

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار- عنابة

السنة الجامعية: 2010/2009

كلية العلوم

قسم: الفيزياء

مذكرة مقدمة لنيل شهادة دكتوراه دولة

تطوير نموذج السطح المسنن للخلايا الشمسية للحصول على مردود طاقتوي عالي

شعبة: أنصاف النواقل

من طرف:

هامل عبد الوهاب

جامعة باجي مختار- عنابة

أستاذ.

شيباني علاوة

مدير المذكرة:

لجنة مكونة من:

جامعة باجي مختار - عنابة
جامعة العربي بن مهيدي- أم البواقي
جامعة باجي مختار - عنابة

أستاذ.
أستاذ.
أستاذ.

دغمان عبد العزيز
نويري عبد القادر

الرئيس:
المتحنون:
غرس مختار

جامعة 08 ماي 1945

أستاذ محاضر قسم أ.

بومعزة محمد الصغير

ملخص

اهتمت أعمال البحث المقدمة في هذه الأطروحة بتقديم مساهمة فعالة من أجل تطوير نموذج السطح المسنن للخلايا الشمسية هذا النموذج يسمح بالاستفادة من الأشعة الساقطة على السطح المسنن ثلاث مرات متتالية حيث ركزنا على زوايا السقوط و المسافة الفاصلة بين قمتي هرمين متجاورين (تشكل الأهرامات التسننات) وكذا ارتفاع الأهرامات وقد قمنا في هذا الموضوع بدراسة بعض الوسائط الفولطاضوئية المتمثلة في الاستجابة الطيفية, معامل الامتصاص ونسبة التوليد. تكمن أهمية هذا الموضوع في كيفية استرجاع الشعاع المنعكس للمرة الثانية وجعله يسقط مرة أخرى على السطح مما يسمح بالاستفادة منه مرة أخرى ويتسنى لنا ذلك من أجل زوايا سقوط محصورة بين (54-60 درجة مئوية) والمسافة الفاصلة بين قمتي أي هرمين متجاورين تكون محصورة بين (11.54-14.54 ميكرومتر) وارتفاع الأهرامات يكون محصورا في المجال (5-10 ميكرومتر).

إن سطح عادي من السيليسيوم يمكن أن يعكس الأشعة الساقطة بنسبة معينة قد تصل إلى 35% هذه النسبة يمكن أن تصبح 10% إذا ما غطي السطح العاكس بطبقة مانعة للانعكاس. وفي نموذجنا المقترح يمكن أن نقلل من الانعكاس بنسبة أقل من 10% وهذا ما يتجلى لنا في بعض الوسائط التي قمنا بدراسةها (الاستجابة الطيفية, معامل الامتصاص ونسبة التوليد) كل هذه العوامل وغيرها تؤدي إلى تحسين المردود الفولطاضوئي.

Résumé

Dans ce travail nous proposons une contribution concrète pour le développement d'un prototype de cellules solaires en vue de l'amélioration du rendement des cellules solaires ce modèle permet de piéger les rayons incidents trois possibilités successives d'entrer dans le matériaux en agissant sur l'angle d'incidence, l'ouverture entre les sommets des pyramides des texturations et l'hauteur de ses pyramides dans cette contribution nous avons concentrer notre efforts plus particulièrement sur les paramètres photovoltaïques tels que la réponse spectrale, le coefficient d'absorption et le tau de génération. L'importance de cette étude réside dans la possibilité d'offrir une double réflexion aux rayons incidents dans le matériau, pour un angle d'incidence de ($54^\circ - 60^\circ$), une ouvertures entre les deux sommets ($11.54 \mu\text{m} - 14.54 \mu\text{m}$) et une hauteur de ($5 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$).

Un plan normal de silicium peut réfracter jusqu'à 35% des rayons reçus, ce taux peut atteindre 10% si le plan est couvert d'une couche anti-reflet

Dans le prototype présenter dans se modèle la réflexion peut être minimiser pour atteindre 10% et moins, ainsi on obtient une amélioration de la réponse spectrale, le coefficient d'absorption et le taux de génération et de même le rendement photovoltaïques.

Abstract

In this work we present the development of a new solar cell prototype in order to improve photovoltaic efficiency. In this model we show that the material can have three successive incident ray absorptions instead of two currently, by varying the incidence angle, the aperture between the summit of two neighboring pyramids and their height. This study concerns in particular the photovoltaic parameters such as the spectral response, the absorption coefficient and the generation rate. This model was checked for angles varying between 54 and 60° and for pyramid heights between 5 and $10 \mu\text{m}$. For these values of incidence angle, the apertures between the summits of two neighboring pyramids varied respectively from $14,54$ to $11,54 \mu\text{m}$ for a pyramid height of $10 \mu\text{m}$.

In effect a normal plane of silicon can reflect up 35% of the received rays. This rate can be reduced to 10% if the plane is covered with an anti-reflective layer.

With the prototype presented in this model three reflection can be minimized to less than 10% , leading to the improvement of the spectral response, the absorption coefficient, the generation rate and the photovoltaic efficiency.

التشكرات

أتقدم بالشكر الجزيل الى الأستاذ الدكتور شيباني علاوة الذي قبل دون تردد مسؤولية تأطيرنا وإشرافه على متابعة هذا العمل ومساعدته القيمة والكبيرة في انجازه.

كما أوجه شكري لكل من:

* الأستاذ الدكتور: **دعمان عبد العزيز** على قبوله ليكون رئيسا للجنة التقييم.

* الأستاذ الدكتور: **نويري عبد القادر** على قبوله ليكون عضوا ممتحنا في لجنة التقييم.

* الأستاذ الدكتور: **غرس مختار** على قبوله ليكون عضوا ممتحنا في لجنة التقييم.

* الدكتور: **بومعزة محمد الصغير** أستاذ محاضر على قبوله ليكون عضوا ممتحنا في لجنة التقييم.

* الدكتور: **حجوجة بوزيد** أستاذ محاضر على قبوله الدعوة كعضو شرفي وكذلك على نصائحه القيمة.

أخيرا أقدم شكري الى كل من ساهم بكثير أو بقليل من قريب أو من بعيد في انجاز هذا العمل .

عبد الوهاب هامل في أبريل 2010

قائمة الجداول

الرقم	العنوان	الجدول
07	مقارنة بين المواد الموصلة والعازلة وأشباه الموصلات	جدول (1-1)
19	بعض الخصائص للسليسيوم مقارنة مع الجرمانيوم و زرنيخ الغاليوم (عند درجة حرارة 300°C)	جدول (2-1)
21	مراحل تنقية و تحضير السليسيوم	جدول (3-1)
67	الأشرطة الطيفية لمختلف مناطق الإشعاع الشمسي	جدول (1-3)
87	واقع وفاق مردود النظم الفولطاضوئية بالمائة % عند التصنيع	جدول (2-3)
88	مقارنة بين مردود الخلايا المصنعة والخلايا المعدة في المخبر	جدول (3-3)
93	أنواع الخلايا ومردودها	جدول (1-4)
94	خصائص أهم أنصاف النواقل	جدول (2-4)
101	زوايا السقوط والانكسار	جدول (3-4)
102	المسافة الفاصلة بين قمتي هرمين متتاليين	جدول (4-4)
117	مردود التحول النظري لخلية من السليسيوم لسطح عادي دون ومع طبقة مانعة للانعكاس ولسطح مسنن دون طبقة مانعة للانعكاس	جدول (5-4)

قائمة الأشكال

الرقم	العنوان	الشكل
11	حاجز الجهد	شكل (1-1)
12	منطقة شحنات الفضاء	شكل (2-1)
13	(أ) استقطاب مباشر , (ب) أشرطة الطاقة	شكل (3-1)
14	(أ) استقطاب عكسي, (ب) أشرطة الطاقة	شكل (4-1)
16	التمثيل الطاقى لشبه ناقل مشوب: (أ) من نوع n، (ب) من نوع p. عند $T > 0k$	شكل (5-1)
22	الفرن المستخدم في تقنية المنطقة الذائبة	شكل (6-1)
26	السطح البيئي ساكن	شكل (1-2)
27	الإنماء البلوري بتدرج حراري موجب داخل السائل.	شكل (2-2)
28	الإنماء البلوري بتدرج حراري سالب داخل السائل.	شكل (3-2)
30	مبدأ طريقة المنطقة العائمة	شكل (4-2)
31	طريقة شوكرالسكي	شكل (5-2)
33	- طريقة بريدجمان	شكل (6-2)
34	طريقة التبلور الموجه	شكل (7-2)
35	مبدأ طريقة سيلسو	شكل (8-2)
37	بنية بلورية في الحالة المثالية	شكل (9-2)
39	الفجوة	شكل (10-2)

39	العيب البيني	شكل (11-2)
40	عيب شوتكي للبنية البلورية	شكل (12-2)
41	عيب فرنكل للبنية البلورية	شكل (13-2)
42	دائرة التزحزح وشعاع burgers	شكل (14-2)
43	تزرزح طرفي	شكل (15-2)
44	تزرزح طرفي(انخلاع حافي) إزاحة الذرات المجاورة	شكل (16-2)
44	تزرزح طرفي(انخلاع حافي) انتقال من مكان إلى آخر	شكل (17-2)
45	التزرزح اللولبي	شكل (18-2)
46	التزرزحات المختلطة	شكل (19-2)
50	عملية التبلور	شكل (20-2)
51	الشقوق الحبيبية في السيليسيوم	شكل (21-2)
60	بعض مصادر الطاقة المتجددة	شكل (1-3)
71	مراحل صناعة خلية شمسية من السيليسيوم	شكل (2-3)
72	مخطط خلية شمسية	شكل (3-3)
73	الدائرة المكافئة للخلية الشمسية	شكل (4-3)
75	منحنى الميزة تيار- جهد	شكل (5-3)
79	رسم لمبدأ الخلية الشمسية ذات الوصلة p-n	شكل (6-3)
84	لوحة شمسية	شكل (7-3)
85	تجميع مجموعة من اللوحات الشمسية	شكل (8-3)
88	الإنتاج العالمي من الطاقة الشمسية	شكل (9-3)

98	رسم تخطيطي لخلية شمسية مسننة	شكل (1-4)
98	رسم تخطيطي لخلية شمسية مسننة على شكل أهرامات	شكل (2-4)
99	السطح المسنن	شكل (3-4)
103	نموذج السطح المسنن المطور	شكل (4-4)
106	الاستجابة الطيفية لخلية شمسية من السليسيوم	شكل (5-4)
108	الاستجابة الطيفية (a) الاستجابة الطيفية في الحالة المثالية (b) الاستجابة الطيفية في حالة النموذج المقترح (c) الاستجابة الطيفية في حالة نموذج السطح المسنن (d) الاستجابة الطيفية في حالة سطح عادي	شكل (6-4)
110	طيف الامتصاص	شكل (7-4)
111	معامل الامتصاص	شكل (8-4)
114	معامل الامتصاص (a) معامل الامتصاص في الحالة المثالية (b) معامل الامتصاص في حالة النموذج المقترح (c) معامل الامتصاص في حالة نموذج السطح المسنن (d) معامل الامتصاص في حالة سطح عادي	شكل (9-4)
116	نسبة التوليد (a) نسبة التوليد في الحالة المثالية (b) نسبة التوليد في حالة النموذج المقترح	شكل (10-4)

	(c) نسبة التوليد في حالة نموذج السطح المسنن (d) نسبة التوليد في حالة سطح عادي	
118	الطبقة المانعة للانعكاس	شكل (11-4)
120	الاستجابة الطيفية دون ومع طبقة مانعة للانعكاس (a) الاستجابة الطيفية في الحالة المثالية (b) الاستجابة الطيفية في حالة النموذج المقترح دون طبقة مانعة للانعكاس (c) الاستجابة الطيفية في حالة النموذج المقترح بوجود طبقة مانعة للانعكاس.	شكل (12-4)
121	معامل الامتصاص دون ومع طبقة مانعة للانعكاس (a) معامل الامتصاص في الحالة المثالية (b) معامل الامتصاص في حالة النموذج المقترح دون طبقة مانعة للانعكاس معامل الامتصاص في حالة النموذج المقترح بوجود طبقة مانعة للانعكاس (c)	شكل (13-4)
122	نسبة التوليد دون ومع طبقة مانعة للانعكاس (a) نسبة التوليد في الحالة المثالية (b) نسبة التوليد في حالة النموذج المقترح دون طبقة مانعة للانعكاس (c) نسبة التوليد في حالة النموذج المقترح بوجود طبقة مانعة للانعكاس.	شكل (14-4)

قائمة الرموز

الرمز	الاسم	الرقم
qVb	حاجز الجهد	11
E_F	مستوي فرمي	11
E_c	شريط النقل	11
E_v	شريط التكافؤ	11
E_g	الشريط الفاصل	16
N_A	تركيز الآخذات	12
N_D	تركيز المانحات	12
ξ	الحقل الكهربائي	12
E_D	طاقة تأين الشائبة المانحة	16
E_A	طاقة تأين الشائبة الآخذة	16
K_s	الناقلية الحرارية للصلب	27
K_l	الناقلية الحرارية للسائل	27
G_s	التدرج الحراري داخل الصلب	27
G_l	التدرج الصلب داخل السائل	27
R	مقاومة متسلسلة داخلية	73

73	كثافة التيار الفوتوني	j_{ph}
73	كثافة التيار الفوتوفولطي	j_{Obs}
73	مقاومة موازية	R_{Sh}
73	مقاومة الحمولة	R_c
73	تيار الدارة القصيرة	I_{cc}
74	جهد الدارة المفتوحة	V_{co}
74	عامل الشكل	FF
74	تيار الاستطاعة العظمى	I_M
74	جهد الاستطاعة العظمى	V_M
74	فرق الكمون مطبق بين طرفي مقاومة الحمولة	V
74	عامل النوعية للديود	R_{sh}
75	معامل الانعكاس	r
75	طول الموجة	λ
75	الاستجابة الطيفية	R_s
75	عدد الفوتونات الساقطة	$N(\lambda)$
77	كثافة الشحنة	ρ
77	ثابت العزل الكهربائي داخل المادة	ϵ_m
77	الحركية	μ
77	معامل الانتشار	D
77	نسبة التركيب بالنسبة للثقوب	U_p

77	نسبة التركيب بالنسبة للإلكترونات	U_n
77	نسبة التوليد بالنسبة للثقوب	G_p
77	نسبة التوليد بالنسبة للإلكترونات	G_n
77	كثافة التيار بالنسبة للثقوب	J_p
77	كثافة التيار بالنسبة للإلكترونات	J_n
78	تمثل تركيز الإلكترونات الأقلية داخل مادة من نوع p في حالة اتزان	N_{po}
78	تمثل تركيز الثقوب الأقلية داخل مادة من نوع n في حالة اتزان	P_{no}
79	الطول الكلي للخلية الشمسية	H
79	عرض منطقة الفراغ الشحني	W
80	معامل الامتصاص	$\alpha(\lambda)$
80	نسبة التوليد	G
80	كثافة التيار (القاعدة)	J_b
80	كثافة التيار (منطقة لشحنة الفراغية)	J_{zd}
80	كثافة التيار (الجبهة)	J_f
80	سرعة إعادة التركيب على الوجه الخلفي للخلية الشمسية	S_n, S_p
100	تمثل زاوية السقوط الأولى	i
100	تمثل زاوية السقوط الثانية	i'
101	تمثل زاوية السقوط الثالثة	i''
101	تمثل زاوية الانكسار الأولى	θ
101	تمثل زاوية الانكسار الثانية	θ'

101	تمثل زاوية الانكسار الثالثة	θ''
101	تمثل الزاوية بين الشعاع الساقط Nr^2 ووجه الهرم الأول	φ
101	تمثل الزاوية بين هرمين متتاليين	α
101	معامل الانكسار	n
102	المسافة الفاصلة بين قمتي هرمين متتاليين	F
102	ارتفاع الأهرام	h
102	المسافة بين قمتي هرمين متتاليين	f
112	تردد الإشعاع	γ
112	سرعة الضوء	C
112	طاقة الفوتون (eV)	E
112	ثابت بلانك	H
113	سمك الخلية الشمسية	d
113	معامل الانكسار	T

جدول المواد

1	مقدمة عامة :
4	الفصل الأول: عموميات حول أنصاف النواقل
5	1-1- مقدمة :
6	2-1- مفاهيم عامة :
6	1-2-1-المواد الموصلة:
6	2-2-1- المواد العازلة :
6	3-2-1-أنصاف النواقل :
8	3-1- خواص أنصاف النواقل :
8	1-3-1-أنصاف نواقل بسيطة :
8	2-3-1-أنصاف نواقل مركبة – خلائط شبه موصلة - :
8	4-1- أشرطة الطاقة :
9	5-1- أنواع أنصاف النواقل :
9	1-5-1- نصف ناقل ذاتي :
9	2-5-1- نصف ناقل مطعم :
10	1-2-5-1- نصف ناقل مطعم نوع N :
10	2-2-5-1- نصف ناقل مطعم نوع P :
10	3-2-5-1 أنصاف النواقل المعوضة:
10	4-2-5-1- أنصاف النواقل المنحلة:
10	6-1- الوصلة P-N :
11	1-6-1 - حاجز الجهد :

- 12 2-6-1- منطقة شحنات الفضاء :
- 12 3-6-1 - عرض المنطقة المهجورة (م ش ف):
- 13 4-6-1 - الوصلة P-N مستقطبة مباشرة:
- 13 5-6-1 - الوصلة PN مستقطبة عكسيا:
- 14 7-1- أنصاف النواقل الأمورفية – اللامتبلورة :-
- 15 8-1- أنصاف النواقل البلورية:
- 16 9-1- تشويب نصف ناقل:
- 17 1-9-1- الزرع الأيوني:
- 18 2-9-1- تأثير التشويب على الناقلية:
- 18 10-1- أهم الخصائص المميزة لشبه الناقل المختار Si:
- 18 1-10-1- تعريف:
- 18 2-10-1- البنية البلورية للـ Si:
- 19 3-10-1- الخصائص الكهربائية:
- 19 11-1- تنقية السيليسيوم:
- 20 1-11-1- التنقية الكيميائية:
- 21 2-11-1- التنقية الفيزيائية:
- 22 3-11-1- التنقية بالمنطقة الذائبة:
- 23 12-1- خاتمة:

الفصل الثاني:

- 24 طرق التحضير وبعض العيوب الناتجة عن إنماء السيليسيوم

- 25 1-2-1- المقدمة :
- 26 2-2- الجرمات الأولى و الإنماء :
- 26 1-2-2- الجرمات المتجانسة و المختلفة الخواص :
- 26 2-2-2- الإنماء :
- 27 3-2-2- نمو البلورات بواسطة تدرج حراري موجب داخل السائل :
- 28 4-2-2- نمو البلورات بواسطة تدرج حراري سالب داخل السائل
- 28 5-2-2- النوعية البلورية :
- 28 3-2- بعض الطرق التجريبية لإنماء مادة السيلسيوم :
- 28 1-3-2- السيلسيوم الأمورفي :
- 29 2-3-2- بعض الطرق التجريبية لإنماء مادة السيلسيوم الأمورفي
- 29 1-2-3-2- العيوب في السيلسيوم اللامتبلور
- 30 4-2- طرق تحضير السيلسيوم البلوري :
- 30 1-4-2- طرق تحضير السيلسيوم أحادي البلورة :
- 30 1-1-4-2- المنطقة العائمة :
- 31 2-1-4-2- طريقة شوكرالسكي
- 32 3-1-4-2- طريقة بريدجمان :
- 34 2-4-2- السيلسيوم متعدد البلورات
- 34 1-2-4-2- طريقة التبادل الحراري :
- 35 2-2-4-2- طريقة سلسو :
- 35 3-2-4-2- طريقة التبلور الموجه بوليكس

- 4-2-4-2- طريقة نمو السيليسيوم متعدد البلورات باستعمال
36 إناء كهرومغناطيسي:
- 36 4-2-4-2- طريقة نمو السيليسيوم على شكل شرائط EFG:
- 36 3-4-2- طرق إناء السيليسيوم على شكل سبائك:
- 36 1-3-4-2- تقنية بريدجمان:
- 37 4-4-2- تحضير السيليسيوم على شكل طبقات رقيقة
- 37 5-2- العيوب:
- 37 1-5-2- البلورات:
- 37 2-5-2- أنواع البلورات:
- 37 1-2-5-2- البلورة المثالية:
- 38 2-2-5-2- البلورة الحقيقية:
- 38 3-5-2- العيوب البلورية:
- 38 1-3-5-2- تعريف العيوب:
- 39 2-3-5-2- أنواع العيوب البلورية:
- 39 1-2-3-5-2- العيوب النقطية:
- 39 1-1-2-3-5-2- عيوب نقطية ذاتية:
- 40 2-1-2-3-5-2- العيوب الغير الذاتية:
- 41 2-2-3-5-2- العيوب الخطية:
- 41 1-2-2-3-5-2- تعريف التزحزح:
- 42 2-2-2-3-5-2- أنواع التزحزحات:
- 46 3-2-2-3-5-2- العوامل المؤثرة على حركة التزحزحات:

48	3-2-3-5-2- العيوب السطحية:
50	4-2-3-5-2- تعريف الشقوق الحبيبية:
51	6-2- خاتمة:
52	الفصل الثالث: الخلايا الشمسية
53	1-3- مقدمة :
54	2-3- مفاهيم عامة:
54	1-2-3- لمحة عن الطاقة الشمسية:
54	2-2-3- أهمية الطاقة الشمسية:
56	3-2-3- الإشعاع الشمسي:
56	4-2-3- أنواع الإشعاع:
57	5-2-3- الطاقة الشمسية:
58	6-2-3- أساليب تخزين الطاقة:
58	7-2-3- الشمس والأرض:
59	8-2-3- طرق توليد الطاقة الكهربائية:
60	9-2-3- بعض أنواع محطات التوليد:
60	1-9-2-3- محطات التوليد البخارية:
63	2-9-2-3- محطات التوليد النووية:
63	3-9-2-3- محطات التوليد المائية:
65	3-3- محطات التحويل:

- 65 4-3- تعريف الخلايا الشمسية ومبدأ عملها:
- 65 1-4-3- تعريف الخلايا الشمسية :
- 65 2-4-3- توليد الطاقة باستخدام الخلايا الشمسية :
- 66 3-4-3- مردود التحول :
- 68 4-4-3- مميزات استعمال هذه المنظومة:
- 68 5-3- ميكانيكية تيار الخلايا الشمسية
- 68 1-5-3- أنواع الخلايا الشمسية التجارية :
- 1-1-5-3- الخلايا الشمسية السيليكونية الأمورفية
- 69 (متصدعة التبلر) :
- 69 2-1-5-3- الخلايا الشمسية السيليكونية المتبلرة :
- 69 3-1-5-3- تطبيقات الخلايا الشمسية :
- 70 6-3- تحضير الخلايا الشمسية:
- 73 1-6-3- الوسائط الفولطاضوية:
- 75 7-3- الاستجابة الطيفية:
- 76 1-7-3- الاستجابة الطيفية وتيار الدارة القصيرة:
- 80 2-7-3- الوصلة المنتظمة:
- 80 3-7-3- الاستجابة الطيفية للجبهة والقاعدة
- 81 4-7-3- الشحنة الفراغية:
- 5-7-3- الخلايا الشمسية المستعملة لعناصر
- 81 متعددة البلورات :
- 81 8-3- المحطات الفولطاضوية:

- 83 1-8-3-1- كيفية عمل هذه المحطات:
- 84 2-8-3-2- تجميع الخلايا الفولطاضوئية:
- 85 3-8-3-3- المنظومات الفولطاضوئية:
- 85 4-8-3-4- الجيل الجديد من محطات الطاقة الشمسية:
- 86 5-8-3-5- تطبيقات الخلايا الفولطاضوئية:
- 86 6-8-3-6- استخدام الخلايا الفولطاضوئية في مجال الفضاء:
- 86 7-8-3-7- واقع وأفاق مردودية تكنولوجيا الخلايا
واللوحات الفولطاضوئية:
- 87
- 89 9-3-9- خاتمة:
- الفصل الرابع
- 90 تطوير نموذج السطح المسنن للخلايا الشمسية:
- 91 1-4-1- مقدمة:
- 92 2-4-2- الخلايا الشمسية ذات المردود العالي والتكلفة المقبولة:
- 92 1-2-4-1- بعض أنواع الخلايا الغير مسننة:
- 95 3-4-3- الخلايا الشمسية ذات الامتصاص المرتفع:
- 95 1-3-4-1- أنواع الخلايا الشمسية:
- 96 2-3-4-2- صناعة الخلايا واللوحات الشمسية الفولطاضوئية:
- 97 3-3-4-3- الخلايا الشمسية المسننة:
- 99 4-3-4-4- تقديم نموذج السطح المسنن:
- 100 5-3-4-5- تطوير نموذج السطح لمسنن:

104	4-4- الاستجابة الطيفية:
104	4-4-1- الاستجابة الطيفية لخلية شمسية من السيليوسوم:
106	4-4-2- الاستجابة الطيفية للسطح المسنن:
109	4-5- الخصائص الكهربائية والضوئية:
112	4-6- امتصاص الأشعة:
115	4-7- نسبة التوليد:
116	4-8- الطبقة المانعة للانعكاس:
122	4-9- خاتمة:
123	خلاصة عامة:

مقدمة عامة:

دائما كانت الطاقة سبيل الإنسان إلى أعظم أهدافه والى أحلامه بعالم أفضل ويقال أحيانا إن إنسان الكهوف إنما بدأ مساره نحو المدنية بعد أن استخدم طاقة النار في الدفئ والاستضاءة وطاقة جسمه عبر العصا والقوس طلبا للغذاء والبقاء , وعلى مدى القرون التالية كان مسعى الإنسان من أجل بسطة العيش وثيق الارتهان بتسخيره أشكال من الطاقة, فحم, بترول, كهرباء... واليوم أصبح الوصول إلى القمر مستطاعا بفضل تسخير الطاقة الكيميائية لدفع الصواريخ, وغدا سيكون اكتشاف الكواكب رهنا بتسخير الطاقة من نواة الذرة. وقد تظهر الطاقة على أشكال كثيرة... بل قد تظهر على شكل طاقة كامنة كما ظهرت لإسحاق نيوتن حيث صدمته تفاحة سقطت من شجرة فحررت طاقة كانت كامنة انتهت إلى اكتشاف الجاذبية.

يعيش الإنسان في محيط من الطاقة فالطبيعة تعمل من حوله دون توقف باذلة من الطاقة كميات ضخمة غير محدودة, لا يستطيع أن يستخدم منها غير جزء قليل, فمصادر المياه وحدها قادرة أن تنتج 80 % من مجموع الطاقة الحالية ولا ينتج منها إلا 1-2 % ولو سخرت الرياح لأنتجت من الكهرباء ضعف ما ينتجه الماء, والمد والجزر نصفها وأقوى المولدات على الإطلاق هو الشمس.

الطاقات المتجددة هي الطاقات التي نحصل عليها من خلال تيارات الطاقة التي يتكرر وجودها في الطبيعة على نحو تلقائي ودوري, وهي بذلك على عكس الطاقات غير المتجددة الموجودة غالبا في مخزون جامد في الأرض لا يمكن الاستفادة منها إلا بعد تدخل الإنسان لإخراجها منه. وتتمثل الطاقات المتجددة على العموم في الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة المياه وطاقة الكتلة الحيوية. أما الطاقات المتجددة الأخرى, كطاقة الحرارة الجوفية, وطاقة الأمواج فان استثمارها غير ممكن في المستقبل القريب. وبغض النظر عن إمكان الحصول على طاقة كهربائية أو حرارية أو ميكانيكية من الطاقات المتجددة فانه يتوجب علينا أن نجيب على السؤال التالي. هل أن استخدام الطاقات المتجددة هو اقتصادي مقابلة بالطاقات الأخرى المتوافرة.

لقد كان النفط المصدر الرئيس للطاقة والمحرك لعجلة التنمية والصناعة, غير أنه لا يلائم تحديات المستقبل لكونه قابلا للنضوب وضارا بالبيئة ... إن ضرورات المستقبل تتطلب البحث عن الطاقة البديلة المتجددة والنظيفة والتي تتسم بالاستمرار وتخدم معطيات البيئة المحيطة ورغم ما للطاقة المتجددة من قدرات هائلة إلا أنها لم تستغل لحد الآن الاستغلال الأمثل نظرا لعدم تذليل العقبات الاقتصادية والفنية والاجتماعية لهذه الثروة الطبيعية الكامنة.

يمكن أن تعوض الطاقة الشمسية في المستقبل معظم منابع الطاقة الأخرى لكونها متوفرة ومنتشرة بوفرة في الطبيعة ولكنها غير مستغلة إلا نادرا , حيث أن هذه الطاقة غير ملوثة للبيئة خاصة وأن عدد السكان يزداد بكثرة ومصادر تلويث البيئة يرتفع بوتيرة عالية , كما أن منابع الطاقة الأخرى محدودة وقابلة للنفاذ , أما كون الطاقة الشمسية الهائلة غير مستغلة حاليا بالشكل المطلوب فهذا راجع إلى التقنيات التي تتطلبها العملية والمبالغ المرتفعة نسبيا لذلك حاليا , غير أنه مستقبلا تتطور التقنيات وتتوفر مما يجعلها في المتناول وذات كلفة أقل وعلى هذا الأساس ارتأينا الاهتمام في هذا الموضوع بتقديم مساهمة فعالة وذلك بتطوير أحد نماذج الخلايا الشمسية عن طريق الاستفادة من الأشعة الشمسية الساقطة على سطوح الخلايا الشمسية المسننة حيث نجد العلاقة بين عدد الفوتونات الساقطة وبعض الكميات التي لها علاقة مباشرة مع المرود (الاستجابة الطيفية – معامل الامتصاص – نسبة التوليد ..) .

تضمنت هذه الأطروحة أربعة فصول حيث تطرقنا في فصلها الأول إلى عموميات حول أنصاف النواقل مبرزين من خلاله أهمية هذه المواد في التكنولوجيا الحديثة.

أما الفصل الثاني فقد تطرقنا فيه إلى طرق التحضير الكلاسيكية منها والحديثة لأنصاف النواقل وخاصة تحضير السيليسيوم البلوري سواء على شكل سبائك أو أشربة كما بينا بعض طرق الترسيب للسيليسيوم الأمورفي وتعرضنا كذلك إلى مختلف العيوب الناتجة عن التحضير.

وأما الفصل الثالث فيهتم بفيزياء الخلايا الشمسية هذه الأخيرة التي تعتبر المصدر الأساسي للتحويل الفولطاضوئي باعتبارها طاقة نظيفة ورخيصة ولا تنضب ومصدرها الشمس كما درسنا طرق تحضير الخلايا الشمسية ومختلف الوسائط المتعلقة بها.

أما الفصل الرابع فقد تطرقنا فيه إلى دراسة الخلايا الشمسية المسننة التي تكون على شكل أهرامات صغيرة حيث تمكننا من تطوير نموذج نستطيع من خلاله أن نستفيد من الأشعة الشمسية الساقطة على هذه السطوح ثلاث مرات متتالية بدلا من مرتين كما هو معروف حاليا. وقد تحقق لنا ذلك بتحديد زوايا السقوط الأولى والثانية والثالثة وكذلك الاختلاف في ارتفاعات الأهرامات وبالتالي تحديد المسافات الفاصلة بين قمم أي هرمين متجاورين ليتسنى لنا معرفة زوايا الانكسار المرافقة لزوايا السقوط واسترجاع الأشعة المنعكسة للمرة الأولى والثانية وبالتالي معرفة عدد الأشعة الكلية المارة داخل الخلية الشمسية وهذا ما يؤدي إلى تحسين الخصائص الفولطاضوئية وهو ما سيتجلى لنا بوضوح في الاستجابة الطيفية , معامل الامتصاص و نسبة التوليد.

ثم قمنا بعد ذلك بمقارنة هذه الخصائص بين سطح عادي و سطح مسنن وهذا النموذج المطور حيث تبين لنا بوضوح من خلال مختلف المنحنيات أن نموذجنا تقترب فيه أكثر إلى القيمة المثالية وخاصة إذا قمنا بتغليف أسطح الخلايا الشمسية بطبقات مانعة للانعكاس.

وأنهينا الأطروحة بخلاصة عامة نبين من خلالها مختلف النتائج المحصل عليها في هذا العمل.

الفصل الأول: عموميات حول أنصاف النواقل

1-1- مقدمة:

تكمّن أهمية المواد النصف ناقلة في كونها تتمتع بخصائص كهربائية ترتكز أساسا على التوزيع الطاقوي

الذي تخضع له إلكتروناته المسؤولة عن نقل التيار الشيء الذي يمكننا من التحكم في ناقلتيه وبالتالي توسيع مجالات استعماله [10-1], حيث أن ناقلتيه وسط بين المعدن الذي هو عبارة عن ناقل جيد والعازل الذي له مقاومة كبيرة. وقد عرفت الدراسات الحديثة للمواد النصف ناقلة تقدما كبيرا على مجال واسع من التطبيقات سواء في تكنولوجيا الإلكترونيك أو المعلوماتية أو تكنولوجيا الأقمار الصناعية إضافة إلى أهم تطبيق وهو التحويل الطاقوي باستعمال الخلايا الشمسية التي يتم بواسطتها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية, ولقد استعمل لهذا الغرض عدة مواد نصف ناقلة من بينها مادة السيليسيوم بمختلف أنواعه.

2-1- مفاهيم عامة:

تنقسم المواد من حيث قدرتها على توصيل التيار الكهربائي إلى ثلاث أقسام:
الموصلات, العازلات وأشباه الموصلات.

1-2-1-المواد الموصلة:

- تعتمد مقاومة المواد المختلفة على نقاوتها حيث لا يؤثر وجود الشوائب في الفلزات على تركيز حاملات الشحنة المتحركة ولكن يغير نشاطها كثيرا حيث تحدث الشوائب عيوباً كبيرة في الشبكة البلورية تزيد من مقاومتها للتيار الكهربائي
- تزداد مقاومة هذه الفلزات نتيجة رفع درجة حرارتها وتقل بالتبريد وتساوي الصفر في قابلية التوصيل العالي.
- إن الروابط الكيميائية لا تستعمل جميع الكترونات الطبقة الأخيرة فالإلكترونات المتبقية تكون حرة فتنتقل في شريط النقل حتى عند درجة الصفر المئوية وتتميز بانعدام الشريط الممنوع حيث يكون شريط النقل والتكافؤ مترابكان – متلاصقان-

2-1-2- المواد العازلة:

يكون لذرات الشوائب الكترونات ضعيفة الصلة بهذه الذرات حيث يمكن لهذه الإلكترونات أن تنفصل بسهولة عن ذراتها وتصبح حرة 'تقل مقاومة المواد العازلة بالتسخين ولكنها على الرغم من ذلك تبقى كبيرة حيث يحتاج الإلكترون إلى طاقة كبيرة حتى ينفصل على الذرة' لذا تنصهر معظم المواد العازلة الصلبة قبل أن تصبح موصلة'كما تمتاز بامتلاكها شريط ممنوع كبير جدا فكل الكترونات الطبقة الأخيرة تشترك بروابط كيميائية تكافئية فعند درجة الصفر المئوية لا يوجد أي إلكترون في شريط النقل وبارتفاع درجة الحرارة في بعض الأحيان تسمح بوصول بعض الإلكترونات إلى شريط النقل ولكن عند درجة الحرارة العادية يكون هذا الاحتمال ضعيف جدا والمادة تبقى عازلة.

1-2-3- أنصاف النواقل:

- هو عازل يملك شريط ممنوع صغير عند درجة الصفر المئوية ويصبح ناقلا بارتفاع درجة الحرارة بتأثير أي نوع من الطاقة – ضوء ، أشعة كهرومغناطيسية ...

- تقل المقاومة بصورة كبيرة في أشباه الموصلات نتيجة إضافة الشوائب إليها وأكثر من ذلك يمكن باختيار الشوائب بطريقة خاصة تغيير مقاومة أشباه الموصلات في الاتجاه المطلوب ولذلك تستخدم أشباه الموصلات المشابه على نطاق واسع.

- عند رفع درجة حرارة أشباه الموصلات تزداد كمية حاملات الشحنة المتحركة وتقل المقاومة بشكل كبير ولكنها لا تتصف بقابلية التوصيل العالي والعكس صحيح حيث تزداد المقاومة بخفض درجة الحرارة وتصبح قريبة من مقاومة المواد العازلة.

يمثل الجدول 1-1 مقارنة بين مختلف المواد

وجه المقارنة	المواد الموصلة	المواد العازلة	أشباه الموصلات
أمثلة	الفلزات (الفضة - النحاس - الحديد - الرصاص -)	الزجاج - الخزف - الكوارتز - البورسلين - الالبونيت - الكهرمان	الجرمانيوم - السيلكون - كبريتيد الرصاص - كبريتيد الكاديوم
المقاومة النوعية	(من 10^{-5} إلى 10^{-8}) أوم . متر	كبيرة جدا في درجة حرارة الغرفة في المدى من $(10^6$ إلى 10^{16}) أوم . متر	متوسطة عند درجة الحرارة العادية في المدى من 5 --- 00000 أوم متر (0.00005)
نطاق التكافؤ	مملوء بالالكترونات	مملوء بالالكترونات	مملوء بالالكترونات
نطاق التوصيل	مملوء جزئيا بالالكترونات عند درجات الحرارة الاعتيادية	خال من الالكترونات الحرة عند درجات الحرارة العادية	خال من الالكترونات تماما في درجة الصفر المطلق
طاقة الفجوة	صغيرة جدا (0.01) إلكترون . فولت	كبيرة جدا (5) إلكترون . فولت	من (2 إلى 0.3) إلكترون . فولت
تأثير رفع درجة الحرارة على المقاومة	تزداد المقاومة	تنخفض المقاومة ولكنها تظل كبيرة لدرجة أن المادة الصلبة تتصهر قبل أن تصبح موصلة	تنخفض المقاومة بشكل كبير

الجدول (1-1): مقارنة بين المواد الموصلة والعازلة وأشباه الموصلات

3-1- خواص أنصاف النواقل:

- تتغير خواص أنصاف النواقل في الجدول الدوري من سطر إلى آخر ومن عمود إلى آخر وتكون عموماً ذات بنية ماسية، تنقسم إلى قسمين:

1-3-1- أنصاف نواقل بسيطة:

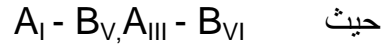
وهي العناصر الموجودة في العمود الرابع من الجدول الدوري لمندوليف وهي عناصر طبيعية.

1-3-2- أنصاف نواقل مركبة – خلائط شبه موصلة - :

تأخذ هذه الأخيرة عموماً إحدى الصيغ الآتية:



يمثل X رتبة العمود في الجدول الدوري كما توجد مركبات خاصة ناتجة عن المزج بين العمودين X



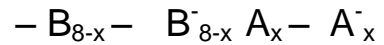
كما توجد أشباه الموصلات ثلاثية التركيب تأخذ الصيغة:



حيث يتضح وجود عنصرين على الأقل من نفس العمود أو على الصيغة الآتية:



يمكن الحصول كذلك على مركبات رباعية تأخذ الصيغة المولية:



4-1- أشرطة الطاقة:

عندما تكون الذرة معزولة الإلكترونات تحتل مستويات طااقوية محددة ولكن عندما تقترب مجموعة من الذرات من بعضها كما هو في جسم صلب فإن المخطط الطاقوي يتغير وتتشكل لنا أشرطة طااقوية جديدة

- فنلاحظ أن بعض الأشرطة تكون مشغولة تماما بالالكترونات في حين تكون أخرى فارغة تماما أو مشغولة جزئياً

- الشريط الفارغ أو الشريط الممنوع يوافق طاقات لا يمكن للإلكترون أن يحصل عليها

- الشريط المملوء جزئياً أو شريط النقل يحتوي على مستويات تأين للذرات أين تكون الالكترونات ضعيفة الارتباط

- الجسم العازل يتميز بشريط نقل فارغ

- أشباه الموصلات تحتوي على شحنات في شريط التوصيل في درجة حرارة الصفر المطلق كل مستويات الطاقة في شريط التكافؤ تكون مشغولة في حالة شبه الناقل إذن فهو عازل ولكن تحت مفعول تحريض خارجي فان إلكترون من شريط التكافؤ يمكن أن يستقبل طاقة تمكنه من الانتقال من شريط التكافؤ إلى شريط التوصيل ؛ وبالتالي فان عرض الشريط الممنوع يسمح بالتمييز بين أشباه الموصلات والمواد الموصلة- المعادن- فأشبه الموصلات لها أشرطة ممنوعة ضيقة حيث تسمح بانتقال الالكترونات المثارة بتحريض طاقي ضعيف، أما المعادن فليس لها أشرطة ممنوعة فشريطي النقل والتكافؤ متداخلين، حيث أن الالكترونات الحرة تتكفل بالنقل حتى عند درجات الحرارة المنخفضة جداً

5-1- أنواع أنصاف النواقل :

5-1-1- نصف ناقل ذاتي:

يقال نصف ناقل ذاتي إذا كان لا يحتوي على عيوب كيميائية أو فيزيائية ويتميز بناقلية كهربائية متعلقة بدرجة الحرارة وعرض الشريط الممنوع ولكن واقعياً لا يمكن أن يكون هناك جسم نقي تماماً ولذلك فقد اعتبر نصف ناقل ذاتي إذا كانت نسبة الشوائب به لا تؤثر على خصائصه الكهربائية من ناقلية ومقاومية وحركية ...

5-1-2- نصف ناقل مطعم:

نحصل على هذه الحالة بإدخال ذرات شائبة أحادية أو ثنائية التكافؤ على نصف الناقل الذاتي وتكمن فائدتها في : التحكم في الناقلية التحكم في نوعية النقل بواسطة الالكترونات أو الثقوب

1-2-5-1- نصف ناقل مطعم نوع N :

يعني أن النقل يتم بواسطة الإلكترونات ونحصل عليه بتطعيم نصف الناقل Si بذرات خماسية التكافؤ كالفسفور مثلاً، وبالتالي فإن كل ذرة من الفسفور ترتبط بأربع ذرات من السيليسيوم ويبقى إلكترون حيث يكون ضعيف الارتباط بالفسفور وتسمى هذه الذرات مانحة وهذا الإلكترون إلكترون النقل.

1-2-5-2- نصف ناقل مطعم نوع P :

نأخذ مرة أخرى كمثال السيليسيوم فإذا أدخلنا عليه عنصر ثلاثي التكافؤ مثل البور فإنه يرتبط بثلاث ذرات من السيليسيوم وتبقى رابطة غير مكتملة ، وبالتالي فإن ذرة البور تسعى لاقتناص إلكترون من ذرة السيليسيوم المجاورة وتصبح على شكل ايون وتسمى هذه الذرات أخذات والثقب يكون مسؤول عن النقل.

1-2-5-3 أنصاف النواقل المعوضة:

وهي أنصاف نواقل مطعمة في نفس الوقت بذرات أخذة وذرات مانحة.

1-2-5-4- أنصاف النواقل المنحلة:

كما هو معروف أن نصف الناقل له شريط تكافؤ وشريط نقل يفصلهما شريط ممنوع ، ففي الحالة الذاتية يكون مستوي فرمي لنصف الناقل يقع في وسط الشريط الممنوع ، وإذا طعمنا نصف الناقل بذرات مانحة فإن مستوي فرمي يصعد في اتجاه شريط التوصيل وإذا زدنا التطعيم إلى درجة كبيرة فإن مستوي فرمي يصبح في شريط التوصيل فيقال أن نصف الناقل من نوع N منحل.

وإذا طعمنا نصف الناقل بذرات أخذة فإن مستوي فرمي يهبط في اتجاه شريط التكافؤ وإذا زدنا التطعيم إلى درجة كبيرة فإن مستوي فرمي يصبح في شريط التكافؤ فيقال أن نصف الناقل من نوع P منحل.

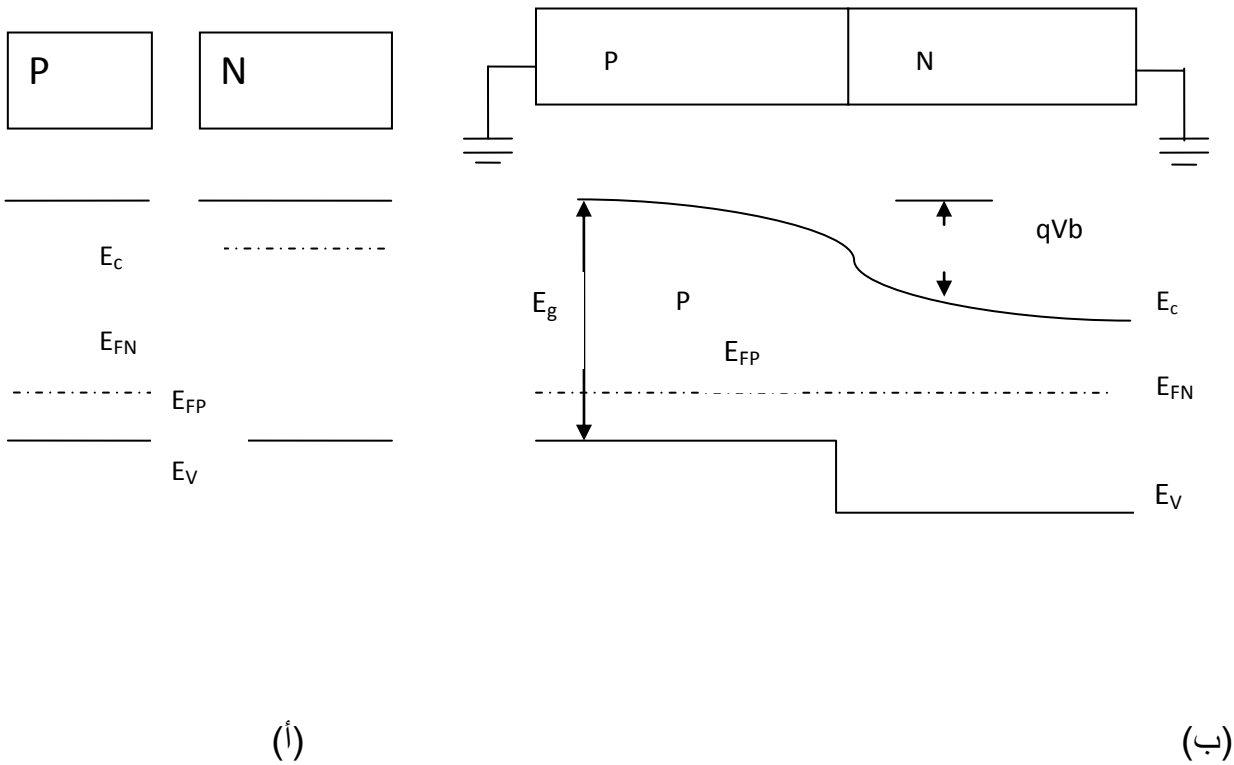
1-6- الوصلة P-N:

الوصلة p-n هي السطح البيني بين نصف ناقل من نوع p و الآخر من نوع n. و الملاحظ أنه لا يمكننا الحصول عليها بالصاق نصف ناقل من نوع p مع آخر من نوع n. فالحاصل على وصلة يتطلب انتشار

لشوائب مانحة (أخذة) في بلورة من نوع p (نوع n), و الوصلة تشكل العنصر الأساسي في الخلايا الشمسية و في المركبات الإلكترونية مثل الترانزستور و الدارات المتكاملة...وتتميز الوصلة بـ:

1-6-1 - حاجز الجهد:

نقول عن وصلة أنها في حالة توازن ترموديناميكي عندما تكون في درجة حرارة منتظمة و لا تخضع إلى أي اضطراب خارجي (كهربائي, ضوئي, ميكانيكي,...). لتتخيل أن المنطقتين n و p منفصلتان فيزيائياً (1-1-أ) فنلاحظ أن مستوى فرمي يوجد بقرب شريط التكافؤ في نصف الناقل نوع p وبقرب شريط النقل في نصف الناقل نوع n. عندما يقترب النصفين ناقلين من بعضهما, و العينة تكون في توازن ترموديناميكي, فإن مستوي فرمي يصبحان على نفس المستقيم الشكل (1-1-ب). و نتيجة لذلك, فإنه يحدث اعوجاج في أشرطة الطاقة حتى يسمح بحدوث الاستقامة و هذا ما يترجم بظهور حاجز الجهد (qVb) الشكل (1-1-ب).

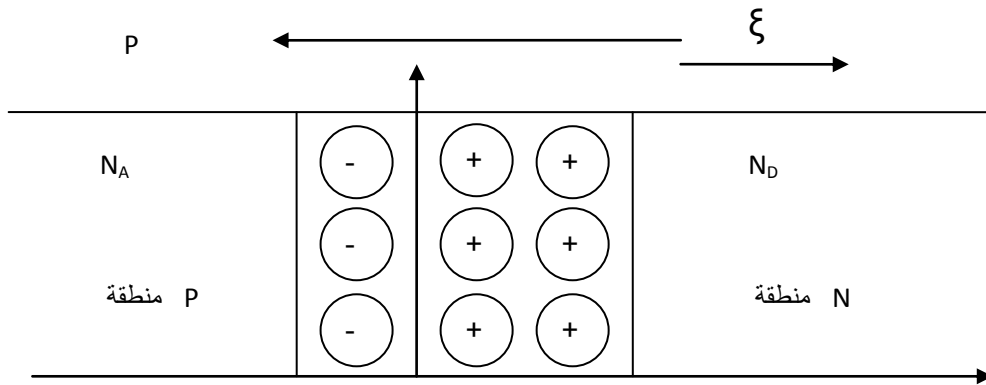


الشكل (1-1): حاجز الجهد

2-6-1- منطقة شحنات الفضاء:

نضع مبدأ الفواصل في مستوى الوصلة المعدنية, عندما تتشكل الوصلة فإن:

الإلكترونات الأغلبية في الجهة N تنتشر نحو الجهة P أين تكون أقلية, فنترك خلفها ذرات مانحة متأينة: N_D^+ أما الثقوب الأغلبية في الجهة P فنتنشر نحو الجهة N أين تكون أقلية, فنترك خلفها ذرات آخذة متأينة N_A^+ الشكل (2-1). نتيجة لهاتين الظاهرتين, تظهر منطقة مشحونة, خالية من الحوامل الحرة, و التي تدعى منطقة شحنات الفضاء (م ش ف) أو منطقة مهجورة, الشحنات الثابتة (الذرات الشائبة المتأينة) تقوم بتكوين حقل كهربائي الذي يقاوم انتشار الحوامل الأغلبية فيؤدي إلى حدوث حالة متوازنة.



الشكل (2-1): منطقة شحنات الفضاء

3-6-1 - عرض المنطقة المهجورة (م ش ف):

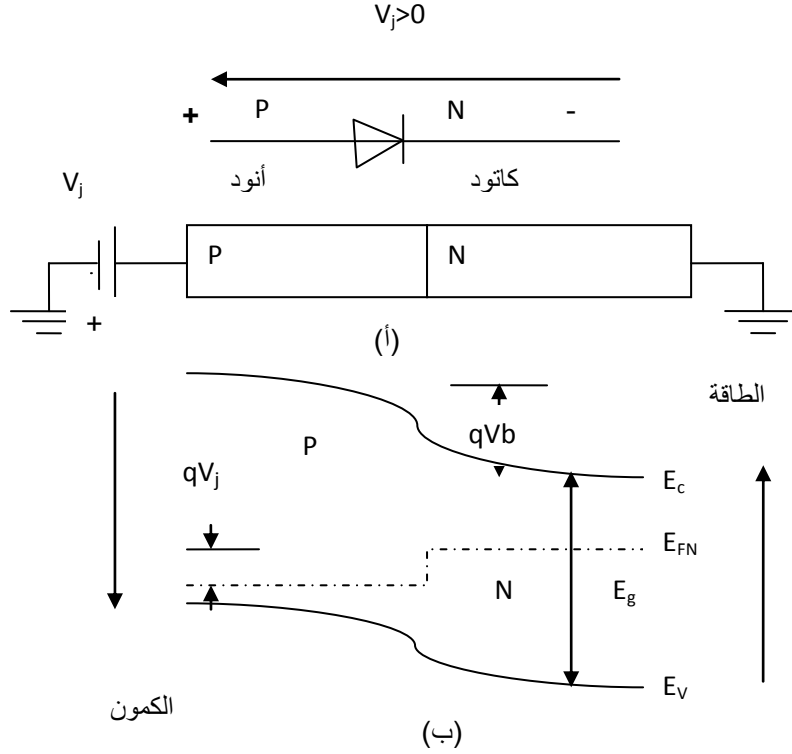
يرتبط عرض المنطقة المهجورة بدرجة الحرارة, فعندما ترتفع درجة الحرارة فإن عرض المنطقة المهجورة ينقص. وعندما تنخفض درجة الحرارة فإن عرض المنطقة المهجورة يزيد.

منطقة مهجورة (خالية من الحوامل الحرة) بين منطقتين ناقلتين توافق بنية مكثفة مستوية ذات سعة $C \propto \xi.s/d$ حيث s سطح الوصلة و d عرض المنطقة المهجورة.

4-6-1 - الوصلة P-N مستقطبة مباشرة:

لكي نحصل على استقطاب مباشر, نربط الجهة P للوصلة (الأنود) بالقطب الموجب لمصدر جهد و الجهة N (الكاتود) بالقطب السالب لنفس هذا المصدر الشكل (3-1).

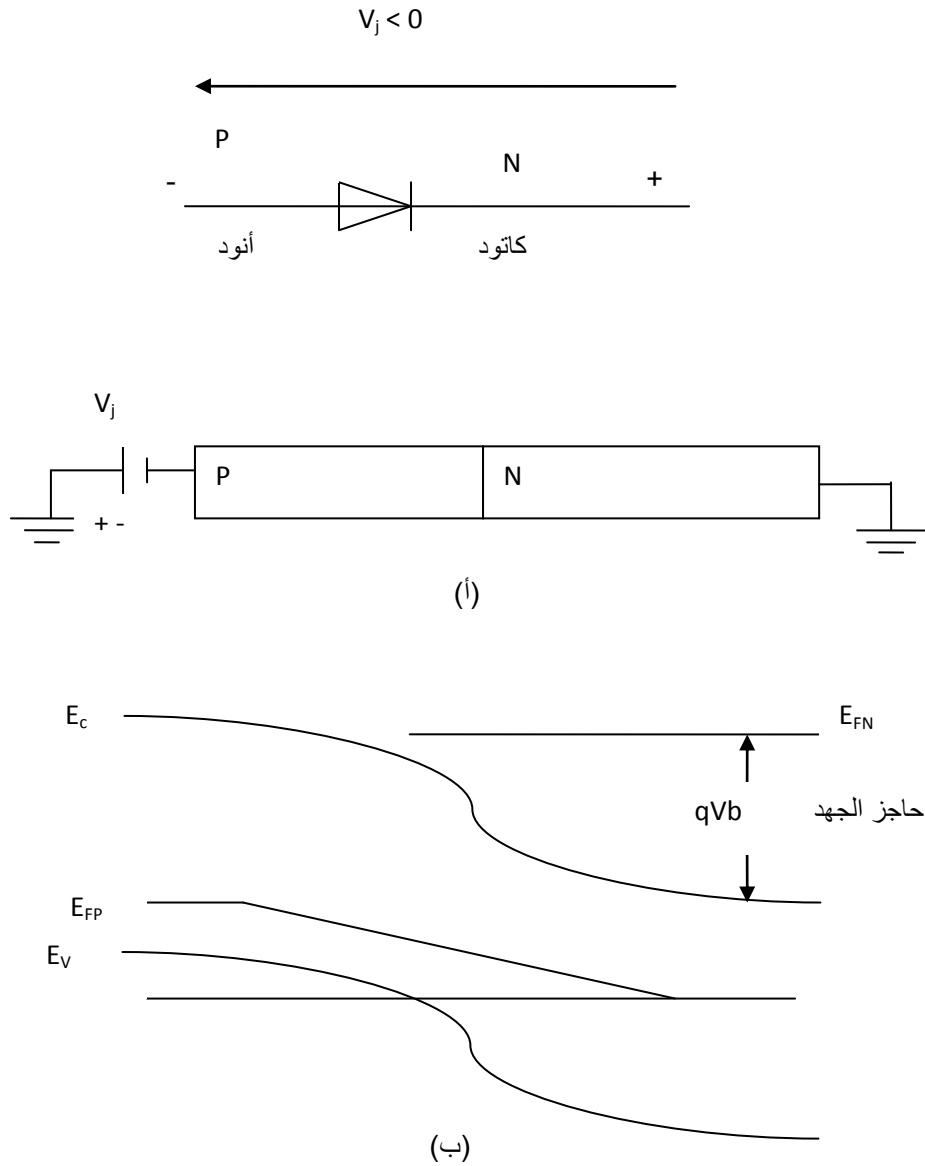
ليكن الجهد المطبق من المصدر الخارجي على الوصلة, اتجاه هذا الجهد يكون عكس اتجاه جهد الوصلة و بالتالي يؤدي إلى نقص حاجز الجهد فيها.



الشكل (3-1): (أ) استقطاب مباشر , (ب) أشرطة الطاقة

5-6-1 - الوصلة PN مستقطبة عكسيا:

في الاستقطاب العكسي, نربط الجهة P للوصلة بالقطب السالب لمصدر الطاقة, و الجهة N الوصلة بالقطب الموجب لمصدر الطاقة الشكل (4-1). ليكن الجهد الناتج عن مصدر الطاقة في مستوى الوصلة و الذي يكون سالب. ومن المهم أن نلاحظ أن حاجز الجهد في وصلة مستقطبة عكسيا يكون أكبر بكثير من حاجز الجهد في نفس الوصلة غير مستقطبة.



الشكل (4-1): (أ) استقطاب عكسي, (ب) أشرطة الطاقة

7-1-أنصاف النواقل الأمورفية – اللامتبلورة:

يهدف تخفيض ثمن إنتاج المركبات الالكترونية واستعمالها على مدى واسع، اتجهت الأبحاث حول مواد تعويضية محضرة بطرق غير اعتيادية ومن بين هذه المواد السيليسيوم اللامتبلور [11- 12] الذي يقترب في طبيعته من السيليسيوم البلوري, وتتميز أنصاف النواقل اللامتبلورة بخاصية العشوائية على المدى الطويل هذه الخاصية ناتجة عن غياب الترتيب في المادة اللامتبلورة غير أن المواد اللامتبلورة

غير فاقدة الترتيب كليا لأنها تمتلك ترتيبا على مدى قصير- نقطة مشتركة مع المواد المتبلورة كما تمتلك أنصاف النواقل تشكيلة طاقوية تمنحها خصائص كهروضوئية مميزة ولا تعتبر هذه الخصائص تميز أنصاف النواقل المتبلورة فحسب لأن أنصاف النواقل اللابلورية تمتلك أيضا هذه الخصائص والفرق بينهما هو أن حواف العصابات فجائية في الحالة الأولى بينما في الحالة الثانية هذه الحواف تتسع داخل العصابة الممنوعة مشكلة ما يسمى ذيول العصابة, من نتائج العشوائية أيضا عدم إمكانية تطبيق نظرية بلوخ لأن الكمون غير مرتب وعليه يجب إعادة تعريف بعض المفاهيم ومن بينها الكتلة المختزلة وتعويض طاقة العصابة بما يسمى كثافة الحالات ...

وقد استعملت عدة طرق لتحضير المواد اللامتبلورة من بينها طريقة التبخير في الفراغ والرش المهبطي غير أن المادة المحضرة بهذه الطرق تظهر كثافة عيوب عالية وناقلية ضوئية منخفضة مما يعيق استعمالها إلكترونيا

8-1- أنصاف النواقل البلورية:

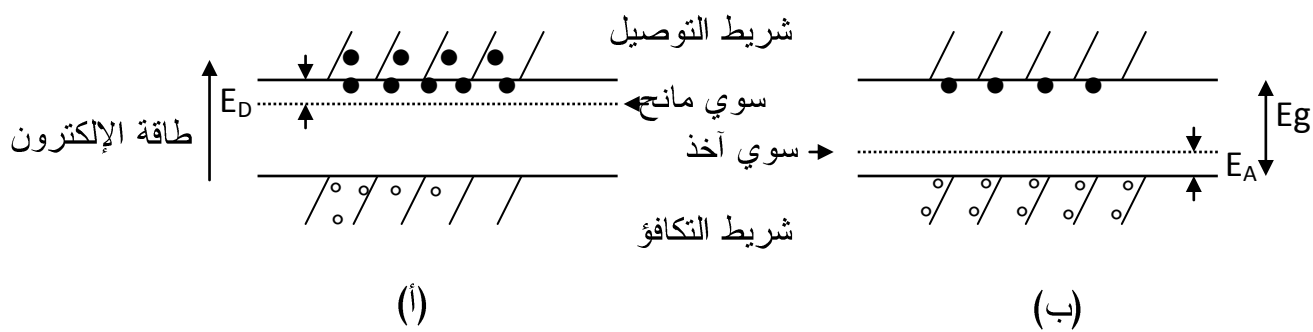
من بين أنصاف النواقل هناك أشباه نواقل ذات أجسام بلورية أي تملك توزيعا منتظما دوريا للذرات المكونة لها، يوجد منها البسيطة و هي تتكون من ذرات من نفس النوع مثل Ge و Si ... كما يوجد منها أشباه النواقل المركبة الثنائية مثل GaAs و GaP ... أو الثلاثية $Al_xGa_{1-x}As$... أو الرباعية $Al_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$... تتميز أشباه النواقل عن بعضها البعض حسب عرض شريطها الفاصل Eg و نوعه إن كان مباشر أو غير مباشر. أهم ما يتمتع به شبه الناقل هي خواصه الكهربائية التي تتركز أساسا على التوزيع الطاقوي الذي تخضع له إلكتروناته المسؤولة عن نقل التيار، الشيء الذي يمكننا من التحكم في ناقلية و بالتالي توسيع مجالات استعماله. ناقلية شبه الناقل وسط بين المعد الذي هو عبارة عن ناقل جيد إذا يبدي مقاومة ضعيفة جدا $10^{-6} \Omega.cm$ و العازل الذي لديه مقاومة كبيرة تقدر بـ: $10^{+8} \Omega.cm$ ، بينما مقاومة شبه الناقل تتراوح بين $10^{-3} \Omega.cm$ و $10^{+3} \Omega.cm$

تُظهر الأجسام الصلبة مستويات طاقوية مجمعة على شكل أشربة بعضها ممتلئ بالإلكترونات، والبعض الآخر شاغر، و قسم ثالث نصف ممتلئ. بين هذه الأشربة تبرز سويات غير مسموحة تمثل الشريط الفاصل، لا يمكن للإلكترون احتلالها إلا في حالة وجود سويات مسموحة تنشأها الذرات المشوبة. الشريط الفاصل يمثل الفرق في الطاقة بين قمة أعلى شريط ممتلئ، وهو شريط التكافؤ، و أسفل أول شريط شاغر و هو شريط التوصيل. العوازل تُظهر شريطا فاصلا $Eg > 3ev$ يجعل انتقال الإلكترونات من شريط التكافؤ إلى شريط التوصيل صعب لا يمكن توفير الحرارة التي تلائمه. بينما في

المعدن شريط التوصيل يكون نصف ممتلئ مما يجعل عملية النقل فيه تحدث لأقل إثارة حرارية، أما في شبه الناقل فشريط التوصيل يكون شاغرا تماما عند درجة حرارة الصفر المطلق، يحدث الانتقال الإلكتروني إليه (من شريط التكافؤ) إذا ما رفعت درجة الحرارة إلى حد معين.

9-1- تشويب نصف ناقل:

إن تطعيم شبه ناقل ما بذرات تشويب معينة يؤدي إلى تغيير في خصائصه الكهربائية تتمثل أساسا في تغيير كثافة حاملات شحنه. وجود ذرات تشويب في شبه الناقل يعني وجود التشويب في الصلب. هذه الشوائب إما أن تكون مانحة و ذلك في حالة إسهامها بالإلكترون في عملية النقل أو أخذة إذا ما أسهمت في إيجاد ثقب في عملية النقل دائما. إن وجود الموانح و الأخذات معا يقلل من عدد الإلكترونات و الثقب المساهمة في النقل. إذا كانت أغلبية الحاملات إلكترونات سمي الصلب شبه ناقل من نوع n و إذا كانت الثقب هي الأغلبية سمي شبه ناقل من نوع p . في حالة وجود الشوائب بتراكيز ضعيفة بحيث تكون الحاملات المسؤولة عن النقل هي إلكترونات شبه الناقل المتنقلة من شريط التكافؤ إلى شريط التوصيل، نقول حينئذ أنه شبه ناقل ذاتي. التمثيل الطاقى للحالتين عند إدخال ذرات مانحة أو أخذة ممثل في الشكل (5-1).



الشكل (5-1): التمثيل الطاقى لشبه ناقل مشوب: (أ) من نوع n ، (ب) من نوع p . عند $T > 0K$

E_D هي الطاقة اللازمة لتأين ذرة تشويب مانحة و E_A طاقة تأين الشائبة الأخذة.

تفسير وجود السويين المانح و الأخذ بالقرب من شريطي التوصيل و التكافؤ على التوالي يعود إلى كون الذرات المانحة مثلا و هي خماسية التكافؤ في حالة أنصاف النواقل البسيطة Si أو Ge ترتبط مع جيرانها بالتكافؤ بأربعة إلكترونات و يبقى إلكترون واحد هش الارتباط بها. الطاقة اللازمة لتحريره من الذرة أقل بكثير من طاقة الشريط الفاصل E_g اللازمة لتحرير إلكترون من الإلكترونات المساهمة في الرابطة التكافئية التي تجمع الذرات. نشير إلى أن الذرات الآخذة هي عدد إلكترونات تكافئها أقل من أربع. من بين الطرق المستعمل في عملية التشويب نجد تقنية الزرع الأيوني.

1-9-1- الزرع الأيوني:

بدأت فكرة الدراسات حول مفعول الزرع الأيوني على سطح صلب منذ 1900، و لكنها بدأت في التنفيذ في حدود سنة 1952 و انتشرت في حدود سنة 1962-63، وتعددت هذه الدراسة ابتداء من سنة 1967-68 [13].

ارتكزت هذه التقنية على قنبلة السطح الصلب بواسطة أيونات شائبة مختارة مزودة بطاقة حركية (تتراوح بين بضعة Kev إلى أكثر من 1Mev) تجعلها تنفذ داخل بلورة شبه الناقل المراد تشويبه على بعض المسافات (سمك صغير جدا) تستخدم هذه التقنية خاصة لتشويب طبقات رقيقة جدا من أنصاف النواقل لأنها تمكننا من التحكم في المدى الذي تبلغه الشوائب النافذة، نحصل على هذه النتيجة أيضا بطريقة الانتشار تحت درجة حرارة عالية، و لكن تكتسب طريقة الزرع الأيوني في بعض الحالات على خواص تكسب نصف الناقل خصائص التي لا نحصل عليها بتقنية الانتشار. تشويب نصف الناقل بتقنية الزرع الأيوني هو موضوع له عدة دراسات نظرا لاستعمالها لصناعة الصمامات الثنائية و الثلاثية بخصائص حسنة.

الطريقة التي أدخلت بها الأيونات إلى الصلب (القنبلة) تلحق ضررا كبيرا بسطحه و تجعل العديد منها (من الأيونات) يحتل مواضع غير مناسبة بمعنى غير استعاضية و بالتالي سيكون وجودها غير فعال كهربائيا. لذلك فإن عملية الزرع الأيوني تتطلب أن تتلى بمعالجة حرارية حتى تأخذ الذرات المواضع المناسبة و تنقص تلك الاهتزازات و تسمى هذه العملية بالتحمية.

ينبغي تجنب الحرارة المرتفعة التي تؤدي إلى انتشار الشوائب داخل الحجم أو تفكيك الجسم و تبخير عناصره الذاتية.

2-9-1- تأثير التشويب على الناقلية:

إن مفعول التشويب يظهر في تأثيره على ناقلية شبه الناقل، إذ أن احتلال المشوبات المواضع الاستعراضية يغير من خواصه الكهربائية بشكل ملحوظ. فالتطعيم يستعمل للرفع من ناقلية شبه الناقل أو التقليل منها حسب الغرض المستعمل له كلما كان تركيز الشوائب كبيراً، كلما ضعفت مقاومة شبه الناقل، بينما التقليل منها و إضعاف تركيزها، سواء بالتنقية أو بالتطعيم بمشوب مخالف لنوع المشوبات التي يحويها يؤدي إلى تقوية مقاومته [14]

10-1- أهم الخصائص المميزة لشبه الناقل المختار Si:

1-10-1- تعريف:

السيليسيوم عبارة عن عنصر كيميائي ذو العدد الذري $Z=14$ ويرمز له بـ Si، رغم تواجده الواسع في الطبيعة [15-17] إلا أنه يوجد بشكل سيليس و سيليكات. عزل لأول مرة من طرف الكيميائي Suedois Jors Jacob Berzelius عام 1810. يحتل العمود الرابع من التصنيف الدوري و له أربعة إلكترونات تكافؤ مثل الكربون C و الجرمانيوم Ge.

من وجهة نظر الإلكترونيك، هو شبه الناقل الأكثر استعمالاً على شكل بلورات لتحضير المركبات الإلكترونية، ذو أكسيد SiO_2 معزول جداً.

2-10-1- البنية البلورية للـ Si:

عبارة عن شبكة ذات بنية ماسية، حيث تتكون من شبكتين مكعبتين متمركزات الوجوه و متداخلتين، تترابح الواحدة عن الأخرى بربع القطر الرئيسي. و بما أن السيليسيوم مادة أحادية الذرة، فإن الخلية العنصرية تحوي ذرتين من السيليسيوم. الذرتان تملكان الموضعان $(0,0,0)$ و $(1/4, 1/4, 1/4)$ تكون كل ذرة مركزية مرتبطة بأربع ذرات موجودة على رؤوس رباعي وجوه وهي التي تمثل أقرب الجيران لها.

10-1-3- الخصائص الكهربائية:

السيلسيوم متواجد بكثرة في الطبيعة و يملك خصائص كهربائية هائلة. له شريطا فاصلا كبيرا نوعا ما يجعل مجال استعماله الحراري أوسع مقارنة بالجرمانيوم، نجد أنه عند درجة حرارة الغرفة يكون مساويا 1.12ev مقابل 0.67ev للجرمانيوم (الجدول 1-2) كما أنه يتمتع بأكسيد مابين SiO_2 يعمل كعازل فيما بين المركبات التي يجب منع الاتصال الكهربائي فيما بينها أو كغطاء لحماية الأجهزة أو العينة من الملوثات الخارجية. يستخدم أيضا في عمليات الاشابة الانتقائية، أي في أماكن محددة و مختارة من شريحة نصف الناقل.

GaAs	Ge	Si	
1.35	0.67	1.12	الشريط الممنوع ev Eg
/	32	14	الرقم الذري
144.6	72.6	28.02	الكتلة الذرية (g)
5.32	5.32	2.32	الكثافة ($g.cm^{-3}$)
$2.2.10^{22}$	$4.5.10^{22}$	5.10^{22}	عدد الذرات في cm^{-3}
5.653	5.567	5.431	ثابت شبكي ($10^{-10}m$)
1238	937	1420	درجة الإنصهار ($^{\circ}C$)
0.46	1.03	2.82	$(10^{19}cm^{-3})Nc$
0.89	0.43	1.04	$(10^{19}cm^{-3})Nv$

الجدول (2-1): بعض الخصائص للسيلسيوم مقارنة مع الجرمانيوم و زرنيخ الغاليوم (عند درجة حرارة $300^{\circ}K$) [18]

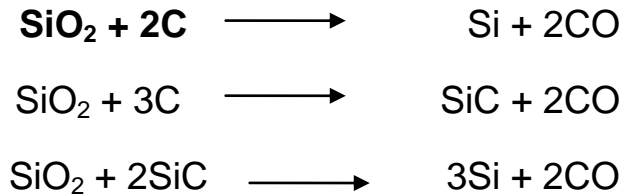
11-1- تنقية السيلسيوم: [19-21]

هناك عدد كبير من المواد نصف الناقل قد استعملت في الصناعات و عدد آخر قيد الدراسة و البحث. غير أنه يبقى السيلسيوم و الجرمانيوم الأكثر أهمية في التطبيقات الحالية: الصمامات (الثنائية و

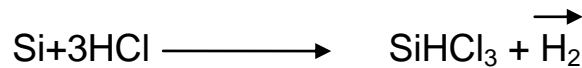
الثلاثية)، الخلايا الشمسية، الخ. سنركز في دراستنا على طرق تحضير السيلسيوم، هذا الأخير موجود بكثرة على سطح الأرض بنسبة 25.7٪، حيث المادة الأولية لاستخراجه هي الرمل (SiO₂) المتوفرة بكثرة و قليلة الثمن. هذه المادة المتحصل عليها دون مشوبة بعدد من المعادن مثل (Fe, Au, Cu). للحصول على هذه المادة بنقاوة جيدة نتبع عدة مراحل: أولاً يجب الوصول بالتقنية الكيميائية إلى أبعد حد لها للانتقال بعد ذلك إلى الطرق الفيزيائية. كل هذه العمليات تجرى في الفراغ. نلاحظ من هذه الخطوات مدى صعوبة تنقية أنصاف النواقل. إلى حد الآن يكفي أن نتبع المراحل التالية التي منها نقوم بتصنيع هذه المادة في المركبات الإلكترونية:

1-11-1- التنقية الكيميائية:

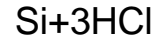
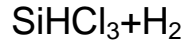
المراحل المختلفة للحصول على قطعة من السيلسيوم مبينة بالجدول (3-1). من الملاحظ فإن أول عملية هي تحضير السيلسيوم التعديني و ذلك بالتحريض بواسطة فرن إلكتروني بداخله خليط من الرمل و الكربون طبقاً للتفاعل التالي:



المادة المتحصل عليها يوجد بها بعض الشوائب المعدنية، و لتنقيتها نقوم بالتفاعل التالي (تحت درجة حرارة °C 250).



هذا الناتج من التفاعل سهل للتقطير و تكوين المادة الأولية التي منها نحصل على السيلسيوم لصناعة الأجهزة نصف الناقلية. بهذا التفاعل الأخير نحصل على مسحوق السيلسيوم وذلك بالحث بالهيدروجين تحت درجة حرارة °C 1000 (تقنية Van Ark):



في النهاية نحصل على مادة ذات نوعية إلكترونية (ذات نقاوة 8N).

المادة المحصل عليها	العملية المجرات
الرمل	
	$\text{SiO}_2 + \text{C}$
سيلسيوم تعديني Si	
	معالجة بـ HCl
ثلاثي كلور الهيدروسيلسيوم SiHCl_3	
	تقطير
SiHCl_3 نقي	
	معالجة بالهيدروجين
مسحوق السيلسيوم	
	طرق تحضير السيلسيوم على شكل سبائك أو رقائق (مثل طريقة CZ)
سيلسيوم متعدد البلورات أو وحيد البلورة	
	عمليات القص
شرائح من السيلسيوم	

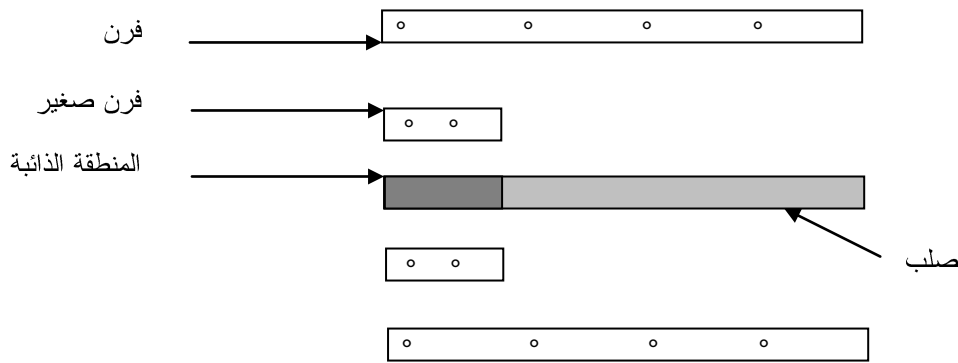
الجدول (3-1): مراحل تنقية و تحضير السيلسيوم

1-11-2- التنقية الفيزيائية:

مفعول طرق التنقية الكيميائية هو تخليص السيلسيوم من الشوائب ذات حجوم كبيرة. غير أنها غير كافية، حيث نجد هناك شوائب بقيت في المادة و يجب نزعها و ذلك بطرق فيزيائية، مثل طريقة التنقية بالمنطقة الذائبة.

1-11-3- التنقية بالمنطقة الذائبة:

في البداية السبيكة موضوعة داخل فرن ذو حرارة متجانسة. داخل هذا الفرن يوجد فرن صغير الذي يحث على حرارة عالية و يعمل على تشكل المنطقة الذائبة كما هو موضح بالشكل (6-1) [22].



الشكل (6-1): الفرن المستخدم في تقنية المنطقة الذائبة

يمكن تثبيت سمك المنطقة الذائبة بالتأثير على الطاقة المنبعثة و ذلك بسحب المذوب أو بتغيير الفرن الصغير. نحصل على أول منطقة صلبة عندما تكون هذه الأخيرة قد ابتعدت عن الفرن حيث تكون درجة حرارتها أقل من درجة حرارة السائل. بالنسبة للشوائب بما أن انحلالها داخل الصلب يختلف عنه في الحالة السائلة، فإن أغلبية الشوائب تكون في المنطقة التي تزال منصهرة و بالتالي تكون الشوائب متركرة في آخر منطقة من السبيكة.

يجب الإشارة بأن هذه التقنيات للتنقية تستخدم فقط للمواد غير المتبخرة بمعنى المواد التي تذوب و تعطي نفس مركبات المادة المستخدمة في البدء.

يحدث تلوث للمادة بهذه التقنيات من جراء التفاعل الكيميائي بواسطة الغاز الموجود حول السبيكة و المذوب. يمكن تجنب ملامسة هذه المنطقة بالمذوب وذلك في حالة المنطقة الذائبة الطائفة (Z.F) حيث تكون السبيكة شاقولية و يمكن الاستغناء عن المذوب، إذا عيب هذه المنطقة الوحيد هو مدة التحضير. من الواضح أن هذه التقنية التي تطبق في تحضير سبائك من السيلسيوم تسمح بإعطاء مواد جد نقية.

شريط التكافؤ و الذي يكون عند درجة حرارة الصفر المطلق مملوء بالإلكترونات, وعند حدوث إثارة حرارية فإنه يفقد بعض الإلكترونات.

شريط النقل و الذي يكون فارغ تماما عند درجة حرارة الصفر المطلق,و عند حدوث الإثارة فإنه يستقبل الإلكترونات التي فقدها شريط التكافؤ.

الشريط الممنوع و هو يفصل بين الشريطين السابقين, وحتى تنتقل الإلكترونات بينهما يجب أن تمتلك طاقة أكبر من العرض الطاقوي لهذا الشريط. و في أنصاف النواقل يكون هذا العرض صغير نسبيا حيث تسبب كل إثارة حرارية و لو بسيطة انتقال الإلكترونات من شريط التكافؤ إلى شريط النقل.

12-1- خاتمة:

الخصائص الكهربائية لأنصاف النواقل هي وسط بين خصائص المعادن وخصائص العوازل, فعند درجات الحرارة المرتفعة تقوم بنقل التيار الكهربائي تقريبا أحسن من المعادن في حين أنها تتصرف كالعوازل في درجات الحرارة المنخفضة. هذا التغير الكبير في الناقلية بدلالة درجات الحرارة هو ما يميز أنصاف النواقل الشيء الذي يمكننا من التحكم في ناقليته و بالتالي توسيع مجالات استعماله.

الفصل الثاني: طرق التحضير وبعض العيوب الناتجة عن إنماء السيليسيوم

2-1- المقدمة:

تنقسم الحالة الصلبة إلى قسمين، الحالة المتبلورة و اللامتبلورة. نجد في الحالة الأولى الذرات أو الجزيئات تتوضع دون ترتيب، كما أن هذا الصلب ليس له درجة حرارة انصهار و لكن له درجة حرارة تلين، لا يستطيع إلا أن يتبلور و يمر إلى الحالة الثانية (حالة بعض الزجاج الأقل استقرار). الحالة الثانية وهي الأكثر أهمية حيث تحوي على أغلبية الأجسام الصلبة.

ونظرا لأهمية التحويل الفوطوفولطي في إنتاج و توفير الطاقة، اهتم الباحثين في تطوير الخلايا الشمسية التي يتم بواسطتها مباشرة تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، وقد استعملوا في هذا الإطار مواد نصف ناقلة، وتربع السيليسيوم على هذه المواد النصف الناقلة، وكان أكثر المواد استعمالا في صناعة الخلايا الشمسية، فصنعت منه عدة خلايا شمسية، إما باستعمال السيليسيوم الأمورفي أو السيليسيوم البلوري، هذا الأخير يكون على شكل أحادي البلورة الذي يعطي مردودا طاقويا كبيرا وهذا لفلة العيوب فيه، ولكن تكلفته عالية. والسيليسيوم متعدد البلورات الذي يعتبر اقل تكلفة، و اقل مردود، وهذا ما لفت الأنظار لمعرفة سبب نقص المردود، ووضع حلول لذلك. ومن الأسباب التي تعترض من أن يكون المردود عالي هي وجود العيوب الكثيرة منها الشقوق الحبيبية، التصدعات، والفجوات والتي سوف نوضح البعض منها في هذا الفصل كما نقدم بعض الطرق المختلفة لتحضير السيليسيوم.

2-2- الجرمات الأولى و الإنماء:

1-2-2 الجرمات المتجانسة و المختلفة الخواص:

تسمى الجرمات الأولى التي تظهر بصورة عشوائية و المخترقة كامل الجملة جرمات متجانسة

[24-23] . لكي تكون لدينا جرمات متجانسة يجب أن يكون أي عنصر من حجم طور الأم مماثل لأي عنصر آخر بنوييا و كميائيا و طاقييا. هذا يتحقق إذا كانت العينة متجانسة كميائيا و خالية من العيوب البنوية. في حين الأجسام الصلبة تحوي الكثير من العيوب على السطح منها شقوق الحبيبات و الجسيمات الشائبة و التصدعات و بالتالي لا يمكن تحقيق جرمات متجانسة بصورة كاملة. ترتبط طاقة مجموعة من الذرات في البلورات الحقيقية بموقعها المحلي، حيث أنها تكون لها قيمة أكبر لمجموعة من الذرات المتواجدة بجوار العيوب مقارنة بمجموعة من الذرات المنتمية إلى شبكة مثالية إذا الطاقة اللازمة لتكوين جرم عامة هي جد ضئيلة إذا ظهر الجرم في أحد هذه المناطق العالية الطاقة، و منه نجد من الأفضل إنتاج الجرمات في هذه المناطق. الجرمات المتولدة في هذه المواضع تسمى الجرمات المختلفة الخواص، الإطالة في تكوين هذه الأخيرة لا يعطينا تصورات جديدة. تعتمد الطاقة المصروفة لتكوين جرم [27]:

طاقة السطح البيني.

طاقة التشوه المرن الناتج من أي تغير في الحجم الموافق لتغير البنية.

طاقة تشوه الشبكة المرتبط بالاعوجاج الناتج من التحام شبكتين.

2-2-2- الإنماء:

تبدأ عملية الإنماء عندما يتم تكون الجرمات الأولى. تعتمد بنية البلورة المتحصل عليها على شروط الإنماء، و بصفة خاصة على ظاهرة فوق الإنصهار surfusion.

لنعتبر لدينا عينة متوضعة داخل أنبوب أفقي، بحيث يكون جزء من العينة في الحالة الصلبة و الجزء الآخر في الحالة السائلة مثل ما هو موضح بالشكل:

سائل	صلب
------	-----

الشكل (2-1):السطح البيني ساكن

لكي يبقى السطح البيني صلب -سائل في موضع ثابت، يجب أن يكون الصلب أكثر برودة من السائل. إذا افترضنا أنه يوجد سيل حراري من A إلى B فإن كمية الحرارة التي حملت إلى B مساوية إلى الكمية التي حذفت من A، بحيث تكون معادلة الاستمرارية التالي محققة:

$$K_s G_s = K_l G_l$$

حيث:

K_s الناقلية الحرارية للصلب.

K_l الناقلية الحرارية للسائل.

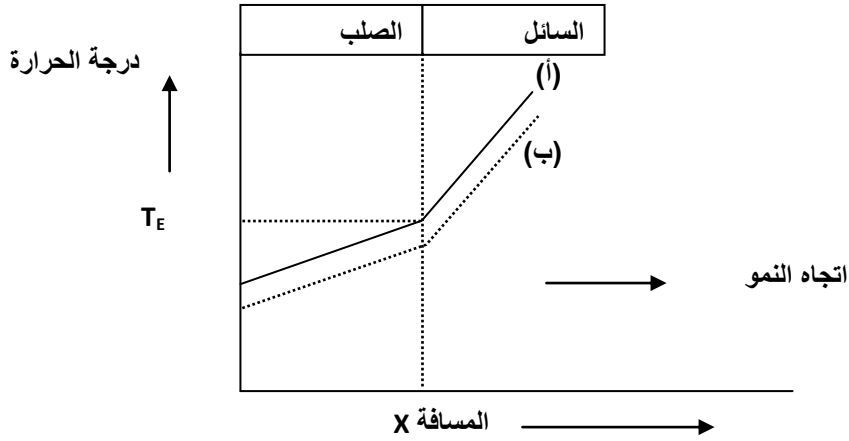
G_s التدرج الحراري داخل الصلب.

G_l التدرج الصلب داخل السائل.

هذه الحالة مبينة بالشكل (3-14-أ) حيث السطح البيني يبقى ساكن عند درجة حرارة التصلب T_E بمعنى أنه في هذه الحالة الصلب و السائل يمكن أن يتواجدان في حالة اتزان مع بعضها. كون السطح البيني ساكن هذا لا يعني أن أي حركة متوقفة، حيث نجد ذرات تنضم باستمرار إلى الصلب. لكي يتم النمو، يجب أن يكون هناك عدد كبير من الذرات منظمة إلى الصلب.

3-2-2- نمو البلورات بواسطة تدرج حراري موجب داخل السائل:

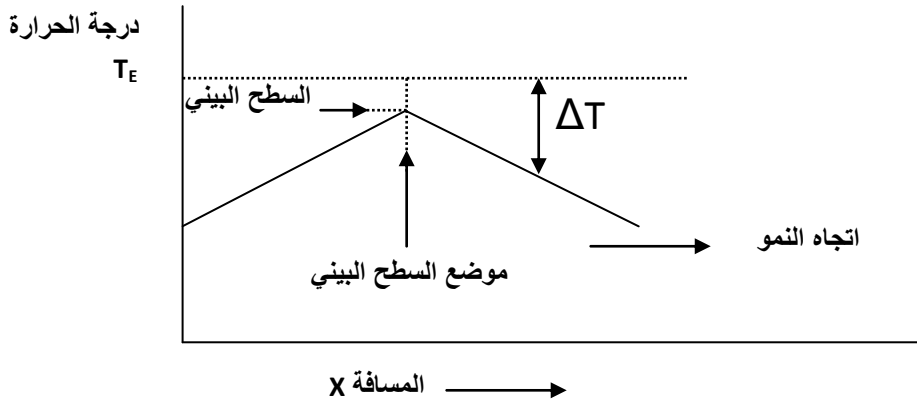
كما ذكرنا سابقا، مثل ما هو موضح بالشكل (1.1أ)، بأن السطح البيني يبقى ساكن. بالمقابل نلاحظ في حالة الشكل (3-14-ب)، يوجد قليل من surfusion و السطح البيني يمكن أن يحدث له انزياح.



الشكل (2-2): الإنماء البلوري بتدرج حراري موجب داخل السائل.

4-2-2- نمو البلورات بواسطة تدرج حراري سالب داخل السائل:

عندما يكون التدرج الحراري سالب، مثل ما هو موضح بالشكل (2-15)، نجد في هذه الحالة بأن السائل المتواجد قبل السطح البيني في حالة فوق الانصهار، بمعنى أنه عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة التصلب الترموديناميكي.



الشكل (3-2): الإنماء البلوري بتدرج حراري سالب داخل السائل.

5-2-2- النوعية البلورية:

ترتبط النوعية البلورية بشروط التحضير تؤثر هذه الأخيرة مباشرة على النتائج الكهربائية. ولهذا يجب أن نقوم بعملية الكشف عن العيوب الموجودة داخل المادة بعد تحضيرها. من بين الطرق المعروفة للكشف عن العيوب وأخرى للتحسين من مردود المادة.

3-2- بعض الطرق التجريبية لإنماء مادة السيليسيوم:

2-3-1- السيليسيوم الأمورفي:

هو عنصر من العناصر الأمورفية المختلفة عن البلورات ، بنيتها لا تحتوي ترتيبا بلوريا لها خاصية جيدة مميزة هي معامل الامتصاص الذي يكون عاليا جدا مقارنة بالسيليسيوم البلوري ، حركية شحناته ضعيفة ، مردود التحويل الطاقوي ضعيف إضافة إلى الخلايا المحضرة منه تحتاج إلى طاقة وسيليسيوم أقل من الخلايا المحضرة من السيليسيوم البلوري هذا النوع -الشكل- هو أقل تكلفة مقارنة بالأنواع - الأشكال- الأخرى للسيليسيوم ، ومردوده ضعيف من 5-6 % وعيوب أخرى ظاهرة من حيث الاستقرار.

2-3-2- بعض الطرق التجريبية لإنماء مادة السيليسيوم الأمورفي:

استعملت عدة طرق لتحضير السيليسيوم اللامتبلور من بينها طريقة التبخير في الفراغ والرش المهبطي ، غير أن المادة المحضرة بهذه الطريقتين أظهرتا كثافة عيوب عالية ، وناقلية ضوئية منخفضة مما يعيق استعمالها الكترولونيا . ظهرت سنة 1969 طريقة تحليل السيلان SiH_4 بالتفريغ الضوئي PECVD التي حسنت الخصائص الكهربائية للسيليسيوم اللامتبلور والتي قادت سنة 1976 إلى اختراع أول خلية شمسية.

2-3-2-1- العيوب في السيليسيوم اللامتبلور:

يختلف مفهوم العيوب في الحالات اللامتبلورة عن الحالات المتبلورة والذي يعرف عموما بالروابط المكسرة. لدراسة هذه الحالات ندرس خصائص المواد في شكل شرائح رقيقة ، ويتطلب هذا استعمال تقنيات للتحضير-الترسيب- من بينها التبخير في الفراغ ، الرش المهبطي و تحليل السيلان SiH_4 بالتفريغ الكهربائي لغاز يتكون من العنصر المراد ترسيبه -تحضيره- PECVD التقنية الأولى تعتمد على وجود طاقة كبيرة- وهذا من عيوبها-

أما تقنية PECVD فمبدأها هو تمرير غاز السيلان إلى جذور SiH_x . التي تجذب نحو المسند أين يتم ترسيبها وتعتبر الشرائح المرسبة بهذه التقنية من أحسن الأنواع وأجودها لكنها تستلزم أمنا خاصا نظرا لخطورة غاز السيلان SiH_4 السام وسنكتفي بذكر أهم تقنيات تحضير السيليسيوم الأمورفي.

- تقنية الرش المهبطي:

هي تقنية تخضع سطح يدعى هدفا إلى قذف أيوني بهدف نزع الذرات منه وترسيبها على مسند يبعد عدة سنتيمترات عن الهدف، طريقة الرش تستلزم إنتاج أيونات طاقة لنزع الذرات من الهدف لهذا يوضع هذا الأخير تحت جهد سالب من 3 إلى 5 KV والضغط المستعمل عادة 10^{-1} Torr وتعتبر آلية الرش آلية ميكانيكية, وهناك أنواع من الرش:

-الرش DC:

يتميز هذا النوع بتطبيق جهد مستمر يتغير من 500 إلى 5000 فولت الحقل الذي يظهر بين المسريين يسرع الالكترونات الموجودة في الغاز هذه الأخيرة تؤين ذرات الغاز –الأرغون- التي بدورها تسرع نحو المهبط، تصادم هذه الأيونات مع المهبط يؤدي إلى نزع الذرات من الهدف وهي ظاهرة الرش إلا أن هذا النوع من الرش لا يمكنه ترسيب أنواع عديدة من المواد خاصة العوازل .

- الرش RF

حتى يمكننا تفادي ما يحدث في الرش DC نطبق في هذه الحالة جهد متناوب بدل المستمر أين التردد يساوي 13.56 ميغا هرتز Mhz وقد اختير هذا التردد لتفادي التداخلات مع Radiocommunication ، يغير المسريين من استقطابهما كل نوبة وينتج من ذلك انجاز الالكترونات لدورات ذهاب وإياب بينهما مضاعفين بذلك احتمال تصادم مؤين يسمح الرش RF إذن بتخفيض ضغط الغاز وجهد التخادم.

-الرش Magniton –الممغنط:

بهدف زيادة مردود تصادم الالكترونات وزيادة سرعة النمو يجمع مع الحقل الكهربائي آخر مغناطيسي عمودي عليه هذه الطريقة تسمح بزيادة سرعة النمو 50 مرة أكثر من الطرق العادية الأخرى.

2-4- طرق تحضير السيليسيوم البلوري:

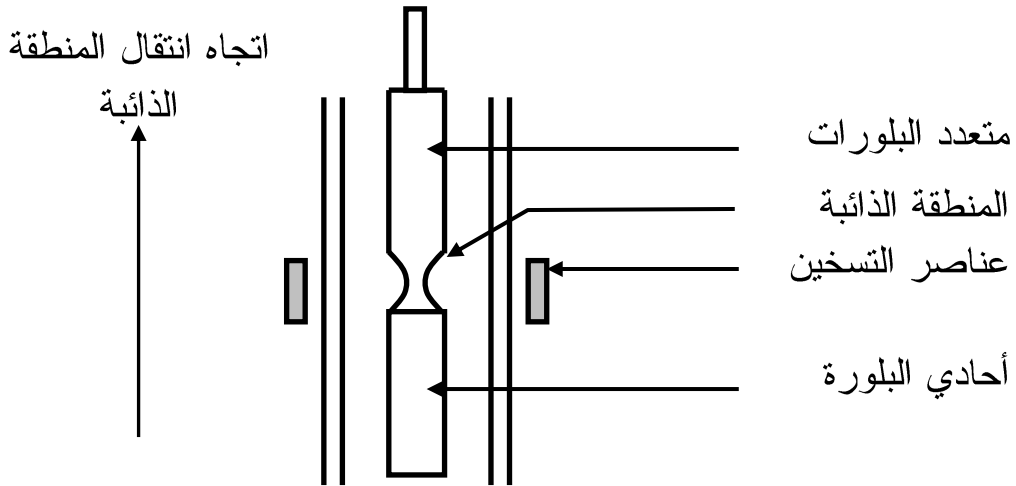
يمكن أن يحضر السيليسيوم على شكل سبائك, أشرطة أو طبقات رقيقة [28] .

1-4-2-1 طرق تحضير السيلسيوم أحادي البلورة:

يعتبر المادة المحضرة بنقاوة أكبر و تكلفة أكبر يستعمل على شكل قضبان خاصة في التكنولوجيا الإلكترونية و يمكن أن نحصل عليه بعدة طرق منها.

2-1-4-1-1 المنطقة العائمة:

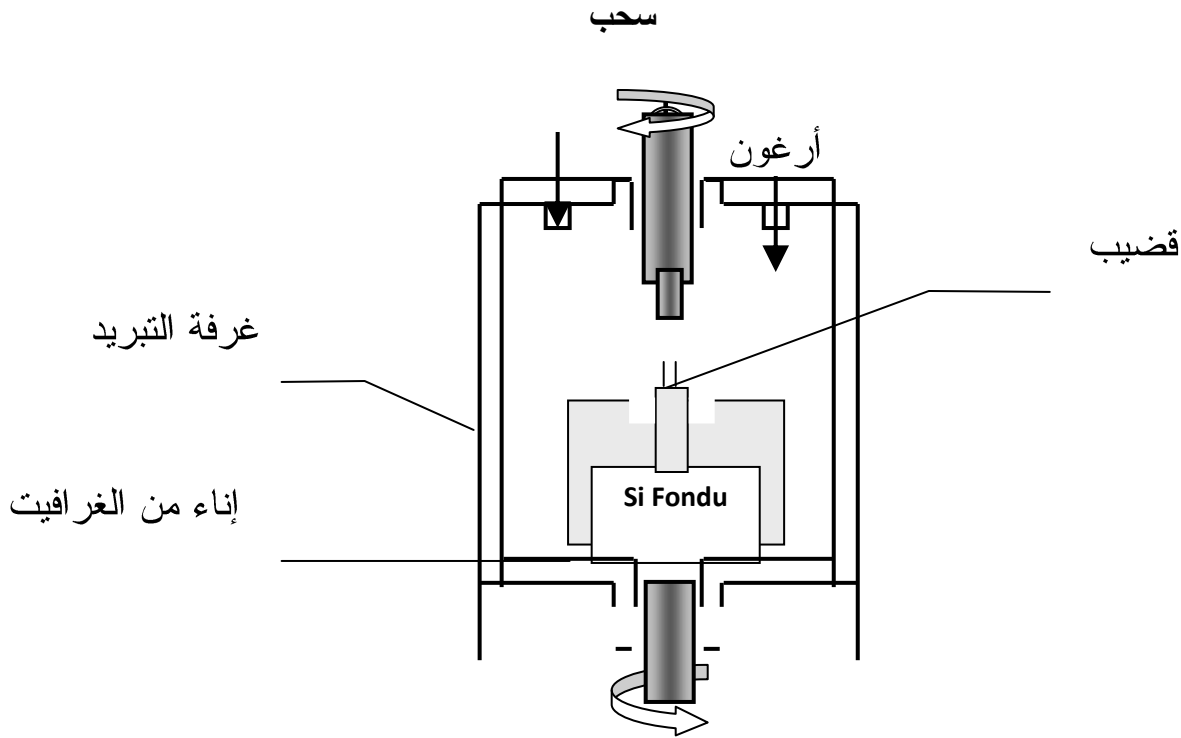
طريقة التبلور باستعمال المنطقة العائمة تسمح بالتحضير حيث تنتقل المنطقة الذائبة على كامل المسحوق في شروط معينة منها درجة الحرارة و سرعة الانتقال و دوران القضيب حتى نحصل على قضيب أحادي البلورة نقي لأن هذه الطريقة تستعمل أيضا في عمليات التنقية [29].



الشكل (4-2): مبدأ طريقة المنطقة العائمة

2-1-4-2 طريقة شوكرالسكي:

هذه الطريقة مستعملة كثيرا لتحضير مساند من السيلسيوم لاستغلالها في صناعة المركبات الإلكترونية الدقيقة و تتم كالتالي أولا نقوم بتحسين السيلسيوم المتعدد البلورات في إناء زجاجي درجة ذوبانه 1420 تحت فراغ و ضغط معين. بعد عملية الذوبان نحصل على الجرم الأولي أحادي البلورة يسقط من الأعلى إلى أسفل الإناء و عن طريق عملية السحب يتم سحب قضيب أحادي البلورة الذي يتعلق سمكه و طوله بسرعة الدوران و درجة حرارة الإناء.

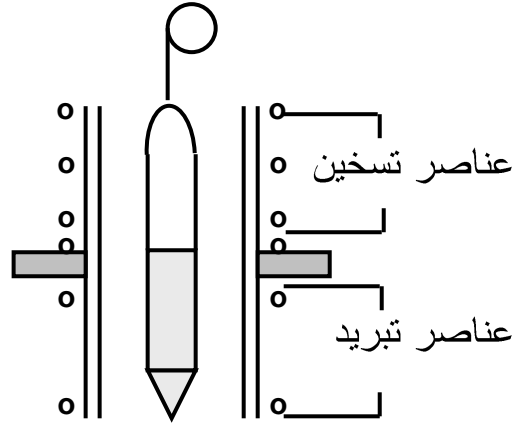


الشكل (5-2): طريقة شوكرالسكي

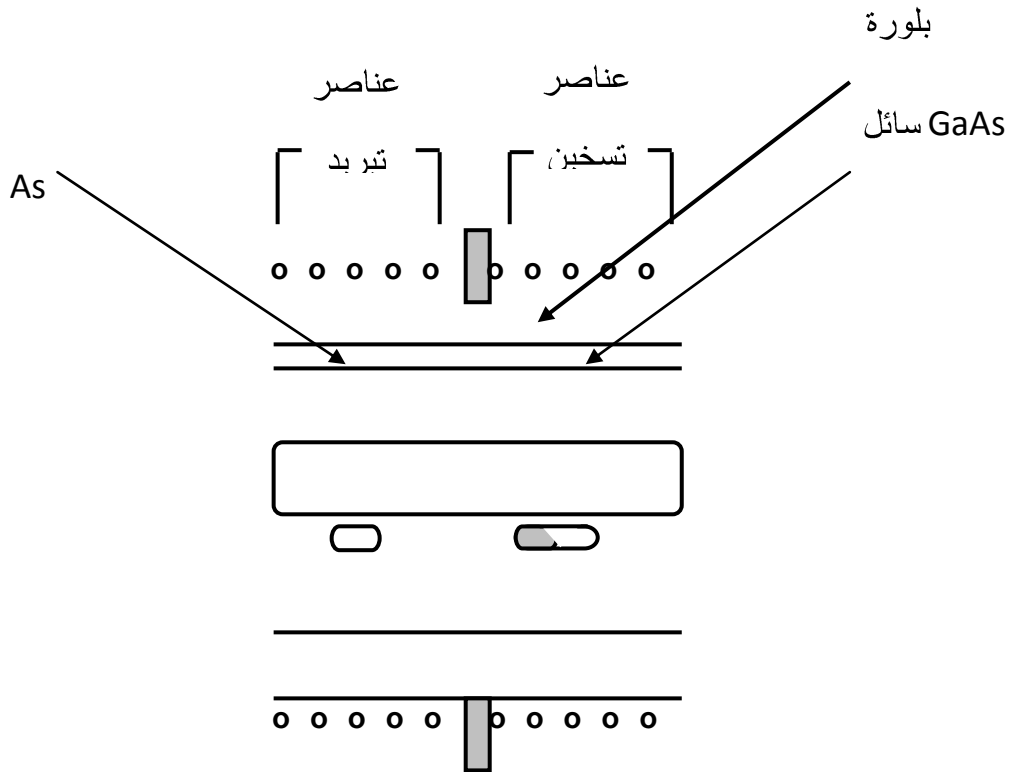
3-1-4-2- طريقة بريدجمان:

هي طريقة جد قديمة استعملت لتحضير أنصاف النواقل أحادية البلورة. يتم ذوبان المسحوق إناء من الزجاج أو الكوارتز والأنبوبة تنتقل داخل الفرن حسب تدرج الحرارة من منطقة ساخنة تحت درجة الذوبان إلى منطقة باردة أين يتم فيها تصلب المركب تدريجيا و نحصل على قضيب أحادي البلورة انطلاقا من جرم أولي. و كأننا نستعمل منطقتين منطقة للتسخين و منطقة للتبريد و المنطقة الفاصلة بين السائل و الصلب تنتقل بسحب الأنبوب بحبل. تعتبر هذه الطريقة من الطرق التي يمكن بها تحديد بعد و حجم البلورة المراد تحضيرها لاستعمالها الإناء لكن من عيوبها اتصال الجدران الذي يعتبر كمنبع للتلوث ما بين الحالة الذائبة و البلورة.

و هناك الطريقة العمودية و الطريقة الأفقية المستعملة عموما في تحضير المركبات الثنائية أحادية البلورة و خاصة المركبات III-V مثل GaAs الذي أعطى نتائج جد مهمة في التحويل الطاقوي الشكل (6.3) (أ) و (ب)



أ- الطريقة العمودية



ب- الطريقة الأفقية

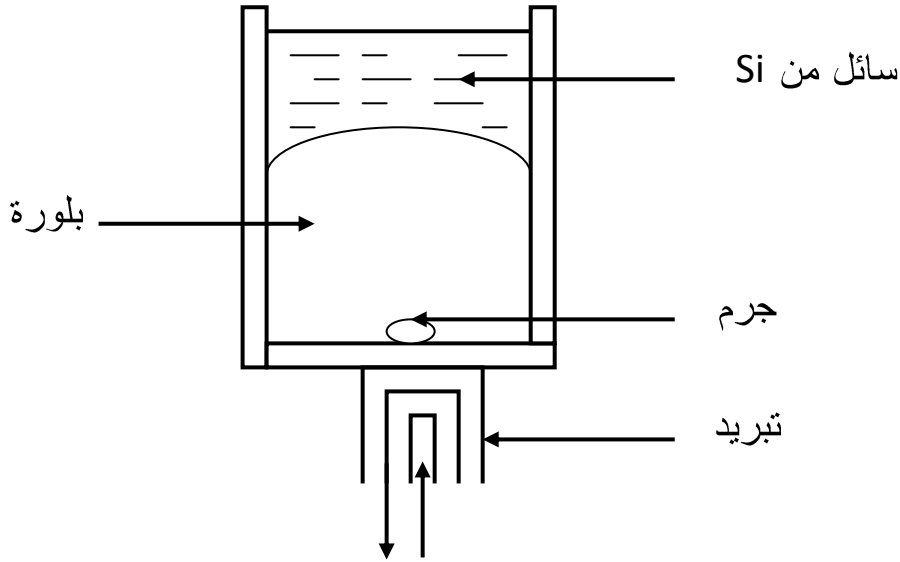
الشكل (6-2): طريقة بريدجمان

2-4-2- السيليسيوم متعدد البلورات:

نظرا للتكلفة العالية لتحضير السيليسيوم أحادي البلورة المستعمل في المركبات الإلكترونية و التأثير الكهروضوئي ظهرت تكنولوجيا السيليسيوم متعدد البلورات و منها تطورت عدة طرق لتحضير هذا النوع من السيليسيوم.

2-4-2-1- طريقة التبادل الحراري: [30]

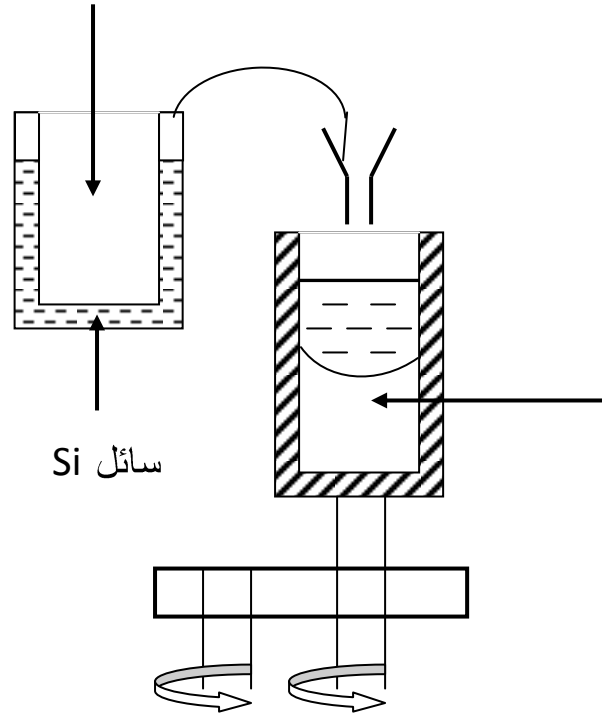
استعملت هذه الطريقة لنمو سبائك السيليسيوم أحادي البلورة بأحجام كبيرة غير أنها غيرت في جهتها حتى بعد بنمو سبائك متعددة البلورات ذات حبيبات ضخمة. مبدؤها هو تصلب السيليسيوم الذائب الموجود في إناء المذوب انطلاقا من الأسفل أين يوجد جرم يبرد باستمرار تيار من الهيليوم. و تبلغ سرعة التصلب حوالي 2Kg/h . أما مردود الإنتاج يصل إلى أكثر من 95% و تنتج هذه الطريقة سبائك ذات حجم 35.17 cm^3 .



الشكل (2-7): طريقة التبلور الموجه.

2-2-4-2- طريقة سيلسو:

السيليسيوم الذائب الموجود داخل مذوب من السيليس تحت ضغط من الأروغون يسكب داخل قالب من الغرافيت درجة حرارته أقل من تلك للحمام 1200 م. القالب يدور حول محور شاقولي و ذلك لتسريع تغير درجة الحرارة يتم التصلب بالتخفيض المراقب لدرجات الحرارة فنحصل على سبيكة متعددة البلورات لها بنية بلورية موجهة في اتجاه التدرج الحراري.



الشكل (8-2): مبدأ طريقة سيلسو.

2-2-4-3- طريقة التبلور الموجه بوليكنس:

مبدأ هذه الطريقة يعتمد على التصلب الموجه لشحنة من اليليسيوم في مذوب من الغرافيت و يضاف إلى شحنة السيليسيوم مادة كبسلة و التي تعمل على تجنب تلوث السبيكة بشوائب المذوب. يرجع أليا إلى

درجة 1200 C° ثم يعاد التسخين حتى تذوب مادة الكبسلة و بالتالي الحصول على السبائك هذه الطريقة مكنت من إنتاج سبائك ذات وزن 120 Kg و مردود طاقوي في حدود 11%.

2-4-2-4- طريقة نمو السيليسيوم متعدد البلورات باستعمال إناء كهرومغناطيسي:

هذه الطريقة طورها الصينيون حيث يحضر السيليسيوم بالصب أو السكب المستمر في إناء كهرومغناطيسي ثم يصب في إناء بارد و يسحب في النهاية للحصول على سبيكة السيليسيوم.

2-4-2-5- طريقة نمو السيليسيوم على شكل شرائط EFG: [31]

إن التقنيات الخاصة بإنتاج السيليسيوم على شكل شرائط لها أهمية كبيرة في السلم التكنولوجي حيث نحصل عليها بالسحب ما بين شريطين أو مستويين من الكربون أو بطريقة النمو فوق طبقة، شبكة من الكربون. هذه الشرائط التي عرفت في سنوات التسعينات تطورا كبيرا على مستوى البحث و الإنتاج الصناعي.

حاليا فإن هذه التقنيات غيرت فيها سرعة النمو على شكل سرعة خطية و التي وضعت أساسا انطلاقا من مبادئ عملية التبلور التي تحدد بعد الحبيبات الدرية و مدى نقاوة المادة و لدينا الشكل الموضح لطريقة نمو السيليسيوم على شكل شرائط.

2-4-2-3- طرق إنماء السيليسيوم على شكل سبائك:

2-4-2-3-1- تقنية بريدجمان:

هذه التقنية استخدمت لإنتاج أشباه نواقل أحادية أو متعددة التبلور، تتم العملية من خلال حدوث تصلب مراقب يتحكم فيه جرم يفرض توجهه البلوري على السبيكة خلال مدة النمو. الجرم و الحمام موجودان داخل مذوب متحرك (من الغرافيت أو أي مادة غير متفاعلة تتميز بعطالة كيميائية)، الكل محتوي في فرن ذو تدرج حراري حيث يتكون هذا الأخير من منطقتي تسخين درجة حرارتهما على التوالي T و T' حيث $T_f < T' < T_f$ و $T > T_f$ درجة انصهار السيليسيوم (تفصل المنطقتان بفاصل لتجنب تيارات الحمل فينشأ تدرج حراري شاقولي أكثر استقرار). الجرم متواجد في المنطقة الباردة. سحب المذوب (أو

الفرن) يحث على التبلور المتتالي انطلاقاً من الجرم. الجزء الكبير من العيوب يكون في المنطقة التي تزال منصهرة. نحصل على سبائك مشوبة من خلال إضافة المشوب المناسب في الحمام أثناء عملية النمو.

2-4-4-4- تحضير السيليسيوم على شكل طبقات رقيقة: [32-33]

بهدف البحث عن مركبات الكترونية ذات جودة عالية [34-39] فقد ظهرت تكنولوجيا الطبقات الرقيقة للسيليسيوم حيث توضع طبقات من السيليسيوم متعدد البلورات وخلايا شمسية ذات مردود جيد وتعتمد على توضع عدة طبقات من السيليسيوم على مسند يمكن أن يكون من الكوارتز أو السيراميك ويمكن أن يكون ناقلاً أو نصف ناقلاً.

هذه الطرق تعتمد على مبدأ الترتيب الفوقي حيث تسمح باستمرار بنية أحادية البلورة لحامل وذلك عن طريق توضع طبقات ذرية جديدة انطلاقاً من طور غازي أو طور سائل [40].

2-5-العيوب:

2-5-1- البلورات:

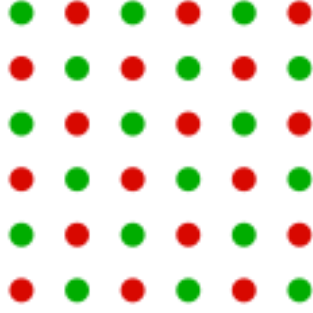
من المعلوم أن معظم المواد الصلبة هي مواد متبلورة لكن في الحقيقة لا وجود لبلورة مثالية في الطبيعة فكل بلورة لها عيوب وإن كانت قليلة والعيوب البلورية بالنسبة للمواد الصلبة هو اختلال في استمرارية تركيب الذرات وذلك لعدة عوامل منها الحرارة

2-5-2-أنواع البلورات

2-5-2-1-البلورة المثالية :

تمتاز بكون مجاميع التماثل تعيد نفسها عند فواصل أو فسخ متساوية و تمثل على الورق فقط.

تتميز البلورة المثالية بالترتيب المنتظم للذرات، و يكون دوريا على عقد الشبكة البلورية. الشكل (2-9). وهو عبارة عن نموذج لوصف توزيع الذرات على الشبكة البلورية بالنسبة للبلورة الحقيقية التي يكون فيها اختلال في دورية التوزيع و هذا ما يسمى العيب البلوري



الشكل (2-9): بنية بلورية في الحالة المثالية

2-2-5-2- البلورة الحقيقية:

أيضا تمتاز بصفته الدورية المنتظمة الثلاثية الأبعاد وتعيد نفسها ولكنها واقعية أي فيها عيوب إلى حد ما و من البلورات الحقيقية الأحادية و البلورة المتعددة التبلور

2-3-5-2- العيوب البلورية:

2-3-5-1- تعريف العيوب

العيب البلوري هو ابتعاد عن دورية الشبكة أي كل منطقة من البلورة يكون فيها التركيب ألمجهري للدارة مختلفا عن الترتيب الدوري المنتظم. ومنه يمكن القول بان البلورة الحقيقية هي البلورة المثالية مع مجموعة من العيوب.

2-3-5-2- أنواع العيوب البلورية:

لا شيء في عالمنا صحيح تماما. لا توجد مادة في الطبيعة إلا وتحوي قليلا من العيوب الإنشائية, كما أنه لا يمكن الحصول على أي مادة دون شوائب. تعيق الذرات الشائبة عملية الانتظام الإنشائي للمادة الحقيقية النقية.

ويمكن تصنيف هذه العيوب حسب أبعاد وشكل المنطقة المضطربة ومنها:

العيوب النقطي وهو ذو البعد صفر.

العيوب الخطية وهي ذات البعد الواحد.

العيوب السطحية وهي ذات البعد الثنائي.

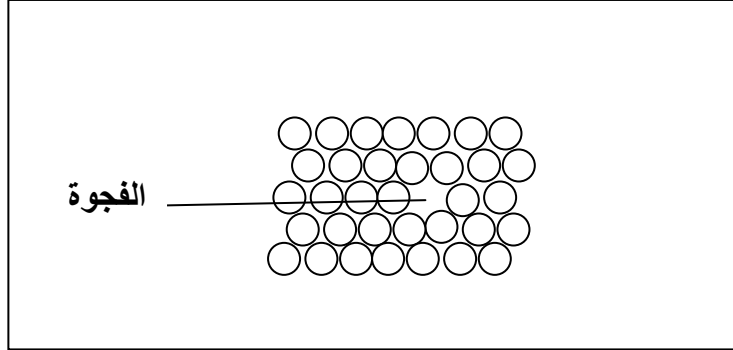
2-3-5-2-1- العيوب النقطية:

إن العيوب النقطية هي عبارة عن نواقص بنيوية تنتج عن التحريض الحراري، وهي ذات بعد صفري وأبسط أنواع العيوب هو العيوب النقطية المتمثلة في ضياع ذرة (شاغر) كنتيجة حتمية لاهتزاز الذرة بسبب الحرارة، مما يزيد من عملية الانتشار في الحالة الصلبة والتي تحدث وفق آلية حركة العيوب النقطية. تلعب العيوب النقطية أو الانخلاع دوراً هاماً في التشوه الميكانيكي للمواد البلورية. وهي عبارة عن انحراف أو اختلال في موقع ذرة، وإما أن تكون على شكل فراغ أو ذرة إضافية وينتج عن هذه العيوب اضطراب للشبكة البلورية ويخص حجما من رتبة خلية أو بعض الخلايا وهي نوعان:

2-3-5-2-1-1- عيوب نقطية ذاتية:

-الفجوة (عيب الفراغ):

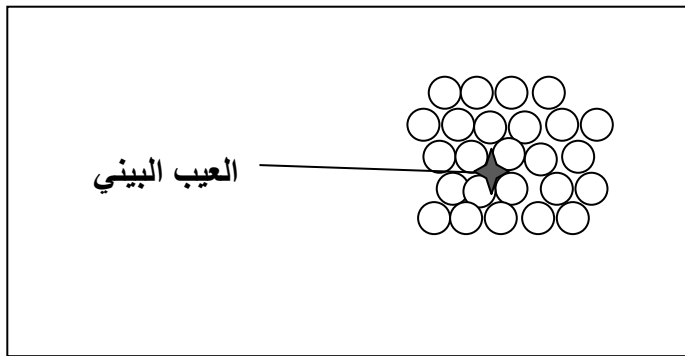
عبارة عن حيز لذرة مفقودة ضمن الترتيب المنتظم للشبكة ويحدث كنتيجة للانحناء البلوري وذلك بسبب التذبذب الحراري (الشكل 2-10).



الشكل (10-2): الفجوة

-العيب البيني الذاتي:

وهو تواجد ذرة مقتحمة داخل الشبكة البلورية في الفراغات الموجودة بين الذرات (الشكل 2-11)



الشكل (11-2): العيب البيني

2-1-2-3-5-2- العيوب الغير الذاتية:

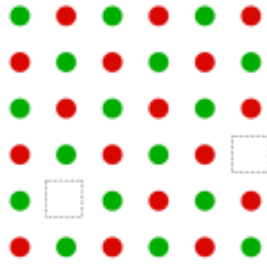
وهي عيوب عرضية منها:

- الذرات الإضافية:

هو وجود ذرة إضافية داخل البنية البلورية وتسمى الشوائب وتكون على نوعين الذرات الاستبدالية التي تحل محل أحد مواقع الذرات الأصلية والذرات البينية التي تشغل حيز مابين الذرات الأصلية وربما تكون من نفس النوع أو قد تكون ذرة شائبة.

- عيب شوتكي:

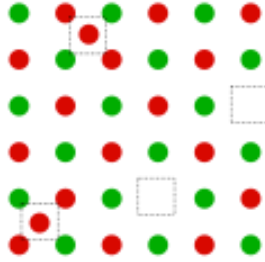
هو عيب نقطي يحدث عندما تهاجر ذرة ما موقعها في الشبكة وتستقر عند سطح البلورة ويحدث هذا بمراحل متعاقبة الشكل (12-2)



الشكل (12-2): عيب شوتكي للبنية البلورية

عيب فرنكل:

هو أن تزال ذرة من مكانها في الشبكة البلورية وتتحم في موقع بيني و يتضمن زوجا من العيوب خلق فجوة أو ثغرة و ذرة إضافية داخل البنية البلورية الشكل (2-13).



الشكل (2-13): عيب فرنكل للبنية البلورية

-5-3-2-2-العيوب الخطية:

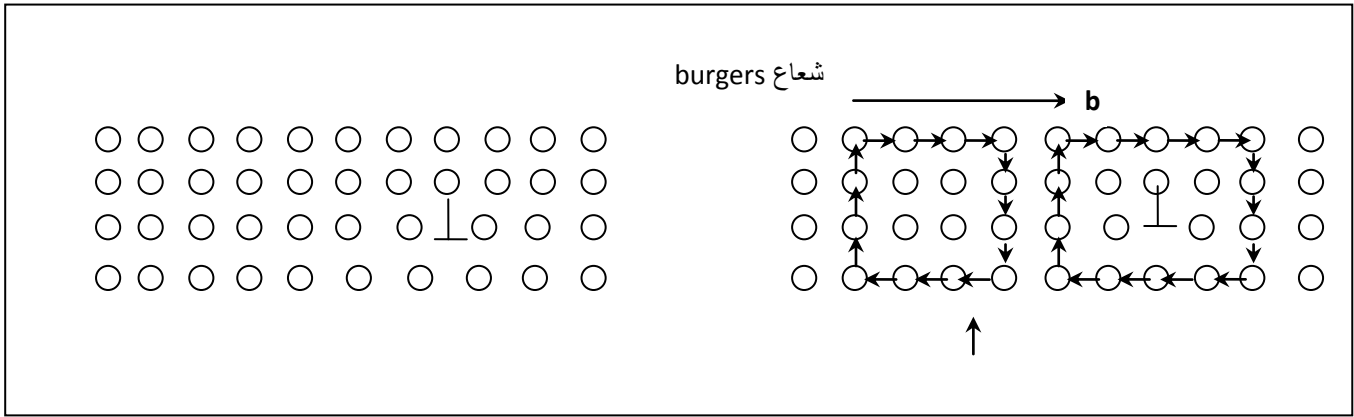
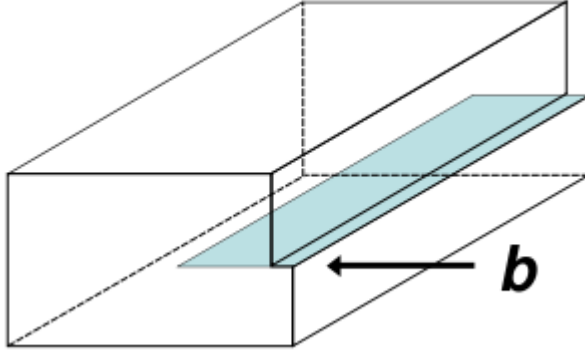
إن العيوب الخطية ذات البعد الواحد مرتبطة أساسا بالانفعالات الميكانيكية. تسمى هذه العيوب بالانخلاعات أو التزحزحات (Dislocation) و تحدث نتيجة خلل في صف كامل من البلورات. يرمز للانخلاع عادة برمز التعامد و الذي يدل نهاية نصف مستوي زائد من الذرات. يقود مثل هذا الترتيب إلى تعبير كمي يسمى شعاع الانتقال اللازم لفلق عروة متدرجة حول العيب.

عند الانتقال وفق عروة متدرجة $M \times N$ ذرة في البلورة التامة ستطبق نقطة النهاية مع نقطة البداية. أما في حدود الانخلاع ستخفق نفي العروة المتدرجة في الانغلاق.

-2-3-5-2-1-تعريف التزحزح:

هو عيب خطي يتمثل في تكسر الروابط التي تكون موجودة ما بين الذرات المجاورة لخط التزحزح ونتيجة للتشوه الذي يظهر على سطح البلورة خطوط تسمى ؛خطوط الانزلاق. هذه الخطوط ناتجة عن انزلاق جزء من البلورة بالنسبة لجزء آخر وقد لوحظ تجريبيا أن الانزلاق يتم وفق اتجاهات ومستويات

معينة وهذا ما يسمى بنظام الانزلاق, ويتغير بتغير البنية البلورية. ويتميز التزحزح بشعاع
 BURGERS الذي يحدد اتجاه ومقدار الانزلاق. الشكل (2-14)

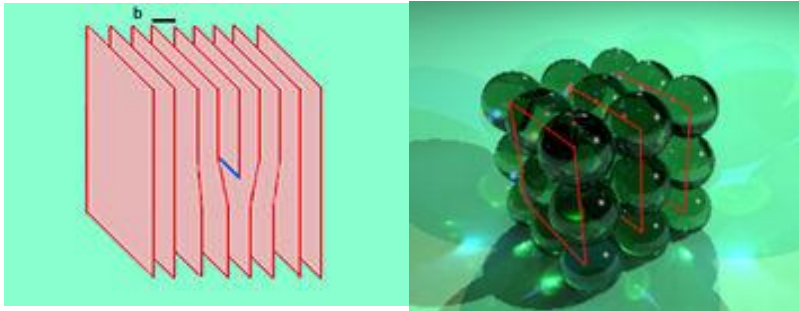


الشكل (2-14): دائرة التزحزح وشعاع burgers

2-2-2-3-5-2- أنواع التزحزحات (الانخلاعات):

- التزحزح الطرفي (الانخلاع الحافي): وهو تكسر الروابط ما بين الذرات المنتمية إلى مستويين متوازيين متتاليين فنطبق إجهاد خارجي الذي يؤدي إلى إزاحة الجزء العلوي من البلورة بالنسبة للجزء

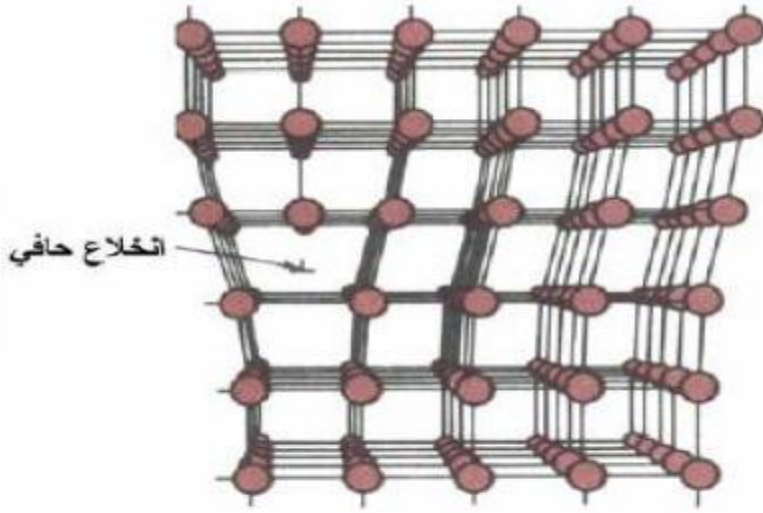
بمقدار ثابت للشبكة البلورية. فنلاحظ وجود نصف مستوي بين المستويين المتتاليين فنقول في التزحزح الطرفي الازاحة تكون عمودية على خط التزحزح. الشكل (2-15) خط التزحزح عمودي على b



الشكل (2-15): تزحزح طرفي

و تعتبر حركة التزحزحات السبب الرئيسي لعمليات تشكيل المعادن كما تعتبر أيضا من العوامل المؤثرة على خاصية الزحف وهي الخاصية الميكانيكية التي يتم على أساسها اختيار المادة الصالحة و المناسبة للاستخدام عن درجات الحرارة العالية و كل ما زادت سهولة حركة الانخلاعات زادت قابلية المادة للتشكيل أو ما يسمى بخاصية اللدونة وهي إحدى الخواص الميكانيكية للمادة.

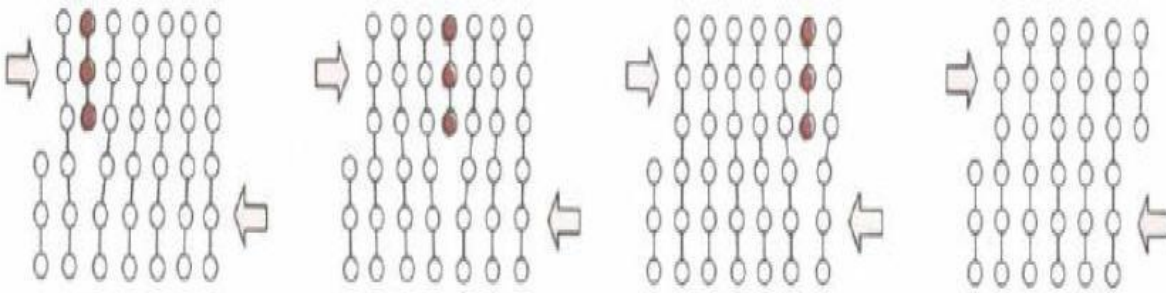
و الانخلاع الحافي كما هو موضح بالشكل (2-16) عبارة عن وجود مستوى من الذرات المقحمة ذاتيا يعمل على إزاحة الذرات المجاورة.



الشكل (2-16): تزحزح طرفي (انخلاع حافي)

إزاحة الذرات المجاورة

وهناك حركة للانخلاع الحافي أو انتقال من مكان إلى آخر حتى ينتهي إلى الحافة أو يفنى نتيجة لتعرض المادة لقوى أو تأثيرات خارجية مثل الشد و الضغط أو درجة الحرارة الشكل (2-17).



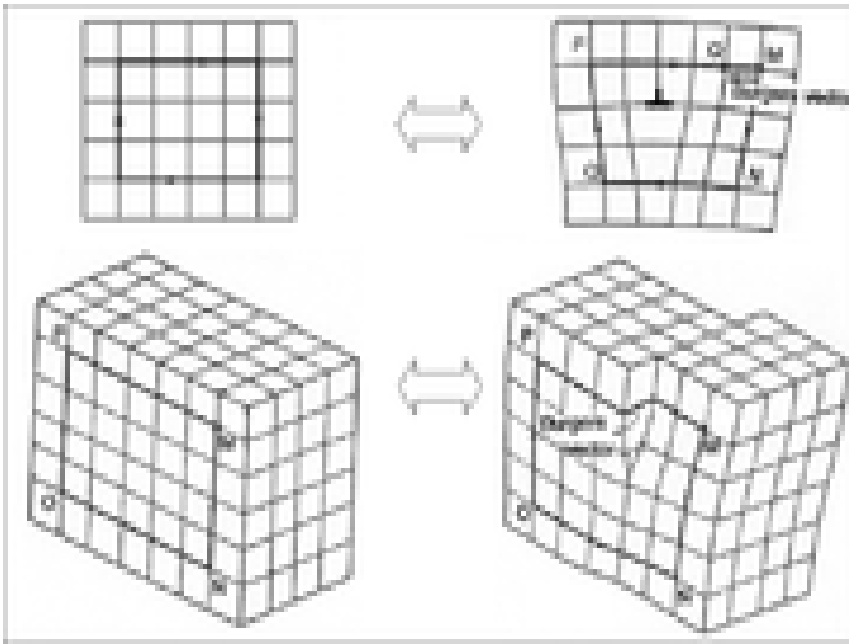
الشكل (2-17): تزحزح طرفي (انخلاع حافي)

انتقال من مكان إلى آخر

- التزحزح اللولبي:

يشتق اسمه من التوضع الحلزوني للمستويات البلورية حول خط التزحزح، وهو صف من الذرات لمستوي حول مسار لولبي ولكن في هذه الحالة أن الإزاحة موازية لخط التزحزح. (خط التزحزح || b).

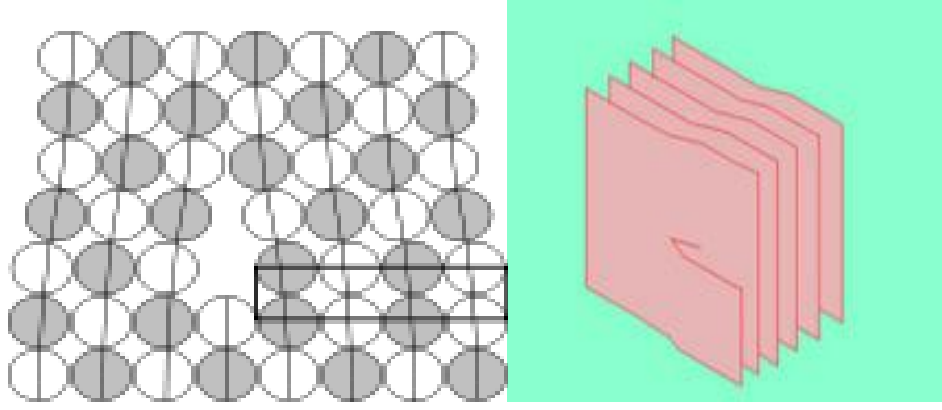
الشكل (18-2).



الشكل (18-2): التزحزح اللولبي

- التزحزح المختلط:

ويتميز بالخواص اللولبية والخطية أي عندما يكون اتجاه الإزاحة كفي بالنسبة لخط التزحزح. يصعب حصول الانفعالات اللدنة في المادة دون وجود التزحزحات. ووفقاً لفرانكل فإن الإجهاد الميكانيكي اللازم لتشويه البلورة التامة يعبر عنه بانزلاق مستوي من الذرات على المستوي الآخر المجاور



الشكل (2-19): التزحزحات المختلفة

هذه العيوب تؤثر سلباً على النوعية البلورية والكهربائية السيليسيوم ويمكن تمييزها بالمجهر الإلكتروني للمسح. كما يمكن إجراء دراسة إحصائية لوجود هذه العيوب داخل العينة من السيليسيوم المحضر وذلك بمهاجمة كيميائية حيث يعمل المحلول الكيميائي المختار على مهاجمة التزحزحات أو إظهارها على السطح. وبذلك يمكن تقدير وجودها لتتم معالجتها. فالدراسة التي تمت على عينات تحتوي على تصدعات عند درجات حرارة عالية بينت أنها تعمل على جذب الشوائب، مثل؛ النحاس والأكسجين. وتقوم بتثبيته في السيليسيوم متعدد البلورات فتصبح مراكز إعادة اتحاد وبالتالي تؤثر على الوسائط الكهربائية للخلايا الشمسية.

2--5-3-2-3- العوامل المؤثرة على حركة التزحزحات (الانخلاعات):

هناك عدة عوامل تؤثر على حركة الانخلاعات وبالتالي تؤثر على قابلية المادة للتشكيل ونذكر منها:

1- حجم الحبيبات :

كلما قل حجم الحبيبات زادت حدود الحبيبات التي تعيق تحرك الانخلاعات وبالتالي تصبح المادة مقاومة للتشكيل أقل لدونة (ومقاومة للاحتكاك) أكثر صلادة.

2- درجة الحرارة:

كلما زاد تدرج الحرارة زادت حركة الانخلاعات وبالتالي تصبح المادة أكثر قابلية للتشكيل.

3-التشكيل على البارد:

أو بمعنى آخر تأثير القوة على المادة والتي تساعد على تولد الانخلاعات وإعاقة حركة بعضها البعض وتصبح المادة مقاومة للتشكيل.

4-وجود الشوائب:

إن وجود الشوائب (الذرات الغريبة) بين ذرات المادة الأصلية يعيق حركة الانخلاعات ويقلل من قابلية المادة للتشكيل.

5-عملية التخمير:

هي إحدى عمليات المعالجة الحرارية التي تتم على المعادن وفيها يتم تسخين المعدن لدرجة حرارة معينة ثم التبريد البطيء وتسمى أيضا عملية التلدين وينتج عن هذه العملية:
أ-تقل كثافة الانخلاعات عن طريق فناء الانخلاعات.

ب-يزداد حجم الحبيبات وبالتالي يقل حجم حدود الحبيبات مما يسهل حركة الانخلاعات
التلدين:

عملية تسخين الفلزات، أو الزجاج أو المواد الأخرى ثم تبريدها، ويتم عادة ببطء. يؤدي التلدين إلى العديد من التغييرات في تركيب وخصائص الفلزات. وأغلب هذه التغييرات مطلوب، فهو مثلاً يجعل الفلزات أكثر ليونة وبذلك تسهل عملية تشكيلها. ويمكن للتلدين أيضاً أن يُخفِّض الضغط الداخلي المسمى الإجهاد من الفلزات. وهذه الإجهادات قد تنشأ خلال صنع المنتجات الفلزية أو خلال استخدامها. والغرض من تلدين الزجاج إزالة الإجهادات الداخلية التي قد تسبب فيما بعد التشقق أو الكسر المفاجئ. ومن المرجح أن تحدث الإجهادات بسبب التوزيع غير المتوازن للحرارة في المادة الزجاجية خلال تبريدها من حالة الانصهار. ويتم تلدين المواد الزجاجية بوضعها على حزام فلزي يتحرك ببطء عبر حاوية تسمى ليهر. ويمكن تلدين مواد رقيقة خلال 30 دقيقة أو أقل.

التقسية:

عملية إكساب الزجاج والفلزات - وبخاصة الفولاذ - درجة صلابة معينة. يسخن الفولاذ أولاً إلى درجة حرارة عالية، ثم يُسقى) يبرد بسرعة) بغمسه في الماء، أو الزيت، أو أي سائل آخر. ثم يسخن ثانية إلى درجة حرارة أقل من الأولى قبل أن يُسقى مرة ثانية، ثم يترك ليبرد ببطء. تغيير هذه العملية التركيب الداخلي للفولاذ. وتتطلب بعض الاستخدامات المختلفة للفولاذ خواصاً مختلفة كدرجات قساوة مختلفة، ودرجات قوة وممتانة مختلفة. وللحصول على هذه الخواص، فإنه يتم إجراء هذه العملية بغازات مختلفة، ودرجات حرارة مختلفة ولفترات متفاوتة الطول. تتشكل طبقة رقيقة من أكسيد الحديد على الفولاذ الذي تتبع معه هذه الطريقة لإكسابه درجة الصلابة

اللازمة. وتختلف ألوان هذه الطبقات التي تعرف بألوان الصلابة، وهي تختلف طبقاً لدرجات الحرارة التي تمت فيها.

ويقسي الزجاج بطريقة مشابهة لهذه، فيحمى عليه حتى يصبح ليناً تقريباً، ثم يبرد بموجات من الهواء، أو بغمسه في الزيت أو أي سائل آخر. وزجاج الأمان المقوى أقسى من الزجاج العادي بخمسة أضعاف. وقد يستخدم هذا النوع من الزجاج لدق المسامير في الخشب، ويمكن ضرب بعض أنواع الزجاج المقسى بالمطرقة دون أن يكسر.

6- فناء الانخلاعات:

ويحدث الفناء عندما يتقابل انخلاع حافي علوي \perp مع انخلاع آخر سفلي \top وتتحد مع بعضها.

2-3-2-3-5- العيوب السطحية:

تمثل العيوب السطحية الحدود ما بين المناطق البلورية التامة تقريباً والمناطق المحيطة بها. يشترك في تكوين هذا النوع من العيوب ذرات مستوي بلوري كامل حيث يضطرب التركيب البلوري النموذجي عندما تمتد هذه العيوب في بعدين لتكون سطوحاً داخل البلورة.

توجد العيوب النقطية والخطية داخل المواد، لكننا نتعامل مع مقدار محدود من المادة داخل سطح محدد يحوي عيوباً متنوعة من حيث ترتيب البلورات وتراسها. وأهم هذه العيوب:

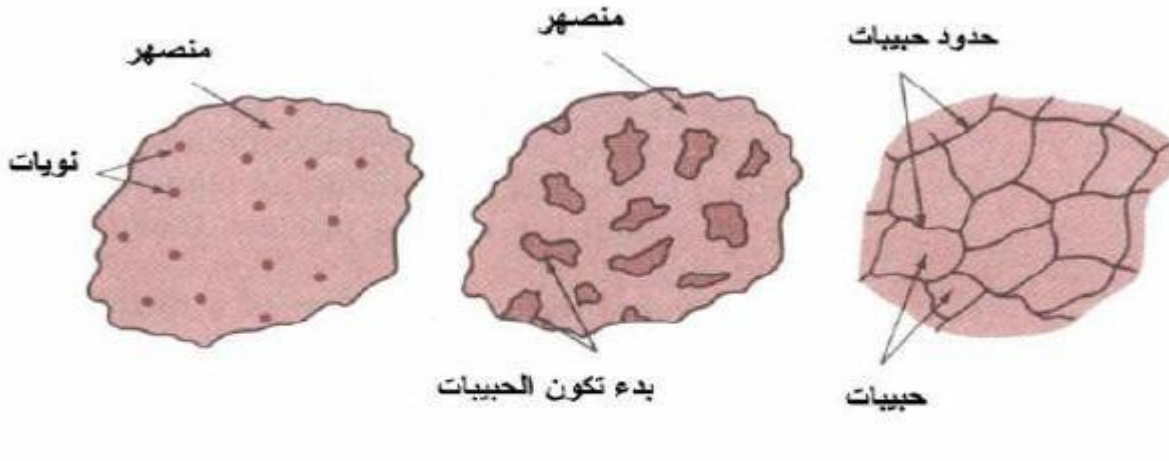
حدود التوأمة وهي الحدود التي تفصل بين منطقتين بلوريتين وتكون الواحدة انعكاساً للأخرى حيث تنتج هذه الحدود بسبب الانفعالات أو بسبب عمليات المعالجة الحرارية.

حدود الحبيبات هي المناطق بين بلورتين متجاورتين. غالباً ما تتقابل الحبيبات وفق أشكال متباينة الاتجاه. إن البنية البلورية الحبيبية هي السمة السائدة في العديد من المواد الهندسية. تؤثر هذه البنية على العديد من خواص المواد. من المهم معرفة بنية حدود الحبيبات التي تعتمد لدرجة كبيرة على التوضع النسبي للحبيبات المتجاورة.

تصادف حدود الحبيبات المائلة التي تنتج عن ميل حبيبتين متجاورتين الواحدة بالنسبة للأخرى بعدة درجات. تكون هذه الحدود محاطة ومعزولة بعدة انخلاعات طرفية. تشمل معظم حدود الحبيبات عدداً من الحبيبات المتجاورة ذات التوضع وفق زوايا متباينة.

يوضح الشكل (2-20) تكون النويات أثناء عملية التبريد للمعدن المنصهر والتي يبدأ منها تكوين الحبيبات بحسب التركيب البلوري للمادة، وكلما زادت سرعة التبريد زاد عدد النويات. وأثناء تكوين هذه الحبيبات يحدث تصادم بين الحبيبات المجاورة ينتج عنها تشوه في التنظيم) حدود الحبيبات، وهذه

المناطق ضعيفة وبالتالي تتآكل سريعا بفعل الأحماض وتسمى العيوب السطحية. يشترك في تكوين هذا النوع من العيوب ذرات مستوي بلوري كامل حيث يضطرب التركيب البلوري النموذجي عندما تمتد هذه العيوب في بعدين لتكون سطوحاً داخل البلورة



الشكل: (2-20): عملية التبلور

والعيوب السطحية ذات بعد ثنائي ومن أهمها الشقوق الحبيبية:

4-2-3-5-2- تعريف الشقوق الحبيبية:

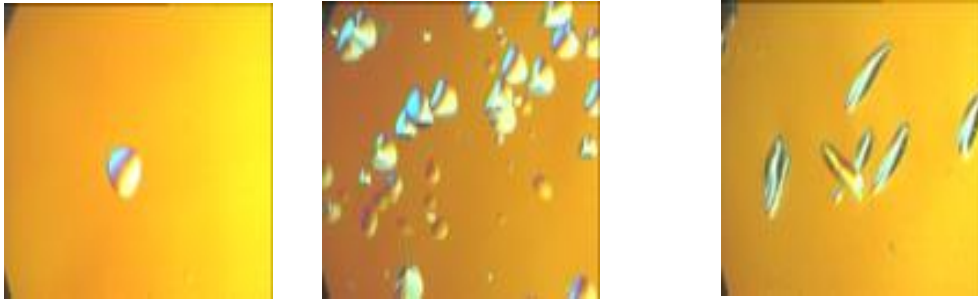
يتخلل السيليسيوم المتعدد البلورات عيب يسمى الشق الحبيبي [41] كتعريف له يمثل السطح البيني بين صلبين مختلفي التوجهات البلورية. عرض هذه المنطقة يرتبط بالعمق الذي يبلغه العيب البلوري داخل كل من الصلبين المتجاورين. تمتد هذه المنطقة على أبعاد توافق المسافات بين الدرات تتعرض لعدة ضغوطات ونجد أيضا أن الروابط الدرية تتعرض لتغيرات أد أنها تنشوه أو تنفكك. يمثل الشق الحبيبي اذن منطقة عيوب معقدة نتج عن الخلل الذي وقع في ترتيب الدرات وروابطها عند منطقة تلامس الصلبين بينت الدراسات الكيميائية والفيزيائية أن الشقوق الحبيبية تظهر على العموم قابلية قوية للتفاعل الكيميائي مهما كانت طريقة تحضير الصلب وتركيزها بالشوائب يجعلها مختلفة عن الحبيبات. وكما سبق ذكره لها تأثير كبير لعرقلة الحوامل الأقلية والإنقاص من قيمتها ولذلك فإنها تؤثر على مردود الخلايا الشمسية.

كما تعتبر الشقوق الحبيبية مناطق عبور تربط بلورات مختلفة الاتجاهات (الشكل 2 - 21) وتكون بنيتها وخصائصها تتعلق بالاتجاهات البلورية المتلاصقة ونميز فيها نوعين:

-شقوق ذات اتجاهات عشوائية ضعيفة أو تحت شق والتي يمكن أن تصنف ضمن عائلة الانزلاقات فتميز حالتين:

-شق ملتو (تابع للتصدعات الركنية) -شق قتل (يتبع للتصدعات اللولبية)

- شقوق ذات اتجاهات جد عشوائية أين تكون المسافة بين التصدعات ضعيفة



السيليسيوم ذو الاتجاه البلوري 111

السيليسيوم ذو الاتجاه البلوري 100

الشكل (21-2): الشقوق الحبيبية في السيليسيوم

6-2- خاتمة:

هناك عدة طرق لتحضير العينات النصف ناقلة أحادية العنصر أو ثنائية و ثلاثية وحتى رباعية. هذه العينات تكون على شكل أحادية البلورة أو متعددة البلورات حسب طريقة التحضير. ومن هنا يمكن تصنيف طرق التحضير إلى عدة أصناف منها ما يستعمل في تحضير المواد أحادية البلور كطريقة بريدجمان، شوكرالسكي و طريقة المنطقة الذائبة. و الصنف الثاني يستعمل في تحضير المساند متعددة البلورات كطريقة سيلسو و بوليكس، و أخيرا الطرق المستعملة في تحضير أشربة منها طريقة القذف الإلكتروني ERP المستعملة في تحضير السيليسيوم متعدد البلورات باستعمال المنطقة الذائبة و طريقة EFG، كما بينا في هذا الفصل مدى تأثير كل من الشقوق الحبيبية، العيوب البلورية على الخصائص الكهربائية للمادة المحضرة

الفصل الثالث: الخلايا الشمسية

3-1- مقدمة:

إن الفلوق من تلوث هواء المدن ومن المطر الحمضي وتسرب النفط والمخاطر النووية وارتفاع حرارة الأرض يحث على إعادة تفحص بدائل الفحم والنفط والطاقة النووية ، وعلى الرغم من أن مصادر الطاقة البديلة ليست خالية من التلويث عموماً ، فإنه يوجد مجال واسع من الخيارات التي يكون ضررها البيئي أقل بكثير من مصادر الطاقة التقليدية .

إن أفضل التقنيات الواعدة هي التي تسخر طاقة الشمس حيث يعتبر التحويل الحراري المباشر للإشعاعات الشمسية إلى طاقة كهربائية عبر الخلايا الشمسية تقنية جديدة ومتطورة وهو صناعة إستراتيجية باعتبارها مصدراً طاقياً مستقبلياً سيكون له الأثر الأكبر في المحافظة على مصادر الطاقة التقليدية ولأغراض أهم واستغلال أثنى علاوة على أن مصدر طاقته مجاني ولا ينضب و نظيف ودون مخلفات أو أخطار .

3-2- مفاهيم عامة:

3-2-1- لمحة عن الطاقة الشمسية:

الشمس هي مصدر الحياة ومصدر الطاقات على الأرض ، فالطاقة الشمسية الواصلة إلى سطح الأرض تتحول إلى شكلين رئيسيين : طاقة كيميائية وطاقة حرارية ، وكل منها يتجلى بعدة مظاهر تؤدي لنشوء عدد من الطاقات.

فعند سقوط أشعة الشمس على أوراق النباتات تدخر في النبات على شكل طاقة كيميائية عضوية وتشكل هيكلًا للنباتات ومصدرًا لغذائه ولغذاء الكائنات الحية بشكل عام.

أما الأثر الحراري للطاقة الشمسية فيتجلى ظاهراً عند سقوط الأشعة الشمسية على الغلاف الجوي حيث أن تراكم الكميات الكبيرة من هذه الطاقة يؤدي لتسخينه تسخيناً متفاوتاً وبالتالي لحدوث التيارات الهوائية وبالتالي ظهور طاقة الرياح ، وعندما تتبخر الكميات الهائلة من مياه البحار والمحيطات فهي تشكل مصدر للطاقة المائية على الأرض والتسخين المباشر لسطح البحار والمحيطات يؤدي لارتفاع درجة حرارة السطح مع المحافظة على درجة الحرارة منخفضة في القاع.

فالطاقة الناتجة من هذه الظاهرة تعرف بالطاقة الحرارية في البحار والمحيطات ، وطاقة المد والجزر ترتبط مباشرة مع الشمس ولو بشكل ضئيل أي بمدى قربها أو بعدها عن الأرض ، ويعتقد أن الطاقة الكامنة الجوفية في سطح الأرض هي طاقة مستمدة من الشمس لأن معظم النظريات الحديثة تؤكد أن الأرض تعود في منشئها إلى الشمس فهي انفصلت عن الشمس (الكوكب الأم) وبردت قشرتها الخارجية أما أعماقها فما زالت ملتهبة تشع الحرارة إلى كافة الجهات .

3-2-2- أهمية الطاقة الشمسية:

يُقصد بالطاقة الشمسية الضوء المنبعث والحرارة الناتجة عن الشمس اللذان قام الإنسان بتسخيرهما لمصلحته منذ العصور القديمة باستخدام مجموعة من وسائل التكنولوجيا التي تتطور باستمرار تعود معظم مصادر الطاقة المتجددة المتوفرة على سطح الأرض إلى الإشعاعات الشمسية بالإضافة إلى مصادر الطاقة الثانوية، مثل طاقة الرياح وطاقة الأمواج والطاقة الكهرومائية والكتلة الحيوية.. من الأهمية هنا أن نذكر أنه لم يتم استخدام سوى جزء صغير من الطاقة الشمسية المتوفرة في حياتنا. يتم

توليد طاقة كهربائية من الطاقة الشمسية بواسطة محركات حرارية أو محولات فولتوضوئية. وبمجرد أن يتم تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، فإن براعة الإنسان هي فقط التي تقوم بالتحكم في استخداماتها. ومن التطبيقات التي تتم باستخدام الطاقة الشمسية نظم التسخين والتبريد خلال التصميمات المعمارية التي تعتمد على استغلال الطاقة الشمسية، والماء الصالح للشرب خلال التقطير والتطهير، واستغلال ضوء النهار، والماء الساخن، والطاقة الحرارية في الطهو، ودرجات الحرارة المرتفعة في أغراض صناعية. تتسم وسائل التكنولوجيا التي تعتمد الطاقة الشمسية بشكل عام بأنها إما أن تكون نظم طاقة شمسية سلبية أو نظم طاقة شمسية إيجابية وفقاً للطريقة التي يتم استغلال وتحويل وتوزيع ضوء الشمس من خلالها. وتشمل التقنيات التي تعتمد على استغلال الطاقة الشمسية الإيجابية استخدام اللوحات الفولطاضوئية والمجمع الحراري الشمسي، مع المعدات الميكانيكية والكهربائية، لتحويل ضوء الشمس إلى مصادر أخرى مفيدة للطاقة. هذا في حين تتضمن التقنيات التي تعتمد على استغلال الطاقة الشمسية السلبية توجيه أحد المباني ناحية الشمس واختيار المواد ذات الكتلة الحرارية المناسبة أو خصائص تشتيت الأشعة الضوئية، وتصميم المساحات التي تعمل على تدوير الهواء بصورة طبيعية.

إن الاستهلاك المفرط وغير المحدود للمواد البترولية أصبح يهدد بنفاذ المخزون الجوفي لهذه المواد، إضافة إلى تلوث البيئة الذي أصبح حقيقة أقرها العالم ومن الآثار السلبية على البيئة:

- ارتفاع نسبة الأوزون في بعض مناطق العالم مثل أوروبا

- تآكل طبقة الأوزون الحامية للأرض

- تزايد غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو وما ينتج عنه من ارتفاع درجة الحرارة على الأرض.

كل هذه الانعكاسات السلبية لاستعمال الطاقة البترولية دفعت الإنسان إلى البحث عن مصادر جديدة للطاقة أقل تلوثاً، وفي محاولة أولى اتجهت الأنظار إلى الطاقة الذرية التي وقع اكتشافها على ألبرت اينشتاين إلا أن هذا الاتجاه لم يدم طويلاً نظراً إلى الانعكاسات التي خلفتها هذه الطاقة على البيئة وعلى الحياة الإنسانية بصفة عامة.

وخلاصة القول فإن محدودية المخزون الجوفي من المواد البترولية والتلوث الناتج عن استعمال هذه المواد والمخاطر المنجزة عن استعمال الطاقة الذرية وغزو الفضاء دفعت الإنسان إلى البحث عن أشكال أخرى من الطاقة سميت جديدة ومتجددة، ولعل الطاقة الفولطاضوئية أهم تلك الطاقات على الإطلاق.

3-2-3- الإشعاع الشمسي:

الشمس كرة غازية يبلغ قطرها 1391000 كم وتفصلها عن الأرض مسافة يبلغ معدلها 149598000 كم ونظرا إلى أن المدار الأرضي شبه دائري فإن انحرافه المركزي لا يتعدى 0.01675 لذا فإنه لا يلاحظ سوى تغير بسيط في المسافة بين الأرض والشمس بنسبة لا تفوق 1.65 % من معدل المسافة وتكون هذه المسافة في حدها الأدنى في أوائل شهر جانفي وفي حدها الأقصى في أوائل شهر جويلية , وينتج عن اقتراب الكرة الأرضية وابتعادها عن الشمس تغير في القطر الزاوي من 31.25 إلى 32.30 مما يؤدي إلى تغيير يسير في شدة الإضاءة المرسلّة من الشمس يقدر ب 3.3 % أي ضعف النسبة المسجلة على المسافة وتبلغ هذه النسبة أقصاها في الشتاء كما تتغير شدة الإضاءة بين فترات " الشمس الهادئة" وفترات ظهور " الكلف الشمسية الكبرى" بنسبة لا تتجاوز 4 % . ويمكن تقدير هذه الإضاءة بسهولة إذا عرفنا درجة حرارة سطح الطبقة المضيفة للشمس وبشكل عام يمكن اعتبار الشمس جسما أسود مشعا درجة حرارته 800 كلفن, والإشعاع الشمسي مكون من موجات كهرومغناطيسية ذات طول موجي معين والنظرية الكمية للفيزياء تعتبر الموجات الكهرومغناطيسية كجسيمات, ويسمى الجسيم في حالة الموجات الضوئية فوتون.

3-2-4- أنواع الإشعاع:

يتكون الإشعاع الذي يصل إلى سطح الأرض من إشعاع شمسي مباشر ومنتشر بحيث يكون مجموعهما الإشعاع الجملي, أما الإشعاع المنتشر فإنه يأتي من القبة الزرقاء وليس له اتجاه مفضل, وبالطبع فإن الإشعاع المنتشر يحتوي على اللون الأزرق أكثر من الإشعاع الجملي, وتتوقف الأهمية بالنسبة للإشعاع المباشر والمنتشر في الإشعاع الجملي على ما نريد تحقيقه, وبالنسبة للخلايا الشمسية التي تعتبر أساسا مستقبلات انتقائية فإن استجابتها المتعلقة بطول الموجة الضوئية الواردة تشكل خاصية هامة, ولهذه الاعتبارات فإن الإشعاع الواصل إلى سطح الأرض متغير تبعا للزمن أي حسب الساعة والفصل, يحصل التدفق الشمسي الواصل إلى سطح ما من الأرض باتجاه وميل معينين إلى توزيع طيفي يرتبط ب: خط عرض هذا السطح, ارتفاعه فوق المستوي الأفقي, الفترة الزمنية من السنة, اللحظة المعتبرة في اليوم وطبيعة الطبقات الجوية.

3-2-5- الطاقة الشمسية:

تعتبر الطاقة الشمسية الطاقة الأم فوق كوكب الأرض حيث تنبعث من أشعتها كل الطاقات فوقه. لأنها تسير كل ماكينات و آلية الأرض بتسخين الجو المحيط واليابسة وتولد الرياح وتصريفها، وتدفع دورة تدوير المياه ، و تدفئ المحيطات ، و تساعد على نمو النباتات و إطعام الحيوانات . و مع الزمن تكون الوقود الإحفوري في باطن الأرض . وهذه الطاقة يمكن تحويلها مباشرة أو بطرق غير مباشرة لحرارة و برودة و كهرباء و قوة محرركة . وأشعة الشمس أشعة كهرومغناطيسية. و طيفها المرئي يشكل 49% و الغير مرئي كالأشعة فوق بنفسجية يشكل 2% و الأشعة دون حمراء 49%. و الطاقة الشمسية تختلف حسب حركتها و بعدها من الأرض. كما تصل إلى المنازل عبر الألواح الشمسية و تختلف كثافة أشعة الشمس و شدتها فوق خريطة الأرض حسب فصول السنة فوق نصفي الكرة الأرضية و بعدها عن الأرض و ميولها و وضعها فوق المواقع الجغرافية طوال النهار أو خلال السنة، و حسب كثافة السحب التي تحجبها. لأنها تقلل أو تتحكم في كمية الأشعة التي تصل لليابسة . عكس السماء الصحوه الخالية من السحب أو الأدخنة. وأشعة الشمس تسقط علي الجدران والنوافذ واليابسة والبنائيات والمياه، وتمتص الأشعة وتخزنها في كتلة (مادة) حرارية. وهذه الحرارة المخزونة تشع بعد ذلك داخل المباني . وتعتبر هذه الكتلة الحرارية نظام تسخين شمسي يقوم بنفس وظيفة البطاريات في نظام كهربائي شمسي(الفولتية الضوئية) .فكلاهما يخترن حرارة الشمس لتستعمل فيما بعد. والمهم معرفة أن الأسطح الغامقة تمتص الحرارة و لا تعكسها كثيرا ، لهذا تسخن . عكس الأسطح الفاتحة التي تعكس حرارة الشمس لهذا لا تسخن. و الحرارة تنتقل بثلاث طرق ،إما بالتوصيل من خلال مواد صلبة، أو بالحمل من خلال الغازات، أو السوائل ، أو بالإشعاع. و من هنا نجد الحاجة لانتقال الحرارة بصفة عامة لنوعية المادة الحرارية التي ستخترنها، لتوفير الطاقة و تكاليفها .لهذا توجد عدة مبادئ يتبعها المصممون لمشروعات الطاقة الشمسية، من بينها قدرة المواد الحرارية المختارة، علي تجميع وتخزين الطاقة الشمسية حتى في تصميم البنائيات واختيار مواد بنائها حسب مناطقها المناخية سواء في المناطق الحارة أو المعتادة أو الباردة . كما يكونون علي بينة بمسقط الشمس علي المبني و البيئة من حوله كقربه من المياه واتجاه الرياح والخضرة ونوع التربة، والكتلة الحرارية التي تشمل الأسقف والجدران و خزانات الماء. كل هذه الاعتبارات لها أهميتها في امتصاص الحرارة أثناء النهار و تسربها أثناء الليل.

3-2-6- أساليب تخزين الطاقة:

لا يمكن الحصول على الطاقة الشمسية خلال الليل ومن ثم، يُعد تخزين الطاقة أمراً ضرورياً لأن أنظمة الطاقة الحديثة تحتاج إلى مصدر طاقة متاح طوال الوقت.

إن نظم الكتل الحرارية تستطيع تخزين الطاقة الشمسية في صورة حرارة في درجات حرارة مفيدة للأغراض المنزلية سواءً بشكل يومي أو على مدار الموسم. وتستخدم أجهزة تخزين الحرارة بشكل عام المواد المتاحة بالفعل ذات سعة حرارية نوعية عالية، مثل الماء والتراب والأحجار. وتستطيع الأجهزة جيدة الصنع أن تقلل توقعات الطلب القصوى من الطاقة وتحول مدة الاستخدام إلى الاستخدام في غير ساعات الذروة وتقلل من متطلبات التسخين والتبريد الكلية. تعد المواد متغيرة الطور مثل شمع البارافين وملح جلوبير من مصادر تخزين الطاقة الحرارية أيضاً. وهذه المواد تكون غير مكلفة وجاهزة للاستخدام ويمكنها الوصول إلى درجات حرارة مفيدة للأغراض المنزلية (64 درجة مئوية تقريباً). يمكن تخزين الطاقة الشمسية بدرجات حرارة عالية جداً باستخدام الأملاح المذابة. وتُعد الأملاح وسيلة فعالة للتخزين لأنها منخفضة التكلفة ولها سعة حرارية نوعية عالية ويمكن أن تجعل درجة الحرارة تصل إلى درجات مناسبة لتلك الخاصة بأجهزة تخزين الطاقة العادية. من المعتاد أن تستخدم الأجهزة الفولطاضوية غير المتصلة بالشبكة البطاريات القابلة للشحن لتخزين الكهرباء الزائدة. وبواسطة الأجهزة المتصلة بالشبكة، يمكن إرسال الكهرباء الزائدة إلى شبكة النقل. وبرامج قياس الشبكة تمنح هذه الأجهزة بيان بكمية الكهرباء التي تقوم بتوصيلها إلى الشبكة. وهذا البيان يكون معادلاً للكهرباء التي توفرها الشبكة عندما لا يستطيع الجهاز تلبية الاحتياجات الكهربائية، باستخدام الشبكة كوسيلة تخزين فعالة.

3-2-7- الشمس والأرض:

تستقبل الأرض يومياً 174 بيتا وات من أشعة الشمس في الطبقات العليا للغلاف الجوي ، عند تقابل أشعة الشمس مع الغلاف الجوي تنعكس منها 6% ويُمتص 16% ، مع ملاحظة أن ظروف الطقس الطبيعية كال(سحب ، غيوم ، تلوث) تنقص بشدة من أشعة الشمس أثناء تنقلها عبر الغلاف الجوي بمقدار 20% بسبب الانعكاس و 3% بسبب الامتصاص . هذه الظروف الجوية لا تقلل فقط من كمية الطاقة الواصلة لسطح الأرض ولكن تنشر أيضاً قرابة 20% من الضوء القادم وترشح نصيب من طيفه . بعد المرور خلال الغلاف الجوي، نصف أشعة الشمس تقريباً تصبح في الطيف المغناطيسي الكهربائي المرئي مع النصف الآخر غالباً في طيف الأشعة تحت الحمراء (جزء صغير يكون أشعة فوق بنفسجية). امتصاص الطاقة الشمسية عن طريق الحمل الحراري بالغلاف الجوي (ناقل الحرارة الحساسة) و

التبخّر والتكثيف لبخار الماء (ناقل الحرارة الكامنة) يقوي دورة الماء الطبيعية ويجري الرياح . ضوء الشمس الممتص عن طريق الرياح والكتل الأرضية يبقي سطح الأرض على درجة حرارة في معدل 14 درجة مئوية . مداولة الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية بواسطة التركيب الضوئي في الطعام المنتج ، الأخشاب و الأماكن التي يستخرج منها الوقود الحفري . أشعة الشمس على الموازاة مع مصادر شمسية ثانوية كالرياح وحركة الأمواج ، كهرباء المياه والحفريات الحيوية . تقدر ب 99.9% من فيض الطاقة المتجددة على الأرض . يلاحظ أن كمية الطاقة الشمسية في البيئة ضخمة بما يكفي لتلبية احتياجات البشر من الطاقة .

3-2-8- طرق توليد الطاقة الكهربائية:

إن عملية توليد أو إنتاج الطاقة الكهربائية هي في الحقيقة عملية تحويل الطاقة من شكل إلى آخر حسب مصادر الطاقة المتوفرة في مراكز الطلب على الطاقة الكهربائية وحسب الكميات المطلوبة لهذه الطاقة ، الأمر الذي يحدد أنواع محطات التوليد وكذلك أنواع الاستهلاك وأنواع الوقود ومصادره كلها تؤثر في تحديد نوع المحطة ومكانها وطاقتها.

نذكر هنا بعض أنواع محطات التوليد المستعملة على صعيد عالمي:

محطات التوليد البخارية.

محطات التوليد النووية.

محطات التوليد المائية.

محطات التوليد من المد والجزر.

محطات التوليد ذات الاحتراق الداخلي (ديزل – غازية)

محطات التوليد بواسطة الرياح .

محطات التوليد بالطاقة الشمسية.

والشكل (3-1) يوضح بعض محطات التوليد للطاقة المتجددة.



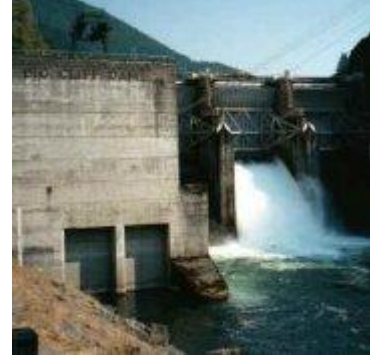
خلايا تجميع الطاقة الشمسية



الشمس



توربينات توليد الطاقة من الرياح



توليد الطاقة من المياه

الشكل (1-3): بعض مصادر الطاقة المتجددة

9-2-3- بعض أنواع محطات التوليد:

9-2-3-1--محطات التوليد البخارية:

تعتبر محطات التوليد البخارية محولا للطاقة وتستهلك هذه المحطات أنواع مختلفة من الوقود حسب الأنواع المتوفرة مثل الفحم الحجري أو البترول السائل أو الغاز الطبيعي أو الصناعي

تمتاز المحطات البخارية بـ كبر حجمها ورخص تكاليفها بالنسبة لإمكاناتها الضخمة كما تمتاز بإمكانية استعمالها لتحلية المياه المالحة ، الأمر الذي يجعلها ثنائية الإنتاج خاصة في البلاد التي تقل فيها مصادر المياه العذبة. تتحكم في اختيار المواقع المناسبة لمحطات التوليد الحرارية عدة عوامل مؤثرة نذكر منها ما يلي :

القرب من مصادر الوقود وسهولة نقله إلى هذه المواقع وتوفير وسائل النقل الاقتصادية .
القرب من مصادر مياه التبريد لأن المكثف يحتاج إلى كميات كبيرة من مياه التبريد. لذلك تبنى هذه المحطات عادة على شواطئ البحار أو بالقرب من مجاري الأنهار .
القرب من مراكز استهلاك الطاقة الكهربائية لتوفير تكاليف إنشاء خطوط النقل . مراكز الاستهلاك هي عادة المدن والمناطق السكنية والمجمعات التجارية والصناعية

وتعتمد محطات التوليد البخارية على استعمال نوع الوقود المتوفر وحرقة في أفران خاصة لتحويل الطاقة الكيميائية في الوقود إلى طاقة حرارية في اللهب الناتج من عملية الاحتراق ثم استعمال الطاقة الحرارية في تسخين المياه في مراحل خاصة (BOILERS) وتحويلها إلى بخار في درجة حرارة وضغط معين ثم تسليط هذا البخار على عنفات أو توربينات بخارية صممت لهذه الغاية فيقوم البخار السريع بتدوير محور التوربينات وبذلك تتحول الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية على محور هذه التوربينات .

لا يوجد فوارق أساسية بين محطات التوليد البخارية التي تستعمل أنواع الوقود المختلفة إلا من حيث طرق نقل وتخزين وتداول وحرق الوقود . وقد كان استعمال الفحم الحجري شائعا في أواخر القرن الماضي وأوائل هذا القرن ، إلا أن اكتشاف واستخراج البترول ومنتجاته أحدث تغييرا جذريا في محطات التوليد الحرارية حيث أصبح يستعمل بنسبة تسعين بالمائة لسهولة نقله وتخزينه وحرقة إن كان بصورة وقود سائل أو غازي

مكونات محطات التوليد البخارية:

تتألف محطات التوليد البخارية بصورة عامة من الأجزاء الرئيسية التالية:

أ - الفرن:

وهو عبارة عن وعاء كبير لحرق الوقود . ويختلف شكل ونوع هذا الوعاء وفقا لنوع الوقود المستعمل ويلحق به وسائل تخزين ونقل وتداول الوقود ورمي المخلفات الصلبة.

ب- المرجل:

وهو وعاء كبير يحتوي على مياه نقية تسخن بواسطة حرق الوقود لتتحول هذه المياه إلى بخار . وفي كثير من الأحيان يكون الفرن والمرجل في حيز واحد تحقيقا للاتصال المباشر بين الوقود المحترق والماء المراد تسخينه وتختلف أنواع المراجل حسب حجم المحطة وكمية البخار المنتج في وحدة الزمن.

ج - العنفة الحرارية أو التوربين :

وهي عبارة عن عنفة من الصلب لها محور ويوصل به جسم على شكل أسطوانة مثبت به لوحات مقعرة يصطدم فيها البخار فيعمل على دورانها ويدور المحور بسرعة عالية جدا حوالي 3000 دورة بالدقيقة وتختلف العنفات في الحجم والتصميم والشكل باختلاف حجم البخار وسرعته وضغطه ودرجة حرارته ، أي باختلاف حجم محطة التوليد.

د (المولد الكهربائي :

هو عبارة عن مولد كهربائي مؤلف من عض دوار مربوط مباشرة مع محور التوربين وعضو ثابت . ويلف العضوين بالأسلاك النحاسية المعزولة لتنتقل الحقل المغناطيسي الدوار وتحوله إلى تيار كهربائي على أطراف العضو الثابت . ويختلف شكل هذا المولد باختلاف حجم المحطة

هـ - المكثف:

وهو عبارة عن وعاء كبير من الصلب يدخل إليه من الأعلى البخار الآتي من التوربين بعد أن يكون قد قام بتدويرها وفقد الكثير من ضغطه ودرجة حرارته ، كما يدخل في هذا المكثف من أسفل تيار من مياه التبريد داخل أنابيب حلزونية تعمل على تحويل البخار الضعيف إلى مياه حيث تعود هذه المياه إلى المراجل مرة أخرى بواسطة مضخات خاصة.

و- المدخنة:

وهي عبارة عن مدخنة من الأجر الحراري أسطوانية الشكل مرتفعة جدا تعمل على طرد مخلفات

الاحتراق الغازية إلى الجو على ارتفاع شاهق للإسراع في طرد غازات الاحتراق والتقليل من تلوث البيئة المحيطة بالمحطة .

ز- الآلات والمعدات المساعدة:

وهي عبارة عن عدد كبير من المضخات والمحركات الميكانيكية والكهربائية ومنظمات السرعة ومعدات تحميص البخار التي تساعد على إتمام العمل في محطات التوليد

3-2-9-2-3-محطات التوليد النووية :

محطات التوليد النووية نوعا من محطات التوليد الحرارية لأنها تعمل بنفس المبدأ وهو توليد البخار بالحرارة وبالتالي يعمل البخار على تدوير التوربينات التي بدورها تدور الجزء الدوار من المولد الكهربائي وتولد الطاقة الكهربائية على أطراف الجزء الثابت من هذا المولد. والفرق في محطات التوليد النووية أنه بدل الفرن الذي يحترق فيه الوقود يوجد هنا مفاعل ذري تتولد في الحرارة نتيجة انشطار ذرات اليورانيوم بضربات الإلكترونات المتحركة في الطبقة الخارجية للذرة وتستغل هذه الطاقة الحرارية الهائلة في غليان المياه في المراجل وتحويلها إلى بخار ذي ضغط عال ودرجة مرتفعة جدا.

تحتوي محطة التوليد النووية على الفرن الذري الذي يحتاج إلى جدار عازل وواق من الإشعاع الذري وهو يتكون من طبقة من الأجر الناري وطبقة من المياه وطبقة من الحديد الصلب ثم طبقة من الأسمنت تصل إلى سمك مترين وذلك لحماية العاملين في المحطة والبيئة المحيطة من التلوث بالإشعاعات الذرية

3-2-9-3-محطات التوليد المائية :

حيث توجد المياه في أماكن مرتفعة كالبحيرات ومجاري الأنهار يمكن التفكير بتوليد الطاقة ، خاصة إذا كانت طبيعة الأرض التي تهطل فيها الأمطار أو تجري فيها الأنهار جبلية ومرتفعة. ففي هذه الحالات يمكن توليد الكهرباء من مساقط المياه . أما إذا كانت مجاري الأنهار ذات انحدار خفيف فيقتضي عمل سدود في الأماكن المناسبة من مجرى النهر لتخزين المياه . تنشأ محطات التوليد عادة بالقرب من هذه السدود. إذا كان مجرى النهر منحدرًا انحدرًا كبيرًا فيمكن عمل تحويلة في مجرى النهر باتجاه أحد الوديان المجاورة وعمل شلال اصطناعي . هذا بالإضافة إلى الشلالات الطبيعية التي تستخدم مباشرة لتوليد الكهرباء. وبصورة عامة أن أية كمية من المياه موجودة على ارتفاع معين تحتوي على طاقة كامنة في موقعها . فإذا هبطت كمية المياه إلى ارتفاع ادني تحولت الطاقة الكامنة إلى طاقة حركية . وإذا

سلطت كمية المياه على توربينة مائية دارت بسرعة كبيرة وتكونت على محور التوربينة طاقة ميكانيكية . وإذا ربطت التوربينة مع محور المولد الكهربائي تولد على أطراف العضو الثابت من المولد طاقة كهربائية

مكونات محطة التوليد المائية:

تتألف محطة توليد الكهرباء المائية بصورة عامة من الأجزاء الرئيسية التالية.

أ- مساقط المياه (المجرى المائل):

وهو عبارة عن أنبوب كبير أو أكثر يكون في أسفل السد أو من أعلى الشلال إلى مدخل التوربينة وتسيل في المياه بسرعة كبيرة . يوجد سكر في أوله بوابة وسكر آخر في آخره للتحكم في كمية المياه التي تدور التوربينة .
تجدر الإشارة إلى أن السدود وبوابات التحكم وأقنية المياه الموصلة للأنابيب المائلة تختلف حسب كمية المياه وأماكن تواجدها .

ب- التوربين:

تكون التوربينة والمولد عادة في مكان واحد مركبين على محور رأسي واحد . يركب المولد فوق التوربينة . وعندما تفتح البوابة في أسفل الأنابيب المائلة تتدفق المياه بسرعة كبيرة في تجاويف مقعرة فتدور بسرعة وتدير معها العضو الدوار في المولد حيث تتولد الطاقة الكهربائية على أطراف هذا المولد .

ج- أنبوبة السحب:

بعد أن تعمل المياه المتدفقة في تدوير التوربين فلا بد من سحبها للخارج بسرعة ويسر حتى لا تعوق الدوران. لذا توضع أنابيب بأشكال خاصة لسحبها للخارج بالسرعة اللازمة.

د- المعدات والآلات المساعدة:

تحتاج محطات التوليد المائية آلي العديد من الآلات المساعدة مثل المضخات والبوابات والمفاتيح ومعدات تنظيم سرعة الدوران وغيرها .

3-3- محطات التحويل:

تعتبر محطات التحويل من إحدى المكونات الرئيسية لأي نظام كهربائي ، إذ أن المنظومة الكهربائية كما هو الحال في دارة كهربائية بسيطة تتكون من مصدر للطاقة وخطوط نقلها وتوزيعها ومن ثم الجهة المستهلكة لها، و دور محطات التحويل في هذه المنظومة هو دور كبير له أهميته حيث يتمثل بتحويل الفولتيات من قيم لأخرى حتى يتم نقلها أو التعامل معها بسهولة وسلامة كاملة.

3-4- تعريف الخلايا الشمسية ومبدأ عملها:

3-4-1- تعريف الخلايا الشمسية:

إن الخلايا الشمسية هي عبارة عن محولات فولطاضوئية تقوم بتحويل ضوء الشمس المباشر إلي كهرباء ، وهي نبات شبيهة بموصلات وحساسات ضوئية ومحاطة بغلاف أمامي وخلفي موصل للكهرباء .

لقد تم إنماء تقنيات كثيرة لإنتاج الخلايا الشمسية عبر عمليات متسلسلة من المعالجات الكيميائية والفيزيائية والكهربائية على شكل متكاثف ذاتي الآلية أو عالي الآلية، كما تم إنماء مواد مختلفة من أشباه الموصلات لتصنيع الخلايا الشمسية على هيئة عناصر كعنصر السيليسيوم أو على هيئة مركبات كمركب الجاليوم زرنيخ وكربيد الكادميوم وفوسفيد الأنديوم وكبريتيد النحاس وغيرها من المواد الواعدة لصناعة الفولطاضوئيات.

3-4-2- توليد الطاقة باستخدام الخلايا الشمسية :

بدأت صناعة هذه الخلايا في الخمسينات وقد صنعت الخلية الشمسية الأولى من السليكون ومنذ ذلك الوقت وحتى الآن أدخلت تعديلات عديدة في كيفية صناعة هذه الخلايا وكذلك توسيع قاعدة المواد التي تصلح لهذه الخلايا.

ولا زالت الأبحاث جارية في هذا المضمار وذلك لتخفيض تكلفة هذه الخلايا التي لا زالت عالية حتى الآن ، فهذه الطاقة تتميز بمواصفات تجعلها الأفضل بدون منازع لجميع أنواع الطاقات الأخرى فهي:

1- طاقة هائلة يمكن استغلالها في أي مكان

2- تشكل مصدراً مجانياً للوقود الذي لا ينضب

3- طاقة نظيفة لا تنتج أي نوع من أنواع التلوث البيئي.

4- محدودية مصادر الطاقة التقليدية .

3-4-3- مردود التحول:

الخلايا الشمسية محولات تأخذ طاقة من أشعة الشمس وتحولها إلى نوع آخر من الطاقة حيث تحول الخلايا الشمسية نور الشمس إلى كهرباء وتطرد كمية كبيرة من الحرارة بدون أي أجزاء مؤثرة (ضوء أو تلوث أو إشعاع أو صيانة..).

مردود التحول هو النسبة بين الاستطاعة العظمى المقدمة من طرف الخلية الشمسية و الاستطاعة الضوئية التي تستقبلها, و يرتبط مردود التحول بالطيف الشمسي. فعند سطح الأرض الطيف الشمسي يتغير مع التغيرات الجوية المحلية و بدلالة مميزات الامتصاص للمادة النصف ناقلة لأن جزء كبير من الطيف سيستعمل في التحول الفولطاضوئي

يعطى مردود التحويل للخلية الشمسية الأولية المثالية بالعلاقة:

$$\eta = I.E_g / q.M$$

I التيار و M الاستطاعة الواردة من الشمس, ويأخذ المردود بعين الاعتبار عوامل ضياع أخرى تتمثل في: الطاقة الفائضة, الانعكاس على السطح, مردود التجميع, معامل التوتر وكذلك معامل المنحنى أو معامل الشكل مع ملاحظة بأن أكبر منطقة للطاقة المتحولة بواسطة الأشعة الشمسية موضوعة في الجزء المرئي من الطيف الضوئي [42] والجدول رقم (3- 1) [43] يوضح ذلك

النسبة المئوية للإشعاع I_0	نطاق-شريط- الإشعاع	الطول الموجي (μm)	ألوان الطيف
7.96	108.85	0.390 - 0.445	بنفسجي
5.39	73.63	0.455 – 0.492	أزرق
11.70	160.00	0.492 – 0.577	أخضر
2.63	35.97	0.577 – 0.597	أصفر
3.16	43.14	0.597 – 0.622	برتقالي
15.75	212.82	0.622 – 0.770	أحمر
مجمل مناطق الطيف			
7.19	98.30	< 0.39	فوق البنفسجي
46.41	634.40	0.390 – 0.770	المرئي
46.40	634.30	> 0.770	تحت الأحمر

الجدول (1-3): الأشرطة الطيفية لمختلف مناطق الإشعاع الشمسي

أنصاف النواقل التي لها حساسية للأشعة ما تحت الحمراء تقدم طاقة قليلة وبالتالي لا تساهم في التحول ولكنها تعمل على حراسة الأشعة ما تحت الحمراء . بالنسبة للمواد الأخرى حيث الحساسية تكون عظمى في منطقة الأشعة فوق البنفسجية ، لا تساهم في التحول الطاقى وهذا ناجم عن امتصاصها المحدود للأشعة فوق البنفسجية فقط، وبالتالي يكون التحول غير كاف لإعطاء مردود جيد

يتعلق تحول الأشعة الضوئية إلى طاقة كهربائية تعلقا كبيرا بمادة صنع الخلايا الشمسية لذلك يفضل استعمال أنصاف النواقل.

3-4-4- مميزات استعمال هذه المنظومة:

- 1- هذه الخلايا الشمسية بسيطة ولا تتضمن أي أجزاء متحركة. 2- لا تتطلب مولدات القدرة الشمسية أي صيانة تكنولوجية، وبالتالي لا توجد تكلفة عملية للصيانة أو التشغيل. 3- لا تتطلب إعادة حك بالوقود .
- 4- لا تنتج أية عوادم تلوث للهواء . 5- قادرة على العمل بكفاءة وجودة عالية في كثير من الاستخدامات .
- 6- يمكن استخدامها لمدة طويلة غير محدودة . 7- لا تتأثر بالأحوال الجوية أو تغيرات الطقس أو الأحوال المحيطة.

3-5- ميكانيكية تيار الخلايا الشمسية:

الخلية الشمسية للتطبيقات الأرضية هي رقاقة رقيقة من السيليسيوم مشابه بمقادير صغيرة من الشوائب لإعطاء جانب واحد شحنة موجبة والجانب الآخر شحنة سالبة مكونة ثنائياً ذا مساحة كبيرة .

تولد الخلايا الشمسية قدرة كهربائية عندما تتعرض لضوء الشمس حيث الضوئيات (الفوتونات) والتي يحمل كل منها كمّاً طاقياً محدداً يكسب الإلكترونات الحرة طاقة تجعلها تهتز حرارياً وتكسر الرابط الذري بالشبكة بالمادة الشبه موصلة ويتم تحرير الشحنات وإنتاج أزواج من الإلكترون في الفراغ .

تنتقل بعد ذلك حاملات الشحنة هذه متجهة نحو وصلة التثائي متنقلة بين نطاقي التوصيل والتكافؤ عبر الفجوة الطاقوية وتتجمع عند السطح الأمامي والخلفي للخلية محدثة سريان تيار كهربى مستمر عند توصيل الخلية بمحمل كهربى وتبلغ القدرة الكهربائية المنتجة للخلية الشمسية عادة واحد وات.

3-5-1- أنواع الخلايا الشمسية التجارية :

تم تصنيع خلايا شمسية من مواد مختلفة إلا أن أغلب هذه المواد نادرة الوجود بالطبيعة أولها خواص سامة ملوثة للبيئة أو معقدة التصنيع وباهظة التكاليف وبعضها لا يزال تحت الدراسة والبحث وعليه فقد تركز الاهتمام على تصنيع الخلايا الشمسية السيليكونية وذلك لتوفير عنصر السيليسيوم في الطبيعة علاوة على أن العلماء والباحثين تمكنوا من دراسة هذا العنصر دراسة مستفيضة وتعرفوا على خواصه المختلفة وملاءمته لصناعة الخلايا الشمسية المتبلرة ومتصدعة التبلر.

3-1-5-1- الخاليا الشمسية السيليكونية الأمورفية (متصدعة التبلر) :

مادة هذه الخاليا ذات شكل سيليكوني حيث التكوين البلوري متصدع لوجود عنصر الهيدروجين أو عناصر أخرى أدخلت قصداً لتكسبها خواص كهربية مميزة وخاليا السيليسيوم الأمورفي [44] زهيدة التكلفة عن خاليا السيليسيوم البلوري حيث ترسب طبقة شريطية رقيقة باستعمال كميات صغيرة من المواد الخام المستخدمة في عمليات قليلة مقارنة بعمليات التصنيع البلوري . ويعتبر تصنيع خاليا السيليسيوم الامورفي أكثر تطويعاً وملاءمة للتصنيع المستمر ذاتي الآلية .

تتراوح كفاءة خاليا هذه المادة ما بين 4 – 9 % بالنسبة للمساحة السطحية الكبيرة وتزيد عن ذلك بقليل بالنسبة للمساحة السطحية الصغيرة وإن كان يتأثر استقرارها بالإشعاع الشمسي.

3-1-5-2- الخاليا الشمسية السيليكونية المتبلرة :

تصنع هذه الخاليا من السيليسيوم عبر إنماء قضبان من السيليسيوم أحادي أو عديد التبلر ثم يؤرب إلي رقائق و تعالج كيميائياً وفيزيائياً عبر مراحل مختلفة لتصل إلي خاليا شمسية .

كفاءة هذه الخاليا عالية تتراوح بين 9 – 17 % والخاليا السيليكونية أحادية التبلر غالية الثمن حيث صعوبة التقنية واستهلاك الطاقة بينما الخاليا السيليكونية عديدة التبلر تعتبر أقل تكلفة من أحادية التبلر وأقل كفاءة أيضاً .

3-1-5-3- تطبيقات الخاليا الشمسية:

تركز الاهتمام على إدخال الفولطاضوئيات كمصدر للطاقة المتجددة في التطبيقات الأرضية بغية تطوير التقنية ووسائل الاستخدام في قطاع السكن والصحة والتعليم والصناعة والزراعة والنفط وغيرها في الاستخدامات

الفولطاضوئيات الجذابة اقتصادياً وفي المناطق المعزولة والنائية حيث تنقص تكلفة شبكات الكهرباء العامة وتساعد في الإنماء الاقتصادي والتطوير الاجتماعي المحلي .

والمسطحات الفولطاضوئية هي مصدر القدرة الكهربائية لهذه التطبيقات ، حيث يتكون المسطح من عدة خاليا (متصلة معاً بصفائح سلكية معدنية) مغطاة بملف من البلاستيك الحراري مثل أسيتات فينيل إيثيل

أو غيره وآخر من التدلار لحمايتها من الأشعة فوق البنفسجية ومغلقة بصفحة زجاجية من الأمام وطبقة واقية تعمل كقاعدة إنشائية من الزجاج أو من الألياف الزجاجية أو الخزف الصيني عند الخلف مركب عليها صندوق وصلة كهربائية ومحاط بإطار معدني .

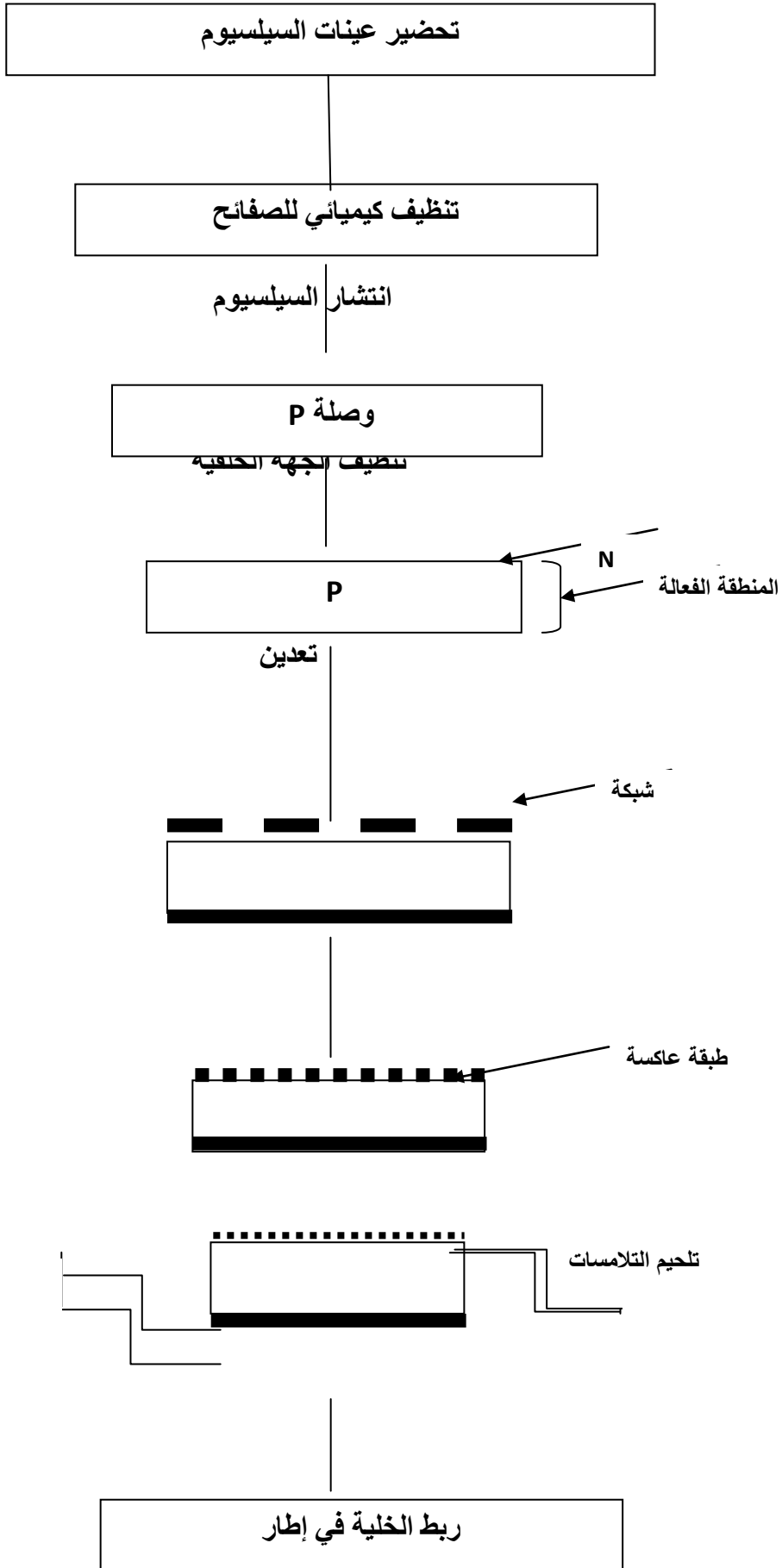
وهذه المسطحات يعول عليها بتطرف كمصدر طاقة كهربائية لأن ليس لها أجزاء متحركة وذات عمر طويل يتراوح من 15 إلى 35 سنة و أمان للبيئة.

3-6-تحضير الخلايا الشمسية:

لتحضير الخلايا الشمسية يجب الأخذ بعين الاعتبار مبدئين :

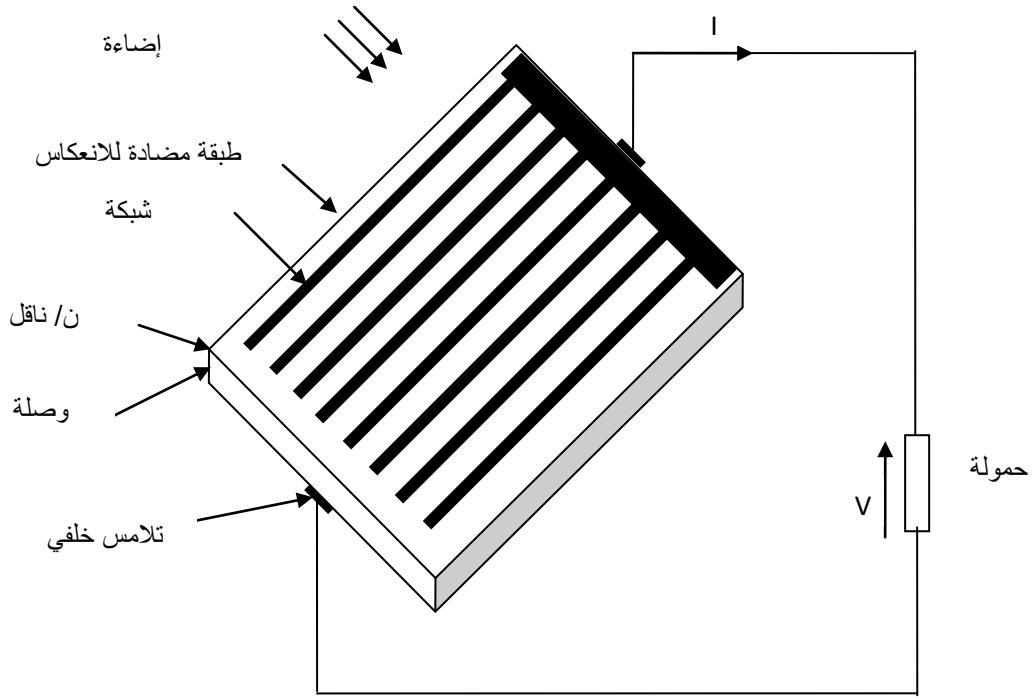
أولاً : يجب أن تكون التكاليف أقل ما يمكن وذلك بتبسيط طرق وأجهزة العمل في كل مرحلة .

ثانياً :بنية فولطاضوئية تجريبية أي نراعي فيها الجودة الكهربائية والتي بدورها تتطلب تقنية أكثر تطور . والشكل (3-2)يبين مختلف مراحل صناعة الخلايا الشمسية من السيليسيوم.



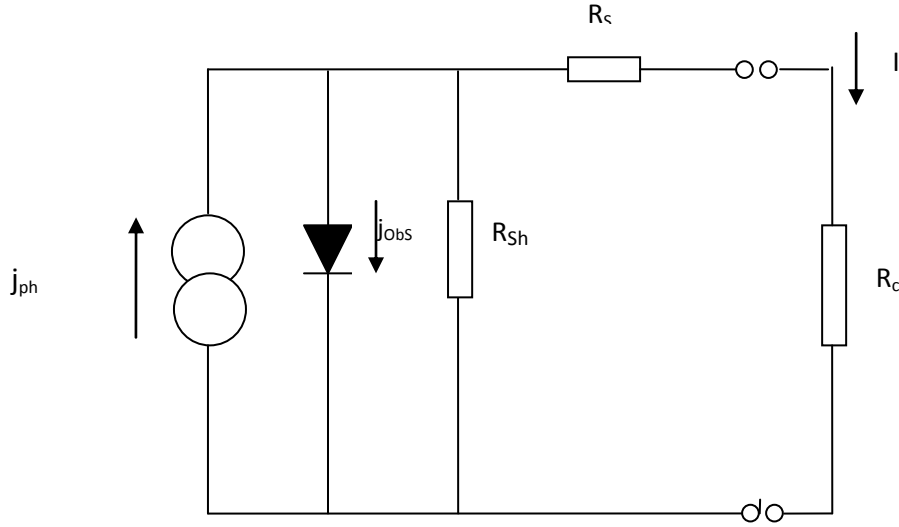
الشكل (2-3): مراحل صناعة خلية شمسية من السيليوم

البنية الفوتوفولطية التقليدية لخلية شمسية هي وصلة متجانسة , يكون التلامس من الوجه المضاء على شكل شبكة بحيث لا تغطي إلا مساحة صغيرة من السطح, أما الوجه الخلفي فيكون معدن كلياً. وحتى ننقص من ضياع الضوء الساقط بسبب الانعكاس, نغلف الوجه الأمامي بشكل متجانس بطبقة مضادة للانعكاس الشكل (3-4). عندما تكون نهايات الخلية الشمسية مربوطة بمقاومة حمولة تعمل كمولد للاستطاعة الكهربائية.



الشكل (3-3): مخطط خلية شمسية

و الدارة المكافئة للخلة الشمسية هي:



الشكل: (3-4) الدارة المكافئة للخلية الشمسية

حيث تمثل كل من:

R : مقاومة متسلسلة داخلية.

R_{Sh} : مقاومة موازية.

j_{ph} : كثافة التيار الفوتوني.

I_{Obs} : كثافة التيار الفولطاضوئي.

R_c : مقاومة الحمولة.

3-6-1- الوسائط الفولطاضونية:

في خلية شمسية , الوسائط المميزة الأكثر أهمية هي:

تيار الدارة القصيرة (I_{cc}).

جهد الدارة المفتوحة (V_{co}).

عامل الشكل FF = $V_M \cdot I_M / V_{co} \cdot I_{co}$.

I_M , V_M : جهد و تيار الاستطاعة العظمى.

المردود الطاقوي.

ولدراسة هذه الوسائط وجب دراسة المنحنى $I = f(V)$ الشكل (5-3).

حيث :

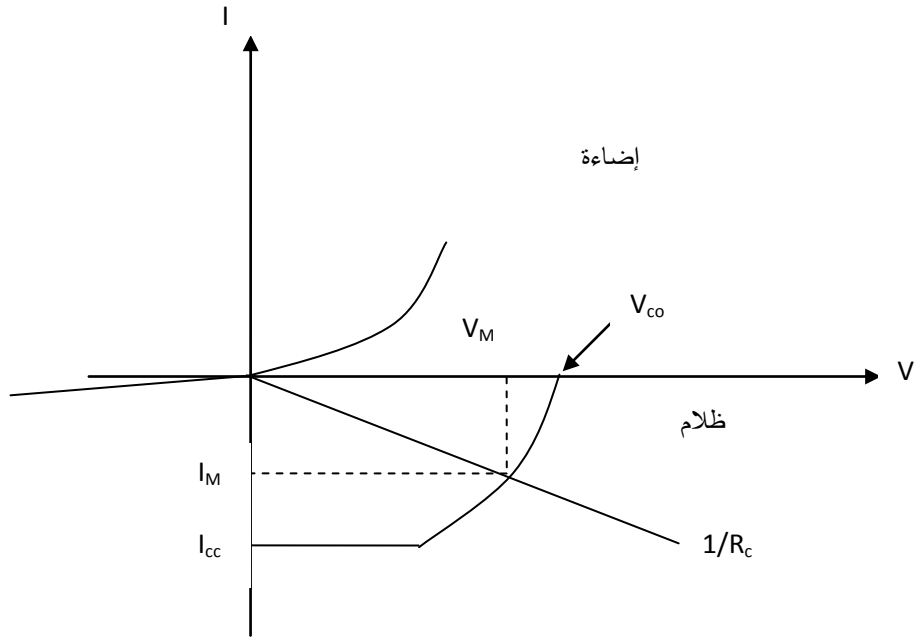
$$I = I_0 \{ \exp[(qV + IR_s)/nkT] + I_{ph} (V/R_{sh}) \} \quad (3-1)$$

مع:

V : فرق الكمون مطبق بين طرفي مقاومة الحمولة.

R_{sh} , عامل النوعية للديود.

ومن هذا المنحنى يمكن أن نعرف نقطة اشتغال الدارة, و التي تمثل تقاطع المنحنى تيار- جهد للخلية الشمسية مع خط الحمولة. وكذلك يعطي تيار دارة قصيرة (I_{cc}) وجهد دارة مفتوحة (V_{co}). فعندما نستعمل الخلية الشمسية يجب أن نكون أقرب ما يمكن من نقطة الميزة للمنحنى تيار- جهد, التي تكون من أجلها الاستطاعة الكهربائية المقدمة للحمولة عظمى, هذه الاستطاعة تزداد خصوصا عندما تقترب النسبة FF من الوحدة.



الشكل (3-5): منحنى الميزة تيار- جهد

7-3- الاستجابة الطيفية:

ليكن $N(\lambda)$ عدد الفوتونات المرسلية إلى الخلية فإذا كان $r(\lambda)$ معامل الانعكاس فان عدد الفوتونات المارة هي: $N(\lambda) = [1 - r(\lambda)]$. إذا كانت $J_{ph}(\lambda)$ هي كثافة التيار المقدمة فان الاستجابة الطيفية تعطى بـ:

$$R_s = \frac{J_{ph}}{qN(1-r)} \quad (3-2)$$

المعادلة السابقة تسمح بحساب (مع معرفة R_s) المساهمة في التيار المقدم من طرف الخلية الشمسية للجزء الطافي dE . التيار الكلي نحصل عليه بجمع هذه المساهمات .

$$J_{cc} = q \int_0^{\infty} N(\lambda) [1-r(\lambda)] R_s d\lambda \quad (3-3)$$

يعطى التيار قبل الإضاءة بالعلاقة التالية :

$$J = J_0 [\exp(qv/AKT)-1] \quad (3-4)$$

A : ثابت يتراوح بين 1 و 2، تصبح العلاقة السابقة بعد الإضاءة :

$$J = J_0 [\exp(qv/AKT)-1] - J_{cc} \quad (3-5)$$

جهد الدارة المفتوحة نحصل عليه بوضع $j=0$:

$$V_{co} = KT/q \cdot A \cdot \text{Log} (J_{cc} - J_0) / J_0 \quad (3-6)$$

حساب V_{co} يتطلب إذن تحديد التيار قبل الإضاءة. في حالة ما إذا تعرفنا على الميزة تيار – جهد نحصل بسهولة على نقطة العمل وعلى الاستطاعة ومعامل البنية و أيضا المرود.

3-7-1 الاستجابة الطيفية و تيار الدارة القصيرة :

تبين أن تشغيل جهاز الكتروني يحتاج إلى ثلاث أنواع من المعادلات :

معادلة بواسون :

$$\Delta v = \rho / \epsilon_m \quad (\rho \text{ كثافة الشحنة و } \epsilon_m \text{ ثابت العزل الكهربائي داخل المادة})$$

ومعادلتي التيار:

$$\vec{J}_n = q \mu_n \vec{n} \xi + q D_n \vec{\text{grad}} n$$

(3-7)

$$\vec{J}_p = q \mu_p \vec{p} \xi + q D_p \vec{\text{grad}} p$$

ع: يمثل الحقل الكهربائي و μ و D يمثلان على الترتيب الحركية ومعامل الانتشار (يمثلان آليات النقل للشحن بواسطة النقل والانتشار)

معادلات الاستمرارية ، تمثل ببساطة الانخفاض في عدد من الحوامل (المولدة بواسطة امتصاص الفوتونات بالنسبة للخلايا الشمسية) ، وأيضا يمكن أن يزداد بسبب التيارات الجانبية المؤثرة ، ويقبل هذا العدد بسبب إعادة التركيب والتيار في اتجاه المناطق المجاورة .

ليكن G_n و G_p نسبتي التوليد ، U_n و U_p نسبتي التركيب ، J_n و J_p كثافتي التيار بالنسبة للإلكترونات والثقوب على الترتيب .

نكتب :

$$\partial n / \partial t = G_n - U_n + 1/q \operatorname{div}.J_n \quad (3-8)$$

$$\partial p / \partial t = G_p - U_p + 1/q \operatorname{div}.J_p$$

بالأخذ بعين الاعتبار المعادلات النسبية لكثافات التيار (7-3) ، مع ملاحظة أنه في خلية شمسية يكفي أن نعمل ببعد واحد إذن :

$$\partial n / \partial t = G_n (n_p - n_{p0}) / \tau_n + n_p \mu_n \cdot \partial \xi / \partial X + \mu_n \xi \cdot \partial n_p / \partial X + D_n \partial^2 n_p / \partial X^2 \quad (3-9)$$

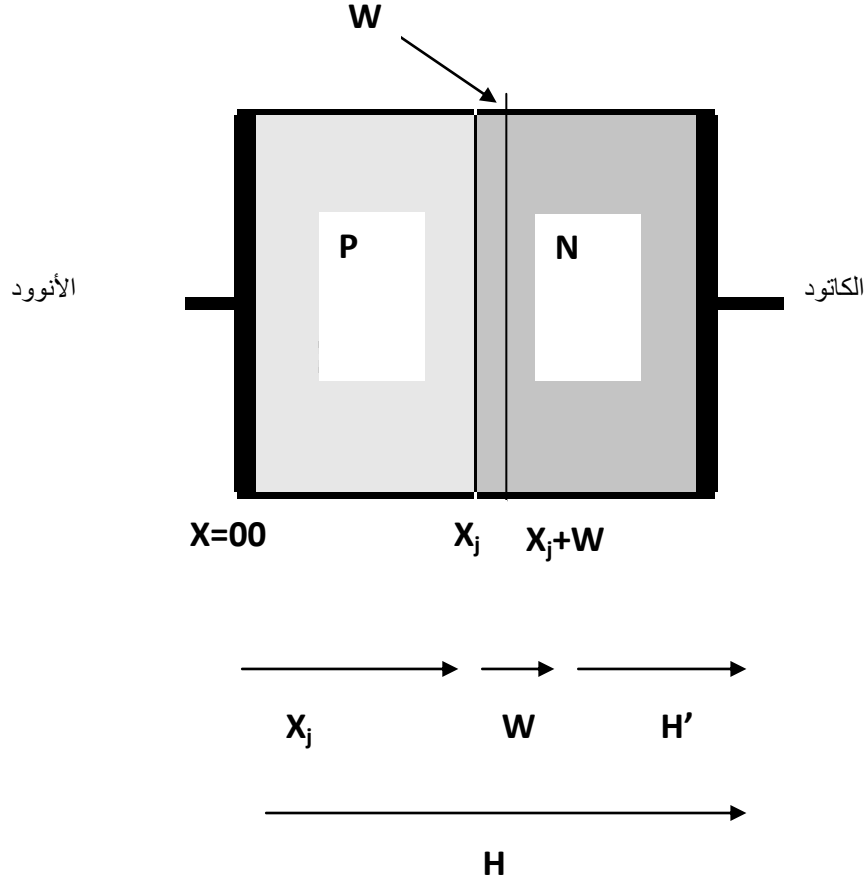
$$\partial p / \partial t = G_p (p_n - p_{n0}) / \tau_p - p_n \mu_p \cdot \partial \xi / \partial X + \mu_p \xi \cdot \partial p_n / \partial X + D_p \partial^2 p_n / \partial X^2$$

العبارة N_{p0} تمثل تركيز الإلكترونات الأقلية داخل مادة من نوع p في حالة اتزان .

P_{n0} تمثل تركيز الثقوب الأقلية داخل مادة من نوع n في حالة اتزان .

هذه معادلات الاستمرارية تحل لأجل الحصول على كثافة التيار الناتج من الفوتونات $J_{ph}(\lambda)$.

يتعلق هذا الحل بالشروط الحدية لمختلف المناطق للخلية الشمسية : الجبهة ، الوجه المضيء ، منطقة الشحنة الفراغية ، القاعدة ، الوجه الخلفي كما هو مبين في الشكل (6-3) :



الشكل (6-3) : رسم لمبدأ الخلية الشمسية ذات الوصلة p-n

حيث :

H: الطول الكلي للخلية .

W : عرض منطقة الفراغ الشحني .

يتعلق الحل أيضا بالنموذج المختار لتحضير الخلية الشمسية . الحل الحرفي للمعادلات (12) غير ممكن عامة ، على العكس من ذلك بالنسبة للحل العددي لهذه المعادلات على شرط معرفة كل الوسائط وتغيراتها مع الوضع. نجد أن نموذج الوصلة p - n المنتظمة لها الميزة على الحل الحرفي تشكل إذن نموذج جيد للدراسة النظرية لخصائص الخلية الشمسية.

3-7-2- الوصلة المنتظمة :

في هذه الحلة يمثل التيار الضوئي $J_{ph}(\lambda)$ جمع للتيارات المولدة داخل المناطق الثلاث للخلية الشمسية :
Jf (الجبهة) Jzd (منطقة لشحنة الفراغية) ، Jb (القاعدة) .

في المعادلات (3-9) نسبة التوليد G تصبح هنا $G(\lambda)$ للزوج إلكترون -ثقب الناتج من الامتصاص الضوئي ، متناسبة مع معامل الامتصاص $\alpha(\lambda)$.

$$G(\lambda) = \alpha(\lambda)N(\lambda)[1-r(\lambda)]\exp(-\alpha(\lambda)) \quad (3-10)$$

3-7-3- الاستجابة الطيفية للجبهة والقاعدة:

في هذه الحالة الجبهة تمثل المنطقة من نوع n ، التيار الضوئي هو بالضرورة تيار الثقب. الحقل الكهربائي في هذه الحالة معدوم وتصبح المعادلة السابقة على الشكل التالي:

$$D_p \frac{\partial^2}{\partial X^2} (P_n - P_{no}) + \alpha N(1-r)\exp(-\alpha x) - (P_n - P_{no})/\tau_p = 0 \quad (3-11)$$

الشروط الحدية هي :

عند $x=0$ ،

$$D_p \frac{\partial}{\partial X} (P_n - P_{no}) = S_p (P_n - P_{no}) \quad (3-12)$$

حيث S_p سرعة إعادة التركيب على الوجه الخلفي للخلية الشمسية وتأخذ عموما مساوية إلى مالا نهاية

أما عند $X = X_j$ فان حد منطقة الشحنة الفراغية ، الحقل الكهربائي يجمع كل الحوامل الضوئية بحيث : $P_n = P_{n0}$.

أما الاستجابة الطيفية للقاعدة فان التيار فيها يمثل الالكترونات ، في هذه الحالة الشروط الحدية تؤخذ بالصورة التالية :

$$\text{عند } x = +W \quad , \quad n_p = n_{p0}$$

$$\text{عند } x = h$$

يمكن إيجاد حلول لهذه المعادلات حيث أن S_p و S_n سرعة إعادة التركيب على الوجه الخلفي للخلية الشمسية تأخذ عموما مساوية إلى مالا نهائية.

3-7-4- الشحنة الفراغية:

بسبب ارتفاع الحقل الكهربائي فان كل الحوامل تتجمع، تؤخذ في هذه الحالة التقييمات التالية : التيار الكهربائي من الرتبة 105 v/cm ، وتؤخذ $\mu = 1 \text{ cm}^2 \text{ v}^{-1}$ و $w = 10 \text{ cm}$ مرور حاملات الشحنة إلى هذه المنطقة يكون خلال زمن $10-13$ ثانية أقل بكثير من ادني مدة للحياة إذن :

$$J_{zd} = [1 - \exp(-\alpha W)] \exp(-\alpha X_j) \quad (3-13)$$

3-7-5- الخلايا الشمسية المستعملة لعناصر متعددة البلورات:

هناك عدة عوامل تحد من لوسائط ال فو لاطا ضوئية للخلايا الشمسية، و ذلك لأن الفوتونات ذات أطوال موجية أقل من عرض الشريط الممنوع لا تمتص من طرف أنصاف الناقل. في حين أن الطاقة الزائدة عن الفوتونات الممتصة تتحول إلى طاقة حركية، ثم تفقد حراريا عن طريق تصادمها مع ذرات الشبكة البلورية. وتوجد معاملات أخرى كالضيايح بالانعكاس على السطح المضاء برغم وجود الطبقة المضادة للانعكاس، وكذلك المميزات الكهربائية الخاصة بالوصلة مثل المقاومة المتسلسلة التي تنقص من المردود

3-8- المحطات الفولطاضوئية :

تعتبر الخلايا الفولطاضوئية أحد أهم الأساليب المعروفة والأكثر تفضيلاً في المستقبل القريب ، ويتصف هذا الأسلوب بمزايا عديدة مقارنة مع الأسلوب الترموديناميكي ، أهمها :

- 1- عدم الحاجة إلى تنظيم المراحل والعمليات الحرارية اللازمة .
- 2- - تعتبر بنية محطات القدرة العاملة بهذا الأسلوب أبسط بكثير حيث أنها تحتوي ألواحاً ثابتة مما يعطي إمكانية إنقاص وأحياناً الاستغناء كلياً عن صيانة مثل هذه المحطات ، وبالتالي سيكون استثمارها سهلاً في المناطق البعيدة حيث لا يتوفر الكادر الفني المختص وبالتالي فإن مصاريف التشغيل والصيانة قليلة .

3- إمكانية تصميم خلايا فولطاضوئية (خلايا شمسية) بأحجام مختلفة ومهام متنوعة والتي يمكن أن تتألف من أقسام مستقلة وبمردود عمل يتطابق مع مردود الخلية بكاملها .

- 4- وجود إمكانية كبيرة لتطوير وتصنيع الخلايا الفولطاضوئية العنصر الرئيسي في المحطات الفولطاضوئية وذلك بهدف إنقاص حجمها وكلفتها وزيادة استطاعتها.
- 5- ذو وثوقية عمل عالية .

و بالإضافة لذلك فإن الخلايا الفولطاضوئية قادرة على العمل بكفاءة وجودة عالية ولمدة طويلة غير محدودة.

إن السبب الرئيسي لعدم انتشار الخلايا الفولطاضوئية المصنعة من أنصاف النواقل في الحياة العملية الأخرى هو ارتفاع أسعارها ، وتشير أحدث التوقعات إلى أن تكلفة الطاقة الكهربائية المولدة بواسطة الخلايا الفولطاضوئية ستخف ، وبذلك ستصبح منافسة بشكل كبير للكهرباء المولدة بالطرق التقليدية. تعتبر عملية تحليل الخواص الاقتصادية للمحطات الفولطاضوئية معقدة جداً نظراً لتعلقها المباشر بعوامل مختلفة أهمها استخدام أنصاف النواقل في تصنيع الخلايا الفولطاضوئية وأيضاً تكنولوجيا إنتاج هذه الخلايا.

وقد لاقت مراكز الأشعة الشمسية في السنوات الأخيرة استخداماً واسعاً لأنها تساعد على زيادة كثافة الأشعة الساقطة على الخلية الفولطاضوئية وذلك نتيجة لعمليات الانكسار ، الانعكاس ، تحويل طول الموجة والانعراج.

وجدير بالذكر أنه باستخدام مراكز الأشعة تتناقص حاجة الخلايا الفولطاضوئية من مادة السيليسيوم النصف ناقل طرداً مع درجة التركيز المذكورة.

والمحطات العاملة على الطريقة الفولطاضوية لا تحتاج لمياه تبريد ولا تحوي أجزاء متحركة مما يعني انعدام التآكل فيها وهي لا تحتاج لصيانة إذا ركبت بشكل جيد ومناسب.

المحطات الفولطاضوية قادرة أيضاً على تحويل الجزء المنتشر من الإشعاع الشمسي مما يجعلها ملائمة للطقس الغائم .

3-8-1- كيفية عمل هذه المحطات:

توجه لوحة الخلايا الضوئية بزواوية ميل مناسبة في واجهة الشمس حتى تتساقط أشعة الشمس عمودياً على اللوحة . تحول الخلايا الشمسية القدرة الشمسية مباشرة إلى قدرة كهربائية بدون عمليات وسطية ، فهي تمتص معظم الطيف الشمسي وتحول جزء من هذه الإشعاعات إلى طاقة كهربائية حيث يمكن استخدامها في الحال أو تخزينها . والمنظومات من هذا النوع تصمم أساساً لأجل المنشآت في المواقع البعيدة لفترات طويلة حيث تتصف عادة مثل هذه المواقع بقساوة عالية في طقسها ، ولذلك يجب أن تكون هذه المنظومات ذات مقاومة عالية للرياح والرطوبة والبرد والعواصف الرملية وأن تحاط بتصميم ضد هجمات الطيور والحيوانات والتآكل ، لهذا فإن المواد الأساسية التي تثبت بها الخلايا يجب أن تقاوم هذه الأشياء المحيطة ومعدن هذه الخلايا لا يتعرض للتآكل وهذه نقطة هامة جداً حيث تصنع غالبية الخلايا الشمسية من السيليبيم وهو نصف معدن وقد يكون عازل ومعدن. في حالته كمعدن لا تكون إلكترونات ذراته مرتبطة بإحكام مما يؤدي إلى جريانها بسهولة عندما يطبق عليها ضغط كهربائي ، بينما تكون إلكترونات ذراته في حالة العازل مرتبطة بشدة ولا يحدث جريان عندما يطبق عليها الضغط الكهربائي ومن أسباب اختيار المواد السيليكونية:

1- أنه عالي التوصيل الحراري.

2- الثبات الجيد مع الطقس المحيط.

3- عازل ممتاز للكهرباء.

4- عالي القدرة.

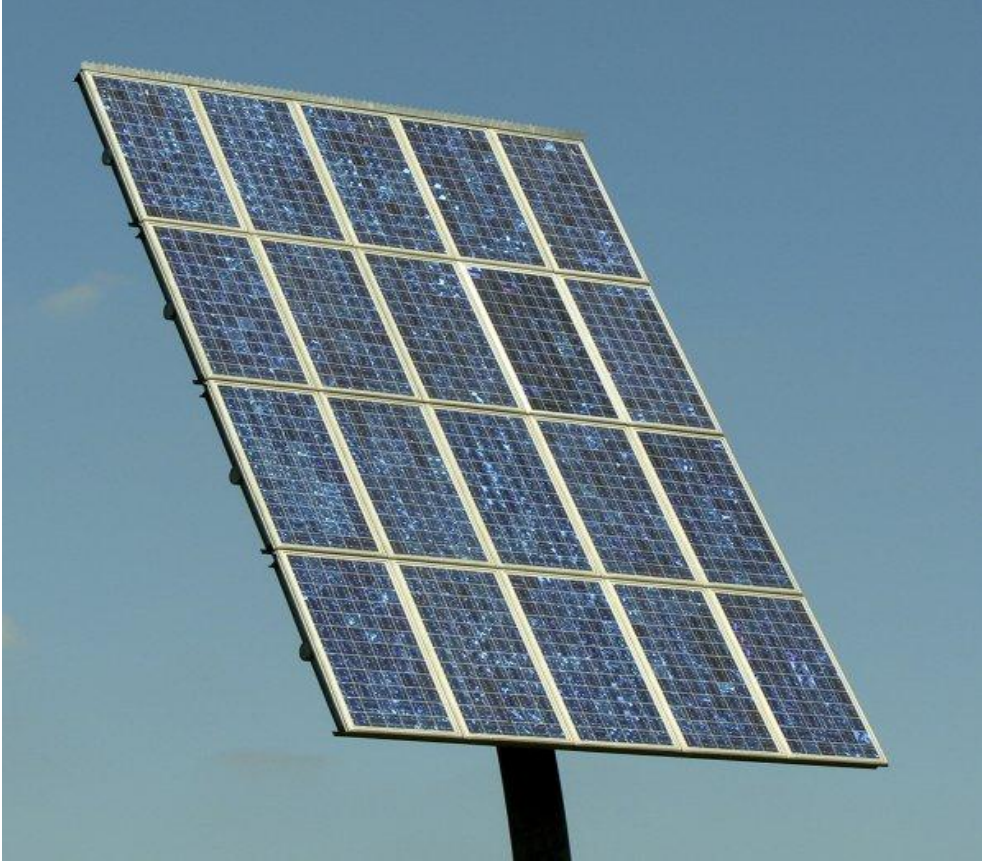
3-8-2-تجميع الخلايا الفولطاضونية:

نظرا إلى أن الجهد الذي تولده الخلية الشمسية ضعيف جدا وفي غالب الحالات تجمع عدة خلايا على التوالي للحصول على جهد يتماشى مع الحمولات المستعملة لتكوين لوحة شمسية كما يوضح ذلك الشكل (3-8).



الشكل (3-7): لوحة شمسية

من أجل الحصول على أنظمة عملية للطاقة الفولطاضونية لا بد من تجميع عدد معين من اللوحات الشمسية بغية الحصول على توتر عالي وتيار كهربائي معين يمكن من خلالهما الحصول على استطاعة كهربائية لحمل معين.



الشكل (8-3): تجميع مجموعة من اللوحات الشمسية

3-8-3- المنظومات الفولطاضونية :

تتكون المنظومات الفولطاضونية غالبا من لوحات فولطاضونية ذات قدرة قصوى 50 واط و كذلك من بطاريات للشحن خاصة بالاستعمالات الفولطاضونية تضمن استعمالا مطولا و لا تتطلب صيانة مكثفة و تنقسم إلى قسمين قسم يستعمل استعمالا مباشرا والأخرى للاستعمالات غير المباشرة- شحن البطاريات-

3-8-4- الجيل الجديد من محطات الطاقة الشمسية :

إن الجيل الجديد من المحطات الشمسية الحرارية يتخذ أشكالا متعددة لكنها تعتمد في معظمها على تجميع أشعة الشمس عن طريق المرايا العاكسة في نقطة مركزية ترتفع فيها درجة الحرارة إلى مستويات عالية تمكن مثلا من تحويل مياه البحر إلى بخار يستخدم في تحريك توربينات، أو إذابة الملح على درجة

565 درجة مئوية وتخزينه في خزانات خاصة، ومن ثم استخدامه لتسخين المياه حين تكون أشعة الشمس محجوبة.

3-8-5- تطبيقات الخلايا الفولطاضونية :

1- - تأمين الطاقة الكهربائية لقوارب الملاحة واليخوت البحرية . 2- تغذي بعض الاحتياجات المنزلية كمضخة الماء والنيون والتلفزيون 3- الإمداد بالقدرة لإنارة المنازل . 4- إضاءة الأرصفة على سواحل الميناء والمنشآت البحرية على الشاطئ وداخل البحر . 5- في عملية التكييف والتدفئة باستخدام مباشر لهذه الخلايا من الطاقة الحرارية المطرودة منها. 6- في الاتصالات (الراديو ومستقبلات الراديو) 7- تشغيل ظلمبات الري وماء الشرب . 8- علامات الطرق السريعة والسكك الحديدية في الطرق الصحراوية ، وغيرها من الاستخدامات الأخرى .

وقد تم مؤخراً صنع خلايا شمسية بقاعدة متحركة تدعى التابعات الشمسية ، حيث أنه خلال فترة النهار تمر الشمس عبر الخلايا الشمسية في مسار شبه دائري متجهة من الشرق إلى الغرب عبر الأفق ، لذلك فإن الزاوية بين الشمس والخلايا تختلف بشكل كبير علماً أن أفضل زاوية موجودة هي عندما تسقط أشعة الشمس عمودية على الخلايا.

وبناءً على ذلك فإن أفضل النتائج هي حين تكون الأشعة الشمسية عمودية على سطح الخلايا طيلة اليوم

3-8-6- استخدام الخلايا الفولطاضونية في مجال الفضاء :

استخدمت الخلايا الفولطاضونية في مجال الفضاء منذ فترة طويلة جداً وذلك في (17 آذار عام 1958 حين أطلق (القمر الصناعي van gard 1) وكان على سطحه (6) خلايا فولطاضونية ، ولقد أثبتت الخلايا فعاليتها في هذا المجال فهي ما زالت تعمل على إرسال الإشارات دون توقف في حين أن البطاريات الأخرى توقفت عن العمل بعد فترة وجيزة من انطلاق السفينة ، ومنذ ذلك الحين والخلايا الفولطاضونية (الشمسية) تستعمل على نطاق واسع في مجال الفضاء حيث ساعد استعمالها على زيادة طول الرحلات الفضائية ، فلقد أثبتت قدرتها على تأمين التغذية الكهربائية بشكل مستمر ودائم لرحلات السفن الفضائية وبوثوقية عالية ومردود عالٍ نسبياً .

7-8-3- واقع وأفاق مردودية تكنولوجيا الخلايا واللوحات الفولطاضونية:

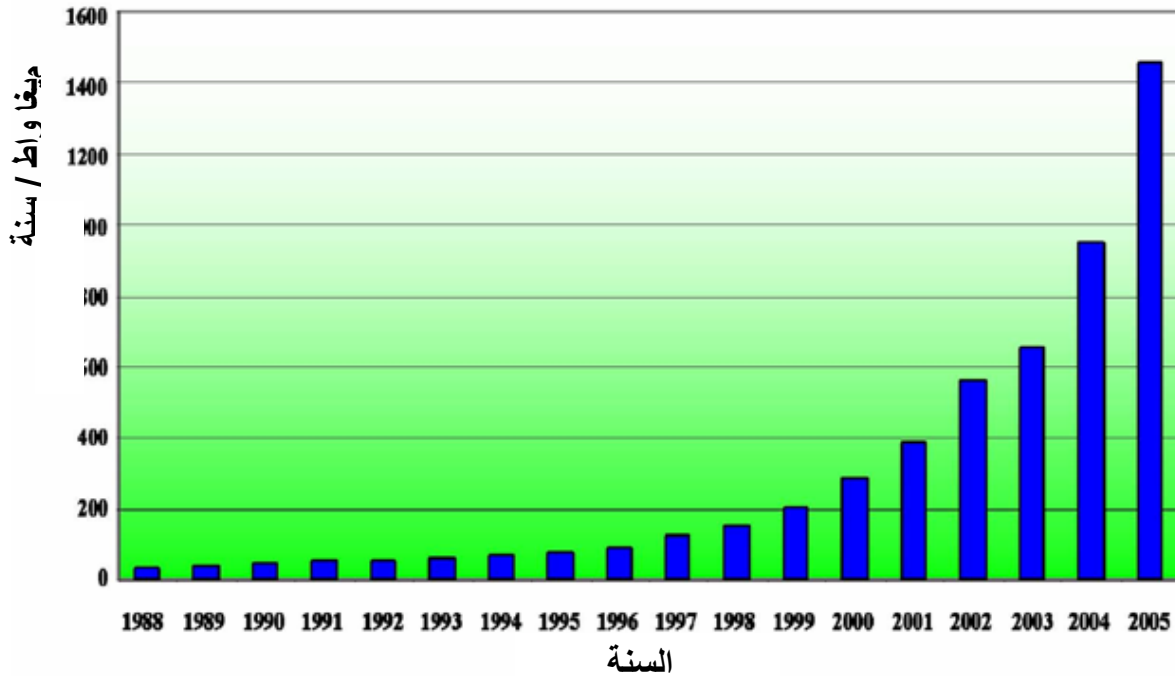
تشير البحوث والدراسات أن الجهود المبذولة في الميدان قد ركزت على البحوث الهادفة للزيادة في المردود وتركيز التكنولوجيا الفولطاضونية والحد من كلفة الإنتاج حيث يوضح الجدول (3-2) واقع وأفاق مردود بعض النظم الفولطاضونية كما يوضح الجدول (3-3) مقارنة بسيطة بين بعض الخلايا المصنعة والمعدة في المخبر, والشكل (3-10) يبين لنا الإنتاج العالمي من الطاقة الشمسية منذ سنة 1988 إلى غاية سنة 2005.

نوع الخلايا	1998	2000	2010
السيليسيوم أحادي البلورات	16-14	16	22
السيليسيوم متعدد البلورات	15-13	16	20
شرائح السيليسيوم	14	17	21
المركزات – السيليسيوم-	18	25	30
السيليسيوم الغير متبلر	14	10	8-6
انديوم النحاس	8-7	12	14
تيلير النحاس	8-7	12	14
شرائط السيليسيوم	10-8	12	15

الجدول (3-2): واقع وأفاق مردود النظم الفولطاضونية بالمائة % عند التصنيع

نوع الخلايا	مردود الخلية المصنعة	مردود الخلية المعدة في المخبر
السيليسيوم أحادي البلورات	17.5-15.3	25
السيليسيوم متعدد البلورات	15.0-13.05	21
السيليسيوم الغير متبلر	16-12	7.0-5.0
المركبات	24	29
شرائط السيليسيوم	11-9	16 وأكثر

الجدول (3-3): مقارنة بين مردود الخلايا المصنعة والخلايا المعدة في المخبر



الشكل (3-9): الإنتاج العالمي من الطاقة الشمسية

9-3- خاتمة:

إن الغاية الأساسية من مصادر الطاقة هو أن نحصل على تيار وتوتر كهربائي معين ليغطي استطاعة حمل معينة وحيث أن الخلايا الشمسية تحول الأشعة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية بدون عمليات وسطية ، فهي تمتص معظم الطيف الشمسي وتحول جزء من هذه الإشعاعات إلى طاقة كهربائية حيث يمكن استخدامها في الحال أو تخزينها فسيكون لها في المستقبل الدور الكبير باعتبارها أحد البدائل المستقبلية للطاقة.

الفصل الرابع: تطوير نموذج السطح المسنن للخلايا الشمسية

4-1-1- مقدمة:

سنقدم في هذا الموضوع مساهمة فعالة في معالجة أحد الأنماط الطاقوية التي تهتم بدراسة الخصائص الفولطانية الضوئية [45-58] للطاقة الشمسية التي تعتمد على الأشعة الشمسية الساقطة على الخلايا وذلك بدراسة- بعض المقادير التي لها علاقة مباشرة أو غير مباشرة مع المردود.

تكمّن أهمية هذا الموضوع في كيفية استرجاع الأشعة المنعكسة والاستفادة منها ثلاث مرات متتالية حيث أن الأشعة الشمسية تتألف من جزيئات لا متناهية الصغر على شكل فوتونات يحمل كل فوتون طاقة معينة ويتحرك بسرعة كبيرة جدا تكافئ سرعة الضوء ,وبما أن انتشار الضوء يكون على شكل خطوط مستقيمة ,مما يسهل علينا استعمال قوانين الانعكاس والانكسار.

يمكن لسطح عادي من السيلسيوم أن يعكس الأشعة الواردة بنسبة معينة [59-60] هذه النسبة يمكن أن تصبح أحسن إذا ما غطي السطح بطبقة غير عاكسة [61] وباستعمال نموذجنا المقترح فإنه يمكننا التقليل من الانعكاس إلى أقل من ذلك مما سيؤدي إلى تحسين الكميات التي لها علاقة بالمردود وبالتالي إلى رفع المردود.

إذا اخترنا وصلة منتظمة (p-n) فعندما تسقط الأشعة الشمسية على السطح العلوي للخلية وتخرقه لتصل إلى سطح التلامس (n-p) حيث تقوم بفعل طاقة الفوتونات المشكلة لها بتفكيك بعض الروابط الإلكترونية المجاورة لهذا السطح وتشكل عددا من الثنائيات (إلكترونات - ثقب) حيث تتناسب شدة التيار المتولد طردا مع شدة الأشعة الشمسية الساقطة عليه ,لكي يقوم سطح التلامس بفصل الإلكترونات عن الثقب يجب أن يتم تشكيلها في مكان قريب جدا منه أو عليه مباشرة وذلك لأنها إن تشكلت في منطقة بعيدة عنه كالتبقات العليا من الناقل (n) فإن قسم كبير من الإلكترونات المشكلة يعود فيتحد مع الثقب من جديد مشكلا ذرات معتدلة ,إلا أنه لتشكيل الثنائيات على سطح التلامس يجب أن تخرق الأشعة الشمسية طبقة الناقل العلوي (n) وتصل إلى هذا السطح ويتحقق هذا بشكل جيد كلما كان عدد الفوتونات المارة كبيرا.

2-4- الخلايا الشمسية ذات المردود العالي والتكلفة المقبولة: [62-63]

2-4-1- بعض أنواع الخلايا الغير مسننة:

يعتبر ميدان الخلايا الشمسية وتحضيرها من التكنولوجيا الواسعة والمتجددة ، فتوجد خلايا شمسية لا تزال سرية في التكنولوجيا البلورية منها الخلايا المنتجة من CdTe و GaAS وكذا CIS التي تحتل مجال واسع من الأبحاث حيث وصل مردود الخلايا الناتجة عنها إلى أكثر من 16% في المخبر وطريقة تحضيرها مشابهة لطريقة تحضير الخلايا الأخرى فالخلايا الحديثة التي تستعمل في البنيات الدقيقة والمواد العضوية قد تؤدي إلى استغلال أكثر للخلايا الشمسية في التحويل الطاقوي.

و الجدول (4-1) يوضح مختلف الخلايا الشمسية المحضرة و مردودها الطاقوي .فالمردود الطاقوي يختلف حسب بنية المادة المحضرة منها الخلايا الشمسية و حسب أنواعها وخصائصها الكهربائية

ميدان تطبيقها	الخلايا الشمسية			نوع الخلية
	الحقيقي	في المخابر	نظريا	
نماذج طاقوية بأبعاد كبيرة لتحضير السقوف والآلات والفضائيات	14-16%	24.7%	27%	السيليسيوم الأحادي
نماذج بأبعاد كبيرة كالسقوف فالمولدات بكل أنواعها	12-14%	19.8%	27%	السيليسيوم المتعدد البلورات
آلات باستطاعة ضعيفة كالحاسبات و الساعات.....	6-8%	13%	25%	السيليسيوم الأمورفي
أنظمة للتركيز كالفضائيات	18-20%	27.5%	29%	GaAs
أجهزة ذات أستطاعة ضعيفة ونماذج بأبعاد كبيرة.	10-12%	18.2%	27.5%	CIGS
نماذج طاقوية بأبعاد كبيرة.	9-11%	27%	27%	CdTe
نماذج غير معينة	9-11%	25%	27%	Si Ruban

الجدول (1-4): أنواع الخلايا ومردودها

يعتبر السيليسيوم المادة الأساسية لصناعة الخلايا الشمسية بالتوازي هناك دراسات كثيرة على المواد الأخرى سواء الثنائية، الثلاثية أو الرباعية الهدف منها هو إيجاد نوعا جديدا من الخلايا الشمسية ذات المردود العالي والتكلفة المقبولة فهي خلايا أساس بنيتها وصلات متجانسة وغير متجانسة من مواد نصف ناقلة والجدول (2-4) يوضح مختلف خصائص بعض المواد.

الخصائص	Si	GaAs	Ge	CdTe
الوزن الذري	28.09	144.63	72.60	240
الحرارة النوعية (J/g)	0.70	0.35	0.31	/
الناقلية الحرارية W/cm ⁰	1.50	0.56	0.59	0.59
ثابت الشبكة (A°)	5.43	5.653	5.656	6.477
ثابت الانكسار	3.42	3.30	4.00	2.75
ثابت العزل	11.80	11.50	16	10.9
الكثافة (g/cm ³)	2.328	5.316	5.327	5.860
ثابت التأين	0	0.31	0	0.68
البنية البلورية	ماسية	Zn blende	ماسية	Zn blende
الذرات في 1cm ³	5.02.10 ²²	2.21.10 ²²	4.42.10 ²²	1.48.10 ²²
حركية الإلكترونات cm ² .v ⁻¹ .s ⁻¹	1500	8800	4000	180
نقطة الانصهار ⁰ C	1417	1238	937	1098
معامل التمدد (10 ⁻⁶ °C ⁻⁶)	2.5	6	5.5	5.2

الجدول (2-4): خصائص أهم أنصاف النواقل

أخيرا يمكن أن نصل إلى مردود فعال للخلية حتى ولو كانت الإضاءة المسلطة إليها هذه الخلية ضعيفة بعكس المردود الناتج عن الخلايا الكلاسيكية.

من بين المواد المستعملة لتحضير الطبقات الدقيقة والسامية نجد طبقات ديوكسيد التيتان TiO_2 من المواد النصف ناقلة المستعملة لإنتاج الطبقات البلورية الدقيقة من رتبة النانو ، فهو من المواد الغير حساسة للضوء المرئي و الذي يعود إلى عرض الشريط الممنوع 3.2 eV ، له القدرة على أن يكون حساسا لعدد كبير من الملونات ويسمح بنسبة تحويل معينة للفوتونات الواردة على الإلكترونات القريبة من البنية ، هو من المواد المستعملة كثيرا والمتواجدة بنسبة كبيرة ولها طرق خاصة لتحضيرها من بين مكوناتها نجد الملون فهو أيضا من المركبات الأساسية في الخلية لامتلاكه لطيف امتصاص واسع ، يكون في حالة الإثارة قادرا على حقن إلكترون في شريط توصيل لنصرف الناقل والذي يساعده على عملية استقرار جيدة تسمح له بالخضوع لدورات الإرجاع والأكسدة والإثارة التي تحدث خلال عمل الخلية الشمسية .

بهدف الوصول إلى خلايا شمسية ذات تكلفة أقل ، اتجهت تطورات البحث الفوتوفولطية نحو خلايا ذات ابنىات من رتبة النانو و البوليميرات الناقلة التي تسمح بصناعة أنظمة فوتوفولطية بكمية قليلة من المادة واستطاعة مقبولة .

هناك تطورات وأبحاث معمقة حول استعمال طبقة رقيقة لخليط من البوليميرات الناقلة [64] ، حيث تم وضع جريئة هجينة للوصول لظاهرة التحويل الطاقوي والمسماة بالتأثير الفوتوفولطي .فهذه الجريئة عبارة عن مادة ذات بنية متسلسلة تتكون من ذرات الكربون المترابطة فيما بينها بروابط بسيطة أو ثنائية و جزيئات أخرى وتكون على شكل كريات صغيرة من الكربون والتي لها دور كبير في تحسين الخصائص الكهربائية للمركبات الفوتوفولطية البلاستيكية باستعمال مركبات عضوية . لكن تبقى بعض الشروط اللازمة قبل الاستعمالات التطبيقية ، فالنتائج القياسية للمركبات المحضرة تتعلق بمورفولوجية الطبقة الرقيقة المتوضعة ما بين الإلكترونين . ونتيجة لعدم الانسجام المتواجد ما بين مركبات الخليط يظهر فصل في الطور غير متوقع والذي يتمثل في فصل الشحنات المحرصة الناتجة في الأصل عن التيار الفوتوني ، ويحدث هذا الفصل عند السطح الداخلي ما بين البوليمار و ذرات الكربون (منطقة الاتصال ما بين المركبين) . ولتجنب هذا العائق توصلت الأبحاث إلى وضع مركبة هجينة مكونة من المشتقات المستبدلة لذرات الكربون $C60$ والمستعملة لتحضير الخلايا الفوتوفولطية.

3-4- الخلايا الشمسية ذات الامتصاص المرتفع:

1-3-4- أنواع الخلايا الشمسية:

من بين أنواع الخلايا الشمسية نذكر:

- الخلايا الشمسية المتكونة من السيليسيوم أحادي البلورات (Monocrystalline) أو متعدد البلورات (Polycrystalline).

- الخلايا الشمسية المتكونة من شرائط السيليسيوم أحادية البلورات

- الخلايا الشمسية المتكونة من شرائط السيليسيوم غير المتبلر

- الخلايا الشمسية المتكونة من GaAs

- الخلايا الشمسية ذات وصلة غير متجانسة (Hétérojonction) من بين هذه الخلايا CdTe/ZnSe

...

وسنركز في هذه الدراسة على الخلايا الشمسية المتكونة من السيليسيوم أحادي البلورات.

2-3-4- صناعة الخلايا واللوحات الشمسية الفولطاضونية:

من خلال الشكل (3-2) في الفصل الثالث يتبين لنا أن هناك عدة مراحل لصناعة الخلايا من مادة السيليكون أحادي البلورات المطعم بالبور (Bore) أي من نوع P المعد في الغالب في شكل أقراص ذات قطر 10 cm وسمك 0.5 mm وتتمثل هذه المراحل في:

- عملية تطهير سطح أقراص السيليسيوم بمعالجة كيميائية قلوية قوية التركيز

- عملية تحريش (Texturisation) السطح المعالج بمعالجة كيميائية قلوية ضعيفة التركيز ممزوجة بالكحول فنلاحظ عند مشاهدة السطح في المجهر أنه عبارة عن أهرامات متلاصقة والغاية منها تحسين مردود الخلايا بتقليل الانعكاس والإكثار من امتصاص الفوتونات وهو ما يزيد في توليد المزيد من التيار الكهربائي وتحسين مختلف الوسائط الفولطاضونية وهو ما يمثل موضوع بحثنا.

- عملية انتشار الفوسفور في الفرن حيث أنه قبل الانتشار يجب حماية أقراص السيليسيوم من الخلف وعلى الحواشي بترسيب طبقة سميكة من مادة SiO_2 بطريقة تفاعلية كيميائية , وتتمثل عملية انتشار

الفوسفور في إدخال أقرص السيليسيوم في فرن من البلور عالي النقاوة وتحت حرارة 950 درجة مئوية تقريبا، ثم إرسال تيار غازي متكون من $POCl_3$ والأزوت والأكسجين وتدوم هذه العملية من 15 إلى 20 دقيقة وبذلك نحصل على طبقة رقيقة من السيليسيوم من نوع N على السطح الأمامي للقرص السيليكوني وهو ما يكون النواة للخلية الفولطاضوئية.

- عملية تنظيف كيميائي للسطح الخلفي للخلايا لإزالة الرواسب من الأكسدة ($SiO_2 \dots$)

- عملية التفليز أي طباعة طبقة من المعادن على السطح الأمامي والخلفي بطريقة (Sérigraphie) للخلية الفولطاضوئية ثم تجفيفها وإنضاجها في فرن الأشعة تحت الحمراء . والغاية من هذه الطبقات المعدنية تسهيل عملية ربط الخلايا الشمسية باللحام لتكوين اللوحات الفولطاضوئية

-ترسيب على السطح الأمامي لطبقة رقيقة مانعة للانعكاس من مادة TiO_2 بطريقة تفاعلية كيميائية أيضا وقد تم تعويض هذه الطبقة بطبقة من السيليسيوم المسامي

- عملية لحام أسلاك الربط بين الخلايا لتكوين اللوحات الفولطاضوئية.

* ولصناعة الخلايا من السيليسيوم متعدد البلورات فإننا نتبع نفس الخطوات تقريبا و الملاحظ أن هذا النوع من الخلايا لا يعطينا مردودا قويا ولكن خلايا أقل تكلفة ويرجع ضعف المردود إلى الشوائب الحاصلة بين البلورات، ويوجد العديد من طرق معالجة هذه العوائق من بينها استعمال السيليسيوم المسامي مع معالجة حرارية

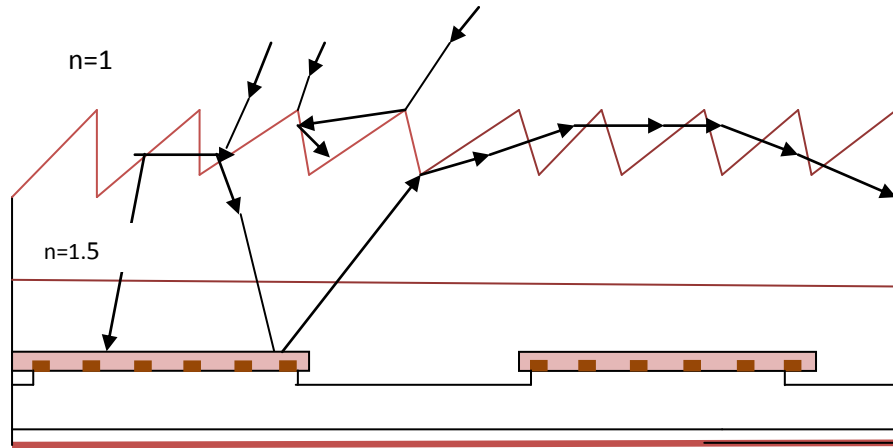
* كما تختلف طرق صناعة الخلايا من المواد الأخرى ك GaAS وغيره باعتماد التبخير او الترسيب

...

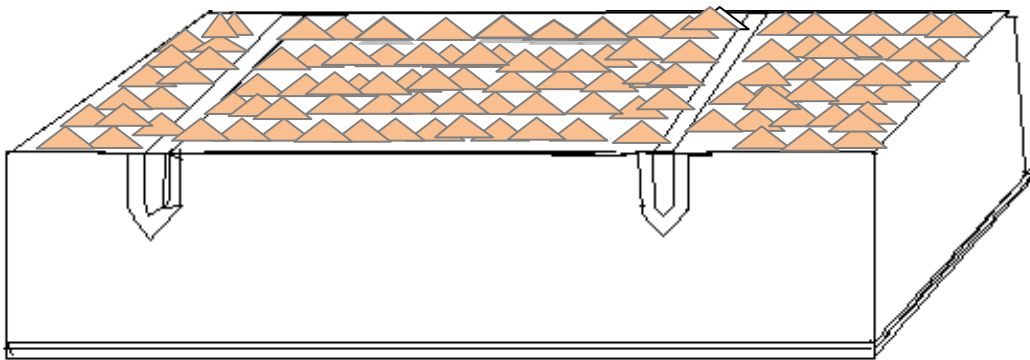
4-3-3- الخلية الشمسية المسننة: [65]

يمكن لسطح عادي من السيليسيوم المستخدم الملتقط للأشعة الشمسية و الذي يحولها إلى طاقة كهربائية أن يعكس الأشعة الواردة بنسبة معينة هناك تقنية أخرى تستعمل للزيادة في عدد الفوتونات داخل السيليسيوم ، وهي استعمال سطح مسنن نتيجة استعمال المحاليل الكيميائية حيث بينت الدراسات أن محلول البوتاس KOH يعطي نتائج حسنة في هذا النطاق حيث تكون سرعة المهاجمة متعلقة بالكثافة الذرية للسطوح المستويات الذرية وبهذا نحصل على أهرامات صغيرة ذات ارتفاع يتراوح بين 5 μm إلى $10 \mu m$ هذه الأهرامات الصغيرة تضمن امتصاص عال وذلك لأن الأشعة المنعكسة منها

تسقط على السطح الثاني فيسبب لها إرسال داخل المادة ثم المنعكسة منها تسقط على السطح المقابل وهكذا.... و بهذه الطريقة يمكن رفع المرودود من 10.1 إلى 14.2% كما يمكن الحصول على ظاهرة السطح المسنن بإدخال العينات داخل حمام من الصودا NaCl (4%) تحت درجة حرارة تتراوح بين 85-90 درجة مئوية [66] و تبقى هذه النتيجة في حيز الدراسة و البحث والأشكال (1-4) و(2-4) توضح لنا نوعين من الخلايا الشمسية المسننة .



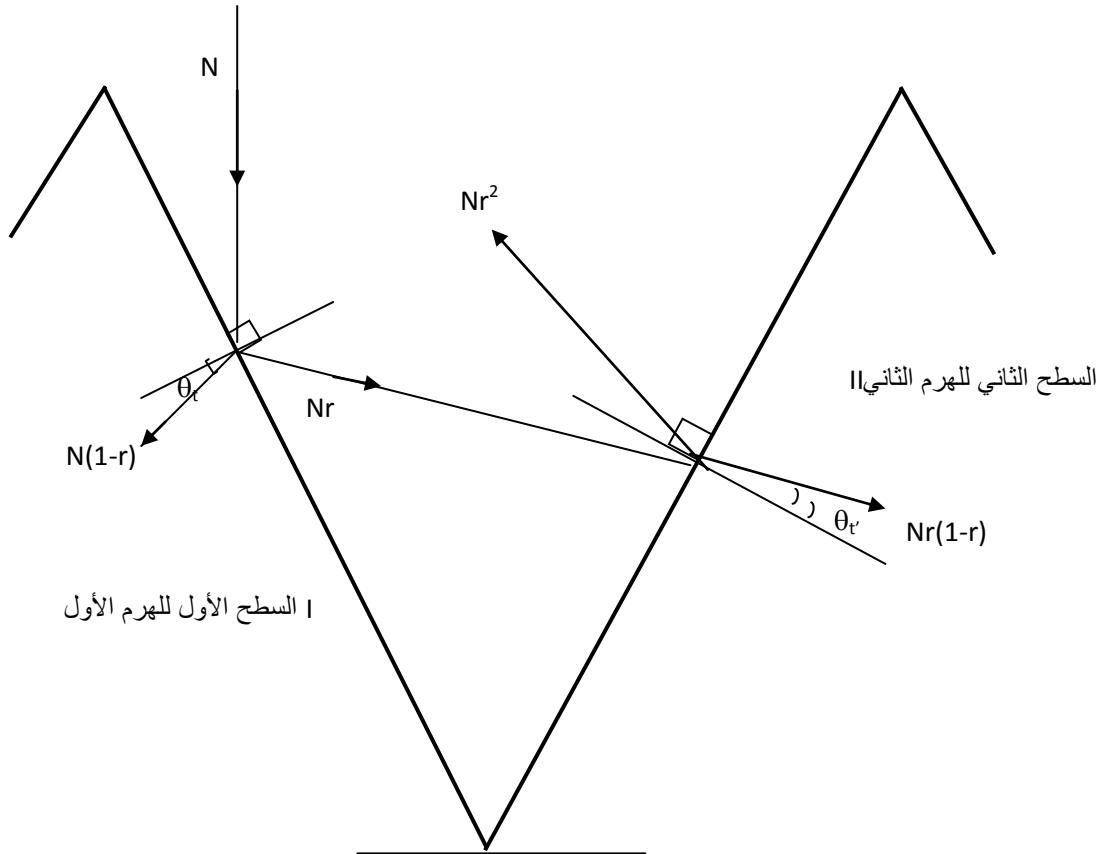
الشكل (1-4) رسم تخطيطي لخلية شمسية مسننة



الشكل (2-4) رسم تخطيطي لخلية شمسية مسننة على شكل أهرامات

4-3-4- تقديم نموذج السطح المسنن:

بعد إجراء العديد من الدراسات على مختلف نماذج الخلايا الشمسية أثبت أحد النماذج على الصعيد النظري والتطبيقي أنه من المناسب بشكل خاص استعمال السطوح المسننة التي يمكن إحداثها باستعمال بعض المحاليل الكيميائية KOH مثلا للحصول على أهرامات صغيرة متجاورة يتراوح ارتفاعها بين $5(\mu\text{m})$ و $10(\mu\text{m})$ وذلك للاستفادة من الأشعة الساقطة مرتين بدل المرة الواحدة شكلي (3-4) :



الشكل (3-4): السطح المسنن

الأشعة المارة $N(1-r^2)$

إذا كان N عدد الأشعة الساقطة على السطح الأول للهرم الأول بزاوية سقوط أولى فإذا كان r معامل الانعكاس فإن عدد الأشعة المارة هو $N(1-r)$ بزاوية انكسار أولى وعدد الأشعة المنعكسة هو Nr بزاوية انعكاس أولى تسقط ثانية على السطح المجاور الهرم الثاني بزاوية سقوط ثانية فتمر $Nr(1-r)$ بزاوية انكسار ثانية وتنعكس Nr بزاوية انعكاس ثانية وبالتالي فإن الأشعة المارة هو مجموع الاستفادتين:

أي أننا في هذه الحالة نستفيد من الأشعة الساقطة مرتين.

$$N(1-r) + Nr(1-r) = N(1-r)(1+r) = N(1-r^2)$$

Nr^2 هو عدد الأشعة الضائعة.

4-3-5- تطوير نموذج السطح لمسنن:

نعتمد في هذا النموذج الذي نقترحه على قوانين الانعكاس والانكسار استناداً إلى دراسات هندسية بحتة لتحديد زوايا السقوط والانعكاس ومن ثمة زوايا الانكسار، إذا قمنا بتغيير طفيف على الشكل (4-3) بحيث يمكننا جعل الأشعة المنعكسة للمرة الثانية Nr^2 بزاوية انعكاس ثانية تسقط مرة أخرى على السطح الأول للهرم الأول بزوايا φ أي بزاوية سقوط ثالثة فتمر $Nr^2(1-r)$ بزاوية انكسار ثالثة وتنعكس Nr^3 وبالتالي فإنه يتشكل لنا مثلث كما هو موضح بالشكل (4-4).

إن مجموع زوايا أي مثلث يساوي π فإنه بعد الحساب نحصل على :

$$\varphi = \left(5i - \frac{3\pi}{2} \right) \quad (4-1)$$

وبما أن $0 \leq \varphi$ فإن :

$$i \geq \left(\frac{3\pi}{10} = 54^\circ \right) \quad (4-2)$$

تمثل i زاوية السقوط الأولى على السطح الأول (I) للهرم الأول.

وتكون زاوية السقوط الثانية i' على السطح المجاور (II) للسطح الأول وهو الهرم الثاني المجاور:

$$i' = \pi - 3i \quad (4-3)$$

أما الزاوية الصلبة المحصورة بين السطح (I) للهرم الأول والسطح (II) للهرم الثاني المجاور هي:

$$\alpha = i + i' \quad (4-4)$$

إذا اخترنا السيلسيوم المتبلور [69-67] ذو معامل الانكسار $n = 3.97$ عند الطول الموجي $59 \mu\text{m}$ وباستعمال قانون ديكارت $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ بين السطح الأول للهرم الأول والسطح الثاني للهرم المجاور الثاني لإيجاد زوايا الانكسار الأولى θ_1 والثانية θ_2 والثالثة θ_3 فإننا نحصل على قيم كل هذه الزوايا في الجدول (3-4)

i [°]	54	55	56	57	58	59	60
i' [°]	18	15	12	9	6	3	0
i'' [°]	90	85	80	75	70	65	60
θ [°]	11.76	11.91	12.06	12.20	12.34	12.47	12.61
θ' [°]	4.46	3.74	3.00	2.26	1.51	0.76	0
θ'' [°]	14.59	14.53	14.36	14.08	13.69	13.20	12.60
φ [°]	0	5	10	15	20	25	30
α [°]	72	70	68	66	64	62	60

الجدول (3-4): زوايا السقوط والانكسار

i تمثل زاوية السقوط الأولى

i' تمثل زاوية السقوط الثانية

i'' تمثل زاوية السقوط الثالثة

θ تمثل زاوية الانكسار الأولى

θ' تمثل زاوية الانكسار الثانية

θ'' تمثل زاوية الانكسار الثالثة

φ تمثل الزاوية بين الشعاع الساقط Nr^2 ووجه الهرم الأول

α تمثل الزاوية بين هرمين متجاورين

تكون المسافة الفاصلة بين قمتي هرمين متجاورين معرفة بالعلاقة:

$$f = 2h \tan(\pi / 2 - i) \quad (4-5)$$

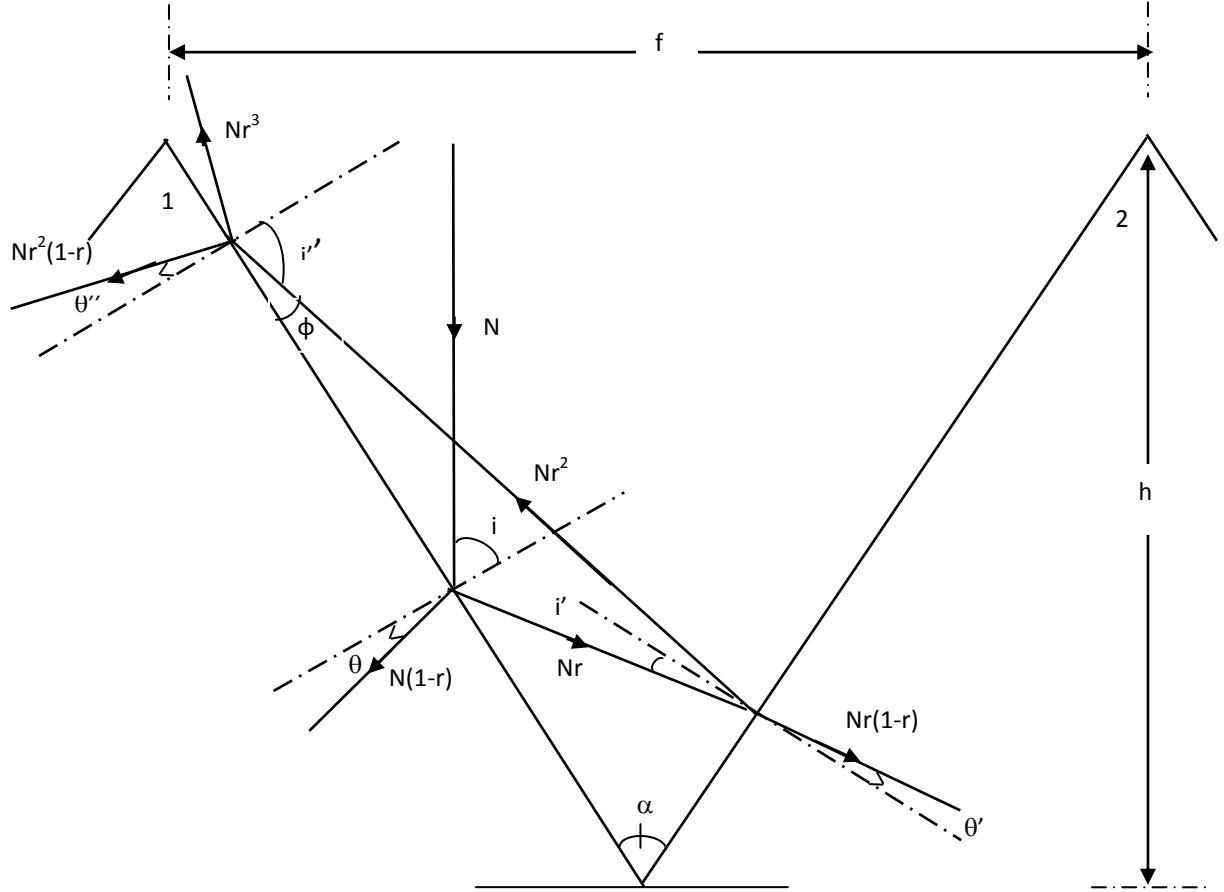
يمثل h ارتفاع الأهرام حيث يتراوح هذا الارتفاع بين $5\mu\text{m}$ إلى $10\mu\text{m}$ والجدول

(4-4) يلخص لنا مختلف النتائج الموافقة لزاوية السقوط.

		i [°]	54	55	56	57	58	59	60
f [μm]	h= 5 μm	7.27	7.00	6.75	6.49	6.25	6.00	5.77	
	h= 6 μm	8.72	8.40	8.10	7.79	7.50	7.20	6.92	
	h= 7 μm	10.18	9.80	9.45	9.09	8.75	8.40	8.08	
	h= 8 μm	11.63	11.20	10.80	10.38	10.00	9.60	9.23	
	h= 9 μm	13.09	12.60	12.15	11.68	11.25	10.80	10.39	
	h=10 μm	14.54	14.00	13.50	12.98	12.50	12.00	11.54	

الجدول(4-4): المسافة الفاصلة بين قمتي هرمين متتاليين

يمكن التحكم في تحديد هذه المسافة بوضع مادة لا تتفاعل مع المحلول المستعمل لإحداث التسننات على قمم الأهرامات المراد إحداثها ثم بعد ذلك نضع هذا المحلول على سطح الخلية الشمسية بنفس الطريقة التي أستعمل فيها في حالة النموذج الذي اقترحنا تطويره.



الشكل (4-4): نموذج السطح المسنن المطور

الأشعة المارة $N(1-r^3)$

$$f = 12.98\mu\text{m}, \phi = 15^\circ, i = 57^\circ, i' = 9^\circ, \alpha = 66^\circ, h = 10\mu\text{m}$$

4-4- الاستجابة الطيفية:

4-4-1- الاستجابة الطيفية لخلية شمسية من السيليسيوم:

الاستجابة الطيفية للخلية الشمسية هي الفعالية اللازمة لتحويل طاقة أشعة بطول موجة معين إلى طاقة كهربائية. هذه الفعالية تتعلق بخصائص ومميزات المادة المحضرة للخلية الشمسية, كما أن الخلية الشمسية لا تستغل كل أطوال الموجات للطيف الشمسي.

عموماً، أكبر كمية إشعاع شمسي تستلم بواسطة الأرض تكون في فترة الظهيرة عندما يكون ضوء الشمس عمودي على سطح الأرض بخلاف وقتي الشروق والغروب فهما يستقبلان أقل كمية من الإشعاع طوال فترة النهار لكل يوم .

بالتالي، نتيجة سقوط إشعاع الشمس عمودياً على سطح الأرض خلال فترة الظهيرة نجد أن المفايد في الإشعاع تكون صغيرة جداً هذه المفايد عبارة عن امتصاص السحب للإشعاعات الشمسية أو تبعثر الإشعاعات في الفضاء بواسطة انعكاساتها عن طريق الرماد البركاني المحمول جواً أو الأدخنة المحمولة جواً نتيجة حرق الغابات و غيرها من ملوثات البيئة بهذا تصل إشعاعات شمسية أكثر سطح الأرض في منتصف اليوم.

تتكون مجموع الإشعاعات التي ترتطم بسطح الخلية الضوئية في الوضع الأفقي أو بمساحة معينة على سطح الأرض من ثلاثة أجزاء أساسية وهي:

1. الحزمة الضوئية المباشرة.
2. الحزمة الضوئية المبعثرة.
3. الحزمة الضوئية المعكوسة.

ولمعرفة المزيد عن هذه الأجزاء نجد أن الجزء الأول هو عبارة عن شعاع مباشر أي في خط مباشر من الشمس إلى الأرض ويشكل أغلب الأجزاء في الأيام المشمسة.

أما في الأيام الغائمة، الشمس مغطىة بالغيوم و الشعاع المباشر في مثل هذه الأيام يكون تقريباً صفر. ومن ثم تشكل الحزمة الضوئية المبعثرة الأغلبية العظمى في ذلك اليوم ولكن تكون جزئياته متفرقة خارج مسار الشعاع المباشر. وبما أن هذا الشعاع يأتي من أنحاء متفرقة من السماء فلبعض يطلقوا عليه اسم إشعاع السماء.

إن كمية الشعاع المبعثر يكون حوالي 10 % إلى 20 % للسماء الصافية و بحدود 100 % للسماء

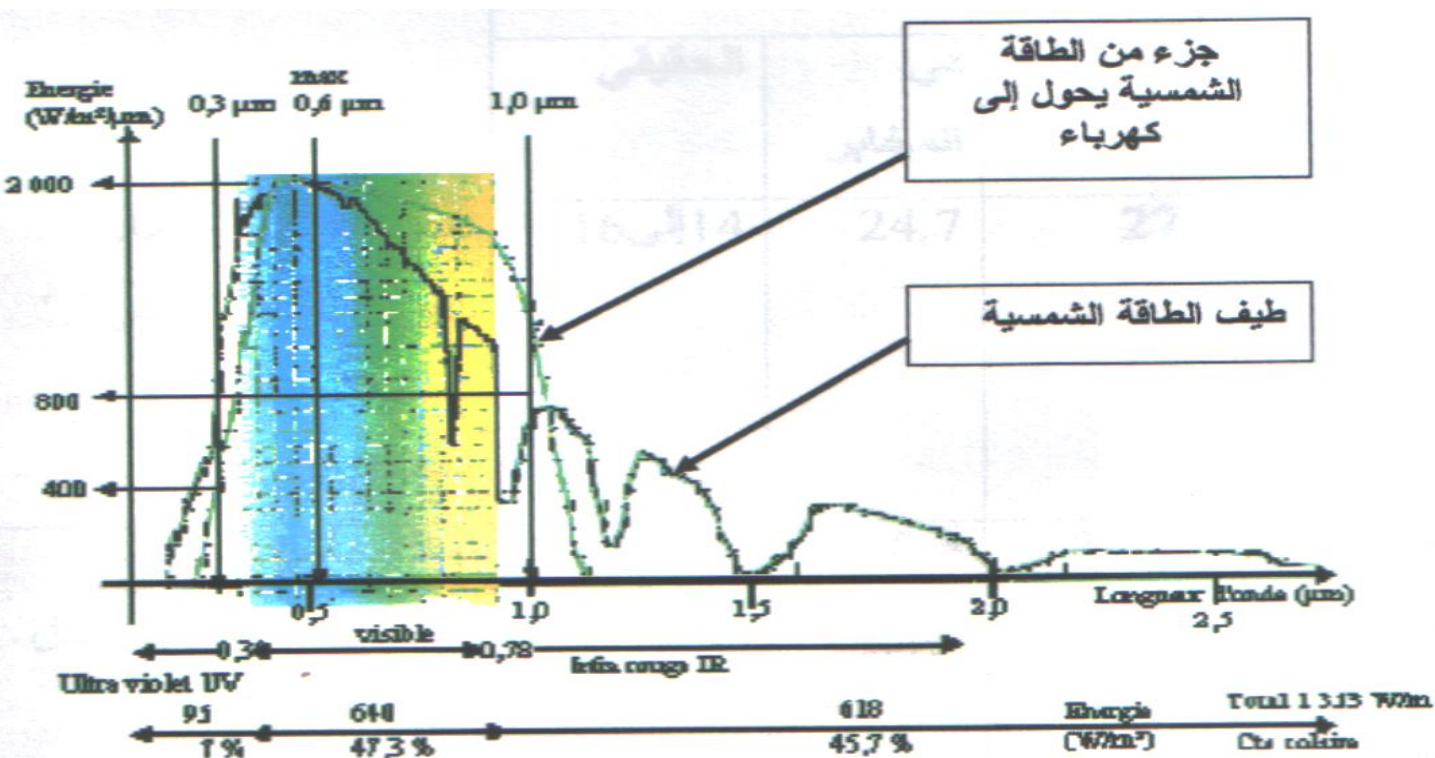
الغائمة. بعض الإشعاع الشمسي يدخل جو الأرض يمتصّ ويبعث.

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

إنّ كمية الإشعاع المنعكس على سطح الخلية يكون مختلف الكمية بسبب اختلاف الأسطح العاكسة للإشعاع بعد تحليل الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على الخلية في الوضع الأفقي يمكننا زيادة كمية الإشعاع وذلك بتثبيت الخلايا الضوئية بزواوية ميل يتم اختيارها بدقة بحيث تثبت مباشرة نحو الشمس معظم الوقت و طوال السنة وسوف تحقق زاوية الميل هذه الحد الأقصى من الطاقة. وباستخدام زاوية ميل للخلية سوف تتغير المعادلة الأولى ويضاف إليها الزاوية ويتغير وضع الخلية من أفقي إلى شبه عامودي يحدد ذلك مكان الخلية على سطح الأرض جدول (4-1).

فعند تسليط أشعة ضوئية على خلية شمسية فإنها لا تحول إلا جزء منها إلى طاقة كهربائية ، هذه الأشعة التي تقسم إلى مجال طول الموجة في المجال الفوق بنفسجي طول موجي أقل من $0.4 \mu\text{m}$ وأكبر من $0.7 \mu\text{m}$ ، فالعين لا تكون حساسة للطول الموجي المحصور بينهما وكذا المجال $(0.35-1.1 \mu\text{m})$ الشكل (4-5) يوضح الاستجابة الطيفية لخلية شمسية من السليسيوم مقارنة بالأطياف الساقطة على سطح الأرض.

في حالة السيليسيوم فان الطاقة اللازمة تستلزم أطوال موجات أقل من $1.1 \mu\text{m}$ و الفوتونات ذات أطوال موجات كبيرة $\lambda > 1.1 \mu\text{m}$ يمكن لها طاقياً أن تنزع الإلكترونات التي تساهم في توليد التيار الكهربائي أما اذا كانت أطوال الموجات قصيرة λ فان $0.4 \mu\text{m} <$ طاقة الفوتون كبيرة جداً تمتص من قبل سطح مضطرب لتساعد في خلق ظاهرة انتقال الإلكترونات.



الشكل (4-5): الاستجابة الطيفية لخلية شمسية من السليسيوم

2-4-4- الاستجابة الطيفية للسطح المسنن:

تمثل الاستجابة الطيفية عدد الحوامل للشحن (الإلكترونات وثقوب) الناتج من طرف كل فوتون وارد وتتعلق بالطول الموجي حيث تتراوح قيمتها بين 0 و 1 في نموذج مثالي تأخذ القيمة 1 وحيث أن أكبر منطقة للطاقة المتحولة من الأشعة الشمسية إلى طاقة كهربائية متوضعة في الجزء المرئي من الطيف الضوئي [70-71] وبما أن الاستجابة الطيفية تكون كبيرة في الطيف المرئي والأشعة ما تحت الحمراء فإنها تعتبر عنصراً مهماً في تقييم مردود الخلايا الشمسية.

ليكن N عدد الأشعة الساقطة (الواردة) على الخلية فإذا كان r معامل الانعكاس فإن عد الأشعة المارة هو $N(1-r)$ فإذا كان J_{ph} يمثل كثافة التيار المقدمة فإن الاستجابة الطيفية بالنسبة لسطح عادي لخلية شمسية يعطى بالعلاقة:

$$R_s = \frac{J_{ph}}{qN(1-r)} \quad (4-6)$$

حيث : $N(1-r)$ تمثل عدد الأشعة المارة

وفي حالة السطح المسنن الذي نستفيد فيه من الأشعة الساقطة مرتين فإن:

$$R_s = \frac{J_{ph}}{qN(1-r^2)} \quad (4-7)$$

حيث: $N(1-r^2)$ تمثل عدد الأشعة المارة في حالة السطح المسنن

أما نموذجنا المقترح الذي نستفيد فيه من الأشعة الساقطة ثلاث مرات متتالية فإن المعادلة (4-7) تؤول إلى:

$$R_s = \frac{J_{ph}}{qN(1-r^3)} \quad (4-8)$$

تمثل: $N(1-r^3)$ تمثل عدد الأشعة المارة في حالة النموذج المقترح

سنركز اهتمامنا في هذه الدراسة على معامل الانعكاس r ولذلك نضع :

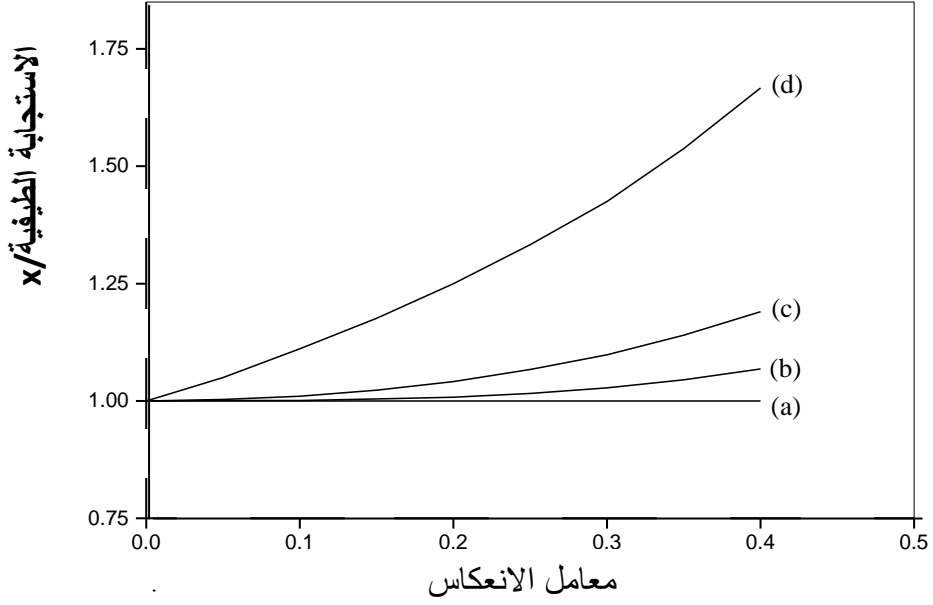
$$x = \frac{J_{ph}}{qN}$$

وبالتالي فإن :

$$R_s = \frac{x}{(1-r^3)} \quad (4-9)$$

ولتمثيل العلاقات (4-6) , (4-7) , (4-9) بيانيا من أجل قيم مختلفة لمعامل الانعكاس فإننا نحصل

على الشكل (6-4) الذي نرى من خلاله بوضوح أننا نقتررب إلى القيمة المثالية في حالة نموذجنا المقترح.



الشكل (6-4): الاستجابة الطيفية

(a) الاستجابة الطيفية في الحالة المثالية

(b) الاستجابة الطيفية في حالة النموذج المقترح

(c) الاستجابة الطيفية في حالة نموذج السطح المسنن

(d) الاستجابة الطيفية في حالة سطح عادي

4-5- الخصائص الكهربائية والضوئية:

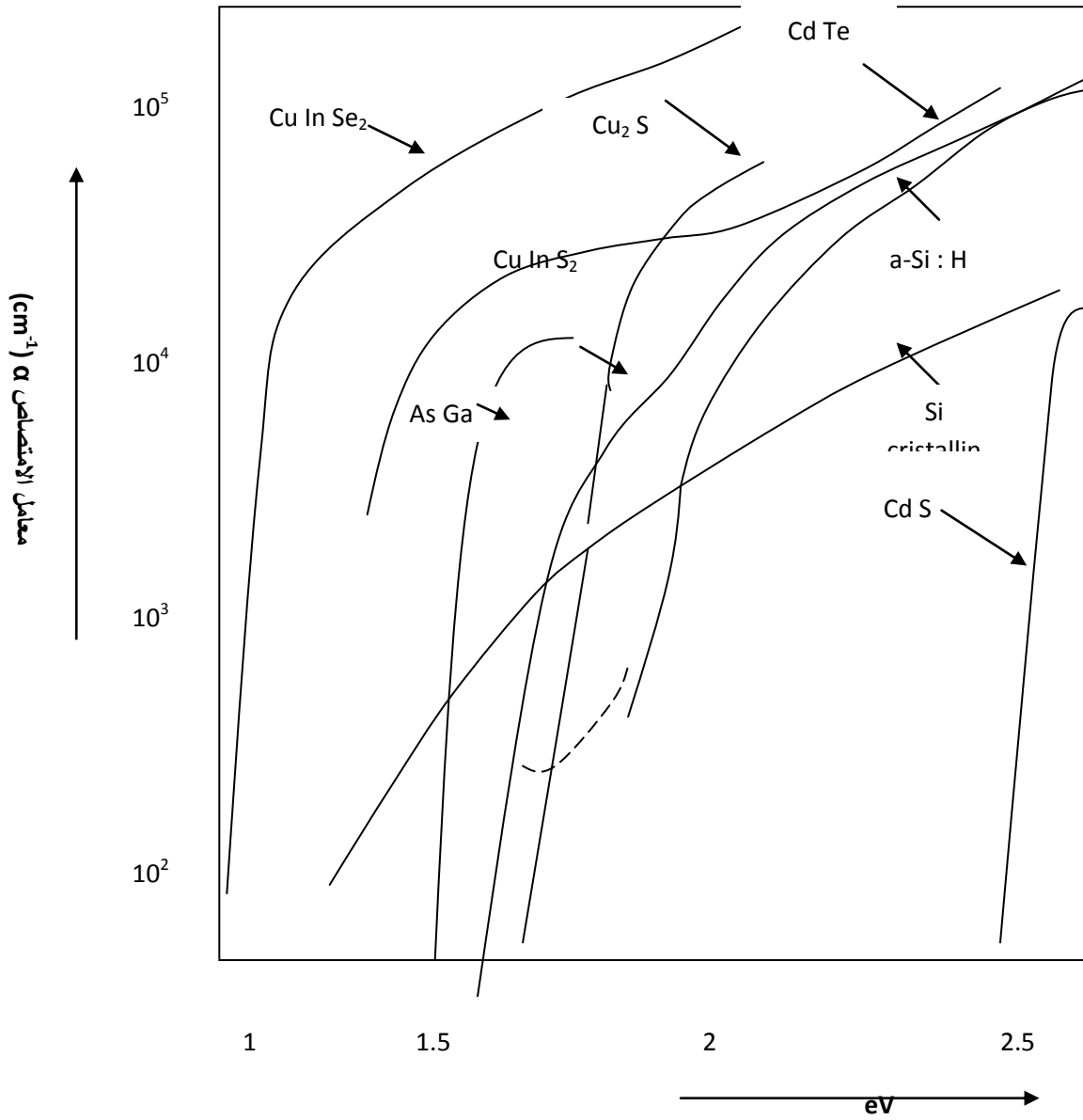
الخواص الكهربائية والضوئية تلعب دور مهم في التحسين الأمثل للمواد المحضرة والمستعملة في التحويل الطاقوي .

فالخواص الكهربائية تتغير كثيرا مع التركيبة البنيوية لأنصاف النواقل ،حيث يتم الاعتماد على نوعية الناقلية الطبقات الغنية ب Cu تكون عامة ضعيفة المقاومة ونوعها P ، وعندما تكون الطبقات غنية ب Ga مقاومتها عالية ونوعها n ، كما أن الناقلية تتعلق بطبيعة العيوب الذاتية

أما بالنسبة للخصائص الضوئية فإن تفاعل الأشعة مع الأجسام الصلبة يترجم بظواهر الانعكاس ،الامتصاص والانتشار بصفة خاصة نسبة من الطيف الضوئي المتدفق يمكن أن يمتص من طرف المواد. فظاهرة الامتصاص تتم دراستها انطلاقا من معامل الامتصاص الذي يتعلق بطول الموجة . فمن أجل أنصاف النواقل معامل الامتصاص مميز بنافذة شفافة محدودة بأطوال موجات قصيرة وعتبة امتصاص . فالقيم النوعية لطول الموجة عند عتبة الامتصاص تكون في المجال تحت الحمراء وفوق البنفسجية.

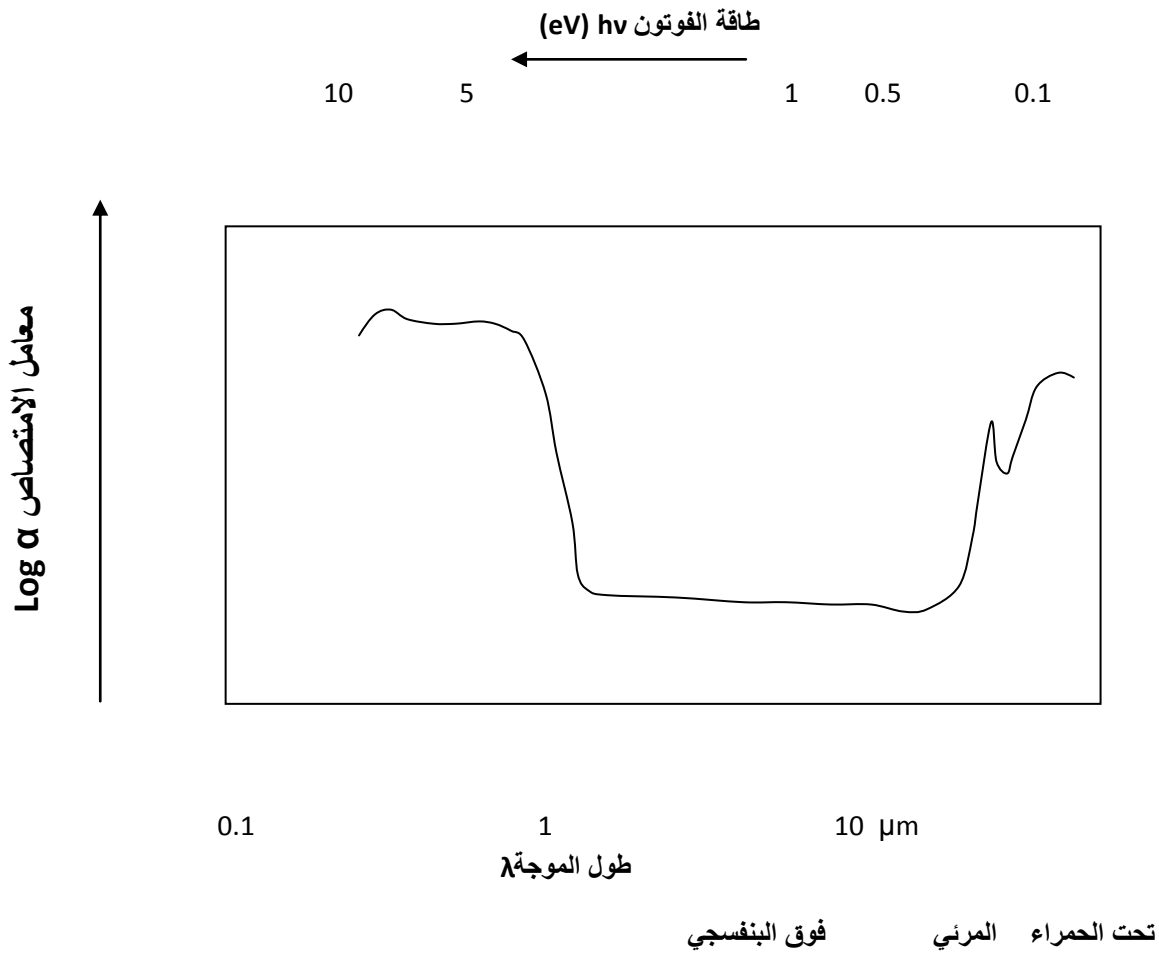
والشكل (4-7) يبين طيف الامتصاص لنصف الناقل بدلالة طول الموجة ، ففي المجال المرئي هناك نقصان لتدفق الضوئي ، كما أن هناك ظواهر انتشار وامتصاص تنشأ عن عيوب وشوائب .

نلاحظ أنه إذا كانت عتبة الامتصاص في المجال تحت الحمراء فإن المادة النصف ناقلة تمتص الضوء المرئي بكثافة ، وإذا كانت عتبة الامتصاص تصل حتى المجال المرئي للطيف فإن النصف الناقل يصبح شفاف ويؤخذ الألوان بالتتالي من الأحمر إلى الأصفر كلما تناقصت العتبة



الشكل (7-4): طيف الامتصاص

أما إذا كانت عتبة الامتصاص في المجال فوق البنفسجي فان المادة تكون شفافة لكامل الطيف المرئي



الشكل (4-8): معامل الامتصاص

معامل الامتصاص من الخواص المهمة لأنصاف النواقل والتي تحسن في استطاعة التحويل الفوتوفولطي الذي يتغير حسب الشدة الضوئية ، حيث يثير فوتون طاقي إلكترون من مستوى طاقي أدنى إلى مستوى أعلى . نظريا نستفيد من طيف الانتقال بحساب جميع انتقالات الإلكترونات وكذلك الارتباط المتعلق بطبيعة الانتقال بين قيمة الامتصاص (α) والطاقة . والشكل (4-8) يبين تغير معامل الامتصاص بدلالة طاقة الفوتونات لعدة مواد نصف ناقلة

4-6- امتصاص الأشعة:

إذا سلطنا إشعاع ضوئي على وصلة N-P ذو طاقة $h\nu$ أكبر من عرض الشريط الممنوع لنصف الناقل ، تتولد أزواج إلكترون - ثقب إضافة إلى الأزواج الناتجة عن التحريض الحراري ، الحوامل الأقلية من جهتي الوصل الوصلة تنتشر حتي المنطقة المهجورة حيث تسرع وتفصل بواسطة الحقل الكهربائي لهذه المنطقة ثم تجمع في حدود المنطقتين: P و N أين يصبحان أغلبية ، فينتج عند التوازن وتحت إضاءة معطاة ثابت تيار كهربائي I في الدارة الخارجية تحت فرق كمون V في حدود الخلية.

وحسب النظرية الجسمية تسمى الكمات الطاقوية المصاحبة للإشعاع فوتونات .وفي إطار الميكانيك الكوانتي فإن طاقة فوتون توافق إشعاع معطى والذي يكون مرتبط بطول الموجة حسب العلاقة التالية :

$$E=h\nu =hc/\lambda=1.24/\lambda \quad (4-10)$$

ν تردد الإشعاع:

λ : طول موجة الإشعاع (μm)

C: سرعة الضوء

E: طاقة الفوتون (eV)

H: ثابت بلانك

-معامل الامتصاص:

عند انتقال الأشعة الشمسية داخل الخلية الشمسية فإنها تتناقص نظرا للتخامد الناتج عن البنية المجهرية و العيوب البلورية المختلفة، يحتوي هذا التناقص أو التوهين عن الضياع في الجسم الصلب و الضياع الناتج عن الإشعاع فرغم وجود عدد كبير من العوامل المساعدة على توهين الأشعة فإنه يمكن اعتبار أن من بين الأسباب النسبية لهذا الضياع يعود إلى ظاهرة الامتصاص و حيث أن الامتصاص هو التحول المباشر للطاقة إلى حرارة بسبب الاحتكاكات الداخلية للجسم هذا ما يساعد على فصل الإلكترونات عن الثقوب مما يساعد على ارتفاع شدة التيار الذي يتناسب طردا مع عدد الفوتونات الساقطة، كما أن معامل

الامتصاص يزداد خطياً كذلك مع عدد الفوتونات الساقطة كما أنه كلما زاد معامل امتصاص الخلية الشمسية للضوء كلما ازدادت قدرة الخلية الشمسية على تحويل الطاقة الضوئية إلى كهرباء.

فإذا اصطدم إشعاع ضوئي بنصف ناقل فإنه يمتص من قبل هذا الأخير حسب قانون لامبير- بوقوي

:(lambert-bouguer)

$$I(d)=I_0(1-r) \cdot \exp(-\alpha \cdot d)=I_0 \exp(-\alpha \cdot d) \quad (4-11)$$

d : عمق امتصاص الحزمة في المادة انطلاقاً من نصف الناقل .

r : معامل الانعكاس الذي يمثل كمية من طاقة الإشعاع (I) الساقط والتي تنعكس عند السطح

α : معامل الامتصاص يترجم امتصاص فوتون بواسطة وحدة طول ، وهو يتغير حسب المادة.

و يكون معامل المرور في نموذجنا:

$$T = \frac{I}{I_0} = e^{-\alpha d} \quad (4-12)$$

d يمثل سمك الخلية الشمسية.

و حيث أننا ركزنا في هذه الدراسة على عدد الفوتونات الساقطة والمارة فإن:

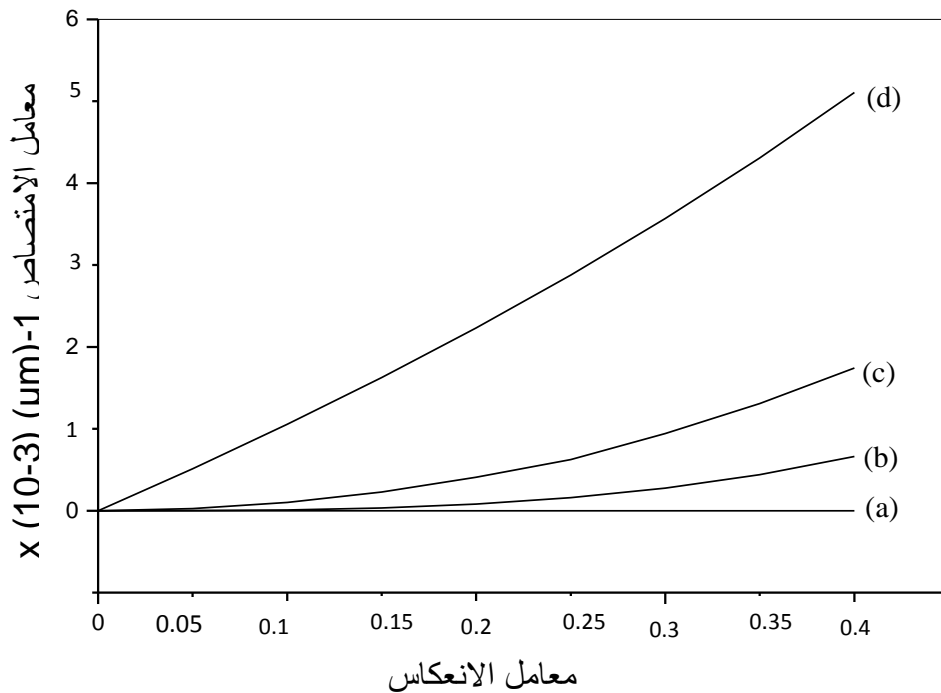
$$T = \frac{I}{I_0} = \frac{N(1-r^3)}{N} = (1-r^3) \quad (4-13)$$

ويكون معامل الامتصاص في النموذج المقترح:

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln\left(\frac{1}{1-r^3}\right) \quad (4-14)$$

إذا اخترنا سمك الخلية ($d=100\mu\text{m}$) و مثلنا بيانيا مختلف الحالات شكل(4-9) فإنه يتبين لنا بوضوح مدى تغير معامل الامتصاص بدلالة معامل الانعكاس حيث أن النموذج المثالي موضح بالمنحنى (a) أما السطح العادي فهو ممثل بالمنحنى (d) ويكون السطح المسنن الذي نستفيد فيه من الأشعة الساقطة مرتين ممثلا بالمنحنى (c) أما نموذج السطح المسنن الذي نستفيد فيه من الأشعة الساقطة ثلاث مرات فهو ممثل بالمنحنى (b)

ونستخلص من خلال هذه المنحنيات أننا نقرب إلى الحالة المثالية في حالة السطح المسنن كما نقرب أكثر إلى الحالة المثالية في حالة النموذج المقترح.



الشكل (4-9): معامل الامتصاص

(a) معامل الامتصاص في الحالة المثالية

(b) معامل الامتصاص في حالة النموذج المقترح

(c) معامل الامتصاص في حالة نموذج السطح المسنن

(d) معامل الامتصاص في حالة سطح عادي

7-4-نسبة التوليد:

تعرف نسبة التوليد بالعلاقة :

$$G = \alpha N(1 - r) e^{-\alpha d}$$

وفي حالة السطح المسن تكون على الشكل:

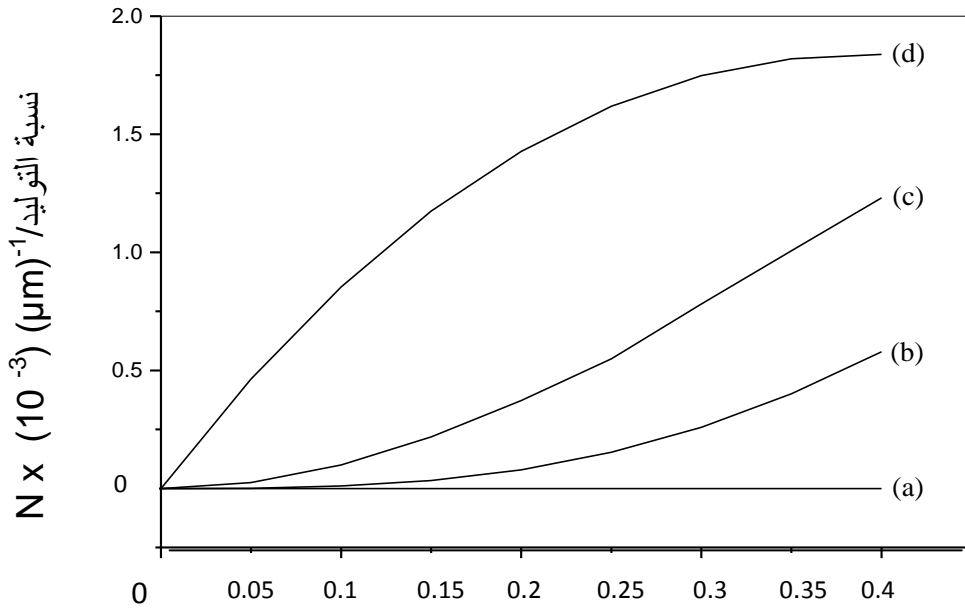
$$G = \alpha N(1 - r^2) e^{-\alpha d}$$

وفي حالة النموذج فان هذه العلاقة تصبح على الشكل الآتي:

$$G = \alpha N(1 - r^3) e^{-\alpha d}$$

(13)

والشكل (4-10) يبين بوضوح مدى تغير نسبة التوليد بدلالة معامل الانعكاس حيث أن النموذج المثالي موضح بالمنحنى (a) أما السطح العادي فهو ممثل بالمنحنى (d) ويكون السطح المسنن الذي نستفيد فيه من الأشعة الساقطة مرتين ممثلاً بالمنحنى (c) أما نموذج السطح المسنن الذي نستفيد فيه من الأشعة الساقطة ثلاث مرات فهو ممثل بالمنحنى (b) ونستخلص من خلال هذه المنحنيات أننا نقرب إلى الحالة المثالية في حالة السطح المسنن كما نقرب أكثر إلى الحالة المثالية في حالة النموذج المقترح.



معامل الانعكاس

الشكل (4-10): نسبة التوليد

(a) نسبة التوليد في الحالة المثالية

(b) نسبة التوليد في حالة النموذج المقترح

(c) نسبة التوليد في حالة نموذج السطح المسنن

(d) نسبة التوليد في حالة سطح عادي

8-4- الطبقة المانعة للانعكاس [72]:

بهدف الزيادة في درجة فاعلية وكفاءة الخلايا الشمسية يمكن طلاء سطح الخلايا بطلاءات مضادة للانعكاس ومن بين هذه المواد ($\text{MgF}_2, \text{ZnS}, \text{SiO}_2, \text{ZrO}_2, \text{CeF}_3$) حيث تتطلب الخلايا الشمسية البلورية وجود طبقة مانعة للانعكاس في المقدمة وطبقة لاصقة في الجانب الخلفي، ويتم تغليف الطبقات المانعة للانعكاس حالياً بواسطة عمليات ترسيب البخار الكيماوي المعزز بالبلازما (PECVD)، بينما تكون الطبقات اللاصقة الموجودة في الجانب الخلفي مطبوعة بالتفريغ، كما يمكن أن يستخدم في عملية الترسيب بخار مادي (PVD) ولا يتطلب أي غازات دفيئة أو معدات أخرى إضافية».

هناك أنواع كثيرة من الخلايا الشمسية ومن أفضل هذه الأنواع خلية السليسيوم Si التي تتكون من وصلة ثنائية من السليسيوم المطعم بذرات الزرنيخ As كبلورة سالبة n-type وأما البلورة الموجبة فتتكون من بلورة سليسيوم مطعم بذرات من البور B ويكون سمك البلورة الموجبة صغيرا جدا بينما تكون البلورة السالبة أكثر سمكا ويغطي سطح البلورة السالبة غشاء رقيق يسمح بِنفاذ الأشعة الشمسية ويمنع خروج الأشعة في الاتجاه المعاكس أي نختار مواد يكون لها نفاذ عالي وانعكاسية منخفضة وتكون هذه المواد غالبا أكاسيد لأننا نعرف أن $T+R+A=1$ أي كلما زادت نسبة T النفاذية قلت نسبة R الانعكاسية وبذلك تمتص البلور السالبة معظم الطاقة الشمسية الساقطة عليها

تبين من حسابات الأنعكاسية ان الطلاءات المكونة من طبقة مفردة، وطبقتين، وثلاث طبقات تكون مفيدة في المنطقة المرئية لتقليل الأنعكاسية ولكنها غير مفيدة جداً في المنطقة تحت الحمراء القريبة.

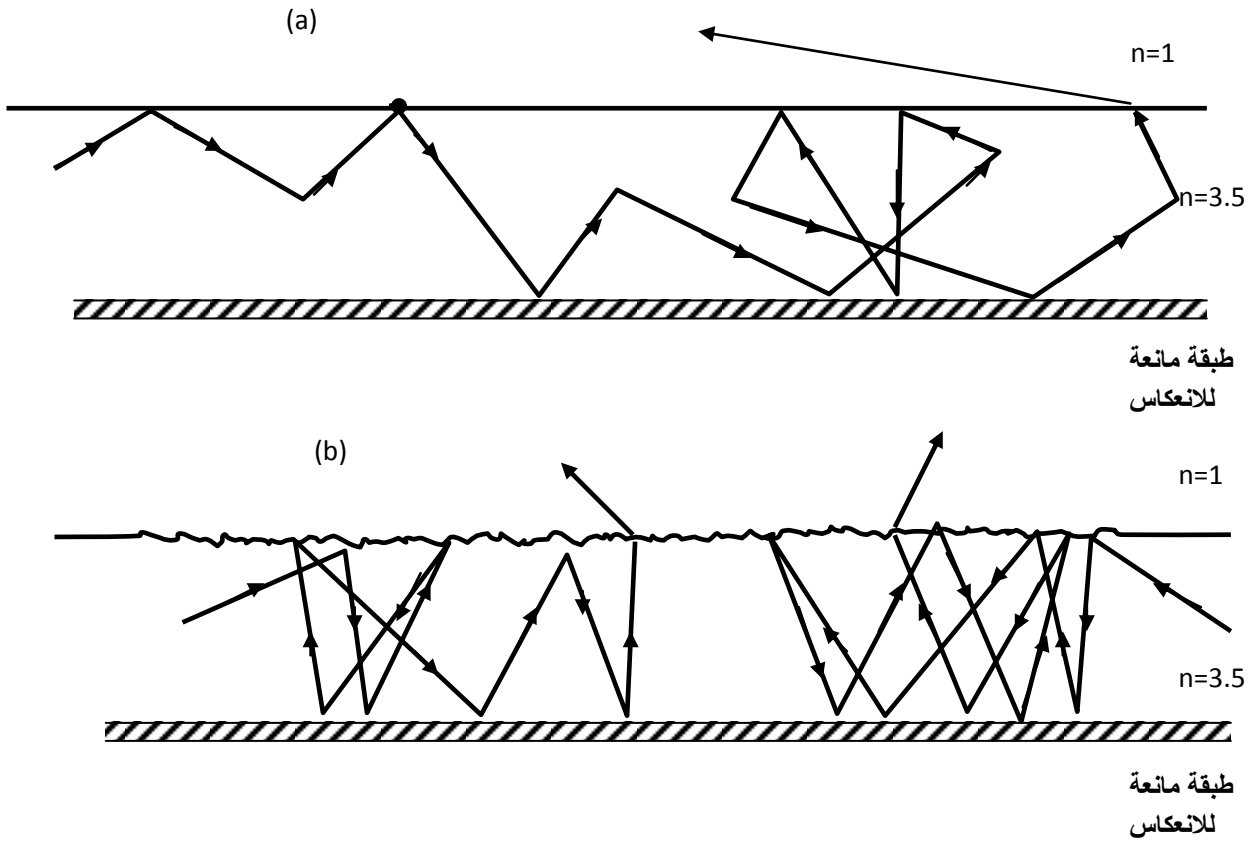
كذلك تبين ان طلاءات متعددة الطبقات مكونة من مادتين، أو ثلاث مواد، بتكرار دوري منتظم مفيدة جداً لانتاج انعكاسية عالية في المنطقة تحت الحمراء القريبة تصل الى 100% وبالتحديد عند 1064nm، مع بقاء الأنعكاسية اقل من 5% عند المنطقة المرئية من الطيف.

لقد وجد بأن زيادة عدد الدورات بالنسبة للطلاء المتعدد الطبقات يؤدي الى زيادة الأنعكاسية لنطاق الأنعكاسية العالية مع ضيق هذا النطاق وفي الوقت نفسه يزداد عرض منطقة الأنعكاسية الواطئة. وكذلك وجد أن تأثير زاوية السقوط يتمثل في أزاحة نطاق طيف الأنعكاسية نحو الأطوال الموجية القصيرة.

بإضافة طبقة مانعة للانعكاس إلى السطوح المسننة يمكن رفع من المردود بنسبة جيدة حيث يتغير مردود السطح الأملس من 10.1 إلى 14.6% كما هو موضح بالجدول (4-5). بإضافة طبقة مانعة للانعكاس إلى سطح مسنن يمكن رفع المردود من 14.6 إلى نسبة أعلى.

سطح عادي دون طبقة مانعة للانعكاس	سطح عادي ذو طبقة مانعة للانعكاس	سطح مسنن دون طبقة مانعة للانعكاس
10.1	14.6	14.2

الجدول (4-5): مردود التحول النظري لخلية من السليسيوم لسطح عادي دون ومع طبقة مانعة للانعكاس ولسطح مسنن دون طبقة مانعة للانعكاس



الشكل (4-11): الطبقة المانعة للانعكاس

(a) في حالة السطح المستوي

(b) في حالة السطح المسنن

إذن ففي حالة تغليف الخلية الشمسية بطبقة مانعة للانعكاس فإننا نحصل على نتائج أحسن خاصة في حالة نموذجنا حيث أن معامل الانعكاس يقترب إلى الصفر و بالتالي تزداد الاستجابة الطيفية و كذا معامل الامتصاص و نسبة التوليد حيث هذه المقادير الثلاثة موضحة بالأشكال (4-12) (4-13)

(4-14) حيث يتجلى لنا بوضوح من خلال المنحنيات التي تمثل على التوالي الاستجابة الطيفية بدلالة طول الموجة وكذا معامل الامتصاص بدلالة طول الموجة وأخيرا نسبة التوليد بدلالة طول الموجة ما يلي:

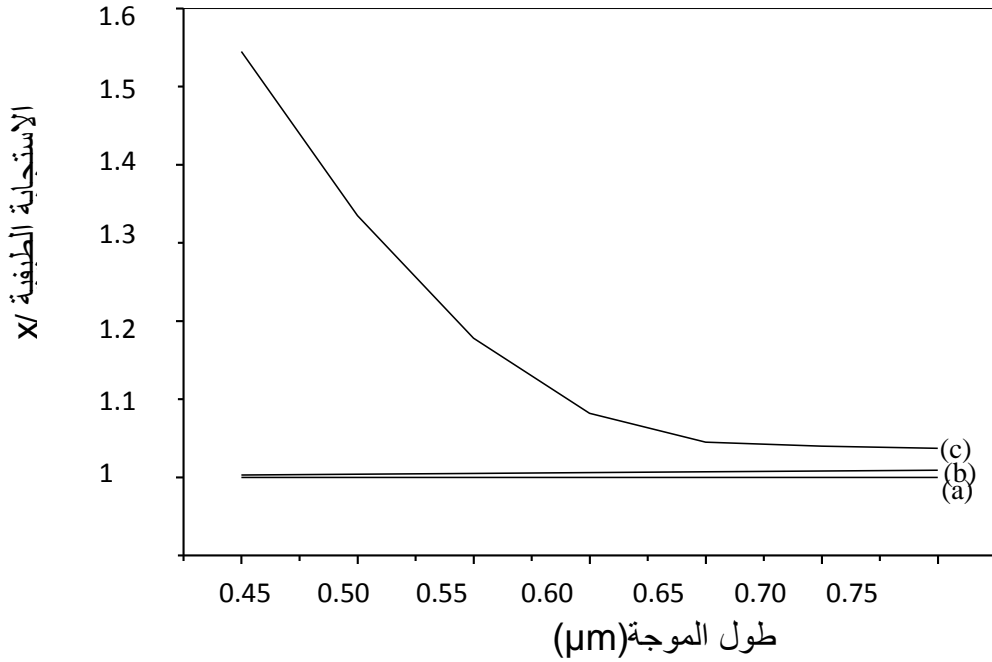
المنحنى (a) يمثل الحالة المثالية والتي تكون فيها مختلف المقادير على شكل خط مستقيم موازي لمحور الفواصل.

أما المنحنى (c) فيمثل نموذجنا المقترح دون وجود طبقة مانعة للانعكاس أي ($d = 0 \text{ A}^\circ$)

ويكون المنحنى (b) ممثلاً لنموذجنا المقترح ولكن بوجود طبقة مانعة للانعكاس أي أن:

($d = 1200 \text{ A}^\circ$)

ونستخلص من خلال هذه المنحنيات أننا نقرب إلى الحالة المثالية في حالة السطح المسنن كما نقرب أكثر فأكثر إلى الحالة المثالية في حالة النموذج المقترح. و ذلك من أجل أطوال موجية مختلفة تقع في الطيف المرئي

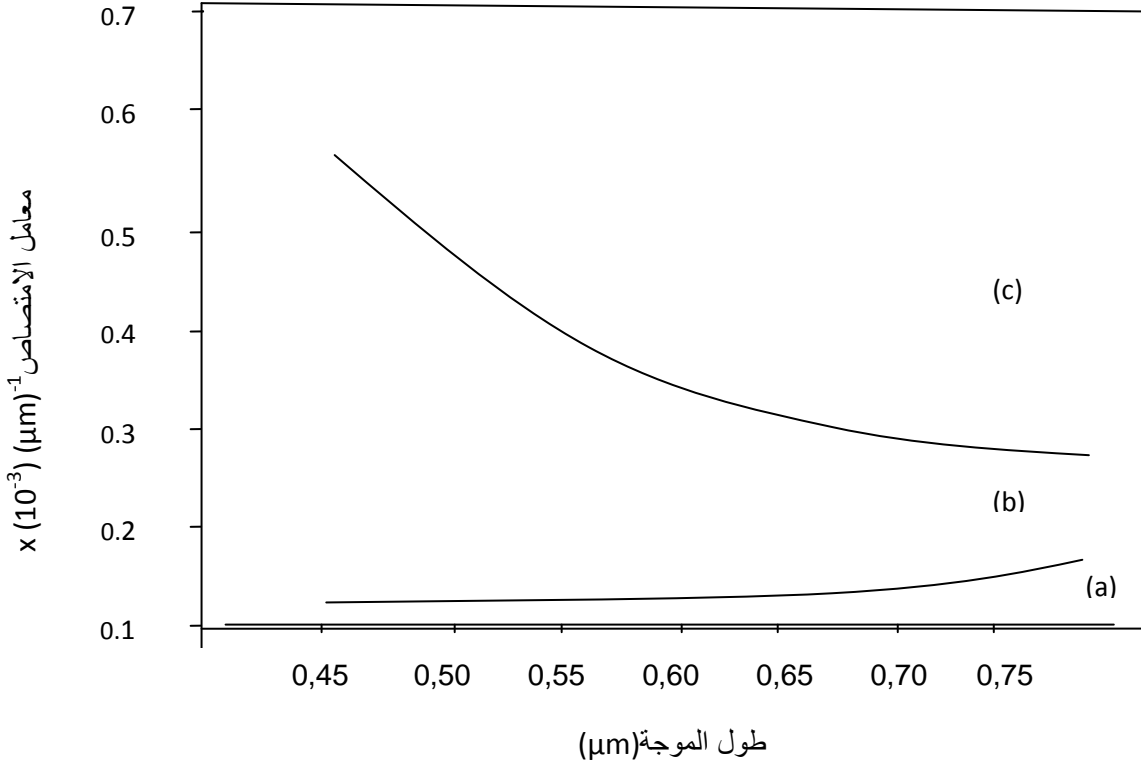


الشكل (4-12): الاستجابة الطيفية دون ومع طبقة مانعة للانعكاس

(a) الاستجابة الطيفية في الحالة المثالية

(b) الاستجابة الطيفية في حالة النموذج المقترح دون طبقة مانعة للانعكاس

(c) الاستجابة الطيفية في حالة النموذج المقترح بوجود طبقة مانعة للانعكاس.

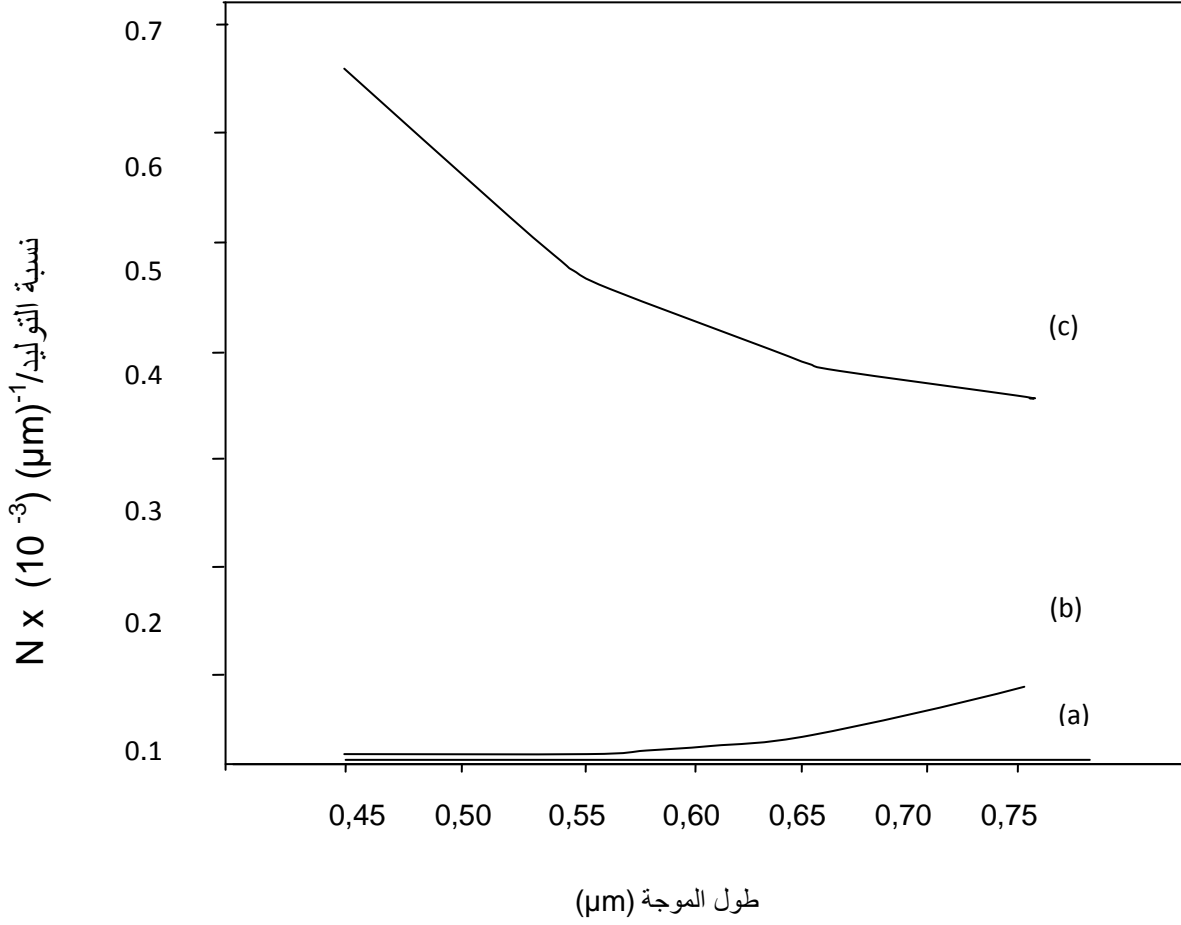


الشكل (4-13): معامل الامتصاص دون ومع طبقة مانعة للانعكاس

(a) معامل الامتصاص في الحالة المثالية

(b) معامل الامتصاص في حالة النموذج المقترح دون طبقة مانعة للانعكاس

(c) معامل الامتصاص في حالة النموذج المقترح بوجود طبقة مانعة للانعكاس



الشكل(4-14): نسبة التوليد دون ومع طبقة مانعة للانعكاس

(a) نسبة التوليد في الحالة المثالية

(b) نسبة التوليد في حالة النموذج المقترح دون طبقة مانعة للانعكاس

(c) نسبة التوليد في حالة النموذج المقترح بوجود طبقة مانعة للانعكاس.

4-9- خاتمة :

اهتمت أعمال البحث المقدمة خلال هذه الدراسة بتطوير أحد نماذج السطوح المسننة حيث يمكننا الاستفادة من الأشعة الساقطة على سطوح الخلايا الشمسية ثلاث مرات متتالية و ذلك عندما تكون زاوية السقوط محصورة بين 54° و 60° المسننات على شكل أهرامات صغيرة يتراوح ارتفاعها بين 5 و $10\mu\text{m}$ تكون المسافة بين قمم كل هرمين متجاورين تتراوح بين 7 و $14\mu\text{m}$ ، و هكذا فإن الاستجابة الطيفية ومعامل الامتصاص و نسبة التوليد يقتربون أكثر فأكثر إلى الحالة المثالية في حالة نموذجنا المقترح و خاصة باستعمال الطبقة المانعة للانعكاس ، كل هذه العوامل و غيرها لها دور أساسي في تحسين مردود الخلايا الشمسية.

خلاصة عامة:

اهتمت أعمال البحث المقدمة خلال هذا الموضوع بتقديم مساهمة فعالة في معالجة أحد الأنماط الطاقوية التي تهتم بدراسة الخصائص الفولطاضوئية للخلايا الشمسية التي تعتمد على الأشعة الشمسية الساقطة على الخلايا وذلك بدراسة- بعض المقادير التي لها علاقة مباشرة مع المردود.

تكمُن أهمية هذا الموضوع في كيفية استرجاع الأشعة المنعكسة والاستفادة من الأشعة الساقطة ثلاث مرات متتالية حيث أن الأشعة الشمسية تتألف من جزيئات لا متناهية الصغر على شكل فوتونات يحمل كل فوتون طاقة معينة ويتحرك بسرعة كبيرة جدا تكافئ سرعة الضوء ,وبما أن انتشار الضوء يكون على شكل خطوط مستقيمة ,مما سهل علينا استعمال قوانين الانعكاس والانكسار. وقد اعتمدنا في هذا النموذج على دراسات هندسية بحتة لتحديد مختلف العوامل التي تساعد على معالجة نموذج السطح المسنن المطور بغية تحسين الخصائص الفولطاضوئية.

يمكن لسطح عادي لخلية شمسية أن يعكس الأشعة الواردة بنسبة معينة هذه النسبة يمكن أن تصبح أحسن إذا ما غطى السطح بطبقة مانعة للانعكاس وباستعمال نموذجنا المقترح فإنه يمكننا التقليل من الانعكاس إلى أقل من ذلك مما سيؤدي إلى تحسين الخصائص الفولطاضوئية (الاستجابة الطيفية, معامل الامتصاص , نسبة التوليد...التي لها علاقة مباشرة بالمردود وبالتالي إلى رفع المردود.

وقد قمنا في هذه الدراسة بتطوير أحدج نماذج السطوح المسننة حيث كانت الاستفادة من الأشعة الساقطة مرتين أي أن الشعاع الساقط على سطح الخلية الشمسية الأولى ينعكس بنسبة معينة ليسقط مرة أخرى على السطح المجاور لخلية شمسية ثانية لينعكس بنسبة معينة أخرى ثم يضيع بعدها غير أننا في هذه الدراسة وباستعمال دراسات هندسية بحتة وباستعمال قوانين الانعكاس والانكسار استطعنا أن نجعل هذا الشعاع يسقط للمرة الثالثة على سطح الخلية الشمسية الأولى لتكون الزاوية المحصورة بين هذا الشعاع وسطح الخلية الشمسية الأولى Φ حيث يمكننا الاستفادة من الأشعة الساقطة على سطوح الخلايا الشمسية ثلاث مرات متتالية وقمنا بتطبيقه على السيليسيوم المتبلر وقد تحقق ذلك عندما تكون زاوية السقوط الأولى محصورة بين (54° و 60°) وزاوية السقوط الثانية محصورة بين (0° و 18°) أما زاوية السقوط الثالثة فتكون محصورة بين (60° و 90°) لتكون زوايا الانكسار المرافقة لزوايا السقوط على الترتيب كما يلي: (11.76° و 12.61°) , (4.64° و 0°) , (14.59° و 12.60°) وكذا الزاوية المحصورة بين الشعاع المسترجع وسطح الخلية الشمسية الأولى Φ والزاوية المحصورة بين قاعدتي أي هرمين متجاورين α هما أيضا على التوالي: (0° و 30°) , (72° و 60°) . وبالتالي إذا طبقنا الشروط السابقة من أجل سطوح مسننة على شكل أهرامات صغيرة يتراوح ارتفاعها

بين $5 \mu\text{m}$ و $10 \mu\text{m}$ فإن المسافة الفاصلة بين قمتي كل هرمين متجاورين تتراوح بين 7 و 14 μm ، و هكذا فإن الاستجابة الطيفية ومعامل الامتصاص و نسبة التوليد يقتربون أكثر فأكثر إلى الحالة المثالية في حالة نموذجنا المقترح و خاصة باستعمال الطبقة الغير عاكسة، كل هذه العوامل و غيرها لها دور أساسي في تحسين مردود الخلايا الشمسية.

وهكذا فإن هذا النموذج نستطيع من خلاله أن نستفيد من الأشعة الشمسية الساقطة على هذه السطوح ثلاث مرات متتالية وهذا ما يؤدي إلى تحسين الخصائص الفولطا ضوئية وهو ما تجلى لنا بوضوح في الاستجابة الطيفية, معامل الامتصاص و نسبة التوليد.

كما قمنا بعد ذلك بمقارنة هذه الخصائص بين سطح عادي و سطح مسنن وهذا النموذج المطور حيث تبين لنا بوضوح من خلال مختلف المنحنيات أن نموذجنا تقترب فيه أكثر إلى القيمة المثالية وخاصة إذا قمنا بتغليف أسطح الخلايا الشمسية بطبقات مانعة للانعكاس كل هذه الخصائص لها دور كبير في تحسين مردود الخلايا الشمسية.

يمكن أن نطبق هذا النموذج على مواد نصف ناقلة أخرى سواء متبلرة أو متصدعة التبلر وبالتأكيد فإننا سنحصل على نتائج أحسن من السابق.

خلاصة عامة:

اهتمت أعمال البحث المقدمة خلال هذا الموضوع بتقديم مساهمة فعالة في معالجة أحد الأنماط الطاقوية التي تهتم بدراسة الخصائص الفولطاضوئية للخلايا الشمسية التي تعتمد على الأشعة الشمسية الساقطة على الخلايا وذلك بدراسة- بعض المقادير التي لها علاقة مباشرة مع المردود.

تكمُن أهمية هذا الموضوع في كيفية استرجاع الأشعة المنعكسة والاستفادة من الأشعة الساقطة ثلاث مرات متتالية حيث أن الأشعة الشمسية تتألف من جزيئات لا متناهية الصغر على شكل فوتونات يحمل كل فوتون طاقة معينة ويتحرك بسرعة كبيرة جدا تكافئ سرعة الضوء ,وبما أن انتشار الضوء يكون على شكل خطوط مستقيمة ,مما سهل علينا استعمال قوانين الانعكاس والانكسار. وقد اعتمدنا في هذا النموذج على دراسات هندسية بحتة لتحديد مختلف العوامل التي تساعد على معالجة نموذج السطح المسنن المطور بغية تحسين الخصائص الفولطاضوئية.

يمكن لسطح عادي لخلية شمسية أن يعكس الأشعة الواردة بنسبة معينة هذه النسبة يمكن أن تصبح أحسن إذا ما غطى السطح بطبقة مانعة للانعكاس وباستعمال نموذجنا المقترح فإنه يمكننا التقليل من الانعكاس إلى أقل من ذلك مما سيؤدي إلى تحسين الخصائص الفولطاضوئية (الاستجابة الطيفية, معامل الامتصاص , نسبة التوليد...التي لها علاقة مباشرة بالمردود وبالتالي إلى رفع المردود.

وقد قمنا في هذه الدراسة بتطوير أحدج نماذج السطوح المسننة حيث كانت الاستفادة من الأشعة الساقطة مرتين أي أن الشعاع الساقط على سطح الخلية الشمسية الأولى ينعكس بنسبة معينة ليسقط مرة أخرى على السطح المجاور لخلية شمسية ثانية لينعكس بنسبة معينة أخرى ثم يضيع بعدها غير أننا في هذه الدراسة وباستعمال دراسات هندسية بحتة وباستعمال قوانين الانعكاس والانكسار استطعنا أن نجعل هذا الشعاع يسقط للمرة الثالثة على سطح الخلية الشمسية الأولى لتكون الزاوية المحصورة بين هذا الشعاع وسطح الخلية الشمسية الأولى Φ حيث يمكننا الاستفادة من الأشعة الساقطة على سطوح الخلايا الشمسية ثلاث مرات متتالية وقمنا بتطبيقه على السيليسيوم المتبلر وقد تحقق ذلك عندما تكون زاوية السقوط الأولى محصورة بين (54° و 60°) وزاوية السقوط الثانية محصورة بين (0° و 18°) أما زاوية السقوط الثالثة فتكون محصورة بين (60° و 90°) لتكون زوايا الانكسار المرافقة لزوايا السقوط على الترتيب كما يلي: (11.76° و 12.61°) , (4.64° و 0°) , (14.59° و 12.60°) وكذا الزاوية المحصورة بين الشعاع المسترجع وسطح الخلية الشمسية الأولى Φ والزاوية المحصورة بين قاعدتي أي هرمين متجاورين α هما أيضا على التوالي: (0° و 30°) , (60° و 72°) .

وبالتالي إذا طبقنا الشروط السابقة من أجل سطوح مسننة على شكل أهرامات صغيرة يتراوح ارتفاعها بين $5 \mu\text{m}$ و $10 \mu\text{m}$ فإن المسافة الفاصلة بين قمتي كل هرمين متجاورين تتراوح بين 7 و 14 μm ، و هكذا فإن الاستجابة الطيفية ومعامل الامتصاص و نسبة التوليد يقتربون أكثر فأكثر إلى الحالة المثالية في حالة نموذجنا المقترح و خاصة باستعمال الطبقة الغير عاكسة، كل هذه العوامل و غيرها لها دور أساسي في تحسين مردود الخلايا الشمسية.

وهكذا فإن هذا النموذج نستطيع من خلاله أن نستفيد من الأشعة الشمسية الساقطة على هذه السطوح ثلاث مرات متتالية وهذا ما يؤدي إلى تحسين الخصائص الفولطا ضوئية وهو ما تجلى لنا بوضوح في الاستجابة الطيفية, معامل الامتصاص و نسبة التوليد.

كما قمنا بعد ذلك بمقارنة هذه الخصائص بين سطح عادي و سطح مسنن وهذا النموذج المطور حيث تبين لنا بوضوح من خلال مختلف المنحنيات أن نموذجنا تقترب فيه أكثر إلى القيمة المثالية وخاصة إذا قمنا بتغليف أسطح الخلايا الشمسية بطبقات مانعة للانعكاس كل هذه الخصائص لها دور كبير في تحسين مردود الخلايا الشمسية.

يمكن أن نطبق هذا النموذج على مواد نصف ناقلة أخرى سواء متبلرة أو متصدعة التبلر وبالتأكيد فإننا سنحصل على نتائج أحسن من السابق.

- [1] H.Mathieu :physique des semi conducteurs et des composants electronique 3eme edition (edition masson 1996)
- [2] Charles kittel :physique de solide Dunod université 5^{ème} Edition 1983
- [3] M. Mounic: semi conducteurs (physique – applications diodes-transistors-thyristors)1ere partie (Edition Foucher 1972)
- [4] p.kirée v :la physique des semi conducteurs Edition mir –Moscow 1975
- [5] p.blood and j.w.orton:tchniques of physics:14the electrical characterization Ofsewiconductors: majority carriers And electron states.academic press edition 1992
- [6] Emanuel Mooser :Introduction à la physique des solides Edition Lavoisier tec et doc 1998
- [7] S.M SZE :physics of semi condors decrices 2eme edition (CH₈).
- [8] K Usuda., T Irisawa, T Numata, N Hirashita and S Takagi 2007 Characterization of in-plane strain relaxation in strained layers using a newly developed plane nano-beam electron diffraction (plane-NBD) method Semicond. Sci. Technol. **22** S227-S230
- [9] G Z Mashanovich, M Milosevic, P Matavulj, S Stankovic, B Timotijevic, P Y Yang, E J Teo, M B H Breese, A A Bettiol and G T Reed 2008 Silicon photonic wave guides for different wavelength regions.Semicond. Sci. Technol. **23** 9-9
- [10] A.V Shah,., J. Meier, E.Vallat-Sauvain, N. Wyrsh, U. Kroll, C. Droz and U. Graf 2003 Material and solar cell research in microcrystalline silicon. Solar Energy Mater. Solar Cells, 78: 469-491.
- [11] K.Takahashi et M.Konagai Amorphous Silicon Solar Cells (Tokyo Institute of Technology), North Oxford Academic, 1986.

- [12] La filière silicium amorphe, Gilles de Rosny. Energie solaire photopile solaire photovoltaïque, Ecole d'été " electricité solaire pour les zones rurales et isolées " sous la direction de Bernard Equer UNESCO, Ellipses, Paris 1993
- [13] J D Chatelain, Dispositifs à semiconducteur
- [14] Sze. Iruin: Resistivity, mobility and impurity levels in GaAs, Ge and Si at 300k. sol. st. électron., 1968, 11, p 599-602.
- [15] A.Goetzberger, C. Hebling, H-W. Schok Mater Sci Eng 2003 ;R40 :1-46.
- [16] J. K Rath, Solar Energy Materials & solar cells 76 (2003) 431-487.
- [17] J. C. S. Pires, A.F. B. Braga, P. R. Mei, Solar Energy Materials & Solar Cells 79 (2003)pp.347-355
- [18] A. Laugier, J.- A. Roger,Les Photopiles Solaires , Technique Documentation, 1981.
- [19] B.E.Deal, J Electrochem. Soc. Vol. 125 978).
- [20] B.E.Deal and [20] A. S. Grove. J. Appl. Physics, Vol 36,(1965).
- [21] J.C.S. Piresa,, A.F.B. Bragab. P.R. Meia.b.Solar Energy Materials & Solar Cells 79 (2003)347-355.
- [22] G.Chaudron, C.Dimitrov, B.DuboisS, M.Fedoroff, J.Lehericy, monographies sur les métaux de haute pureté, Masson. Paris New York Barcelone Milon 1977.
- [23] J. Bureke, «La cinétique des changement de phase dans les métaux» Masson Paris 1986
- [24] W. Wingrad, «Introduction à la solidification des métaux», Dunod, Paris, 1971.
- [25] P. ANDONOV, J.L. CHERMANT, P. LAY, G.NOUET,
ann. chim. Fr., 12, pp. 369 -372, Masson, Paris New-York Barcelon Millan (1987) n°4-5.
- [26] Dengyuan Song. Daniel Inns. Axel Straub. Mason L. Terry. Patrick Campbell, Armin G. Aberle, Thin Solid Films 513 (2006) 356-363.

- [27] F.levy ,physique et technologie des semiconducteurs, press polytechnique et universitaire romandes (1995) .pp.255.256.257.258.259.
- [28] Y.Pauleau,!'actualité chimique, 1982.
- [29] JP. Kalejs. Solid State Phenom 95-96 (2004), 159-74.
- [30] A.Laugier et J.A Roger. Les photopiles Solaires, du matériau au. dispositif, du dispositif. Editios Technique et Documentation (1981)
- [31] S. Gall.. J. Schneider . J. Klein . K. Hu'bener .1. M. Muske , B. Rau , E. Conrad , I.Sieber , K. Petter . K. Lips . M. Sto" ger-Pollach . P. Schattschneider , W. Fuhs .Thin Solid Films 511 -512(2006)7-14.
- [32] I. Gordon. D. Van Gestel. K. Van Nieuwenhuysen, L. Camel, G.Beaucame, J. Poortmans. Thin Solid Films 487/1- 2 (2005) 113.
- [33] T. Matsuyama. N. Terada. T. Baba. T. Sawada. S. Tsuge, K. Wakisaka,S. Tsuda. J. Non-Crvst. Solids 198-200 (1996) 40.
- [34] P.A. Basore. Proceedings of29th IEEE Photovoltaic Specialists'Conférence, New Orléans. U.S.A.. May 20-24. 2002. p. 49.
- [35] K.R. Catchpole. M.J. McCann. K.J. Weber. A.W. Blakers. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 68 (2001) 173.
- [36] R.B. Bergmann. Appl. Phys. A 69 (1999) 187.
- [37] M.Rusu.P.Gashin,A.Simashkevich, Solar Energy Materials and Solar Cells 70(2001)175.
- [38] S. Sillini, Thèse de Magister. Université Badji Mokhtar Annaba, (2007).
- [39] A. Baghdadi, R. W. Gurtier, R. N. Legge, R. J. Ellis, B. L. Sopori, ch 1319-3 (1987), pp 363-365
- [40] Wolfgang PALZ, L'électricité solaire, Dunod, Paris. 1981.
- [41] M. Chegaar, Thèse de Doctorat d'état. Université Ferhat Abbas Setif, (2000).

- [42] K. Takahashi et M. Konagai Amorphous Silicon Solar Cells (Tokyo Institute of Technology), North Oxford Academic, 1986.
- [43] R BRENDDEL. Proc.23 th IEEE Photovoltaic Specialist Conf., 1993, p 252).
- [44] Charles Kittel Physique de l'état solide. Dunod ,Université Paris 1994.
- [45] Sofia.Antipolis, Matériaux, procédés et systèmes pour la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire, novembre 2005, page 52.
- [46] Ch. Perrin Brichambault, ch. Vauge, Le gisement solaire, évaluation de la ressource énergétique, technique et documentation Lavoisier, Paris, 1982.
- [47] F. Lasnier and T. G Ang, Photovoltaïque engineering Hand book, Asian Istitut of technology, Bankok. Adam Hilger, Bristol and New yourk, 1990.
- [48] Ricardo Battisti, Annalisa Corrado, Evaluation of technical improvement of photovoltaic systemes throught life cycle assessment methodology. Energy 2005, Vol. 30 pp952-967.
- [49]M.Schubnell,P.Benz, JC Mayor,Solar Energy mater, Solar cells 52 (1998).1-9.
- [50] K.Buecher, S. Kunzelmann ,Second world conference and exhibition on photovoltaic solar Energy conversion,Vienna Austria 1998 ,p2329.
- [51] M. Saad ,A. Kassis ,Sol Energy Mater.Sol.Cells 79 (4) (2003) 507.
- [52] Swanson. M Approaching the 29% limit efficiency of silicon solar cells. Proc. Of the 20th European Solar Energy Coonference, June 2005, Barcelona, Spain, pp. 584-589.
- [53] M. Saad ,A. Kassis ,Sol Energy Mater.Sol.Cells 77 (4) (2003) 415.
- [54] M.Contreras ,B ,Egoas ,K.Ramanbthan ,J.Hiltmer ,F.Hassoon, R. Noufi , Prog.photovoltaic 7(1999) 311.
- [55] Y. Hagiwara ,T.Nakada , A.Kunioka .Technical digest of 11th International photovoltaic science and engineering conference Sapporo,1999,pp 83-84.
- [56] T. Negami , Y.Hashimoto ,S.Nishiwaki, Technical digest of 11th International photovoltaic science and engineering conference Sapporo,1999,pp 993.
- [57] G.Chaudron, c.Dimitrov, B. Dubois, M.Fedoroff, Jehericy, monographies sur les métaux de haute pureté, Masson, Paris .New yourk. Barcelone. Milon 1977.

- [58] M.Oudeh, Thèse de Magister(Etude du silicium poreux destine aux cellules solaires). Université de Mentouri Constantine(2009).
- [59] Energie solaire photovoltaïque, école d'été UNESCO sous la direction de B.Equer. Filière et matériaux, le silicium cristallin, Michel Rodot UNESCO Ellipses, Paris 1993.
- [60] J Michel. Acta Electronica, 20 (2) (1977).
- [61] A.Laugier et J.A. Roger, Les photopiles solaires du matériau au dispositif aux applications, Technique et Documentation, Lavoisier, Paris 1981.
- [62] M.D.Kannan,R.Balasundaraprabhu, S Jayakumar, P.Ramanathaswamy,Solar Energy Material&Sôlar cells81(2004)379
- [63] M.Dhanam,R.Balasundaraprabhu,S. Mayakumar,P.Gopalakrishnan,M.D.Kann,Phys.Stat.SoL(a)191 (2002)149.
- [64] S. Yousfi, Thèse de Magister. Université Badji Mokhtar Annaba, (2005).
- [65] Conference on thé futur ofenergy in Enlarged Europe;Persrectives for R&D-Co-operation Weimar Triangle, Warsaw-7,8 October 2004,Pr.Jean-Bemard, Saulnier vice Scientific Director, Départaient of Engineering Sciences (SPI), CNRS, PARI J.C. Muller ; CNRS-PHASE laboratory
- [66] A. Recaud, les photopiles solaires, press polytechnique et universitaire romandes (1997) .pp.133.332 .
- [67] M.F.Boujmil, A.Karoui, H.Ezzaouia, R.Bennaceur. 11 th Europ. Solar Energy Conf, Montreux (1992).
- [68] F. Chraibi, M. Fahoume, A Ennaoui , J L. Delplancke , Influence of citrate ions as complexing agent for electrodeposition of CuInSe₂ thin films. Phys. Stat. Sol. (a) 186 (2001), 373-381
- [69] F. Bensliman, M. Aggour, A. Ennaoui, Y Hirota, M. Matsumura: Analysis of Si-F Bonds on Si(111) Surface by Electrochemical Method Electrochemical and Solid-State Letters 3 (2000), 566-568
- [70] F. Bensliman, M. Aggour, A. Ennaoui, M. Matsumura:

Electrochemical Method for evaluation of structural perfection of hydrogen-terminated Si(111) surface Jpn. J. Appl. Phys. 39-II (2000), L1206-L1208

[71] B. Makhloufi, Thèse de Magister. Université Badji Mokhtar Annaba, (1996).

[72] A. Hamel, A. Chibani, Annaba, (2010). Characterization of texture surface for solar cells. J. Applied Sciences, (2010): 231-234