

การนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง Electrical Conductance and Capacitance in Dye-sensitized Solar Cell

ศานิตย์ สุวรรณวงศ์^{1*} อาทิตย์ หู่เต็ม² กาญจน์ คุ่มทรัพย์³ และ สุรเชษฐ เอี่ยมสำอาง⁴
Sanit Suwanwong¹, Artit Hutem², Kan Khoomsab³ and Surachest Aiumsumang⁴

^{1,2}อาจารย์สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

^{3,4}อาจารย์ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

*E-mail :sanit.suw@gmail.com

บทคัดย่อ

อีโอซินวาย (eosin-Y) เป็นสีย้อมไวแสงที่ใช้ในการทำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (DSSC) ซึ่งมีราคาถูกและให้ประสิทธิภาพสูงในการทำ DSSC ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสนใจสีย้อมไวแสงจากอีโอซินวายในเอทานอลที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าของ DSSC ด้วยการฉายแสงอาทิตย์และแสงสีต่าง ๆ จากหลอด LED ทั้งสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน จากการศึกษาพบว่าอีโอซินวาย มีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่นในช่วงที่ตามองเห็นและมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงแสงสีเขียวส่วนแสงจากหลอด LED สีเขียวให้ค่าความนำไฟฟ้าสูงสุด $198 \mu\text{S}/\text{cm}^2$ และมีค่าความจุไฟฟ้าสูงสุด $1.34 \mu\text{F}$ เมื่อเทียบกับสีน้ำเงินและสีแดง ตามลำดับ จึงสอดคล้องกับการดูดกลืนแสงของอีโอซินวาย ดังนั้นชนิดของแสงส่งผลต่อการนำไฟฟ้าสูงสุดและค่าความจุไฟฟ้าสูงสุดของ DSSC

คำสำคัญ : เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง อีโอซินวาย การฉายแสง การนำไฟฟ้า ความจุไฟฟ้า

Abstract

Dye-sensitized of eosin-Y are used to produce low cost and high-efficiency for Dye-sensitized solar cells (DSSC). In this research, we are interested in the dye-sensitized of eosin-Y in ethanol which affects the conductance and capacitance change in DSSC upon irradiation by using sunlight, red LED, green LED and blue LED lights. The results of the study showed that the wavelength range of eosin Y is visible light and the maximum light absorbance of green light. In additional studies, the maximum conductance is $198 \mu\text{S}/\text{cm}^2$ and capacitance $1.34 \mu\text{F}$ in DSSC upon green LED light compared with blue and red LED light respectively which is consistent with the light absorbance values of eosin-Y. Thus, the light source influence on the maximum conductance and capacitance in DSSC.

Keywords : Dye-sensitized Solar Cell, eosin-Y, Irradiation, Conductivity, Capacitance

1. บทนำ

พลังงานส่วนใหญ่ที่ถูกใช้ในประเทคมักมาจากน้ำมันปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ ผู้วิจัยจึงสนใจพลังงานทดแทนที่เป็นพลังงานสะอาดโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้พลังงานแสงให้เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แต่เนื่องจากเซลล์อาทิตย์ส่วนใหญ่เป็นชนิดซิลิกอนซึ่งต้องใช้เทคโนโลยีการผลิตขั้นสูงจึงมีราคาแพง ในปี ค.ศ.1991 O'ReganและGrätzel ได้ประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cells,DSSCs) ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นมาได้ง่ายด้วยต้นทุนในการผลิตต่ำ โดย DSSCs มีส่วนประกอบและหลักการทำงานดังนี้ (1) เมื่อแสงผ่านเข้ามายังขั้วเวิร์กิงหรือขั้วลบ (working electrode) ที่ทำด้วยกระจกนำไฟฟ้า (Fluorine doped tin oxide coated glass slide, กระจกนำไฟฟ้า FTO) เข้ามายังด้านที่ไม่นำไฟฟ้าถึงด้านที่นำไฟฟ้าที่เคลือบด้วยชั้นฟิล์มของสารกึ่งตัวนำที่เป็นโลหะออกไซด์ อย่างเช่น ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) หรืออนุภาคนาโน (Saekow et al., 2012)ซึ่งมีช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน(band-gap) ที่กว้าง (2) สีย้อมไวแสง (dye-sensitized) อย่างเช่น Eosin-Y (Wang et al., 2005) N3 (Mali et al., 2012)และ N719 สีย้อมไวแสงจะต้องยึดเกาะกับสารกึ่งตัวนำได้เป็นอย่างดี เมื่อสีย้อมดูดกลืนพลังงานแสง ทำให้อิเล็กตรอนที่สถานะพื้น (S_0) ถูกกระตุ้นไปสู่ระดับชั้นพลังงานที่สูงขึ้นในสถานะกระตุ้น (S^+) ซึ่งทำให้อิเล็กตรอนถูกปลดปล่อยออกมา (S^-) ไปยังชั้นแถบนำ (conduction band) ของสารกึ่งตัวนำที่ขั้วเวิร์กิง แล้วอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่มายังอุปกรณ์ไฟฟ้า จากนั้นมายังขั้วเคาน์เตอร์ (3) ขั้วเคาน์เตอร์ (counter electrode) ใช้กระจกนำไฟฟ้า FTO อีกแผ่นเคลือบด้านที่นำไฟฟ้าด้วยแพลตตินัม (Pt) คาร์บอน (C) หรือนาโนคาร์บอน (Siriraj et al., 2012) ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนกลับคืนสู่สารละลายอิเล็กโตรไลต์ (4) สารละลายอิเล็กโตรไลต์ (electrolyte) ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนที่วงนอกสุดกลับคืนสู่โมเลกุลของสีย้อม และขณะเดียวกันก็รับอิเล็กตรอนจาก Ptจึงทำให้อิเล็กตรอนกลับสู่โมเลกุลของสีย้อมไวแสงเรียกกระบวนการนี้ว่ากระบวนการรีดอกซ์ ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงจึงให้กระแสไฟฟ้าได้ตลอดเวลาอีกทั้งยังมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเกิดอิเล็กตรอนและการสะสมอิเล็กตรอนจากอิทธิพลของการฉายแสงชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีทั้งแสงสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน อัลตราไวโอเลต และแสงซินโครตรอนลงบนพื้นผิวของวัสดุที่เป็นฉนวนหรือสารกึ่งตัวนำได้แก่ $Ba_{0.7}Ca_{0.3}TiO_3$ (Jaiban et al., 2015), $CaCu_3Ti_4O_{12}$ (Masingsboon et al., 2013), $SrTiO_3$ (Suwanwong et al., 2015) เป็นต้น

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสนใจสีย้อมไวแสงจากอีโซีนวาย (Eosin-Y) ที่สามารถยึดเกาะกับซิงค์ออกไซด์ได้ดีและมีราคาถูกซึ่งสามารถดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงของความยาวคลื่นที่เหมาะสมได้ จึงให้กระแสไฟฟ้าได้มากพอ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาอิทธิพลของแสงชนิดต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมสีย้อมไวแสง

เตรียมสีย้อมไวแสงจาก Eosin-Y (บริษัท s d fine-chem limited) 0.104 g ในเอทานอล 50 ml ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสาร 30 นาที จะได้สารละลายของสีย้อมไวแสงจาก Eosin-Y

2.2 การเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1) การเตรียมขั้วเวิร์กิง (Working electrode) หรือขั้วลบเริ่มจากการตัดกระจกนำไฟฟ้าให้มีขนาด $2.0 \times 1.5 \text{ cm}^2$ แล้วทำความสะอาดด้วยอะซิโตน เอทานอล และน้ำกลั่น (DI water) ด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็น

เวลาอย่างละ 5 นาที ตามลำดับ แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80°C และรอให้เย็น จากนั้นนำเทป 3M ปิดทับด้านที่นำไฟฟ้าของกระจกนำไฟฟ้าเพื่อให้มีขนาด $1.0 \times 0.25 \text{ cm}^2$ และเตรียมครีมนจากซิงค์ออกไซด์ (ZnO) 5 อนุสมกับ Polyethylene Glycol 400 จำนวน 5g ในน้ำกลั่น 15ml เคนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ครีม ZnO จากนั้นทำการเคลือบกระจกนำไฟฟ้าเพื่อทำขั้วเวิร์กกิงด้วยการหยดลงบนพื้นที่ที่ได้เตรียมไว้และปาดให้เรียบ จากนั้นนำไปอบที่เตาเผาด้วยอุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปลอ่ยให้เย็น แล้วนำไปแช่สารละลายของสีย้อมไวแสงจาก Eosin-Y เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำออกมาปลอ่ยไว้ให้แห้ง

2) การเตรียมขั้วเคาน์เตอร์ (Counter electrode) ตัดกระจกนำไฟฟ้าให้มีขนาด $2.0 \times 1.5 \text{ cm}^2$ จากนั้นนำเข้าเครื่องสปัตเทอริง (Sputtering technique) ภายใต้แก๊สอาร์กอน (Ar) เพื่อเคลือบด้านนำไฟฟ้าของกระจกนำไฟฟ้าด้วยแพลตตินัม (Pt) จะได้ขั้วเคาน์เตอร์ที่เคลือบด้วย Pt

3) การเตรียมอิเล็กโตรไลต์ ใช้โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 0.5 M, ไอโอดีน (I_2) 0.05 M และ Ethylene Glycol 25ml และเอทานอล 25 ml จากนั้นผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้สารละลายอิเล็กโตรไลต์

4) การประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อม Eosin-Y ตัดแผ่นพาราฟิล์มให้มีขนาดช่องว่างขนาด $1.0 \times 0.25 \text{ cm}^2$ วางทับบนขั้วเวิร์กกิงด้านที่เคลือบ ZnO ไว้แล้ว จากนั้นประกบด้วยขั้วเคาน์เตอร์ที่เคลือบด้วย Pt นำคลิปหนีบกระดาษหนีบไว้ที่ด้านข้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงทั้งสองด้าน จากนั้นหยดสารละลายอิเล็กโตรไลต์ระหว่างขอบกระจกทั้งสองที่ประกบกันอยู่ แล้วเป่าให้ความร้อนเพื่อให้แผ่นพาราฟิล์มติดกับกระจกทั้งสอง วางไว้ให้เย็น จะได้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

2.3 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง

การวัดสเปกตรัมช่วงความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสง โดยการนำสีย้อมไวแสงจาก Eosin-Y ที่ได้เตรียมไว้แล้ว มาวิเคราะห์หาช่วงความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-VISIBLE Spectrophotometer (ยี่ห้อ Shimadzu Co., Ltd รุ่น UV-1700 PharmaSpec)

2.4 การนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อฉายแสงชนิดต่าง ๆ

การวัดความนำไฟฟ้าสูงสุด (G_{max}/A) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยการฉายแสงให้ตกกระทบบนพื้นที่รับแสงของ DSSC ที่มีขนาด 0.25 cm^2 ที่ต่อเซลล์เข้ากับเครื่อง MULTIMETER (ยี่ห้อ hp HEWLETT PACKARD รุ่น 971A) ดังภาพที่ 1 (รูปเล็ก) โดยใช้ฉายแสงอาทิตย์และแสงจากหลอด LED ได้แก่ สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน เพื่อศึกษาชนิดของแสงที่มีอิทธิพลต่อการนำไฟฟ้าของ DSSC จาก Eosin-Y

จากนั้นทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าสูงสุดของ DSSC ที่ความถี่ 1,000 Hz ในเวลา 180 วินาที ด้วยเครื่อง Impedance analyzer (ยี่ห้อ Agilent technology รุ่น 4292A) โดยฉายแสงจากหลอด LED สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน เพื่อศึกษาชนิดของแสงที่มีอิทธิพลต่อค่าความจุไฟฟ้าสูงสุดของ DSSC จาก Eosin-Y

3. ผลการวิจัย

3.1 การดูดกลืนแสงของอีโอซินวาย

ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมไวแสงจากอีโอซินวายด้วยเครื่อง UV-VISIBLE Spectrophotometer พบว่าค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงของความยาวคลื่นระหว่าง 541 nm – 560 nm ซึ่งอยู่ในช่วงของแสงสีเขียวเป็นส่วนใหญ่ และให้ค่าสูงสุดที่ 557 nm เมื่อแสงตกกระทบบนสีย้อมไวแสงทำให้อิเล็กตรอนที่สถานะพื้นจะดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ทำให้มีพลังงานสูงขึ้นไปยังสถานะกระตุ้นและออกจากแถบนำ (conduction

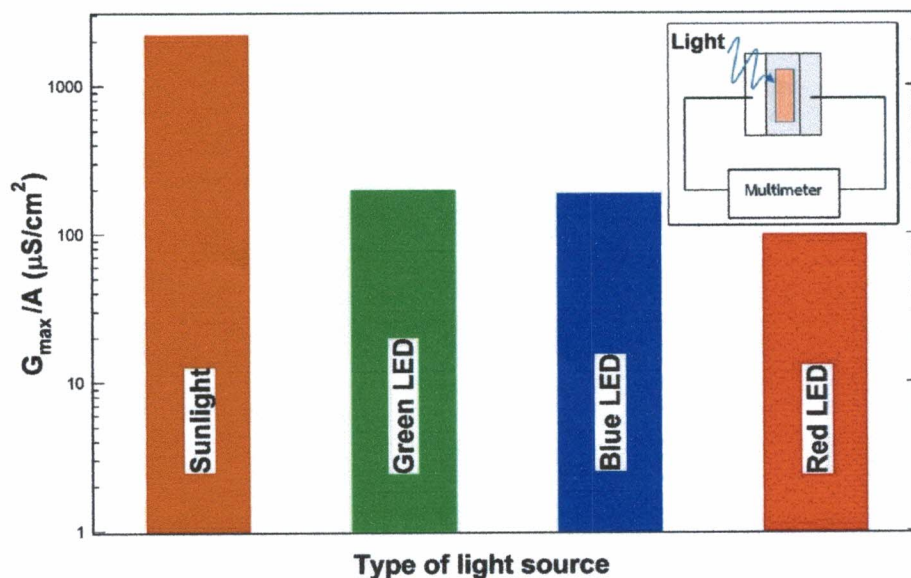
band, C.B.) ของ ZnO ซึ่งสีย้อมไวแสงต้องมีการดูดกลืนแสงที่กว้างในช่วงที่ตามองเห็น (visible light) ทำให้ความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงมีค่าสูงขึ้นและเกิดการนำไฟฟ้าขึ้นได้

3.2 อิทธิพลของแสงต่อการนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

อิทธิพลของแสงชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อการนำไฟฟ้าสูงสุดของ DSSC โดยการฉายแสงลงบนพื้นที่รับแสงขนาด 0.25 cm^2 ดังภาพที่ 1 (รูปเล็ก) พบว่า แสงอาทิตย์ที่มีความเข้มแสง 987.3 W/m^2 ตกลงบนพื้นที่รับแสงของ DSSC จะให้ค่าความนำไฟฟ้าสูงสุดต่อพื้นที่ (G_{max}/A) ซึ่งมีค่าสูงที่สุดเป็น $2207 \text{ } \mu\text{S/cm}^2$ จากนั้นได้ศึกษาเพิ่มเติม โดยใช้แสงจากหลอด LED ขนาด 5 mm ดังตารางที่ 1 พบว่า หลอดสีเขียวให้ค่าความนำไฟฟ้าสูงสุดต่อพื้นที่ มีค่ามากที่สุด $198 \text{ } \mu\text{S/cm}^2$ รองลงมา คือ สีน้ำเงิน $186 \text{ } \mu\text{S/cm}^2$ และสีแดงมีค่าน้อยที่สุด $98 \text{ } \mu\text{S/cm}^2$ ตามลำดับ ดังภาพที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าการนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจาก Eosin-Y

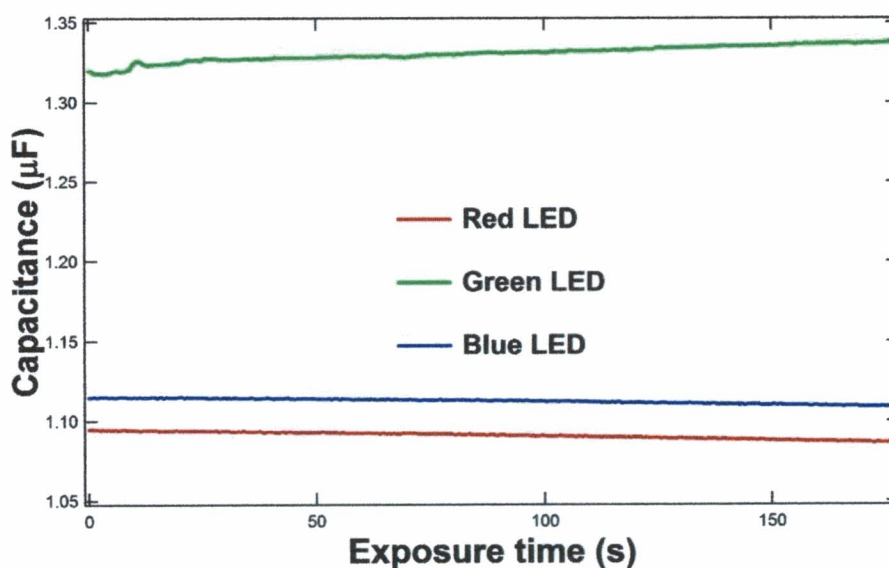
ชนิดของแสงหลอด LED	$G_{\text{max}}/A \text{ (}\mu\text{S/cm}^2\text{)}$	$C_{\text{max}} \text{ (}\mu\text{F)}$
สีแดง	98	1.09
สีเขียว	198	1.34
สีน้ำเงิน	186	1.11



ภาพที่ 1 ค่าความนำไฟฟ้าสูงสุดต่อพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อฉายแสงอาทิตย์ และแสงจาก LED สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินและรูปเล็ก แผนภาพการวัดการนำไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ภาพที่ 2 แสดงอิทธิพลของแสงจากหลอด LED ที่มีผลต่อค่าความจุไฟฟ้าสูงสุดของ DSSC โดยฉายลงบนพื้นที่รับแสงของ DSSC เป็นเวลา 180 วินาที พบว่า แสงสีเขียวให้ค่าความจุไฟฟ้าสูงสุด $\sim 1.34 \text{ } \mu\text{F}$ รองลงมา คือ สีน้ำเงินให้ค่าความจุไฟฟ้า $\sim 1.11 \text{ } \mu\text{F}$ และน้อยที่สุด คือ สีแดง $\sim 1.09 \text{ } \mu\text{F}$ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า DSSC สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้เมื่อได้รับการฉายแสง และมีความสอดคล้องกับค่าการดูดกลืนแสงและช่วงของความยาว

คลื่นในการดูดกลืนแสง โดยเฉพาะช่วงของแสงสีเขียวของอีโอซินไว ดังนั้นชนิดของแสงมีอิทธิพลต่อการนำไฟฟ้าสูงสุดและความจุไฟฟ้าสูงสุดของสีย้อมไวแสง และ DSSC จึงไม่จำเป็นต้องใช้แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวในการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่และอุปกรณ์ไฟฟ้า



ภาพที่ 2 ความจุไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อฉายแสงจาก LED สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

4. สรุปและเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาอิทธิพลของแสงที่มีผลต่อการนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด สีย้อมไวแสงจากสีย้อมอีโอซินไว ได้ผลสรุปดังต่อไปนี้

1. สारละลายของสีย้อมไวแสงจากอีโอซินไวให้ช่วงของความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสงอยู่ระหว่าง 541 nm – 560 nm และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 557 nm อยู่ในช่วงของแสงที่ตามองเห็น โดยเฉพาะอยู่ในช่วงของแสงสีเขียว
2. การเปลี่ยนแปลงค่าความนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าสูงสุดของ DSSC มีความสัมพันธ์กับชนิดของแสง และช่วงของความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสงของสีย้อมไวแสงจากอีโอซินไว โดยเฉพาะช่วงของแสงสีเขียวที่ทำให้ค่าความนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าสูงสุด
3. ไม่จำเป็นต้องใช้แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ในการทำให้เกิดความนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าสูงสุด เราสามารถเลือกใช้แสงที่เหมาะสมของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ในการนำมาประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่และอุปกรณ์ไฟฟ้าได้

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยพบว่าสีย้อมไวแสงจาก eosin-Y สามารถประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และตัวเก็บประจุไฟฟ้า ที่สามารถให้การนำไฟฟ้าสูงสุดและความจุไฟฟ้าได้ แต่ยังคงไม่มากพอที่จะผลิตกระแสไฟฟ้า ในปริมาณที่สูงผู้วิจัยจะทำการพัฒนาต่อไปในส่วนของวงจรเพื่อทำให้ DSSC มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนจากสาขาวิชาฟิสิกส์ งานศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนงานวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประเภทโครงการวิจัยเพื่อสร้างและสะสมองค์ความรู้ที่มีศักยภาพ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2561

6. เอกสารอ้างอิง

- Jaiban, P., Suwanwong, S., Namsar, O., Watcharapasorn, A., and Meevasana, W. (2015). **Simultaneous tuning of the dielectric property and photo-induced conductivity in ferroelectric $\text{Ba}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{TiO}_3$ via La doping**, Materials Letters, 147, 29–33.
- Mali, S. S., Betty, C. A., Bhosale, P. N., and Patil, P. S. (2012). **Eosin-Y and N3-Dye sensitized solar cells (DSSCs) based on novel nanocoral TiO_2 : A comparative study**. Electrochimica Acta, 59, 113-120.
- Masingboon, C., Eknapakul, T., Suwanwong, S., Buaphet, P., Nakajima, H., Mo, S. K., Thongbai, P., King, P. D. C., Maensiri, S., and Meevasana, W. (2013). **Anomalous change in dielectric constant of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ under violet-to-ultraviolet irradiation**, Applied Physics Letters, 102, 202903.
- O'Regan, B., and Grätzel, M. (1991). **A Low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO_2 films**. Nature, 353, 737.
- Saekow, S., Maiakgree, W., Jarernboon, W., Pimanpang, S., and Amornkitbamrung, V. (2012). **High intensity UV radiation ozone treatment of nanocrystalline TiO_2 layers for high efficiency of dye-sensitized solar cells**. Journal of Non-Crystalline Solids, 358, 2496–2500.
- Siroj, S., Pimanpang, S., Towannang, M., Maiaugree, W., Phumying, S., Jarernboon, W., and Amornkitbamrung, V. (2012). **High performance dye-sensitized solar cell based on hydrothermally deposited multiwall carbon nanotube counter electrode**. Applied Physics Letters, 100, 243303.
- Suwanwong, S., Eknapakul, T., Rattanachai, Y., Masingboon, C., Rattanasuporn, S., Phatthanakun, R., Nakajima, H., King, P.D.C., Hodak, S.K. and Meevasana, W. (2015). **The dynamics of ultraviolet-induced oxygen vacancy at the surface of insulating SrTiO_3 (001)**. Applied Surface Science, 355, 210-212.
- Suwanwong, S., Kullapapinyokul, J., Eknapakul, T., Buaphet, P., Phatthanakun, R., and Meevasana, W. (2015). **Resistivity change in SrTiO_3 upon irradiation and its application in light sensing**. Suranaree Journal Science Technology, 22 (1), 93-98.
- Wang, Z.-S., Sayama, K., and Sugihara, H. (2005). **Efficient Eosin Y Dye-Sensitized Solar Cell Containing $\text{Br}^-/\text{Br}_3^-$ Electrolyte**. Journal of Physical Chemistry B, 109, 22449-22455.



OS-013

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ไว้เพื่อแสดงว่า

ศานิตย์ สุวรรณวงศ์

ได้นำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย

เรื่อง “การนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง”

ในการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ ๕ ประจำปี ๒๕๖๑
“งานวิจัยและนวัตกรรมเพื่อพัฒนาท้องถิ่น”

วันที่ ๘ - ๙ มีนาคม ๒๕๖๑

ณ อิมพีเรียล ภูเก็ต รีสอร์ท อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

ขออวยพรให้มีความสุข ความเจริญ เป็นกำลังสำคัญในการพัฒนาท้องถิ่นและประเทศต่อไป

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรรมณีชาติ วันแดง)

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประยูร ลิ้มสุข)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์