



## دراسة تحليلية لمنطقة الامتصاص العالي من حافة الامتصاص البصري لأغشية a-Si:H باستخدام طريقة المشتقة

عبدالله عبو النعمان، عبير عبد صالح\*  
قسم الفيزياء، كلية العلوم للبنات، جامعة بغداد، بغداد، العراق

### الخلاصة :

في هذا البحث تم إعادة تحليل البيانات البصرية (الجزء الخيالي من دالة العزل  $\epsilon_2$  كدالة لطاقة الفوتون  $E$ ) لثلاث عينات من أغشية a-Si:H بطريقة المشتقة لمحاولة سبر الغموض الحاصل في تفسير البيانات البصرية لهذه الأغشية لإيجاد فجوة الطاقة البصرية ( $E_{opt}$ ) والمعامل ( $r$ ) الذي يتعلق بتوزيع كثافة الحالات قرب حافة التحركية من نتائج الموائمة مع البيانات البصرية مباشرة دون الحاجة لفرضية مسبقة لهذا المعامل كالتالي تتبعها الطرق التقليدية كرسوم Tauc. استخدمت طريقة المشتقة لاختيارين من قيم المعامل  $q$  الذي يتعلق بعنصر مصفوفة الانتقال وهي ( $q=0, q=2$ ). النتائج أشارت إلى أن قيم المعامل  $r$  لاتساوي عددا صحيحا كالتالي تفترضها نماذج Tauc و Cody. وأن نتائج العينات وهي المحضرة من قبل Jackson et al و Cody أظهرت أن رسم المشتقة الذي يعتمد  $q=0$  هو أقرب للتوائم مع الواقع التجريبي من الذي يعتمد  $q=2$  لذلك انه نموذج Cody هو أقرب إلى حد مقبول من الواقع التجريبي لهذه الأغشية من نموذج Tauc، أما العينة الثالثة المحضرة من قبل Ferlauto et al أظهرت اختلافا في التصرف بحيث لا يمكن الحكم على أيهما أقرب للواقع التجريبي نموذج Tauc أو Cody.

## Analytical study of the high absorption Region of the optical absorption edge of a-Si:H films using the derivative method

Abdulla Abboo ,Abeer Abd salih\*

Department of Physics, College of Science For Women, University of Baghdad, Baghdad, Iraq.

### Abstract

In this research, optical absorption data (the imaginary part of the dielectric function  $\epsilon_2$  as a function of photon energy  $E$ ) were re-analyzed for three samples of a-Si:H thin films using derivative methods trying to investigate the ambiguity that accompany the interpretation of the optical data of these film in order to obtain the optical energy gap ( $E_g$ ) and the factor ( $r$ ) which is concerned with the density of state distribution near the mobility edge directly without the need for a pre-assumption for the factor  $r$  usually followed in traditional methods such as the Tauc plot. The derivative method was used for two choices for the factor  $q$  (which is connected with the dependence of the dipole matrix element on the photon energy) for two choices  $q=0$  and  $q=2$ . Results showed that  $r$  might take non-integer values. The result for two of the samples, those prepared by Jackson et al and Cody, showed that the derivative plot that adopt  $q=0$  better fits the experimental data, thus Cody's model might seem closer to the experimental results than the Tauc model. While the third sample the one prepared by Ferlauto et al showed somewhat different behavior such that neither Cody nor Tauc models could be considered a better fit to experimental data for this sample

**Keywords:** optical properties of silicon, Amorphous silicon, optical data derived

\*Email: zoozabaghdad@yahoo.com

## المقدمة

هنالك اهتمام واسع باغشية السيلكون العشوائي المهدرج a-Si:H وذلك لاهميتها التطبيقية الفاتحة وخاصة في مجال الالكترونيات البصرية كالحلويات الشمسية [1] لذلك يعتبر قياس الخواص التركيبية والكهربائية والبصرية لايجاد معلمات فيزيائية مهمة ، مثل التوصيلية الكهربائية وفجوة الطاقة البصرية كدالة لمتغيرات متعددة مثل درجة الحرارة ظروف التحضير ، ذو اهمية كبيرة في تحسين النباتات شبه الموصلية المصنوعة من هذه المادة وكذلك سبائكها مع الجرمانيوم او الكربون او النتروجين لغرض موافقة فجوة الطاقة للنبطية مع الطيف الشمسي بشكل افضل [2]. في هذا البحث تم التركيز على الخصائص البصرية للسيلكون العشوائي المهدرج بشكل خاص من وجهة نظر مختلفة بعض الشيء عما موجود في الادبيات و أختيرت منطقة الامتصاص العالي من حافة الامتصاص البصري للدراسة في هذا البحث وذلك لان احد المعالم الرئيسية المستنبطة من تحليل البيانات البصرية - الجزء الخيالي من دالة العزل  $\epsilon_2(E)$  او معامل الامتصاص  $\alpha(E)$  كدالة لطاقة الفوتون  $(E)$  - هو فجوة الطاقة البصرية مثلا المعلم ذو الشان الكبير من الناحية النظرية والتطبيقية. لكن لايزال هناك غموض في تفسير الخواص البصرية لهذه المواد في المنطقة آفة الذكر على الرغم من التطور الكبير في فيزياء اشباه الموصلات العشوائية فأن الدلالات الفيزيائية للمعلمات البصرية المستنبطة تجريبيا كفجوة الطاقة البصرية وعلاقتها بحافة الامتصاص البصري في هذه المواد ظل يكتفها غموض كبير على حد علم [3-4].

ان تفسير البيانات البصرية في منطقة الامتصاص العالي من حافة الامتصاص البصري في اشباه الموصلات البلورية يعتمد على موائمة هذه البيانات مع نماذج نظرية معينة تقوم على اسس فيزيائية رصينة . في اشباه الموصلات البلورية لاتوجد اشكالات ملحوظة في تفسير النتائج التجريبية كتفسير معنى فجوة الطاقة البصرية لان النموذج النظري يعتمد على كميات يسهل التنبؤ بها نظريا او استنباطها تجريبيا وهي دالة كثافة الحالات قرب كل من حافتي حزمة التكافؤ والتوصيل وعنصر مصفوفة الانتقال البصري بين هاتين الحزمتين مما يجعل تفسير النتائج التجريبية على درجة كبيرة من اليقين الامر الذي يسهل التبسيط الناشئ من التماثل الانتقالي الدوري للشبكة البلورية [4]. هذا الامر وبكل اسف لايتيسر في اشباه الموصلات العشوائية لغياب هذا النوع من التماثل الانتقالي الذي يسمى ايضا تماثل المدى الطويل ورغم وجود تماثل المدى القصير في اشباه الموصلات العشوائية الا انه لايسهل التعامل النظري الى الحد الذي يربط النتائج النظرية بالبيانات التجريبية بشكل قطعي لذا يتم اللجوء الى النمذجة باستخدام نماذج نظرية اقل رصانة من تلك التي تخص اشباه الموصلات البلورية، من هذه النماذج مثلا نموذج [5]Tauc و [6]Davis- Mott و [7]Cody. لذلك تبقى معضلة تفسير منطقة الامتصاص العالي من حافة الامتصاص البصري في اشباه الموصلات العشوائية ارضا خصبة للبحث لحد الان لانها لم تجد طريقها الكامل للحل وربما اهمال هذه المسألة النسبي في الادبيات هو نابع من التعقيد البالغ لها وليس قلة اهميتها، وهذا طبعا لايعني عدم وجود دراسات وبحوث لغرض محاولة حل هذه المعضلة رغم قلتها النسبية [4-8].

لقد تم في هذا البحث دراسة نظرية للخصائص البصرية لاغشية a-Si:H عبر اعادة تحليل البيانات البصرية لهذه الاغشية بطرائق غير تقليدية لم تستخدم بشكل كبير في الادبيات وانما بشكل محدود [4، 9-11] حيث تم اخذ بيانات بصرية ل عدة عينات من مصادر مختلفة تم موائمتها اولاً مع نموذجي Tauc و Cody ثم استخدمت طريقة المشتقة لاجل تقليل عدد معلمات الموائمة وبالتالي الحصول على فرصة افضل في تفسير هذه البيانات برفع ا حد القيود المفترضة في نموذجي Tauc و Cody الذي هو الافتراض المسبق لكيفية اعتماد عنصر مصفوفة الانتقال على طاقة الفوتون.

## النظرية

يعتمد الامتصاص البصري في المواد الصلبة على دالة العزل  $\epsilon(E)$  وبالذات الجزء الخيالي منها  $\epsilon_2(E)$ ، وفي اشباه الموصلات العشوائية يعطى بالمعادلة الاتية [7]

$$\epsilon_2(E) = \text{const. } R^2(E) J(E) \quad \dots\dots(1)$$

حيث  $R^2(E)$  هو مربع عنصر مصفوفة تثنائي القطب و  $J(E)$  هو تكامل كثافة الحالات ويعرف بالشكل الاتي :

$$J(E) = \int N_v(E) N_c(E' + E) dE \quad \dots\dots (2)$$

حيث  $N_v(E)$ ،  $N_c(E)$  هما دالتا كثافة الحالات لحزمتي التوصيل والتكافؤ على التوالي و  $E'$  هي طاقة الحالة.

عادة يفترض ان توزيع كثافة الحالات بالقرب من حافتي حزمة التوصيل والتكافؤ هو قانون قوى بسيط  $(N(E') \propto E'm)$  ولايشترط

وجود سند نظري متين لهذه الفرضية كالحالة في البلورات واذا افترضنا ان مربع عنصر مصفوفة  $(R^2(E) \propto E-q)$  يخضع ايضا

لقانون قوى بسيط فأن الحل العام للمعادلة (1) يكون كالآتي [12]

$$\varepsilon_2(E) = K E - q (E - E_0) r \quad \dots\dots(3)$$

حيث  $K$  هو ثابت و  $r = 2m + 1$  في حالة تناظر حزمتي التكافؤ والتوصيل و  $E_0$  هو معلم يمكن ان تعين منه فجوة الطاقة البصرية  $E_{opt}$  اذا اعطانا رسم  $(E^q \varepsilon_2)^{1/r}$  كدالة لطاقة الفوتون  $E$  خطا مستقيما وهي تمثل تقاطعه مع محور طاقة الفوتون  $E$ . يلاحظ مما جاء ان المعاملين  $r$  و  $q$  هما معياران لطبيعة اعتماد دالة توزيع كثافة الحالات على طاقة الحالة واعتماد مربع عنصر المصفوفة على طاقة الفوتون وبما ان رسم الخط المستقيم للعلاقة بين  $(E^q \varepsilon_2)^{1/r}$  و  $E$  يعتمد على فرضيتين مسبقيتين ل  $q$  و  $r$  معا، يتجلى هنا جانب مهم من جوانب مشكلة تفسير البيانات التجريبية البصرية لمنطقة الامتصاص العالي من حافة الامتصاص البصري لاشباه الموصلات العشوائية ، اذ يمكن اختيار اكثر من زوج للمعلمين  $q$  و  $r$  للحصول على موائمة جيدة مع معادلة الخط المستقيم ولكن بقيمة مختلفة لفجوة الطاقة البصرية لكل زوج من هذين المعلمين. تتضح طبيعة هذه المشكلة في الواقع التجريبي بوجود اكثر من اسلوب في التعامل مع البيانات البصرية لاغشية السيلكون العشوائي المهرج مثل اسلوبي Tauc [5] و Cody [7] لاحظ الباحث A.Ibrahim [4] عند استخدامه رسم Tauc [5]  $(E^{1/2} \varepsilon_2 \text{ vs. } E)$  الذي يعتمد على افتراض ان  $q=2$  و  $r=2$  ورسم Cody [7]  $(E^{1/2} \varepsilon_2 \text{ vs. } E)$  الذي يعتمد على افتراض ان  $q=0$  و  $r=2$  لتحليل بيانات  $\varepsilon_2$  لاغشية السيلكون العشوائي المهرج للباحثين Jackson et al [12] ان كلا الرسمان يعطيان خطا مستقيما في مدى معين من طاقة الفوتون بفجوتي طاقة بصرية مقدارهما  $1.86 \text{ eV}$  بالنسبة لرسم Tauc و  $1.68 \text{ eV}$  بالنسبة لرسم Cody ورغم ان رسم Cody اعطى موائمة لمدى اوسع من طاقة الفوتون الان فجوة Tauc كانت اقرب لقيمة فجوة التحركية التي اوجدها Jackson et al لاغشيتهم وهي  $1.93 \text{ eV}$  مما يثير الاشكال لدى اي باحث في الحكم على النتائج وجانب من هذه المشكلة لاحظها باحثين اخرين مثل Cody نفسه ولكن لحسن الحظ ان الباحثين Jackson et al قام بقياس دالتي توزيع كثافة الحالات لاغشيتهم خاصة قرب حافة التحركية لذا استفاد الباحث A.Ibrahim من تحليل هذه النتائج اذ لاحظ ان دالة كثافة الحالات  $J(E)$  تعطي خطا مستقيما عند اخذ جذرها التربيعي ورسمها كدالة لطاقة الفوتون لتعطي فجوة طاقة بصرية مماثلة لتلك المستنبطة من رسم Cody. اي توفرت في هذه الحالة قيمة  $r$  من نتائج تجريبية ويمكن باقران نتائج  $J(E)$  مع نتائج  $\varepsilon_2$  التوصل ان مربع عنصر مصفوفة ثنائي القطب لايعتمد على طاقة الفوتون لمدى كبير منه وهذا ماوجده Jackson et al فعلا [7]. لسوء الحظ لايمكن تعميم هذه النتائج الايجابية على اغشية السلكون العشوائي المهرج الاخرى بسبب تعقيد الحالة العشوائية واعتمادها على ظروف التحضير وقياس دالة كثافة الحالات هو اجراء تجريبي معقد ومكلف لم يتيسر في ا لواقع وحسب علمنا الا في حالة عينات Jackson et al. هذا الامر يجعل ان مجرد اجراء رسمي Cody او Tauc هو لايكفي للوصول الى حقائق مؤكدة حول طبيعة توزيع كثافة الحالات قرب حافتي التكافؤ والتوصيل لانها تعتمد على افتراض مسبق لقيم اثنين من معاملات الموائمة على الاقل وهما  $q$  و  $r$ . وربما بتقليل عدد هذه المعلمات الى معلم واحد في الاقل قد يمكن التوصل الى حقائق اكثر قطعية مما يمكن التوصل اليه باستخدام رسمي Cody او Tauc او ما يشابهما فقط. في كافة الاحوال تبقى نتائج Jackson et al التجريبية والايجابية معنا مهما مساعدا عند تحلي البيانات البصرية لاغشية a-Si:H.

لغرض التقليل من عدد معاملات الموائمة تم ايجاد اسلوب يستعين باخذ مشتقة البيانات البصرية التي استخدمت لأول مرة من قبل الباحثين Ray and Hogarth [11] ومن ثم الباحث (LA -inA) [13] وكذلك الباحث A.Ibrahm [4]. عند الرجوع الى المعادلة (3) نلاحظ ان هذه المعادلة لكي تحول الى معادلة خط مستقيم يجب فرض قيمتين مسبقيتين لمعلمي الموائمة  $q$  و  $r$  وهذا ما فعله Tauc و Cody عندئذ ان رسم  $(E^q \varepsilon_2)^{1/r}$  كدالة لطاقة الفوتون  $E$  يمكن ان يعطينا خطا مستقيما تقاطعه مع محور طاقة الفوتون  $E$  يعطينا فجوة الطاقة البصرية كما اسلفنا الذكر . الان لو استخدمنا اسلوبا اخر لاجاد معادلة خط مستقيم عن طريق اخذ مشتقة البيانات بالنسبة لطاقة الفوتون ( $\varepsilon_2'$ ) وبلاستعانة بالمعادلة (3) نستطيع ان نشق المعادلة المفيدة الاتية:

$$(\varepsilon_2' / \varepsilon_2 + q / E) - 1 = (E - E_{opt}) / r \quad \dots\dots(4)$$

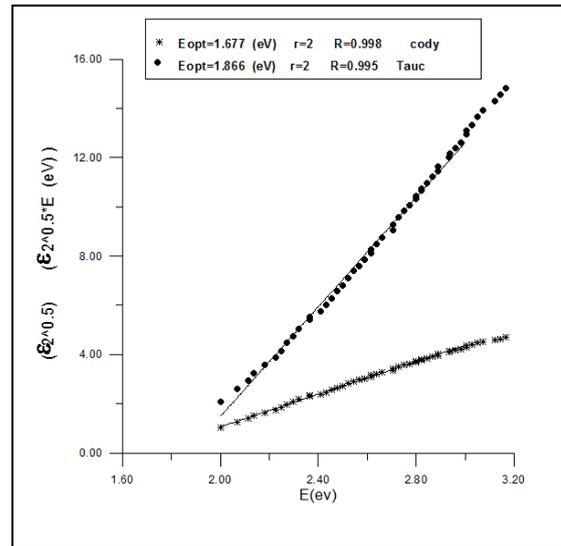
$$\text{حيث } d\varepsilon_2 / dE = \varepsilon_2'$$

نلاحظ من المعادلة (4) انه يحتاج فقط الافتراض المسبق لمعلم الموائمة  $q$  اضافة الى اخذ المشتقة الرقمية للبيانات التجريبية ل  $\varepsilon_2$  فان اعطانا رسم  $(\varepsilon_2' / \varepsilon_2 + q / E)^{-1}$  كدالة ل  $E$  خطا مستقيما في مدى معين يمكن استخلاص فجوة الطاقة البصرية  $E_{opt}$  ومعلم الموائمة  $r$  ايضا من النتائج التجريبية دون حاجة لفرضية مسبقية له.

في هذا البحث سنستخدم طريقة مشتقة البيانات المذكورة انفا لمحاولة الاستفادة منها بشكل ايجابي لاستخلاص حقائق مهمة حول الخصائص البصرية في منطقة الامتصاص العال ي من حافة الامتصاص البصري لبعض العينات من اغشية (a-Si:H) مستلة ببياناتها البصرية من بعض المصادر المعتبرة في هذا المضمار.

### النتائج والمناقشة

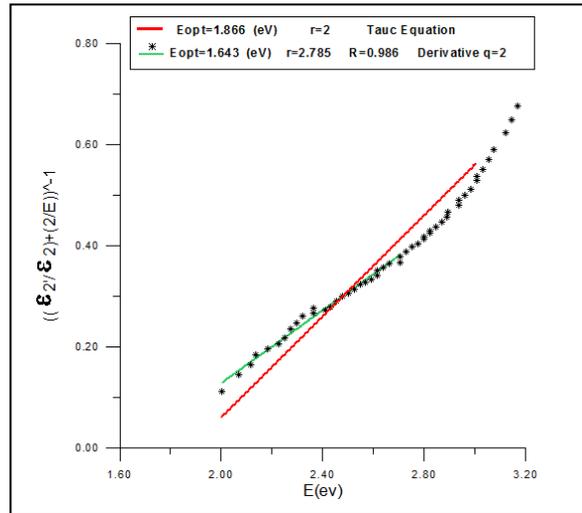
النموذج الاول الذي تم دراسته حضر من قبل Jackson et al [12] بطريقة التفريغ التوهجي في ضغط  $(0.5-2) \times 10^{-8}$  Torr) وقدرة راديوية (2 W) و (100%) من غاز الساييلين ( $\text{SiH}_4$ ) عند درجة حرارة اساس مقدارها ( $230^\circ\text{C}$ ). في البداية استخدم اسلوبى رسم Tauc و Cody لغرض المقارنة بينهما وموائمة البيانات مع معادلة الخط المستقيم في مدى طاقة الفوتون الملائم الذي هو  $2-3$  eV في هذه الحالة كما ميين بالشكل (1). نلاحظ من هذا الشكل ان كلا الرسمين يعطينا موائمة خط مستقيم مقبولة خلال مدى الموائمة المختار الى درجة انه لا يوجد اختلاف معتبر بين معاملي الارتباط اللذين يخصان هذين الاسلوبين (الجدولين رقم 1 و 2). وتم الحصول على قيمتي فجوة الطاقة البصرية مقدار هما  $1.866$  eV و  $1.677$  eV من رسمي Tauc و Cody على التوالي . نلاحظ هنا بوضوح مسألة الشبهة التي تكلمنا عنها انفا فمن الصعب على الباحث ان يفضل احدى قيمتي فجوة الطاقة البصرية على الاخرى، هذا هو سبب مهم لايجاد اسلوب آخر لتحليل هذه البيانات.



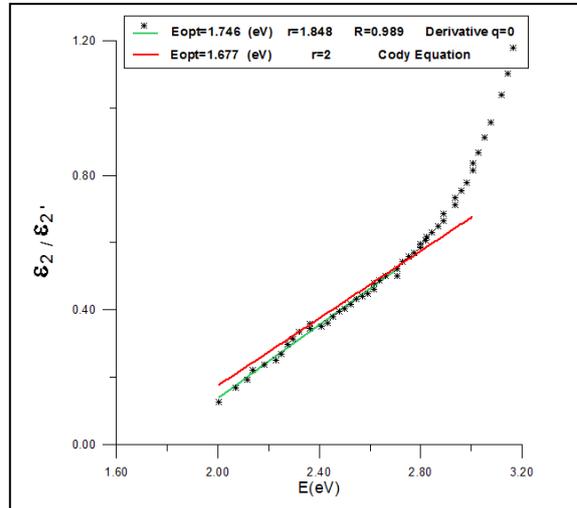
الشكل 1- رسما Tauc و Cody للعينه a-Si:H المحضرة من قبل Jackson et al [12].

تم استخدام المعادلة (4) لاختيارين من قيم معلم الموائمة q وهي  $q=2$  توائما مع فرضية Tauc لثبات مربع عنصر مصفوفة الزخم  $P^2(E)$  (الذي يرتبط مع عنصر مصفوفة ثنائي القطب بالعلاقة  $\{E\} R^2 = [m^2 E^2 / \hbar^2] P^2(E)$ ) حيث ان m هي كتلة الالكترون و  $\hbar$  هو ثابت بلانك المختزل ) و  $q=0$  توائما مع فرضية Cody لثبات عنصر مصفوفة ثنائي القطب ، لكن هنا وفي الحالتين وتباينا مع اسلوبى Tauc و Cody يبقي المعلم r معلما حرا يحدد من رسم المشتقة، وكما يوضح الشكلان (2) و (3). نلاحظ ان قيمة r المستحصلة من رسم  $(\epsilon_2/\epsilon_2+2/E)^{-1}$  كدالة لطاقة الفوتون الشكل (2) وهي 2.785 هي اكبر بشكل ملحوظ من القيمة 2 المتوقعة من نموذج Tauc، كما ان  $E_{opt}=1.643$ (eV) الناتجة من رسم مشتقة البيانات هي اقل بشكل معتبر من قيمة فجوة الطاقة المستحصلة من رسم Tauc التي تساوي  $1.866$  (eV). لملاحظة مدى التوافق او التباين بين موائمة طريقة المشتقة وموائمة رسم Tauc تم رسم معادلة الخط المستقيم المتوقعة من موائمة البيانات البصرية مع رسم Tauc والتي هي  $E-1.866$  (eV)، ويلاحظ هنا تباينا واضحا بين نتائج الموائمتين . الشكل (3) يبين رسم  $(\epsilon_2 / \epsilon_2')$  كدالة لطاقة الفوتون يلاحظ ان قيمة r المستحصلة من تحليل البيانات تساوي 1.848 وهي اقرب الى القيمة 2 المفترضة لنموذج Tauc من نتائج اسلوب المشتقة عندما  $q=2$  وكذلك ان  $E_{opt}=1.746$  (eV) هي اقرب لتلك المستحصلة من رسم Cody (الشكل 1) التي تساوي  $1.677$ (eV) لذلك نستطيع القول هنا ان بيانات Jackson et al تتواءم مع رسم Cody بشكل افضل من رسم Tauc اي ان عنصر مصفوفة ثنائي

القطب لا يعتمد او يعتمد بشكل ضئيل على طاقة الفوتون وهذا يتفق بشكل مقبول مع نتائج Jackson et al التي اظهرت ان عنصر مصفوفة ثنائي القطب لا يعتمد على طاقة الفوتون . وتظهر نتائجنا هذه ان عنصر المصفوفة ربما يعتمد بشكل محدود على طاقة الفوتون لان التطابق بين رسم المشتقة و رسم Cody هو ليس تاما وربما قد يعزى ايضا الى ان  $r$  لاتساوي 2 تماما كما اظهرت نتائج المشتقة. اذ اظهرت البحوث السابقة التي استخدمت اسلوب المشتقة [8-11] ان قيم المعامل  $r$  يمكن ان تكون اعدادا غير صحيحة ولان هذا المعامل يتعين من طبيعة اعتماد كثافة الحالات على الطاقة قرب حافة التحركية فانه قد يشير الى انحراف محدود لدالة كثافة الحالات عن دالة القطع المكافئ الذي ربما يعزى الى التعاقبات في الجهد الكهربائي للشبكة العشوائية نتيجة للتعاقبات المحدودة في اطوال وزوايا الاواصر [14] ويستوجب الملاحظة ان الانحراف الجلي عن تصرف الخط المستقيم عند طاقة الفوتون (2.8 eV) فما فوق في كل من الشكلين (2) و (3) هو التغير الذي يحصل في تصرف عنصر مصفوفة الانتقال بعد قيمة الطاقة هذه [4].

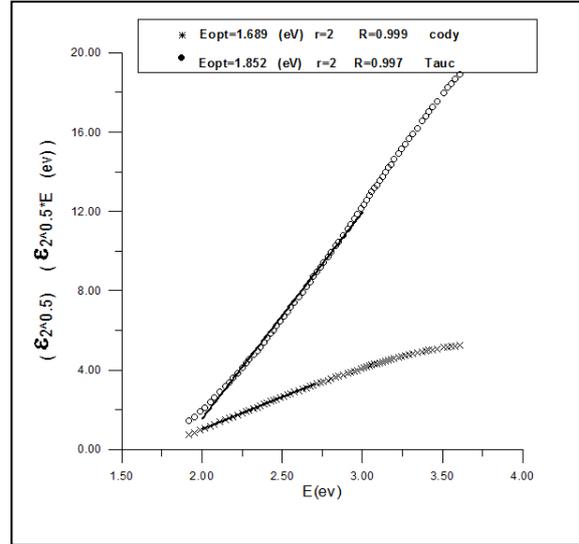


الشكل 2- رسم المشتقة عند  $q=2$  اضافة الى موازنة رسم Tauc للعينه a-Si:H المحضرة من قبل Jackson et al [12].



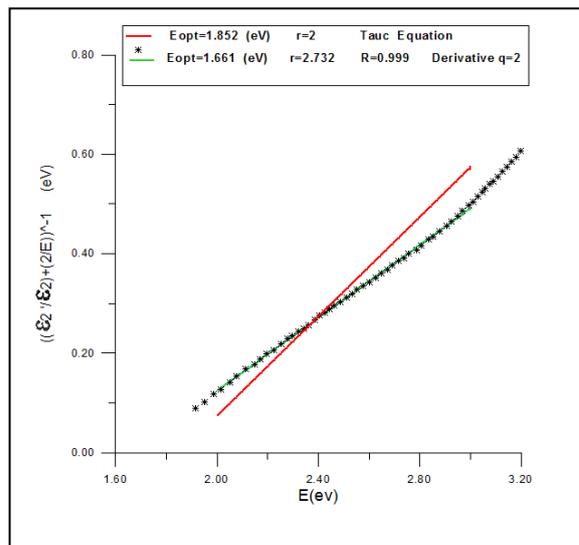
الشكل 3- رسم المشتقة عند  $q=0$  اضافة الى موازنة رسم Cody للعينه a-Si:H المحضرة من قبل Jackson et al [12].

اما النموذج الثاني فهو المحضر من قبل Cody [7] بطريقة LPCVD بنسبة هيدروجين  $X=0.09$  وبين الشكل (4) موازنة البيانات مع رسمي Tauc و Cody في المدى (2-3 eV). النتائج هنا مشابهة لتلك الناتجة من تحليل بيانات Jackson et al [12] (الشكل 1) بغض النظر عن الاختلافات المحدودة في قيم فجوتي Tauc و Cody  $1.852$  eV و  $1.689$  eV على التوالي. من الواضح انه الصعب الاختيار بين اية من هاتين القيمتين بالاعتماد على البيانات البصرية وحدها.

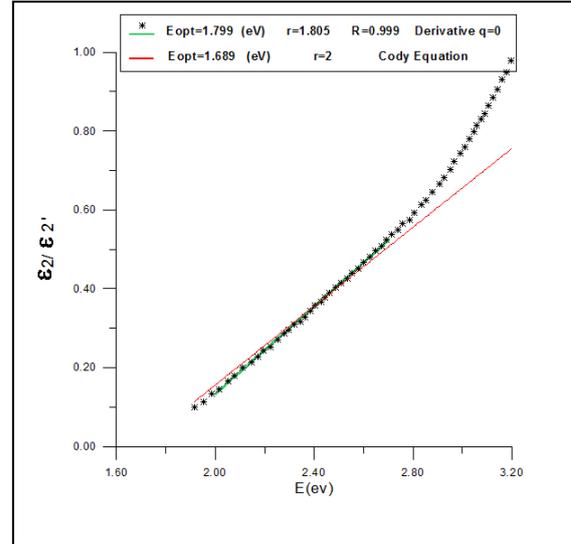


الشكل 4- رسما Cody و Tauc للعينة a-Si:H المحضرة من قبل Cody [7].

تم رسم  $(\epsilon_2/\epsilon_2 + 2/E)^{-1}$  كدالة لطاقة الفوتون لبيانات Cody [7] (الشكل 5)، يلاحظ ايضا ان قيمة  $r$  المستحصلة لا تساوي 2 المفترضة لنموذج Tauc وانما تساوي 2.732 وهي اكبر بكثير مماثلا لما ظهر من تحليل بيانات Jackson et al [12] كما يلاحظ ان  $E_{opt}=1.661\text{eV}$  الناتجة من رسم مشتقة البيانات هي اقل بكثير من قيمة فجوة الطاقة المستحصلة من رسم Tauc التي تساوي 1.852 eV. لملاحظة مدى التوافق او التباين بين موائمة طريقة المشتقة وموائمة رسم Tauc تم رسم معادلة الخط المستقيم المتوقعة من موائمة البيانات البصرية مع رسم Tauc والتي هي  $[(E-1.852)/2]$ ، ويلاحظ هنا تباينا جليا بين الموائمتين. الامر الذي يظهر ان رسم Tauc هو في الواقع لا يصلح للتوائم مع بيانات Cody [7] وهذا الامر ينطبق ايضا على بيانات Jackson et al التي تم تحليلها انفا. تم رسم  $(\epsilon_2/\epsilon_2)$  كدالة لطاقة الفوتون ايضا (الشكل 6) وكانت قيمة  $r$  المستحصلة من تحليل هذه البيانات تساوي 1.805 وهي اقرب كثيرا من القيمة 2 المفترضة لنموذج Cody من تلك المستحصلة من رسم Tauc وكذلك وجد ان  $E_{opt}=1.799\text{ eV}$  هي مقاربة بشكل اكبر من  $E_{opt}$  المستحصلة من رسم Cody (الشكل 4) التي تساوي 1.689 eV. لذلك نستطيع القول هنا ان بيانات هذه العينة تتوائم بشكل مقبول مع رسم Cody اي ان عنصر مصفوفة ثنائي القطب لا يعتمد بشكل ضئيل على طاقة الفوتون، وان توزيع كثافة الحالات لا يبتعد كثيرا عن دالة القطع المكافئ.

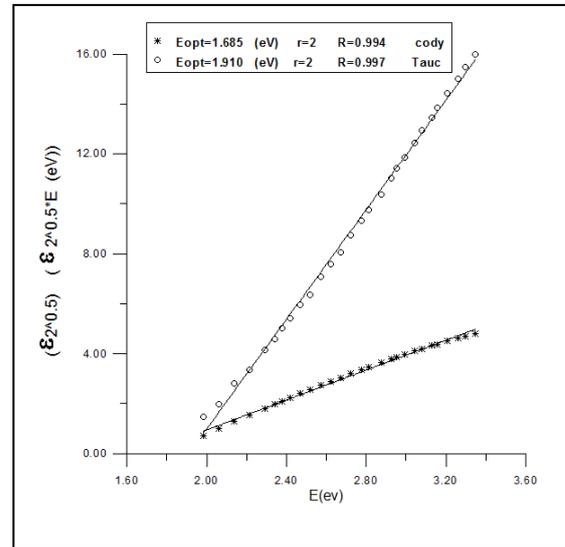


الشكل 5- رسم المشتقة عند  $q=2$  اضافة الى موائمة رسم Tauc للعينة a-Si:H المحضرة من قبل Cody [7].



الشكل 6- رسم المشتقة عند  $q=0$  اضافة الى موثمة رسم Cody للعينة a-Si:H المحضرة من قبل Cody [7].

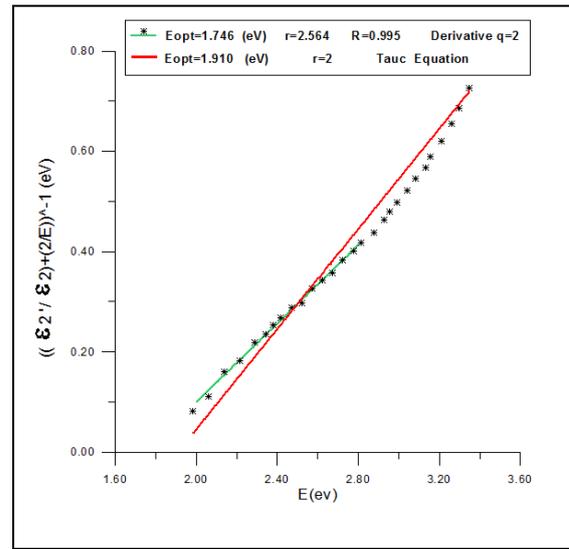
النموذج الثالث الذي تم دراسته هو المحضر من قبل [15] Ferlauto et al بطريقة التفريغ التوهجي لمدى سمك مقداره  $0.5-1.5 \mu\text{m}$ ، وتم موثمة بياناته البصرية مع معادلة الخط المستقيم لمدى طاقة الفوتون  $(1.98-3.34 \text{ eV})$  لكل من رسمي  $T_{\text{auc}}$  و Cody (الشكل 7). يلاحظ ان كلا الاسلوبين يتوائمان بشكل جيد مع البيانات بمعاملي ارتباط متقاربين وبفجوتي طاقة بصريتين  $1.91 \text{ eV}$  و  $1.685 \text{ eV}$  على التوالي لبقى الالتباس بين الاسلوبين قائما!.



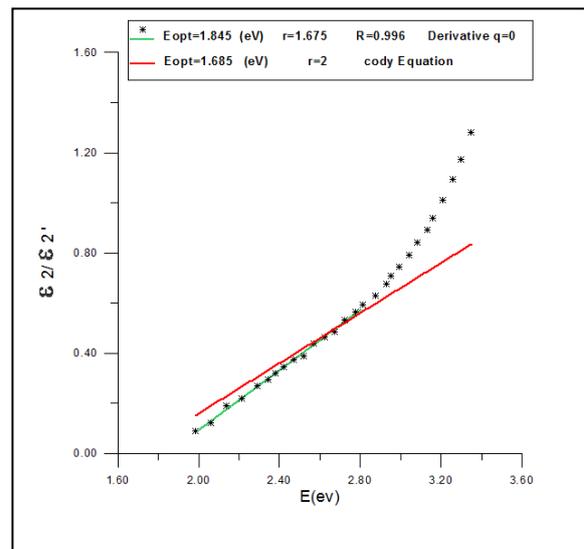
الشكل 7- رسما Cody و  $T_{\text{auc}}$  للعينة a-Si:H المحضرة من قبل [15] Ferlauto et al.

تم رسم  $(\epsilon_2/\epsilon_2 + 2/E)^{-1}$  كدالة لطاقة الفوتون لبيانات [15] Ferlauto et al (الشكل 8). يلاحظ هنا انه رغم اختيار  $q=2$  أسوة بنموذج  $T_{\text{auc}}$  الا ان قيمة  $r$  المستخلصة من تحليل هذه البيانات التي تساوي 2.564 هي ايضا تختلف بشكل ملحوظ من القيمة 2 المفترضة لرسم  $T_{\text{auc}}$ ، كما ان  $E_{\text{opt}}=1.746 \text{ eV}$  هي مابينة لقيمة  $E_{\text{opt}}$  المستخلصة من رسم  $T_{\text{auc}}$  (الشكل 7) التي تساوي  $1.910 \text{ (eV)}$ . لملاحظة مدى التوافق او التباين بين موثمة طريقة المشتقة وموثة رسم  $T_{\text{auc}}$  تم رسم معادلة الخط المستقيم المتوقعة من موثمة البيانات البصرية مع رسم  $T_{\text{auc}}$  والتي هي  $[(E-1.910)/2]$ ، ولوحظ هنا ايضا تباين جلي بين الموائمتين. كم تم رسم  $(\epsilon_2/\epsilon_2)^{1/2}$  كدالة لطاقة الفوتون (الشكل 9) يلاحظ هنا انه رغم اختيار  $q=0$  أسوة بنموذج Cody المعروف بتوائمه الجيد

مع بعض نماذج a-Si:H المحضرة بالتفريغ التوهجي [12-7] الا ان قيمة r المستخلصة من تحليل هذه البيانات المنسوبة الى Ferlauto et al [15] بعيدة نوعا ما عن القيمة 2 المقترضة لنموذج Cody اذ تساوي 1.654 كما ان  $E_{opt}=1.845$  (eV) هي اكثر مباينة لقيمة  $E_{opt}$  المستخلصة من رسم Cody (الشكل 7) التي تساوي 1.685 (eV) من عينات Jackson et al [12] و Cody [7]. اذا يلاحظ هنا ان كل من رسمي Tauc و Cody لا يتوائمان بشكل مقبول عند مقارنة نتائج طريقة المشتقة مع النتائج المستخلصة من هذين الرسمين مما يشير الى ان النماذج النظرية ل Cody و Tauc تتطلب تعديلا او تطويرا مناسباً لامكانية موثمة البيانات البصرية مع التحليل النظري بشكل مقبول . هنالك في الواقع عدد محدود ولكن مهم من الدراسات الحديثة وقسم منها موسعة وعميقة لدراسة مشكلة تحليل البيانات البصرية لاشباه الموصلات العشوائية وخاصة a-Si:H، تم فيها تطوير النماذج النظرية في هذا الشأن مما يخدم التوسع في اتجاه هذا البحث في المستقبل [16-18].



الشكل 8- رسم المشتقة عند  $q=2$  اضافة الى موثمة رسم Tauc للعينة a-Si:H المحضرة من قبل Ferlauto [15].



الشكل 9- رسم المشتقة عند  $q=0$  اضافة الى موثمة رسم Cody للعينة a-Si:H المحضرة من قبل Ferlauto [15].

## الاستنتاجات

تبين من هذا البحث الذي ابتغى تقليل عدد معاملات الموازنة المفترضة مسبقا عند تحليل بيانات  $\epsilon_2$  لبعض عينات a-Si:H باستخدام أسلوب المشتقة، ان المعلم  $r$  المتعلق بتوزيع كثافة الحالات قرب حافة ال تحركية يمكن ان يأخذ قيمة كسرية مما يشير الى امكانية انحراف دالة كثافة الحالات عن دالة القطع المكافئ المفترضة من قبل Tauc و Cody والملاحظة في السليكون البلوري وفي اشباه الموصلات البلورية بشكل عام. كما لوحظ من موازنة رسمي المشتقة عندما  $q=0$  و  $q=2$  مع رسمي Tauc و Cody على التوالي، ان البيانات البصرية تقترب من التوائم من نموذج Cody الى حد مقبول لعينتين من a-Si:H بينما لا تتواءم مع كل من نمودجي Cody او Tauc بشكل مقبول بالنسبة للعينة الثالثة. هذا يدل على ان تحليل البيانات البصرية لاشباه الموصلات العشوائية بالطرق التقليدية كرسوم Tauc المشهور عند العاملين في هذا المجال لا يكفي للوصول الى نتائج حاسمة وان طرق المشتقة قد تساعدنا في التعمق بشكل افضل وربما استخلاص بعض النتائج الايجابية كما اظهر هذا البحث.

جدول 1- حسب نموذج Tauc عند فرض قيمة مسبقة للمعامل  $r$ .

| عينات a-Si:H                                       | معادلة الخط المستقيم | فجوة الطاقة البصرية | المعامل $r$ | معامل الارتباط R |
|--|----------------------|---------------------|-------------|------------------|
| Jackson et al<br>مدى طاقة الفوتون eV-2.00-<br>3.00 | 11.120E-20.757       | 1.866 eV            | 2           | 0.995            |
| Ferlauto<br>مدى طاقة الفوتون eV-1.98-3.34          | 10.970E-20.957       | 1.910 eV            | 2           | 0.997            |
| Cody<br>مدى طاقة الفوتون eV-2.00-3.00              | 10.411E-19.283       | 1.852 eV            | 2           | 0.997            |

جدول 2- حسب نموذج Cody عند فرض قيمة مسبقة للمعامل  $r$ .

| عينات a-Si:H                                   | معادلة الخط المستقيم | فجوة الطاقة البصرية | المعامل $r$ | معامل الارتباط R |
|--|----------------------|---------------------|-------------|------------------|
| Jackson et al<br>مدى طاقة الفوتون eV-2.00-3.00 | 3.304E-5.541         | 1.677 eV            | 2           | 0.998            |
| Ferlauto<br>مدى طاقة الفوتون eV-1.98-3.34      | 2.991E-5.041         | 1.685 eV            | 2           | 0.994            |
| Cody<br>مدى طاقة الفوتون eV-2.00-2.70          | 3.242E-5.476         | 1.689 eV            | 2           | 0.999            |

جدول 3- عند فرض  $q=2$  وعدم فرضية مسبقة لقيمة المعامل  $r$ .

| عينات a-Si:H                                       | معادلة الخط المستقيم | فجوة الطاقة البصرية | المعامل $r$ | معامل الارتباط R |
|--|----------------------|---------------------|-------------|------------------|
| Jackson et al<br>مدى طاقة الفوتون eV-2.00-<br>2.70 | 0.359E-0.590         | 1.643 eV            | 2.785       | 0.986            |
| Ferlauto<br>مدى طاقة الفوتون eV-2.00-2.80          | 0.390E-0.681         | 1.746 eV            | 2.564       | 0.995            |
| Cody<br>مدى طاقة الفوتون eV-2.00-3.00              | 0.366E-0.608         | 1.661 eV            | 2.732       | 0.999            |

جدول 4- عند فرض  $q=0$  وعدم فرضية مسبقة لقيمة المعامل  $r$ .

| عينات a-Si:H  | معادلة الخط المستقيم | فجوة الطاقة البصرية | المعامل $r$ | معامل الارتباط R |
|---|----------------------|---------------------|-------------|------------------|
| Jackson et al<br>مدى طاقة الفوتون eV-2.70-<br>2.00- | 0.541E-0.945         | 1.746 eV            | 1.848       | 0.989            |
| Ferlauto<br>مدى طاقة الفوتون eV-2.00-2.80           | 0.597E-1.102         | 1.845 eV            | 1.675       | 0.996            |
| Cody<br>مدى طاقة الفوتون eV-2.00-2.70               | 0.554E-0.997         | 1.799 eV            | 1.805       | 0.999            |

## المصادر

1. Ehrenreich H. and Martin J.H.. **1979**. Solar Photovoltaic Energy. *Physics Today*, PP: 25-32
2. Madan A. and shaw M.P.. **1986**. The Physics and Applications of Amorphous Semiconductors. *Academic Press, Inc, New York*
3. Wassan A.Khalf.. **2009**. A Theoretical Study of the High Absorption Region of the Optical Absorption Edge for some Amorphous Semiconductors (in Arabic). Msc.D. Thesis. Baghdad University, Baghdad
4. Ibrahim A.. **2002**. A Theoretical Study of the High Absorption Region of the Optical Absorption Edge of Hydrogenated Amorphous Silicon (in Arabic). Ph.D. Thesis. Baghdad University, Baghdad.
5. Tauc J., Grigorovici R. and Vancu A.. **1966**. Optical Properties and Electronic Structure of Amorphous Germanium. *Physica Status Solidi, Vol. 15, No. 2*.
6. Mott N.F. and Davis E. A. . **1979**. Electronic Processes in Non-Crystalline Materials. 2<sup>nd</sup> ed., *Clarendon Press. Oxford*.
7. G. D. Cody. **1984**. The Optical Absorption Edge of a-Si:H. In: *J. I. Pankove, Ed., Semiconductors and Semimetals, Academic Press, Waltham, p. 11*.
8. Stephen Karrer Olery. **2004**. An empirical density of states and Joint density of states analysis of Hydrogenated amorphous silicon. *Faculty of Engineering, University of Regina, Regina, Saskatchewan, Canada*.
9. Farman Kasseem Ahmed Al-Dhoki. **1996**. Theoretical Study of Optical Properties of Absorption Region of Amorphous Germanium and Silicon. MSc. Thesis. University of Baghdad, Iraq.
10. Al-Razaz J.. **1994**. "Determination of optical Energy Gap of some Non-Crystalline Materials using Numerical Techniques", M.SC. Thesis. University of Baghdad, Iraq.
11. RAY. A. K. and HOGARTH, C. A. **1990**. "On the analysis of experimental data for optical absorption in Non-crystalline materials", *Journal of physics, D: Applied physics*, 23, 458-459.
12. Jackson W. B., Kelso S. M., Tsai C. C., Allen J. W. and Oh S.-J.. **1985**. Energy Dependence of the Optical Matrix Element in Hydrogenated Amorphous and Crystalline Silicon. *Physical Review B, Vol. 31, No. 8*
13. Al-Ani S.K.J., Int. **1993**. *J.Electronics* , 75, 11, 53.
14. Singh, J., Shima Kawak. **2003**. Advances in amorphous semiconductors. *Taylor and Francis, London, 329*.
15. Ferlauto A.S., Ferrira G.M., pearce J.M., Wronski C.R., and Collins R.W.. **2002**. Analytical model for the optical functions of amorphous semiconductors from the near-Infrared to ultraviolet : Applications in thin film photovoltaics. *Journal of applied physics*.
16. Minar S.B.. **2012**. An optical functional analysis of amorphous semiconductors. Msc. Thesis. The University of British, Columbia.
17. Orapunt F.. **2012**. Optical Transitions in Amorphous Semiconductors. Ph.D Thesis. University of Regina.
18. Theraril J.. **2011**. "The Optical Response of Hydrogenated Amorphous Silicon", Ph.D Thesis. University of Windsor.