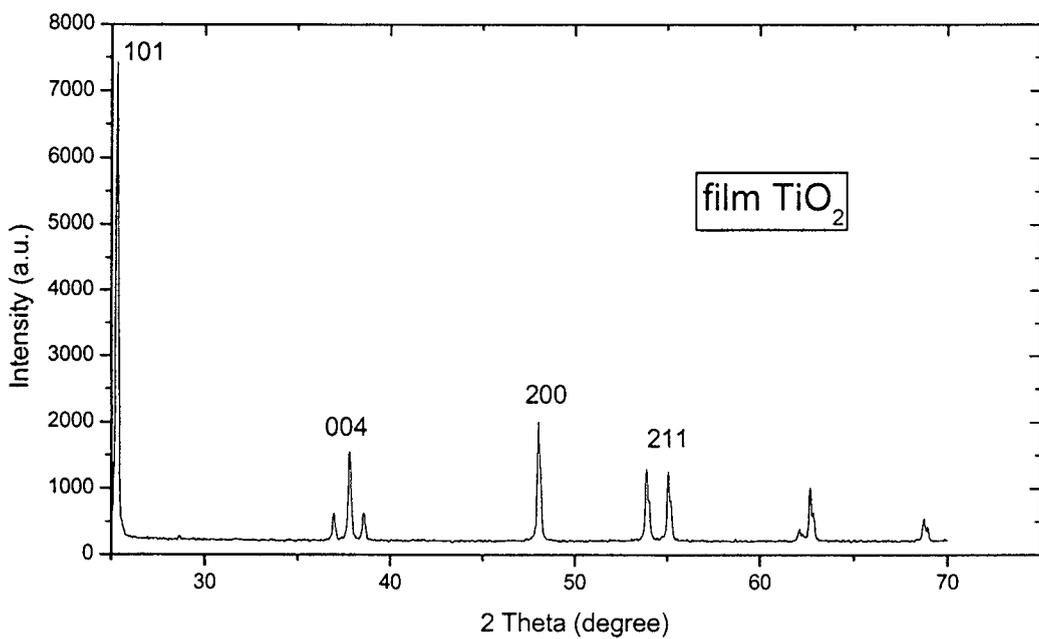


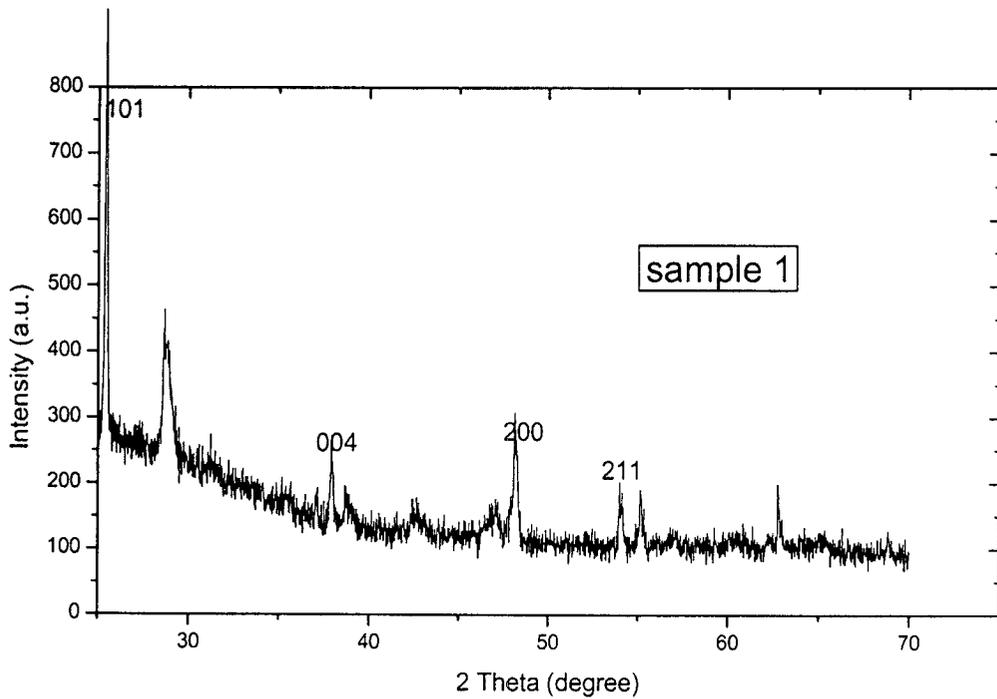
บทที่ 4 ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึง ผลจากการวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วย XRD TEM และ SEM ผลการทดสอบการส่องผ่านแสงของอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็งด้วยเครื่อง UV - visible ผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า และผลการทดสอบเสถียรภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงด้วยอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็ง

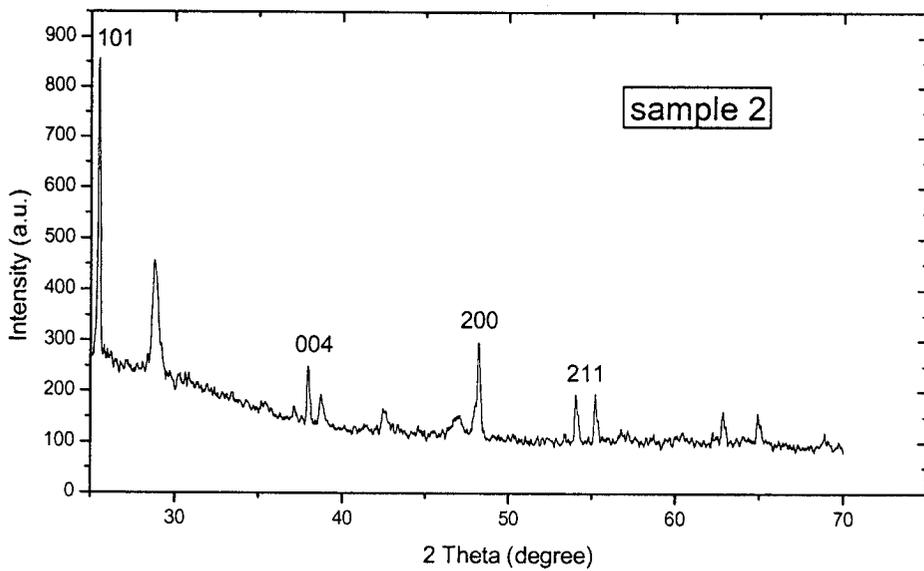
4.1 ผลจากการวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วย XRD



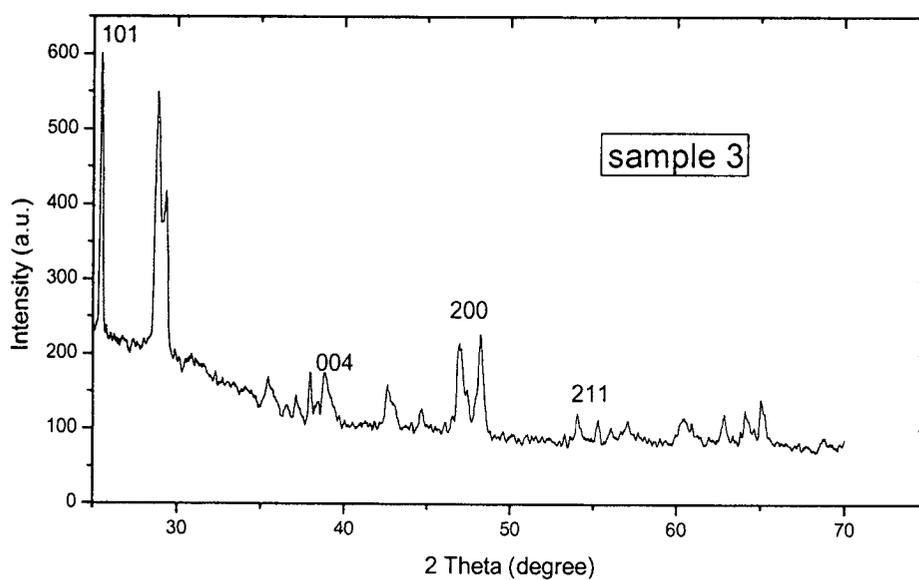
ภาพที่ 4.1 XRD สเปกตรัมของฟิล์ม TiO₂



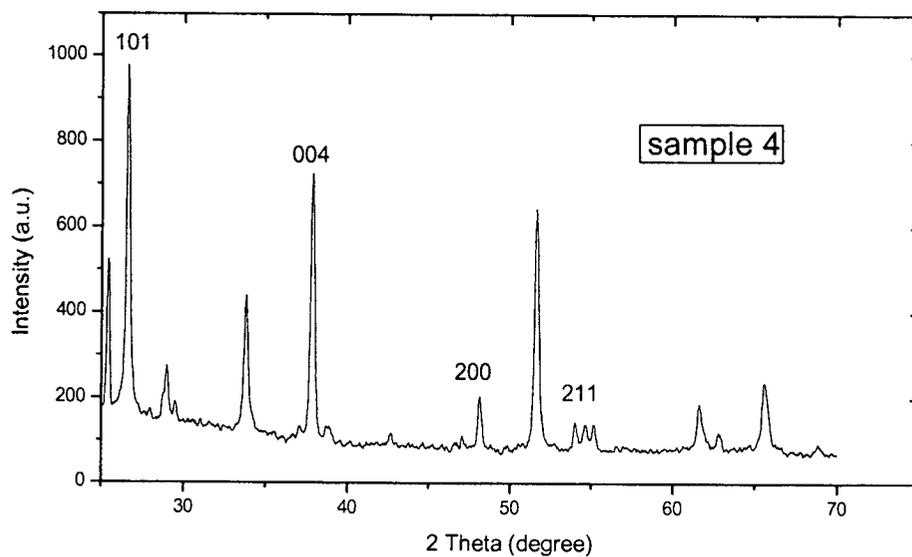
ภาพที่ 4.2 XRD สเปกตรัมของTiO₂ sample 1 หลังจากเผา 450 °C เวลา 30 นาที



ภาพที่ 4.3 XRD สเปกตรัมของTiO₂ sample 2 หลังจากเผา 450 °C เวลา 30 นาที



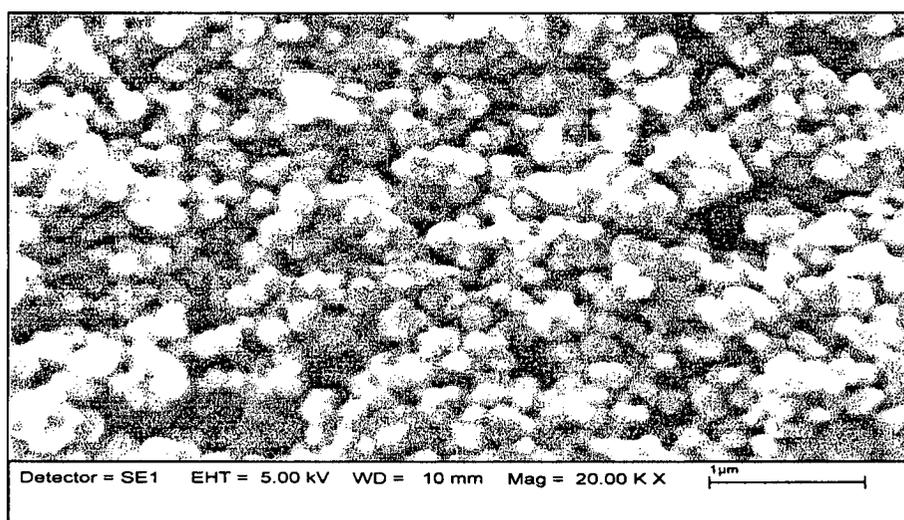
ภาพที่ 4.4 XRD สเปกตรัมของTiO₂ sample 3 หลังจากเผา 450 °C เวลา 30 นาที



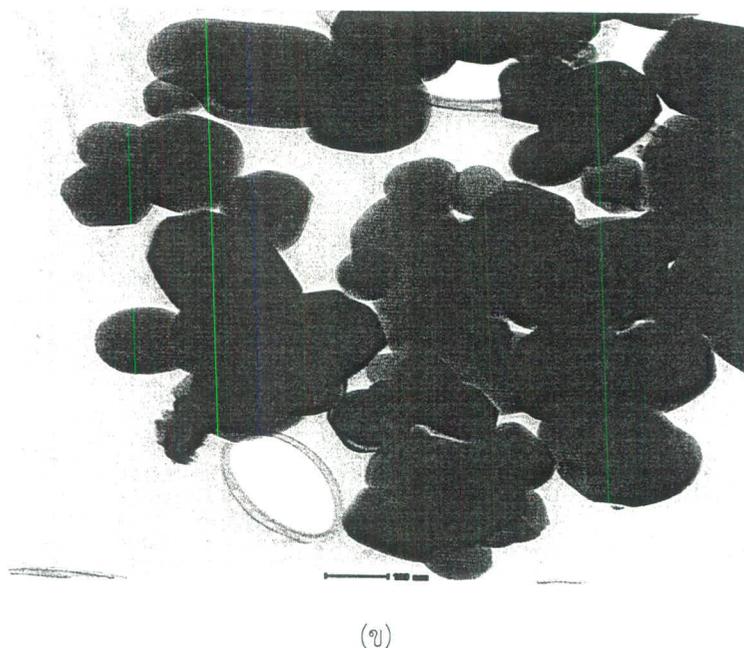
ภาพที่ 4.5 XRD สเปกตรัมของTiO₂ sample 4 หลังจากเผา 450 °C เวลา 30 นาที

จากภาพที่ 4.1 ถึงภาพที่ 4.5 เมื่อนำไปวิเคราะห์สเปกตรัม ด้วยเทคนิค XRD แสดงให้เห็นว่า TiO_2 ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นแล้วนำไป deposit บนแก้วตัวนำโปร่งแสง TCO โดยวิธี doctor blade technique สเปกตรัมของสารตัวอย่าง sample 1 sample 2 sample 3 และ sample 4 จะมีเฟสไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ที่ 2 Theta 19° 28.6° 36.3° 48.5° และ 55.5° เนื่องจากผง TiO_2 บริสุทธิ์ 99.9 % มีเฟสเป็นอะนาเทส (anatase) และบางครั้ง ใน sample 4 อาจจะมีเฟสรูไทล์ (rutile) ผสมอยู่บ้างเล็กน้อย ดังนั้นจะเห็นได้ว่า sample ทั้ง 4 แบบ มีลักษณะเฟสเป็นอะนาเทส จึงเหมาะสำหรับนำมาทำฟิล์มบางระดับนาโน TiO_2 ในเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง

โดยทั่วไปการสังเคราะห์ฟิล์มของ TiO_2 โครงสร้างนาโน ด้วยวิธี doctor blade technique และบำบัดความร้อนในเตาเผาที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 30 นาที โดยศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติของฟิล์มของ TiO_2 โครงสร้างนาโน ด้วยเครื่อง scanning electron microscopy (SEM) และเครื่อง Transmission electron microscopy (TEM) สามารถแสดงผลการทดสอบ ได้ดังภาพที่ 4.6



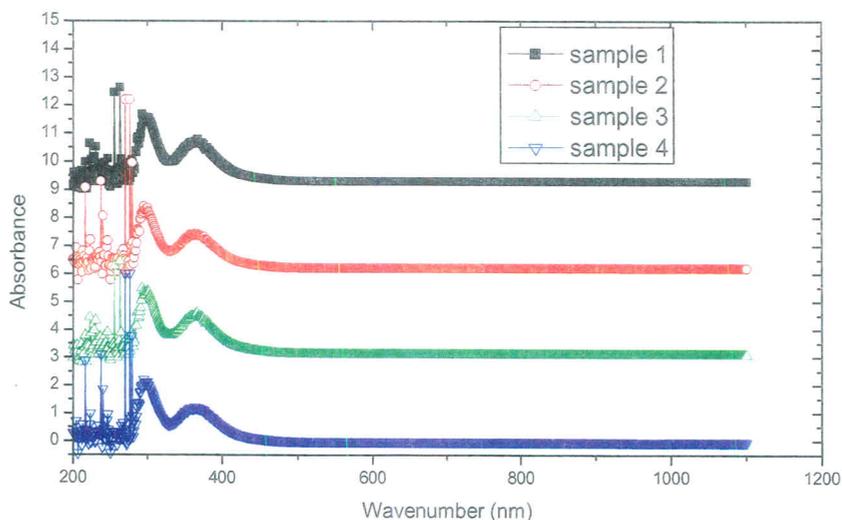
(ก)



ภาพที่ 4.6 (ก) แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาค TiO_2 บนฟิล์ม ด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 20,000 เท่า และ (ข) แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาค TiO_2 บนฟิล์ม ด้วยเครื่อง TEM

จากภาพที่ 4.6 (ก) และ (ข) แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาค TiO_2 บนฟิล์ม ด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 20,000 เท่า และเครื่อง TEM ซึ่งให้เห็นว่าอนุภาคของ TiO_2 ที่ถูกสังเคราะห์บนฟิล์มมีเฟสเป็นอะนาเทส อยู่เป็นกลุ่มเรียงชิดติดกันเป็นกลุ่มก้อนในปริมาณที่มากพอ มีการกระจายความเป็นรูพรุนสูงสม่ำเสมอ จึงเหมาะสมที่จะทำให้การแพร่ผ่านของไอออนอิเล็กโทรไลต์ไหลผ่านได้ดี มีขนาดของอนุภาคเชื่อมชิดติดกันอย่างต่อเนื่องและแต่ละอนุภาคมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร (nm) คือ 50 - 100 nm. และและความหนาของชั้นฟิล์มที่วัดได้ จะอยู่ระหว่าง $10.87 \mu\text{m}$

4.2 ผลการทดสอบการส่องผ่านแสงของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งด้วยเครื่อง UV – visible

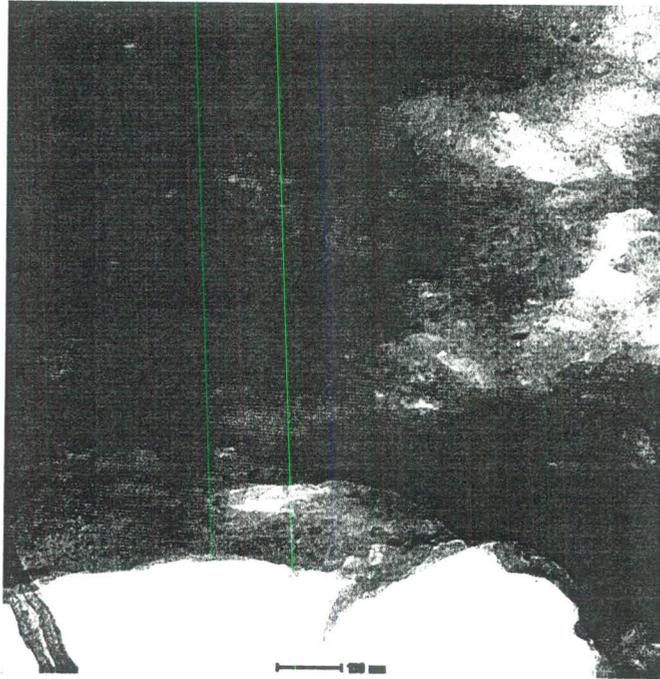


ภาพที่ 4.7 UV – visible KI ในอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง

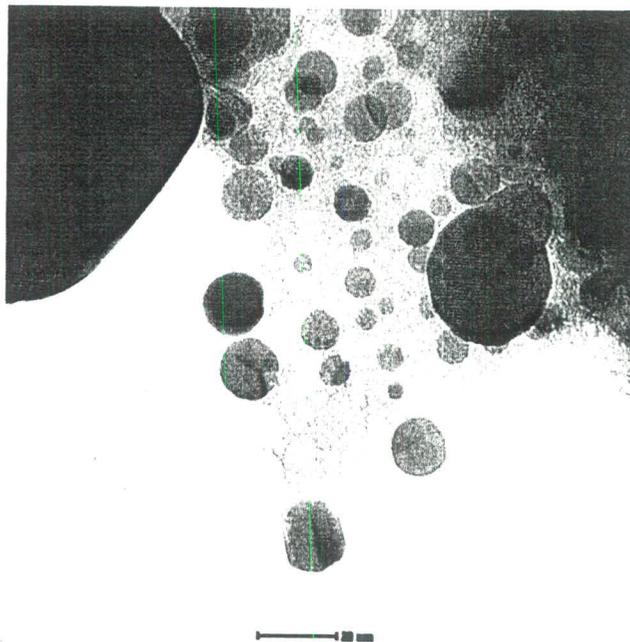
อิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) และ เกลือไอโอดีน(I_2) ดังแสดงในภาพที่ 4.7 โดยการส่องผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 nm ถึง 1,000 nm ผลการศึกษาพบว่า อิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง ดูดกลืนแสงในช่วง 200 - 400 nm ซึ่งถือว่าเป็นต่ำกว่าความยาวคลื่นแสงในช่วงตามองเห็น ทำให้ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน – ออกซิเดชันได้ง่าย ดังนั้นมันจึงขดเซยอิเล็กตรอนให้แก่เม็ดสีย้อมไวแสง ที่อยู่ในรูปตัวออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็ว

นอกจากนี้อิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งที่เตรียมขึ้นจากการวิจัยจะมีอายุการใช้งานยาวนาน ไม่ก่อให้เกิดสารประกอบตัวใหม่ที่ไม่ต้องการ เกิดขึ้นภายในเซลล์และมีประสิทธิภาพในการให้อิเล็กตรอนกับเม็ดสีย้อมที่อยู่ในรูปของตัวออกซิไดซ์ที่สถานะพื้นได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจากการวิเคราะห์ของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง ที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์ และเกลือไอโอดีนที่วัดได้มีข้อมูลที่สามารถนำมาเขียนกราฟได้ จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้สมการมาคำนวณอีก โดยเราสามารถวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นได้

4.3 ผลการทดสอบการส่องผ่านแสงของอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็งด้วยเครื่อง TEM



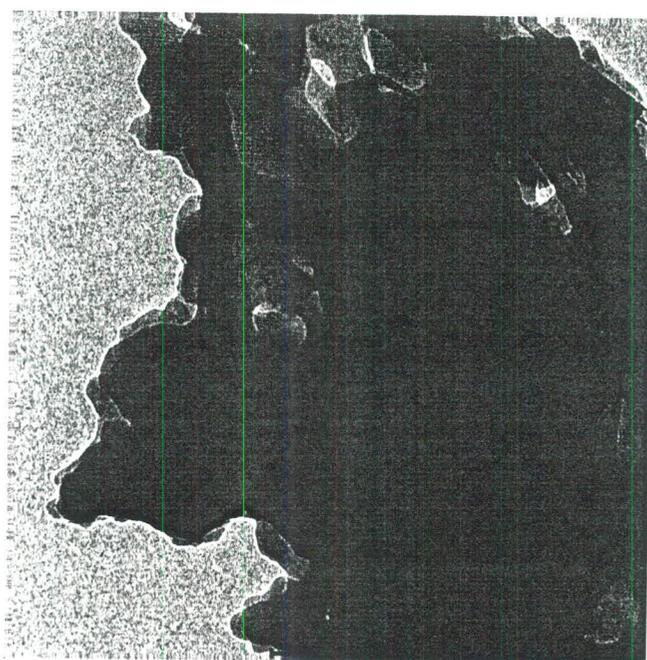
ภาพที่ 4.8 แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาคอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็งของ sample 1 ด้วยเครื่อง TEM



ภาพที่ 4.9 แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาคอิเล็กโตรไลต์สถานะของแข็งของ sample 2 ด้วยเครื่อง TEM



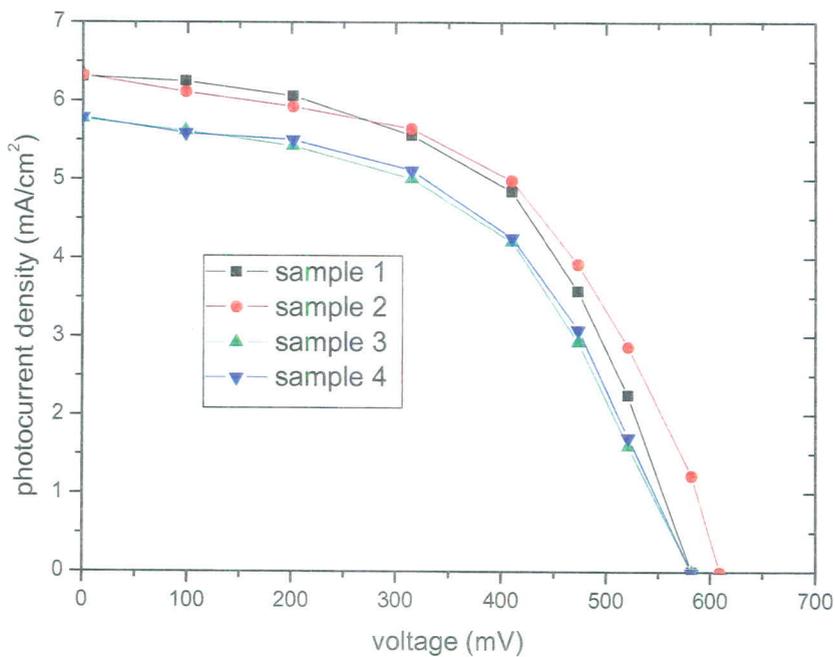
ภาพที่ 4.10 แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาคอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็งของ sample 3
ด้วยเครื่อง TEM



ภาพที่ 4.11 แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาคอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็งของ sample 4
ด้วยเครื่อง TEM

จากภาพที่ 4.8 ถึง 4.11 แสดงภาพถ่ายขนาดของอนุภาคอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง ตัวอย่างอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 4 ชนิด ด้วยเครื่อง TEM ซึ่งให้เห็นว่าอนุภาคของอนุภาคอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมีขนาดของอนุภาคอยู่ในระดับ 20 – 100 นาโนเมตร (nm) และจะเห็นได้ว่าเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์ และเกลือไอโอดีน ที่ถูกเติมลงไปในอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็งทั้ง 4 ชนิด สามารถละลายได้ดีในอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง

4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงาน



ภาพที่ 4.12 I - V curves ของ sample ทั้ง 4 ชนิด

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการหา I - V curves ของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงที่ประดิษฐ์ขึ้น sample ทั้ง 4 ชนิด เป็นดังนี้

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า และจากการทำอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน ของ sample 1 พบว่า $V_{oc} = 0.582$ V, $J_{sc} = 6.31$ mA/cm², $V_{max} = 0.410$ V, $J_{max} = 4.85$ mA/cm² โดยที่ $P_{in} = 80$ mW/cm² จากการคำนวณฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) และประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) เราสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } FF &= \frac{(V \times J)_{max}}{V_{oc} \times J_{sc}} \\ &= \frac{0.410 \times 4.85}{0.582 \times 6.31} = 0.542 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และ } \eta(\%) &= \frac{V_{oc} \times J_{sc} \times FF}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0.582 \times 6.31 \times 0.542}{80} \times 100\% \\ &= 2.49\% \end{aligned}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า จากการคำนวณค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) และค่าประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมและเกลือไอโอดีนลงไปในอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง พบว่า พื้นที่ FF มีค่าเท่ากับ 0.542 ส่วนค่าประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) มีค่าเท่ากับ 2.49 %

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า และจากการทำอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน ของ sample 2 พบว่า $V_{oc} = 0.609$ V, $J_{sc} = 6.32$ mA/cm², $V_{max} = 0.410$ V, $J_{max} = 4.98$ mA/cm² โดยที่ $P_{in} = 80$ mW/cm² จากการคำนวณฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) และประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) เราสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } FF &= \frac{(V \times J)_{max}}{V_{oc} \times J_{sc}} \\ &= \frac{0.410 \times 4.98}{0.609 \times 6.32} = 0.531 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และ } \eta(\%) &= \frac{V_{oc} \times J_{sc} \times FF}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0.609 \times 6.32 \times 0.531}{80} \times 100\% \\ &= 2.56\% \end{aligned}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า จากการคำนวณค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) และค่าประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมและเกลือไอโอดีนลงไปในอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง พบว่า พื้นที่ FF มีค่าเท่ากับ 0.531 ส่วนค่าประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) มีค่าเท่ากับ 2.56 %

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า และจากการทำอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน ของ sample 3 พบว่า $V_{oc} = 0.581$ V, $J_{sc} = 5.76$ mA/cm², $V_{max} = 0.410$ V, $J_{max} = 4.21$ mA/cm² โดยที่ $P_{in} = 80$ mW/cm² จากการคำนวณฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) และประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) เราสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } FF &= \frac{(V \times J)_{max}}{V_{oc} \times J_{sc}} \\ &= \frac{0.410 \times 4.21}{0.581 \times 5.76} = 0.516 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และ } \eta(\%) &= \frac{V_{oc} \times J_{sc} \times FF}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0.581 \times 5.76 \times 0.516}{80} \times 100\% \\ &= 2.16\% \end{aligned}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า จากการคำนวณค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) และค่าประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมและเกลือไอโอดีนลงไปในอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง พบว่า พื้นที่ FF มีค่าเท่ากับ 0.516 ส่วนค่าประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) มีค่าเท่ากับ 2.16 %

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า และจากการทำอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน ของ sample 4 พบว่า $V_{oc} = 0.582$ V, $J_{sc} = 5.76$ mA/cm², $V_{max} = 0.410$ V, $J_{max} = 4.26$ mA/cm² โดยที่ $P_{in} = 80$ mW/cm² จากการคำนวณฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) และประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) เราสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } FF &= \frac{(V \times J)_{\max}}{V_{oc} \times J_{sc}} \\ &= \frac{0.410 \times 4.26}{0.582 \times 5.76} = 0.521 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และ } \eta(\%) &= \frac{V_{oc} \times J_{sc} \times FF}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0.582 \times 5.76 \times 0.521}{80} \times 100\% \\ &= 2.18\% \end{aligned}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า จากการคำนวณค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) และค่าประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) โดยการเติมเกลือโพแทสเซียมและเกลือไอโอดีนลงไป ในอิเล็กทรอนิกส์สถานะของแข็ง พบว่า พื้นที่ FF มีค่าเท่ากับ 0.521 ส่วนค่าประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) มีค่าเท่ากับ 2.18 %

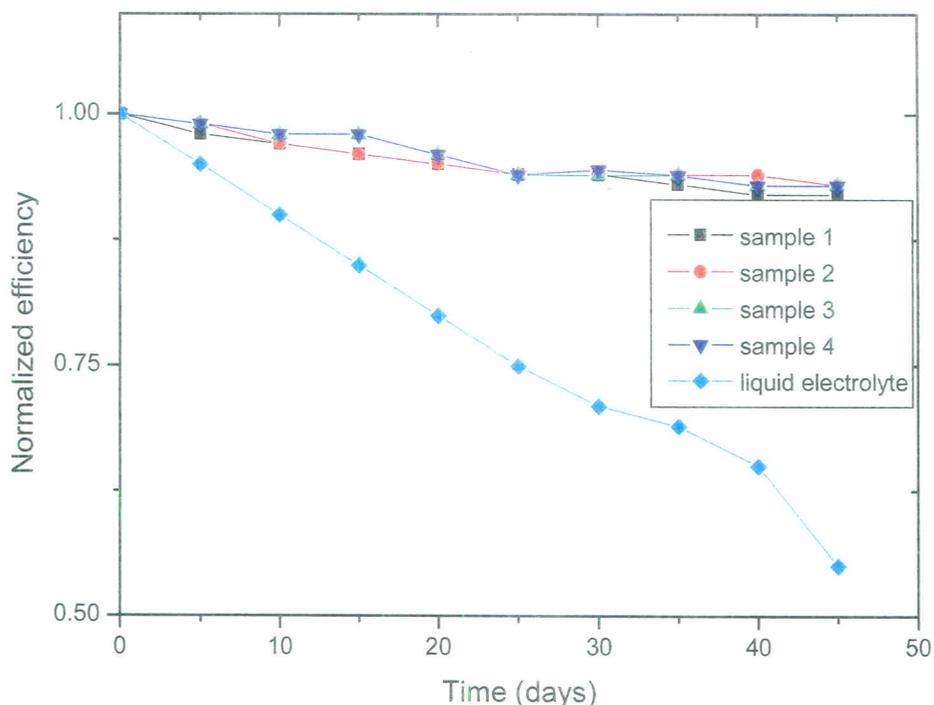
และจากผลการทดสอบประสิทธิภาพการผันพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์ และเกลือไอโอดีนที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น สามารถสรุปแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 อิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์ และเกลือไอโอดีน

Electrolytes	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	η (%)
sample 1	6.31	0.582	0.542	2.49
sample 2	6.32	0.609	0.531	2.56
sample 3	5.76	0.581	0.516	2.16
sample 4	5.76	0.582	0.521	2.18

ผลจากการทดสอบอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมด้วยโพแทสเซียมไอโอไดด์ และเกลือไอโอดีน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า ประสิทธิภาพการผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง ที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน จะมีประสิทธิภาพการผันพลังงานมากที่สุด คือ sample 2 มีประสิทธิภาพ 2.56 รองลงมา sample 1 มีประสิทธิภาพ 2.49 sample 4 มีประสิทธิภาพ 2.18 และ sample 3 มีประสิทธิภาพ 2.16 ตามลำดับ

4.5 ผลการทดสอบเสถียรภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงด้วยอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง



ภาพที่ 4.13 เสถียรภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงด้วยอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็ง

จากการทดสอบความคงทนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์ขึ้น พบว่าเมื่อทำการทดสอบในระยะเริ่มต้นประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างอิเล็กโทรไลต์ของเหลวและอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน จะมีค่าเท่ากันไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเวลาเปลี่ยนไป 5 วัน เสถียรภาพของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน จะลดลงประมาณ 3 % แต่อิเล็กโทรไลต์ของเหลวมีเสถียรภาพลดลงถึง 5 % และเมื่อเวลาผ่านไป 45 วัน เสถียรภาพของอิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน จะลดลงประมาณ 5 % แต่อิเล็กโทรไลต์ของเหลวมีเสถียรภาพลดลงถึง 50 % ดังนั้นจะสรุปได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไปนับหลาย ๆ วัน อิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน จะมีความคงทนและมีเสถียรภาพมากที่สุด เพราะเซลล์แสงอาทิตย์อิเล็กโทรไลต์สถานะของแข็งที่ถูกเติมด้วยเกลือโพแทสเซียมไอโอไดด์และเกลือไอโอดีน จะไม่มีการระเหยได้ง่าย และไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำและอากาศได้ง่าย