دراسة تحليلية لخصائص الانعكاس في الكاليوم – ارسنايد المانح ذي الاشابة العالية للاطوال الوجية تحت الحمراء المتوسطة

د.عدوية جمعة حيدر * عدي عطا حمادي و علي احمد يوسف**

تاريخ الاستلام: 1 /10 /2009
تاريخ القبول: 1 / 4 /2010

الخلاصة

في هذا البحث, جرى تقديم نموذج نظري لتركيب متعدد الطبقات لدراسة السلوك البصري اللاخطي المحتث بوساطة الالكترونات الحرة في طبقة رقيقة من مادة الكاليوم – ارسنايد المانح ذات الاشابة العالية عند الاطوال الموجية تحت الحمراء المتوسطة. يعد نموذج التركيب متعدد الطبقات احد وسائل تحسين عملية الامتصاص من قبل الطبقة الرقيقة للمادة شبه الموصلة. جرى تحليل خصائص الانعكاس المعتمد على الشدة و اوضحت النتائج امكانية زيادة التحسسية البصرية للتركيب متعدد الطبقات بمقدار معقول مقارنة بالمادة الاساس.

A Theoretical Investigation Of Reaction Properties In Highly- Doped N-Gaas At MIR Wavelengths

Abstract

In this work, a theoretical multi-layer structure was presented to investigate the nonlinear optical behavior induced by free electrons in a thin layer of highly-doped n-type GaAs at the MIR wavelengths. The multi-layer structure is considered to enhance absorption by a semiconductor thin layer. The intensity-dependent reflection properties were analyzed and the results explained the possibility to increase the optical sensitivity of the multi-layer structure compared to that in GaAs bulk.

المقدمة

تناولت دراسات عديدة عملية الامتصاص من قبل حاملات الشحن الحرة و الظواهر البصرية اللاخطية المحتثة بوساطة تلك الحاملات في المواد شبه الموصلة, كما جرى تقديم العديد من النماذج التي تبين تأثير تراكيز الاشابة العالية على هذه العملية [1-4] . لقد بينت تلك الدراسات ان السلوك البصري اللاخطي المحتث بوساطة حاملات الشحن الحرة يبرزبشكل واضح مع التغير في تركيز الاشابة اذ ان بامكان الموجة الكهرومغناطيسية ذاتالشدة العالية عند الطول الموجي $(10.6mm)$ ان تزيد من طاقة الالكترونات الحرة بشكل كبير في عينة من مادة (GaAs) ذات الاشابة العالية والتي يكون فيها تركيز الالكترونات مساويا او اكبر من $(7\times10^{18}cm^{-3})$ [2] ، و ان مقدار شدة الموجة الكهرومغناطيسية اللازمةلزيادة طاقة هذه الالكترونات الحرة يؤثر على زمن الاسترخاء الطاقي (Energy Relaxation Time) للالكترونات الحرة المتوزعة في المادة شبه الموصلة.

على افتراض ان الرمز (Γ) يمثل الحد الفاصل بين قاعدة من مادة (GaAs) و طبقة تليها مباشرة من مادة GaAs المانحة (n-type)، و الرمز (L)

*قسم العلوم التطبيقية, الجامعة التكنولوجية/ بغداد
** كلية العلوم, الجامعة المستنصرية/ بغداد

https://doi.org/10.30684/etj.28.12.19
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

يرمزللحد الفاصل بين طبقة (n-type) وطبقة تليها من مادة (AlGaAs)، فان زمن الاسترخاء الطاقي للالكترونات الموجودة في المنطقة (L) يعتمد بشكل كبير على مقدار جهد التشوه (A_{LL}) (Deformation Potential) الذي يصف التأثير المتبادل بين الكترونات المنطقة (L) و الفونونات (Phonons) الموجود داخل هذه المنطقة و التي تون مسؤولة عن الحالة الالكترونية داخل المنطقة (L) [1] . و اعتمادا على قيمة جهد التشوه (A_{LL}) , فان ظروف زيادة طاقة (تسخين) الالكترونيات الحرة في المادة (GaAs) المانحة تتغير لمدى درجات حرارة الشبيكة (300-900K) اذ تزداد الشدة من $20MW/cm^2$ عند جهد تشوه $A_{LL}=0.12\times10^9 eV/cm$ الى $40MW/cm^2$ عند جهد تشوه $A_{LL}=1\times10^9 eV/cm$ عند تركيز اشابة $n_o=7\times10^{18}cm^{-3}$ [3,4] . ان هذه الزيادة التي تعد كبيرة في الشدة و بالتالي درجة حرارة الالكترون تتسبب بتغير ملحوظ في مقدار سماحية العزل (Dielectric Permittivity) لمادة (GaAs) عند الاطوال الموجية تحت الحمراء المتوسطة (MIR) [4] .

اوضحت الدراسات التي تناولت هذا الموضوع ان السلوك البصري اللاخطي المحتث بوساطة الحاملات الحرة في مادة (GaAs) المانحة واضحا جدا عند تراكيز الاشابة العالية, الا انه يتطلب استخدام نبضات ليزر ذات شدة عالية (بحدود عشرات MW/cm^2 في منطقة الاطوال الموجية تحت الحمراء المتوسطة MIR [2-5] .

اما من الناحية العملية, فانه يعد من الصعب اجراء عملية انماء فوقية (Growth) لطبقات ذات تراكيز اشابة عالية $>7\times10^{18}cm^{-3}$ منمادة شبه موصلة مانحة (n-type) باستخدام طرائق التنمية الفوقية (Epitaxy) المعروفة بسبب الخاصية الامفوتيرية للشوائب المستخدمة في عمليات اشابة مادة (GaAs) تحدث حالة الاشباع في تركيز الحاملات الحرة في مادة (GaAs) المشابة بالسيليكون و المنماة باستخدام تقنية انماء بالحزمة الجزيئية (Molecular Beam Epitaxy) (MBE) تحت شروط الانماء القياسية عندما يصل تركيزشوائب السيليكون $(4-5)10^{18}cm^{-3}$ [5] .

يمكن من الناحية العملية ايضا الحصول على تراكيز اشابة اعلى مما ذكر انفا في مادة (GaAs) المانحة في الطبقات الرقيقية فقط و التي يكون سمكها (t<100nm) باستخدام تقنيات الانماء تحت شروط عدم الاتزان (Non-equilibrium) [6] .

بناءا على ما تقدم , فقد ظهرت حاجة ملحة لبناءو تطوير نماذج تحليلية لدراسة انتشار الموجة الكهرومغناطيسية ذات الاطوال الموجية تحت الحمراء المتوسطة (MIR) داخل تركيب متعدد الطبقات يحتوي طبقات رقيقة من مادة (GaAs) المانحة ذات تراكيز الاشابة العالية.

التركيب العملي

يوضح الشكل (1) التركيب متعددالطبقات المقترح في هذه الدراسة. يتكون هذا التركيب من قاعدة من مادة (GaAs)غير المشابة (Undoped) تليها طبقة من مادة (GaAs) المانحة ذات الاشابة العالية و سمكها (d) , تليها

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

طبقة من مادة (AlGaAs) بسمك (b) , ثم طبقة من معدن و التي يفترض ان تكون سميكة (>100nm) اذ يتم التعامل مع هذه الطبقة كوسط غير محدد (Infinite) تقريبا في المعالجات البصرية. يفترض ان مقدار سماحية العزل لجميع الطبقات في التركيب لا يعتمد علىشدة الضوء (W_0) ما عدا طبقة (GaAs) المانحة ذات الاشابة العالية و التي هي محور هذه الدراسة.

تسقط الموجة الكهرومغناطيسية على المادة بزاوية (q) مع المحور(Y) الذي يكون عموديا على التركيب متعدد الطبقات. تكون هناك موجات كهرومغناطيسية ساقطة و الاخرى منعكسة داخل المادة و كذلك موجات نافذة و اخرى منعكسة في طبقات (n-GaAs) و (AlGaAs), فيما تكون هنالك موجة نافذة فقط في طبقة المعدن.

التحليل

من خلال استخدم نموذج Drude لسماحية العزل Dielectric Permittivity [6], يمكن التعبير عن سماحية العزل (e_n)لطبقة n-GaAs عند الاطوال الموجية تحت الحمراء المتوسط (MIR) كالاتي:

$$e_n = e_1\left[1 - \frac{w_{p\Gamma}^2 + w_{pL}^2}{w^2} + l\left(\frac{w_{p\Gamma}^2}{w_{t\Gamma}^3} + \frac{w_{pL}}{w_{tL}}\right)\right] \quad \ldots(1)$$

اذ ان w_p يمثل تردد البلازما في المادة شبه الموصلة و يعطى كالاتي:

$$w_p = \left[4pne^2 / me_1\right]^{1/2} \quad (2)$$

تمثل n تركيز الالكترونات , m الكتلة البصرية الفعالة للالكترون مع مراعاة قيمتها في المنطقتين (Γ) و (L) , wالتردد الزاوي للموجة (MIR) الساقطة , e شحنة الالكترون ، e_1سماحية الطبقة GaAs غير المشابة للاطوال الموجية (MIR) تربط قيمة (t) بشكل مباشر بقيمة معامل الامتصاص في المنطقة (Γ) او المنطقة (L) لذلك يجب ان يؤخذ التوزيع الالكتروني ما بين المنطقتين (Γ) و (L) بنظر الاعتبار. يسبب الامتصاصالشديد في الطبقة n-GaAs ذات الاشابة العالية زيادة درجة حرارة الالكترونات (T_e) , و عليه غان درجة حرارة الالكترون الحر (T_e) و مقدار سماحية العزل e_n لطبقة GaAs المانح (n-type) يعتمدان على شدة الضوء الساقط.

يتطلب ايجاد سعة الموجة الكهرومغناطيسية المنعكسةعن التركيب متعدد الطبقات تقديم حلول عامة للسلوك اللاخطي المعقد جدا, و مع ذلك فبالامكان تبسيط هذه المسألة في حالة طبقة n-GaAs الرقيقة على اعتبار ان درجة حرارة الالكترون الحر (T_e) و سماحية العزل e_n لا تعتمدان على قيمة الاحداثي (Y) داخل الطبقة [6] . اعتمادا على ذلك يمكن ان يتم اختزال مسألة حساب معامل الانعكاس اللاخطي الى مجموعة خطية من المعادلات التي يتم اشتقاقها اعتمادا على الشروط الحدودية (Boundary Conditions) لحركة االكترونات التوصيل في طبقة n-GaAs الرقيقة.

لغرض اشتقاق المعادلات المطلوبة, يتم تعريف سعة المجال المغناطيسي للموجة الكهرومغناطيسية الساقطة (H_0) و للموجة المنعكسة(RH_0) لقاعدة من مادة GaAs , كما يتم تعريف نفس القيمتين لطبقة n-GaAs (T_nH_0) و

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

(T_bH_0) AlGaAs و لطبقة (R_nH_0) و (R_bH_0), فيما يتم تعريف سعة المجال المغناطيسي للموجة النافذة في طبقة المعدن بالمقدار (T_mH_0). و من خلال استخدام هذه المقادير يمكن صياغة دوال توزيع المجال المغناطيسي في التركيب متعدد الطبقات كالاتي:

الطبقة GaAs

$$H_X = H_0\{\exp[-iky(y-b-d)] + R\exp[iky(y-b-d)]\}\exp[i(k_zZ-wt)] \quad (3a)$$

الطبقة n-GaAs

$$H_X = H_0\{T_n\exp[-iky(y-b-d)] + R_n\exp[iky(y-b-d)]\}\exp[i(k_zZ-wt)] \quad (3b)$$

الطبقة AlGaAs

$$H_x = H_0\{T_b\exp[-ik_{yb}(y-b)] + R_b\exp[ik_{yb}Y]\}\exp[i(k_zZ-wt)] \quad (3c)$$

طبقة المعدن

$$H_x = H_0T_m\exp[i(-k_mY + K_zZ - wt)] \quad (3d)$$

اذ ان

$$K_{YS} = (K_0^2e_1 - K_z^2)^{1/2}$$

$$K_{yn} = (K_0^2e_n - K_z^2)^{1/2}$$

$$K_{yb} = (K_0^2e_b - K_z^2)^{1/2}$$

$$K_{Ym} = (K_0^2e_m - K_z^2)^{1/2}$$

$$K_Z = K_0\sqrt{e_1}\sin q, K_0 = w/c$$

تمثل c سرعة الموجة الكهرومغناطيسية (سرعة الضوء) في الفراغ , e_b سماحية العزل لطبقة AlGaAs و e_m سماحية العزل لطبقة المعدن.

في المعادلات (3) تظهر ستة معاملات مجهولة هي $(T_m, R_b, T_b, R_n, T_n, R)$, و هذه المعاملات يمكن ايجادها من خلال حل المعادلات باستخدام الشروط الحدودية للموجات الكهرومغناطيسية المنعكسة و النافذة عند السطوح الفاصلة (Y=b+d) و (Y=b) و (Y=0) ينتج عن حل هذه المعادلات ايجاد جميع معاملات الانعكاس و النفوذ كدوال للزاوية (q) و درجة حرارة الالكترون (T_e)

يتوجب حل معادلة اتزان الطاقة (Energy Balance Equation) لالكترونات التوصيل في طبقة (n-GaAs) لغرض ايجاد قيمة درجة حرارة الالكترون (T_e) . تعطي معادلة اتزان الطاقة في طبقة n-Gas الرقيقة كالاتي:

$$P_{abs} = P_{lat} + d \quad \ldots\ldots (4)$$

حيث P_{abs} هي القدرة لوحدة المساحة و التي يتم امتصاصها من قبل الكترونات التوصيل في طبقة n-GaAs و P_{lat} هيالقدرة المنقولة الى الشبيكة (Lattice) لوحدة الحجم . يتم نقل هذه القدرة بوساطة الغاز الالكتروني الذي تزداد طاقته (يسخن) بشكل متجانس خلال حجم المادة تصبح معادلة اتزان الطاقة (4) على المنطقة المستقرة و هي الحالة التي تكون فيها النبضات البصرية الساقطة اطول بكثير من زمن الاسترخاء الطاقي و التي تكون في الوقت نفسه قصيرة بما فيه الكفاية لتجنب اي تسخين حراري للشبيكة في طبقة n-GaAs يتجدد زمن تسخين الشبيكة (t_h) بأمد النبضة البصرية عندما عندما تزداد درجة حرارة الشبيكة لطبقة n-GaAs

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ذات الاشابة العالية بمقدار كبير اذ يعتمد زمن تسخين الشبيكة (t_h) على سمك الطبقة n-GaAs و تركيز الالكترونات الحرة و درجة حرارة الشبيكة و زاوية سقوط الشعاع (q) و الشدة البصرية (W_0), و يمكن ايجاد قيمته من معادلة التوصيل الحراري للشبيكة بالاتجاه (Y) و كالاتي [8] :

$$t_h \approx CT_{LO}(P_{tr})^{-1}\left(1+a^2T_{LO}X\left(d^2P_{tr}\right)^{-1}\right)$$

.....(5)

اذ انC هي التوصيلية الحرارية للشبيكة و X السعة الحرارية النوعية لمادة GaAs و T_{LO}درجة الحرارة الابتدائية للشبيكة عند $W_0 = 0$و a ثابت تتراوح قيمته ما بين (1- 2) [2] لقد وجد ان $t_h \geq 0.3ms$ عندما تتراوح قيمته تركيز الاشابة $n_0 = (7-7.7)\times10^{18}cm^{-3}$ و $T_{LO} = 300K$و

$A_{LL} = 0.6\times10^9 ev/cm$ و $q = 45^0$و

$W_0 \leq 4MW/cm^2$

النتائج و المناقشة

يمكن تحديد قيمة سماحية العزل Dielectric Permittivity لطبقة n-GaAs (e_n) المعطات في المعادلة (1) باستخدام القيم التالية لمعاملات التركيب التي حسابها من قبل باحثين سابقين [9,8,6] :

$e_1 = 10.883$

$b = 300nm$

$e_b = 10.304$

$e_m = -5622.82 + i1288.73$

$l = 10.6mm$

$T_L = 300K$

و قد اجريت الحسابات الرياضية عند تركيز الكترونات (n_0) مساوي لثلاث قيم $(7,7.5,7.7)\times10^{18}cm^{-3}$و قيم الشدةالبصرية $(W_0 \approx 1MW/cm^2)$ كما تم استخدامقيم جهد التشويه A_{LL} في المصدر [10] و افتراض ان T_Lتساوي300K دائما.

يوضح الشكل (2) علاقة معامل الانعكاس الخطي (r) بزاوية السقوط (q) لموؤجة كهرومغناطيسية طولها ىالموجي $(10.6mm)$ لثلاث قيم مختلفة لتركيز الاشابة و $d = 0.1mm$ و قيمة جهد التشويه $A_{LL} = 0.6\times10^9 eV/cm$و هذه الحالة تناظر الشدة البصرية القليلة وكما يظهر فان هنالك حد ادنى (Minimum) لزاوية السقوط (q) عند كل قيمة لتركيز الاشابة (n_0)و كما يلي:

at $q_m = 53.6^0$

$n_0 = 7*10^{18}cm^{-3}$

$q_m = 47.1^0$ at

$n_0 = 7.5*10^{18}cm^{-3}$

at $q_m = 44.14$

$n_0 = 7.7*10^{18}cm^{-3}$

و عليه فان زيادة تركيز الاشابة (n_0) تزيد قيمة معامل الانعكاس الخطي (r) فوق قيمة دنيا عند اقل زاوية سقوط للموجة الكهرومغناطيسية q_m .

الاشكال (3a) و (3b) و (3c) تمثل علاقة معامل الانعكاسية (r) بزاوية السقوط (q) لثلاث تراكيز اشابة (n_0) مختلفة $(7,7.5,7.7)\times10^{18}cm^{-3}$لموجة كهرومغناطيسية ساقطة ذات طول

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

موجي $10.6mm$ عند قيم مختلفة $(1,0.6,0.12)\times10^{9}eV/cm$ لجهد التشويه (A_{LL}), اذ يلاحظ من الاشكال الثلاثة ان الحد الادنى لمعامل الانعكاس يعتمد بشكل كبير على قيمة جهد التشويه (A_{LL}) و عند قيمة الحد الادنى يمكن تحديدها من علاقة معامل الانعكاس الخطي بزاوية السقوط (q) .

من الناحية العملية , يكون قياس معامل الانعكاس الخطي (r) كدالة الشدة البصرية (W_0) عند زاوية سقوط ثابتة ملائم اكثر للتعرف على خصائص الانعكاس, و هذا ما توضحه الاشكال (4a) و (4b) و (4c) في حالة تراكيز اشابة (n_0) مختلفة $(7,7.5,7.7)\times10^{18}cm^{-3}$ عند قيم مختلفة $(1,0.6,0.12)\times10^{9}eV/cm$ لجهد التشويه (A_{LL}) مختلفة عند زوايا سقوط قريبة من الحد الادنى لزاوية السقوط q_m. كما يمكن ملاحظة ان قيمة معامل الانعكاس المعتمد على الشدة البصرية يكون اكبر عند تراكيز الاشابة الاكبر . تكون النسبة $r/r(w_0=0)$ مساوية للقيم 2.3 و2.8 و3.3 لقيم جهد التشويه $A_{LL}=1\times10^{9}eV/cm$ و $A_{LL}=0.6\times10^{9}eV/cm$ و $A_{LL}=0.12\times10^{9}eV/cm$ على التوالي عندما $n_0=7.7\times10^{18}cm$ و $q_m=44^{\circ}$ و $W_0=1.8MW/cm^2$. و عليه يمكن الحصول على بيانات تجريبية تثبت اعتماد قيمة معامل الانعكاس (r) على قيمة الشدة (W_0) عندزاوية سقوط ثابتة و هذا يمكن ان يقدم انطباعا عن قيمة تركيز الاشابة (n_0) و جهد تشويه (A_{LL})لعينة n-GaAs ذات الاشابة العالية

يؤدي تقليل سمك طبقة n-GaAs. (d) اكثر الى زيادة قيمة الزاوية q_m التي تناظر الحد الادنى لمعامل الانعكاس (r) و ان قيمة الزوية q_m تصل (90°) عندما تقترب قيمة سمك (d) من الصفر , و يكون اعتماد معامل الانعكاس (r)على الشدة (W_0) كبيرا عندما تكون $W_0\geq0.25MW/cm^2$. و مع ذلك, فأنه يجب اخذ التأثيرات الكمية (Quantum Effects) لطبقة رقيقة من n-GaAs سمكها $d\geq0.015mm$ بنظر الاعتبار عند حل هذه المسألة اذ ان لهذه الثأثيرات الكمية على اداء المادة شبه الموصلة في التطبيقات التي توظف لاجلها, كما ان السلوك البصري اللاخطي في تراكيب GaAs التي تتضمن مثل هذه التأثيرات عند الاطوال الموجية تحت الحمراءالمتوسطة (MIR) يمكن ان يظهر بشكل اكبر.

الاستنتاجات

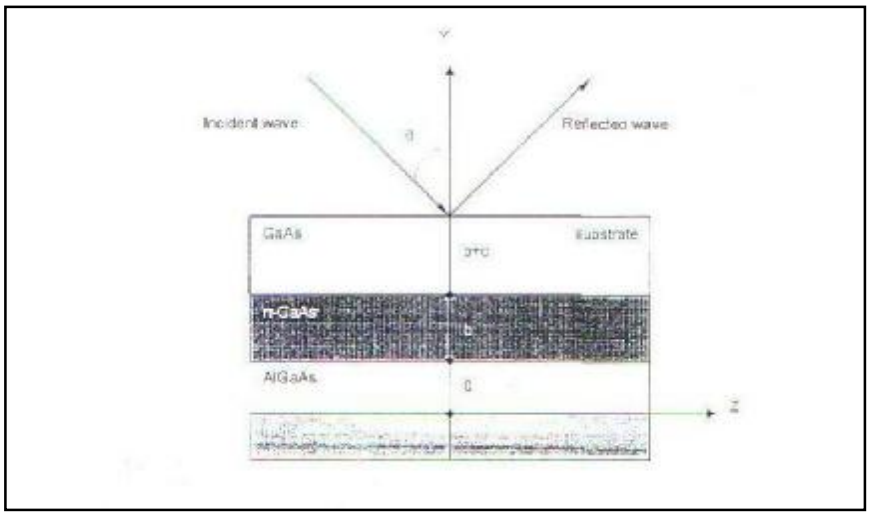
اعتمادا على النتائج المقدمة في هذه الدراسة, نستنتج ان عملية احداث تغيير كبير في قيمة معامل الانعكاس لطبقة n-GaAs ذات الاشابة العالية للموجات الكهرومغناطيسية ذات الاطوال الموجية تحت الحمراء المتوسط(MIR) تكون ممكنة اذا كانت الشدة البصرية بحدود $(1.5MW/cm^2)$ و تركيز الاشابة بحدود $(7.7\times10^{18}cm^{-3})$ و سمك الطبقة $0.1mm$ عند العمل قريبا من منطقة الحد الادنى للانعكاس. ان قيمة معامل الانعكاس اللاخطي تعتمد على قيمة جهد التشويه للالكترونات في مناطق الحدود الفاصلة بين الطبقات في تركيب متعدد الطبقات و هذه القيمة يمكن حسابها تجريبيا. يمكن استخدام التركيب المتعدد الطبقات في هذه الدراسة كوسيلة دقيقة تحديد تركيز الالكترونات الحرة في طبقات رقيقة من مادة GaAs ذات

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الاشابة العالية و تحديد قيمة تجريبية انية لجهد التشويه.

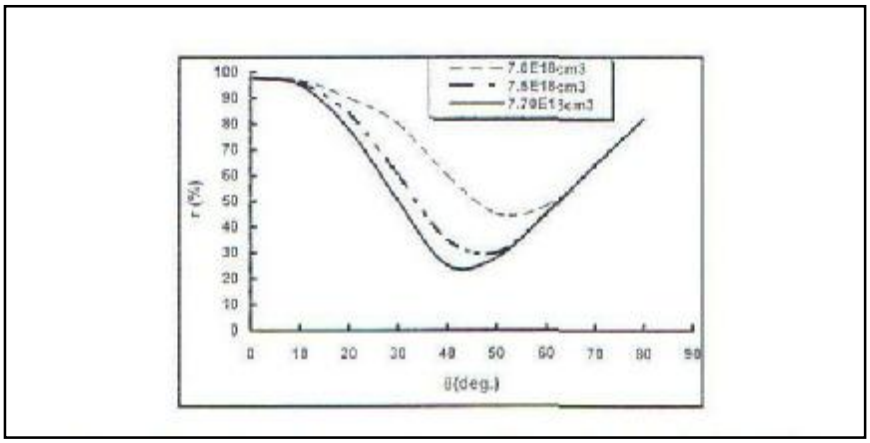
References

[1]Jordan, A., J. Appl. Phys., Vol.51,([1] 1980), p.2218.
[2]Auyang, S. and Wolff, p., J. Opt. Soc. Am., B, Vol.6, No.4,(1989), p.595.
[3]Chai, Y., Chow, R. and Wood, C., Appl. Phys. Lett., Vol.39, (1981), p.800.
[4]Schubert, E., et al, Appl. Phys. Lett., Vol.52, (1988), p.1508.
[5]Resinger, A. Appl. Opt. Vol.12, 1973, p1015.
[6]Blakemore, J., J. Appl. Phys., Vol.53, (1982), p.R123.
[7]Adachi, S., J. Appl. Phys., Vol.58, (1985), p.R1-29.
[8]Shah, J.etal, Phys. Rev. Lett, Vol.59,(1987),p.2222.
[9]Littlejohn, M., Hauser, J. and Glisson, T., J. Appl. Phys. Vol.48,(1977), p.4587.
[10]Walrod, D.etal, Appl. Phys. Lett, Vol.59, (1991), p.2932.

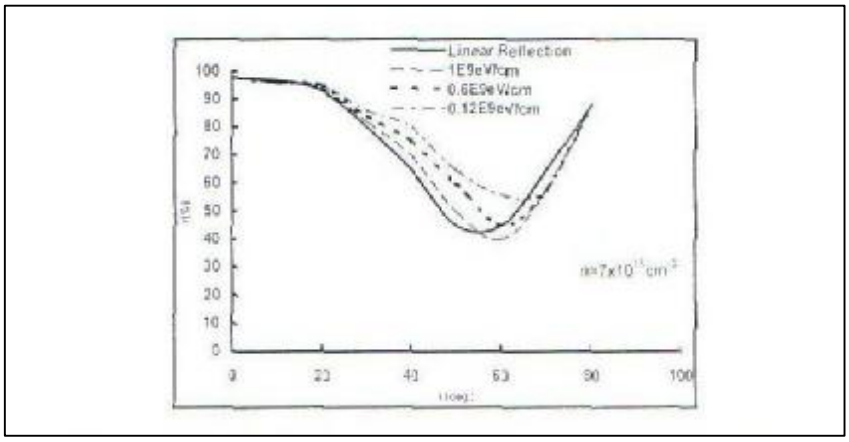


شكل (1): التركيب المتعدد الطبقات المقترح في هذه الدراسة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

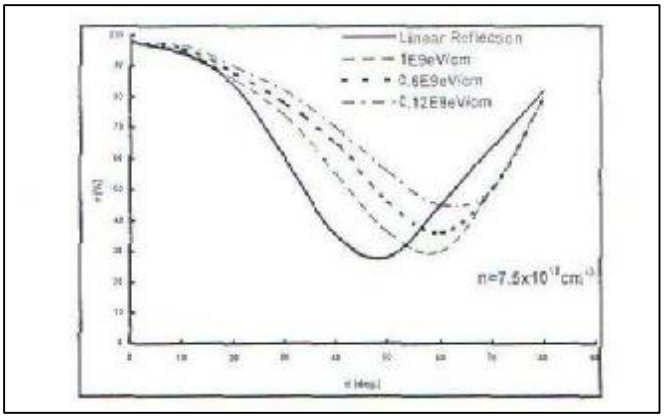


شكل(2): علاقة معامل الانعكاس الخطي بزاوية السقوط (θ) للطول ألموجي (10.6Mm) لثلاث قيم مختلفة لتركيز الاشابة وd=0.1Mm و قيمة جهد التشويه (0.6x10 ^{9} (ALL=eV/cm و= 300K TL

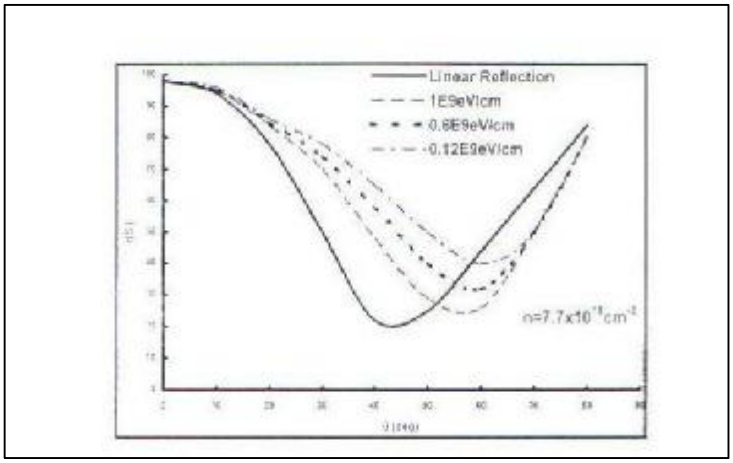


شكل (3a): علاقة معامل الانعكاسية (r) بزاوية السقوط (θ) لتركيز اشابة (n=7x10 ^{3}cm) لموجة كهرومغناطيسية ساقطة ذات طول موجي (10.6Mm) عند قيمة ($1x10^{3} eV / cm$) لجهد التشويه ALL

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

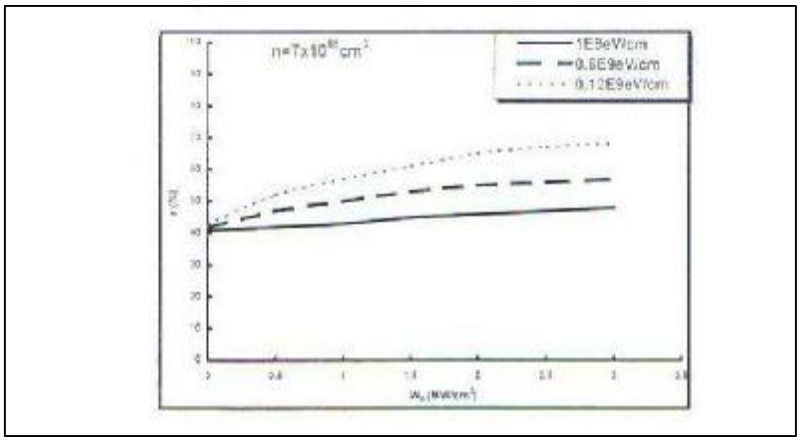


شكل (3b): علاقة معامل الانعكاسية (r) بزاوية السقوط (θ) لتركيز اشابة ($n_o = 7.5x10^{18}\,cm$) لموجة كهرومغناطيسية ساقطة ذات طول موجي (10.6Mm) عند قيمة ($0.6x10^9\,eV/cm$) لجهد التشويه ALL

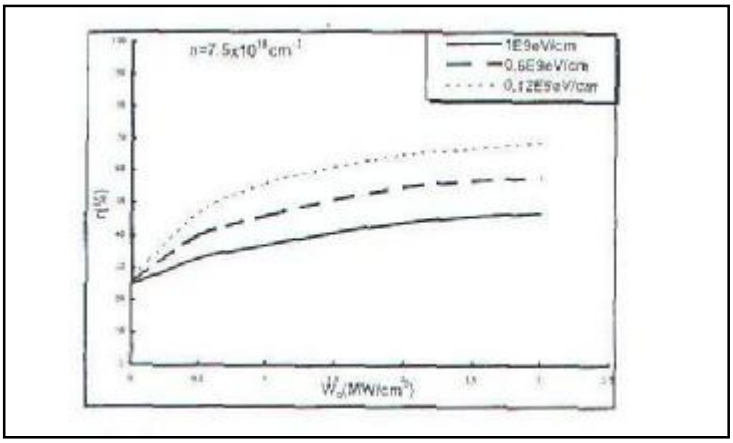


شكل (3b): علاقة معامل الانعكاسية (r) بزاوية السقوط (θ) لتركيز اشابة ($n_o = 7.7x10^{18}\,cm$) لموجة كهرومغناطيسية ساقطة ذات طول موجي (10.6Mm) عند قيمة ($0.12x10^9\,eV/cm$) لجهد التشويه ALL

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

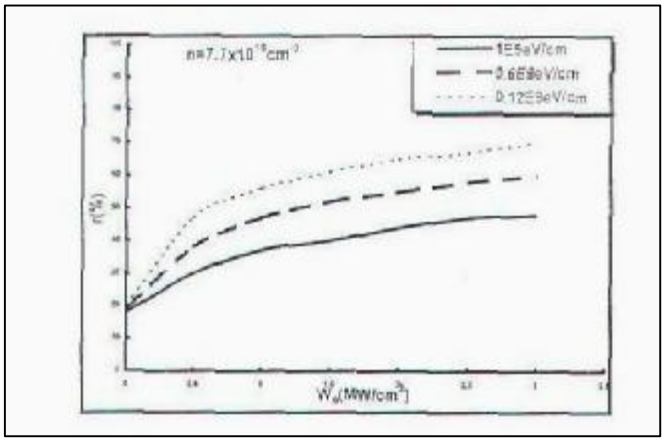


شكل(4a): علاقة معامل الانعكاس بشدة الموجة الساقطة ($l = 10.6Mm$) عند قيمة تركيز اشابة $n_o = 7x10^{18}\,cm$ وزاوية سقوط θ =45 لقيم $A_{LL} = (1,0.6,0.12)x10^9\,eV/cm$ ولقيمة T=300K



شكل(4b): علاقة معامل الانعكاس بشدة الموجة الساقطة ($l = 10.6Mm$) عند قيمة تركيز اشابة $n_o = 7.5x10^{18}\,cm$ وزاوية سقوط θ =47 لقيم $A_{LL} = (1,0.6,0.12)x10^9\,eV/cm$ ولقيمة T=300K

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شكل(4c): علاقة معامل الانعكاس بشدة الموجة الساقطة ($l = 10.6Mm$) عند قيمة تركيز اشابة $n_o = 7.7x10^{18} cm$ وزاوية سقوط θ =44 لقيم $A_{LL} = (1,0.6,0.12)x10^9 eV/cm$ ولقيمة T=300K

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com