(1-1) مقدمة

تعد الشمس مصدرا أساسيا للطاقة على سطح الأرض . فقد حبا الله سبحانه وتعالى الوطن العربي على مدار السنة وفير من هذا المصدر الهام للطاقة . ونظرا لأن الطاقة المستمدة من مصادر أخرى كالوقود الأحفوري والمفاعلات النووية ، يصحبها تلوث للبيئة تعود انعكاساته السلبية على كل الكائنات الحيهيود المستهلكون وعلى المدى البعيد معرفة إمكانية تطور إنتاج الخلايا الشمسية التي يعتمد عملها على الظاهرة الفوتوفولطائية. شهدت بداية السبعينات فترة إبداعية لتطوير الخلية السيليكونية مع تزايد واضح في كفاءة تحويل الطاقة .وفي نهاية السبعينات فاق حجم الخلايا المنتجة للإستخدامات الأرضيه تلك المنتجة للإستخدامات الفضائية وفي بداية الثمانينات بدأ إنتاج تجريبي لتقنيات أحدث تهدف إلى خفض تكاليف الخلايا الشمسية وهذا الإنخفاض في الأسعار يشجع التوسع المستمر في التطبيقات لإستغلال الطاقة الشمسية.

أما تأثير ضوء الليزر على أداء الخلية الشمسية فلم يحظ بكثير من الإهتمام ولغرض معرفة هذا التأثير لابد من عرض بسيط لعمل جهاز الليزر وأنواعه وخواصه والذي سأتطرق له في الفصل الثالث من هذا البحث.

(1-2) أهداف البحث

1/ دراسة تأثير ضوء الليزر على أداء الخلية السيليكونية.

2/ التحقق من إمكانية زيادة أو نقصان كفاءة الخلية السليكونية عند تعريضها لضوء الليزر .

3/ دراسة تأثير ضوء الليزر على الخواص الكهربية للخلية السليكونية.

(1-3) مشكلة البحث

زيادة كفاءة الخلية الشمسية بإستخدام ضوء ليزر الهيليوم نيون

(4-1) محتوى البحث

يحتوي هذا البحث على اربع أبواب

الباب الأول مقدمه، الباب الثاني الخلايا الشمسيه، الباب الثالث الليزر، الباب الرابع العملي.

(2-1) مقدمه :

بدأت فكرة تصنيع الخلايا الشمسية من ملاحظة التأثير الكهروضوئي الذي يوضح انبعاث الالكترونات من سطح الفلزات عندما تتعرض للحرارة وقد لاحظ هذه الظاهرة العالم الفرنسي بيكريل عام 1839 م ولقد تم تصنيع أول خلية شمسية عام 1914م وكانت كفاءتها 1% ووصلت إلي 6% عام 954ام وا إلي 14% عام 1958م العنصر الأساسي في صناعة الخلايا الشمسية هي المواد شبه الموصلة (semiconductor) مثل السليكون والجرمانيوم [1] .

(2-2) تعريف الخلايا الشمسية solar cells :

هي الوحدة الأساسية لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية وتصنع هذه الخلايا من أشباه الموصلات وتلتقي في كثير من مواصفاتها مع أجهزة الحالة الصلبة الأخر ى كالصمام الثنائي Diode أو الترانزيستور والدوائر المتكاملة integrated circutes أما في التطبقات العملية ،فعادة ماتجمع الخلايا الشمسية في ألواح مركبة [2].

(2-3) مكونات الخلية الشمسية :

تتكون من :

1. ماده شبه موصلة تعمل على توليد حوامل الشحنة (الإلكترونات والثقوب) بفعل امتصاصها لأشعة الشمس .
2. مجال كهربي يعمل على فصل حوامل الشحنة ودفعها إلى أماكن تجمعها وبالتالي مرور التيار الكهربائي ويقترن المجال الكهربائي دائماً بحاجز جهد يرتبط بالفرق بين مستويين فيرمي لمنطقتين وهكذا يمكن اختبار المكونات الكهروضوئية ولا يمكن استعمال العوازل لانها لاتوصل التيار، ولا المعادن فقط لأن الفارق بين مستويات

فيرمي لها يكون ضئيلاً ، وبهذا يقع الاختيار على المواد شبه الموصلة semiconductors.[3]

(2-4) إنتاج الخلايا الشمسية :

معظم التطبيقات الفولتضوئية الأرضية مستندة إلى الخلايا الشمسية السليكونية ، والسيليكون هو العنصر الثاني الأكثر وفرة للقشرة الأرضية ، له تركيب بلوري مستقر ، وبالتالي فهو يمتلك عمراً زمنياً عالياً جداً (اكثر من 25 سنة) وطاقة شريط الفجوة للسيليكون نسبيا مناسبة جدا لتحويل الطيف الشمسي إلى طاقة كهربائية. وعملية التخلص من السيليكون مشابهة لتلك التي للزجاج من دون مشاكل خطيرة .

(2-4-1) إنتاج السليكون أحادي البلورة :

للصناعة الالكترونية لشبه الموصل ،ليس مطلوباً فقط بأن يكون السيليكون نقياً بل يجب أن يكون أحادي البلورة أيضاً . الطريقة المستخدمة لصناعة مثل هذه المادة تسمي طريقة (تشوكرالسكي) czochralski.

يتم صهر السليكون ذي الدرجة شبة الموصلة في بوتقة مع مستويات بسيطة جداً مع ذرات التطعيم الشائبة تستخدم عادة ذارت البورون كشوائب من النوع (P.type).

(2-4-2) السيليكون متعدد البلورات :

يتم صهر السليكون ذي الدرجة شبة الموصلة تحت ضغط منخفض ، وجونقي ، ثم يصب في بوتقة وعملية التبريد تتم مع التكم بدرجة الحرارة وبدلاً من بلور ة واحدة كبيرة تتكون القوالب من بلورات صغيرة عديدة [4] .

(2-4-3) السيليكون غير البلوري :

المادة غير البلورية تفتقر إلى المدى الطويل (long range) من الترتيب البنائي للذرات وعند وعند فقدان الترتيب الدوري للمادة يكون من الصعب على كل ذرة أن تتآصر مع أربع ذرات أخر ى مما يؤدي إلى حدوث فجوات صغيرة جداً في تركيب المادة وهذا يعني ظهور كثافات عالية من مستويات الطاقة في الفجوة المحظورة الإعتيادية وهذا مما يجعل من المتعذر تطعيم شبه الموصل بصوره فعالة أو الحصول على ديمومة مقبولة لحاملات الشحنة. ويتم تطعيمها بإضافة كميات قليلة من الغازات المحتوية علي الشائبة خلال عملية الترسيب .

خلايا شمسية من شأباه موصلات أخر ى:

(2-4-4) خلايا زرنيخد الكاليوم Ga As:

مادة Ga As هي شبه موصل ذو فجوة محظورة مثالية لعملية تحويل الطاقة الفوتوفولطائبة

إذ توجد تقنيبة متقدمة ومتطورة لإنتاج هذه المادة وأكثر الخلايا كفاءة لحد الآن هي المصنوعة من هذه المادة ،ولٮو أ مافي هذه المادة هو سعرها الغالي .

(2-4-5) خلايا شمسيه من نوع cu_2s/cds كبريتيد النحاس وكبريتيد الكادميوم:

تمتاز بطريقة صنعها السهلة جداً على شبة موصل كبريتيد الكادميوم المتعدد البلورات وعلى الرغم من أن تقنية تحضيرها تكون رخيصة الكلفة إلا أن كفاءتها واطئه لاتصل إلي 10% وكلفة التغليف المعقدة التي تحتاجها لحمايتها من الظروف الجوية تحول دون استعمالها الواسع [5] .

(2-5) عمل الخلية الشمسية:

يرتكز عمل الخلايا الشمسية على قدرة شبه الموصلات على تحويل ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء ، عبر استغلال المفعول الكهروضوئي في عملية التحويل هذه ، تنتج طاقة الضوء الساقط جسيمات مشحونة ومتحركة داخل شبه الموصل ، تعمل عنئذ بنية الجهاز على تفريقها ، مولدة بذلك التيار الكهربائي، سنستعرض البنية الإلكترونية لشبه الموصل.

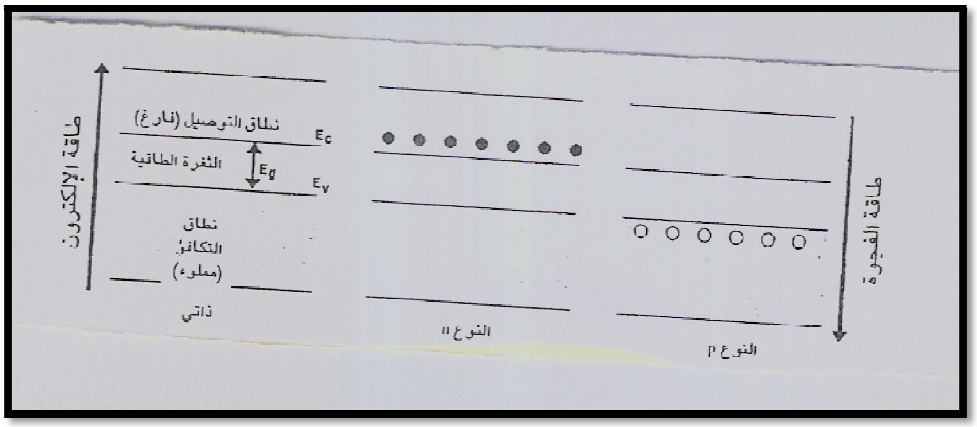
(2-5-1) البنية الإلكترونية لشبه الموصل:

(2-5-1-1) بنية النطاق ، الإنعاش :

يشكل بلور السليكون ما يسمى بسبيكة الماس diamond lattice حيث يحيط بكل ذرة رأبعة من أقرب جيرانها من الذرات الموجودة على قمم رباعي السطوح أما التنسيق رباعي السطوح ناتج من ترتيب الروابط التي تستعمل الإلكترونات الأربع الخارجية (إلكترونات التكافؤ لكل ذرة من السليكون) إن لهذه البنية البلورية مفعولاً عميقاً على الخواص الإلكترونية والبصرية optical لشبه الموصل .

حسب نظرية الكم quantum theaory يجب أن تقع طاقة الإلكترون داخل البلورة في نطاقات جيدة التحديد وبالفعل تمثل طاقات مدارات التكافؤ التي تكون الروابط بين الذرات نطاق التكافؤ ويتلو هذا النطاق من الأعلى نطاق التوصيل conduction الذي تفصله عن نطاق التكافؤ الثغرة الطاقية (فجوة النطاق

Band gap) أما عرض فجوة النطاق $(E_v - E_c)$ فهو خاصية كبيرة الأهمية بالنسبة لشبه الموصل ويرمز لها بالرمز E_g .



شكل(1–2) مخطط النطاقات وتوزيع الإلكترونات والفجوات في شبه الموصل

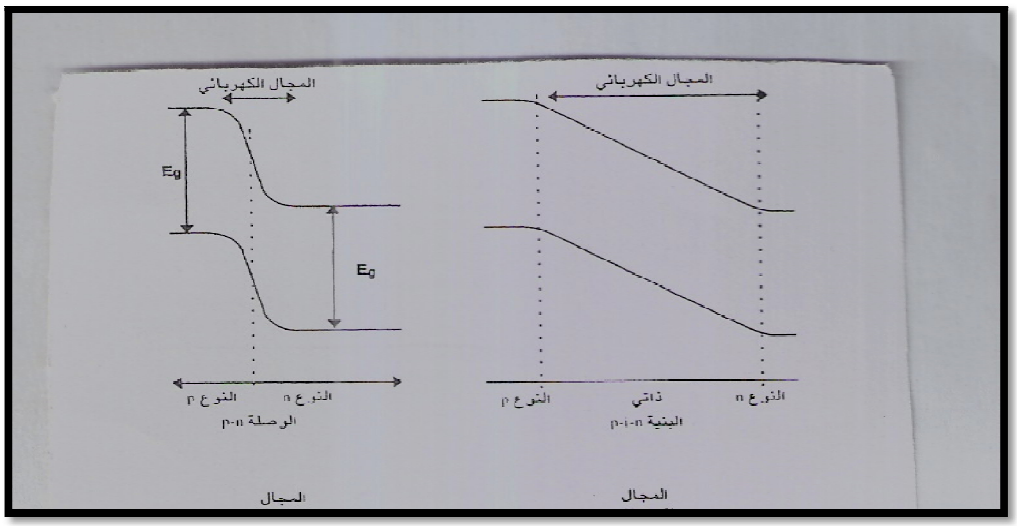
يمكن لشبه الموصل أن يوصل الكهرباء فقط عندما تدخل حاملات الشحنة إلى نطاق التوصيل ، أو باقتلاع هذه من نطاق التكافؤ، ومن الطرق التي تمكن من ذلك إدخال شائبات على شبه الموصل , تسمي هذه العمليه تشويب Doping . نفترض أن بعض الذرات الشائبة من المجموعة (مثلاً الفسفور) أضيفت إلى مزيج السيليكون الذي ينمو منه البلور .حينئذ تستعمل أربعة من الإلكترونات الخمس الخارجية لملء نطاق التكافؤ ويدفع بالإلكترون الزائد من كل ذرة شائبة إلي نطاق التوصيل (شكل 1–2) لهذه الغاية ، تسمي الذرات الشائبة بالمانحات Donor . وبما أن إلكترونات نطاق التوصيل متحركة ، فإن البلور يصبح موصلاً .

ولأن التيار تنقله الإلكترونات المشحونة سلبياً ، فهذا النوع من شبه الموصل يسمي نوع n– type إن وضعية شبيهة بهذه تتحقق عندما ينعش السيليكون بذرات شائبة من مجموعة 3 (مثلاً البورون) تسمي عندئذ قابلات Acceptor . وبما أن أربعة الكترونات ضرورية لملء نطاق التكافؤ كلياً , فان هذا الإنعاش يخلق خصاصاً في الالكترونات داخل هذا النطاق شكل (2–1) وتعمل الإلكترونات المفقودة المسماة بالفجوات كجسيمات مشحونة إيجابياً ، تتحرك و تنقل التيار شبه موصل كهذا ، ينقل التيار فيه بالفجوات غالبياً ,ويطلق عليه اسم نوع p–type تسمي حاملات الشحنة المسيطرة عدداً في شبه موصل بالحاملات

الأغلبية. Majority carriers . أمثلة من الحاملات الأغلبية تعطيها الإلكترونات في شبه موصل من نوع n– والفجوات من نوع p– أما نوع الحاملات المقابل والذي تكون كثافتة أقل بكثير فيطلق عليه اسم حاملات الأقلية Minority carries .

(2–1–5–2) وصلات شبه الموصل :

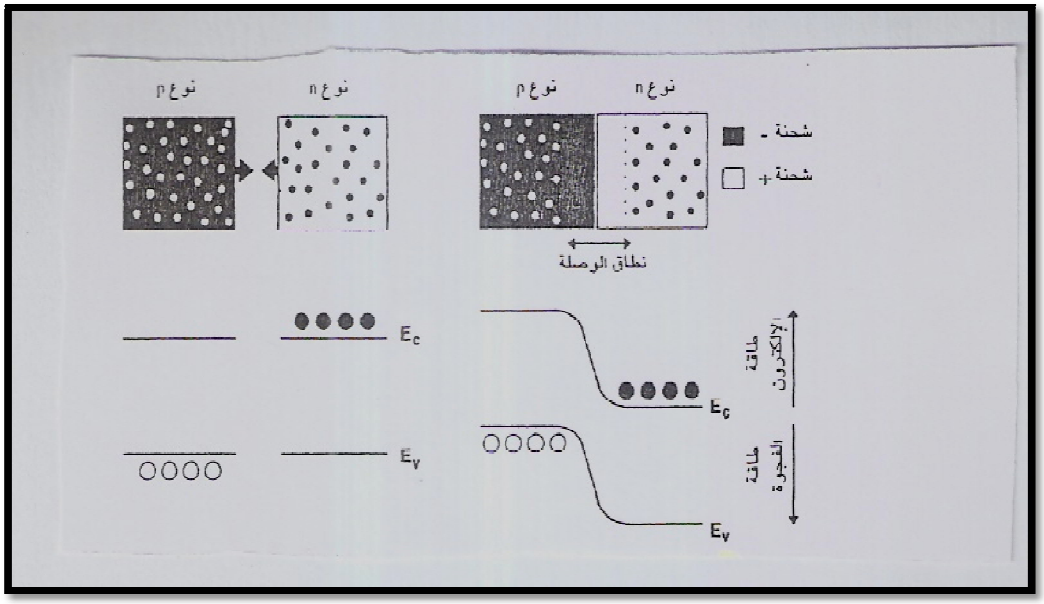
يرتكز عمل الخلايا الشمسية على تكون وصلة ويظهر الشكل (2–2) أمثلة لوصلات متنوعة وقد تكون أبسطها وصلة p–nالتي تشكل سطحاً مشتركاً بين منطقتين n و p في شبه الموصل في بعض الأحيان تزرع طبقة من مادة ذاتية بين منطقتين من نوعي n و p حيث ينتج من ذلك اتساع في المنطقة الإنتقالية و يقابل الوصلات المتجاسة هذه , الوصلة غير المتجانسة المتكونة من شبه موصلين مختلفين لاحظ الفرق في فجوات النطاق على كلتا واجهتي الوصلة .



شكل (2–2) مخطط النطاقات لوصلات شبه الموصل

من الممكن أن يشكل السطح المشترك بين فلز وشبه موصل وصلة تسمي حاجز شوتكي schottrcy وعلى العموم , تتوقف خاصيات التماس بين الفلز (معدن) وشبه الموصل على المواد المستعملة ذاتها لكل شبه موصل هنالك فلزات (معادن) تكون معه حاجز شوتكي ,

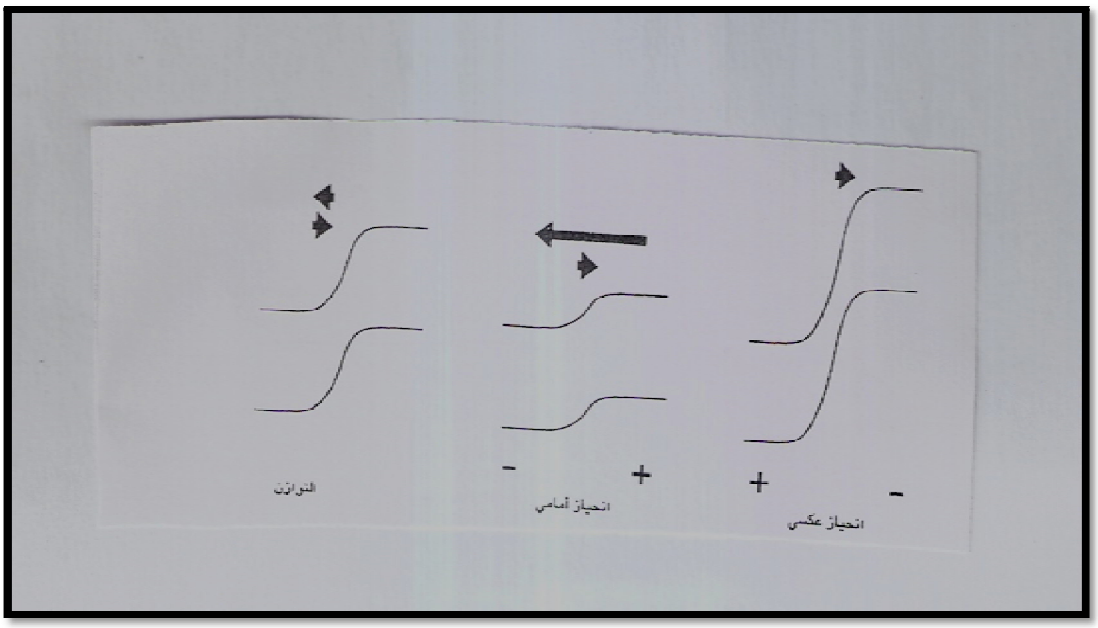
وتستعمل هذه التماسات لإستخراج تيار كهربائي من الجهاز. لتوضيح كيفية تكون هذا المجال نتصور الوضعية الإفتراضية التي تتكون منها الوصلة p–n يضم قطعتين من شبه الموصل واحدة من نوع p والأخرى من نوع n ، هناك زائد في الإلكترونات في مادة من نوع n وزائد في الفجوات من مادة من نوع p . عندما نضم القطعتين إلى بعضهما تنتشر إلكترونات المنطقه n في الجهه p تاركه وراءها طبقة مشحونة إيجابياً بالمانحات وبطريقه مماثلة تنتشر الفجوات في الاتجاه المعاكس ، أما منطقة الوصلة الناتجة عن ذلك فتكون عملياً خالية من حاملات الشحنة المتحركة شكل (3–2) وتخلق الشحن الثابتة للذرات المنعشة (الشائبات) حاجز جهد يعمل ضد مزيد من السريان للإلكترونات والفجوات .



شكل (3–2) مخطط لتكون وصله p–n وبنية النطاق الناجمة عن ذلك

عندما ينعدم الإنحياز bias ، لايخترق الوصلة أي تيار بالطبع ويمكننا أن نتصور أن التيار الصفر الخالص هذا متكون من تيارين صغيرين جداً ومتعاكسين I_o , $-I_0$ ناتجين عن جريان التيار الذي يسبق تكون الوصلة ، وبالفعل هذان التياران صغيران جداً ، حيث

أنهما ينتسبان إلى كثافة تيار بحجم 10^{-14} أمبير / سم في صمام ثنائي جيد من السليكون .



شكل (2-4) التيارات الكهربائية تحت انحياز خارجي في الوصلة p-n

يتغير ميزان التيار عندما تطبق فولطية على الوصلة . الانحياز الأمامي الذي هو تطبيق فولطية ايجابية على الجهة p ، يخفض من علو حاجز الجهد . بالمقابل يزيد من التيار العابر للصمام بشكل كبير من جهه أخرى يزيد الحاجز تحت الانحياز المعاكس ويحدث التيار الصغير I_o (تيار التشبع عند الإظلام) الذي هو أصغر بكثير من التيار تحت الإنحياز الأمامي عندئذ تعمل الوصلة كمقوم أو صمام ثنائي بلغة رياضية تعطي معادلة شوكلي Shockley المميزه I – v

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qv}{kt}\right) - 1\right] \qquad (2-1)$$

حيث I هو التيار ، v الفولطية ، k ثابت بولترمان ، q شحنة الإلكترون و t درجة الحرارة المطلقة .

(3-1-5-2)امتصاص الضوء من طرف شبه الموصل :

يعتمد التحويل الكهروضوئي للطاقة على الطبيعة الكمية للضوء ، إذ يمكننا أن نتصور الضوء عباره عن تدفق لجسيمات –فوتونات – تحمل الطاقه .

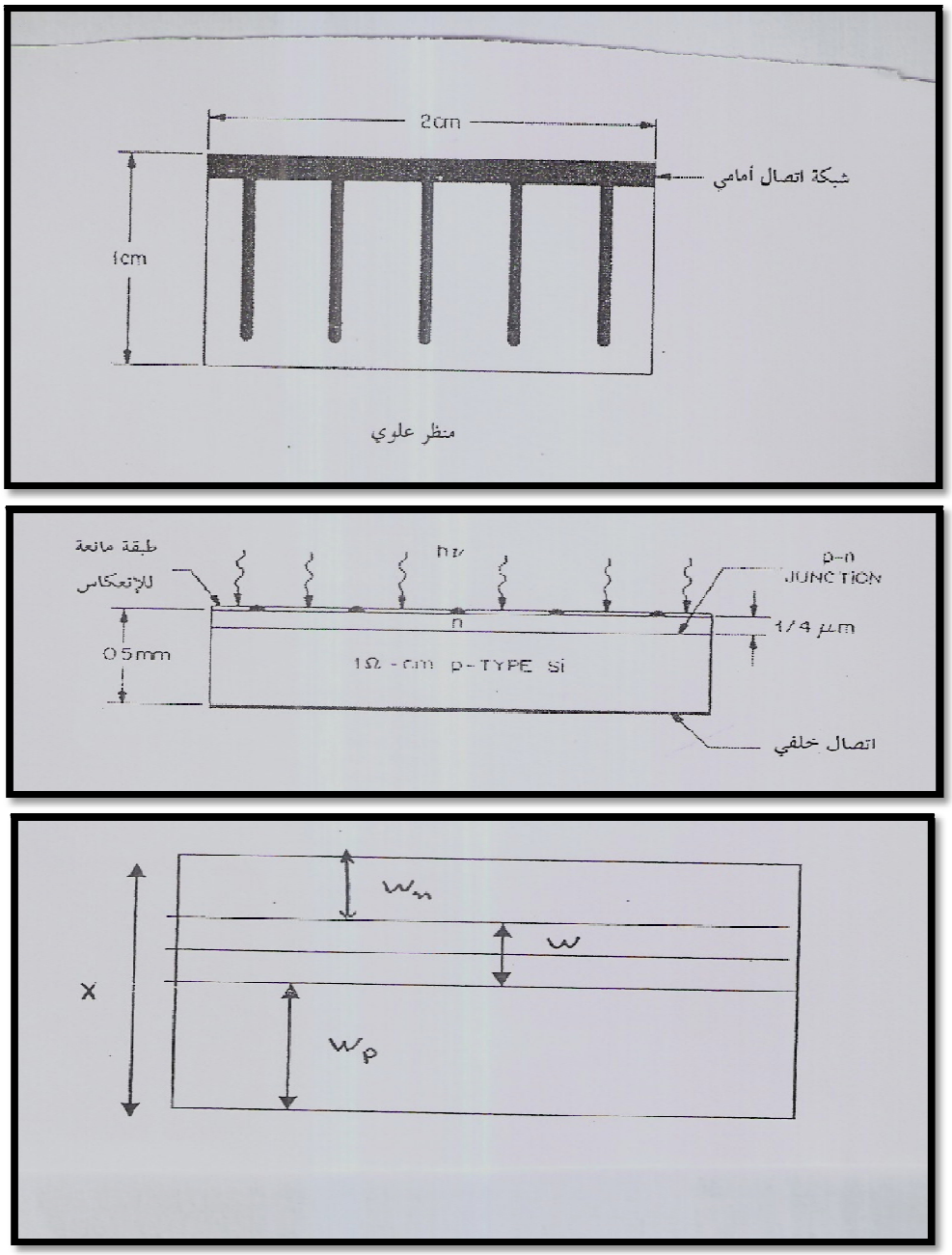
$$\mathrm{E_{ph}} = hc/\lambda \qquad (2\text{-}2)$$

حيث تمثل h ثابت بلانك و c سرعة الضوء وλ طول موجة الضوء .

الفوتونات التي تتحول إلى كهرباء عن طريق الخلية الشمسية هي فقط تلك التي تتعدي طاقتها طاقة فجوة النطاق. عندما يدخل فوتون من هذا النوع إلى شبه الموصل يكون من الممكن امتصاصه ، ويدفع عندئذ بالإلكترون من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل وهذا يترك فجوة في نطاق التكافؤ تولد عملية الامتصاص هذه أزواجاً على شكل إلكترون – فجوة – بذلك يقتصر كل شبه موصل علي استغلال جزء معين من الطيف الشمسي 2 .

(2-6) تيار الوصلة *p-n* "في حالة الخلايا الشمسية":

عند حساب تيار الوصلة *p-n* افترضنا أن أبعاد المناطق *n*و*p* لانهائية وبالتالي لايستطيع أي فوتون الوصول إلى الوصلة " الملتقى أو السطح البيني " إذن من المحتم أن تكون منطقة الجبهة " التي تتعرض للضوء " على جانب من الدقة حتى تستطيع الفوتونات وحاملات الشحنة من الوصول إلى الوصلة ومن ناحية أخر ى ولأسباب اقتصادية يتحتم الحد من السمك الكلي للخلية .



شكل (5–2) رسم تخطيطي لخلية شمسية ذات وصله ثنائيه 7

إن المعادلات الأساسية التي تصف تولد التيار الكهروضوئي بفعل سقوط وامتصاص الفوتونات الساقطة علي سطح الخليه هي [10 – 9 – 8 – 7 – 3] .

- **معادلات كثافة التيار the current– density equation**

التيار الإلكتروني

$$J_n = q\,\mu_n n_p \xi + qD_n \frac{dn_p}{dx} \qquad (2\text{–}3a)$$

التيار الثقبي

$$J_p = q\mu_p \xi - qD_p \frac{dp_n}{dx} \qquad (2\text{–}3b)$$

حيث أن p_n و n_p تركيز حوامل التيار الأقلية

ξ المجال الكهربائي عبر الوصلة

μ_n و μ_p حركية حاملات التيار (الإلكترونات والثقوب على التوالي)

D_n و D_p معاملات انتشار حاملات التيار الأقلية

- **معادلات الإستمرارية continuity equation**

تحت شروط الحقن المنخفض low–injection condition في بعد واحد وفي الحاله المستقره يكون :

$$\frac{dn}{d\tau} = 0, \frac{dp_n}{d\tau} = 0$$

للإلكترونات في منطقة *p:*

$$G_n - \frac{n_p - n_{p_0}}{\tau_n} + \frac{1}{q} \cdot \frac{J_n}{dx} = 0 \qquad (2\text{–}4a)$$

للثقوب في منطقه *n* :

$$G_p - \frac{p_n - p_{n_0}}{\tau_p} - \frac{1}{q} \cdot \frac{dJ_p}{dx} = 0 \qquad (2\text{–}4b)$$

حيث أن G معدل عدد الحاملات المتولدة في وحدة الحجم .

$$l_{\mathrm{n}} = \sqrt{\mathrm{D_n}\tau_{\mathrm{n}}} \quad l_{\mathrm{p}} = \sqrt{\mathrm{D_p}\tau_{\mathrm{p}}}$$

τ_{p} و τ_{n} زمن حياة الحوامل

حيث l_{p} و l_{n} طول انتشار الحوامل .

وبمفاضلة المعادلات (2−3) والتعويض في (2−4) نحصل علي

$$\mathrm{D_p}\frac{\partial^2 \mathrm{p_n}}{\partial \mathrm{x}^2} + \mathrm{G} - \frac{\delta \mathrm{p_n}}{\tau_{\mathrm{n}}} = 0 \qquad (2-5a)$$

$$\mathrm{D_n}\frac{\partial^2 \mathrm{n_p}}{\partial \mathrm{x}^2} + \mathrm{G} - \frac{\delta \mathrm{n_p}}{\tau_{\mathrm{n}}} = 0 \qquad (2-5b)$$

$$\delta \mathrm{p_n} = \mathrm{p_n} - \mathrm{p_{n_0}} \qquad \delta \mathrm{n_p} = \mathrm{n_p} - \mathrm{n_{p_0}}$$

حيث أهملنا المجال الكهربائي لأنه يساوي صفر خارج منطقة الإستنزاف وبالتعويض عن G من المعادله

$$G(x,v) = \beta(v)\alpha(v)s_0(v)(1-R)exp(-\alpha x)$$

حيث R معامل الإنعكاس لسطح الخلية

و $(1-R)$ تمثل الفوتونات النفاذة إلى الخلية

$\beta(v)$ معامل الكفاءة الكمية (للتأثير الضوئي الداخلي)

$s_0(v)$ معدل الفوتونات ذات الطول الموجي $\lambda = \frac{c}{v}$

نحصل على

$$G_n = G_p = G$$

$$D_p \frac{\partial^2 p_n}{\partial x^2} + \alpha\beta s_0(1-R)exp(-\alpha x) - \frac{\delta p_n}{\tau_n} = 0 \qquad (2\text{-}6)$$

وهذه المعادلة خاصة بالثقوب في منطقة *n* "المنطقة الأمامية"

$$D_n \frac{\partial^2 n_p}{\partial x^2} + \alpha\beta s_0(1-R)exp(-\alpha x) - \frac{\delta n_p}{\tau_n} = 0 \qquad (2\text{-}7)$$

هذه المعادلة خاصة بالإلكترونات في المنطقة الخلفية .

يمكن أن يكون الحل العام للمعادلة (2-6) على الصورة

$$\partial p = c_1 \cosh\frac{x}{l_p} + c_2 \sinh\frac{x}{l_p} - \left[\frac{q\alpha t_p \beta s_0(1-R)}{(\alpha l_p)^2 - 1}\right] e^{-\alpha x} \qquad (2\text{-}8)$$

الثوابت c_1 و c_2 تحدد من الشروط الحدودية

ويمكن كتابة معادلة مناظرة للإلكترونات في المنطقة *p* "المنطقة الخلفية "

الشروط الحدودية :

في حالة الاتزان الثرموديناميكي، وبدون وجود جهد مطبق تكون الشروط الحدودية عند حدود منطقة الإستنزاف :

$$\boldsymbol{\delta}_p = p_n - p_{n_0} = 0 \qquad at \qquad x = x_n$$

$$\delta_p = 0 \qquad at \;\; x = x_p$$

وذلك لأن حاملات تيار الوصلة إلى حدود منطقة الاستنزاف تعجل مباشرة بواسطة المجال الكهربائي "داخل منطقة الإستنزاف " إلى المنطقة المعاكسة وبالمقابل، ففي منطقتي الواجهة (*x=0*) والخلف نجد أن تركيز حوامل التيار يتحدد بسرعات إعادة الإتحاد δ_p و δ_p أي أن

$$D_p \frac{\partial p_n}{\partial x} = \delta_p \delta p_n \quad \text{at} \quad x = 0$$

$$-D_n \frac{\partial n_p}{\partial x} = \delta_n \delta n_p \quad \text{at} \quad x = -w_p + x_p$$

w_p هو عرض المنطقة p الطبيعية

$$x_p = w_n + w$$

وباستخدام هذه الشروط يمكن تحديد الثوابت c_1 و c_2 في المعادلة (2−8) ويصبح لدينا :

$$\delta p_n = p_n - p_{n_0} = \left[\propto \beta \delta_0 \frac{(1-R)\tau_p}{(\alpha^2 l_p^2 - 1)}\right] *$$

$$\frac{\left[\left(\frac{s_p l_p}{D_p} + \propto l_p\right) \sin h(w_n - x) + e^{-\propto w}\left(\frac{s_p l_p}{D_p} \sinh \frac{x}{l_p} + \cosh \frac{x}{l_p}\right)\right]}{\left(\frac{s_p l_p}{D_p}\right) \sinh\left(\frac{w_n}{l_p}\right) + \cosh\left(\frac{w_n}{l_p}\right)} \qquad (2-10)$$

والتيار الثقبي الناتج

$$J_p = -qD\left(\frac{dp_n}{dx}\right)_{w_n} = \left[q \propto \beta s_0 \frac{(1-R) l_p}{\propto^2 l_p^2 - 1}\right] *$$

$$\left[\frac{\left(\frac{s_p l_p}{D_p} + \alpha l_p\right) - e^{-\alpha w_n}\left(\frac{s_p l_p}{D_p} \cosh \frac{w_n}{l_p} + \sinh \frac{w_n}{l_p}\right)}{\left(\frac{s_p l_p}{D_p}\right) \sinh\left(\frac{w_n}{l_p}\right) + \cosh\left(\frac{w_n}{l_p}\right)} - \propto l_p e^{-\alpha w_n}\right] \qquad (2-11)$$

أما بالنسبة للإلكترونات فيكون لدينا :

$$sn_n = n_p - n_{p_0} = \left[\propto \beta s_0 \frac{(1-R)t_n}{\propto^2 l_n^2 - 1}\right] exp[-\propto (w_n + w)] *$$

$$\left\{\cosh\left(\frac{x - w_n - w}{{}_{,}L_n}\right) - e^{-\propto(X - w_n - w)}\right.$$

$$- \frac{\frac{\delta_n l_n}{D_n}\left[\cosh\left(\frac{w_p}{l_n}\right) - e^{-\propto wp}\right] + sinh\left(\frac{w_p}{l_n}\right) + \propto l_n e^{-\propto w_p}}{\left(\frac{s_n l_n}{D_n}\right) sinh\left(\frac{w_p}{l_n}\right) + cosh\left(\frac{w_p}{l_n}\right)}$$

$$\left. * sinh\left(\frac{X - w_n - w}{l_n}\right)\right\} \qquad (2-12)$$

ويكون التيار الكهروضوئي الناتج من تجمع الالكترونات عند حافة منطقة الاستنزاف كالتالي:

$$J_n = qD\left(\frac{\partial \mathrm{n_p}}{\partial \mathrm{x}}\right) xp = \left[q\beta s_0 \frac{(1-R)\propto L_n}{\propto^2 L_n^2 - 1}\right] e^{(-\propto xp)} *$$

$$\left\{\propto L_n - \frac{\left(\frac{S_n L_n}{D_n}\right)\left[cosh\left(\frac{wp}{L_n}\right) - e^{-\propto wp}\right] + sinh\left(\frac{wp}{L_n}\right) + \propto L_n e^{-\propto wp}}{\left(\frac{S_n L_n}{D_n}\right) sinh\left(\frac{wp}{L_n}\right) + cosh\left(\frac{wp}{L_n}\right)}\right\} \qquad (2\text{-}13)$$

حيث w_p عرض المنطقة P " الجزء الذي لا يقع في منطقة الاستنزاف "

ان معادلات التيار المذكورة ، تم اشتقاقها بفرض أن الخصائص التالية لحوامل الشحنة تكون موحدة أي لا تعتمد على المسافة X ، وهذه الخصائص هي زمن الحياة lifetime ، الحركية mobility ، والتطعيم doping ، فاذا كانت هذه الكميات دوال في المسافة " اى تعتمد عليها " فان التيار يحسب باستخدام طرق التحليل العددي .

وهناك جزء من التيار الكهروضوئي يتولد في منطقة الاستنزاف . حيث أن المجال الكهربائي في هذه المنطقة مرتفع ، فان الالكترونات والثقوب المتولدة في هذه المنطقة تُعجِّل وتُسَّرع الى خارجها قبل اعادة اتحادها . وتكون كثافة التيار الكهروضوئي الناتج من هذه المنطقة مساوية لعدد الفوتونات الممتصة اي ان

$$J_{dp} = q\beta S_o(1-R)\exp(-\propto x_n)(1-\propto x_n)(1-\exp(-\propto w) \quad (2\text{-}14)$$

حيث أن :

$w = x_p - x_n$ وهي عرض منطقة الاستنزاف .

كثافة التيار الكهروضوئي الكلي في هذه الحالة عند طول موجي معين يعطى بـ :

$$J_L(\lambda) = J_P(\lambda) + J_n(\lambda) + J_{dp}(\lambda) \quad (2\text{-}15)$$

ولكل الاطوال الموجبية :

$$I_L = AJ_L = A\int_0^{\lambda_n}(J_P + J_n + J_{dP})d\lambda$$

$$I_L = A\int_{v_n}^{\infty}(J_P + J_n + J_{dP})dv \quad (2\text{-}16)$$

حيث A مساحة سطح الخلية .

كل حد من حدود المعادلة (2-16) يتناسب مع المقدار (1-R) cqs_0 وهذا يعنى ان التيار الكهروضوئي يتناسب مع شدة الضوء الداخل الى الخلية .

ويوصف الآداء الضوئي للخلية بمعامل الكفائة الكمية الخارجية " الاستجابة " الطيفية الخارجية.

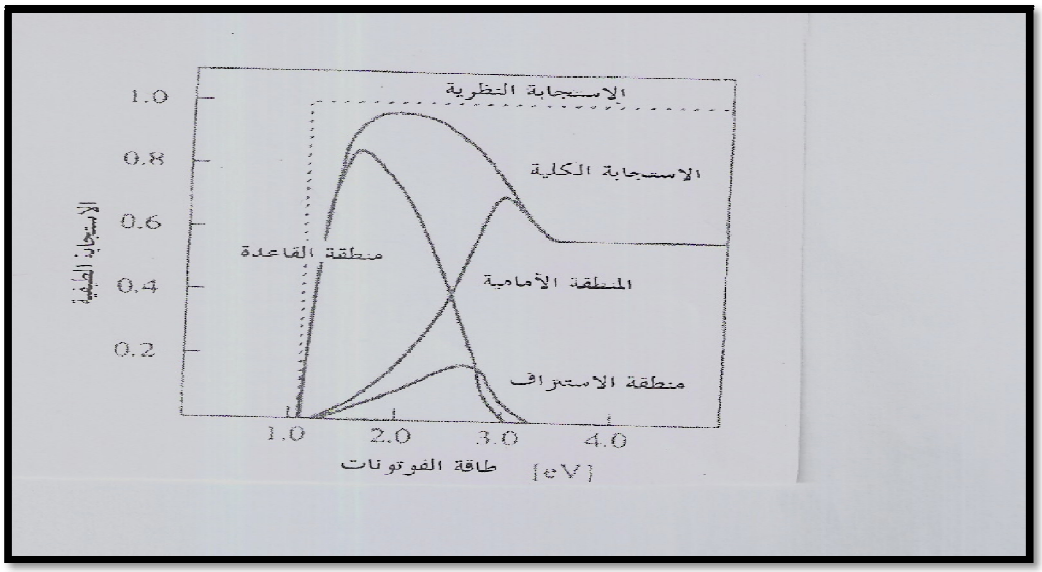
External spectral response (or quantum efficiency) وهو يصف عدد الفوتونات الساقطة على سطح الخلية الشمسية التي قد شاركت في توليد حوامل التيار في المناطق الثلاث للخلية . ويعطى بقسمة كثافة التيار الكلي J_L على المقدار qs_0t . اما الاستجابة الطيفية الداخلية " أو الكفاءة الكمية الداخلية " فتعطى بالعلاقة :

$$SR(hv) or\ SR(\lambda) = \frac{J_p + J_n + J_{dp}}{qs_0} \quad (2\text{-}17)$$

وهو يصف عدد الفوتونات الممتصة داخل الخلية ، التي قد شاركت في توليد حوامل التيار ويوضح الشكل(6-2) الاستجابة الطيفية لخلية سليكونية حيث الجبهة من النوع n والقاعدة من النوع P ، وفي الحالة المثالية يكون :

SR = β(v) or SR = β(t)

وكما في الرسم نجد أن تيار المنطقة الخلفية هو المسيطر للطاقات الصغيرة بينما الطاقات الأعلى من 2.5 ev فإن تيار المنطقة الامامية هو المسيطر .



شكل (6-2) الاستجابة الطيفية الكلية للخلية الشمسية كدالة في طاقة الفوتونات ، ومساهمة كل منطقة القاعدة والمنطقة الامامية ومنطقة الاستنزاف في الاستجابة الطيفية [11].

(7-2) آداء الخلية الشمسية :

عرفنا من الفقرات السابقة أن سقوط الأشعة الشمسية على خلية شمسية يؤدي إلى امتصاصها ومن ثم سريان تيار كهروضوئي يعطى بالعلاقة [11-12] :

$$J_L = qx_L G_L \qquad (2\text{-}18)$$

حيث J_L كثافة التيار الكهروضوئي ، وهو أقصى تيار يمكن أن تنتجه الخلايا الشمسية x_L. مساحة التجميع لحوامل التيار المتولدة ، q الشحنة الاساسية .

ولكن من الناحية العملية فان توظيف الخلية الشمسية في تزويد حمل بالتيار الكهربائي اللازم لتشغيله يجعلها تنتج تياراً اقل من J_L ، وفي الحالة المثالية [7] فإن

$$\mathrm{I} = I_s[\exp\left(\frac{qv}{kT_0}\right) - I_L \qquad (2\text{-}19)$$

حيث ان V هو فرق الجهد عبر الوصلة و I_s هو تيار التشبع ويعطى بالعلاقة التالية :

$$I_s = qAN_cN_c\left\{\frac{D_nF_p}{L_nN_A} + \frac{D_pF_n}{L_pN_D}\right\}exp\left(\frac{-E_g}{kt}\right) \qquad (2\text{-}20)$$

حيث F_p و F_n تعطى بالعلاقات التالية :

$$F_p = \frac{S_n\cosh\left(w_p/L_n\right)+(D_n/L_n)\sinh\left(w_p/L_n\right)}{S_n\sinh\left(w_p/L_n\right)+(D_n/L_n)\cosh\left(w_p/L_n\right)}$$

(2-21)

$$F_n = \frac{S_p\cosh\left(w_n/L_p\right)+(D_p/L_p)\sinh\left(w_n/L_p\right)}{S_p\sinh\left(w_n/L_p\right)+(D_p/L_p)\cosh\left(w_n/L_p\right)}$$

المعادلة (2-19) تم اشتقاقها بإهمال التيار الناتج عن إعادة الإتحاد في منطقة الاستنزاف ، ولكن في الحالات العملية لا يمكن إهمال هذا التيار ، وهو يعطى بالعلاقة :

$$I_{rec} = I_{sr}\left[\exp\frac{qv}{2kT} - 1\right]$$

(2-22)

$$I_{sr} = \frac{qAw_{ni}}{2(t_{po}+t_{no})}$$

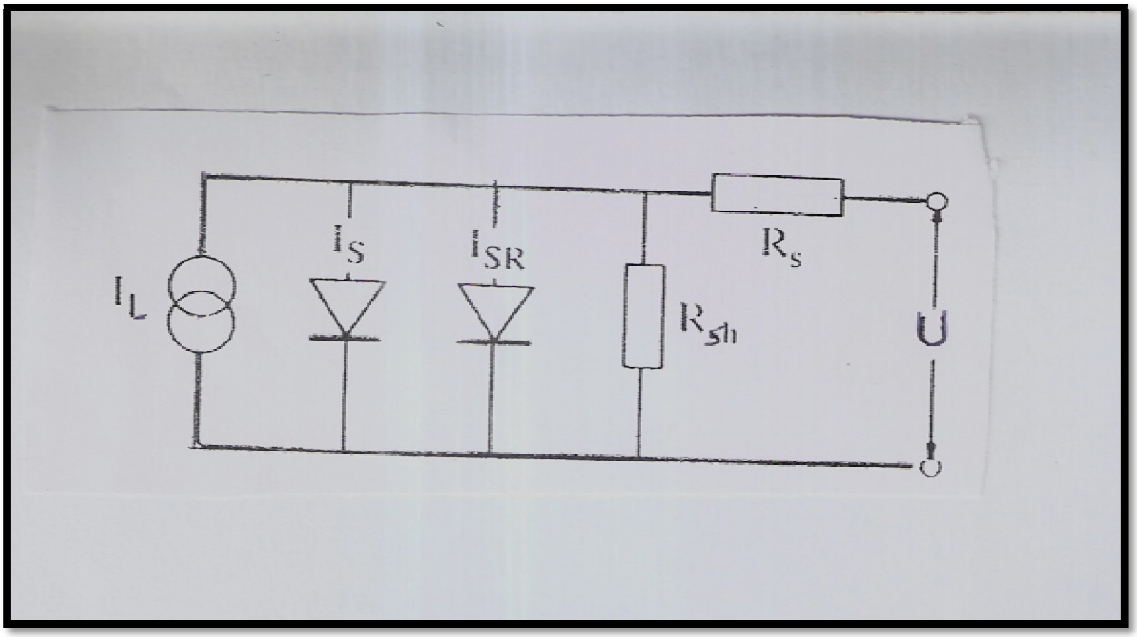
حيث أن A مساحة الوصلة و $W = X_p - X_n$ تمثل عرض الوصلة وبأخذ تيار إعادة الإتحاد بعين الإعتبار فإن المعادلة (2−19) تصبح كالتالي :

$$I = C_1 I_s \left\{ exp \frac{qv}{kt} - 1 \right\} - C_2 I_{sr} \left\{ exp \frac{qv}{kt} - 1 \right\} - I_L \qquad (2\text{-}23)$$

حيث C_1 و C_2 مقادير ثابتة

وهناك تعديل آخر على هذه المعادلة بسبب وجود المقاومة التسلسلية R_s

(Series resistance) التي تمثل مقاومة المادة المصنوع منها الخلية ومقاومة التوصيلات المعدنية ، ومقاومة التوازي R_{sh} (المقاومة المفرعة shunt resistance) والتي تمثل المقاومة الناتجة عن العيوب البلورية داخل مادة الخلية ، ولتوضيح تأثير المقاومات يمكن رسم الدائرة المكافئة كما هو موضح في شكل (2−7)



شكل (2−7) الدائرة الكهربائية المكافئة لخلية شمسية ذات وصلة p-h (نموذج الثنائيين) .[11]

I_L تمثل التيار الكهروضوئي المتولد وهو عكس تيار الوصلة الثنائية I_S $+I_{sr}$

R_{sh} مقاومة التوازي (المقاومة المفرعة) (shunt Resistance) وتمثل المقاومة المتولدة في التشوهات في البناء البلورى للخلية .

R_s المقاومة التسلسلية (series resistance) تمثل مقاومة التوصيلات والمقاومة الداخلية لمادة شبه الموصل المستخدم في صناعة الخلية .

من الدائرة المكافئة وباستخدام قواعد الدوائر الكهربية نستطيع كتابة العلاقة التالية :

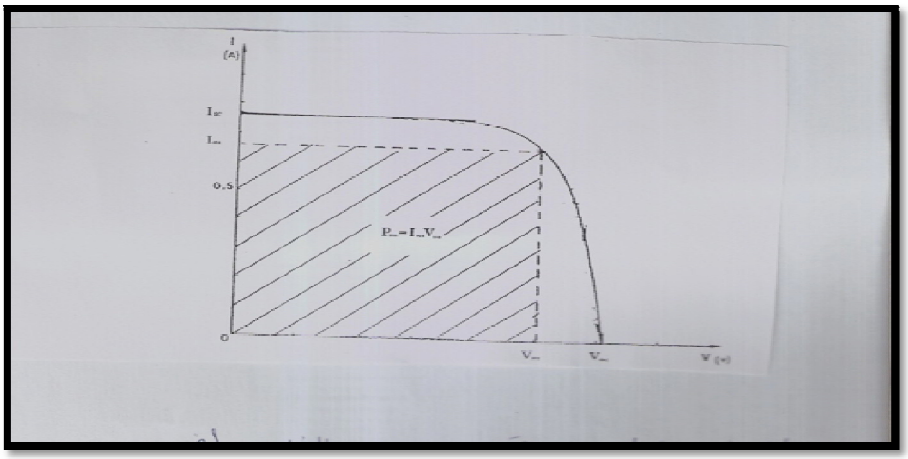
$$J = C_1 I_s \left\{ exp \frac{q(v - IR_s)}{kt} - 1 \right\} + C_1 I_{sr} \left\{ exp \frac{q(v - IR_s)}{2kt} - 1 \right\}$$

$$+ \frac{(V - IR_s)}{R_s h} - I_L \qquad (2 - 24)$$

وفي اغلب الأحيان يكون هذا النموذج (نموذج الثنائيين two diode model) مناسب لوصف خاصية التيار_ الجهد للخلية الشمسية ، أما المعاملات C_1 و C_2 فيتم تحديدها تجريبياً (fitted to experimental curves) .

(2-8) معالم خرج الخلية الشمسية Solar cell output parameters :

تستخدم عادة ثلاثة معالم (Parameters) لدراسة ما يخرج من الخلية الشمسية .



شكل (8–2) المعاملات الاساسية للخلية الشمسية [3].

`واحد هذه المعالم هو تيار الدائرة القصيرة (short circuit current) I_{sc} ويساوي التيار المتولد بواسطة الضوء عند الظروف المثالية:

$$I_{sc} = I_L \qquad (2\text{-}25)$$

اما المعلم الثاني فهو فولتيه الدائرة المفتوحة $V_{oc}(open\ circuit\ voltage)$ ويجعل I يساوي صفراً تكون القيمة المثالية لهذا العلم :

$$V_{\propto} = \frac{kT}{q} Ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right) \qquad (2\text{-}26)$$

وتتحد قيمة V_{oc} بخصائص شبه الموصل لإعتمادها على I_0 . والقدرة الخارجية عند أي نقطة العمل (operating point) تكون مساوية لمساحة المستطيل المحدد كما موضح بالشكل (2–7). أما النقطة العاملة المعينة $(V_{mp}، I_{mp})$ تجعل هذه القدرة أكبر ما يمكن.

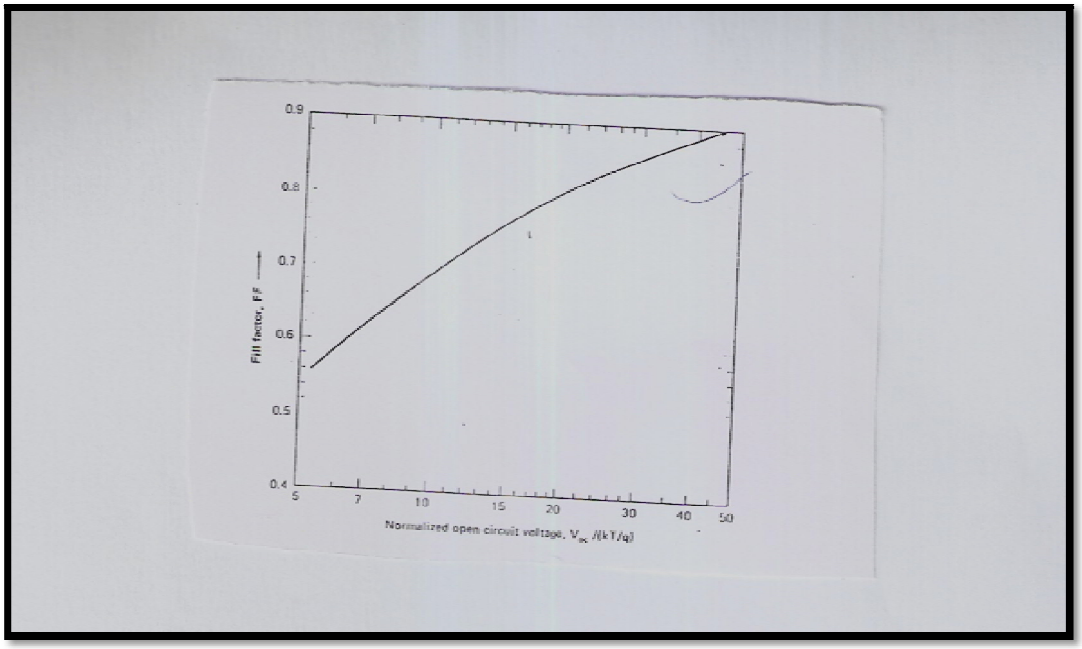
أما المعلم الثالث فهو عامل الملء Fill Factor (FF) ويعرف كما يلي :

$$\mathrm{FF} = \frac{V_m\, I_m}{V_{oc} I_{sc}} \qquad (2\text{-}27)$$

وهذا المعلم هو قياس لمدى مربعية خصائص الخرج . وقيمته بالنسبة للخلايا ذات الكفاءة المقبولة تكون بين 0,7 و 0,85 . أما في المثالية فيكون FF دالة لفولتية الدائرة المفتوحة

V_{oc} فقط وبتحديد الفولتية المعيار ية بـ V_{oc}'as $V_{oc}/(kT/q)$ فان القيمة المثالية القصوى لـ FF موضحة فى الشكل (9–2). فهناك معادلة تجريبية تعبر عن هذه العلاقة عندما تكون $V_{oc} > 10$ وبدقة أربعة مراتب عشرية .

$$FF = \frac{V_{oc} - Ln(V_{oc} + 0{,}72)}{V_{oc} + 1} \qquad (2\text{-}28)$$



شكل (9–2) القيمة المثالية لعامل الملء كدالة فولتية الدائرة المفتوحة العيادية الى الفولتية الحرارية kT/q [5] .

9–2 كفاءة تحويل الخلية للطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية:

كفاءة الخلية الشمسية في تحويل الطاقة الضوئية في أي طيف الى طاقة كهربائية يستفاد منها ، تعطى بالعلاقة التالية:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{V_m I_m}{P_{in}} = \frac{FF V_{oc} I_{sc}}{P_{in}} \qquad (2\text{-}29)$$

حيث V_m و I_m الجهد و التيار عند نقطة الذروة (أي أفضل نقطة تشغيل)

P_m الفيض الإشعاعي الساقط على الخلية الشمسية في كل الاطوال الموجية .

$$P_{in} = A_t \int_0^{\infty} \left(\frac{hc}{t}\right) F(t)dt \ \ W/m^2 \qquad (2\text{-}30)$$

A_t المساحة الكلية لسطح الخلية .F(t) عدد الفوتونات ذات الطول الموجي t الساقطة على وحدة المساحات في الثانية الواحدة hc/t طاقة الفوتون ذات الطول الموجي t .

(2−9−1) الحدود النظرية لكفاءة الخلية الشمسية :

بإعادة النظر إلى العلاقة التى تعبر عن كفاءة الخلية الشمسية ، نجد أنها تعتمد على ثلاثة متغيرات I_{sc} و V_{oc} وFF ، وبما أنه يمكن التعبير عن معامل التعبئة بدلالة V_{oc} كما في العلاقة (2−26)، فإننا بالتالي نحتاج لدراسة الحدود النظرية لـ I_{sc} و V_{oc}

A. بالنسبة لتيار الدائرة المقصورة

من السهل نسبياً حساب الحدود النظرية لتيار دائرة القصر لأي مادة شبه موصلة

$$I_{sc} = I_L$$

والتيار الكهروضوئي يعطى بالعلاقة

$$I_L = A \int_{V_n}^{\infty} (J_p + J_n + J_{dp})dv$$

وللتبسيط ، سوف نعتبر بلورة ذات سمك لا نهائي $W_p = \infty$ ولا يوجد تيار من منطقة الاستنزاف ، ولا يوجد اعادة اتحاد سطحي .

$$S_n = S_p = 0$$

وطول انتشار موحد

$$L_n = L_p = L$$

كثافة التيار الكلي $J = J_n + J_p$ سوف تعطى بالعلاقة

$$J_l(V)\frac{q\beta S_0(1-R)\propto L}{coch\left(\frac{X_n}{L}\right)(\propto L)^2-1}\left\{\propto L - e^{(\propto L-1)X_n/L}\right\} \qquad (2\text{-}31)$$

ويعتمد التيار على موقع الوصلة P_n تحت السطح ، أي على قيمة X_n وأقصى قيمة للتيار تكون عند

$$X_n = X_n^{max}$$

$$\approx L\frac{\ln(\propto L)}{\propto\propto L-1} \qquad (2\text{-}32)$$

وفى هذه الحالة

$$J_L^{max}(V) = \frac{q\beta S_0(1-R)}{\cosh(X_n^{max}/L)} \qquad (2\text{-}32)$$

وللمواد ذات الجودة العالية يمكن ان نعتبر $\propto L \gg 1$ على أغلب مدى الأطوال الموجبة في الطيف الشمسي وبالتالي يصبح $\cosh\frac{X_n^{max}}{L} \approx 1$ لذلك فإن التيار يعتمد بشكل رئيسي على S(V) وبإجراء التكامل من أقل قيمة للطاقة يمكنها أن تنتج زوج الكتروني ثقبي $E =$ E_g ، فإننا نحصل على أقصى قيمة للتيار كدالة في فجوة الطاقة لشبه الموصل ، حيث أن التيار يزداد مع نقصان قيمة فجوة الطاقة E_g .

B. بالنسبة لجهد الدائرة المفتوحة :

كما ذكرنا سابقا فإنه يمكن التعبير عن V_{oc} بدلالة العلاقة (2−26) ، حيث أن I_s الذي يمكن التعبير عنه بالعلاقة

$$I_s = I_{so}\, exp\left\{\frac{-E_g}{kT}\right\}$$

ومن هذه العلاقة نجد أن I_s تعتمد على فجوة الطاقة E_g ، وبالربط بين العلاقتين السابقتين نجد أن قيمة V_{oc} تزداد بإزدياد قيمة E_g ، وهذا عكس النتيجة التى توصلنا إليها في حالة تيار الدائرة المقصورة ، ولذلك يجب إختيار قيمة مناسبة لفجوة الطاقة بحيث يكون I_{sc} و V_{oc} أكبر ما يمكن

(2-10) الإستجابة الطيفيه للخلية الشمسية spectral Response of solar cell :

تعرف بأنها عدد حاملات الشحنة الناتجة عن كل فوتون ساقط على الخلية وترتبط بالطول الموجي [5.8.9.11.13] .

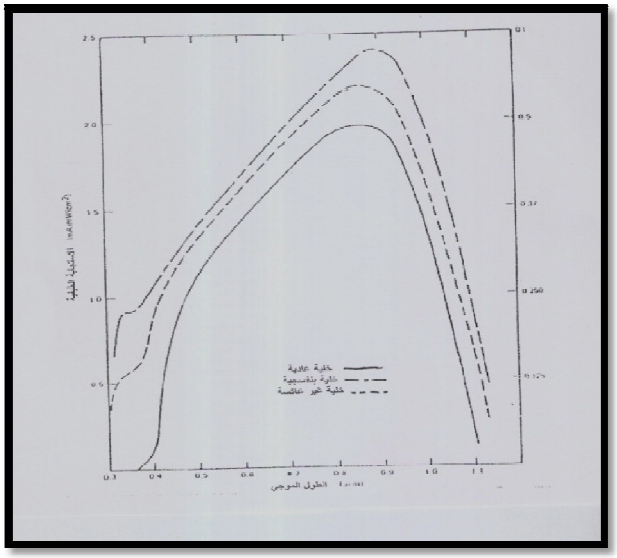
$$SR(\lambda) = J_{Ph}(\lambda) / \left(qN(\lambda) \left(1 - R(\lambda) \right) \right) \qquad (2\text{-}33)$$

$J_{Ph}(\lambda)$ كثافة التيار الناتجة عن طول موجي معين (λ) .

R(λ) معامل الانعكاس للخلية .

N(λ) تدفق الفوتونات ذات الطول الموجي (λ) .

ويوضح الشكل (2-10) الإستجابة الطيفية لثلاث أنواع من الخلايا الشمسية



(2-10) الإستجابة الطيفية لخلية شمسية عادية وخلية بنفسجية وخلية مغطاة بطبقة مانعة للانعكاس

(3-1) مقدمه :

يمكن ان تتم إعادة التطوير التقني للإنتاج الصناعي في أي بلد فقط فقط عندما يتم إبتكار مواد جديدة ذات نوعية عالية إضافة إلى إستخدام عمليات تقانية جديدة وتمثل تقانة الليزر مكاناً رائداً وسط عمليات التقانة الجديدة سريعة التطور وتتضمن كلمة ليزر الحروف الأولى من كلمات العبارة الإنكليزية التالية :

“Light Amplification by stimulated Emission of Radiation “

والتي تعني تضخم الضوء بواسطة الانبعاث المحفز للشعاع

تتمتع حزم الليزر بخاصيتي الشدة العالية والتجانس وهذا يجعلها تؤثر في الغازات والمواد التي تتميز ذراتها باحتوائها علىعدد كبير من مستويات الإثار ة مما فسح المجال لتوفر أفاق واسعة في سإتخدام الليزرات في تجزئة النظائر وا إحداث التفاعلات الكيميائية وفي التأثير المباشر في الموضوعات البيولوجية المختلفة [13].

(3-2) مكونات أجهزة الليزر :

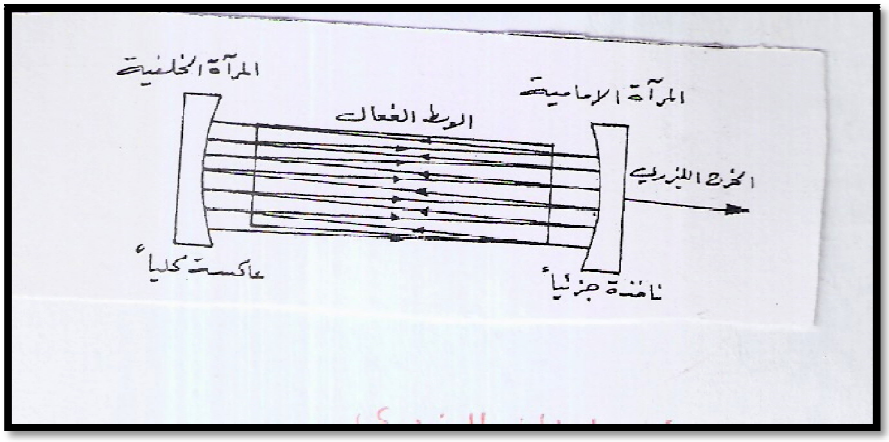
يتكون جهاز الليزر من العديد من المكونات الكهربائية والإلكترونية والبصرية وأجهزة السيطر ة والتضمين نستعرض أهم المكونات الرئيسية التي يشترط وجودها في أجهزة الليزر:

(3-2-1)الوسط الفعال :

إن الوسط الفعال المستخدم في الليزرات يكون عادة في حاله صلبة أوسائلة أوغازية

(3-2-2) المرنان الليزري :

يتكون من مرآتين متقابلتين ويشبه مقياس فابري–بيرو , ويقوم المرنان بمساعدة الفوتونات المنبعثة تعكس ملايين المرات في الثانيه ذهاباً وا ٍياباً بين المرآتين ماده في كل جوله خلا الوسط الفعال لتحفز أعداد كبير ة من الذرات أو الجزيئات المنهجية لكي تنبعث فوتونات جديدةأخر ى للحصول على حزمة الليزر ويمكن القول بأن المرنان هو الذي يضمن إستمرار عمل المنظومة.



شكل (1–3) المرنان الليزري

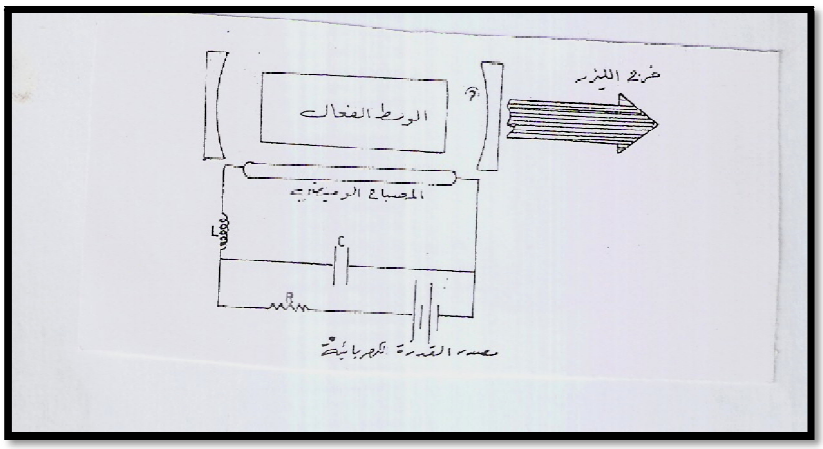
(3–2–3) تقنيات الضخ :

تقوم الطاقة الضاخةبإثارة الذرات المستقر ة في الوسط الفعال لتنتقل إلى المستويات المنهجية لكي يتحقق التوزيع العكسي المناسب الذي يضمن توليد الليزر وتوجد ثلاث تقنيات معروفة للضخ وهي

(1–3–2–3) تقنية الضخ الضوئي :

تستخدم تقنية الضخ الضوئي في الليزرات الصلبة كليزر اليقوت مثلاً ويستخدم في هذه التقنية مصابيح وميضية شدة استضائتها عالية لإثارة الوسط الفعال حيث أن جدران المصابيح الوميضية تصنع من مادة الكوارتز وتملأ بغازات معينه كغاز الزينون والكريبتون

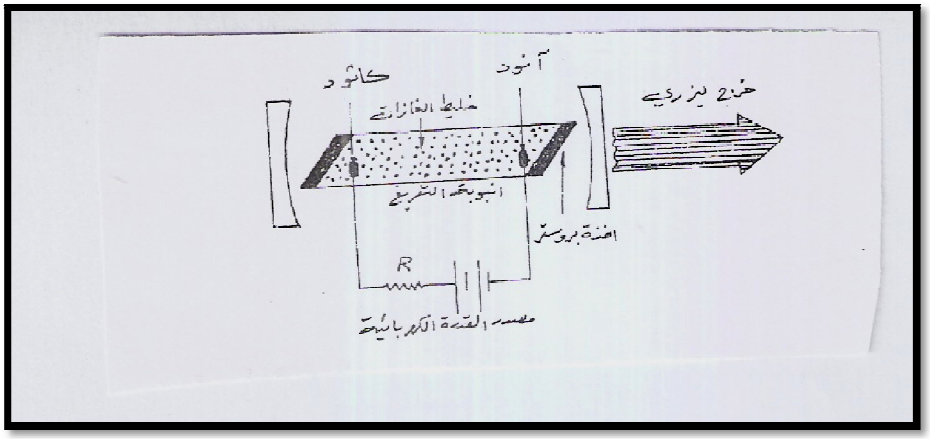
والنتروجين والنيون يستخدم الضخ الضوئي للحصول على ليزرات تقع ضمن المنطقة المرئية أو تحت الحمراء القريبة من الطيف الكهرومغناطيسي كليزر الياقوت أو النديميوم .



شكل (2-3) تقنية الضخ الضوئي

2-3-2-3 تقنية الضخ الكهربائي:

تستخدم لإثارة ذرات أو جزيئات الوسط الفعال لتحقيق التوزيع العكسي ويكون الوسط الفعال عبار ة عن غاز أو خليط من الغازات يوضع داخل أنبوبة التفريغ الكهربائي ويقتصر الضخ الكهربائي علي الليزرات الغازية وليزرات أشباه الموصلات .



شكل(3-3) تقنية الضخ الكهربائي

(3-3-2-3) تقنية الضخ الكيميائي :

عند تفاعل مادتين كيميائيتين يؤدي إلى انتاج مادة ثالثة جديدة قد تكون في حالة غير مستقر ة ويمكن تمثيل هذا التفاعل كما يلي :

$$A + BC \rightarrow AB^* + C$$

إن الطاقةالمتحرر ة من هذا التفاعل ستمكن الجزئيه$^*(AB)$أو الذره المتحرر ة (c) أو كلاهما من بلوغ حالة التوزيع العكسي ومن ثم الحصول على الليزر .

(3-3) تضخيم الإنبعاث المحفز :

عند ضخ الوسط الفعال تقفز الذرات أو الجزيئات من المستو ى المستقر إلى مستويات منهجية ليزرية وبذلك يحدث التوزيع العكسي ونتيجة لكل من الإنبعاث المحفز والتلقائي الذي يرافق هبوط الذرات أو الجزئيات المنهجيه إلىالمستو ى المستقر، تنبعث فوتونات وباتجاهات مختلفة ،إلا أن أغلبية هذه الفوتونات المنبعثة تسير في اتجاه امتداد الوسط الفعال لتصطدم بسطح المرآة وتنعكس منها وعند مرورها خلال الوسط الفعال سوف تحفز ذرات أو جزيئات منهجيةأخر ى للهبوط إلىالمستو ى الأرضي مما يؤدي إلى انبعاث أعداد جديدة من الفوتونات وعند وصول العدد الكلي للفوتونات إلى المرآة الثانية تنعكس منها لتسير خلال الوسط الفعال مر ةأخر ىمحفز ةأعداد كبير ة من الذرات أو الجزيئات مؤدية إلى إنبعاث فوتونات إضافية .

إن هذا العدد الهائل من الفوتونات سوف ينعكس آلاف المرات خلال أجزاء الثانية الواحدة ذهاباً وا ياباً بين مرآتي المرنان ماراً بالوسط الفعال ونتيجة لها يزداد عدد الفوتونات المنبعثة تدريجياً ولكن العدد الكلي للفوتونات المنبعثة سيصل إلى حالة الإستقرار نتيجة للخسائر التي تنجم عن الحيود والاستطار ة والنفاذية ويبقى فيض الفوتونات المنبعثة ثابت نسبياً عدد

الفوتونات سيقل بشكل مفاجئ عند اصطدامها بالمرآة الأمامية النافذة جزئياً للضوء وذلك بسبب نفاذ بعض الفوتونات من خلال المرآه علي شكل خرج , بينما تنعكس غالبية الفوتونات لتتحرك إلى اليسار خلال الوسط الفعال وحينئذ يلاحظ أن عدد الفوتونات يزداد من جديد نتيجة لحدوث الإنبعاث المحفز لعدد آخر من الذرات أو الجزيئات المتهيجة التي تصادفها في الطريق وعند اصطدام هذه الحزمة من الفوتونات بالمرآة الخلفية، ستحدث خسائر قليلة إذا قورنت بخسائر المرآة الأمامية ، وتأتي هذه الخسائر نتيجة للحيود والإستطار ة التي تحدث في المرآة الخلفية وعند رجوع حزمة الفوتونات خلال الوسط الفعال باتجاه اليمين ويزداد عددها مر ةأخر ى نتيجة للإنبعاث المحفز ليصل مع حدوث الخسائر لتبقىالقدر ة الكلية المنبعثة داخل المرنان ثابتة بشكل نسبي لضمان استمرار توليد الليزر .

(3-4) شرط العتبة لتوليد الليزر :

يعرف شرط العتبة بأنه الحالة التي يستقر فيها تذبذب الفوتونات ويتعادل ربح الوسط الفعال مع خسائر المرنان، ولضمان توليد الليزر يجب أن يكون التوزيع العكسي بدرجة كافية بحيث ربح الوسط الفعال أكبر من جميع خسائر المرنان [14].

(3-5) مميزات الأشعة الليزرية :

يتصف الليزر بالخصائص الأتية :

1. أنه شعاع ذو اتجاه ثابت، على نحو يخالف شعاع الضوء العادي والذي ينتشر في جميع الإتجاهات .
2. إنه شعاع متماسك، أي أن الفوتونات في الشعاع الضوئي ترتبط فيما بينها بعلاقات طوريه phase Relation ships الأمر الذي لاينطبق على أشعة الضوء العادي .

3. أنه شعاع أحادي الطول الموجي ، ويتضح ذلك فيما لوقلنا بمعاينة الضوء لتبين لنا أنه يتألف من حزمة ضيقة جداً من الأشعة [15].
4. السطوع ، يزداد سطوع الأشعة الليزرية لدرجة أكبر من سطوع المنابع الضوئية المعروفة بعدة ملايين المرات[16].

(3-6) أنواع الليزرات :

يمكن تقسيمها وفقاً لطبيعة الوسط الفعال المستخدم إلى الأصناف التالية :

(3-6-1) ليزرات العوازل المطعمة (الليزرات الصلبة) :

إستخدام مصطلح العوازل المطعمةلوصف الليزات التي يكون وسطها الفعال عبار ة عن بلورات عازلة صلبة ومطعمة بالشوائب الأيونية ويطلق عليها أيضا الليزرات الصلبة ومن أشهرها ليزر الياقوت وليز ر النديميوم الزجاجي والنديميوم ياك وتتميز هذه الليزرات بقدرة خرج عالية .

(3-6-1-1) ليزر الياقوت :

يتكونلوسط الفعال لهذا الليزر من بلور ة اسطوانية صلبة من الياقوت، تتكون بلورة الياقوت من أوكسيد الألمنيوم AL_2o_3مع وجود نسبة قليلة جداً من أوكسيد الكروم cr_2o_3 ويتم إزاحة 0.05 % من أيونات الألمنيوم AL^{3+} لتحل محلها أيونات الكروم cr^{3+} المسئولة عن توليد الليزر، ويمكن تشغيل ليزر الياقوت بنمط نبضي أو مستمر، يستخدم ليزر الياقوت في المجالات الطبية والصناعية والإلكترونات .

(3-6-1-2) ليزر النديميوم الزجاجي :

يعد ليزر النديميوم الزجاجي من الليزرات المهمة صناعياً حيث يتكون وسطه الفعال من الزجاج المطعم بأيونات النديميوم ، يتميز الزجاج المضاف في هذا الليزر بكونه

متجانساً بصرياً بحيث يمكن تطعيمه بأيونات النديميوم بتركيز عال ويكون رخيص الثمن وسهل التصنيع ويمكن تشغيله بنمط مستمر اً و نبضي ، إلا أن استخدامه بنمط مستمر يحد من فائدته بسبب قلة التوصيلية الحرارية للزجاج وبالنتيجةتصبح عملية التخلص من الحرار ة العالية صعبة .

(3-1-6-3) ليزر النديميوم ياك :

يتكون الوسط الفعال لهذا الليزر من مادة ياتريوم ألمنيوم كراتين (ياك , YaG) المطعمة بأيونات النديميوم بنسبه تتراوح بين 0.5 % إلي 2 % وهي تعد شوائب بديلة تحل محل أيونات الياتريوم مكونة بذلك المستويات الليزريةداخل البلور ة ، ويمكن الحصول على ثلاثة خطوط ليزرية مختلفة (1359nm , 1060nm, 914.2 nm) ويعد الخط الليزري (1060 nm) من اسهل الخطوط التي يمكن توليدها يمكن تشغيل ليزر النديميوم ياك بنمط نبضي أو مستمر ، حيث تستخدم مصابيح مستقيمة كمصباح الزينون ذات الضغط المعتدل لتشغيله بنمط نبضي ، بينما تستخدم مصابيح الكريبتون ذات الضغط العالي لتشغيله بنمط مستمر، ويمكن الحصول على خرج ليزري قدر ة عالية تصل 150 واط عند تشغيله بنمط نبضي وتصل قدرة الخرج إلى 700 واط عند تشغيله بالنمط المستمر ويستخدم ليزر النديميوم ياك في الكثير من التطبيقات الصناعية والطبية .

(3-6-2) ليزرات أشباه الموصلات :

تصنف ضمن فصيلة الثنائيات المشعة للضوء المستخدمة في الدوائر الإلكترونية وتختلف عنها من حيث طبيعة الضوء المشع ، حيث يكون الضوء المنبعث من الثنائيات المشعة للضوء أحادي اللون كالأحمر والأصفر والأخضر ولكنه غير متشاكه، بينما يكون الضوء المنبعث من ليزرات أشباه الموصلات أحادي اللون المتشاكه ويتكون

الوسط الفعال لهذه الليزرات من مادة شبه موصلة تختلف بشكل جوهري عن البلورات الأيونية من حيث ترتيب مستويات الطاقة وحركة الإلكترونات فعندما تكون ذر ات الوسط الفعال شبه الموصل قريبةمن بعضها فإن كل مستو ى من مستويات الطاقة سوف ينتظر إلى عدد من المستويات الثانوية ، وبذلك تتكون حزم من الطاقة بدلاً من المستويات المنفردة للطاقة وهما حزمة التكافؤ E_v وحزمه التوصيل E_c ويفصل بينهما فجوه محظور ة عرضها E_g وتستخدم في ليزرات أشباه الموصلات مادة جاليوم أرسنايد(Ga As) والسيلكون والجرمانيوم المستخدمة في صناعة المكونات الإلكترونية كالثنائيات و التر انزستورات والدوائر المتكاملة [14].

(3-6-3) الليزرات الغازية :

أكثر أنواع الليزر المألوفه خذ مثلاً ليزر الهيليوم نيون المنتشر في كل مكان فهو يوجد في مختبرات الفيزياء بالمعاهد الدراسية وفي أجهزة المحاسبة الآلية في الآسواق حيث تستعمل لمسح scanning تلك الرموز العصرية العجيبة لأسعار السلع ، ويوجد في مواقع المشروعات الإنشائية حيث يستخدم لضبط إستقامة الجدران والمباني وأكثر الطرق انتشاراً لضخ ليزر غازي هي تمرير تيار كهربائي خلال الغاز في الأنبوبة وتكون النتيجةتفريغ كهربائي في الغاز وفي ليز ر الهيليوم نيون يؤدي التفريغ إلى استثارة ذرات الهيليوم التي تحول طاقتها إلى ذرات النيون والتي تشع حينئذ ضوء أحمر اللون ومن الممكن أيضاً استثارة أعضاء أخري من العائلة الخاملة بوساطة الكهرباء، والأرغون Argon والكريبتون Krypton أفضل الأمثلة وتستخدم ليزرات الأرغون في الصناعة والأبحاث العلمية أما ليزرات الكريبتون والليزرات التي تضم الأرغون والكريبتون فتتميز بمجال من الألوان المتنوعةالأكثر إثار ة وتستعمل غالباً في العروض والإحتفالات الضوئية . إن جميع الليزرات التي ذكرناها حتى الآن تطلق أشعتها بإستمرار لكنها محدودة القدر ة وهناك نوع آخر من الليزر المدفوع بقدرة التفريغ الكهربائي ألا وهو ليزر

ثاني أكسيد الكربون ، ويبلغ طول موجة هذا الضوء الخفي للأشعة ماتحت الحمراء حوالي 20 ضعف الأطوال الموجية المرئيةالصادر ة عن ليزرات الهيليوم –نيون والأرغون والكريبتون وباستطاعة ليزرات ثاني أكسيد الكربون أن تنتج الطاقة بإستمرار ابتداء ً من دون الواط إلى مئات الآلاف من الواطات والأنواع الأخير ة تكون عادة ليزرات عسكرية لاتعمل إلا بضعة ثواني فقط للمهـ ة الواحدة [17].

(3-6-4) ليزرات الحالة السائلة (ليزرات الصبغة)(liquid lasers(dye laser) :

إن الليزرات التي تكون فيها المادة الفعالة بحالة سائلة ، من محاليل معينة لصبغة عضوية مذابة في سوائل مثل كحول إيثيلي أو كحول ميثيلي أو ماشابه ذلك ، تعود كصبغات إلى أحد الأصناف الأتية :

أ) صبغات متعددة الميثين polymethine(0.7-1)μ_m

ب)صبغات الكسانتين Xanthene(0.5-0.7)μ_m

ج) صبغات (0.4-0.5)μ_m

د) الصبغات الوميضية scintillator (λ<0.4)μ_m

تؤدي ليزرات الصبغةدوراً هاماً متزايداً في التطبيقات في حقول وميادين مختلفة لإمكانية توليف أطوالها الموجية ، وللتغطية الواسعة للطيف تحتوي الصبغات أربطة مزدوجة مترافقة (conjugated double bonds) وتمتلك عادة حزم امتصاص قوية في المنطقة المرئية وفوق البنفسجية من الطيف [16].

(3-6-5) الليزرات الكيميائية chemical lasers:

يعرف الليزر الكيميائي عادة بأنه الليزر الذي يحدث فيه انقلاب الإسكان بالتفاعل الكيميائي مباشر ة، وعادة تستخدم الليزرات الكيميائية التفاعل الكيميائي بين العناصر الغازية.

هذه الليزرات مهمة لسببين هما :

أ) هذه الليزرات تقدم مثال مهم للتحول المباشر من الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهرومغناطيسية.

ب)بما أن كمية الطاقةالمتيسر ةفي التفاعل الكيميائي كبير ة جداً فيتوقع أن تكون الإستطاعات الخارجه عاليه [16] .

ومثال على هذه الليزرات ليزر HF فلور الهيدروجين ، حيث تتحد ذرة هيدروجين مع ذرة فلور لإنتاج فلوريد الهيدروجين اتحاد الذرتين ينتج طاقةتشتت بصورة حرار ة ، لكن إذا و ُضعت الجزيئات المستثار ةداخل فجو ة ليزرية يمكن استخلاص الطاقة على شكل شعاع ليزر طول موجته حوالي 3 ميكرومتر (3×10^{-3}ملم) والتي تقع في منطقة الأشعة ماتحت الحمراء.

(3-6-6) الليزر حر الالكترون the free – Electron laser :

من الإضافات الأخيرة إلى قائمة أنواع الليزر جهاز يعرف باسم " الليزر ذي الإلكترون الحر " ويأتي الإصطلاح " حر الإلكترون " من حقيقة الوسط الفعال الذي يبعث الضوءهو شعاع من الالكترونات ، متحرر ة من الذرات والتي تعبر من خلال مجال مغناطيسي .

يتطلب الليزر معجلا إلكترونيا Electron Accelerator كبير لتوفير الشعاع الإلكتروني . ثم يتطلب مجموعة من المغناطيسات القوية الضخمة لتتكفل بتغيير اتجاه الشعاع .و أبدت الأوساط العسكرية إهتمامها بهذا الليزر لسبب واضح : طاقته العالية ، فمن الوجهة الاساسية ، يعتقد بأن شعاعاً من الإلكترونات كفيل ذاتياً بصناعة سلاح جيد [17].

(3-7) تطبيقات الليزر Laser Applications :

لليزر تطبيقات عديدة جداً في مختلف مجالات حياتنا اليومية ويمكن تقسيم استخدامات الليزر إلى :

(3-7-1) تطبيقات صناعية industrial Application :

من أهم التطبيقات الصناعية :

أ. القياسات الدقيقة (المسافات ، الحركة ، قياس التداخل).

ب.التراصف في خط مستقيم (مد أنابيب الغاز أو المياه أو خطوط الكهرباء ، حفر الانفاق تحت الارض ، ترتيب الأجهزة الميكانيكية ، وضع علامات مرجعية في عمليات البناء والتشييد) .

ت.معالجة المواد (القطع ، اللحام ، الصهر ، التبخير ، زيادة الصلابة ، التأين الضوئي)

ث.التحليل الطيفي .

(3 -7-2) تطبيقات طبية Medical Application :

دخل الليزر فى العديد من التطبيقات الطبية ، ويمكن تقسيم هذه التطبيقات حسب التالي:

- العضو البشري المراد معالجته مثل : العيون ، الجراحة العامة ، طب الاسنان ، الأمراض الجلدية ، الأوعية الدموية ، الأورام ، جراحة العظام ، أمراض النساء ، الطب البيطري .
- نوع الليزر المستخدم في العلاج مثل : ليزر ثاني أكسيد الكربون ، أو ليزر الياك ، أو ليزر الأرغون .
- نوع المعالجة مثل : تشخيص أو جراحة أو لحام الأوعية الدموية .

(3-7-3) التطبيقات العسكرية Military Application :

من أهم التطبيقات العسكرية المعروفة :

1. تحديد المدى بإستخدام الليزر Laser range – finder .
2. تعيين الأهداف Target designation .
3. أسلحة الليزر (حرب النجوم) (Laser daily (Star war .
4. الإعماء بالليزر للناس والمعدات الحساسة
(Laser blinding for man and sensitive equipments)

(3-7-4) تطبيقات الليزر في الحياة اليومية Laser daily Application :

(3-7-4-1) الليزر في البيت :

- الأقراص المدمجة أو المضغوطة (Compact disks) وفيها يتم تخزين المعلومات بصرياً .
- الوسائط المستخدمة لتخزين المعلومات . (القرص المتعدد الأغراض الرقمي DVD)

(2-4-7- 3) الليزر في المكتب ويشمل :

- الطابعة الليزر ية (Laser printer) .
- وسائط تخزين المعلومات (Optical disk drivers) .
- الحاسوب الضوئي (Optical computer) .

(3-4-7- 3) الليزر في التجارة ويشمل :

- قارئ (ماسح) مزلاج الشفرة (Bar code scanner).
- العلامة الهلوغرافية ضد التزوير (بطاقات الإعتماد ، الأموال ، البضائع الخاصة وغيرها).

(4-4-7-3) الليزر في الإتصالات ويشمل :

- الإتصالات بإستخدام الألياف البصرية (Optical fibers communications).
- الإتصالات الفضائية (Free space communication).

(5-4-7-3) الليزر في الفن والتسلية :

- عروض الليزر (Laser shows) في المناسبات والإحتفالات والمسارح المفتوحة .
- الهلوغراف في المتاحف والمعارض .
- التصوير الثلاثي الأبعاد والتماثيل المتحركة .

(5-7-3) تطبيقات الليزر في الابحاث العلمية:

(Laser in scientific research Application)

قلما يوجد بحث علمي سواء في مجال الفيزياء أو الكيمياء أو الجيولوجيا أو الاحياء إلا بإستخدام الليزر كأداة رئيسية . ومن تطبيقاته في المجالات العلمية نذكر :

- الأطياف Spectroscopy .
- الإندماج النووي Laser inertial .
- دراسة تفاعل الاشعة الكهرومغناطيسية مع المادة .

(3-7-6) تطبيقات خاصة Special Application :

توجد العديد من التطبيقات التي لا تزال طور البحث ومنها :

- تزويد المحطات الفضائية بالطاقة اللازمة عن طريق توجيه أشعة الليزر من الأرض إلى المحطة الفضائية .
- البوصلة الليزرية و هو جهاز يستخدم في الحفاظ على الإتجاه في الفضاء .
- الألياف الزجاجية (fiber glass laser) وهي تطبيقات تعتمد على توليد الليزر في الألياف الزجاجية بدون الحاجة إلى إستخدام الطاقة الكهربية لعملية الضخ [18].

(4-1) مقدمة:

تم عمل تجربة لمعرفة تأثير ضوء الليزر على الخلية السليكونية.

(4-2) الهدف من التجربة:

1. دراسة تأثير ضوء الليزر على الخواص الكهربية للخلية السيليكونية.
2. حساب كفاءة الخلية الشمسية بعد تعريضها لضوء ليزر الهيليوم-نيون.

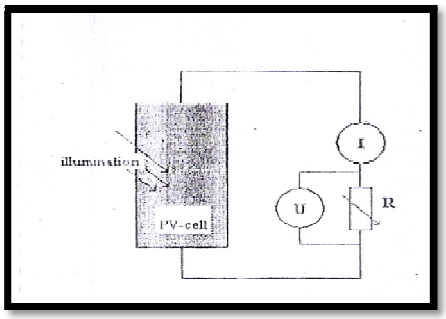
(4-3) الأجهزة والأدوات المستخدمة:

1. جهاز ليزر الهيليوم-نيون طوله الموجي 632.8 nm وقدرته 1 mw
2. خلية شمسية مساحتها 0.06 m
3. جهاز أميتر لقياس التيار.
4. جهاز فولتميتر لقياس الجهد
5. ريوستات.
6. أسلاك توصيل.

(4-4) كيفية إجراء التجربة:

وضعت الخلية السيليكونية على حامل وعلى بعد 0.03 m عن مصدر الليزر مرة وعلى بعد 0.1m مره أخرى.

تم توصيل الدائرة الكهربية كما موضح في الشكل (4-1)



(شكل 4-1)

(4−5) النظرية:

$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}} \qquad (4-1)$$

$$\eta = \frac{P_m}{GA} \qquad (4-2)$$

حيث أن :

FF =عامل الملء

I_{sc} = تيار الدائرة القصيرة

V_{oc} = فولتية الدائرة المفتوحة

V_m و I_m = الجهد والتيار عند نقطة الذروة

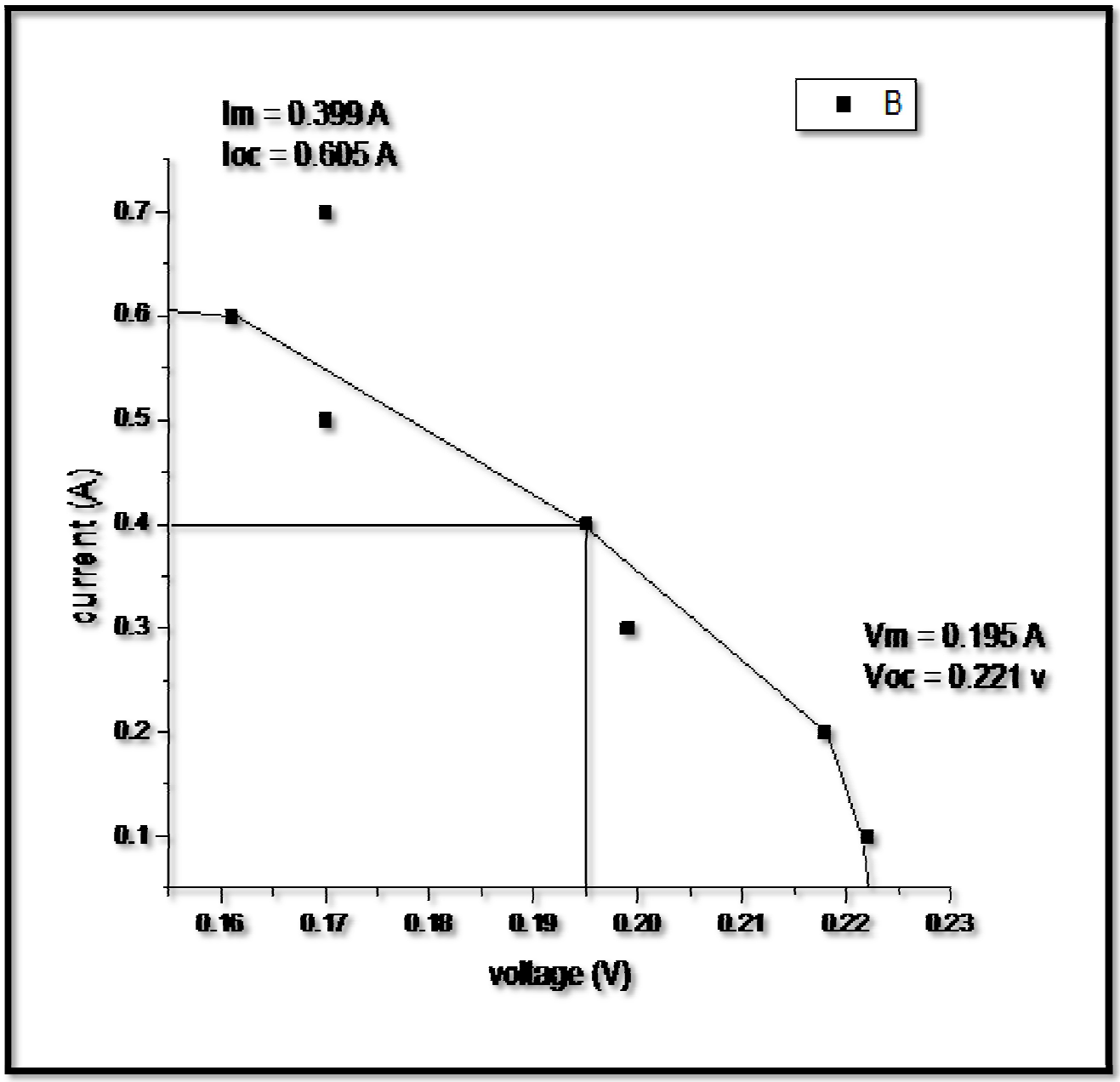
η = كفاءة الخلية الشمسية

G = الكثافة الضوئية

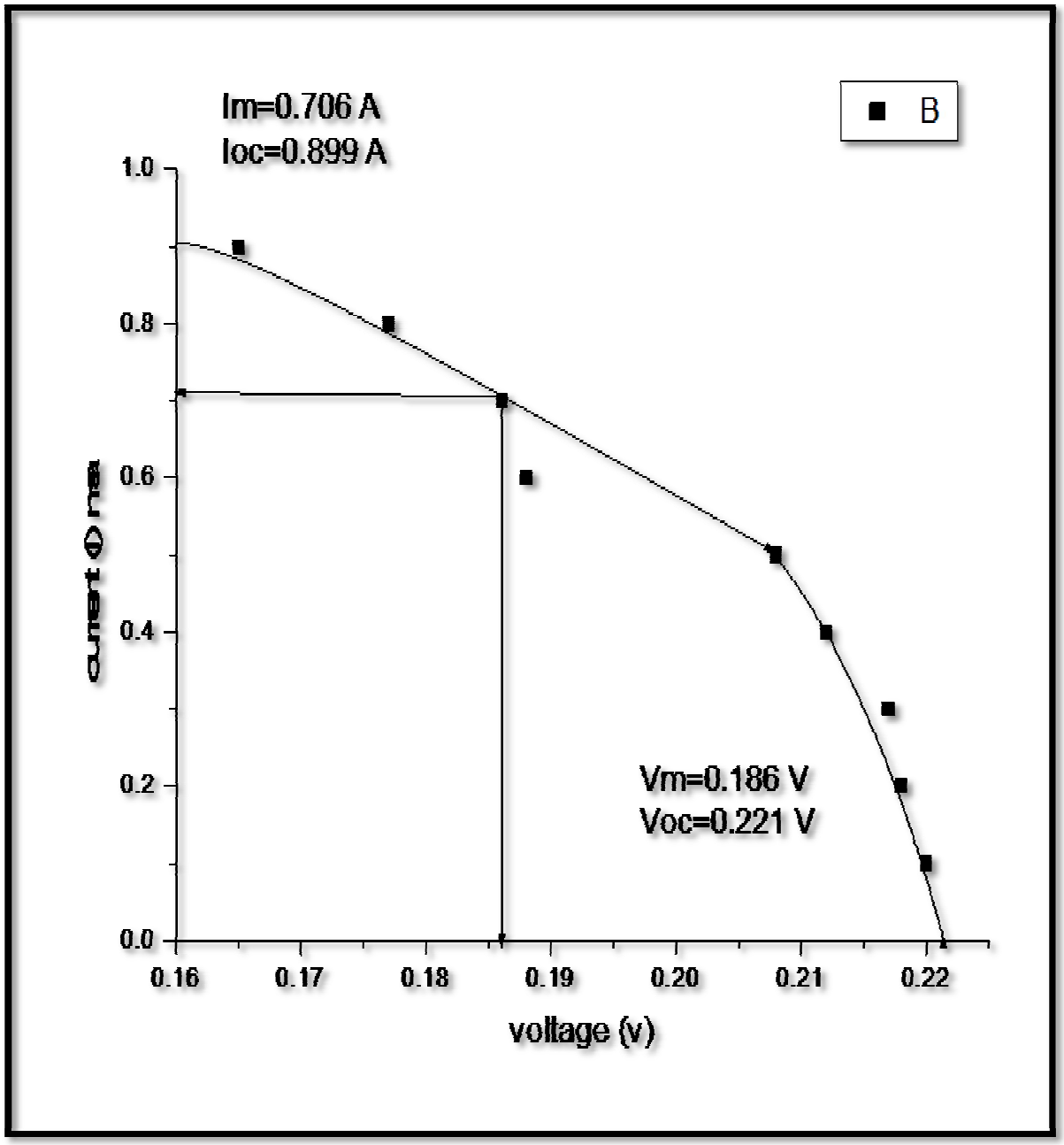
A = مساحة الخلية

(6-4) النتائج :

Solar cells silicon single crystal المسافة = 0.1 m		Solar cells silicon single crystal المسافة = 0.3 m		ليزر هيليوم-نيون
0.58	FF	0.66	FF	طوله الموجي 632.8 nm
12.96	η	21.83	η	وقدرته 1 mw



شكل (2-4) رسم بياني يوضح العلاقة بين التيار والجهد عند مسافة 0.1 m بين المصدر والخلية



شكل (3-4) رسم بياني يوضح العلاقة بين الجهد والتيار عند مسافة 0.3 m بين المصدر والخلية

(4−7) المناقشة:

من الشكل (4−2) والشكل (4−3) يمكن إيجاد المتغيرات التي يعتمد عليها أداء الخلية الشمسية والذي يحدده كل من تيار الدائرة القصيرةI_{sc} وفولتية الدائرة المفتوحة V_{oc} وعامل الملء FF والتي منها يمكن حساب كفاءة الخلية الشمسية وقد وجد عمليا في الحالة الأولى التي كانت فيها المسافة بين مصدر الليزر والخلية 0.1 m قيمة $I_{sc} = 0.605\ A$ وقيمة $V_{\mathrm{oc}} = 0.222\ \mathrm{V}$

وبإستخدام المعادلات (1−4) و (2−4) تم الحصول على قيمة عامل الملء والكفاءة كما في الجدول أعلاه.

و في الحالة الثانية التي كانت فيها المسافة بين المصدر والخلية 0.3 m كانت قيمة $I_{sc} = 0.899\ A$ وقيمة $V_{\mathrm{oc}} = 0.221\ V$ عند شدة اشعاع داخل $(0.1\ mw/cm,^2)$

لوحظ أن المسافة بين المصدر و الخلية الشمسية لها تأثير على كفاءة الخلية الشمسية عندما زادت المسافة زادت قيمة الكفاءة وهذا يرجع لأن ضوء الليزر انتشر في مساحة أكبر من سطح الخلية ، وعلى العكس تماما عندما نقصت المسافة قلت الكفاءة لأن شعاع الليزر تركز في نقطة محددة على سطح الخلية.

إن تشعيع خلية شمسية بضوء ليزر He – Ne بأسلوب مستمر يعني أن هناك زيادة في درجة حرارة الخلية وهذه الحرارة لها تأثير على فجوة الطاقة Energy gap إذ أن زيادة درجة حرارة الخلية يؤدي إلى نقصان فجوة الطاقة وكلما قل عرض الفجوة يزداد امتصاص الضوء وبذلك تيار الدائرة القصيرةI_{sc} يزداد، ولوحظ كذلك نقصان قيمة فولتية الدائرة المفتوحة V_{oc} مما يؤدي إلى خفض القدرة الخارجة ولكن ما زالت قيمة الكفاءة أكبر .

(4-8) الخلاصة:

بعد إجراء التجربة لوحظ وجود تحسن في أداء الخلية الشمسية وكفائتها في حالة التشعيع بضوء ليزر ويعزى هذا التحسن إلى عمق إختراق أشعة الليزر من سطح الخلية إذ يؤدي إلى إمكانية توليد أزواج إلكترون _فجوة في المنطقة القريبة من الوصلة مما يؤدي إلى زيادة عدد الحاملات الأقلية وتقليل الخسائر ومن ثم سوف تزداد كفاءة الخلية .

(9-4) التوصيات :

العمل على تطوير وتحسين اداء الخلية الشمسية بإستخدام الليزر لزيادة كفاءة تحويل الطاقة.