

## บทที่ 6

### การพัฒนาวงจรรวมออปโตอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย

#### 6.1 บทนำ

วงจรรวมออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (optoelectronic IC ย่อว่า OEIC) คือ วงจรรวม (integrated circuit) ซึ่งประกอบด้วยสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมากอยู่บนชิป (chip) ตัวเดียวกันถูกเสนอความคิดมาตั้งแต่ ค.ศ. 1959 [33] OEIC อาจประกอบด้วยไดโอดเปล่งแสง ทางนำแสง ทรานซิสเตอร์ และโฟโตไดโอด ฯลฯ เป็นต้น และสามารถทำงานบางอย่างได้แล้วแต่ จะออกแบบ เช่น ใช้คำนวณลอจิกหรือถ่ายภาพสัญญาณ OEIC แตกต่างจาก IC คือหลักการ ทำงานนั้นนอกจากจะใช้อิเล็กทรอนิกส์แล้วยังใช้โฟตอนเป็นสื่อในการส่งสัญญาณต่าง ๆ เนื่องจาก โฟตอนสามารถเดินทางได้รวดเร็วและไม่ถูกรบกวนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นจึงเหมาะสมในการใช้งานมากกว่าการใช้อิเล็กทรอนิกส์ในหลายกรณี

OEIC ที่มีกันอยู่ทั่วไปในปัจจุบันทั้งหมดสร้างจากวัสดุผลึกเดี่ยว อาทิเช่น GaAs, GaAlAs ซึ่งเป็นวัสดุที่มีราคาแพง และผลิตเป็นพื้นที่ใหญ่ได้ยาก และมีปัญหาเรื่อง lattice mismatch [34]

ในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวความคิดใหม่ที่จะใช้วัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำเป็นวัสดุหลัก ใน OEIC เพราะวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำสามารถผลิตเป็นไดโอดเปล่งแสง และโฟโตไดโอดได้ ซึ่งเหมาะสำหรับประดิษฐ์ OEIC ชนิดใหม่ และได้เรียกสิ่งประดิษฐ์ชนิดใหม่นี้ว่า “วงจรรวมออปโตอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ” (amorphous semiconductor optoelectronic integrated circuit) ซึ่งแนวความคิดเกี่ยวกับการออกแบบประดิษฐ์ OEIC ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยนี้มีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วยหน่วยกำเนิดแสงจากไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย (TFLED) หน่วยรับแสงจากโฟโตไดโอดชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (TFPD) ที่ประดิษฐ์ลงบนแผ่นฐานเดียวกัน และแผ่นฐานนั้นยังมีหน้าที่เป็นหน่วยทางนำแสงด้วย

ในหัวข้อ 6.2 จะกล่าวถึงโครงสร้างพื้นฐานของ OEIC ส่วนในหัวข้อ 6.3 จะกล่าวถึงคุณสมบัติเด่นของ OEIC ชนิดวัสดุซิลิคอนอัลลอย และเสนอแนวความคิดในการออกแบบการจัดวาง

TFLED และ TFPD ในตำแหน่งต่าง ๆ ในหัวข้อ 6.4 จะกล่าวถึงการเสนอแนวความคิดการใช้กระจกฝ้าเป็นทางนำแสง ในหัวข้อ 6.5 จะกล่าวถึงโครงสร้างและลักษณะคุณสมบัติทางแสงของ a-SiC:H TFLED สำหรับใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงของ OEIC ในหัวข้อ 6.6 จะกล่าวถึงโครงสร้างและลักษณะคุณสมบัติทางแสงของ a-Si:H TFPD สำหรับใช้เป็นแหล่งตรวจรับแสงของ OEIC ในหัวข้อที่ 6.7 จะกล่าวข้อสรุปสำหรับแนวความคิดในการประดิษฐ์ OEIC ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย

## 6.2 โครงสร้างพื้นฐานของ OEIC

OEIC คือวงจรรวม (Integrated Circuit) ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์และทางแสง และรวมทั้งส่วนเชื่อมต่อภายในทางแสง (optical interconnects) ดังแสดงในรูปที่ 6.1 สิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ ใน OEIC ถูกสร้างลงบนแผ่นฐานร่วมกันในลักษณะโมนอลิธิค (monolithic) ซึ่งมีส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญ 3 ส่วนคือ แหล่งกำเนิดสัญญาณ (light source) ท่อนำสัญญาณ (waveguide) และแหล่งตรวจจับสัญญาณ (detector) แสดงดังรูปที่ 6.2 OEIC มีข้อดีเด่นดังนี้

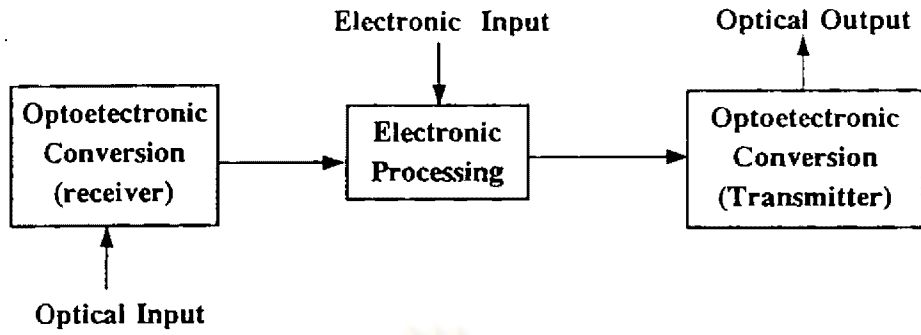
1. ทำงานได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากใช้แสงเป็นสื่อในการส่งสัญญาณต่าง ๆ (high-speed)
2. ตรวจจับสัญญาณได้อย่างรวดเร็ว (high-sensitive)
3. ไม่ถูกรบกวนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (low-noise)
4. มีขนาดเล็กและเชื่อถือได้ (compactness and reliability)
5. มีราคาถูก ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยการออกแบบเลือกวัสดุและชนิดของสิ่งประดิษฐ์

OEIC มีประโยชน์ในการใช้งานมากมายเช่น เป็นวงจรถ่ายทอดสัญญาณ วงจรอปติคัลคัปเปิลเลอร์ วงจรประมวลการคำนวณต่าง ๆ ฯลฯ

รูปที่ 6.3 (ก) แสดงโครงสร้างของ OEIC ชนิดผลึก และ (ข) แสดงชิป OEIC ที่มีการใช้งานซึ่งมีท่อใยแสงประกอบอยู่ภายใน

## 6.3 คุณสมบัติเด่นของ OEIC ชนิดวัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย

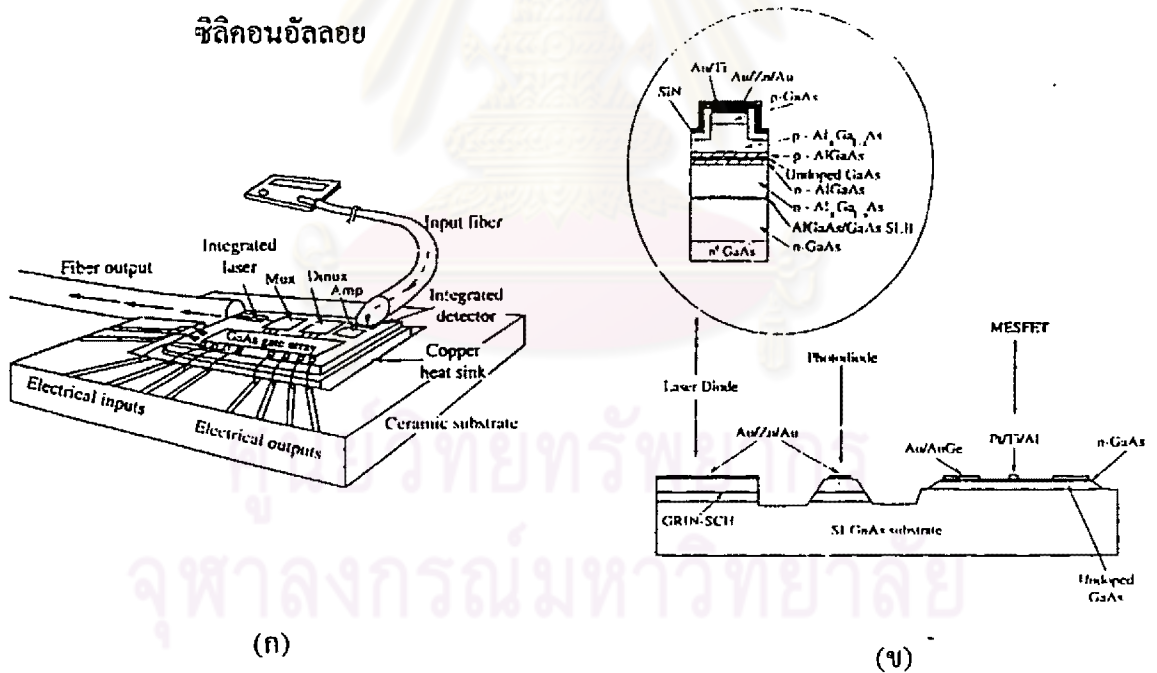
OEIC ที่ใช้งานในปัจจุบันทั้งหมดสร้างบนวัสดุผลึกเดี่ยว อาทิเช่น GaAs, GaAlAs ซึ่งเป็น



รูปที่ 6.1 แผนภูมิโครงสร้างส่วนประกอบที่สำคัญของ OEIC



รูปที่ 6.2 ตัวอย่างการวางส่วนประกอบที่สำคัญของ OEIC Optical Coupler ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย



รูปที่ 6.3 วงจรรวมชนิดออปโตอิเล็กทรอนิกส์ชนิดผลึก

(ก) โครงสร้างของ OEIC ชนิดผลึก [35] และ

(ข) ชิป OEIC ที่มีการใช้งานซึ่งมีท่อใยแสงประกอบอยู่ภายใน [36]

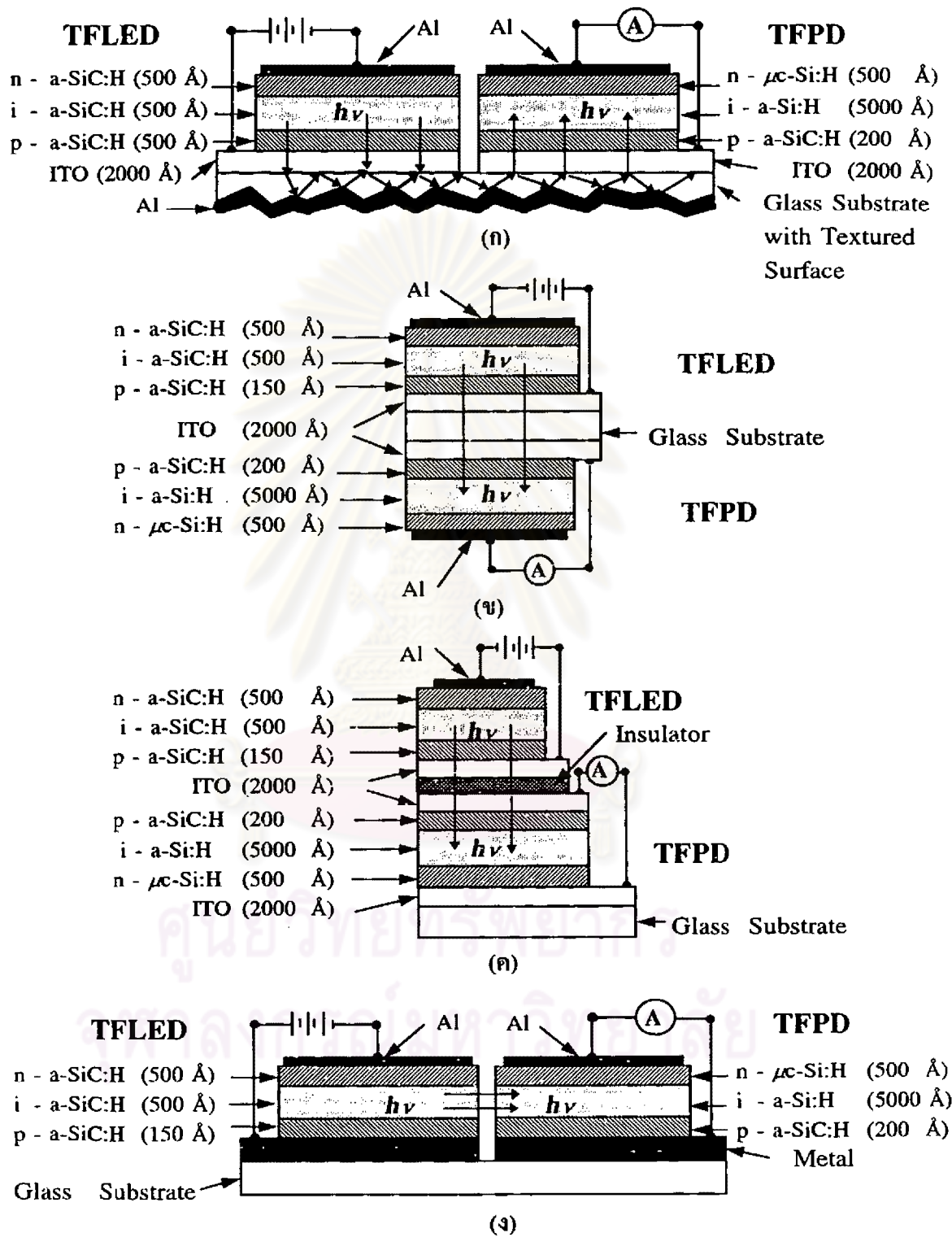
วัสดุราคาแพง และผลิตให้มีพื้นที่ใหญ่ได้ยาก และมีปัญหาเรื่อง lattice mismatch ดังที่กล่าวไว้แล้วในข้างต้น ดังนั้นในงานวิจัยบนนี้ได้มีการเสนอความคิดใหม่โดยใช้วัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำเป็นวัสดุหลักใน OEIC ซึ่งมีลักษณะเด่นที่แตกต่างไปจากกรณีผลึกหลายด้าน เช่น

1. สามารถใช้วัสดุชนิดต่าง ๆ เป็นแผ่นฐานได้ เช่น แผ่นกระจก แผ่นโลหะ แผ่นเซรามิก แผ่นโพลีเมอร์
2. สามารถผลิตให้ฟิล์มอะมอร์ฟัสซ้อนทับกันหลาย ๆ ชั้นโดยไม่มีปัญหาเรื่องความแตกต่างของค่าคงที่โครงสร้างผลึก (lattice mismatch)
3. ปัจจุบันมีสิ่งประดิษฐ์ชนิดอะมอร์ฟัสที่ทำงานได้หลายชนิด เช่น ทรานซิสเตอร์ฟิล์มบาง ไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบาง โฟโตไดโอดฟิล์มบาง ทางนำแสงฟิล์มบาง เป็นต้น
4. ใช้วัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย ซึ่งสามารถผลิตได้ที่อุณหภูมิต่ำ และเป็นวัสดุที่มีมาก ดังนั้นจึงประหยัดพลังงานและต้นทุนสูง

ในบทนี้จะเป็นการเสนอแนวความคิดเกี่ยวกับการออกแบบ OEIC ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย [16] ตัวอย่างโครงสร้างของ OEIC ชนิดอะมอร์ฟัสประกอบด้วยสิ่งประดิษฐ์กำเนิดแสงชนิด TFLED และสิ่งประดิษฐ์รับแสงชนิด TFPD ดังแสดงโครงสร้างดังรูปที่ 6.4 ซึ่งความแตกต่างของรูปที่ 6.4 (ก)-(ง) คือตำแหน่งการจัดวาง TFLED และ TFPD

กรณีรูปที่ 6.4 (ก) เป็นการออกแบบให้แสงจาก TFLED ตกกระทบกระจกฝ้าด้วยพื้นที่ใหญ่ และสะท้อนแบบกระเจิงบนผิวกระจกฝ้าที่มีความขรุขระ (texture surface) และแสงจะสะท้อนไปทางโฟโตไดโอดได้เนื่องจากกระจกและขั้วไฟฟ้า ITO มีค่าดัชนีหักเหแสงประมาณ 1.5~1.8 และมีชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมเคลือบบนผิวกระจกฝ้าเพื่อสะท้อนไปยัง TFPD ให้มากที่สุด ดังนั้นกระจกฝ้าจะทำหน้าที่เป็นทางนำแสง (waveguide) ได้เมื่อดัชนีหักเหแสงของฟิล์ม a-SiC:H มีค่ามากกว่า 1.8 ผลการทดลองในบทที่ 3 ได้ผลว่าดัชนีหักเหแสงของ a-SiC:H มีค่าประมาณ 2.3 - 2.7 ดังนั้นในกรณีรูปที่ 6.4 (ก) กระจกฝ้าสามารถทำหน้าที่เป็นทางนำแสงไปในตัว ซึ่งนับว่าเป็นแนวความคิดใหม่

กรณีรูปที่ 6.4 (ข) เป็นการออกแบบให้ TFLED และ TFPD อยู่บนแผ่นฐานกระจกคนละด้าน กรณีนี้เป็นการประหยัดพื้นที่ของแผ่นกระจก แนวทางการออกแบบคือ แสงจาก TFLED จะต้องสามารถเดินทางทะลุผ่านกระจกไปสู่ TFPD ได้ดี ผลการทดลองผลิตและวัดได้ผลตอบสนองที่



รูปที่ 6.4 โครงสร้างของวงจรรูปไดโอดเปล่งท่อนิกซ์ชนิดอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ



#### ดีกว่ากรณีรูปที่ 6.4 (ก)

กรณีรูปที่ 6.4 (ก) เป็นการออกแบบให้ TFLED และ TFPD วางซ้อนทับกันในแนวตั้ง วางอยู่บนแผ่นฐานเดียวกัน โดยมีฉนวนฟิล์มบางที่โปร่งแสง (transparent insulator) คั่นอยู่ตรงกลางระหว่างสิ่งประดิษฐ์ทั้งสอง ข้อดีของโครงสร้างนี้ คือสิ่งประดิษฐ์ทั้งสองมีระยะใกล้กันมาก ทำให้ได้สัญญาณแรง แต่ขั้นตอนการผลิตจะยุ่งยากเพราะต้องปลูกฟิล์มหลายหลายชั้นซ้อนทับกัน การออกแบบควรเลือกวัสดุฉนวนฟิล์มบางที่มีค่าดัชนีหักเหแสงน้อยกว่าฟิล์ม a-SiC:H และโปร่งแสงมากที่สุดเพื่อให้ได้แสงเดินทางทะลุไปสู่ TFPD ได้ดี

กรณีรูปที่ 6.4 (ง) เป็นการออกแบบให้ TFLED และ TFPD วางอยู่บนแผ่นฐานในแนวระนาบเดียวกัน และออกแบบให้แสงเดินทางออกจากด้านข้างของ TFLED เข้าสู่ด้านข้าง TFPD แต่เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของสิ่งประดิษฐ์ทั้งสองมีค่าน้อยมาก (เพราะว่าเป็นฟิล์มที่บางมาก) ดังนั้นผลตอบสนองของสัญญาณในรูปนี้จึงมีค่าน้อยกว่ากรณีรูปที่ 6.4 (ก)-(ค)

ในบทนี้จะกล่าวถึงการนำ OEIC ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยนำมาประยุกต์เป็นอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแบบวงจรรวมออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (OEIC Transmitters) ที่มีโครงสร้างตามรูปที่ 6.4 (ก) ซึ่งมี TFLED ชนิดวัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยเป็นแหล่งกำเนิดแสง TFPD ชนิดวัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอนเป็นแหล่งรับแสง สิ่งประดิษฐ์ทั้งสองผลิตให้อยู่บนแผ่นกระจกที่มีโครงสร้างผิวขรุขระ (texture surface) ซึ่งกระจกผิวขรุขระนี้มีคุณสมบัติให้แสงเกิดการหักเหแสงทุกทิศทุกทาง จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงมีแนวความคิดที่จะนำกระจกผิวขรุขระนี้มาผลิตเป็นท่อทางเดินแสง เพื่อให้แสงเดินทางในแนวระนาบ ไปถึงแหล่งรับแสง

#### 6.4 การศึกษาโครงสร้างพื้นฐานและลักษณะคุณสมบัติทางแสงของกระจกที่มีโครงสร้างผิวขรุขระ (texture surface) สำหรับเป็นทางเดินแสงของ OEIC

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการพัฒนา OEIC ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยที่มีโครงสร้างตามรูปที่ 6.3 (ก) ซึ่งมี TFLED ชนิดวัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยเป็นแหล่งกำเนิดแสง TFPD ชนิดวัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอนเป็นแหล่งรับแสง สิ่งประดิษฐ์ทั้งสองผลิตให้อยู่บนแผ่นกระจกที่มีโครงสร้างผิวขรุขระ (texture surface) ซึ่งกระจกผิวขรุขระหรือกระจกฝ้านี้มีคุณสมบัติให้แสงเกิดการ

หักเหแสงทุกทิศทุกทาง จากคุณสมบัติหลักดังกล่าวจึงมีแนวความคิดที่จะนำกระจกใสนี้มาผลิตเป็นช่องทางเดินแสงเพื่อให้แสงเดินทางในแนวระนาบไปถึงแหล่งรับแสง TFPD คล้ายกับเกรตติง (grating) ในเลเซอร์ไดโอดชนิด DBR (Distributed Bragg Reflector) รูปที่ 6.5 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอดชนิด DBR

ได้มีการศึกษากระจกโครงสร้างผิวขรุขระที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะการกระจายแสง โดยใช้ผงขัดที่ความละเอียดแตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 6.1 และได้ทดสอบการกระจายแสงบนผิวกระจกใส่โดยทำการยิงแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นแสงสีแดง และสีน้ำเงินเพื่อสังเกตการกระจายแสงที่สะท้อนขึ้นด้านบน

รูปที่ 6.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบการวัดการกระจายของแสงที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนกระจกใส่ ซึ่งมีไดโอดชนิดผลึกเปล่งแสงสีเขียวเป็นแหล่งกำเนิดแสง

รูปที่ 6.7 (ก) - (ข) แสดงการกระจายแสงด้านบนของกระจก ซึ่งผิวด้านล่างขรุขระ เพื่อเป็นการทดสอบว่ากระจกใส่สามารถใช้งานเป็นทางนำแสงแบบ Distributed Bragg Reflector ได้ จึงได้ทดลองยิงแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันลงบนกระจกใส่ โดยยิงแสงเลเซอร์สีแดง (He-Ne  $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ ) และเลเซอร์สีน้ำเงิน (He-Cd  $\lambda = 442 \text{ nm}$ ) จากรูปจะสังเกตเห็นว่ากระจกใส่ไม่มีการกระจายแสงห่างจากจุดเลเซอร์สีน้ำเงินขึ้นมาด้านบน แต่จุดเลเซอร์สีแดงมีการกระจายเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากผิวกระจกใส่ไม่เรียบมีความหยาบที่เหมาะสมทำให้เกิดการสะท้อนของแสงเลเซอร์สีแดงแสงได้ เมื่อเทียบกับกระจกใส่จะเห็นการกระจายแสงทั่วผิวด้านบนของกระจกใส่ จึงเป็นที่น่าสังเกตว่ากระจกใส่มีคุณสมบัติเด่น คือมีการกระจายแสงทั่วบริเวณบนกระจกและอาจจะคาดคะเนว่าน่าจะมีระยะห่างที่มากพอสำหรับแสงจาก TFLED เดินทางไปยัง TFPD ได้

จากแนวความคิดที่จะนำกระจกใส่มาเป็นทางเดินแสงจาก TFLED ไปยัง TFPD นั้นจำเป็นต้องศึกษาหาระยะการกระจายแสงที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนกระจกใส่ ซึ่งได้นำไดโอดเปล่งแสงแบบผลึกแสงสีเขียว ( $\lambda = 520 - 530 \text{ nm}$ ) มาทดสอบ

รูปที่ 6.8 (ก) - (ง) แสดงผลการวัดการกระจายของแสงที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนกระจกใส่เปรียบเทียบกับกระจกใส่ที่ถูกขัดด้วยผงขัดเบอร์ต่าง ๆ จะเห็นว่ากระจกใส่เบอร์ #2000 มีการกระจายแสงความยาวคลื่นสีเขียวที่กว้างกว่าเบอร์อื่น ๆ ส่วนกระจกที่มีความใสน้อยจะมีการ

กระจายแสงด้านบนน้อยตามลำดับ

เราสามารถคาดคะเนการกระจายแสงบนกระจกฝ้าเมื่อมี a-SiC:H TFLED ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยเป็นแหล่งกำเนิดแสงให้แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 550 - 680 nm โดยพิจารณาจากโครงสร้างของกระจกฝ้าให้ระยะห่างของยอดขรุขระเปรียบเสมือนระยะพิท (pitch) ดังนั้นสามารถคำนวณระยะพิทได้จากกฎของ Bragg ดังสมการที่ 6.1 [35]

$$\Lambda = \frac{2\lambda}{n} \quad (6.1)$$

เมื่อ  $n$  ของกระจกเท่ากับ 1.45 และความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกจาก TFLED ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยอยู่ในช่วง 550 - 730 nm

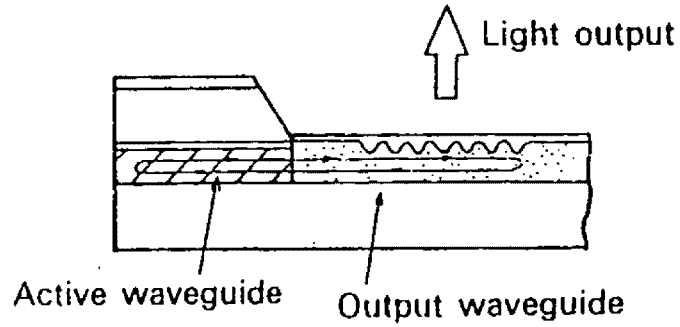
$$\Lambda = \frac{2 \times 550 \text{ nm}}{1.45} = 0.758 \mu\text{m}$$

$$\Lambda = \frac{2 \times 730 \text{ nm}}{1.45} = 1.006 \mu\text{m}$$

ดังนั้นจากการคำนวณจะได้ระยะพิทที่เหมาะสมสำหรับความยาวคลื่นแสง a-SiC:H TFLED คือระยะพิทอยู่ระหว่าง  $0.758 \mu\text{m} - 1.006 \mu\text{m}$  โครงสร้างของผิวกระจกขรุขระสามารถสังเกตได้จากการวัด SEM (Scanning Electron Microscopics) จากรูปที่ 6.9 (ก) - (ค) จะเห็นว่ากระจกฝ้าเบอร์ #1000 มีระยะพิทส่วนใหญ่เฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 5 - 10  $\mu\text{m}$  กระจกฝ้าเบอร์ #2000 มีระยะพิทส่วนใหญ่เฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 - 5  $\mu\text{m}$  และกระจกเบอร์ฝ้า #4000 มีระยะพิทส่วนใหญ่เฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณต่ำกว่า 0.5  $\mu\text{m}$

จากโครงสร้างของกระจกฝ้าเบอร์ต่าง ๆ ที่สามารถสังเกตได้จากการวัด SEM พบว่าสามารถคาดคะเนว่ากระจกฝ้าเบอร์ #2000 มีช่วงพิทเฉลี่ยประมาณ 5 - 10  $\mu\text{m}$  มีความเหมาะสมกับแสงที่เปล่งออกมาจาก a-SiC:H TFLED ที่ได้คำนวณระยะพิทที่เหมาะสมไว้ประมาณ 0.758 - 1.006  $\mu\text{m}$

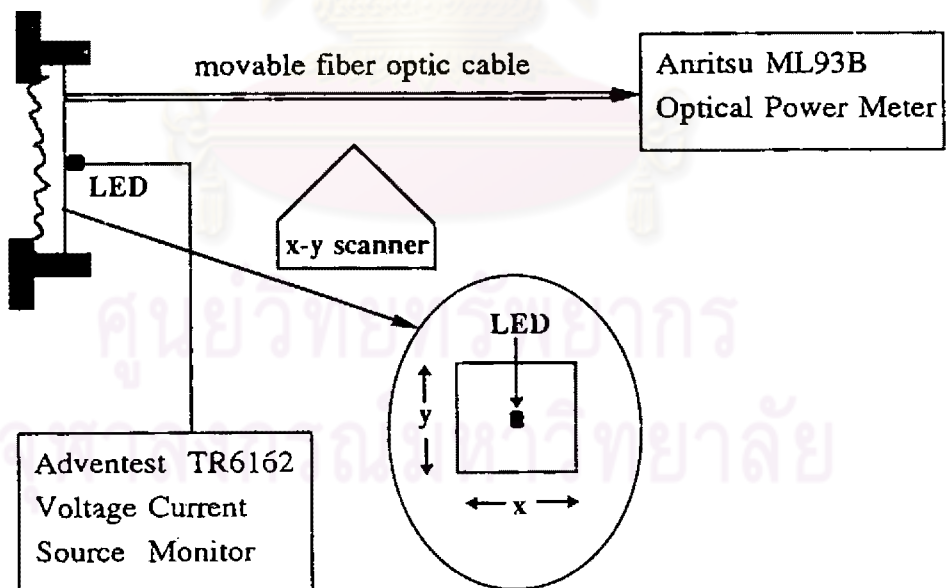




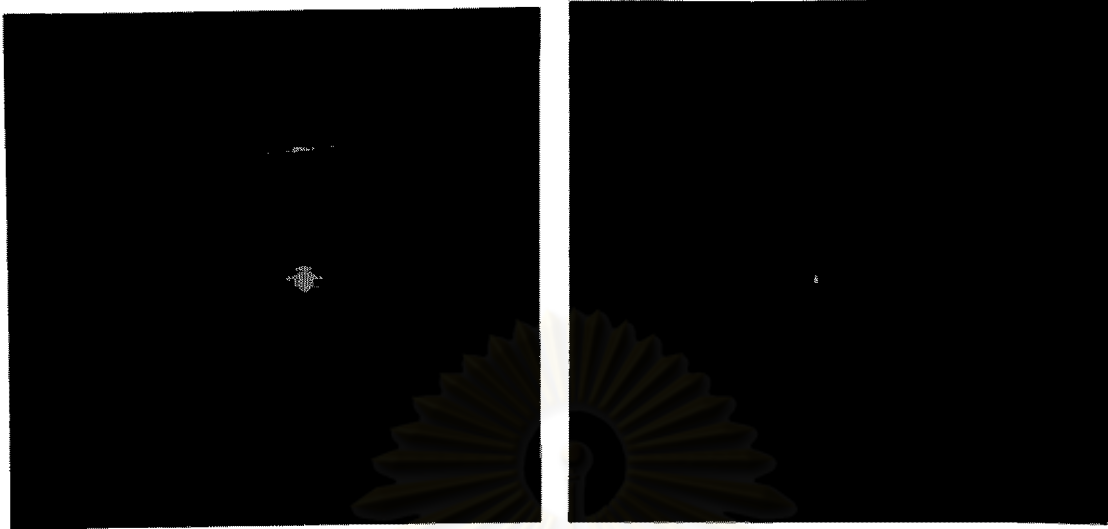
รูปที่ 6.5 โครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอดชนิด DBR (Distributed Bragg Reflector)

ตารางที่ 6.1 ชนิดและขนาดของผงดัด SiC ที่ใช้ในการขัดกระจกฝ้า

ชนิดของผงดัด	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผงดัด ( $\mu\text{m}$ )
ผงดัด SiC เบอร์ # 1000	13
# 2000	6.3
# 4000	3



รูปที่ 6.6 ระบบการวัดการกระจายของแสงที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนกระจกฝ้า



ก) ภาพถ่ายการกระจายแสงสีแดงและสีน้ำเงินบนกระจกใส

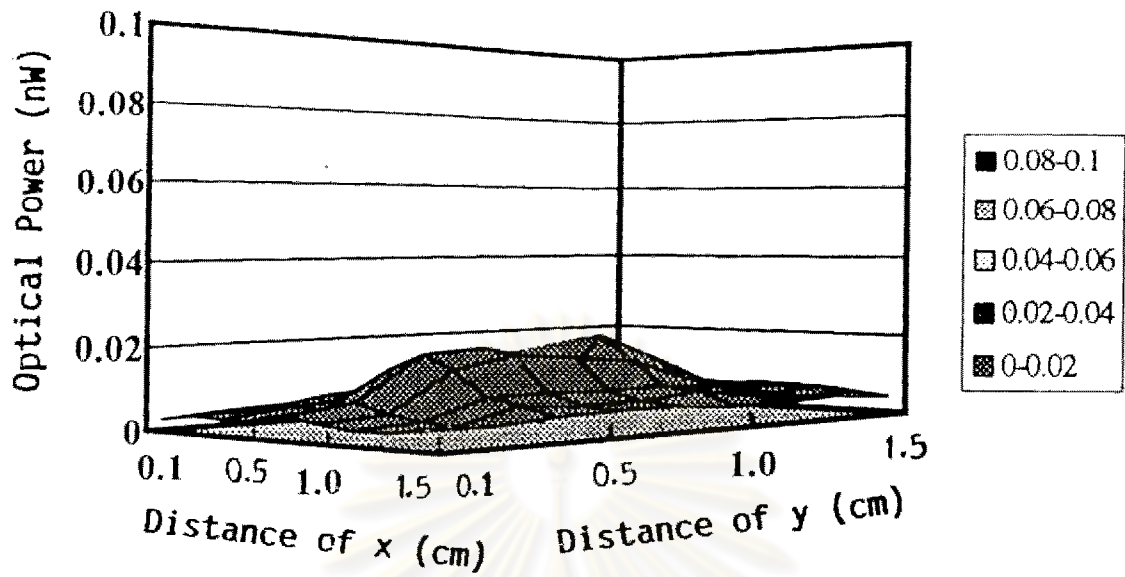


ข) ภาพถ่ายการกระจายแสงสีแดงและสีน้ำเงินบนกระจกฝ้า

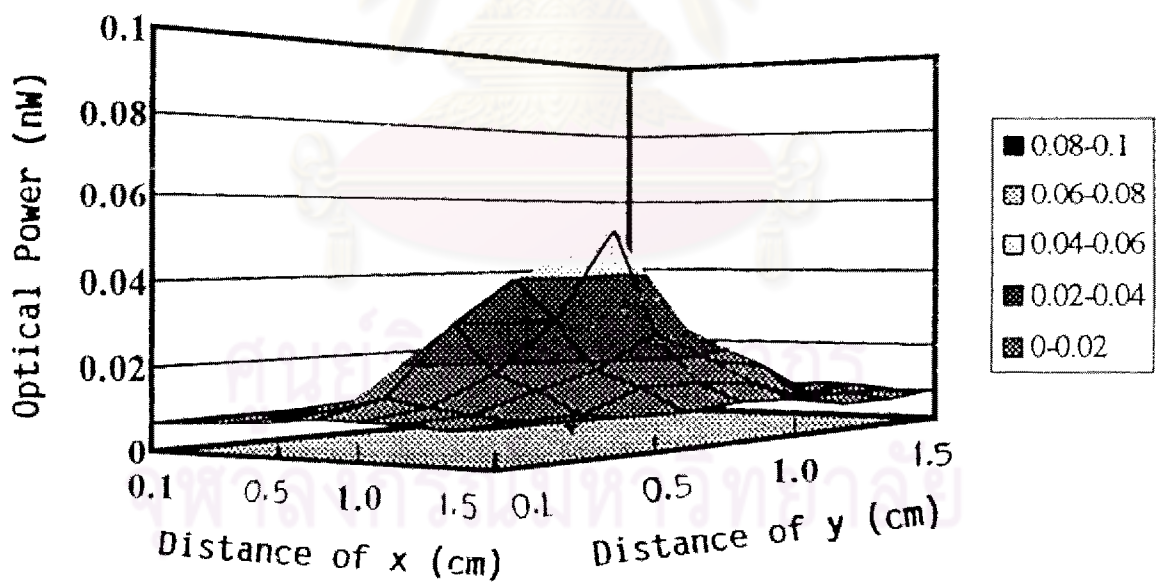
รูปที่ 6.7 ภาพถ่ายการเปรียบเทียบการกระจายแสงบนกระจกฝ้ากับกระจกใส ทดสอบด้วยแสงเลเซอร์สีแดง (He-Ne,  $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ ) และเลเซอร์สีน้ำเงิน (He-Cd,  $\lambda = 442 \text{ nm}$ ) เป็นแหล่งกำเนิดแสง

(ก) ภาพถ่ายการกระจายแสงสีแดงและสีน้ำเงินบนกระจกใส

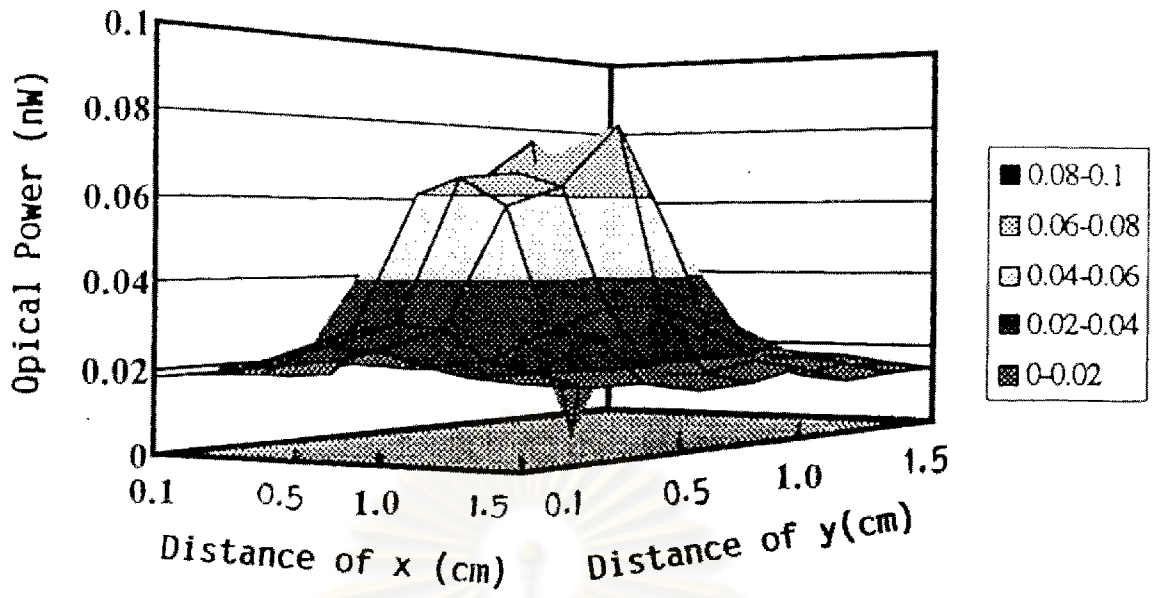
(ข) ภาพถ่ายการกระจายแสงสีแดงและสีน้ำเงินบนกระจกฝ้า



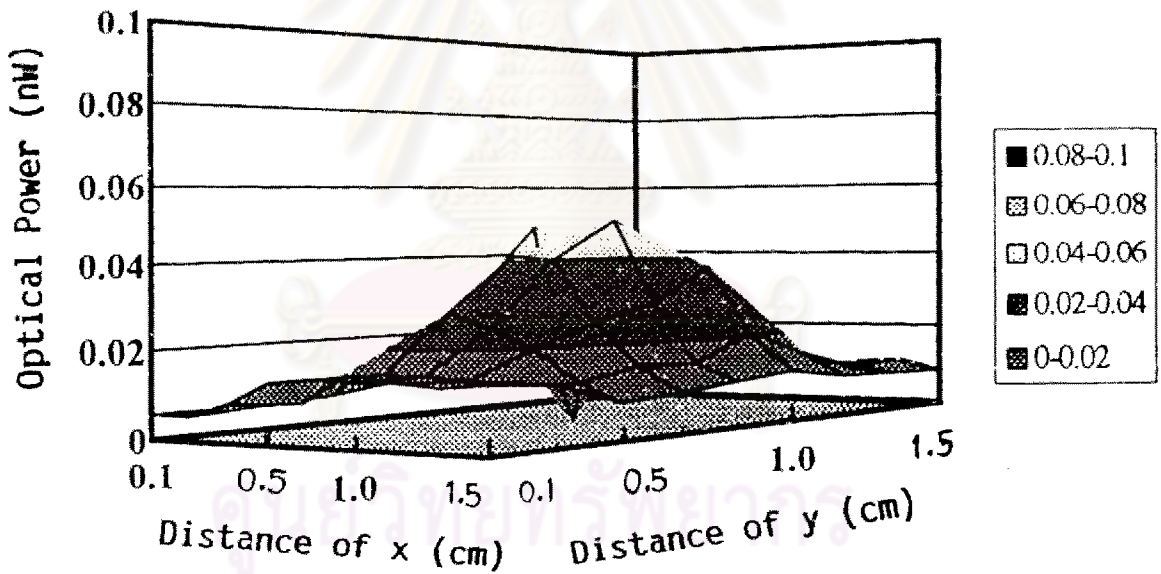
(ก) การกระจายของแสงที่สะท้อนขึ้นที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนกระจกใส



(ข) การกระจายของแสงที่สะท้อนขึ้นที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนกระจกฝ้าเบอร์ #1000



(ค) การกระจายของแสงที่สะท้อนขึ้นที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนกระจกฝ้าเบอร์ #2000



(ง) การกระจายของแสงที่สะท้อนขึ้นที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนกระจกฝ้าเบอร์ #4000

รูปที่ 6.8 ผลการวัดการกระจายของแสงที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนกระจกใสเปรียบเทียบกับกระจกฝ้าที่ถูกขัดด้วยผงขัดเบอร์ต่าง ๆ ดังนี้ (ก) - (ง) การกระจายแสงบนกระจกใสและกระจกฝ้าเบอร์ #1000 , #2000 , #4000 ตามลำดับ

## 6.5 การศึกษาโครงสร้างพื้นฐานและลักษณะคุณสมบัติทางแสง a-SiC:H TFLED สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดแสงของ OEIC

สิ่งประดิษฐ์ OEIC Optical Coupler ที่ผู้วิจัยได้ศึกษานั้นมีแหล่งกำเนิดแสงเป็นวัสดุชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย ซึ่งมีข้อดีที่แตกต่างจากผลึกดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ถึงแม้ว่า a-SiC:H TFLED รอยต่อ p-i-n จะเปล่งแสงที่ยังมีความสว่างไม่มากนัก และยังไม่สามารถมองเห็นในที่สว่างได้ แต่ผู้วิจัยได้มีแนวความคิดที่จะนำ a-SiC:H TFLED นี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยได้นำมาใช้งานร่วมกับ TFPD หรือเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน ซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญของ OEIC

ดังนั้นในบทนี้จึงได้ศึกษาถึงโครงสร้างและคุณสมบัติทางแสงที่สำคัญของไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนคาร์ไบด์ ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพการเปล่งแสงของ a-SiC:H TFLED รอยต่อ p - a-SiC:H (300 Å) i - a-SiC:H (500 Å) n - a-SiC:H (500 Å) ซึ่งมีเงื่อนไขการผลิตเช่นเดียวกับ a-SiC:H TFLED ที่มีโครงสร้างแบบเมตริกซ์ในตารางที่ 4.1 และแสดงโครงสร้างดังรูปที่ 6.10 สามารถเปล่งแสงออกมาเมื่อถูกไบแอสตามทีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 10-15 V โดยมีระบบการวัด B - J เช่นเดียวกับระบบในรูปที่ 4.9 ในบทที่ 4 และสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างกับค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 6.11 ความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งจาก a-SiC:H TFLED ขึ้นอยู่กับค่าช่องว่างพลังงานของชั้น i ซึ่ง a-SiC:H TFLED ที่ผลิตขึ้นสำหรับที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงของ OEIC นี้มีแสงเปล่งออกมาอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 550 - 630 nm ที่มีค่าช่องว่างพลังงานชั้น i ประมาณ 2.8 - 3.0 eV [33] ในการออกแบบที่ดีต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการเปล่งแสงที่ดี และขณะเดียวกันต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางแสงที่จำเป็น เช่น ควรมีการดูดกลืนแสงภายในสิ่งประดิษฐ์น้อยที่สุดด้วย ซึ่งจากผลของค่าคงที่ทางแสงในบทที่ 3.2.1 พบว่าเมื่อค่าช่องว่างพลังงานชั้น i สูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงจะมีค่าลดลง ดังนั้นค่าช่องว่างพลังงานของชั้น i ของ a-SiC:H TFLED ของ OEIC มีค่าประมาณ 3 eV จึงมีความสอดคล้องกับหลักการออกแบบที่ดีที่คำนึงถึงคุณสมบัติทางแสงด้วย และคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของ OEIC ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย คือแสงที่เปล่งออกมาจาก a-SiC:H TFLED จะต้องออกแบบให้มีสเปกตรัมการเปล่งแสงอยู่ในย่านที่ภาครับแสง คือ a-Si:H TFPD สามารถตอบสนองได้ดีที่สุด โดยปกติ a-Si:H

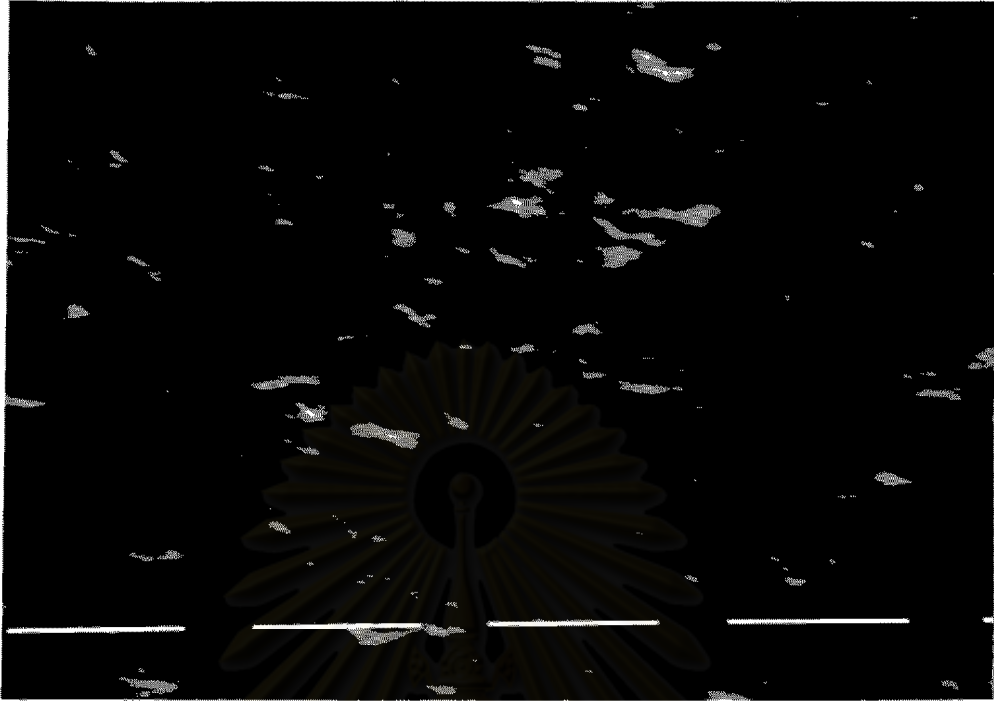




(ก) ภาพถ่ายของฝิวกระจกฟ้ําเบอร์ #1000



(ข) ภาพถ่ายของฝิวกระจกฟ้ําเบอร์ #2000



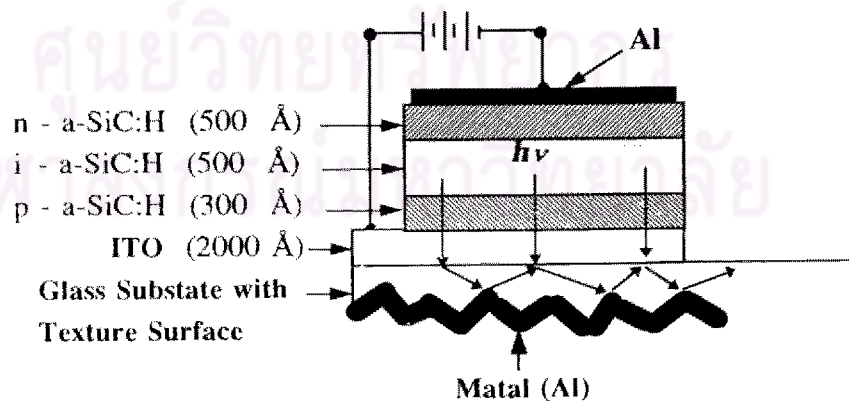
(ค) ภาพถ่ายของผิวกระจกฟอสเฟอร์ #4000

รูปที่ 6.9 ภาพถ่ายของผิวกระจกฟอสเฟอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้จก SEM (Scanning Electron Microscope)

(ก) กระจกฟอสเฟอร์ #1000

(ข) กระจกฟอสเฟอร์ #2000

(ค) กระจกฟอสเฟอร์ #4000



รูปที่ 6.10 โครงสร้างของ a-SiC:H TFLED ที่ปลูกบนกระจกฟอสเฟอร์

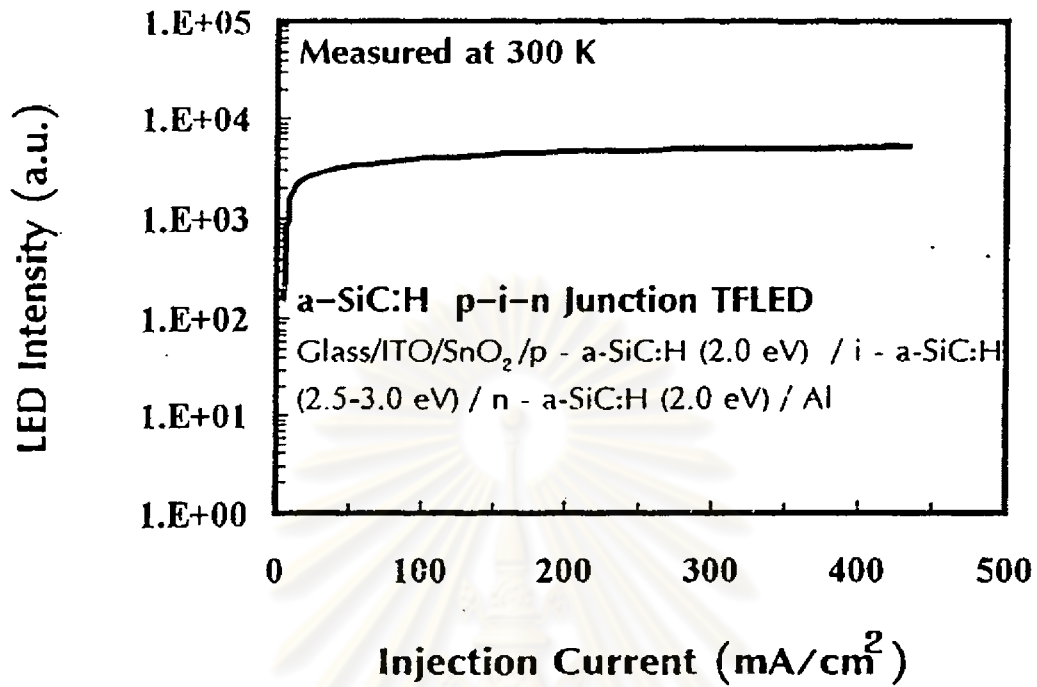
TFPD คอบสนองต่อแสงที่มีสเปกตรัมอยู่ในช่วงที่ตามองเห็นได้ ซึ่งอยู่ในช่วง 600 - 680 nm [8-9] จึงได้เลือก TFLED ที่มีช่องว่างพลังงานชั้น  $i$  ประมาณ 3.0 eV [20] และจำเป็นต้องเลือกค่าดัชนีหักเหแสงที่เหมาะสม เพื่อให้แสงจาก TFLED ตกกระทบผิว ITO และแสงทะลุผ่านเข้าไปตกกระทบผิวขรุขระที่เคลือบอะลูมิเนียมทั่วแผ่น แล้วจะทำให้เกิดการหักเหแสงภายใน เพื่อให้แสงเดินทางไปถึงภาครับแสงได้มากที่สุด เพื่อให้ TFPD เป็นภาครับแสงสามารถตอบสนองสัญญาณได้

จากผลการวัดค่าสเปกตรัมดัชนีหักเหแสง ( $n$ ) ในบทที่ 3.2.1 พบว่าฟิล์ม a-SiC:H ที่มีช่องว่างพลังงานชั้น  $i$  เท่ากับ 2.75 และ 3.0 eV มีค่า  $n$  ประมาณ 2.7 และ 2.3 ตามลำดับ ส่วนค่า  $n$  ชั้น  $p$  และ  $n$  ( $E_g = 2.0$  eV) มีค่าประมาณ 3 ทำให้แสงที่เปล่งจากชั้น  $i$  ไม่ถูกกัก (confined) และสามารถทะลุผ่านลงด้านกระจก ITO ได้ และค่า  $n$  ของฟิล์ม a-SiC:H มีค่ามากกว่า  $n$  ของกระจกกับ ITO (ค่า  $n$  ประมาณ 1.5-1.8) ทำให้แผ่นฐานกระจกฝั่งนี้มีคุณสมบัติเป็นท่อนำแสง ซึ่งได้โปรไฟล์ของค่าดัชนีหักเหแสงของวัสดุชั้นต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 6.12

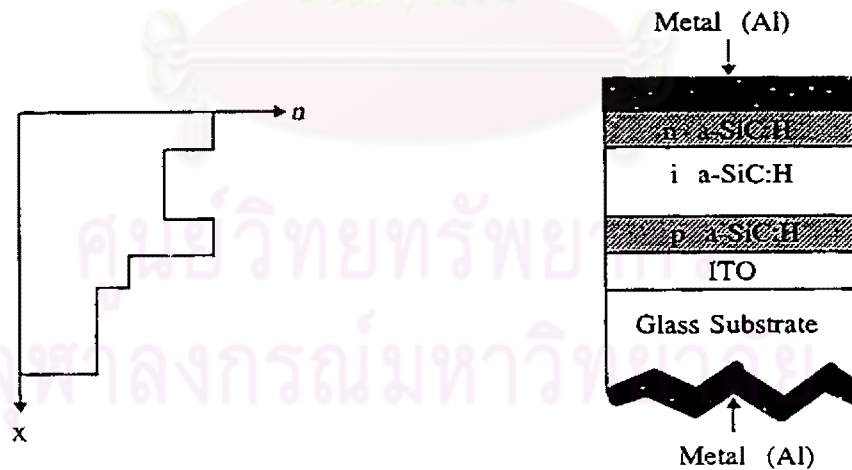
## 6.6 การศึกษาโครงสร้างพื้นฐานและลักษณะคุณสมบัติทางแสงของ a-Si:H TFPD สำหรับเป็นเป็นแหล่งตรวจรับแสงของ OEIC

อุปกรณ์ตรวจรับแสงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ OEIC ในงานวิจัยนี้ได้ประดิษฐ์แหล่งตรวจรับแสงชนิดโฟโตไดโอดหรือเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน ซึ่งได้รับความสนใจมากเนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำและสามารถผลิตเป็นพื้นที่ใหญ่ได้ มีข้อดีเด่นหลายประการเช่น

1. มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสูงมาก (สูงกว่า  $10^5 \text{ cm}^{-1}$ ) ในย่าน peak ของสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้ฟิล์มบางเพียง 0.1-0.5  $\mu\text{m}$  เท่านั้น สำหรับการผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์หรือโฟโตไดโอดชนิดอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำจะมีต้นทุนของวัสดุต่ำกว่าผลึกซิลิคอน
2. กระบวนการผลิตใช้อุณหภูมิต่ำประมาณ  $190^\circ\text{C}$  และสามารถเคลือบเป็นพื้นที่กว้างอย่างสม่ำเสมอ และประหยัดพลังงานในการผลิต
3. ช่องว่างพลังงานทางแสงของ TFPD มีค่าประมาณ 1.8 eV ซึ่งอยู่ใกล้กับช่วงพลังงาน



รูปที่ 6.11 ความสัมพันธ์ของค่าความสว่างกับค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าของ a-SiC:H TFLED



รูปที่ 6.12 โปรไฟล์ของค่าดัชนีหักเหแสงของฟิล์มชั้นต่าง ๆ และกระจกฝ้า

ของแสงอาทิตย์ จึงคาดว่าจะให้ประสิทธิภาพการแปรพลังงานสูง

4. สามารถผลิตเป็นวงจรรวมได้ง่าย ลดขั้นตอนการผลิต
5. สามารถได้ปอะมอร์ฟัสซิลิคอนให้เป็นชนิด n และชนิด p ได้ง่าย โดยใช้ฟอสฟอรัสหรือโบรอน
6. วัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอนมีคุณสมบัติการขนส่งพาหะ เช่น photoconductivity สูง ซึ่งจำเป็นต่อการผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์หรือโฟโตไดโอด

ระบบที่ใช้ในการประดิษฐ์ a-Si:H TFPD คือระบบการแยกสลายก๊าซด้วยประจุเรืองแสง (glow discharge plasma CVD) ที่มีความถี่ RF 13.56 MHz เงื่อนไขการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังตารางที่ 6.2 โดยทั่วไปมีโครงสร้างเป็นรอยต่อ p-i-n แสดงดังรูปที่ 6.13

แหล่งตรวจรับแสง TFPD จำเป็นต้องออกแบบให้มีประสิทธิภาพการแปรพลังงานสูง เช่นผลิตชั้น i ให้มีสภาพนำไฟฟ้าด้วยแสง (Photoconductivity) สูง [8-10] โดยเลือกชั้น i เป็นฟิล์ม a-Si:H และจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางแสงด้วย เช่นค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงต้องมีค่าสูง จากการผลการวัดค่าคงที่ทางแสงในบทที่ 3.2.1 พบว่าค่าช่องว่างพลังงานของฟิล์ม a-Si:H มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสูงกว่าฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย

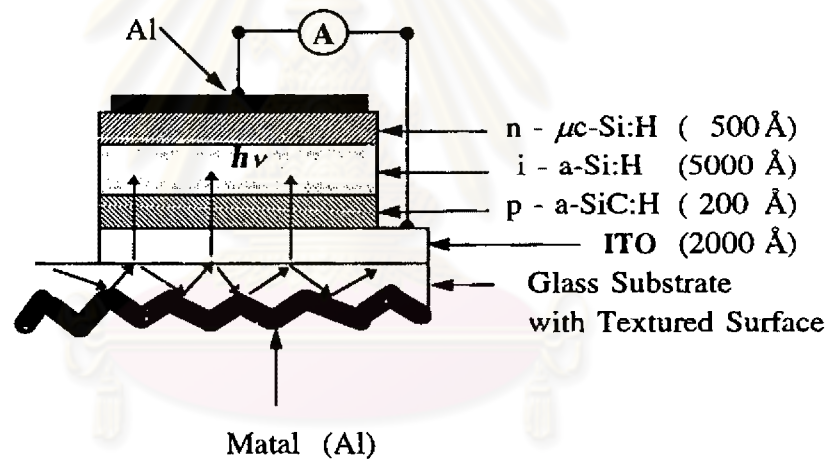
จากข้อมูลทางแสงต่าง ๆ เช่น  $n$ ,  $k$ ,  $\epsilon_{11}$ ,  $\epsilon_{12}$ ,  $\alpha$  ได้ช่วยสนับสนุนเหตุผลว่าฟิล์ม a-Si:H นิยมใช้เป็นชั้นผลิตพาหะโฟโต (photo-carriers) ในโฟโตไดโอด หรือเซลล์แสงอาทิตย์ และเนื่องจาก a-Si:C:H มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่น้อย จึงนิยมนำไปใช้เป็นชั้นหน้าต่างรับแสง (window layer) ชนิด p ในโฟโตไดโอดและเซลล์แสงอาทิตย์

a-Si:H TFPD ที่ประดิษฐ์ขึ้นสำหรับเป็นแหล่งตรวจรับแสงของ OEIC มีเงื่อนไขการประดิษฐ์แสดงในตารางที่ 6.2 และรูปที่ 6.14 แสดงระบบการวัดประสิทธิภาพแปรพลังงานของ TFPD หรือระบบ Solar Simulator ซึ่งได้ประสิทธิภาพการแปรพลังงาน ( $\eta$ ) ประมาณ 5.8 % และรูปที่ 6.15 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า



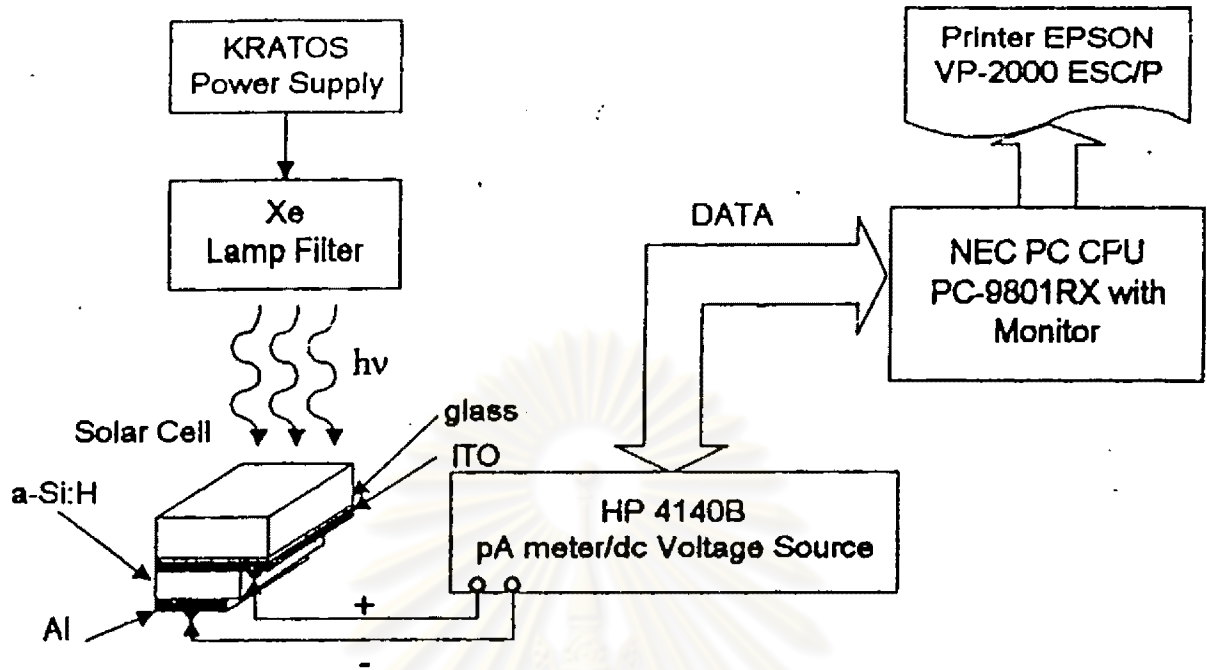
ตารางที่ 6.2 เงื่อนไขการปลูกฟิล์มชั้น p-i-n ของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำดิสชาร์จ	แบบคาปาซิเตอร์ ที่ความถี่ RF 13.56 MHz
อุณหภูมิแผ่นฐาน	190°C
กำลังไฟฟ้า RF	30-250 Watt
ความดันขณะปลูกฟิล์ม	1-2 Torr
ปริมาณการไหลของก๊าซ	15-80 cc/min
p-type a-SiC:H ( 200 Å)	$\text{SiH}_4 + \text{CH}_4 + \text{B}_2\text{H}_6$
i-type a-Si:H ( 5000 Å)	$\text{SiH}_4$
n-type $\mu\text{c-Si:H}$ ( 500 Å)	$\text{SiH}_4 + \text{PH}_3$

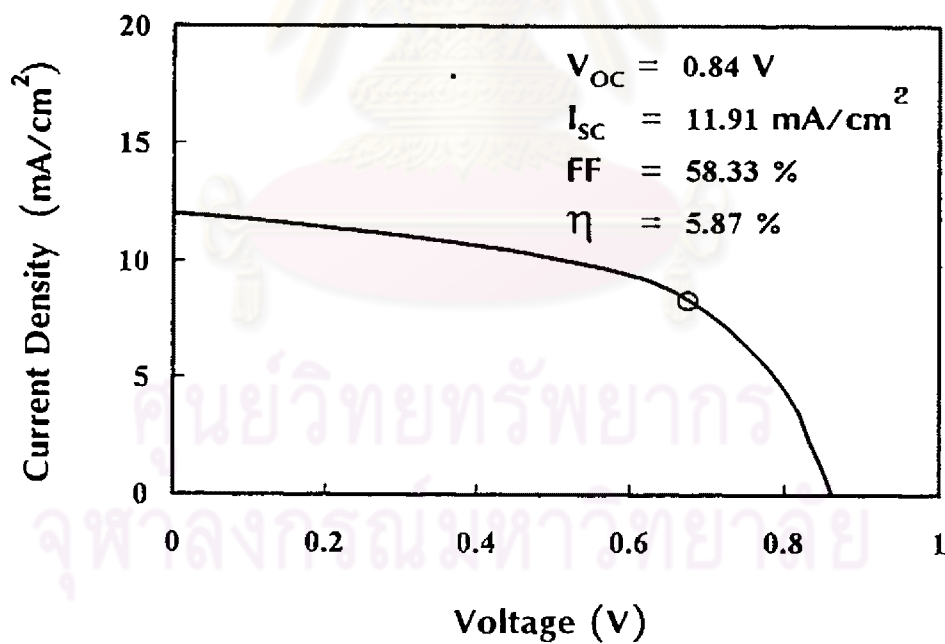


รูปที่ 6.13 โครงสร้าง a-Si:H TFPD ซึ่งปลูกบนกระจกฝ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.14 ระบบการวัดประสิทธิภาพการแปรพลังงานของโฟโตโวลตาอิกหรือเซลล์แสงอาทิตย์

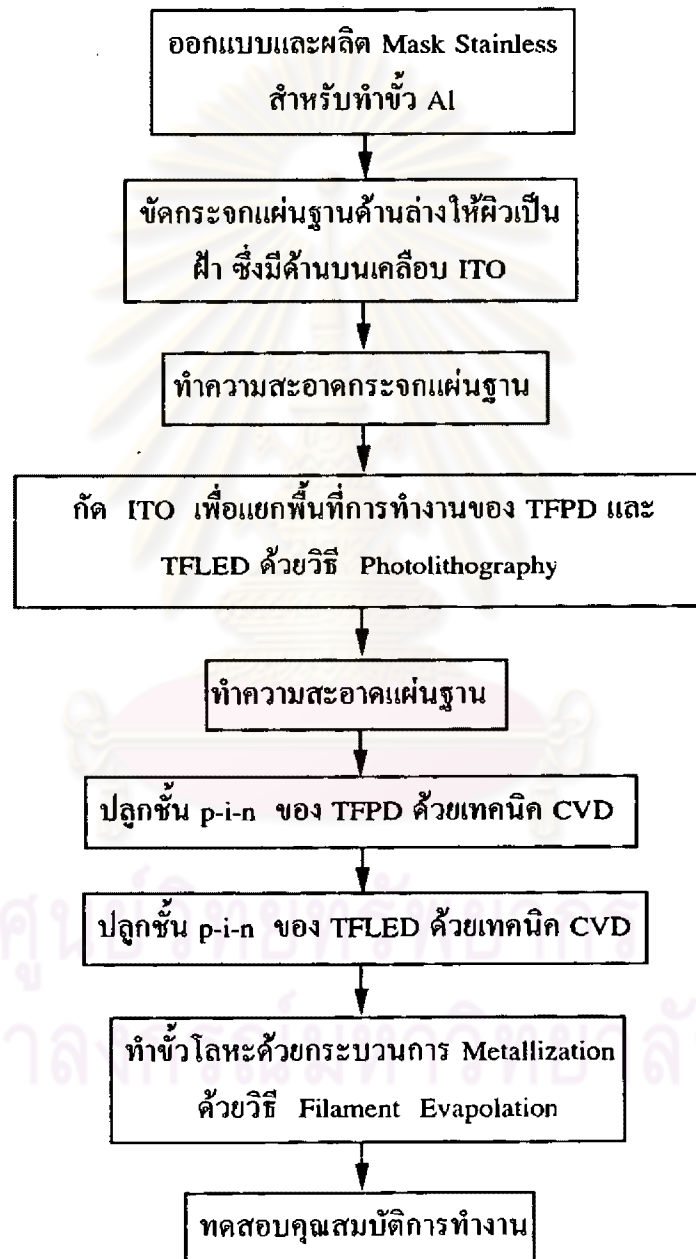


รูปที่ 6.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตและแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของ a-Si:H TFPD ซึ่งส่องด้วยแสงอาทิตย์เทียมที่มีความเข้มแสง AM1 (100 mA/cm<sup>2</sup>)

## 6.7 วิธีการประดิษฐ์และการวัดคุณสมบัติพื้นฐานของสิ่งประดิษฐ์วงจรรวมชนิดออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (OEIC) ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอนอัลลอย

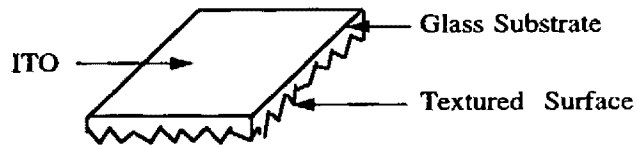
การประดิษฐ์ OEIC ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอนอัลลอยประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังรูปที่

6.16



รูปที่ 6.16 แผนผังขั้นตอนการประดิษฐ์ OEIC ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอนอัลลอย

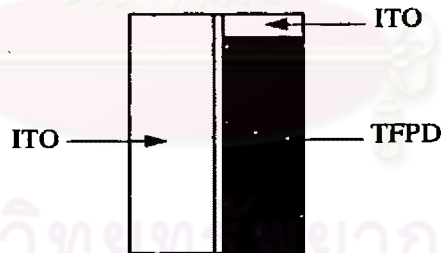
รายละเอียดขั้นตอนการประดิษฐ์ OEIC แสดงได้ดังในรูปที่ 6.17



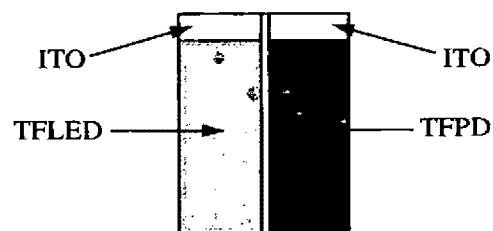
1. ขัดแผ่นกระจกด้านที่ไม่มี ITO ให้เป็นผิวฝ้าทางด้านล่างให้ผิวเป็นฝ้า



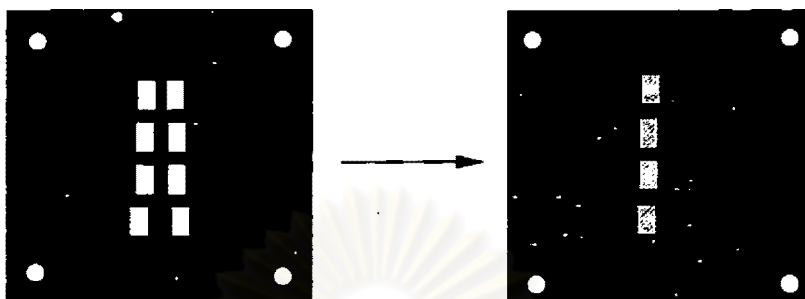
2. กัดฟิล์ม ITO ให้แยกออกจากกันเป็น 2 ส่วน ระยะห่างที่แยกจากกันประมาณ 1 mm และมีลักษณะเป็นแถบยาวตลอด



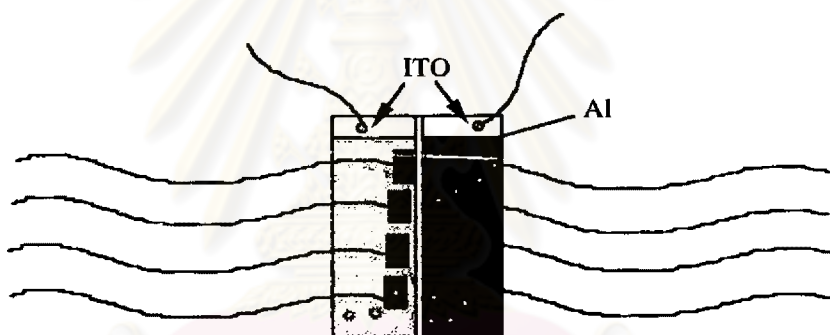
3. ปู a-Si:H TFPD บนพื้นที่ ITO ด้านขวามือตามรูป



4. ปลุก a-SiC:H TFLED บน ITO ด้านซ้ายมือตามรูป



5. เตรียมแผ่นโลหะสำหรับใช้งานเป็นมาส์คในการเคลือบขั้วไฟฟ้า Al



6. เคลือบขั้วไฟฟ้า Al ด้าน TFLED และ TFPD ซึ่งมีขนาด 3 mm × 5 mm และต่อสายไฟฟ้าด้วยกาวเงิน

รูปที่ 6.17 ขั้นตอนการประดิษฐ์ OEIC ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย

เมื่อทำการประดิษฐ์ OEIC ตามขั้นตอนในรูปที่ 6.17 แล้วจะได้ OEIC ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย ซึ่งได้แสดงในรูปที่ 6.18

เนื่องจาก a-SiC:H TFLED ยังมีค่าสว่างน้อย อีกทั้ง a-Si:H TFPD ยังมีประสิทธิภาพต่ำ ทำให้การวัดคุณสมบัติของ OEIC ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยทำได้ยาก ดังนั้นในบทนี้จึงได้



ทำการวัดคุณสมบัติพื้นฐานของ a-SiC:H TFLED ที่ผลิตบนกระจกฝ้าเพื่อศึกษาถึงค่าความสัมพันธ์ของความสว่างด้าน ITO (ด้านบน) และด้านผิวฝ้า (ด้านล่าง) เมื่อไม่คิดพื้นที่ของ TFLED เพื่อขึ้นชั้นถึงการนำกระจกฝ้าไปใช้งานเป็นท่อนำแสง โดยได้พิจารณาบริเวณการสะท้อนแสงที่เกิดจากการหักเหแสงภายในกระจกฝ้าดังในรูปที่ 6.19

รูปที่ 6.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงของ a-SiC:H TFLED กับค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า a-SiC:H TFLED ที่มีกระจกใสเป็นแผ่นฐานและมีพื้นที่การเปล่งแสง 3 mm × 5 mm

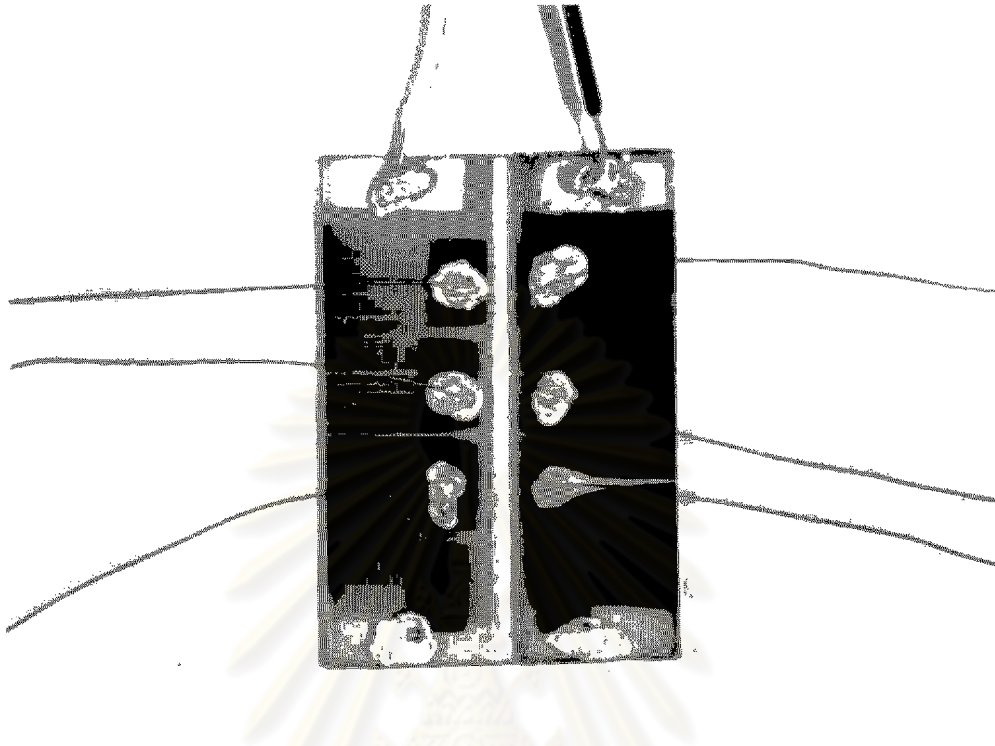
รูปที่ 6.21 (ก)-(ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงของ TFLED ที่สะท้อนขึ้นทางด้านบนผิว ITO และทางด้านล่าง กับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLED ของกระจกฝ้าเบอร์ #1000, #2000 และ #4000

รูปที่ 6.22 (ก)-(ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มแสงของ TFLED ที่สะท้อนขึ้นทางด้านบนผิว ITO ต่อแสงที่สะท้อนด้านล่าง กับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLED ของกระจกฝ้าเบอร์ #1000, #2000 และ #4000

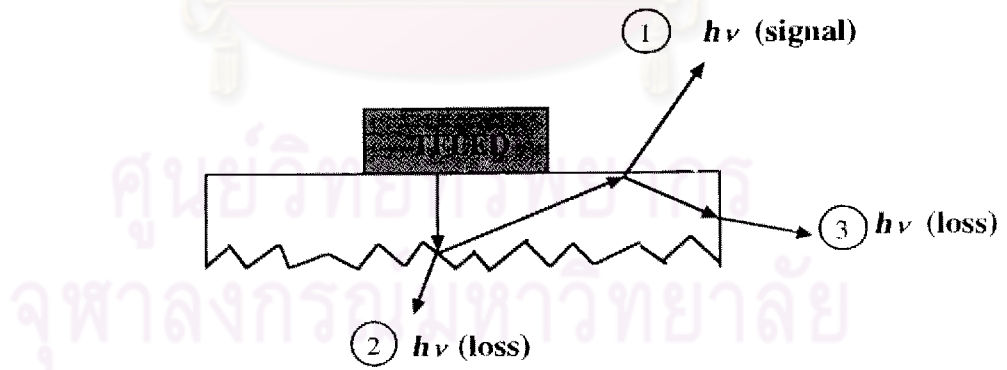
รูปที่ 6.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนของความเข้มแสงของ TFLED ที่สะท้อนขึ้นทางด้านบนผิว ITO ต่อแสงที่สะท้อนด้านล่าง กับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLED ของกระจกฝ้าเบอร์ #1000, #2000 และ #4000

ผลการศึกษาพบว่า TFLED เปล่งแสงและมีการสะท้อนออกมามี 3 บริเวณคือ สะท้อนขึ้นไปด้านบน ITO บริเวณ TFLED สะท้อนลงด้านล่างบริเวณผิวกระจกฝ้า และสะท้อนออกด้านข้างของกระจก แต่ในทางปฏิบัติบริเวณด้านข้างทำการวัดความสว่างได้ยาก ดังนั้นจึงได้ทำการวัดค่าความสว่างเปรียบเทียบกันระหว่างความสว่างที่สะท้อนไปด้านล่างบริเวณกระจกฝ้ากับด้านบน โดยมีการเปรียบเทียบกับกระจกฝ้าเบอร์ต่าง ๆ กัน จากผลการวัดพบว่ากราฟที่กระจกฝ้าเบอร์ต่าง ๆ นั้นมีลักษณะเดียวกัน คือความสว่างด้านกระจกฝ้าจะมีค่าสูงกว่าด้านบน ซึ่งเบอร์ #1000 และ #2000 มีค่า intensity ratio ใกล้เคียงกัน แต่ #4000 มี intensity ratio ต่ำกว่า

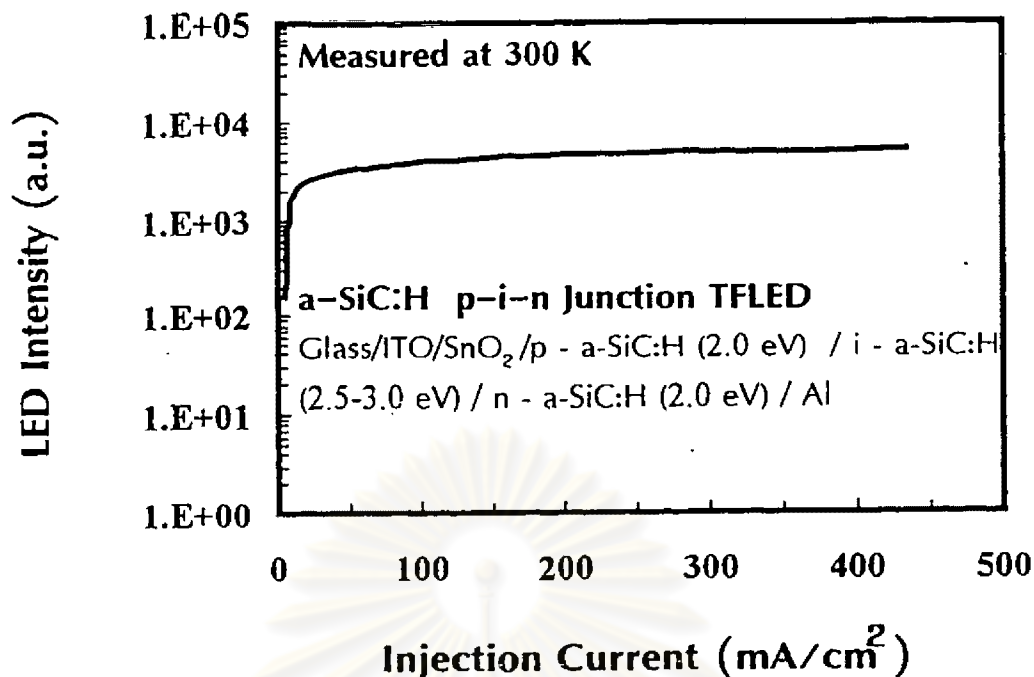
จากการวัดค่าความสว่างของ a-SiC:H TFLED ที่สะท้อนขึ้นด้านบนบริเวณ ITO ได้นั้น



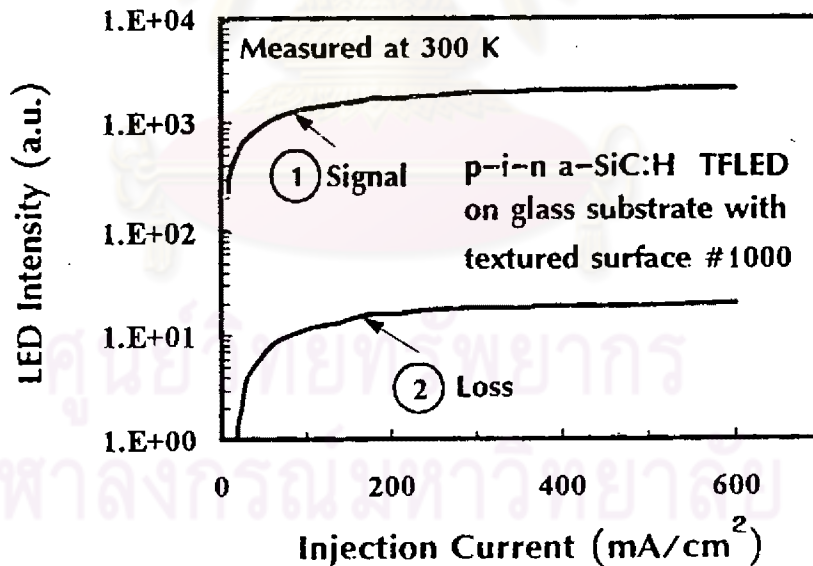
รูปที่ 6.18 ภาพถ่ายของ OEIC ชนิดอะมอร์ฟิสซิลิคอนถั่วลอยที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้



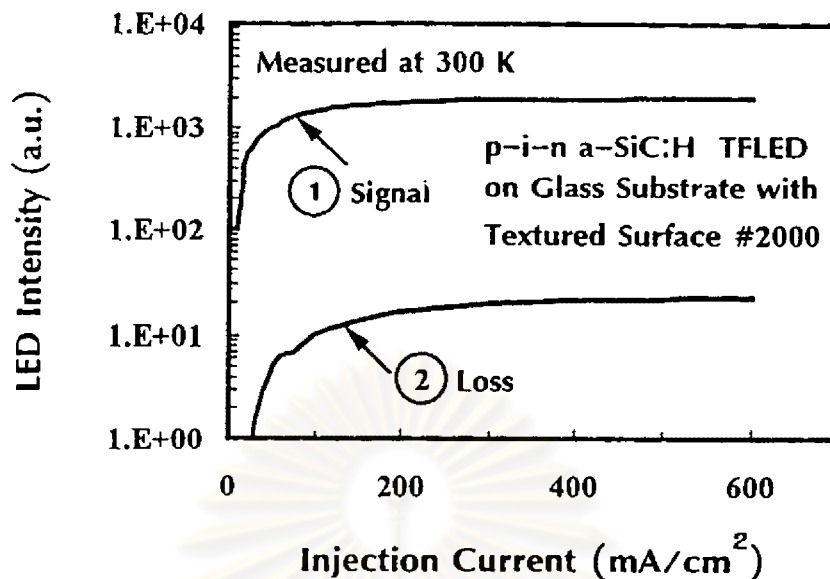
รูปที่ 6.19 ลักษณะการหักเหแสงของ  $\alpha$ -SiC:H TFLED บนผิวกระจกฝ้า



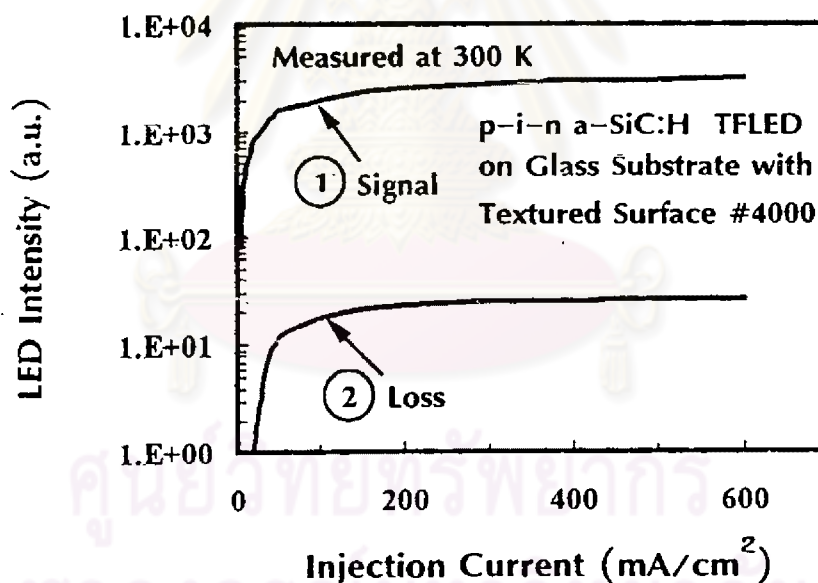
รูปที่ 6.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงของ a-SiC:H TFLED กับค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า a-SiC:H TFLED ที่มีกระจกใสเป็นแผ่นฐานและมีพื้นที่การเปล่งแสง 3 mm × 5 mm



- (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงของ TFLED ที่สะท้อนขึ้นทางด้านบนผิว ITO และทางด้านล่างกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLEDของกระจกฝ้าเบอร์ #1000

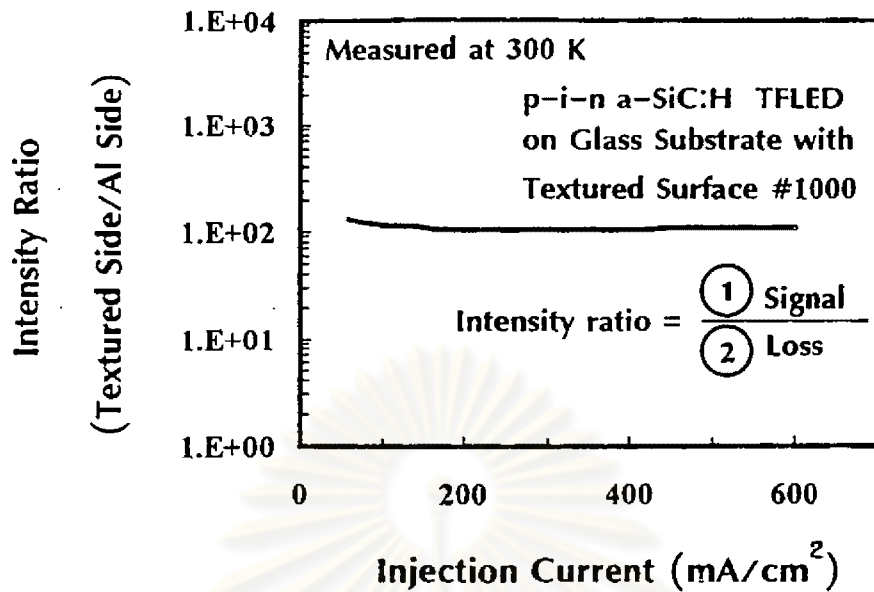


- (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงของ TFLED ที่สะท้อนขึ้นทางด้านบนผิว ITO และทางด้านล่างกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLED ของกระจกฝ้าเบอร์ #2000

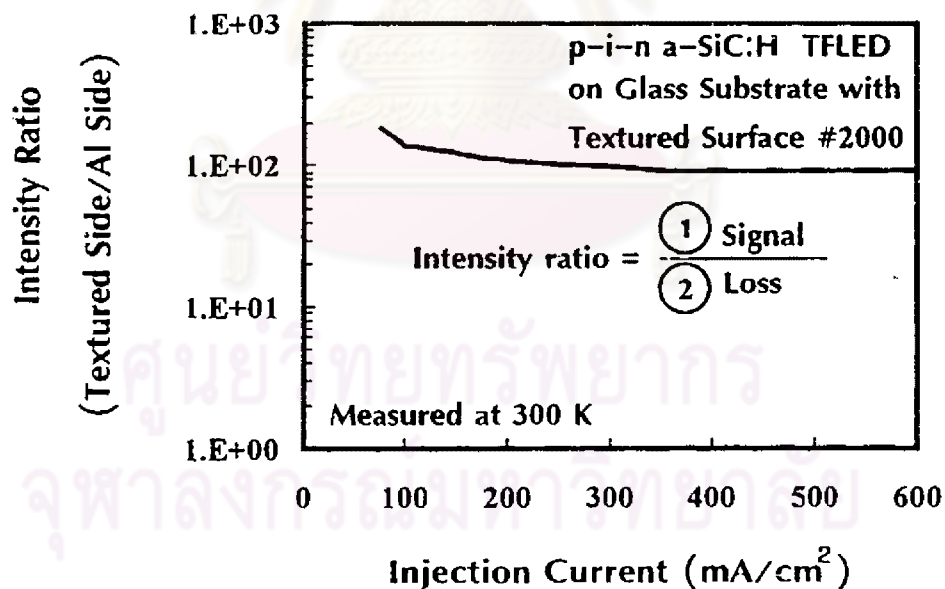


- (ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงของ TFLED ที่สะท้อนขึ้นทางด้านบนผิว ITO และทางด้านล่างกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLED ของกระจกฝ้าเบอร์ #2000

รูปที่ 8.21 (ก)-(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงของ TFLED ที่สะท้อนขึ้นทางด้านบนผิว ITO และทางด้านล่างกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLED ของกระจกฝ้าเบอร์ #1000, #2000 และ #4000 ตามลำดับ.

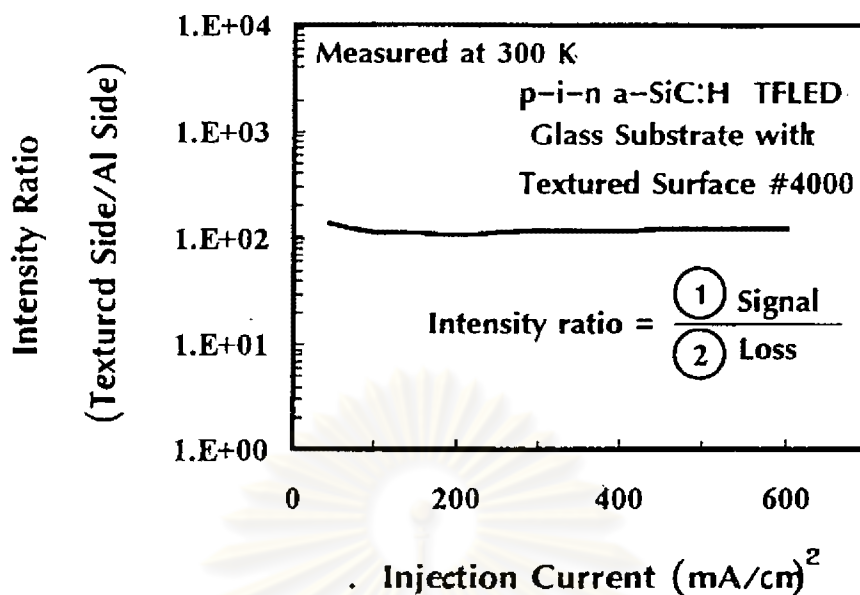


- (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มแสงของ TFLED ที่สะท้อนขึ้นทางด้านบนผิว ITO ต่อแสงที่สะท้อนด้านล่างกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLED ของกระจกฝ้าเบอร์ #1000



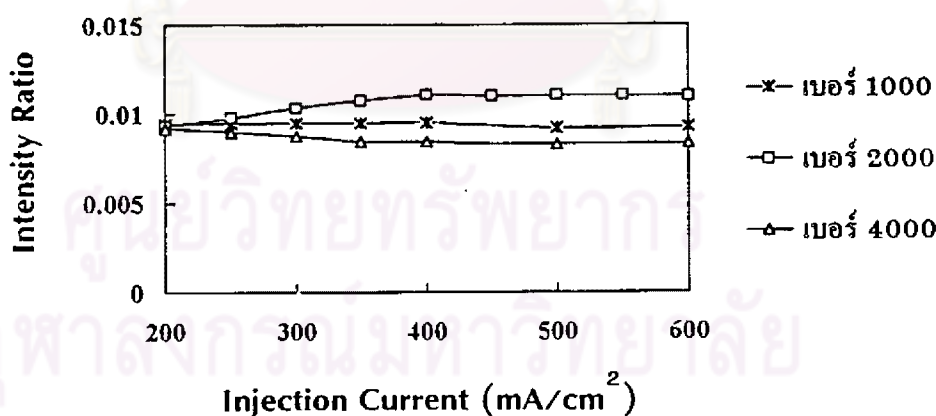
- (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มแสงของ TFLED ที่สะท้อนขึ้นทางด้านบนผิว ITO ต่อแสงที่สะท้อนด้านล่างกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLED ของกระจกฝ้าเบอร์ #2000





(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มแสงของ TFLED ที่สะท้อนขึ้นทางด้านบนผิว ITO ต่อแสงที่สะท้อนด้านล่างกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLED ของกระจกฝ้าเบอร์ #4000

รูปที่ 6.22 (ก)-(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มแสงของ TFLED ที่สะท้อนขึ้นทางด้านบนผิว ITO ต่อแสงที่สะท้อนด้านล่างกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLED ของกระจกฝ้าเบอร์ #1000, #2000 และ #4000 ตามลำดับ



รูปที่ 6.23 เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนของความเข้มแสงของ TFLED ที่สะท้อนขึ้นทางด้านบนผิว ITO ต่อแสงที่สะท้อนด้านล่างกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLED ของกระจกฝ้าเบอร์ #1000, #2000 และ #4000

สามารถแสดงให้เห็นว่าแสงมีการเดินทางอันเนื่องมาจากการหักเหแสงภายในกระจกฝ้า และที่กระจกฝ้าเบอร์ #1000 และเบอร์ #2000 แสงจะสะท้อนขึ้นไปด้านบนสิ่งประดิษฐ์มากกว่าใช้กระจกฝ้าต่ำ ๆ หรือกระจกใส

จากการประดิษฐ์ OEIC ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย a-SiC:H TFLED เป็นแหล่งกำเนิดแสง a-Si:H TFPD เป็นแหล่งตรวจรับแสง และแผ่นฐานกระจกฝ้าเป็นท่อนำแสง ได้ออกแบบระยะห่างของ TFLED กับ TFPD ตั้งแต่ 1.5, 2.5 และ 3.5 mm ตามลำดับ เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าไบแอสตรง จะพบว่า a-SiC:H TFLED เปล่งแสงสามารถมองเห็นได้ในที่แสงสลัว และจากรูปที่ 6.24 แสดงภาพถ่ายของ OEIC ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย ขณะที่มีการไบแอสแรงดันไฟฟ้าให้กับ a-SiC:H TFLED จะสังเกตเห็นว่า TFLED เปล่งแสงและแสงมีการสะท้อนไปยังด้านข้างของ AI ที่เคลือบบน TFLED เป็นการแสดงให้เห็นว่าแสงจาก TFLED มีการเดินทางภายในกระจกฝ้า แต่เมื่อทำการวัดคุณสมบัติของ OEIC TFPD ไม่สามารถตรวจรับแสงได้ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. เนื่องจากความสว่างของ a-SiC:H TFLED น้อยจึงทำให้ a-Si:H TFPD ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรพลังงานประมาณ 5.8 % นั้นไม่สามารถตรวจจับแสงได้
2. ระยะของ a-SiC:H TFLED และ a-Si:H TFPD ที่ออกแบบไว้มีระยะห่างเกินกว่าแสงที่เปล่งจาก TFLED เดินทางไปถึง TFPD



รูปที่ 6.24 ภาพถ่ายของ OEIC ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยขณะที่มีการไบแอสแรงดันไฟฟ้าให้กับ a-SiC:H TFLED และจะสังเกตเห็นว่า TFLED เปล่งแสงและแสงมีการสะท้อนไปยังด้านข้างของ AI ที่เคลือบบน TFLED

## 6.8 สรุป

ได้มีแนวความคิดที่จะนำวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำที่สามารถประดิษฐ์เป็น ไดโอดเปล่งแสง และ โฟโตไดโอดได้นั้นมาประดิษฐ์เป็น OEIC ชนิดใหม่ ซึ่งได้มีการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของ OEIC จากวัสดุชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยเป็นครั้งแรก และมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดแสงจาก a-SiC:H TFLED แหล่งตรวจรับแสงจาก a-Si:H TFPD และแผ่นฐาน เป็นกระจกฝ้าและเป็นท่อนำแสงไปในตัว

ในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาคุณสมบัติทางแสงของกระจกฝ้าโดยได้ทำการวัดระยะทางการกระจายแสงของกระจกฝ้าเบอร์ต่าง ๆ พบว่ากระจกฝ้าที่มีระยะพิทประมาณ 0.5-5  $\mu\text{m}$  มีระยะการกระจายแสงที่ดีและสามารถใช้งานเป็นทางนำแสงชนิด Distributed Bragg Reflector ได้ดีที่สุด

จากการศึกษาคุณสมบัติการกระจายแสงของแหล่งกำเนิดแสง a-SiC:H TFLED ที่ปลูกลงบนกระจก พบว่าแสงมีการกระจายและสะท้อนขึ้นไปทางด้านบน คือด้าน ITO ด้วย แสดงให้เห็นว่าแสงจาก a-SiC:H TFLED สามารถเดินทางในท่อนำแสงชนิดกระจกฝ้าได้

จากการประดิษฐ์แหล่งตรวจรับแสงจาก a-Si:H TFPD ได้ประสิทธิภาพการแปรพลังงาน ประมาณ 5.8 % และเมื่อทำการวัดคุณสมบัติของสิ่งประดิษฐ์ OEIC แล้วพบว่า a-Si:H TFPD ไม่สามารถตรวจรับแสงจาก a-SiC:H TFLED ที่เดินทางในท่อนำแสงชนิดกระจกฝ้าได้ อาจเนื่องมาจาก a-SiC:H TFLED มีความสว่างน้อย หรือตำแหน่งการปลูก a-SiC:H TFLED กับ a-Si:H TFPD มีระยะห่างกันเกินไป

อย่างไรก็ตามงานวิจัยบทยนี้ก็ประสบความสำเร็จในการศึกษาหาแนวคิดประดิษฐ์ OEIC ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยที่มีแหล่งกำเนิดแสงจาก a-SiC:H TFLED และแหล่งตรวจรับแสงจาก a-Si:H TFPD และกระจกฝ้าที่เป็นฐานรองและทางเดินแสงไปในตัวได้