



بسم الله الرحمن الرحيم

المملكة العربية السعودية  
وزارة التعليم العالي  
جامعة الملك سعود  
كلية العلوم  
قسم الفيزياء والفلك

**مشروع بحث:**

**تصنيع خلايا شمسية صبغية بتوظيف رقائق نانوية من التيتانيا**

**Synthesis of Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC's)**

**Using  $\text{TiO}_2$  Nanosheets**

**عبدالمجيد بن عبدالرحمن الشميمري**

**اشراف:**

**د. عبدالله بن صالح الضويان**

**1435/7/20 هـ**

## كلمة الشكر :

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على معلم البشرية وهادي الإنسانية وعلى آله وصحبه ومن تبعهم بإحسان إلى يوم الدين.

أتوجه بالشكر الجزيل لكل من ساهم في إخراج هذا البحث إلى حيز التنفيذ، إلى كل من كان سببا في تعليمي وتوجيهي و مساعدتي.

إلى الفاضل مشرف المادة د. عبد الله الضويان.

حيث لم يأل جهدا في إرشادي وتوجيهي أثناء عملي في البحث .

إلى الاستاذ سيف قائد.

الذي لم يبخل علينا في وقته وجهده وعلمه ابدأً و ساعد على إتمام هذا البحث وقدم لنا العون ومد لنا يد المساعدة وزودنا بالمعلومات اللازمة لإتمام هذا البحث

وإلى الاستاذ محمود حزام.

الذي زرع التفاؤل في دربنا وقدم لنا المساعدات والتسهيلات والأفكار والمعلومات، ربما دون يشعر بدوره بذلك فله منا كل الشكر.

والحمد لله رب العالمين

وصلى الله على نبينا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين

## فهرس المحتويات :

الموضوع	الصفحة
كلمة شكر	0
الفصل الأول : مقدمة و مدخل إلى البحث	1
الفصل الثاني : مكونات الخلية الشمسية	3
الفصل الثالث : الجزء التجريبي و توصيف الخلايا الشمسية	5
الفصل الرابع : النتائج والمناقشة	16
الفصل الخامس : العمل المستقبلي	19
المراجع	20

## الفصل الاول

### (1.1) مقدمة

تعتبر الطاقة الساقطة علينا من الشمس من أهم مصادر الطاقة التي يمكن للإنسان الاستفادة منها حيث أنها طاقة مستمرة ولا خوف من أن تفنى طالما كانت الشمس تشرق علينا حسب تقدير الله ، كما أنها توجد في معظم مناطق سطح الأرض. و تتميز الطاقة الشمسية عن غيرها من أنواع الطاقة بأنها طاقة نظيفة لا تلوث البيئة ولا تحتاج إلى تقنية معقدة ولا تترك مخلفات أو فضلات كبيرة تلوث البيئة [1].

ولعل الناحية الأكثر أهمية أن مستقبل الطاقة الكهربائية المتولدة من المفاعلات النووية ومحركات الديزل محتوم بالانحلال نظراً لأن المواد الأولية في كلا الحالتين في استهلاك دائم، ومهما توفرت كمية هذه المواد فإنه لابد من أن يأتي يوماً وتنضب . هذا الواقع المؤسف لمستقبل الطاقة أدى إلى التفكير بمصادر جديدة لكي تستطيع الأجيال القادمة وحتى الحالية من الاستمرار بالتمتع بهذه الطاقة التي بات من الصعب العيش من دونها. ان البحث عن منابع جديدة للطاقة أو تطوير منابع معروفة سابقاً يشغل تفكير الكثير من الباحثين بغية إيجاد منابع دائمة ورخيصة الثمن وغير ضارة للبيئة وذلك لتغطية متطلباتنا من الطاقة التي هي في تزايد يوماً بعد يوم. لقد دلت الدراسات امكانية الحصول على الطاقة الكهربائية باستخدام عدد من الطاقات المتجددة والتي من أهمها الطاقة الشمسية والتي يتم الاستفادة منها من خلال الخلايا الشمسية، وبما أن الكلفة هي من احدى الامور الأساسية لتأمين الحاجة فإن مستقبل الخلايا الشمسية في التطبيقات الأرضية يبدو مرهوناً بتصنيع الخلايا الشمسية الرخيصة الثمن والتي من أهمها و اخصها تلك التي تصنع من الأفلام الرقيقة [2].

يمكن تصنيع الخلايا الشمسية ذات الأفلام الرقيقة بمساحات كبيرة و بكلفة رخيصة وبطرق أقل تعقيداً بكثير من الخلايا الشمسية المحضرة من البلورات الأحادية، الا أن المشكلة الأساسية التي تعرقل طرح هذه الخلايا في الأسواق التجارية على شكل واسع هو عدم استقرارها وثباتها مع الزمن و عدم الوصول الى الفعاليات المتوقعة تجريبياً لهذه الخلايا و بالأخص عندما تصنع بمساحات واسعة [2].

الا انه وبالرغم من التطور الملاحظ الذي شاهدهته الخلايا الشمسية الرقيقة خلال المدة السابقة وبالأخص السنوات العشر الماضية لا يزال هناك بعض الصعوبات التي تعرقل هذه الخلايا والتي من الضروري الحد منها بغية تأمين الطلب التجاري اللازم لإيصال هذه الخلايا الى مرحلة التصنيع الشامل والذي يحتاج إلى [2]:

١- تصنيع الخلايا الشمسية الرقيقة بمساحات كبيرة مع الحفاظ على فعاليات عالية.

٢- تصنيع الخلايا بطرق اقتصادية غير مكلفة.

٣- الحفاظ على استقرارية الخلايا وثبوتيتها لفترة طويلة من الزمن.

## (1.2) مدخل إلى البحث

### الخلايا الشمسية الصبغية:

سنقوم في هذا المشروع بدراسة الخلية الشمسية الصبغية بتعريفها وشرح كل من مكوناتها، آلية عملها و الفرق بين الخلية الشمسية الصبغية و السيليكونية.

### تعريف الخلايا الشمسية الصبغية:

الخلايا الشمسية الصبغية (Dye-sensitized solar cells DSSCs) أو خلايا جراتزيل (Grätzel cells) صنف من الخلايا الشمسية منخفضة التكلفة تنتمي إلى مجموعة الخلايا الشمسية رقيقة الغشاء. وترتكز على صفحة من أنصاف النواقل توضع بين مصعد حساس للضوء والالكترود. وقد اخترع هذه الخلية ميشيل جراتزيل وبرايين أوريغان سنة 1991 [3].

### الفرق بين الخلايا الشمسية الصبغية والخلايا التقليدية (خلايا السيليكون) :

نود ان نشير الى الفرق الجوهرى بين الخلايا الشمسية الصبغية والخلايا التقليدية (خلايا السيليكون)، ففي الخلايا التقليدية يكون السيليكون بمثابة مصدر كل من الإلكترونات الضوئية، بالإضافة الى توفير الحقل الكهربائي لفصل الشحنات الموجهة إليه وإنشاء التيار. بينما تفصل الخلية الشمسية الصبغية الوظيفتين التي يقدمها السيليكون في تصميم الخلية التقليدية. تستخدم الخلية الشمسية الصبغية الجزء الأكبر من أنصاف النواقل لنقل الشحنات، وترد الإلكترونات الضوئية من صبغة حساسة للضوء بشكل منفصل. يحصل فصل الشحنات في المنطقة ما بين نصف الناقل والصبغة الحساسة ومحلول الالكتروليت الذي يمثل خزان الكترولونات [3].

تتألف الخلية الشمسية الصبغية من طبقة مسامية رقيقة من جسيمات نانوية من ثاني أكسيد التيتانيوم، مغطاة بصبغة جزيئية لتمتص أشعة الشمس. ويغمر ثاني أكسيد التيتانيوم بمحلول الالكتروليت ويوجد فوقه محفز بلاتيني (من البلاتينيوم). كما هو الحال في البطاريات القلوية التقليدية، يتم وضع المصعد (anode) مثل ثاني أكسيد التيتانيوم والمهبط (cathode) كالبلاطين على جانبي محلول الالكتروليت [3].

ينبغي علينا ان ندرك بان أشعة الشمس تعبر من خلال الإلكترود الشفاف (ثاني أكسيد التيتانيوم) لتصل إلى الطبقة الفعالة والتي تحتوي على صبغة معامل الامتصاص لها عالي لتتمكن من امتصاص الاشعة الشمسية حيث تقوم هذه الاشعة بإثارة الإلكترونات والتي تخرج من المصعد (ثاني أكسيد التيتانيوم) لتصل إلى الإلكترود المعدني لتجمع من أجل توفير طاقة وتيار يمر في الدائرة الخارجية ذات الحمولة. وبعد أن يتدفق التيار خلال دائرة خارجية، يعاد إدخال الإلكترونات إلى الخلية عبر إلكترود معدني ومن ثم إلى محلول الالكتروليت ومن ثم يعاد إلى جزيئات الصبغ من جديد [3].

## (1.3) الهدف من البحث

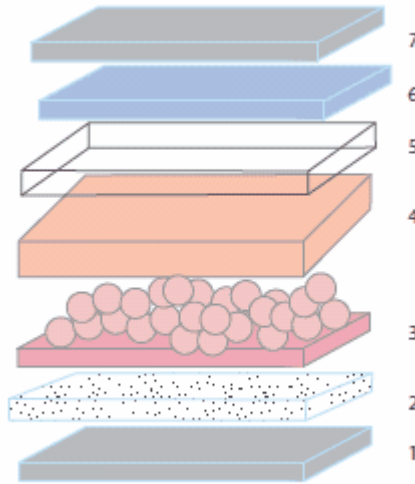
تصنيع خلية شمسية صبغية بتوظيف رقائق التيتانيا النانوية.

## الفصل الثاني

### (2.1) مكونات الخلية الشمسية الصبغية:

تتألف الخلية الشمسية الصبغية كما هو موضح بالشكل (2.1) وبنفس التسلسل من أجزاء رئيسية :

- ١- لوح زجاجي على احد وجهيه مادة الفلورين المطعمة بأكسيد التيتانيوم (FTO) الموصلة للكهرباء عليه طبقة شفافة من مادة ثاني اكسيد التيتانيوم وتوضع هذه الطبقة فوق الوجه الزجاجي الموصل اي المطلي بالفلوريد المطعم ، والذي سيقوم بدور الإلكترود (working electrode) وتكون هذه الطبقة مليئة بالفجوات الإلكترونية بمساحة سطحية كبيرة (large surface area).
- ٢- طبقة من اكسيد مسامي (under layer) لمنع الالكترولايت من الوصول للإلكترود الشفاف.
- ٣- طبقة ضوئية فعالة (photoactive) صبغة ماصة للضوء.
- ٤- الكتروللايت (electrolyte) يحتوي على وسط قابل للأكسدة (redox mediators).
- ٥- طوق مطاطي فاصل بين لوح الزجاجي (sealing gasket).
- ٦- محفز من مادة البلاتينيوم (Pt catalyst layer).
- ٧- اكسيد موصل وشفاف من (FTO) كقطب للإكمال الخلية (counter-electrode).



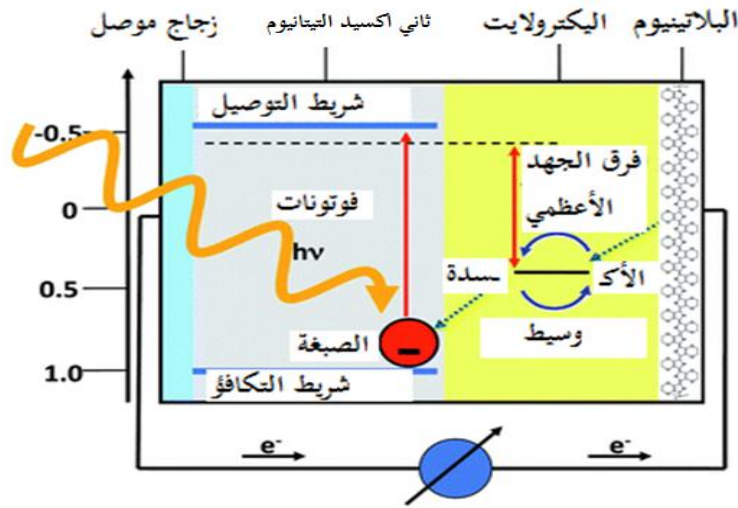
شكل رقم (2.1) : الأجزاء الرئيسية للخلية الشمسية الصبغية [4].

## (2.2) آلية عمل الخلية الشمسية الصبغية:

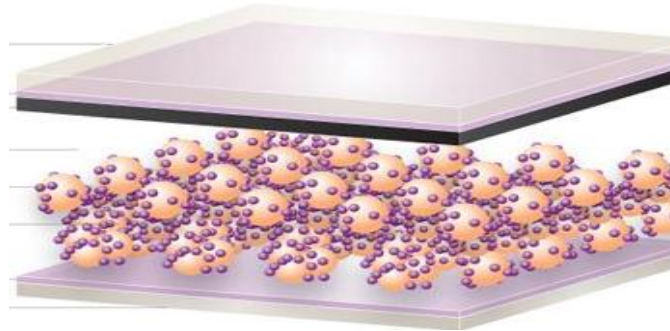
عندما تدخل أشعة الشمس خلال المادة الشفافة في الطبقة الموصلة فإنها تصطدم بالصبغة العضوية على سطح ثاني أكسيد التيتانيوم. ويحدث ان تمتص الصبغة العضوية الفوتونات الساقطة التي تمتلك طاقة كافية لتثير الإلكترونات المدارات الخارجية للصبغة، الشكل (2.2)، والتي بدورها تُحقن مباشرة في طبقة التوصيل من مادة ثاني أكسيد التيتانيوم كما في الشكل (2.3) [5].

نتيجة لزيادة تركيز الإلكترونات الحرة في طبقة ثاني أكسيد التيتانيوم فإنها تنتقل تبعاً لقوانين الانتشار إلى اللوح الموصل أعلاها (المصعد). في غضون ذلك، فإن جزيئات الصبغة العضوية تفقد إلكترونات ويحدث تفكك للجزيء إذا لم يتم تعويض الإلكترون المفقود. لذا فإنه يقوم بامتصاص إلكترون آخر من مركب اليود في المحلول الموصل (الالكتروليت) الموجود أسفل طبقة ثاني أكسيد التيتانيوم، ويعمل على أكسدة مركب اليود ليصبح ثلاثي التكافؤ. هذا التفاعل الكيميائي يحدث بسرعة كبيرة بالمقارنة مع الزمن اللازم لاتحاد الإلكترون مع جزيء الصبغة العضوية المتأكسد، ويعمل هذا التفاعل على منع الخلية الشمسية من أن تصبح دائرة مغلقة Short-circuit.

يستعيد مركب اليود الثلاثي الإلكترون المفقود بالانتشار الميكانيكي من أسفل الخلية حيث يوجد الكتروليت الذي يقدم له الإلكترون القادم من الدائرة الخارجية [5].



الشكل رقم (2.2): آلية عمل الخلية الشمسية الصبغية.



شكل رقم (2.3): تخطيط يوضح تموضع الصبغة على حبيبات ثاني أكسيد التيتانيوم [6].

## الفصل الثالث

### (3.1) تحضير المواد اللازمة لعملية تصنيع الخلايا الشمسية الصبغية :

يمر تصنيع الخلايا الشمسية بعدة مراحل لكن قبل الحديث عن هذه المراحل سنبدأ بشرح تحضير بعض المواد التي سنحتاجها في أثناء عملية التصنيع ومن هذه المواد رقائق ثاني اكسيد التيتانيوم النانوية ومعجون ثاني اكسيد التيتانيوم والمادة الممتصة و المادة المحفزة (البلاتينيوم).

#### (3.1.1) تحضير رقائق ثاني اكسيد التيتانيوم النانوية ( $\text{TiO}_2$ nanosheets)

- 1- لتحضير رقائق ثاني اكسيد التيتانيوم النانوية، كانت النسب اللازمة من المواد الكيميائية كما يلي :
  - (25 ملي غرام) من  $\text{Ti}(\text{OBu})_4$  كمصدر يحتوي على التيتانيوم، شكل رقم (3.1).
  - (3.2 ملي غرام) من محلول حمض الهيدروفلوريك (بتركيز 35%).



شكل رقم (3.1):المصدر الذي يحتوي على مصدر التيتانيوم  $\text{Ti}(\text{OBu})_4$ .

- 2- تُخلط المادتان في تفلون قابل للضغط في الأوتوكليف ذو سعة 45 مليلتر عند درجة حرارة الغرفة ، ثم تُحفظ عند  $180^\circ\text{C}$  درجة مئوية لمدة 24 ساعة في الفرن ، شكل رقم (3.2).



ب



أ

شكل رقم (3.2): الفرن المستعمل (أ) والأوتوكليف (ب).



٣- بعد ذلك يجري تبريدها الى درجة حرارة الغرفة، ثم تتجمع رواسب بيضاء يُفصل بعدها المسحوق الأبيض بواسطة جهاز الطرد المركزي عالي السرعة شكل رقم (3.3).



شكل رقم (3.3): جهاز الطرد المركزي.

٤- بعدها تُغسل مع الايثانول و الماء المقطر لعدة مرات ثم تجفف في فرن عند  $80^{\circ}\text{C}$  لمدة 6 ساعات. ويتم إزالة الفلور للحصول على سطح نظيف خال من الفلور من خلال عملية المعالجة الحرارية عند  $600^{\circ}\text{C}$  لمدة 90 دقيقة. بعد ذلك نجد توليفة من الرقائق النانوية  $\text{TiO}_2$  nanosheets مع سمك و أطوال مختلفة من خلال تغيير حجم حمض الهيدروفلوريك و درجة حرارة التفاعل، شكل رقم (3.4).

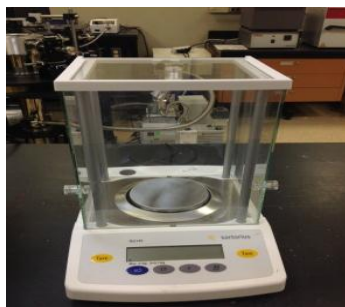


شكل رقم (3.4): مسحوق التيتانيوم الناتج.

### (3.1.2) تحضير معجون مادة ثاني اكسيد التيتانيوم ( $\text{TiO}_2$ paste) :

- (١) لتحضير معجون التيتانيوم من مسحوق التيتانيا الناتج ، كانت النسب اللازمة من المواد الكيميائية كما يلي :
  - (3.75 غرام) من مسحوق ثاني أكسيد التيتانيوم: المسحوق القياسي لـ DSSCs هو P25 (Degussa). التي يبلغ متوسط حجم حبيباته 20 نانومتر.
  - (10.5 غرام) من إيثيل السليلوز (5-15 mPa.s) (المنتج رقم 46070).
  - (8.2 غرام) من إيثيل السليلوز (30-50 mPa.s) (المنتج رقم 46080).
  - (15.2 غرام) من  $\alpha$ -تربينانول .
  - (11.9 مللي غرام) من مذيب كالإيثانول: قد نحتاج إلى إضافة المزيد من الايثانول خلال عملية التحضير للوصول الى محلول متجانس.
- (٢) يتم تنظيف قارورة من حجم مناسب للكمية المراد تحضيرها ثم نجففها في الفرن عند  $70^{\circ}\text{C}$  درجة مئوية لفترة من الوقت ثم نضعها على ميزان حساس ونقوم بتصفير الميزان، شكل رقم (3.5) .

٣) تُضاف الكمية الصحيحة من مسحوق تيتانيا، صفر التوازن، ثم تُصب الكمية المناسبة من محلول  $\alpha$ -تربينول، صفر التوازن. يُعمل الشيء نفسه مع كل من المواد الكيميائية السليولوز إيثل، مع إضافة الإيثانول في النهاية.



شكل رقم (3.5): الميزان الحساس.

٤) توضع القارورة التي تحتوي على الخليط على جهاز الغزل المغناطيسي (magnetic stirrer) ، ووضع قضيب التجانس (homogenizing rods) يلف داخل المحلول؛ ويستمر تشغيل كل منهما لحوالي 30 دقيقة، شكل رقم (3.6)



شكل رقم (3.6): جهاز اللف المغناطيسي مع قضيب للتحريك.

٥) يُصب الخليط على جهاز الطحن ثلاثي اللفات (Three Roller Mill) ثم يُحرك الذراع حتى يصبح المعجون جاهزا و له لزوجة كلزوجة عجينة الأسنان، شكل رقم (3.7)



شكل رقم (3.7): جهاز الطحن ثلاثي اللفات.

٦) بُجمع المعجون في كوب مناسب أو زجاجة من البلاستيك ، ولا تُستخدم زجاجة معدنية، لأنها يمكن ان تترك ترسبات من المعدن التي قد تلوث في نهاية المطاف الخلية الشمسية ، شكل رقم (3.8).



شكل رقم (3.8): معجون ثاني اكسيد التيتانيوم الناتج.

(٧) ختام ذلك ، نظرا لحساسية المعجون للضوء نقوم بتغطيته برقائق الألومنيوم .

### (3.1.3) تحضير الصبغة الممتصة للضوء N719 Dye :

تتركب الصبغة المستخدمة لامتصاص الضوء من بريدين الروثينيوم (N719) ومذيب ، والروثينيوم عنصر كيميائي له الرمز Ru والعدد الذري له 44 ، وهو فلز انتقالي نادر ينتمي إلى مجموعة البلاتين في الجدول الدوري [7].

(١) كانت النسب اللازمة من المواد الكيميائية لتحضير الصبغة الممتصة كما يلي :

• (5.9 غرام) من بودرة الصبغة الكيميائية RutheniumN719

• (25 مليلتر) من مذيب كيميائي مثل الايثانول بحيث يكون التركيز  $10^{-5}$ .

(٢) نذيب بودرة الصبغة في الايثانول بتركيز  $10^{-5}$  في كأس زجاجي. وهذا التركيز حسب وفقا للمعادلة التالية :

$$\text{المولارية} = \frac{\text{وزن المادة بالجرام}}{\text{وزن المادة الجزيئي} \times \text{حجم المذيب باللتر}}$$

(٣) يُوضع الكأس على جهاز الخلط (magnetic stirrer) لمدة 24 ساعة .

### (3.1.4) تحضير المادة المحفزة (البلاتينيوم) :

البلاتينيوم عنصر كيميائي أو ما هو معروف عند بعض الناس بـ"الذهب الأبيض" هو معدن ثمين لونه رمادي-أبيض، والبلاتين أقوى من معدن الحديد وله مرونة الذهب. يرمز له بالرمز Pt . وعدده الذري 78 ، ووزنه الذري 195.09 ، ومداره الأخير  $5d^9$  ، ودرجة انصهاره  $1768.3^{\circ}\text{C}$  ، ودرجة غليانه  $3825^{\circ}\text{C}$  [8].

(١) لتحضير المادة المحفزة (البلاتينيوم) ، كانت النسب اللازمة من المواد الكيميائية كما يلي :

• (2.58 غرام) من مركب حمض هيدرات سداسي الكلور البلاتيني

.(platinhexachloro- acid hexahydrate -  $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )

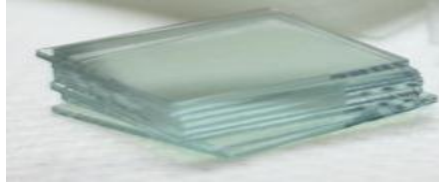
• (1 مليلتر) من مذيب البروبانول الثنائي.

(٢) توضع المادتان مع بعض في كأس زجاجي ليصبح تركيز البلاتينيوم في المحلول 517.92 جرام لكل مول.

### (3.2) مراحل تصنيع الخلية الشمسية :

(١) تجهيز الالواح الزجاجية المطلية بمادة موصلة :

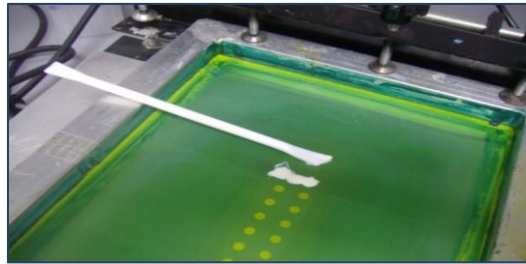
- تُجلب قطعتان من الزجاج الموصل FTO ، شكل رقم (3.9).
- تُغسل جيداً كما يلي :
  - أ- بالماء والصابون مع ذلك بقطعة قماش.
  - ب- توضع في كأس من الماء المقطر على جهاز (ultrasonic) لمدة 30 دقيقة.
  - ت- توضع في كأس من الايثانول على جهاز (ultrasonic) لمدة 30 دقيقة.



شكل رقم (3.9): قطع زجاج مطلية بمادة موصلة FTO.

(٢) عمل طبقة كالكترود من مادة ثاني اكسيد التيتانيوم على اللوح الزجاجي :

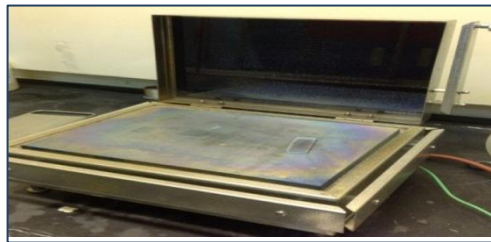
- يؤخذ لوح من الزجاج الموصل FTO ويجعل الوجه الموصل للأعلى و تستخدم طابعة الشاشة ( Screen Printer) في طلاء المعجون على الوجه الزجاجي الموصل، شكل رقم (3.10).



شكل رقم (3.10): طابعة الشاشة.

(٣) تُحرق مادة ثاني اكسيد التيتانيوم المصبوغة على اللوح الزجاجي في الجانب الموصل :

- توضع داخل فرن التجفيف او على جهاز التسخين الرقمي عند درجة حرارة  $125^{\circ}\text{C}$  لمدة 10 دقائق للتجفيف.
- تسخن من درجة حرارة الغرفة إلى  $450^{\circ}\text{C}$  لمدة 30 دقيقة ومن ثم خفض درجة الحرارة إلى  $70^{\circ}\text{C}$ ، شكل رقم (3.11).



شكل رقم (3.11): جهاز التسخين الرقمي.

- ٤) غمر الإلكترود في الصبغة الممتصة لجعله حساساً للضوء :
- بعد تبريد الإلكترود الى ان يصل درجة حرارة مقدارها  $70^{\circ}\text{C}$  يغمر الإلكترود تدريجياً ويبط في محلول الصبغة ثم يترك في المحلول لمدة 24 ساعة، شكل رقم (3.12).



شكل رقم (3.12): صبغة الروثينيوم N719.

- ٥) تحضير الإلكترود الثاني :
- يؤخذ لوح زجاجي اخر من الزجاج المطلي بمادة FTO.
  - يستخدم الدريل لعمل فتحة في الزجاج ذو قطر 1 مل ، بهدف ادخال مادة الالكتروللايت فيما بعد من خلاله.
  - تنظيف اللوح الزجاجي كما فعلنا سابقاً خطوة رقم 1 .
  - عمل غشاء رقيق فوق قطعة الزجاج الموصل FTO من مادة محلول البلاتينيوم باستخدام جهاز الدوران المغزلي (Spin Coater)، شكل رقم (3.13).
  - تسخن من درجة حرارة الغرفة إلى  $450^{\circ}\text{C}$  لمدة 20 دقيقة ومن ثم خفض درجة الحرارة إلى  $70^{\circ}\text{C}$ .



ب



أ

شكل رقم (3.13): جهاز الدوران المغزلي (أ) جهاز الدريل (ب).

٦) تركيب الخلية الشمسية الصبغية :

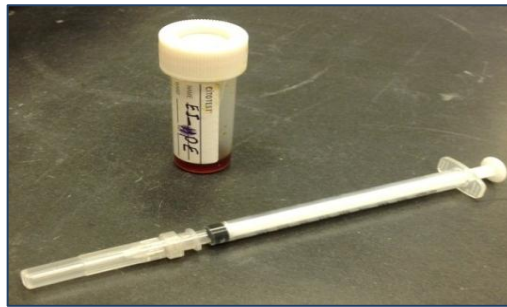
- اخراج قطعة الزجاج الأولى من محلول الصبغة وتغسل بطريقة الرش بالايثانول.
- توضع مادة بلاستيكية حرارية حول الإلكترود ثاني اكسيد التيتانيوم.
- ومن ثم يؤخذ اللوح الزجاجي الثاني (المطلي بالبلاطينيوم) ويجعل الوجه الموصل على الوجه الموصل في اللوح الزجاجي الأول (المطلي بثاني اكسيد التيتانيوم) وندمجهم سوياً باستخدام مكبس حراري، شكل رقم (3.14).



شكل رقم (3.14): جهاز المكبس الحراري.

٧) شحن الخلية بمادة الاليكترولايت :

- تؤخذ كمية من مادة الالكتروللايت باستخدام ابرة صغيرة جداً.
- تعبئ الخلية بمادة الالكتروللايت عبر الثقوب المعمول سابقاً في اللوح الزجاجي، شكل رقم (3.15).
- قفل الثقوب باستخدام شريحة زجاجية رقيقة .



شكل رقم (3.15): الإبرة مع محلول الإلكتروللايت.

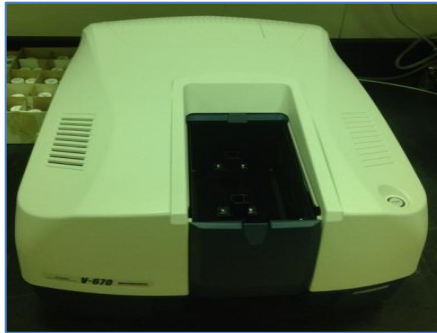


### (3.3) توصيف الخلايا الشمسية :

للتأكد من سلامة الخطوات المتبعة في تصنيع الخلية الشمسية الصبغية فلا بد من فحص خصائصها الكهربائية و البلورة . وهذا ماتم في هذا المشروع حيث أستخدمت الأجهزة التالية في عملية توصيف الخلايا المصنعة :

#### (3.2.1) قياس طيف امتصاص الصبغة المستخدمة ريشينيوم (N719) :

و لقياس طيف الامتصاص يوضع كمية من الايثانول في علبتين زجاجيتين لاختذ المعايرة وتفسير طيف الامتصاص الخاص بالايثانول. تُؤخذ كمية من محلول الصبغة في الايثانول وتوضع في علبة زجاجية شفافة و وتوضع في نفس الوقت مع علبة اخرى تحتوي على الايثانول، شكل رقم (3.16).



شكل رقم (3.16) : جهاز قياس طيف الامتصاص.

#### (3.2.2) التصوير بالمجهر الإلكتروني التركيب البلوري باستخدام حيود الأشعة السينية

وقد تم استخدام جهاز حيود الأشعة السينية (XRD) لرؤية صور للبودرة ثاني اكسيد التيتانيوم نراها رقائق نانوية ، كذلك المجهر الإلكتروني النفاذ (TEM). و الذي استنتجنا منه انه قد انتج بالفعل بلورات من ثاني اكسيد التيتانيوم بشكل رقائق نانوية مساحتها من 40-50 نانومتر ومن انعراج الالكترونات اتضح انه هذه الرقائق او سطح هذه الرقائق هو على الوجه (001) شديد التفاعل مما يعطي مساحه سطحه عالية وتفاعل اكبر، شكل رقم (3.17).



ب



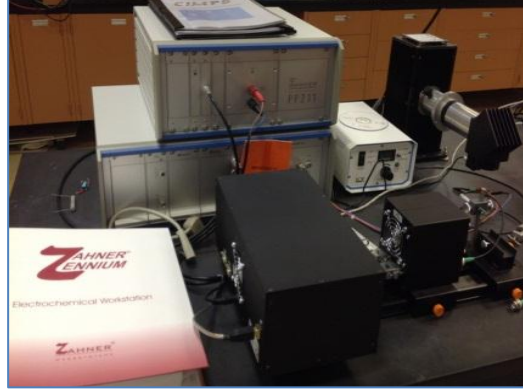
أ

شكل رقم (3.17): جهاز حيود الأشعة السينية (XRD) (أ) المجهر الإلكتروني النفاذ (TEM) (ب)

### (3.2.3) جهاز التحليل الكهروكيميائي و المحاكي الشمسي:

وهو جهاز له مصدر ضوء مصنوع من الزينون (Xe) ومرشح يجعل الضوء محاكياً لضوء الشمس الطبيعي. يتم تسليط الضوء على الخلية الشمسية مما يجعلها في ظروف محاكية لضوء الشمس ، يتم تحليل الخلية الشمسية بعد ذلك في هذه الظروف. هناك قيم قياسية متفق عليها لشدة الكثافة الضوئية (١٠٠٠ واط لكل متر مربع)، كما أن درجة حرارة المكان أثناء القياس لا بد أن تكون حوالي ٢٥ درجة مئوية.

وقد استخدمنا و لهذا الغرض في هذا المشروع جهاز التحليل الكهروكيميائي مع المحاكي الشمسي ( ZAHNER PP211)، شكل رقم (3.18).



شكل رقم (3.18): جهاز التحليل الكهروكيميائي مع المحاكي الشمسي

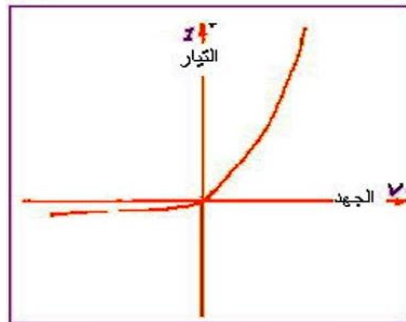
لعملية توصيف الخلايا الشمسية توجد متغيرات عديدة تتحكم في حسن أداء الخلايا الشمسية وهذه المتغيرات هي :

#### ١- تيار الدائرة المغلقة $I_{sc}$

تيار الدائرة القصيرة  $I_{sc}$  هو التيار الذي يمر عبر الخلية الشمسية تحت تأثير الاستضاءة عندما يكون جهد التحديد مساوياً للصفر وفي الحالة المثالية يكون مساوياً للتيار المتكون ومتناسب مع الفوتونات الساقطة. [1]

ويمكن ربط علاقة التيار بالجهد بالعلاقة الآتية :-

$$I = I_s \exp\left(-\frac{qV}{kT}\right)$$



شكل رقم (3.19) : منحني التيار مع الجهد.



## ٢- جهد الدائرة المفتوحة $V_{oc}$

كما يعرف بأنه فرق الجهد عند الإشعاع عندما يكون التيار المار في الدائرة يساوي صفراً [9].  
و يمكن حساب جهد الدائرة المفتوحة من العلاقة التالية :

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1\right)$$

$V_{oc}$  هو جهد الدائرة المفتوحة       $A$  هو عامل الدائرة       $I_0$  هو تيار التشبع العكسي

## ٣- عامل التعبئة FF

وهو النسبة بين القدرة العظمى ( $P_{max} = V_{max} \cdot I_{max}$ ) وحاصل ضرب جهد الدائرة المفتوحة  $V_{oc}$  وتيار الدائرة القصيرة  $I_{sc}$  :

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

## ٤- الكفاءة $\eta$

وهي النسبة بين القدرة العظمى  $P_{max}$  الخارجة من الخلية إلى القدرة الداخلة  $P_{in}$ :

$$P_{max} = I_{max} * V_{max}$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}}$$

$$\eta = \frac{FF (V_{oc} \cdot I_{sc})}{P_{in}}$$

حيث أن  $P_{in}$  القدرة الضوئية للضوء الساقط.

ومعملية لقياس كفاءة الخلية الشمسية يتم ربط الخلية الشمسية على التوالي بمصدر للجهد الكهربائي وجهاز أميتر لقياس التيار الكهربائي. يتم تغيير الجهد الكهربائي بين الصفر (حيث تكون قراءة التيار الكهربائي عندها أكبر ما يمكن ويعرف بتيار الدائرة المغلقة  $I_{sc}$ )، وبين الجهد الكهربائي الذي يعطي قيمة صفرية للتيار الكهربائي (ويعرف بجهد الدائرة المفتوحة  $V_{oc}$ ). يمكن عندئذ رسم منحنى الجهد-التيار. وبمعرفة القيمة القصوى للقدرة (الجهد x التيار)،

ولهذا فهناك عدد من العوامل تؤثر في كفاءة التحويل ومنها :

### (١) طاقة الفجوة

حيث أن جهد الدائرة المفتوحة يزداد مع زيادة قيمة طاقة الفجوة والعلاقة ما بين طاقة الفجوة وجهد الدائرة المفتوحة توضح بواسطة المعادلة التالية :

$$V_{oc} = \frac{kT}{Q} \ln\left(\frac{J_{sc}}{J_0}\right)$$

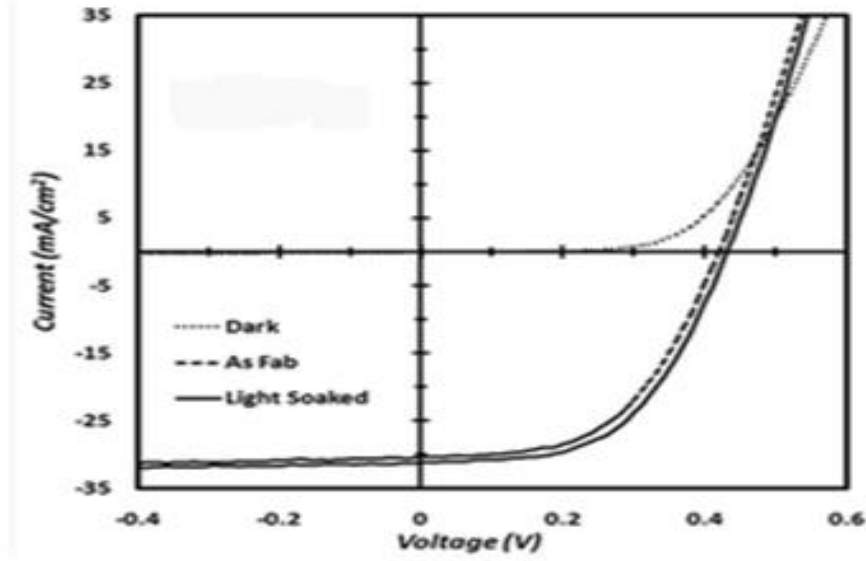
### (٢) درجة الحرارة

نجد أن الكفاءة تتناقص مع زيادة درجة الحرارة وعلاقة درجة الحرارة مع قيمة طاقة الفجوة تعطي المعادلة التالية :

$$\frac{dV_{oc}}{dt} = \frac{deg}{dt} = \frac{1}{T} \left( \frac{E_g}{Q} V_{oc} \right)$$

### (٣) شدة الضوء

نجد أن كفاءة التحويل تزداد مع زيادة قيمة شدة الضوء.



الشكل رقم (3.21) : يبين العلاقة بين التيار والجهد للخلية الشمسية في حالة الظلام وتحت تأثير الاستضاءة ومنه يتضح أكبر قيمة للتيار والجهد لهذا الجزء من المنحنى الذي يعطى أكبر قدرة وتكون أكبر قيمة للقدرة في الشكل المظلل.

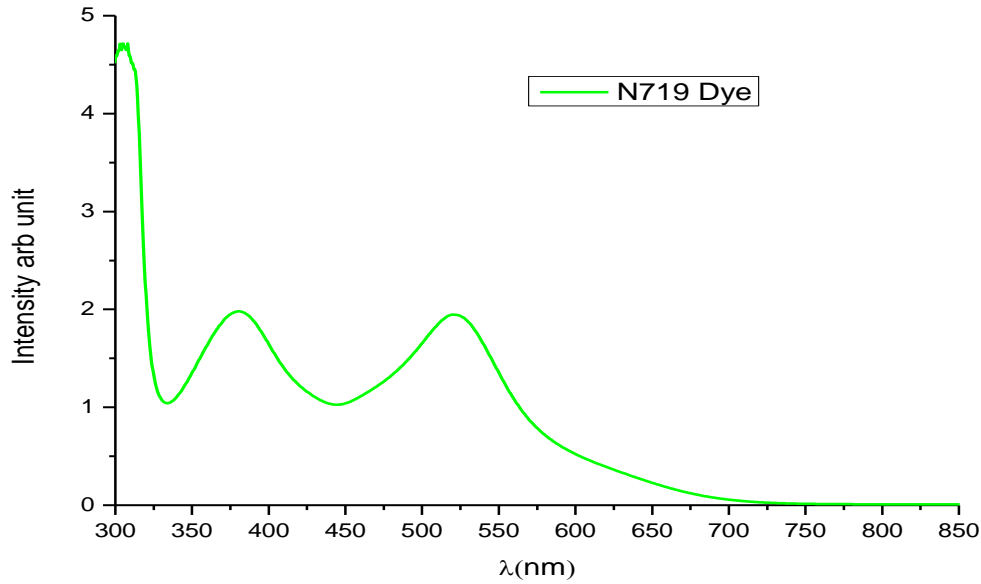
## الفصل الرابع

### النتائج والمناقشة

#### (4.1) طيف الامتصاص للصبغة N719 Dye :

ينشأ طيف الامتصاص لعنصر عندما يمر شعاع ضوء أبيض خلال ذلك العنصر أو بخار العنصر فينتج طيف به خطوط سوداء عند ترددات محددة ومميزة للعنصر . وطيف الامتصاص هو عكس طيف الإصدار الذري . ينشأ الطيف عموماً عندما تثار ذرات عنصر بفعل الحرارة مثلاً ، مما يجعل إلكترونات الذرة تترك مداراتها المنخفضة ذات المستوي المنخفض وتنتقل إلى مستوي طاقة أعلى . لكن الإلكترون لا يستطيع أن يبقى طويلاً في هذه الحالة المثارة ، فسرعان ما يقفز من المدار العالي الطاقة إلى مدار منخفض الطاقة ويصحب ذلك أن الإلكترون يصدر فارق طاقتي المدار العالي والمدار المنخفض على هيئة شعاع ضوء ذي تردد محدد (فوتون). وبحسب قفزة الإلكترون من المدار الرابع مثلاً إلى المدار الثاني في الذرة ، أو من المدار الثالث إلى المدار الثاني فكل قفزة من تلك القفزات تتميز بشعاع ضوء ذي تردد محدد. وتشكل مجموع تلك الإشعاعات والتي تظهر في الطيف على هيئة خطوط ، وهي تعتبر بصمة مميزة يمكن بها معرفة العنصر المصدر لها ، إذ أن لكل عنصر طيفه المميز وبالتالي بصمته المميزة . وفي حالة طيف الامتصاص فعندما ندع شعاع ضوء أبيض يتخلل بخار عنصر ، يحدث أن ذرات العنصر تمتص بصفة مميزة تلك الترددات المميزة لها ، ويظهر الطيف الناتج فاقدًا لخطوط تلك الترددات ، فتبدو كخطوط سوداء . ومن هذه يمكننا التعرف على العنصر المتسبب في هذا الامتصاص [10].

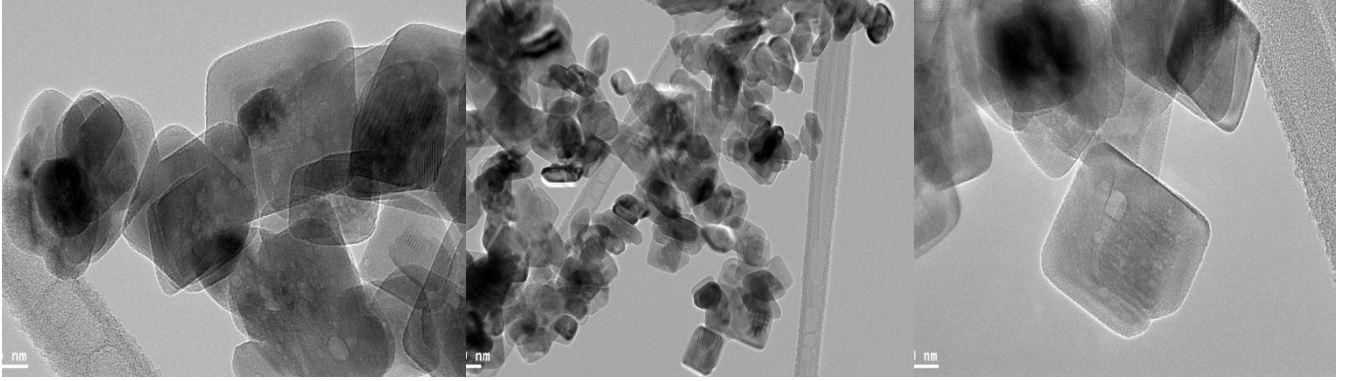
نقيس طيف الامتصاص للصبغة الريفثينيوم ، وبعمل مسح للأطوال الموجية من الطول الموجي 320 إلى 700 نانومتر تقريباً مع مشاهدة أن هذه الصبغة لها امتصاصية عالية ، مع ظهور قمم الامتصاص عند 340 و 520 نانومتر. لنلاحظ أن هذه الصبغة تشابه إلى حد معين الطيف الشمسي ، مما يدعونا لاستنتاج أن هذه الصبغة لها امتصاصية ممتازة للأشعاع الشمسي.



الشكل رقم (4.1) : رسم بياني للبيانات المأخوذة من جهاز طيف الامتصاص للصبغة الريفثينيوم N719.

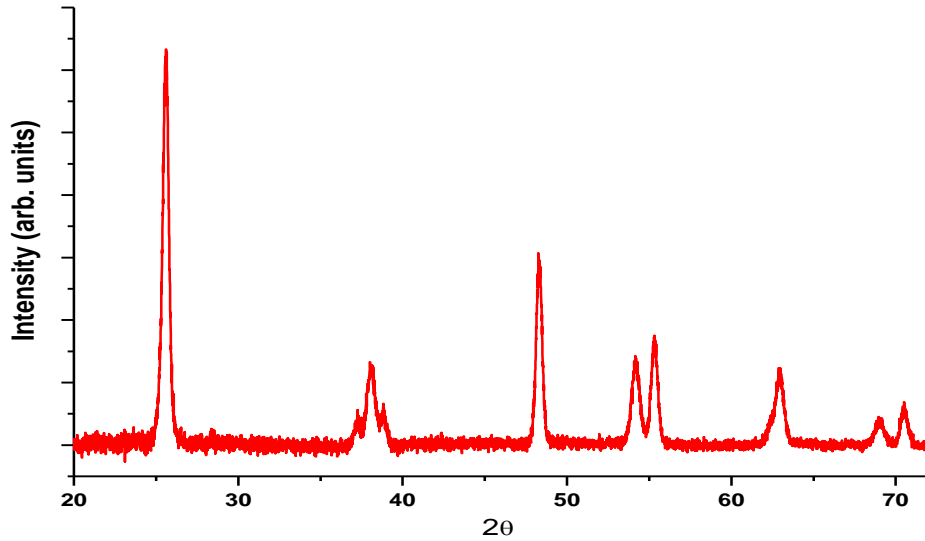
## (4.2) رقائق ثاني اكسيد التيتانيوم النانوية (TiO<sub>2</sub>nanosheets) :

تظهر النتائج المأخوذة من جهاز المجهر الالكتروني (TEM) بأن هناك كمية كبيرة من الرقائق النانوية من 40-50 نانومتر، وسمك حوالي 5 نانومتر يمكن ملاحظتها بوضوح .



الشكل رقم (4.2) : الرقائق النانوية المأخوذة من جهاز المجهر الالكتروني النفاذ (TEM).

الشكل التالي ما خوذ من جهاز حيود الاشعة السينية (XRD) والذي نلاحظ من خلاله قمم الحيود قوية وحادة وكلها تنسب الى اكسيد التيتانيوم بمقارنتها مع الملف (JCPDS No. 46-1088) .



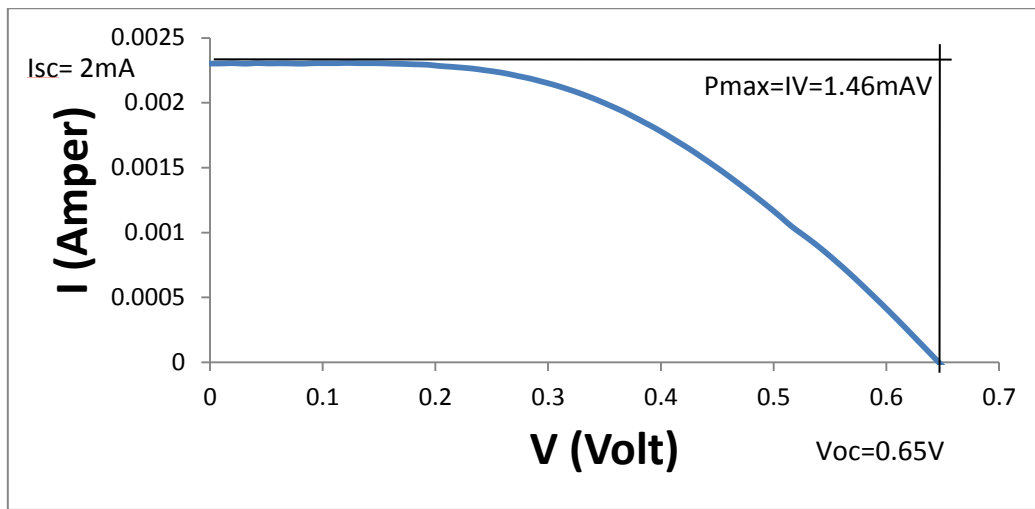
الشكل رقم (4.3) : رسم بياني للبيانات المأخوذة للرقائق النانوية من جهاز حيود الأشعة السينية وتقدر أبعاد الحبيبات بمقدار ~ 25 نانومتر.

### (4.3) نتائج كفاءة الخلايا الشمسية:

من جهاز التحليل الكهروكيميائي مع المحاكى الشمسي (زاهنر) درسنا خصائص الخلية والمدونة في الجدول

وهي كالتالي

١. جهد الدائرة المفتوحة (عندما التيار صفر) مساوي 650 ملي فولت.
٢. كثافة تيار الدائرة القصيرة (عندما الجهد صفرا) مساوي 12.5 ملي امبير لكل واحد سنيمتر مربع.
٣. وبقدرة قصوى مقدارها تقريبا واحد ملي وات.
٤. ومعامل الامتلاء 65 % .
٥. كفاءة الخلية مقدارها 5.65 % .



الشكل رقم (4.4) : منحنى الجهد-التيار .

جدول قياسات الكفاءة الشمسية للعينة:

جهد الدائرة المفتوحة	كثافة تيار الدائرة المغلقة	القدرة القصوى	معامل الامتلاء	الكفاءة (%)
$V_{oc}$ (V)	$I_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$P_{max}$ (mW)	FF	$\eta$
0.65	12.50	1.05	65.63	5.65

## الفصل الخامس

### الاستنتاجات العمل المستقبلي

#### (5.1) الاستنتاج :

١. امكن تحضير رقائق ثاني اكسيد التيتانيوم النانوية ( $\text{TiO}_2$ nanosheets) بطريقة التحول الحراري المائي (hydrothermal) ثم التحقق من التركيب البلوري باستخدام تقنية حيود الاشعه السينية.
٢. امكن تحضير معجون من رقائق ثاني اكسيد التيتانيوم النانوية.
٣. امكن تصنيع خلية شمسية بكفاءة مقدارها 5.65% .

#### (5.2) العمل المستقبلي :

١. التحكم في سمك وطول وترتيب رقائق ثاني اكسيد التيتانيوم النانوية .
٢. دراسة تأثير العوامل الهندسية رقائق ثاني اكسيد التيتانيوم النانوية على كفاءة الخلية.
٣. استخدام الرقائق النانوية في تطبيقات اخرى مثل تحلية المياه.

## المراجع

- ١- البسام، عبدالله (١٤٢٠هـ). *الطاقة الجديدة والمتجددة أنوارها ومصادرها*. الرياض. دار الخريجي للنشر والتوزيع.
- ٢- حريري، عبدالقادر. "بعض الصعوبات والتوقعات في عمليات تصنيع الخلايا الشمسية للأفلام الرقيقة". أبحاث ندوة الطاقة المتجددة - سوريا (١٩٨٦): ص ١٥٤ - ١٦٨.
- ٣- خلية شمسية صبغية -. ويكيبيديا. - 22/7/1435 هـ متاح في :  
[http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AE%D9%84%D9%8A%D8%A9\\_%D8%B4%D9%85%D8%B3%D9%8A%D8%A9\\_%D8%B5%D8%A8%D8%BA%D9%8A%D8%A9](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AE%D9%84%D9%8A%D8%A9_%D8%B4%D9%85%D8%B3%D9%8A%D8%A9_%D8%B5%D8%A8%D8%BA%D9%8A%D8%A9)
- ٤- Material Matters .Kuppuswamy Kalyanasundaram, Michael Grätzel - sigmaaldrich . 22/7/1435 هـ متاح في :  
<http://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/material-matters/efficient-dye-sensitized.html>
- ٥- د.حازم فلاح سكيك . الخلايا الشمسية الصبغية .- موقع الفيزياء التعليمي. - 22/7/1435 هـ متاح في :  
<http://www.hazemsakeek.net/magazine/index.php/-1176192324/1448>
- ٦- Dye-sensitized solar cell (DCCS) - aerosil . 22/7/1435 هـ متاح في :  
<https://www.aerosil.com/product/aerosil/en/industries/dye-sensitized-solar-cells/pages/default.aspx>
- ٧- روثنينوم -. ويكيبيديا. - 22/7/1435 هـ متاح في :  
<http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B1%D9%88%D8%AB%D9%8A%D9%86%D9%8A%D9%88%D9%85>
- ٨- بلاتين -. ويكيبيديا. - 22/7/1435 هـ متاح في :  
<http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D9%84%D8%A7%D8%AA%D9%8A%D9%86>
- ٩- العقل، عبدالرحمن، والمصري، زياد (١٤٢٦هـ). *تجارب متقدمة في فيزياء الجوامد*. الطبعة الثانية. الرياض. دار الخريجي للنشر والتوزيع.
- ١٠- مطيافية الامتصاص -. ويكيبيديا. - 22/7/1435 هـ متاح في :  
[http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%B7%D9%8A%D8%A7%D9%81%D9%8A%D8%A9\\_%D8%A7%D9%84%D8%A7%D9%85%D8%AA%D8%B5%D8%A7%D8%B5](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%B7%D9%8A%D8%A7%D9%81%D9%8A%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D8%A7%D9%85%D8%AA%D8%B5%D8%A7%D8%B5)