

## تحديد الفجوة الطاقية لأغشية رقيقة من نترات خليطة نحاسية

الدكتور محمد أنور بطول\*

الدكتورة هدى قناعة\*\*

الدكتور عصام سفريني\*\*\*

(ورد إلى المجلة في 10/1/1998، قبل للنشر في 14/3/1999)

### □ الملخص □

رسبت أغشية رقيقة من نتريد خليطة نحاسية (خليطة من النحاس والقصدير) بسماكات مختلفة رقيقة جداً، باستخدام التريزيد الماغنتروني، بجو من بلاسما الآزوت وبلاسما الآزوت والآرغون، ثم أوجد طيف الامتصاص لهذه الأغشية، وكذلك طيف النفوذية. قيست سماكة الأغشية بطريقة تداخل ضوئية، وانطلاقاً من قيم هذه السماكات وطيف الامتصاص أوجدت المعاملات الفيزيائية التالية  $E_0$ ,  $E_{opt}$ ,  $B$  لهذه الأغشية، وقد وجد أن هذه الأغشية تخضع بصورة جيدة لعلاقتي Urbach و Tauc في منطقة الامتصاص المنخفض والعالي على الترتيب. وقد وجدنا أن قيم  $E_{opt}$  لهذه الأغشية تقع بالقرب من الأشعة تحت الحمراء، مما يجعل لهذه الأغشية تطبيقات واعدة في المستقبل.

\* أستاذ في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة حلب - حلب - سورية.

\*\* أستاذ مساعد في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة حلب - حلب - سورية.

\*\*\* أستاذ مساعد في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة حلب - حلب - سورية.

## Determination of Energy Gap of Copper Alloys Nitride Thin Film

Dr . Mohamed Anwar BATAL\*

Dr . Huda KANAH\*\*

Dr. Issam SIFRINI\*\*\*

(Received 10/1/1998, Accepted 14/3/1999)

### □ ABSTRACT □

*D.C. Magnetron sputtering has been used to deposit copper alloy Nitride thin films on glass substrates in presence of Nitrogen plasma and Argon - Nitrogen plasma with different thickness, optical absorpance and transmission were made for these films. Thickness was measured by optical interferometric method, from thickness of the film and from absorbency spectrum physical parameters were found such as  $E_{opt}$ ,  $E_o$ ,  $B$  for these films. We found experimental results fit very well with Urbach and Touc expression in low and high absorption respectively. The  $E_o$  value of the thin films are placed in near infra red good Technical application would be good in future for such material*

---

\* Professor at Department of Physics, Faculty of Science, Aleppo University, Aleppo, Syria.

\*\* Associate Professor at Department of Physics, Faculty of Science, Aleppo University, Aleppo, Syria.

\*\*\* Associate Professor at Department of Physics, Faculty of Science, Aleppo University, Aleppo, Syria.

## مقدمة :

الخواص الضوئية للغشاء تعتمد على شروط الترسيب، مثل: الضغط المتبقي، ودرجة حرارة الركيزة، ومعدل الترسيب، وزاوية الورود، وطبوغرافيا سطح الركيزة [5، 6].

الغاية من هذا البحث تفحص أغشية رقيقة لنتريد خليطة نحاسية، ودراسة خصائصها الضوئية، وتحديد فجوة الطاقة الضوئية ( $E_{opt}$ ) وعرض ذيل الحالات المتموضعة ( الطاقة الصفرية ) ( $E_0$ ) لها ، علماً أنه، وحسب معرفتنا، لم يسبق لأحد أن قام بتحضير ودراسة مثل هذا النوع من الأغشية .

## موجز النظري :

تعتبر دراسة طيف الامتصاص الضوئي optical absorption spectra وخاصة حد الامتصاص absorption edge هامة من أجل :

- معرفة الانتقالات الناتجة بالحث الضوئي investigating optically - induced transitions.

- الحصول على معلومات حول بنية العصابة، وهي : كثافة الحالات density of states عند الحد الأعلى لعصابة التكافؤ، والحد الأدنى لعصابة الناقلية، وقرينة الانكسار، وامتداد الطاقة لذيل الحالات المتموضعة، وفجوة الطاقة الضوئية . وذلك لكل من أنصاف النواقل المتبلورة والمواد غير المتبلورة،

إن دراسة السلوك الضوئي للأغشية الرقيقة، قد تطور إلى حد كبير في السنوات الأخيرة لأهميته التقنية ، حيث لوحظ حديثاً أن هذه الأغشية تبدي خواص ومميزات عديدة لم تكتشف في مواد أخرى، وأن هذه المواد تبشر باستخدامها في المستقبل في مجموعة تطبيقات تقنية مختلفة [1-4] .

معلوم أن المواد تتميز بثوابتها الفيزيائية، مثل : معامل الامتصاص، وقرينة الانكسار، والناقلية الكهربائية، والفجوة الطاقية ... وقد وجد أن الأغشية الرقيقة، تملك بشكل عام خواص تختلف عن خواص المواد التي شكلت منها ، فمثلاً لوحظ أن قيم قرائن الانكسار ومعاملات الامتصاص للأغشية الرقيقة تكون أكبر وأصغر على الترتيب، بالمقارنة بقيمها للمواد المرسبة نفسها ، فمن أجل أغشية رقيقة جداً سماكتها ( $d \leq 10\text{nm}$ )، تكون التغيرات في قيم الثوابت الضوئية المذكورة كبيرة، على عكس ما وجد من أجل أغشية رقيقة ذات سماكة ( $d \geq 40\text{nm}$ )، كما أن قيم الثوابت الضوئية تعتمد بشكل كبير على حالة امتداد واستوائية سطح الركيزة [5].

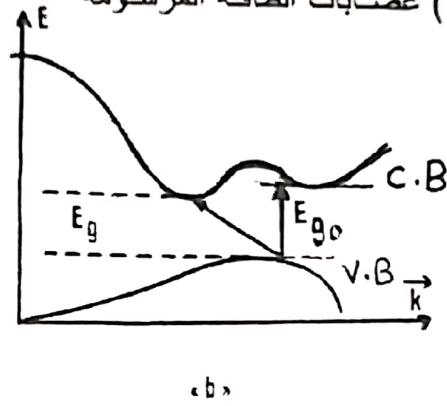
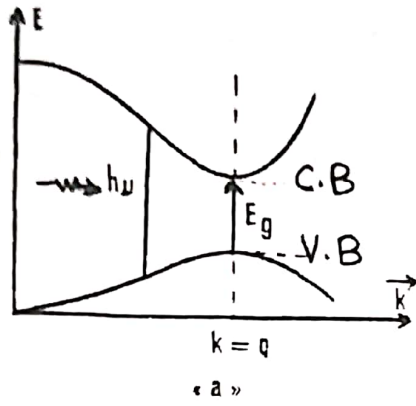
إن الخواص الفيزيائية والكيميائية للغشاء الرقيق تتعلق بطريقة إنتاجه، وبالمادة التي صنع منها، فمثلاً في حالة أغشية مرسبة بطريقة ( P.V.D ) Physical vapor deposition، نجد أن



في الإحداثيات ( K - E ) .

crystalline semiconductors and non - crystalline materials

الشكل ( 1 ) عصابات الطاقة المرسومة



الشكل ( 1 ) : عصابات الطاقة المرسومة في الإحداثيات ( K - E )

حيث يكون ( q ) صغيراً جداً بالمقارنة مع ( k ) عند أطول موجة بحدود (  $\lambda \geq 1\mu$  ) . وهكذا فإن الإلكترونات ذات عدد موجي معطى في عصابة التكافؤ يمكن أن تنتقل إلى حالات في عصابة الناقلية لها العدد الموجي نفسه.

وفي الانتقالات المباشرة تكون الانتقالات العمودية هي المسموحة، بينما الانتقالات غير العمودية ممنوعة حيث لنصف الناقل في هذه الحالة مجال محظور مباشر  $E_g$  يساوي (  $E_g = E_{opt}$  ) ، كما هو موضح في الشكل (1a) . ويكون الامتصاص شديداً من أجل جميع قيم (  $h\nu > E_g$  ) ، ويتوقف الامتصاص بصورة كبيرة أو صغيرة عند القيمة (  $h\nu = E_g$  ) ، وفقاً لنوع نصف الناقل المستخدم .

أما في الانتقالات غير المباشرة، فإن الحد الأدنى من عصابة الناقلية يقع في منطقة متغيرة من الإحداثي k ، بالنسبة

وهنا نميز نوعين للانتقالات الضوئية عند حد الامتصاص : انتقالات مباشرة، وانتقالات غير مباشرة . تعتمد الانتقالات على بنية عصابة الطاقة، وتفيد القياسات الضوئية في التمييز بينها [1، 7]، ففي الانتقالات المباشرة يقع الحد الأدنى من عصابة الناقلية والحد الأعلى من عصابة التكافؤ عند النقطة نفسها من الفراغ k ( الشكل 1a ) .

إن التأثير المتبادل لفوتون ساقط، والكترون يقع في قمة عصابة التكافؤ، يؤدي إلى ارتفاع الإلكترون إلى أسفل عصابة الناقلية دون تغيير هام في كمية حركته، حيث يملك الفوتون كمية حركة مهمة، وبفرض (  $k_1$  ،  $k_2$  ) متجه الموجة للإلكترون في حالته الابتدائية والنهائية، و ( q ) متجه الموجة للإشعاع، فإن الانتقال يتم إذا تحققت قاعدة الاصطفاء التالية :

$$k_2 \approx k_1 \quad \text{أو} \quad k_2 = k_1 + q$$

الامتصاص  $\alpha(\nu)$  بطاقة الفوتونات الواردة  $(h\nu)$  .

اقترح Urbach أن معامل الامتصاص  $\alpha(\nu)$  في منطقة الامتصاص المنخفض  $[\alpha(\nu) < 10^6 \text{ m}^{-1}]$ ، هو تابع أسّي لطاقة الفوتون من الشكل [8، 10]:

$$\alpha(\nu) = \alpha_0 e^{h\nu/E_0} \quad (1)$$

حيث  $\alpha_0$  ثابت، و  $h$  ثابت بلانك، و  $E_0$  عرض ذيل الحالات المتموضعة states (الطاقة الصفرية) وتعرف بطاقة Urbach [8-11]، حيث يعبر الذيل عن عرض عصابة التكافؤ المتوالدة جزئياً، بينما اقترح (Tauc) أن معامل الامتصاص  $\alpha(\nu)$  في منطقة الامتصاص العالي  $[\alpha(\nu) > 10^6 \text{ m}^{-1}]$  يرتبط مع طاقة الفوتون وفق العلاقة [11]:

$$\alpha(\nu) = \frac{B(h\nu - E_{opt})^2}{h\nu} \quad (2)$$

حيث  $B$  ثابت ويساوي :  $B = \frac{4\pi\sigma_0}{ncE_0}$

$\sigma_0$  : الناقلية الكهربائية المقیسة عند درجة الصفر المطلق .  
 $n$  : قرينة الانكسار، و  $c$  سرعة الضوء، و  $E_{opt}$  فجوة الطاقة الضوئية .

إن معامل الامتصاص  $\alpha(\nu)$  في هذه الحالة يعبر عن معامل الامتصاص للانتقالات غير المباشرة .

عمم Davis و Mott علاقة Tauc، حيث اقترحا أنه يوجد عادة في

للحد الأعلى لعصابة التكافؤ، كما في الشكل (1b) . في هذه الحالة يؤدي التأثير المتبادل بين الإلكترونات والفونونات (اهتزاز الشبكة) دوراً هاماً في تغيير كمية حركة الإلكترونات، وذلك من أجل الحفاظ على قانون مصونية كمية الحركة ، حيث يمكن تغيير كمية حركة الإلكترون في هذه الحالة، إما بامتصاص وإما بإصدار فونون وفي الوقت نفسه امتصاص فوتون لتسمح بحدوث انتقالات غير عمودية، كما في الشكل (1b) . تخضع هذه الانتقالات لقاعدة الاصطفاء التالية :

$$k_2 \approx k_1 + k_{\text{phon}} \\ E_2 = E_1 + h\nu \pm h\nu_{\text{phon}}$$

ولنصف الناقل في هذه الحالة قيمتان لطاقة المجال المحظور - الشكل (1b): طاقة المجال المحظور غير المباشر  $(E_g = E_{opt})$ ، وطاقة المجال المحظور المباشر  $(E_{g0})$  .

ويستمر الامتصاص بشكل عام بشدات متناقصة من أجل تواترات أكبر من  $(h\nu > E_g)$ ، ويتوقف الامتصاص عند طول موجي موافق لفجوة الطاقة  $(E_g)$  بشكل سريع أو بطيء وفقاً لنوع نصف الناقل المستخدم .

لتقدير فجوة الطاقة الضوئية  $(E_{opt})$ ، وعرض ذيل الحالات المتموضعة  $(E_0)$ ، وضعت عبارتان نظريتان تقربيتان، تربط كل منهما معامل

الحصول على بخار شوارد ذات طاقة معتبرة يمكنها أن تتفاعل ضمن وسط ما، وهذا يعود لسهولة تصميم المغنترون .

تعتبر هذه الطريقة من الطرق التي تعطي أغشية رقيقة نظيفة وجيدة ، لهذا قمنا بترسيب مركبات النتريدات على صفائح زجاجية من الزجاج العادي، باستخدام التريذ المغنتروني الفعال ( R.M.S ) .

بعد تنظيف سطح الركيزة الزجاجية (شرائح مكروكوبية)، وضعت الركيزة في جهاز التبخير على بعد (10Cm) من سطح الهدف ( الهدف المستخدم هو صفيحة من خليطة نحاسية ) ( البرونز )، ولم نطبق أي تحيز على العينات لأن حوامل العينات، من زجاج، وهي عازلة، وكانت درجة حرارة الركيزة (T=300 °K) . تم تفريغ غرفة الخلاء حتى الضغط ( 10<sup>-5</sup> mbar )، وبعد ذلك تم السماح لغاز الآزوت أو لمزيج غازي الآزوت والأرغون بالدخول حتى الضغط ( 10<sup>-2</sup> - 10<sup>-3</sup> mbar )، وحصلنا على النتائج المبينة في الجدول ( 1 ) .

منطقة الامتصاص المنخفض ذيل Urbach tail نفس العلاقة (1)، بينما لحد الامتصاص في منطقة الامتصاص المرتفع الشكل [8-12]:

$$\alpha(\nu) = \frac{B(h\nu - E_{opt})^m}{h\nu} \quad (3)$$

إذ يأخذ الأس ( m ) قيمة تعتمد على طبيعة الانتقالات الضوئية في الفراغ ( k )، وحيث يأخذ القيم ( 3 , 3/2 , 2 , 1/2 ) من أجل الانتقالات المسموحة بشكل مباشر والمسموحة بشكل غير مباشر والممنوعة بشكل مباشر، والممنوعة بشكل غير مباشر على الترتيب [1، 7، 9، 10] ، وقد وجد أن أحسن توافق للنتائج التي أعطاها غشاء رقيق من الجرمانيوم وأغشية أكاسيد كثيرة وأغشية مواد عديدة، يكون من أجل ( m = 2 )، وهذا يتطابق مع العلاقة (2) [1، 4، 9، 10] .

القسم العملي :

طريقة التبخير :

استخدمت طريقة التريذ المغنتروني الفعال ذي التيار المستمر ( D.C.M.S ) سنوات عديدة، كطريقة من طرق ترسيب البخار الفيزيائي physical vapor deposition، وذلك لسهولة



جدول ( 1 ) : قيم معاملات الترسيب وكمونات الانفراغ التي تم عندها الانفراغ الكهربائي .

رقم العينة	جهد التفريغ بدون حمل	جهد الانفراغ	شدة التيار	زمن الترسيب	الغاز المستخدم	اللون
1	700 V	450 V	2.5 A	6 min	N <sub>2</sub> فقط	بني مصفر
2	700 V	450 V	2 A	30 min	( Ar +N <sub>2</sub> )	بني غامق
3	700 V	450 V	2 A	35 min	بنسبة 50%	بني غامق جداً

بعين الاعتبار الامتصاص الناتج عن الركيزة .

### دراسة طيف النفوذية الضوئية :

يبين الشكل ( 2 a ) النفوذية الضوئية للعينات الثلاث في مجال الأطوال الموجية ( 300-900 nm )، ومن دراسة هذه المنحنيات، نجد أن الغشاء ذا السماكة (0.28 μm) لا يمرر حزم الضوء الأقصر من ( 440 nm )، وابتداءً من هذا الطول الموجي تزداد نفوذية الغشاء باستمرار، حتى تبلغ ذروتها في منطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة ( 900 nm ) . كما أن هذا الغشاء يبدي عتبة نفوذية عند الطول الموجي (660 nm) بنفوذية قدرها (60%) من النفوذية العظمى لهذا الغشاء . كما نلاحظ أنه مع ازدياد سماكة الغشاء ينزاح منحنى النفوذية نحو الأطوال الموجية الأعلى ، إذ يبدأ الغشاء ذو السماكة (7.5 μm) بتمرير حزم الضوء ابتداءً من الطول الموجي ( 600 nm )، بينما يبدأ الغشاء ذو السماكة ( 15 μm ) بتمرير الطول الموجي ( 680 nm ) .

إن النفوذية تكون عظمى من أجل

في هذه الطريقة يقوم الغاز المستخدم، الأرجون أو الآزوت، باقتلاع ذرات الهدف التي تمر في وسط من بلاسما غاز الآزوت، حيث تتفاعل معه لتشكل نتريدات الذرات المشكلة لمادة الخليطة النحاسية، وهي نتريد النحاس والقصدير بصورة أساسية، حيث تتوضعان على سطح الركيزة الزجاجية .

### النتائج التجريبية :

• رسب نتريد خليطة النحاس (البرونز) بالطريقة المذكورة أعلاه على ثلاث ركائز زجاجية، بالشروط المدونة في الجدول ( 1 )، عند درجة حرارة الغرفة ، فحصلنا على ثلاثة أغشية رقيقة بسماكات مختلفة . قيست سماكة الأغشية بطريقة تداخل ضوئية ( interferometer )، فوجد أن سماكة الغشاء الأول (0.28 μm)، والثاني (7.5 μm)، والثالث (15 μm)، بدقة (0.01 μm) أخذ طيف الامتصاص الضوئي، وكذلك طيف النفوذية الضوئية للأغشية الثلاثة، وذلك باستخدام جهاز الفوتومتر الطيفي، (lambda spectrometer) مع الأخذ

الأفلام الثلاثة في منطقة الأشعة تحت الحمراء، وتحت الحمراء القريبة، وتتناقص النفوذية العظمى مع السماكة إذ تبلغ للغشاء الثاني ( 23% ) وللغشاء الثالث ( 10% ) منسوبة، لنفوذية الغشاء الأول عند الطول الموجي ( 900 nm ) .

يستفاد من منحنى النفوذية في حساب الامتصاصية ( A ) التي تعطى بالعلاقة [ 9، 10 ] :

$$A = -\log_{10} \frac{I_0}{I_t} \quad (4)$$

حيث  $I_0$  ،  $I_t$  : شدة الحزمة الواردة والنافذة على الترتيب .

دراسة طيف الامتصاصية الضوئية :

يبين الشكل ( 2b ) طيف الامتصاص الضوئي للعينات الثلاث في مجال الأطوال الموجية ( 300-900nm )، ونلاحظ أنه مع ازدياد سماكة الغشاء يزداد الامتصاص بشكل عام، ليبلغ ذروته عند طول موجي معين خاص بالنسبة لكل غشاء ، ثم يتناقص الامتصاص أسياً مع تناقص طاقة الفوتونات حتى منطقة الأشعة الحمراء ( تسمى منطقة التناقص الأسّي للامتصاص بحد الامتصاص للغشاء ) . لا يمكن للامتصاصية أن تتلاشى بشكل كامل بالنسبة لكل غشاء، ولكن تتناقص بشكل أسّي مع ازدياد طول الموجة. ومن حيث المبدأ، يمكن أن يمتد الامتصاص إلى أي حدود اعتباطية إذا كانت أجهزة القياس

حساسة لدرجة عالية . ونلاحظ من الشكل أنه مع ازدياد سماكة الغشاء تتزاح حافة الامتصاص نحو الأطوال الموجية الأعلى مع تعريض لقمة الامتصاص في منطقة الأطوال الموجية ( 340 - 560 nm )؛ وهذا عائد لزيادة كثافة الحالات الكوانتية نتيجة ازدياد عدد الذرات المترسبة في واحدة المساحة ، كما أن الغشاء ذا السماكة ( 0.28  $\mu\text{m}$  ) يبدي في منطقة حافة الامتصاص ( عتبة ) عند قيمة معينة لطاقة الفوتونات (  $h\nu = 1.88 \text{ eV}$  ) .

يستفاد من الامتصاصية في حساب معامل الامتصاص  $\alpha(\nu)$  حيث [ 9، 10 ] :

$$a(\nu) = 2.303 \frac{A}{d} \quad (5)$$

حيث d سماكة الغشاء و A الامتصاصية . ويعرف  $\alpha^{-1}$  بالمسار الحر الوسطي للفوتون في وسط الامتصاص .

دراسة معامل الامتصاص للغشاء الأول :

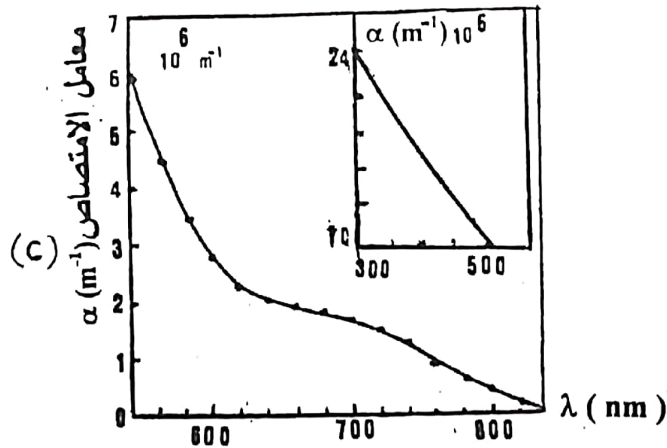
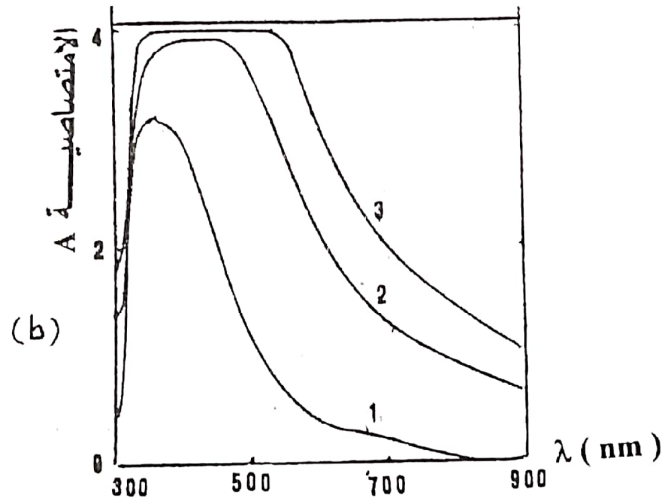
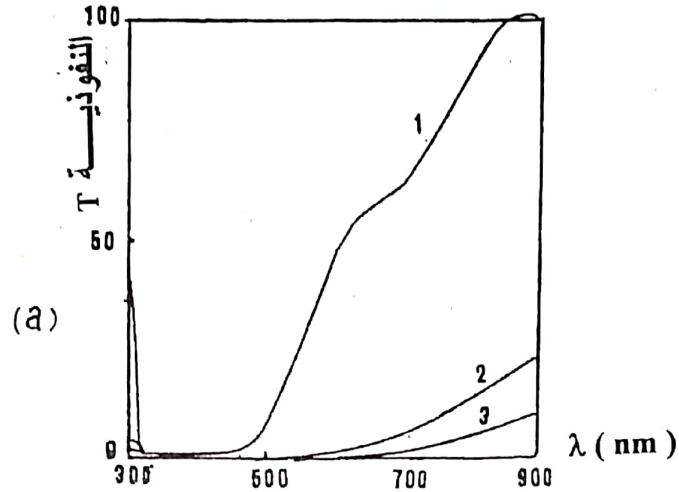
بموجب منحنى الامتصاصية للغشاء الأول ( 0.28  $\mu\text{m}$  )، المبين في الشكل ( 2b )، والعلاقة ( 5 ) حدد منحنى معامل الامتصاص المبين بالشكل ( 2c ) للغشاء الأول عند أطوال موجية عديدة، حيث نجد أن هناك نقطتين لإنحدار القيمة العظمى لمعامل الامتصاص ( حدي امتصاص ) عند ( 400 nm ) و ( 680 nm )، وهذا يتطابق مع تحديد الانتقالات المباشرة وغير المباشرة.

كما يتوسط هاتين الحافتين عتبة



إن أول الانتقالات غير المباشرة يبدأ عند طاقة (1.5 eV) في حين إن الانتقالات المباشرة تبدأ عند طاقة (3.1 eV).

امتصاص عند طاقة فوتونات (1.88 eV) وهي الطاقة الحدية بين الانتقالات المباشرة وغير المباشرة. وعلى هذا يمكننا القول:



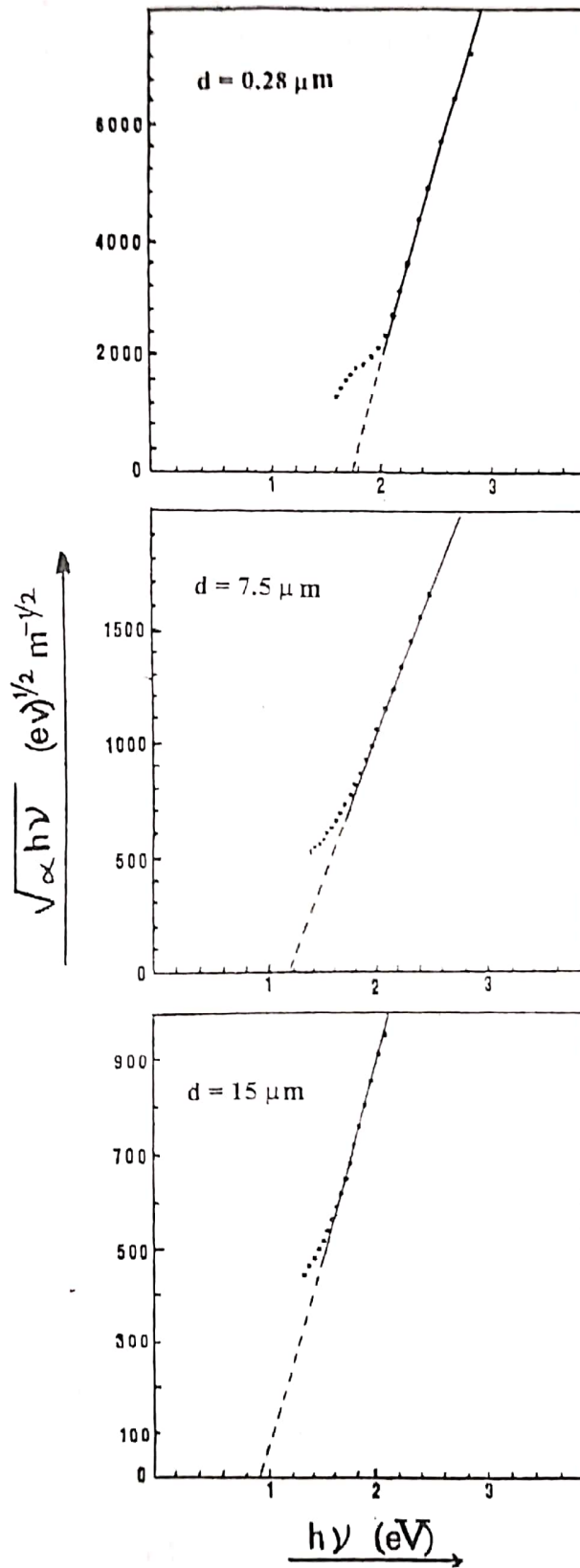
الشكل ( 2 ) يعطي النفاذية والامتصاصية ومعامل الامتصاص بدلالة طول الموجة

حيث نرى أن قيم ( $E_{opt}$ ) تتناقص مع ازدياد سماكة الغشاء، وكذلك قيم ( $B$ ). رسمت العلاقة البيانية لتحويلات ( $\alpha \ln$ )، بدلالة ( $h\nu$ )، للأغشية الثلاثة، وذلك بموجب علاقة Urbach. يبين الشكل (4) السلوك الأسّي لحافة الامتصاص، وخاصة في منطقة الامتصاص المنخفض من ميل الخط البياني لكل حالة أوجدت قيم ( $E_0$ ) التي دونت في الجدول (2). ونرى بوضوح أن قيم ( $E_0$ ) تزيد مع ازدياد سماكة الغشاء.

تحديد الثوابت الضوئية ( $B, E_0, E_{opt}$ ): إن تحديد ( $E_0, E_{opt}$ ) يكون هاماً من أجل توضيح بنية العصابة الإلكترونية [4]. يبين الشكل (3) العلاقة البيانية لتحويلات ( $\sqrt{ah\nu}$ )، بدلالة ( $h\nu$ )، للأغشية الثلاثة، باستخدام علاقة Tauc، حيث يلاحظ أن هناك منطقة خطية محددة بشكل جيد على المنحنيات، وخاصة في منطقة الامتصاص العالي. استنتجت قيم ( $E_{opt}$ )، من نقطة تقاطع هذه المستقيمات مع المحور ( $h\nu$ )، والجدول (2) يعطي قيم ( $E_{opt}$ ) وقيم ( $B$ ) المحسوبة من ميل هذه الخطوط،

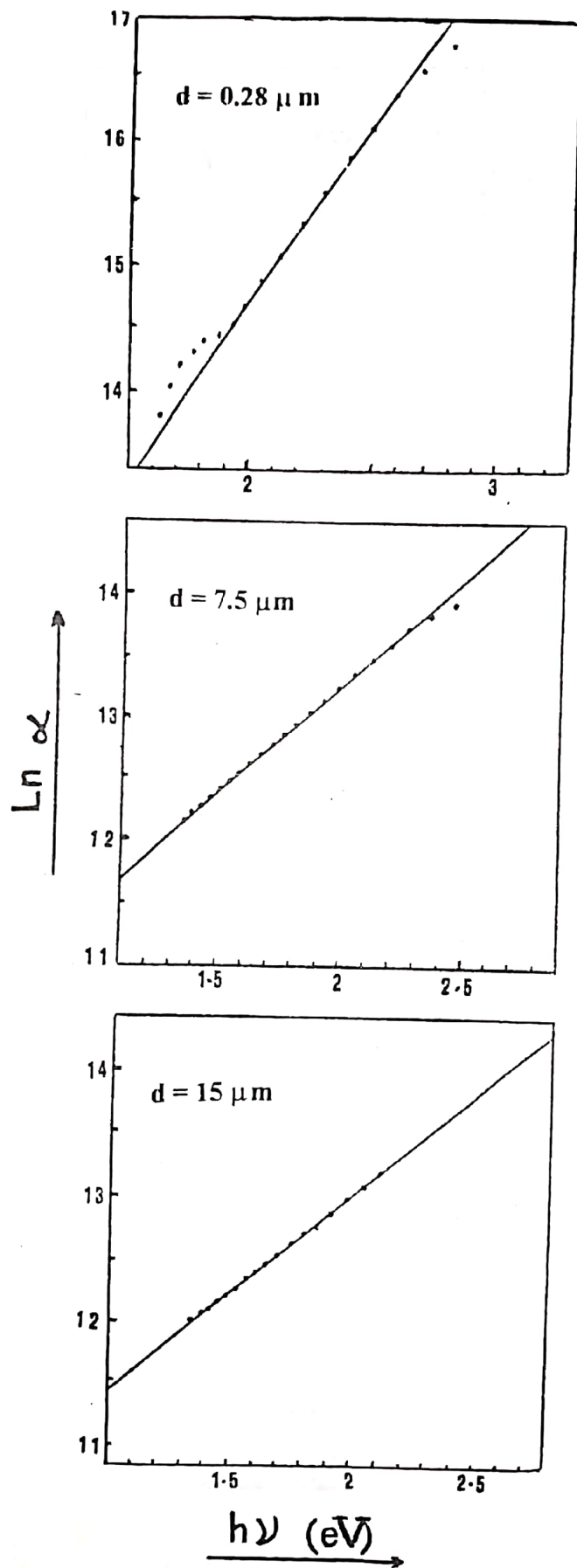
الجدول (2) يبين المعاملات الفيزيائية للعينات المدروسة

رقم العينة	السماكة ( $\mu$ )	$E_{opt}$ (eV)	$E_0$ (eV)	$B \times 10^7$ ( $eV^{-1} \cdot m^{-1}$ )
1	0.28	1.78	0.35	5.07
2	7.5	1.16	0.59	1.60
3	15	0.90	0.64	0.66



الشكل (3) يعطي  $\sqrt{\alpha h\nu}$  بدلالة  $h\nu$





الشكل ( 4 ) يبين  $\ln \alpha$  بدلالة الطاقة  $h\nu$

## المناقشة :

أخرى [ 4 ، 9 ، 10 ] .

- إن حافة الامتصاص الضوئي من أجل الأغشية الثلاثة تخضع للعلاقة الأسية Urbach، وتنزاح هذه الحافة باتجاه الأطوال الموجية الأعلى عند ازدياد سماكة الغشاء، حيث تسلك هذه الأغشية نفس سلوك أغشية رقيقة لمركبات غير متبلورة [ 16 ]، كما أن هذه الانحدارات الأسية لحواف الامتصاص شبيهه بما هو في أنصاف النواقل [ 1 ] .

- من منحنى معامل الامتصاص للغشاء الأول، نجد أن عتبة حافة الامتصاص عند الطول الموجي (660 nm) يوافق لانتقال الإلكترون إلى السوية الآخذة (1.88 eV) فوق عصابة التكافؤ .

- إن جميع قيم معامل الامتصاص للأغشية الثلاثة هي أكبر من ( $\alpha > 10^6 \text{ m}^{-1}$ ) على طول مجال الأطوال الموجية المدروسة (300-900 nm)، ومع ذلك نجد صحة تطبيق علاقة Urbach في منطقة الامتصاص المنخفض .

- إن علاقة ( $\sqrt{ahv}$ ) بـ ( $hv$ ) بالنسبة لجميع الأغشية الثلاثة هي خطية في منطقة الامتصاص العالي، وهذا يؤكد صحة وضع قيمة الأس ( $m = 2$ ) في علاقة Davis و Mott بالنسبة لجميع الأغشية، أي أنه حتى تتم عملية الامتصاص يجب أن تقوم الإلكترونات بانتقالات غير

- تتناقص النفوذية الضوئية للأغشية الثلاثة من أجل جميع الأطوال الموجية المدروسة، مع ازدياد سماكة الغشاء الرقيق .

- تزداد الامتصاصية الضوئية للأغشية الثلاثة من أجل جميع الأطوال الموجية المدروسة، كما يزداد عرض قمة الامتصاص مع ازدياد سماكة الغشاء الرقيق؛ وهذا يعود إلى زيادة كثافة الحالات الكوانتية .

- إن ظهور حافة الامتصاص الضوئي للأغشية الثلاثة دليل واضح على وجود الحالات المتموضعة، وقد وضعت تفسيرات تجريبية ونظرية عديدة لتفسير السلوك الأسي لحافة امتصاص Urbach، ولا يوجد حتى الآن تفسير فيزيائي محدد كاف لتفسير سبب ظهور حواف Urbach [13، 14]. اقترح Tauc أن هذا السلوك ناشئ عن الانتقالات الإلكترونية بين الحالات المتموضعة، وأن عرض الذيل ( $E_0$ ) سوف يتغير مع بنية وتركيب الغشاء ومعاملات الترسيب [15].

في هذا العمل نجد أن قيم ( $E_0$ ) تتغير بشكل واضح مع سماكة وبنية الغشاء ومعدل الترسيب وهذا يقودنا لتأييد نموذج Tauc في التفسير، كما أن أعمالاً كثيرة تؤكد أن ( $E_0$ ) تعتمد بشكل واضح على التركيب ومعاملات

يمكن القول إن مثل هذه الأغشية تملك فجوة طاقة ضوئية صغيرة عند درجة حرارة الغرفة، أي أن لمثل هذه الأغشية مميزات وخواص مفيدة، وقد تكون لها استخدامات تقنية واسعة، وذلك بمقارنتها بأنصاف النواقل الآتية [7]:

مباشرة، كما أن هذا يثبت ويؤكد أن هذه الأغشية تخضع لقانون  $Tauc$  بشكل جيد. - إن العلاقة الخطية لـ  $(Ln\alpha)$  بـ  $(hv)$  يشير إلى الاعتماد الأسّي لـ  $(\alpha)$  على طاقة الفوتونات  $(hv)$  وهذا يؤكد أيضاً أن هذه الأغشية تخضع لعلاقة Urbach بشكل جيد.

- وكنتيجة لقيم  $(E_{opt})$  التي تم الحصول عليها لهذه الأغشية،

المادة	CdSe	GaAs	Si	Ge
$E_{opt}$ (e.v)	1.7	1.4	1.1	0.7

البنفسجية) لا تعطي معلومات واضحة عن الامتصاص فهي غير مفيدة. - إن قيم معامل الامتصاص من أجل الانتقالات المباشرة تكون دوماً أكبر منها للانتقالات غير المباشرة، ويفسر هذا على أن الانتقالات المباشرة مشروطة باحتمال التقاء جسيمين فقط: إلكترون وفوتون بينما تستوجب الانتقالات غير المباشرة احتمال التقاء ثلاثة جسيمات: إلكترون وفوتون وفونون، وهذا يعني أن الانتقالات غير المباشرة تكون أقل احتمالاً من الانتقالات المباشرة.

- لا تتغير قيم  $(B)$  مع ازدياد سماكة الغشاء وفق علاقة محددة، ولكن قيمها في جميع الحالات من رتبة  $(10^7 \text{ eV}^{-1} \cdot \text{m}^{-1})$ ، وهي ضمن القيم النظرية المتوقعة لأغشية عديدة غير متبلورة [15].

- إن صغر قيمة المجال المحظور الضوئي  $(E_{opt})$  لهذه الأغشية، يؤكد أن طاقة الفوتون المقدمة للغشاء سوف تكتسب بسهولة، وأن هذا النوع من الأغشية يكفي أن تجري الدراسة عليه بالقرب من الأطوال الموجية الطويلة (الحمراء القريبة)، حيث تظهر حافة امتصاص واضحة، في حين نجد أن منطقة الأطوال الموجية القصيرة (منطقة الأشعة



## REFERENCES

## المراجع

- 1- Moss , T.S. , 1961 , *Optical Properties of Semi – Conductors*, John Wily London .
- 2- Beynon , J. m 1991 . *phys. status solidi A* 128 .
- 3- Meiksin Z . H., 1975 , *phys . Thin Film* 8 .
- 4- Hogarth , C.A , 1985 , *J. Mater , Sci .* 20 .
- 5- Pulker , H ., K . 1984 , *Coatings on Glass* . Elsever Oxford - New York - Tokyo .
- 6- Hass , G ., 1964 , *Physics of Thin Films* , Elsever New York - London.
- 7- Kireev , P ., S ., 1974 , *Semi conductor physics*, Mir publication Moscow .
- 8- Urbach MF ., 1953 - *phys . Rev .* 92 .
- 9- Zaidi , S., Z. A and CHAUDHARY , A J. M 1995 , *Journal of Materials science* 30 .
- 10- Lucy . I . B. and Waters , D . N ., 1996 *Journal of Materials science letters* 15.
- 11- Tauc , J .and Vancu , A , 1966 *phys . status solidi* 15 .
- 12- Davis , E . A . and Mott , N . F ., 1970 , *phil . Mag .* 22 .
- 13- Dunstan , D . J ., 1982 , *J . phys . C* 30 .
- 14- Redfield , D ., 1963 , *phys . Rev* 130 .
- 15- Abeles , F ., 1970 , *Optical Properties of Solids* , John Wily North - Holland Amsterdam .
- 16- Mott , N. F. and Davis , E.A., 1979 , *Electronic Processes in non - crystalline materials* , Elsever Oxford .