สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ง
สารบัญ.....ฉ
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญภาพ.....ฌ

บทที่ 1 บทนำ.....1
ความเป็นมาและความสำคัญ.....1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....4
ขอบเขตการวิจัย.....4
ข้อจำกัด.....5
สมมติฐานการวิจัย.....5
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย/(นิยามศัพท์เฉพาะ).....5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....5

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....7
สมบัติของสารไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2).....7
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye – sensitized Solar Cells).....8
การวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....11
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
(Scanning Electron Microscopy : SEM).....14
เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD).....16
การวิเคราะห์หาขนาดของเม็ดผลึกผงจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.....22
เครื่อง UV-vis spectrophotometer.....23
ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-vis spectrophotometer.....24
เครื่องสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไป.....25
หลักการกระเจิงแสง.....26

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....28

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....31
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....31
วิธีการดำเนินงานวิจัย.....33

บทที่ 4 ผลการวิจัย.....48
ผลของการประดิษฐ์เครื่องเคลือบแบบฉีดพ่นไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....48
ผลของขั้นตอนการเตรียมชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์.....49
ผลของการวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้าง เชิงสัณฐาน เชิงแสง และประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากการเตรียมชั้นกระเจิงแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคฉีดพ่น.....53

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....72
สรุปผลการวิจัย.....72
วิจารณ์ผลและข้อเสนอแนะ.....72

บรรณานุกรม.....74
บรรณานุกรมภาษาไทย.....74
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ.....75

ภาคผนวก.....78
ภาคผนวก ก.....79
ภาคผนวก ข.....88
ภาคผนวก ค.....92

ประวัติผู้วิจัย.....107

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของไทเทเนียมไดออกไซด์.....8

2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์แต่ละรูปแบบโครงสร้าง.....8

2.3 การหาค่า α แสดงความสัมพันธ์ของอนุภาค (D) ที่ขนาด 0.1 ถึง 0.6 ไมโครเมตร กับความยาวคลื่น (λ) เท่ากับ 0.488 และ 0.6328 ไมโครเมตร.....28

3.1 แสดงเงื่อนไขการเคลือบชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการฉีดพ่นที่อุณหภูมิห้อง...41

4.1 แสดงค่าความแตกต่างของการเตรียมชั้นกระเจิงแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคฉีดพ่นในแต่ละเงื่อนไข.....71

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 ลักษณะโครงสร้างผลึกของ TiO_2.....7

2.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....9

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่แสงอาทิตย์กระทำกับเส้นตั้งฉากที่ผิวโลกกับค่ามวลอากาศ 13

2.4 กราฟลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ (I-V curve) ของเซลล์แสงอาทิตย์ 13

2.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 14

2.6 โครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)..... 15

2.7 ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 16

2.8 เครื่องตรวจวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD)..... 17

2.9 แสดงระยะห่างระหว่างระนาบ d 17

2.10 จุดกำเนิด (origin) ของแกน x, y, z 18

2.11 จุดตัดของระนาบแกน x, y, z 19

2.12 พิสูจน์กฎของแบรกส์..... 20

2.13 ตัวอย่างผลวิเคราะห์ที่ได้จากการวัดแผ่นฟิล์มบางด้วย XRD 21

2.14 เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer 23

2.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) และค่าความยาวคลื่น (wavelength).....24

2.16 องค์ประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer 25

2.17 Double beam spectrophotometer 26

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.18 ปรากฏการณ์การกระเจิงแสงเมื่อตกกระทบบนอนุภาค 26

3.1 แสดงไดอะแกรมของเครื่องเคลือบแบบฉีดพ่นชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ 33

3.2 แสดงการเตรียมกระจกนำไฟฟ้า (FTO).....35

3.3 การบดวัสดุธรรมชาติส แสดงกระจกนำไฟฟ้าที่ติดเทปสำหรับมาร์คกิ้ง (Kapton tape) เพื่อใช้ในการทำเป็นขั้วไฟฟ้า.....35

3.4 แสดงการเคลือบ blocking layer ด้วย TiO_2 36

3.5 แสดงการดึงเทปสำหรับมาร์คกิ้ง (kapton tape) ออก..... 37

3.6 แสดงการใส่กระจกนำไฟฟ้าในช่องบล็อกสกรีน (block screen)..... 37

3.7 แสดงการสกรีนไทเทเนียมไดออกไซด์ 38

3.8 แสดงตัวอย่างที่ทำการเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคสกรีน..... 38

3.9 แสดงการเตรียมสารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ 39

3.10 แสดงการฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ 40

3.11 การเผาขั้วไฟฟ้าสารกึ่งตัวนำ TiO_2..... 40

3.12 แสดงตัวอย่างที่ทำการเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคสเปรย์ 41

3.13 แสดงการเตรียมกระจกนำไฟฟ้า 42

3.14 แสดงกระจกนำไฟฟ้าที่ติดเทปสำหรับมาร์คกิ้งเพื่อใช้ในการทำเป็นขั้วไฟฟ้า 43

3.15 แสดงตัวอย่างก่อนเผาที่ทำการเคลือบแพลทินัม (Platinum, Pt) ด้วยเทคนิคสปิน.....43

3.16 แสดงตัวอย่างหลังเผาที่ทำการเคลือบแพลทินัม (Platinum, Pt) ด้วยเทคนิคสปิน 44

3.17 แสดงการแช่ชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ลงในสารละลาย Dye ชนิด N719..... 44

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

3.18 แสดงตัวอย่างหลังแช่ชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ลงในสารละลาย Dye ชนิด N719.....45

3.19 แสดงขนาดของพาราฟิล์ม.....45

3.20 แสดงการนำพาราฟิล์มไปวางบนขั้วเวิร์คกิ้ง.....46

3.21 แสดงเซลล์ที่ประกอบเสร็จเรียบร้อย.....46

3.22 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....47

3.23 แสดงการวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์.....47

4.1 ระบบฉีดพ่นจากการพัฒนาเครื่องเคลือบแบบฉีดพ่นไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....48

4.2 กระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการทำความสะอาด 49

4.3 กระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการเคลือบชั้น blocking layerTiO_2 ด้วยเทคนิคสปิน.....50

4.4 กระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคสกรีน 51

4.5 การเตรียมสารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ สำหรับฉีดพ่นเพื่อทำชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์.....52

4.6 กระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการเคลือบชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธีการฉีดพ่น 52

4.7 ข้าวเหนียวดำแห้งในบิวทานอลผสมอะซิโตไนไตรล์กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์บนแผ่นรองรับกระจกนำไฟฟ้า (FTO) 53

4.8 ข้าวเหนียวดำสดในบิวทานอลผสมอะซิโตไนไตรล์ลักษณะทางกายภาพของแผ่นรองรับฉีดพ่นเคลือบที่ 5 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....55

4.9 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดพ่นเคลือบที่ 5 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....55

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

4.10 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดพ่นเคลือบที่ 5 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า..... 56

4.11 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นรองรับฉีดพ่นเคลือบที่ 10 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....57

4.12 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดพ่นเคลือบที่ 10 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....57

4.13 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดพ่นเคลือบที่ 10 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....58

4.14 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นรองรับฉีดพ่นเคลือบที่ 15 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....59

4.15 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดพ่นเคลือบที่ 15 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....60

4.16 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดพ่นเคลือบที่ 15 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....60

4.17 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นรองรับฉีดพ่นเคลือบที่ 20 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....61

4.18 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดพ่นเคลือบที่ 20 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....62

4.19 ลักษณะภาคตัดขวาง (crossection) ของแผ่นรองรับฉีดพ่นเคลือบที่ 20 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....63

4.20 ลักษณะทางกายภาพของเซลล์ที่ไม่มีชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....64

4.21 ลักษณะภาคตัดขวางของเซลล์ที่ไม่มีชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.22 ลักษณะทางกายภาพของเซลล์มาตรฐานไทเทเนียมไดออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า....65

4.23 ลักษณะภาคตัดขวางของเซลล์มาตรฐานไทเทเนียมไดออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า....66

4.24 ลักษณะภาคตัดขวางของเซลล์มาตรฐานไทเทเนียมไดออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า....66

4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านกับความยาวคลื่น ที่ได้จากการเตรียมชั้นกระเจิงแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคฉีดพ่นในแต่ละเงื่อนไข....67

4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสะท้อนกับความยาวคลื่น ที่ได้จากการเตรียมชั้นกระเจิงแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคฉีดพ่นในแต่ละเงื่อนไข....68

4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น ที่ได้จากการเตรียมชั้นกระเจิงแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคฉีดพ่นในแต่ละเงื่อนไข....69

4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) และความหนาแน่นกระแส (J) ที่ได้จากการเตรียมชั้นกระเจิงแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคฉีดพ่นในแต่ละเงื่อนไข....70

ก-1 แสดงโครงสร้างของเครื่อง.... 80

ก-2 แสดงการติดตั้งพัดลมจับแผ่นรองรับอุปกรณ์.... 81

ก-3 แสดงการติดตั้งสวิตซ์เปิดปิดพัดลม.... 81

ก-4 แสดงการวัดความเร็วรอบ.... 82

ก-5 แสดงหัวฉีดพ่นสารละลาย.... 82

ก-6 แสดงกระบอกใส่สารละลาย.... 83

ก-7 แสดงปืนลมเพื่อใช้กดปล่อยแรงดันแก๊ส.... 83

ก-8 แสดงการเชื่อมหัวฉีดพ่น กระบอกใส่สาร และปืนลมกดปล่อยแรงดัน.... 84

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

ก-9 แสดงแสดงการติดตั้งตัวควบคุมอัตราการไหล (flow meter) 84

ก-10 แสดงระบบเครื่องเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ 85

ก-11 แสดงการตัดกระจกนำไฟฟ้าเพื่อเตรียมแผ่นรองรับ 85

ก-12 แสดงการล้างกระจกนำไฟฟ้า 86

ก-13 แสดงการพ่นเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ 86

ก-14 แสดงผลก่อนการพ่นเคลือบและหลังการพ่นเคลือบตามลำดับ
(ก) กระจกนำไฟฟ้าที่ยังไม่เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์
(ข) กระจกนำไฟฟ้าที่เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 10 ครั้ง 87

ข-1 เครื่องวัดความเร็วรอบ และหัววัดความเร็วรอบ 89

ข-2 แสดงการเปลี่ยนหน่วยวัดความเร็ว 90

ข-3 แสดงการวัดความเร็วรอบด้วยแสงเลเซอร์ 90

ข-4 แสดงการอ่านค่าความเร็วรอบ 91

ค-1 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจกนำไฟฟ้า
ของเซลล์ที่ทำการฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 10 ครั้ง 93

ค-2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจกนำไฟฟ้า
ของเซลล์ที่ทำการฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 10 ครั้ง 95

ค-3 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ฉีดพ่น 5 ครั้ง 98

ค-4 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ฉีดพ่น 10 ครั้ง 99

ค-5 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ฉีดพ่น 15 ครั้ง 100

ค-6 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ฉีดพ่น 20 ครั้ง 101

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

ค-7 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ไม่มีชั้นกระเจิงแสง 102

ค-8 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ของเซลล์มาตรฐาน 103