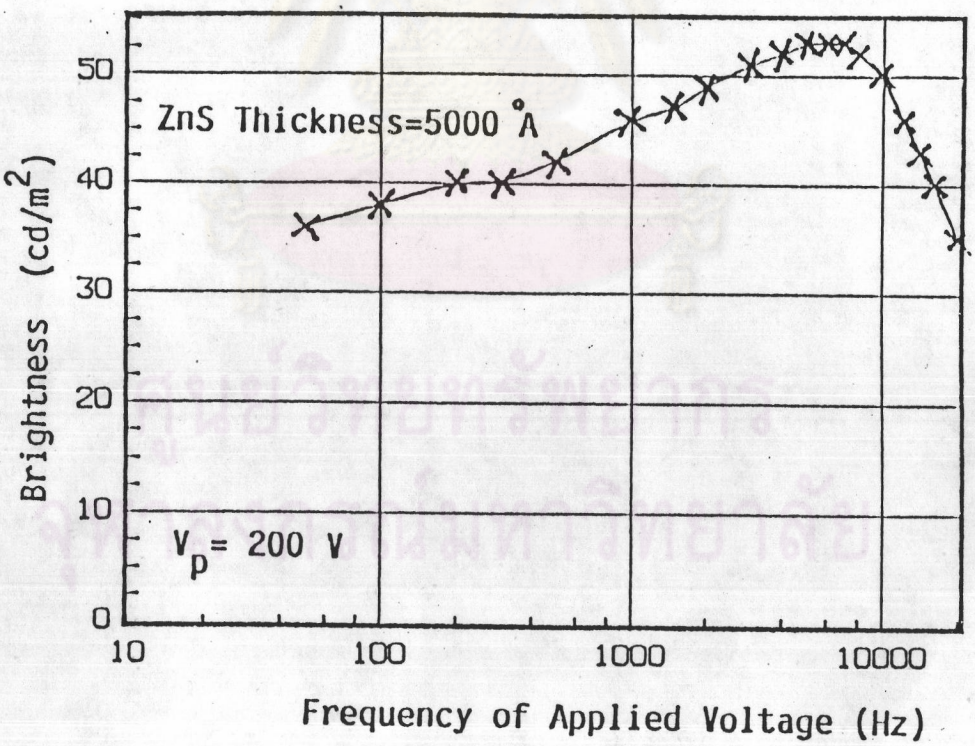
EL จะเริ่มสว่างเมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าค่า threshold เป็นที่น่าสังเกตว่าจากการทดลองพบว่า EL ที่มีโครงสร้างออกแบบในงานวิจัยนี้จะไม่เปล่งแสง ถ้าถูกป้อนด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง แต่จะเปล่งแสงเฉพาะเมื่อถูกป้อนด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น ซึ่งจะให้ผลตรงกับรายงานทั่ว ๆ ไป (9) ดังนั้นข้อมูลการวัดคุณสมบัติของ EL ในงานวิจัยนี้จึงได้จากการป้อนด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นหลัก รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V_{rms}) และความสว่างของ EL ความถี่ที่ใช้คือ คลื่นรูป sine 50 Hz พารามิเตอร์ในรูป คือ ZnS ที่โด๊ปด้วย color center ต่าง ๆ จากรูปพบว่าถ้า V สูงเกินค่า ๆ หนึ่งจะทำให้ EL เริ่มสว่างและความสว่างจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อ V มีค่าสูงมาก ๆ ความสว่างก็จะเริ่มอิ่มตัว



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและความสว่างของ EL

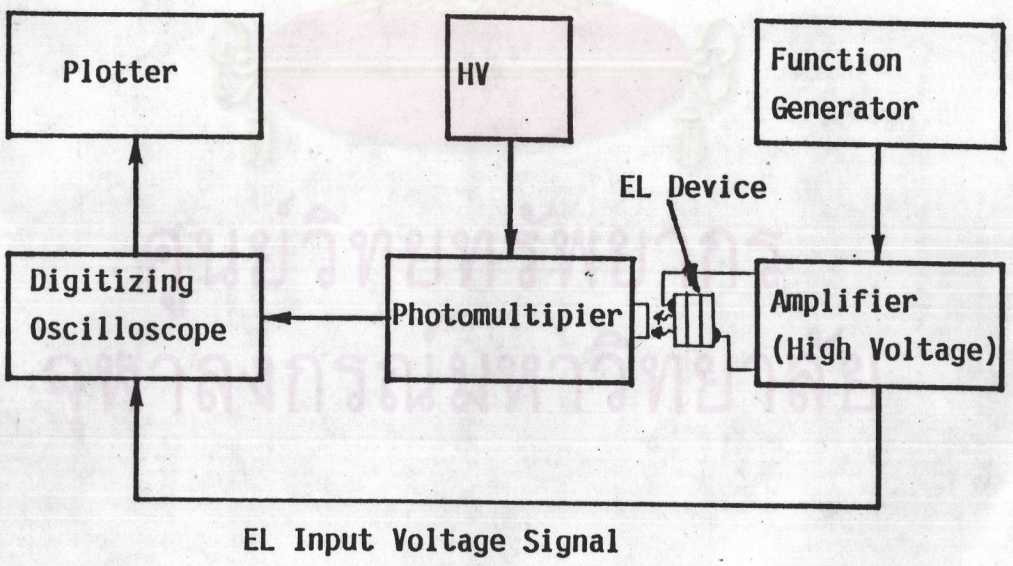
3. การขึ้นกับความถี่ และ Time Resolution ของการเปล่งแสงของ EL

การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของ EL คือ การสังเกตความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ของสนามไฟฟ้าและความสว่าง ตลอดจนการสังเกตลักษณะของ waveform ของ time resolution ของการเปล่งแสงของ EL (2) เพราะในทางปฏิบัติเมื่อนำเอา EL ไปใช้งานเป็นดิสเพลย์ของโทรทัศน์ EL จะต้องมีความไวต่อการ scanning ภาพที่ความถี่สูง ๆ เช่น 1-5 KHz ได้ รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและความถี่ของสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ตัว EL (รูปสี่เหลี่ยม) จากรูปนี้พบว่า EL จะให้ความสว่างสูงสุดที่ความถี่ระหว่าง 2-10 KHz ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการพอดี ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การนำ EL ไปใช้เป็นจอภาพโทรทัศน์ที่มีการ scanning ด้วยความถี่สูงระดับ Kilohertz จึงไม่มีปัญหาแต่อย่างใด

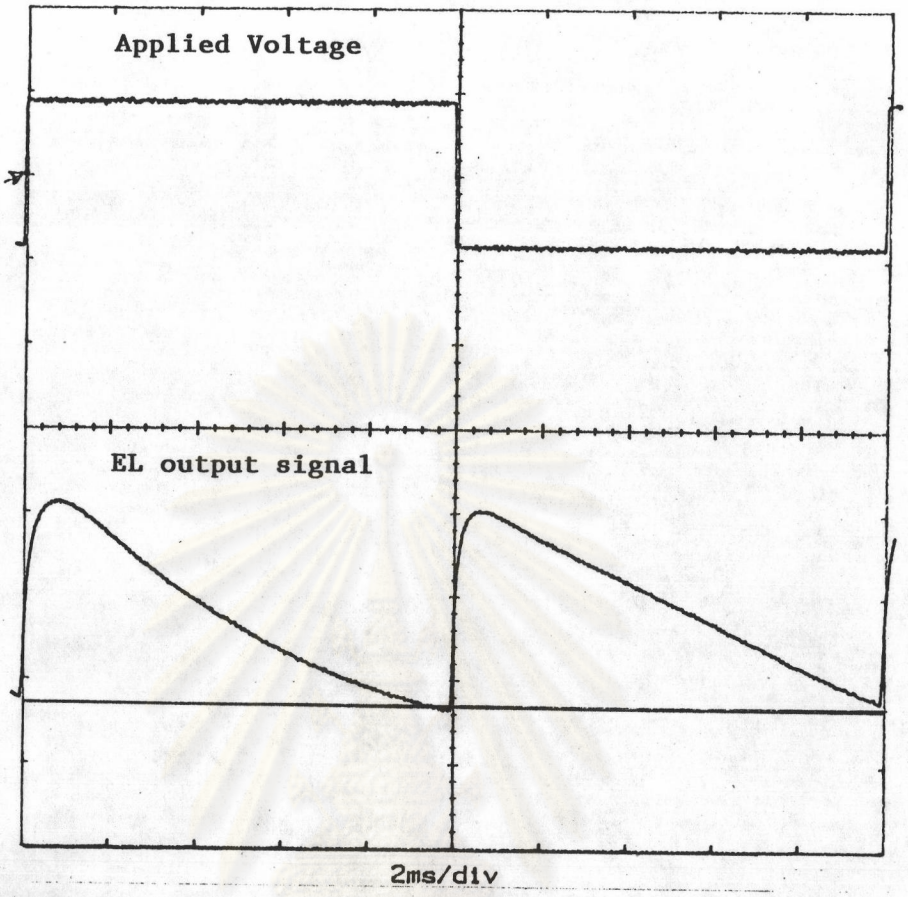


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและความถี่ที่ป้อนให้กับ EL สีเหลือง

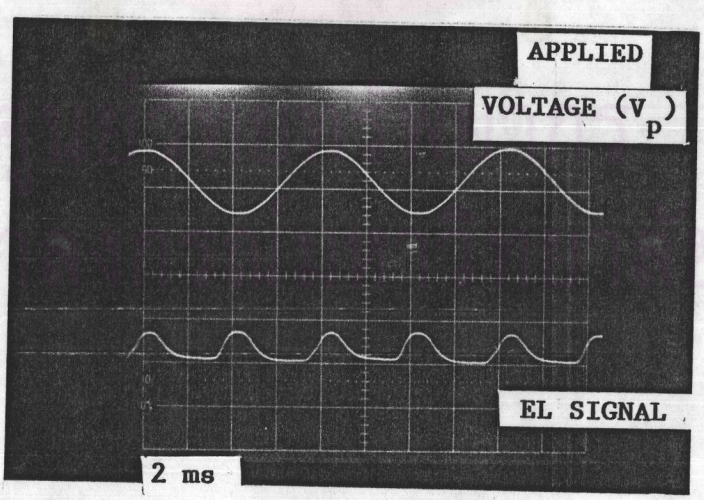
ผลตอบสนองความเร็วต่อสนามไฟฟ้าที่มากระตุ้น EL เป็น parameter ที่สำคัยอีกตัวหนึ่งของการนำ EL ไปใช้งานเป็นดิสเพลย์ รูปที่ 4.13 แสดงวิธีการวัดผลตอบสนองความเร็วต่อสนามไฟฟ้าที่มากระตุ้น EL ให้เปล่งแสง รูปที่ 4.14 a) แสดงลักษณะสมบัติการเปล่งแสงของ EL สีเหลือง เมื่อมีสนามไฟฟ้าแบบคลื่นสี่เหลี่ยมมากระตุ้น ในรูปนี้ใช้ความถี่ 50 Hz V_{p-p} = 200 V จากผลการวัดพบว่า EL จะเปล่งแสงทันที เมื่อสนามไฟฟ้าถูกกลับขั้ว ช่วงเวลาที่สนามไฟฟ้ามีค่าคงที่ แสง output จะลดลงอย่าง exponential และแสง output จะเพิ่มขึ้นอีกเฉพาะเมื่อสนามไฟฟ้าถูกกลับขั้ว จากรูปนี้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าการกระตุ้น EL นั้นควรใช้สนามไฟฟ้ากระแสสลับ ไม่ใช้สนามไฟฟ้ากระแสตรง รูปที่ 4.14 b) แสดงผลเมื่อเปรียบเทียบผลการใช้สนามไฟฟ้ารูปคลื่น sine มากระตุ้น EL จากรูปนี้เป็นที่น่าสังเกตว่าแสง output จะเกิดขึ้นทุกครั้ง เมื่อสนามไฟฟ้า input เปลี่ยนขั้วเหมือนกับรูป a) แต่จะแตกต่างกันตรงที่แสง output จะเกิดขึ้นได้นั้น สนามไฟฟ้าคลื่น sine จะต้องมีค่าสูงเกินค่า threshold voltage ค่าหนึ่ง ดังนั้นถ้าต้องการความเข้มแสง output โดยรวมที่มีค่าสูงสุดก็ควรใช้สนามไฟฟ้าคลื่นสี่เหลี่ยมจะเหมาะสมกว่า



รูปที่ 4.13 วิธีการวัด time resolution การเปล่งแสงของ EL



a) รูปคลื่นสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.14 ผลการวัด time resolution การเปล่งแสงของ EL สีเหลือง
a) คลื่นรูปสี่เหลี่ยม และ b) รูปคลื่นซายน์ (14)

สรุป

ประสบความสำเร็จในการผลิต EL ซึ่งมีโครงสร้าง glass / ITO / Y_2O_3 / ZnS / Y_2O_3 / Al และสามารถเปลี่ยนสีของการเปล่งแสงได้ด้วยการเปลี่ยนชนิดของ color center ในฟิล์มชั้น ZnS กล่าวคือ

สีแดงใช้ ZnS โด๊ปด้วย SmF_3
สีเหลืองใช้ ZnS โด๊ปด้วย Mn
สีเขียวใช้ ZnS โด๊ปด้วย TbF_3
สีน้ำเงินใช้ ZnS โด๊ปด้วย TmF_3

จากผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของ ความถี่ของสนามไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้น EL ที่ให้แสง output สูงสุด พบว่า ความถี่ของสนามไฟฟ้าควรมีค่าอยู่ระหว่าง 4 - 6 KHz.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย