บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

พลังงานเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของคนทั่วโลก ซึ่งพลังงานที่เรานำมาใช้ในปัจจุบันนั้นก็มีที่มาจากแหล่งต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น น้ำมัน ถ่านหิน หรือก๊าซธรรมชาติ แต่จะมีใครทราบไหมว่าพลังงานเหล่านี้กำลังจะหมดไป เนื่องจากในปัจจุบันอัตราการใช้พลังงานได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น และแหล่งพลังงานเหล่านี้ส่งผลก่อให้เกิดภัยธรรมชาติมากมายที่กำลังเกิดขึ้นในยุคปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์จึงได้คิดสร้างแหล่งพลังงานที่ยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แสวงหาพลังงานทางเลือกใหม่ที่ไม่มีวันหมดมาทดแทนพลังงานรูปแบบเดิม ที่กำลังจะหมดไป ทางเลือกใหม่มาจากหลายแหล่งที่มา เช่น พลังงานจากลม พลังงานจากน้ำ พลังงานจากความร้อนใต้พื้นพิภพ หรือแม้กระทั่งพลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ ก็ถูกนำมาใช้ด้วย

นอกเหนือจากพลังงานที่กล่าวมายังมีพลังงานที่ไม่สามารถมองข้ามได้นั่นก็คือพลังงานที่มาจากดวงอาทิตย์ซึ่งถือว่าเป็นพลังงานสะอาดและไม่มีวันหมด ดังนั้นหากเราสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ เราจะมีพลังงานใช้อย่างมหาศาล แต่การที่จะนำพลังงานจากดวงอาทิตย์มาใช้ได้นั้นเราจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานที่เราต้องการ ซึ่งสิ่งนั้นก็คือเซลล์แสงอาทิตย์ (solar cells)

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่จะเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ทำมาจากผลึกซิลิกอน (crystalline silicon) ที่มีความบริสุทธิ์สูง ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 12 – 17 % แต่ราคาเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากผลึกซิลิกอนนั้นค่อนข้างสูง และไม่สามารถจะลดลงอีกได้มากนัก เนื่องจากผลึกซิลิกอน ส่วนประกอบที่สำคัญของอุตสาหกรรมอิเลคทรอนิคส์ จึงมีคุณค่าเพิ่ม (value added) ที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนั้นกรรมวิธีในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จากผลึกซิลิกอน ต้องทำในห้องที่เป็นห้องสะอาด และที่สำคัญผลึกซิลิกอนจะต้องนำมาเลื่อยให้เป็นแผ่น (wafer) บางๆ จึงทำให้เกิดการสูญเสียในลักษณะ ขี้เลื่อยไปไม่น้อยกว่าครึ่ง และที่สำคัญยังเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย และด้วยเหตุนี้จึงได้มีผู้คิดค้นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไวแสง (Dye-Sensitized Solar Cells, DSSCs) ขึ้น เพื่อนำมาทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอน ทั้งนี้เนื่องจากราคาที่ถูกมาก การผลิตที่ง่ายและที่สำคัญไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีส่วนประกอบของขั้วไฟฟ้าที่สำคัญอยู่สองขั้วด้วยกัน คือ ขั้วโฟโตอิเล็กโทรด (photoelectrode) และขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด (counterelectrode) โดยในขั้วโฟโตอิเล็กโทรดนั้นจะประกอบไปด้วยกระจกนำไฟฟ้า สารกึ่งตัวนำ และสีย้อมไวแสง ส่วนขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดจะประกอบด้วยกระจกนำไฟฟ้าที่ฉาบด้วยแพลทินัม (Platinum, Pt) เมื่อเริ่มการทำงานสีย้อมไวแสงจะทำการดูดกลืนพลังงานแสง (photon energy) ในช่วงคลื่นที่ตาเรามองเห็นจากดวงอาทิตย์ แล้วทำการปล่อยอิเล็กตรอนอิสระออกมาสู่เซลล์ โดยจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นของสารกึ่งตัวนำไปยังกระจกนำไฟฟ้าแล้วเคลื่อนที่ออกสู่วงจรภายนอก หลังจากนั้นอิเล็กตรอนที่สูญเสียพลังงานจากวงจรภายนอกก็จะเคลื่อนที่กลับสู่เซลล์ผ่านทางขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด โดยมีสารละลายอิเล็กโตรไลต์ ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน-ออกซิเดชัน

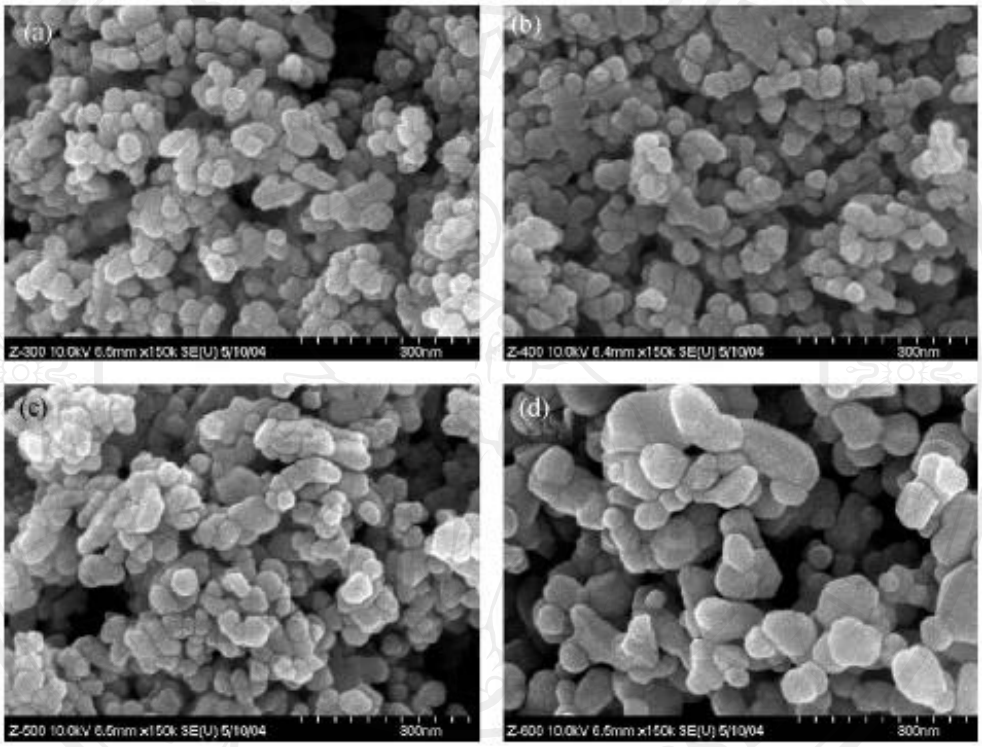
จากหลักการข้างต้นจะเห็นว่าสีย้อมไวแสงเป็นส่วนประกอบอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญมากสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ปัจจุบันสีย้อมไวแสงที่ใช้ยังมีช่วงการดูดกลืนพลังงานแสงไม่ครอบคลุมช่วงคลื่นที่ตาเรามองเห็น (400-700 nm) ตัวอย่างเช่น ในห้องปฏิบัติการของเราได้ใช้อีโอซินวาย (Eosin-Y) เป็นสีย้อมไวแสง มีช่วงในการดูดกลืนพลังงานแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 470-550 nm ซึ่งถือว่าแคบมาก และส่วนที่สำคัญไม่แพ้กัน คือ สารกึ่งตัวนำที่ใช้เป็นขั้วโฟโตอิเล็กโทรดที่จะต้องมีสมบัติในการดูดซับโมเลกุลของสีย้อมไวแสงได้ดี ดังนั้นเราจึงมีสมมุติฐานว่าถ้าเราสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับโมเลกุลของสีย้อมได้มาก และทำให้อิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นสามารถเคลื่อนที่ได้ดี ทำให้เซลล์มีความต้านทานน้อย ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงก็น่าจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเพื่อตรวจสอบสมมุติฐานข้างต้น งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยการประยุกต์ และดัดแปลงโฟโตอิเล็กโทรด ด้วยการใช้ซิงก์ออกไซด์อนุภาคนาโน, ซิงก์ออกไซด์เตตระพอด และผงซิงก์ออกไซด์เป็นแบบฟิล์มสองชั้น และแบบฟิล์มผสม ซึ่งถ้าเป็นไปตามสมมุติฐาน ประสิทธิภาพเซลล์ที่ได้ ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น

ในปี 1991 M. Grätzel [1] เป็นนักวิจัยคนแรกที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ในตอนนั้น Grätzel ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO_2) เป็นสารกึ่งตัวนำ เนื่องจาก TiO_2 เป็นสารที่มีช่องว่างของแถบพลังงานกว้าง และสีย้อมไวแสงที่ใช้ในตอนนั้นก็คือ ruthenium bipyridyl complexes [$Ru(4,4/-dicarboxylic\ acid\text{-}2\text{-}2/-bipyridine)_2(NCS)_2$] (N719) ซึ่งเมื่อทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เตรียมได้พบว่าประสิทธิภาพของเซลล์ที่เตรียมได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีค่ามากกว่า 10% โดยเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคของ TiO_2 ที่เล็กจะส่งผลให้สีย้อมมีพื้นที่ที่จะใช้ยึดเกาะมากขึ้น

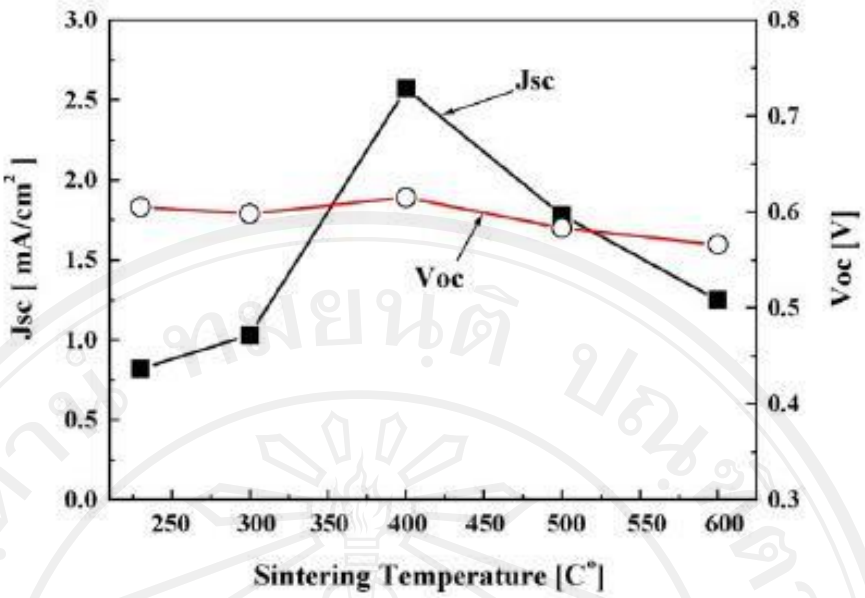
ในปี 2006 W.J. Lee และคณะ [2] ได้ศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งได้ใช้ ZnO-powder ที่มีขนาดอนุภาคมากกว่า 100 nm สกรีนลงบนกระจกนำไฟฟ้า แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 300 - 600 ºC เสร็จแล้วนำไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ดังแสดงในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 โครงสร้างซิงก์ออกไซด์ เผาที่อุณหภูมิ a) 300 ºC, b) 400 ºC, c) 500 ºC และ d) 600 ºC [2]

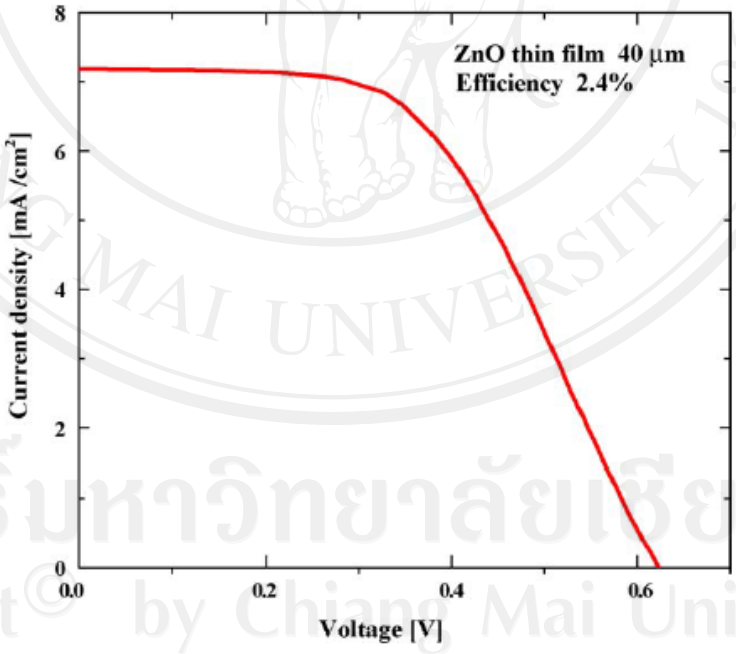
จากนั้นนำไปแช่ใน Eosin-Y ความเข้มข้น 3.2×10^{-4} mol/L มีสูตรทางเคมีเป็น ($C_{20}H_6O_5Br_4Na_2$) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสีย้อมไวแสงที่มีเอทานอล (Ethanal) เป็นตัวทำละลาย โดยแช่นาน 30 นาที หลังจากนั้นทำการประกอบเซลล์ที่มีแพลทินัมเป็นขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด แล้วหยดอิเล็กโทรไลต์ที่ผสมระหว่าง Tetra-n-Propylammonium Iodide $(CH_3CH_2CH_2)_4NF$ เข้มข้น 0.5 mol/L กับ Iodine (I_2) เข้มข้น 0.05 mol/L นำเซลล์ที่ได้ไปทำการวัดประสิทธิภาพจะได้ผลดังภาพที่ 1.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 1.2 ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (J_{SC}) กับความต่างศักย์ไฟฟ้า (V_{OC}) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ได้ เมื่อเผาในอุณหภูมิต่างๆ [2]

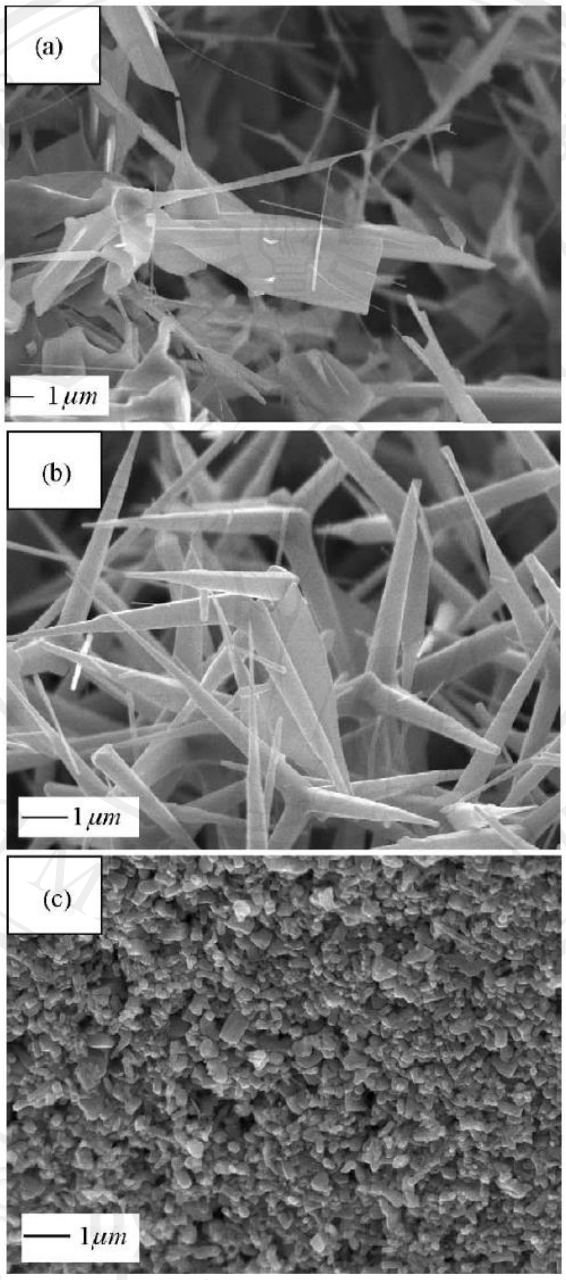
นอกจากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบความหนาของซิงก์ออกไซด์ ที่ 10 และ 40 μm พบว่าที่ความหนา 40 μm จะทำให้เซลล์มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยมีค่าสูงสุดเป็น 2.4% ดังแสดงในภาพที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 J-V characteristics curve ของฟิล์มซิงก์ออกไซด์ ที่มีความหนา 40 μm [2]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

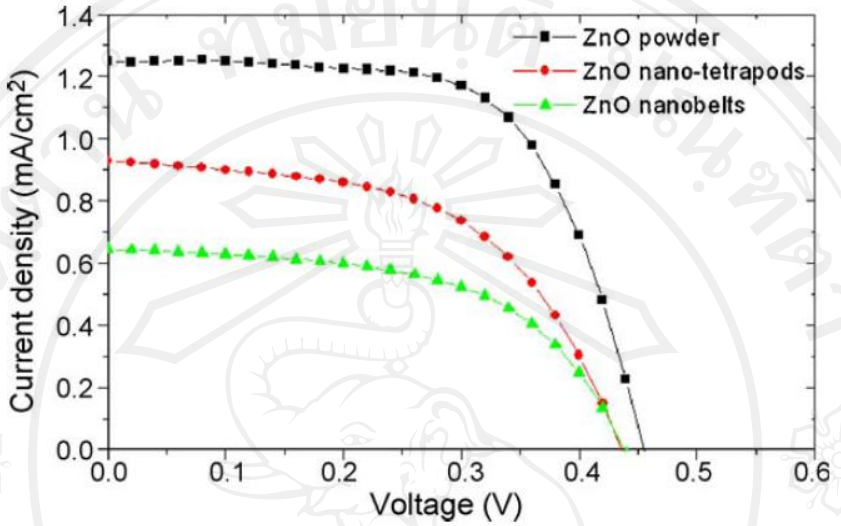
ในปี 2009 ผศ.ดร.สุภาพ ชูพันธ์ และคณะ [3] ได้ศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไว้แสง ซึ่งได้ใช้ ZnO-powder , ZnO nano-tetrapod และ ZnO-nanobelt สกรีนลงบนกระจกนำไฟฟ้า แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 400 ºC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เสร็จแล้วนำไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ดังแสดงในภาพที่ 1.4



ภาพที่ 1.4 โครงสร้างของซิงก์ออกไซด์ แบบต่างๆ a) ZnO-nanobelt, b) ZnO nano-tetrapod, c) ZnO-powder [3]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งโครงสร้าง ZnO-nanobelt และ ZnO nano-tetrapod เตรียมได้จากการเผาด้วยความร้อน (thermal oxidation reaction technique) ที่อุณหภูมิ 1000 ºC แล้วนำไปแช่ใน Eosin-Y มีสูตรทางเคมีเป็น ($C_{20}H_6O_5Br_4Na_2$) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสีย้อมไวแสง โดยแช่นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการประกอบเซลล์ที่มีแพลทินัมเป็นขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด แล้วหยดอิเล็กโทรไลต์ นำเซลล์ที่ได้ไปทำการวัดประสิทธิภาพจะได้ผลดังภาพที่ 1.5 และตารางที่ 1.1



ภาพที่ 1.5 J-V characteristics curves ของฟิล์มซิงก์ออกไซด์ แต่ละโครงสร้าง [3]

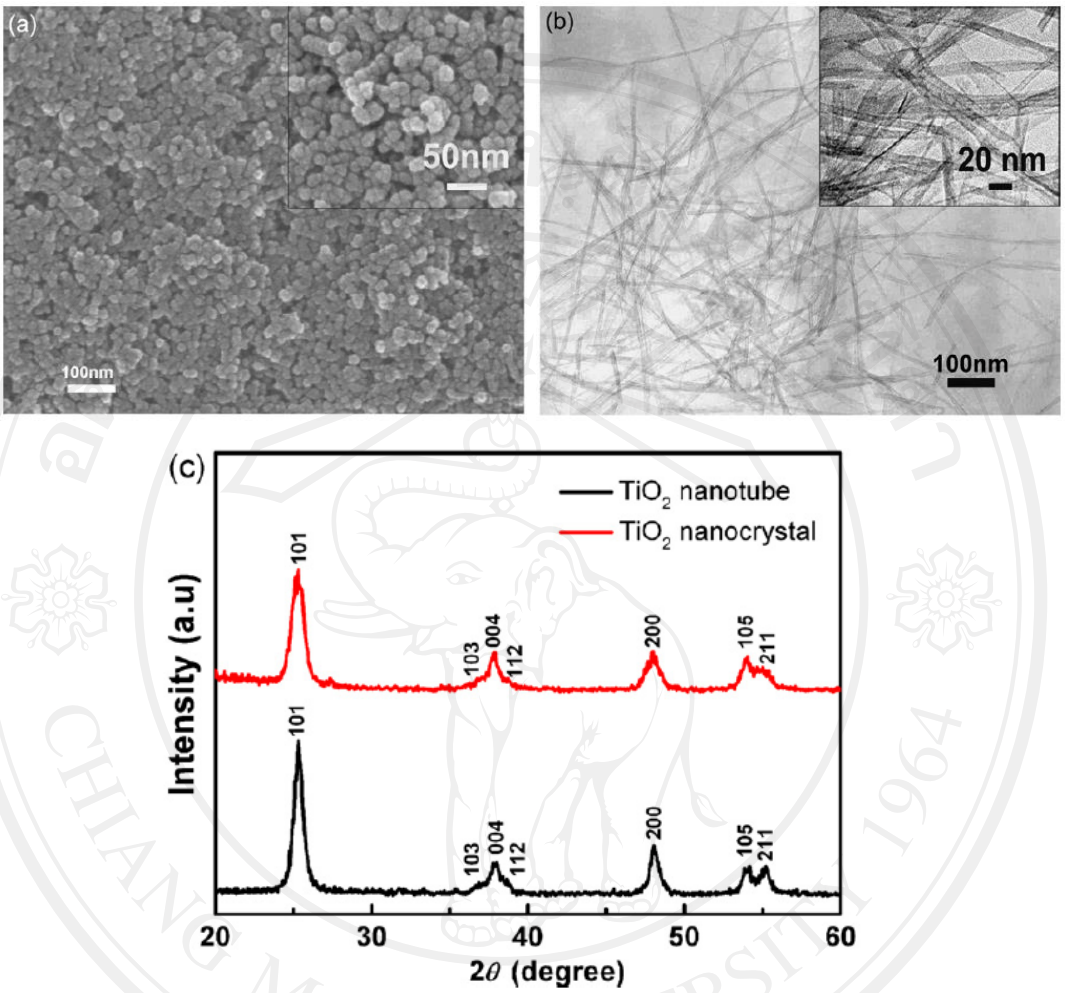
ตารางที่ 1.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงซิงก์ออกไซด์แต่ละโครงสร้าง [3]

Morphologies	ZnO powder	ZnO nano-tetrapod	ZnO nanobelt
V_{oc} (V)	0.45	0.43	0.44
J_{sc} (mA/cm^2)	1.25	0.93	0.64
FF	0.65	0.55	0.56
Efficiency (%)	0.68	0.41	0.29

ในปี 2010 Hui Xu และคณะ [4] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่มีฐานเป็น TiO_2 nanocrystal / TiO_2 nanotube เป็นฟิล์มสองชั้นสกรีนลงบนกระจกนำไฟฟ้า แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 ºC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทั้งแบบที่เป็นชั้นแรก และหลังจากสกรีนทับชั้นที่สอง เสร็จแล้วนำไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) สำหรับ TiO_2 nanocrystal กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

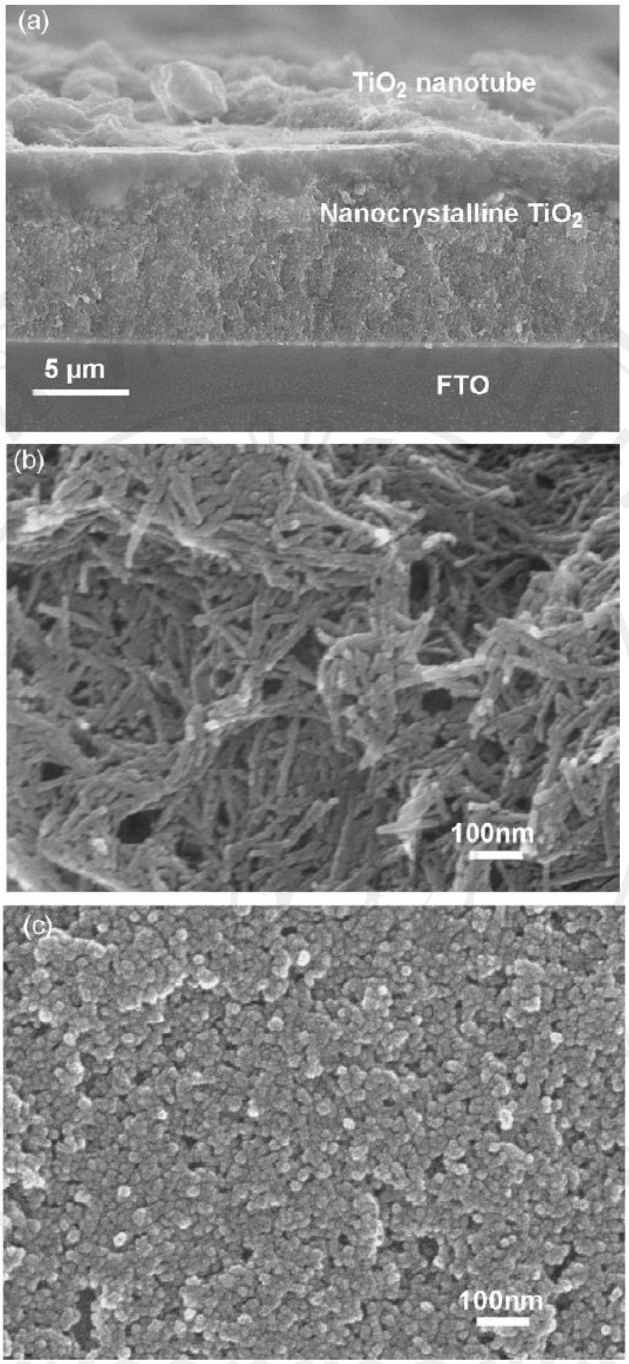
ส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) สำหรับ TiO_2 nanotube และนำไปวิเคราะห์ด้วย X-Ray diffractometer ดังแสดงในภาพที่ 1.6



ภาพที่ 1.6 โครงสร้างของ TiO_2 a) TiO_2 nanocrystal , b) TiO_2 nanotube c) TiO_2 ที่วิเคราะห์ด้วย X-Ray diffractometer [4]

จากนั้นนำมาประยุกต์ทำเป็นขั้วโฟโตอิเล็กโทรดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยการสกรีนเป็น 2 ชั้น ชั้นล่างเป็นไทเทเนียมไดออกไซด์ผลึกนาโน และชั้นบนเป็นไทเทเนียมไดออกไซด์ท่อนาโน ที่มีอัตราส่วนความหนาของฟิล์มแต่ละชั้น เป็นดังนี้ 1:7 , 3:5 , 4:4 , 5:3 และ 7:1 ตามลำดับ ซึ่งลักษณะของฟิล์มสองชั้น ดังแสดงในภาพที่ 1.7

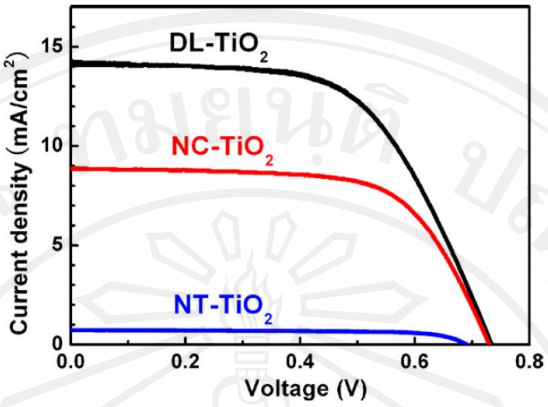
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 1.7 ภาพ SEM a) ภาพแสดงภาคตัดขวางของฟิล์มสองชั้น ,
b) ผิวหน้าของ TiO_2 nanotube c) ผิวหน้าของ TiO_2 nanopaticle [4]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่าอัตราส่วนความหนาที่ดีที่สุดคือ 5:3 ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเป็น 6.15 % ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความหนาแน่นกระแสที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนถึง 14.3 mA/cm^2 ดังแสดงในภาพที่ 1.8 และตารางที่ 1.2



ภาพที่ 1.8 J-V characteristics curves [4]

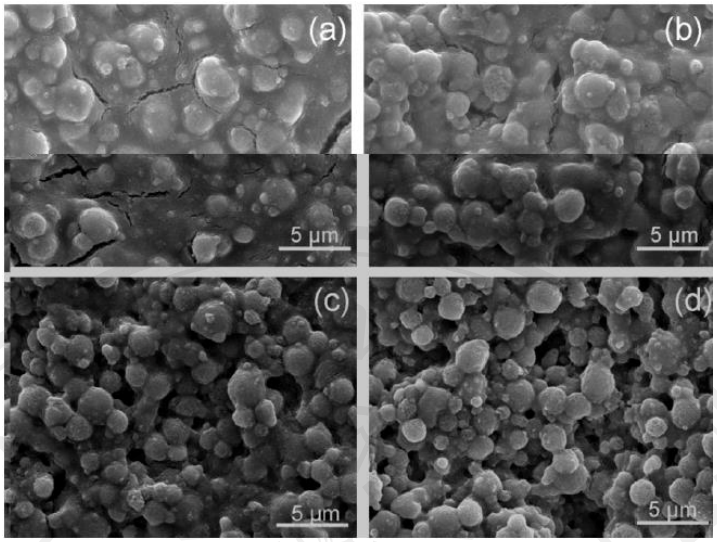
ตารางที่ 1.2 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงไทเทเนียมไดออกไซด์แบบเป็นฟิล์มสองชั้น เปรียบเทียบกับที่เป็นฟิล์มชั้นเดียว [4]

Samples	Thickness ratio	J_{sc} (mA/cm^2)	V_{oc} (mV)	FF	η (%)
A	1:7	4.4	686	0.58	1.74
B	3:5	8.2	688	0.59	3.36
C	4:4	11.6	717	0.59	4.94
D	5:3	14.3	720	0.59	6.15
E	7:1	9.7	688	0.62	4.17

Samples	Surface area ($\times m^2 g^{-1}$)	J_{sc} (mA cm^{-2})	V_{oc} (mV)	FF (%)	η^a (%)	Adsorbed dye (
NC-TiO_2	133	8.9	720	66	4.25	2.74
NT-TiO_2	316	0.8	680	72	0.37	0.83
DL-TiO_2	–	14.3	720	59	6.15	1.86

ในปี 2011 Junting Xi และคณะ [5] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่มีฐานเป็นไททาเนียมไดออกไซด์ผลึกนาโนผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์แบบผงปกติ ภาพถ่ายฟิล์มผสม ดังแสดงในภาพที่ 1.9

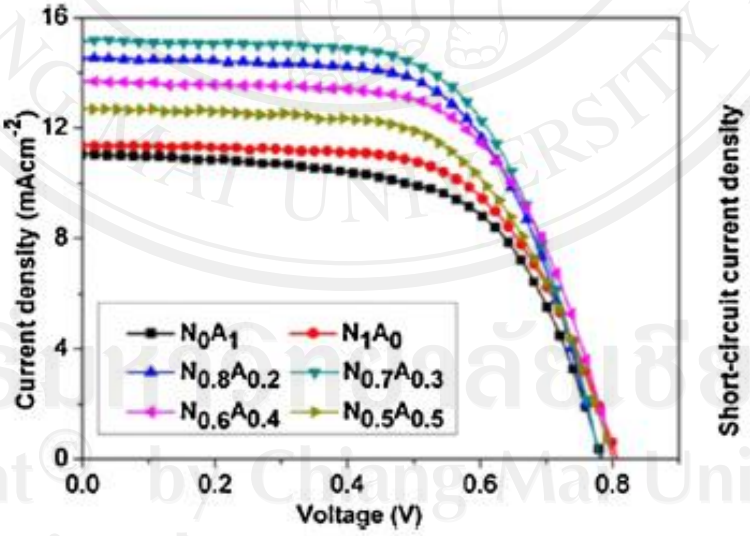
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 1.9 โครงสร้างของฟิล์มผสม ไททาเนียมไดออกไซด์ ที่ผสมกันระหว่างผลึกนาโน กับแบบผงปกติ ในอัตราส่วนต่างๆ

a) อัตราส่วน 0.8:0.2 , b) อัตราส่วน 0.7:0.3 , c) อัตราส่วน 0.6:0.4 , d) อัตราส่วน 0.5:0.5 [5]

พบว่าอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ผลึกนาโนผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์แบบผง คือ 0.7 : 0.3 ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเป็น 7.59 % ดังแสดงในภาพที่ 1.10 และตารางที่ 1.3



ภาพที่ 1.10 J-V characteristics curves [5]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1.3 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงไททาเนียมไดออกไซด์แบบเป็นฟิล์มผสม เปรียบเทียบกับที่เป็นฟิล์มแบบไม่ผสม [5]

Photoelectrodes	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η (%)
N_1A_0	0.81	11.36	0.63	5.80
$N_{0.8}A_{0.2}$	0.78	14.56	0.63	7.15
$N_{0.7}A_{0.3}$	0.78	15.21	0.64	7.59
$N_{0.6}A_{0.4}$	0.80	13.70	0.63	6.90
$N_{0.5}A_{0.5}$	0.80	12.70	0.61	6.20
N_0A_1	0.78	11.06	0.62	5.35

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่มีการดัดแปลงขั้วโฟโตอิเล็กโทรดโดยการเปลี่ยนรูปแบบของซิงก์ออกไซด์และไททาเนียมไดออกไซด์ลักษณะต่างๆ การทำเป็นฟิล์มบางสองชั้น หรือการทำเป็นฟิล์มผสม เป็นวิธีที่ได้รับความสนใจที่จะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ในงานวิจันนี้ได้นำวิธีการดังกล่าวมาเป็นแนวทางโดยมีเป้าหมายหลัก คือการดัดแปลงขั้วโฟโตอิเล็กโทรดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้ซิงก์ออกไซด์เป็นฐาน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยการใช้อนุภาคนาโน, เตตระพอด และผงซิงก์ออกไซด์

2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงซิงก์ออกไซด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved