جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء

مذكرة ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

فرع: فيزياء

التخصص: فيزياء طاقوية وطاقات متجددة

من إعداد الطالبتين: محجوبي مباركة وشرحبيل سهيلة

بعنوان:

دور الجرافين في الخلايا الشمسية

نوقشت يوم: 30 / 09 /2020

أمام لجنة المناقشة:

د. بن طويلة عمر	أستاذ محاضر (أ)	جامعة ورقلة	رئيسا
د. معريف ياسين	أستاذ محاضر (أ)	جامعة ورقلة	مناقشا
أ. د. باباحني أم الخير	أستاذ تعليم عال	جامعة ورقلة	مشرفا
د. لمقدم سومية	أستاذ محاضر (ب)	جامعة ورقلة	مساعد مشرف

السنة الجامعية: 2019 /2020

إهـــــداء

أهدي ثمرة جهدي إلى من قال عز وجل

" وقضى ربك ألا تعبدوا إلا إياه وبالوالدين إحسانا "

إلى من جرع الكأس فارغا ليسقيني قطرة الحب إلى من كانت أنامله ليسقينا لحظة سعادة، إلى من عمل بجد وكد وضحى من أجلنا وعلمني معنى الكفاح، إلى من دفعني إلى العلم و به أزداد افتخارا أبي الغالي رحمه الله وأسكنه فسيح جنانه.

إلى من جعل الله الجنة تحت أقدامها، إلى معنى الحب وبسمة الحياة، إلى من تلذذت بالتعب والسهر من أجل راحتنا، إلى من كان دعائها سر نجاحي إلى أغلى ما في الوجود أمي الحبيبة أطال الله في عمرها.

إلى من هم أقرب إلى روحي وبهم أستمد عزمي و إصراري إلى زينة الحياة وشموع الدرب إخوتي الأعزاء

إلى من تلذذت على أياديها .... إلى من أمدتني بنصائحها وتوجيهاتها أستاذتي

إلى صديقتي التي تذوقت معها أجمل اللحظات سهيلة

إلى كل من رافقني خلال مشواري الدراسي و إلى جميع طلبة الفيزياء الطاقوية دفعة 2020 ، إلى كل الأساتذة الكرام الذين رافقوني طيلة مشواري الدراسي

إلى كل من نساه قلمي ولم ينساه قلبي أهديكم هذا العمل راجية من المولى عز وجل القبول والنجاح

محجوبي مباركة

إهـــــداء

أهدي هذا العمل المتواضع الي عائلتي
وكل أصدقائي
وكل من ساعدني لاتمام هذا العمل و كان عوناً لي

شرحبيل سهيلة

شكر و تقدير

" ... وقالوا الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله ...."

الحمد لله على إحسانه والشكر على توفيقه والصلاة والسلام على خير الأنام محمد صلى الله عليه وسلم وعلى آله و أصحابه و أتباعه وسلم تسليما كثيرا. تكاد شموع الشكر تحترق خجلا لتضئ كلمات عجز اللسان والقلم عنها ...

بعد وضع اللمسات الأخيرة لعملنا اغتنمنا الفرصة لنتوجه إليكم بهذه السطور التي تحمل في ثناياها لكم أزكى عبارات الشكر والتقدير.

نشكر أستاذتنا الفاضلة " **باباحني أم الخير**" على وقتها الثمين الذي قدمته لنا، على جهودها التي بذلتها لتوجيهنا، على كل ما أعطته لنا فهي لم تبخل علينا كما نشكرها بقبول الإشراف على عملنا.

كما نود أن نشكر الأستاذة الفاضلة "**لمقدم سومية**" على مساعدتها لنا في الإشراف على هذا العمل بتوفير كل المتطلبات والتسهيلات اللازمة لإنجازه، فلها منا أسمى عبارات الشكر والتقدير لما قدمته من نصائح وتوجيهات.

نشكر أيضا الأستاذ " **بن طويلة عمر**" على ترأسه للجنة المناقشة كما نشكر الأستاذ "**معريف ياسين**" على قبوله مراجعة هذا العمل وتصويبه.

وفي الأخير نشكر كل الأساتذة الذين درسونا طيلة التعليم الجامعي، ولا ننسى كل من ساهم ومد لنا يد العون في إنجاز هذا العمل المتواضع.

الفهرس

الفهرس.....I

قائمة الجداول III

قائمة الأشكال.....IV

قائمة الرموز.....VI

المقدمة العامة:.....2

الفصل الاول: عموميات حول الخلايا الشمسية 3

I.1. المقدمة.....4

I.2. الطاقة الشمسية.....4

I.3. الثابت الشمسي 5

I.4. طيف الإشعاع الشمسي.....5

I.5. أنواع الإشعاع الشمسي.....6

I.6. العوامل المؤثرة على شدة الإشعاع الشمسي 7

I.7. الزوايا الشمسية 8

I.8. الخلايا الكهروضوئية 10

I.8.1. لمحة تاريخية عن الخلايا الشمسية 10

I.8.2. مستويات الطاقة (حزمة التكافؤ – حزمة التوصيل):.....11

I.8.3. تصنيف المواد الأولية:.....12

I.8.4. الوصلة P–N.....14

I.8.5. الخلية الشمسية 15

I.8.6. مكونات الخلية الكهروضوئية.....15

I.7.8. مبدأ عمل الخلية الكهروضوئية 16
I.8.8. أنواع الخلايا الكهروضوئية 18
I.9.8. ايجابيات وسلبيات الخلايا الكهروضوئية 21
I.10.8. الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية 21
I.11.8. المنحنى المميز تيار. جهد (I – V) للخلية الشمسية 23
I.12.8. خصائص منحنى الجهد والتيار(I – V) 23
I.13.8. العوامل المسببة للخسارة في كفاءة الخلية الشمسية..... 24
I.14.8. تأثير العوامل المناخية على الخلية الشمسية الكهروضوئية: 25
الفصل الثاني: الجرافين و تأثيره على الخلايا الشمسية 27
II.1 مقدمة: 28
II.2 الجرافين: 28
II. 3أشكال الغرافين:..... 29
1) الجرافين أحادي الطبقة (Monolayer)..... 29
2) الجرافين متعدد الطبقات((Few-Layer Graphene (FLG) or Multi-Layer Graphen MLG)): 29
3) أكسيد الجرافين Graphene Oxide(GO): 29
4) أكسيد الجرافين المرجع أو المختزل Reduced Graphene Oxide (RGO):..... 29
II.4 المبدأ العام لإستخراج الجرافين:..... 30
II. 5 تقنيات إنتاج الجرافين: 31
1) تقنية التقشير الميكرو ميكانيكية (exfoliation micromécanique): 31
2) تقنية التقشير الكهروكيميائي: 32
3) تقنية تقشير أكسيد الجرافيت: 33
4) تقنية الترسيب الكيميائي لطور البخار CVD (Chemical vapor deposition): 33

5) تقنية نمو الجرافين على كربيد السيليكون (Croissance du Graphéne sur le Silicon) SiC: 34
II. 5 خصائص الجرافين: 35
II.6 تطبيقات الجرافين : 36
II. 7 بنية الخلايا الشمسية المكونة من طبقة غرافين/سليكون(Graphene/Si): 37
II. 8 إستعمال الجرافين في الخلايا الشمسية: 38
1) إستعمال الجرافين كقطب كهربائي : 38
2) إستخدام الجرافين في استغلال قطرات المطر: 39
الفصل الثالث: دراسات سابقة لتأثير الجرافين علي الخلية الشمسية..... 40
III.1مقدمة: 41
III.2 خلايا أنصاف النواقل الشمسية: 41
III.3 الخلايا المعتمدة على الجرافين: 42
أ. خلايا شمسية بالطبقات الرقيقة خلايا (الفلم الرقيق) Thin film: 42
ب. الخلية الشمسية البيروفسكايت Perovskite(PSC) 43
ج .الخلايا الشمسية الصبغية أو خلايا غريتسل : 43
III.4 أبرز النتائج : 44
الخلاصة العامة..... 48

قائمة الجداول

الجدول I.1: إيجابيات وسلبيات الخلايا الكهروضوئية..... 22

قائمة الأشكال

الشكل I . 1: الثابت الشمسي بدلالة اليوم في السنة. 5

الشكل I . 2: توزيع طيف الإشعاع الشمسي 6

الشكل I . 3: أنواع الإشعاع الشمسي. 6

الشكل I . 4: الفصول الأربعة خلال السنة. 7

الشكل I . 5: زاوية الميل الشمسي والإرتفاع الشمسي 9

الشكل I . 6: زاوية خط الطول ودائرة العرض 9

الشكل I . 7: حزمة التكافؤ – حزمة التوصيل 12

الشكل I . 8: مقارنة نطاق الفجوة. 13

الشكل I . 9: أنواع أشباه الموصلات. 14

الشكل I . 10: وصلة ثنائية (ديود:**diode**) 14

الشكل I . 11: منطقة الشحنة الفراغية في الوصلة **P–N**. 15

الشكل I . 12: الخلايا الشمسية الكهروضوئية كجهاز لتحويل الطاقة الشمسية 15

الشكل I . 13: مكونات الخلية الكهروضوئية 16

الشكل I . 14: منطقة الإستنزاف في الوصلة **PN**. 16

الشكل I . 15: يمينا مخطط الحزم يسارا بنية الخلية الشمسية 17

الشكل I . 16: مبدأ عمل الخلية الشمسية 18

الشكل I . 17: أنواع الخلايا الشمسية المشهورة. 19

الشكل I . 18: صورة لخلية عضوية 20

الشكل I . 19: خلية شمسية صبغية 20

الشكل I . 20: مخطط كهربائي مكافئ للخلية الضوئية المثالية 21

الشكل I . 21: رسم تخطيطي للدارة المكافئة للخلية الشمسية 22

الشكل I . 22: المنحنى المميز للخلية الشمسية. 23

الشكل I . 23: تأثير الإضاءة على المنحنى **I–V** 25

الشكل I . 24: تأثير درجة الحرارة على المنحنى **I–V**. 26

الشكل **II** . 1: على اليمين هيكل الجرافين على اليسار حجر الجرافيت 28
الشكل **II** . 2: أشكال الجرافين..... 30
الشكل **II** . 3: مخطط توضيحي لمهنجتي تصنيع الجرافين..... 31
الشكل **II** . 4: صورة لخطوة التقشير الميكانيكي. 31
الشكل **II** . 5: **(a)** مخطط توضيحي للتقشير الكهروكيميائي **(b)** عرض تخطيطي لآليات التقشيرعند المهبط وعند المصعد. 32
الشكل **II** . 6: تحول أكسيد الجرافيت إلى الجرافين..... 33
الشكل **II** . 7: رسم تخطيطي وصورة لغرفة **CVD** 34
الشكل **II** . 8: مخطط توضيحي لنمو جرافين على طبقة **SiC**. 34
الشكل **II** . 9: تطبيقات الجرافين..... 37
الشكل **II** . 10: رسم توضحي لبنية خلية **Graphene /Si**. 38
الشكل **II** . 11: تأثير قطرات المطر على الخلية الشمسية المشابة بالجرافين 39

الشكل **III**. 1: خلايا شمسية تقليدية و خلايا بالطبقات الرقيقة ضمن لوح شمسي مرن 41
الشكل **III**. 2:خلايا شمسية بالطبقات الرقيقة 42
الشكل **III**. 3:مقارنة بين معاملات خلية شمسية بأغشية رقيقة **CDS/CZTS** تستعمل **ITO** و الجرافين كطبقة..... 42
الشكل **III**. 4:خلايا شمسية عضوية..... 43
الشكل **III**. 5:خلايا **PSC–graphene** 43
الشكل **III**. 6:خلايا شمسية صبغية 44
الشكل **III**. 7:تزايد النشر و الاهتمام بالخلايا الشمسية بمختلف أنواعها 45
الشكل **III**. 8:تغير المردود مع نوع الجرافين المستعمل في الخلايا الشمسية بالاغشية الرقيقة 46
الشكل **III**.9: نسب طرق استعمال الجرافين في الخلية الشمسية.....46

قائمة الرموز

الرمز	مقادير الفيزيائية	الوحدة في النظام الدولي
a	زاوية السمث	degré (°)
FF	معامل التعبئة	
H	زاوية الارتفاع الشمسي	degré (°)
I_o	الثابت الشمسي	W/m^2
I	شدة الاشعاع الشمسي	Jour
I_{cc}	تيار الدارة المقصورة	A
I_j	التيار الثنائي	A
I_{sh}	تيار مقاومة التحويل	A
I	تيار الخلية الشمسية	A
I_{ph}	التيار الضوئي الناتج من الخلية الشمسية	A
I_0	تيار التشبع	A
L	زاوية خط الطول	degré (°)
N_j	عدد اليوم من السنة	degré (°)
N	المعامل المثالي للديود	
P_s	الاستطاعة الكلية المشعة من طرف الشمس	W
P_{max}	الاستطاعة العظمي للخلية الكهرو شمسية	W
Q	شحنة الألكترون	C
R_s	المقاومة التسلسلية للديود الثنائي	Ω
R_{sh}	المقاومة علي التوازي للديود الثنائي	Ω
Tsv	الزمن الشمسي الحقيقي	h
Tl	التوقيت المحلي	h
T	درجة الحرارة	K
V_{co}	جهد الدارة المفتوحة	V
W	زاوية الساعة الشمسي	degré (°)
W_S	استطاعة الشمس لوحدة السطح	W
δ	زاوية الانحراف الشمسي	degré (°)
φ	زاوية العرض	degré (°)
Σ	ثابت ستيفان –بولتزمان	W/m^2K^2
η	مردود الخلية	

المـــــــــــــقـــــــدمـــــــة العامـــــــــــــــة

المقدمة العامة:

لقد فتح الجرافين بابا واسعا لتطوير أجهزة تدخل في العديد من التكنولوجيات النانونية خاصة منها تطبيقاته في الخلايا الشمسية الحديثة. رغم اهتمام الباحثين بالجرافين و تطبيقاته إلا أن هذه التطبيقات لا تزال في معظمها في طور الأبحاث النظرية فهي لم تصل بعد إلى طور التصنيع. كما أن ظروف الحجر الصحي والجائحة COVID 19 جعلتنا نفكر في إجراء دراسة تعتمد على ما توصلت له آخر الأبحاث العلمية لمعرفة مدى فعالية استعمال هذه المادة في الخلايا الشمسية. نهدف من خلال هذه الدراسة إلى معرفة الطرق المستعملة لاستغلال هذه المادة في الخلايا الشمسية و معرفة مدى تأثيرها على كفاءتها أو مردودها.

إن تطور الأبحاث في دراسة الجرافين أعطت دفعة كبيرة لتطوير خلايا شمسية حديثة تتميز بخفة الوزن و المرونة و إمكانية استغلالها مستقبلا على جدران البنايات لتوفير طاقة نظيفة رخيصة التكلفة و مجانية، قمنا بتقسيم المذكرة إلى ثلاث فصول:

الفصل الأول: نتناول فيه دراسة نظرية لأهم المعلومات والمفاهيم حول الخلايا الشمسية بأنواعها المختلفة و بعض المفاهيم المرتبطة بها.

الفصل الثاني: تطرقنا فيه إلى تعريف مادة الجرافين وإبراز ما يتميز به. تطرقنا فيه أيضا إلى أنواع من الخلايا التي تعتمد على الجرافين.

الفصل الثالث: نعرض فيه محصلة ما توصلنا إليه من استنتاجات متعلقة بدور و طريقة تأثير الجرافين على الخلايا الشمسية. نعتمد في هذا الفصل على دراسة تحليلية إحصائية ترتكز على ما ورد في مقالات نشرت في مجلات متخصصة تابعة لشركة Elsevier ما بين سنة 2010 و 2020. أنهينا هذا العمل بخلاصة أوجزنا فيها أهم الاستنتاجات التي تحصلنا عليها.

الفصل الاول: عموميات حول الخلايا الشمسية

I.1. المقدمة :

تعتبر الطاقة الشمسية أحد أنواع الطاقات المتجددة، والتي أصبحت تحتل مرتبة متميزة في دول العالم كونها طاقة نظيفة لا تحدث تلوث للبيئة. من ضمن طرق إستغلال هذه الطاقة، استخدام الخلايا الشمسية التي تعمل على تحويل الإشعاع الشمسي إلى كهرباء. حيث سنتطرق في هذا الفصل إلى مفهوم الطاقة الشمسية والإشعاع الشمسي ونتعرف كذلك على الخلايا الكهروضوئية و أنواعها ومبدأ عملها.

I.2. الطاقة الشمسية :

الشمس هي المصدر الرئيسي للطاقة على كوكب الأرض وأقرب نجم إلى الأرض، يبلغ قطرها حوالي 1.4 مليون كيلومتر مقارنة بقطر الأرض الذي يبلغ حوالي 12800 كيلومتر، أما المسافة بين الأرض والشمس تقدر ب 150 مليون كيلو متر. تتكون الشمس من عنصر الهيدروجين بنسبة 80% و الهليوم 19% أما الجزء المتبقي فيتكون من عناصر أخرى (كالكربون والنتروجين) [1]. ويقدر سطوع الشمس تقريبا $3.8\times10^{26}W$، ودرجة حرارة سطحها 6000 K و تسمى كمية الإشعاع الشمسي الواصلة إلى الغلاف الجوي للأرض بالثابت الشمسي.[2] .

تعد الشمس كجسم أسود نصف قطره R_S و درجة حرارته T_S ،تشع استطاعة في وحدة في وحدة الزمن تعطى بقانون Stephan Boltezman

$$W_s = \sigma T_s^4 \qquad (1-1)$$

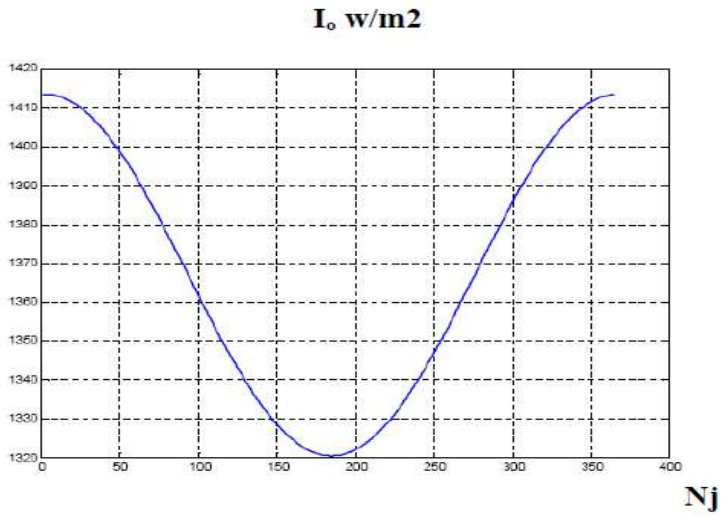
حيث σ يمثل ثابت بولتزمان: $\sigma = 5.67.10^{-8}\ W/m^2k^4$

والإستطاعة الكلية المنبعثة من سطح الشمس في الثانية الواحدة P_s [3]:

$$P_s = W_s(4\pi R_s^2) = \sigma T^4 4\pi R_s^2 \qquad (2-1)$$

I.3. الثابت الشمسي :

هو تدفق الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح مساحته $1m^2$ مثبت في نهاية الغلاف الجوي ويكون في اتجاه عمودي على أشعة الشمس حيث تقدر قيمته المتوسطة بـ $I_0 = 1367w/m^2$ [4].



الشكل I . 1: الثابت الشمسي بدلالة اليوم في السنة [4].

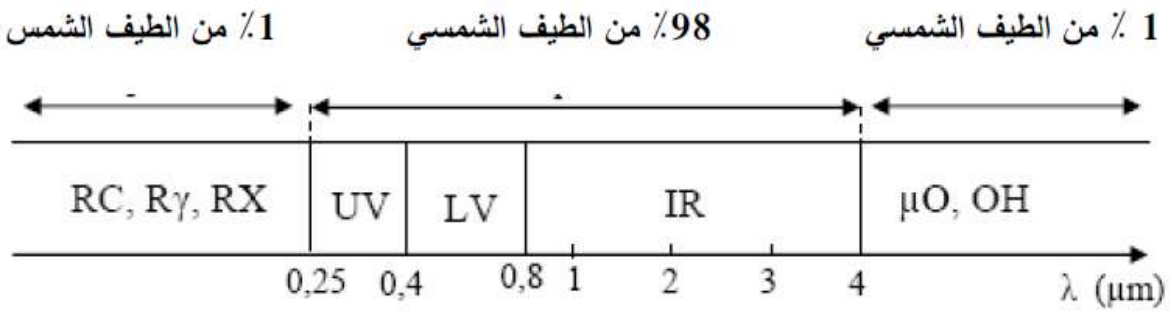
تعطى علاقة الثابت الشمسي خلال أيام السنة بالمعادلة التالية [5]:

$$I=I_0[1+0.034[(N_j-2)\cos\frac{360}{365}]] \qquad (3-1)$$

N_j : رقم اليوم في السنة إبتداءا من1 جانفي (من 1إلى 365).

I.4. طيف الإشعاع الشمسي :

إن الإشعاع الشمسي الصادر عن الشمس على شكل أمواج كهرومغناطيسية تتوزع طاقته على طيف الإشعاع بنسبة 98% منها ضمن أطوال الموجات $\lambda\in[0.25-4]\mu m$ بينما نجد 1% من الطاقة تحت هذا المجال و 1% فوق هذا المجال كما هو موضح في الشكل(**2.I**) [6]:



الشكل I . 2: توزيع طيف الإشعاع الشمسي [6].

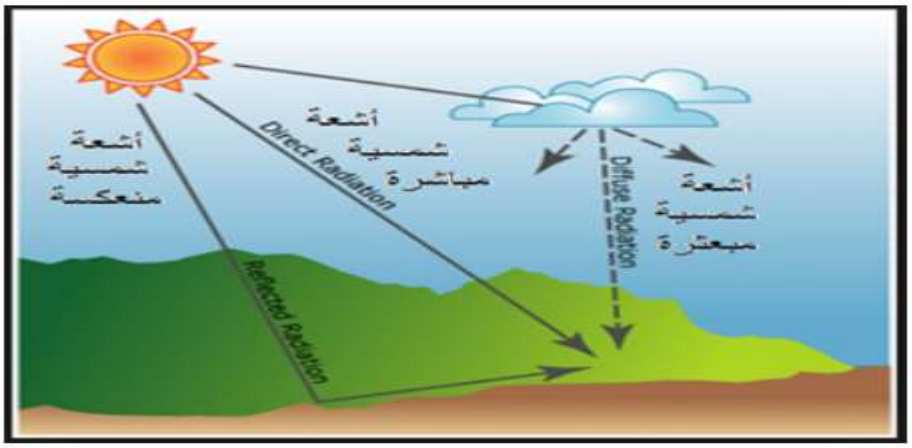
I.5. أنواع الإشعاع الشمسي :

تصل إلى الأرض ثلاثة أنواع من الإشعاعات والتي تمثل 50% من الأشعة الشمسية:

1-الإشعاع الشمسي المباشر(Direct solar radiation): هي الأشعة التي تصل مباشرة من الشمس إلى الأرض وتمثل 27%. أما في الأيام الغائمة يكون هذا الإشعاع معدوم تقريبا.

2-الإشعاع الشمسي المتشتت أو المبعثر (Diffused solar radiation): يأتي من أنحاء متفرقة من السماء نسبته في الأيام الصافية حوالي 10% وتصل إلى 100% في الأيام الغائمة.

3-الإشعاع الشمسي المنعكس (Albedo radiation): تختلف كمية الإشعاع المنعكس على سطح الخلية الشمسية نتيجة اختلاف السطوح العاكسة للشعاع تقدر نسبته ب 13%. يوضح الشكل (I. 1) أنواع الإشعاع الشمسي [7].

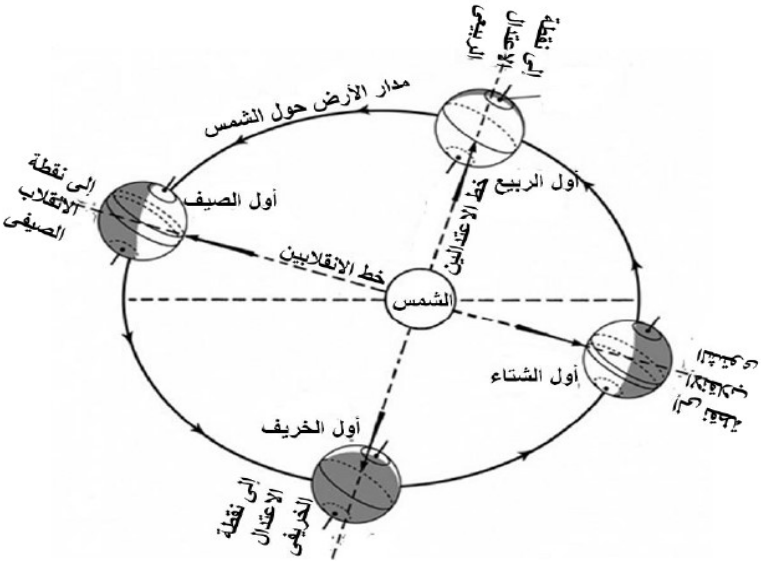


الشكل I . 3: أنواع الإشعاع الشمسي [8].

I.6. العوامل المؤثرة على شدة الإشعاع الشمسي :

تختلف شدة الإشعاع وكميته من مكان إلى آخر وهذا الاختلاف ناتج من العوامل الآتية:

. دوران الأرض في شكل بيضاوي مرة كل 365 يوم محدثا تغيرات الفصول، الشكل (I. 4) يوضح الفصول الأربعة:



الشكل I . 4: الفصول الأربعة خلال السنة [7].

. دوران الأرض حول محورها كل 24 ساعة محدثا اختلاف الليل و النهار.

. الغلاف الجوي: حيث تلعب مكونات الغلاف الجوي دورا مهما في تقليص الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض وذلك عن طريق:

- الإنعكاس والإمتصاص من طرف السحب في طبقات الجو.
- التشتت والإمتصاص بسبب الهواء.
- التشتت و الإمتصاص بسبب العوالق الصلبة في الجو.

. الموقع الجغرافي: المناطق الواقعة على خطوط عرض قريبة من خط الإستواء يتوفر فيها الإشعاع الشمسي أكثر من غيرها.

. موقع الخلايا: إن تواجد الخلايا الشمسية في مكان مزدحم بالعمران والأشجار قد يحول دون وصول الإشعاع المباشر[9،7].

I.7. الزوايا الشمسية :

تتغير شدة الأشعاع الشمسي من مكان إلى آخر نظرا لدوران الأرض اليومي حول محورها وكذا حركة دورانها السنوية حول الشمس وتحدد هاتين الحركتين الزاوية التي يسقط بها الإشعاع الشمسي على موقع معين من الأرض. نذكر أهم هذه الزوايا الشمسية:

✓ **زاوية الميل الشمسي δ:**

هي الزاوية بين الخط الواصل بين مركزي الأرض والشمس ومسقط هذا الخط على مستوى خط الإستواء تتغير قيمتها بين ($-23.45°,+23.45°$) ، وتحسب زاوية الميل (الإنحراف) بالعلاقة التالية[10]:

$$\delta = 23.45\sin[\frac{360}{365}(284+N_j)] \qquad (4-1)$$

N_j : عدد اليوم في السنة.

✓ **زاوية الإرتفاع الشمسي h:**

هي الزاوية المحصورة بين الإشعاع الشمسي (الواصل إلى نقطة من سطح الأرض) مع المستوى الأفقي، حيث تكون معدومة أي(h=0) عند الشروق والغروب وتأخذ قيمة عظمى عند الزوال وتعطى بالعلاقة[4،11]:

$$\sin(h) = \sin\varphi.\sin\delta + \cos\varphi.\cos\delta.\cos\omega \qquad (5-1)$$

حيث:

ω: زاوية الساعة الشمسية.

φ: زاوية العرض.

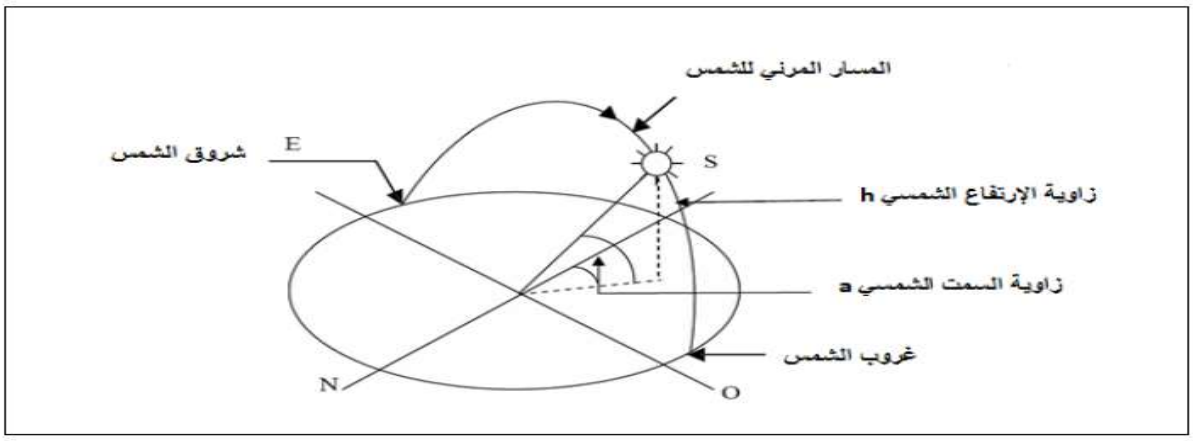
δ: زاوية ميل الشمس.

✓ **زاوية السمت الشمسي a:**

هي الزاوية المقاسة في المستوى الأفقي بين الجنوب ومسقط الشعاع الشمسي، حيث إذا كان مسقط الشعاع منطبق على محور الجنوب يكون(a=0) ويكون الإتجاه نحو الشرق سالبا وموجب نحو الغرب.

تنحصر قيمتها في المجال $a \in [-180°, +180°]$ ،و يمكن حسابها بالعلاقة [11،4]:

$$\sin(a) = \frac{\sin\delta . \sin\omega}{\cosh} \qquad (6-1)$$



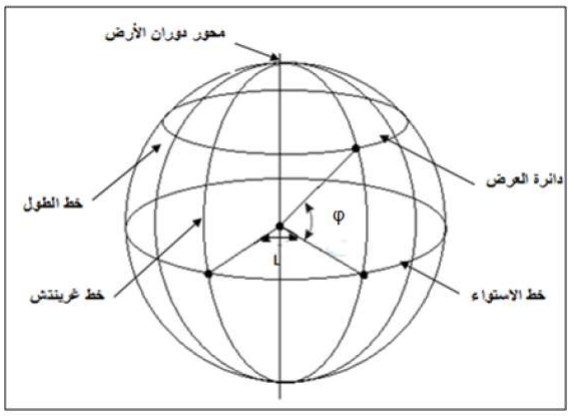
الشكل I . 5: زاوية الميل الشمسي والإرتفاع الشمسي [12].

✓ **زاوية خط الطول L:**

هي الزاوية التي يصنعها خط الطول المار بالمنطقة مع خط الطول المار ببلدة غرينيتش البريطانية الذي نعتبره خط الصفر، وتكون موجبة شرقا وسالبة غربا، وتنحصر في المجال $L \in [-180° +180°]$ [3].

✓ **زاوية دائرة العرض φ:**

هي الزاوية المقاسة بين المتجه المار بنقطة على سطح الأرض ومسقطه على خط الإستواء ومجالها يتراوح بين $\varphi \in [-90°,+90°]$ حيث تكون موجبة شمال خط الإستواء وسالبة جنوب خط الإستواء[3].



الشكل I . 6: زاوية خط الطول ودائرة العرض [13].

✓ **زاوية الساعة الشمسية ω:**

تعرف الزاوية الساعية لنقطة ما على سطح الأرض بأنها الزاوية الواجب أن تدور ها الأرض ليصبح خط طول هذه النقطة تحت الشمس مباشرة، حيث تكون ω=0 عند الظهيرة وموجبة بعد الظهر وسالبة قبل الظهر، وتكتب عبارتها كالآتي[11]:

$$\omega = \frac{360}{24}(TSV - 12) \qquad (7-1)$$

حيث:

TSV : يمثل التوقيت الشمسي الحقيقي.

وتوجد علاقة بين التوقيت الشمسي الحقيقي و التوقيت المحلي وهي:

$$TSV = TU + Et + \frac{L}{15} \qquad (8-1)$$

TU : التوقيت العالمي

L : خط الطول للمنطقة حيث يكون موجب شرقا وسالب غربا.

Et : معادلة التصحيح الزمني تعطى بالعلاقة [14]:

$$Et = 0.258\cos x - 7.416\sin x - 3.648\cos 2x - 9.228\sin 2x \qquad (9-1)$$

حيث:

$$x = \frac{360(Nj-1)}{365.24}$$

I.8. الخلايا الكهروضوئية :

I.8.1. لمحة تاريخية عن الخلايا الشمسية :

الخلايا الشمسية هي إحدى أهم الإختراعات في العصور الحديثة. والتي تمكن الإنسان بفضلها من تأمين جزء لابأس به من إحتياجاته اليومية للطاقة عن طريق تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء سواء بشكل مباشر أو غير مباشر. نذكر بعض التواريخ المهمة:

1939: إكتشاف التأثير الكهروضوئي من قبل العالم الفيزيائي إدموند بيكريل [15].

1875: يعرض فيرنرفون سيمتز في أكادمية برلين مقالا عن التأثير الكهروضوئي في أشباه الموصلات [16].

1954: قام ثلاثة باحثين أمريكيين هم وبيرسون وبرنس بتطوير خلية كهروضوئية عالية الكفاءة [15].

1958: تم تطوير خلية ذات كفاءة 9% وتم إرسال أول أقمار صناعية تعمل بالخلايا الشمسية إلى الفضاء[17].

1973: تم بناء أول منزل يعمل بالخلايا الكهروضوئية في جامعة ديلاوير[17].

1983: إكتشاف أول سيارة تعمل بالطاقة الضوئية تسافر على مسافة 4000 كم في أستراليا [17].

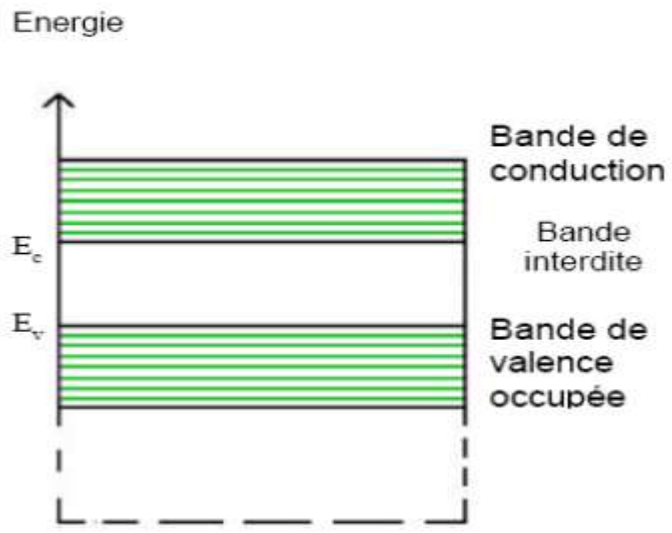
1995: تم إطلاق برامج تسقيف الشبكة الكهروضوئية المتصلة بالشبكة في اليابان وألمانيا وأصبحت واسعة الإنتشار منذ عام 2001.

I.2.8. مستويات الطاقة (نطاق التكافؤ – نطاق التوصيل) :

نطاق التكافؤ Bande de conduction: هو نطاق الطاقة المعبرة عن مستويات الطاقة لإلكترونات التكافؤ، أي الإلكترونات التي تؤمن الترابط بين ذرات العنصر لتشكيل البنية البلورية له، ويمثل المستوى E_V مستوى الطاقة الأدنى لهذا النطاق.

نطاق النقل (التوصيل) Bande de valence: هو نطاق الطاقة المعبرة عن مستويات الطاقة للإلكترونات الحرة والتي تشارك في عملية نقل التيار الكهربائي من دون أن تساهم في تركيب أي ذرة خاصة ويمثل المستوى E_C مستوى الطاقة الأعلى لهذا النطاق. ويفصل بين هاذين النطاقين ما يسمى بطاقة الفجوة Energy gap.

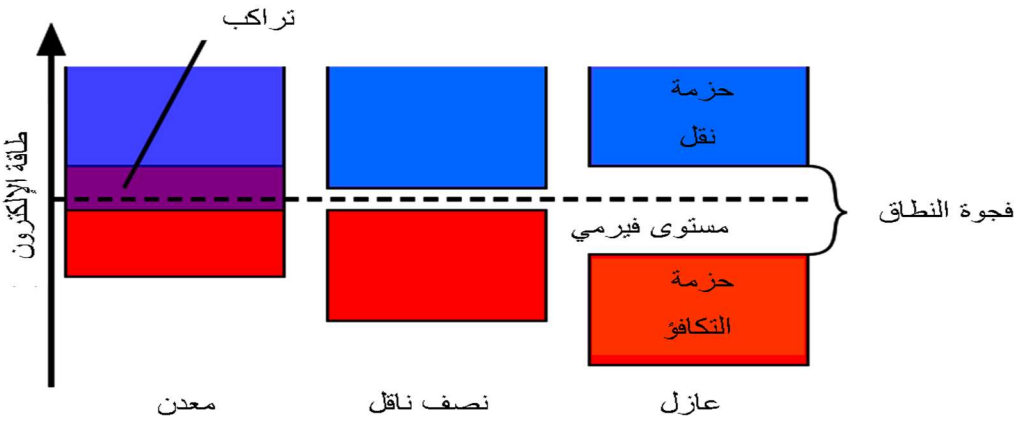
عند إعطاء طاقة أكبر من طاقة الفجوة فإن الإلكترونات تعمل على كسر الروابط الموجودة في نطاق التكافؤ فتكون حرة فتنتقل إلى نطاق التوصيل [18].



الشكل I . 7: نطاق التكافؤ – نطاق التوصيل **[19].**

I.3.8. تصنيف المواد الأولية :

- **المادة الناقلة (موصلة):** مادة تسمح بانتقال الشحنات خلالها بسهولة بسبب إحتوائها على وفرة من الإلكترونات الحرة، وتمتاز بتداخل نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل. ومن المواد الموصلة النحاس والفضة والالمنيوم.
- **المادة العازلة:** هي مادة ذات مقاومة شديدة عالية جدا. لا تسمح بانتقال الشحنات الكهربائية خلالها، بسبب إرتباط إلكتروناتها بشدة بالنواة. حيث يكون من الصعب التغلب على طاقة على طاقة الربط فيها. وهي لا تحتوي على إلكترونات حرة مثل الكوارتز والبورسلين.
- **المادة شبه ناقلة (شبه موصلة):** المادة شبه الموصلة هي عناصر رباعية التكافؤ (يحتوي الغلاف الخارجي للذرة على أربعة إلكترونات) ترتبط ذراتها ببعضها البعض بروابط تساهمية. من أهم هذه العناصر السليكون والجرمانيوم. حيث تكون عازلة تماما في درجة حرارة الصفر المطلق وتزداد توصيليتها بارتفاع درجة حرارتها أو عند تسليط فرق جهد كهربائي أو عند تعرضها لإشعاع بطاقة كافية[7].



الشكل I . 8: مقارنة نطاق الفجوة [20].

تصنف أشباه النواقل إلى نوعين:

- **مواد شبه موصلة نقية" أشباه نواقل":**

تتصف بأن لها ترتيبا بلوريا حيث مادة السليكون تحتوي على 14 إلكترونا منهم عشرة مرتبطة بالنواة وأربعة في الغلاف الخارجي لنواة الذرة. والجرمانيوم الذي يحتوي على 32 إلكترون منها 28 إلكترون مرتبط بالنواة وأربعة في الغلاف الخارجي لنواة الذرة. تمتلك أشباه الموصلات النقية أعدادا متساوية من حاملات الشحنة السالبة والموجبة (إلكترونات والفجوات) أي أن كثافة الإلكترونات في حزمة التوصيل تساوي كثافة الفجوات في حزمة التكافؤ[7،21].

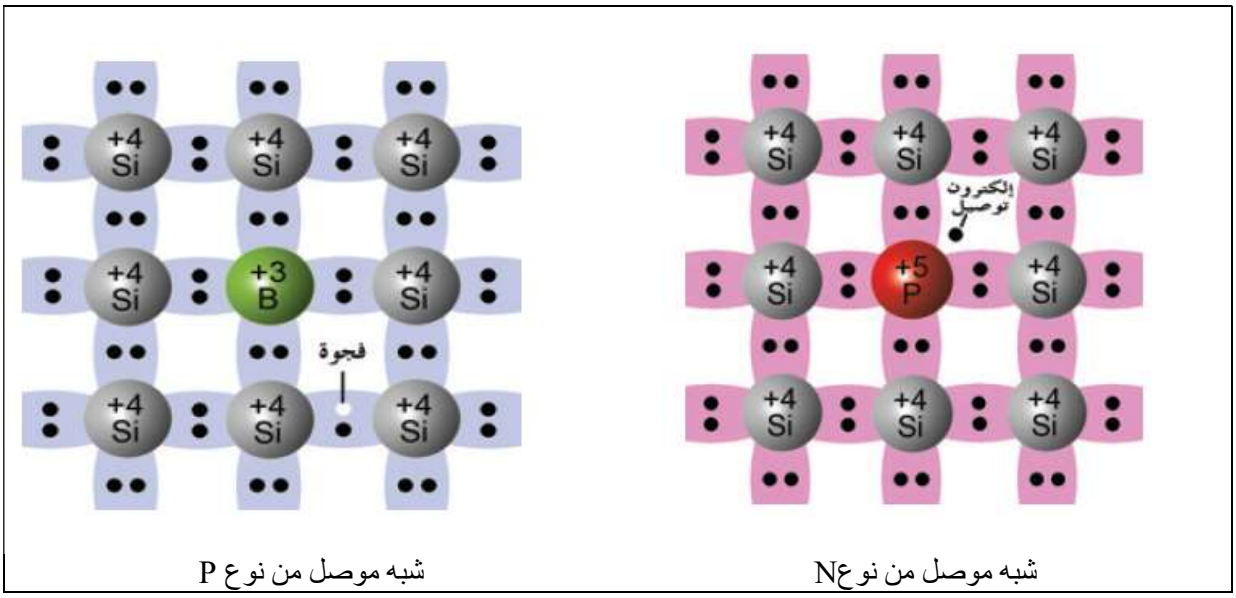
- **مواد شبه موصلة غير نقية "أشباه نواقل مشابة":**

هي نفس المواد النقية لكن تم إضافة نسبة من الشوائب إليها مثل الزرنيخ، الفوسفور، الجاليوم، والبورون، بغرض جعلها تقبل التوصيل الكهربائي حيث تسمى هذه العملية عملية التطعيم وهناك نوعان من المواد شبه الموصلة غير النقية:

– توجد مواد شبه موصلة مضاف إليها شوائب ذات ذرات خماسية التكافؤ مثل الزرنيخ والفوسفور، وتكون ناقلات الشحنة الكهربائية فيها هي الإلكترونات الحرة حيث نجد أن كل أربعة إلكترونات تكافؤ من إلكترونات المادة الشائبة (الفوسفور p) ترتبط بروابط تساهمية مع ذرات السليكون ليكتمل المدار الخارجي لذرة السليكون ويبقى إلكترون زائد من الفوسفور ليصبح حر الحركة خلال البلورة وبالتالي يزداد بهذه الطريقة عدد الإلكترونات السالبة الحرة وتعرف هذه المواد بالنوع"N".

– وهناك مواد شبه موصلة مضاف إليها شوائب ذات ذرات عناصر ثلاثية التكافؤ مثل الجاليوم والبورون، وتكون ناقلات الشحنة الكهربائية فيها هي الفجوات حيث أن إلكترونات التكافؤ الثلاثة للبورون ترتبط مع

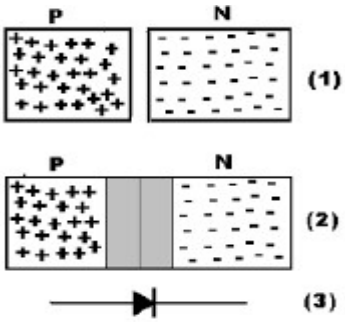
ذرات السليكون برابطة تساهمية وهنا نجد أن ذرة السليكون ينقصها إلكترون واحد حتى يكتمل البناء التساهمي وهذا يعني وجود فجوة التي تمثل شحنة موجبة لها قدرة قوية على جذب إلكترون وبهذه الطريقة يزداد عدد الفجوات و تعرف هذه المواد بالنوع"P"[21].



الشكل I . 9: أنواع أشباه الموصلات[22].

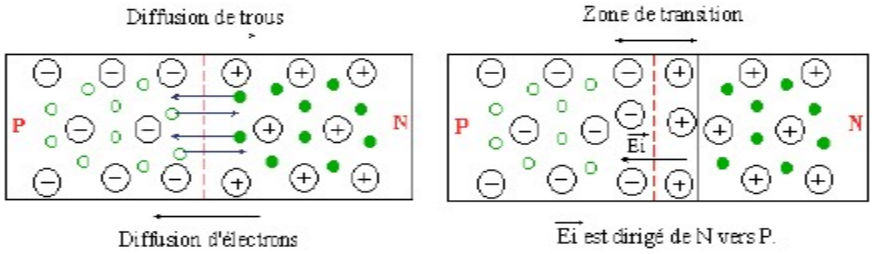
4.8.I. الوصلة P–N :

يتم الحصول على وصلة ثنائية (p–n) من تلاقي مادتين شبه موصلتين، إحداهما من الصنف p والأخرى من الصنف n، عند التحامهما معا تنتقل الإلكترونات عبر السطح الفاصل من المنطقة n لتلتصق مع الثقوب الموجودة في المنطقة p. يرمز لثنائي القطب (الديود) كما هو موضح في الشكل(**10.I**):



الشكل I . 10: وصلة ثنائية (ديود:diode)

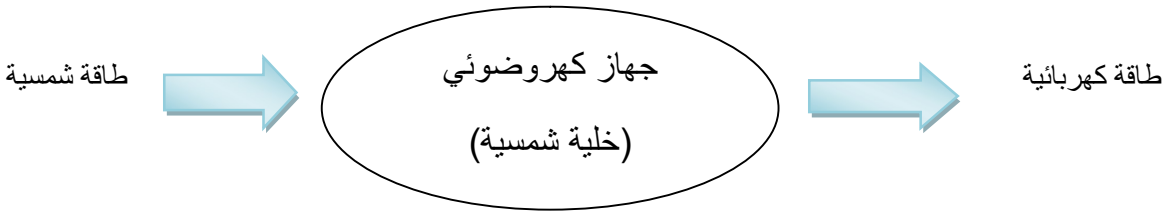
عند تكون الوصلة الثنائية تنجذب بعض الإلكترونات من المنطقة السالبة نحو منطقة الاتصال وتعبرها إلى المنطقة الموجبة، كما تنجذب بعض الثقوب من المنطقة الموجبة إلى المنطقة السالبة. ونتيجة لذلك تصبح ذرات المنطقة السالبة (أيونات موجبة) وذرات المنطقة الموجبة (أيونات سالبة)، وهكذا تتكون شحنة فراغية على جانبي الوصلة. ويطلق على هذه المنطقة التي تكونت فيها الشحنة الفراغية " بمنطقة الإستنزاف" . وبذلك ينشأ فرق جهد بين المنطقة السالبة والمنطقة الموجبة. هذا الجهد يعرف "بجهد الحاجز" والذي يقف عنده انتقال مزيد من الإلكترونات من المنطقة السالبة إلى المنطقة الموجبة. و تتصف الوصلة الثنائية بقابليتها على مرور التيار في اتجاه واحد[،237،24].



الشكل I . 11: منطقة الشحنة الفراغية في الوصلة P–N[19].

I.8.5. الخلية الشمسية:

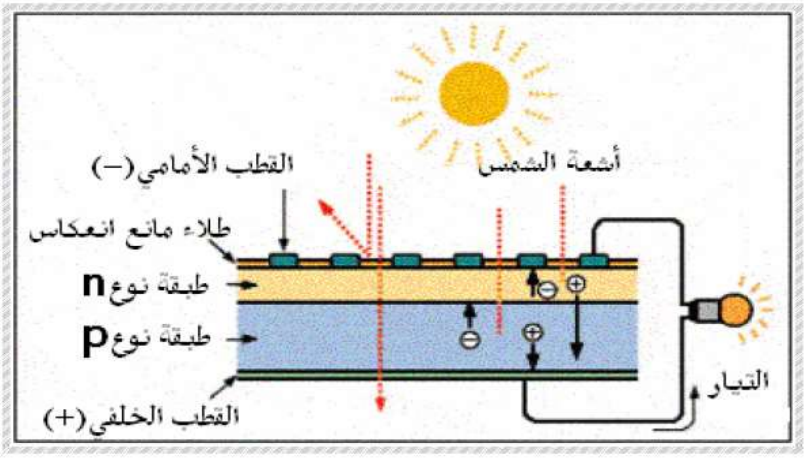
تعتبر الخلية الشمسية جهازا إلكترونيا ضوئيا قادر على التقاط وتحويل الطاقة مباشرة من أشعة الشمس إلى كهرباء هذا التحويل يسمى التحويل الكهروضوئي.



الشكل I . 12: الخلايا الشمسية الكهروضوئية كجهاز لتحويل الطاقة الشمسية

I.8.6. مكونات الخلية الكهروضوئية :

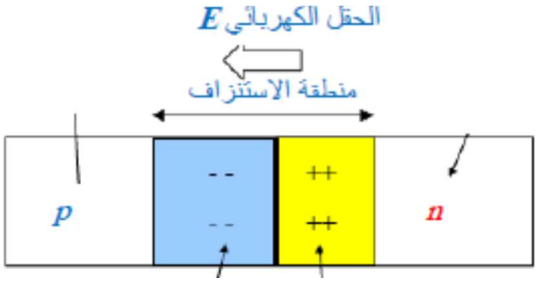
تتألف الخلية الكهروضوئية من غطاء زجاجي و إلكترودين أحدهما أمامي والآخر خلفي وطبقتان من شبه الموصل كما هو موضح في الشكل(I.13):



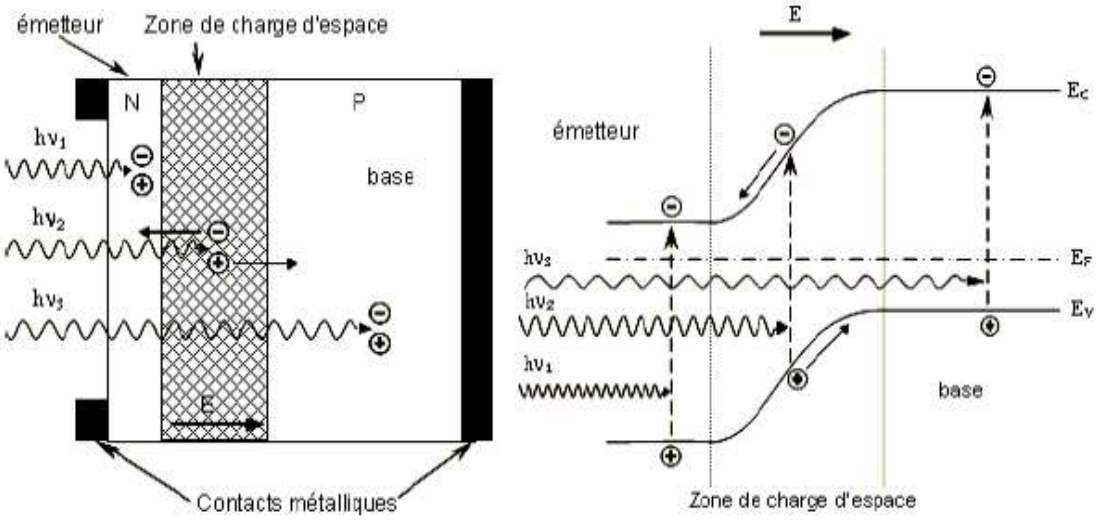
الشكل I . 13: مكونات الخلية الكهروضوئية [10].

I.8.7. مبدأ عمل الخلية الكهروضوئية :

إن الخلية الشمسية تحاكي وتعمل كديود أو صمام ثنائي يحوي منطقة N ومنطقة P وصلة P–N. المنطقة N تكون فيها حاملات الشحنة السالبة هي الغالبة. المنطقة الأخرى P تكون فيها حاملات الشحنة الموجبة أي الالكترونات أقلية و بالمقابل تكون الفجوات أو الثقوب هي الغالبة. تتشكل بين المنطقتين ما يعرف بالوصلة P–N. تسمى منطقة الوصلة بمنطقة الاستنزاف كما يبينه الشكل ينشأ في منطقة الاستنزاف حقل كهربائي يتجه كما في الشكل (I.14):



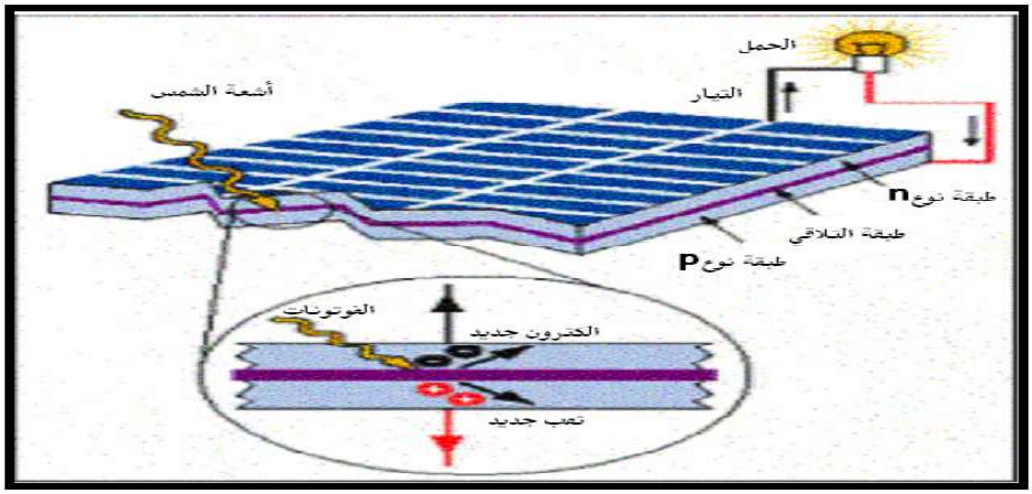
الشكل I . 14: منطقة الإستنزاف في الوصلة PN



لشكل I . 15: يمينا مخطط الحزم يسارا بنية الخلية الشمسية[25]

تتلقى الخلية الشمسية طاقة فوتونات حيث أن كل فوتون يحمل كمية طاقة تقدر بـ hυتتغير قيمة التواتر υ بتغير طول موجة الضوءλ التي تتلقاها الخلية الشمسية. إن طاقة الفوتونات hυ التي بإمكانها تحرير الالكترونات يجب أن تكون كبيرة نسبيا حتى تتغلب حلى الحقل الكهربائي الذي يسود منطقة الاستنزاف و تسمح له من أن يقفز من عصابة التكافؤ BVإلى عصابة التوصيلBC(أي في حالة ما إذا تلقى طاقة تفوق أو تساوي طاقة العصابة المحظورة (Energie de gap)). إذا تمكن الفوتون من تحرير الإلكترون من المنطقة السالبة N أو من منطقة الوصلة P–N اللتان تحويان زيادة في عدد الالكترونات كما هو موضح بالشكل (I.15) فإنه سيتحرك نحو المنطقة الموجبة تاركا ورائه ثقبا موجبا. تتزايد الثقوب مع زيادة تحرير الالكترونات. عند توصيل المنطقة P بالمنطقة N بأسلاك ناقلة فان الالكترونات المتحررة ستواصل حركتها لتعود إلى المنطقة N عبر هذه الأسلاك الناقلة.

إن سريان الالكترونات عبر الأسلاك الناقلة من المنطقة P نحو المنطقة N هو ما يعرف بالتيار الكهربائي، الذي يسري عندما يتم توصيل طرفي الخلية الشمسية بدائرة خارجية، أو بطرفي مصباح كهربائي حيث تعود الإلكترونات والفجوات إلى موضعها الأصلي فحركتها تنتج التيار الكهربائي المستمر الذي ننشده كما هو موضح في الشكل(I.16):



الشكل I . 16: مبدأ عمل الخلية الشمسية[26].

I.8.8. أنواع الخلايا الكهروضوئية :

a) الخلايا السليكونية :

1-الخلايا أحادية البلورة (mono-cristalline):

تعتبر الخلايا أحادية البلورة أحسن الخلايا في السوق لكونها تقدم أفضل مردود (16إلى 24%) إلا أنها مكلفة للغاية فهي باهضة الثمن[27].

2-الخلايا متعددة البلورات(poly-cristalline):

طرق التصنيع أقل تكلفة من تلك المستخدمة في السيليكون أحادي البلورية هذه التكنولوجيا تجعل من الممكن الحصول على كفاءة تتراوح بين 14 إلى 18%[27].

3-الخلايا غير المتبلورة أو العشوائية (amorphes):

تتمتع بميزة عملية تصنيع أرخص وهي تكنولوجيا تستخدم في نطاق واسع. تستعمل الخلايا العشوائية في الأجهزة الصغيرة مثل الآلات الحاسبة والساعات، بينما تتميز بكفاءة منخفضة 4 إلى 9% مقارنة بالتقنيات الأخرى وعمر منخفض[28].

b) الخلايا الشريطية :

خلايا الغاليوم أرسنايد GaAs:

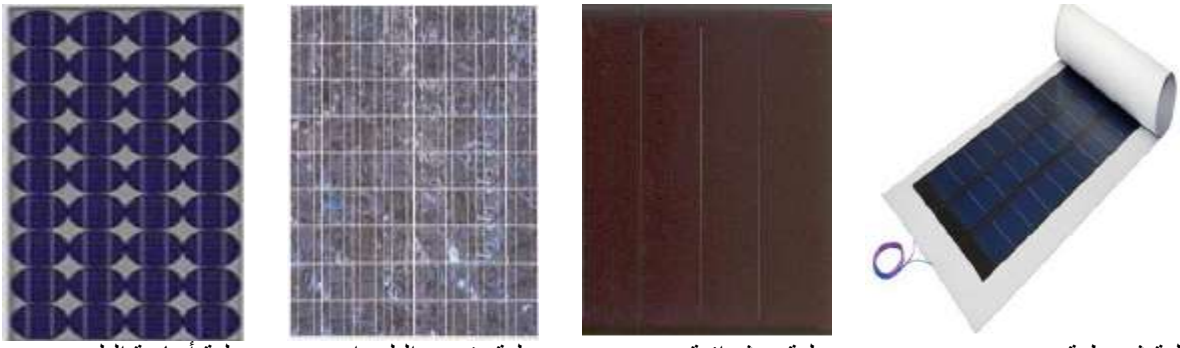
تتميز هذه الخلايا بمعامل إمتصاص عال للضوء، فهي ملائمة للإستخدام في تطبيقات الخلايا الشمسية وتتمتع بكفاءة جيدة يمكن أن تعمل تحت ظروف حرارة عالية دون تناقص أدائها كالخلايا السليكونية، لكن كلفة تصنيع هذه الخلايا عالية.

خلايا الكوبرانديوم ديسلنايدCIS:

تتركب من النحاس والأنديوم والسلينايد وصلت كفاءتها مخبريا 12% و من عيوبها أنها تحتوي على الهيدروجين و السلينايد في تصنيعها وهي مواد سامة.

خلايا الكادميوم تليرايد CdTe:

عمليات ترسيب الكادميوم تليرايد لصناعة الخلايا سريعة للغاية مما يقلل من تكاليف الإنتاج، كفاءتها تقدر بـ 10%، لكن من عيوبها أن مادة الكادميوم سامة جدا[10].

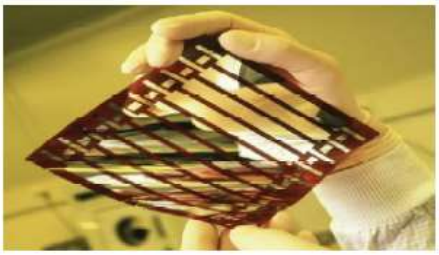


لشكل I . 17: أنواع الخلايا الشمسية المشهورة [29].

c) خلايا شمسية عضوية Organic Solar Cell (OSC) :

بدأ التطبيق الخاص بأشباه الموصلات العضوية في جذب الإنتباه عام 1986. ويتم تصنيع الخلايا العضوية غالبا من مواد كربونية لها خواص فريدة من نوعها حيث أنها تتميز بالمرونة و الشفافية

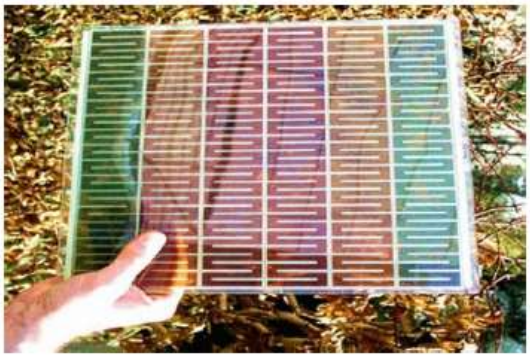
و خفة وزنها. لكن كفاءة تحويل الخلايا العضوية منخفضة 3-5%. فهي لا تزال في مرحلة البحث في المختبر وبإمكانها أن تمهد الطريق لوحدات الطاقة الضوئية[30].



الشكل ا . 18: صورة لخلية عضوية [31].

d) خلايا شمسية صبغية(Dye-sensitized Solar Cells (DSSCs :

وتسمى أيضا باسم مخترعها Grazel cells، هي مصنوعة من مواد منخفضة التكلفة وسهلة التصنيع. هذه الخلايا يتم غمس حبيبات نانونية شفافة (غير معتمة) عالية المسامية من ثاني أكسيد التيتانيوم بمركب مادة عضوية. غالبا ماتكون لمركب عضوي من مركبات عنصر الروثنيوم (Ruthenium) فتتسرب جزيئات الطلاء العضوي على الأسطح الخارجية لحبيبات أكسيد التيتانيوم التي تغمر داخل محلول الكتروليتي يوضع بالخلية[7].



الشكل ا . 19: خلية شمسية صبغية [7].

I.8.9. ايجابيات وسلبيات الخلايا الكهروضوئية :

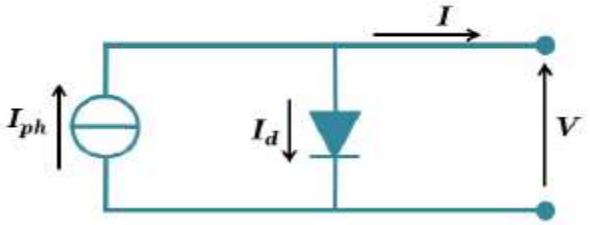
جدول 1: ايجابيات وسلبيات الخلايا الكهروضوئية[32،33،34].

الإيجابيات	السلبيات
• تعمل بشكل موثوق دون إشراف لفترات طويلة. • يمكن إستغلال الطاقة الكهروضوئية في الجبال، في قرية نائية، ووسط مدينة كبيرة. • تتميز الخلايا الكهروضوئية بخصائص بيئية فهي متجددة وغير ملوثة ولا تصدر فوضى. • يتم التخلص من تكاليف نقل الوقود الأحفوري ومخاطره البيئية. • عمر الألواح الشمسية طويل جدا (مدة25 عاما).	• تصنيع الخلايا الشمسية هي تقنية عالية مما يجعل التكلفة مرتفعة جدا. • إنتاج الطاقة الذي يعتمد على أشعة الشمس متغير دائما نظرا لتقلبات الطقس. • عدم إستمراريتها خلال اليوم مما يؤدي إلى مشاكل عملية في إستخدامها. • إنخفاض كفاءة التحويل بمرور الوقت. • لابد من توفير مساحات شاسعة. • لا يمكن إنتاج الطاقة في الليل. • العوامل المناخية تأثر على كفاءة الخلية.

I.8.10. الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية :

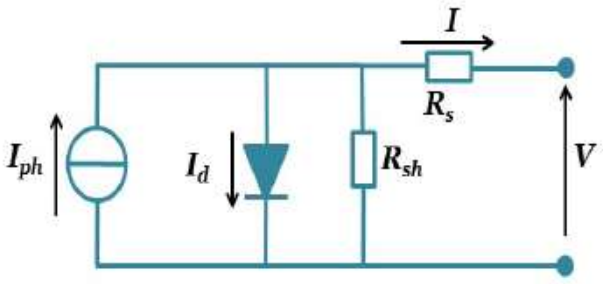
يمكن نمذجة خلية شمسية تتعرض للإشعاع الشمسي بواسطة دارة كهربائية كالتالي:

في الحالة المثالية يتم تمثيل الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية كما هو موضح في الشكل(I.20):



الشكل I . 20: مخطط كهربائي مكافئ للخلية الضوئية المثالية[35].

لكن في الواقع تتم محاكاة الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية بوضع مقاومة على التسلسل وأخرى على التوازي. المقاومة التسلسلية هي المقاومة الداخلية للخلية الممانعة لمرور التيار. ترجع مقاومة التفرع إلى تيار التسرب عند الوصلة وكذا الخسائر الناتجة عن إعادة التركيب. كلما انخفضت R_s أو ازدادت قيمة R_{sh} كلما كانت الخلية الكهروضوئية ذات كفاءة عالية. والحالة المثالية تتحقق عندما تكون ($R_s = 0$) و($R_{sh}=\infty$)[36].



الشكل ا . 21: رسم تخطيطي للدارة المكافئة للخلية الشمسية[35].

توصف ميزة تيار. جهد للخلية الشمسية بالمعادلة الآتية [37]:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \qquad (10-1)$$

بالتعويض نجد:

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IRs)}{nKT}} - 1\right) - \frac{V-RsI}{Rsh} \qquad (11-1)$$

حيث:

I_d : التيار الثنائي

I_{sh}: تيار مقاومة التحويلة

I: تيار الخلية.

I_{ph} : التيار الضوئي الناتج من الخلية.

I_0 : تيار التشبع

V : الجهد المولد في الخلية.

R_s : المقاومة التسلسلية للديود الثنائي حيث تعطى ($R_s = 0.1\Omega$)

R_{sh} : المقاومة على التوازي للديود حيث ($R_{sh} = 10^4\Omega$)

T : درجة الحرارة بالكلفن K حيث $T = 25C°$

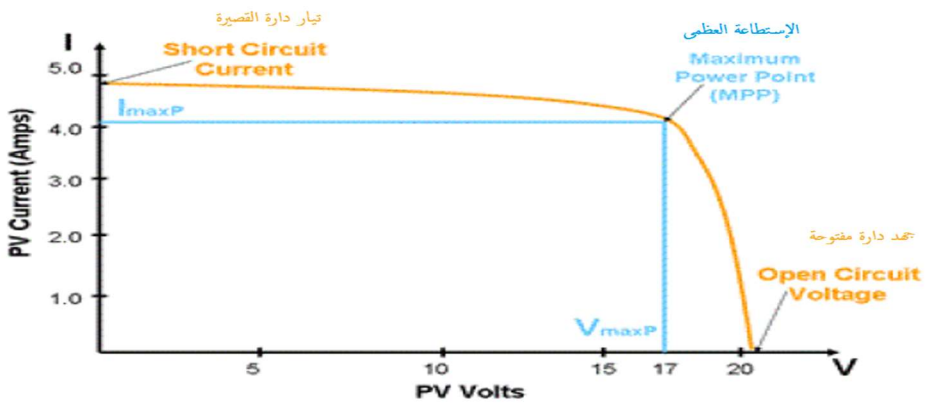
K : ثابت بولتزمان بحيث $K_B = 1.38*10^{-23}$ J/k

q : شحنة الإلكترون ($q = 1.6*10^{-19}C$)

n: المعامل المثالي للديود.

I.8.11. المنحنى المميز تيار. جهد (I – V) للخلية الشمسية:

تعتمد خصائص الخلية الشمسية على عنصرين أساسيين هما التيار الكهربائي والجهد الكهربائي. فمن خلال هذين العنصرين يمكن رسم المنحنى المميز للخلية كما هو موضح في الشكل(I.22):



الشكل I . 22: المنحنى المميز للخلية الشمسية [20].

I.8.12. خصائص منحنى الجهد والتيار (I – V) [18] :

جهد الدارة المفتوحة: يرمز له V_{co} أقصى جهد عبر الخلية يتم الحصول عليه عندما يكون التيار المتدفق عبر الخلية صفرا (I=0)، تعطى علاقته كالتالي:

$$V_{co} = \frac{nKT}{q} \; Ln(\frac{Icc}{Is} + 1)$$

تيار الدارة القصيرة: هو التيار الكهربائي المتدفق في الخلية عند (V=0) يرمز له I_{CC} حيث:

$I_{cc} = I_{ph}$

الإستطاعة العظمى P_m: يتم الحصول عليها من خلال الجهد والتيار الأمثل حيث تعطى بالعلاقة:

$$Pm = Vm \times Im$$

عامل الإمتلاء FF: وهو النسبة بين الإستطاعة العظمى على الإستطاعة المنتجة، حيث (FF=1 في حالة المثالية) .

$$FF = \frac{\mathrm{Vm} \times \mathrm{Im}}{V\mathrm{co} \times I\ \mathrm{cc}}$$

مردود الخلية الشمسية: يتم تعريف كفاءة التحويل للخلية بأنه النسبة بين الطاقة العظمى الواردة من الخلية Pm و الطاقة الضوئية الساقطة على الخلية Pin ويرمز له بـ η.

تعطى كفاءة الخلية بالعلاقة التالية:

$$\eta = \frac{\mathrm{Pm}}{\mathrm{Pin}} = \frac{\mathrm{ImVm}}{E.\mathrm{S}}$$

E: شدة الإشعاع الساقط على الخلية [W/m^2]

S: مساحة سطح الخلية [m^2]

ويتم قياس كفاءة الخلية عمليا في حالة الظروف القياسية (standard test condition STC) تتمثل في:

- الإشعاع الشمسي $E = 1000\ W/m^2$
- درجة حرارة 25 °C
- كتلة الهواء AM = 1.5

I.13.8. العوامل المسببة للخسارة في كفاءة الخلية الشمسية :

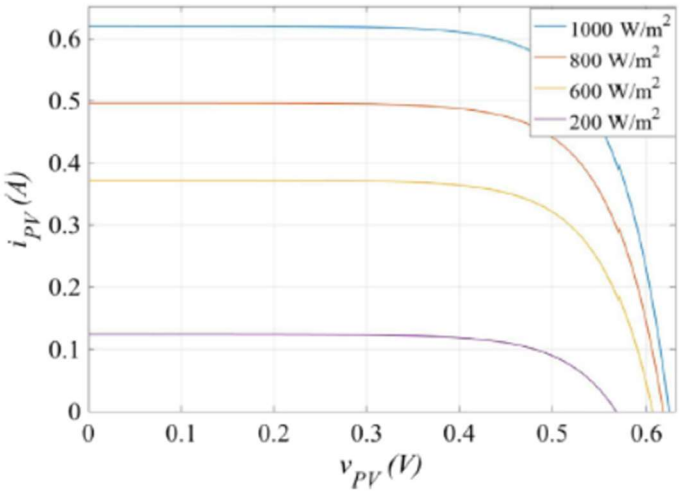
- الإمتصاص الجزئي للفوتونات العارضة: الفوتونات العارضة للطاقة E أقل من فجوة أشباه الموصلات ($E<E_g$) لا يمكن أن تولد أزواج خاضعة للتحكم الإلكتروني وبالتالي تضيع.
- خسائر بسبب طاقة الفوتون الزائدة: ينتج فوتون الطاقة الحادث الذي يزيد عن الفجوة ($E>E_g$) زوجا واحدا فقط من (ثقب – إلكترون) يتم نقل الطاقة الزائدة على شكل حرارة إلى المادة.
- الخسائر الناتجة عن إنعكاس أشعة الضوء الساقطة على السطح: يتم إمتصاص جزء فقط من الإشعاع الشمسي بينما ينعكس الجزء الآخر[35].

I.8.14. تأثير العوامل المناخية على الخلية الشمسية الكهروضوئية :

تؤثر الظروف المحيطة بالمنظومة الشمسية الكهروضوئية على أداء الخلية الشمسية خلال ساعات النهار.

تأثير شدة الإشعاع الشمسي:

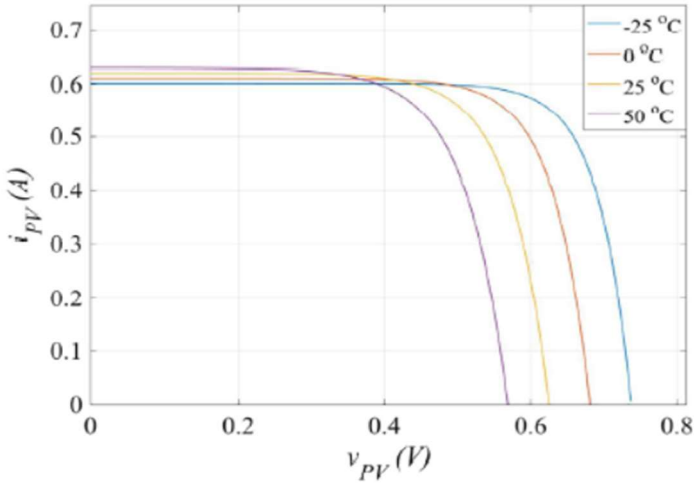
تؤثر شدة الإشعاع الشمسي على كفاءة الخلية الشمسية حيث أن إرتفاع قيمة الإشعاع الشمسي يؤدي إلى إرتفاع درجة حرارة الخلية حيث يزداد التيار المتولد بشكل متناسب عندما تزيد الإضاءة (شدة الإشعاع الساقط) بالإضافة إلى زيادة طفيفة في جهد الدارة المفتوحة للخلية كلما ارتفع الإشعاع الشمسي كما هو موضح في الشكل(I.23) [38]:



الشكل I . 23: تأثير الإضاءة على المنحنىI-V [39].

تأثير درجة الحرارة:

ينخفض الجهد المولد عندما تزداد درجة حرارة الجو المحيطة بالخلية أي انخفاض الطاقة الكهربائية الناتجة من الخلية وينتج عنه ارتفاع طفيف في تيار القصر للخلية الشمسية عند ثبوت الإشعاع الشمسي($1000W/m^2$) .



الشكل I . 24: تأثير درجة الحرارة على المنحنى I-V.

تأثير الرياح:

إن حركة الرياح لا تؤثر مباشرة على أداء الخلية ولكن تؤثر على حرارة السطح للخلية الشمسية وبالتالي الحرارة الداخلية للخلية الشمسية ومن المعلوم أن حركة الرياح تؤثر على تيارات الحمل وبالتالي تعمل على رفع معامل انتقال الحرارة بالحمل والذي بدوره يساعد في انتقال الحرارة من سطح الخلية إلى المحيط الخارجي وهذا يخفض من الحرارة الداخلية للخلية وبالتالي يحسن من كفاءتها[38].

الفصل الثاني: الجرافين و تأثيره على الخلايا الشمسية

II.1 مقدمة :

الجرافين مادة ثنائية الأبعاد شغل الكثير من الباحثين و الصناعيين في العالم، بسبب خصائصه الميكانيكية والفيزيائية والكهربائية الفريدة من نوعها. تلك الخصائص جعلته مادة مهمة اقتصاديا وصناعيا.

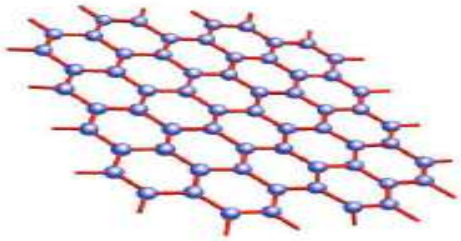
في هذا الفصل سوف نتطرق الي تعريف الجرافين وخصائصه وطرق استخلاصه وتطبيقاته خاصة في مجال الخلايا الشمسية.

II.2 الجرافين :

تم اكتشاف الجرافين سنة 2004 من قبل العالم اندري جيم(Andre Geim) وطالبه كوستيا نوفوسلوف (Kostya Navoselov) حيث تحصلا على جائزة نوبل في الفيزياء سنة 2010 م , مهمتهما بدأت بإنتاج أرفع مادة بالعالم. في الواقع، كان الجرافين معروفًا بالفعل لدى المجتمع العلمي منذ الستينيات[40].

الجرافين عبارة عن طبقة ثنائية الأبعاد 2D من الكربون سمكها ذرة كربون واحدة. يأخذ الجرافين بنية ذات شكل سداسي تشبه تماما خلية النحل. يطلق اسم الجرافين على أحادي الطبقة المستوية ذات التهجين من نوع SP^2. سمك أحادي الطبقة هو أعشار قليلة من النانو متر[41].

إن توضع العديد من مستويات الغرافين فوق بعضها البعض يشكل ما يسمى بالجرافيت الذي نجده في قلم الرصاص. حيث يعد الجرافين وحدة البناء الأساسية لمادة الجرافيت الذي له هيكل ثلاثي الأبعاد 3D. إن القوى التي تربط هذه المستويات هي قوى فان دير فالز الضعيفة [42].



الشكل II . 1: على اليمين هيكل الجرافين على اليسار حجر الجرافيت[43].

II. 3أشكال الغرافين :

1) الجرافين أحادي الطبقة (Monolayer):

ورقة من ذرات الكربون المترابطة التي لا تتعدى سماكتها سماكة ذرة واحدة فقط. هو أنقى شكل معروف ومفيد لمادة تحوي إلكترونيات عالية التردد. تختلف خصائص الجرافين بزيادة عدد الطبقات.

2) الجرافين متعدد الطبقات((Few-Layer Graphene (FLG) or Multi-Layer Graphen (MLG)):

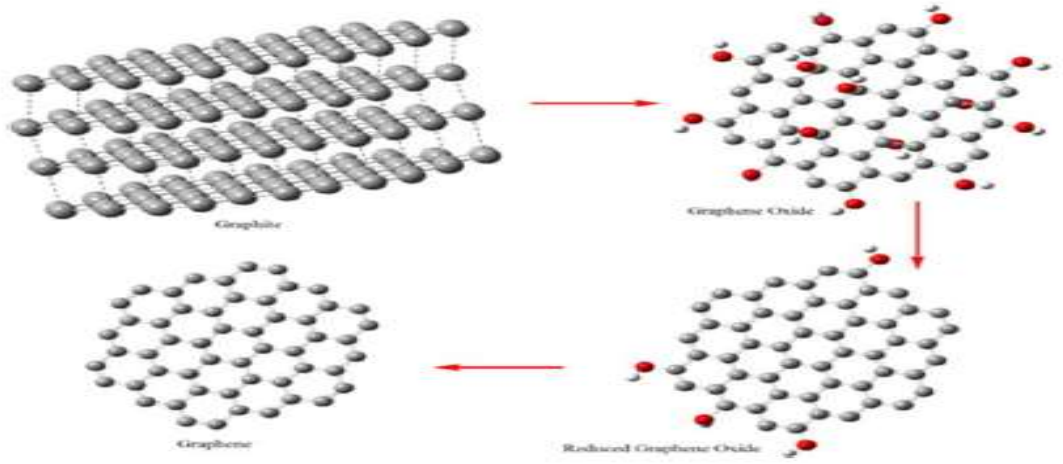
يتكون من عدد صغير (بين 2 إلى 10) من طبقات الجرافين المكدسة والمحددة، والمعدلة، ذات الأبعاد الجانبية الممتدة.

3) أكسيد الجرافين Graphene Oxide(GO):

أكسيد الجرافين هو طبقة أحادية من الجرافين تحتوي على نسبة عالية من الأكسجين، حيث تتراوح نسبة الذرات C / O بين 2 إلى 3. تسمح الأغشية الرقيقة التي يتم تحضيرها باستخدام GO بمرور المياه فقط من خلاله و تمنع الغازات الضارة من العبور. يرتبط الجرافين GR تساهميًا بالمجموعات الوظيفية المحتوية على الأكسجين. نظرًا لتعلق هذه المجموعات الوظيفية، فإن GO مرشح محتمل وفعال من حيث التكلفة. بسبب هذه المجموعات الوظيفية المؤكسدة المختلفة، فإن أكسيد الجرافين مفيد للغاية في تحسين أداء الخلايا الشمسية الكهروكيميائية الضوئية. GO لديه القدرة على امتصاص الجزيئات العضوية وبالتالي يعزز تركيزه المحلي بالقرب من المحفزات الضوئية.

4) أكسيد الجرافين المرجع أو المختزل Reduced Graphene Oxide (RGO):

هو أكسيد الجرافين الذي يتم معالجته اختزالًا بالطرق الكيميائية أو الضوئية الكيميائية أو الحرارية أو الضوئية الحرارية لتقليل محتواها من الأكسجين. وبالتالي، فإن أكسيد الجرافين المختزل هو موصل ونشط كيميائيًا، مما يجعله مرشحًا واعدًا كمادة نشطة في مجال أجهزة الاستشعار [44].

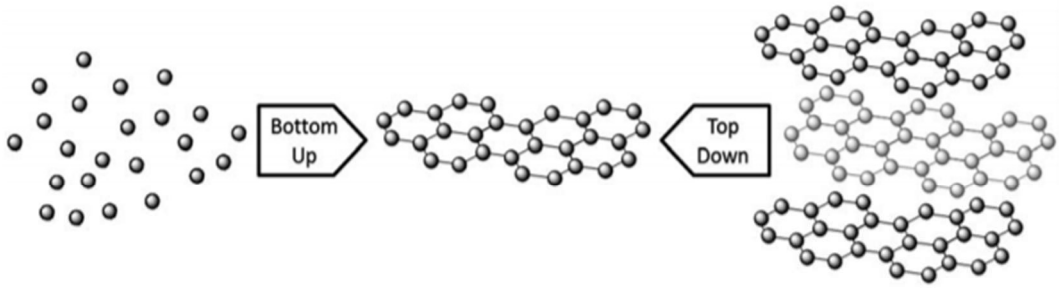


الشكل II . 2: أشكال الجرافين [45].

4.II المبدأ العام لإستخراج الجرافين:

تصنيع الجرافين بشكل عام يعتمد على منهجيتين هما:

Top–downو Botton–up كما هو موضح في الشكل (II. 1). حيث يعتمد منهج Top–down بشكل أساسي على الجرافيت لتشكيل الجرافين. حيث يتم تقشير الجرافيت إلى جرافين باستعمال طرق التقشير إما في الطور الصلب أو طور سائل أو التقشير الكهروكيميائي أو عبر تقشير أكسيد الجرافيت إلى أكسيد الجرافين. أما بالنسبة إلى منهج Botton–up يعتمد علي بناء الجرافين من طلائع جزيئية (هيدروكربون). ومن أكثر الطرق المستعملة هي الترسيب البخار الكيميائي و النمو الفوقي. وتعتمد بنية و خصائص الجرافين المصنع مثل حجم الطبقة المصنعة و سمكها، كيمياء السطح، والشوائب و العيوب الموجودة في الطبقة، وقابلية الذوبان و كذلك الموصلية الحرارية و الكهربائية بشكل كبير على الطريقة المتبعة لتصنيع الجرافين[46].



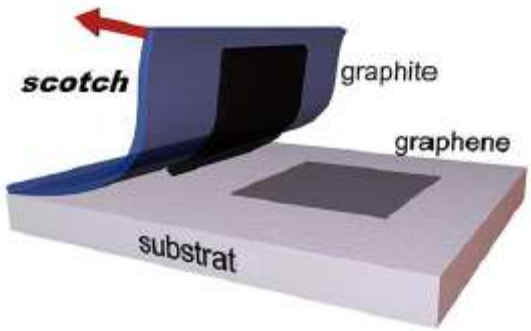
الشكل II . 3: مخطط توضيحي لمهنجتي تصنيع الجرافين[47].

II. 5 تقنيات إنتاج الجرافين :

يمكن إنتاج الجرافين باستخدام مجموعة من التقنيات منها:

1) تقنية التقشير الميكرو ميكانيكية (exfoliation micromécanique):

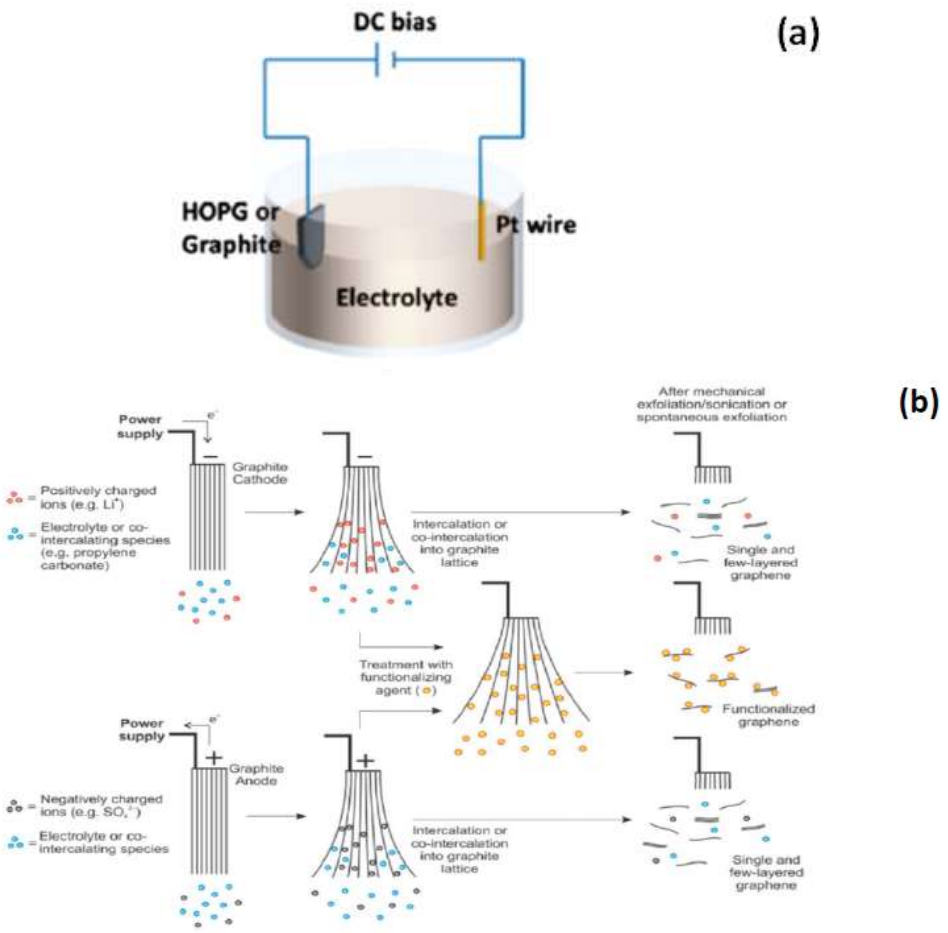
تم تقشير الجرافين من الجرافيت باستخدام شريط لاصق في 2004 بواسطة Geim وNovoselov . تعتمد هذه العملية على الإزالة المتكررة للجرافين من قطعة من الجرافيت باستخدام شريط لاصق ونقله إلى ركيزة السيليكون. بعد تكرار العملية عدة مرات، يمكن إيداع طبقة واحدة من الجرافين على الركيزة. تنتج هذه الطريقة صفائح غرافين ذات نوعية جيدة، ولكن من عيوبه كونه غير عملي للإنتاج بالجملة [48].



الشكل II . 4: صورة لخطوة التقشير الميكانيكي[49].

2) تقنية التقشير الكهروكيميائي:

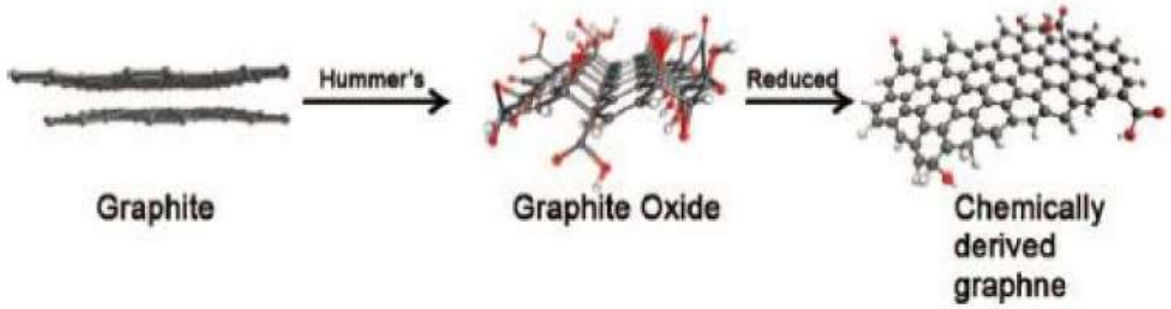
تعتمد هذه الطريقة على التحليل الكهروكيميائي للغرافيت، حيث يحتوي الإعداد الكهروكيميائي الذي يستخدم لتقشير الجرافيت بشكل طبيعي على العناصر التالية: قطب عمل الجرافيت، قطب مرجعي، المنحل بالكهرباء(electrolytes)، ومصدر للطاقة. كما هو موضح في الشكل(a). يتم ذلك بغمر قطب العمل والإلكترود المرجعي في المذيب مع الاحتفاظ بمسافة معينة بينهما.عندما يتم تطبيق الجهد على قطب الغرافيت تبدأ آلية التقشير. تعتمد الآليات الكامنة وراء التقشير الكهروكيميائي بشكل أساسي على المواد المستعملة كمصعد أو مهبط. الآليات العامة ملخصة في الشكل (b). تعتبر هذه الطريقة (التقشيرالكهروكيميائي) هي الأفضل في الإنتاج الصناعي[50].



الشكل II . 5: (a) مخطط توضيحي للتقشير الكهروكيميائي (b) عرض تخطيطي لآليات التقشيرعند المهبط وعند المصعد.

3) تقنية تقشير أكسيد الجرافيت:

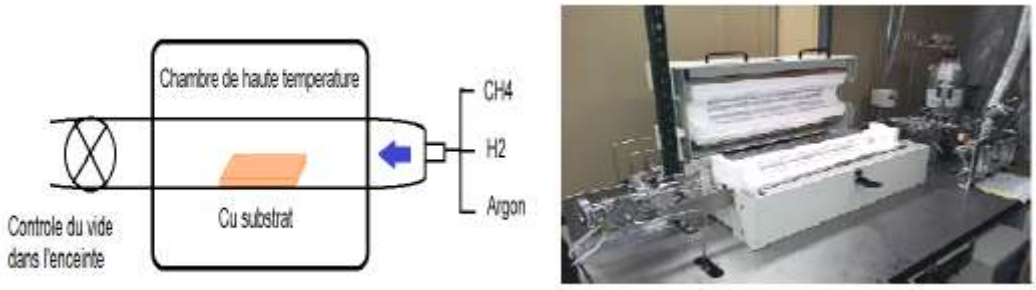
تستعمل هذه التقنية العديد من الآليات لإنتاج أكسيد الجرافين[51].، حيث تعد طريقة هامر (Hummers methods) الأكثر استعمالا، حيث تعتمد على استخدام برمنغنات البوتاسيوم ($KMnO_4$) كمؤكسد رئيسي للجرافيت وبعض العوامل المساعدة بما في ذلك نترات الصوديوم ($NaNO_3$) لتحسين إنتاجية أكسيد الجرافينGO. ومع ذلك، تؤثر العملية الاصطناعية لأكسيد الجرافينGO على خصائصه النهائية، مما يجعل من الصعب التحكم بدقة في بنية GO. لذا يتم إضافة نترات الصوديوم ($NaNO_3$) بكميات مدروس بالنسبة لحجم الجرافيت لكي لا تؤثر بشكل كبير في خصائص GO [52].



الشكل II . 6: تحول أكسيد الجرافيت إلى الجرافين[44].

4) تقنية الترسيب الكيميائي لطور البخار CVD (Chemical vapor deposition):

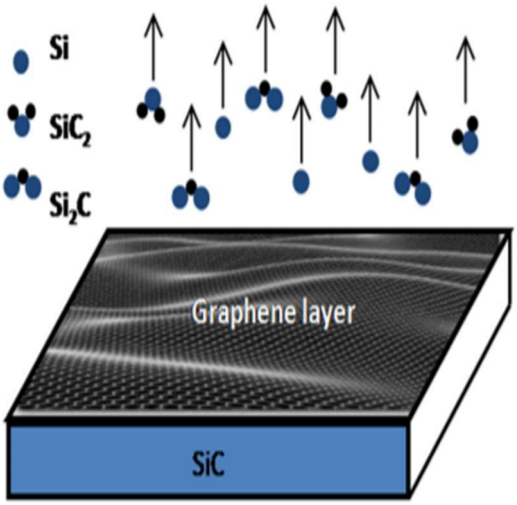
هي أحد أكثر الطرق الناجعة و الأكثر استعمالا في انتاج الجرافين احادي الطبقة ذو الجودة العالية و المستخدم في أجهزة مختلفة. بشكل عام الترسيب الكيميائي للبخار هو طريقة أخرى تعتمد على الركيزة. عادة يستخدم النيكل،النحاس...إلخ . وتتطلب هذه التقنية درجة حرارة عالية وضغوط منخفضة. من المزايا الرئيسية لهذه التقنية أنها أسهل الطرق لدمج المواد في أجهزة أشباه الموصلات الحالية ويمكن استخدامها على نطاق واسع نظرا لكفاءتها العالية خاصة في الأجهزة الإلكترونية[53].



الشكل II . 7: رسم تخطيطي وصورة لغرفة CVD[44].

5) تقنية نمو الجرافين على كربيد السيليكون (Croissance du Graphéne sur le Silicon) SiC :

يشار اليه عادة باسم "النمو الفوقي" حيث يعيد الكربون ترتيب نفسه في هيكل سداسي ويتبخر Si من الركيزة SiC بدل من ترسبه علي سطح SiC . تعد من أكثر التقنيات المستعملة يتم فيها إنتاج الجرافين بكميات هائلة ذات جودة عالية [54].



الشكل II . 8: مخطط توضيحي لنمو جرافين على طبقة SiC [55].

بالإضافة إلى طرق أخرى لإنتاج الجرافين:

- تقشير مباشر بالموجات فوق الصوتية (Direct ultrasonic exfoliation) في الوسائط السائلة[56].

- تقشير باستعمال خلاط القص (Shear mixing) في الوسائط السائلة[56].
- انتاج الجرافين عن طريق التحلل الحراري الوميضي للمنتج الحراري المذيب للصوديوم والإيثانول[47].

II. 5 خصائص الجرافين:

نذكر بعض الخصائص لطبقة جرافين مثالية:

1) يتميز الجرافين بمعامل منخفض لامتصاص الضوء. يمتص الغرافين الضوء بنسبة 2.3% ان هده النسبة لامتصاص الضوء صغيرة مما يعني ان الغرافين مادة شفافة تقريبا (شفافيته تقدر بـ 97,7%) [57].

2) يعد الجرافين أقوى من الفولاذ ب 100مرة[57].

3) جذب الجرافين اهتمام العلماء بسبب حركية الإلكترونات العالية جدا فيه حيث تصل إلى($cm^2/V.s$) 200000 وهي تفوق حركية الإلكترونات في السليكون فهو مادة ناقلة جيدة للكهرباء[58].

4) برز الجرافين كأحد أكثر المجالات البحثية نشاطا فهو مادة متناهية الصغر وشفافة فوحدة قياس سمك الجرافين هي من رتبة النانو متر(nm) [59].

5) من الخواص الرائعة للجرافين أنه ذو كثافة سطحية كبيرة ($2630m^2/g$) وموصلية أو ناقلية حرارية تقدر بـ 5000W/m.K [59].

6) تقدر المسافة بين ذرات الكربون المشكلة للجرافين بـ 1.42 Å [60].

7) من خصائصه الميكانيكية أنه يعرف بكونه خفيف بشكل لا يصدق و تقدر كثافته السطحية بحوالي $0.77\ mg/m^2$[44].

8) يمتاز بالصلابة حيث أن الروابط الكيميائية للجرافين قوية جدا[60].

9) شبه موصل ذو طاقة فجوة معدومة (zero band gap semiconductor) [44].

10) يعتبر من المواد فائقة المرونة (معامل المرونة الطولي–E=1TPa) مما يؤهله للاستخدام في الهواتف النقالة[61].

II.6 تطبيقات الجرافين :

إن خصائص الجرافين المميزة مكنته من اقتحام مجالات صناعية عديدة منها:

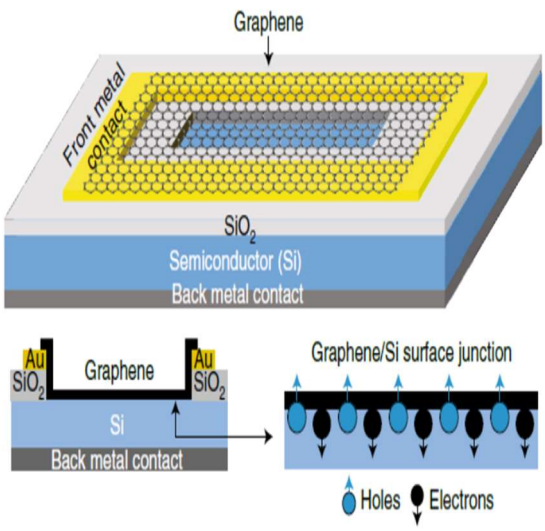
1) إستخدام الجرافين كأقطاب شفافة نظرا لأن الجرافين يتميز بالشفافية والتوصيل الكهربائي العالي [62].
2) إبتكار شاشات عرض أرق، مقاومة للكسر و مرنة و منخفضة التكلفة للأجهزة المحمولة[44].
3) يستخدم في تحلية المياه مثل مياه البحر بإعداد أغشية من أكسيد الجرافين وهي مفيدة وأقل تكلفة [63].
4) في معهد الجرافين ببريطانيا يعملون على استكشاف هذه المادة و دراسة استخدامها في تشخيص بعض الأمراض كما يبحثون أيضا استخدامها خارج الجسم البشري كاستخدامها أيضا كطريقة أحسن لفحص الدم أو الكشف عن الفيروسات[44].
5) تصنيع الطلاءات المقاومة للتآكل من الجرافين الذي يمكن أن يحمي عناصر البناء والآلات المهمة من التآكل[44].
6) تم إحراز تقدم في تصميم الترانزستورات عالية التردد باستخدام الجرافين بسبب السرعة العالية التي تتحرك بها الإلكترونات في الجرافين بالمقارنة مع الإلكترونات في السليكون[62].
7) يستعمل الجرافين لصناعة خلايا شمسية عالية الفعالية، أقل سماكة وأخف وزنا بآلاف المرات من المواد التي تعتمد على السليكون[62]، ويستعمل أيضا في استغلال قطرات المطر لتوليد الكهرباء من الخلايا الشمسية.
8) تم تصنيع المكثفات الفائقة ذات الإمكانيات الكبيرة للتطبيق العملي[62].

الشكل II . 9: تطبيقات الجرافين [63].

II. 7 بنية الخلايا الشمسية المكونة من طبقة غرافين/سليكون (Graphene/Si):

الخلايا الشمسية هي تكنولوجيا واعدة، تمكن من تحويل اشعة الشمس الي طاقة كهربائية بطريقة نظيفة ومتجددة. مما يساعد علي حل ازمة التلوث. حتى الآن، تسيطر الألواح القائمة على السليكون على السوق التجارية، باعتبار السليكون مادة موجودة بوفرة على سطح الأرض. حققت الألواح القائمة على السليكون كفاءة تحويل طاقة عالية ولكنها مكلفة و ثقيلة و تشغل مساحات كبيرة، مما أدى إلى البحث عن مواد بديلة. ومع تطور تقنية CVDلإنتاج الجرافين عالي الجودة فإن خلايا الغرافين لقيت اهتماما كبيرا، و بالأخص بعد تقرير خلية غرافين/سليكون (Graphene/Si) بكفاءة تقدر بنسبة 1,5 % في سنة 2010، وبعد العديد من الدراسات تم رفع الكفاءة إلى 18.5 % [64].

تتكون بنية خلية شمسية من غرافين–سليكون من عدة طبقات الطبقة الأولى عبارة عن ركيزة (تيتانيوم أو أديوم أو فضة)، ثم توضع فوقها طبقة سليكون مطعمة من نوع n ثم طبقة من SiC و طبقة من الذهب ثم توضع طبقة الغرافين.



الشكل II . 10: رسم توضحي لبنية خلية Graphene /Si.

II. 8 إستعمال الجرافين في الخلايا الشمسية :

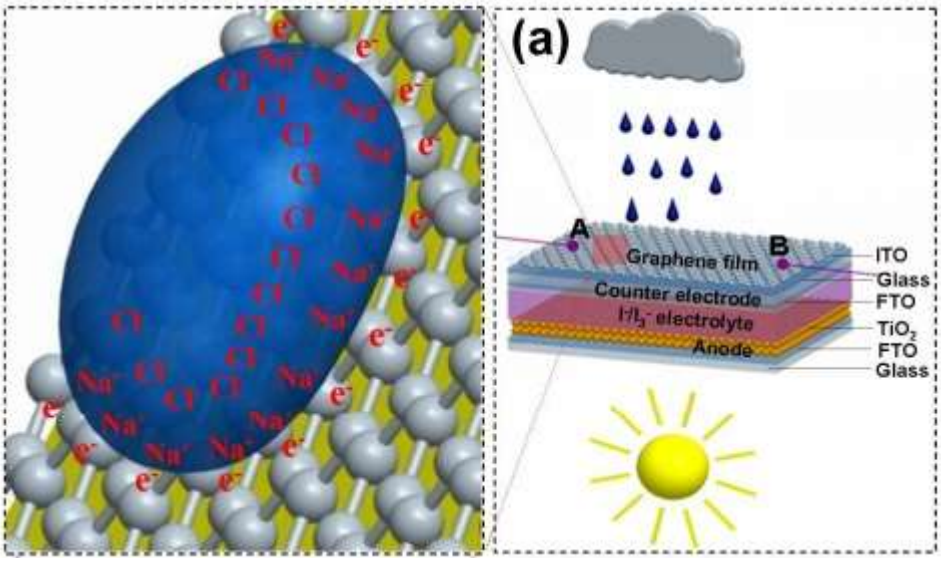
يستعمل في تطبيقات عديدة منها الخلايا الكهروضوئية المشابة بالجرافين:

1) إستعمال الجرافين كقطب كهربائي:

جذب الجرافين إهتماما كبيرا نظرا لخصائصه الفيزيائية والكيميائية الفريدة. السمك الذري وحركية الإلكترونات العالية والشفافية تجعل من الجرافين مادة يمكن أن تستغل كقطب كهربائي مثالي يمكن تطبيقه في مختلف الأجهزة الإلكترونية الضوئية مثلا: الخلايا الشمسية والصمامات الثنائية الباعثة للضوء. في السنوات الأخيرة كان هناك إهتمام متزايد بتطوير الخلايا الشمسية المكونة من جرافين / سليكون. وصلت كفاءة تحويل الطاقة في الخلايا الشمسية إلى 15.8% [65]. كما تم دمج الجرافين في المركبات الكهروضوئية (PV)، حيث أظهر دورا مهما كقطب شفاف ويمكن استخدامه أيضا كمادة تساعد في انتقال الإلكترونات أو كطبقة بينية في أجهزة الخلايا الشمسية كما يستخدم على نطاق واسع في الخلايا بيروفسكايت Provskite. تجاوزت كفاءة تحويل الطاقة 20.3% للخلايا الشمسية بيروفيسكايت القائمة على الجرافين [66].

2) إستخدام الجرافين في استغلال قطرات المطر:

إن عجز الخلايا الشمسية العادية عن العمل ليلا أو في الأجواء الممطرة هو من أبرز سلبياتها. فقد توصلت الأبحاث العلمية الحديثة أن الخلايا الشمسية التي تحوي الجرافين يمكن ان تعمل حتى في المطر وهذه الميزة هي ما سعى إليه العلماء. في دراسة تم إنتاج خلية شمسية ثنائية الوظيفة تحقق التحويل الكهروضوئي تحت الإشعاع الشمسي كما يمكنها إنتاج طاقة كهربائية عند سقوط المطر حيث تقوم شوارد الأملاح المنحلة بنقل الشحنة إلى الجرافين أحادي الطبقة الموضوع في الخلية الشمسية. مما ينتج عنه كفاءة تحويل كهروضوئية قصوى تبلغ 7.69 ٪ [67].



الشكل II . 11: تأثير قطرات المطر على الخلية الشمسية المشابة بالجرافين.

الفصل الثالث: دراسات سابقة لتأثير الجرافين علي الخلية الشمسية

III.1 مقدمة:

رغم اهتمام الباحثين بالجرافين و تطبيقاته إلا أن هذه التطبيقات لا تزال في معظمها في طور الأبحاث النظرية فهي لم تصل بعد إلى طور التصنيع. كما أن ظروف الحجر الصحي والجائحة COVID 19 جعلتنا نفكر في إجراء دراسة تعتمد على ما توصلت له آخر الأبحاث العلمية لمعرفة مدى فعالية استعمال هذه المادة في الخلايا الشمسية. نهدف من خلال هذه الدراسة إلى معرفة الطرق المستعملة لاستغلال هذه المادة في الخلايا الشمسية و تأثيرها على كفاءتها أو مردودها. نعتمد في هذا الفصل على دراسة تحليلية إحصائية ترتكز على ما ورد في مقالات نشرت في مجلات متخصصة ما بين سنة 2010 و2020. أشارت الأبحاث إلى أن الجرافين يستعمل أساسا في الخلايا الشمسية بالطبقات الرقيقة. يمكن استخدام الجرافين كواجهة أمامية وكناقل خلفي وكطبقة بينية فعالة و نشطة في تصنيع الخلايا الشمسية. من المتوقع أن يحقق الجرافين، الذي يتميز بخصائص هيكلية وفيزيائية وكهربائية فريدة، آثارًا إيجابية على تطور الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة. حاليًا، تم تحسين مردود خلايا غير المتجانسة المدمجة في الجرافين بنسبة 0.5-3٪[68].

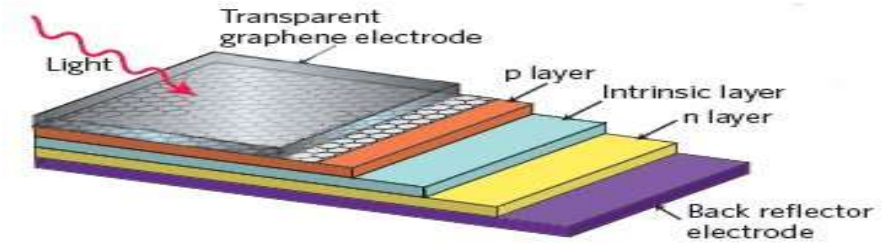
III .2 خلايا أنصاف النواقل الشمسية :

تعتمد أساسا على أنصاف النواقل المشابة لتشكيل الوصلةp-n . تشكل حوالي90% من الخلايا التجارية. تتمتع الخلايا الشمسية التجارية بكفاءة في حدود **10-22**٪.

الشكل III. 1: خلايا شمسية تقليدية و خلايا بالطبقات الرقيقة ضمن لوح شمسي مرن

III.3 الخلايا المعتمدة على الجرافين:

أ. خلايا شمسية بالطبقات الرقيقة خلايا (الفلم الرقيق) Thin film:



الشكل III. 2:خلايا شمسية بالطبقات الرقيقة

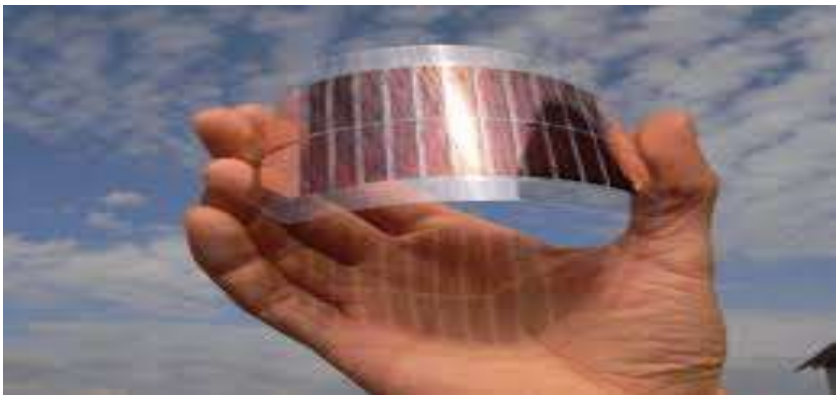
تعد هذه الخلايا الجيل الثاني للألواح الشمسية الكهروضوئية و التي ظهرت في سبعينات القرن الماضي. ينقسم هذا النوع من الخلايا إلى:

1- **خلايا لا عضوية:** مثل خلايا CIGS,. CdTe, III-V

2- **خلايا عضوية:** تحتوي مركبات عضوية في تركيبها و تضم الخلايا الشمسية الصبغية و خلايا البيروفسكيتPerovskite. وصلت كفاءة الخلايا العضوية حتى 16.5 %و هذه القيمة منخفضة نسبيا بالمقارنة مع الخلايا السيليكونية التقليدية التي وصلت إلى 27.6% و لكن ازدياد أهمية الخلايا الشمسية العضوية في التطبيقات المختلفة استدعى زيادة الأبحاث لرفع الكفاءة و الوصول إلى قيم للكفاءة قد تتجاوز أو تتساوى مع الخلايا السيليكونية التقليدية.

Parameters	Graphene	ITO
J_{sc} (mA/cm^2)	20.1246	16.6610
V_{oc} (V)	0.7012	0.6939
FF (%)	76.5592	76.3803
η (%)	10.8036	8.8304

الشكل III. 3:مقارنة بين معاملات خلية شمسية بأغشية رقيقة CDS/CZTS تستعمل ITO و الجرافين كطبقة[69]

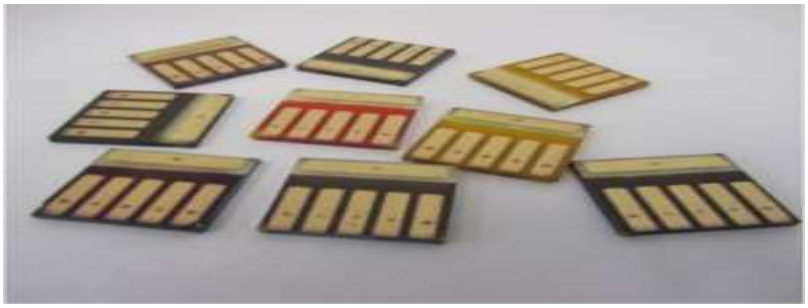


الشكل III. 4:خلايا شمسية عضوية

ب. الخلية الشمسية البيروفسكايت Perovskite(PSC)

الخلية الشمسية البيروفسكايت (PSC) هي نوع من الخلايا الشمسية التي تشتمل على مركب من البيروفسكايت، وهي عادة مادة هجينة (هاليدات عضوية–معدنية) مكونة من الرصاص أو القصدير كطبقة فعالة لالتقاط و تجميع الضوء. يقدر مردود هذا النوع من الخلايا بحدود **20%**.

أضاف باحثون إيطاليون الجرافين إلى طبقة الإلكترون الانتقائية لثاني أكسيد التيتانيوم TiO_2المستخدمة في خلية البيروفسكايت لزيادة الاستقرار الكيميائي. تم صنع الخلية ثنائية الأطراف عن طريق تكديس خليتين فرعيتين تم تصنيعهما وتحسينهما بشكل منفصل. توصلت الأبحاث إلى **أن** خلية بيروفسكايت مشابة بالجرافين كان مردودها **26.3**٪.

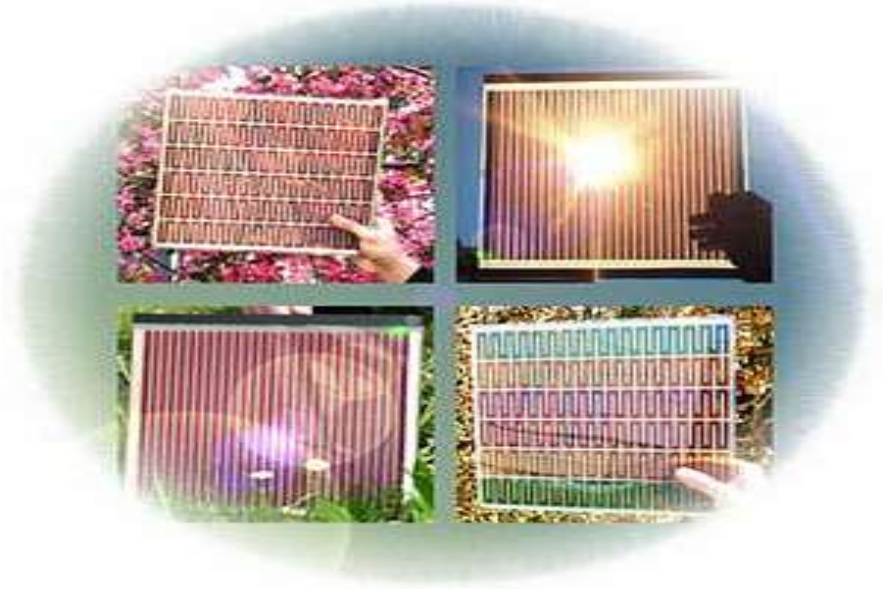


الشكل III. 5:خلايا PSC–graphene

ج. الخلايا الشمسية الصبغية أو خلايا غريتسل:

هي صنف من الخلايا الشمسية منخفضة التكلفة تنتمي إلى مجموعة الخلايا الشمسية رقيقة الغشاء. جاءت فكرة الخلايا الشمسية الصبغية من اليخضور وترتكز على صفيحة من أنصاف النواقل توضع بين مصعد حساس للضوء ومهبط، وقد اخترع هذه الخلية ميشيل غريتسل وبراين أوريغان سنة 1991 وقد نال غريتسل سنة2010 جائزة الألفية للتكنولوجيا عليها.[70] تعتبر هذه

الخلايا ذات مردود عالي بسبب البنية النانوية التي من شأنها استيعاب عالي للفوتونات إضافة إلى فعالية الصباغ في تحرير الالكترونات. إن اختراع هذا النوع من الخلايا غير بعيد عن اكتشاف الجرافين. تشير معظم الأبحاث إلى أن استعمال الجرافين في هذا النوع من الخلايا يكون بشكل أساسي كأقطاب حيث يمكن أن يساعد في دعم ناقلية الالكترونات و ذلك لأن هذا النوع من الخلايا يحتاج فيه محلول الصباغ إلى امتصاص أشعة الشمس التي لا يستطيع الجرافين امتصاصها (شفاف). أبدت أقطاب Au / الجرافين أداءا عاليا و تشير الأبحاث إلى أن هذه المواد المستخدمة واعدة في صنع خلايا شمسية جديدة، والتي لديها إمكانية محتملة للعمل كمصادر طاقة متكاملة للأنظمة الإلكترونية الضوئية النانوية[71].



الشكل III. 6:خلايا شمسية صبغية

III .4أبرز النتائج :

يعتبر الجرافين مادة ذات موصلية كهربائية عالية و ذو مرونة فائقة و شفافية عالية تقدر بـ % 97.7 (يمتص الضوء الأبيض بنسبة % 2.3).

1-تسمح خصائص الجرافين باستعماله كأقطاب شفافة بديلة عن (أكسيد القصدير الانديوم و أكسيد القصدير ITO المشبع بالفلور .FIO بفضل حركية الالكترونات العالية التي يتميز بها الجرافين.

2-بما أن الجرافين ذو طاقة فجوة معدومة فإن أي فوتون ساقط عليه يستطيع تحرير إلكترون نظريا لذلك يستعمل الجرافين كطبقة فعالة نشطة لاقطة للفوتونات و كطبقة بينية في الخلايا بالأغشية الرقيقة

(خلايا بلاستيكية) التي تتميز بخفة الوزن و هذا يفتح لها أفاق للاستعمال فوق جدران الأسطح و البنايات مباشرة.

3-يستعمل أيضا في ظروف نقصان الإشعاع الشمسي في الأجواء الماطرة عكس الخلايا التقليدية التي تنعدم فعاليتها في مثل تلك الظروف.

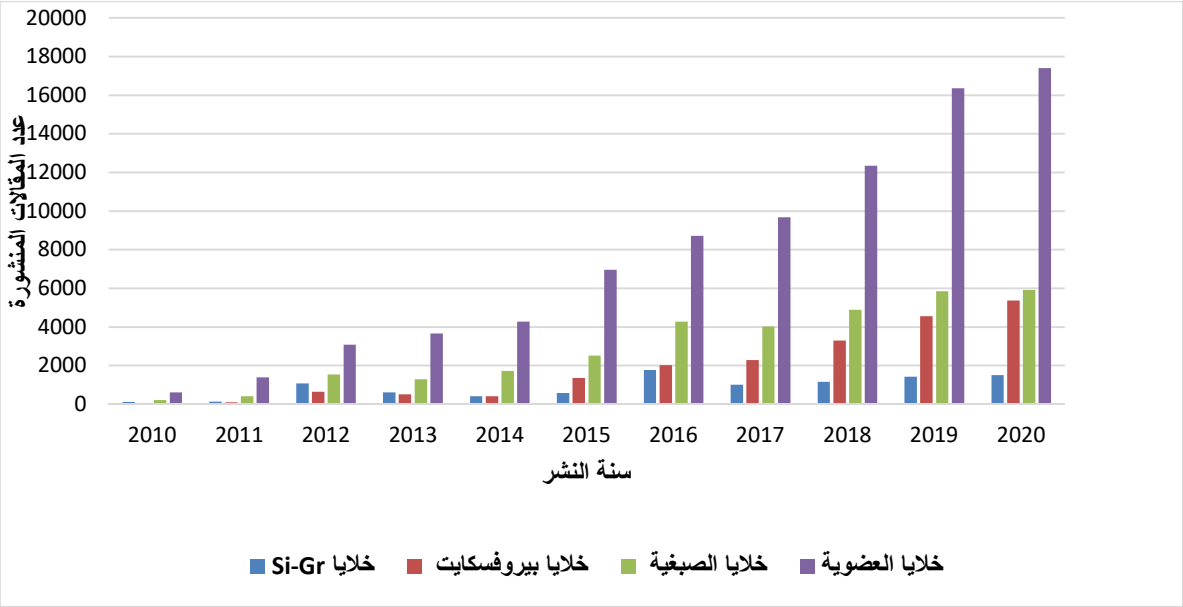
4-أكدت العديد من الأبحاث العلمية أن استعمال الجرافين يفتح أفاق واسعة لتطوير و إمكانية تصنيع خلايا شمسية مكون من الجرافين مستقرة و بتكلفة تصنيع أرخص.

5-يوضح الشكل (7.III) أن الأبحاث المتعلقة باستخدام الجرافين في صناعة الخلايا الشمسية على مدار السنوات السابقة حضي باهتمام العلماء وهو في تزايد مستمر.

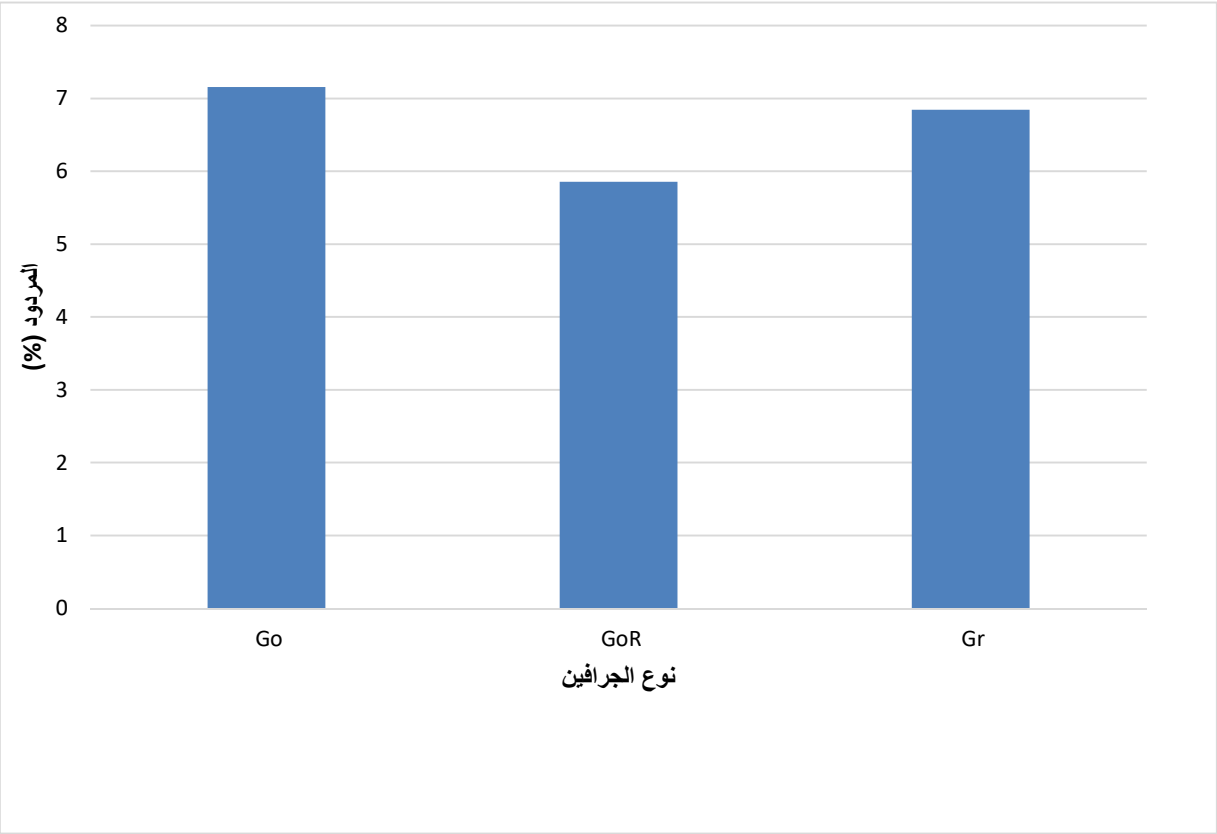
6-يبين الشكل (8.III) تغير مردود الخلايا الشمسية بالأغشية الرقيقة مع نوع الجرافين المستعمل من خلال مجموعة من المقالات المتخصصة المنشورة من طرف (Elseiver) بين 2010 و 2020 .

7-يستعمل الجرافين كطبقة عازلة تؤثر و تزيد من الناقلية في خلايا بيروفسكايت$Graphene/TiO_2$,

8-يستعمل أكسيد الجرافين GOخاصة كواجهة مجمعة.

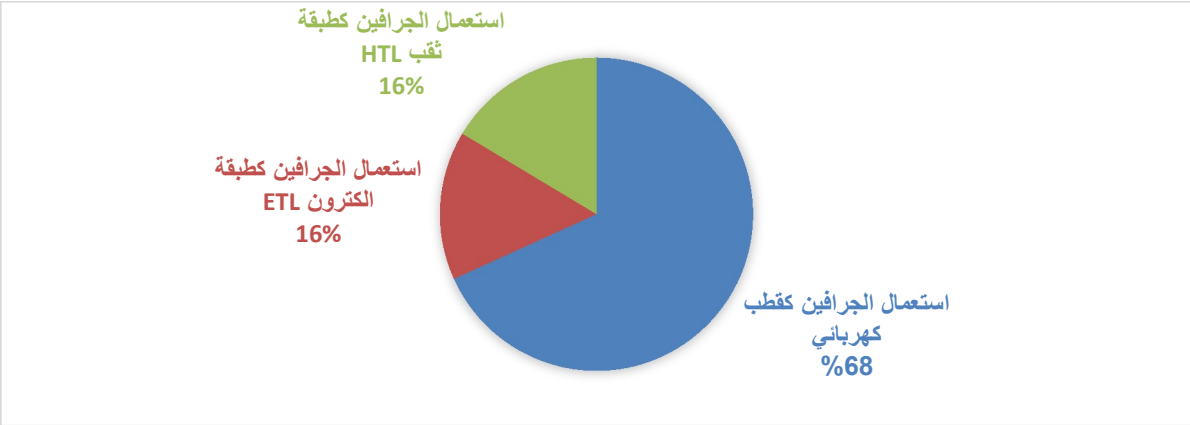


الشكل III. 7:تزايد النشر و الاهتمام بالخلايا الشمسية بمختلف أنواعها[72]



الشكل III. 8:تغير المردود مع نوع الجرافين المستعمل في الخلايا الشمسية بالاغشية الرقيقة

9–تم التركيز على استعمال الجرافين في الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة كأقطاب كهربائية شفافة بنسبة 68% كما هو موضح في الشكل (III. 9)، إضافة إلى استخدامه كطبقة الكترون أو كطبقة ثقب بنسبة 16% لكل منهما.



الشكل III.9: نسب طرق استعمال الجرافين في الخلية الشمسية

الخـــــلاصة العامـــــــة

اهتم الباحثون بالجرافين منذ استخلاصه لأول مرة سنة 2004م، لقد اقتحمت هذه المادة معظم الصناعات و التكنولوجيات الحديثة حيث تم استخدامه في تطبيقات عديدة أهمها الخلايا الشمسية. كان الفضل كبيرا لهذه المادة في نقل تكنولوجيا الخلايا الشمسية إلى عصر جديد حيث ظهرت خلايا شمسية تتميز بتكلفة زهيدة و خفة في الوزن و مرونة كبيرة بحيث يمكن مستقبلا لف لوح شمسي و نقله أو تعليقه على النافذة لتوليد طاقة نظيفة مستدامة و مجانية.

لقد سعينا في هذا العمل إلى معرفة الطرق المستعملة لاستغلال هذه المادة في الخلايا الشمسية وتحديد مدى تأثيرها على كفاءة الخلايا الشمسية أو مردودها و أبرزنا دور و تأثير الجرافين على الخلايا الشمسية الغير تقليدية بما في ذلك خلايا الأغشية الرقيقة التي تضم الخلايا العضوية و اللاعضوية و الخلايا الهجينة. إن تأثير مادة الجرافين على الخلايا المصنعة من الأغشية الرقيقة كبير حيث أشارت الأبحاث إلى أن الجرافين يستعمل أساسا في الخلايا الشمسية بالطبقات الرقيقة. يمكن استخدام الجرافين كواجهة أمامية وكناقل خلفي وكطبقة بينية فعالة و نشطة في تصنيع الخلايا الشمسية. من المتوقع أن يحقق الجرافين، الذي يتميز بخصائص هيكلية وفيزيائية وكهربائية فريدة، آثارًا إيجابية على تطور الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة . توصلت الأبحاث إلى أن خلية بيروفسكايت المشابة بالجرافين يزداد مردودها إلى**26.3**٪.

تسمح خصائص الجرافين باستعماله كأقطاب شفافة بديلة عن (أكسيد القصدير الانديوم و أكسيد القصدير ITO المشبع بالفلور FIO). بفضل حركية الالكترونات العالية التي يتميز بها الجرافين.

أبدت أقطاب Au / الجرافين أداءا عاليا و تشير الأبحاث إلى أن هذه المواد المستخدمة واعدة في صنع خلايا شمسية جديدة، والتي لديها إمكانية محتملة للعمل كمصادر طاقة متكاملة للأنظمة الإلكترونية الضوئية النانوية. يستعمل الجرافين أيضا في ظروف نقصان الإشعاع الشمسي في الأجواء الماطرة عكس الخلايا التقليدية التي تنعدم فعاليتها في مثل تلك الظروف.

أكدت العديد من الأبحاث العلمية أن استعمال الجرافين يفتح أفاق واسعة لتطوير و إمكانية تصنيع خلايا شمسية مستقرة و بتكلفة تصنيع أرخص. تم تحسين مردود الخلايا غير المتجانسة المدمجة في الجرافين بنسبة 0.5−3٪.

المـــــــــراجـــــــــع

1. د. سعود يوسف عياش، تكنولوجيا الطاقة البديلة، عالم المعرفة، الكويت فبراير 1981.

2. كتاب الطاقة التقنية وتوجيهات للمستقبل – ترجمة عبد الباسط علي صالح كرمان – مركز درسات الوحدة العربية – بيروت مارس 2011.

3. سوداني محمد البار، دراسة نظرية لمجمع شمسي أسطواني مقعر ذي غطاء زجاجي، مذكرة. ماجستير جامعة ورقلة 2009 .

4. محمد أحمد سيد خليل، الطاقة الشمسية واستخداماتها، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع القاهرة.

5. Capdrou. M, Atlas Solaire de l'Algérie, Modèles Théoriques et Expérimentaux. Volume 1, Tome 2 , Office des Publications Universitaires Algérie ,1987.

6. Sayigha.A, Characteristics Of Solar Radiation, Solar Energy Conversion, Pergamon Press, Ontario, 1979.

7. د.كاميليا يوسف محمد، الطاقة الكهروشمسية، الاسكندرية، 2016 .

8. أولاد سالم حليمة –تقدير الإشعاع الشمسي في منطقة ورقلة وتأثير طرق التتبع الشمسي وزوايا التوجيه اللاقط على شدة الإشعاع – مذكرة ماستر أكاديمي – جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2017 / 2018.

9. سماحي سهيلة، فعالية أداء الخلايا الشمسية الكهروضوئية في ورقلة وتأثير شدة الإشعاع الشمسي والعوامل المناخية عليها، مذكرة ماستر أكاديمي جامعة ورقلة2016 .

10. علي تاجي حمودي، دراسة وتنفيذ وتحسين أداء محطة ضخ مياه تعمل بالطاقة الشمسية، أطروحة نيل شهادة الماجستير في هندسة القوى الميكانيكية، جامعة تشرين 2008–2009.

11. Duffie J A, Beckma w a, Solar Engineering of Thermal Processes, edited byJohn Wiley Sons, 2013.

12. Yves Jannot, Thermique solaire, mars 2010

13. Rahmani Djelloul, Analyse d'un système de concentration solaire Pour La production d'hydrogène (cas de l'Algérie), Mémoire Magister, Université Hassiba Benbouali– Chlef, 2011- 2012.

14. Woolf, H. M., 1968. "On the computation of solar evaluation angles and the determination of sunrise and sunset times". National Aeronautics and Space Administration Report NASA TM-X-164, USA.

15. Mekemeche Abdelkader, Modélisation à deux démentions des propriétés physiques de cellules solaires au silicium à base de substrat de type n, étude de quelques cas particuliers de cellules innovantes, thèse de doctorat en conversions photovoltaïque, université Abdel Hamid Ibn Badais de Mostagane, 2017 .

16. Djicknoum Diouf, Cellules photovoltaïques silicium à hétérojonctions et à structure interdigitée en face arrière, thèse de doctorat en physique, université Paris-Sud 11, 2010.

17. Matallah Sorya, dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla, mémoire de master en énergie renouvelable, U.K.M OUARGLA, 2015.

18. Anne Kaminski, Mathieu Monville2" Energie photovoltaïque Filière Physique des Composants Nanostructurés Phelma "Septembre (2010).

19. Bakala Moustapha, Matalla Zaid, Simulation d'une cellule solaire photovoltaïque à base d'hétérojonction : a-Si:H(n)/c-Si(p), mémoire de master en Matériaux électrotechnique, université Kasdi Merbah Ouargla, 2017.
20. Hachani Adem, Ghouri Yakoub, Study of a photovoltaic system used for agriculture in the sahara of El Oued, mémoire de master en Electrical Control, université Echahid Hamma Lakhdar, El-Oued, 2018.
21. حجاج محمد طالب،زناتي عادل،تحسين مردود الألواح الشمسية باستخدام العواكس المسطحة،مذكرة ماستر أكاديمي جامعة ورقلة 2018.
22. حسن عز الدين بلال،الطاقة الشمسية واستخداماتها،الهيئة العامة السورية للكتاب،دمشق،2018.
23. نجيب صالح نصر، علي مصباح أشطبية، فوزي محمد عون، تجارب معملية في مبادئ الهندسة الكهربائية والإلكترونية، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع،2002.
24. عاهد علي الخطيب، مبادئ تحويل الطاقة، دار الشروق للنشر والتوزيع، الطبعة الأولى،1989.
25. Amara.K, "Contribution à l'etude de concption d'une central photovoltique de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension ", Mémoire de magister, Université mouloud mammeride de Tizi-ouzou (2014-2015).
26. https://sites.google.com/site/electroniat/1?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1, 25/09/2020.
27. Martin.A, Green, Keith Emery, Yoshihiro Hishikawa, Wilhelm Warta, and Ewan D. Dunlop. Solar cell efficiency tables (version 48). *Progress in Photovoltaics : Research and Applications*, 24(7) :905–913, July 2016. 1, 2, 14, 15, 16, 17, 89, 90, 110, 111.
28. مريم أزهر علي غالب، تقييم كفاءة خلية شمسية من مادة السيليكون ذات أخاديد مختلفة الشكل باستخدام برنامج زيماكس، أطروحة ماجستير، جامعة بغداد،(2016).
29. Bencherif Mohammed, Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension, thèse de doctorat, université Abou-Bekrbelkaid TLEMCEN, 2011.
30. Vighetti Stéphane « Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau : Choix et dimensionnement des étages de conversion ». Thèse de doctorat, Université Grenoble, Institut polytechnique de Grenoble, 2010.
31. Helali Kamilia, Modélisation D'une Cellule Photovoltaïque :Etude Comparative, Mémoire de magister ,Université UNIVERSITE Mouloud Mammeri de TIZI-OUZOU,2012.
32. Khezzar.R, Zereg.M, Khezzar.A, "Comparaison entre les différents modèles électriques et détermination des paramètres de la caractéristique IV d'un module photovoltaïque". *Revue des énergies renouvelables*, *13*(3), 379-388. (2010).
33. Maouedj Rachid.'' Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur lessites de tlemcen et de bouzareah''. Thèse de Magister. Université de Tlemcen, Algérie, 2005.
34. Shraif.M.F, "Optimisation et mesure de chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque en énergie électrique ". Thèse de doctorat de l'université Paul Sabatier de Toulouse 2002.
35. Adaine, Abdoulwahab. *Optimisation numérique de cellules solaires à très haut rendement à base d'InGaN*. Thèse de doctorat. 2018.
36. Bendib.B, " *Techniques conventionnelle et avancée de poursuite MPPT pour des applications photovoltaïques : étude comparative*". Mémoire de magistère, Université Ferhat Abbas-Sétif, 2007.

37. Dalati.B, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (36) No. (3) (2014).

38. مجلة العلوم والتكنولوجيا المجلد (14) العدد (12) 2009 ، تأثر العوامل المناخية في اختبار نوعية الألواح الفوتوفولتائية المستخدمة وسعة الخزن المستخدمة.

39. Zhu.Y, Xiao.W, A comprehensive review of topologies for photovoltaic I–V curve tracer. *Solar Energy*, *196*, 346-357(2020).

40. Cherfouh,Hayet, *Fabrication et caractérisation d'une nouvelle électrode composite CuInS2/graphène pour application dans une cellule photovoltaïque électrochimique*. 2015. Thèse de doctorat. Université du Québec à Montréal.

41. Fuchs.J.N, Goerbig.M.O, Plaçais.B, "Le graphène-Quand la mécanique quantique rencontre la relativité dans un trait de crayon". *Reflets de la physique*, (25), 4-9. (2011).

42. Tejeda.A, Talab-Ibrahimi.A, Berger.C, "Les proprieties du Graphéne en mille-feuille", Refles de la physique, EDP Sciences, pp : 84, (2013).

43. Aidi, Mourad. "*Modélisation Électromagnétique Des Antennes Miniatures à Base de Nanotubes de Carbone et de Graphène Dans la Bande Térahertz".* Thèse de doctorat.(2016).

44. Bharech.S, Kumar.R.A, "Review on the properties and applications of grapheme". *J Mater Sci Mech Eng*, *2*(10), 70. (2015).

45. Ali Tahir.A, Ullah.H, Sudhagar.P, Asri Mat Teridi.M, Devadoss.A, Sundaram.S, "The application of graphene and its derivatives to energy conversion, storage, and environmental and biosensing devices". *The Chemical Record*, *16*(3), 1591-1634. (2016).

46. Yang.Y, Han.C, Jiang.B, Iocozzia.J, He.C, Shi.D, ... and Lin.Z, Graphene-based materials with tailored nanostructures for energy conversion and storage. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, *102*, 1-72. (2016).

47. Edwards.R.S, Coleman.K.S, "Graphene synthesis: relationship to applications". *Nanoscale*, *5*(1), 38-51. (2013).

48. Iwan.A, Chuchmała.A, "Perspectives of applied graphene: Polymer solar cells". *Progress in Polymer Science*, *37*(12), 1805-1828. (2012).

49. Dalla Francesca. K, *Exfoliation du graphène par voie liquide en vue d'une application aux contacts électriques*. Thèse de doctorat. (2016).

50. Yu.P, Lowe.S.E, Simon.G.P, Zhong.Y.L, Electrochemical exfoliation of graphite and production of functional graphene. *Current opinion in colloid and interface science*, *20*(5-6), 329-338. (2015).

51. Hou.Y, Lv.S, Liu.L, Liu.X, "High-quality preparation of graphene oxide via the Hummers' method: Understanding the roles of the intercalator, oxidant, and graphite particle size". *Ceramics International*, *46*(2), 2392-2402. 2020.

52. Azevedo.J, "Assemblage controlé de graphéne et de nanotubes de carbone par transfert de films de tensioactifs pour le photovoltaique", Thèse de Doctorat , Université de Paris-Sud .(2013).

53. Bonaccorso.F, "Lombardo.A, Hasan.T, Sun.Z, Colombo.L, Ferrari, A. C. Production and processing of graphene and 2d crystals". *Materials today*, *15*(12), 564-589. (2012).

54. Mishra.N, Boeckl.J, Motta.N, Iacopi.F, "Graphene growth on silicon carbide": A review. *physica status solidi (a)*, *213*(9), 2277-2289. (2016).

55. Mishra.N, Boeckl.J, Motta.N, Iacopi.F, Graphene growth on silicon carbide: A review. *physica status solidi (a)*, *213*(9), 2277-2289. (2016).
56. Czerniak-Reczulska.M, Niedzielska.A, Jędrzejczak.A, "Graphene as a material for solar cells applications". *Advances in Materials Science*, *15*(4), 67-81. (2015).
57. Shin.H. J, Choi.W.M, Choi.D, Han.G.H, Yoon.S.M, Park.H.K, ... and Choi, J. Y. "Control of electronic structure of graphene by various dopants and their effects on a nanogenerator". *Journal of the American Chemical Society*, *132*(44), 15603-15609. (2010).
58. Wang.H, Maiyalagan.T, Wang.X, "Review on recent progress in nitrogen-doped graphene: synthesis, characterization, and its potential applications". *Acs Catalysis*, *2*(5), 781-794. (2012).
59. Castro Neto.A.H, Guinea.F, Peres.N.M.R, Novoselov.K.S, Geim.A.K, "The electronic properties of grapheme". *RvMP*, *81*(1), 109-162. (2009).
60. Balandin.A.A, Ghosh.S, Bao.W, Calizo.I, Teweldebrhan.D, Miao.F, and Lau.C. N, "Superior thermal conductivity of single-layer grapheme". *Nano letters*, *8*(3), 902-907. (2008).
61. Duigou.O, "*Développement de la croissance de graphène par CVD sur cobalt, analyses morphologique et structurale".* Thèse de doctorat de l' Universite PARIS -SACLAY , préparée au NIMBE CEA-CNRS UMR 3685, (2016).
62. ElAchaby.M , "*Nanocomposites graphène-polymère thermoplastique: Fabrication et étude des propriétés structurales, thermiques, rhéologiques et mécaniques"*. Thèse de doctorat. (2012).
63. Bae.S, Kim.S.J, Shin.D, Ahn.J.H, Hong.B.H, "Towards industrial applications of graphene electrodes". *Physica Scripta*, *2012*(T146), 014024. (2012).
64. Wu.J, Lu.Y, Feng.S, Wu.Z, Lin.S, Hao.Z, ... and Lin.S, "The Interaction between Quantum Dots and Graphene: The Applications in Graphene-Based Solar Cells and Photodetectors". *Advanced Functional Materials*, ***28***(50), 1804712. (2018).
65. Kong.X, Zhang.L, Liu.B, Gao.H, Zhang.Y, Yan.H, Song.X, "Graphene/Si Schottky solar cells: a review of recent advances and prospects". *RSC advances*, *9*(2), 863-877. (2019).
66. Mahmoudi.T, Wang.Y, Hahn.Y.B, "Graphene and its derivatives for solar cells application". *Nano Energy*, *47*, 51-65. (2018).
67. Zhang.Y, Tang.Q, He.B, Yang.P, "Graphene enabled all-weather solar cells for electricity harvest from sun and rain". *Journal of Materials Chemistry A*, *4*(34), 13235-13241. (2016).
68. Shi.Z, Jayatissa.A.H, "The impact of graphene on the fabrication of thin film solar cells: Current status and future prospects". *Materials*, *11*(1), 36. (2018).
69. Nikita.K.N, GaffarM.A, Chowdhury.M.I.B, "Exploring the opportunity of using graphene as the transparent conducting layer in CZTS-based thin film solar cells". In *2016 3rd International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT)* (pp. 1-6). (2016).
70. Professor Grätzel wins the 2010 millennium technology grand prize for dye-sensitized solar cells, 14.6.2010 نسخة محفوظة 28 واي باك مشين على موقع 2011 سبتمبر
71. Ye, Y., Dai, et a, *ACS applied materials and interfaces*, *2*(12), 3406-3410;2010.
72. موقع https://app.dimensions.ai بتاريخ September 20, 2020 باستعمال الكلمات المفتاحية التالية (graphene organic solar cellsو GraphenePerovskite Solar Cells و Graphene-Silicon Schottky Solar Cell و Dye sensitizeds solar cell)

الملخص:

يعتبر الجرافين مادة ذات موصلية كهربائية كبيرة و مرونة فائقة و شفافية عالية. نهدف في هذا العمل إلى معرفة دور و كيفية تأثير الجرافين على الخلايا الشمسية. تشير الأبحاث على أنه يؤثر أساسا على الخلايا ذات االأغشية الرقيقة. يستعمل كأقطاب شفافة بديلة عن ITO وFIO في الخلايا العضوية و خلايا البيروفسكايت و الخلايا الصبغية خاصة بفضل حركية الإلكترونات العالية فيه. يستعمل الجرافين كطبقة فعالة نشطة لاقطة للفوتونات و كطبقة بينية في الخلايا بالأغشية الرقيقة (خلايا بلاستيكية) التي تتميز بخفة الوزن و هذا يفتح لها آفاق للإستعمال فوق جدران الأسطح و البنايات مباشرة. يستعمل أيضا لتوليد الكهرباء بالخلايا في ظروف نقصان الإشعاع الشمسي في الأجواء الماطرة عكس الخلايا التقليدية التي تنعدم فعاليتها في مثل تلك الظروف.أكدت العديد من الأبحاث العلمية أن استعمال الجرافين يفتح آفاق واسعة لتطوير و تصنيع خلايا شمسية مستقرة مكونة من الجرافين و بتكلفة تصنيع أرخص.تم تحسين مردود الخلايا غير المتجانسة المدمجة في الجرافين بنسبة تتراوح بين 0.5-3٪.

كلمات مفتاحية: جرافين، خلايا شمسية، مردود، خلايا الأغشية الرقيقة.

Résumé :

Le graphène est un matériau qui possède une grande conductivité électrique, une grande flexibilité et une haute transparence. Dans ce travail nous nous intéressant au rôle du graphène et son effet des cellules solaires. Les recherches indiquent que le graphène affecte principalement sur les cellules avec des couches minces. Il est utilisé comme électrode transparente alternative au lieu de l'ITO et le FIO dans les cellules organiques, les cellules pérovskites et les cellules pigmentaires particulièrement, grâce à la forte mobilité des électrons qu'il contient. Le graphène est utilisé comme une couche efficace et active qui capte les photons. Il est utilisé comme couche d'interface dans les cellules à couches minces (cellules en plastique) légères, ce qui ouvre des horizons pour une utilisation directe sur les murs des toits des bâtiments. Il est également utilisé pour produire de l'électricité par des cellules dans les conditions de manque de rayonnement solaire pendant les climats pluvieux, contrairement aux cellules conventionnelles qui sont inefficaces dans de telles conditions. De nombreuses recherches scientifiques ont confirmé que l'utilisation du graphène ouvre de larges horizons pour le développement et la fabrication des cellules solaires stable constituées de graphène avec des coûts moins chers. Le rendement des cellules hétérogènes incorporées au graphène a été amélioré de 0,5 à 3%.

Mots clés: Graphène, Cellules solaires, Rendement, Cellules à couche mince.

Summary:

Graphene is a material with great electrical conductivity, great flexibility and great transparency. In this work, we seek to know the role and how graphene affects solar cells. Research indicates that it mainly affects cells with a thin film. It is used as a transparent electrode as an alternative to ITO and FIO in organic cells, perovskite cells and pigment cells, in particular thanks to the high mobility of electrons it contains. Graphene is used as an active active layer that captures photons and as an interface layer in lightweight thin film cells (plastic cells), which opens up horizons for direct use on the walls of roofs and buildings. It is also used to generate electricity by cells under conditions of lack of solar radiation in rainy climates, unlike conventional cells which are inefficient under such conditions. Numerous scientific researches have confirmed that the use of graphene opens wide horizons for the development and the possibility of making solar cells made of stable graphene at a cheaper manufacturing cost.The efficiency of heterogeneous cells incorporated in graphene has been improved by 0.5 to 3%.

Key words: graphene, solar cells, efficiency, thin film cells.