

การประยุกต์ใช้ฟิล์มบางซิลิกอนไดออกไซด์เป็นชั้นฉนวนในดิสเพลย์ชนิด EL

APPLICATION OF THIN FILM SiO_2 AS INSULATOR LAYER IN EL DISPLAY

ดุษิต เครื่องงาม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพมหานคร

DR. DUSIT KRUANGAM

*Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Bangkok, Thailand*

วิโรจน์ บุญโกสุมภ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพมหานคร

WIROTE BOONKOSUM

*Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Bangkok, Thailand*

บทคัดย่อ

ได้มีการทดลองประดิษฐ์ดิสเพลย์แบบฟิล์มบางชนิด Electroluminescence (EL) โดยมีโครงสร้าง แผ่นกระจก/ITO/ SiO_2 / ZnS / SiO_2 /Al ชั้น SiO_2 ทำหน้าที่เป็น blocking layer ชั้น ZnS เป็นชั้นเปล่งแสง เนื่องจาก SiO_2 เป็นวัสดุราคาถูกและมีอยู่ทั่วไป ดังนั้นจึงคาดว่าจะการใช้ SiO_2 แทน Y_2O_3 จะช่วยทำให้ต้นทุนของ EL ถูกลง EL ที่ผลิตได้มีศักยภาพในการนำไปประยุกต์เป็นจอโทรทัศน์แบบแบนที่น้ำหนักเบาราคาถูก แขนงดูแบบกรอบรูปที่แขวนฝาผนังได้

ABSTRACT

An effort has been done on the fabrication of thin film Electroluminescence Display (EL). The EL has a structure of glass/ITO/ SiO_2 / ZnS / SiO_2 /Al. The EL emits light when ac voltage is applied through ITO and Al electrodes. SiO_2 is applied as a blocking layer in EL for the first time. It is expected the EL having SiO_2 as the blocking layer will be cheaper than the EL having conventional Y_2O_3 blocking layer.

บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าปัจจุบันเป็นยุคของสารสนเทศ กล่าวคือการสื่อสารข้อมูลเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่งต่อวงการ เศรษฐกิจ การเมือง การสังคม และอุตสาหกรรม การสื่อสารข้อมูลในลักษณะที่เป็นภาพอย่างเช่นโทร-

ทัศน์นับเป็นวิธีที่รวดเร็วได้ข้อมูลมากมายและเข้าใจง่าย สิ่งประดิษฐ์ที่นำมาใช้แสดงผลให้เห็นภาพที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้แก่ CRT, LCD แต่ทั้ง CRT และ LCD ต่างก็มีข้อดีและข้อเสีย ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบ DISPLAY ชนิดต่าง ๆ

CRT		LCD		EL	
ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
- ภาพสว่าง - ได้ภาพหลายสีตามต้องการ	- ใช้แรงดันไฟสูง - น้ำหนักมาก - มีความลึก - ใช้หลอดสูญญากาศอันตรายเป็นการระเบิด	- แบนเบา - ราคาถูก - ใช้แรงดันไฟต่ำ	- ต้องมี back light - Contrast ไม่ดี - ต้องใช้ filter - ทำเป็นพื้นที่ใหญ่ยาก	- แบนเบา - ราคาถูก - ใช้แรงดันไฟไม่สูง - ทำเป็นพื้นที่ใหญ่ได้ง่าย	- ความสว่างยังไม่สูง

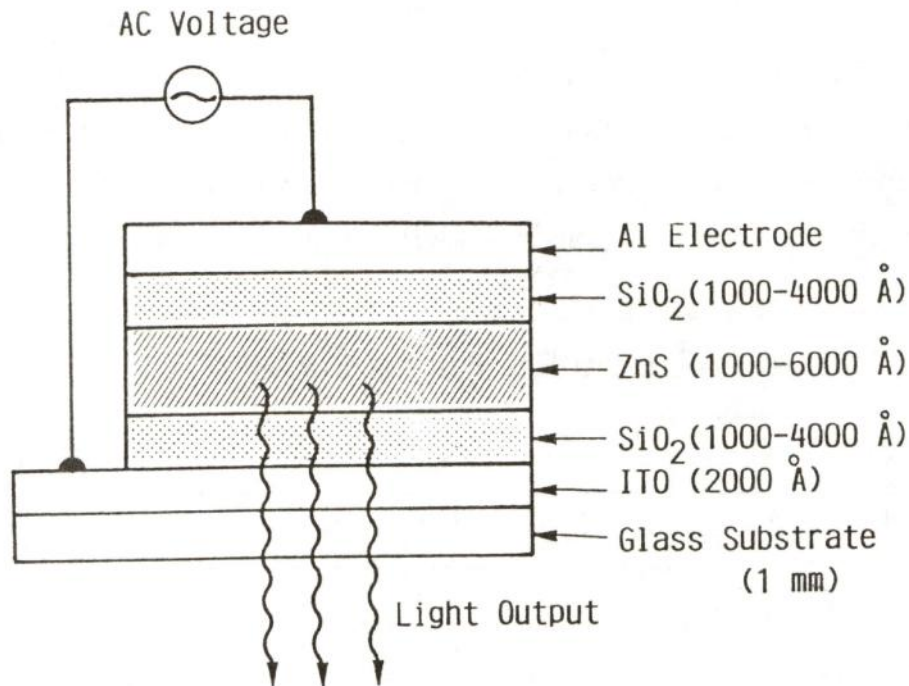
ยิ่งไปกว่านั้นความต้องการใช้จอภาพแสดงผลที่มีลักษณะแบนบางเบาขึ้นวันก็จะเริ่มมีมากขึ้น เช่น ใช้เป็นจอภาพคอมพิวเตอร์แบบ Lab Top, ใช้เป็นจอภาพแบนแวนที่ฝามั่งได้ใช้เป็นจอภาพในยานพาหนะรถยนต์ รถไฟ เครื่องบิน จรวดซึ่งทนต่อการกระเทือนและเบา ความต้องการเหล่านี้ทำให้มีความจำเป็นต้องพัฒนาจอภาพแบบแบนให้สอดคล้องกับความต้องการเหล่านี้ คณะผู้วิจัยได้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาจอภาพแบบแบนชนิด Electroluminescence (EL) จากวัสดุ ZnS^1 ซึ่งมีข้อดีต่าง ๆ ขดเขยข้อเสียต่าง ๆ ที่มีกับ CRT และ LCD ได้

ในบทความฉบับก่อน ²⁾ คณะผู้วิจัยได้ออกแบบให้ EL มีโครงสร้าง แผ่นกระจก/ITO/ Y_2

$\text{O}_3/\text{ZnS}/\text{Y}_2\text{O}_3/\text{Al}$ โดยชั้นฉนวน Y_2O_3 เป็น blocking layer และ ZnS เป็นชั้นเปล่งแสง แต่เนื่องจาก Y_2O_3 เป็นวัสดุหายากและราคาแพงจึงได้พยายามหาวัสดุฉนวนอื่นทดแทน ในงานวิจัยนี้ได้พบว่า SiO_2 ก็เป็นฉนวนที่สามารถนำมาใช้เป็น blocking layer ใน EL ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ SiO_2 เป็นวัสดุราคาถูกและมีอยู่ทั่วไป จึงคาดว่าจะทำให้ต้นทุนการผลิต EL ถูกลงอีกระดับหนึ่ง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ได้แก่

- เพื่อศึกษาเทคโนโลยีปรับปรุงคุณภาพของ EL ให้ดียิ่งขึ้น
- เพื่อศึกษาเทคโนโลยีลดต้นทุนการผลิต EL ให้ถูกลง
- เพื่อศึกษาหาโครงสร้างที่เหมาะสมของ EL



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างสิ่งประดิษฐ์ EL

ก. โครงสร้างและหลักการทำงานของ EL

สิ่งประดิษฐ์ Display EL แบบฟิล์มบางมีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยแผ่นกระจก/ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง ITO/SiO₂/ZnS/SiO₂/Al ในงานวิจัยนี้ชั้น SiO₂ เป็นชั้นฉนวนแทน Y₂O₃ ที่เคยเสนอมาในบทความฉบับก่อน ขั้ว ITO หนา 2000 Å ชั้น SiO₂ หนาชั้นละประมาณ 1000-4000 Å ชั้น ZnS หนาประมาณ 1000-6000 Å

รูปที่ 2 แสดงลักษณะแถบพลังงานและหลักการทำงานของ EL EL นี้เปล่งแสงได้เมื่อถูกป้อนด้วยสนามไฟฟ้ากระแสสลับผ่านขั้ว ITO และ Al สนามไฟฟ้าจะช่วยกระตุ้นให้อิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ที่ gap states บริเวณ interfaces ระหว่าง SiO₂/ZnS ให้กระโดดและ tunneling เข้าสู่แถบคอนดักชันในชั้น ZnS ต่อจากนั้นอิเล็กตรอนตัวนี้จะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าให้ไปชนกับ color center ที่ได้ป้อนอยู่ใน ZnS (เช่น Mn) ทำให้ color center แตกตัวแบบ avalanche ปลดปล่อยอิเล็กตรอนให้กระโดดขึ้นไปแถบคอนดักชัน เมื่อเวลาผ่านไปอิเล็กตรอน

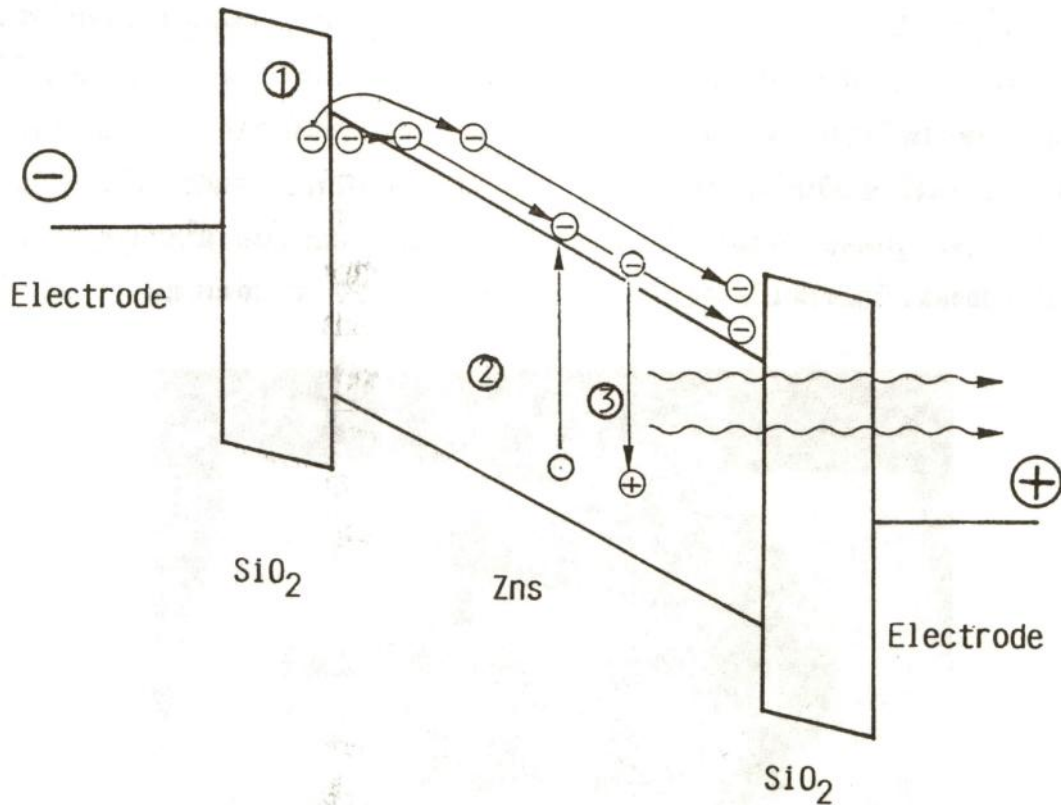
ในแถบคอนดักชันจะตกกลับลงสู่ ionized color center อีกครั้ง ทำให้อิเล็กตรอนคายพลังงานออกมาในรูปพลังงานแสง สีของแสงที่เปล่งออกมาขึ้นกับระดับพลังงานของ color center ใน ZnS ดังที่สรุปในตารางที่ 2³⁾

ลักษณะสมบัติการเปล่งแสงของ EL จะขึ้นกับความหนาของชั้น SiO₂ และ ZnS ดังจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

ข. การผลิต EL

นำกระจกที่เคลือบ ITO ไว้แล้วไปล้างให้สะอาด ตัดให้ได้ขนาด เช่น 1.5 × 3 cm² แล้วนำไปเคลือบชั้น SiO₂, ZnS, SiO₂ ตามลำดับ ด้วยวิธี Electron Beam ในสุญญากาศ จากนั้นนำไปเคลือบขั้ว Al ด้วยวิธี filament evaporation รายละเอียดการผลิต EL มีดังต่อไปนี้

1) วัสดุตั้งของ SiO₂ มีลักษณะเป็นก้อนใสสำเร็จรูป (pellet) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. หนา 10 มม. ส่วนวัสดุตั้งของ ZnS เริ่มแรกเป็นผง



รูปที่ 2 ลักษณะแถบพลังงานและหลักการทำงานของ EL

ตารางที่ 2 ตัวอย่าง Color Center ใน ZnS

Color Center	Color of Luminescence
SmF ₂ Mn TbF ₂ TmF ₂	Red Yellow Green Blue

ละเยียดเมื่อผสมผงวัสดุ color center เช่น Mn เข้าสู่ ZnS ด้วยปริมาณตามต้องการแล้ว ทำการอัดผง ZnS นี้ให้แข็งเป็นเม็ด pellet ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม. หนา 10 มม. จากนั้นทำการอบทั้ง SiO_2 และ ZnS ในเตาอบภายใต้บรรยากาศของก๊าซ Ar ที่อุณหภูมิ 400°C 20 นาที และที่ 600°C 1 ชั่วโมง

2) วางเม็ด pellet ของ SiO_2 และ ZnS ลงใน แต่ละเบ้าในระบบ EB รูปที่ 3 แสดงลักษณะของ เบ้า (crucible) รูปที่ 4 แสดงระบบ EB ทั้งหมด เมื่อติดตั้งแผ่นฐานกระจก/ITO ให้อยู่เหนือเบ้า

ประมาณ 30 ซม. แล้ว ทำการดูดภายใน chamber ให้เป็นสุญญากาศที่ 10^{-6} Torr ตั้งอุณหภูมิ แผ่นฐาน ให้ได้ค่าตามต้องการ จึงเริ่มใช้ electron beam ยิงให้เม็ด pellet ให้ระเหยเป็นไอไปเคลือบแผ่นฐานที่ละ ชั้นชนิดของ pellet เลือกได้โดยการหมุน crucible ที่ ต้องการให้ไปรับ electron beam ตารางที่ 3 สรุป เงื่อนไขการผลิตฟิล์ม SiO_2 และ ZnS ด้วยระบบ Electron Beam

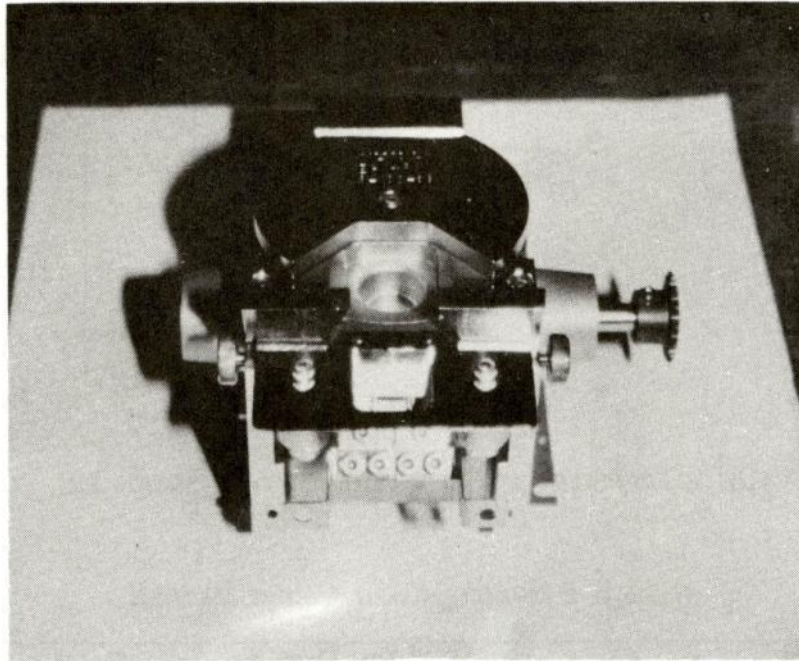
3) นำไปเคลือบ Al (หนาประมาณ $5000 \text{ \AA}$) ด้วยระบบ filarment evaporator ในสุญญากาศ

ค. ผลการประดิษฐ์ EL

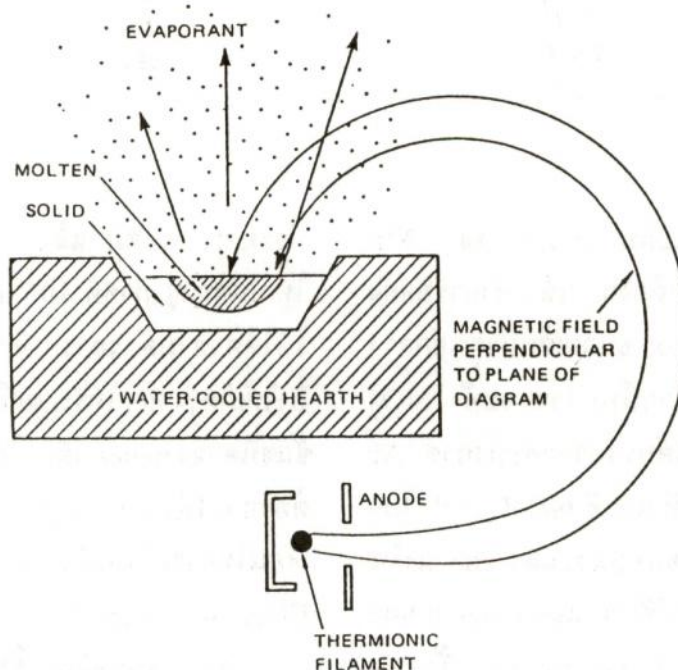
1. การวัด Waveform ของการเปล่งแสง

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ EL จะทำให้ EL เปล่งแสงในชั้นเริ่มต้นนี้ได้ทดลองใช้แรงดันไฟฟ้า 50 Hz รูปคลื่นขายน้ผ่าน Variac พบว่า EL เริ่มเปล่งแสงเมื่อแรงดันมีค่าสูงกว่า 40

V_{rms} ขึ้นไป รูปที่ 5 แสดงการจัดอุปกรณ์การวัด waveform ของการเปล่งแสงของ EL ใช้ photomultiplier เป็นตัววัดการเปล่งแสง รูปที่ 6 แสดงกราฟ waveform โดยกราฟเส้นบนเป็นสัญญาณแรงดันอินพุต และเส้นล่างเป็นสัญญาณแสงเอาต์พุตสังเกตได้ว่า EL จะเปล่งแสงเฉพาะในช่วงที่แรงดัน



รูปที่ 3 ลักษณะของเบ้า (crubible)



รูปที่ 4 ระบบ Electro Beam

ตารางที่ 3 สรุปเงื่อนไขการผลิตฟิล์ม SiO₂ และ ZnS ด้วยระบบ Electron Beam

Parameter	SiO ₂	ZnS
Vacuum	$<7 \times 10^{-6}$ torr	$<7 \times 10^{-6}$ torr
Substrate temperature	100-150 °C	200 °C
Growth rate	300 Å/min	300 Å/min
Thickness	3000-4000 Å	5000-6000 Å

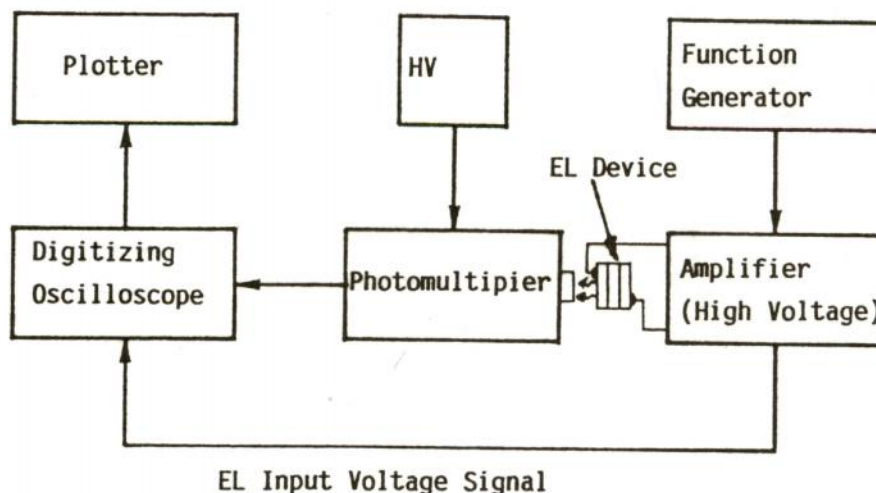
อินพุตที่มีค่าสูงเกินค่า threshold voltage ค่าหนึ่ง และ EL เปล่งแสงทั้งขณะที่แรงดันอินพุตเป็นบวก และลบ

2. การทดลองหาความหนาที่เหมาะสมของชั้น SiO₂ เพื่อให้ได้ EL ที่มีความสว่างมากที่สุด จึงได้มีการทดลองผลิต EL ที่มีความหนาของชั้น SiO₂ ที่แตกต่างกัน รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความสว่างและแรงดันไฟฟ้าอินพุต (V_{rms}) (ความถี่ 50 Hz) ชั้น ZnS หนา 5000 Å พารามิเตอร์ ในรูปคือความหนาของชั้น SiO₂ และ (ใน EL มี SiO₂ ชั้น ความหนาที่กล่าวถึงนี้เป็นความหนาของ SiO₂ แต่ละชั้น) จากรูปที่ 7 เมื่อ V มีค่าสูงเกินค่า threshold ค่าหนึ่งจะทำให้ EL เริ่มเปล่งแสง ความ หนาที่เหมาะสมที่สุดของ SiO₂ คือ ประมาณ 3000

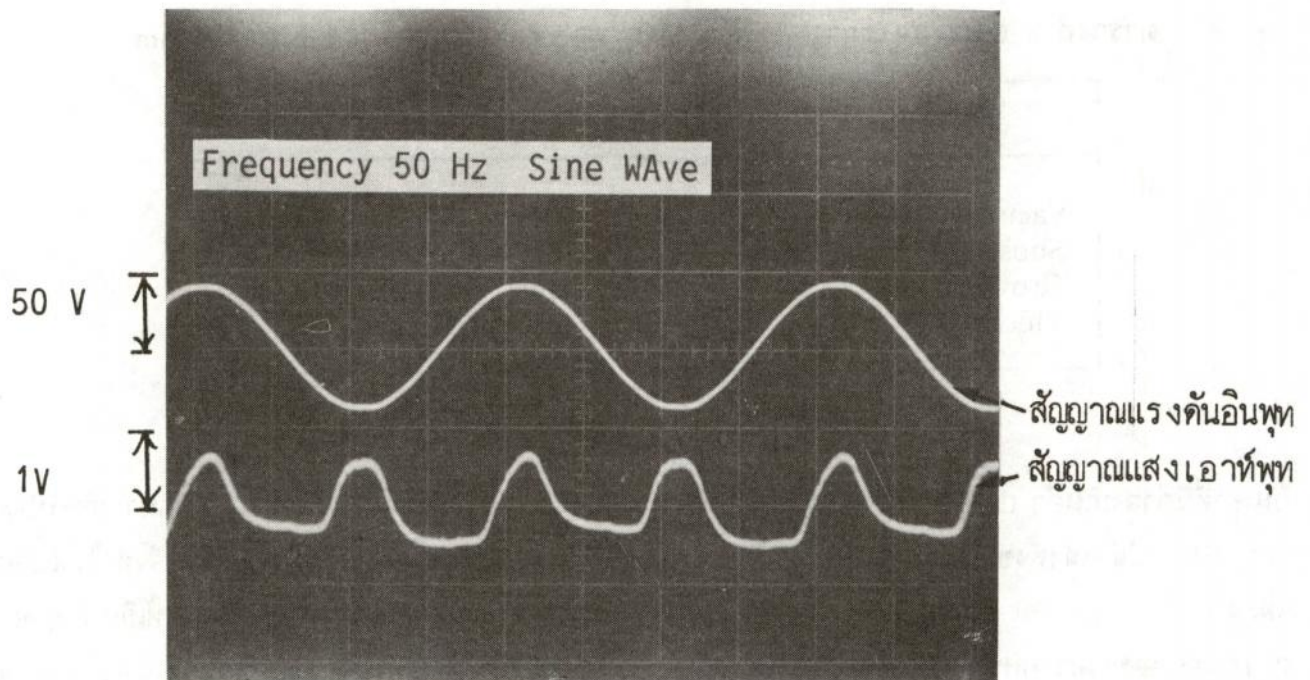
Å อาจวิเคราะห์ได้ว่า ถ้า SiO₂ หนามากเกินไปจะทำให้ความหนาแน่นของ EL มากขึ้น จึงทำให้สนาม ไฟฟ้าที่ตกคร่อม EL มีค่าน้อยลงทำให้เกิด impact ionization ได้ยาก ทำให้ EL สว่างน้อย ในทาง ตรงกันข้ามถ้า SiO₂ บางเกินไป ทำให้การกักขัง พาหะอิเล็กตรอนภายใน ZnS มีประสิทธิภาพไม่ดี กล่าวคือถ้า SiO₂ บางมาก ๆ อิเล็กตรอนจะ tunneling ผ่าน SiO₂ ไปสู่ขั้วไฟฟ้าแทนที่จะรวมตัว แบบเปล่งแสงภายในชั้น ZnS ดังนั้นความหนาที่ เหมาะสมของชั้น SiO₂ จึงมีค่า ๆ หนึ่ง

3. ผลการประดิษฐ์ EL ที่มี pattern ต่าง ๆ

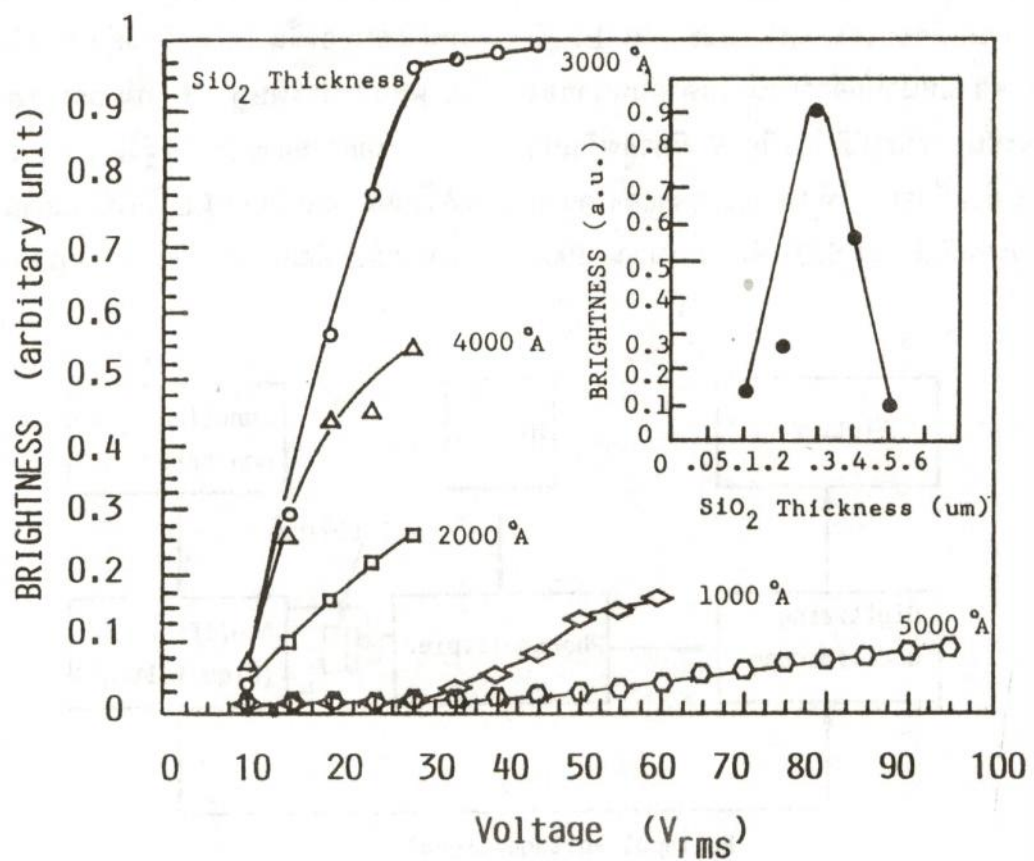
นอกจากการประดิษฐ์ให้ EL เปล่งแสงสีต่าง ๆ แล้วในขั้นตอนการนำ EL ไปใช้งานด้านดิสเพลย์ต่อไป สิ่งที่จะต้องพัฒนาต่อไปคือ EL จะต้องเปล่งแสงให้



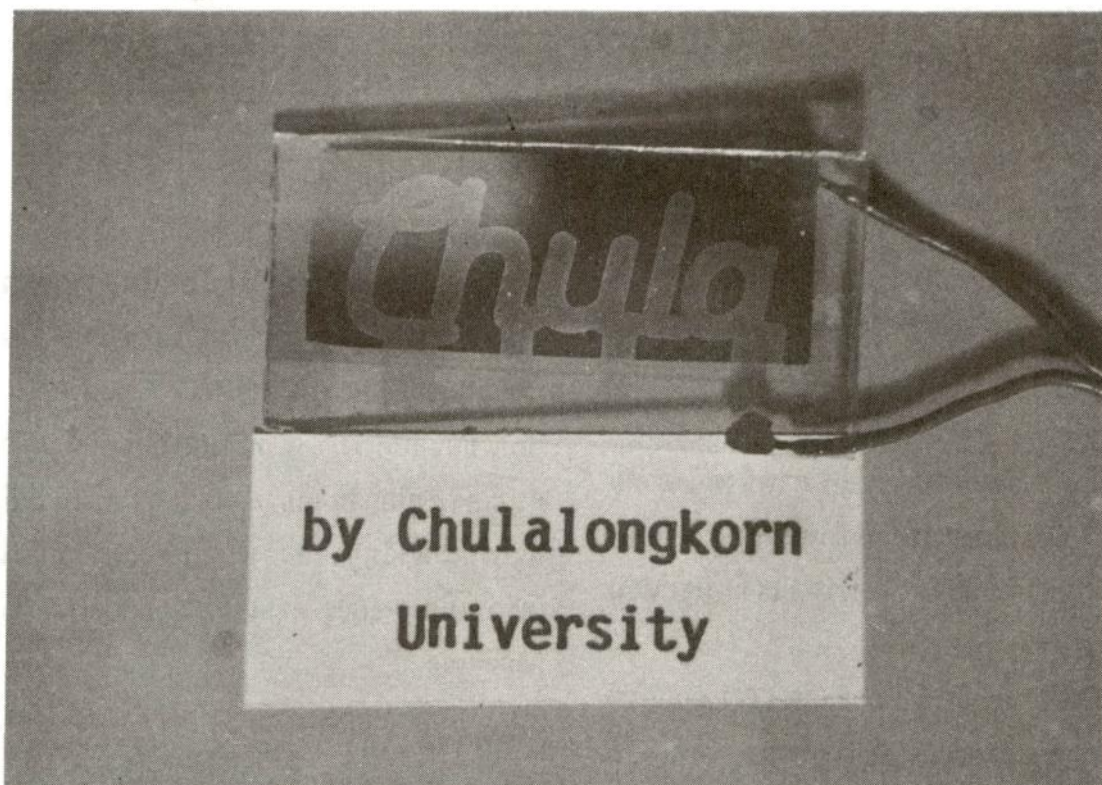
รูปที่ 5 การจัดอุปกรณ์วัด Wavaforn การเปล่งแสงของ EL



รูปที่ 6 waveform การเปล่งแสงของ EL



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและแรงดันไฟฟ้าอินพุต



a)



b)

รูปที่ 8 ตัวอย่าง EL เปล่งแสงสีเหลือง a) รูปตัวอักษร b) สัญลักษณ์พระแก้ว

เป็นรูปภาพตามต้องการได้ นั่นคือจะต้องมีการออกแบบ pattern การเปล่งแสงซึ่งมี 2 วิธี คือ

1. pattern ภาพนิ่ง - ทำโดยออกแบบขั้วไฟฟ้าให้เป็นรูป

2. pattern ภาพเคลื่อนไหว - ได้แก่ การออกแบบขั้วไฟฟ้าให้เป็นแบบ dot และเป็น matrix

ในวิธีที่ 2 ต้องมีวงจร scan ภาพซึ่งต้องอาศัยวงจรยุ่งยาก สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ทดลองผลิตแบบวิธีที่ 1 คือออกแบบให้ขั้วไฟฟ้า ITO มีรูปตามต้องการ

ในวิธีที่ 1 นั้นทำได้โดยการกัด ITO ด้วยกรด HNO_3 + สารละลาย FeCl_3 ในน้ำ ให้เป็นรูปภาพตามต้องการ ส่วนชิ้นอื่น ๆ ของ EL จะเคลือบเต็มแผ่นกระจก การเปล่งแสงของ EL จะเปล่งตามรูป pattern ของ ITO รูปที่ 6 (a)-(b) แสดงตัวอย่างสีเหลือง EL รูปตัวอักษรและสัญลักษณ์พระเกี้ยวตามลำดับ

ง. สรุปผลการวิจัย

ได้ประสบความสำเร็จในการผลิต EL ที่มีวัสดุดิบราคาถูกคือ SiO_2 เป็นชั้นฉนวนแทน Y_2O_3 แรงดันไฟฟ้าที่จำเป็นในการทำให้ EL ที่มี SiO_2 เป็นฉนวนสว่างมีค่าไม่สูงกว่า EL ที่มี Y_2O_3 เป็นฉนวน EL ที่ประดิษฐ์ได้มีความสว่างเพียงพอที่จะเห็นได้ในห้องทำงาน มีการทดลองออกแบบให้ EL เปล่งแสงแบบภาพนิ่งเป็นรูปต่าง ๆ ได้สำเร็จ ผลงาน

วิจัยนี้จะช่วยเป็นพื้นฐานในการประดิษฐ์ผลิตภัณฑ์เพลย์แบบ HI-TECH ขึ้นภายในประเทศ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากทุนเพิ่มพูนประสิทธิภาพทางวิชาการ ฝ่ายวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุน TORAY Science Foundation ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความร่วมมือในการเตรียมเม็ด Pellet ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine

เอกสารอ้างอิง

1. ดุสิต เครื่องาม รายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการวิจัย เรื่อง การประดิษฐ์ฟิล์มบางสังกะสีซัลไฟด์, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, เสนอฝ่ายวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.
2. วิโรจน์ บุญโกสุมภ์, ดุสิต เครื่องาม และสมศักดิ์ ปัญญาแก้ว การพัฒนาดีสเพลย์แบบแบนชนิดอิเล็กทรอนิกส์เซมิคอนดักเตอร์จากสังกะสีซัลไฟด์, การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ประจำปี 2534, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมสถาบันวิศวกรไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์แห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ 23-26 พฤษภาคม 2534 หน้า 192-205.
3. Shoichi Matsumoto edited, **Electronic Display Devices**, Ohm. Sha, 1984.