رقم الترتيب:

رقم التسلسلي:

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء

مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر أكاديمي

مجال:علوم المادة

فرع:فيزياء

تخصص: فيزياء الإشعاعات,كاشف وبصريات إلكترونية

من إعداد:مدقن حفصة

الموضوع:

تأثير الإشعاع الشمسي على الخلايا الكهروضوئية

نوقشت يوم:

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

بشكي جمال	**أستاذ محاضر أ**	**مناقشا**	**جامعة ورقلة**
بوقطاية حمزة	**أستاذ محاضر أ**	**مناقشا**	**جامعة ورقلة**
بوغالي سليمان	**أستاذمحاضر أ**	**مؤطرا**	**جامعة ورقلة**

2015/2014

شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين

الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا ان هدانا الله

الشكر لله والصلاة والسلام على سيدنا محمد رسول الله,ثم الشكر والتقدير

للأستاذ المحترم بوغالي سليمان لإشرافه على هذا العمل متابعة وتوجيها

وإلى كل أساتذة قسم الفيزياء وكذلك اللجنة التي قبلت مناقشةهذا العمل وكل من قدم

يد العون من إخوة وأصدقاء وأقارب.

مدقن حفصة.

الفهرس

مقدمة عامة.

الفصل الأول:الإشعاع الشمسي.

I.1.نشأة الشمس.....1

I.2.طيف الإشعاع الشمسي.....2

I.3.الإشعاع خارج الغلاف الجوي.....3

I.4.العوامل المؤثرة على الإشعاع.....4

I.4.1.الغلاف الجوي.....4

I.4.1.1.عدد الهواء 7

I.4.2.الزوايا الشمسية.....8

I.5.آلات قياس الإشعاع الشمسي.....11

الفصل الثاني:أشباه الموصلات

II.1.المواد الصلبة 13

II.2.نظرية حزم الطاقة للمواد الصلبة.....13

II.3.تعريف أشباه الموصلات 15

II.4.أشباه الموصلات النقية والغير نقية 16

II.4.1.المواد شبه الموصلة النقية.....16

II.1.1.4.مستوى فيرمي في شبه الموصل النقي.....16

II.2.4.المواد شبه الموصلة الغير نقية.....17

II.1.2.4.أنواع المواد شبه الموصلة الغير نقية.....17

II.1.2.4.أ.شبه الموصل النوع السالب.....17

II.1.2.4.ب.شبه الموصل النوع الموجب.....17

II .2.2.4.البلورة الدخيلة.....18

II .5.الوصلة الثنائية.....19

II.1.5.حزم الطاقة في ثنائي البلوري.....19

II.2.5.الإنحياز الامامي للوصلة الثنائية.....20

II.3.5.الإنحياز العكسي للوصلة الثنائية.....21

II.6.منحنىالخواص لثنائيشبه موصل..21

الفصل الثالث:الخلايا الكهروضوئية:

III.1.مقدمة في الخلايا الشمسية.....24

III.2.تعريف الخلايا الشمسية.....25

III.3.أنواع الخلايا الشمسية.....25

III.1.3.الخلايا السيليكونية.....25

III.1.3.أ.الخلايا السيليكونية أحادية البلورة.....25

III.1.3.ب.الخلايا السيليكونية الشريطية.....26

III.1.3.ج.الخلايا سيليكونية متعددة البلورات.....26

III.1.3.د.الخلايا السيليكونية العشوائية.....27

III.2.3.خلايا الغاليوم أرسنايد.....28

III.3.3.خلايا الكوبراندیوم ديسيلنايد.....29

III.4.3.خلايا الكاديوم تيليرايد.....29

III.4.منافع ومعوقات الخلايا الشمسية.....31

III.5.الإستعمالات الحالية والمستقبلية للخلايا الشمسية.....31

الفصل الرابع:تأثير أشعة الشمس على الخلايا الكهروضوئية.

IV.1.تأثير الإشعاع على المادة.....34

IV.1.أ.التأثير الكهروضوئي.....34

IV.1.ب.تأثير كومبتون.....34

IV.1.ج.إنتاج الأزواج.....34

IV .2.إكتشاف التأثير الكهروضوئي.....35

IV.3.الظاهرة الكهروضوئية.....35

IV.4.محول ذو مستويين للطاقة.....36

IV.5.عمل الخلية الشمسية السيليكونية.....37

IV.6.خصائص التيار-الجهد والقدرة للخلية.....41

IV.7.كفاءة التحويل للخلية الشمسية.....43

IV.8.تأثير درجة الحرارة على منحنيات خواص الجهد والتيار للخلية.....45

IV.9.توصيل الخلايا على التسلسل والتفرع.....46

IV.10.المولد الفولتضوئي.....46

IV.11.نموذج تطبيقي على تأثير الإشعاع الشمسي على الألواح الكهروضوئية.....47

IV.11.1.مكونات منظومة الطاقة الشمسية المنزلية.....48

IV.11.2.حساب كمية الطاقة اللازمة لتغذية حاجيات الأجهزة المنزلية من الكهرباء.....50

IV.11.3.حساب الطاقة المتبددة في المحول ومنظم الجهد.....51

IV.11.4.حساب عدد الألواح والمساحة المطلوبة.....51

IV.11.5.حساب عدد البطاريات اللازمة لتخزين الطاقة.....52

خلاصة عامة.

المراجع.

فهرس الاشكال:

الرقم:	عنوان الشكل:	الصفحة
1-1	الطيف الشمسي عى مستوى الأرض والطيف النظري في الجسم الأسود	3
2-1	الأجزاء الأساسية للإشعاع الشمسي الساقط على سطح الخلية الكهروشمسية	5
3-1	تأثير سماكة الغلاف الجوي على الإشعاع الشمسي المباشر	6
4-1	تغير شدة الإشعاع الشمسي بين الصيف والشتاء	7
5-1	إختراق الشمس للغلاف الجوي	8
6-1	يوضح زاوية الإنحراف الشمسي δ -زاوية الزمنω-زاوية خط العرضϕ	10
1-2	مخطط حزم الطاقة للعناصر الكهربائية	14
2-2	مستوى فيرمي لشبه موصل نقي	16
3-2	مستوى فيومي لأشباه الموصلات من نوع p-والنوع n	18
4-2	الوصلة الثنائية ومستوى فيرمي لها	20
5-2	حالة الإنحياز الأمامي للوصلة الثنائية	21
6-2	حالة الإنحياز العكسي للوصلة الثنائية	21
7-2	منحنى الخواص لثنائي شبه الموصل	22
1-3	لوح كهروشمسي مصنوع من خلايا كهروشمسية أحادية	26
2-3	لوح شمسي مصنوع من خلايا كهروشمسية متعددة البلورات	27
3-3	لوح شمسي مصنوع من خلايا سيليكونية عشوائية	28
1-4	الظاهرة الكهروضوئية بنوعيها	36

2-4 منظومة ذات مستويين للطاقة 37

3-4 ذرات السيليكون مرتبطة مع بعضها البعض مشكلة تركيب بلوري منتظم 38

لا يوجد فيه إلكترونات حرة .

4-4 تطعيم ذرات السيليكون بذرات فوسفور 39

5-4 ذرة البورون وعملية التطعيم 39

6-4 المرحلة الأخيرة لتحويل لتحويل الأشعة إلى تيار كهربائي 41

7-4 خصائص التيار والجهد لديود(إظلام الخلية)و خلية شمسية تم إشعاعها 41

مع تيار دائرة القصر I_{sc} وجهد الدائرة المفتوحة v_{oc}

8-4 منحنى خصائص الجهد والتيار لخلية سيليكونية ويبين نقطة القدرة القصوى 43

9-4 تأثير درجة الحرارة على خواص الجهد والتيار 45

10-4 تأثير درجة الحرارة على القدرة الكهربائية 46

11-4 مكونات منظومة الطاقة الشمسية المنزلية 48

فهرس الجداول

1-3 ملخص لأنواع الخلايا الشمسية وأهم الفروق بينها 30

1-4 جدول لمختلف أجهزة المنزل والطاقة التي يحتاجها كل جهاز أثناء ساعات 50

عمله اليومي

المقدمة:

الطاقة الشمسية هي الطاقة الموجودة في ضوء الشمس والتي تستفيد منها الكائنات الحية بشكل مستمر ويمكن القول بأن الشمس تكاد تكون مصدر الطاقة الوحيد الذي نملكه. ان النباتات تستخدم طاقة الشمس في عملية التركيب الضوئي لتحلل الماء الى هيدروجين وأوكسجين، ثم يتم اتحاد الهيدروجين مع ثاني اوكسيد الكاربون الموجود في الهواء والمعادن الموجودة في الماء لتكون كل تركيبات النبات. هذه النباتات يمكن الإستفادة منها كطعام للأنسان والحيوان، والنباتات هي مصدر كل الأخشاب التي نستخدمها. الأوكسجين الناتج من عملية تفكك الماء في عملية التركيب الضوئي يطلق الى الجو، ويستفيد منه الأنسان وكذلك الحيوان في عملية التنفس .

ان النباتات المندثرة منذ ملايين السنين والمطمورة تحت سطح الأرض تتحول الى فحم. كذلك خلايا بعض الحيوانات البحرية الصغيرة والتي طمرت تحولت بعد ملايين السنين الى بترول وغاز كما تؤكد عليه بعض النظريات، هكذا نرى ان الفحم و البترول والغاز التي نستخدمها في الوقت الحاضر كمصدر للطاقة انتجت بالأساس بالأعتماد على اشعة الشمس قبل ملايين السنين .

أن حرارة اشعة الشمس تقوم برفع درجة حرارة الهواء، ولكن التسخين يكون بشكل غير متكافيء لأن الأجزاء المختلفة من الهواء تحصل على كميات مختلفة من ضوء الشمس في اوقات مختلفة من النهار والفصول وهذا يعني ان هنالك كتل من الهواء الحار والهواء البارد، الهواء الحار يكون أخف من الهواء البارد، ولذلك فأنه يرتفع الى الأعلى ليحل محله الهواء البارد، وبهذا نرى ان بسبب أشعة الشمس تتكون لدينا الرياح، ويمكن استغلال هذه الرياح لأنتاج الطاقه ايضا.

أشعة الشمس تقوم بتبخير مياه البحر، وتتجمع أبخرة المياه المتصاعدة في السماء لتكون الغيوم، وتحت ظروف مناسبة تتكون قطرات المطر وتهطل الأمطار، ومنها تتكون الأنهار والتي من خلالها نحصل على الشلالات ومن هذه الشلالات يمكن الحصول على الطاقة، وهكذا كما نرى فأن جميع

مصادرالطاقة تقريبا ترجع بالأساس الى طاقة الشمس .

عندما نتحدث عن الطاقه الشمسيّ هذه الأيام فاننا لا نعني اي من هذه الطاقات التي تولدت نتيجة الطاقة الشمسيّ، فلا نعني المطر او الرياح او الفحم او البترول، وانما نعني ضوء الشمس وحرارته التي تسقط على سطح الأرض. يدور موضوع هذا البحث المتواضع عن تأثير أشعة الشمس على الخلايا الكهروضوئية. والذي يعتمد على دراسة الظاهرة الكهروضوئية، لذلك قسمت بحثي إلى أربع أجزاء. خصصنا الفصل الأول إلى الإشعاع الشمسي بإعتباره كمولد لتشغيل الخلايا الكهروضوئية، وكذلك إلى العوامل المؤثرة عليه أثناء سقوطه على مكان معين من سطح الأرض.

في الفصل الثاني قدمنا دراسة شاملة عن أشباه الموصلات. كما ذكرنا في الفصل الثالث مختلف أنواع الخلايا الشمسية وأهم الفروق بينها. أما في الفصل الأخير وهو الأهم تعرضنا إلى نبذة تاريخية عن الظاهرة الكهروضوئية وشرحتها بنوعيها، كما ذكرت بشيء من التفصيل كيفية عمل الخلية الشمسية والذي يبين تأثير الإشعاع الشمسي على هذه الأخيرة. كما قدمت نموذجا عن إستعمال الخلايا الشمسية في تغذية منزل بالكهرباء كمثال تطبيقي لمضمون هذا البحث. وفي الأخير ختمته بخلاصة تشير إلى ضرورة إستغلال الإشعاع الشمسي لإنتاج الطاقة الكهربائية.

الفصل الأول
الإشعاع الشمسي

I.1. نشأة الشمس:

الشمس هي إحدى مخلوقات الله سبحانه وتعالى المسخرة بأمره حيث قال تعالى ((وسخر لكم الليل والنهار والشمس والقمر والنجوم مسخرات بأمره إن في ذلك لآيات لقوم يعقلون)) الآية 12 سورة النحل. وهي عبارة عن نجم متوهج، ويعتقد علماء الفيزياء والله أعلم أن بداية تكون الشمس حدثت منذ أزمان بعيدة بتجمع ذرات الهيدروجين على شكل سحب تحت تأثير قوى تجاذبية فنتج عن تلك السحب نواة الشمس.

واستمر التجاذب بين ذرات الهيدروجين فتقلصت حتى أصبح الضغط ودرجة الحرارة الناتجان عن التقلص كافيين لإشعال تفاعلات حرارية–نووية إندمجت فيها بعض أنوية غاز الهيدروجين لتكون نوى غاز الهيليوم ونتجت عن هذه العملية الإندماجية كمية كبيرة من الطاقة تشع في كل الإتجاهات على شكل موجات كهرومغناطيسية.

وبقدرة الله سبحانه وتعالى تدور الأرض حول الشمس على مسافة يبلغ حوالي 150 مليون كم، مما يجعلها آمنة من تأثير ذلك القدر الهائل من الطاقة الإشعاعية. وتكمل الأرض دورتها حول الشمس في سنة واحدة ينتج عنها الفصول الأربعة (الشتاء ،الربيع،الصيف،الخريف).كما تدور حول محورها الذي يميل على محور مستوى مدارها حول الشمس بزاوية 45،23° لتكمل الدورة في 24 ساعة تقريبا ينتج عنها تعاقب الليل والنهار[9].

إن دراسة بنية وطبيعة الشمس تساعد على تحديد طبيعة الطاقة التي تشعها إلى الفضاء، فالشمس عبارة عن كرة غازية ملتهبة تتكون من 70%هيدروجين و27% هيليوم و3% عناصر أخرى. يبلغ متوسط قطرها حوالي 5،1 مليون كيلومتر[19].

الأساس يتدفق من الشمس كل يوم كميات هائلة من الطاقة تقدر بالقيمة $8{،}3 . 10^{23}$ Kw وذلك حسب علاقة أينشتاين المعروفة ($E = m C^2$) وإذا أخذنا بعين الإعتبار المسافة بين الأرض والشمس فإن كمية الطاقة الشمسية التي تصل إلى بداية الغلاف الجوي تعادل $1{,}8 . 10^{14}$ Kw . وتمثل هذه القيمة مصدرا كبيرا للطاقة يمكن أن يفي بإحتياجات البشرية على سطح الأرض. تستقبل الأرض الطاقة الشمسية بشكل امواج كهرومغناطيسية تحتوي أشعة فوق بنفسجية ,مرئية وتحت الحمراء وغيرها. ويعرف الثابت الشمسي بأنه كمية الطاقة الساقطة في وحدة الزمن على وحدة مساحة متعامدة مع الإشعاع الشمسي وواقعة على سطح الغلاف ويساوي $1353 w/m^2$.

حيث تنقص قيمته على سطح الأرض ويعود السبب في ذلك إلى عوائق في المسار الجوي لهذه الأشعة تحول دون وصولها إلى الأرض (التبعثر والإنعكاس)[2].

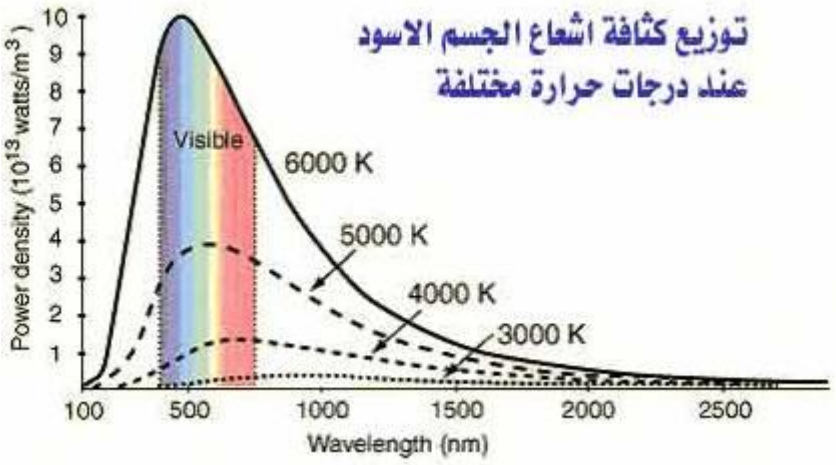
تبلغ درجة حرارة مركز الشمس 20 مليون كلفن، أما درجة حرارة الطبقة الخارجية فتبلغ حوالي 6 آلاف كلفن. وفي الواقع لاتكون درجة حرارة كبقتها الخارجية متجانسة ، فلو نظرنا إلى توزيع درجة حرارة قرص الشمس لتبين أن درجة حرارة مركز القرص تبلغ 6800 كلفن ، بينما تصل إلى الأطراف حوالي 5600 كلفن[10].

2.I.طيف الإشعاع الشمسي:

إن الإشعاعات المنبعثة من الشمس تغطي مدى واسعا من الطيف الكهرومغناطيسي إذ تمتد من الاطوال الموجية القصيرة جدا للأشعة غاما والأشعة السينية إلى الموجات الطويلة للأشعة الراديوية. إن حوالي 99% من الاشعة الشمسية تقع أطوالها الموجية مابين [0،15−3] ميكرومتر وهي موجات قصيرة تنقسم عادة كالآتي:

الاشعة فوق البنفسجية أطوالها الموجية تتراوح ما بين [4،0−2،0] ميكرومتر وتشكل 9% من الأشعة الشمسية. أما بالنسبة للأشعة المرئية فتغطي أطوال الموجات في المجال[77،0−4،0] ميكرومتر وتشكل 45% من الاشعة الشمسية.

الأشعةتحت الحمراء فهي تغطي ذلك الجزء من الطيف حيث يزيد طول الموجات عن 77،0 ميكرومتر وتشكل 46% من الأشعة الشمسية. وإعتمادا على قانون بلانك نستطيع الحصول على التوزيع الطيفي للإشعاع الكهرومغناطيسي الصادر عن الشمس بإعتبارها دائما جسما أسود. كما في الشكل(1−1)[10].



الشكل(1.1): الطيف الشمسي على مستوى الأرض والطيف النظري للجسم الأسود.

3.I.الإشعاع خارج الغلاف الجوي:

ترسل الشمس أشعتها على شكل تيار من الجسيمات تدعى فوتونات تنطلق بسرعة الضوء على شكل موجات حيث يكون لكل فوتون طول موجي (λ). وكمية من الطاقة تتناسب عكسيا مع الطول الموجي وذلك حسب نظرية بلانك التي توضح بالمعادلة التالية:

E:كمية الطاقة الناتجة. h = ثابت بلانك = $6{،}625.10^{-34}$ J.s

C = سرعة الضوء = 3.10^8 m/s.

حيث يمكن كتابة المعادلة كالآتي:

ν = تردد الإشعاع [الهيرتز]

وعليه يزداد التردد للموجات القصيرة حيث أن الفوتونات ذات التردد الكبير (الموجات القصيرة) تعد أكثر طاقة من الفوتونات ذات التردد الصغير (الموجات الطويلة) [2].

I.4. العوامل المؤثرة على الإشعاع:

تتأثر شدة الإشعاع الشمسي قبل وصوله إلى الأرض بعاملين أساسيين هما:الغلاف الجوي والزوايا التي يسقط بها الإشعاع على الأرض وتتخذ أكثر المتغيرات التي تحدد هذين العاملين أسلوبا متناسقا يمكن به توقع شدة الإشعاع في موقع معين من الأرض إعتمادا على مكانه من الكرة الأرضية والزمن (اليوم والشهر والسنة). وتأتي التغيرات غير المتوقعة في شدة الإشعاع في موقع معين من الأرض بسبب عوامل يصعب التحكم فيها مثل الطقس وخصائصه من الحرارة وسحب ورياح وأمطار.....إلخ. لذلك لا يمكن تقدير تأثير الطقس خلال يوم أو شهر لموقع معين إلا بعد رصد العوامل المؤثرة فيه لعدة سنوات ومن ثم حساب متوسط هذه المعلومات لذلك اليوم أو الشهر أو تلك الفترة.

I.4.1. الغلاف الجوي:

يتكون الغلاف الجوي من عدة طبقات يصل سمكها إلى عدة كيلو مترات فوق سطح الأرض. وعندما تخترق الأشعة الشمسية هذه الطبقات فإن مسارها وكميتها ستتغير حسب مكونات كل طبقة وسمكها . فغاز الأوزون مثلا (الموجود في الطبقة العليا من الغلاف الجوي على إرتفاع 48 كلم من سطح الأرض) يمتص تقريبا جميع الأشعة فوق البنفسجية. وهذه نعمة من الله على عباده إذ لو لا قدرته ثم وجود هذا الغاز لأصبحت الحياة على الأرض مستحيلة بسبب التأثيرات الضارة لهذه الأشعة[2].

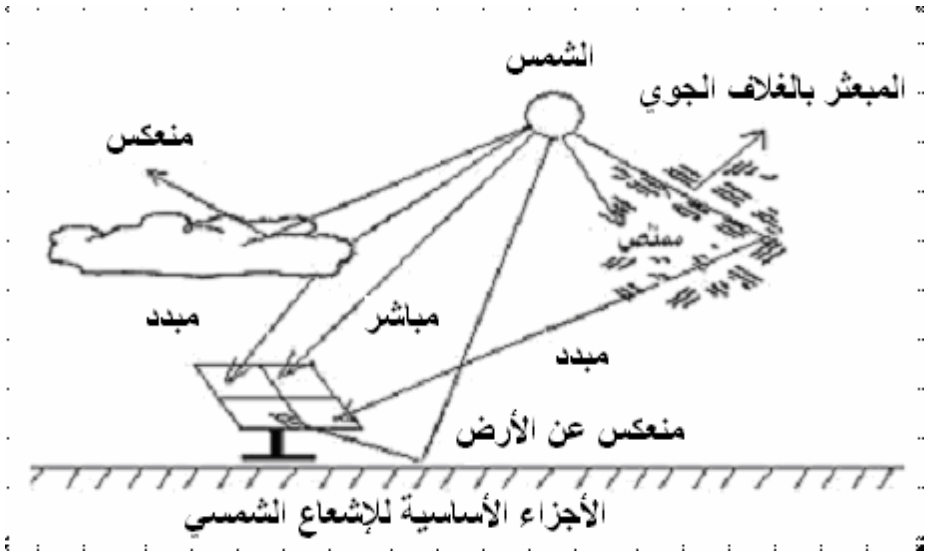
كما تلعب مكونات الغلاف الجوي مثل النيتروجين والاكسجين وبخار الماء ، ثاني أكسيد الكربون وذرات الغبار دورا كبيرا في تقليص الإشعاع الشمسي الذي يسق ط على سطح الأرض وذلك عن طريق الإمتصاص، التشتت والإنعكاس.

وهذا ما يجعلنا نميز 3 أنواع من الإشعاعات :

1-إشعاع مباشر.

2-إشعاع مبعثر.

3-إشعاع الإنعكاس.



الشكل (2.1): الأجزاء الأساسية للإشعاع الشمسي الساقط على سطح الخلية الكهروشمسي.

الجزء الأول يعرف نفسه وهو عبارة عن شعاع مباشرأي في خط مباشر من الشمس إلى الأرض ويشكل نسبة كبيرة من هذه الاجزاء في الايام المشمسة. أما في الأيام الغائمة فإن الشمس مغطاة بالغيوم والشعاع يكون تقريبامعدوم.

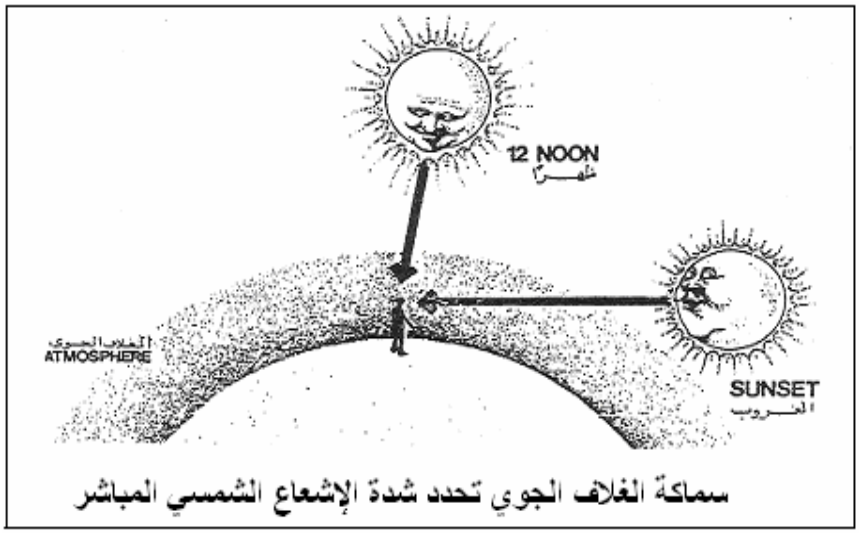
وبالتالي تشكل الحزمة الضوئية المبعثرة الأغلبية العظمى في ذلك اليوم. وبما أن هذا الشعاع يأتي من أنحاء متفرقة من السماء فينطلق عليه إسم إشعاع السماء. وتكون كميته حوالي 10% وإلى 20 % للسماء الصافية وبحدود 100% للسماء الغائمة[12].

أما الجزء الثالث والأخير فهو مكمل للحزمة الضوئية الكاملة التي ترتطم بالخلية الكهروشمسية. وهو عبارة عن الإشعاعات الشمسية المنعكسة بواسطة الوسائط المختلفة المحيطة بالخلية.

بالإضافة إلى مكونات طبقة الغلاف الجوي الأكثر أهمية في تحديد مقدار الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض هو سماكة الغلاف الجوي التي سيمر خلالها الإشعاع الشمسي.

عند منتصف النهار تكون الشمس عمودية. وبالتالي: تكون سماكة الغلاف الجوي التي سيمر خلالها الإشعاع الشمسي أصغرية والطاقة الواصلة للأرض تكون أعظمية أما عند الشروق والغروب فإن سماكة الغلاف الجوي التي سيمر خلالها الإشعاع الشمسي تكون أعظمية والطاقة الواصلة للأرض تكون أصغرية كما في الشكل(1-3).

ولهذا السبب فإن حجم طاقة الإشعاع الشمسي يكون مرتفعا في المناطق ذات الإرتفاع الكبير عن سطح البحر.

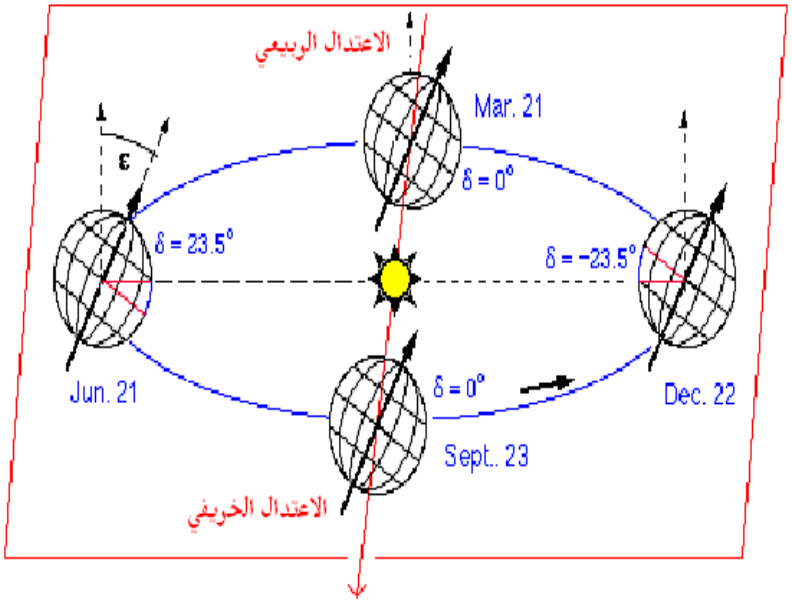


الشكل(3.1): تأثيرسماكة الغلاف الجوي على الإشعاع الشمسي المباشر.

أيضا نلاحظ تغير الإشعاع الشمسي بين الصيف والشتاء بسبب ميل الأرض ودورانها حول الشمس. فيكون القطب الشمالي في شهر جوان مواجها للشمس. ولهذا تنطلق الأشعة الشمسية إلى الجزء الشمالي من الكرة الأرضية بصورة عمودية تقريبا.

أما في شهر ديسمبر فإن القطب الشمالي ينحرف بعيدا عن الشمس باعثة أقل كثافة من الطاقة كمافي الشكل (1-4).

(تعرف كثافة الطاقة بأنها مقدار الطاقة الساقطة مقدرة بالكيلوواط-ساعة على المتر المربع من سطح الأرض في زمن معين)[17].

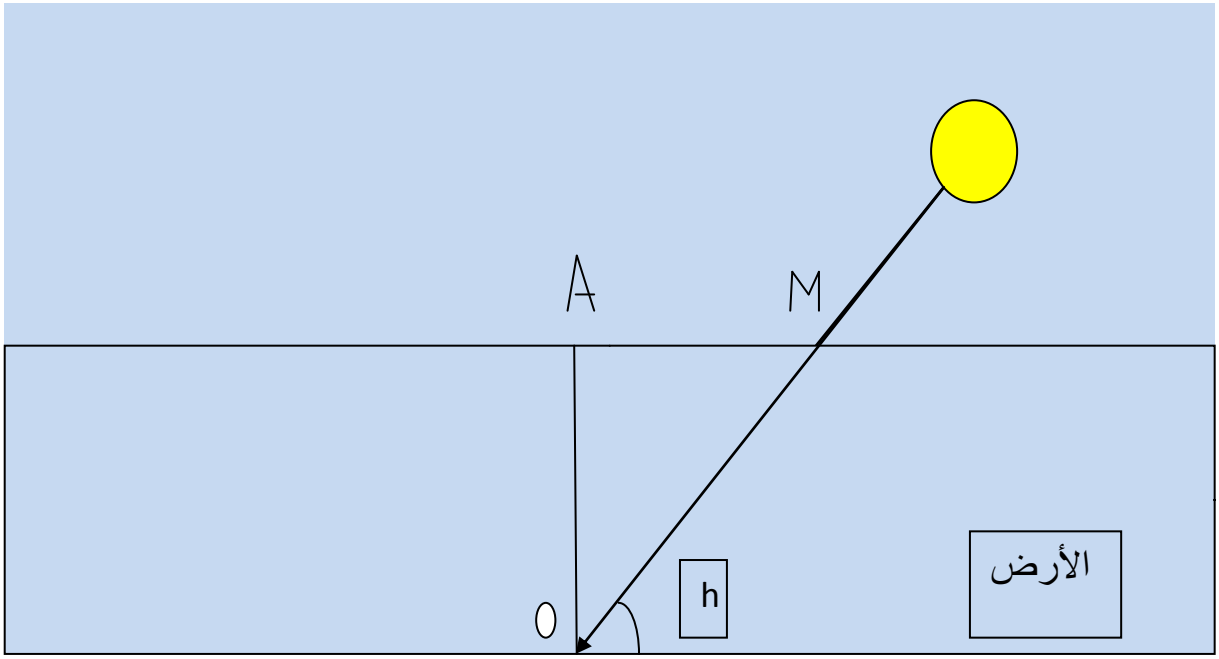


الشكل(4.1): تغير شدة الإشعاع الشمسي بين الصيف والشتاء.

I.1.1.4.عدد الهواء(كتلة الهواء):

عندما يسقط شعاع مباشر على مكان معين من سطح الأرض فإن طول المسافة(OM) التي يقطعهاالشعاع تساوي السمك العمودي للغلاف الجوي(OA) مقسوم على جيب زاوية الإرتفاع(H)، كما هو مبين في الشكل (5.1) [9].

وعلى ذلك فإن كتلة الهواء تحسب في المعادلة التالية :



الشكل(5.1):إختراق الشمس للغلاف الجوي.

I.2.4. الزوايا الشمسية:

إن إستخدام الأشعة الشمسية بشكل فعال ولأجل تحقيق رفع كفاءة إستخدام طاقتهايتطلب المعرفة التفصيلية والدقيقة للعلاقة بين المواقع المختلفة على سطح الأرض والشمس. وفي حديثنا عن هذه العلاقة وعن كيفية وأهمية هذه المواقع، فإننا سنلجأ إلى إعتبار أن المشاهد على سطح الأرض موجود في موقع ثابت، وأن الشمس هي التي تتحرك بالنسبة إليه وهذا ما يخالف الحقيقة. إلا أن هذه الفرضية تقدم صورة مبسطة للعلاقة الظاهرية بين الشمس والأرض ولا تأثر على الحسابات أو الإستنتاجات النهائية [9] .

يمكن تحديد موقع الشمس بالنسبة لهذا المشاهد إذا تم معرفة زاويتين هما:

زاوية إرتفاع الشمس h: تعرف بأنها الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين نقطة على سطح الأرض ومركز الشمس والمستوى الأفقي الذي يمر في النقطة ماعلى سطح الأرض [21].

$$sinh = sin\Phi sin\delta$$

زاوية السمت الشمسي a: هي الزاوية المحصورة بين الخط المار في النقطةعلى سطح الأرض والمتجه جنوبا وبين المسقط الأفقي للخط الواصل بين النقطة على سطح الأرض والشمس [18].

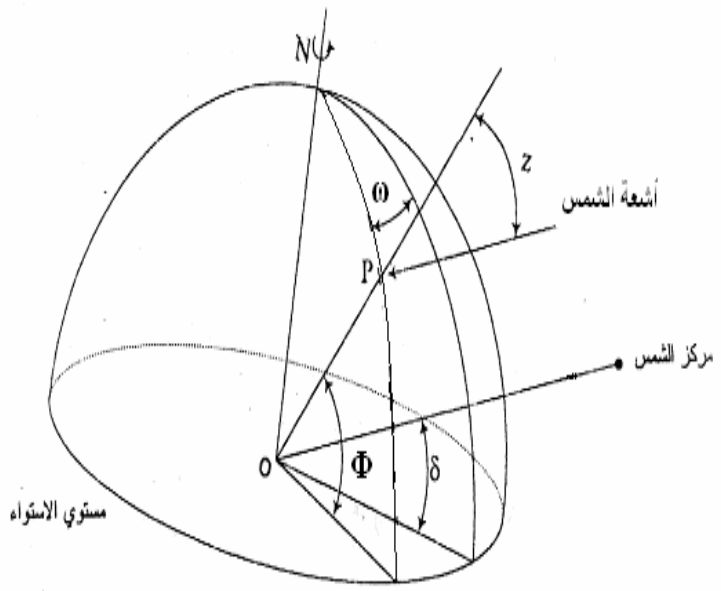
-تنبع أهمية الزوايا المذكورة أعلاه أنها تسهل معرفة كمية الإشعاع الشمسي الذي تتلقاه نقطة معينة,وتسهل أيضا معرفة زوايا سقوط أشعة الشمس.حيث يتم حساب زاويتي إرتفاع الشمس و السمت الشمسي من خلال بعض الزوايا الأخرى التي تجعل موقع النقطة موضع الإهتمام على سطح الأرض وهذه الزوايا هي:

زاوية خط العرض ϕ: تعرف بأنها الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين النقطة على سطح الأرض ومركز الأرض ومسقط هذا الخط على المستوى المار في خط الإستواء يوضحها الشكل(1-5)

زاوية ميل الشمس(الإنحراف الشمسي) δ: هي الزاوية بين خط الواصل بين مركزي الأرض والشمس ومسقط هذا الخط على مستوى خط الإستواء تنعدم الزاوية في الإعتداليين(الربيع 21 مارس و الخريف 23 سبتمبر)، بينماتساوي (23،5°+) في الإنقلاب الصيفي(22 جوان)و(23،5°-) في الإنقلاب الشتوي(22 ديسمبر). تعطى بالمعادلة التالية:

$$\delta = 23{,}45 \sin(\quad 0.$$

حيث يوضح الشكل التالي كل من زاوية خط العرض،زاوية الإنحراف وزاوية الزمن[21].



الشكل(6.1): يوضح زاوية الإنحراف الشمسي δ –زاوية الزمنω–زاوية خط العرضΦ.

زاوية الزمن (الزاوية الساعية) ω:هي الزاوية الواقعة على المستوى المار في خط الإستواء والمحصورة بين مسقط الخط الواصل بين مركزي الأرض والشمس ومسقط الخط الواصل بين مركز الأرض والنقطة على سطح الأرض الشكل(1–5)، وتعطى بالمعادلة التالية [17] :

– تجدر الإشارة إلى زاوية أخرى وهي زاوية سقوط أشعة الشمس وتعرف هذه الزاوية بأنها الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين مركز الشمس ونقطة على سطح الأرض والخط الخارج عموديا على السطح الذي تقع عليه النقطة ، ولتسهيل الأمر نقول إن هذه الزاوية تتم زاوية إرتفاع الشمس، بمعنى أن مجموع الزاويتين يساوي 90°، وكلما قلت زاوية سقوط أشعة الشمس كلما كان سقوط الأشعة أكثر عمودية، وعندما تساوي هذه الزاوية 0° تكون أشعة الشمس عمودية على النقطة المذكورة[9].

I.5. آلات قياس الإشعاع الشمسي:

نجد في الغالب المعطيات الخاصة بالإشعاع الشمسي لدى مصالح الأرصاد الجوية التي تهتم بهذا الميدان، فنجد مثلا:

*آلات تقيس مدة السطوع التشمس،وتسمى المشماس(hiliograph). وهذه الآلة تتأثر بالإشعاع المباشر للشمس، وتشتغل مادام هنالك إمكانية لرؤية القرص الشمسي حتى من وراء السحب. ومن أنواع هذه الآلات نجد آلة Stokes– Compllالمشهورة.

*آلة تقيس الإشعاع الجملي لضوء الشمس، وهي تسمى مقياس الإشعاع السماوي(Pyranometer). تتلقى هذه الطاقة الشمسية من كامل نصف الكرة الزرقاء أي من الأفق في جميع الإتجاهات. وفي الغالب توضع هذه الآلة على السطح الأفقي. حيث ترتكز في الأساس على المجسمات المسماة بالأعمدة الكهروحرارية (Thermopile) وهي مجسمات تتأثر بالحرارة التي تحدثها الموجات الكهرومغناطيسة.

*آلة تقيس الإشعاع المباشر لضوء الشمس، ولهذه الآلة نفس الخاصية للآلتين السابقتين، إلا أنها تختلف عنهما بكونها مغلقة في صندوق صغير ذو فتحة صغيرة يجب عند القياس وضعها في إتجاه أشعة الشمس(ويطلق عليها بالفرنسية Pyrheliometer)وهذه الآلة تتأثر بالطاقة الشمسية المنبعثة من القرص الشمسي فقط والوارد على المجس بعد تركيزه. ونظرا إلى تطور استخدامات الطاقة الشمسية أصبحت هذه الآلات تستعمل لدى المختصين في هذا الميدان وخارج مصالح الأرصاد الجوية. إلا أن تعديلها يستوجب الإتصال دوما بتلكم المصالح على الأقل مرة كل سنتين. وتجدر الإشارة أن إستخدام مجسات من نوع جديد لقياس هذه الإشعاعية تعتمد على التحولات الفولطاضوئية[12].

الفصل الثاني
أشباه الموصلات

II.1.لمواد الصلبة :

تتكون الذرة كما هو معلوم من نواة مركزية، ومن إلكترونات تدور حولها. تحتوي النواة على بروتونات ذات شحنة موجبة تساوي بالقيمة المطلقة شحنة الإلكترونات السالبة، وعلى نترونات عديمة الشحنة، وبالتالي تكون الذرة معتدلة كهربائياً. تدور الإلكترونات حول النواة على مدارات ذات مستويات طاقية مختلفة، تمتلك الأقرب منها إلى النواة طاقة أقل من تلك التي تكون أبعد، أي أننا كلما ابتعدنا عن النواة ازدادت طاقة الإلكترون. تترابط ذرات العنصر فيما بينها بوساطة إلكترونات المدار الأخير لها، والمعروف باسم مدار التكافؤ مشكِّلةً ما يسمى بالبنية البلورية للمادة.

II.2.نظرية حزم الطاقة للمواد الصلبة:

إن المواد الصلبة يمكن أن تصنف غلى ثلاثة أصناف وهي مواد موصلة، مواد عازلة و مواد شبه موصلة، لقد إعتمد هذا التصنيف على اساس تركيب الحزم للمواد وعلى مقدار فجوة الطاقة التي تفصل حزمة التوصيل عن حزمة التكافئ. حيث تعرف هذه الحزم كالآتي:

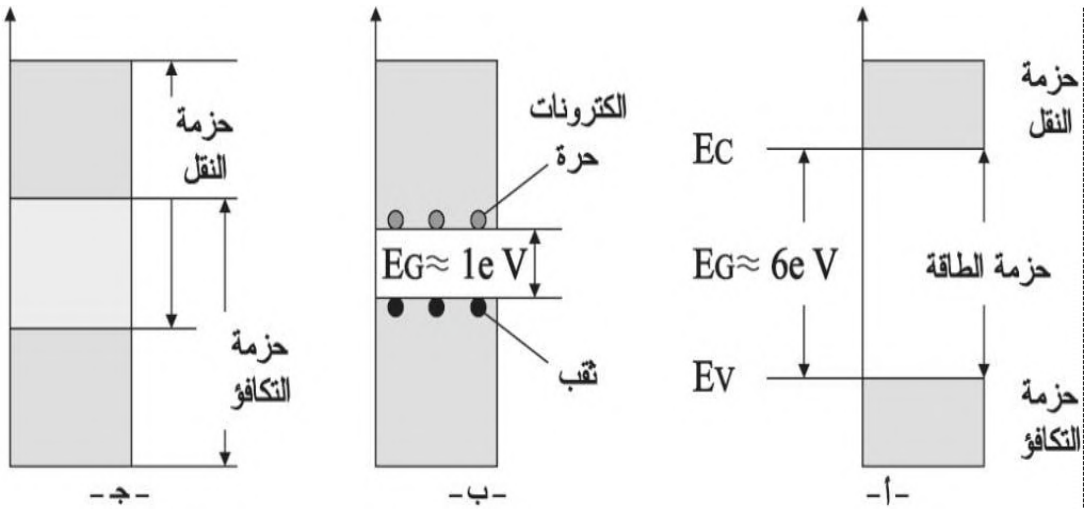
حزمة الطاقة energy band : تُعرَف بأنها مجموعة من مستويات الطاقة المنفردة المتقاربة جداً، يعبّر كل واحد منها عن المستوي الطاقي لإلكترون ذرة منعزلة.

ومن ناحية الناقلية الكهربائية يمكن تمييز الحزمتين الآتيتين:

حزمة التكافؤ equivalence band: وهي الحزمة الطاقية المعبرة عن مستويات الطاقة لإلكترونات التكافؤ، أي الإلكترونات التي تؤمن الترابط بين ذرات العنصر لتشكيل البنية البلورية له، ويمثل المستوى E_V مستوى الطاقة الأعلى لهذه الحزمة.

حزمة النقل (التوصيل) conduction band: وهي الحزمة الطاقية المعبرة عن مستويات الطاقة للإلكترونات الحرة free electrons والتي تشارك في عملية نقل التيار الكهربائي من دون أن تسهم في تركيب أية ذرة خاصة ويمثل المستوى E_C مستوى الطاقة الأدنى لهذه الحزمة.

تتشابك حزمتا النقل والتكافؤ في بعض العناصر، مما يعني أن الإلكترونات الحرة التي تسهم في نقل التيار الكهربائي متوافرة دائماً، وتدعى هذه العناصر بالنواقل االكهربائية electric conductors. كما تتميز بعض العناصر عادةً بثغرة طاقية عريضة wide energy gapتفصل بين الحزمتين السابقتين، ذلك أن إلكترونات التكافؤ لاتستطيع أن تنتقل إلى الحزمة الناقلة إلا بعد تطبيق كمية كبيرة من الطاقة عليها، تدعى هذه المواد بالعوازل الكهربائية electric insulators. بين هذين النوعين من المواد ثمة نوع ثالث يسمّى بأنصاف النواقل semiconductors، وهي العناصر التي تكوّن الثغرة الطاقية التي تفصل حزمة التكافؤ عن حزمة النقل بقيمة متوسطة بين العوازل والنواقل. يوضح الشكل(2-1) الفروق بينها بالتفصيل [14].



الشكل (1.2): مخطط حزم الطاقة للعناصر الكهربائية ــ للعوازل أ ــ لأنصاف النواقل ج ــ للنواقل ب.

تسبح في المعادن إلكترونات التكافؤ وبشكل حر ضمن الشبكة البلورية متنقلة من نقطة إلى أُخرى . إذاً كل ذرة تحرر على الأقل إلكترون وبالتالي فإن عدد الإلكترونات الحرة يكون كبيراً جداً وهذا ما يفسر الناقلية العالية للمعادن (كثافة الإلكترونات الحرة العالية).

-إن عدد الإلكترونات الحرة في أنصاف النواقل أقل كثيراً مما هي عليه في المعادن وقد أثبتت التجارب ما يأتي:

-في درجة الصفر المطلق لايوجد أي إلكترون حر، وبالتالي فإن ناقلية هذه المواد معدومة.

- يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى ظهور نوع من الناقلية في هذه المواد.

يمكن تمييز النواقل عن أنصاف النواقل وعن العوازل بالطاقة اللازمة للإلكترون، ليترك حزمة التكافؤ، وهذه الطاقة تكون معدومة في النواقل وتساوي عدة إلكترون فولط في العوازل، وجزءاً من الإلكترون فولط في أنصاف النواقل.

II.3.تعريف أنصاف النواقل:

تعرف اشباه الموصلات بانها مواد عازلة عند درجات الحرارة المنخفضة ولكنها تمتلك قدراً معيناً من التوصيلية الكهربائية عند ارتفاع حرارتها.

تتأثر توصيلية شبه الموصل بالحرارة والضوء والمجال المغناطيسي وتؤثر فيها وجود كميات ضئيلة من الذرات الشائبة وان حساسية شبه الموصل تجاه هذه العوامل تجعل منه مادة بالغة الاهمية في التطبيقات الالكتروني.

إن أكثر المواد والعناصر المستخدمة في صناعة أشباه الموصلات هما عنصري السليكون والجرمانيوم ولكن شرحنا هذا سوف نتحدث عنها بصفة عامة في هذا الفصل وسنتفصل فيها الجزء الأخير من هذا البحث بشرح عنصر السيليكون بإعتباره شبه الموصل الأكثر إستعمالا في صنع الخلايا الشمسية.

II.4.أشباه الموصلات النقية وغير النقية:

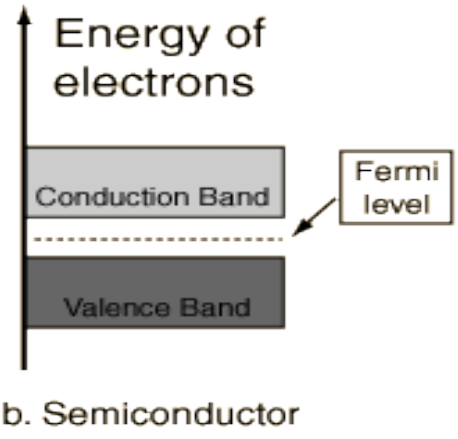
II.4.1.المواد شبه الموصلة النقية:

في هذه المواد تكون حزم التكافؤ ممتلئة وحزم التوصيل فارغة عند درجات الحرارة المنخفضة أما في درجات الحرارة معينة فإن بعض إلكترونات حزمة التكافؤ تنتقل إلى حزمة التوصيل تاركتاً مكانها فراغ يدعى ثقب وتصبح المادة موصلة، مثل السيلكون والجيرمانيوم، والتي ترتبط ذرات كل منها برابطة تساهمية لأن المدار الأخير فيهما يحتوي على أربع الكترونات.

عند وصل المادة شبه الموصلة النقية مع بطارية فإن الالكترونات تتحرك عكس اتجاه المجال الكهربائي أما حركة الثقوب فتبدو معه.

II.4.1.1.مستوى فيرمي في شبه الموصل النقي :

يكون موضع مستوي فيرمي في شبه الموصل النقي متوسطا بين حزمة التوصيلE_C وبين حزمة التكافؤ E_V.



الشكل(2.2): مستوى فيرمي لشبه الموصل النقي.

II.2.4.المواد شبه الموصلة غير النقية:

هي عبارة عن مواد شبه موصلة نقية مطعمة بذرات مادة أخرى تسمى (شوائب) حيث يعرف التطعيم على أنه إضافة ذرات معينة وبنسب قليلة إلى المادة شبه الموصلة النقية لزيادة موصليتها.

II.1.2.4.أنواع المواد شبه الموصلة غير النقية:

II.1.1.2.4.أشباه الموصلات نوع السالب N – type semiconductor:

إذا أضيفت كميات معلومة من عناصر المجموعة الخامسة من الجدول الدوري كالفسفور او الزرنيخ او الأنتيمون الى أشباه الموصلات النقية كالسليكون مثلا فان الذرات الشائبة التي لها خمسة الكترونات تكافؤ تدخل في تركيب السليكون وتكون روابط تساهمية مع الذرات الأربعة المحيطة بكل منها ويبقى الكترون واحد معلق بالذرة الأم، ان فصل هذا الإلكترون عن الذرة لا يحتاج الى طاقة كبيرة حيث ان هذه الطاقة اقل بكثير من الطاقة اللازمة لنقل الإلكترون من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل في حالة أشباه الموصلات النقية. يوجد في هذا النوع عدد كبير من حاملات الشحنة السالبة ولهذا سمي بالنوع n .

II.2.1.2.4.شبه الموصل نوع موجب P– Type semiconductor:

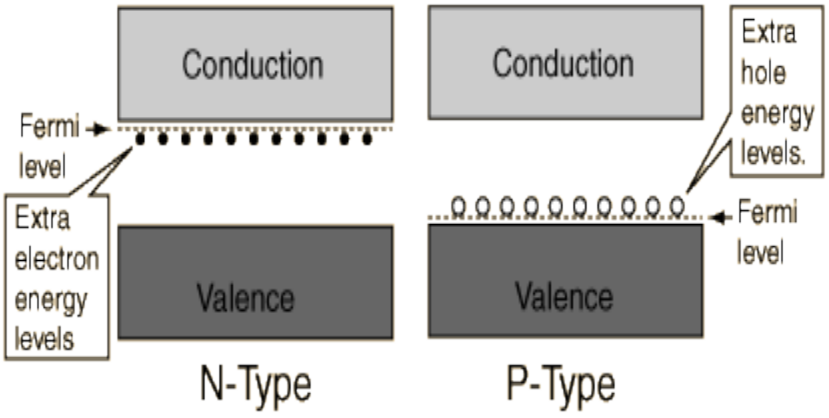
اذا اضيفت كميات معلومة من عناصر المجموعة الثالثة في الجدول الدوري كالبورون او الألمنيوم او الأنديوم الى اشباه الموصلات النقية كالسليكون مثلا فسوف ينتج عن ذلك نوع جديد من اشباه الموصلات تكثر فيها الفجوات بدلاً من الالكترونات، ان ذرات الشوائب سترتبط مع السليكون وتكون مع الذرات الأربعة المحيطة بكل واحد فيها روابط تساهمية ولما كانت ذرات الشوائب تحتوي على ثلاثة الكترونات فقط في غلافها الخارجي فعليه سوف تبقى رابطة تساهمية واحدة تحوي الكتروناً وتحتاج الى الكترون آخر لإستكمال البنية البلورية الاعتيادية لشبه الموصل (ان الذرة الشائبة في الحالة

هذه يمكن ان تكتسب بسهولة الكتروناً من الروابط المجاورة فعندئذ تكتمل روابطها) ان هذا النوع نجد فيه فجوة موجبة(الأغلبية) تطفو من حزمة التكافؤ لمادة شبه الموصل. لهذا سمي هذا النوع p.

II.2.2.4.البلورة الدخيلة(المشوبة):

مهما كانت هذه الشوائب قليلة فإنها تعمل على زيادة التوصيل في أشباه الموصلات، فمثلا يكون منسوب تطعيم بنسبة جزء في مئة مليون(1.10^{8}) من شوائب مانحة في بلورة الجرمانيوم يزداد عدد حاملات التيار حوالي(4.10^{14}) في السنتيمتر المكعب الواحد. كما يمكننا تحديد نوع حاملات التيار(موجبة كانت أم سالبة)بواسطة الشوائب.

إن هذه الشوائب تغير في مستوى فيرمي E_f حسب نوع الشائبة. ولكون هذا المنسوب عبارة عن مقياس مدى إشغال مستويات الطاقة المسموحة، فإنه يتحرك تجاه حزمة التوصيل في البلورة من النوع السالب حيث أن كثير من المستويات الطاقة تمتلئ بالإلكترونات. بينما تبقى الثقوب قليلة في حزمة التكافؤ. اما في البلورة من النوع الموجب فإن مستوى فيرمي يتحرك تجاه حزمة التكافؤ حيث تكثر الثقوب هناك بينما يكون عدد الإلكترونات الطليقة قليلا.



الشكل(3.2): مستوى فيرمي لأشباه الموصلات من النوع p والنوع n.

يتأثر هذا المستوي بدرجة الحرارة في البلورة المشوبة. إذ أنه يتجه نحو مكانه الأصلي عندما تزداد درجة الحرارتها كثيرا عن درجة حرارة الغرفة. والسبب يعود إلى تحفيز أزواج من الإلكترونات

والثقوب حراريا. حتى إذا ما إرتفعت الحرارة أكثر عندئذ تهيمن الحالة الصلبة على الحالة الدخيلة(المشوبة)[16].

5.II.الوصلة الثنائية (P- N Junction):

عند توصيل مادتين شبه موصلتين واحده من النوع P الموجب والثانية من النوع N السالب.تحدث ظاهرة هامة عند سطح إلتقاء النوعين معا.يطلق عليه وصلة موجب-سالب في هذه الوصلة تتحرك الالكترونات من الوصلة السالبة إلى الوصلة الموجبة والثقوب من الموجبة إلى السالبة من خلال طبقة تسمى طبقة النفاذ (هي المنطقة الفاصلة بين الثقوب والالكترونات الحرة المنتشرة على طرفي الوصلة). ويكون هذا الإنتقال من الأكثر تركيز إلى الأقل تركيز. إن عملية الإنتشار هذه تؤدي إلى مرور تيار يدعى تيار الانتشار وفرق الجهد على هذه الطبقة يسمى حاجز الجهد و هو فرق الجهد المتكون على جانبي طبقة النفاذ بسبب حركة الثقوب والإلكترونات.

حيث يؤدي هذا إلى تكوين مجال كهربائي يكون إتجاهه من الشحنة الموجبة إلى الشحنة السالبة. سنتطرق لها في الفصل الأخير بالتفصيل.

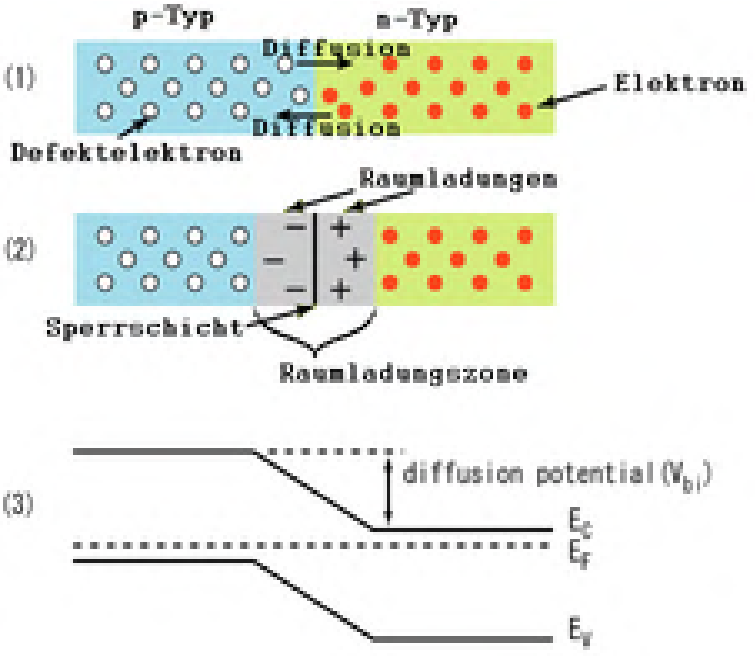
حيث يعرف تيار الإنتشار بأنه تيار يستمر لفترة قصيرة نتيجة انتشار الالكترونات من الوصلة السالبة إلى الوصلة الموجبة والثقوب من الموجبة إلى السالبة على طرفي الوصلة[12].

6.II.حزم الطاقة في الثنائي البلوري:

عند توصيل بلورة من النوع السالب ببلورة من النوع الموجب فإن مخطط حزم الطاقة الناتج في ثنائي المتولد(عند مفترق المادتين) يكون كما في الشكل(2-4).

ويلاحظ في هذا الشكل ثبات مستوى فيرمي في كلا الجهتين، لذلك فإن الإلكترونات تكون ذات طاقة أكبر في احد الجهتين من الجهة الاخرى مما يؤدي إلى إنتقال الإلكترونات إلى ان ينطبق المستويان

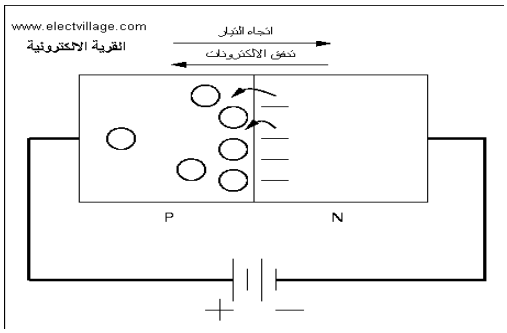
كما هم مبين في الشكل. كذلك يلاحظ في الشكل عدم تحاذي حافة التوصيل في الجهة الموجبة E_{cp} مع تلك التي في الجهة السالبة E_{cn} وذلك لكون مستوى فيرمي قريبا من حزمة التوصيل في الجهة السالبة وقريبا من حزمة التكافؤ في الجهة الموجبة. كذلك لا تتحاذى حافة حزمة التوصيل E_{vp} مع E_{vn}. وترمز E_0 في هذا الشكل لمقدار الإزاحة في مستويات الطاقة [16].



الشكل(4.2): الوصلة الثنائية ومستوى فيرمي لها.

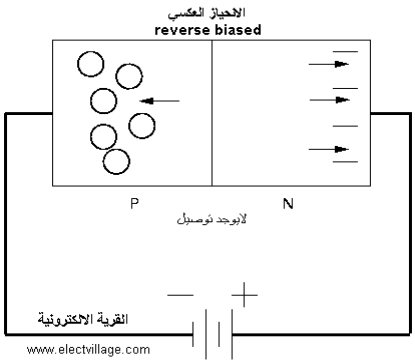
II.7.الانحياز الامامي للوصلة الثنائية :

عند توصيل القطب الموجب للبطارية بالطرف الموجب والقطب السالب بالطرف السالب ينشا مجالا خارجيا يعاكس المجال الاصلي مما يؤدي الى نقصان حاجز الجهد ومرور التيار خلال الوصلة. وذلك لتنافر الإلكترونات من الجانب n مع القطب السالب للبطارية وتندفع لعبور الوصلة إلى الجانب p. بينما الفجوات في الجانب p تتنافر مع القطب الموجب للبطارية وتندفع لعبور الوصلة إلى جانب n.



الشكل(5.2): حالة الانحياز الامامي للوصلة الثنائية.

II.8.الانحياز العكسي للوصلة الثنائية : هو عملية توصيل القطب الموجب للبطارية بالطرف السالب للوصلة والقطب السالب بالطرف الموجب فينشا مجالا خارجيا بنفس اتجاه المجال الاصلي. وهذا ناتج عن إنجذاب الإلكترونات في الجانب n إلى القطب الموجب للبطارية وتبتعد عن الوصلة بينما تنجذب الفجوات في الجانب p إلى القطب السالب للبطارية مبتعدة أيضا عن الوصلة. وهذا ما يزيد حاجز الجهد.حيث يعرف هذا الأخيرأنه فرق الجهد بين طرفي طبقة النفاذ يعمل على منع الانتشار خلال الوصلة الثنائية [12].

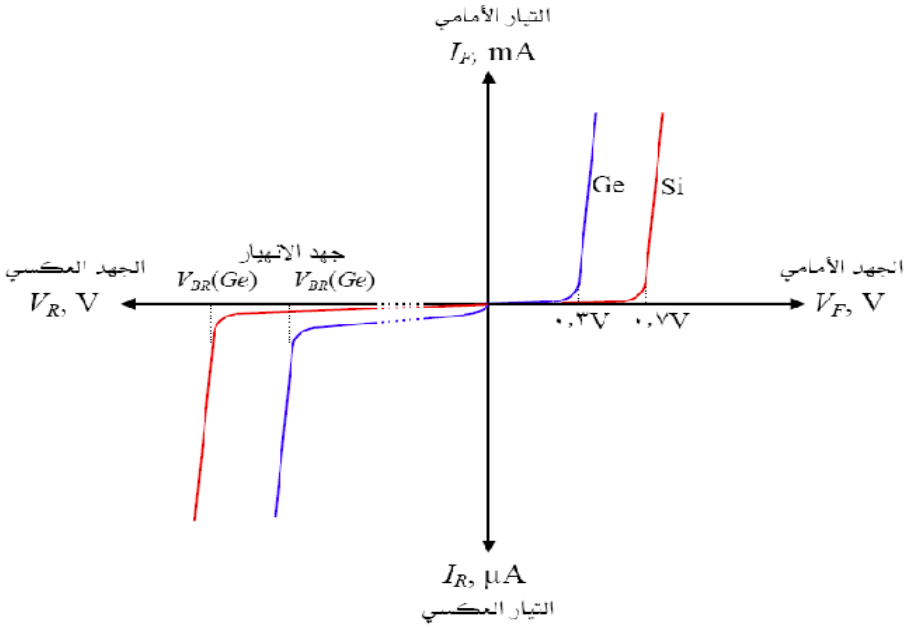


الشكل(6.2): الانحياز العكسي للوصلة الثنائية.

II.9.منحنى الخواص لثنائي شبه موصل: يمثل منحنى الخواص للثنائي شبه الموصل العلاقة بين التيار المار خلال الثنائي وبين الجهد المطبق عليه سواء في حالة الإنحياز الأمامي أو الإنحياز العكسي. ويبين الشكل (2-7) منحنى الخواص لثنائي من السيليكون(Si) وآخر من الجرمانيوم(Ge).

وكما هو موضح بالشكل فإن الثنائي يوصل التيار عندما يكون التوصيل في الإتجاه الأمامي ولا يوصل التيار إذا كان التوصيل في الإتجاه العكسي(تيار صغير جدا يمكن إهماله)طالما كان الجهد المطبق على طرفيه اقل من جهد الإنهيار V_{BR} (Breakdown Voltage).

يبن الجزء الأيمن من المنحنى التغير الكبير في قيمة التيار الأمامي عند التغير في الجهد الامامي المطبق على الثنائي، حيث يكون قليل القيمة عندما يكون الجهد المطبق على الثنائي أقل من جهد الحائل والذي تبلغ قيمته حوالي 7،0 فولط في حالة الثنائي المصنع من السيليكون أو 3،0 في حالة الثنائي المصنع من الجرمانيوم. وعندما يزيد الجهد المطبق على الثنائي عن جهد الحائل فإن التيار يزيد زيادة كبيرة مع زيادة الجهد.



الشكل (2.7):منحنى الخواص لثنائي شبه الموصل.

الجزء الأيسر من منحنى الخواص يوضح أن التيار المار في الإتجاه العكسي يكون قريبا من الصفر طالما كان الجهد المطبق على الثنائي أقل من جهد الإنهيار، وعند وصول هذا الجهد إلى جهد الإنهياريزداد التيار زيادة كبيرة تؤدي غالبا إلى تدمير الثنائي ويكون هذا الجهد تقريبا حوالي 50 فولط في معظم الثنائيات [13].

الفصل الثالث
الخلايا الكهروضوئية

III.1. مقدمة في الخلايا الشمسية:

تعرف أيضا بالخلايا الفولتائية أوالخلايا الكهروضوئية، وهي نوع من أنواع التقنية الشمسية تأخذ الطاقة الموجودة في الأشعة الشمسية وتحولها مباشرة إلى طاقة كهربائية . وقد سجل عام 1941 م تصنيع أول خلية شمسية سيليكونية بكفاءة لا تتجاوز (1%)، ثم لحق ذلك إنجاز مختبرات بل (Bell) الأمريكية في تصنيع البطاريات الشمسية في منتصف الخمسينيات بكفاءة بلغت (6%)، استخدمت آنذاك في التطبيقات الفضائية كما تم في نفس الفترة تركيب أول خلية ذات الأفلام الرقيقة. بعد تلك الفترة إزداد تسارع بحوث التطوير في العلوم الفيزيائية والهندسية لأشباه الموصلات وخاصة ما يرتبط بدراسة التبادلات الكهربائية الضوئية وتقنياتها بإتجاه تحسين كفاءتها . وقد أدى ذلك إلى إزدياد مستوى إنتاج الخلايا الكهروضوئية بقدرات تتراوح بين الميلي واط إلى الكيلو واط.

أما الفترة الهامة للخلايا الكهروضوئية فقد حدثت في عقدي السبعينيات والثمانينيات وخاصة بعد تطور علوم التراكيب المجهرية الدقيقة لأشباه الموصلات ، وقد أعتبرت الخلايا الكهروضوئية حينئذ بأنها إحدى الطرق العملية الطموحة لتوليد الكهرباء من المصادر المتجددة في الطاقة ، وقد ساعد إزدياد الطلب على إستخدام مجمعات الخلايا الكهروضوئية في بعض دول العالم وخاصة في بداية التسعينيات على تحقيق تطور ملموس في الصناعة والسوق الكهروضوئية حيث أدى إلى إنخفاض نسبي في تكلفة إنتاجها. كما وصل إنتاجها الكهربائي إلى عشرات الميجاواط[2].

2.III. تعريف الخلايا الشمسية:

الخلايا الشمسية محولات تأخذ الطاقة من اشعة الشمس وتحولها طاقة كهربائية(تياركهربائي) ، وهذا التحويل يكون بشكل مباشر بدون عمليات وسيطية ، فهي تمتص معظم الطيف الشمسي وتحول جزءا من هذه الإشعاعات إلى طاقة كهربائية ويمكن إستخدامها في الحال أو تخزينها.

والخلية الشمسية تكون قياسية، ذلك أن واحدة منها يمكن أن تستعمل لتكوين كمية صغيرة جدا من الكهرباء أو عدد منها يمكن أن يستعمل معا لتكوين كمية كبيرة من الكهرباء، لأن كل خلية تنتج حوالي واحد فولط ونصف من الكهرباء. فإن هذه الخلايا عادة ماتربط مع بعضها البعض بمجموعات تدعى "الوحدات" حيث تحتوي كل وحدة حوالي أربعين خلية شمسية إذ يمكن دمج التيار الناتج منهاوإن وحدات الخلايا الشمسية يمكن ربطها على التوالي أو على التوازي حسب الحاجة لزيادة القدرة الكهربائية الناتجة عنها.

تصنع غالبية الخلايا الكهروشمسية من معدن السيليكون. له خاصية كهربية مميزة وهي انه عازل في درجات الحرارة المنخفضة ، وشبه موصل في درجات الحراة العادية ، كما ان توصيله يزداد عند اضافة كميات ضئيلة من عناصر أخرى له [15].

3. III. أنواع الخلايا الكهروشمسية :

1.3. III.الخلايا السيليكونية:

1.3.III.أ.الخلايا السيليكونية أحادية البلورة: معظم الخلايا الشمسية المصنعة لغاية فترة قريبة كانت من السيليكون النقي ذي هيكل مستمر أحادي البلورة وبدون شوائب ، والسيليكون أحادي البلورة يصنع عادة من حبوب صغيرة من البلور مسحوبة ببطء من كتلة مذابة من السيليكون المتعدد البلورات بطريقة متقدمة وغالية الثمن ، معظم ما يتوفر منها في الأسواق تتراوح كفاءتها بين

13% و17%.وبالرغم من ميزة الكفاءة العالية التي تختص بها الخلية الكهروشمسية الأحادية البلورة فإن سعرها مرتفع جدا لكونها مصنعة من سيليكون أحادي البلورة وعالي النقاوة لكون طريقة التصنيع غالية وتحتاج إلى عمال ماهرين. الشكل(3-1) يبن لوحا كهروشمسيا مصنوعا من خلايا كهروشمسية أحادية البلورة [2].

الشكل (1.3): لوح كهروشمسي مصنوع من خلايا كهروشمسية أحادية .

ويتم حاليا تصنيع بعض الخلايا من السيليكون أقل نقاوة،وهذه الخلايا تكون أرخص سعرا وتنتج بكلفة أرخص بإستخدام عمليات مختلفة قليلة الكلفة لكنها ذات كفاءة أقل وعمر زمني أقل.

III.1.3.ب. الخلايا السيليكونية الشريطية:

يتم في هذه الطريقة إنتاج شريط سيليكوني أحادي البلورة من السيليكون المتعدد البلورة أو من سيليكون بلوري أحادي مذاب.

III.1.3.ج. خلايا سيليكونية متعددة البلورات:

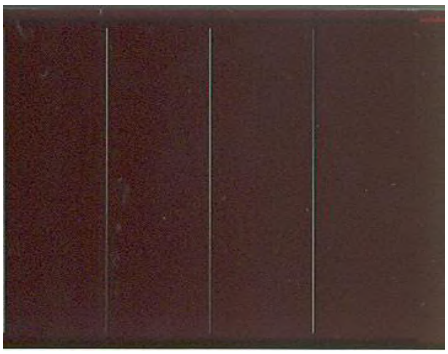
يتكون السيليكون المتعدد البلورة من حبيبات صغيرة من البلور الأحادي بالرغم من كون الخلايا الكهروشمسية المتعددة البلورات أرخص واسهل تصنيعا من الخلايا الأحادية البلورة بسبب النقاوة الأقل

للمادة الأولية إلا أنها أقل كفاءة، وذلك كون حاملات الشحنة (الإلكترونات والثقوب) المولدة من قبل فوتونات الإشعاع الشمسي يمكن أن تتجمع على الحدود بين الحبيبات داخل السيليكون المتعدد البلورات، وقد وجد أن كفاءة هذه الخلايا تتحسن عند عملية تصنيع المادة بطريقة تكون فيها الحبيبات كبيرة الحجم، ويتم ذلك بتبريد السيليكون المذاب ببطئ ثم توجه الخلايا من الأعلى إلى الأسفل، وذلك للسماح للإشعاع الشمسي بالتغلغل بعمق خلال الحبيبات. تتراوح كفاءة الخلايا السيليكونية المتعددة البلورات بين 11% و 15%[2].

الشكل (2.3): لوح شمسيا مصنوع من خلايا كهروشمسية متعددة البلورات.

III.3.1.د.الخلايا السيليكونية العشوائية:

يمكن تصنيع الخلايا الكهروشمسية بطريقة أرخص من طرق تصنيع الخلايا السيليكونية الأحادية والمتعددة البلورات، وهذه الخلايا تسمى بالخلايا السيليكونية العشوائية (A-Si) حيث تكون ذرات السيليكون فيها أقل ترتيبا من النوع البلوري. ففي السيليكون العشوائي لا ترتبط كل ذرة إرتباطا كاملا مع الذرات المجاورة، إنما تترك ما يسمى بالرباط المتدلي، وتستطيع إمتصاص إلكترونات إضافية عند إجراء عملية الطلاء. الشكل(3-3) يبين لوحا شمسيا مصنوعا من خلايا كهروشمسية عشوائية.



الشكل(3.3): لوح شمسي مصنوع من خلايا سيليكونية عشوائية.

تختلف خلايا السيليكون العشوائي عن الخلايا المصنعة بطرق أخرى بالنسبة لمنطقة الإرتباط (N–P Junction) إذ يتكون هذا النوع من الخلايا منطقة تسمى(N–I–P) وهي طبقة رقيقة جدا من نوع (P) من السيليكون العشوائي تأتي بعدها طبقة داخلية (I)أكثر سمكا من مادة السيليكون العشوائي الخالي من الشوائب،ثم طبقة رقيقة جدا من نوع(N)من السيليكون العشوائي. كما أنها أرخص سعرا من الخلايا السيليكونية البلورية. وأكثر إمتصاصا للإشعاع الشمسي إضافة إلى أن درجة حرارة تصنيعها قليلة جدا مقارنة بالخلايا السيليكونية البلورية ولذلك فهي تحتاج إلى طاقة أقل.

من سلبياتها أنها ذات كفاءة قليلة مقارنة بالخلايا السيليكونية المذكورة سابقا، حيث تتراوح مابين 4% إلى 8% وهي تتناقص مع مدة تعرضها للشمس وكذلك عمرها الزمني قليل ، إن أعلى كفاءة تم الحصول عليها مخبريا لاتتجاوز 12%.كما أن مخلفاتها التي تتحول إلى الزرنيخ(الأرسانيد) ضارة بالبيئة [5].

III.2.3.خلايا الغاليوم أرسنايد(GaAS):

ليس السيليكون المادة الوحيدة الملائمة للإستخدام في تصنيع الخلايا الكهروشمسية، فهناك مواد أخرى يمكن استخدامها كالغاليوم أرسنايد التي تمتلك هيكلا بلوريا مشابها للسيليكون ، هي ملائمة جدا للإستخدام في تطبيقات الخلايا الشمسية لكونها ذات معامل امتصاص عال للضوء. كما تتمتع بكفاءة جيدة، تعمل تحت ظروف درجة حرارة عالية نوعا ما بدون تناقص في أدائها كالخلايا السليكونية

وبعض أشباه النواقل التي تعاني من هذه المشكلة. وبهذه المواصفات يمكن إستخدامها في منظومات الخلايا الشمسية المركزة، ومن الأمور التي يجب معرفتها هي أن كلفة تصنيع هذه الخلايا أعلى من كلفة تصنيع الخلايا السيليكونية وذلك لكون عمليات إنتاجهاغير متطورة حاليا ، وتستخدم عند الحاجة إلى خلايا ذات كفاءة عالية كما هو الحال في تطبيقات الفضاء [5].

III.3.3.خلايا الكوبراتديوم ديسلنايد(CIS):

هي مواد من أشباه النواقل مركبة من النحاس والأنديوم والسلينايد (CIS). وقداستخدمت في تصنيع خلايا وصلت كفاءتها مخبريا إلى (12%)، هذا النوع من الخلايا لا يعاني من مشكلة نقصان الكفاءة عند الإستخدام الذي ظهر في الخلايا السيليكونية العشوائية ، وبما أن مادة الأنديوم مادة غالية الثمن ، وبالرغم من أن الكمية المستخدمة قليلة فإن ذلك يؤثر على سعرها . من مساوئ طريقة تصنيع هذه الخلايا هو إستخدام الهيدروجين والسيلينايد وهو سام جدا ويسبب مشاكل صحية كبيرة في حالة حدوث خلل عند التصنيع[4].

III.4.3.خلايا الكادميوم تليرايد(CdTe):

هي مواد من أشباه النواقل مناسبة لإستخدام الخلايا الكهروشمسية تتألف من الكادميوم والتليرايد . ومن محاسن هذه الخلايا إمكانية تصنيعها بإستخدام عملية بسيطة ورخيصة من الطلاء الكهربائي. وقد وصلت كفاءة هذه الخلايا مابين 8% 11%. و بدون تناقص عند الإستخدام. لكن من مساوئها أن الكادميوم مادة سامة جدا[2].

جدول(1.3): ملخص لأنواع الخلايا الشمسية وأهم الفروق بينها:

نوع الخلية	كفاءتها	كلفتها	مميزاتها وإستعمالاتها
خلايا سيليكونية أحادية البلورة	تتراوح مابين 13%-17%	غالية جدا	تصنع من حبوب صغيرة من البلور مسحوب من كتلة مذابة من متعدد البلورات-عالية النقاوة-طريقة تصنيع غالية وتحتاج إلى عمال مهرة-قليلة التشوهات البلورية داخل الخلايا-تستعمل في التطبيقات الفضائية.
خلايا سيليكونية متعددة البلورة	تتراوح مابين 11%-15%	أرخص من أحادية البلورة	أقل نقاوة(تتجمع حاملات الشحنة على جدود الجبيبات داخل) - كثيرة التشوهات البلورية ناتجة عن مراحل التصنيع-كما أنها سهلة التصنيع مقارنة بالأحادية البلورة -يتكون من حبوب صغيرة من البلور الأحادي.
خلايا سيليكونية عشوائية	تتراوح مابين 4%- 8% لاتتجاوز 12% مخبريا	أرخص من الخلايا السيليكونية البلورية	أقل ترتيبا من النوع البلوري-إرتباط ذراته غير متكامل مع الذرات المجاورة -تحتوي على وصلة(P-I-N)بدلا من(N-P)-أكثر إمتصاص للإشعاع-تحتاج لأقل طاقة لتصنيعها-تتناقص كفاءتها مع الزمن-عمرها الزمني قصير-مخالفاتها ضارة للبيئة.
خلايا الغاليوم أرسنايد (GaAS)	كفاءتها جيدة	أغلى من كلفة تصنيع الخلايا السيليكونية	مكونة من الغاليوم و الأرسنايد-ذات إمتصاص عالي للضوء-تعمل تحت ظروف درجة حرارة عالية دون أن ينقص أداءها-تستخدم في منظومات الخلايا المركزة وفي التطبيقات الفضائية.تمتلك هيكلا مشابها للسيليكون-عمليات أنتاجها غير متطورة حاليا.
خلايا الكوبراتديوم ديسلنايد	12% مخبريا	غالية الثمن (بسبب غلاوة الأنديوم)	مكونة من النحاس,الأنديوم(غالي الثمن) والسلينايد-لا تعاني من نقص في كفاءتها عند الإستخدام عكس الخلايا السيليكونية العشوائية-مضرة بالصحة إذاما تعرضت لخلل في التصنيع بسبب إستخدام غازي الهيدروجين والسلينايد في تصنيعها وهذا الأخيرسام جدا
خلايا الكادميوم تليرايد (CdTe)	تتراوح مابين 8%- 11%	رخيصة	مكونة من الكادميوم والتليرايد-عملية صنعها بسيطة ورخيصة-لا تتناقص كفاءتها عند الإستخدام-يجب أخذ الإحتياطات اللازمة أثناء عملية التصنيع لأن الكادميوم مادة سامة جدا.

III.4. منافع ومعوقات الخلايا الشمسية:

إن إستعمال الخلايا الشمسية له العديد من السمات الإيجابية منها:

1 -ليس لها ضوضاء عند العمل.

2 -تحتاج إلى صيانة قليلة أو لا تحتاج.

3 -ليس هناك حاجة إلى تدريب خاص لتشغيل منظومات الخلية الشمسية.

4 -يمكن أن تصنع من تشكيلة مختلفة من الأحجام، مما يوفر مرونة عالية في الإستعمال.

5 -يمكن أن تستعمل في أي مكان بالإستفادة من ضوء الشمس المباشر وغير المباشر .

6 -تدوم لفترات طويلة حيث تبقى فعاليتها لمدة عشرين إلى ثلاثين سنة.

ومثل العديد من التقنيات فإن الطاقة الشمسية تواجه معوقات منها:

1-لا يمكن إنتاج الطاقة عند إنعدام الأشعة الشمسية في حالات المطروسقوط الثلوج.

2-لايمكنها إنتاج الطاقة في الليل .

3-تصبح بمرور الوقت أقل كفاءة.

4- ارتفاع تكلفة الإنتاج، الأمر الذي لا يمكن معه التوسع في استغلالها[12].

III.5.الإستعمالات الحالية والمستقبلية للخلايا الشمسية:

إن الإستعمال الأول للخلية الشمسية العملية كان كمصدر للطاقة الكهربائية للأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض,وقد اختيرت لإعتبارها أمن من الطاقة النووية ولإعتبارات أخرى. وعلى الأرض فإن الخلية الشمسية أستعملت في إنتاج الطاقة الكهربائية في الأماكن غير المربوطة إلى شبكة القدرة الكهربائية او في الاماكن التي يكون فيها إستخدام شبكة القدرة الكهربائية ذو تكلفة عالية، حيث يحدث هذا في الأماكن البعيدة. حيث تشغل التلفزيونات والثلاجات والحاسبات وأشياء أخرى في البيوت. كما

تستخدم أيضا في المزارع حيث تشغل المضخات التي تجهز المياه للمواشي في مناطق الرعي البعيدة عن الخقول الرئيسية.

كذلك يمكن إستعمال الخلايا الشمسية في تشغيل مشاعل الملاحة، ومراقبة الأجهزة لأنظمة خطوط الانابيب، ومنظومات ملاحظة خصائص المياه، والمعلومات الأرصادية وإشارات المرور العديدة، لوحات الإعلانات ومواقف الحافلات المضيئة، إشارات الطرق السريعة، وكذلك فإن هواتف الطوارئ على الطرق تستعمل هذه التقنية أيضا.

هناك منظومات خلايا شمسية كبيرة تقوم بتشغيل بعض الشركات بحيث تمكنها من عدم إستخدام الشبكة الكهربائية كليا، وإذا أصبح إستخدام الخلايا الشمسية أقل كلفة فإن مشاريع إستعمالها ستصبح اكثر عملية.

في المستقبل، فإن فكرة الخلايا المدمجة مع البناية ستكون قريبة المنال، وأيضا في السيارات. من المعروف أنه تجرى حالياً العديد من المحاولات لإنتاج خلية شمسية من النباتات على شكل رقاقة تُستخدم لإمداد الأجهزة المحمولة كالهواتف و الحواسب و غيرها بالطاقة الناتجة من الكلوروفيل أو الهخضور حيث يستفاد من قدرة النبات على استخدام أشعة الشمس لإنتاج الطاقة [12].

الفصل الرابع
تأثير أشعة الشمس على الخلايا الكهروضوئية

IV .1.تأثير الإشعاع على المادة:

تختلف أساليب وطرق تأثير الإشعاع الكهرومغناطيسي على المادة إختلافا جوهريا. فعندما يسقط فوتون على المادة فإنه يفقد طاقته ويمنحها للمادة عن طريق إحدى العمليات الثلاثة:

VI.1.أ.التأثير الكهروضوئي: وخلاله يفقد الفوتون طاقته بالكامل ويمنحها لأحد إلكترونات شديدة الإرتباط بنواة ذرة من ذرات المادة وبالتالي يفنى الفوتون.

VI.1.ب.تأثير كومبتون: وخلاله يفقد الفوتون جزءا من طاقته ويمنحها لأحد الإلكترونات الحرة أو ضعيفة الإرتباط بالذرة(أي أحد إلكترونات المدارات الخارجية للذرة)، وبالتالي ينحرف هذا الفوتون عن مساره.

VI.1.ج.إنتاج الأزواج: ويمكن أن يحدث عندما يقترب الفوتون إقترابا كبيرا من نواة الذرة ويتفاعل مع المجال الكهربائي الشديد لها. وخلال هذا التفاعل يفقد الفوتون طاقته بالكامل منتجا زوجا إلكترونيا–بوزيترونيا، وبالتالي يفنى هذا الفوتون. ولا يمكن أن يحدث هذا التفاعل في المجال الكهربائي لنواة الذرة إلا إذا كانت طاقة الفوتون كبيرة جدا.

وينبغي الـــتأكيد على أن العمليتين الأولى والثانية يمكن أن تحدثان عند جميع طاقات الإشعاعات الكهرومغناطيسية بما في ذلك الأشعة السينية. أما العملية الثالثة فلا يمكن أن تحدث إلا إذا كانت طاقة الأشعة الكهرومغناطيسية كبيرا جدا.

VI.2.إكتشاف التأثير الكهروضوئي:

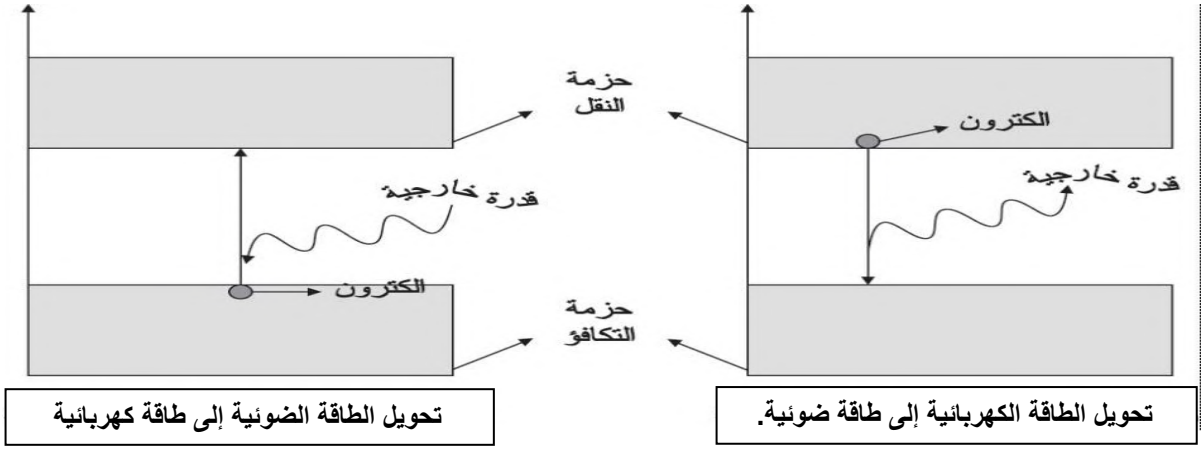
يعود إكتشاف الأثر الكهروضوئي إلى القرن الميلادي الماضي عندما قام العالم بكريل (Becquerel) في عام 1839م بدراسة تأثير الضوء على المعادن والمحاليل وخصائص التيار الكهربائي الناتج عنها، أنه عند تعريض سطح مادة موصلة لشعاع فوق بنفسجي فإنه يتولد شرر كهربائي بسهولة أكب ر. كما أدخل العالمان آدم و سميث (Smith & Adam) مفهوم الناقلية الضوئية لأول مرة عام 1877م، وفي عام 1905 م قدم أينشتاين ورقة أبحاث فسرت النتائج العملية للظاهرة الكهروضوئية على أن طاقة الضوء توجد على شكل كمات من الطاقة سميت فوتونات. وقد أدى إكتشافه هذا إلى ثورة عظيمة في علم فيزياء الكم.كما انه منح جائزة نوبل عام 1921 م على تفسيره الظاهرة الكهروضوئية.

أدت دراسة التأثير الكهروضوئي إلى التقدم في فهم الطبيعة الكمية للضوء والإلكترونات ، كما أن لها الأهمية في تشكيل مفهوم إزدواجية الموجة–جسيم ، وفسرت كذلك ظاهرة أخرى وهي تغيير الضوء لمسار الشحنات . وألقت الضوء أيضا على إكتشاف ماكس بلانك السابق للعلاقة التي تربط الطاقة والتردد الناشئة عن تكميم الطاقة[2].

حيث تعرف الظاهرة الكهروضوئية كالآتي:

VI.3.الظاهرة الكهروضوئية:

تعبِّر هذه الظاهرة عن إمكانية تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية والعكس. ففي الحالة الأولى، إذا كانت الطاقة الضوئية الساقطة على لاقط من السيلكون أكبر أو تساوي eV1،1 (وهي المسافة الطاقية التي تفصل حزمة النقل عن حزمة التكافؤ لمادة السيلكون) فإنّ إلكتروناً من حزمة التكافؤ سيتحرر ويقفز إلى حزمة النقل محدثاً موضعه ثقباً حراً. أي إنه تم تحويل الضوء (الفوتونات) إلى حوامل شحنة حرة.



الشكل(1.4): يوضح الظاهرة الكهروضوئية بنوعيها.

أمّا في الحالة الثانية التي يقفز فيها الإلكترون من مدار أبعد عن النواة إلى مدار أقرب إليها، أو ينتقل من حزمة النقل إلى حزمة التكافؤ فسوف يتم إشعاع طاقة ضوئية (فوتونات) تساوي الفرق بين مستوى الطاقة التي قفز منها الإلكترون والمستوى الذي هبط إليه، وهكذا يتم تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية. ويبين الشكل (4-1) هاتين الظاهرتين.

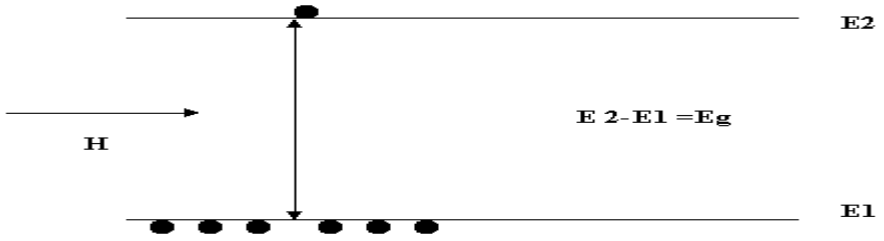
في بحثنا هذا ستقتصر دراستنا عن الحالة الأولى والتي على أساسها يكون التأثير بين الإشعاع الشمسي(الكهرومغناطيسي)والألواح الشمسية(الخلايا الشمسية).

4.VI. محول ذو مستويين للطاقة:

يتركب أبسط مثال لمكونات شبه ناقل من منظومة ذات مستويين 1 و 2 طاقتهما E1 و E2 ولبناء نموذج مثالي لخلية شمسية يجب إعتبار الإفتراضات الآتية:

-لا يمكن أن توجد طاقة الإلكترونات بين E1 و E2 وإنما تساوي E1 أو E2.

-لا يمكن إمتصاص فوتون وارد طاقته أدنى من E=Eg2-E1 ويعد الوسط في هذه الحالة وسطا شفافا بشكل كلي بالنسبة إلى هذا الفوتون.



الشكل(2.4): منظومة ذات مستووين للطاقة.

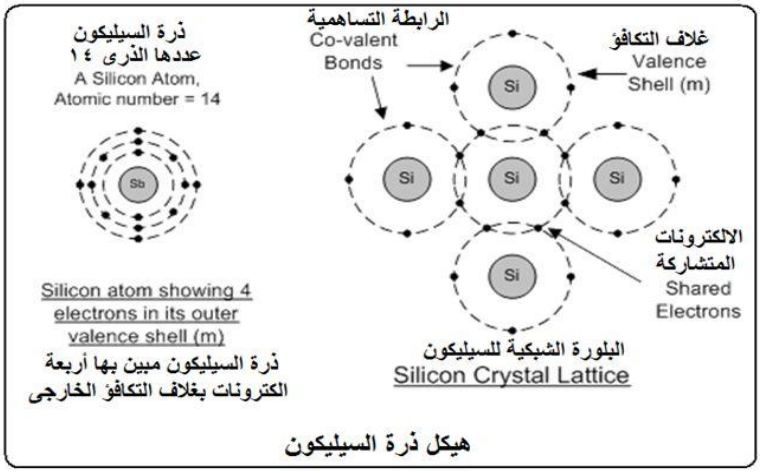
-إن الإمتصاص الكلي لفوتون يحدث في الحالة التي يملك فيها هذا الفوتون طاقة تساوي أو تفوقEg. وينتقل الإلكترون الذي يمتص هذه الطاقة من المستوى 1 إلى المستوى 2 تاركا وراءه فجوة في المستوى 1. وهذه الفجوة تسمى عادة *ثقبا*.

تعتبر آليات استرخاء الإلكترون إلى مستوى 1، (وتسمى إتحاد إلكترون – ثقب) بطيئة بحيث يقع جمع الإلكترون المهيج حتى يساهم في نقل التيار القابل للإستعمال [7].

ولتوضيح تأثير الأشعة على الخلية سنختار خلية سيليكونية وسنشرح تركيبها بالتفصيل لنتمكن من شرح كيفية تحويل هذه الأشعة إلى تيار كهربائي.

5.VI.عمل الخلية الشمسية السيليكونية:

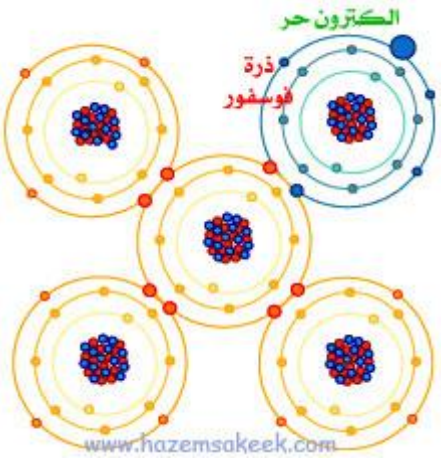
يمتلك السيلكون بعض الخواص الكيميائية في تركيبه البلوري. فذرة السيليكون تحتوي على 14 الكترون موزعة على ثلاث مستويات طاقة. مستويين الطاقة الاول والثاني الاقرب للنواة يكونان ممتلأن تماماً بالالكترونات والمستوى الثالث أو المستوى الخارجي يحتوي على 4 الكترونات فقط اي يكون نصفه ممتلئ والنصف الاخر فارغ حيث ان المدار يكتمل بـــ 8 الكترونات. وتسعى ذرة السيليكون لان تكمل النقص في عدد الالكترونات في المستوى الخارجي ولتفعل ذلك فإنها تشارك اربع الكترونات من ذرات سيليكون مجاورة وبهذا ترتبط ذرات السيليكون بعضها البعض في شكل تركيب بلوري(الشبكة)، وهذا التركيب البلوري له فائدة كبيرة في خلية الفوتوفولتيك كما سنوضح ذلك في الشرح.



الشكل(3.4): ذرات السليكون مرتبطة مع بعضها البعض مشكلة تركيب بلوري منتظم لايوجد فيه الكترونات حرة.

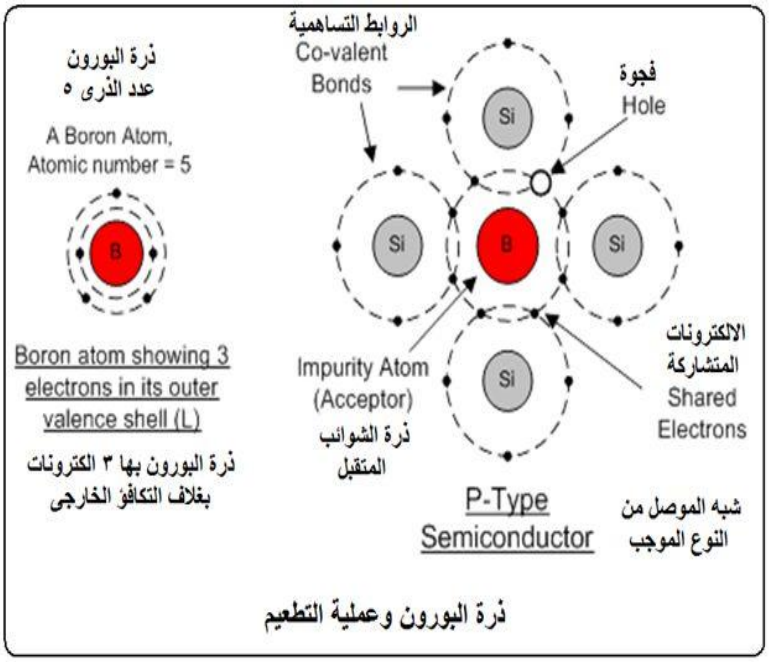
لقد قمنا بوصف بلورة سيليكون نقية وللعلم بلورة السيليكون النقية لا توصل التيار الكهرب ائي بكفاءة لانه لا يوجد الكترونات حرة لتنقل التيار الكهربي حيث ان كل الالكترونات قد قيدت في التركيب البلوري. ولهذا ولكي يتم استخدام السيليكون في الخلية الشمسية فإننا بحاجة إلى إجراء تعديل بسيط في التركيب البلوري. التعديل البسيط هذا هو عبارة عن اضافة ذرات عناصر اخرى (تسمى عملية تطعيم doping)[كما شرحنا في الفصل الثاني].

يتم اضافة (تطعيم) ذرات السيليكون بذرات الفوسفور حيث تحتوي هذه الأخيرة على 5 الكترونات في مدارها الخارجي ولهذا عندما تدخل الشبكة البلورية بين ذرات السيليكون ستشارك بـــ 4 الكترونات ويبقى الكترون حر. وتسمى اشباه الموصلات التي تطعم بذرات تحتوي على الكترونات اضافية بالنوع N–type اي النوع السالب لأنه اضاف الكترون للتركيب البلوري للذرات.



الشكل(4.4): تطعيم ذرات السيليكون بذرات فوسفور.

كما انه يوجد تطعيم بذرات توفر الكترونات اضافية هناك تطعيم آخر بذرات لها عدد اقل من الالكترونات كالبورون مثلا حيث يحتوي على 3 إلكترونات في مداره الخارجي لذلك ستشارك في إرتباطها مع السيليكون في الشبكة البلوري، فتتكون فجوة ويبقى إلكترون منفرد يحتاج إلى إلكترون آخر ليكون رابطتا تساهمية وتسمى المواد الناتجة عن هذا التطعيم بالنوع P–type اي النوع الموجب.



الشكل(5.4): ذرة البورون وعملية التطعيم.

وفي الحقيقة الخلية الشمسية تحتوي على كلا النوعين النوع الموجب والنوع السالب. والامر الاهم هو ما يحدث عن توصيل النوعين معا فإن الالكترونات(type n) تنتقل الى الفجوات(type p) وتتحد معها ولكن لا تستمر عملية الانتقال هذه إلى ان تتحد كل الالكترونات مع كل الفجوات وتتوقف العملية لأن ما يحدث هو أن بعد أن تنتقل المجموعة الأولى من الإلكترونات وتتحد مع الفجوات يشكل حاجز عند المنطقة التي تصل النوع الموجب عن النوع السالب ويمنع هذا الحاجز المزيد من الالكترونات الاخرى في النوع السالب الاتحاد مع فجوات في النوع الموجب ويتكون عند المنطقة بين النوعين مجال كهربي.

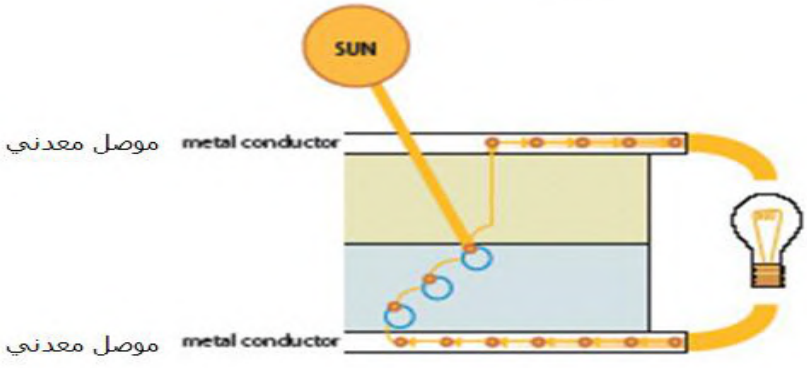
هذا المجال الكهربي يعمل عمل الديود diode حيث يسمح بمرور الالكترونات من الجزء الموجب إلى الجزء السالب ولكن ليس العكس. وبهذا يكون لدينا في كل خلية فوتوفولتيك مجال كهربي يحدد اتجاه حركة الالكترونات.

فعند سقوط فوتونات الإشعاع على الجزء n من الخلية تكتسب الإلكترونات الطاقة من الفوتونات فتقفز إلى منطقة التوصيل تاركة وراءها أيون موجبا (فجوة في حزمة التكافؤ) في الشبكة البلورية للخلية. ويمكن لإلكترون من ذرة متعادلة مجاورة الإنتقال من الذرة المتعادلة إلى الفجوة الموجبة الشحنة. تصبح المتعادلة فجوة عندما ينتقل الإلكترون منها، وتصبح الفجوة الأصلية ذرة متعادلة عندما يقبل الأيون الموجب الإلكترون المنتقل إليه. وتمتد عملية الإنتقال(الحركة) هذه إلى الجزء p من الخلية. تيار الإلكترونات الإلكترونات المتحركة من فجوة إلى أخرى يمكن إعتباره تيار الفجوات المتحركة في إتجاه معاكس لجهة الإلكترونات.

إن سريان الإلكترونات إلى جهة n والفجوات في الإتجاه المعاكس هو مايسمى بالتيار الكهربائي. فإذا كانت هنالك دائرة خارجية تسمح لمرور التيار فيها فإن الإلكترونات المتحركة تترك شبه الموصل إلى

أحد الأسلاك الخارجية في أعلى الخلية وفي نفس الوقت تتجه الفجوات إلى إتجاه معاكس خلال المادة إلى أن

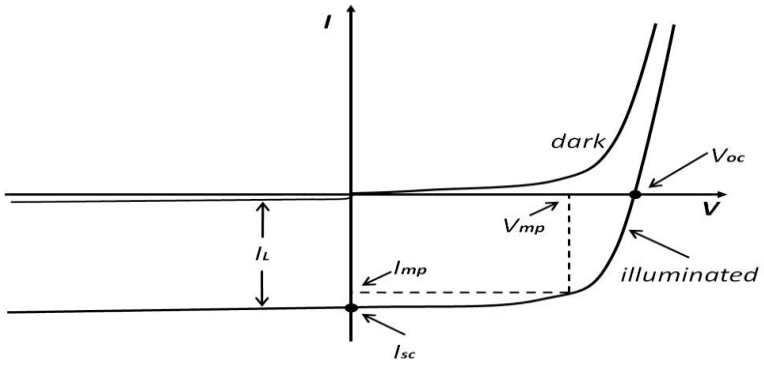
تصل إلى السلك الخارجي الآخر في قاع الخلية، وعندها ستمتلئ بواسطة الإلكترونات القادمة من نصف الدارة الخارجية الآخر [11]. وهذا مايوضحه الشكل المبسط (4-6).



الشكل(6.4): يوضح المرحلة الأخيرة لتحويل الأشعة إلى تيار كهربائي.

6.VI.خصائص التيار والجهد والقدرة للخلية الكهروشمسية:

الخاصية المميزة للخلية الشمسية من دون أي إشعاعية(خاصية الإظلام) تتوافق مع الخاصية المميزة للصمام الثنائي، كما هو مبين في الشكل(4-7).



الشكل(7.4): خصائص التيار والجهد صمام ثنائي(إظلام الخلية)و خلية شمسية تم إشعاعها مع تيار دائرة القصر I_{sc} وجهد الدائرة المفتوحة v_{oc}.

-عند سقوط الأشعة الشمسية ، تتزحزح هذه الخاصية بمقدار التيار الضوئي I_{photo} في الإتجاه المانع لمرور التيار (خاصية الإضاءة). ويتم إيجاد هذه الخاصية للخلية الشمسية بتوصيل مقاومة حمل متغيرة إليها والرسم بيانيا بين التيارت والجهود الكهربية الناتجة لقيم لمختلفة للأحمال.

تيار دائرة القصر I_{sc} (circuit– short) هو أحد الخصائص المهمة جدا للخلية الشمسية. ويحدث هذا التيارفي الخلية الشمسية ذات دائرة القصر التي سقطت عليها الأشعة بحيث يكون بحالته العظمى.

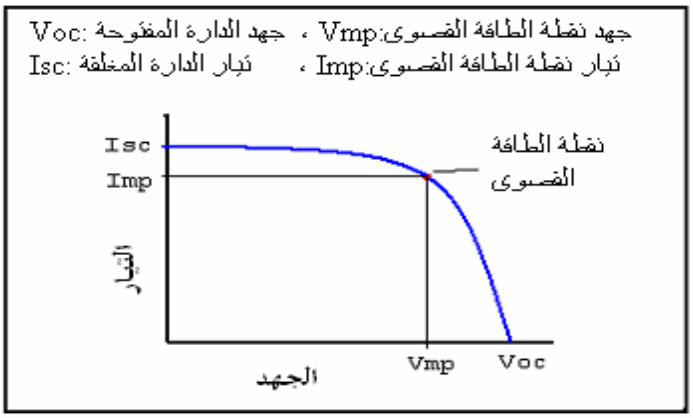
جهد الدارة المفتوحة V_{oc}(circuit – open) هو الجهد بين التلامسات إذا لم يؤخذ أي تيار(دارة مفتوحة)ويكون هذا الجهد بأعلى قيمة له.

والقدرة الكهربائية النظرية الممكن إحرازها(المثلى) ، التي يمكن أخذها من النقطة الطرفية ، P_{opt} هي حاصل ضرب تيار دائرة القصر I_{sc} وجهد الدائرة المفتوحة V_{oc}،أي أن:

وتعرف القدرة القصوى P_{max} بأنها الناتج الأعلى من حاصل الضرب بين I وV عند نقطة التشغيل,أي أن:

إذا تعطى "نقطة القدرة القصوى"(MPP)Point Power Maximum)) بحاصل الضرب بين النقطة القصوى للتيار I_{mp} والنقطة القصوى للجهد V_{mp}.

ويبين الشكل(8.4) أنه إذا قمنا بتغيير المقاومة بين الصفر والمالانهاية فإن التيار والجهد سيتغيران ويمكن أيضا بعد النظر إلى المنحنى إستنتاج بأن الخلية تنتج طاقتها القصوى عندما يتم تغييرالمقاومة الخارجية حتى تكون قيمتها مساوية لنقطة القدرة العظمى [6].



الشكل(8.4): منحنى خصائص الجهد والتيار لخلية سيليكونية ويبين نقطة القدرة القصوى(MPP).

7.VI.كفاءة التحويل للخلية الشمسية:

تعرف كفاءة التحويل الفولتاضوئي η_v بأنها النسبة بين القدرة الكهربائية الخارجة إلى القدرة التي تم إشعاعها على الخلية الشمسية. ويتم إيجاد كفاءة التحويل تحت ظروف فحص معيارية:

إشعاعية قدرها $1000 w/m^2$ عمودية على السطح الأمامي، ودرجة حرارة $25°$ للخلية، وتوزيع طيفي وفقا للإشعاعية المارة بزاوية إرتفاع $41،8°$ خلال الغلاف الجوي (بكتلة هواء 1،5). ولأسباب فيزيائية، فإن حد أعلى نظري. ويبلغ هذا الحد الأعلى النظري 28 % تقريبا لبلورة السيليكون وله ثلاث مسببات رئيسية:

1 -السيليكون معروف بأنه شبه موصل غير مباشر. هذا يجعل إمتصاص الفوتون يعتمد على ظهور (الإهتزاز الشبكي)-وحيث إن هذا يحدث نسبيا بشكل نادر، فإن معامل الإمتصاص منخفض نسبيا.

2 -طاقة شريط الفجوة للسيليكون مقدارها 1،1 ev لذا فالفوتونات ذات الطاقة الاقل لايتم إمتصاصها إطلاقا,بينما الفوتونات ذات الطاقة الأعلى تقوم بتحويل الفائض من الطاقة إلى فوتونات كإهتزازات شبيكية,أي على شكل حرارة.هذه العملية وعمليات الفقد الإضافية أيضا

تعرف بما يسمى "الحساسية الطيفية"أو "إستجابة طيفية" للخلية الشمسية والتي تعرف بكثافة الفوتون $J_{\text{phot}}(\lambda)$ مقسومة على شدة الإشعاع الساقط(الإشعاعية) $E(\lambda)$ أو $G(\lambda)$.

3 -الجهد الكهربائي الأقصى (جهد الدارةالمفتوحة) V_{oc} يعتمد على فرق الجهد المعطى بواسطة الإنتقال p–n ويبلغ مقداره تقريبا 0،7 للسيليكون.

كفاءة التحويل النظرية هذه تنخفض في الحقيقة بآليات فقد مختلفة تتضمن:

-عمليات الفقد الضوئية، مثل الفقد بالإنعكاس والتظليل الناتجان عن التلامسات الأمامية، والفقد بالإشعاعية الغير ممتصة(النافذة)أيضا.

-عمليات الفقد الأومية المتصلة على التوالي وعن طريق المقاومات الطفيلية المتصلة على التوازي.

-عمليات الفقد بإعادة الإتحاد.

إن إمكانية الخلية الشمسية على تحويل فوتون ساقط بطول موجي معين إلى زوج من الإلكترون والفجوة تسمى "كفاءة كمية". تقوم "الكفاءة الكمية الداخلية" بإهمال الفقد بالإنعكاس على سطح الخلية الشمسية، بينما تقوم"الكفاءة الكمية الخارجية" بتضمينها.

بالرغم من أن طاقة الفوتونات تزداد مع زيادة ترددها (طبقا لقانون ماكس بلانك)، إلا أن كلا منها يقوم عادة بإنتاج زوج واحد فقط من الإلكترون والفجوة بإمكانية طاقة ثابتة.لهذا فإن الكفاءة الطيفية المعرفة بالنسبة بين الطاقة الكهربائية الخارجة إلى الطاقة الإشعاعية ، تنخفض كلما قلت الأطوال الموجية. وأفضل كفاءة طيفية تحدث عندما يصبح مقدار الطاقة الناتج من الفوتون الساقط كافيا فقط لإيجاد زوج واحد من الإلكترون والفجوة. وإذا كانت طاقة الفوتون ليست كافية لهذا ، فإن التأثير الكهروضوئي يساوي صفر وهذا يحدث عند الأطوال الموجية الأكبر 1100 nm للخلايا الشمسية السيليكونية.

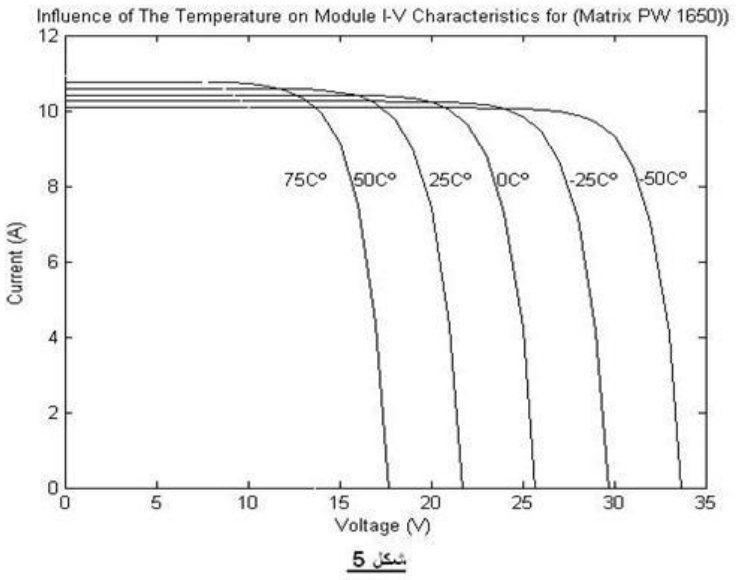
ونتيجة الشوائب الموجودة في بلورة السيليكون فإن الخاصية الطيفية الحقيقية تختلف إلى حد ماعن الخاصية المثالية المذكورة أعلاه. وبالتالي يتوجب قياسها[6].

VI.8.تأثير درجة الحرارة على منحنيات خواص الجهد والتيار للخلية:

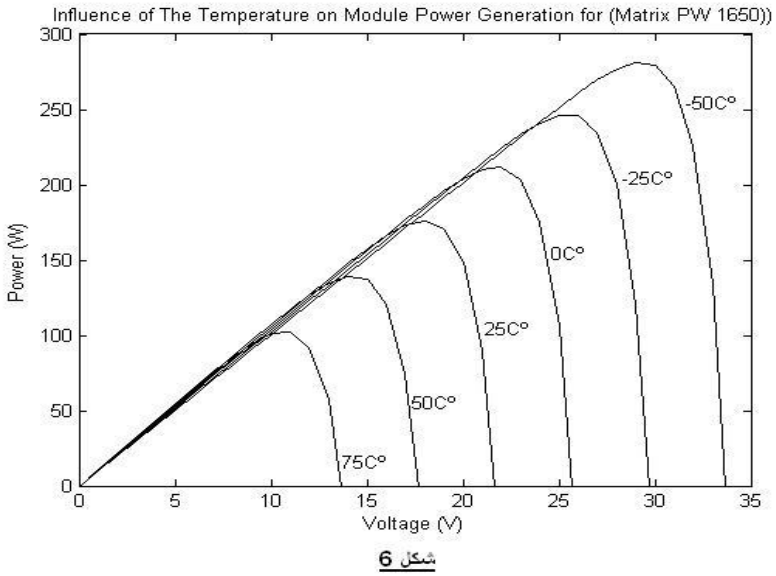
تتأثر كفاءة الخلية الشمسية عكسيا بدرجة الحرارة بمعنى آخر، ينخفض أداء الخلية بإرتفاع درجة حرارة الجو المحيط بالخلية، هذا يعني ان الطاقة الكهربائية الناتجة من الخلية تتنخفض بإرتفاع درجة الحرارة.

الشكل(9.4) يوضح تأثير درجة الحرارة على منحنى خواص الجهد والتيار وكيف يكون لدرجة الحرارة تأثير مباشر على الطاقة الكهربائية المتولدة.

والشكل(10.4) يعزز هذا التاثير في كمية القدرة الكهربائية المتولدة .



الشكل(9.4): تأثير درجة الحرارة على خواص الجهد والتيار.



الشكل(10.4): تأثير درجة الحرارة على القدرة الكهربائية.

9.VI.توصيل الخلايا على التسلسل والتفرع:

بحكم أن جهد وتيار الخلية ضعيف جدا فيتم توصيل عدد كبير من الخلايا على التوالي وعلى التوازي للحصول على جهد والتيار اللازمين.فعند توصيل الخلايا على التسلسل يكون الجهد الحاصل هو مجموع جهد هذه الخلايا ولكن التيار يكون تيار الخلية الواحدة. وعندما توصل الخلايا بالتوازي يكون الجهد مساويا لجهد الخلية الواحدة والتيار مجموع تيارات الخلايا الموصلة على التفرع[9].

10.VI.المولد الفولتضوئي:

المجال الكهربائي الداخلي للخلية الشمسية ضعيف نسبيا ويمكن فقط تحقيق فروق صغيرة في الجهد الكهربائي(0،3 v للجرمانيوم و 0،7 v للسيليكون). والجهد الفعلي للدائرة المفتوحة الذي يمكن تحقيقه هو أقل بقليل من هاتين القيمتين. للحصول على جهود كهربائية أعلى، يتم توصيل الخلايا الشمسية على التسلسل فتشكل ما يسمى ب"سلاسل" من الخلايا الشمسية ولأن هذه السلاسل قابلة جدا للكسر يتم عادة إدراجها في شطيرة بلاستيكية(من الأعلى والأسفل لسلاسل الخلية) وزجاجية ناعمة(زجاج أمامي معالج) مما يزيد في تصلب المركب وجعله متينا، فتتكون ما يسمى ب"المنظومة الشمسية"أو "المنظومة

الفولتضوئية". يتم تهيئة الجهد الخارج عند ظروف الدائرة المفتوحة لمثل هذه المنظومة الفولتضوئية عادة بين17 v إلى 35 v للتطبيقات غير المرتبطة بالشبكة، التي تسمح بالشحن الكامل لبطارية 12أو 24 v، وبالتالي يتطلب 36 إلى 72 خلية موصلة على التسلسل [17][6].

إن تيار الخرج وجهده للمولد الفولتضوئي هو:

حيث(n) عدد الألواح المربوطة على التسلسل.

(m)عدد الألواح المربوطة على التفرع.

والقدرة الناتجة من المولد الشمسي في هذه الحالة تعطى بالمعادلة التالية:

P_{out}

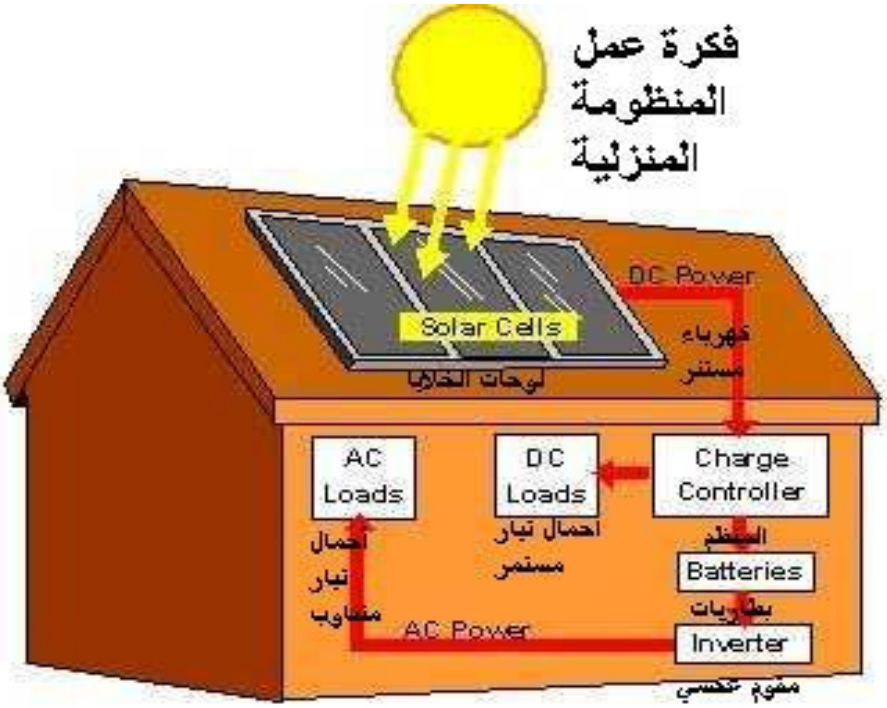
VI.11.نموذج تطبيقي عن تأثير الإشعاع الشمسي على الألواح الكهروضوئية:

تحدثنا سابقا وفصلنا في كيفية تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية، والآن سنتطرق إلى إحدى مجالات إستغلال(إستعمال)هذا الناتج الطاقوي. الذي قد يقلص من مدى إستهلاك الطاقة الكهربائية للشبكة الوطنية. أوقد يغنينا عنها نهائيا.

مثالنا هذا يتجسد في تغذية منزل بالكهرباء الشمسية حيث تستخدم منظومة متكاملة تثبت فيها الخلاياالشمسية وتعرض لأشعة الشمس توصل بها مكونات أخرى سيتم تعريفها فيما يلي:

1.11.VI.مكونات منظومة الطاقة الشمسية المنزلية :

سنتطرق في مايلي إلى شرح هذه المكونات بشكل منفرد:



الشكل(11.4) مكونات منظومة الطاقة الشمسية المنزلية.

الألواح الشمسية:هي الوحدات الأساسية في نظام التحويل(تم شرحها سابقا).

منظم الشحن:وهو ثاني مركب في هذه المنظومة، ويقوم بالعديد من الوظائف كالتالي:

أ-يحتوي على قاطع داخلي يقوم بحماية الخلية الشمسية من التلف.

ب-يعمل على تثبيت الجهد الخارج من الخلية الشمسية إلى الجهاز الذي يعمل عى التيار المستمر DC.

ج-يقوم بتنظيم عملية شحن البطاريات وحمايتها لأن شحن البطارية يجب أن يتوقف عند حد معين، فهو يفصل الطاقة عنها. حيث تضيع الطاقة الكهربائية الزائدة بعد عمليتي الشحن والفصل وهذا من سلبيات إستعمال الطاقة الشمسية كمصدر للطاقة الكهربائية في بعض البلدان وخاصة العربية منها.

أما مانجده في الدول المتقدمة مثل ألمانيا أنه بعد شحن البطارية يتم تحويل هذه الطاقة إلى عداد الشبكة الوطنية، حيث تنعكس حركته وتصبح هذه الطاقة تغذي الشبكة بالكهرباء. يتم حساب هذه الطاقة وخصم مقدارها من قيمة الفاتورة أو تدفع قيمتها نقدا.

د-يعمل على ضمان عدم رجوع التيار الكهربائي من البطارية إلى الخلية مرة أخرى لأنه في حالة فصل الحمل وفي ظل عدم وجود منظم للشحن، فإن الخلايا الشمسية يمكن إعتبارها حمل يعمل على سحب التيار من البطارية إلى الخلايا بشكل عكسي مرة أخرى مما يعمل على إتلافها. نفرض في هذا المثال أن كفائته 88%.

البطارية:وهي الوحدة المسؤولة عن تخزين الطاقة وتفريغها عند الحاجة أي أن لها وظيفة مزدوجة. هناك العديد من أنواع البطاريات ولكن غالبية البطاريات المستخدمة في الأنظمة الشمسية تكون في حدود12 فولط أو 24 فولط.

العاكس:يقوم بتحويل التيار المستمر إلي تيار متناوب لتشغيل الأجهزة التي تعمل على التيار المتناوب وللأجهزة الثقيلة وهو آخر مرحلة وبدونه لن تكون هناك قيمة حقيقية للألواح الشمسية كفائته في هذا المثال 87%.

أحمال التيار المستمرو المتناوب:أغلب الأجهزة المنزلية تحتاج في تغذيتها إلى تيار متناوب AC القادم من المحول مثل ما يوضحه الشكل(11.4)، كما أن هناك أجهزة تتغذى بالتيار المستمر من الألواح الشمسية مباشرة.

VI.11.2.حساب كمية الطاقة اللازمة لتغطية حاجيات الأجهزة المنزلية من الكهرباء:

لحساب كمية الطاقة التي يحتاجها كل جهاز يجب علينا معرفة كم يتوفر منه في هذا المنزل وقدرته وكذلك عدد ساعات عمله في اليوم الواحد. حيث نحسبها وفق العلاقة التالية:

الطاقة (بالكيلو واط/اليوم)=(قدرة الجهاز(واط)*عدد الأجهزة*عدد ساعات العمل اليومي)/1000

وفي هذا الجدول سنحسب الطاقة لمختلف الأجهزة التي قد تتوفر في منزل لأسرة متوسطة وثم نحسب مجموع هذه الطاقات.

إسم الجهاز	عدد الأجهزة	قدرة الجهاز بالواط	عدد ساعات العمل اليومي	الطاقة المسحوبة يوميا بالكيلوواط/اليوم
مكيف	1	1200	8	9,6
مصابيح	10	40	6	2,4
المراوح	3	100	8	2,4
التليفزيون	1	100	10	1
جهاز كومبيوترpc	1	80	6	0.48
مكواة	1	1000	0,16(5ساعات في الشهر)	0,16
الثلاجة	1	200	24	4,8
مكنسة كهربائية	1	1600	¼ ساعة	0,4
غسالة	1	1200	¾ ساعة	0,9
راديووشاحن الهاتف	-	100	2	0,2

نجد أن إجمالي الطاقة =34،22 Kw / h.

هذا في حالة تشغيل جميع أجهزة المنزل في وقت واحد حيث لا يحدث هذا إلا نادرا.

3.11.VI.حساب الطاقة المتبددة في المحول ومنظم الجهد:

نفرض أن ذروة عدد ساعات الإشعاع الشمسي تقريبا 40،5ساعة. إلا في حالة وجود إمكانيات تجعل الألواح تدور وتتحرك بإتجاه الشمس من الشروق إلى الغروب.

بما أن الطاقة المطلوبة لتشغيل جميع الأجهزة المنزلية في اليوم هي: 34،22 Kw / h. وأيضا كفاءة المحول 87% نظرا لوجود ضياعات في الطاقة بداخله(كفائته ليست 100%) فإن:

$$\text{Kw/h } 25،67 = {}^{22،34}\Big/_{0،87}$$

ومنه نجد ان الطاقة التي يجب أن يغذى بها المحول هي 678،25 Kw / h.

ولكي نحسب الطاقة المتبدد في منظم الجهد، ومع العلم أن كفاءة هذا الأخير هي 88% يعني أن الطاقة التي يجب أن تصل إليه تكون أكبر من الطاقة التي تغذي المحول. وتحسب الآتي:

$$\text{Kw / h}179،29 = {}^{25،678}\Big/_{0،88}$$

إذن المطلوب حوالي 179،29 Kw/ hلتزويد منظم الجهد من الخلايا الشمسية خلال 4،5 ساعة على مدار اليوم الواحد.

4.11.VI.حساب عدد الألواح والمساحة المطلوبة:

وجدنا أن الطاقة المطلوب توفيرها من الخلايا الشمسية خلال الساعة الواحدة:

$$\text{Kw}_c 5،4 = {}^{29،179}\Big/_{5،4}$$

نفرض أننا إستعملنا ألواح طولها 1 متر وعرضها ½ متر. حيث تعطي هذه الألواح قدرة تساوي 55 w. نجد أن المتر مربع يحتوي على لوحين شمسيين بقدرة 110 w. ومنه لمعرفة عدد الألواح المطلوبة لتلبية الإحتياج الطاقوي لهذا المنزل نجد:

$$49 = {}^{5400}/_{110}$$ لوح شمسي/م²

وبما أن المتر مربع يحتوي على لوحين شمسيين فإن عدد الألواح المطلوبة هو :

49*2=98 لوح طاقة شمسية.

لكن نستعمل 100 لوح لتعديل النقص في الجهد الناتج عن إرتفاع درجة الحرارة.

VI.5.11.حساب عدد البطاريات اللازمة لتخزين الطاقة:

نفرض أننا إستخدمنا بطاريات 12فولط 100 أمبير/ساعة، لحساب عدد البطاريات المطلوبة لتزويد المنزل بها(على حسب الإختيار). سنبدأ من الحسابات السابقة:

-الطاقة المفروض تغذية البطاريات بها بعد عبور منظم الجهد:

(Batteries energie per day)Ed= Kw / h678،25

-وبإفتراض أن كفاءة البطاريات هي:

(Batteries efficiency)eff=85،0

-وبإفتراض أن عمق الشحن للبطاريات (حيث يمكن أن نفرغ البطارية ونستعملها حتى يبقى فيها25% أي النسبة التي تستخدم 75%):

(The depth of discharge of batteries)DOD=%75

نحسب سعة المطلوب للبطاريات من العلاقة التالية:

$$C_{\mathrm{Ah}} = \frac{\mathrm{Ed}}{\mathrm{DOD.\,eff.\,V_B}} = \frac{25678}{0{،}75.0{،}85.24} = 1678{،}3\ Ah$$

لشحن البطارية لمدة يوم ونصف:

ومنه عدد البطاريات المطلوبة:

إذن المطلوب 25 بطارية تقريبا، سيتم توصيل كل بطاريتين على التسلسل لتصبح 24 فولط(بحيت لا نضطر إلى ذلك لو إخترناها من البداية ذات 24 فولط). وكل إثنين يوصلان على التفرع مع كل إثنين آخرين. وبهذا نكون قد حسبنا عدد الخلايا والمساحة التي يجب توفيرها، لتركيب الخلايا بشكل ملائم للتعرض للإشعاع الشمسي ولأطول مدة ممكنة. وأيضا حسبنا عدد البطاريات اللازمة لتخزين الطاقةالكهربائية. وماعلينا إلا تركيبها مع بقية الأجهزة المذكورة سابقا في المنزل بالطريقة المبينة الشكل(11.4). ليتم إشتغالها وإستغلال الطاقة الكهربائية الناتجة عنها.

الخلاصة

Résumé-Donnez soleil énormément d'énergie dans toutes les parties de la terre où il peut fournir fois le taux actuel de consommation d'énergie dans le monde, si elles sont exploitées correctement peut utiliser l'énergie solaire pour produire de l'électricité directement ou à la chaleur ou même un refroidissement ne limite pas les possibilités futures de l'énergie solaire que nous sommes prêts à profiter de la possibilité de l'utilisation de l'énergie solaire

خلاصة–توفر الشمس طاقة هائلة في كل أنحاء الأرض,حيث يمكنها أن تؤمن أضعاف معدّل الاستهلاك الحالي للطاقة في العالم إذا ما تمّ استغلالها بشكل صحيح.يمكن استخدام الطاقة الشمسية لإنتاج الكهرباء مباشرة أو للتسخين أو حتّى للتبريد ولا يحدّ الإمكانيات المستقبلية للطاقة الشمسية سوى استعدادنا للإستفادة منها بشكل جيد.

Summary–Give sun tremendous energy in all parts of the ground where it can provide times the current energy consumption rate in the world if they are exploited properly can use solar energy to produce electricity directly or to heat or even cooling does not limit future possibilities of solar energy only our readiness to take advantage of the opportunity of energy use solar

المراجع:

[1]-كتاب الطاقة المتجددة-دكتور محمد رأفت إسماعيل رمضان-دار الشروق- جامعة صنعاء- الطبعة الثانية 1988.

[2]-كتاب الطاقة الشمسية-مجلة علمية-مدينة الملك عبد العزيز للعلوم التقنية-سبتمبر1995م.

[3]-كتاب مقدمة في فيزياء أشباه الموصلات-الدكتور فاروق كامل تقلا-ديوان المطبوعات الجامعية- جامعة بن عكنون.

[4]-كتاب الطاقة الشمسية وإستخداماتها-محمد رأفت السيد خليل-دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع- القاهرة-2009م.

[5]-Hadj arab.A.F.Chenlo.k.Mukadam.and j.L.Balenzategui.1999.Permanance of PV water pumping systems.renewable energy.v.18.no.2.p.191.

[6]-كتاب توليد القدرة الكهربائية من الطاقة الشمسية أنظمة الطاقة الفولتاضوئية-ترجمةعبد الباسط علي صالح كرمان-مركز الدراسات الوحدة العربية-بيروت 2011م.

[7]-كتاب الخلايا الشمسية-ترجمة نور الدين-المنظمة العربية للتربية والثقافة و العلوم-تونس2000م .

[8]–Cellules Solaires les bases de lenergie photovoltaique-A.Labouret.P.Cumunel.j-P.Braun.B.Faraggi-editions technique et scientifiques francaises-1995.

[9]-كتاب تكنولوجيا الطاقة البديلة-سعود يوسف عياش-المجلس الوطني للثقافة والعلوم-الكويت 1990م.

[10]-كتاب هندسة الأغذية بالطاقة الشمسية-أسعد رحمان سعيد الحلفي-مكتبة الزهراء – البصرة2010م.

[11]-كتاب الطاقة التقنية والتوجيهات للمستقبل-ترجمة عبد الباسط على صالح كرمان-مركز دراسات الوحدة العربية-بيروت مارس 2011.

[12]-كتاب الطاقة البديلة مصادرها وإستخداماتها-د.سمير سعدون مصطفى,د.بلال عبد الله ناصر,أ.محمود خضر سليمان-دار اليازوريا العلمية للنشر والتوزيع-الأردن 2011م.

[13]-كتاب أشباه الموصلات-م مؤيد فايز القواسمة-مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع-عمان 2006م.

[14]-Introduction a la Physique des Semi Conduture-Jerome faist.Meuchatel mais-2001.

[15]-كتاب الإلكترونيات -أ.د.صابو رفاعي-أم القرى(كتاب إلكتروني).

[16]-مذكرة دراسة وتنفيد وتحسين أداء محطة ضخ المياه تعمل بالطاقة الشمسية-علي تاجي حمودي-كلية الهندسة الميكانيكية.جامعة تشرين 2009/2008.

[17]-حقيبة الخلايا الشمسية-المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم-تونس 2000م .

[18]-مذكرة تأثير مخروط عاكس على تركيز مركز شمسي- مذكرة تخرج لنيل شهادة ماسترأكاديمي من إعداد الطالبة:مسعودي الضاوية-جامعة ورقلة 2011.

[19]-مذكرة العلاقة المتداخلة بين الإشعاع الشمسي والغيوم-مصطفى أحمد محمد نجيب-جامعة الموصل 2008م.

Résumé-Donnez soleil énormément d'énergie dans toutes les parties de la terre où il peut fournir fois le taux actuel de consommation d'énergie dans le monde, si elles sont exploitées correctement peut utiliser l'énergie solaire pour produire de l'électricité directement ou à la chaleur ou même un refroidissement ne limite pas les possibilités futures de l'énergie solaire que nous sommes prêts à profiter de la possibilité de l'utilisation de l'énergie solaire

خلاصة–توفر الشمس طاقة هائلة في كل أنحاء الأرض,حيث يمكنها أن تؤمن أضعاف معدّل الاستهلاك الحالي للطاقة في العالم إذا ما تمّ استغلالها بشكل صحيح.يمكن استخدام الطاقة الشمسية لإنتاج الكهرباء مباشرة أو للتسخين أو حتّى للتبريد ولا يحدّ الإمكانيات المستقبلية للطاقة الشمسية سوى استعدادنا للإستفادة منها بشكل جيد.

Summary–Give sun tremendous energy in all parts of the ground where it can provide times the current energy consumption rate in the world if they are exploited properly can use solar energy to produce electricity directly or to heat or even cooling does not limit future possibilities of solar energy only our readiness to take advantage of the opportunity of energy use solar