

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง
ด้วยชั้นไททาเนียมไดออกไซด์บล็อกกิ้ง**
An Improvement of the Efficiency of Dye Sensitized Solar Cells
by TiO₂ Blocking Layer**

ชานู โฟธิพิทักษ์^{1*} และ สุกัลยา ขุนจรรย์²

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Chanu Photiphitak^{1*} and Sukunya Khunchan²

¹Faculty of Science and Technology, Suan Dusit University

²Faculty of Science, Naresuan University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง (DSSC) ด้วยการสังเคราะห์ TiO₂ sol gel โดยดัดแปลงจากเทคนิค Surfactant-assisted sol gel สำหรับใช้เตรียมเป็นชั้น TiO₂ blocking layer โดยวิธี Dip coating และ Spin coating โดยทำการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์ม TiO₂ blocking layer ด้วยเทคนิค SEM, XRD และ UV-vis spectroscopy ศึกษาสมรรถนะของเซลล์ด้วย I V Tester วัดค่าความต้านทานภายในเซลล์ด้วย Electrochemical impedance spectroscopy และวัดกระบวนการรีคอมบิเนชันโดยกราฟ Transient voltage จากการทดลองพบว่า การเคลือบฟิล์ม TiO₂ blocking layer โดยวิธี Dip coating ที่ความหนาฟิล์ม 280 nm. จะให้ประสิทธิภาพของ DSSC สูงสุดที่ 3.75% เมื่อเทียบกับเซลล์มาตรฐานที่ให้ประสิทธิภาพ 3.28% โดยเพิ่มขึ้นประมาณ 14.33% ซึ่งเป็นผลจากฟิล์ม TiO₂ blocking layer ไปลดการเกิดปฏิกิริยารีคอมบิเนชันที่บริเวณรอยต่อ FTO/electrolyte

คำสำคัญ : ชั้นบล็อกกิ้ง, ไททาเนียมไดออกไซด์, เซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง

* ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)
e-mail: chanu_pho@dusit.ac.th

An Improvement of the Efficiency of Dye Sensitized Solar Cells by TiO₂ Blocking Layer

**กิตติกรรมประกาศ ผู้วิจัยขอขอบคุณ น.ส.เพ็ญภา มุขิตามงคล และดร.ชญานา ชนชานนท์ ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา

และอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่สนับสนุนด้านอุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือวิเคราะห์

Abstract

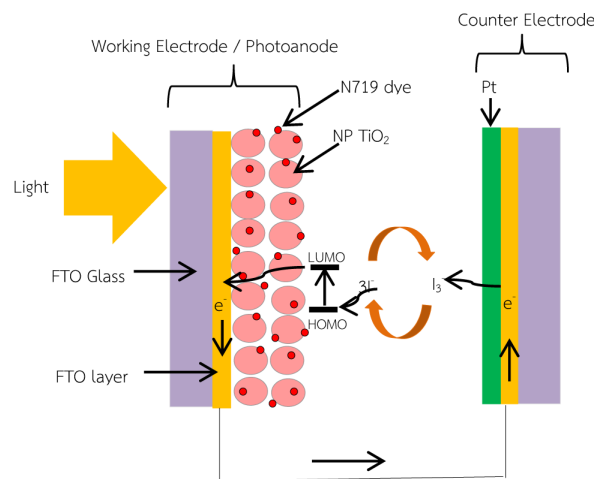
This research aims to improve the efficiency of dye-sensitized solar cell (DSSC) with the synthesis of TiO_2 sol gel which is modified from surfactant-assisted sol gel techniques to prepare the TiO_2 blocking layer by Dip and Spin coating methods. TiO_2 blocking layer film characterization was analyzed by SEM, XRD and UV-vis spectroscopy techniques. The performance and internal resistance of the DSSC were studied by I V Tester and Electrochemical impedance spectroscopy, respectively. The recombination process was measured by using a transient voltage graph. The results showed that coating of TiO_2 blocking layer film by Dip coating, which has 280 nm of thickness, had a maximum efficiency at 3.75% (14.33% increase) when compared to a standard cell at 3.28%. The TiO_2 blocking layer reduces the recombination reaction at the FTO/electrolyte interface.

Keywords: Blocking layer, Titanium dioxide, Dye-sensitized solar cells

บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกมีการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ น้ำมันดิบและถ่านหินที่สูงมาก ส่งผลให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ภายหลังจากการประชุมสุดยอดว่าด้วยปัญหาโลกร้อนที่กรุงโคเปนเฮเกนในปี 2009 (Copenhagen Climate Summit in 2009) (Meng & Li, 2011) ทำให้มีการตื่นตัวอย่างมากต่อภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศโลก ตลอดจนปัญหาการขาดแคลนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลในอนาคต สำหรับในประเทศไทยปี พ.ศ. 2556 พบว่ามีมูลค่าการนำเข้าพลังงานสูงถึง 950,000 ล้านบาท โดยคิดเป็นสัดส่วนนำเข้าน้ำมันดิบสูงถึง 853,000 ล้านบาท (Supakornmongkol et al., 2014) ดังนั้น การค้นหาพลังงานใหม่ที่สะอาดและไม่สร้างมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม มาทดแทนจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งแหล่งพลังงานทดแทนเหล่านี้ ได้แก่ พลังงานลม (Vaivudh, 2013) พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล และพลังงานแสงอาทิตย์ (Wasantiwong et al., 2012) เป็นต้น เมื่อพิจารณาถึงแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์จะพบว่า เป็นพลังงานที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาดและยั่งยืน ในการนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้งาน ส่วนใหญ่พลังงานแสงอาทิตย์จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cells) ซึ่งส่วนมากผลิตจากซิลิกอน ซึ่งมีข้อเสียคือ ราคาแพง และแตกหักง่ายในระหว่างกระบวนการผลิต สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงนั้น (Dye-Sensitized Solar Cells, DSSCs) ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นโดยไมเคิล เกรสเซล (Michael Gratzal) ในปี 1991 (O'Regan & Gratzal, 1991) เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของเซลล์แสงอาทิตย์

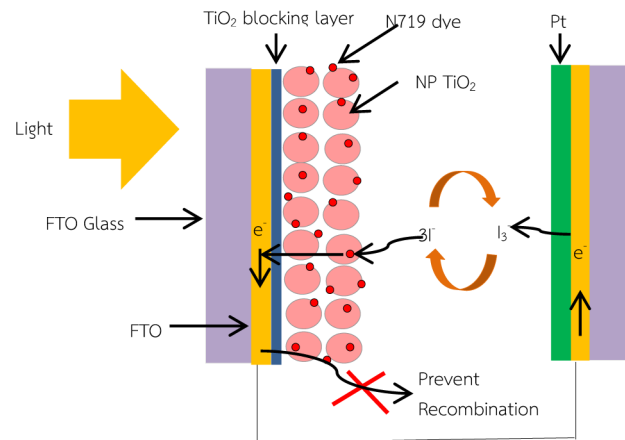
เนื่องจากมีข้อดีคือ กระบวนการผลิตง่าย ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ใช้วัสดุราคาไม่แพง มีต้นทุนต่ำ และนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมได้หลากหลาย (O'Regan & Gratzel, 1991; Noh et al., 2012) โดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงจะประกอบด้วย 1) ชั้นกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง (Transparent Conducting Oxide layer : TCO) เช่น กระจก FTO (Fluorine doped Tin Oxide glass) 2) ชั้นไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีรูพรุน (Nanoporous TiO_2 : NP TiO_2) 3) สีย้อมไวแสง (Dye-sensitized) เช่น สีย้อมไวแสง N719 4) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ เช่น ไอโอดีน/ไตรไอโอดีน ไรดอกซีอิเล็กโทรไลต์ (I^-/I_3^- redox electrolyte) และ 5) ขั้วเคาเตอร์อิเล็กโทรด เช่น แพลททินัมเคาเตอร์อิเล็กโทรด (Pt counter electrode) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างและการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงเริ่มต้น เมื่อมีแสงตกกระทบที่ด้านโฟโตอานอด (Photoanode) โมเลกุลของสีย้อมไวแสงได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ทำให้อิเล็กตรอนอิสระในโมเลกุลสีย้อมดูดกลืนพลังงานเข้าไปและอยู่ในสถานะถูกกระตุ้น (Electron excited state) และกระโดดจากแถบพลังงาน HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) ขึ้นไปยังแถบพลังงาน LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital) จากนั้นอิเล็กตรอนจะถูกฉีด (Electron injection) เข้าไปยังชั้นคอนดักชันแบนด์ (Conduction band) ของไททาเนียมไดออกไซด์ และถูกส่งผ่านต่อไปยังชั้นกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง ที่ชั้นนี้จะมีอิเล็กตรอนสะสมอยู่มาก และเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโหลดภายนอก (External load) จนครบวงจร จะทำให้มีอิเล็กตรอนไหลผ่านโหลดไปยังขั้วแพลททินัม ซึ่งการไหลของอิเล็กตรอนจะเกิดขึ้นต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนกว่าเซลล์จะไม่ได้รับแสง (Zhao et al., 2015) ดังภาพที่ 1 สำหรับปฏิกิริยาที่

เกิดขึ้นในเซลล์ ได้แก่ 1) ปฏิกริยาออกซิเดชันหรือคายรีเจนเนอเรชัน (Dye regeneration) $3I^- \rightarrow I_3^- + 2e^-$
 2) ปฏิกริยารีดักชันหรือรีดอกซ์รีเจนเนอเรชัน (Redox regeneration) เกิดขึ้นที่ขั้วแพลททินัม $I_3^- + 2e^- \rightarrow 3I^-$
 อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงในระดับห้องปฏิบัติการมีประสิทธิภาพ
 สูงสุดที่ 12.3 % (Yella et al., 2011) ซึ่งปัจจัยข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อม
 ไวแสงอันหนึ่งก็คือการเกิดรีคอมบิเนชัน (Recombination) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างอิเล็กตรอนใน
 สภาวะถูกกระตุ้น (Electron excited state) กับ โฮล (Hole) ที่บริเวณผิวรอยต่อ (Interface) ซึ่งได้แก่
 1) ที่บริเวณรอยต่อ TiO_2 /Electrolyte interface คือรอยต่อระหว่างอนุภาคทาทาเนียมไดออกไซด์นาโน (TiO_2
 nanoparticles) กับอิเล็กโทรไลต์ในขั้วโพโตอาโนด 2) ที่บริเวณรอยต่อ FTO/Electrolyte interface คือ
 รอยต่อระหว่างชั้น FTO กับอิเล็กโทรไลต์ (Gu et al., 2014; Bin et al., 2014; Noh et al., 2013;
 Sangiorgi et al., 2014; Jang et al., 2012) การป้องกันการเกิดรีคอมบิเนชันที่บริเวณรอยต่อ TiO_2 /
 Electrolyte interface ในโพโตอาโนด มีหลายวิธีที่จะยับยั้งกระบวนการดังกล่าว ได้แก่ การเคลือบชั้นฟิล์ม
 บาง (Coating of a thin layer) ของสารกึ่งตัวนำ ได้แก่ Nb_2O_5 , ZnO , ZrO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , In_2O_3 , MgO
 บนชั้นฟิล์ม NP TiO_2 หรือ Nanowire (Photiphitak et al., 2012; Photiphitak et al., 2015; Diamant
 et al., 2004; Palomares et al., 2003; Grinis et al., 2010; Law et al., 2006) สำหรับการป้องกันการ
 เกิดรีคอมบิเนชันที่บริเวณรอยต่อ FTO/Electrolyte interface ยังมีการศึกษาไม่มากนักเกี่ยวกับการ
 การเคลือบชั้นฟิล์มบางของ TiO_2 เพื่อกั้นระหว่างชั้น FTO กับชั้น NP TiO_2 เพื่อทำหน้าที่เป็นชั้นปิดกั้น
 อิเล็กตรอน (Electron Blocking layer) (Ito et al., 2008) ดังภาพที่ 2 สำหรับวิธีการเตรียมชั้น TiO_2
 blocking layer นั้นมีรายงานการเตรียมได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้ $TiCl_4$ ทรีสมันต์ ($TiCl_4$ Treatment)
 วิธีสปัตเตอร์ริง (Sputtering), โซล-เจล (Sol-gel), สเปรย์ โค้ทติ้ง (Spray coating), สปิน โค้ทติ้ง (Spin
 Coating) และดิป โค้ทติ้ง (Dip coating) เป็นต้น (Meng & Li, 2011; Gu et al., 2014; Bin et al., 2014;
 Jang et al., 2012; Vesce et al., 2010; Hart et al., 2006)



ภาพที่ 2 แบบจำลองของชั้น TiO_2 blocking layer ที่อยู่ระหว่างชั้น FTO และ Nanoporous TiO_2 ในโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง

ที่มา : ดัดแปลงจาก Bin et al., 2014

จากการศึกษาของ Ma (2004) พบว่า Pore size ในขั้วโฟโตอานอด มีผลกระทบต่อ การแพร่ของอิเล็กโตรไลต์ ใน Nanopore และ Pore size ที่เล็กกว่า 5 – 7 นาโนเมตร จะทำให้เกิด การกีดขวางเนื่องจากขนาด (Steric hindrance) ต่อ อิเล็กโตรไลต์ ผลคือสัมประสิทธิ์การแพร่ของอิเล็กโตรไลต์ ลดต่ำลง ในขณะที่ Jiu et al. (2007) รายงานว่าได้ประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์ TiO_2 sol-gel ซึ่งได้ ดัดแปลงวิธีการสังเคราะห์ TiO_2 Sol-gel จากเทคนิค Surfactant-assisted sol gel เพื่อใช้เตรียมเป็นชั้น NP TiO_2 สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง ซึ่งจากการทดลองพบว่า สามารถเตรียม TiO_2 nanocrystalline ขนาดอนุภาคประมาณ 3 - 5 นาโนเมตรได้ และมีขนาด Nanopore ประมาณ 5.49 นาโนเมตร (Jiu et al., 2007) จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น จึงทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดที่จะสังเคราะห์ TiO_2 sol-gel ด้วยวิธีการของ Jiu et al. (2007) เพื่อนำมาทดลองเตรียมเป็นชั้น TiO_2 blocking layer (TiO_2 BL) ในเซลล์แสงอาทิตย์ แบบสีย้อมไวแสง เพื่อป้องกันการเกิดรีคอมบิเนชันที่บริเวณรอยต่อ FTO/Electrolyte ซึ่งจะช่วยในการ ปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงให้สูงขึ้นได้

วัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงให้สูงขึ้น โดยสร้างชั้น TiO_2 blocking layer ที่มี Nanopore ขนาดเล็ก กั้นระหว่างชั้น FTO และ Electrolyte ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดรีคอมบิเนชัน โดยใช้วิธีการสังเคราะห์ TiO_2 sol gel ซึ่งดัดแปลงจากเทคนิค Surfactant-assisted sol gel

วิธีการวิจัย

1. วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทำวิจัย

วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทำการทดลอง ได้แก่ สาร TiO_2 Paste เกรด DSL 18 NR-T และสี ย้อมไวแสง N719 จาก DYE SOL, สาร Chloroplatinic acid hexahydrate และ 4 tert-butyl pyridine เกรด Purum จาก Sigma-Aldrich, สาร Isopropanol และ Acetylacetone เกรด EMSURE จาก Merck, สาร Pluronic F127 จาก Sigma, สาร HCl และ Acetonitrile เกรด A.R. จาก LAB-SCAN, สาร Lil เกรด Purum จาก Fluka, สาร I_2 เกรด Puriss จาก Sigma-Aldrich, สาร Tetraisopropylorthotitanate (TIPT) และ 3 methyl-2-oxaxolidinone เกรด Purum จาก ALDRICH, Surlyn Film ความหนา 100 μm จาก Ideaprofit และ กระจก FTO จากบริษัทบางกอกโซลาร์ จำกัด

2. การเตรียมชิ้นงานกระจก FTO

ตัดกระจก FTO ขนาด 2 x 3 ซม. นำกระจกไปล้างทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างจาน จากนั้น นำกระจก FTO ไปใส่ใน บีกเกอร์ เติมน้ำ D.I. (Deionized water) ลงไปและนำไปทำความสะอาดด้วย เครื่องอัลตราโซนิก ที่อุณหภูมิ 60° C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเทน้ำ D.I. ที่ นำสารละลายไอโซโพรพานอล (Isopropanol) ใส่ลงไปแทน นำไปทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนและเก็บชิ้นงานกระจก FTO ไว้ในตู้ดูดความชื้น

3. การสังเคราะห์สารละลาย TiO_2 sol-gel โดยดัดแปลงจากเทคนิค Surfactant-assisted sol gel

เตรียมสาร Copolymer F127 จำนวน 6 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 60 มิลลิลิตร ที่ผสม กับกรด HCl ความเข้มข้น 2 M จำนวน 0.2 กรัม กวนสารละลายจนกว่าสาร Copolymer F127 จะละลาย หมด จากนั้นเตรียมสารละลายผสมของสาร Tetraisopropylorthotitanate (TIPT) จำนวน 6.8 กรัม ผสม กับ Acetylacetone (ACA) จำนวน 2.4 กรัม เมื่อผสมกันจะได้สารละลายสีส้ม จากนั้นเทสารละลายผสม สีส้มลงในสารละลายกรด F127 จะเกิดตะกอนสีเหลืองขึ้นทันที ทำการกวนสารละลายที่อุณหภูมิ 40° C จนกระทั่งได้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันและมีสีเหลืองโปร่งใส จากนั้นนำไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น 80° C เป็น เวลา 3 วัน จะได้สารละลาย TiO_2 sol-gel ที่นำไปใช้งานได้ (Jiu et al., 2004; Jiu et al., 2007)

4. การเตรียมชั้นฟิล์ม TiO_2 blocking layer (TiO_2 BL)

4.1 การเตรียมชั้นฟิล์ม TiO_2 blocking layer ด้วยวิธี Dip coating นำกระจก FTO ที่ ทำความสะอาดแล้ว จุ่มในสารละลาย TiO_2 sol-gel ที่เตรียมไว้ ด้วยเครื่อง Dip coating โดยทำการ Vary ความเร็วในการ Dip ได้แก่ 2.93, 9.23 และ 12 ซม./นาที

4.2 การเตรียมชั้น TiO_2 blocking layer ด้วยวิธี Spin coating นำกระจก FTO ที่ทำความสะอาดแล้ววางบนเครื่อง Spin coat หยดสารละลาย TiO_2 sol-gel บนกระจก FTO เกลี่ยสารละลายให้ กระจายเต็มกระจก ตั้งความเร็วการหมุนไว้ 2 ชั้น ชั้นแรกให้หมุนด้วยความเร็วเท่ากับที่ 500 รอบ/นาที เป็น

เวลา 30 วินาที ชั้นที่สอง Vary ความเร็วในการหมุนที่ความเร็วรอบ ได้แก่ 1,000, 2,000, 3,000 และ 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำกระจก FTO ที่เคลือบฟิล์ม TiO_2 sol-gel ไปเผาที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ฟิล์ม FTO/ TiO_2 blocking layer

5. การเตรียมขั้ว TiO_2 working electrode หรือ Nanoporous TiO_2 (NP- TiO_2)

นำกระจก FTO และ FTO/ TiO_2 blocking layer มาเคลือบสาร TiO_2 paste ของบริษัท Dry sol ขนาด 0.5 x 1.2 ซม. (Active area 0.6 cm^2) โดยวิธี Screen printing จำนวน 3 ชั้น จากนั้นนำฟิล์มไปเผาที่อุณหภูมิ 450° C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ฟิล์ม FTO/NP TiO_2 และ FTO/ TiO_2 BL/NP TiO_2 ตามลำดับ

6. การเตรียมขั้ว Pt Counter electrode

นำกระจก FTO ที่เจาะรูขนาด 2 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู ไปทำความสะอาด นำไปเคลือบด้วยสาร Pt paste โดยวิธี Screen printing ขนาด 0.5 x 1.2 ซม. จำนวน 1 ชั้น จากนั้นนำฟิล์มไปเผาที่อุณหภูมิ 450° C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ฟิล์ม FTO/Pt

7. การแช่สีย้อม

นำฟิล์ม FTO/NP TiO_2 electrode และ FTO/ TiO_2 BL/NP TiO_2 electrode แช่ในสารละลายสีย้อม N719 ที่ความเข้มข้น 0.2 mM ในสารละลายเอทานอล เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นล้างสารละลายส่วนเกินออกด้วยเอทานอล ผึ่งให้แห้งและเก็บในตู้ดูดความชื้น

8. การประกอบเซลล์

นำขั้ว Working electrode ประกอบกับ Counter electrode โดยให้แผ่นฟิล์มเซอร์ลีน (Surlyn) อยู่ระหว่างกลางขั้วทั้งสอง ใช้ปืนลมร้อน (Hot gun) เป่าประมาณ 25 วินาที จนแผ่นฟิล์มเซอร์ลีนหลอมละลายและยึดขั้วทั้งสองเข้าด้วยกัน ทิ้งไว้ให้เย็นและเก็บเซลล์ที่เตรียมได้ในตู้ดูดความชื้น

9. การเตรียมสารละลาย iodide/tri-iodide electrolyte

เตรียมสาร LiI 0.5 M, I_2 0.05 M, 4-tert-butyl pyridine 0.5 M ในสารละลายของ Acetonitrile : 3-methyl-2-oxazolidinone (90/10 v/v)

10. การวัดประสิทธิภาพของเซลล์

หยอดสารละลาย I^-/I_3^- อิเล็กโทรไลต์ลงในเซลล์แล้วทำการปิดรูด้วยสก็อตเทป จากนั้นนำเซลล์ไปวัดประสิทธิภาพด้วยเครื่อง Keithley digital source meter (model 2400) และภายใต้เครื่องจำลองสภาวะแสงอาทิตย์ (Solar simulator) ด้วยหลอดซีนอนขนาด 450 วัตต์ ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร (A.M. 1.5)

11. การวิเคราะห์สมบัติทางแสงของฟิล์ม

นำกระจก FTO และกระจก FTO/TiO₂ BL ไปวัดค่าการส่องผ่านแสง (Transmission) ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (Jasco model: V-530)

12. การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคพื้นผิว

นำฟิล์ม FTO/TiO₂ BL/NP TiO₂ ไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy) เพื่อดูโครงสร้างจุลภาคพื้นผิวและความหนาฟิล์ม

13. การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก

นำฟิล์ม FTO/TiO₂ BL ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึกของฟิล์มที่เตรียมได้

14. การวัดค่าความต้านทานภายในเซลล์

นำเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงไปวัดค่าความต้านทานภายในเซลล์ด้วยเครื่อง Electrochemical Impedance spectroscopy

15. การวัดค่า Transient Voltage

นำเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงไปวัดค่า Transient voltage ด้วยเครื่อง Digital phosphor oscilloscope (Tektronix model : TDS 3034B)

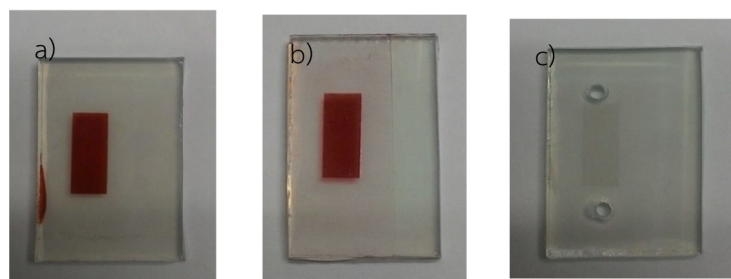
ผลการวิจัย

1. สภาพการเตรียมฟิล์ม TiO₂ BL

ในการทดลองเตรียมฟิล์ม TiO₂ BL บนกระจก FTO ด้วยวิธี Dip coating และ Spin coating ดังภาพที่ 3 โดยทำการ Vary ความเร็วในการ Dip ได้แก่ 2.93, 9.23 และ 12 ซม.ต่อนาที และ Vary ความเร็วรอบของการ Spin ที่ 1000, 2000, 3000 และ 4000 รอบต่อนาที ตามลำดับ และทำการวัดความหนาของฟิล์ม TiO₂ BL ที่เตรียมบนกระจกสไลด์จากภาพถ่ายภาคตัดขวางของฟิล์มด้วยวิธี SEM ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สภาวะการเตรียมฟิล์ม TiO₂ BL โดยวิธี Dip coating และ Spin coating

สภาวะการเตรียมฟิล์ม TiO ₂ BL บนกระจก FTO ด้วยวิธี		ความเร็วในการ Dip coating (ซ.ม./นาทื)	ความเร็วในการ Spin coating (รอบ/นาทื)	ความหนาของฟิล์ม TiO ₂ BL (nm)
Dip coating	Spin coating			
Dip_V1	-	2.93	-	280
Dip_V5	-	9.23	-	174
Dip_V10	-	12	-	149
-	Spin_1000	-	1000	180
-	Spin_2000	-	2000	85
-	Spin_3000	-	3000	74
-	Spin_4000	-	4000	68

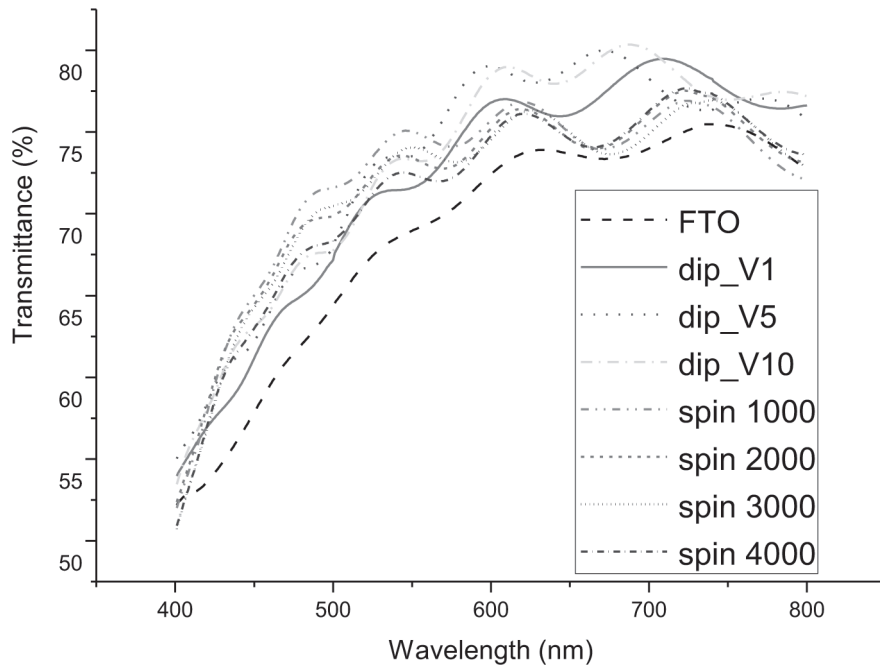


ภาพที่ 3 แสดงขั้ว Working electrode และ Counter electrode

- a) NP TiO₂/N719 dye working electrode,
 b) TiO₂ BL/NP TiO₂/N719 dye working electrode และ
 c) Pt counter electrode

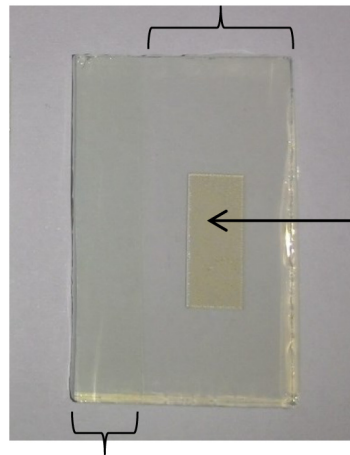
2. การวัดค่าการส่องผ่านแสง (Transmittance) ของฟิล์ม FTO และ FTO/TiO₂ BL

ฟิล์ม FTO และ FTO/TiO₂ BL ที่เตรียมโดยวิธี Dip coating และ Spin coating จะถูกนำไปวัดค่าสเปกตรัมการส่องผ่านแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (Visible range) ประมาณ 400 – 800 nm. เพื่อศึกษาผลกระทบของชั้นฟิล์ม TiO₂ BL ที่มีต่อค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์ม FTO ที่สภาวะการเคลือบต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4 และลักษณะความใสของกระจก FTO เมื่อถูกเคลือบทับด้วยชั้นฟิล์ม TiO₂ BL เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 สเปกตรัมค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์ม FTO เปรียบเทียบกับฟิล์ม FTO/TiO₂ BL ที่สภาวะการเคลือบต่างๆ

บริเวณที่เคลือบฟิล์ม TiO₂ BL ทับบนฟิล์ม FTO



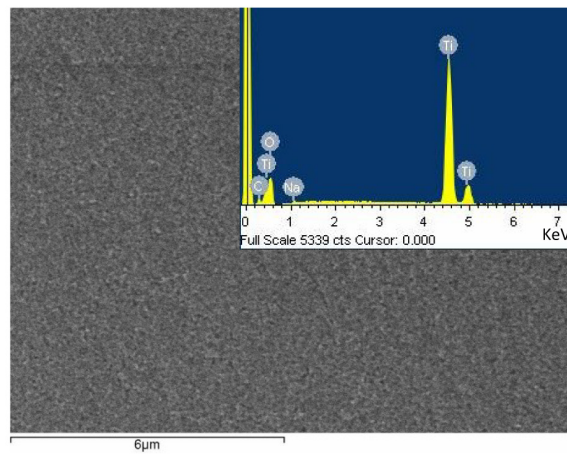
ฟิล์ม Nanoporous TiO₂ ที่
เคลือบทับบนชั้นฟิล์ม TiO₂ BL

บริเวณฟิล์ม FTO ที่ไม่มีการ
เคลือบฟิล์ม TiO₂ BL

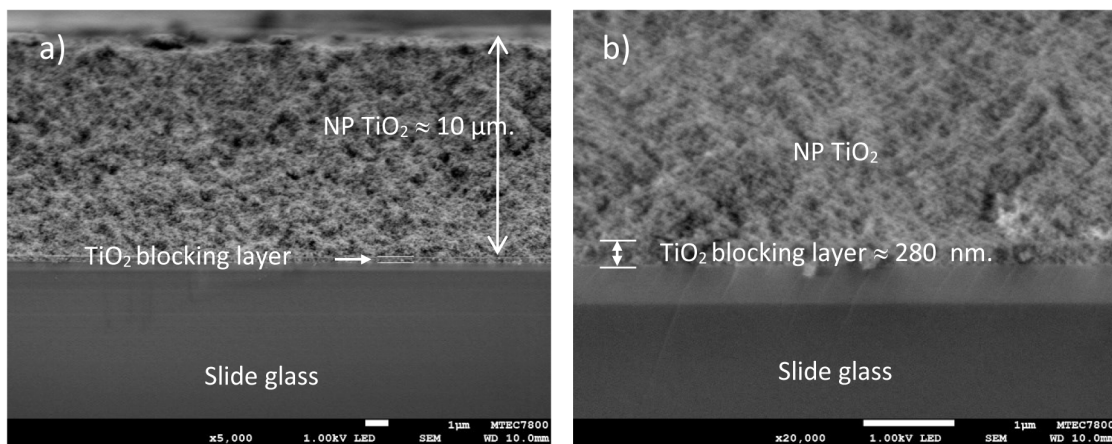
ภาพที่ 5 ลักษณะความใสของฟิล์ม FTO เมื่อถูกเคลือบทับด้วยชั้นฟิล์ม TiO₂ BL (Dip_V1) เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า

3. การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคพื้นผิวและภาคตัดขวางของฟิล์ม NP TiO₂/TiO₂ BL

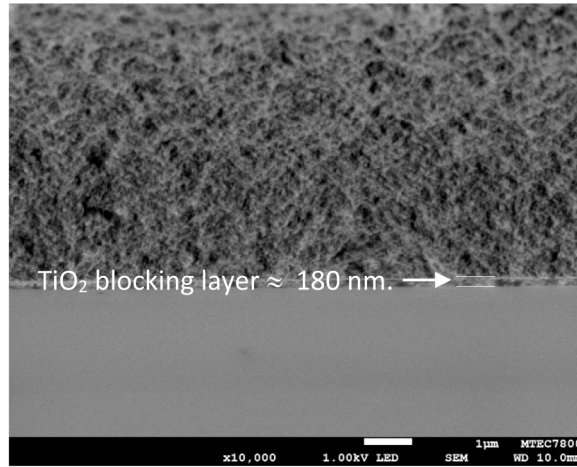
ศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของฟิล์ม TiO₂ BL โดยดูจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และสามารถทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในเนื้อฟิล์มได้ ด้วยเทคนิค EDX (Energy dispersive x ray spectroscopy) ดังภาพที่ 6 สำหรับการศึกษาค่าความหนาของฟิล์ม TiO₂ BL จะใช้วิธีวัดความหนาของฟิล์มจากภาพถ่ายภาคตัดขวางซึ่งดูด้วยกล้อง SEM ดังแสดงในภาพที่ 7 และ 8 เป็นภาพถ่ายภาคตัดขวางของฟิล์ม TiO₂ BL/NP TiO₂ ที่สภาวะ Dip_V1 และ spin_1000 ตามลำดับ



ภาพที่ 6 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคพื้นผิวและการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยโหมด EDS ของฟิล์ม TiO₂ BL บนกระจกสไลด์ ที่เตรียมโดยวิธี Dip coating : dip_V1 x 10,000)



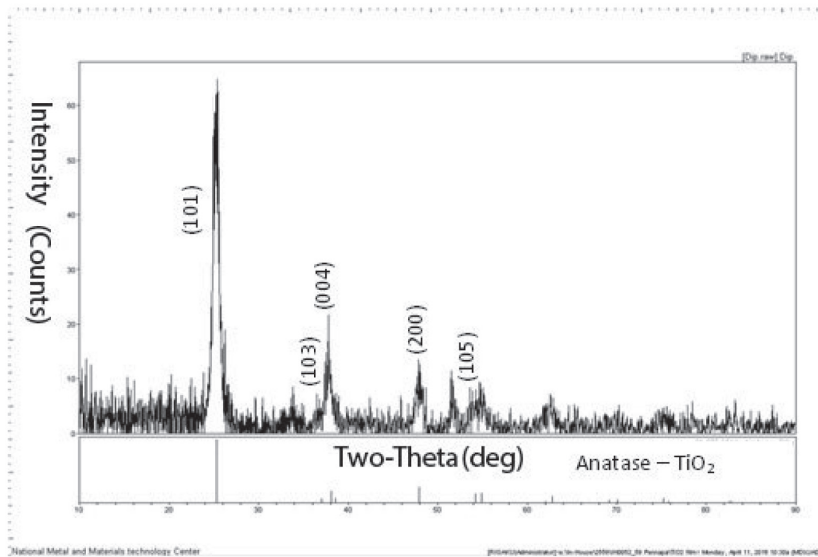
ภาพที่ 7 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของฟิล์ม TiO₂ BL/NP TiO₂ บนกระจกสไลด์ ที่เตรียมโดยวิธี Dip coating : a) dip_V1 x 5,000, b) dip_V1 x 20,000



ภาพที่ 8 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของฟิล์ม TiO_2 BL บนกระจกสไลด์
ที่เตรียมด้วยวิธี Spin coating : spin_1000 x 10,000

4. การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟิล์ม TiO_2 BL

ฟิล์ม TiO_2 BL ที่เตรียมโดยวิธี Dip coating และ Spin coating ด้วยสารละลาย TiO_2 sol-gel จะถูกนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกของฟิล์ม
หลังผ่านกระบวนการเผา โดยนำฟิล์มไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer ดังภาพที่ 9



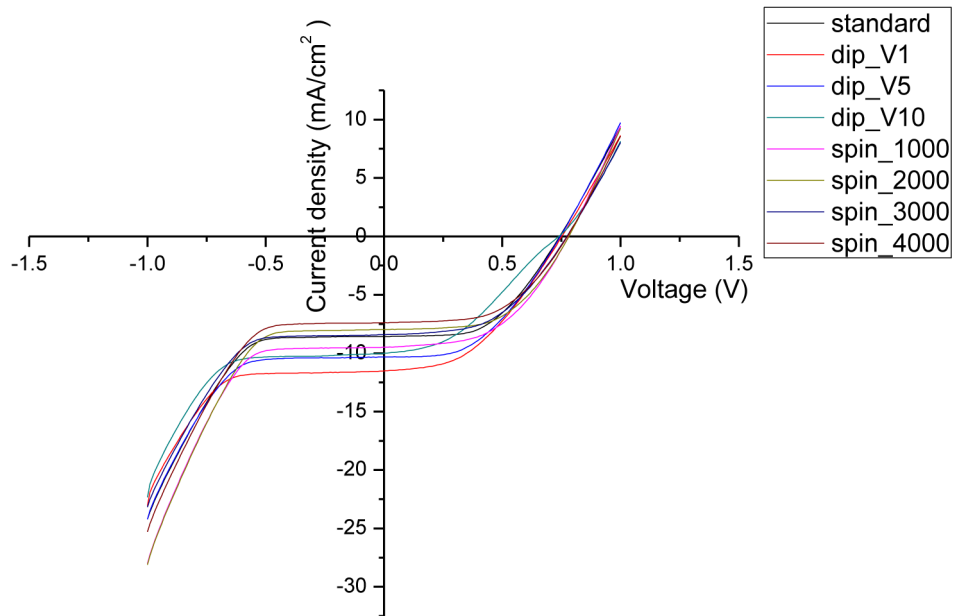
ภาพที่ 9 รูปแบบ X-ray diffraction ของฟิล์ม TiO_2 blocking layer ที่สภาวะ dip_V1

5. การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง

หลังจากที่ทำการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงแบบปกติ (Standard cell) และเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงที่ทำการปรับปรุงด้วยการเพิ่มชั้นฟิล์ม TiO_2 BL เป็นที่เรียบร้อยแล้ว เซลล์ทั้งหมดจะถูกนำมาวัดประสิทธิภาพด้วยเครื่อง Keithley digital source meter (Model 2400) และภายใต้เครื่องจำลองสภาวะแสงอาทิตย์ (Solar simulator) ที่ประกอบด้วยหลอดซีนอนขนาด 450 วัตต์ ให้ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร (A.M. 1.5) ซึ่งผลการวัดประสิทธิภาพแสดงดังตารางที่ 2 และกราฟ I-V Curve ดังภาพที่ 10

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงของเซลล์ Standard และเซลล์ที่เพิ่มชั้น TiO_2 BL

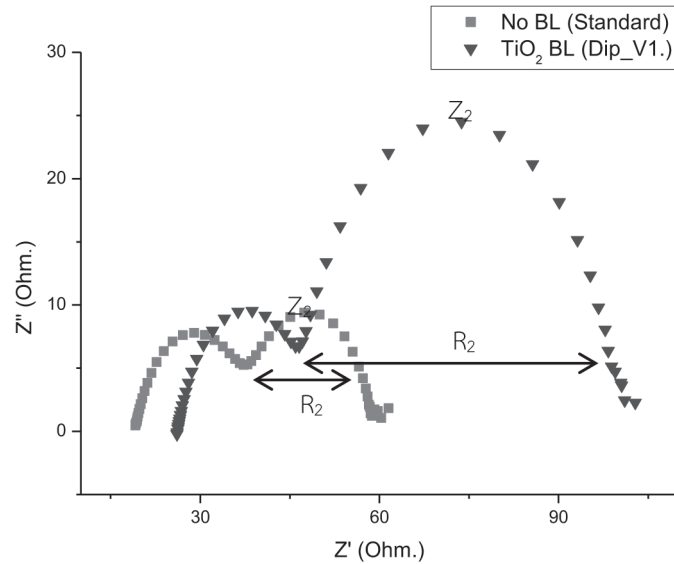
Cell No.	ความหนาของฟิล์ม TiO_2 BL (nm)	VOC (Volt)	JSC (mA/cm^2)	FF	η %	R_{sh} (Ω)	R_s (Ω)
Standard	-	0.73	8.62	51.86	3.28	49.80	4204.44
Dip_V.1	280	0.75	11.52	43.27	3.75	51.95	1226.29
Dip_V.5	174	0.75	10.33	46.92	3.61	48.85	1635.06
Dip_V.10	149	0.74	10.01	37.15	2.75	93.88	735.78
Spin_1000	180	0.78	9.49	50.35	3.73	43.09	1177.24
Spin_2000	85	0.78	7.98	54.77	3.41	45.17	4204.44
Spin_3000	74	0.77	8.42	50.12	3.26	52.28	3462.48
Spin_4000	68	0.77	7.39	53.55	3.07	50.57	1252.39



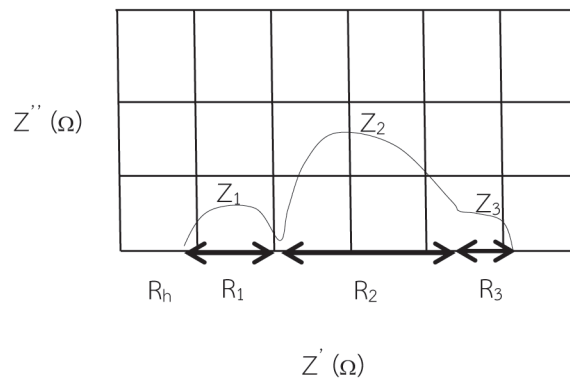
ภาพที่ 10 I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงที่ปรับปรุงด้วยการเคลือบชั้น TiO_2 BL

6. การวัดค่าความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง (DSSC)

สำหรับการทดลองนี้ได้ทำการวัดค่าอิมพีแดนซ์ในช่วงความถี่ตั้งแต่ $0.1 - 10^5$ Hz เพื่อวัดความต้านทานอิมพีแดนซ์ Z_2 ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่บริเวณรอยต่อ $\text{TiO}_2/\text{dye}/\text{electrolyte}$ interface ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง เพื่อเปรียบเทียบค่าอิมพีแดนซ์ Z_2 ของ Standard cell กับเซลล์ที่มีชั้น TiO_2 BL (Dip_V1) ดังภาพที่ 11 ซึ่งสเปกตรัมอิมพีแดนซ์ของ DSSC สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 12



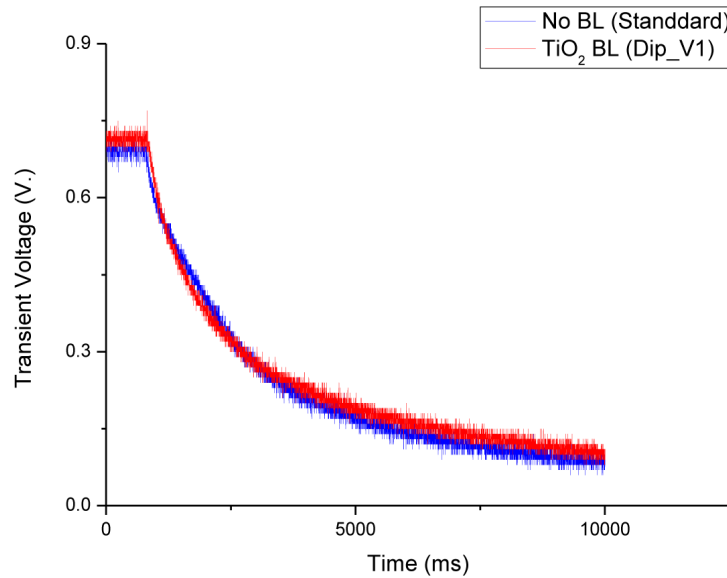
ภาพที่ 11 ค่าความต้านทานภายในของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงในช่วงความถี่ 0.1 – 10⁵ Hz.



ภาพที่ 12 แบบจำลองสเปกตรัมอิเล็กโทรเคมีคอลอิมพีแดนซ์ของ DSSC ที่ประกอบด้วยชั้น $\text{TCO}|\text{TiO}_2\text{-dye}|I^-/I_3^- \text{ electrolyte}|\text{Pt electrode}$

7. การวัดค่า Transient voltage ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง

สำหรับการวัดค่า Transient voltage ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงด้วยเครื่อง Digital phosphor oscilloscope เพื่อศึกษาแนวโน้มการลดลงของ Voltage เทียบกับเวลาเมื่อทำการปิดแสง โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างเซลล์ Standard กับ เซลล์ที่มีชั้น TiO_2 BL (Dip_V1) ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 เปรียบเทียบค่า Transient voltage ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง ที่มีและไม่มีชั้น TiO₂ BL

วิจารณ์ผลการวิจัย

1. สถานะการเตรียมฟิล์ม TiO₂ BL

จากการทดลองเตรียมฟิล์ม TiO₂ BL ด้วยวิธี Dip coating และ Spin coating โดยการ Vary ความเร็วในการ Dip และความเร็วรอบของการ Spin พบว่าฟิล์มที่เตรียมโดยวิธีการ Dip coating ที่สภาวะ Dip_V1 จะมีความหนามากที่สุดประมาณ 280 nm. และเมื่อเพิ่มความเร็วในการ Dip ความหนาฟิล์มจะลดลง ในขณะที่ฟิล์มที่เตรียมโดยวิธี Spin coating ที่สภาวะ Spin_1000 จะมีความหนาที่สุดประมาณ 180 nm. และเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของการ Spin ความหนาฟิล์มจะลดลงเช่นกัน ดังตารางที่ 1

2. การวัดค่าการส่องผ่านแสง (Transmittance) ของฟิล์ม FTO และ FTO/TiO₂ BL

จากการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์ม FTO/TiO₂ BL ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (Visible range) ประมาณ 400 – 800 nm. ดังภาพที่ 4 พบว่าค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์ม FTO/TiO₂ BL ที่เตรียมโดยวิธี Dip coating และ Spin coating ทุกตัวมีค่าสูงกว่าค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์ม FTO เนื่องจากฟิล์มที่เตรียมได้มีลักษณะเป็น Dense TiO₂ films ซึ่งจะช่วยลดปรากฏการณ์การกระเจิงของแสง (Scattering phenomena) ที่เกิดจากชั้น FTO จึงช่วยปรับปรุงให้ค่าการส่องผ่านแสงสูงขึ้น (Xia et al., 2007; Swanepoel, 1983; Shinde et al., 2008) สอดคล้องกับการสังเกตด้วยตาเปล่า ซึ่งพบว่าฟิล์ม FTO ตรงบริเวณที่ถูกเคลือบทับด้วยชั้นฟิล์ม TiO₂ BL จะมีความใสมากกว่าเดิมเล็กน้อย ดังภาพที่ 5 แต่เมื่อความหนาของฟิล์ม TiO₂ BL เพิ่มขึ้นค่า

การส่องผ่านแสงมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากแสงถูกดูดกลืน (Absorbed) และสะท้อน (Reflected) มากขึ้น ในชั้นฟิล์มที่หนาขึ้น (Jang et al., 2012) ดังนั้น TiO_2 sol-gel ที่ผู้วิจัยสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อทดลองใช้เตรียม เป็นชั้น TiO_2 BL ไม่ทำให้ค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์ม FTO ลดลง แต่กลับช่วยเพิ่มค่าการส่องผ่านแสงของ ฟิล์มให้ดีขึ้นเล็กน้อย

3. การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคพื้นผิวและภาคตัดขวางของฟิล์ม NP $\text{TiO}_2/\text{TiO}_2$ BL

จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาคพื้นผิวหน้าของฟิล์ม TiO_2 BL ของตัวอย่าง Dip_V1 ซึ่งเตรียมโดยวิธี Dip coating ที่อัตราเร็วในการ Dip 2.93 ซม./นาที พบว่าอนุภาค TiO_2 ที่ผิวหน้าของฟิล์มมีการจัดเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอ และเป็นเนื้อเดียวกัน สำหรับขนาดของผลึกและ Pore size มีค่าประมาณ 5.3 นาโนเมตร และ 5.49 นาโนเมตร ตามลำดับ อ้างอิงจากงานวิจัยของ Jiu et al. (2007) และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX พบธาตุ Ti และ O ซึ่งเป็นองค์ประกอบของฟิล์ม TiO_2 BL ดังภาพที่ 6 สำหรับความหนาของชั้นฟิล์ม NP TiO_2 สามารถวัดได้จากภาพถ่ายภาคตัดขวางของฟิล์มของตัวอย่าง Dip_V1 ซึ่งวัดความหนาได้ประมาณ 10 ไมครอน ดังภาพที่ 7a และจากการสังเกตลักษณะของเนื้อฟิล์ม NP TiO_2 จะพบว่ามีความพรุน (Porous) กระจายตัวอยู่ในเนื้อฟิล์มเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดรีคอมบิเนชันที่บริเวณผิวรอยต่อ FTO/Electrolyte เนื่องจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์สามารถแพร่ผ่านรูพรุนในเนื้อฟิล์ม NP TiO_2 เข้าไปยังชั้น FTO ได้ (Gu et al., 2014) สำหรับการวัดความหนาของฟิล์ม TiO_2 BL นั้นสามารถวัดได้จากภาพถ่ายภาคตัดขวางดังตัวอย่างของฟิล์ม Dip_V1 และ Spin_1000 ซึ่งวัดความหนาได้ประมาณ 280 และ 180 นาโนเมตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 7b และ 8

4. การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟิล์ม TiO_2 BL

ฟิล์ม TiO_2 BL ของตัวอย่างฟิล์ม Dip_V1 ที่เตรียมโดยวิธี Dip coating ด้วยสารละลาย TiO_2 sol-gel และเผาที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อนำไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง X-ray diffractometer พบว่าฟิล์มมีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ Anatase phase ดังภาพที่ 9

5. การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง (DSSCs)

ในการทดลองปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง โดยการเคลือบชั้น TiO_2 BL บนชั้น FTO โดยวิธี Dip coating และวิธี Spin coating จากผลการวัดประสิทธิภาพของเซลล์ ดังตารางที่ 2 พบว่า DSSCs ที่สภาวะ Dip_V1 ซึ่งทำการเคลือบฟิล์ม TiO_2 BL โดยวิธี Dip coating ที่ความเร็วในการ Dip 2.93 ซม./นาที และความหนาฟิล์ม TiO_2 BL ประมาณ 280 nm จะให้ค่า J_{sc} และ η สูงสุดที่ 11.52 mA/cm² และ 3.75 % ตามลำดับ เปรียบเทียบกับ Standard cell ที่ให้ค่า J_{sc} และ η ที่ 8.62 mA/cm² และ 3.28 % ตามลำดับ ดังนั้นการเคลือบฟิล์ม TiO_2 BL ที่ความหนาประมาณ 280 nm บนฟิล์ม FTO สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ DSSC ได้ถึง 14.33 % ซึ่งความหนาของฟิล์ม TiO_2 BL ที่เตรียมได้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Meng & Li, 2011 และ Gu et al., 2014 ที่ได้เตรียมชั้นฟิล์ม TiO_2 BL ที่ความหนาประมาณ 300 nm 320 nm ตามลำดับ และถ้าลดความหนาของชั้นฟิล์ม TiO_2 BL

ลงจะทำให้ค่า I_{sc} และ η มีแนวโน้มลดลงด้วย ดังภาพที่ 10 นอกจากนี้ยังพบว่าค่า FF จะสัมพันธ์กับค่า series resistance (R_s) (Bin et al., 2014)

6. การวัดค่าความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง

เพื่อศึกษาผลของชั้นฟิล์ม TiO_2 BL ที่เคลือบบนชั้นฟิล์ม FTO ต่อค่าความต้านทานภายในของ DSSC การทดลองนี้จึงได้นำ DSSC ที่เป็น Standard cell และ DSSC สภาวะที่ดีที่สุดคือ Dip_V1 ไปวัดค่าอิมพีแดนซ์เพื่อเปรียบเทียบกัน ด้วยเครื่อง Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) โดยวัดในช่วงความถี่ $0.1 - 10^5$ Hz ซึ่งทำให้กราฟของออกมาเพียง 2 ลูป คือ Z_1 และ Z_2 ดังภาพที่ 11 ในขณะที่ Z_3 แสดงผลไม่สมบูรณ์เนื่องจากต้องวัดในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1 Hz - 0.02 Hz สำหรับแบบจำลองของกราฟอิมพีแดนซ์ของ DSSC ในภาพที่ 12 อธิบายดังนี้ Z_1 , Z_2 และ Z_3 คือค่าอิมพีแดนซ์ และ ค่า R_1 , R_2 , R_3 และ R_h คือค่าความต้านทานภายในของเซลล์ของแต่ละอิมพีแดนซ์ โดยที่ R_1 สัมพันธ์กับค่าความต้านทานการส่งผ่านประจุที่ผิวของ Pt electrode, R_2 สัมพันธ์กับค่าความต้านทานการส่งผ่านประจุที่บริเวณรอยต่อของชั้น TiO_2 /dye/electrolyte ซึ่งสมมูลกับความต้านทานของไดโอด, R_3 สัมพันธ์กับค่าความต้านทานการการแพร่ของอิเล็กโตรไลต์ของ I^- และ I^+ และค่า R_h จะสัมพันธ์กับค่า Sheet resistance ของ TCO (Han et al., 2006) อย่างไรก็ตาม ค่าอิมพีแดนซ์ในลูปที่ 2 หรือ Z_2 เป็นค่าที่เราต้องการศึกษา ซึ่งจากการวัดด้วย EIS พบว่าค่าอิมพีแดนซ์ Z_2 ของ DSSC ที่เคลือบชั้น TiO_2 BL (Dip_V1) มีค่าสูงกว่าค่าอิมพีแดนซ์ของ Standard cell มาก แสดงว่าค่าความต้านทานการส่งผ่านประจุภายในชั้น TiO_2 /dye/electrolyte ของเซลล์มีค่าสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเคลือบฟิล์ม TiO_2 BL บนชั้น FTO เนื่องจากฟิล์ม TiO_2 BL โดยธรรมชาติยังมีรูพรุนอยู่และมีความเป็นผลึกน้อย (Gu et al., 2014) ซึ่งสอดคล้องกับภาพที่ 3b ฟิล์ม TiO_2 BL/NP TiO_2 /N719 dye หลังจากแช่สีย้อม N719 48 ชั่วโมง จะพบว่ามีย้อม N719 แพร่เข้าไปยังชั้น TiO_2 BL ได้เล็กน้อย

7. การวัดค่า Transient voltage ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง (DSSC)

เพื่อศึกษาผลของ TiO_2 BL ที่เคลือบบนฟิล์ม FTO ต่อผลการยับยั้งการเกิดรีคอมบิเนชันที่รอยต่อ FTO/electrolyte โดยนำ DSSC ที่ไม่มีการเคลือบชั้นฟิล์ม TiO_2 BL (Standard cell) และ DSSC ที่มีการเคลือบชั้น TiO_2 BL (Dip_V1) ไปวัดค่า Transient voltage ด้วยเครื่อง Digital phosphor oscilloscope โดยการเปิดและปิดแสง ที่ฉายให้แก่ DSSC และทำการบันทึกข้อมูลการลดลงของ Voltage เทียบกับเวลา และนำไปพลอตกราฟ ดังภาพที่ 13 จากการทดลองพบว่าค่า Transient voltage ของ DSSC ที่เคลือบชั้นฟิล์ม TiO_2 BL (Dip_V1) มีการลดลงที่ช้ากว่าเซลล์มาตรฐาน (Standard cell) เนื่องจากผลของชั้นฟิล์ม TiO_2 BL ไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยารีคอมบิเนชันที่บริเวณรอยต่อของ FTO/electrolyte interface (Gu et al., 2014; Bin et al., 2014; Sangiorgi et al., 2014; Jang et al., 2012) และการที่ Nanopore ของ TiO_2 BL มีขนาดเล็กกว่า $5-7$ nm จะไปขัดขวางการแพร่ของอิเล็กโตรไลต์ (Steric hindrance) ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การแพร่ของอิเล็กโตรไลต์ลดลงด้วย (Gu et al., 2014)

สรุปผลการวิจัย

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง (DSSC) ด้วยการสังเคราะห์ TiO_2 sol gel โดยเทคนิค Surfactant assisted sol gel เพื่อใช้เตรียมชั้นฟิล์ม TiO_2 BL โดยวิธีการขึ้นรูปฟิล์มแบบ Dip coating และ Spin coating พบว่าการเตรียมฟิล์ม TiO_2 BL โดยวิธี Dip coating ที่ความเร็วในการ Dip 2.93 ซม./นาที่ และทำการเผาฟิล์มที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ความหนาฟิล์มประมาณ 280 nm จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 3.75% เปรียบเทียบกับเซลล์มาตรฐานที่มีประสิทธิภาพ 3.28% ซึ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 14.33% เนื่องจากชั้น TiO_2 BL ไปลดการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ที่รอยต่อ FTO/electrolyte ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ที่พบว่าเซลล์ที่มีชั้น TiO_2 BL จะมีค่าความต้านทานการส่งผ่านอิเล็กตรอนที่บริเวณรอยต่อ TiO_2 /dye/electrolyte สูงกว่าเซลล์มาตรฐาน และผลจากกราฟ Transient voltage แสดงให้เห็นว่าเซลล์ที่เคลือบชั้น TiO_2 BL มีค่า Voltage ที่ลดลงช้ากว่าเซลล์มาตรฐาน

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินการศึกษาต่อได้อีก เช่น การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อโครงสร้างผลึกของฟิล์ม TiO_2 blocking layer และการศึกษาผลของความหนาของชั้นฟิล์ม TiO_2 blocking layer ต่อค่าความต้านทานภายในเซลล์ เป็นต้น

References

- Bin, J.W., Kim, D.H., Sung, Y.M. & Park, M.W. (2014). Effect of TiO_2 electron blocking layer on photovoltaic performance of photo-electrochemical cell. *Optical Materials*, 36(8), 1454-1458.
- Diamant, Y., Chappel, S., Chen, S.G., Melamed, O. & Zaban, A. (2004). Core-shell nanoporous electrode for dye sensitized solar cells: the effect of shell characteristics on the electronic properties of the electrode. *Coordination Chemistry Reviews*, 248, 1271-1276.
- Grinis, L., Kotlyar, S., Ruhle, S., Grinblat, J. & Zaban, A. (2010). Conformal Nano-Sized Inorganic Coatings on Mesoporous TiO_2 Films for Low-Temperature Dye-Sensitized Solar Cell Fabrication. *Adv. Funct. Mater.*, 20, 282-288.

- Gu, Z.Y., Gao, X.D., Li, X.M., Jiang, Z.W. & Huang, Y.D. (2014). Nanoporous TiO₂ aerogel blocking layer with enhance efficiency for dye-sensitized solar cells. *Journal of Alloys and Compounds*, 590, 33-40.
- Han, L., Koide, N., Chiba, Y., Islam, A. & Mitate, T. (2006). Modeling of an equivalent circuit for dye-sensitized solar cells: improvement of efficiency of dye-sensitized solar cells by reducing internal resistance. *C.R. Chimie.*, 9, 645-651.
- Hart, J.N., Menzies, D., Cheng, Y.B., Simon, G.P. & Spiccia, L. (2006). TiO₂ sol-gel blocking layers for dye-sensitized solar cells. *Comptes Rendus Chimie*, 9(5-6), 622-626.
- Ito, S., Murakami, TN., Comte, P., Liska, P., Gratzel, C. & Nazeeruddin, MK. (2008). Fabrication of thin film dye sensitized solar cells with solar to electric power conversion efficiency over 10%. *Thin solid films*. 516(14), 4613-4619.
- Jang, K.II., Hong, E. & Kim, J.H. (2012). Effect of an electrodeposited TiO₂ blocking layer on efficiency improvement of dye-sensitized solar cell. *Korean J. Chem. Eng.*, 29(3), 356-361.
- Jiu, J., Isoda, S., Adachi, M. & Wang, F. (2007). Preparation of TiO₂ nanocrystalline with 3-5 nm and application for dye-sensitized solar cell. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 189(2-3), 314-321.
- Jiu, J., Wang, F., Sakamoto, M., Takao, J. & Adachi, M. (2004). Preparation of nanocrystalline TiO₂ with mixed template and its application for dye-sensitized solar cells. *J. Electrochem. Soc.*, 151(10), A1653-A1658.
- Law, M., Greene, LE., Radenovic, A., Kuykendall, T., Liphardt, J. & Yang, P. (2006). ZnO-Al₂O₃ and ZnO-TiO₂ core-shell nanowire dye-sensitized solar cells. *The Journal of Physical Chemistry B*, 110(45), 22652-22663.
- Ma, Y. (2004). *Determination of Noncovalent Intermolecular Interaction Energy from Electron Densities* (Doctoral dissertation). Available from Open Access Theses and Dissertation.
- Meng, L. & Li, C. (2011). Blocking layer Effect on Dye-Sensitized Solar Cells Assembled with TiO₂ Nanorods Prepared by dc Reactive Magnetron Sputtering. *Nanoscience and Nanotechnology Letters*, 3(2), 181-185.
- Noh, S.I., Ahn, H.J. & Riu, D.H. (2012). Photovoltaic properties dependence of dye-sensitized solar cells on sheet resistance of FTO substrate deposite via spray pyrolysis. *Ceramics International*, 12, 6065-6068.

- Noh, S.I., Bae, K.N., Ahn, H.J. & Seong, T.Y. (2013). Improved efficiency of dye-sensitized solar cells through fluorine-doped TiO₂ blocking layer. *Ceramics International*, 39(7), 8097-8101.
- O'Regan, B. & Gratzel, M. (1991). A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. *Nature*, 353(6346), 737-740.
- Palomares, E., Clifford, J.N., Haque, S.A., Lutz, T. & Durrant, J.R. (2003). Control of charge recombination dynamics in dye sensitized solar cells by the use of conformally deposited metal oxide blocking layers. *Journal of the American Chemical Society*, 125(2), 475-482.
- Photiphitak, C., Rakkwamsuk P., Muthitamongkol P. & Thanachayanont C. (2012). Performance enhancement of dye-sensitized solar cell by MgO coating on TiO₂ electrodes. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 63.
- Photiphitak, C., Rakkwamsuk, P., Muthitamongkol, P. & Thanachayanont, C. (2015). A Combined Effect of Plasmon Energy Transfer and Recombination Barrier in a Novel TiO₂/MgO/Ag Working Electrode for Dye-Sensitized Solar Cells. *International Journal of Photoenergy*, 2015, Article ID 795138.
- Sangiorgi, A., Bendoni, R., Sangiorgi N., Sanson, A., & Ballarin, B. (2014). Optimized TiO₂ blocking layer for dye-sensitized solar cells. *Ceramic International*, 40, 10727-10735.
- Shinde, P., Patil, P., Bhosale, P. & Bhosale, C. (2008). Structural, optical, and photoelectrochemical properties of sprayed TiO₂ thin films: effect of precursor concentration. *J. Am. Ceram. Soc.*, 91(4), 1266-1272.
- Supakornmongkol, K., Laemsak, N. & Saksung, P. (2014). The Preparation of a Strategy Plant at Community Level to Produce Diesel Fuel from Biomass of Fast Growing Tree Species. *SDU Research Journal of Sciences and Technology*, 7(1), 71-81. (in Thai).
- Swanepoel, R., (1983). Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon. *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, 16, 1214-1222.
- Vaivudh, S. (2013). A Design of Electricity Generation System from Low Speed Wind Turbine for Household in Non-Grid Community. *SDU Research Journal of Sciences and Technology*, 6(1), 25-36. (in Thai). (in Thai).

- Vesce, L., Riccitelli, R., Soscia, G., Brown, T.M., Di Carlo, A. & Reale, A. (2010). Optimization of nanostructured titania photoanodes for dye-sensitized solar cells: Study and experimentation of TiCl_4 treatment. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 356(37), 1958-1961.
- Wasantiwong, K., Wanitchang, P., Chanchaen, P., Imsil, A., Wasantiwong, J. & Kaewkrajang, S. (2012). Quality Changing of Khao Dawk Mali 105 Variety by Solar Heat Treatment. *SDU Research Journal of Sciences and Technology*, 5(2), 27-36. (in Thai).
- Xia, J.B., Masaki, N., Jiang, K. & Yanagida, S. (2007). Fabrication and characterization of thin Nb_2O_5 blocking layers for ionic liquid-based dye-sensitized solar cells. *J. Photobiol. A : Chem.*, 188, 120-127.
- Yella, A., Lee, H.W., Tsao, H.N., Yi, C.Y., Chandiran, A.K., Nazeeruddin, M.K., Diau, E.W.G., YEH, C.Y., Zakeeruddin, S.M. & Gratzel, M. (2011). Porphyrin-sensitized solar cells with cobalt (II/III) -base redox electrolyte exceed 12 percent efficiency. *Science*, 334(6056), 629-634.
- Zhao, L., Zhong, C., Wang, Y., Wang, S. & Dong, B. (2015). Ag nanoparticle-decorated 3D flower-like TiO_2 hierarchical microstructure composed of ultrathin nanosheets and enhanced photoelectrical conversion properties in dye-sensitized solar cells. *Journal of Power Source*, 292, 49-57.

คณะผู้เขียน

ดร.ชานู โพรพิทักษ์

อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
295 ถนนนครราชสีมา เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300
e-mail: chanu_pho@dusit.ac.th

นางสาวสุกัลยา ขุนจรรย์

นักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000
e-mail: sukunya992@hotmail.com