

บทที่ 4

การประยุกต์ใช้งานวัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอนคาร์ไบด์เป็นไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบาง

4.1 บทนำ

วัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย เช่น วัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอนคาร์ไบด์ (a-SiC:H) วัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอนไนไตรด์ (a-SiN:H) และ วัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอนออกไซด์ (a-SiO:H) มีขนาดช่องว่างพลังงานกว้างกว่า 1.8 eV เป็นวัสดุที่มีศักยภาพในการนำไปใช้งานเป็นชั้นเปล่งแสงในไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัส (Thin Film Light Emitting Diode ย่อว่า TFLED) [18] ไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยมีโครงสร้างคือ glass / TIO(Indium Tin Oxide) / ฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยรอยต่อ p-i-n / Al ความสว่างของ TFLED มีค่า 0.1~2 cd/m² ผลการศึกษาที่ผ่านมามีรายงานว่า a-SiC:H เป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับชั้นเปล่งแสง (ชั้น i) [18]

ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการปรับปรุงคุณภาพความสว่างให้กับ TFLED หลายวิธีเช่น ปรับปรุงประสิทธิภาพของการรวมตัวของพาหะแบบเปล่งแสงให้สูงขึ้นโดยใช้วัสดุโลหะที่สามารถระบายความร้อนได้ดีเป็นแผ่นฐานแทนแผ่นกระจก[18] หรือปรับปรุงประสิทธิภาพของการฉีดพาหะให้สูงขึ้น โดยใช้วัสดุไมโครคริสตัลไลน์ซิลิคอนออกไซด์ชนิด p (p - μ c-SiO:H) เป็นชั้นฉีดโฮล ซึ่งมีคุณสมบัตินำไฟฟ้า และมีค่าช่องว่างพลังงานสูงกว่า p - a-SiC:H [19]

ในบทนี้ผู้วิจัยได้พยายามปรับปรุงความสว่างให้กับ a-SiC:H TFLED โดยการศึกษาอิทธิพลของความหนาของชั้น p ที่มีต่อความสว่างของ TFLED หัวข้อที่ 4.2 จะกล่าวถึงผลการศึกษาโครงสร้างและลักษณะสมบัติพื้นฐานของ a-SiC:H TFLED ซึ่งได้มีการวิเคราะห์กลไกการฉีดพาหะ และกลไกการเปล่งแสง หัวข้อที่ 4.3 จะกล่าวถึงวิธีการประดิษฐ์ TFLED หัวข้อที่ 4.4 จะกล่าวถึงผลการศึกษาหาค่าความหนาที่เหมาะสมของชั้น p ใน a-SiC:H TFLED ความหนาของชั้น p นี้มีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง และลักษณะสมบัติของ a-SiC:H TFLED

4.2 โครงสร้างและลักษณะคุณสมบัติพื้นฐานของ a-SiC:H TFLED รอยต่อ p-i-n

a-SiC:H TFLED มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นรอยต่อ p-i-n ของ a-SiC:H ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ในรูปนี้วัสดุแผ่นฐานได้แก่ แผ่นกระจกที่เคลือบขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง (ITO) และด้านบนสุดมีขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมเคลือบอยู่

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะแถบพลังงานของ a-SiC:H TFLED โดยที่ (ก) กรณีสภาพสมดุลเชิงความร้อน และ (ข) กรณีสภาพกำลังถูกไบแอสตาม TFLED นี้ทำงานด้วยการฉีดกระแสไฟฟ้าในสภาพไบแอสตาม ซึ่งจะช่วยให้อิเล็กตรอนและโฮลถูกฉีดออกจากชั้น n และ p ตามลำดับเข้าสู่ชั้น i การรวมตัวแบบเปล่งแสงในชั้น i ทำให้ TFLED เปล่งแสงออกมา

เนื่องจากช่องว่างพลังงานของชั้น i มีขนาดกว้างกว่าของชั้น p และ n ดังนั้นการฉีดพาหะเข้าสู่ชั้น i จึงต้องอาศัยปรากฏการณ์ทะลุโมเมนต์ผ่านกำแพง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ข) (Tunneling through notch-barriers) ต่อไปนี้จะเป็นการวิเคราะห์กลไกการฉีดพาหะและการรวมตัวของพาหะใน a-SiC:H TFLED [20]

กระบวนการฉีดพาหะในอะมอร์ฟัส p-i-n TFLED ใช้วิธีการทันเนลลิง (field-tunneling) ดังนั้นกระแสของอิเล็กตรอนและโฮลที่บริเวณใกล้รอยต่อของ i/n และ p/i ตามลำดับ จึงแสดงได้ดังนี้ [20]

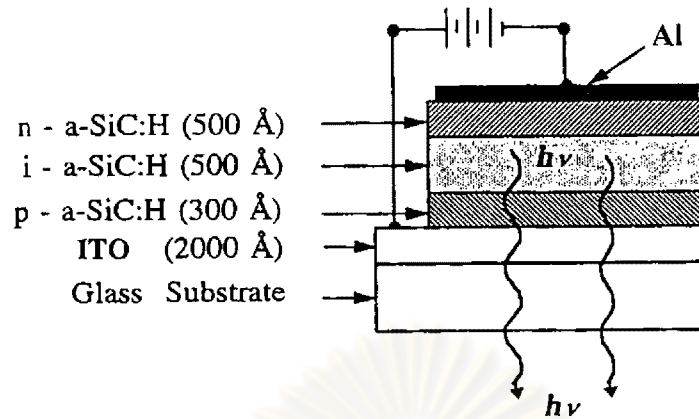
$$J_n = E^2 \exp \left[\frac{-4\sqrt{2m_e^*}(\Delta E_c)^{3/2}}{3q\hbar E} \right], \text{ at } x \approx d \quad (4.1)$$

$$J_p = E^2 \exp \left[\frac{-4\sqrt{2m_h^*}(\Delta E_v)^{3/2}}{3q\hbar E} \right], \text{ at } x \approx 0 \quad (4.2)$$

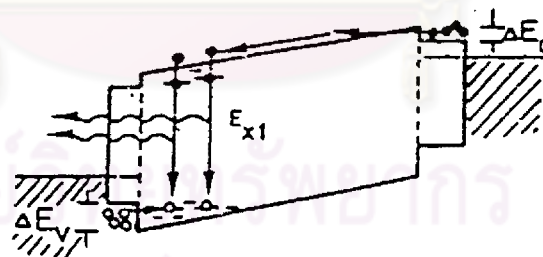
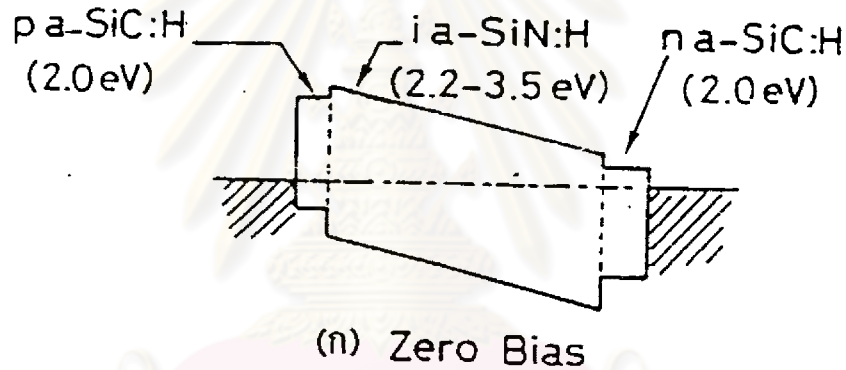
โดยที่ m_e^* และ m_h^* : มวลประสิทธิผลของอิเล็กตรอนและโฮลตามลำดับ

ΔE_c : ความแตกต่างของขอบของแถบคอนดักชันที่รอยต่อ i/n

ΔE_v : ความแตกต่างของขอบแถบวาเลนซ์ที่รอยต่อ p/i



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของสิ่งประดิษฐ์ a-SiC:H TFLED รอยต่อ p-i-n



(ข) Forward Bias

รูปที่ 4.2 ลักษณะแถบพลังงานของ a-SiC:H TFLED รอยต่อ p-i-n

(ก) ในสภาพสมดุลที่ยังไม่มีการไบแอส และ

(ข) ในสภาพกำลังถูกไบแอสตาม

ถ้าสมมุติว่าชั้นเปล่งแสงชนิด i นี้มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด n และกระบวนการไหลของพาหะชั้น i เป็นชนิดขับเคลื่อน (drift-type) อันเนื่องมาจากสนามไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงสามารถคำนวณค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและโฮลได้โดยการแก้สมการความต่อเนื่องของพาหะ (carrier continuity equation) โดยใช้เงื่อนไขพรมแดนในสมการที่ (4.1) และ (4.2) ดังนั้นในกรณีที่มีสนามไฟฟ้า E ในชั้น i มีความสม่ำเสมอ (uniform electric field) ตลอดความหนาแน่นจะได้ว่า [20]

$$n(x) = \frac{J_n}{q\mu_p E} - \frac{J_p\mu_p}{q\mu_n E} \left(e^{-x/r_p} - e^{-d/r_p} \right) \quad (4.3)$$

และ

$$p(x) = \frac{J_p}{q\mu_p E} e^{-x/r_p} \quad (4.4)$$

โดยที่ r_p : ระยะของโฮล (hole range) = $\mu_p \tau_p E$
 μ_n, μ_p : ความคล่องตัวของอิเล็กตรอนและโฮลตามลำดับ
 τ_p : เวลาอายุการรวมตัวของชนิดไม่เปล่งแสง (nonradiative recombination lifetime) ของโฮล

จากนั้นกระแสไฟฟ้ารวมที่ไหลผ่านไดโอดสามารถหาได้จากการใช้สมการที่ (4.3) และ (4.4) และได้ผลดังนี้

$$J = J_n + J_p e^{-d/r_p} \quad (4.5)$$

เนื่องจาก ΔE_v มีค่ามากกว่า ΔE_c ดังนั้นกระแสทันเนลลิงของโฮล (J_p) จึงควรมีค่าน้อยกว่ากระแสทันเนลลิงของอิเล็กตรอน (J_n) ยิ่งกว่านั้นเทอม $\exp(-d/r_p)$ ยังช่วยทำให้กระแสโฮลลดลงด้วย ดังนั้นเราจึงสามารถให้รูปโดยประมาณของ J ได้ว่า

$$J \cong J_n \quad (4.6)$$

สมการนี้มีความหมายว่ากระแสไฟฟ้าของไดโอดมีค่าโดยประมาณเป็นกระแสไฟฟ้าของอิเล็กตรอนนั่นเอง ต่อไปจะวิเคราะห์ความสว่าง (EL intensity) ของ TFLED

โดยหลักการแล้วความสว่างของ TFLED จะมีค่าแปรผันกับอัตราการรวมตัวแบบเปล่งแสงของอิเล็กตรอนและโฮล และในขณะเดียวกันอัตราการรวมตัวแบบเปล่งแสงก็ถูกกำหนดด้วยผลคูณของค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนส่วนเกิน และโฮลส่วนเกินในสถานะเริ่มต้น (initial states) และในสถานะสุดท้าย (final states) เพื่อความสะดวกจะกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนส่วนเกินและโฮลส่วนเกินมีค่าแปรผันตรงกับ

$$n(x)^{\alpha_c} \quad \text{และ} \quad p(x)^{\alpha_v} \quad (4.7)$$

โดยที่ α_c, α_v : เป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดกระบวนการรวมตัวของพาหะแบบเปล่งแสงในชั้น i อาทิเช่น

(1) ถ้าเป็นการรวมตัวแบบไบโมเลกูลาร์ (bimolecular recombination) ของอิเล็กตรอนและโฮลอิสระ จะได้ว่า

$$\alpha_c = \alpha_v = 1 \quad (4.8)$$

(2) ถ้าเป็นการรวมตัวแบบโมนโมเลกูลาร์ (monomolecular recombination) โดยที่โฮลเป็นพาหะข้างน้อยจะได้ว่า

$$\alpha_c = 0, \alpha_v = 1 \quad (4.9)$$

อย่างไรก็ตามในกรณีของวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ การรวมตัวแบบเปล่งแสงของพาหะนั้นั้นส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่ระดับโลคอลไลซ์สเตทและถ้าพิจารณาให้โลคอลไลซ์สเตทเป็นที่ทำให้เกิดการรวมตัวแบบเปล่งแสงมีรูปร่าง (การขึ้นกับระดับพลังงาน) เป็น exponential band tail ดังนั้นในรูปที่ 4.3 จะทำให้ความหมายของพารามิเตอร์ α_c และ α_v กลายเป็น dispersive parameters ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดค่าความลาดของ band Tail ของแถบคอนดักชันและแถบวาเลนซ์ตามลำดับดังแสดงในรูป 4.3 และไม่ว่าจะเป็นกรณีใดก็ตามทั้ง α_c และ α_v จะมีค่าระหว่าง 0 และ 1

ต่อไปถ้าพิจารณาให้ i_p มีค่าน้อยกว่าความหนา (d) ของชั้น i ดังนั้นความสว่าง (B) ของ TFLED จะแปรผันตรงกับความหนาแน่นของพาหะ $n(x)$ และ $p(x)$ ดังนี้

$$B \propto \int_0^d n(x)^{\alpha_c} \cdot p(x)^{\alpha_v} dx \quad (4.10)$$

เมื่อแทนค่าสมการที่ (4.3) - (4.9) ลงในสมการที่ (4.10) ก็จะได้คำตอบที่มีความสำคัญมากดังนี้

$$B \propto \frac{d^{1+\alpha_c+\alpha_v}}{V^{\alpha_c+\alpha_v}} \exp\left[\frac{-d\alpha_v}{d_c}\right] \cdot J^{\alpha_c+\alpha_v} \quad (4.11)$$

โดยในที่

$$d_c \equiv \frac{3q\hbar V}{4\sqrt{2m^* \left(\Delta E_v^{3/2} - \Delta E_c^{3/2} \right)}} \quad (4.12)$$

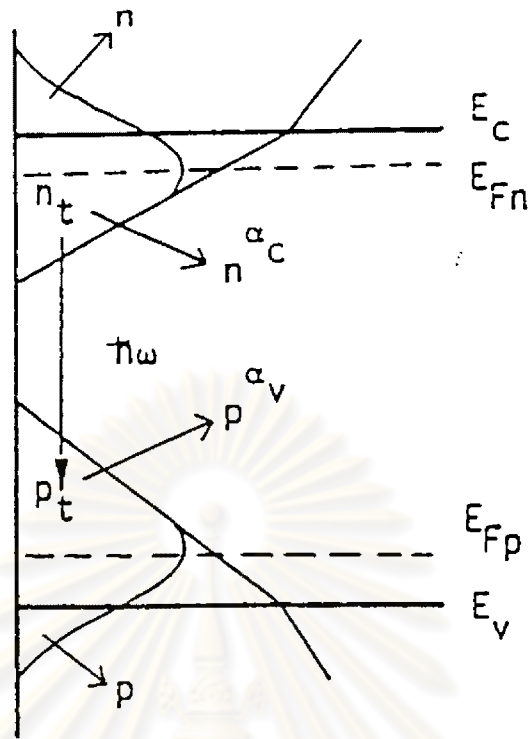
และ V : แรงดันไฟฟ้าที่คร่อมชั้น i

สมการที่ (4.11) ซึ่งให้เห็นว่าความสว่าง B ของ TFLED มีค่าแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ไดโอดตามรูปที่ 4.4 และ

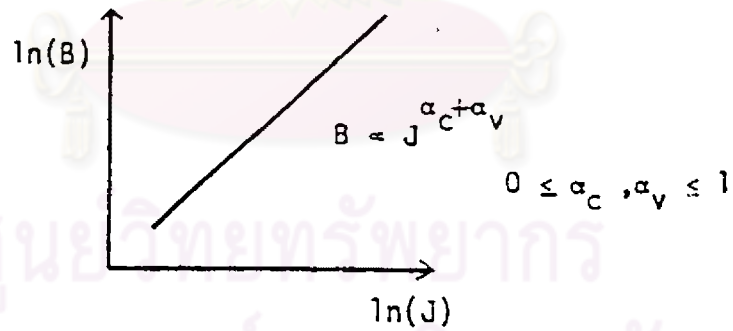
$$B \propto J^n \approx J^{1.2} \quad (4.13)$$

โดยที่ดัชนี $n = \alpha_c + \alpha_v$

เนื่องจาก n มีค่าใกล้เคียง 1 ดังนั้น $\alpha_c + \alpha_v \cong 1$ ซึ่งทำให้สามารถตั้งข้อสังเกตต่อไปได้ว่าการรวมตัวแบบเปล่งแสงใน TFLED ที่ผลิตได้นั้นอาจจะเป็นการรวมตัวชนิดโมโนโมเลกูลาร์ (monomolecular) หรือไม่ก็อาจเป็นการรวมตัวชนิดระหว่าง tail - to - tail recombination อนึ่งเป็นวัสดุ a-SiC:H, a-SiN:H และ a-SiO:H โดยทั่วไป α_c และ α_v มีค่าประมาณ 0.8 และ 0.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ลักษณะของโลคอลไลซ์สเตทไทล์แถบคอนดักชันและแถบวาเลนซ์ของ a-SiC:H ซึ่งมีรูปร่างเป็น exponential band tails ในรูป α_C และ α_V เรียกว่า dispersive parameters และมีค่าระหว่าง 0 - 1



Experiments $\alpha_C = 0.8$ (TOF)
 $\alpha_V = 0.3$

slope = 1.1

รูปที่ 4.4 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ a-SiC:H TFLED และกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLED ความลาดของกราฟมีค่าประมาณ 1 - 1.1

4.3 การออกแบบและประดิษฐ์ a-SiC:H TFLED

สิ่งประดิษฐ์ a-SiC:H TFLED มีโครงสร้างคือ glass / ITO / SnO₂ / p - a-SiC:H (2.0 eV) / i - a-SiC:H (2.5-3.0 eV) / n - a-SiC:H (2.0 eV) / Al ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ฟิล์ม a-SiC:H ปลูกโดยใช้เทคนิค glow discharge plasma CVD จากก๊าซผสมของ SiH₄ และก๊าซไฮโดรคาร์บอน เช่นก๊าซ C₂H₄, CH₄ ส่วนชั้นชนิดพาหะ p และ n ทำได้โดยการผสมก๊าซ B₂H₆ และก๊าซ PH₃ ชั้นชนิดพาหะนี้มีค่าสภาพนำไฟฟ้าประมาณ 10⁻⁷ S/cm ความหนาของชั้น p-i-n ประมาณ 50-800, 500 และ 500 Å ตามลำดับ อุณหภูมิขณะปลูกฟิล์มประมาณ 190°C ที่ความดันก๊าซ 1 Torr กำลังไฟฟ้า RF ประมาณ 3-4 Watt ตารางที่ 4.1 แสดงสรุปเงื่อนไขสำหรับการประดิษฐ์ a-SiC:H TFLED รูปที่ 4.5 แสดงขั้นตอนการประดิษฐ์ a-SiC:H TFLED ซึ่งหลังจากปลูกชั้น p-i-n แล้วจะนำชิ้นงานที่ได้ไปเคลือบขั้วอะลูมิเนียมด้านบนสุด ขนาดพื้นที่การเปล่งแสงของ TFLED จะถูกกำหนดด้วยขนาดของ Al นี้ รูปที่ 4.6 แสดงภาพถ่าย a-SiC:H TFLED ที่ประดิษฐ์ได้บนแผ่นกระจกขนาด 2 cm × 2 cm พื้นที่การเปล่งแสงเท่ากับพื้นที่ของ Al มีขนาด 3 mm × 5 mm

4.4 การศึกษาหาความหนาที่เหมาะสมของชั้น p ใน a-SiC:H TFLED

การออกแบบและ a-SiC:H TFLED เพื่อให้มีความสว่างสูงสุดจำเป็นต้องหาความหนาที่เหมาะสมของชั้นต่าง ๆ ของ a-SiC:H TFLED ซึ่งในแต่ละชั้นมีความสำคัญดังนี้

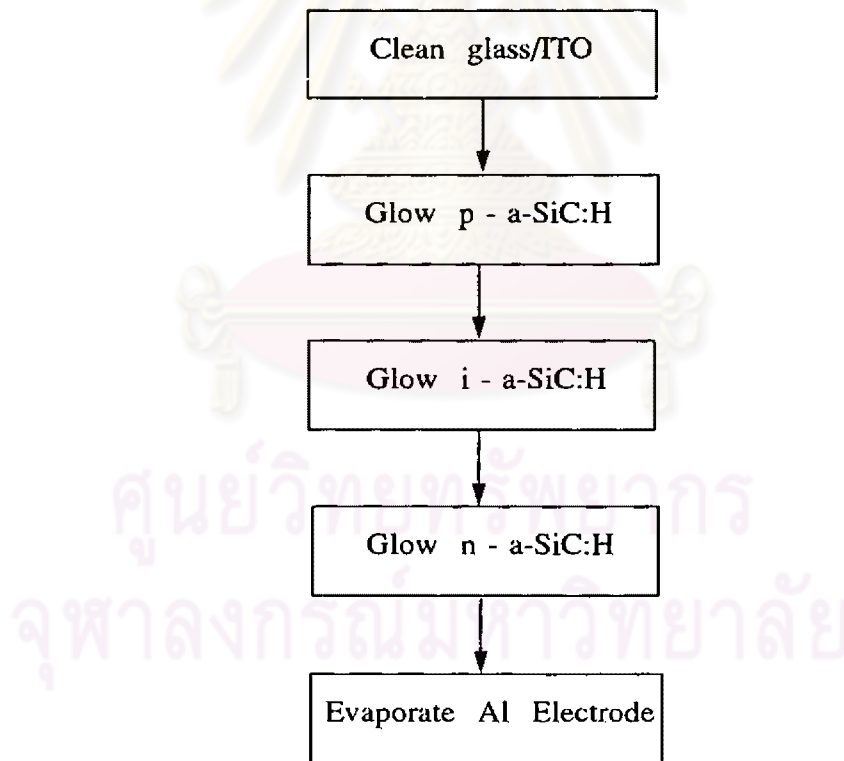
(1) ชั้น p เป็นชั้นที่ฉีดโฮลเข้าสู่ชั้น i และสร้างรอยสัมผัสโอห์มมิกกับ ITO ถ้าชั้น p บางเกินไป แสงจากชั้น i จะทะลุผ่านได้ดี แต่ในขณะเดียวกันความสามารถในการฉีดโฮลและการสร้างรอยสัมผัสจะเลวลง ในทางตรงข้ามถ้าชั้น p หนาเกินไปจะทำให้แสงจากชั้น i ทะลุผ่านชั้น p น้อยลง

(2) ชั้น n เป็นชั้นฉีดอิเล็กตรอนให้เข้าสู่ชั้น i และสร้างรอยสัมผัสโอห์มมิกกับ Al ถ้าชั้น n บางเกินไปการฉีดอิเล็กตรอนจะเลวลง ในทางตรงกันข้ามถ้าชั้น n หนาเกินไปจะทำให้การสะท้อนแสงจาก Al ให้กลับออกไปนอก TFLED ลดลง

(3) ชั้น i เป็นเปล่งแสง โดยทั่วไปถ้าชั้น i ยิ่งหนาจะทำให้เกิดจำนวนของศูนย์กลางการรวมตัวแบบเปล่งแสง (recombination centers) เพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันใน TFLED จะทำให้ความสามารถของการทะลุโมเมนต์ของพาหะจากชั้น p และ n เข้าสู่ชั้น i ลดลง

ตารางที่ 4.1 สรุปเงื่อนไขสำหรับการประดิษฐ์ a-SiC:H TFLED

กำลังไฟฟ้า RF	4 Watt, 13.56 MHz
ปริมาณการไหลของก๊าซ	15-80 cc/min
อุณหภูมิแผ่นฐาน	190°C
p-type a-SiC:H (50-800 Å)	$\text{SiH}_4 + \text{CH}_4 + \text{B}_2\text{H}_6$
i-type a-SiC:H (500 Å)	$\text{SiH}_4 + \text{C}_2\text{H}_4$
n-type a-SiC:H (500 Å)	$\text{SiH}_4 + \text{CH}_4 + \text{PH}_3$



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการประดิษฐ์ a-SiC:H TFLED

จากอดีตได้มีการศึกษาอิทธิพลของความหนาชั้น i ที่มีต่อความสว่างของ TFLED แล้วพบว่าความหนาที่เหมาะสมของชั้น i คือประมาณ 500 Å [21] สำหรับในหัวข้อ 4.4 นี้จะรายงานผลการศึกษาอิทธิพลของความหนาชั้น p ที่มีต่อความสว่างของ a-SiC:H TFLED และจะใช้ผลการศึกษาเป็นแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของ a-SiC:H TFLED ต่อไป

โครงสร้างพื้นฐานของ TFLED คือ glass / ITO / p - a-SiC:H (50-800 Å) / i - a-SiC:H (500 Å) / n - a-SiC:H (500 Å) ให้ชั้น p มีความหนาที่แตกต่างกันคือ 50, 100, 200, 300, 500 และ 800 Å เพื่อหาค่าความหนาที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งการประดิษฐ์ฟิล์ม TFLED ใช้เทคนิค glow discharge plasma CVD เมื่อทำการเปลี่ยนเงื่อนไขของความหนาชั้น p จะมีค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสงเข้ามามีอิทธิพลต่อความสว่างของ TFLED ดังนั้นในหัวข้อที่ 4.4.1 ได้มีการศึกษาถึงอิทธิพลของความหนาของชั้น p ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง ดังรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไป

4.4.1 อิทธิพลของความหนาของชั้น p ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง

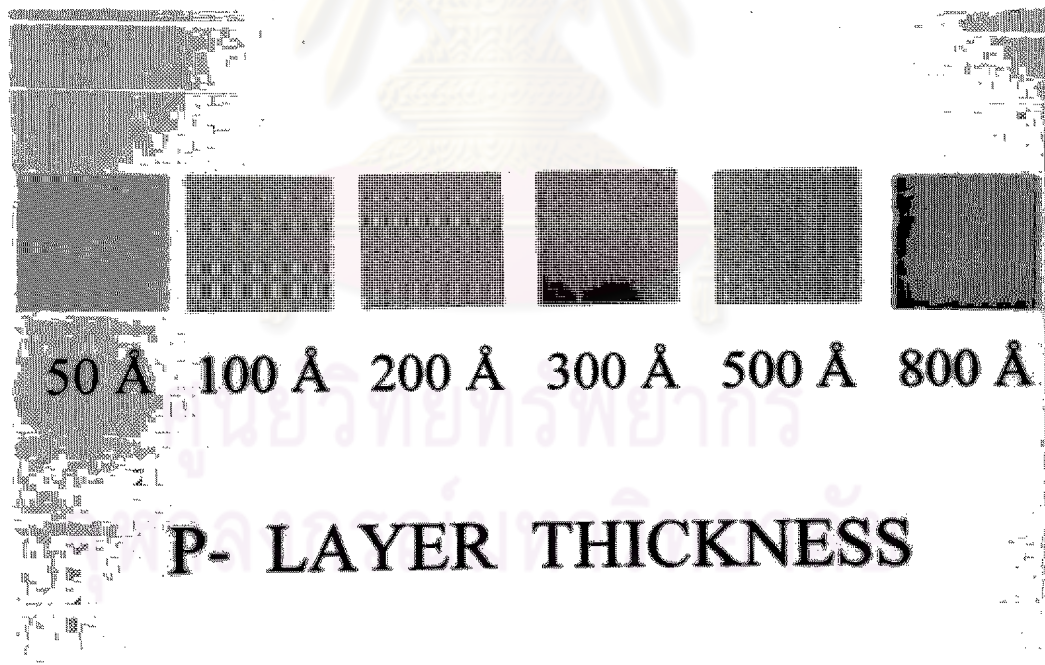
TFLED เปล่งแสงได้เนื่องจากการรวมตัวของโฮลและอิเล็กตรอนที่ถูกฉีดจากชั้น p (a-SiC:H) และ n (a-SiC:H) เข้าสู่ชั้น i ชนิดที่เกิดจากการรวมตัวแบบเปล่งแสง และแสงที่เปล่งออกมาจะผ่านชั้น p ดังนั้น ชั้น p จึงทำหน้าที่เป็นชั้นฉัดโฮลและชั้นกรองแสงด้วย ถ้าชั้น p ดูดกลืนแสงที่เปล่งออกจากชั้น i มาก จะทำให้ความเข้มของแสงที่เปล่งออกมานอก TFLED ลดลง ดังนั้นสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง (transmittance, (T%)) ของชั้น p จึงมีผลต่อความสว่างของ TFLED ในงานวิจัยนี้ได้ทำการปลูกฟิล์มชั้น p ที่มีความหนาแตกต่างกันลงบนกระจก Corning glass #7059 เพื่อใช้ในการวัดหาสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสงของชั้น p โดยใช้เงื่อนไขเช่นเดียวกับการปลูกฟิล์มชั้น p ของ TFLED

รูปที่ 4.7 แสดงรูปถ่ายของฟิล์ม p - a-SiC:H ที่มีความหนา 50, 100, 200, 300, 500 และ 800 Å (แผ่นฐานคือ Corning glass #7059) จากรูปนี้พบว่าเมื่อฟิล์ม p - a-SiC:H มีความหนาเพิ่มขึ้น สีของฟิล์มจะมีสีเหลืองและมีสีเข้มขึ้น

การวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านแสงของ p - a-SiC:H ใช้เครื่อง UV-3101 PC ของบริษัท Shimadzu (วัดแบบลำแสง 2 เส้น) รูปที่ 4.8 แสดงผลการวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านแสงของฟิล์ม p - a-SiC:H ที่มีความหนาต่างกัน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสงมีค่าลดลงเมื่อฟิล์มชั้น p



รูปที่ 4.6 ภาพถ่าย a-SiC:H TFLED ขณะปล่องแสง



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายของฟิล์ม p - a-SiC:H ที่มีความหนา 50, 100, 200, 300, 500 และ 800 Å ตามลำดับ

ของ a-SiC:H มีความหนาเพิ่มขึ้นจนกระทั่งฟิล์ม p - a-SiC:H หนามาก ๆ ประมาณ 500 Å ขึ้นไปจะเกิดการแทรกสอด (interference) ภายในฟิล์มที่เห็นได้อย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาชั้น p ที่ความหนา 500 Å (กราฟเส้น E) สเปกตรัม T% ที่เกิดการแทรกสอดนี้จะเกิดในช่วงความยาวคลื่นที่กว้างประมาณ 450-700 nm ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นได้ และมีค่า T% สูงใกล้เคียงกับชั้น p ที่มีความหนา 100 Å และ 200 Å (กราฟเส้น B และ C) และเมื่อชั้น p มีความหนามากขึ้น สามารถพิจารณาความหนาที่ 800 Å พบว่ายอดของสเปกตรัม T% ที่เกิดจากการแทรกสอดนั้นเลื่อนไปทางความยาวคลื่นแสงที่มากขึ้น

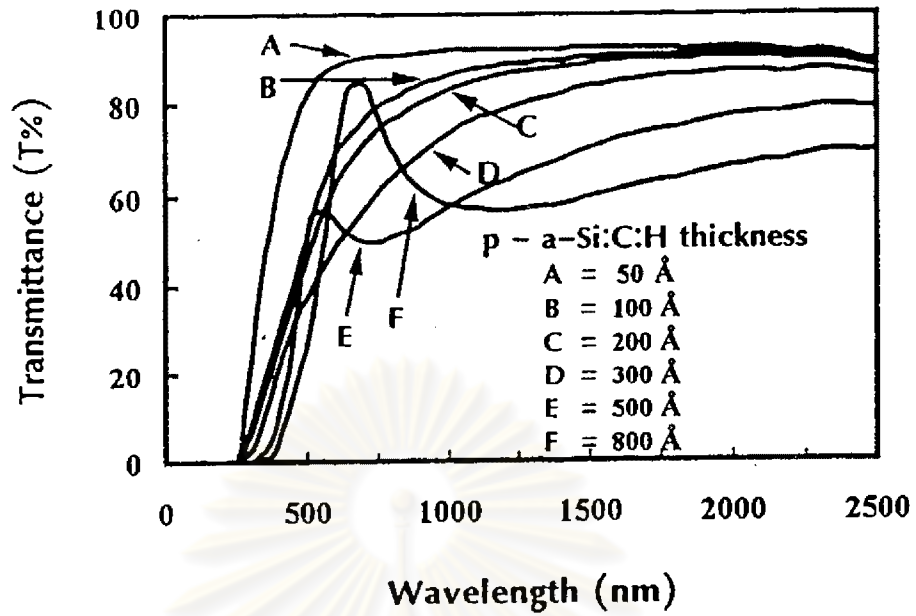
จากผลการวัดสเปกตรัม T% ของฟิล์ม p - a-SiC:H ที่ความหนาต่าง ๆ เป็นที่น่าสังเกตได้ว่าฟิล์ม p - a-SiC:H มีความสามารถให้แสงจากชั้น i ทะลุผ่านได้ดีในช่วงที่มีค่าความหนาชั้น p ต่าง ๆ กว้างตั้งแต่ความหนา 50-800 Å และสเปกตรัม T% ของฟิล์มที่หนา 500 Å จะเกิดยอดสเปกตรัมการแทรกสอดที่บริเวณความยาวคลื่น visible light จึงสอดคล้องกับการนำไปใช้เป็นชั้น p ในสิ่งประดิษฐ์เปล่งแสงแบบ TFLED ได้ดี ดังนั้นความหนาชั้น p ที่เหมาะสม คือ 300 Å ถึง 500 Å

4.4.2 อิทธิพลของความหนาของชั้น p ที่มีต่อลักษณะคุณสมบัติของ a-SiC:H

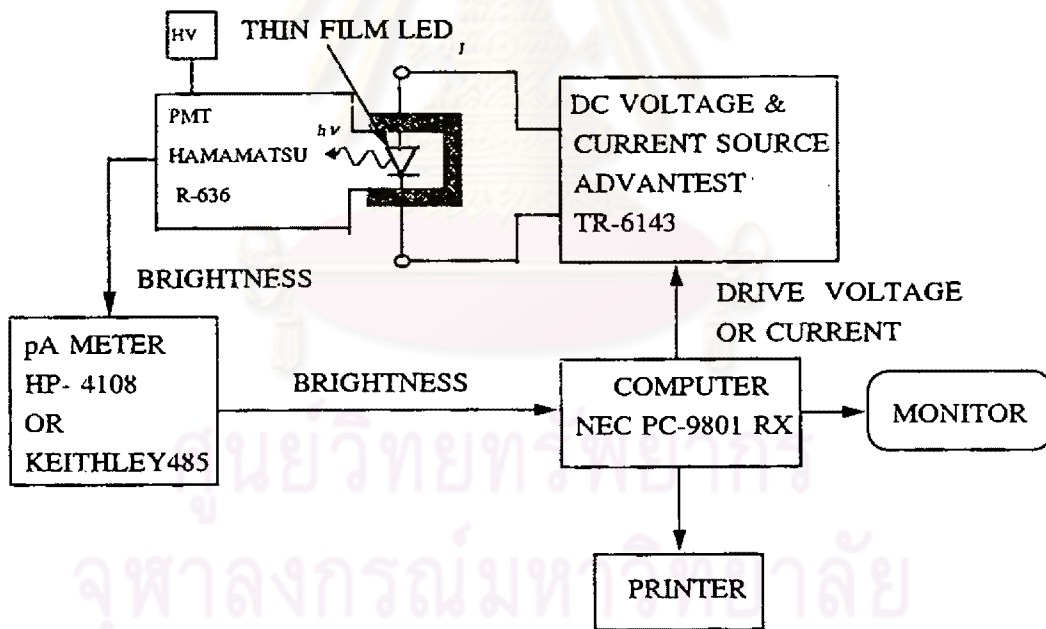
TFLED

ไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบาง a-SiC:H TFLED รอยต่อ p-i-n เปล่งแสงออกมาเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าไบอัสแบบตามให้แก่อิโอด ซึ่งเป็นการฉีดกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ไดโอดนั่นเอง ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงลักษณะสมบัติ J-V และความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (B) ของ TFLED และกระแสไฟฟ้าฉีด (I_{inj}) แผนภูมิของระบบการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (B) ของ TFLED และกระแสไฟฟ้าฉีด (I_{inj}) แสดงในรูปที่ 4.9 และรูปถ่ายเครื่องมือที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (B) ของ TFLED และกระแสไฟฟ้าฉีด (I_{inj}) แสดงในรูปที่ 4.10

ในการทดลองได้ผลิต a-SiC:H TFLED ที่มีความหนาของชั้น p ค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 50-800 Å โดยกำหนดให้ชั้น i และ n มีความหนาคงที่ที่ 500 Å ช่องว่างพลังงานของชั้น p, i, และ n คือ 2.0, 3.0 และ 2.0 eV ตามลำดับ TFLED เหล่านี้เปล่งแสงสีส้มเหลือง และสีไม่แตกต่างกันมากนัก



รูปที่ 4.8 แถบกราฟสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสงของฟิล์ม p - a-Si:C:H ที่มีความหนาต่างกัน

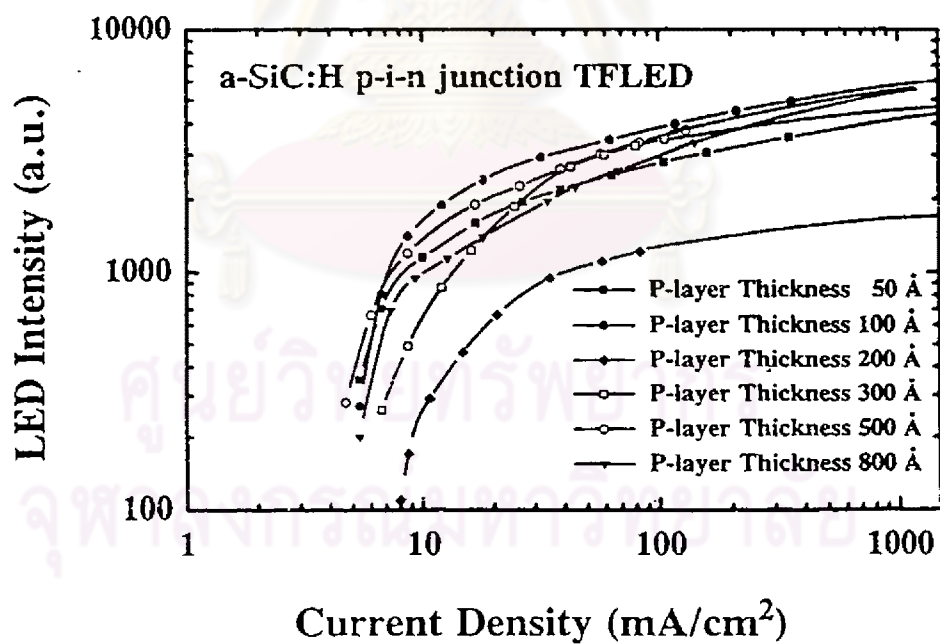


BRIGHTNESS vs CURRENT

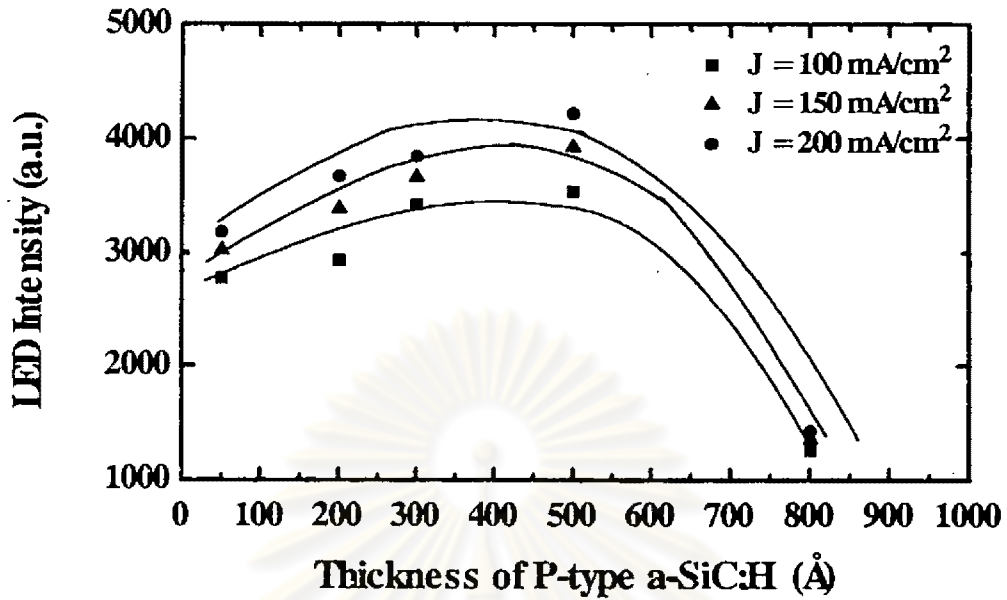
รูปที่ 4.9 แผนภูมิระบบการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ($B - I_{inj}$) สำหรับ a-Si:C:H TFLED



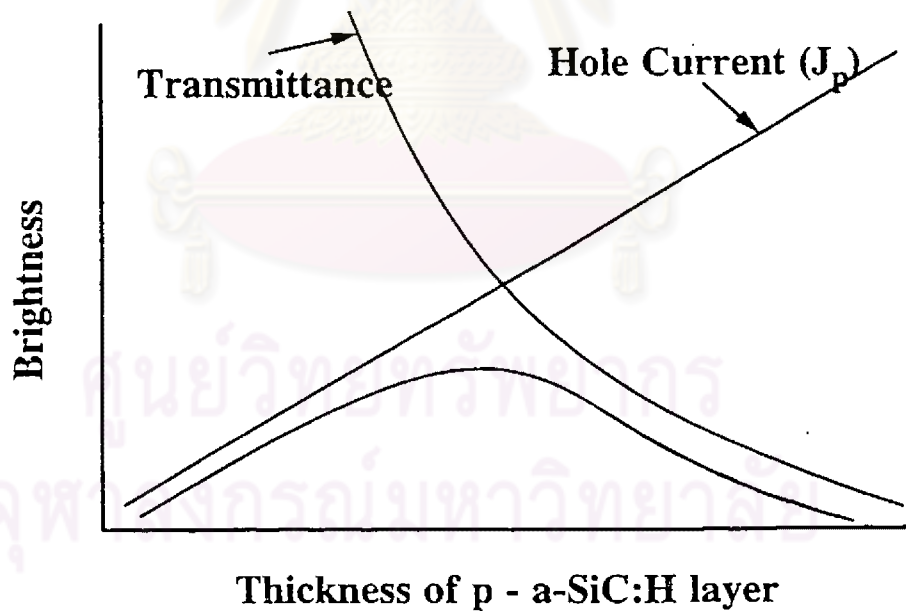
รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายเครื่องมือที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ($B - I_{inj}$) สำหรับ a-SiC:H TFLED



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเมื่อความหนาแน่น p ของ a-SiC:H TFLED เท่ากับ 50, 100, 200, 300, 500 และ 800 Å



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและความหนาของชั้น p ของ a-SiC:H ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 100, 150 และ 200 mA/cm²



รูปที่ 4.13 โมเดลอธิบายความสว่างของ a-SiC:H TFLED ที่ขึ้นอยู่กับความหนาของชั้น p ของ a-SiC:H TFLED

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า เมื่อความหนาแน่น p ของ a-SiC:H TFLED เท่ากับ 50, 100, 200, 300, 500 และ 800 \AA จากรูปนี้ พบว่าที่ระดับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามีค่าน้อยค่าความสว่างจะมีค่าสูงมีลักษณะเป็นเชิงเส้น เมื่อค่าความหนาแน่นกระแสมีค่ามากขึ้นค่าความสว่างจะเริ่มอ้อมตัวขึ้น การอ้อมตัวของความสว่าง อาจมีสาเหตุหนึ่งมาจากอิทธิพลของความร้อนที่เกิดขึ้นใน TFLED

รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและความหนาแน่นของชั้น p ที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 100, 150 และ 200 mA/cm^2 จากกราฟจะพบว่าค่าความหนาแน่น p ที่สามารถทำให้ a-SiC:H TFLED สว่างนั้นมีขอบเขตกว้าง ตั้งแต่ 50-800 \AA แต่ความหนาแน่นที่ให้แสงสว่างดีที่สุดอยู่ในช่วง 300 - 500 \AA และจากรูปนี้จะสังเกตเห็นว่าที่ความหนาแน่น 500 \AA มีบริเวณยอดสเปกตรัม T% ที่เกิดการแทรกสอดนั้นอยู่ในช่วงความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นได้จึงเป็นข้อดีอย่างหนึ่ง แต่ a-SiC:H TFLED ที่ชั้น p มีความหนา 800 \AA จะมีค่าความสว่างน้อยมากเนื่องจากมีบริเวณยอดสเปกตรัม T% ที่เกิดการแทรกสอดนั้นอยู่ในช่วงความยาวคลื่นแสงที่มองไม่เห็นได้คือย่าน IR นั่นเอง ดังนั้นจึงสอดคล้องกับกราฟ $B - I_{inj}$ ที่ความหนาแน่น p 800 \AA มีค่าความสว่างต่ำ

รูปที่ 4.13 แสดงโมเดลอธิบายความสว่างของ TFLED ที่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของชั้น p - a-SiC:H TFLED จากรูปนี้พบว่าช่วงความหนาแน่นที่เหมาะสมของชั้น p ที่ได้ความสว่างที่ดีที่สุดคือ 300 - 500 \AA

แต่อย่างไรก็ตามค่าความหนาแน่นของชั้น p ยังมีผลต่อความทนทานของสิ่งประดิษฐ์เปล่งแสงชนิดนี้ด้วย นั่นคือเมื่อ TFLED มีความหนาแน่น p สูงขึ้นพบว่ามีความทนทานกว่า TFLED ที่มี ความหนาแน่น p น้อยกว่า และความหนาแน่นของชั้น p ที่ให้ความสว่างมากที่สุดอยู่ในช่วง 300-500 \AA

4.5 สรุป

ได้ทำการปรับปรุงความสว่างให้กับ a-SiC:H TFLED โดยการศึกษอิทธิพลของความหนาแน่นของชั้น p ที่มีต่อความสว่างของ TFLED พบว่าความหนาแน่นที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 300 - 500 \AA ซึ่งความหนาแน่นนี้สามารถทำให้ TFLED เปล่งแสงได้สว่างที่สุด จากผลดังกล่าวช่วงความหนาแน่น p ที่เหมาะสมจะมีช่วงกว้าง เนื่องจากผลของค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง (T%)

ของฟิล์มชั้น p จะมีค่าน้อยลงเมื่อความหนาของชั้น p มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าที่ความหนา 500 Å จะมียอดสเปกตรัม T% ที่เกิดจากการแทรกสอดอยู่ในช่วงความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นได้ จึงเป็นข้อดีอย่างหนึ่งที่ทำให้ได้ค่าความสว่างของ TFLED สูงสุดอยู่ในช่วงความหนาของชั้น p กว้างตั้งแต่ 300- 500 Å และการประยุกต์ใช้งาน a-SiC:H TFLED ในบทที่ 5 และ 6 ได้เลือกความหนาชั้น p ประมาณ 300 Å



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย