



تصميم وتحسين اداء طلاءات غير عاكسة للمنطقة الطيفية فوق البنفسجية باستخدام

مادة CdS النانوية على اساس من Si

بشار محمد صالح عصمت رمزي عبد الغفور

جامعة الانبار كلية العلوم

معلومات البحث:

تاريخ التسليم: 2016/11/03

تاريخ القبول: 2017/01/11

تاريخ النشر: 2017 / 10 / 28

DOI: 10.37652/juaps.2016.132434

الكلمات المفتاحية:

الطلاءات المضادة للانعكاس,

Nano CdS

,Brus model

المصفوفة المميزة.

الخلاصة:

في هذا البحث تم دراسة تغير الخصائص البصرية لمادة كبريتيد الكاديوم (CdS) دالة للتغير في حجم الجسيم (Particle size), واستخدامها في وضع تصميم نظري لطلاء مضادة للانعكاس (Antireflection Coating) ذو طبقة مفردة بسمك ربع طول موجة التصميم ضمن المدى (300-400 nm) من الطول الموجي للأشعة فوق البنفسجية, وقد اختيرت مادة السيلكون كأرضة اساس (Substrates). فقد تم تصميم برنامج حاسوبي بلغة MATLAB النسخة (7.11.0) ليصف انعكاسية (Reflectivity) التصميم كدالة لحجم الجسيم ومعامل الانكسار (Refractive Indexes) وفجوة الطاقة (Energy gap) للطلاء وايضا يصف الانعكاسية كدالة للطول الموجي (wavelength) لحالة السقوط العامودي والمائل للتصميم المقترح كطلاء بصري مضادة للانعكاس, وذلك بالاعتماد على نموذج بروس (Brus model) ونظرية المصفوفة المميزة (Characteristic Matrix Theory) كأساس نظري. وقد بينت النتائج ان اقل قيمة في انعكاسية التصميم (Air/Nano CdS/Si) كانت بمقدار (0.0093%) عند طول موجة التصميم وفي حالة السقوط العامودي وذلك عندما يكون حجم الجسيم لمادة الطلاء ($Ps = 3$ nm), وهو ما يمكن استخدامه في تطبيقات الخلايا الشمسية ذات الكفاءة العالية.

المقدمة:

مازالت المواد شبه الموصله تحظى باهتمام بالغ وذلك لاستخدامها في العديد من المجالات العلمية والصناعية, ومع التطور في تقنية دراسة وتصنيع المواد ذات البنى النانوية (Nanotechnology) فان اشباه الموصلات قد اخذت دورا رائدا في هذا المجال. تظهر أشباه الموصلات ذات البنى النانوية مجموعة متنوعة وفريدة من الخصائص البصرية والإلكترونية تختلف عن الخصائص الموجودة في المواد ذات البنى الطبيعية (Bulk Materials) [1], وان هذا التغير في الخصائص يظهر بالدرجة الاساس نتيجة لتكميم مستويات الطاقة للإلكترونات ضمن حجم محدد او ما يعرف بالحجز الكمي (Quantum confinement) [2], هو احد الاثار المباشرة لتقليل حجم المواد الى الحجم النانوي, حيث تصبح مستويات الطاقة للمادة منفصلة, ويظهر تأثيره من خلال تغير كثافة الحالات (Density of states) وفجوة الطاقة (Energy gap) للمادة, وبالتالي تصبح الخصائص البصرية والإلكترونية للمواد تعتمد على حجمها. ويكون الحجز الكمي اما في بعد واحد (One dimensional) اي يسمح للإلكترونات او الثقوب بالانتشار في بعد واحد فقط وتقيدها في البعدين الاخرين, وتعرف المواد التي تقع تحت تأثير هذا

المواد شبه الموصله تحظى باهتمام بالغ وذلك لاستخدامها في العديد من المجالات العلمية والصناعية, ومع التطور في تقنية دراسة وتصنيع المواد ذات البنى النانوية (Nanotechnology) فان اشباه الموصلات قد اخذت دورا رائدا في هذا المجال. تظهر أشباه الموصلات ذات البنى النانوية مجموعة متنوعة وفريدة من الخصائص البصرية والإلكترونية تختلف عن الخصائص الموجودة في المواد ذات البنى الطبيعية (Bulk Materials) [1], وان هذا التغير في الخصائص يظهر بالدرجة الاساس نتيجة لتكميم مستويات الطاقة للإلكترونات ضمن حجم محدد او ما يعرف بالحجز الكمي (Quantum confinement) [2], هو احد الاثار المباشرة لتقليل حجم المواد الى الحجم النانوي, حيث تصبح مستويات الطاقة للمادة منفصلة, ويظهر تأثيره من خلال تغير كثافة الحالات (Density of states) وفجوة الطاقة (Energy gap) للمادة, وبالتالي تصبح الخصائص البصرية والإلكترونية للمواد تعتمد على حجمها. ويكون الحجز الكمي اما في بعد واحد (One dimensional) اي يسمح للإلكترونات او الثقوب بالانتشار في بعد واحد فقط وتقيدها في البعدين الاخرين, وتعرف المواد التي تقع تحت تأثير هذا

* Corresponding author at: University of Anbar College of Science . E.mail address:

السماحية النسبية او ما يعرف بثابت العزل الكهربائي. وايضا:

$$\Delta E_g = E_g^{nano}(R) - E_g^{bulk}$$

تمثل E_g^{bulk} فجوة الطاقة للمادة بالحجم الطبيعي (Bulk bandgap), $E_g^{nano}(R)$ فجوة الطاقة للمادة في النقاط الكمومية (Quantum dots) وتعرف بفجوة الطاقة الفعالة (Effective bandgap). وبالتالي تصبح المعادلة (1) بالصيغة الاتية [7]:

$$E_g^{nano}(R) = E_g^{bulk} + \frac{\hbar^2 \pi^2}{2R^2} \left[\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right] - \frac{1.786 e^2}{\epsilon R} - \frac{0.124 e^4}{h^2 \epsilon^2} \left[\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right]^{-1} \dots \dots (2)$$

نلاحظ من الحد الثاني في الطرف الايمن للمعادلة (2) ان فجوة الطاقة الفعالة تتناسب عكسيا مع R^2 اي ان فجوة الطاقة تزداد بنقصان حجم الجسم، ومن الحد الثالث نلاحظ ان فجوة الطاقة تتناقص مع تناقص R وذلك بسبب زيادة قوة التفاعل الكولومي (Columbic interaction)، ويمثل الحد الاخير الارتباط بين جزيئين. ان الحد الثالث والاخير صغيرة جدا مقارنة بالحد الثاني لذلك يمكن ان تهمل، فتصبح المعادلة (2) بالشكل الاتي:

$$E_g^{nano}(R) = E_g^{bulk} + \frac{\hbar^2 \pi^2}{2R^2} \left[\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right] \dots \dots (3)$$

وبالتالي نتوقع ازدياد فجوة الطاقة مع تناقص R نتيجة لتأثير حجز الكم الذي يكون كبيرا خصوصا عندما يصبح نصف قطر الجسم مساوياً او اصغر من نصف قطر بور الطبيعي للـ Exciton (α_0)، والذي يعطى بالعلاقة الاتية [8]:

$$\alpha_0 = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon_r\hbar^2}{e^2} \left[\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right] \dots \dots (4)$$

حيث ان: ϵ_0 و ϵ_r السماحية الكهربائية للفراغ والمادة الشبه موصلة على التوالي، e شحنة الالكترون.

2.2. معامل الانكسار (n) - Refractive index

يتم تحديد الخصائص البصرية للمادة بشكل كامل من خلال معامل الانكسار الخاص بها، ويعطى لوسط ما من خلال العلاقة الاتية:

$$n = \frac{c}{v} \dots \dots \dots (5)$$

الحجز بالأسلاك الكمومية (Quantum wires)، او يكون ثنائي البعد (Two dimensional) اي يسمح للإلكترونات او الثقوب بالانتشار في بعدين وتقيدها حركتها في البعدين الثالث وتعرف ببئر الطاقة الكمومية (Quantum wells)، اما في حالة النقاط الكمومية (Quantum dots) والتي تقيدها فيها حركة الالكترونات بالاتجاهات الثلاثة فان النظام يوصف بانه صفري الأبعاد (Zero dimensional) [3].

يعتبر كبريتيد الكاديوم واحد من اكثر المواد شبه الموصلة الواعدة في مجال تصنيع الأجهزة الضوئية، وهو مادة صلبة من النوع البلوري المكعب او السداسي، يمتلك فجوة طاقة مباشرة بنحو (2.42eV) ومعامل انكساره ($n=2.52$) وله معامل امتصاص عالي في المدى المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي، ويستخدم في صناعة الاجهزة البصرية والالكترونية والخلايا الشمسية والكواشف كونه مادة سهلة التحضير ومنخفضة الكلفة وذات استقراره عالية [4,5].

1. الجزء النظري (Theoretical Part):

1.2. نموذج تقريب الكتلة الفعالة - Effective Mass Approximation (EMA)

هناك عدد من النماذج النظرية التي تستخدم لفهم اعتماد قيمة فجوة الطاقة في النقاط الكمومية لأشبه الموصلات على حجم الجسم، واكثر هذه النماذج استخداما هو (Brus model) او ما يعرف بنموذج تقريب الكتلة الفعالة (EMA)، وهذا النموذج يأخذ بنظر الاعتبار قيمتي كل من الكتلة الفعالة للإلكترون والثقب والتي تتغير من مادة الى اخرى. ووفق هذا النموذج فان قيمة التغير في فجوة الطاقة للنقاط الكمومية (ΔE_g) يعطى بالصيغة الاتية [6]:

$$\Delta E_g = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2R^2} \left[\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right] - \frac{1.786 e^2}{\epsilon R} - \frac{0.124 e^4}{h^2 \epsilon^2} \left[\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right]^{-1} \dots \dots (1)$$

تعرف العلاقة أعلاه بمعادلة Brus. حيث ان R نصف قطر البلورة بوصفها نقطة كمومية كروية الشكل، m_e^* الكتلة الفعالة (Effective mass) للإلكترون، m_h^* الكتلة الفعالة للثقب (الفجوة)، ϵ

حيث ان: n الجزء الحقيقي من معامل انكسار الوسط، و θ السماحية للفضاء الحر (Admittance of free space) ويمكن اهمالها كون قيمتها صغيرة جدا ($2.65 \times 10^{-3} S$). في حالة السقوط المائل وبسبب تأثير ظاهرة الاستقطاب تنفصل السماحية البصرية للوسط الواحد الى جزئين هما السماحية البصرية للاستقطاب الموازي (η_p) والسماحية البصرية للاستقطاب العمودي (η_s)، وتعطى بالصيغ الآتية [13]:

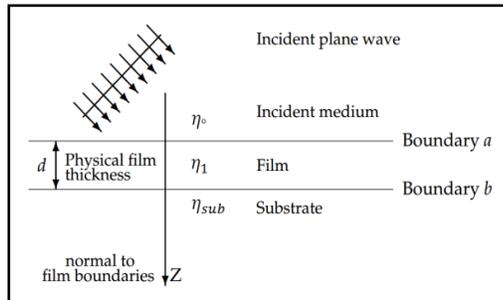
$$\eta_{op} = n_o / \cos\theta_o \quad \dots \dots \dots (9)$$

$$\eta_{1p} = n_1 / \cos\theta_1 \quad \dots \dots \dots (10)$$

$$\eta_{os} = n_o \cos\theta_o \quad \dots \dots \dots (11)$$

$$\eta_{1s} = n_1 \cos\theta_1 \quad \dots \dots \dots (12)$$

اذ ان: η_{1p} و η_{op} تمثل السماحية البصرية لوسط السقوط والنفاذ على التوالي في حالة الاستقطاب المستوي P، η_{1s} و η_{os} تمثل السماحية البصرية لوسط السقوط والنفاذ على التوالي في حالة الاستقطاب العمودي S، و θ تمثل زاوية السقوط. عند سقوط اشعة كهرومغناطيسية على غشاء رقيق مفرد مكون من حدين فاصلين مرسب على مادة اساس كما في الشكل (1):



الشكل (1) موجة مستوية ساقطة على غشاء رقيق [15]

فان السماحية البصرية للمنظومة في حالة السقوط العمودي والمائل ولأي من الاستقطابين يمكن تحديدها من خلال معادلة المصفوفة المميزة (Characteristic Matrix) [16] والتي تربط بين المركبات المماسية (Tangential Components) المستمرة للمجالين الكهربائي والمغناطيسي الساقطة على المنظومة والخارجة منها، وتعطى بالصيغة الآتية [17]:

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta & i\sin\delta/\eta_1 \\ i\eta_1\sin\delta & \cos\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_{sub} \end{bmatrix} \quad \dots \dots (13)$$

تمثل c سرعة الضوء في الفراغ ($3 \times 10^8 m/s$)، v سرعة الضوء في الوسط.

في الوسط المتجانسة موحد الخواص تكون قيمة معامل الانكسار واحدة لأي نقطة في جميع الاتجاهات وللاستقطابين العمودي والافقي [9].

تتغير قيمة معامل الانكسار المادة بتغير الطول الموجي للضوء الساقط، الا ان هذا التغير يكون قليل جدا، وينتج بسبب تغير سرعة الموجات في المادة نتيجة اختلاف تفاعل المادة مع الاشعة تبعاً لتردداتها. كما ان تغير درجة الحرارة يسبب تغير طفيف جدا في معامل الانكسار [10,11].

يرتبط معامل الانكسار في المواد شبه الموصلية ارتباطاً وثيقاً بفجوة الطاقة E_g ، وقد بذلت محاولات عديدة لإيجاد صيغ رياضية تربط معامل الانكسار بفجوة الطاقة، كالعلاقة البسيطة الآتية [12]:

$$n = \alpha + \beta E_g \quad \dots \dots \dots (6)$$

اذ ان: $(\alpha = 4.048)$ و $(\beta = -0.62 eV^{-1})$.

تعتبر المعادلة اعلاه مستقلة عن درجة الحرارة، ونلاحظ من خلالها ان قيمة معامل الانكسار تقل بزيادة فجوة الطاقة، وبالرجوع الى المعادلة (3) يمكننا القول ان معامل الانكسار للنقاط الكمومية يتناقص مع تناقص حجم الجسيم.

3.2. المصفوفة المميزة - Characteristic matrix

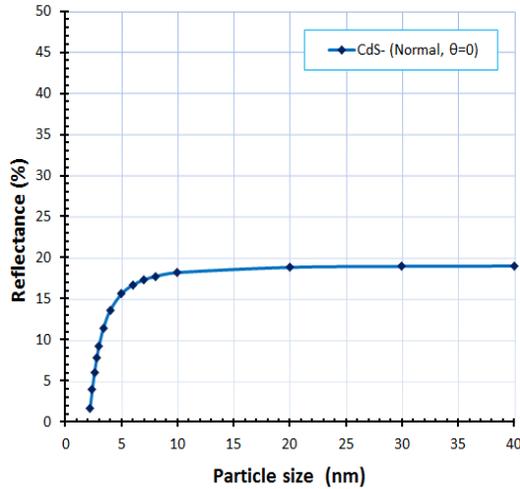
عند سقوط اشعة كهرومغناطيسية على حد يفصل بين وسطين مختلفين في الخصائص البصرية فان قيمة الانعكاسية R في الشعاع الساقط تعطى وفق معادلات فرينل (Fresnel's Equations) بالصيغة الآتية [13]:

$$R = \left(\frac{\eta_o - \eta_1}{\eta_o + \eta_1} \right)^2 \quad \dots \dots \dots (7)$$

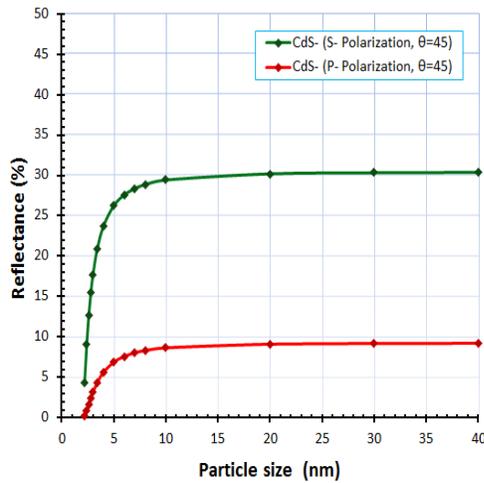
حيث ان: η_o و η_1 تمثل السماحية البصرية او معامل الانكسار الفعال (Effective Refractive Index) لوسطي السقوط والنفاذ على التوالي. في حالة السقوط العمودي للموجة تكون قيمة السماحية البصرية للوسط مساوية لجزء الحقيقي من معامل الانكسار [14]:

$$\eta = y = n \theta = n \quad \dots \dots \dots (8)$$

هذا الانخفاض في انعكاسية الـ CdS يمكن استخدامه في انتاج سطوح غير مطلية مضادة للانعكاس.



شكل (2) تغير انعكاسية CdS دالة للتغير في حجم الجسيم في حالة السقوط العمودي.



شكل (3) تغير انعكاسية CdS دالة للتغير في حجم الجسيم عند زاوية سقوط 45°.

حيث ان (B,C) تمثل عناصر المصفوفة والتي تمثل المجال الكهربائي والمغناطيسي، وتمثل η_1 السماحية البصرية للغشاء، و η_{sub} السماحية البصرية للأساس، اما δ فتمثل سمك الطور (Phase thickness) ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$\delta = 2\pi n_1 d_1 \cos\theta_1 / \lambda$$

من خلال المعادلة (13) يمكن توفير كل المعلومات المطلوبة لإيجاد قيمة السماحية البصرية الداخلة لنظام يتكون من غشاء رقيق مفرد مرسب على سطح مادة اساس، وبالتالي ايجاد قيمة الانعكاسية للنظام من خلال المعادلة (7).

2. الجزء العملي (Experimental Part):

تم في هذه الدراسة تصميم برنامج حاسوبي بلغة (MATLAB) النسخة 7.11.0 لقياس قيم الانعكاسية ومعامل الانكسار وفجوة الطاقة كدالة لتغير حجم الجسيم للمادة CdS، كما تم من خلال هذا البرنامج تصميم وتحسين طلاءات بصرية مضادة للانعكاس بالاعتماد على تغير حجم الجسيم للمواد المستخدمة، ضمن المدى (300-400 nm) من الطول الموجي للطيف الكهرومغناطيسي.

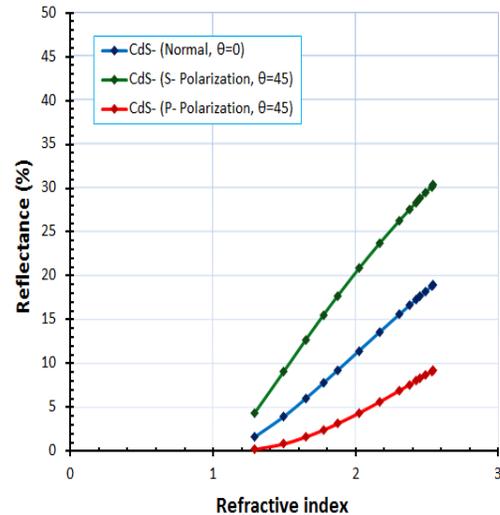
1.3. انعكاسية CdS دالة للتغير في حجم الجسيم (Ps):

تم دراسة انعكاسية الـ CdS كدالة لحجم الجسيم (Ps=2R) [18]، اذ اختير الهواء كوسط لسقوط الأشعة، واختيرت زاويتي السقوط ($\theta_0 = 0^\circ$) و ($\theta_0 = 45^\circ$) لقياس قيم الانعكاسية عندها كونها الاكثر اهمية، من خلال الاشكال من (2) الى (6) يمكن ملاحظة تغير الخصائص البصرية للـ CdS دالة للتغير في حجم الجسيم، فعند تناقص الحجم عن الحجم الطبيعي (Bulk Size) تتغير قيمتي فجوة الطاقة ومعامل الانكسار للـ CdS، حيث تزداد قيمة فجوة الطاقة وتتناقص قيمة معامل الانكسار فتقل قيمة الانعكاسية، ويكون هذا التغير قليل جدا حتى يصبح حجم الجسيم مساوياً او اصغر من نصف قطر بور للـ Exciton (α_0) فتبدأ عندها قيمة التغير في هذه الخصائص بالازدياد بشكل ملحوظ مع تناقص حجم الجسيم وذلك نتيجة لازدياد تأثير الحجز الكمي، اذ نحصل على اقل قيمة للانعكاسية بمقدار (R=1.63%) في حالة السقوط العمودي و (R_S=4.39% و R_P=0.19%) عند زاوية سقوط (45°). ان

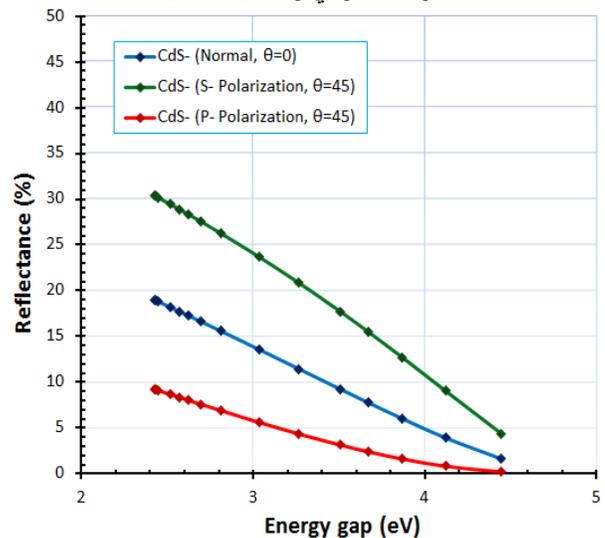
2.3. التصميم المقترح للطلاء (Nano CdS) على اساس من Bulk :Si

في البدء تم دراسة الانعكاسية للمادة الأساس (السيكون) معامل الانكسار لها ($n_{sub}=3.44$) والتي أظهرت أن انعكاسية السيلكون هي (30.2%) وكما موضح بالشكل (7), ثم قمنا ببناء تصميم الطلاء على لحالة السقوط العمودي والمائل عند زاوية سقوط 45° , حيث قمنا بإضافة طبقة واحدة من CdS (ذات سمك ربع طول موجة التصميم) ($L = 0.25\lambda_0$) على اساس من السيلكون, مع الاخذ بنظر الاعتبار تغيير حجم الجسيم للطلاء (Ps) من (2.2-40 nm), ودراسة تأثير اضافة الطلاء وتغير حجم الجسيم له على الخصائص البصرية للمنظومة.

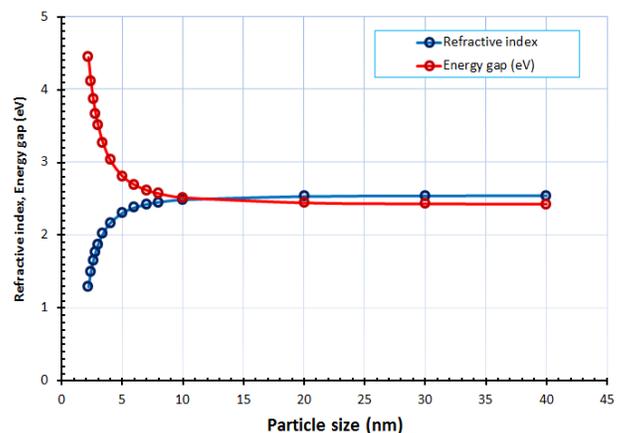
توضح الاشكال من (8) الى (10), تغير الخصائص البصرية عند طول موجة التصميم ($\lambda_0 = 350$ nm) للتصميم (Air/Nano CdS/Si), حيث يمكن ملاحظة ان التصميم يظهر انعكاسية ثابتة تقريبا عند حجم الجسيم لمادة الطلاء من (20-40 nm) بمقدار (9.3%) تقريبا في حالة السقوط العمودي, حيث يكون تأثير الحجز الكمي عند هذا الحجم شبه معدوم, عند الحجم (10-20 nm) يمكن ملاحظه انخفاض قليل في قيمة انعكاسية التصميم ويظهر هذا الانخفاض نتيجة لتناقص معامل انكسار الطلاء بشكل طفيف, اما عند حجم الجسيم لمادة الطلاء ($Ps < 10$ nm) يتسارع الانخفاض في معامل انكسار الطلاء نتيجة لزيادة تأثير الحجم الكمي والذي يزداد بشكل كبير عند وصول حجم الجسيم للمادة الى نصف قطر بور الطبيعي لل CdS (2.8 nm), ما ينتج عنه انخفاض في انعكاسية التصميم التي تصل الى اقل قيمة لها بمقدار (0.0093%) في حالة السقوط العمودي وذلك عندما يكون حجم الجسيم لمادة الطلاء مساوي (3 nm), ومع تناقص حجم الجسيم اكثر فان انعكاسية التصميم تعود للزيادة مرة اخرى نتيجة لانخفاض انعكاسية الطلاء وبالتالي فان تأثيره على انعكاسية التصميم ينخفض ايضا حتى تصل انعكاسية التصميم الى (11.98%) عند حجم الجسيم لمادة الطلاء (2.2 nm) ويكون معامل انكسار الطلاء (1.29) عند هذا الحجم.



شكل (4) تغير انعكاسية CdS دالة للتغير في معامل الانكسار لحالة السقوط العمودي والمائل عند 45° .

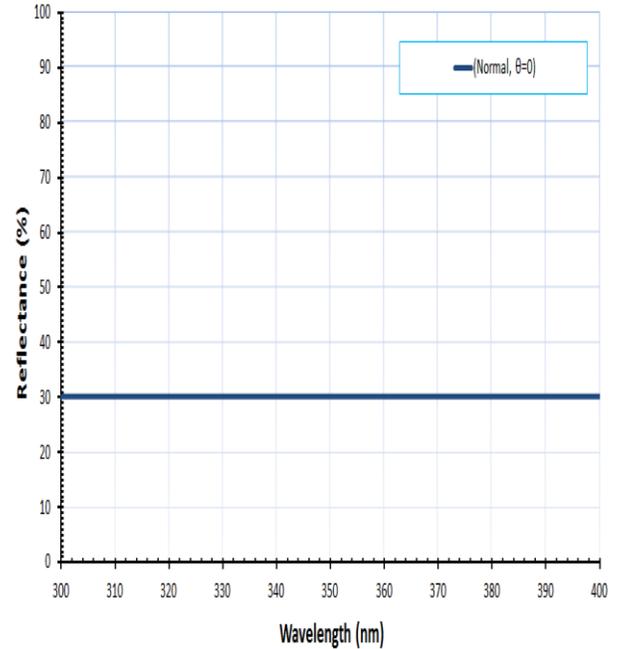
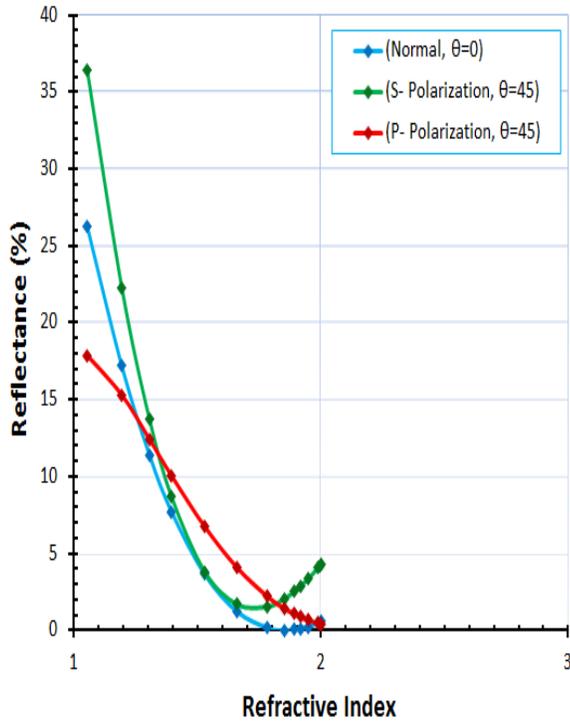


شكل (5) تغير انعكاسية CdS دالة للتغير في فجوة الطاقة لحالة السقوط العمودي والمائل عند 45° .

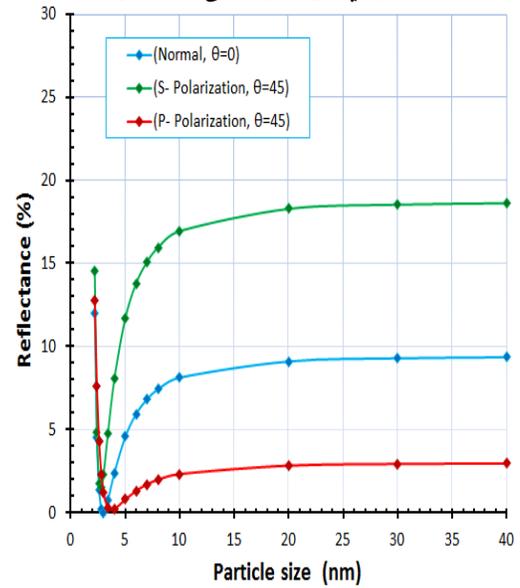


شكل (6) تغير معامل انكسار وفجوة طاقة CdS دالة للتغير في حجم الجسيم.

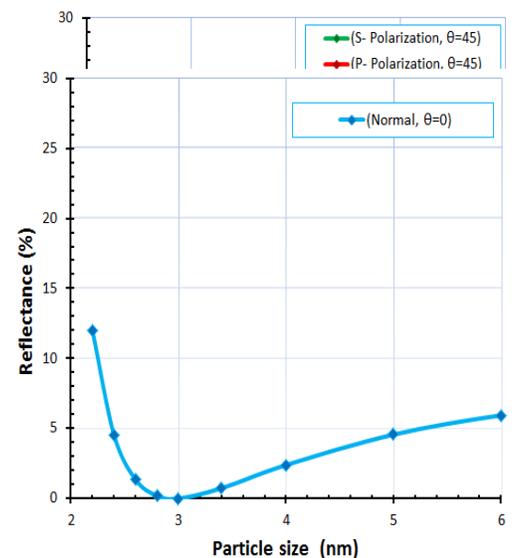
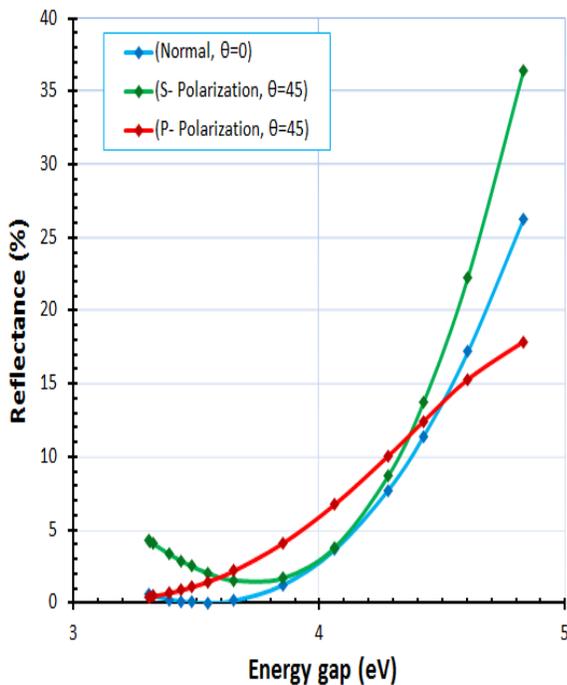
شكل (8) الانعكاسية التصميم (Air/ Nano CdS /Si) دالة لحجم الجسم، لحالة السقوط العمودي والمائل عند 45° ، عند طول موجة التصميم $n_{sub}=3.44, L=0.25\lambda_0, (\lambda_0=350 \text{ nm})$



شكل (7) الانعكاسية دالة للطول الموجي لسيلكون ولحالة السقوط العمودي من الهواء الى السيلكون.



شكل (9) الانعكاسية دالة لمعامل انكسار الطلاء للتصميم (Air/CdS nano/Si) عند طول موجة التصميم $n_{sub}=3.44, (\lambda_0=350 \text{ nm})$ $L=0.25\lambda_0$



شكل (10) الانعكاسية دالة لفجوة طاقة الطلاء للتصميم (Air/CdS nano/Si), عند طول موجة التصميم ($\lambda_0=350$ nm), $n_{sub}=3.44$, $L=0.25\lambda_0$

جدول (1) تأثير تغير زاوية السقوط على انعكاسية التصميم (Air/Nano CdS/Bulk Si), عند ($P_s=3$ nm)

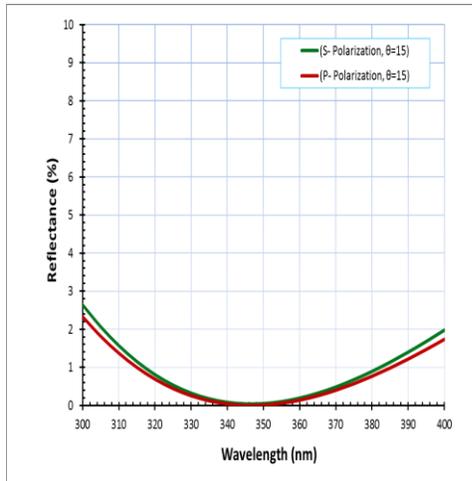
التسلسل	زاوية السقوط (θ_0 deg.)		الانعكاسية % R تنمط الاستقطاب عند طول موجة التصميم ($\lambda_0=350$ nm)		الانعكاسية % R للتصميم Air/Bulk CdS/Bulk Si عند طول موجة التصميم ($\lambda_0=350$ nm)	
	P-	S-	P-	S-	P-	S-
1	0	1	0.0093	0.0093	9.0527	9.0527
2	5	2	0.0076	0.0114 at ($\lambda_0=350$ nm)	8.9722	9.1335
3	15	3	0.0093	0.0353 at ($\lambda_0=347$ nm)	8.3283	9.805
4	30	4	0.2022	0.249 at ($\lambda_0=337$ nm)	6.1669	12.4262
5	45	5	1.2249	1.352 at ($\lambda_0=324$ nm)	2.8118	18.2076
6	60	6	5.3214	6.104 at ($\lambda_0=310$ nm)	0.0858	30.0372
				5.328 at ($\lambda_0=310$ nm)		

من البيانات السابقة يمكن ملاحظة ان طبقة مفردة من نانوكبريتيد الكاديوم بحجم بالوري ($P_s=3$ nm) بسمك ربع طول موجة التصميم على اساس من السيلكون حقق انعكاسية منخفضة جدا بمقدار (0.0093%) لحالة السقوط العمودي عند طول موجة التصميم ($\lambda_0 = 350$ nm) لذلك يمكن اختياره طلاءً مضاداً للانعكاس للمنطقة الطيفية فوق البنفسجية (300-400 nm):

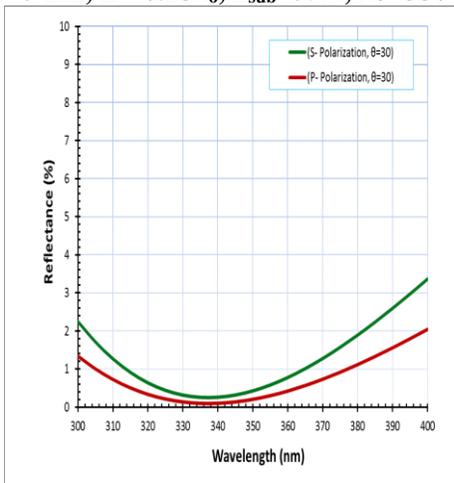
Air/Nano CdS/Si

($n_{sub}=3.44$, $P_s=3$ nm, $L=0.25\lambda_0$, $\lambda_0=350$ nm)

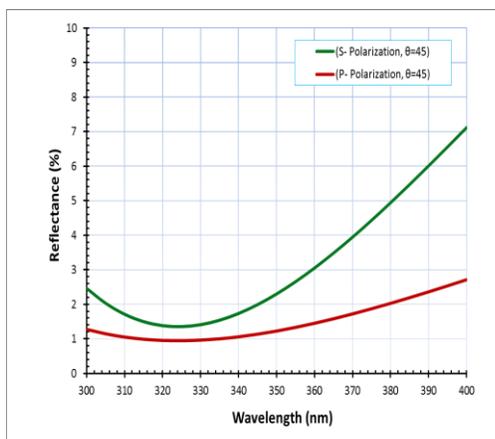
توضح الاشكال من (11) الى (17) تأثير تغير زاوية السقوط ($0-75^\circ$) على انعكاسية هذا التصميم ضمن الطول الموجي (300-400 nm), ويمكن ملاحظة تأثير تغير زاوية السقوط على قيم انعكاسية التصميم, ففي حالة السقوط العمودي والقريب منه ($0-5^\circ$) لا يمكن التمييز بين نمطي الاستقطاب (P, S), وذلك لان التغير في قيمة السماحية البصرية للتصميم تعتمد على زاوية السقوط لذلك تكون قيمة التغير في انعكاسية الاستقطابين قليلة جدا. بعد ذلك ولزوايا سقوط مائلة أكبر من ذلك يمكن التمييز بين النمطين وكلما ازدادت زاوية السقوط فان قيم R_p و R_s تزايد بشكل اكبر من قيم R_p , كما يمكن ملاحظة أن هناك إزاحة جانبية لطيف الانعكاسية نحو الأطوال الموجية القصيرة، مما يؤثر على طول موجة التصميم المعتمدة، مع زيادة في قيمة الانعكاسية ولا سيما عند الزوايا العالية والتي تؤثر سلباً على أداء المنظومة التي يستعمل فيها الطلاء المضاد للانعكاس، ويمكن تفسير التغير الحاصل في الإزاحة الجانبية لانعكاسية R_p و R_s تجاه الأطوال الموجية القصيرة الى التغير الحاصل في سمك البصري لطبقة الطلاء في حالة السقوط المائل، والذي بدوره يعتمد على معامل الانكسار الفعال الذي يتغير بتغير زاوية السقوط ونمط الاستقطاب، فعندما تزداد زاوية السقوط، يبدو الغشاء بسمك بصري اقل، لذلك فان الطول الموجي الذي تحقق قيمة سمك الغشاء ربعة ينتقل نحو اطوال موجية اقصر من طول موجة التصميم (λ_0) [19]. والجدول (1) يوضح تأثير تغير زاوية السقوط على قيم الانعكاسية.



شكل (13) الانعكاسية دالة للطول الموجي للتصميم Air/Nano CdS/Si ولزاوية سقوط $(\theta_0 = 15^\circ)$
 $P_s = 3 \text{ nm}$, $L = 0.25\lambda_0$, $n_{\text{sub}} = 3.44$, $\lambda_0 = 350 \text{ nm}$

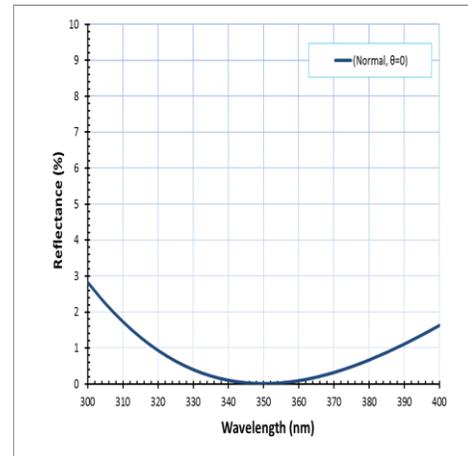


شكل (14) الانعكاسية دالة للطول الموجي للتصميم Air/Nano CdS/Si ولزاوية سقوط $(\theta_0 = 30^\circ)$
 $P_s = 3 \text{ nm}$, $L = 0.25\lambda_0$, $n_{\text{sub}} = 3.44$, $\lambda_0 = 350 \text{ nm}$

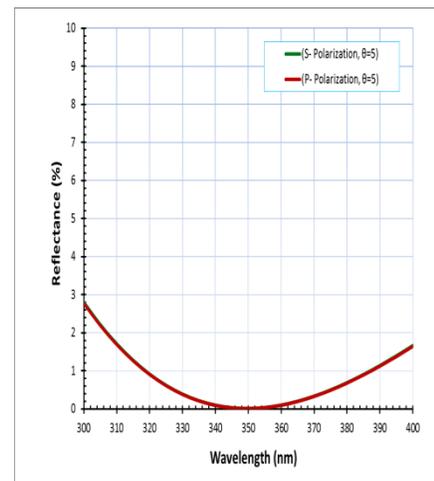


شكل (15) الانعكاسية دالة للطول الموجي للتصميم Air/Nano CdS/Si ولزاوية سقوط $(\theta_0 = 45^\circ)$
 $P_s = 3 \text{ nm}$, $L = 0.25\lambda_0$, $n_{\text{sub}} = 3.44$, $\lambda_0 = 350 \text{ nm}$

8.7553	53.7228	20.97 at ($\lambda_0=400 \text{ nm}$)	25.15 at ($\lambda_0=300 \text{ nm}$)	22.8039	31.235	75	7
--------	---------	--	--	---------	--------	----	---

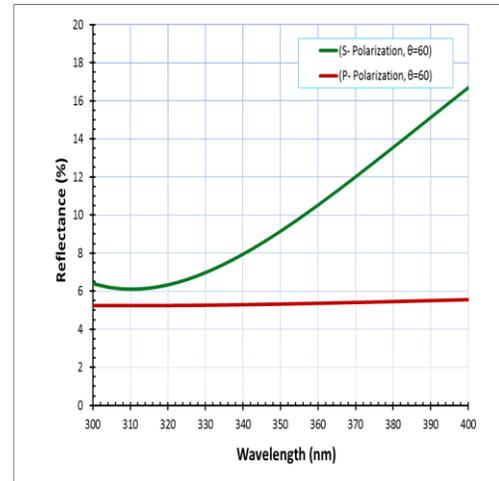


شكل (11) الانعكاسية دالة للطول الموجي للتصميم Air/Nano CdS/Si ولزاوية سقوط $(\theta_0 = 0^\circ)$
 $P_s = 3 \text{ nm}$, $L = 0.25\lambda_0$, $n_{\text{sub}} = 3.44$, $\lambda_0 = 350 \text{ nm}$



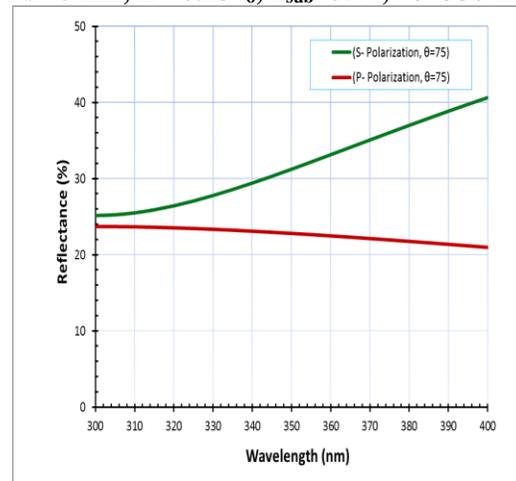
شكل (12) الانعكاسية دالة للطول الموجي للتصميم Air/Nano CdS/Si ولزاوية سقوط $(\theta_0 = 5^\circ)$
 $P_s = 3 \text{ nm}$, $L = 0.25\lambda_0$, $n_{\text{sub}} = 3.44$, $\lambda_0 = 350 \text{ nm}$

- [1] Ulrike Woggon, (1997) "Optical Properties of Semiconductor Quantum Dots" ISBN: 9783540609063, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- [2] علي سكاف, (2011) "المدخل الى الالكترنيات النانوية علم وهندسة وتطبيقات" (ISBN:139789953824437), سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة, المنظمة العربية للترجمة.
- [3] L. Banyai, S. W. Koch, (1993) "Semiconductor Quantum Dots" ISBN: 9789810213909, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- [4] Ali H. Abed, "Study The Effect of annealing temperature on Optical Properties of CdS Thin Film", Journal of College of Education, Al-Mustansyriah University, No. 5, pp. 195-206, (2011).
- [5] عبد المجيد عيادة ابراهيم , راند عبد الوهاب اسماعيل , عبير سامي ذياب " دراسة بعض الخواص البصرية لأغشية كبريتيد الكاديوم الرقيقة" مجلة تكريت للعلوم الصرفة, العدد (4), صفحة (223-227), (2013).
- [6] Shashank Sharma, Ravi Sharma, "Study on the optical properties of MN doped ZnS nanocrystals" International Scientific Journal (ISJ), Vol. 2, No. 1, pp. 120-130, (2015)
- [7] Z. L. Wang, Yi Liu, Ze Zhang, (2003) "Handbook of nanophase and nanostructured materials, Volume II" ISBN: 9780306472497, Kluwer Academic Plenum.
- [8] B. Bhattacharjee, D. Ganguli, K. Iakoubovskii, A. Stesmans and S. Chaudhuri, "Synthesis and characterization of sol-gel derived ZnS:Mn²⁺ nanocrystallites embedded in a silica matrix" Indian Academy of Sciences, Vol. 25, No. 3, pp. 175-180, (2002).
- [9] Massimiliano Di Ventra, Stephane Evoy, James R. Heflin, Jr., (2004) "Introduction to Nanoscale Science and Technology" ISBN: 9781402077579, Springer Science and Business Media, Inc.
- [10] C.Z. Tan, J. Arndt, "Temperature dependence of refractive index of glassy SiO₂ in the infrared wavelength range" Journal of Physics and Chemistry of Solids, pp. 1315-1320, (2000).
- [11] Bradley J. Frey, Douglas B. Leviton, Timothy J. Madison, "Temperature-dependent refractive index of silicon and germanium" SPIE-The International Society for Optical Engineering, (2006).
- [12] Asmiet Ramizy, Z. Hassan, Khalid Omar, Y. Al-Douri, M.A. Mahdi "New optical features to enhance



شكل (16) الانعكاسية دالة للطول الموجي للتصميم Air/Nano CdS/Si وزاوية سقوط ($\theta_0 = 60^\circ$)

$P_s = 3 \text{ nm}$, $L = 0.25\lambda_0$, $n_{\text{sub}} = 3.44$, $\lambda_0 = 350 \text{ nm}$



شكل (17) الانعكاسية دالة للطول الموجي للتصميم Air/Nano CdS/Si وزاوية سقوط ($\theta_0 = 75^\circ$)

$P_s = 3 \text{ nm}$, $L = 0.25\lambda_0$, $n_{\text{sub}} = 3.44$, $\lambda_0 = 350 \text{ nm}$

3. الاستنتاجات (Conclusion):

تعتمد انعكاسية الطلاءات البصرية المضادة للانعكاس على معاملات انكسار المواد المستخدمة وزاوية السقوط, ويمكن التحكم في معامل الانكسار من خلال التحكم في حجم الجسيم لمادة الطلاء, لذلك فان تصميم طلاءات بصرية مضادة للانعكاس ضمن الطول الموجي (300-400 nm) من الأشعة فوق البنفسجية باستخدام من مادة CdS النانوية على اساس من Si يعطي كفاءة عالية مقارنة بمادة CdS عند الحجم العادي. حيث تم الحصول على اقل قيمة في الانعكاسية لطبقة من CdS بسمك ربع طول موجة التصميم بمقدار (0.0093%) لحالة السقوط العمودي عند طول موجة التصميم عندما يكون حجم الجسيم لمادة الطلاء ($P_s = 3 \text{ nm}$). ان هذه الخصائص يمكن استخدامها في انتاج خلايا شمسية ذات كفاءته عالية.

References

- [16] Alaa j. Ghazai, (2008) "Design and manufacture (He-Ne) laser windows multiplayer antireflection coating" J.Thi-Qar Sci., Vol. 1, No. 2, pp. 79-86, (2008).
- [17] H. Angus Macleod, (2010) "Thin-Film Optical Filters" Fourth Edition ISBN: 9781420073027, CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC.
- [18] M.A. Mahdi, Z. Hassan, S.S. Ng, J.J. Hassan, S.K. Mohd Bakhori, "Structural and optical properties of nanocrystalline CdS thin films prepared using microwave-assisted chemical bath deposition" Thin Solid Films, pp. 3477-3484, 2012.
- [19] James D. Rancourt, (1996) "Optical Thin Films: User Handbook" ISBN: 9780819422859, SPIE Press.
- solar cell performance based on porous silicon surfaces" Applied Surface Science, Vol. 257, No. 14, pp. 6112-6117, (2011).
- [13] Michael Bass, (1995) "Handbook of Optics: Fundamentals, techniques, and design" Second Edition, ISBN: 9780070477407, McGraw-Hill Education.
- [14] J.J. Zhong; A.R.L. Travis; F.P. Payne and J.R. Moore, "The Antireflection Coating for a Wedge Flat Panel Projection Display", Convention Centre, San Jose, California, pp.914-917, (2001).
- [15] Yusuf Simsek, (2008) "Development of Software for Calculations of The Reflectance, Transmittance and Absorptance of Multilayered Thin Films" M.Sc. Thesis, Middle East Technical University, Turkey.

Design and Optimization of Antireflection Coating Performance for UV Spectrum by Use CdS Nanoparticles on Si Substrate

Bashar M. Salih Asmat R. Abdul-Gaffor

E.mail:

Abstract:

In this study, the optical properties of CdS as a function of nanoparticle size were calculated and investigated and it's used in design theory for single-layer Antireflection coatings at a quarter wave thickness at λ_0 in the UV spectrum range of 300-400 nm. Silicon have been selected as substrate. MATLAB language programs with version of 7.11.0 were used to describe the reflectance as a function of particle size, refractive indexes, energy gap and the wavelength at normal and oblique incidence which are depending on Brus model and Characteristic Matrix theory as a basic theory. The coating design (Air/Nano CdS/Si) by was obtained at a lower value of (0.0093%) at the incident angle of 0° with wavelength of 350 nm and particle size of ($P_s = 3$ nm). These coating are promising for solar cell application.