การศึกษาการรวมแสงของแผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนซ์

A study of light concentration of fluorescent collectors

วิชญาพร สูญพานิช สุกฤต สมุทระกพงศ์ ภัทรียา กิตติเดชาชาญ*
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ 0-2326-4339-53 โทรสาร 0-2326-4413 E-mail: kkpattar@kmitl.ac.th

Wichayaporn Soonpanich Sukrit Samutrakaphong Pattareeya Kittidachachan*
Department of Applied Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand Tel: 0-2326-4339-53 Fax: 0-2326-4413 E-mail: kkpattar@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

แผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนต์จัดเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถใช้รวมแสงได้ทั้งจากแสงอาทิตย์ตรงและแสงอาทิตย์ที่เกิดการสะท้อนที่ชั้นบรรยากาศโลก และยังใช้เพื่อทำให้แสงที่ถูกดูดกลืนมีการเปลี่ยนย่านความยาวคลื่นไปเมื่อมีการเปล่งแสงออกมา ในงานวิจัยนี้นำเสนอผลการพัฒนาแผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนต์ที่เตรียมจากสารเรืองแสง Rhodamine 6G เพื่อใช้รวบรวมและแปลงพลังงานแสงให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเราทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่เปล่งออกมากับความหนาของแผ่นรวมแสง แผ่นรวมแสงถูกจัดเตรียมให้มีพื้นที่รับแสงคงที่เท่ากับ 3 เซนติเมตร × 3 เซนติเมตร และมีความหนาตั้งแต่ 1.5 มิลลิเมตร ถึง 3 มิลลิเมตร ผลการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์โดยอาศัยสเปกโตรมิเตอร์ พบว่าถึงแม้แผ่นรวมแสงที่มีความหนาน้อยจะดูดกลืนแสงได้ไม่ดี แต่สามารถปลดปล่อยแสงที่มีความเข้มสูงกว่าแผ่นรวมแสงที่มีความหนามาก ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าแสงที่เปล่งออกมาบริเวณขอบจะมีความเข้มเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาหรือพื้นที่ตัดขวางของแผ่นรวมแสงมีขนาดลดลง

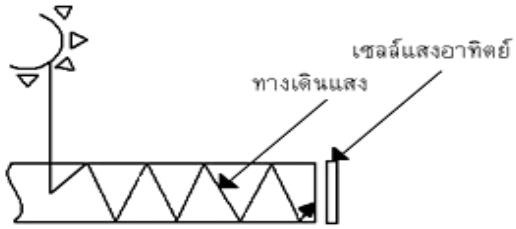
Abstract

A fluorescent collector or fluorescent concentrator (FC) is a device that can concentrate both direct and diffuse light and shift absorbed energy into longer wavelength region. It is used to collect and convert solar energy for photovoltaics. In this work we present results of preparation and characterization of fluorescent spectra with thickness of fluorescent collector. The FCs were prepared from fluorescent dye, Rhodamine 6G. The size of the FCs used in this study was 3 cm × 3 cm and their thickness varied from 1.5 to 3 mm. The absorbance and fluorescence spectra of the samples were measured using an Avantes spectrometer. It was demonstrate that the intensity of light at the edge of the FCs is higher as the area of the edge decreases.

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) นับได้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากเป็นพลังงานทางเลือกที่สำคัญในอนาคต จากข้อมูลวิจัยปี พ.ศ. 2547 พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งวางจำหน่ายตามท้องตลาดส่วนใหญ่ (ประมาณ 94 %) [1] จะสร้างจากวัสดุซิลิกอน อย่างไรก็ดีหากพิจารณาในแง่ของการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน จะเห็นว่าพลังงานทางเลือกนี้ยังไม่ได้รับความนิยมมากนัก สาเหตุหลักส่วนหนึ่งเกิดจากการที่พลังงานไฟฟ้าซึ่งผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีราคาแพงเนื่องมาจากวัสดุที่ใช้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาสูงจากการแข่งขันทางการตลาดกับอุตสาหกรรมแผ่นวงจรรวม และด้วยเหตุผลนี้จึงเกิดงานวิจัยเพื่อพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นแต่ราคาถูกลง โดยใช้แผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนต์ประยุกต์ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์[1-3] ดังแสดงในรูปที่ 1

กลไกการทำงานของแผ่นรวมแสงจะเริ่มเมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ผิวหน้าของแผ่นรวมแสง แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนภายในแผ่นรวมแสงด้วยโมเลกุลของสารเรืองแสง แสงที่ถูกดูดกลืนจะถูกปลดปล่อยออกมาจากในย่านความยาวคลื่นที่สูงขึ้น แสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ถูกปล่อยออกมาจะเคลื่อนที่อยู่ภายในแผ่นรวมแสงโดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับภายใน (total internal reflection) และมาตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกติดตั้งอยู่ที่ขอบของแผ่นรวมแสง



รูปที่ 1 กลไกการทำงานของแผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนซ์

แสงที่บริเวณขอบจะมีความเข้มสูงขึ้น โดยความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นนี้จะมีความสัมพันธ์กับขนาดของแผ่นรวมแสงดังความสัมพันธ์

$$G = A_s/A_e \quad (1)$$

เมื่อ G คือค่าการขยายแสง, A_s คือพื้นที่หน้าตัดที่ผิวหน้าของแผ่นรวมแสงและA_e คือ พื้นหน้าตัดของขอบของแผ่นรวมแสง [1] จากสมการที่ (1) จะเห็นว่าพื้นที่หน้าตัดส่วนขอบหรือความหนาของแผ่นนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการรวมแสง ผู้วิจัยจึงได้ทดลองเพื่อศึกษาผลของความหนาของแผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนซ์ต่อความเข้มแสงที่เปล่งออกมาบริเวณขอบ

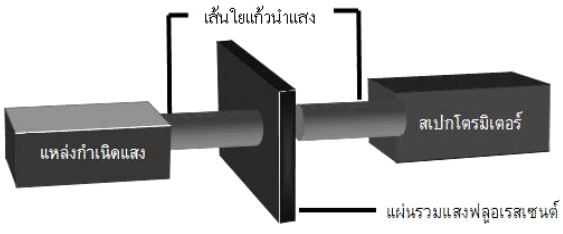
2. การจัดเตรียมแผ่นรวมแสง

แผ่นรวมแสงที่ใช้ในการวิจัยนี้สร้างขึ้นจากการผสมสาร CPS 124 ปริมาณ 10 กรัม กับสารเรืองแสง Rhodamine 6G ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาณ 3 มิลลิลิตร และสารตัวเร่งในปริมาณที่เหมาะสมคือ 2% ของสาร CPS 124 สารผสมจะถูกคนให้เข้ากันเป็นเวลา 2 นาที ก่อนจะถูกนำไปเทลงในแม่พิมพ์และถูกทิ้งไว้ให้แข็งตัวในอุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 48 ชั่วโมง สารผสมที่แข็งตัวแล้วจะถูกนำออกจากแม่พิมพ์และถูกนำมาตัดให้มีขนาด 3X3 เซนติเมตร^2 และขัดผิวหน้าให้เรียบโดยอาศัยกระดาษทรายเบอร์ 80, 400 และ 1,000 และผงขัดอะลูมิน่าขนาด 3, 1 และ 0.3 ไมโครเมตร โดยในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้จัดเตรียมแผ่นรวมแสงที่มีความหนาต่างกัน 4 ขนาดคือ 1.5, 2, 2.5 และ 3 มิลลิเมตร

3. การทดลอง

3.1 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืน

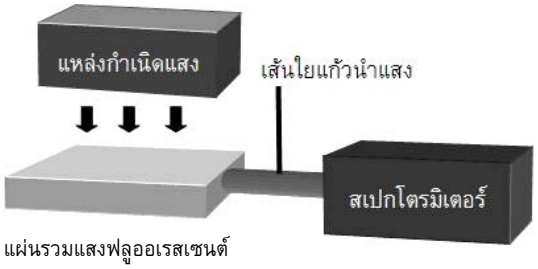
ในการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนกระทำโดยอาศัยระบบวัดดังรูปที่ 2 แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดลองคือแสงจากหลอดทังสเตน แสงจะถูกส่งผ่านมายังแผ่นวัสดุที่ต้องการทดสอบด้วยเส้นใยแก้วนำแสง และแสงที่ผ่านออกมาจากแผ่นรวมแสงจะถูกส่งผ่านมายังเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ผ่านทางเส้นใยแก้วนำแสง และถูกวิเคราะห์หาสเปกตรัมการดูดกลืนด้วยโปรแกรม Avasoft



รูปที่ 2 ระบบวัดสเปกตรัมการดูดกลืน

3.2 การวัดสเปกตรัมฟลูออเรสเซนซ์

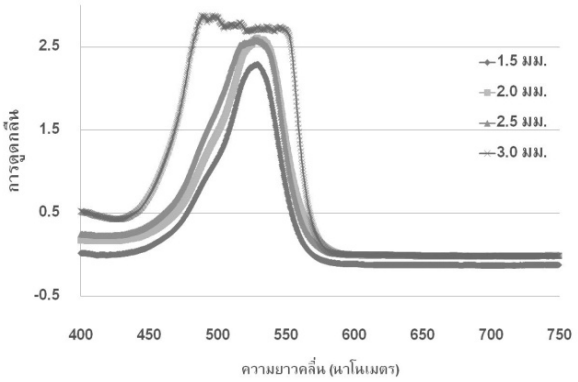
รูปที่ 3 แสดงการจัดระบบเพื่อวัดสเปกตรัมฟลูออเรสเซนซ์ของแผ่นรวมแสงที่ถูกจัดเตรียม แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้กระตุ้นแผ่นรวมแสงคือไดโอดเปล่งแสงขนาด 1 วัตต์ มีความยาวคลื่น ณ ตำแหน่งพีค 520 นาโนเมตร และมีค่าแบนด์วิดเท่ากับ 25 นาโนเมตร แสงฟลูออเรสเซนซ์ที่บริเวณขอบของแผ่นจะถูกส่งผ่านมายังเส้นใยแก้วนำแสงและส่งผ่านมายังเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และแสดงผลผ่านโปรแกรม Avasoft



รูปที่ 3 การจัดระบบเพื่อวัดสเปกตรัมฟลูออเรสเซนซ์ของแผ่นรวมแสง

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

รูปที่ 4 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนของแผ่นรวมแสงที่มีความหนาขนาดต่าง ๆ จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าสเปกตรัมการดูดกลืนจะมีพีคการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นประมาณ 530 นาโนเมตร ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้จากแผ่นรวมแสงที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร แผ่นรวมแสงจะมีค่าการดูดกลืนสูงขึ้นเมื่อแผ่นมีความหนาเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามจะสังเกตเห็นว่าแผ่นรวมแสงที่มีขนาด 3 มิลลิเมตรซึ่งมีค่าการดูดกลืนสูงสุด มีลักษณะเส้นสเปกตรัมการดูดกลืนต่างจากความหนาค่าอื่นกล่าวคือมีลักษณะอิ่มตัว (saturate) ทั้งนี้มีสาเหตุจากปรากฏการณ์ inner filter effect กล่าวคือแผ่นรวมแสงมีความหนามาก แสงกระตุ้นจึงถูกดูดกลืนไม่สม่ำเสมอภายในแผ่น และส่งผ่านมายังสายใยแก้วนำแสงได้ลดลง ส่งผลให้ผลการวัดออกมาเป็นค่าที่อิ่มตัว [4]



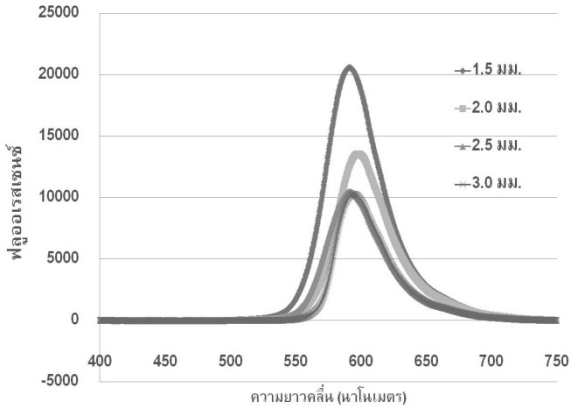
รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นรวมแสงและความยาวคลื่น

รูปที่ 5 แสดงสเปกตรัมฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดได้บริเวณขอบของแผ่นและรูปที่ 6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งคำนวณจากความสัมพันธ์

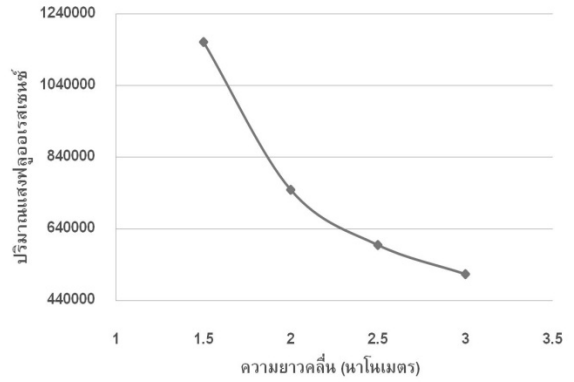
$$F = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f(\lambda)\, d\lambda \qquad (2)$$

เมื่อ F คือปริมาณแสงฟลูออเรสเซนต์รวมที่วัดได้

$f(\lambda)$ คือปริมาณแสงฟลูออเรสเซนต์ในแต่ละความยาวคลื่น



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแสงฟลูออเรสเซนซ์บริเวณขอบของแผ่นและความยาวคลื่น



รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของแผ่นรวมแสงและปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์

จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าความเข้มแสงจะมีค่าแตกต่างกันที่ความหนาขนาดต่าง ๆ แผ่นรวมแสงที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร จะมีการคายแสงมากที่สุด และมีความยาวคลื่นบริเวณพีคเท่ากับ 580 นาโนเมตร เมื่อแผ่นมีความหนา 2 มิลลิเมตร ปริมาณแสงที่วัดได้จะลดลงและมีพีคของสัญญาณเลื่อนมายังความยาวคลื่นที่ยาวขึ้น (red shift) อย่างชัดเจน ทั้งนี้มีสาเหตุจากการดูดกลืนแสงภายในแผ่น กล่าวคือแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ถูกปลดปล่อยออกมา ถูกดูดกลืนซ้ำภายในแผ่น (self absorption) สำหรับแผ่นที่มีความหนา 2.5 และ 3 มิลลิเมตร จะปริมาณแสงที่ถูกวัดได้ใกล้เคียงกัน และมีค่าความเข้มแสงน้อยสุดเมื่อเทียบปริมาณแสงที่วัดได้จากแผ่นที่บางกว่า ทั้งนี้มีสาเหตุหลักสองประการ คือ (1) พื้นที่ตัดขวางบริเวณขอบมีค่าสูง ส่งผลให้ค่าการขยายแสง G ต่ำ และ (2) ปริมาณแสงฟลูออเรสเซนต์ถูกดูดกลืนซ้ำภายในสูงกว่า อย่างไรก็ตามจะสังเกตเห็นว่าพีคการเรืองแสงจะมีการเลื่อนไปยังความยาวคลื่นที่ยาวขึ้นน้อยกว่าแผ่นรวมแสงที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากผลปรากฏการณ์ inner filter effect ซึ่งส่งผลให้เกิดการดูดกลืนอย่างไม่สม่ำเสมอภายในแผ่น ดังได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น

5. สรุปการวิจัย

จากการทดลองพบว่าขนาดของแผ่นรวมแสงมีผลต่อปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดได้บริเวณขอบของแผ่น แผ่นรวมแสงที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตรจะสามารถดูดกลืนแสงได้น้อยสุด แต่สามารถรวมแสงได้ดี กล่าวคือแสงฟลูออเรสเซนต์ที่บริเวณขอบของแผ่นมีค่าสูงสุด แผ่นรวมแสงที่มีความหนา 2-3 มิลลิเมตรจะสามารถดูดกลืนแสงได้มาก แต่ให้ปริมาณแสงบริเวณขอบได้น้อยกว่า ทั้งนี้มีผลจากความหนาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการขยายแสง G ลดลง และผลของการดูดกลืนแสงฟลูออเรสเซนซ์ภายในแผ่นเองด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารอ้างอิง

1. B.S. Richards, “Solar energy materials and Solar cells” Vol 90 pp 2329-2337, 2006 www.sciencedirect.com.
2. J.C. Goldschmidt, S.W. Glunz, A. Gombert, G. Willeke Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Heidenhofstr. 2 79110 reiburg, Germany,www.esqsec.unibe.ch/pub_308.pdf
3. A. Goetzberger and W. Greube, “Applied physics A: materials Science & Processing”, pp 123-139, 2004
4. ลาวัลย์ ศรีพงษ์. 2544. การวิเคราะห์เชิงฟลูออโรเมตรี. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร. นครปฐม