



## النقاط الكمية للجسيمات النانوية للجرمانيوم شبه الموصل المعتمدة على الحجم الحبيبي للطلاءات الغير عاكسه في تطبيقات الخلايا الشمسيه

عصمت رمزي عبد الغفور

جامعة الانبار - كلية العلوم

### الخلاصة:

تم دراسة تغير بعض الخواص البصريه لشبه موصل الجرمانيوم (Ge) كفجوة الطاقة ومعامل الانكسار كداله لتغير حجم الجسيم (Particulatesize) والاستفادة منها في وضع تصميم نظري لطلاء مضاد للانعكاس (Antireflection Coating) ذو طبقة مفردة من Ge بسمك ربع طول موجة التصميم ضمن المدى (400-700 nm) من الطول الموجي للطيف المرئي, حيث تم تغير حجم الجسيم لمادة الطلاء من (3.6-80nm), واختيرت مادة السيلكون (Si) كأرضة أساس (Substrates) للتصميم. تمت هذه الدراسة باستخدام برنامج حاسوبي بلغة MATLAB النسخة (7.11.0) ليصف انعكاسية التصميم (Reflectivity) كدالة لحجم الجسيم (Particle size) 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 الانعكاسية للتصميم (Air/Nano Ge/Si) كانت بمقدار (0.1623%) عند طول موجة التصميم وفي حالة السقوط العامودي وذلك عندما يكون حجم الجسيم لمادة الطلاء (Ps = 4.4 nm).

### معلومات البحث:

تاريخ التسليم: 2017/04/11  
تاريخ القبول: / /  
تاريخ النشر: 2018/03/30

DOI: 10.37652/juaps.2017.141579

### الكلمات المفتاحية:

Nano Ge  
Brus model  
المصفوفة المميزة,  
الطلاءات البصرية.

### 1. المقدمة:

تظهر معظم أشباه الموصلات مجموعة متنوعة وفريدة من الخصائص البصرية والإلكترونية عند الحجم النانوية تختلف عن الخصائص الموجودة في المواد ذات البنى الطبيعية (Bulk Materials) [3], ويظهر التغير في خصائص المواد النانوية نتيجة للتكميم مستويات الطاقة للإلكترونات المادة ضمن حجم محدد وهو ما يعرف بالحجز الكمي (Quantum confinement) والذي يكون اما في بعد واحد (One dimensional) وتعرف المواد التي تقع تحت تأثير هذا الحجز بالأسلاك الكمومية (Quantum wires), او يكون ثنائي البعد (Two dimensional) وتعرف ببئر الطاقة الكمومية (Quantum wells), اما عندما يكون الحجز الكمي

الجرمانيوم Ge مادة شبه موصل صلبة مستقرة لها درجة انصهار عالية بحدود (937C), ولها معامل انكسار عالي (4.06) وفجوة طاقة قليلة جدا بحدود (0.66eV), وللجرمانيوم نفاذية عالية لمدى الأشعة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي. ويستخدم الجرمانيوم بشكل واسع في انظمة البصرية والإلكترونية [1,2]. اخذت أشباه الموصلات دورا رائدا في مجال تقنية النانو (Nanotechnology), حيث

\* Corresponding author at: College of Science, University of Anbar.

E-mail address: [asmat\\_hadithi@yhao.com](mailto:asmat_hadithi@yhao.com)

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

من خلال المعادلة (5) 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 (1).

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

عندما يصبح نصف القطر (R) للبلورية شبة الموصل مساويا او اصغر من نصف قطر بور الطبيعي للـ Exciton (مستوى طاقة المقيد للإلكترون أو فجوة) يبدأ تأثير الحجز الكمي (Quantum confinement)، ويمكن حساب نصف قطر بور للمواد من خلال العلاقة الآتية [11]:

$$\alpha_0 = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon_r\hbar^2}{e^2} \left[ \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right] \dots \dots (6)$$

اذ ان:  $\epsilon_r$  و  $\epsilon_0$  السماحية الكهربائية للفراغ والمادة الشبة موصل على التوالي،  $e$  شحنة الإلكترون،  $m_e^*$  الكتلة الفعالة (Effective mass) للإلكترون،  $m_h^*$  الكتلة الفعالة للثقب (الفجوة).

هناك العديد من النماذج النظرية التي تستخدم لفهم اعتماد قيمة فجوة الطاقة في النقاط الكمومية لأشبه الموصلات على حجم الجسيم، واحد اكثر النماذج النظرية استخداما هو نموذج بروس (Brus model) او ما يعرف بنموذج تقريب الكتلة الفعالة (EMA)، ووفق هذا النموذج فان قيمة التغير في فجوة الطاقة للنقاط الكمومية ( $\Delta E_g$ ) يعطى بمعادلة Brus بالصيغة التالية [12]:

$$\Delta E_g = \frac{\hbar^2\pi^2}{2R^2} \left[ \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right] - \frac{1.786 e^2}{\epsilon_r} - \frac{0.124e^4}{h^2\epsilon^2} \left[ \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right]^{-1} \dots \dots (7)$$

اذ ان R نصف قطر البلورة بوصفها نقطة كمومية كروية الشكل،  $\epsilon$  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 (7) بالصيغة التالية [13]:

$$E_g^{nano}(R) = E_g^{bulk} + \frac{\hbar^2\pi^2}{2R^2} \left[ \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right] - \frac{1.786 e^2}{\epsilon R} - \frac{0.124e^4}{h^2\epsilon^2} \left[ \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right]^{-1} \dots \dots (8)$$

في الابعاد الثلاثة فان النظام يعرف عندها بالنقاط الكمومية (Quantum dots) والتي يمكن تعريفها على انها مواد شبة موصل تكون فيها الالكترونات حبيسة في الاتجاهات الثلاثة داخل ابعاد البنية البلورية التي يكون حجمها مساويا او اصغر من طول موجة دي برولي (De Broglie wavelength) للإلكترون او الثقب [4,5,6].

## 2. الجزء النظري:

### 1.2. السماحية البصرية:

عند سقوط اشعة كهرومغناطيسية على حد يفصل بين سطحين مختلفين في الخصائص البصرية فان قيمة الانعكاسية R في الشعاع الساقط تعطى بالصيغة التالية:

$$R = \left( \frac{\eta_0 - \eta_1}{\eta_0 + \eta_1} \right)^2 \dots \dots (1)$$

اذ ان:  $\eta_0$  و  $\eta_1$  تمثل السماحية البصرية لوسطي السقوط والنفوذ على التوالي، وتعد السماحية البصرية ( $\eta$ ) احدى الصفات البصرية المهمة للأوساط المادية وتعرف ايضا بمعامل الانكسار الفعال (Effective Refractive Index)، والتي تكون مساوية للجزء الحقيقي من معامل الانكسار للوسط في حالة السقوط العامودي للموجة [7]:

$$\eta = n \dots \dots (2)$$

اما في حالة السقوط المائل ويسبب تأثير ظاهرة الاستقطاب تتفصل السماحية البصرية للوسط الواحد الى جزئين هما السماحية البصرية للاستقطاب الموازي ( $\eta_p$ ) والسماحية البصرية للاستقطاب العامودي ( $\eta_s$ )، وتعطى بالصيغة التالية [8]:

$$\eta_p = n / \cos\theta \dots \dots (3)$$

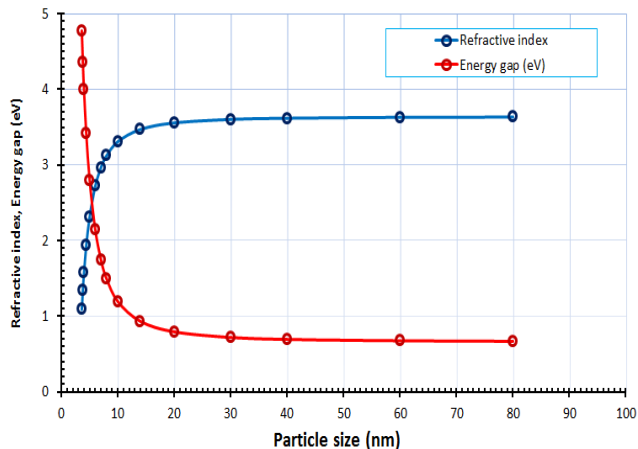
$$\eta_s = n \cos\theta \dots \dots (4)$$

اما عند سقوط اشعة كهرومغناطيسية على غشاء رقيق مفرد مكون من حدين فاصلين مرسب على مادة اساس فان السماحية البصرية للمنظومة في حالة السقوط العامودي والمائل ولأي من الاستقطابين يمكن تحديدها من خلال معادلة المصفوفة المميزة (Characteristic Matrix) [9] والتي تربط بين المركبات المماسية (Tangential Components) المستمرة للمجالين الكهربائي والمغناطيسي الساقطة على المنظومة والخارجة منها، وتعطى بالصيغة التالية [10].

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta & i\sin\delta/\eta_1 \\ i\eta_1\sin\delta & \cos\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_{sub} \end{bmatrix} \dots (5)$$

حيث ان (B,C) تمثل عناصر المصفوفة والتي تمثل المجال الكهربائي والمغناطيسي، وتمثل  $\eta_1$  السماحية البصرية للغشاء، و  $\eta_{sub}$  السماحية البصرية للأساس، اما  $\delta$  فتمثل سمك الطور (Phase thickness) ويعطى بالعلاقة التالية:

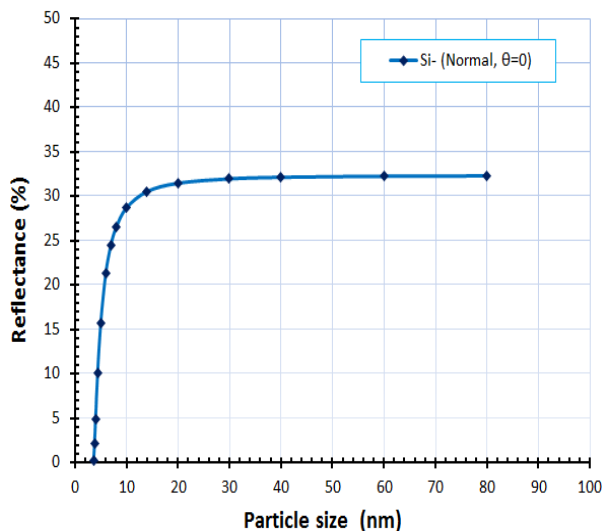
الجسيم وذلك نتيجة لازدياد تأثير الحجز الكمي. الشكل (1) يوضح تغير قيمتي  $E_g$  و  $n$  دالة لتغير حجم الجسيم.



شكل (2) تغير معامل انكسار وفجوة طاقة Ge دالة للتغير في حجم الجسيم.

### 2.3. انعكاسية Ge دالة للتغير في حجم الجسيم (Ps):

تم دراسة انعكاسية Ga كدالة للحجم الجسيم، إذ تم اختيار الهواء وسط لسقوط الأشعة، واختيرت زاويتي السقوط ( $\theta_0 = 0^\circ$ ) و ( $\theta_0 = 45^\circ$ ) لقياس قيم الانعكاسية عندها، من خلال الأشكال من (3) الى (6) يمكن ملاحظة تغير انعكاسية Ge دالة للتغير في الحجم الجسيم وفجوة الطاقة ومعامل الانكسار، فيمكن ملاحظة التزايد في انحدار منحنى الانعكاسية عندما يصبح حجم الجسيم للمادة مساوي أو اصغر من نصف قطر بور للـ Exciton ( $\alpha_B$ )، وذلك نتيجة لازدياد تأثير الحجز الكمي، حيث نحصل على اقل قيمة لانعكاسية Ge بمقدار ( $R=0.1763\%$ ) في حالة السقوط العامودي و ( $R_p=0.0037\%$  و  $R_s=0.6053\%$ ) عند زاوية سقوط ( $45^\circ$ ) عندما يكون حجم الجسيم ( $Ps=3.6$  nm).



شكل (3) تغير انعكاسية Ge دالة للتغير في حجم الجسيم في حالة السقوط العامودي.

من الحد الثاني في الطرف الايمن للمعادلة اعلاه نلاحظ ان فجوة الطاقة الفعالة تتناسب عكسيا مع  $R^2$  اي ان فجوة الطاقة تزداد بتناقص حجم الجسيم، ومن الحد الثالث نلاحظ ان فجوة الطاقة تتناقص مع تناقص  $R$  وذلك بسبب زيادة قوة التفاعل الكولومي (Columbic interaction)، اما الحد الاخير يمثل الارتباط بين جزئيتين، ان الحدين الثالث والاخير صغيرة جدا مقارنة بالحد الثاني لذلك يمكن ان تهمل، فتصبح المعادلة (8) بالشكل التالي:

$$E_g^{nano}(R) = E_g^{bulk} + \frac{\hbar^2 \pi^2}{2R^2} \left[ \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right] \dots \dots (9)$$

يرتبط معامل الانكسار في المواد شبة الموصلة ارتباطا وثيقا بفجوة الطاقة  $E_g$ ، وقد بذلت محاولات عديدة لإيجاد صيغ رياضية تربط معامل الانكسار بفجوة الطاقة، كالعلاقة البسيطة الآتية [14].

$$n = \alpha + \beta E_g \dots \dots \dots (10)$$

حيث ات: ( $\alpha = 4.048$ ) و ( $\beta = -0.62 \text{ eV}^{-1}$ ).

تعد هذه المعادلة مستقلة عن درجة الحرارة، ونلاحظ من خلالها ان قيمة معامل الانكسار تقل بزيادة فجوة الطاقة، وبالرجوع الى المعادلة (9) يمكننا القول ان معامل انكسار للنقاط الكمومية يتناقص مع تناقص الحجم.

### 3. الجزء العملي (Experimental Part):

باستخدام برنامج المحاكاة الحاسوبية (MATLAB) النسخة العاشرة تم تصميم برنامج حاسوبي لقياس فجوة الطاقة ومعامل الانكسار والانعكاسية كدالة لتغير حجم الجسيم لمادة Ge، كما تم من خلال هذا البرنامج تصميم وتحسين طلاء بصري مضادة للانعكاس من مادة Ge بسلك ربع طول موجة التصميم ( $\lambda_0 = 550$  nm) بالاعتماد على تغير حجم الجسيم للـ Ge واستخدامها على اساس من مادة Si التي تستخدم في صناعة الخلايا الشمسية، ضمن المدى (400-700 nm) من الطول الموجي للطيف الكهرومغناطيسي، إذ تم تقدير حجم الجسيم لمادة Ge بالقيم (3.6, 3.8, 4, 4.4, 5, 6, 7, 8, 10, 14, 20, 30, 40, 60, 80) nm

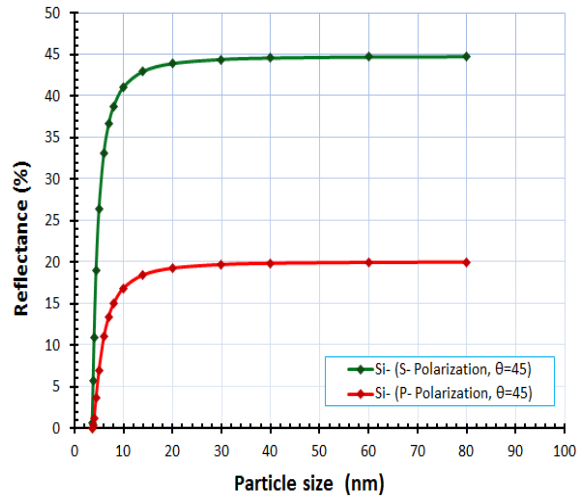
### 1.3. فجوة الطاقة ومعامل انكسار Ge دالة للتغير في حجم الجسيم (Ps):

تم دراسة فجوة الطاقة  $E_g$  ومعامل الانكسار  $n$  لمادة Ge كدالة لتغير حجم الجسيم ( $Ps=2R$ ) [15]، وقد أظهرت الدراسة أن تناقص حجم الجسيم عن الحجم الطبيعي (Bulk Size) يؤدي ازدياد قيمة فجوة الطاقة وتتناقص قيمة معامل الانكسار مع تناقص حجم الجسيم، ويكون هذا التغير قليل جدا حتى يصبح حجم الجسيم للمادة مساويا أو اصغر من نصف قطر بور للـ Exciton ( $\alpha_B = 24$  nm)، حيث تبدأ عندها قيمة التغير في هذه الخصائص بالازدياد بشكل ملحوظ مع تناقص حجم

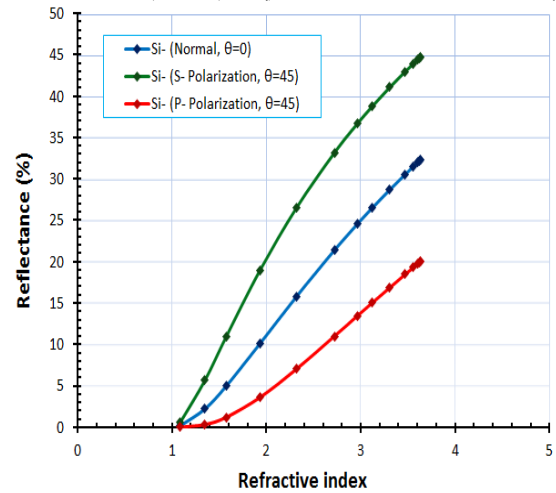
### 3.3. التصميم المقترح للطلاء (Nano Ge) على اساس من (Si):

بدءً تم دراسة الانعكاسية للمادة الأساس (Si) معامل الانكسار لها ( $n_{sub}=3.44$ ) والتي أظهرت انعكاسية بمقدار (30.2%) كما موضح بالشكل (7)، ثم تم تصميم الطلاء لحالة السقوط العمودي والمائل عند زاوية سقوط  $45^\circ$ ، اذ تم إضافة طبقة واحدة من Ge (ذات سمك ربع طول موجة التصميم) ( $L = 0.25\lambda_0$ ) مع الاخذ بنظر الاعتبار تغير حجم الجسيم للطلاء (Ps) من (3.6-80 nm)، ودراسة تأثير إضافة الطلاء وتغير حجم الجسيم له على الخصائص البصرية للمنظومة،

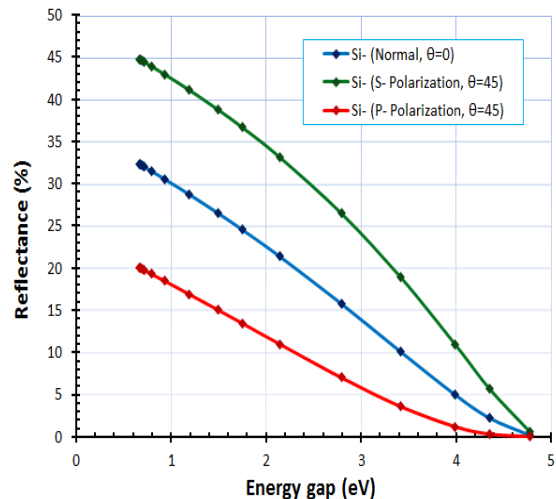
توضح الاشكال من (8) الى (10)، تغير الخصائص البصرية عند طول موجة التصميم ( $\lambda_0 = 550$  nm) للتصميم (Air/Nano Ge/Si)، اذ يمكن ملاحظة ان التصميم يظهر عند حجم الجسيم لمادة الطلاء ( $>30$  nm)، انعكاسية بمقدار (R=34%) تقريباً، وذلك لان المادة الطلاء عند هذا الحجم تسلك سلوك المادة بالحجم الطبيعي (Bulk size) اذ يكون معامل الانكسار لها يساوي (4.06) وهو معامل انكسار المادة بحجمها الطبيعي (Gebulk)، ويظهر التناقص في انعكاسية التصميم عند حجم اصغر من (30 nm) وهذا يكون بسبب تناقص معامل انكسار الطلاء والذي ينتج بسبب تزايد تأثير الحجز الكمي عند حجم يقترب من نصف قطر بور للمادة، وعندما يصبح حجم الجسيم للمادة مساوياً او اصغر من نصف قطر بور يظهر تأثير الحجز الكمي بشكل كبير فينخفض معامل انكسار الطلاء بشكل اكبر لنحصل على اقل قيمة لانعكاسية التصميم عند حجم يساوي (4.4 nm). ومع تناقص حجم الجسيم للGe اصغر من (4.4 nm) فان معامل انكسار الطلاء ينخفض ايضا فيقل تأثيره على انعكاسية القاعدة بصورة تدريجية وهذا ما يسبب عودة انعكاسية التصميم للارتفاع من جديد.



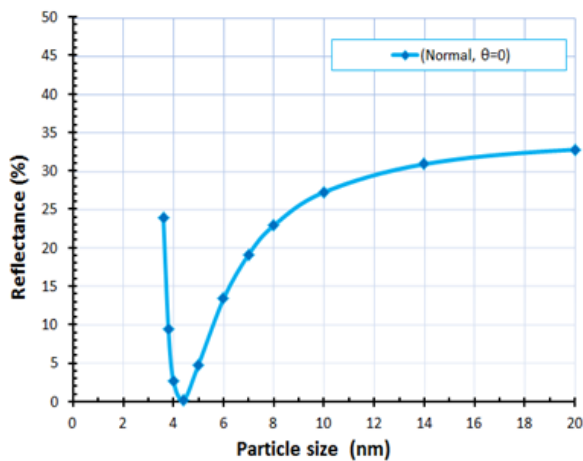
شكل (4) تغير انعكاسية Ge دالة للتغير في حجم الجسيم عند زاوية سقوط  $45^\circ$ .



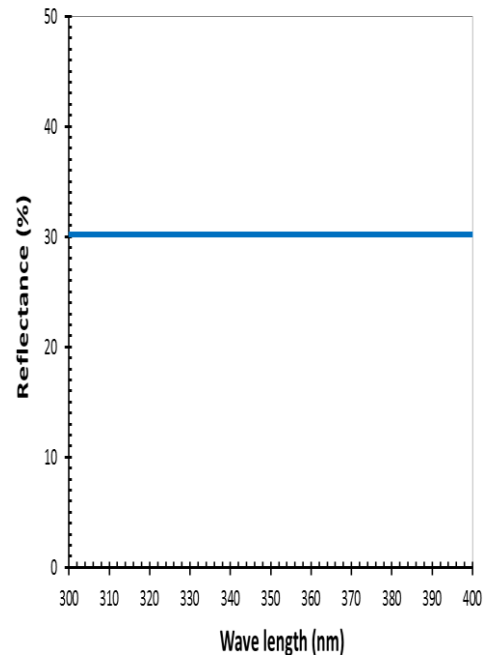
شكل (5) تغير انعكاسية Ge دالة للتغير في فجوة الطاقة لحالة السقوط العمودي والمائل عند  $45^\circ$ .



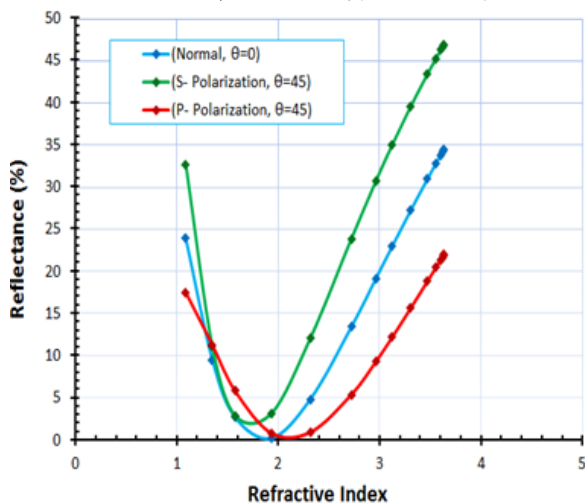
شكل (6) تغير انعكاسية Ge دالة للتغير في معامل الانكسار لحالة السقوط العمودي والمائل عند  $45^\circ$ .



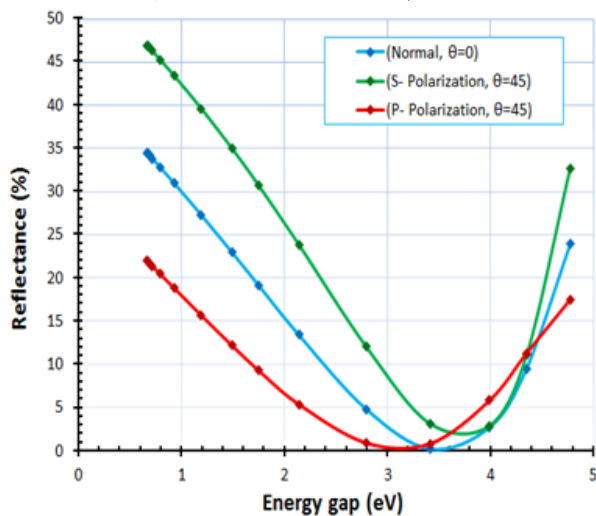
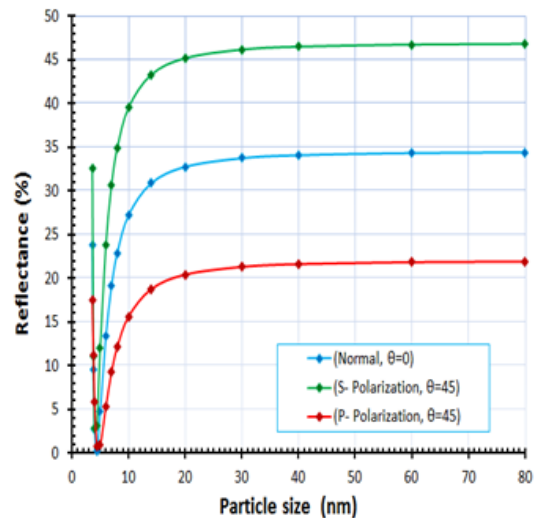
شكل (8) الانعكاسية دالة لحجم الجسيم الطلاء للتصميم (Air/ Nano Ge /Si) لحالة السقوط العمودي والمائل عند  $45^\circ$ , عند طول موجة التصميم  $n_{sub}=3.44, L=0.25 \lambda_o, (\lambda_o=550 \text{ nm})$



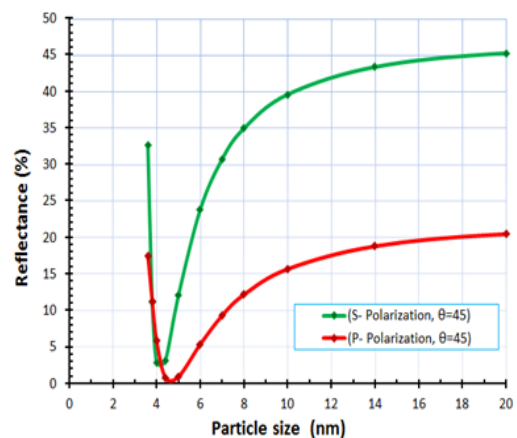
شكل (7) الانعكاسية دالة للطول الموجي للسيلكون وحالة السقوط العمودي من الهواء الى السيلكون



شكل (9) الانعكاسية دالة لمعامل انكسار الطلاء للتصميم (Air/ Nano Ge /Si) عند طول موجة التصميم  $n_{sub}=3.44, L=0.25 \lambda_o, (\lambda_o=550 \text{ nm})$



شكل (10) الانعكاسية دالة لفجوة طاقة الطلاء للتصميم (Air/ Nano Ge /Si) عند طول موجة التصميم  $n_{sub}=3.44, L=0.25 \lambda_o, (\lambda_o=550 \text{ nm})$



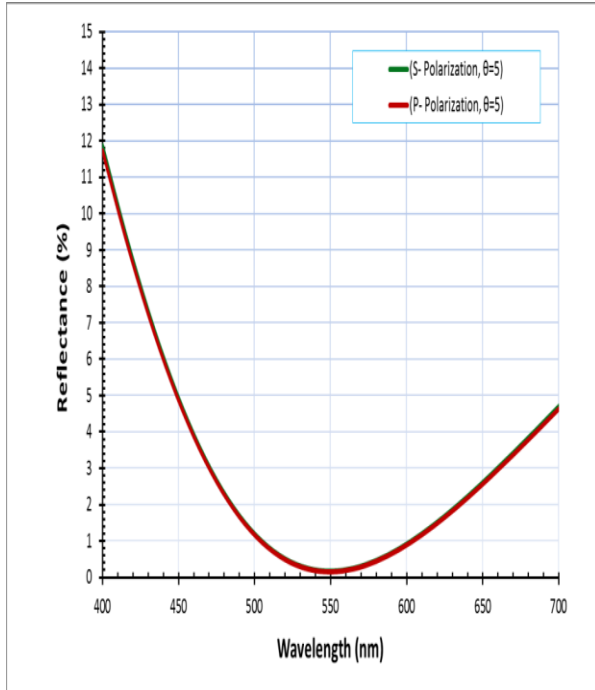
جدول (1) تأثير تغير زاويا السقوط على التصميم (Air/Nano Ge/Si), عند

(Ps=4.4 nm)

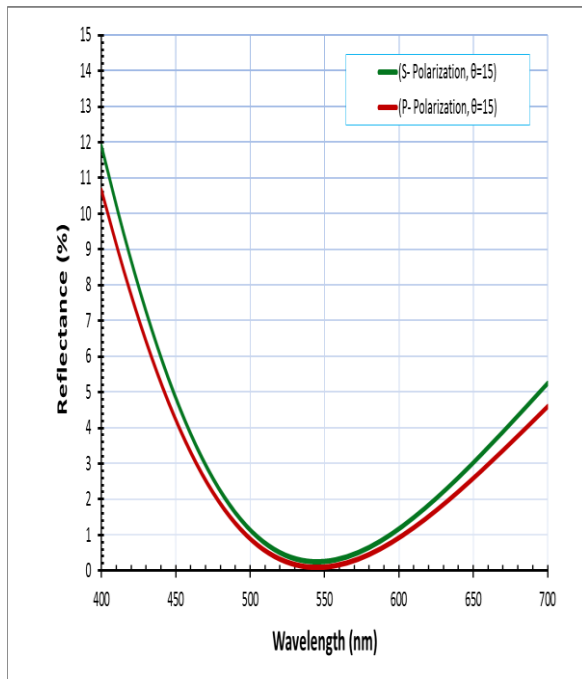
الانعكاسية R % للتصميم طول موجة التصميم (Air/Ge bulk/Si) ( $\lambda_0=550$ nm)		أقل انعكاسية R % لنمط الاستقطاب		الانعكاسية R % لنمط الاستقطاب عند طول موجة التصميم ( $\lambda_0=550$ nm)		زاوية السقوط ( $\theta_0$ deg.)	التسلسل
P-	S-	P-	S-	P-	S-		
42.8607	42.8607	0.1623	0.1623	0.1623	0.1623	0	1
42.7233	42.9980	0.154 at ( $\lambda_0=550$ nm)	0.1709 at ( $\lambda_0=550$ nm)	0.154	0.1709	5	2
41.6055	44.1066	0.0936 at ( $\lambda_0=545$ nm)	0.2495 at ( $\lambda_0=545$ nm)	0.1018	0.2586	15	3
37.5844	47.9773	0.0005 at ( $\lambda_0=531$ nm)	0.6835 at ( $\lambda_0=531$ nm)	0.0967	0.8357	30	4
29.9671	54.8646	0.5136 at ( $\lambda_0=512$ nm)	2.287 at ( $\lambda_0=512$ nm)	0.7674	3.0945	45	5

يتضح من القيم السابقة ان التصميم (Air/Nano Ge/Si) حقق اقل قيمة للانعكاسية عند طول موجة التصميم بقيمة ( $R=0.1623\%$ ) في حالة السقوط العمودي, عندما يكون حجم الجسيم لمادة الطلاء ( $Ps=4.4$  nm), لذلك يمكن اقتراحه كتصميم مضاد للانعكاس عند هذا الحجم.

توضح الاشكال من (11) الى (17) تأثير تغير زاوية السقوط ( $0-75^\circ$ ) في قيم الانعكاسية للتصميم المضاد للانعكاس ضمن الطول الموجي (400-700 nm). عند زاوية السقوط ( $0-5^\circ$ ) لا يمكن التمييز بين نمطي الاستقطاب (P,S) للموجات المنعكسة، وذلك لان التغير في قيمة السماحية البصرية للتصميم تعتمد على زاوية السقوط لذلك يكون قيمة التغير في انعكاسية الاستقطابين قليلة جدا. الا انه مع زيادة زاوية السقوط فان التأثير يكون اكبر اذ تنفصل انعكاسية الاستقطابين فيمكن التمييز بينهما, لزاوية سقوط ( $15^\circ$ ) وعند طول موجة التصميم نلاحظ ان قيمة  $R_s$  تزداد بينما تتناقص قيمة  $R_p$  بشكل طفيف جدا, أما عند زاوية سقوط ( $30^\circ$ ) فان الازدياد في قيمة  $R_s$  والتناقص في قيمة  $R_p$  أصبح ملحوظاً, اما عند زاوية السقوط اكبر من ( $30^\circ$ ) فان  $R_s$  و  $R_p$  تزداد بشكل واضح مع ملاحظة ان الزيادة في قيمة  $R_s$  تكون اكبر من  $R_p$ , كما نلاحظ أن هناك إزاحة جانبية للطول الموجي المركزي نحو الأطوال الموجية القصيرة وذلك بسبب التغير الحاصل في سمك البصري للطبقة الطلاء في حالة السقوط المائل، والذي بدوره يعتمد على معامل الانكسار الفعال الذي يتغير بتغير زوايا السقوط ونمط الاستقطاب، فعندما تزداد زاوية السقوط، يبدو الغشاء بسمك بصري اقل [16]. والجدول (1) يوضح تأثير تغير زوايا السقوط على قيم الانعكاسية.

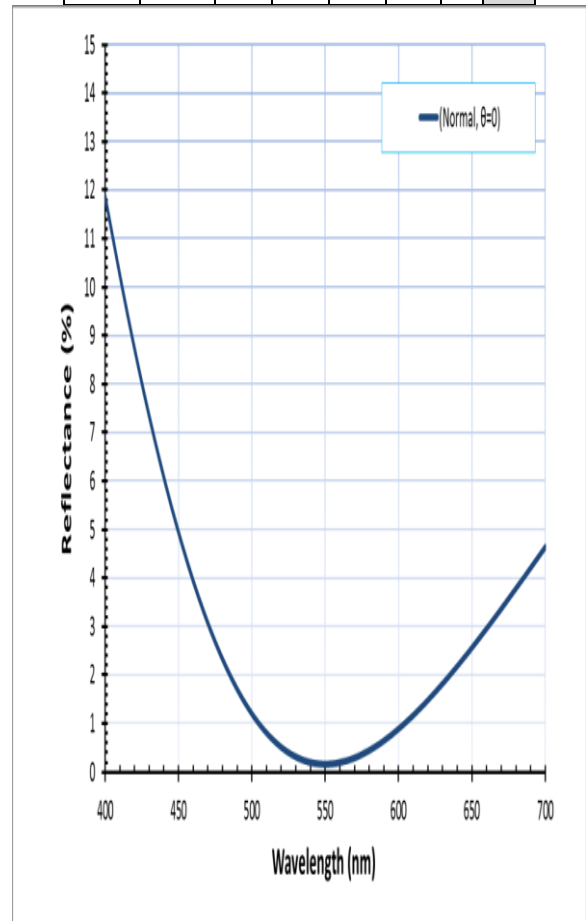


شكل (12) الانعكاسية دالة للطول الموجي للتصميم Air/Nano Ge/Si ولزاوية سقوط  $(\theta = 5^\circ)$ ,  
 $P_s = 4.4 \text{ nm}$ ,  $L = 0.25 \lambda_0$ ,  $n_{\text{sub}} = 3.44$ ,  $\lambda_0 = 550 \text{ nm}$

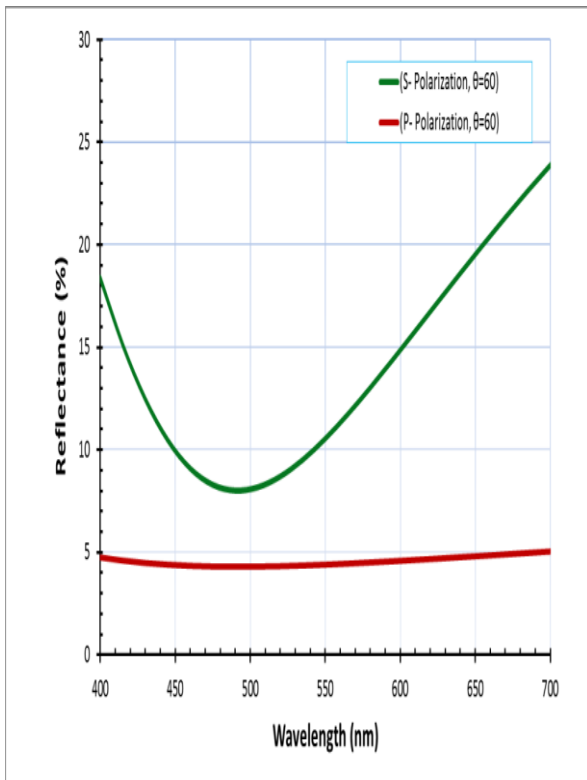


شكل (13) الانعكاسية دالة للطول الموجي للتصميم Air/Nano Ge/Si ولزاوية سقوط  $(\theta = 15^\circ)$ ,  
 $P_s = 4.4 \text{ nm}$ ,  $L = 0.25 \lambda_0$ ,  $n_{\text{sub}} = 3.44$ ,  $\lambda_0 = 550 \text{ nm}$

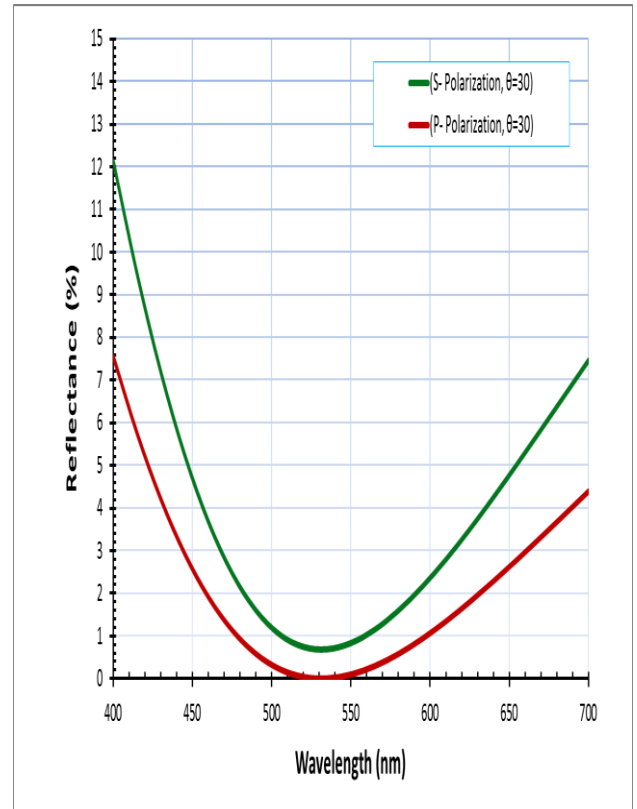
17.3593	65.3802	4.298 at $(\lambda_0 = 491 \text{ nm})$	8.01 at $(\lambda_0 = 491 \text{ nm})$	4.3987	10.5405	60	6
1.3366	80.2391	18.83 at $(\lambda_0 = 700 \text{ nm})$	28.28 at $(\lambda_0 = 475 \text{ nm})$	21.4758	33.1339	75	7



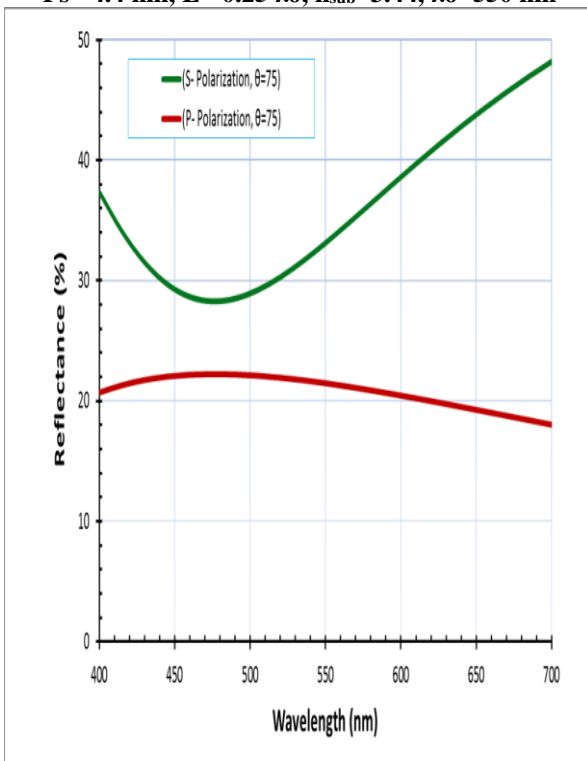
شكل (11) الانعكاسية دالة للطول الموجي للتصميم Air/Nano Ge/Si ولزاوية سقوط  $(\theta_0 = 0^\circ)$ ,  
 $P_s = 4.4 \text{ nm}$ ,  $L = 0.25 \lambda_0$ ,  $n_{\text{sub}} = 3.44$ ,  $\lambda_0 = 550 \text{ nm}$



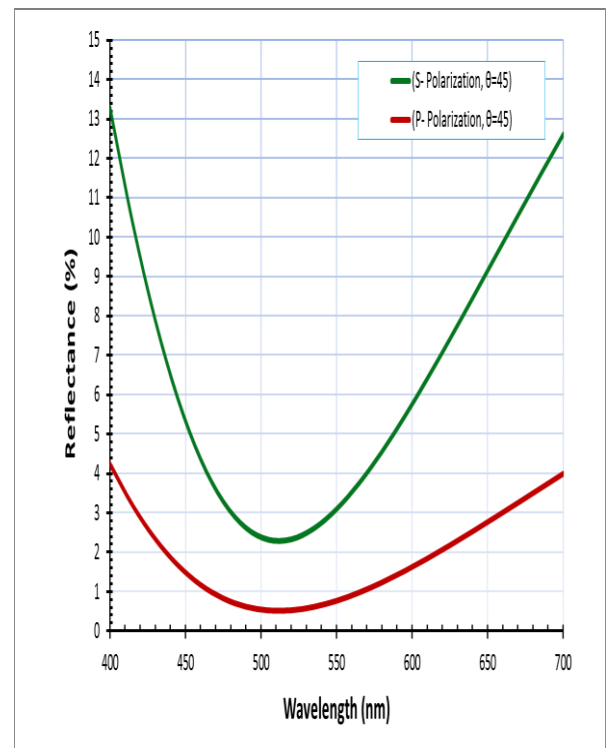
شكل (16) الانعكاسية دالة للطول الموجي للتصميم Air/Nano Ge/Si  
 ولزاوية سقوط  $(\theta_o = 60^\circ)$ ,  
 $Ps = 4.4 \text{ nm}$ ,  $L = 0.25 \lambda_o$ ,  $n_{sub} = 3.44$ ,  $\lambda_o = 550 \text{ nm}$



شكل (14) الانعكاسية دالة للطول الموجي للتصميم Air/Nano Ge/Si  
 ولزاوية سقوط  $(\theta_o = 30^\circ)$ ,  
 $Ps = 4.4 \text{ nm}$ ,  $L = 0.25 \lambda_o$ ,  $n_{sub} = 3.44$ ,  $\lambda_o = 550 \text{ nm}$



شكل (17) الانعكاسية دالة للطول الموجي للتصميم Air/Nano Ge/Si  
 ولزاوية سقوط  $(\theta_o = 75^\circ)$ ,  
 $Ps = 4.4 \text{ nm}$ ,  $L = 0.25 \lambda_o$ ,  $n_{sub} = 3.44$ ,  $\lambda_o = 550 \text{ nm}$



شكل (15) الانعكاسية دالة للطول الموجي للتصميم Air/Nano Ge/Si  
 ولزاوية سقوط  $(\theta_o = 45^\circ)$ ,  
 $Ps = 4.4 \text{ nm}$ ,  $L = 0.25 \lambda_o$ ,  $n_{sub} = 3.44$ ,  $\lambda_o = 550 \text{ nm}$



#### 4. الاستنتاجات (Conclusion):

#### References

- [1] Najeeb S. Abtan, "Study The Effect Of Germanium And Silicon Additions On Thermal Properties And Microstructure Of Pure Aluminum", The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering, Vol.13, No2, (2013).
- [2] Cor Claeys, Eddy Simoen, (2011) "Germanium-Based Technologies: From Materials to Devices" ISBN: 9780080474908, Elsevier.
- [3] Ulrike Woggon, (1997) "Optical Properties of Semiconductor Quantum Dots" ISBN: 9783540609063, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- [4] L. Banyai, S. W. Koch, (1993) "Semiconductor Quantum Dots" ISBN: 9789810213909, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- [5] علي سكاف, (2011) "المدخل الى الالكترونياات النانوية علم وهندسة وتطبيقات" (ISBN:139789953824437), سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة, المنظمة العربية للترجمة.
- [6] Guozhong Cao, (2004) "Nanostructures and Nanomaterials: Synthesis, Properties, and Applications" ISBN: 9781783260881, Imperial College Press.
- [7] 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).
- يمكن الحصول على طلاءات بصرية نانوية مفردة الطبقة مضادة للانعكاس لشبه موصل الجرمانيوم من خلال السيطرة على حجم النانوي لماده الطلاء, حيث اظهرت النتائج ان تصميم طلاء بصري مضادة للانعكاس لشبه موصل الجرمانيوم النانوية على اساس من Si ضمن الطول الموجي (400-700 nm) من الأشعة الكهرومغناطيسية اعطى كفاءة عالية مقارنة بطلاء من بمادة الجرمانيوم عند حجم الجسيم الاعتيادي, حيث تم الحصول على اقل قيمة في الانعكاسية بسلك ربع طول موجة التصميم بمقدار (0.1623%) لحالة السقوط العامودي عند طول موجة التصميم عندما يكون حجم الجسيم لماده الطلاء (Ps=4.4 nm) اظهرت الدراسة ان تناقص حجم الجسيم عن الحجم الطبيعي (Bulk Size) يؤدي ازدياد قيمة فجوة الطاقة وتتناقص قيمة معامل الانكسار مع تناقص حجم الجسيم, ويكون هذا التغير قليل جدا حتى يصبح حجم الجسيم للمادة مساوياً او اصغر من نصف قطر بور للـ Exciton ( $\alpha_B = 24 \text{ nm}$ ), حيث تبدأ عندها قيمة التغير في هذه الخصائص بالازدياد بشكل ملحوظ مع تناقص حجم الجسيم وذلك نتيجة لازدياد تأثير الحجز الكمي. كما نلاحظ أن هناك إزاحة جانبية للطول الموجي المركزي نحو الأطوال الموجية القصيرة وذلك بسبب التغير الحاصل في سمك البصري للطبقة الطلاء في حالة السقوط المائل، والذي بدوره يعتمد على معامل الانكسار الفعال الذي يتغير بتغير زوايا السقوط ونمط الاستقطاب، فعندما تزداد زاوية السقوط، يبدو الغشاء بسلك بصري اقل.

- International Scientific Journal (ISJ), Vol. 2, No. 1, pp. 120-130, (2015).
- [13] Z. L. Wang, Yi Liu, Ze Zhang, (2003) "Handbook of nanophase and nanostructured materials, Volume II" ISBN: 9780306472497, Kluwer Academic Plenum.
- [14] Asmiet Ramizy, Z. Hassan, Khalid Omar, Y. Al-Douri, M.A. Mahdi "New optical features to enhance solar cell performance based on porous silicon surfaces" Applied Surface Science, Vol. 257, No. 14, pp. 6112-6117, (2011).
- [15] 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.
- [16] James D. Rancourt, (1996) "Optical Thin Films: User Handbook" ISBN: 9780819422859, SPIE Press.
- [8] Michael Bass, (1995) "Handbook of Optics: Fundamentals, techniques, and design" Second Edition, ISBN: 9780070477407, McGraw-Hill Education.
- [9] Alaa j. Ghazai, (2008) "Design and manufacture (He-Ne) laser windows multilayer antireflection coating" J.Thi-Qar Sci., Vol. 1, No. 2, pp. 79-86, (2008).
- [10] H. Angus Macleod, (2010) "Thin-Film Optical Filters" Fourth Edition ISBN: 9781420073027, CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC.
- [11] B. Bhattacharjee, D. Ganguli, K. Iakoubovskii, A. Stesmans and S. Chaudhuri, "Synthesis and characterization of sol-gel derived ZnS:Mn<sup>2+</sup> nanocrystallites embedded in a silica matrix" Indian Academy of Sciences, Vol. 25, No. 3, pp. 175-180, (2002).
- [12] Shashank Sharma, Ravi Sharma, "Study on the optical properties of MN doped ZnS nanocrystals"

## Germanium Semiconductor Nanoparticles Quantum Dot Size dependant for Solar Cell Antireflection Coating Applications

Asmiet Ramizy Abdul-Gaffor

E-MAIL: [asmat\\_hadithi@yahoo.com](mailto:asmat_hadithi@yahoo.com)

### Abstract:

Nanostructured germanium semiconductor optical properties such as energy gap and refractive indexes as function of particle size were investigated. Single-layer antireflection coatings at a quarter wave thickness at  $\lambda_0$  in the spectrum range of (400-700 nm) was theoretically designed, when particle size is between (3.6–80 nm) and (Si) as substrate. MATLAB language programs with version of 7.11.0 were used in this study to describe the reflectance as a function of particle size, refractive indexes, energy gap and the wavelength at normal and oblique incidence angle which are depending on Brus model and Characteristic Matrix theory. The result showed that the coating design (Air/Nano Ge/Si) showed minimum reflectivity value of (0.1623%) at the incident angle of  $0^\circ$  with wavelength of 550 nm and particle size of (Ps=4.4 nm).