

รายงานการวิจัย

การพัฒนาแผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนต์สำหรับแปลงพลังงานแสงอาทิตย์

Development of planar fluorescent collectors for solar energy conversion



ชื่อผู้วิจัย

นางสาวภัทริยา กิตติเดชาชาญ

นางสาววิษญาพร สุญพานิช

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2554

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ประจำปี 2554 และได้รับความร่วมมือและความอนุเคราะห์จากบุคคลากรหลายท่านดังนี้

1. รศ. วิชาญ เตชิตธีระ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. ในความอนุเคราะห์แหล่งกำเนิดแสงซินคอน
2. คุณเจริญชัย เหลืองอ่อน ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ในความอนุเคราะห์การวัดความหนาฟิล์มบาง
3. คุณศิวกร ศุภประเสริฐชัย ในการติดตั้งระบบวัดความเร็วรอบของเครื่องเตรียมฟิล์มบาง
4. นางสาวสุภารัตน์ รุจิหาญ ในการช่วยเหลือจัดทำรูปเล่มรายงาน



RCH

TK

๑๑๖๐

๑๖๘๓

ก ๑

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....121176
วัน, เดือน, ปี...25 ส.ย. 2555

b.12408๒๔
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ก

รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการ

ชื่อโครงการ การเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยฟิล์มบางลูมิเนสเซนส์

ชื่อโครงการ Enhancing the efficiency of solar cells with thin luminescent layers

แหล่งเงิน เงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2554 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2553 ถึง 30 กันยายน 2554

หัวหน้าโครงการและผู้ร่วมโครงการวิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผศ.ดร. ภัทรียา กิตติเดชาชาญ

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ 02-7373000 ต่อ 6207 โทรสาร 02-3264413

ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ kkpattar@kmitl.ac.th

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

นางสาววิชญพร สุญพานิช

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ 02-7373000 ต่อ 6207 โทรสาร 02-3264413

ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ giffy_dorae@hotmail.com

คำสำคัญ (Keywords) ฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์, เซลล์แสงอาทิตย์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนที่ถูกเคลือบผิวหน้าด้วยฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์ ฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์ถูกใช้เพื่อทำหน้าที่แปลงพลังงานของแสงหรือโฟตอนในย่านรังสีอัลตราไวโอเล็ตและย่านสีน้ำเงินของแสงอาทิตย์ไปเป็นแสงในย่านความยาวคลื่นที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นย่านความยาวคลื่นที่เซลล์แสงอาทิตย์มีการตอบสนองต่อแสงได้ดีกว่า ผู้วิจัยได้จัดเตรียมฟิล์มบางโพลิเมอร์ชั้นเดียวและหลายชั้นด้วยวิธีการเคลือบแบบหมุนเหวี่ยง สารที่ถูกนำมาใช้ในการจัดเตรียมฟิล์มบางคือสาร Rhodamine 6G (R6G) และสาร Coumarin 30 (C30) ฟิล์มบางที่จัดเตรียมขึ้นถูกนำมาศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนที่ถูกเคลือบผิวหน้าด้วยฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์แบบชั้นเดียวและแบบหลายชั้นได้ถูกนำมาวัดสมบัติทางไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่าความหนาแน่นกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น 1.61 % และ 1.98 % เมื่อเซลล์ถูกเคลือบผิวหน้าด้วยฟิล์มบาง C30 และ R6G ตามลำดับ

ABSTRACT

The impact of luminescent films on the electrical performance of silicon solar cell has been investigated. The principle of luminescent layer is to shift the photons energy in the ultraviolet and blue components of sunlight to longer wavelengths, where the devices exhibit higher quantum efficiency. The concept can be realized by coating luminescent films on the front surface of the device. In the present study, we attempted to prepare single and multilayer polymeric films from Rhodamine 6G(R6G) and Coumarin 30 (C30) by spin coat method. The prepared samples were tested for their absorbance and luminescence spectra. The electrical performances of the silicon solar cells coated with single and multilayer films were also characterized. The present results indicate that the short circuit current density of the test device increased by approximately 1.61 % and 1.98 % when it was coated with the C30 and R6G fluorescent films respectively.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	4
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 หลักการทำงานของฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์	5
2.2 หลักการของโฟโตลูมิเนสเซนซ์	7
2.2.1 กระบวนการดูดกลืน	7
2.2.2 กระบวนการกระตุ้น	7
2.2.3 การเกิดแสงฟลูออเรสเซนต์	9
2.2.4 การเกิดแสงฟอสฟอเรสเซนต์	9
2.3 หลักการทำงานของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์	10
2.4 เครื่องเคลือบฟิล์มแบบหมุนเหวี่ยง	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 3 การทดลอง	
3.1 ความเร็วรอบของเครื่อง Spin coat ต่อฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์	13
3.2 ความหนืดของสารที่ใช้จัดเตรียมฟิล์มบาง โดยใช้สาร DCM เป็นสารตัวทำละลาย	13
3.3 การทำละลายสาร PMMA จากสารละลายที่แตกต่างกัน	16
3.4 ความหนืดของสารที่ใช้จัดเตรียมฟิล์มบางโดยใช้สาร Chloroform เป็นสารตัวทำละลาย	16
3.5 การจัดเตรียมฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์	18
3.6 การจัดเตรียมฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์ชนิดสองชั้น	22
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	28
บรรณานุกรม	29
ภาคผนวก	32



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย	4
ตารางที่ 2.1 ระยะเวลาชีวิตของกระบวนการโฟโตนิกส์ในสเปกตรัมของโมเลกุล	10
ตารางที่ 2.2 ข้อมูลของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Avantes รุ่น 2048	11
ตารางที่ 3.1 ผลการวัดความหนาแน่นกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน	26
ตารางที่ 3.2 ความหนาแน่นกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนที่เพิ่มขึ้น จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ทำการเคลือบฟิล์มบาง	27



สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงกลไกการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการคายพลังงานความร้อน	2
รูปที่ 1.2 สเปกตรัมการส่องสว่างแสดงสัดส่วนของพลังงานโฟตอนที่ถูกใช้ประโยชน์ โดยเซลล์แสงอาทิตย์(พื้นที่สีเขียว) และไม่ถูกใช้ประโยชน์โดยเซลล์แสงอาทิตย์ (พื้นที่สีแดง)	3
รูปที่ 2.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์	5
รูปที่ 2.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงและเปล่งแสงของสารฟลูออเรสเซนต์ชนิดต่างๆ	6
รูปที่ 2.3 โครงสร้างฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์ชนิดหลายชั้น	6
รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการหมุนของอิเล็กตรอนในสถานะต่างๆ	8
รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงการดูดกลืนและการปลดปล่อยแสงรูปแบบต่างๆ	8
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบภายในของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Avantes รุ่น 2048	10
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างของกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง	11
รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางและความยาวคลื่น เมื่อปริมาณของสาร PMMA ต่างกัน โดยใช้สาร DCM เป็นสารทำละลาย	15
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปล่งแสงของฟิล์มบางและความยาวคลื่น เมื่อปริมาณของสาร PMMA ต่างกัน โดยใช้สาร DCM เป็นสารทำละลาย	15
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางและความยาวคลื่น เมื่อปริมาณของสาร PMMA ต่างกัน โดยใช้สาร Chloroform เป็นสารทำละลาย	17
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปล่งแสงของฟิล์มบางและความยาวคลื่น เมื่อปริมาณของ สาร PMMA ต่างกัน โดยใช้สาร Chloroform เป็นสารทำละลาย	17
รูปที่ 3.5 การจัดระบบวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง	18
รูปที่ 3.6 การจัดระบบวัดสเปกตรัมการเรืองแสง	19
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นและการดูดกลืนของฟิล์มบาง C30 ที่ความเข้มข้น ของสารเรืองแสงและปริมาณสาร PMMA ที่แตกต่างกัน	19
รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นและการดูดกลืนของฟิล์มบาง R6G ที่ความเข้มข้นของสารเรืองแสงและปริมาณสาร PMMA ที่แตกต่างกัน	20
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและความเข้มแสงฟลูออเรสเซนต์ ที่วัดจากด้านล่างของฟิล์มบาง C30 ที่ความเข้มข้นของสารเปล่งแสงและปริมาณสาร PMMA ที่แตกต่างกัน	21

รูปที่ 3.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ ที่วัดจากด้านล่างของฟิล์มบาง R6G ที่ความเข้มข้นของสารเปล่งแสงและปริมาณสาร PMMA ที่แตกต่างกัน	21
รูปที่ 3.11	(ก) โครงสร้างการเคลือบฟิล์มบนเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ 1 (ข) โครงสร้างการเคลือบฟิล์มบนเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ 2	22
รูปที่ 3.12	สเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสงของฟิล์มบางเจือด้วยสาร C30	24
รูปที่ 3.13	สเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสงของฟิล์มบางเจือด้วยสาร R6G	24
รูปที่ 3.14	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง 2 ชั้น	25
รูปที่ 3.15	สเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์มบาง 2 ชั้น	25
รูปที่ 3.16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและสภาพตอบสนอง ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน	26

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
η	ประสิทธิภาพของฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์
Q_A	ประสิทธิภาพการดูดกลืนแสง
Q_c	ประสิทธิภาพการเปล่งแสง
ϕ_f	ประสิทธิภาพเชิงควอนตัมของสารฟลูออเรสเซนต์
E	พลังงาน (eV)
h	ค่าคงที่ของ Planck's มีค่า 6.626×10^{-34} J·s
ν	ความถี่ (1/s)
λ	ความยาวคลื่น (nm)
c	ความเร็วแสงมีค่า 2.99×10^8 m/s
I_{sc}	กระแสลัดวงจร (A)
A	พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ (cm^2)
J_b	กระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลือบฟิล์มบาง
ΔJ	ผลต่างระหว่างกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลือบฟิล์มบางและไม่เคลือบฟิล์มบาง

คำอธิบายคำย่อ

คำย่อ	คำเต็ม	ความหมาย
C30	Coumarin 30	สารเปล่งแสง
DCM	Dichloromethane	สารทำละลายไดคลอโรมีเทน
E_g	Energy gap	แถบพลังงานช่องว่าง
FSC	Fluorescent solar concentrators	แผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนต์
IC	Internal Conversion	กระบวนการลดระดับพลังงานจากระดับพลังงานสูงมายังระดับพลังงานที่ต่ำกว่า
ISC	Intersystem crossing	กระบวนการลดระดับพลังงาน ที่อิเล็กตรอนตัวหนึ่งอาจเกิดหมุนกลับทางโมเมนต์นั้นจะเปลี่ยนจาก

		สถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้นไปเป็นสถานะสามในสถานะกระตุ้น
PMMA	Poly (methyl metracrylate)	สารโพลีเมอรั
R6G	Rhodamine 6G	สารเปล่งแสง
TIR	Total Internal Reflection	หลักการสะท้อนกลับหมดของแสง
VR	Vibrational Relaxation	กระบวนการลดระดับพลังงานการสั่นที่เกินไปจากระดับพลังงานต่ำสุดให้กลายเป็นความร้อน ด้วยการชนกันของโมเลกุล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ๓

บทที่ 1

บทนำ

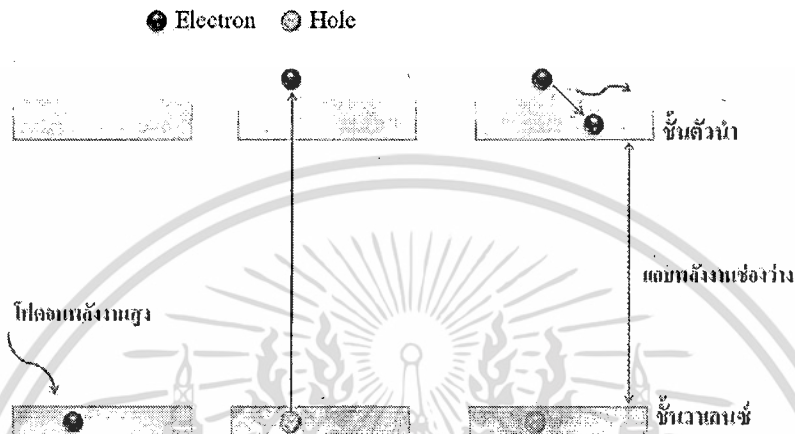
1.1 ความเป็นมาของโครงการวิจัย

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกรูปแบบหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจอย่างมาก เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ และสามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่มีวันหมด การแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเป็นวิธีการในรูปแบบหนึ่งของการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ที่ใช้งานได้มากในปัจจุบัน โดยสิ่งประดิษฐ์ที่ทำหน้าที่ในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าคือเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกได้หลายประเภท เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหรือสารประกอบสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เป็นต้น แต่เซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางคือเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน^[1] เนื่องจากวัสดุซิลิกอนซึ่งเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์สามารถหาได้ง่าย และมีราคาถูกกว่าสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น นอกจากนี้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ยังได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงประมาณ 25%^[2-5] แต่อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าต่อกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงมีค่าสูงมาก เนื่องจากวัสดุซิลิกอนมีการแข่งขันราคาทางการตลาดกับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นการลดขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์และปริมาณการใช้วัสดุซิลิกอนให้น้อยลง จะส่งผลทำให้ต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์น้อยลงด้วย^[6-7] จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้เกิดแนวความคิดเกี่ยวกับสิ่งประดิษฐ์รวมแสงฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Solar Concentrators: FSC) ซึ่งสิ่งประดิษฐ์ชนิดนี้เป็นสิ่งประดิษฐ์รวมแสงที่ได้รับความนิยมจากนักวิจัยหลายกลุ่มเนื่องจากมีข้อได้เปรียบมากกว่าการใช้เลนส์หรือกระจกในการรวมแสงหลายประการคือ สามารถใช้ประโยชน์จากแสงที่ตกกระทบบนได้ทั้งแสงตรง (Direct light) และแสงที่เกิดการกระเจิงกระเจิง (Diffuse light) จึงไม่จำเป็นต้องมีระบบติดตามดวงอาทิตย์และยังสามารถทำงานได้ดีแม้ในสภาวะที่มีเมฆมาก นอกจากนี้คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ยังน้อยกว่าการใช้เลนส์รวมแสงทำให้ไม่ต้องอาศัยระบบหล่อเย็นในการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์^[8-10]

หลักการการเกิดแสงฟลูออเรสเซนต์นอกจากสามารถประยุกต์ใช้ในสิ่งประดิษฐ์รวมแสงฟลูออเรสเซนต์แล้วยังสามารถใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ได้อีกด้วย เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนในปัจจุบันมีการสูญเสียพลังงานในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าอยู่หลายประการ แต่การสูญเสียพลังงานที่สำคัญประการหนึ่งคือการสูญเสียที่เรียกว่าการสูญเสียเนื่องจากการคายพลังงานความร้อน (Thermalization loss)^[11] ซึ่งกลไกการเกิดการสูญเสียดังกล่าวนี้แสดงดังรูปที่ 1.1 เมื่อโฟตอนที่มีค่าพลังงานมากกว่าแถบพลังงานช่องว่าง (Energy gap: E_g) ของสารกึ่งตัวนำซิลิกอนกระตุ้นอิเล็กตรอนเป็นอิเล็กตรอนที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 1

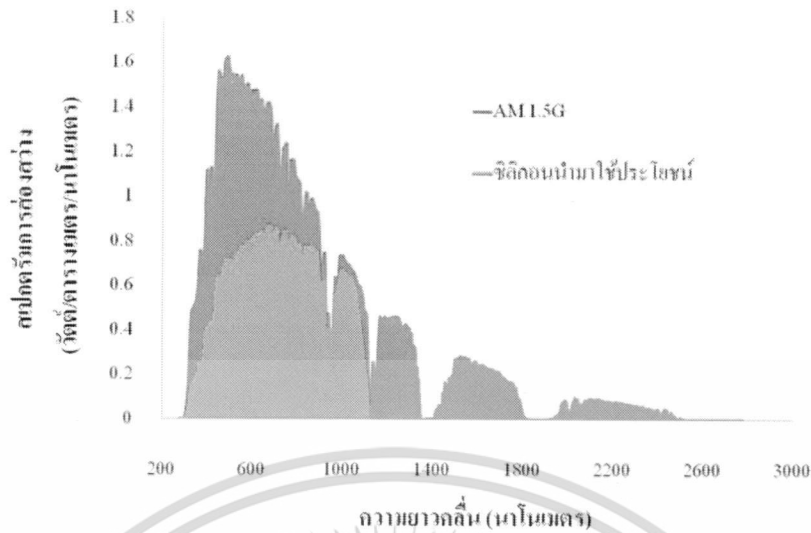
อิเล็กตรอนจากชั้นวาเลนซ์ (Valence band) ไปยังชั้นตัวนำ (Conduction band) ทำให้อิเล็กตรอนนั้นถูกกระตุ้นไปยังระดับพลังงานที่สูงกว่าระดับพลังงานต่ำสุดของชั้นตัวนำ ดังนั้นอิเล็กตรอนจึงคายพลังงานส่วนที่เกินจากระดับพลังงานต่ำสุดของชั้นตัวนำออกมาในรูปของการคายพลังงานความร้อน เพื่อตกกลับสู่ระดับพลังงานต่ำสุดของชั้นตัวนำ



รูปที่ 1.1 แสดงกลไกการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการคายพลังงานความร้อน

ซึ่งพลังงานความร้อนในส่วนที่ถูกคายออกจากการสูญเสียพลังงานโดยเปลวประโยชน์ทำให้ไม่สามารถนำพลังงานที่มีมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ ซึ่งสัดส่วนของพลังงานที่ถูกใช้และไม่ถูกใช้ประโยชน์โดยเซลล์แสงอาทิตย์แสดงในรูปที่ 1.2 พื้นที่สีเขียวแสดงถึงสัดส่วนของพลังงานโฟตอนที่ถูกใช้ประโยชน์โดยเซลล์แสงอาทิตย์ และพื้นที่สีแดงคือสัดส่วนพลังงานส่วนเกินของโฟตอนที่ไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์โดยเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นหลักการของการเกิดแสงฟลูออเรสเซนซ์จึงนำมาเพื่อใช้ในการแปลงพลังงานโฟตอนที่มีค่าพลังงานมากกว่าแถบพลังงานช่องว่างของสารกึ่งตัวนำซิลิกอนให้อยู่ในย่านพลังงานที่ใกล้เคียงกับแถบพลังงานช่องว่างของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือแปลงย่านความยาวคลื่นของโฟตอนให้อยู่ในย่านที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนสามารถตอบสนองได้ดี

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์เพื่อช่วยในการลดการสูญเสียพลังงานในกระบวนการของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยได้ศึกษาและพัฒนาฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์ ตั้งแต่ในส่วนของการจัดเตรียมฟิล์มบางแบบหนึ่งชั้นและสองชั้น รวมทั้งศึกษาสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์และสมบัติเชิงไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งผลการดำเนินงานวิจัยนี้จะส่งผลให้เกิดการพัฒนาทางเทคโนโลยีในการผลิตฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์ขึ้นในประเทศและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ได้ต่อไปในอนาคต



รูปที่ 1.2 สเปกตรัมการส่องสว่างแสดงสัดส่วนของพลังงานโฟตอนที่ถูกใช้ประโยชน์โดยเซลล์แสงอาทิตย์ (พื้นที่สีเขียว) และไม่ถูกใช้ประโยชน์โดยเซลล์แสงอาทิตย์ (พื้นที่สีแดง)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการที่เหมาะสมในการจัดเตรียมฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์
2. เพื่อจัดเตรียมฟิล์มบางจากสารฟลูออเรสเซนซ์ที่มีประสิทธิภาพเชิงควอนตัมสูงและสามารถดูดกลืนและปลดปล่อยแสงในย่านที่เหมาะสมกับเซลล์แสงอาทิตย์
3. เพื่อศึกษาสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์ที่จัดเตรียมขึ้น
4. เพื่อประยุกต์ใช้ฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ

1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการการวัดสมบัติเชิงแสงของสิ่งประดิษฐ์
2. จัดสร้างฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์ชนิดหนึ่งชั้นและสองชั้นจากสารฟลูออเรสเซนซ์ต่างชนิดที่มีสมบัติเชิงแสงที่เหมาะสม
3. ประยุกต์ใช้ฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์และศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์
4. สรุปผลการวัดและอภิปรายผลการศึกษา

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาและสังเคราะห์วัสดุที่จำเป็นต่อการจัดเตรียมฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์

ขั้นตอนที่ 2 พัฒนาระบวนการในการจัดเตรียมฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์โดยอาศัยวิธีการเคลือบ

ฟิล์มแบบหมุนเหวี่ยง (spin coat) ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 จัดเตรียมฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์ชนิดสองชั้นจากสารฟลูออเรสเซนต์ชนิดต่างๆ
 ขั้นตอนที่ 4 พัฒนาระบบในการวัดสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์ที่จัดเตรียมขึ้น
 ขั้นตอนที่ 5 วัดและศึกษาสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์ที่จัดเตรียมขึ้น
 ขั้นตอนที่ 6 จัดเตรียมรายงานสรุปผลการดำเนินการและจัดเตรียมผลงานเพื่อเสนอในงานประชุมวิชาการ

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา											
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
	53	53	53	54	54	54	54	54	54	54	54	54
ขั้นตอนที่ 1												
ขั้นตอนที่ 2												
ขั้นตอนที่ 3												
ขั้นตอนที่ 4												
ขั้นตอนที่ 5												
ขั้นตอนที่ 6												

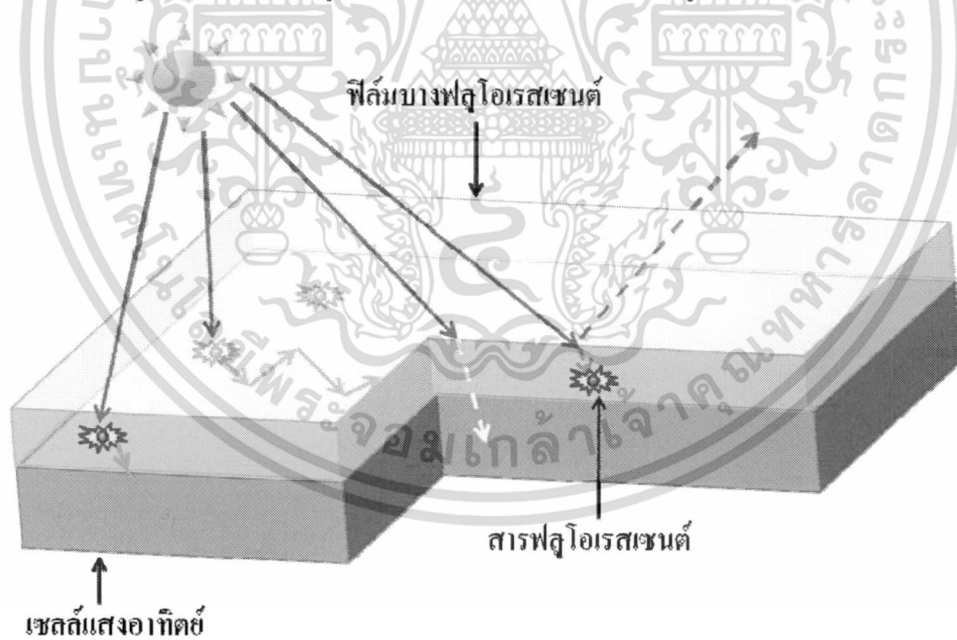
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการนี้มุ่งเน้นพัฒนาและศึกษาสมบัติของฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์ชนิดโครงสร้างฟิล์มบางหลายชั้นเพื่อประยุกต์ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ การศึกษาวิจัยนี้จะเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์แสงอาทิตย์และเมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานกับเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ลดต่ำลงได้ ดังนั้น โอกาสที่แหล่งพลังงานทางเลือกชนิดนี้จะถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางจึงมีสูงขึ้น

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการทำงานของฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์

ฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์มีลักษณะเป็นแผ่นหรือฟิล์มบางโพลีเมอร์โปร่งแสง ซึ่งภายในแผ่นหรือฟิล์มบางมีโมเลกุลของสารฟลูออเรสเซนซ์ ดังรูปที่ 2.1 เมื่อแสงตกกระทบบนผิวหน้าของแผ่นรวมแสง แสงส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับและอีกส่วนหนึ่งจะหักเหเข้าไปภายในฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์แสงที่เกิดการหักเหเข้าไปบางส่วนจะถูกดูดกลืนโดยสารฟลูออเรสเซนซ์ที่อยู่ภายในฟิล์มบาง และบางส่วนอาจเกิดการส่องผ่านออกไปจากฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์ หลังจากที่ถูกดูดกลืนแสงที่หักเหเข้ามาภายในฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์แล้ว สารฟลูออเรสเซนซ์จะปลดปล่อยแสงฟลูออเรสเซนซ์ออกมาในทิศทางที่ไม่แน่นอน ซึ่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ถูกปลดปล่อยนั้นบางส่วนจะเคลื่อนที่อยู่ภายในฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์ด้วยหลักการสะท้อนกลับหมดของแสง (Total Internal Reflection: TIR) และบางส่วนจะเกิดการหักเหออกจากฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์ไปยังด้านบนหรือด้านล่างของฟิล์มบาง ซึ่งแสงที่เกิดการหักเหออกทางด้านล่างฟิล์มบางจะถูกนำมาใช้ประโยชน์โดยเข้าสู่กระบวนการของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่เดินทางเข้าสู่เซลล์อาทิตย์จะถูกแปลงพลังงานโดยฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์ก่อน



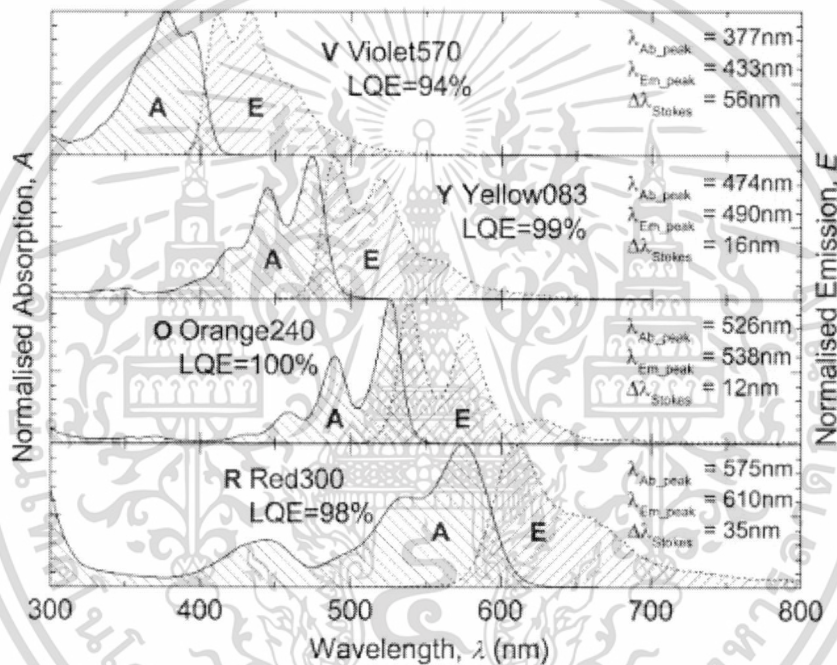
รูปที่ 2.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์

ประสิทธิภาพของฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์(η) จะขึ้นกับปัจจัยหลัก 3 ประการ คือ ประสิทธิภาพการดูดกลืนแสง (Q_A) ประสิทธิภาพการเปล่งแสง (Q_E) และประสิทธิภาพเชิงควอนตัมของสารฟลูออเรสเซนซ์ (ϕ_f) ดังสมการ^[12]

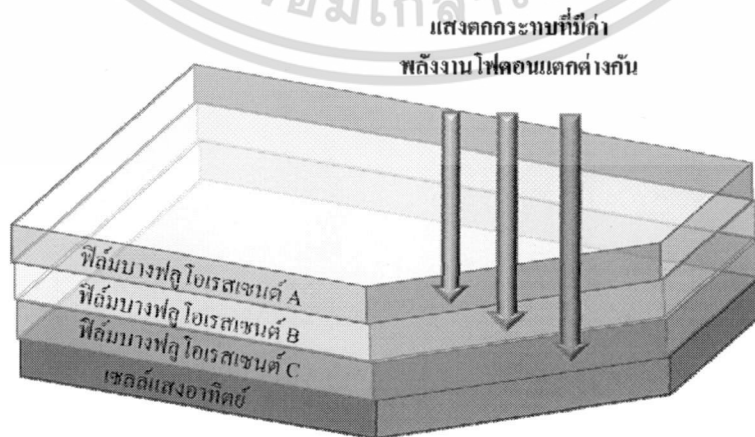
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 5

$$\eta = Q_A Q_c \phi_f \quad (1)$$

ประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงจะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารฟลูออเรสเซนต์ที่เลือกใช้เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าสารแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดกลืนแสงและเปล่งแสงในย่านที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์ให้มากขึ้น กล่าวคือทำให้ฟิล์มบางดูดกลืนแสงย่านสเปกตรัมที่กว้างขึ้น จึงได้มีแนวคิดในการจัดสร้างฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์หลายๆชั้น โดยแต่ละชั้นจะสามารถดูดกลืนแสงในย่านที่แตกต่างกัน^[13] โดยมีลักษณะโครงสร้างดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงและเปล่งแสงของสารฟลูออเรสเซนต์ชนิดต่างๆ^[14]



รูปที่ 2.3 โครงสร้างฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์ชนิดหลายชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการของโฟโตลูมิเนสเซนซ์

โฟโตลูมิเนสเซนซ์(Photoluminescence) คือการเปล่งแสงชนิดหนึ่งโดยแสงที่เปล่งออกมาเกิดจากโมเลกุลได้รับการกระตุ้นโดยโฟตอนทำให้เกิดการเปล่งแสง การเปล่งแสงแบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ยังสามารถแบ่งออกได้เป็นอีก 2 แบบ คือ การวาวแสงหรือฟลูออเรสเซนซ์(Fluorescence) และการเรืองแสงหรือฟอสฟอเรสเซนซ์ (Phosphorescence) ในหัวข้อถัดไป

2.2.1 กระบวนการดูดกลืน (Absorption)

การดูดกลืนพลังงานจะเกิดขึ้นระหว่างการสั่นและพลังงานการหมุนของสถานะกระตุ้นในโมเลกุล ในออบิตัลต่างๆ ระดับพลังงานจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดกลืนและการเปล่งแสง การดูดกลืนแสงนั้นเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นการปลดปล่อยของโฟตอนด้วยวิธีฟลูออเรสเซนซ์หรือฟอสฟอเรสเซนซ์สามารถนำมาคำนวณโดยใช้สูตรทางควอนตัมได้ โดยใช้สมการของพลังค์ (Planck's Law)

$$E = h\nu = hc/\lambda \quad (2)$$

เมื่อ E คือพลังงาน
h คือค่าคงที่ของพลังค์
 ν คือความถี่
 λ คือความยาวคลื่น
c คือความเร็วแสง

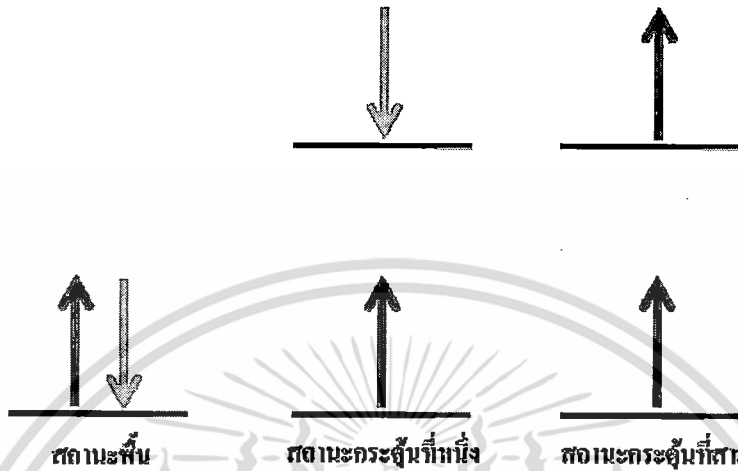
สมการของพลังค์จะบอกถึงการแผ่รังสีของพลังงานในการดูดกลืนของโฟตอนซึ่งจะมีสัดส่วนพอเหมาะกับความถี่และมีสัดส่วนพอเหมาะกับความยาวคลื่น การดูดกลืนโฟตอนของพลังงานที่จะทำให้เกิดการเรืองแสงเกิดขึ้นเนื่องจากการทำอันตรกิริยาของเวกเตอร์การสั่นของคลื่นแสงกับอิเล็กตรอนในโมเลกุล

2.2.2 กระบวนการกระตุ้น (Excitation)

โมเลกุลทั่วไปจะมีสถานะพลังงานต่ำสุดหรือสถานะพื้น (Ground State) ซึ่งจะอยู่เป็นคู่ในออบิตัล และมีทิศของการหมุนตรงข้ามกัน โดยทิศการหมุนเมื่อให้พลังงานไปกระตุ้นจะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นซึ่งดูได้จากรูปที่ 2.4

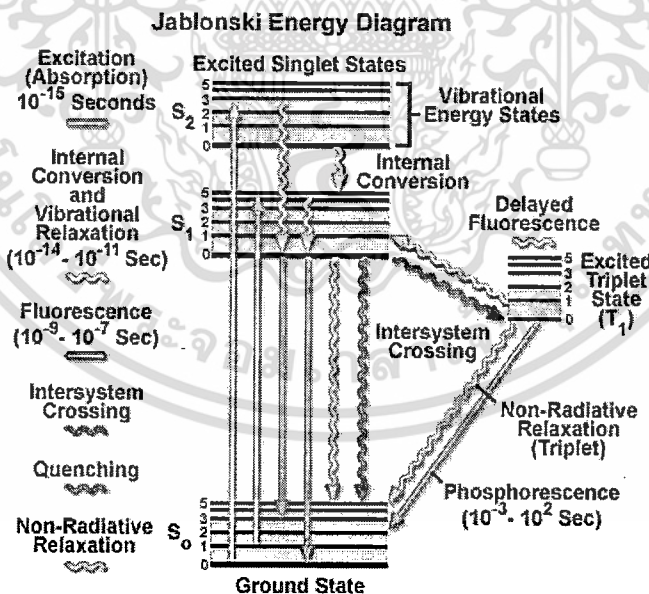
เมื่อ โมเลกุลถูกกระตุ้นจะทำให้ย้ายจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้น ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นไปยังระดับพลังงานที่สูงขึ้น โดยการกระตุ้นนั้นมี 2 แบบ คือกระตุ้นไปสถานะเดี่ยวในสถานะพื้น (Excited singlet state) และสถานะสามในสถานะกระตุ้น (Triplet singlet state) ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งในกรณีหลังเกิดจากการที่อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจะมีโอกาสที่จะหมุนกลับทิศทำให้ค่า Spin Quantum number เปลี่ยนไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 7

กลายเป็นสถานะสาม (Triplet State) ซึ่งเป็นสถานะพื้นของสถานะสามหรือสถานะที่มีค่าพลังงานต่ำสุดของสถานะสามแทนด้วย T_1



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการหมุนของอิเล็กตรอนในสถานะต่างๆ

เมื่อโมเลกุลถูกกระตุ้นไปสู่สถานะกระตุ้น S_2 (excited state) การที่โมเลกุลจะกลับลงมาสถานะพื้นจะต้องมีกลไกต่างๆเกิดขึ้นหลายขั้นตอนดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงการดูดกลืนและการปลดปล่อยแสงรูปแบบต่างๆ

ถ้าโมเลกุลนั้นอยู่ในสารละลาย โมเลกุลนั้นสามารถลด Vibrational energy ที่เกินไปลงด้วยการชนกับโมเลกุลของตัวทำละลาย กลายเป็นความร้อนโดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า Vibrational Relaxation (VR) ในขณะที่เดียวกันโมเลกุลที่อยู่ S_2 จะมีระดับพลังงาน vibrational energy ลดต่ำลงมาอยู่กับ vibrational energy เป็นเอ็กสาร์ทพลังงานต่ำสุดสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับอยู่ให้เห็นเป็นเชิงประจักษ์เช่นต้นการคิดไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

energy ที่สูงของ excited singlet แรก S_1 นั่นคือ S_2 พลังงานต่ำกลายเป็น S_1 พลังงานสูงเรียกว่าเกิดกระบวนการ Internal Conversion (IC) กระบวนการลดพลังงานของทั้ง (VR) และ (IC) เกิดขึ้นรวดเร็วจนโมเลกุลลงมาสู่สถานะ S_1 โดยไม่มีการแผ่รังสี

เมื่อโมเลกุลลงมาสู่ระดับพลังงาน S_1 ที่มีระดับพลังงานต่ำกว่าก็จะเกิด deexcited ไปสู่ S_0 และในกรณีที่โมเลกุลกำลังอยู่ในสถานะกระตุ้น อิเล็กตรอนตัวหนึ่งอาจเกิดหมุนกลับทางโมเลกุลนั้นจะเปลี่ยนจากสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้นไปเป็นสถานะสามในสถานะกระตุ้น โดยกระบวนการนี้ไม่มีการแผ่รังสีออกมาเรียกว่า Intersystem crossing (ISC)

Triplet State นั้นจึงมีพลังงานต่ำกว่า singlet state เดิม หลังจากที่ได้เปลี่ยนไปเป็น triplet state ที่มีพลังงานสูงแล้วเกิดกระบวนการ VR เพื่อลดพลังงานให้เป็น triplet state (T_1) ที่มีพลังงานต่ำแล้วเกิดกระบวนการลดระดับพลังงานจาก T_1 ไปยัง S_0

2.2.3 การเกิดแสงฟลูออเรสเซนซ์(Fluorescence)

เมื่อโมเลกุลได้รับการกระตุ้นจนมีพลังงานสูงมากจนถูกกระตุ้นไปยัง S_2 ได้ผ่านกระบวนการลดระดับพลังงานต่างๆ จนกระทั่งอิเล็กตรอนในโมเลกุลลดระดับพลังงานมาถึงพลังงานการสั่นต่ำสุดของสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้นจะเกิดการลดระดับพลังงานไปยังสถานะพื้น ซึ่งการลดระดับพลังงานไปยังสถานะพื้นจะเกิดการคายพลังงานออกมาในรูปของแสงเรียกว่าฟลูออเรสเซนซ์

2.2.4 การเกิดแสงฟอสฟอเรสเซนซ์(Phosphorescence)

ในการคายพลังงานในกระบวนการนี้จะแตกต่างจากการคายพลังงานแบบฟลูออเรสเซนซ์ เนื่องจากฟอสฟอเรสเซนซ์จะเป็นการลดระดับพลังงานอิเล็กตรอนในระดับพลังงานสั่นต่ำที่สุดของสถานะสามในสถานะกระตุ้น ซึ่งถ้าเป็นฟลูออเรสเซนซ์จะเป็นการลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในระดับพลังงานสั่นต่ำสุดของสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้น

การคายพลังงานแบบที่เกิดแสงทั้งสองชนิดจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกในย่านความยาวคลื่นที่ยาวกว่าความยาวคลื่นที่มากระตุ้น โมเลกุล และความยาวคลื่นในการรวบรวมแสงจะสั้นกว่าความยาวคลื่นของการเรืองแสงเพราะว่าชั้นพลังงานของสถานะสามในสถานะกระตุ้นจะต่ำกว่าสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้น

อิเล็กตรอนที่อยู่สถานะกระตุ้นหลังถูกกระตุ้นจะต้องตกกลับมายังสถานะพื้น โดยผ่านกระบวนการลดระดับพลังงานซึ่งระยะเวลาชีวิต (Lifetime) ของกระบวนการต่างๆจะต่างกันออกไปดังตารางที่ 2.1 ระยะเวลาชีวิตของฟลูออเรสเซนซ์จะน้อยกว่าฟอสฟอเรสเซนซ์เนื่องจากฟอสฟอเรสเซนซ์จะต้องมีการลดระดับพลังงานแบบ Intersystem crossing เพื่อไปยังสถานะสามได้

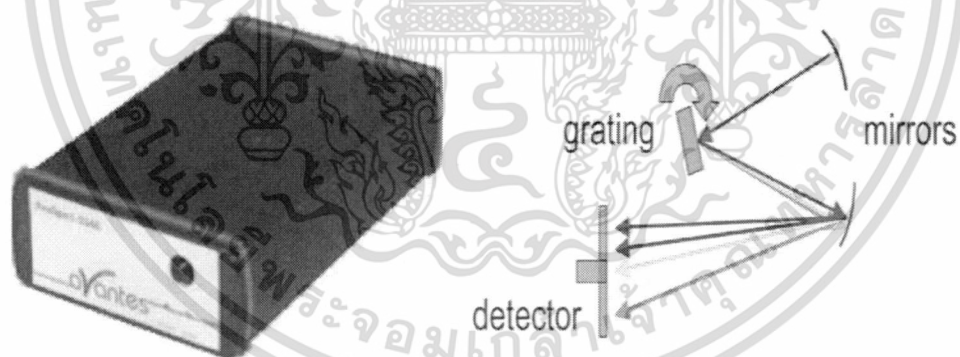
ตารางที่ 2.1 แสดงระยะเวลาชีวิตของกระบวนการโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของโมเลกุล

กระบวนการ	ระยะเวลาชีวิต (วินาที)
Absorption	10^{-15}
Internal conversion	$10^{-14} - 10^{-11}$
Intersystem crossing	10^{-8}
External conversion ($S_1 \rightarrow S_0$)	$10^{-7} - 10^{-5}$
Fluorescence	$10^{-9} - 10^{-7}$
External conversion ($T_1 \rightarrow S_0$)	$10^{-3} - 10^2$
Phosphorescence	$10^{-5} - 10^2$
Vibration relaxation	10^{-12}

2.3 หลักการทำงานของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ Avantes Spectrometer รุ่น 2048 ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่

2.6 และมีสมบัติการของเครื่องดังตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบภายในของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Avantes รุ่น 2048

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ Avantes รุ่น 2048

Spectrometer platform	AvaSpec-2048-USB2
Optical Bench	Symmetrical Czerny-Turner,
Wavelength range	200 – 850 nm
Resolution (Grating : 300 lines/mm)	0.8 – 20 nm
Stray light	< 0.1 %
Detector	CCD linear array , 2048 pixels
Sample speed	1.11 msec/scan

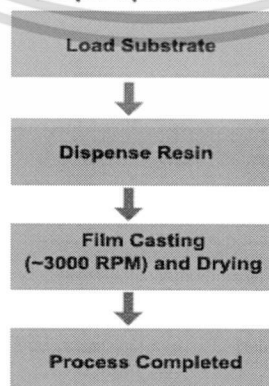
2.4 เครื่องเคลือบฟิล์มแบบหมุนเหวี่ยง

เครื่องเคลือบฟิล์มแบบหมุนเหวี่ยงถูกนำมาใช้ในการจัดเตรียมฟิล์มบางในงานวิจัยนี้ ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มแบบหมุนเหวี่ยงประกอบด้วย การหยดสารละลายลงบนฐานรอง การหมุนด้วยความเร็วสูง เพื่อให้ของเหลวบางลง และระเหยเอาตัวทำละลายออกเพื่อให้สารละลายได้เป็นฟิล์มบาง มีสองกระบวนการคือ Static dispense และ Dynamic dispense

1. **Static dispense** เป็นวิธีการง่ายๆ โดยการหยดสารละลายลงบนฐานรองในขณะที่ยังไม่หมุนประมาณ 1 – 10 cc ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนืดของสารละลายและขนาดของฐานรองที่ใช้ในการเคลือบ ความหนืดสูงและฐานรองที่กว้างๆเป็นรูปแบบที่เหมาะสมในการหยดสารละลายซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างการหมุนด้วยความเร็วสูง

2. **Dynamic dispense** เป็นการหยดสารละลายในขณะที่ฐานรองกำลังหมุนอย่างช้าๆ ด้วยความเร็วประมาณ 500 รอบ/นาที การกระจายของสารละลายทั่วฐานรองทำให้สิ้นเปลืองสารละลายน้อยกว่า เนื่องจากไม่ต้องหยดสารละลายในปริมาณมากๆทั่วๆไปของฐานรอง

Simple Spin Process



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างของกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่หยดสารละลายและหมุนด้วยความเร็วค่อนข้างสูงทำให้สารละลายค่อยๆแผ่ออก จนได้ความหนาตามที่ต้องการ ความเร็วในการหมุนมีอัตราจาก 1500-6000 รอบ/นาที ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารละลายและฐานรอง ใช้เวลาในการหมุนเฉลี่ยตั้งแต่ 10 วินาที ถึงมากกว่านาที การเลือกช่วงความเร็วของการหมุนและเวลา ต้องเลือกให้เหมาะสมกับความหนาของฟิล์มที่เราต้องการ



บทที่ 3

การทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อให้แผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนซ์ชนิดฟิล์มบางที่ทำการจัดเตรียมขึ้นมีสมบัติที่เหมาะสม โดยแบ่งหัวข้อการทดลองออกเป็นดังนี้

3.1 ความเร็วรอบของเครื่อง Spin coat ต่อฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์

สมบัติหนึ่งที่ดีของฟิล์มบางคือการมีผิวหน้าที่ยเรียบสม่ำเสมอเพื่อให้ผิวหน้าของฟิล์มบางสามารถรับแสงได้ดี มีการสะท้อนที่บริเวณผิวหน้าน้อยที่สุด ดังนั้นในการจัดเตรียมฟิล์มบางความเร็วรอบในการหมุนของเครื่องขณะเตรียมฟิล์มบางก็เป็นส่วนหนึ่งที่มีผลต่อความเร็วของผิวหน้าฟิล์มบาง จึงได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของผิวหน้าฟิล์มเมื่อใช้ความเร็วรอบของเครื่องในการจัดเตรียมฟิล์มที่แตกต่างกัน โดยในการทดลองนี้จะใช้เงื่อนไขเดียวกันสำหรับการเตรียมฟิล์มดังนี้

- เนื้อฟิล์มบางจะใช้สาร R6G ที่ละลายด้วยสาร DCM (Dichloromethane) ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ ปริมาณ 1.5 มิลลิลิตร ผสมกับสาร PMMA ปริมาณ 0.15 กรัม
- ใช้ความเร็วรอบของเครื่อง Spin coat ในการสร้างฟิล์มบางตั้งแต่ 1500 – 6000 รอบต่อนาที โดยในการทดลองเตรียมฟิล์มแต่ละครั้งจะเพิ่มความเร็วที่ละ 500 รอบต่อนาที

ผลการทดลอง

- จากการทดลองพบว่าความเร็วรอบที่ประมาณ 1500-4500 รอบต่อนาที จะได้ฟิล์มบางที่มีผิวหน้าไม่เรียบและเนื้อฟิล์มไม่ครอบคลุมทั่วทั้งแผ่น เนื่องจากความเร็วในการหมุนนั้นช้าเกินไปทำให้สารที่ใช้ทำฟิล์มแข็งตัวเสียก่อน
- ที่ความเร็วรอบประมาณ 5000-6000 รอบต่อนาที จะได้ผิวหน้าของฟิล์มที่มีความเรียบดี แต่ที่ความเร็วรอบประมาณ 5500-6000 รอบต่อนาที ขณะทำการทดลองเครื่อง Spin coat มีการสั่นมาก จนอาจเกิดความเสียหายหรืออันตรายได้
- ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้ความเร็วรอบที่ประมาณ 5000 รอบต่อนาที

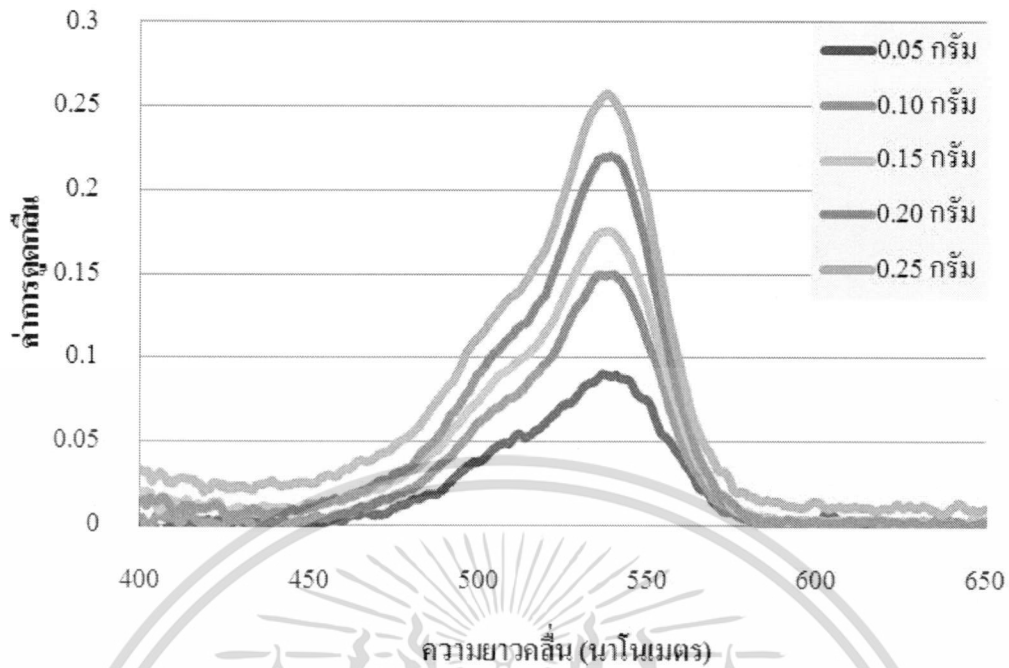
3.2 ความหนืดของสารที่ใช้จัดเตรียมฟิล์มบาง โดยใช้สาร DCM เป็นสารตัวทำละลาย

ฟิล์มบางที่มีสมบัติที่เหมาะสมอีกประการหนึ่งคือต้องมีความหนาของฟิล์มที่เหมาะสม เพื่อให้ฟิล์มบางสามารถดูดกลืนและเรืองแสงได้ดี โดยในการทดลองเพื่อศึกษาความหนาที่เหมาะสมนี้จะพิจารณาจากผลของความหนืดของสาร ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเมื่อสารมีความหนืดมากจะทำให้ความหนาของฟิล์มมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากนั้นจะยังคงพิจารณาถึงความเรียบของผิวหน้าด้วย โดยในการทดลองนี้จะใช้ปริมาณของสาร PMMA ที่แตกต่างกันคือ ปริมาณตั้งแต่ 0.05 - 0.25 กรัม โดยเพิ่มปริมาณสาร PMMA ทีละ 0.05 เวกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 13

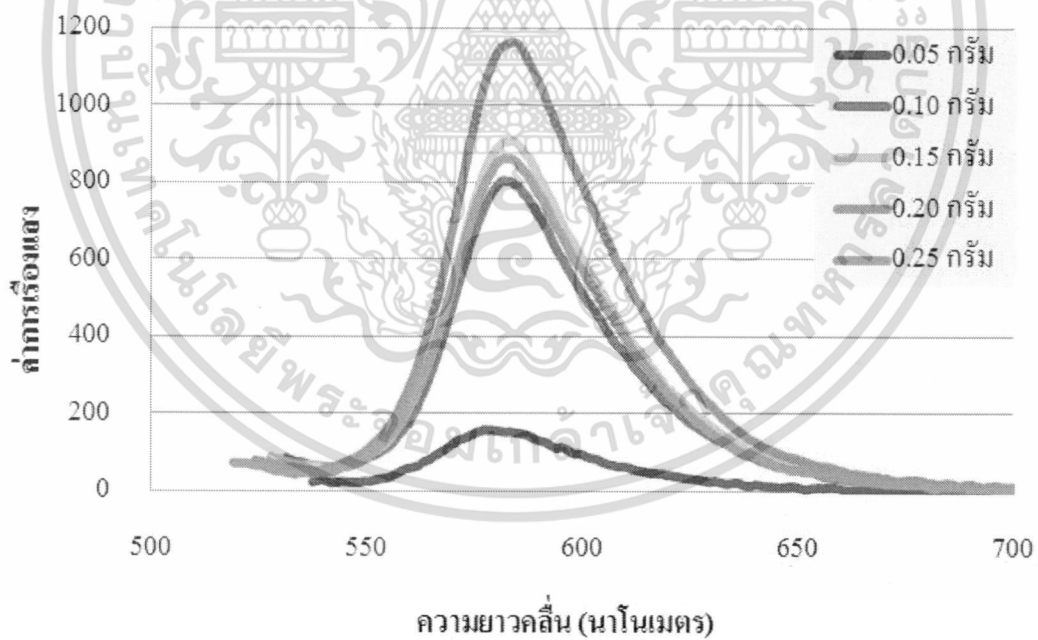
กรัม แต่จะใช้ปริมาณของสารละลาย R6G ในตัวทำละลาย DCM ที่เท่ากันคือ 1.5 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่พิจารณาแล้วว่าเป็นปริมาณที่พอดีซึ่งจะทำให้เนื้อฟิล์มปกคลุมทั่วแผ่นกระจก และมีความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์

ผลการทดลอง

- เมื่อปริมาณสาร PMMA น้อยเกินไปหรือประมาณ 0.05-0.10 กรัม จะทำให้เนื้อสารที่จะเตรียมฟิล์มนั้นมีความหนืดน้อยเกินไปส่งผลให้ขณะที่ทำการเตรียมฟิล์มมีสารบางส่วนติดอยู่ที่ส่วนบนของอุปกรณ์ Spin coat และหยดลงมาที่หลังทำให้ผิวหน้าของฟิล์มจึงไม่เรียบ
- เมื่อปริมาณสาร PMMA มากเกินไปจะทำให้เนื้อสารมีความหนืดมากเกินไป ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีผิวที่ค่อนข้างขรุขระ เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า
- จากผลการวัดการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางดังรูปที่ 3.1 พบว่าเมื่อความหนืดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้มีการดูดกลืนมากขึ้นด้วย อาจเนื่องมาจากมีผลของความหนาแน่นมาเกี่ยวข้องคือเมื่อความหนาแน่นมากขึ้นจะทำให้เกิดการดูดกลืนมากขึ้น
- จากผลการวัดการเรืองแสงของฟิล์มบางดังรูปที่ 3.2 พบว่าฟิล์มเกิดการเรืองแสงมากขึ้นเมื่อความหนืดเพิ่มมากขึ้นหรือความหนาแน่นมากขึ้น จนกระทั่งฟิล์มมีปริมาณ PMMA เป็น 0.25 กรัม การเรืองแสงของฟิล์มบางน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้อาจเนื่องจากการกระเจิงแสงที่ผิวหน้ามากเนื่องจากผิวหน้าของฟิล์มค่อนข้างมีผิวที่ขรุขระหรืออาจเกิดจากการที่ความเข้มข้นของสารละลาย R6G ในสาร PMMA น้อยลงจนถึงค่าๆ หนึ่งจึงทำให้เกิดการเรืองแสงน้อยลง
- จากการทดลองปริมาณสารที่มีความเหมาะสมที่สุดคือปริมาณ 0.20 กรัม เนื่องจากเนื้อฟิล์มค่อนข้างมีความเรียบที่สุด (สังเกตด้วยตาเปล่า)และให้การเรืองแสงมากที่สุด



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางและความยาวคลื่นเมื่อปริมาณของสาร PMMA ต่างกัน โดยใช้สาร DCM เป็นสารทำละลาย



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปล่งแสงของฟิล์มบางและความยาวคลื่นเมื่อปริมาณของสาร PMMA ต่างกัน โดยใช้สาร DCM เป็นสารทำละลาย

3.3 การทำละลายสาร PMMA จากสารละลายที่แตกต่างกัน

ในการจัดเตรียมฟิล์มบาง เนื้อสารที่ใช้เตรียมฟิล์มจะประกอบไปด้วยสาร PMMA ซึ่งเป็นสารโพลีเมอร์และสารละลาย R6G ในตัวทำละลายที่สามารถละลายสารโพลีเมอร์ได้ ดังนั้นในการทดลองจะศึกษาผลของตัวทำละลายที่แตกต่างกันต่อการทำละลายสาร PMMA โดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิดด้วยกันคือ สาร DCM, Chloroform และ Chlorobenzene ในการทดลองจะใช้ปริมาณสาร PMMA เป็น 0.25 กรัมและสารละลาย R6G ในตัวทำละลายต่างกันปริมาณ 1.5 มิลลิลิตร

ผลการทดลอง

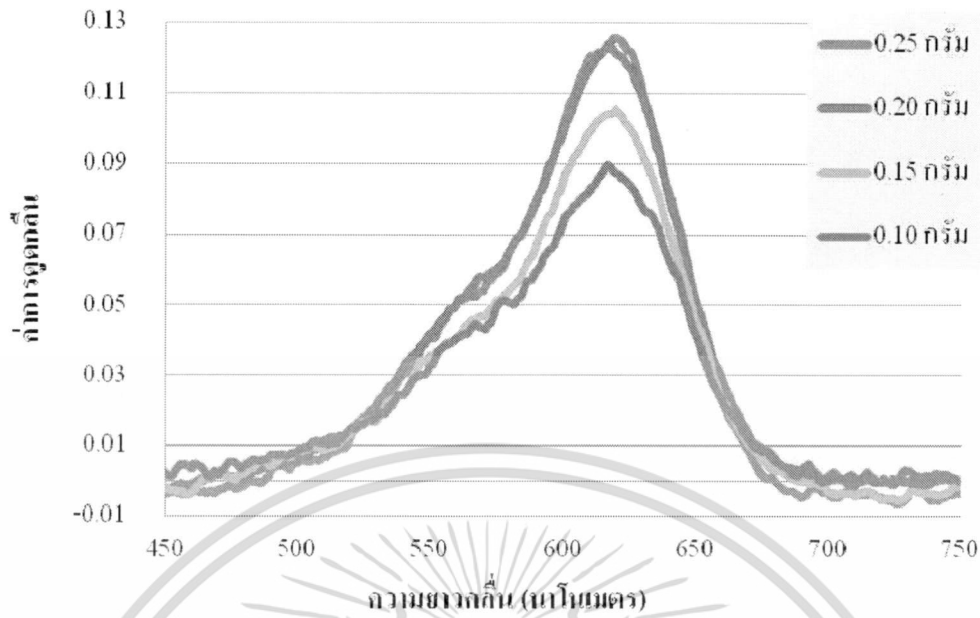
จากการทดลองพบว่าสารที่ทำละลายสาร PMMA ดีที่สุดคือสาร Chloroform เนื่องจากสารนี้สามารถทำละลายสาร PMMA ได้เร็ว แม้ว่าจะใช้เวลาเท่ากับสาร DCM คือประมาณ 5 นาทีก็ตาม แต่ผิวหน้าของฟิล์มบางที่ได้จากสาร Chloroform ค่อนข้างมีความเรียบกว่าเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า ส่วนสาร Chlorobenzene นั้น พบว่าทำละลายสาร PMMA ได้ช้าโดยใช้เวลาในการทำละลายมากกว่า 15 นาที

3.4 ความหนืดของสารที่ใช้จัดเตรียมฟิล์มบางโดยใช้สาร Chloroform เป็นสารตัวทำละลาย

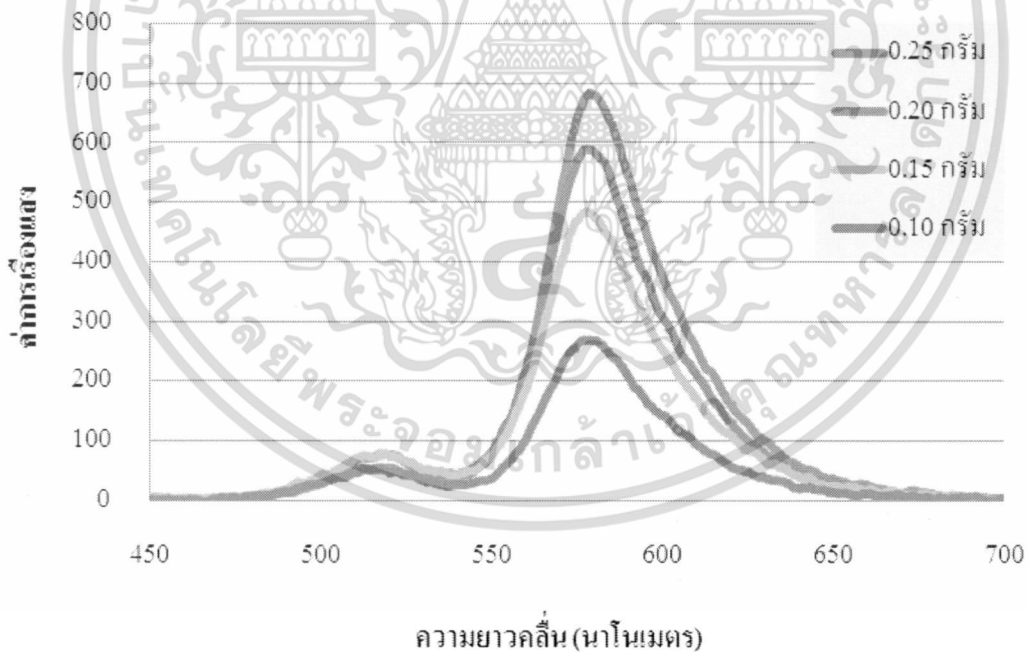
เนื่องจากการทดลองในหัวข้อ 3.3 นั้นพบว่าสาร Chloroform สามารถทำละลายสาร PMMA ได้ดีกว่าสาร DCM จึงต้องทำการทดลองเพื่อหาสัดส่วนของสารหรือความหนืดของสารที่เหมาะสมสำหรับสารทำละลาย Chloroform โดยในการทดลองจะใช้ปริมาณสาร PMMA ที่แตกต่างกันคือปริมาณตั้งแต่ 0.10-0.25 กรัม การเตรียมฟิล์มแต่ละครั้งจะเพิ่มทีละ 0.05 กรัม แต่จะใช้ปริมาณสารละลาย R6G ในตัวทำละลาย Chloroform เดียวกันคือ 1.5 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ ในการพิจารณาผลจะพิจารณาจากการสังเกตผิวหน้าของฟิล์มด้วยตาเปล่าและการวัดการดูดกลืนและเปล่งแสงของฟิล์ม

ผลการทดลอง

- จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณสาร PMMA มากขึ้นค่าการดูดกลืนก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย อาจเนื่องมาจากความหนาของฟิล์มมีค่ามากขึ้นดังกราฟรูปที่ 3.3
- จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณสาร PMMA มากขึ้นค่าการเปล่งแสงก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ตามการดูดกลืนดังกราฟรูปที่ 3.4 เมื่อพิจารณาทั้งการดูดกลืนและเปล่งแสง อีกทั้งความเรียบของผิวหน้าของฟิล์ม พบว่าปริมาณสาร PMMA ที่เหมาะสมที่สุดคือปริมาณ 0.25 กรัม เนื่องจากให้ค่าการดูดกลืนและการเปล่งแสงมาก



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางและความยาวคลื่นเมื่อปริมาณของสาร PMMA ต่างกัน โดยใช้สาร Chloroform เป็นสารทำละลาย



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปล่งแสงของฟิล์มบางและความยาวคลื่นเมื่อปริมาณของสาร PMMA ต่างกัน โดยใช้สาร Chloroform เป็นสารทำละลาย

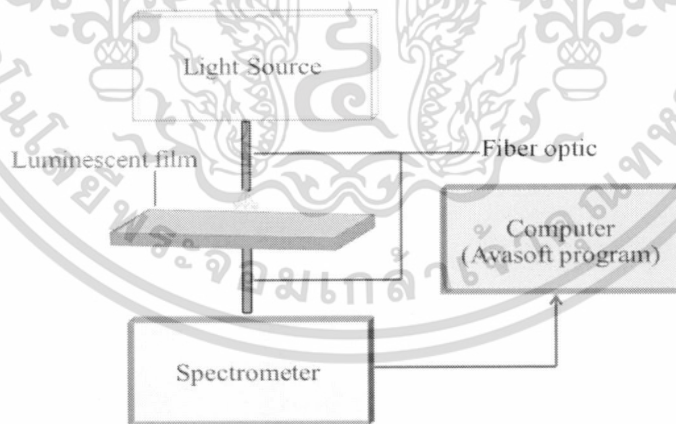
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การจัดเตรียมฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์

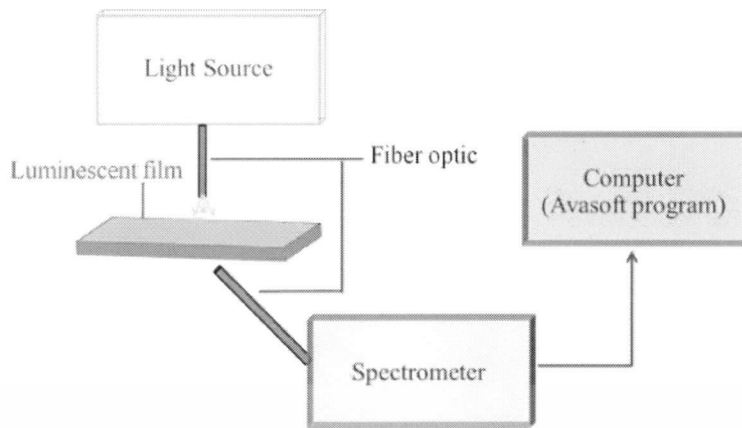
สารเปล่งที่ใช้ในการทดลองนี้คือสาร Rhodamine 6G (R6G) และสาร Coumarin30 (C30) ซึ่งในการเตรียมฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์เงื่อนไขของปริมาณสาร PMMA และความเข้มข้นของสารเปล่งแสงจะแตกต่างกัน ดังนี้

- ในการทดลองจะใช้ปริมาณสาร PMMA ตั้งแต่ 0.20-0.35 กรัม โดยเพิ่มทีละ 0.05 กรัม
- สำหรับความเข้มข้นของสาร R6G จะใช้ความเข้มข้น 10^{-4} , 5×10^{-4} , 10^{-3} และ 5×10^{-3} โมลาร์
- สำหรับความเข้มข้นของสาร C30 จะใช้ความเข้มข้น 5×10^{-5} , 10^{-4} , 5×10^{-4} และ 10^{-3} โมลาร์
- ในทุกเงื่อนไขจะใช้สาร Chloroform ปริมาณ 1.5 มิลลิลิตรเป็นสารทำละลายและเตรียมฟิล์มด้วยวิธีการ spin coat ที่ความเร็วรอบในการหมุนคือ 5,000 รอบต่อนาที

ฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์ที่จัดเตรียมขึ้นจะถูกนำมาวัดสเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสงของฟิล์มบาง โดยในการวัดการดูดกลืนแสงจะใช้หลอดทั้งสแตน (400 W) เป็นแหล่งกำเนิดแสงและระบบวัดสเปกตรัมการดูดกลืนจะเป็นดังรูปที่ 3.5 สำหรับการวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์มบางลูมิเนสเซนส์จะใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (3 W) โดยฟิล์มบาง R6G จะใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโนเมตรและสำหรับแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 400 นาโนเมตรจะใช้กระตุ้นฟิล์มบาง C30 ซึ่งระบบการวัดของสเปกตรัมการเปล่งแสงจะเป็นดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 การจัดระบบวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง

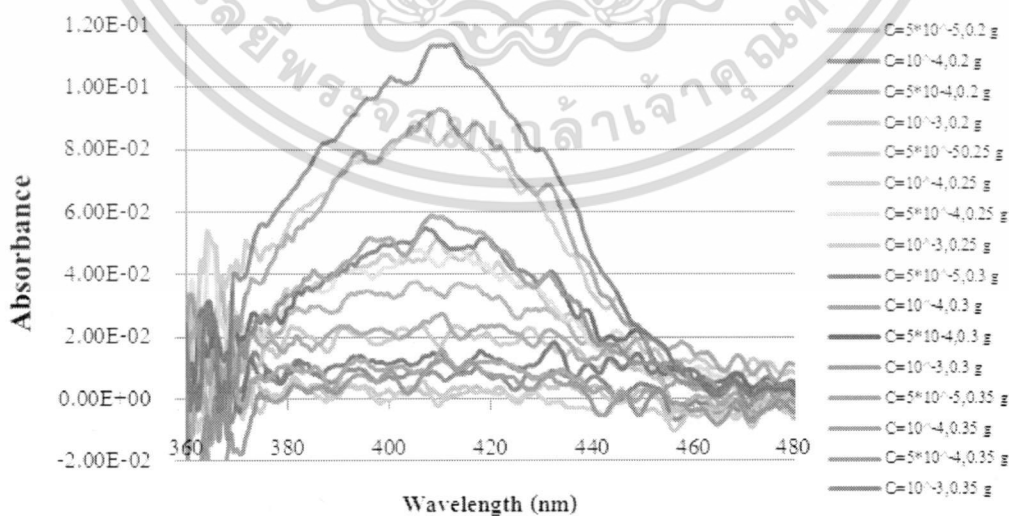


รูปที่ 3.6 การจัดระบบวัดสเปกตรัมการเรืองแสง

ผลการทดลอง

สเปกตรัมการดูดกลืนสำหรับฟิล์มบาง C30 และ R6G จะเป็นดังรูปที่ 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ จากผลการวัดพบว่าฟิล์มบางที่มีปริมาณ PMMA 0.35 กรัม จะดูดกลืนแสงสูงสุดเนื่องจากยิ่งปริมาณ PMMA มากขึ้นความหนาของแผ่นฟิล์มจะมากขึ้นด้วย ทำให้ค่าการดูดกลืนของฟิล์มบางมากขึ้นและเงื่อนไขความเข้มข้นของสารเรืองแสงที่ทำให้ฟิล์มบางลูมิเนสเซนส์เกิดการดูดกลืนแสงสูงสุดคือ 5×10^{-3} โมลาร์และ 10^{-3} โมลาร์ สำหรับฟิล์ม R6G และ C30 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากยังมีปริมาณโมเลกุลของสารเรืองแสงในฟิล์มบางมากขึ้นจะยิ่งทำให้ฟิล์มบางสามารถดูดกลืนแสงได้มากขึ้นด้วย

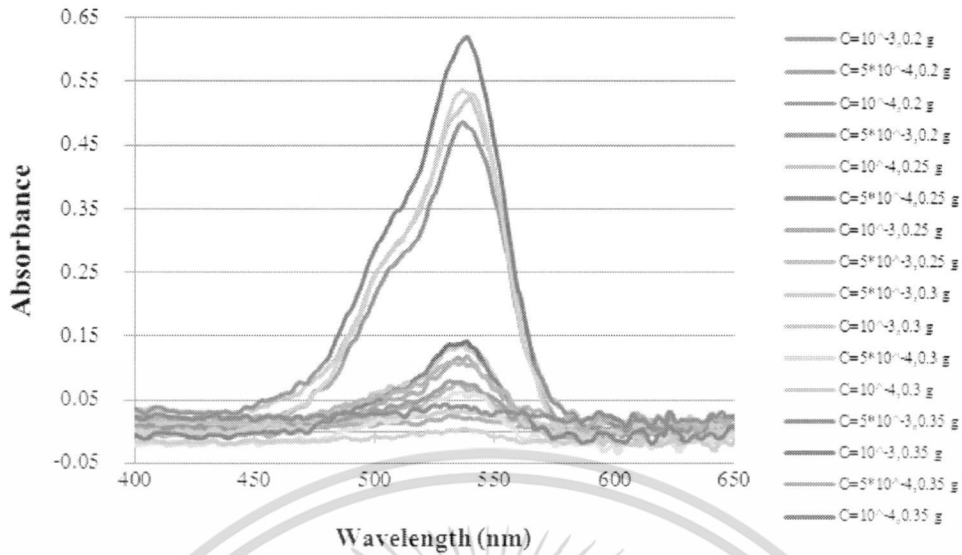
หมายเหตุ กราฟข้อมูลดังรูปที่ 3.7-3.10 คำอธิบายข้อมูลมีความหมายถึงความเข้มข้น, ปริมาณสาร PMMA เช่น $C=5 \times 10^{-3}$ M , 0.25 g หมายความว่า ฟิล์มบางมีความเข้มข้นของสารเรืองแสง 5×10^{-3} โมลาร์ และมีปริมาณสาร PMMA 0.25 กรัม



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นและการดูดกลืนของฟิล์มบาง C30 ที่ความเข้มข้น

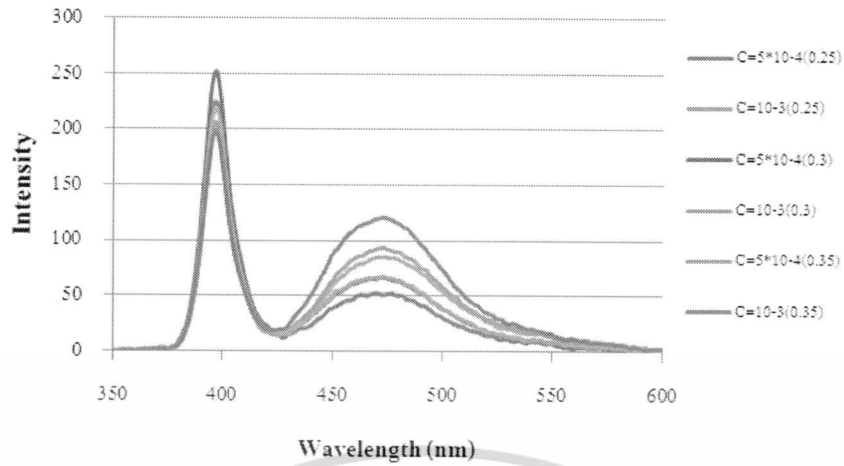
ของสารเรืองแสงและปริมาณสาร PMMA ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

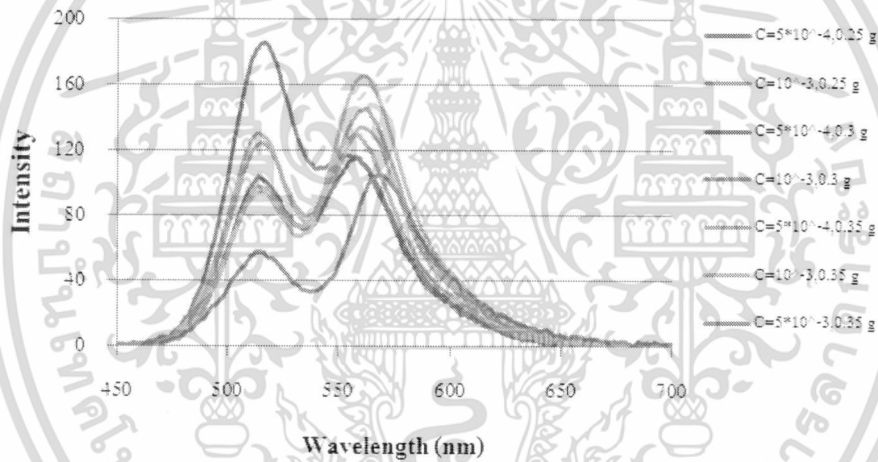


รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นและการดูดกลืนของฟิล์มบาง R6G ที่ความเข้มข้นของสารเรืองแสงและปริมาณสาร PMMA ที่แตกต่างกัน

รูปที่ 3.9 และ 3.10 แสดงสเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์มบาง C30 และ R6G ตามลำดับ จากสเปกตรัมพบว่าฟิล์มบางที่เกิดการเปล่งแสงมายังด้านล่างของแผ่นมากที่สุดคือฟิล์มบางที่มีปริมาณสาร PMMA 0.35 กรัม ซึ่งเป็นฟิล์มบางที่มีความหนามากที่สุดเมื่อเทียบกับฟิล์มบางที่ผสมปริมาณสาร PMMA เกือบอื่น เนื่องจากถ้ามีปริมาณ PMMA น้อยจะทำให้สารละลายที่เตรียมขึ้นก่อนเข้าเครื่อง Spin coat มีความหนืดน้อย ทำให้ขณะที่เครื่องเตรียมฟิล์มกำลังหมุนสารละลายส่วนมากจะถูกเหวี่ยงออกไปทำให้ไม่ติดแผ่นฟิล์ม โมเลกุลสารเปล่งแสงที่อยู่ภายในฟิล์มบางจึงน้อยลงทำให้เกิดการเปล่งแสงน้อยลงด้วย สำหรับความเข้มข้นที่ทำให้การเปล่งแสงที่ด้านล่างแผ่นฟิล์มบางทั้งสองชนิดสูงที่สุดคือความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ เนื่องจากความเข้มข้นที่น้อยกว่า 10^{-3} โมลาร์ เกิดการดูดกลืนแสงน้อยอยู่แล้ว ในส่วนของฟิล์มบาง R6G ที่ความเข้มข้น 5×10^{-3} โมลาร์ เกิดการดูดกลืนสูงสุดแต่กลับให้ค่าการเปล่งแสงน้อยกว่าอาจเนื่องมาจากภายในแผ่นฟิล์มบางมีโมเลกุลสารเปล่งแสงมากเกินไป เมื่อโมเลกุลหนึ่งปล่อยแสงออกมา ก็จะถูกอีกโมเลกุลหนึ่งดูดกลืนซ้ำทันที สาเหตุอีกประการหนึ่งอาจเนื่องมาจากฟิล์มบางที่มีจำนวนโมเลกุลสารเปล่งแสงมากเกินไป เช่น ความเข้มข้น 5×10^{-3} โมลาร์ และยังมีปริมาณมากอีกด้วย ทำให้แสงที่จะเดินทางมายังด้านล่างของแผ่นฟิล์มไม่สามารถเดินทางมาถึงด้านล่างได้



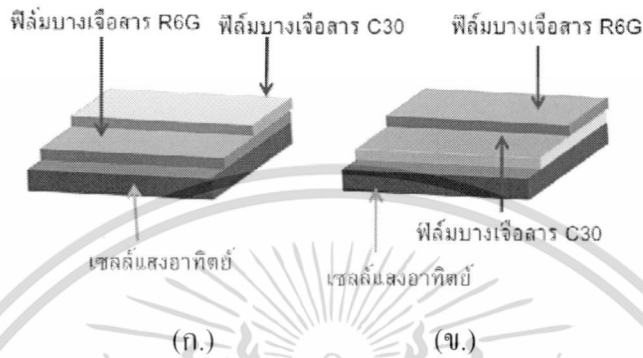
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดจากด้านล่างของฟิล์มบาง C30 ที่ความเข้มข้นของสารเปล่งแสงและปริมาณสาร PMMA ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดจากด้านล่างของฟิล์มบาง R6G ที่ความเข้มข้นของสารเปล่งแสงและปริมาณสาร PMMA ที่แตกต่างกัน

3.6 การจัดเตรียมฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์ชนิดสองชั้น

ในการศึกษาถึงการจัดเตรียมฟิล์มบางชนิดสองชั้น ได้ศึกษาถึงโครงสร้างของการเคลือบฟิล์มบางชนิดสองชั้นที่มีความแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 3.11 สารที่ถูกนำมาใช้ในการจัดเตรียมฟิล์มบางคือสาร Coumarin 30(C30) และสาร Rhodamine 6G(R6G)



รูปที่ 3.11 (ก) โครงสร้างการเคลือบฟิล์มบนเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ 1
(ข) โครงสร้างการเคลือบฟิล์มบนเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ 2

การจัดเตรียมฟิล์มบางจะแบ่งการเคลือบฟิล์มบางเป็น 2 ลักษณะ คือการเคลือบฟิล์มบนกระจกสไลด์ขนาดความกว้างคือ 2.54 เซนติเมตร ยาว 7.62 เซนติเมตร และหนา 1 เซนติเมตร เพื่อใช้สำหรับการวัดสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบางและการเคลือบบนผิวหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนที่มีพื้นที่รับแสงของเซลล์คือ 2.27 ตารางเซนติเมตร เพื่อวัดสมบัติเชิงไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์ ส่วนผสมของสารจะถูกเตรียมด้วยส่วนผสมเดียวกันทั้ง 2 โครงสร้างคือใช้สาร R6G และสาร C30 ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ ในสารละลายคลอโรฟอร์มปริมาณ 1.5 มิลลิลิตรและสาร PMMA ปริมาณ 0.35 กรัม สารทั้งสองจะถูกนำมาผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 20 นาที ก่อนที่จะถูกนำไปเคลือบลงบนผิวหน้าของกระจกสไลด์หรือเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเครื่องเคลือบฟิล์มแบบหมุนเหวี่ยงที่มีความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 40 วินาที

ฟิล์มบางที่ถูกเตรียมขึ้นจะถูกนำมาวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงโดยอาศัยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ของบริษัท Avantes รุ่น 2048 การจัดระบบเพื่อวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงจะใช้ระบบการวัดดังรูปที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ โดยแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนคือแสงจากหลอดไฟซีนอน กำลัง 450 วัตต์ ซึ่งมีย่านความยาวคลื่นครอบคลุมในช่วง 370 – 1,000 นาโนเมตร และแสงกระตุ้นที่ใช้สำหรับวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงคือแสงจากไดโอดเปล่งแสงที่มีค่ากำลังขนาด 3 วัตต์ มีความยาวคลื่นสูงสุดประมาณ 400 นาโนเมตร สำหรับกระตุ้นฟิล์มบางที่เตรียมจากสาร C30 และความยาวคลื่นสูงสุดประมาณ 520 นาโนเมตร สำหรับกระตุ้นฟิล์มบางที่เตรียมจากสาร R6G ในการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนสำหรับฟิล์มบาง 2 ชั้นจะใช้แหล่งกำเนิดแสงซีนอนในการกระตุ้น การเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 22

จัดระบบวัดกระทำโดยจัดให้แสงกระตุ้นทำมุมประมาณ 45 องศา กับผิวหน้าฟิล์มเพื่อช่วยในการลดการกระเจิงของแสง^[13] และสายใยแก้วนำแสงที่ทำหน้าที่ตรวจจับการเปล่งแสงวางอยู่ด้านล่างของฟิล์มบางในลักษณะตั้งฉากกับผิวหน้าฟิล์ม

นอกจากนั้นในการทดลองนี้ยังได้ทำการวัดกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนที่มีพื้นที่รับแสง 2.27 ตารางเซนติเมตร โดยเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกเคลือบผิวหน้าด้วยฟิล์มบางทั้งแบบ 1 ชั้น และแบบ 2 ชั้น แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดลองคือแสงจากหลอดซีนอน ค่ากระแสลัดวงจรที่ได้จะถูกนำมาหาค่าความหนาแน่นของกระแสลัดวงจร J_{sc} จากสมการ

$$J_{sc} = I_{sc}/A \quad (A/cm^2) \quad (3)$$

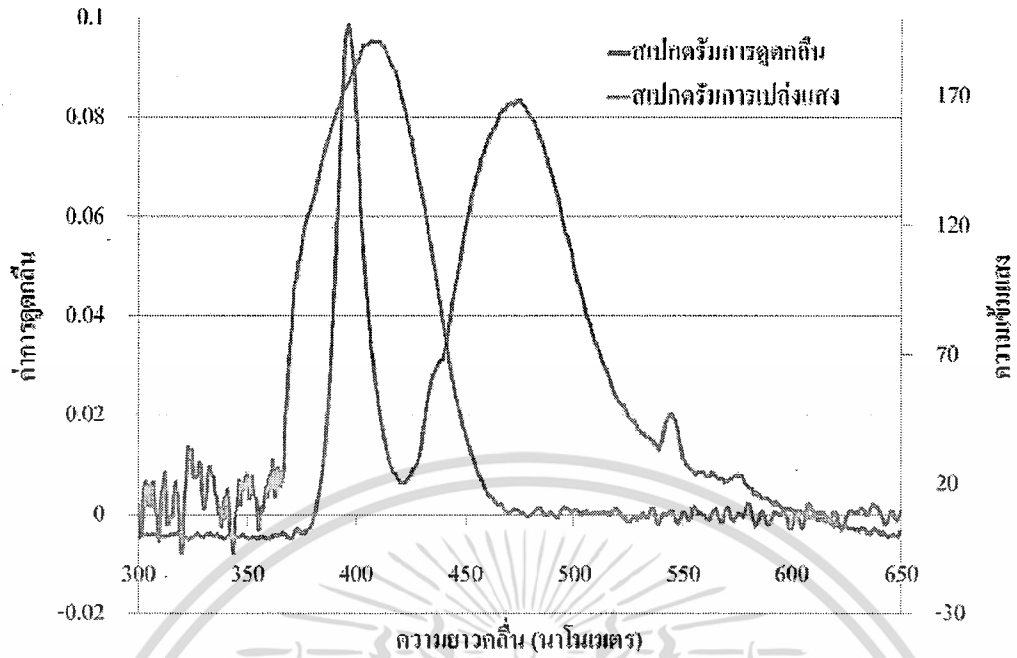
โดย I_{sc} คือกระแสลัดวงจร (A) และ A คือพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ (cm^2) สำหรับค่าความหนาแน่นกระแสลัดวงจรที่เปลี่ยนแปลงไป (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์) คำนวณจากสมการ

$$\Delta J_{sc} (\%) = \frac{\Delta J \times 100}{J_b} \quad (4)$$

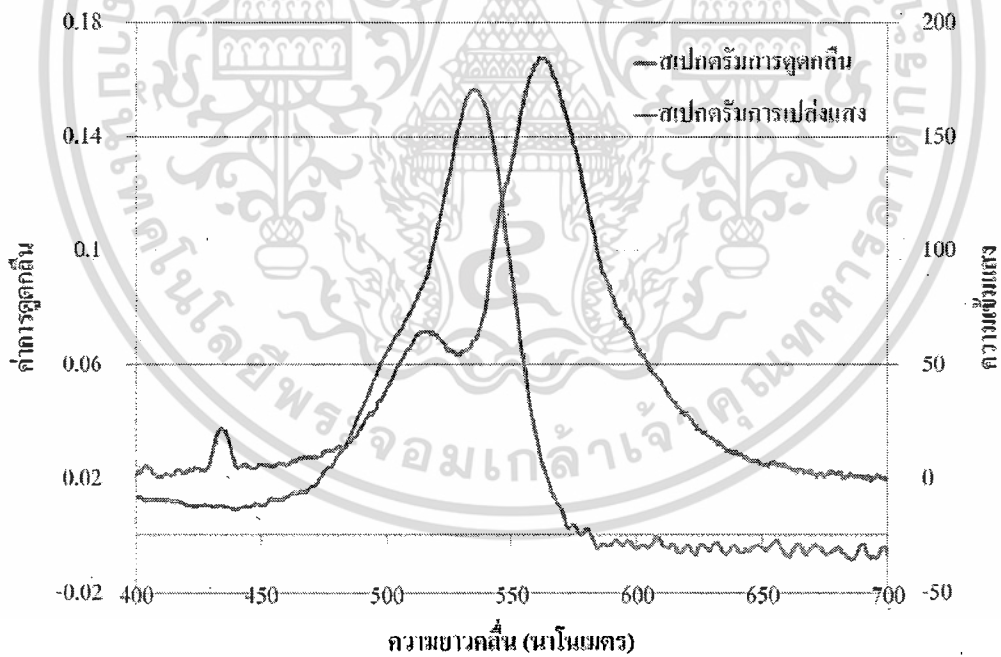
เมื่อ J_b คือ กระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลือบฟิล์มบางและ ΔJ คือ ผลต่างระหว่างกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลือบฟิล์มบางและไม่เคลือบฟิล์มบาง

ผลการทดลอง

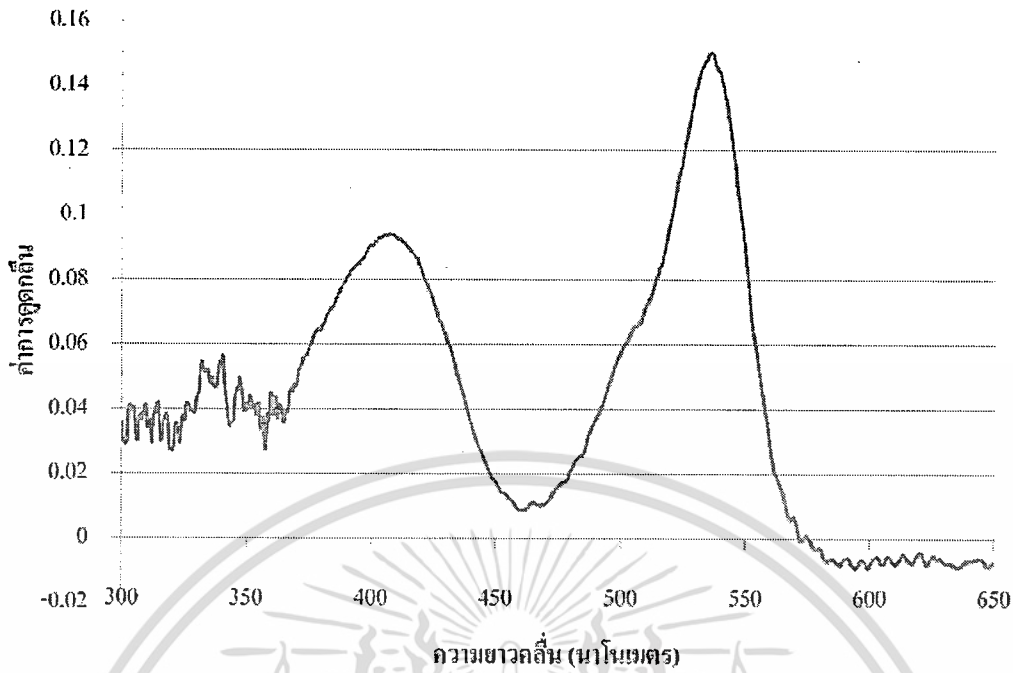
สเปกตรัมการดูดกลืนและเปล่งแสงของฟิล์มบาง 1 ชั้น จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.12 และ 3.13 จากรูปที่ 3.12 จะเห็นว่าฟิล์มบางที่เจือด้วยสาร C30 มีค่าการดูดกลืนสูงสุดประมาณ 0.09 ที่ความยาวคลื่นประมาณ 408 นาโนเมตรและเปล่งแสงในย่านความยาวคลื่นประมาณ 420-520 นาโนเมตร สำหรับฟิล์มบางที่เจือด้วยสาร R6G(รูปที่ 3.13) มีค่าการดูดกลืนสูงสุดประมาณ 0.15 ที่ความยาวคลื่นประมาณ 530 นาโนเมตร และเปล่งแสงในย่านความยาวคลื่นประมาณ 530-630 นาโนเมตร ในกรณีของฟิล์มบาง 2 ชั้นจะให้ผลการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนดังรูปที่ 3.14 จากผลการวัดพบว่าฟิล์มบาง 2 ชั้นสามารถดูดกลืนแสงในย่านกว้างขึ้น กล่าวคือฟิล์มจะสามารถดูดกลืนแสงในย่าน 350-450 นาโนเมตร ซึ่งเป็นย่านที่สาร C30 ดูดกลืนแสงได้และที่ย่านความยาวคลื่น 480-570นาโนเมตร ซึ่งเป็นย่านที่สาร R6G ดูดกลืนแสง ผลการวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์มบาง 2 ชั้นมีลักษณะดังรูปที่ 3.15 จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าการเปล่งแสงของฟิล์มจะเกิดขึ้นที่ 2 ย่านความยาวคลื่นคือ 420-520 นาโนเมตรและ 530-630 นาโนเมตรซึ่งย่านความยาวคลื่นนี้เกิดจากการเปล่งแสงของฟิล์มบางแต่ละชั้นดังแสดงในรูปที่ 3.12 และ 2.13



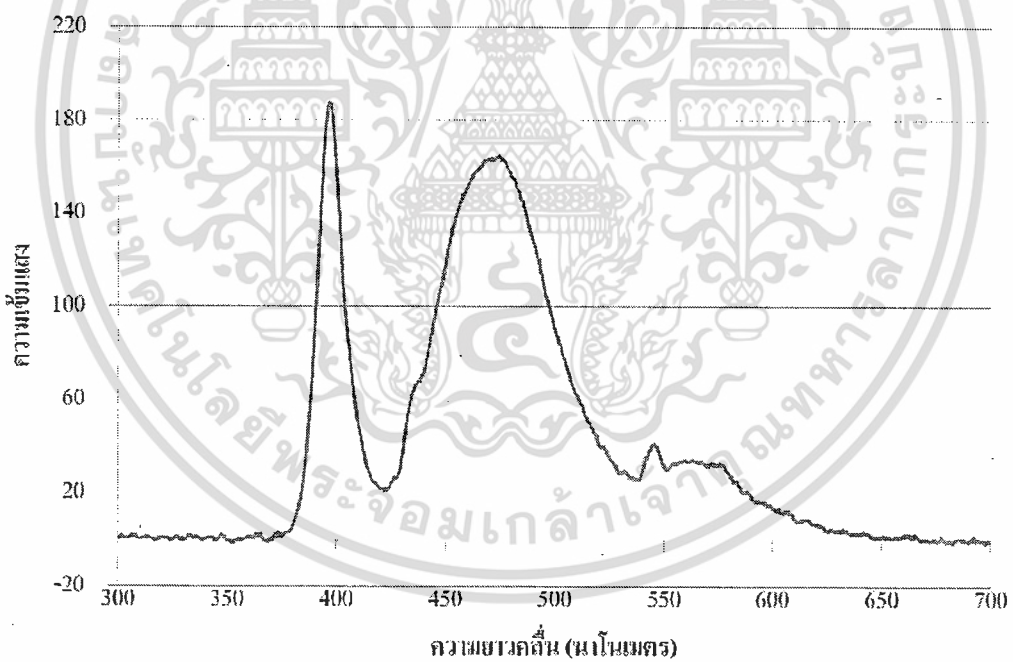
รูปที่ 3.12 สเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสงของฟิล์มบางเจือด้วยสาร C30



รูปที่ 3.13 สเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสงของฟิล์มบางเจือด้วยสาร R6G



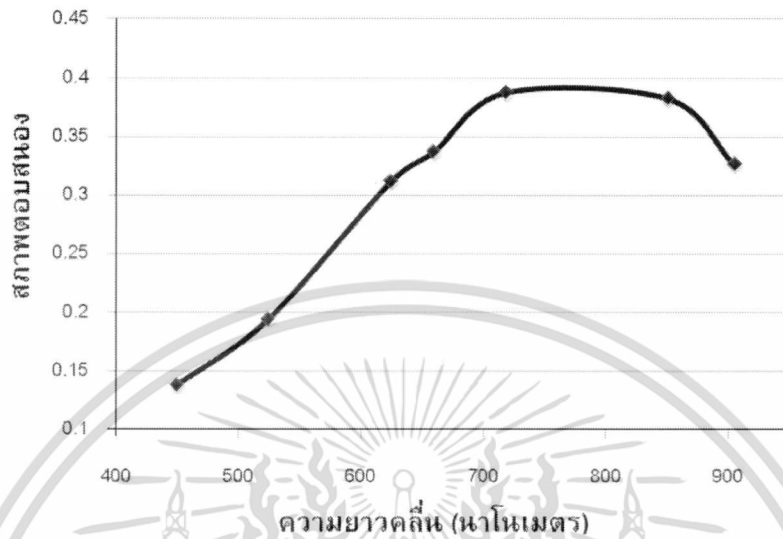
รูปที่ 3.14 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง 2 ชั้น



รูปที่ 3.15 สเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์มบาง 2 ชั้น

ผลการวัดความหนาแน่นกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนจะแสดงดังตารางที่ 3.1 จากการทดลองพบว่าเซลล์ที่ถูกเคลือบด้วยฟิล์มบางลูมิเนสเซนส์จะผลิตกระแสลัดวงจรได้เพิ่มขึ้น ซึ่งคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังตารางที่ 3.2 การที่ค่าความหนาแน่นกระแสลัดวงจรมีค่าสูงขึ้นนั้นมีสาเหตุจากแสงในย่านความยาวคลื่นประมาณ 350 – 550 นาโนเมตรได้ถูกดูดกลืนโดยฟิล์มบางฟลูออเรสเซนต์และทำการเอกซการนี้เป็นเอกซการที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปล่งแสงออกมาในย่านความยาวคลื่นที่สูงขึ้นซึ่งเป็นย่านที่เซลล์แสงอาทิตย์มีสภาพตอบสนองที่ดีขึ้น (ดูรูปที่ 3.16)



รูปที่ 3.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและสภาพตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน

ตารางที่ 3.1 ผลการวัดความหนาแน่นกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน

เงื่อนไข	$J_{sc} (\mu A/cm^2)$
เซลล์ไม่ได้ถูกเคลือบฟิล์ม	242.93
เคลือบด้วยฟิล์มบาง C30	246.85
เคลือบด้วยฟิล์มบาง R6G	245.58
เคลือบด้วยฟิล์มบาง R6G และ C30	243.85
เคลือบด้วยฟิล์มบาง C30 และ R6G	247.73

ผลการวัดยังแสดงให้เห็นว่าการเคลือบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยฟิล์มบาง 1 ชั้นที่เจือด้วยสาร R6G จะให้ค่าความหนาแน่นกระแสลัดวงจรที่สูงกว่าการเคลือบด้วยฟิล์มบาง 1 ชั้นที่เจือด้วยสาร C30 ทั้งนี้มีสาเหตุจากการที่ฟิล์มบางที่เจือด้วยสาร R6G มีค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่าฟิล์มบางที่เจือด้วยสาร C30 ทำให้สามารถดูดกลืนและเปล่งแสงในปริมาณที่สูงกว่า เหตุผลอีกประการหนึ่งคือแสงที่เปล่งออกมาจากฟิล์มบางที่เจือด้วยสาร R6G จะมีย่านความยาวคลื่นใกล้เคียงกับย่านที่เซลล์แสงอาทิตย์ตอบสนองได้ดีกว่าย่านที่ฟิล์มบางที่เจือด้วยสาร C30 เปล่งออกมาอย่างไรก็ตามจะสังเกตเห็นได้ว่าการเคลือบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยฟิล์มบาง 2 ชั้นดีกว่าชั้นใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น ทั้งสองโครงสร้างนั้นจะให้ความหนาแน่นกระแสลัดวงจรน้อยกว่าฟิล์มบางที่เคลือบด้วยสาร R6G ชั้นเดียว ทั้งนี้สาเหตุน่าจะมาจากแสงที่ตกกระทบฟิล์มบาง 2 ชั้น เกิดการสะท้อนที่บริเวณรอยต่อของชั้นฟิล์ม ทำให้แสงที่ตกกระทบฟิล์มบางชั้นล่างมีความเข้มแสงลดลง ดังนั้นแสงที่ถูกดูดกลืนในฟิล์มบาง R6G จึงมีปริมาณลดลงตามไปด้วย

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลือบด้วยฟิล์มบางแบบ 2 ชั้นทั้ง 2 โครงสร้าง จะพบว่าโครงสร้างแบบที่ 2 จะมีค่าความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้นมากกว่าโครงสร้างแบบที่ 1 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างแบบที่ 2 สามารถใช้ประโยชน์จากปริมาณแสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากฟิล์มชั้นล่างได้มากกว่าโครงสร้างแบบที่ 1 เพราะปริมาณแสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาบางส่วนจะถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยเซลล์แสงอาทิตย์และบางส่วนจะถูกดูดกลืนด้วยฟิล์มบางที่อยู่ด้านบนอีกครั้ง เนื่องจากการเปล่งแสงของฟิล์มชั้นล่างตรงกับย่านการดูดกลืนของฟิล์มชั้นบน ซึ่งแตกต่างจากโครงสร้างที่ 1 ซึ่งมีฟิล์มบาง C30 อยู่ด้านบนทำให้ไม่สามารถดูดกลืนแสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากสาร R6G ที่อยู่ด้านล่างได้ จึงทำให้แสงส่วนนั้นเกิดการสูญเสียที่ผิวหน้าไป

ตารางที่ 3.2 ความหนาแน่นกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนที่เพิ่มขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ทำการเคลือบฟิล์มบาง

เงื่อนไข	$\Delta J_{sc}(\%)$
เคลือบด้วยฟิล์มบาง C30	1.61
เคลือบด้วยฟิล์มบาง R6G	1.98
เคลือบด้วยฟิล์มบาง R6G และ C30	0.38
เคลือบด้วยฟิล์มบาง C30 และ R6G	1.09

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาแผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนซ์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเพื่อสำหรับแปลงพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เงื่อนไขต่างๆ ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า

1. ความเร็วรอบของเครื่อง Spin coat ที่เหมาะสมคือ ความเร็วรอบที่ประมาณ 5000 รอบต่อนาทีจะได้ผิวหน้าของฟิล์มที่มีความเรียบดี
2. ความหนืดของสารที่ใช้จัดเตรียมฟิล์มบาง โดยใช้สาร DCM เป็นสารตัวทำละลายปริมาณสารที่มีความเหมาะสมที่สุดคือปริมาณ 0.20 กรัม
3. ตัวทำละลายสาร PMMA ที่แตกต่างกันพบว่าสารที่ทำละลายสาร PMMA ดีที่สุดคือสาร Chloroform เนื่องจากสารนี้สามารถทำละลายสาร PMMA ได้เร็ว แม้ว่าจะใช้เวลาเท่ากับสาร DCM คือประมาณ 5 นาทีก็ตาม แต่ผิวหน้าของฟิล์มบางที่ได้จากสาร Chloroform ก่อนข้างมีความเรียบกว่าเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า
4. ความหนืดของสารที่ใช้จัดเตรียมฟิล์มบางโดยใช้สาร Chloroform เป็นสารตัวทำละลายพบว่าปริมาณสาร PMMA ที่เหมาะสมที่สุดคือปริมาณ 0.25 กรัม เนื่องจากให้ค่าการดูดกลืนและการเรืองแสงมา
5. การจัดเตรียมแผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนซ์ชนิดฟิล์มบางสารเรืองแสงที่ใช้ในการทดลองนี้คือสาร Rhodamine 6G (R6G) และสาร Coumarin30 (C30) จะพบว่า
 - ฟิล์มบางที่มีปริมาณ PMMA 0.35 กรัม จะดูดกลืนแสงสูงสุด
 - ความเข้มข้นของสารเรืองแสงที่ทำให้ฟิล์มบางลูมิเนสเซนซ์เกิดการดูดกลืนแสงสูงสุดคือ 5×10^{-3} โมลาร์ และ 10^{-3} โมลาร์ สำหรับฟิล์ม R6G และ C30 ตามลำดับ
 - ฟิล์มบางที่เกิดการเรืองแสงมายังด้านล่างของแผ่นมากที่สุดคือฟิล์มบางที่มีปริมาณสาร PMMA 0.35 กรัม
 - ความเข้มข้นที่ทำให้การเรืองแสงที่ด้านล่างแผ่นฟิล์มบางทั้งสองชนิดสูงที่สุดคือความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์
6. การจัดเตรียมฟิล์มบางฟลูออเรสเซนซ์ชนิดสองชั้น
 - ฟิล์มบางลูมิเนสเซนซ์ที่ได้จัดเตรียมขึ้นสามารถช่วยเพิ่มค่า J_{sc} ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนได้
 - ค่า J_{sc} เพิ่มขึ้นสูงสุด 1.98% เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ถูกเคลือบผิวหน้าด้วยฟิล์มบาง R6G เพียง 1 ชั้น
 - ฟิล์มบาง 2 ชั้นสามารถดูดกลืนแสงได้ในย่านที่กว้างขึ้นแต่เพิ่มค่า J_{sc} ได้น้อยกว่าฟิล์มบาง 1 ชั้น
 - โครงสร้างการเคลือบฟิล์มแบบที่ 2 จะให้ค่า J_{sc} เพิ่มขึ้น 1.09% ซึ่งมากกว่าโครงสร้างการเคลือบฟิล์มแบบที่ 1

บรรณานุกรม

- [1] B.S. Richards, Enhancing the performance of silicon solar cells via the application of passive luminescence conversion layers, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 90 (2006) 2329–2337
- [2] M.A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa and W. Warta, Solar cell efficiency tables (version 37), *Progress in photovoltaic: Research and applications*, 16 (2008) 435-440
- [3] M.A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa and W. Warta, Solar cell efficiency tables (version 34), *Progress in photovoltaic: Research and applications*, 17 (2009) 320-326
- [4] M.A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa and W. Warta, Solar cell efficiency tables (version 36), *Progress in photovoltaic: Research and applications*, 18 (2010) 346-352
- [5] M.A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa and W. Warta, Solar cell efficiency tables (version 37), *Progress in photovoltaic: Research and applications*, 19 (2011) 84–92
- [6] T.J.J. Meyer, *Photon Transport in Fluorescent Solar Collectors*, (2009)
- [7] J. Sansregret, J. M. Drake, W. R. L. Thomas, and M. L. Lesiecki, Light transport in planar luminescent solar concentrators: the role of DCM self-absorption, *Applied optics*, 22 (1983) 573-577
- [8] J. Roncali and F. Garnier, Photon-transport properties of luminescent solar concentrators: analysis and optimization, *Applied optics*, 23 (1984) 2809-2817
- [9] P.F. Scudo, L. Abbondanza, R. Fusco and L. Caccianotti, Spectral converters and luminescent solar concentrators, *Solar energy materials & solar cells*, 94 (2010) 1241-1246
- [10] T. Dienel, C. Bauer, I. Dolamic and D. Brühwiler, Spectral-based analysis of thin film luminescent solar concentrators, *Solar energy*, 49 (2010) 1366-1369
- [11] H. Shpaisman, O. Nitsoo, I Lubomirsky and D. Cahen, *Solar energy materials and solar cells*, 92 (2008) 1541-1546
- [12] T. Markvart, L. Danos, P. Kittidachachan, and R. Greef. Detailed balance efficiency of ideal single-stage fluorescent collectors. In 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona, Spain, 2005, 171–174.
- [13] J. C. Goldschmidt, S. Fischer, P. Löper, M. Peters, L. Steidl, M. Hermle, S. W. Glunz, Photon management with luminescent materials (http://www.quantisol.org/pub/pub09_04.pdf)
- [14] B.S. Richards and K.R. McIntosh, Overcoming the poor short wavelength spectral response of CdS/CdTe Photovoltaic Modules via Luminescence down-shifting: ray-tracing simulations, *Progress in Photovoltaics: Research and applications*, 2007, 15, 27-34.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 30

Development of luminescence multilayer films for photovoltaic application

W. Soonpanich¹, U. Asawapirom², and P. Kittidachachan^{1*}

¹Physics Department, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

²National Nanotechnology Center, NSTDA, 130 Thailand Science Park, Phahonyothin Rd., Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand

*Corresponding author. E-mail: kkpattar@kmitl.ac.th

We have developed luminescent multilayer films for photovoltaic application. The luminescent layers were prepared from Rhodamine 6G (R6G) and Coumarin 30 (C30) by spin coat method. The stack arrangement has advantage over the single layer in that it can make better use of the incident solar spectrum. Each layer absorbs some of the solar spectrum, transmitting a modified solar spectrum to the layer underneath. This paper presents the fabrication and characterizations of luminescent films. The luminescent layers with different dye concentrations were prepared and tested for their absorption and fluorescence spectra. The electrical performances of the silicon solar cells coated with single and multilayer films were also characterized and evaluated.

Keywords: Luminescent multilayer, Photovoltaic.

1. INTRODUCTION

One of the most important mechanisms that strongly reduce the energy conversion efficiency of solar cells is the loss through carrier thermalization. In such a process, the extra energy that the electron-hole pairs receive from the photons is released as heat into the semiconductor lattice [1-2]. In order to minimize this kind of loss, several methods have been proposed. One of the most effective approaches is based on a series connection of single-junction solar cells with different energy gaps. The structure of this kind, also called tandem, provides effective absorption of photons in a certain energy range by each element of the cascade. As a result, a higher utilization efficiency of solar radiation is achieved. However, making larger the number of elements of the cascade involves complicated fabrication process and also has a relatively high material cost. Additionally, high-efficiency multiple-junction solar cells can be fabricated from a limited set of materials that can provide lattice matching [3-5]. In the end, these problems restrict the maximum number of junctions.

An alternative and simpler approach to minimize the thermalization loss is to modify the spectrum that is incident on the solar cells [6-8]. The concept can be realized by coating luminescent layers on the front surface of the solar cell. The principle of luminescent layer is to shift the photons energy in the UV and blue components of sunlight to longer wavelengths, where the devices exhibit higher quantum efficiency. Since this method can be performed without any modifications to the device itself and it does not require complicated fabrication process as the tandem cells, it is the promising solution to enhance the efficiency of solar cells.

The simple method to prepare the thin luminescent film is by spin coating the homogeneous mixture of polymer and a single dye solution onto the substrate or the

device. The single luminescent layer can absorb only a certain part of sunlight due to the properties of the dye molecules. To try to resolve the problem of limited absorption, luminescent films have been made using many dyes that absorb at different locations in the solar spectrum [9-10]. In this study, we attempted to prepare multilayer polymeric films from Rhodamine 6G (R6G) and Coumarin 30 (C30) by spin coat method. The samples were prepared and tested for their absorption and fluorescence spectra. The electrical performances of the silicon solar cells coated with multilayer films were also characterized.

2. EXPERIMENT

2.1 Sample preparation

Figure 1 shows the film structures prepared for this study. The single layer luminescent films were prepared by spin coating the dye/polymer solution onto microscope glass slides and a silicon solar cell surface. The dimension of the glass slides and the cell are 19.35 cm² and 2.27 cm², respectively. The multilayer films were prepared by sandwiching two single layers together. The Vaseline purchased from Gammaco (Thailand) Co. Ltd. with refractive index of around 1.4-1.5 is used as the optical coupling material (OCM) between the films.

The dyes used in the present work are C30 and R6G. These dyes were commercially obtained from Sigma-Aldrich and used without further purification. The polymer solution was prepared by dissolving a known volume of a dye solution to a specific mass of PMMA. The dye solutions were prepared by dissolving the R6G or C30 in the chloroform (details). The dye/polymer solution was mixed by sonication in an ultrasonic bath for 20 minutes. The mixture was then poured on to the substrate and spins coated at constant speed of 5000 rpm for 40 seconds.

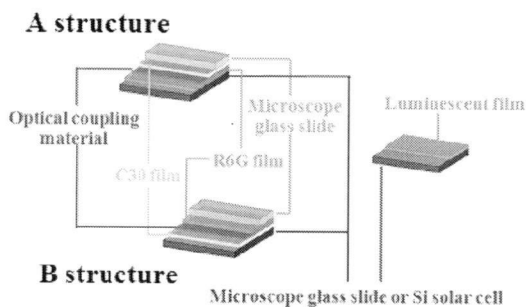


Figure 1. The structures of single layer film (right) and double layer films (left, A structure: substrate/R6G/OCM/C30/microscope glass slide; B structure: substrate/C30/OCM/R6G/ microscope glass slide)

2.2 Absorption spectra measurement

The absorption spectra were measured using an Avantes spectrometer. The measurement system is shown in Fig. 2. In the present study, the xenon lamp (450 watt) was used as a light source. The light was guided to test sample using an optical fiber. The light transmit from the sample was collected by another optical fiber which was connected to the spectrometer. The absorbance of thin films was recorded by the Avasoft program.

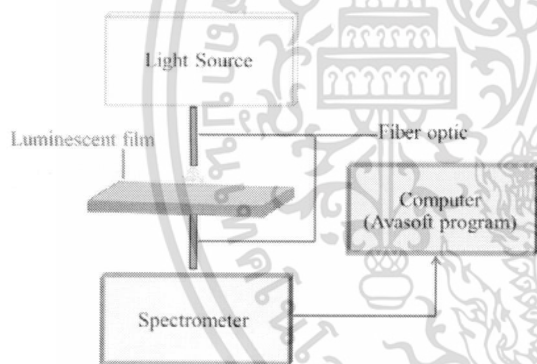


Figure 2. The setup for absorption measurement

2.3 Fluorescence spectra measurement

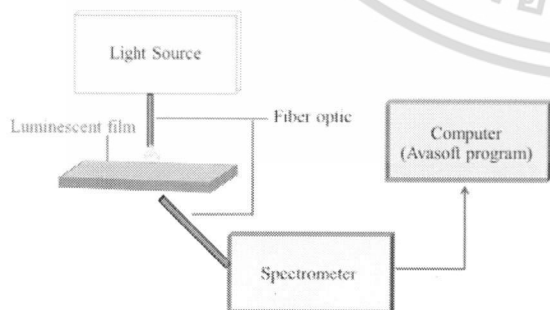


Figure 3. The setup for fluorescence measurement

To measure the fluorescence spectra of single layer films, the high power (3 Watt) light emitting diodes (LED) which have their peak emission of 397 nm (violet) and 516 nm (green) were used as excitation sources. The violet LED was used to excite the C30 film and the green LED was

used to excite the R6G film. For the multilayer film, the xenon lamp was used as the excitation source. In this study, the excitation sources were orthogonal placed at top thin film. The fiber optic detector was fixed at an angle 45° relative to the substrate (Fig. 3).

2.4 Short circuit current density measurement

The performance of the solar cell was tested by measuring the short circuit current. The xenon lamp was used as light source. The short circuit current density was calculated as follow:

$$J_{sc} = \frac{I_{sc}}{A} \quad (1)$$

where I_{sc} is short circuit current (A) from the silicon solar cell and A is the surface area (cm^2) of the silicon solar cell.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 Optical properties

The absorption spectra of the C30, R6G and multilayer films are shown in Fig. 4. Their spectroscopic data are summarized in table 1. It is seen that the C30 and R6G films absorb light in the UV and green region respectively.

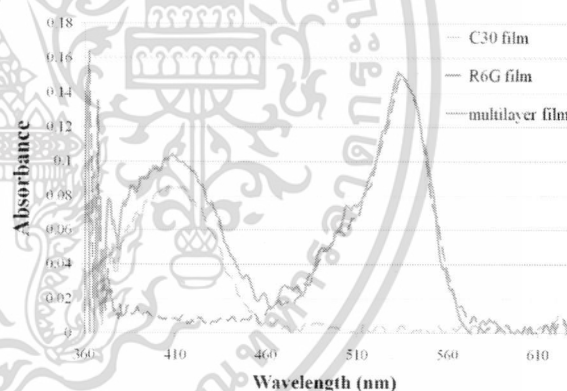


Figure 4. The absorption spectra of single and multilayer films.

Table 1: The absorption result of single and multilayer films.

Dye	Absorption region (nm)	Abs. peak (nm)
C30	370-450	410
R6G	470-570	535
Stack	370-570	408 and 532

The absorption bandwidth is approximate 60 nm for the C30 layer and 39 nm for the R6G layer. For the stack, the absorption band is expanded. It represents the superposition of the spectra of both single layers, C30 and R6G.

The fluorescence properties of the films are presented in Fig. 5 and the spectroscopic data are summarized in table 2.

The fluorescence spectra are red-shift from absorption spectra. As expected, the fluorescence spectrum of double-layer film display two major bands, which are centered at 469 nm (C30) and 562 nm (R6G).

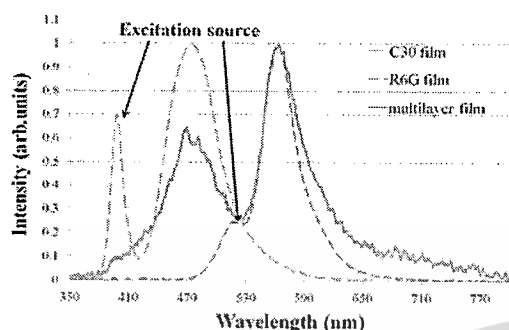


Figure 5. The fluorescence spectra of single and multilayer films.

Table 2: The fluorescence result of single and multilayer films.

Dye	Excitation source	Emission region (nm)	Ems. peak (nm)
C30	Violet LED	420-560	473
R6G	Green LED	520-640	562
Stack	Xenon lamp	380-770	469 and 562

3.2 Short circuit current density of silicon solar cells

Table 3 summarizes the current density of silicon solar cell coated with C30, R6G and the combination of C30 and R6G layers. It was found that the current density of the cell coated with C30 and R6G film is 1.04 % and 2.36 % higher than that of the bare cell. The J_{sc} of the multilayer devices increases approximately 0.46 % and 0.17 % for the cell coated with A structure and B structure, respectively. It should be noted that although the multilayer structures benefits from a wide spectral region of absorption, the J_{sc} of the cell increase lower than expected. This could be due to the part of incident light for multilayer structures are reflected at the film interface.

Consider the J_{sc} obtained from the cell coated with multilayer film, it was found that the J_{sc} of the A structure is higher than that of the B structure. This is because for the A structure, a fraction of light emitted from the bottom layer (R6G film) can be absorbed by the top layer (C30 film). In case of the B structure, the light emitted from the bottom layer (R6G) is not utilized by the top layer (C30).

Table 3: Performance of silicon solar cell coated different luminescent films

Dye	J_{sc} ($\mu A/cm^2$)	ΔJ_{sc} (%)
Bare cell	272.96	-
R6G	279.40	2.36
C30	275.79	1.04
C30-R6G(A structure)	274.21	0.46
R6G-C30(B structure)	273.43	0.17

4. CONCLUSION

We have prepared and studied the spectroscopic performance of the C30, R6G and double-layer thin films. The improvement in electrical performance of the silicon solar cell when coated with luminescent films was observed. The J_{sc} increases approximately 1.04% and 2.36 %, when the cell coated with C30 and R6G layer, respectively. The double-layer film showed the broad absorption band. However, the J_{sc} for the silicon solar cell coated double-layer films is lower than that coated with single layer due to the additional reflection at the thin film interface for double-layer films. Additionally, It was found that putting the C30 film at the top of the R6G film is less efficient than the vice versa as can be seen from the reduction of the J_{sc} . This could be due to the light emitted from the bottom layer (R6G) is not utilized by the top layer (C30).

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Energy policy and planning office, the Thailand Graduate Institute of Science and Technology and the Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. The authors gratefully thank Assoc. Prof. Wicham Techitdheera for the xenon lamp used in this research.

1. B.S. Richards, Enhancing the performance of silicon solar cells via application of passive luminescence conversion layers, *Solar energy materials and solar cells* 90, 2329 – 2337, 2006
2. E. Klampafitis, D. Ross, K.R. McIntosh and B.S. Richards, Enhancing the performance of solar cells via luminescent down-shifting of the incident spectrum, *Solar energy materials and solar cells*, 93(8), 1182-1194, 2009
3. I.M. Dharmadasa, Third generation multi-layer tandem solar cells for achieving high conversion efficiencies, *Solar energy materials and solar cells*, 85, 293-300, 2005
4. P. Mahawela, G. Sivaraman, S. Jeedigunta, J. Gaduputi, M. Ramalingam, S. Subramanian, S. Vakkalanka, C.S. Ferekides, D.L. Morel, II-VI compounds as the top absorbers in tandem solar cell structures, *Materials Science and Engineering* 116, 283–291, 2005
5. J. Löffler, A. Gordijn, R.L. Stolk, H. Li, J.K. Rath R.E.I. Schropp, Amorphous and micromorph silicon tandem cells with high open-circuit voltage, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 87, 251–259, 2005
6. M. Hammam, M.K. El-Mansy, S.M. El-Bashir and M.G. El-Shaarawy, Performance evaluation of thin-film solar concentrators for green house applications. *Desalination*, 209, 244 – 250, 2007
7. F.J. Aparicio, M. Holgado, A. Borrás, I. Blaszczyk-Lezak, A. Griol, C.A. Barrios, R. Casquel, F.J. Sanza, H. Sohlström, M. Antelius, A.R. González-Elipe and A. Barranco, *Advanced Materials*, 23(6), United State of America, Wiley interscience, 2011
8. S.T. Bailey, G.E. Lokey, M.S. Hanesa, J.D.M. Shearerb, J.B. McLafferty, G.T. Beaumont, T.T. Baseler, J.M. Layhue, D.R. Broussard, Y. Zhang, B.P. Wittmershaus, Optimized excitation energy transfer in a three-dye

- luminescent solar concentrator, *Solar energy materials and solar cells*, 91, 67–75, 2007
9. J.C. Goldschmidt, M. Peters, P. Löper, O. Schultz, F. Dimroth, S.W. Glunz, A. Gombert and G. Willeke, *Advance fluorescent concentrator system design*, in: *Proceedings of the 22nd European photovoltaic solar energy conference and exhibition*, Milan, Italy, 608-612, 2007
10. J.C. Goldschmidt, M. Peters, A. Bösch, H. Helmers, F. Dimroth, S.W. Glunz and G. Willeke, *Increasing the efficiency of fluorescent concentrator systems*, *Solar energy materials and solar cells*, 93, 176-182, 2009



การศึกษาผลการใช้ฟิล์มบางลูมิเนสเซนซ์ต่อการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์

Studying the impact of luminescent films on solar energy conversion of photovoltaic

วิชาพร สุญพานิช¹ ภทริยา กิตติเตชาชาญ¹ และ อุดม อัคราภิรมย์²

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพฯ 10520 โทร 0-2326-4339-53 โทรสาร 0-2326-4413 E-mail: kkpattar@kmitl.ac.th

²ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง

จังหวัดปทุมธานี 12120 โทร 0-2564-7100 โทรสาร 0-2564-6985 E-mail: udom@nanotec.or.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนที่ถูกเคลือบผิวหน้าด้วยฟิล์มบางลูมิเนสเซนซ์ฟิล์มบางลูมิเนสเซนซ์ถูกใช้เพื่อทำหน้าที่แปลงพลังงานของแสงหรือโฟตอนในย่านรังสีอัลตราไวโอเล็ตและย่านสีน้ำเงินของแสงอาทิตย์ไปเป็นแสงในย่านความยาวคลื่นที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นย่านความยาวคลื่นที่เซลล์แสงอาทิตย์มีการตอบสนองต่อแสงได้ดีกว่า ผู้วิจัยได้จัดเตรียมฟิล์มบางโพลิเมอร์ชั้นเดียวและหลายชั้นด้วยวิธีการเคลือบแบบหมุนเหวี่ยง สารที่ถูกนำมาใช้ในการจัดเตรียมฟิล์มบางคือสาร Rhodamine 6G และสาร Coumarin 30 ฟิล์มบางที่จัดเตรียมขึ้นถูกนำมาศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนที่ถูกเคลือบผิวหน้าด้วยฟิล์มบางลูมิเนสเซนซ์แบบชั้นเดียวและแบบหลายชั้นได้ถูกนำมาวัดสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าค่าความหนาแน่นกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเมื่อเคลือบผิวหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยฟิล์มบางลูมิเนสเซนซ์ที่เจือด้วยสาร Rhodamine 6G โดยความหนาแน่นกระแสลัดวงจรมีการเพิ่มขึ้นประมาณ 1.98%

คำสำคัญ: ฟิล์มบางลูมิเนสเซนซ์, เซลล์แสงอาทิตย์

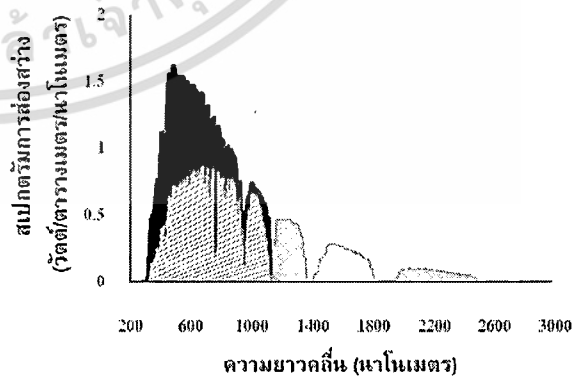
Abstract

The impact of luminescent films on the electrical performance of silicon solar cell has been investigated. The principle of luminescent layer is to shift the photons energy in the ultraviolet and blue components of sunlight to longer wavelengths, where the devices exhibit higher quantum efficiency. The concept can be realized by coating luminescent films on the front surface of the device. In the present study, we attempted to prepare single and multilayer polymeric films from Rhodamine 6G and Coumarin 30 by spin coat method. The prepared samples were tested for their absorbance and luminescence spectra. The electrical performances of the silicon solar cells coated with single and multilayer films were also characterized. The present results indicate that the short circuit current density of the test device increased by approximately 1.98 % when it was coated with the R6G luminescent film.

Keywords: Luminescent thin film, Silicon solar cell

1. คำนำ

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกนำมาใช้สำหรับแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า สิ่งประดิษฐ์นี้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนปัจจุบันสามารถให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 25% เมื่อวัดภายใต้แสงจำลองที่มีความเข้ม 1000 W/m^2 [1,2] การที่แสงถูกแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าเพียงบางส่วนนั้นมีสาเหตุหลายประการ เหตุผลสำคัญประการหนึ่งคือข้อจำกัดทางด้านโครงสร้างแถบพลังงานของวัสดุที่ใช้จัดสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ กล่าวคือวัสดุซิลิกอนจะมีค่าแถบพลังงานต้องห้ามของวัสดุ (energy gap, E_g) ประมาณ 1.12 อิเล็กตรอนโวลต์ (ซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยว) ดังนั้นแสงหรือโฟตอนที่มีพลังงานต่ำกว่า E_g จะไม่สามารถถูกดูดกลืนไปใช้ได้ ดังแสดงในรูปที่ 1 (ส่วนที่แรเงาสีเทาอ่อน) และโฟตอนที่มีพลังงานสูงกว่า E_g บางส่วนจะมีการสูญเสียพลังงานให้แก่แลตทิซในรูปของพลังงานความร้อน (thermalization loss) ดังแสดงในส่วนที่แรเงาสีดำ [3,4] เพื่อแก้ไขปัญหานี้จึงได้มีแนวคิดในการนำฟิล์มบางลูมิเนสเซนซ์มาเคลือบผิวหน้าเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อแปลงพลังงานแสงให้อยู่ในย่านความยาวคลื่นที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถตอบสนองได้ดีขึ้น โดยทั่วไปแล้วฟิล์มบางลูมิเนสเซนซ์จะเตรียมจากวัสดุโพลิเมอร์ที่เจือด้วยโมเลกุลของสารเปล่งแสง โดยโมเลกุลของสารเปล่งแสงจะทำหน้าที่ในการแปลงความยาวคลื่นแสงให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ [5-7]

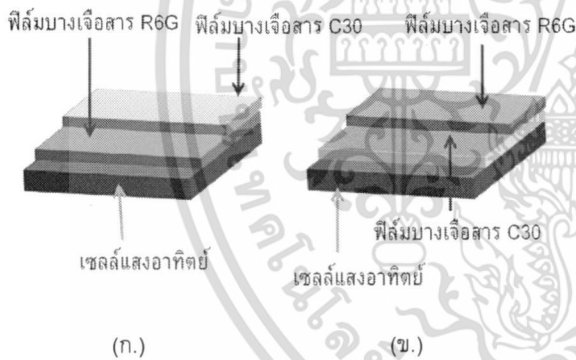


รูปที่ 1 สเปกตรัม AM 1.5G และสัดส่วนของแสงที่ซิลิกอนนำมาใช้ประโยชน์จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติของฟิล์มบางลูมิเนสเซนซ์ที่เหมาะสมต่อการเคลือบผิวหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์คือต้องสามารถดูดกลืนแสงได้ในย่านกว้างและเปล่งแสงในย่านที่เซลล์แสงอาทิตย์ตอบสนองได้ดี เนื่องจากฟิล์มบาง 1 ชั้นที่ถูกเจือด้วยสารเปล่งแสงชนิดเดียวจะมีย่านการดูดกลืนที่แคบ ดังนั้นการเคลือบผิวหน้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยฟิล์มบางลูมิเนสเซนซ์แบบหลายชั้นจึงมีข้อได้เปรียบกว่า กล่าวคือมีย่านการดูดกลืนแสงที่กว้างขึ้นและแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากฟิล์มบางแต่ละชั้นจะเข้าไปในย่านที่เซลล์แสงอาทิตย์ตอบสนองได้ดีขึ้นด้วย นอกจากนี้การเคลือบผิวหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยฟิล์มบางหลายชั้นยังช่วยลดการสูญเสียของแสงที่ปล่อยมาจากผิวหน้าฟิล์ม โดยจะถูกดูดกลืนนำมาใช้ในฟิล์มชั้นถัดไปได้

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการจัดเตรียมฟิล์มบางลูมิเนสเซนซ์และผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนที่ถูกเคลือบผิวหน้าด้วยฟิล์มบางแบบชั้นเดียวและหลายชั้น โดยผู้วิจัยได้ทำการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสงของฟิล์มบางที่จัดเตรียมขึ้นและศึกษาผลการเคลือบฟิล์มบางต่อความหนาแน่นกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างในการเคลือบฟิล์มบางแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2 สารที่ถูกนำมาใช้ในการจัดเตรียมฟิล์มบางคือสาร Coumarin 30 (C30) ซึ่งดูดกลืนและเปล่งแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 407 และ 475 นาโนเมตร ตามลำดับ และสาร Rhodamine 6G (R6G) ซึ่งดูดกลืนและเปล่งแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 530 และ 565 นาโนเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 2 (ก.) โครงสร้างการเคลือบฟิล์มบนเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ 1
(ข.) โครงสร้างการเคลือบฟิล์มบนเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ 2

2. การจัดเตรียมฟิล์มบางลูมิเนสเซนซ์

การจัดเตรียมฟิล์มบางจะแบ่งการเคลือบฟิล์มบางเป็น 2 ลักษณะ คือการเคลือบฟิล์มบนกระจกสไลด์ขนาดความกว้างคือ 2.54 เซนติเมตร ยาว 7.62 เซนติเมตร และหนา 1 เซนติเมตร เพื่อใช้สำหรับการวัดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบางและการเคลือบบนผิวหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่รับแสงของเซลล์คือ 2.27 ตารางเซนติเมตร ฟิล์มบางถูกจัดเตรียมจากสารเปล่งแสง 2 ชนิด คือ สาร C30 ซึ่งมีย่านการดูดกลืนแสงและเปล่งแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 350 – 450 และ 430 – 530 นาโนเมตร ตามลำดับ และสาร R6G ซึ่งมีย่านการดูดกลืนและการเปล่งแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 500 – 540 และ 540 – 600 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยส่วนผสมของสารจะถูกเตรียมด้วยส่วนผสมเดียวกันคือ สารเปล่งแสงความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ ในสารละลายคลอโรฟอร์มปริมาณ 1.5

มิลลิกรัมและสาร PMMA ปริมาณ 0.35 กรัม สารทั้งสองจะถูกนำมาผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 20 นาที ก่อนที่จะถูกนำไปเคลือบบนผิวหน้าของกระจกสไลด์หรือเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเครื่องเคลือบฟิล์มแบบหมุนเหวี่ยงที่มีความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 40 วินาที

3. การทดลอง

3.1 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืน

ฟิล์มบางที่ถูกเตรียมขึ้นจะถูกนำมาวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงโดยอาศัยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ของบริษัท Avantes รุ่น 2048 การจัดระบบเพื่อวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจะใช้ระบบมาตรฐานที่ใช้กันโดยทั่วไป^[6] โดยแหล่งกำเนิดแสงในระบบจะใช้แสงจากหลอดไฟซีนอนกำลัง 450 วัตต์ ซึ่งมีย่านความยาวคลื่นครอบคลุมในช่วง 370 – 1,000 นาโนเมตร แสงจากหลอดไฟจะเดินทางผ่านสายใยแก้วนำแสงไปยังฟิล์มบาง แสงบางส่วนจะถูกดูดกลืนไว้และแสงในส่วนที่สามารถส่งผ่านออกมาได้จะผ่านไปยังสายใยแก้วนำแสงอีกเส้นหนึ่งที่อยู่ทางด้านล่างของฟิล์มบาง ซึ่งสายใยแก้วนำแสงนี้จะถูกต่อกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และถูกวิเคราะห์หาสเปกตรัมการดูดกลืนโดยโปรแกรม Avasoft version 7.5.0 ในที่นี้ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางจะถูกคำนวณโดยอาศัยสมการของเบียร์-แลมเบิร์ต คือ

$$A = \log \frac{I_0}{I} \quad (1)$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง, I_0 คือ ปริมาณแสงที่ตกกระทบผิวหน้าฟิล์มบาง และ I คือ ปริมาณแสงที่ผ่านฟิล์มบางออกมา

3.2 การวัดสเปกตรัมการเปล่งแสง

การวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงจะสามารถทำได้โดยการฉายแสงในย่านที่ฟิล์มมีการดูดกลืนแสงได้สูงและวัดปริมาณแสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากผิวหน้าของฟิล์มบาง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แสงกระตุ้นจากไดโอดเปล่งแสงที่มีค่ากำลังขนาด 3 วัตต์ มีความยาวคลื่นสูงสุดประมาณ 400 นาโนเมตร สำหรับกระตุ้นฟิล์มบางที่เตรียมจากสาร C30 และความยาวคลื่นสูงสุดประมาณ 520 นาโนเมตร สำหรับกระตุ้นฟิล์มบางที่เตรียมจากสาร R6G ในการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนสำหรับฟิล์มบาง 2 ชั้นจะใช้แหล่งกำเนิดแสงซีนอนในการกระตุ้น การจัดระบบวัดกระทำโดยจัดให้แสงกระตุ้นทำมุมประมาณ 45 องศา กับผิวหน้าฟิล์มเพื่อช่วยในการลดการกระเจิงของแสง^[9] และสายใยแก้วนำแสงที่ทำหน้าที่ตรวจจับการเปล่งแสงวางอยู่ด้านล่างของฟิล์มบางในลักษณะตั้งฉากกับผิวหน้าฟิล์ม

3.3 การวัดความหนาแน่นกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ทำการวัดกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนที่มีพื้นที่รับแสง 2.27 ตารางเซนติเมตร โดยเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกเคลือบผิวหน้าด้วยฟิล์มบางทั้งแบบ 1 ชั้น และแบบ 2 ชั้น แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดลองคือแสงจากหลอดซีนอนกำลัง 450 วัตต์ ซึ่งแสงจะตกกระทบบนฟิล์มบางและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ากระแสลัดวงจรที่ได้จะถูกนำมาหาค่าความหนาแน่นของกระแสลัดวงจร J_{sc} จากสมการ

$$J_{sc} = I_{sc}/A \quad (A/cm^2) \quad (2)$$

โดย I_{sc} คือกระแสลัดวงจร (A) และ A คือพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ (cm^2) สำหรับค่าความหนาแน่นกระแสลัดวงจรที่เปลี่ยนแปลงไป (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์) คำนวณจากสมการ

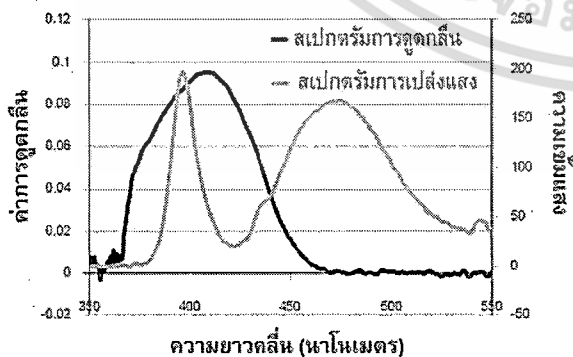
$$\Delta J_{sc} (\%) = \frac{\Delta J \times 100}{J_b} \quad (3)$$

โดย J_b คือ กระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลือบฟิล์มบางและ ΔJ คือ ผลต่างระหว่างกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลือบฟิล์มบางและไม่เคลือบฟิล์มบาง

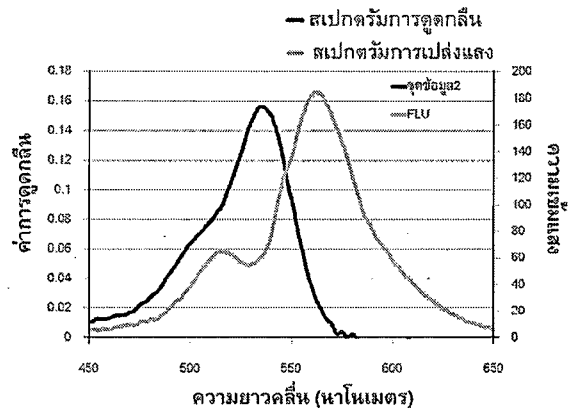
4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการวัดสเปกตรัม

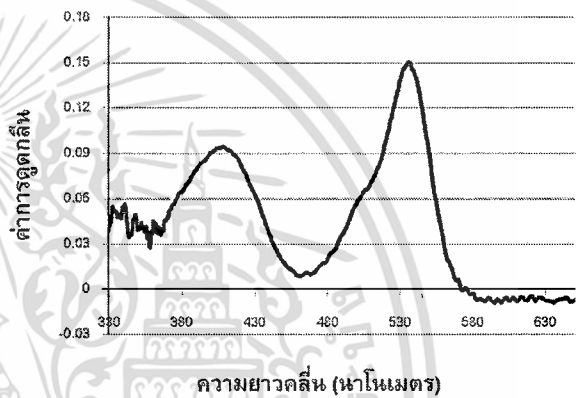
สเปกตรัมการดูดกลืนและเปล่งแสงของฟิล์มบาง 1 ชั้น จะมีลักษณะดังรูปที่ 3 และ 4 จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าฟิล์มบางที่เจือด้วยสาร C30 มีค่าการดูดกลืนสูงสุดประมาณ 0.09 ที่ความยาวคลื่นประมาณ 408 นาโนเมตรและเปล่งแสงในย่านความยาวคลื่นประมาณ 420-520 นาโนเมตร สำหรับฟิล์มบางที่เจือด้วยสาร R6G (รูปที่ 4) มีค่าการดูดกลืนสูงสุดประมาณ 0.15 ที่ความยาวคลื่นประมาณ 530 นาโนเมตร และเปล่งแสงในย่านความยาวคลื่นประมาณ 530-630 นาโนเมตร ในกรณีของฟิล์มบาง 2 ชั้นจะให้ผลการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนดังรูปที่ 5 จากผลการวัดพบว่าฟิล์มบาง 2 ชั้นสามารถดูดกลืนแสงในย่านกว้างขึ้น กล่าวคือฟิล์มจะสามารถดูดกลืนแสงในย่าน 350-450 นาโนเมตร ซึ่งเป็นย่านที่สาร C30 ดูดกลืนแสงได้และที่ความยาวคลื่น 480-570 นาโนเมตร ซึ่งเป็นย่านที่สาร R6G ดูดกลืนแสง ผลการวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์มบาง 2 ชั้นมีลักษณะดังรูปที่ 6 จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าการเปล่งแสงของฟิล์มจะเกิดขึ้นที่ 2 ย่านความยาวคลื่นคือ 420-520 นาโนเมตร และ 530-630 นาโนเมตร ซึ่งย่านความยาวคลื่นนี้เกิดจากการเปล่งแสงของฟิล์มบางแต่ละชั้นดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4



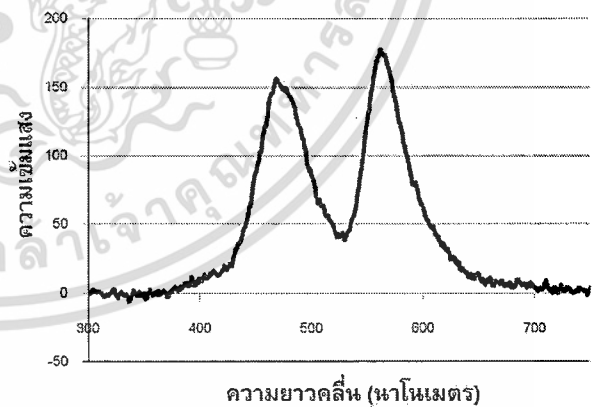
รูปที่ 3 สเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสงของฟิล์มบางเจือด้วยสาร C30



รูปที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสงของฟิล์มบางเจือด้วยสาร R6G



รูปที่ 5 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง 2 ชั้น

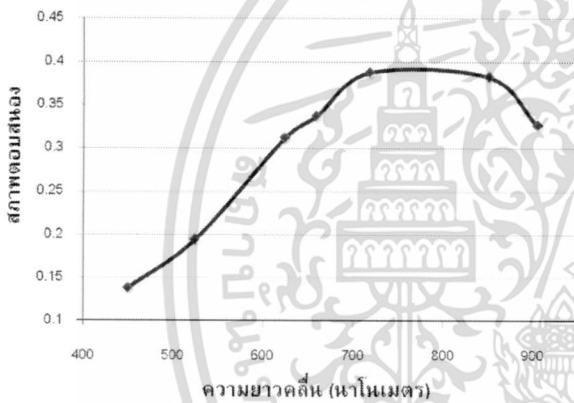


รูปที่ 6 สเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์มบาง 2 ชั้น

4.2 ผลการวัดความหนาแน่นกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน

ผลการวัดความหนาแน่นกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนจะแสดงดังตารางที่ 1 จากการทดลองพบว่าเซลล์ที่ถูกเคลือบด้วยฟิล์มบางลูมิเนสเซนส์จะผลิตกระแสลัดวงจรได้เพิ่มขึ้น ซึ่งคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังตารางที่ 2 การที่ค่าความหนาแน่นกระแสลัดวงจรมีค่าสูงขึ้นนี้มีสาเหตุจากแสงในย่านความยาวคลื่นประมาณ

350 – 550 นาโนเมตร ได้ถูกดูดกลืนโดยฟิล์มบางลูมิเนสเซนซ์และทำการเปล่งแสงออกมาในย่านความยาวคลื่นที่สูงขึ้นซึ่งเป็นย่านที่เซลล์แสงอาทิตย์มีสภาพตอบสนองที่ดีขึ้น (ดูรูปที่ 7) ผลการวัดยังแสดงให้เห็นว่าการเคลือบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยฟิล์มบาง 1 ชั้นที่เจือด้วยสาร R6G จะให้ค่าความหนาแน่นกระแสลัดวงจรที่สูงกว่าการเคลือบด้วยฟิล์มบาง 1 ชั้นที่เจือด้วยสาร C30 ทั้งนี้มีสาเหตุจากการที่ฟิล์มบางที่เจือด้วยสาร R6G มีค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่าฟิล์มบางที่เจือด้วยสาร C30 ทำให้สามารถดูดกลืนและเปล่งแสงในปริมาณที่สูงกว่า เหตุผลอีกประการหนึ่งคือแสงที่เปล่งออกมาจากฟิล์มบางที่เจือด้วยสาร R6G จะมีย่านความยาวคลื่นใกล้เคียงกับย่านที่เซลล์แสงอาทิตย์ตอบสนองได้ดีกว่าย่านที่ฟิล์มบางที่เจือด้วยสาร C30 เปล่งออกมา อย่างไรก็ตามจะสังเกตเห็นได้ว่าการเคลือบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยฟิล์มบาง 2 ชั้น ทั้งสองโครงสร้างนั้นจะให้ความหนาแน่นกระแสลัดวงจรน้อยกว่าฟิล์มบางที่เจือด้วยสาร R6G ชั้นเดียว ทั้งนี้สาเหตุน่าจะมาจากแสงที่ตกกระทบฟิล์มบาง 2 ชั้น เกิดการสะท้อนที่บริเวณรอยต่อของชั้นฟิล์ม ทำให้แสงที่ตกกระทบฟิล์มบางชั้นล่างมีความเข้มแสงลดลง ดังนั้นแสงที่ถูกดูดกลืนในฟิล์มบาง R6G จึงมีปริมาณลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและสภาพตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน

ตารางที่ 1 ผลการวัดความหนาแน่นกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน

เงื่อนไข	J_{sc} ($\mu A/cm^2$)
เซลล์ไม่ได้ถูกเคลือบฟิล์ม	242.93
เคลือบด้วยฟิล์มบาง C30	246.85
เคลือบด้วยฟิล์มบาง R6G	245.58
เคลือบด้วยฟิล์มบาง R6G และ C30	243.85
เคลือบด้วยฟิล์มบาง C30 และ R6G	247.73

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลือบด้วยฟิล์มบางแบบ 2 ชั้นทั้ง 2 โครงสร้าง จะพบว่าโครงสร้างแบบที่ 2 จะมีค่าความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้นมากกว่าโครงสร้างแบบที่ 1 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างแบบที่ 2 สามารถใช้ประโยชน์จากปริมาณแสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากฟิล์มชั้นล่างได้มากกว่าโครงสร้างแบบที่ 1 เพราะปริมาณแสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาบางส่วนจะถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยเซลล์แสงอาทิตย์และบางส่วนจะถูกดูดกลืนด้วยฟิล์มบางที่อยู่ด้านบนอีกครั้ง เนื่องจากย่านการเปล่งแสงของฟิล์มชั้นล่างตรงกับย่านการดูดกลืนของฟิล์มชั้นบน ซึ่งแตกต่างจากโครงสร้างที่ 1 ซึ่งมีฟิล์มบาง C30 อยู่ด้านบนทำให้ไม่สามารถดูดกลืนแสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากสาร R6G ที่อยู่ด้านล่างได้ จึงทำให้แสงส่วนนั้นเกิดการสูญเสียที่ผิวหน้าไป

ตารางที่ 2 ความหนาแน่นกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนที่เพิ่มขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ทำการเคลือบฟิล์มบาง

เงื่อนไข	ΔJ_{sc} (%)
เคลือบด้วยฟิล์มบาง C30	1.61
เคลือบด้วยฟิล์มบาง R6G	1.98
เคลือบด้วยฟิล์มบาง R6G และ C30	0.38
เคลือบด้วยฟิล์มบาง C30 และ R6G	1.09

5. สรุปการวิจัย

ฟิล์มบางลูมิเนสเซนซ์ที่ได้จัดเตรียมขึ้นสามารถช่วยเพิ่มความหนาแน่นกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์มบางที่จัดเตรียมขึ้นได้ทำการแปลงความยาวคลื่นแสงตกกระทบที่มีย่านตรงกับย่านที่เซลล์แสงอาทิตย์มีสภาพตอบสนองต่ำให้อยู่ในย่านความยาวคลื่นที่ใกล้เคียงกับย่านที่เซลล์แสงอาทิตย์มีสภาพตอบสนองดีได้มากขึ้น จากผลการศึกษาพบว่าค่าความหนาแน่นกระแสลัดวงจรมีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นสูงสุดคือ 1.98% เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ถูกเคลือบผิวหน้าด้วยฟิล์มบางที่เจือด้วยสาร R6G เพียง 1 ชั้น ในกรณีฟิล์มบาง 2 ชั้นจะสามารถดูดกลืนแสงได้ในย่านที่กว้างขึ้น แต่เมื่อนำมาเคลือบบนผิวหน้าเซลล์จะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงกระแสที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าฟิล์มบาง 1 ชั้น ทั้งนี้มีสาเหตุจากการสะท้อนที่ผิวรอยต่อจากการเปรียบเทียบโครงสร้างการเคลือบฟิล์มบางบนเซลล์แบบ 2 ชั้นพบว่าโครงสร้างแบบที่ 2 (รูป 2 (ข.)) จะให้ค่าความหนาแน่นกระแสลัดวงจรเพิ่มขึ้น 1.09% ซึ่งมากกว่าโครงสร้างแบบที่ 1 (รูป 2 (ก.))

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน โครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย สำนักงานวิทยุเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งชาติและคณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้อนุมัติงบประมาณไว้สำหรับการดำเนินงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อจัดทำเป็นเอกสารเผยแพร่จะยกเว้นค่าลิขสิทธิ์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต่อยอดงานวิจัยไปใช้

เงินทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ และรศ.วิชาญ เตชิตธีระ ที่ได้ให้ความ
อนุเคราะห์แหล่งกำเนิดแสงซินโครตรอนประกอบการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] M.A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa and W. Warta. Solar efficiency table (version 36), Progress in photovoltaic research and applications, 346 – 352, 2010
- [2] J. Zhao, A. Wang, M.A. Green and F. Ferrazza Novel 19.8% efficient 'honeycomb' textured multicrystalline and 24.4% monocrystalline silicon solar cells. Applied Physics Letters 73, 1991–1993, 1998
- [3] B.S. Richards, Enhancing the performance of silicon solar cells via application of passive luminescence conversion layers, Solar energy materials and solar cells 90, 2329 – 2337, 2006
- [4] E. Klampafitis, D. Ross, K.R. McIntosh and B.S. Richards, Enhancing the performance of solar cells via luminescent down-shifting of the incident spectrum, Solar energy materials and solar cells, 93(8), 1182-1194, August 2009
- [5] M. Hammam, M.K. El-Mansy, S.M. El-Bashir and M.G. El-Shaarawy, Performance evaluation of thin-film solar concentrators for green house applications. Desalination, 209, 244 – 250, 2007
- [6] F.J. Aparicio, M. Holgado, A. Borrás, I. Blaszczyk-Lezak, A. Griol, C.A. Barrios, R. Casquel, F.J. Sanza, H. Sohlström, M. Antelius, A.R. González-Elípe and A. Barranco, Advanced Materials, 23(6), United State of America, Wiley interscience, 2011
- [7] S.T. Bailey, G.E. Lokeya, M.S. Hanesa, J.D.M. Shearerb, J.B. McLafferty, G.T. Beaumonta, T.T. Baselerb, J.M. Layhueb, D.R. Broussardb, Y. Zhangc, B.P. Wittmershaus, Optimized excitation energy transfer in a three-dye luminescent solar concentrator, Solar energy materials and solar cells, 91, 67–75, 2007
- [8] วิชาพร สุญพานิช, สุกฤต สมุทรภพวงศ์, ภัทธิยา กิตติเตชา
ชาญ, "การศึกษาการรวมแสงของแผ่นรวมแสงฟลูออเรสเซนต์",
การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงาน ครั้งที่ 6, 5-7
พฤษภาคม 2553
- [9] A. Sharma, S.G. Schulman, Introduction to Fluorescence spectroscopy. United State of America, Wiley interscience, 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้