

Fabrication and Characterization Study of CdTe_{1-x}Se_x/ZnTe Heterojunction

تصنيع ودراسة خصائص المفرك الهجين CdTe_{1-x}Se_x/ZnTe

رحيم كعيد كاظم المرشدي
جامعة بابل / كلية العلوم / قسم الفيزياء/العراق

الخلاصة

في البحث الحالي تم تصنيع ودراسة الخصائص الكهربائية وبعض خصائص الفولطائيه الضوئية للمفرك الهجين المصنع باستخدام تقنية التبخير الحراري في الفراغ لمادة ZnTe بسك (200 ± 0.05 nm) على قواعد x=0.4,0.5 and CdTe_{1-x}Se_x (0.6) من النوع المانع متعدد التبلور مرسب على قواعد من الزجاج النظيف نوع (corning) تحت ضغط فراغ 2x10⁶ mbar وفي درجة حرارة اساس (473k). اظهرت نتائج خصائص (تيار-جهد) في حالة الظلام ان المفرك من النوع غير المتماثل . ومن قياسات (سعه-جهد) وجد ان المفرك من النوع الفجائي ومن خلال تقاطع المنحني البياني مع الاحداثي السيني عند النقطة 1/C² = 0 وجد ان قيم جهد البناء الداخلي (0.8,0.83 and 0.88)V . اوضحت خصائص الفولتائيه الضوئية لقياسات (تيار-جهد) عند جهد انحياز عكسي استجابيه خطيه عاليه واوضحت قياسات تيار دائرة القصر وفولتية الدائره المفتوحة السلوك الخطي للمفرك.

Abstract

In the present work, the fabrication and study the electrical and some photovoltaic properties were carried out, for deposited thin (ZnTe) films with (200±0.05) nm thickness on a n-type CdTe_{1-x}Se_x (x=0.4,0.5 and 0.6) of polycrystalline structure by vapor deposition on clean corning glass substrate with (300 ±0.03) nm thickness under a vacuum pressure of the order (2x10⁶ mbar), at T_s =473k. The results of (I-V) characteristics under dark conditions showed the junction was anisotropic type. And from (C-V) measurements, it was shown a junction of abrupt type. The obtained (0.80,0.83,0.88)V built in potential were determined by extrapolation of the curve (1/C²) to a point 1/C²=0. The photovoltaic results of the reverse bias (current-voltage) showed a high linearity response, also the (V_{oc}, I_{sc}) results showed a linear behavior of the junction.

1 . المقدمة

نظرا للامتيازات التي تمتلكها المفارق الهجينه مثل الكفاءه العاليه وانخفاض الكلفه [1,2]، قام الباحثون بتوظيفها في المجالات التكنولوجيه المتعدده منها الكواشف والخلايا الشمسيه والترانزستور وليزرات اشباه الموصلات [3-6]. ان المفارق الهجينه تعرف بصوره عامه بانها اتصال حميمي بين مادتين شبه موصلتين مختلفتين في كل من (فجوة الطاقه والالفه الالكترونيه ودالة الشغل وثابت العزل الكهربائي) [7]. اثناء صناعة المفرك الهجين يجب الاخذ بنظر الاعتبار بعض العوامل التي تؤثر على خواص المفرك المصنع منها الثابت الشبكي لكل من المادتين المكونتين للمفرك الهجين، حيث ان عدم التطابق الشبكي يجب ان لا يتجاوز 1% وكذلك ضرورة تقارب قيم معامل التمدد الحراري للمادتين شبه الموصلتين الى حد ما لتجنب حدوث الانخلاعات عند السطح الفاصل [8] كذلك يمكن تحقيق ظاهرة النافذه (Window effect) في حالة اضاءة المفرك من جهة المادة ذات فجوة الطاقه العريضه لكشف اطوال موجيه طويله [9]. تمتاز هذه المفارق بكفاءة حقن عاليه لكل من الالكترونات والفجوات اعتمادا على فجوة الطاقه لمادتي المفرك [10].

في هذا البحث تم تصنيع المفرك الهجين بواسطة تقنية التبخير الحراري في الفراغ لمادة تلورايد الخارص ZnTe على قاعده من ماده (CdTe_{1-x}Se_x) متعدده التبلور بعد ان يتم ترسيب ماده الاخير على قاعده من الزجاج بابعاد (7.5x2.5 cm). وعلى الرغم من اللاتوافق الشبكي العالي (2.29%) للمادتين المكونتين للمفرك فان النتائج المستحصله يضاهاي النتائج التي تم الحصول عليها في البحوث السابقه [10].

2 . الجانب العملي والقياسات

حضرت شرائح زجاجيه بعد تنظيفها بالماء الفاتر ومساحيق التنظيف ومن ثم وضعها في كحول الايثانول النقي في جهاز الذبذبات فوق الصوتيه لمدة 15 دقيقه ومن ثم تجفيفها بورق خاص لتجفيف الشرائح الزجاجيه. تم استخدام منظومه التبخير

الحراري نوع (Balzers BAE 370) لاجل تبخير مادة $CdTe_{1-x}Se_x$ بسمك $(300 \pm 0.03 \text{ nm})$ تحت ضغط واطى بحدود (10^6 mbar) ولقيم مختلفه من المحتوى x ($x=0.4, 0.5 \text{ and } 0.6$) على القواعد الزجاجيه بعد ذلك تم تبخير مادة $ZnTe$ بسمك $(200 \pm 0.05 \text{ nm})$ على اغشية $CdTe_{1-x}Se_x$ انفة الذكر لعمل المفرق بعد ذلك تم عمل الاقطاب من معدن الالمنيوم (يعطي اتصالا اوميا) سمك (200 nm) من خلال اقتنعه وباستخدام نفس منظومة التبخير الحراري وتمت عملية تجميع المفارق على القواعد وتثبيت الاسلاك باستخدام عجينة الفضة (Silver paste).

تضمنت القيلسات دراسة خصائص (تيار-جهد) في حالة الظلام وقياس تيار الانحياز الامامي والعكسي عند جهد انحياز يمتد بين $(0.1-3 \text{ V})$. وللتعرف على نوع الاتصال وتحديد مقدار جهد البناء الداخلي للمفرق اعتمدت قياسات (سعه-جهد) واستخدم جهد انحياز عكسي بين $(0.1-1 \text{ V})$. تضمنت خصائص الفولتائيه الضوئيه قياس (تيار-جهد) في حالة الاضاءه كداله لجهد الانحياز العكسي، حيث عرض المفرق الى كثافات قدره ضوئيه مختلفه باستخدام مصباح هالوجيني، كما تم تحديد تيار دائرة القصر وفولتيه الدائره المفتوحه. ولمعرفة طبيعة اداء الكاشف تم قياس الاستجابيه الطيفيه باستخدام منظومة فحص الكواشف المؤلفه من موحد الطول الموجي (Monochromator) الذي يعمل ضمن مدى طيفي $(400-1300 \text{ nm})$ نوع (Infrared spectroradiometer model 760) ومقياس التيار الرقمي نوع (Fluke Multimeter Digital 810) لقياس التيار الضوئي (I_{ph}) ، ثم تم تحديد مقدار الاستجابه استنادا الى العلاقه الاتيه [11]:

$$R_{\lambda} = \frac{I_{ph}}{P} \dots \dots \dots (1)$$

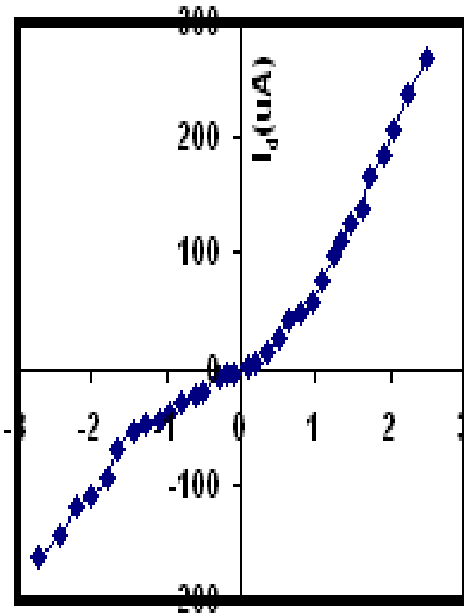
P : قدرة الضوء الساقط.

3 . النتائج والمناقشه

يمثل الشكل (1) خصائص (تيار-جهد) للثنائي المصنع في حالة الظلام والتي من خلالها يمكن دراسة سلوكية التيار مع الجهد المسلط على طرفي المفرق في حالتي الانحياز الامامي والعكسي. ينشا تيار الانحياز الامامي في حالة الظلام بسبب انتقال حاملات الشحنة الاغلبيه فيقل عرض منطقة النضوب ويسبب ذلك حدوث تناقص في قانون فعل الكتله (Mass action law) كما في المعادله الاتيه:

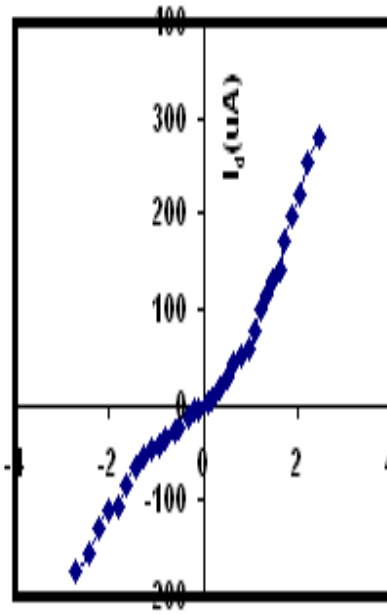
$$n_i^2 = P_p * P_n \dots \dots \dots (2)$$

حيث n_i^2 : تركيز الحاملات الذاتيه ، P_p : تركيز الحاملات الاغلبيه ، P_n : تركيز الحاملات الاقلية. في الاشكال 1-3) هناك ثلاث نسب مختلفه للتريليوم ($0.4, 0.5 \text{ and } 0.6$) نلاحظ ان منحني تيار الانحياز الامامي يتكون من منطقتين ، الاولى تمثل منطقة الزيادة القليله في التيار والتي تقابل قيم الفولتيايت القليله والتي تحدث نتيجة لتغير عرض منطقة النضوب بسبب تيار الاتحاد. اما المنطقه الثانيه فتبين الزيادة المتسارعه في قيم التيار والتي تقابل الفولتيايت العاليه وهي تمثل تيار الانتشار. وكذلك يمكن تقسيم منحني تيار الانحياز العكسي في الشكل نفسه الى منطقتين ، الاولى هي منطقة الفولتيايت القليله والتي تمثل تيار التولد ويلاحظ الزيادة في قيمة التيار اما المنطقه الثانيه فتمثل منطقة الفولتية العاليه والتي تستقر فيها قيمة التيار ويتغلب تيار الانتشله على تيار اعاده الاتحاد [11]. اي ان زيادة التيار الضوئي مع جهد الانحياز يمكن ان يعزى الى زيادة عرض منطقة النضوب مع زيادة جهد الانحياز (كما في الاشكال 4-6) فنحصل على امتصاص الضوء ضمن منطقة النضوب او ضمن المناطق القريبه منها وبالتالي سوف تزداد احتمالية مساهمة الحاملات المتولده في زيادة التيار الضوئي، كما ان فولتية الانحياز العكسي تسبب زياده في قيمة المجال الكهربائي الداخلي مما يزيد من احتمالية فصل ازواج (الكترن-فجوه) وبالتالي زياده التيار الضوئي [12]. ومن جهة اخرى فان زيادة قدرة الضوء الساقط يعني زيادة عدد الفوتونات الساقطه مما يزيد من عدد الحاملات المتولده ضوئيا ضمن منطقة النضوب وضمن عمق انتشله الحاملات الذي يعتمد على فترة حياة الحاملات الاقلية في منطقة النضوب، وبهذا يزداد التيار الضوئي بزيادة قدره الضوئيه للضوء الساقط [10]. لاحظنا احسن قيمه للتيار عند المفرق $CdTe_{0.4}Se_{0.6}/ZnTe$.



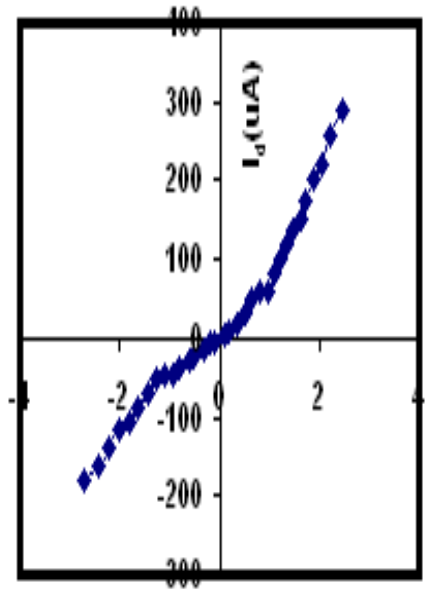
V(Volt)

شكل (1) خصائص تيار-جهد عند الظلام للمفروق الهجين $CdTe_{0.6}/ZnTe_{0.4}$ عند انحياز امامي وخلفي بدرجة حرارة اساس $473k$.



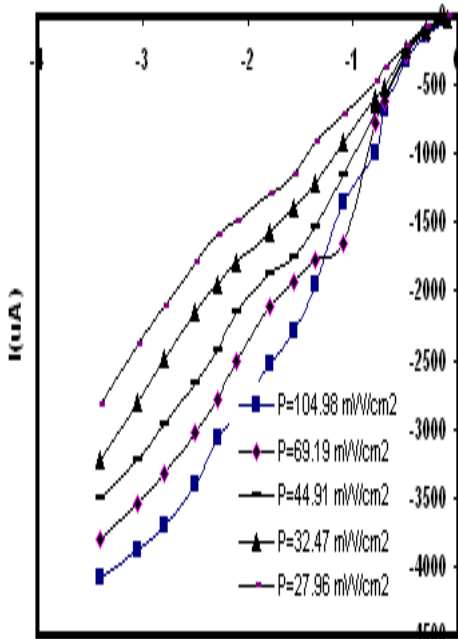
V(Volt)

شكل (2) خصائص تيار-جهد عند الظلام للمفروق الهجين $CdTe_{0.5}/ZnTe_{0.5}$ عند انحياز امامي وخلفي بدرجة حرارة اساس $473k$.

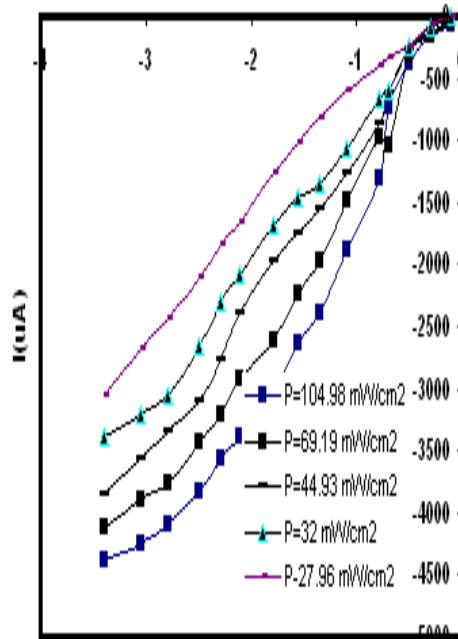


V(Volt)

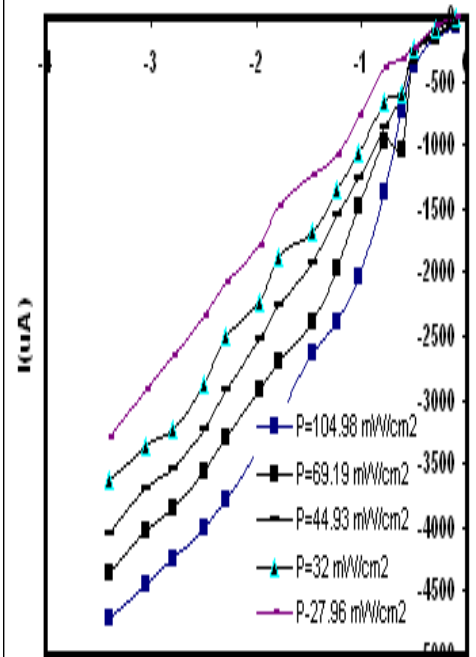
شكل (3) خصائص تيار-جهد عند الظلام للمفروق الهجين $CdTe_{0.4}/ZnTe_{0.6}$ عند انحياز امامي وخلفي بدرجة حرارة اساس $473k$.



الشكل (4) خصائص تيار-جهد للمفروق الهجين $CdTe_{0.6}/ZnTe_{0.4}$ عند الاضاءة عند انحياز عكسي وبدرجة حرارة اساس $473k$.



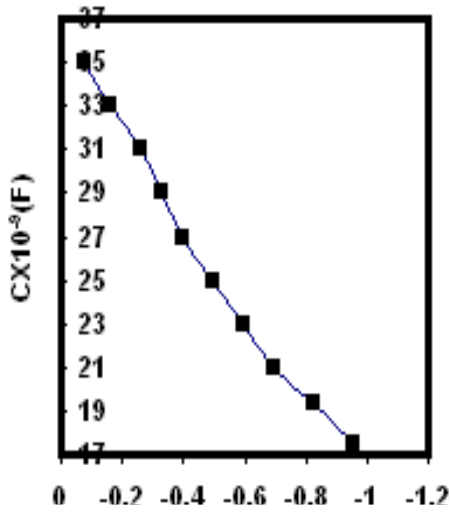
الشكل (5) خصائص تيار-جهد للمفروق الهجين $CdTe_{0.5}/ZnTe_{0.5}$ عند الاضاءة عند انحياز عكسي وبدرجة حرارة اساس $473k$.



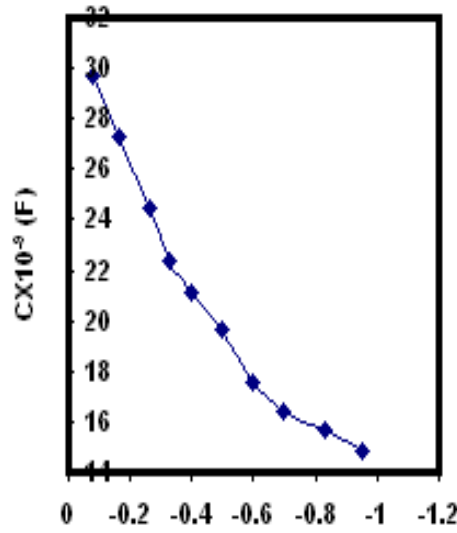
الشكل (6) خصائص تيار-جهد للمفروق الهجين $CdTe_{0.4}/ZnTe_{0.6}$ عند الاضاءة عند انحياز عكسي وبدرجة حرارة اساس $473k$.

توضح الاشكال (7-9) تغير سعة المتسعه للمفرق كداله لجهد الانحياز العكسي ونلاحظ تناقص قيمة سعة المتسعه بزيادة قيمة جهد الانحياز بسبب زيادة عرض منطقة النضوب [11] الاشكال(10-12) تمثل العلاقة بين مقلوب مربع السعه وجهد الانحياز العكسي والذي يعطي مقدار جهد البناء الداخلي للمفرق (V_{bi}) من خلال تقاطع الخط المستقيم مع محور الفولتية [13] وقد استخدمنا ثلاث نسب للتريليوم (0.4 and 0.5 ، 0.6).

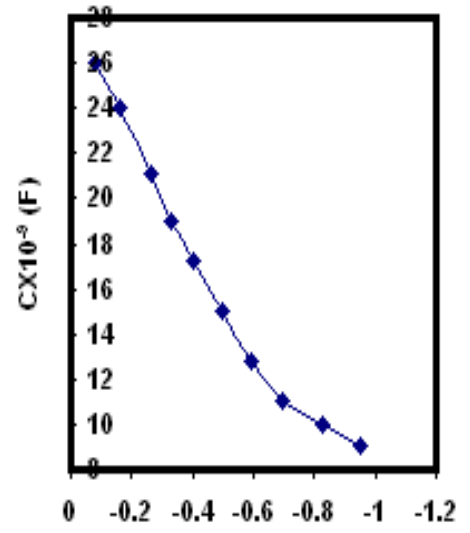
الاشكال (7-12) توضح العلاقة بين تيار دائرة القصر وفولتية دائره المفتوحة كداله الى كثافة القدره الضوئيه الساقطه. ويعتبر هذان المعلمان من الخصائص المهمه لمفارق الفولطائيه الضوئيه اذ يمكن فصل المزدوجات المتولده(الكترن-فجوه) بواسطة المجال الكهربائي دون الحاجه الى جهد انحياز خارجي.



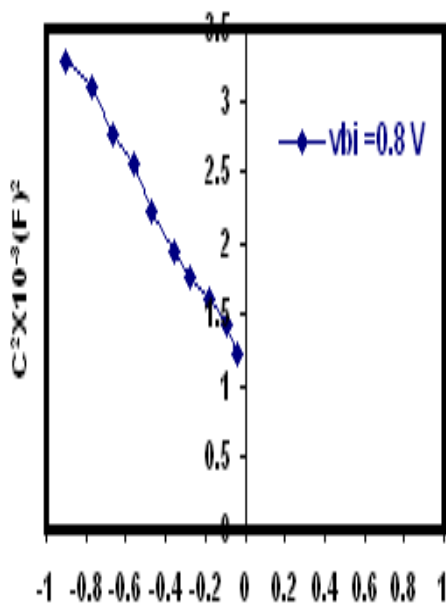
الشكل (7) تغير السعه كداله لفولتية الانحياز العكسي للمفرق الهجين CdTe_{0.6} Se_{0.4}/ ZnTe



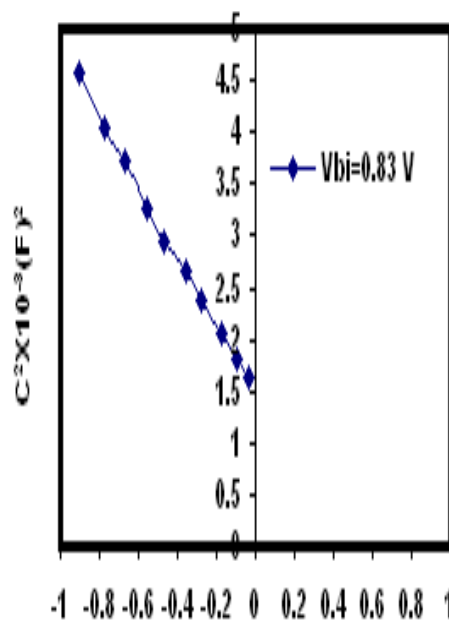
الشكل (8) تغير السعه كداله لفولتية الانحياز العكسي للمفرق الهجين CdTe_{0.5} Se_{0.5}/ ZnTe



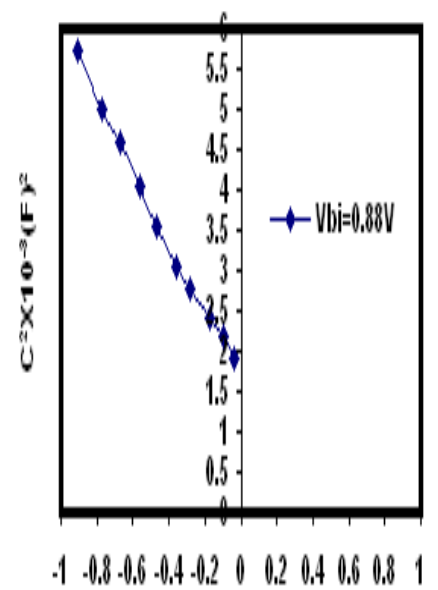
الشكل (9) تغير السعه كداله لفولتية الانحياز العكسي للمفرق الهجين CdTe_{0.4} Se_{0.6}/ ZnTe



الشكل (10) تغير مقلوب مربع السعه كداله لفولتية الانحياز العكسي للمفرق الهجين CdTe_{0.6} Se_{0.4}/ ZnTe



الشكل (11) تغير مقلوب مربع السعه كداله لفولتية الانحياز العكسي للمفرق الهجين CdTe_{0.5} Se_{0.5}/ ZnTe

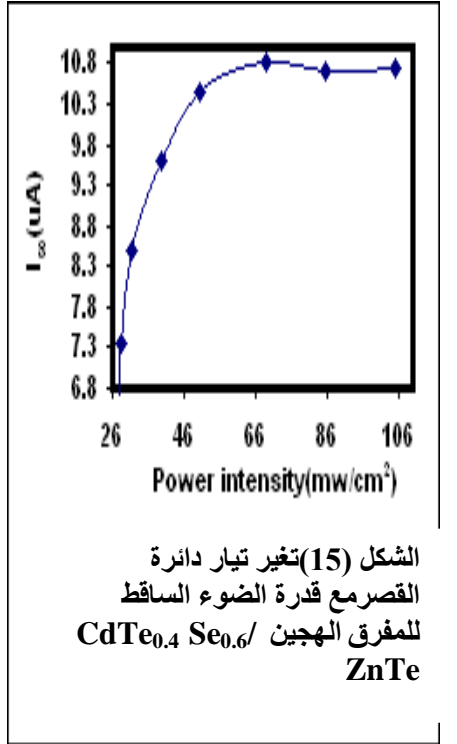
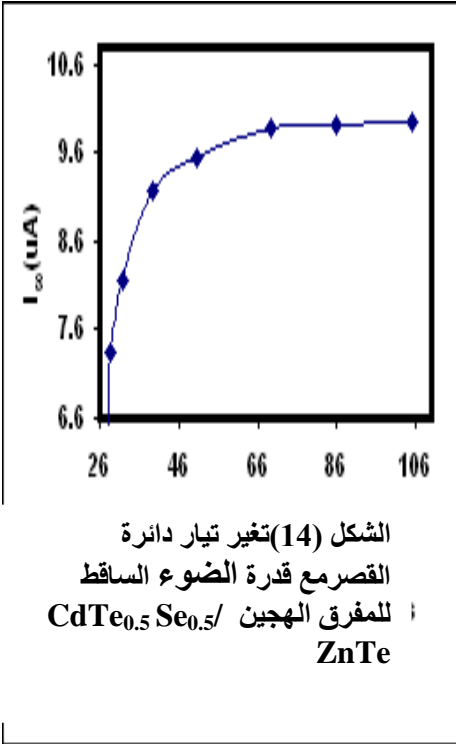
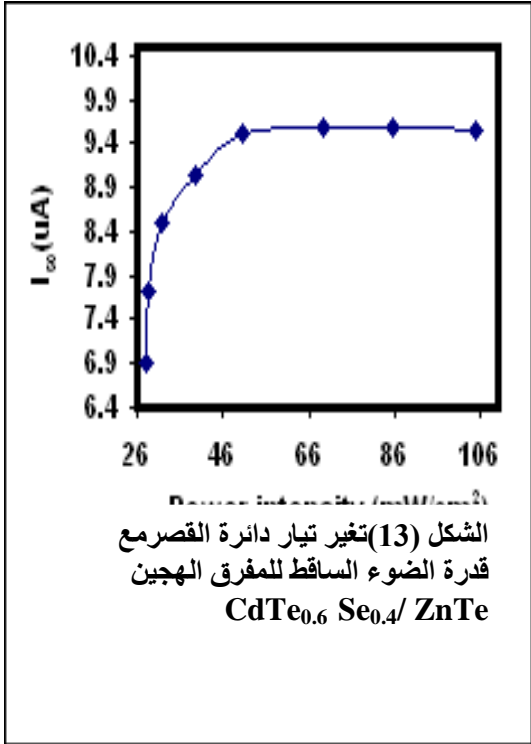


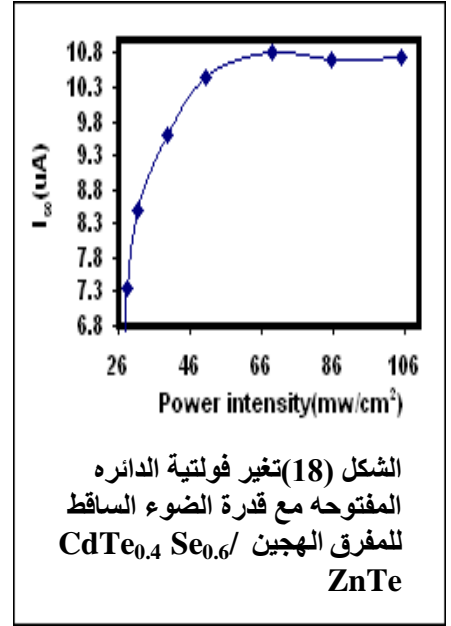
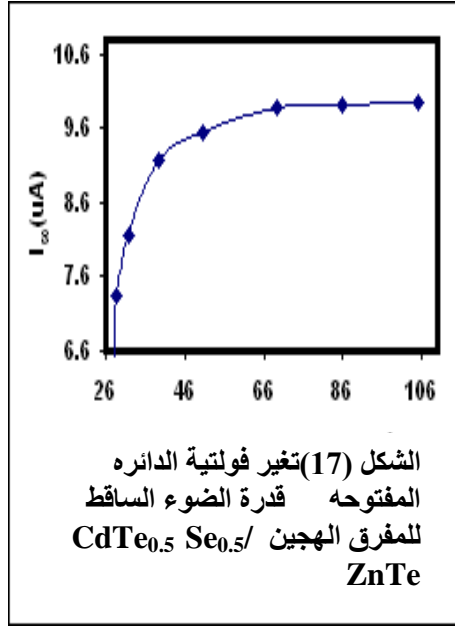
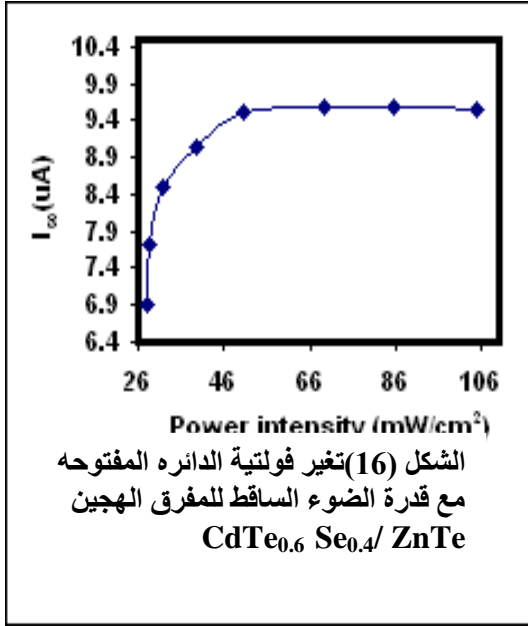
الشكل (12) تغير مقلوب مربع السعه كداله لفولتية الانحياز العكسي للمفرق الهجين CdTe_{0.4} Se_{0.6}/ ZnTe

يلاحظ في الاشكال (13-15) ان تيار دائرة القصر يبدأ بالزيادة التدريجية كدالة للشده الضوئية ليصل بعدها الى قيمه ثابتة(درجة التشبع) لا يتأثر بعدها بالقدره الاشعاعيه طبقا للعلاقة الاتيه:

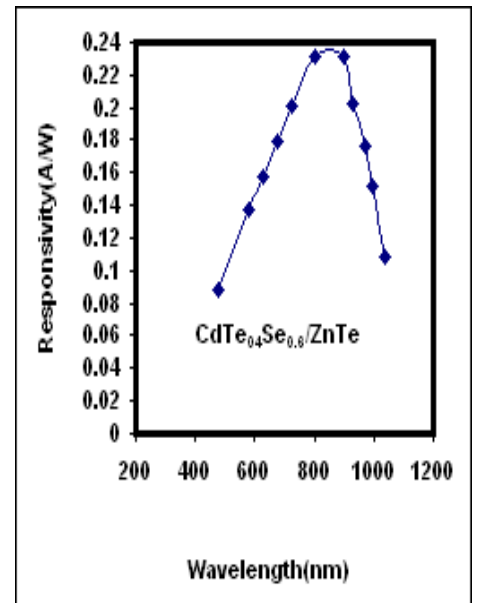
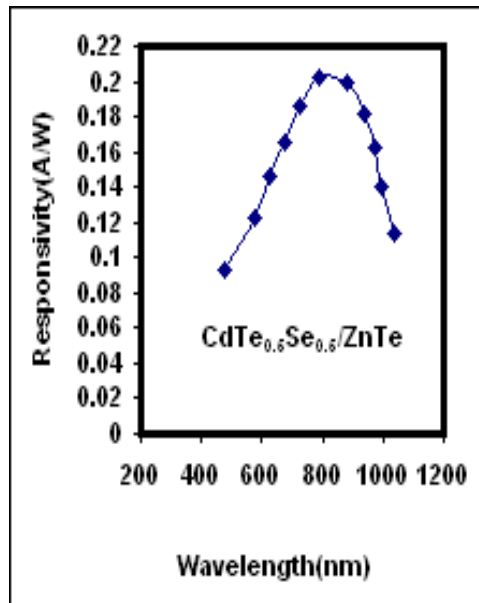
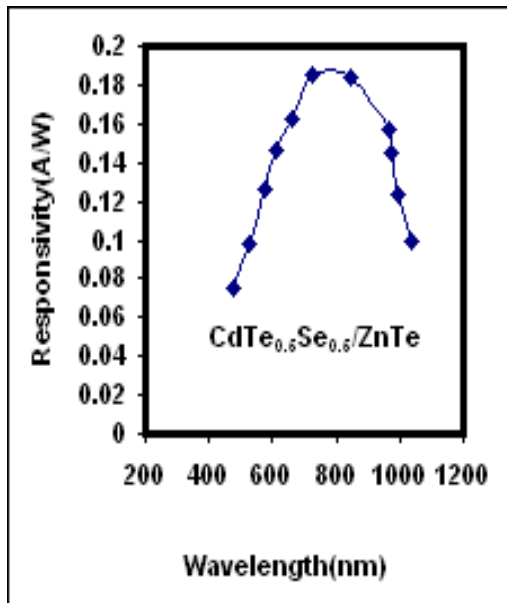
$$I_{ph} \propto P^n \quad \dots\dots\dots (3)$$

ويلاحظ من منحنيات تيار دائرة القصر وفولتية الدائره المفتوحه(16-18) انه كلما زادت نسبة Te ازدادت قيمة تيار دائرة القصر وفولتية الدائره المفتوحه وذلك نتيجة للعيوب السطحيه المتكونه (Surface Defects) التي تعمل كمراكز اقتناص للحاملات.





الشكل (19) يبين تغير الاستجابة الطيفية كداله للطول الموجي لجميع المفارق المصنعه حيث نلاحظ ان الكواشف تعمل ضمن المدى الطيفي (400-1100 nm) . يمكن تصنيف الاستجابة الى ثلاث مناطق، المنطقه الاولى ذات الاطوال الموجيه القصيره ضمن المدى (400-650 nm) وفيها تكون قيم الاستجابيه قليله حيث يكون امتصاص الضوء الساقط عند السطح وذلك لان معامل الامتصاص α عند تلك الاطوال الموجيه كبير أي ان الامتصاص قليل. وبعد زياده الطول الموجي من (650 nm) الى (750 nm) نلاحظ امتلاك المفرق اعلى قيمه للاستجابيه لتصل الى (0.228 A/W) ، حيث يكون امتصاص الضوء عند منطقه النضوب او على جانبيها وعلى مسافه تعادل طول انتشار الحاملات وهذا يعني كفاءه عاليه في معدل فصل المزدوجات المتولده بالمجال الكهربائي الداخلي مقارنة بالمنطقه الاولى ، اما المنطقه الثالثه وهي المنطقه بعد الطول الموجي وفيها تقل استجابة المفرق وذلك لاقتربنا من الطول الموجي القاطع λ_c الذي يعني زياده في النفاذيه (نقصان في الامتصاصيه) [14]. نلاحظ ان افضل مفرق هو CdTe_{0.4}Se_{0.6}/ZnTe



الشكل (19) منحنيات الاستجابة الطيفية كداله للطول الموجي للمفارق المصنعه بظروف مختلفه.

الاستنتاجات

من خلال مناقشة وتحليل النتائج تم التوصل الى الاستنتاجات الآتية:

1. ان المفارق الهجينه في هذا البحث تعمل ضمن ا لمنطقه المرئيه وتحت الحمراء القريبه.
2. كانت اعلى قيمه للاستجابه الطيفيه عند الطول الموجي 950 nm .
3. كانت الخصائص الفولطائيه الضوئيه للمفارق المصنع داله لظروف التصنيع ، فقد تم الحصول على افضل النتائج عندما تكون نسبة التريليوم (0.4) أي عند المفارق $CdTe_{0.4}Se_{0.6}/ZnTe$.
4. تعطي مادة (ZnTe) توصيليه من النوع القابل عند استخدامها مع مادة $CdTe_{1-x}Se_x$ في تصنيع المفارق الهجين لذلك فان المفارق المصنع من النوع غير المتماثل.
5. من قياسات السعه-الجهد نستنتج بان المفارق المستخدمه في هذا البحث هي من النوع الفجائي.
6. يعتمد مقدار التيار الضوئي بصوره مباشره على مقدار جهد الانحياز.

References

- [1] Jiang.X.Xie,Y.Lu,J.Zhu and Qian, 2001, Chem.Mater.,Vol.13 ,No.8,p.1213.
- [2] Bajaj N.K ,2004, “ Solids and Semiconductor and solid Devices “ , Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited New Delhi.
- [3] Sharma B.L and Purohit R.K, 1974. “ Semiconductor Heterojunction “ , Pergman Press, New York.
- [4] Alchalabi. K ,Zimin. D and Zogg. H, 2001, “ Monolithic Heteroepitaxial PbTe-on-Si Infrared Focal Plane Array with 96*128 pixels “ ,IEEE Electron Device Letter, Vol.3,p.110-112..
- [5] Alferov Zh.A, 1989, “ Semiconductor Heterostructures : Physical Processes and Application “ Printed in U.S.S.R.
- [6] Morgan D.V and Board .K,1991, “ An Introduction to Semiconductor Microtechnology “ , John Willy and Sons,New York.
- [7] Ivdnov.D.L, Saunin,I.V and Yas.D.V ,1984, “ Electrical Properties of p-n Junction Formed in Lead Telluride Films “ , Sov. Phy.Semicon., Vol.18,N0.5,p.510-511.
- [8] وليد خلف حمودي ، رائد عبد الوهاب اسماعيل وياسمين زيدان داود ” تصنيع ودراسة الخصائص البصريه للمفارق الهجين PbTe/Si “ ، مجلة الهندسه والتكنولوجيا ، المجلد 23 ، العدد 5 ، 2004 .
- [9] مارتن ” الخلايا الشمسيه ، مبادئ العمل والتقنيه وتطبيقات المنظومه ، ترجمة الدكتور يوسف مولود حسن، جامعة الموصل ، 1989 .
- [10].Kadhim .R.K , 2007, “ Study the Structural , Electrical and Optical Characterization of the Heterojunction $CdTe_{1-x}Se_x/ZnS(Te)$.” , Ph.D Thesis, Baghdad university.
- [11] S.M.Sze,1989, “ Physics of Semiconductor Device “ John Wiley and Sons , New York.
- [12] Kachabekov M.M and Abdura Ginov.,1981, “ Some Properties of SnTe-GeAs, PbTe-Si and $Pb_{1-x}Sn_xTe-Si$ “ , Inorgains Material, Vol.17, No.6, p.689-691.
- [13] Donald A.neamen,1992, “ Semiconductor Physics and Device “ Richard D.Irwin Inc.