# บทที่ 5

## การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

### บทนำ

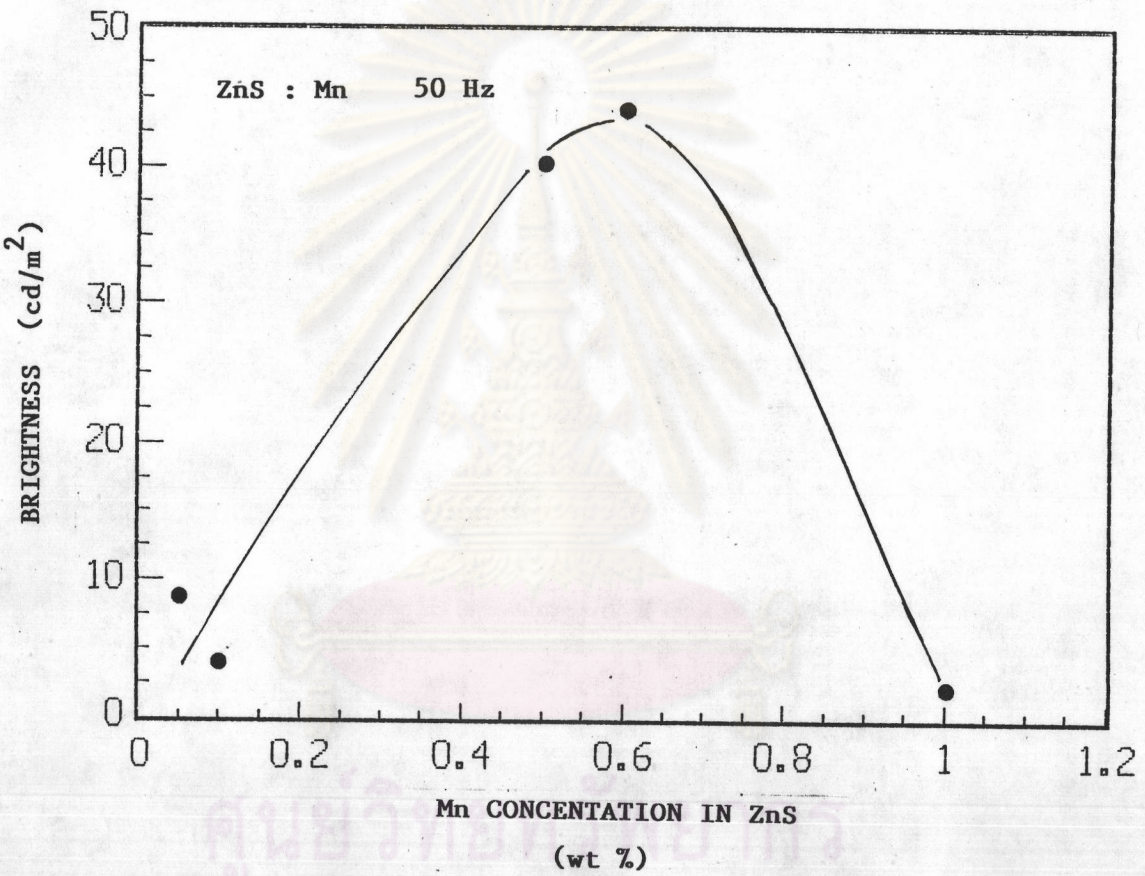
ในบทที่ 4 ได้กล่าวถึงวิธีการผลิต EL และวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของ EL ไว้แล้ว อย่างไรก็ตามในการนำเอา EL ไปใช้เป็นดิสเพลย์ สิ่งที่สำคัญมากอีกอย่างคือ EL จะต้องมีความสว่างมากพอเหมาะกับสายตาของมนุษย์ เช่น ควรมีความสว่างเกิน 150 $cd/m^2$

ในบทนี้จะรายผลการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสม เพื่อที่จะได้ EL มีความสว่างสูงสุด อาทิเช่น ผลการหาค่าปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของ color center ผลการหาค่าความหนาที่เหมาะสมของชั้น ZnS และ ชั้นฉนวน

### การหาปริมาณความเข้มข้นของ Color Center

ในสิ่งประดิษฐ์ EL ชนิดและคุณสมบัติของ host material ของชั้นเปล่งแสง (ZnS) และชนิดของ color center (Mn) มีอิทธิพลสูงต่อคุณสมบัติการเปล่งแสง ZnS ที่ดีควรมีจุดบกพร่อง (defect) น้อย และขนาดของช่องว่างแถบพลังงานต้องกว้างพอสมควร เพื่อมิให้เกิดการดูดกลืนภายในขึ้น สนามไฟฟ้าที่ถูกป้อนก็ควรจะถ่ายเทจาก ZnS ไปสู่ color center ได้ดี ในขณะเดียวกัน color center ควรมีคุณสมบัติที่จะสามารถ transition ระดับพลังงานของตัวเองได้ง่าย และมีความน่าจะเป็นของการ radiative recombination สูง ในทางปฏิบัตินอกจากกระบวนการผลิตจะมีอิทธิพลสูงต่อการ radiative recombination แล้ว ปริมาณความเข้มข้นของ color center ที่เหมาะสมก็เป็น parameter ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง กล่าวคือ ถ้า color center มีจำนวนน้อยก็จะทำให้ recombination center มีจำนวนน้อย หรือถ้า color center มีจำนวนมากเกินไปก็จะทำให้เกิด defect มากขึ้นใน ZnS

ในรูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างผลการเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของ Mn ที่ผสมใน ZnS จากรูปนี้พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมของ Mn คือ 0.5 - 0.6 wt% สำหรับ EL สีอื่น ๆ ก็คงมีค่าความเหมาะสมโดยเฉพาะตัวแตกต่างกันไป



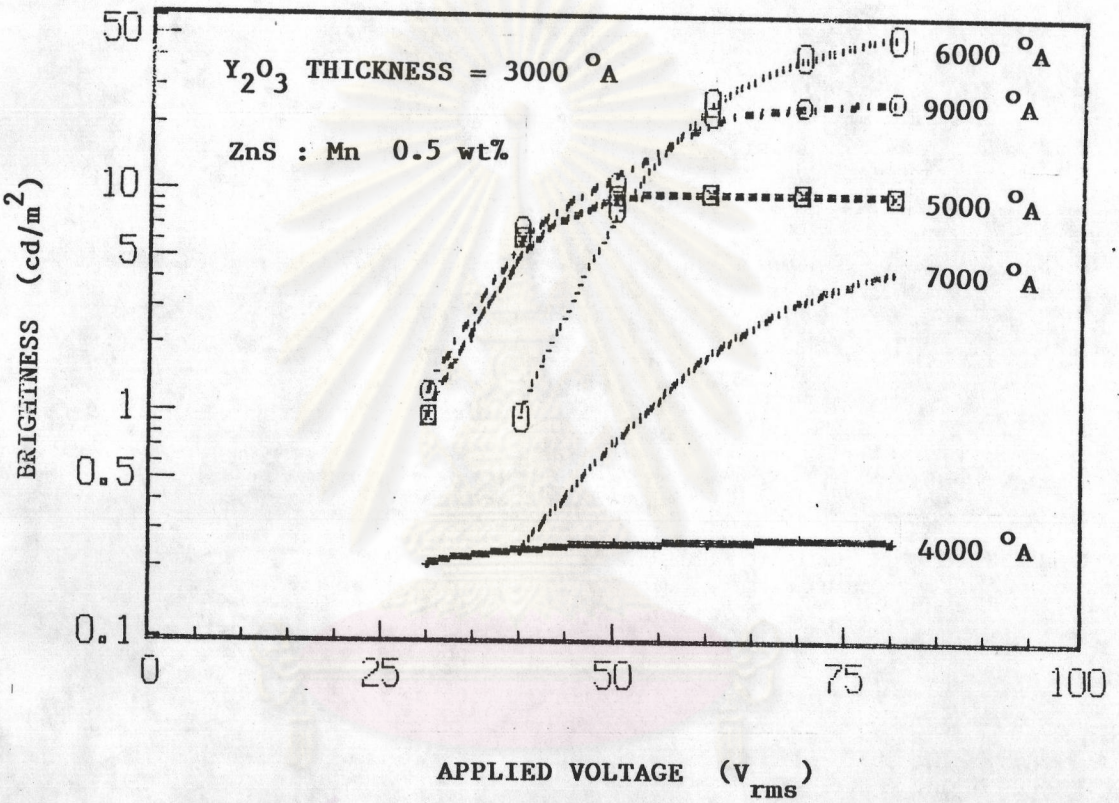

รูปที่ 5.1 การเปรียบเทียบความสว่างของ EL กับ ความเข้มข้นของ Mn

**การหาความหนาของชั้น ZnS : Mn**

ความหนาฟิล์มชั้น ZnS : Mn มีผลต่อสมรรถนะภาพของสิ่งประดิษฐ์ เช่น ความสว่าง (brightness) ประสิทธิภาพ (efficiency) และค่า threshold voltage ไม่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของชั้นฉนวนเพียงอย่างเดียว แต่ความหนาของชั้น ZnS:Mn ยังขึ้นอยู่กับค่า threshold voltage และความสว่างสูงสุดที่ได้รับ ในการทดลองใช้ความหนาของฟิล์มชั้น $Y_2O_3$ คงที่หนา 3000 $^{\circ}$A มีค่า dielectric constant = 12 ซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 5.2 ค่า threshold voltage มีค่าประมาณ 30 volts จะได้จากสิ่งประดิษฐ์มีความหนาของฟิล์ม ZnS : Mn มากกว่า 4000 $^{\circ}$A เมื่อเราเพิ่มความหนาชั้น ZnS : Mn ค่า threshold voltage จะเลื่อนไปทางค่าแรงดันที่สูง ความสว่าง (brightness) ที่ได้รับจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มความหนาของฟิล์ม ZnS : Mn และความสว่างจะมีถึงจุดอิ่มตัวเมื่อความหนามีค่าอยู่ในช่วง 5000 $^{\circ}$A หรือมากกว่า เพราะว่าค่า threshold voltage ถูกจำกัด จึงได้มีการนำมาพิจารณาเพื่อหาค่าสนามไฟฟ้า threshold ภายในของ ZnS ที่เป็น host material (13) (มีค่าประมาณ $1.3 \times 10^6$ V/cm$^2$)

ในงานวิจัยนี้ได้มีการทดลองหาค่าความหนาของชั้น ZnS : Mn อยู่ในช่วง 3000 - 9000 $^{\circ}$A จะพบว่ามีความหนาของชั้น ZnS : Mn มีค่า 6000 $^{\circ}$A จะมีความสูงสุดประมาณ 50 cd/m$^2$ จากรูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบความหนาของชั้น ZnS กับความสว่างของ EL สีเหลือง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบความหนาของ ZnS:Mn กับ ความสว่างของ EL สีเหลือง

การหาค่าความหนาของชั้นฉนวน $Y_2O_3$

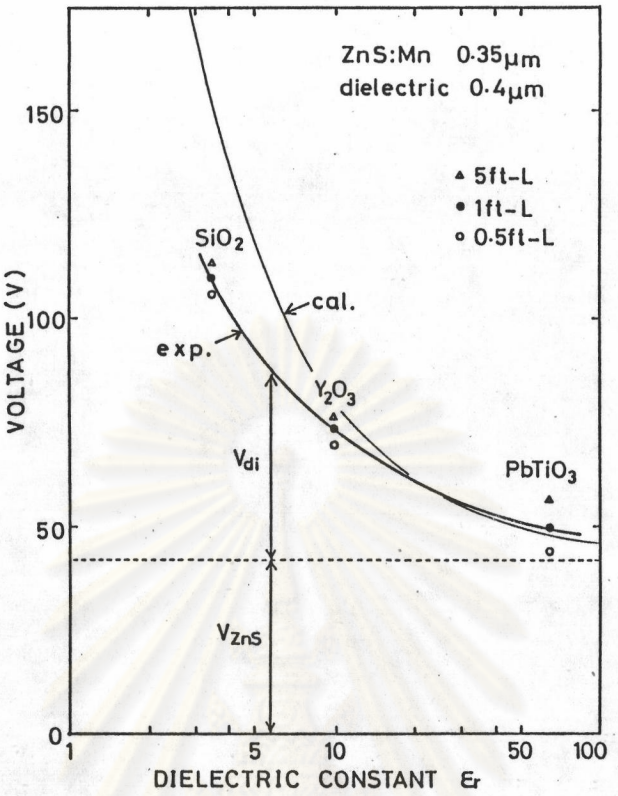
รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง threshold voltage กับ dielectric constant $\varepsilon_r$ (13) ของชั้นฉนวนมีอยู่ 3 ชนิด ที่ใช้เช่น $SiO_2$ $Y_2O_3$ และ $PbTiO_3$ ในรูปนี้ สามเหลี่ยม วงกลมทึบ และวงกลม คือ แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนแสดงความสว่าง 5.0 1.0 และ 0.5 fl ตามลำดับ ค่า threshold ของสนามไฟฟ้าในชั้น ZnS:Mn ที่ทำให้สว่าง 1 fl จะคำนวณค่าได้ $1*10^6$ V/cm$^2$ ซึ่งเกือบจะเหมือนกับรายงานของ field strenght ที่มีค่า $1\sim2*10^6$ V/cm$^2$ ดังนั้นการจำกัดค่า threshold voltage สำหรับชั้น ZnS:Mn ที่มีความหนา 3500 $^\circ$A คำนวณได้ค่าเท่ากับ 45.5 V และแสดงค่า $V_{ZnS}$ (ในรูปแสดงด้วยเส้นประ) สิ่งที่เป็นไปได้คือ การลดค่า threshold voltage ให้มีค่าต่ำกว่า 45.5 V จะเป็นจริงได้ โดยมีโครงสร้างประกอบด้วย ITO / ZnS:Mn /Al โครงสร้างนี้จะทำให้ EL ไม่เสถียรภาพและมีประสิทธิภาพต่ำ ที่กระทำอยู่ไม่ต้องการที่จะให้กระแสไหลผ่านตัวสิ่งประดิษฐ์ การใช้ชั้นฉนวนในตัวสิ่งประดิษฐ์ จะทำให้เกิดการสูญเสียแรงดันโดยชั้นฉนวน แรงดันที่ป้อนให้กับชั้นฉนวนที่ค่า threshold voltage จะไม่มีการกล่าวถึงค่า space charge และผลของการ polarization ซึ่งสามารถแทนได้ง่าย ๆ ดังนี้

$$V_{di}=\varepsilon_z d_d V_a/(\varepsilon_z d_d+\varepsilon_d d_z)$$

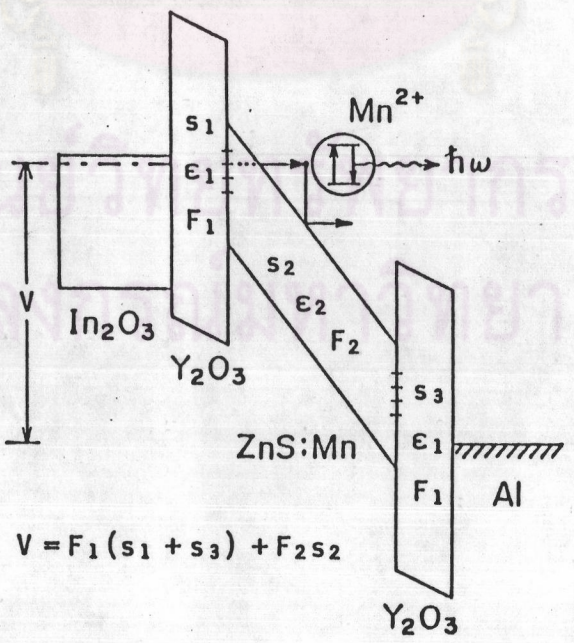
เมื่อ $\varepsilon_z$ และ $\varepsilon_d$ คือ ค่า dielectiric constant ของชั้น ZnS และฉนวน $d_d$ และ $d_z$ คือ ความหนาของชั้น ZnS และฉนวน $V_a$ คือ แรงดันที่ป้อนให้กับสิ่งประดิษฐ์ การคำนวณหาค่าแรงดันที่ป้อนให้กับชั้น dielectric $V_{di}$ ดังแสดงในรูปที่ 5.3 เริ่มมีค่าน้อยลงกับการเพิ่มค่า dielectric constant $\varepsilon_d$

ใน ac EL ทั่ว ๆ ไป แรงดันที่ป้อนให้กับ EL (15) ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ตกคร่อมชั้นฉนวน กับตกคร่อมชั้นเปล่งแสง ดังแสดงในรูปที่ 5.4 สนามไฟฟ้าในชั้นเปล่งแสงจะหาค่าได้โดยประมาณจาก

$$F=\frac{V}{(\varepsilon_2/\varepsilon_1)(s_1+s_3)+s_2}$$




รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับ dielectric constant ของชั้นฉนวน




รูปที่ 5.4 แถบพลังงานของ ac EL ทั่ว ๆ ไป

เมื่อ V = แรงดันไฟฟ้าที่ป้อน, $\varepsilon_1$ = ค่า dielectric constant ของชั้นฉนวน $\varepsilon_2$ = ค่า dielectric constant ของชั้นเปล่งแสง $s_{1,3}$ = ความหนาของชั้นฉนวนและ $s_2$ = ความหนาของชั้นเปล่งแสง ตัวอย่างเช่น EL ที่ทำจากฟิล์ม ZnS:Mn ประกบด้วยชั้นฉนวน 2 ชั้น คำนวณค่าสนามไฟฟ้าได้ (F) = 1.3 * $10^6$ V/cm ที่ค่า peak ความสว่าง 200 fl เมื่อ $\varepsilon_1 = 10\varepsilon_o$ , $\varepsilon_2 = 8.1\varepsilon_o$ , $s_1 = s_2 = s_3 = 5000$ °A และ V = 170 Vp

ดังได้กล่าวแล้วว่าฟิล์มชั้นฉนวน (I) มีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดความเสถียรภาพในการ breakdown ของสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นความต้องการหลักก็คือค่า dielectric strenght นำไปถึงขอบของพัลซ์ที่มาป้อนให้กับโครงสร้าง ISI แรงดันจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยตกคร่อมที่ฟิล์มทั้ง 3 ชั้น ให้สอดคล้องตามความเหมาะสม เพื่อที่จะได้แรงดันตกคร่อมฟิล์มชั้นเปล่งแสง ความสามารถของชั้นฉนวนจะต้องมีค่าสูงพอ นั่นหมายความว่า $\varepsilon/d$ ควรจะมีค่าสูงจากที่ผ่านหรือในทางตรงกันข้าม ระหว่างที่เกิดการ breakdown ของชั้นเปล่งแสง ชั้นฉนวนยังคงทนแรงดันทั้งหมดได้ และชั้นฉนวนควรมีค่าแรงดัน breakdown Ub สูงพอซึ่งจะมีค่าเท่ากับการเก็บประจุ (หนึ่งหน่วยพื้นที่ ) บนตัวเก็บประจุของชั้นฉนวนที่ชั้นฉนวนเกิดการ breakdown ค่าต่ำสุดที่เกิดขึ้น $2\,\mu C\,cm^{-2}$ เป็นสิ่งจำเป็นที่พอจะให้ ZnS ทำงาน เพราะว่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดการ breakdown มีค่าประมาณ 2 * $10^6$ V $cm^{-1}$ และ $\varepsilon \approx 9$ ผลลัพธ์คือ $1\,\mu C\,cm^{-2}$

ฉนวนที่ใช้ใน ac $TFD_s$ จนถึงขณะนี้มีอยู่ 2 ชนิด คือ amorphous oxide เช่น $Al_2O_3$ $SiO_2$ $Y_2O_3$ $TiO_2$ $HfO_2$ $Ta_2O_5$ หรือ amorphous nitride เช่น $Si_3O_4$ และชนิดที่สองเป็นฉนวน ferroelectric ในกลุ่มแรกโดยทั่ว ๆ ไปมีค่าแรงดัน breakdown สูง แต่เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วมีค่า $\varepsilon$ ต่ำ แต่อย่างไรก็ตามฉนวน ferroelectric มีค่า $\varepsilon$ สูง แต่มีค่าแรงดัน breakdown สูง ปกติแล้วไม่สามารถกระทำได้เพราะเหตุว่าการ breakdown เกิดขึ้นตาม grain boundary ความจริงแล้ว $BaTiO_3$ มีการใช้อยู่ในรูป amorphous เป็นเหตุผลจากพิจารณา

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของชั้นฉนวนที่ใช้กันอย่างกว้างขวางใน ac $TFD_s$ ดูจากตารางจะเห็นได้ว่านอกจาก มีจำนวนมากกว่าสนามไฟฟ้า breakdown Fb จะถูกควบคุมด้วยเงื่อนไขในการเตรียม ซึ่งมีอยู่สิ่งหนึ่งที่เป็นจริงในการทดลองคือ ส่วนมากไม่สามารถหาค่า Fb ของฉนวนที่เป็นก้อนได้

ตารางที่ 5.1 ฉนวนฟิล์มบางที่ใช้กับ EL

| Material | Preparation method | $F_b$ ($10^6$ V/cm$^{-1}$) | $\varepsilon$ | $\gamma$ ($\mu$C/cm$^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|
| $Y_2O_3$ | e-beam evaporation | 5 | 9 to 12 | 4 to 6 |
| $SiO_2$ | rf sputtering<br>e-beam evaporation | 6 | 4 to 10 | 2 |
| $HfO_2$ | reactive sputtering | 50 | 15 | 70 |
| $Si_3N_4$ | rf sputtering | 1 | 6.8 | 0.5 |
| $Al_2O_3$ | e-beam evaporation | 5 | 8 to 9 | 3.5 |
| $PbTiO_3$ | reactive sputtering | 0.5 | 30 to 200 | 1 to 16 |
| a-$BaTiO_3$ | rf sputtering | ? | 10 to 20 | ? |
| $Ta_2O_5$ | reactive evaporation | ? | 16 | ? |

$F_b$ breakdown field, $\varepsilon$ dielectric constant, $\gamma = \varepsilon\varepsilon_0 F_b$ ได้จากวิธีการเตรียม

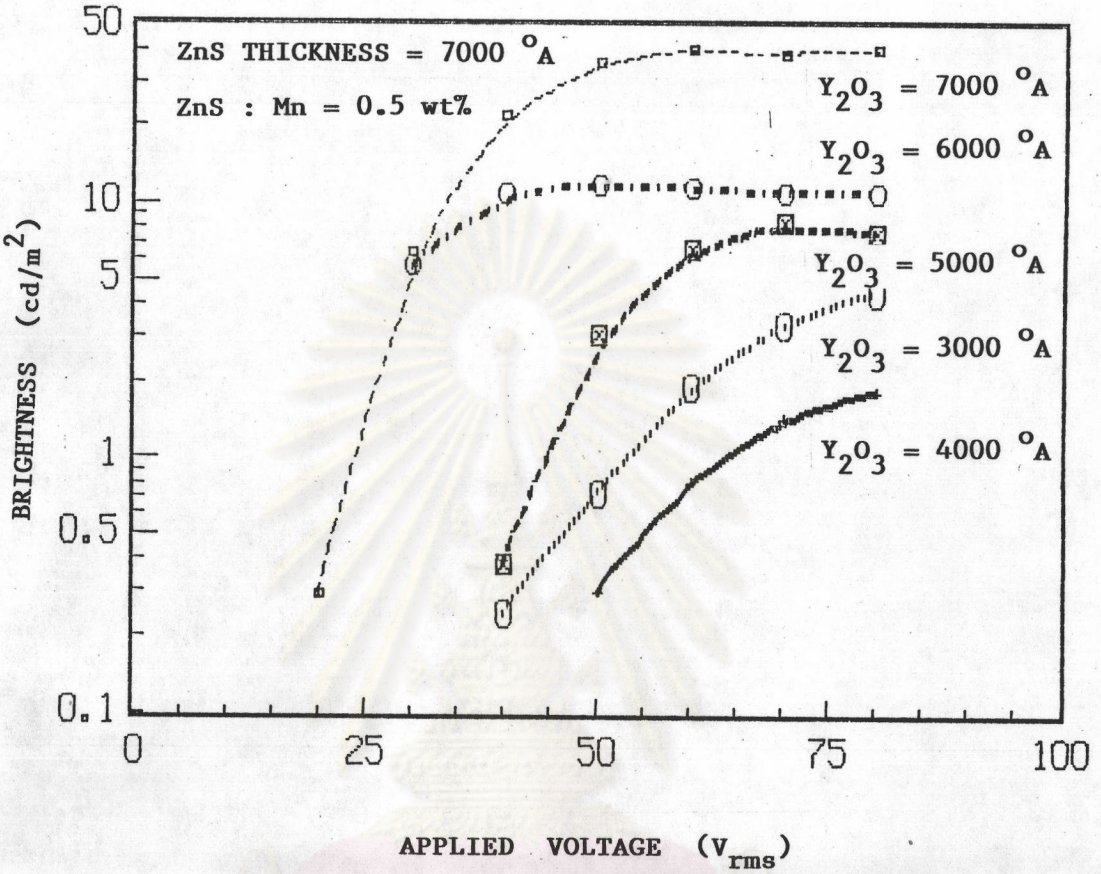
Okamoto (13) ได้ค้นพบว่าแรงดัน threshold ของลักษณะสมบัติ B-V ของโครงสร้าง MISIM ซึ่งเป็นหน้าที่ของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ด้วยการใช้ชั้นฉนวนแตกต่างกัน 3 ชนิด ($SiO_2$ $Y_2O_3$ $PbTiO_3$) และชั้นเปล่งแสง ZnS:Mn ผลจากรูปที่ 5.3 ปรากฏว่าฉนวน $PbTiO_3$ แรงดันที่ป้อนให้ทั้งหมดตกคร่อมชั้นสารกึ่งตัวนำเกือบทั้งหมด แต่นอกเหนือจากการพิจารณายังเกี่ยวข้องกับ $\varepsilon$ และ Fb ตัวอื่น ๆ ที่จำกัดซึ่งอาจจะลดจำนวนของฉนวนเหมาะสมที่ใช้ในทางปฏิบัติ

โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เงื่อนไขการเตรียม ของชั้นฉนวนต้องเหมาะสมตัวประกอบอื่น ๆ ของระบบ และในทางตรงกันข้ามชั้นฉนวนต้องคงรักษาคุณสมบัติของตัวฉนวนเอง ระหว่างเทคโนโลยีในแต่ละขั้นของการประดิษฐ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ การ ageing ฉนวนที่ใช้กันอย่างกว้างขวางคือ $Y_2O_3$ ถึงแม้ว่าจากรายงานจากโครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติระหว่างการทำงาน

ชั้นฉนวนมีความสำคัญที่ไม่เพียงแต่ทำให้เกิด ความเสถียรภาพของสนามไฟฟ้าที่ breakdown ของชั้นเปล่งแสง แต่สิ่งที่สำคัญคือคุณสมบัติของรอยต่อระหว่างชั้นฉนวน กับชั้นเปล่งแสง เพราะว่าการเปล่งแสงจะ tunneling จาก interface state ที่ป้อนจากพาหะเริ่มแรก สำหรับการเร่งและการ excite ด้วยการ impact

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้ $Y_2O_3$ เป็นฉนวน เพราะมีข้อดีดังกล่าวมาแล้ว และยังมีความเหมาะสมกับเทคโนโลยีของห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ในการผลิต คือ การใช้ EB ปลูกฟิล์ม $Y_2O_3$ นอกจากนี้ยังได้มีการหาความหนาที่เหมาะสม โดยการเปลี่ยนความหนาของชั้นฉนวน จากการทดลองพบว่าความหนาของชั้นฉนวนที่เหมาะสมมีค่าอยู่ระหว่าง 6000-7000 $^{\circ}A$ ที่ค่าความหนาของชั้นเปล่งแสงคงที่ 7000 $^{\circ}A$ ดังแสดงในรูปที่ 5.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบความหนาของชั้นฉนวน $Y_2O_3$ กับความสว่างของ EL สีเหลือง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สรุป

ได้มีการหาค่า parameter ที่เหมาะสมต่าง ๆ ในการผลิต EL ตัวอย่างพบว่า ปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของ color center ที่เป็น Mn (สีเหลือง) มีค่าประมาณ 0.5 - 0.6 wt% ความหนาที่เหมาะสมของชั้นเปล่งแสงมีค่าประมาณ 6000 °A และความหนาที่เหมาะสมของชั้นฉนวนมีค่าประมาณ 6000 - 7000 °A